
X線星とブラックホール

1975年12月6日
朝日講堂において

小 田 稔

先ほどご紹介をいただきました小田でございます。今から表題のようなブラックホールの話をいたしたいと思いますが、ブラックホールというのは実はたいへんむずかしい話題でありまして、いわゆる一般相対論と直結した話でございます。実は私は学生の頃以来不勉強で、一般相対論というものがよくわからないのですが、その私がブラックホールのお話をするのでまことに気がひけているわけです。ブラックホールというのはそんなわけで、専門の方々の間でも本当はわかっていないのではないかと思うほどむずかしいのですが、一方、ブラックホールという話題は近頃たいへんポピュラーになって、「少年マガジン」なんかにも出てくるようです。甲子園の

球場に現れてきて、球をパクリと呑みこんだりするような話まであるようです。

もう半年程前になりますが、私の研究所の交換手のお嬢さんから電話がかかってくるので、
“今「プレイボーイ」という雑誌から先生へ電話がかかってきましたが つなぎましょうか”と言います。実はその頃、まあその頃に限りませんが、大学の教授というものは時々いろいろなことをしてかすものですから、さては何かやったかと思って心配してあらかじめしらせてきたんでしょう。で、“もちろん喜んでお相手します”と電話に出たところが、私がバーミュダ海域とかいうものの専門家だそうなので、というお話でした。私は海のことは知らないで、あわてて、それは海洋研究所へ

聞いてくれと断わったのです。後で聞いたところによると、バーミュダ海域というのは船だとか飛行機だとかを次から次へと呑み込んでしまう謎の海域だそうです。その海域の下にブラックホールがパクリと口をあけている、なんかそういうようなイメージのようです。まあ考えようによってはそういうような面もブラックホールには無いではないのですが、今日のところはもう少し天体——星に関連したブラックホールのお話をしてみたいと思います。

星を“つぶし
て”いくと

ブラックホールといいますのは、いわば星、われわれにとって一番ポピュラーな星である太陽に代表される星を“つぶして”いった極限といったしろものであります。星を簡単につぶせるかということとは後でまたお話をするとしまして、星をつぶしていったらどうなるかという議論は、実はたいへん古いのでして、1920年代から30年代にかけてそういう議論がおこなわれております。それまでは——まあ今でもそうですが——普通の星がなぜあの一定の大きさを保っているかということは、いわゆる、ご存知の熱力学的な議論で済ませていたわけです。つまり温度が上がると

ガスの圧力が上がる、その圧力がその星の自分自身の重力を支えて一定の大きさを保っている、という議論です。ところがそれを極端におしつぶしていくといろいろな変わった状況が出てまいります。そこでわれわれが習う熱力学とはもう少し違った量子力学でありますとか、あるいはまた原子核物理学が必要になってきます。

1926年のことですが、電子の縮退圧というたいへん変わったタイプの圧力が理論的に考えられるようになってきました。ご存知のように入れわれの常識では温度を上げるとガスの圧力が上がります。ところが電子の縮退圧という圧力は温度によらずに密度だけによるものです。皆さんの中にパウリの禁止律というものをご存知の方が多くと思いますが、それは電子をある状態に2つ以上押し込むことはできないということです。したがって、ある体積の中に電子をある数以上つっこもうとすると、もはやつっこめない、ということが起きます。ということはそこに圧力が生じるということになります。そういうような新しいタイプの圧力と密度の関係式、つまりそういう新しい状態方程式をつかって物質の状態を記述する——そういうことが1920年代におこ

なわれたわけです。

たとえば太陽を仮にどんどんおしつぶせるとして、つぶしていきますと、 1cm^3 あたり 10^5g 、つまり 100kg ぐらいになりますと、今度は普通の意味の圧力ではなくてそういう縮退圧という圧力が働くようになる——そういうことが理論家の頭の中で仮想上の問題として出てきたわけです。

さて、太陽よりもっと重い星、詳しく言いますと、われわれの知っている太陽の質量の1.4倍よりもっと重い星を考えてみて、それをそういう状態まで縮めてみたとします。そうするといまの話の縮退圧が現れるのですけれども、そこまで縮めてしまいますと今度は星自身の重さが縮退圧にうちかかってしまう、つまり縮退圧が星の重さを支えきれなくなってしまう、そういう状態が生じます。支えきれなくなりますから今度は星はもっとつぶれようとしています。つぶれようとする一方縮退圧がこれに抵抗しようとするとなんが起るかというと、今までそこにいた電子、つまり縮退圧によって星の重さに抵抗しようとしていた電子がプロトン（陽子）に押し込まれて、つまり吸いこまれて中性子になる。そういう中性子ガスになる。そうすると今度は電子はい

ないわけですから、圧力がなくなって、星はブスブスとつぶれます。どんどんそういうふうにつぶれていきますと、今度は 1cm^3 あたり 10^{14}g 、ですから億の100万倍ぐらいの密度までつぶれます。

中性子が
びっしり

そこで中性子同士がお互いにびっしりと頭をつきあわすような状態になります。つまり星全体が原子核の密度とほぼ等しい状態にまでつぶれてしまいます。こういう状態の議論が1930年代の初期になされました。有名なオッペンハイマー先生とボルコフという人、それからあと二、三ありますが、そういう方々が、星を仮につぶすことができたならば中性子だけの星が、つまり原子核と同じ密度の星が、物理学的には考えられるという議論をしたのです。

さらにオッペンハイマーたちはこの議論をつきつめまして、今度は重さがもっと重かったらどうなるか、数字の上で申しますと太陽の質量の3倍よりもっと重かったらどうなるかという議論をしております。そうすると今度は中性子といえども無限にかたくはないので、さらにつぶれます。そうしますとこれ以上支えるものはないのでどんどんつぶれま

す。つぶれていきますとご存知のように重力は半径の2乗分の1ですから、つぶれると重力はますます大きくなるからますますつぶれる。そういうわけで永遠に、というとおかしいですが、つぶれざるをえない。そういう重力崩壊——重力によって崩壊する、そのような議論をオープンハイマー先生が1932年に論文に書いておられるわけです。

直径ゼロ

密度無限大

そういう重力崩壊のことをホイーラー先生がブラックホールという言葉で最近になってから表現なさったわけです。その言葉の意味はまた後で出てまいります。それが1930年代ですが、それから戦争の時代になり、オープンハイマーは原爆作りに追われており、この研究はずうっとやんでおりました。それから1950年代から64年にかけて原子核物理がさらにまた進歩したということ、また多体問題を取り扱う数学的技術が進歩したということ、それからコンピューターがたいへん進歩したということで、今度は新たな状態方程式、つまり星の中の高密度のつぶされた物質の中の状態方程式がさらに考えられるようになって、また中性子星だとかブラックホールの議論が新たな進展をすることになりました

た。

まとめてみますと、太陽のような普通の星は直径がざっと100万kmあります。そしてその密度は 1cm^3 あたり何gという程度です。それがつぶされていって、さっき言った電子の縮退圧のところで立ちどまった状態のことを天文のほうでは白色矮星、つまり白いこびと、英語では white dwarf といいます。そこまでつぶれると100万kmの直径は1万kmにまでなっています。そして密度は先程言いましたように 1cm^3 あたり100kgになります。それからそれをさらにつぶした中性子星の状態は直径が10km、つまり太陽がつぶれていってちょうど東京都の大きさ位になるという感じですが。その密度は先程言いましたように 1cm^3 あたり 10^{14}g です。それをさらにつぶしたブラックホールというものは、直径は無い、そして密度は無限大である、というわけです。

そういうようなおしつぶされた星が考えられるわけですが、ではそういうようなものが本当にあるか、あるいはどういうときに星をつぶすことができるかということが、次に問題になります。実はこういうつぶれた星は星の進化の最後のプロセスでできるようであり

ます。

星の一生

よくご存知のことだろうと思いますが、星というものは生まれて死んでいくわけです。たとえばよく知られている“すばる”（プレアデス星団）などは比較的新しい、何百万年という程度の星です。宇宙全体の寿命は百億年位ですけれど、それにくらべてたいへん若い生まれたての星があります。星の寿命はふつつ何十億年——重さにもよりますが何十億年という程度です。

そのプロセスを順に追ってみますと、はじめに星間空間、ガスと塵の雲、暗黒の星雲があります。その雲がだんだん動いているうちになんとなくあるところへ寄りかたまってくるとします。そうすると雲といっても全体で太陽の質量の何千倍という程度で自分自身たいへん重いものですから、自分自身の重力でだんだん固まっていきます。だんだん収縮して、圧力が高くなり、そうやってだんだんあたたまっていき、ある日突然その星の中の状態が圧力が高くしかも温度が高くなって、核融合反応を起こすのにちょうどよい状態に達します。そこでポッと核融合の火がつくわけです。で、火がつくと温度が上がりますからますますその核融合反応が起きやすくなる。

そういうわけで、そこで星が誕生し、燃え続けるわけです。

つぎつぎと 種々の核反応

生まれたての星はほとんど水素ですから、水素が融合してヘリウムを作るわけです。そして実に上手にその反応がコントロールされています。というのは温度がある程度上がると星がふくらもうとして温度が下がる。そういうふうにして、たいへん上手な核融合炉ができています。ところがそういうふうにして融合していくとともに、その中心にだんだんヘリウムの“燃えかす”がたまってきます。その燃えかすがたまるとともに、星としてはいろいろなことをやるわけです。その辺のいろいろなプロセス、つまり星が進化していくプロセスについては有名な京大の林忠四郎先生のほか多数の人たちの理論的なお仕事があります。そういった計算によると、ヘリウムがたくさんたまっていきますと星はブクブクふくれるのだそうです。われわれの太陽が将来そういう状態になると、地球を呑みこんでちょうど土星のあたりまでふくれることになるそうです。そこまでたまると今度はヘリウムが核反応を始めて、それからまたいろいろなプロセスを起こすわけですけれど、そういう

ようにしてヘリウムは融合して炭素に、あるいはネオンになり、炭素やネオンはさらに融合してシリコンになり、そういうようにして重い方へ重い方へと融合しながら熱をどんどん出して星として輝くわけです。ところがそういうようにして最後はだんだん鉄の原子核になる。そういう状態になるとだんだん燃料がなくなってくる。というのは鉄の原子核をいくら融合させてもエネルギーを出しませんので、そこで星として進化が止まるわけです。

燃料がなくなって燃えつきま
すと、今度は最初にお話し
したように普通の星は熱力学

的な力でその重さを支えているわけですが、そういう熱源がなくなったわけですから、星は収縮を始めます。軽い星、太陽の1.4倍より軽い星の場合は、そういうようにしてどんどん収縮して、あるところで縮退圧が現れて収縮がストンと止まってしまいます。それが白色矮星です。星が太陽の重さの1.4倍より重い場合は、ずうっと収縮して行って、縮退圧がそれに抵抗しようとするのですが、その縮退圧よりもさらに重力が強いために、縮退圧の領域を通り越します。そしてさっきお話しした

ように中性子がたくさんできて、中性子がギッシリつまった芯がガツンとできます。星はずうっと縮んできたのがそこで急にかたくなるのでショックを受けます。そのショックによって星の表面に少し残っていた燃料が急にあたためられて一気に核融合反応を起こして燃える。その状態が超新星の大爆発です。さらに星が太陽の質量の3倍よりも重い場合には、今度は収縮しているうちに電子の縮退圧は乗り越え、それから中性子の芯も重力に抵抗しきれなくなって、そのまま無限に縮んでしまう——それがブラックホールです。

中性子の星の芯ができて、そ
のショックが反射して、それ

によって燃料が一気に燃えて爆発したという超新星の典型的なケースが第1図の“かに星雲”という星雲です。西暦1054年、牡牛座に数週間ほど明るく輝いた超新星が、それから900年かかってこんな風な形になってきているのです。これは、スペクトル線のドップラー効果を測ると、今でも毎秒約100kmのスピードで膨張していることがわかります。しかもこの星雲の中にはたいへん強い磁場と、それからたいへん高いエネルギーの電子が共存しています。というのは、この写真でボーッ



第1図 かに星雲

と光って見えるのは、実は原子が光を出しているといったようなものではなく、シンクロトロン輻射とよばれるものです。シンクロトロン輻射というのは、磁場があってそこに高いエネルギーの電子がとび込みますと、電子はクルクルと磁力線にまきついてスパイラル運動をします。スパイラル運動をするとそこから電磁波が出る、そのことをシンクロトロン輻射というわけですが、この光がそうです。それから目には見えないのですけれども、電波もこの光っているところよりもっとひろがったところからやってきます。これもシンクロトロン輻射です。それから、星雲の中心付近に少しひろがったところからX線

