

2024年 春季年会

講演予稿集

電子版

於 東京大学

2024年3月11日(月)～3月15日(金)

日本天文学会

日本天文学会 2024年 春季年会プログラム

期 日 2024年3月11日(月)～3月15日(金)
 場 所 東京大学本郷キャンパス/オンライン
 電 話 090-4387-6893(学会事務局) <使用期間 2024年3月11日(月)～3月15日(金)>
 E-Mail nenkai-committee@asj.or.jp(年会実行委員会)

月日	会場	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
3月8日 (金)						記者会見			理事会			
3月9日 (土)		代議員総会			公開講演会							
3月11日 (月)	A	受付	Z1. PFS 銀河		昼 休 み 12:10-13:30	Z1. PFS 銀河		ポスター	会員全体集会 16:30-18:00	天文教育 フォーラム 18:00-19:30		
	B		Z2. 機械学習天文学			Z2. 機械学習天文学						
	C		Z3. MeVガンマ			Z3. MeVガンマ						
3月12日 (火)	A	受付	Z1. PFS 銀河		昼 休 み 12:10-13:30	ポスター	受賞記念講演 14:30-16:15		特別 セッション			
	B		Z2. 機械学習天文学									
ジュニアセッション(詳細は https://www.asj.or.jp/jsession/ にて)												
3月13日 (水)	D				昼 休 み 12:10-13:30	P3. 惑星系		ポスター 16:00-17:00				
	E					U. 宇宙論						
	F					T. 銀河団						
	G		R. 銀河			R. 銀河						
	H		S. 活動銀河核			S. 活動銀河核						
	I		V3. 観測機器(X線・γ線)			V3. 観測機器(X線・γ線)						
	J		N. 恒星・恒星進化			N. 恒星・恒星進化						
3月14日 (木)	D		P1. 星形成		昼 休 み 12:10-13:30	P1. 星形成		ポスター 16:00-17:00				
	E		U. 宇宙論			V1. 観測機器(電波)						
	F		Y. 教育・広報・他			Y. 教育・広報・他						
	G		W. コンパクト天体			W. コンパクト天体						
	H		X. 銀河形成・進化			X. 銀河形成・進化						
	I		V3. 観測機器(X線・γ線)			V2. 観測機器(光赤・重)						
	J		M. 太陽			M. 太陽						
3月15日 (金)	D		P1.星形成/P2.原始惑星系円盤		昼 休 み 12:10-13:30	P2. 原始惑星系円盤		ポスター 16:00-17:00				
	E		V1. 観測機器(電波)			V1. 観測機器(電波)						
	F		Q. 星間現象			Q. 星間現象						
	G		W. コンパクト天体			W. コンパクト天体						
	H		X. 銀河形成・進化			X. 銀河形成・進化						
	I		V2. 観測機器(光赤・重)			V2. 観測機器(光赤・重)						
	J		M. 太陽			M. 太陽						
		9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19

- ・現地の受付は9:30から開始します。
- ・セッションの開催時間は午前の部 10:00～12:10、午後の部 13:30～15:40です。
- ・3月13日(水)～3月15日(金)はフルオンライン開催です。

【開催場所について】

- ・3月11日(月)～3月12日(火)は東京大学 本郷キャンパスで開催します。会場は下記の通りです。

A 会場	: 小 柴 ホール (理学部1号館中央棟 2F)	受 付	: 小柴ホール 2F ロビー
B 会場	: 1220 講義室 (理学部4号館 2F)	展示コーナー	: 小柴ホール 2F ロビー
C 会場	: NSSOL 講義室 (理学部1号館東棟 2F)	ポスター	: 小柴ホール 2F ロビー/オンライン公開

※定員が超過した場合は、近くの予備室をご利用ください

◎講演数

講演数：合計 492

(口頭講演 (a)：409、ポスター講演 (b)：68、ポスター講演 (c)：15)

◎参加申込について (参加希望者は、必ず事前に参加申込をしてください)

2016年秋秋季年会より、通常セッションにおける講演は会員に限られております。

○参加費用

	会 員	非 会 員
参加費	正会員学生:2,000円(不課税) 正会員一般:5,000円(不課税) 準会員:5,000円(不課税)	5,000円(消費税込み)
講演登録費	2,000円(不課税)(1講演につき) 但し事前支払がない場合は、会員3,000円/非会員6,000円	5,000円(消費税込み・企画セッション)
年会予稿集	2,000円(消費税込み) ※購入希望者のみ	

○参加申込受付場所：学会ホームページ (<https://www.asj.or.jp/>)

○参加申込受付期間：2024年1月9日正午～2月6日正午

※直前参加申込受付期間：3月1日正午～3月15日正午(会員限定、オンライン参加のみ)

※講演者の方も講演登録費支払期間に参加申込・参加費支払が必要です

※原則として講演登録費・参加費の返金はいたしません

◎講演に関する注意

- 3月11日(月)～3月12日(火)の口頭発表は現地3会場で、3月13日(水)～3月15日(金)の口頭発表はオンライン7会場で並行して行います。口頭講演(添字a)は、口頭発表9分、質疑応答3分です。ポスター講演(添字b)は、口頭発表3分、3講演で12分を割り当て、座長の判断で質疑応答を行います。

※時間厳守：講演制限時間を超過した場合は、直ちに降壇していただきますので、講演者の皆様は制限時間を厳守できるよう特に万全の準備をお願いします。

- ポスター(添字b、c)はオンライン上で公開します。企画セッションのポスターは現地での掲示も行います。オンライン公開用にポスターファイルの提出をお願いいたします。提出の締切は3月8日(金)正午です。各ポスター講演にSlackチャンネルをご用意しますので、質疑応答にご活用ください。(添字aの講演者にもSlackチャンネルをご用意いたします)
- 企画セッションの口頭講演者(添字a、b、r)は原則として現地会場で、通常セッションの口頭講演者(添字a、b)はオンラインで発表していただきます。セッション開始5分前から座長が講演方法の説明をいたします。講演者にご参加ください。また、口頭講演は原則としてご自身のPCを用いて講演いただきます。万一のトラブルに備えて、PDF形式の講演ファイルもご用意ください。講演方法に関する最新の情報は、ホームページで必ずご確認ください。
- オンライン聴講者は、セッション開始時刻の5分前からアクセスいただけます。また入室の際には、下記の命名規則に従って「参加者名」を設定してください。

参加種別	「参加者名」の命名規則	例
視聴者	「氏名」+「(所属)」	天文花子(天文大学)

- 講演の実施方法の詳細は、学会ホームページに掲載いたします。事前に講演方法についてよく確認いただいた上で準備を進めていただくようお願いいたします。オンラインで参加される方は、Zoomの操作手順に関する理解を深めていただくようお願いいたします。
- 受信画像や発表資料の保存(キャプチャを含む)、録音や配布は固くお断りします。

◎会期中の行事

月 日	時 間	会 場	行 事 名
3月8日(金)	13:00 ~ 14:30	オンライン	記者会見
3月9日(土)	13:30 ~ 16:00	A 会場 / オンライン	公開講演会
3月11日(月)	16:30 ~ 18:00	オンライン	会員全体集会
3月11日(月)	18:00 ~ 19:30	C 会場 / オンライン	天文教育フォーラム
3月12日(火)	14:30 ~ 16:15	A 会場 / オンライン	受賞記念講演 (林忠四郎賞・研究奨励賞)
3月12日(火)	16:30 ~ 17:30	A 会場 / オンライン	特別セッション 「TAO の科学観測開始に向けて」

◎会合一覧表

※今回、通常の会合は募集しておりません

月 日	時 間	会 場	会 合 名	参加可否 [※]
3月8日(金)	15:30 ~ 16:30	オンライン	理事会	D
3月9日(土)	10:30 ~ 12:00	オンライン	代議員総会	D

※年会参加者の参加可否の説明（オープン化の程度）

- A: 年会参加者なら誰でも大歓迎で是非来てほしい
- B: 年会参加者で興味を持った人には広く門戸を開いている
- C: 関係グループ向けの会合だが年会参加者なら特に拒みはしない
- D: 関係者のみにクローズした会合で非公開である

正会員展示

◎「アルマーの冒険」で電波天文学の原理と歴史を自作しよう！ー連載・24 春ー

日 時：2024 年 3 月 11 日（月）～ 3 月 12 日（火）

場 所：A 会場（小柴ホール）ロビー

概 要： 電波天文広報まんが「アルマーの冒険」は、電波天文学の世界を紹介するアウトリーチコンテンツです。国立天文台の広報機関誌『国立天文台ニュース』誌上で 2011 年から掲載を開始し、2024 年現在も継続中の連載記事です（これまでに 11 話分を掲載）。親しみやすいストーリーまんがを下敷きに、自作アンテナによるさまざまな天体の電波を実地に観測して（これまでのターゲットは太陽、流星、木星など）、電波天文学の原理を学びその歴史を体験する構成で、天文台のみならず、全国の研究教育機関による最新の研究成果も逐次紹介しています。2023 年秋の年会でコミケ風の展示をして（一部で？笑）好評を博しましたので、2024 年春の年会ではさらにパワーアップして出展します。とくにジュニアセッションに参加する学生・生徒のみなさん、技術革新によって安価かつ平易に電波天文学の世界を実体験できるようになった「これから」を、アルマーといっしょに冒険してみませんか。ブースにてお待ちしております。

世 話 人：高田裕行（国立天文台）

山岡均（国立天文台）

唐崎健嗣（合同会社プラネタリウムワークス）

◎天文教育フォーラム：「天文教育・普及にかかわる知見をどのように共有するか」

日 時：2024年3月11日（月）18：00～19：30

場 所：C会場(NSSOL講義室)/オンライン(要申込。天文教育フォーラムのみ参加の場合、参加費は無料)

概 要：日本は天文学の教育や普及において先進的な取り組みをしている国のひとつであるが、その成果や知見をコミュニティとして共有し、次世代や世界に繋いでいく仕組み作りにおいては発展途上である。研究者や教育関係者が行う活動の報告や研究の成果については、天文月報や年会の「天文教育・広報普及・その他」セッションなどの場を通じて発表ができるが、天文学を専門としない教育・普及活動の担い手にとっては、なじみがある場とは言いがたい。

また、近年、教育・普及活動の担い手としての重要性を増している一般市民にとっても、参加しやすい場を設けることが必要である。幅広い活動を網羅し、その知見をコミュニティとして蓄積していくことは、社会によって支えられている天文学の持続的な発展のためには、必要不可欠なことである。

天文教育・普及に関する知を共有していくためには、いったいどのような仕組みとなっていることが望ましいだろうか。本フォーラムでは、現在どのような状況にあるのかを俯瞰した上で、課題が何であるのかを議論し、これからの展望を共有したい。

話題提供：(1)「天文教育の知見共有についての経験・私見」 下井倉ともみ（大妻女子大学）
(2)「天文教育普及で繋がりましょう、残しましょう」 松本直記（慶応高校）

実行委員：鴈野重之、高梨直紘、日下部展彦、松岡義一

主 催：公益社団法人 日本天文学会 / 一般社団法人 日本天文教育普及研究会

◎特別セッション：「TAOの科学観測開始に向けて」

日 時：2024年3月12日（火）16：30～17：30

場 所：A会場(小柴ホール)/オンライン

概 要：東京大学アタカマ天文台（The University of Tokyo Atacama Observatory; TAO）は、南米チリ共和国北部のアタカマ砂漠にそびえる高峰、チャナントール山頂（標高5,640m）に位置する世界で最も標高の高い天文台で、高い晴天率や乾燥した大気など世界最高の観測環境にあり、高い赤外線透過率を誇ります。

現在、東京大学天文学教育研究センターでは、口径6.5mの光赤外線望遠鏡であるTAO望遠鏡の建設を進めており、2024年度中の科学観測・共同利用開始を目指しています。

そこで本特別セッションでは、TAO望遠鏡と観測装置の性能や公募観測の枠組みについて、学会員の皆さまにお知らせするとともに、TAO望遠鏡で期待されるサイエンスについての講演を実施する予定です。

プログラム：

1. TAO望遠鏡と観測装置の性能

2. 公募観測の枠組み

3. TAO望遠鏡で期待されるサイエンス

「赤外線観測を用いた銀河研究とTAOへの期待」 稲見華恵（広島大学）

「TAOが明らかにする太陽系小天体形成と軌道・熱進化」 大坪貴文（産業医科大学）

世 話 人：宮田隆志、柏川伸成、土居守、江草実実（東京大学）

◎日本天文学会公開講演会

日 時：2024年3月9日(土) 13:30～16:00 (開場 13:00)

形 式：対面とオンライン配信

場 所：【対面】東京大学 理学部 1号館 中央棟 2階 小柴ホール

住所：東京都文京区本郷 7-3-1 東京大学 本郷キャンパス

【オンライン】東京大学理学系研究科・理学部 YouTube チャンネルでのライブ配信

対 象：中学生以上・一般向け

テ ー マ：「大型望遠鏡で迫る宇宙の謎」

宇宙の謎を解き明かしたいという好奇心と探求心は、人類の自然に対する理解を深める原動力となるとともに、そのために用いられる最先端科学技術は人々の日常生活へと還元されてきました。約400年前、ガリレオ・ガリレイが自作の望遠鏡を用いて以降、宇宙を観測する手段はより高度に、より大型になってきています。さらには近年、人類は重力波という新たな観測手段も手に入れています。本講演会では、可視光・赤外光で宇宙を観測するすばる望遠鏡、重力波で宇宙を観測する KAGRA (かぐら) という2つの大型観測装置を中心に、宇宙の誕生と進化、そしてそこで繰り広げられるブラックホールや中性子星の合体といった天体現象についての最新の研究成果を紹介します。

講師・タイトル：下記をご参照ください。

参加費：無料

定 員：【対面】150名 (事前申込制)

【オンライン】申込不要です。ライブ配信を自由に視聴していただけます。

<講演内容の紹介>

講演1：「重力波天文学と KAGRA」

講師：梶田隆章 (東京大学 卓越教授、東京大学宇宙線研究所 教授)

近年、連星ブラックホールや連星中性子星の合体现象などを重力波で調べることが可能となりました。本講演では重力波天文学と呼ばれる新しい研究分野を紹介します。日本でも KAGRA プロジェクトで重力波の観測を目指した取り組みが進められてきました。特に KAGRA についても現状と今後目指す科学の方向性などを紹介します。

講演2：「膨張する宇宙をすばる望遠鏡で検証する！」

講師：高田昌広 (東京大学国際高等研究所カブリ数物連携宇宙研究機構 教授)

約138億年の膨張する宇宙の歴史は、インフレーションと呼ばれる宇宙の始まり、ダークマター、ダークエネルギーを仮定した約5個程度のパラメータ(物理量)の宇宙の標準理論で記述され、様々な宇宙の観測データを驚くほど美しく説明することに成功しています。日本の口径8.2mのすばる望遠鏡から得られた約2500万個の銀河の画像データを用い、この宇宙の標準理論を徹底的に検証しました。このすばる研究の成果を紹介します。

主 催：公益社団法人 日本天文学会

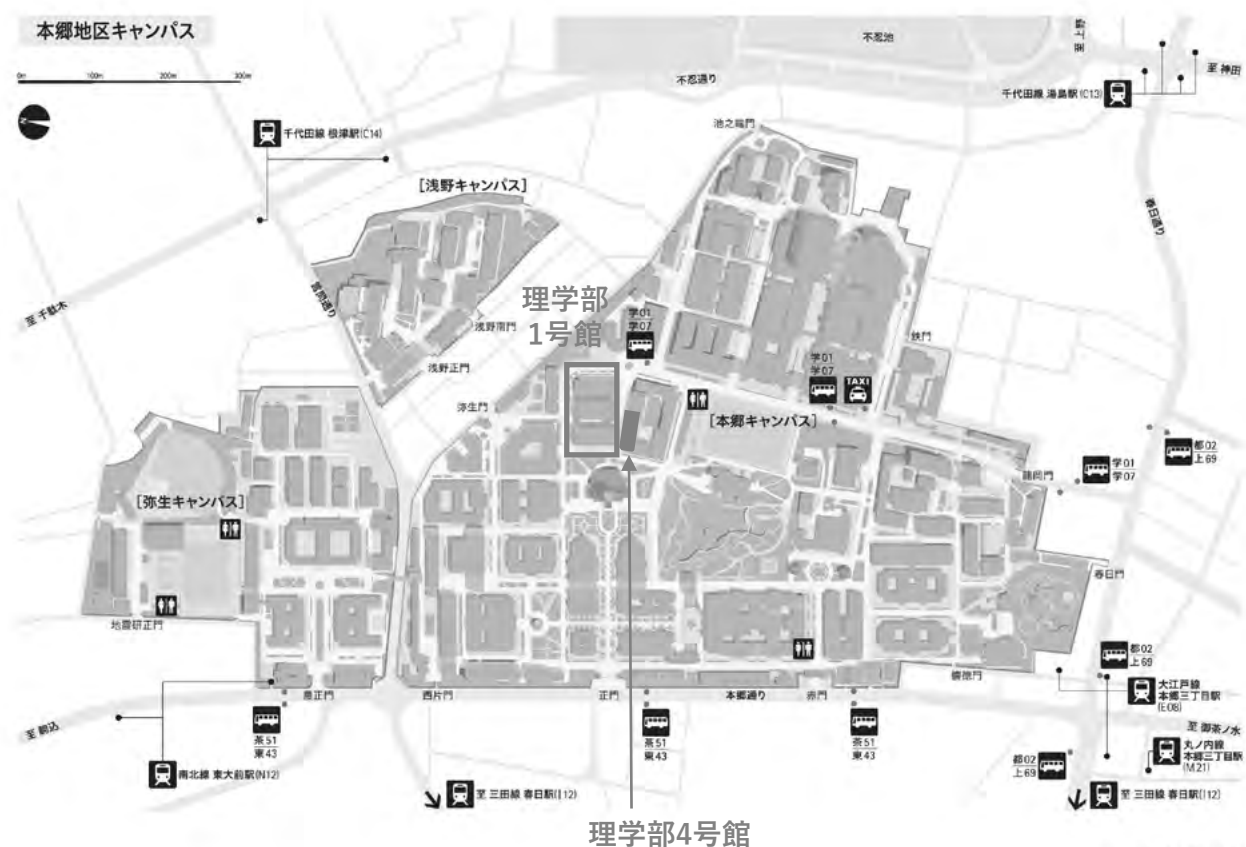
※参加申込方法、及び最新のプログラムにつきましては学会ホームページ (<https://www.asj.or.jp/>) をご覧ください。

交通のご案内

最寄り駅と所要時間

東京メトロ	丸の内線/大江戸線 本郷三丁目駅 より徒歩10分 千代田線 根津駅 より徒歩10分 南北線 東大前駅 より徒歩8分
JR	御茶ノ水駅 より都営バス 茶07 東大構内行き 約10分 上野駅 より都営バス 上01 東大構内行き 約10分

東京大学 本郷キャンパスマップ



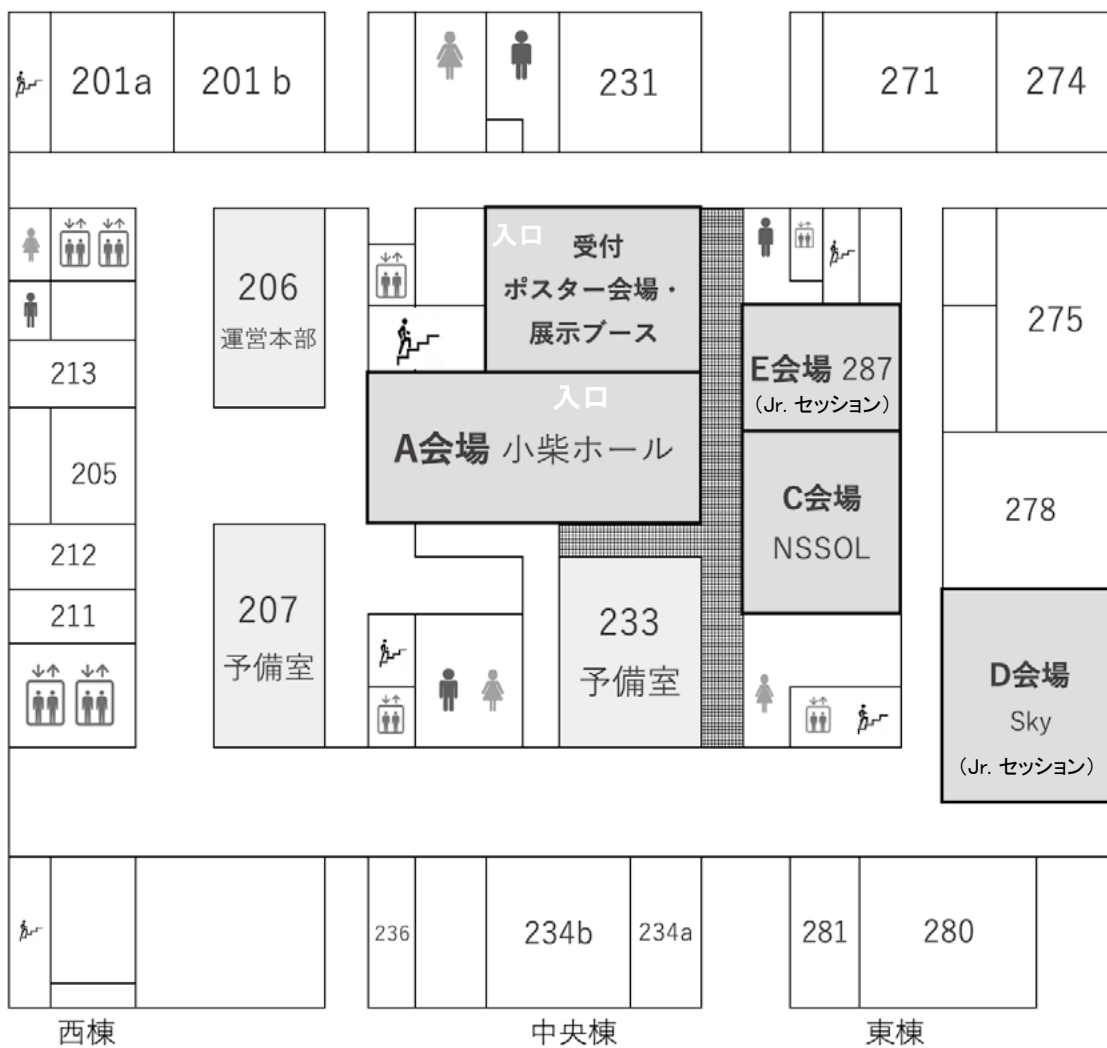
会場周辺詳細



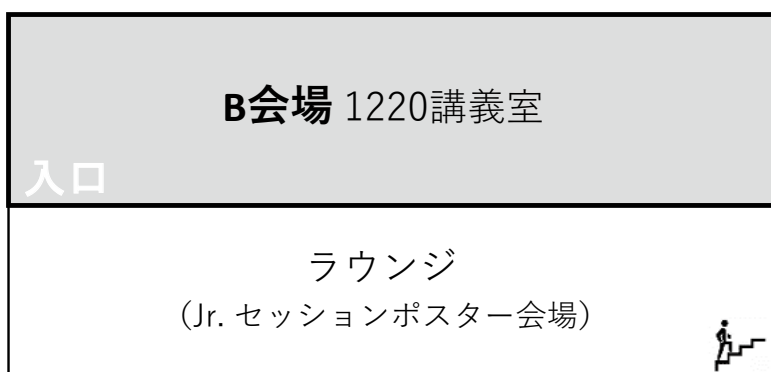
- ◎ 小柴ホール2階ロビーにてQRコード受付後、参加証を必ず受け取ってください。
- ◎ 構内での飲食は、決められた場所をお願いいたします。
- ◎ セッション会場が混雑している場合は、予備室をご利用ください。

セッション会場のご案内

理学部1号館 2階



理学部4号館 2階



座長一覽表

2024年春季年会

	3月11日(月)		3月12日(火)		3月13日(水)		3月14日(木)		3月15日(金)	
	10:00 - 12:10	13:30 - 15:40	10:00 - 12:10	13:30 - 15:40	10:00 - 12:10	13:30 - 15:40	10:00 - 12:10	13:30 - 15:40	10:00 - 12:10	13:30 - 15:40
A 会場	Z1. PFS 銀河 千葉証司 (東北大学)	Z1. PFS 銀河 大内正己 (国立天文台/東京大学)	10:00 - 12:10 Z1. PFS 銀河 日下部晴香 (国立天文台)	13:30 - 15:40	10:00 - 12:10	13:30 - 15:40	10:00 - 12:10	13:30 - 15:40	10:00 - 12:10	13:30 - 15:40
B 会場	Z2. 機械学習天文学 藤井通子(東京大学) 松本洋介(千葉大学)	Z2. 機械学習天文学 植村誠 (広島大学)	Z2. 機械学習天文学 大須賀健 (筑波大学)							
C 会場	Z3. MeV ガンマ 井上芳幸 (大阪大学)	Z3. MeV ガンマ 中澤知洋 (名古屋大学)								
D 会場 (online)			P1. 星形成 大橋聡史 (国立天文台)	P3. 惑星系 花山秀和 (国立天文台)	P1. 星形成 大橋聡史 (国立天文台)	P1. 星形成 町田正博 (九州大学)	P1 & P2. 原始惑星系円盤 町田正博 (九州大学)	P1. 星形成 町田正博 (九州大学)	P1 & P2. 原始惑星系円盤 町田正博 (九州大学)	P2. 原始惑星系円盤 片岡章雅 (国立天文台)
E 会場 (online)			U. 宇宙論 嵯峨承平 (名古屋大学)	U. 宇宙論 嵯峨承平 (名古屋大学)	U. 宇宙論 大栗真宗 (千葉大学)	V1. 観測機器 南谷哲宏 (国立天文台)	V1. 観測機器 岩井一正 (名古屋大学)	V1. 観測機器 南谷哲宏 (国立天文台)	V1. 観測機器 岩井一正 (名古屋大学)	V1. 観測機器 酒井剛 (電気通信大学)
F 会場 (online)			T. 銀河団 赤堀卓也 (国立天文台)	T. 銀河団 赤堀卓也 (国立天文台)	Y. 教育・広報・他 西浦慎悟 (東京学芸大学)	Y. 教育・広報・他 山野井穂 (成蹊大学)	Q. 星間現象 榎谷裕依 (九州産業大学)	Y. 教育・広報・他 山野井穂 (成蹊大学)	Q. 星間現象 榎谷裕依 (九州産業大学)	Q. 星間現象 松下恭子 (東京理科大学)
G 会場 (online)		R. 銀河 植田稔也 (デンバー大学)	R. 銀河 田中邦彦 (慶応大学)	R. 銀河 植田稔也 (デンバー大学)	W. コンパクト天体 朝比奈雄太 (筑波大学)	W. コンパクト天体 北本後二 (立教大学)	W. コンパクト天体 堂谷忠晴 (宇宙航空研究開発機構)	W. コンパクト天体 北本後二 (立教大学)	W. コンパクト天体 堂谷忠晴 (宇宙航空研究開発機構)	W. コンパクト天体 小林翔悟 (東京理科大学)
H 会場 (online)		S. 活動銀河核 谷本教 (鹿児島大学)	S. 活動銀河核 萩原喜昭 (東洋大学)	S. 活動銀河核 萩原喜昭 (東洋大学)	X. 銀河形成・進化 平野信吾 (神奈川大学)	X. 銀河形成・進化 尾上匠房 (東京大学)	X. 銀河形成・進化 森脇可奈 (東京大学)	X. 銀河形成・進化 尾上匠房 (東京大学)	X. 銀河形成・進化 森脇可奈 (東京大学)	X. 銀河形成・進化 諸隈佳菜 (東京大学)
I 会場 (online)		V3. 観測機器 深沢泰司 (広島大学)	V3. 観測機器 野田博文 (大阪大学)	V3. 観測機器 野田博文 (大阪大学)	V3. 観測機器 米山友景 (中央大学)	V2. 観測機器 本原顕太郎 (国立天文台)	V2. 観測機器 高橋英則 (東京大学)	V2. 観測機器 本原顕太郎 (国立天文台)	V2. 観測機器 高橋英則 (東京大学)	V2. 観測機器 早野裕 (国立天文台)
J 会場 (online)		N. 恒星・恒星進化 前原裕之 (国立天文台)	N. 恒星・恒星進化 山中雅之 (鹿児島大学)	N. 恒星・恒星進化 山中雅之 (鹿児島大学)	M. 太陽 清水敏文 (宇宙航空研究開発機構)	M. 太陽 伴場由美 (情報通信研究機構)	M. 太陽 鳥海森 (宇宙航空研究開発機構)	M. 太陽 伴場由美 (情報通信研究機構)	M. 太陽 鳥海森 (宇宙航空研究開発機構)	M. 太陽 川畑佑典 (国立天文台)

口頭セッション 3月11日(月)

	A会場	B会場	C会場
開始時刻	PFS銀河	機械学習 天文学	MeVガンマ
10:00	Z101r	Z201r	はじめに
10:12	Z102r	Z202a	Z301r
10:24		Z203a	
10:36		Z204a	
10:48	Z103a	Z205a	Z303a
11:00	Z104a	Z206a	Z304a
11:12	Z105a	Z207a	Z305a
11:24	Z106b Z107b Z108b Z109b	Z208a	Z306a
11:36	Z110r	Z209a	Z307a
11:48		Z210b Z211b Z212b	Z308b Z309b Z310b
12:00	-	Z213b Z214b Z215b	Z311b Z312b Z313b
12:10	昼休み		
開始時刻	PFS銀河	機械学習 天文学	MeVガンマ
13:30	Z111a	Z216r	Z314r
13:42	Z112a		
13:54	Z113a	Z217r	Z315r
14:06	Z114b Z115b Z116b		
14:18	Z117r		
14:30			
14:42	Z118a	Z219a	Z317a
14:54	Z119a	Z220a	Z318a
15:06	Z120a	Z221a	Z319a
15:18	Z121a	Z222a	Z320a
15:30	-	-	Z321a
15:30	ポスター		
16:30	会員全体集会		
18:00	天文教育フォーラム		

口頭セッション 3月12日(火)

	A会場	B会場
開始時刻	PFS銀河	機械学習 天文学
10:00	Z122b Z123b Z124b Z125b Z126b	Z223r
10:12	Z127a	
10:24	Z128a	Z224r
10:36	Z129a	
10:48	Z130a	
11:00	Z131a	Z225a
11:12	Z132r	Z226a
11:24		Z227a
11:36	Z133a	Z228a
11:48	Z134a	Z229a
12:10	昼休み	
13:30	ポスター	
14:30	受賞記念講演	
16:30	特別セッション	

口頭セッション 3月13日(水)

	D会場	E会場	F会場	G会場	H会場	I会場	J会場
開始時刻				銀河	活動銀河核	観測機器 (X線・γ線)	恒星進化
10:00				R01a	S01a	V301a	N01a
10:12				R02a	S02a	V302a	N02a
10:24				R03a	S03a	V303a	N03a
10:36				R04a	S04a	V304a	N04a
10:48				R05a	S05a	V305a	N05a
11:00				R06a	S06a	V306a	N06a
11:12				R07a	S07a	V307a	N07a
11:24				R08a	S08a	V308a	N08a
11:36				R09a	S09a	V309a	N09a
11:48				R10b R11b R12b	S10a	V310a	N10b N11b N12b
12:00				-	S11b	V311b V312b	-
12:10	昼休み						
開始時刻	惑星系	宇宙論	銀河団	銀河	活動銀河核	観測機器 (X線・γ線)	恒星進化
13:30	P301a	U01a	T01a	R13a	S12a	V314a	N14a
13:42	P302a	U02a	T02a	R14a	S13a	V315a	N15a
13:54	P303a	U03a	T03a	R15a	S14a	V316a	N16a
14:06	P304a	U04a	T04a	R16a	S15a	V317a	N17a
14:18	P305a	U05a	T05a	R17a	S16a	V318a	N18a
14:30	P307a	U06a	T06a	R18a	S17a	V319a	N19a
14:42	P308a	U07a	-	R19a	S18a	V320a	N20a
14:54	P309a	U08a	-	R20a	S19a	V321a	N21a
15:06	P310a	U09a	-	-	-	V322a	N22a
15:18	P311a	U10a	-	-	-	V323a	N23a
15:30	P312a	-	-	-	-	V324a	N24a
15:42	P313b P314b	-	-	-	-	-	-
16:00	ポスター						

口頭セッション 3月14日(木)

	D 会場	E 会場	F 会場	G 会場	H 会場	I 会場	J 会場
開始時刻	星形成	宇宙論	教育・他	コンパクト天体	銀河形成	観測機器(X線・γ線)	太陽
10:00	P101a	U11a	Y01a	W01a	X01a	V326a	M01a
10:12	P102a	U12a	Y02a	W02a	X02a	V327a	M02a
10:24	P103a	U13a	Y03a	W03a	X03a	V328a	M03a
10:36	P104a	U14a	Y04a	W04a	X04a	V329a	M04a
10:48	P105a	U15a	Y05a	W05a	X05a	V330a	M05a
11:00	P106a	U16a	Y06a	W06a	X06a	V331a	M06a
11:12	P107a	U17a	Y07a	W07a	X07a	V332a	M07a
11:24	P108a	U18a	Y08a	W08a	X08a	V333a	M08a
11:36	P109a	-	Y09b Y10b Y11b	W09b	X09a	V334a	M09a
11:48	P110b P111b	-	Y13b Y14b Y15b	-	X10b X11b X12b	V335a	M10a
12:00	-	-	-	-	-	V336a	M11b M12b M13b
12:12	-	-	-	-	-	V337a	-
12:10	昼休み						
開始時刻	星形成	観測機器(電波)	教育・他	コンパクト天体	銀河形成	観測機器(光赤・重)	太陽
13:30	P113a	V101a	Y16a	W10a	X14a	V201a	M16a
13:42	P114a	V102a	Y17a	W11a	X15a	V202a	M17a
13:54	P115a	V103a	Y18a	W12a	X16a	V203a	M18a
14:06	P116a	V104a	Y19a	W13a	X17a	V204a	M19a
14:18	P117a	V105a	Y20a	W14a	X18a	V205a	M20a
14:30	P118a	V106a	Y21a	W15a	X19a	V206a	M21a
14:42	P119a	V107a	Y22a	W16a	X20a	V207a	M22a
14:54	P120a	V108b V109b V110b	Y23a	W17a	X21a	V208a	M23a
15:06	P121a	-	Y24a	W18a	X22a	V209b V210b V211b	M24a
15:18	P122b P123b P124b	-	-	W19b	X23a	V212b V213b	M25a
15:30	-	-	-	-	-	-	M26b M27b
16:00	ポスター						

口頭セッション 3月15日(金)

	D 会場	E 会場	F 会場	G 会場	H 会場	I 会場	J 会場
開始時刻	星形成/原始 惑星系円盤	観測機器 (電波)	星間現象	コンパクト 天体	銀河形成	観測機器 (光赤・重)	太 陽
10:00	P125a	V116a	Q01a	W20a	X24a	V215a	M28a
10:12	P126a	V117a	Q02a	W21a	X25a	V216a	M29a
10:24	P127a	V118a	Q03a	W22a	X26a	V217a	M30a
10:36	P128a	V119a	Q04a	W23a	X27a	V218a	M31a
10:48	P129a	V120a	Q05a	W24a	X28a	V219a	M32a
11:00	P201a	V121a	Q06a	W25a	X29a	V220a	M33a
11:12	P202a	V122a	Q07a	W26a	X30a	V221a	M34a
11:24	P203a	V123a	Q08a	W27a	X31a	-	M35a
11:36	P204a	V124a	Q09a	W28a	X32a	-	M36a
11:48	P205b P206b	V125a	Q10b Q11b	W29a	X33a	-	M37a
12:10	昼休み						
開始時刻	原始惑星系 円盤	観測機器 (電波)	星間現象	コンパクト 天体	銀河形成	観測機器 (光赤・重)	太 陽
13:30	P207a	V126a	Q12a	W30a	X34a	V222a	M38a
13:42	P208a	V127a	Q13a	W31a	X35a	V223a	M39a
13:54	P209a	V128a	Q14a	W32a	X36a	V224a	M40a
14:06	P210a	V129a	Q15a	W33a	X37a	V225a	M41a
14:18	P211a	V130a	Q16a	W34a	X38a	V226a	M42a
14:30	P212a	V131a	-	W35a	X39a	V227a	M43a
14:42	P213a	V132a	-	W36a	X40a	V228a	M44a
14:54	-	V133a	-	W37a	X41a	V229a	M45a
15:06	-	V134a	-	W38a	-	-	M46a
16:00	ポスター						

※各セッション(午前/午後)の最後に質疑応答(10分)があります

ポスターセッション 3月11日(月) - 3月15日(金)

<p>【Z1. PFS 銀河】 (12)</p> <p>Z106b Z107b Z108b Z109b Z114b</p> <p>Z115b Z116b Z122b Z123b Z124b</p> <p>Z125b Z126b</p> <p>【Z2. 機械学習天文学】 (6)</p> <p>Z210b Z211b Z212b Z213b Z214b</p> <p>Z215b</p> <p>【Z3. MeV ガンマ】 (6)</p> <p>Z308b Z309b Z310b Z311b Z312b</p> <p>Z313b</p> <p>【M. 太陽】 (7)</p> <p>M11b M12b M13b M14c M15c</p> <p>M26b M27b</p> <p>【N. 恒星・恒星進化】 (4)</p> <p>N10b N11b N12b N13c</p> <p>【P1. 星・惑星形成(星形成)】 (6)</p> <p>P110b P111b P112c P122b P123b</p> <p>P124b</p> <p>【P2. 星・惑星形成(原始惑星系円盤)】 (2)</p> <p>P205b P206b</p> <p>【P3. 星・惑星形成(惑星系)】 (3)</p> <p>P306c P313b P314b</p> <p>【Q. 星間現象】 (2)</p> <p>Q10b Q11b</p>	<p>【R. 銀河】 (3)</p> <p>R10b R11b R12b</p> <p>【S. 活動銀河核】 (1)</p> <p>S11b</p> <p>【V1. 観測機器(電波)】 (8)</p> <p>V108b V109b V110b V111c V112c</p> <p>V113c V114c V115c</p> <p>【V2. 観測機器(光赤外・重力波・その他)】 (6)</p> <p>V209b V210b V211b V212b V213b</p> <p>V214c</p> <p>【V3. 観測機器(X線・γ線)】 (4)</p> <p>V311b V312b V313c V325c</p> <p>【W. コンパクト天体】 (2)</p> <p>W09b W19b</p> <p>【X. 銀河形成・進化】 (4)</p> <p>X10b X11b X12b X13c</p> <p>【Y. 天文教育・広報普及・その他】 (7)</p> <p>Y09b Y10b Y11b Y12c Y13b</p> <p>Y14b Y15b</p>
--	---

Z1. すばる PFS が拓く銀河・銀河系の形成進化

3月11日(月) 午前・A会場		3月11日(月) 午後・A会場	
10:00	Z101r SuMIRe-PFS[40]: Prime Focus Spectrograph Instrumentation Status 田村直之(国立天文台)	13:30	Z111a Subaru PFS Mock Observations of Satellites in a Cosmological Zoom-in Simulation of a Milky Way-like Galaxy Hirai, Yutaka (University of Notre Dame/Tohoku University)
10:12	Z102r Galactic Archaeology with Subaru PFS Kirby, Evan N. (University of Notre Dame)	13:42	Z112a Mapping Baryon Physics and Three-dimensional Ly α Forest onto Dark Matter Fields Nagamine, Kentaro (Osaka University)
10:42	Z103a Subaru Near-Field Cosmology survey with HSC and PFS 岡本桜子(国立天文台)	13:54	Z113a Prediction for the IGM tomographic survey by GADGET4-OSAKA simulation 奥裕理(大阪大学)
10:54	Z104a The nature of M31/M33 stellar halos explored by Subaru/HSC & PFS survey 小上樹(総合研究大学院大学/国立天文台)	14:06	Z114b 極重元素欠乏銀河と初代銀河の化学進化 福島啓太(大阪大学)
11:06	Z105a Galaxy collisions and stellar streams in the Andromeda Galaxy: Once and future in Andromeda 森正夫(筑波大学)	14:09	Z115b 矮小銀河の形成とガスの運動力学進化 戸丸一樹(大阪大学)
11:18	Z106b Galaxy collisions and stellar streams in the Andromeda Galaxy: Chemical evolution of the progenitor galaxy of the Andromeda Giant Southern Stream 山口未沙(筑波大学)	14:12	Z116b すばる HSC-SSP と PFS で迫る銀河系ハロー形成過程の探求 鈴木善久(東北大学)
11:21	Z107b Bifurcation of a stellar stream by a collision with a dark satellite or wandering black hole 金田優香(筑波大学)	14:15	Z117r The PFS Galaxy Evolution Survey Greene, Jenny (Princeton University)
11:24	Z108b Formation of dwarf galaxies induced by dark matter subhalo collisions 大滝恒輝(筑波大学)	14:45	Z118a Update of u2k multi-band photometric catalog in the HSC-SSP Deep/Ultra-Deep fields 鈴木智子(Kavli IPMU)
11:27	Z109b Revealing mass distributions of dwarf spheroidal galaxies in the Subaru-PFS era Hayashi, Kohei (NIT/Sendai college)	14:57	Z119a IGM Tomography in the Subaru PFS SSP Galaxy Evolution Survey Lee, Khee-Gan (Kavli IPMU)
11:30	Z110r PFS時代の宇宙論的銀河シミュレーション 石山智明(千葉大学)	15:09	Z120a The Most Concentrated Quasars Revealed by Subaru HSC and PFS at $z \sim 2$ Liang, Yongming (The University of Tokyo)
12:00	質疑応答(10分)	15:21	Z121a すばる/PFSの大規模分光探査で探る遠方銀河形成 播金優一(東京大学)
		15:33	質疑応答(10分)

3月12日(火) 午前・A会場			
10:00	Z122b Galaxy evolution study from the cosmology emission line galaxy sample 斎藤俊 (Missouri University of Science and Technology)	11:36	Z133a The Zero Enrichment Rare Objects (ZERO) survey - I 富永望 (国立天文台)
10:03	Z123b すばる HSC を用いた $1 < z < 3$ における強輝線銀河探査 今井聖也 (総合研究大学院大学/国立天文台)	11:48	Z134a Statistics of Li-enhanced stars 青木和光 (国立天文台)
10:06	Z124b Probing Galaxy Evolution through Narrow Band Emitters with Subaru PFS LAISHRAM, Ronaldo (TOHOKU UNIVERSITY)	12:00	質疑応答 (10分)
10:09	Z125b Precise Determination of Extinction Correction and Plasma Diagnostics 植田稔也 (デンバー大学)		
10:12	Z126b Do galaxies spin randomly? Iye, Masanori (NAOJ)		
10:15	Z127a AGN sciences with PFS-SSP galaxy evolution survey 鳥羽儀樹 (国立天文台)		
10:27	Z128a Unveiling the formation and evolution of SMBHs with PFS and HETDEX Zhang, Yechi (NAOJ)		
10:39	Z129a すばる PFS で探る宇宙最大の低密度環境における銀河の形成進化 嶋川里澄 (早稲田大学)		
10:51	Z130a Stellar populations of the brightest galaxies at intermediate redshift with PFS 小野寺仁人 (国立天文台)		
11:03	Z131a A study of recently quenched galaxies in preparation for PFS survey Mao, Zhiying (NAOJ)		
11:15	Z132r Revealing the chemical diversity in the outer halo 石垣美歩 (国立天文台)		

Z2. 機械学習による天文学

3月11日(月) 午前・B会場		12:00	Z213b 説明可能AIで探る太陽高エネルギー粒子の発生条件 加藤裕太(富士通株式会社)
10:00	Z201r 機械学習、観測、シミュレーションの融合による新たな天文学にむけて 大須賀健(筑波大学)	12:00	Z214b Physics-informed Neural Networksによる天体軌道予測と銀河系中心への応用 江山晋世(福岡大学)
10:12	Z202a 相対論的磁気流体計算における反復解法の機械学習による初期値推測 松本洋介(千葉大学)	12:00	Z215b ジェームズウェブ宇宙望遠鏡と機械学習による遠方渦巻銀河探査 佐藤理究(早稲田大学)
10:24	Z203a 機械学習を用いたエディントンテンソルの推定 上野航介(筑波大学)	12:12	質疑応答(10分)
10:36	Z204a 機械学習手法による天体内部熱対流モデルの検討 政田洋平(福岡大学)		
10:48	Z205a Gaia XP スペクトルから推定する化学組成情報 服部公平(統計数理研究所)		
11:00	Z206a 機械学習アルゴリズムを用いた分子輝線データからのH ₂ 柱密度の予測 - 高密度領域の予測精度の改善 - 島尻芳人(九州共立大学)		
11:12	Z207a 深層学習を用いた赤外線リング構造の同定 西本晋平(大阪公立大学)		
11:24	Z208a 原始惑星系円盤の電波干渉計画像再構成への機械学習アプローチ 関口瑞希(東京工業大学)		
11:36	Z209a A Flexible Galaxy Formation Model for Field-level Inference Cooray, Suchetha (NAOJ)		
11:48	Z210b 超新星シミュレーションにおけるAIサロゲートモデル 原田了(理化学研究所)		
11:48	Z211b Physics Informed Neural Networkを用いた陰解法の初期値推定 朝比奈雄太(筑波大学)		
11:48	Z212b 機械学習による散乱光信号を用いた吸収体の逆問題解析 近藤謙成(筑波大学)		

3月11日（月）午後・B会場		3月12日（火）午前・B会場	
13:30	Z216r 機械学習を用いた太陽フレア予測の現状と今後の展望 西塚直人（情報通信研究機構）	10:00	Z223r 超新星フィードバックのサロゲートモデルを用いた銀河形成シミュレーションの高速化 平島敬也（東京大学）
14:00	Z217r 重力波データ解析への人工知能・機械学習の応用 高橋弘毅（東京都市大学）	10:30	Z224r 宇宙大規模構造の深層学習生成モデル 白崎正人（国立天文台/統計数理研究所）
14:30	Z218a Tomo-e Gozen NEO サーベイにおける高速移動天体検出システムの改善 和田空大（東京大学）	11:00	Z225a Dark Quest 宇宙論：要約統計量エミュレータから自律学習モデルへ 西道啓博（京都産業大学）
14:42	Z219a Tomo-e Gozen 広域サーベイにおけるConvolutional GRUを用いた雲分布の未来予測 津々木里咲（東京大学）	11:12	Z226a Dark Quest 宇宙論：高精度パワースペクトルエミュレーターの概要 田中賢（京都大学）
14:54	Z220a Tomo-e Gozen 広域サーベイにおける突発天体の即時アラートシステムの開発 星野龍一（電気通信大学）	11:24	Z227a 条件付き生成モデルによって探る遠方銀河の性質と宇宙再電離の関連 森脇可奈（東京大学）
15:06	Z221a 機械学習による突発天体識別器のMITSuME望遠鏡追観測システムへの実装 高橋一郎（東京工業大学）	11:36	Z228a 機械学習を用いた21cm線強度マップ解析による暗黒物質探査 村上広椰（名古屋大学）
15:18	Z222a 大規模測光観測データからの原始銀河団検出深層学習技術 武田佳大（東京大学）	11:48	Z229a 深層学習による強い重力レンズ候補天体の探索 井上開輝（近畿大学）
15:30	質疑応答（10分）	12:00	質疑応答（10分）

Z3. MeV ガンマ線天文学 : 2020 年代後半の展望

3月11日(月) 午前・C会場		12:00	Z311b 狭視野 Si/CdTe 半導体コンプトン望遠鏡による気球実験の試作機 miniSGD の開発の現状 大熊佳吾(名古屋大学)
10:00	はじめに 深沢泰司(広島大学)		
10:06	Z301r ^{56}Ni と ^{26}Al の核崩壊ガンマ線を通じて見る超新星爆発 澤田涼(東京大学)	12:00	Z312b MeV天文学における符号化マスクを用いた狭視野 Si/CdTe コンプトン望遠鏡の角分解能の向上 西村悠太(名古屋大学)
10:36	Z302a 大質量星での放射性核種 ^{26}Al , ^{60}Fe の合成と核ガンマ線観測による恒星進化への制限 鈴木昭宏(東京大学)	12:00	Z313b SOIピクセル半導体検出器を用いた電子飛跡検出型コンプトンカメラの開発 加賀谷美佳(仙台高等専門学校)
10:48	Z303a MeV Nuclear Gamma-Ray Lines and Continuum Emission from Solar System Objects 藤原立貴(大阪大学)	12:12	質疑応答(10分)
11:00	Z304a MeV-GeV 宇宙線の貯蔵庫としての銀河周辺物質(銀河ハロー領域)とその観測可能性 井上進(千葉大学/東京大学)		
11:12	Z305a 近傍セイファート銀河からのハドロン起源 MeV ガンマ線放射 木村成生(東北大学)		
11:24	Z306a 全天 MeV ガンマ線衛星計画 AMEGO-X の現状 須田祐介(広島大学)		
11:36	Z307a GRAMS: 大面積液体アルゴン TPC による MeV ガンマ線観測 丹波翼(宇宙航空研究開発機構)		
11:48	Z308b GRAMS 実験に向けた液体アルゴンコンプトンカメラ実証機の開発 白濱健太郎(大阪大学)		
11:48	Z309b 小型衛星 INSPIRE 搭載 BGO アクティブシールドの最適化と性能評価 小笠原聖純(早稲田大学)		
11:48	Z310b 小型衛星搭載コンプトンカメラの構造及び Raspberry Pi 制御システムの開発 森椋平(早稲田大学)		

M. 太陽

3月11日(月) 午後・C会場		3月14日(木) 午前・J会場	
13:30	Z314r MeV スケールの暗黒物質と MeV ガンマ線観測 松本重貴 (Kavli IPMU)	10:00	M01a M型星 EV Lac における恒星フレアの X線・紫外線・可視光同時観測 井上峻 (京都大学)
14:00	Z315r The Compton Spectrometer and Imager – Status and Science Goals Boggs, Steven (University of California San Diego)	10:12	M02a りょうけん座 RS 型連星で発生した H α 線フレアのプロファイル調査 浦部蒼太 (中央大学)
14:30	Z316a Imaging of gamma-ray lines with the upcoming MeV gamma-ray satellite COSI 米田浩基 (Julius Maximilians Universität Würzburg)	10:24	M03a RS CVn 型連星ペガスス座 IM で起こった巨大フレアの X線・可視光分光観測 後藤絵美 (中央大学)
14:42	Z317a MeV ガンマ線の全天予想図の作成 辻直美 (神奈川大学)	10:36	M04a Starspot mapping and multi-wavelength variability for a young solar-type star 幾田佳 (東京大学)
14:54	Z318a Overview and status of SMILE-3 project Oka, Tomohiko (Ritsumeikan University)	10:48	M05a ポストフレアループに注目した 2023/8/5 X1.6 フレアの Sun-as-a-star 解析 大津天斗 (京都大学)
15:06	Z319a MeV-GeV ガンマ線精密観測計画 GRAINE : 2023 年豪州気球実験報告 中村悠哉 (名古屋大学)	11:00	M06a パーシステントホモロジーで探る活動度が異なる活動領域の時間発展 竹井麻衣香 (お茶の水女子大学)
15:18	Z320a INSPIRE: challenge of 50-kg class satellite for MeV gamma-ray astronomy KATAOKA, Jun (Waseda University)	11:12	M07a MHD 緩和現象としての太陽フレア 後藤一郎 (名古屋大学)
15:30	Z321a MeV コンプトンカメラ。宇宙観測から地上実験へ、そして宇宙への展開。 高橋忠幸 (東京大学)	11:24	M08a 噴出性フレアにおけるフラックスロープ外場の経路勾配角依存性について 木田祐希 (京都大学)
15:42	質疑応答 (10 分)	11:36	M09a 活動領域 NOAA13296 で発生した H α 線と NaI D1 線の増光現象の高時間分解能分光観測 當村一郎 (大阪公立大学)
		11:48	M10a 速度場の視点からのプラズモイド不安定性の観測的検証 広瀬暖菜 (東京大学)
		12:00	M11b 黒点自動検出に基づく黒点面積統計の評価 花岡庸一郎 (国立天文台)
		12:00	M12b What Influences Observed Variations in Flare Ribbon Patterns? Ming, Qihui (Nagoya University)

12:00	<p>M13b MHD 緩和法に基づく有限プラズマ β コロナ磁場外層コードの開発 山崎大輝 (宇宙航空研究開発機構)</p>	3月14日(木) 午後・J会場
	<p>M14c GREGOR/GRISによる近赤外面偏光分光観測: 活動領域フィラメントの振動解析 山崎大輝 (宇宙航空研究開発機構)</p>	
12:12	<p>M15c A unified model of solar prominence formation Huang, Chujie (Kyoto University) 質疑応答 (10分)</p>	
13:30	<p>M16a SUNRISE-3 大気球太陽観測実験: 2024年の再フライト観測に向けて 久保雅仁 (国立天文台)</p>	
13:42	<p>M17a GREGOR/GRISによる近赤外面偏光分光観測: 太陽フレア発生時の光球・彩層の応答 川畑佑典 (国立天文台)</p>	
13:54	<p>M18a 飛騨天文台 DST 垂直分光器を用いた He I 10830 Å 偏光分光空間スキャン観測による活動領域フィラメントの双方向質量流と磁場構造の解析 山崎大輝 (宇宙航空研究開発機構)</p>	
14:06	<p>M19a LiNbO3 フィルターと回転波長板を用いた He I 1083 nm 線における太陽彩層の偏光観測 末松芳法 (国立天文台)</p>	
14:18	<p>M20a 観測ロケット実験 CLASP2.1 による活動領域磁場の3次元マッピング 石川遼子 (国立天文台)</p>	
14:30	<p>M21a Synthetic Stokes Profiles of Ca II 8542Å for Shock Waves in Simulated Solar Chromosphere ZHOU, Xinyu (The University of Tokyo)</p>	
14:42	<p>M22a 対流層からコロナまでコロナループ全体を自己整合的に再現する輻射磁気流体シミュレーションの開発状況 国吉秀鷹 (東京大学)</p>	
14:54	<p>M23a 極端紫外線分光データを使った高温ループのフィリングファクタ推定 石神瞬 (総合研究大学院大学)</p>	
15:06	<p>M24a Alfvén wave で加熱されたループ中の Li-, Na-like イオンからの輝線増大 松本琢磨 (名古屋大学)</p>	
15:18	<p>M25a 宇宙線変成磁気リコネクションと太陽フレア 岡光夫 (カリフォルニア大学バークレー校)</p>	
15:30	<p>M26b コロナループに突発的な加熱が生じた場合のプラズマ凝縮発生条件について 吉久健朗 (京都大学)</p>	

15:30	M27b ひのでで観測されたサイクル 24 - 25 の太陽極域磁場の変動 塩田大幸 (情報通信研究機構)	3月15日 (金) 午後・J会場
15:42	質疑応答 (10分)	13:30 M38a 太陽黒点の半暗部とエバーシェッド流について I. シミュレーション設定と結果 堀田英之 (名古屋大学)
3月15日 (金) 午前・J会場		13:42 M39a 角運動量輸送に関する制約つき最小二乗法に基づく内部子午面流推定 八田良樹 (名古屋大学)
10:00	M28a IRISによる極域分光観測データを用いた静穏領域とコロナホールの彩層の比較 鄭祥子 (国立天文台)	13:54 M40a 太陽 5 分振動の音波モードを用いた光球半径の測定 高田将郎 (東京大学)
10:12	M29a 高速太陽風加速領域であるコロナホールを伝播するアルヴェン波の分光研究 内藤由浩 (総合研究大学院大学)	14:06 M41a SDO/HMI の連続光画像による粒状斑のサイズ分布とその長期変動の研究 Panta, Bhola (筑波学院大学)
10:24	M30a 単純アルペン波の非線形効果による中間衝撃波の形成とプラズマ加熱 小出眞路 (熊本大学)	14:18 M42a 物理モデルに基づくフレア警報システムの開発: フレア発生領域の判別について 伴場由美 (情報通信研究機構)
10:36	M31a 磁気流体シミュレーションによる円偏光アルペン波の散逸過程の調査 鈴木嘉也 (名古屋大学)	14:30 M43a 太陽活動周期変動と太陽フレア時におけるライマン線放射について 大窪遼介 (防衛大学校)
10:48	M32a オープンフラックス問題の解決策: 明るいコロナホールの可能性 飯島陽久 (名古屋大学)	14:42 M44a 機械学習を用いた太陽電波放射からの EUV 放射スペクトルの予測 II 前田護 (防衛大学校)
11:00	M33a オープンフラックスを増加させる太陽黒点の特徴 吉田南 (東京大学)	14:54 M45a 説明可能 AI で探る太陽高エネルギー粒子の発生条件と宇宙天気予報 加藤裕太 (富士通株式会社)
11:12	M34a 「ひので」極域データベースを用いた太陽極域磁場の緯度依存性の検証 藤森愛梨沙 (東京大学)	15:06 M46a 太陽 X 線画像におけるシグモイド構造自動検出のための機械学習モデル開発 岩永響生 (大阪公立大学)
11:24	M35a 黒点スケッチを用いた活動経度の長周期調査 山口慎太郎 (明星大学)	15:18 質疑応答 (10分)
11:36	M36a 太陽黒点が発生する根本要因の推察 藤原ケイ	
11:48	M37a 磁力線の運動と誘導電場 柴崎清登 (太陽物理学研究所)	
12:00	質疑応答 (10分)	

N. 恒星・恒星進化

3月13日(水) 午前・J会場			
10:00	N01a 炭素過多 AGB 星のダスト駆動風と SiC ダスト 保田悠紀(北海道大学)	12:00	N13c Brunt-Väisälä 振動数分布の勾配が双曲 線正接関数で表現できる場合における 高調波重力波モードの準解析的研究 八田良樹(名古屋大学)
10:12	N02a The impact of magnetic fields on the evolution of low metallicity massive stars Keszthelyi, Zsolt (NAOJ)		質疑応答(10分)
10:24	N03a OGLEIV catalog に含まれていた銀河系 バルジに存在する高金属候補 AGB 星 浦郷陸(アストロバイオロジーセンター)		
10:36	N04a Model for Convective Core Mass during Main Sequence Stage 鹿内みのり(東京大学)		
10:48	N05a すばる望遠鏡 IRD/REACH による twin binary の高分散分光観測 増田賢人(大阪大学)		
11:00	N06a 狭帯域測光+中分散分光による明るい 金属欠乏星探査および高分散分光による組成解析 岡田寛子(兵庫県立大学)		
11:12	N07a 銀河系ハローの大質量星 HD 93521 の 起源 須田拓馬(東京工科大学)		
11:24	N08a トリウム 5989 Å 吸収線を用いた銀河系 円盤巨星の r プロセス元素組成の調査 古塚来未(兵庫県立大学)		
11:36	N09a 可視光分光モニター観測で探る Be 星の 円盤構造 石田光宏(横浜市立戸塚高等学校)		
11:48	N10b EAVN を用いた高頻度モニター観測による星周 SiO メーザー励起機構の調査 甘田溪(鹿児島大学)		
11:48	N11b 共生星に特有なスペクトル線の高分散 分光観測 安藤和子(岡山理科大学)		
11:48	N12b 三次元空間における重力崩壊型超新星 のボルツマン輻射流体計算 岩上 わかな(東京理科大学)		

P1. 星・惑星形成(星形成)

3月13日(水) 午後・J会場		3月14日(木) 午後・D会場	
13:30	N14a 緩やかな前駆現象を伴う特異な超新星候補 SN 2023aew の紫外 - 可視 - 赤外観測 熊野朱里(鹿児島大学)	10:00	P101a 星形成フィラメントの幅の普遍性解明に向けた MHD シミュレーション 安部大晟(名古屋大学)
13:42	N15a IIIn 型超新星の包括的な大規模観測サンプル解析 平松大地(Center for Astrophysics Harvard & Smithsonian)	10:12	P102a 大マゼラン雲 N159 領域のフィラメント状分子雲と MHD 計算との詳細比較 山田麟(名古屋大学)
13:54	N16a 対不安定型超新星のニュートリノ観測可能性と $^{12}\text{C}(\alpha, \gamma)^{16}\text{O}$ 反応率 川下大響(東京大学)	10:24	P103a Corona Australis 分子雲における幅 1000 AU スケールのフィラメント形成 深谷直史(名古屋大学)
14:06	N17a 重力崩壊型超新星における Sc, Ti, V の合成 播田實りょう太(総合研究大学院大学)	10:36	P104a 正二十面体による HII 領域推定の拡張: 統計的な振る舞いについて 王蘊玉(神戸大学)
14:18	N18a 重力崩壊型超新星爆発の 1 次元シミュレーションにおける現象論的乱流効果の取り扱いについて 佐々木俊輔(国立天文台/総合研究大学院大学)	10:48	P105a M42 を電離する Orion Nebula Cluster 全体の形成史 福井康雄(名古屋大学)
14:30	N19a セル構造と地上燃焼実験の知見にもとづく、Ia 型超新星におけるヘリウム表層デトネーションの発生予測 岩田和也(京都大学)	11:00	P106a 大マゼラン雲における HI ガス雲衝突と大質量星固有運動の関連性 玉城磨生(名古屋大学)
14:42	N20a 重力崩壊型超新星での爆発的要素合成: 核反応率の不定性 西村信哉(理化学研究所)	11:12	P107a 野辺山 45m 鏡 7BEE 受信機によるオリオン座分子雲の観測(2) 立松健一(国立天文台)
14:54	N21a JEDI ミッション(仮称)のサイエンス検討: 2030 年代の紫外・X 線による超新星爆発の即応/待ち受け観測 内田裕之(京都大学)	11:24	P108a 野辺山 45m 鏡 7BEE 受信機による M17 SW 巨大分子雲の観測(1) 西村淳(国立天文台)
15:06	N22a Ia 型超新星残骸 Kepler's SNR の精密 X 線分光観測による伴星の推定 穴澤萌衣(京都大学)	11:36	P109a 野辺山 45m 鏡を用いたおうし座分子雲コアの重水素化合物輝線による観測(2): B213W 領域での高密度分子雲コアの重水素濃縮 野崎信吾(九州大学)
15:18	N23a X 線精密分光解析による超新星残骸 G292.0+1.8 の帯状星周物質の起源解明 成田拓仁(京都大学)	11:48	P110b 野辺山 45m 鏡を用いたおうし座分子雲コアの重水素化合物輝線による観測(1): プロジェクト概要と進捗状況 徳田一起(九州大学/国立天文台)
15:30	N24a 超新星残骸の形状から探る Ia 型超新星爆発の爆発機構 服部英里子(東京大学)	11:48	P111b Polaris 分子雲の分子分光観測 下井倉ともみ(大妻女子大学)
15:42	質疑応答(10分)		P112c テレグラフ方程式を用いた重力ソルバーにおける並列化効率の測定 前田龍之介(東北大学)
		12:00	質疑応答(10分)

3月14日(木) 午後・D会場		15:18	P124b eQ受信機による原始星 Per-emb-2の観測とコア衝突による streamer の形成について 吉野碧斗(東京大学)
13:30	P113a cold accretionと輻射フィードバックによる連鎖的 超大質量星形成 喜友名正樹(京都大学)	15:30	質疑応答(10分)
13:42	P114a 初代星形成における乱流磁場が円盤分裂に与える影響 定成健児エリック(東北大学)	3月15日(金) 午前・D会場	
13:54	P115a 超大質量星形成における星周円盤形成後の原始星進化過程 木村和貴(東北大学)	10:00	P125a かなた望遠鏡可視偏光サーベイ: Sagittarius銀河腕中の3次元磁場構造(II) 土井靖生(東京大学)
14:06	P116a 安定・不安定境界にある階層的三体系の軌道進化・破壊様式について 岩倉龍太郎(神戸大学)	10:12	P126a かなた望遠鏡可視偏光サーベイ: 個別の星間雲磁場特性 城壮一郎(東京大学)
14:18	P117a An Extremely Young Protostellar Core, MMS1/ OMC-3: Episodic Mass Ejection History Traced by the Micro SiO Jet 高橋智子(国立天文台)	10:24	P127a Dust Polarization of Prestellar and Protostellar Sources in OMC-3 Liu, Yuhua (Kyushu University)
14:30	P118a 原始星進化シミュレーションを用いたアウトフロー回転観測の検証 麻生有佑(韓国天文研究院)	10:36	P128a 星形成初期段階における交換型不安定性による磁束輸送現象の探究(1): ALMAによる最初の対応天体候補の発見 徳田一起(九州大学/国立天文台)
14:42	P119a ACA モザイク観測で明らかとなった原始星 IRAS 15398-3359 に付随する複数のアウトフロー 崔仁士(台湾中央研究院)	10:48	P129a 星形成初期段階における交換型不安定性による磁束輸送現象の探求(2): 偏波擬似観測に基づいた観測可能性 大村充輝(九州大学)
14:54	P120a Class I 低質量天体 Elias 29 における温度分布と化学組成の関係 大屋瑤子(京都大学)	12:00	質疑応答(10分) ※ P206bの講演後
15:06	P121a Hot Core におけるメタノール分子存在量評価に向けた CH ₃ ¹⁷ OH分子の実験室分光測定 小山貴裕(理化学研究所)		
15:18	P122b eQ受信機の試験観測の概要: SO, CCS の静止周波数の測定 中村文隆(国立天文台)		
15:18	P123b eQ受信機による Bok Globule CB 68 の観測 中村文隆(国立天文台)		

P2. 星・惑星形成(原始惑星系円盤)

3月15日(金) 午前・D会場		3月15日(金) 午後・D会場	
11:00	P201a Taurus-Auriga 領域における原始惑星系円盤の ALMA 超解像サーベイ: II. ギャップ・リング構造の統計的性質 山口正行 (ASIAA)	13:30	P207a IM Lup 円盤の近赤外線・ミリ波観測に基づく包括的な重力不安定円盤モデル 植田高啓 (Max Planck Institute for Astronomy)
11:12	P202a Ophiuchus Class I/Flat/II 円盤の超解像サーベイ: 新たな下部構造の発見および円盤進化に関する考察 所司歩夢 (九州大学)	13:42	P208a 分子動力学シミュレーションで探るダストモノマー間相互作用 吉田雄城 (東京大学)
11:24	P203a 宇宙線による電離を考慮した星・原始惑星系円盤形成・進化シミュレーション 西尾恵里花 (東北大学)	13:54	P209a 原始惑星系円盤の散逸過程: 中心星の進化による影響 駒木彩乃 (東京大学)
11:36	P204a TW Hya 円盤における $^{12}\text{CN}/^{13}\text{CN}$ 比の測定—円盤ガス炭素同位体比の複雑性 吉田有宏 (総合研究大学院大学/国立天文台)	14:06	P210a 遷移円盤 PDS 70 の高解像度 ALMA 長波長観測が明らかにした惑星外側での非軸対称ダスト集積 土井聖明 (総合研究大学院大学/国立天文台)
11:48	P205b 地球型惑星及び小惑星の化学組成の起源: 原始太陽系星雲の形成進化から 佐藤太貴 (東京工業大学)	14:18	P211a 遷移円盤内の影から紐解く inner disk の幾何学的構造 折原龍太 (茨城大学)
11:48	P206b 微惑星形成時のダスト衝突帯電による雷発生: 電荷密度分布と雷の発生領域 西澤諒 (東京工業大学)	14:30	P212a FU Ori 型星に付随する円盤 / エンベロープの中間赤外放射強度の計算 高見道弘 (台湾中央研究院)
12:00	質疑応答 (10分)	14:42	P213a M 型前主系列星 DM Tau からの非等方性電離放射 寺田由佳 (国立台湾大学/ASIAA)
		14:54	質疑応答 (10分)

P3. 星・惑星形成(惑星系)

3月13日(水) 午後・D会場		15:30	P312a 12P/Pons-Brooks 彗星のダストジェット構造と自転軸の決定 長谷川均(国立天文台太陽系小天体ゼミ)
13:30	P301a IRD-SSPによるM型星周りの惑星サーベイ: 5年目の観測状況 大宮正士(アストロバイオロジーセンター)	15:42	P313b ALMA Observations of 1 Ceres II 高橋茂(東京大学)
13:42	P302a 視線速度長周期トレンドを利用した直接撮像によるM型星周りの伴星探査 鶴山太智(California State University Northridge)	15:42	P314b すばる HSC-SSP Public Data Release 3 既知太陽系小天体カタログの作成 大坪貴文(産業医科大学)
13:54	P303a すばる望遠鏡 REACH で得られたL型褐色矮星の高分散スペクトルに対する大気の特徴づけ 笠木結(総合研究大学院大学)	15:54	質疑応答(10分)
14:06	P304a 視線速度法を用いたプレアデス星団内における短周期惑星の探索 II 宝田拓也(ABC/NAOJ)		
14:18	P305a 岡山 188cm 望遠鏡を用いた長期高精度ドップラー観測によるK型巨星 HD112570 と HD154391 を周回する長周期巨大惑星の発見 佐藤文衛(東京工業大学)		
	P306c 岡山 188cm 望遠鏡とドップラー振動撮像装置 JOVIAL による木星自由振動観測 花山秀和(国立天文台)		
14:30	P307a Search for Exoplanetary Ring Systems with <i>TESS</i> 梅谷翼(東京都立大学)		
14:42	P308a タンデム惑星形成論による地球質量の惑星形成 二村徳宏(日本スペースガード協会)		
14:54	P309a 微惑星リング内での微惑星集積 神原祐樹(東京大学)		
15:06	P310a 大規模 N 体計算による planetesimal-driven migration が惑星形成過程に及ぼす効果の検証 神野天里(神戸大学)		
15:18	P311a 太陽系外縁天体環境を想定した N_2O 低温固体の中間赤外線イメージング分光 高間大輝(名古屋大学)		

Q. 星間現象

3月15日（金）午前・F会場		3月15日（金）午後・F会場	
10:00	Q01a ALMA 水素再結合線で探る我々の銀河系中心付近の電離ガスの物理状態 村上優奈（日本女子大学）	13:30	Q12a ティコの超新星残骸における衝撃波速度の追跡調査とスペクトル変動の探索 松田真宗（京都大学）
10:12	Q02a CTA 大口径望遠鏡初号機による天の川銀河中心領域からの超高エネルギーガンマ線観測（2） 阿部正太郎（東京大学）	13:42	Q13a 超新星残骸 G1.9+0.3 に付随する分子雲の発見 榎谷玲依（九州産業大学）
10:24	Q03a 銀河系中心領域における磁気活動に伴うアーチまたはフィラメント構造の形成 柿内健佑（東京大学）	13:54	Q14a 再結合優勢プラズマを持つ超新星残骸のスペクトル解析と形成過程について 古瀬愛実（奈良女子大学）
10:36	Q04a MHD シミュレーションデータを用いた銀河系中心部の非回転運動と大局磁場構造の研究 魚住光史（岐阜大学）	14:06	Q15a ALMA 較正用天体に対する分子吸収線探査 V: 輝線・吸収線解析で探る QSO J1851+0035 方向の銀河系内分子雲の微細構造 成田佳奈香（東京大学）
10:48	Q05a 銀河面付近に位置する銀河団X線放射を用いた天の川銀河の星間物質質量の評価 安樂由実子（奈良女子大学）	14:18	Q16a すざく衛星を用いた銀河系の超巨大バブル構造の解析 島谷侑希（東京理科大学）
11:00	Q06a すざく衛星による銀河系の高温ガスの分布 松下恭子（東京理科大学）	14:30	質疑応答（10分）
11:12	Q07a 超新星残骸 G284.3-1.8 とガンマ線連星 1FGL J1018.6-5856 の関連性 寺農夏樹（甲南大学）		
11:24	Q08a X線天文衛星「すざく」によるシェル型超新星残骸 G296.1-0.5 のプラズマの観測 竹内清香（奈良女子大学）		
11:36	Q09a 位置依存型 Richardson-Lucy deconvolution を用いた超新星残骸カシオペア座 A の X線時間変動解析 酒井優輔（立教大学）		
11:48	Q10b 分子雲と相互作用する超新星残骸の流体シミュレーション :G1.9+0.3 の衝撃波速度について 辰己賢太（甲南大学）		
11:48	Q11b X線天文衛星「すざく」を用いた Tuttle 彗星コマの化学組成の制約 森本大輝（東京都立大学）		
12:00	質疑応答（10分）		

R. 銀河

3月13日(水) 午前・G会場		3月13日(水) 午後・G会場	
10:00	R01a 機械学習による NGC 253 の星形成由来の構造・輝線の抽出 岸川涼(東京都立大学)	13:30	R13a Astrometry of the Nuclear Star Cluster using ALMA II Tsuboi, Masato (Meisei University)
10:12	R02a NGC 253 中心部におけるガスダイナミクスの解明 III: コヒーレント構造の励起状態 小西諒太郎	13:42	R14a Clues to growth and disruption of two neighbouring spiral arms of the Milky Way 船越菜月 (University College London)
10:24	R03a Volume density structure of the NGC 253 CMZ through ALCHEMI excitation analysis 田中邦彦(慶應大学)	13:54	R15a 棒渦巻銀河 M83 における大局的速度場から逸脱した高速度分子雲の発見 長田真季(九州大学)
10:36	R04a ALMA deep ¹² C ¹⁷ O(1-0) and ¹² C ¹⁸ O(1-0) imaging reveals hidden, short time-scale star formation in the Seyfert galaxy NGC 1068 Ikarashi, Soh (NAOJ/Nihon University)	14:06	R16a 分子の存在比を考慮したモデルによる様々な分子輝線と星形成率の関係 西村優里(東京大学)
10:48	R05a NGC 1068 における Diffuse Ionized Gas の星形成率測定への影響とその分離 長嶋悠月(福島大学/国立天文台)	14:18	R17a 棒渦巻銀河 M83 における希薄分子ガスの空間分布とその集積機構 松坂怜(鹿児島大学)
11:00	R06a NGC 1068 における主成分分析を用いたスターバースtringの多様性の解釈 大久保宏真(筑波大学)	14:30	R18a 近傍渦巻銀河 M74 における GMC の Type 分類と進化の解釈 出町史夏(名古屋大学)
11:12	R07a CO 複数輝線で探る相互作用銀河 NGC6240 中心領域の物理状態 工藤真奈(日本女子大学)	14:42	R19a 重カレンズ効果を用いた銀河磁場観測のシミュレーション III 大前陸人(総合研究大学院大学/国立天文台)
11:24	R08a 環境効果が銀河の星形成に及ぼす影響の研究 後藤虎斗(筑波大学)	14:54	R20a 銀河のガス物理量と前景ダスト減光量を分光データから一括同定する新手法 植田稔也(デンバー大学)
11:36	R09a 小マゼラン銀河における位置天文衛星 Gaia を用いた大質量星候補同定 中野覚矢(名古屋大学)	15:06	質疑応答(10分)
11:48	R10b NGC 4945 の分子ガスアウトフローの複数輝線解析 瀧元健伸(北海道大学)		
11:48	R11b すざく衛星による楕円銀河 NGC5128 のプラズマガス温度構造 浦田岬(広島大学)		
11:48	R12b 小マゼラン銀河における大質量星候補を用いた星団同定 中野覚矢(名古屋大学)		
12:00	質疑応答(10分)		

S. 活動銀河核

3月13日(水) 午前・H会場		3月13日(水) 午後・H会場	
10:00	S01a 活動銀河核円盤風によるガンマ線放射 坂井延行(大阪大学)	13:30	S12a OJ287-Primary BHの銀河中心極端2 重星型・超巨大ブラックホールの可能性 大家寛(東北大学)
10:12	S02a [O IV] and [Ne V]-weak AGNs Hidden by Compton-thick Material in Late Mergers 山田智史(理化学研究所)	13:42	S13a BAL ケーサー周辺でみられる近接効 果の異方性について 前田祐輔(信州大学)
10:24	S03a 超高光度赤外線銀河 IRAS 01004-2237 に検出した活動電波源候補 林隆之(麻布中学校・高等学校/国立 天文台)	13:54	S14a シミュレーションとの比較によるAGNガ ス柱密度分布のばらつきの起源調査 水越翔一郎(東京大学)
10:36	S04a 活動銀河核ジェット根元の偏光フリップ・ 反転から探る非熱的電子 恒任優(ハーバード大学)	14:06	S15a 活動銀河中心核サブパーセクスケール アウトフローの解析モデル 工藤祐己(東北大学)
10:48	S05a 量子機械学習を用いた超巨大ブラック ホール由来の異常 X線変動の探査 川室太希(理化学研究所)	14:18	S16a 輻射駆動噴水モデルに基づいた精密X 線スペクトル計算 谷本敦(鹿児島大学)
11:00	S06a ALMA Lensing Cluster Survey: 暗いサブ ミリ波銀河中における埋もれたAGNの 評価 植松亮祐(京都大学)	14:30	S17a 楕円銀河での核周辺分子ガス質量と AGN活動度の相関 藤田裕(東京都立大学)
11:12	S07a High-resolution imaging of sub- millimeter water masers in the nuclear region of Circinus Galaxy with ALMA 萩原喜昭(東洋大学)	14:42	S18a 赤外線連続光を用いた爆発的星形成と 埋もれた活動銀河核の分類について 油谷直道(鹿児島大学)
11:24	S08a 広帯域X線観測で探る電波銀河の中心 核構造 II 中谷友哉(京都大学)	14:54	S19a Stripe 82 領域にてX線で検出された活 動銀河核($z=0.2-0.8$)の多波長スペク トルエネルギー分布解析 瀬戸口健太(京都大学)
11:36	S09a X線衛星Chandraによる電波銀河M87 のジェットからの熱的放射 大曾根聡子(元産総研)	15:06	質疑応答(10分)
11:48	S10a The jet and resolved features of the central supermassive black hole of M 87 observed with EHT 2017 - Comparison with the GMVA 86 GHz results 三好真(国立天文台)		
12:00	S11b 可視変光選択された活動銀河核におけ る広輝線吸収とX線吸収の関係 星篤志(東北大学/宇宙航空研究開発 機構)		
12:12	質疑応答(10分)		

T. 銀河団

U. 宇宙論

3月13日（水）午後・F会場		3月13日（水）午後・E会場	
13:30	T01a Abell1060 に付随する広がった超急峻スペクトル電波放射の発見 藏原昂平（国立天文台）	13:30	U01a 宇宙複屈折の位相不定性 直川史寛（東京大学）
13:42	T02a すざく衛星と Planck 衛星によるおとめ座銀河団の観測の解析 須田一功（東京理科大学）	13:42	U02a POLARBEAR 実験によるマイクロ波偏光観測を用いた Axion 探査の結果 茅根裕司（KEK/QUP）
13:54	T03a 衝突銀河団 Abell 3667 内に存在する約 500 kpc 幅の渦巻き構造 大宮悠希（名古屋大学）	13:54	U03a Search for pair echo signatures in the gamma-ray light curve of GRB190114C Vovk, Ievgen（The University of Tokyo）
14:06	T04a 衝突銀河団 Abell 3667 の北西電波レリック周辺の ICM 伊藤大将（名古屋大学）	14:06	U04a 全スケール暗黒物質ハローの準解析的モデリング 廣島渚（富山大学）
14:18	T05a XMM-Newton 衛星を用いた衝突銀河団 Abell 2061 の銀河団プラズマの解析 坂井晃生（名古屋大学）	14:18	U05a ハロー形成史依存性を考慮した宇宙論エミュレータ開発に向けた assembly bias の研究 石川慶太郎（名古屋大学）
14:30	T06a 衝突銀河団中の電離非平衡プラズマの探索 宍戸萌那（東京理科大学）	14:30	U06a 銀河パワースペクトルの非ガウス共分散の高速計算法 小林洋祐（アリゾナ大学）
14:42	質疑応答（10分）	14:42	U07a すばる HSC の 3 年度弱重カレンズデータにおけるバリオン効果の評価 寺澤凌（東京大学/Kavli IPMU）
		14:54	U08a すばる PFS 宇宙論データから銀河パワースペクトルを推定する方法の開発 中野新太郎（東京大学/Kavli IPMU）
		15:06	U09a 微細構造定数の変動調査に必要な TMT の性能評価および吸収体の特異性調査 Lee, Inseob（信州大学）
		15:18	U10a 原始曲率揺らぎが宇宙再電離に与える影響 箕田鉄兵（Tsinghua University）
		15:30	質疑応答（10分）

V1. 観測機器 (電波)

3月14日 (木) 午前・E会場		3月14日 (木) 午後・E会場	
10:00	U11a 真空は空か無か 青島正和	13:30	V101a 次世代太陽風観測装置の開発: 327MHz 帯の広視野フェーズドアレイアンテナ 岩井一正 (名古屋大学)
10:12	U12a Constraints on the cosmic baryon distribution with the FLIMFLAM survey Huang, Yuxin (The University of Tokyo)	13:42	V102a 次世代太陽風観測装置用デジタルマ ルチビームフォーマの開発 竹原大智 (名古屋大学)
10:24	U13a Relativistic effects on dispersion measure space distortions 嵯峨承平 (名古屋大学)	13:54	V103a Event Horizon Explorer ミッション (I): ミッションの動機と科学的目標 秋山和徳 (マサチューセッツ工科大学)
10:36	U14a Lensing bias on the ensemble average of the cosmological dispersion measure 高橋龍一 (弘前大学)	14:06	V104a Event Horizon Explorer ミッション (II): EHE-Japan の目指すもの 本間希樹 (国立天文台)
10:48	U15a 銀河クラスタリングと弱重力レンズによ る重力理論の検証に向けた解析手法の 構築 谷田幸貴 (名古屋大学)	14:18	V105a TREED: 21cm 線グローバルシグナル観 測に向けた検討・開発状況 吉浦伸太郎 (国立天文台)
11:00	U16a 重力波波源の角度パワースペクトルとレ ンズ収束場の関係を用いた宇宙論 中馬史博 (千葉大学)	14:30	V106a SKA プロジェクトへの参加計画 9 赤堀卓也 (国立天文台)
11:12	U17a 重力レンズの波動光学効果における Born 近似 鎗本浩孝 (千葉大学)	14:42	V107a 月面天文台 TSUKUYOMI の実現に向 けた概念設計検討 4 井口聖 (国立天文台)
11:24	U18a 臨界曲線近傍の超高増光率像に関する 統計的理論モデル 河合宏紀 (東京大学/千葉大学)	14:54	V108b 月面天文台 TSUKUYOMI に向けた電圧 増幅受信システムの観測実証実験 松本健 (大阪公立大学)
11:36	質疑応答 (10 分)	14:54	V109b 岐阜大学 11m 電波望遠鏡の運用状況-II 村瀬建 (岐阜大学)
		14:54	V110b 3D プリンタ製 6.5 - 12.5 GHz 帯直交偏 波分離器の性能評価 松原空洋 (山口大学)
			V111c SKA1 サブプロジェクト技術部門報告 新沼浩太郎 (山口大学)
			V112c SKA Regional Centre (SRC) の進捗状況 2023 吉浦伸太郎 (国立天文台)
			V113c SKA プロジェクトに向けた科学検討 7 町田真美 (国立天文台)
			V114c 高萩・日立 32 m 電波望遠鏡の整備・ 運用状況 2024A 米倉覚則 (茨城大学)

	V115c VERA 搭載用 6-18GHz 帯広帯域受信システムの開発 II 新沼浩太郎 (山口大学)	3月15日 (金) 午後・E会場
15:06	質疑応答 (10分)	13:30 V126a Large Submillimeter Telescope (LST): 9. 科学白書の完成と AtLAST 計画との統合に向けた準備 河野孝太郎 (東京大学)
	3月15日 (金) 午前・E会場	13:42 V127a 大型サブミリ波望遠鏡実現に向けた望遠鏡主鏡支持構造の設計: 最適構造の振動解析 今村千博 (名古屋大学)
10:00	V116a The Next Generation Very Large Array - Spring 2024 泉拓磨 (国立天文台)	13:54 V128a 周波数変調局部発振器を用いた大気オゾン観測システムによる試験観測報告 彦坂拓海 (名古屋大学)
10:12	V117a Update on ALMA Operations and Development Program - Spring 2024 深川美里 (国立天文台)	14:06 V129a GLTCAM: グリーンランド望遠鏡用ミリ波帯3色検出器の開発 渡邊一輝 (総合研究大学院大学)
10:24	V118a アルマバンド 8v2 受信機アップグレードプロジェクトの概要 小嶋崇文 (国立天文台)	14:18 V130a CMB偏光観測衛星 LiteBIRD 計画の進捗 堂谷忠靖 (宇宙航空研究開発機構)
10:36	V119a アルマバンド 8v2 受信機プロジェクトにおける導波管回路の開発状況 増井翔 (国立天文台)	14:30 V131a LiteBIRD 衛星低周波望遠鏡の光学系スケールモデル及び多層半波長板のプロトタイプを組み合わせた光学測定 森拓理 (横浜国立大学)
10:48	V120a アルマバンド 8v2 受信機アップグレードプロジェクトにおける光学系検討 今田大皓 (国立天文台)	14:42 V132a LiteBIRD 衛星搭載機器が生じる磁場の測定と評価 柏崎未有 (東京大学)
11:00	V121a Measured Transmission Losses of Superconducting CPW and MS at 2mm Wavelength Shan, Wenlei (NAOJ)	14:54 V133a フィードバック制御する出力可変光源を用いて CMB 検出器システムの光学特性を測定する手法の開発と原理検証 廣瀬開陽 (横浜国立大学)
11:12	V122a SIS ミキサの周波数アップコンバージョン特性に関する数値シミュレーション2 上月雄人 (情報通信研究機構)	15:06 V134a CMB 偏光観測実験 GroundBIRD: 天体を用いた超伝導検出器 MKID の性能評価 田中智永 (東北大学)
11:24	V123a 広帯域受信機のための高温超伝導マルチバンド帯域阻止フィルタの基礎検討 (3) 湯山義崇 (山梨大学)	15:18 質疑応答 (10分)
11:36	V124a 放射パターンのリトリバル法によるフィード内部の伝播モード推定 山崎康正 (大阪公立大学)	
11:48	V125a メートル波帯太陽・惑星電波観測用広帯域フィードシステムの開発 -II 桑山陽次 (東北大学)	
12:00	質疑応答 (10分)	

V2. 観測機器(光赤外・重力波・その他)

3月14日(木) 午後・I会場		15:18	V213b すばる望遠鏡 HDS 用可視光天文コムの開発：計画と導入スケジュール 大宮正士(アストロバイオロジーセンター)
13:30	V201a 自由曲面を用いた広視野望遠鏡の鏡計測における系統誤差の影響の検証 徳地研人(京都大学)		V214c 大分大学望遠鏡に搭載する多色撮像装置の開発1 丸尾岳(大分大学)
13:42	V202a Tomo-e Gozen 高速データ転送のための木曾観測所からの SINET 接続 森由貴(東京大学)	15:30	質疑応答(10分)
13:54	V203a 光子計数型可視高速撮像システム IMONY の開発とかなた・せいめい望遠鏡での性能評価 中森健之(山形大学)	3月15日(金) 午前・I会場	
14:06	V204a TMT 計画 - 進捗報告 臼田知史(国立天文台)	10:00	V215a 赤外線天文衛星 GREX-PLUS 計画の進捗報告 2024 春 井上昭雄(早稲田大学)
14:18	V205a TMT Mirror Coating Exposure Test - 1 year After Hayashi, Saeko S. (NAOJ/SOKENDAI)	10:12	V216a GREX-PLUS 中間赤外線高分散分光器：中間赤外線用イメージング・グレーティング材料の極低温中間赤外線透過率測定装置の開発 李源(名古屋大学)
14:30	V206a 宇宙可視光背景放射観測 6U 衛星 VERTECS：全体状況 佐野圭(九州工業大学)	10:24	V217a GREX-PLUS 中間赤外線高分散分光器：中間赤外線用イメージング・グレーティング材料の極低温中間赤外線屈折率測定装置の開発 榎木谷海(総合研究大学院大学/ISAS)
14:42	V207a VERTECS のための軌道・姿勢制御シミュレーション 田中颯(東京工業大学)	10:36	V218a イメージング・グレーティング材料の屈折率評価用の 2D FT-IR 分光器の開発 趙彪(名古屋大学)
14:54	V208a CIB 観測ロケット実験 CIBER-2：第3回打上げ直前の実験状況 松浦周二(関西学院大学)	10:48	V219a GREX-PLUS 中間赤外線高分散分光器：イメージング・グレーティングの特性評価のための量子カスケードレーザーの開発 平原靖大(名古屋大学)
15:06	V209b 宇宙可視光背景放射観測 6U 衛星 VERTECS: バスシステム開発状況 中川俊輔(九州工業大学)	11:00	V220a Nancy Grace Roman 宇宙望遠鏡計画の進捗：国際科学協力の推進 宮崎翔太(宇宙航空研究開発機構)
15:06	V210b WFOS IFU で用いるミラーを評価するための高分散反射率測定システムの開発 尾崎忍夫(国立天文台)	11:12	V221a LOPYUTA 計画の検討状況 土屋史紀(東北大学)
15:06	V211b すばる望遠鏡オンスカイ試験観測データを用いた補償光学における時系列解析による予測制御の研究 穂満理生(東北大学)	11:24	質疑応答(10分)
15:18	V212b 岡山 188cm 望遠鏡 HIDES-F の精度向上に向けたスペクトル像移動の原因調査 泉浦秀行(国立天文台)		

V3. 観測機器 (X線・ γ 線)

3月15日(金) 午後・I会場		3月13日(水) 午前・I会場	
13:30	V222a 宇宙重力波望遠鏡 DECIGO の精密編隊飛行の実現へ向けた軌道制御シミュレーション 藤村皓太(法政大学)	10:00	V301a X線分光撮像衛星 XRISM の軌道上運用の現状 田代信(埼玉大学/宇宙航空研究開発機構)
13:42	V223a 浮遊試験質量の慣性計測に向けた1自由度制御実験 乗本雄真(法政大学)	10:12	V302a X線分光撮像衛星 XRISM 搭載 Resolve の開発の現状 XII 石崎欣尚(東京都立大学)
13:54	V224a 大型低温重力波望遠鏡 KAGRA の現状 安東正樹(東京大学)	10:24	V303a XRISM 衛星搭載極低温検出器の地上・軌道上データを用いたX線イベント処理最適化 望月雄友(東京大学/宇宙航空研究開発機構)
14:06	V225a 重力波望遠鏡 KAGRA の較正装置とその性能 陳たん(国立天文台)	10:36	V304a X線分光撮像衛星(XRISM)搭載軟X線撮像装置(Xtend)の軌道上運用 中嶋大(関東学院大学)
14:18	V226a Daniel K. Inouye Solar Telescope (DKIST) 搭載を目指す近赤外域偏光分光撮像装置(NIRTF)の検討状況 永田伸一(京都大学)	10:48	V305a X線天文衛星 XRISM 搭載 X線 CCD 検出器 SXI におけるフレームデータとノイズ性能の評価 青木悠馬(近畿大学)
14:30	V227a 高感度太陽紫外線分光観測衛星 SOLAR-C: プロジェクト最新状況(2024年春) 清水敏文(宇宙航空研究開発機構)	11:00	V306a X線分光撮像衛星 XRISM 搭載 X線望遠鏡(XMA)開発の現状(9) 林多佳由(UMBC/NASA's GSFC)
14:42	V228a SOLAR-C 観測装置 EUVST 設計・開発検討の進捗報告(2024年春) 原弘久(国立天文台)	11:12	V307a X線分光撮像衛星 XRISM の科学運用の現状 小川翔司(宇宙航空研究開発機構)
14:54	V229a SOLAR-C に搭載する超高精度太陽センサー UFSS の性能評価試験系の構築 近藤勇仁(東京大学)	11:24	V308a X線分光撮像衛星 XRISM 搭載軟X線撮像装置 Xtend による突発天体探査(2) 善本真梨那(大阪大学)
15:06	質疑応答(10分)	11:36	V309a X線分光撮像衛星 XRISM の時刻システムの軌道上評価検証 志達めぐみ(愛媛大学)
		11:48	V310a X線分光撮像衛星 XRISM の指向精度の軌道上評価 金丸善朗(宇宙航空研究開発機構)
		12:00	V311b MEMS 技術を用いた広視野 X線望遠鏡 Lobster Eye 光学系の開発 石川怜(東京都立大学)

12:00	V312b pnCCD の軟 X 線評価システムの構築 藤本健二郎 (関西学院大学)	3月13日(水) 午後・I会場
12:12	V313c X 線分光撮像衛星 XRISM 搭載 Xtend を 用いた突発天体探査の開発 赤須孔一郎 (中央大学) 質疑応答 (10分)	13:30 V314a 激変する宇宙をスクープする JEDI(仮称) のミッションデザイン 中澤知洋 (名古屋大学)
		13:42 V315a 激変する宇宙をスクープする JEDI ミッ ション (仮称) のサイエンス検討 榎戸輝揚 (京都大学)
		13:54 V316a Cherenkov Telescope Array (CTA) 計画: 全体報告 (25) 野田浩司 (千葉大学)
		14:06 V317a ALPACA 実験 6:ALPAQUITA 地上アレイ の性能と地下ミュオン検出器建設計画 塔隆志 (東京大学)
		14:18 V318a 日米共同・太陽フレア X 線集光撮像分 光観測ロケット実験 FOXSI-4 の準備状 況 (2024 年春) 成影典之 (国立天文台)
		14:30 V319a 日米共同・太陽フレア X 線集光撮像分 光観測ロケット実験 FOXSI-4 搭載電鍍 X 線望遠鏡の開発の現状 (2) 安福千貴 (名古屋大学)
		14:42 V320a 日米共同・太陽フレア X 線集光撮像分 光観測ロケット実験 FOXSI-4 搭載電鍍 X 線望遠鏡用光線追跡シミュレータ 吉田有佑 (名古屋大学)
		14:54 V321a 日米共同・太陽フレア X 線集光撮像分 光観測ロケット実験 FOXSI-4 搭載電鍍 X 線望遠鏡の性能評価 (5) 藤井隆登 (名古屋大学)
		15:06 V322a 高結像性能汎用電鍍 X 線光学系の開 発の現状と今後の展望 三石郁之 (名古屋大学)
		15:18 V323a 部分日食とリムフレアイベントを用いた 太陽観測衛星 Hinode/XRT のミラー散 乱成分の評価 その 2 加島颯太 (宇宙航空研究開発機構/関 西学院大学)
		15:30 V324a 太陽 X 線観測のための高精度 Wolter ミ ラー保持機構の検討 坂尾太郎 (宇宙航空研究開発機構)

15:42	V325c 超小型衛星による、宇宙空間からの太陽中性子の観測 (VII) 山岡和貴 (名古屋大学) 質疑応答 (10 分)	12:00	V336a 湾曲 Si 結晶を用いたブラッグ反射型偏光計の小型化 菅井春佳 (中央大学)
		12:12	V337a ぎんが衛星搭載全天モニター装置 (Ginga/ASM) のデータ解析ツールの開発 北本俊二 (立教大学)
	3 月 14 日 (木) 午前・I 会場	12:24	質疑応答 (10 分)
10:00	V326a 地球磁気圏 X 線撮像衛星 GEO-X の現状 江副祐一郎 (東京都立大学)		
10:12	V327a 超小型 X 線衛星 NinjaSat の打ち上げ成功と初期運用 大田尚享 (理化学研究所/東京理科大学)		
10:24	V328a 超小型 X 線衛星 NinjaSat の QL モニタとデータ処理パイプライン 岩田智子 (理化学研究所/東京理科大学)		
10:36	V329a 超小型 X 線衛星 NinjaSat に搭載するガス X 線検出器の温度依存性の評価 青山有未来 (理化学研究所/東京理科大学)		
10:48	V330a ISS から観測する大気透過 CXB を用いた大気密度測定の精度見積もり 岸本拓海 (近畿大学)		
11:00	V331a SOI 技術を用いた新型 X 線撮像分光器の開発 62: 宇宙 MeV ガンマ線観測に向けた XRPIX8.5 と CsI シンチレータで構成するコンプトンカメラの開発 橋爪大樹 (広島大学)		
11:12	V332a 機械学習を用いた X 線ピクセル検出器におけるイベント情報解析手法の開発 東竜一 (甲南大学)		
11:24	V333a コンプトンカメラ用 HV-CMOS: AstroPix の開発現状 深沢泰司 (広島大学)		
11:36	V334a 硬 X 線偏光検出気球実験 XL-Calibur の 2024 年フライトに向けた準備 倉本春希 (大阪大学)		
11:48	V335a 像再構成型 X 線光学系に用いる Kirkpatrick-Baez (KB) ミラーの開発 (2) 松本岳人 (東京都立大学)		

W. コンパクト天体

3月14日(木) 午前・G会場		3月14日(木) 午後・G会場	
10:00	W01a CTA 大口径望遠鏡初号機による GRB 221009A の超高エネルギーガンマ線観測 寺内健太(京都大学)	13:30	W10a 降着円盤の光度変動を考慮したライン フォース駆動型円盤風の研究 黒田裕太郎(筑波大学)
10:12	W02a External inverse-Compton signatures in the early TeV afterglow of GRB 221009A 林浩翔(北京大学)	13:42	W11a 一般相対論的輻射磁気流体力学シミュ レーションによる超臨界低角運動降着の 研究 島田悠愛(筑波大学)
10:24	W03a 超高エネルギーガンマ線放射を伴うガン マ線バースト GRB 221009A の二成分を 持つジェットからの残光放射 佐藤優理(青山学院大学)	13:54	W12a 広帯域 X 線観測で探るブラックホール連 星 GRS 1915+105 の降着状態の変化 II 菅原一希(東京理科大学)
10:36	W04a 磁場優勢ジェットの先進・逆行衝撃波 からのガンマ線バースト初期残光 草深陽(東京大学)	14:06	W13a ブラックホール候補天体 Swift J1842.5- 1124 の X 線データの系統的解析 岡田裕太(京都大学)
10:48	W05a 超新星フォールバック計算のための境 界条件開発 篠田兼伍(東京大学)	14:18	W14a X 線の強度変動で探るブラックホール連 星 MAXI J1820+070 近傍での降着描像 青山祐也(東京理科大学)
11:00	W06a Linear stability of astrophysical jets meant for magnetized core-collapse supernovae Wu, Fan (Waseda University)	14:30	W15a 恒星質量 BH Cyg X-1 の短時間変動に おける偏光 X 線とスペクトルの変動およ びその起源の考察 二之湯開登(東京理科大学)
11:12	W07a 相対論的衝撃波と非一様媒質が作り出 す乱流場中での高エネルギー粒子加速 森川莞地(東京大学)	14:42	W16a ブラックホールX線新星 MAXI J1631-479 の特異な正体の解明とダスト散乱にお ける同天体までの距離の見積もり 小林浩平(日本大学)
11:24	W08a 相対論的ジェット中における散乱を考慮 した一般相対論的偏光輻射輸送計算 竹林晃大(筑波大学)	14:54	W17a MAXI と NICER で観測された高質量 X 線連星系 MAXI J0709-159 / LY CMa の 短時間 X 線フレアの時間変動解析 杉崎睦(中国科学院国家天文台)
11:36	W09b X 線連星ジェット伝搬に対する伴星風の 影響 丹海歩(総合研究大学院大学/国立天 文台)	15:06	W18a Flares from stars crossing active galactic nuclei disks on low-inclination orbits Tagawa, Hiromichi (上海天文台)
11:48	質疑応答(10分)	15:18	W19b 降着円盤蒸発により形成される中間領 域の厚み 中村賢仁(九州産業大学)
		15:30	質疑応答(10分)

3月15日（金）午前・G会場		3月15日（金）午後・G会場	
10:00	W20a パルサーにおける遠心力加速の本質について 柴田晋平（山形大学）	13:30	W30a MAXI/GSC が検出した 2023 年度後半の突発現象 根来均（日本大学）
10:12	W21a 強い磁場をもつ中性子星におけるクラストの力学平衡にある磁場強度の上限 小嶋康史（広島大学）	13:42	W31a 食をもつX線連星 4U 1538-522 の連星位相に分割したスペクトル解析 齊藤裕次郎（京都大学）
10:24	W22a 中性子星のクラストの歪み方と連続重力波 藤澤幸太郎（東京工科大学）	13:54	W32a 「すざく」による dipping 低質量 X 線連星 XB1916-053 のスペクトル解析 宮城生成（東京工業大学）
10:36	W23a X線単独中性子星におけるパルスピーク位相のエネルギー依存性 米山友景（中央大学）	14:06	W33a Inhibition of Accretion by the Stellar Wind in Misaligned Be/X-ray Binaries 岡崎敦男（北海学園大学）
10:48	W24a カニパルサーの高時間分解測光による巨大電波パルスの放射機構解明に向けて 橋山和明（東京大学/山形大学）	14:18	W34a 大質量高速自転白色矮星 ZTF J190132.9+145808.7 は X 線パルサーか 馬場彩（東京大学）
11:00	W25a 中性子星ロケット機構が連星進化に及ぼす影響 平井遼介（モナッシュ大学）	14:30	W35a 強磁場激変星 GK Per の 2023 年のアウトバースト中の X 線・可視光同時観測 木邑真理子（金沢大学）
11:12	W26a 高速電波バーストを伴うマグネターショートバーストの X 線スペクトルと輻射加速 和田知己（東京大学）	14:42	W36a Disk wind models reproduce the optical spectra of a dwarf nova V455 And 反保雄介（京都大学）
11:24	W27a 降着型 X 線パルサーの軟 X 線超過と鉄輝線の放射場所の系統調査 永井悠太郎（京都大学）	14:54	W37a X 線天文衛星「すざく」を用いた古典新星 V603 Aql のスペクトル解析 黒川音彩（奈良女子大学）
11:36	W28a 超高光度 X 線パルサー NGC 7793 P-13 の C3PO 法による X 線スペクトル分解 小林翔悟（東京理科大学）	15:06	W38a 矮新星静穏時における X 線放射プラズマの空間分布の解明および X 線放射スペクトルモデルの構築 武尾舞（埼玉大学）
11:48	W29a ULX パルサー NGC 5907 ULX1 の自転位相スペクトル解析による超臨界降着流の構造の解明2 三浦大貴（東京大学/宇宙航空研究開発機構）	15:18	質疑応答（10分）
12:00	質疑応答（10分）		

X. 銀河形成・進化

3月14日(木) 午前・H会場			X13c 宇宙の暗黒時代における IGM への銀河衝撃波の伝搬条件 照井勇登(防衛大学校)
10:00	X01a 光電離モデルによる Ultra-Strong Mg II absorber の起源の解明 白澤稜太(信州大学)	12:00	質疑応答(10分)
10:12	X02a 超巨大ブラックホールの超エディントン降着成長における熱伝導の効果 川中宣太(国立天文台/東京都立大学)	3月14日(木) 午後・H会場	
10:24	X03a Investigations on the merger-AGN connection within the HSC-SSP Omori, Kiyooki Christopher (Laboratory of Galaxy Evolution, Nagoya University)	13:30	X14a $z=2.4$ 53W002 原始銀河団領域の近赤外線分光フォローアップと撮像追観測 米倉直紀(愛媛大学)
10:36	X04a スリット分光データを用いた $z\sim 4$ クエーサーにおける Ly α ハローの解析 星宏樹(東京大学)	13:42	X15a JWST and ALMA discern the assembly of structural and obscured components in a high-redshift starburst galaxy Liu, Zhaoxuan (UTokyo/Kavli IPMU)
10:48	X05a Post-Starburst Signature in Quasar Host Galaxies at $z\sim 6$ 尾上匡房(Kavli IPMU)	13:54	X16a Abundance of compact [OIII] emission-line regions (Green Beans) in H α emitters at $z\sim 2.3$ with JWST JADES Observations 陳諾(東京大学)
11:00	X06a Blue-excess dust-obscured galaxies と JWST extremely red objects の SED の相似性 登口暁(信州大学)	14:06	X17a Application of machine learning to the spatially resolved SFR-Mass relation SHI, Wen E. (Nagoya University)
11:12	X07a JWST/NIRSpec で検出された $z\sim 4$ broad-line AGN 候補天体の光度変動探査 小久保充(国立天文台)	14:18	X18a Combining neural networks and galaxy light subtraction for discovering strong lenses in HSC 石田侑一郎(九州大学)
11:24	X08a Evolution of a quenched galaxy at $z\sim 2$ hosting a low- λ Edd AGN 田中匠(東京大学/Kavli IPMU)	14:30	X19a 球状星団形成期の星の暴走的合体による超大質量星形成と周囲のガスの汚染 藤井通子(東京大学)
11:36	X09a Cluster Candidates of Massive Quiescent Galaxies at $z\sim 2$ 清田朋和(京都大学)	14:42	X20a 銀河中心ブラックホール近傍における共鳴緩和 III 船渡陽子(東京大学)
11:48	X10b RIOJA: 赤方偏移 7.9 の原始銀河団コア領域にある銀河の輝線比診断 大曾根渉(筑波大学)	14:54	X21a 恒星の高精度化学組成から解明する銀河系ハローの恒星種族 松野允郁(Universität Heidelberg)
11:48	X11b eROSITA で迫る dust-obscured galaxies (DOGs) の X 線の統計的性質 登口暁(信州大学)	15:06	X22a すばる/HSC の広視野撮像データで探る Ursa Minor dSph の形成メカニズム 佐藤恭輔(法政大学/国立天文台)
11:48	X12b JWST データを用いた遠方の Quiescent 銀河の統計的性質 北川陽斗(東京大学)		

15:18	X23a	すばる望遠鏡 /Suprime-Cam,FOCAS によるかみのけ座銀河団の H α 光度関数 2 太田隼 (法政大学)	3月15日 (金) 午後・H会場
15:30		質疑応答 (10分)	13:30
3月15日 (金) 午前・H会場			X34a
10:00	X24a	UniverseMachine で統一的に探る $z=0-5$ 銀河と銀河周辺物質の化学進化 西垣萌香 (総合研究大学院大学/国立天文台)	宇宙再電離期における銀河からの電離光子脱出率の推定 前原瑚茉 (総合研究大学院大学)
10:12	X25a	大質量星団形成における星風による金属量進化 福島肇 (筑波大学)	13:42
10:24	X26a	初代銀河のダスト進化モデルと星形成史への示唆 津名大地 (カリフォルニア工科大学)	X35a
10:36	X27a	拡張ダスト放射進化モデルによる遠方銀河におけるダストクランプの解析 加納龍生 (名古屋大学)	ニューラルネットワークを用いた遠方銀河からの Ly α 輝線放射の予測 吉岡岳洋 (東京大学)
10:48	X28a	高赤方偏移銀河における星団形成とその化学組成 斎藤貴之 (神戸大学)	13:54
11:00	X29a	Clustering properties of galaxies in protoclusters at the epoch of reionization 諸隈佳菜 (東京大学)	X36a
11:12	X30a	始原的パワースペクトルの不定性が高赤方偏移銀河形成に及ぼす影響 平野信吾 (神奈川大学)	Census for the Rest-frame Optical and UV Morphologies of Galaxies at $z=4-10$: First Phase of Inside-Out Galaxy Formation 小野宜昭 (東京大学)
11:24	X31a	Finding Cosmic Beacons - Toward A Complete Census of Galaxies in the Epoch of the Unknown through a JWST NIRCcam Pure-Parallel Imaging Survey Morishita, Takahiro (Caltech/IPAC)	14:06
11:36	X32a	EIGER: 宇宙再電離における銀河の役割と銀河間ガスの進化 2 柏野大地 (国立天文台)	X37a
11:48	X33a	HeII emission in JWST sources: A quest for clues to Population III star formation 中島王彦 (国立天文台)	宇宙再電離期の星形成銀河からの [CII]158 μ m 輝線の起源の特定: ALMA 望遠鏡による [NII]205 μ m 輝線の観測 札本佳伸 (千葉大学)
12:00		質疑応答 (10分)	14:18
			X38a
			JWST で見つかった、炭素と酸素に対し窒素の豊富な $z \sim 6-10$ 銀河 磯部優樹 (東京大学)
			14:30
			X39a
			RIOJA: $z = 6.81$ 銀河の JWST+ALMA 解析 (1) SED から探る多成分系の性質 馬渡健 (筑波大学)
			14:42
			X40a
			RIOJA : $z = 6.81$ 銀河の JWST+ALMA 解析 (2) ISM 物理状態の推定 碓氷光崇 (筑波大学)
			14:54
			X41a
			RIOJA: NIRCcam and NIRspec observations of SXDF-NB1006-2 at $z = 7.2$ Ren, Yi (Waseda University)
			15:06
			質疑応答 (10分)

Y. 天文教育・広報普及・その他

3月14日(木) 午前・F会場		11:48	Y13b	中高における科学史を踏まえた天文教育2－科学革命における抵抗勢力－ 林隆之(麻布中学校・高等学校/国立天文台)
10:00	Y01a			
10:12	Y02a	11:48	Y14b	天文学はどのような意味で企業人材の育成に役立つのか 高梨直紘(東京大学)
10:24	Y03a	11:48	Y15b	岡山 188cm 望遠鏡ニュートン焦点撮像 乾板目録の正規化と補完 柳澤顕史(国立天文台)
		12:00		質疑応答(10分)
10:36	Y04a			
10:48	Y05a			
11:00	Y06a			
11:12	Y07a			
11:24	Y08a			
11:36	Y09b			
11:36	Y10b			
11:36	Y11b			
	Y12c			

3月14日(木) 午後・F会場	
13:30	Y16a 科学ポスター「一家に1枚宇宙図」の改定 高梨直紘(東京大学)
13:42	Y17a 未発見小惑星検出アプリ COIAS による新天体搜索状況 浦川聖太郎(日本スペースガード協会)
13:54	Y18a XRISM におけるアウトリーチ活動の報告と課題 生田ちさと(宇宙航空研究開発機構)
14:06	Y19a 国際天文学・天体物理学オリンピックポーランド国際大会の参加報告 中道晶香(京都産業大学)
14:18	Y20a 国際極運動観測事業における機械式計算機の使用 馬場幸栄(国立科学博物館)
14:30	Y21a 「惑星」の「地球」化：用語使用の学術史・政策史的観点からの検討 玉澤春史(東京大学/京都市立芸術大学)
14:42	Y22a 超高齢化社会における天文教育の挑戦 鷹野重之(九州産業大学)
14:54	Y23a Wikipedia 日本語版星座記事の抜本的改稿による天文文化の普及 小林道生
15:06	Y24a 豪雪地帯における夜空の明るさ連続測定を試み 小野間史樹(星空公団)
15:18	質疑応答(10分)

予稿ページ

Z101r SuMIRe-PFS[40]: Prime Focus Spectrograph Instrumentation Status

Naoyuki Tamura^{1,2}, Yuki Moritani^{1,2}, Kiyoto Yabe^{1,2}, Hitoshi Murayama², Masahiro Takada², Yuki Ishizuka¹, Yukiko Kamata¹, Julien P. Rousselle¹, Shintaro Koshida¹, Masayuki Tanaka¹, Miho N. Ishigaki¹, PFS A project, PFS collaboration (¹NAOJ,²Kavli IPMU, The University of Tokyo)

The PFS (Prime Focus Spectrograph) instrumentation is nearly complete finally. The last two spectrograph modules had been missing major hardware components, but the integration of them progressed well by November 22 2023 except for one near-infrared camera, and now the spectrograph system is being recommissioned for next engineering data acquisitions. On-sky engineering tests and observations have been carried out continually since September 2021 with Engineering First Light accomplished in September 2022. The performances and operation of the instrument are being optimized e.g. in the accuracy and speed of fiber positioning process. Long integrations of relatively faint objects are taken to validate expected increase of signal-to-noise ratio. The on-sky and calibration data are processed by the dedicated data reduction pipelines. Various tools are being developed to assess the data qualities and pipeline performances and their outputs are essential for pipeline developments. Releases of processed data internally to the collaboration are planned for science-oriented data quality check and feedback to pipeline developments. Given the science operation will start soon after the commissioning process is complete, various procedures of proposing, planning, & executing observations, processing data & assessing their qualities, and delivering data to observers are being developed and tested. In this presentation, a top-level summary of these achievements and progresses will be given with future perspectives.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z102r Galactic Archaeology with Subaru PFS

Evan N. Kirby (University of Notre Dame) on behalf of the PFS Galactic Archaeology (GA) Working Group

PFS will dedicate approximately 140 nights to study the structure and evolution of galaxies in the Local Group. This galactic archaeological survey will have three pillars. (1) We will determine whether the mass density profiles of dwarf galaxies are consistent with cusps, as expected for cold dark matter, or cores, as expected from alternative dark matter theories or baryonic feedback. We will deduce the density profiles as a function of radius from Jeans modeling of the full line-of-sight velocity distributions for six dwarf galaxies. Our total sample will consist of 40,000 member stars. (2) From measurements of the $[\alpha/\text{Fe}]$ abundance ratio, we will learn the difference in assembly history of the two most massive galaxies in the Local Group: M31 and the Milky Way. We will observe 30,000 member stars over 45 square degrees of M31's halo and outer disk. (3) We will uncover how the most fragile part of the Milky Way responded to accretion events in the distant past (like Gaia-Enceladus Sausage) and in recent history (like Sagittarius). To support this study, PFS will provide velocities and metallicities – from which we will deduce ages – for tens of thousands of stars out to a Galactocentric distance of 30 kpc.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z103a Subaru Near-Field Cosmology survey with HSC and PFS

Sakurako Okamoto (NAOJ), SNFC team

Over the last decade, wide-field resolved star studies have shown a remarkable variety of stellar substructures in the halos of the Milky Way and M31, attesting to the fact that accretions have played an essential role in shaping their evolution. Pushing these studies to galaxy systems beyond the Local Group is crucial to increasing sample size and deriving representative trends.

We introduce the Subaru Near-Field Cosmology survey with HSC and PFS, targeting several Local Volume disk galaxies to elucidate the dependence of stellar halo properties. The resolved stellar photometries with Subaru/HSC reached down to 1.5 mag below the RGB tips and covered more than half of R_{vir} of target galaxies, which enabled us to map the stellar halos and discover faint substructures around galaxies. This HSC imagery provides ideal PFS target catalogs of supergiant stars and globular cluster (GC) candidates as tracers of young and old populations at galaxy outskirts. With PFS, we will directly examine the metallicity gradient and dynamics in the outer disks and stellar halos. A significant statistical sample of global chemo-dynamics in these nearby galaxies will provide a comprehensive understanding of disk galaxy formation, together with the detailed PFS-SSP views of the Milky Way and M31. Some of the target galaxies are in galaxy groups, such as the M81 and Sculptor groups. The discovered intra-group GCs in these galaxy groups will also be studied to trace the dynamics of old stellar components in the intra-group field, which may be stripped from the main body of galaxies by past tidal interactions.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z104a The nature of M31/M33 stellar halos explored by Subaru/HSC & PFS survey

Itsuki Ogami (SOKENDAI), Masashi Chiba (Tohoku Univ.), Yutaka Komiyama, Mikito Tanaka (Hosei Univ.), Rosemary F. G. Wyse, Carrie Fillion (Johns Hopkins Univ.), Evan N. Kirby (Univ. of Notre Dame), Puragra Guhathakurta (Univ. of California Santa Cruz), Masao Mori, Takanobu Kirihara (Univ. of Tsukuba), Masayuki Tanaka, Miho N. Ishigaki (NAOJ), Kohei Hayashi (Sendai College/Tohoku Univ.), and the PFS Galactic Archaeology working group

One of the major goals in the Local Group studies with Subaru is to understand the nature of stellar halos of the Andromeda system (M31 and M33). Thanks to the combination of Subaru/HSC & PFS, we can investigate the global properties of each stellar halo, which is a faint and vast structure, in detail. In this talk, we present the M31/M33 halo survey using Subaru/HSC and PFS.

Analysis with HSC/NB515 has allowed us to identify the M31/M33 halo stars with an accuracy of over 90%. Owing to this, we can study the properties of the M31 halo (e.g., metallicity distribution and surface brightness profile) over a range of more than 100 kpc, and detect the M33 outer halo up to 20 kpc, minimizing the effect of contaminating foreground Galactic stars. The HSC data also provides an ideal targets for PFS observations.

PFS allows us to directly study the comprehensive chemodynamic properties of these halos. The chemical information will provide a key to understanding the galaxy formation process, such as spatially mixing sub-structures and metallicity gradient in these halos. In addition, the kinematical information can place significant constraints on the orbits of stellar systems that have accreted to these stellar halos.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z105a Galaxy collisions and stellar streams in the Andromeda Galaxy: Once and future in Andromeda

Masao Mori, Ayami Hotta, Misa Yamaguchi, Koki Otaki, Takanobu Kirihara (University of Tsukuba)

Hierarchical structure formation based on the Λ CDM model has long been considered the standard paradigm for galaxy formation, and much observational evidence has been accumulated so far. In this century, observations around the Andromeda Galaxy (M31) have revealed numerous traces of past mergers with satellite galaxies. The Andromeda Giant Southern Stream (AGSS) is a vast stellar stream of more than 100 kpc, and there are currently two opposing hypotheses for the formation of the AGSS: the major merger model with a colliding galaxy mass of $10^{11}M_{\odot}$ and the minor merger model with that of 10^9M_{\odot} . Our N -body simulation of major mergers indicated that the stellar disc of M31 became significantly thicker, far from the observations and failed to reproduce the observation of the M31 disc. On the other hand, minor merger simulations successfully reproduced not only the features of the AGSS but also the 10 kpc ring in the M31 disc. The results clearly show that the minor merger favours the simultaneous formation of the AGSS and the 10 kpc ring. We will present theoretical predictions about the spatial distribution of line-of-sight velocities obtained from the simulation, as well as the spatial distribution of stellar metallicities and their gradients. Comparison with future PFS observations will provide insight into not only the formation of the AGSS but also the chemical properties of the progenitor and the formation of stellar haloes in the Andromeda Galaxy. It would provide significant improvements in understanding the dynamical evolution of galaxies under the hierarchical structure formation.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z106b Galaxy collisions and stellar streams in the Andromeda Galaxy: Chemical evolution of the progenitor galaxy of the Andromeda Giant Southern Stream

Misa Yamaguchi, Masao Mori, Takanobu Kirihara (University of Tsukuba)

Recent large-scale imaging and spectroscopic observations have shown the spatial distribution of heavy elements in the halo region of M31, including the Andromeda Giant Southern Stream (AGSS). We have also investigated the spatial distribution of heavy elements in the AGSS using the result of N -body simulations assuming the spatial distribution of the metal abundances in the infalling progenitor galaxy. The results nicely reproduce the spatial distribution of heavy elements in the AGSS, where the metallicity distribution orthogonal to the AGSS axis is non-uniform. This result not only allows us to put a limit on the metal gradient of the progenitor galaxy but also provides crucial information on where the galactic centre of the progenitor galaxy is currently located.

Although two models have hitherto been proposed for the formation of the AGSS, such as the major merger model and the minor merger model, our result supports the minor merger model. In addition, to explain the current spatial distribution of heavy elements in the AGSS, we find a constraint that the progenitor may have the metallicity gradient of the power-low index of around -0.4 . This result severely limits the chemical evolution of the progenitor, and we further discuss the star formation history of the progenitor to produce such a metallicity gradient. Comparison of future PFS observations with this theoretical prediction will provide significant insights into the physics of galaxy collisions and the formation of a stellar halo.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z107b Bifurcation of a stellar stream by a collision with a dark satellite or wandering black hole

Yuka Kaneda (University of Tsukuba), Andreas Burkert (Ludwig-Maximilians-Universität München, Max-Planck Institute for Extraterrestrial Physics), Yohei Miki (the University of Tokyo), Masao, Mori (University of Tsukuba)

The stellar halo of M31 plays a crucial role in studying galaxy formation and evolution due to its proximity. Among many imprints from galactic collisions within the M31 stellar halo, Stream C and Stream D exhibit interesting features. These two stellar streams have almost identical widths with a few kpc and are parallel to each other with a three-dimensional spacing of about tens of kpc. Their line-of-sight velocities have negligible differences. The metallicities of both streams are very similar. In the following, we will refer to these two streams as “parallel stellar streams”. No scenario has yet been proposed to explain the formation of the parallel stellar streams. We suggest a hypothesis: a single stellar stream is bifurcated by interacting with a celestial body, such as a dark matter subhalo and a wandering supermassive black hole. The plausibility of this hypothesis is validated through N -body simulations. Numerical experiments on a wide range of parameters confirm that one stellar stream can be bifurcated by interacting with another object acting as a perturbation. The essential conditions for this bifurcation depend on a perturber’s mass, size, and orbit. While we have succeeded in developing the scenario for stream bifurcation, high-resolution spectroscopic observation of line-of-sight velocity and velocity gradient utilizing Subaru PFS is expected to limit the perturber model.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z108b Formation of dwarf galaxies induced by dark matter subhalo collisions

Koki Otaki, Masao Mori (University of Tsukuba)

The standard model of galaxy formation, the Λ Cold Dark Matter model, supports observational properties of the large structure formation in the Universe. However, several discrepancies between theoretical predictions and observational results for smaller scales than galaxies have been pointed out. In 1999, the missing satellite problem was reported, which is that the number of satellite galaxies observed in the Milky Way is more than ten times smaller than theoretical estimates. The most successful solution to this problem is the hypothesis that many dark satellites are too faint to be observed. Recent improvements in observational devices and techniques have contributed to the discovery of a large number of galaxies with low surface brightness.

This study focuses on the collision-induced formation of dark-matter-dominated galaxies and dark-matter-deficient galaxies and their collision frequencies. The gaseous medium highly compressed at the collision surface triggers an instantaneous burst of star formation, leading to the generation of a single stellar population. Such past collision events would have been imprinted by observational features such as star formation histories and metallicities of stars. Utilizing simulations of the orbital evolution of subhalos based on cosmological N -body simulations, we estimate the collision frequency between subhalos moving within a Milky Way-like host halo. The results indicate that collisions with the relative velocity of 100 km s^{-1} occur frequently in the host halo. This study discusses the observational possibilities of dwarf galaxies induced by collisions, providing insights into the missing satellite problem.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z109b Revealing mass distributions of dwarf spheroidal galaxies in the Subaru-PFS era

Kohei Hayashi (NIT, Sendai College), the PFS Galactic Archaeology Science Working Group

The dwarf spheroidal galaxies (dSphs) in the Local Group are excellent test beds for probing the properties of dark matter and its role in galaxy formation. These galaxies are sufficiently close that it is possible to measure line-of-sight velocities for large samples of resolved stars. This kinematic information enables us to study the structural properties of their dark matter halos. However, there are non-negligible uncertainties in the determination of the mass profiles of dark matter. In particular, this study has been hampered by the well-known degeneracy between dark matter mass density and the anisotropy of the stellar velocity dispersion tensor, which can lead to erroneous mass estimates.

The information encoded in the shape of the line-of-sight velocity distribution (LOSVD) is potentially a strong tool to break this degeneracy, but this requires sufficiently large kinematic samples over large areas out to the outer parts of dSphs and identification of foreground contamination. The combination of the 1.25 deg^2 field and 2394 fibers of the Subaru Prime Focus Spectrograph (PFS), plus pre-imaging with Hyper Suprime Cam, will allow us to make significant progress in this undertaking. Furthermore, the unique capability of PFS will permit us to revisit the core/cusp problem. In this talk, I will discuss the feasibility and future prospects for this dark matter study with Subaru-PFS survey using mock stellar samples.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z110r PFS 時代の宇宙論的銀河シミュレーション

石山智明 (千葉大学)

すばる望遠鏡の超広視野多天体分光器 (PFS) による銀河系や局所銀河群の星々の詳細観測や、近傍から高赤方偏移にわたる銀河観測が間近に迫っている。精密宇宙論、銀河・ブラックホール形成論、銀河系形成史の詳細な描像、ダークマターの正体解明など、これらの観測によって大きな革新がもたらされるであろうサイエンスは枚挙にいとまがない。

こうした大規模観測データからより多くの情報を引き出すためには、観測と直接比較可能な理論モデル、特に高解像度の宇宙論的数値シミュレーションが必要不可欠である。近年の宇宙論的銀河系形成シミュレーションでは、サンプル数は少ないもののパーセクスケールに迫る空間解像度が達成されつつあり、実際に GAIA 衛星などの観測データとの比較で重要な役割を果たしている。また高解像度の宇宙論的 N 体シミュレーションと準解析的モデルを組み合わせることで、宇宙初期の初代星や金属欠乏星形成と銀河系形成を直接繋げられるようになってきた。宇宙初期に誕生した星々の、現在の銀河系内における痕跡を宇宙論的文脈で議論できるようになってきている。

本講演ではこれらの取り組みを紹介するとともに、PFS 時代に向けた宇宙論的銀河シミュレーションの展望を議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z111a Subaru PFS Mock Observations of Satellites in a Cosmological Zoom-in Simulation of a Milky Way-like Galaxy

Yutaka Hirai (Univ. of Notre Dame, Tohoku Univ.), Evan N. Kirby, Borja Anguiano, Timothy C. Beers (Univ. of Notre Dame), Masashi Chiba (Tohoku Univ.), Kohei Hayashi (Sendai College, Tohoku Univ., Univ. of Tokyo), Takayuki R. Saitoh (Kobe Univ.), Miho N. Ishigaki (NAOJ)

The chemical abundances of Milky Way's satellites reflect their star-formation histories (SFHs). Due to the difficulty of determining the ages of old stars, the SFHs of most satellites are poorly measured. Subaru PFS can obtain around 10 times more medium-resolution spectra for stars in satellites than are currently available. To correctly extract SFHs from large samples of chemical abundances, the relationship between chemical abundances and SFHs needs to be clarified. Here, we performed a cosmological zoom-in simulation of a Milky Way-like galaxy and applied PFS mock observations of simulated stars in a Sculptor-like dwarf satellite. We find that it shows SF episodes separated by ~ 100 Myr. Each SF event forms groups of stars with different $[\alpha/\text{Fe}]$ vs. $[\text{Fe}/\text{H}]$. We then apply a stellar-evolution model to compute the magnitudes of simulated stars. Based on the magnitudes, we compute the expected uncertainties of PFS observations. From this mock observation, we find that PFS will be able to detect distinct groups of stars in $[\alpha/\text{Fe}]$ vs. $[\text{Fe}/\text{H}]$ space, formed in a different peak of SF separated with ~ 100 Myr. These peaks are typically separated by 0.5 dex and 0.4 dex in $[\text{Fe}/\text{H}]$ and very metal-poor stars' $[\alpha/\text{Fe}]$, respectively. This result means that SFHs with timescales of ~ 100 Myr can be estimated from the chemical abundances of satellites observed in Subaru PFS.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)Z112a Mapping Baryon Physics and Three-dimensional Ly α Forest onto Dark Matter Fields

Kentaro Nagamine (Osaka), Francesco Sinigaglia (IAC/Zurich), Francisco-Shu Kitaura (IAC), Andrés Balaguera-Antolínez (IAC), Yuri Oku (Osaka), Ikkoh Shimizu (Shikoku Gakuin)

We have developed a new physically motivated supervised machine-learning method, HYDRO-BAM, to reproduce the 3-dimensional Ly α forest field in real and redshift space, which learns from a reference hydro simulation including the effects of star formation and feedback. Our new method saves about seven orders of magnitude in computing time, and is accurate up to $k \sim 1h/\text{Mpc}$ in the one- to three-point (bispectra) statistics of the reconstructed fields. Our results show that an accurate analysis of the Ly α forest requires considering the complex baryonic thermodynamical large-scale structure relations, i.e, the hierarchical non-linear non-local bias between dark matter overdensity, total gas density, neutral hydrogen, and gas temperature. We then implement the findings from the aforementioned studies into the augmented non-local Fluctuating Gunn-Peterson Approximation which outperforms previous analytical methods to predict the Ly α forest at the field level. Our method paves the path to establish the best setup for the construction of mocks probing the IGM in the statistical analysis of large forthcoming missions such as DESI, Euclid, J-PAS, PFS, and WEAVE.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z113a Prediction for the IGM tomographic survey by GADGET4-OSAKA simulation

奥 裕理, 長峯 健太郎 (大阪大学)

超新星爆発と活動銀河核によるフィードバックは銀河形成進化において最も重要な要素である。銀河形成の包括的な理解のためにはフィードバック物理を適切に取り込んだ大規模な宇宙論的シミュレーションが必要であるが、これまでの先行研究では観測を再現するようにファインチューニングされた経験論的モデルが使われている。これに対し我々は、高分解能シミュレーションに基づく超新星フィードバックモデル (Oku et al., 2022) と先行研究の AGN フィードバックモデルを実装した宇宙論的流体シミュレーションコード GADGET4-OSAKA を開発した。

本講演では、GADGET4-OSAKA を使った宇宙論的シミュレーションの結果から、星質量関数などの基本的な統計量を示したのち、銀河間物質の金属汚染に対するフィードバックの効果を議論する。超新星フィードバックによる金属汚染は 100 kpc スケールであるのに対し、AGN フィードバックは Mpc スケールに影響を及ぼすことを示し、将来のすばる PFS による IGM トモグラフィ観測によるフィードバック効果の観測可能性についても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z114b 極重元素欠乏銀河と初代銀河の化学進化

福島啓太, 長峯健太郎 (大阪大学), 松本明訓, 磯部優樹 (東京大学), 大内正己 (国立天文台), 斎藤貴之 (神戸大学), 平居悠 (ノートルダム大学)

ジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡は、GN-z11 に代表される $z > 10$ の高赤方偏移銀河を報告しているが、低質量の初代銀河の観測は依然として困難である。極重元素欠乏銀河 (EMPGs) は、このような低質量の初代銀河の類似天体として役立つ可能性がある。EMPGs は高い Fe/O など特徴的な化学組成比を持ち、ヘリウム存在比 (He/H) と金属量の関係は始原的ヘリウム存在量の決定に役立つが、He/H—金属量関係は明らかになっていない。

そこで本研究では、ワンゾーンモデルと宇宙論的流体シミュレーションを用いて、EMPGs と初代銀河の化学進化を調べた。ワンゾーンモデルからは、年齢が数十億年の銀河は漸近巨星分岐 (AGB) 星からのヘリウム放出により、EMPGs と同様のヘリウム組成を持つことが示されたが、ガスの割合が低く、より現実的な物質循環を解く必要がある。そこで宇宙論的ズーム流体シミュレーションを実行した結果、EMPG と同様の Fe/O を持ち、ガスの割合が高い銀河が再現できた。しかし、観測で得られた He/H—金属量関係に比べ低い分散と浅い傾きをもち、年齢が高く星形成も活発ではないという観測との不一致が見られた。さらに、若い年齢での化学進化を詳細に調べるために高分解能の初代銀河ズームシミュレーションを実行した結果、恒星質量と SFR は GN-z11 と一致する一方、金属量は観測に比べ 1 桁高い結果が得られた。また、EMPGs で見られるような高い Fe/O は見られず、O/H が低く He/H が高いガスも存在しない。EMPGs の化学組成を達成するためには、短い時間で鉄を放出する対不安定型超新星やトップヘビー初期質量関数の考慮、超新星フィードバックモデルの改良が必要であり、PFS 観測でこれらの化学組成を持つ銀河の統計的性質が明らかになれば、それらに制限をつけることができる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z115b 矮小銀河の形成とガスの運動力学進化

戸丸一樹, 長峯健太郎 (大阪大学)

銀河におけるガスの運動力学は、フィードバック、ガス降着、銀河合体といった銀河形成の物理過程を理解する上で重要である。特に低質量銀河は、初代銀河に代表される銀河進化の初期段階を理解する上で重要である。近年、近傍の星形成矮小銀河のガス運動が EMPRESS プロジェクトなどによって観測されており (e.g. Isobe+23)、高赤方偏移 ($z > 4$) の低質量銀河についても、ALMA、JWST、すばる望遠鏡などによって観測が進められている。そこで、本研究では、宇宙論的流体シミュレーションコード GADGET3-Osaka を用いて、 $z = 0$ で $M_* \leq 10^8 M_\odot$ に進化する矮小銀河の宇宙論的ズームインシミュレーションを行った。その結果、 $z = 0$ において、銀河内のガスはより分散に支配されており、観測結果とよく一致することがわかった。ガスの回転運動 V_{rot} と速度分散 σ との比 V_{rot}/σ は、銀河の力学的状態を反映し、例えば $V_{\text{rot}}/\sigma < 1$ は、乱流に支配された不規則な状態を示す。我々のズームシミュレーションにおける矮小銀河の V_{rot}/σ は、時間ともに緩やかに増加し、 $z = 0$ で 1 より低い値を示した。また、 V_{rot}/σ は、比星形成率との反相関を示し、観測と一致した。高赤方偏移との比較から、ガス運動の宇宙論的進化についても議論し、先行研究と比較する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z116b すばる HSC-SSP と PFS で迫る銀河系ハロー形成過程の探求

鈴木善久, 千葉征司 (東北大学), 小宮山裕 (法政大学), 林航平 (仙台高専), 田中賢幸, 福島徹也 (国立天文台), 常盤晟, Tian Qiu, 高田昌広 (東京大学)

現在の標準的な構造形成論に基づくと、一般に銀河はより小さな恒星系が合体・降着を繰り返すことで形成されてきたと考えられている。私たちの住む銀河系の形成過程を知る上では、特に銀河系中心から 30 kpc を超える外縁部のハローを調査することが重要である。それは銀河系中心部と比較して力学的な緩和時間がおよそ 10 Gyr と非常に長いので、過去の合体・降着イベントを反映したサブ構造が空間的・運動学的に残されていると考えられているからである。実際このようなサブ構造がハローに刻まれていることは銀河の形成シミュレーション (e.g., Bullock & Johnston 2005) だけでなく、近傍銀河の観測 (e.g., Ferguson & Mackey 2016) から明らかとなっている。しかしながら銀河系はハローを俯瞰的に見ることができず、特にハロー外縁部の調査は未開拓な状況にある。

そこで、私たちはすばる戦略枠プログラム HSC-SSP とすばる PFS を組み合わせた銀河系ハローの形成過程に関する研究を提案する。すばる HSC-SSP の Wide の観測は、総観測領域が $\sim 1200 \text{ deg}^2$ かつ i バンドの 5σ の限界等級が 26.5 等という、広さと深さを同時に実現した観測データを私たちに提供してきた。暗い主系列星を用いて銀河系のハロー構造を調査した結果、銀河系中心から 30 kpc を超える外縁部のハローにおいて、過去の銀河の合体・降着を反映した痕跡が新たに発見されてきた。この領域に対して、すばる PFS を用いてその主系列星と同じ距離スケールに存在する赤色巨星分枝の視線速度および $[\text{Fe}/\text{H}]$ や $[\alpha/\text{Fe}]$ などの金属量を計測することで、化学動力学的情報も組み合わせることでその起源に迫ることが期待される。本講演ではこれまでの解析結果の総括に加えて、観測提案の仔細について説明する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z117r The PFS Galaxy Evolution Survey

Jenny Greene (Princeton University) on behalf of the PFS Galaxy Evolution (GE) Working Group

I will present a broad overview of the PFS Galaxy Evolution Survey design. I will introduce the main components – the first galaxies and reionization, the cosmic web as traced by Ly- α tomography, and a continuum-selected survey at redshift $z = 1$ to 2.

