連載

恒星天文学の源流【18】

星と銀河 その1

~天空の探索~

小暮智一(京都大学 OB)

第4話として星々の分布と運動から銀河と宇宙の構造に迫る恒星系天文学の源流を取りあげよう。W. ハーシェルから始まって、W. シュトルーフェ、J. カプタインらから、H. シャプレー、W. バーデに到る銀河系探求の物語である。今回は天空の探求者としてウイリャム・ハーシェルの足跡を辿る。

1. ウイリャム・ハーシェルの生涯

ウイリャム・ハーシェル(William Herschel, Friedrich Wilhelm Herschel, 1738・1822) は音楽家として 25歳から 44歳までバース市に住み、いくつか住居を変えているが、もっとも長く住んでいた家はニューキング通り 19番地にある。バース(Bath)はロンドンのパディントン駅から列車で西へ 1 時間 20分ほどの距離にある賑やかな町で、ローマ時代に街なかに温泉が発見され、浴場(バス)の語源にもなっている古い町である。

筆者がバースを訪れたのは秋雨の日であったが、駅前で偶然出会ったバース大学のロバート・ドレイパー氏に車でニューキング通りまで送っていただいた。氏はハーシェル協会のことも詳しく、近くのクイーン広場に建つ科学館ではハーシェル協会の月例会が開かれ、年に1度の総会では英国中から多くの人が集まるそうである。ニューキング通りに面したハーシェルの家はいまではハーシェル博物館として公開されている。



図1 ハーシェル博物館の入り口(筆者撮影)

ハーシェルはドイツのハノーバーで生まれ た。父イザーク (Isaac) はオーボエ奏者であ り軍楽隊指揮者でもあった。彼には妻アン ナ・イルゼ (Anna Ilse Moritzen) との間に 6人の子供がいた。男子4人、女子2人でウ イリャム・ハーシェルは次男、12歳年下のカ ロライン (Caroline Lucretia) は末娘であっ た。家族の誰もが音楽を愛する音楽一家であ った。ウイリャムの得意としたのはオーボエ とバイオリンで、14歳の時にはすでに父の軍 楽隊にも参加している。18世紀のプロシャは 政治的に不安定でフランスやロシアとの戦争 も絶えず、1757年にはハノーバーが一時フラ ンス軍に占領されたこともあった。そうした 状況の中でウイリャムは安定した職を求めて 兄のヤコブ(Heinrich Anton Jacob)ととも

に英国に渡り、音楽で身を立てようとしていた。ヤコブは早い時期にハノーバーの王室オーケストラに職を得て帰国したが、ウイリャムは音楽教師、演奏家などとして、英国本土を放浪していた。ようやく 28 歳(1766)になってバースのオクタゴン・チャペルのオルガン奏者、合唱指揮者の職につき、バースに定住することになった。

バースでは最初、ボーフォート広場の家に 住み始めた。1972年には一旦ハノーバーに戻 り、母の反対を押し切って妹のカロラインを バースに連れてきた。母は、女子は家事だけ に専念すればよい、との信念でカロラインに は十分な教育を受けさせなかった。ハーシェ ルはカロラインをバースでの家庭の切り盛り とともに音楽、特に声楽、を教えこんだ。実 際、兄の指導でカロラインは声楽に優れたす 能を発揮するようになり、兄の合唱団でも美 声の歌手として知られるようになった。

バースに移ってから、ハーシェルは天文観測に興味を持ち始め、望遠鏡の自作を試みるようになる。ハーシェルの天文趣味は実は親譲りである。カロラインの思い出によると、少年時代のウイリャムは父から星座や天球を標などについて学び、地球儀の模型を制作したことがあるという。子供たちの中で天体に興味を持ったのはウイリャムとカロラインの2人だけだった。そんなわけで兄はカロラインに望遠鏡の製作も手伝わせることになったが、これが兄妹の天体観測歴の始まりであった。

弟のアレクサンダー(Johann Alexander)も移り住んできて、チェロ奏者として市内の楽団で働きながら望遠鏡製作に加わった。ハーシェルは最初、主鏡を購入しようとしてロンドンのメーカーに見積もりを取ったところ、高額すぎたため自作を目指すことにした。指針となったのはスミス著「光学」(Robert Smith, A Complete System of Optics, 1738)