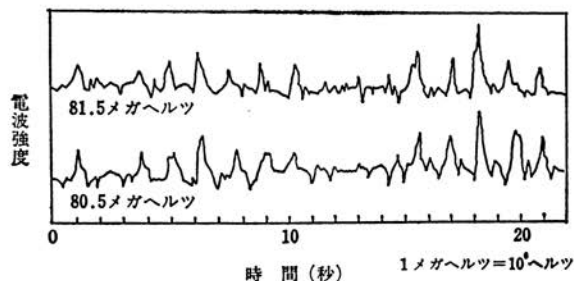
がやってきますが、これも多分シンクロトロン輻射です。

考えられたものが実際に存在する

さて、星の最初の重さが軽い
か重いかによって、白色矮星
になったり、あるいは中性子
星になったり、あるいはブラ
ックホールになったりするということをお話
したわけですけど、それでは本当にそんな
ものが存在するのかどうかということが問題
です。理論的に存在できるということと実際
に存在するということとは必ずしも一致しま
せんが、白色矮星はこういう議論が出てくる
前後から実はその存在が知られていました。
それは有名なシリウスという明るい星のまわ
りにくっついてお伴をしている星が、その星
の動きからみて太陽と同じ位の重さを持っ
て、しかも真っ白、温度が高いにもかかわらず
その明るさはたいへん暗いということが、
前から知られていました。ということはその
星が小さいにもかかわらず太陽と同じ位の質
量をもつというわけですが、これが理論上考
えられた白色矮星と話がよく合うわけです。

つぎに、それでは中性子の星が存在するか
ということですが、これは随分長い間仮想上
のこととして理論家の紙の上だけに存在して

いたのです。ところが面白いことが1967年に見つかりました。それはパルサーという現象です。これは英国のケンブリッジの電波天文台で見つかった現象です。ヒューウィッシュのところにいる女子学生が見つけたものです。第2図がその一番最初のデータですが、



第2図 ヒューウィッシュたちが発見した最初のパルサーの記録

このように強度がある周期で変動している。しかもその周期がほとんど一定なのです。見つかった直後には、たいへんきれいに周期的ですので、そして天文学の現象には1秒という周期は非常に現われ難いので、はじめは宇宙人の信号であるというようなことまで言われた事件でした。しかしまもなくそういう現象が空のあちこちに見つかって、そんなにあちこちに宇宙人がいるわけはありませんから、これは考えにくいけれども天体であるということになりました。もっとまじめにこの方面

の研究をした人がいます。それはこういう考え方です。われわれも宇宙人の一員ですが、宇宙人はある特定の環境でないと生きのびられない。したがって熱い恒星の上に宇宙人がいるはずがない。すると惑星でなくてはならない。そして惑星は恒星のまわりをまわっていないから、それを外から見なければその一定の周期にドップラー効果があるはずです。というわけでドップラー効果を調べたところがどうしても見つからない。そういういろいろなことがあって、宇宙人によるという可能性はこの二、三年で消えたわけです。

パルサーの謎をとく

それではどういうことがあったらこういう周期性が現われるだろうかという議論なのですが、

周期を出す現象は二つあります。一つは振動です。もう一つは回転です。ところが星を振動させて1秒という周期をつくるのは、これは星の物性といいましょうか、そういうことを考えてみて、たいへん困難なことです。だから多分、星がちょうど灯台のサーチライトのように、電波を出しながらクルクル1秒に1回の割でまわっている。そうするとこっちで見るとちょうど灯台のようにチカチカと

周期的に見える。ところで、1秒という周期は、仮に太陽のような星をまわしたとしますと、これは遠心力でもってみんな飛び散ってしまう。飛び散ってしまわないためにはその星の大きさがどれぐらいならよいかということ計算してみますと、どうしてもこれは1,000kmよりも小さくならなければならない。そんな星は今のところ理論家たちが空想してきた中性子星しかないだろうということになりました。

そうだとすると今度は中性子星はどういうところで造られるだろうかということになります。そうするとさっきの話で中性子星は多分超新星の爆発に伴って現われるのじゃないだろうか、そうだとすると、かに星雲にパルサーがあるのではないだろうか、ということになります。ところがパルサーが発見されてまもなく、やっぱりかに星雲に1秒間に30回またたいているパルサーが発見されました。おまけにこの場合には電波だけではなくて、かに星雲の中心部にある白く光る星が1秒間に30回またたいていることがわかりました。そういうようなことから、そういう理詰めでの白い星が中性子星そのものであるということが、確認——という言葉を使っていいの

かどうかわかりませんが、まあ確認されたわけです。

ところが調べてみますとだんだん面白いことがわかってきました。それはこの中性子星の周期が——これは1秒間に約30回で、この中性子星がクルクルまわっていると想像されるのですが、その回転の周期が、長い間調べてみますときわめてわずかですけれど、少しずつ延びている、すなわち回転がゆるんでいる。さてそこで中性子星の重さをたとえば太陽の質量ぐらいだとして、その回転の周期がいまわかっていますから、回転のエネルギーが計算できる。そしてそのゆるみから、どれぐらいの割合でエネルギーが失われているかということが計算できるわけです。そうやって勘定してみますと、1秒あたり 10^{38} エルグという割合で中性子星の回転エネルギーが失われていく——そういうことがわかりました。これはたいへん面白いことなのです。というのは、実はかに星雲の全体のエネルギー、つまりかに星雲は非常にダイナミックに運動している——そのガスの運動の全エネルギー、それから電波とか光で出しているエネルギーから推して計算できる、かに星雲の電子の全部のエネルギーとか、そういうもの全

部を計算してみますと、それはだいたい1秒間にやはり 10^{38} エルグ程度のエネルギーの消費になっている——そういうことがわかってきたのです。

かに星雲というものは実は過去25~26年になりますか、電波を出す、光も出す、しかもシンクロトロン輻射で出している、という意味で、いろんな物理的な研究の対象になってきたわけですが、そのエネルギーのものはというと、いつもみな900年前の爆発のエネルギーだということで、爆発によってガスが飛び散ってその運動エネルギーがそのエネルギーの源泉だと考えていたわけです。ところがどうやらちがうらしい。というのはそのガスの運動エネルギーをエネルギーの源泉だとすると、実はいろいろ困ったことがあったわけです。ちょっと脇道になってしまうのでそのお話は省略いたしますが、本当はそれでは済まないということをごまかしてきたわけです。それがやっと本当のことがわかった。つまり中性子星によるものだというわけです。

それでは回転する中性子の星がどんなふうにしてそのエネルギーを周辺に与えるか——1光年以上も離れたところへ影響を及ぼすか

ということですが、これには中性子星のもう一つの面白い性質がからんでいるのだらうと思われま。それは太陽のような星が縮んで中性子星になるときに、実は星の磁場をくわえこんでいきます。たとえば太陽は何百ガウスから何千ガウスといった強い磁場をもっています。それを10kmにギュッと縮めますと、磁力線がそれにくっついて縮みますので、中性子星の磁場の強さというものはたいへんなものになります。約 10^{12} ガウスというものになります。皆さんがご存知の普通の実験で使う一番強い磁場がだいたい1万ガウスですから、 10^{12} ガウスというものはたいへんなものです。しかもそれが1秒間に30回も10kmもの半径のものが回転するわけですから——定量的にはむずかしいわけですが、まあ想像してみてもたいへんな粒子の加速が起きるということは想像に難くない。そういうわけで、このプラズマというか、電子、あるいは、ときにはプロトンが、そういうような磁場にふりまわされて加速をうけるわけです。本当はもう少しましな理論があるのですけれど、まあ本質的にはそういうことで、そうやってつくられた高エネルギーの粒子がいろんなふうひろがっていくのだらう

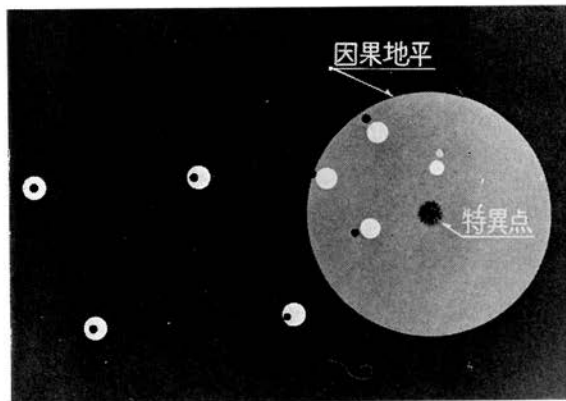
と、そういうふうに今は理解しているわけです。

さらに一層
へんな天体

さてそこで今度はブラックホール、問題のブラックホールは、これよりもっと変わった天体で

あります。天体と言っていいかどうか知りませんが、要するに星が無くなっていきつつあるところですよ。

いま仮に星の全質量が自分自身の重さでつぶれている、密度は無限大になっているという場面を考えてみると、その周辺の重力というものはたいへんなことになります。そこで私にもよく理解できない一般相対論、アインシュタインの重力の方程式の話になるわけですが、ざっと第3図のようなことにな



第3図 灰色の領域の中で出た光は外へは出てくることができない

ります。星から十分離れた点を仮に考えます。ここで今ある瞬間にポッと光を出したとします。そしてしばらくたってどこに向いているかといいますと、当然のことながらこの点を中心にして球形に光がひろがっていくわけです。ところが非常に強い重力場がありますと、まあひらたく言えば光が重力に引き寄せられると言っていいかも知れませんが、星に近い点からポッと出た光のひろがり方は少し星のほうへ引き寄せられるような形になります。もっと星に近いところへ行きますと、ポッと出た光はいつまでたっても外へは行かないでいます。もっとこれより近いところから光を出しますと、出た光は内へ内へと入っていきます。言いかえますと、図に灰色でえがいてある領域より内側から出た光は一切こっちは出られない。光が出られない位ですから物質ももちろん出てこられない。一口に言いますとそういう特性をもちております。ここからは出てこられないということで、この領域のことをブラックホールと呼ぶわけです。

こんなような変なものが本当に実在するかどうかということがたいへんな問題になるわけです。というのは、アインシュタインの理

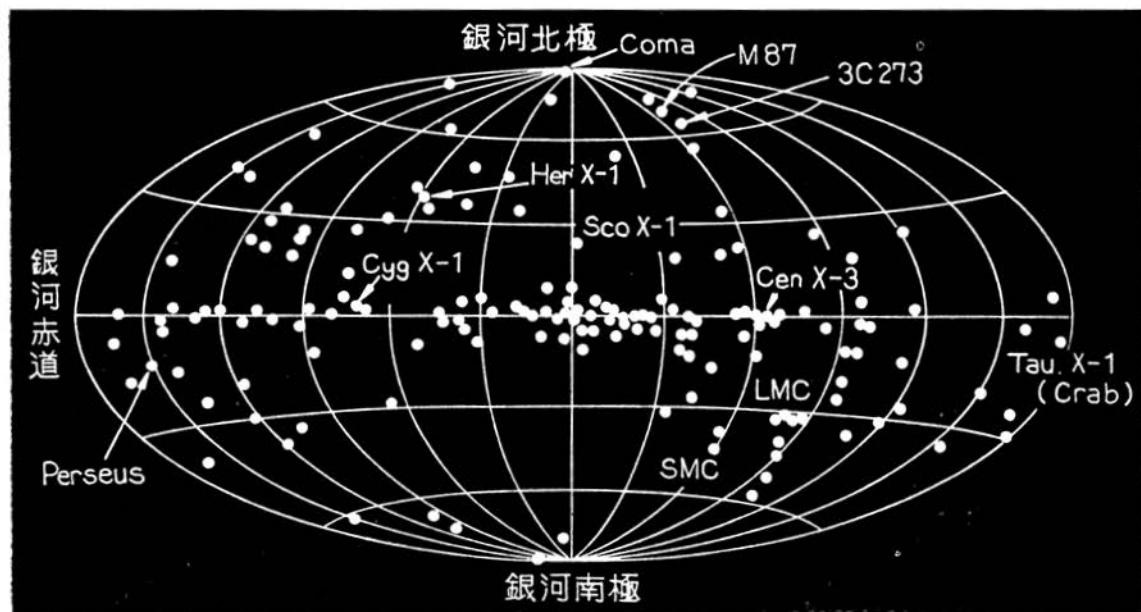
論が正しければこういうようなことがありそうだし、しかしどうも変だ、あまり常識的ではない、直観的ではないようだ、というので気持ちがわるい。そこでこんなものが本当にあるかどうかというのが問題になるわけですが、それが最近になって、確定とは申しませんが、X線の星の一つとして何か出てきたような気がいたします。そういうわけで今度は、話があちこちへとびますが、X線天文学の話をしていこうというわけです。

大気の壁の外に 出て見渡すと

ご存知のように天文学というものはこれまでは光と電波だけにたよってきました。というのは、われわれの地球というものは厚い空気の層におおわれています。1cm²あたり、1kg という相当な量の空気がおおっているわけです。ただ、たまたま光と電波の波長領域で透けてみえるわけですから、それを通して空を見ている。それが20年程前からそういう大気の外へ出ることができるようになりました。ロケットだとか気球だとかあるいは人工衛星をつかって空気の外へ出ることができるよう。そうすると今度は、いままで光と電波とに制限されていた、いわば狭い窓を通して外を見ていたのが、壁の外へ出ることがで

きるようになったわけですから、どの波長でも宇宙を眺めることができるわけです。そういうふうにしてX線とかガンマ線とか、あるいは紫外線とかの天文学が発達してきたわけです。ただその中で、もちろんこれまでもわれわれは光とか電波で眺めた宇宙について当然ある種のイメージを持っていたわけですが、そういうイメージとそんなには喰い違わないのが、紫外線であり、あるいは赤外線である。いろんな新しい重要なことがありますけれども質的には違わない。ガンマ線もそうである。ところがX線だけはたいへん違った様相を呈します。これまで想像もしなかったような星とか天体が続々と出てきました。