Given its wide wavelength coverage and high multiplexing, PFS is uniquely powerful for each of these survey components, and in particular will allow us to connect the evolution of physical galaxy properties with the cosmic web at all epochs. We will have a transformative sample of deep spectra spanning the redshift range of $0.7 < z < 7$.

The PFS Galaxy Evolution working group welcomes involvement from the wider Japanese community, and I will discuss various ways to get involved with our planning work.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z118a Update of u2k multi-band photometric catalog in the HSC-SSP Deep/Ultra-Deep fields

Tomoko Suzuki (Kavli IPMU), Masayuki Tanaka (NAOJ), and HSC joint data collaboration

The PFS-SSP Galaxy Evolution survey targets galaxies and active galactic nuclei across a wide redshift range from $z \sim 0.7$ to 7. The target fields are selected from the HSC-SSP Deep/Ultra-Deep fields to fully take advantage of the deep and wide optical imaging data from HSC-SSP. In order to capture important spectral features of galaxies across the targeted redshift range, however, obtaining the photometric information outside of the HSC wavelength coverage is also critical. HSC joint data collaboration aims to construct a multi-band photometric catalog in the HSC-SSP Deep/Ultra-Deep fields by combining the HSC-SSP BB/NB data and external survey data from u to K -band, namely, u from CLAUDS, multiple NB from CHORUS, NIR data from DUNES², UKIDSS DXS/UDS, VIDEO, and UltraVISTA. This multi-band photometric catalog is called the u2k catalog, and the first version based on the HSC-SSP PDR2 is available to the collaboration. We are now updating the u2k photometric catalog with the HSC-SSP DR4 and the latest data release version of the external data (if any). This updated version of the u2k catalog is planned to be used for the target selection for the PFS-SSP GE survey, and also, will be useful for research projects with HSC especially targeting galaxies at higher redshift. We will share the current status of the u2k catalog update together with the major improvements from the previous version.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z119a IGM Tomography in the Subaru PFS SSP Galaxy Evolution Survey

Khee-Gan Lee (Kavli IPMU), Chenze Dong (Kavli IPMU), Ben Horowitz (Kavli IPMU), Rieko Momose (Carnegie), Metin Ata (Stockholm)

The Subaru PFS SSP Galaxy Evolution Survey will target a sample of 18k star-forming LBGs at $2.5 < z < 3.5$ over its 12 square degrees, which will act as background sources probing the foreground IGM Lyman-alpha forest absorption at $2.2 < z < 2.7$. I will introduce the idea of IGM tomography, which is combines multiple close-separated sightlines into a 3D absorption field. At the same time, a sample of foreground LBGs will be observed within the same volume as the IGM map to enable cross-correlation with the absorption. I will introduce some results from the pilot CLAMATO survey on Keck Telescope that point the way toward some of the analysis we will carry out with the PFS IGM tomography data, including reconstructing the 3D cosmic web, 3D cross-correlation measurements with galaxies, and studying AGN feedback in galaxy protoclusters.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z120a The Most Concentrated Quasars Revealed by Subaru HSC and PFS at $z \sim 2$

Y. Liang (ICRR), M. Ouchi (NAOJ), N. Kashikawa (Tokyo), Z. Cai (Tsinghua), X. Fan (Arizona), D. Sun (ICRR), H. Yajima (Tsukuba), T. Kirihara (Tsukuba), K. Nagamine (Osaka), H. Zhang (Tsinghua), M. Li (Tsinghua), R. Shimakawa (Waseda), M. Tanaka (NAOJ), M. Onoue (IPMU), J. X. Prochaska (UCSC), T. Izumi (NAOJ), K. Ito (Tokyo), K. Shimasaku (Tokyo), J. Silverman (IPMU), D. Shi (PMO), F. An (PMO), C. Zhu (ICRR)

Selected in MAMMOTH-Subaru survey, J0210 field is associated with a cluster of 11 luminous quasars ($L_{\text{bol}} > 10^{46}$ erg s $^{-1}$) at $z \sim 2.2$, the only one region found from the entire 1 Gpc 3 survey volume of SDSS/(e)BOSS. It represents the most concentrated quasars at $z > 2$ with the overdensity 30 times the field at 17σ significance. Subaru HSC mapped the region with NB387 to identify Ly α emitters (LAEs) at a similar redshift. Intriguingly, the quasar overdensity is not aligned with the highest density peaks traced by LAEs but is situated in the middle of a large-scale filament extending 100 cMpc. With the quasars located where phase transition happens, this filament's nodes exhibit puzzling dual-phase characteristics in both the LAE properties and the IGM ionization stage inferred from the HI tomography based on SDSS spectra. The Subaru PFS's wide FoV and efficient MOS capability will enable us to simultaneously determine the precise LAE redshifts to test their association with the quasars and reconstruct a 3D IGM tomography map with a spatial resolution better than SDSS/(e)BOSS by ten times. These efforts will uncover the quasars' intensively triggering mechanisms and their interaction with large-scale environments in an extreme structure, complementing the SSP survey on more typical fields.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z121a すばる/PFSの大規模分光探査で探る遠方銀河形成

播金優一 (東京大学)、柏野大地 (国立天文台)、菊田智史 (国立天文台)、大内正己 (国立天文台/東京大学)、菅原悠馬 (早稲田大学)、PFS-GE High-z Sub WG

すばる/PFSによる遠方銀河観測の検討と予想される科学成果について発表する。我々はすばる/PFS-SSP collaborationの中で、High-z Sub Working Group (WG)としてLyman break galaxy (LBG)及びLyman- α emitter (LAE)の観測の検討を行ってきた。PFS-SSP探査の一年目では、HSC探査によって見つかった赤方偏移 $z = 2-7$ のLBG, LAEのうち、合計約20000個をそれぞれLyman- α 輝線、Lyman- α breakを検出することで分光できると予想している。これは既存の遠方銀河の分光サンプルと比べて10倍以上の規模であり、この大規模サンプルを使って様々な研究を展開できる。例えばLBGを使った紫外光度関数の研究では、これまですばる/HSC画像を使った研究により、赤方偏移 $z \sim 4-7$ の明るい銀河の個数密度がSchechter関数と比べて超過していることが示唆されていた。これは遠方宇宙における大質量銀河の形成が我々のこれまでの理解とは異なる可能性を示す重要な結果であるが、画像を使って選択した銀河候補をもとにした議論であり、低赤方偏移のコンタミネーションの不定性が常に付き纏っていた。この問題はPFSにより赤方偏移が決定された大規模分光サンプルを使うことで解決でき、分光データをもとに光度関数を決定し、個数密度の超過を 5σ 以上の精度で初めて検証できる。さらにCIV輝線等の情報を使いAGN活動などを調べることで、個数密度超過の物理的起源にも迫ることができる。本講演ではLAEやLBGを使った他のサイエンスケースも紹介しつつ、既存のSSP探査計画とは相補的な、PFSを使った遠方銀河の大規模分光探査についても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z122b Galaxy evolution study from the cosmology emission line galaxy sample

Shun Saito (Missouri S&T)

One of the main targets in the Subaru Prime Focus Spectrograph (PFS) is the emission line galaxy (ELG) sample with sufficiently high [OII] emission at $0.6 < z < 2.4$ in the PFS cosmology program. Although the main scientific goal with the ELG sample is to infer cosmological parameters such as the neutrino masses and the dark energy equation of state, the gigantic ELG sample simultaneously offers us synergetic studies of galaxy evolution science in a wide redshift coverage. In this talk, we will discuss how the cosmology ELG sample is planned to be selected in terms of optical photometric magnitudes and colors in HSC. Then we will introduce our modeling of emission lines in a cosmological hydrodynamical simulation and showcase a few example studies such as co-evolution of dark matter halos and ELGs as well as the properties of interstellar medium and dust attenuation.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)Z123b すばる HSC を用いた $1 < z < 3$ における強輝線銀河探査

今井聖也 (総合研究大学院大学/国立天文台), 田中賢幸, 矢部清人, 小山佑世, 小野寺仁人 (国立天文台)

宇宙再電離の詳細な物理プロセスは、いまだ完全に理解されていない問題の一つである。現在、再電離を引き起こした可能性が高い $z > 6$ の高赤方偏移銀河に類似した比星形成率を持ち、かつ金属が欠乏した銀河がより近傍の宇宙でも観測されている。これらの銀河の特徴として [OIII] $\lambda 5007\text{\AA}$ に強い輝線をもつことが挙げられ、強輝線銀河と呼ばれている。近傍の強輝線銀河は高赤方偏移の強輝線銀河と比べ、詳細に性質を調べることが可能なため、再電離に寄与した高赤方偏移強輝線銀河を理解するための強力な手段である。強輝線銀河は、近傍では SDSS による大規模なサンプルが存在する。一方、中間赤方偏移においてはサンプル数が充分ではなく、これらの銀河の統計的性質にはまだ不明な点がある。そこで、本研究ではすばる望遠鏡の HSC すばる戦略枠プログラムの可視光 (grizy) 測光データに、u バンドおよび近赤外線のデータを組み合わせた u2k カタログを用いて、 $1 < z < 3$ における強輝線銀河の星質量、星形成率、環境などの進化を統計的に調べることを目的としている。一部の領域で初期解析として、[OIII] $\lambda 5007\text{\AA}$ の等価幅が 1000\AA を超える候補天体を JHK_s の 2 色図から選び、目視でスクリーニングを行うことで、17 個の強輝線銀河候補を発見し、これらの等価幅の分布を調べた。ポスターではこれらの天体の性質及び、他の赤方偏移の解析も紹介したい。また、本研究の発展として、将来 PFS 分光で行う輝線銀河の金属量や、電離パラメーター測定についても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z124b Probing Galaxy Evolution through Narrow Band Emitters with Subaru PFS

Ronaldo Laishram (Tohoku University)

The study of narrow band emitters through the Subaru Hyper Suprime-Cam Strategic Survey Program (HSC-SSP) provides valuable insights into star formation and galaxy evolution at various redshifts. By analyzing emission line galaxies, we can effectively map the large-scale structure, study star forming activities, and investigate their environmental dependencies. We demonstrate a novel method for estimating accurate redshifts of star-forming galaxies by measuring the flux ratio of the same emission line observed through two adjacent narrow-band filters. Additionally, we investigate the environmental dependence of star-forming activity, measure $H\alpha$ and stellar continuum sizes. We also explore the 3-D structure of the cosmic web at $z = 0.4$ using HSC triple narrow-band imaging. Additionally, we also study the morphology dependence of star forming galaxies with JWST NIRCAM. The future involvement of the Prime Focus Spectrograph (PFS) is proposed for follow-up studies on these emitters. Using PFS will enable detailed analysis of their chemical abundances and physical properties, thereby enhancing our understanding of galactic processes and evolution.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z125b Precise Determination of Extinction Correction and Plasma Diagnostics

Toshiya Ueta (Univ. of Denver), Masaaki Otsuka (Okayama Observatory/Kyoto Univ.)

Extinction correction is the quintessence of astronomy. To achieve precision astrophysics in plasma diagnostics and the subsequent abundance analyses, one must perform extinction correction properly before executing any emission line diagnostics. By making use of the mutually dependent relationship between extinction correction and plasma diagnostics, we establish a novel technique to determine the physical conditions of a line-emitting target and the extinction characteristics along the line of sight toward the target simultaneously and self-consistently. This approach is made possible by the exact analytical expressions for the extinction parameters in terms of the emission properties of the target, in conjunction with statistical optimization of the extinction parameters to pinpoint the robust physical conditions of the target. The proposed method is also self-contained, requiring measurements of four H I recombination lines at the very least, especially suited for faint targets such as distant galaxies in the context of the upcoming PFS survey.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z126b Do galaxies spin randomly?

Masanori Iye (Japan Academy), Masafumi Yagi (NAOJ), and Hideya Fukumoto (Open Univ.)

Analyses of the large-scale density perturbation through observations of CMB and galaxy distributions yielded the standard picture of Λ CDM model of the universe. Studies on the large-scale distribution of spin vectors of galaxies are of interest to further constrain the model of the universe. Spin vector of individual galaxy can be inferred by the ellipticity and the position angle of the minor axis of the image with unresolved four-fold degeneracy. Another complementary approach for spiral galaxies is to use spiral winding direction S-wise or Z-wise as projected on the sky plane. Since all the spiral features are trailing, not leading, this single bit of information provides robustly the sign of the line-of-sight component of the spin vector of the galaxy with two-fold degeneracy. This degeneracy is resolved if we know which side along the major axis of the galaxy is approaching to us. We have compiled spin catalog of $\sim 90,000$ spirals from the PanSTARRS ($z \leq 0.05$) and HSC images ($z \leq 0.3$) and tentative results of their analyses to look for any symmetry breaking in the distribution of spin vectors are reported. PFS observation of spirals with fibers positioned at the center and another exposure at a position offsetted along the major axis will provide tremendous increase of sampled galaxies with measured spin vectors for this kind of studies.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z127a AGN sciences with PFS-SSP galaxy evolution survey

Yoshiki Toba (NAOJ), Yoshiki Matsuoka (Ehime Univ.), Tohru Nagao (Ehime Univ.), Masayuki Akiyama (Tohoku Univ.), Kohei Ichikawa (Waseda Univ.), Mitsuru Kokubo (NAOJ), Hisakazu Uchiyama (NAOJ), Hideki Umehata (Nagoya Univ.), and PFS-SSP GE AGN subWG

Understanding when and how supermassive black holes (SMBHs) have formed and evolved in the history of the universe is one of the most critical issues in astronomy. To tackle this issue, it is essential to examine active galactic nuclei (AGN) in various evolutionary stages in all epochs without any selection bias and to reveal their physical and statistical properties by comparing them with theoretical models. From an observational point of view, a complete sample of AGN selected with multi-wavelength data is required. The PFS Subaru Strategic Program (PFS-SSP) will provide a unique opportunity to establish such a sample and achieve the above science goal. Toward the PFS-SSP galaxy evolution survey, we, the AGN sub-working group (WG), have launched 7 AGN projects covering (1) broad-line AGN, (2) X-ray AGN, (3) infrared AGN, (4) submillimeter AGN, (5) radio AGN, (6) variability AGN, and (7) narrow-band selected AGN. We have selected AGN targets from the HSC deep fields (i.e., COSMOS, XMM-LSS, DEEP2-3, and ELAIS-N1) based on color, magnitude, and/or photometric redshift cuts. According to the simulated PFS spectra, the proposed targets are expected to detect continuum/lines with moderately high SN given a 2-hour exposure time. In this talk, we present the current status of AGN sciences with PFS-SSP, such as the number of targets and possible science cases.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z128a Unveiling the formation and evolution of SMBHs with PFS and HETDEX

Yechi Zhang, Masami Ouchi (NAOJ), Chenxu Liu (YNU), Karl Gebhardt, Erin M. Cooper, Dustin Davis (UT Austin), Yuichi Harikane (UTokyo), et al.

Recent observational results from James Webb Space Telescope (JWST) have revealed a large population of AGNs at $z > 3$ that hosts supermassive black holes (SMBHs) with masses of $M_{\text{BH}} \sim 10^6\text{--}10^8 M_{\odot}$, ~ 1 dex more massive than expected if assuming the local relation of stellar mass (M_*) and MBH. However, due to the sample pre-selections and limited field of views, it remains unknown that whether high- z AGNs generally host overmassive SMBHs or these objects are selected with observational biases. To answer this question, a sample selected within a large volume and without continuum pre-selection is needed. In this talk we propose a synergetic study on the co-evolution of galaxies and SMBHs probed by faint type 1 AGNs at cosmic noon ($z \sim 2\text{--}3$) utilizing the untargetted integral spectroscopic survey of Hobby-Eberly Telescope Dark Energy Experiment (HETDEX) and the upcoming Subaru Prime Focus Spectrograph (PFS). Without any continuum pre-selection, HETDEX will provide ~ 2000 faint type 1 AGNs with spectroscopic confirmation and $M_{\text{UV}} > -22$ that are likely to host SMBHs with $M_{\text{BH}} \sim 10^7 M_{\odot}$ and not biased in M_* . With PFS covering the MgII emission lines redshifted to $z = 2\text{--}3.5$, we will precisely estimate their MBH. Combined with M_* derived from photometric data and forward modelling that accounts for observational uncertainties, we will determine the intrinsic $M_*\text{--}M_{\text{BH}}$ relation with data covering both the high- M_* , low- M_{BH} end and the low- M_* , low- M_{BH} end, constraining the galaxy-SMBH co-evolution throughout the cosmic time.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z129a すばる PFS で探る宇宙最大の低密度環境における銀河の形成進化

嶋川里澄 (早稲田大学), 井上開輝 (近畿大学), 西澤淳 (岐阜聖徳学園大学), 奥村哲平 (中央研究院), 伊藤慧, 柏川伸成, 武田佳大 (東京大学), 大栗真宗, 大里健 (千葉大学), 古澤久徳 (国立天文台), 宮武広直 (名古屋大学), 石川将吾 (京都大学)

大小様々な疎密構造が織りなす宇宙大規模構造では、銀河の見た目や性質が棲む環境によって系統的に異なることが古くから観測的に知られている。このいわゆる銀河の環境依存性 (棲み分け) の起源を探るべく、これまで宇宙遠方の高密度環境 (銀河団・銀河群) について長きにわたって研究がなされてきた。しかしその一方で、宇宙遠方の低密度環境 (ボイド領域) に関しては技術的な問題も相まって十分に調べられていない。本研究は宇宙マイクロ波背景放射の『コールドスポット』方向の超ボイドに加えて、すばる HSC, Euclid, Rubin/LSST がもたらす大規模データから見つかるであろうボイド候補領域をすばる PFS で徹底的に観測し、ボイド銀河に期待される独自の進化過程を検証する。すばる PFS の登場によって宇宙遠方のボイド銀河の形態や星形成活動、重元素量の系統的調査が初めて実現し、ボイド宇宙における銀河の環境依存性が明らかにされることで銀河形成の研究領域に新しい端緒が開かれるであろう。本講演では当該プロジェクトの目的と意義について触れるとともに、我々が実際にこれまですばる HSC データをもとに進めてきた様々なボイド研究の現状に関して、探査方法 (銀河数密度分布・弱重力レンズ解析・機械学習) および暫定成果 (Shimakawa et al. 2021ab, etc) をまとめて紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z130a Stellar populations of the brightest galaxies at intermediate redshift with PFS

小野寺仁人 (国立天文台), 小林千晶 (University of Hertfordshire)

近傍宇宙において、恒星質量 (M_*) が $10^{11} M_{\odot}$ よりも大きいような大質量楕円銀河は、年齢が 100 億年程度と古く、高い金属量および α 元素組成比 ($[\alpha/\text{Fe}]$) を示すこと、また、これらの恒星種族パラメータと恒星質量の間に正の相関があることが知られている。SDSS や DESI などの大規模な可視分光サーベイ観測によって $z \lesssim 0.7$ 程度まではこれらの恒星種族パラメータの分布や進化がよく調べられているが、より遠方では大質量楕円銀河の数密度が少ないことや、 α 元素組成比の測定には近赤外線での観測が必要なことなどから大規模なサンプルの構築が困難であった。我々は PFS 観測時に発生が予想される余剰ファイバーを用いて、1000 天体を越える大質量楕円銀河の恒星種族の測定を $z \simeq 1$ まで拡大する観測を計画している。これは 10 平方度程度を重点的に観測し、低質量銀河まで含めたさまざまな銀河を観測する PFS-SSP 銀河進化サーベイとは相補的な役割をもつ。このような大質量楕円銀河は i バンドで 21.5 等と非常に明るいので、公開されているシミュレータをもちいた計算によれば、15-30 分の積分で $S/N \gtrsim 5 \text{ \AA}^{-1}$ を達成することができる。シミュレーションによって得られたスペクトルに対して恒星種族モデルによるフィッティングをおこなったところ、年齢と金属量を ~ 0.1 dex の誤差で測定できることがわかった。また、フィッティング結果から特に明るく S/N の高いものについてはその星形成史についてもよく再現できることを確認した。これらの結果を用いて、 $0.6 \lesssim z \lesssim 1$ における最も大質量な楕円銀河の恒星種族パラメータの分布を詳しく調べ、星質量、星形成史、環境などとの関係を明らかにすることを主な目的としている。本講演では、観測提案について紹介し、恒星種族パラメータや星形成史のシミュレーション、および取得された結果をもちいておこなう科学目標について紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z131a A study of recently quenched galaxies in preparation for PFS survey

Zhiying Mao (NAOJ)

Quenching is the process where galaxies suppress their star formation activities, which is critical for galaxy evolution. Recently quenched galaxies (RQGs), as a transitional population between quiescent and star-forming galaxies, can efficiently deliver information of quenching processes. In this work, we try to understand the quenching and its mechanism through study of RQGs.

A statistical sample of RQGs is necessary for studying mass and environment dependence of quenching. However, the rarity and sparseness of RQGs hampers statistical spectroscopic analysis. PFS will be an ideal solution for this problem. As a pilot work, we conduct a statistical photometric study of RQGs. Using the rest-frame UVJ diagram, we select RQGs from the centre to the outskirts of X-ray detected clusters and groups at redshift 0.5-1.5 and divide them by the quenching timescale. This method is preliminarily confirmed by existing spectra. We also conduct analysis on photometrically selected RQG candidates. We find that quenching depends on stellar mass at all redshift, while environmental dependence only appears at $z < 1.0$. We further investigate galaxy structure using HST images. We find that RQGs with different quenching timescales show different behaviors in structure transformation, indicating they are driven by distinct mechanisms.

The upcoming PFS' will enable us to carry out a spectroscopic survey of RQGs. Its large FOV can significantly improve the efficiency of survey. With statistical RQG spectroscopic data, we can interpret the quenching scenario better.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z132r Revealing the chemical diversity in the outer halo

Miho N. Ishigaki (NAOJ), the PFS Galactic Archaeology Working Group

Elemental abundances in old stellar populations in the Milky Way Galaxy provide valuable insights into the nucleosynthesis and chemical enrichment in the earliest epoch of the cosmic star formation history. Thanks to recent wide-field surveys of the stellar populations in our Galaxy, phase-space coordinates and chemical abundances of stars primarily in the Galactic inner halo ($\lesssim 10$ kpc) have become available, which can be used to infer the properties and the timing of the past dwarf galaxy accretion events to our Galaxy. On the other hand, kinematics and chemical abundances in the Galactic outer halo remain largely unexplored because of the faint apparent magnitudes for the vast majority of stars (e.g., main sequence stars).

The Prime Focus Spectrograph of Subaru Telescope has a unique capability of measuring chemical abundances in main-sequence and giant stars in the outer halo, which is essential to characterize the chemical diversity among Galactic old stellar populations. In this talk, I will review the implications for the metal enrichment in the early universe from observed chemical abundance measurements in the Galactic halo stars, specifically focusing on the prospects of revealing the chemical properties in the outer halo with PFS.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z133a The Zero Enrichment Rare Objects (ZERO) survey - I

富永望, 石垣美歩 (国立天文台), 小上樹 (総合研究大学院大学), 千葉証司, 鈴木善久 (東北大学), 小宮山裕 (法政大学), Rosie Wyse (JHU), and the ZERO survey group

金属欠乏星は金属量の少ない宇宙初期に形成された低質量星であり、現在の宇宙に宇宙初期の元素組成を伝える。その元素組成や金属量分布によって宇宙初期の化学進化や初代星の初期質量関数を明らかにすることができる。そのため、これまで様々な金属欠乏星探査・追観測が行われてきた。また、近年の初代星形成計算では、初代星周りの円盤において分裂が起き低質量星が形成される可能性も示唆されている。このことは、低質量初代星が銀河系内に残されている可能性を示し、より完全性の高い金属欠乏星探査が求められている。

近年特に注目を集めているのは、狭帯域フィルターを用いた金属欠乏星探査である。狭帯域フィルターを用いた探査観測はファイバー分光やスリットレス分光を用いた探査観測と異なり、視野内の全ての星の情報が得られ、また短時間で深い観測が可能となる。実際に、4m 望遠鏡を用いた Pristine survey や 1.3m 望遠鏡を用いた Skymapper survey による狭帯域測光探査は大きな成功を収めている。

そこで、私たちはすばる Hyper Superime-Cam (HSC) と狭帯域フィルターを用いた The Zero Enrichment Rare Objects (ZERO) survey を行っている。ZERO survey は、8m 望遠鏡であるすばるを用いることで、Pristine survey に比べて1等深い $g = 22$ の星まで観測が可能である。これにより、矮小銀河なども含むより遠方の天体の情報を得ることが可能となる。本講演では、2021年9-10月に行った21視野(30平方度)の観測の詳細、および金属欠乏星候補の選択について報告する。さらに ZERO survey で発見された金属欠乏星候補のすばる PFS を用いた分光追観測に対する展望を述べる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z134a Statistics of Li-enhanced stars

Wako Aoki (NAOJ)

リチウム (${}^7\text{Li}$) は高温な環境となる恒星内部では破壊されるため、内部との物質混合が進むと恒星表面のリチウム組成は一般に低下する。表面对流層の薄い低金属の主系列星では、星が誕生した当初のリチウム組成（ビッグバン元素合成起源と考えられる）がある程度保存されているが、太陽のような金属量の高い星では主系列段階でもリチウム組成は低くなる。さらに、赤色巨星に進化すると内部との混合が進むため、表面のリチウム組成は低下する。ところが LAMOST や GALAH などの分光サーベイにより、小質量星でリチウム組成が桁で高くなっている例が多数見つかった。その頻度は 1 パーセントに満たないとみられるが、上述のように表面のリチウム組成は一般的に低下することを考えると、小質量星の進化のある段階でリチウムが生成され、表面の組成が一時的に大幅に増える現象が一般的に起こっている可能性もある。我々が LAMOST とすばる望遠鏡を用いて進めてきた研究により、金属量の高い星についてはリチウム過剰天体の検出例が多数あり、その多くがヘリウムコア燃焼が起こる段階 (red clump 段階) にあることが分かっている (Yan et al. 2021, *Nature Astronomy* 5, 86)。一方、金属量の低い星では、サンプルは小さいものの、リチウム過剰天体が赤色巨星段階に幅広く見られ、中には主系列段階に近いものもある (Li et al. 2018, *ApJL* 852, 31)。いずれにしても、小質量星でリチウム組成を大幅に増やすプロセスは未知であり、その解明にはサンプルを増やし、統計的な研究を行うことでリチウム過剰となる条件を制約していく必要がある。リチウム組成が桁で増えているような星は PFS の波長分解能で十分検出可能であり、銀河系のハローをはじめとする副構造や矮小銀河の星の観測のなかで多数見つかる期待される。それらを集積して星の進化段階や金属量等とリチウム過剰星の頻度や組成の増加量との相関を明らかにする。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z201r 機械学習、観測、シミュレーションの融合による新たな天文学にむけて

大須賀健 (筑波大学)

現代の天文学は、機械学習の導入により急速に発展しています。観測的研究の分野では、膨大なデータの解析や天体の分類、天体情報の抽出などで、機械学習が研究の効率を著しく向上させています。数値シミュレーションにおいても機械学習の導入が進んでおり、2023 年 4 月には、「富岳」成果創出加速プログラム「シミュレーションと AI の融合で解明する宇宙の構造と進化」が始まりました。このプログラムでは、「富岳」を駆使した大規模シミュレーションと機械学習の技術を活用し、新たな成果へと結びつけることを計画しています。機械学習の利用法の一つ目は、高精度シミュレーションと機械学習の融合による、高精度で高効率なシミュレーションの実現です。「富岳」を用いた大規模で高精度なシミュレーションの結果を教師データとし、機械学習モデルを構築します。これを実装すれば、高精度な効果を維持したまま、効率的なシミュレーションが実現可能となります。これまで実現不能であった長時間計算、大領域計算、広域パラメータサーベイが可能となるでしょう。中規模のスーパーコンピュータを用いたシミュレーションで、「富岳」と同等の高性能計算が実現できる可能性もあります。二つ目は、模擬観測と機械学習を駆使した観測データからの天体情報の導出です。シミュレーション結果を元に、観測結果を理論的に生成し（いわゆる模擬観測）、その結果を教師データとして徹底的に機械学習しておきます。これにより、実際の観測データからその天体の情報を限界まで導出することが可能となります。講演では、「富岳」成果創出加速プログラムを紹介しつつ、機械学習と観測、シミュレーションの融合による新時代の天文学について議論します。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z202a 相対論的磁気流体計算における反復解法の機械学習による初期値推測

松本洋介 (千葉大学), 松本仁 (慶應義塾大学), 高橋博之 (駒澤大学)

宇宙における高エネルギー現象を明らかにする上で、相対論的磁気流体 (RMHD) シミュレーションは欠かせない技術となっている。近年広く使われる RMHD コードには、衝撃波捕捉法を組み込んだ有限体積法が広く採用されている。方程式を保存形式で解く本手法は、保存変数 (運動量、全エネルギーなど) と基本変数 (速度、圧力など) を保持する必要があるが、RMHD 方程式系では保存変数から基本変数を求めるために非線形方程式を数値的に解く必要があり、そのアルゴリズムが数値的安定性を決める要因の 1 つとなっている。

非線形方程式を解く手法としてニュートン・ラフソン法による反復法が採択されるが、初期推測値をどのようにして与えるかという一般の問題が残される。時間発展を追うシミュレーションでは、前時間ステップの値を初期推測値として選ぶ方法がしばしば取られるが、ダイナミックに変動する高エネルギー現象の計算では数値的に不安定であることが示される。そのような中、ある条件下では Mignone and Mckinney [2007] で提案された手法が一定の成功を取っている。

本研究では、基本変数変換における初期推測値をニューラルネットワーク (NN) の予測で与える手法を提案する。ランダムに生成した基本変数から保存変数を代数的に求めることで学習データを大量かつ高速に作成し、それらを反転して、保存変数を入力として基本変数を予測する NN を設計・学習した。学習済みの NN のパラメータを特殊相対論 MHD コード (Matsumoto and Masada, 2019) に取り組み、初期推測値の推定法による比較を行った。その結果、1 次元衝撃波管問題、2 次元 Rotor 問題等のテスト計算で従来の手法と同じ結果を得ることができた。本発表では、NN の学習の詳細とジェット伝搬の実問題への応用における性能評価を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z203a 機械学習を用いたエディントンテンソルの推定

上野航介, 朝比奈雄太, 大須賀健, 矢島秀伸, 福島肇 (筑波大学)

ブラックホール天体をはじめ、光度の大きな天体の形成や進化の問題を解明するためには輻射流体力学計算が必要であるが、ここでは輻射場を正確に解くことが重要となる。輻射場を計算するために、昨今、広く用いられているのが M1 closure (M1) 法 (González et al. 2007) である。M1 法は、0 次と 1 次の輻射モーメント量をもとにエディントンテンソルを近似的に求めている手法であり、光学的に薄い場合や輻射が非等方な場合には正確に解くことができないことが示されている (Asahina et al. 2020)。輻射輸送方程式を解くことで得られた輻射強度からエディントンテンソルを求める Variable Eddington Tensor (VET) 法 (Stone et al. 1992) は、正確な輻射場を得ることができるが計算量が多いという難点がある。エディントンテンソルを介さずに、輻射場を直接計算する輻射輸送直接法 (Jiang et al. 2014a, Ohsuga & Takahashi 2016) も提案されているが、計算量が多くなるという困難は回避されていない。

そこで本研究では、機械学習を用いてエディントンテンソルを推定し、正確且つ高速に輻射場を計算する手法を開発する。具体的には、輻射輸送直接法を実装した輻射流体力学計算で得られた輻射場と流体場を説明変数とし、エディントンテンソルを目的変数とした機械学習を行う。こうして作成した機械学習モデルが、エディントンテンソルを正確に推定できるか否かを検証する。M1 法で解けないことが知られている 2 本の光線が交差するテスト計算を行ったところ、光線の角度が教師データと等しい状況では精度よく計算できるが、異なる場合は正しく計算できないという結果が得られた。降着円盤の計算においては、部分的に M1 法よりも高い精度を示すことがわかった。講演では、テスト計算の結果についてより詳しく報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z204a 機械学習手法による天体内部熱対流モデルの検討

政田洋平 (福岡大学), 本武陽一 (一橋大学), 仲田資季 (核融合科学研究所)

対流は天体内部のエネルギー輸送を決定づける極めて重要な物理現象である。例えば、太陽の熱対流は外層部分のエネルギー輸送を担い、その by-product である多彩な太陽活動現象の原因になる。また、超新星の爆発理論においても熱・組成対流によるエネルギー輸送は爆発の成否を握る決定的な要素である。しかし、対流を記述する理論モデルは未だ確立されているとは言い難い。恒星の進化学理論は、勾配拡散型の乱流エネルギー輸送と古典的な混合距離理論にもとづき構築されているが、その正当性について多くの疑問が投げかけられている。太陽物理分野の大問題 “Convection conundrum” はその良例と言える (e.g., Rast 2020)。混合距離理論は、太陽対流層において階層的なマルチスケール熱対流が発達することを予言するが、特に低波数モード (巨視的スケール) において、理論と観測の間に大きな乖離が見られる (観測される対流のパワーが理論予測に比べて極めて弱い)。天体内部の熱対流および対流エネルギー輸送を正しく理解すること、それが我々の研究の一貫した目的である。

太陽の場合、実は熱対流には二種類の possible な駆動モデルが存在する。局所的なエントロピー勾配によって駆動される熱対流モデルと、輻射によって駆動される非局所・非平衡型の熱対流モデルである (Yokoi et al. 2022)。恒星進化学の礎になっているのは前者であるが、convection conundrum など、混合距離理論と現実の矛盾を受け、近年、後者の見直しが進みつつある。天体内部の対流エネルギー輸送を正しく理解するために、現在我々は複数の機械学習手法を使って熱対流の駆動モデルの検証を進めている。例えば、位相的データ解析手法 (topological data analysis) によると、太陽熱対流の観測データはパーシステント図上で冷却駆動型の熱対流モデルと整合的な振る舞いを示す。本講演では、特異値分解を使った熱対流モデルの検証結果などについても議論する予定である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z205a Gaia XP スペクトルから推定する化学組成情報

服部公平 (統計数理研究所)

銀河系における化学組成を多数の恒星に対して測定することは、銀河系の進化を探索する上で重要である。2000 年代以降、大型望遠鏡や専有望遠鏡を用いたサーベイにより、銀河系の 1000 万天体程度の星の化学組成が測定されてきた。このような従来の測定では、星のスペクトルを分光観測し、得られたスペクトルにおける吸収線の深さ等をもとに化学組成を決定しているため、特に暗い星に対しては十分に長い観測時間が必要である。すなわち、化学組成を多数の恒星について決定することは観測コストが高い。Gaia DR3 では、波長分解能の低い ($\Delta\lambda/\lambda = 50-100$) XP スペクトルが 2 億天体について公開された。これらのスペクトルは、波長分解能が悪いために個々の元素の吸収線を分解することはできず、従来のような手法で化学組成を推定することはできない。しかし、分光観測によって化学組成が既知の星に対しても XP スペクトルは入手できるため、これらのデータを教師データとし、機械学習によって XP スペクトルから化学組成を推定することが可能となる。我々は、主に APOGEE DR17 のデータを教師データとして用い、XP スペクトルから化学組成 ($[M/H]$, $[\alpha/M]$) を推定するモデルを構築した。そして、主にダスト減光が小さい領域に存在するおよそ 4000 万天体について化学組成を推定した。得られた星のカタログは、多次元化学組成が推定されているカタログとしては最大級であるが、一部の星については推定された化学組成の信頼度が低く、引き続き改良が必要である。講演では、銀河系の星の力学情報を用いてこのカタログの信頼度を検証した結果も紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z206a 機械学習アルゴリズムを用いた分子輝線データからの H_2 柱密度の予測 -高密度領域の予測精度の改善-

島尻芳人 (九州共立大学), 川西康友 (理化学研究所), 藤田真司 (IoA), 大西利和 (大阪公立大), 宮本祐介 (福井工業大), 西村淳, Doris Arzoumanian (NAOJ), 伊藤篤史 (核融合科学研究所), 井上剛志 (甲南大), 竹川俊也 (神奈川大), 金子紘之 (上越教育大/国立天文台), 徳田一起 (九州大), 山田麟, 立原研悟, 出町史夏 (名古屋大), FUGIN AI チーム, Nobeyama-CIRCUS チーム

ハーシェル宇宙赤外線による近傍 ($d < 500$ pc) 星形成領域に対する探査観測により、観測したすべての分子雲でフィラメント構造が検出された。さらに、これらのフィラメントは、0.1 pc という特徴的な幅を持つことが示された。測定に用いるトレーサーが異なると同じフィラメントを測定しても幅が異なることも明らかになっている。そのため、この幅の普遍性を明らかにするには、大質量星形成領域にあるフィラメントの幅を近傍星形成領域と同様に連続波観測で測定する必要がある。しかし、連続波で、数 kpc にある大質量星形成領域の 0.1 pc 幅のフィラメントを十分に空間分解し、広がった構造も再現できる観測装置がない。この問題に対処するため、分子輝線データから、 H_2 柱密度を予測するため、機械学習の手法としてランダムフォレストを発展させた Extra Trees Regressor を活用し、 ^{12}CO , ^{13}CO , $C^{18}O$ (1-0) 分子輝線データから H_2 柱密度を予測するモデルを構築した。しかし、このモデルでは、密度が高いフィラメントの構造を再現することができなかった。そこで、おうし座分子雲 B211/213 フィラメントに対して、追加観測データを取得し、 $H^{13}CO^+$ (1-0) などの高密度トレーサーの分子輝線データを学習に加えることで新しい予測モデルを構築した。結果、高密度領域の H_2 柱密度予測精度を大幅に改善することに成功した。本講演では、予測された H_2 柱密度の構造について詳細に議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z207a 深層学習を用いた赤外線リング構造の同定

西本晋平, 上田翔太, 大西利和 (大阪公立大学), 藤田真司 (IoA), 西村淳 (NAOJ), 徳田一起 (九州大学), 川西康友 (理化学研究所), 島尻芳人 (九州共立大学), 宮本 祐介 (福井工業大), 金子紘之 (新潟大学), 伊藤篤史 (核融合科学研究所), 井上剛志 (甲南大学), 竹川俊也 (神奈川大学), FUGIN AI チーム

赤外線リング構造は、大質量星が形成する若い H II 領域を有しており、大質量星形成のメカニズムを解明する上で重要である。赤外線リング構造は、Milky Way Project (MWP) と呼ばれる市民参加型の大規模調査により、銀河面の一部で 2600 個が人の目によって同定されている (Jayasinghe et al. 2019)。しかし、このような同定手法は、JWST 等の新たな観測データに対する検出に多くの時間を要するだけでなく、見落とし等の問題も生じる。そこで、我々は深層学習手法のうち物体検出に長けた Single Shot MultiBox Detector (Liu et al. 2016) を用いて赤外線リング構造検出モデルを構築し、短時間かつ高精度なリング同定を試みた (2022 年度 春季年会 Q07a)。

前回のモデルでは Cygnus X 領域に適用した際、MWP 天体の約 7 割や未検出リングを同定できたものの、点源や明らかに赤外線リング構造とは異なる構造も多く同定した。この問題に対処すべく、我々は教師データに使用するリングデータと非リングデータの修正を行った。具体的には、教師データに使用する MWP 天体のうち明瞭な天体のみを使用することで、明らかな誤検出の個数を著しく抑制することを可能とした。さらに、非リングデータは MWP 天体以外の領域からランダムに切り出しており、未検出リングを多く含んでいる。それらの未検出リングを含む非リングデータを除去することで、より誤検出の個数を抑制し、MWP 天体の検出率を約 8 ポイント向上させたモデルの構築を実現した。本講演では、性能向上に向けた技術的アプローチの有効性について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z208a 原始惑星系円盤の電波干渉計画像再構成への機械学習アプローチ

関口瑞希, 奥住聡 (東京工業大学), 塚越崇 (足利大学), 百瀬宗武 (茨城大学), 武藤恭之 (工学院大学)

原始惑星系円盤は惑星の誕生の場と考えられており、その物理的構造を精密に解明することが、惑星系の形成メカニズムを理解する上で重要である。最近、大型電波干渉計 ALMA による高精度な観測が実施されている。干渉計による観測では輝度分布のフーリエ成分の一部分しか捉えることができず、それに伴うサイドローブパターンの影響は無視できない。したがって、欠損したデータから実際の輝度分布を再構築する作業が不可欠である。

この再構築には、伝統的に CLEAN と呼ばれる手法が用いられてきた。しかし、CLEAN では解の推定に解析者の主観が入りやすく、過学習を避けるために解像度を犠牲にする処理を必要とする。本研究では、この課題に取り組むために機械学習を活用した新規の方法を提案した。具体的には、画像深層学習用のニューラルネットワークである U-Net を採用し、モデルとして与えた円盤輝度分布を模擬観測した dirty image を入力として与え、サイドローブパターンの中から輝度分布を復元させる学習を行なった。

U-Net による再構築の実験を行なった結果、この手法の重要な利点が 3 つ確認できた。まず、U-Net はガウシアン型の輝度欠損の位置や幅を精度よく再現できることがわかった。具体的には、CLEAN 法と比較した際、位置や幅の再現における相対誤差は 1/4 以下であった。次に、U-Net は学習データに含まれていない形状や詳細構造を含む円盤輝度分布も適切に再現する能力を持っていることがわかった。これは、モデルが学習データに過剰に依存せず、一般性を有していることを示している。最後に、U-Net は SN 比が 10 から 30 ほどの輝度分布に対しても有効に機能し、低 SN 比データの精密な解析にも適用できる可能性が示された。これらは、我々の機械学習を用いた干渉計画像構成手法が、原始惑星系円盤に限らない様々な天体に適用できる可能性を示唆している。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z209a A Flexible Galaxy Formation Model for Field-level Inference

Suchetha Cooray¹ and Peter Behroozi^{1,2}

(1: National Astronomical Observatory of Japan, 2: University of Arizona)

There is a strong motivation to extract the maximal information from observed images of telescopes. In traditional analysis, however, we discard most of the observations due to the difficulty in handling the high-dimensional image data. With recent advancements in machine learning architectures, we can perform inference at the pixel level (**field-level inference**). To accomplish this, I am developing a flexible galaxy-halo connection model that simulates galaxy field images by modeling consistent galaxy growth histories within cosmological structure formation. This model builds on the UNIVSE MACHINE (Behroozi et al. 2019) and adds dark matter halo property-dependent dust, metallicity and morphology to derive galaxy field images from dark matter-only simulations. SEDs are calculated using a Stellar Population Synthesis code, and SED-conditioned galaxy images are produced by a conditional denoising diffusion model. Key outcomes of the model include a fully physical, self-consistent picture of galaxy stellar masses, star formation histories, dust, and metallicity from $z = 0$ to 15; significantly reduced uncertainties on the evolution of galaxies in dark matter halos; and mock catalogs and images for arbitrary current and future surveys that match the latest observations.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z210b 超新星シミュレーションにおける AI サロゲートモデル

原田了 (理化学研究所), 滝脇知也 (国立天文台), 政田洋平 (福岡大学), 横井喜充 (東京大学), 山田章一 (早稲田大学)

大質量星の最期の爆発である重力崩壊型超新星爆発は、その複雑さのために、爆発メカニズムがまだ完全には解明されていない。有力仮説であるニュートリノ加熱メカニズムにおいては、重力崩壊とコアバウンスを経て中心に形成される原始中性子星から放射されるニュートリノが、一旦停滞してしまうバウンス衝撃波を加熱することで、爆発が起こると考えられている。さらに、衝撃波下流で発生する乱流が様々な効果でニュートリノ加熱を助けることで、近年の多次元シミュレーションにおいて実際に爆発する様子が見られるようになってきている。しかしながら、現在のシミュレーションでも爆発エネルギーやニッケル生成量といった観測量とそのバラエティを説明することはできず、精密かつ系統的な理論モデルを構築して、観測を説明できるかを調べる必要がある。

理論モデル構築の上で重要なのはニュートリノ輸送と乱流の取り扱いであり、これらの精度とモデルの系統性を両立させることは難しいが、AI サロゲートモデルはそれを実現する強力な手法となることが期待されている。すなわち、高精度な理論シミュレーションを少数行つた上で、それを教師データとして AI を訓練することで、低コストで高精度計算のニュートリノ輸送や乱流を再現するようなサロゲートモデルを構築できると期待される。この AI サロゲートモデルによって多数のモデルを計算することで、精度と系統性を両立させた理論モデルを構築できるのである。本講演では、こうした目的に向けた計画やその途中経過について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z211b Physics Informed Neural Network を用いた陰解法の初期値推定

朝比奈雄太, 波多野智, 大須賀健 (筑波大学)

超大光度 X 線源など光度の明るい天体の構造や時間進化を解くためには流体力学計算だけではなく輻射輸送も同時に計算する必要がある。流体と輻射は散乱・吸収過程を通じて相互作用する。流体が光学的に厚い場合には相互作用のタイムスケールが移流のタイムスケールより短くなるため、陽解法ではなく陰解法を用いてエネルギー・運動量保存則を解いている。具体的には 4 変数のニュートン法を用いて、エネルギー・運動量保存則が成り立つまで、圧力と速度を変化させながら反復させて解く。しかしニュートン法の問題点として、初期値の値によっては収束に時間がかかる、または収束しない場合もあるという課題がある。そこで、我々は機械学習モデルを用いて収束点に近い初期値を推測することで、収束の高速化及び安定化を図ることを考えた。

本研究では損失関数としてエネルギー・運動量保存則を採用し、損失関数を小さくするように学習することで、エネルギー・運動量保存則を満たす推定値 (圧力と速度) を出力するようなニューラルネットワーク (Physics Informed Neural Network) を構築する。教師ありの機械学習では、推定値と正解値の差を損失関数に用いるため、あらかじめ陰解法によって正解値を用意しておく必要があるが、本研究の手法では事前に正解値を求める必要はない。解くべき式をそのまま損失関数としているからである。本講演では構築したニューラルネットワークの詳細や 2 次方程式を損失関数としたテストの結果、及びエネルギー・運動量保存則を損失関数とした結果について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z212b 機械学習による散乱光シグナルを用いた吸収体の逆問題解析

近藤謙成, 矢島秀伸, 福島肇 (筑波大学)

天文観測では、水素ライマンアルファ輝線などのように多重散乱を経て観測される強い散乱光シグナルが数多く存在する。そのような、散乱光シグナルを用いて、星間ガスの状態、特にダストを含む高密度ガス雲のような吸収体の情報を得る逆問題解析ができれば新しい研究手法として非常に強力である。本研究では、類似問題として生体光イメージングの画像再構成に着目し、機械学習を用いた研究を行った。

画像再構成とは、生体内組織の空間的な分布を、その物理量に関係した別の物理量を頼りに数学的に推定する方法である。しかしながら、光の伝播は散乱が支配的であるため、光のシグナルから生体組織の情報を引き出すことは簡単ではない。画像再構成のための逆問題解析は複数回の反復計算を必要とする手法が従来採用されていた。そこで本研究では画像再構成を反復計算のいらぬ機械学習を用いて研究を行った。

本研究では、生体模擬物質の輻射輸送シミュレーション結果の検証を行った。空間 2 次元上の 9 つの地点のいずれかに直径 5mm の吸収体を配置し、生体表面側の 4 箇所検出器で波形を測定した。測定位置での吸収体位置による波形データの違いから機械学習を用いて吸収体の位置を当てるところを試みたところ、ある程度の深さまでは吸収体の位置を予測することができた。

同様の条件下、直径 4mm の吸収体を 1 つ配置しその位置判定を機械学習を用いて行った。波形データそのものを学習データとして機械学習を行うと精度が悪く、波形の生データからの吸収体位置判定を行うことは不可能であった。そこで吸収体をおいていない状態での波形データを基準として測定位置での波形データを規格化し、波形データの差分を大きくしたところ、精度の向上を確認することができた。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z213b 説明可能 AI で探る太陽高エネルギー粒子の発生条件

加藤裕太 (富士通株式会社), 草野完也 (名古屋大学), 光田千紘, 石原康秀 (富士通株式会社)

富士通株式会社と東海国立大学機構は、より活性化する地球圏や月、火星、惑星間空間での人類活動の安全確保を見据えた宇宙天気分野における共同研究を実施している。太陽高エネルギー粒子 (Solar Energetic Particle; SEP) は、太陽フレアやコロナ質量放出といった太陽の突発現象に伴い発生し、人体への被ばくや宇宙システムへの障害といった影響を及ぼす、宇宙天気分野における重要な研究対象である。

我々は、SEP の伴うフレアの条件を探るため、富士通研究所の開発する説明可能 AI である Wide Learning (*1) を適用した。Wide Learning は、発見科学の主要技術である「列挙」を特徴とした高精度な予測・分類を行うアルゴリズムであり、自然科学の分野への適用によってこれまで見逃されていた条件の発見や、新たな知識の獲得が期待される。宇宙天気予報などの予測業務においてはその意思決定における加速などが期待される。

我々は、太陽活動第 24 周期における NOAA SWPC 掲載の > 10 MeV, > 10 pfu を満たすプロトン現象に紐づいているフレアを陽性、そうでないフレアについて陰性としたカタログを作成し、計 57 特徴量での分類タスクを実施した。特徴量作成には X 線や磁場に関する観測データおよび、「不老」(*2) を用いたシミュレーションデータを使用した。本講演ではこれらの実施結果および、発見された特徴量の条件について発表する。

(*1 <https://www.fujitsu.com/jp/documents/about/resources/publications/magazine/backnumber/vol70-4/paper08.pdf>)

(*2 名古屋大学情報基盤センターが導入したスーパーコンピューター。Type I サブシステムは「富岳」の技術をベースとしている。)

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z214b Physics-informed Neural Networks による天体軌道予測と銀河系中心への応用

江山晋世 (福岡大学), 政田洋平 (福岡大学)

Physics-informed Neural Networks (PINN) とは、物理法則 (すなわち微分方程式) の情報を損失関数の形で組み込んだ機械学習モデルであり、NN が物理法則を模擬する形に最適化されるため、高い解釈性を持つ (e.g., Raissi 2017a,b)。初期条件・境界条件以外は学習データを必要としない点も従来の NN モデルとの大きな違いであり、逆に学習データがある場合には、PINN の学習フレームワークを、未定係数を含む方程式に制約を加える形 (inverse-PINN : iPINN) で、heuristic に活用できる。近年、PINN の天体物理への応用が進みつつある。Galikyan et al. (2023) では、PINN を用いた天体の軌道運動予測や iPINN を用いた軌道パラメータの推測、さらに観測データの回帰分析と物理モデルとの比較に基づく宇宙定数 Λ の推定を行っている。

本研究の目的は、銀河系中心付近の恒星の軌道運動の観測データに iPINN を応用し、一般相対論効果を含む中心重力源の物理特性 (例えばメトリックやスピンパラメータ) を解明することである。その目的の実現に向けて、我々はまず天体のケプラー運動の PINN モデルによる予測を試みた。その結果、学習用データとして PINN に与える初期条件の多様性、および損失関数の与え方が PINN の予測精度に大きな影響を及ぼすことがわかった。本講演では、天体の軌道運動を PINN モデルで正確に予測するために必要な学習用データについてまとめるとともに、天体の軌道運動の観測データに iPINN を応用した結果についても議論する予定である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z215b ジェームズウェッブ宇宙望遠鏡と機械学習による遠方渦巻銀河探査

佐藤理究, 嶋川里澄, 井上昭雄 (早稲田大学), 森下貴弘 (Caltech/IPAC)

銀河の形態とは銀河の構造や形状のことであり、銀河のもつ様々な性質や物理量、環境などとの関係性について研究が行われてきた。銀河の形態進化の研究はこれまでの宇宙において銀河がどのように形成進化してきたのか理解する上で重要である。銀河の形態の代表的な例には渦巻構造を持つ渦巻銀河がある。また、銀河の形態研究では機械学習技術が銀河の形態分類に応用されており、人間の目による分類に比べて人的・時間的なりソースをかけずに形態分類を行うこと可能である。本研究はジェームズウェッブ宇宙望遠鏡 (JWST) で観測された銀河の中から機械学習を用いて渦巻銀河を発見し統計的な議論を行うことや、その中から特に宇宙初期にある渦巻銀河を発見することを最終的な目的とする。JWST/NIRCam の COSMOS-Web (PIs: Kartaltepe & Casey) の画像と Galaxy Zoo Hubble (Willett et al. 2017) の COSMOS 領域の銀河形態カタログを教師データとして畳み込みニューラルネットワーク (CNN) を用いた教師あり学習を行い、様々な観測データにおいて渦巻銀河を探査する。

本講演では 2023 年 6 月時点で公開されていた COSMOS-Web の画像に対する初期の画像分類の結果について報告する。COSMOS2020 カタログ (Weaver et al. 2022) において $z \approx 2.5-3.5$ である銀河サンプル約 1800 個に対して分類を行った結果、渦巻銀河候補は 20 個程度しか発見できなかった。しかし発見された候補の中には星質量が $\log(M_*/M_\odot) \sim 11.4$ 、測光赤方偏移が $z_{\text{phot}} \approx 2.6$ 程度と推定される大質量の渦巻銀河候補が含まれていた。このような銀河の報告数はまだ少なく、今回用いた手法を他の画像にも用いることで同様の銀河を他にも発見することが期待できる。本講演では今回用いた機械学習の手法や今後の展望についての議論も行う予定である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z216r 機械学習を用いた太陽フレア予測の現状と今後の展望

西塚直人 (情報通信研究機構)

太陽観測データの大容量化と共に、近年、機械学習手法を応用した予測や解析手法の開発が進んでいる。太陽フレア発生の予測は長年の課題であり、太陽観測画像に機械学習を適用することで、人手による予報精度を超えたより高精度な予測が可能になってきた。従来の太陽物理研究では太陽フレア発生機構の素過程を解明する研究がされてきた。それらの知識や経験を土台として、太陽フレア前の黒点磁場やX線観測データに前兆現象として現れる特徴を大量データから抽出して学習させることによって、より高精度な予測を可能にした。さらに同技術は現在運用化され、情報通信研究機構で行う毎日の宇宙天気予報会議でも活用されている。

同予測モデル Deep Flare Net では、(1) X線、紫外線、可視光で観測した太陽コロナや光球磁場の観測データから黒点周辺の活動領域を自動検出し、(2) 各領域から 79 個の物理特徴量を抽出、(3) それらを深層学習に入力することで 24 時間以内に発生する最大規模のフレアの予測を行う。予測評価尺度としては True Skill Statistics (TSS) が用いられる。従来の人手予測では 0.50 程度であったが、機械学習を用いることで M クラス以上のフレアに対して 0.80 の精度達成に成功した。さらに運用予測結果の評価でも 0.70 以上の達成が確認された。

近年は、国際的なベンチマークテストも行われ、標準的な評価尺度の選定が改めて課題となっている。また、Transformer 等の新技術導入による予測精度の向上や、逆に計算の軽量化による IoT 端末や人工衛星上で利用可能な予測技術の開発へと進展している。現状のフレア予測は 1 日予測に限定されているが、将来的には 3 日以上予測期間の伸長や、太陽放射線や地球大気への影響を予測することも期待されている。本講演では機械学習を用いた太陽フレア予測研究のこれまでの進展と現状、今後の展望について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z217r 重力波データ解析への人工知能・機械学習の応用

高橋弘毅 (東京都市大学)

重力波の探索では、一般に、非常に大きなノイズの中から重力波信号を見つけ出す必要がある。地上の検出器の主要なターゲットであるコンパクト連星の合体からの重力波は、その波形が理論的または数的に精度よく予測できる。そのため、その予測波形と観測データとの相関を取るマッチド・フィルタ法が用いられる。

一方で、重力波検出器では雷や機器振動など、環境や装置の影響を受け、さまざまな雑音源が原因となる非定常・非ガウス性の雑音 (「突発性雑音」と呼ばれる) がしばしば発生する。この突発性雑音は、観測や重力波探索に様々な悪影響を及ぼす。第 3 次国際共同観測中のアメリカの LIGO 検出器の突発性雑音の発生頻度は約毎分 1 回と報告されている。突発性雑音は、様々な時間-周波数特徴を持つため、突発性雑音を分類する事は、その発生源の調査や検出器の性能向上のための手がかりになり得る。Gravity Spy プロジェクトなど、教師あり学習による突発性雑音の分類が試みられている。一方、教師なし学習を用いることで、教師あり学習の課題の 1 つである学習データのラベル付け作業の軽減やラベルに依存しない客観的な分類が期待できる。本講演では、教師なし学習を用いた突発性雑音の分類手法とその結果を紹介し、教師なし学習を用いた突発性雑音の分類の可能性について議論をする。

さらに、重力波データ解析の様々な場面で、人工知能・機械学習の利用の提案がされつつある (例えば、重力波探索手法、波源の位置特定手法など)。本講演では、重力波データ解析における人工知能・機械学習を応用した手法の開発の取り組みについても紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z218a Tomo-e Gozen NEO サーベイにおける高速移動天体検出システムの改善

和田空大, 紅山仁, 酒向重行, 瀧田怜, 有馬宣明, 津々木里咲, 倉島啓斗 (東京大学)

地球の水や生命の起源の解明において重要な地球接近小惑星 (Near Earth Objects; NEOs) の中でも特に直径が約 100 m より小さい微小 NEO は、明るさが微弱なため地球の極近傍に接近する短時間のみ観測が可能であり、物理量を統計的に議論できる十分なサンプルが現状得られていない。東京大学本曾観測所では広視野 CMOS カメラ Tomo-e Gozen を用いて、2019 年より NEO の独自発見と即時追跡を目的とした広域サーベイが実施されており、2 fps にて動画を取得することでこれまでに計 49 個の微小 NEO を発見することに成功している。この NEO サーベイの過程で行われる高速移動天体検出には機械学習が利用されている。Tomo-e Gozen が実際に観測した動画データに疑似的に移動点源を埋め込んだものを検出過程に通し、得られた結果を訓練データとしたランダムフォレストのモデルによって、移動天体を検出している。しかしこのモデルでは大気ゆらぎやセンサー由来のノイズなどに起因した誤検出が除去しきれないため、精度の向上が望まれる状況であった。

本研究ではまず、これまでの 4 年間に取得したサーベイデータの中に高速移動天体として検出されたサンプルを確認することで、ランダムフォレストによる誤検出の例を統計的に分類し、その原因を考察した。結果、天体光が微弱なため信号ノイズ比が小さい事例を除けば、その多くは大気ゆらぎや望遠鏡の追跡の不安定性、センサー由来のノイズ、流星に起因するものであった。これらの多くは失敗例に似た疑似サンプルを訓練データに追加することで改善が期待される。そこで本研究では多様性を向上させた訓練データを新たに作成しランダムフォレストモデルの再構築を実施した。本講演では新しく構築したモデルの性能評価と実際のサーベイ観測に導入した結果についても詳細を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z219a Tomo-e Gozen 広域サーベイにおける Convolutional GRU を用いた雲分布の未来予測

津々木里咲, 酒向重行, 瀧田怜, 紅山仁, 高橋英則, 近藤荘平, 森由貴 (東京大学), 富永望 (国立天文台), 田中雅臣 (東北大学), 高橋一郎 (東京工業大学), 池田思朗 (統計数理研究所), João Pedro Pedrosa (ポルト大学)

東京大学木曾観測所の広視野 CMOS カメラ Tomo-e Gozen は, 2 fps の動画サーベイ観測により突発天体や移動天体を検出している. 効率の良い検出には単位時間内に取得する有効データの量を増やすことが求められるが, 地上観測では雲による遮蔽がその妨げとなる. 現在 Tomo-e Gozen には, 全天赤外線カメラにより雲分布を 1 分間隔で把握し雲を避けたサーベイ経路を選定するシステムが実装されている (2023 年春季年会 V233a 津々木ら). しかし本システムでは雲分布の測定から最適化計算, 望遠鏡の指向およびデータ取得までに 5-10 分かかるため, この間に雲分布が変化すると観測領域の最適化が阻害される. そこで本研究はサーベイ経路の選定の性能向上のために, 深層学習を用いて近未来の雲分布予測を実施した. 過去 10 分間のデータから未来 10 分間のデータを予測するために, Convolutional GRU ネットワークを用いて連続する 10 フレーム (10 分に相当) からその後続く 10 フレームを予測するモデルを構築した. 過去 1 年間に取得した計 46 万フレームの時系列画像データを訓練データとし, NVIDIA A100 GPU を用いて 191 時間計算した結果, 突発的な雲の出現や消失の予測は難しい一方で現存する雲の近未来の動きを捉えることに成功した. 予測画像から作成した最大値画像を基に 10 分以内に雲が存在する可能性の高い領域分布を導出し, サーベイ経路の選定システムに反映させた. 本講演では雲分布予測の正解率とサーベイでのデータ破棄量の改善について深層学習モデルを取り入れなかった場合と比較した結果を紹介する.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z220a Tomo-e Gozen 広域サーベイにおける突発天体の即時アラートシステムの開発

星野龍一, 酒井剛 (電気通信大学), 酒向重行, 瀧田怜, 新納悠, 有馬宣明, 紅山仁, 津々木里咲, 越諒太郎, 笹岡大雅 (東京大学), 富永望 (国立天文台), 田中雅臣 (東北大学), 高橋一郎 (東京工業大学), 山口健太 (京都大学), Tomo-e Gozen コラボレーション

東京大学木曾観測所では, 1.05 m シュミット望遠鏡に搭載された広視野 CMOS カメラ Tomo-e Gozen を用いて, 全天サーベイと高頻度サーベイを毎晩実施している. これらのサーベイで膨大な突発天体候補が発見されるが, その大部分は画像差分処理の不完全性による誤検出からなる. 2022 年 4 月に誤検出を減らすため, 画像を用いた畳み込みニューラルネットワーク (CNN) モデルが導入されたことで, 現在では, 突発天体候補の検出数は毎晩数 100 件にまで絞り込まれている (高橋ら, 日本天文学会 2022 年春季年会 V219a). しかし, CNN モデルの導入後においても本物の突発天体が候補の中に占める割合は 10 % 程度であり, Tomo-e Gozen が発見する突発天体に対して即時自動追観測を実現するには, 誤検出の除去の性能を更に 1 桁以上改善する必要がある.

そこで本研究では, 天体の座標, 測光的な情報, 外部のカタログ情報等を特徴量とした, 本物の天体と誤検出を分類するランダムフォレスト機械学習モデルを構築した. Tomo-e Gozen が過去 1 年 7 ヶ月間に取得し, CNN を通過した突発天体候補の中で, 人手で本物と誤検出の判定をしてラベルとした 3170 件を訓練データにした. 結果, 実際のサーベイデータに対して, 本モデル導入前と比べて突発天体候補を 10 % 程度まで減らし, より確実な突発天体候補を抽出することに成功した. さらに, 本物と判定されたサンプルに対して, 超新星か超新星以外の天体かを判別するランダムフォレストモデルも構築した. 本講演では, 超新星の分類器の性能評価の結果に加え, Slack サービスを介して突発天体の検出に関するアラートを観測者に通知するシステムの開発状況についても報告する.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z221a 機械学習による突発天体識別器の MITSuME 望遠鏡追観測システムへの実装

高橋一郎, 笹田真人, 庭野聖史, 佐藤翔太, 樋口成和, 関響, 武井宏延, 谷津陽一, 河合誠之, 篠田浩一, 井上中順 (東京工業大学), 村田勝寛 (京都大学), 伊藤亮介 (美星天文台), 下川辺隆史 (東京大学)

我々は東京大学宇宙線研究所明野観測所と国立天文台ハワイ観測所岡山分室に設置された 2 台の 50cm 可視光望遠鏡 MITSuME (Multi-color Imaging Telescopes for Surveys and Monstrous Explosions) を運用している. MITSuME はガンマ線バースト (GRB) 残光の追観測を自律的に行っており, 速報から最短 1 分以内に g' , R_c , I_c バンドによる 3 色同時撮像が可能である. この即応性を活かして, LIGO/Virgo/KAGRA による重力波観測 (O4 Run) における重力波イベントや, IceCube ニュートリノイベントの追観測も行っている. 現在我々はこれらのイベントにおける効率的な対応天体探査を行うため, 観測したデータから自動的に対応天体候補を検出する畳み込みニューラルネットワーク (CNN) を使用した識別器を開発している (伊藤ら, 2022 年秋季年会 V208a). この識別器の特徴は画像差分を行わずに観測画像と参照画像から直接突発天体の有無を識別する点にある. モデルには一般的な画像認識で高い識別実績を持つ VGG を採用し, 一般的な画像で既に学習済みの状態を初期状態として, 擬似的な突発天体を埋め込んだ画像を使用して学習を行った.

MITSuME で観測された実際の GRB 観測画像に対してこの識別器を適用することで, より実際の追観測に近い状況での性能評価を行ったところ, MITSuME の追観測時の条件を仮定した場合, 予測性能として対応天体の SN 比が 10 以上であれば 97% の確率で検出できることを確認した. 現在はこの識別器を MITSuME の自動観測システムに実装し, 追観測中に人が web ブラウザ上で対応天体候補を確認できるようにしている.

本講演では, MITSuME の突発天体識別器の性能とその実装状況について報告する.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z222a 大規模測光観測データからの原始銀河団検出深層学習技術

武田佳大, 柏川伸成, 伊藤慧 (東京大学), 百瀬利恵子 (Carnegie Observatories), 藤原研人 (LINE ヤフー株式会社), 利川潤 (兵庫県立大学), Yongming Liang (ICRR), 石本梨花子, 吉岡岳洋, 有田淳也 (東京大学), 久保真理子 (東北大学), 内山久和 (国立天文台), HSC project 96

銀河団の前駆体である原始銀河団は、環境効果によって促進されていると考えられる銀河進化を調査するための理想的な観測対象である。しかし、 $z=4$ を超えるような高赤方偏移では原始銀河団の検出は難しく、十分な数は発見されていないのが現状である。そこで、我々は PointNet に代表される点群処理深層学習技術を応用することで、各銀河の測光値から推定される銀河分布の 3 次元分布とその推定誤差を効果的に使用し、大規模測光観測データから原始銀河団検出を行う新しい深層学習モデル PCFNet を開発した。準解析的モデルによるシミュレーションデータを活用して、 g -ドロップアウト銀河 ($z \sim 4$) の分布について PCFNet を訓練させることで、HSC-SSP Deep/UltraDeep 領域のおよそ 20 平方度から 137 個の $z=4$ の原始銀河団を検出することに成功した。検出した原始銀河団メンバ銀河候補の静止系 UV 等級を調べると、フィールドの銀河と比べて有意に明るい銀河が多く存在していることが判明した。これは $z=4$ ですでに原始銀河団内の銀河の進化が促進されていることを示唆している。本モデルは将来的に行われる Euclid や LSST などの広域探査にも適用可能であるため、より多くの原始銀河団の検出が期待されている。また、本技術は任意の銀河分布からの構造検出に応用可能であるため、他の赤方偏移やボイドなどの低密度領域探査への応用も期待される。本発表では特に銀河分布への深層学習応用方法と、最新の研究成果を紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z223r 超新星フィードバックのサロゲートモデルを用いた銀河形成シミュレーションの高速化

平島敬也, 森脇可奈, 藤井通子 (東京大学), 平居悠 (Notre Dame 大学/東北大学), 斎藤貴之, 牧野淳一郎 (神戸大学), Shirley Ho (CCA/Princeton 大学/NYU)

銀河形成シミュレーションでは、 N 体/Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) 法、moving mesh 法、または adaptive mesh refinement などが用いられる。これらの方法では、粒子やメッシュを用いてモデル化し、粒子・メッシュ数が分解能を決定する。コンピュータの発展に伴い、使用される粒子数は増加してきたが、現在のアルゴリズムには、並列化効率の限界があり、結果としてシミュレーションの分解能にも上限が存在する。例えば、重力だけで相互作用する粒子 (ダークマター粒子と星粒子) と、流体力学相互作用する粒子 (SPH 粒子) の 3 種類の粒子を用いる N 体/SPH 法による Zoom-in シミュレーションでも 10^9 個程度の粒子で天の川サイズの銀河を表しており、質量分解能は $10^3 M_\odot$ 程度に止まっている (Applebaum et al. 2021)。

我々は、 N 体/SPH 法を用いて個々の星まで分解した銀河形成シミュレーションを実行するためのコードの開発を進めている。従来のコードは、階層化独立時間刻み幅法を採用するため、ごく一部のタイムスケールの短い現象 (超新星爆発など) の時間刻み幅だけ短くなり、演算・通信回数が数百倍に増大しボトルネックとなっている。そのため、超新星フィードバックの数値シミュレーションを機械学習で再現する手法 (サロゲートモデル) を開発し、局所的な演算・通信回数の増大の防止を試みる。本モデルは、巨大分子雲内で超新星爆発が起こった時刻の周辺領域の物理量の分布を入力とし、 $\Delta t = 10^5$ 年後の物理量の分布を学習・予測する。本講演では、エネルギー保存などの予測精度と機械学習モデルのシミュレーション・コードへの実装の状況について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z224r 宇宙大規模構造の深層学習生成モデル

白崎正人 (国立天文台, 統計数理研究所)

観測される銀河の天球面上の空間分布は、ランダムでなく、規則的な網の目上の構造を持つことが知られている。この構造は、一般に宇宙大規模構造として知られ、典型的な大きさが 100 Mpc に及ぶ宇宙最大の構造物である。宇宙大規模構造の観測は、天文観測の大型化によって飛躍的な進歩を遂げている。宇宙大規模構造の多波長にまたがる精密観測は、初期宇宙、宇宙膨張、目に見えない暗黒物質の重力成長、銀河形成史などの広範な研究に役立てられる。

天文観測の大型化により、宇宙大規模構造の特徴量に関する統計誤差はパーセントレベルに突入する見込みで、観測との比較に耐えうる正確な予言が求められている。宇宙大規模構造観測の正確な予言テンプレートを準備する目的で、宇宙論的 N 体シミュレーションや銀河形成流体シミュレーションが盛んに行われ、複数の特徴量に関して、すでに 5 パーセントレベルの正確な予言を実現している。同時に、観測可能な宇宙が一つしかないことを考えると、統計誤差自体の正確な推定も応用上重要となる。精密科学としての宇宙大規模構造研究が進むにつれて、宇宙大規模構造のシミュレーションモデルがますます重要になるが、現実的な計算時間のもとで、いかにして多様な物理過程を考慮しつつ、たくさんのシミュレーション例を稼ぐかは喫緊の課題となっている。本講演では、このような背景の下で、近年注目を集める深層学習を利用した宇宙大規模構造の生成モデルについて、いくつかの先行研究を紹介する。2023 年時点では、大別すると (1) 敵対的生成ネットワーク [Generative Adversarial Network; GAN] (2) 拡散モデル [Diffusion Model] (3) 正規化流 [Normalizing Flow] という 3 つの異なる手法が用いられている。これらの手法の特徴や違いを議論し、宇宙大規模構造以外の天文学研究への応用の助けとなるように努める。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z225a Dark Quest 宇宙論：要約統計量エミュレータから自律学習モデルへ

西道啓博 (京都産業大学), 小林洋祐 (アリゾナ大学), 田中賢 (京都大学), 宮武直広 (名古屋大学)

宇宙論における中心的な問いの1つは、初期宇宙から近傍宇宙までの観測データを統合的に説明する数理モデルの構築である。近年の観測的宇宙論は、ハッブルテンションと呼ばれる近傍銀河の後退速度と宇宙背景放射からの推定値の不一致などの問題に直面しており、これまで標準だった Λ CDM 宇宙論の破れが今にも確定的となり得る重大局面にある。これらの問題の解決には、独立かつ系統誤差に強い観測プローブと統計解析手法が必要であり、これを可能とすべくすばる望遠鏡の SuMIRe 計画など、宇宙の大規模構造の大規模観測が進行中である。

計算コストの高い数値シミュレーションと観測データの比較による宇宙論パラメータの推論は、広い意味での“simulation-based inference”の範疇にあり、大規模構造研究においても近年様々な解析モデルが提案されてきた。我々が推進する Dark Quest 計画では、宇宙論パラメータと要約統計量の関係を学習するエミュレータを構築し、従来の統計推論パイプラインの一部をこれで置き換えた。これはある意味ミニマルな機械学習の導入であるが、実績のあるパイプラインを踏襲することで、信頼性の検証や、数値モデルには取り入れられていない観測効果のモデル化、周辺化が可能である点に優位性がある。模擬観測データによる徹底した精度検証を経て、エミュレータモデルは SuMIRe HSC サーベイの弱重力レンズデータなどの実データへの応用へと至った。

本講演では、競合する宇宙論解析や機械学習の導入状況を踏まえて Dark Quest 計画の全容について概観しつつ、観測データとシミュレーションとを結合させて自律的にデータベースを強化し、エミュレータの予測性能を改善する新たな取り組みについて紹介する。特に、この方法により、ダークエネルギーの状態方程式や、ニュートリノ質量などを振った、 Λ CDM の拡張モデルを扱う上での次元の呪いの困難をどのように解決し得るか議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z226a Dark Quest 宇宙論：高精度パワースペクトルエミュレーターの概要

田中賢 (京都大学), 西道啓博 (京都産業大学), 小林洋祐 (アリゾナ大学)

Dark Quest プロジェクトの一環として開発している Dark Emulator2 のうち、本講演時に公開済予定である宇宙大規模構造におけるマターパワースペクトルエミュレータの紹介を行う。Dark Emulator2 は Dark Emulator (Nishimichi et al. 2019) からインプットに与える宇宙論パラメータ数、パラメータ空間サイズ、学習データ数を向上させ、ガウス過程回帰からフィードフォワードニューラルネットワークによる回帰へ機械学習手法を変更することによりエミュレータの精度と適用範囲を向上させることが可能となっている。また、他の競合するエミュレータと比較してより圧倒的に広いパラメータ空間を設計段階から考慮することにより高い精度で観測から示唆されるパラメータ空間を包括した範囲でパワースペクトルを推定することが可能である。

本講演では最初に Dark Emulator2 で使用しているインプットパラメータのデータ拡張、Mixed-Resolution エミュレータ、ハイパーパラメータ自動チューニングなどの精度、適用範囲向上に貢献した機械学習のテクニックを簡潔に説明する。次に Dark Emulator2 の特徴として cosmic variance を考慮したパワースペクトルの推定にも対応しており、N-body シミュレーションや競合エミュレータでは実現困難な非常に大量の初期の密度ゆらぎの影響を考慮した統計的な性質について本エミュレータを使い説明する。時間が許す限り、その他の Dark Emulator2 のマターパワースペクトルエミュレータを使用したアプリケーション応用の紹介も行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z227a 条件付き生成モデルによって探る遠方銀河の性質と宇宙再電離の関連

森脇可奈 (東京大学)

さまざまな観測により、宇宙年齢数億年の頃に宇宙再電離現象が起きたことがわかっている。しかし、具体的にどういった天体がいつどのようにして電離を引き起こしたのかについての詳細は未だ明らかになっていない。SKA などの将来の観測では、銀河間中性水素から放出される 21cm 線シグナルの空間的なゆらぎを測ることで再電離現象に関するより深い理解が得られると期待される。一方理論面では、宇宙論的シミュレーションを用いて 21cm 線の分布やパワースペクトルなどの観測統計量の予測が多くなされている。再電離の計算に必要な輻射輸送計算は計算コストが非常に高いため、さまざまな再電離モデルの比較には主に準数値的手法が用いられている。しかし、こうした手法では一般にごく単純な銀河モデルが採用されており、例えば宇宙論的流体シミュレーションで見られるような確率的な星形成率の変動などは多くの場合取り入れられていない。こうした単純化が観測量の予測にどのように影響するかを明らかにすることが重要である。

本研究では、さまざまな銀河モデルに対する再電離の進行を比較するため、銀河からの電離光子放出率の分布のみから電離バブルの広がりを予測する機械学習モデルを構築した。学習モデルには三次元畳み込みニューラルネットワークからなる条件付き生成モデルを採用し、学習・検証には宇宙論的輻射輸送シミュレーション Thesan や準解析的シミュレーション 21cmFAST を用いた。過去のスナップショットを複数入力として与えることで、高い精度で電離バブルの広がりが再現され、平均中性度などの統計量も誤差数パーセント以下で再現された。本講演では、こうした生成モデルが遠方銀河の性質と宇宙再電離現象の関連をどのように明らかにできるかに加え、より高コストなシミュレーションに対して果たすその相補的な役割についても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z228a 機械学習を用いた 21cm 線強度マップ解析による暗黒物質探査

村上広椰 (名古屋大学), 門田健司 (国科大杭州高等研究院), 西澤淳 (岐阜聖徳学園大学), 長峯健太郎 (大阪大学), 清水一紘 (四国学院大学)

暗黒物質は宇宙の物質分布の小スケールの構造にその質量に応じた影響を及ぼすため、21cm 線強度マップから得られる中性水素分布の解析から暗黒物質質量についての情報を得ることができる。そこで本研究では、宇宙論的流体シミュレーションを用いて、SKA-Low が観測できる赤方偏移 $z=6$ から $z=3$ の再電離期の 21cm 線強度マップの画像を作成する。この画像を機械学習の訓練・評価に用いて、データの分類問題についての機械学習の性能評価を行う。

本講演では以下の 2 点について議論する。

1) 冷たい暗黒物質と、ある質量の熱的に生成される温かい暗黒物質のデータ分類について、データの赤方偏移の違いによる分類結果の変化や、機械学習モデルへの入力として複数の赤方偏移からのデータを同時に用いた際の分類結果について議論する。加えて SKA-Low を想定したノイズを含むデータを同様に分類した場合についても議論する。

2) 生成機構の異なる複数の暗黒物質モデルを考えると、質量が同じでも生成機構の異なる暗黒物質は物質分布に与える影響も異なる。それぞれのモデルに基づいたシミュレーションデータから作成した 21cm 強度マップ画像で機械学習を訓練し、暗黒物質モデルの分類問題についてその性能を評価し議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z229a 深層学習による強い重力レンズ候補天体の探索

井上 開輝 (近畿大)、高田 航志 (近畿大)、Anton Timur Jaelani (バンドン工科大)、Anupreta More (IUCAA)、Kenneth C. Wong (NAOJ)

多重像を持つ強い重力レンズ天体は、ダークマターハローの存在量やハッブル定数の測定に用いられるばかりでなく、ディレンズによって光源天体の微細構造を調べることができるため、宇宙論や銀河形成の分野では非常に有用なツールとなっている。重力レンズが銀河ハローである場合、その数はおよそ銀河数千個に 1 つ程度しかなく、探索は容易ではない。近年、これらの強い重力レンズ天体を銀河カタログから探し出すためのツールとして機械学習の 1 種である深層学習が使われ始めている。我々は Subaru-HSC データ中の画像に強い重力レンズ効果を受けた銀河の重力レンズ像を加え、光源、レンズ共に銀河である重力レンズのモックデータを約 2 万枚作成した。これに加え、さらに重力レンズ像が加えられていない画像を同じ枚数用意した。その後、画像認識分野の深層学習モデルとしてよく使われる古典的な畳み込みニューラルネットワーク (CNN) を用いて、Subaru-HSC PDR2-Wide データ中の銀河から 312 個の重力レンズ候補天体を抽出した。その内、97 個の候補天体はこれまでに知られていない新しい天体であることが判明した。これらの解析に加え、古典的 CNN に残差ブロックを加えた ResNet 的なモデルや画像生成深層学習 (WGAN) を用いた解析結果についても報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z301r ^{56}Ni と ^{26}Al の核崩壊ガンマ線を通じて見る超新星爆発

澤田涼 (東京大学)

本レビュー講演では、 ^{56}Ni と ^{26}Al の核崩壊ガンマ線検出の現状と、将来観測による天体物理学の進展可能性について総括的に論じる。崩壊ガンマ線は、宇宙における特定の原子核の存在と分布を直接的に証明する重要な手段である一方で、これまでの観測では数が限られている。その代表的な観測例が、超新星 SN 1987A からの ^{56}Ni (847, 1238keV) と、天の川銀河円盤からの ^{26}Al (1809keV) の崩壊ガンマ線放射である：第一のトピックは、同位体 ^{56}Ni について。重力崩壊型超新星爆発の爆発機構は、その機構がまだ不明瞭な天文学の未解決問題のひとつとして挙げられる。そして ^{56}Ni の検出は超新星の謎を解明するための決定的なステップである一方で、SN1987A 以降その観測例が無い。そこで、この 40 年間の超新星爆発の理解の進展と、 ^{56}Ni の核ガンマ線観測から期待される爆発機構の理解について概説する。第二のトピックは、同位体 ^{26}Al について。同位体 ^{26}Al もまた、星内部と超新星爆発で合成され、天の川銀河円盤からガンマ線と OB 星分布との相関が広く知られている。そして、太陽系隕石等から見積られる初期太陽系とも無矛盾である一方で、超新星の理論計算からその量が再現できないと知られている。

このレビューでは、次世代の核ガンマ線検出がどのように超新星爆発の物理を解き明かすかについての議論から始まり、長波長帯での研究が主であった我々の太陽系形成に関する研究について、新たな時代の幕開けを与える展望を提示する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)Z302a 大質量星での放射性核種 ^{26}Al , ^{60}Fe の合成と核ガンマ線観測による恒星進化への制限

鈴木昭宏 (東京大学)

放射性核種である ^{26}Al , ^{60}Fe は半減期が 100 万年程度と銀河進化といったタイムスケールに対して比較的短寿命で崩壊する核種である。これらの核種の放射性崩壊からの核ガンマ線 (^{26}Al ; 1.809MeV, ^{60}Fe ; 1.117, 1.332MeV) は COMPTEL による観測などによって銀河面からの放射として検出されており、将来の MeV ガンマ線天文観測においても確実に検出が期待できるターゲットである。また、その起源は大質量星進化における各燃焼段階や超新星段階での爆発的要素合成であるとされ、恒星進化計算によってその生成量や観測との整合性などが研究されてきた (e.g., Limongi & Chieffi 2006)。

これらの核種の星間空間への供給が主にどのような初期質量の大質量星によって担われているかは、恒星進化計算のパラメータや仮定に依存する。例えば、 ^{26}Al は大質量星の燃焼段階においては水素燃焼及び炭素・ネオン燃焼で合成されるが、ウルフ・レイエ星に進化するような特に重い恒星では、恒星風による質量損失によって水素燃焼由来の ^{26}Al が星間空間へ供給される。一方で、炭素・ネオン燃焼で作られた ^{26}Al は、超新星爆発が起こる場合には爆発的要素合成による ^{26}Al とともに星間空間へ供給されることが考えられるが、ブラックホールが形成される場合にはブラックホールに落ちてしまい、星間空間への放出されない可能性がある。以上のように、核ガンマ線観測は未だ不明な点が多い恒星進化過程や質量損失といった活動性のプローブとしての役割が期待できる。

本講演では、恒星進化シミュレーションコード MESA を用いた ^{26}Al , ^{60}Fe 生成量計算をもとにこれら核種の合成過程について整理するとともに、将来の核ガンマ線観測による恒星進化過程への制限の可能性について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z303a MeV Nuclear Gamma-Ray Lines and Continuum Emission from Solar System Objects

藤原立貴, 井上芳幸, 小高裕和, 寺田健太郎, 福田航平, Ellis R. Owen (大阪大学)

The decay of the radioisotope ^{26}Al results in the emission of gamma-rays at 1.8 MeV. This gamma-ray line is a key target for MeV gamma-ray observations. While we have observed the Galactic ^{26}Al emissions, ^{26}Al also exists on the surface of airless celestial bodies in the Solar system, due to cosmic-ray-induced nuclear spallation. Meteorites sampled on the Earth and lunar surface samples allow us to measure current ^{26}Al decay rates in laboratories. Similarly, the radioisotope ^{60}Fe , which has decay energies of about 1.2 and 1.3 MeV, has been studied. Based on these decay rates and simulations conducted with the Geant4 Monte Carlo code, we report the expected intensity of nuclear gamma-ray lines including MeV continuum emissions from Solar system objects, specifically from the main belt asteroids and the Moon. We show that future MeV gamma-ray missions, such as the Compton Spectrometer and Imager (COSI), will be able to capture the ^{26}Al signals from the Moon.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z304a MeV-GeV 宇宙線の貯蔵庫としての銀河周辺物質（銀河ハロー領域）とその観測可能性

井上進（千葉大 / 東大宇宙線研）

銀河のハロー領域を満たしている銀河周辺物質（circumgalactic medium=CGM）は、宇宙の大規模構造と銀河ディスク領域のインターフェースにあたり、双方の形成・進化にとって本質的であるにもかかわらず、観測的・理論的にまだ十分理解されておらず、銀河形成研究のフロンティアと認識されている。近年、CGM に対して宇宙線が及ぼす加圧や加熱などの効果が、銀河の形成・進化に重要な役割を果たしている可能性が数値シミュレーションなどから示されており、場合によっては宇宙線の圧力が卓越する可能性も指摘されている。

CGM 磁場中の宇宙線の伝搬に効く過程は、拡散・移流・ストリーミング（自己閉じ込め）など、様々な可能性が考えられるが、第一原理からの理論予想は困難で、観測情報も乏しいため、大きな不定性となっている。一方で、放射過程によるエネルギー損失については、電子・陽子いずれの場合でも、MeV-GeV 帯域で一番タイムスケールが長くなると推定されるため、CGM は、MeV-GeV 宇宙線の貯蔵庫となっている可能性がある。このような MeV-GeV 宇宙線を観測から制限し、CGM での宇宙線の伝搬過程とその熱的・力学的影響を探ることは重要な課題である。本講演では、天の川銀河、およびアンドロメダなど近傍銀河の CGM 中の MeV-GeV 宇宙線について、MeV ガンマ線を含めた多波長での観測可能性とその意義を議論する。

[スケジュール（セッション毎）に戻る](#)

[スケジュール（全体）に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z305a 近傍セイファート銀河からのハドロン起源 MeV ガンマ線放射

木村成生（東北大学）、村瀬孔大（ペンシルベニア州立大学）

2022 年、IceCube 実験がセイファート銀河 NGC1068 から高エネルギーニュートリノ信号が来ているという強い証拠を報告し、活動銀河核でのハドロン放射が盛んに議論されるようになった。高エネルギーニュートリノの放射天体では、宇宙線陽子とその周囲の光子または陽子が相互作用することで荷電パイオンを生成し、その崩壊でニュートリノを生成する。その際、中性パイオンも同時に生成されるため、その崩壊でニュートリノとほぼ同量のガンマ線が生成される。しかし、報告された NGC1068 からのニュートリノ光度は、そこからのガンマ線光度よりも 1 桁程度大きかった。ガンマ線データを説明するには、ニュートリノ放射領域でガンマ線を吸収する必要がある。そのためには、X 線が豊富な超巨大ブラックホールの近傍がもっとも適した場所となる。我々はセイファート銀河の X 線放射領域であるコロナでの宇宙線生成過程をモデル化し、NGC1068 からのニュートリノデータを説明することに成功した。同時に放射されるハドロン起源の高エネルギーガンマ線はコロナの X 線で吸収され、電子陽電子対を生成して電磁カスケードを起こす。その結果、MeV から GeV のガンマ線が系から放出される。このガンマ線は次世代の MeV ガンマ線衛星で検出可能である。また、近傍の明るいセイファート銀河である NGC4151、NGC4945、Circinus 銀河の 3 天体に対して同じ理論的枠組みを適用し、これら 3 天体から放射されるハドロン起源の MeV-GeV ガンマ線は将来のガンマ線観測衛星で検出可能であることを示した。NGC4151 ではニュートリノ放射のヒントが報告されており、我々のコロナモデルでは Fermi 衛星の上限値と矛盾することなくそのニュートリノフラックスを説明可能である。また、NGC4945 と Circinus 銀河からのニュートリノ放射は KM3NeT などの近い将来のニュートリノ実験で検出可能であることも示した。

[スケジュール（セッション毎）に戻る](#)

[スケジュール（全体）に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z306a 全天 MeV ガンマ線衛星計画 AMEGO-X の現状

須田祐介、深沢泰司（広島大学）、田島宏康（名古屋大学）、Regina Caputo, Carolyn A. Kierans, Jeremy S. Perkins (GSFC/NASA), Marco Ajello (Clemson University)

宇宙 MeV ガンマ線の観測は、活動銀河核やガンマ線バースト、超新星残骸などにおける物理を解明する上で重要な役割を果たすと期待される。特に位置決定精度 1° 程度の全天 MeV ガンマ線観測は、突発天体のフォローアップ観測数を飛躍的に増加させ、マルチメッセンジャー天文学の起爆剤となると考えられる。そこで我々は本格的な全天 MeV 衛星として、AMEGO-X 衛星計画 (PI: R. Caputo) を提案し推進している。AMEGO-X は GSFC/NASA を中心とした国際チームで、日本からは広島大と名古屋大が参画している。2021 年の NASA MIDEX に AMEGO-X を提案したが採択に至らなかった。現在は次回の MIDEX に向けて本計画の実現性を高めるべく研究開発を進めている。特に AMEGO-X ガンマ線検出器の主要センサである新型シリコンピクセル検出器 AstroPix の改良と評価が MIDEX 提案時から大きく進展しており、2025 年に観測用ロケットを用いた宇宙空間での試験を予定している。また、AstroPix で構成するトラックーと CsI カロリメータを組み合わせた、小型版 AMEGO-X とも言える技術実証器 ComPair-2 も NASA APRA の採択 (PI: R. Caputo) を受けて、2023 年秋に開発を開始した。さらに、ComPair-2 の前哨戦である ComPair 検出器は両面シリコンストリップ検出器 DSSD を用いたコンプトンカメラで、2023 年夏に気球実験 (PI: C. A. Kierans) に成功している。本講演では、AMEGO-X 衛星計画と狙うサイエンス、計画実現に向けた各機器の開発状況と今後について報告する。

[スケジュール（セッション毎）に戻る](#)

[スケジュール（全体）に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z307a GRAMS: 大面積液体アルゴン TPC による MeV ガンマ線観測

丹波翼 (宇宙航空研究開発機構), 小高裕和, 高嶋聡, 石渡幸太, 白濱健太郎, 袴田知宏, 善本真梨那, 井上芳幸, 藤原立貴 (大阪大学), 新井翔大, 市橋正裕, 加藤辰明, 馬場彩 (東京大学), 青山一天, 清水虎冨, 谷口日奈子, 中島理幾, 内海和伸, 石川皓貴, 田中雅士, 寄田浩平 (早稲田大学), 一戸悠人 (理研), 内田悠介 (東京理科大学), 大熊佳吾, 中澤知洋 (名古屋大学), Dmitry Khangulyan (立教大学), 深沢泰司, 高橋弘充, 須田祐介 (広島大学), 渡辺伸 (宇宙航空研究開発機構), 辻直美 (神奈川大学), 広島渚 (富山大学), 八幡和志 (防衛医大), 米田浩基 (University of Wurzburg), 荒牧嗣雄 (Northeastern University), Georgia Karagiorgi (Columbia University), Reshmi Mukherjee (Barnard College), GRAMS コラボレーション

GRAMS (Gamma-Ray and AntiMatter Survey) 実験は、液体アルゴン Time Projection Chamber (LArTPC) を気球・衛星といった飛翔体に搭載し、高エネルギー天体由来の MeV ガンマ線の観測と暗黒物質由来の反粒子の検出の両方を目指す日米国際共同実験である。その最大の特徴は、液体アルゴンの大容量充填による ~1 m 立方の大有効面積の実現であり、また LArTPC による 3 次元粒子トラッキングからコンプトン散乱を引き起こす入射光子の角度とエネルギーを正確に算出できるため、これまでの望遠鏡を大きく上回る精度で MeV ガンマ線天体の分光・イメージングが可能となる。目下のところ複数の原理実証実験が進行中であり、JAXA 工学気球実験によるフライトを実施したほか、コンプトンイメージングの原理実証を目指した小型プロトタイプ検出器 NanoGRAMS の開発、NASA APRA プログラムによる 24 時間の気球フライトへの準備が進められている。本講演では、これらの実験の進行状況を報告するとともに、GRAMS 実験が切り開く MeV ガンマ線天文学の展望を議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z308b GRAMS 実験に向けた液体アルゴンコンプトンカメラ実証機の開発

白濱健太郎, 石渡幸太, 小高裕和, 河村穂登, 高嶋聡, 巽隆太郎, 袴田知宏, 善本真梨那 (大阪大), 新井翔大, 市橋正裕, 馬場彩 (東京大), 青山一天, 内海和伸, 田中雅士, 中島理幾, 寄田浩平 (早稲田大), 丹波翼, 渡辺伸 (JAXA), 大熊佳吾, 中澤知洋 (名古屋大), 米田浩基 (ヴェルツブルク大), 荒牧嗣夫 (ノースイースタン大), Georgia Karagiorgi (コロンビア大), GRAMS コラボレーション

GRAMS (Gamma-Ray and AntiMatter Survey) 計画は未だ開拓の進んでいない MeV ガンマ線帯域での分光撮像観測を目的とした日米共同プロジェクトであり、主な科学目標は核ガンマ線検出による宇宙核反応過程の解明である。GRAMS は液体アルゴン time projection chamber を検出器として用いることで、COMPTEL 望遠鏡の約 100 倍の有効面積を実現する。ガンマ線がアルゴン原子とコンプトン散乱を起こすとシンチレーション光と電離電子群が発生する。複数回の散乱によって発生した光と電子を検出し、散乱が起きた三次元的な位置とガンマ線のエネルギー損失を決定することによってガンマ線の到来方向を制限しイメージングを行う。

我々は現在、ガンマ線イメージングの小型実証機の開発を行っている。この実証機では、光は大受光面積の 16 素子 SiPM アレイ、電子は一様電場でドリフトさせ 16×16 ピクセル分割電極から低ノイズ読み出し ASIC を用いて測定される。これらの信号の読み出しは別系統になっているため、同期をとることが必要不可欠である。そのために、光と電子の 2 つの読み出しシステムを相互に制御する FPGA ロジックを開発した。具体的には、シンチレーション光の検出を散乱発生トリガーとして、有感部内での電子の最大ドリフト時間 (~100ps) 以内に検出された電子の信号を取得し、それらの時間差からガンマ線が散乱された位置を決定する。本講演では、検出器の概要およびトリガーロジックの設計や実証実験の結果について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z309b 小型衛星 INSPIRE 搭載 BGO アクティブシールドの最適化と性能評価

小笠原聖純, 片岡淳, 田中香津生, 岩下稜司, 森椋平, 須賀友也 (早大理工), 谷津陽一, 中条俊大, 渡邊圭, 安田萌恵, 小林大輝, 大坪恵人, 大平明日香 (東工大), 大西光延, 武田伸一郎 (iMAGINE-X)

早稲田大学と東京工業大学は 2027 年の打ち上げを目標に、50kg 級小型衛星「INSPIRE」の開発を行っている。INSPIRE ではピンホールカメラとボックス型コンプトンカメラ (CC-Box) からなる 10 × 10cm² のセンサーを搭載し、30keV から 3MeV での広帯域かつ広視野での宇宙観測を目指す。CC-Box は 3 次元に位置検出可能な GAGG シンチレータと MPPC を組み合わせ、周囲を 12 枚の BGO シンチレータで囲むことで宇宙 X 線背景放射 (CXB) や大気散乱ガンマ線など主要なバックグラウンドの低減、さらにはエネルギーの一部のみを CC-Box に付与したエスケープイベントの効率的な除去を目指す。BGO のエネルギー閾値は観測性能に直結する重要なパラメータであり、本講演では従来の ESR (Enhanced Specular Reflector) やゴアテックスに代わる新しい反射材として、銀蒸着を施した多層膜フィルムの特性を新たに評価した。結果、従来のあらゆる反射材の組み合わせより約 20% 程度高い光量を得ることに成功し、わずか 6 mm 角の小型 MPPC で約 50keV の閾値を達成した。一方で、BGO シンチレータと MPPC は、それぞれが温度依存性を持つ。本講演では、MPPC 背面の温度センサーを読み出し、印加電圧をリアルタイムに制御することで温度変化の影響を抑え、同時にノイズを低減することに成功した。最後に、CC-Box は「コンプトン散乱偏光計」としても有効に機能する。本講演では、Geant-4 を用いた偏光検出性能についても詳しく解析し、ガンマ線バーストやカニ星雲など、明るい天体の検出限界についても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z310b 小型衛星搭載コンプトンカメラの構造及び Raspberry Pi 制御システムの開発

森椋平, 片岡淳, 田中香津生, 岩下稜司, 須賀友也, 小笠原聖純 (早大理工), 谷津陽一, 中条俊大, 渡邊圭, 安田萌恵, 小林大輝, 大坪恵人, 大平明日香 (東工大), 大西光延, 武田伸一郎 (iMAGINE-X)

MeV ガンマ線は宇宙元素合成, さらには活動銀河核やガンマ線バースト等の解明に重要な波長帯である。我々は宇宙 MeV ガンマ線観測に挑むべく, 医療・環境計測用コンプトンカメラを小型衛星搭載用に最適化し, 2026 年度打ち上げに向けた開発を進めている。コンプトンカメラは, MPPC アレイ, ライトガイド, GAGG シンチレータアレイを接合したものを 1 ユニットとした box 型構造とし, 周りを Active Veto シールドとして BGO シンチレータで囲む構造を取る。電力, 体積, 重量全てのリソースが限られた小型衛星ではコンパクトかつ振動に強い構造設計が必須であり, 本研究では 50kg 級衛星 INSPIRE に搭載するコンプトンカメラの構造設計や実際の組み立て方法について詳しく解説する。MPPC 信号は専用アナログボードで波形整形されたのち, USB ボードで時間情報をタグ付けたパケットとして処理し, データ取得を行う。これまで, 地上実験では ノート PC 上で Windows アプリケーションを用いたカメラの制御・測定データ取得を行っていた。本研究では, 新たに小型衛星搭載の実績がある Raspberry Pi を用いたシステム構築に取り組んだ。具体的には, Windows アプリケーション内のコマンド情報をもとに, Raspberry Pi の Linux 環境上における通信環境構築を行うことで MPPC 制御・測定データ取得を可能とし, コンプトンカメラとして正常に機能することを実証した。本講演では, MPPC からの信号の整形及びデータ転送フロー詳細を説明するとともに, 機上を模擬した放射線照射試験の結果や, 実際に Raspberry Pi を用いて撮像されたコンプトンカメラ画像の紹介を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z311b 狭視野 Si/CdTe 半導体コンプトン望遠鏡による気球実験の試作機 miniSGD の開発の現状

大熊佳吾 (名大理), 中澤知洋 (名大 KMI), 武田伸一郎 (東大 Kavli IPMU/iMAGINE-X), 安藤美唯, 大宮悠希, 大口真奈里, 田中敦也, 西村悠太 (名大理), 渡辺伸 (JAXA/ISAS), 高橋忠幸 (東大 Kavli IPMU), 小林昌彦 (名大 KMI), 石田直樹 (名大技セ), 南喬博 (東大理), 大西光延, 新井利彦 (iMAGINE-X)

我々は, sub-MeV・MeV 帯域の宇宙観測の感度向上を目指し, 2016 年打ち上げの「ひとみ」衛星でも搭載された Si/CdTe 半導体コンプトン望遠鏡とアクティブシールドを組み合わせた狭視野 Si/CdTe コンプトン望遠鏡の性能実証実験機 miniSGD を開発した。miniSGD は, 有効検出面積 $32 \times 32 \text{ mm}^2$ で 0.5 mm 厚の Si 両面ストリップ検出器 (DSSD) 2 枚と, 同じく $32 \times 32 \text{ mm}^2$ で 2 mm 厚の CdTe 両面ストリップ検出器 (CdTe-DSD) 4 枚からなる半導体コンプトン望遠鏡と, 厚さ 20-30 mm の 9 個の BGO シンチレータからなるアクティブシールドで構成される。2023 年にオーストラリアにて予定していた気球実験はキャンセルされたが, 次の放球機会を目指し改良を続けている。本講演では, miniSGD のコンプトン望遠鏡の性能の現状について報告する。

これまでに, 地上で累計 1000 時間以上の運転を達成している。また, データ解析において, CdTe-DSD の両面の電極の信号差と, アクティブシールドとのコインシデンスによる裏面照射を用いた, CdTe-DSD における相互作用深さ (Depth Of Interaction: DOI) の推定方法を開発し, Si/CdTe コンプトン望遠鏡としては世界最高に匹敵する角分解能を得た。現在は, さらにデータを詳細に解析してイベントセレクションを強化し, CdTe の DOI の推定精度を高めてコンプトン再構成の角分解能向上に取り組んでいる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z312b MeV 天文学における符号化マスクを用いた狭視野 Si/CdTe コンプトン望遠鏡の角分解能の向上

西村悠太 (名大理), 中澤知洋 (名大 KMI), 武田伸一郎 (東大 Kavli IPMU/iMAGINE-X), 大熊佳吾, 大宮悠希, 安藤美唯, 田中敦也, 大口真奈里 (名大理), 渡辺伸 (JAXA/ISAS), 高橋忠幸 (東大 Kavli IPMU), 小林昌彦 (名大 KMI), 石田直樹 (名大技セ), 南喬博 (東大理), 大西光延, 新井利彦 (iMAGINE-X)

我々は, sub-MeV・MeV 帯域の宇宙観測の精度向上を目指し, 狭視野 Si/CdTe コンプトン望遠鏡の性能実証実験機 miniSGD を開発している。miniSGD は, Si と CdTe の両面ストリップ検出器からなる半導体コンプトン望遠鏡と, BGO シンチレータからなるアクティブシールドで構成される。高いエネルギー分解能と位置分解能が得られるため, コンプトン望遠鏡としては良好な角度分解能を得ることができた (大熊講演)。しかし, コンプトン散乱の量子力学的限界により, 数度より良い角分解能は原理的に得られない。

MeV ガンマ線観測の高感度化に伴い, 百を超える天体を観測しようとするとき近い将来には数分~十数分角レベルの角度分解能の実現が必須である。そこで我々は miniSGD に重金属製の符号化マスクを導入しコンプトンカメラと符号化マスクの併用による撮像偏光分光能力を実証してその技術的課題を検証する実験を進めている。 ^{57}Co と ^{133}Ba のガンマ線を照射し, 符号化マスクとコンプトン再構成を組み合わせた解析を行い, その有用性を評価した。本講演ではその解析結果をもとに, 符号化マスクを用いたコンプトン望遠鏡の性能について現状を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z313b SOI ピクセル半導体検出器を用いた電子飛跡検出型コンプトンカメラの開発

加賀谷美佳 (仙台大専), 片桐秀明, 加藤凌, 東城直美 (茨城大学), 鶴剛 (京都大学), 武田彩希 (宮崎大学), 新井康夫 (KEK), 島添健次 (東京大学)

Sub-MeV ラインガンマ線の観測は、超新星爆発による元素合成メカニズムなど、様々な高エネルギー天体現象を明らかにするために重要である。このエネルギー領域ではバックグラウンドが大きいことが問題であるため、バックグラウンド除去が可能な装置の開発が必要である。半導体検出器を用いた電子飛跡検出型コンプトンカメラは、エネルギー分解能に優れ、ラインガンマ線の検出に適していることに加え、ガンマ線が検出器内でコンプトン散乱を起こした際の電子の反跳方向を検出することで、ガンマ線の到来方向を1事象ごとに一意に決めることができ、反跳電子とガンマ線の散乱角におけるコンプトン運動学を用いた制限により、高いバックグラウンド除去能力を実現できる。電子飛跡検出型コンプトンカメラには、数百 μm の電子飛跡を捉えるための微細なピクセルサイズと、同時計数を実現するための回路が必要となる。そこで本研究では、信号の検出毎にトリガーをかけられるイベント駆動回路を搭載し、30 μm のピクセルサイズを実現した Silicon-on-Insulator (SOI) 技術を用いた X 線観測用のピクセル半導体検出器 XRPIX2b に着目した。XRPIX2b の反跳電子の検出性能を評価するために、プロトタイプによる実測試験と、Geant4 シミュレーションによる検証を行った。ガンマ線の散乱角や反跳電子の深さ方向における傾斜角、電子がピクセルに対して斜めに走る場合の角度を変え、様々な条件での評価を行った。511 keV のガンマ線源を用いた評価試験の結果、約 100 μm 程度の短い電子飛跡の検出および電子の反跳方向の推定に成功し、電子の反跳方向の情報を使ったコンプトン再構成によるガンマ線の到来方向の推定が可能なることも確認することができた。本講演では、これらの原理実証試験の結果について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z314r MeV スケールの暗黒物質と MeV ガンマ線観測

松本 重貴, Christopher M. Karwin (NASA), Tom Melia (Kavli IPMU), Thomas Siebert (U. Wurzburg), 高橋 忠幸 (Kavli IPMU), 渡邊 有 (Kavli IPMU), 米田 浩基 (U. Wurzburg), COSI チーム

我々の宇宙に、通常物質 (標準模型の素粒子やそれらにより構成される物質) ではない暗黒物質が存在することは確定的になりましたが、その微視的な性質、例えば暗黒物質の質量やその相互作用等、については不明です。これまで様々な暗黒物質候補が提案されており、特に電弱スケールに質量を持つ安定な素粒子、いわゆる WIMP を中心にその探査が進められてきました。WIMP は、現在の宇宙における存在量 (平均質量密度) が熱的条件及び現在の宇宙論を成功に導いた凍結機構で説明可能なため、大変魅力的な候補ではあるのですが、これまで行われた様々な検証 (加速器実験や、地下実験、宇宙観測) において未だシグナルが受からない状況が続いています。

そのため、WIMP より重い、あるいは軽い領域の暗黒物質が注目を集めています。特に、MeV スケールの質量を持つ暗黒物質 (MeV 暗黒物質) は、我々の銀河や近傍の銀河において崩壊や対消滅をすることにより、MeV ガンマ線を放出すると期待され、最近の MeV ガンマ線観測の進展により、その検出の可能性が高まってきたことが注目を集める要因の一つとなっています。一方、素粒子物理学の観点から、MeV スケールの質量を持ち、現在あるいは近い将来の MeV ガンマ線観測で検出され得るくらいの適度な対消滅断面積や寿命を持つ魅力的な候補は存在するののかという問題があります。本公演ではこの問題に着目し、実際そのような候補は存在し、それらがどのような性質を持つのかについて議論したいと思います。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z315r The Compton Spectrometer and Imager – Status and Science Goals

Steven E. Boggs (UCSD), Dieter Hartmann (Clemson University), Carolyn Kierans (NASA/GSFC), Andreas Zoglauer (UCB/SSL), John A. Tomsick (UCB/SSL), and the COSI Science Team

The Compton Spectrometer and Imager (COSI) is a NASA Small Explorer (SMEX) satellite mission in development with a planned launch in 2027. COSI is a wide-field gamma-ray telescope designed to survey the entire sky at 0.2-5 MeV. It provides imaging, spectroscopy, and polarimetry of astrophysical sources, and its germanium detectors provide excellent energy resolution for emission line measurements. Science goals for COSI include studies of 0.511 MeV emission from antimatter annihilation in the Galaxy, mapping radioactive elements from nucleosynthesis, determining emission mechanisms and source geometries with polarization measurements, and detecting and localizing multimessenger sources. The instantaneous field of view for the germanium detectors is 25% of the sky, and they are surrounded on the sides and bottom by active shields, providing background rejection as well as allowing for detection of gamma-ray bursts and other gamma-ray flares over most of the sky. This presentation will include an overview of the COSI mission, including the science, the technical design, the project status, and highlighting some of the Japanese contributions to the mission.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z316a Imaging of gamma-ray lines with the upcoming MeV gamma-ray satellite COSI

Hiroki Yoneda, Thomas Siebert, Saurabh Mittal (JMU Würzburg), Uwe Oberlack, Savitri Gallego, Jan Lommler (JGU Mainz), Shigeki Matsumoto, Tom Melia, Tadayuki Takahashi (Kavli IPMU), Kazuhiro Nakazawa (Nagoya University), John Tomsick, Andreas Zoglauer (UC Berkeley), Steven Boggs (UC San Diego), Carolyn Kierans (NASA/GSFC), Dieter Hartmann (Clemson University), and the COSI Science Team

Despite its scientific importance, observations in the MeV gamma-ray band are still to be matured. Especially gamma-ray line observations are crucial to understanding cosmic matter production, e.g., 511 keV lines from positron annihilation, nuclear lines originating from nucleosynthesis, and signatures of MeV-scale dark matter. The Compton Spectrometer and Imager (COSI) is a NASA Small Explorer satellite mission and will be planned for launch in 2027. Owing to its wide field-of-view and excellent energy resolution, COSI can achieve an unprecedented line gamma-ray sensitivity, allowing us to enter a new era of MeV gamma-ray observations.

In this talk, we will describe gamma-ray line observations allowed by COSI. One of the challenges in the MeV gamma-ray observations is to image gamma-ray sources quantitatively from complex Compton scattering events. On behalf of the COSI software team, I will explain the data analysis framework of COSI (COSIpy) and the data challenges released yearly by referring to some science cases. Both will be publicly available, providing opportunities to familiarize a broad astronomical community with the MeV gamma-ray data. Finally, we will present the contributions of the Japanese COSI team, e.g., the dark matter science studies and the support of the student-led project, namely Background Transient Observatory.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z317a MeV ガンマ線の全天予想図の作成

辻直美 (神奈川大学), 井上芳幸, 小高裕和 (大阪大学), 米田浩基 (Julius-Maximilians-Universität Würzburg), Reshmi Mukherjee (Barnard College, Columbia University)

MeV ガンマ線は、昨今の多波長観測による宇宙物理学の分野において、唯一の未開拓領域である。この「MeV ギャップ」を埋めるために、多くの計画が進行中である。これらの将来計画に先駆けて、本研究では最新の硬 X 線、GeV ガンマ線の観測結果に基づき、MeV ガンマ線帯域における全天の予想図の作成を行なっている。この全天予想により、気球や衛星を用いた将来計画で、どのような MeV ガンマ線天体が検出可能かといった観測戦略を立てることができる。

本研究では、まず Swift/BAT と Fermi/LAT による天体カタログをクロスマッチすることで、MeV ガンマ線を放射し得る 145 個の天体をリストアップした。各天体について、Swift/BAT と Fermi/LAT で測定されたスペクトルをもとに、MeV ガンマ線帯域でのスペクトルモデルを構築した。また、銀河拡散放射と系外放射のこれまでの観測結果を考慮し、MeV ガンマ線帯域での拡散放射を推定した。さらに天体と合わせることで、MeV ガンマ線の全天図を作成した。クロスマッチした 145 個の天体の多くは拡散放射より高いフラックスを持ち、その値は 10^{-11} erg/cm²/s 程度以上であると予想される。これらの天体は将来計画においても重要な観測対象となり得る。本講演では詳細な結果について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z318a Overview and status of SMILE-3 project

T. Oka, M. Mori (Ritsumeikan U.), M. Abe, T. Ikeda, K. Kobayashi, Y. Nakamura, S. Ogio, K. Tahara, A. Takada, T. Takemura, T. Tanimori, T. Tsukamoto, K. Yoshikawa, R. Yoshioka (Kyoto U.), K. Hamaguchi (UMBC), H. Iiyama, T. Nakamori (Yamagata U.), S. Kurosawa (Tohoku U.), J. Kushida (Tokai U.), K. Miuchi (Kobe U.), Y. Mizumura (JAXA), T. Sawano (Kanazawa U.)

The SMILE project aims to pioneer the next generation of MeV gamma-ray astronomy by developing the Electron-Tracking Compton Camera (ETCC), the first Compton camera capable of bijective imaging spectroscopy. The ETCC consists of a gaseous electron tracker and pixel scintillator arrays that provide complete information (energy and direction for both the recoil electron and the scattered gamma ray) for Compton event reconstruction, allowing us to specify the arrival direction of the gamma rays. So far, we have conducted an ETCC-equipped balloon experiment in 2018 and successfully detected gamma rays from the Crab Nebula and the Galactic Center region, demonstrating that this observing technique guarantees accurate sensitivity prediction even in high-noise environments. Therefore, we are finally planning the next balloon experiment, SMILE-3, for scientific observations, where we expect to carry out a 30-day flight with a super-pressure balloon in the 2030s, in addition to the one-day flights between 2027 and 2029. In this experiment, we will improve the ETCC to achieve gamma-ray observations with five times the effective area and three times the angular resolution of our previous work in the energy range of 0.2–10 MeV, resulting in the best sensitivity for this band. Here, we provide an overview of SMILE-3 and report on its development status.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z319a MeV-GeV ガンマ線精密観測計画 GRAINE : 2023 年豪州気球実験報告

中村悠哉, 諫山雄大, 白田育矢, 小宮山将広, 杉村昂, 中野敏行, 中村友亮, 中村光廣, 林熙崇, 南英幸, 山本紗矢, 六條宏紀 (名古屋大学), 秋田将利, 伊代野淳, 村上郁哉 (岡山理科大学), 仲澤和馬, 吉本雅浩 (岐阜大学), 青木茂樹, 岡本一紘, 小田美由紀, 加藤拓海, 高橋寛, 長原翔伍, 山下潤, 山下真優, 米野翔真 (神戸大学), 他 GRAINE collaboration

GRAINE 計画では、原子核乾板を検出器としたガンマ線望遠鏡を気球に搭載することで、宇宙ガンマ線精密観測 (MeV-GeV) を目指している。電子対生成反応を反応点の直下 (10-300 μm) で測定可能なため、Fermi-LAT と比べて一桁近く優れた角度分解能、および未達成の偏光観測の実現などが期待される。2018 年の気球実験では Vela パルサー (>80MeV) を世界最高解像度で撮像し、望遠鏡性能を実証してきた。そして、2023 年 4 月に科学観測の第一歩として口径面積 2.5 m^2 の望遠鏡 (前回実験比 ~ 6 倍) での気球実験をオーストラリアで実施した。26 時間程度のフライトに成功し、銀河中心の高解像度観測や Vela パルサーの偏光観測などに着手する予定である。本講演では、2023 年気球実験の概要とガンマ線反応解析状況、および今後の GRAINE 実験の展望について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z320a INSPIRE: challenge of 50-kg class satellite for MeV gamma-ray astronomy

Jun Kataoka, R.Iwashita, K.Tanaka, R.Mori, T.Suga, S.Ogasawara (Waseda University), Y.Yatsu, T.Chujo, K.Watanabe, M.Yasuda, H.Kobayashi, K.Otsubo, A. Ohira (Tokyo Tech), M.Onishi, S.Takeda (iMAGINE-X) and INSPIRE team

Waseda University and Tokyo Tech are developing a 50-kg class small satellite INSPIRE (INnovative Space Probe for Imaging R-process Emission), scheduled for launch in FY2026. The satellite carries a BOX-type Compton camera (CC-BOX), which can visualize 30 keV–3 MeV X-/gamma-rays with a typical angular resolution of 5° (FWHM) along with a wide FOV of ≈ 3 str. The CC-BOX comprises a pixelized 3D position-sensitive Ce:GAGG scintillators coupled with an MPPC arrays to cover geometrical area of $10 \times 10 \text{ cm}^2$. Moreover, Ce:GAGG arrays are positioned on the sides of the detector to enhance its sensitivity than COMPTEL onboard Compton Gamma-Ray Observatory. In this talk, we begin by detailing the design of the CC-BOX, its data processing flow, such as the high-speed DAQ and USB boards, and Raspberry Pi as well as weight and power specifications. We then assess the detector's performance through both hands-on device testing and simulations. Indeed, the prototype model of CC-BOX has already been installed and tested for diagnostic imaging in nuclear medicine and observation of atmospheric phenomena, such as in the world's first successful gamma ray imaging of thunderclouds (Kuriyama et al. 2022, GRL). I will describe in detail the imaging experiments using the prototype model to date, along with observation plans in orbit to achieve various scientific goals.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z321a MeV コンプトンカメラ。宇宙観測から地上実験へ、そして宇宙への展開。

高橋忠幸 (東京大学 Kavli IPMU), 渡辺 伸 (JAXA/ISAS), 武田伸一郎 (東京大学 Kavli IPM U)

我々は新学術領域「宇宙観測検出器と量子ビームの出合い。新たな応用への架け橋。(201 8-22, 代表高橋忠幸)」における活動を通じて、宇宙観測を目的に開発した検出器や解析技術が、異分野での問題解決につながると同時に、優れた検出器が様々な分野の発展をリードするということを学んだ。その一例の Si や CdTe のイメージング素子を多層に重ねた「多層半導体コンプトンカメラ」は検出器中のガンマ線の反応を 3 次元的に記録し、高いエネルギー分解能と角度分解能をもつ。我々は「ひとみ」衛星のために開発した Si/CdTe コンプトンカメラを用いて 70keV 前後の X 線偏光の高精度測定に成功し原子物理学において新たな分野を切り拓いた。また、20 層の CdTe センサーからなるコンプトンカメラを用いて、 ^{56}Fe からの励起状態から放出されるガンマ線の偏光を精度よく測定することに成功し、原子核物理学に画期的な直線偏光核分光測定法をもたらした。これらを発展させるには有効面積の向上の他、広いエネルギー範囲や高計数率の実験への対応が必要である。さらに医学応用では宇宙観測と同様に高いバックグラウンドの中で体内の微弱なガンマ線源の可視化と定量化が求められる。こうした要求に応えた技術開発を行い、さらにそれを次世代の高感度 MeV ガンマ線宇宙観測のための検出器につなげる為に、我々は厚型の CdTe イメージャの他、コンプトン散乱における反跳電子の運動量方向を知るための半導体センサーの開発に取り組んでいる。これが $20 \mu\text{m}$ 角ピクセルを持った Si-CMOS ハイブリッドピクセル検出器である。分割した共通電極側の信号から電子飛跡と同時に数 μ 秒の時間分解能を持つことが特徴である。すでに 640×640 ピクセルの素子を実現し、現在カラム ADC を採用したフルデジタル素子の開発を進めている。本発表ではコンプトンカメラの地上応用と、その先の次世代の MeV ガンマ線宇宙観測のための技術開発の展望について述べる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M01a M 型星 EV Lac における恒星フレアの X 線・紫外線・可視光同時観測

井上峻, 榎戸輝揚 (京大), 行方宏介 (NAOJ), 野津湧太 (コロラド大), 本田敏志 (兵庫県立大), 前原裕之 (NAOJ), Jiale Zhang, Hong-Peng Lu (北京大), 内田裕之, 鶴剛, 野上大作, 柴田一成 (京大)

恒星フレアは星の表面において磁気エネルギーが突発的に解放される爆発現象であり、太陽フレアと同様にプロミネンス噴出を伴うことが可視分光観測により明らかにされてきた (e.g., Namekata et al. 2022a)。恒星フレアの広帯域スペクトルは従来、9000 – 10000 K の黒体放射と考えられてきたが、最近の観測研究では、そのモデルと観測結果が整合しないことが指摘されている (Kowalski et al. 2019; Brasseur et al. 2023; Jackman et al. 2023)。

EV Lac は 5.05pc 程の距離に位置する M 型星であり、活発な磁気活動を示す (e.g., Honda et al. 2018)。本研究では、NICER (0.2–12 keV) と Swift/XRT (0.2–10 keV) による X 線観測、Swift/UVOT (1600–3500 Å) による近紫外線観測、TESS (6000–10000 Å) による可視分光観測、兵庫県立大学西はりま天文台なゆた望遠鏡/MALLS (6350–6800 Å) による可視分光観測を EV Lac に対して 2022 年 10 月 24–27 日の 4 晩にわたり同時に実施した。その結果、日本時間の 10 月 25 日 21 時 30 分ごろに 3.4×10^{32} erg を白色光で解放する恒星フレアの多波長観測に成功した。本フレア中には、H α 線でのフレアピークから約 1 時間後に -100 km/s 程度の青方偏移成分が現れ始め、その後 40 分ほど継続していた。フレアピークに 1 時間遅れて噴出するようなプロミネンスは太陽においても観測例が非常に少ない (Kurokawa et al. 1987)。また、白色光の増光時には、3 分ほどの緩やかな増光と 1 分ほどの急激な増光の二段階が観測された。白色光の緩やかな増加時における白色光に対する近紫外線のフラックス比は ~ 0.49 であり、このことは黒体放射の温度が 9000 K 以下であることや非熱的電子のエネルギーフラックスが 5×10^{11} erg cm $^{-2}$ s $^{-1}$ 以下であることを示唆する。本講演では、上記のイベントについてその詳細を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M02a りょうけん座 RS 型連星で発生した H α 線フレアのプロファイル調査

浦部蒼太, 坪井陽子, 那波咲良, 根本登, 後藤絵美, 河合広樹, 米山友景 (中央大学)

りょうけん座 RS 型連星は、最大級の太陽フレアの X 線エネルギー (10^{32} erg) よりも 4–7 桁も大規模なフレア (10^{36-39} erg) を起こすことが知られている。この規模の違いは主に空間スケールの違いであると考えられ、フレアループのサイズは星の半径より 1 桁程度まで大きくなるという示唆もある (例えば、Tsuboi et al 2016)。連星間距離は星半径の数倍のため、主星と伴星の間を繋ぐ磁力線が巨大フレアを起こすというアイデアも提唱されている (Uchida & Sakurai 1985)。しかし、巨大なフレアループの形成過程や幾何についてはよく分かっていない。

線スペクトルのドップラーシフトや強度変動から得られるプラズマの、ダイナミクスや発生タイミング、継続時間は、フレアの、空間情報や幾何を知る手がかりとなる。しかし、フレアの発生のタイミングに合わせて、精密な分光観測を行う機会は X 線帯域では限りがある。一方、恒星フレアは、X 線帯域だけではなく、H α 線帯域でも観測される (例えば、Kawai et al 2022)。

我々は、H α 線帯域の分光観測が可能な望遠鏡 SCAT (口径: 36 cm、波長分解能 ~ 600) を有し、2016 年から 2023 年の 7 年間にわたって、H α 線帯域におけるりょうけん座 RS 型連星のモニター観測を実施してきた。その結果、おひつじ座 UX 星とおうし座 V711 星から約 90 発の H α 線フレアを検出した。H α 線の放射エネルギーは $5 \times 10^{32} - 4 \times 10^{36}$ erg であり、最大級の太陽の H α 線フレアのエネルギー ($\sim 10^{31}$ erg) と比べて、桁違いに大きかった。また、これらのうち 16% は、H α 線のプロファイルに顕著な非対称性 (歪度の絶対値が 0.5 以上) が見られた。本公演では、りょうけん座 RS 型連星における H α 線フレアの統計的な特徴に加えて、推定されたフレアの発生領域と黒点の位置関係についても報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M03a RS CVn 型連星ペガスス座 IM で起こった巨大フレアの X 線・可視光分光観測

後藤絵美, 坪井陽子, 米山友景, 浦部蒼太, 那波咲良, 根本登 (中央大学), 岩切渉 (千葉大学), 他 MAXI チーム

りょうけん座 RS 型星 (RS CVn 型星) は、X 線観測から、 10^{36-39} erg の巨大フレアを起こす天体として知られている。これは、最大級の太陽フレアのエネルギー (10^{32} erg) をはるかに上回る規模である。RS CVn 型星は近接連星系であるため、巨大フレアの発生機構について磁気リコネクションモデルが数多く提案されており、その結論は明らかになっていない。更に、RS CVn 型星で起こるような巨大フレアにおいては、その発生頻度の低さから十分な調査が行われていない。そのため、あらゆる波長帯域を用いて多角的に観測することが有効である。特に、H α 線の偏移は、恒星フレアにおけるプラズマの運動を理解するための手がかりとなる。

本研究では、2023 年 7 月 23 日に全天 X 線監視装置 MAXI が検出した RS CVn 型星ペガスス座 IM (K2III + GV, 公転周期約 24.6 日) の巨大フレアを、可視光分光望遠鏡 SCAT (中央大学) にて検出の 90 分後から追観測し、X 線と H α 線の同時観測に成功した。その結果、本フレアの減光時間 (e-folding time) と解放エネルギーは、軟 X 線では 0.57 日、 1.1×10^{38} erg、H α 線では 0.87 日、 4.7×10^{36} erg であった。この値は、Kawai et al. 2022 にて示された X 線と H α 線の継続時間やエネルギーに関するスケーリング則のハイエンドに位置した。また、H α 線において最大速度 ~ 2000 km s $^{-1}$ 、光度 3.4×10^{31} erg s $^{-1}$ に及ぶ青方偏移を捉えた。この光度は、青方偏移成分において観測史上最大であった。本公演では、上記の詳細について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M04a Starspot mapping and multi-wavelength variability for a young solar-type star

幾田 佳 (東京大学), 行方 宏介, 前原 裕之 (国立天文台), Vladimir Airapetian (NASA), Pascal Petit (Université de Toulouse), 野津 湧太 (コロラド大学), 柴田 一成 (同志社大学)

太陽型星 (G 型星) において、最大級の太陽フレア ($\sim 10^{32}$ erg) の 10^{1-3} 倍のエネルギーを持つスーパーフレア ($\geq 10^{33}$ erg) が起きることが知られており、若い太陽型星 EK Dra (有効温度 5700K, 自転周期 2.6 日, 年齢 ≤ 100 Myr) でスーパーフレアに伴うフィラメント噴出の証拠として、 $H\alpha$ の吸収線の時間変化が初めて発見された (Namekata et al. 2022). また、せいめい望遠鏡による $H\alpha$ 線、トランジット系外惑星探査衛星 TESS による可視 (600-1000 nm), NICER による X 線の多波長同時観測から、EK Dra においてスーパーフレアに伴うプロミネンス噴出の証拠として、 $H\alpha$ の輝線の時間変化が初めて発見されている (Namekata et al., in press). フレアやフレアに伴うプラズマ噴出現象は、恒星黒点の磁場構造に由来すると考えられているが、フレア発生時の黒点配置との関係は未解明である。

本研究では、測光観測データから星表面にある黒点の位置、大きさ、生成消滅率などを推定するコード (Ikuta et al. 2020 & 2023) を用いて、EK Dra の TESS の観測データ (2022 年 4 月) から黒点マッピングを行い (2023 年秋季年会 Z413a), プロミネンス噴出が起きた時刻での黒点配置や多波長での活動領域の対応を調べた。その結果、プロミネンス噴出が起きた時刻に黒点は周縁付近に存在することが示唆され (2023 年春季年会 M19a, 行方ら), 同時期の Bernard Lyot 望遠鏡によるドップラーイメージングの結果 (Namekata et al., in prep.) と部分的に整合した黒点配置が得られた。また、 $H\alpha$ 線では TESS と反相関する周期的変動が検出されており、太陽同様に黒点周辺の彩層が $H\alpha$ 線で明るいことを示している。一方で、コロナの活動領域に対応する X 線では明確な周期的変動は検出されなかった (Ikuta et al., in prep.). 本講演では、黒点配置と X 線の変動の関係を調べた結果を合わせて報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M05a ポストフレアループに注目した 2023/8/5 X1.6 フレアの Sun-as-a-star 解析

大津天斗, 浅井歩 (京都大学), 幾田佳 (東京大学), 柴田一成 (同志社大学/京都大学)

ポストフレアループは標準的な太陽フレアの減衰期に観測されるループ状のプラズマである。近年、多様な恒星でスーパーフレアとよばれる最大級の太陽フレアの 10 倍以上のエネルギーを放出する現象が発見されており (e.g., Okamoto+ 2021), 多くの観測がその基本機構は太陽フレアと共通であることを示唆している。例えば、ポストフレアループと同様に標準的な太陽フレアの基本要素であるフィラメント/プロミネンス噴出がスーパーフレアに伴っても観測された (Namekata+ 2022, 2023)。これらの成果は、Sun-as-a-star 解析で得られた太陽の空間積分データとの類似性からも支持されている (Namekata+ 2022, Otsu+ 2022)。一方、ポストフレアループに関しては太陽の空間積分されたデータの調査が不十分であり、恒星でどのように観測されるか未だ明確ではない。

そこで、本研究では 2023 年 8 月 5 日に北西リム近傍で発生した X1.6 フレアについて、SDO/AIA (EUV, $\geq 10^5$ K) と飛騨天文台 SMART/SDDI ($H\alpha$ 線, $\sim 10^4$ K) を用いて、ポストフレアループに注目し、Sun-as-a-star 解析を行った。その結果、 $H\alpha$ 線の空間積分スペクトルはループに沿って落下するプラズマに対応して、赤方偏移 (≤ 100 km s^{-1})/青方偏移 (≤ 70 km s^{-1}) した吸収を同時に示した。太陽面中心近傍のポストフレアループでは赤方偏移した吸収のみが報告されており (Otsu+ 2022), 本フレアとの違いは視線方向の投影効果で説明できると考えられる。また、 $H\alpha$ 線のライトカーブはツーリボンとポストフレアループに対応する 2 段階の増光ピークを示した。ポストフレアループに対応するピークは GOES 軟 X 線、AIA 171 Å のピークとそれぞれ約 13 分、約 2.4 分の時間差を示し、これらは放射冷却のタイムスケールと整合する。この結果は、恒星においてもポストフレアループが低温なプラズマへと冷却されていく過程を軟 X 線から $H\alpha$ 線の多波長観測で検出できる可能性を示す。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M06a パーシステントホモロジーで探る活動度が異なる活動領域の時間発展

竹井麻衣香 (お茶の水女子大学), 勝川行雄 (国立天文台), 鳥海森 (ISAS/JAXA), Pablo Santamarina Guerrero (IAA-CSIC)

太陽フレアは太陽表面で生じるエネルギー解放現象であり、フレアの直接の駆動機構は、大気中で磁力線が起こす磁気再結合だと理解されている。また、活動領域磁場構造とフレア発生率の間には、統計上の相関をみることができ。活動領域の分類は、黒点の形状や、その極性まで考慮して細分する定性的手法によって発展し、フレアの発生率と結び付けられてきたが、その定量的分類については確立されていない。今回、位相幾何学的解析手法「パーシステントホモロジー」を SDO/HMI の磁場画像に適用し、活動領域の定量的分類を試みた。パーシステントホモロジーにより、磁場構造のトポロジー的解釈を数値化でき、1 枚の磁場画像は 1 つのパーシステント図に変えられる。パーシステント図は図中の点が持つ「形状」「極性」の情報によって 6 つの異なるトポロジー的磁気要素を持った区分に分割でき、例えばその区分の 1 つは正極が連鎖した磁気要素に対応する。解析ではまず、各区分の要素個数の時間変化を、活動度の高い、低い活動領域と比較して、どれも活動度の高い方が 4-5 倍の値を保って変化するという結果を得た。次に、図の全要素個数に対して各区分の要素個数が占める割合の時間変化を比較したが、1 割以上の差異は見られなかった。これらは、活動領域の活動度に依らず、活動領域内に各種のトポロジー的磁場構造が同配分で存在することを示す。さらに、正極負極が隣接する箇所をパーシステント図に表し、全点の個数の時間変化を比較すると、活動度の高い方が常に 10 倍ほど点が多いままで、「 δ 型黒点がフレアを起こしやすい」という定説を裏付ける結果を得た。閾値の検討によって定量的に活動領域を分類できることが期待される。講演ではこの他、本解析手法で明確化される、「活動度に応じた活動領域の特性」についても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M07a MHD 緩和現象としての太陽フレア

後藤一郎 (名古屋大学 ISEE), KD Leka (NWRA, 名古屋大学 ISEE), 草野完也 (名古屋大学 ISEE)

太陽フレアは太陽活動領域磁場に蓄積された自由エネルギーが電磁流体力学 (MHD) 不安定性と磁気リコネクションを通して爆発的に解放される現象であると考えられている。しかし、その発生条件や解放されるエネルギーを決定するメカニズム等は未解明である。また、コロナ質量放出 (CME) に発展する噴出型フレアと CME に発展しない非噴出型フレアの違いを決める要因も十分に解明されていない。これらの課題の解決は太陽フレアの結果として発生する宇宙天気災害を未然に防ぐことを目的とした宇宙天気予報の高度化にとっても重要である。本研究では太陽フレアを MHD 緩和現象として捉え、太陽表面磁場の統計解析により、(1) フレアに伴って太陽表面の磁場構造がどのように変化するのか、(2) 噴出型フレアと非噴出型フレアとでその変化にどのような違いがあるのかを明らかにすることを目的とする。そのため、Solar Dynamics Observatory (SDO) 衛星に搭載された Helioseismic and Magnetic Imager (HMI) が観測したデータを利用し、フォースフリー磁場 ($\nabla \times \mathbf{B} = \alpha \mathbf{B}$) を特徴づける α 値の分布と非ポテンシャル磁場の関係などに注目して、M5 クラス以上のフレア (34 イベント) の統計解析を行った。その結果、 α 値の太陽表面における空間分布の標準偏差がフレアに伴って減少する傾向があることを見出した。また、その減少割合は噴出型フレアの方が非噴出型フレアより大きく、特に非ポテンシャル磁場が強い領域でより顕著であることを見出した。このことは太陽フレアが Taylor の最小エネルギー状態へ向けた MHD 緩和現象としての傾向を一定程度持っており、その傾向は噴出型フレアでより強い可能性があることを示唆している。講演ではさらに平均 α 値とその変化に関する噴出型フレアと非噴出型フレアの違いについても考察する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

M08a 噴出性フレアにおけるフラックスロープ外場の経路勾配角依存性について

木田祐希, 永田伸一 (京都大学)

太陽フレアは太陽表面で起きる爆発的な増光現象である。フレアはコロナ磁場に蓄えられたエネルギーが磁気リコネクションにより解放されることにより発生する。フレア発生の際に噴出の中心となるねじれた磁力線構造であるフラックスロープの電磁流体力学不安定性が噴出に寄与すると考えられている。2021 年 9 月 23 日に発生した CME を伴うフレアについて、Solar Dynamics Observatory 衛星、GOES-17、SOHO コロナグラフを用いて解析を行った。このフレアは GOES-class M2.8 を示し、SOHO LASCO コロナグラフにおいて活動領域から非動径方向に噴出する CME が観測された。フレアの発生した活動領域 NOAA12871 において、SDO AIA によりフレア発生直後から活動領域より非動径方向に膨張するフラックスロープが確認された。また、タイムスライス解析により、噴出したフラックスロープの速度は減速のち加速を示した。このフラックスロープの非動径方向の運動と特徴的な速度プロファイルを説明するため、Kliem and Török (2006) の運動方程式にフリーパラメータとして初速と初期高度と経路の勾配角、およびその経路上でのポテンシャル場のポロイダル成分から求めた Decay Index を与え、計算結果を観測と比較した。これと同時に、フラックスロープ経路上で磁気圧勾配力によるトラス面外から働く力の解析も行なった。その結果、トラス面の傾きが光球面に対し 45 度未満の時には噴出が起これば、50 度の時の速度変化が定性的に最も観測と整合するという結果を得た。これはトラス面外から力が加わり、噴出の向きが鉛直方向から逸れたためと考えられる。これによりフラックスロープの運動の予測を光球磁場から外挿したポテンシャル場およびフォースフリー場により予測できると期待する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)M09a 活動領域 NOAA13296 で発生した $H\alpha$ 線と NaI D_1 線の増光現象の高時間分解能分光観測

當村 一朗 (大阪公立大学工業高専), 川上 新吾 (文科省), 上野 悟, 一本 潔 (京都大学飛騨天文台)

我々は京都大学飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡 (DST) と高速 2 次元分光観測システムを用いて多波長同時観測を行うことにより、太陽彩層～光球のダイナミクスの速い時間変動を調べている。2023 年 5 月の DST 共同利用観測において、生成される高さが異なる $H\alpha$ 線と NaI 589.6 nm 線 (D_1 線) による 2 波長同時観測を行い、活動領域 NOAA13296 におけるそれら 2 波長での増光現象を、現象開始前から 1.3 秒のケーデンスで約 20 分間連続して捉えることに複数回成功した。視野はスリット方向・太陽像のスキャン方向共に約 100 秒角、空間サンプリングはスリット方向に 0.16 秒角、スキャン方向に 0.64 秒角、カメラのフレームレートは 160 fps、 $H\alpha$ 線および NaI D_1 線のスペクトルの次数は 1 次、サンプリングは約 0.02 Å/pixel である。 $H\alpha$ 線がエミッションを示す場所について、近傍の静穏領域を基準として作成したコントラストプロファイルのウィング部分を用いて線中心や線幅を計算し、その時間変動を調べた。

その結果、5 月 9 日 01:34UT~01:56UT の観測では $H\alpha$ 線と NaI D_1 線の増光とほぼ同時に $H\alpha$ 線のレッドシフトが増大し始め、約 2 分後に $H\alpha$ 線のレッドシフトがほぼ終息した後もエミッションが大きい状態が続くこと、 $H\alpha$ 線がエミッションを示している間は $H\alpha$ 線・ NaI D_1 線の線幅の増大も続いている可能性があることが判った。また増光と相前後して発生した近傍のフィラメント様構造のブルーシフトとの関連性も考えられる。年会では上記以外の日時に観測された増光現象も含め、 $H\alpha$ 線と NaI D_1 線のそれぞれにおける増光・ドップラーシフト・線幅の間の時間変動の関連性、および 2 つのスペクトル線の間の時間変動の関連性に重点を置いて報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

M10a 速度場の視点からのプラズモイド不安定性の観測的検証

広瀬暖菜, 今田晋亮 (東京大学)

磁気リコネクションとは、磁力線の繋ぎかえによって磁場のエネルギーをプラズマのエネルギーに変換する物理現象である。太陽コロナで起こる爆発現象である太陽フレアも磁気リコネクションをその駆動源とすると考えられているが、そのプロセスは未だ完全には解明されていない。電磁流体力学の範疇では、高速磁気リコネクションの基礎モデルとして以下の二つが議論されてきた。スローモード衝撃波を伴った平衡に近いペチェック型磁気リコネクションと、多数のプラズモイドを伴って非定常に生じるプラズモイド不安定型の磁気リコネクションである。理論的には、磁場がつながりかわる領域 (X 点) に局所的な抵抗を与えるとペチェック型リコネクションに、抵抗を空間一様に与えるとプラズモイド不安定型の磁気リコネクションが生じることが明らかになっている。しかし、これらの抵抗の起源を理解するには二流体・運動論の範疇まで考慮する必要があり、太陽大気においてどちらのタイプの磁気リコネクションが起こるか、または両タイプの間で遷移が起こるか、観測等を十分に説明する理解は得られていない。また観測的な問題として、プラズモイド不安定型な構造が紫外線撮像観測で見られた例は現状ほとんど存在せず、リムフレアについては 2010 年 8 月 18 日の太陽フレア (Takasao et al. 2012) のほぼ一例のみであり、十分な観測研究が行われているとは言えない状況である。そこで本研究では、ペチェック型のリコネクションを伴ったフレアとプラズモイド不安定型のリコネクションを伴ったフレアとの間で、速度場に着目した時間的・空間的な構造を比較を行い、プラズモイド不安定型のリコネクションを伴ったフレアの特徴を観測的に検証した。その結果、2010 年 8 月 18 日の太陽フレアではインフローが複数の点で生じており、プラズモイド不安定型な構造が確認できた。また、分光観測の結果も合わせて非熱的速度に関する議論を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

M11b 黒点自動検出に基づく黒点面積統計の評価

花岡 庸一郎 (国立天文台)

太陽黒点は太陽活動のよい指標であり、その出現の程度を表すものとしては、1700 年以降の統計があり現在も導出が続けられている黒点相対数が最もよく使われている。一方、黒点の総面積も、相対数ほど古くまではさかのぼれないものの 1874 年以降の統計があり、相対数よりも客観的な量に基づく指標として、太陽活動変動をとらえる上で有用である。しかしながら、特に近年黒点面積導出を行っている観測所が少なくなっている。

国立天文台では 1998 年以降、スケッチ観測に代わって画像からの黒点検出を行っており、黒点の数だけでなく面積も求めている。また、2012 年以降のフレア望遠鏡連続光画像については、より信頼度の高い手法による黒点検出・面積導出を行っている。今回、これらの面積導出の結果を、過去の様々なデータを較正することで作成された 150 年間の黒点面積カタログ (Mandal et al. 2020)、Debrecen 天文台で SDO/HMI データ及び我々のデータを使用した面積導出の結果、と比較し、その評価を行った。

その結果、我々のデータは他のデータとよい相関があり、特にフレア望遠鏡での日ごとの黒点面積は、Mandal カタログ・HMI 黒点面積と高い相関 (相関係数 0.98–0.99) を示すこと、ただし投影効果を補正した面積では相関が落ちること、が分かった。投影効果の補正で相関が低下するのは、検出困難なリムぎりぎりの黒点が補正によって大きな誤差を生ずることが要因である。一方、我々が得た面積そのものは他データの 80–90% となっている。これは黒点の境界の定義の違いが主たる要因であり、相関が高いことから、較正は容易と判断できる。したがって、国立天文台での黒点自動検出で得られた黒点面積は、これまでの黒点面積統計を継続するためのデータとして有用である。現在、利用しやすい形でこの黒点面積データを公開する準備を進めている。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

M12b What Influences Observed Variations in Flare Ribbon Patterns?

