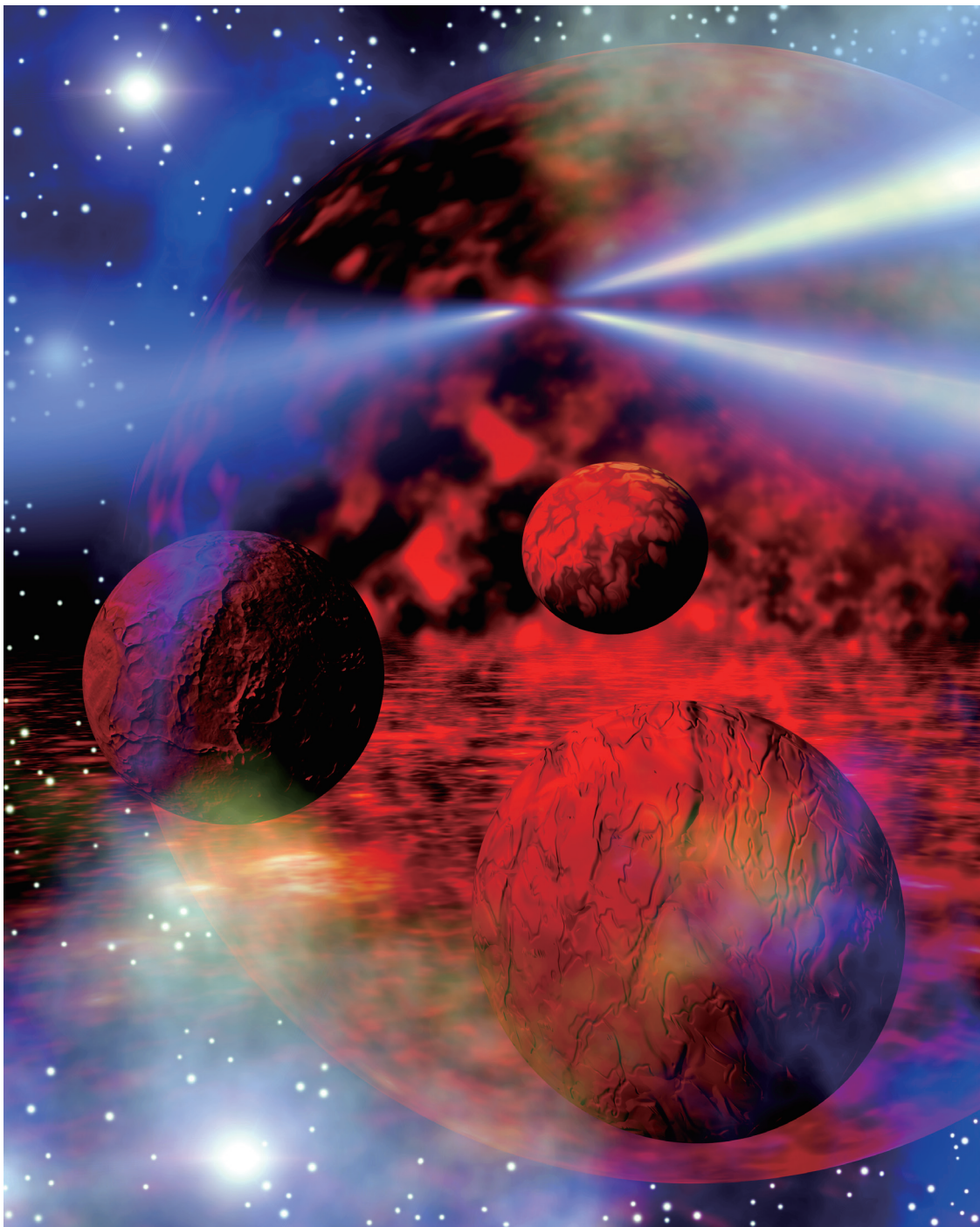


第16章 天文学と星の進化

空を見上げると数え切れない星があることに気づきます。私たち地球は大きいと思っても宇宙の大きさに比べたらちりのような存在です。ところで宇宙の科学である、天文学とはどのような学問なのでしょうか？また、夜空に輝く星立ちはいったいどうして光っているのでしょうか？今回はこの天文学とは何かと、星の進化について勉強していきましょう。



天文学とは？

私たちは宇宙に自由に行くことはできません。星を調べるには星からの情報を得る必要があります。それでは、星からの情報はどのような形で地球に来ているのでしょうか？基本的にそれは光です。また、光は電磁波の一種ですから、星からの様々な電磁波が地球に届いています。宇宙や星を探求する天文学とは、次のように言うことができるでしょう。

天文学とは、宇宙からの光子を元に宇宙の物体を解析する学問である。

通常自然科学では、実験ができます。しかし、私たちは星同士を衝突させたりする実験をするだけの科学力はありません。そのため、天文学とは観測する科学であるという大きな特徴があります。

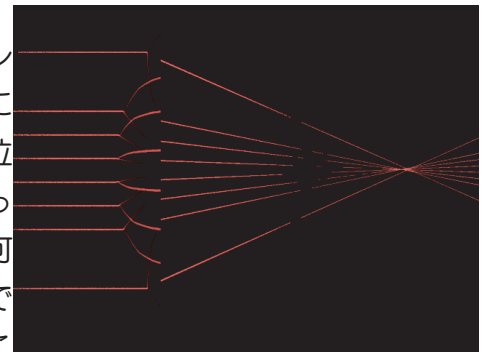
天文学はおそらく人類の歴史の中で最古の科学だったかもしれません。しかし、20世紀の中頃までは、可視光のみが星を見る手段でした。現在では、ガンマ線から電波まで、様々な光子を元に解析しています。可視光とは、太陽の光の強度によって最適化された進化の果てに、地球上の生物が身につけた感覚であって、可視光以外の波長の電磁波が重要となる場合が多いのです。