第4図を見てみましょう。これは天体の座標です。世界地図のようなものがここには描いてありますが、この横軸というか赤道みたいなもの——この横軸がちょうど天の河の方向、それから中心が銀河の中心、この方向は星座でいいますと射手座の方向になります。それから Sco というのがさそり座です。それから Cyg が白鳥座、Cen がセンタウルスです。それから牡牛座が Tau にあります。ざっとそんなようなものですが、ここに描いた白い点が現在見つかっている X 線天体で

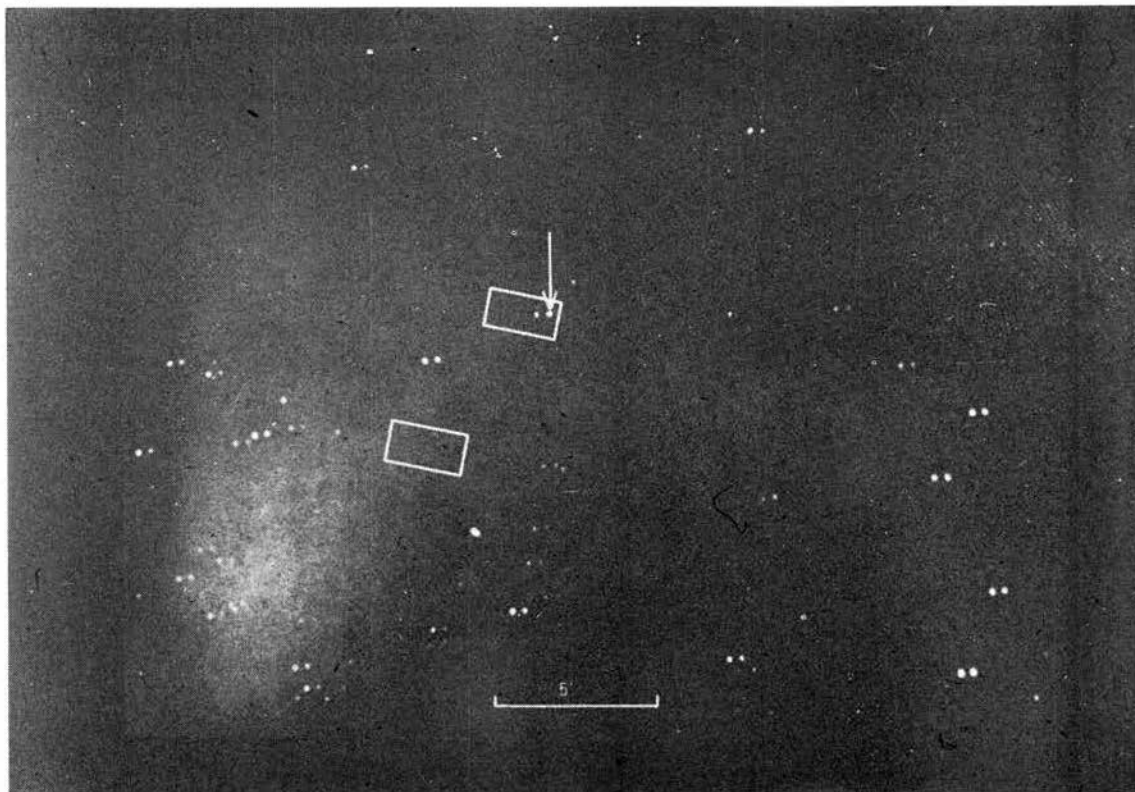


第 4 図

す。

X線で空を見たならば何か違ったものが見えるかも知れないと最初に言い出したのはアメリカのMITのロッシ先生です。それが1962年ですから今から十二、三年前になるのですけれども、多分こんなにたくさんあるとはご本人も想像しなかっただろうと思います。事実、はじめは何か空のこの辺が明るいというのが一番最初の実験でした。それが十二、三年の間にこれ程多数の新しい天体として出てきたわけです。このX線の星がなぜ今

まで想像もされなかったか、何が不思議なのかと申しますと、一口にいいますとそのエネルギーの源が理解できないということがポイントであります。というのは、エルグの単位でいいますと、太陽のような普通の恒星が放射しているエネルギーは1秒あたり 10^{33} エルグ程度です。その10倍位になることもありますけれども、まあそれぐらいです。ところがX線の星はエネルギーの推定のしかたにいろいろむずかしいところがありますけれども、いずれも 10^{36} ないし 10^{38} エルグです。つ



第5図 さそり座のX-1 の位置決定

まり、今まで核融合反応で最も能率よくエネルギーをつくっていると思っていた星に比べて、千倍から十万倍位のエネルギーを出している。そんなエネルギーの源がどこにあるかということが、一口に言って、X線天文学の問題だと思えます。

その手がかりの話をしましょう。第5図はさそり座のX-1というX線の星の位置を示

すものです。この星の位置をロケット観測できめてやった結果を描いたのがこの四角い箱です。このどこかにいるにちがいない。で、それに対して東京天文台の岡山の観測所がこういう観測をしています。これは今から9年前のことですけれども、星空の写真をまず青いフィルターをかけて撮って、それから今度は写真乾板、望遠鏡をちょっとずらして、今

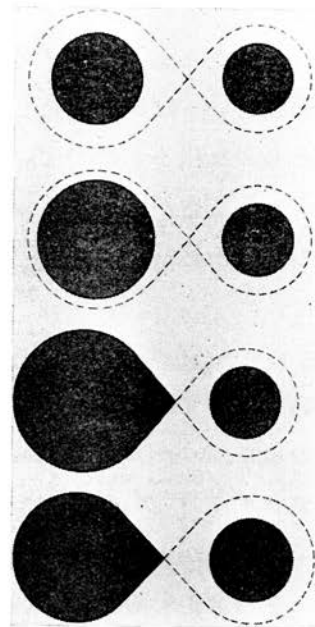
度は紫外線のフィルターをかけて、そして露出時間を紫外線のほうがちょっと暗くなるくらいかけてやります。こういうふうに二重写しをしてやります。そうすると普通の星はいずれも左がちょっと明るくなって右がちょっと暗いのですけれども、実はX線の星に限ってそれが逆転するという予想がありました。そういうふうにしてこの矢印で示した星が、この光っている星が、X線の星であるということがわかりました。

それでこの星の光りかたの特
ノヴァライク・
ヴァリアブル 徴をいろいろ追っかけてみま
す。そうすると、普通の光を

出す星と違ういろいろな特徴が見つかりました。たとえば普通の光の星は太陽の場合のフラウンホーファー線のように吸収線が見えるのに、この星は輝線が10分位の時間にチカチカ輝くことがわかりました。ところでそういうような光の特徴をもつ、普通の星と違う星というのは、これまでもいくつもあることはあった。天文学者はそういう星のことをノヴァライク・ヴァリアブルと呼んでいました。“新星のような変光星”という変な名前ですが、そしてノヴァライク・ヴァリアブルのほとんどのものが近接連星系であるという

ことがそれまでにわかっていたのです。

近接連星というのは、2つの星がお互いのまわりをグルグルまわっているものです。もちろんお互いに万有引力で引っ張りあっているわけです。2つの星がお互いのまわりをグルグルまわっていることによる遠心力が引力とつり合っている状態——そのことを近接連星といいます。その状態では物質が一方からもう一方へ移って行くという状況があり得ます。で、そのときにはぶつかるときにチカチ



第6図 近接連星系の進化 左側の星がふくれあがり、物質が右側の星の重力圏に移って行く

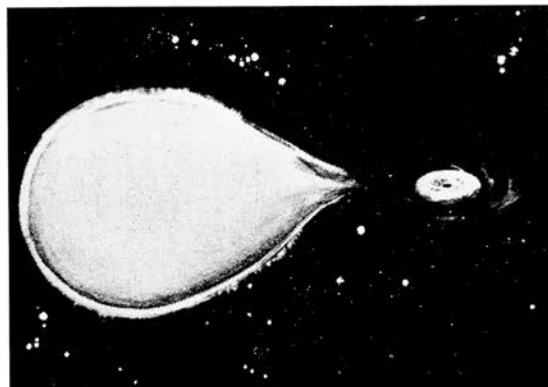
カ輝いたりする。特に高温になって輝線を出す。そういうようなことがいろいろ考えられます。

第6図を見てみましょう。

二つの星がお互いのまわりをまわっている。その重力の等ポテンシャル面みたいなものを描くと、この8の字のようになりまして、この8の字の内側にあるものはそれぞれの星に引き寄せられる。つまりお互いの重力圏と申しましょうか——勢力範囲がある。星の進化によって一方の星がグングンふくれたとします。だんだんふくれてきてその星の重力の勢力範囲をいっぱい満たしてしまう。そうするとあふれ出るわけです。自分で自分自身をまとめることができなくなってあふれて、こっちへ落ち込むわけです。そういう状態です。

こうして星の物質が一方からもう一方へ乗り移っていくのですが、乗り移っていった物質は相手の星にぶつかって、それがさっき言ったノヴァライク・ヴァリアブルです。ところが仮にこの星が小さかったら——たいへん小さい、さっきからお話している中性子星だとか、白色矮星、あるいはブラックホールだったら——今度は小さいですから、落ち込

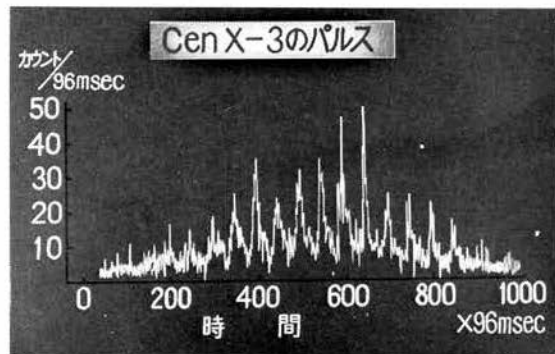
んできてもなかなかこれにぶつかれない。で、ぶつかれなくて、物質はそのまわりをグルグルまわります。そして溜まってくるわけです。ところがどんどん後から押せ押せにあふれてきますから、どんどん溜るわけです。しかもあふれるところと溜るところの間には重力のポテンシャルの差がありますから、重力エネルギーはここでどんどん解放される。そういうふうにして物質があたためられる——そういうことが想像されます。そこでこういう近接連星の物質があふれるときの、あふれる分量の見当をつけて計算してみますと、まさにピタリとさっき言った1秒間に 10^{37} ないし 10^{38} エルグということが、こうやって説明できるということがわかってきました。



第7図 X線星の想像図

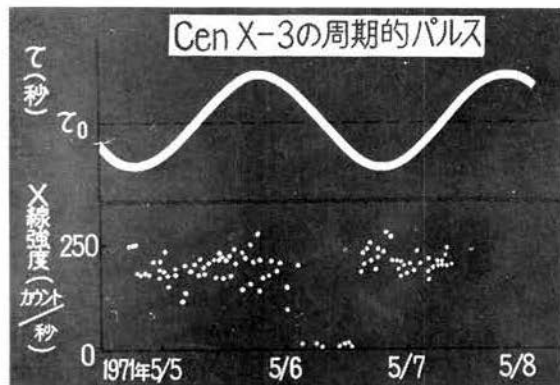
第7図はスカイ・アンド・テレスコープという雑誌の表紙になった絵ですが、先程のことと同じことです。こっちからあふれ出たプラズマがこのまわりをまわっているわけですが、だんだんこれに近づいてきてこのまわりをグルグルとまわりはじめる。そこにポテンシャルの差によるエネルギーが熱として出てくる。そしてこのドーナツ状の部分が強くと熱せられ、高温になってX線を出すわけです。

そういうわけで近接連星という考え方が魅力的——つまりX線星のエネルギーの源のなぞに対して魅力的な考え方なんです。たださっきの話のように、近接連星と断定するには根拠が、論理が何段論法かになります。ところがもう文句なく近接連星なんだというX線星がその後だんだん見つかってきまし



第8図 X線星が近接連星である証拠

た。第8図はセンチウルスX-3と呼ばれるX線星の強度変化を書いたものです。横軸が時間です。縦軸にX線の強さが書いてあります。これを見ますとX線星が一定の周期でまたたいているということがわかります。またたいているのがなぜなのかということはこの際問わないとして、とにかくまたたいている。ということは、このX線星が脈動している——自分の時計をもっていると言えます。第9図は、その時計というか、そのまたたきの周期をいろいろ追っていってみますと、極めてわずかですけれど周期が短くなったり長くなったりして、その途中の時期でしばらくX線の星が休むということを示しています。これはもう疑いもなくこのX線の星がもう一



第9図 またたきの周期が短くなり始める途中で、X線星は一時休む

つの大きな星のまわりをまわっているために、ドップラー効果で、そのX線の星がこっちへ向かって来るときには周期が短い、むこうへ向かっていくときには周期が長い、またこっちへ向かってくるその途中で隠れているという、そういうイメージがまさにピッタリです。そういうわけで、近接連星というものがこれで本格的にハッキリできたわけです。