Qihui Ming, Kanya Kusano (ISEE, Nagoya Univ.), K.D. Leka (NWRA; ISEE)

Solar flares result from the reconnection of magnetic field in active regions. In the lower solar atmosphere, these flares produce ribbon-shaped brightenings, theorized to be the footpoints of magnetic field lines that have undergone reconnection. The characteristics of flare ribbons may reveal insights into the progression of reconnection events. In the present study, we perform a detailed comparative analysis of flare ribbons for multiple, in some cases apparently homologous, events within target flare-active regions. We examined the properties of their flare ribbons as detected by UV 1600Å images from the Atmospheric Imaging Assembly (AIA) aboard the Solar Dynamics Observatory (SDO). For events of the same region, we compared their magnetic configurations, using vector magnetograms obtained from the Helioseismic and Magnetic Imager (HMI) on SDO. This investigation aims to understand how variations in physical conditions within the same active regions lead to different flare ribbon patterns.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

M13b MHD 緩和法に基づく有限プラズマ β コロナ磁場外層コードの開発

山崎大輝 (ISAS/JAXA)、三好隆博 (広島大学)、井上諭 (ニュージャージー工科大学)

太陽大気は弱電離プラズマで構成され、磁場との相互作用から多様な磁気流体現象を示す。中でも最も高エネルギーな現象として、磁気リコネクションを介した突発的磁気エネルギー解放である、太陽フレアが挙げられる。太陽フレアの物理機構の理解には、エネルギー蓄積及び解放領域であるコロナの3次元磁場が鍵を握るが、観測上の制約からコロナ磁場の定量的な直接診断は難しい。これまでの研究では、観測可能な光球ベクトル磁場を底面境界条件としてコロナ磁場を数値的に外挿する手法が用いられてきた。特に、コロナ中でよく成立するプラズマ $\beta = 0$ の近似に基づいて、ローレンツ力のみを釣り合いを考えた力学平衡解である非線形フォースフリー磁場 (NLFFF) を用いたフレア研究がよく行われてきた (cf. Inoue et al. 2014)。しかし、NLFFF は、弱磁場領域や高高度に存在する捻れた磁力線構造の再現性が悪い (e.g. Jiang et al. 2014, Kawabata et al. 2020)。

本研究では、観測光球磁場データに適用可能な、有限プラズマ β の磁場外挿コードの開発を行った。本コードは、ローレンツ力とガス圧勾配力の釣り合いを考えた力学平衡解を計算する。開発したコードの性能検証のため、2021年10月に大規模な太陽フレアが発生した活動領域 NOAA 12887 の SDO/HMI による光球ベクトル磁場を境界条件として磁場外挿計算を行い、既存の NLFFF との3次元磁場構造及び残差力の比較を行った。その結果、NLFFF と同様に活動領域上空の捻れた磁力線構造の再現に成功した。また、NLFFF と比較して、残差力の平均値が3.6%、最大値が2.6%それぞれ減少することが分かった。このことから、開発した有限プラズマ β の磁場外挿コードは、既存の NLFFF よりも力学平衡状態により近い3次元磁場を再現可能であると結論づけた。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

M14c GREGOR/GRIS による近赤外面偏光分光観測: 活動領域フィラメントの振動解析

山崎大輝 (JAXA/ISAS)、川畑佑典、内藤由浩、石川遼子、勝川行雄、(国立天文台)、Andrés Asensio Ramos、Carlos Quintero Noda (IAC)

太陽フィラメントは、 $H\alpha$ 線などの観測から太陽面上に暗い筋模様として観測される、低温高密度なプラズマ雲である。太陽フィラメントを構成するプラズマは、太陽大気中の磁場によって支えられており、しばしば振動が観測されてきた (cf. Arregui et al. 2018)。フィラメント振動源の候補として、Alfvén 波などの磁気流体波の伝播などが考えられてきた (e.g. Okamoto et al. 2007)。しかし、これまでの観測では高精度な磁場の時間変動が取得できておらず、磁気流体波動のモードを磁場の直接観測から同定するには至っていない。また、単スリット偏光分光の手法では、波動伝播方向に沿った観測が困難であり、位相の空間分布の調査から波動伝播を議論した研究はない。そこで本研究では、口径 1.5 m の地上望遠鏡 GREGOR に搭載されている近赤外面偏光分光装置 GRIS を用いて、2023年4月14日に活動領域フィラメントの観測を行った。観測視野及びケーデンスはそれぞれ6秒角四方、約15秒で連続20分観測した。得られた偏光分光スペクトルから、He I (1083 nm) に注目し放射強度 (波長中心)、直線偏光度、円偏光度、波長シフトの時間変化の解析を行った。その結果、放射強度には約600秒周期のモードが、円偏光度には放射強度と同位相の約600秒周期のモードと60秒周期のモードの2つが確認された。本講演では、HAZEL (Assensio Ramos et al. 2008) による He I (1083 nm) の偏光スペクトルの解釈や、フィラメントの600秒周期の振動を励起するメカニズムや波動伝播の可能性についても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

M15c A unified model of solar prominence formation

Huang, C.J. (Kyoto University) et al.

There are several mechanisms explaining the formation of a solar prominence, among which the evaporation-condensation model and direct-injection model are the most popular ones. In the evaporation-condensation model, the hot plasma evaporated from the chromosphere suffers from catastrophic cooling due to thermal instability or thermal non-equilibrium, and condensates to become a prominence. In the direct-injection model, the cold plasma at the bottom of the chromosphere is ejected into the corona along the magnetic field lines dynamically. In our previous work using 1-dimensional hydrodynamic simulation, the two models are unified by distinguishing the height of the in-situ localized heating. If the localized heating heats the upper chromosphere, the local cold plasma will be heated to millions of kelvins and evaporated into the corona, and finally condensates as a prominence, such process is manifested as evaporation-condensation model. If the localized heating happens in the lower chromosphere, the cold plasma above will be ejected by the gas pressure and move up to the corona, such process is manifested as direct-injection model. In this work, we performed a 2D-MHD simulation, which replaces the manual localized heating with magnetic reconnection triggered by ephemeral magnetic field near the footpoint of the background coronal magnetic field. The rationality of our unified model is further stated, and we analyzed the reason and consequence of the different height of magnetic reconnection. Additionally, we discussed about the coronal rain events included in our simulation results. The paper is in preparation.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

M16a SUNRISE-3 大気球太陽観測実験: 2024 年の再フライト観測に向けて

久保雅仁, 勝川 行雄, 川畑佑典, 大場崇義 (国立天文台), 松本琢磨 (名古屋大学), 石川遼太郎 (核融合科学研究所), 清水敏文 (ISAS/JAXA), 原弘久, 浦口史寛, 都築俊宏, 篠田一也, 田村友範, 末松芳法 (国立天文台), J. C. del Toro Iniesta, D. Orozco Suarez, M. Balaguer Jimenez (IAA), C. Quintero Noda (IAC), S. K. Solanki, A. Korpi-Lagg (MPS)

国際大気球実験 SUNRISE-3 は、口径 1m の光学望遠鏡を 35km 以上の高度に飛翔させることで、シーイングの影響を受けずに約 5 日間に渡り 24 時間連続で太陽を観測する計画である。日本のグループは SUNRISE-3 に搭載する近赤外線偏光分光観測装置 SCIP (Sunrise Chromospheric Infrared spectroPolarimeter) の開発を主導した。SCIP は、0.2 秒角という高い空間解像度と 0.03 % (1 σ) という非常に高い偏光精度で、太陽光球・彩層の 3 次元磁場測定を実現する。SUNRISE-3 のフライトを 2022 年 7 月に実施したが、ゴンドラの不具合により観測データ取得することができなかった。SCIP を含む焦点面装置は健全な状態で回収され、SCIP は回収後の動作確認で問題ないことが確認されている (2023 年春季年会 V244a)。ゴンドラの不具合部分を改修して 2024 年 6 月に再フライトを行う計画を NASA の Low Cost Access to Space (LCAS) へ提案し、採択された。一部に汚れが見られた望遠鏡の鏡の再コーティングが 2023 年 11 月から実施され、鏡の再組み込み中である。2024 年 1 月から、SCIP を含めた焦点面装置の再アライメント及び性能検証試験を実施する計画である。その後、射場であるスウェーデン・キルナ ESRANGE に輸送され、射場での試験を経て 6 月にフライト観測を実施する予定である。並行して、観測ターゲットの優先度付けの議論や地上・飛翔体観測装置との共同観測の準備を進めている。本講演では、再フライトに向けた準備状況を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M17a GREGOR/GRIS による近赤外面偏光分光観測: 太陽フレア発生時の光球・彩層の応答

川畑佑典, 内藤由浩 (国立天文台), 山崎大輝 (ISAS/JAXA), 石川遼子, 勝川行雄 (国立天文台), Andrés Asensio Ramos, Christoph Kuckein, Carlos Quintero Noda (IAC)

太陽フレアは、コロナで蓄積された磁気エネルギーが突発的に解放される現象だが、熱伝導や粒子加速を通して光球・彩層にもエネルギーが注入されることが知られる。フレア発生時の低層大気の応答は、磁場構造の変化という観点で古くから注目され、光球の偏光観測に始まり (Petrie & Sudol 2010)、近年では彩層の偏光観測にも成功した例が存在する (Anan et al. 2018)。しかし、フレア発生時の偏光信号の生成・変化要因が複雑であるため (磁場・輻射の非等方性・加速粒子の衝突・形成高度の変化)、物理的解釈が難しいという課題がある。解決策として、フレア発生時の偏光信号の時間変化・空間分布・複数の高度情報を同時に取得し、様々な要因を切り分ける方法がある。本講演では、上記の要求を達成した多波長面偏光分光観測データの解析結果を報告する。

我々は口径 1.5 m の地上望遠鏡 GREGOR に搭載されている近赤外面偏光分光装置 GRIS を用いて、2023 年 4 月 15 日に発生した C クラスフレアの観測に成功した。複雑な偏光プロファイルの時間的・空間的分布を調べるために k-means 法を用いて 15 種類に分類した。その結果、He I 1083 nm (彩層) で複数の速度成分を示唆する広い輝線幅を持つプロファイルが、フレアの立ち上がりからピークの間にフレアリボンの中心付近にのみ存在することがわかった。この結果は高い時間分解能 (<15 秒) と空間分布取得を同時に達成する面偏光分光観測により初めて得られた。輝線プロファイル群に対して行った HAZEL コードの inversion 結果についても議論を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M18a 飛騨天文台 DST 垂直分光器を用いた He I 10830 Å 偏光分光空間スキャン観測による活動領域フィラメントの双方向質量流と磁場構造の解析

山崎大輝 (ISAS/JAXA), 黄于蔚, 橋本裕希, 上野悟 (京都大), 一本潔 (立命館大)

ダークフィラメントは、太陽コロナ中で磁場に支えられた低温高密度プラズマ雲である。先行研究によると、静穏領域及び活動領域上空に出現するダークフィラメントの磁場強度は、それぞれ典型的に数 10 G 及び数 100 G 程度である (Yamasaki et al. 2023, Kuckein et al. 2009)。また、磁場構造については、傾向として静穏領域フィラメントでは逆極性型 (Kuperus & Raadu 1974) が、活動領域フィラメントでは順極性型 (Kippenhahn & Schlüter 1957) が多く報告されている。さらに、H α 線の分光観測からフィラメントの見かけの軸に沿った数 km/s から数 10 km/s 程度の双方向質量流の存在も報告されている (e.g. Mein 1977, Lin et al. 2006)。しかし、この双方向質量流とフィラメント磁場構造の関係は観測的な調査がなされておらず、また、質量流を駆動する機構も明らかになっていない。本研究では、飛騨天文台 DST 偏光分光観測装置 (cf. 2023 秋年会 M18a) を用いて、He I 10830 Å で 2022 年 9 月 5 日に出現した活動領域フィラメントの空間スキャン観測を行った。HAZEL (Asensio Ramos et al. 2008) を用いたストークスインバージョンから、ベクトル磁場と視線方向速度を導出した。その結果、磁場強度は 101 ± 33 G、磁場構造は場所によって順極性型と逆極性型が入り組んだ構造を示すことが分かった。また、視線方向速度はフィラメントの見かけの軸の片側と反対側でブルー及びレッドシフトする様子が見られ、それぞれ +13.5, -10.5 km/s (最大値) が得られた。H α 線画像及び SDO 衛星 AIA 望遠鏡による極端紫外線画像から、双方向質量流の面内方向成分はいずれもフィラメントの見かけの軸に沿った方向の流れであることがわかった。本講演では、流れの方向と He I 10830 Å の偏光分光観測から得られた磁場構造の比較についても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M19a LiNbO₃ フィルターと回転波長板を用いた He I 1083 nm 線における太陽彩層の偏光観測

末松芳法, 篠田一也, 萩野正興 (国立天文台), 伊集朝哉, 上野悟, 永田伸一, 一本潔 (京都大学)

太陽磁場を導出するために、近赤外波長域で動作する 2次元分光偏光観測装置を開発している。2次元分光器には、電圧波長可変のタンデム式 LiNbO₃ エタロンフィルターグラフを用いる。偏光変調には、可視から近赤外の波長範囲にわたって約 127 度のほぼ一定のリターデーションを持つ回転波長板を使用する。フィルターグラフは厚さ 0.9mm と 1.2mm の 2 枚のエタロンで構成され、これらの厚みは、タンデム構成で使用した場合、He I 1083 nm と磁場に敏感な Fe I 1564 nm の両スペクトル線に対して、常光線透過波長が小さな傾き調整で一致するように最適化されている。エタロンは、高反射膜と導電膜 (ITO) でコーティングされた Y カット LiNbO₃ 結晶板である。回転波長板とフィルターグラフの間に直線偏光板を置き、偏光アナライザーと常光線透過の選択のために用いる。京都大学飛騨天文台のドームレス太陽望遠鏡の高分散水平分光器を用いて、エタロンの光学特性と電圧可変特性を調べた。各エタロンのフィネスは約 18 であった。He I 1083 nm 線の波長範囲 ± 0.04 nm の場合、印加電圧は ± 1.5 kV であった。その後、高速 IR カメラを用いて、He I 1083 nm 線の数波長における太陽活動領域の偏光観測を行った。フラットフィールドには、各波長点における異なる太陽面上の位置で撮影した画像数百枚の平均像を使用した。偏光復調は、波長板を 3 秒間 2 回転の間に撮影した 200 枚の画像を用いた。観測装置の特性およびデータ処理方法、並びに観測結果を示す。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M20a 観測ロケット実験 CLASP2.1 による活動領域磁場の 3次元マッピング

石川遼子, 岡本丈典 (国立天文台), D. Song (KASI), J. Trujillo Bueno (IAC), D. E. McKenzie (NASA/MSFC), F. Auchère (IAS), CLASP2.1 team

太陽大気の包括的な磁場測定は、光球からコロナへのエネルギー輸送とその散逸を理解するために極めて重要である。しかし、ガス圧優勢 ($\beta > 1$) から磁気圧優勢 ($\beta < 1$) に切り替わる彩層とそれよりも上空の大気層の磁場観測は圧倒的に不足している。そこで我々は、彩層上部 ~ 遷移層から放射される紫外線の偏光に着目し、その有用性を実証するため、日米欧観測ロケット実験 CLASP を実施してきた。

2021 年 10 月 8 日に実施した CLASP2.1 では、活動領域中の 16 箇所ですキャン観測を実施し、280 nm 波長域でのストークス (強度 I , 直線偏光 Q , U , 円偏光 V) スペクトルを得た。観測領域を SDO 衛星に搭載された AIA 171 Å で見ると、モス (苔) と呼ばれる高温ループの足元に対応する構造が見られる領域と、黒点から広がる低温ループが見られる領域から構成されていることがわかる。我々は、観測されたベクトル線の中でも特に顕著な円偏光を示した電離マグネシウム h & k 線 (彩層中 ~ 最上部から放射) とマンガン線 (彩層低部から放射) に着目し、それぞれに弱磁場近似を施すことで彩層低部、中部、最上部の視線方向磁場を導出した。さらに、太陽観測衛星ひのでに搭載された Solar Optical Telescope の観測と組み合わせることで、光球から彩層最上部に至る活動領域磁場の 3次元情報を得た。CLASP2 の観測 (Ishikawa et al. 2021) で報告されたように、活動領域の磁場は概ね、上空に行くにつれて強度が弱くまた空間分布も滑らかになっている。しかし一部の領域で、彩層最上部でのみ極性の反転が確認された。SDO/AIA による高空間分解能遷移層・コロナ画像と比較することで、彩層内の磁場構造とコロナループのつながりを明らかにした。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M21a Synthetic Stokes Profiles of Ca II 8542Å for Shock Waves in Simulated Solar Chromosphere

ZHOU, Xinyu (The University of Tokyo); YOKOYAMA, Takaaki (Kyoto University); IJIMA, Haruhisa; MATSUMOTO, Takuma (Nagoya University); TORIUMI, Shin (JAXA/ISAS); KATSUKAWA, Yukio; KUBO, Masahito (NAOJ)

It is considered that shock waves drive many solar chromospheric phenomena such as spicules, and contribute to the chromospheric heating. The polarization signatures can provide information on the magnetic field, which may highly affect the dynamics of the shock waves, but has not been well investigated so far. We studied the Ca II 8542Å synthetic Stokes profiles of 2D realistic radiative MHD simulation, in which we reproduced a well-relaxed unipolar atmosphere. Chromospheric shocks appear ubiquitously with 30% tending to propagate upward in $\pm 20^\circ$ of vertical direction, at a speed of 10-20 km/s. The Stokes features of shocks could be categorized as two cases depending on the attacking angle between the magnetic field and the propagation direction. Only fast shock appears in the perpendicular case with 30% of shocks lying in 70-90° of attacking angle, indicating the expansion of domes. In this case, strong linear polarization signal appears while Stokes V profile shows sign reversal on the edges of shock front and contains a transition zone in the center. The parallel/oblique case contains slow shocks and the other fast shocks, in which Stokes V feature shows considerable signal without sign reversal. We suggest that polarization signal of shock waves could help revealing the magnetic structure of domes in the chromosphere.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M22a 対流層からコロナまでコロナループ全体を自己整合的に再現する輻射磁気流体シミュレーションの開発状況

国吉秀鷹 (東京大学), 横山央明 (京都大学)

アルフベン波のエネルギー散逸は太陽コロナ加熱メカニズムの最有力候補であり、理論・観測の両面からその重要性が強く信じられている。コロナループ磁場に垂直方向の密度擾乱がほぼ存在せず一様である時は、コロナ中で生じる乱流による散逸が支配的であると考えられている。一方、現実のコロナは彩層ジェットや彩層蒸発、さらに磁気音波の影響で磁場垂直方向に非一様であることが知られており、局所的なアルフベン速度の勾配による位相混合が散逸を引き起こすと考えられている。どちらが支配的かはコロナ密度の非一様性の度合いに依存するが、先行研究の理論モデルでは非一様性がコントロールパラメータとして与えられており、密度擾乱を自己整合的に再現した理論研究は未だ存在しない。そこで、本研究では上部対流層・光球・彩層・コロナを含むコロナループ全体を扱う輻射磁気流体シミュレーションを行い、自己整合的にコロナ密度擾乱の再現、さらに乱流と位相混合の比較を目指す。本モデルは開発中であり、進捗状況として、下層大気(光球・彩層)で発生した磁気音波がコロナ中へ伝播し、その結果 20% を超える密度擾乱が生じることがわかった。本講演では生じた密度擾乱によってアルフベン波の散逸機構にどのような影響が生じるかについて議論を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M23a 極端紫外線分光データを使った高温ループのフィリングファクタ推定

石神 瞬, 原 弘久 (総合研究大学院大学/国立天文台)

コロナ加熱について 2 つのシナリオが提案されている。一つはコロナ上部で加熱が起きるシナリオである (Parker 1988)。コロナ上部でループ断面積は大きく変化せず、加熱領域とつながる同程度の断面積をもつ体積が加熱される。もう一つはコロナ下部で加熱が起き、磁力線を通じ上部へエネルギーが輸送されるシナリオである (Aschwanden et al. 2007)。プラズマ β の減少に伴いループ断面積は膨張し、加熱領域とつながるより大きな断面積をもつ体積が加熱される。2 シナリオで加熱位置や加熱の影響する範囲が異なるため、観測と整合的なシナリオの調査はループモデリングやインバージョンによる加熱パラメータ制約の点で重要である。放射に寄与する明るいプラズマ体積が全ループ体積に占める割合 (フィリングファクタ) は加熱領域が広いほど大きくなるため、前者よりも後者のシナリオの方がフィリングファクタは大きくなる。そこで、フィリングファクタを観測データから測定し、それと整合的な値を再現するのはどちらのシナリオか調査する。今回は 3 MK 以上のループに着目した。このループはコロナで典型的な約 1 MK のループよりも多く加熱が必要であり、その加熱機構の理解は重要である。しかし、3 MK 以上に感度のある EUV 輝線は少なく、今まで高温ループのフィリングファクタは撮像データと特定の加熱モデルとの比較により得られてきた。本研究では 3-5 MK のプラズマに感度がある Ar XIV 輝線の 187.96 Å と 194.40 Å の強度比を使った電子密度診断を行い、加熱モデルを介さずフィリングファクタを測定した。この測定で平均電子密度が $\log n_e = 10.6^{+0.1}_{-0.2} \text{ cm}^{-3}$ 、フィリングファクタが $0.005^{+0.004}_{-0.003}$ という値を得た。コロナ下部で加熱される 1 MK ループは 0.01-0.96 の範囲でフィリングファクタを持つため、加熱シナリオの明確な特定はできなかったが、得た値は範囲の中でも小さく、ループに対し小さなプラズマ体積をもたらす加熱現象を示唆する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M24a Alfvén wave で加熱されたループ中の Li-, Na-like イオンからの輝線増大

松本琢磨 (名古屋大学宇宙地球環境研究所)

Li-, Na-like イオンを起源する紫外線強度は、コロナ近似から導かれる理論値を上回ることが知られている。その原因のひとつとして、遷移層周辺で起こる動的な非平衡電離過程によるコロナ近似の破れが挙げられる。しかし、これらの動的効果の定量的な分析はまだ十分には行われていない。本研究ではこれらの動的効果の影響を調べるために、複数のイオン種に対する time-dependent な電離過程を考慮した 1.5 次元磁気流体シミュレーションを行った。コロナ加熱のモデルとして Moriyasu & Shibata 2004 の Alfvén wave 加熱モデルを採用した。光球から Alfvén 波を注入した後、系は蒸発・凝縮・準定常状態のフェーズをもつ時間進化を示す。蒸発期では、Li-, Na-like イオンの ionization fraction が増加し、電離平衡時に比べて最大 1.6 倍の fraction を持つことが予測される。この過剰な Li-, Na-like イオンは、蒸発過程によって誘発されたものであり、衝撃波と遷移層との衝突では電離平衡からの逸脱は見られなかった。その結果、コロナ近似は、Li-, Na-like イオンの輝線強度を最大で 60 % 程度過小評価することが分かった。一方、凝縮期および準定常状態では、ionization fraction は電離平衡時の 0.9 程度になることが示された。ionization fraction のコロナ近似からのずれは遷移層での質量流束に依存するため、Li-, Na-like イオンの異常な振る舞いは、質量循環を伴うコロナ加熱と質量損失プロセスの両方の寄与を受けることを本研究は示している。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M25a 宇宙線変成磁気リコネクションと太陽フレア

岡 光夫

宇宙のさまざまなプラズマ環境（例えば、太陽、スペース、宇宙天体、そして実験室のプラズマ）においては、爆発的エネルギー解放現象が発生し、非熱的な高エネルギー粒子が生成される。そして、これまでの精力的な研究により、プラズマ素過程としての磁気リコネクションがエネルギー解放に重要な役割を果たすこと、また、条件によっては磁気リコネクションを介して非熱的な高エネルギー粒子が生成されることが分かってきた。しかし、太陽フレア観測で推定される非熱的粒子の個数は非常に大きく、その定量的な説明は難問として残されている。いくつかの先行研究では、既に加速済みの高エネルギー粒子を加速領域に供給し続ける必要性が指摘されているほどである。また、地球磁気圏においても、磁気リコネクションが発生していないと思われる静穏時にも高エネルギー粒子が観測されており、問題となっている。以上の状況を鑑み、本研究では、既に加速された非熱の高エネルギー粒子が存在する環境下で磁気リコネクションが発生した場合について粒子シミュレーションを用いて調べてみた。その結果、磁気リコネクションのふるまいが高ベータ環境のそれに似ていることが分かった。講演では、結果をできるだけ定量的に報告するとともに、高エネルギー粒子が衝撃波に影響を与える「宇宙線変成衝撃波」のアナロジーとして「宇宙線変成磁気リコネクション」を議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M26b コロナループに突発的な加熱が生じた場合のプラズマ凝縮発生条件について

吉久健朗、横山央明（京都大学）、金子岳史（新潟大学）

太陽プロミネンスやコロナラインといったコロナ中で見られるプラズマの凝縮現象は、長年観測されている一方で、現状のモデルがあらゆる領域で見られるそれらを説明しているかは定かではない。活動領域といった頻繁に浮上磁場が生じるような領域では、コロナループの下部に加熱が集中することで彩層蒸発が生じ、結果として凝縮が生じることが考えられる。これまで、数多くの数値計算がこのモデルを用いて凝縮が生じる条件を調べてきた。例えば、凝縮が生じるためには冷却タイムスケールよりも短い間隔で下部に集中した加熱が必要であることがわかっている。一方で、静穏領域といったその他の領域では、上記のような下部に集中した（準）定常的な加熱が存在するかは明らかではないため、このモデルが適用できるかわからない。そこで、本研究では静穏領域などでナノフレアのような一時的な突発的な加熱が生じた場合を想定した 1.5 次元 MHD シミュレーションを行い、加熱量を変化させるようなパラメータサーベイにより凝縮の発生条件を調べた。全てのパラメータで、彩層蒸発により、ループ密度が上昇して、ループ温度が低下することで圧力スケールハイトが短くなり、プラズマが落下するという特徴が見られた一方で、凝縮現象は、このことによるループ密度の低下が、暴走的な冷却を抑制しない場合のみ発生することを確認した。このことから、本質的には暴走的な冷却が生じることが凝縮の発生条件だと考え、輻射冷却関数 $\Lambda(T) = \Lambda_0 T^\alpha$ の乗数 α と密度 n 、温度 T 、およびそれらの時間微分 dn/dt 、 dT/dt の間に成り立つ条件式を解析的に導出した。また、この条件式がおおよそシミュレーション結果を説明することも示す。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M27b ひのでで観測されたサイクル 24 – 25 の太陽極域磁場の変動

塩田大幸（情報通信研究機構）、久保雅仁、勝川行雄、下条圭美（国立天文台）、飯島陽久、松本琢磨、増田智（名古屋大学）

太陽の極域の磁場は、詳細に観測が困難である一方、太陽周期活動によって変動するため太陽の長期的な磁場変動を理解する上で非常に重要であることが知られている。また極小期には高速太陽風が流出する極域コロナホールが形成されるため、太陽極域磁場の変動の理解は、宇宙天気予報を高精度化するための要素としても重要な意味をもつ。2006 年に打ち上げられたひので衛星は、高解像度・高性能の偏光観測が可能な可視光磁場望遠鏡によって、太陽極域磁場の詳細な分布を観測することができ (Tsuneta et al. 2008)、2008 年秋以降極域磁場のモニター観測を継続している。一方、2019 年 12 月に始まったサイクル 25 は、当初の予測を上回るペースで推移している。これを受けて 2023 年 10 月には NOAA Solar Cycle 25 Prediction Panel は、サイクル 25 の予測を更新し、それによるとサイクル 25 の極大が、当初予測されていた 2025 年から前倒しになり 2024 年になるとの予測を公表した。

本研究では、モニター観測によって得られた太陽極域磁場データを解析し、極域全体を俯瞰する磁場マップを作成することで南北両極における磁場の推移について解析を行った。その結果、南北両極域の緯度 70 – 75 度の領域で、2023 年に入り磁束密度の低下が急激になり、極性反転が進行している様子が確認された。講演では、サイクル 25 の期間中の太陽黒点数の推移と極域磁場の変動の対応関係の考察を行う。併せて SDO/HMI による太陽全面の光球磁場 synoptic map とひのでによって得られた極域の磁場マップを合成したデータに基づいてポテンシャル磁場を計算し、太陽コロナ全球の磁場構造の推移についても考察する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M28a IRIS による極域分光観測データを用いた静穏領域とコロナホールの彩層の比較

鄭祥子 (国立天文台), Stanislav GUNAR (Astronomical Institute, Czech Academy of Sciences), 岡本文典 (国立天文台)

太陽大気のうち大域的なコロナ磁場が弱い領域は、それが惑星間空間に対して閉じているか・開いているかによって静穏領域・コロナホールに大別される。これらの領域のコロナを比較すると、コロナホールのほうが低密・低温であることが観測から知られている。彩層の違いについては、コロナホールの彩層の方が背が高いという特徴がある一方で、一部を除けば観測される彩層の主要なスペクトルに大きな違いはないと考えられてきた。近年、ひので衛星の高解像度撮像観測によって彩層の微細構造であるスピキュールの研究が進み、その性質の違いが調査されてきた (cf. Zhang et al. 2012; Pereira et al. 2012)。しかし、同等の高解像度の分光観測での比較調査はなされていない。本研究では、IRIS 衛星による太陽極域縁付近の高分解能分光観測によって、彩層を太陽表面からの高さの方向に特徴付けることで、静穏領域とコロナホールの彩層の性質の違いを示す。そのために、分光スリットを太陽面に対して南北方向に固定したデータを多数使用した。各時刻・各高さにおけるスペクトル形状から、スペクトル線の明るさ、シフト、線幅等を抽出し、太陽の縁からの高さの関数として、これら特徴量の分布関数を作成した。その結果、静穏領域よりコロナホールのほうが、(1)Mg II hk 線で見える彩層の背が高く、(2)線幅が大きいことが分かった。また、いずれの領域においても、(3)Mg II hk 線の線幅が太陽縁での値から高さ方向に一旦増加してから減少することが分かった。結果 (1)(2) については、ひので衛星による彩層の撮像観測の結果と矛盾しないといえる。また、結果 (3) の要因として、物理的性質の高さ変化の影響と幾何学的効果の可能性が考えられる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M29a 高速太陽風加速領域であるコロナホールを伝播するアルヴェン波の分光研究

内藤由浩, 岡本文典, 原弘久 (総研大/国立天文台)

開いた磁力線が支配するコロナホールの太陽風加速・コロナ加熱には、アルヴェン波が重要な役割を持つと考えられているため、アルヴェン波がコロナへ運ぶエネルギーフラックスを、コロナホールの観測から定量的に求めることが重要である。光球とコロナを繋ぐ領域である彩層・遷移層のアルヴェン波は、磁力線に沿ったジェットであるスピキュールの横揺れから観測される [e.g., De Pontieu et al. 2007, Okamoto and De Pontieu 2011, Yoshida et al. 2019]。だが先行研究では、密度の高度変動や、遷移層の密度・温度勾配によるアルヴェン波の反射が考慮されておらず、アルヴェン波がコロナへ運ぶエネルギーフラックスが高速太陽風加速・コロナ加熱に足りるのかについて、結論が得られていない。

本研究では、スピキュールの電子密度の高度変動を分光観測のエミッションメジャーから求め、上昇波、下降波それぞれのエネルギーフラックスから遷移層で反射されずにコロナへ運ばれる波動のエネルギーフラックスを得ることで、先行研究の問題点を解決することを試みた。そこで、IRIS 衛星の Si IV 輝線による分光観測のうち、分光スリットが磁力線に沿うようにリムに対し垂直に固定されたものを用いた。そして、スリットに沿って伝播する横波が存在する際に輝線のドップラーシフトに現れる特徴的な時間・高度変動から 120 例の波動を検出し、速度振幅・伝播速度・電子密度からエネルギーフラックスの高度変動を求めた。これら 120 例のうち、アルヴェン速度で伝播する進行波・反射波が 2:1 の割合で検出され、遷移層で反射されずにコロナまで運ぶエネルギーフラックスは $\sim 10^5$ erg/cm²/s であった。この値はコロナホールの加熱、太陽風加速に十分な量であり、コロナへ運ばれるアルヴェン波のエネルギーフラックスによりコロナ加熱・太陽風加速が可能であることを示唆している。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M30a 単純アルベン波の非線形効果による中間衝撃波の形成とプラズマ加熱

小出眞路, 椎葉健登 (熊本大理)

最近、G 型主系列星について星の放射照度と磁束の相関が調べられ、いずれも太陽でみられる照度と磁束のスケーリング則に合致することが示された (Toriumi and Airapetian 2022)。そのようなスケーリング則の存在は、太陽を含む G 型主系列星のコロナ加熱機構の共通性を示唆する。太陽コロナの加熱機構については、ナノフレアモデルとアルベン波加熱の 2 つが長年議論されてきた。ナノフレアモデルについては、反平行磁場の形成機構、磁気リコネクションの詳細な機構など多くの要素からなり、それらが G 型主系列星でことごとく共通しているとは考えにくい。共通する加熱機構を考えるとすれば、星表面の状況に依存しない単純な機構であることが好ましい。ただ、アルベン波加熱機構にしても、非線形モード変換、位相混合、共鳴吸収、電磁流体乱流カスケードなどのさまざまな状況を想定したモデルが考えられ、星表面の状況に依存している。例えば、非線形モード変換はアルベン波の非線形過程により生じた圧縮性衝撃波がプラズマを加熱するモデルである (Hollweg et al. 1982)。太陽コロナの高度構造を反映した数値計算が当初より行われ、太陽コロナの非一様性が重要とされてきた。

今回われわれは、最も簡単なアルベン波加熱機構を考えるために、簡単な状況でのアルベン波の非線形現象を確認することからはじめた。手始めに一樣な磁場中を伝播する単純なアルベン波の理想 MHD 数値計算という初歩的な計算を行った。驚いたことに、非線形効果が大きな場合、アルベン波が伝播するにつれて中間衝撃波が生成されその衝撃波によりプラズマが加熱されることが分かった。これまで、単純なアルベン波がプラズマを加熱することは示唆されていたが (Wu 1987)、散逸 MHD が使われていた。今回の中間衝撃波の形成は、初歩的であるが、共通のプラズマ加熱機構となる可能性がある。講演では中間衝撃波の形成と加熱の物理について述べる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M31a 磁気流体シミュレーションによる円偏光アルフベン波の散逸過程の調査

鈴木嘉也, 飯島陽久, 草野完也 (名古屋大学)

コロナ加熱・太陽風加速問題は太陽物理学における未解決問題である。この問題に重要な役割を果たしていると考えられているのがアルフベン波である。アルフベン波は磁場の揺動が横波として伝播するため音波に比べると散逸しにくく、上空までエネルギーを輸送できるからである。このアルフベン波が散逸することでコロナ加熱や太陽風加速を説明できると考えられている。これまでの研究でプラズマ中のアルフベン波を不安定化する物理過程は数多く提案されてきたが、非線形段階の散逸過程は未だ議論が続いている。

そこで、本研究ではアルフベン波のモード変換の1つである減衰不安定性に注目し、1.5次元等温磁気流体シミュレーションを行った。特に太陽大気中の背景磁場に沿って伝播する円偏光アルフベン波の散逸過程を調べた。その結果、減衰不安定によってモード変換により音波が作られ衝撃波に変化していた。詳しく散逸過程を調べるため数値拡散による散逸率を各格子点上で見積ると、衝撃波の形成に伴い散逸率が急激に増加していた。発表ではこの散逸メカニズムの詳細な解析結果を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M32a オープンフラックス問題の解決策: 明るいコロナホールの可能性

飯島陽久 (名古屋大学)

コロナホールは太陽コロナに存在する暗く低温な領域である。コロナホールが周囲より暗い理由は長年議論されており、いくつかのモデルが提案されてきた。中でも主流なのが、磁場が宇宙空間に開いていることがコロナホールの明るさを決定付けるというもので、しばしばそのままコロナホールの定義のように使われている。近年コロナホールが持つ磁束量と惑星間空間磁場の不整合 (オープンフラックス問題) が活発に議論されているが、この問題もコロナホールと磁場が宇宙空間に開いた領域を同一視するという仮定を含んでいる。

本研究では、X線や極端紫外線で暗い領域をコロナホール (以下 CH) と呼び、磁力線が宇宙空間に開いた領域 (以下 OF 領域) と厳密に区別する。その上で、対流層上部からコロナまでを含む一貫した3次元磁気流体シミュレーションとSDO衛星による紫外線・磁場観測画像を用いて、モデルと観測の両面からコロナ輝度が決まる仕組みを調査した。数値モデルは水平領域 $50 \times 50 \text{Mm}^2$ の OF 領域を模倣している。開いた磁束量と光球面での磁気エネルギーの両パラメータに対するコロナ輝度の依存性を調べたところ、磁気エネルギーが大きいほどコロナは明るく、場合によっては静穏領域並の明るさを示した。観測データでは OF 領域と磁力線が閉じた領域を厳密に区別することは出来ない。そこで、全観測領域を数値モデルの計算領域程度のサブピクセルに分割し、磁束量と磁気エネルギーに対する依存性を調査した。磁束量と磁気エネルギーの相関に注意しながら依存性を分離したところ、コロナ輝度は磁束量よりむしろ磁気エネルギーに依存していた。これらの結果はどちらも、CHがOF領域の一部に過ぎず、CH以外のOF領域からもオープンフラックスが供給されているという可能性を支持する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M33a オープンフラックスを増加させる太陽黒点の特徴

吉田南 (東京大学, ISAS/JAXA), 清水敏文, 鳥海森 (ISAS/JAXA), 飯島陽久 (名古屋大学)

太陽磁場は太陽内部で生成されてコロナへと延びる。コロナでの開いた磁場 (オープンフラックス) は、太陽風とともに惑星間空間へと広がり太陽圏を作り出す。そのため、太陽がどのように太陽圏を支配し駆動するのか理解するためには磁場発展が鍵となるが、惑星間空間磁場 (IMF) を包括的に観測することは難しい。そこで、観測可能な太陽光球磁場情報からオープンフラックスを推定し、地球近傍でその場観測された IMF と比較することで、太陽圏磁場構造の理解が進められてきた。しかし、推定値が実測値に対して4倍程度過小評価される問題 (Linker et al., 2017) があるなど、未だ理解は不十分である。Yoshida et al. (2023) では、太陽黒点数に対して IMF の時間変動が数ヶ月から1年遅れていることに着目し、光球の中低緯度磁場が問題解決に重要である可能性を示唆した。

本研究では上記の詳細理解のために、太陽極大期に黒点群が拡散する過程で、大局的な磁場構造やオープンフラックスがどのように変化しているのかを、単純な磁場シミュレーションモデルを用いて探る。まず、Surface flux transport (SFT) モデルを用いて、双極型黒点群を光球に配置し、緯度や経度、ティルト角などの特徴をパラメータとして変化させ、それぞれ1年分の磁場拡散を計算した。次に、得られた光球磁場マップと Potential field source surface (PFSS) モデルを用いてコロナ磁場を外挿し、黒点群の特徴ごとのオープンフラックスの時間変化を解析した。その結果、黒点群の出現に対してオープンフラックスが数ヶ月遅れて増加する、観測と同様の結果が示された。さらに、配置した黒点群の緯度が低いほど、またティルト角が大きいほどオープンフラックスが増加しやすい傾向があることが明らかになった。オープンフラックスは、黒点群出現時よりも磁場拡散時に極性の異なる先行黒点と後行黒点の緯度差が大きくなることで、大局的なコロナ磁場が作られ、増加すると考えられる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M34a 「ひので」極域データベースを用いた太陽極域磁場の緯度依存性の検証

藤森愛梨沙(東京大学), 勝川行雄, 久保雅仁(国立天文台)

太陽の黒点数は約 11 年の周期で増減を繰り返し、極域磁場の極性も 11 年周期で反転する。赤道から極へ向かう子午面還流によって、極域の極性と反対の磁束が運ばれることで極性反転が起こると考えられている。太陽の極域磁場の高精度観測は、子午面還流が高緯度でどう変化するかを理解する手がかりにもなる。極域の平均磁束密度は 5 G 程度で活動領域より小さく、射影の効果で磁場構造が潰れて見えるため、構造を空間的に分解することが難しい。しかし、「ひので」衛星に搭載された SOT/SP のベクトル磁場観測では、0.3 秒角の高空間分解能でそれまで分解できなかった極域の小さな磁場構造を捉えられる。Petrie(2017) は、「ひので」衛星を用いて緯度 80° 以上の領域で、高緯度ほど平均磁束密度が減少することを示した。本研究では、平均磁束密度の減少が本当に緯度に依存するのかを、名古屋大学 ISEE で公開されている「ひので」衛星の極域磁場観測 (HOP206) データベースを用いて検証した。HOP206 は北極域が見える 8-9 月と南極域が見える 2-3 月に時期を限定して、約 20 データを取得することで全経度をカバーしている。極性反転が完了した後の 2016 年 8 月から 2021 年 9 月の北極域のデータを用いて、緯度 70° 以上の領域で平均磁束密度の緯度依存性を調べ、過去の研究と同様に緯度 80° 付近から減少している結果を得た。次に、同じデータに対して、リムからの距離依存性を調べると、リムから 40 秒角付近から平均磁束密度が減少することがわかった。緯度範囲を限定して、平均磁束密度がリムからの距離に依存するかを調べると、同じ緯度でもリムに近づくにつれて小さくなる傾向が見られた。この結果は、極域での平均磁束密度の減少は、緯度ではなくリムからの距離に依存する可能性が高いことを示唆する。本講演では、リムからの距離依存性の原因とともに、高緯度における平均磁束密度の減少が総磁束量の見積りに与える影響について議論する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)[スケジュール\(全体\)に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

M35a 黒点スケッチを用いた活動経度の長周期調査

山口慎太郎, 小野寺幸子(明星大学), 萩野正興, 桜井隆, 篠田一也(国立天文台), 大辻賢一(情報通信研究機構), 鴨部麻衣, 一本潔(京都大学)

太陽黒点群の出現する経度の変動を国立天文台のデータアーカイブを用いて長周期的な調査を行った。黒点群の活動経度は、緯度分布(蝶形図)と同じくダイナモ機構と関連して、太陽内部でどのように活動領域が生成されるかを知る手掛かりになっている。

我々は京都大学大学院理学研究科附属花山天文台で観測された黒点スケッチを用いてその活動経度に周期性があることを確認した。一方、低緯度に出現する黒点群の出現経度は自転に対して約 0.5 度ずつ順行ドリフトしている事を発見した(2023 年秋季年会 M15b)。同様の手法を国立天文台三鷹データアーカイブで公開されている黒点スケッチに対しても施し、長周期的な傾向に対して調査を行っている。この黒点スケッチは口径 20cm の屈折望遠鏡で 1938 年から 1998 年まで行われ、5 太陽サイクルをカバーしている。

本講演では国立天文台データアーカイブを利用した太陽活動経度の長周期的な調査と黒点出現経度の順行ドリフトのサイクル依存性について報告する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)[スケジュール\(全体\)に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

M36a 太陽黒点が発生する根本要因の推察

藤原ケイ

筆者は 2017 年秋の本大会で「黒点変動と太陽系天体位置との興味ある関係」のタイトルで講演している。ここで示したのは”木星と 133P(周期彗星)が外合位置のとき 黒点相対数は極大になり、内合のときは極小になる”、という俄かには信じがたいものであった。単なる偶然としか理解が出来ないかもしれない状況の中で、現在まで様々な角度から検討・考察を続けてきた。

< 2018 春 133P の地球への影響。 >

< 2019 春 近点移動の別解。太陽系は”法則”で支配されているのではないかも知れない! >

< 2020 春 光子の減衰(徐々に短くなること)が赤方偏移。 >

< 2020 秋 光子の構造=プラス/マイナス始粒の交互配列二重鎖構造の自力運動体。 >

< 2021 春 光子の反射、屈折挙動などの基本的な挙動の考察 >

< 2022 春 宇宙は膨張していない。新たな宇宙観。 >

< 2023 春 光子の観測性の考察から”波動/粒子の二重性”は勘違いである。 >

今回の要旨は、黒点発生は太陽系の全ての天体の共同作用による太陽外部起因であり、天体間の”光子加速”と”H₂O 分布状況”で理解できる、である。短周期(約 11 年)に加えて、ピークのズレ、長期の無発生期間などにも言及する。

*従来の物理理論からのものとは異なる太陽系像による理解である。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)[スケジュール\(全体\)に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

M37a 磁力線の運動と誘導電場

柴崎清登 (太陽物理学研究所)

ファラデーは、磁場の時間変化に伴って電場が発生することを発見し、マクスウェルはこれを $\nabla \times \mathbf{E} = -\partial_t \mathbf{B}$ と定式化した。これが電磁誘導現象である。しかし、時間変化を伴わない電磁誘導現象もある。一様磁場を発生する磁石を磁場と直交する方向に動かすと、磁場は時間変化しないが、誘導電場が発生する。磁力線が運動することによって電場が発生したと考えてもよいが、磁力線には座標も速度も定義できないのでこの議論はさげられてきた。磁石を動かす代わりに測定回路を反対方向に動かしても同じである。しかしこの場合は、回路中の荷電粒子に働くローレンツ力によって説明されている。つまり電磁誘導による電場はふたつの異なる法則 1) $\nabla \times \mathbf{E} = -\partial_t \mathbf{B}$, 2) $\mathbf{F} = q \mathbf{v} \times \mathbf{B}$ の和として説明されている (Feynman64)。ここではこれらの統合を試みる。キーとなるのがベクトルポテンシャル (\mathbf{A}) である。クーロン電場がないとすると電場は $\mathbf{E} = -\partial_t \mathbf{A}$ であり、両辺のローテーションを求めると、 $\nabla \times \mathbf{E} = -\partial_t \nabla \times \mathbf{A}$ でマクスウェル方程式における電磁誘導の法則である。今 \mathbf{A} の時間変化が \mathbf{A} の移流のみによって決まるとすると、 $\mathbf{E} = -\partial_t \mathbf{A} = (\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{A}$ である。ここで \mathbf{u} は \mathbf{A} の移流速度である。磁場が一様でも \mathbf{A} は勾配をもつので、移流によって時間変化が生ずる。 \mathbf{A} の自由度を用いて、 \mathbf{u} 方向に成分を持たないもの (運動ゲージと呼ぶ) を採用すると、ベクトル公式により、 $(\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{A} = -\mathbf{u} \times (\nabla \times \mathbf{A})$ となるので $\mathbf{E} = \mathbf{u} \times \mathbf{B}$ である。次に一様磁場中を速度 \mathbf{v} で運動する回路を考え、回路中のひとつの電荷に注目する。この電荷の感ずる電場は、ベクトルポテンシャルの時間変化から、 $-d\mathbf{A}/dt = -(\mathbf{v} \cdot \nabla) \mathbf{A} = \mathbf{v} \times \mathbf{B}$ であり、電荷 q にかかる力は $\mathbf{F} = q \mathbf{v} \times \mathbf{B}$ で、ローレンツ力となる。以上により電磁誘導現象はベクトルポテンシャルの時間変化によって生ずる電場であると理解できる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

M38a 太陽黒点の半暗部とエバーシェッド流について I. シミュレーション設定と結果

堀田英之 (名古屋大学)

高解像度シミュレーションにより、太陽黒点の半暗部とエバーシェッド流を一部再現することに成功した。太陽黒点は、輝度が低く鉛直方向磁場の強い暗部と、比較的輝度が高く水平方向磁場の強い半暗部からなることが知られている。また半暗部には、エバーシェッド流と呼ばれる黒点から外向きの流れが存在する。このエバーシェッド流は、発見から 100 年以上経った現在でもその成因が明らかになっていない。たとえば Rempel, 2012 では、上部境界条件で水平磁場を強制することでエバーシェッド流と半暗部を再現しているが、設定が現実的であるか明らかでない上に、観測との不整合も指摘されている (Jurčák et al., 2020)。本研究では、半暗部とエバーシェッド流の成因に迫るために高解像度化効果を調査した。これまでは一般に、30-40 km の格子点間隔で黒点は計算されていたが、我々はスラブ型の黒点では 3 km まで、円形の黒点では 6 km まで格子点間隔を小さくしたシミュレーションに成功した。6 km の格子点で実施した場合には、平均的には 2.5 km/s ほどの、局所的には 10 km/s を超えるようなエバーシェッド流の再現に成功した。また、高解像度の計算では明確に半暗部が再現されている。本発表では、数値シミュレーションの設定とその結果の詳細について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

M39a 角運動量輸送に関する制約つき最小二乗法に基づく内部子午面流推定

八田良樹, 堀田英之 (名古屋大学), 関井隆 (国立天文台/総合研究大学院大学)

太陽ダイナモ機構の観測的研究として、音波の伝播時間測定に基づく内部子午面流探査 (子午面流の逆問題) が精力的に行われている (Gizon et al. 2020 など、以下 G20)。しかし、子午面流由来のシグナルは非常に小さく、ロバストな推定を行うことが困難である。そのため、依然として観測結果は収束しておらず、子午面流がシングルセルかダブルセルかという程度の大規模構造も不明である (Zhao et al. 2012, G20, Herczeg & Jackiewicz 2023 など)。本研究では、子午面流大規模構造の把握を目指し、逆問題解析手法の改善を提案・実践した。具体的には、太陽赤道加速を再現する三次元熱対流数値計算 (Hotta & Kusnao 2021, 以下 HK21) を参考に、子午面流による角運動量輸送は赤道方向であるという制約を与えた上で正則化最小二乗法を解くことで逆問題を解いた。伝播時間、その分散共分散行列、カーネルなどは、全て G20 の公開データを用いた。その結果、ダブルセル型子午面流分布が推定解として得られた。以上の結果は、子午面流分布がダブルセルとなる HK21 の計算結果と整合的である。一方、逆問題の分解能の指標となる averaging kernel を確認したところ、特に対流層深部においてはうまく子午面流推定を行えていないことも確かめられた。総じて、本研究で想定したような強い制約を課しても、現段階で子午面流の大規模構造を確定することはできないと言える。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

M40a 太陽 5 分振動の音波モードを用いた光球半径の測定

高田 将郎 (東大理), D. O. Gough (University of Cambridge)

本研究では、太陽の半径をその内部を伝わる音波モードの周波数を用いて測定した。太陽 5 分振動の周波数から (光球) 半径を推定する研究としては、これまでに表面重力波のモードを用いたものがあり、結果は太陽の縁の明るさの分布から直接測定された値より約 0.03% 小さいというものであった。この差の原因についてはいまだに完全な説明はない。一方で、表面重力波モードを用いる方法には、以下の 2 つの問題があった。一つは (光球から遠い) 太陽表面からの深さが 4 から 11 Mm にある、振動の運動エネルギー密度が最大となる層の位置を基準としていることであり、もう一つは、対流層上部にある超断熱層の影響をうまく分離できないことである。今回の研究では音波モードを用いることで、これらの問題を解決した。

音波振動による太陽半径の測定原理は次のようなものである。音波モードの周波数から太陽の平均密度と重力定数の積を見積もることができる。一方で重力定数と太陽質量の積は、天体力学の原理から精密に測定できる。この両者を比較することで、太陽半径を見積もることが可能になる。(実際の解析では標準太陽模型との差を見積もる。) SOHO 衛星に搭載された装置 MDI によって得られた約 2000 個の音波モードの周波数を用いて得られた光球半径の値は、表面重力波モードを用いた場合と誤差の範囲で一致するものであった。この結果は、太陽大気の下層部から対流層上部の超断熱層に至る構造に関する新たな知見を与えるものである。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

M41a SDO/HMI の連続光画像による粒状斑のサイズ分布とその長期変動の研究

Bhola Panta (Tsukuba Gakuin University), Youhei Masada (Fukuoka University)

太陽は表面の熱対流構造 (粒状斑) を空間・時間分解して観測できる唯一の恒星である。太陽粒状斑の基本的な性質についてはよく調べられているが、粒状斑の性質の長期進化についての研究は限定的である。これは地上観測の時代には、均質なデータセットを用意するのが難しかったことも要因である。Muller et al. (2018) は Hinode/SOT のデータを使って粒状斑のスケールが、太陽活動の極大と極小で 3% 以上変化していることを見出した。最近では、Ballot et al. (2021) が SDO/HMI の連続光データを使って、太陽活動サイクルをカバーする長期間の粒状斑サイズの変化を調査し、(1) 粒状斑の密度は極大期に最大になる一方、粒状斑の平均面積は極大期で最小になること、(2) 極大期と極小期の粒状斑の密度や平均面積の変化幅は約 2% 程度であること、(3) 平均密度が最大になる時期は黒点数が最大になる時期より 1 年ほど遅れること、などを見出している。

本研究では Ballot らの先行研究を参考に、最新の画像処理技術を用いて、SDO/HMI の連続光画像から粒状斑の性質が太陽サイクルにわたってどのように変化するかを調べた。先行研究と異なる点は、粒状斑の抽出に、実装が容易な画像処理用モジュール OpenCV を使った点である。また、Ballot らが視野内の粒状斑の個数や平均面積に注目したのに対し、我々は粒状斑サイズの頻度分布を特徴づける “べき指数” の変化に着目した。

2011 年～2022 年の 12 年間、4386 件のデータを解析した結果、太陽活動サイクルと粒状斑サイズのべき指数の間に相関があることを見出した。太陽活動の極大期ではべき指数が大きくなる一方、極小期で小さくなり、べき指数は約 5% の幅で周期的に変動しているようである。本講演では、解析手法の詳細および結果の物理的解釈とともに、最近進めている機械学習を使った粒状斑の抽出手法についても議論する予定である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

M42a 物理モデルに基づくフレア警報システムの開発：フレア発生領域の判別について

伴場由美, 塩田大幸, 久保勇樹 (情報通信研究機構), 草野完也 (名古屋大学)

情報通信研究機構 (NICT) における宇宙天気予報業務では、今後 24 時間以内に発生が期待されるフレアの最大規模を予報している。特に大規模なフレアが観測された際には臨時情報を配信しているが、地球からフレアを観測した時点で既にその影響は現れており、フレアによる通信等への影響を回避・軽減するための対応が間に合わない可能性が高い現状である。そこで、少なくともフレア発生の数時間「前」に、その発生を確定的に予測し注意喚起する「フレア警報」の提供が求められる。一方、近年、太陽表面で発生する不安定性の理論 (ダブルアーク不安定性, Ishiguro & Kusano 2017) に基づきフレア発生の条件を導くことで、大規模フレアを予測する新しい物理モデル「 κ スキーム」が開発された (Kusano et al. 2020)。本研究では、NICT 宇宙天気予報業務への実装を目指した、 κ スキームに基づく大規模フレア発生予測を行うシステムの開発を行なっている。まず SDO 衛星による太陽活動領域の光球面磁場データから、活動領域の中で特にエネルギーが蓄積されている「High Free Energy Region (HiFER)」を算出・可視化した。次に、非線形フォースフリー磁場モデリングにより、HiFER 内に含まれる磁気中性線上のすべての点に対して、ダブルアーク不安定性によりフレアを起こすために必要なリコネクション領域の臨界半径 r_c 、およびその領域で実際にリコネクションが起きた際に解放可能な最小のエネルギー E_r を算出した。本研究では HiFER の出現や (r_c, E_r) の分布やその変化から段階的に X クラスフレア発生「注意報」や「警報」を出すことを目指している。発表では、Kusano et al. 2020 の解析対象活動領域を例に、我々の開発したシステムによって X クラスフレア発生領域とそれ以外の判別実験を行った結果について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

M43a 太陽活動周期変動と太陽フレア時におけるライマン線放射について

大窪遼介, 渡邊恭子, 北島慎之典 (防衛大学校)

太陽からの放射のうち X 線と極紫外線 (EUV) は地球電離圏の形成に寄与している。特に太陽フレア発生時にはこれらの電磁波放射が急激に増大するため、宇宙天気状況に大きな影響を与えることが知られている。このうちライマン α 線 (121.6 nm, Ly α) は、彩層・遷移層における EUV 放射の中で 50% 以上を占めている最も強いライン放射であるため (Fontenla et al., 1991)、地球電離圏への寄与が大きいと考えられているが、Ly α 線は EUV の中でも波長が長いので、地球大気を電離する十分なエネルギーを有していない。一方、ライマン β 線 (102.6 nm, Ly β) は Ly α 線に比べて放射照度は小さいが波長は短いため、Ly α 線よりも Ly β 線の方が地球に大きな影響をもたらしていると考えられている。

Lemaire et al. (2012) では、第 23 太陽活動周期における Ly α /Ly β 比の変動について議論されており、太陽活動極大期の方が極小期に比べて Ly β 線の割合が大きくなることが報告されている。そこで本研究では、第 24 太陽活動周期における Ly α /Ly β 比の変動について詳しく調べた。2010-2016 年に TIMED/SEE が観測した Ly α /Ly β 比を調べたところ、第 23 太陽活動周期の結果とほぼ同様となった。

また、太陽フレア時においても Ly α 線と Ly β 線の関係を調べた。2010 年 2 月から 2014 年 5 月に発生した M クラス以上のフレアについて、SDO/EVE が観測した Ly β 線と GOES/EUVS-E が観測している Ly α 線を用いて、Ly α /Ly β 比を計算した。太陽フレア時におけるこれらのライマン線放射の増加率は、Ly α が 10% 程度、Ly β は 20% 程度であり、Ly β の増加率の方が大きかった。

今回の発表では、これらの Ly α 線と Ly β 線の関係について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M44a 機械学習を用いた太陽電波放射からの EUV 放射スペクトルの予測 II

前田護, 渡邊恭子, 西本将平, 北島慎之典 (防衛大学校), 下条圭美, 行方宏介 (国立天文台), 増田智 (名古屋大学)

地球の上層大気は太陽の 11 年周期や太陽フレアなどによる放射の変動の影響を受けている。このため、宇宙天気状況を知るためにも太陽 X 線・EUV 放射のデータが必要とされている。近年、これらの値を地上観測されている太陽電波放射のデータから、機械学習を用いて再現することが試みられている (Zhang & Paxton, 2018)。そこで本研究では、機械学習を用いて複数周波数の電波観測データから太陽 EUV 放射スペクトルの再現を行った。

まず、太陽活動周期変動について、野辺山強度偏波計 (NoRP; 1, 2, 3.75, 9.4 GHz)、Learmonth solar radio telescopes (610, 1415 MHz) と F10.7 のデータを用いて、TIMED/SEE で観測された 0.5 – 190 nm の紫外線放射スペクトルの再現を行った。その結果、ほとんどの EUV 波長において相関係数 0.95 以上、統計誤差 1% 未満で再現することができた。また、EUV 放射スペクトルの再現に主に寄与している電波周波数は、EUV の波長によって異なり、例えば < 30 nm 以下の EUV 放射では F10.7 ではなく 2 GHz が一番寄与し、波長が長くなると F10.7 や 3.75 GHz の寄与率が次第に大きくなるという結果が得られた。

また、太陽フレア時については、NoRP (1, 2, 3.75, 9.4, 17, 35 GHz) のデータより SDO/EVE で観測された 6 – 33 nm の EUV 放射スペクトルの再現を試みた。2010 年から 2014 年の間の C クラス以上のフレアについて、フレア時間積分した EUV 放射スペクトルの再現を試みたところ、ほとんどの EUV 波長において相関係数 0.95 以上、統計誤差 15% 未満で再現することができた。また、フレア時の EUV 放射スペクトルの再現には、太陽活動周期変動の時とは異なり、17 GHz や 35 GHz といった高い周波数の電波が大きく寄与していることがわかった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M45a 説明可能 AI で探る太陽高エネルギー粒子の発生条件と宇宙天気予報

加藤裕太 (富士通株式会社), 草野完也 (名古屋大学), 光田千紘, 石原康秀 (富士通株式会社)

富士通株式会社と東海国立大学機構は、より活性化する地球圏や月、火星、惑星間空間での人類活動の安全保障を見据えた宇宙天気分野における共同研究を実施している。太陽高エネルギー粒子 (Solar Energetic Particle; SEP) は、太陽フレアやコロナ質量放出といった太陽の突発現象に伴い発生し、人体への被ばくや宇宙システムへの障害といった影響を及ぼす、宇宙天気分野における重要な研究対象である。

我々は、SEP の伴うフレアの条件を探るため、富士通研究所の開発する説明可能 AI である Wide Learning (*1) による分類タスクを実施した。太陽活動第 24 周期における NOAA SWPC データベースの > 10 MeV, > 10 pfu を満たすプロトン現象に紐づいているフレアを陽性、そうでないフレアについて陰性として、X 線や磁場に関する観測データおよび、 κ スキーム (Kusano et al. 2020) のフレア予測データから計 57 特徴量を作成した。陽性/陰性サンプルのクラス不均衡のため、陰性サンプルを (a). 無バイアスにランダム抽出する場合、(b). 陽性サンプルに対する陰性サンプルの数をフレアクラス毎に一定にした場合について学習と推論を実施した。我々のモデルは True Skill Statistic (TSS) において (a). の場合で約 0.7, (b). の場合で約 0.5 を示し、それぞれの場合について陽性/陰性サンプルを予測する各特徴量の数値範囲や組合せの条件を複数得た。本講演では、これらの数値範囲や組み合わせの条件を用いた新たな宇宙天気予報の可能性についてや今後の展望についても議論する。

(*1 <https://www.fujitsu.com/jp/documents/about/resources/publications/magazine/backnumber/vol70-4/paper08.pdf>)

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M46a 太陽 X 線画像におけるシグモイド構造自動検出のための機械学習モデル開発

岩永 響生 (大阪公立大学), 中平 聡志 (ISAS/JAXA), 飯田 佑輔 (新潟大学)

現在、衛星データによりリアルタイムで観測対象の状態を知るため、衛星の撮影頻度を上げていくことが求められている。それに伴い、衛星が取得するデータ量は膨大になることが考えられるが、現在の太陽大気現象の検出には人の手による解析が含まれており、リアルタイム性には問題がある。そこで、本研究では衛星データにおける太陽活動現象抽出の自動化を目標とし、太陽観測衛星「ひので」の X 線画像データからシグモイド構造を自動検出する機械学習モデルを開発した。機械学習モデルには、自然言語処理の分野において有効であった Transformer を画像処理に応用した Vision Transformer を用いた。Vision Transformer では、画像をパッチに分割してそれぞれを線形変換して埋め込んだものを入力とし、各パッチを自然言語処理におけるトークンのように扱うことで Transformer に適用することを可能としており、膨大なデータでの事前学習により性能が向上することが報告されている。モデル構築のための学習用データセット作成にあたっては、2016 年から 2019 年の「ひので」の観測データと Heliophysics Events Knowledgebase を照合することによって、シグモイド構造を捉えた画像を抽出した。テストデータに対し、再現率は 0.813、適合率は 0.723 という結果となり、機械学習によるシグモイド構造自動検出の可能性を示すことができた。講演では、より多くの観測データの適用などによる精度向上に向けた具体的方針についても議論したい。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

N01a 炭素過多 AGB 星のダスト駆動風と SiC ダスト

保田悠紀 (北海道大学)、鈴木建 (東京大学)、小笹隆司 (北海道大学)

プレソラー粒子内の SiC ダストは炭素過多 AGB 星由来のものが多く中間赤外領域での分光特徴から星周縁部で形成されたと考えられているがその形成過程は不確定である。特に炭素過剰量が多くかつ有効温度の低い進化段階ではダスト駆動機構により星風が発生していると考えられており (Mattsson et al. 2009)、古典的核形成理論に基づいたダスト駆動風内での SiC ダストの形成過程についての研究がなされた (Kozasa et al. 1996; Yasuda and Kozasa 2012)。その結果、逆温暖効果を考慮した場合に限り優位な形成量となることが判明した。またダストとガスが運動すると近似した星風モデル (運動モデル) は大抵の場合質量放出率 \dot{M} が $10^{-6} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ 以上に限り有効である (保田他 2016 年春季年会)。そこで今回我々はダスト駆動機構が有効である進化段階 ($\dot{M} > 10^{-6} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$) にわたって炭素過多 AGB 星から星間空間に放出される SiC ダストのサイズ、形成量の変化を調べる。恒星進化コード MESA を使用し、Schröder and Cunz 2005 の質量欠損則を使用し、初期質量が 2、 $3M_{\odot}$ 、初期金属量が $Z=0.02$ である場合以下の結果を得た。

SiC ダストの形成効率 (気相の珪素が SiC ダストに取り込まれる割合) f_{SiC} が 0.1 以上となるのは限定的である。初期質量が $2(3)M_{\odot}$ の場合、 $1.3(2.0)M_{\text{dot}}$ まで減って以後ダスト駆動機構が有効となる一方でその条件 ($f_{\text{SiC}} > 0.1$) が満たされるのは $1.15 (1.85)M_{\odot}$ 以後である。その後の進化段階の星は平均半径 $0.1\mu\text{m}$ 程の SiC ダストを供給する。一方それ以前の進化段階の星の中間赤外領域で観測される SiC ダストは他の駆動機構で星間空間に放出されるのかもしれないもしくは放出されず星周縁部で形成、消失を繰り返していると予想される。発表ではこれらの結果を報告し、今後の検証事項について論じる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

N02a The impact of magnetic fields on the evolution of low metallicity massive stars

Z. Keszthelyi¹, G. Chiaki², J. Puls³, H. Nagakura¹, T. Takiwaki¹, N. Tominaga¹, A. ud-Doula⁴
¹ NAOJ, ² Kochi Kosen, ³ LMU-Munich, ⁴ Penn State Scranton

Massive stars, initially higher than 8 solar masses, are important building blocks of galaxies via chemical enrichment and mechanical feedback. In the era of JWST and upcoming facilities with capabilities to probe the early Universe, the theoretical understanding of massive star evolution is essential to correctly interpret observations. Based on the knowledge that magnetic fields crucially impact stellar mass loss and rotation in Galactic massive stars, we extend our recent evolutionary model grid to investigate the interplay between these effects in low metallicity environments ($Z/Z_{\odot} \sim 10^{-3} - 10^{-6}$). We explore schemes accounting for various scenarios in magnetic braking, chemical mixing, and also in mass loss. The latter one is calculated via a de-coupling limit that could, in principle, lead to no radiatively-driven mass loss all already at $Z/Z_{\odot} \sim 10^{-5}$. When lowering the metallicity, massive stars are more prone to encounter the limit of critical rotation. However, magnetic fields can mitigate the onset of such instabilities since they aid the spin-down of the star. We show that these complex effects also impact the chemical yields of CNO elements. We conclude that the interplay between various physical processes needs to be scrutinized with the corresponding uncertainties before interpreting, for example, nitrogen abundances in high-redshift galaxies.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

N03a OGLEIV catalog に含まれていた銀河系バルジに存在する高金属候補 AGB 星

浦郷陸 (アストロバイオロジーセンター)、面高俊宏 (鹿児島大学)、藤本正行 (北海道大学)

天の川銀河の構造研究において、銀河は星の集まりであることから個々の星の詳細な情報を知ることは重要である。特に AGB 星は、金属量の変化によって異なる進化をすることが知られており、個々の構造における進化のトレーサーとして使用できる。本講演では、Optical Gravitational Lensing Experiment survey (OGLE IV) によって発見された銀河系バルジに存在する 44,000 個のミラ変光星の中に典型的な短周期のミラ型変光星よりも低光度な天体を発見したことを報告する。OGLEIV catalog のミラ型変光星に対して $3.4\mu\text{m}$ の周期光度関係を適用し距離を決定した。また、可視光から中間赤外線の公開カタログより Luminosity を算出し、周期 M_{bol} 図を作成した。

銀河系バルジのミラは、周期 M_{bol} 図で光度より 2 つの種類に分類できる。それぞれ Normal 系列 (N 系列) と Dimming 系列 (Dim 系列) と呼称する。Dim 系列の数は全体の 15% ほどであり、その特徴は短周期の星 ($2.0 < \log P < 2.5$) で、N 系列よりも約 1 等ほど暗い。この Dim 系列のミラは周期が短いにもかかわらず、色や SED の特徴からダストに覆われた星である。過去のバルジ研究では (e.g., Woods et al. 1998, Jiménez-Esteban & Engels 2015) では、低光度の OH/IR 星の存在が示されているが、これらの天体は比較的長周期の天体であり、Dim 系列の天体とは特徴が異なる。以上の特徴をもつ天体は LMC や SMC では確認されておらず、銀河系バルジで生まれた高い金属量を含有する星である可能性があり、通常ミラよりも短周期で高い opacity の星周構造を獲得し、低光度として進化したと考えられる。Dim 系列の特徴を整理するとともに先行研究と比較し、その正体について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

N04a Model for Convective Core Mass during Main Sequence Stage

鹿内みのり (東京大学)、平井遼介 (Monash University)、Ilya Mandel (Monash University)

連星系において、主系列星が他方の星に質量を供与するような質量交換 (Case A mass transfer) は、Cygnus X-1 のような高質量 X 線連星の形成過程において重要な役割を果たしていると考えられている (Qin+2019)。しかし、現状の連星種族合成コードでこのような系を実現することは困難を極めている。例えば、BSE (Hurley+2000、2002) では、質量交換によって質量を失った星のコア質量は、零歳主系列段階で同質量だった単独星が同時刻まで進化した際のコア質量と同じであると仮定されている。初期コア質量は零歳主系列段階での質量に比例し、時間とともに減少するため、上記の取り扱いではコア質量は過小評価されており、Cygnus X-1 ほど高質量のブラックホールが形成できない。

質量交換によって質量を失う主系列星のコア質量進化を調べるために、一次元星進化シミュレーションコード MESA (Paxton+2011、2013、2015、2018、2019、Jermyn+2023) によって、様々な零歳主系列星質量の星、質量交換率を用いた星進化の様子をシミュレーションした。本講演では、我々が得たコア質量の進化を記述する近似式について紹介し、光度の時間発展の様子もコア質量、中心ヘリウムの割合によって記述できることを示す。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

N05a すばる望遠鏡 IRD/REACH による twin binary の高分散分光観測

増田賢人 (大阪大学)、石川裕之 (The University of Western Ontario)、笠木結 (総研大)、小谷隆行、平野照幸、Olivier Guyon、Julien Lozi、Sebastien Vievard、米田謙太、田村元秀、工藤智幸 (NAOJ)、河原創 (JAXA)、Nemanja Jovanovic (Caltech)

Gaia 衛星が提供した恒星の位置・年周視差・固有運動のデータから、これらがほぼ等しい恒星のペアとして約 100 万の実視連星が発見されている (El-Badry et al. 2021)。このサンプルの興味深い特徴の一つとして、連星間距離が数 100 数 1000 au に達するにも関わらず絶対等級と色がほぼ等しい “twin binary” の過剰な存在が挙げられる。連星の絶対等級の差を質量比に換算すると 0.95 から 1 の間に狭いピークを示す分布となり、twin binary がその他の連星とは異なる起源を有することを示唆する。有力と考えられる形成機構の一つが、周連星円盤からの降着である。多くの研究から、周連星円盤からの質量降着率は連星のうち低質量の恒星に対して大きくなり、連星の質量比を 1 に近づけることが示されている。このようにして円盤スケールの軌道をもつ twin binary が形成されれば、より広い軌道のものも恒星密度の高い環境下において力学的に軌道が広がることで形成されるかもしれない。実際このシナリオは、twin binary の存在頻度が、連星間距離が小さくなるほど高くなる傾向とも整合的である (El-Badry et al. 2019)。近接連星では twin の割合は $\sim 10\%$ にも達しており、無視できない割合の連星がこのような形成過程を辿る可能性がある。我々は twin binary の起源の解明に向け、すばる望遠鏡 IRD および REACH (SCEXAO+IRD) を用いて、連星間距離 50–5,000 au の twin binary の高分散分光観測 ($R \sim 70,000\text{--}100,000$) による射影自転速度 $v \sin i$ の測定を行ってきた。本講演では、これまでのデータから得られた twin binary における自転速度および自転軸方向の相関への統計的な制限を示し、その形成過程や恒星の自転進化への示唆を論じる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

N06a 狭帯域測光 + 中分散分光による明るい金属欠乏星探査および高分散分光による組成解析

岡田寛子 (兵庫県立大学)、富永望、青木和光 (国立天文台)、本田敏志 (兵庫県立大学)、松野允都 (Heidelberg University)、須田拓馬 (東京工科大学)、石垣美歩 (国立天文台)、古塚来未 (兵庫県立大学)、諸隈智貴 (千葉工業大学)、高橋英則、酒向重行 (東京大学)、金子慶子、岩下光、神澤富雄、福岡美津広、三ツ井健司、福田武夫 (国立天文台)、前田啓一 (京都大学)、佐藤文衛 (東京工業大学)、大宮正士 (アストロバイオロジーセンター)、田實晃人、泉浦秀行 (国立天文台)

金属欠乏星の組成は、初代星の性質や元素合成、稀な重元素合成過程の頻度といった宇宙初期の化学進化に関する観測的な手掛かりを与えてくれる。過去 30 年に渡って金属欠乏星の探査と高分散スペクトルに基づく組成解析が行われてきたが、発見された金属欠乏星は暗く、多数の元素を高い精度で測定することは困難であった。

この問題を解決するため、我々は 12 等より明るい金属欠乏星の探査観測を行っている。しかし、木曾シュミット望遠鏡/Tomo-e Gozen に既製品の狭帯域フィルタを搭載した測光観測から検出された金属欠乏星候補について、なゆた望遠鏡/MALLS を用いて中分散分光追観測を行った結果、金属欠乏星を選択できていないことが判明した (2022 年秋季年会 N29a)。原因として、フィルタの波長域と CaHK の吸収線にずれがあることが考えられる。そこで、CaHK をカバーする特注フィルタを作製し、約 5300 平方度について観測を行った。MALLS による追観測の結果、46 天体中 16 天体が $[\text{Fe}/\text{H}] < -2$ を満たしており、候補選択手法の改善に向けた方向性を示した。さらに発見された金属欠乏星について、せいめい望遠鏡/GAOES-RV を用いた高分散分光観測を行った。本講演では、特注フィルタを用いた探査および組成解析の結果を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

N07a 銀河系ハローの大質量星 HD 93521 の起源

須田拓馬 (東京工科大), 森谷友由希 (国立天文台), 本田敏志 (兵庫県立大), 谷川衝, 仏坂健太, 茂山俊和 (東京大), 斎藤貴之 (神戸大)

銀河系円盤から 1 kpc 高緯度に離れた位置に存在する O 型星 HD 93521 は特異な高速度自転星として知られる。この星が銀河面内で形成され、自身の寿命が尽きる前にハローに移動しているという事実から、星同士の合体によって銀河円盤を飛び出したという仮説が提唱されている。HD 93521 はその特殊な生い立ちから注目を集め、可視光や X 線で様々な観測がなされているが、独立した多くの観測データはほぼすべて HD 93521 が単独星であることを示している。

我々は、種族 III 星の対応天体としての大質量星と低質量星からなる連星、および重力波起源天体としての大質量星とコンパクト星からなる大質量星に着目してきた。これらの連星を検出するため、伴星が見えていない分光連星を視線速度の変動で探す探索を行ってきた。その中でも、HD 93521 について、なゆた望遠鏡を用いた視線速度の探索を継続してきた。その結果、この星が周期 20 日程度の連星系に属することが分かった。

本講演では、HD 93521 の起源と伴星の正体について議論する。導出した連星パラメータからは、伴星の質量が 2 太陽質量よりも大きいと見積もられる。この天体の素性や既存の観測データを精査し、伴星がコンパクト星、特にブラックホールである可能性について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N08a トリウム 5989 Å 吸収線を用いた銀河系円盤巨星の r プロセス元素組成の調査

古塚来未, 本田敏志 (兵庫県立大学)

鉄より重い金などの元素を合成する r プロセスの起源は中性子星合体であると言われていたが、まだ不明なことも多い。r プロセスのみで合成されるトリウム (Th) は半減期 140 億年の放射性元素である。観測により、同じ r プロセス元素のユーロピウム (Eu) に対するトリウムの組成比が高いアクチノイドブースト星が見つかっており (Holmbeck et al., 2018)、その起源は明らかでない。銀河系円盤の恒星の観測により、[Eu/Fe] と [Th/Fe] では金属量に対する傾向が異なることから r プロセスに複数の起源がある可能性が示唆された (Mishenina et al., 2022)。アクチノイドブースト星や r プロセスの起源を調べるためには、特に観測の少ない、[Fe/H] ~ -1 の恒星でトリウムの組成を決定することが重要である。金属量の多い恒星でトリウムの観測が少ない理由として、よく使われている 4019 Å のラインは他の金属の吸収線と混ざって観測されるためにトリウムの検出が難しいことが挙げられる。そこで我々は、周りに他の吸収線が少なく観測しやすい 5989 Å のトリウムの吸収線に注目し、 $-2 \lesssim [Fe/H] \lesssim +0.4$ の天体について、トリウム組成を得た。用いたデータは、なゆた望遠鏡/MALLS で 4 天体を観測して取得し、すばる望遠鏡/HDS のアーカイブデータから 23 天体、SMOKA より取得した。このうち 13 天体のトリウム組成を得て、14 天体で上限値を得た。[Th/Fe] は、 $0 < [Fe/H]$ の恒星では先行研究に比べて高い値を示し、[Fe/H] ~ -0.5 の恒星では先行研究に比べて低い値が得られた。また、今回解析した星では、アクチノイドブースト星は見つからなかった。この傾向は、トリウムなどを合成する r プロセスの起源が単一のものとしても説明できる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N09a 可視光分光モニター観測で探る Be 星の円盤構造

石田光宏 (横浜市立戸塚高等学校)

Be 星 (γ Cas 型変光星) は、光度階級が III-V の B(一部 O,A) 型星のうち、過去に一度でも水素の輝線がみられた星として定義される。数百 km s^{-1} で自転していることが知られており、赤道周りに星周円盤を作り、そこから輝線が観測される。1900 年代前半より、様々な Be 星において等級や水素輝線等価幅等のモニター観測が行われており、円盤の拡大・縮小が報告されている。また、近年のシミュレーションにより、円盤が中心天体からの質量減少に対応して膨張すること、質量減少が止まると、徐々に消滅することなどが報告されている (Carcioli et al. 2013)。しかし、中心星からの円盤放出メカニズムや、円盤への角運動量輸送機構など分かっていないことも多い。講演者は 2018 年 9 月より、勤務校の天文台での低分散分光観測で、水素輝線等価幅に加え、観測の報告が少ないバルマー逓減率 (バルマー輝線の放射流束の相対値、本研究では $H\alpha$ と $H\beta$ 輝線等価幅の比) の分光モニター観測を行っている。その結果、バルマー逓減率に有意な変動を示す Be 星 (δ Sco, π Aqr など) が確認され、それぞれの伴星の近星点前で減少傾向、後で増加傾向であることが分かった (Ishida 2022)。バルマー逓減率は円盤の有効温度と関連があり、この現象は円盤の有効温度が近星点前で高く、後で低くなることを示唆している。さらに、Be 星スペクトルデータベース (BeSS) に登録されている高分散分光データの解析結果より、 δ Sco の $H\alpha$, $H\beta$ 輝線の裾の幅 (FWHM) が近星点から離れると減少し、近づくと増加する傾向が見られた (石田 2023 秋季年会)。これは円盤がケプラー回転していると考えると、近星点に近い時期ほど円盤の密度が増大すると解釈できる。一方、伴星が未発見の Be 星 ψ Per において、バルマー逓減率や FWHM に有意な変動は確認できなかった。これらの結果より、Be 星の円盤への角運動量輸送機構に、伴星が影響を与えている可能性がある。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N10b EAVN を用いた高頻度モニター観測による星周 SiO メーザー励起機構の調査

甘田 溪, 今井 裕 (鹿児島大学), Youngjoo Yun (KASI), Bo Zhang (SHAO), および ESTEMA collaboration

AGB 星や赤色超巨星の星表面付近で確認されている SiO メーザーの微小スポットは星を中心としてリング状に分布しており、その微小スポットやリングサイズの挙動をモニターすることにより星表面付近の質量放出が調べられている。しかし、星周 SiO メーザーの支配的な励起機構が、衝撃波伝播に伴って起こる衝突励起なのか、それとも星からの赤外線による放射励起なのかという基本的な情報がいまだにわかっていないため、SiO メーザースポットの挙動から星表面付近の質量放出を正確に把握できない。もし衝突励起が支配的な場合、SiO $v=1$ $J=2 \rightarrow 1, 1 \rightarrow 0$ メーザーのリングサイズの差異が衝撃波伝播に伴って増減する理論モデルが報告されている。一方で、もし放射励起が支配的な場合、SiO $v=1, 2$ $J=1 \rightarrow 0$ メーザーそれぞれのスポットが天球面上で重なり、それらスポットの視線速度はほとんど同じ値を持つ。また、この放射励起は星の赤外線放射が強力な変光位相 $\phi=0.1-0.2$ でのみ起こり、それ以外の変光位相では衝突励起が支配的になると予想されている。このように、SiO メーザーの支配的な励起機構は変光位相に従って切り替わり、それは上記 3 本の SiO メーザー遷移をモニターすることのよって明らかにすることができると期待されている。我々はこの切り替わりを把握するために、O-rich な AGB 星である BX Cam に付随する SiO $v=1, 2$ $J=1 \rightarrow 0, v=1$ $J=2 \rightarrow 1$ メーザーに対して、EAVN を使ったモニター観測を約 3 変光周期分を行った。最初の 0.6 変光周期分のデータ解析を行ったところ、 $\phi=0.19$ で放射励起が起こった証拠が見つかり、それ以外の位相では衝突励起が支配的だと思われるメーザーの挙動が確認された。将来的には、励起機構の切り替わりを正確に把握しその情報をもとに、AGB 星表面付近の質量放出を三次元的に捉えることが目的である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N11b 共生星に特有なスペクトル線の高分散分光観測

安藤和子, 福田尚也 (岡山理科大学), HIDES-F 運用グループ

共生星 (Symbiotic Stars) は多くが M 型または K 型の巨星と白色矮星からなる連星系である。その近赤外線の性質から 3 つのタイプ: D 型 (塵)、D' 型 (塵からの熱放射が長波長側でのみ顕著)、S 型 (星) に分類される。これらは、巨星の性質、軌道間隔、輝線星雲の物理的条件などが関係している (Mikolajewska 1997)。

多くの共生星では巨星から恒星風の一部分が降着することによって、様々な物理的な活動が起こることが考えられている。共生星でみられる $\lambda 6825$ と $\lambda 7082$ にある非常に幅の広い線の特徴は、共生星特有のもので、O VI $\lambda 1032$ と $\lambda 1038$ の水素原子とのラマン散乱によって形成される (Schmid 1989)。共生星でみられるラマン散乱 O VI は質量移動の過程を探るためには重要と考えられており、巨星成分の質量損失率が増加するにつれて、ラマン散乱の $F(\lambda 6825)/F(\lambda 7082)$ が減少することが分かっている (Lee, Y. M. 2019)。

我々は 2018 年から 2022 年までの 5 年間にわたり、共生星 Z And, AG Dra の高分散分光観測を行った。Z And は典型的共生星の一つであり、半規則的な変光と、約 759 日の周期的変光を示す古典的共生星である。また AG Dra は黄色共生星 (Yellow Symbiotic Stars) に分類されている (例えば、Schmid & Nussbaumer, 1993)。一般に、共生星の低温度星のスペクトルは、晩期の M 型巨星に特徴的なスペクトルを示すが、黄色共生星は低温度星の K (または G) 型の特徴を示す。黄色共生星は 12 個しかカタログされていない非常に珍しい天体である。

これらの天体の $\lambda 6825$ と $\lambda 7082$ のラマン散乱による輝線を用いて S 型の典型的共生星である Z And と黄色共生星である AG Dra の比較を試みる。本講演では、その結果について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N12b 三次元空間における重力崩壊型超新星のボルツマン輻射流体計算

岩上わか (東京理科大), 大川博督 (早稲田大), 長倉洋樹 (国立天文台), 原田了 (理研), 赤穂龍一郎 (早稲田大), 古澤峻 (関東学院大), 松古栄夫 (KEK), 住吉光介 (沼津高専), 山田章一 (早稲田大)

大質量星は進化の最終段階で重力崩壊型超新星爆発を起こす。鉄コアが重力崩壊し、中心部にニュートリノが閉じ込められ、高密度の原始中性子星が形成される。そこから放出されるニュートリノが衝撃波下流側の物質を加熱することで爆発するとされている。この爆発について数値計算で詳しく調べるためには、ニュートリノ輻射輸送を正確に解く必要があるが、ニュートリノのボルツマン方程式を直接解くのは計算コストが高いため、多次元計算では近似法を用いるのが一般的である。しかしながら、それらの結果が近似を適用しない数値計算でも再現されるかどうかについてはよくわかっておらず、近似の妥当性を検証する必要がある。そこで、スーパーコンピュータ「京」や「富岳」を用いて、ニュートリノ輻射輸送を第一原理的に計算するプロジェクトが立ち上がり、ボルツマン輻射流体コードが開発された。ニュートリノ輻射輸送過程を詳細に調べ、爆発への影響を解析したり、近似法の検証・改良を行うことを目的としている。本講演では、三次元空間における重力崩壊型超新星のニュートリノ輻射輸送計算で発生する数値不安定性の解決方法として、計算領域全体を回転させる手法を適用した結果について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N13c Brunt-Väisälä 振動数分布の勾配が双曲線正接関数で表現できる場合における高調波重力波モードの準解析的研究

八田良樹 (名古屋大学), 関井隆 (国立天文台/総合研究大学院大学)

中間質量主系列星 (1.5-6 太陽質量ほど) が示す重力波モード (浮力を復元力とし、典型的な周期は 1-3 日) において、その周期間隔が一定値の周りを準周期的に揺れていることがしばしば確認されている (以下、 ΔP_g pattern; Van Reeth et al. 2015 など)。この ΔP_g pattern は主に恒星内部の Brunt-Väisälä 振動数分布 (以下、BV 振動数分布) で決まるため、恒星内部混合過程の解明などを目的に、その観測的・理論的研究が広く行われている (Pedersen 2022 など)。我々はこれまでに、BV 振動数分布をランプ関数でモデル化した場合について ΔP_g pattern の準解析的表式を導出し、 ΔP_g pattern の振幅が重力波モード周期 P_g の逆数に比例することを見出した (2023 年秋季年会 N11b; Hattta 2023、以下 H23)。一方で、1.5-3 太陽質量程度の一次元恒星モデルの場合、モデルの ΔP_g pattern の振幅が H23 の表式から予想されるよりも敏感に周期に関して減少することも報告している。これは、H23 の表式を導出する際に、「恒星質量が小さくなるほど BV 振動数勾配が緩やかになること」を考慮しなかったことに起因する。そこで本研究では、BV 振動数分布の緩やかな勾配を双曲線正接関数 (\tanh) でモデル化した上で、 ΔP_g pattern の準解析的表式を導出した。その結果、 ΔP_g pattern の振幅が $P_g^{-1} \tanh(aP_g^{-1})$ に比例することがわかった (a は BV 振動数分布で決まる定数)。例えばある a に対し十分短い周期を考えると、 \tanh の部分が 1 になるので、H23 の結果に一致する。逆に、長周期極限を考えると、 \tanh の部分が P_g の単調減少関数となるので、H23 の表式よりも敏感な周期依存性を表現できる。本研究で導出した準解析的表式は 2 太陽質量ほどの恒星モデルの ΔP_g pattern も説明可能であるため、実際の解析にも応用できる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N14a 緩やかな前駆現象を伴う特異な超新星候補 SN 2023aew の紫外-可視-赤外観測

熊野朱里, 山中雅之, 永山貴宏, 後藤颯太, (鹿児島大学), 他鹿児島大学 1m 光赤外線望遠鏡グループ

近年、広視野高頻度サーベイ観測により明るい前駆現象を伴う特異な超新星が発見されるようになったが、その正体は全く不明である。SN 2023aew は、Zwicky Transient Facility (ZTF) によって、1 月 23 日 (世界時) に 18.1 等で発見された突発現象である。1 月 27 日に ZTF によって取得されたスペクトルは水素による吸収線を示し、 $z=0.025$ の II 型超新星と同定された。その後 100 日に 1.0 等の割合で緩やかな減光を示し、その後わずか 10 日で 2 等以上の増光を示し極大に到達した。我々は鹿児島大学入来観測所の 1.0m 望遠鏡及び近赤外線 3 バンド同時撮像装置 kSIRIUS を用いて、急激な増光に転じた直後の 4 月 26 日より 10 月 17 日まで 15 夜の観測を実施した。得られたデータに対して IRAF/DAOPHOT を用いて PSF 測光を実施した。また、5 月 12 日より 21 日まで Swift/UVOT によって得られた紫外線撮像データも測光した。さらに、ZTF による g/r バンドの公開データも用いた。我々はまず、極大付近の紫外-可視-赤外線データを用いて Spectral energy distribution (SED) を作成し黒体放射モデルによるフィットを試みた。その結果、光球温度は 8000K 程度と推定された。また、SED においては紫外域に局所的な dip が見られた。これは、他の超新星との比較から鉄の吸収線によるものと類推される。極大絶対等級は $g = -18.4$, $r = -18.6$, $J = -18.9$, $H = -18.8$, $K_s = -19.1$ 等であった。やや明るいものの、外層剥ぎ取り型超新星やエジェクタ-星周ガス相互作用型超新星に一致する。可視光線においては極大に到達した後 1 等減光するタイムスケールが 50 日程度と非常に緩やかであった。これらの事実から、ライトカーブの放射エネルギーは相互作用によって賄われたと類推されるが、直接的な証拠は得られていない。本講演では、SN 2023aew の超新星としての性質とともに放射源について議論を行う予定である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N15a II_n 型超新星の包括的な大規模観測サンプル解析

平松大地 (CfA/IAIFI), Edo Berger (CfA/IAIFI), Sebastian Gomez (STScI), D. Andrew Howell (LCO/UCSB), 他 Global Supernova Project

様々な超新星の親星と爆発機構の中で、特に観測的多様性を見せる II_n 型超新星の多くは未だ謎に包まれている。II_n 型の細い水素輝線 ($\sim 100 - 1000 \text{ km s}^{-1}$) で特徴付けられるスペクトルは、超新星放出物質と星周物質との衝突相互作用を示唆し、光度曲線の多様性にも反映されていると考えられている。それらの観測値を再現するために必要な星周物質環境は複雑であり、推定される親星の爆発前数ヶ月から数十年以内の質量放出量 ($\sim 10^{-3} - 10 M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$) は、一般的な恒星進化論や近傍星観測の予測値よりも数桁以上大きいものである。また、超新星放出物質は星周物質との衝突域で形成される光球に埋もれ、予想される超新星は低質量星 ($\sim 8 - 10 M_{\odot}$) の電子捕獲型、大質量星 ($\geq 30 M_{\odot}$) の重力崩壊型や対不安定型から、中間質量星から成る連星系衝突等まで多岐にわたる。

近年の時間軸サーベイの発展による飛躍的なサンプル数増加の反面、これらの観測的多様性を大きな理由に、II_n 型超新星の包括的な大規模サンプル解析は未だ行われていない。本講演では、我々が現在観測サンプルとモデルグリッド構築の両面から進めている包括的な大規模解析について、II_n 型超新星の観測サンプルに焦点を当てて発表する。我々の数百年を超えるサンプル数は、先行研究のサンプル数よりも最低一桁は多く、幅広い赤方偏移や最大等級等の観測値をカバーしている。それら観測値の統計分布測定は超新星の親星と爆発機構の特定に不可欠であり、将来の LSST 等大型サーベイにより、更に一桁の増加が予想されるサンプルとの比較基準ともなる。最後に、今後のモデルグリッド解析から測定可能な II_n 型超新星の物理量等の展望について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N16a 対不安定型超新星のニュートリノ観測可能性と $^{12}\text{C}(\alpha, \gamma)^{16}\text{O}$ 反応率

川下大響 (東大駒場), 森正光 (国立天文台), 芦田洋輔 (ユタ大学), 澤田涼 (東大駒場)

対不安定型超新星 (Pair-instability supernova: PISN) は初期質量 $200M_{\odot}$ 程度の超大質量星の最期の姿として予言されている爆発現象である。中心部での暴走的核燃焼による過剰なエネルギー生成によって爆発するため、対不安定型超新星は典型的超新星と異なりコンパクト天体を遺さないと考えられている。近年、重力波観測がブラックホール質量分布の文脈から注目していることに加え、電磁波観測でも最近有力な候補天体が発見されており、対不安定型超新星はマルチメッセンジャー的にも興味深い研究対象である。ところで、対不安定型超新星によるコンパクト天体不存在質量領域の形成や対不安定型超新星の電磁波観測情報は、恒星進化において重要だが不確定性が大きい $^{12}\text{C}(\alpha, \gamma)^{16}\text{O}$ 反応率の影響を大きく受けることが見い出されている。そこで本研究では、第三の観測ソースとしてニュートリノに注目し、ニュートリノによる対不安定型超新星の観測可能性が $^{12}\text{C}(\alpha, \gamma)^{16}\text{O}$ 反応率の影響をどの程度受けるかを分析し、これらの影響を観測的に区別できるかどうかを検証した。本講演ではこの結果について紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

N17a 重力崩壊型超新星における Sc, Ti, V の合成

播田實りょう太 (総合研究大学院大学), 富永望, 滝脇知也 (国立天文台), 吉田敬 (京都大学), 梅田秀之 (東京大学)

太陽質量のおよそ 8 倍よりも重い恒星はその一生の最期に超新星爆発を起こす。しかし、その爆発メカニズムについては、ニュートリノが重要な役割を果たすことが示唆されているものの、未だ明らかとなっていない。超新星爆発に伴う爆発的元素合成は中心に近い場所で生じるので、爆発的元素合成の結果には爆発メカニズムの痕跡が残る。そのため、我々は爆発メカニズムを理解する手がかりとして、爆発的元素合成に着目した。金属欠乏星は宇宙初期に誕生した低金属量の恒星であり、その元素組成は Pop III 星の超新星爆発による元素合成の結果を反映していて、金属欠乏星の元素組成を再現することは元素合成シミュレーションにおける一つの大きな課題である。近年、金属欠乏星の詳細な観測により、金属欠乏星における [Sc/Fe], [Ti/Fe], [V/Fe] の間には正の相関があることが明らかとなった (Snedden et al., 2016)。その一方で、これまでの元素合成シミュレーションでは、金属欠乏星の Sc, Ti, V の存在量を説明できていない (Leung et al., 2023)。

そこで、我々はまず、温度、密度、ニュートリノフラックスなどの物理量をパラメータとして元素合成シミュレーションを行い、金属欠乏星における Sc, Ti, V の存在量を再現する物理条件を特定した。調べたパラメータ範囲では、密度への依存性はほとんど見られず、温度とニュートリノの照射量が重要であることが明らかとなった。次に、特定したそれらの物理条件の実現可能性を、第一原理計算による 2D の爆発シミュレーションと比較することにより調べ、爆発メカニズムに対してどのような変更が必要となるのか検討した。本講演では、これらの結果について報告し議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

N18a 重力崩壊型超新星爆発の 1 次元シミュレーションにおける現象論的乱流効果の取り扱いについて

佐々木俊輔 国立天文台/総研大

8 太陽質量以上の大質量星は重力崩壊型超新星爆発を引き起こすと考えられている。爆発メカニズム研究は数十年の成果が身を結び、理論計算でも爆発可能であることが示された。ニュートリノ加熱とそれに伴う複雑な乱流現象が爆発に重要な役割を果たすことが明らかになってきた。現在、爆発メカニズムの理論研究は次のステップに進んでいる。そのステップの一つに多次元乱流効果をたりにれた 1 次元シミュレーション (1D+) の開発がある。1D+ は長時間計算や超新星爆発の系統的な調査を行うなどさまざまな情報提供を行うツールとして期待されている。本研究ではレイノルズ分解に基づく 1 次元シミュレーションにより現象論的乱流モデルを開発した。この方法を用いて、圧縮、混合長パラメータ、内部エネルギー、乱流エネルギー、電子割合の拡散係数の効果を変えたモデルを系統的に研究した。内部エネルギー、乱流エネルギー、電子割合の拡散係数を変えたモデルを系統的に調べた。乱流効果を用いると、超新星爆発を 1 次元の形状で実現することができ、3 次元シミュレーションにおける衝撃波の時間発展を模倣することができる。その結果圧縮による乱流エネルギーの増大が初期の衝撃波の時間進化に影響を与えることを発見した。内部エネルギーと乱流エネルギーの拡散係数と乱流エネルギーの拡散係数も爆発に影響を与える。拡散係数が小さいほど、衝撃波は高速に復活する。両者の比較から、内部エネルギーの拡散係数の方がより大きな影響を与えることがわかった。これらはコア崩壊型超新星における乱流の役割を理解するのに役立つものであり、今後より現実的な 1D+ シミュレーションの開発も行なっていく。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

N19a セル構造と地上燃焼実験の知見にもとづく、Ia 型超新星におけるヘリウム表層デトネーションの発生予測

岩田和也, 前田啓一 (京都大学)

Ia 型超新星を引き起こすとされている核燃焼波で、超音速の伝播速度をもつものをデトネーションと呼ぶ。アナロジーの強い同様の爆発現象はもともとは地上の炭鉱爆発事故で発見されて以来、発生条件や伝播速度について広く基礎研究が行われていた。実測によく整合する理論や経験則も多く存在し、その多くはデトネーションの最小スケールである、セル構造と呼ばれる多次元に分岐する衝撃波構造のサイズ「セル幅」にもとづいている。ところが Ia 型超新星の理論・シミュレーション研究でこれらの知見を活かした例は非常に少ない。特に近年注目される double-detonation モデルの第一段階である、白色矮星のヘリウム表層におけるデトネーションへの適用例は皆無であり、近年のシミュレーションモデルの設定はこれらを考慮しない強制的な着火を初期条件とすることが多い。

そこで本研究では、ヘリウム表層物質内のデトネーションに関し、セル構造の 2 次元シミュレーションを行い、得られたセル幅と地上燃焼実験の理論・経験則からその発生予測を試みた。その結果、セル幅の予測式を熱発生スケールに基づいて構築することに成功し、シミュレーションによりデトネーション発生条件を整理した先行研究と比較すると、地上燃焼実験の理論・経験則と非常によく一致していることがわかった。これはつまり天体規模の大規模シミュレーションを必ずしも行わなくとも、セル幅を知ることで爆発モデルの可能性を検証できることを示している。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N20a 重力崩壊型超新星での爆発的要素合成：核反応率の不定性

西村 信哉 (理化学研究所), T. Rauscher (U Basel), C. Fröhlich (NCSU)

大質量星 ($> 10M_{\odot}$) は進化の最後に超新星爆発を引き起こす。星の爆発により、進化の過程で生成されたヘリウムから鉄族までの元素を放出するとともに、中心部では爆発的要素合成が進行し、その星の要素合成の最後の舞台にもなる。超新星の爆発メカニズムは完全には解明されておらず、我々は完璧な爆発モデルを持っている訳ではないが、元素の観測量を比較的良好に再現する 1 次元球対称の爆発モデルはこれまで構築されている。爆発的要素合成では、核反応についても原子核実験によってアクセス可能な領域もあり、天文学的に重要で原子核としては未決定な量についての実験提案ができるかもしれない。

我々は、核反応率の不定性を考慮した要素合成計算コードを開発し、これまで鉄より重い元素の合成過程 (s , r , p , νp プロセス) に適用してきた。我々の枠組みは要素合成一般について適用であるので、当然、超新星での爆発的要素合成に適用可能である。今回、その応用の取り組みとして、1 次元球対称の枠組みで電子タイプ以外のニュートリノ反応を増加させて人工的に爆発させる「PUSH」法を採用した爆発モデルについて調査を行った。代表的な質量 (ここでは $M_{ZAMS} = 16M_{\odot}$) の親星に対して、太陽系組成と金属欠乏星の要素合成を対象とする。詳細なポストプロセス要素合成計算を行い、さらにモンテカルロ要素合成により、反応率の不定性の影響を網羅的に調べた。本発表では、不定性が与える影響を示すと同時に、重要な反応率についての解析結果も紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N21a JEDI ミッション (仮称) のサイエンス検討：2030 年代の紫外・X 線による超新星爆発の即応/待ち受け観測

内田裕之 (京都大), 岩切渉 (千葉大), 石崎渉 (京都大), 内山秀樹 (静岡大), 榎山和巳 (東北大), 勝田哲 (埼玉大), 黄天銳 (東京大/理研), 佐藤寿紀 (明治大), 茂山俊和, 鈴木昭宏 (東京大), 鈴木寛大 (ISAS/JAXA), 諏訪雄大 (東京大), 田中周太 (青山学院大), 田中孝明 (甲南大), 柘植紀節 (東京大), 辻直美 (神奈川大), 津名大地 (東京大/カリフォルニア工科大), 鶴剛 (京都大), 寺田幸功 (埼玉大), 成田拓人 (京都大), 野田博文 (大阪大), 信川久実子 (近畿大), 信川正順 (奈良教育大), 馬場彩 (東京大), 前田啓一, 松永海 (京都大), 森浩二 (宮崎大), ほか JEDI ミッション検討チーム

JEDI (仮称) は、軟 X 線 (0.3–6 keV) および硬 X 線 (1–79 keV) の撮像分光装置に紫外線検出器を搭載する、これまでにない広帯域の紫外・X 線衛星計画である。日本主導で 2030 年代の打ち上げを目指し、この時代の他波長の望遠鏡およびマルチメッセンジャー天文台と連携して、最速 1 時間以内の突発天体の観測を主目的とする。JEDI のミッションコンセプトは超新星爆発の即応観測と相性が良く、例えばヴェラ・ルービン天文台に代表される 2030 年代の広視野サーベイを利用して、アラートのあった超新星や高速変動する正体不明の FBOT など、可視光トランジェントのフォローアップを行い、爆発直後の星周構造や駆動機構を時間軸に沿って明らかにすることが可能になる。また JEDI はハイパーカミオカンデと連携することで、ニュートリノバーストをトリガーとした爆発直前の恒星を指向する戦略を検討し、史上初の超新星「待ち受け」観測によるショックブレイクアウトの検出を目指す。本講演では、JEDI の概要とサイエンス検討の進捗、特に超新星研究の文脈で可能な観測戦略と期待される成果について紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N22a Ia 型超新星残骸 Kepler's SNR の精密 X 線分光観測による伴星の推定

穴澤萌衣, 内田裕之, 成田拓仁 (京都大学), 勝田哲 (埼玉大学)

Kepler's SNR は 1604 年に銀河系内で最後に観測された Ia 型超新星残骸である。Ia 型超新星爆発は白色矮星がチャンドラセカール質量を超えることで爆発するが、質量を増加させる機構には主に 2 つのモデルがある。1 つ目は白色矮星と伴星の連星系において伴星の外層が白色矮星に質量降着する single-degenerate (SD) モデル、2 つ目は白色矮星連星が融合する double-degenerate (DD) モデルである。Kepler' SNR の場合は、星周物質起源の放射が観測されたことから SD モデルであると考えられている (Katsuda et al. 2015)。Katsuda et al. (2015) では、星周物質の質量から求めた質量損失率が漸近巨星分枝 (Asymptotic Giant Branch; AGB) 星とほとんど同じであるため、伴星が AGB 星であると示唆している。加えて Kasuga et al. (2021) では星周物質の北西部分が大きく青方偏移していることが観測され、この速度構造が、北西・手前方向に運動する逃亡 AGB 星によって形成される星周物質で期待されるものと矛盾しないため、同様に AGB 星を示唆している。しかし爆発後も残るはずの伴星が見つからないなど、確実な証拠は得られていない (e.g., Schaefer & Pagnotta 2012; Bedin et al. 2014)。今回我々は Kepler's SN の伴星の正体を探るべく、XMM-Newton 衛星搭載の反射回折分光器を用いて星周物質の元素組成を調べた。その結果、CCD のエネルギー分解能では分離できなかった N や O の輝線を検出した。先行研究 (Katsuda et al. 2015) では 2001 年のデータ (31 ksec) のみで N/H 比について言及していたのに対し、我々は 2020 年に観測された 2 つのデータ (132, 37 ksec) を加えて N/O 比について解析を行い、N/O \sim 2 という結果を得た。仮に伴星の星風の組成を反映しているとする、これは伴星の質量が \sim 2 M_{\odot} であることを示唆している。本講演ではその解析結果を報告し、Kepler's SN の伴星について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

N23a X 線精密分光解析による超新星残骸 G292.0+1.8 の帯状星周物質の起源解明

成田拓仁, 内田裕之, 吉田敬, 松永海, 鶴剛 (京都大学), Jacco Vink (University of Amsterdam), 勝田哲 (埼玉大学), 梅田秀之 (東京大学), 佐藤寿紀 (明治大学)

星周物質は星の進化の過程で外層から噴き出る星風が星の周りに形成する物質で、重力崩壊型超新星残骸においては、爆発の衝撃波によって掃き集められることで、X 線で明るく光る。星周物質の元素組成は星の進化を反映しており、特に炭素、窒素、酸素といった元素は星内部の水素燃焼によって組成が変化するため、超新星残骸の親星の初期質量や初期回転速度を探る上で良い指標となる。またウォルフ・ライエ (WR) 星のような非常に強い質量損失を経験した星は、水素やヘリウムが欠乏した Ib/c 型超新星を起こすと考えられており、このような親星から形成される星周物質にはヘリウム燃焼で生成された炭素や酸素などが多く含まれるため、他の重力崩壊型超新星残骸における星周物質とは違った組成になると考えられる。我々はこれまでに、点源において高いエネルギー分解能を持つ XMM-Newton 衛星搭載の反射型回折分光器を、超新星残骸のコンパクトな構造に応用することで、超新星残骸 RCW 103 の星周物質由来の窒素輝線の検出に成功し、その窒素と酸素の組成比から親星の初期質量と初期回転速度を推定した (Narita et al. 2023)。今回我々は、これと同じ手法を使って、超新星残骸 G292.0+1.8 の帯状星周物質を形成した親星を制限するために、帯状構造の X 線精密分光解析を行った。その結果、窒素の K 殻輝線の検出に成功し (2021 年天文学会春季年会 N19a)、星周物質の窒素と酸素の比は太陽組成よりも低い (N/O = 0.5 ± 0.1 (N/O) $_{\odot}$) ことがわかった。この組成比は、親星が酸素過剰な星風を吹いた WR 星であることを示しており、組成比を恒星進化モデルと比較することで、親星は単独星よりも連星系であった可能性が高いと推定した。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

N24a 超新星残骸の形状から探る Ia 型超新星爆発の爆発機構

服部英里子, 諏訪雄大, 谷川衝 (東京大学)

Ia 型超新星は白色矮星が起こす爆発であることが知られているが、その爆発機構は未解明である。その候補として白色矮星が主系列星や巨星からの質量降着によってチャンドラセカール質量を超え核反応暴走を起こすことで爆発する single degenerate (SD) 型と、2 つの白色矮星が合体したり質量降着することで爆発する double degenerate (DD) 型の二つの機構が考えられている。本講演では、Ia 型超新星残骸が観測的には球対称な構造をしていることに着目し、こうした異なる爆発機構を超新星残骸の観測から迫る方法を提案する。

本研究では、Smoothed Particle Hydrodynamics 法を用いて連星中にある白色矮星の起こす爆発の長時間シミュレーションを行い、伴星によって超新星残骸の形状にどのような変化が見られるのか検証した。系統的に伴星の種類や伴星との距離を変化させたシミュレーション結果を用いていくつかの定量的指標を導入し、観測された超新星残骸の形状から伴星にどのような制限をかけられるのかを報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

P101a 星形成フィラメントの幅の普遍性解明に向けた MHD シミュレーション

安部大晟 (名古屋大学), 井上剛志 (甲南大学), 犬塚修一郎 (名古屋大学)

星は分子雲中の高密度領域で形成されるがその高密度領域がフィラメント状であることや (André et al. 2010), 分子雲を通過する衝撃波がそのフィラメントの形成を誘発することがわかっている (e.g., Inoue & Fukui 2013; Abe et al. 2021). フィラメントは、その形成機構を鑑みると磁場に沿ったガス流によって進化する. フィラメント進化過程で決まるであろうフィラメントの幅はフィラメントの幅は星形成開始条件や星の質量を決めうる重要な量である (e.g., Tomisaka 2014). 観測からフィラメントの幅は線密度によらず 0.1 pc であることがわかっている (Arzoumanian et al. 2019). ところが、理論的には幅は高密度なものほど小さいはずであり、観測事実と矛盾する. これまでの我々の研究によって、フィラメント境界における slow mode 衝撃波の不安定性と両極性拡散の組み合わせによってフィラメント内に非等方乱流が発生しフィラメントの幅の維持が達成されることを提案した (2023 年春季年会 P109a). しかしながら、広いパラメータ範囲での調査はなされておらず、フィラメントの幅の普遍性を説明するに至っていない. 本発表では、密度・磁場・ガス流入速度・電離度などのパラメータを変えたときに結果がどうなるかを Athena++ を用いた非理想 MHD シミュレーションにより調べた. 結果として密度・磁場に対する依存性はそこまで強くなく、非等方乱流のエネルギー源であるガス流入速度が大きいほど発生する乱流が強くなることが確認できた. さらに電離度が低すぎると Nonlinear thin shell 不安定と同じ振る舞いになり非等方乱流の駆動は継続することができないことや、電離度が高い場合でも非等方乱流は継続的に駆動され、さらに両極性拡散の長さスケールが小さくなるためにフィラメント内にできる構造も細くなることがわかった. どのくらいのパラメータ範囲であればフィラメントの幅の普遍性を説明しうるかを議論する.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

P102a 大マゼラン雲 N159 領域のフィラメント状分子雲と MHD 計算との詳細比較

山田麟、立原研悟、福井康雄 (名古屋大学)、徳田一起 (九州大学/国立天文台)、柘植紀節 (東京大学)、佐野栄俊 (岐阜大学)、井上剛志 (甲南大学)

N159 は大マゼラン雲で最も大規模な巨大分子雲であり、銀河間相互作用により小マゼラン雲から流入したガスとの衝突の影響を強く受けた星形成領域として興味深い (Fukui et al. 2017). 先行研究では ALMA による空間分解能 0.07 pc の $^{12}\text{CO}(J=2-1)$ 、 $^{13}\text{CO}(J=2-1)$ 、 $\text{C}^{18}\text{O}(J=2-1)$ および連続波の観測から、N159E-Papillon、N159W-South、N159W-North について、複数の線質量 $100 M_{\odot}/\text{pc}$ を超えるフィラメント状分子雲が扇形に分布し、頂点方向に質量が $\sim 40 M_{\odot}$ に及ぶ年齢 $\sim 0.1 \text{ Myr}$ の大質量星が付随することが明らかになった (Fukui et al. 2019; Tokuda et al. 2019; 2022). 次の課題として、速度構造の理解が挙げられる. 今回、扇形雲の対称軸に垂直なカットの位置速度図を作成し、Inoue et al. (2018) の数値計算と比較した. N159E-Papillon では位置速度図は半楕円形の分布を示し、中心部には放射が検出されない. N159W-South では楕円形の分布を示し、楕円淵部の強度は中心部の 5 倍以上と大きい. N159W-North は他の 2 領域ほど明確ではないもの、同様に楕円形分布を示し、淵部には強度が中心部の 3 倍を超えるような分子雲クランプが分布する. Inoue et al. (2018) の MHD 計算によると、衝突によって圧縮されたガスは円錐形三次元構造の壁面に集中し、頂点に向かって運動する. この円錐構造を対称軸からある程度の傾きをもって擬似的に観測し位置速度図を作成すると、速度分散が円錐の対称軸方向で最も大きく、端で小さくなる楕円分布を示す. また円錐壁面に分子雲が集中するため、位置速度図における楕円分布の淵部は中心部よりも強度が大きい. 以上より、N159 における観測結果と Inoue et al. (2018) の数値計算と整合的であり、Inoue et al. (2018) モデルによるフィラメント状分子雲形成の典型的観測例として注目される.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

P103a Corona Australis 分子雲における幅 1000 AU スケールのフィラメント形成

深谷直史¹、立原研悟¹、徳田一起^{2,3}、西岡丈翔¹、山崎康正⁴、原田直人²、佐藤亜紗子²、山崎駿²、所司歩夢²、野崎信吾²、大村充輝²、町田正博²、深川美里³、安部大晟¹、井上剛志⁵、福井康雄¹ (1: 名古屋大, 2: 九州大, 3: 国立天文台, 4: 大阪公立大, 5: 甲南大)

Corona Australis 分子雲 (CrA) は最近傍 ($d = 149 \text{ pc}$) の小質量星団形成領域として知られている. 我々はこの分子雲の高密度領域を ALMA ACA で観測し、 C^{18}O 輝線と SO 輝線において幅 1000 AU 程度のフィラメント (以下、feather と言う) を検出した (深谷他 2023 年春季年会). それらの線質量が critical line mass よりも小さかったことから一時的な構造であると考えられ、これらの構造やこの領域における星形成の起源について議論するため衝突流によるフィラメント形成 MHD シミュレーション (安部他 2023 年春季年会) との比較を行った.