光学望遠鏡

望遠鏡では、光の屈折や反射を用いています。そのため、望遠鏡を光学望遠鏡といいます。

光学望遠鏡には主に2種類あります。それは、屈折を利用しているか、反射を利用しているかです。

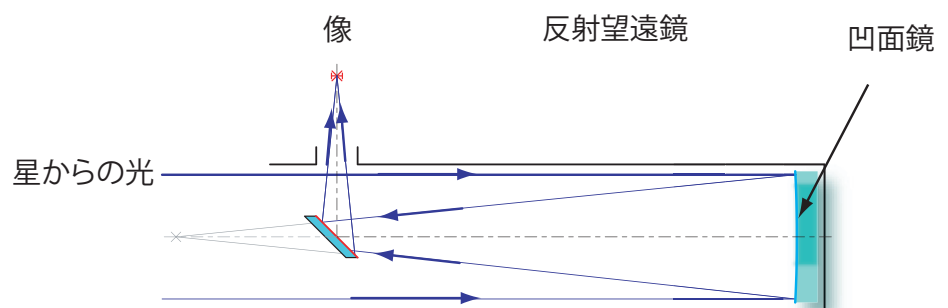
屈折を利用するのは小学校のときからおなじみのレンズです。しかし、ほぼどんな素材でも、光の波長によって屈折する角度がずれてしまい、色事に焦点の位置がずれてしまう現象が生じます。また、レンズによって光の一部が吸収されてしまいます。このことは、可視光ではあまり気になりませんが、紫外線や赤外線ではガラスで激しく吸収されてしまいます。こうしたこ



レンズ

とで、レンズを用いずに鏡の反射によって像を見る、反射望遠鏡が有利です。図のように、凹面鏡で反射された

光は1点に集中し、もう一つの鏡で望遠鏡外に光を出します。このように反射を利用して光を集める望遠鏡を**反射望遠鏡**と言います。



望遠鏡では、多くの光を集めて像をはっきりさせるためにも望遠鏡の直径が大きい方がよいのです。大きなレンズよりも大きな鏡の方が作りやすいために、口径の大きな望遠鏡はほとんど反射望遠鏡です。現在、世界には直径10メートルの反射望遠鏡もあります。

電波望遠鏡

地上では、太陽からの可視光は地上に多く降り注ぎます。また、紫外線は、上空の大気中の酸素やオゾンをイオン化し、吸収されています。また、赤外線も多くが大気で吸収されているのです。このように数多くの波長の光が大気の影響を受けて地上での観測の障害となります。一方、波長が1メートルから10メートル程度の電波領域の電磁波は、大気中で吸収されずに地上まで届くことができます。そのため、地上での観測として、電波の観測も多くなされています。このように電波の観測をする望遠鏡を**電波望遠鏡**と言います。



電波望遠鏡

多数設置し相互に比較することで解像度を増すことが可能

宇宙望遠鏡

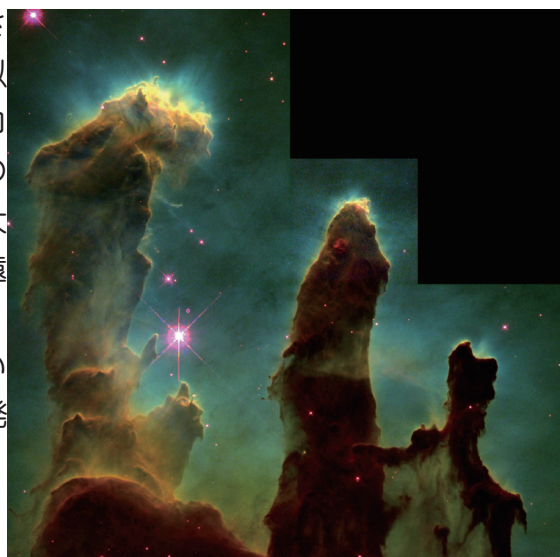
先に見たように可視光と電波の一部の領域以外は、大気に電磁波は吸収されてしまいます。また、可視光の観測でも大気の揺れによるちらつきやぶれがあり、微弱な光では良い像を結んでくれません。そのため、宇宙に望遠鏡を持って行くと大気による吸収がなく、観測上大きなメリットがあります。

ハッブル宇宙望遠鏡は、NASAが打ち上げた宇宙望遠鏡の中でも最も大きく、最も困難な望遠鏡です。故障が続いたため、現在まででも9000億円以上の費用がかかってしまいました。しかし、それでもあまりあるほどの情報を私たちにもたらしてきました。ハッブル宇宙望遠鏡は、地上に設置された望遠鏡の10倍以上の分解能と、30倍以上の光の感受率を誇ります。地上から600キロメートル上空を旋回し、95分おきに地上からの制御で完全に自動化されて動作します。その大きさは、市バスと同じくらいの大きさで、望遠鏡の直径は2.5メートルです。

右の写真のように地上からでは考えられないような鮮明な写真が撮れ、これまでも多くの発見をしています。



ハッブル宇宙望遠鏡



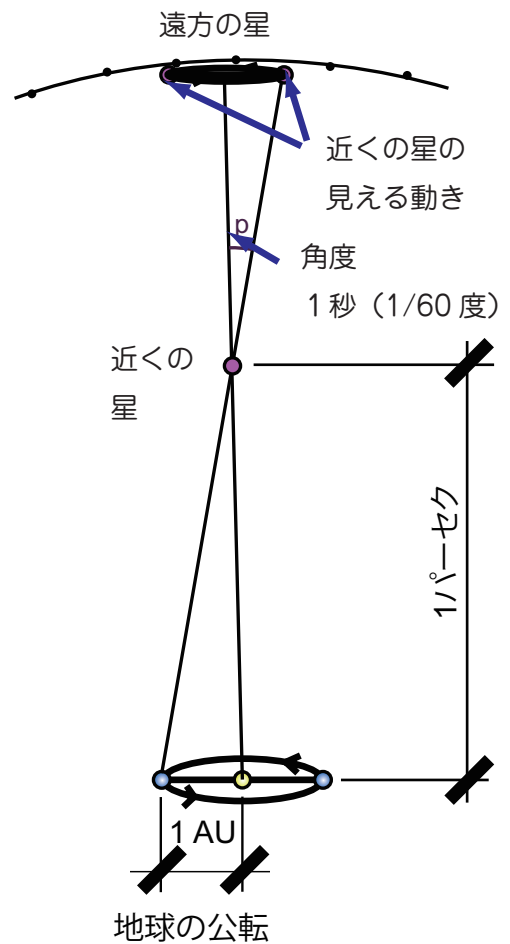
星までの距離をどうやって測るか？

夜の町を歩くと街灯の明かりが見えます。遠くの明かりは暗く見えますね。星でも同様です。写真を見ても、星は平べったい平面的にしかわかりません。あまり明るくない星であってもそれはその星が非常に多くにあるからかもしれないのです。したがって、その星の放出している光の量を知るためには、地球からその星までの距離を知ることが非常に重要です。光が1年間に進む距離を1光年と言います。一方、天文学で良く使われるのが次に述べる**パーセク**と言う単位であり、これは次のように観測法と結びついた単位です。