さて、そういう近接連星の中に面白いものがあります。それは白鳥座のX-1、シグナスX-1と呼ばれているものであります。これがブラックホールだと思われるものです。これは白鳥座の白鳥の首の真中付近にあるX線の星ですが、このX線の星は実はX線天文学の始まった初期の頃からすでに見つかっているたいへん不思議だと思われていた星です。2つ不思議なことがあります。普通の星にくらべてたいへん硬いX線を出しているというのが一つ、それからもう一つは、測る実験によって——実験者によって違う強度が報告されているということです。あまりに結果が喰い違うので、おまえの実験はあてにならないとお互いに悪口を言いあっているような星で、なんとなく不思議なので、この位置をハッキリ決めようという競争がアメリカと日

本とでおこなわれました。

日本では西村先生が10年程前から気球を上げることにたいへん熱心になられまして、その技術が今はたいへん発達しているわけです。気球をつかってこの位置をできるだけ精密にきめるという実験をやったわけです。これは1967年に始まって70年秋までに3回か4



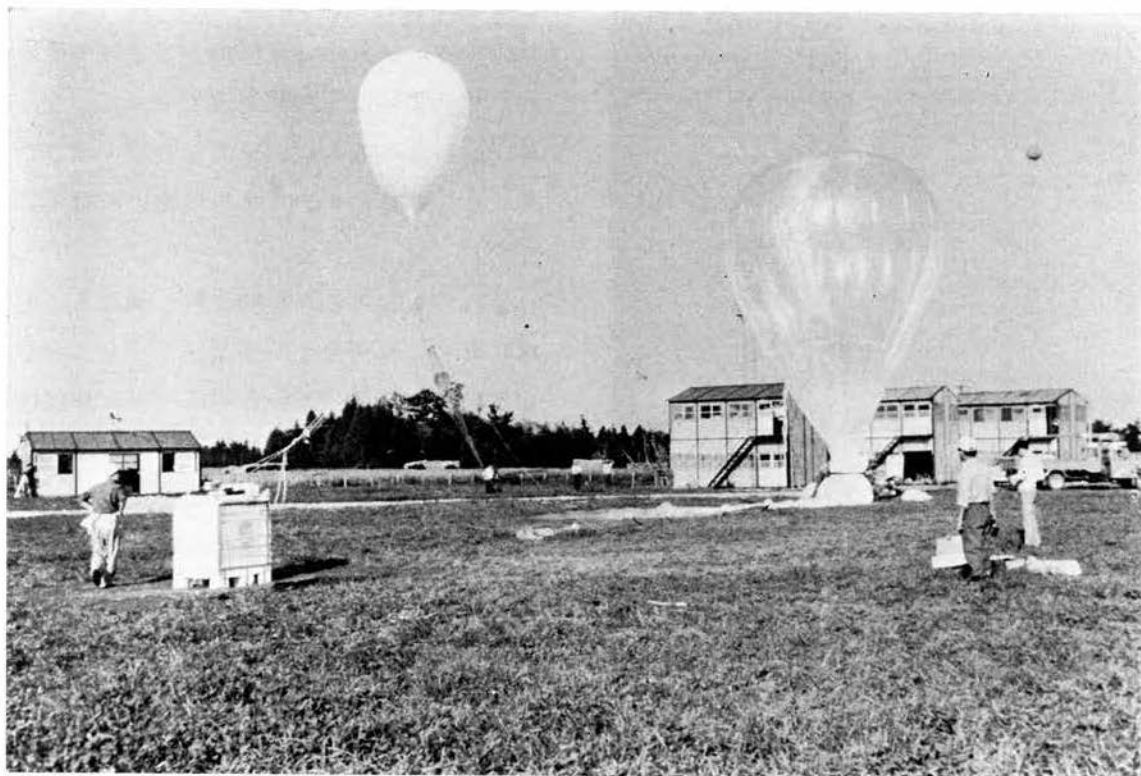
第10図 気球に積む装置

回、気球を上げて測定がおこなわれました。一方アメリカでは、やっぱり66年頃からロケットで観測が始まって、やはりロケットと衛星で、これは71年に観測結果を発表して、まあお互いに一致した結論を得たわけです。

気球による
X線星の観測

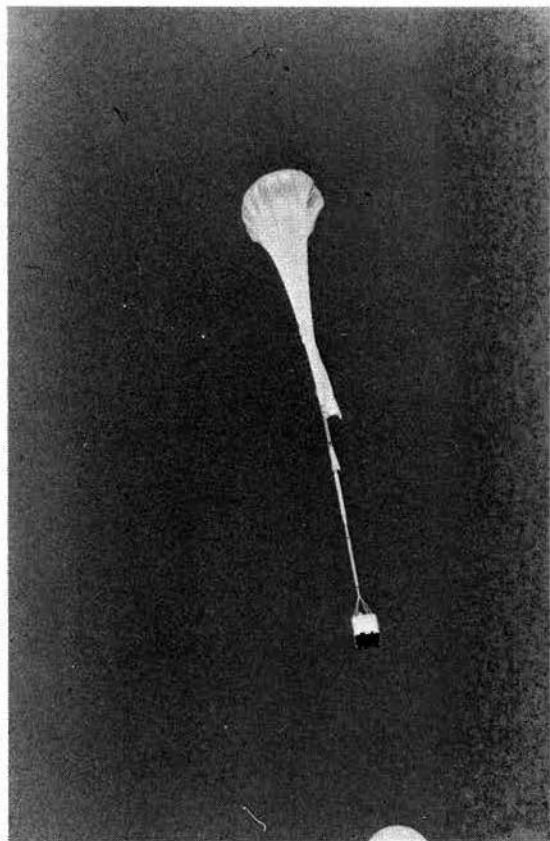
今から、ちょっと紙芝居みたいになるんですけども、気球を上げる風景のスライドを

何枚かお目につけようと思います。まず第10図はたいへんうすぎたないのですが、ここにX線を見る望遠鏡だとかコリメーターとか、そういうものが入っています。また、地上に情報を電波で送る装置だとか電池だとか、そういうものも入っています。この装置に地上から指令電波を送って、こっちを向け、あっちを向けと指示をするわけですが、これをい



第11図 気球に水素を詰めているところ

ま実験しているところです。第11図は水素を詰めているところです。バラック建ての指令室がありますが、西村先生はこの辺にいて指令をしていたのです。で、“よし”となると気球を放します。



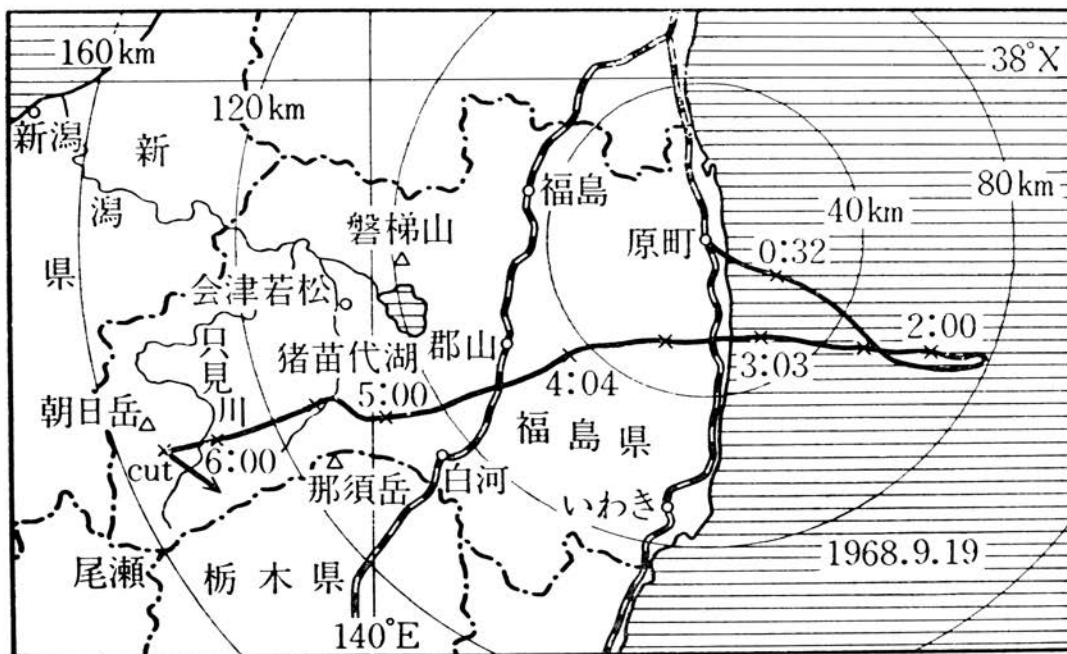
第 12 図

第12図は気球を放したところです。この気球は高度3万何千m, $1/300$ 気圧のところへ

昇りますから、この気体がざっと300倍に膨張するわけです。

気球は上昇しながら西風に乗って何十kmですか100km近く太平洋の方へ出ていきます。第13図がその地図です。福島県原町から気球を飛ばすと、2時間程で高度3万何千mへ昇って、そこから季節風に乗ってずうっと流れるわけです。そして山奥で100kg程の荷を切り落とします。この間に観測をおこなうのです。結果は刻々に地上で電波で受けています。実験はその間電波でやっていますから、拾わなくてもいいようなものですけれども、そこはまあケチですから拾いに行くわけです。

それでも時々これを切り放し損ねることがあります。西村先生が慾ばって“もう少し、もう少し”と言っている間に——これは指令電波を受けるためには気球の上に電池があるのですけれども——その電池を使い果たしてしまい、もうこっちの命令を絶対きいてくれなくなって、いつまでもさまよっていたことがあります。こうして、3年位前になりますか、太平洋側と日本海側を気球がさまよったことがあります。おまけにこれは夕方になりますと非常にきれいに輝いて、東京からも見

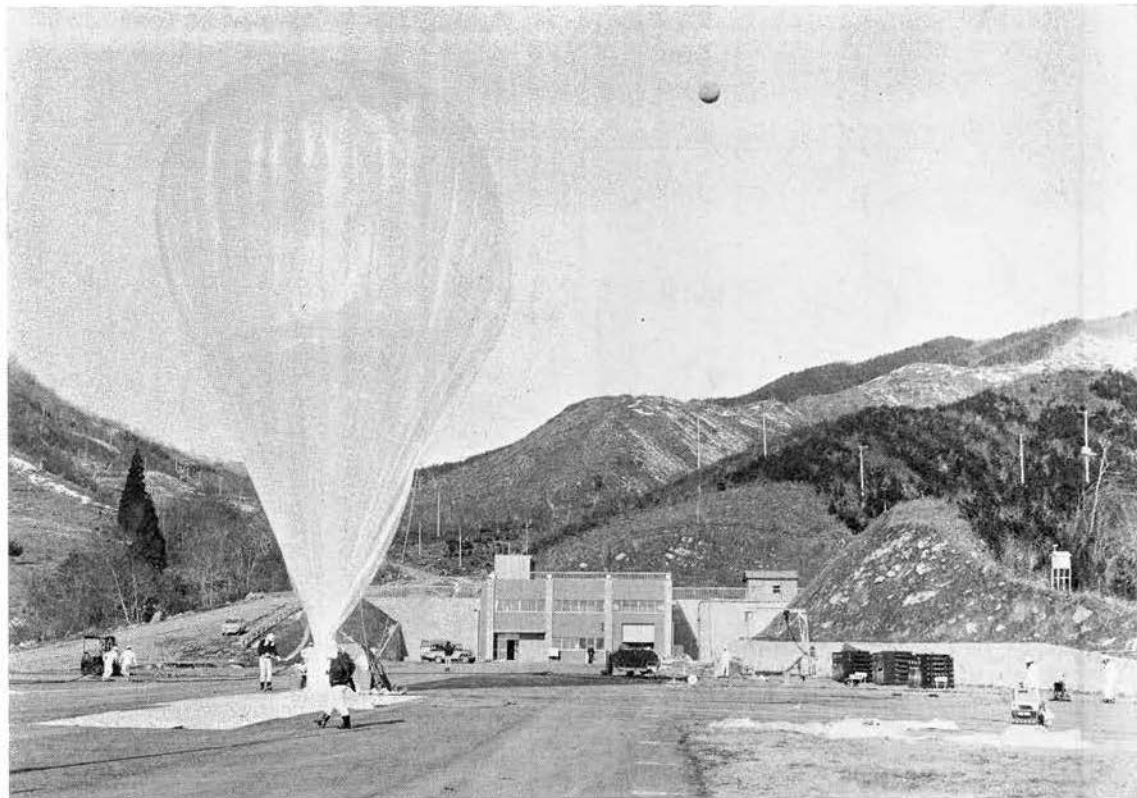


第 13 図

えて新聞に騒がれたりもしました。それから数か月たってアメリカのいなかで、ある人が自家用の飛行機で飛んでいたら何か見える、というわけで、今度は車でそこへ行ったら、その気球が落ちていた、というような話があります。

話がそれてしまいましたが、福島県の原町郊外に仮住いをしてバラックで実験をしていた時代があったのですけれど、最近はまだ

少し上等になっています。西村先生の名誉のために、もう少しよい写真をお目にかけます。近頃はさっきのバラックとちがって、第14図のようなちゃんとした本建築でやっています。場所は岩手県の三陸海岸です。今度はちゃんと舗装した、飛行場のような飛揚場があります。第一、さっきとは服装がちがっています。