シミュレーションから作成された柱密度マップでは幅 $\sim 0.06 \text{ pc}$ の太いフィラメントの周りに幅 $\sim 0.005 \text{ pc}$ ($\sim 1000 \text{ AU}$) の細いフィラメント (以下、feather-like 構造と言う) が再現された. 速度場の解析から両極性拡散とスローショック不安定性によって弾丸状構造の運動が駆動され、そのシア流が feather-like 構造を形成していることがわかった. feather-like 構造は広がった構造内の高柱密度の領域である点や、一時的な構造という特徴が feather と共通している. CrA は H I シェルの縁に存在し、シェルの動径方向に速度勾配が見られること、ショックトレーサーの SO 輝線が検出されていることから衝撃波の存在が示唆される. また、高密度フィラメントに埋め込まれた最も線質量の大きな feather には 1000 AU 間隔で原始星が付随していた. 一方、付随する星の固有運動はシェルの動径方向に揃っていた. これらの事実から、シェルの膨張に起因するガスの運動や継続的な降着が分子雲内部に運動する弾丸状構造を形成し、それらがフィラメントと衝突することで星団が形成されたとの説を提案する.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

P104a 正二十面体による HII 領域推定の拡張:統計的な振る舞いについて

王蘊玉, 斎藤貴之, 牧野淳一郎 (神戸大学), 藤井通子 (東京大学), 平居悠 (ノートルダム大学/東北大学)

大質量星からのフィードバックは、星形成・銀河形成過程に大きな影響を与えると考えられている。特に光電離フィードバックは、HII 領域を形成し、その後の星形成を抑制しうる。これまで多くの研究では、計算コストが極めて大きい輻射流体法、または、一様密度場で成り立つストREMグレン球で電離領域を近似する簡易モデルが用いられてきた。一方、我々は、空間非一様性を考慮した HII フィードバックモデルとして、正二十面体を用いて、各方向に電離領域を評価するモデルを開発し、星団形成シミュレーションに応用した。2023 年春季年会では、非一様密度場で電離領域の評価を行い、非一様構造を反映した電離領域を作れることを報告した。また、非一様構造を考慮した場合としていない単純なストREMグレン球を仮定した場合の星団形成の一例についても示した (P132b)。

今回はより包括的な振る舞いを調べるため、様々な質量やビリアル比の、内部に乱流速度場を持つ分子雲の進化のシミュレーションにこのモデルを適用した。空間異方性を考慮したモデルでは、常に純粋な球体構造を示す単純なモデルと比べて、星団形成のより早い段階で密度場にに応じた異方的な電離構造とそれに伴う非等方的アウトフローが形成される傾向があった、また、空間異方性はやや星形成を促進する効果があることがわかった。本講演では、同じモデル分子雲で初期シードを変えた場合の振る舞いなどもまとめて報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P105a M42 を電離する Orion Nebula Cluster 全体の形成史

福井康雄 (名古屋大学)

Orion Nebula Cluster は 2000 個の星を含み、M42 を電離する大星団である。近距離にあるため 1000 個近い星の性質は詳しく研究され、この種の星団としては最も周到な HR 図が作成されている (Hillenbrand 1997)。問題は、星の年齢が 10^5 年から 10^7 年という広い範囲にわたることである。特に重要なのは、トラペジウムを含む 10 個余の O 型星がごく最近形成されている点である。これらの O 型星の形成は、分子雲衝突によって 10 万年以内に起きたと考えられる (Fukui et al. 2018)。以上の星団の性質を統一的に理解するシナリオは、次のように記述される。

— 過去 10^7 年以上にわたり、母体分子雲中で星形成が継続し、大質量星を含まない現在の星団の低質量星が形成された。この過程において、分子雲は重力的にガスを集め、最終的に柱密度が 10^{22} cm^{-2} を超える。この柱密度は、分子雲衝突によって O 型星が形成される条件を満たす (Enokiy et al. 2021)。今から 10^5 年前に Fukui et al. が示したように分子雲衝突が起こり、柱密度が 10^{23} cm^{-2} を超えて 10 個余りの O 型星が形成され、現在の M42 系が形成された。分子雲衝突の典型的な時間スケールは、理論的に $8 \times 10^6 \text{ yr}$ 程度と予想されており (Dobbs et al. 2015)、矛盾がない。衝突による O 型星形成は柱密度の高い青方偏移した高密度分子雲の前面で起きている。一方、 10^5 年以前に形成された低質量星の大部分は、減光の大きな分子雲中に現在もなお埋もれており、星団内の大質量星分布は著しく空間的に偏っており、指向性の強い衝突シナリオと整合する。重要なのは、低質量星団によって高まった柱密度のために、O 型星形成が低質量星団に密に付随することである。こうして、あたかも紐付けされていたかのように、異なるエピソードが融合して 1 個の星団が完成する。以上のシナリオは、[低質量星の継続的形成+分子雲衝突による大質量星形成] を二大要素として、幅広い星団形成史の構築に応用できる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P106a 大マゼラン雲における HI ガス雲衝突と大質量星固有運動の関連性

玉城磨生, 立原研悟, 中野覚矢, 福井康雄, 國生拓摩 (名古屋大学), 中島康 (国立天文台)

大質量星は紫外線放射や恒星風により周囲の星間物質に多大な影響を与えるが、その形成機構は不明である。大マゼラン雲では、小マゼラン雲との潮汐相互作用による HI ガス雲の衝突が大質量星形成を誘発するシナリオが提案されている (Fukui et al. 2017, Tsuge et al. 2019)。

本研究では、大マゼラン雲で最も星形成が活発な 30 Dor・N44 の 2 領域において、上記の HI ガス雲の衝突シナリオから示唆される、降着する HI ガスの運動と星団の年齢・固有運動の比較を行った。大質量星候補および星団の一覧には、我々が *Gaia* の均一な観測結果から作成した大マゼラン雲全面に渡るカタログ (2023 年秋季年会, 玉城 他) を用いた。まず、*Gaia* によって提供された固有運動から大マゼラン雲自体の固有運動と銀河回転 (*Gaia* Collaboration et al. 2021) を引くことで銀河に対する星・星団の固有運動を得た。その結果、多くの大質量星候補の固有運動の向きが南向きに偏って分布していることが分かった。そして、30 Dor・N44 いずれにおいても、星団の年齢と上記の HI ガス雲の衝突時期は 10 Myr のオーダーで一致する。また、大質量星候補の固有運動方向は、提案されている HI ガス雲の 3 次元的な運動方向と一致し、衝突速度も 10 km/s のオーダーで一致した。さらに、アタカムコンパクトアレイによる ^{12}CO の観測から向きの揃った分子雲のフィラメント構造が検出されているが、これらと大質量星候補の固有運動方向も一致した。フィラメント構造は HI ガス雲の衝突により誘発されると考えられる (Inoue et al. 2018)。これらの結果は、30 Dor・N44 の 2 領域で HI 雲の衝突により大質量星形成が誘発されているというシナリオを支持する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P107a 野辺山 45m 鏡 7BEE 受信機によるオリオン座分子雲の観測 (2)

立松健一, 西村淳, 前川淳 (国立天文台), 小川英夫, 大西利和, 長谷川豊, 山崎康正, 増井翔, 米山翔, 西本晋平, 中川凌, 西川悠馬, 藤巴一航 (大阪公立大), 酒井剛, 宮戸健 (電通大), 坂井南美 (理研), 徳田一起 (九州大・国立天文台), 宮澤千栄子, 高橋敏一, Alvaro Gonzalez, 金子慶子, 小嶋崇文 (国立天文台)

野辺山 45m 鏡に搭載された新受信機 7BEE を用いて、オリオン座分子雲方向で、重水素を含む分子 DCO⁺ および DNC の同時受信観測を行った。7BEE は、SAM45 の障害 (75%性能) と冷却 HEMP 増幅器の故障のため、現状では本来の性能の 50% である。オリオン分子雲 f 字フィラメントの観測 (2023 年春の年会で既報) につづき、オリオン座分子雲内の星なしコア 18 個の DCO⁺, DNC 同時マッピングを行った。観測領域は、5 分角四方である。FOREST 受信機で観測した H¹³CO⁺, HCO⁺, HN¹³C, HNC と比較した。主な結果は、以下である。(1) DCO⁺ と H¹³CO⁺ の分布、DNC と HN¹³C の分布は 1 次近似的には似ている。(2) コア内の D/H 分布は比較的特徴が少なく、少なくともダスト連続波ピーク位置で極大を示すという傾向は顕著には見られなかった。従って、化学進化指標 (Tatematsu+17; Kim+20) の導出でそうしたように、ダスト連続波ピーク位置の 1 点観測の D/H 値をコアの代表値として用いることは、それほど問題がなさそうである。(3) 確認が必要であるが、ダスト連続波ピークでの D/H はコアの平均値より若干低めの傾向がある。低温高密度領域では、重水素濃縮がより強いというのが従来からの知見であるが、一見それと逆センスに見える。DCO⁺, DNC のラインの光学的厚みが影響している可能性が考えられる (cf. Hirota+01)。

年会では、今後の観測も含めた最新成果を報告したい。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P108a 野辺山 45m 鏡 7BEE 受信機による M17 SW 巨大分子雲の観測 (1)

西村淳, 立松健一 (国立天文台), 徳田一起 (九州大・国立天文台), 宮戸健, 酒井剛 (電通大), 西川悠馬, 中川凌, 藤巴一航, 米山翔, 西本晋平, 山崎康正, 長谷川豊, 大西利和, 小川英夫 (大阪公立大), 坂井南美 (理研), 前川淳, 宮澤千栄子, 高橋敏一, 増井翔, Alvaro Gonzalez, 金子慶子, 小嶋崇文 (国立天文台)

M17 は距離 2 kpc に位置する近傍で最大規模の若い大質量星形成領域であり、53 個以上の OB 型星を伴う NGC 6618 クラスタにより、隣接する M17 SW 巨大分子雲 (GMC) の電離が進行中である。M17 SW には、まだ大量の分子ガス ($6.7 \times 10^4 M_{\odot}$) が残存し、それも半径 1 pc に集まり非常に高密度で ($> 10^{23} \text{ cm}^{-2}$; Nishimura et al. 2018)、ビリアル比 $\alpha_{\text{vir}} = \frac{M_{\text{vir}}}{M_{\text{cloud}}}$ は低いものの (Nguyen-Luong et al. 2020)、GMC 内部での大質量星形成は不活発で、1000 μG を超す強い磁場 (Hoang et al. 2022) が収縮を妨げていると考えられている。

そこで我々は、M17 SW における GMC スケールでの星形成の兆候を調査するべく、野辺山 45 m 鏡に搭載された新受信機 7BEE を用いて、重水素を含む分子 (DCN, DNC, DCO⁺, N₂D⁺) の観測を行った。その結果、DCN は 1 pc 程度の広がりを持ち、概ね GMC 全域で検出された。フィラメント構造が特徴的な N₂H⁺ に比べ DCN はより太く、丸い形状をしている。DCN は温度に対して存在比が比較的一定となることが報告されており (Pazukhin et al. 2023)、その事が広い温度差をもつ M17 SW 内での空間分布の違いに反映されていると考えられる。DNC は小さく 0.2 pc 程度の広さに分布している。N₂H⁺, DNC, DCN で、それぞれ、積分強度のピーク位置が異なっており、N₂H⁺ ピークと DCN ピークの間に DNC が分布している。また、DCO⁺ と N₂D⁺ は検出されなかった。これは、雲全体が NGC 6618 による加熱で 30–40 K と高温になっているためだと考えられる。本講演では、これら各輝線の分布、並びにそれらと温度・密度の分布との比較を議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P109a 野辺山 45m 鏡を用いたおうし座分子雲コアの重水素化合物輝線による観測 (2): B213W 領域での高密度分子雲コアの重水素濃縮

野崎信吾, 大村充輝, 所司歩夢, 原田直人, 佐藤亜紗子 (九州大学), 徳田一起 (九州大学/国立天文台), 小西亜侖, 國年悠里, 東野康祐, 松本健, 小川英夫, 長谷川豊, 大西利和 (大阪公立大学), 坂井南美, Yao-Lun Yang, Zeng Shaoshan (理化学研究所), 立原研悟 (名古屋大学), 立松健一, 西村淳 (国立天文台)

おうし座分子雲は、最近傍の小質量星形成領域の一つであり、分子雲コアの性質を調べることに適した観測対象である。我々は同領域における分子雲コアの重水素化合物輝線観測から化学的・物理的状態を明らかにし、分子雲コアの時間進化過程およびその多様性を理解すること等を目的として、野辺山 45m 鏡を用いた高密度分子雲コアの包括的な研究を実施している (徳田他 本年会も参照)。

本発表では、B213W 領域での高密度分子雲コアの o-NH₂D 観測結果を主に紹介する。B213W 領域には Class 0/I が付随する 2 つの星ありコアとさらに 2 つの星なしコアが空間的に交互に存在しているため、局所的な領域で星形成の時間進化およびその多様性を調べる上で最適な領域になり得る。これまでの単一鏡によるミリ波連続波の観測等では、2 つの星なしコア (MC 14N, MC 13a) は水素分子柱密度が $\sim 2 \times 10^{22} \text{ cm}^{-2}$ と同程度 (前者の方が僅かに高い) であることなどが示されていた。o-NH₂D の分布は同じ周波数帯の高密度ガストレーサーである H¹³CO⁺ や N₂H⁺ の分布よりも分子雲コア中央に局所的に存在しており、より密度の高い部分を捉えていることが分かった。強度は MC 13a が MC 14N に比べて 1.5 倍程度高く、前者の方が重水素の割合が高く化学進化が進んでいる兆候が得られた。ただし、進化したコアでよく見られる H¹³CO⁺ 分子の枯渇がコア全体で顕著なのは逆に MC 14N の方であり、同一フィラメント内の分子雲コアにおいても化学進化の傾向が多様な場所を捉えた可能性がある。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P110b 野辺山 45m 鏡を用いたおうし座分子雲コアの重水素化合物輝線による観測 (1): プロジェクト概要と進捗状況

徳田一起 (九州大学/国立天文台), 野崎信吾, 大村充輝, 所司歩夢, 原田直人, 佐藤亜紗子 (九州大学), 小西亜侑, 國年悠里, 東野康祐, 松本健, 小川英夫, 長谷川豊, 大西利和 (大阪公立大学), 坂井南美, Yao-Lun Yang, Zeng Shaoshan (理化学研究所), 立原研悟 (名古屋大学), 立松健一, 西村淳 (国立天文台)

最近傍の小質量星形成領域であるおうし座分子雲は星形成の初期条件となる分子雲コアの性質を探る上で最も重要な位置付けとなる観測対象の一つである。これまで分子雲コアの大規模なサーベイによりその質量関数や動的収縮に向かう密度条件などが明らかにされてきた。ただし分子雲コアの力学状態を支配する磁場や乱流の強弱などはコアごとに異なる可能性があり、統計的な研究だけでは不十分であった天体固有の性質を明らかにし、星形成の多様性の起源を明らかにすることが重要な課題となる。低温・高密度の分子ガスの性質を探る上での一つの困難は多くの分子種が deplete してしまうことが挙げられるが、重水素化合物輝線の観測により星形成直前および直後の化学的・物理的性質を明らかにすることが期待される。我々は野辺山 45m 鏡の FOREST と新受信機 7BEE を用いておうし座分子雲コアの重水素化合物 ($o\text{-NH}_2\text{D}$, $p\text{-NH}_2\text{D}$, DCN, DNC, DCO⁺, N₂D⁺) およびそのノーマル種同位体の観測を推進している。本研究に先立って行った T70 受信機による N₂D⁺ (1-0) の 1 点観測等に基づいて選定した天体を中心に 2022 年度より観測を実行中である。初年度の観測対象は最も有名な星なしコアである L1544、Class 0 原始星が付随する MC 27、ファーストコア候補天体の MC 35、フィラメントに沿って 4 つの分子雲コアが連なる B213 (野崎他 本年会も参照)、おうし座分子雲の中でも例外的に巨大な星なしコアである TMC-1 などの重要天体を中心とした。本発表では観測・解析の進捗状況について紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P111b Polaris 分子雲の分子分光観測

下井倉ともみ (大妻女子大学), 土橋一仁 (東京学芸大学), 中村文隆, 谷口琴美 (国立天文台)

北極星の周りにはうすいシラス状の分子雲が広がっている。ハーシェルの観測から、この領域に幅約 0.1 pc の 30 を超えるフィラメントの構造が明らかになった。フィラメントには星の付随しないコアが 300 以上確認されているが、それらのほとんどは重力的にバウンドしていない。このような状況下、密度が 10^5cm^{-3} 以上の 3 つの特異な分子雲コアの存在が確認されており、これらは星形成の直前であると示唆されている (Shimoikura et al. 2012)。ハーシェルの観測より、これらのコアは約 $60' \times 30'$ に広がる分子雲内に位置している。この分子雲を Polaris 分子雲と呼ぶ。Polaris 分子雲については、これまで高分解能での分子輝線観測は実行されておらず、コアとその母体と考えられる分子雲との関係は不明であった。また、Polaris 分子雲に見られるフィラメントの性質についても、ほとんど明らかになっていない。そのため、野辺山 45 m 鏡による 100 GHz 帯の CO 分子輝線を用いた分子雲全体のマッピング観測を行った。

得られた分子輝線データと H₂ 21cm 線や遠赤外線データの公開データを用いて解析した結果、¹³CO 分子輝線の積分強度の分布は、H₂ 21cm 線の積分強度の分布と反相関がみられることが分かった。また、 $N(\text{H}_2)/W_{\text{CO}}$ の比である X_{CO} ファクターは $0.4 \times 10^{20} \text{H}_2 \text{cm}^{-2}/(\text{K km s}^{-1})$ と推定された。これは太陽系近傍の平均的な値の約 1/5 である。さらに、ハーシェル観測で明らかにされたフィラメントは分子雲内に 15 個存在した。¹³CO 分子輝線より測定した平均速度図とフィラメントの位置との比較の結果、各フィラメントは視線速度の高い方から低い方へと位置し、速度勾配をもつことがわかった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P112c テレグラフ方程式を用いた重力ソルバーにおける並列化効率の測定

前田龍之介 (東北大学), 井上剛志 (甲南大学), 犬塚修一郎 (名古屋大学)

宇宙の構造形成には自己重力が重要な役割を果たすため、自己重力の効果を考慮した流体シミュレーションが数多く行われている。自己重力のポアソン方程式の数値計算法としてマルチグリッド法が広く用いられているが、超大規模並列計算を行う場合はマルチグリッド法の並列化効率は悪くなり、高度にチューニングされた計算コードであっても 10^4 - 10^5 コア以上では並列化効率が低下することが知られている。そのため、大規模並列シミュレーション ($> 10^4$ コア) を行うためには、並列化効率の良い新しい重力ソルバーを開発することが必要である。

本研究では、テレグラフ方程式を用いた自己重力ソルバーを開発した。テレグラフ方程式は双曲型の偏微分方程式であるため、楕円型のポアソン方程式の場合よりも並列化効率が良いことが知られている。複数のテスト計算の結果、我々の開発したテレグラフ方程式を用いた重力ソルバーの最適な拡散係数は $\bar{\kappa} \sim 2.5$ であることがわかった。また、我々は開発した重力ソルバーについて弱スケールテストを行い、超大規模な並列計算でも本手法が高い並列化効率を維持できることを示した。ここで、我々の手法は OpenMP や GPU を用いていないが、 10^4 コア以上の計算でも高い並列化効率を維持している。加えて、計算の時間ステップが CFL 条件ではなく、加熱・冷却や化学反応によって決定される場合、これらの時間スケールを用いた CFL 条件によって決定される重力の位相速度は、流体速度に音速を加えたものよりもはるかに大きいため、本手法は高速フーリエ変換やマルチグリッド法などのこれまでに知られている自己重力ソルバーに比べて高速に重力計算を行える可能性があることを示す。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P113a cold accretion と輻射フィードバックによる連鎖的 超大質量星形成

喜友名正樹 (京都大学), 細川隆史 (京都大学), 鄭昇明 (Max Planck Institute for Astrophysics)

初期宇宙に観測される超大質量ブラックホール (SMBH) の起源を説明する有力なモデルに、 $10^{5-6} M_{\odot}$ の超大質量星 (SMS) 形成説がある (Bromm & Loeb 2003)。この説では、 H_2 形成が抑制された状態でガス雲が重力崩壊した場合に SMS が形成される。ハロー中心部に超音速ガスが流入する cold accretion 現象は、結果として生じる高密度 shock で H_2 形成が阻害されるため、SMS 形成の現場となる可能性がある (Inayoshi & Omukai 2012)。

講演者はこれまで、宇宙論的流体シミュレーションを用いて、宇宙で最初に発現する cold accretion を研究して SMS 形成可能性を示唆する結果を得た (Kiyuna et al. 2023)。但し、これまでの計算では SMS 形成そのものを追跡できなかった。原因の一つは、ハロー中心部で形成される星からのフィードバックを無視したため、輻射場の正確な見積もりを欠いたためである。現実的には星が作る輻射場はやはり H_2 形成の抑制に寄与するため、これらの効果を合わせてハロー中心部のガスの熱・化学状態を求めた上で SMS 形成を議論する必要がある。

そこで今回、この輻射フィードバックを取り入れた場合の cold accretion による SMS 形成について新しく調べた。結果として、いくつかの例ではハロー中心数 pc 以内に高温高密ガスが $\dot{M} \sim 0.1 M_{\odot} \text{yr}^{-1}$ で供給され、ガス雲が質量 $\sim 10^5 M_{\odot}$ に達して H_2 分子を欠いた状態で (H 原子冷却により) 重力崩壊する様子が見られた。cold accretion は引き続きハロー中心部に高密度ガスをもたらし、誕生した原始星は $\sim 0.1 M_{\odot} \text{yr}^{-1}$ の大降着率で成長した。この状況では、SMS は星外層が大きく膨張して有効温度が $T_{\text{eff}} \approx 5000 \text{K}$ と比較的低温かつ大光度の放射をすることが知られている。この SMS 進化を模して計算を続行すると、 H^{-} イオンの光解離で H_2 形成がより抑制され、更に複数の SMS がハロー中心部で連鎖的に形成される様子が見られた。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

P114a 初代星形成における乱流磁場が円盤分裂に与える影響

定成健児エリック (東北大学), 大向一行 (東北大学), 杉村和幸 (北海道大学), 松本倫明 (法政大学), 富田賢吾 (東北大学)

一般に、現在の星形成雲には、銀河円盤の回転によって生成された一様な強い磁場が貫いている。そのような磁場は磁気制動またはアウトフローによってガス雲内の角運動量を効率的に引き抜き、星周円盤や連星の形成、星形成効率などに影響する。一方で、初代星形成領域内の磁場は、乱流ダイナモによって増幅されることが考えられるため、一様磁場よりもランダムに乱れた磁場が卓越する。しかしながら、このような乱流磁場が、ガス雲内の角運動量をどれほど効率的に輸送し、初代星形成に影響を及ぼすかは明らかになっていない。そこで、我々は、乱流を含む始原ガス雲コアが重力収縮して原始星を形成し、その後、ガス降着によって原始星が成長するまでの一連の星形成過程について、3次元磁気流体シミュレーションを実施した。その結果、磁場が原始星形成までに乱流エネルギーと同程度まで増幅できれば、磁気トルクによる角運動量輸送及び磁気圧が円盤分裂を抑制することが明らかになった。この場合、磁気圧勾配風が星周円盤中心から駆動することが確認できたが、その持続時間は短く、星形成への影響は小さい。実際の初代星形成領域においても、このような強い乱流磁場の生成が期待されることから、初期の磁場が微弱な初代星形成環境下においても、乱流磁場が初代星の形成数を減少させる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

P115a 超大質量星形成における星周円盤形成後の原始星進化過程

木村和貴 (東北大学), 細川隆史 (京都大学), 杉村和幸 (北海道大学), 福島肇 (筑波大学), 大向一行 (東北大学)

これまでの遠方宇宙の観測から宇宙誕生 10 億年以内に既に $10^9 M_{\odot}$ を超える超大質量ブラックホール (SMBH) が存在することが明らかとなっており、このような SMBH の起源の 1 つとして宇宙初期に形成される超大質量星 (SMS, $M_{*} \sim 10^{5-6} M_{\odot}$) が考えられている。SMS は特定の環境下で非常に大きな降着率 ($0.1-1 M_{\odot}/\text{yr}$) を伴った星形成が実現する場合に形成されると考えられているが、SMS が形成されるかどうかは形成途中の原始星進化に依存している。なぜなら、原始星の輻射や回転などが降着ガスに影響を与えるからである。そこで、これまで SMS 形成途中における原始星構造が研究されてきたが、先行研究では単純化された 1 次元モデルが用いられてきた (e.g. Hosokawa et al. 2012; Haemmerlé et al. 2018)。しかし、実際の星形成雲は角運動量や乱流を持っているため、それらによって作り出される 3 次元的構造下での原始星進化を明らかにする必要がある。

そこで、本研究では新たに計算コードを開発し 3 次元輻射流体計算によって SMS 形成における原始星構造の進化を追っている (c.f. Kimura et al. 2023)。前回の年会では原始星形成から 50 年間の結果について報告し、原始星と滑らかに接続する重力的に不安定な星周円盤が現れることを示した、本発表ではさらに数百年間計算時間を伸ばし、そのような状況下での原始星と円盤の進化を追った結果について報告する。進化の過程で星周円盤は頻繁に分裂をおこなすが、分裂片は大きく質量成長する前に中心の原始星へと落下する。また、このような降着期のガスの熱進化は収縮期と大きく異なり、より低密度でガスが断熱的に高温になることがわかった。本発表ではその他我々の 3 次元計算と過去の 1 次元モデルで原始星進化にどのような違いがあるのかを議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

P116a 安定・不安定境界にある階層的三体系の軌道進化・破壊様式について

岩倉龍太郎 (神戸大学), 船渡陽子 (東京大学), 牧野淳一郎 (神戸大学)

球状星団のような衝突系の N 体シミュレーションでは、二体緩和が系の力学進化に重要な影響を及ぼすため、連星系の正確かつ高速な軌道計算が不可欠である。単なる連星や、安定な階層的三体系に対しては、高速かつある程度正確な計算手法 (eg. Slow-down algorithmic regularization; Wang et al. 2020) が存在するが、安定・不安定境界にある階層的三体系については、現状では直接計算するしか方法がなく、新たな手法の開発が望まれる。

安定・不安定境界にある階層的三体系については、不安定が起こるまでのタイムスケールや、安定・不安定の条件については広く議論されているが、実際にどのような軌道進化を経てどのように不安定・破壊が起こるか、という現象の理解はあまり進んでいない。そこで本研究では、安定・不安定境界にある階層的三体系の軌道進化と破壊様式について、三体シミュレーションによって調べた。

我々のシミュレーションの結果によると、三体が同一平面上にある場合は順行・逆行軌道のいずれでも、外側の星の軌道の近点における内側の星と外側の星の近接遭遇によって軌道が変化することで系が不安定に向かうことがわかった。階層的三体系では、永年摂動による軌道進化で内側の離心率が振動するが、内側の離心率が大きくなり、内側と外側の近点方向が揃った際に、外側の星が最も近づくことができる。この時の距離によって軌道変化の大きさが変わり、破壊までの時間も変わる。従来は、初期軌道の離心率を考慮した安定性判定が行われていたが、離心率の振動の振幅とタイムスケールを考慮することで、判定条件を改良できると考えられる。傾斜角のある軌道については、古在機構によって軌道進化は更に複雑になるが、順行・逆行軌道の場合の議論から、やはり近接遭遇による軌道変化が不安定を引き起こすことが示唆される。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

P117a An Extremely Young Protostellar Core, MMS 1/ OMC-3: Episodic Mass Ejection History Traced by the Micro SiO Jet

Satoko Takahashi (NAOJ, SOKENDAI), Masahiro N. Machida, Mitsuki Omura, (Kyushu Univ.), Doug Johnstone (NRC HAA), Kohji Tomisaka (NAOJ), Kazuya Saigo (Kagoshima Univ.), et al.

We present ~ 0.2 arcsec (~ 80 au) resolution observations of the CO (2-1) and SiO (5-4) lines made with the ALMA toward an extremely young intermediate-mass protostellar source ($t_{\text{dyn}} < 1000$ years), MMS 1 located in the Orion Molecular Cloud-3 region. We have successfully imaged a very compact CO molecular outflow associated with MMS 1, having deprojected lobe sizes of ~ 18000 au (red-shifted lobe) and ~ 35000 au (blue-shifted lobe). We have also detected an extremely compact ($\lesssim 1000$ au) and collimated SiO protostellar jet within the CO outflow. The maximum jet speed is measured to be as high as 93 km s^{-1} . The SiO jet wiggles and displays a chain of knots. These are the first direct evidences that MMS 1 already hosts a protostar. The position-velocity (PV) diagram obtained from the SiO emission shows two distinct structures: (i) bow-shocks associated with the tips of the outflow, and (ii) a collimated jet, showing the jet velocities linearly increasing with the distance from the driving source. Comparisons between the observations and numerical simulations quantitatively share similarities such as multiple-mass ejection events within the jet and Hubble-like flow associated with each mass ejection event. Finally, no significant time variation is detected in the $850 \mu\text{m}$ light curve obtained from the JCMT/SCUBA 2 toward MMS 1. This suggests that no drastic change in the mass accretion rate, possibly related to the episodic accretion, has occurred during the last eight years.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

P118a 原始星進化シミュレーションを用いたアウトフロー回転観測の検証

麻生有佑 (韓国天文研究院 KASI), 町田正博 (九州大学)

原始星系の角運動量は原始惑星系円盤すなわち惑星形成領域の大きさを決めるので、アウトフローを通した角運動量放出の観測的評価は惑星系形成の描像を決めるために重要である。しかし、観測されている原始星アウトフローの中で回転を示す例は限られている。これはシミュレーションに普遍的に見られるアウトフロー回転が観測を通すことで見えにくくなる可能性を示唆している。そこで本研究では原始星期の磁気流体シミュレーションを擬似観測することで、特にアウトフローの視線からの傾きが回転の検出に与える影響を調べた。

本研究で用いたシミュレーションは初期に温度 10 K 、半径 0.5 pc 、中心密度 $6 \times 10^5 \text{ cm}^{-3}$ のコアを強度 $50 \mu\text{G}$ の磁場と平行な向きに回転させ、重力収縮開始後 0.1 Myr (中心星質量 $M_* = 0.5 M_\odot$) まで計算している。 $64 \times 64 \times 32$ の格子を多層格子法によって最大 15 段使用した。最小格子幅は 0.2 au で、中心のシンクセルに落下したガスの質量を M_* とする。このシミュレーションから得られた密度、温度、速度を輻射輸送計算コード RADMC3D に通し、 $^{12}\text{CO } J=2-1$ 輝線と 230 GHz 連続波を得て、CASA simobserve を用いて疑似観測した。

過去にアウトフローの回転を観測的に検出した研究 (e.g., Hirota et al. 2019, López-Vázquez et al. 2023) を参照し、 ^{12}CO 輝線の平均速度図と位置速度図の中にアウトフロー軸に垂直な速度勾配が見られれば回転の検出とした。その結果、アウトフローが視線となす角が $\leq 60^\circ$ のとき観測される速度勾配はアウトフローの軸から $\sim 10^\circ$ 傾いており、この方向がアウトフローの軸と誤認された場合、分子流の回転が見落とされる可能性があることがわかった。アウトフローの軸は歳差運動や原始星コア内のランダムな角運動量の影響で観測から精密に決定できないこともあり、本研究が示した傾きの効果は回転するアウトフローの観測例が少ない理由の一部と考えられる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

P119a ACA モザイク観測で明らかとなった原始星 IRAS 15398–3359 に付随する複数のアウトフロー

崔仁士, Hsi-Wei Yen (ASIAA), 町田正博 (九州大学), 大橋永芳 (ASIAA), 麻生有佑 (KASI)

原始星周囲における円盤形成過程は、星・円盤形成の母体である分子雲コアの乱流や分子雲コアスケールの磁場の構造に大きく影響することが理論的に予想されている。一方で、それら周辺環境が円盤形成に及ぼす影響は観測的には未だよく理解されていない。これまでの研究で、原始星 IRAS 15398–3359 (以下、IRAS 15398 とする) 周囲では、半径 3,000 au 以内に北東から南西に伸びる双極アウトフローと、それらのアウトフローに直交する方向に伸びる単極アウトフローの存在が示唆されていた。また、数 au の空間分解能の観測からは、IRAS 15398 は周囲に伴星をもたないことが明らかとなっている。そのため、これらの大きく傾いたアウトフローは、アウトフローを駆動する円盤の向きがその形成過程において大きく変化したことを示唆している。

本講演では、我々が行った ACA 7 m アレイを用いた IRAS 15398 周囲の $^{12}\text{CO } J=2-1$ 輝線のモザイク観測の結果を報告する。我々の観測で、これまで報告されていた 2 つのアウトフローの他に、原始星から半径 3,000 au 以遠に南北に伸びる双極アウトフローが発見された。アウトフローの長さや速度から求められるタイムスケールの比較から、この南北に伸びるアウトフローは、先行研究で報告されていた北東から南東に伸びるアウトフローより前に形成されたと考えられる。本講演では、先行研究の分子雲コアの観測から示唆される、分子雲コアの磁場と角運動量ベクトルの向き、乱流エネルギーと重力エネルギーの比と過去のシミュレーションの比較に基づき、これらの複数の大きく傾いたアウトフローの起源を議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P120a Class I 低質量天体 Elias 29 における温度分布と化学組成の関係

大屋瑤子 (京都大学/基礎物理学研究所), Anna Miotello (ESO), and FAUST members

Elias 29 (WL 15) は、へびつかい座にある低質量 Class I 原始星天体である ($d \sim 137$ pc)。この天体は、複雑な飽和有機分子 (CH_3OH など) や不飽和炭化水素 ($c\text{-C}_3\text{H}_2$ など) などの有機分子に乏しい特徴的な化学組成を示す (Oya et al. 2019)。一方、原始星近傍の回転するガス成分では、SO と SO_2 の輝線が強く検出される。我々は、ALMA Large Project FAUST (Fifty AU Study of the chemistry in the disk/envelope system of solar-like protostars) のターゲット天体の一つとして、Elias 29 に対する化学サーベイ観測を実施した。

Band 6 で C^{18}O , CS, SO, ^{34}SO , H^{13}CO^+ , DCO^+ の輝線を検出した (解像度 $\sim 0''.5$)。原始星から東西方向に伸びる 1,000 au スケールのアウトフローを SO, C^{18}O 輝線で捉えた。このアウトフローが、原始星から南に 500 au 離れたガス成分 (southern ridge) と衝突する様子を見出した。また、原始星から東に 500 au 離れた位置では、ジェットによる bow shock とみられる成分が、SO 輝線で捉えられた。これらの衝突領域について、SO と ^{34}SO の輝線を用いて温度分布を見積もった結果、それぞれ 55_{-14}^{+30} K, > 45 K と比較的高い値が得られた。この天体は Class I の進化段階にあり、既に Kepler 回転円盤を形成していることが期待されるが、原始星近傍 50 au スケールではガスの落下運動の可能性も指摘されている。降着するガスの存在が、少なくとも散発的なアウトフローを引き起こすことで、周囲のガスへのフィードバックをもたらしていることが考えられる。加えて southern ridge では、衝突現象が見られない穏やかな領域でも、温度が 20–30 K 程度と見積もられた。実際この天体は、近傍の B 型星からの輻射によって暖められている可能性が指摘されている (Rocha & Pilling 2018)。天体内でのフィードバックと外部からの環境効果によって生じるこの暖かい環境は、この天体の特徴的な化学組成の要因になり得る。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P121a Hot Core におけるメタノール分子存在量評価に向けた $\text{CH}_3^{17}\text{OH}$ 分子の実験室分光測定

小山 貴裕 (理研), 玉内 朱美 (理研), 渡邊 祥正 (芝浦工大), Shaoshan Zeng (理研), 仲谷 峻平 (JPL/RIKEN), 酒井 剛 (電通大), 坂井 南美 (理研)

アルマ望遠鏡の発展により、Hot Core や Hot Corino と呼ばれる原始星近傍の暖かい領域において、数多くのスペクトル線が検出されている。波長帯によっては未同定線の方が多く、有機分子の解析に困難が生じている。これら未同定線は、既知の有機分子の希少同位体種もしくは振動励起状態由来だと考えられる。なかでもメタノールはその存在量の多さから、未同定線の有力な候補である。しかし、その分光データは十分とは言えない。メタノールは星間空間に最も豊富に存在する飽和有機化合物であり、複雑な有機分子の親分子となり得ることから、Hot Core での大型有機分子の存在量を評価する際によく用いられる。しかし、メチル基の内部回転により複雑なラインパターンを生じ、遷移確率や周波数を正しく計算することが難しい。また、光学的厚みの影響でその存在量を正しく評価することも難しい。このため、 $\text{CH}_3^{18}\text{OH}$ や $\text{CH}_3^{17}\text{OH}$ などの希少同位体種の観測が有用である。そこで我々は、分光データがほとんどなく観測が行われていなかった $\text{CH}_3^{17}\text{OH}$ の実験室分光を行い、分子定数の決定に取り組んでいる。発表では、Band 6 での実験室分光と、分子定数決定の状況について報告する。Hot Core・Hot Corino では $\text{CH}_3^{18}\text{OH}$ が複数本検出されているため、存在量として数分の 1 程度である $\text{CH}_3^{17}\text{OH}$ 分子もすでに検出されている可能性がある。 $\text{CH}_3^{17}\text{OH}$ のラインの同定ができるようになれば、 $\text{CH}_3^{18}\text{OH}$ と合わせてメタノールの正しい存在量の推定に使えるのみならず、星間有機分子の生成過程の研究も大いに促進される可能性があり、元素合成史において重要な $^{18}\text{O}/^{17}\text{O}$ 比率の新たな測定ツールとしての役割が期待できる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P122b eQ 受信機の試験観測の概要：SO, CCS の静止周波数の測定

中村文隆 (国立天文台), Chan Ching Chiong (ASIAA), 谷口琴美 (国立天文台), 下井倉ともみ (大妻女子大), 土橋一仁 (東京学芸大), 他 eQ チーム

我々は 2021 年 11 月に野辺山 45m 鏡に Q バンド新受信機 eQ を搭載し、2022 年より試験観測を行ってきた。eQ 受信機は、台湾中央研究院と国立天文台チームが共同して開発した超広帯域 (30-50 GHz)、超高感度両偏波受信機である。広帯域という特徴を生かして、SO ($J_N = 1_0 - 0_1$, 30 GHz), CCS ($J_N = 3_2 - 2_1$, 33.75 GHz), CCS ($J_N = 4_3 - 3_2$, 45 GHz) の 3 輝線同時ゼーマン観測による高密度コアの磁場計測が科学目標の一つである。

我々は、試験観測の一環として、上記三つのゼーマン分子輝線の同時観測を行い、これらの分子輝線の静止周波数を精度良く測定した。主要カタログ (Splatalog; JPL, CDMS, Lovas, SLAIM) では、これらの分子輝線の静止周波数は 10–60 Hz もの差があり、特に SO の静止周波数は速度に直すと約 0.5 km/s もの差がある。今の精度では、分子輝線同士の比較を行うのが大変困難で、分子雲コアの内部構造の理解を妨げている。今回、TMC-1 (CP), TMC-1 (NH₃), Polaris Flare の 3 天体の PSW 観測を行い、3 輝線の輝線スペクトルが一致するように静止周波数の値を決めた。カタログ間での周波数の差が小さい CCS ($J_N = 3_2 - 2_1$, 33.751370 GHz, Lovas/SLAIM) を基準にとると、SO ($J_N = 1_0 - 0_1$) と CCS ($J_N = 4_3 - 3_2$) の静止周波数がそれぞれ 30.001542 GHz (Lovas 値より 5kHz 小さい), 45.379033 GHz (JPL) のときに輝線の速度軸の一致が良いことがわかった (Nakamura et al. 2023, in prep)。このように単一のカタログを使っても静止周波数はずれており、分子輝線同士の比較には注意が必要で Q バンドのほぼ全ての輝線が同じようなずれを持っており、Q バンドのような低周波域では、より正確な静止周波数の測定が必要である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P123b eQ 受信機による Bok Globule CB 68 の観測

中村文隆 (国立天文台), Meizhi Liu (総研大), 森井嘉徳 (東京大), 他 eQ チーム

CB 68 は、距離が 160 pc に位置する近傍の Bok Globule である。中心に Class 0 天体が形成されており、最近、中心の原始星につながる streamer が検出された天体である (Kido et al. 2023)。

我々は、streamer の形成メカニズムを明らかにするため、この天体の内部構造を調べるために、野辺山 45m 電波望遠鏡に搭載された eQ 受信機を用いた分子輝線観測を行った。eQ 受信機は 30–50 GHz をカバーする超高感度 Q バンド受信機である (Nakamura et al. 2023, in prep)。ターゲット輝線は CS ($J = 1 - 0$), C³⁴S ($J = 1 - 0$), ¹³CS ($J = 1 - 0$), HC₃N ($J = 5 - 4$), HC₅N ($J = 17 - 16$), CCS ($J_N = 4_3 - 3_2$), CCS ($J_N = 3_2 - 2_1$), SO ($J_N = 1_0 - 0_1$) などで、これらは密度 10^4 cm^{-3} 程度の構造の検出に適している。

ダスト連続波の観測では、CB68 などの Bok Globule の密度分布は比較的滑らかに見えるが、我々の取得した分子輝線データによると、原始星近傍で CS や CCS でトレースされる複数のガス塊が発見され、密度構造は複雑であることがわかった。最近のコア衝突のシミュレーション (Kinoshita et al. 2022; Yano et al. 2023) によると、これらの塊の衝突で streamer が形成される可能性が示唆されており、複数のガス塊の発見は、星形成過程においてガス塊の衝突過程が重要な役割を果たすことを示しているかもしれない。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P124b eQ 受信機による原始星 Per-emb-2 の観測とコア衝突による streamer の形成について

吉野碧斗 (東京大学), 中村文隆 (国立天文台), 木下真一 (東京大学), 石原昂将, Meizhi Liu (総研大), 森井嘉徳 (東京大学), 他 eQ チーム

星は分子雲中の高密度コアが重力収縮することにより形成される。古典モデルではほぼ軸対称のコアが重力崩壊し原始星周りに円盤が形成される (e.g., Terebey et al. 1984)。一方、近年の原始星コアの高分解能観測から、streamer と呼ばれる円盤に落ち込む物質の非軸対称で細長い流れがしばしば発見されている (Pineda et al. 2020; Valdivia-Mena et al. 2022)。Per-emb-2 はペルセウス座分子雲に位置する距離 300 pc の原始星系で、ALMA 等の干渉計観測により、炭素鎖分子が豊富な大規模な streamer ($\sim 10^4 \text{ au}$) が発見されている (Pineda et al. 2020)。炭素鎖分子は化学進化の初期段階に豊富に作られるため、炭素鎖分子が豊富な streamer は、その形成のタイムスケールが短いことを示唆している。

我々は野辺山 45m 鏡に搭載された eQ 受信機を使って、Per-emb-2 周りのガス分布を CCS, HC₃N, HC₅N, CS, C³⁴S, ¹³CS, SO を用いて観測し、この天体における streamer の成因を調べた。Q バンドには輝線強度の強い炭素鎖分子遷移が多数存在するので、炭素鎖分子が豊富な streamer の成因を調べるのに適している。本観測から、原始星周りで CS 輝線強度が強い 2 つの高密度ガス塊 ($\sim 10^4 \text{ cm}^{-3}$) を発見した。さらに、これらのガス塊は CCS, HC₃N などの炭素鎖分子が豊富で、PV 図上で速度が繋がった bridge 構造をしている。このような構造は、連続的に広がる周囲のガスの降着という描像より、炭素鎖分子の豊富な高密度コアが衝突し、ガスが原始星に向けて流入しているという描像で説明できる。講演では、コア衝突のシミュレーションとの比較も行う予定である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P125a かなた望遠鏡可視偏光サーベイ : Sagittarius 銀河腕中の 3 次元磁場構造 (II)

土井 靖生, 城 壮一郎 (東京大), 堀 友哉, 丸田 哲温, 川端 弘治 (広島大), 松村 雅文 (香川大), 秋田 谷洋 (千葉工大)

銀河系大局磁場構造を観測的に明らかにすることは、銀河系構造の形成、例えば銀河渦状腕形成やその内部での巨大分子雲形成について、磁場の果たす役割を解明するための重要な情報をもたらす可能性がある。磁場構造を星間偏光観測により 3 次元的に明らかにすべく、広島大学宇宙科学センターでは、全天偏光サーベイプロジェクト SGMAP を推進している (2013 年秋季年会 A12a)。その一環として、我々は口径 1.5 m かなた望遠鏡と可視赤外線同時カメラ HONIR (視野 10' 角) を用いた銀河面付近の観測を開始している (2022 年秋季年会 V219a)。

前回学会報告 (2023 年春季年会 Q32a) では、銀河系の主要な渦巻腕構造の一つである Sagittarius arm 方向の観測に抛り、磁場構造が視線上で複数回にわたり、距離毎に銀河面から $\sim -30^\circ$ もしくは $\sim +60^\circ$ 程度、大きく傾いて分布する様子を報告した。観測した $\sim 5\text{pc} \times 10\text{pc}$ の領域内で、磁場は距離毎に滑らかに分布していることが明らかとなったが、観測範囲がやや狭く、より大きな領域での磁場構造は不明であった。

今回我々は観測領域を 3 倍の $\sim 15\text{pc} \times 10\text{pc}$ に拡大し、より広い範囲での磁場構造を明らかにした。その結果、磁場構造はやはり距離毎に非常に滑らかに分布することが明らかとなった。その一方で、各領域に存在する星間雲柱密度の空間分布は強いコントラストを示す。その結果、視線上の各星間雲の偏光に対する寄与が空間的に変化し、観測される偏光分布にも、見かけ上強い空間依存性が見られることが明らかとなった。磁場構造の空間変動のスケールが星間雲のそれに比べ優位に大きいことから、磁場優勢の星間雲構造形成が示唆される。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P126a かなた望遠鏡可視偏光サーベイ : 個別の星間雲磁場特性

城 壮一郎, 土井 靖生 (東京大), 堀 友哉, 丸田 哲温, 川端 弘治 (広島大), 松村 雅文 (香川大), 秋田 谷洋 (千葉工大)

銀河系の大局磁場構造を明らかにすべく、広島大学宇宙科学センターでの全天偏光サーベイプロジェクト SGMAP の一環として、我々は口径 1.5 m かなた望遠鏡と可視赤外線同時カメラ HONIR (視野 10' 角) を用いた観測を行っている (2022 年秋季年会 V219a, 2023 年春季年会 Q32a, 2023 年秋季年会 Q06a)。銀河系の主要な渦巻腕構造の一つである Sagittarius arm を見通す領域について前回学会報告 (2023 年春季年会 Q32a) からさらに観測を進め、新たに複数領域のデータを得た。観測視野中の恒星の可視偏光データと Gaia DR3 カタログを突き合わせることで、視線上に重なった複数の星間雲の磁場を分離して取り出し、そこから更に個々の星間雲の磁場の特性を調べることが可能となる。

今回観測した領域のうち $l \sim 11.35^\circ, b \sim -0.95^\circ$ 付近では、星間雲由来の偏光を持つ恒星で最も近傍のものが 0.17 kpc に位置する。加えて磁場の位置角が 1.38 kpc と 2.07 kpc を境として大きく異なるため、異なる磁場構造を持った星間雲が 0.17 kpc より近傍、1.38 kpc, 2.07 kpc の 3 箇所が存在すると考えられる。各星間雲の磁場の位置角は、銀河面に対し位置角 $\sim +45^\circ, \sim -25^\circ, \sim +42^\circ$ で揃った分布を示す。ただし、2.07 kpc より遠方については手前側に比べ空間的な位置角の変動が見られる。磁場の位置角の分散から磁場強度を推定すると $\sim 11.5 \mu\text{G}$ から $\sim 15 \mu\text{G}$ の範囲に分布し、星間雲の柱密度の増加に伴い磁場強度も増大する傾向が明らかになった。この相関関係は星間雲の収縮に伴う磁場強度の増大を反映したものである可能性がある。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P127a Dust Polarization of Prestellar and Protostellar Sources in OMC-3

Yuhua Liu (Kyushu Univ.), Satoko Takahashi (NAOJ, SOKENDAI), Masahiro N. Machida (Kyushu Univ.), Kohji Tomisaka (NAOJ), Josep Miquel Girart (ICE, CSIC, IEEC), Paul T. P. Ho (ASIAA), Koichiro Nakanishi (NAOJ, SOKENDAI), Asako Sato (Kyushu Univ.)

We present the Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA) observations of linearly polarized 1.1 mm continuum emission at $\sim 0.14''$ (55 au) and CO ($J = 2 - 1$) emission at $\sim 1.5''$ (590 au) towards one prestellar (MMS 4), four Class 0 (MMS 1, MMS 3, MMS 5, and MMS 6), one Class I (MMS 7), and one flat-spectrum (MMS 2) sources in the Orion Molecular Cloud 3 region. The dust disk-like structures and clear CO outflows are detected towards all sources except for MMS 4. The diameters of these disk-like structures, ranging from 16 to 97 au, are estimated based on the deconvolved sizes obtained from the multi-Gaussian fitting. Polarized emissions are detected towards MMS 2, MMS 5, MMS 6, and MMS 7, while no polarized emission is detected towards MMS 1, MMS 3, and MMS 4. MMS 2, MMS 5, and MMS 7 show organized polarization vectors aligned with the minor axes of the disk-like structures, with mean polarization fractions ranging from 0.6% to 1.2%. The strongest millimeter source, MMS 6, exhibits complex polarization orientations and a remarkably high polarization fraction of $\sim 10\%$ around the Stokes I peak, as reported by Takahashi et al. (2019). The origins of the polarized emission, such as self-scattering and dust alignment due to the magnetic field or radiative torque, are discussed for individual sources. Some disk-like sources exhibit a polarized intensity peak shift towards the nearside of the disk, which supports that the polarized emission originates from self-scattering.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P128a 星形成初期段階における交換型不安定性による磁束輸送現象の探究 (1): ALMA による最初の対応天体候補の発見

徳田一起 (九州大学/国立天文台), 深谷直史, 立原研悟 (名古屋大学), 町田正博, 大村充輝, 野崎信吾, 所司歩夢, 原田直人 (九州大学)

分子雲コアは原始星よりも数桁大きい磁束に貫かれている。すなわち星形成過程において余剰な磁束を抜き取る必要があるが、この過程は完全には理解されていない。これまでは非理想磁気流体効果による比較的静的な磁気拡散機構が主に議論されてきたが、磁気浮力の一種である交換型不安定性により動的に直接磁束を原始星周辺から外部に放出する機構に関してはあまり考慮されていなかった。原始星円盤の端において降着するガス圧に対して磁気圧が優勢になった際に磁束が移流すると考えられ、その強い磁場領域を取り囲むように膨張する高密度ガスのリングが形成するなどの特徴が現れる。しかしながら、原始星エンベロープ構造は一般的に複雑であること、理論計算の条件次第では発現しない場合があるなど、観測・理論両側面の複合的困難から、そのような構造を持つ天体の同定には至っていなかった。我々は太陽系最近傍の星団形成領域である南のかんむり座領域の ALMA を用いた比較的広範囲の観測を進める中、 $C^{18}O(2-1)$ 輝線のデータより Class I 原始星 IRS 2 に付随するリング構造を発見した。このリングは原始星から南東側に分布しており、直径 7000 au、原始星の位置からその端までは 9000 au の投影長を持つ。アウトフローほどの高速度な成分を持たず、また原始星へ降着する運動も示さないなど既知の構造ではない可能性が高い。速度構造の解析から膨張を示すような速度構造が見られたことから、原始星形成から間も無く交換型不安定性によりリングが形成され、外側へ大きく広がった状態であると解釈可能である (Tokuda et al. ApJL, 956, L16)。講演では発見がもたらした磁束問題における今後の展望についても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P129a 星形成初期段階における交換型不安定性による磁束輸送現象の探求 (2): 偏波擬似観測に基づいた観測可能性

大村充輝, 町田正博, 原田直人, 野崎信吾, 所司歩夢 (九州大学), 徳田一起 (九州大学/国立天文台), 深谷直史, 立原研悟 (名古屋大学)

JCMT や ALMA などによる偏波観測から、分子雲コアから原始惑星系円盤の幅広いスケールにおける磁場構造の議論が可能となっている一方で、数百 au 程度のスケールでの Stokes I の強度分布と偏波強度分布が大きく異なった天体が報告されている。このスケールにおける連続波偏波の起源として磁場に対するダストの整列が有力であるが、それらの観測結果の特徴である高い偏波率を実現するためには、円盤外部においても比較的強い磁場が存在し効率的なダスト整列が実現する可能性を考慮する必要がある。そこで我々は交換型不安定性による磁束の外部への輸送に注目し、原始星形成シミュレーションの計算結果 (形成後 2000 年, Machida & Basu 2019) と輻射輸送計算コード POLARIS (Reissl et al. 2016) を用い、交換型不安定性によって形成されたシェル構造が原始星周辺のミリ波偏波構造に与える影響について調べた。見込み角と空間分解能をパラメータとした 1.3 mm 連続波の擬似観測の結果として、偏波強度の分布が非対称性を持ち、強度が最大となるシェルの根元から外縁部にかけて広がっていること、10 - 20% 程度の高い偏波率を有することが分かった。また、構造を十分に空間分解できていない場合にも非対称性が維持されるだけでなく、シェル構造の低密度領域に対応して偏波強度が極小を取り、歪んだリング状の分布が得られることも明らかとなった。したがって、偏波観測によって交換型不安定が発生していることの観測的証拠を得る可能性が存在するだけでなく、これまで報告されてきた偏波観測結果の解釈に対し磁束の動的な輸送を考慮して再考察する余地があることを示している。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P201a Taurus-Auriga 領域における原始惑星系円盤の ALMA 超解像サーベイ: II. ギャップ・リング構造の統計的性質

山口正行, 平野尚美 (ASIAA), 武藤恭之 (工学院大学), 塚越崇 (足利大学), 川邊良平, 野村英子, 中里剛 (国立天文台), 池田思朗 (統計数理研究所), 田村元秀 (東京大学, 国立天文台, ABC)

過去 10 年間において, ALMA による原始惑星系円盤の観測は, ギャップ (円環状の空隙) やリングを含む詳細構造を明らかにしてきた。我々は, ギャップやリングなどの軸対称な構造に注目し, それら特徴量の抽出から統計的な解析を行うことで, その構造に共通しうる起源を探った。我々は, ALMA Band 6 のアーカイブデータで取得可能な Taurus-Auriga 領域における 43 個の円盤を研究対象として, スパースモデリングを応用した超解像画像復元法 (PRIISM) を適用し, 従来法 (CLEAN) の空間分解能を超える約 2-3 倍の空間分解能 ($0''.02 - 0''.1$) の画像復元に成功している (春季天文年会 2022 年 P209a)。全てのダスト円盤の外縁半径は空間分解され, 約 50%(21/43) の円盤でギャップ・リング構造が 33 個まで検出された。そのうち, 空間分解された 20 個のギャップ構造から, ギャップ・リングの位置, 幅, そして深さの特徴量を測定した。これらのいくつかに相関関係が見出された, 特に, ギャップの幅 Δ_I と深さ δ_I の関係式 $\Delta_I \propto (\delta_I - 1)^{0.32 \pm 0.07}$ は, 惑星-円盤相互作用モデル (Zhang et al. 2018) と 1σ 誤差の範囲内で一致した。ギャップの位置と幅から惑星軌道と質量を推定したところ, 土星から木星質量の惑星は内側領域 ($r \sim 10$ au), 海王星質量の惑星は外側領域 ($r \sim 40 - 100$ au) に分布することがわかった。この分布は太陽系と相似的であり, その軌道長半径は太陽系 ($r \approx 30$ au) よりも 2-3 倍ほど大きい。一方で, 約 40%(19/43) の円盤に, 今回の手法では空間分解されなかったギャップ候補 (幅 Δ_I と深さ δ_I が測定できないほどの小規模な構造) は 21 個あり, その推定される惑星集団 (海王星質量以下) が半径 5 - 40 au に広く分布する可能性がある。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P202a Ophiuchus Class I/Flat/II 円盤の超解像サーベイ: 新たな下部構造の発見および円盤進化に関する考察

所司歩夢, 町田正博 (九州大学), 山口正行, 平野尚美 (ASIAA), 塚越崇 (足利大学), 川邊良平 (国立天文台)

Ophiuchus 星形成領域は太陽系近傍 ($d \sim 140$ pc) に位置し, 297 個の Young Stellar Objects (YSOs) 候補天体が存在している (Evans et al. 2009)。近年, ALMA 望遠鏡の高分解能観測 ($< 0''.10$) において Class II 円盤の多様な下部構造といくつかの Class I 円盤で下部構造が形成していることが明らかになった (e.g., Sheehan & Eisner. 2017, Cieza et al. 2020)。しかし, このような円盤は全体のごく一部であり, ALMA 望遠鏡の観測時間や最大基線長の観点から, その他の円盤と同様の観測を行うのは困難である。そのため, 本研究は, 空間分解された円盤構造の多様性をさらに理解するため, 高分解能観測に代わる超解像度の画像復元法を適用した。

本研究では, Ophiuchus 星形成領域に位置する 147 天体を含む ALMA アーカイブデータ (観測波長 1.3 mm および空間分解能 $0''.30$) にスパースモデリングという統計数学を応用した画像復元法を適用し, Ophiuchus Class I/Flat/II 円盤の超解像サーベイを行った。我々は, スパースモデリングによって円盤構造を空間分解した 67 天体の超解像度連続波画像を得た。新たに 22 個の円盤でリング構造や局所構造などの下部構造を発見した。その後, 円盤の外縁半径が空間分解された円盤の傾斜角を測定し, 円盤の進化段階ごとに比較を行った。傾斜角が 60 度以上の Edge-on 円盤のうち, Class I と Flat 円盤が 50% 以上を占めていることが明らかとなった。従来, 近赤と中赤におけるフラックスの傾きに基づいて, 円盤の進化段階を判断している (SED)。我々の結果は, Edge-on 円盤の場合, フラックスの傾きを増加させ, 実際の進化段階よりも若く見えてしまう傾向があることを示している。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P203a 宇宙線による電離を考慮した星・原始惑星系円盤形成・進化シミュレーション

西尾 恵里花, 富田 賢吾, 工藤 祐己, 木村 成生 (東北大学), 森 昇志 (清華大学・東北大学)

原始惑星系円盤の進化を考える時, 磁場による角運動量輸送が重要である。この効果はガスの電離度に依存している。低電離度では磁場とガスとの相互作用が弱まり, 磁場が拡散し弱まることで円盤半径は大きくなる。従って原始惑星系円盤の構造や進化を考える上でガスの電離度を定めることは重要となる。星形成領域のガスを電離するのは主に宇宙線である。これまでの研究から宇宙線による電離率を変えると形成される円盤に大きな影響があることが明らかになっている。宇宙線の電離率は磁場の構造やガスの密度分布に依存することが知られている。宇宙線の電離率分布と磁場の構造, ガスの密度分布は相互に影響を及ぼし合う為, より現実的な原始惑星系円盤の形成と進化を理解する為には非理想 MHD と宇宙線の輸送方程式を同時に解く必要がある。本研究では, 磁気流体計算コードの Athena++ に宇宙線輸送モジュールを追加し, 現実的な宇宙線の効果を取り入れた星・円盤形成進化を計算するコード開発を行なっている。今回, この計算によって得られた星形成初期の電離率分布や形成された原始惑星系円盤の性質について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P204a TW Hya 円盤における $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ 比の測定—円盤ガス炭素同位体比の複雑性

吉田 有宏(総合研究大学院大学/国立天文台), 野村 英子(国立天文台), 古家 健次(国立天文台), Richard Teague(MIT), Charles J. Law(University of Virginia), 塚越 崇(足利大学), Seokho Lee(KASI), Christian Rab(ミュンヘン大学天文台/MPE), Karin Öberg(Harvard/CfA), Ryan Loomis(NRAO)

分子雲から原始惑星系円盤を経て惑星系へと至る惑星系物質の起源と円盤内での物質輸送を明らかにするために、同位体組成は重要なトレーサーである。本研究では、特に、TW Hya 星周りの原始惑星系円盤の炭素同位体組成に着目する。TW Hya 円盤では、これまで、気相中の CO 分子と HCN 分子において炭素同位体比 $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ が測定されている。今回、我々は新たに、ALMA 望遠鏡の未出版アーカイブデータにおいて $^{13}\text{CN } N=2-1$ の超微細構造遷移線が検出されていることを発見した。この観測空間分解能は 0.5 秒角程度であり、原始惑星系円盤においては初めての空間分解された ^{13}CN 分子のイメージを得ることができた。さらに、 $^{12}\text{CN } N=1-0$, $2-1$ 輝線のアーカイブデータと合わせて非局所熱力学平衡モデリングを行い、 ^{12}CN と ^{13}CN の柱密度分布、水素ガス密度、力学的温度に制約を与えることに成功した。水素ガス密度は $(4-10) \times 10^8 \text{ cm}^{-3}$ 程度で、CN 分子がアスペクト比 0.2-0.3 程度の円盤表層に存在することを示唆する。また、 $^{12}\text{CN}/^{13}\text{CN}$ 比は中心星から 30-80 au の領域で 70^{+9}_{-6} であった。これは星間物質の $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ 元素組成比と一致しているものの、先行研究で示された CO や HCN の炭素同位体比 ($^{12}\text{CO}/^{13}\text{CO}=20 \pm 5$, $\text{H}^{12}\text{CN}/\text{H}^{13}\text{CN}=86 \pm 4$) とは異なっている。これらの結果は、分子によって放射領域の円盤中心面からの高さが異なることに注意した上で、円盤化学進化の過程で ^{12}C が選択的に固相に取り込まれたとすると自己無矛盾に説明しうる。本研究は、原始惑星系円盤において複雑な炭素同位体分別が進行していることを示唆する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P205b 地球型惑星及び小惑星の化学組成の起源:原始太陽系星雲の形成進化から

佐藤太貴, 中本泰史(東京工業大学)

観測結果から、地球型惑星や小惑星において太陽組成と比較すると揮発性元素が相対的に減少している傾向を有しているということがわかっている。従来はこの傾向を説明するために、3 au など比較的中心星から離れた領域でも温度が高くなる必要があると考えられてきたがそのような円盤はほとんど存在しないとされている(Li et al. 2021)。

本研究では、円盤風によって円盤内の物質がガス状態であれば円盤ガスに巻き込まれて飛ばされていくという状況を考えて、それによって揮発性元素が飛ばされやすい状況が実現され、結果として微惑星に取り込まれた際の揮発性元素が減少する可能性に着目した。

今回の計算においては原始太陽系星雲の形成進化の段階から考え、物質が適当なタイムスケールで微惑星に取り込まれていくとしている。注目している位置(1-3 au)において、難揮発性元素と揮発性元素のうち複数の元素において相対組成が時間と共にどう振る舞うかを計算した。結果として、このモデルの枠組みにおいては分子雲コアの温度や角速度をパラメータとして様々な計算を行なっても、特に 3 au など中心星から離れた領域では揮発性元素の減少パターンを再現することは困難であることがわかった。このような結果になる一つの理由は、円盤の温度が遠方では多くの物質がガス状態になるほど高温にならないということである。また、もう一つの理由は内側の温度が十分高い領域では円盤風によって揮発性元素が減少するがそれが内向きの流れによって中心星方向へ流れてしまうため、揮発性元素が減少した組成のものが外側に流れて来ないということである。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P206b 微惑星形成時のダスト衝突帯電による雷発生:電荷密度分布と雷の発生領域

西澤諒, 中本泰史(東京工業大学)

未分化の隕石に多く含まれる珪酸塩組成の球状組織であるコンドリュールは、太陽系形成期の物理的環境を知る手がかりとなる始原的な物質である。コンドリュールの詳細な形成過程は未解明であるが、ダスト密度が高い環境で加熱を受けて形成されたと考えられている。私たちはダスト高密度環境で生じた雷による加熱モデルを仮定し、微惑星形成時のダスト衝突帯電が雷の生成に関与する可能性を調べた。

ダスト高密度環境の取り扱いやすいモデルとして円盤赤道面のダスト層を想定し、重力不安定による微惑星形成過程に注目した。周囲の珪酸塩ダストが集まり微惑星が成長する過程で、運動するダストにはサイズに応じたガス抵抗力が働く。したがって、異なるサイズのダストは異なる軌道や速度を持ち、衝突が生じる。ダストは衝突時に電荷を交換し、帯電したダストが空間的に分離することで電場を形成する。ダスト高密度環境では衝突帯電と分離が頻繁に行われ、ダストが作る電場が中和電流に打ち勝って十分大きく成長すると、雷が発生する可能性が考えられる。

微惑星の周囲を運動する珪酸塩ダストの軌道と速度を計算して、ダスト同士の衝突帯電によって作られる電荷密度分布を求めた。ダストが作る最大の電場と絶縁破壊電場を比較することで、ダスト密度が高く重力不安定が発生するような環境では雷が生じ得ることが分かった。雷はまず微惑星の表面付近で発生し、微惑星のごく近傍の電荷の偏りを解消する。ダストは電荷分離を繰り返し、解消されずに残った電荷も溜まり続けて別の雷を発生させる。結果として、空間の広い領域で雷が繰り返し生じていた可能性がある。ダストは雷によって加熱され、コンドリュール形成に関わるものが考えられる。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P207a IM Lup 円盤の近赤外線・ミリ波観測に基づく包括的な重力不安定円盤モデル

植田高啓 (Max Planck Institute for Astronomy), 田崎亮 (Université Grenoble Alpes), 奥住聡 (東京工業大学), Mario Flock, Prakruti Sudarshan (Max Planck Institute for Astronomy)

原始惑星円盤は、形成初期段階では自己重力不安定であると予想され、惑星形成の初期条件を与えると期待される。本研究では IM Lup 周りの自己重力不安定円盤の理論モデルを構築し、近赤外線観測・ミリ波観測と比較することで、円盤ガス・ダストの性質について制約を与えた。本モデルの重要な点は、円盤の温度構造が、中心星輻射ではなく、ガス降着に伴う降着加熱と外部輻射によって決定される点にある。重力不安定性を決めるパラメータ Toomre の Q 値が円盤全体で 1 程度であると仮定すると、重力不安定円盤は円盤内側に大きな質量をもち、内側領域が降着加熱によって高温化する。高温化した内側領域は鉛直方向に膨らみ、中心星輻射を遮蔽するため、外側領域の温度は外部輻射によって決定される。この特徴的な構造は、IM Lup 円盤の近赤外線観測を良く再現する。

本研究が示唆するもう 1 つの重要な点は、ダストが付着成長しづらいつという点である。本モデルで得られた円盤ダストの熱放射イメージとミリ波観測を複数波長で比較した結果、ダストの臨界付着速度が 3 m s^{-1} より小さければミリ波観測を大変良く再現できることがわかった。一方、ダストが効率的に付着成長できる臨界付着速度 10 m s^{-1} の場合、重力不安定円盤でも観測されたミリ波輻射強度に満たないこととなった。さらに、この低いダスト付着効率は、降着加熱による赤道面加熱を効率的にし、臨界付着速度が小さいほどミリ波観測から予想される温度構造を良く再現することがわかった。近赤外線観測・ミリ波観測・温度構造を包括的に説明するには、ダストの臨界付着速度が 0.3 m s^{-1} 程度と非常に小さい必要がある。本発表では、以上の結果を述べた上で、IM Lup 円盤での惑星形成の可能性について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P208a 分子動力学シミュレーションで探るダストモノマー間相互作用

吉田雄城 (東京大学), 小久保英一郎 (国立天文台), 田中秀和 (東北大学)

原始惑星系円盤内のダストの初期成長段階は、ダストの衝突合体による成長である。ダストはモノマーと呼ばれるサブミクロン粒子の集合体であると考えられている。ダスト集合体の衝突過程では、衝突速度が大きい場合にモノマーが飛び散って集合体が破壊される可能性が考えられ、ダスト成長を阻害する問題として指摘されている。この問題を解決するためにはダスト衝突過程を理解する必要がある。ダスト衝突過程は数値計算で調べられているが、その際にモノマー間相互作用として用いられて、弾性球間の相互作用を与える JKR モデル (Johnson et al. 1971) は分子運動などのミクロな現象を考慮していないという問題点が指摘されている。そこで我々は、分子動力学 (MD) シミュレーションを用いて、モノマー間相互作用を調べることにした。

MD シミュレーションは、分子の運動を解析し物理現象を調べる方法であり、本研究では最大 1 億個の分子で構成されたモノマーを取り扱った。まず、2 つのモノマーの正面衝突をシミュレーションして反発係数を調べ、そのサイズ依存性、衝突速度依存性を明らかにした。その結果、サイズが小さいほど分子運動の影響が強く、衝突運動エネルギーの強い散逸が確認された。また、衝突速度が大きい場合にはモノマーの変形により、顕著な反発係数の減少が見られた。

また、回転相互作用についても MD シミュレーションを行った。接触している 2 つのモノマーに互いに逆向きの回転角速度を与え、その時間進化を調べた。その結果、互いの角速度は振動しながら減衰する振る舞いが見られた。既存の回転相互作用モデル (Dominik & Tielens 1995) ではこの減衰効果は考慮されていないことから、分子運動が原因であると考えられる。本発表ではこれらの結果について述べる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P209a 原始惑星系円盤の散逸過程: 中心星の進化による影響

駒木彩乃, 三谷啓人, 吉田直紀 (東京大学)

太陽系近傍星形成領域の赤外線観測から原始惑星系円盤の寿命は約 3-6 Myr であると見積もられている (eg. Haisch et al. 2001)。惑星系は円盤物質 (ガス・ダスト) をもとに形成されることから、円盤寿命は惑星形成の直接的な時間制限となる。また、惑星は円盤との力学的相互作用によって動径方向に移動するため、円盤進化は惑星系構造の決定に重要である。主な円盤散逸機構として、中心星降着、磁気円盤風、光蒸発が挙げられる。これらの円盤散逸過程を取り入れた円盤 1 次元面密度進化計算を行い、初めは磁気円盤風が主な円盤散逸過程であるが、数 Myr 以降は光蒸発が主な質量損失過程となることを昨年春季年会で報告した。一方で、中質量星は 10 Myr 以内に主系列星に到達し、星光度は 1 桁増加することが知られている。そのため、より現実的な円盤ガス進化を明らかにするためには、星進化による光度変化を整合的に取り入れた円盤進化計算が必要である。

本研究では円盤 1 次元面密度進化計算を中心星質量が $0.3\text{-}7.0 M_{\odot}$ の星周りについて遂行した。円盤散逸過程として降着、磁気円盤風 (Suzuki et al. 2016)、光蒸発 (Komaki et al. 2021) を考慮した。MESA を用いて星進化による彩層からの放射強度の進化を計算した。それと同時に、星スペクトルをもとに光球からの放射強度、降着によって解放される重力エネルギーのうち紫外線として放射される放射強度も考慮し、星進化の各過程において光蒸発率による質量損失率を見積もった。その結果、 $1.7 M_{\odot}$ 以上の星周りでは、星進化による遠紫外線光度の増加に伴う光蒸発率の上昇によって、円盤寿命が短くなることがわかった。特に $3 M_{\odot}$ の星周りでは星進化を考慮しない場合に比べて円盤寿命が 4 Myr 短くなり、3.4 Myr となった。最後に、星形成領域の中での円盤保有率の進化についても観測と比較し議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P210a 遷移円盤 PDS 70 の高解像度 ALMA 長波長観測が明らかにした惑星外側での非軸対称ダスト集積

土井聖明, 片岡章雅, 吉田有宏 (総合研究大学院大学/国立天文台), Haiyu Baobab Liu (国立中山大学), 大和義英 (東京大学)

惑星は、星周円盤内のダストから形成される。したがって、円盤ダストの空間分布の解明は惑星形成過程解明の手がかりとなる。近年の ALMA を用いた高解像度ミリ波/サブミリ波観測により、多くの円盤がダスト空間分布に構造を持つことが明らかとなった。これらの構造は、ダストが局所的に集積していることを意味し、惑星形成を促進する可能性がある。一方で、これらの構造の要因は、議論の渦中である。

本講演では、PDS 70 周りの遷移円盤の、ALMA Band 3 (3.0 mm) での高解像度 (0.07 arcsec = 10 au) ダスト連続波観測を報告する。PDS 70 は、円盤内側に計 2 つの惑星が確認されている唯一の天体であり、この天体のダストの分布の解明は、既に形成された惑星による円盤ダスト空間分布や惑星形成への役割を明らかにする。

これまでの Band 7 (0.87 mm) 観測では、惑星の外側にあるダストリングは約 13% のわずかな非軸対称性を示していた。一方、新たな Band 3 (3.0 mm) 観測は、このダストリングの放射が明瞭な非軸対称性を持ち、北西方向が他の方向に比べ約 3 倍の強度を持つことが明らかになった。このことは、これまでの Band 7 観測は光学的に厚く、面密度構造を一部トレースできていなかったことを示唆する。また、非軸対称ピークではダストが集積しており、惑星の形成が起りやすい環境であると考えられる。以上を踏まえると、既に形成された惑星の外側で、円盤ダストが動径方向にも方位角方向にも集積することで局所的にダスト面密度が増大し、次なる惑星が形成されるという惑星形成シナリオが示唆される。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P211a 遷移円盤内の影から紐解く inner disk の幾何学的構造

折原龍太, 百瀬宗武 (茨城大学)

遷移円盤とは原始惑星系円盤の中でも内域のダストが散逸している天体である。近年の赤外散乱光観測によって、いくつかの遷移円盤に影が確認された。これは円盤最内域に inner disk が存在しており、それが outer disk に対して傾いていることで、中心星の光を特定の方向のみ遮るためだと考えられる。Min et al (2017) では、inner disk の傾きと影の位置を繋ぐパラメトリックモデルが提案されたが、この方法は inner disk の厚みを無視しているため、inner disk の傾きを正確に求められない可能性がある。

我々は赤外散乱光画像で確認された遷移円盤内の影から inner disk の位置や厚みを含めた幾何学的構造を推定する方法を提案する。この方法は、inner disk の位置、傾き、厚みと outer disk の位置、厚みをフリーパラメータにして、日向と日陰の境界曲線をフィットする。この手法の利点は、inner disk の位置が outer disk の中心に対してずれている天体にも適用できる点や、outer disk の表面高さを半径の関数として自由に定義できる点である。今回は Min et al (2017) と同様、HD100453 に付随する遷移円盤に対して、この手法を用いて inner disk の幾何学的構造を推定した。その結果、inner disk は outer disk に対して 70° ほど傾いており、VLTI/GRAVITY データからモデリングされた傾きと整合的であることがわかった。さらに inner disk の位置は outer disk の中心に対して南側に 20mas (2au) ほどずれており、ALMA で観測された inner disk の位置と一致した。このずれは伴星との重力相互作用によるものと考えられる。本講演では上記の解析結果を報告するとともに、この手法を利用した今後の研究展望として、円盤物質の冷却効率の推定可能性などに触れる予定である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P212a FU Ori 型星に付随する円盤/エンベロープの中間赤外放射強度の計算

高見道弘¹, 辜品高¹, Gilles Otten¹, Christian Delacroix², 呂聖元¹, 王祥宇¹, Jennifer Karr¹
(¹台湾中央研究院, ²Université de Liège)

FU Ori 型星 (FUor) で観測される質量降着バーストは、多くの原始星の成長において普遍的な現象である可能性がある。FUor の周囲では、星周ダストによる複雑な分布の近赤外放射が観測され、その降着円盤の重力分裂の様子を反映している可能性がある。一方でこの近赤外放射が、円盤上方のエンベロープに付随する可能性も指摘されてきた。

これらの観測結果を用いて降着バーストのメカニズムを解明するためには、観測された放射が、円盤とエンベロープのどちらによるものかを明らかにする必要がある。この解明のためには、より波長が長く、ダスト星周減光の影響を受けにくい中間赤外放射の観測が有効な可能性がある。ただし地上中間赤外観測は、大気や望遠鏡からの熱放射が大きなノイズ源となるため、天体からの放射予想強度を見積り観測可能性を検証する必要がある。

われわれは、これまですばる望遠鏡などで取得された近赤外偏光撮像のデータを用いて、中間赤外放射 ($\lambda=3\text{-}12\mu\text{m}$) の強度を準解析的に計算する方法を開発した。この方法を 2 つの FUor に適用し、次のことを明らかにした。円盤内縁の放射加熱が無視できる条件下において、観測される放射は主に中心天体放射のダスト散乱による。予想放射強度は、(1) 広がった近赤外放射が円盤なのかエンベロープなのか (2) 星周ダストを照らす中心からの近赤外放射が、円盤によるものか星によるものか、そして (3) 仮定するダストの性質により、20-800 倍の不定性をもつ。以上の計算結果を用い、将来 30-40 m 望遠鏡で観測研究を進めるためのロードマップを策定する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P213a M型前主系列星 DM Tau からの非等方性電離放射

寺田由佳 (国立台湾大学/ASIAA), Hauyu Baobab Liu (National Sun Yat-sen University), David Mkr-tichian (NARIT), 崔仁士 (ASIAA), 小西美穂子 (大分大学), Jiang, Ing-Guey (National Tsing Hua University), 武藤恭之 (工学院大学), 橋本淳 (アストロバイオロジーセンター), 田村元秀 (アストロバイオロジーセンター/東京大学/国立天文台)

若い星の強力で高エネルギーな磁気活動は、原始惑星円盤の内部で重要な役割を果たす。さらに、それに伴う紫外線や X 線の放射は光化学を支配し、さらにコロナ活動は生まれたばかりの太陽系外惑星の大気に影響を与える可能性がある。紫外光や X 線がどのように生成され、円盤をどのように照らしているのかはまだ十分に理解されていない。

本研究では、前主系列星 DM Tau の可視および赤外線モニター観測と、JVLA 望遠鏡による電波観測の結果を報告する。可視/赤外光度曲線には周期的な変動があり、中心星は周囲の円盤と同じ方向に回転し、少なくとも 1 つの巨大な黒点を持つ可能性が示唆された。また、DM Tau 円盤の電離ガスは局在し、その空間分布が時間とともに変動している。現在の解析では、これらの結果を一貫して解釈でき、巨大な黒点が周囲の円錐状領域を照らす支配的な非等方性 UV および/または X 線源であることが示唆される。本講演では、現在までの研究成果と今後の観測における展望を議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P301a IRD-SSP による M 型星周りの惑星サーベイ：5 年目の観測状況

大宮正士 (ABC/NAOJ), 原川紘季, 工藤智幸, Sebastien Vievard (NAOJ), 葛原昌幸, 平野照幸, 宝田拓也, 日下部展彦, 高橋葵 (ABC/NAOJ), 笠木結 (総研大), 小谷隆行 (ABC/NAOJ/総研大), 田村元秀 (東大/ABC/NAOJ), 佐藤文衛 (東工大), IRD-SSP チーム, IRD 装置チーム

IRD-SSP (InfraRed Doppler - Subaru Strategic Program, 2019 年春季年会 P318a) では、M 型矮星の周りを赤外線ドップラー法を用いて探索して地球型惑星を発見するとともに低質量星における惑星系の特徴を理解することを目的として、IRD とすばる望遠鏡を用いて 5 年間の惑星サーベイ観測を進めてきた。これまでに、IRD-SSP1~2 年目に行ったスクリーニング観測 (e.g. 2020 年春季年会 P320a) によって選ばれたサンプル星に対して重点的に高頻度で多数回の観測を行う視線速度 (RV) モニターを実施しており、惑星発見に至っている (2022 年春季年会 P316a)。本講演では、IRD-SSP による視線速度モニター観測の五年目の進捗状況を報告する。

IRD-SSP での RV モニター観測では、スクリーニング観測によって選定した自転速度が遅く高精度の RV 測定が実現可能であるサンプル星に、1. 恒星固有の RV 変化のばらつきが大きい天体を調査するフォローアップ観測と、2. 低質量の惑星までを探索可能にする最大 80 回の観測を目標とした集中モニター観測を行なっている。これまでに、サンプル星中の 37 星については 20 回以上観測し、25 星以上が 40 回以上の観測を終えており、RV 変化の大きさから存在する可能性がある惑星の質量に制限をつけられるようになっている。また、20 回以上観測したサンプルの中には比較的大きな RV 変化を持つ天体や、40 回以上のサンプル中には惑星によるものと考えられる周期的な変化を示す天体を複数検出している。今後は、このような惑星の確認・特徴づけ・統計の検討を進めると共に、国際協力も活用して惑星の探索と発見を進めていく。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P302a 視線速度長周期トレンドを利用した直接撮像による M 型星周りの伴星探査

鶴山太智 (CSUN), Charles Beichman (NExSCI), 葛原昌幸 (ABC), Markus Janson (Stockholm Univ.), 小谷隆行 (ABC), Dimitri Mawet (Caltech), 佐藤文衛 (東工大), 田村元秀 (東大/ABC), 成田憲保 (東大), Trifon Trifonov (MPIA), Denitza Stoeva (Sofia Univ.), 他 Subaru/IRD-SSP team

すばる望遠鏡では現在近赤外高分散分光装置 IRD を用いて近傍晩期 M 型星をターゲットとした視線速度による系外惑星探査 (IRD-SSP) が進められている。このサーベイでは、視線速度トレンドなどの遠く離れた質量が大きな伴星が示唆されると視線速度のターゲットから外れるが、今だに解明されていない部分が多い M 型星における連星率やその形成・進化過程を議論する際に重要なターゲットとなる。しかし M 型星は近傍にあるものでも可視光では非常に暗く、今まで直接撮像観測はほとんど行われていなかった。そこで今回我々はケック望遠鏡の最新の補償光学装置: 赤外波面センシング (Keck/NIRC2-pyWFS) を利用して、長周期伴星が示唆される近傍 M 型星のみをターゲットとした世界初の直接撮像探査を行った。2022 年より IRD-SSP をはじめとする視線速度観測サーベイを元に Keck/NIRC2 の直接撮像を行い、多数の新たな伴星の検出に成功している (e.g. Uyama et al. 2023)。今後 Gaia 衛星によるアストロメトリを利用した M 型星における伴星の議論は進むことが期待されるが、Gaia で伴星を分解できないケースでは解けない縮退パラメータも多く、視線速度や直接撮像を組み合わせた議論が活発となることを見込まれる。本講演では具体的な観測・検出例について説明すると共に、Gaia DR4 以降のアストロメトリを含めた力学的な質量の議論を見据えた将来的な展望にも触れていく。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P303a すばる望遠鏡 REACH で得られた L 型褐色矮星の高分散スペクトルに対する大気の特徴づけ

笠木結 (総研大), 川島由依, 河原創, (JAXA), 増田賢人 (大阪大), 小谷隆行 (ABC/NAOJ/総研大), REACH チーム

直接撮像された伴星の褐色矮星や系外惑星の大気の特徴づけは、これまでは主に低分散分光観測によって行われてきたが、近年では補償光学と高分散分光器を組み合わせた観測手法が発展し、そのような暗い天体を空間分解して分光観測を行うことが可能になった。高分散スペクトルでは大気中に存在する各分子種の吸収線を区別することができ、その強度から温度や圧力など、大気の詳細な性質を調べることが可能である。すばる望遠鏡においても、極限補償光学装置 SCEXAO を近赤外高分散分光器 IRD に接続した装置である REACH (Y, J, H バンド; R~100,000) を用いた観測が始まったが、そのスペクトルを詳細に解析した例はまだない。

本研究では、REACH で観測された天体に対する初めての詳細なスペクトル解析として、L 型褐色矮星 HR 7672B に対する大気リトリーバルを行なった。大気モデル計算コードは ExoJAX を使用し、L 型褐色矮星大気中に存在すると考えられる雲や、観測スペクトル中の主星光の漏れ込みの影響などの追加のモデルを独自に組み込んだ。このモデルスペクトルを観測スペクトルにフィットした結果、 H_2O , FeH , K I などの分子・原子が検出された。また、暗い天体の REACH 観測スペクトル中には装置由来の周期ノイズが現れるという問題があり、特に H band の広い波長域がこのノイズの影響を受けることが判明した。今回のリトリーバルでは、この周期ノイズを Gaussian Process (GP) を用いて大気モデルと同時にフィットすることで除去した。本講演では GP によるノイズ除去や雲の影響、主星光の漏れ込みなどを含めたリトリーバルモデルの説明や、その結果について紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P304a 視線速度法を用いたプレアデス星団内における短周期惑星の探索 II

宝田拓也 (ABC/NAOJ), 佐藤文衛 (東工大), 大宮正士, 堀安範 (ABC/NAOJ), 藤井通子 (東大)

現在までに 500 個程度発見されている短周期巨大ガス惑星 (HJ; ホットジュピター) は系の質量の大半を担うことから、惑星系の形成において最も大きな構造の変化を与えると考えられている。そのため、惑星の形成・進化過程を解明するためには HJ の形成過程を理解することが重要である。しかし、HJ がどのように形成されたかは未だ完全には解明されていない。HJ の理論的な形成メカニズムとして、Type-II 移動と重力散乱+潮汐相互作用が提案されている。前者は原始惑星系円盤内の円盤ギャップに引きずられて惑星が内側へ移動し、後者は惑星が他の天体との重力相互作用を受けて高離心率の軌道をとったのち主星からの潮汐相互作用を受けて短周期の円軌道となる。これらの決定的な違いの一つはタイムスケールである。前者のメカニズムでは 1000 万年程度で移動が完了し、後者は数億年要する。従って、年齢が数億年よりも若い恒星周りで HJ の有無を確認することで、HJ の形成メカニズムに制約を与えられるはずである。

我々は、年齢が 1 億年程度の散開星団であるプレアデス星団内における視線速度法を用いた惑星探索を行っている。これまでに、岡山 188cm 望遠鏡/高分分光器 HIDES を用いて 30 天体 (2019 年秋季年会 P312a)、すばる望遠鏡/高分分光器 HDS を用いて 47 天体に対して観測を実施してきた。本研究では、それぞれの天体に対して視線速度測定に加えて吸収線輪郭解析を行うことで、視線速度変動の原因を精査した。結果として惑星由来の視線速度変動を示す恒星は確認されなかったが、プレアデス星団内での HJ 存在頻度に対して従来よりも強い制約を与えた。本講演では、主にすばる望遠鏡で取得したデータを中心に観測結果を紹介し、HJ の存在頻度について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

P305a 岡山 188cm 望遠鏡を用いた長期高精度ドップラー観測による K 型巨星 HD112570 と HD154391 を周回する長周期巨大惑星の発見

Guang-Yao Xiao, Haun-Yu Teng (NAOC), Jianzhao Zhou (BNU), 佐藤文衛 (東工大), Yu-Juan Liu (NAOC), Shaolan Bi (BNU), 寶田拓也, 葛原昌幸, 大宮正士 (ABC), Marc Hon (ハワイ大), Liang Wang (NIAOT), 原川紘季, 神戸栄治, 泉浦秀行, 安藤裕康, 野口邦男, 吉田道利, 小久保英一郎 (NAOJ), Fei Zhao, Gang Zhao, Wei Wang, Meng Zhai (NAOC), Nan Song (CSTM), Chengqun Yang (SAO), Tanda Li (Univ. of Birmingham), Timothy D. Brandt (Univ. of California), 伊藤洋一 (兵庫県立大)

我々は、2001 年から岡山 188cm 望遠鏡を用いて GK 型巨星を対象としたドップラー法による系外惑星探索を行っている。これは巨星を対象とした惑星探索としては世界で最も長い歴史をもつものの一つであり、これまでに 50 個に上る惑星または褐色矮星を発見してきた。今回、188cm 望遠鏡と中国興隆観測所 2.16m 望遠鏡による長期の視線速度観測と、Hipparcos と Gaia によるアストロメトリ観測とを組み合わせて 2 つの K 型巨星 (HD112570、HD154391) の周りに公転周期が数千日を超える長周期巨大惑星を発見した。特に、HD154391 の周りで発見された惑星はこれまでに巨星の周りで発見された惑星としては最も大きな軌道長半径をもつものである。

HD112570 ($1.2M_{\odot}$, $9.9R_{\odot}$, $[Fe/H]=-0.46$) は赤色巨星分枝上にある K0 型巨星であり、発見された惑星 HD112570b ($3.4M_{Jup}$) は公転周期 2615 日、軌道長半径 3.9au、離心率 0.2 の軌道を周回する。一方、HD154391 ($2.1M_{\odot}$, $8.6R_{\odot}$, $[Fe/H]=0.07$) はレッドクランプ巨星に分類され、発見された惑星 HD154391b ($9.1M_{Jup}$) は公転周期 5163 日、軌道長半径 7.5au、離心率 0.2 の軌道を周回する。講演では、これら 2 つの惑星を含む巨星周りの惑星系の統計的性質、中心星パラメータとの相関、惑星形成過程への示唆などについて議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

P306c 岡山 188cm 望遠鏡とドップラー振動撮像装置 JOVIAL による木星自由振動観測

花山秀和, 生駒大洋, 泉浦秀行 (国立天文台), 佐藤文衛, 小玉貴則 (東京工業大学), 中山陽史 (立教大学), 川内紀代恵 (立命館大学), 青山雄彦 (北京大学), 堀内貴史 (東京大学)

木星は太陽系最大の惑星であるが内部構造にはまだ明らかでない点が多く、木星さらには太陽系全体の形成に関する理解の妨げとなっている。近年の形成論的研究では、木星深部の密度構造および組成分布が形成過程を解明する鍵となることが示唆されている。一方、従来の重力場による内部構造推定では、木星深部の解析は容易ではない。我々はこれまで、岡山 188cm 望遠鏡とドップラー振動撮像装置を用いた木星表面自由振動 (木震) 観測という新しい手法による深部構造および大気の運動学的性質の研究に取り組んできた。本研究に使用する装置は、木星表面で反射された太陽放射のドップラーシフトを Mach-Zehnder 干渉計の原理を用いて測定する装置で、90 度ずつ位相がずれた 4 つの干渉像の位相変化から表面の速度変化を求めるものである。木星表面の微弱な振動を観測するためには 1m 級の望遠鏡が最低限必要となる。また、より精度良く内部構造を推定するためには、少なくとも 2-3 週間にわたる連続観測によって途切れのないデータを得る必要がある。そこで、特に世界初の試みとして、国際共同プロジェクト JOVIAL (Jovian Oscillations through radial Velocimetry Imaging observations at several Longitudes) での日仏米の 3 つの地上望遠鏡を用いた連続同日ネットワーク観測に向けた準備を進めている。本講演ではこれまでの試験観測の成果と今後の展望について紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

P307a Search for Exoplanetary Ring Systems with *TESS*

梅谷翼 (東京都立大), 逢澤正嵩 (理研), 石崎欣尚 (東京都立大)

惑星リングは太陽系内ではガス巨大惑星を始めとして氷惑星、小惑星などに普遍的に存在している。一方で現在 5000 天体以上確認されている太陽系外惑星においては、過去の *Kepler* 衛星を用いた系統的な探査で惑星リング候補天体が 1 例挙げられたものの、軌道周期が長く追観測が困難で確認には至らず、未だに発見例が無い。本研究では、*TESS* (Transiting Exoplanet Survey Satellite) を用いて追観測可能な惑星リング候補天体の探査を行った。初めに、岩石が主成分であると仮定したリングの検出に必要な統計精度を算出した。次に連星系や偽陽性と判定されていない 2691 天体から必要な統計精度を満たす 284 天体を選出した。各天体に対してリングあり/なしそれぞれの惑星トランジットモデルのフィッティングを行い、リングによる特徴が検出されるかを解析した。この結果、惑星リング候補といえる天体は存在しなかった。過去の *Kepler* 衛星の解析結果を併せると、現在の観測衛星において本研究で用いた手法での惑星リング天体検出は困難であることが示唆される。我々は 284 天体のうち比較的統計の良い 9 天体についてリングの傾きを仮定し外径の上限値を推定した。本研究では、トランジット法を用いた他の惑星リング検出方法として、惑星の自転の歳差運動によるリングの角度の変化がもたらすトランジットの深さの変動が検出可能と想定される候補天体を *TESS*、*Kepler* 衛星それぞれで議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P308a タンデム惑星形成論による地球質量の惑星形成

二村徳宏 (日本スペースガード協会), 戎崎俊一 (理化学研究所)

地球質量の惑星形成について、タンデム惑星形成論 (e.g., Ebisuzaki & Imaeda 2017) をもとに明らかにした。タンデム惑星形成論とは標準モデル (e.g., Safranov 1969; Hayashi et al. 1985) の枠組みに磁気回転不安定 (MRI) (Balbus & Hawley 1991; Hawley & Balbus 1991) などの新規な物理過程を導入したモデルである。

この原始太陽系円盤は、太陽に近い方から乱流領域、MRI 不活発領域、そして再び乱流領域という構造を持ち、2 つの乱流領域と MRI 不活発領域の境界では、効率的に固体粒子が集積し、太陽に近い境界付近では岩石惑星、遠い方ではガス惑星が形成される。Ebisuzaki & Imaeda (2017) では、この境界付近における微惑星形成までの過程が精密に議論されているが、その後の惑星形成に至る過程については精密な議論は行われていない。よって、本研究では岩石惑星の形成について精密な議論を行った。

岩石惑星が形成される領域において、固体粒子が効率的に集積する。また、小石のサブ円盤 (Cuzzi 1993) も薄くなる。円盤中央面の固体粒子密度が重力不安定を起こす条件に達すると惑星が形成される (e.g., Ebisuzaki & Imaeda 2017)。この惑星は周囲の固体粒子を取り込み成長しながら、円盤からの重力トルク (e.g., Lyra et al. 2010; Paardekooper 2014) の影響により、動径方向外側へ移動し境界から離れる。境界に集積する固体粒子の総質量が、太陽系の地球型惑星の総質量と同じになる条件においては、この境界から離れる際の惑星の質量は、必然的に地球質量程度となる。また、境界から惑星が離れると、再び境界の固体粒子密度は高くなり、惑星を形成し、その後、同様に移動を開始する。なお、最後にできる惑星は、境界の残った固体粒子で形成される。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P309a 微惑星リング内での微惑星集積

神原祐樹 (東京大学), 小久保英一郎 (国立天文台)

惑星形成の標準シナリオでは、微惑星は原始惑星系円盤全体で形成され、半径方向になめらかに分布すると仮定されてきた。しかし近年、ガスおよびダストの進化シミュレーションの結果から、ガスの圧力バンプや雪線など限られた場所でのみ微惑星が形成し、微惑星はリング状に集中して分布するというモデルが提案されている。また、原始惑星を細いリング状に配置すると太陽系地球型惑星の質量分布が再現可能であることがシミュレーションにより明らかにされていたり、原始惑星系円盤ではリング構造が観測されているなど、惑星形成の過程においてリング状の構造が存在すると考えることを支持する結果が多数得られている。

微惑星がリング状に分布している場合、リングの縁から微惑星が拡散してリングの幅が広がることで微惑星の表面密度が下がるなど、なめらかな微惑星分布では見られない現象が起こる。結果として従来のシナリオとは進化の過程が変化し、形成される原始惑星・惑星の分布も変化すると考えられる。しかし、リング状に分布した微惑星の進化は詳細には調べられていない。そこで本研究では、リング状に分布した微惑星の進化を N 体シミュレーションを用いて調べた。発表では、集積される原始惑星の質量と軌道分布のリングの幅と表面密度への依存性を示し、原始惑星集積に微惑星分布の違いが与える影響を議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P310a 大規模 N 体計算による planetesimal-driven migration が惑星形成過程に及ぼす効果の検証

神野天里 (神戸大学), 斎藤貴之 (神戸大学), 牧野淳一郎 (神戸大学)

近年の系外惑星観測から、惑星の動径方向移動を考慮しなければ説明することができない多様な系外惑星系の存在が明らかになってきた (e.g., Zhu & Dong, 2021)。惑星移動の有力なメカニズムには、惑星がガス円盤と重力的に相互作用することで生じる Type-I migration (Ward 1986) や微惑星との重力散乱によって惑星が移動する planetesimal-driven migration (PDM) などが存在する (Fernandez & Ip, 1984)。前者では、惑星は一般に角運動量を失うことで、中心星方向へ落下してしまう (Tanaka et al., 2002)。一方、PDM による惑星移動は、中心星方向と外側方向の両方が起こり得る (e.g., Kirsh et al., 2009)。これは、PDM を駆動するメカニズムが、惑星移動そのものによって維持される微惑星分布の非対称性に起因するためである。

そこで、我々はガス抵抗や Type-I migration、微惑星間の重力相互作用を考慮した PDM の自己無撞着 N 体シミュレーションを行ない、PDM が惑星形成過程に及ぼす影響を詳細に調べた。本研究では、スーパーコンピュータ「富岳」を用いて 500 ランを超える PDM の大規模 N 体シミュレーションを行ない、その効果を包括的に解析した。その結果、微惑星-惑星間の質量比が小さな惑星でも PDM によって円盤内を動径方向に活発に移動することがわかった。さらに、Type-I migration による中心星方向へのドリフトに打ち勝ち、outward-PDM によって外側に移動する惑星もある割合で存在することが統計的に明らかになった。

本講演では、等質量微惑星円盤内における単一惑星の軌道進化、および微惑星-惑星間質量比が PDM に及ぼす効果を議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P311a 太陽系外縁天体環境を想定した N_2O 低温固体の中間赤外線イメージング分光

高間大輝, 古賀亮一, 根岸昌平, 平原靖大, 笹子宏史, 李源, 趙彪 (名古屋大学), 伊藤文之 (産総研)

これまで、惑星探査衛星 Voyager2 や New Horizons が冥王星やトリトンで氷火山を観測しており (Grundy WM et al., 2016), 38 K (表面)~120 K (高度百数十 km) で窒素化合物の昇華・凝縮循環が成立していると考えられている。 N_2O 氷は、冥王星やトリトン大気中で N_2 と CO が太陽紫外線 (UV) に当たることで生成されると推測されている (Corey et al., 2005)。実際の観測事例は未報告であるが、先行研究の実験からは、各天体の N_2O 氷の時間的成長メカニズムや UV による N_2O 氷の光解離過程と赤外線領域の振動スペクトルの関係は複雑であると予想される。

そこで本研究ではこれらの解明を目的とし、冥王星やトリトン大気を模擬した N_2O 氷の中間赤外線スペクトルの、新型イメージングフーリエ分光器 (2D FT-IR) を用いたその場測定を行った。まず、真空チャンバー内 ($\geq 10^{-3}$ Pa) にパルスノズルを用いて N_2O ガスを噴出し、液体窒素冷却クライオスタットの無酸素銅製低温サンプルホルダーに固定された赤外透過 ZnSe 基板に N_2O 氷を堆積させた。分光撮像の結果、波長 7.75 μm (N_2O 分子の ν_1 振動モードに対応) の強い吸収バンド、および 8.60 μm ($2\nu_2$) と 7.27 μm (" ν_1+92 torsion", David A. Dows 1957) に弱い吸収バンドがそれぞれ観測された。その後、 N_2O 氷の昇華凝縮過程を再現するため、堆積した N_2O 氷に対し、サンプルホルダーの温度を昇降 (104~122 K) した。その結果、全ての振動バンドの吸光度が不可逆的に約 2.3~8 倍に増大した。また、UV による N_2O 氷の光解離を再現するため、 N_2O 氷に 8.5 時間の UV 照射 (190~340 nm) を行った。その結果、4 時間後に N_2O_3 (ν_3 振動モード)、8 時間後に N_2O_4 (ν_{11}) や N_2O_5 (ν_{10}) に相当する吸収ピークが出現したが、 $\sim 360 \mu\text{m}$ の N_2O 氷形成領域内でのスペクトル分布は不均一であった。本発表では、冥王星及びトリトン環境を想定した物理化学条件下における N_2O 氷の変性プロセスをスペクトルのバンド構造の変化から考察する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P312a 12P/Pons-Brooks 彗星のダストジェット構造と自転軸の決定

長谷川均, 津村光則, 渡辺真一, 秋澤宏樹, (NAOJ 太陽系小天体ゼミ), 渡部潤一 (国立天文台)

2024 年 4 月 21 日に近日点通過を迎えるハレー型彗星の 12P/Pons-Brooks 彗星 (周期 74 年) が 2023 年 7 月から複数回のアウトバーストを繰り返していることが観測された。最初のアウトバーストは 2023 年 7 月 19 日で、4~5 等前後の増光が見られ、我々の観測から放出されたダストコマが時間と共に広がる様子が捉えることができた。アウトバースト発生後 1 週間程度で他の彗星では観測例がないような北東側に開いたアーク状の特殊な形状が見られ、この形状は 9 月中旬にかけて次第に拡散していった。観測からアウトバースト時のコマの拡散速度として $204.5 \pm 4.6 \text{ m/s}$ 、及びバースト発生時刻として 2023 年 7 月 19.50 日 UT を得た。我々はアーク状の構造を彗星核表面上の活動領域から放出されたダストジェットが自転によりスパイラル状に放出されたと考え、モンテカルロモデルを用いて活動領域から多数のダスト粒子を放出しその運動を追跡し、ダストジェットの形状の再現を試みた。自転軸が視線方向に近い方向にあるとすると、中緯度にある活動領域からの放出が 7 月から 9 月にかけて形状を変えずに拡散していく様子を再現することができた。現時点で彗星核の自転周期は決定されていないが、アウトバーストの活動期間が自転周期より短い場合にアーク状の構造を再現することができた。自転軸の方向は $RA = 85^\circ$, $Dec = -25^\circ$ 付近がよく一致し、アウトバースト活動領域の緯度を $60 \sim 70^\circ$ 、ダストの放出速度を 250 m/s 程度、ダスト粒子の光圧と重力の比を 0.1 程度とすると観測とよく一致することが分かった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P313b ALMA Observations of 1 Ceres II

高橋茂, 飯野孝浩 (東京大学), 塚越崇 (足利大学), 佐川英夫 (京都産業大学)

我々は ALMA アーカイブから 2017 年に観測された ~ 250 GHz 帯での 1 Ceres の高空間分解能イメージを生成し、その地表物性の研究に取り組んでいる。イメージの空間分解能は ~ 0.05 arcseconds であり、 ~ 0.45 arcseconds の視直径を持つ 1 Ceres を十分に空間分解している。

前学会ではこのイメージを用いて、1 Ceres 表面の輝度温度分布から温度ピークの位置が太陽直下点ではなく午後側 (およそ午後 1-2 時) にドリフトしていること、熱慣性値 $\Gamma = 1, 60, 110 \text{ tiu} \equiv [\text{J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1/2} \cdot \text{K}^{-1}]$ において、熱物理モデル (Spencer et al., 1989: SP89) によるシミュレーションを行い、 $\Gamma = 60, 110 \text{ tiu}$ が観測されたドリフト値をよく再現することを示した。一方で、SP89 モデルでは輝度温度を十分に再現できず、SP89 モデルによる温度計算値は観測値よりも 30-40 K ほど高い結果となった。これはミリ波・サブミリ波における熱放射量の導出に、表層下からの熱放射を考慮していないためと考えられる。

今学会では表層下の熱放射も考慮した 1 Ceres のモデルシミュレーションの結果を報告する。小惑星表層下の熱放射も考慮したモデルとしては、16 Psyche に対する研究がある (de Kleer et al., 2021:KL21)。KL21 では ALMA を用いて空間分解されたイメージに対して、2つの自由パラメータ (空隙率とミリ波における放射率) を与えて観測データをフィットし、実験室データを用いながら構成物質の複素誘電率などを推定している。本研究でも同様の手法を 1 Ceres に適用し、複素誘電率など物性パラメータの議論を行う予定である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

P314b すばる HSC-SSP Public Data Release 3 既知太陽系小天体カタログの作成

大坪貴文 (産業医科大/国立天文台), 高田唯史, 古澤久徳, 古澤順子, 寺居剛 (国立天文台), 吉田二美 (産業医科大/千葉工大 PERC), 浦川聖太郎 (日本スペースガード協会), HSC 超高速 DB グループ

小惑星や彗星などの太陽系小天体は微惑星の生き残りであり、原始太陽系円盤形成から現在へと至る進化過程を解き明かす重要な手掛かりである。特に軌道分布やサイズ頻度分布は、太陽系天体の軌道進化・衝突進化に関する情報をもたらしてくれる。すばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam (HSC) は大口径と広視野撮像という特長をもち、HSC の観測データにはたくさんの小惑星・彗星が受かっていることが期待される。この観点から、我々は HSC 戦略枠サーベイ (HSC-SSP) の公開済データ (Public Data Release) の観測画像と検出光源リストに基づく既知小天体の同定・抽出作業を進めている。2023 年春季年会では、Public Data Release 2 (PDR2) Wide survey の既知太陽系小天体 (移動天体) カタログについて報告した (P321b 参照)。今回我々は、太陽系小天体抽出の対象となるデータをさらに PDR3 の Wide survey および Deep/UltraDeep survey に拡張した。PDR2 (2014 年 3 月から 2018 年 1 月にかけての 174 観測夜) の Wide survey のデータでは、小天体の総検出数は延べ 50 万強、ユニークな天体数としては 11 万強であったが、PDR3 (2014 年 3 月から 2020 年 1 月にかけての 278 観測夜) の Wide/Deep/UltraDeep では、小天体の総検出数は延べ 100 万を超え、ユニークな天体数としては 20 万強とほぼ倍増している。この中ではメインベルト小惑星が多数を占めているが、木星トロヤ群天体・カイパーベルト天体も含まれており、このカタログは、小天体のライトカーブやカラーの研究、カイパーベルト天体の軌道精度向上などに有用であると期待される。本講演では、HSC-SSP PDR2/3 既知太陽系小天体カタログの詳細について紹介し、今後のカタログの配布方針について紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q01a ALMA 水素再結合線で探る我々の銀河系中心付近の電離ガスの物理状態

村上優奈, 奥村幸子 (日本女子大学)

ALMA 望遠鏡によって得られた、我々の銀河系中心付近の再結合線と連続波の観測データを解析し、SgrA*周辺の電離ガスの物理状態を調べる。

ALMA Service Archive から、SgrA*を含み、2018 年以降に観測され、かつ、2023 年以前にリリースされたデータで、QA2 Status が PASS のものを抽出し、その中で再結合線を含む観測データ“2017.1.00995.S”を解析対象とした。この観測は、S2 星の銀河中心への接近フライバイを利用して、銀河中心ブラックホール SgrA*の周辺環境の性質を再結合線 H30 α を用いて明らかにすることを目的として行われた。

2017.1.00995.S のキャリブレーション済みのデータを取得し、5 つの execution block のうちの 1 つを選んで、SgrA*の連続波イメージをモデルとして、位相のセルフキャリブレーションを行った。セルフキャリブレーション前は連続波イメージのピーク (SgrA*) と RMS がそれぞれ 3.69Jy、3.39mJy であったが、セルフキャリブレーション後はそれぞれ 3.72Jy、1.04mJy となり、ピーク強度が約 1% 増加し、RMS が約 1/3 程に減少した。この連続波イメージからミニキャピティの中に二つのピークが確認でき、それぞれ 30.5mJy/beam、10.5mJy/beam であった。また、数 mJy 程度の強度であるがミニスパイラルの形を確認することができた。セルフキャリブレーションの解を全データに適用し、その後ビジビリティで連続波を差し引いて、H30 α の静止周波数 231.901Hz である $\pm 1500\text{km/s}$ に渡る三次元イメージキューブを作成した。得られた輝度分布図より、ミニスパイラルの北のアームとミニキャピティで、30~60mJy の H30 α 輝線を検出した。本講演では検出された連続波と H30 α 輝線より、電離ガスの温度・密度を推定し、考えられる SgrA*周辺の電離ガスの物理状態について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q02a CTA 大口径望遠鏡初号機による天の川銀河中心領域からの超高エネルギーガンマ線観測 (2)

阿部正太郎, 稲田知大, 大谷恵生, Marcel Strzys, Ievgen Vovk (東大宇宙線研), Abhishek (University of Siena & INFN Pisa), Michele Doro (University and INFN Padova), 手嶋政廣 (東大宇宙線研・マックスプランク物理), for the CTA-LST project

超高エネルギーガンマ線 ($\geq 100\text{GeV}$) を用いた天の川銀河中心領域の観測により、超大質量ブラックホールである座 A* (Sgr A*) 周辺の宇宙線加速に関する現象を形態学的に調べることができる。特に銀経方向に数百 pc に広がる拡散ガンマ線放射は、エネルギー分布が数十 TeV 以上まで冪乗型で伸び、かつ Sgr A*近傍で加速・拡散した宇宙線と中心分子雲帯との相互作用による放射で空間分布を説明できるため、PeVatron の存在を示唆するシナリオが近年注目を浴びている。一方で現行の観測機器によるこれまでの研究では、多様な解析手法で異なる解釈が提示されており、放射源特定の議論は決着していない。このような状況から、より発展した観測的研究およびそれに基づくより詳細な現象論的議論が求められている。私たちは、次世代地上型ガンマ線天文台計画 Cherenkov Telescope Array (CTA) に向けた大口径望遠鏡初号機 (LST-1) を建設し、LST-1 による約 40 時間の銀河中心領域観測データを解析している。LST-1 は、現在は単眼観測のために感度が制限されているものの、比較的広い視野や大天頂角観測技法により TeV 帯の拡散ガンマ線を観測するのに適している。本講演では、LST-1 の軸外性能の評価研究と、拡散成分に関するエネルギー・空間分布を含めた解析に関して、進展状況を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q03a 銀河系中心領域における磁気活動に伴うアーチまたはフィラメント構造の形成

柿内健佑 (東京大学), 鈴木建 (東京大学), 榎谷玲依 (九州産業大学), 魚住光史 (岐阜大学), 町田真美 (国立天文台), 福井康雄 (名古屋大学)

銀河系 (天の川銀河) の中心部数百パーセクの領域での磁場強度は数 10 – 100 μG であると観測的に見積もられている。この値は円盤部に比べて強く、その磁気エネルギーは銀河系中心部の星間ガスの熱・運動エネルギーに匹敵あるいは凌駕する。故に、銀河系中心領域の星間ガスの密度分布や速度構造は磁気活動の影響を大きく受けていると考えられる。銀河系中心領域には銀河面から銀緯方向に浮上したフィラメント構造やアーチ状 (ループ) 構造と呼ばれる特異な分子雲構造があることが知られている (Fukui et al. 2006, Enokiya et al. 2014)。これらの構造の形成と磁気活動の関係性についてはこれまでも理論的にも研究が重ねられてきた (Machida et al. 2009, Peng & Matsumoto 2017, Kakiuchi et al. 2018)。さらに我々は輻射加熱冷却を考慮した大局的 MHD 数値シミュレーションを行い、銀河系中心領域、特に銀河面から 100pc 程度離れた円盤表層部において輻射冷却によって相対的に弱まったガス圧に対し、磁気圧優勢な領域が形成されることを明らかにした。そこで、我々はこの MHD 数値シミュレーションデータを用いて磁気浮上ガスと磁場構造、ガス運動という観点で再解析を行った。本講演では、高銀緯における高密度ガス雲の特徴量や磁場構造との相関性についての結果を報告し、磁気浮上ガス雲の形成機構について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q04a MHD シミュレーションデータを用いた銀河系中心部の非回転運動と大局磁場構造の研究

魚住光史, 佐野栄俊 (岐阜大学), 榎谷玲依 (九州産業大学), 小西諒太郎 (大阪公立大学), 柿内健佑, 鈴木建 (東京大学), 福井康雄 (名古屋大学), 町田真美 (国立天文台)

銀河系中心部のガスは銀河回転に従わない非回転運動を示しており、その起源は未解明である。鈴木らは3次元 MHD 計算を実施し、磁気不安定性により生じた磁気乱流がガスの大局的な非回転運動を誘発することを見出した (Suzuki et al. 2015)。そこで本研究では、磁気乱流がガス運動に与える影響をより詳細に理解するため、Suzuki et al. (2015) を発展させた Kakiuchi et al. (2023) の MHD 計算結果データを用いて、観測データと一対一対応をさせ比較を行うことを目的とする。その最初のステップとして、MHD 計算データの FITS 化を行ったので報告する。柿内らの計算は、銀河中心を中心とした円柱座標系であるため、はじめに太陽系中心の球座標に座標変換をした。また、FITS に格納するために非線形グリッドを、cloud-in-cell 法 (Charles & Dieter 1969) を用いて線型化した。このデータをソートし、書き出すことで、銀経-銀緯-視線距離 (あるいは視線速度) の 3 軸を持つ、密度や磁場強度の FITS ファイルを作成した。これらの FITS を描画したところ、銀経-視線距離の密度分布より、中心から 0.3, 0.6, 1.6 kpc を境にガス円盤の厚みが 0.1, 0.2, 0.4 kpc と増加することがわかった。さらに、上記の三領域それぞれのガス密度・プラズマ β の銀経-速度図から、どの領域でも非回転運動のガスが見られ、そのプラズマ β 値は磁気圧優勢の傾向にあることがわかった。本講演では、磁気活動によって生じた非回転運動ガスが観測データ上でどのように現れるか、またそれらの形成機構について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q05a 銀河面付近に位置する銀河団 X 線放射を用いた天の川銀河の星間物質量の評価

安樂由実子, 山内茂雄 (奈良女子大)

天の川銀河の星間物質は電磁波観測によってその存在量が推定されている。星間ガスは中性水素原子輝線 (21 cm) や CO 分子輝線 (2.6 mm) で全天観測が行われている。しかし、星間ガスは密度が高く温度が低いと電波強度が飽和することが分かっており、水素量とダスト放射の光学的厚みもダスト温度に依存し、相関が取れないことが報告されている (Fukui et al. 2015, ApJ, 798, 6)。X 線では、光電吸収によるため直接物質量を測ることができる。銀河系外のガンマ線バーストの X 線残光の観測 (Willingale et al. 2013, MNRAS, 431, 394) では、ガンマ線源母銀河自身の星間吸収の影響を受けたり、 $N_{\text{H}} > 10^{22} \text{ cm}^{-2}$ となる銀河円盤に近い領域のデータを含まないことが課題にあげられる。

本研究では、すざく衛星と XMM Newton 衛星により観測された低銀緯に位置する銀河団を、銀河系の星間吸収とプラズマからの放射を考慮したモデルで解析を行った。比較のために、 N_{H} は Leiden/Argentine/Bonn と Dickey&Lockman によるサーベイマップを、 N_{H_2} はダストによる減光の指標を用いた式 (Willingale et al. 2013, MNRAS, 431, 394) と CO2.6 mm 線のサーベイデータ (Dame et al. 2001, ApJ, 547, 792) を使用した。銀緯 $b < 1^\circ$ の銀河団では、X 線観測は電磁波観測と比較すると、1 オーダー程大きな値となることが分かっている (2023 年春季年会安樂他)。今回解析天体数を追加した結果、低銀緯に位置する銀河団に同様の傾向が見られた。一方、Planck 衛星で観測されたダスト放射の 353 GHz の光学的厚み τ_{353} との相関を検討した。講演では詳細な解析結果について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q06a すざく衛星による銀河系の高温ガスの分布

松下恭子, 杉山剣人, 上田将暉, 福島光太郎, 小林翔悟 (東京理科大学), 山崎典子 (JAXA/ISAS), 佐藤浩介 (埼玉大学)

星形成領域では超新星爆発により星間ガスが加熱される。その結果、時には円盤から高温ガスが吹き出すこともある。円盤から冷たいガスが失われれば、星形成活動は不活発化される。加熱が不十分であれば、放出したガスはまた冷えて戻ってくる。さらに銀河系外から降着したガスは銀河のヴィリアル温度まで加熱され、銀河ハローを満たしていると予想されている。我々は高温ガスからの X 線を観測することにより、これらの活動を調べることができる。すざく衛星はバックグラウンドが低く、銀河系に広がる高温ガスの観測に最適である。すざく衛星の解析により、銀河系では、ハローを満たすと考えられていたヴィリアル温度の 0.2-0.3 keV の成分の他に、より高温の成分が局所的に存在している可能性が報告されてきた (Yoshino+09, Nakashima+18 など)。

我々はすざく衛星による $75^\circ < \text{銀経} < 285^\circ$ 、 $|\text{銀緯}| > 15^\circ$ の 130 観測の他、近傍の銀河団外縁部のスペクトル解析を行った。太陽活動が活発な 2010 年以降のデータにはおそらく太陽系内での太陽風電荷交換反応による酸素輝線からの放射が混入していた。4 割以上の観測において、およそ 0.8 keV の熱的放射が検出された。0.2-0.3 keV の放射成分の温度はほぼ一定であり、その輝度のばらつきは小さく、低銀緯に向かって増加した。0.8 keV の放射成分の輝度はばらつきが大きいものの、低銀緯に向かった増加傾向は見られた。円盤状の放射領域の存在が示唆される。銀河団外縁部の解析からは 0.8 keV の成分は数度にわたり広がりその強度はゆっくり変化していた。0.8 keV の高温ガスは銀河円盤に閉じ込めることができない。超新星爆発により加熱され、銀河系から吹き出そうとしているのかもしれない。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q07a 超新星残骸 G284.3-1.8 とガンマ線連星 1FGL J1018.6-5856 の関連性

寺農夏樹 (甲南大学), 鈴木寛大 (ISAS/JAXA), 田中孝明 (甲南大学), 内田裕之 (京都大学)

超新星残骸 G284.3-1.8 (以下 G284) と視線方向が一致している 1FGL J1018.6-5856 (以下 J1018) は大質量星とコンパクト天体からなるガンマ線連星である。G284 は中心に連星系が存在するかもしれない非常に珍しい超新星残骸で、もし J1018 がその連星系であればマナティー星雲の SS433 に次ぐ 2 例目となるが、これまでの研究ではその確実な証拠が見つかっていない。本研究では、G284 と J1018 が同一起源かどうかを明らかにするため、超新星残骸の G284 の X 線放射に着目した。この超新星残骸については、Chandra 衛星と XMM-Newton 衛星による結果が既に報告されている (Williams et al. 2015) が、我々はバックグラウンドがより低く安定している Suzaku 衛星搭載 XIS の約 170 ks にわたる長時間観測データを解析した。G284 の放射は XIS の視野いっぱい広がっており、視野内から X 線バックグラウンドを抽出することができない。そこで、X 線バックグラウンドと G284 の放射をいずれもモデルとしてデータに合わせることにした。銀河リッジからの放射と前景放射は、Uchiyama et al. (2013) を参照し、衝突電離平衡プラズマモデルで表した。また、宇宙 X 線背景放射については、Kushino et al. (2002) を参照してベキ関数で表した。超新星残骸 G284 については、衝突電離非平衡プラズマのモデルを用いた。その結果、G284 にかかる星間吸収の柱密度は $N_H = (0.54 \pm 0.03) \times 10^{22} \text{ cm}^{-2}$ となり、J1018 で得られている $N_H = (0.61 \pm 0.12) \times 10^{22} \text{ cm}^{-2}$ とほぼ等しい値となった。したがって、G284 と J1018 の距離が同程度であることを示唆する。G284 のスペクトルでは、マグネシウムの輝線が非常に強いという特徴があることが分かった。本講演ではマグネシウムや他の輝線から、爆発噴出物の元素組成比を定量化し、これを爆発モデルと比較することで、G284 と J1018 の関連性や、未だ確定していない J1018 のコンパクト星の正体について議論を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q08a X 線天文衛星「すざく」によるシェル型超新星残骸 G296.1-0.5 のプラズマの観測

竹内清香, 山内茂雄 (奈良女子大)

G296.1-0.5 は X 線、電波ともにシェル状の放射をもつ銀河系内の中年超新星残骸 (Supernova Remnant; SNR) である。一般的な SNR は、超新星爆発によって $V \sim 10^4 \text{ km/s}$ の速さで星間空間にまき散らされた恒星からの噴出物 (イジェクタ) が星間物質 (InterStellar Medium; ISM) との間に衝撃波を形成し、高温プラズマ状態となる。SNR のプラズマはイジェクタ由来のプラズマと ISM 由来のプラズマで構成される。

すざく衛星データを用いた先行研究 (F. Gök et al. 2012, MNRAS, 419, 1603) では G296.1-0.5 での 4 領域のスペクトルについて解析を行い、イジェクタを検出したことが報告されており、0.5-0.8keV 程度の 1 成分、もしくは 2 成分の電離非平衡のモデルで再現できると結論づけられた。しかし、全ての領域でスペクトルの 0.6keV 付近に大きな残差が確認できた。

本研究では、銀河面 X 線放射を考慮したバックグラウンドのモデル化を行い、SNR 成分のスペクトルに対して再現度の高いフィットを目指した。すざく衛星による観測データを 5 つの領域に分け、それぞれ 0.4-10keV のバンドでスペクトル解析を行った。バックグラウンドについては観測天体と銀緯が同程度の別の視野を使用し、さらに銀河面 X 線放射を考慮したモデルを用いて慎重に評価した。スペクトル解析の結果、0.3keV 程度の電離非平衡プラズマモデルと 0.1keV 程度の電離平衡プラズマモデルでよく再現された。さらに、X 線による放射が明るい部分については低温の電離平衡プラズマからの放射が多く観測され、イジェクタと衝撃波により掃き溜められた ISM によって構成されていることが分かった。本講演ではスペクトル解析の方法と詳細な結果を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q09a 位置依存型 Richardson-Lucy deconvolution を用いた超新星残骸カシオペア座 A の X 線時間変動解析

酒井優輔, 山田真也, 佐藤寿紀, 早川亮大, 小湊菜央 (立教大学)

Chandra 衛星は打ち上げから約 20 年が経ち、望遠鏡や検出器の応答関数の理解や較正が深まっており、微かな空間構造を抽出する様々な試みが行われている。我々は、比較的視直径が大きく明るい天体として超新星残骸カシオペア座 A に着目し、Richardson-Lucy deconvolution (RL 法) に独自の改良を試みた。Chandra 衛星の標準的な解析で用いられる RL 法は、観測画像およびその画像の典型的な場所における 1 箇所の Point Spread Function (PSF、点広がり関数) を用いて、ベイズ推定によって反復回数により逐次的に真の鮮明な画像を推定する手法である。我々は、この手法に二つの改良を加えた。一つ目は、1 箇所の PSF ではなく位置毎の PSF を用いた位置依存型 RL 法 (Sakai et al. 2023, ApJ) の開発である。ただし、位置依存型 RL 法を実直に実装すると、観測画像の画素数分の PSF を用意する必要となり、計算コストが高くなる。これを解決するために、PSF のサンプリングを粗視化し、その境界を適切に取り扱うことで、計算速度を向上しつつ画像の滑らかさを大きく失わない方法を実装した。これにより、検出器の焦点面に光子が落ちた位置毎に PSF の影響を適切に考慮し、計算速度も損なわずに広い空間スケールでの適用が可能になった。二つ目は、簡易的誤差診断の方法として、反復回数毎に観測画像のカウンタマップをポアソン分布に従う乱数により揺らがせることで、不定性や最適な反復回数を見積もる手法の考案である。これらの改良を試みた位置依存型 RL 法を、Chandra 衛星の 2000 年から 2019 年の約 20 年分のカシオペア座 A の全領域で適用した。その結果、フィラメント構造の鮮明化と不定性についての制限を与えることに成功した。本講演では、その結果についての報告と議論を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q10b 分子雲と相互作用する超新星残骸の流体シミュレーション:G1.9+0.3の衝撃波速度について

辰己賢太 (甲南大学), 井上剛志 (甲南大学)

超新星残骸 (SNR) と分子雲との相互作用は、乱流磁場増幅による粒子加速の促進、X線やガンマ線の促進等の効果を通して、SNRの性質に大きな影響を及ぼすことが知られている (e.g., Inoue et al. 2012)。

超新星残骸 G1.9+0.3 は年齢が約 100 yr と非常に若く、衝撃波速度は最も早い場所で 10000 km s^{-1} 以上であり、遅いところでは約 3000 km s^{-1} であると観測的に報告されている (Enokiya et al. 2023)。また Enokiya et al. (2023) によると G1.9+0.3 の周辺には分子雲が存在しており、分子雲との相互作用が非等方な衝撃波速度の分布に影響を与えていると考えられる。

そこで本研究では現実的な超音速乱流による構造を持った分子雲と、超新星残骸の相互作用シミュレーションを複数のパターンで行い、濃密な分子雲中で形成される超新星残骸が G1.9+0.3 のような構造を取り得るのかについて議論を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q11b X線天文衛星「すざく」を用いた Tuttle 彗星コマの化学組成の制約

森本 大輝, 江副 祐一郎, 石川 久美, 沼澤 正樹, 関口 るな (東京都立大), 伊師 大貴 (JAXA 宇宙研)

1996 年 X線天文衛星 ROSAT によって彗星からの軟 X線が発見され (Lisse et al. 2001)、冷たい天体からの X線発光として話題となった。その後の研究によって、発光機構として確立してきたのが太陽風電荷交換反応 (SWCX) である。太陽風に含まれる酸素や窒素などのイオンが、彗星核 (~数十 km) から蒸発した希薄で広がった (~ 10^4 km 以上) 大気であるコマに含まれる中性原子・分子 (主に H や H_2O 、CO 等) から電子を奪い、奪われた電子が基底準位に落ちる際に X線輝線を放出する。電荷交換反応は中性ターゲットの化学ポテンシャルによって輝線比が異なることが理論的にも地上実験からも知られており (Beiserfordorfer et al. 2003)、我々はこの性質を用いて分光性能に優れた「すざく」衛星の 73P/SW-3 彗星の観測データを用いて、酸素輝線の輝線比からコマの主成分は H 原子であると制約をつけることに成功した (関口他 2022 天文学会秋)。

本研究では「すざく」で観測したもう一つの彗星である 8P/Tuttle のデータを解析した。観測は 2008 年 1 月に 2 回行われ、近地点と近日点に相当する。軌道運動を考慮したイメージから 0.3–2 keV に広がった軟 X線を発見した。X線光度は近地点で $L_x = (1.4 \pm 0.2) \times 10^{14} \text{ erg/s}$ で、近日点で $L_x = (1.4 \pm 0.3) \times 10^{14} \text{ erg/s}$ であった。スペクトルから多数の輝線を同定し、近地点で (OVIII $\text{L}\alpha$ + OVII $\text{K}\beta$) / (OVII $\text{K}\alpha$) は 0.08 ± 0.05 と求めた。近日点でも同様に輝線比を求め、観測値を電荷交換反応モデルである Kronos (University of Georgia) と比較した。モデルから H、 H_2O 、CO ターゲットでの輝線比はそれぞれ 0.05、0.11、0.15 であり、光子統計の制約からいづれでも説明がつくものの、彗星コマの主成分として考えられる物質と矛盾がないことが分かった。今後 XRISM 衛星を用いることで輝線比の精度が向上すれば、さらに正確な化学組成分析ができることが期待できる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q12a ティコの超新星残骸における衝撃波速度の追跡調査とスペクトル変動の探索

松田真宗 (京都大学), Brian J. Williams (NASA/GSFC), 内田裕之, Shiu-Hang Lee, 鶴剛 (京都大学), 田中孝明 (甲南大学)

ティコの超新星残骸 (SNR) は、1572 年に発生した銀河系内の Ia 型超新星の残骸である。Tanaka et al. (2021) は、2003、2007、2009、2015 年に Chandra 衛星で撮影された X線画像データから、この残骸の南西の衝撃波面が数年スケールで減速しつつあることを明らかにした。これは爆発前に親星から噴き出した wind が形成した cavity wall と衝撃波が近年衝突したことを示唆し、周辺環境の描像に再考の余地を与えた。このような wall の存在は、他の系内・系外の Ia 型 SNR でも、最近になって示唆されるようになり (Sano et al., 2022; Guest et al., 2023)、wall との相互作用による衝撃波の挙動の理解は、親星の活動を制限できるという観点でも重要である。今回我々は、ティコの SNR の衝撃波のその後の運動とそれに伴うスペクトル変動を探るべく、Tanaka et al. (2021) で用いたデータに、2022–2023 年に Chandra 衛星が観測した最新のデータを追加して解析を行った。その結果、先行研究で減速が発見された領域において、さらなる減速が明らかになった。特に減速の大きい領域では、2015 年から 2021 年の間に、 $\sim 3800 \text{ km s}^{-1}$ から $\sim 2400 \text{ km s}^{-1}$ まで衝撃波速度が低下し、先行研究が示唆した密度勾配を持つ wall の存在を支持する結果となった。さらに、衝撃波面のスペクトルを冪関数でフィッティングしたところ、減速が見られた領域では、2003 年から 2021 年の間に軟化している傾向が得られた。流体シミュレーションとの比較から、衝撃波の減速によってシンクロトロン放射のカットオフエネルギーが減少したと解釈することで、スペクトルの軟化を概ね説明できることがわかった。本講演では、上記の結果の詳細を示し、wall が粒子加速やシンクロトロン放射に与える影響について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q13a 超新星残骸 G1.9+0.3 に付随する分子雲の発見

榎谷玲依 (九州産業大学), 佐野栄俊 (岐阜大学), Miroslav D. Filipovic, Rami Z. E. Alsaberi (Western Sydney University), 井上剛 (甲南大学), 岡朋治 (慶應義塾大学)

銀河系内で最も若い超新星残骸 G1.9+0.3 は、 $10,000 \text{ km s}^{-1}$ を超える高速の衝撃波を持ち、PeVatron の主要候補の一つと考えられている。G1.9+0.3 は、電波シンクロトロン放射では北、北東領域が明るく (電波リム)、X 線では南東、北西領域が明るい (X 線リム) ため、両者で全く異なった分布を示す上に、X 線リムでは電波リムに比べ 5 倍以上も速い衝撃波速度が測定されている。このようなユニーク天体であるにもかかわらず、周囲の星間物質はこれまで調べられたことがなく不明であった。我々は、James Clerk Maxwell Telescope による CHIMPS2 サーベイで得られた $15''$ の角度分解能の $^{12}\text{CO}(J=3-2)$ のデータを用いて、G1.9+0.3 の星間ガスを調査し、この方向に $-1, 7, 45 \text{ km s}^{-1}$ の速度を持つ 3 つの独立した雲を発見した。さらに、これらの分子雲について、CO 輝線放射の分布、視線速度、速度幅、同位体比、OH 輝線との比較を行うことで、それぞれの分子雲の距離を推定した。その結果、3 つの中で最大である 20 km s^{-1} 以上の速度幅を持ち、銀河中心の距離に位置し、空間的にも速度的にも空洞構造を示し SNR とよく一致しているため、 -1 km s^{-1} 雲が SNR に付随していると考えられる。さらに、 -1 km s^{-1} 雲は、主に電波リム周辺にだけ存在し、電波リム付近では励起状態 (特に温度) が上昇する傾向があることがわかった。これらの結果は、 -1 km s^{-1} 雲が超新星爆発衝撃波と相互作用していることを示唆する。以上より、本研究では、分子雲との相互作用によって電波リム領域で衝撃波の伝播速度が減速し、電子の最大加速エネルギーが低下したために電波リムでは X 線ではなく電波で明るくなったというシナリオを提案する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q14a 再結合優勢プラズマを持つ超新星残骸のスペクトル解析と形成過程について

古瀬愛実, 鈴木那梨, 山内茂雄 (奈良女子大), 信川正順 (奈良教育大), 信川久実子, 森川朋美 (近畿大)

一般的な超新星残骸 (SNR) のプラズマは電離が再結合よりも支配的な電離進行プラズマ状態 (IP) から、時間経過とともに電離と再結合が平衡の電離平衡状態 (CIE) となる。しかし近年再結合が電離よりも支配的な再結合優勢プラズマ (RP) を持つ SNR が発見されている。RP-SNR の形成過程や起源は議論が続いており、熱伝導や断熱膨張による電子冷却説や、近傍光源の X 線放射や低エネルギー宇宙線による電離促進説などが提唱されている。

古瀬他 (日本天文学会, 2023 年春季年会, Q05a) では、RP-SNR と報告されている G346.6-0.2 (Yamauchi et al. 2013, PASJ, 65, 6) について元素ごとの初期電離温度 (kT_{20}) を調査した結果、元素ごとに kT_{20} が異なっており原子番号の増加に伴った kT_{20} の増加が確認された。そこで電離促進シナリオに基づいて、電離に必要なエネルギーを計算したところ超新星爆発の数%であり、エネルギーの観点では説明可能であると報告した。

本研究で我々は他の RP-SNR である HB21、Kes17、G348.5+0.1 について G346.6-0.1 と同様の解析を行った。銀河面 X 線放射を考慮したモデルを用いてバックグラウンドの寄与を慎重に見積もり、元素ごとに kT_{20} が異なるモデルを導入することで元素ごとの電離状況の調査を行った。その結果、 kT_{20} について G346.6-0.2 と同様の傾向が見られ、さらに電離に必要なエネルギーを計算した結果、G346.6-0.2 と同じく超新星爆発の数%のエネルギーであることが分かった。本講演では解析結果の詳細な報告と RP-SNR の形成過程についての議論を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q15a ALMA 較正用天体に対する分子吸収線探査 V: 輝線・吸収線解析で探る QSO J1851+0035 方向の銀河系内分子雲の微細構造

成田佳奈香 (東京大学), 阪本成一 (国立天文台/東京大学), 吉村勇紀, 河野孝太郎 (東京大学)

近年の分子雲観測では、CO 分子と中性炭素原子 CI がサブ pc スケールでも混在していることが報告されており、サブ pc 以下の分子雲素片の存在が示唆されている。しかしながら解像度の不足により素片を空間的・速度的に分解するには至っていない。そこで、ALMA の較正用天体の吸収線観測データや野辺山 45m 鏡の輝線観測のアーカイブデータを用いて銀河面の背後にある QSO J1851+0035 ($l=33.50^\circ$, $b=+0.19^\circ$) 方向の分子ガスの詳細構造、運動、化学組成を探っている。

今回、ALMA の CO $J=1-0/J=2-1$ の吸収線のスペクトルに対して同時にマルチガウシアンフィットすることにより、雲の中のサブ構造を速度的に単離した。視線上のほぼすべての雲は、40 K での熱的線幅に近い狭い ($\sim 0.2 \text{ km s}^{-1}$) 線幅の成分と広い ($\sim 1 \text{ km s}^{-1}$) 線幅の成分からなることが分かった。各速度成分に対して吸収線の τ_{2-1}/τ_{1-0} から求める T_{ex} と τ_{1-0} のプロファイルから、ビーム内に占めるガスの割合を表す beam filling factor を 1 と仮定することで期待される輝線プロファイルを合成したところ、多くの場合、実際の NRO 45 m 鏡の輝線プロファイルよりも輝線温度が高かった。プロファイルの形状の差異に着目すると、線幅の狭い成分の beam filling factor が NRO 45 m 鏡での観測においても極めて小さい ($f \lesssim 0.1$) としなければ輝線プロファイルと整合が取れないことが分かった。CO の柱密度と存在量、および励起温度から推定される水素分子密度からも各成分の奥行きを求めることができ、暗黒雲の速度成分で単離できたコンポーネントについては約 0.001 pc と極めて小さな値が求まった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q16a すざく衛星を用いた銀河系の超巨大バブル構造の解析

島谷侑希, 松下恭子, 小林翔悟, 福島光太郎 (東京理科大学)

銀河系中心から南北に $\pm 80^\circ$ のスケールで広がる巨大なバブル状の構造を eROSITA バブル (以下、バブル構造) と呼ぶ。バブル構造の中でも、輝度が特に高い北側の尾根構造を North Polar Spur と呼ぶ。バブル構造の内側では、銀河系中心から南北に $\pm 50^\circ$ のスケールで広がる、フェルミバブルと呼ばれる構造が観測でき、過去の銀河系中心での活動銀河核の活動性との関連や、幾何学的類似性からバブル構造の形成への関与が指摘されている (Predehl+20)。Gupta+23 らは、すざく衛星により観測されたバブル構造の領域の放射は 0.3 keV と 0.8 keV の 2 つの熱的プラズマ成分で再現できることを発見した。高温ガスの元素組成比より銀河中心領域の星形成によるフィードバックがバブル構造を形成したと提唱した。

本研究ではすざく衛星で観測された $0^\circ < |\text{銀径}| < 90^\circ$ 、 $-90^\circ < \text{銀緯} < 90^\circ$ の約 100 観測のデータを解析した。この領域にはバブル構造が含まれる。太陽活動が活発な 2010 年以降に得られたデータには太陽風電荷交換反応からの OVII 輝線を考慮しスペクトル解析を行ったところ、ほぼ全ての領域において 0.2–0.3 keV と 0.6–1.0 keV の熱的放射が必要となった。多くの領域では 2 成分の熱的放射ともにその輝度分布は銀河ハローに球状に広がる β モデルとおおむね一致した。加えて、低銀緯領域、North Polar Spur 領域、大マゼラン星雲に連なる領域において輝度の超過が見られたものの、North Polar Spur の内外では輝度分布はなめらかに繋がっていた。バブルの内側と考えられていた放射と North Polar Spur などの超過成分は別の起源なのかもしれない。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

R01a 機械学習による NGC 253 の星形成由来の構造・輝線の抽出

岸川涼(東京都立大学), 原田ななせ, 齊藤俊貴(国立天文台)

大量の星が短期間に生成されるスターバーストはどのように始まり、終わるのか、はっきりとした理由は分かっていない。星間空間に局在している分子ガスが星形成の材料となり、そうした分子ガスの性質が将来の星形成に影響する。そうした性質は星間化学で調べることができる。ALMA 望遠鏡により、系外銀河では観測が難しかった CO 以外の分子を高精度で観測できるようになった。実際、ALMA 望遠鏡を用いた ALCHEMI survey により、スターバースト銀河 NGC 253 に存在する 1500 種類を超える分子輝線・電波再結合線・連続波が発見されている。これらの分子ガスの性質を詳しく調べることで、現在・および将来の星形成の様子を知ることができる可能性がある。

本研究では、銀河中の多数の分子ガスの新たな性質を知り、スターバーストの仕組みを明らかにすることを目指す。NMF(non-negative matrix factorization) と呼ばれる機械学習の次元削減の手法を用いて、ALCHEMI の 150 種類の輝線データから、星形成に関わる特徴を抜き出すことを試みた。その結果、淡く広がった構造を 1 種類、銀河の特定の場所にピークを持つ構造を 4 種類抽出することができた。抽出することができた構造は (1) 希薄なガスの分布、(2) 分子雲同士の衝突(ショック)構造、(3) 星が活発に生成している場所(スターバースト)、(4) 若い星形成をしている場所、(5) 中励起のショックを示す分子の分布であると考えられる。さらに、それらの構造に特徴的な輝線として (2) 分子雲同士の衝突(ショック)構造では、HOCO⁺、(3) 星が活発に生成している場所(スターバースト)では、高準位の CCH や CN、(4) 若い星形成をしている場所では、特に高準位の HC₃N などを抜き出すことができた。これらの輝線は星形成に関わる構造を説明する指標として有用であると考えられる。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)[スケジュール\(全体\)に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

R02a NGC 253 中心部におけるガスダイナミクスの解明 III: コヒーレント構造の励起状態

小西諒太郎(所属なし), 榎谷玲依(九州産業大学), 村岡和幸(大阪公立大学), 大西利和(大阪公立大学), 福井康雄(名古屋大学), 立原研悟(名古屋大学)

最近傍の爆発的星形成銀河である NGC 253 の中心部半径 1 kpc 以内の領域はガスが密集する特異領域である。この銀河はエッジオンであり、中心部分子層の形状が天の川とよく似ているため、両者の比較を通し爆発的星形成の起源を明らかにすることは重要である。我々は、位置速度図を活用することで位置・位置・速度空間上で一続きのガス構造(コヒーレント構造)を 28 発見し、コヒーレント構造の視線位置を決めることで、二重のガスリングや中央スターバースト領域へのガス降着流を発見した(2023 年春季年会小西ほか, 2023 年秋季年会榎谷ほか)。本発表では、コヒーレント構造の ¹²CO(3-2)/¹²CO(1-0) 強度比(以後 R_{3-2/1-0})を調査し、中心部分子層の中のどのような領域で励起状態が高まっているかを明らかにする。全体の傾向として、NGC 253 中心部分子層での R_{3-2/1-0} の平均値は ~0.7 であり、天の川銀河 CMZ(~0.7; Oka+12) と似ており、NGC 253 渦巻腕 ~0.4 より有意に高かった。また、銀河円盤部(半径 850 pc)から銀河中心にかけて、R_{3-2/1-0} が 0.4 から 1.3 程度まで上昇する傾向がみられた。さらに、ガス密度やガス速度分散が大きいコヒーレント構造ほど R_{3-2/1-0} が高くなる傾向が見られた。特に、R_{3-2/1-0} が高まっている領域は、コヒーレント構造同士の接続ブリッジと中央スターバースト領域で目立った。以上の結果から、上記領域では、コヒーレント構造同士の相互作用によって分子雲衝突が発生していると解釈できる。本講演では、分子雲衝突モデルによるガス密度とガス速度分散の上昇について議論を行う。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)[スケジュール\(全体\)に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

R03a Volume density structure of the NGC 253 CMZ through ALCHEMI excitation analysis

Tanaka, K. (Kieo Univ.), Mangum, J. G. (NRAO), Viti, S. (Leiden Univ.), Martin, S. (ESO), Harada, N. (NAOJ), 他 ALCHEMI Collaboration

We report a spatially-resolved excitation analysis for the central molecular zone (CMZ) of the starburst galaxy NGC 253 with the ALMA Large program ALCHEMI, whereby we explore parameters distinguishing NGC 253 from the quiescent Milky Way's Galactic Center (GC). Non-LTE analyses employing a hierarchical Bayesian framework are applied to Band 3-7 transitions to delineate the position-position-velocity distributions of column density (N_{H_2}), volume density (n_{H_2}), and temperature (T_{kin}) at 27 pc resolution. Two distinct components are detected: a low-density component ($n_{\text{H}_2} \sim 10^{3.3} \text{ cm}^{-3}$) and a high-density component with ($n_{\text{H}_2} \sim 10^{4.4} \text{ cm}^{-3}$), separated at $n_{\text{H}_2} \sim 10^{3.8} \text{ cm}^{-3}$. NGC 253 has ~10 times the high-density gas mass and ~3 times the dense-gas mass fraction of the GC. These properties are consistent with the HCN/CO ratio but cannot alone explain the factor of ~30 difference in their star formation efficiencies (SFEs), contradicting the dense-gas mass to star formation rate scaling law. The n_{H_2} histogram toward NGC 253 exhibits a shallow declining slope up to $n_{\text{H}_2} \sim 10^6 \text{ cm}^{-3}$, while that of the GC steeply drops in $n_{\text{H}_2} \gtrsim 10^{4.5} \text{ cm}^{-3}$. Their dense-gas mass fraction ratio becomes consistent with their SFEs when the threshold n_{H_2} for the dense gas is taken at $\sim 10^{4.2-4.6} \text{ cm}^{-3}$. The rich abundance of gas above this density range in the NGC 253 CMZ, or its scarcity in the GC, is likely to be the critical difference characterizing the contrasting star formation in two galactic centers.