近くのものを見て、自分の体を動かすと、自分の位置からは、その物体は横に移動して見えます。一方遠くの物体はそれほど動きません。この原理を利用すると、自分の移動した距離と見える角度の差により物体までの距離を決定できるのです。これと同じ原理により星までの距離を測定することができます。それには、地球が太陽の周りを回っていることを用います。地球が太陽の周りを回っているため、近くの星は季節ごとに移動して見えるのです。図のように角度が1秒（ $1/60$ 度）ずれる距離を1パーセクと言います。この1パーセクはおよそ3光年です。

もっともこうした計ることができるのは、数百光年の範囲に限られてしまいます。

光は2倍の距離では、縦横2倍に薄まってしまいますから、目に入る光の量は $1/4$ になってしまいます。この原理を利用すれば、星までの距離と地球で見た明るさ（受け取る光のエネルギー）がわかると、そこから星自身が放出する光のエネルギーがわかります。これをその星の**光度**と言います。この度こそ、星固有のエネルギーであり、星についての貴重な情報となるのです。



パーセクの定義

光
重

女性人間コンピュータ達

天文学では、初期には天体の明るさとそのスペクトルの分析が主な仕事でした。これらのほとんどは写真の解析によって行われました。写真の星一つずつを解析していき、しかも時間的な変化まで記録していくことは大変な作業です。19世紀から20世紀の初頭にかけて、これらの仕事はハーバード大学の観測所で数十人の女性たちで行われていました。この女性達の献身的な研究によって、多くの発見がなされていきました。彼女たちは、人間コンピュータと呼ばれていました。

当時女性は大きな大学に入ることが許されませんでした。しかし、ハーバード大学のディレクターは、女性をスタッフとして雇うことには寛容でした。彼女たちは数百万にも及ぶ星の測定をし、カタログを作りました。1890年に膨大な量の星の分類をしたカタログを出版しました。これらの成果を元に、何人かの女性達は、重要な発見をしていったのです。1897年には、Antonia Mauty は、星のスペクトルの詳細な解析をし、後にヘルツシュプルング・ラッセルが独立に制作した、ヘルツシュプルング・ラッセル図の基礎を築きました。

星の中には、時間によって明るさが変化するものがあります。これを変光星と言います。ヘンリエッタ・スワン・リービットは、1908年に1777個の変光星の一覧表を作り、1912年に小マゼラン雲の17個のセファイド変光星と呼ばれる星を元に、その絶対的な明るさと変光の周期の間に関係があることを突き止めます。



ヘンリエッタ・スワン・リービット (1868 - 1921)

そして、中でも出色のスターが現れました。セシリア・ペインは、ケンブリッジ大学で学位を得た後、ある張る海を渡り、ハーバード大学で天文学を学びます。そしてわずか2年で、天文学の分野でおそらくもっともすばらしいドクター論文を発表したのです。私たちは宇宙空間にある物体について、やはり地球にある物質を基準にします。地球には酸素が多数であり、窒素やヘリウムはごく少数です。彼女は、天文学の分野に、量子物理学の理解を初めて持ち込み、星や宇宙のほとんどは、水素とヘリウムでできていることを示したのです。彼女の発見は、あまりに当時の常識とかけ離れていたため、当時の最先端の理論家たちも「ほとんど信じられない」と言っていました。当時の人たちに、星の中の水素の比率は、地球における水素の比率の数百万倍にもなるということを納得させるためには、何年もかかりました。