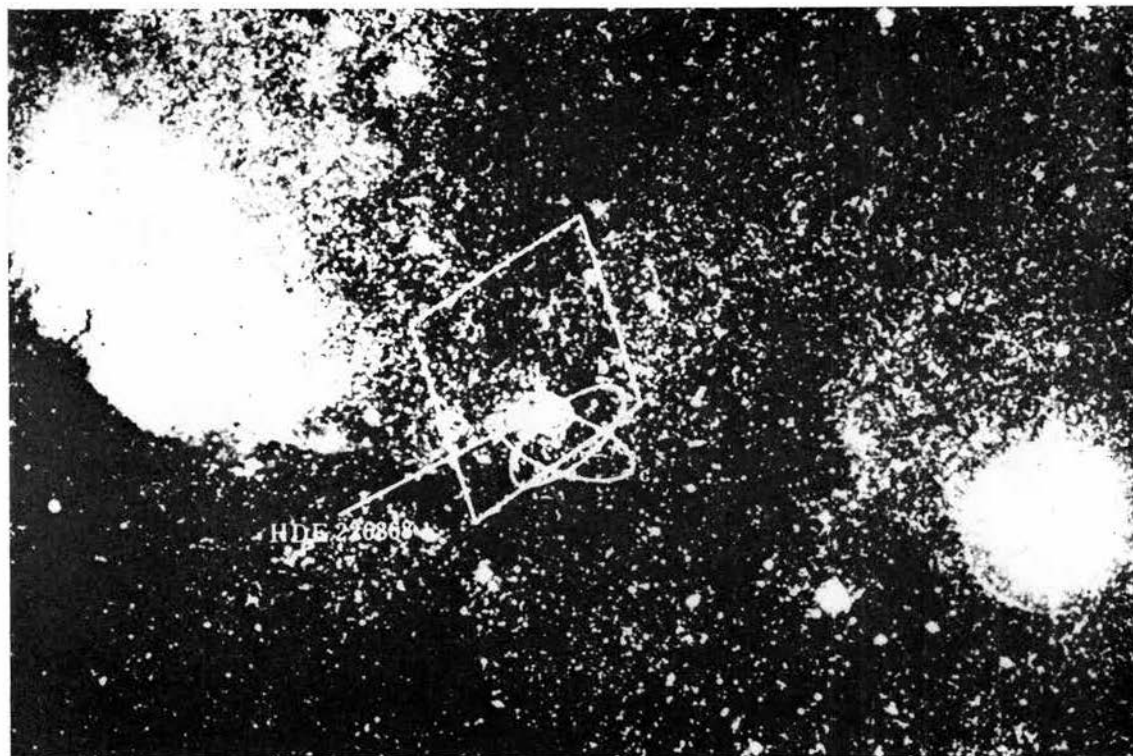


第14図 東京大学三陸大気球観測所

まさにブラック
ホールらしい

ちょっとまわり道をいたしましたが、こういうふうにして1972年の初頭にはシグナスX-1のX線星の位置がほぼ固まってきました。第15図は白鳥座の一部ですが、ひし形のわくはアメリカのロケットが1966年にこのどこかがあると観測した場所です。そしてアメリカの人工衛星が、それから今の、西村先

生がきめた場所、それからMITの結果が、ここに示してあります。こういうふうにして大体この辺だということがわかりました。こうしてきめられた精度は角度にしましてほしい1分ですから、1度の1/60位の精度ではあるんですが、それにしてもこの辺には星が“星の数ほど”ありまして、どれやらわからない。



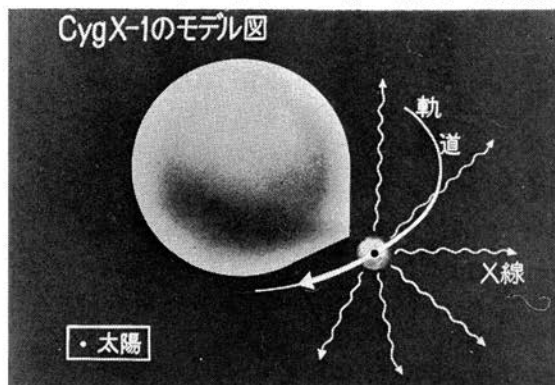
第 15 図

ところがオランダの一番新しい、たいへんいい電波望遠鏡がこの辺を探索しました。電波望遠鏡は非常に高い精度で位置を測ることができるのですが、そうやって捜したところが、このあたりに弱い電波の星があることがわかりました。その電波星のまさにピタリのところはかなり明るい青い星があります。その星はもうすでに登録されていて、名前まで

知られている星なんですけど、ただ、今まではそれが特殊なものだとは思わなかった。その星自身は普通の星ですから、X線を出すとは思えません。そこでその星をトロントの天文台とグリニッジとそれから東京天文台が1971年の秋頃調べました。

その結果わかってきたことは、その青い星のスペクトル線が周期的にドップラー効果を

示すということです。そのドップラー効果からその青い星が60km/秒のスピードでこっちへ向かって来たり、むこうへ行ったりしていることがわかりました。つまり案の定、この青い星は何かのまわりをまわっている。で、その何かの星というのがX線の星であることはほぼ間違いない。だから、第16図のようになっているわけです。この青い星とX線星と



第 16 図

がお互いに相手のまわりをまわっているわけです。周期が5, 6日という周期なんですけれども、その周期とそれから今言ったようにドップラー効果からスピードが出る。それからこの星のスペクトル線からこの星のスタイルとかタイプがわかります。で、この星の重さが推定できる。それだけわかるとX線星の重さがわかる。そうやって力学的な単純な計算で求めたこの星の重さは、太陽の質量

の8倍を超えるということになります。

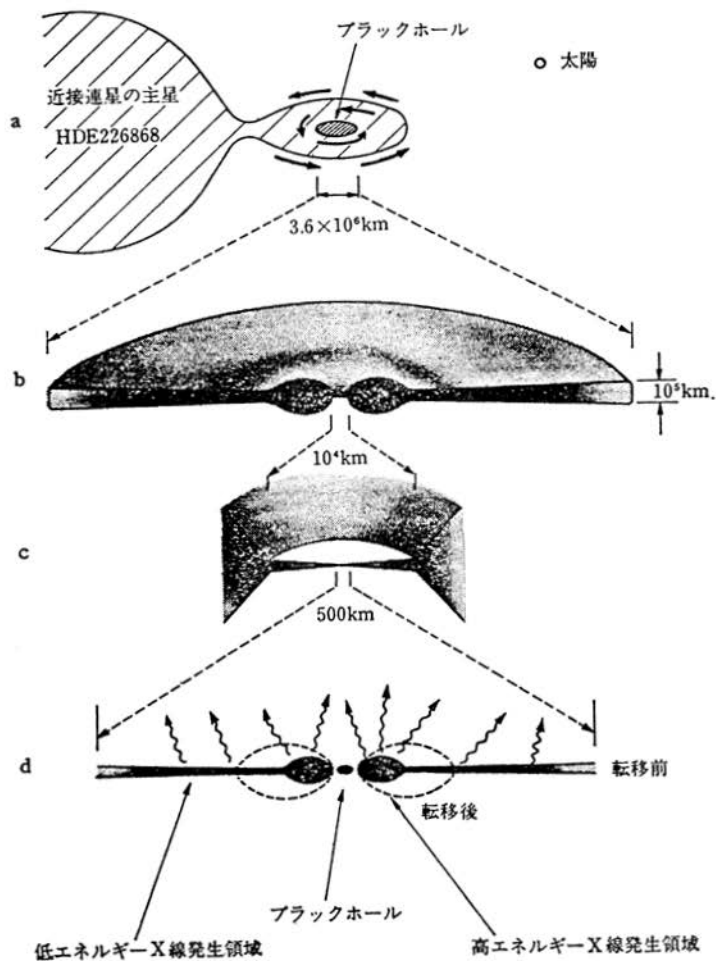
最初のほうの議論を思い出していただきますと、圧縮された高密度の星、高密度で太陽の質量の3倍を超えるものは、中性子といえども支えきれない、つぶれるしか仕方がないということを行いました。これがまさにそういうような状態、つまりブラックホールなのではあるまいか、ということがでてくるわけです。今の議論はやや間接的なように聞こえるかも知れませんが、これは先程の林忠四郎先生あるいは佐藤文隆先生等、そちらの理論の方面の方々も、どう考えてもその重さなら多分つぶれるだろうと言われる。権威に盲従するようでアレですけど、そうおっしゃいますので、私もそうだろうと思います。さてそこで少し矛盾があるんです。ブラックホールで何も出ないはずなのにX線が出るのはどういうわけかという、ちょっとした矛盾のような感じです。それは実はそのブラックホールの中から出てくるのじゃなくて、その周辺から出てくる——そういうふうに考えていいわけです。

ブラックホールの周辺にプラズマがふりかかったときに何が起きるかということはいへん面白い問題になります。なぜかといいま

すと、これは普通われわれが物理学で扱ってこなかったような極限状態、つまり重力場という意味でも極限状態になります。プラズマの温度という意味でも極限状態です。いろんな意味で極限状態がそこに出現していますので、たいへん面白いことになります。面白いんですがこういうような物理学はまだ準備されていないので、今のところ納得のいくような理論は全く無いんですが、二、三の方々が、ブラックホール周辺に物質がふりかかると何が起こるかという議論をしています。日本では蓬茨さん、アメリカではプリンストンの人たち、そういうような人たちがいろんな議論をしています。

第17図はこういう人たちが考えていることを図にしたものです。青い星からブラックホールに落ち込んで来たプラズマがブラックホールのまわりをまわっていて、そしてここにだんだん溜ってくる。後から後からプラズマが押し寄せますから、どんどん溜るわけで

す。どんどん溜るんですが、溜ってくるとそこには粘性を生じまして、粘性を生じるとだんだんこのまわりをまわっている角運動量が外へ外へと逃がされるために、プラズマは結



第17図 CygX-1 の模型

局はブラックホールに吸い寄せられる——そういうことが考えられるわけです。で、こういうふうにしてできたプラズマの円板をちょっと拡大してみるとこんなふうになっているのじゃないだろうかと思います。真ん中にブラックホールがあって、落ち込んできたプラズマがこのような円板をつくっているわけです。中のほうほど温度が高くなっておりまして、そのためにプラズマの圧力が上がっていて膨んでいる。もっと中はもっと熱いんですけれども、今度はここにたいへんな重力場があるのでこのプラズマはキュッと引き締められて、このこのところを拡大してみますと、ブラックホールの重力場によってキュッと引き締められて薄い円板になっています。この辺の議論はたいへんむずかしいのと、どこまで信用してよいかわからないところがあるんですけれども、まあいろいろなディメンションアナリシス的な議論だけでもいろんなことができるんです。たとえばこの辺のプラズマがこの辺まで輸送される時間はどれ位だとか、あるいはこの辺の縦に波が伝わる時間はどうなるかとか、あるいはこの辺の安定性はどうなるかとか——そういうようなことがいろいろ出てまいります。で、そういうこ

とから、ただ、さっき言いましたように、そういうような極限状態の物理学はまだないわけですから本当のことは何もわからないが、しかしたいへんいろんな、たいへん不安定なことが起きている——時間変動が起きるだろうということは想像に難くないわけです。

極限状態の物理学への手掛かりとして

ところが面白いことには、このシグナス X-1 に関して他の X 線星とたいへんに違うところがあります。そ

れは、それがいろんな時間スケールで非常に激しい変動をしているということです。さっき言いました、いろんなグループの測定値が違い、お互いに悪口を言いあっていたというのは、実は変動をしているものですから、強い時に測った人と弱い時に測った人とで答が違うのはあたりまえです。それが10倍も違うのです。そういうふうに変動が激しい。激しい変動をもっているのはこのシグナス X-1 だけだということ、それからシグナス X-1 が多分ブラックホールだということを考え合わせますと、まあ単純すぎるかも知れませんが、この時間変動を調べるということは、多分、いままで知られていない物理学、極限状態の物理学に対する手掛かりになるんじゃないか

と思います。それで、どんなふうに変動するかということをお目かけようと思います。

第18図はこの測定のために内ノ浦で打ち上げたカッパ10型というロケットです。ロケットが台車によって打上げを待っています。先端にしまっている観測装置が上空で外に出てきて、いろいろな観測をして、その結果を地上に電波で知らせてくるわけです。だいたい