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)[スケジュール\(全体\)に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

R04a ALMA deep $^{12}\text{C}^{17}\text{O}(1-0)$ and $^{12}\text{C}^{18}\text{O}(1-0)$ imaging reveals hidden, short time-scale star formation in the Seyfert galaxy NGC 1068

Soh Ikarashi (NAOJ/Nihon Univ.), Shuro Takano (Nihon Univ.), Toshiki Saito, Nanase Harada (NAOJ), Taku Nakajima (Nagoya Univ.)

We report the first mapping of $^{12}\text{C}^{18}\text{O}(1-0)/^{12}\text{C}^{17}\text{O}(1-0)$ intensity ratio of the starburst (SB) ring in NGC 1068 using ALMA. In theory, intensity ratio of $^{12}\text{C}^{18}\text{O}/^{12}\text{C}^{17}\text{O}$ is thought to evolve during star formation with a time scale of ~ 100 Myr. Then the ratio can trace star formation activity with a short time scale hidden by dust. However, while $^{12}\text{C}^{16}\text{O}$, $^{13}\text{C}^{16}\text{O}$, and $^{12}\text{C}^{18}\text{O}$ lines have been investigated for galaxies in the local and distant Universe, $^{12}\text{C}^{17}\text{O}$ has not been studied well yet because of its faint brightness.

Combining all available ALMA Band-3 spectral data for NGC 1068, we obtain the high quality $^{12}\text{C}^{18}\text{O}(1-0)/^{12}\text{C}^{17}\text{O}(1-0)$ ratio map of the SB-ring with a spatial resolution of 60 pc. Then, we study the $^{12}\text{C}^{18}\text{O}(1-0)/^{12}\text{C}^{17}\text{O}(1-0)$ ratio in relation to ALMA $^{13}\text{C}^{16}\text{O}(1-0)/^{12}\text{C}^{18}\text{O}(1-0)$ intensity ratio, a metallicity indicator O3N2, and surface star formation rate density (Σ_{SFR}) derived from MUSE optical spectral cube data, aiming to investigate the nature of $^{12}\text{C}^{17}\text{O}$. We obtain the following results. (1) The $^{12}\text{C}^{18}\text{O}(1-0)/^{12}\text{C}^{17}\text{O}(1-0)$ ratio distribution is characterized by a median of $2.2_{-0.3}^{+0.4}$ with a 16–84 percentile from $0.89_{-0.11}^{+0.14}$ to $4.2_{-0.4}^{+0.5}$, which is inconsistent with that of the Galaxy. It also shows a different behavior from the $^{13}\text{C}^{16}\text{O}(1-0)/^{12}\text{C}^{18}\text{O}(1-0)$ intensity ratio. (2) The O3N2 and Σ_{SFR} evolves with the $^{12}\text{C}^{18}\text{O}(1-0)/^{12}\text{C}^{17}\text{O}(1-0)$ ratio. These facts suggest that the observed variation of $^{12}\text{C}^{18}\text{O}(1-0)/^{12}\text{C}^{17}\text{O}(1-0)$ ratio traces the dynamical local star formation activity.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R05a NGC 1068 における Diffuse Ionized Gas の星形成率測定への影響とその分離

長嶋悠月 (福島大学, 国立天文台), 斉藤俊貴, 中西康一郎, 原田ななせ (国立天文台), 高野秀路 (日本大学), 五十嵐創 (日本大学, 国立天文台), 中島拓 (名古屋大学), 渡邊友海, 馬場一晴 (福島大学)

宇宙の歴史、特に銀河進化の歴史を調べる上で、星形成率 (SFR) は重要な指標である。しかし系外銀河においてその精密測定は容易ではない。例えば、HII 領域からの放射を用いる手法が代表的であるが、HII 領域の温度や他の放射源の寄与等により、SFR の正確な見積りは困難が伴う。さらに、赤外、可視の波長帯では塵滅光の影響が大きく、補正が必要となる。そのため、塵滅光を受けないミリ・サブミリ波帯での観測、特に高感度高分解能である ALMA での観測が重要である。近年、データ精度の向上により、電離ガスの電離源が星形成由来か否かを切り分けて特定し、抽出する手法が確立されつつある。これにより、星形成由来よりも強力 (例として AGN 由来)、および微弱な電離源 (Diffuse Ionized Gas; DIG 由来) を特定し差引くことで、従来よりも複数のトレーサーから求めた SFR に対して、矛盾が少ない SFR が報告されている (e.g., Michiyama et al. 2020)。

我々は、二つの異なる電離ガストレーサーである自由-自由放射と水素再結合線の $\text{Pa}\alpha$ を比較し、さらに DIG の影響を考慮することにより、近傍銀河の NGC 1068 における高精度の SFR マップを作成した。この天体は、 $z \sim 0$ の星形成主系列、かつ代表的な Seyfert2 渦巻銀河であり、アーカイブデータが豊富に存在する。

電波領域の自由-自由放射は塵滅光を受けない反面、強度が弱い。一方、近赤外線領域に存在する $\text{Pa}\alpha$ は強度が強いが滅光補正を必要とする。この相補的な二つのトレーサーを用い、SFR を高い精度で測定した。結果として、分子ガス円盤全体の SFR は $4.0 \pm 0.3 \text{ M}_{\odot}/\text{yr}$ となり、DIG を考慮しない $9.9 \pm 0.4 \text{ M}_{\odot}/\text{yr}$ に比べ ~ 3 倍小さい値となった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R06a NGC 1068 における主成分分析を用いたスターバーストリングの多様性の解釈

大久保宏真 (筑波大学), 斉藤俊貴 (国立天文台), 高野秀路 (日本大学), 久野成夫 (筑波大学), 原田ななせ (国立天文台), 中島拓 (名古屋大学)

銀河を構成する分子雲は星形成の場であり、その理解を深めることは、銀河進化を探求する上で必要不可欠である。分子ガスの化学組成は、温度や密度などの物理的性質や衝撃波などの動力学を反映することが知られているため、銀河の化学組成を調べることは非常に重要な役割を持つ (e.g., Harada et al. 2019)。

NGC 1068 は近傍に位置するセイファート 2 銀河であり、活動銀河核 (Active Galactic Nucleus : AGN) とリング状の爆発的星形成領域 (Starburst Ring : SBR) が存在することが知られている。これまでに多くの分子輝線が観測されている (e.g., Takano et al. 2014, Nakajima et al. 2023)。しかしその一方で、観測される分子輝線が増加したことにより、一貫した解釈が困難になっている。そこで有用な手法が、教師なし機械学習の 1 つである主成分分析 (Principal Component Analysis : PCA) である。これにより、分子輝線の寄与率から領域ごとにおける物理的/化学的性質の解釈が進むと期待される。

NGC 1068 の中心部分 ($< 1 \text{ kpc}$) はすでに PCA を実施済みだが (Saito et al. 2022)、SBR では未だ行われていない。また、この領域では多様な現象が発生していることが知られている (e.g., Rico-villas et al. 2021)。そこで我々は SBR における PCA を実施した。その結果、使用した 13 個の積分強度図の内、80% 程度は以下の (1)-(4) の 4 つの主成分マップで説明可能ということが判明した。各マップから、(1)(2) 高密度ガス、星形成の早晚、ショックを表す領域、(3) 温度の高低を表す領域、(4) 共回転半径の内外におけるショックを表す領域を抽出した。講演ではこれらの詳細を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R07a CO 複数輝線で探る相互作用銀河 NGC6240 中心領域の物理状態

工藤真奈, 奥村幸子 (日本女子大学), 齊藤俊貴 (国立天文台)

NGC6240 はへびつかい座の方向、距離 99Mpc にある相互作用銀河である。ALMA 望遠鏡による CO 複数輝線の観測データを解析し、中心領域の星間ガスの物理状態を推定することで、銀河の合体と星形成などの活動性の間にどのような関係があるのかを議論する。

解析には、ALMA cycle3 で異なる時期に取得された CO(J=1-0) と CO(J=2-1) の観測データを使用した。本研究では、2つの観測データの空間分解能を $0.8'' = 384 \text{ pc}$ に揃えた上で、CO(1-0)、CO(2-1) それぞれの輝線の積分強度図から CO(2-1)/CO(1-0) 比のマップを作成した。なお、積分強度図を作成する際のマスクのかけ方は PHANGS プロジェクト (2021) の方法を採用した。また、CO(2-1)/CO(1-0) 比の精度を検証するため、CO(1-0)、CO(2-1) それぞれの誤差マップを用いて比の誤差マップを作成し、5sigma 以上の領域の比を採用する誤差評価を行った。CO(2-1)/CO(1-0) 比のマップより、衝突した銀河核を含む半径約 1.2 kpc の中心領域で 1.3~1.7 と比が 1 を超える高い値を得た。この領域は、Max et al.(2005) の H_2 の分布と良く合っている。また、CO(1-0) の積分強度図を用いて H_2 ガス質量の推定を行い、面密度マップを作成した。面密度と CO(2-1)/CO(1-0) 比との相関を調べたところ、比が 1.3~1.7 の領域は分子ガスの面密度が 2000 太陽質量/ pc^2 以上の領域に対応していることがわかった。講演では、比と面密度の分布を H_2 や $H\alpha$ など他波長の観測結果と比較し、CO(2-1)/CO(1-0) 比が 1 を超える原因について検討した結果を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

R08a 環境効果が銀河の星形成に及ぼす影響の研究

後藤虎斗, 諸隈佳菜 (東京大学), 久野成夫

宇宙の階層構造の中で力学的平衡に達した天体としては宇宙最大の規模を誇る銀河団の内部では、銀河が他の銀河や銀河団内に充満する高温ガスとの相互作用 (潮汐力やラム圧など) によって、星の材料となる低温ガスが欠乏するため星形成が抑制される (quenching) と考えられている。つまり銀河の進化はその銀河が属する環境に大きな影響を受ける。そこで我々は、銀河内の分子ガスと星形成率の面密度との間でべき乗則が成り立つことで知られているケニカット-シュミット則 (K-S 則) をフィールド銀河、銀河団、銀河群という異なる環境に属する銀河について、kpc スケールの空間分解した K-S 則の傾きを比較することで環境効果の星形成への影響を調べた。ALMA 望遠鏡で取得された Fornax 銀河団に属する銀河 13 個、Eridanus 超銀河群に属する銀河 5 個の CO(J=1-0) データと、野辺山 45m 電波望遠鏡で取得された Nobeyama CO Atlas プロジェクト (Kuno et al. 2007) CO(J=1-0) データの中からフィールド銀河 10 個を選定し、GALEX 衛星で取得された遠紫外線 (FUV) データと WISE 衛星で取得された遠赤外線 ($22 \mu\text{m}$) データを用いて求めた星形成率面密度から、K-S 則を調べた。なおサンプルの星質量は誤差の範囲内で揃えてある。その結果 Fornax 銀河団に関する K-S 則の傾き 0.4 ± 0.14 は他の二つの K-S 則の傾き 0.7 ± 0.2 、 0.8 ± 0.18 に比べ有意に小さくなった。CO Atlas と Eridanus 超銀河群との傾きの比較では大きな違いは見られず、これは銀河群から銀河団への進化過程において環境効果の影響が大きくなることを示唆するが、用いたサンプルが多様な銀河環境を持つ Eridanus 超銀河群の中で動的に緩やかな環境に属する銀河のみであったこと、サンプル数の不足などの影響も考えられ、追っての議論が必要である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

R09a 小マゼラン銀河における位置天文衛星 Gaia を用いた大質量星候補同定

中野寛矢, 立原研悟, 玉城磨生 (名古屋大学)

大小マゼラン銀河は相互作用中の矮小銀河であり、銀河系の最近傍にあることから、最も高分解能・高感度の観測が実現できる系外銀河である。特に小マゼラン銀河の質量は大マゼラン銀河の ~10% 程度と小さいことから、内部の星間物質の分布は $\sim 2 \times 10^8 \text{ yr}$ 前に起こった近接相互作用の結果を強く反映していることが知られている。さらに、小マゼラン銀河における年齢 $\sim 2 \times 10^8 \text{ yr}$ 未満の若い星は近接相互作用を経た星間物質から形成されたと考えられ、その空間分布は星間物質と良い相関を示す。

本研究では、位置天文衛星 Gaia による均質な G 等級、 G_{BP} 等級、 G_{RP} 等級のデータから小マゼラン銀河全面とその周辺に位置する恒星の色等級図を作成し、色等級図上の領域から質量 $8M_{\odot}$ 以上の赤化が小さい大質量星候補の分離を行った。Gaia を用いることで、視線方向に垂直な方向の恒星の固有運動を得られるのが本研究の特長である。得られた 7426 個の大質量星候補の空間分布を $H\alpha$ 輝線、350 μm ダスト放射、 $H\text{I}$ 輝線と比較し、星間物質からなる構造と大質量星候補の分布の一致を確認した。また、ウイング構造や Magellanic Brige に属する大質量星候補は南西の大マゼラン銀河に向かう固有運動を示し、先行研究が指摘した若い星の運動に合致する運動をしている。よって、我々の色等級図を用いた選定によって、星間物質の運動を反映する大質量星候補の一覧を取得できたと結論付けられる。なお、本研究で得られた大質量星候補は Bonanos et al. (2010) に記載がある分光同定された O 型星・B0 型星の 85% を含む。これより、小マゼラン銀河の赤化が大きい大質量星を含む大質量星数は、大雑把に $7426/0.85 \sim 8700$ 個と見積もられる。この数は Kroupa の初期質量関数を積分して計算される $8M_{\odot}$ 以上の星の数 ~ 10000 個と 10% の差で一致しており無矛盾である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

R10b NGC 4945 の分子ガスアウトフローの複数輝線解析

瀧元健伸, 徂徠和夫, Dragan Salak (北海道大学)

銀河アウトフローによってどれほどの量のガスが流出しているのか、その中で星生成活動は行われているのかについては銀河における星生成活動を理解する上で解決すべき課題の一つになっている。この解決にあたり、分子ガスアウトフローについて複数の CO 回転励起線を用い、その密度や温度を推定し、ガスの物理的性質を推定する方法が考えられる。先行研究によると、エッジオンの近傍銀河 NGC 4945 (距離 3.8 Mpc) は 2 型の Seyfert 銀河で且つスターバースト銀河でもあり、その中心部およそ 100 pc 内から生じている分子ガスアウトフローでは CO 分子の他、 HCO^+ や HCN といった分子が検出されたことが報告されており、この分子ガスアウトフローには星が生成され得る高密度領域の存在が示唆されている。

本研究では、NGC 4945 の分子ガスアウトフローについて、Atacama Large Millimeter/submillimeter Array サイエンスアーカイブから、 $^{12}\text{CO } J=1-0, 2-1, 3-2$ 輝線及び、 $^{13}\text{CO } J=2-1$ 輝線のデータを使用し、分子ガスの物理的性質について調査を行った。これら 4 本のスペクトル線のデータについて、空間分解能は $1.09'' \times 0.89''$ (実スケールでおよそ $20 \text{ pc} \times 16 \text{ pc}$ に相当) に、速度分解能は 10 km s^{-1} に揃えて輝線強度を比較した。銀河円盤成分と明確に区別できる南側のアウトフローの視線速度が 794 km s^{-1} から 875 km s^{-1} までの範囲を積分して輝線強度比を求めたところ、 $^{12}\text{CO } (J=2-1) / ^{12}\text{CO } (J=1-0) = 3.4 \pm 0.6$, $^{12}\text{CO } (J=3-2) / ^{12}\text{CO } (J=2-1) = 1.2 \pm 0.2$, $^{13}\text{CO } (J=2-1) / ^{12}\text{CO } (J=2-1) = 0.007 \pm 0.004$ であった。この結果から、分子ガスアウトフロー内のガスは高励起状態であるということがわかり、高温もしくは高密度状態である可能性を示す。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

R11b すざく衛星による楕円銀河 NGC5128 のプラズマガス温度構造

浦田岬, 深澤泰司, 榎木大修 (広島大学)

銀河中心には巨大質量ブラックホール (以下 BH) が存在するとされており、BH の重力によって周囲の物質が降着している。質量降着率が高いときには、BH 周辺は X 線で極めて明るく輝いており、この明るく輝く領域は活動銀河核 (AGN) と呼ばれている。また、BH 近傍から物質が光速に近い速度で外側に吹き出す「ジェット」と呼ばれる現象も起きている。銀河内外の高温ガスはジェット現象により擾乱されていると考えられている。楕円銀河 NGC5128 (Cen.A) は近傍 ($z=0.001825$) に存在し、AGN とジェットの構造が見えやすい天体として知られている。また、過去に打ち上げられた X 線天文衛星により多数観測されている天体でもある。本研究ではこの NGC5128 をターゲット天体として、日本の X 線天文衛星「すざく」が観測した X 線スペクトルから、銀河内のプラズマ温度分布について解析を行った。まず、解析領域を銀河中心から同心円状にとり、銀河中心からの距離によって温度がどのように変化するかを調べた。その結果、NGC5128 は中心 $0.2'$ 領域においてガス温度が約 0.7 keV 程度で、 $2'-4', 4'-6'$ 領域では 0.3 keV 程度のガス温度分布を持つことがわかり、前年会で報告した XMM-Newton データでの解析結果と一致した。本講演では、方位角方向の温度分布とジェットの関係について、前年会で XMM-Newton の解析結果とも比較しながら、ジェットと高温ガス温度の相関について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

R12b 小マゼラン銀河における大質量星候補を用いた星団同定

中野覚矢, 立原研悟, 玉城磨生 (名古屋大学)

大質量星形成過程には未解明な部分も多いが、大質量星の多くは星団として形成されると考えられている。大質量星を含む星団の形成過程を明らかにするには、銀河全面に渡る星団を観測し、統計的なデータを得なければならない。銀河全面の観測を行うにあたって最適観測対象は大小マゼラン銀河である。大小マゼラン銀河は銀河系の最近傍に位置し、視線方向に銀河系中心が重ならないため、銀河全体で高精度な観測を実現できる。我々は大小マゼラン銀河それぞれにおいて *Gaia* の均一な観測結果から色等級図を作成することで、銀河全面に渡る質量 $8M_{\odot}$ 以上の大質量星候補の一覧を取得している (2023 年秋季年会, 玉城 他; 2024 年春季年会, 中野 他)。

本研究では、我々が取得した大質量星候補を用いて小マゼラン銀河で星団同定を行った。まず、大質量星候補の空間分布から、DBSCAN アルゴリズムを用いて個数密度 $\geq 7.5 \times 10^{-3} \text{ pc}^{-2}$ を満たす 60 個の集団を星団候補として得た。ただし、DBSCAN で得た星団候補には、視線方向の重なりや、銀河内を運動するうちに大質量星候補が偶然に 1 か所に集まったものも含まれる。そこで、60 個の星団候補に対して、フリーパラメータとして 1. 星団の年齢, 2. 星団の赤化量 (A_V), 3. 星団までの距離を用いた等時線フィッティングを行い、単一の等時線に乗る 48 個を星団として同定した。48 個の星団のパラメータの中央値はそれぞれ 18.4 Myr , 0.15 mag , 66 kpc である。パー構造の南西やウイング構造の星団は比較的年齢が若い傾向にあり、ウイング構造で若い恒星が支配的であるとする先行研究に整合する。星団の年齢と赤化量は強い負の相関 (相関係数 $r = -0.796$) を示し、星団の母体となる巨大分子雲の散逸過程に対応する可能性がある。また、星団の距離は南東で近く、北西で遠くなる傾向があり、南東の小マゼラン銀河から潮汐力を受けて小マゼラン銀河が引き伸ばされている描像に一致する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

R13a Astrometry of the Nuclear Star Cluster using ALMA II

Masato Tsuboi (Meisei Univ.), Masaki Sakurai (Meisei Univ.), Takahiro Tsutsumi (NRAO), Makoto Miyoshi (NAOJ), Ryosuke Miyawaki (J. F. Oberlin Univ.)

Sgr A* is the nucleus of the nearest barred spiral galaxy, the Milky Way. It harbors a supermassive black hole of $4.2 \times 10^6 M_{\odot}$, which is called the Galactic Center Black Hole (GCBH). The IR observations in the last three decades have revealed that there are many massive stars (almost WR and O stars) around the GCBH. They are called the Nuclear Star Cluster (NSC). It is important to measure the positions and proper motions of the member stars in the NSC because they are related to their origins. ALMA is capable of determining the positions of the member stars relative to Sgr A* with an accuracy better than 1 milli-arcsecond. We have already reported the first results, such as the streaming motions of star clusters, with ALMA in 2021 (Tsuboi et al. PASJ 2022). However, the results were obtained by comparing between only two observations (ALMA 2017.1.00503.S and ALMA 2018.1.01124.S).

There are more than 10 observations with the angular resolution of $\lesssim 0.1''$ in the ALMA Science Archive. We have analyzed these abundant ALMA data to determine the proper motions and accelerations of the NSC member stars. The long-term trajectories of the proper motions are also essential information in the search for intermediate-mass black holes, which are expected to reside in the Galactic Center region. We will present the progress of the astrometry of the NSC using ALMA.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R14a Clues to growth and disruption of two neighbouring spiral arms of the Milky Way

船越菜月, 河田大介 (Mullard Space Science Laboratory, University College London), 松永典之, 藤井通子 (東京大学), 馬場淳一 (鹿児島大学, NAOJ), 谷口大輔 (NAOJ)

渦巻き腕の性質を研究することは、天の川銀河の複雑な構造形成を理解するために不可欠である。近年、ESA の Gaia 位置天文衛星は天の川銀河の星の詳細な運動学的特徴を明らかにする革新的な観測データを提供してきているが、天の川銀河の主な構成要素の一つである渦巻き腕の性質については観測的な研究の不足により今なお謎のままである。本講演では Gaia DR3 のデータと古典的セフィイドカタログのクロスマッチによって可能になった天の川銀河のペルセウスアームとアウトアームの周辺セフィイドの運動学的な解析の結果を紹介する。セフィイド変光星の周期-光度関係による精度の良い距離推定は天の川銀河円盤の広い領域を観測的にカバーすることを可能にし、ペルセウスアームとアウトアームの運動学的性質を初めて明らかにした。その結果、ペルセウスアーム周辺のセフィイドは半径方向速度と方位角方向速度の間に正の相関があり、アウトアーム周辺では逆に負の相関があることがわかった。さらに Milky Way-like な N 体シミュレーションと比較し、ペルセウスアームの周囲で観測された恒星の運動構造は崩壊しつつある渦状腕、アウトアームは成長しつつある渦状腕で自然に説明できることを示した。この結果は、天の川銀河には成長期と崩壊期という異なる進化段階にある 2 つの渦巻き腕が共存していることを示唆している。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R15a 棒渦巻銀河 M83 における大局的速度場から逸脱した高速度分子雲の発見

長田真季 (九州大学), 前田郁弥, 江草美実, 諸隈佳菜, 河野孝太郎 (東京大学), 徳田一起 (九州大学/国立天文台), 幸田仁 (ニューヨーク州立大学)

銀河における星間物質は一般的に、超新星爆発や H II 領域の膨張など大質量星のフィードバック、および渦状腕の動力学や外部からのガスの流入など極めて動的な環境下に晒されている。これらは大局的な速度場 (例えば銀河回転) とは数 10 km s^{-1} 以上異なる速度差を持つものも知られており、ガス雲同士の衝突による星形成の誘発や銀河噴水による物質循環など銀河進化に本質的な影響を及ぼす可能性がある。我々の銀河系ではそのような高速度な成分を持つ分子ガスがどの程度存在するかを包括的/定量的に調べることは困難であるため、近傍銀河を鳥瞰しつつ、分子雲を空間分解した観測が重要となる。本研究では近傍渦巻銀河 M83 に着目する。これは銀河系と比較的似た構造を持つとされる銀河であることと、ALMA の観測で取得された空間分解能 40 pc 、速度分解能 5 km s^{-1} で分子ガスの層をほぼ全面観測した CO(1-0) データ (Koda et al. 2023) が利用可能なためである。検出質量限界は $\sim 10^4 M_{\odot}$ であり高い感度で分子雲探査が可能である。まず、大局的な速度場を導出するため、分解能を 400 pc までスムージングすることにより平均速度場を求めた。そして astrodendro アルゴリズム (Rosolowsky et al. 2008) で同定された構造のうち、平均速度場からのずれが極めて大きい (50 km s^{-1} 以上) ガス塊を 16 個見出した。これらの高速度分子雲は銀河中心付近だけでなく、円盤部の渦巻腕付近などにも点在する。また、分子雲半径が $20\text{--}80 \text{ pc}$ 、質量が $10^4\text{--}10^6 M_{\odot}$ 、速度分散が $2\text{--}20 \text{ km s}^{-1}$ に渡り、M83 内の他の分子雲と比較すると速度分散が大きい傾向にあることがわかった。これらの性質と星形成率などとの比較から、高速度分子雲の起源について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R16a 分子の存在比を考慮したモデルによる様々な分子輝線と星形成率の関係

西村優里 (東京大学), 原田ななせ (国立天文台)

銀河の星形成率と含まれているガスとの間には、冪乗則で表される関係が成り立つ ($SFR \propto \rho_{\text{gas}}^N$; Schmidt 1959)。星形成率の指標として赤外線光度、ガスの指標として分子輝線の光度を用いると、冪の指数 N は CO $J=1-0$ 輝線ではおよそ 1.4 (Kennicutt 1998)、HCN $J=1-0$ 輝線ではおよそ 1.0 (Gao & Solomon 2004) となるのがこれまでの観測的研究で知られている。近年、観測の感度向上によってさらに多数の分子種の輝線でこの関係が調べられるようになりつつある中で、銀河系内にある分子雲の 10–100 pc スケールのマッピング観測によって、密度や紫外線輻射などの物理状態と各々の分子輝線の空間分布との関係をより詳しく調べる研究も盛んになっている。

そこで本研究では、銀河中のガス密度の確率分布の関数形を対数正規分布 (高密度側に冪分布を加える場合もある) とするモデルに、銀河系内分子雲の観測で得られた分子の存在量の知見を組み合わせ、より多数の分子種の様々な遷移について、予測される輝線の光度を非局所熱平衡の輻射輸送計算コード RADEX を用いて計算した。分子の存在量については、低密度領域での光解離と高密度領域での星間塵への吸着の効果を検討し、簡便な計算で扱える範囲でより実際に近い密度依存性を持たせるようにした。CO や HCN に加えて、光解離領域で増加する分子種 (CN, CCH) や高密度領域で増加する分子種 (N_2H^+) など、系外銀河観測で一般によく検出される分子輝線で、赤外線光度との関係を調べた。結果として、分子種ごと、遷移ごとに予期される冪の指数 N や分散の大きさには異なる傾向が見られた。例えば、HCN $J=4-3$ などの高励起遷移ではガスの温度の影響が最も顕著に現れる一方、高密度ガスの含まれる割合には $N_2H^+ J=1-0$ が最も敏感に振る舞うことが示唆された。この結果は、今後より一層増えていくだろう近傍銀河の様々な分子輝線の観測データの解釈に資すると期待できる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

R17a 棒渦巻銀河 M83 における希薄分子ガスの空間分布とその集積機構

松坂伶, 半田利弘, 柴田洋佑, 天野諒, 池田智喜, 笠井梨名, 山口智輝 (鹿児島大学), 江草実美, 前田郁弥 (東京大学), 藤本裕輔 (会津大学), 村瀬建 (岐阜大学)

巨大分子雲が銀河内部でどのように誕生し星形成を行うか、その進化過程を明らかにすることは極めて重要である。一方で、高密度 ($n(H_2) \geq 10^3 \text{ cm}^{-3}$) ガスの集合である巨大分子雲が形成されるには、低密度 ($n(H_2) \sim 10^{1-2} \text{ cm}^{-3}$) で銀河内に広がった希薄ガスを集積させる必要があるが、kpc スケールの構造による dynamics で集積するか、星形成 feedback で集積するか、どちらが支配的なのかはわかっていない。また、希薄ガスが銀河のどこに、どの程度存在するのかということ自体未解明である。本講演では希薄ガスを定量的に調査するための強力なツールである、ガス密度頻度分布 (Gas Density Histogram: GDH) を紹介する。2022 年秋講演では、希薄ガスに最も感度がある天の川銀河での GDH を用いた調査結果を報告しているが、完全な edge-on 銀河であるため、希薄ガスの空間分布やその集積について議論することが難しい。そこで、近傍 face-on 銀河である M83 に着目した研究を行った。M83 は天の川銀河と似た性質を持つことが示唆されており、比較対象としても最適である。GDH に基づく希薄ガスの量は、M83 全体の半分程度の質量を占めることがわかり、空間分布は inter-arm から arm に近づくに連れて変化していることがわかった。さらに、全ガス量に対する高密度ガスの量も増加していた。これは、渦状腕上で希薄ガスから高密度ガスが形成されることを示唆する重要な結果である。また、星形成 feedback による高密度ガス形成に関しても議論する。SNR や HII 領域、星団のカタログを元に feedback area を定義し non-feedback area と比較した。その結果、星形成 feedback による高密度ガス形成は確認されなかった。従って、sub-kpc スケールの分子ガスを集積させるためには星形成 feedback だけでは不十分であり、dynamical な影響が重要だと考えられる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

R18a 近傍渦巻銀河 M74 における GMC の Type 分類と進化の解釈

出町史夏¹, 福井康雄¹, 山田麟¹, 立原研悟¹, 徳田一起^{2,3}, 藤田真司⁴, 小林将人⁵, 村岡和幸⁶, 小西亜侑⁶, 柘植紀節⁴, 大西利和⁶, 河村晶子³ (1: 名古屋大学, 2: 九州大学, 3: 国立天文台, 4: 東京大学, 5: ケルン大学, 6: 大阪公立大学)

銀河における星形成の主要な舞台は巨大分子雲 (GMC) であるため、GMC 進化の理解は銀河進化を理解する上で欠かすことができない。銀河全体の GMC を星形成の活発度に基づいて分類し、GMC の進化段階として解釈する “Type 分類” が LMC で提案されたが (Fukui et al. 1999)、局所銀河群の矮小銀河である LMC と M33 に適用例が限定されていた。我々は Type 分類の普遍性の確立を目指して、10–20 Mpc の距離の銀河への拡張を進めている。幅広い距離の銀河に Type 分類を適用するため、遠方でも明るく観測が可能な $H\alpha$ 光度に基づいて GMC を分類した; Type I: 星形成の兆候を示さない GMC, Type II: $H\alpha$ 光度 ($L_{H\alpha}$) $< 10^{37.5} \text{ erg s}^{-1}$ の HII 領域が付随する GMC, Type III: $L_{H\alpha} > 10^{37.5} \text{ erg s}^{-1}$ の HII 領域が付随する GMC。出町他 2023 年秋季年会では、この分類手法を 10–20 Mpc の近傍銀河 4 個に適用し、GMC で形成される O 型星の個数と $H\alpha$ 光度が対応する可能性を報告したが、 $H\alpha$ の減光の効果は十分に議論されていなかった。そこで、PHANGS プロジェクトの CO, $H\alpha$ で同定、分類された M74 の GMC と、 $H\alpha$ より減光が小さい JWST の $21 \mu\text{m}$ との比較を行い、 $H\alpha$ 光度に基づいた分類の有効性を検証した。その結果、1) Type I の 35% に $21 \mu\text{m}$ が付随し、それらは Type I の中でも質量が大きいこと、2) $21 \mu\text{m}$ で減光補正した $H\alpha$ 光度 ($L_{H\alpha, \text{cor}}$) と補正前の $H\alpha$ 光度 ($L_{H\alpha, \text{obs}}$) の比 $L_{H\alpha, \text{cor}}/L_{H\alpha, \text{obs}}$ は、Type II の方が Type III より大きい傾向であること、3) $H\alpha$ と $21 \mu\text{m}$ の光度に正の相関があることがわかった。講演では、これらの結果から Type 分類の有効性と、埋もれた星形成を含めた GMC 進化の描像について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

R19a 重力レンズ効果を用いた銀河磁場観測のシミュレーション III

大前陸人 (総研大/国立天文台), 赤堀卓也 (国立天文台), 町田真美 (国立天文台)

銀河磁場進化を理解するために宇宙の各年代にある銀河の磁場を観測することが不可欠である。近年、重力レンズ効果を受けたクエーサーの偏波から遠方銀河の磁場構造が検出できると報告された (Mao ら 2017)。重力レンズ銀河の磁場観測は、電波シンクロトロン放射の観測では難しい銀河磁場の宇宙論的進化を探る将来の有力な方法として期待される。

現在、SKA 先行機を用いた偏波全天観測が始まっており、重力レンズ効果を受けた偏波源の検出が期待される。しかしながら、それらの観測では重力レンズ天体を空間分解できない。我々は理想的なデータの場合には、空間分解能以下の重力レンズ銀河の RM の平均や分散を切り分けが可能であることを示した (2023 春季年会)。本講演では、異なる重力レンズ銀河のポテンシャルのもとで、RM の平均や分散がどのような依存性を示すかを統計的に調査した。RM を抽出できる条件は、2つの経路がそれぞれ異なる RM 構造を持っており、それぞれの経路内で磁場の反転がない場合である。判別できない場合は様々な要因があるが、主に (1) 2つの経路がそれぞれ異なる RM 構造を持っており、経路内で磁場の反転がある場合、(2) 磁場の反転領域を通過していないが、2つの経路が同じ程度の RM を引き起こす場合が考えられる。1つの経路が円盤から離れた領域で、もう一方の経路が中心付近の1つの磁気腕上にある場合は RM 構造を取り出しやすい。

さらに、本結果を用いて SKA 先行機の偏波観測でどの程度観測できうるのかも議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

R20a 銀河のガス物理量と前景ダスト減光量を分光データから一括同定する新手法

植田稔也 (デンバー大学), 大塚雅昭 (京大岡山天文台)

観測天文学において、減光 (天体周辺、星間、銀河間すべて) はほぼ避けられない問題である。特に、輝線天体の物理状態をプラズマ解析を用いて診断する場合、減光補正の精度がその後のプラズマ解析の精度に影響することは言うまでもない。しかし、減光量の見積りにはターゲット輝線天体の物理状態を知っておく必要があるため、「鶏が先か、卵が先か」のジレンマに陥ってしまう。

我々は、ターゲットである近傍・遠方銀河 (もしくは天の川内の輝線天体) のスペクトルを取得した際に、水素再結合線が最低 4 本検知されていれば、そのターゲットの輝線領域の前景減光量 ($c(H\beta)$) と規格化された選択減光 (R_V)、並びに、銀河プラズマガスの電子温度 (n_e) と電子密度 (T_e) を、無矛盾で一括同定する方法を開発した。この解法は、どの減光則を採用するかさえ決定すれば、目標天体のスペクトルデータ以外の情報は一切必要無く、減光補正とプラズマ解析の相互依存性を最大限に利用して、双方の最適解を包括的に求めることができるという画期的なものである。

前景減光については、ターゲット天体への視線上の母銀河・銀河間・天の川銀河のダスト減光について考慮している。また、ターゲット天体への視線方向ごとに減光量を特定できるという柔軟性もある。モデルの模擬実験により、輝線強度の観測精度が数%の場合、減光パラメータについては 10%程度、特に T_e については同等の精度で解が求まることが検証された。本講演では、この画期的な輝線天体に対する減光補正・プラズマ解析包括的無矛盾一括解法について解説する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

S01a 活動銀河核円盤風によるガンマ線放射

坂井延行, 山田知也, 井上芳幸 (大阪大学)

ガンマ線観測技術の進展に伴い、相対論的ジェットを伴わない活動銀河核からの高エネルギーガンマ線の存在が報告されている。これらのガンマ線放射は、光速の 10-30% で広い立体角に物質が噴出する超高速アウトフロー (Ultra-Fast Outflow; UFO) を持つ活動銀河核に付随する傾向が見られ、UFO からのガンマ線放射の理解は新たな注目を集めている (Ajello et al. 2021)。これまでの理論研究からは、UFO と星間物質の衝突により加速された粒子がガンマ線放射の主要な源であることが示唆されている (Lamastra et al. 2016) が、モデルパラメータの不定性が問題となっていた。

そこで本研究では、電波データとの比較を取り入れ、これまでのガンマ線放射モデルを改良し、より現実的なモデルを構築した。そして、そのモデルをガンマ線が検出された NGC 1068 および Tombesi et al. 2010 で UFO の存在が報告されている 11 個の AGN に適用した。結果の一例として、我々のモデルは NGC 1068 の Fermi 衛星によるガンマ線データを再現することに成功した。本講演では、そのほかの 11 天体の比較結果についても詳細に報告する。また、将来の CTA 観測で検出が期待される UFO 天体についての詳細な議論と、宇宙ガンマ線・ニュートリノ背景放射への寄与に関する結果も発表する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

S02a [O IV] and [Ne V]-weak AGNs Hidden by Compton-thick Material in Late Mergers

Yamada, S.(RIKEN), Ueda, Y.(Kyoto U.), Kawamuro, T.(RIKEN), Ricci, C.(UDP), Toba, Y., Imanishi, M.(NAOJ), Miyaji, T., Herrera-Endoqui, M.(UNAM), Tanimoto, A.(Kagoshima U.), Ichikawa, K.(Waseda U.), Ogawa, S.(JAXA), Uematsu, R.(Kyoto U.), Wada, K.(Kagoshima U.)

We study “buried” AGNs with dense circumnuclear material in U/LIRGs, which show weak or no ionized lines from NLRs due to optically-thick material in almost all directions. Employing a new indicator of [O IV] 25.89- μm line to 12- μm AGN luminosity ratio derived from infrared spectra and spectral energy distributions, respectively, we find 15 buried AGN candidates that are [O IV]-weak ($L_{[\text{O IV}]}/L_{12,\text{AGN}} \leq -3$) among 36 AGNs in local U/LIRGs. For the [O IV]-weak AGNs, we estimate their covering factors of Compton-thick (CT) material with XCLUMPY model to be $f_{\text{CT}}^{(\text{obs})} = 0.55 \pm 0.19$ on average. This value is consistent with the fraction of CT AGNs ($f_{\text{CT}}^{(\text{stat})} = 53 \pm 12\%$) in [O IV]-weak AGNs in U/LIRGs and much larger than that in Swift/BAT AGNs ($23 \pm 6\%$). The fraction of [O IV]-weak AGNs increases from $27_{-10}^{+13}\%$ (early) to $66_{-12}^{+10}\%$ (late mergers). The [O IV]-weak AGNs with Eddington ratios close to the effective Eddington limit for CT material ($\log \lambda_{\text{Edd}}^{\text{eff}} \sim -1$) show the highest $f_{\text{CT}}^{(\text{obs})}$ ($\sim 0.4-1.0$) and largest line-of-sight N_{H} ($\gtrsim 10^{25} \text{ cm}^{-2}$) in late mergers. Similar results are obtained with the [Ne V] 14.32- μm line. These suggest that (1) the circumnuclear material in buried AGNs are regulated by the AGN-driven radiation pressure on the CT obscurers, and (2) dense material found in buried AGNs with large $f_{\text{CT}}^{(\text{obs})}$ ($\sim 0.5 \pm 0.1$) in U/LIRGs is a likely cause of a unique structure of buried AGNs and the amount of material may be maintained through continuous supply from their host galaxies.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

S03a 超高光度赤外線銀河 IRAS 01004–2237 に検出した活動電波源候補

林隆之 (麻布中学校・高等学校, 国立天文台), 萩原喜昭 (東洋大学), 今西昌俊 (国立天文台)

赤外線で $10^{12} L_{\odot}$ 以上の光度を示す銀河を超高光度赤外線銀河 (ULIRG) と呼ぶ。ULIRG は銀河同士の衝突現象に付随することが多い。低赤方偏移の ULIRG に関する観測研究は、高赤方偏移での星形成の理解にもつながり、銀河の宇宙論的進化を紐解く手がかりとなる。ここで、ULIRG の中心領域はダストで覆われており、可視光線に加え、電波をはじめとした多波長の情報を総合することで、活動の全容を把握することができる。

IRAS 01004–2237 は、可視光の分光観測で Seyfert 2 型に分類される ULIRG である。本天体は、可視光線ではクエーサーを彷彿させる点源を示し、ダストに覆われ星形成を活発におこなう ULIRG が晴れ上がり、クエーサーに移行する途上にあると推察できる。我々は、2015–16 年に Jansky Very Large Array による分解能 5 秒角スケールの多周波観測を実施し、約 100 kpc にわたって双対に広がる電波放射が見つけた。このような広がった電波放射は、活動銀河核 (AGN) からのジェットがつくりだすローブ構造か、もしくは銀河団に付随するミニハローだと考えられている (2022 年春季年会 S16a, Hayashi et al., 2021, MNRAS, 504, 2675)。この電波放射の起源を探るべく、我々は Very Long Baseline Array による分解能 ミリ秒角スケールの多周波観測を 2022 年に実施した。結果、8.4 GHz では積分強度 $556 \mu\text{Jy}$ 、輝度温度 $> 10^{7.2} \text{ K}$ の点源を、信号雑音比 10 程度で検出できた。一方、2.3 GHz ではこの点源を検出できず、積分強度について、画像の熱的雑音から 3σ の上限値として $477 \mu\text{Jy}$ を得た。この電波源は、光学的に厚い非熱的放射源であり、AGN 電波源の候補である。以上の知見を総合すると、本天体では、銀河同士の衝突現象により一度は励起された星形成が、100 kpc スケールのローブ構造をつくるジェットをとまなう AGN の活動により抑制されており、本天体は radio-mode フィードバックの現場である可能性がある。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

S04a 活動銀河核ジェット根元の偏光フリップ・反転から探る非熱的電子

恒任優 (ハーバード大学)、川島朋尚 (東京大学)、大須賀健 (筑波大学)、嶺重慎 (京都大学)

近年では超長基線電波干渉計の発展により、活動銀河核ジェットの最内縁部である超大質量ブラックホール直近からの放射を直接撮像することが可能となった。とりわけその偏光成分はジェット駆動の鍵となる磁場構造を反映しており、ブラックホールによるプラズマ加速機構の解明にあたり強力な手がかりとなる。シンクロトロンによる偏光放射の興味深い性質として、熱的電子と非熱的電子とで光学的に厚いプラズマからの成分が大きく異なることが指摘されている。つまり、熱的電子ではシンクロトロン電子の自己吸収により放射が無偏光化される一方で、非熱的電子では光学的に薄い場合とは反転した偏光成分が得られる。

我々はこの性質に着目し、活動銀河核ジェットの準解析的モデルに基づいた輻射輸送計算を行った。その結果得られた偏光画像では、ミリ波帯でジェットの根元、特に観測者から遠ざかるカウンタージェット側で90度回転した直線偏光ベクトル(偏光フリップ)と反転した円偏光成分が現れた。この結果は光学的に厚い根元からの放射が、カウンター側では前景の光学的に薄い放射成分に比べ強いことに起因する。さらに我々は、概して光学的に薄いはずの短波長側でも、光子リングからの光は強い一般相対論的光路湾曲効果によって部分的に光学的に厚くなり、やはり偏光フリップと反転を示すことを発見した。これらの結果は、高分解能の観測において偏光成分と磁場構造の関係の解釈に注意が必要であることを示す。また同時に、偏光のフリップと反転という際立った特徴からブラックホール直近のプラズマ粒子の組成、ひいては非熱的粒子の注入・加速機構が探査可能であることを提示するものである。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)[スケジュール\(全体\)に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

S05a 量子機械学習を用いた超巨大ブラックホール由来の異常 X 線変動の探査

川室太希 (理研)、山田真也、酒井優輔 (立教大学)、長瀧重博、原田了、樋口諒、松浦俊司、山田智史 (理研)、松田孟留 (東大)

活動銀河核 (AGN) の X 線放射は、数時間から数年といった様々な時間尺度で変動するが、超巨大ブラックホール (SMBH) に由来する他の現象、例えば星潮汐破壊現象や Quasi-periodic eruption (QPE) は、それとは異なる振る舞いを示す。これらの発生頻度は小さいが、SMBH への質量降着には様々なパスがあり、異常変動の検出が SMBH への降着メカニズムの完全理解に重要であると示している。そこで、未知の変動も含めてより大きなサンプルを構築し、理解を深めるには探査手法の検討が重要である。候補の一つとして機械学習が考えられるが、中でも、我々は特に量子コンピュータもしくは量子回路を想定した量子機械学習の可能性を模索している。

我々は第一歩として、AGN の典型的な変動の模擬観測データを教師として、それらに QPE 現象が加わったものを異常データとして異常が検出できるかを検証した。教師データの作成には、AGN に典型的な Power spectrum density を仮定し、Timmer & Koenig (1995) に則り光度曲線を再構築した。QPE に関しては、5 天体から観測された QPEs を強度、継続時間、そして duty cycle で特徴づけを行い、それらの頻度分布をもとに様々な QPE データを作成した。学習には、短期的な情報に更に長期のトレンドも考慮できる Long Short-Term Memory ネットワークを用いた。量子機械学習では、特徴量 (フラックス値) を量子ビットの 2 状態 ($|0\rangle$ と $|1\rangle$) の複素振幅に埋め込み、それらが複素球面上でどのように時間変化すべきかを学習させる。結果、古典学習と同様の精度が量子学習でも達成できた。さらに、弱い QPE のようなフレアの検出可能性を調査したところ、約 2 倍ほど明るくなった場合には約 90% の確率で検出できることがわかった。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)[スケジュール\(全体\)に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

S06a ALMA Lensing Cluster Survey: 暗いサブミリ波銀河中における埋もれた AGN の評価

植松亮祐、上田佳宏 (京都大学)、河野孝太郎 (東京大学)、鳥羽儀樹 (NAOJ)、山田智史 (RIKEN)、梅畑豪紀 (名古屋大学)、藤本征史 (テキサス大学)、廿日出文洋 (東京大学)、and ALCS collaboration

銀河と超巨大ブラックホールの共進化を理解する上で、遠方サブミリ波銀河は重要な種族である。なぜなら、サブミリ波銀河は星形成が極めて活発であり、銀河が急速に成長する現場であるためである。また、星形成の激しい銀河では埋もれた活動銀河核 (AGN) が発現する可能性が指摘されており、AGN の駆動機構を調査する上でも重要な種族であると言える。本研究に先立ち我々は、重力レンズ領域を対象とした ALMA サーベイ (ALMA Lensing Cluster Survey; ALCS) を行った。本サーベイは、重力レンズ効果により極めて深い検出感度を実現しており、 $z \sim 0.5-6$ において 180 のミリ波天体を検出している。本研究では、これらの暗いサブミリ波銀河に対し、紫外線からサブミリ波までの多波長 SED 解析を行った。本講演では、その結果の中でも AGN に関する議論を行う。SED 解析の結果、Chandra 衛星による X 線観測から同定された 3 つの AGN の他に、X 線で検出されていない 6 つの AGN 候補を発見することに成功した。X 線の上限から、これらの AGN は激しい吸収を受けていることが示唆された。また、これらの AGN から得られた AGN の光度密度は、従来の X 線サーベイ ($< 10 \text{ keV}$) から得られた結果と比較し、 $z = 2-3$ において 0.5 dex 以上の超過を示した。この結果は、 $z = 2-3$ において、埋もれた AGN が相当数存在し、従来の X 線サーベイ ($< 10 \text{ keV}$) では見落とされていた可能性を示唆する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)[スケジュール\(全体\)に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

S07a High-resolution imaging of sub-millimeter water masers in the nuclear region of Circinus Galaxy with ALMA

Yoshiaki Hagiwara (Toyo University)

The recent results of imaging sub-millimeter water masers in the transitions of 183 and 321 GHz towards the active nucleus of Circinus Galaxy using ALMA are presented. Prior to this talk, the nature and partly resolved structure of the 321 GHz maser at 0.3 arcsec angular resolution with ALMA in the galaxy were presented (Japan Astronomical Society Spring Meeting, Hagiwara et al., 2022, S20a; Hagiwara et al. 2021, ApJ, 923, 251). As a result of the analysis of new data observed at the resolution of 0.022 arcsec, corresponding to ~ 0.46 pc, the 321 GHz water maser exhibits nearly symmetrically Doppler-shifted velocity features with respect to the systemic velocity of the galaxy. Since the velocity range of the 321 GHz maser emission largely overlaps that of the 22 GHz maser, it is likely that the both masers are originated from the same region in the galaxy. Similarly, the 183 GHz maser exhibits Doppler-shifted velocity features. Based on the velocity gradient of the 183 GHz maser observed at ~ 0.045 arcsec resolution (~ 0.9 pc), we estimated a dynamical mass at center of the galaxy, which is comparable with the mass including stars and gas inside a radius of 140 pc ($3.2 \times 10^8 M_{\odot}$). The sub-millimeter water masers in the Circinus Galaxy could make possible the detailed study of the dynamics of a region within ~ 0.1 pc from a central engine and accurate mass measurement of a super massive black hole through sub-millimeter VLBI observations.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S08a 広帯域 X 線観測で探る電波銀河の中心核構造 II

中谷友哉, 上田佳宏, 植松亮祐, 瀬戸口健太 (京都大学), 小川翔司 (JAXA)

活動銀河核 (Active Galactic Nuclei; AGN) の構造は、巨大ブラックホール (Supermassive Black Hole; SMBH) と母銀河との共進化を理解する上で重要である。AGN 全体の約 10% は電波で輝く強いジェットをもっており、電波銀河と呼ばれる。電波銀河の SMBH 周囲の降着円盤・トーラスの構造を解明することは、相対論的ジェットの起源や母銀河へのフィードバックの理解の基礎となる。我々は、透過力に優れた X 線を用いて、Swift/BAT による硬 X 線サーベイで検出された電波銀河の中心核構造を系統的に調査している。Nakatani et al. (2023) では、吸収を受けた 2 型電波銀河のトーラス構造 (立体角) が、強いジェットを持たない AGN と比べて、同じエディントン比の範囲では有意に違わないことを示した。

本研究では、電波銀河の降着円盤の構造を明らかにするために、X 線天文衛星「すざく」、NuSTAR、XMM-Newton による質の良い広帯域同時観測データがある 1 型電波銀河 3 天体に対して、X 線スペクトル解析 (0.5–80 keV) を行った。降着円盤とトーラスそれぞれからの反射スペクトルを、相対論的降着円盤反射モデル RELXILL、クランプ状トーラスモデル XCLUMPY を用いて再現した。Ricci et al. (2017) の関係を用いて、エディントン比からトーラス立体角を推定し、XCLUMPY のパラメータを仮定することで、二つの反射成分を分離した。その結果、3 天体のうち 2 天体から、降着円盤からの反射成分が有意に検出された。電波ジェットをもたない 1 型 AGN と比較して、円盤による反射強度が弱いことから、電波銀河の標準降着円盤はより大きな半径で途切れている可能性が示唆される。本講演では、解析の詳細を紹介し、示唆される結果について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S09a X 線衛星 Chandra による電波銀河 M87 のジェットからの熱的放射

大曾根聡子 (元産総研)

X 線衛星 *Chandra* は高い位置分解能 (0.5 arc second) により電波銀河 M87 のジェット (20 arc second length) を調べることができる。2018 年までの CCD のアーカイブデータ (積算観測時間 800 ks) を用いて、M87 のジェットと星間物質との相互作用として、エネルギースペクトル解析でノット A からの熱的成分の検出を報告してきた。しかし、用いた Calibration data では 2017 年以降の光学フィルターの吸収の見積りが過剰であると報告された (Plucinsky et al. 2018)。新しい Calibration data を用いて同じデータを用いて解析をやり直した。その結果、ノット A からのエネルギースペクトルは電子のシンクロトロン放射である power law だけでは説明つかず、高い有意性で熱的成分の必要性を確認した。metal を含む熱的制動放射である apec モデルを追加するとうまく説明でき、温度は 0.2 keV で metal abundance は 0.00 solar である。金属の組成は自由にすると誤差が大きくて制限できなかった。ノット HST-1 についても今回初めて 3.9 sigma で熱的放射の必要性を検出した。古い calibration data で得られていた、power law のべきや apec モデルの温度の異常性は改善された。M87 を含む Virgo 銀河団のガスは 1 solar である (Belsole et al. 2001) ので、ノット A から検出された熱的成分はジェット内のプラズマと考えられる。宇宙線の起源のひとつに電波銀河がある。宇宙線はジェット内の衝撃波で加速されるので、熱的成分の組成は宇宙線の組成を示していると考えられる。しかし、Auger と TA で観測された最高エネルギー宇宙線の異方性は M87 とは一致しておらず (Matteo et al. 2023)、その組成は重元素であり (Abbasi et al. 2018, Neto et al. 2020)、重元素組成で星間磁場を考慮した simulation で M87 と関連が示唆されている (Kobzar et al. 2019)。得られた metal abundance は低いので、M87 は最高エネルギー宇宙線の起源ではないかもしれない。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S10a The jet and resolved features of the central supermassive black hole of M87 observed with EHT 2017 – Comparison with the GMVA 86 GHz results

Makoto Miyoshi (NAOJ), Yoshiaki Kato (JMA), Junichiro Makino (Kobe Univ.), & Masato Tsuboi (Meisei Univ.)

銀河 M 87 は、ブラックホール降着円盤・宇宙ジェット形成研究の最良ターゲットである。2017 年に EHT(Event Horizon Telescope) によって 230 GHz で観測された M 87 のデータの再解析から、中心部にコアノット構造とそこから広がるジェットが検出されている (Miyoshi et al, 2022)。我々はその結果を、Lu et al. (2023) の Global mm-VLBI 観測結果 (86 GHz) と比較、類似点と相違点を見いだしたので報告する。

Lu らは 86 GHz で中心部を分解、リング構造を報告しているが、そこには「2つの明るい領域」が見られる。230 GHz で検出されたコアノット構造を GMVA の空間分解能でみると「2つの明るい領域」に似た2つのピークになる。これは両周波数で観測された構造が実はコア領域中の同じものを見ていることを示唆している。コアの南側と北側の両方に突起が共通して見られ、特に 230GHz では翼のような突起になる。86 GHz の画像では、南-中央-北の3重のリッジ構造が見られるが、230 GHz の画像では、南北のリッジは曖昧になり、2つの根本を持つ明るい中央リッジのみが見られる。両周波数で、コアと中央リッジの間に共通して Shade (暗がり) が見られる。

なお、EHT データから淡い特徴を検出するためには、すべての基線データを使用することが不可欠であることがわかった。超短基線データを含むすべての基線データを使用すると、ジェットなどの暗い構造が明らかになった。超短基線なしでは、これらの暗い構造は検出できなくなる。EHTC が M 87 のデータから中心部の明るい構造しか検出できなかったのは、超短基線データを解析から除外したためと考えられる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S11b 可視変光選択された活動銀河核における広輝線吸収と X 線吸収の関係

星 篤志, 山田 亨 (東北大学, ISAS/JAXA)

本研究では、すばる望遠鏡 HSC-SSP サーベイの Ultra Deep の COSMOS 領域におけるデータセットから、可視変光選択された低光度 ($i_{AB} \leq 25.9$) かつ高赤方偏移 ($z \leq 4.5$) の AGN サンプル 491 天体を用いてブラックホールと銀河の調査を行っている。AGN 変光が SMBH への降着率の変動によって引き起こされていることを仮定すると、可視変光 AGN サンプルは、ダストトラスで遮蔽されずに広輝線領域 (BLR) を観測できる Type1 型 AGN のみが選択される。しかし、一方で Type1 型 AGN にも関わらず、X 線 (0.5 ~ 2 keV) で強い吸収を受けた天体が一部の可視変光 AGN サンプルに存在し、原因は明らかになっていなかった。そこで特に X 線 Hardness Ratio が $HR > 0$ を満たす可視変光 AGN9 天体のスペクトルを調査したところ、5 天体 (56 %) が広輝線 (CIV, MgII) に吸収を受けていることが明らかになった。特に X 線吸収を受けている 9 天体のうち CIV のスペクトルを持つ 4 天体は全て吸収の特徴を示していた。この結果から可視変光選択された AGN における X 線の吸収はアウトフローが原因で生じている可能性が高いことが示された。加えて本講演では、最近新たに公開された DESI のデータを用いて X 線で暗い可視変光 AGN サンプルの物理的特徴について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S12a OJ287—Primary BH の銀河中心極端 2 重星型・超巨大ブラックホールの可能性

大家 寛 (東北大、理)

1) 本研究では、東北大学デカメータ電波干渉計の観測結果に基づいて得られた結果から SgrA* は銀河中心極端 2 重星型・超巨大ブラックホール (Galaxy Center Extreme Binary - Super Massive Black Hole : GCEB-SMBH) との結論を GCEB-SMBH の重力波無放射論 (Oya 2023) と一体で提出してきている。関連して 2022 年 (Miyoshi et al) 及び 2023 年 (Lu et al) が発表している M87* の mm 波 VLBI 観測に基づく電波源像に対し、示されている一対の電波輝度の高いスポット領域は GCEB-SMBH と解釈し発表 (Oya, 2023) している。2) 一方、プレーザー OJ287 は重力波放射による In-Spiral 状態とされ、例えば Valtonen et al (2018) は Secondary BH の 12 年公転周期 (S-Period) の短縮を、V-band 光フレアに関する 130 年に互る歴史データを基準としたモデルから算出している。当研究では、同じデータの周期解析から S-Period に対し、12 年を中心に幅 1.6 年で 60 年周期での正弦的な変動を見出し、S-Period の変動を Primary BH が GCEB-SMBH である影響との可能性の下で検討した。

3) 仮定する GCEB-SMBH と Secondary BH との相互位置関係の周期変化で考察する時、GCEB-SMBH の 2 つの BH が 1.59 年で周回する解が出て、これは Primary BH からの Jet 構造の周期 1.6+0.1 年での章動 (Britzen et al 2018) と一致する。OJ287-Primary BH が、GCEB-SMBH である可能性は高いと結論される。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S13a BAL ケーサー周辺でみられる近接効果の異方性について

前田祐輔¹、三澤透¹、登口暁¹、石本梨花子² (1:信州大学、2:東京大学)

銀河間ガス (intergalactic medium; IGM) をケーサーのスペクトル上で検出すると、中性水素 (HI) ガスによる吸収線の強度と検出頻度が、ケーサー近傍で減少することが知られている。これはケーサー近傍では、ケーサーからの輻射によって IGM が高い電離状態にあるからだと考えられる (視線近接効果)。もしこの効果が等方的であれば、ケーサーの接線方向でも同様の傾向が見られるはずである。そこで、接線方向の近接効果を検証すべく、離角の小さいペアケーサーを対象とした観測が行なわれたが、その結果は、ケーサーの近傍では HI 吸収が超過する (すなわち電離状態が低い) という、予想とは逆の傾向が見られた (Prochaska et al. 2013, Jalan, Chand, & Srikanth 2019)。方向による電離状態の違いは、ダストトラスによる輻射の異方性で説明できる可能性がある。この「異方性モデル」を検証するために、降着円盤を edge-on に近い (すなわちダストトラスを横から見る) 角度から観測しているとされる BAL ケーサー 12 天体を対象とした同様の観測が行なわれた (Misawa et al. 2022)。その結果、ダストトラスによる異方性モデルと矛盾しない結果が得られたが、サンプル数の少なから、統計的な主張が難しいという問題があった。

そこで本研究では、サンプル選定の条件を緩めることで、天体数を 4 倍に増やして同様の解析を行なった。その結果、接線方向に光学的に厚い HI ガスを有する BAL ケーサーの検出率は $\sim 4.3^{+5.6}_{-2.8}\%$ となり、BAL を持たないケーサーの接線方向での検出率 $\sim 19 \pm 2\%$ と比較して、 $\sim 2.5\sigma$ の違いがあることが分かった。またサンプル増を活かして、接線距離ごとの検出率の違いなども考察した。本研究により、ダストトラスの存在がケーサーからの電離輻射に異方性をもたらす可能性が高いことが示された。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

S14a シミュレーションとの比較による AGN ガス柱密度分布のばらつきの起源調査

水越翔一郎 (東京大学)、工藤祐己 (東北大学)、峰崎岳夫、鮫島寛明 (東京大学)、小久保充 (NAOJ)、野田博文 (大阪大学)

活動銀河核 (AGN) 周囲の遮蔽構造による減光の性質は、可視赤外観測に基づくダスト減光量 (A_V)、X 線観測に基づく中性ガス柱密度 (N_H) から推定できる。obscured AGN の N_H は、一般に A_V から銀河系星間物質の性質を仮定して求めた値より大きく、かつ同じ A_V に対して天体ごとに大きさが 2 桁以上ばらつくことが示されている (e.g. Mizukoshi et al. 2022)。先行研究 (Burtscher et al. 2016) では、このばらつきの原因の一つとして AGN 近傍のダストを含まないガス (dust-free gas) 構造に由来する N_H が時間変動を見せることを指摘している。本研究では、AGN 近傍 sub-pc スケールのガス運動、アウトフローを調査した輻射流体シミュレーション (Kudoh et al. 2023) に基づく N_H の時間変動データと X 線 AGN サンプルにおける A_V 、 N_H の観測データとを比較し、天体ごとにみられる N_H の 2 桁以上のばらつきが dust-free gas 構造の時間変動で説明できるかを調べた。シミュレーションの結果、円盤面に近い視線 (仰角 $\theta \lesssim 20^\circ$) ではダストの有無によらず N_H の時間変動はあまり見られなかった一方、仰角 $\theta \gtrsim 20^\circ$ では最長数十年スケールで dust-free gas に由来する N_H が 2 桁以上の変動を見せた。dusty gas に由来する N_H は、トラス表面付近に相当する狭い仰角範囲でのみ大きな変動を見せた。次に、シミュレーションと AGN サンプルの観測データとを比較した結果、sub-pc スケールのモデル単体では N_H の分布に対して A_V が観測より典型的に小さくなった一方、outer torus 成分として Wada (2015) のトラスモデルを加味すると、 N_H のばらつきを含む観測データ点の分布がよく再現された。本研究の結果は、 A_V vs N_H 図における N_H の天体ごととのばらつきが確かに dust-free gas の時間変動で説明できることを示唆する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

S15a 活動銀河中心核サブパーセクスケールアウトフローの解析モデル

工藤祐己 (東北大学)、和田桂一 (鹿児島大学)、川勝望 (呉高専)、野村真理子 (弘前大学)

活動銀河中心核 (AGN) は、観測による天体の統計的性質を中心部を遮蔽するダストトラスによって統一的に説明できる (Antonucci 1993) と考えられている。しかし、輻射フィードバックのガスダイナミクスが観測された遮蔽ガスとどのように関係づけられるのか未だよくわかっていない。近年の観測では赤外吸収/放射するダストと X 線の遮蔽するガスはそれぞれ異なることを明らかに (e.g. Ichikawa+19, Ricci+23)、それぞれパーセクスケールダストと内側のガスが遮蔽に寄与すると予想されている (e.g. Davies+15, Mizukoshi+22)。一方でガスのダイナミクスについて、Izumi+23 は ALMA を用いたサブパーセクにおける多相ガスの降着/噴出流の構造を明らかにした。彼らの観測結果は分子/原子輝線において、パーセクスケールのダストとガスがアウトフローによって噴水状に溜まる Wada (2015) の理論モデルをよく再現する。サブパーセクから駆動される AGN アウトフローはガス構造を決定するのに重要であると考えられる。

これまで我々は輻射流体シミュレーションを用いたサブパーセクスケール AGN アウトフローのガス構造について調べてきた。その結果、定常な AGN 光源が幾何学的に薄いダスト円盤を照射する加熱と輻射力によって、時間変動を持つ噴出流が形成されることを明らかにした (Kudoh+23)。本講演では、エディントン比に依存した光源によって駆動されたアウトフローの時間平均が解析モデルで説明できることを示す。その振る舞いは、重力とガス圧力による定常風解とダスト輻射力加速の解で記述でき、これらの解は力学平衡半径とダスト昇華半径によって特徴づけられる。本講演ではエディントン比に対するダストアウトフローの解析解から柱密度や質量流出率を用いた適用例についても紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

S16a 輻射駆動噴水モデルに基づいた精密 X 線スペクトル計算

谷本敦, 和田桂一 (鹿児島大学), 小高裕和 (大阪大学), 工藤祐己 (東北大学)

活動銀河核 (AGN; Active Galactic Nucleus) アウトフローの理解は、超巨大質量ブラックホールと銀河の共進化を解明する上で非常に重要である。実際、近年の X 線分光観測により、約 50% の近傍 AGN は、AGN アウトフローを持つと考えられている (Laha et al. 2021)。しかしながら、どのように AGN アウトフローが駆動されるのかや AGN アウトフローの密度分布・速度分布は、未だに良く理解されていない。

2023 年 09 月に打ち上げられた X 線天文衛星 X-Ray Imaging and Spectroscopy Mission (XRISM; Tashiro et al. 2020) は、AGN アウトフローの駆動機構を調べるのに最適である。何故なら、XRISM に搭載されているマイクロカロリメータ検出器 (Resolve 検出器) は、従来の CCD 検出器と比較して、約 30 倍のエネルギー分解能 (6 keV で 6 eV 程度) を有しているためである。この場合、光電離したイオンによる吸収線のエネルギーのずれや吸収線の深さのより正確な測定が可能なので、AGN アウトフローの密度分布や速度分布を高い精度で決定出来る。

そこで本研究では、主に輻射により駆動される、輻射駆動噴水モデル (Wada et al. 2012) に基づいた精密 X 線スペクトル計算に取り組んだ。まず私達は、流体計算コード CANS+ (Matsumoto et al. 2019) に輻射を考慮するモジュール (Kudoh et al. 2023) を加えたものを利用して、2 次元軸対称輻射流体計算を実行した。次に、光電離平衡計算コード XSTAR (Kallman et al. 2004) を用いて、各グリッドにおけるイオンの存在比を計算した。最後に私達は、モンテカルロ X 線輻射輸送計算コード MONACO (Odaka et al. 2016) を利用して、輻射駆動噴水モデルに基づいた精密 X 線スペクトルモデルを作成した。本講演では、得られた密度分布・イオン分布やこれらの時間変動、XRISM による擬似観測結果について紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

S17a 楕円銀河での核周辺分子ガス質量と AGN 活動度の相関

藤田裕 (東京都立大学), 泉拓磨 (国立天文台), 川勝望 (呉工業高等専門学校), 永井洋 (国立天文台), 川中宣太 (東京都立大学, 国立天文台)

楕円銀河は X 線を放射する高温ガスに覆われており、このガスが Bondi accretion により中心のブラックホールに供給され、AGN 活動が励起されると従来思われてきた。しかし近年の電波観測により、楕円銀河の中心付近に低温の分子ガスが観測されるようになり、このガスが実は AGN 活動の燃料ではないかと思われるようになってきている。そこで我々はまず銀河団中心の大質量楕円銀河 (BCGs) について、ALMA のアーカイブデータを用い、その中心 500 pc の分子ガス質量 (M_{mol}) と AGN 活動度 (P_{cav}) に相関があることを見出した (2023 年秋季年会)。ここで P_{cav} はジェットの活動でできた X 線ガスの「穴」のサイズから見積もったものである。本発表ではサンプルを銀河団中心にない、より質量の小さい楕円銀河 (non-central elliptical galaxies; NCEGs) に拡大した結果について報告する。

ALMA のアーカイブデータより NCEGs 12 個、BCGs 10 個の楕円銀河を選び出し、そのうち NCEGs 6 個、BCGs 9 個の中心 500 pc 領域で分子ガス (CO) を検出した。分子ガス質量 (M_{mol}) とジェットパワー (P_{cav}) の相関は BCGs のみで得たものを延長したものとほぼ一致する。さらに M_{mol} は AGN の連続波光度 (L_{con}) と相関があった。 P_{cav} は「穴」ができるタイムスケール ($\sim 10^7$ 年) で平均した AGN 活動度を表す一方、連続波は AGN のごく近傍からの放射なので、 L_{con} は AGN のほぼ現在の活動を表している。従って以上の結果は、核周辺分子ガスは燃料として AGN の長期、短期両方の活動を支えていることを示している。

参考文献: Fujita et al. arXiv:2303.16927

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

S18a 赤外線連続光を用いた爆発的星形成と埋もれた活動銀河核の分類について

油谷直道 (鹿児島大学), 斎藤貴之 (神戸大学), 山田智史 (理化学研究所), 馬場俊介 (宇宙科学研究所), 和田桂一 (鹿児島大学)

埋もれた活動銀河核 (AGN) では、超巨大ブラックホール (SMBH) への激しい質量降着が起きていると考えられている。そのため、SMBH の形成において、埋もれた AGN の理解は重要である。埋もれた AGN では、紫外線域から可視光域の放射によって温められたダストから赤外線が再放射されるが、このような再放射は爆発的星形成領域でも生じるので、これらの放射源を峻別することが重要である。しかし、埋もれた AGN や爆発的星形成領域から赤外線域への寄与についてはまだ不定性が大きい。

本研究では、N 体/SPH コード ASURA (Saitoh et al. 2008, 2009) を用いて、 10^8 太陽質量の SMBH を中心とした銀河中心核円盤の計算を行った。特に、動的な SPH 粒子分割法を導入することで、銀河中心部分の分解能の効率的な向上を試みた。これにより、kpc スケール (星形成領域) から pc スケール (ダストトラス内縁) への質量降着過程を詳細に分解した。また、数 100 pc スケールにおける爆発的星形成 (SFR \sim 数 $100 M_{\odot}/\text{yr}$) も同時に pc スケールの分解能で計算することを可能にした。そして、これら高空間・質量分解能データを基に、輻射輸送コード SKIRT (Camps et al. 2015) を用いて疑似観測をし、AGN 近傍の Hot dust からの寄与を考慮した赤外線・サブミリ波帯での SED を取得した。その結果、3 μm から 12 μm においては数 10 パーセクスケールの狭い AGN 近傍領域からの放射が支配的であり、850 μm においては数 100 pc スケールの星形成からの放射が支配的であると分かった。講演では、観測で経験的に用いられている熱源診断法と、AGN や爆発的星形成との関係性についても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

S19a Stripe 82 領域にて X 線で検出された活動銀河核 ($z = 0.2 - 0.8$) の多波長スペクトルエネルギー分布解析

瀬戸口 健太, 上田 佳宏, 植松 亮祐 (京都大学), 鳥羽 儀樹 (NAOJ), Junyao Li (UIUC), John Silverman (Kavli IPMU)

我々は、SDSS Stripe 82 領域にある、X 線で検出された $z = 0.2 - 0.8$ の活動銀河核 (Active Galactic Nuclei; AGN) に対し、系統的な多波長 (赤外 ~ X 線) スペクトルエネルギー分布 (Spectral Energy Distribution; SED) 解析を行った (Setoguchi et al. ApJ, in press)。サンプルは 60 の 1 型 AGN、137 の 2 型 AGN から構成されている。SED モデルとして、AGN の極方向ダスト成分を考慮した最新の CIGALE コード (Yang et al. 2020, 2022) を利用した。信頼できる 1 型 AGN の母銀河および AGN パラメータを求めるため、Subaru Hyper-Supreme Cam のイメージを用いて母銀河成分の可視測光データを抽出したカタログ (Li et al. 2021a) を使用した。

解析の結果、以下のことが分かった。(1) 1 型 AGN におけるブラックホール質量 (M_{BH}) と星質量 (M_{stellar}) 比の平均値は $\log(M_{\text{BH}}/M_{\text{stellar}}) = -2.7 \pm 0.5$ であり、Li et al. (2021b) で報告されたように、近傍宇宙 ($z \sim 0$) におけるブラックホール質量とバルジ質量比に近い。この比は、SXDS 領域で見つかった、 $z \sim 1.5$ のより高光度の 1 型 AGN (Setoguchi et al. 2021) と比べて、やや小さい。SXDS および Stripe-82 サンプルの統合解析の結果、 $\log(M_{\text{BH}}/M_{\text{stellar}})$ は主に AGN 光度に依存し、赤方偏移にはほとんど依存しないことが分かった。(2) 紫外線-X 線スペクトル指数 (α_{OX}) は、紫外線光度またはエディントン比と逆相関を持つ。(3) 同一の AGN 光度範囲において、1 型 AGN と 2 型 AGN の星質量分布は合致し、AGN 統一モデルを支持する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

T01a Abell1060 に付随する広がった超急峻スペクトル電波放射の発見

蔵原 昂平, 赤堀 卓也 (国立天文台), 大木 愛花 (東京大学/国立天文台), 大宮 悠希, 中澤 知洋 (名古屋大学)

銀河団は銀河団同士の合体衝突で成長したと考えられており、この衝突などを要因としてその巨大な重力エネルギーの一部を変換することで、銀河団内媒質 (ICM; Intra-Cluster Medium) に含まれる乱流、磁場、宇宙線などの非熱的成分を生成する。この非熱的成分は、銀河団の合体による擾乱だけでなく、銀河団構成銀河の活動銀河核 (AGN; Active Galactic Nuclei) からのジェット活動を反映していると考えられ、銀河団衝突または構成銀河との相互作用を通じた銀河団の構造形成/進化を理解する上で、重要な役割を担うと考えられる。このような非熱的成分はこれまで、シンクロトロン放射をトレーサーとして電波観測によって詳細に調べられてきた。近年の低周波電波望遠鏡の発展により、これまで検出できていなかった非常に淡い電波構造の検出や、急峻なスペクトルを持つことによる低周波でのみ検出可能な電波構造の発見が相次いで報告されている。

今回我々はインダの電波干渉計である uGMRT (Upgraded Giant Metrewave Radio Telescope) のアーカイブデータを用いて、銀河団 Abell1060 の中心付近にこれまでの電波観測では未同定の広がった電波源 (The Flying fox) を電波フラックス密度 $208 \pm 21 \text{ mJy}$ で発見した。今回検出した電波源は、細長いリング状の構造を持ち、中心には棒状構造があるが、可視光や赤外帯域での明らかな母銀河は存在しない。The Flying fox の平均電波スペクトル指数は -1.4 であり、他のメートル波で見られる電波天体と比べて急峻である。この電波源の起源として、電波ローブ、電波フェニックス、電波ハロー/レリク、ORC (Odd Radio Circle) の可能性について議論したが、既知の電波源では明確に説明できないことがわかった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

T02a すざく衛星と Planck 衛星によるおとめ座銀河団の観測の解析

須田一功, 松下恭子, 福島光太郎, 小林翔悟 (東京理科大学)

銀河団は宇宙の大規模構造から物質が降着することで成長を続けていると考えられている。数値シミュレーションによると、フィラメント方向ではガスの降着により X 線輝度が高く、さらにヴィリアル半径付近で衝撃波が生じると予想されている (Molnar+09)。おとめ座銀河団は銀河系から最も近い銀河団であり、様々な波長で詳細な観測が行われている。南北方向にフィラメント構造が伸びており、南方には NGC4472 を中心とするサブクラスター構造も見られる。

今回は我々は、すざく衛星によるおとめ座銀河団の東西南北 4 方向の観測の解析を行った。さらにプランク衛星により測定されたスニヤエフ・ゼルドビッチ効果と比較を行った。この銀河団の南方の観測には "North Polar Spur" 領域が重なっているため、注意深く前景放射の影響の評価を行った。すざく衛星から得られた銀河団ガスの温度は、 $0.5r_{500}$ からヴィリアル半径まで $\sim 2 \text{ keV}$ とほぼ一定となった。すざく衛星による輝度とプランク圧力分布は南北に伸びていた。さらに、北方向ではヴィリアル半径付近において、X 線輝度の急激な低下が発見された。ほぼ同じ領域においてプランク衛星から得られた圧力においても急激な低下の兆候が見られた。ヴィリアル半径付近での不連続面は、フィラメント方向からの物質の降着による衝撃波の存在を意味しているのかもしれない。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

T03a 衝突銀河団 Abell 3667 内に存在する約 500 kpc 幅の渦巻き構造

大宮 悠希, 中澤 知洋 (名大), 田村 隆幸 (JAXA/ISAS), 松下 恭子 (理科大), 岡部 信広 (広島大), 佐藤 浩介 (埼玉大), 藤田 裕 (東京都立大), 赤松 弘規 (QUP/KEK), Liyi Gu (SRON), 一戸 悠人 (理研)

銀河団同士の衝突は、その巨大重力エネルギーを解放して、銀河団ガス (ICM) の加熱や乱流励起・粒子加速・磁場増幅等を引き起こす。非熱的エネルギーは時間をかけて増加し、宇宙の構造進化の推定に影響を与えるため、その過程の解明が必要不可欠である。この課題の解決は、レリクやハローなどの電波放射の高空間分解構造データや XRISM による ICM の bulk・乱流速度データなどの革新によって、大きく進展する。

Abell 3667 は、中心部にコールドフロントと呼ばれる圧力接触不連続面が存在し、外縁部に対称的な巨大レリクをもつ衝突銀河団である。電波望遠鏡 MeerKAT は、1 Mpc 程度に広がったハローの存在を捉え、来年には XRISM の観測が予定されている (PV 期間: Pri C)。2023 年春季年会では、XMM-Newton 衛星を用いた Sanders et al. 2020 の手法を適応することで、BCG 付近で ICM が動いている兆候を捉えた結果を報告した。

我々は、X 線観測画像と大きく平滑化したモデル画像との差分を取ることで、BCG 近くから北西側に約 500 kpc 幅の巨大な時計回りの渦巻き構造の存在を初めて発見した。重元素量は $0.5Z_{\odot}$ と非常に高いため、もともと銀河団コアに存在した ICM が外側に流れ出た可能性が高い。また、BCG はコールドフロントに対して約 500 kpc ほど後方に位置し、2 つの間には高密度・高元素量・低エントロピーの ICM 構造が存在している。これらから銀河団同士の衝突にオフセットがあり、コールドフロントを形成する副銀河団が、天球面上で南側を通り、時計回りに回転した描像を提案する。ICM の視線速度は、銀河団の進行方向に対してコールドフロントの左右の領域でズレている可能性を示す。これは天球面から少し傾いた平面で 2 つの銀河団中心がすれちがったと解釈できる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

T04a 衝突銀河団 Abell 3667 の北西電波レリック周辺の ICM

伊藤大将, 中澤知洋, 大宮悠希, 坂井晃生 (名古屋大学)

銀河団同士の衝突は、衝撃波による銀河団ガス (ICM) の加熱に加え乱流励起や粒子加速、磁場増幅などの非熱的エネルギーが生じ、特に銀河団の外縁部のそれはガス圧の数割に達すると考えられている。よって、その定量化は銀河団における非熱的エネルギー解放の割合を知ることに直結する。Abell 3667 は $z = 0.0556$ にある衝突銀河団で、北西と南東に 1 対の巨大な電波構造 (レリック) を持ち、ICM が北西レリックの方向にかけて伸びた「マッシュルーム」と呼ばれる構造が存在する。X 線では、これは過去の銀河団衝突によって形成された銀河団中心部の残骸と示唆されている (Sarazin et al. 2016) がその詳細は明らかでない。また、すぐくの観測で北西レリックからの逆コンプトン放射の上限から磁場は $2 \mu\text{G}$ 以上であり、GeV 電子を含む非熱的圧力はガス圧の 20% を超えると見積もられている (Nakazawa et al. 2009)。つまり、マッシュルームは非熱的圧力で支えられている可能性があり、近年、高感度・高分解能化が進む電波と X 線による詳細な検証が求められる構造である。

我々は X 線天文衛星 XMM-Newton の計 185 ks の観測データを用いて、マッシュルームと北西レリック周辺の ICM の状態を解析した。当該領域をメッシュ状に分割して解析したところ、まずマッシュルームには高い重元素量や低いエントロピーは見られず、銀河団中心の ICM という描像とは一致しないことがわかった。また、マッシュルームは 4-5 keV とほとんど温度変化がない一方で、レリックとの境界で急激に密度が下がり、最大 45% の圧力差を生じていることがわかった。

本講演では、これらの結果をもとに、圧力差が磁場や相対論的電子、乱流、相対論的陽子によるものである可能性を考察し、マッシュルームと北西レリック周辺の衝撃波や衝突描像について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

T05a XMM-Newton 衛星を用いた衝突銀河団 Abell 2061 の銀河団プラズマの解析

坂井晃生, 大宮悠希 (名古屋大学), 赤松弘規 (QUP/KEK), 中澤知洋 (名古屋大学), 岡部信広 (広島大学), 伊藤大将 (名古屋大学)

Abell 2061 は赤方偏移 0.07 の距離に位置し、かんむり座超銀河団に属する近傍の衝突銀河団である。その北東側には、プルームと呼ばれる 1 keV 以下の低温・低エントロピーの銀河団ガス (ICM) 構造が存在し、その先には Abell 2067 銀河団がある。南西側には ~ 500 kpc サイズの電波レリックが存在し (van Weeren et al. 2011)、最近になって低周波高感度電波望遠鏡 LOFAR の観測で中心部に Mpc スケールの巨大ハローも検出されるなど (Botteon et al. 2022)、今まさに衝突が大規模に進んでいる銀河団である。XMM-Newton や「すぐく」の観測データを用いた過去の X 線解析では、中心部は $kT = 4-5$ keV と高温な一方、周辺部では 3 keV 程度に温度が下がっていることや (Minami et al. 2004)、圧力接触不連続面 (コールドフロント) の候補の存在が報告されている。しかし、レリック周辺の ICM の状況をはじめとして、衝撃波の有無や位置は詳しく解明されておらず、この電波放射が衝撃波により形成されているかわかっていない (e.g. Finoguenov et al. 2010)。

そこで我々は、XMM-Newton でレリック周辺を積分時間 75 ks 観測した。2013 年に観測された銀河団中心付近の 50 ks のデータと合わせて解析し、Abell 2061 の ICM の物理状態を調べている。その結果、銀河団中央部では 3 keV から 5 keV、北東部では 1 keV の ICM が確認でき、温度が複雑な分布をしていることがわかった。更に温度・ノルムの空間分布を作成し、北方の衝撃波候補も再確認した。本講演では、レリック周辺を含むこれらの衝撃波候補やコールドフロントの候補を抽出し、LOFAR の電波観測データと比較するとともに、銀河データとすばる望遠鏡を用いた weak lensing 質量測定データと組み合わせることで、衝突ジオメトリの理解を目指す。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

T06a 衝突銀河団中の電離非平衡プラズマの探索

宍戸萌那, 内田悠介, 幸村孝由 (東京理科大学)

宇宙最大の重力天体である銀河団は、比較的小さな銀河団同士が互いの重力によって引き寄せられ、衝突・合体を繰り返すことで、より大きな銀河団に成長する。そして、銀河団によっては衝突により銀河団内部に衝撃波が生じ、強い衝撃波による加速粒子の存在が電波観測で観測されている。一般的に銀河団プラズマが電離平衡に達していると考えられているが、低密度の銀河団外縁部や衝撃波通過後から十分な時間が経過していない領域において、電離非平衡の条件 $n_{et} < 10^{12} \text{ s} \cdot \text{cm}^{-3}$ を満たす場合も期待できる。これまでにも、Abell 754 の一部の領域で衝撃波加熱で生じたであろう電離非平衡プラズマの存在の可能性が報告されている (Inoue et al. 2016)。

そこで、我々は電波観測によって電波レリックの存在が確認されている銀河団の中でも、X 線天文衛星「すぐく」によっても観測がなされている銀河団の電波レリック周辺に着目し、銀河団プラズマの電離状態を測定した。その結果、 $z = 0.0556$ に位置する Abell 3667 の銀河団中心と南東の電波レリック領域の間において、1 温度の CIE モデル (電離平衡モデル) での再現で $kT \sim 6.4$ keV を得たのに対し、NEI モデルでは $kT \sim 6.5$ keV で 90% 信頼区間で下限値つきではあるが電離パラメータ n_{et} が $10^{12} \text{ s} \cdot \text{cm}^{-3}$ より低く見積もられた。また、 $z = 0.0231$ に位置する Coma Cluster の電波レリック領域についても NEI モデルで再現したところ、 n_{et} の最適値が $< 10^{12} \text{ s} \cdot \text{cm}^{-3}$ となるものの 90% 信頼区間で下限値のみを得た。本講演では、衝撃波に起因する電離非平衡プラズマの存在の検出を目的とした本研究の解析手法とその結果の議論について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

U01a 宇宙複屈折の位相不定性

直川史寛 (東京大学), 並河俊弥, 小幡一平 (IPMU), 村井開 (東北大), 鎌田耕平 (HIAS,UCAS)

近年、宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) の偏光面が回転する現象 (宇宙複屈折) に関し、その存在を示唆する結果が報告されている (Minami & Komatsu, 2020)。この現象は、パリティ対称性を破るため、既存の物理にその起源を求めることは難しく、新物理、特にアクシオン類似粒子 (ALP) 探索の糸口として注目されている。

宇宙複屈折の回転角を β とした時、CMB の偏光パワースペクトルの間には $C_l^{EB} \propto (C_l^{EE} - C_l^{BB}) \tan \beta$ という関係が成り立つ (Komatsu, 2022)。現状の観測では、偏光パワースペクトルの測定値とこの関係式から β が求められており、最新の値は $0.34 \pm 0.09 \text{ deg}$ (Eskilt & Komatsu, 2022) と報告されている。

上記の係に依拠した測定では $n\pi/4$ の位相不定性が伴う (n は整数) はずだが、これまでの研究では、その点が深く考察されてこなかった。本講演では、その他の観測事実からかかる制限も考慮した上で、どのような範囲で位相不定性が実際に生じるのか (どのような n が許されるのか) についての研究成果を発表する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

U02a POLARBEAR 実験によるマイクロ波偏光観測を用いた Axion 探査の結果

茅根裕司, ほか POLARBEAR Collaboration

暗黒物質の候補として Axion、最近ではより広い意味での “Axion-like particle” (ALP) の研究が急速に進められている。特に標準宇宙論に存在する小スケール問題を解決し得る、質量が 10^{-22} eV 程度の “Ultralight dark matter” の探査が活発になっている。宇宙観測を通じて ALP を検証する方法としては、ALP による宇宙論的複屈折を通じた宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) の偏光角の回転を利用した方法が知られている。さらに近年では CMB 観測の持つ高頻度性を活用した手法も提案されている。

本講演では広い意味での CMB 観測実験による、マイクロ波帯の偏光角度の時間変化 (“AC 振動”) を使った、ALP の測定について報告する。特に、POLARBEAR 実験で観測した「CMB の偏光データ」と「蟹星雲の偏光データ」を使った AC 振動解析による、質量範囲 $10^{-22} \text{ eV} < m_a < 10^{-18} \text{ eV}$ での ALP への制限・観測について発表する。また、現在観測を行っている最新の Simons Array 実験による制限・観測感度の向上についても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

U03a Search for pair echo signatures in the gamma-ray light curve of GRB190114C

I. Vovk (ICRR, U. Tokyo)

Propagation of very-high-energy gamma rays over cosmological distances inevitably leads to their absorption in interactions with extragalactic photon fields. The absorbed power is transferred to the electromagnetic cascades and eventually re-emitted in a form of the lower-energy γ -ray “pair echo”. In the presence of intergalactic magnetic field (IGMF), the “echo” emission is spread in time and angle, reducing the observable signal. Non-detection of such “echo” from several blazars has been used earlier to set a lower limit on the IGMF strength at $z \sim 0.1$. Similar measurements at larger redshifts, required to clarify IGMF origin, are challenging due to strong absorption, reducing the number of detectable persistent γ -ray sources. Several transient γ -ray sources, however – including GRBs, – have been detected from redshifts up to $z \sim 1$, potentially expanding the redshift range of the IGMF measurements. Here a model of the cascade “pair echo” is applied to GRB190114C – the first γ -ray burst contemporaneously detected in high- and very-high-energy γ -ray bands. It is shown that the internal spread of the cascade in the absence of IGMF dilutes the “echo” signal over 1-100 kiloseconds depending on the energy. The model prediction is found to agree with the detected lower-energy γ -ray emission 10 kiloseconds after the burst, though the “echo” signal remains indistinguishable from the intrinsic γ -ray burst afterglow flux within the measurement uncertainties. Implications of these findings in the context of IGMF measurement are discussed.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

U04a 全スケール暗黒物質ハローの準解析的モデリング

廣島渚 (富山大学, 理研 iTHEMS), 安藤真一郎 (アムステルダム大学, Kavli IPMU), 石山智明 (千葉大学)

暗黒物質ハローは地球質量程度から銀河団質量程度と 20 桁以上の質量幅を持ち、その階層構造が現在観測されている宇宙構造を形作っている。多スケールにわたるハロー階層構造の理解は素粒子論的な文脈で暗黒物質を特徴づける際にも重要である。ハロー階層構造の探査において準解析的モデリングは数値計算と相補的なツールであり、多スケールのハロー構造を同時に記述することが可能である。本研究では拡張プレスシヒター理論に基づき全スケールハローの階層構造を同時に記述する新たな準解析的モデルを構築した。本モデルは親ハローの成長史を直接的にそのサブハロー質量関数に反映するものであり、降着時点でのサブハロー質量関数が新たなパラメータを導入することなく構成可能である。降着時点でのサブハロー質量関数にサブハローの潮汐進化についての解析的モデルを組み合わせることで、現在の宇宙におけるサブハロー質量関数についても評価を行った。本モデルを天の川スケールのハローに適用することで、(1) ポアソン揺らぎの効果が卓越するのはサブハローの親ハローに対する質量比が $\mathcal{O}(10^{-2})$ 以上の程度の領域であること、(2) 親ハロー質量のばらつきは親ハローとの質量比で記述するサブハローの累積質量関数に影響を与えないこと、(3) 潮汐モデルの違いがサブハロー質量関数に現れるのは質量比 $\mathcal{O}(10^{-5})$ 以下程度の領域であることを、明らかにした。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

U05a ハロー形成史依存性を考慮した宇宙論エミュレータ開発に向けた assembly bias の研究

石川 慶太郎, 西道 啓博 (京都産業大), 宮武 広直 (名古屋大)

銀河は暗黒物質ハロー (以下、ハロー) の中で形成されると考えられている。ハローの空間分布およびハロー内の銀河の空間分布や数は主にハローの質量に依存するがハローの形成史にも依存することが知られている (Wechsler et al. 2006)。このような銀河分布のハロー形成史依存性を assembly bias と呼ぶ。近年の観測データの急速な増加および観測領域の拡大により統計精度が飛躍的に向上したことで、実観測に対する解析では assembly bias の考慮の有無で標準宇宙論パラメータの制限に大きな影響を与えることがわかっている (Miyatake et al. 2022b)。それゆえにこの系統誤差の影響を最小化して標準宇宙論を徹底検証する必要がある。本研究ではこの assembly bias を調査するため、Dark Quest II シミュレーションデータを用いて、ハローの中心集中度に着目した相関関数の振幅の違いを調べた。本発表では研究の進行状況を述べるとともに、将来的に assembly bias 効果を実装した宇宙論エミュレータを用いた宇宙論解析の展望について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

U06a 銀河パワースペクトルの非ガウス共分散の高速計算法

小林洋祐 (アリゾナ大学)

宇宙大規模構造に広がる多数の銀河を 3 次元分布を観測する銀河サーベイでは、宇宙論モデルを制限する上で主要な統計量である、波数空間での銀河の 2 点相関 (パワースペクトル) が得られる。測定された銀河パワースペクトルの実データとその理論予想とを比較し MCMC などに基づくベイズ推定を行うことで、宇宙論モデルを特徴づけるパラメータを制限できる。この宇宙論推定で重要になるのが、銀河パワースペクトルの測定データが理論予想が与えるアンサンブル平均の周りにどの程度ばらつくかを示す共分散行列である。

現在、実際のサーベイ解析に用いる銀河パワースペクトルの共分散行列を計算する際、数千個ものシミュレーションから作られる銀河の模擬分布データから逐一パワースペクトルを測り、その共分散をとるという手法が主流である。しかし近年、宇宙大規模構造の摂動理論に基づき、この共分散を解析的に予言する研究 (Wadekar & Scoccimarro 2020) が提出され、さらにこれが実際のサーベイデータにも適用でき、計算コストの大きいシミュレーションに基づく共分散を用いた解析と同様の結果が得られることが示された (Wadekar et al. 2020)。

そこで本研究では、この摂動論に基づく解析的アプローチで計算される銀河パワースペクトルの共分散に着目し、その計算において最も時間がかかる非ガウス成分を高速に計算する手法を考案した。高速フーリエ変換を使用した線形パワースペクトルの冪関数への分解と、積分の解析解とを組み合わせボトルネックの数値積分を回避する手法で、最初に数十秒程度の準備計算をしておけば、宇宙論パラメータ、赤方偏移、および物質と銀河の分布のずれを特徴づける銀河バイアスのパラメータを変えた共分散の計算が 1 秒程度で実行できる。この手法は、特に将来の銀河サーベイで多数の赤方偏移や銀河サンプルを用いる解析を容易にすると期待される。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

U07a すばる HSC の 3 年度弱重力レンズデータにおけるバリオン効果の評価

寺澤凌 (東京大学, Kavli IPMU), 高田昌広 (Kavli IPMU), Xiangchong Li (Carnegie Mellon University), 杉山素直 (University of Pennsylvania), 栗田智貴 (MPA), 田中賢 (京都大学), 西道啓博 (京都産業大学), 他 HSC collaboration

我々と遠方銀河の間の宇宙の質量分布に起因する弱重力レンズ効果により、銀河形状には系統的な歪み (コスミックシア) が現れる。この銀河形状の統計量を測定することで、宇宙の物質分布の情報を得ることができる。物質分布のモデルは、ダークマター分布については N 体シミュレーションに基づく精密な理論予言が得られているが、AGN フィードバック等のバリオンの物理が物質分布に与える影響は複雑であり、その理論モデルには不定性がある。このバリオンの影響は $S_8 \equiv \sigma_8(\Omega_m/0.3)^{0.5}$ 等の宇宙論パラメタと縮退するため、宇宙論解析においてはバリオンの効果の不定性を適切に考慮する必要がある。

本講演では、ダークマターのみモデルによりバリオンの効果の大きさを評価する手法を議論する。我々はダークマターのみモデルを仮定し、すばる Hyper Suprime-Cam(HSC) サーベイで得られた弱い重力レンズデータから測定したコスミックシアの二点相関関数を解析した。特にバリオンの効果が存在すればそれが顕著に現れる小スケールも用いて解析を行った。もしダークマターのみモデルでデータを説明できなければ、バリオンの効果が存在することをバリオン物理モデルの不定性によらずにロバストに示すことができる。Goodness of fit や S_8 の測定値のずれなどを比較した結果、HSC の弱重力レンズデータはダークマターのみモデルと整合的であり、強いバリオンの効果が存在する証拠は得られなかった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

U08a すばる PFS 宇宙論データから銀河パワースペクトルを推定する方法の開発

中野新太郎 (東京大学, Kavli IPMU), 高田昌広 (Kavli IPMU), Jingjing Shi (Kavli IPMU)

すばる Prime Focus Spectrograph (PFS) は約 1.25deg^2 の広視野を有し、約 2400 個の暗い天体を同時分光することを可能にする強力な観測装置である。PFS 宇宙論プロジェクトでは、この装置を用いて約 1200deg^2 の広天域、 $0.6 < z < 2.4$ の広い赤方偏移範囲にわたって約 400 万個の [OII] 輝線銀河を分光観測し、銀河の 3 次元地図を作成する予定である。このサーベイデータを用いてバリオン音響振動や赤方偏移歪み効果などを精密に測定することで、ニュートリノ質量の測定、ダークエネルギーの性質の解明、あるいは宇宙論スケールでの重力理論を検証することが可能となる。

実際の観測では、望遠鏡の主焦点面に配置された、遠隔操作できる約 2400 本のファイバーがそれぞれ天体を捉え、分光観測するが、各ファイバーの可動領域が有限である効果、隣り合うファイバー同士の衝突を回避する効果、また較正に用いる星や夜光の測定のためのファイバーなどを考慮してファイバーを割り当てる必要がある。そこで PFS プロジェクトでは専用のファイバー配置ソフトウェア (netflow) を用いて分光観測を行う予定である。一方で、netflow によって選択された銀河分布には人工的な非一様性が含まれてしまう可能性もある。netflow を通して得られる銀河分布データから正確にパワースペクトルを推定する手法の開発は喫緊の課題の一つである。

我々は PFS の観測から期待される 3 次元の銀河地図から、netflow に起因する効果に影響されず正確にパワースペクトルを測定するためのパイプラインを開発している。本講演ではランダムカタログを用いた銀河パワースペクトルの推定法と、その誤差に対してランダムカタログの依存性・仕様要求などを議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

U09a 微細構造定数の変動調査に必要な TMT の性能評価および吸収体の特異性調査

LEE INSEOB (信州大学), 三澤透 (信州大学), 西山正吾 (宮城教育大学)

物理法則は不変なのか? 現代の科学が抱えている重要な疑問点の一つである。1900 年代に入って物理法則、その中でも物理定数の時間変動可能性に対して様々な仮説が立てられたが観測による検証にはまだ至っていない。これは非常に精密な観測が要求されるのが原因とされており、今までの観測機器では限界があるためである。しかし Thirty Meter Telescope (TMT) をはじめとする 2030 年代に運用が始まる 30 メートル級望遠鏡によって、新しい知見を得ることが期待されている。

物理定数の一つである微細構造定数 (fine-structure constant、以下 α) は、その変動によって電子遷移に伴う輝線・吸収線の波長が変化する。故に、 α の時間変動の有無を直接調べる方法としてキューサー吸収線の観測が効果的である。特に α の変動による遷移波長のずれの程度を表す「 q -value」は、大きさのみならずその符号も電子遷移ごとに異なるため、同じ吸収体にある様々な原子、イオンによる吸収線を同時に検出することで、 α の変動を高い精度で検証することが可能となる。このため、キューサー吸収線はこの研究にとって理想的な観測対象といえる。

そこで、本研究では TMT 時代に求められる望遠鏡および観測装置の性能評価を行った。また、先行研究において、 α が変動を示すことが示唆されている吸収線系に対し、それらが特異な環境にある可能性を検証すべく、Cloudy を用いた光電離モデルによるパラメータ (金属量、電離パラメータ) の評価を行った。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

U10a 原始曲率揺らぎが宇宙再電離に与える影響

箕田鉄兵 (Tsinghua University), 吉浦伸太郎 (国立天文台水沢 VLBI 観測所), 高橋智 (佐賀大学)

本発表では、特に小さなスケールでの原始曲率揺らぎが宇宙再電離に与える影響について議論する。宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) の非等方性や大規模構造の観測などから、原始曲率揺らぎの制限がなされているが、これらの観測データは曲率揺らぎをおよそ $k \lesssim 1 \text{ Mpc}^{-1}$ の大スケールでしか調べていない。初代銀河の形成は、小スケールの揺らぎの振幅に敏感であり、それがひいては再電離の歴史に影響を与えるため、宇宙再電離の観測を通して、小スケールの原始揺らぎパワースペクトルを探ることができる。本研究では、原始パワースペクトルを特徴づけるパラメータとしてランニング指数に着目し、小スケール揺らぎが再電離の歴史に与える影響を、単純だが一般的に使われている再電離モデルを採用した数値計算コード 21cmFAST を用いて調べる。また、実際のライマン α 輝線天体の光度関数の観測から導かれた再電離史を用いて、ランニング指数の制限を与える。結論として、宇宙再電離の歴史は、CMB のような大規模な観測と組み合わせることで、原始密度揺らぎを調べるのに有効なツールになることを示す。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

U11a 真空は空か無か

青島正和

青島正和 有名な般若心経の言葉である「色即是空」は、「物質は実体のないもの (空) である」と訳せる。「空」はその重要性の割には一般人になじみが少なく、また「空」と言えば「無」と言われるほど似た意味を持つ言葉があり、初心者を悩ませる。本研究は下記の 2 冊の本に書かれている「空」と「無」について、それらがどのように定義されていて、どう解釈すればよいか検討した。般若心経と最新宇宙論 糸川英夫 青春文庫 最強に面白い無 和田純夫 NEWTONPRESS 文献の筆者の考えかたの違い糸川英夫氏 (湯川秀樹氏の発想) の考え方がガラス容器内部の真空では、光を当てると電子が飛び出して穴 (陽電子) が空く。電子が元の穴に戻れば電荷の土が中和して真空になる。これより容器の内部は無でなく空である和田純夫氏の考え方真空のミクロな世界では、素粒子は生成と消滅をくりかえし、素粒子の数が時々刻々と変動している。ものがないと言う意味での「無」は、「真空」と呼ばれます。おなじ真空でも、糸川氏は「空」と呼び、和田氏は「無」と呼ぶ。市販で売っている書籍や検索エンジンで定義を調べた。その結果原則真空でもなにがしかの物が詰まっている可能性が高いので、「空」と読むのがよいと思われる。今後ヒッグス場や暗黒エネルギーあるいは素粒子など、詰まっているものの種類により「空」か「無」を選ぶ必要があるかもしれない。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

U12a Constraints on the cosmic baryon distribution with the FLIMFLAM survey

Yuxin Huang, The University of Tokyo; Khee-Gan Lee, Kavli IPMU

Fast radio bursts (FRBs) are a promising new technique to probe the cosmic baryon distribution through their dispersion measures (DM), which can be further enhanced by combining with spectroscopic data of the foreground fields. I will introduce the FLIMFLAM survey, a wide field multi-object spectroscopic survey that targets the foreground galaxies of localized Fast Radio Bursts (FRBs). The goal of the survey is to independently constrain the total amount of cosmic baryons residing the IGM and CGM, as well as measure the mean host DM contribution.

On behalf of our collaboration, I will introduce new results that place the first-ever constraints on the relative fractions of cosmic baryons residing in the IGM and CGM, using the first data release (DR1) of the FLIMFLAM data which targets 9 FRBs. This is done by running MCMC analysis on models based on the observed foreground galaxy distribution, for which we have (i) reconstructed the matter density field using the Bayesian reconstruction code ARGO to calculate the IGM contribution and (ii) calculated the intervening CGM contribution of DM using a modified NFW model. Our results are the first time that the CGM gas fraction of $M_{\text{halo}} \sim 10^{12} - 10^{13} M_{\odot}$ galaxy halos has ever been measured. We will also publicly release our data to allow reproducibility of our results. Similar analysis of future data sets will allow us to detect the imprint of galaxy and AGN feedback on the cosmic baryon distribution.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

U13a Relativistic effects on dispersion measure space distortions

嵯峨 承平 (名古屋大学), David Alonso (Oxford)

高速電波バーストは約 20 年前に発見されて以来、電波望遠鏡によって着実にその発見数を増やしてきている。将来的には Square Kilometre Array (SKA) によって、文字通り桁違いの高速電波バーストが発見されることが期待されている。それにより、赤方偏移銀河サーベイでこれまで行われてきたような 3 次元地図が描かれることによって、高速電波バーストのクラスタリングが新しい宇宙論的情報のプロープとなりうる。高速電波バーストから発せられるパルスの遅れを観測することによって、それぞれ的高速電波バーストの固有の量として分散量度が測定される。この分散量度は自由電子の柱密度に比例するため、局所的な影響を適切に取り除けた時、赤方偏移に変わる位置の推定量と見なすことができる。

本講演では、特殊・一般相対論の影響が分散量度に与える観測的な影響を明らかにし、分散量度を位置の推定量として 3 次元地図を作った時に、観測される歪み *dispersion measure space distortions* がどのような非等方性を有するかを報告する。線形理論に基づいて、相対論的效果の主要な寄与を取り入れたモデル化を行うことによって、通常の赤方偏移歪みとは質的に異なる非等方性のソースが存在するため、特徴的な非等方性が観測されることを明らかにした。SKA を念頭においた検出可能性の議論も行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

U14a Lensing bias on the ensemble average of the cosmological dispersion measure

高橋 龍一 (弘前大学)

高速電波バースト (FRB:Fast Radio Burst) は電波で輝く突発天体 (継続時間ミリ秒) です。2007 年に最初の事例が報告され (Lorimer et al. 2007)、現在までに 500 例以上のイベントが報告されています (CHIME/FRB カタログ)。電波信号の到着時間の波長依存性から DM (Dispersion Measure; 自由電子の柱密度に対応) を直接測ることができます。母銀河が特定された FRB が 40 例以上報告されており、その赤方偏移から宇宙論的距離 ($z = 0-1$) に存在することも確認されています。DM と赤方偏移の関係を用いて自由電子の存在量やハッブル定数に制限が与えられています (e.g., Macquart et al. 2020; Wei & Melia 2023)。

通常、理論的な DM は一様等方宇宙モデルで計算されます。しかし現実の宇宙は非一様密度であるため、重力レンズ効果が経路が曲げられて観測者に届きます。光線は高密度領域を避けて伝わるため、宇宙の平均密度よりも低い密度領域を通過し DM が下がります。この効果は光度距離で詳細に議論されており (e.g., Kaiser & Peacock 2016)、本講演では DM に応用しました。講演者は宇宙論的な 2 次摂動論を用いて非一様性により生ずる DM の補正項を導出しました。その結果、補正項は質量密度揺らぎと自由電子の数密度揺らぎの相互パワースペクトルで与えられることを見出しました。多数の光源に対する DM の平均は一様等方宇宙での DM に比べ、赤方偏移 1 以上で約 1% 以上減少することを見出しました。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

U15a 銀河クラスタリングと弱重力レンズによる重力理論の検証に向けた解析手法の構築

谷田幸貴 (名古屋大学), 宮武広直 (名古屋大学), 横山修一郎 (名古屋大学), 新居舜 (名古屋大学), HSC collaboration

近年、宇宙の加速膨張の発見に伴い、一般相対性理論を修正する修正重力理論が多く提唱されてきた。修正重力理論は、標準宇宙モデルである Λ CDM モデルと異なり、正体不明の宇宙定数を導入することなく、宇宙の加速膨張を説明できるという特徴を持つ。また、近年の観測では、大規模構造観測の益々の高精度化によって、宇宙論スケールにおける修正重力理論の精査が可能になりつつある。

本研究では、HSC3 年目による銀河像カタログと BOSS による銀河カタログから得られる 3 つの 2 点相関関数 (宇宙論的弱重力レンズ、銀河弱重力レンズ、銀河銀河クラスタリング) と赤方偏移空間歪みを用いて、パラメータ推定によって修正重力モデルを検証することを目指す。また、本研究では、具体的な修正重力理論を用いずに、非相対論的物質と相対論的物質の感じる重力を現象論的に変更するパラメータを採用する (μ - Σ パラメータ)。

一般にパラメータ推定で用いられるマルコフ連鎖モンテカルロ法 (MCMC) で得られる事後分布を 1 次元に投影すると投影効果などによって誤った解釈を行ってしまうことがある。模擬データを用いた解析を行ったところ、 μ - Σ パラメータにおいても投影効果が見られたため、本研究では投影効果の影響を受けないプロフィール尤度を用いたパラメータ推定の結果を示す。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

U16a 重力波波源の角度パワースペクトルとレンズ収束場の関係を用いた宇宙論

中馬史博 (千葉大学), 大栗真宗 (千葉大学)

GW150914 の観測以降、重力波観測技術は発展を続け、宇宙論的議論への重力波観測の応用が期待されている。一つの利点としてコンパクト連星の合体によって生じる重力波の波形を解析すると光度距離を直接導出できるといふ点がある。この光度距離には観測誤差とともに、波源から観測点までの重力場による弱い重力レンズ効果が刻印されると想定される。この重力レンズ効果を示すレンズ収束場の分散 $\langle \kappa^2 \rangle$ は宇宙論的な情報を豊富に有し、これまでの Ia 型超新星を用いたレンズ収束場の分散の研究からは、例えば原始ブラックホール (PBH) やニュートリノの質量、小スケールの宇宙論的密度パワースペクトルなどにも制限をつけることが示されている。

本研究では、ブラックホール連星などの重力波波源の角度パワースペクトルから、重力波波源の赤方偏移の情報を用いずに、レンズ収束場を測定する新しい手法を提案する。重力波波源までの光度距離 D をレンズ収束場 κ によって 2 次まで展開し、重力波波源の自己相関角度パワースペクトル $C^{ww}(\ell)$ にレンズ収束場の分散 $\langle \kappa^2 \rangle$ を組み込むことで、重力波波源の自己相関角度パワースペクトル $C^{ww}(\ell)$ とレンズ収束場の分散 $\langle \kappa^2 \rangle$ の間の反相関の関係が解析的に得られた。

本講演では、この重力波波源の自己相関角度パワースペクトルとレンズ収束場の分散の関係を提示するとともに、この関係からレンズ収束場の分散を自己相関角度パワースペクトルから測定する新しい手法の提案とその展望について議論したい。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

U17a 重力レンズの波動光学効果における Born 近似

鎗本浩孝 (千葉大学), 大栗真宗 (千葉大学)

遠方の天体からの光は我々に到達するまでに、宇宙の非一様な物質分布の影響 (重力) で経路が複雑に湾曲する。これを重力レンズ効果といい、可視光に対しては幾何光学近似が用いられてきた。しかし近年観測可能になった重力波に対する重力レンズ効果を考えようとする、幾何光学近似の限界が訪れ、波動光学効果を考慮する必要がある。波動光学効果を計算する際、いくつかの例外的な状況を除いて何らかの近似が必要となるが、我々は今回、Born 近似に注目し、その有効性や適応限界などについて点質量レンズなどの簡単な質量モデルを用いて調べた。その結果、近似の有無による波形の違い $\delta\Phi/\Phi$ は、レンズ中心からの距離 y に対しておよそ $\frac{\delta\Phi}{\Phi} \propto y^{-2}$ という関係にあることがわかった。また、このことを定性的に説明するという目的のため、Born 近似の 2 次の項についても解析した。本講演では、これらの解析結果を紹介し、Born 近似の有効性およびその改善の可能性について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

U18a 臨界曲線近傍の超高増光率像に関する統計的理論モデル

河合宏紀 (東京大学, 千葉大学), 大栗真宗 (千葉大学)

銀河団をレンズ天体とする強重力レンズ効果において、非常に高い増光率の単独の星などの光源が近年観測されている。これらの超高増光率の光源は、レンズ天体の (大局的) 臨界曲線と呼ばれる曲線の近傍で観測され、その形状や分布はレンズ天体内の質量分布に依存する。臨界曲線は大きく 2 種類に分けられる。1 つ目は銀河団の大局的な密度分布から得られる、10 秒角程度の大きさの大局的臨界曲線である。2 つ目は銀河団内に存在する星やブラックホールなどによる、0.1 秒角以下の大きさの局所的臨界曲線である。これらの臨界曲線近傍で見つかる超高増光率像の観測例は今後増えていくことが期待されており、観測頻度や位置を統計的に理解し予言することが重要となる。

本研究では Glafic と Gerlumph と呼ばれる重力レンズ効果のシミュレーション結果を基に、超高増光率像の確率密度関数に関する統計的理論モデルを構築した。特に銀河団内の星の量と、像の大局的臨界曲線からの距離を 2 つのパラメータとし、確率密度関数のパラメータ依存性を調べた。我々は「独立した局所臨界曲線の個数」を定義し、それが確率密度関数を表すために重要な物理量になることを発見した。また光源サイズが有限の場合、確率密度関数が相対的に小さくなることも理論的に示した。最後にここで得られた理論モデルを用いて、超高増光率像の観測頻度とその位置を統計的に予言することに成功した。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V101a 次世代太陽風観測装置の開発：327MHz 帯の広視野フェーズドアレイアンテナ

岩井一正, 藤木謙一, 竹原大智, 加賀尾勇典, 渡部温 (名古屋大学)

太陽風中の擾乱が電波を散乱することで惑星間空間シンチレーション (IPS) 現象が発生する。地上の電波望遠鏡を用いて太陽系外の電波天体を観測することで得られる IPS データはグローバルな太陽圏構造の理解に貢献することに加え、惑星間空間を伝搬中の太陽風擾乱現象を効率良く検出し、その地球への到来予測を可能とすることで、宇宙天気予報の高精度化にも貢献してきた。名古屋大学では、327MHz 帯域において約 40 年の継続した IPS 観測を行ってきた。これまでの研究から、太陽風の加速過程の理解や、太陽風予測の高精度化には IPS 観測の稠密化が必要であることがわかってきた。そこで IPS 観測性能を格段に向上させ次世代の太陽圏研究・宇宙天気予報をリードする「次世代太陽風観測装置」の計画が進められている。本計画では国内 3 か所にそれぞれ約 4000 平方メートルの物理開口面積を持つ広視野平面フェーズドアレイアンテナを建設し、そこに独自に開発したデジタルフェーズドアレイ装置を搭載することで、既存装置の 10 倍の IPS 観測能力を持つ電波観測装置を開発する。本講演ではその進捗について報告する。

信号処理系は多数の FPGA を接続することで多数の入力信号を合成し独立した 8 ビームを同時に合成するデジタルバックエンドの開発が完了し量産体制が整った。現在最初のアレイの信号処理を受け持つ 64ch 分の装置の性能測定試験が進められている。アンテナ系ではダイポールアンテナおよび 2 素子八木アンテナを検討し、試作アレイアンテナを開発した。これらのアレイアンテナは 300-350MHz の帯域で要求性能を満たす一方、デジタル系の負荷を減らすために最大 16 系統の信号をアナログで合成する必要がある。そこで信号合成系の検討を行い、16 系統のアナログ信号を 0.5dB 未満の損失で合成できる合成器を開発した。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

V102a 次世代太陽風観測装置用デジタルマルチビームフォーマの開発

竹原大智 (名古屋大学), 岩井一正 (名古屋大学)

名古屋大学では、宇宙天気予報ならびに太陽圏研究に役立つ次世代太陽風観測装置 (以下、次世代装置) の開発を行っている。次世代装置では既存の観測装置と比べて約 10 倍の太陽風速度データを創出することが可能である。現在、名古屋大学ではシリンダカルパラボラアンテナ (327MHz) 3 局で構成される IPS 観測装置を用いて、太陽表面での爆発に伴って発生し惑星間空間を伝搬する太陽風の擾乱を効率よく検出している。IPS 観測とは、太陽風の中にあるプラズマの密度ゆらぎによって生じる受信電波の強度や位相の時間的な揺らぎを観測するものである。我々の IPS 観測から得たデータを活用することで太陽風の擾乱の到達予報精度が向上することが明らかになっている。

次世代装置ではマルチビームを実装することで 1 日に最大 1000 天体を観測し、1 天体の観測時間は 200 秒を目標としている。最終的には 1024 チャンネルのアレイを形成する予定であり、現在はその一部である 64 チャンネルの用意ができています。本研究では、白色雑音源を用いた疑似信号を入力してプロトタイプ機 (8 チャンネル) の線型性の調査を行った。その結果、ビーム角 0 度でのビーム合成可能な入力範囲は -16dBm から -80dBm で、入力レベルが -38dBm から -56dBm の範囲においては線型性があることが分かった。また、想定されるアンテナ間隔の場合、ビーム指向方向から 5 度ずれた方向からの混入に対しては利得が約 10dB 落ちることが分かった。

本講演ではプロトタイプ機 (8 チャンネル) の性能評価の結果と、64 チャンネルビームフォーマの実証実験の進捗状況について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

V103a Event Horizon Explorer ミッション (I): ミッションの動機と科学的目標

秋山和徳 (MIT), Michael Johnson, Janice Houston, Kari Haworth (Harvard & Smithsonian CfA), Peter Kurczynski, Eliad Peretz (NASA), Peter Galison (Harvard U.), Sridharan Tirupati Kumura (NRAO), Jade Wang (MIT), Daniel Marrone (U. Arizona), Alex Lupsasca (Vanderbilt U.), Ronald Gamble (U. Maryland), 秦和弘 (国立天文台), 新沼浩太郎 (山口大), on behalf of EHE Team

Event Horizon Explorer (EHE) は NASA の小型衛星ミッションとして 2030 年代の打ち上げを目指す次期スペース VLBI 衛星計画である。EHE はミリ波サブミリ波帯 (86, 230, 345 GHz) の地上の VLBI 観測網を宇宙へ拡張し、天文学史上最も高い空間分解能を実現することで、ブラックホールの「光子リング」の初検出および測定を目指す。光子リングはブラックホールの周りを回転した後に観測者に届く光が作り出す高輝度かつ細いリング状の放射で、その形状や特徴はブラックホールを取り巻く複雑なプラズマの天体物理学に依存しない。その形状の測定からブラックホール時空、特にブラックホールのスピンの初の直接的な測定が可能になる。EHE は M87* や Sgr A* に加えて、他の近傍の超巨大ブラックホール天体の事象の地平面スケールの観測を行い、超巨大ブラックホールの進化や成長のプロセスを探ることを目標にしている。またこれらの超巨大ブラックホール天体とその活動銀河核ジェットを合わせて観測することで、相対論的ジェットの駆動機構の詳細な探査を目指す。このようなスペース VLBI ミッションは、超高速レーザー通信技術をはじめとする近年の技術革新および Event Horizon Telescope などの地上の観測網の整備により可能となりつつある。EHE は米国を中心とする国際チームにより検討が進み、日米の共同ミッションとして NASA および JAXA へのミッションの共同提案の可能性が議論されている。本講演では EHE のミッションの動機や科学的目標、そして今後のタイムラインを中心に概要を紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

V104a Event Horizon Explorer ミッション (II): EHE-Japan の目指すもの

本間希樹, 秦和弘, 鶴澤佳徳, 廣田朋也, 増井翔 (国立天文台), 秋山和徳 (MIT), 新沼浩太郎 (山口大), 大須賀健 (筑波大), 川島朋尚 (東京大), 小山翔子 (新潟大), 佐野栄俊 (岐阜大), 土居明広 (JAXA), 萩原喜昭 (東洋大), 樋口あや (東京電機大), 恒任優, Peter Galison, Michael Johnson, Hannah Rana, Edward Tong (Harvard-Smithsonian CfA), on behalf of EHE-Japan team

EHE (Event Horizon Explorer) は NASA の小型衛星 (SMEX) 枠で 2030 年代の打ち上げを目指すミリ波サブミリ波帯 (86GHz/230GHz/345GHz) のスペース VLBI 衛星プロジェクトである。EHE は、ミリ波サブミリ波 VLBI の基線長を宇宙へと拡大することで超巨大ブラックホール周辺的光子リングを分解し、ブラックホールの時空構造の精密測定や降着円盤・ジェット放射の物理状態の理解を深化させることを狙う。EHE は NASA を中心とした国際プロジェクトとなることが想定され、日本の参加・貢献可能性を検討する国内組織・EHE-Japan が 2023 年秋に立ち上げられて、様々な可能性が現在検討されている。衛星開発面では、これまで JAXA と住友重機が開発してきた衛星用冷凍機が現在 EHE でも有力候補に挙がっており、また、受信機開発では国立天文台先端技術センターからの SIS チップ提供や広帯域化のためのコンポジット提供の可能性等が検討されている。さらに、科学運用面では、EHT などの現存地上のミリ波望遠鏡との VLBI 観測に加え、東アジア VLBI 観測網のうち 86GHz/230GHz 帯をカバーする地上局の VLBI 観測参加も想定される。一方サイエンス面では、画像解析を含むデータ処理や観測・理論両面からのブラックホール研究への貢献に加えて、VLBI 観測以外の衛星運用時間を活用した単一鏡によるミリ波天文学の推進についても検討が進められている。本講演では、2023 年秋より活動を開始した EHE-Japan における上記の検討状況について、技術開発から科学面に至るまで、その概要を紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V105a TREED: 21cm 線グローバルシグナル観測に向けた検討・開発状況

吉浦伸太郎, 河野裕介, 藏原昂平, 大木愛花 (国立天文台), 高橋智, 岡松郁弥 (佐賀大学), 中西裕之 (鹿児島大学), 三澤浩昭 (東北大学), 北元 (東北工業大学)

中性水素原子由来の 21cm 線は宇宙再電離期や宇宙の夜明け期、暗黒時代などの高赤方偏移を探るための有力な観測量である。特に、赤方偏移した 21cm 線のグローバルシグナル (平均スペクトル) の進化には、宇宙初期の銀河進化、初代星誕生時期、宇宙論など多岐にわたる情報が含まれている。再電離期以前の 21cm 線は 200MHz 以下の低周波電波として観測される。揺らぎの観測には巨大な電波干渉計が必要だが、グローバルシグナルは 1 台の小さなアンテナでも、理想的には 100 時間規模の観測時間で検出感度を達成できる。そのため、過去 10 年以上に渡って、21cm 線を検出するために世界中で様々な低周波観測計画が進行してきたが、未だ確かな検出には至っていない。また、近年、電離層の影響で地上での観測が難しい暗黒時代の 21cm 線 (特に 30MHz 以下) の観測を目的として、月周回衛星や月面での観測の構想も世界中で進んでいる。こうした背景がある中で、我々は 21cm 線のグローバルシグナル検出に向けた低周波電波観測プロジェクト TREED (The REceiver Exploring Dark Ages) を立ち上げた。本計画では、アンテナや受信機を開発し、地上から 200-50MHz の電波観測を実施することで暗黒時代末期や初代星誕生以後の 21cm 線の検出を目指しつつ、将来的な展望として地球軌道周回衛星での観測や月面での暗黒時代 21cm 線観測を見据えて検討開発を実施する。これまでに、理論モデルや解析方法の開発や高精度雑音源を用いた装置較正法の導入、受信機を含んだ地上での観測システムの構築試験を行ってきた。本講演では、TREED 計画の目指すサイエンスや概要を紹介し、現在までに行われてきた装置開発および観測実験の状況を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V106a SKA プロジェクトへの参加計画 9

赤堀卓也, 小林秀行, 本間希樹, 町田真美 (国立天文台), 新沼浩太郎 (山口大学), 他国立天文台水沢 VLBI 観測所 SKA1 サブプロジェクト

Square Kilometre Array (SKA) 計画の国内外の全体の進捗を報告する。計画は、第 1 期 (SKA1) の建設が 2021 年 7 月から開始され、いよいよ 2024 年から Array Assemble が始まる (AA0.5)。契約は約 60% が完了したが、世界的なインフレや半導体不足への対策なども継続している。主要契約が未了の MID の工程がやや後ろ倒しとなり、ステーション素子アンテナの配置を調整中の LOW とも合わせて、建設後期の日程がタイトになりつつある。条約批准国は 9 ヶ国 (スペインが追加) に増えた。他、観測・保守の年間計画や、SKA Regional Centre (SRC) の組織体制の見直しを検討されている。アジアでは、定期的に開催している東アジア SKA ワークショップが 2023 年 10 月末に韓国で行われた。パネル議論では特に SRC の協力について有意義な議論が行われた。

国立天文台では、2019 年から 3 年間、水沢 VLBI 観測所下の SKA1 検討グループとして、コミュニティと共に日本の参加案をとりまとめた。そして同所サブプロジェクトとして、さらに 2 年間、参加計画を特に予算面において深化させることになった。2023 年秋季年会では、大規模研費への応募、日本学術会議の未来の学術振興構想 2023 への掲載、そして文部科学省ロードマップに 2000 年度に引き続き名古屋大学から提案したことを報告した。この間、来年度の台内予算要求への対応、そして人員要求を行ってきた。小林サブプロ長の退職に先立ち、山口大学の新沼浩太郎教授に技術部門長をお引き受け頂き、またカウンセラーオブサーバは講演者が暫定的に引き継ぐ予定である。講演では、予算獲得と戦略、組織体制、今後の方針の最新情報を共有する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V107a 月面天文台 TSUKUYOMI の実現に向けた概念設計検討 4

井口聖 (自然科学研究機構国立天文台)、磯部直樹、山田亨 (JAXA 宇宙科学研究所)、大西利和、山崎康正、松本健 (大阪公立大学)、山内大介 (岡山理科大学)、土屋史紀 (東北大学)、高橋慶太郎 (熊本大学)、岩田隆浩、宇佐美尚人、関本裕太郎、宮崎康行、佐伯孝尚、森治、吉光徹雄 (JAXA 宇宙科学研究所)

我々はこれまで日本天文学会の年会などを通じて月天文台構想に関する科学目的 (2022 年秋 U09a、2023 年秋 Z216b)、概念設計とフィジビリティ検討 (2022 年秋 V132a、V133a、2023 年春 V138a、2023 年秋 V141a、V141a) について報告を行ってきた。本構想では、特に星形成や宇宙再電離の影響を受けず純粋に宇宙論のみで決まるとされる「暗黒時代における 21cm 線グローバルシグナル (空間的な平均温度)」の検出を目指す検討を中心にシステム設計およびフィジビリティ検討を行ってきた。本講演では、月面天文台 TSUKUYOMI の概念設計検討の中で、これまで報告してこなかった搭載機器としての信号伝送系および周波数標準伝送系のシステム概念設計、そしてデジタル分光器とデータ伝送速度を制限するデジタルフィルタバンクの設計とその評価について報告する。グローバルシグナルは周波数 15 MHz を中心に宇宙マイクロ波背景放射に対して約 40 mK の吸収量として現れる。この僅かな吸収量を測定するため、広帯域通過特性かつ、高安定な周波数特性を維持しなければならない。アンテナの周波数応答特性、プリアンプの周波数応答特性とそれらのカップリング特性などに加え、信号伝送系の周波数応答特性そしてデジタル分光計の周波数応答特性も同様に挑戦的な科学要求が課せられている。特に、それらを満たす設計とその評価結果について紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V108b 月面天文台 TSUKUYOMI に向けた電圧増幅受信システムの観測実証実験

松本健、國年悠里、中川凌、東野康祐、山崎康正、大西利和、小川英夫 (大阪公立大学)、井口聖 (自然科学研究機構国立天文台)、月面天文台 TSUKUYOMI 検討グループ

地球の電離層による電波遮断や人工電波・オーロラ等の自然電波による電波障害の影響を受けないことから、月面の裏側で行う 10 MHz 以下の低周波電波観測には、地上では観測困難である宇宙再電離期以前の科学研究の実現が期待される。我々は、月面天文台 TSUKUYOMI の科学目標の一つである暗黒時代に相当する中性水素 21 cm 線グローバルシグナルの検出に向けたシステム設計を進めている。

理論モデルで予測される CMB に対して約 40 mK という微小な吸収線を検出するためには、1-50 MHz という広帯域観測に加えて、安定した周波数特性を保持することが重要である。周波数が低くなるほど放射抵抗の値が小さくなるショートダイポールでのアンテナ受信により、主要な雑音源となる銀河系からの前景放射による観測帯域の周波数特性を抑制する。また、扱う波長が長いことから、集中定数回路によるアンテナ・プリアンプ間の電圧伝送を行うことで、広帯域性能を保証する。松本他 2023 年秋季年会では、本システムにおける雑音見積を行い、プリアンプの雑音電圧密度が $\sim 2 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ 程度以下とすることで、前景放射と比較して観測量への影響が十分に小さい受信機雑音に達することを確認した。今回我々は、アンテナ・プリアンプ・抵抗雑音を用いた原理実証から、周波数応答やアンテナ感度を保持する上で、プリアンプの入力容量と回路の浮遊容量を低く保つことが重要であることが明らかとなった。つまり、周辺環境によるアンテナインピーダンスの変化が周波数応答に大きく影響を与える。本講演では、月の誘電率や温度、周辺の構造物による周波数応答の変化を示すだけでなく、野辺山宇宙電波観測所で実施したワイヤーアンテナによる電圧増幅システムの観測実証実験の結果についても報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V109b 岐阜大学 11m 電波望遠鏡の運用状況 - II

村瀬建、浅野裕也、井上陽登、藤森将太、森東瑞人、魚住光史、杉野裕輝、豊田裕也、山中祐里奈、佐藤晴、松原康平、宮本遼、村瀬寛起、佐野栄俊、高羽浩、若松謙一 (岐阜大学)、須藤広志 (仙台大専/岐阜大学)

岐阜大学 11m 電波望遠鏡は、岐阜大学構内に設置されている電波望遠鏡である。現在は、H₂O メーザー源の単一鏡サーベイ観測をほぼ毎日実施しつつ、大学 VLBI 連携観測事業 Japanese VLBI Network (JVN) 電波望遠鏡・VLBI 観測網の 1 局として参加するために、VLBI 観測モードの導入と試験観測を進めている。10 月から開始した 2023 年観測シーズンでは、赤外線光度や Gaia による距離情報をまとめた O-rich 星カタログを作成し、単一鏡による H₂O メーザーサーベイを実施している。2023 年 11 月 30 日までに 81 天体の観測を実施し、10 天体からメーザーを検出した。本単一鏡サーベイは、国立天文台 VERA 入来局とも連携している。2023 年秋季年会では、ADS-3000 と K5/VSI を用いたフリンジテストの結果を報告した (村瀬他 2023 年秋季年会)。2023 年 9 月 19 日には、茨城大学より ADS-3000+ を借用し、ADS-3000+ と K5/VSI を用いて高萩 32m 望遠鏡とのフリンジテストを 9 月 19 日と 10 月 5 日に 2 度実施した。予稿提出時現在はフリンジサーチを実施している。

本望遠鏡の運用・性能評価・保守作業は、主に岐阜大学学生が主体となって実施している。2023 年 10 月 12 日に K5/VSSP32 を用いて分光計システムのアラン分散安定時間測定を実施した。また、マッピング観測の準備を整え、単一鏡観測の空き時間にビームパターン測定を実施中である。2023 年 10 月下旬以降、出力スペクトルにうねりが発生し、一時運用を中止した。調査の結果、デューア直後のパワーデバイダーの不具合であることが判明した。現在は 1 経路での運用を行っている。本講演では上記を含め、2023 年秋季年会以降の運用状況と、今後の装置アップデートに関して報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V110b 3D プリント製 6.5 – 12.5 GHz 帯直交偏波分離器の性能評価

松原空洋, 藤澤健太, 新沼浩太郎 (山口大), 孫赫陽, 知念翼, 山崎康正, 長谷川豊, 小川英夫, 大西利和 (大阪公立大), 米倉覚則 (茨城大), 金子慶子, 神澤富雄, 三ツ井健司, 増井翔 (国立天文台)

部品製作において、金属 3D プリントを用いることにより複雑な形状や内部構造を持つ導波管回路を一体化することができ、回路全体のコンパクト化の実現が可能となる。我々は 6.5 – 12.5 GHz 帯のターンスタイル型直交偏波分離器 (OMT) の開発を行ってきた (知念他 2023 春季年会)。この OMT は回路が複雑であるため、切削加工での製作の場合、複数の金属パーツをねじで締結する必要があり、コンポーネントの肥大化が避けられないという課題があった。そこで、我々は金属 3D プリントを用いて上記 OMT (以下 3D-OMT とする) を製作することで、センチ波帯の回路のコンパクト化、軽量化が可能になり、本 OMT が持つ課題が改善できると考えている。

これまで既に 3D-OMT の試作を実施しており、反射損失はシミュレーション結果とほぼ一致した。一方、挿入損失に多くの共振が見られ、交差偏波特性がシミュレーション値より劣化するという結果を得た。検証の結果、3D-OMT の Tower 部が 3D プリントで製作する際の都合上、楕円のような形になってしまうことが交差偏波分離度を悪化させている原因だと判明した。そこで 3D-OMT を造形する際の向きを工夫することで交差偏波分離度が低い問題を改善した (孫他 2023 秋季年会)。

本講演では、その後の進捗について述べる。製作した 3D-OMT を受信機に搭載し、Y-factor 法で受信機雑音測定を行い、切削型 OMT 搭載時と比較した結果、ほぼ同等の値を得た。また原因が明らかではない共振問題については、3D-OMT モデルのシミュレーション及び測定方法の両面から検証している。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V111c SKA1 サブプロジェクト技術部門報告

新沼浩太郎 (山口大学), 河野裕介, 砂田和良, 小山友明, 寺家孝明, 藏原昂平, 小林秀行 (国立天文台), 山崎康正 (大阪公立大学), ほか SKA1 サブプロジェクト

SKA 計画は、50 - 350MHz の SKA LOW をオーストラリアに 350MHz - 15.4GHz の SKA MID を南アフリカに建設する計画で、第 1 期の SKA1 計画の建設が 2021 年 7 月から参加メンバー国による分担の元に開始されている。

国立天文台では、2023 年 4 月より水沢 VLBI 観測所のサブプロジェクトとして SKA1 サブプロジェクトが発足し、引き続き日本の参加計画について検討を進めている。特に技術部門においては MID および LOW とともに 2024 年から開始される Array Assemble (AA0.5) に向けて、AIV 活動を中心に人的貢献を行なっている。具体的には MID に関し DISH AIV の RFI モニター装置の開発を、LOW では AA0.5 における試験計画の作成を担当している。また、SKA-VLBI に向けた超高速記録システムの開発、高周波数帯 (Band6) 受信システムにおける光学系設計など、日本の強みを生かした技術貢献を SKA Observatory Development Program (SODP) の枠組みで進めるべく検討を進めているところである。

技術部門の体制としては 2023 年 10 月よりサブプロジェクトの技術部門長に新沼が就任した。新沼は日本の SKA 参加を目指すコミュニティ団体「日本 SKA 協会 (SKA-JP)」におけるエンジニアリングワーキンググループ長も兼務しており、サブプロジェクトとコミュニティが密接に連携できる体制となっている。本講演では、SKA1 サブプロジェクト技術部門としての現在の活動状況および今後の計画について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V112c SKA Regional Centre (SRC) の進捗状況 2023

吉浦伸太郎, 赤堀卓也, 山下一芳, 出口真輔, 廣田朋也, 岩田悠平 (国立天文台), 酒見はる香 (鹿児島大学), ほか SKA1 サブプロジェクト SRC 部門

SKA 地域センター (SRC) は、SKA のデータを保持しユーザーの解析リソースを提供する学術情報基盤である。SKA の膨大なデータを単一機関だけで保持するのが難しいため、SRC はネットワーク (SRCNet) を構成して協力してサービスを提供する予定である。SRCNet 全体で 22 PFlops の演算性能と、毎年 700 PB 増する記憶容量、そして 100 Gbps の高速ネットワーク結合が求められている。日本は SRCNet の正式メンバーであり、日本支部 (JPSRC) は約 0.7 PFlops の演算性能と 50 PB の記憶容量を 2028 年初頭までに SRCNet に供したいと考えている。JPSRC はクラウド・コンテナ・ウェブ技術で天文データ解析に革新をもたらすことを目指している。

本講演では、主に 2023 年中の SRC 開発の国内外の進捗状況を報告する。SRC の開発は Scaled Agile Framework (SAFe) の開発手法を採用し、Program Increment の PI17, PI18, PI19, PI20 が進められた。CERN ATLAS 実験で開発された Rucio と呼ばれる分散ファイル共有の仕組みを JPSRC も参加して試験中である。学術認証連合 eduGAIN とアイデンティティおよびアクセス管理 (IAM) の仕組みを活用したシングルサインオンの検討が進み、JPSRC は国立情報学研究所が管理する学認との連携試験中である。分散コンピューティングの仕組みは複数の検討が並行するが、コンテナを単位にした Kubernetes によるオーケストレーションと、カナダ天文データセンターが開発した CANFAR 科学基盤を実装した仕組みを、JPSRC も加わって導入検査している。日本独自の試みとして、ポルトガル局と大陸間クラウドを構成し問題点を洗い出したり、国産の高度計算技術の導入試験や性能評価を実施したりしている。SRC は 2023 年 9 月に行われた内部レビューを受けて、現在、組織再編を進めている。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V113c SKA プロジェクトに向けた科学検討7

町田真美、赤堀卓也(国立天文台)、高橋慶太郎(熊本大学)、他国立天文台水沢 VLBI 観測所 SKA1 サブプロジェクト

SKA プロジェクトに向けた科学検討の進捗を報告する。国際的には、宇宙再電離 (EoR) をテーマとしたデータチャレンジ (SDC3) が行われた。日本も含む 13 か国 28 チームがエントリーし、日本チームは 11 位の成績をおさめた。2024 年中に AA0.5 として試験観測が開始されることをうけ、science commitioning, science verification の手順などの議論が開始された。現在、key science projects(KSPs) と提案型観測との観測時間割合、プロポーザルの審査体制に関する議論が進んでいる。また、Mid, Low の観測用の感度計算 GUI 作成も進行している。SKA に関連する国際会議としては、2023 年 5 月にカナダ、バンクーバーにて SKA-ngVLA 研究会が開催され、日本からは 11 名が参加した。2024 年 2 月に MeerKAT の 5 年間の運用成果を総括する会議、8 月にケープタウンで開催予定の IAU General Assembly に合わせて SKA の科学イベントも企画されている。国際的な科学成果としては、パルサータイミングアレイによるナノヘルツ重力波検出の可能性が報告された。ナノヘルツ重力波の発見は、Indian PTA に熊本大学を中心とする日本の研究グループが理論モデル構築面で参加している。

日本国内の活動としては、2023 年 2 月に PASJ 特集号「Meter and Centimeter Radio Astronomy in a Coming Decade」が刊行された。また、日本天文学会 2023 年秋季年会において、企画セッション「センチ波・メートル波天文学の進展」を ngVLA, JVN など低周波電波グループと共同で開催した。また、SKA ウェビナーシリーズ 2023 をオンラインで不定期に開催しており、2023 年 12 月現在で 5 回行っている。SKA に関連する研究業績・学位取得者は前年度水準を維持し、獲得資金は増加している。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V114c 高萩・日立 32 m 電波望遠鏡の整備・運用状況 2024A

米倉寛則, 田辺義浩, 森泉伶, 古川真祐子, 百瀬宗武(茨城大), 孫赫陽, 抱江柁利, 小川英夫(大阪公大), 元木業人, 新沼浩太郎, 藤沢健太(山口大), 高羽浩, 佐野栄俊, 村瀬建(岐阜大), 久野成夫(筑波大), 中川亜紀治(鹿児島大), 本間希樹, 小林秀行(国立天文台), 他 JVN 関係者

茨城大学が運用する国立天文台水沢 VLBI 観測所茨城観測局(日立 32-m アンテナ、高萩 32-m アンテナ)では、東アジア VLBI 観測網(EAVN)の共同利用観測や VERA 大型共同観測プログラム(VLCOP)の VLBI イメージング観測を 6.7, 8.4, 22 GHz において実施するとともに、6.7, 8.4 GHz においては山口 32-m アンテナ、山口 34-m アンテナとともに少数基線 VLBI 観測によりコンパクトな連続波源の高感度観測を実施している。また、6.7, 12.2, 19.9 GHz 等のメタノールメーザー源の単一鏡モニター観測を毎日実施している。日立アンテナは 1 年を通して 6.5-12.5 GHz 帯受信機を搭載し、高萩アンテナは 9 月から 6 月は 22 GHz 帯受信機を搭載している。EAVN 共同利用観測には、6.7 GHz 帯および 22 GHz 帯において、それぞれ年間 100 時間を提供している。

2023 年 1 月に日立アンテナに従来の冷却受信機(6.6-7.1, 8.0-8.8 GHz)に替えて広帯域冷却受信機(6.5-12.5 GHz)を搭載した(知念他 2023 年春季年会)事を受け、2023 年 2 月末から 12.2 GHz メタノールメーザーのモニター観測を開始した。また、開口能率およびその仰角依存性の測定を行なっている。現在、冷却受信機出力を 4 分配した後、6.7, 8.4, 12.2 GHz およびサイドバンド分離型 IF 系(受信周波数可変)に導く IF 系を新規製作中である。これにより大質量星の形成過程における「アクリションバースト」の発生時においてのみ検出例のあるメタノールメーザー(7.6, 7.8 GHz など)の観測に即応できるようにする。(本研究は、国立天文台大学間連携プロジェクト「国内 VLBI ネットワーク事業(JVN)」、JSPS 科研費 JP21H01120、JP21H00032 の助成を受けた)。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V115c VERA 搭載用 6-18GHz 帯広帯域受信システムの開発 II

新沼浩太郎, 野原祥吾, 松原空洋(山口大学), 赤堀卓也, 砂田和良, 小山友明, 増井翔(国立天文台), 湯山義崇, 作間啓太, 關谷尚人(山梨大学), 長谷川豊, 山崎康正, 抱江柁利, 小川英夫(大阪公立大学)

中性子星やブラックホールなどのコンパクト天体をはじめとする高エネルギー突発現象について観測的理解を深めるためには粒子加速に伴う非熱的放射を反映するセンチ波帯を広範にまたがり、同時に観測を行うことは極めて重要である。しかしながら、近年、いわゆるメガ・コンステレーション計画によって 1 万を超える通信衛星が打ち上げられ、センチ波帯の強い送受信が行われるようになっていくとともに、地上でもセンチ波帯の周波数利用は高まる一方である。そのため、地上におけるセンチ波帯の電波観測では、装置開発の難しさを克服するだけでなく、これらの人工電波干渉(RFI)の影響を避ける必要もある。このような状況から、電波観測システムの広帯域化が進む昨今においても、センチ波帯においては数 GHz を超えるような広い帯域を同時に観測可能なシステムの開発は最近まで進んでこなかった。

本研究ではこの現状を打開するため高温超伝導フィルター(湯山ほか本年会)や広帯域給電部および光学系の設計・開発(例えば、抱江ほか 2023 年秋季年会 Z214b、山崎ほか 2023 年秋季年会 Z223a など)によってセンチ波帯広帯域受信システムを実現し、VERA 望遠鏡に搭載(upgrade-VERA: u-VERA 計画)することを目指している(新沼ほか 2023 年秋季年会 Z215b)。また、2023 年 10 月中旬に高温超伝導フィルターにおける遮断周波数を決定するための RFI 調査を実施した。現在は同調査結果を踏まえて同フィルターの詳細設計に向けた検討を進めているところである。本講演では同計画の現状について紹介する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V116a The Next Generation Very Large Array - Spring 2024

泉拓磨 (NAOJ), 百瀬宗武 (茨城大), Alvaro Gonzalez, 深川美里, 廿日出文洋, 伊王野大介, 片岡章雅, 永井洋, 長谷川哲夫 (NAOJ), 奥住聡, 田中圭 (東工大), 大屋瑠子 (京大), 立原研悟 (名古屋大), 佐野栄俊 (岐阜大), 竹川俊也 (神奈川大), 新沼浩太郎 (山口大), 坂井南美 (理化学研究所)

We present recent progresses of the Next Generation Very Large Array (ngVLA) project. The ngVLA will be operated at frequencies from 1.2 to 116 GHz and consist of three arrays: the Main Array (214 × 18-m antennas with baselines up to 1000 km), the Short Baseline Array (19 × 6-m antennas and 4 × 18-m single dish), and the Long Baseline Array (30 × 18-m antennas with the longest baseline of 8860 km). The ngVLA will achieve 10× higher sensitivity and > 10× higher resolution than the VLA and ALMA, which will revolutionize our understandings on various aspects of the universe. In collaboration with NRAO, NAOJ ngVLA Study Group and the Science Working Group consisting of community members are developing unique science cases and key technical contributions of Japan. In this presentation, the new structure of the Study Group will be overviewed, and the recent progress on antennas, receivers, and photonics, which are the main technical contributions of Japan, will be reported. For example, laboratory experiments on the photonics (frequency reference transfer system) have successfully demonstrated stable signal distribution over long distances totaling 400 km. In addition, as a major movement on the US side after Astro2020, ngVLA has entered the NSF's Major Research Equipment & Facilities Construction (MREFC) review process this year. Given these circumstances, we will discuss a refined timeline of our Japanese contribution plan to this project.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V117a Update on ALMA Operations and Development Program - Spring 2024

M. Fukagawa, S. Iguchi, B. Hatsukade, K. Kikuchi, S. Sakamoto, K. Sugimoto, T. Kojima (NAOJ), and the ALMA Project team

In this presentation, we will offer an update on ALMA Operations and Development Program.