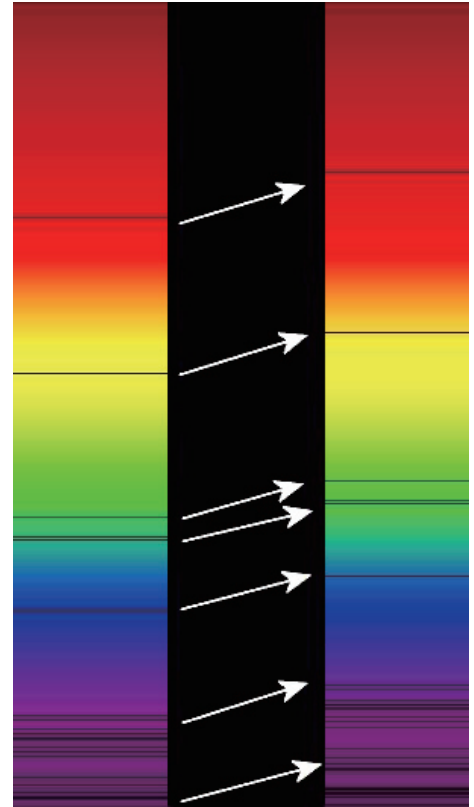
光から何がわかるか？

天文学は宇宙からの光を観測して宇宙を知る学問です。それではいったい、光からどのような情報を読み取ることができるのでしょうか？

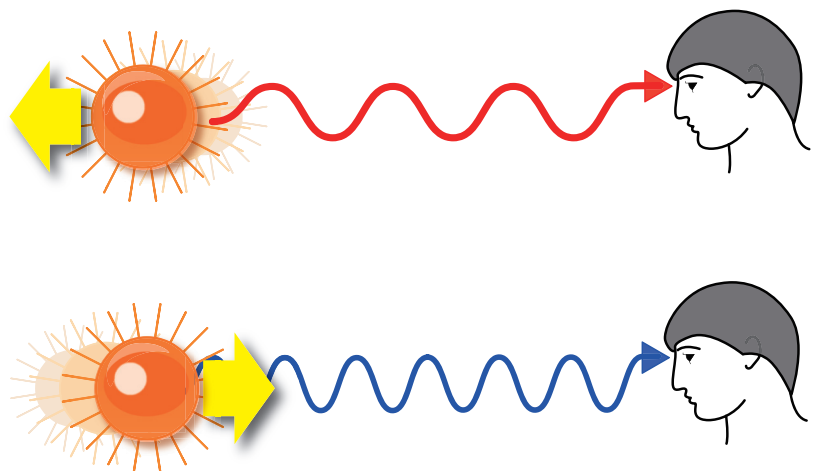
まず星から届くの光のエネルギーが観測でき、これは等級で分類されます。また、光の波長を分光器により観測できます。この波長の情報から様々なことを読み取ることができます。原子は固有の原子スペクトルを持ち、特定の波長の光を吸収したり放出したりします。そのため、天体からの光の吸収スペクトルを見ると、その星がどのような原子から構成されているのかを解析することができます。また、原子の光の吸収スペクトルが全体として長い方や短い方にシフトして観測されることがあります。これは、その天体が私たちに対して運動している場合に起こるドップラー効果によるものです。そのため、原子スペクトルのこうしたシフトにより私たちの方向に対しての天体の速度を計測することが可能です。一般に赤い方にシフトすることを**赤方変異**といい、青い方にシフトすることを**青方変異**と言います。赤方変異は地球から遠ざかっていることを表し、青方変異では地球に近づいていることを表します。たとえば、アンドロメダ銀河は、青方変異しており、その変異の度合いにより太陽に対して秒速300キロメートルの速さで近づいていることがわかります。

また、天体によっては時間と共に変化することがあります。銀河の中でのセファイド変光星を見つけることは、その光度と変更周期の関係から銀河までの距離の計測をすることができるのです。

このように、光の様々な情報により天体についての様々な情報を知ることができるのです。



スペクトルが全体として赤の方向にずれたもの。地球から遠ざかっていることを表す。



太陽は、巨大な核融合炉

太陽は、私たち地球におけるほとんどのエネルギーの源です。太陽は、自ら輝く星、**恒星**です。つまり、夜空に輝くほとんどの星の一つで、化学的な組成も他の星と大差ありません。

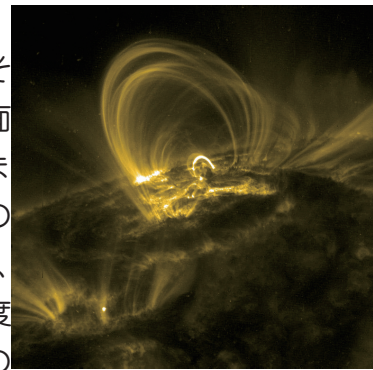
太陽の質量は、ニュートンの万有引力の法則を、惑星の運動に適用すると求められます。それは、 $2 \times 10^{30} \text{kg}$ です。直径は、距離と視野角よりわかり、約 $1400,000 \text{km}$ です。これより、太陽の平均の密度は、質量を体積で割ることにより、 1410kg/m^3 です。これは、地球のおよそ4分の1の密度です。

表面の温度は、熱輻射の色と温度の関係からわかり、およそ 5800K です。光が放出されている部分は、太陽表面のおよそ 500km の厚さの領域であり、**光球**と呼ばれています。太陽表面の温度はおよそ 5800K ですが、光球の少し内部ではもう少し熱く 6200K です。したがって、全体としては一定の温度の黒体輻射からずれて、これらの温度の異なる部分から放出された光は可視光領域の光をほぼ一定の割合で含む白色光となるわけです。

太陽の放出するエネルギーは、地球に降り注ぐ太陽のエネルギーから算定できます。それは、 $4 \times 10^{28} \text{W}$ です。これは、毎秒あたり100億個の1メガトン級の核爆弾に相当し、もし、このエネルギーすべてが地球に降り注いだら、数秒で地球の海水はすべて蒸発してしまい、数分以内に地球は溶けた状態になってしまいます。

内部は陽子とかヘリウムで出来ており、あまりの高熱と高圧のため、電子が振動で原子から振り落とされた状態で、ほとんど電離した**プラズマ**状態です。

また、こうした電離した状態の陽子はヘリウムの原子核は太陽表面からも飛び出して行きます。これが**太陽風**と呼ばれています。地球ではこの電離した状態の粒子が、地磁気のために北極や南極に集中し、空気中の分子に衝突して発光します。これがオーロラです。



太陽表面のフレア

太陽の中は？

それでは、太陽の内部はどうなっているのでしょうか？先に述べたように光は太陽の表面からやってきますので、実際に内部を見た人はいません。しかし、内部では、重力によって内部に押し込もうとする力と、核融合のエネルギーによる熱によって外部に物質を押し出そうとする力が釣り合った状態にあるはずで

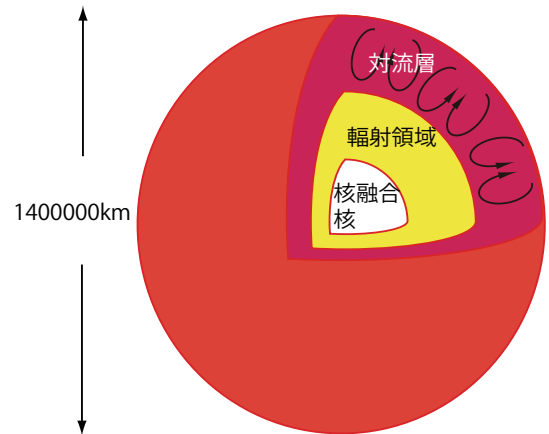
す。したがって、理論的な解析を元に、太陽内部を知ることができます。現在では、かなり精密に解析されています。もちろん、こうした解析には予言が必要となります。たとえば、太陽は全体として振動していることが知られていますが、この振動は理論的な考察から予言と1パーセント以下の精度で一致しています。こうしたことから、理論的な太陽モデルは信頼がおけるモデルだと考えられています。