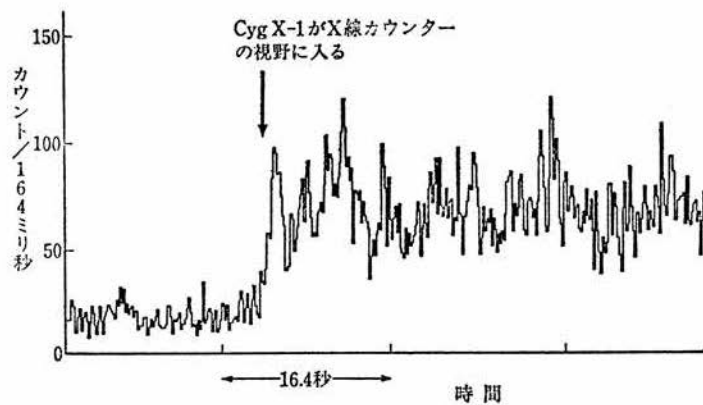
第18図 K-10型ロケット

10kmより上空で観測がなされます。5~6分観測するわけです。

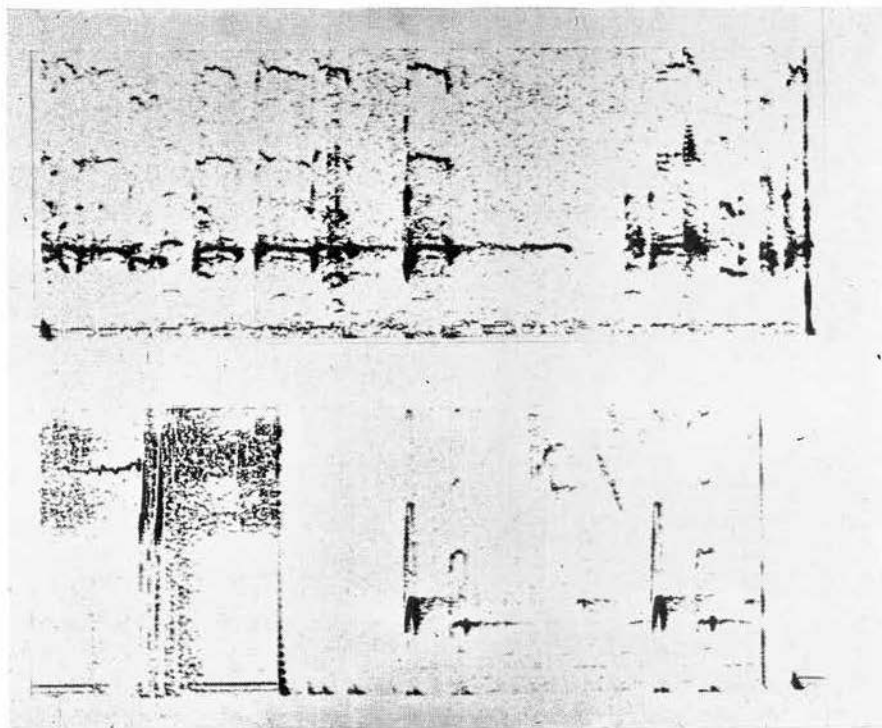
第19図はこの夏観測された例です。まず、この比例計数管が白鳥座に向けた瞬間からX線がパッと入ってくる。こうやってやりますと、普通の星ですと星が見えますと大体一定の強度を保つわけですけれども——統計的なばらつきは別として一定の強度を保つわけですけれども——ご覧のとおりたいへん激しい変動があるのがわかります。こういうことを調べることが、さっきも言いましたように、まだ道は遠いと思いますけれど、ブラックホール周辺のいろんな問題を調べるのに手だてになるのだと思います。

ここで、余興みたいですが、その時間的変動を見る方法がいろいろあります中に、ちょっと変わったやり方があるので、ご紹介しておきます。

第20図は“声紋”というものです。つまり人間の声でも何の声でも、声の振動数のパターンをとりまして——横軸が時間で、それに対して縦軸が周波数です——あるものが音を出している状況が図に見えるわけです。ちょっとふざけすぎかも知れませんが、白鳥が声を出しているところが見えます。川のせ



第19図 カッパ-10型11号機によって1975年9月24日に観測されたCygX-1のX線強度



第20図 声紋の例

せらぎ、うぐいすがホーホケキョと鳴くところが見えます。こういう装置です。本当は計算機を使うのですけれども、計算機というものはしばしば大事なことを——そう言うとおこられますけれど——大事なことを見のがしがちですが、こういうものは案外大事なものを見つけるのにいいんです。これに対してシグナスX-1の変動をテープに入れて音にして声紋をつくって見ました。さっきのほどきれいじゃないのですけれども、いわばシグナスX-1の声です。

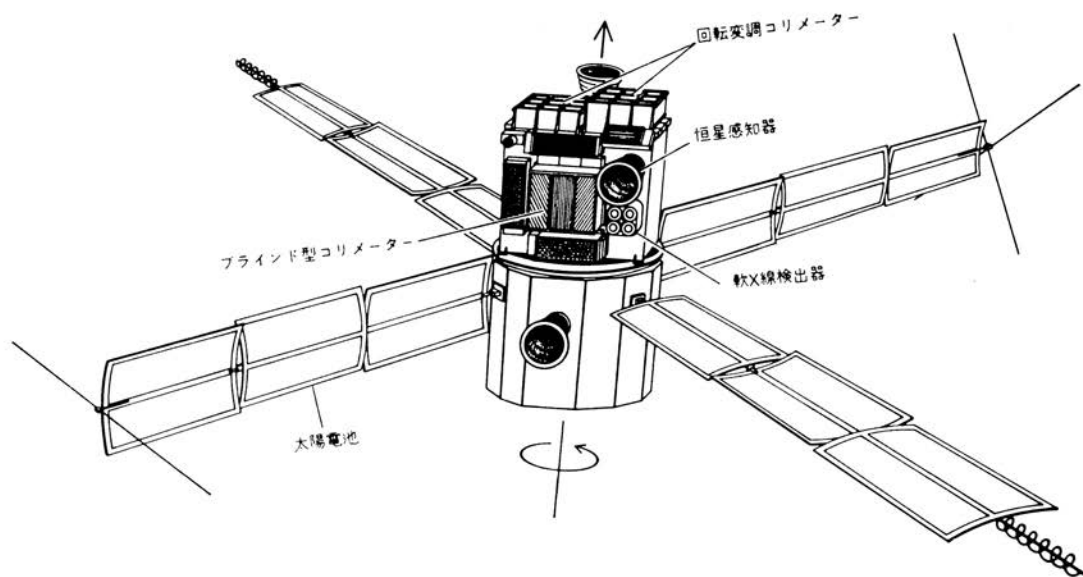


第 21 図

いまこれから何かを結論として言うのはちょっと早すぎるので、こういう方法があるただけご紹介しておきます。ある特定の周波数が現われ易いということが、たとえばこういう方法で見つかるのじゃないかと思えます。そういう感じがしています。まあ実は、いま

のところそんな程度で、それ以上の進展は全くこれからのことですけれども、多分ブラックホールであろうと思われるものがX線星の中に見つかったということ、それを皆が調べようとしているお話をしたわけです。

最近もう一つ面白いことがありますので、ちょっとご紹介してみます。それはこのX線星の中に時々パッと現われて数か月たつと消えてしまうというものがあります。それは五、六年前にもやはり見つかったことがあります。星が2か月ほどで消えるというので、何であろうかというわけです。これは多分、近接連星で一方の星があふれ出てきて、ザブリとあふれてしばらく落ちついているんじゃないだろうか、そんな感じがいたします。今年の8月の初旬ですけれども新聞で騒がれていましたが、英国の人工衛星がオリオン座のそばにX線の新星を発見した。それが2時間で10%ずつふえつつあるとアナウンスしました。それで間髪を入れずにアメリカのMITの飛ばしております人工衛星——第22図にあります。これがいろいろな共通装置のほかX線のカウンターとモジュレーションコリメーターというX線の星の位置を精密にきめるための装置を積んでいて——直ちにこの星



第 22 図

の観測をしました。その結果、この星の位置が精密にきまりました。その位置をさっそくキット・ピークのアソウ天文台と、それから松岡さんという人が内ノ浦にある光の望遠鏡を使って捜した結果、そのモジュレーションコリメーターで定められた位置に、第23図の星空に矢印で示したところに、これまでには見られなかった星が現われていることがわかりまし

た。それでこの星はまちがいなく今の新たに現われたX線星そのものだということがわかります。

この光の性質を調べてみますと、さそり座のX線星の光によく似ている。そんなことからこれが多分たいへん面白いものであるというわけで、松岡さんたちは一生けんめいにこれを追っかけています。案に相違して2か月



第 23 図

たっても消えないので、少しくたびれてきました。まあそんなようなことで、これからもたくさん、いろいろな面白いことが現われると思います。

もっと変なことがあって、ほんの2~3秒間非常に強いガンマ線が空のどこかからやってくるということもあります。さっきの西村さんは百何十時間気球を飛ばして捜しておら

れます。それなんかはX線の星よりももっとエネルギーの高い、さらに千倍ぐらい高い星じゃないかと思いますが、そうすると今のところ全く何が起きているのかわかりません。たとえばブラックホールに隕石が飛び込んだというような法螺もあるのです。まあ、あまり法螺を吹きますと、またプレイボーイから電話がかかってきてしまうので、そんなとこ

ろで……。

(拍手)

引き続き、司会者より発言

村越 これですぐ終わりにいたしません
で、小田先生はどうも、自分がこれをやっ
た、という話をされなかったので、朝永先生
から、ちょっとここで話しになったらどう
でしょうか。どうぞ。

(拍手)

朝永 みなさんだいぶおつかれたと思いま
すが、ちょっと時間をいただきまして、今の
小田先生のお話に蛇足をつけ加えたいと思
います。小田先生はたいへんに謙遜されて、自
分が今のお話のうちのどれが自分のやったこ
とだとおっしゃらないで、ほかの人の名前は
幾つか出ましたが、しかし、おそらく自分じ
ゃちょっと言いにくいんだろうと思いますか
ら、わたくしから代わって申しあげたいと思
います。

最後にですね、モジュレーションコリメー
ターという話が、やっと最後になって出てき
たんですが、実はこの装置をはじめて作られ
たのが小田先生なんです。さっきのお話で、
X線天文学というのが出てきたのが1962年
で、MITのロッジという先生が天のどこ

かからX線が来るということをロケットで見
つけた、それがはじまりなんですけれど、そ
れがどこから来るか、そのX線のソース、源
ですね。これがワースと大きいものなのか、
あるいは星のような程度の大きさのものなの
か、そういうことはその当時の装置では調べ
ることができなかったんです。ご承知のよう
にX線にはレンズが使えませんから、天体望
遠鏡のようなものではあつかえないわけで
す。それでその大きさとか、その位置を角度
にして分あるいは秒の程度までキチンときめ
るといことは、たいへんむずかしいことで
した。それを小田先生が作ったスタレを2枚
重ねたようなのだとおっしゃいましたけれ
ども、たいへん新しいアイデアで、しかも
スタレというのは日本じゃしょっちゅう使っ
てますけれども、ヨーロッパやアメリカにな
いもんですから、おそらく小田先生がそれを
じっさい作って見せるまで、想像もつかなか
ったんだろうと思うんです。われわれだって
スタレは知ってたんですけども、それがX
線のコリメーターに使える、コリメーターと
いうのはどっちの方向から来るかというこ
とを非常に精密な角度で定める装置なんですけ
れども、スタレがそれに使えるってなこと

は、おそらく日本人といえども小田さん以外にはなかったんじゃないかと思うんです。それで急に、X線天文学というものが発達した。さっき、さそり座のX-1——スコルピオX-1というX線星、この場所を非常に精密にきめて、さっきこういう四角いわくを書いたスライドがあったのをご記憶かと思いますが、四角いこの範囲にあるということを書いたのが、小田先生のスタレコリメーターをつかってはじめてきめたものです。もちろんこの観測には小田先生自身も参加しておられたんですが。そして、たぶんそこに、その四角い範囲に、紫外線を非常に強く出す約12等星ぐらいの星があるだろうということはこのスタレコリメーターできめたわけですね。そこでさっそく東京天文台の岡山観測所がその場所を望遠鏡で探したところが、そこにさっきお話がありましたように、紫外線の非常に強い、眼に見える光、可視光線よりも紫外線のほうが強いという変わった星が見つかったという、そういうことです。それから、白鳥座のX線星の場所をきめるのに、西村さんの名前が出た、あの風船、といっってはちょっとおかしい、気球といわなくちゃいけないんですけど、気球をあげてその位置を、MITと

競争みたいな形で、だんだんとせまくしていった、それもやはりこの小田先生のコリメーターを積んだわけです。今このX線天文学でほとんどこのコリメーターをつかわない観測はないんじゃないかといってもよいほどこれは画期的な、大事な、基本的な、装置であります。これだけのことを言いたします。それからついでですが、ついでといっっては失礼ですが、この風船、じゃない気球の大將がここにいますから、ちょっと顔を見せて下さい……。 (拍手)

どうも、蛇足をつけ加えまして。

ニールス・ボーア研究所昨今

市村宗武*

仁科記念財団とニールス・ボーア研究所との関係は、故仁科芳雄先生が当研究所の前身、コペンハーゲン大学物理学研究所をはじめ訪れられた時に端を発するとすれば、すでに半世紀にわたることになります。

デンマークでは50歳の誕生日を、わが国の還暦同様、大変盛大に祝う習慣があり、それは人間が成熟(mature)に達する年だそうです。手もとに資料がありませんので仁科先生がコペンハーゲンを訪れられたのが正確にいつだったかわかりませんが、かの有名なクライン・仁科の論文が発表された1929年からかぞえても、やがて50年になるというわけです。仁科財団とニールス・ボーア研究所の関係が真の成熟に達し、今後ともますます発展していくことを願ってやみません。

仁科財団の援助で当研究所に学んだ浜本育子氏は現在も当研究所と一身体であるNORDITA(北欧諸国の共同研究所)の客員教授として、大いに活躍されておりますし、近く新進気鋭の若き研究者松柳氏が同じく仁科財団の援助で当地に来られるとのこと、心待ちにしております。

