

星雲と星団、その研究の進展

長田 哲也 (京都大学理学研究科宇宙物理学教室)

邪魔者だった星雲・星団

ガリレオが望遠鏡を天体に向けたのが今から 399 年前の 1609 年、ケプラーの法則を経て、17 世紀の後半にはニュートンが万有引力の法則を見出します。1682 年の大彗星が周期およそ 76 年で公転して地球の近くにやって来る天体であり次は 1757 年に出現するというハレーの予言が、1758 年の観測で証明され、天体力学の勝利が人々の心に印象づけられました。この時代の天文学はほとんど太陽系内の現象の観測に終始しており、その非常に重要な一分野として、彗星の発見がありました。

シャルル・メシエ (Charles Messier, 1730-1817) もまたパリのフランス海軍天文台で、天文官ドリルの下でハレー彗星の回帰を発見しようと観測を行っていました。ところが、ドリルの計算にはミスがあり、予測した位置はかなりずれていたということです。メシエは探索の途中で別の彗星を見つけたり、1758 年 8 月 28 日おうし座方向に彗星状のぼやとした天体を観測したりしますが、戻ってきたハレー彗星の第一発見はドイツのアマチュア天文家パリッチュにさらわれてしまいます。若きメシエはこの失敗にめげず、彗星探索家としてのキャリアを歩み始めました。

その中で、みずがめ座にやはりぼやとした天体を見つけ、さらに 1764 年 5 月にりょうけん座に第 3 番目の天体を記録した頃から、彗星の発見に邪魔になる、こういったぼやとした天体をリストしておくことを真剣に始めたようです。1764 年には自ら見つけた 19 天体に、ハレーがリストしていた天体や、南アフリカのケープタウンでフランス科学アカデミーのラカイユが観測した天体などを加え、40 番までの天体カタログを作ったと言います。1781 年にカタログは 100 天体を越え、これに協力者メシヤンの発見した天体も加えて、メシエ天体カタログは今では M110 までのカタログとして知られています。

ハーシェル挑戦

ウィリアム・ハーシェル (Sir Frederick William Herschel, 1738-1822) は、その妹キャロライン、息子ジョンとともにさまざまな成果をあげた、18 世紀から 19 世紀にかけての天文学者の超有名人でした。(ウィリアムはもともとドイツのハノーファー出身でヴィルヘルムというファーストネームを持ち、音楽家として英国へやって来ました。彼の作った交響曲の CD

も出ていますが、それはまた別の機会に。)天王星を発見し、恒星の固有運動を研究し、連星を見つけ、銀河系の構造を推察し、大望遠鏡を作り、赤外線を発見しました。

特にここで注目したいのは、その銀河系構造の研究です。天の川は無数の星からなるというガリレオの発見にもとづいて、天の川の 683 か所でそれぞれ星の数を数え、単位面積あたりに含まれる数密度の分布からモデルを構築するという画期的なものでした。今も良く天文学の教科書に載っている銀河系のモデルです。この方法は 20 世紀初めのオランダのカプティンに受け継がれ、直径 5 万光年の平らな回転楕円体という銀河系モデルが 1922 年に完成しています。今から見れば、ごく小さくて形も少しおかしいのですが、それよりも致命的なのは、このモデルでは太陽系がそのほぼ中心にあることでした。後知恵ではありますが、星と星の間にある固体微粒子が光を散乱・吸収してしまい遠方が見えなくなるという星間減光の効果に、ハーシェルもカプティンも気づいてはいたものの、結局正しく考慮することができなかつたのが原因でした。簡単に言うと、どっちの方向を見ても遠方が見えないために、自分が世界の中心だと錯覚してしまったわけです。(私達ちも自戒しなければ！)

星を数えたウィリアム、星雲や星団についてもメシエの発見に刺激を受け、大規模なカタログ作りに取り組みます。1784 年から 88 年にかけて 1000 天体ずつ 2 度リストを作り、1802 年に 500 天体を加えました。さらに息子ジョンのケープタウンからの観測を加え 1847 年に出版されたあと、彼らの成果の完成版としては、南北半球の 5079 天体が 1864 年に「星雲星団の一般的なカタログ」General Catalogue となっています。それをもとに北アイルランドの天文台長ドレイヤーが 1888 年に発表したのが New General Catalogue で、7840 個の天体を含んでいます。星雲星団が今日もよばれている NGC 番号はここから来ています。観望会で見るヘルクレス座の見事な球状星団 M13 は NGC6205 でもあります。

