

星はいかに生まれるか

西野 藍子

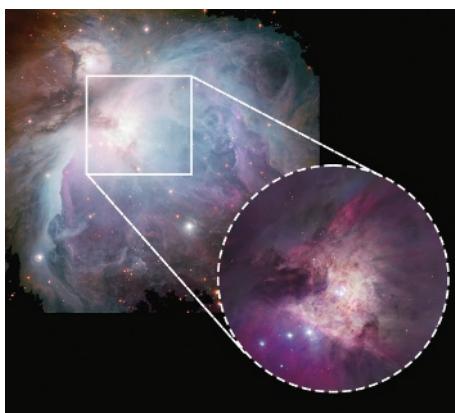
現在投影中のプラネタリウム番組「星の一生」では、星が生まれ、成長し、やがて終わりを迎えていく、そんなドラマティックな星の一生を紹介しています。まだ見てない方はぜひご覧いただきたいのですが、ここでは、番組「星の一生」に関連して、番組では紹介しきれない星の誕生についてご紹介します。果たして、夜空に輝く星はどのようにして生まれてくるのでしょうか。改めて、その観測研究の歴史について、今回は特に暗黒星雲に焦点を当て、お話を進めていきましょう。

1. 星雲、それは星が生まれる場所

そもそも星は、なぜ明るく輝くのでしょうか。星の誕生についてお話をする前に、まずは星とは何かをおさらいしておきましょう。

星座を形作る星は、みな太陽と同じように自ら光り輝く「恒星」のなかます。恒星はそのほとんどが水素でできており、中心部では4つの水素原子が1つのヘリウム原子に変わる核融合反応が起こっています。この反応によって膨大なエネルギーが生まれ、自身の重力と釣り合って安定的に輝きます。この段階を「主系列星」といい^(※1)、星は一生のほとんどを主系列星として過ごします。私たちにとって最も身近な太陽は誕生して46億年ほど経っていますが、あと50億年ほどは主系列星として輝き続けることが分かっています。

では、星はどのように主系列星へと成長していくのでしょうか。その手がかりは、17世紀の始めに発明された望遠鏡の発展とともに、だんだんと明らかになっていきます。例えば、冬の星座の代表・オリオン座にはたくさんの星雲があり、中でも最も有名なのがオリオン大星雲M42^(※1)です。この星雲の中ではすでに明るい星が数多く生まれており、「トラペジウム」とよばれる4つの星を含め10個ほどの巨大星が強烈に輝いているため、まわりの星雲が照らされて明るく見えています(こうした星雲は、散光星雲とよばれます)。



オリオン大星雲M42と、
その中央に輝く4つの星「トラペジウム」
©ESO/Igor Chekalin

このオリオン大星雲を“星雲”として初めてスケッチに残したのは、17世紀のオランダの天文学者クリスティアーン・ホイヘンスです。その後、18世紀にはメシエやハーシェルが星雲（と星団など）をカタログにまとめるなど、夜空に多くの星雲が観測されるようになります。さらに、星雲がガスのかたまりであることを科学的に証明したのは、19世紀、イギリスの天文学者ウィリアム・ハギンスです。彼は天体のスペクトルを観測することで、オリオン大星雲がガスでできた天体であることを初めて明らかにしました^(※2)。

現在では、星雲には宇宙にただようガスや、砂粒よりも小さな固体微粒子の塵が濃く集まっており、星を作る材料となることがあります。ただし、こうしたガスや塵は本来とても冷たく暗いため、目で見ることはできません。このように暗い星雲のことを、暗黒星雲といいます。望遠鏡が発明されて以降も、見えない暗黒星雲の研究はあまり進みませんでした。しかし、実は太古の昔から、暗黒星雲は私たち人類が見あげる星空に確かに、そして大量に“見えていた”的です。

2. 実は“見えていた”暗黒星雲

天の川は街明かりのないところに行くと、白くぼんやりと雲のように見えます。都会に住んでいるとなかなか見ることのできない天の川も、真っ暗な場所であれば満天の星と天の川を楽しむことができます。もしそんな機会があれば、ぜひじっくりご覧いただきたいのですが、天の川には白っぽく明るく見えるところもあれば、少し暗くなっているところがあることに気がつきます。例えば、はくちょう座のあたりから南のほうへと大きく暗いところが続き、まるで天の川を2つに分断しているように見えるところがあります。西洋の人たちは、この裂け目を「グレート・リフト」と呼んでいました。他にも、大小の島々があるごとく、黒々とした箇所がいくつも存在しています。こうした黒く暗いところに、暗黒星雲があるのです。はるか昔の人々は、もちろん暗黒星雲の存在には気づいていませんでしたが、黒くて暗いところがあるとは認識しており、つ



ホイヘンスによる
オリオン大星雲のスケッチ
(出典: Systema Saturnium, 1659)