Operations: The transition from Cycle 9 to Cycle 10 observation season took place at the end of September 2023 as planned, and Cycle 10 open-use observations have begun, which will continue until September 2024. In Cycle 9, full configuration-9 and 10 were attained on schedule for the first time and it was the most successful cycle for the TP Array in ALMA's history. This presentation will provide an overview summary of Cycle 9 and the latest status in Cycle 10.

Development: All Band 1 receivers (35-50 GHz) are being integrated into the array in preparation for the start of science observations anticipated in March 2024. While these development projects are being completed, vigorous work is underway in ALMA2 to upgrade the Band 8 receivers and to develop the data transmission system. Internationally, ALMA continues to develop detailed plans towards the implementation of the Wideband Sensitivity Upgrade (WSU). In this presentation, we will provide an update on the latest situation.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V118a アルマバンド 8v2 受信機アップグレードプロジェクトの概要

小嶋 崇文, 南谷 哲宏, 坂井 了, 今田 大皓, 金子 慶子, 増井 翔, 上水 和典, 牧瀬 圭正, 宮地 晃平, 江崎 翔平, 田村 友範 (国立天文台)

アルマ望遠鏡は多くの観測成果を創出し続けている一方で、今後も引き続き天文学を牽引していくために、観測機能の高度化を行う「アルマ2」計画がスタートした。アルマ2では観測システムの同時受信周波数の広帯域幅化が最重要項目の一つとして掲げられている。国立天文台ではアルマバンド8 (観測周波数 RF: 385-500 GHz) 受信機カートリッジのアップグレードに着手し、現在の中間周波数 (IF) 4.8 GHz から2倍以上の広帯域幅化に加え、大幅な高感度化も併せて目指す。また、現在運用中のバンド8受信機についても解析を進め、明らかになっている課題を設計にフィードバックする予定である。アルマ2における本開発をバンド8 version2 (バンド8v2) 受信機アップグレードプロジェクトと呼ぶ。

アルマ望遠鏡の本格運用開始以降、国立天文台では広帯域受信機技術の開発研究を推進してきた。受信機のキーコンポーネントであるヘテロダインミキサについては、高臨界電流密度接合を用いた SIS (超伝導体-絶縁体-超伝導体) ミキサと冷却低雑音アンプの低雑音広帯域化の恩恵を受け、サブミリ波帯受信機の IF 広帯域化や低雑音化を実証してきた。また、RF 導波管回路についても、設計や微細加工の高精度化に加え、測定技術の向上により、現在搭載されている部品に比べて高性能化しており、製造品質の向上が期待される。バンド8v2では、これらの開発で得られた技術的知見やノウハウを適用し、バンド8受信機に最適化して設計を進めている。

本講演ではアルマバンド8v2受信機の開発計画や、SIS ミキサをはじめとする RF や IF コンポーネントの開発状況について説明する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V119a アルマバンド 8v2 受信機プロジェクトにおける導波管回路の開発状況

増井 翔, 坂井 了, 小嶋 崇文, 金子 慶子, 上水 和典, 今田 大皓, 南谷 哲宏 (国立天文台)

アルマ望遠鏡のさらなる機能強化に向けて、現在搭載されている望遠鏡システムをアップグレードする「アルマ2」計画が推進されている。現在、我々はアルマバンド8受信機のアップグレードに焦点を当て、「中間周波帯域の広帯域化(従来の2倍以上)」、「さらなる低雑音化」、「高サイドバンド分離度化」などの実現を目指したバンド8 version2 (バンド8v2) 受信機を開発を進めている。上記の性能を実現するためには、導波管回路等の損失低減が重要であり、我々は近年の切削技術を活かした高性能な導波管回路の設計を新たに進めている。

バンド8v2受信機で使用する導波管回路には、直交偏波分離器と2サイドバンド(2SB)ユニットが挙げられる。直交偏波分離器に関しては、受信機の低雑音化に向けて可能な限り低損失となる回路を検討している。不要な線路長を少なくすることに加えて、製造方法によって生じる損失の改善も目指している。現在検討している直交偏波分離器は切削加工とワイヤー放電加工の組み合わせによって製造されるが、これまでの知見により、切削加工による導波管部分に比べてワイヤー放電加工による加工部分の方が損失が大きい傾向にある。この原因として、導波管表面の粗さや製作方法由来での表面物性変化が影響している可能性があるため、我々はワイヤー放電加工で製造した導波管の表面粗さや成分を測定し、損失の原因を調査している。また、2SBユニットでは低損失性を目指すことに加えて、分離する信号の振幅比・位相差や反射損失に注意した設計が必要である。我々は切削誤差による振幅比の変化を可能な限り低減するため、カプラ部分の導波管サイズを調整した比較的加工誤差に強い2SBユニットの設計を進めている。それぞれの問題に対応した回路モデルは現在製造段階であり、今後測定と設計へのフィードバックを進める。本講演では、バンド8v2受信機に向けた導波管回路の開発状況について報告する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V120a アルマバンド 8v2 受信機アップグレードプロジェクトにおける光学系検討

今田 大皓, 坂井 了, 金子 慶子, 小嶋 崇文, 上水 和典, 増井 翔, 南谷 哲宏 (国立天文台)

国立天文台ではアルマ望遠鏡の機能強化を行なう「アルマ2」計画の一環として、既存のバンド8受信機の間周波数広帯域、さらなる高感度化を目指し、バンド8 version 2 (バンド8v2) 受信機の開発に取り組んでいる。既存のバンド8受信機は、光学系という観点で、他のバンドの受信機と比してユニークな特徴を持つ。伝送光学系を楕円鏡一枚で構成し、385-500 GHz という高周波数ながら導波管型の直交偏波分離器(OMT)を採用することで、受信機カートリッジ内のビームの取り回しをシンプルにすることができている。

我々は既存のバンド8受信機の光学性能について再解析を行ない、いくつかの観点で改善の余地があることを確認した。例えば、光学系収差によるビームの変形と偏波特性の劣化、楕円鏡や真空窓の大きさの影響、コルゲートホーン-OMT間で発生するトラップモードによる影響、等が挙げられる。これらに対して、アルマ望遠鏡建設期には利用できなかった設計技術(光線追跡による電波望遠鏡の光学設計、導波管設計ツールの進歩)を駆逐することで、光学設計案を示す。

本講演では、既存の光学設計を再解析した結果を紹介し、どのような方策が考えうるか、開口率や偏波特性がどの程度向上するのか、議論する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V121a Measured Transmission Losses of Superconducting CPW and MS at 2mm Wavelength

Wenlei Shan, Shohei Ezaki (NAOJ)

The transmission loss of superconducting thin-film transmission lines is a critical parameter in the design and assessment of millimeter-wave and sub-millimeter-wave superconducting RF circuits. Due to the extreme conditions of high frequencies and low temperatures, experimental measurement of transmission becomes prohibitively challenging. To overcome this, we have conducted loss measurements using on-chip silicon membrane-based transitions, a novel type of metal waveguide-to-thin-film transmission line transitions. Forming a two-port network, two back-to-back transitions are connected by thin-film transmission lines and measured with a network analyzer. We have successfully obtained the loss of coplanar waveguides and microstrip lines with high reliability by measuring a long transmission line approximately 60 wavelengths in length at a 2 mm wavelength. These results align consistently with measurements taken on half-wave resonators, as reported in the ASJ meeting last year. The findings reveal that the transmission loss is higher than the BCS prediction at 4 K, yet sufficiently low for the application of SIS mixers in astronomical observations.

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V122a SIS ミキサの周波数アップコンバージョン特性に関する数値シミュレーション 2

上月雄人, 鶴澤佳徳, Wenlei Shan

SIS (Superconductor-Insulator-Superconductor) ミキサによる周波数アップコンバージョン特性は、同ダウンコンバージョン特性のように未だ解明されていない。同アップコンバージョン特性について数値的・理論的に研究することは、SIS 周波数アップコンバータを用いた応用の確立・実験の計画には必要不可欠である。SIS ミキサを扱った量子的混合理論 (Tucker, Feldman 1985) は、IV 曲線などの接合特性から、準粒子混合特性を既知の境界条件に対して与えてくれる。この量子的混合理論を基に、準粒子混合による周波数アップコンバージョン特性に関する数値シミュレーションについては、2023 年春季年会 (V134a) で初期の成果を報告した。

本研究では、数値シミュレーションを進め、周波数アップコンバージョン雑音温度特性の局部発振波 (LO) 強度依存性と、各励起条件下における低雑音動作に求められるインピーダンス条件を調べた。その結果、理想的なインピーダンス条件においては、LO 強度を下げるに従い、雑音温度が下がっていく傾向を確認した。さらに本数値シミュレーションを実際のデバイスに対して応用するために、SIS 周波数アップコンバータを同ダウンコンバータに結合させる場合に発生する、両 SIS コンバータ間の相互作用についても検討を行っている。詳細は、講演の際述べらる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V123a 広帯域受信機のための高温超伝導マルチバンド帯域阻止フィルタの基礎検討 (3)

湯山 義崇, 作間 啓太, 關谷 尚人 (山梨大学), 赤堀 卓也 (国立天文台), 野原 祥吾, 新沼 浩太郎 (山口大学)

センチ波帯域は FRB, マグネターや AGN のアウトバーストに代表されるような極限環境下の非熱的なコヒーレント放射やインコヒーレント放射を捉えることのできる最も重要な周波数帯である。しかし近年、衛星通信や携帯電話による電波干渉 (RFI) が増え、センチ波帯域の広帯域観測は困難を極めている。これに対して、広帯域に渡りすべての RFI を除去するためには帯域阻止フィルタ (BRF) を高密度実装できる小型・高性能超伝導マルチバンド帯域阻止フィルタ (MB-BRF) の開発が必要不可欠である。これまでの年会 (2022 年 9 月, 2023 年 3 月) では広帯域 (6~18 GHz) に渡り 7 帯域を有する超伝導 MB-BRF の設計, 作製, 評価を実施し, 基礎的な設計指針を明らかにした。今回はさらに帯域数を増やし, 広帯域にわたって多数の RFI を除去できるように 12 帯域を有する超伝導 MB-BRF を設計したので報告する。超伝導 MB-BRF の設計条件は受信機を設置する国立天文台 (水沢) の RFI 調査前であるため, 中心周波数を 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17 GHz とし, 各帯域の遮断目標量を 30 dB とした。また, 各帯域の帯域幅を約 100 MHz (ただし, 14, 15, 16, 17 GHz においては比帯域 0.80% 以上) とした。これまでの検討から超伝導 MB-BRF を設計できる基板サイズ (56 mm × 7.5 mm) は限られることから, 共振器構造及び各 BRF の配置を工夫することで, 限られた基板内に 12 帯域の BRF を高密度実装できるようにした。設計した超伝導 MB-BRF のシミュレーション結果は概ね設計条件通りの良好な結果が得られた。今後, 超伝導 MB-BRF を作製予定であるため, 測定結果は当日報告予定である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V124a 放射パターンのリトリバーブル法によるフィード内部の伝播モード推定

山崎康正 (大阪公立大学, 国立天文台), 今田大皓 (国立天文台)

近年の電波望遠鏡に向けた装置開発において受信周波数の広帯域化は重要な課題の一つであるが、それに伴って発生する観測精度の低下につながる問題が報告されている。比帯域 60% の受信機を搭載する MeerKAT のアンテナビーム測定によって、高周波側でビームサイズの数% の指向誤差が生じることが分かった (Villiers and Cotton 2022)。そして、その原因がフィードと OMT の間の円形導波管で生じる高次モードであることが報告されている (Villiers, Venter, and Peens-Hough 2021)。干渉計を用いたイメージングにおいて指向誤差はダイナミックレンジを制限するため、フィード内部での電磁界を正確に理解し、定量化することは重要である。しかし、直接測定することは非常に難しいため、測定可能量である放射パターンから推定する方法を考案した。

伝送線路、アンテナ、自由空間からなる線形なシステムを仮定すると、放射パターンはフィード内部での伝播モードの線型結合によって決まる。つまり、それらに関係付ける行列を求め、擬似逆行列を計算することで、放射パターンからフィード内部でのモード係数を取り出すことが出来る。我々は 15-29 GHz 帯 Axially-corrugated horn を用いてシミュレーションを行ったところ、振幅と位相をそれぞれ 10^{-6} (振幅の最大値に対して)、 10^{-3} 度の精度で推定可能なことを確認した。測定を想定して、放射パターンにエラーを付与した場合の推定精度の解析を行ったところ、放射振幅パターンの最大値に対して 0.01% 以下のランダムエラーを付与した時に、計算エラーが見えることが分かった。これはビーム測定において予想されるエラーよりも小さいため、実測に応用可能であることを意味する。本講演では数値実験の詳細を報告し、様々な応用の可能性や潜在的な系統誤差を議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V125a メートル波帯太陽・惑星電波観測用広帯域フィードシステムの開発-II

桑山陽次, 三澤浩昭, 土屋史紀 (東北大), 北元 (東北工大), 氏原秀樹 (立命館大)

東北大学惑星プラズマ・大気研究センターでは 2001 年より物理開口面積が 1000m² 強の飯館メートル波帯電波望遠鏡 IPRT を運用してきたが、現在、より広帯域での高感度化に向けてフィードシステムの開発を進めている。現行の IPRT の受信系は、325MHz (& 650MHz:開発中) 中心の狭帯域高感度観測用に加えて、100-500MHz 帯をターゲットとした広帯域太陽電波スペクトル観測システムを独立して備えているが、後者では開口効率が 20% 以上の実用的な帯域幅は 200MHz に届かない。このため、一般天体の観測や、太陽電波でも広帯域に出現するバーストの出現特性把握には、感度面で弱点があった。また、近年の大型電波観測装置の更新 (μ GMRT 等) や開発 (SKA 等) により、今後一層の展開が期待される低周波数 VLBI 観測推進に向け、広帯域フィードの高効率化は重要になってきている。そこで、当グループでは、高感度観測用と広帯域観測用フィードを統合し高効率化を目指す、新たな 100-700MHz 帯用フィードシステムの開発に着手した。これまで、SKA-MID band-1 用フィードとしても検討報告がある (c.f. de Villiers, 2017)、自己補対形の 4 アーム sinuous アンテナをモデルケースとして、メートル波帯での開口効率の向上 (暫定目標:325 & 650MHz 帯で 60 % 以上、全周波数帯で 40 % 以上) を目指し、電磁界解析ソフト FEKO を用いて設計検討を行ってきた。円錐状と角錐状の 2 種の sinuous アンテナを検討した結果、共に同程度の開口能率向上が期待できる一方で、製作の容易さ、IPRT の長方形パラボラ状の一次反射面に適合したビーム特性の付与のしやすさの 2 点でよりメリットがあることから、角錐状で開発を進めることとした。現在、アンテナに接続する伝送・増幅系の検討を進めており、1/5 スケールモデルの製作に基づく特性評価と実用化への課題の洗い出しを行っていく予定である。講演では、設計の詳細と開発の現況を紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V126a Large Submillimeter Telescope (LST): 9. 科学白書の完成と AtLAST 計画との統合に向けた準備

河野孝太郎 (東京大学), 田村陽一, 谷口暁星 (名古屋大学), 古屋 玲 (徳島大学), 竹腰達哉 (北見工業大学), 石井 峻, 大島 泰, 川邊良平, 阪本成一 (国立天文台)

大型サブミリ波望遠鏡 LST は、ミリ波サブミリ波帯で広視野・広波長域を一挙に観測可能な大口径 (50m) 単一鏡を南米チリに建設し、アルマや ngVLA、SKA などと相補的で新しいディスカバリー・スペースを開拓する計画である。コミュニティとの連携を強化し、科学的要請を集約していくため、LST 科学白書の作成を進めた。銀河・大規模構造・ブラックホール・星形成/星間物質・太陽系天体・宇宙化学など各分野の班長 (稲見華恵・赤松弘規・梅畑豪紀・富田賢吾・飯野孝浩・下西 隆) の主導のもと、最終的に 80 名を超える研究者の参加を得て行われ、大型サブミリ波望遠鏡 LST 計画科学白書 2023 (doi:10.15000/lstds118687) の公表に漕ぎつけることができた。実現可能性を高めていくため、国際協働の強化を進めている。ASIAA とは GLT12m 望遠鏡への多色ミリ波サブミリ波カメラ (PI:大島泰・竹腰達哉) の搭載計画など LST につながる技術開発で既に協力を行っている他、LMT50m 望遠鏡への波長 2mm 帯受信機 B4R (PI:川邊良平) およびその拡張計画 FINER (PI:田村陽一) での技術協力についても議論を開始した。LST 計画への興味について ASIAA からの Letter of Intent も受領し、さらなる協力強化を検討している。また、欧州が主導する AtLAST 計画との定例会合を開始した。それぞれの進捗状況を共有すると共に、両計画を単一のプロジェクトに統合していく進め方、役割分担についての検討にも着手している。現在欧州側で準備している、次の大型予算申請 (2024 年 3 月締切) に向けて、日本からの提案内容を取りまとめている。2024 年 5 月にはドイツで国際会議が行われる。興味のある方は奮ってご参加頂きたい。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V127a 大型サブミリ波望遠鏡実現に向けた望遠鏡主鏡支持構造の設計：最適構造の振動解析

今村千博, 田村陽一, 谷口暁星 (名古屋大学), 木村俊明, 河村拓昌 (名古屋市立大学), 栗田光樹夫 (京都大学)

大型サブミリ波望遠鏡 (LST) は日本が主導する将来の 50 m 級の大型サブミリ波単一鏡であり、集光力・膨大なサーベイ体積が特徴である。LST の実現には高精度な鏡面と軽量の望遠鏡構造の両方が必須だが、既存の技術だけでは性能要求の達成は困難である。この課題に対し、ミリ波領域における補償光学 (岩上ほか, 2023 年秋季年会 V111b) など新たな技術の開発が進められており、予測可能な静的変形の最小化に対しては遺伝的アルゴリズムを用いた主鏡支持構造の最適化 (今村ほか, 2023 年秋季年会 V121a) が報告されている。

本講演では、今村ほか (2023 年秋季年会 V121a) が提示した手法で最適化した口径 50 m の 3 次元パラボラ構造に対し、数値的に行った振動解析について報告する。望遠鏡主鏡支持構造の振動解析は、共振による制御性の損失や望遠鏡本体への損害をもたらす振動モードを発見することで支持構造の改善を助けるため、非常に重要である。最適構造の探索に用いられた最適化の枠組みでは、計算コストの増加を考慮し構造の固有振動数に関する制約を設けなかったため、構造の振動特性を把握する必要がある。我々は、最適化前後の構造の振動解析の比較から、i) 最適化による剛性の獲得により 7.7 Hz だった 1 次モードの固有振動数が 8.2 Hz に大きくなったこと、ii) 架構が大きく振動し、望遠鏡にとって有害となる振動モード、iii) ii) に該当しないものの、鏡面内で発生した振動が周方向の部材同士の疎密をもたらすことで鏡面精度に影響を与えうるモードを発見した。本解析結果により、振動応答を考慮した支持構造の改善・検討が可能となった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V128a 周波数変調局部発振器を用いた大気オゾン観測システムによる試験観測報告

彦坂 拓海, 中島 拓, 谷口 暁星, 萩本 将都, 長濱 智生, 谷川 貫太, 鈴木 和司 (名古屋大学), 原田 健一, 藤井 慎人, 下山 幸一郎, 竹沢 公佑 (エレックス工業)

ミリ波・サブミリ波帯ヘテロダイン受信機の局部発振器 (LO) の周波数を変調 (FM) することにより、単一鏡分光観測において観測効率の大幅な向上を実現できる新しい観測手法である FMLO が提案されている (田村他 2012 年秋季年会, Taniguchi et al. 2020 など)。この手法は、従来のポジションスイッチング観測で必要だった OFF 点の取得が不要となる利点がある一方で、地球大気の大気輝線成分も同時に検出されるという課題があった。我々はこれを逆手にとり、FMLO を地球大気観測に応用することを考えた。

しかし、例えば地球大気の大気輝線の線幅は、一般的な星間物質と比べて非常に広く、スペクトルの形状を正しく捉えるには、宇宙電波観測とは異なる最適な変調パターンの検討が重要である。そのためまず計算機上で、オゾンのモデルスペクトルに対し FMLO の手法を用いて疑似観測を行い、元のスペクトルが復元できるかを確認した。様々な変調パラメータで復元したスペクトルとモデルスペクトルを比較した結果、1 GHz 以上の周波数変調を行うことで、線幅の広い輝線でも復元が可能であることが分かった。そこで広い周波数変調に対応できるように、帯域 4 GHz のデジタル分光計を開発し、受信システムを構築した (彦坂他 2022 年秋季年会)。その後実際に 250 MHz、500 MHz、1 GHz の変調幅で FMLO による 110.8 GHz の大気オゾン輝線観測を行い、同日に行ったポジションスイッチング観測とともに各観測でオゾンスペクトルの取得に成功した。講演では、モデルスペクトルを用いた FMLO の疑似観測結果と学内での試験観測結果について詳細を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V129a GLTCAM: グリーンランド望遠鏡用ミリ波帯 3 色検出器の開発

渡邊一輝 (総合研究大学院大学), 宇野慎介, 井上修平, 河野孝太郎 (東京大学), 大島泰 (国立天文台), 小野哲, 酒井剛, 山村亮介 (電気通信大学), 竹腰達哉 (北見工業大学), 丹羽佑果 (東京工業大学)

我々は、ミリ波・サブミリ波による広域サーベイで宇宙構造形成史・星形成史を解き明かすために、グリーンランド望遠鏡 (GLT) に搭載する広視野かつ超広帯域 (130-700 GHz) の同時多色撮像が可能なカメラ (GLTCAM) を開発している。その性能によって、スニヤエフ・ゼルドビッチ (SZ) 効果を用いた銀河団の動的進化の解明、突発天体の即時フォローアップなど、多角的な科学成果も期待できる。

多色カメラの焦点面は、低周波帯 3 色 (150, 220, 270 GHz) と高周波帯 3 色 (350, 400, 650 GHz) のアレイで構成され、現在は単層構造のため歩留まりが高く大規模アレイ化に適しているコプレーナ線路 (CPW) ベースの低周波帯のアレイの開発を進めている。同時撮像を可能にするために、各画素の平面アンテナで受光した信号は、並列に接続された各周波数帯のオンチップのバンドパスフィルターで 3 色に弁別された後、各色それぞれに接続した力学的インダクタンス検出器 (MKID) を用いて読み出される。

先行研究のオンチップフィルターは多層構造を必要とするマイクロストリップ線路が用いられてきたが、我々は単層構造の CPW を用いたオンチップフィルターを設計した。このフィルターはフォトリソグラフィを想定した最小線幅 $2 \mu\text{m}$ の制約下で要求値を満たすために、各インダクタ・キャパシタの寸法条件を波長の 4 分の 1 以下まで許容する「準集中定数」で構成される (宇野ほか 2023 年秋季年会 V107a)。本講演では製作された 3 色 (150, 220, 270 GHz) の検出器について、極低温 (220 mK) での冷却評価とバンド特性及びビーム特性の光学評価の結果を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V130a CMB 偏光観測衛星 LiteBIRD 計画の進捗

堂谷忠靖 (宇宙航空研究開発機構), 他 LiteBIRD Joint Study Group

LiteBIRD は、インフレーション起源の原始重力波を検出することを目指した JAXA 主導の国際共同ミッションである。JAXA の戦略的中型計画の 2 号機で、2032 年度の打ち上げを目指して開発が進められている。H3 ロケットによって、太陽-地球系のラグランジュ点の一つである L2 に投入され、宇宙マイクロ波背景放射 (Cosmic Microwave Background, CMB) の偏光を 3 年間に渡って全天サーベイ観測し、原始重力波の痕跡である B モード偏光をテンソル・スカラー比 r の誤差が 0.001 以下となる精度で検出する。この目的を達成するため、およそ 30 分角 - 70 分角の角分解能で視野 $18^\circ \times 9^\circ$ を持つ反射式低周波望遠鏡 (34-161 GHz)、および屈折式の中・高周波望遠鏡 (89-448 GHz) を搭載する。100 mK のベース温度で運用する多色超伝導転移端検出器アレイにより、34-448 GHz の周波数帯域で 15 バンドの多周波観測を行い、銀河ダストやシンクロトロン放射等の前景放射と CMB を分離する。

LiteBIRD は、海外では、仏 CNES を中心とするヨーロッパ各国およびカナダと、国内では、KEK (「量子場計測システム国際拠点」を含む)、東大 IPMU、岡山大との協力に基づく計画で、米国機関も参加している。LiteBIRD は、ミッション定義段階の活動の総括として、2023 年 9 月から始まる JAXA 宇宙研によるミッション定義審査を受けており、合格すれば、プロジェクト準備審査を経て、Phase A (プロジェクト準備段階) に移行する予定である。また、欧州でも CNES の phase A2 終了審査が 2024 年の前半に行われる予定になっている。講演では、LiteBIRD 計画の今年度の進捗と今後の計画について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V131a LiteBIRD 衛星低周波望遠鏡の光学系スケールモデル及び多層半波長板のプロトタイプを組み合わせた光学測定

森 拓理 (横浜国立大学), 長崎岳人 (IPNS/KEK), 長谷川雅也 (QUP & IPNS/KEK), 金子大輔 (QUP/KEK), 高久諒太 (IPMU/UTokyo), 中村正吾 (横浜国立大学), 羽澄昌史 (QUP & IPNS/KEK & JAXA), 松村知岳 (IPMU/UTokyo)

LiteBIRD は宇宙マイクロ波背景放射の偏光を全天にわたり精密観測する衛星である。観測によりインフレーション仮説で予言される原始重力波由来の B モード偏光を検出することを目的としている。LiteBIRD に搭載される望遠鏡のうち低周波望遠鏡は 2 枚の鏡からなる cross-Dragone 型光学系をもち、その開口部には偏光観測における 1/f ノイズを低減するため多層の半波長板からなる偏光変調器が搭載される。光学系は実際のスケールの 1/4 サイズのモデルを用いた検証試験が進行中であり、偏光変調器も界面での反射防止構造の開発などが精力的に行われてきた。将来的には KEK でスペースチャンバーを建設し、その中で低周波望遠鏡の各機器を組み合わせた試験をすることが予定されている。光学系と偏光変調器を組み合わせた際、偏光変調器の構造による迷光等が予想され、光学系本体が持つビームパターンや偏光角に影響を及ぼすことが懸念される。そのためあらかじめ測定によってその影響を評価することが重要である。

その地上検証の前段階として、光学系 1/4 スケールモデルと反射防止構造付の多層半波長板のプロトタイプを用いた光学測定が進行中である。今回は特に多層半波長板の光軸の角度による偏光の変化、またスケールモデルの開口部と多層半波長板との角度を変化させた際に屈折によってビームがずれる効果を検証した。本講演ではその詳細について述べる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V132a LiteBIRD 衛星搭載機器が生じる磁場の測定と評価

柏崎 未有 (東京大学), 辻本 匡弘, 篠崎 慶亮, 小栗 秀悟, 吉原 圭介, 堂谷 忠靖, 関本 裕太郎 (JAXA)

インフレーション理論で予想される原始重力波により、宇宙マイクロ波背景放射 (Cosmic Microwave Background; CMB) に大角度スケール B モード偏光が刻印されると期待される。LiteBIRD 衛星計画は、その初観測を目標とする、2030 年代前半に打ち上げ予定の衛星である。同衛星には、超伝導遷移端センサー (transition edge sensor; TES) 型極低温検出器を用いる。TES は、超伝導体が常伝導状態から超伝導状態に遷移する際の急激な電気抵抗変化を利用した高感度の熱センサーである。更に、偏光変調器を用いて、微弱な CMB の偏光信号に約 4 Hz の AC 変調をかける。ここで、超伝導体の遷移温度は環境磁場に影響されることが知られている。また、衛星内部には姿勢制御のためのリアクション・ホイールや機械式冷凍機、断熱消磁冷凍機、及びそれらの駆動機器など、様々な低周波 AC 磁場放射機器がある。磁場干渉による観測データ劣化の抑制は、本計画の重要な課題の 1 つである。

本研究では、衛星に搭載予定の機器が発生する低周波 AC 磁場を実測し、その影響評価を行うことを目的とする。宇宙科学研究所の磁気シールドルームにおいて、フラックスゲートセンサーを用い、同時 3 軸磁場を、帯域 DC-64 Hz、ノイズフロア約 0.1 nT/ $\sqrt{\text{Hz}}$ で測定した。磁気シールドルームとは、透磁率の高いパーマロイで囲われた空間で、環境磁場とその変動の影響を大幅に抑制した測定を可能とする。本講演では、計測システムを紹介した後、2K 級ジュールトムソン冷凍機の駆動機器に使用するコイル候補の磁場測定して最適なものを選択した結果、及び、2K 級ジュールトムソン冷凍機の発生磁場の結果を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V133a フィードバック制御する出力可変光源を用いて CMB 検出器システムの光学特性を測定する手法の開発と原理検証

廣瀬開陽 (横浜国大, KEK 素核研), 長谷川雅也 (KEK 素核研, QUP), 金子大輔 (QUP), 長崎岳人 (KEK 素核研)

宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) の角度スケール B モード偏光の検出は、原始重力波の発見とインフレーションモデルの実証になると期待されており、それを目指した CMB 偏光マップの精密観測実験が国際的に進行している。大型検出器アレイの登場により観測の統計的感度は向上しており、それにとまって系統的な不確かさを十分に低減する工夫が求められる。そのためには、検出器システムの光学特性を精密に測定し、その非理想性を評価することが必要になる。本研究では、出力パワーが可変な狭帯域マイクロ波光源をフィードバック制御する光学測定手法を考案し、超伝導遷移端 (TES) ボロメーターのような、非線形性がありダイナミックレンジが狭い検出器を擁する検出器システムの光学特性を精密に測定する手法を提案する。我々は原理検証のため、常温ダイオード検波器と組み合わせた角錐ホーンアンテナのビームパターンをこの手法を用いて広いダイナミックレンジで測定し、そのサイドローブを精密に評価した。本講演ではその試験の方法と結果を報告し、フィードバック制御する光源を用いた光学測定手法の効果について考察する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V134a CMB 偏光観測実験 GroundBIRD: 天体を用いた超伝導検出器 MKID の性能評価

田中智永(東北大), 池満拓司(京大理), 石田秀郷(東北大, 理研), 石塚光(総研大), 内田智久(KEK, 総研大), 大谷知行(理研), 小栗秀悟(JAXA), 唐津謙一(SRON, TU Delft), 木内健司(東大理), 沓間弘樹(東北大), 小峯順太(京大理), 古谷野凌(埼玉大), 鈴木惇也(京大理), 末野慶徳(京大理), 関本裕太郎(JAXA), 田井野徹(埼玉大), 田島治(京大理), 辻井未来(東北大), 辻悠汰(東北大, 理研), 富田望(東大理), 永井誠(天文台), 長崎岳人(KEK), 成瀬雅人(埼玉大), 羽澄昌史(KEK, 総研大), 服部誠(東北大), 本多俊介(筑波大数理), 美馬寛(NICT), 吉田光宏(KEK, 総研大), Jihoon Choi(KASI), Ricardo Tanausú Génova-Santos(IAC), Alessandro Fasano(IAC), Yonggil Jo(Korea U), Kyungmin Lee(Korea U), Mikel Peel(Imperial College London), Rafael Rebolo(IAC), José Alberto Rubiño-Martín(IAC), Eunil Won(Korea U)

GroundBIRD は、望遠鏡を仰角 60 度から 70 度に傾けて 20RPM という高速で回転させることで、大気揺らぎを克服して、地上から大角度スケールに現れる再電離バンプの測定を試みる CMB 偏光観測実験である。観測帯域は 145GHz 帯、220GHz 帯で、検出器として最先端の超伝導検出器である Microwave Kinetic Inductance Detector (MKID) が搭載されている。検出器数は 145GHz 帯では $23 \times 6\text{chip}=138\text{pixel}$ 、220GHz 帯では $23 \times 1\text{chip}=23\text{pixel}$ である。オランダ宇宙研究所 (SRON)、デルフト工科大学 (TUDelft) の協力のもと、日本でデザインが行われ、2023 年 5 月にオランダでファブリケーションが完了し、フルアレイでインストールが行われた。現在、望遠鏡を回転させながら月や惑星の観測を行い、検出器の応答を測定して性能評価実験を行っている。本講演ではこの性能評価実験の現状について発表する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V201a 自由曲面を用いた広視野望遠鏡の鏡計測における系統誤差の影響の検証

徳地研人, 橋ヶ谷武志, 栗田光樹夫 (京都大学)

自由曲面は、広視野・高空間分解能・高スループットな光学系をよりコンパクトに実現する上で有用であるが、計測を含めた製造技術の確立が課題だった。そこで我々は、古典的な逐次3点法を応用した引きずり3点法による計測技術を開発してきた。実績として、せいめい望遠鏡の副鏡 (ϕ 1000 mm の凸非球面) が挙げられる。

我々は現在、自由曲面製造技術の実証のため、3つの自由曲面を用いた広視野望遠鏡の試作を進めており、その際に引きずり3点法による鏡面計測を行う。計測機はセンサユニット、ユニットを動かすロボットアーム、鏡を設置するターンテーブルから構成される。本研究では、計測機の系統誤差による計測誤差の検証を行った。ユニットにはセンサ間隔誤差とヨーイング誤差、ロボットアームとターンテーブルには座標誤差と方位角誤差を与え、計測シミュレーションを行い、計測誤差を導出した。また、望遠鏡設計時に設定した要求製造精度をもとに系統誤差の許容値をそれぞれ求めたところ、センサ間隔誤差 (設計値 10 mm の場合) $< 2 \mu\text{m}$ 、ヨーイング・方位角誤差 $< 0.007^\circ$ 、座標誤差 $< 50 \mu\text{m}$ であった。今後、各系統誤差に対するアラインメントを行い、自由曲面の計測・加工を進めていく予定である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V202a Tomo-e Gozen 高速データ転送のための木曾観測所からの SINET 接続

森由貴, 酒向重行, 本城剛毅, 下見淳一郎, 玉造潤史, 瀧田怜, 高橋英則, 近藤莊平, 新納悠, 小林尚人 (東京大学)

東京大学木曾観測所では、105cm シュミット望遠鏡に広視野動画観測システム Tomo-e Gozen を搭載して、突発天体や高速移動天体をターゲットとした全天サーベイを進めている。Tomo-e Gozen は 84 枚の CMOS センサーを用いて毎秒 2 フレームの動画観測を行うため、一晩あたり最大 30 テラバイトのデータが生成される。サーベイで検出される突発天体に対して即時の追観測につなげるためには共同研究者が Tomo-e Gozen が取得する大量のデータに即座にアクセスできる必要がある。そのため、Tomo-e Gozen 開発初期から、観測データをリアルタイムに転送できる 10Gbps の高速ネットワークの整備を目指し、木曾観測所から学術情報ネットワーク SINET への接続を検討してきた。

検討を開始した 2019 年当時は木曾観測所から最寄りの SINET 接続ポイント (長野または名古屋) までは直線距離でおよそ 140km 離れており、この距離の専用線を現実的な予算で確保するため、数年に亘り実現方法の調査と各所への調整を行った。その結果、2022 年に SINET6 松本 DC が開設し、さらには通信事業を行う特別地方公共団体である木曾広域連合の多大な協力を得て、2023 年 3 月に木曾観測所から SINET への 10Gbps 専用線接続が実現した。接続後も半年ほど通信速度が不安定な状態が続いたが、10 月に原因を特定・解消して、最大 9Gbps の速度で木曾観測所から本郷キャンパスへの通信が可能となった。

本講演では、木曾観測所から SINET への接続を実現するまでの経緯と、実現したネットワークの性能について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V203a 光子計数型可視高速撮像システム IMONY の開発とかなた・せいめい望遠鏡での性能評価

中森健之 (山形大学), 橋山和明 (ICRR/山形大学), 佐藤凜, 佐藤杏樹, 長谷部愛奈, 佐藤知宙, 前城美羽 (山形大学), 庄子正剛 (KEK), 武井大 (立教大学/DaiPhys. Tech), 川端弘治, 中岡竜也 (広島大学), 木野勝 (京都大学), 寺澤敏夫 (ICRR), 米倉寛則 (茨城大学), 岳藤一宏, 村田泰宏 (JAXA), 上野一樹 (大阪大学)

高速電波バーストやパルサーの巨大電波パルスなどのサブミリ秒のタイムスケールの突発現象は起源や放射機構がわかっておらず、観測の難しさがその背景要因の 1 つに挙げられる。これらの現象の解明には高い時間分解能の多波長観測が不可欠であるが、特に可視光領域では観測装置の読み出し速度が制限している。我々はガイガーアパランシェフォトダイオードアレイによる、単光子に感度を持つ可視光撮像システム IMONY を開発している。IMONY は画素ごとに出力される光子検出信号に 100 ns の分解能でタイムスタンプを付与し、光子ごとに記録したイベントデータから高速動画を再構成できる。これまでに Crab パルサーの観測によって動作を実証してきたが、視野の狭さが測光の安定性に対する課題であった。そこで我々はセンサ画素数が 4 倍となる 8×8 画素に拡張するとともに、光学系に合わせて換装できるように画素サイズが 100, 150, 200 μm の素子を制作した。処理画素数の増加に合わせて回路系とデータ収集系を拡張し、2023 年 1 月にかなた望遠鏡で、2023 年 10 月にはせいめい望遠鏡に搭載した試験観測を行い、システムが動作することを確認した。それぞれの望遠鏡において、恒星の観測による測光性能の評価を行い、電波望遠鏡との Crab パルサーの同時観測も実施した。本講演ではシステム全体を概観し、試験観測を通じた性能評価の結果および今後の開発の展望について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V204a TMT 計画 – 進捗報告

白田知史, 青木和光, 伊王野大介, 倉崎高明, 嘉数悠子, 進藤美和, 山下卓也, 杉本正宏, 鈴木竜二, 藤縄俊之, 能丸淳一, 関口和寛, 吉田道利, 常田佐久 他 (国立天文台), H. Yang, L. Simard, E. Reddy, T. Soifer, B. Kirshner, F. Liu 他 (TMT 国際天文台 (TIO))

TMT は日本が国際協力でも実現を目指している次世代の超大型 30m 光学赤外線望遠鏡である。TIO は 2019 年以後マウナケアでの建設工事を進められていないが、状況の改善に向けた活動を進めている。これまで TMT 計画に批判的だった人たちを含む地元関係者との直接対話を進めると共に、嘉数特任専門員を中心に地元住民のニーズに沿った教育支援や職業訓練プログラム等の活動を進め、米国国立科学財団 (NSF) から高い関心があるだけでなく、ハワイ先住民からも感謝の声が聞こえる。NSF は環境影響評価と国家歴史遺産保存法にもとづく合意形成に向けて、先住民の調整者を雇用しプロセスを進めている。また、マウナケアの新しい管理組織 (MKSOA) ではハワイ大学からの移行に向けた管理体制の整備が進められている他、課題であった既存望遠鏡の一つであるカルテックサブミリ天文台の撤去も進んでいる。このように TMT 建設に向けたハワイの状況は大幅に改善している。国内では 6 月に実施された大規模学術フロンティア促進事業の期末評価において、プロジェクトの達成状況、実施体制、学術的意義等の観点で非常に高い評価を受けた。ロードマップ 2023 では 11 月にヒアリング審査を無事に終え、12 月の公表結果を待っている状況である。国立天文台では日本担当部分が全体計画の遅延を引き起こさないよう、製造再開後に必須の準備作業や設計・開発作業を進めている。また、TIO 主導のサイエンスケースの改訂、JWST と超大型望遠鏡の連携を検討するワークショップ、日本の若手研究者・技術者によるワークショップの開催等、科学的課題の検討も活発になっている。本講演では TMT 計画の現状と今後の展望について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V205a TMT Mirror Coating Exposure Test - 1 year After

S. S. Hayashi, T. Yamashita, T. Usuda (National Astronomical Observatory of Japan), B. Gallagher, E. Hansen (TMT International Observatory)

In this report, we describe the characteristics of optical coating coupons after one year exposure at a telescope environment and discuss likely implication on the coating cycle of optics.

The primary, secondary, and tertiary mirrors of the Thirty Meter Telescope (TMT) need to allow observations in the wide wavelength range from 0.3 to 30 μm , thus their optical coating should give as much reflection as possible. The first-light coating uses the well-established recipe from Gemini telescopes' experiences covering visible to IR wavelengths. However, this silver based and protected coating does not give much reflection in shorter wavelengths.

TMT obtained experimental coating coupons with UV-enhancement. In order to check the durability at the real condition of a telescope, we started to expose coupons at Keck I telescope in August 2022. A set of coupons are retrieved in October 2023. The UV-vis reflectivity (evaluation by Cary5000) show slight degradation. However, there is no distinct feature or dip in narrow range nor faster deterioration in shorter wavelengths. In addition to the UV-vis data, we are getting measurement in 3-30 μm range. While there are two broad-band features likely from the overcoats, there are no narrow or spiky features.

By comparing with the T=0 data, these T=1 (year) data give first glimpse of the rate of the coating degradation at the working telescope's environment.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V206a 宇宙可視光背景放射観測 6U 衛星 VERTECS : 全体状況

佐野圭 (九州工業大学), ほか VERTECS チーム

宇宙背景放射は、銀河系外から飛来する放射の積算であり、暗い天体を含む天体形成史の全貌を解明するために重要な観測量である。これまでの観測ロケット等による観測の結果、近赤外線の宇宙背景放射は系外銀河の積算光に比べて数倍明るいことが示されたが、その超過光の起源となる天体は未解明である。その天体の候補として、宇宙初期の初代星や低赤方偏移の銀河ハロー浮遊星等が提案されており、これらの天体は可視光波長における放射スペクトルが異なることが予想されるため、可視光における多色観測が超過光の起源解明のために重要となる。そこで我々は、宇宙可視光背景放射観測を目的とする 6U サイズの超小型天文衛星 VERTECS (Visible Extragalactic background Radiation Exploration by CubeSat) の開発を 2022 年 12 月から進めている。本衛星は、3U サイズのミッション部および 3U サイズのバス部から構成される。ミッション部は、宇宙背景放射の観測に特化した有効視野 $4.2 \text{ deg} \times 4.2 \text{ deg}$ の広視野レンズ光学系とバッフルおよび低暗電流の CMOS センサーを含むモジュールから成る。広視野レンズ光学系とバッフルは、振動および光学シミュレーションによって設計を最適化し、エンジニアリングモデル (EM) の製作を行っている。また、センサー部の EM は製作を完了し、現在常温での性能評価を実施している。バス部は、オンボードコンピュータ、電源系、通信系、熱構造系から成り、軌道上実績を有する超小型衛星バスシステムをもとに、VERTECS の新規要素である高精度姿勢制御ユニット、S 帯および X 帯通信機、展開型太陽電池パドルを適合する構成としている。また、S 帯および X 帯を受信する地上系の整備を進めている。今後、2024 年の前半にかけて熱構造モデルを用いた環境試験および衛星 EM の組み立て、各種地上試験を実施する。その後衛星フライトモデル (FM) の開発に移行し、2025 年初旬に FM を完成する計画で進める。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V207a VERTECS のための軌道・姿勢制御シミュレーション

田中颯, 松原英雄 (東京工業大学/ISAS), 中川貴雄 (ISAS), 五十里哲 (明星大学), Rodrigo Cordova, 佐野圭, Victor Schulz Hugo, 中川俊輔 (九州工業大学)

超小型 6U 天文衛星 Visible Extragalactic background RadiaTion Exploration by CubeSat (VERTECS) は、銀河系外からの放射の積算である宇宙背景放射を可視光帯において観測するための衛星である。宇宙背景放射を観測するために、VERTECS のミッションは (1) 28 秒角 (1σ)/1 分間の姿勢安定精度、(2) 太陽と地球からの光が望遠鏡に入らないような軌道と姿勢、を要求する。以上 2 つの姿勢制御を達成するため、我々は 1U サイズの姿勢制御ユニットを使用する。

本研究では姿勢制御ユニットのデザインと軌道計画がミッション要求を満たすことを検証するため、Software in the Loop Simulator (SILS) を用いてシミュレーションを行う。SILS を用いることによって宇宙環境や姿勢制御ソフトウェアなどを詳細に計算することができる。上記のシミュレータを用いることによってミッション要求 (1) で述べた姿勢安定度を達成するための姿勢系のパラメータおよび、(2) で述べた要求を達成するための軌道、姿勢制御の運用シーケンスをシミュレーションする。本講演では 2 つのミッション要求の検証を中心としたシミュレーション結果、考察を紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V208a CIB 観測ロケット実験 CIBER-2: 第 3 回打上げ直前の実験状況

松浦周二, 橋本遼, 中川智矢, 中畑秀太, 玉井桃子, 花井翔 (関西学院大), 佐野圭, 瀧本幸司, 中川俊輔 (九州工業大), 津村耕司 (東京都市大), 高橋葵 (アストロバイオロジーセンター), 和田武彦 (NAOJ), Michael Zemcov (RIT), James Bock (Caltech/JPL), ほか CIBER-2 チーム

宇宙赤外線背景放射 (CIB - Cosmic Infrared Background) は個別に分解できない微光天体や銀河間物質の放射を視線積分した拡散放射であり、大域的な星形成史を研究する上で重要な観測量である。CIBER-2 (Cosmic Infrared Background Experiment 2) は NASA の観測ロケットを用いて波長 $0.5\text{--}2.0\ \mu\text{m}$ の CIB 観測を行う国際共同実験である。液体窒素冷却のアルミ合金製口径 28.5 cm 反射望遠鏡とレンズ光学系、および $2\text{k}\times 2\text{k}$ の HgCdTe 検出器 (HAWAII-2RG) を使い、6 バンドでの撮像 (視野 $2.3\times 2.3\ \text{deg}^2$) とフィルタ分光 ($\lambda/\delta\lambda \sim 15$) を行うことで、これまでにない高い精度で CIB の非等方性とスペクトルを観測する。

2023 年 4 月に実施した第 2 回実験では、第 1 回実験における技術的な問題点を解決し臨んだが、観測を行うことなく実験を終了した (2023 年秋季年会 松浦ほか)。実験後に回収した望遠鏡はミラーの損傷が大きかったが修理加工を行うことで当初の状態に復帰した。国内で修理した望遠鏡は常温での結像性能試験を終えたあと米国ロチェスター工科大学へ輸送し、クライオスタットにレンズ光学系とともに組み込み低温における焦点調整を実施した。検出器の動作は特に問題なく観測装置は当初の状態に復帰した。今後、ダークノイズ性能や安定性などの評価試験を経て、2024 年 1 月に NASA Wallops Flight Facility へ移動しテレメトリー試験や振動試験を行う。その後、White Sands Missile Range へ実験拠点を移し感度校正や打上げシーケンス試験を行ない、2024 年 5 月 2 日に打上げる予定である。本講演では、これらの試験結果や打上げ直前の実験状況について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V209b 宇宙可視光背景放射観測 6U 衛星 VERTECS: バスシステム開発状況

中川俊輔, 佐野圭, Jose Rodrigo Cordova-Alarcon, Schuls Victor Hugo, 中山大輔, Reynel Josue Galindo Rosales, 増井博一, Eyoas Ergetu Areda, Keenan Alexsei Aamir Chatar, Fielding Ezra, 大谷将壽, 林田健太郎, 宮川大樹, 川崎悠貴, Morelle Bernard Andre Bastien, 唐木翔平, 佐藤凜, Hari R. Shrestha, Chinathip Narongphun, Necmi Cihan Örgen, Etti-Balogun Oluwatofunmi Husseinat, Marco Rosa, 田中一晃, 鶴本航平, Dai David (九工大), 中川貴雄, 松原英雄, 宮崎康行, 平子敬一, 船瀬龍, 榎木谷海, 田中颯 (ISAS/JAXA), 五十里哲, (明星大), 軸屋一郎 (金沢大), 谷津陽一 (東工大), VERTECS collaboration

超小型 6U 天文衛星 VERTECS は、銀河系外から飛来するあらゆる放射の積算である宇宙背景放射を可視光において観測し、個々の天体の観測だけでは検知できない暗い天体を含む包括的な天体形成史の解明に挑むミッションである。本衛星はそれぞれ 3U サイズの可視光望遠鏡とバスシステムを搭載し、そのうち後者はオンボードコンピュータ (OBC)、姿勢系、通信系、熱構造系、電源系から構成される。これまでバスシステムの大部分において宇宙背景放射観測のシステム要求を満たす設計解を取得しており、それらをもとにブレッドボードモデルおよび熱構造モデル (STM) を設計製作し、機能試験を進めている。姿勢系では、本ミッションで要求される高精度な統合型姿勢制御装置について、基板を介した OBC との通信試験を実施。通信系では、衛星に搭載する送受信器について OBC・観測機器との通信試験および衛星に装着する S 帯・X 帯パッチアンテナの性能評価を行う。熱構造系については、熱・振動解析によって衛星の熱構造を確定し、STM を用いた環境試験を行う。また、電源系では各サブシステムへの電力供給のため、展開型太陽電池パドルによる発電シミュレーション、電力収支の検討、バッテリーの環境試験を実施している。本講演では、VERTECS バスシステムの開発状況について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V210b WFOS IFUで用いるミラーを評価するための高分散反射率測定システムの開発

尾崎忍夫 (国立天文台)

我々はTMT第1期観測装置である広視野可視分光器WFOSに面分光機能を追加する計画を進めている。面分光とは2次元の視野内全域のスペクトルを1度の露出で取得できる観測手法であり、それを実現する光学モジュールを面分光ユニット(Integral Field Unit; IFU)と呼んでいる。IFUには幾つかの方式があるが、WFOS IFUでは検出器受光面を最も有効活用できるイメージスライサー方式をベースラインとして検討を進めている。イメージスライサー方式は反射面が多くなるために、観測波長域310–1,000 nmにおいて高い反射率を達成できる誘電体多層膜だけから構成される反射コーティングを採用する予定である。しかし、このコーティングは、広い波長域で高反射率を目指す(膜数が非常に多くなる)場合に、成膜誤差により分光反射特性に波長幅の狭い吸収パターンが生じる可能性があることが知られている。WFOS用IFUでは310–1,000 nmという非常に広い波長範囲に対して高スループットを目指しているため、このリスク低減対策は必須となる。そこで、我々は吸収パターンが生じにくい膜設計を行うと同時に、成膜後に分光反射特性を測定し、吸収パターンが無いことを確認することにした。WFOS IFUの最大波長分解能は $R \sim 15,000$ であり、測定もこの程度の波長分解能で行いたい。しかし、この波長分解能で310 nm付近でも十分なS/Nで反射率を測定できる測定装置がないため、独自に開発することにした。分光器部はコリメーターとカメラに、それぞれ球面鏡1面だけを使用し、クロスディスパーザー(プリズム)をダブルパスで利用するシンプルなエシエル分光器である。本講演では開発した反射率測定システムのレイアウトと性能を紹介する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)[スケジュール\(全体\)に戻る](#)[講演者索引TOPに戻る](#)

V211b すばる望遠鏡オンスカイ試験観測データを用いた補償光学における時系列解析による予測制御の研究

穂満 理生¹, 秋山 正幸¹, 大金 原², 大野 良人³, 寺尾 航暉³, 美濃和 陽典³, 大屋 真³, 赤澤 拓海¹
(¹ 東北大学, ² オーストラリア国立大学, ³ 国立天文台)

補償光学系は一般的に波面センサで大気揺らぎを測定して可変形鏡で補正するという構造となっているが、大気揺らぎの測定と補正の間には時間差が存在し、その間に大気揺らぎが変化することが補償光学の性能を下げる要因となっている。これに対し、過去のデータを用いてデータサイエンス的手法で未来の波面を予測することで、時間差を補償して性能向上を図る手法が提案されている。

本研究は、多変数時系列解析モデルにより、時間方向だけでなく隣接した点との空間的な相関を予測に取り入れ、大気揺らぎが風で移動することを考慮した時系列予測を行うことで大気揺らぎの測定と補正の間の時間差を高精度に補償すること、さらに観測条件が予測性能に与える影響を定量的に評価することを目標としている。

解析にはすばる望遠鏡のレーザーモグラフィ補償光学系を開発を進めている ULTIMATE-START プロジェクトの一環で2022年までに行われたシャックハルトマン波面センサーを用いた測定実験のデータを用いた実際の測定データおよび補償光学のシミュレーションコードOOMAOにより生成した仮想の測定データを使用している。これまでの解析の結果として、特に風速の強い状況や低周波数での波面測定を行う場合において時間差の補償が効果的であることや、風速や風向のプロファイルの縮退、波面センサによる波面測定の際のノイズが補償性能を制限する要因であることが分かった。本講演においては、これらの解析結果について紹介する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)[スケジュール\(全体\)に戻る](#)[講演者索引TOPに戻る](#)

V212b 岡山188cm望遠鏡HIDES-Fの精度向上に向けたスペクトル像移動の原因調査

泉浦秀行, 神戸栄治 (NAOJ), 佐藤文衛 (東京工業大学), 大宮正士 (ABC/NAOJ), 稲場肇, 大久保章 (産業技術総合研究所)

国立天文台岡山188cm反射望遠鏡はこれまで、ファイバーフィード型高分散分光器HIDES-Fにより、太陽系外惑星のドップラー法探索において優れた成果を挙げてきた。ドップラー法では恒星スペクトル線波長の極めて微小な周期変動を検出する。岡山ではこれまで、星の光にヨウ素分子の稠密な吸収線群を直接生じさせて精密な波長基準とするヨウ素セル法で成功を収めてきた。しかしながら惑星探索がより軽い惑星、より軌道の大きい惑星へと向かう中、ドップラー法の一層の精度向上が求められており、ヨウ素分子を上回る波長基準と、それを活かし切る高精度、高安定な分光器が必須となりつつある。そのような情勢下、岡山188cm望遠鏡では新たな波長基準として、天文観測用にチューンされた世界最先端のレーザー周波数コム(天文コム)の二号機が2019年に設置された。これを受け細井らはHIDES-Fにおいて天文コムスペクトルの特性を調べるとともに、従来のTh-Arランプやヨウ素セルとの比較対照を行った(2023年春季年会-講演番号V227a)。さらに細井らは、Th-Arランプ、ヨウ素セル、天文コムに共通して、一晩で最大1ピクセル(~1,500 m/s相当)もの、かつ、不連続の様相も示す検出器上でのスペクトル像移動を報告した。このような不安定性の除去は今後の高精度観測にとって必須である。

本講演では、この像移動の原因調査のため、まず分光器内に複数設置したCMOSカメラによるスリット像、スペクトル像、光学コンポーネントの安定性などの各種観察結果について報告する。なお、すばる望遠鏡のHDSにも産総研を中心に天文コム設置計画が進んでいる。HDSはHIDESと同様の古典的な光学系配置を取っており、本研究からの知見をHDSの精度改良にも有効利用していく計画である。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)[スケジュール\(全体\)に戻る](#)[講演者索引TOPに戻る](#)

V213b すばる望遠鏡 HDS 用可視光天文コムの開発：計画と導入スケジュール

大宮正士 (ABC/NAOJ), 稲場肇, 大久保章, 柏木謙 (産総研), 青木和光, 白田知史, 田實晃人, 神戸栄治, 新井彰, 森谷友由希, 西川淳, 泉浦秀行 (NAOJ), 佐藤文衛 (東工大), 三澤透 (信州大)

可視光ドップラー法での系外惑星の探索や特徴づけ、宇宙加速膨張の直接測定などを目指した精密波長校正光源となる光周波数コム (天文コム) をすばる望遠鏡高分散分光器 HDS に導入することを目指して、天文コムの開発とすばる望遠鏡への導入準備を進めている。導入を予定している天文コムは、岡山 188cm 望遠鏡高分散分光器 HIDES-F 用の天文コム (2017 年秋季年会 V269a, V270a, 2023 年春季年会 V227a) の同系機であり、産総研を中心としたグループが開発した天文コムの 3 号機にあたる。この装置は、350~420 nm、453~560 nm、664~900 nm の波長域に、30GHz 間隔でコム状の輝線を同時に発生させることができ、広い波長域、高い分解能での観測に対応可能である。また、岡山 188cm 望遠鏡での長期間の使用実績があり、他の天文コムの仕様で問題となる長期間の使用についても問題ないことが示されている。

我々は、HDS への天文コム導入のために、主に、1. 2 号機製作の経験に基づいた天文コムの改良・製作、2. 地上とは異なる環境下であるすばる望遠鏡ドーム内への天文コムのインストール、3. 望遠鏡で集めた光と天文コムから来た光をファイバーを通して分光器スリットに同時に並べて入射させるファイバー入射光学系について、検討を進めている。また、導入準備とともに、視線速度測定において重要な要素となる、HDS の特性や装置安定性についても調査を進め、HDS と天文コムを用いた視線速度測定の方法も検討する。現在の予定では、2024 年度中にすばる望遠鏡にインストールを行い、2025 年からエンジニアリング観測を行うことを目指している。本講演では、本装置の概要、計画と導入スケジュールについて報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V214c 大分大学望遠鏡に搭載する多色撮像装置の開発 I

丸尾 岳, 小西 美穂子 (大分大学), 工藤 智幸 (国立天文台ハワイ観測所)

大分大学には、口径 40 cm の天体望遠鏡 (Meade LX-200-40, Schmidt-Cassegrain telescope) が設置されている。10 年以上前までは大学教育のために使用されていたが、その後メンテナンスが行われていなかった。その影響により現在は、望遠鏡本体の駆動部が故障し、運用ができない状態である。また、当時観測に用いていた CCD カメラについても、使用できない状況にある。教育・研究のサイエンス観測に使用するため、この望遠鏡設備の改修および新たな観測装置の開発を進めている。

主に天体の変光現象 (変光星、系外惑星のトランジット現象など) を長期的にモニタリングするために、はじめに搭載する観測装置として可視光の二色同時撮像装置の設計・開発を行っている。検出器として冷却 CMOS カメラ (BITRAN BS70M) 2 台を使用し、それぞれフィルター (立ち上げ時は V と R フィルター、今後増設予定) を通した画像を同時に取得する。光学系部分の設計が完了し、検出器のダークやリニアリティなどの性能の確認を行っている。今年度末ごろを目安に撮像装置光学系の仮組み上げを行い、実験室内で装置全体の性能評価を行う予定である。また、望遠鏡・検出器の操作を行うプログラムの作成も進めている。

本発表では、今年度中に実施される望遠鏡本体および駆動部の改修状況も合わせて、撮像装置の開発状況を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V215a 赤外線天文衛星 GREX-PLUS 計画の進捗報告 2024 春

井上昭雄 (早稲田大), 山村一誠, 鈴木仁研, 中川貴雄 (宇宙科学研究所), 岩室史英, 橋ヶ谷武志 (京都大学), 江上英一, Jarron Leisenring, Andre Wong (アリゾナ大学), 金田英宏, 松尾太郎 (名古屋大), 本原顕太郎, 和田武彦, 野村英子, 守屋堯 (国立天文台), 播金優一, 野津翔太 (東京大), 児玉忠恭 (東北大), 山田亨 (宇宙科学研究所), 小宮山裕 (法政大), 大藪進喜 (徳島大), 大内正己 (国立天文台/東京大), 宇宙物理学 GDI, 他 GREX-PLUS チーム

JAXA 宇宙科学研究所が戦略的に進める中型計画は、GDI (Groupe de Discussion Intensive; 戦略的中型創出グループ) とコミュニティが協力して作り上げることになった。本講演では、宇宙物理学 GDI のもとに設置された銀河進化・惑星系形成観測ミッション時限 WG で検討されている Galaxy Reionization Explorer and Planetary Universe Spectrometer (GREX-PLUS) 計画の進捗状況について報告する。GREX-PLUS は、口径 1.2m、温度 50K の冷却宇宙望遠鏡に波長 2-8 μm 帯 5 バンドの広視野カメラと波長 10-18 μm 帯で分解能 30,000 の高分散分光器を搭載し、「初代銀河」と「スノーライン」の探査を二大科学目標としている。衛星システムとしての重要な技術的課題は、広視野・軽量宇宙望遠鏡、冷却システム、絶対指向精度および指向安定性の確立である。

科学検討においては、宇宙科学研究所執行部や宇宙物理学研究系との議論を経て、科学的意義・価値をより分かりやすく、洗練されたものに磨き上げている。システム検討においては、バスシステムの機器構成、熱・構造検討などを進めている。ミッション部検討においては、望遠鏡構造、冷却系の最適化に取り組みつつ、広視野カメラの概念検討、高分散分光器の前置光学系の検討を行っている。講演では、2024 年 3 月初旬に設定されたミッション提案を受けた最新状況を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V216a GREX-PLUS 中間赤外線高分散分光器: 中間赤外線用イメージング・グレーティング材料の極低温中間赤外線透過率測定装置の開発

李源, 古賀亮一, 平原靖大 (名古屋大学), 榎木谷海, 松原英雄 (総合研究大学院大学/宇宙科学研究所), 中川貴雄 (東京大学/宇宙科学研究所), 和田武彦 (国立天文台)

我々は, 原始惑星系円盤のスノーラインの初検出を目指し, 次世代赤外線天文衛星 GREX-PLUS に搭載可能な中間赤外線イメージング・グレーティング (IG) 分光器の開発を進めている。IG は, 波長 10–18 μm で高分散 $R = \lambda/\Delta\lambda \sim 30,000$ を実現するための, 高屈折率材料に溝加工を施したコンパクトな回折格子であり, IG 材料の吸収係数が小さい必要がある ($< 0.01 \text{ cm}^{-1}$)。先行研究によると, 一般に使用されている低抵抗率 ($\sim 100 \Omega\text{cm}$) の CdZnTe は, 極低温での吸収係数は上昇し IG 材料としては不適である一方, 高抵抗率 ($\sim 10^{10} \Omega\text{cm}$) の CdZnTe は吸収係数は極低温でもほぼ一定であり, 有力である (Maeshima et al. 2022, 李他 2023 秋季天文学会年会 V224b)。

我々は, $\sim 10 \text{ mm}$ 四方, 厚さ 1.5, 10 mm の高抵抗 CdZnTe 試料に対する, 吸収係数の精密な導出のために, 新たにコモンパス・ダブルビーム光学系による極低温透過率測定装置の開発に取り組んだ。この光学系では, 強いコリメートダブルビーム光生成のために, 単一フィラメント光源 ($\sim 5 \text{ mm}\phi$, $\sim 12 \text{ mmL}$) を真空チャンバー (140 mm ϕ) 内端に固定し, 近傍の”並列トンネル” (内径 2.5 mm ϕ , 中心間隔 8 mm) を通して参照赤外光と, 4K He 冷凍機に固定された試料への透過赤外光を生成する。そして, バンドパスフィルタ (中心波長 10.6, 12, 15, 17, 19 μm , バンド幅 $\sim 1 \mu\text{m}$), およびダブルビーム光学チョッパー (周波数比 5:6) を介して, 軸外放物面鏡で単一の液体窒素冷却 MCT 検出器に集光し, 2 台のロックインアンプにより参照赤外光と試料透過赤外光の強度を同期検出することで, 時間変化の影響のない透過率の測定が可能である。講演では, この装置を用いた測定結果について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V217a GREX-PLUS 中間赤外線高分散分光器: 中間赤外線用イメージング・グレーティング材料の極低温中間赤外線屈折率測定装置の開発

榎木谷海, 松原英雄 (総合研究大学院大学/ISAS), 中川貴雄 (ISAS), 平原靖大, 古賀亮一, 李源, 趙彪, 生駒開, 高間大輝, 笹子宏史 (名古屋大学), 和田武彦 (国立天文台)

我々は中間赤外線高分散分光観測 (10–18 μm , $R = \lambda/\Delta\lambda \sim 30,000$) の実現のため, 次世代赤外線天文衛星 GREX-PLUS への搭載を目指し, 中間赤外線用イメージング・グレーティング (IG) の開発を行なっている。IG は高屈折率 n の媒質中に光を通すことで, 通常回折格子に比べその大きさを $1/n$ 倍にでき, 装置全体を小型化できる。IG の材料には小さい吸収係数 ($\alpha \leq 0.01 \text{ cm}^{-1}$) が要求され, その材料候補として CdZnTe が選出された (Sarugaku et al., 2017)。この吸収係数を正確に求めるためには屈折率に依存する多重反射効果を考慮する必要がある。しかし, IG に要求されている $< 20\text{K}$, 10–18 μm での CdZnTe の正確な屈折率は未測定である。そこで, 本研究の目的は極低温中間赤外線における CdZnTe の屈折率を $\Delta n < 10^{-4}$ の精度で求めることである。また, 別途進めている高精度透過率測定の結果と併用することにより, 多重反射効果を考慮した吸収係数を算出することである。本測定装置の測定波長は, 635 nm (ダイオードレーザー), 及び 10/12/15/17/19 μm (熱源とバンドパスフィルタ ($\sim 1\%$ の帯域幅)) で, 今回新たに 10.8 μm と 14 μm (量子カスケードレーザー) を導入した。検出器にはフォトダイオード (可視光用), 液体窒素冷却単素子 MCT 検出器 (赤外線用) を用いている。可視光によるオートコリメーション頂角測定に加え, 複数の波長における最小偏角測定を行い, 常温での屈折率を最小偏角法を用いて導出する。この装置の特徴的な点は, 光源・検出器部とサンプル測定部に各波長に適したファイバーを使用して光を伝送することで, サンプル測定部の光軸を変えずに測定波長を切り替えられる点である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V218a イメージング・グレーティング材料の屈折率評価用の 2D FT-IR 分光器の開発

趙彪, 古賀亮一, 平原靖大, 笹子宏史, 根岸昌平, 李源 (名古屋大学), 笠羽康正 (東北大学), 中川貴雄, 松原英雄, 榎木谷海 (ISAS/JAXA), 和田武彦 (国立天文台)

原始惑星系円盤の進化モデルの検証において重要な H_2O スノーラインの観測用, 宇宙望遠鏡 GREX-PLUS に搭載する高分散赤外線分光器 (10–18 μm , $R = \lambda/\Delta\lambda \sim 30,000$) の要素技開発が進めている。この分光器に用いられるイメージング・グレーティングの材料である CdZnTe の観測波長帯における極低温での屈折率・透過率の精密測定が課題である (榎木谷, 李他 本年会)。とりわけ, 強度の強いレーザー光源の使用が望ましいが, 当該波長帯の連続掃引可能なレーザー光源の入手が困難なため, ランプ光源を用いた最小偏角法による屈折率測定の精度向上が重要である。我々は, 屈折率測定における検出器として, 准共通路波面分割型位相シフト干渉法による広帯域遠赤外線 ($4 < \lambda < 20 \mu\text{m}$, $R \sim 100$ at $\lambda = 14 \mu\text{m}$) イメージングフーリエ分光器 (2D FT-FIR) の開発を進めている。

このイメージング分光法では, 対物面からの赤外光はまず結像面に置かれた一次元多重スリットに結像し, それを透過した赤外光は再び平行光とし, ピエゾアクチュエーターで駆動される可変位相シフター ($\pm 1 \text{ mm}$) で反射されたのち, 広帯域赤外線カメラに結像される。一次元多重スリットは, 対物面において隣接する 2 つの輝点からの光の, アレイ検出器上での破壊的干渉の抑止のため, そのピクセルサイズと同一の開口幅 (17 μm) とする必要がある。今回, Ge 基板上の金のフォトリソグラフィによって独自に製作した。また, 広帯域な赤外線領域での結像の実現のために, 2 つの自由曲面鏡 ($\sim 70 \text{ mm}\phi$) を用いた 3 反射光学系の設計を行った。測定に用いる CdZnTe プリズム試料に対する屈折率の波長分散による屈折角の変化範囲の予想値 1.3° に対応した視野を得るためには, 2 つの自由曲面鏡の最適化形状に対してそれぞれ 4 次および 6 次までの Zernike 多項式により要求を満たす解を得た。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V219a GREX-PLUS 中間赤外線高分散分光器: イメージョン・グレーティングの特性評価のための量子カスケードレーザーの開発

生駒剛, 平原靖大, 笹子宏史, 李源, 趙彪, 古賀亮一 (名古屋大学環境学研究所), 中川貴雄 (ISAS), 榎木谷海, 松原英雄 (総合研究大学院大学/ISAS)

我々は、計画中の赤外線天文衛星 GREX-PLUS に中間赤外線高分散分光器 (観測波長 10–18 μm , $\lambda/\Delta\lambda \sim 30,000$) を搭載することを目指し、分光器の大幅な小型化を実現するために有効な、CdZnTe イメージョン・グレーティング (IG) の開発を進めている。IG の候補材料としての適性の検証のためには、小型 CdZnTe 試料の極低温における吸収係数 α と屈折率 n の高精度測定による低温物性の理解が必要であり、それを可能にする測定装置の独自開発・改良に取り組んでいる (榎木谷他, 李他, 本年会)。特に、CdZnTe プリズム試料を大型カルニュー精密分光計ステージ上の 4K He 冷凍機に固定し、屈折率を最小偏角法によって高精度で測定する場合、光学系全体の調整のための高強度の中間赤外光源の適用が有効である。また将来、大型 CdZnTe インゴット材料内部に残存しうる、微小粒子による散乱の評価や、CdZnTe IG の波長分解能の評価においても、コヒーレント中間赤外レーザー光源が必要となる。

そこで本研究では、上記の目的のため、温度 ~ 80 K で連続発振 (強度 ~ 15 mW) が可能な、波長 14 μm の量子カスケードレーザー (QCL) チップと、真空対応の $\text{AgCl}_{0.25}\text{Br}_{0.75}$ 多結晶赤外線ファイバー (PIR fiber) を用いた狭帯域レーザー光源の開発を行った。単一の無酸素銅マウントブロック上に、小型の QCL チップの赤外光出力端と PIR fiber の入力端を、市販の小型楕円鏡の 2 つの焦点に位置決め固定可能な構造の設計と製作を行い、最終的に液体窒素デューワー (Infrared Lab. HDL-5) 内の低温プレートにすべての部品を配置することができた。本講演においては、この PIR fiber ガイド QCL 光源の詳細な特性評価と、CdZnTe 屈折率測定への適用結果について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V220a Nancy Grace Roman 宇宙望遠鏡計画の進捗: 国際科学協力の推進

宮崎翔太, 山田亨 (宇宙科学研究所/JAXA), 住貴宏, 鈴木大介 (大阪大学), 村上尚史 (北海道大学), 田村元秀 (東京大学, ABC)

Nancy Grace Roman 宇宙望遠鏡 (以下、Roman) は、NASA の大型旗艦計画として 2026 年に打上げが予定されている、口径 2.4m の大型宇宙望遠鏡である。Roman の主力装置である広視野撮像装置 WFI は、ハッブル宇宙望遠鏡と同等の測光精度・空間分解能を持ちながらその 200 倍の視野を備えた可視近赤外線観測装置であり、それを用いた遠方銀河・Ia 型超新星の精密観測からダークエネルギー宇宙論の高精度な検証を行う。また、銀河系中心方向の連続測光観測を行うことで重力マイクロレンズ法による冷たい系外惑星を大量に発見し、系外惑星の分布を包括的に解明することが期待されている。さらに、Roman にはコロナグラフ直接撮像装置 CGI が搭載されており、宇宙空間初の波面補償を成立させることで将来の超大型宇宙望遠鏡計画のための技術実証機として位置付けられている。

日本・JAXA は国際協力パートナーとして Roman 計画に参加しており、2023 年に発足した科学チームやコロナグラフ装置技術実証検討チームにも、30 名を越える日本の研究者が参加することとなり、日本独自の研究成果や貢献の創出を目指し活動を行っている。本講演では、近年の Roman 計画の進捗状況とともに、Roman 科学チームや JAXA の活動状況や取り組み等を紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V221a LAPYUTA 計画の検討状況

土屋史紀 (東北大学), 村上豪 (ISAS), 山崎敦 (ISAS), 亀田真吾 (立教大学), 鍵谷将人 (東北大学), 吉岡和夫 (東京大学), 古賀亮一 (名古屋大学), 木村淳 (大阪大学), 木村智樹 (東京理科大), 埴千尋 (NICT), 益永圭 (ISAS), 堺正太郎 (東北大学), 中山陽史 (立教大), 生駒大洋 (NAOJ), 成田憲保 (東京大学), 大内正己 (NAOJ/東京大学), 田中雅臣 (東北大学), 桑原正輝 (立教大学), 鳥海森 (ISAS), 野津湧太 (コ罗拉ド大), 行方 宏介 (NAOJ), LAPYUTA 検討チーム

LAPYUTA は、宇宙科学研究所の公募型小型計画 6 号機候補として検討している紫外線宇宙望遠鏡である。主鏡口径 60cm の望遠鏡に紫外線の分光及び撮像装置を搭載し、宇宙の生命生存可能環境 (目標 1) と宇宙の構造と物質の起源 (目標 2) の理解を目指す。目標 1 では、多様な太陽系天体・系外惑星の外圏・電離大気を網羅的に観測し、太陽系内天体の理解の深化と系外惑星大気の特徴づけを行う。目標 2 では銀河周辺物質の構造の観測から、宇宙構造形成の枠組みで予言されたガスの流入による星形成を検証する。また、中性子星合体直後の高温ガスの観測から重元素合成過程を解明する。水素、酸素、炭素の輝線を含む 110-190nm の波長域にフォーカスし、この波長域で先行ミッションに匹敵する感度と解像度を達成するため、望遠鏡の構造、主鏡、焦点面装置の検討を進めている。今年度の主な更新点は、系外惑星や暗い銀河を 0.5" 程度の解像度で観測するためのガイドカメラと、系外惑星大気の観測効率の向上を目指した高分散分光部の検討である。これらの検討を光学設計及び望遠鏡構造に反映させつつ、高い感度を実現するための主鏡、コーティング、回折格子、及び検出器の技術検討を進めている。酸素原子と水素原子の観測におけるジオコ罗纳前景光と地球の放射線帯による影響を回避するため、軌道高度は遠地点 2,000km、近地点 1,000km をベースに検討を実施している。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V222a 宇宙重力波望遠鏡 DECIGO の精密編隊飛行の実現へ向けた軌道制御シミュレーション

藤村 皓太 (法政大学), 伊藤 琢博 (JAXA), 佐藤 修一 (法政大学)

宇宙重力波望遠鏡 DECIGO は 3 機の衛星をフォーメーションフライトによって正三角形に 1000 km 離して配置し、重力波によって引き起こされる浮遊鏡間距離のごく微小な変化をレーザー干渉計を用いて計測する。宇宙空間で観測することにより、地面振動の影響を受けなくなるため、地上よりも低い周波数帯域である 0.1~10 Hz 帯域での重力波の観測が可能となる。

DECIGO は浮遊鏡間距離の変動から重力波を観測するが、この浮遊鏡間距離の変動の観測は地上の重力波干渉計と同じく Fabry-Perot 干渉計を用いて行う。そのため、地上で行っている干渉計の基線長をロックする制御を宇宙空間の衛星軌道上で行う必要がある。基線長のロックとは鏡間の距離・姿勢を制御し、干渉計が共振状態となるように維持する事である。宇宙空間では地上と異なり、鏡は軌道上を飛行する為、その絶対位置は常に変化する。さらに惑星重力や太陽輻射圧といった地上とは異なる擾乱に晒される。そのような中、Fabry-Perot 干渉計をロックするためには鏡間の相対距離変動、相対速度、相対姿勢を高い精度で制御する必要がある。現状では宇宙空間でそのような制御を行った前例は無く、DECIGO を実際に打ち上げる前に宇宙空間で Fabry-Perot 干渉計をロックすることが可能であることを示す必要がある。しかし、地上の干渉計では鏡を多段振り子で吊している為、宇宙空間の様な 6 自由度での制御を再現することは不可能である。そこで、本研究では MATLAB を用いた数値シミュレーションで衛星を軌道上に飛ばし、Fabry-Perot 干渉計をロックするための衛星・浮遊鏡の軌道及び姿勢制御を行った。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V223a 浮遊試験質量の慣性計測に向けた 1 自由度制御実験

乗本雄真 (法政大学), 矢ヶ部開陸 (法政大学), 和泉究 (JAXA), 佐藤修一 (法政大学)

宇宙重力波望遠鏡の開発では、編隊飛行と呼ばれる複数の宇宙機が一定の相対距離、角度を保ちながら飛行する技術を検討している。編隊飛行の精密化は、宇宙空間での重力波観測のみならず赤外線干渉計といった、先鋭的な宇宙科学実験を達成する上で重要なステップと考えられている。精密化に向けた要素技術の 1 つは、慣性制御技術である。本技術では、非接触浮遊する試験質量に対して宇宙機との相対距離を常時計測することで、宇宙機に働く外部からの非重力加速度外乱を計測する。しかし、浮遊質量を用いた慣性計測では、浮遊状態にある試験質量を周囲管体に接触しないよう衛星そのもの、あるいは試験質量の位置を制御する必要がある。われわれのグループでは、試験質量の位置を制御する方式の採用を検討しており、従って非接触で試験質量の相対位置を読み取るセンサ及び位置を修正する高出力なアクチュエータが必要となる。加えて、地上開発段階においては、完全に浮遊した試験質量を用意することが容易ではないため、慣性計測技術の検証には限定的な複数の試験を段階的に進めていく必要がある。これまでに、非接触アクチュエータの候補の 1 つである高電圧で動作する静電アクチュエータの開発を実施し、共同研究者である矢ヶ部 開陸氏 (法政大学) が静電容量センサの開発を実施してきた。現在、これらセンサとアクチュエータを統合した状態で期待通りの機能を保持するか検証することが求められている。本講演では、制御手法について説明した後、現在までの試験検証の成果を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V224a 大型低温重力波望遠鏡 KAGRA の現状

安東正樹 (東京大学 理学系研究科), ほか KAGRA コラボレーション

大型低温重力波望遠鏡 KAGRA は岐阜県飛騨市・神岡の地下施設に建設された基線長 3 km のレーザー干渉計型重力波検出器である。2010 年のプロジェクト開始後、トンネルの掘削・真空系の設置をはじめとして、レーザー光源、防振・懸架系、鏡、低温系、入射光学系、補助光学系、アナログ・デジタル制御系、校正装置、データ取得系など各構成要素のインストールと、レーザー干渉計としての全体動作の実現を進めてきた。2019 年には、レーザー干渉計を完成させ、すでに重力波の検出を達成していた LIGO, VIRGO による国際重力波観測網の一員に加わった。KAGRA による初の国際共同観測は 2020 年 4 月に GEO600 とともに 2 週間行われた。この観測を O3GK と呼んでいる。O3GK の終了後、KAGRA は感度向上のための改修作業およびアップグレード作業を行ない、2023 年 5 月には、第 4 回 国際観測運転 (O4) を LIGO とともに開始した。O4 観測は休止期間を挟みながら最長 20 か月継続する予定である。一方、KAGRA は 4 週間の観測運転の実施後、一旦観測を中断し、感度向上作業を再開した。この感度向上作業においては、KAGRA の技術的特徴である鏡の冷却も実施されている。本講演では、KAGRA が参加した O4 観測の概要とその後の感度向上作業の現状とともに今後の計画について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V225a 重力波望遠鏡 KAGRA の較正装置とその性能

陳たん on behalf of the KAGRA collaboration

大型低温重力波望遠鏡 KAGRA は 2023 年 5 月から国際共同観測 O4a を開始した。その感度は次第に向上し、遠くない将来において KAGRA でも重力波の観測が現実的になると思われ、科学的な結果を出すために必要不可欠な信号較正の重要性がますます増している。KAGRA では、補助レーザーを主鏡に照射し、その輻射圧で較正基準となる鏡変位を生じさせて、望遠鏡の較正を行う。この較正装置はフォトキャリブレーション (Pcal) システムと呼ばれ、私たちはその開発・精度維持管理を行ってきた。

私たちは、2020 年に行われた前期国際共同観測 O3 から、O4 までの間に KAGRA Pcal のオペレーションの改善および不確かさの低減を行ってきた。この Pcal システムにおいて、主鏡に入射した補助レーザーの照射位置およびパワーの推定誤差が、基準信号の主たる不確かさを生じさせているため、この 2 点の改善を優先的に実施した。補助レーザーの照射位置を推定するために、主鏡をモニターするカメラの画像データを分析し、照射位置を推定するシステムを開発した。レーザーパワーの推定誤差の低減のために、使用されている積分球型パワーセンサーの特性を詳細に調査し、センサー較正手順やその配置を見直した。本公演では、この Pcal の開発状況と性能、および KAGRA の較正について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

V226a Daniel K. Inouye Solar Telescope (DKIST) 搭載を目指す近赤外域偏光分光撮像装置 (NIRTF) の検討状況

永田伸一, 浅井歩, 上野悟, 横山央明 (京都大学), NIRTF 検討 WG

2019 年に観測を開始した米国 National Solar Observatory の DKIST (口径 4m) は世界最大級の太陽望遠鏡であり、高空間分解能と高い集光力を活かした観測を実施するための第一世代焦点面装置群 (撮像装置 2, 偏光分光装置 3) が備え付けられている。我々は日本が中心となって開発中の SOLAR-C 衛星 (2028 年打ち上げ予定) と DKIST との協調観測により、太陽外層大気加熱のエネルギー変換過程、太陽フレア・Coronal Mass Ejection (CME) の原因となる電磁流体力学的不安定性の成長過程の解明を目指している。上記課題の達成には、彩層・フィラメントの 3 次元磁場計測が可能な He I 1083 nm、コロナ磁場観測を行うための Fe I 1074nm、高精度光球磁場計測が可能な Fe I 1564nm、といった近赤外域の吸収線をターゲットとし、広視野 (> 60") と高時間分解能 (< 60s) を両立可能な tunable filter (TF) を用いた偏光分光観測の実現が DKIST には求められる。しかしながら、第一世代装置には近赤外の TF はない。このような背景のもと、DKIST 第二世代装置として近赤外偏光分光撮像装置 (NIRTF) の実現可能性検討を行っている。TF のタイプには複屈折素子を利用した Lyot、多重反射を利用した Fabry-Pérot (FP) の選択肢があり、FP にはさらに Air Gap (AG) と結晶 (LiNbO₃:LN) の選択肢がありうる。フィルタ内部素子への光線入射角度による波長シフトと PSF 劣化の許容値を満たす装置サイズを比較したところ、Lyot, FP (LN), FP (AG) の順に大きな口径と F 値が求められることが分かり、現在、必要とされるサイズの複屈折素子と LN の開発について、検討を進めている。また検出器については、Teledyne H2RG 以外を用いる可能性も検討を進めている。本講演では、フィルタと検出器を中心に、装置全体の検討状況について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

V227a 高感度太陽紫外線分光観測衛星 SOLAR-C: プロジェクト最新状況 (2024 年春)

清水敏文, 加藤秀樹, 内山瑞穂, 備後博生, 鳥海森, 松崎恵一, 坂尾太郎, 山崎大輝, 三好航太, 田中寛人, 藤原正寛, 末松芳法 (ISAS/JAXA), 原弘久, 勝川行雄, 久保雅仁, 成影典之, 石川遼子, 岡本文典, 川畑佑典, 篠田一也, 光武正明, 浦口史寛, 都築俊宏, 小原直樹, 鄭祥子, 大場崇義 (国立天文台), 今田晋亮 (東京大), 増田智 (名古屋大学), 渡邊恭子 (防衛大学校), 永田伸一 (京都大学), および SOLAR-C 関連国際開発チーム

高感度太陽紫外線分光観測衛星 SOLAR-C は、公募型小型 4 号機として 2028 年度打上げを目指し準備を進める衛星ミッション計画である。SOLAR-C は、近年の太陽物理学の進展を踏まえ、エネルギー注入と解放の間でエネルギーや物質がどう太陽大気中で輸送され、またエネルギー解放の現場で起きていることを診断することで、太陽大気・太陽風の形成やフレア・プラズマ噴出における振る舞いの仕組みやその背景にある基礎物理過程の理解を目指す。この達成のために、極紫外線高感度分光望遠鏡 (EUVST) を搭載し、太陽同期極軌道から太陽外層大気を観測する。EUVST は、彩層からコロナ・フレアプラズマまで 3 桁以上にわたる温度領域を隙間なくカバーできる広い波長帯域を観測し、かつ 10-30 倍の感度向上により高空間・高時間分解能で観測現象に追従できる能力を持つ。日本を中心に米国および欧州諸国が開発に参画し EUVST を開発する。2022 年 12 月のシステム要求審査 (SRR)、その後予備設計検討を実施し、予稿投稿時点でシステム定義審査 (SDR) を受審中である。また、EUVST 望遠鏡は、BBM 品開発が進み、打上げ開発工程を維持するために先行着手確認会 (8 月) を経て主鏡硝材や電子部品などの長納期部品の調達や一部基本設計に着手済みである。ロケット搭載可能な質量への適合など後を続くミッション計画にも参考になりうるレッスンズ・ラーンドが得られており、その一部についても紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

V228a SOLAR-C 観測装置 EUVST 設計・開発検討の進捗報告 (2024 年春)

原 弘久, 石川遼子, 浦口史寛, 大場崇義, 岡本丈典, 勝川行雄, 川畑佑典, 久保雅仁, 小原直樹, 篠田一也, 都築俊宏, 鄭 祥子, 成影典之, 光武正明 (国立天文台), 清水敏文, 内山瑞穂, 加藤秀樹, 末松芳法, 田中寛人, 鳥海 森, 備後博生, 藤原正寛, 松崎恵一, 三好航太, 山崎大輝, 宮崎英治, 山中理代 (JAXA), 今田晋亮 (東大), 渡邊恭子 (防衛大), 浅井 歩, 永田伸一 (京大), 栖崎翔太, 藤江彰裕, 橋本真之介, 角野宏紀, 高木淳治, 木林優介, 玉井克幸, 大脇雄登, 井本寛之 (三菱電機) ほか, 国際 SOLAR-C チーム

SOLAR-C 計画では、高い空間分解能 (0.4 秒角) をもつ高感度撮像分光観測装置 EUVST を国際協力で開発し、極端紫外線 (EUV) 領域の多数の輝線による撮像分光観測から、太陽上層大気の詳細な物理診断を行って、太陽の高温プラズマがどのように形成されるのか、太陽フレアがいつどのように発生するのか、という謎に挑む JAXA 小型衛星計画である。光学観測装置を複数国で分担して製作し、国内で望遠鏡部の組立・調整・試験を終えた後に、分光装置部やスリットジョー撮像装置部の組み込みや装置単体の検証試験を海外で実施する計画としている。

本講演では、2024 年初頭時点での EUVST の設計・開発検討の進捗状況について報告する。解像力の要となる主鏡部においては、排熱効率を高める熱構造設計を進め、長納期品となる主鏡材の調達に着手している。二国間のインターフェースを持つシステムで構成する主鏡部スキャン機能と画像安定化機能についてインターフェース仕様の策定と評価試験の実現性検討を実施したほか、主鏡焦点調節機構部では構造・熱設計検討を経て BBM の製作・性能試験と進めた。CFRP 表皮・アルミハニカムコアの板状パネルで構成する EUVST 主構造に関しては、衛星バスとのインターフェースや、設置される機器の組立・調整・試験手法、飛翔中や軌道上の環境条件を考慮した構造・熱設計を実施してきている。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V229a SOLAR-C に搭載する超高精度太陽センサ UFSS の性能評価試験系の構築

近藤勇仁 (東京大学, ISAS/JAXA), 山崎大輝 (ISAS/JAXA), 吉田南 (東京大学, ISAS/JAXA), 鄭祥子 (国立天文台), 内山瑞穂, 清水敏文 (ISAS/JAXA)

SOLAR-C は高時空間分解の紫外線分光観測を行う次世代太陽観測衛星である。高時空間分解能でのスリット分光観測を実現するために望遠鏡内にティップ・ティルト鏡制御による像安定化機能を持つが、それに加えて衛星ボディの制御により望遠鏡を太陽面上の観測目標に 1 arcsec オーダーで指向させる必要がある。そのためには、超高精度太陽センサ (Ultra Fine Sun Sensor, UFSS) が十分な精度で太陽指向角度を検出する性能を持つ必要がある。UFSS は直交する二つの二次元 CCD センサから成り、各センサはレチクルで生み出される太陽光の明暗模様と UFSS 内の基準信号と比較することで太陽光の角度をリアルタイムに導出する。1.0 × 1.0 deg の視野に渡って、特徴付けされた系統誤差 (リニアリティ誤差) < 2 arcsec (p-p) が要求され、これを地上試験にて十分な精度で検証する必要がある。

これまで我々は二軸ジンバルと精密太陽シミュレータ光源からなる測定系を用いて、UFSS のリニアリティ誤差測定の精度向上のための検討を行ってきた (吉田他、天文学会 2022 秋季年会 V239a)。本研究では、二軸ジンバルの方位角 (Az) 方向と仰角 (El) 方向それぞれの指向精度について、1 arcsec 以下の精度と安定性を持つレーザー干渉計を用いて調査した。その結果、Az 方向は 0.5 arcsec (p-p) 精度で指向可能なことが分かった。一方、El 方向には要求精度を上回る誤差が認められたため、指向方向をレーザー干渉計で計測する測定系を新たに構築した。加えて太陽シミュレータ光源の安定性についても調査した。熱変形起源と思われる 10^{-3} arcsec/s のドリフトを示す場合があることが分かり、10 分毎に較正データを取得することで要求精度を満たすことを確認した。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V301a X線分光撮像衛星 XRISM の軌道上運用の現状

田代 信, 寺田幸功 (埼玉大, ISAS/JAXA), 前島弘則, 戸田謙一, 山口弘悦, 竹井 洋, 富田 洋, 藤本龍一, 辻本匡弘, 渡辺伸 (ISAS/JAXA), R. Kelley, L. Reichenthal, L. Hartz, G. Sneiderman, R. Petre, B. Williams, M. Holland, M. Loewenstein (NASA/GSFC), 松下恭子 (東京理科大), M. Guainazzi (ESA), E. Costantini (SRON), 石崎欣尚 (東京理科大, ISAS/JAXA), 森 浩二 (宮崎大, ISAS/JAXA), 中嶋 大 (関東学院大, ISAS/JAXA), E. Miller (MIT), 澤田真理 (立教大) ほか XRISM team

X線分光撮像衛星 XRISM チームは、「ひとみ」が扉を開いた、高温プラズマの超高分解能分光観測による宇宙の重元素生成と循環、および高エネルギー天体から星間空間・銀河間空間にいたるエネルギーの輸送の観測的研究を進展させるべく、2018年から開発を進めてきた。2023年秋秋季年会で速報したように、衛星は、2023年9月7日に種子島宇宙センターより打ち上げられ、現在、衛星軌道上での運用をおこなっている。搭載観測装置は、2台の高効率X線反射鏡(XMA)と、それぞれの焦点面におかれたX線マイクロカロリメータ(Resolve)とX線CCD(Xtend)であり、それぞれ超高分解能X線分光と、広視野X線撮像を行う。打ち上げ後は、計画にしたがって、衛星バス機器の立ち上げと、それにつづく観測装置に立ち上げを3ヶ月余りにわたって行っている。また並行して、データ処理プロセスの調整・試験も進め、本格的に観測を行う定常運用に向けた準備をすすめてきた。本講演では、これら立ち上げ運用に続けて行われる、較正運用および試験観測を含め、XRISMの軌道上運用の現状、さらに夏から予定されている公募観測の準備状況について報告する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引TOPに戻る](#)

V302a X線分光撮像衛星 XRISM 搭載 Resolve の開発の現状 XII

Y. Ishisaki^{A,B}, R.L. Kelley^C, H. Awaki^E, J.C. Balleza^C, K.R. Barnstable^C, T.G. Bialas^C, R. Boissay-Malaquin^C, G.V. Brown^F, E.R. Canavan^C, T.M. Carnahan^C, M.P. Chiao^C, B.J. Comber^C, E. Costantini^D, R.S. Cumbee^C, J.-W. den Herder^D, J. Dercksen^D, C.P. de Vries^D, M.J. Dipirro^C, M.E. Eckart^F, Y. Ezoe^A, C. Ferrigno^G, R. Fujimoto^B, N. Gorter^D, S.M. Graham^C, M. Grim^D, L.S. Hartz^C, R. Hayakawa^H, T. Hayashi^C, N. Hell^F, A. Hoshino^B, Y. Ichinohe^I, D. Ishi^B, M. Ishida^B, K. Ishikawa^A, B.L. James^C, Y. Kanemaru^B, S.J. Kenyon^C, C.A. Kilbourne^C, M.O. Kimball^C, S. Kitamoto^I, M.A. Leutenegger^C, Y. Maeda^B, D. McCammon^J, B.J. MaLaughlin^C, J.J. Miko^C, E. van der Meer^D, M. Mizumoto^M, T. Okajima^C, A. Okamoto^B, S. Paltani^G, F.S. Porter^C, L.S. Reichenthal^C, K. Sato^K, T. Sato^I, Y. Sato^B, M. Sawada^I, K. Shinozaki^B, R.F. Shipman^D, P.J. Shirron^C, G.A. Sneiderman^C, Y. Soong^C, R. Szymkiewicz^C, A.E. Szymkowiak^L, Y. Takei^B, M. Takeo^B, T. Tamba^B, K. Tamura^C, M. Tsujimoto^B, Y. Uchida^N, S. Wasserzug^C, M.C. Witthoef^C, R. Wolfs^D, S. Yamada^I, S. Yasuda^B (都立大^A, JAXA^B, NASA^C, SRON^D, 愛媛大^E, LLNL^F, U-Geneva^G, KEK^H, 立教大^I, U-Wisconsin^J, 埼玉大^K, Yale-U^L, 福岡教育大^M, 東京理科大^N)

XRISM衛星に搭載されるResolveは、50 mKの極低温で動作する6×6のマイクロカロリメータと焦点距離5.6 mの多重薄板X線望遠鏡から成り、2023年9月7日に種子島宇宙センターからH-IIAロケットにより打ち上げられた。軌道上でResolve検出部は50 mKまで冷却、較正線源からのX線を検出器に照射、全ピクセルでX線を検出、エネルギー分解能が5 eVより良好であることを確認した。この講演ではResolveの現状を報告する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引TOPに戻る](#)

V303a XRISM衛星搭載極低温検出器の地上・軌道上データを用いたX線イベント処理最適化

Y. Mochizuki^{A,B}, M. Tsujimoto^B, C. A. Kilbourne^C, F. S. Porter^C, K. Sato^D, M. Sawada^E, M. E. Eckart^F, M. Mizumoto^G, S. Yamada^E, Y. Kanemaru^B, Y. Ishisaki^{B,H}, 他 Resolve チーム (東京大^A, JAXA^B, NASA^C, 埼玉大^D, 立教大^E, LLNL^F, 福岡教育大^G, 都立大^H)

XRISM (X-Ray Imaging and Spectroscopy Mission) 衛星は、2023年9月7日(JST)に打ち上げられ、地球周回軌道に投入された。XRISMに搭載されるResolve装置は、X線マイクロカロリメータ検出器を搭載し、広いエネルギー範囲(0.3–12 keV)で高エネルギー分解能(≤ 7 eV@6 keV)、高効率、非分散分光を達成することが期待されている。X線イベントをノイズから識別するイベントスクリーニングは、エネルギーとフラックスの高ダイナミックレンジで動作する同装置には特に重要である。イベントスクリーニングのためのいくつかの手法は、先行するX線マイクロカロリメータミッション(すざく/XRSとひとみ/SXS)で開発されてきた。XRISM/Resolveでは、拡張された地上較正プログラムと軌道上データによる新しいデータセットを取得し、それらを用いて、再評価を行う。具体的には、(1)観測時間に基づくもの(断熱消磁冷凍機サイクリング、地球掩蔽、高放射線領域通過)、(2)イベント相互の相対到来時刻に基づくもの(反同時係数検出器による除去、電氣的・熱的クロストーク)、(3)パルスレコードを調べることによるパルス形状(立ち上がり時間、パルステンプレートからのタイミングシフト)に基づくものである。これらのスクリーニング基準の検証と最適化を行い、最適化されたパラメータをcalibration data baseに実装した。本講演では、これらの結果について発表する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引TOPに戻る](#)

V304a X 線分光撮像衛星 (XRISM) 搭載軟 X 線撮像装置 (Xtend) の軌道上運用

中嶋大 (関東学院大, ISAS/JAXA), 森浩二 (宮崎大, ISAS/JAXA), 富田洋 (ISAS/JAXA), 野田博文 (阪大), 鈴木寛大 (ISAS/JAXA), 小林翔悟 (東京理科大), 萩野浩一 (東京大), 内田裕之 (京大), 米山友景 (中央大), 田中孝明 (甲南大), 村上弘志 (東北学院大), 信川正順 (奈良教育大), 信川久美子 (近畿大), 内山秀樹 (静岡大), 幸村孝由 (東京理科大), 鶴剛 (京大), 松本浩典, 小高裕和 (阪大), 山内誠, 廿日出勇 (宮崎大), 山岡和貴 (名大), 吉田鉄生, 金丸善朗 (ISAS/JAXA), 水野恒史 (広島大), 宮崎啓太郎, 楠康平, 大塚芳徳, 横須晴彦, 米丸若菜, 市川雄大, 中野瑛子 (宮崎大), 福田将大 (関東学院大), 朝倉一統, 善本真梨那, 大出優一, 佐藤淳矢, 袴田知宏, 青柳美緒 (阪大), 青木悠馬, 伊藤耶馬斗 (近畿大), 青木大輝, 藤澤海斗, 清水康行, 樋口菜由 (東京理科大), 東竜一, 寺農夏樹 (甲南大), 阪本菜月 (広島大), Takashi Okajima (NASA/GSFC), 石田学, 前田良知 (ISAS/JAXA), 平賀純子 (関西学院大), 尾崎正伸 (NAOJ), 堂谷忠靖 (ISAS/JAXA), 常深博, 林田清 (阪大), 他 XRISM/Xtend チーム

X 線分光撮像衛星 XRISM 搭載軟 X 線撮像装置 Xtend は、X 線望遠鏡 (XMA) と X 線 CCD 検出器 (SXI) で構成される。本講演では主に SXI の軌道上立ち上げおよび初期運用状況について報告する。XRISM が初期機能確認運用期間に移行した後、SXI の各コンポーネントを順次電源投入した。CCD を所定の -110°C に冷却した状態でフレーム画像を取得し、雑音性能が地上試験時と同程度であること、約 38 分角の広視野撮像が出来ることを実証した。また ^{55}Fe 較正線源のスペクトルからエネルギー分解能を測定し、地上試験時と矛盾がなく、全ての CCD について打ち上げ時点での 6 keV における分光性能要求 (200 eV (半値全幅) より小さいこと) を満足していることを確認した。さらに定常運用移行前後の軌道上較正状況についても報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V305a X 線天文衛星 XRISM 搭載 X 線 CCD 検出器 SXI におけるフレームデータとノイズ性能の評価

青木悠馬, 伊藤耶馬斗, 福田開大, 木山穂乃香, 信川久美子 (近畿大), 信川正順 (奈良教育大), 森浩二 (宮崎大, ISAS/JAXA), 富田洋 (ISAS/JAXA), 中嶋大 (関東学院大, ISAS/JAXA), 野田博文 (大阪大), 鈴木寛大 (ISAS/JAXA), 小林翔悟 (東京理科大), 萩野浩一 (東京大), 内田裕之 (京大), 米山友景 (中央大), 田中孝明 (甲南大), 村上弘志 (東北学院大), 幸村孝由 (東京理科大), 鶴剛 (京大), 松本浩典, 小高裕和 (大阪大), 山内誠, 廿日出勇 (宮崎大), 山岡和貴 (名大), 内山秀樹 (静岡大), 吉田鉄生, 金丸善朗 (ISAS/JAXA), 水野恒史 (広島大), 他 XRISM/Xtend team

X 線天文衛星 XRISM に搭載している軟 X 線撮像装置 Xtend の受光装置は X 線 CCD 検出器 SXI である。2023 年 9 月 7 日の XRISM の打ち上げまでに、我々は複数回にわたる地上試験を行った。SXI のノイズ性能評価のため、非冷却時のフレームデータからペDESTAL 信号の中心値および幅を算出し、トレンド管理をしてきた。2022 年 8 月の軌道上環境を模擬して衛星搭載機器の動作を確認する衛星熱真空試験を行った際、ペDESTAL 中心値と幅がこれまでのトレンド値から変動していることが分かった。我々はこれらの値と SXI のハウスキーピングデータを用いて比較調査したところ、CCD 温度などの環境温度と相関することがわかった。ペDESTAL 中心値と環境温度には負の相関、幅と環境温度には正の相関があった。2023 年 10 月に軌道上で取得したフレームデータからペDESTAL 中心値と幅を算出した結果、地上試験と同等であり、ノイズ性能は打ち上げ前から変化していないことを確認した。さらに、冷却状態のフレームデータについて同様のペDESTAL 解析を行ったところ、地上試験と同程度の値であることも確認した。本講演ではこれらの解析結果の詳細を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V306a X 線分光撮像衛星 XRISM 搭載 X 線望遠鏡 (XMA) 開発の現状 (9)

林 多佳由, Takashi Okajima, 田村 啓輔, Rozenn Boissay-Malaquin, Danielle N. Gurgew, Larry Olsen, Richard Koenecke, Leor Bleier, Richard Kelley, Steve Kenyon, Gary Sneiderman, Meng Chiao (NASA's GSFC), 佐藤 寿紀 (明治大), 森 英之, 石田 学, 前田 良知, 飯塚 亮, 藤本 龍一, 富田洋, 金丸 善朗 (ISAS/JAXA), 武尾 舞 (埼玉大), 宮本 明日香, 松本 岳人, 石崎 欣尚 (都立大), 森 浩二 (宮崎大), 中嶋 大 (関東学院大)

我々は X 線分光撮像衛星 XRISM の 2 つの観測システム、Resolve と Xtend の光学系である XMA (X-ray Mirror Assembly) を開発している。XMA は 2021 年に NASA の Goddard Space Flight Center (GSFC) で完成後、2022 年 5 月まで同センターの 100m X 線ビームラインで地上較正試験を実施し、2022 年 9-10 月に筑波宇宙センターで衛星に搭載された。XRISM は XMA を備えた Resolve と Xtend を搭載し、2023 年 9 月 7 日に打ち上げられた。現在は、軌道上で得られ始めた天体観測データを用いて、観測軸の決定や有効面積、結像性能の測定を進めている。観測軸は Resolve の 3×3 分角の視野中心に結像中心が来るように定義される。広がった天体 (A2319) で大凡の観測軸を押さえた後、点源 (AO Psc, LMC X-3, η Car) の観測から詳細な調整を行った。有効面積は明るさが良く測られている点源天体の観測、特に既存の衛星との同時観測によって測定される。Resolve では現在までに、AO Psc の観測から 15% 程度の精度で応答関数が正しいことが示されているが、Xtend を含め、より高精度の測定を進める。結像性能の測定には、低バックグラウンドの点源天体の観測が必要であり、Xtend では 1 次元の PSF や EEF を取得し HPD を算出するが、Resolve ではピクセルサイズ (0.5×0.5 分角) が XMA の HPD と比較して無視できないので、ピクセル毎の有効面積分布から結像性能を抑える予定である。本講演では、それまでに測定された XMA の性能と、これらと要求値、地上較正試験の結果、さらにこれを元にした応答関数との比較を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V307a X線分光撮像衛星 XRISM の科学運用の現状

小川翔司 (ISAS/JAXA), 寺田幸功, 田代信, (埼玉大, JAXA), 高橋弘充, 水野恒史, 深沢泰司, 阪本菜月 (広島大), 信川正順 (奈良教育大), 宇野伸一郎 (日本福祉大), 中澤知洋, 大宮 悠希, 大熊佳吾 (名古屋大), 内山秀樹 (静岡大), 久保田あや (芝浦工業大), 勝田哲, 塩入匠 (埼玉大), 寺島雄一, 志達めぐみ, 新居田祐基 (愛媛大), 山内茂雄, 太田直美, 白木天音, 鈴木那梨 (奈良女子大), 北口貴雄, 山田智史 (理化学研究所), 坪井陽子, 米山友景, 根本登 (中央大), 内田悠介 (東京理科大), 江口智士 (熊本学園大), 谷本敦 (鹿児島大), 善本真梨那 (大阪大), 海老沢研, 渡辺伸, 飯塚亮, 林克洋, 内田和海, 金丸善朗, 星野晶夫, 吉田鉄生 (ISAS/JAXA), Matt Holland, Tahir Yaqoob, Chris Baluta (NASA), Michael Loewenstein (NASA, University of Maryland), Eric Miller (Massachusetts Institute of Technology)

X線分光撮像衛星 (XRISM) は 2023 年 9 月 7 日に打ち上げられ、現在は打ち上げ後の衛星搭載機器の機能確認等を実施する初期機能確認運用期間中である。我々科学運用チームは、バス系やミッション機器の開発・運用チームとは独立に組織され、観測天体の公募や観測スケジュールリング、観測後のデータ処理、検出器校正データの最適化など、XRISM が科学成果を最大限に引き出すための科学運用に向けて、周到な準備を行ってきた。現在の主な活動は、軌道上データを用いた高次データ処理およびアーカイブ処理とその結果の検証、即時解析データの検出器チームへの配布、さらには公募観測に向けたヘルプデスクの立ち上げ、観測提案システムの検証試験などである。これらの活動は、衛星運用および検出器開発チーム、NASA/GSFC や ESAC の地上ソフトウェアチームやユーザーサポートメンバーと連携して進めている。本講演では XRISM の科学運用について、打ち上げ後から初期機能確認運用期間のステータスをまとめるとともに、今後の定常運用段階におけるプランを報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V308a X線分光撮像衛星 XRISM 搭載軟 X線撮像装置 Xtend による突発天体探査 (2)

善本真梨那 (大阪大学), 米山友景, 赤須孔一郎, 根本登, 坪井陽子 (中央大学), Marc Audard (University of Geneva), Ehud Behar (Technion), 幸村孝由 (東京理科大学), 前田良知 (ISAS/JAXA), 水本岬希 (福岡教育大学), 信川正順 (奈良教育大学), Katja Pottschmidt (GSFC/NASA), 志達めぐみ, 寺島雄一 (愛媛大学), 寺田幸功 (埼玉大学), XRISM Science Operations Center

X線分光撮像衛星 XRISM に搭載された軟 X線撮像装置 Xtend は、X線望遠鏡 (XMA) と焦点面検出器の X線 CCD (SXI) から構成される。Xtend は 0.4–13 keV のエネルギー帯域において、 $38' \times 38'$ の広視野を実現する。我々は、Xtend を用いた突発天体の探査及び速報システム “Xtend Transient Search (XTS)” の開発と実装を進めている (2023 年秋季年会、米山講演)。突発天体探査は 1 回/日の頻度で実施し、検出した場合は The Astronomer’s Telegram (ATel) を通じて全世界に速報を行う。また、科学的価値の高い天体が発見された場合は、XRISM 自身への Target of Opportunity (ToO) 観測を行う予定である。XRISM のような天体サーベイを主目的としない衛星による突発天体の速報は、初めての試みとなる。MAXI や Swift 衛星に比べて探査領域は限られるものの、より暗い天体の検出が期待される。過去の Suzaku 衛星の実績 (山崎修論 2016) を踏まえると、XTS では 1 年間に ~10 新天体の検出が見込まれる。

本講演では、コミッション期・キャリブレーション期の観測を用いたシステムの性能検証結果について報告する。時間軸天文学への貢献を以て、XRISM の科学成果を拡張 (eXtend) する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V309a X線分光撮像衛星 XRISM の時刻システムの軌道上評価検証

志達めぐみ (愛媛大学), 寺田幸功 (埼玉大学/JAXA), 塩入匠 (埼玉大学), 新居田祐基 (愛媛大学), 澤田真理 (立教大学), 小湊隆 (日本電気), 田代信 (埼玉大学/JAXA), 戸田謙一 (JAXA), 前島弘則 (JAXA), 夏莉権 (JAXA), XRISM Science Operations Team

2023 年 9 月に打ち上げられた X線分光撮像衛星 XRISM は GPS 受信機を搭載しており、衛星本体の時計は GPS 時刻と常に同期される仕様となっている。一方、万が一 GPS 信号が捕捉できない場合は自走状態となり、温度により時計の水晶発振子の周波数が変化するため、地上データ処理の際にその補正が必要となる。XRISM では、科学目標に基づいて、各 X線光子の検出時刻に対する要求精度は、Resolve 分光器を含む衛星時刻システム全体で 1σ で 1 ミリ秒と定められている (寺田幸功他 2022 年天文学会春季年会)。このうち衛星バス系および地上データ処理の要求精度は 1σ で 500 マイクロ秒であり、GPS 同期・非同期に関わらずこの要求を満たすことを打ち上げ前の地上試験で確認している (志達めぐみ他 2023 年天文学会春季年会)。

打ち上げ後の軌道上動作確認の一環として、我々は 2023 年 9 月および 10 月に衛星バス系の時刻精度評価データを取得した。その結果、軌道上の周波数温度特性は地上試験での計測結果と 0.1% 以内の精度で一致していることが確認できた。また、GPS 非同期時に計測された時刻ドリフト量は、軌道上の温度変化と温度周波数特性から予測される値と矛盾しない結果であった。さらに、2023 年 11 月末の約 6 日間にミリ秒パルサー PSR B1937+21 を観測し、その Resolve データを用いて衛星時刻システム全体の時刻精度評価を行った。本講演では、これらの軌道上検証の内容と結果の詳細を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V310a X線分光撮像衛星 XRISM の指向精度の軌道上評価

金丸善朗, 飯塚亮, 前田良知 (JAXA), Takashi Okajima, 林多佳由 (NASA/GSFC), 清兼和紘, 二瓶雄斗, 小湊隆 (日本電気), 渡辺伸, 夏苺権, 石田学 (JAXA), 佐藤浩介 (埼玉大学), 寺田幸功, 田代信 (埼玉大学/JAXA), 戸田謙一 (JAXA), 前島弘則 (JAXA), 他 XRISM Science Operations Team

2023年9月に打ち上げに成功したX線分光撮像衛星XRISMは、焦点距離5.6mのX線望遠鏡と焦点面検出器から構成される2台のX線観測装置を搭載する。ひとつは軟X線撮像装置Xtendであり、4枚のX線CCDで38分角四方の広視野を有する。もうひとつは軟X線分光装置Resolveで、焦点面検出器のマイクロカロリメータアレイは極めて高い分光性能を有するものの、5mm四方のセンササイズで視野が3分角四方と相対的に狭いため、衛星の指向方向を精度良く制御・決定する必要がある。XRISMは通常観測時の姿勢センサとして、3台の恒星センサ(STT)と2台の慣性基準装置(IRU)を搭載する。天体を指向する際には、望遠鏡の観測軸から10度傾けた3台のSTTのうち、2台を選択してそれぞれの姿勢情報を姿勢決定に取り込む。地蝕等による干渉でSTTが星位置を測定できない場合は、IRU内のジャイロで検出した角速度に基づいて姿勢を保持する。衛星の指向方向はSTTとIRUの相対位置、衛星構体の歪みを引き起こす熱的条件、軌道周回による光行差に影響を受けるため、指向精度はSTTの組み合わせ、太陽方向、IRU伝搬期間といった条件に依存する。指向方向の変動は、結像位置のずれや、時間積分したX線像の歪みを引き起こすことから、異なる太陽方向とSTTの組み合わせで複数のX線点源を観測し、軌道上での指向精度を評価した。また、Resolve視野外に光子の溢出する割合を減らすため、姿勢安定時のX線観測データを解析して、焦点面上での結像位置をセンサ中心に近づけるようSTTとIRUの相対位置を2段階で補正した。本講演では、これらの評価結果について報告する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引TOPに戻る](#)

V311b MEMS技術を用いた広視野X線望遠鏡Lobster Eye光学系の開発

石川 怜, 江副 祐一郎, 石川 久美, 沼澤 正樹, 山田 裕大, 宮内 俊英 (東京都立大学), 伊師 大貴 (JAXA 宇宙研)

Lobster Eye光学系とは甲殻類の目を模倣した格子状の微細穴が球面状に並んだ構造となっており、直交した2枚の反射鏡にそれぞれ反射することで集光する。集光像は原理的に十字となるが、視野が非常に広いという特徴をつため、X線全天モニターや宇宙天気予報等への応用が期待されている。我々はこのLobster Eye光学系をMEMS(マイクロマシン)技術を用いた方法で開発してきた。厚さ300 μm の4-inch Si基板にドライエッチングにより $0.02 \times 1.98 \text{ mm}^2$ の貫通微細穴(スリット)を約63,000個形成する。スリットを50本並べたものをユニットと呼び、300 μm の間隔を開けて格子状に配置する。また、その穴の側壁をX線の反射鏡とするため、高温アニールによって $\sim 1 \text{ nm rms}$ 程まで平滑化させ、集光のために基板を球面状に塑性変形する。そして反射率向上のためにPtを膜付けし、最後に反射鏡が直交するように重ねてSchmidt型Lobster Eye光学系の完成となる。

我々は試作品としてドライエッチング、アニール、変形を行った基板でX線照射試験を行ったところ十字像を確認することができたが、基板内の非一様性のため角度分解能はシミュレーションより悪かった。この原因は変形時の基板の歪みである。これまでのデザインは各基板でのスリットが同一方向を向いていたことで、変形時にスリットと平行な方向は変形しにくく、垂直方向は変形しやすくなっていた。そこでユニット毎にスリットの向きを縦横交互に配置したところ、変形後の一様性が増し、曲率半径も $1104.3 \pm 262.9 \text{ mm}$ から $1046.6 \pm 6.0 \text{ mm}$ と誤差、つまり歪みが小さくなり、設計曲率である1000mmに近づいた。本講演では本光学系における新しい設計と開発状況について述べる。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引TOPに戻る](#)

V312b pnCCDの軟X線評価システムの構築

藤本健二郎, 畠中大介, 平賀純子 (関西学院大学), 荻野直樹, 有元誠, 米徳大輔 (金沢大学), 盛顯捷, 坂本貴紀 (青山学院大)

ガンマ線バースト(GRB)はわずか数秒の間に $10^{51} \sim 10^{54} \text{ erg}$ ものエネルギーをガンマ線として放出する宇宙最大の爆発現象で、初期宇宙からの放射を直接観測することができる重要な天体現象である。HiZ-GUNDAMミッションはGRBを広視野X線モニターで発見し、自律制御によりいち早く近赤外線残光を観測することで、初期宇宙の探査を目的としている。X線焦点面検出器の性能として、観測帯域である0.4-4 keVを検出効率50%以上かつ時間分解能が0.1秒以下の要求がされている。我々は、この要求を満たす検出器としてpnCCDに着目し、小型素子を搭載したColor X-ray Camera(PNDetector社)を用いてノイズレベルや分光性能など様々な信号応答を評価している。

本研究では、特に低エネルギー側の分光性能を評価するため、複数の蛍光軟X線を同時に取得できるシステムを構築した。本システムでは、タングステンを陽極とするX線発生装置を1次X線とし、2次ターゲットとしてテフロン、ポリイミドおよび小片のアルミニウムとチタンを採用した。X線発生装置の管電圧を設定可能な最低電圧の10 kVとし、pnCCDの温度を -20°C 、フレームレートを100 Hzで照射実験を行った。結果、C-K α (0.28 keV)、N-K α (0.39 keV)、O-K α (0.52 keV)、F-K α (0.68 keV)、Al-K α (1.5 keV)、Ti-K α (4.5 keV)の6つの輝線を弁別し、複数の軟X線を同時に評価できるシステム作り成功した。本講演では、構築したシステムおよび分光性能の詳細について発表する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引TOPに戻る](#)

V313c X線分光撮像衛星 XRISM 搭載 Xtend を用いた突発天体探査の開発

赤須孔一郎, 坪井陽子, 米山友景, 根本登 (中央大学), 善本真梨那 (大阪大学)

X線分光撮像衛星 XRISM (X-Ray Imaging and Spectroscopy Mission) には、38分角四方という広視野をもつ X線 CCD カメラ Xtend が搭載されている。Xtend は、0.4–13 keV のエネルギー帯域で分光撮像を行う。

我々は、Xtend の広視野を生かし、観測中に視野内で起こった突発現象を探査する「Xtend Transient Search (XTS)」の枠組みを立ち上げてきた。XTS では、QL データ解析として、(1) 突発天体サーチおよび既存の天体カタログとの照合、(2) 検出天体のライトカーブ作成およびその Kolmogorov–Smirnov (KS) 検定、(3) 検出天体のスペクトル解析、を行う。(1) は、0.4–2.0 keV、2.0–10 keV、0.4–10 keV という 3 つの帯域に分けて行う。帯域ごとにノイズの大きさが異なる場合、天体検出の S/N 比が上がることになる。2 つの点源の分離が困難な時にも、両者の Hardness の違いで、分離することを可能にする。(2) のライトカーブは、点源が (1) のどの帯域で検出されたとしても (1) の 3 つの帯域で作成する。突発現象に限られた帯域で顕著に観測される場合、突発現象サーチの S/N 比の向上が期待される。