「禁じられた放射」が星雲を光らせる

1864 年には英国の天文学者ハギンズによって星雲の分光観測が行なわれました。恒星のスペクトルは連続した光の帯からなりところどころに吸収線がある(太陽のフラウンホーファー線と同様)わけですが、驚くべきことに、星雲はそれとは全く異なりたった 3 本の輝線からなるスペクトルだったのです。そしてさらに、波長 486.1nm の輝線は水素原子の H β 線と同定されましたが、500.7nm と 495.9nm の輝線はいったいどういう物質が出す線なのか見当もつきませんでした。地上の実験室でそんな波長で光る物質はなかったのです。地球よりもまず 1868 年に太陽(ギリシャ語でヘリオス)にのみ発見されたヘリウムと同様に、星雲ネビュラにのみネビュリウ

ムという元素が存在し、それがこれらの輝線を出しているのだと仮定されることになったのです。

20世紀に入り、ドイツのポツダムでハルトマンが見事なオリオン星雲の輝線写真像を1905年に得てもネビュリウムの正体は知れず、何が星雲の輝線を出しているのかは、新しい物理学「量子力学」の進展を待つしかありませんでした。ついにアメリカの天文学者ボーウェンが1928年に示したのは、次のようなメカニズムでした。酸素から2つの電子が取られたイオンは、きわめて低い確率で上記の輝線を発することができるものの、実験室では、まわりの分子が衝突してくるために輝線発生までにエネルギー状態が変化してしまい、実際には発光しないのです。そう言う意味で禁じられた放射「禁制線」が星雲の輝線の正体であり、ネビュリウムなどという元素は存在しなかったのです。実験室で得られる条件よりも何桁も密度の低い星雲でこそ観測される禁制線、このほか窒素イオンや酸素原子、硫黄イオンなど、さまざまな元素からのものが検出されています。

銀河系の大きさに関する大論争

一方、渦巻状の星雲については、1912年に米国ローウェル天文台のスライファーが分光観測に挑戦し、恒星のようなスペクトルを示すこと、そしてそれがずいぶん赤い方向にずれていることを見出しました。この「赤方偏移」によって、これらの星雲がとてつもなく大きな速度で私たちから遠ざかっていることが明らかになりました。私たちの銀河系の中にあるわけではないという傍証です。その他にも、渦巻星雲の中で発見された新星の見かけの明るさがずいぶん暗いことや、固有運動が検出できないことなどから、米国のカーティスはこれらがきわめて遠方の天体であると結論づけました。ハーシェルからの伝統にもとづいたカプタインの銀河系モデルとともに、小さな銀河系とその外側できわめて遠方にある渦巻星雲という描像の宇宙です。

これに対して、米国プリンストンのシャプレーは渦巻星雲の中での固有運動が測定できたという報告（これは測定精度ぎりぎりのものだったために、誤った結論になったようです）から、渦巻星雲を銀河系内の天体であると考えました。その一方で、銀河系自体に関しては、球状星団の空間分布に関する研究ですばらしい結果を出しました。まず、球状星団は、太陽系から見ると方向によって偏りがあり、いて座の方向にたくさん存在する、ということを発表しました。さらに、その中にある変光星の周期と明るさの関係から球状星団の距離決定に成功し、カプタインの銀河系モデルよりもはるかに遠方に存在するものが多いことも見出しました。つまり、カプタインモデルよりもずっと大きくその中心をいて座の方向に持つ銀河系と、その内部にある渦巻星雲という描像の宇宙です。

この2つの描像の間の大論争には、1920年代の中頃、英国のジーンズの理論的計算や米国ウィルソン天文台のハッブルの観測によって、両者痛み分けの決着がつけました。シャプレーの主張したとおり銀河系は巨大で太陽系がその中心からかなり離れたところに位置する反面、カーティスの主張したとおり渦巻星雲はその外部の非常に遠方の距離にあって、銀河系に匹敵する恒星の大集団であることがわかってきたのです。

星間空間にひそむもの

ハッブルが変光星の周期－光度関係から M31 や M33 までの距離を求めることに成功して遠方にあることを確定し、スウェーデンのリンドブラッドやオランダのオールトが銀河系の星の回転運動の様子を詳しく計算するようになって、なぜカプタインの銀河系モデルが失敗したのか、原因はわからないままでした。そして 1930 年、その原因である星間減光の証拠が得られたのは、やはり星団の研究からでした。