である。彼は独力で望遠鏡製作法を学び取った。早速、最初の金属反射鏡の製作を始めた。 そのためには溶融炉や研磨機が必要である。 彼はバース市内の友人から機材を譲り受け、 「狭い家の中がすっかり工場のようになった」とカロラインを嘆かせるほどになった。 1773年には口径10cm、焦点距離178cmのニュートン式反射鏡が出来上がり、40倍の視野で土星の輪やオリオン星雲の観測を行っている。家族が増え、家が手狭になったため、1777年にニューキング通り19番地の家に移る。ここが現在のハーシェル博物館である。

博物館には当時を偲ばせる音楽室にハープシコードやオーボエ、楽譜などが展示されている。ウイリャムは楽器の奏者だけでなく、優れた作曲家でもあった。音楽室では BGM として彼の作曲した交響曲が軽快な調べで流されていた。

地下室はワークショップとなり、小型の溶融炉や研磨機などが雑然と置かれている。彼はここで主鏡素材の合金実験や研磨法の改善などに取り組み、その成果は 1779 年になって 16cm ニュートン反射鏡(図 2)の完成としてあらわれた。

ハーシェルはこの反射鏡に倍率 227 倍のアイピースを取り付け、二重星の探索に乗り出した。彼はこの望遠鏡を人々の観望にも提供したので、市民やロンドンなどから見学に来る人が多くなってきた。その中にはグリニジ天文台長のネビル・マスケリン(Nevil Maskelin)もいた。マスケリンも望遠鏡の精度に感心している。しかし、それでもハーシェルは科学界とは無縁であった。



図 2 5.5 フィート-6.2 インチ (16cm) ニュートン反射鏡 ハーシェル博物館展示の複製 (筆者撮影)



図 3 バース時代のハーシェルとカロラインのパネル

(ハーシェル博物館にて筆者撮影)

そうした彼に一つの転機が訪れてきた。英 国王立協会の会員で医学者のウイリャム・ワ トソン (William Watson) との偶然の出会い である。

1779年の12月、ワトソンは帰宅の途中、 通りの一隅で見慣れない光景に足を止めた。 一人の男性が矩形の枠に八角形の筒を置き、 その先端を覗き込んでいるのである。その筒 が望遠鏡らしいと分かったので、ワトソンは 男性がアイピースから目を離すのを待って、 アイピースをのぞかせてもらった。そこはま ばゆい月の世界で、ワトソンの見たことのな い光景であった。翌日、改めてハーシェルの 家を訪ね、自己紹介とともにハーシェルから 天体観測や望遠鏡製作などについて話を聞い た。その中で彼が驚いたのはハーシェルが優 れた観測者であるにもかかわらず科学界と無 縁であることだった。ワトソンは早速、バー ス哲学協会への参加を勧め、また、科学的成 果はぜひロンドンの王立協会へ報告するよう に勧めた。これが機縁となってその後、ハー シェルはバース哲学協会で最も活動的な会員 のひとりとなり、また、王立協会にはワトソ ンの紹介によって多くの成果を送ることにな る。ハーシェルの論文は 1780 年から 1818 年まで、ほとんどが王立協会誌(RSPT = フ ィロゾフィカル・トランスアクション) に掲 載されている。

ハーシェルのバース時代の最後を飾ったのは天王星の発見であった。1781年3月14日、二重星探査のため天空を探索中、ふたご座に「星雲状」の星を発見した。恒星としては大きすぎて円盤状に見える。初め彗星ではないかと思い、追跡を始めた。数日後にこの天体が黄道に沿って移動することに気が付いた。この発見はグリニジ天文台に報告され、台長のネビル・マスケリンもそれを確認した。一

連の観測から軌道が計算され、数ヵ月後に新しい惑星であることが確認された。ハーシェルはこの星を国王に因んでジョージの星と呼んだが、後には天王星の呼称が一般的になった。新惑星の発見は大きく報道され、ハーシェルは時の人となった。

1782 年、王立協会は彼を会員に推薦し、コープリー・メダル (Copley medal) を贈った。この賞はダーウイン、ファラデー、アインシュタインらも受賞し、近年ではホーキングが受賞している伝統的な賞である。また、ハーシェルは 16cm 反射鏡を携えて英国王ジョージ3世 (George III) に謁見し、科学に興味を持っていた王はハーシェルに宮廷天文学者 (Court Astronomer) の称号を与えるとともに、年俸 200 ポンドを支給することになった。これは十分とはいえなかったがバースを離れ、天体観測に専念することの出来る金額であった。