天の川の中に“見える”暗黒星雲
©RubinObs/NOIRLab/SLAC/NSF/DOE/AURA/B.Quint

まり“暗黒星雲を見ていた”と言えるのです^(※3)。

このひときわ黒く暗いところが、本当に星が少ない部分なのか、それとも星々の手前に星の光をさえぎる何かがあるためか、実際に観測で初めて確かめたのは20世紀のドイツの天文学者マックス・ウォルフです。彼は、はくちょう座の網状星雲の東西両側の領域において、等級ごとの星の数を数える「スター・カウント法」を導入し、東側に比べ西側の星の少ない部分に、1等級の減光を起こす暗黒星雲があることを初めて実証しました。

また同じ時代、1919年に暗黒星雲を世界で初めてカタログにまとめた人物がいました。アメリカの天文学者E.E.バーナードです。彼が亡くなつてからも、その後を継いだ人々によって全天にある合計349個の暗黒星雲のカタログが作られました。



おうし座にある巨大分子雲の一部。

背景の星々を遮蔽する暗い星雲がはっきり“見える”。

(Barnard211, 213)

©Digitized Sky Survey2. Acknowledgment: Davide De Martin.

3. 暗黒星雲から分子雲へ

20世紀に入り、ようやく“暗黒星雲”という天体の存在が確かめられた後も、その中で星が生まれるという確証は中々得られませんでした。何しろ暗黒星雲は可視光を出しませんから、かろうじて背後の星を隠す黒いシルエットとして見えていても、中に何があるのか、中で何が起こっているのかを知ることは非常に困難だったからです。

ところが1960年代以降、可視光以外の光をとらえる望遠鏡が発展したこと、文字どおり暗黒星雲のすがたが見えるようになってきました。例えば1963年、OH分子の電波スペクトルが暗黒星雲に発見されました。また1970年にはアメリカ国立電波天文台(NRAO)の電波観測により、オリオン大星雲に一酸化炭素(CO)分子が発見され、暗黒星雲には一様にCO分子が存在することが分かつてきました^(※4)。分子自体が発する光(分子輝線)はおもにミリ波やサブミリ波といった電波領域で観測されるため、日本においても1970年からミリ波望遠鏡での観測が始まりました。以降現在まで、さまざまな星間分子の発見に成功しています。



日本初の6mミリ波望遠鏡

1970年より観測開始。以降、様々な星間分子を発見。
(出展:天文月報2015年9月号、1975年頃撮影)

こうした電波望遠鏡での観測が急速に進んだことで、暗黒星雲には塵だけではなく多種多様な星間分子のガスが存在していることが分かつてきました。電波領域において、濃い暗黒星雲はもはや暗黒天体ではなく、いろいろな分子輝線で“輝いて見える”ため、やがて分子雲と呼ばれるようになりました。

4. いよいよ見えてきた！星の赤ちゃん「原始星」

赤外線は可視光よりも波長が長いため、分子雲中の塵による散乱・吸収の影響を受けにくく、分子雲の内部のようすを知ることができます。赤外線望遠鏡による観測は1970年代から始まり、1983年にはアメリカ・オランダ・イギリスの共同で開発された世界初の赤外線天文衛星「IRAS」(Infrared Astronomical Satellite: アイラス)が打ち上げされました。IRASは全天の約96%を4つの赤外線波長域で探査し、宇宙の赤外線地図を作成しました。その結果が、約26万のIRAS点源を含むカタログとして公開されたのです。

赤外線で観測された星の中には、温度数百度という低温で非常に強い赤外線を放つものがありました。この低温で強力な赤外線星は、生まれたばかりの赤ちゃん星「原始星」と考えられました。まだ中心部で核融合反応が起こっておらず、自身の重力で収縮して星のすがたになったばかりの、まさに赤ちゃん星。それが赤外線で明るく光って“見えた”わけです。

一方、日本では国立天文台野辺山宇宙電波観測所が1982年に開所式を迎え、ミリ波をとらえる単一の電波望遠鏡としては今でも世界最大級を誇る口径45mの電波望遠鏡での観測が始まりました。原始星と思われる赤外線星を電波でも観測する試みが行われたのです。この頃から、赤外線観測と電波観測とがタッグを組み、星形成領域の研究がより深く進められていくことになります。

1983年、野辺山の45m電波望遠鏡

において、赤外線星IRS5が存在する暗黒星雲L1551を観測したところ、IRS5のまわりに回転するガス円盤が発見されました。その後、他の領域でも原始星のまわりに同じようなガス円盤が続々と見つかり、当時すでに理論として考えられていた「星はガ



赤外線天文衛星IRAS

©NASA



国立天文台野辺山宇宙電波観測所
45m電波望遠鏡

©国立天文台

Star Formation

「ス円盤の中心で生まれてくる」という仮説が、観測によって確かめられたのです。

発見されたガス円盤は、当時原始太陽系星雲と呼ばされました。現在では、原始惑星系円盤と呼んでおり、星の誕生とともに、ガス円盤の中で惑星たちが生まれてくると考えられています。