また、ここ数年、仁科財団が窓口となつての日本万国博覧会記念協会の、当研究所の国際協力プロジェクトへの援助は、当研究所の活動にとって不可欠な原動力となり、物理学上の成果のみならず、国際交流、後進国物理学者への刺激など、測り知れない

成果を挙げています。私も陰に陽にその恩恵を受けた一人であります。

さて、50歳の誕生日の話を出したのは、実は本年5月31日から6月3日まで、当研究所で開かれた、「4×50シンポジウム」という、変な名前のシンポジウムのことをお話したかったのがその一つの理由です。

50は50歳、4はニールス・ボーア研究所(以下NBIと略す)とNORDITAの4人の教授を意味します。わが国で還暦記念に論文集を出版したりするのと同様、4人の教授の50歳の誕生日を記念したシンポジウムが企画されたわけです。この4人は、昨年ノーベル賞を受けたBen Mottelsonをはじめ、Gerry Brown, Aage Winther, Ove Nathanの面々で、この4人はわれわれ原子核物理の研究者の中では知らぬ者のない、いわば大物達です。量子力学が完成し、通称コペンハーゲン(現NBI)が最も栄光に輝いていた年に生まれた人たち、仁科先生がコペンハーゲンを訪れた頃、まだ赤ん坊だった人達が、今コペンハーゲンを代表する物理学者になっているわけです。(なお、Niels Bohrの息子で、昨年ノーベル賞受賞の榮譽に輝いたAage Bohrは現在54歳で、やはり上の4人と同世代といえます。)

このシンポジウムの招待状はかつて当研究所に学んだ人々全員にAage Bohrの名で、Dear friendという書き出しで送られました。それには、残念ながら旅費、滞在費等の援助は一切できないと書いてありました。さてこのようにお金を使わず、pro-

* 東京大学教養学部

ceedings も出さず一研究所の informal な, private な会に何人参加したでしょうか? 次に国別の参加者数の表を作ってみると次のようになりました。

アルゼンチン 2, ベルギー 1, カナダ 5, デンマーク (NBI と NORDITA 以外) 17, イギリス 8, フィンランド 10, フランス 3, ドイツ 23, ハンガリー 3, イスラエル 1, イタリア 6, 日本 3, ユーゴスラビア 2, インド 2, フィリピン 1, ホンコン 1, 中国 (本土) 1, メキシコ 1, オランダ 2, ノルウェー 14, ポーランド 3, スウェーデン 12, スイス 4, USA 42, ソ連 5, NBI と NORDITA のスタッフ 66

ここに当研究所の国際性が顕著に表われています。またその参加者の顔ぶれの充実ぶりは、一々名を挙げませんが、他の国際会議に優るとも劣らぬものがあります。そこで議論の白熱ぶりは、中国からの研究者が小生にしみじみも“これは喧嘩だ”と漏らしたことからもうかがえます。私としては“これが真の物理屋の態度だ”と言いたいところです。

この会で取り挙げた問題は、上の4人の人達の活動分野にはほぼ限られたわけですが、原子核の集団運動、大きな共鳴を惹き起こす振動状態や、高速回転状態といった近年漸く実験にかかりはじめた集団運動、重い原子核同士の衝突現象(わが国でもニューマトロンというこの分野の巨大加速器の計画が進んでいる)、そして原子核を単に陽子と中性子の集合とみるのではなく、その中での中間子等今まで考えなかった粒子の役割を調べる等、現在の原子核研究の最前線の問題ばかりでした。

かつての量子力学生成期のコペンハーゲンの栄光

を見ると、つい現在のコペンハーゲンを斜陽と見る向きも無くはありませんが、偉大な巨人たちの輩出した、物理学の最も興奮に満ちた時代の華やかさと比べるのは酷というもので、上のような見方はコペンハーゲンなればこそ受ける批判であり、やはりその実力は原子核研究の分野では世界のトップを走っていることは疑うべくもありません。

しかし、ただ過去の栄光にすがってはいは、その地位を守るのは難しく、そのおとしあなに落ちこまぬよう当研究所が特に力を入れている点の一つとして、私にはその国際性、国際交流、国際協力の維持があるように思われます。74/75年度3か月以上当研究所に滞在した外国人研究者の顔ぶれは国別にみると、

アルゼンチン 3, オーストリア 3, ブラジル 1, カナダ 2, チェコスロバキア 1, イギリス 3, フィンランド 5, フランス 2, 西ドイツ 6, アイスランド 1, インド 1, イタリア 6, 日本 5, ノルウェー 7, スウェーデン 12, スイス 2, USA 17, ソ連 1,

May 25, 1976

IELS BOHR INSTITUTET

- 145 -

NORDITA

P R O G R A M

4 x 50 SYMPOSIUM
held at

The August Frogh Institute

MONDAY, May 31

Chairman O. Nathan

9.15 - 9.30

Introduction

A. Bohr

9.30 - 11.00

Giant resonances and polarization effects I

F. Axel Excitation of giant resonances (GR)
by photons and electrons

I. Halpern excitation of GR by hadrons

G. Bertuch simple interpretation of GR

4 x 50 シンポジウムのプログラム (初めの部分のみ)

と極めて多くの国にわたっています。

今年度の特記すべき新顔としては、中国（本土）から2人が滞在していることでしょうか。私は最近フィリピン人と同室になりました。このような国際交流の場をつくるのに当研究所は非常な努力を傾けています。これには非常に多くの困難が伴い、並大抵のことでないのは、複雑な国際情勢からも想像に難くありません。私はこの研究所で2人の中国人とも3人のソ連人とも親しく友達になることができました。しかし、現在のところ、残念ながら彼ら同士（中国人とソ連人）が、親しく付き合う状況を作り出すことは難しいようです。これは、はた目にも悲しい事態を感じさせます。

私は、先に1年3か月、今回は今までで約3か月当地に滞在したわけですが、コペンハーゲンの町がたいへん気に入っています。ヨーロッパの大都市（ロンドンやパリやローマ）を旅行して、コペンハーゲンに帰って来ると、なぜか緊張から解きほぐされた安堵感を覚えます。もちろんわが家があるという

のが最大の理由でしょうし（今回のようにやもめ暮しだと、これも大した理由になりませんが）、おちついた美しい町ということもありましょうが、しかし、それ以上の何かがあります。それは、おそらくまわりの人々を本質的に親切な人々であると信じていて、裏切られることがないという点ではないかと思えます。私はこのようなデンマーク人の特性が、ニールス・ボーア研究所が国際交流センターの役目を果たしていくための、陰の大きな力になっていると考えています。

以上、拙文ながらニールス・ボーア研究所の国際性について多少感じていることを書き並べてみました。最後に今回私が当地に来られましたのは、仁科財団の村越理事の多大なる御尽力に依るものでありました。この場を借りて深く感謝の意を表したいと存じます。

1976年8月

コペンハーゲン

ニールス・ボーア研究所にて

仁科記念財団の活動

—昭和47年度から50年度までの事業報告書から—

1. 仁科記念賞

昭和47年度は下記2件2氏の研究に対して贈呈した。

受賞者 テンプル大学理学科
川崎 恭治 氏
研究題目 「臨界現象の動力学的理論」

推薦理由

気体・液体の臨界点附近の相変化や、強磁性、常磁性転移など、いわゆる第2種相転移は、温度や圧力などの物理的条件の変化によって物質の状態に不連続な変化が起こる現象である。そのミクロな機構の究明は1930年代からの近代的な物性物理学の中心問題の一つであった。

第2種相転移は、物質中の分子排列やその運動の秩序の生滅に関する現象である。密度や磁化など、その秩序の度合をあらわす秩序パラメータは、臨界温度を境として生滅し、これに伴い、比熱、圧縮率、磁化率などの熱力学的物理量は臨界点で異常なふるまいを示す。また、粘性、熱伝導、電気伝導、音波の吸収、光や中性子の散乱など、その物質の動的な諸性質もまた、相転移の動的な特性を反映する異常性をもつ。

秩序は静的には臨界温度以下で発生するものであるが、動的なゆらぎとしての秩序は臨界温度の上でも時間的、空間的に局所的に発生し、相転移の様相を支配する。秩序パラメータのゆらぎを種々の波長の成分に分解し、その一つ一つを秩序パラメータのモードと呼ぶ。臨界点からかなり離れたところでは各

モードの運動はほぼ独立であるが、臨界点に近づくに従い、運動は非線型的になり、モード相互の絡み合いが著しくなる。結局、このモード間のカップリングが相転移の静的、動的な異常性を微妙に決定する。川崎氏は秩序パラメータの確率的運動方程式から出発し、フォッカープランク方程式を導き、場の理論の手法を利用してこのモードカップリングを取り扱う一般的な理論を構成した。これによって種々の動的な物理量の臨界異常性を理論的に導くことができるが、その結果はよく実験事実を説明する。

川崎氏は早くから相転移の統計力学的研究に手を染め多くの業績をあげているが、特に上述の動的特性に関する研究は先駆的なもので世界的に高く評価されている。

受賞者 東北大学理学部
真木 和美 氏
研究題目 「超伝導体の理論的研究」

推薦理由

超伝導とは、極低温において金属の電気抵抗が消失し、また磁氣的に著しい反磁性効果を示す現象であるが、その本質は半世紀にわたる物理学の謎であった。1957年に至って、Bardeen, Cooper, Schrieffer のいわゆる BCS 理論によってはじめて解明されたが、実際超伝導には当時知られていたものよりはるかに変化に富む複雑なものがある。それらは、BCS以後の発展として物性物理学の一大分野をなしているが、真木氏はこの発展の理論的な面において大きな貢献をなした。その研究はすこぶる多

方面にわたるが、その主要なものは次のように要約される。

不純物をふくむきたない超伝導体は第2種超伝導体であって、超伝導状態でも、ある臨界磁場以下では磁束を通す性質がある。真木氏はこれについて一般的な理論を展開し臨界温度附近に限られていたそれまでの理論の限界を拡張し、この種の超伝導体の研究に大きな影響を与えた。

BCS理論では、超伝導体の基底状態と励起状態の間には有限なエネルギーの間隙がある。しかしAbrikosovが示したように、磁気的な不純物があると、超伝導状態でも必ずしもそのような間隙はない。真木氏はさらに一般的に時間反転の対称性をもたない相互作用があるときこのような間隙のない超伝導状態が存在することを示し、超伝導の多様な現象を統一的にみる一つの鍵を与えた。また、これと関連して、超伝導体中の磁気的原子の状態、すなわちいわゆる近藤効果の理論の解明にも重要な寄与をなしている。

超伝導体の薄膜や微粒子では、臨界点附近のゆらぎによる異常な電気抵抗や反磁性が観測される。この理論についても真木氏は今日、真木項と呼ばれるある効果が重要であることを見出した。

以上は超伝導体理論における真木氏の多彩な活動の一端にすぎない。超伝導体の物理がこの10年ほどの間に成し遂げた目覚ましい進歩について真木氏の功績は広く世界的に認められているところである。

昭和48年度は下記2件3氏の研究に対して贈呈した。

受賞者 京都大学基礎物理学研究所助教授
佐藤文隆氏

広島大学理論物理学研究所助手

富松彰氏

研究題目 「重力場方程式の新しい厳密解の発見とその宇宙物理学への応用」

推薦理由

恒星進化論によれば星の進化の最終段階において非常に高密度の天体が作られる可能性がある。この予想は中性子星（パルサー）の発見によって一部裏書きされたが、理論はさらに高密度の天体、いわゆるブラックホールの存在を確からしくしている。

このような超高密度の天体では、その近傍に非常に強い重力場が存在しており、一般相対論に従えば、そこには非常に奇妙な時空構造ができてはいるはずである。したがってこの種の天体の性質を解明するには重力場に関するアインシュタイン方程式の厳密解を求める必要がある。

佐藤文隆、富松彰両氏はこの重力方程式について、古くから知られているシュヴァルツシルトの解、ワイルの解、およびカーの解のほかに、この三者の解をそれぞれ特殊な場合として包括するところの、より一般的な厳密解の一群を発見した。この新しい解は、重力場源が角運動のゼロでない回転楕円体である場合に相当するものであり、またこの場合の解の新しい特徴として、メトリック特異点がいわゆる事象の地平線より外部にも存在することになるため、ブラックホールの解明に関して一つの新たな展望を開くものであって、両氏の発見に基づく新しい研究は世界のいろいろな場所で続々発表されている。

この意味において両氏の研究は基礎物理学の近年の発展のなかでぬきんてた、大きな成果であると言えるであろう。

ちなみに、最近白鳥座にある Cyg-X-1 という X 線星が連星系であり、かつその片方はブラックホールではないかと言われている。

受賞者 京大数理解析研究所助教授
中西 襄氏

研究題目 「場の量子論における散乱振幅の諸性質の分析」

推薦理由

中西氏は、場の量子論における散乱振幅の諸性質の分析に大きな寄与をした。

初期の仕事としては、便利な積分表示を工夫して摂動論のすべての次数で成り立つような散乱振幅の解析的性質の研究がある。この一連の研究の成果に基づいて散乱振幅のいわゆる中西表示が提出された。この表示は分散理論において中心的役割を占めるマンデルスタム表示と密接な関係があるが、まだ証明のないマンデルスタム表示と違って中西氏自身による証明が存在する。