なお、カロラインは 1786 年に最初の彗星を発見した功績が認められ、ハーシェルのの助手として年俸 50 ポンドが与えられることになった。この年はハーシェルがたまたまアレクサンダーとともにドイツに長期出張を観測いた年で、カロラインには珍しく十分な観測時間があった。いつもは兄の観測助手とスイルと呼ばれた望遠鏡(口径 10cm、焦点野間の禁星を発見したのである。兄から譲られた、馬のははなりであった。兄もこの発見以後は彼女の彗星を発見したのであった。兄もこの発見以後は彼女の彗星探査に協力し、カロラインは 1797 年までに 8個の彗星を発見している。彼女は女性ハンターとして広く知られるようになった。

ハーシェルー家は 1782 年にウィンザー城 に近いダチェット (Datchet) に移住する。 古い家で庭には天体観測に十分なスペースは あったが、生活には不便であった。ここでは バースの家で製作を始めていた 30cm 反射鏡 を完成させた。1785年に広い敷地と生活の改善を求めてスラウ(Slough)に移住する。敷地は122 cm 反射望遠鏡を設置する十分な広さを持っていた。

1788 年、50 歳になったハーシェルは未亡人のマリー・ピット (Mary Pitt) と結婚する。彼女は富豪でもあり、望遠鏡建設には大きな協力者でもあった。結婚によってハーシェル家の生活に潤いがおとずれ、自宅で音楽サロンを開いたり、家族でバカンスを楽しんだりというゆとりも生まれた。

その一方でカロラインにとって兄の結婚は 苦渋に満ちたものになる。彼女はすでに 38 歳、声楽は過去のものとなり、天体観測が彼 女の生き甲斐となっていた。彼女は別居して 近くのアパートに移り、ハーシェルの家に通 う生活を送ることになった。兄嫁のマリーと の間には長い間わだかまりがあった。しかし、 1792 年に息子のジョン・ハーシェルが誕生す るとわだかまりも消え、カロラインはマリー と協力してジョンの教育に熱中するようにな る。

ウイリャム・ハーシェルは晩年をスラウで暮らし、カロラインを助手として観測を続けていたが 1822 年 8 月に自宅 (天文台ハウス)で死去した。ハーシェルの死後、カロラインは故郷のハノーバーに戻り、天文台ハウスは現存しないが、家の前はハーシェル通りと名付けられ、記念碑が建っている。また、彼の葬られたセント・ローレンス教会には偉大な天文学者に捧げられた墓碑銘があり、ステンドグラスには望遠鏡とハーシェルの姿が描かれているとのことである。



図 4 ハーシェルの肖像([1]の Fig. 4.3)

ハーシェルの天文学は自作望遠鏡による天空探査と、それに基づく宇宙体系の構築という点では一貫しているが、その内容は多岐に渡っている。ここで次の順で主な分野での足跡を辿って見よう。

- (1) 望遠鏡の製作
- (2) 恒星視差と二重星の観測
- (3) 星団と星雲の探査
- (4) 銀河系の構造
- (5) 星雲とその進化

なお、ハーシェルには太陽の向点運動や赤外線の発見などの仕事も知られているが、ここでは省略する。ハーシェルの伝記は主にベルコーラほか([1],[2],[3],[4])によった。伝記によっては相互に整合しない記述箇所もあったが深くは詮索しなかった。

2. 反射望遠鏡の製作

ハーシェルの天文学は天体探査が主体であったから、望遠鏡は大きいほど良い。彼はバース時代に口径 10cm (1773)、16cm (1778)の望遠鏡を製作しているが、本格的な大型望遠鏡製作に乗り出すのはダチェット、スラウ

に移住してからである。

望遠鏡製作の裏には妹のカロラインと弟のアレクサンダーの大きな協力がある、当時の反射望遠鏡は金属鏡であった。主鏡素材はスペキュラムと呼ぶ銅とスズの合金であったが、両者の配合比率は製作者の苦心するところであった。ハーシェルも最良の反射率を求めて種々の実験を繰り返している。ときには炉の調整のために16時間も両手を離すことができず、その間食事はカロラインから口に運んでもらったこともあったと言う。