本講演では、上記のような開発上の処置の工夫点やそのコンセプト、XTS 実装の詳細について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V314a 激変する宇宙をスコープする JEDI(仮称) のミッションデザイン

中澤知洋 (名古屋大)、赤松弘規 (QUP/KEK)、石田学 (JAXA/ISAS)、岩切渉 (千葉大)、上田佳宏、内田裕之、榎戸輝揚 (京大)、志達めぐみ (愛媛大)、高橋弘充 (広島大)、田中孝明 (甲南大)、中嶋大 (関東学院)、信川正順 (奈良教)、野田博文 (阪大)、松本浩典 (阪大)、森浩二 (宮崎大)、山口弘悦、渡辺伸 (JAXA/ISAS)、ほか JEDI ミッション検討チーム

JEDI は紫外線から硬 X 線のかつてない広帯域での撮像分光を実現し、2030 年代に稼働するニュートリノや重力波、他波長電磁波の大規模・広視野ミッションからのアラートを受けて、おおよそ 1 時間以内にフォローアップ観測することを主目的とし、待機中のサーベイや長期モニタリングも狙う、日本主導の X 線ミッション提案である。2030 年代の打ち上げを目指しており、衛星の全体構造は ASTRO-H のヘリテージを最大限に活用しつつ、3–7 度の視野を持つ UV イメージャ、0.3–6 keV で 1 度の視野を持つ軟 X 線イメージャ、視野は 0.15 度程度だが 1–79 keV をカバーする硬 X 線イメージャを組み合わせ、硬 X 線帯域では偏光観測オプションも検討している。時間軸天文学の進展にこたえないべく、フォローアップ観測に重点を置いて運用に大きな工夫をすることを検討しており、(大型衛星としては) 迅速な約 1 時間以内の姿勢変更のための衛星リソースの再配分、地上側の運用体制の大幅強化、UV や軟 X 線イメージャの視野内で検出した突発天体に対し硬 X 線の視野中心を近づけるステップマナー技術の採用などの検討を進めている。またこの運用を容易にし、かつ放射化バックグラウンドの大幅削減による特に硬 X 線で数段の感度向上を狙って、赤道軌道への投入オプションも検討している。本講演では JEDI のミッションデザインの検討状況を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V315a 激変する宇宙をスコープする JEDI ミッション (仮称) のサイエンス検討

榎戸輝揚 (京大/理研)、中澤知洋 (名古屋大)、赤松弘規 (QUP/KEK)、石田学 (JAXA/ISAS)、岩切渉 (千葉大)、上田佳宏、内田裕之、鶴剛 (京大)、川室太希、山田智史 (理研)、木邑真理子 (金沢大)、志達めぐみ (愛媛大)、高橋弘充 (広島大)、田中孝明 (甲南大)、行方宏介 (NAOJ)、中嶋大 (関東学院)、信川正順 (奈良教)、野田博文 (阪大)、松本浩典 (阪大)、森浩二 (宮崎大)、山口弘悦、渡辺伸 (JAXA/ISAS)、ほか JEDI ミッション検討チーム

2030 年代の打ち上げを目指している JEDI ミッション (仮称) は、硬 X 線 (1–79 keV) と軟 X 線 (0.3–6 keV) の撮像分光検出器に加え、紫外線の検出器も搭載することで、かつてない広帯域分光を実現し、最速で 1 時間以内に突発天体のフォローアップ観測が可能な日本主導の X 線天文衛星である。これまでの突発天体の追跡 (フォローアップ) 観測の枠組みを拡張し、電磁波の地上望遠鏡のみならず、ニュートリノや重力波、宇宙線の観測施設などマルチメッセンジャー天文学の全てを外トリガーとしたフォローアップ体制を構築する。例えば、ルービン天文台に代表される広視野サーベイ観測で莫大な数が検出される超新星など可視光突発現象のフォローアップ観測、IceCube-Gen2 などのニュートリノ事象のフォローアップや相関解析、ハイパーカミオカンデと連携したショックブレイクアウトの待ち受け観測、重力波イベントをアラートにした連星中性子の合体の待ち受け観測でのプロンプト放射の検出や後期放射の観測も狙っている。さらに恒星質量や超大質量ブラックホールの高頻度のモニタリング観測や、高速電波バーストの起源説があるマグネターで発生するグリッジの高頻度モニタリング、遠方の超大質量ブラックホールや銀河中心領域のサーベイ計画とも組み合わせる。激変する宇宙をスコープする機動的な X 線天文台のサイエンス検討を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V316a Cherenkov Telescope Array (CTA) 計画：全体報告 (25)

野田浩司 (千葉大学), 窪秀利, 齋藤隆之, 武石隆治, 手嶋政廣, 戸谷友則, 吉越貴紀 (東京大学), 吉田龍生 (茨城大学), 井岡邦仁 (京都大学), 山本常夏 (甲南大学), 田島宏康 (名古屋大学), 他 CTA Consortium

宇宙から来る超高エネルギーガンマ線が作る空気シャワー中の荷電粒子が発するチェレンコフ光を、地上に置いた望遠鏡で検出するのが大気チェレンコフ望遠鏡の原理である。チェレンコフ望遠鏡アレイ (CTA) 計画では、複数口径の望遠鏡を 10 台以上用いることでその感度を現行の望遠鏡に比べ約 10 倍に高め、かつ 20 GeV から 300 TeV の広いエネルギー領域をカバーする。これにより超高エネルギーガンマ線での発見天体数は現在の約 200 から 1000 程度になると予想され、銀河系内の宇宙線起源やパルサーの理解、銀河系外のガンマ線バーストや活動銀河核などでの非熱的放射機構の解明が進む。高エネルギーニュートリノや重力波との同時観測によるマルチメッセンジャー天文学への貢献も期待される。さらには、宇宙論パラメータの測定や、ダークマター候補検出やローレンツ不変性の検証などの基礎物理への貢献もできる。

CTA 北サイトであるスペイン・ラパルマ島の観測所では、1 台目の大口径望遠鏡の定常シフト観測が 2020 年から続いており、かに星雲・パルサーや明るいブレーザーからのガンマ線信号を無事に検出し、複数の天体物理論文がすでに出版されている。今後はガンマ線バーストなど突発天体の検出を狙いつつ、現在建設中の大口径望遠鏡の残り 3 台を完成させ、2025 年末には大口径望遠鏡を複数台用いた観測が始まる計画である。

本講演では、並行して建設予定の 5-9 台の中口径望遠鏡や、CTA 南サイトであるチリ・パラナルでのインフラ整備、小口径望遠鏡の現状なども含めた、CTA 南北サイトでの全天ガンマ線観測に向けた国内外の CTA 計画全体の進捗状況について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V317a ALPACA 実験 6:ALPAQUITA 地上アレイの性能と地下ミュオン検出器建設計画

M. Anzorena (東大宇宙線研), C. A. H. Condori (サン・アンドレス大), E. de la Fuente (グアダラハラ大), 後藤佳歩 (中部大), 林優希 (信州大), 日比野欣也 (神奈川大), 堀田直己 (宇都宮大), A. Jimenez-Meza (グアダラハラ大), 片寄祐作 (横浜国大), 加藤千尋 (信州大), 加藤勢 (東大宇宙線研), 川原一輝 (横浜国大), 川島輝能 (東大宇宙線研), 川田和正 (東大宇宙線研), 小井辰巳 (中部大), 小島浩司 (中部大天文台), 横島拓音 (横浜国大), 増田吉起 (信州大), 松橋祥 (横浜国大), 松本瑞生 (信州大), R. Mayta (大阪大), 大阪大南部分, P. Miranda (サン・アンドレス大), 水野敦之 (東大宇宙線研), 宗像一起 (信州大), 中村佳昭 (東大宇宙線研), C. Nina (サン・アンドレス大), 西澤正己 (国立情報学研), 野口陸 (横浜国大), 荻尾彰一 (東大宇宙線研), 大西宗博 (東大宇宙線研), 奥川創介 (横浜国大), 大嶋晃敏 (中部大), M. Raljevic (サン・アンドレス大), H. Rivera (サン・アンドレス大), 齋藤敏治 (都立産業技術高専), 埜隆志 (東大宇宙線研), 佐古崇志 (東大宇宙線研), 佐々木翼 (神奈川大), 柴崎季哉 (日本大生産工), 柴田祥一 (中部大天文台), 塩見昌司 (日本大生産工), M. Subieta (サン・アンドレス大), 田島典夫 (理研), 鷹野和紀子 (神奈川大), 瀧田正人 (東大宇宙線研), 多米田裕一郎 (大阪電通大), 田中公一 (広島大), R. Ticona (サン・アンドレス大), I. Toledano-Juarez (グアダラハラ大), 土屋晴文 (原子力機構), 常定芳基 (大阪大), 大阪大南部分, 有働慈治 (神奈川大), 碓井玲 (横浜国大), 山崎勝也 (中部大), 横江諛衛 (東大宇宙線研), 他 The ALPACA Collaboration

ALPACA 実験は南米ボリビアのチャカルタヤ山中腹 (標高 4,740m) に空気シャワーアレイと地下ミュオン観測装置を設置し、南天の sub-PeV 領域ガンマ線と宇宙線を観測する実験である。現在、ALPACA の 1/4 の面積をもつ ALPAQUITA 実験を先行して進めている。安定稼働して約 1 年の ALPAQUITA 地上検出器データの解析結果を、現地校正データを取り入れたモンテカルロ計算結果と比較し報告する。また、設計が決まった地下検出器のデザインと 2024 年の建設計画、ALPAQUITA 検出器で期待される成果を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V318a 日米共同・太陽フレア X 線集光撮像分光観測ロケット実験 FOXSI-4 の準備状況 (2024 年春)

成影 典之 (国立天文台), 三石 郁之 (名古屋大学), 渡辺 伸, 坂尾 太郎 (宇宙航空研究開発機構), 高橋忠幸, 長澤 俊作 (東京大学 Kavli IPMU), 南 喬博 (東京大学), 佐藤 慶暉, 清水 里香 (総合研究大学院大学), 加島 颯太 (宇宙航空研究開発機構/関西学院大学), 作田 皓基, 安福 千貴, 藤井 隆登, 吉田 有佑, 馬場 萌花 (名古屋大学), 須崎 理恵 (東京農工大学), 草野 完也 (名古屋大学 ISEE), 金子 岳史 (新潟大学), 高棹 真介 (大阪大学), Glesener Lindsay (ミネソタ大学), FOXSI-4 チーム

日米共同・X 線観測ロケット実験 Focusing Optics X-ray Solar Imager の 4 回目の飛行計画である FOXSI-4 は、太陽フレアに対する X 線集光撮像分光観測 (0.5keV~30keV) を世界で初めて実施する。その目的は、磁気再結合が引き起こす磁気エネルギーの解放とそれによって生じるエネルギー変換機構の追究に必要な研究手法および観測技術の実証と研究基盤の構築である。本計画は、米国 NASA の観測ロケットを用いて 2024 年春に米国・アラスカで打ち上げ予定であり (NASA に最高評価の Excellent で採択)、日本では科研費と JAXA 宇宙科学研究所の小規模計画 (2020 年度公募に満額査定で採択) の枠組みで準備を進めている。発生予測が困難な太陽フレアを観測時間が約 5 分間に限られるロケット実験で観測するための方法として、即時打ち上げ可能状態で待機、太陽 X 線強度をリアルタイムでモニタ、フレア発生と同時に打ち上げるという NASA でも初の試みを行う。用いる観測手法・装置は、過去 3 度の飛行と同様、高精度ミラーと高速度カメラの組み合わせによる X 線集光撮像分光であるが、太陽フレア観測に向け各コンポーネントにアップデートを施している。本講演では、FOXSI-4 計画が目指すサイエンスと観測装置の準備状況、フレア予測の取り組みなど、打ち上げ直前の準備状況を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V319a 日米共同・太陽フレア X 線集光撮像分光観測ロケット実験 FOXSI-4 搭載電 鍍 X 線望遠鏡の開発の現状 (2)

安福 千貴, 作田 皓基, 藤井 隆登, 吉田 有佑, 岡田 久美子, 吉平 圭徳, 叶 哲生, 石田 直樹, 加藤 渉, 大西 崇文 (名古屋大学), 井上 良隆 (IMV 株式会社), 田村 啓輔 (NASA/GSFC, メリーランド大学), 宮田 喜久子 (名城大学), 成影 典之 (国立天文台), 山口 豪太 (理化学研究所), 伊藤 駿佑, 毛利 柊太郎 (東京大学), 久米 健大, 松澤 雄介, 今村 洋一, 齋藤 貴宏, 平栗 健太郎 (夏目光学株式会社), Nicholas E. Thomas, Wayne H. Baumgartner (NASA/MSFC), 橋爪 寛和 (夏目光学株式会社), 三村 秀和 (東京大学), 三石 郁之 (名古屋大学)

我々は、日米共同太陽フレア観測ロケット実験 FOXSI-4 搭載 X 線望遠鏡開発を進めている。FOXSI-4 では世界初となる太陽フレアの X 線集光撮像分光観測を行うことで、太陽コロナ加熱機構の解明をはじめ、コロナ中の重元素分布やその時間進化、粒子加速等非熱的放射へのエネルギー分配の理解を目指している。本ミッションに向けて我々は独自の小口径超高精度電鍍技術を応用した宇宙 X 線望遠鏡開発を進め、高精度反射鏡の一枚以上の大口径・長焦点化、二段一体全周反射鏡の精密位置調整機構および支持機構の設計・製作・評価を実施してきた。既に 2 台の搭載品の振動試験や地上較正試験およびロケットへの組み込み調整を実施しており、独自の光線追跡シミュレータによる応答関数の構築も進めている (2023 年秋季年会 作田他、安福他、藤井他等)。

今回我々は、2024 年 3 月下旬から始まるロケット打ち上げウィンドウ開始直前に迫る中、望遠鏡-検出器間の最終組み立て調整や振動試験、さらには射場での最終チェックに進む。本講演では、本望遠鏡の打ち上げ前最終調整と応答関数構築の状況等、開発の現状について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V320a 日米共同・太陽フレア X 線集光撮像分光観測ロケット実験 FOXSI-4 搭載電 鍍 X 線望遠鏡用光線追跡シミュレータ

吉田有佑, 作田皓基, 安福千貴, 藤井隆登, 岡田久美子, 吉平圭徳, 叶哲生, 石田直樹, 加藤渉 (名古屋大学), 井上良隆 (IMV 株式会社), 田村啓輔 (NASA/GSFC, メリーランド大学), 宮田喜久子 (名城大学), 成影典之 (国立天文台), 山口豪太 (SPRING-8), 伊藤駿佑, 毛利柊太郎 (東京大学), 久米健大, 松澤雄介, 今村洋一, 齋藤貴宏, 平栗健太郎, 橋爪寛和 (夏目光学株式会社), 三村秀和 (東京大学), 三石郁之 (名古屋大学)

我々は世界で初めて太陽フレアの X 線撮像分光観測を実施する日米共同 NASA 観測ロケット実験 FOXSI-4 搭載用 X 線望遠鏡を開発している。FOXSI-4 は太陽物理学の長年の謎であるコロナ加熱問題に一石を投じるため、磁気エネルギーの解放現象であるフレアの謎に迫る。現在は 2024 年 3 月頃の打ち上げに向けて望遠鏡-検出器間の最終組み合わせ調整を進めている。我々は軟/硬 X 線観測用に各々 1 台ずつ望遠鏡を製作し、搭載品の地上較正試験を実施してきた。結果、広がった天体に対する感度の指標である HPD は 15-20 秒角程度、点源感度を示す FWHM は 1 秒角程度を達成した (2023 年秋季年会 作田他、安福他、藤井他等)。

地上較正試験で取得したデータの定量的解釈および離散データに対する内挿・外挿処理を行い、科学成果創出の肝となる応答関数を作成するため、我々は独自の光線追跡シミュレータの構築を進めてきた。現在は有効面積の絶対値のエネルギー依存性、および非光軸光に対する相対値や強度分布における実データとの整合性の確認までが取れている。また迷光抑制機構の設計にも利用した。さらには角度分解能劣化の主要因となる母線方向の形状誤差のモデル化を図りシミュレータに実装する試みも始めており、本発表ではこれらの詳細について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V321a 日米共同・太陽フレア X 線集光撮像分光観測ロケット実験 FOXSI-4 搭載電 鍍 X 線望遠鏡の性能評価 (5)

藤井隆登, 作田皓基, 安福千貴, 吉田有佑, 伊藤駿, 岡田久美子, 吉平圭徳, 叶哲生, 石田直樹 (名古屋大学), 井上良隆 (IMV 株式会社), 田村啓輔 (NASA/GSFC, メリーランド大学), 宮田喜久子 (名城大学), 成影典之 (国立天文台), 山口豪太 (SPRING-8), 伊藤駿佑, 毛利柊太郎 (東京大学), 久米健大, 松澤雄介, 今村洋一, 齋藤貴宏, 平栗健太郎, 橋爪寛和 (夏目光学株式会社), 三村秀和 (東京大学), 三石郁之 (名古屋大学)

FOXSI (Focusing Optics X-ray Solar Imager) は、太陽 X 線撮像分光観測を目的とした日米共同のロケット実験である。2024 年春には 4 号機が打ち上げられる予定であり、我々はこの FOXSI-4 搭載用高角度分解能 X 線望遠鏡の開発を進めてきた。我々は地上 X 線結像系開発で構築した独自の小口径超高精度電鍍技術を用い、これまで直径 60 mm、焦点距離 2 m、有効高さ 220 mm の Wolter-I 型反射鏡試作に成功し (Yamaguchi et al., RSI, accepted)、X 線照射試験を実施してきた。搭載品 2 台のうち 1 台に X 線を照射した結果、12 keV にて広がった天体に対する感度の指標である HPD $\sim 17''$ 、点源感度を示す FWHM は世界最高レベルの $\sim 0.6''$ を確認した (Fujii et al., XOPT2023 & 2023 年春季年会 作田他、安福他、藤井他)。

今回、望遠鏡-検出器間角度アライメント用シムを含め振動応答を評価した。望遠鏡は集光・撮像能力を最大化するため検出器と正対させて取り付ける必要があり、その調整にシムを利用する。このシムを取り付けで振動試験を実施した結果、一部にやや振動レベルの上昇が見られたが、加振ジグに対する正対性の変化は見られなかった。本講演ではシム配置や厚みを変えた振動試験等の詳細を中心に紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V322a 高結像性能汎用電鍍 X 線光学系の開発の現状と今後の展望

三石郁之, 作田 皓基, 安福 千貴, 藤井 隆登, 吉田 有佑, 岡田 久美子, 吉平 圭徳, 叶 哲生, 石田 直樹, 加藤 渉, 大西崇文 (名古屋大学), 井上 良隆 (IMV 株式会社), 田村 啓輔 (NASA/GSFC, メリーランド大学), 宮田 喜久子 (名城大学), 成影 典之 (国立天文台), 山口 豪太 (理化学研究所), 伊藤 駿佑, 毛利 柗太郎 (東京大学), 久米 健大, 松澤 雄介, 今村 洋一, 齋藤 貴宏, 平栗 健太郎 (夏目光学株式会社), Nicholas E. Thomas, Wayne H. Baumgartner (NASA/MSFC), 橋爪 寛和 (夏目光学株式会社), 三村 秀和 (東京大学)

我々は地上 X 線結像系開発で培われた独自の小口径超高精度電鍍技術を応用した宇宙 X 線望遠鏡開発を進めてきた。特にこの数年は非常に光子統計に富む太陽観測ロケットミッションを中心に据えることで、1 枚鏡という最もシンプルなシステムにおいて、ニッケル反射鏡やステンレス製反射鏡支持機構開発に必要な要素技術の確立、および高性能化に向けた条件出しを実施してきた。同時に、独自の拡散 X 線評価システムを大型放射光施設の全面協力の下構築し、産学官連携、分野横断型開発プロジェクトとして開発体制の構築も進めてきた。結果、反射鏡厚みは 2 mm 程度と厚いものの、口径 60 mm、高さ 220 mm、焦点距離 2,000 mm という設計パラメータに対し、HPD 15-20 秒程度、FWHM 1 秒角程度の高い結像性能を有する望遠鏡の実現に成功し、また複数枚に対しての再現性も確認している (2023 年秋季年会 作田他、安福他、藤井他等)。さらに独自の光線追跡シミュレータの構築も進み、網羅的に期待される性能をサーベイすることで、太陽観測ロケットミッションにとどまらず、超小型衛星や地球観測、地上プラズマ実験への実装も積極的に進めている。本講演では、設計パラメータの柔軟さ (=汎用性) を活かした、望遠鏡から光学系への発展・展開を含め、開発の現状と今後の展望について紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V323a 部分日食とリムフレアイベントを用いた太陽観測衛星 Hinode/XRT のミラー散乱成分の評価 その 2

○加島颯太 (JAXA 宇宙研/関学大), 坂尾太郎 (JAXA 宇宙研), 武田秋, 吉村圭司 (モンタナ州立大), 成影典之 (国立天文台), 佐藤慶暉 (総研大/国立天文台), 清水里香 (総研大/JAXA 宇宙研)

Hinode 搭載の X 線望遠鏡 XRT では Wolter-I 型斜入射光学系を採用しており、ミラー表面を精密研磨することによって空間分解能 2 秒角を達成している。一方でミラーの形状誤差や表面粗さの存在により、結像点の周囲に散乱成分が存在するため、焦点面像には散乱 X 線が混入する。太陽面上の明るい領域から混入する散乱 X 線の量を正確に評価することは、例えばコロナホールのような暗い領域や、X 線で明るい構造のすぐ近くの暗い構造を観測する上で重要となる。

我々は XRT で観測した部分日食データとリムフレアデータを用いてミラー散乱成分の評価を行い、解析結果を 2023 年秋季年会にて報告した (V346a:加島他)。現在はミラー散乱成分の解析結果を、太陽から来る X 線の単位面積あたりのエネルギーフラックスである irradiance の見積りに用いる研究をモンタナ州立大学と共同で進めている。irradiance は XRT 全面像の 1.1 太陽半径以内に含まれる観測強度を用いて算出しているが、焦点面 CCD の視野サイズの制約から 1.1 太陽半径以遠から届いているはずのフラックスは考慮していない。無視している部分の全 irradiance への寄与がどの程度か正確に評価するためには、コロナ像の中の散乱成分を見積もる必要がある。2022 年 7 月 16 日に XRT で観測した東北リム上空のコロナデータを用いて散乱成分の irradiance への影響を比較した。

講演では評価結果と今後の展望について発表する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V324a 太陽 X 線観測のための高精度 Wolter ミラー保持機構の検討

坂尾太郎 (JAXA 宇宙研), 松山智至 (名大工), 山内和人 (阪大工), 三宅明 (JTEC), 野村伊玖磨, 原玲丞, 竹中久貴 (TOYAMA), 成影典之 (国立天文台)

将来の太陽コロナの X 線撮像観測に向けて、我々は、形状計測機や加工機のミラー表面へのアクセス性の良い、円環の一部からなる「部分円環型」の形状を採用した高精度 Wolter ミラーの国産開発研究を進めている。秒角レベル以上の空間分解能を持つ高精度ミラーの実現には、精密な研磨と並んで、ミラーの精密保持が重要となる。

部分円環型 Wolter ミラーの保持では、(1) ロケットによる打ち上げ時の振動・衝撃に耐えること、(2) 組み立て時の取り付け誤差などによりミラーの形状を歪ませないこと、(3) 地上での重力の影響を抑えた (ないしキャンセルできる) 光学検証測定が可能なこと、(4) ミラーが設置される望遠鏡内の温度環境に対して光学性能を維持できること、が求められる。我々は、直方体形状をしたミラー基板の側面 3 箇所を保持点とし、保持点全体で 6 自由度拘束を達成する保持形態を考え、これに対して上の要求を満たす保持機構の検討を行った。PhoENiX 衛星計画への適用を想定し、ミラーの焦点距離は 3 m、打ち上げロケットはイプシロンとしている。保持機構のヒンジ構造 (フレクチャー) について、イプシロンロケット搭載コンポーネントとして要求される静荷重耐性・固有振動数条件、並びにミラーの形状精度の維持要求 (特に焦点距離ずれの抑制) を満足する軸方向剛性とかわし性能、安全余裕を持った寸法・形状を見出し、これをベースに加工性 (ワイヤー放電による一体成型を予定) も考慮した保持構造の具体化検討を進めた。2021 年秋の年会で、保持機構の構造が最も複雑となる保持点に対して、保持機構の検討結果を報告 (V326a; 坂尾ほか) したのに続き、本講演では残り 2 箇所の保持点に対して行った検討結果を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V325c 超小型衛星による、宇宙空間からの太陽中性子の観測 (VII)

山岡和貴, 田島宏康 (名古屋大), 宮田喜久子 (名城大), 中澤知洋, 渡部豊喜, 伊藤和也, 増田智 (名古屋大), 谷浩一, 新井正樹 (合同会社尽星), 宮澤拓也 (OIST), 高橋弘充 (広島大), 渡邊恭子 (防衛大)

太陽のフレア爆発やコロナ質量放出に伴って荷電粒子が加速され、時には我々の生活にも影響を及ぼすことが知られているが、その粒子が一体、いつどこでどのように加速されているか明らかではない。我々は太陽におけるイオン加速機構解明のため、従来着目してきた電波やガンマ線といった電磁波ではなく、中性子という新たな観測プローブに着目している。太陽からの中性子は長年地上高地で観測されてきたが、感度が悪く観測がほとんど進捗していない。また、唯一宇宙空間からの日本の観測装置であった国際宇宙ステーション上実験 SEDA-AP も現在は運用を終えており、宇宙空間での中性子観測も皆無に近い状況である。我々はこの状況を打破するため、宇宙空間からの高感度観測を行うことを目指し、2026 年頃の打ち上げ機会を狙って、小型衛星用搭載用中性子・ガンマ線分光装置 SONGS を開発中である。本検出器は積層したプラスチックシンチレータバーと底面に置かれたアレキ状の GAGG シンチレータからなり、高速中性子 (20–120 MeV) と軟ガンマ線 (0.1–3 MeV) の両方に感度をもつ。各シンチレータはシリコン半導体光センサ MPPC で独立に読み出され、704 にも及ぶ信号が集積回路 (ASIC) で処理され、3 次元的に入射粒子の飛跡を捉えることが可能となっている。さらに宇宙天気への貢献も視野に入れ、低消費電力無線 (LPWA) を搭載して専用端末さえあれば、衛星を通じて誰もが無料で太陽フレアの情報を得られる。現在、フライトモデルを想定した、センサの構造モデルと約半数のセンサを搭載したエンジニアリングモデル (EM) を製作・試験中である。本発表では現在の SONGS 開発状況を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V326a 地球磁気圏 X 線撮像衛星 GEO-X の現状

江副祐一郎 (都立大), 船瀬龍 (JAXA 宇宙研・東大), 永田晴紀 (北海道大), 三好由純 (名古屋大), 中嶋大 (関東学院大), 三石郁之 (名古屋大), 布施綾太, 川端洋輔 (東大), Ralf C. Boden, 中島晋太郎 (JAXA 宇宙研), Landon Kamps, 信原佑樹, 平井翔太 (Letara/北海道大), 石川久美, 沼澤正樹 (都立大), 佐藤佑樹 (関東学院大), 萩野浩一 (東大), 松本洋介 (千葉大), 細川敬祐 (電通大), 伊師大貴, 米山友景, 上野宗孝, 山崎敦, 長谷川洋, 三田信, 三谷烈史, 藤本正樹, 川勝康弘, 岩田隆浩 (JAXA 宇宙研), 満田和久 (国立天文台), 平賀純子 (関西学院大), 笠原慧, 小泉宏之 (東大), 佐原宏典 (都立大), 金森義明 (東北大), 森下浩平 (九州大) ほか GEO-X チーム

GEO-X (GEOspace X-ray imager) は地球磁気圏の X 線によるグローバル撮像を目指す超小型衛星である。近年の X 線天文観測から太陽風プラズマの多価イオンが地球周辺の中性大気から電子を奪う電荷交換反応によって発光していることが分かってきた (Sibeck et al. 2018 Space Sci. Rev., など)。太陽風プラズマは衝撃波通過後の遷移領域と呼ばれる場所で密度を増すことから、X 線は磁気圏の大局構造を可視化する全く新しい手段となる (江副 天文月報 2018, Ezoe et al., 2018, 2023 JATIS)。しかし、X 線天文衛星は遠方天体を主眼とするため、狭視野かつ地球近傍からの観測であり、X 線による磁気圏撮像は未実証である。GEO-X ではそこで高推力の推進系を持つ超小型衛星に広視野 X 線撮像分光装置を搭載して、地球磁気圏外からの俯瞰的な観測を実現する。観測装置には Si 微細加工技術を用いた独自の X 線望遠鏡と高速読み出しの CMOS センサーを採用し、地球からの可視光雑音を低減するための遮光フィルターも備える。来たる太陽極大に打ち上げを目指して、現在急ピッチで設計と開発が進んでおり、本講演ではこれらの開発状況について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V327a 超小型 X 線衛星 NinjaSat の打ち上げ成功と初期運用

大田 尚享 (理研/東理大), 玉川 徹 (理研), 榎戸 輝揚 (京都大/理研), 北口 貴雄, 加藤 陽, 三原 建弘 (理研), 岩切 渉 (千葉大), 沼澤 正樹 (都立大), 周 圓輝, 内山 慶祐, 武田 朋志, 吉田 勇登, 林 昇輝, 重城 新大, 渡部 蒼汰, 青山 有未来, 岩田 智子 (理研/東理大), 佐藤 宏樹 (理研/芝浦工大), Chin-Ping Hu (彰化師範大/理研), 高橋 弘充 (広島大), 小高 裕和 (大阪大), 丹波 翼 (ISAS/JAXA), 谷口 絢太郎 (理研/早大)

NinjaSat は日本初の 6U ($10 \times 20 \times 30 \text{ cm}^3$) サイズの超小型 X 線衛星であり、2–50 keV に感度を持つ 10 cm 立方の非撮像型ガス X 線検出器 (GMC) を 2 台搭載する。超小型衛星としては世界最大である 32 cm^2 (6 keV) の有効面積をもつ。超小型衛星の利点である柔軟な運用により、大型衛星には観測の難しい明るい X 線源の、可視光・電波と連携した長期的な多波長同時観測や、突発天体の追観測を行う。軌道上の放射線環境をモニタするため、半導体荷電粒子検出器 (RBM) を 2 台搭載する。太陽フレアなどの突発現象による高いフラックスの荷電粒子到来時には、GMC 保護のためアラートを送信する。

NinjaSat は、2023 年 11 月 11 日に SpaceX Transporter-9 で高度 515–550 km の太陽同期軌道へ放出され、その後地上局と UHF、S-band による通信に成功した。2023 年 12 月まで衛星のコミッションングを実施し、2024 年 1 月より GMC、RBM の初期運用を開始する。RBM の動作確認と軌道上の放射線環境のマッピング後、GMC を起動し動作確認、ノイズレベル評価、バックグラウンドの確認を実施する。その後、かに星雲等の明るい天体の観測により、GMC の視野、時刻付け、エネルギー較正を実施する。本講演では、衛星打ち上げ後の初期運用、ペイロードの立ち上げおよび軌道上較正について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V328a 超小型 X 線衛星 NinjaSat の QL モニタとデータ処理パイプライン

岩田 智子 (理研/東理大), 玉川 徹 (理研), 榎戸 輝揚 (京都大/理研), 北口 貴雄, 加藤 陽, 三原 建弘 (理研), 岩切 渉 (千葉大), 沼澤 正樹 (都立大), 周 圓輝, 内山 慶祐, 武田 朋志, 吉田 勇登, 大田 尚享, 林 昇輝, 重城 新大, 渡部 蒼汰, 青山 有未来 (理研/東理大), 佐藤 宏樹 (理研/芝浦工大), Chin-Ping Hu (彰化師範大/理研), 高橋 弘充 (広島大), 小高 裕和 (大阪大), 丹波 翼 (ISAS/JAXA), 谷口 純太郎 (理研/早大)

NinjaSat は 2023 年 11 月 11 日に SpaceX Transporter-9 で打ち上げられた、6U サイズ ($10 \times 20 \times 30 \text{ cm}^3$) の超小型 X 線衛星である。2–50 keV に感度を持つ非撮像型ガス X 線検出器 (GMC) と、荷電粒子検出器 (RBM) を搭載し、X 線天体の長期占有観測や、全天 X 線監視装置 MAXI が発見した突発天体の追観測を目的とする。NinjaSat は高度 515–550 km の太陽同期軌道を周回しており、通常運用では、取得したデータを 1 日 3 回ダウンリンクする。

衛星の健康状態を常時確認し、また、突発的に発生する異常事象を効率よく検知するために、オープンソースであり、時間スケールを双方向的に操作可能な Grafana をモニターツールとして採用した。例えば、GMC の放電、想定外の地点での荷電粒子の検出、衛星からのデータ抜け等を自動検知する。

衛星からダウンリンクされたデータは Amazon Web Service に置かれ、Quick-Look (QL) スクリプトが自動で取りに行く。QL モニタは理研の運用室で表示する他に、スマートフォン等で運用室にいなくても確認することができる。QL 処理後に、データ処理パイプラインスクリプトが走っており、解析に必要なスペクトルなどを自動生成する。パイプラインの一環として、検知された異常の発生時刻を除くようなフィルタリングも実装されている。本講演では NinjaSat で使用している QL モニタおよびパイプライン処理について発表する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V329a 超小型 X 線衛星 NinjaSat に搭載するガス X 線検出器の温度依存性の評価

青山 有未来 (理研/東理大), 玉川 徹 (理研), 榎戸 輝揚 (京都大/理研), 北口 貴雄, 加藤 陽, 三原 建弘 (理研), 岩切 渉 (千葉大), 沼澤 正樹 (都立大), 周 圓輝, 内山 慶祐, 武田 朋志, 吉田 勇登, 大田 尚享, 林 昇輝, 重城 新大, 渡部 蒼汰, 岩田 智子 (理研/東理大), 佐藤 宏樹 (理研/芝浦工大), Chin-Ping Hu (彰化師範大/理研), 高橋 弘充 (広島大), 小高 裕和 (大阪大), 丹波 翼 (ISAS/JAXA), 谷口 純太郎 (理研/早大)

2023 年 11 月 11 日に打ち上げられた超小型 X 線衛星 NinjaSat は、2–50 keV に感度を持つ非撮像型ガス X 線検出器 (Gas Multiplier Counter; GMC) を 2 台搭載している。検出器に入射した X 線は、ガスにより光電吸収され、電子信号に変換後、GEM (Gas Electron Multiplier) によって増幅される。円形で半径 33.5 mm の GEM は検出器の温度変化により電子増幅度が変化し、その変化率は面内の場所により異なることがわかっている。この電子増幅度の温度変化を正確に応答関数に取り込むことが、スペクトルの形状を正しく求めるために必須である。

地上較正試験において、軌道上の運用温度を含む $-10 \sim +27^\circ\text{C}$ の範囲で、約 2 mm 間隔で GEM の面内の 1015 点に X 線を照射した。本研究では、実測データから作成した温度ごとの電子増幅度分布を、別途作成した検出器シミュレータへ実装し、応答関数のかかった天体スペクトルを模擬した。全く温度補正ができない最悪の場合を想定し、温度推定の不確かさに起因する系統誤差を見積もった。周期的な温度変動を仮定し、運用予定温度の下限 (10°C) と上限 (25°C) で模擬した「かに星雲」のスペクトルを、中間温度 (17.5°C) の検出器応答を用いて、2–20 keV の範囲でべき関数でフィットした結果、べきの値の系統誤差は 2% 程度であることがわかった。本講演では温度変化が観測に与える影響の見積もりについて述べ、軌道上での温度較正の結果についても紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V330a ISS から観測する大気透過 CXB を用いた大気密度測定の精度見積もり

岸本拓海, 伊藤耶馬斗, 栗野慧, 河邊圭寿, 青木悠馬, 木山穂乃香, 信川久実子 (近畿大学), 勝田哲, 山脇鷹也 (埼玉大学), 武田彩希, 森浩二, 眞方恒陽, 黒木瑛介 (宮崎大学), 鶴剛, 内田裕之 (京都大学), 中澤知洋 (名古屋大学), 信川正順 (奈良教育大学)

超高層大気は、地球温暖化などの気候変動の影響で長期変動する一方、太陽の影響による短期の準周期変動 (年変動、日変動) や、磁気嵐や地上での地震・火山等で生じた大気波動によっても突発変動する。このような観点から、超高層大気は重要な研究対象である。しかし高度 100 km 付近は、人工衛星や気球によるその場観測が困難なため観測データが乏しい。そこで我々は、SOI-CMOS イメージセンサーとコリメータを組み合わせた観測装置を独自に開発し、超高層大気を透過した宇宙 X 線背景放射 (CXB) の吸収率を観測することで大気密度を高度毎に測定する計画を立ち上げた。2025 年ごろに国際宇宙ステーションの進行方向の曝露部に搭載し、地球の水平線にコリメータを向けて、半年間の観測を行う予定である。本講演では、CXB の観測効率を定量評価し、想定される Non X-ray background (NXB) と CXB の強度を比較することで、大気密度測定のフィジビリティスタディを行った。我々は CXB の観測効率を下げる要因として、荷電粒子バックグラウンドによる検出器のデッドタイムの増加と、ISS の姿勢に起因する視野のゆらぎを考慮した。MAXI/RBM のデータと ISS の姿勢情報を用いて検証した結果、有効観測時間は全曝露時間の約 70% であるという見積もりを得た。また本観測装置の NXB が、検出原理の近いひとみ/SXI と同程度と仮定することで、CXB を用いた大気密度測定の精度を見積もった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V331a SOI 技術を用いた新型 X 線撮像分光器の開発 62:宇宙 MeV ガンマ線観測に向けた XRPIX8.5 と CsI シンチレータで構成するコンプトンカメラの開発

橋爪大樹, 須田祐介, 深澤泰司 (広島大学), 鶴剛 (京都大学), 武田彩希 (宮崎大学)

宇宙 MeV ガンマ線観測はガンマ線バーストやブレーザーなどの高エネルギー天体の物理を理解する上で極めて重要である。しかし、1990 年代のコンプトンガンマ線観測衛星に搭載された COMPTEL 以降観測の進展はなく、新しい MeV ガンマ線観測衛星が求められている。MeV ガンマ線と物質との主要な相互作用はコンプトン散乱である。この時、散乱体と吸収体の両方で測定されたエネルギーとヒット位置を利用して入射ガンマ線の到来方向を円環上に決定できる。さらに散乱電子の飛跡をピクセルセンサーで測定しその初期運動量を推定することで、コンプトン運動学より円環を円弧に縮小し角度分解能を向上させることができる。そこで私たちは将来の MeV ガンマ線望遠鏡の散乱体として、イベント駆動型 Silicon-on-Insulator (SOI) ピクセル検出器 XRPIX8.5 の性能評価を行っている。XRPIX は、SOI 技術を利用して厚い空乏層と高速で低ノイズの CMOS ピクセル回路を同時に組み込んだ検出器で、信号を検出するとトリガー情報とピクセルの座標情報を瞬時に出力する。常温で完全空乏化が可能な XRPIX8.5 のピクセルサイズは 36 μm であり、例えばエネルギー 300 keV の電子はシリコン中で約 500 μm の飛跡を生成するため、数百 keV のガンマ線に対する散乱電子の飛跡を測定できると期待される。これまでにエネルギーが 300 keV を超える散乱電子の飛跡検出に成功し、その初期運動量を決定するためのアルゴリズムを開発、Sr-90 の電子線を使い、XRPIX8.5 が方向に対して感度があることを確認した (橋爪他 2023 年春季年会 V321a)。本講演では、吸収体として CsI シンチレータと組み合わせたシステムによるコンプトンイベントの抽出方法と、電子飛跡によるコンプトン再構成への効果を評価した結果を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V332a 機械学習を用いた X 線ピクセル検出器におけるイベント情報解析手法の開発

東竜一 (甲南大学), 鈴木寛大 (ISAS/JAXA), 田中孝明 (甲南大学)

現在、X 線天文衛星に搭載される、X 線 CCD 検出器で観測したデータの解析で用いられているのがグレード法である。グレード法とは、各ピクセルで検出した波高値が、あらかじめ決めたしきい値を超えた場合イベントとみなし、それらの配置等から X 線イベントか、それ以外の荷電粒子バックグラウンドによるものかを識別する手法である。また、各ピクセルの波高値の値を足し上げることでイベントのエネルギーを計算し、波高値が最大のピクセルの中心を X 線が入射した座標としている。グレード法は ASCA SIS (Tanaka, Inoue & Holt 1994)、Chandra ACIS (Weisskopf et al. 2000)、Suzaku XIS (Koyama et al. 2007)、Hitomi SXI (Tanaka et al. 2018)、XRISM Xtend (Mori et al. 2022) で採用されている。しかし、グレード法ではセンサで得た情報を取りこぼしている場合がある。例えば、実際には信号電荷が検出されているにも関わらず、しきい値を超えないピクセルがあった場合、そのピクセルの波高値が加算されない分、実際の X 線のエネルギーより低く見積もってしまう。そこで我々は、機械学習を用いた画像認識の分野で主に使用される畳み込みニューラルネットワークを用いることで、検出器に飛来した X 線光子の入射エネルギーと入射光子の座標の決定精度の向上、荷電粒子イベントと X 線イベントの識別精度の向上を目指している。本研究で用いる機械学習は教師あり学習と呼ばれ、画像と正解ラベルをセットにした学習データをニューラルネットワークに学習させることで、学習済みモデルに画像を入力すると予測を返すというものである。学習データは汎用の検出器シミュレーションツールであるコンプトンソフト (Odaka et al. 2010) を用いたモンテカルロシミュレーションによって作成した。本講演では、グレード法と学習済みモデルによる、エネルギー、検出器上の座標の決定精度の比較と、この解析手法の実用性について発表する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V333a コンプトンカメラ用 HV-CMOS: AstroPix の開発現状

深澤泰司, 須田祐介, 仲野悟帆 (広島大学), 田島宏康 (名古屋大学), Regina Caputo, Amanda Steinhebel (GSFC/NASA), 他 AstroPix 開発 team

MeV ガンマ線領域は他波長に比べてこれまで観測感度が向上しておらず、感度の良い検出器の開発が急務である。また、マルチメッセンジャー天文学でも重要な波長帯と認識されている。MeV 領域はコンプトン散乱を用いて到来方向の決定とバックグラウンド除去を行うコンプトンカメラが主流であるが、現状ではシンチレータや半導体を用いたものが衛星搭載実績があり、近未来の大型衛星搭載の候補となっている。そうした半導体検出器は、従来は半導体センサーと読み出し ASIC が使われていたが、電力が問題となっていた。我々は、GSFC/NASA、ANL、KIT などとともに、低電力 HV-CMOS シリコンセンサーである AstroPix の開発を薦めている。これは通常の CMOS センサーに比べてピクセルサイズは 0.2-1 mm と大きいため低電力であり、また高比抵抗素子を用いることで空乏化させるのが異なる。これまで試作を進めてきて、2023 年初頭に version 3 の試作品が完成し、試験を進めてきた。version 3 は、ピクセルサイズ 0.5 mm、ピクセル数が 35×35 である。日本側は特にアナログ性能やガンマ線応答の観点から性能評価を行なっている。全ピクセルを読み出すことができること、エネルギー分解能 4 keV 程度を達成していること、1.06 mW/cm² の低消費電力を実現していることが確認された。また、次期 version に向けた改良項目も洗い出しつつある。。本講演では、開発の現状と評価結果について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V334a 硬 X 線偏光検出気球実験 XL-Calibur の 2024 年フライトに向けた準備

倉本春希, 松本浩典, 鴨川航, 善本真梨那, 袴田知宏, 青柳美緒, 石渡幸太, 島耕平, 白濱健太郎, 野田博文, 林田清, 常深博 (大阪大), 宮澤拓也 (沖縄科学技術大学院大学), 石橋和紀 (名古屋大), 伊師大貴, 前田良知, 石田学 (ISAS), 宮本明日香, 松本岳人, 田中虎次郎 (東京都立大), 武尾舞 (埼玉大), 内田悠介 (東京理科大), 今澤遼, 阪本菜月, 高橋弘充 (広島大), 今村竜太, 栗木久光 (愛媛大), 古澤彰浩 (藤田医学大), 岡島崇, 田村啓輔, 林多佳由 (NASA/GSFC), Henric Krawczynski (ワシントン大), Fabian Kislat (ニュー・ハンプシャー大) 他 XL-Calibur チーム

XL-Calibur は、15–80 keV の硬 X 線帯域における高感度な偏光観測を目標とし、日米スウェーデンの協力で実施する気球実験計画である。2022 年に行なった第一回目のフライトでは、7 月 12 日にスウェーデンから気球が放たれ、北極圏の高度 40 km で観測を行った後、7 月 18 日にカナダで回収された。日本側は、本計画に搭載する 213 層の Wolter I 型光学系を採用した硬 X 線望遠鏡の開発を担当している。望遠鏡は観測時トラスの一端に設置され、12 m 先にある検出器に硬 X 線を集光する。我々は 2023 年 4 月に、大型放射光施設 SPring-8 の BL20B2 にて、初回の観測後に回収した望遠鏡の性能を測定した。その結果集光力と結像性能について、2024 年初夏に予定する第二回目の観測に向けて十分な性能を有していると結論づけた (2023 年度秋季年会 V327a)。

次回の観測に備えて、我々は 2023 年 11 月 13 日から 16 日にかけて、NASA の Wallops Flight Facility (WFF) において、望遠鏡と偏光計を姿勢制御系と組み合わせる試験を行った。射場での望遠鏡の設置の再現性を確認する試験や、FM と同等の重さの BBM の望遠鏡と偏光計をトラスに取り付け、フライトを模擬した姿勢制御試験を実施した。本講演では XL-Calibur の次回フライトに向けた準備状況を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V335a 像再構成型 X 線光学系に用いる Kirkpatrick-Baez (KB) ミラーの開発 (2)

松本岳人, 田中虎次郎, 宮本明日香, 長谷川拓斗 (東京都立大学), 前田良知, 石田学, 伊師大貴 (宇宙研)

X 線天文学において望遠鏡の角度分解能を向上させる一つ的手段として、我々は像再構成型 X 線光学系 (Maeda et al. 2018) の開発を行っている。これは、角度分解能向上を担う 2 枚の前置スリットと集光を担う望遠鏡、二次元検出器を組み合わせたものであり、取得したイメージから像を再構成し、高角度分解能を得る。本研究ではこの光学系の集光部分である KB ミラーの開発を行っている。KB ミラーは、1 次元方向に集光する反射鏡を 2 段に直交直列に配置することで 2 回反射し集光する望遠鏡である。反射鏡として、両面に化学機械研磨 (CMP) を施した厚さ 0.2mm、大きさ 100×100 mm の Si 基板にタングステン (W) を成膜したものを製作し、Fe-K α 線 (6.4 keV) と Cu-K α 線 (8.0 keV) での角度反射率測定を宇宙科学研究所の 30 m ビームラインで行った。この角度反射率測定の結果から、成膜した W の膜厚・表面粗さ・密度を求めることで、KB ミラーに組み込んだときの全体の集光力を知ることができる。本研究では、こうして製作・性能評価を行った反射鏡を上下の各段に 10 枚ずつ積層する。さらに積層する反射鏡を設計通りの角度に固定可能な溝が掘られたアライメントバーとそれを固定するためのハウジングを製作した。アライメントバーの溝の精度は集光力に直結するため、加工精度の評価を行った。ハウジングには、反射鏡をアライメントバーに固定した後も反射鏡の角度を調節できるようマイクロメーターが取り付けられている。本講演では KB ミラーの製作手法、および各段の X 線での性能を報告し、可能であれば二段を組み合わせた KB ミラーとしての性能についても報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V336a 湾曲 Si 結晶を用いたブラッグ反射型偏光計の小型化

菅井春佳, 瀬口剛弘, 坪井陽子, 米山友景, 井上諒大 (中央大学), 前田良知 (宇宙科学研究所)

太陽系外天体からの X 線偏光の検出は、今のところ連続 X 線に限られている。しかし、輝線スペクトルにおける偏光検出は、ガスに衝突する電子の並進運動の方向や速度に制限を加えることが期待される。我々は中性 Fe および Fe イオンの輝線群 (6.4–6.9 keV) を含む連続帯域 (5.5–8.1 keV) を観測するために、Si(100) 結晶と炭素繊維強化プラスチック (CFRP) を用いた反射鏡と X 線イメージセンサ (CMOS) から成る光学系を開発している。偏光 X 線は結晶面でブラッグ反射する際、偏光方向に応じて反射率が変化する。この原理を生かし、Si 結晶を回転放物面形状に並べ、回転方向のうち、どの結晶でより多く X 線が検出されるかを知ることによって偏光度、偏光の方向を測定する。放物線方向では分光を可能とする。今までのブラッグ反射では単一の反射角に応じて単一エネルギーの反射のみが可能であったが、我々の反射鏡では、様々な反射角を持つことにより、広い帯域を持つことが可能となる。さらに焦点からイメージセンサをあえてずらすことにより、検出位置から精度の高い分光観測が可能となる。今年度、我々は光学系を CubeSat に搭載することを目標として、現実的な装置の設計と製作、およびその評価を行った。具体的には高さ 15 cm、最大幅 25 cm で設計されていた反射鏡を、観測帯域を保ったまま 1 U (10 cm 立方) に収まるように小型化した。また CFRP の種類について見直し、反射鏡の品質向上を図った。CFRP から鏡面への樹脂の染み出しが性能に影響するという問題があったが、樹脂量を減らすと製作が困難になる。今回の検証で、鏡面への染み出しを減少させつつ、製作のし易さも損なわない最適な樹脂含有量を求めることができた。本講演では、小型化した反射鏡の形状評価と性能評価の結果について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V337a ぎんが衛星搭載全天モニター装置 (Ginga/ASM) のデータ解析ツールの開発

北本俊二 (立教大)

X線放射天体の多くは、いろいろな時間スケールで強度やエネルギースペクトルを変化させる。その変化を調べることで、X線放射天体の物理現象を知ることができる。X線天体の観測が始まりすでに半世紀近く経過した。その間、X線天体の強度やエネルギースペクトルをモニターする装置によるデータが蓄積されてきた。ぎんが衛星は1987年2月から1991年11月まで、搭載されている全天モニター装置 (All Sky Monitor(Ginga/ASM)) により、およそ4年半のモニターデータを取得している。観測当時既知であった天体の強度やエネルギースペクトルのデータはすでに公開されている。しかし、当時未知で後にX線新星等として発見された天体が、Ginga/ASMが観測中、どんな状態であったか調べることは、困難であった。そこで、ぎんが衛星のテレメータの生データに立ち戻って、天空の座標を与えて、その座標からのX線の活動を調べる解析ツールの開発を進めている。テレメータの生データと、衛星の姿勢と軌道データを統合し、既知の天体のカタログに加えて、解析したい天体の座標を与え、Ginga/ASMにより観測されるであろうデータのシミュレーションを行う。天体の強度をパラメータとしてシミュレーションデータを観測データとフィッティングし、カタログされている天体と解析したい天体の強度を同時に求める。現状、まだ、問題は残っているものの、ある程度のデータで解析結果が得られるようになった。本公演では、ツール開発の現状を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

W01a CTA 大口径望遠鏡初号機による GRB 221009A の超高エネルギーガンマ線観測

寺内健太 (京都大学), Arnau Aguasca-Cabot (ICCUB, IEEC-UB), Franca Cassol (CNRS/IN2P3, CPPM), Alice Donini (INAF), 井上進 (千葉大学), 野崎誠也 (東京大学, マックスプランク物理), Monica Seglar Arroyo (IFAE), 他 CTA-LST project

近年ガンマ線バーストから超高エネルギーガンマ線 (数十 GeV 以上) が検出された例が報告され始めているが、検出数は現状 5 例 (放射の兆候が観測されたものも含めると 7 例) しかなく、超高エネルギーガンマ線の放射機構やその普遍性を議論するほどサンプル数は無く、また検出例は明るいバーストにほとんど限られている。そんな中、2022 年 10 月に観測史上一番明るいガンマ線バースト GRB 221009A が発生した。その明るさ故に、地上の粒子検出器アレイ型ガンマ線実験 LHAASO によって 10 TeV を超えるガンマ線が検出され、ガンマ線バーストから観測されたガンマ線の最高エネルギーが更新された (The LHAASO Collaboration (2023))。次世代地上ガンマ線天文台計画 Cherenkov Telescope Array (CTA) の大口径望遠鏡初号機 (LST-1) はこの GRB 221009A の発生後 20 日以上にも渡ってフォローアップ観測を実施した。バースト発生後 6 日以降の観測データは月光の影響は無く、LST-1 の特徴である低エネルギー閾値 (約 20 GeV) を活かして解析することが可能となる。本講演では LST-1 による GRB 221009A の観測データの解析結果およびその物理解釈について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W02a External inverse-Compton signatures in the early TeV afterglow of GRB 221009A

Lin Haoxiang (Peking University)

For the first time, the early onset of tera-electronvolt (TeV) afterglow of a gamma-ray burst (GRB 221009A) has been observed by the Large High Altitude Air Shower Observatory (LHAASO) at 230 seconds after the trigger, which coincides with the first main peak of its prompt X-ray emission. Here, we calculate the inverse-Compton emission in the relativistic shock, considering two sources of seed photons for scattering: synchrotron photons from the shock (synchrotron self-Compton or SSC) and X-ray photons from the prompt emission (external inverse-Compton or EIC). We find that, while the SSC component dominates the emission, an additional EIC component could provide better solution to the sub-structure of the TeV light curve by the chi-square test. We also discuss the shock wave dynamics implied by the temporally-close relation between the prompt emission and the onset of TeV afterglow.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W03a 超高エネルギーガンマ線放射を伴うガンマ線バースト GRB 221009A の二成分を持つジェットからの残光放射

佐藤 優理 (青学大), 村瀬 孔大 (ペンシルバニア州立大学), 大平 豊 (東大), 山崎 了 (青学大)

ガンマ線バースト (GRB) の残光は、電波からガンマ線にわたる広い波長帯で観測されており、相対論的ジェットと周辺媒質との衝突により生じる衝撃波で加速された電子からのシンクロトロン放射や逆コンプトン散乱放射とするのが残光放射の標準モデルである。近年になり、チェレンコフ望遠鏡 MAGIC, H.E.S.S., LHAASO によって、超高エネルギーガンマ線 (TeV ガンマ線) 放射を伴う GRB がこれまでに 5 イベント報告された (GRBs 180720B, 190114C, 190829A, 201216C, 221009A)。TeV ガンマ線残光放射は、シンクロトロン放射では説明が難しく、高エネルギー電子の放つシンクロトロン光子を同位置・同種の電子が逆コンプトン散乱を行うシンクロトロン自己コンプトン放射が有力視されているが、その放射機構は未解明である。上記のイベントの中で、GRB 221009A については、即時放射の全放射エネルギーが観測史上最も大きく、さらに LHAASO によって検出された光子の最高エネルギーが 13 TeV に達したと報告された。GRB 221009A の即時放射の collimation-corrected gamma-ray energy を典型的な値にするためには、開口角が小さいジェットが示唆されるが、このような狭いジェットからの残光放射はすぐに減衰してしまい、後期残光まで説明することが難しい。しかし、もう一成分のジェットを追加することにより、観測結果を無矛盾に説明可能と期待できる。本講演では、開口角が異なる二つのジェットを持つ二成分ジェットモデルを用いて、GRB 221009A の残光放射を説明可能か紹介する。さらに、シンクロトロン自己コンプトン放射によって 10 TeV 以上のエネルギーを持つ光子を LHAASO で検出可能か述べる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W04a 磁場優勢ジェットの高進・逆行衝撃波からのガンマ線バースト初期残光

草深 陽, 浅野勝晃 (東京大学 宇宙線研究所)

ガンマ線バーストのエネルギー源である相対論的ジェットは、大半のエネルギーを磁場が担う可能性がある。我々が提唱した衝撃波を介した磁気エネルギー転換モデルでは、即時放射終了段階でも磁場優勢なジェットが残ることを示唆している。ジェット内部の磁気圧勾配により、ジェット自身は加速しながら星周物質を掃き集めていき、やがて衝撃波を伴って減速していきガンマ線バースト残光放射に繋がると考えられる。こうした描像は、ジェットが持つ磁場やジェット自身の幅に依存しており、残光放射の初期段階に影響を与えると予想される。

我々はジェットの初期幅と磁化率が残光放射に与える影響を調べるために、1次元球対称相対論的磁気流体シミュレーションを行い、ポストプロセスにてシンクロトロン放射と逆コンプトン散乱を計算している。初期幅や磁化率の影響がすでに無くなった Blandford-McKee フェーズでは、予想通りモデル毎の違いは見られなかった。一方、初期残光では磁気圧勾配加速の影響が顕著に現れ、幅が薄く磁化率の高いモデルほど先進衝撃波放射からのガンマ線光度が劇的に高くなり、オンセット時刻が大幅に短くなることが判明した。これらの影響はジェットの構造に起因するものであるゆえ、他の様々な波長でも確認することができる。初期残光の多波長観測や逆行衝撃波由来の放射の観測が将来的に進むにつれ、ジェットの構造や磁化率に制限をかけることが期待される。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

W05a 超新星フォールバック計算のための境界条件開発

篠田兼伍, 澤田涼, 諏訪雄大, 鈴木建 (東京大学), 岩崎一成 (国立天文台), 富田賢吾 (東北大学)

超新星におけるフォールバックは、爆発後の電磁放射 (Chevalier 1989) やニュートリノ (Houck & Chevalier 1991, Chevalier 1995) の放出源として、また超新星における中性子星やブラックホールの形成やその周りの円盤形成やその発光現象の起源 (Dexter & Kasen 2013, Perna et al. 2014) として考えられてきた。特に興味深いのは、水素層とヘリウム層の境界で生じた逆行衝撃波が中心天体に落ち込む現象である。この結果、降着率は著しく増大し、中心天体である中性子星やブラックホールの質量、スピン、キック速度に影響を与えると考えられている。しかし数値計算において、従来の境界条件では逆行衝撃波が落ち込む際に非物理的な反射波が発生すると報告されている (Ertl et al. 2016, Gabler et al. 2020)。この問題を解決するため、非反射境界条件 (Thompson 1987, Suzuki & Inutsuka 2006) を球座標内側のシンク境界条件に適用し、さらに計算領域の最内セルを用いてゴーストセルの値を平均化することで反射波を抑える境界条件を開発した。本発表では流体シミュレーションコード Athena++ (Stone et al. 2020) を用いて衝撃波管問題や Sedov 解などの解析解を持つ問題に対する境界条件の振る舞いと、実際の超新星爆発計算で得られた逆行衝撃波が内側境界に落ち込んだ際の振る舞いを報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

W06a Linear stability of astrophysical jets meant for magnetized core-collapse supernovae

Wu Fan (Waseda University)

Strong magnetic field in the core-collapse supernova (CCSN) progenitor is supposed to extract the rotation energy and drive the collimated jet structure formation along the rotation axis. CCSN jets are subject to different instabilities during the propagation and formation, such as Kelvin-Helmholtz instability induced by shear flow, current-driven instability (CDI) induced by the magnetic field and even magnetorotational instability (MRI) which is driven by differential rotation and magnetic field. Recent study on the CCSN simulations observed the growth of kink instability ($m = 1$ CDI) in bipolar jets leads to jet distortion, and jet simulation results provide clear linear phase and non-linear phase for each instability mode. However, the linear analysis results were still lacking. In this study, we performed the linear analysis on magnetized non-relativistic jets, considering the application of CCSN. We employ the Laplace transform in time and Fourier transform in jet axial and azimuthal on linearized ideal MHD equations. The position of singularity, which indicates the instability mode, in the complex s (the variable in the Laplace transform) plane is discussed, and eigenfunctions corresponding to each mode are derived. We suggest each instability mode only exists in short k (axial wave number) case, and MRI always plays a sub-dominant role. Our results provide a new perspective for the analysis of CCSN simulation and obtained eigenfunctions could be discussed in detail in future jet simulations.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

W07a 相対論的衝撃波と非一様媒質が作り出す乱流場中での高エネルギー粒子加速

森川莞地, 大平豊, 大村匠 (東京大学)

最高エネルギー宇宙線と呼ばれる、 10^{18} eV – 10^{20} eV のエネルギーを持つ宇宙線は銀河系外で加速されていると考えられている。 10^{20} eV にまで荷電粒子を加速する天体の候補は宇宙で最も爆発的な現象であるガンマ線バーストや活動銀河核である。これらの天体は光速に近い速度で伝播する相対論的なジェットが放出されることがわかっており、相対論的な衝撃波が形成される。この衝撃波では荷電粒子が衝撃波面を往復することで加速される、1次 Fermi 加速が働くと考えられるが、実際の相対論的衝撃波での粒子加速は未解明である。

本研究では相対論的衝撃波が衝撃波上流に存在すると考えられる非一様媒質と相互作用することで、下流に乱流場が生成されるメカニズムを考える。まずはじめに、駆動される電磁場を求めるために磁気流体シミュレーションを用いて数値計算をおこなった。次に、磁気流体シミュレーションによって得られた乱流状態の電磁場を用いてテスト粒子の運動を解くことで、相対論的衝撃波から粒子がエネルギーを獲得できるかを調べ、実際に1次 Fermi 加速が働くことを明らかにした。また、衝撃波上流に存在する密度揺らぎの密度振幅に依存して、下流乱流場において粒子が乱流によって加速されることも明らかとなった。この乱流場による粒子の加速の結果、効率的に衝撃波加速される。講演ではこれら粒子加速の性質を議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

W08a 相対論的ジェット中における散乱を考慮した一般相対論的偏光輻射輸送計算

竹林晃大 (筑波大学)、大須賀健 (筑波大学)、川島朋尚 (東京大学)

X線の偏光観測は、ブラックホール周囲の降着円盤や円盤コロナ、ジェットの構造を解明する手法の一つである。偏光撮像衛星 IXPE による Cyg X-1 の観測がその一例で、電波ジェットと向きの揃った X 線偏光が検出されたことで、高温コロナが降着円盤に沿って分布していることが示唆されている (Krawczynski et al. 2022)。しかし、円盤コロナでのコンプトン散乱やジェットでのシンクロトロン放射による偏光が重要視される一方で、ジェットでのコンプトン散乱の影響はあまり詳しく調べられていない。ジェットでのコンプトン散乱は、幾何学的形状だけでなく、相対論効果を通じて偏光度や偏光角に影響を与え得る (Poutanen et al. 2023)。

そこで我々は一般相対論的偏光輻射輸送計算を行い、相対論的ジェット (Broderick and Loeb 2009) でのコンプトン散乱による X 線偏光を調べた。種光子は標準円盤からの黒体放射を仮定した。その結果、X 線の偏光方向は、幾何学的形状から予想されるものよりも、ジェットの向きに近い (円盤面に垂直) ことがわかった。これは、ジェットが相対論的速度で噴出することと、光源である降着円盤が高速回転しているためである。相対論的速度で噴出するジェットでは、ガスが円盤から高速で遠ざかるため、根本から入射する光子の散乱確率が下がる。ジェットの側面から入射して散乱される光子の割合が増えることで、偏光方向がジェットの向きに近くなる。また、円盤が高速回転することで、円盤から水平方向に放射される光子が増える。円盤に水平に進んで散乱を受けた光子は、円盤に垂直な偏光方向を持つ。したがって、円盤の回転は偏光方向をジェットの向きに近づける効果がある。以上の2つの相対論効果により、偏光角は比較的ジェットの向きに揃うのである。本講演では、円盤の見込み角やジェットの速度の依存性、偏光度や偏光方向のエネルギー依存性についても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

W09b X線連星ジェット伝搬に対する伴星風の影響

丹海歩 (総合研究大学院大学/国立天文台)、五十嵐太一 (立教大学/国立天文台)、町田真美 (国立天文台)

SS433 はコンパクト天体と A 型超巨星から成る大質量の X 線連星であり、連星の公転周期は約 13.1 日である。SS433 は、 $0.26c$ (は光速) の双極スパイラルジェットを噴出しており、ドップラーシフトした $H\alpha$ 線が 162.3 日の周期で変動することから歳差運動していると考えられている。SS433 のジェット伝搬の数値計算は、1 pc までコリメートしたジェットが伝搬したと仮定して、その後の進化を追った研究が主流である (Goodall et al. 2011, Ohmura et al. 2021 など)。しかし、SS433 は A 型超巨星との連星系と考えられており、コンパクト星の近傍は、伴星からの強い星風と公転によって乱流状態にあるのではないかと推測される。本研究では、伴星が作る乱流場中をジェットが伝搬する際のジェット伝搬への影響を調べるために、初期の背景媒質に乱流を仮定した 2次元磁気流体シミュレーションを、CANS+(Matsutsumoto et al. 2019) を用いて実施した。

初期条件として、背景媒質の乱流速度の最大値と注入するジェットの速度の比を、(I) 静的な場合、(II) 速度比 0.01、(III) 速度比 0.001 の 3 モデルの計算を行った。その結果、モデル (I) と (III) はほぼ同じ進化であったが、モデル (II) は、ジェットの伝搬速度が遅くなること、ジェットの動径方向への膨張速度が遅くなることがわかった。また、コクーンが細くなり、星周媒質によってジェットのコクーンがコリメートされることも分かった。ジェット速度を $0.26c$ とした場合、モデル (II) は、数千 km/s に対応し、超巨星の恒星風の推定速度と同程度であると考えられる。本講演では、乱流によるエネルギー散逸率にどのような影響を与えたかを報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

W10a 降着円盤の光度変動を考慮したラインフォース駆動型円盤風の研究

黒田裕太郎 (筑波大学), 大須賀健 (筑波大学), 野村真理子 (弘前大学)

いくつかの活動銀河核の輻射スペクトルに、青方偏移した吸収線が観測されている。これは、光速の約 10 % の速度を持つガス噴出流に起因すると考えられている。この噴出流は ultra fast outflow(UFO) と呼ばれ、質量噴出率が大きいことから、巨大ブラックホールの成長過程や母銀河の進化にも多大な影響を及ぼしている可能性が指摘されている。UFO の正体は不明であるが、有力な仮説の一つがラインフォース (金属元素の束縛-束縛遷移吸収によって生じる輻射力) によって駆動される円盤風である。ラインフォースによる円盤風の準定常的な構造は、野村氏らによる 2 次元輻射流体計算で示されたが (Nomura et al. 2016)、円盤風は時間変動している可能性がある。エディントン光度に近い明るさを持つ降着円盤が不安定であることが理論的に示されており、また、UFO の時間変動が観測されているからである (Tombesi et al. 2011)。不安定に起因する円盤光度の変化がラインフォース駆動による円盤風の変動を引き起こし、これが観測されている UFO の時間変化の原因となっている可能性がある。

そこで我々は、周期的に光度が変化する円盤から噴出するラインフォース駆動型円盤風の構造と時間変動を、2 次元輻射流体計算によって調べた。用いたコードは Nomura et al. 2016 と同等であり、光度がエディントン光度の 0.2 倍と 0.6 倍の間を $10^4 r_g/c$ ごとに遷移する円盤を設定した。その結果、UFO が観測されるか否かは時間依存し、50 % 以上観測されるのは観測者の見込み角が 63-73 度の場合であることがわかった。また、UFO が観測される確率は、光度がエディントン光度の 0.6 倍で一定の場合よりも高いこともわかった。この理由は、エディントン光度の 0.6 倍に光度を変動させたときに、定常時に比べてより大きな輻射力が発生するためである。講演では、円盤モデルの依存性や観測との比較についても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

W11a 一般相対論的輻射磁気流体力学シミュレーションによる超臨界低角運動降着の研究

島田悠愛 (筑波大学), 大須賀健 (筑波大学), 高橋博之 (駒澤大学), 朝比奈雄太 (筑波大学)

超臨界降着円盤は光度がエディントン光度を超える天体のエネルギー源と考えられている。実際、恒星質量ブラックホール周囲の超臨界降着円盤が、超大光度 X 線源 (ULXs) の大きな X 線光度を説明できることが理論的に示されている (Ohsuga et al. 2005)。一方、円盤に比べて角運動量の小さなガスが大量に落下する場合も、光度がエディントン光度を超える可能性が指摘されている (Okuda & Singh 2021)。

そこで我々は、角運動量が小さいガスによる超臨界降着現象を、2 次元軸対称の一般相対論的輻射磁気流体力学シミュレーションによって調べている。これまで、圧縮により加熱されたガスが放射することで、光度がエディントン光度を超えること、そして、その光度は磁場に依存しないことを明らかにした (2023 年秋季年会)。それに引き続き、本研究ではブラックホール近傍領域へのガスの流入量に対する依存性を調査した。より多くのガスが流入する場合、輻射駆動のアウトフローが強くなることがわかった。また、輻射を介してガスの角運動量が輸送されることもわかった。講演では、ガスの流入量と初期角運動量、エネルギー変換効率の関係についても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

W12a 広帯域 X 線観測で探るブラックホール連星 GRS 1915+105 の降着状態の変化 II

菅原一希, 小林翔悟, 松下恭子 (東京理科大)

GRS 1915+105 は 1992 年に発見された、K 型巨星と連星系をなす X 線トランジェント天体である。発見以来光度の激しい時間変動が観測されていたが、2019 年に突如減光してから現在に至るまで静穏状態が続いている (Miller et al. 2020)。本天体の降着描像については、特に静穏期において統一的な理解にほど遠い。この静穏期の X 線スペクトルに顕著に見られる 3 本の鉄輝線 (中性鉄による 6.4 keV の $K\alpha$ 線・He-like 鉄による 6.7 keV の $He\alpha$ 線・H-like 鉄による 6.9 keV の $Ly\alpha$ 線、Miller et al. 2020) が、ブラックホール近傍の物質の電離状態を探る鍵となる。

2023 年秋季年会では、静穏期 (2019 年 5 月以降) の *NICER* と *NuSTAR* による広帯域 (0.2 - 79 keV) X 線観測で得られたスペクトルを電離反射モデルなどを用いて解析した。このとき、連続成分と $K\alpha$ 線は十分に再現できたのに対し、強い $He\alpha$ 線と $Ly\alpha$ 線を再現することはできなかった。

本研究では引き続き、静穏期の鉄輝線に着目する。従来の広エネルギー帯域のデータに加え、およそ 1 日に 1 回観測されている *NICER* のデータを用いて鉄輝線成分の変化も調べた。スペクトルの再現にあたって、高階電離鉄の由来を考慮するために、新たに光電離プラズマモデルを導入した。その結果、 $Ly\alpha$ 線は依然として若干不足しているが、 $He\alpha$ 線の強度不足はおおよそ解消された。本結果と *NICER* のみのデータを比較し、ブラックホール近傍の降着描像と電離鉄輝線の由来について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

W13a ブラックホール候補天体 Swift J1842.5 – 1124 の X 線データの系統的解析

岡田 裕太 (京都大学), 志達 めぐみ (愛媛大学), 上田 佳宏 (京都大学), 吉武 知紘 (京都大学), 中谷 友哉 (京都大学)

X 線連星の主星 (ブラックホールまたは中性子星) を同定することは、連星の起源や、降着円盤からの X 線放射機構を理解する上で重要である。判別方法の一つは、主星の質量を推定し、それが中性子星の質量限界 (太陽質量の 2.5 倍程度) を越えているかどうか調べることである。

本研究では、2008 年に Swift 衛星によって発見された X 線新星 Swift J1842.5–1124 の X 線データを系統的に解析した結果を報告する。Swift J1842.5–1124 は 2020 年にもアウトバーストをおこし、Swift や NICER による観測が行なわれた。2008 年に RXTE 衛星によって観測された X 線スペクトルと時間変動の性質から、コンパクト星はブラックホールであると示唆されているが、その質量やスピンのについては制限がついていない。電波強度と X 線強度の相関を用いて、距離は $D > 5$ kpc と推定されている (Zhang et al. 2022)。

本研究では、2008 年と 2020 年に観測された X 線スペクトルの解析から、各時期での状態 (ソフト状態、ハード状態、中間状態) を同定した。ソフト状態のスペクトルを多温度黒体放射モデルで再現することで、降着円盤の最内縁半径を、距離と傾斜角の関数として求めた。さらに、2008 年に観測されたソフト状態からハード状態への遷移が、エディントン比 1.5–6.6% (Vahdat et al. 2019) で起こったと仮定して、コンパクト星の質量を距離の関数として制限した。両結果を合わせることで、コンパクト星の質量は太陽質量の 2.5 倍を越えており、たしかに主星がブラックホールである可能性が高いことが分かった。本講演では、解析の詳細について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W14a X 線の強度変動で探るブラックホール連星 MAXI J1820+070 近傍での降着描像

青山祐也, 松下恭子, 小林翔悟 (東京理科大学)

X 線スペクトルの変動をより短い時間スケールで調べることにより、ブラックホールのより近傍での降着物質の状態に迫ることができる。このような短いタイムスケールでのスペクトル変動を研究する手法の一つに「重ね合わせショット解析」(以降、ショット解析) があり、Cyg X-1 など 1 秒以下で激しい時間変動を示すブラックホール連星において使用されてきた (e.g. Negoro+1994)。ブラックホール連星 MAXI J1820+070 は、2018 年 3 月 11 日に MAXI によって発見された後、同年 6 月 28 日に再び X 線で増光した。この際の X 線フラックスは全天で二番目に大きく、ショット解析を行うにあたって最適な天体の一つである。

本研究では、広いエネルギー帯域で可能な限り短い時間スケールでのスペクトル変化を調べるため、0.2–12 keV の光子を 100 ns の時間分解能で検出できる NICER と、3–79 keV の硬 X 線帯域を撮像可能な NuSTAR 衛星によって 2018 年 6 月 28 日に行われた同時観測のデータに対してショット解析を行った。有効面積が大きく時間分解能に優れる NICER の 0.2–10 keV のライトカーブについて、幅 1 s の探索窓を観測開始から 0.1 s ずつずらし、その中で平均カウントレート $+3\sigma$ 以上の増光を「ショット」と定義して、全観測時間について足し合わせた。重ね合わせた 0.2–10 keV のショットは、 ~ 0.2 s で立ち上がる概ね左右対称な形状であった。これを 7 つの時間帯に分け、それぞれからスペクトルを抽出して比較した結果、ピーク前後の 0.48 s では 10 keV 以下の軟 X 線帯域が増光/減光する一方、硬 X 線側はほぼ変化しないためスペクトルが軟化し、ピーク前後 0.02 s では硬 X 線が軟 X 線から遅れて増光することにより、それ以外の時間帯に比べてスペクトルが硬化した。本講演では、今回得られたショットでのスペクトル変化がいかなる降着描像で説明できるか議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W15a 恒星質量 BH Cyg X-1 の短時間変動における偏光 X 線とスペクトルの変動およびその起源の考察

二之湯開登 (東京理科大学), 山田真也 (立教大学), 五十嵐太一 (立教大学), 内田悠介 (東京理科大学), 幸村孝由 (東京理科大学), 早川亮大 (立教大学)

ブラックホール連星 (BHBs) では伴星からのガスがブラックホールに降着する過程で、ブラックホール (BH) の周囲に X 線を放射する数 keV の降着円盤と数百 keV のコロナが形成される。観測的には遷移するスペクトル状態や時間変動の性質など現象論的な理解は進んでいるが、低温と高温の降着流が共存する物理的なメカニズムや幾何学的構造などは明らかになっていない。BHBs からの X 線偏光は降着円盤やコロナでのコンプトン散乱や重力の効果などで生じるため、偏光 X 線の観測が BH 近傍の物理状態に新たな知見を与えることが期待される。

我々は、BHBs からの非周期的な X 線の短時間の強度変動を捉える「ショット解析」(Negoro et al. 1994) を IXPE による Cyg X-1 の観測データに適用し、短時間の強度変動と偏光状態の変化の相関を発見した (2023 年秋季年会 W39a)。IXPE は偏光観測に特化しエネルギー分解能や観測帯域が制限されている。そこで、本研究では広いエネルギー範囲での短時間の強度変動と偏光状態の変化の相関を見るために、IXPE と NuSTAR による Cyg X-1 の同時観測のデータを用いた。IXPE で 2–8 keV と NuSTAR で 3–72 keV の同時観測のデータに対して、ショット解析を行った結果、72 keV までのエネルギー帯域でピークの約 1 秒前から明るくなり始め、ピーク後約 1 秒で暗くなる数秒スケールの強度変動が確認できた。また、強度変動のピーク時に偏光度がわずかに減少し、2–72 keV でのスペクトルがソフトになる傾向が見られた。本講演では、IXPE による偏光と NuSTAR による硬 X 線スペクトルを用いた短時間の強度変動に伴う偏光と広帯域スペクトルの相関について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W16a ブラックホールX線新星 MAXI J1631-479 の特異な正体の解明とダスト散乱における同天体までの距離の見積もり

小林浩平, 根来均 (日本大学)

MAXI と *Swift* のデータから得られたブラックホールX線新星 MAXI J1631-479 (以下, J1631) の hardness-intensity diagram は, 典型的なブラックホール連星で観測される q 型 (e.g., Homan & Belloni 2005; Dunn+ 2010) ではなく, MAXI J1535-571 などいくつかのブラックホールで観測される逆 Y 型 (Gierliński & Newton 2006) を示した. また, 典型的なブラックホール連星ではソフト状態からハード状態へ遷移するときの光度がピーク時の約 10% (e.g., Dunn+ 2010) であるが, J1631 は強度がピーク時より 2 桁以上減少してもソフト状態のままであった. 我々は, これまでに長期スペクトル解析を行い, 同天体の特徴を明らかにしてきた (小林他 2019 年秋季年会 W08b, 小林他 2021 年秋季年会 W07a, Kobayashi+ in prep). その後, スペクトル解析の結果から, ピーク強度付近でスリム円盤状態と考えられる幾つの特徴が確認され, ピーク強度はエディントン光度の 70% 近くに達していた可能性があることがわかった. したがって, 逆 Y 型は高光度に達するアウトバーストの型と考えられる.

また, 2023 年の年会では, *Swift*/XRT で観測された星間塵による J1631 からの直接光と散乱光の強度比などから, J1631 およびダストまでの距離を見積もったことを報告した (小林他 2023 年秋季年会 W41b). *Gaia* のデータを用い, ダストまでの距離をより正確に見積もった. その結果, J1631 までの距離は 6.7-9.2 kpc または約 12 kpc と見積もられ, 天体の光度から, 2 種類のブラックホール質量が見積もられた. 距離を 12 kpc と仮定すると, 同天体のアウトバースト中の全放射エネルギーは, 他のブラックホールよりも大きく, 質量も X線連星の中では大きいことがわかった. 本講演では, これらの結果について発表する.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W17a MAXI と NICER で観測された高質量 X線連星系 MAXI J0709-159 / LY CMa の短時間 X線フレアの時間変動解析

杉崎陸 (NAOC), 三原建弘 (理研), 小林浩平, 根来均, 中島基樹 (日大), 志達めぐみ (愛媛大), 岩切渉 (千葉大), 芹野素子 (青学) 他 MAXI チーム

MAXI J0709-159 は, 2022 年 1 月 25 日に MAXI の全天サーベイで銀河面近傍 ($l, b = (-229.3^\circ, -2.3^\circ)$) に見つかった X線突発天体である. NICER と NuSTAR の追観測によって位置が精度の良く決まり, 可視光対応天体として距離 3 kpc にある Be 型星 LY CMa が同定された. X線の観測では, 活動期間が数時間と非常に短く, その間に秒スケールの速い時間変動と吸収水素柱密度 N_H が 10^{22} cm^{-2} から 10^{23} cm^{-2} への大きなスペクトル変化があり, 光度は静音時の $10^{32} \text{ erg s}^{-1}$ から最大ピーク時 $10^{37} \text{ erg s}^{-1}$ まで急激な変化を示すことがわかった. これは, SFXT (Supergiant Fast X-ray Transient) と呼ばれる中性子星と青色超巨星の X線連星系のグループと良く似た特徴である (Sugizaki+2022). 一方, 可視光分光観測では, Be 星に特徴的な広がった $H\alpha$ 輝線が確認されており (志達 2023 年春季年会), X線源の正体は依然良く分かっていない. 我々は MAXI と発見後 3 時間から 6 日まで断続的に行われた NICER の観測データの詳細解析を行った. NICER のデータから, X線増光活動は発見から 7 時間程後まで持続時間が数分以下のフレアが低頻度で散発的に起こっており, 変動の周期解析からフレア中の変動には 0.1-1 Hz に特徴的な時間スケールがあることがわかった. 他の SFXT (候補) 天体の X線データとの比較を通じて, 観測結果に対する標準的な星風降着シナリオの妥当性を検討する.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W18a Flares from stars crossing active galactic nuclei disks on low-inclination orbits

Hiromichi Tagawa (Shanghai Astronomical Observatory), Zoltan Haiman (Columbia University)

The origin of the recently discovered new class of transients, X-ray quasi-periodic eruptions (QPEs), remains a puzzle. Due to their periodicity and association with tidal disruption events and active galactic nuclei (AGN), it is natural to relate these eruptions to stars or compact objects in tight orbits around supermassive black holes. In our work, we predict the properties of emission from bow shocks produced by stars crossing AGN disks and compare them to the observed properties of QPEs. We find that when a star's orbit is retrograde and has a low inclination with respect to the AGN disk and the star is massive, the breakout emission from the bow shock can explain the observed duration and X-ray luminosity of QPEs. This model can further explain various features of QPEs, which are difficult to be explained by other models, such as their complex luminosity evolution, the modulation of the luminosity and the period, and the evolution of the temperature.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W19b 降着円盤蒸発により形成される中間領域の厚み

中村賢仁 (九産大), 横山央明 (京大), 町田真美 (国立天文台), 松元亮治 (千葉大)

ブラックホール近傍の降着流に関する磁気流体数値実験を非等方熱伝導及び輻射冷却を考慮して実施すると、ある条件の基、赤道面に形成される低温降着円盤とその上方にある高温ハローとの間には、両者の中間的な温度、密度を持つ中間領域が形成される。低温降着円盤の表面が高温ハローからの熱輸送により加熱され、円盤表面からガスが蒸発することにより中間領域が形成されると考えられる。

我々は、数値実験の結果を元にした検討により、中間領域が十分な厚みを持ちそれを維持できるのは、主として高温ハローから降着円盤へ向かう熱フラックスと、降着円盤から高温ハローへ向かうエンタルピーフラックスとが釣り合うことにあると考えている。2つのフラックスの和が0となる式を立て、基準とする半径に対する高温ハロー及び低温降着円盤の典型的な値を使って近似し式を簡略化すると、中間領域の厚み及び数密度の間の関係式が得られた。また、この関係式を用いて中間領域についてエミッションメジャーを評価した。

本講演では、上記近似式を紹介し、数値実験の結果との比較を紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W20a パルサーにおける遠心力加速の本質について

柴田晋平 (山形大学),

回転駆動型パルサーは電波からガンマ線まで全ての電磁波にまたがった非熱的な放射を示し、その放射源となる粒子の加速機構については複数の提案があるが特定には至っていない。磁気圏中のギャップや磁気リコネクションが有力視されているが、回転と磁場が原因であることを考えると、原理的に重要で古くから提案されている遠心力加速について議論が深まっていないのは研究の弱点と言える。

パルサーにおける粒子加速を理解するために、近年、PIC(Particle-in-Cell 法)などの粒子シミュレーションが盛んに行われた。活動するパルサーの粒子シミュレーションは GRAPE を用いた Wada & Shibata (2007) をきっかけとして、コンピュータの性能の向上で現在 PIC 法によって盛んに行われることとなった歴史がある。

非常に多くのシミュレーション研究がなされたにもかかわらずパルサーの粒子加速機構については明らかになるどころか逆に混沌として結論が出ない状況に陥っている。主な原因は磁気圏内の電子陽電子対の生成過程をどう仮定するか(実際の対生成過程をシミュレートすることは現在のコンピュータの能力では無理なのでなんらかの仮定をしている)、このことにて仮定に合わせて磁気圏が様々な反応をするため、何が正しいかがわからない状況になっている。

われわれは、仮定と磁気圏の反応についての詳しい解析を現在 PIC 法によっておこなってきている。その結果を参考にして、本講演では、閉じた磁場が開く点、いわゆる Y ポイントに従来考えられた遠心力加速が実現できる可能性があることを提案する。加速が起こる場所のサイズは加速粒子のジャイロ半径程度で、粒子加速の効率はそのほど高くならない。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W21a 強い磁場をもつ中性子星におけるクラストの力学平衡にある磁場強度の上限

小嶋 康史 (広島大), 吉田 至順 (東北大)

マグネターは表面の双極子磁場は $B \sim 10^{14}$ G 程度であるが、その内部には $B \sim 10^{16}$ G 程度の、より強いトロイダル磁場が存在することが観測的に示唆されている。このような強度の磁場を如何に保つことができるが、重要な問題である。中性子星のクラストの外部(星表面)と内部(コア部分)でどの程度の磁場の変化が可能であるかに着目した。外部は真空の双極子磁場で、トロイダル成分が無いとする。磁束の保存から磁場の動径方向は連続的なので、薄いクラスト部分間での変化量は少ない。一方、接線方向はそこに流れる電流により、より大きな変化が許される。

しかし、弾性力を含めた MHD 力学平衡を考慮すると、磁場強度が強くなるとローレンツ力も増し、力学平衡が破れる。力学的平衡状態にある磁場の空間的変化分(つまり電流)の大きさに制限がつく。ローレンツ力の非回転的な成分は重力や圧力により抑えられるが、回転的な成分は弾性力と釣り合う必要があり、これにより制限された磁場の大きさを求めた。

その結果、全体の磁場強度を決める(規格量としての)表面の双極子磁場が増加すると、クラストとコアの境界付近ではトロイダル成分はポロイダル成分より小さくなる必要がある。 $(B_d > 2 \times 10^{14} \text{G})$ 。(Kojima, Yoshida; arXiv:2310.11660, MNRAS, 527(2024)2297) マグネターの強いトロイダル成分 ($B_t \sim 10^{16} \text{G}$) はより内部に存在し、クラストとコアの境界付近ではその強度はクラストの厚みにもよるが、 $B_t \sim 10^{15} \text{G}$ 程度しか許されないことがわかった。講演では、その他の関連研究の結果も踏まえ、結果とその意義も報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W22a 中性子星のクラストの歪み方と連続重力波

藤澤幸太郎 (東京工科大学), 木坂将大 (広島大学), 小瀧康史 (広島大学)

振幅と周波数がほぼ一定である連続重力波の有な候補天体として、何らかの力によって回転軸に対して非軸対称に歪んでいる中性子星が考えられている。特に、中性子星の外側の殻の部分にあたるクラストが歪んでいる場合は、中性子星の「山」と呼ばれることがあり、「山」が大きいほど振幅の大きい連続重力波が放出される。そのため、中性子星からの連続重力波をみつめるには、どのような「山」が実現されているかを計算する必要がある。

中性子星の「山」の大きさの最大値は、力によってクラストの歪みが大きくなり裂ける直前の状態で決まると考えられている。Ushomirsky et al. (2002) は、クラストに及ぼされる力の分布は考えずに、単純にクラスト全ての部分で裂ける寸前まで歪んでいると仮定して「山」の最大値をみつめた。一方で Gittins et al. (2021) は、具体的な力の分布と、流体コアと固体クラストを考慮した新しい計算手法を開発して「山」の大きさを再評価し、Ushomirsky らの「山」の最大値よりも 2 桁程度小さい「山」しか実現されないことを示した。ところが、Morales & Horowitz (2022) が示したように、Gittins et al. (2021) の結果は具体的な力の分布に大きく依存するため、中性子星の「山」の大きさの最大と議論するためには、クラストを歪める力をより一般的に考えた解析が必要である。

そこで本発表では、中性子星に与える力を irrotational と solenoidal の成分に分解して考えることで、それぞれの成分の「山」の大きさへの依存性を調べた。その結果、この分解による力の成分の大きさの違いが、「山」の大きさの最大値に影響を与えることが分かった。この結果とそれぞれの力の成分の物理的な起源を考えることで、中性子星のクラストの歪み方と連続重力波に関する議論を進めていく。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

W23a X 線単独中性子星におけるパルスピーク位相のエネルギー依存性

米山友景 (中央大学), 善本真梨那 (大阪大学)

X 線単独中性子星 (X-ray Isolated Neutron Star; XINS) は軟 X 線帯域の熱的放射のみが観測される中性子星の一種であり、500 pc 以内に 7 天体が発見されている。いずれの天体でも、X 線スペクトルは 2 温度の黒体放射と幅の広い吸収線で再現される。また、7 天体中 6 天体では周期数秒のパルスが検出されている。これらの観測的性質から、XINS は一般に非一様な温度分布の表面を持ち、これが自転することで光度変動すると解釈される (e.g., Yoneyama et al., PASJ, 2019)。それぞれの温度成分は低温な表面の大部分 (放射半径 ~ 10 km) と高温な磁極付近のホットスポット (~ 1 km) に由来すると考えられる。しかし、この描像ではいくつかの XINS の光度曲線を説明できず、観測的性質の整合的な理解には至っていない。

我々は、XINS のうち最も磁場が強く、かつ唯一 1 周期に 2 つのパルスを見せる RBS 1223 について *XMM-Newton* のアーカイブデータを解析し、パルスプロファイルのエネルギー依存性について調べた。結果、一方のパルスでのみ、パルス位相が 0.6 keV 付近を境に最大で約 0.05 周期ずれていることを発見した。これは最も単純な温度分布のモデル、すなわち双極子磁場の足元に黒体放射する円形のホットスポットがあるという描像と矛盾する。この結果は円から大きく歪んだホットスポット、またはホットスポットの放射が黒体放射からずれていることで説明できる。前者の場合、XINS の磁場が純粋な双極子ではないことの示唆となる。後者の場合、 3.5×10^{13} G に及ぶ強力な磁場により、光学的に十分厚い中性子星表面からの放射に異方性があることの示唆となる。すなわち、この結果によって中性子星表面の磁場分布を制限できる可能性がある。本講演では、RBS 1223 と共に、他の XINS に同様の解析を行った結果についても報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

W24a カニパルサーの高時間分解測光による巨大電波パルスの放射機構解明に向けて

橋山和明 (東京大学/山形大学), 中森健之 (山形大学), 佐藤凜, 佐藤杏樹, 長谷部愛奈 (山形大学), 庄子正剛 (KEK), 武井大 (Dai Phys. Tech/立教大学), 川端弘治, 中岡竜也 (広島大学), 木野勝 (京都大学), 寺澤敏夫 (東京大学), 米倉覚則 (茨城大学), 岳藤一宏, 村田泰宏 (JAXA), 上野一樹 (大阪大学), 佐藤知宙 (山形大学)

PSR B0534+21 (カニパルサー) は約 34 ms 周期で高速回転する中性子星であり、電波からガンマ線に渡る放射は周期パルスとして観測される。カニパルサーはカニ星雲によって覆われ、電波帯ではカニ星雲からのシンクロトロン放射が強いため、殆どのパルスは個々のパルス (シングルパルス) としては分離できない。そのため、シングルパルスとして認識できるのは平均電波強度の 100–1000 倍以上の強度を持つ巨大電波パルス (Giant Radio Pulse; GRP) に限られている。GRP の放射モデルの 1 つに磁気リコネクションによる磁場エネルギー解放モデルがあるが、GRP と平均電波強度のシングルパルス同士の比較が困難であるため、モデルの検証に至っていない。一方で、GRP に同期した可視光パルスは平均的に約 3% 増光することが知られており、GRP と可視光放射との間には相関性があると考えられている。可視光帯ではカニ星雲の放射がカニパルサーに対して弱いため、十分な光子統計を得ることで、殆どの可視光シングルパルスの検出が期待できる。そこで我々は、電波と同等の時間分解能で測光可能な Imager of MPPC-based Optical photon counter from Yamagata (IMONY) の開発を進めている。IMONY は単光子検出が可能であり、1 光子に対して 100 ns の時間分解能でタイムスタンプを付与できる。高い集光力を有する大口径光学望遠鏡に搭載することで光子数に対する要求を満足でき、GRP との直接比較が可能となる。本講演では、2022 年度及び 2023 年度に行ったカニパルサーの試験観測結果について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

W25a 中性子星ロケット機構が連星進化に及ぼす影響

平井遼介 (モナッシュ大)

観測されている中性子星が持つ大きな固有速度は超新星爆発時のコアの非対称性に応じた反跳（キック）に由来するとする説が一般的だが、超新星後にゆっくり加速されるようなモデルも過去に提唱されている (Harrison & Tademaru 1975, Peng 2004)。このようなロケット機構は基本的に中性子星の回転エネルギーを変換して加速させるため、スピンドウン時間 (1-100 年程度) かけて終端速度に達する。これは中性子星を含む連星の典型的な軌道周期 (数時間-数日) より充分に長い。通常、連星系内での超新星爆発後の軌道は中性子星キックを瞬発的なものと近似して計算されるが、ロケット機構のように軌道周期より長い時間をかけて星が加速される場合は瞬発近似は使えず永年近似をする必要がある。このように空間的に固定された加速度項を含めた永年二体問題は加速ケプラー問題や古典シュタルク問題とも呼ばれ、具体的な解析解は示されていないものの可積分な問題として古くから知られている。基本的には軌道周期を固定したまま加速に応じて離心率が上下することがわかっている。瞬発的なキックとは軌道進化が定性的に異なるため、従来の理解では不可能だった軌道に至ることができる。

本研究では私は古典シュタルク問題の解析解を求め、中性子星ロケット機構による軌道の変化を簡単に見積もることを可能にした。超新星時に質量損失、キック、ロケット機構が全て働く場合にどのような軌道に至るかを統計的に探った。その結果、中性子星と伴星が直接合体してしまうほど近点距離が近い系や軌道長半径の大きい円軌道など、従来モデルでは形成が難しかった連星を形成しうることがわかった。ロケット機構を考慮することで我々の連星進化に対する理解が根本的に変わる可能性があり、重力波源や X 線連星、TŻO の形成、連星合体由来の長時間ガンマ線バースト、GW190814 のような低質量比ブラックホール合体など様々な適用先が考えられる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

W26a 高速電波バーストを伴うマグネターショートバーストの X 線スペクトルと輻射加速

和田知己 (東大宇宙線研)、浅野勝晃 (東大宇宙線研)

高速電波バーストは宇宙で最も輝度が高い電波突発天体であり、主に銀河系外で発生する。起源天体や電波放射機構は未解明で、宇宙物理学における大きな謎の一つである。2020 年には銀河系内マグネター SGR 1935+2154 から、X 線ショートバーストと高速電波バースト FRB 20200428A が同時に観測され、少なくとも一部の高速電波バーストはマグネター起源であることが明らかになった。高速電波バーストに付随して観測された X 線ショートバーストは、同時期に観測された他の X 線ショートバーストに比べてハードなスペクトルをしており、この特徴的なスペクトルは高速電波バーストの放射機構に迫る手がかりとなりうる。

本研究では X 線ショートバーストのモデルの一つである膨張火球モデルの輻射流体シミュレーションを行い、流体のダイナミクスと観測される X 線のスペクトルを調べた。本数値計算では、プラズマを流体近似、光子をモンテカルロ法で解き、膨張火球の球対称定常解を数値的に求めた。特に、プラズマと光子の相互作用の素過程として、マグネターの磁場によるサイクロトロン共鳴散乱を取り入れた。数値計算の結果、膨張火球モデルによって、高速電波バーストに付随して観測された X 線ショートバーストのハードなスペクトルが実現できることが明らかになった。また、マグネターの磁場によるサイクロトロン共鳴散乱を介した輻射加速によって、プラズマのアウトフローが超相対論的速度となることも明らかになった。超相対論的なアウトフローは、シンクロトロンメーザー不安定などの放射機構により、高速電波バーストで観測されるコヒーレントな電磁波を放射できる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

W27a 降着型 X 線パルサーの軟 X 線超過と鉄輝線の放射場所の系統調査

永井悠太郎, 榎戸輝揚, 内田裕之, 鶴剛 (京都大学)

重元素の起源や重力波イベントで重要な二重中性子星連星は、降着型パルサーが連星進化することで形成されると考えられている。この進化過程の解明には、星風による質量輸送や中性子星への質量降着についての理解が必要不可欠であり、強磁場 ($> 10^{12}$ G) のパルサーを含む多くの大質量 X 線連星で観測されてきた 6.4 keV 付近の低電離の鉄輝線が強力な研究手段となる。この鉄輝線は、パルサーの磁極付近にある降着円筒からの X 線放射がその周辺環境を照射した際に生じる再放射とされているが、パルサー近くの降着円盤の内縁や降着流といったアルフベン球の付近、パルサーから遠方の星風など、放射場所には複数の候補があり、これまで統一描像は確立していない。この鉄輝線に加えて、いくつかのパルサーでは、温度 0.1 keV ほどの黒体放射で近似できる軟 X 線超過が存在することが知られており (Hickox et al., ApJ, 2004)、これも同様に再放射であるとされている。そのため、鉄輝線と軟 X 線超過の関係はこれらの放射場所について新しい見解を与えることが期待できる。

そこで、この関係を検討するために 2023 年春季年会に引き続き、X 線観測装置 NICER、X 線衛星 Suzaku および XMM-Newton によって観測された 44 個の降着型 X 線パルサーのアーカイブデータについて広帯域の軟 X 線スペクトルを系統的に解析した。連続成分を吸収を受けたカットオフ付きのべき関数で近似すると、11 個の天体で鉄輝線と軟 X 線超過の両放射が検出できた。そして、これらの天体について鉄輝線の輝線幅を降着円盤のケプラー回転によるドップラー広がりのみ由来とした場合のパルサーから放射場所までの距離と、軟 X 線超過の光度から求めた黒体放射の半径について比較を行った。この比較から円盤降着と星風降着の二つを分類できるという示唆が得られた。本講演では、この比較などを通して両放射の放射場所について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

W28a 超高光度 X 線パルサー NGC 7793 P-13 の C3PO 法による X 線スペクトル分解

小林翔悟 (東京理科大学)

超高光度 X 線パルサー (ULXP) は、10 太陽質量のブラックホールのエディントン限界 ($\sim 10^{39}$ erg/s) を上回る X 線光度をもつ降着駆動型パルサーで、未だ理解が乏しい超臨界降着流における物理を解き明かす鍵となる天体である。ULXP の X 線スペクトルは連続成分が支配的で様々な物理モデルが縮退してしまうため、降着描像を制限することが困難であった。この問題を解決するために、2023 年秋季年会では ULXP NGC 300 ULX-1 のデータに対して活動銀河核で使用された C3PO 法 (Noda+2012) と呼ばれる解析手法を初めて適用し、X 線パルスに同期して変化する成分 (パルス成分) と無相関な成分 (不変成分) のスペクトルの抽出に成功した。C3PO 法は X 線強度が変化する天体であれば一般に使用可能であり、様々な ULXP で同様な成果が期待できる。

C3PO 法は 2 つのエネギー帯域のカウントレートの相関を評価することでスペクトルの成分分解を行うため、パルス率が高いデータが望ましい。そこで本研究では、XMM-Newton による ULXP NGC 7793 P-13 の観測データのうち、近年のモニタ観測において最大のパルス率を示した (Furst+2021) 2019 年 11 月 28 日の公開データ (露光時間 48 ks) を用いた。パルス率が $\sim 90\%$ と最も高い 7–10 keV を参照帯域として、他の帯域とのカウントレートの相関を調べたところ、パルス成分は中性子星の自転に伴って X 線強度のみが変化し、スペクトル形状は不変であることが判明した。また C3PO 法により、秋季年会と同様にパルス成分と不変成分のスペクトルを抽出することに成功し、前者は ~ 7 keV で折れ曲がるべき関数モデル、後者は降着円盤の多温度黒体放射モデル + 単温度黒体放射モデルの組み合わせで再現できた。上記の結果は、中性子星周辺に形成された降着円盤がある半径で超臨界降着流を形成し、そのさらに内縁は中性子星の強い磁場に拘束されている描像と無矛盾である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

W29a ULX パルサー NGC 5907 ULX1 の自転位相スペクトル解析による超臨界降着流の構造の解明 2

三浦大貴 (東京大学, ISAS/JAXA), 小林翔悟 (東京理科大学), 山口弘悦 (ISAS/JAXA)

超大光度 X 線パルサー (Ultraluminous X-ray Pulsars; ULXP) は、超臨界降着により 10 太陽質量のブラックホールにおけるエディントン限界光度を超えて輝く中性子星である。本研究では、ULXP の超臨界降着流の幾何構造を解明することを目的として、NGC 5907 ULX1 の 2014 年における観測データの再解析を行った。XMM-Newton と NuSTAR による同時観測データから抽出した広帯域の自転位相分解スペクトルは、光学的に厚い降着円盤からの多温度黒体放射による不変成分と、cutoff power-law によるパルス変動成分に分離できた。そして、パルスピーク前後で明るさが同程度の位相においてスペクトルの形状を特徴づけるモデルパラメータが有意に異なることが分かった (2023 年秋季年会)。その後の解析により、著しく高い質量降着率から幾何学的に厚い円盤が相応しいことがわかり、磁気圏半径に一致すると考えられる円盤内縁半径の値と得られた円盤モデルの規格化因子とから、傾斜角が小さいことがわかった。結果として、幾何学的に厚い円盤をもつ系を正面から観測しているという描像が得られた。降着率が非常に大きい場合には中性子星の磁気圏に拘束された降着流 (パルス変動成分) も光学的に厚くなり、上記のスペクトル形状の違いは温度の違いに対応するが (Mushtukov et al. 2015)、いまの描像において、その温度の違いはピーク前には見えていた降着柱の底の方の高温領域がピーク後には隠されることによると解釈できる。この非対称な構造は、磁軸に垂直でない降着円盤により磁力線が回転順方向に引きずられることによって形成されるのではないかと考えている。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

W30a MAXI/GSC が検出した 2023 年度後半の突発現象

根来 均, 中島基樹 (日大), 三原建弘 (理研), 栗原明稀 (JAXA/東大), 川久保雄太 (LSU), 芹野素子, 杉田聡司 (青学), 岩切 渉 (千葉大), 河合誠之 (東工大/理研), 松岡 勝 (理研) 他 MAXI チーム

全天 X 線監視装置 MAXI が前回の秋季年会から本年会までに発見検出した突発天体を報告する。12 月 5 日現在までに新たな X 線新星の発見はない。10 月 12 日には、2005 年に発見され、2018 年 5 月まで活動が続いたブラックホール X 線連星 Swift J1753.5–0127 の再増光を検出し、Astronomer's Telegram (ATel) に報告した (Negoro+, ATel #16283)。同天体は、9 月 28 日に可視 (LCO network) で最初に再増光が検出され (ATel #16262)、その後、Chandra と Swift によって 1 mCrab 以下の微弱な X 線が検出されていた (ATel #16272)。MAXI の検出でも 6 mCrab 程度と低く、その後も微弱な状態となっている。また同 ATel で、10 月 9 日に検出された、2-3 年おきにアウトバーストを起こす低質量連星系 RX J1709.5–2639 (XTE J1709–267) のアウトバーストも報告した。10 月 18 日にはブラックホール X 線連星 GX 339–4 からのアウトバーストを検出した (Negoro+ ATel #16302)。同天体においても LOC network により 8 月以来続く僅かな増光が報告されていた (ATel #16206)。GX 339–4 は 12 月現在も 100 mCrab 程度の状態が続いている。その前の 10 月 10 日には Be X 線パルサー IGR J06074+2205 のアウトバーストを検出し、2003 年 2 月の発見時を含むこれまで計 4 度のアウトバーストの記録から約 80 日の連星周期を見出し、10 月 29 日に ATel に報告した (Mihara+ ATel #16351)。

一方、ガンマ線バースト (GRB) は、11 月 29 日に 2 つ検出した (231129B, Kurihara+ GCN 35214; 231129C, Kawakubo+ GCN 35223)。231129B はソフトで約 140 mCrab と GRB としては暗く、MAXI のみの検出となっている。また、LIGO によって検出された 6 つの重力波イベントに対する上限値も GCN に報告した。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

W31a 食をもつ X 線連星 4U 1538–522 の連星位相に分割したスペクトル解析

齊藤裕次郎, 榎戸輝揚, 内田裕之, 鶴剛 (京都大学)

大質量 X 線連星 (High Mass Xray Binary; HMXB) は、OB 型主系列星と、中性子星またはブラックホールのコンパクト星からなる連星系であり、恒星からの星風がコンパクト星へと質量降着する過程で重力エネルギーが解放されることにより、強い X 線放射が生じる。HMXB の X 線スペクトルは、降着率の違いや周辺での星間吸収などの要因により複雑な様相を示すため、降着過程の理解には連星位相ごとの構造をよく理解する必要がある。連星の軌道位相の変化に伴い、コンパクト星の降着円筒からの放射は吸収や散乱を受けて変動し、特にコンパクト星が恒星に隠される食が起きる場合には、恒星近傍の強い吸収を受けコンパクト星近傍からの直接放射が遮られるため、星風などによる反射が主成分となる。

今回我々は、食を起こす HMXB である 4U 1538–522 の NICER による観測データの解析を行った。この天体は、3.73 日の軌道周期を持つ B 型星と 0.87 M_{\odot} (楕円軌道解) または 1.00 M_{\odot} (円軌道解) という軽い中性子星 (Rawls et al. 2011) の連星系である。2021 年 8 月 5 日から 8 日に実施された NICER の観測は軌道の一周期をカバーする 3.80 日に渡り、データギャップを除く実観測時間は 60 ks である。軌道位相ごとのスペクトル解析を行ったところ、X 線スペクトルは星間吸収を受けたべき関数で近似できる降着円筒からの連続成分の放射に加え、周期の大半において 6.4 keV 付近に低電離の鉄輝線が確認できた。また、食の最中にはヘリウム状の高階電離の鉄輝線も検出でき、吸収の柱密度の食の前後の大きな変動も確認できた。本講演では、これらの軌道位相ごとのスペクトルの変動から、4U 1538–522 における放射成分の起源や、連星中の物質分布について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

W32a 「すざぐ」による dipping 低質量 X 線連星 XB1916-053 のスペクトル解析

宮城生成 (東京工業大学)、堂谷忠靖 (東京工業大学、ISAS/JAXA)

XB1916-053 は中性子星の低質量 X 線連星系であり、代表的な dip 天体の一つである。Dip は中心天体付近からの X 線放射が、降着円盤外縁部によって遮蔽されることで発生する。特に、伴星からの降着流の衝突により形成されるバルジが主原因となっている。バルジは、中心天体付近からの X 線照射によって光電離しているため。dip は降着円盤外縁部の構造や光電離プラズマがスペクトルに与える影響を理解する手がかりとなると考えられている。本研究では「すざぐ」衛星による XB1916-053 の 2014 年のアーカイブデータの解析を行った。このデータの解析結果については、2020 年春の天文学会で、渡辺他が報告しているが、1 keV 以下の軟 X 線の振る舞いが説明できていなかった。そこで今回は、1 keV 以下も含めた解析結果について報告する。

約 4 日間の観測中、前半では X 線光度が約 1/3 程度まで徐々に減少し、X 線バーストが観測され、dip は現れなかった。対照的に後半では X 線バーストは現れず、dip が観測され、X 線光度はほぼ一定であった。そこでデータを前半部分と後半部分に分割し、dip が見られた後半部分の nondip 中、dip 中のスペクトルの違いを光電離プラズマの変化のみによって再現しようと試みた。スペクトル中に He-like および H-like の鉄の吸収線が観測されたことから、視線上に高階電離プラズマ ($\log \xi \sim 3-4$) の存在が示唆される。しかしフィッティングの結果、それだけではスペクトルを再現できず、 ξ の小さなものを含めた複数の光電離プラズマが存在すると考えられる。講演では解析結果について報告すると共に、その解釈について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

W33a Inhibition of Accretion by the Stellar Wind in Misaligned Be/X-ray Binaries

Atsuo T. Okazaki (Hokkai-Gakuen University)

Be/X-ray binaries constitute a prominent subclass within the category of high-mass X-ray binaries, characterized by their transient nature. These binaries intermittently manifest X-ray activity of $L_X \gtrsim 10^{36}$ erg s⁻¹; the rest of the time, they remain quiescent, with X-ray luminosities typically below 10^{34} erg s⁻¹. The consensus in the scientific community is that a Be/X-ray binary enters a quiescent state when accretion onto the neutron star is impeded by its rapidly rotating magnetosphere. Empirical support for this centrifugal inhibition of accretion, often referred to as the propeller mechanism, is evident in the observational data from 4U 0115+634, featuring a neutron star with a comparatively brief spin period. However, the applicability of this mechanism in other Be/X-ray binaries, particularly those housing slowly rotating neutron stars, remains uncertain.

This presentation aims to investigate an alternative hypothesis, positing that accretion inhibition arises from the wind emanating from the Be star. Our examination focuses on the impact of the stellar wind on the accretion dynamics in misaligned Be/X-ray binaries. Employing analytical models for both the wind and accretion disk, we initially assess the wind ram pressure against the gas/ram pressures of the accretion flow. This analysis yields a criterion for the substantial suppression of accretion by the stellar wind. Subsequently, we apply this criterion to all 13 Be/X-ray binaries, where pertinent information such as spectral type, orbital parameters, spin period, and surface magnetic field is known/well-constrained. Our findings indicate the presence of systems in which X-ray quiescence is likely attributed to accretion inhibition by the stellar wind.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

W34a 大質量高速自転白色矮星 ZTF J190132.9+145808.7 は X 線パルサーか

馬場彩 (東京大)、寺田幸功 (埼玉大/JAXA)、樫山和己 (東北大)、木坂将大 (広島大)、南喬博 (東京大/IPMU)、高橋忠幸 (IPMU/東京大)

白色矮星は銀河系内の星の 1/3 を占め、銀河系の基本構成要素の一つであるだけでなく、Ia 型超新星残骸の親星や高密度環境の実験場、重元素生成現場としても重要である。重く自転周期の早い白色矮星は、白色矮星-白色矮星合体で形成された可能性があり、特に興味深い (Dan et al. 2014)。合体後は状態方程式に合わせて重く高密度の白色矮星となり、角運動量保存に従った高速自転を行う。また合体中のダイナモ機構により、双極磁場も増幅されると考えられる (ex. Tout et al. 2008)。このようなサンプルを同定することは、白色矮星-白色矮星合体頻度やそれに伴う元素合成などを知るうえで重要である。ZTF J190132.9+145808.7 (以下 ZTF J1901+14) は ZTF で同定された質量 $1.327\text{--}1.365 M_{\odot}$ 、自転周期 416 s の白色矮星であり、白色矮星-白色矮星合体で生まれた白色矮星の候補である。しかし、未だサンプルは極めて限られており、可視光探査以外の手法も待たれている。

我々は、早い自転周期と強磁場から、このような白色矮星が中性子星パルサーと同様の起電力を持つ可能性に着目した。連星白色矮星 AE Aqr (Terada et al. 2008) や AR Sco (Buckley et al. 2017) では白色矮星磁気圏からの非熱的 X 線放射が検出されており「白色矮星パルサー」として注目されている。同様の現象が単独白色矮星でも発見されれば、白色矮星-白色矮星合体候補天体探査の新たな手段となり得る。

我々は ZTF J1091+14 を X 線衛星 Chandra で 39 ks 観測し、天体の位置から 3.5σ の有意度で X 線を検出した。磁気双極子を仮定した本天体のスピンドウンエネルギーと比較すると、X 線への変換効率は 0.05–3% 程度であることが分かった。発表では中性子星パルサーとの比較も行い、この白色矮星の磁気圏についても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W35a 強磁場激変星 GK Per の 2023 年のアウトバースト中の X 線・可視光同時観測

木邑真理子 (金沢大学)、岩切渉 (千葉大学)、林多佳由 (NASA's GSFC & UMBC)、和田有希 (大阪大学)、酒向重行 (東京大学)

GK Per は、 10^{5-6} G 程度の磁場を持つ白色矮星と低質量星からなる近接連星系で、1901 年に新星爆発を起こしたのち、数年おきに矮新星アウトバーストを起こすようになった天体である。白色矮星の周囲には降着円盤が形成されており、アウトバーストの原因は、水素の部分電離に伴う降着円盤の熱不安定であると考えられている (Kim et al. 1992)。降着円盤は主に可視光で観測され、円盤内縁からの降着ガスが白色矮星の磁気線に沿って自由落下する際の衝撃波加熱により、白色矮星表面に根付いた高温プラズマである降着柱から X 線が放射される。

私達は、この天体の 2023 年のアウトバースト中、X 線望遠鏡 NICER と NuSTAR 衛星による X 線観測と Tomo-e Gozen による可視光高速観測を行った。アウトバースト終了間際の広帯域の X 線スペクトルからは、白色矮星表面からの ~ 60 eV の黒体放射成分と、降着柱由来の最高温度 ~ 50 keV の制動放射するプラズマ成分が検出された。また、周期解析の結果、X 線ライトカーブから 330 秒と白色矮星の自転周期である 351 秒の周期信号、可視光ライトカーブから ~ 5700 秒の準周期的信号を発見した。X 線と可視光の完全同時ライトカーブの相関は弱く、X 線と可視光の変動の起源は異なる可能性が高い。X 線の 2 つの周期信号の振幅のエネルギー依存性を調べたところ、高エネルギー側ほど小さく、視線方向に対して X 線放射領域を隠す、円盤内縁付近のガス塊や密度の高い降着ガスなどの吸収体の存在を示唆していることが分かった。 ~ 5700 秒の周期は 330 秒と 351 秒の会合周期であり、白色矮星や歪んだ構造を持つ円盤内縁部からの放射による降着円盤の照射効果の周期変化を反映していると考えられる。本講演では、これらの観測結果を紹介し、X 線と可視光の周期信号の起源について考察する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W36a Disk wind models reproduce the optical spectra of a dwarf nova V455 And

Y. Tambo (Kyoto Univ. / Univ. of Southampton), C. Knigge (Univ. of Southampton), K. S. Long (Space Telescope Science Institute), J. H. Matthews (Univ. of Oxford), and PYTHON team

Cataclysmic variables (CVs) are an accreting white dwarf system in a close binary. The high-state CVs, namely nova-like (NL) stars and dwarf novae (DNe) in outbursts show P-Cygni profiles in their UV spectra, which are interpreted as a bi-conical disk wind with the typical wind mass-loss to disk accretion rate ratio of $\leq 10\%$. Recently, for the first time, Tambo et al. (2022) discovered the strong but single-peaked Balmer and He II 4686 emission lines during the outburst of an eclipsing DN V455 And. They discussed that an accretion disk cannot produce such an emission profile, but the most promising origin is disk winds.