米国リック天文台のトランプラーは、散開星団の距離を決める研究から、星間減光の確証をつかみました。星団に含まれる星の見かけの等級とスペクトル型から推定される絶対等級とを比較する（通常）距離決定法に対して、星団の見かけの直径が距離に反比例することを利用して距離を求めると、遠方では異なる結果となってしまったのです。通常の方法で求めた距離が正しいとすると、遠方の星団ほど実際の直径が大きくなってしまふという結果が出ました。太陽系からの距離が増えるにつれて星団が大きくなるという理不尽なことが起きていないと考えて見かけの直径から求めた距離が正しいとすると、遠方になると星が異様に暗く見えるようになる、つまり星間減光が存在するということになるわけです。

やがて、1933 年のアメリカのベル研究所のジャンスキーによる天の川からの電波の発見を経て星間物質の研究が進展し、ついに星間微粒子から放射される赤外線を検出できるようになって、星間減光を引き起こすものの正体もわかってきたのでした。

赤外線天文学の挑戦

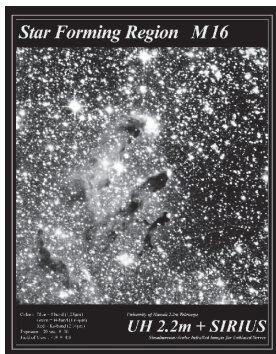
星間物質の密度が特に高い場所は、その中に含まれる固体微粒子による星の光の減光で、背景の星に対して暗黒星雲として見えることがあります。また、その近くに明るい星があると、固体微粒子が今度はその星の光を散乱して反射星雲として見えます。星や惑星が生まれている場所「星形成領域」では、すでに生まれた若い星からの紫外線が星間物質のうちガスを電離し、電離水素領域（天文学では一階電離したイオンをローマ数字の II で表わすので、HII 領域とも言う）を作り、星雲として輝いている場合があります。銀河系の円盤部を、星間減光の影響をあまり受けずに見通すのにも、こういったガスや固体微粒子が多くてその固体微粒子による減光が大きい

場所を見通すにも、赤外線が使われます。

星間減光の影響を受けて少しヘンな銀河系のモデルに到達してしまったハーシェルが 1800 年に太陽のスペクトルの中に発見したのが赤外線であり、彼は赤外線天文学の父でもある、というのが面白いところです。近赤外線は固体微粒子の影響をあまり受けずに、その向こうにある星を観測することができます。また、遠赤外線は、低温の固体微粒子からの放射として観測されます。現代の赤外線天文学は、可視光を検出する CCD によく似た、何百万ピクセル（画素）といった赤外線 CMOS センサーなどを駆使して、星・惑星の誕生の現場や銀河系の中心部、宇宙創生の過去まで見通す観測天文学の主力の一つとなっています。

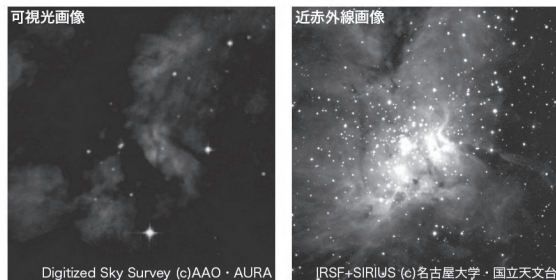
私たち京都大学宇宙物理学教室でも、近赤外線を用いた星雲・星団の観測を行なっています。左図には、シリウス赤外線カメラを搭載して撮影した星雲 M16 中心部の画像を示します。名古屋大学・国立天文台等との共同研究です。この領域はハッブル宇宙望遠鏡の見事な可視観測で有名で、その画像は「ハッブル・グレイテスト・ヒッツ」¹⁾の中にも収められていますが、赤外線で見通すと、ハッブル望遠鏡では星が写っていないところにも、生まれつつある星が検出できるのです。さらに、日本のグループが南アフリカ天文台（奇しくもジョン・ハーシェルが滞在したケープ植民地に 1820 年設立された喜望峰王立天文台の伝統を継ぐものです）に設置した口径 1.4m の望遠鏡 IRSF に、この赤外線カメラを搭載して撮影した南天の星団の赤外線画像（可視光では見えない星の大集団）が右図です。

このように、星雲や星団の研究は天文学の進展にさまざまな形で寄与してきました。これからもさらに驚きが待っているだろうと期待しています。



近赤外線で見た星の誕生現場

ほ座にある星形成領域：RCW36



参考文献

[1]<https://www.uni-hohenheim.de/dienste/planeten/hubble/jpg-and-text/M16Full.jpg>