ダチェット移住以後、彼は順次口径を大きくしながら次の3つの大型望遠鏡を製作している[3]。

(1) 30cm (12 インチ) 反射鏡 (小型 20 フィート望遠鏡と呼ばれる) (1782 年)

ハーシェルの移り住んだのはダチェットのテームズ川に近い荒れた古家であったが、それでも庭は広く視界も十分あった。ここではバースで始めていた 20 フィート望遠鏡を完成させ、庭にすえつけた。この頃のハーシェルについてカロラインは書いている。

「(兄は) 天王星や惑星の角直径、二重星の計測などなどに精力的に取り組み、その成果は多数の論文として、王立協会に送られている。それは驚くほどである。同時に彼は架台や駆動方法について絶えず気を配っており、また、最適のアイピースを求めて試作を繰り返している。・・」

この頃、ハーシェルは望遠鏡製作の資金が不足するようになり、それを打開するために小型望遠鏡の製作販売に乗り出した。焦点距離 2 m から 3 m 程度の望遠鏡で約 60 台を製作したという。

(2) 48cm (18.8 インチ) 反射鏡 (大型 20 フィート望遠鏡と呼ばれる) (1783 年)

これは当初、ニュートン焦点の反射鏡として製作された。三角形の架台が回転台に乗っ

て回り、鏡筒と観測台が三角の枠に沿って上下する支持方式である。この望遠鏡は比較的操作しやすく、ハーシェルがもっとも良く使用した望遠鏡であった。

彼は次の 122cm 反射鏡の製作に乗り出して設計を始めたとき、この 48cm 鏡で一つの実験を試みた。この反射鏡はもともとニュートン式であったが、彼は主鏡面をずらして主焦点が鏡筒の縁に結ぶ新しい焦点方式に変えて見たのである。この焦点によって、架台からの観測が容易になり、また、反射面がない分だけニュートン焦点より明るさを増していて、外でで、ハーシェルは次の望遠鏡にはハーシェル焦点と呼ばれるこの方式を取り入れることにした。

(3) 122cm (48 インチ) 反射鏡 (40 フィート望遠鏡と呼ばれる) (1789 年)

スラウに移り住んでハーシェルは早速、40 フィート望遠鏡の製作に乗り出す。主鏡の金 属鏡を納めた鏡筒は長さが12m、直径が1.5m に達する。焦点には新しいハーシェル方式を 採用している。この製作には国王から 2000 ポンド、グリニジ天文台から 2000 ポンドの 支援があり、完成間際には国王からさらに 2000 ポンドの供与があった。こうした支援に よって望遠鏡は 1789 年の秋に完成し、スラ ウの家の庭にそそり立った。その年末から観 測を開始しているが、その視野には球状星団 が明るく広がり、多くの星に分解できた。一 方、星雲状天体については、新しい星雲が多 数見えてきたが、これまでの星雲については 相変わらず星には分解できず、内部の微細構 造も明白にはならなかった。

この望遠鏡は高さ 15m の巨大で異様な建造物として、当時、ロンドンからバースに向かう旅人はその大きさに驚いたという。スラウの家が天文台ハウスと呼ばれるようになったのはこの頃からである。

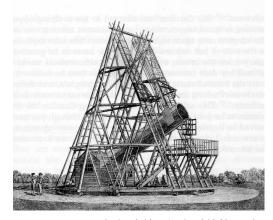


図 5 122cm 反射望遠鏡、焦点が鏡筒先端の 縁にある。([3] の Fig. 59)

金属鏡は曇るのが早いので、絶えず研磨の 必要がある。また、金属鏡は重量が大きいの で据付や駆動などにも多くの人手を必要とす る。こうしたことから、特別な場合を除いて、 彼の主力望遠鏡は 48cm 鏡であった。

3. 恒星視差と二重星の観測

星までの距離は太陽地球間の距離を基線とした三角測量で測定される。これが年周視差である。その測定が成功するには 1838 年まで待たなければならなかったが、ハーシェルは二重星を使って星までの距離を測定しようと試みた。これはガリレイが提案した方法で、二重星の一つの星が遠方にあり、他の星が近傍にあれば両星間の位置の年変化によって視差が測れる筈である。これが年周視差である。