In this talk, we present our spectral synthesis calculations using the Monte Carlo radiative transfer and ionization simulation code PYTHON (Long & Knigge 2002). Our calculations with the disk wind models implemented from the UV and optical spectra of NLs, however, cannot reproduce the optical spectra of V455 And around the outburst maximum. Instead, more optically-thick disk winds with either (1) the wind mass-loss to accretion rate ratio of 40%, or (2) a clumpy wind structure similar to stellar winds, are required to achieve the emission line fluxes and profiles of the observed spectra. Moreover, the simulated spectra using the V455 And wind models but for lower-inclination cases show the UV and optical spectra resembling NLs with clear wind features, suggesting that such optically-thick winds are not unique to the DN V455 And but may also exist in, at least, some NLs.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W37a X線天文衛星「すざく」を用いた古典新星 V603 Aql のスペクトル解析

黒川音彩, 山内茂雄 (奈良女子大学理)

古典新星とは、白色矮星が恒星と近接して連星系になっている激変星の一種であり、中でも新星爆発が一度観測されたものを指す。この爆発は、伴星の持つ水素ガスが白色矮星の表面に降り積もり、水素の熱核融合反応によって生じる爆発現象である。爆発後も伴星からの水素の供給は続く。このような降着過程や降着量の変化によって、この種の天体は観測した時期によって物理状態が変わることが報告されている。V603 Aql はそのような天体の一つである。

V603 Aql は、あすか衛星のデータを用いた研究が行われている (Baskill, et al., 2005, MNRAS, 357, 626)。光学的状態は新星型変光星の High State として解釈されている。過去観測においてライトカーブの周期的な変動が見られるとの報告 (Udalski A., Schwarzenberg-Czerny A., 1989, Acta Astron., 39, 125) もあるが、あすか衛星のライトカーブではその様な根拠はないと結論づけている。X線放射過程の物理モデルの再現では、多温度プラズマモデル (cevmkl) をベストフィットとしているが、その際に最大温度は物理的な解釈ができる範囲として 20 keV に固定していた。

本研究では、すざく衛星の観測データの解析を行った。すざく衛星のライトカーブには周期的、長期的変動は見られなかった。先行研究を参考にして単一温度、二温度、多温度プラズマのモデルを用いて解析を行ったところ、多温度モデルでよく再現できることがわかった。今回のデータでは最大温度は 20.9 keV と求めることができた。またフラックスから算出した光度はあすか衛星による観測時期の約 1/3 であった。

本講演では、解析で求められた値をもとに先行研究との比較と物理状態の考察の結果を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W38a 矮新星静穏時における X線放射プラズマの空間分布の解明および X線放射スペクトルモデルの構築

武尾舞, 寺田幸功 (埼玉大学), 林多佳由 (NASA's GSFC/UMBC), 石田学, 前田良知 (宇宙研)

矮新星とは激変星の一種であり、白色矮星と晩期型星からなる連星系である。我々はその矮新星における X線放射プラズマの空間分布の解明および X線放射スペクトルモデルの構築を進めている。矮新星静穏時には、硬 X線は白色矮星と降着円盤の間に形成される光学的に薄い「境界層」と呼ばれる部分から放射されると考えられている。しかしながら、矮新星は磁場が弱く、降着流は円盤の高さ方向まで考慮すれば三次元問題となるため、様々な推測がされ、未だにその構造は明らかにされていない。

これまでの研究で我々は、代表的な矮新星である U Gem (Takeo et al. 2021a) と SS Cyg (Takeo et al. 2021b) に加え、V893 Sco, Z Cam の計 4 天体に対して、X線天文衛星「すざく」のデータを用い、境界層からの X線が白色矮星表面や円盤に反射される様子をシミュレートすることで境界層回りの幾何学構造を推定する研究を行ってきた。その結果、可視光の静穏時では、光学的に厚い円盤が白色矮星表面に到達する前に途切れていて、その内縁でプラズマが急加熱されて鉄の K 殻が電離されるほどの高温まで上がっていることを発見した (2022 年秋季年会 W19a)。現在は、これを境界条件として境界層からの X線放射スペクトルモデルの構築に取り組んでいる。一方で、境界層プラズマのパラメータと連星系基本パラメータである密度、質量輸送率、軌道周期との相関についても調査を行った。その結果、統計的な制約はあるものの、質量輸送率と密度が大きいほど、また、軌道周期が長いほど、円盤内縁半径が白色矮星表面に近い傾向にあることが示された。本発表ではこれらの研究の進捗報告および結果を詳述し議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X01a 光電離モデルによる Ultra-Strong Mg II absorber の起源の解明

白澤稜太 (信州大学)、三澤透 (信州大学)

星間・銀河間空間に漂う希薄なガス (星間物質、銀河間物質) は、背後にあるクエーサーのスペクトル上に吸収線として検出することで、その詳細な性質を調査することができる。吸収線の形状は、これら希薄なガス (以下、吸収体) に含まれる原子・イオンの柱密度やガス温度に依存するため、モデルとの比較によって吸収体が持つ物理量の評価が可能である。さまざまな原子・イオンによる吸収線が検出されているが、なかでも等価幅が非常に大きい一階電離マグネシウムの吸収線 ($W_r(2796) > 3\text{\AA}$) は Ultra-Strong Mg II (以下、US-Mg II) 吸収線と呼ばれ、その起源はいまだに明らかになっていない。この要因としては、US-Mg II 吸収線は複数の Mg II 吸収線が視線方向に重なり合った構造を持つことから、吸収線の内部構造がほとんど失われてしまい、信頼度の高い吸収線フィットが出来ないことが挙げられる。そのような状況において、先行研究では主に背景クエーサーフィールドの撮像観測をベースとしたホスト銀河探しが行われてきた。例えば、スターバースト銀河からのガスアウトフロー (Nestor et al. 2011) や、クエーサー視線上に存在する銀河群 (Gauthier et al. 2013) などがその候補天体として挙げられている。

そこで我々は、吸収線そのものを解析することで US-Mg II 吸収線の起源の解明を試みた。US-Mg II 吸収線を持つクエーサー SDSS J014717.77+125808 に対して 3 種類のアーカイブデータ (SDSS, HST/STIS, VLT/UVES) からスペクトルを収集し、モデルフィットが可能な吸収線の「端」にある吸収構造を対象とした物理量評価を行った。具体的には、US-Mg II 吸収体の諸性質 (金属量、電離パラメータ、ガス密度、ガス温度、乱流の大きさなど) を Cloudy を用いた光電離モデルを適用することで評価し、その起源の解明を試みた。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X02a 超巨大ブラックホールの超エディントン降着成長における熱伝導の効果

川中宣太 (国立天文台 / 東京都立大学), 郡和範 (高エネルギー加速器研究機構 / 総研大 / Kavli IPMU)

高赤方偏移のクエーサーの観測から、ビッグバンの後 10 億年以内の宇宙に既に 10^9 太陽質量程度の超巨大ブラックホールが存在していることが明らかになっており、その形成過程は天文学の大きな謎となっている。一つの有力な仮説は大質量星の重力崩壊や水素原子ガスの直接崩壊 (direct collapse) によって形成された大きめの種ブラックホール ($\sim 10^{2-5}$ 太陽質量) がエディントン限界を超えるガス降着によって成長する、というものだが、このとき必ずガス降着に伴って強い放射が生じ、周囲のガスを加熱することによって降着率が抑制される可能性がある。これまでには、降着するガスが幾何学的に厚い円盤を形成するため、放射が非等方になり放射による加熱が効かない領域が存在するために高い降着率が維持されるだろう、というシナリオが放射流体シミュレーションによって検討されてきたが、これらの研究では動径方向に伝播する放射による加熱のみが考慮されており、非動径方向の熱の伝播は無視されていた。本研究では非動径方向の効果の中でも熱伝導の効果に着目し、非等方放射によって作られた温度の非等方性が熱伝導によってならされ、超エディントン降着が阻害される可能性について考察した。また、この効果を考慮した上で、種ブラックホールへの超エディントン降着が実現する新たな条件を提示した。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X03a Investigations on the merger-AGN connection within the HSC-SSP

Kiyoaki Christopher Omori (Nagoya University), Tsutomu T. Takeuchi (Nagoya University, Institute of Statistical Mathematics), Connor Bottrell (Kavli IPMU), Andy Goulding (Princeton University), Mike Walmsley (The University of Manchester), Hassen Yusuf (Kavli IPMU), John Silverman (Kavli IPMU), Xuheng Ding (Kavli IPMU)

Galaxy interactions and mergers are a fundamental process in the context of galaxy evolution, as they are considered to be connected to many processes related to galaxy evolution. One of such processes is active galactic nuclei (AGN) activity. When two galaxies interact and merge, gas inflows towards the central regions of the galaxies, which triggers accretion on to supermassive black holes and subsequent AGN ignition. However, quantitative conclusions on the significance of merger activity on triggering AGN activity are difficult to make, and previous studies have had conflicting results. In this work, we identify mergers and AGNs in HSC-SSP observations and investigate the relationship between mergers and AGNs. Mergers are identified using a machine learning framework, where a model pretrained on galaxy images (Zoobot, Walmsley et al. 2023) is fine-tuned using observation realistic synthetic images from the TNG simulations (Bottrell et al. 2023), and then used to make merger predictions on HSC observations (Omori et al. 2023). AGNs are identified based on the results of the full spectral fitting code PROSPECT (Robotham et al. 2020). We present the connections we find between mergers and AGNs, such as merger incidence among AGN hosts and non-AGN hosts, AGN incidence among mergers and non-mergers, and other findings.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X04a スリット分光データを用いた $z \sim 4$ クエーサーにおける Ly α ハローの解析

星宏樹, 石本梨花子, 柏川伸成 (東京大学), Wanqiu He (国立天文台), 西村優里, 吉岡岳洋, 武田佳大, 有田淳也 (東京大学)

銀河の周囲のハローには普遍的に銀河周縁物質 (CGM) と呼ばれるガスが存在していると考えられている。この CGM を理解することは、銀河自身の星形成やその中心に位置するブラックホールにどのようにガスが供給されるのかを知る上で重要である。この CGM は Ly α 線と呼ばれる輝線を発しており、広がりを持った Ly α ハローとして観測される。この Ly α ハローは CGM を観測的に調べる 1 つの有効な方法となっている。通常、銀河の Ly α ハローは表面輝度が低く個別に観測できる例は限られている。一方、強い輻射場を持つクエーサーは個々の天体で Ly α 検出することができるため、これを解析することで銀河やブラックホールの進化に関するより詳細な描像を得ることが可能となる。これまでの研究では、面分光を利用する手法が取られてきたが、この手法は手間がかかることもありデータの数に限られてしまっていた。そこで我々は通常のスリット分光データを多数集めてこの Ly α ハローを検出することを着想した。これにより空間方向の情報は失われるものの、これまでよりも遥かに多くの天体を解析することが可能となる。我々は $z \sim 4$ の、比較的暗いクエーサーにこの方法を適用することにした。暗いクエーサーを扱うことで、従来の研究結果と組み合わせることによりクエーサーの光度に対する Ly α ハローの振る舞いを見ることが可能となる。本講演では、本手法の有効性、実際に適用して得られた結果を議論し、Ly α ハロー光度とクエーサーの光度の関係性から Ly α ハロー発光のメカニズムに示唆を与える。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X05a Post-Starburst Signature in Quasar Host Galaxies at $z \sim 6$

Masafusa Onoue (Kavli IPMU / KIAA), Xuheng Ding (Kavli IPMU), John Silverman (Kavli IPMU) on behalf of JWST GO #1967

The properties of quasar host galaxies in the early universe provide insight into the early growth channels of the first supermassive black holes (SMBHs). We present a spectral analysis of two quasar host galaxies at $z \sim 6$ using JWST/NIRSpec, in which strong Balmer absorption lines are detected on top of the quasar emission. These two targets were originally discovered by the wide-field Subaru HSC-SSP survey, which is sensitive to the relatively low-luminosity quasar population at high redshift. Spectroscopic decomposition of the quasar and host galaxy light is performed to extract the rest-frame optical stellar emission, and to analyze the galaxy spectral energy distributions (SEDs) by jointly fitting galaxy SED models to the observed NIRCам photometry and NIRSpec spectroscopic data. We find that the stellar populations are characterized by single starburst events approximately 250 Myr ago lasting for 150 Myr. Both galaxies are fairly massive with stellar masses $M_* \sim 10^{11} M_\odot$, indicating that they are progenitors to the massive quiescent galaxies known in the lower-redshift universe. These post-starburst quasar host galaxies are thus in contrast to the host galaxies of more luminous quasars, for which rest-FIR studies with ALMA show high star-formation rates of 100–1000 M_\odot/yr . In our presentation, we will also discuss the time evolution of the SMBH - host co-evolution, as well as ongoing JWST Cycle 2 observations for one of the targets in this study.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X06a Blue-excess dust-obscured galaxies と JWST extremely red objects の SED の相似性

登口 暁, 三澤 透 (信州大学), 井上 昭雄 (早稲田大学), 長尾 透 (愛媛大学), 鳥羽 儀樹 (国立天文台)

銀河中心の超巨大ブラックホールとその母銀河の質量比に相関が見られることから、両者は共進化してきたのではないかと考えられている。特に、クエーサーがどのように形成・進化してきたのかは現代天文学の未解決問題の一つである。近年、dust-obscured galaxies (DOGs) がクエーサー発現前の塵に覆われた活動銀河核段階の天体を含んでいると注目された。また、スペクトルエネルギー分布図 (SED) 上で可視光の短波長側で青くなっている Blue-excess DOGs (BluDOGs) と呼ばれる天体が DOGs のサンプル内で見つかった。その後の追観測でその青色超過が AGN の漏れ出し光であることが分かり、BluDOGs は塵を吹き飛ばしている段階であると示唆された。もし BluDOGs ($z=2-3$) がクエーサーの形成と進化においてクエーサーの前段階であるならば、現在知られている $z \sim 7$ クエーサーの前段階に相当する天体も存在するのではと期待されていた。

本研究では、James Webb Space Telescope (JWST) で発見された extremely red objects (JWST-EROs: little red dots と呼ばれている) の SED が BluDOGs の SED に似ていることに着目し、両者の SED の比較と物理量の比較を行った。SED の比較結果として、rest-UV におけるスペクトルがフラットになる形や rest-optical から rest-NIR にかけての赤さという点で一致する。一方で、ボロメトリック光度やブラックホール質量は BluDOGs よりも JWST-EROs の方が小さい値を示す。またエディントン比 (λ_{Edd}) において、BluDOGs は $\lambda_{\text{Edd}} \geq 1$ であるが、JWST-EROs は $\lambda_{\text{Edd}} \sim 0.2$ であった。本講演では、これらの違いに対して進化シナリオ上での解釈等について議論する。(Noboriguchi et al., ApJL, in press)

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X07a JWST/NIRSpec で検出された $z \sim 4$ broad-line AGN 候補天体の光度変動探査

小久保 充 (国立天文台), 播金 優一 (東京大学)

JWST/NIRSpec による近赤外線分光サーベイ (GLASS, ERO, CEERS, JADES) によって、 $z \gtrsim 4$ の銀河の静止系可視スペクトル中に $H\alpha$ 広輝線 ($\text{FWHM} \simeq 1,000 - 6,000 \text{ km s}^{-1}$) を示す天体が多数発見されている (e.g., Kocevski et al. 2023, Harikane et al. 2023, Greene et al. 2023)。これらの広輝線天体すべてが低光度 unobscured broad-line AGN であるとする、これまでに知られていた高光度 AGN の光度関数の外挿から期待される AGN 空間密度よりも ~ 100 倍多くの低光度 AGN が存在することになり、宇宙 X 線背景放射の観測値と矛盾することが指摘されている (Padmanabhan & Loeb 2023)。しかしながら、これらの NIRSpec 広輝線天体は、現状では $H\alpha$ 広輝線の存在のみによって broad-line AGN と同定されているため、 $H\alpha$ 広輝線を放射する別種の天体 (例えば大質量星の星風, 超新星爆発, obscured AGN の散乱光) の混入の可能性を否定できない。 $H\alpha$ 広輝線以外の AGN signature を探査し、これらの天体が真に unobscured broad-line AGN か否かを判定することが重要である。

本研究で我々は、AGN で普遍的に観測される光度変動現象に着目した。NIRSpec 広輝線天体が低光度 unobscured AGN ならば、短いタイムスケールで大きな紫外可視光度変動を示すことが期待される。JWST/NIRCam (F115W~F400W の 6 バンド) によって 2022 年 11 月と 2023 年 8 月の 2 エポック撮像観測された $z \sim 4$ の NIRSpec 広輝線天体 2 天体 (GLASS 160133, GLASS 150029) の光度変化を調査した結果、これら 2 天体においては静止系 ~ 50 日程度のタイムスケールの有意な光度変動は検出されなかった ($< 0.01 \text{ mag}$)。この結果を近傍低光度 AGN の光度変動の統計的性質と比較することで、NIRSpec 広輝線天体が低光度 unobscured broad-line AGN であるという仮説を 90% の有意水準で棄却できた。本観測から示唆される NIRSpec 広輝線天体の正体について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)X08a Evolution of a quenched galaxy at $z \sim 2$ hosting a low- λ_{Edd} AGN

田中匠 (東京大学/Kavli IPMU), 伊藤慧 (東京大学), 嶋作一大 (東京大学), 田中賢幸 (国立天文台), 尾上匡房 (Kavli IPMU), 安藤誠 (国立天文台), 柿元 拓実 (総合研究大学院大学/国立天文台), 松井思引 (東京大学)

近傍宇宙の観測より、銀河中心部の超巨大質量ブラックホール (SMBH) の質量 M_{BH} と銀河の恒星成分の速度分散 σ_* との間に強い相関があることが判明している。一般に σ_* の直接測定には非星形成銀河などを対象とした吸収線の分光観測が必須である。しかし遠方宇宙においてはターゲットの不足や観測コストの高さからサンプル数が非常に限られており、 $M_{\text{BH}} - \sigma_*$ の関係も明らかでない。本研究では、AGN を持つ非星形成銀河のサンプルを増やし、遠方宇宙における $M_{\text{BH}} - \sigma_*$ 関係を議論することを目的とした探査を行った。COSMOS2020 カタログに加え遠赤外線, X 線のカタログを合わせた SED fitting の結果により、AGN を持つ非星形成銀河を選出した。選出した銀河のうちの 1 つ ($z = 2.096$) は Keck/MOSFIRE J, H, K バンドですでに分光観測されており、本講演ではこの天体の詳細な解析結果を紹介する。MOSFIRE のアーカイブデータの解析から M_{BH} , σ_* を測定したところ、本天体は近傍宇宙における $M_{\text{BH}} - \sigma_*$ 関係とコンシステントな天体であることが判明した。また X 線でのデータも合わせて推定した Eddington 比は $\lambda_{\text{Edd}} \lesssim 0.1$ であり、SMBH の活動性が低いことを示唆している。さらに PRIMER サーベイにより取得された JWST/NIRCam 計 8 バンドでの深い画像を用いた銀河の形態解析より、HST 画像を用いた先行研究では発見されていなかった明確なディスクに加え、非常にコンパクトなバルジを持つことが示唆された。講演ではこれらの結果を踏まえながら、本天体の進化史についても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)X09a Cluster Candidates of Massive Quiescent Galaxies at $z \sim 2$

清田朋和 (京都大学), 田中賢幸, 安藤誠 (国立天文台), Alexis Finoguenov (University of Helsinki)

本研究では、 $z \sim 2$ における、星形成の穏やかな大質量銀河 (massive quiescent galaxies) が支配的な銀河団候補の発見について報告する。近傍宇宙において、星形成の穏やかな赤い銀河は銀河団のような高密度領域に、星形成が活発な銀河はフィールドに多く分布しており、銀河の「住み分け」として知られている。この住み分けがどのように発生し、進化してきたかを理解することは、quenching のメカニズムや銀河形成における環境効果の役割を議論する上で重要である。

そこで、我々は、いつから環境効果が働き始めたのかを理解するために高赤方偏移の銀河団に注目した。現時点で発見された $z > 2$ に存在する十分成長した銀河団は数が限られている。そこで、HSC-SSP とその他 survey の u -band から K -band 多波長データ (u2k catalog) を用い、遠方銀河団サンプルを増やすことを通して、銀河形成や環境効果の理解にアプローチした。我々は、u2k catalog から赤方偏移や星質量、星形成率を推定し、大質量銀河の高密度領域を探査した。その結果、SXDS+XMM-LSS 領域で、 $z \sim 2$ の massive quiescent galaxies が支配的な銀河団候補を 7 つ確認した。これら候補のメンバー銀河は、半径 0.5 Mpc 以内の領域に密集し、赤方偏移も近い。さらに、色等級図で明らかな red sequence が見られる。また、候補の 1 つは、XMM-SERVS データから広がった X 線も検出されている。このような特徴は、成長した近傍銀河団でも見られるものであり、今回発見した $z \sim 2$ の銀河団候補が十分に成長の進んだ銀河団である可能性と、この赤方偏移において既に住み分けが存在していたことを示唆する。本講演では、銀河団候補の詳しい性質と、今後の展望について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

X10b RIOJA:赤方偏移 7.9 の原始銀河団コア領域にある銀河の輝線比診断

大曾根渉, 橋本拓也, 馬渡健, 碓氷光崇 (筑波大学), 井上昭雄, 菅原悠馬, Yi Ren (早稲田大学), 札本佳伸 (千葉大学), 田村陽一, 萩本将都 (名古屋大学), 橋ヶ谷武志 (京都大学), Tom Bakx (チャルマース工科大学), 仲里佑利奈, 吉田直紀 (東京大学), 松尾宏 (国立天文台), J. Álvarez-Márques, L. Corina (El Centro de Astrobiología) 他 RIOJA グループ

宇宙再電離期の原始銀河団の研究は、銀河進化を理解する上で重要である。我々は JWST の NIRSpect/IFS (面分光モード) を用いて、最遠方の原始銀河団の一つである A2744-z7p9OD のコア領域を観測した。Hashimoto et al. (2023) では、同領域において赤方偏移 $z = 7.9$ にある 4 つの銀河を [O III] $\lambda\lambda 4960, 5008\text{\AA}$ 輝線を用いて同定したことが報告された。また、同論文では JWST と ALMA の多波長データを組み合わせることで、銀河の環境効果が働いていることを示唆している。本研究では、[O III] 輝線に加えて、新たに [O II] $\lambda\lambda 3727, 3730\text{\AA}$ と $H\beta$ の情報を用いて、3 つの天体の輝線比 $O32 = \log([\text{OIII}]\lambda 5008\text{\AA}/[\text{OII}]\lambda\lambda 3727, 3730\text{\AA})$ と $R23 = \log([\text{OIII}]\lambda\lambda 4960, 5008\text{\AA} + [\text{OII}]\lambda\lambda 3727, 3730\text{\AA})/H\beta$ を求めた。なお、輝線比の計算においては、ダスト減光も考慮している。結果、 $R23 \geq 0.56$, $O32 \sim 0.15 - 0.21$ となり、同じ時代にある典型的な天体と比較して $R23$ は無矛盾な結果が得られた一方で、 $O32$ は 5 分の 1 程度の値を取ることが明らかになった。これは $z = 2$ の典型的なライマンブレイク銀河と同程度であり興味深い。また、[O II] の輝線比から電子密度 (n_e) を測定したところ、 $n_e \sim 1000 \text{ cm}^{-3}$ と、典型的な高赤方偏移の銀河と無矛盾な結果が得られた。本講演では、これらの星間媒質の性質を原始銀河団における銀河進化に関連づけて議論する予定である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X11b eROSITA で迫る dust-obscured galaxies (DOGs) の X 線の統計的性質

登口 暁 (信州大学), 市川 幸平 (早稲田大学), eROSITA DE HSC-SSP AGN working group

これまで銀河中心の超巨大ブラックホールとその母銀河の質量比に相関があることから共進化してきたのではないかと考えられてきている。特に、クェーサーがどのようにして形成・進化してきたのかは現代天文学の未解決問題の一つである。近年、dust-obscured galaxies (DOGs) がクェーサー発現前の塵に覆われた活動銀河核段階の天体を含んでいると注目された。さらに、DOGs サンプル内で発見された可視光の短波長側で青くなっている blue-excess DOGs (BluDOGs) は追観測でその青色超過が AGN の漏れ出し光であることが分かり、塵を今まさに吹き飛ばしている段階であると示唆された。これら DOGs に対して、これまでに幾つかの X 線追観測は存在するが、狭い範囲を深く観測したサンプルであり、統計的議論が難しかった。

本研究では eROSITA 望遠鏡の eFEDS サンプルを用いることで、探査面積 60 deg^2 の広視野 X 線データを元に DOGs の X 線における統計的性質の調査を行った。まず、eFEDS の探査領域内の DOGs を選出し 5738 天体発見した。また、eFEDS データと DOGs のクロスマッチから 65 天体の eFEDS-DOGs を見つけることができた。X 線解析結果カタログより eFEDS-DOGs の水素柱密度 (N_{H}) が 10^{23} cm^{-2} より小さいことがわかっており、過去に発見された DOGs が $N_{\text{H}} \geq 10^{23} \text{ cm}^{-2}$ であることから非常にレアなサンプルであることがわかった。一方で、eROSITA で検出できなかった DOGs の内、X 線光度を赤外線光度から見積もれた 814 天体はほぼ全てが $N_{\text{H}} \geq 10^{23} \text{ cm}^{-2}$ である可能性が示唆された。さらに、eFEDS-DOGs サンプルの中に low- z BluDOGs 候補天体を見つけることができ、最近見つかった high- z BluDOGs と合わせて赤方偏移によらず BluDOG が存在している可能性を示唆した。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X12b JWST データを用いた遠方の Quiescent 銀河の統計的性質

北川陽斗 (東京大学), 新井涼夏 (早稲田大学), 田中賢幸 (国立天文台), 伊藤慧 (東京大学), 柿元拓実 (総合研究大学院大学)

近傍の宇宙には星形成をしない大質量楕円銀河が多くあるが、これらの銀河は宇宙初期で爆発的星形成を経験した直後、何らかの理由で星形成をやめ、現在に至ると考えられている。その星形成を止める原因を解明するため、過去に遡り、星形成が止まったばかりと考えられる銀河を調べた。赤外線観測できる JWST は高赤方偏移の銀河の観測に非常に適している。また、高い角度分解能をもつため近接する銀河を区別でき、小さい物理スケールでの環境効果の議論が初めて可能になった。

本研究では、JWST の NIRCам データを用いて $z > 2$, $M_* > 10^{10} M_{\odot}$ の遠方の大質量銀河を調べた。CEERS、PRIMER 領域の銀河カタログ (Valentino et al. 2023) から UVJ 図を用いて星形成を止めた銀河 (Quiescent Galaxy, QG) を選択し、見つかった QG の性質を統計的に調べた。過去に分光同定されたものは数天体しかない $4 < z < 5$ の QG が本研究では 13 個見つかった。また、過去に一度爆発的に星生成を行ったという星生成史を仮定し、星生成が行われた時期を推定したところ、 $4 < z < 5$ の QG は $z > 6$ で形成されたことがわかった。さらに、 $z > 2$ では QG は星形成銀河と比べてすぐ近くに隣の銀河を持つ割合が高く、 $10''$ 以内に他の銀河がいる確率が $35\% \pm 12\%$ 高かった。この結果は星形成の停止に銀河のごく周囲の環境が寄与していることを示唆している。X 線や電波の観測データを用いて活動銀河核の有無を調べ、環境効果、星形成の停止との関連性についても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X13c 宇宙の暗黒時代における IGM への銀河衝撃波の伝搬条件

照井 勇登 (防衛大学校), 釜谷 秀幸 (防衛大学校)

高赤方偏移 (High- z) に存在する重元素 (Mas-Ridas et al., 2018) の成因を解明することは、宇宙の暗黒時代における構造形成に密接に関係していると考えられる。具体的には、高赤方偏移に存在する初期銀河の中心部における多数の超新星爆発により発生した銀河衝撃波 (Sofue, 1994) により、重元素を含む銀河内のバリオンが銀河外に流出し、IGM 中の重元素となったと考える。よって、本研究の目的は、高赤方偏移での銀河衝撃波の伝搬の様相を明らかにすることである。初期銀河は近傍宇宙 (Low- z) に存在する極金属欠乏銀河 (Extremely Metal Poor Galaxy, EMPG) に類似していたと考えられる。即ち、EMPG は Low- z 及び High- z の両方に存在することが期待される。よって、1つ目の研究テーマとして、銀河衝撃波の伝搬距離に対する赤方偏移の影響を調べるため、EMPG が Low- z と High- z に存在した場合について、EMPG 中の超新星爆発により発生した銀河衝撃波の伝搬距離を比較した。その結果、High- z の方が銀河衝撃波がより遠方まで伝搬することが確認できた。これは一般的に High- z では Low- z と比較して銀河の星形成率 (SFR) が大きい傾向にある (e.g. Kashino et al., 2013) が原因であると考えられる。また、2つ目の研究テーマとして、銀河星質量 M_* 及び銀河半径 r_e を固定して、SFR (超新星爆発のエネルギーと同義) を変化させ、銀河衝撃波が銀河を飛び出し IGM まで到達するための SFR 値の条件 (critical SFR) を求めると、銀河質量に対する critical SFR の関係は赤方偏移によってほぼ変化しないことがわかった。以上の2つの結果により、高赤方偏移では銀河の SFR が critical SFR を越えやすく、銀河衝撃波はより容易に IGM まで伝搬すると考えられる。これは、銀河衝撃波により重元素を含む銀河内のバリオンが銀河外に流出し、IGM 中に重元素が存在する原因となった、という予測を支持するものである。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)X14a $z = 2.4$ 53W002 原始銀河団領域の近赤外線分光フォローアップと撮像追観測

米倉直紀, 鍛冶澤賢 (愛媛大学), 馬渡健 (筑波大学), 山田亨 (JAXA/ISAS)

銀河団で見られる大質量早期型銀河の形成と進化を理解するには、銀河団の祖先である原始銀河団を調査することが重要になる。しかし、原始銀河団は小質量の星形成銀河である Ly α 輝線銀河 (LAE) によって発見されることが多い。そのため、発見された原始銀河団により大きい質量を持つ銀河が存在するのかが探査例が少なくよくわかっていない。これまで我々は $z = 2.39$ にある LAE の大規模構造が発見されている 53W002 原始銀河団に注目し、可視-近赤外線撮像データから LAE 大規模構造の中心部において大質量銀河の密度超過を発見した (米倉他, 日本天文学会 2021 年秋季年会)。しかし現状の撮像データのみでは、どの銀河が原始銀河団に付随しているのか、LAE 構造の中心部以外でも大質量銀河が形成されているのかは明らかにできていない。そこですばる望遠鏡 MOIRCS を用いて、大質量銀河候補天体の近赤外線分光観測と探査領域拡張のための撮像追観測を行った。

分光観測の結果、 $z = 2.397$ の H β と [OIII] 輝線を持つ銀河を 1 天体発見した。この天体は $\log([\text{OIII}]/\text{H}\beta) = 0.68$ という高い輝線比を持っており、MOSFIRE 大規模分光サーベイの天体の輝線比と比較すると活動銀河核を持つ可能性が高いことが分かった。一方で、 $z \sim 2.59$ の [OII] 輝線を示す銀河が 4 天体見つかった。これらの天体は LAE 個数密度の低い領域に密集しており、この領域の密度超過には $z \sim 2.59$ の構造が影響していることが分かった。また、撮像追観測のデータから Balmer/4000Å break に基づく色選択と SED fitting 解析を行い、新たな大質量銀河候補天体を探査した。その結果、LAE の構造に沿うようにして、大質量 ($M_* \sim 10^{11} M_\odot$) で低い比星形成率 ($s\text{SFR} < 10^{-11}/\text{yr}$) を持つ銀河が密集した構造を新たに発見した。この結果は、LAE 大規模構造の中心部分だけでなく、全域にわたって大質量銀河が形成されていることを示している。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

X15a JWST and ALMA discern the assembly of structural and obscured components in a high-redshift starburst galaxy

Zhaoxuan Liu (UTokyo/Kavli IPMU), John Silverman (UTokyo/Kavli IPMU), Emanuele Daddi (CEA-Saclay), Annagrazia Puglisi (USouthampton), Alvio Renzini (INAF), Boris Kalita (Kavli IPMU/KIAA), Daichi Kashino (NAOJ), Wiphu Rujopakarn (NARIT), Tomoko Suzuki (Kavli IPMU), Takumi Tanaka (UTokyo/Kavli IPMU) and COSMOS-Web Team

We present observations of the starburst PACS-819 at $z = 1.45$ ($M_* = 10^{10.7} M_\odot$), using high-resolution ($0''.1$) ALMA and JWST images from COSMOS-Web. Contrary to HST images in the rest-frame UV, NIR-Cam and MIRI images show a central mass concentration and spiral features, unusual for intense starbursts. Dynamical modeling of the CO (5–4) emission with ALMA suggests PACS-819 is rotation-dominated, with a disk-like nature. However, kinematic anomalies in CO and asymmetric features in bluer bands hint at a disturbed nature, likely from interactions. JWST imaging allows mapping of stellar mass and dust attenuation, clarifying the relationships between structural components, not discernible in HST images. The CO (5–4) and FIR dust continuum emissions coincide with a heavily-obscured starbursting core (~ 1 kpc), encircled by less obscured star-forming structures, including an arc and a clump, indicative of disk instability or a recent satellite accretion. These observations shed light on the complex nature of distant universe starbursts, demonstrating the value of high-resolution observations with ALMA and JWST.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

X16a Abundance of compact [OIII] emission-line regions (Green Beans) in $H\alpha$ emitters at $z \sim 2.3$ with JWST JADES Observations

Nuo Chen (University of Tokyo), Kentaro Motohara (NAOJ, University of Tokyo)

We present a rest-frame optical morphological studies of 111 $H\alpha$ emitters (HAEs) at $z = 2.1 - 2.5$ in the ZFOURGE-CDFS field from JADES JWST/NIRCam imaging. The ultra-deep, high-resolution, NIRCam data enable us to take a first look at the emission-line morphology of HAEs from $10^8 M_\odot$ to $10^{10} M_\odot$. We make an emission-line map of each HAEs from flux excess in the F150W filter, and discover a large population of compact [OIII] emission-line regions (“Green beans”), which are similar to the so-called “Green Pea” galaxies in the local universe. We have identified 186 Green beans with $EW_{[\text{OIII}]} > 300\text{\AA}$ from 96 HAEs and 15 of the green beans have extremely large $EW_{[\text{OIII}]} > 1000\text{\AA}$. We investigate the physical properties relationship between these beans and their host galaxies, such as the stellar mass (M_*), star formation rate (SFR). Furthermore, we find most of the locations of these “Green beans” are consistent with the galaxy clumps. Combining these new results, we speculate these “Green beans” as a common feature of star-burst regions in high redshift universe and may be the origin of ionized bubbles during cosmic reionization or the progenitor of global clusters in the local universe.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X17a Application of machine learning to the spatially resolved SFR–Mass relation

Wen E. SHI (1), Tsutomu T. TAKEUCHI (1,2), Kiyooki OMORI (1)
(1) Nagoya University; (2) Institute for Statistical Mathematics

Recent studies have shown that the star formation rate (SFR) surface density traces the stellar mass surface density in kpc scales, giving the Kennicutt-Schmidt (K-S) law (Kennicutt Jr, 1989). This resolved relation indicates the connection between the global star formation main sequence (SFMS) and the local star formation process. However, a united explanation combining both theory and observation is still waiting to be established.

We made an extensive analysis of the SFMS based on the DustPedia database (Davies et al., 2017). We provide a new division method to define the “spaxels” (meaning space-pixel) in the 2D galaxy band maps, each with 1kpc interval, to represent the relative position of the spaxel inside the galaxy. We study the SFR, mass, and band data variance in every spaxel with respect to their galactocentric radius. This agrees with the “inside-out quenching” scenario for galaxy formation and evolution in the previous studies.

We identify the star-forming regions with various methods and compare the results with other papers. Based on the results, we will discuss the quenching process and star formation mechanism for these galaxies.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X18a Combining neural networks and galaxy light subtraction for discovering strong lenses in HSC

石田侑一郎 (九州大学), Kenneth Wong (東京大学)

Galaxy-scale strong gravitational lenses are valuable objects for a variety of astrophysical and cosmological applications, including studies of the mass structure of galaxies, the properties of dark matter, high-resolution studies of distant sources, and the measurement of cosmological parameters. However, strong lensing galaxies are rare, requiring a chance alignment of a foreground galaxy with a bright background object. As a result, the best datasets for discovering strong lenses are deep, wide-field, multiband imaging surveys that cover a large area of the sky. Therefore, efficient methods are needed to search for strong lenses in these large datasets, such as convolutional neural networks (CNNs). We develop a new supervised neural networks by subtracting the lensing galaxy light from both the training and test datasets. We use the data from Hyper Suprime-Cam Subaru Strategic Program (HSC-SSP) as our training dataset and test dataset. By subtracting the lensing galaxy, the goal is to highlight the lensed source compared to the original imaging data. We also apply the subtraction to non-lenses in order to make the conditions the same. Here, We present the detail of our light subtraction procedure and our networks, and compare their results.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X19a 球状星団形成期の星の暴走的合体による超大質量星形成と周囲のガスの汚染

藤井通子, 谷川衝 (東京大学), Long Wang (中山大学), 斎藤貴之 (神戸大学), 平居悠 (ノートルダム大学, 東北大学)

球状星団は、約 $10^6 M_{\odot}$ 以上の星が数 pc 以内で形成してできたと考えられている。このような大質量星団形成シミュレーションでは、複数の星を 1 粒子として扱う手法が用いられてきた。我々がこれまでに開発した N 体/流体計算コード「ASURA + BRIDGE」では、 $10^5 M_{\odot}$ を超える星団を星一つ一つ分解し、重力ソフトニングなしに計算することができる。このような手法によって初めて、分子雲の中で形成する星団における星の衝突合体を取り扱うことができるようになった (2023 年秋季年会 P124a)。このような大質量かつ高密度な星団では、星団形成の途中から星同士の合体が立て続けに起こる「暴走的合体」が起こり、その結果、形成する星団の星の質量のおよそ 3% が超大質量星に合体することがわかった。つまり、 $10^6 M_{\odot}$ に近い球状星団では $10^4 M_{\odot}$ を超える超大質量星が星団内に形成する。

このような超大質量星は、数千太陽質量のガスを恒星風によって失うことで周囲のガスを汚染し、最終的には数 $10^3 M_{\odot}$ の中質量ブラックホールになると考えられている。超大質量星による周囲のガスの汚染は、球状星団の multiple population の起源の有力候補の一つである。また、最近では、N-rich な原始銀河 GN-z11 でも、超大質量星による汚染が候補として考えられている。本研究では、シミュレーション中に、超大質量星からの質量損失、周囲のガスとの混合を扱っている。超大質量星の星風の Yield には不定性があるが、超大質量星による汚染によって、GN-z11 や一部の球状星団に見られる N-rich な元素組成が再現できる可能性がある。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X20a 銀河中心ブラックホール近傍における共鳴緩和 III

船渡陽子 (東京大学)

銀河中心には SgrA* という超巨大ブラックホール (SMBH) がある。近年の観測により、SMBH まわりの S stars と呼ばれる星の様子やそれを取り巻く核星系の構造がわかってきた (e.g. Gravity Collaboration, *A&A*, 636, L5, 2020)。

理論的には銀河中心のような SMBH を含む高密度核星系では共鳴緩和 (resonant relaxation、以下 RR と略) と呼ばれる力学的な緩和がおこると予想されている (Rauch et al, *NewA*, 1, 149, 1996)。我々は中心に支配的な重力源となる天体がある系に特化した N 体計算コード GPLUM (Ishigaki et al., *PASJ*, 73, 660, 2021) を用いて、SMBH まわりの星系の力学進化を調べ銀河中心においておこる RR について調べている。

今まではブラックホールからの相対論的重力は考慮しない N 体計算を行ってきたが、今回、それも考慮したシミュレーションを行ったのでその結果を報告する。

S2 の場合、相対論的な近点移動の大きさは RR によるそれと同程度か大きく、RR による移動量との区別が難しいことがわかった。しかし RR による移動が確率的な現象であるのに対し相対論的な移動は確定的である。そのため S2 のみでなく、他の星の観測データも加わってくると、RR による移動の大きさを推定できる可能性がある。年会ではその方法についても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X21a 恒星の高精度化学組成から解明する銀河系ハローの恒星種族

松野允郁 (Universität Heidelberg), Anish Amarsi (Uppsala University), Amina Helmi, Emma Dodd (University of Groningen), 青木和光, 石垣美歩 (国立天文台) 他

本講演では、精密かつ正確な恒星の化学組成の測定が銀河系の恒星種族の理解に不可欠であることを示し、銀河系ハローの起源の異なる複数の恒星種族の性質について議論する。Gaia 衛星の観測によって、多数の恒星の動力学的性質の解析が可能となり、銀河系ハローに動力学的な副構造が複数存在することが明らかになってきた。こうした副構造は過去に銀河系に降着してきた矮小銀河の存在を反映しているものとされるが、副構造それぞれが単一の降着矮小銀河に対応するかは明らかでない。我々は高分散分光観測に基づいて、副構造に属する恒星の化学組成を高精度で測定してきた。その結果、最も顕著な副構造である Gaia Enceladus に比べ、Sequoia や Helmi streams といったやや小規模な副構造はマグネシウム/鉄比が低いことがわかった。この結果は Sequoia や Helmi Streams は Gaia Enceladus とは別のより小さな降着矮小銀河に対応することを示唆する。我々はまた、三次元恒星大気モデルにおいて局所熱平衡を仮定せずに計算した吸収線強度を、一次元恒星大気モデル・局所熱平衡の仮定のもと計算した値と比べることで、一次元・局所熱平衡の仮定下で導かれたマグネシウム組成に与えるべき補正を得た。この補正を、先行研究で報告されたハロー星のマグネシウム組成に適用することで、より正確かつ精密なマグネシウム組成を得ることに成功した。その結果、これまで降着銀河起源とひとくりにされていた恒星の中に、他の恒星よりややマグネシウム組成の高い恒星種族が存在することが明らかになった。動力学的性質および化学組成から、新しく見つかった恒星種族が形成初期の銀河系の薄い円盤で形成された可能性が示唆される。本研究を拡張することで、将来的に銀河系の薄い円盤の形成時期に制限を与えることが期待される。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X22a すばる/HSC の広視野撮像データで探る Ursa Minor dSph の形成メカニズム

佐藤恭輔 (法政大学/国立天文台), 小宮山裕 (法政大学), 岡本桜子 (国立天文台), 田中幹人 (法政大学), 八木雅文 (国立天文台), 小上樹 (総合研究大学院大学/国立天文台)

Λ CDM によって説明される階層的構造形成シナリオにおいて、銀河系は矮小銀河などのより小さい恒星系の集合集積により形成されたと考えられている。銀河系ハローに残る矮小楕円体銀河は、低金属量星によって構成され宇宙初期の化学組成情報を保持していることがわかっており、宇宙初期に誕生した銀河の生き残りとして位置付けることができる。しかし、それらの形成メカニズムについては詳しく解明されておらず、その星形成史や化学進化史を調べることは初期宇宙において銀河がどの様にして形成されたか解き明かす手掛かりになる。

銀河系矮小楕円体銀河の 1 つである Ursa Minor dSph (UMi dSph) は近年の分光観測の結果、金属量と速度分散が異なる 2 つの恒星種族により構成されていることが分り、その形成メカニズムについて議論されている。そこで、本研究では UMi dSph に存在する異なる恒星種族の形成メカニズムの違いを探るため、独自に構築したアルゴリズムを用い、UMi dSph の色等級図からそれぞれの種族の星形成史、化学進化史を探った。

領域別に分けた星形成-化学進化史の解析の結果、半光度半径の 5 倍の領域にわたり、分光観測によって示唆された 2 つの恒星種族に対応する金属量が高い $[Fe/H] \approx -2.0$ の種族、金属量が低い $[Fe/H] \approx -2.2$ の種族を同定するに至り、それぞれの種族が同時期に星形成を開始し、 $z \sim 3$ までに形成を終えていたと考えられることがわかった。さらに、半光度半径の 2 倍よりも外側の領域において、さらに低金属量な種族を同定し、この種族が UMi dSph で存在を示唆されているハロー星に対応する可能性があることがわかった。本公演では、これらを踏まえた UMi dSph の解析結果について詳細に発表する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X23a すばる望遠鏡/Suprime-Cam, FOCAS によるかみのけ座銀河団の $H\alpha$ 光度関数 2

太田 隼, 小宮山 裕 (法政大学), 八木 雅文 (国立天文台), 田中 幹人 (法政大学)

大質量銀河ほど昔に星形成が終了したことを示唆するダウンスライジングシナリオに従うと、矮小銀河の数が大質量銀河の数を上回っている銀河団環境において、星形成している矮小銀河が銀河団全体の星形成に大きく寄与することが期待される。これは星形成の指標となる $H\alpha$ 輝線の観測から $H\alpha$ 光度関数を作成し星形成率を求めることで検証できる。本研究では、かみのけ座銀河団 (Coma cluster) を観測対象とし、すばる望遠鏡/Suprime-Cam 狭帯域フィルター (NB671) を用いた撮像観測により Coma cluster 中心部分 (0.93 Mpc² 相当) に存在する $H\alpha$ emitter 候補 817 個を検出した。また、follow-up 観測としてすばる望遠鏡/FOCAS を用いて分光観測を行った。2023 年春季年会 X48a にて、未分光の $H\alpha$ emitter 候補が Coma cluster のメンバーである確率を二色図上でそれぞれの色に応じて求め、Coma cluster 中心部分の $H\alpha$ 光度関数を、先行研究よりも約 100 倍暗い光度レベル ($L_{H\alpha} = 10^{37} \text{erg s}^{-1}$) まで推定した結果を発表した。しかし、分光された $H\alpha$ emitter 候補の中で Coma cluster のメンバーは少なかつたため、確率を適切に推定できず過小評価していた部分があったことがわかった。

そこで前回のデータに 2023 年 6 月に公開された DESI EDR の分光情報を追加するとともに、観測 (SDSS の広域データ) と理論 (BC03 を使った銀河モデル計算) の両面から二色図上での星形成銀河の分布を詳細に決定した。そして、二色図上で Coma cluster のメンバー銀河と背景銀河を分離し、Coma cluster 中心部分の $H\alpha$ 光度関数を新たに求めた。その結果、Coma cluster 中心部での星形成率は $0.2 M_{\odot} \text{yr}^{-1} \text{Mpc}^{-3}$ と推定された。また、昨年の結果と比べ $H\alpha$ 光度が暗い銀河は増えたが、先行研究よりも暗い銀河 ($L_{H\alpha} = 10^{37} \sim 10^{39} \text{erg s}^{-1}$) の星形成率の寄与は 4% 程度であり、星形成に寄与しているのは主に $M \sim 10^9 M_{\odot}$ の大質量銀河だということがわかった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X24a UniverseMachine で統一的に探る $z = 0-5$ 銀河と銀河周辺物質の化学進化

西垣萌香 (総合研究大学院大学/国立天文台), Peter Behroozi (国立天文台/アリゾナ大学), 大内正己 (国立天文台/東京大学)

銀河の星間ガス (ISM) に存在する金属の量は、宇宙のガス循環の過程を理解する上で重要な糸口となる。最近の JWST による金属量測定により、銀河の化学進化の歴史を制限することが可能になりつつある。本講演では、赤方偏移 $z \sim 5$ から $z \sim 0$ までの銀河の平均的な金属量進化を推測する新しい経験的モデルを紹介する。UniverseMachine (Behroozi+19) の枠組みに基づいたこのモデルは、 $z = 0-5$ にわたる銀河の ISM 金属量と ISM 質量の観測結果から、金属の銀河周辺物質 (CGM) への放出と ISM への再利用を定量化するパラメータ、ISM return fraction を制限する。得られたベストフィットモデルは、 $z \sim 0$ から $z \sim 2$ までに ISM return fraction が非常に強く進化することを示しており、このことは、これらの赤方偏移間で ISM 質量が 10 倍程度違うのに対して、金属量は 3 倍程度しか変わらないことと矛盾しない。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X25a 大質量星団形成における星風による金属量進化

福島肇, 矢島秀伸 (筑波大学)

JWST により赤方偏移 10 を超える銀河が発見され、その内部における星形成や星間物質の性質が徐々に明らかになりつつある (e.g., Harikane+2023)。その中で GN-z11 に代表されるような、太陽組成と比べて窒素の対酸素比が大きい銀河が数例発見されている (e.g., Bunker+23, Isobe+23)。その酸素に対する窒素の比は、形成過程が未解明である球状星団とも類似し、どのように窒素を供給するかが課題となっており、例えば Wolf-Rayet 星による星風により供給されるなどのシナリオが提唱されている (e.g., Watanabe+23)。

そこで、本研究では星風や超新星爆発による金属量 (He, C, N, O) の供給やフィードバックを考慮した星団形成についての輻射流体シミュレーションを行い、どのような星団であれば金属量進化の影響を受けるかを調べた。結果として、星風として供給された金属原子を再利用し星形成を行うためには、大質量星団の形成が必要であることが判明した。一方、このような星団の形成には、電離フィードバックにより星形成雲が容易に破壊されない必要があることを考慮すると、金属量進化の影響を受ける星団質量は $> 10^6 M_{\odot}$ となる。上記の条件を満たす場合には、金属量進化した (窒素過剰である) 第二世代星が半分程度の分布を占める星団が誕生する場合もあった。また、この星団誕生過程において、高赤方偏移銀河で発見された窒素・酸素比と同程度のガスも存在することも示し、星団形成段階との対応についても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

X26a 初代銀河のダスト進化モデルと星形成史への示唆

津名大地 (カリフォルニア工科大学、東京大学)、仲里佑利奈 (東京大学)、Tilman Hartwig (東京大学)

赤方偏移 z が 7 程度を超える遠方銀河では、ダストは主に超新星爆発によって作られると考えられている。特に初代銀河 ($z \gtrsim 10$) のダストを (静止系) 可視・紫外の減光および赤外による熱的放射の観測を通じて理解することは、宇宙初期の星形成史を探る上でも重要となる。我々は準解析的銀河形成モデルとして公開されている A-SLOTH (Ancient Stars and Local Observables by Tracing Halos) に、新たにダストの生成、成長および輻射・超新星によるフィードバックなどを実装してダスト質量の時間進化を計算する枠組みを構築した。モデル中の安定した星形成を伴う銀河における星質量-ダスト質量関係を調べたところ、ALMA でダスト再放射が検出された $z \sim 7$ の銀河と無矛盾であった。よって、 $z \sim 7$ の観測銀河は安定した星形成に伴う超新星爆発によるダスト生成・成長で説明できる。一方で JWST で観測された $z \gtrsim 10$ の銀河 (候補) では、ダスト減光率・ダスト質量ともに上記のモデルで推定されるものより 2 桁程度小さく、これを説明するには観測される 20-30 Myr 以内に爆発的星形成に伴う輻射圧でダストを銀河外に吹き飛ばす機構が必要であることが分かった。本講演では我々のモデルを発表するとともに、初代銀河の明るさについての示唆や、時間が許せば ALMA によるダスト再放射の検出制限など今後の展望についても議論する。本講演は論文 Tsuna, Nakazato, Hartwig (2023), MNRAS 526, 4801 に基づく。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

X27a 拡張ダスト放射進化モデルによる遠方銀河におけるダストクランプの解析

加納龍生 (名古屋大学)

銀河中のダストは銀河進化において主要な銀河のスペクトルエネルギー分布 (SED) や星形成効率などの物理量に大きな影響を与える。ダストと化学進化を考慮したモデル (Asano et al. 2013)(Nozawa et al. 2015)、これを用いて銀河の SED を計算するモデル (Nishida et al. 2022) は近傍銀河の観測を再現する。しかし、遠方銀河ではこれらの理論モデルよりも高い赤外線放射が観測された。本研究では、現在の SED モデルを理論的に修正し、観測された超高赤方偏移の銀河の SED を再現する。遠方銀河はコンパクトであると考えられているため、ダストの塊 (クランプ) の密度は近傍銀河のものより高くなるはずである。これまではジェーンズ長をクランプ半径としていたが、これをパラメータ化し、クランプ中のダストの数密度を高めることで観測値と同じ高いダスト放射を得ることができた。この結果は、遠方銀河は近傍銀河よりもダストの数密度が高いため、ダストの放射が多いことを示唆している。今後、高赤方偏移におけるクランプ中のダスト数密度の増加を説明するモデルとして、高頻度の超新星爆発による定式化を検討する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

X28a 高赤方偏移銀河における星団形成とその化学組成

齋藤貴之 (神戸大学)、藤井通子 (東京大学)、平居悠 (東北大学/ノートルダム大学)、磯部優樹 (東京大学)

赤方偏移 10.6 で見つかった GN-z11 は、とりわけユニークな化学組成、太陽組成の 4 倍以上という高い N/O 比 ($\log(N/O) > -0.25$)、を持つことから、その形成過程について注目されている。このような高い N/O 比はこれまで見つかった銀河とは異なるため、銀河形成初期に顕著な化学進化の特徴なのかもしれない。

我々は、特に $z \sim 10$ の銀河の化学進化の様子について調べるため、N-body/SPH 法を用いた宇宙論的 zoom-in シミュレーションを行った。このシミュレーションでは、高速回転する大質量星からの星風、超新星爆発、AGB という複数の化学進化チャンネルを考慮した。我々のシミュレーションでは、この時期の銀河はバースト的に形成された多数の星団によって構成されている。個々の星団は典型的な形成時間が 10 Myr 程度であり、星団を構成する星粒子は主に星風によって汚染されている。我々の用いている Limingi & Chieffie (2018) のイールドでは、N/O 比の高い星風が放出されるため、星形成領域の N/O が高くなり、その結果 N/O が高い値を持つ星団が形成される。この汚染は星形成領域に強くバイアスされるため、高密度ガスにのみその兆候が見られる。また、こうしてできた星団は Na-O 逆相関を示すため、それらの一部は近傍で球状星団として観測されるものに対応している可能性がある。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X29a Clustering properties of galaxies in protoclusters at the epoch of reionization

諸隈 佳菜 (東京大学)、矢島 秀伸 (筑波大学)、安部 牧人 (呉工業高等専門学校)

原始銀河団銀河の活発な星形成活動は、赤方偏移 (z) が 6 を超える宇宙再電離期において、宇宙全体の星形成率密度の 3 割以上に寄与し、宇宙再電離を駆動したと考えられている。そのため宇宙再電離期の原始銀河団は、銀河や宇宙の進化を理解する上で鍵となる天体の一つである。ジェイムズ・ウェッブ宇宙望遠鏡 (JWST) の観測により、分光同定された $z > 6$ の原始銀河団候補の数は飛躍的に増えた。しかし、各原始銀河団で分光同定されているメンバー銀河の数は大体 4-6 個程度に留まっており、宇宙再電離期の原始銀河団の性質を理解する上では、宇宙論的銀河形成シミュレーションとの比較が重要である。我々は、FOREVER22 プロジェクト (Yajima et al., 2022, MNRAS, 509, 4037) で計算された、 $z = 0$ において Coma 銀河団程度に進化する原始銀河団に所属する銀河の輻射輸送計算を行い、銀河の性質を調査した。その結果、原始銀河団環境にいる最も重い銀河の星質量は $\sim 10^{10.5} M_{\odot}$ で、星形成率は $\sim 300 M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ 程度であることがわかった。質量の大きい銀河ほどダスト減光を強く受けるため、これらの銀河は静止波長紫外線等級は -24 等から、 -22 等にまで減光される。さらに、原始銀河団を同定する際に広く使われている $\delta_{\text{gal}} (= \frac{n_{\text{gal}} - \langle n_{\text{gal}} \rangle}{\langle n_{\text{gal}} \rangle})$ 、 n_{gal} : 銀河の個数、 $\langle n_{\text{gal}} \rangle$: 平均的な環境下での銀河の個数) についても調査した。銀河の個数を数える際に使用する静止波長紫外線データの感度が良いほど、また、銀河の個数を数える領域の体積が大きいほど、 δ_{gal} は小さくなる。例えば、典型的な体積 ($\sim 3000 \text{ cMpc}^{-3}$) で、感度が -17 等の場合、 $\delta_{\text{gal}} \sim 3 - 5$ であることがわかった。これは、最近 JWST 観測で見つかった原始銀河団候補 (Helton et al., arXiv:2311.04270) と同程度であり、これらの原始銀河団は $z = 0$ で Coma 銀河団程度に進化し得ると考えられる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X30a 始原的パワースペクトルの不定性が高赤方偏移銀河形成に及ぼす影響

平野信吾 (神奈川大学)、吉田直紀 (東京大学)

James Webb Space Telescope (JWST) の初期観測データより、赤方偏移 $z > 10$ の銀河が予想以上に多いという報告がされている。複数の物理的解釈が提案されているが、本講演では宇宙初期に生成された密度揺らぎのパワースペクトル (始原的パワースペクトル; PPS) の不定性に注目する。PPS の揺らぎのうち高赤方偏移銀河のスケールに対応する部分を変化させることで、星形成効率が低い銀河形成モデルのまま JWST 観測を説明するシナリオが検討されている。以前、より小さな初代星のスケールでの PPS の影響について報告したが (日本天文学会 2014 年春季年会 P149a; Hirano et al. 2015, ApJ, 814, 18)、今回は中間スケールの揺らぎを変化させた影響を調べた。

PPS の傾斜をある波数以上で変化させるモデル ($P(k) \propto k_p^{m_s}$, $m_s > 1$) を採用した初期条件を用いた宇宙論的シミュレーションを行い、JWST で観測された高赤方偏移銀河の星質量密度を再現できるパラメータ範囲 $\{k_p, m_s\}$ を調べた。その結果、特に両方のパラメータが小さいモデル $\{k_p \sim 0.3, m_s \sim 1.2\}$ が適していることが明らかになった。この時、高赤方偏移での非線形構造形成が急速に進み、 $z = 9$ では $10^{10} M_{\odot}$ を超える銀河が形成されることわかった。またハローの合体が頻繁に発生するため、銀河・銀河団の構造はより clumpy になる。今回の PPS への変更は範囲を限定しているため、現在の大規模構造 (halo mass function 等) には影響を与えない。本講演では、パラメータ・サーベイ計算より得られた結果を紹介し、合わせて初代星形成など他の天体形成過程への影響について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X31a Finding Cosmic Beacons - Toward A Complete Census of Galaxies in the Epoch of the Unknown through a JWST NIRCam Pure-Parallel Imaging Survey

T. Morishita (Caltech/IPAC), JWST-BEACON Collaboration

JWST Cycle 1 has been full of surprises, drawing our attention towards unknown aspects of galaxy evolution at high-redshift. Several teams have identified early galaxy candidates at $z > 11$, breaking the previous redshift record and reaching up to $z \sim 13$ when the universe is only ~ 400 million years old. The confirmation of the claimed remarkably high star formation efficiency in early galaxies through spectroscopic follow-up is crucial. So far, this confirmation has been limited to only a few candidates at $z > 10$, leaving the conclusion to be drawn by future large volume surveys.

In this talk, I will introduce the approved Cycle 2 program, BEACON (GO-3990), which is a NIRCam pure-parallel imaging survey specifically designed to comprehensively study galaxies in this previously unstudied epoch. BEACON will observe, within its allocated 600 hrs, approximately 220 independent sightlines, each configured with eight filters spanning the range from 0.8 to $5.0 \mu\text{m}$, resulting in a total volume coverage of approximately 0.6 square degrees. I will demonstrate how BEACON will improve the determination of the luminosity function at $z > 10$ and provide valuable constraints on the mode of star formation and dust production in young galaxies.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X32a EIGER: 宇宙再電離における銀河の役割と銀河間ガスの進化 2

柏野大地 (国立天文台), EIGER チーム

JWST GTO プログラムの一つである EIGER (Emission-line galaxies and Intergalactic Gas in the Epoch of Reionization) プロジェクトの最新成果を報告する。EIGER は NIRCam を用いて広視野スリットレス分光モードで、6つの高赤方偏移 ($z \geq 6$) クエーサー視線に沿って銀河探索を実施している。主たる科学目標は、クエーサースペクトルの「ライマンアルファの森」から得られる視線上の銀河間ガスの電離状態と銀河分布を比較することで、宇宙再電離における銀河の役割を解明することである。2023 年秋季年会では、第 1 観測領域から得られた初期成果として、銀河間ガスの $\text{Ly}\alpha$ に対する透明度が $z \sim 6$ の銀河周辺において局所的に高くなっていることを示した。これは銀河によって宇宙再電離が引き起こされていることの観測的証拠であると考えられます。また、プレリミナリな結果として新たに得られた 4 個のクエーサー領域において明らかになった銀河分布や、 $\text{Ly}\alpha$ 透過光との関係を示した。今回はこれら新たなデータを含めた解析の結果を紹介する。

我々はこれまでに 5 個のクエーサー領域を観測し、合計約 750 個の $[\text{O III}]\lambda 5008$ 輝線銀河の同定に成功した。これらの空間分布と、クエーサー視線上の銀河間ガスの $\text{Ly}\alpha$ に対する透明度を比較した結果、 $z \lesssim 5.5$ では銀河周囲で透明度が大きく下がる ($\text{Ly}\alpha$ の吸収が強くなる) 一方、 $z \gtrsim 5.7$ では平均に比べて透明度が高くなることを再確認した。また、この時代において低密度領域の電離が急速に進むことがわかった。さらに、銀河サンプルを $[\text{O III}]$ 光度で分けた場合に、 $[\text{O III}]$ で明るい銀河の周囲の方が透明度がより高くなることを見出した。この結果は、 $[\text{O III}]$ で明るい銀河の方が、宇宙再電離に対する寄与が大きい可能性を示唆している。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X33a Hell emission in JWST sources: A quest for clues to Population III star formation

Kimihiko Nakajima (NAOJ), Masami Ouchi (NAOJ/U. Tokyo), Yi Xu, Yuki Isobe, Hiroya Umeda, Yuichi Harikane, Yechi Zhang, Yoshiaki Ono, Minami Nakane, Hiroto Yanagisawa (U. Tokyo)

In the quest to observe the elusive Population III stars – representing the first generation of chemically pristine stars – identifying their sources is a crucial goal. Despite their theoretical importance, these primordial objects have proven challenging to detect, leaving us with unanswered questions about their formation in the early universe. In this study, we examine sources identified with JWST that exhibit a noteworthy detection of $\text{He II } \lambda 1640$, a crucial emission line for diagnosing the presence of Population III stars as proposed in theoretical frameworks (Schaerer 2003, Inoue 2011, Nakajima & Maiolino 2022). Our objective is to characterize the stellar and interstellar medium properties of these sources. Leveraging a substantial JWST/NIRSpec sample compiled from early release science, DDT and GTO observations, we discuss 10 objects identified with He II emission at $z = 5.1\text{--}10.6$, encompassing 9 isolated objects and an intriguing clump nearby a bright galaxy, GN-z11 (Maiolino et al. 2023). Our comparison of their nebular emission line strengths with photo-ionization models reveals that all 9 isolated objects fall below the criteria indicative of galaxies hosting Population III stars. This suggests that these isolated galaxies, primarily continuum-selected from blank fields, may be biased toward evolved or enriched systems. In our discussion, we highlight the unique characteristics of the clump near GN-z11 that shows a possible signature of Population III stars (Maiolino et al.) based on our re-analysis to discuss the implications of our findings for the formation of Population III stars and their surrounding environment.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X34a 宇宙再電離期における銀河からの電離光子脱出率の推定

前原瑚菜 (総合研究大学院大学/宇宙航空研究開発機構), 山田亨 (宇宙航空研究開発機構)

宇宙再電離とは、赤方偏移 $z=6\sim 10$ 付近において、再結合期中性化された銀河間水素原子ガスが再びほぼ完全に電離された現象である。電離源の有力な候補はこの時期に形成された若い銀河であるが、これを実証する為には、銀河内で生成された電離光子が銀河外へ脱出する確率“電離光子脱出率 f_{esc} ”を求めて、宇宙再電離において銀河がどの程度寄与しているか定量的に調査することが重要である。しかし、高赤方偏移の銀河から脱出した電離光子は視線上の銀河間物質に含まれる中性水素ガスに吸収されてしまうので、直接測定することは出来ない。

本研究では、間接的に電離光子脱出率を求める手法の一つとして提案されている $EW(H_\beta) - \beta$ 法 (Zackrisson et al. 2013) を用いて、実際に再電離期の銀河の f_{esc} を導出した。ここでは、ジェイムズ・ウェッブ宇宙望遠鏡 (JWST) の Cycle 1 プログラム “JWST Advanced Deep Survey (JADES)” において NIRSpec 分光データが得られている天体から、 $6 \leq z \leq 10$ の銀河を 17 天体選択し、UV Slope β と H_β の等価幅を求めた。 β の値は、顕著な輝線・吸収線波長域を除いて、静止系波長 1270-2580Å の範囲で $f_\lambda \sim \lambda^\beta$ をフィッティングすることにより求めた。その結果、再電離期の銀河の UV Slope β は $-1.5 \sim -3$ 、 H_β の等価幅は $1.5 \sim 3.5$ の間に分布し、多くはシンプルなダストフリーな星形成モデルでは再現できない。ダスト吸収が無視できるスペクトルモデルと整合する 5 天体について、 $EW(H_\beta) - \beta$ 法から電離光子脱出率を求めたところ、多くは $f_{esc} \sim 0.0$ を示し、残る 1 天体は $f_{esc} \sim 0.5$ を示した。本講演では、電離光子脱出率をもとめた銀河の赤方偏移、紫外線光度、スペクトル等諸量の分布と $EW(H_\beta) - \beta$ 法における星形成史・金属量・年齢などの依存性などについての考察を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)X35a ニューラルネットワークを用いた遠方銀河からの $Ly\alpha$ 輝線放射の予測

吉岡岳洋, 柏川伸成, 武田佳大, 伊藤慧, Yongming Liang, 石本梨花子, 有田淳也, 西村優里 (東京大学)

$Ly\alpha$ 輝線は形成初期の銀河に特徴的な明るい輝線であり、銀河の星形成を探る優れた指標となっている。さらに、中性水素ガスによる散乱を受けることから宇宙再電離に制限を与える有力な手段である。これまでに $z=2-9$ で $Ly\alpha$ 輝線放射銀河 (LAE) の探査が、分光観測や狭帯域フィルターを用いた観測によって活発に行われてきた。しかし分光観測は輝線の同定に強力な手法である一方、長い観測時間を要し、天体数を増やすことが難しい。また、狭帯域フィルターによって LAE を選択することで、広い視野で効率的な探査が可能になったが、狭帯域フィルターが活用できる波長範囲は限定されるため、任意の赤方偏移での LAE の探査が困難である。本研究では機械学習を用いて幅広い赤方偏移にわたる大規模な LAE サンプルを構築する手法を紹介する。これまでの研究で $Ly\alpha$ 輝線と相関があると示された銀河の複数の特徴量を同時に扱い、ニューラルネットワークによって $Ly\alpha$ 輝線放射を予測する。ネットワークの学習には VANDELS (McLure et al. 2018) および MUSE サーベイ (Herenz et al. 2017, Bacon et al. 2017) で分光観測された銀河サンプルを使用し、SED フィッティングで得られた銀河の特徴量から $Ly\alpha$ 輝線放射を予測する。検証データを用いてネットワークの性能の評価を行うと、LAE の 80% を検出できることがわかった。これによって、広範囲にわたる赤方偏移で大規模な LAE サンプルの効率的な構築が可能になる。さらに、JWST で観測された銀河に本手法を適用し、LAE の検出を行い、得られた LAE の分布や $Ly\alpha$ 輝線を出す銀河の割合から宇宙再電離の研究への応用についても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)X36a Census for the Rest-frame Optical and UV Morphologies of Galaxies at $z = 4-10$: First Phase of Inside-Out Galaxy FormationY. Ono¹, Y. Harikane¹, M. Ouchi^{2,1}, K. Nakajima², Y. Isobe¹, T. Shibuya³, M. Nakane¹, H. Umeda¹, Y. Xu¹, Y. Zhang¹ (1: UTokyo, 2: NAOJ, 3: Kitami)

We present the rest-frame optical and UV surface brightness (SB) profiles for 149 galaxies with $M_{opt} < -19.4$ mag at $z = 4-10$ (29 of which are spectroscopically confirmed with JWST NIRSpec), securing high S/Ns of 10-135 with deep JWST NIRCам 1-5 μ m images obtained by the CEERS survey. We derive morphologies of our high- z galaxies, carefully evaluating the systematics of SB profile measurements with Monte Carlo simulations as well as the impacts of a) AGNs, b) multiple clumps including galaxy mergers, c) spatial resolution differences with previous HST studies, and d) strong emission lines, e.g., $H\alpha$ and [OIII], on optical morphologies with medium-band F410M images. Conducting Sérsic profile fitting to our high- z galaxy SBs with GALFIT, we obtain the effective radii of optical $r_{e,opt}$ and UV $r_{e,UV}$ wavelengths ranging $r_{e,opt} = 0.05-1.6$ kpc and $r_{e,UV} = 0.03-1.7$ kpc that are consistent with previous results within large scatters in the size luminosity relations. However, we find the effective radius ratio, $r_{e,opt}/r_{e,UV}$, is almost unity, $1.01_{-0.22}^{+0.35}$, over $z = 4-10$ with no signatures of past inside-out star formation such found at $z \sim 0-2$. There are no spatial offsets exceeding 3σ between the optical and UV morphology centers in case of no mergers, indicative of major star-forming activity only found near a mass center of galaxies at $z \gtrsim 4$ probably experiencing the first phase of inside-out galaxy formation.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

X37a 宇宙再電離期の星形成銀河からの [CII]158 μ m 輝線の起源の特定：ALMA 望遠鏡による [NII]205 μ m 輝線の観測

札本佳伸 (千葉大学), 井上昭雄 (早稲田大学) 菅原悠馬 (早稲田大学/国立天文台), 稲見華恵 (広島大学), 橋本拓也 (筑波大学), R. Bouwens (Leiden University), R. Smit (Liverpool John Moores University), D. Stark (University of Arizona), M. Aravena (Universidad Diego Portales) and REBELS team.

宇宙再電離期における銀河の星間ガスの性質や星形成活動について知ることは、銀河の活動が引き起こしたとされる宇宙再電離を理解する上で重要な研究対象である。ALMA 望遠鏡により宇宙再電離期 (赤方偏移 6 以上) に存在する銀河の星形成活動の元となる星間ガスに関する情報が明らかになりつつある。特に、[CII]158 μ m 輝線はその明るさから、遠方銀河の星間ガスからこれまで最も多く観測されてきた輝線の一つであり、星形成の燃料となる中性ガスの質量の指標となる可能性について急速に研究が進んでいる。しかしながら、[CII]158 μ m 輝線は、電離ガス・中性ガス等の様々な状態にあるガスから放たれるため、指し示す物理量の単純な解釈は困難であることが知られている。そのため他の輝線観測と組み合わせることで [CII] 輝線の起源を探ることが重要である。[NII]205 μ m 輝線は [CII]158 μ m と似た臨海密度や励起ポテンシャルを持つ一方、N+イオンは電離ガスでしか生まれなため、[CII]/[NII] 輝線比は [CII]158 μ m 輝線の起源を辿る指標となる。今回我々は ALMA 望遠鏡を用いたパイロット観測として、赤方偏移 ~ 6.6 から 7.3 の 3 銀河に対して [NII]205 μ m 輝線の観測を行った。観測の結果、観測対象全てから [CII]/[NII] 輝線比が 30 以上と高い値が得られ、[CII]158 μ m 輝線は銀河の中性ガス領域が支配的であることが示唆された。本講演では、輝線観測結果とそれらの指し示す銀河の性質について議論を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X38a JWST で見つかった、炭素と酸素に対し窒素の豊富な $z \sim 6 - 10$ 銀河

磯部優樹 (東京大学), 大内正己 (国立天文台/東京大学), 富永望 (国立天文台/甲南大学), 渡辺くりあ (国立天文台), 中島王彦 (国立天文台), 梅田滉也 (東京大学), 矢島秀伸 (筑波大学), 播金優一 (東京大学), 福島肇 (筑波大学), Yi Xu (東京大学), 小野宜昭 (東京大学), Yechi Zhang (東京大学)

赤方偏移 z が 4 を超えるような初期宇宙において、元素合成がどのように進行したかはまだ観測的に明らかになっていない。そこで我々は、JWST/NIRSpec の公開プログラム (ERO, GLASS, CEERS) で観測された $z \sim 4 - 10$ の 70 個の星形成銀河のガスの化学組成を調べた。静止系紫外線の炭素、酸素の輝線比を測定した結果、70 個の銀河のうち $z=6.23, 8.69$ にある 2 つの銀河 (GLASS.150008, CEERS.01019) が極めて低い C/N 比 ($[C/N] \lesssim -1$) をもつことが分かった。これら 2 天体は GN- $z11$ と同程度の高い N/O 比 ($[N/O] \gtrsim 0.5$) も示している。GLASS.150008, CEERS.01019、さらには GN- $z11$ でも追加で測定された低い C/N 比は、C/N vs. O/H 平面上にて天の川銀河の HII 領域、通常の近傍星形成銀河、nitrogen-loud quasar のどれとも大きく異なる一方で、球状星団の星の組成とは重なり、球状星団形成との関連が示唆される。さらに、GLASS.150008, CEERS.01019, GN- $z11$ の低い C/N および高い N/O 比は、超新星爆発より CNO サイクルの平衡状態に見られる組成に大きく偏っており、これら 3 つの銀河が CNO サイクルを経たガスを多く含むことが示唆される。3 つの銀河の C, N, O の組成比を化学進化モデルと比較した結果、CNO サイクルを経たガスを多く放出できる天体、すなわちウォルフ・ライエ星、 $10^3 - 10^5$ 太陽質量の超大質量星、ブラックホールによる星の潮汐破壊の存在に加えて、直接崩壊が頻繁に起こるシナリオで説明可能であると分かった。本講演では更に他の元素の組成比についても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X39a RIOJA: $z = 6.81$ 銀河の JWST+ALMA 解析 (1) SED から探る多成分系の性質

馬渡健, 橋本拓也, 碓氷光崇, 大曾根渉 (筑波大学), 井上昭雄, 菅原悠馬, Yi Ren (早稲田大学), 札本佳伸 (千葉大学), 田村陽一, 萩本将都 (名古屋大学), 橋ヶ谷武志 (京都大学), T. J. L. C. Bakx (チャルマース工科大学), 仲里佑利奈, 吉田直紀 (東京大学), 松尾宏 (国立天文台), J. Álvarez-Márques, L. Corina, L. Costantin (El Centro de Astrobiología) 他 RIOJA グループ

JWST と ALMA を用いた高い空間・波長分解能の分光観測は、宇宙再電離期にある銀河 ($z \gtrsim 6$) の星間媒質 (ISM) の物理的・化学的性質を詳細に解き明かす道を開拓した。我々が推進している RIOJA (JWST GO Cycle1 #1840) プロジェクトでは、ALMA で観測された $z > 6$ に存在する [OIII] 88 μ m 輝線天体に対して JWST の NIRSpec/IFS と NIRCам で観測し、良質な多波長データが揃うサンプルを構築した。本講演では、本プロジェクトのサンプル天体の一つである COS-2987 について、NIRSpec/IFS, NIRCам, ALMA のデータ解析の結果を報告する。まず、NIRSpec/IFS の面分光データから赤方偏移 6.81 の [OIII] 4960, 5008, H α , H β , [OII] 3727, 3730 doublet を明確に検出した。最も S/N が高い [OIII] 5008 モーメントマップにおいて、我々は空間・速度構造が異なる複数の成分を同定した。ALMA [CII] 158 μ m 輝線を用いた先行研究では回転ディスクが示唆されていたが (Smit et al. 2018, Nature)、我々の JWST 観測結果は複雑かつ不連続な速度構造を示しており、むしろ合体もしくはアウトフローなど複雑に相互作用している系のように思われる。我々はそれらの成分毎に、撮像フラックス密度と分光輝線フラックスを包括的にモデルフィットする SED 解析を試みた。本講演では、SED 解析の結果について議論し、そこから導かれる COS-2987 の物理描像について考察する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X40a RIOJA : $z = 6.81$ 銀河の JWST+ALMA 解析 (2) ISM 物理状態の推定

碓氷光崇, 橋本拓也, 馬渡健, 大曾根渉 (筑波大学), 井上昭雄, 菅原悠馬, Yi Ren (早稲田大学), 札本佳伸 (千葉大学), 田村陽一, 萩本将都 (名古屋大学), 橋ヶ谷武志 (京都大学), T. J. L. C. Bakx (チャルマース工科大学), 仲里佑利奈, 吉田直紀 (東京大学), 松尾宏 (国立天文台), J. Álvarez-Márquez, L. Corina, L. Costantin (El Centro de Astrobiología) 他 RIOJA グループ

JWST と ALMA を用いた分光観測は、宇宙再電離期にある銀河 ($z \gtrsim 6$) の星間媒質 (ISM) の物理的・化学的性質を詳細に解き明かす道を開拓した。我々が推進している RIOJA (JWST GO Cycle1 #1840) プロジェクトでは、ALMA で観測された $z > 6$ に存在する [O III]88 μ m 輝線天体に対して JWST の NIRSpec/IFS と NIRCам で観測し、良質な多波長データが揃うサンプルを構築した。本講演では、本プロジェクトのサンプル天体の一つである COS-2987 について、NIRSpec/IFS と ALMA のデータ解析の結果を報告する。今回、NIRSpec/IFS の面分光データから赤方偏移 $z = 6.81$ の [O III] $\lambda\lambda 4960, 5008\text{\AA}$, [O II] $\lambda\lambda 3727, 3730\text{\AA}$, H β , H α を検出し、ALMA で検出された [O III]88 μ m も用いて本天体の ISM の平均的な電子密度 (n_e)、電子温度 (T_e)、金属量 ($12 + \log(\text{O}/\text{H})$)、電離パラメータ ($\log U$) を測定した。再電離期の銀河においては、面分光データを用いた電子温度の測定はこれまで報告がなく、本研究は先駆的な成果になっている。結果として、 n_e と $\log U$ は典型的な高赤方偏移銀河と無矛盾な結果が得られた一方、 $T_e \sim 8000\text{ K}$, $12 + \log(\text{O}/\text{H}) \sim 8.90$ と高赤方偏移銀河の中では低い温度かつ高い金属量を示した。さらに、高い空間分解能をもつ NIRSpec/IFS のデータから、本天体は複数の構成成分を持つ複雑な構造をしていることも明らかになった。本講演ではこれらの結果と考察、及び構成成分ごとの測定結果についても紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X41a RIOJA: NIRCам and NIRSpec observations of SXDF-NB1006-2 at $z = 7.2$

Yi W. Ren, Akio K. Inoue, Yuma Sugahara (Waseda), Takuya Hashimoto, Ken Mawatari, Mitsutaka Usui, Wataru Osone (Tsukuba), Yoshinobu Fudamoto (Chiba), Hiroshi Matsuo (NAOJ), Yoichi Tamura, Masato Hagimoto (Nagoya), Naoki Yoshida, Yurina Nakazato (UTokyo), Takeshi Hashigaya (Kyoto), Tom J. L. C. Bakx (Chalmers University of Technology), J. Álvarez-Márquez, L. Colina, L. Costantin (Centro de Astrobiología, CSIC-INTA) et al. from RIOJA project

In the past decade, ALMA observations have detected and investigated dozens of galaxies at $z \gtrsim 6$ with FIR emission lines. After entering the era of JWST, NIR photometric and spectroscopic follow-up observations of ALMA-detected distant galaxies are key to understanding their stellar, ISM and morphological properties in a more detailed and comprehensive way. As one of the targets in RIOJA (Reionization and the ISM/Stellar Origins with JWST and ALMA) project, SXDF-NB1006-2 is the first galaxy at $z > 6$ to be detected with the [O III] 88 μ m emission. In this study, we observed this galaxy with JWST NIRCам and NIRSpec/IFU. We performed SED fitting with NIRCам photometries and found consistent results with past analysis that this galaxy is a young starburst with a star formation rate of $\sim 300 M_{\odot}/\text{yr}$ and a stellar age of several Myr. We compared morphology of FIR and optical [O III] emission revealed by 3D spectroscopy of ALMA and NIRSpec/IFU and found that the peak position of optical [O III] is spatially aligned with the southern clump of FIR [O III] emission, whereas the northern clump of FIR [O III] is aligned with diffuse northern optical [O III] emission. We will also discuss the electron temperature with flux ratio of optical and FIR [O III] emission lines.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Y01a 東京・ベトナム同時観測による月のステレオ写真の作成と天文教育への応用

土橋一仁、堀口智史、佐藤吹風、新井優吾、安藤深愛、齋藤和宜(東京学芸大学)、Le Quang Thuy、Nguyen Van Tue (Quy Nhon Observatory)、Nguyen Duc Nguyen (University of Science and Technology of Hanoi)、Nguyen Luong Quang (American University of Paris)

東京学芸大学 40cm 鏡とクイニオン天文台 60cm 鏡(ベトナム)を用いて月の同時撮影を行い、月のステレオ写真の作成に取り組んだので、報告する。この月の同時撮影は、2023 年 7 月 17 日 - 28 日にクイニオン市で開催された観測天文学の国際サマースクール(2023 SAGI Observational Astronomy School)での観測実習のテーマの一つとして行ったものである。サマースクールにはベトナム、イギリス、日本、フランスから天文学に興味のある約 30 名の学生が参加した。我々も講師や学生としてサマースクールに参加し、観測天文学に関する昼間の講義、クイニオン天文台 60cm 鏡を利用した夜間の観測実習、ヨックドン国立公園への 2泊 3日のエクスカージョンを通して、各国から集まった講師や学生達との交流を深めた。

観測実習のテーマとしては、トランジット法による典型的な系外惑星の観測など、小口径の光学望遠鏡でも実行可能な興味深いものがいくつかあった。土橋は講師として「月」に関する 2つの実習テーマを企画した。本講演で報告する月のステレオ写真の撮影は、そのうちの 1つである。東京とクイニオンは約 4000km 離れており、十分な視差が得られるはずである。ステレオ写真のための最初の撮影は、7月 26日 20時頃(日本時間)に行った。しかし、クイニオンの天気があまりよくなかったので、サマースクール終了後の 8月 2・3日に同時撮影を再度行った。その結果、満月に近い状態の月のステレオ写真を得ることができた。この講演では、得られたステレオ写真を示しつつ、これを学校教育のどの場面で活用できるか等を論じる。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Y02a 理科学習者としての自己効力感の向上を目指した「新しい宇宙利用」を題材とする中学校での探究授業

内山秀樹、町岳、雨宮司宜、真野夏帆(静岡大学)、渡辺謙仁(成城大学)

OECD 生徒の学習到達度調査(PISA 2015)では、日本の生徒の科学に対する態度の指標は全項目で OECD 平均を下回る。中でも「理科学習者としての自己効力感」「科学に関連する活動」「科学の楽しさ」が特に低く、課題である。我々は、科学が関わる社会問題(=「大きな問題」)を科学知識を元に議論・予測・判断できるかを問う「理科学習者としての自己効力感」に注目した。この指標の低さは、日本の生徒が「大きな問題」を自身の知識や技能(=学校の理科での学習内容)では解決できないと捉えている事を示す。一方で実際の世界では、「大きな問題」をいくつかの「小さな問題」に分解して解決し、最終的にそれらを統合し「大きな問題」の解決に至る問題解決のプロセスがある。学校で学ぶ理科は「小さな問題」の解決策を考える手段だが、生徒はこれらが「大きな問題」の解決に繋がる「科学に関連する活動」の経験が少ない為、「科学の楽しさ」の指標も低いと考えられる。

そこで本研究では、課題の根本にある「理科学習者としての自己効力感」の向上を目指した教育プログラムの開発と実践を行った。題材は日本の生徒が高い興味を持つ(国立青少年教育振興機構 2014)宇宙開発を選んだ。問題解決の過程を「課題と理科を結びつける 5つのプロセス」として生徒に示し、それを実際に体験させる授業をデザインした。静岡大学教育学部附属静岡中学校の総合的な学習(探究)の時間で 1年間にわたる実践を行い、その効果の検証を試みた。受講者は、遠い未来の新しい宇宙利用のアイデアを考え、それに繋がる超小型衛星(CubeSat)を実現性も考慮し構想する事に取り組んだ。5つのプロセスを体験する為の教材として、CubeSat を模した衛星デモ機を使用した。本講演では、本授業デザインとその実践の様子、効果測定の結果を報告する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Y03a 高校理科必修科目に関するカリキュラム研究(II)

縣秀彦(NAOJ)、海部健三(中央大)、亀田直記(京教大)、篠原秀雄(浦和西)、今井章人(早大中高)、都築功(NAOJ)、日隈脩一郎(東大)ほか

本研究グループでは、次期学習指導要領に実装可能な高校理科カリキュラムを多角的に検討している。高等学校理科 4 領域が、現在はほぼ独立して指導されている一方、その内実は相互に関連しながら現代社会の問題に密接に関連していることを重視し、科学教育の意義・目的と現代社会における役割を再考し、生徒の課題解決能力の育成を主眼とした総合的かつ基礎的な必修理科科目を構想し、実践・評価することを目的とする。2022-25 年度の研究プロジェクトであるが、本発表では 2 年度目の途中経過と今後の取り組み等を提示する。

新カリキュラム案としては、現在 3つの案(「エネルギーと系」案、理科総合型案、理科総合 A・B 型案)に収束しつつあり、カリキュラム案ごとに指導案、教科書、教材等を作成し、今後、主要部分の授業実践を協力校等にて行い、その統計分析等により評価分析を行う。また、各カリキュラム案に対しアンケート調査や必要に応じてフォーカスグループインタビューなどを実施する予定である。

各カリキュラム案ともに「地球温暖化など気候変動、生物多様性と生態系、エネルギー問題、感染症、水質汚染、科学技術と人間生活、宇宙・地球・生命・ヒトの理解」等の「現代社会の課題解決」のために必要な理科分野の素養を習得することを目的としている。本発表では各カリキュラム案の概要を提示するとともに、高校理科教育の実情と課題について調査した教員及び生徒対象のアンケート結果とその考察についても発表予定である。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Y04a ソフトウェアラジオ (SDR) と手作りアンテナを用いた銀河 21 cm 線観測の学生実験への展開

野田常雄 (久留米工業大学), 二宮崇 (八洲開発株式会社)

天文学領域を学ぶ上で実際に天体を観測することは、宇宙の広がりや 3 次元中の運動を理解するうえで非常に有意義である。教科書や 2 次元でのシミュレーションでは、天体の分布や運動に関する理解ができていない学生も多いため、実際の天体を観ることが必要と考えられる。しかし、天文観測を学生実験に組み込むには、様々な問題がある。天文観測施設を保有しない大学においては、可視光領域での小型望遠鏡を用いた観測が主となるが、観測時間帯 (時間割) の制約や天候の影響が大きい。また、観測条件がそろっていても観測対象は近傍の明るい天体に限定されてしまう。

近年の電子技術の発達により、安価なソフトウェアラジオ (SDR) が登場した。これと自作アンテナおよび PC とを接続し、専用のソフトウェアで動作させることで、電波望遠鏡を構成することが可能となった。電波での観測であれば、天候や観測時間帯の制約から解放されるため、学生実験への導入が可能となる。

今回は、SDR と自作アンテナを用いた電波望遠鏡を構築し、実際に久留米工業大学教育創造工学科 (教員養成系) の「地学実験」のテーマの一つとして採用した。銀河系円盤の 21 cm 線の観測にターゲットを絞り、学生主体で観測を行った。天候に左右されず、時間割の制約下でも十分に観測を行うことが可能となった。また、実施した学生にアンケートを行い、その結果に基づいて実験の効果についても報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Y05a 天文学・宇宙物理学に関するリベラルアーツにおける科学リテラシー知見獲得効果と授業・教材作成指針

山崎大 (茨城大学)

科学的概念と手法に対する理解や知識は、科学リテラシー (scientific literacy) と呼ばれている。科学的に正しい情報の活用は、基礎科学の発展のみならず、社会全体の利益も同時に生み出してきた。そのような情報を正しく理解し、適切に運用するためには、科学的な検証過程を経ることが必要であるが、科学的な検証過程を経ない、「疑似科学」とよばれる科学的を装う情報も、残念ながら日々生み出されている。疑似科学の中には、心身や経済の損害につながるものもあり、だれでも自由意志に従って制限なく情報を拡散できる昨今の情報社会において、科学的に正しい情報を見分け、安全に活用するために、科学リテラシーに関する知見が必要不可欠になっている。本発表では、茨城大学で実施した天文学・宇宙物理学に関するリベラルアーツ科目における科学リテラシーに関するアンケート結果と、その授業の出席率と成績、学生の属性 (理系科目に対する得意・苦手意識など) との関連を調査し、その解析から、科学リテラシーに関する知見獲得を目的とする科目の授業・教材作成指針について議論・考察した結果を発表し、それらに基づいた授業教材を例示する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Y06a GALAXY CRUISE のデータを教材とした AI 教育の試行的実践

山野井瞳 (成蹊大学), 田中賢幸 (国立天文台)

成蹊大学では文部科学省が推奨する「数理・データサイエンス・AI 教育」の一貫として、データサイエンスに関する教育を推進しており、2023 年度より「データサイエンス応用」という科目を新たに開講した。本科目は、データサイエンスの応用基礎力を習得することを目的として、機械学習および深層学習の演習を取り入れている。教材として利用するデータは、どの学部・学科の学生にもわかりやすいものであることに加え、演習には学生各自の持ち込み PC を使用するため、データ容量が大きすぎないこと、授業時間内で一通りの解析を終了できることが要件となる。開講初年度は、深層学習の演習として GALAXY CRUISE のデータを活用して、畳み込みニューラルネットワーク (CNN) による銀河の画像分類を実践した。GALAXY CRUISE は国立天文台が主催する市民天文学プロジェクトで、Hyper Suprime-Cam すばる戦略枠プログラム (HSC-SSP) のデータを用いて銀河の形態分類を行うオープンサイエンスである。深層学習のデータセットには、GALAXY CRUISE の銀河分類指標から「楕円銀河」と「渦巻銀河」をそれぞれ数百個抽出した後、HSC-SSP PDR3 より各銀河の PNG 画像を取得し、これを教師データとして準備した。深層学習フレームワークには Keras を採用した。Keras は Python で記述された深層学習のライブラリであり、比較的簡易なコードで実装できるため AI プログラミング初心者でも取り組みやすいという利点がある。畳み込み層とプーリング層を多層化した CNN モデルを適用した場合、正解率 95% 以上を達成でき、単純な銀河分類であれば深層学習の教育用教材として活用できることを確認した。本講演では、実際の授業で扱った深層学習の実践手法を紹介し、その教育効果について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Y07a 市民天文学プロジェクト GALAXY CRUISE の進捗と hscMap 教材開発

白田-佐藤功美子, 田中賢幸, 小池美知太郎, 安藤誠, 内藤誠一郎, 山岡均, 梅本智文 (国立天文台), 伊藤慧 (東京大学), 嶋川里澄 (早稲田大学), hscMap 教材開発チーム

すばる望遠鏡ハイパー・シュプリーム・カム (HSC) を使った大規模戦略枠サーベイ (HSC-SSP) の第 2 期公開データを用いて、衝突・合体銀河の分類に市民が参加する「市民天文学」プロジェクト GALAXY CRUISE (<https://galaxycruise.mtk.nao.ac.jp>) は、第 1 シーズンを完了し、2022 年 4 月から、より暗い銀河を含めた第 2 シーズンを進めている。第 2 シーズン期間中にサイエンス、普及活動双方で以下の進展があったので報告する。

(1) 2019 年 11 月～2022 年 4 月の第 1 シーズンの分類結果を使った学術論文が出版された (Tanaka et al. PASJ, 75, 986 (2023))。分類に参加した市民天文学者に研究成果を還元すべく、2023 年 11 月 10 日に「田中船長による GALAXY CRUISE 学術論文報告」ライブ配信を、すばる望遠鏡公式 YouTube チャンネルから日・英で行った。

(2) 銀河進化の理解を深めるため、2023 年 9 月 12 日より、シミュレーション銀河を分類する特別キャンペーンを実施している。キャンペーン開始前に、毎月 1 日にウェブに掲載する「NEWS 記事」として、予告を兼ねて科学的意義を掲載した。2023 年 8 月 29 日に実施した銀河分類実演 YouTube ライブ配信でも科学的意義を説明した。

(3) 学校教員や研究者より、授業や週末の子ども向け科学ワークショップ等で GALAXY CRUISE を使ったという報告を受けることがある。さらに、本プロジェクト分類サイトの母体となっている、HSC 画像の中を自由に巡れる「hscMap」自体を教室に届けるべく、2021 年より有志で教材を開発してきた。これらの報告は随時「NEWS 記事」として紹介している。hscMap 教材開発については、本「Y. 天文教育・広報普及・その他」セッションにおける、原 (口頭講演)、富田 (3分+ポスター講演) による講演も参照いただきたい。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Y08a すばる望遠鏡 HSC のビッグデータを教室へ

原正 (東洋大学), 富樫民樹 (埼玉県立春日部高等学校), 平塚雄一郎 (埼玉県立寄居城北高等学校), 白田-佐藤功美子 (国立天文台), 富田晃彦 (和歌山大学)

国立天文台ハワイ観測所のすばる望遠鏡の超広視野主焦点カメラ (HSC) により、2014 年から 2022 年にかけて戦略枠観測プログラム (HSC-SPP) によるサーベイ観測が行われ、深宇宙の詳細かつ広範囲のビッグデータが得られている。これを画像化したものが 2019 年から WEB で公開され、だれでも閲覧が可能になっている (<https://hscmap.mtk.nao.ac.jp>)。この画像を大型スクリーンで閲覧する一斉授業を高校で行ったとき、圧倒的な銀河の数や多様な形態、群れる銀河などをみた生徒たちは歓声をあげた。これに力を得て、高校教員や研究者有志とともに hscMap を使った高校生向け教材作成や授業実践を行った。教材は広大な宇宙空間を眺めだけのもの、ハップル分類や可視化された宇宙膨張を観察するもの、宇宙の全銀河の数やみかけの大きさから角距離を推定する宇宙論的なテーマにつながるものなど、難易度や所要時間の異なるものが複数用意できた。また、タブレットなど ICT 活用とともに、対話型の実習を展開することで、中高生の科学的な思考力の育成にも役立つことがわかった。また、実践後アンケートの結果では操作に迷うことなく直感的に目的の観察ができることも確かめられた。これらの優れた特徴を生かしつつ、様々な学校で天文学を専門としない教員にも使うことができるよう、その利便性や発展性を高める目的でワークシートと教員向けガイドをセットにし、現在 googlesite や埼玉県理化学研 WEB サイトで公開している。難易度別や所要時間別に記号等により分類した教材を個々にモジュールと呼ぶ。利用者はモジュール単位で、自分の学校のニーズにあわせ切り貼りや組み合わせも自由にできるようになっている。今回は、これらの教材の利用法の簡単な紹介と高校や大学等で授業実践した結果を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Y09b hscMap 高校生向け教材の教員養成の授業での活用

富田晃彦 (和歌山大学), 原正 (東洋大学), 富樫民樹 (埼玉県立春日部高等学校), 平塚雄一郎 (埼玉県立寄居城北高等学校), 白田-佐藤功美子 (国立天文台)

hscMap 高校生向け教材を、中高理科教員免許での必修科目の一つである「地学実験」で試行した。高校教員らが中心になって開発された hscMap 教材は、地学への関心が高いとはいえない教員養成大学生にとって天文そして地学分野への興味喚起となるであろうか。2023 年 11 月 1 日の 2 コマの授業での 1 回の試行であるが、「みかけの大きさで推定する銀河の距離」と「銀河は全宇宙にどれだけあるかの推算」の 2 つの課題を取り上げた。大学生は自分の PC を持ち込み、hscMap 教材の基本的操作の練習を含め、全体で 2 時間半程度で作業を終えた。将来の教師の卵たちにどう興味喚起できたのか、学生の感想やレポートから振り返った。「操作は難しかったが指示通りに行えば問題はないし、天文学を学ぶと同時に ICT 教育も並行して行える」という感想が多く見られた。「電子黒板等を用いることでお互いの発見を見せ合ったり、クラス全体で共有したりしながら授業を進められる」という期待感があった。ICT 教育をしないといけないといった追われるような作業ではなく、「知識を知っただけではイメージにくい」天文分野の理解のための ICT 積極活用という期待感がある。操作の簡便さに加え、「銀河の距離や個数の計測などが中学校レベルの計算でできる」ことへの評価が見られた。「単純な計算で測定結果を出すことができるのは非常に大きなメリット」という意見は、うまくおおよその値をつかむことの重要性を感じたものと言える。「すばる望遠鏡のデータに実に簡単かつ体感的に触れられたこと」への感動、「色を認識しにくい人でも見やすくなっている」といった配慮への感謝の意見、そして、高校の先生による開発への尊敬が示されていた。学生たちには、このような開発の仲間に入って楽しんでほしいと伝えた。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Y10b 教育用簡易電波干渉計プロトコル ” j-VLBI” 構想 Vol.4.0

木村正樹 (株式会社 NEST EdLAB)

2022 年度秋の年会において、教育用簡易電波干渉計プロトコル” j-VLBI” 構想について立案した。VLBI(超長基線干渉計)とは複数の離れた位置に置いた電波望遠鏡を用いた高解像度の観測方法の事であり、2019 年に行われた世界初のブラックホールの撮像において用いられた技術である。本研究である” j-VLBI” 構想は、中高生が簡易的・低価格に VLBI の実験を行うことができ、また電波望遠鏡の作成を中高生が市販されている商品を使い、一から VLBI を製作できるプロトコルを作成することで、高度な計測やものづくり、プログラミングの学習や、学校間での連携研究を行うことが期待できる構想である。前年会から AD 変換器に SDR を採用し、サンプリング速度の大きな改善をした。2024 年 3 月の本学会においては、今回はシステムを見直し、周波数変換も SDR の機能に移管し、システムの簡略化を行う予定である。そして再度試験観測を行うものとし、相関処理が行える段階を目指し、進捗に伴った続報を例会内で発表するものとする。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

Y11b 手作りアンテナを用いた VLBI 実験

野原祥吾, 山本胡志郎, 藤澤健太, 藤田和馬, 原尻颯太, 恵美温, 村上智哉, 新沼浩太郎, 元木業人, 穂本正徳, 藤原陵太郎, 松原空洋, 長岡祐希 (山口大学)

電波天文学において、複数のアンテナで検出した信号の干渉を利用する電波干渉計での観測が発展してきた。その一つの形態が、各アンテナで信号を記録しておき、それらの記録データを相関処理することで干渉縞を得る、超長基線電波干渉計 VLBI (Very Long Baseline Interferometer) である。VLBI は基線長を長くとることができるため、高い角度分解能を得ることができる。一方、VLBI には独立な基準信号系が必要であるなど、技術的な難しさがある。各局に水素メーザー原子時計などの周波数安定度の十分に高い基準を用意し、時刻情報とともに信号を記録することで、時刻情報をもとに相関処理を行う。

VLBI 観測には、大型のアンテナ、高安定な周波数標準、高速な A/D 変換器およびデータ記録器などが必要とされ、高価で複雑な観測システムであるとされてきた。本研究では、観測周波数を 300MHz 帯と低く設定することで、安価で簡易に VLBI を行う技術の確立を目指している。今回はその第一歩として、大型アンテナと水素メーザー原子時計を用いないで VLBI 観測を行い、フリッジ検出を目指した。アンテナは手作りの小型アンテナ、受信機は市販の安価なアンプを用いた。サンブラなどは専用の機材を用いた。本講演では、観測システムの構築と試験観測の現状について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

Y12c 狭帯域撮像画像を用いた科目横断型学習教材の開発

西浦慎悟, 村松沙紀, 細田龍, 土橋一仁 (東京学芸大学・教育)

現在の高等学校では、本来、相互に関連している理科の物理学・化学・生物学・地学の各領域は分断されている。その一方で、現行の高等学校学習指導要領 (文部科学省, 2019) では「教科等横断的な学習の充実」が謳われている。天文学・宇宙科学は、総合科学/応用科学的な側面を持っており、教科・科目横断的な学習機会を提供することで、理科の各領域の有機的な繋がりを再生する可能性を有している (例えば、直井, 2014, 第 28 回天文教育研究会 2014 年日本天文教育普及研究会年会 集録, 173-176; 齋藤, 2014, 同集録, 177-180; 加藤, 2019, 第 33 回天文教育研究会集録 2019 年日本天文教育普及研究会年会集録, 121-124; 新明・富田, 2020, 天文教育, 32(3), 11-13)。しかし、石井ほか (2020, 東京学芸大学紀要 自然科学系, 72, 53-65) は、教員養成系学部生の多くが、物理と化学の一部を除いた理科の各単元と天文学・宇宙科学の関連性があまり深くないと考えていることを明らかにしている。

今回我々は、高等学校・理科の地学の内容である惑星状星雲を介して、物理・化学の内容である原子構造やイオンの基本概念を学ぶ教材の開発を試みた。東京大学大学院理学系研究科附属天文学教育研究センター木曾観測所の 105cm シュミット望遠鏡/2kCCD によって得られた惑星状星雲 M57 の狭帯域撮像画像から H α , H β , [OIII] $\lambda\lambda$ 4959,5007, [SII] $\lambda\lambda$ 6716,6731 の 4 つの輝線画像を作成し、マカリイを用いた表面測光を行った。そして、これらの結果をコピー&ペーストするだけで、輝線強度比の 1 次元空間分布を描き、プラズマ診断モデル (Stasinska, 1984, A&AS, 55, 15-32) との比較ができる表計算ワークシートを試作した。これによって、M57 の中心部から外縁部に向けて、[OIII]/H β 輝線強度比が減少する傾向が確認できた。これは、電離源からの距離と水素・酸素のイオン化エネルギーという高校理科の物理・化学の内容によって理解できる現象である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

Y13b 中高における科学史を踏まえた天文教育 2 — 科学革命における抵抗勢力 —

林隆之 (麻布中学校・高等学校, 国立天文台), 村本ひろみ (麻布中学校・高等学校)

科学史を直接的に理科教育に活用する際の目的としては、「学習者が科学を学習するにあたっての興味・関心を喚起すること」と「学習者が科学の本質を理解すること」の2つが想定される。後者については、科学的な知識の正確な理解や、実験・観測結果から科学的な知識を獲得するまでの論理の把握は当然のことながら、科学と社会の関連も科学の本質の一部とされることもある。実際、科学的知見をもたらした科学者の営みは、各時代の社会情勢に左右されるものであり、科学と社会の関連は科学史の学習において無視できるものではない。ただし、科学と社会の関連の学習内容は、従来の理科で扱われるものに留まらないため、他教科との連携が必要になる。

麻布高等学校では「教養総合」と称する連続2時間の選択講座を各学期に開講している。これは高校1,2年生を対象としたもので、生徒は全8回からなる講座を学期ごとに1つずつ選択する。今年度、林(地学担当教諭)と村本(世界史担当教諭)は、チームティーチングにより科学史を扱う講座「科学革命と抵抗勢力」を2023年度9-11月に開講した。本講座は、宇宙像と地球像にそれぞれもたらされた革命的な体系である地動説とプレートテクトニクスについて、「抵抗勢力」をキーワードに概観するものである。宇宙像について、プトレマイオスによる宇宙像を否定したガリレオは、1633年の宗教裁判で有罪となり、カトリック教会からは長らく名誉を認められなかった。その後も、1869-70年に開催された第1パチカン公会議では、教皇の無謬が再確認され、現代的宇宙像を含む社会の近代化は誤謬として排斥された。一方、科学技術の大きな進展を経て開催された1962-65年の第2パチカン公会議では、教会が時代へ適応する必要性が確認された。1992年には、ローマ教皇ヨハネ・パウロ2世がガリレオへの謝罪を表明し、彼の名誉は回復された。講演では、以上の史実を活用した授業実践を紹介する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)[スケジュール\(全体\)に戻る](#)[講演者索引 TOPに戻る](#)

Y14b 天文学はどのような意味で企業人材の育成に役立つのか

高梨 直紘, 岡村 定矩 (東京大学)

2023年11月にTOPPAN株式会社から発表された「スペーススイノベーションフレームワーク」は、宇宙や天文学を題材に企業人材の育成を行うための方法論である。我々は2019年からTOPPAN株式会社の人財開発センターと連携し、毎月の勉強会を通じてどのような意味で天文学が企業人材の育成に役立つのかを探ってきた。このフレームワークはその成果のひとつである。一般に、天文学は企業活動から遠い分野のひとつと認識されている(と思われる)が、「天文学」を構成する要素を分解していけば、そこには一般の企業活動にも十分に役立つ要素もたくさん含まれていることが分かる。むしろ、天文学だからこそ提供できる世界観や人間理解は、新しい価値を生み出す上で欠かすことのできない要素だと言っても良いだろう。天文学を修めた後に一般企業に就職し、そこで大いに活躍しているアラムナイが少なくないことも、心強い事実である。本講演では、我々がこれまで取り組んできた企業等との連携事業を紹介するとともに、どのような意味で天文学を企業人材の育成に役立たせることができると考えているのかを述べたい。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)[スケジュール\(全体\)に戻る](#)[講演者索引 TOPに戻る](#)

Y15b 岡山188cm望遠鏡ニュートン焦点撮像乾板目録の正規化と補完

柳澤顕史(国立天文台), 古荘玲子(都留文科大学), 根本しおみ, 春日敏則, 渡部潤一(国立天文台)

国立天文台・写真乾板ワーキンググループでは、国立天文台が保有する写真乾板のデジタル・アーカイブ化に取り組んでいる。これまでに、旧・岡山天体物理観測所の188cm望遠鏡ニュートン焦点で撮影された写真乾板約4千枚のスキャン画像に観測メタ情報を付与し、天文情報センターよりオンラインで公開した。この度、利用者の利便性向上を目指し、観測メタ情報の正規化と補完を行ったので報告する。

公開済みカタログの観測メタ情報は、観測野帳に記載された内容を忠実に転記したが、いくつかの課題があった。その一つは、同義であるが異なる表現が見られたことである。観測野帳には、観測所が指定した項目を観測者が記入するよう指示されていたが、記載は観測者の裁量に委ねられていたことが原因である。そこで、ルールを設定し表記を統一した。たとえば天体名は、太陽系天体についてはIAUの指定番号、それ以外はSIMBADのMain IDに置き換えた。また指向座標は、観測時の赤道座標をJ2000に変換し、乾板スキャン画像の位置較正に成功した場合は視野中心の座標に置き換えた。

もう一つの課題は、観測所の指定項目にはないが、観測を特徴づける上で必要な情報の不足であった。その代表的なものが観測手法である。観測手法とは、具体的には、直接撮像単一露出、直接撮像多重露出、イメージスプリッターの使用、メトカーフ・ガイド、ハルトマン・テスト、フォーカス・テストなどである。これらの情報は野帳の天体名やメモ欄の記述や、さらにはスキャン画像の目視確認を経て記載した。

更新した目録は国立天文台欧文報告にて出版予定である。本講演では、観測メタ情報の正規化と補完を通じて明らかになった、岡山188cm望遠鏡・ニュートン焦点における観測の特徴について紹介する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)[スケジュール\(全体\)に戻る](#)[講演者索引 TOPに戻る](#)

Y16a 科学ポスター「一家に1枚宇宙図」の改定

高梨 直紘 (東京大学), 小阪 淳, 片桐 暁, 宇宙図制作委員会

科学ポスター「一家に1枚宇宙図」を6年ぶりに更新し、2024年バージョンとしてリリースすることになったので、その内容について報告する。宇宙図は、文部科学省が毎年春の科学技術週間に合わせて制作・配布している一家に1枚シリーズのポスターである (<https://www.mext.go.jp/stw/series.html>)。2007年に最初の版が発表した、その後の天文学の発展に伴って、これまで2度、2013年および2018年に大きな改定を行ってきた。今回の改定でも、最後の改定以降にあった新しい発見や、最新の天体画像などを反映させた他、既存の図版やテキストなどについても全体的な見直しも行った。さらに、今回の版では新たに「なぜ何もないのではなく、あるのか?」という天文学の前にある問いを中心に、哲学的な話題も含めることとした。このことによって、宇宙物理学としての天文学の側面だけでなく、自然哲学としての側面も示すことができた。本講演では、今回の改定のポイントを紹介するとともに、教育や普及における活用方法についても議論したい。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Y17a 未発見小惑星検出アプリ COIAS による新天体搜索状況

浦川聖太郎 (日本スペースガード協会), 杉浦圭祐 (三菱電機先端技術総合研究所), 伊東健一 (東京大学), 大坪貴文 (産業医科大学), 北里宏平 (会津大学), 服部晃大 (会津大学), 小池美知太郎 (国立天文台), 白田-佐藤功美子 (国立天文台), 前田夏穂 (神戸大学), 宇野慎介 (東京大学), 木下大輔 (台湾国立中央大学), 関口朋彦 (北海道教育大学)

すばる望遠鏡による大規模サーベイ観測が生み出す天文ビックデータとシチズンサイエンスの連携により、小惑星をはじめとする太陽系小天体を大量に発見し、その描像を明らかにすることが本研究の目的である。HSC(Hyper Suprime-Cam) は、すばる望遠鏡に導入された視野直径1.5°の広視野カメラである。HSCを用いた大規模なサーベイ観測(HSC-SSP)が2014年から2022年に実施され、そのデータが公開されはじめている。この公開データを利用して、直径300mクラスの暗く小さな小惑星を発見し、その軌道や反射スペクトル型分布の解明を行う。合わせて、地球接近天体、太陽系外縁天体、恒星間天体といった天体の発見とその物理状態の解明を目指す。これらを達成するため、これまで我々が開発してきた未発見小惑星検出アプリケーション COIAS を用いて、研究者・市民・学生と協力したシチズンサイエンスの力で研究に取り組む。COIAS (Come On! Impacting Asteroids) のネーミングは、研究目的の一つであるプラネタリーディフェンスを意識したものであるが、シチズンサイエンスを念頭に、高校生が小惑星探しを目指すアニメ・コミック「恋する小惑星」の略称である「恋アス」にも由来している。COIASは2023年7月に一般公開を行い、多くのユーザーによって小惑星探索が行われている。2023年12月の時点で、一部ノイズを含むものの4万を超える新天体候補をMPC(Minor Planet Center)に報告し、36天体について仮符号の取得に成功した。本講演では COIAS の開発経緯・現状・将来展望について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Y18a XRISM におけるアウトリーチ活動の報告と課題

生田ちさと, 堀内貴史 (JAXA), 田代信 (埼玉大学/JAXA), XRISM EPO チーム

X線分光撮像衛星 XRISM (クリズム) は、2016年に運用を停止したX線天文衛星 ASTRO-H が担っていたサイエンスを早期にかつ確実に回復することを目的とした国際共同プロジェクトである。XRISMはASTRO-Hの開発成果を最大限活用し、一方で受け継いだ教訓を活かして開発が行われた。これはアウトリーチ活動においても同様である。本講演では、XRISMプロジェクトがこれまでにを行ったアウトリーチ活動を紹介し、現状の課題と今後の方針を議論する。

打上げ前に行った XRISM プロジェクトのアウトリーチ活動では、まずターゲットや目標の設定と、どの時期にどのような活動を行うかの計画を作成した。また、NASA とは定期会合をもち、打上げ前の情報発信について擦り合わせたり、制作物を共有したりするなど、共同でアウトリーチ活動を進めた。

XRISMの本格的なアウトリーチ活動が始まった時期、まだ新型コロナ感染防止対策のための制限が強かった。そのため、アウトリーチは、X (旧 Twitter) や note+, オンライン講演会といったインターネット上での活動が主となった。顕著な成果はオンライン講演会である。ライブ参加者数は100名以上だったが、YouTubeのアーカイブは視聴回数が3000回から87万回 (2023年12月現在) あり、多くの人々の関心を集めることに成功した。また、NASAと共同でアウトリーチを行うことで、海外の人々にも XRISM 関連の情報を届けることができた。

衛星は打上げ時に関心が集まるため、衛星の認知度を上げたり、興味を持ってもらうきっかけを作るチャンスである。打上げライブ番組は、YouTube 急上昇ランク3位を記録 (2023年9月8日) し、大きな反響があった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Y19a 国際天文学・天体物理学オリンピック ポーランド国際大会の参加報告

中道晶香（京産大共通教育）、橋本修（群馬高専）、井上毅（明石市立天文科学館）、塚田健（平塚市博物館）、青沼恵人、伊藤寛子、岩崎野笑、岡本沙紀、小原亮太、孫翰岳、田中匠、泊あすみ、中村仁紀（東大）、安藤唯花（北海道教育大）、大平達也（京大）、桑江優希、塩田成陽（広島大）、佐藤耀介（立命館大）、清水美結（東京理科大）、牧田遥翔（埼玉大）

国際天文学・天体物理学オリンピック (IOAA) は、国際科学オリンピックの一つであり、国際天文学オリンピック (IAO) とは別の大会として 2007 年から開催されている。日本代表の派遣は行われていなかったが、このたび学生が中心となって立ち上げた日本天文学オリンピック委員会がチームリーダー 2 名と代表生徒 5 名を派遣した。

2023 年 2 月の国内予選、3 月の国内本選により高校生 5 名を選抜し、5 月の宿泊研修、答案添削による通信研修を経て、2023 年 8 月にポーランドのホジュフにて開催された国際大会 (IOAA 2023) へ参加した。世界 52 国から約 250 名の生徒と約 100 名のチームリーダーが参加した本大会では、多国籍チームで取組む団体戦もあり、活発な国際交流が行われた。個人戦は、5 時間に及ぶ「理論ラウンド」、望遠鏡を操作して計算する「観測ラウンド」、ハッブル宇宙望遠鏡による観測データが使用された「データ解析ラウンド」、デジタルプラネタリウムにより再現された変光星や系外惑星の状況を観測する「プラネタリウム・ラウンド」の 4 種類が行われた。大会運営は、出題内容をチームリーダー全員で議論し、問題を加筆修正したり、試験後はモデレーションにて生徒の解き方を採点者と議論する民主的な運営であった。結果は、生徒 1 名が金メダル (世界 3 位)、1 名が銅メダル、1 名が優良賞を受賞した。

さらに、昨年参加した IAO2022 大会と比較し、将来への展望と課題について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Y20a 国際極運動観測事業における機械式計算機の使用

馬場幸栄 (国立科学博物館)

国立天文台の前身組織のひとつである緯度観測所 (明治 32—昭和 63 年) では、膨大な量の観測データを処理するため、戦後になると FACOM426B などの電動式計算機が導入された。また、昭和 49 年以降は、TOSBAC-3400 モデル 51 や HITAC M-280D などの大型汎用計算機 (メインフレーム) が導入されて、計算作業に活躍した。しかし、それ以前の緯度観測所では、計算用ツールの主力と言えば、機械式計算機だった。特に日本製の手廻し計算機であるタイガー計算機が多数設置され、緯度観測所での日々の計算作業に重宝されていたと言われている。しかし、そのタイガー計算機が緯度観測所において具体的にどのように使用されていたのかを示す文書や写真は、管見では、残念ながら見つからない。そこで、緯度観測所において国際極運動観測事業 (International Polar Motion Service, IPMS) の計算係として勤務されていた元所員の方々にご協力いただき、同事業のためにどのようにタイガー計算機を使用していたのかについて、聴き取り調査を実施した。また、実際にタイガー計算機を使用して、当時の計算作業の様子も再現していただいた。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Y21a 「惑星」の「地球」化：用語使用の学術史・政策史的観点からの検討

玉澤春史 (東京大学/京都市立芸術大学)

惑星 (planet) は恒星の周囲をまわる巨大な天体、太陽系においては地球を含む 8 この天体のことを指す。定義上惑星はより一般的な内容をさす用語であり、その点を考慮して学術分野として惑星科学が活発になり、従来地学あるいは地球惑星科学といわれていたものが地球惑星科学と銘打つことによりより広い範囲を取り込むことが可能になっている。一方で、近年の惑星 (planet) の使用例をみると必ずしもそうではないケースがみられる。グローバルヘルスを拡張した概念としてプラネタリーヘルス、都市研究のアプローチとしてプラネタリーアーバニゼーション、また天文学に近い分野でも従来スペースガードとよばれていたものがプラネタリーディフェンスと呼ばれており、これらはかならずしも惑星という地球より一般的な内容をさすというよりは地球という言葉別の視点でとらえるという意識が垣間見える。思想・哲学でもハイデガーが Planetarisches という使い方しており、ここでは語源の差から地球とは区別して使用している。また Yuk Hui が Planetarization といってグローバル化と区別して使用している。天文学研究者のもつ「惑星」に関するイメージと必ずしも一致しない使用例があるが、天文学における概念整理後の使用、あるいは翻訳整理後の使用のあとに他分野で流用される例の一つともいえる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Y22a 超高齢化社会における天文教育の挑戦

鷹野重之, 小田部貴子, 香川治美 (九州産業大学)

近年、特に先進国では高齢化が急速に進んでおり、高齢者の生涯学習の機会が増えている。従来の高齢者学習研究においては、高齢者教育は社会福祉の一環であり、高齢者の健康の維持や精神的充実などが主たる目的であった。しかし、健康寿命が伸びた近年、退職後も相当期間、高齢者の方々は健康を維持しており、その学習活動ももはや衰えへの準備ではなく、知的好奇心の充足や人生を楽しむためのもの、ウェルビーイング実現のためのものへと変化してきている。このような環境のもと、天文学をはじめとする自然科学は、高齢者の学習テーマとして大きな魅力を持ち得るだろう。

本研究では、これまで顧みられることのなかった、天文学や自然科学に対する高齢者の学習ニーズを調べ、高齢者学習に適合した天文教育の方法論を検討する。積極的な学習活動を行う高齢者を対象とし、高齢者がどのような学習テーマを好むかを調査した。結果、現代の高齢者は、従来想定されてきた学習ニーズ（衰えへの準備、他者とのつながり、ライフレビューなど）よりも、むしろ学習を楽しみ、学習を通しての視野の拡大を志向し、そのようなニーズを満たせる学習テーマを選択することがわかった。その中で、天文学をはじめとする自然科学も幅広く高齢者の関心を集めていることが確認された。一方で、健康といえども視力・聴力、短期記憶などの面で衰えを抱えて高齢学習者は、プラネタリウムなどの一部の視聴覚教材の利用には困難を感じる場合もある。逆に、豊富な知識を統合し、ものごとを鑑賞し評価する能力は年齢とともに伸び続ける。そこで、天文学コミュニティにできる社会貢献として、安全に配慮し、高齢者の特性にあった教育方法について検討を行うことで、高齢者の知的活動をサポートし、充実した「第三の人生」の実現に寄与することが重要となっていくだろう。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Y23a Wikipedia 日本語版星座記事の抜本的改稿による天文文化の普及

小林道生

近年の情報発信手段の多様化・簡易化に伴い、星・星座等の天文文化や天文学に関する情報も、ブログや SNS、動画サイトなど様々な階層と手法で発信されるようになった。一方で、発信力の強い人物から誤った情報が発信されやすい状況でもあると言える。特に星座に関しては、その由来・成立史や伝承について事実とは大きく異なる情報が発信される事例が散見される。この背景には、この分野での日本語文献の更新の遅れがある。

ICT の発展・浸透が進んだ 2010 年代以降は国内外問わず、学術論文等の一次資料、中世以降の天文学に関する一次史料や古代ギリシャ・ローマの文献に関する二次資料等に触れることが容易となったことで、野尻抱影・原恵等の先人が活躍された 1970-80 年代までとは異なる、より正確な情報が得られるようになった。しかし、これら近年の研究成果を踏まえた上で星座に属する天体や成立の歴史、関連する伝承を網羅して書かれた日本語の文献は未だ出版されておらず、先人が遺した文献の影響力が強く残されたままとっている。

かかる状況を鑑みて、本実践では Wikipedia 日本語版の星座関連の記事を抜本的に改稿することで、一般層に加えて天文アウトリーチに関わる人へのアウトリーチにも取り組む。Wikipedia 日本語版の天文関連記事の中でも、星座の分野は未だ十分な改善が図れていない。そのため本実践では、Wikipedia の「誰でも編集可能」「独自研究の禁止」「信頼できる情報源」「検証可能性」といった利点を活かしながら、1) 星座に属する天体に関する近年の研究結果や天文学史上の情報 2) 星座の由来・成立史 3) 星座と直結した伝承 4) 日本での呼称の変遷 5) 星・星群の和名の 5 つの観点を軸に加筆修正することで、目的の達成を目指す。

本講演では、改稿の要点と進捗、ここまで得られた成果について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Y24a 豪雪地帯における夜空の明るさ連続測定の試み

小野間 史樹, 竹植 希 (星空公園), 中城 智之 (福井工業大学)

「夜空の明るさ」とは人間活動に伴う照明の上方漏れ光により夜空のバックグラウンドが自然光以上に明るくなることである。この夜空の明るさは日々変化しており、我々はデジタル一眼カメラを利用したカメラボックスを運用し、日本各地でその変化を測定してきた。

福井県大野市では星空保護区認定のため照明の改修や市民への啓発活動などを行ってきた。星空保護区への申請にあたり夜空の明るさを測定する必要があったが、大野市は特に冬期に積雪が多く特別豪雪地帯にも指定されており、これまでのカメラボックスでは積雪に埋もれてしまう恐れがあるため、これまで運用してきたカメラボックスの豪雪地帯への対応を検討した。

カメラボックスの亚克力窓周辺をヒータで加温し、付着した雪を溶かす機能を持たせた。溶かした雪を落下させるためカメラボックスは水平から約 30° 傾けて設置した。さらに亚克力窓表面にコーティング材を塗布することで融雪をすばやく落下させる構造とした。このカメラボックスを 2022 年 11 月 27 日から 2023 年 2 月 3 日にかけて星空保護区の申請地域内である旧六呂師小学校に設置した。積雪のあった期間においても表面の雪は落下し、晴天時に正常に撮影されていることを確認した。

撮影された画像解析により、夜空の明るさは天候条件の良いときで 21.2 等級/□” より暗く、星空保護区への申請に十分な環境であることが確認された。また、冬期の積雪時には雪による地表面の散乱により夜空が明るくなる事象もみられている。これらの測定結果をもとに大野市が星空保護区へ申請し、2023 年 8 月にアーバン・ナイトスカイプレイスのカテゴリで認定を受けている。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

【2023年秋季年会講演取消一覧】

- V339c 超小型衛星による、宇宙空間からの太陽中性子の観測 (VII)
山岡和貴 (名古屋大学)
- X16c Application of machine learning to the spatially resolved SFR–Mass relation
SHI, Wen E. (Nagoya University)

講演者索引
(50音順)

【A】 - 【Z】

Boggs, Steven	Z315r
Cooray, Suchetha	Z209a
Greene, Jenny	Z117r
Hayashi, Kohei	Z109b
Hayashi, Saeko S.	V205a
Hirai, Yutaka	Z111a
Huang, Chujie	M15c
Huang, Yuxin	U12a
Ikarashi, Soh	R04a
Iye, Masanori	Z126b
KATAOKA, Jun	Z320a
Keszthelyi, Zsolt	N02a
Kirby, Evan N.	Z102r
LAISHRAM, Ronaldo	Z124b
Lee, Inseob	U09a
Lee, Khee-Gan	Z119a
Liang, Yongming	Z120a
Liu, Yuhua	P127a
Liu, Zhaoxuan	X15a
Mao, Zhiying	Z131a
Ming, Qihui	M12b
Morishita, Takahiro	X31a
Nagamine, Kentaro	Z112a
Oka, Tomohiko	Z318a
Omori, Kiyooki Christopher	X03a
Panta, Bhola	M41a
Ren, Yi	X41a
Shan, Wenlei	V121a
SHI, Wen E.	X17a
Tagawa, Hiromichi	W18a
Tsuboi, Masato	R13a
Vovk, Ievgen	U03a
Wu, Fan	W06a
Zhang, Yechi	Z128a
ZHOU, Xinyu	M21a

【あ】

青木悠馬 (あおき ゆうま).....	V305a
青木和光 (あおき わこう).....	Z134a
青島正和 (あおしま まさかず).....	U11a
青山有未来 (あおやま あみら).....	V329a
青山祐也 (あおやま ゆうや).....	W14a
赤須孔一郎 (あかす こういちろう).....	V313c
縣秀彦 (あがた ひでひこ).....	Y03a
赤堀卓也 (あかほり たくや).....	V106a
秋山和徳 (あきやま かずのり).....	V103a
朝比奈雄太 (あさひな ゆうた).....	Z211b
東竜一 (あずま りゅういち).....	V332a
麻生有佑 (あそう ゆうすけ).....	P118a
穴澤萌衣 (あなざわ もえ).....	N22a
阿部正太郎 (あべ しょうたろう).....	Q02a
安部大晟 (あべ だいせい).....	P101a
甘田溪 (あまだ けい).....	N10b
安藤和子 (あんどう かずこ).....	N11b
安東正樹 (あんどう まさき).....	V224a
安福千貴 (あんぷく かずき).....	V319a
安樂由実子 (あんらく ゆみこ).....	Q05a

【い】

飯島陽久 (いいじま はるひさ).....	M32a
幾田佳 (いくた かい).....	M04a
生田ちさと (いくた ちさと).....	Y18a
井口聖 (いぐち さとる).....	V107a
石垣美歩 (いしがき みほ).....	Z132r
石神瞬 (いしがみ しゅん).....	M23a
石川慶太郎 (いしかわ けいたろう).....	U05a
石川遼子 (いしかわ りょうこ).....	M20a
石川怜 (いしかわ れい).....	V311b
石崎欣尚 (いしさき よしたか).....	V302a
石田光宏 (いしだ みつひろ).....	N09a
石田侑一郎 (いしだ ゆういちろう).....	X18a
石山智明 (いしやま ともあき).....	Z110r
泉拓磨 (いずみ たくま).....	V116a
泉浦秀行 (いずみうら ひでゆき).....	V212b

磯部優樹(いそべ ゆうき).....	X38a
伊藤大将(いとう だいすけ).....	T04a
井上昭雄(いのうえ あきお).....	V215a
井上開輝(いのうえ かいき).....	Z229a
井上峻(いのうえ しゅん).....	M01a
井上進(いのうえ すずむ).....	Z304a
今井聖也(いまい せいや).....	Z123b
今田大皓(いまだ ひろあき).....	V120a
今村千博(いまむら ちひろ).....	V127a
岩井一正(いわい かずまさ).....	V101a
岩上わかな(いわかみ わかな).....	N12b
岩倉龍太郎(いわくら りゅうたろう).....	P116a
岩田和也(いわた かずや).....	N19a
岩田智子(いわた さとこ).....	V328a
岩永響生(いわなが ひびき).....	M46a

【う】

植田高啓(うえだ たかひろ).....	P207a
植田稔也(うえた としや).....	R20a
植田稔也(うえた としや).....	Z125b
上野航介(うえの こうすけ).....	Z203a
植松亮祐(うえまつ りょうすけ).....	S06a
魚住光史(うおずみ こうし).....	Q04a
碓氷光崇(うすい みつたか).....	X40a
臼田知史(うすだ とものり).....	V204a
臼田 - 佐藤功美子(うすだ - さとう くみこ).....	Y07a
内田裕之(うちだ ひろゆき).....	N21a
内山秀樹(うちやま ひでき).....	Y02a
梅谷翼(うめたに つばさ).....	P307a
鵜山太智(うやま たいち).....	P302a
浦川聖太郎(うらかわ せいたろう).....	Y17a
浦郷陸(うらごう りく).....	N03a
浦田岬(うらた みさき).....	R11b
浦部蒼太(うらべ そうた).....	M02a

【え】

江副祐一郎(えぞえ ゆういちろう).....	V326a
榎木谷海(えのきだに うみ).....	V217a

榎谷玲依(えのきや れい).....	Q13a
榎戸輝揚(えのと てるあき).....	V315a
江山晋世(えやま しんせい).....	Z214b

【お】

王蘊玉(おう うんぎょく).....	P104a
大久保宏真(おおくぼ ひろま).....	R06a
大窪遼介(おおくぼ りょうすけ).....	M43a
大熊佳吾(おおくま けいご).....	Z311b
大須賀健(おおすが けん).....	Z201r
大曾根聡子(おおそね さとこ).....	S09a
大曾根渉(おおそね わたる).....	X10b
大田尚享(おおた なおゆき).....	V327a
太田隼(おおた はやと).....	X23a
大滝恒輝(おおたき こうき).....	Z108b
大津天斗(おおつ たかと).....	M05a
大坪貴文(おおつぼ たかふみ).....	P314b
大前陸人(おおまえ りくと).....	R19a
大宮正士(おおみや まさし).....	P301a
大宮正士(おおみや まさし).....	V213b
大宮悠希(おおみや ゆうき).....	T03a
大村充輝(おおむら みつき).....	P129a
大家寛(おおや ひろし).....	S12a
大屋瑤子(おおや ようこ).....	P120a
岡光夫(おか みつお).....	M25a
岡崎敦男(おかざき あつお).....	W33a
小笠原聖純(おがさわら しょうじゅん).....	Z309b
岡田寛子(おかだ ひろこ).....	N06a
岡田裕太(おかだ ゆうた).....	W13a
小上樹(おがみ いつき).....	Z104a
岡本桜子(おかもと さくらこ).....	Z103a
小川翔司(おがわ しょうじ).....	V307a
奥裕理(おく ゆうり).....	Z113a
尾崎忍夫(おざき しのぶ).....	V210b
小野宜昭(おの よしあき).....	X36a
尾上匡房(おのうえ まさふさ).....	X05a
小野寺仁人(おのでら まさと).....	Z130a
小野間史樹(おのま ふみき).....	Y24a
小山貴裕(おやま たかひろ).....	P121a

折原龍太(おりはら りゅうた).....P211a

【か】

加賀谷美佳(かがや みか).....Z313b

柿内健佑(かきうち けんすけ).....Q03a

笠木結(かさぎ ゆい).....P303a

柏野大地(かしの だいち).....X32a

加島颯太(かしま そうた).....V323a

柏崎未有(かしわざき みう).....V132a

加藤裕太(かとう ゆうた).....M45a

加藤裕太(かとう ゆうた).....Z213b

金田優香(かねだ ゆうか).....Z107b

金丸善朗(かねまる よしあき).....V310a

加納龍生(かのう りゅうせい).....X27a

鴈野重之(かりの しげゆき).....Y22a

河合宏紀(かわい ひろき).....U18a

川下大響(かわしも ひろき).....N16a

川中宣太(かわなか のりた).....X02a

川畑佑典(かわばた ゆうすけ).....M17a

川室太希(かわむろ たいき).....S05a

神原祐樹(かんばら ゆうき).....P309a

【き】

岸川涼(きしかわ りょう).....R01a

岸本拓海(きしもと たくみ).....V330a

木田祐希(きだ ゆうき).....M08a

北川陽斗(きたがわ はると).....X12b

北本俊二(きたもと しゅんじ).....V337a

木村和貴(きむら かずたか).....P115a

木村成生(きむら しげお).....Z305a

木村正樹(きむら まさき).....Y10b

木邑真理子(きむら まりこ).....W35a

喜友名正樹(きゆな まさき).....P113a

清田朋和(きよた ともかず).....X09a

【く】

草深陽(くさふか よう).....W04a

工藤真奈(くどう まな).....R07a

工藤祐己(くどう ゆうき).....S15a

国吉秀鷹(くによし ひでたか).....M22a

久保雅仁(くぼ まさひと).....M16a

熊野朱里(くまの あかり).....N14a

藏原昂平(くらはら こうへい).....T01a

倉本春希(くらもと はるき).....V334a

黒川音彩(くろかわ ねいろ).....W37a

黒田裕太郎(くろだ ゆうたろう).....W10a

桑山陽次(くわやま ようじ).....V125a

【こ】

小出眞路(こいで しんじ).....M30a

上月雄人(こうづき ゆうと).....V122a

河野孝太郎(こうの こうたろう).....V126a

小久保充(こくぼ みつる).....X07a

小嶋崇文(こじま たかふみ).....V118a

小嶋康史(こじま やすふみ).....W21a

後藤一郎(ごとう いちろう).....M07a

後藤絵美(ごとう えみ).....M03a

後藤虎斗(ごとう たかと).....R08a

小西諒太郎(こにし りょうたろう).....R02a

小林浩平(こばやし こうへい).....W16a

小林翔悟(こばやし しょうご).....W28a

小林道生(こばやし みちお).....Y23a

小林洋祐(こばやし ようすけ).....U06a

駒木彩乃(こまき あやの).....P209a

近藤謙成(こんどう けんせい).....Z212b

近藤勇仁(こんどう ゆうと).....V229a

【さ】

崔仁士(さい じんし).....P119a

斎藤俊(さいとう しゅん).....Z122b

斎藤貴之(さいとう たかゆき).....X28a

斉藤裕次郎(さいとう ゆうじろう).....W31a

嵯峨承平(さが しょうへい).....U13a

坂井晃生(さかい こうせい).....T05a

坂井延行(さかい のぶゆき).....S01a

酒井優輔(さかい ゆうすけ).....	Q09a
坂尾太郎(さかお たろう).....	V324a
埴隆志(さこ たかし).....	V317a
佐々木俊輔(ささき しゅんすけ).....	N18a
定成健児エリック(さだなり けんじえりっく).....	P114a
佐藤恭輔(さとう きょうすけ).....	X22a
佐藤太貴(さとう たいき).....	P205b
佐藤文衛(さとう ぶんえい).....	P305a
佐藤優理(さとう ゆり).....	W03a
佐藤理究(さとう りく).....	Z215b
佐野圭(さの けい).....	V206a
澤田涼(さわだ りょう).....	Z301r

【し】

塩田大幸(しおた だいこう).....	M27b
鹿内みのり(しかうち みのり).....	N04a
宍戸萌那(ししど もな).....	T06a
志達めぐみ(しだつ めぐみ).....	V309a
篠田兼伍(しのだ けんご).....	W05a
柴崎清登(しばさき きよと).....	M37a
柴田晋平(しばた しんぺい).....	W20a
嶋川里澄(しまかわ りずむ).....	Z129a
島尻芳人(しまじり よしと).....	Z206a
島田悠愛(しまだ ゆうま).....	W11a
島谷侑希(しまたに ゆうき).....	Q16a
清水敏文(しみず としふみ).....	V227a
下井倉ともみ(しもいくら ともみ).....	P111b
城壮一郎(じょう そういちろう).....	P126a
所司歩夢(しよし あゆむ).....	P202a
白崎正人(しらさき まさと).....	Z224r
白澤稜太(しらすわ りょうた).....	X01a
白濱健太郎(しらはま けんたろう).....	Z308b
神野天里(じんの てんり).....	P310a

【す】

末松芳法(すえまつ よしのり).....	M19a
菅井春佳(すがい はるか).....	V336a
菅原一希(すがわら かずき).....	W12a

杉崎睦(すぎざき むつみ).....	W17a
鈴木昭宏(すずき あきひろ).....	Z302a
鈴木智子(すずき ともこ).....	Z118a
鈴木善久(すずき よしひさ).....	Z116b
鈴木嘉也(すずき よしや).....	M31a
須田一功(すだ かずのり).....	T02a
須田拓馬(すだ たくま).....	N07a
須田祐介(すだ ゆうすけ).....	Z306a

【せ】

関口瑞希(せきぐち みずき).....	Z208a
瀬戸口健太(せとぐち けんた).....	S19a

【た】

高田将郎(たかた まさお).....	M40a
高梨直紘(たかなし なおひろ).....	Y14b
高梨直紘(たかなし なおひろ).....	Y16a
高橋一郎(たかはし いちろう).....	Z221a
高橋智子(たかはし さとこ).....	P117a
高橋茂(たかはし しげる).....	P313b
高橋忠幸(たかはし ただゆき).....	Z321a
高橋弘毅(たかはし ひろたか).....	Z217r
高橋龍一(たかはし りゅういち).....	U14a
高間大輝(たかま だいき).....	P311a
高見道弘(たかみ みちひろ).....	P212a
宝田拓也(たからだ たくや).....	P304a
瀧元健伸(たきもと けんしん).....	R10b
竹井麻衣香(たけい まいか).....	M06a
竹内清香(たけうち さやか).....	Q08a
武尾舞(たけお まい).....	W38a
武田佳大(たけだ よしひろ).....	Z222a
竹林晃大(たけばやし こうだい).....	W08a
竹原大智(たけはら だいち).....	V102a
田代信(たしろ まこと).....	V301a
辰己賢太(たつみ けんた).....	Q10b
立松健一(たてまつ けんいち).....	P107a
田中邦彦(たなか くにひこ).....	R03a
田中賢(たなか さとし).....	Z226a

田中匠(たなか たくみ).....	X08a
田中智永(たなか ともなが).....	V134a
田中颯(たなか はやと).....	V207a
谷田幸貴(たにだ こうき).....	U15a
谷本敦(たにもと あつし).....	S16a
玉澤春史(たまざわ はるふみ).....	Y21a
玉城磨生(たましろ まお).....	P106a
田村直之(たむら なおゆき).....	Z101r
丹海歩(たん みほ).....	W09b
丹波翼(たんば つばさ).....	Z307a
反保雄介(たんぼ ゆうすけ).....	W36a

【ち】

茅根裕司(ちのね ゆうじ).....	U02a
中馬史博(ちゅうまん ふみひろ).....	U16a
趙彪(ちょう ひょう).....	V218a
陳諾(ちん だく).....	X16a
陳たん(ちん たん).....	V225a

【つ】

辻直美(つじ なおみ).....	Z317a
土屋史紀(つちや ふみのり).....	V221a
津々木里咲(つつき りさ).....	Z219a
津名大地(つな だいち).....	X26a
恒任優(つねとう ゆう).....	S04a

【て】

鄭祥子(てい あきこ).....	M28a
出町史夏(でまち ふみか).....	R18a
寺内健太(てらうち けんた).....	W01a
寺澤凌(てらさわ りょう).....	U07a
寺田由佳(てらだ ゆか).....	P213a
寺農夏樹(てらの なつき).....	Q07a
照井勇登(てるい ゆうと).....	X13c

【と】

土井聖明(どい きよあき).....	P210a
土井靖生(どい やすお).....	P125a
堂谷忠靖(どうたに ただやす).....	V130a
當村一朗(とうむら いちろう).....	M09a
徳田一起(とくだ かずき).....	P110b
徳田一起(とくだ かずき).....	P128a
徳地研人(とくち けんと).....	V201a
鳥羽儀樹(とば よしき).....	Z127a
土橋一仁(どばし かずひと).....	Y01a
戸丸一樹(とまる かずき).....	Z115b
富田晃彦(とみた あきひこ).....	Y09b
富永望(とみなが のぞむ).....	Z133a

【な】

内藤由浩(ないとう よしひろ).....	M29a
直川史寛(なおかわ ふみひろ).....	U01a
永井悠太郎(ながい ゆうたろう).....	W27a
中川俊輔(なかがわ しゅんすけ).....	V209b
中澤知洋(なかざわ かずひろ).....	V314a
中島王彦(なかじま きみひこ).....	X33a
中嶋大(なかじま ひろし).....	V304a
長嶋悠月(ながしま ゆづき).....	R05a
永田伸一(ながた しんいち).....	V226a
長田真季(ながた まき).....	R15a
中谷友哉(なかたに ゆうや).....	S08a
中野覚矢(なかの さとや).....	R09a
中野覚矢(なかの さとや).....	R12b
中野新太郎(なかの しんたろう).....	U08a
中道晶香(なかみち あきか).....	Y19a
中村賢仁(なかむら けんじ).....	W19b
中村文隆(なかむら ふみたか).....	P122b
中村文隆(なかむら ふみたか).....	P123b
中村悠哉(なかむら ゆうや).....	Z319a
中森健之(なかもり たけし).....	V203a
成田佳奈香(なりた かなこ).....	Q15a
成田拓仁(なりた たくと).....	N23a
成影典之(なるかげ のりゆき).....	V318a

【に】

新沼浩太郎(にいぬま こうたろう).....	V111c
新沼浩太郎(にいぬま こうたろう).....	V115c
西浦慎悟(にしうら しんご).....	Y12c
西尾恵里花(にしお えりか).....	P203a
西垣萌香(にしがき もか).....	X24a
西澤諒(にしざわ りょう).....	P206b
西塚直人(にしづか なおと).....	Z216r
西道啓博(にしみち たかひろ).....	Z225a
西村淳(にしむら あつし).....	P108a
西村信哉(にしむら のぶや).....	N20a
西村悠太(にしむら ゆうた).....	Z312b
西村優里(にしむら ゆり).....	R16a
西本晋平(にしもと しんぺい).....	Z207a
二之湯開登(にのゆ かいと).....	W15a
二村徳宏(にむら とくひろ).....	P308a

【ね】

根來均(ねごろ ひとし).....	W30a
-------------------	------

【の】

野崎信吾(のざき しんご).....	P109a
野田浩司(のだ こうじ).....	V316a
野田常雄(のだ つねお).....	Y04a
野原祥吾(のはら しょうご).....	Y11b
登口暁(のぼりぐち あかとき).....	X06a
登口暁(のぼりぐち あかとき).....	X11b
乗本雄真(のりもと ゆうま).....	V223a

【は】

萩原喜昭(はぎわら よしあき).....	S07a
橋爪大樹(はしづめ まさき).....	V331a
橋山和明(はしやま かずあき).....	W24a
長谷川均(はせがわ ひとし).....	P312a
播田實りょう太(はたみ りょうた).....	N17a
八田良樹(はった よしき).....	M39a

八田良樹(はった よしき).....	N13c
服部英里子(はっとり えりこ).....	N24a
服部公平(はっとり こうへい).....	Z205a
花岡庸一郎(はなおか よういちろう).....	M11b
花山秀和(はなやま ひでかず).....	P306c
馬場幸栄(ばば ゆきえ).....	Y20a
林隆之(はやし たかゆき).....	S03a
林多佳由(はやし たかゆき).....	V306a
林隆之(はやし たかゆき).....	Y13b
原正(はら ただし).....	Y08a
原弘久(はら ひろひさ).....	V228a
原田了(はらだ あきら).....	Z210b
播金優一(はりかね ゆういち).....	Z121a
馬場彩(ばんば あや).....	W34a
伴場由美(ばんば ゆみ).....	M42a

【ひ】

彦坂拓海(ひこさか たくみ).....	V128a
平井遼介(ひらい りょうすけ).....	W25a
平島敬也(ひらしま けいや).....	Z223r
平野信吾(ひらの しんご).....	X30a
平原靖大(ひらはら やすひろ).....	V219a
平松大地(ひらまつ だいち).....	N15a
廣島渚(ひろしま なぎさ).....	U04a
廣瀬開陽(ひろせ はるあき).....	V133a
広瀬暖菜(ひろせ はるな).....	M10a

【ふ】

深川美里(ふかがわ みさと).....	V117a
深沢泰司(ふかざわ やすし).....	V333a
深谷直史(ふかや なおふみ).....	P103a
福井康雄(ふくい やすお).....	P105a
福島啓太(ふくしま けいた).....	Z114b
福島肇(ふくしま はじめ).....	X25a
藤井通子(ふじい みちこ).....	X19a
藤井隆登(ふじい りゅうと).....	V321a
藤澤幸太郎(ふじさわ こうたろう).....	W22a
藤田裕(ふじた ゆたか).....	S17a

藤村皓太(ふじむら こうた).....	V222a
藤本健二郎(ふじもと けんじろう).....	V312b
藤森愛梨沙(ふじもり ありさ).....	M34a
藤原ケイ(ふじわら けい).....	M36a
藤原立貴(ふじわら たつき).....	Z303a
札幌佳伸(ふだもと よしのぶ).....	X37a
船越菜月(ふなこし なつき).....	R14a
船渡陽子(ふなと ようこ).....	X20a
古瀬愛実(ふるせ まなみ).....	Q14a
古塚来未(ふるつか くるみ).....	N08a

【ほ】

星篤志(ほし あつし).....	S11b
星宏樹(ほし ひろき).....	X04a
星野龍一(ほしの りゅういち).....	Z220a
堀田英之(ほった ひでゆき).....	M38a
穂満理生(ほまん りき).....	V211b
本間希樹(ほんま まれき).....	V104a

【ま】

前田護(まえだ まもる).....	M44a
前田祐輔(まえだ ゆうすけ).....	S13a
前田龍之介(まえだ りゅうのすけ).....	P112c
前原瑚菜(まえはら こまち).....	X34a
政田洋平(まさだ ようへい).....	Z204a
増井翔(ますい しょう).....	V119a
増田賢人(ますだ けんと).....	N05a
町田真美(まちだ まみ).....	V113c
松浦周二(まつうら しゅうじ).....	V208a
松坂怜(まつさか れん).....	R17a
松下恭子(まつした きょうこ).....	Q06a
松田真宗(まつだ まさむね).....	Q12a
松野允郁(まつの ただふみ).....	X21a
松原空洋(まつばら たかひろ).....	V110b
松本岳人(まつもと がくと).....	V335a
松本重貴(まつもと しげき).....	Z314r
松本琢磨(まつもと たくま).....	M24a
松本健(まつもと たける).....	V108b

松本洋介(まつもと ようすけ).....	Z202a
丸尾岳(まるお たかし).....	V214c
馬渡健(まわたり けん).....	X39a

【み】

三浦大貴(みうら だいき).....	W29a
水越翔一郎(みずこし しょういちろう).....	S14a
三石郁之(みついし いくゆき).....	V322a
箕田鉄兵(みのだ てっぺい).....	U10a
宮城生成(みやぎ きなり).....	W32a
宮崎翔太(みやざき しょうた).....	V220a
三好真(みよし まこと).....	S10a

【む】

村上広椰(むらかみ こうや).....	Z228a
村上優奈(むらかみ ゆうな).....	Q01a
村瀬建(むらせ たける).....	V109b

【も】

望月雄友(もちづき ゆうと).....	V303a
森拓理(もり ひろみち).....	V131a
森正夫(もり まさお).....	Z105a
森由貴(もり ゆき).....	V202a
森椋平(もり りょうへい).....	Z310b
森川莞地(もりかわ かんじ).....	W07a
森本大輝(もりもと だいき).....	Q11b
森脇可奈(もりわき かな).....	Z227a
諸隈佳菜(もろくま かな).....	X29a

【や】

保田悠紀(やすだ ゆうき).....	N01a
柳澤顕史(やなぎさわ けんし).....	Y15b
山岡和貴(やまおか かずたか).....	V325c
山口慎太郎(やまぐち しんたろう).....	M35a
山口正行(やまぐち まさゆき).....	P201a
山口未沙(やまぐち みさ).....	Z106b

山崎大(やまざき だい).....Y05a
 山崎大輝(やまさき だいき).....M13b
 山崎大輝(やまさき だいき).....M14c
 山崎大輝(やまさき だいき).....M18a
 山崎康正(やまさき やすまさ).....V124a
 山田智史(やまだ さとし).....S02a
 山田麟(やまだ りん).....P102a
 山野井瞳(やまのい ひとみ).....Y06a
 鎗本浩孝(やりもと ひろたか).....U17a

和田知己(わだ ともき).....W26a
 渡邊一輝(わたなべ かずき).....V129a

【ゆ】

油谷直道(ゆたに なおみち).....S18a
 湯山義崇(ゆやま よしたか).....V123a

【よ】

吉浦伸太郎(よしうら しんたろう).....V105a
 吉浦伸太郎(よしうら しんたろう).....V112c
 吉岡岳洋(よしおか たけひろ).....X35a
 吉田有宏(よしだ ともひろ).....P204a
 吉田南(よしだ みなみ).....M33a
 吉田雄城(よしだ ゆうき).....P208a
 吉田有佑(よしだ ゆうすけ).....V320a
 吉野碧斗(よしの あおと).....P124b
 吉久健朗(よしひさ たけろう).....M26b
 善本真梨那(よしもと まりな).....V308a
 米倉直紀(よねくら なおき).....X14a
 米倉覚則(よねくら よしのり).....V114c
 米田浩基(よねだ ひろき).....Z316a
 米山友景(よねやま ともかげ).....W23a

【り】

李源(り げん).....V216a
 林浩翔(りん はおしゃん).....W02a

【わ】

和田空大(わだ そらと).....Z218a

2024年2月20日発行

年会実行委員会

委員長 廿日出 文 洋 (国立天文台)

委員	和 泉 究 (宇宙航空研究開発機構)	
	泉 拓 磨 (国立天文台)	
	大 澤 亮 (国立天文台)	
	大 屋 瑶 子 (京都大学)	
	大 藪 進 喜 (徳島大学)	
	小 西 美穂子 (大分大学)	
	佐 藤 寿 紀 (明治大学)	
	庄 田 宗 人 (東京大学)	
	鈴木 知 治 (中部大学)	
	浅井 步 (京都大学)	保育室担当
	市 来 淨 與 (名古屋大学)	保育室担当

年会開催地理事

吉 田 直 紀 (東京大学)