NRO 速報
NO. 51

暗黒星雲 L1551 に 原始太陽系星雲！

45m 鏡で発見

L1551 の CS 分子雲は、赤外端星 IRS5 の周囲に、赤線指向に細長く、アレイ状にひいていふことがわかった。面積は $2'' \times 0.1''$ パーセク。これは、明らかに回転を示す。

L1551 の 3つめまでの CS 分子スペクトルを示す。速度がそれほど大きくなれば、このようにプロットして、35度 ($\pm 5''$ グリッド) で見た。

左側に示すように、L1551 のCS 分子アーリカラーマップで、速度がそれほど大きくなれば、このようにプロットして、35度 ($\pm 5''$ グリッド) で見た。

右側に示すように、L1551 のCS 分子アーリカラーマップで、速度がそれほど大きくなれば、このようにプロットして、35度 ($\pm 5''$ グリッド) で見た。

45m 望遠鏡による 1月から 4月の観測で、L1551, Ori A, Cep A, CRL 961 など、「星の形成領域」に、「原始太陽系星雲」とみられる回転ガス円盤が続々と発見されています。これは、明らかに回転を示す CS (液化状態) 分子スペクトル (波長 6mm) で、32 秒角という世界最高の分解能で観測した結果です。

左側に示すように、L1551 のCS 分子アーリカラーマップで、速度がそれほど大きくなれば、このようにプロットして、35度 ($\pm 5''$ グリッド) で見た。

右側に示すように、L1551 のCS 分子アーリカラーマップで、速度がそれほど大きくなれば、このようにプロットして、35度 ($\pm 5''$ グリッド) で見た。

国立天文台野辺山宇宙電波観測所が発行するNRO速報No.51

暗黒星雲L1551に原始太陽系星雲が見つかったことを速報で伝える記事。
(右下には、太陽系のような惑星系はこんな風に生まれるのでは?という想像図も)

©国立天文台

5. そして現代、惑星形成の現場に迫る！

2011年、日米欧が共同で開発した世界最高性能の電波干渉計「アルマ望遠鏡」が誕生します。アルマ望遠鏡は、南米チリの標高5,000mにあるアタカマ砂漠に12mと7mのパラボラアンテナ計66台を最大直径16kmの範囲で設置し、観測を行う世界最高性能の電波干渉計です。観測波長域はミリ波と、さらに

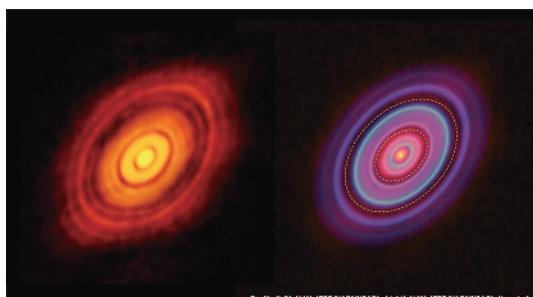


アルマ望遠鏡

©ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)

波長の短い(より周波数の高い)サブミリ波で、星形成領域をはじめ、さまざまな観測研究を行っています。

そして2014年、多くの研究者が驚く観測成果が発表されました。おうし座にある生まれて間もない非常に若い星・HL星のまわりを取り巻く原始惑星系円盤のすがたが詳細にとらえられたのです。さらに2016年にはこの円盤のガスの分布も明らかになりました。塵とガスいずれにも円盤の中に同じような隙間(溝)が複数ある、ということは、その場所で惑星が形成されている強い証拠であると、研究者たちは考えています。



(左)おうし座HL星の周囲の塵の分布(2014年)
(右)おうし座HL星の周囲のガスの分布(2016年)

6. さいごに

今回、観測の歴史をたどりつつ、見えてきた星の誕生のようすについてご紹介をしてきました。暗黒星雲は目では見えませんが、人類はさまざまなアプローチでその内部を“見て”観測研究を続け、現代では惑星形成の現場にまで迫ろうとしています。星や惑星はいかにして生まれてくるのか、まだ謎も多く残されています。アルマ望遠鏡も次世代のアルマ2計画が動き始めています。観測機器の進化とともにさらに解明していくであろう星の誕生のすがた、私としては今後もぜひ注目していきたいと思っています。

- (※1) これらは、プラネタリウム番組「星の一生」でも紹介しています。ぜひ合わせてご覧ください。
- (※2) ハギンズはスペクトルを観測することで、M31が星の集まり・銀河であること、M42がガスの集まりであることを突き止め、銀河と星雲とを区別できる方法を見出しました。
- (※3) オーストラリアの先住民アボリジニの人々は、星ではなく天の川の暗いところ(暗黒星雲)をエミューのすがたに見立てて星座を作りました。これも昔の人々が暗黒帯に注目していた一つの例です。
- (※4) 分子雲に一番多く存在するのは水素分子です。しかし水素分子は回転や振動による輝線スペクトルをほぼ出さないため、電波観測では次に存在比の多いCO分子を観測することが主流です。

＜参考文献＞

- ・星雲星団シリーズ「暗黒星雲」 大谷 浩・富田 良雄 著
- ・「電波望遠鏡をつくる」 海部 宣男 著

西野 藍子(科学館学芸員)