太陽内では、主に水素からヘリウムを作り出す核融合が行われています。1秒間に 3.4×10^{38} 個の水素がヘリウムに変換されていき、 3.83×10^{26} ワットものパワーが放出されます。しかし、直径が140万キロメートルととても大きいので、1立方センチメートルに直して、数マイクロワット程度のパワーが作られてるにすぎません。これは太陽の核融合には、逆ベータ崩壊などの弱い相互作用が関与しているためです。この意味で太陽の核融合は非常にゆっくりとしています。

水の中で深いほど水圧が高いのは、深いところでは上にある水の重さがその部分にかかってくるからでしたね。太陽でも同様です。中心に行くほど、より深いところに行くので、圧力が大きくなります。

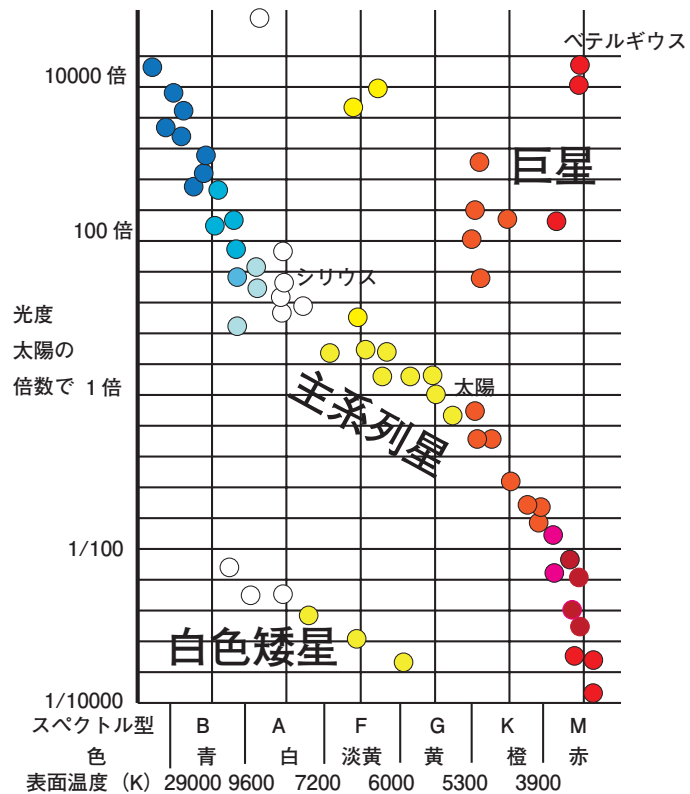
中心部では非常に強い圧力のため、高圧で水素同士が近接して核融合が生まれます。そのときに放出されるのは核融合反応によって生じる、エネルギーの高い光子、ガンマ線です。しかし、陽子が密集しているのでガンマ線は陽子に衝突したりして、エネルギーを失いながら外部にしみ出していきます。

中心部の温度はおよそ1500万ケルビンにも及びます。中心部では、水素がほとんど完全に電離しており、熱によって放出された光は電子や陽子などですぐに吸収され、その電子が衝突などで再び光子を出したりして全体の温度（電子や陽子の平均運動エネルギー）が均一になろうとして温度が高いところから低いところへと熱を伝えていきます。周辺部で温度が1000万ケルビン程度になると、完全に電離せず、水素や電子の密度が小さくなります。すると、放出された光子は近くの水素などに吸収されることは少なく、光子（輻射）では温度が均一になりにくくなります。こうすると、温度が高い中心部では水素の密度が低くなることから上昇して行き、対流が発生します。そしてこの対流によって熱が運ばれるのです。太陽表面を観察すると、このような対流によるわき上がり波沈み込みが観測されます。この間、光は、原子や電子に吸収されたり放出されたりしています。そして光が表面に到達するまでに平均してなんと数十万年かかります。



恒星とその分類

私たちは、私たちの身長と体重には大まかには関係があることを知っています。ほとんどの人の場合、身長が高いと、少なくとも骨格分は質量が多くなるので、体重も大きくなるわけです。ただし、肥満体の人もありますので、この二つの関係には例外的な人もいます。恒星でも同様です。恒星についても明るさである光度と恒星の表面温度とに何らかの関係があることが期待されます。それは、ほとんどの星に対して、表面の温度が高ければ、分子同士の衝突が激しく、光子を激しく放出するために光度が大きくなると予想されるからです。天文学者達は、恒星を分類するのに、その星の光度と表面温度の図を用います。これをヘルツシュプルングーラッセル図と言います。縦軸に光の明るさを、横軸に温度をとります。ただし、温度のとりかたは、左から右に向かって大きい順に並びます。これは歴史的な理由から、それまでの分類と温度との対応をよくするためでした。太陽はちょうど真ん中あたりになり、左上から右下のラインをなす**主系列**と呼ばれている中にあります。全体の約90%の恒星が、この主系列に属します。先に述べた理由により、主系列の恒星では、温度が高いほど光度が大きいことがわかります。



主系列の星に対して、例外的な恒星もあります。図の下のほうには、温度にくらべて光のエネルギーの小さな、**白色矮星**があります。人間で言ったらやせ過ぎの人たちに対応するでしょう。また、右上のほうには、表面温度にくらべて放出する光のエネルギーの大きな**巨星**があります。人間で言うと肥満体の人たちに対応します。

主系列の星に対して、例外的な恒星もあります。

図の下のほうには、温度にくらべて光のエネルギーの小さな、**白色矮星**があります。人間で言ったらやせ過ぎの人たちに対応するでしょう。

また、右上のほうには、表面温度にくらべて放出する光のエネルギーの大きな**巨星**があります。人間で言うと肥満体の人たちに対応します。

星の成長と科学的方法

人間の寿命の長さくらいでは、星はほとんど変化しません。しかし、非常に長いスケールでは、星は次第に変化していきます。星は人間と同じように、誕生し、成長し、そして老化していくのです。そのため星の時間的な変化を星の成長と言います。

星の成長を見ていくのに注意しておかないことがあります。それは、誰も一つの星の人生すべてを見た人はいないということです。星の一生は100億年以上もかかるものもあります。質量の小さな恒星では、宇宙誕生当時からあったものもあります。また、質量の大きなものでは、数百万年の寿命しかないものもあります。こうした星の一生を見た人はいないにもかかわらず、星の一生を見ることができるとも、私たちが無数の星を観測し、星達の一生の各ステージを多数見ているからです。それらを合理的につなぎ合わせて、星の一生を推測するのです。