分散理論において実用上重要な部分波散乱振幅に対する分散公式は、中西表示によってはじめて摂動論のすべての次数で成立することが保証されたことになる。

その後中西氏は、散乱状態だけでなく束縛状態に対しても使えるベテ・サルピーター方程式の研究に進み、解析性や群論的性質を武器としてある種の束縛状態に対する規格化条件の異常性散乱のグリーン関数には、多重極が存在すること等の重要な発見をし、また相対論的不変性に基づいて現象論的なレッヂェ極の基本的諸性質との関連を調べた。これらの仕事の集大成として書かれた総合報告は、この分野の研究者によって高く評価されている。

また最近中西氏は、散乱振幅のユニタリー性と関

連して不定計量の理論に進み、特に弱い相互作用の理論と深い関係にあるヒッグスの定理につき詳細な理論を展開し、ゴールドストーン粒子が束縛状態である場合にもヒッグスの定理を証明することに成功した。

中西氏は旺盛な批判精神を持ち、かつ批判の後には自らその難点を解決しており、日本の素粒子論研究者の中核として世界的に高く評価されている。

昭和49年度は下記2件2氏の研究に対して贈呈した。

受賞者 ニューヨーク市立大学教授
崎田 文二氏
研究題目 「素粒子の超多重項理論及び二重性理論の研究」

推薦理由

崎田氏は素粒子の相互作用に関して多くの重要な業績をあげているが、この中でも特に学界における評価の確立している二種の研究を賞の対象とした。

素粒子の内部対称性については多くの人々の研究があるが、崎田氏はこの対称性をスピンをも含めた力学的対称性にまで拡張した超多重項理論、いわゆるSU(6)理論、を提唱し、スピンの異なる多重項、たとえば擬スカラーとベクトル、スピン1/2のパリオンと3/2の共鳴状態などを統一的に取り扱う方法を導入し、これによって多くの実験事実を説明するのに成功し、世界的にも非常に高く評価されている。

また素粒子反応の共鳴状態による記述と、レッヂェ軌道による記述との間の二重性に関する理論は、素粒子の理論的研究の中で一つの大きな流れになっているが、崎田氏はこの方面でも基本的な貢献がある。

受賞者 大阪大学教授
大塚 穎三氏
研究題目 「半導体電子輸送現象のサイクロトロン共鳴による研究」

推薦理由

受賞者は1965年頃からサイクロトロン共鳴の実験にとりくみ、多くの業績を挙げたが、特に電界変調法という新しい実験方法を開発し、実験技術面でも独創的な考案をだしている。これらの実験技術により受賞者は半導体中の電子の散乱、電子正孔対の挙動などに独特の研究成果を挙げている。

中性不純物による電子散乱を“水素原子による陽電子の散乱”というモデルで見事に説明し、また **excitonic polaron** という独特の考えも提案して注目を浴びている。本年8月西独 Stuttgart で開かれた半導体物理学会での **electron hole drop** に関する発表は非常な関心を集めた。これらの業績は受賞者の並々ならぬ独創力とすぐれた思考力をあらわしている。

昭和50年度は下記2件2氏の研究に対して贈呈した。

受賞者 東京大学理学部教授
山崎 敏光氏
研究題目 「核磁気能率における中間子効果の発見」

推薦理由

山崎氏は森永晴彦氏（昭和45年度仁科記念賞受賞）により開発されたインビーム核分光学の手法を用い、原子核の高いスピンを持ったアイソマーの研究を世界にさきがけて始めた。

特に、放出されるガンマ線が角度分布を持つこ

とに着眼し、時間微分計摂動角分布の方法を用いて高いスピン状態の磁気能率を系統的に測定した。その結果、陽子の軌道角運動量・ g - 因子は1ではなく1.1であるという異常性を発見した。この異常性は核内における中間子交換効果によるものであり、宮沢氏等により理論的には予想されていたが、確証は得られていなかった。それを実験的に確かめたものである。これにより、これまで行き詰まっていた核磁気能率の研究が大きく発展することとなった。

要するに、この発見は低エネルギー核現象において、初めて中間子効果が実験的にとらえられたもので、その点極めて画期的な発見であり、世界的にも非常に高く評価されている。

受賞者 東京大学物性研究助教授
花村 栄一氏
研究題目 「多励起子系の理論的研究」

推薦理由

絶縁体結晶を強いレーザー光で照射すると、高い密度の電子、正孔が生成され、物質の条件によってこれらは、プラズマ状態、あるいは励起子、励起子分子集団をつくる。このような高励起状態は、物質の特異な極限状態として物性物理学の新しい展開の一局面を形成しつつある。

受賞者は1970年頃からこの問題の研究を行い、とくに励起子分子生成の条件、ポーズ凝縮した励起子、または励起子分子集団の特異な光学的過程、すなわち異常に大きい確率をもつ二光子吸収による励起子分子生成、鋭いスペクトル線をもつ発光過程等の理論を明らかにした。これらの先駆的業績は、最近の実験的研究に対して最も重要な指針を与えたものであって、世界的に高い評価を受けている。

2. 仁科記念講演会

昭和47年度

定例記念講演会を次のとおり開催した。

日時 昭和47年12月6日(水)午後2時より
4時半まで(開場午後1時30分)

場所 朝日講堂

講演 「ライフ・サイエンスと人類の未来」
慶応大学医学部教授
渡辺 格氏
映画 「生命」

昭和48年度

定例記念講演会を次のとおり開催した。

日時 昭和48年12月6日(木)午後2時より
4時半まで(開場午後1時30分)

場所 朝日講堂

講演 「生きている地球」
東京大学名誉教授
坪井 忠二氏
映画 「マグニチュード7.9地震予知
の科学」

昭和49年度

定例記念講演会を次のとおり開催した。

日時 昭和49年12月6日(金)午後2時半より
4時半まで(開場午後2時)

場所 朝日講堂

講演会 「宇宙観の変遷—コペルニクスからア
インシュタインまで」
朝永 振一郎氏

昭和50年度

定例記念講演会を次のとおり開催した。

日時 昭和50年12月6日(土)午後2時より
4時半まで(開場午後1時半)

場所 朝日講堂

講演会 「X線星とブラックホール」

東京大学教授 小田 稔氏
映画 「科学衛星『太陽』」

3. 仁科記念奨励金

昭和47年度

「螢光円二色性測定装置の試作と光学活性物質の構造解明への応用」

福井大学工学部助教授 神藤 洋爾氏
60万円

「揺動および緩和現象の量子光学的研究」

東京大学物性研究所助手 大林 康二氏
90万円

「極低温を用いた凝縮相放射線化学の初期過程の研究」

京都大学原子炉実験所助教授
東村 武信氏
75万円

「励起された原子分子集合体のコヒーレンス状態の研究」

東京大学教養学部助手 青木 禎氏
51万5千円

「レーザー二重共鳴法によるダイナミカルな分子過程の研究」

東京大学理学部助教授 清水 忠雄氏
96万2千円

「混晶の2次ラマン散乱による研究」

東京教育大学理学部講師 内野倉 国光氏
85万円

「トンネルスペクトロスコープによる固体有機物

の電子状態の研究」

お茶の水女子大学助教授 丸山有成氏
75万円

「鉱物-水間の¹⁸Oの分配の実験的理論的研究と
その地球化学的応用」

岡山大学温泉研究所教授 酒井均氏
94万円

昭和48年度

「電子遷移による核励起の研究」

大阪大学理学部教授 音在清輝氏
75万円

「遠赤外レーザーによる励起子の分光的研究」

大阪大学基礎工学部助教授
西田良男氏
100万円

「イオンサイクロトン共鳴による原子量の精密測定」

電気通信大学助教授 井上雅夫氏
95万4千円

「二次元半導体における高密度励起子効果」

東北大学金属材料研究所助教授
後藤武生氏
90万円

「光散乱の微細構造の観測と液体構造」

東京都立大学理学部助教授
藤山常毅氏
78万1千円

「過冷却微粒子の生成に関する研究——ノズル・
ビーム法の適用」

富山大学薬学部助教授 北川泰司氏
100万8千円

「原子核集団運動の殻模型による理論的研究」

東京大学原子核研究所助手

小川建吾氏
55万9千円

昭和49年度

「高電離重イオン衝突における内殻電離機構の研究」

九州大学工学部助手 俵博之氏
109万円

「ラマン散乱によるフォノン-プラズモン結合モードの分散関係の研究」

大阪大学理学部講師 邑瀬和生氏
100万円

「電子ライナックを用いたパルス法中性子非弾性散乱による遷移金属、非晶体等の高いエネルギーの励起状態の研究」

東北大学金属材料研究所助手
富吉昇一氏
90万円

「中性子星からの重力波の検出に関する研究」

東京大学理学部助教授 平川浩正氏
148万円

「ポジトロニウムの反応に関する研究」

東京大学工学部助教授
氏平祐輔氏
110万円

「高密度プラズマからのHe IIスペクトル線のシ
ュタルク・ブロードニングの測定」

広島大学理学部助教授 尾田年充氏
64万円

「 $\alpha + D \rightarrow \alpha + n + p$ 反応の分析」

青山学院大学理工学部教授
中村弘氏

80万円

昭和50年度

「赤外レーザーによる分子の非線形分光」
 東京大学教養学部助手 酒井 純 氏
 71万4千円

「非晶質半導体に対する不純物の影響」
 金沢大学工学部教授 清水 立生 氏
 93万円

「偏極 γ 線によるヘム蛋白の電子状態の研究」
 京都大学原子炉実験所助手
 前田 豊 氏
 95万円

「インプランテーションによる新化学種の生成とその化学性・物性の研究」
 東北大学理学部助教授 吉原 賢二 氏
 110万円

「 γ 線照射によって生ずるイオンラジカルの電子状態の研究」
 京都大学理学部助教授 志田 忠正 氏
 102万5千円

「強磁性臨界点近傍の動的スピン過程の光散乱による研究」
 広島大学総合科学部教授 岡本 哲彦 氏
 85万円

「先駆的錯体を用いた一価金属イオンの気相反応の研究」
 女子栄養大学栄養学部講師
 中山 博明 氏
 119万8千円

東京工業大学理学部助手 八田 一郎 氏
 留学先 英国 イムペリアルカレッジ

東京都立大学理学部助手 広瀬 立成 氏
 留学先 ドイツ ハイデルベルグ大学

昭和48年度

東京大学理学部助手 永宮 正治 氏
 留学先 米国パークレー カリフォルニア大学

東北大学工学部助手 海老沢 丕道 氏
 留学先 米国 コーネル大学

昭和49年度

東京大学理学部 高木 伸 氏
 留学先 英国 サセックス大学

大阪大学教養部助手 大山 忠司 氏
 留学先 米国 ブラウン大学

昭和50年度

大阪大学理学部助手 仲伏 広光 氏
 留学先 オランダ Delft 工科大学

東北大学金属材料研究所助手
 黒田 規敬 氏
 留学先 米国 Purdue 大学

4. 研究者の海外派遣

昭和47年度

財団法人 仁科記念財団
役員名簿（昭和52年2月現在）

理事長	朝永振一郎						
常務理事	村越 司	山崎 文男					
理事	芦原 義重	安藤 豊禄	植村甲午郎	太田 清蔵	茅 誠司	木川田一隆	
	駒井健一郎	酒井杏之助	佐藤 尚	瀬藤 象二	武見 太郎	田実 涉	
	田代 茂樹	永野 重雄	長谷川周重	原 安三郎	福井 伸二	藤岡 信吾	
	堀田 庄三	藪田貞治郎	横山 通夫	吉川 清一			
監事	佐々木秋生	田中久兵衛	玉木 英彦	鳩山 道夫			
評議員	赤堀 四郎	芦原 義重	荒木 三郎	有山 兼孝	安藤 豊禄	池田 長生	
	石井 千尋	一万田尚登	稲山 嘉寛	岩越 忠恕	岩佐 凱実	植村甲午郎	
	太田 清蔵	茅 誠司	鎌田 甲一	風戸 健二	木川田一隆	木村健二郎	
	久保 亮五	小谷 正雄	小林 稔	駒井健一郎	酒井杏之助	佐藤 尚	
	杉本 正雄	瀬藤 象二	千秋 邦夫	竹中 鍊一	武見 太郎	田実 涉	
	田島 英三	田代 茂樹	田中久兵衛	玉木 英彦	朝永振一郎	中根 良平	
	中山 弘美	永野 重雄	西島 和彦	西村 純	仁田 勇	長谷川周重	
	鳩山 道夫	浜田 達二	原 安三郎	藤岡 信吾	藤山愛一郎	堀田 庄三	
	本田 弘敏	三浦 功	宮崎友喜雄	村越 司	藪田貞治郎	山崎 敏光	
	山崎 文男	山本源左衛門	湯川 秀樹	横山 通夫	吉川 清一		
運営委員	池田 長生	石井 千尋	鎌田 甲一	久保 亮五	杉本 正雄	田島 英三	
	玉木 英彦	中山 弘美	中根 良平	西島 和彦	西村 純	鳩山 道夫	
	浜田 達二	三浦 功	宮崎友喜雄	山崎 敏光			
事務局	横山 すみ	和田千代子					