星の誕生

宇宙の各地に、現在星が誕生していると見られる地域が見られます。これらの観測を元に、星の誕生までを見てみましょう。

まず、数十光年の距離に、非常に薄い気体があります。その温度はおよそ10ケルビンです。他の星の爆発などにより密度にむらができる、その密度の大きなところの重力が大きくなるので、気体が次第に引き寄せられていきます。この過程では、密度の大きなところが10個程度できるので、星の元となる固まりが10個程度できます。つまり、星は10光年くらいのところにまとめることができるのです。太陽は、現在は他の星から離れています。誕生当時は兄弟となる星があったが、分子雲などとの衝突で一人吹き飛ばされてきたのだと考えられます。実際、星の生成が1つだけで起こる例が観測されていません。

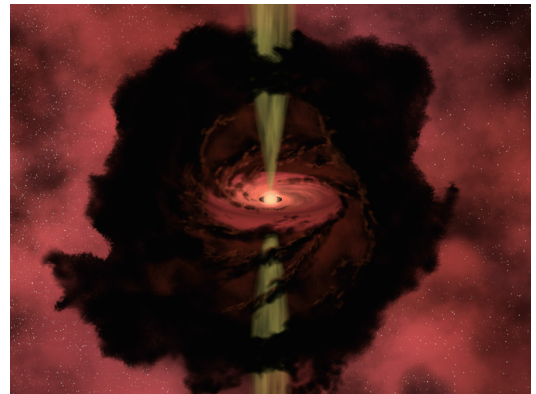
気体の固まりが、重力によってより小さい領域に集まってくると、気体は運動エネルギーを持ちますので中心では衝突などでそのエネルギーを光として放出します。このときの光度は、現在の太陽クラスの星で、現在の数千倍のエネルギーを放出していました。この時期の星を**原始星**と言います。まだ、核融合を起こしていないことに注意しましょう。また、中心部に落下する分子達は元々静止していたわけではないので、加速されるとともに、中心の周りをガスが回転します。すると、遠心力のため回転の方向が引き延ばされると共に、この中心から外れたガスは、この中心の円盤の方に重力によって引き寄せられていきます。このように遠心力と重力によりしてガスが円盤状に集まるのです。

中心では、光などが放出されますが、それにより、物質は吹き飛ばされ、回転の電流による磁場の力が小さく、遠心力のない回転の軸の方向に多くの物質を放出します。これをジェットと言います。多くの原始星で観測されています。

重力による収縮が強くなる、中心に多数の分子が集まると中心の温度が100万ケルビンを超え、核融合反応が始まります。その核融合によるエネルギーの放出による圧力によりこれ以上の重力による収縮は止まり、恒星となるのです。



星の誕生している領域



原始性

星は質量が大きいほどと寿命が短い

主系列に属する恒星達は、水素からヘリウムを作り出す核融合をしている星達です。極めて多数の恒星がこれに属しています。

最初にガスが少ないと、太陽よりも小さな恒星へとなっていきます。太陽よりも小さい質量の恒星ができるまでは、重力による引きつけが弱いので、比較的ゆっくり凝縮していきます。また、中心の重力が弱いので、核融合は盛んに起こらず、表面の温度が低く、また、光度も小さくなります。このため、水素が燃え尽きるまでにかかる時間は太陽よりも長いのです。

また逆に、多くのガスが集まり、太陽よりも重い星ができるまでは、重力による収縮が激しいため恒星ができるまでの時間は短くなります。また、質量が大きいと、重力による強い力によって、核融合が盛んに起こります。そのため、主系列として水素が燃え尽きるまでの時間も短くなるのです。

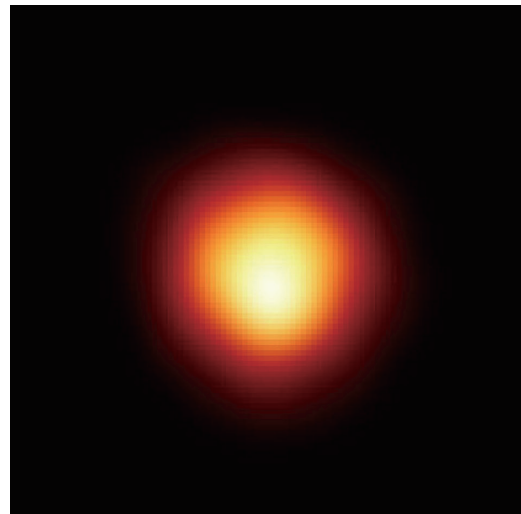
このように、大きな質量の恒星の方が、核融合が激しいため寿命が短いのです。

質量が大きいほど、核融合反応が盛んであり、光度は大きくまた表面の温度は高くなります。これが、主系列の恒星に対して、光度と表面温度表面温度とには関係がある理由なのです。

主系列を離れて

主系列の星の中心部では、水素からヘリウムを作り出す核融合が起こっています。しかし、最終的に星の中心部の水素が燃え尽きると、中心部では気体を吹き飛ばすための核エネルギーが得られなくなり、重力による収縮を始めます。もちろん中心以外には水素が残っていますので、水素は、収縮によりお互いが衝突が起こりやすくなることにより、中心からはなれた部分の多数の水素が活発に燃焼します。そのため、中心が燃え尽きた恒星では、全体の光度は上がっていきます。中心が燃え尽きると逆に光度が上がるというのは直感と逆ですね。一方、表面のガスは、ヘリウムの重力収縮のエネルギーと核融合のエネルギーによって吹き飛ばされていき、非常に大きくなっていきます。光の明るさは、距離の二乗に反比例しました。そのため、全体として放出されるエネルギーは主系列のときよりも大きいのです

が、表面の個々の分子の平均運動エネルギーは小さくなります。そのため放出されるエネルギーが大きいにもかかわらず、表面の温度は減少し、赤くなります。このようにして、中心が燃焼し尽くして主系列を離れて巨大になり表面が赤い星を**赤色巨星**と言います。このように、ヘリウムの燃焼が始まると逆に光度が下がるのも直感と異なります。



オリオン座のベテルギウス
赤色超巨星 直径は太陽の
約 1000 倍

ヘリウムの燃焼

赤色巨星となり、周辺部の水素が燃え始めると共に、中心部では、ヘリウムがより圧縮されるとヘリウムが燃焼し始めます。ヘリウムは水素よりも電荷が大きいのでお互いの反発力が強く、ヘリウム同士が近づいて核融合を起こすには、非常に高温高圧が必要となるのです。周辺部の水素核融合と重力による収縮によってこうした高温高圧が得られてヘリウムが燃焼されていきます。このとき、He4の原子核（アルファ粒子）が比較的安定であるのでこれ同士が、結びついていきます。

ヘリウム4 + ヘリウム4 → ベリリウム8 + エネルギー

ベリリウム8 + ヘリウム4 → 炭素12 + エネルギー

となり、炭素が多く生成されます。この核融合が起こり始めると、周辺の水素を外側に吹き飛ばすため水素の核融合をしている部分の核融合が減少します。このため、ヘリウムの燃焼が始まると、水素の核融合は減少し、全体としては光度が減少することになります。

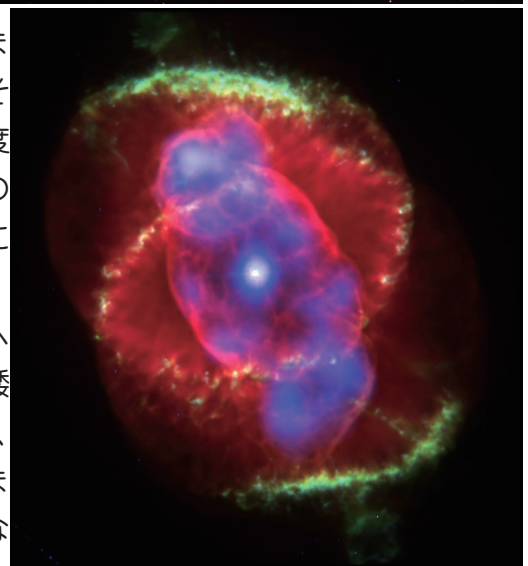
太陽質量程度の恒星の終演 白色矮星

核子の大きな原子核の融合には、そのクーロン力による反発力による力に打ち勝つだけの重力が必要です。しかし質量の小さい恒星では、重力が弱く、そうした力が生まれませんので、炭素12以降、核融合は進行しません。また、中心部を燃やし尽くした核融合は、表面に向かって燃焼を始め、そのため、外部を吹き飛ばし、太陽の300倍もの大きさになり、中心の周りに星雲のように気体をはき出します。これを、**惑星状星雲**と言います。まだよくそのメカニズムがわかっていませんが、この放出は球状でなく写真のようにリング状になります。



吹き飛ばされた残りの炭素からなる殻は、それまで蓄えられていた熱だけで光ようになります。その大きさは、平均的には、太陽の半分で、地球程度の大きさとなります。表面積が小さい温度は高いのですが、全体の放出するエネルギーは小さなものになります。これが**白色矮星**です。

また、太陽よりも質量がかなり小さい恒星は、ヘリウムで燃焼がとなってしまう、この場合も白色矮星となります。一方、太陽よりも大きい質量では、ネオンなどに燃焼した後、白色矮星となっていくます。いずれにせよ白色矮星は星の残りかすのような状態です。



白色矮星 中心に見える星

太陽質量以上の星と超新星爆発

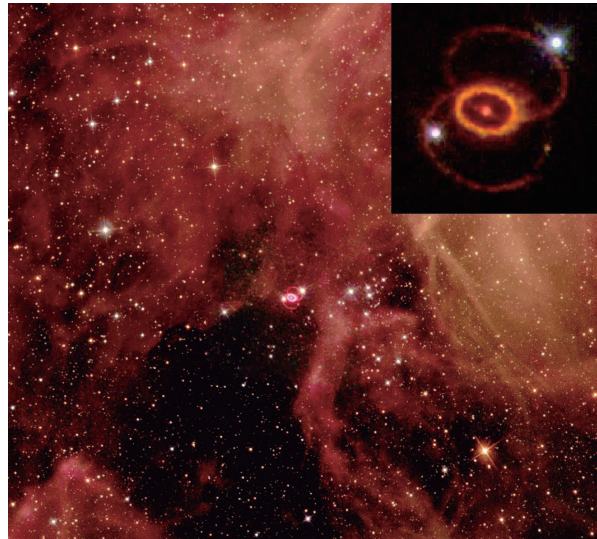
太陽より重い執拗の星では、重力による力が強いので炭素を超えてさらに大きな原子核が作られていきます。このとき、ヘリウム原子核のアルファ線を基本にした反応が多くおこるため、炭素12、酸素16、ネオン20、マグネシウム24、シリコン28まで生成されていきます。中心部では、シリコンから鉄に至る核融合が起こります。鉄の核子が一番安定であるため、これ以上の核融合が起こることはありません。

中心部が鉄になると、重力を支えるエネルギーの放出が止まってしまう。このため、ジェット機が飛行中にいきなり燃料が切れたようなもので、シリコン、鉄などが中心に向かって落下して行きます。中心部ではこのエネルギーを吸収して外部を冷やそうとします。そのため、鉄が分解していき、電子、陽子は中性子などの集まりとなります。また、圧縮されているため、全体のクーロン力を減少させるために中性になろうとして、ベータ崩壊の逆の過程が起こり、すべて中性子だけでできた、**中性子星**となります。このように、太陽質量よりも大きい星では、最終的に中性子星となります。

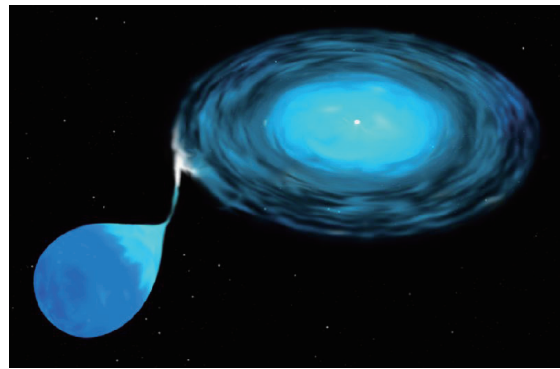
一方、中心部が中性子星となると外部はそこに向かって自由落下し、跳ね返るようにして大きな爆発が起こります。このようにして**超新星**が生まれます。超新星爆発では、明るさは銀河すべての明るさに匹敵するほどとなります。

超新星爆発としては、星の成長によって起こるものばかりではありません。もう一つの面白いタイプの超新星爆発は次のように起こります。**宇宙の恒星の約半数ほどが恒星二つ以上からなる連星**であることが知られています。このうちの一つが赤色巨星になると、

巨星から物質がもう一つに落ち込み、重さに耐えられなくなった星が、超新星爆発を起こします。このときの質量は、理論的に良く知られているため、光度がほぼ一定の爆発が起こることが知られています。つまり、この地球から見た超新星爆発の明るさを計ると、その超新星までの距離が測定できるのです。



1978年の超新星爆発の現在写真
このとき、超新星爆発によるニュートリノが初めて観測された



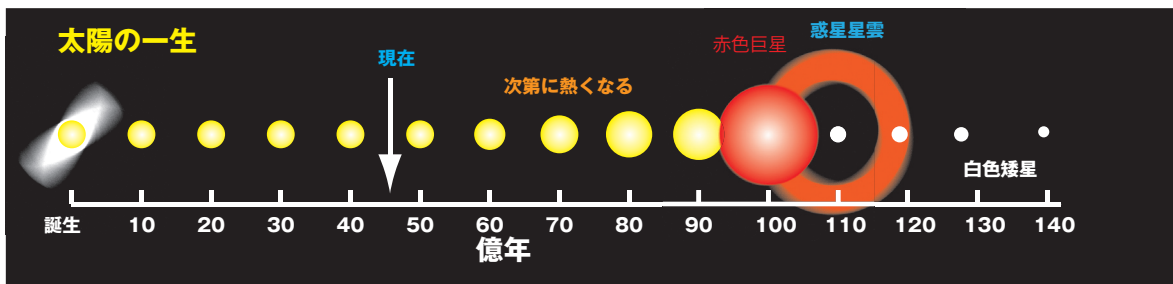
超新星爆発と元素合成

星の内部では、核融合によって鉄までの核子が合成されます。その後、超新星爆発により鉄以下の核子が激しく衝突することにより、ウランなどの重い元素が作られました。

後に詳しく見ますが、宇宙が発生した当時は、宇宙のほとんどは、水素とヘリウムで構成されていました。その後、星が生成され、それが爆発することで様々な核子が生成されています。またそうした核子を含んだちりや水素ガスなどが集まり、再び星が形成されていきます。つまり、星は誕生と終演を繰り返しながら繰り返し循環するのです。

現在の太陽にはわずかながらヘリウムより重い物質が含まれています。このことにより、太陽は宇宙初期の超新星爆発などで残ったガスが再び集まることによって作られたものと推測されています。また、この超新星爆発によってできたことは、地球など、鉄やシリコンを多く含む惑星を伴っていることでもわかりますね。

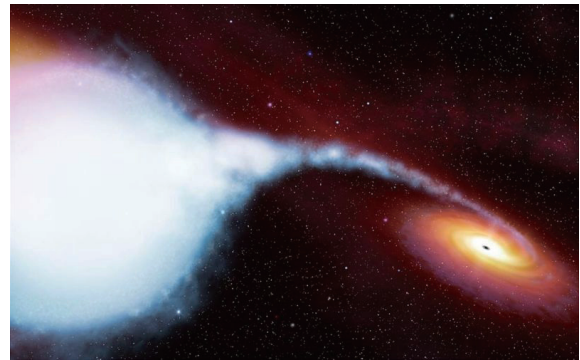
私たちの太陽は45億年前にできたものと思われています。また、あと50億年ほどで赤色巨星となり、最後は中性子星となるのです。さて、人類はそのころどうしているのでしょうか？



ブラックホールとその候補天体

質量の大きな星で、中性子の縮退による力でも支えきれない場合には、強い重力により時間の進みが止まり、光さえも外に出られなくなる星ができると予想されています。このように光さえも出ることができないくらい強い重力を持つ天体を**ブラックホール**と言います。このブラックホールについては15章でも少しみました。太陽質量程度では、直径約3キロメートルほどに圧縮されるとブラックホールとなりますが、太陽質量では重力が十分強くないのでこうしたことは起こりません。もし雁に、地球がブラックホールになるとすれば直径が1センチメートルとならなければなりません。

ブラックホールの候補としてあげられる天体の典型がはくちょう座X-1と呼ばれる天体です。これは、非常に強いエックス線を放射しています。これは二つの星からなる連星をなして、一つの星の物質がもう一つのブラックホールに吸い込まれるときの加速により強いX線を放出しているものと思われています。ブラックホールの質量は太陽質量の7倍程度ですが、16倍ほどになるかもしれません。運動の仕方から連星であることは明らかですが、その天体は見えていません。見えているのはもう



ブラックホール想像図

一つの赤色巨星であり、その質量は太陽質量の33倍程度と巨大です。そのため、見えていない天体の質量の算定に不定生が生じてしまい、見えていない天体の質量は実はもっと小さいかもしれません。この場合には、ブラックホールとは言えない可能性があります。また、赤色巨星の質量そのものの算定にも不確実な要素があります。そのため、こうしたはくちょう座X1はブラックホールであるという主張はもっともらしいのですが、実は確実にそうだとはいえなく、将来覆される可能性もあります。

他の天体でも確実な証拠探しが続けられていますが、ほとんどのブラックホール候補では、そうでない可能性も排除できないのです。科学では100パーセントの確実さでなければ認められません。ブラックホールは見えないというだけであって、ブラックホールでなくとも地球からは見えないという可能性も排除できるわけではありません。このため、天体の大きさ程度のブラックホールの確実な認定は非常に難しいのです。このように、観測だけに頼っている地球科学や天文学では、一般の人が認めていても研究者達は認めていないことが数多くあります。科学者達とは非常に疑り深く、他の可能性を否定する確実な証拠を欲しがらる人々なのです。

一方、次章に出てくる巨大ブラックホールについてはその存在の可能性は極めて高いものになります。これについては次回勉強しましょう。

キーワード