ハーシェルは両星間距離の精密な測定のために視野の中に2本の蜘蛛糸を張り、一方を中央に固定し、他方を移動させて両者の距離が測定できるマイクロメータを取り付けた。はじめ、ふたご座のカストルの二重星間の距離の年周変化の測定を試みたが成功しなかった。彼はどこかに測定に適した二重星が存在するはずだと考え、二重星の探査に乗り出した。視差測定に適した星の発見が目的であっ

たが、次第に探査にも力を入れ、発見された 二重星をカタログにまとめている。最初のカ タログは 269 星を含んで、1782 年、バース を離れる年に公刊された。第2カタログは 1785年に(484星)、第3カタログは145星 を含んで晩年の 1821 年に出版された(合計 898 星) ([5], [6])。このカタログは二重星の星 の位置のほか、発見者の名前、発見日時、二 重星の位置角、分離角、明るさなどが記載さ れ、また、二重星は主として分離角によって I から VI までのタイプに分類されている。 当時の基本的カタログとして当時広く利用さ れたが、実視観測であったため、記述には種々 の問題が残っていた。そのため多くの修復作 業が行われ、現在はマックエボイ(MacEvoy) によってリフォームされたハーシェル カタ ログをウエブ上で見ることができる[7]。

4. 星団と星雲の探査

バース時代の初期、1773年にでき上がった 10cm 反射鏡で彼は早速、星雲のスケッチを はじめている。そのころ彼は星雲とはすべて 遠方の星の集団ではないかと考えていた。そ れを望遠鏡で実証したいと考え、その例とし て明るいオリオン星雲を選び、1773年、1776 年、1778年と続けてスケッチした。彼はその とき、星雲の形に変化があるように見えた。 もし、変化があるなら、オリオン星雲は星の 集団ではなく、ガス状の星雲ではないかと疑 って見た。しかし、変化に確信が持てなかっ たので考えは元に戻る。星雲についての彼の 結論はより大きな望遠鏡が必要であるという ことであった。これがその後の大型望遠鏡製 作への原動力となった。彼はまたオリオンの ほかにも数多くの星雲や星団のスケッチを続 けており、1778年に完成した 16cm 反射鏡は 天空探査の意欲をさらに加速させることにな った。

1782年にウィリャム・ワトソンは「参考までに」と言ってメシエの 1781年版の星団星雲カタログをハーシェルに手渡した。そこには 68個の天体が記載されていた。ハーシェルは早速、完成したたばかりの 30cm 反射鏡でメシエの天体の観測を始めた。メシエの口径 10cm の望遠鏡で得られたカタログに較べて彼の 30cm でははるかに多くの天体が観測され、その多くを星に分解することもできた。大型望遠鏡の威力に自信を持った彼は 1784年に次のように書いている。

「(メシエの)天体に私の 30cm 望遠鏡を向けて見た。私が大きな喜びを感じたのは星雲と呼ばれる多くの天体が星に分解できたことである。また、多くの場合、メシエは星雲の明るい部分しか見ていなかったのである。」

「例えばメシエ5番(M5) をメシエは星雲と呼んだが、私の望遠鏡では星に分解され、球状星団の1つであることが分かった。」

彼はまだ「すべての星雲は星に分解できる」 と考えていたが、それにはこだわらず星団と 星雲の観測を精力的に続けていた。観測には 主として 48cm 反射鏡が用いられた。彼のス ケッチした星雲の例を図 6 に示そう [8]。

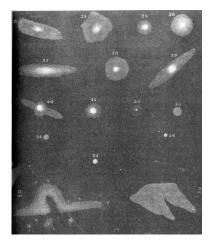


図 6 ハーシェルによる星雲のスケッチ例 ([8], 図は [2] に見られる)

ハーシェルは観測結果をカタログとして王 立協会誌 (RSPT) に送っている。

第1カタログ:1786年 天体数 1000 [9] 第2カタログ:1789年 天体数 1000 [10] 第3カタログ:1802年 天体数 500 [11]

ハーシェルは観測された天体(合計 2509 個)を星雲、星団別に見かけの形状から次のように分類している。カッコ内は天体の概数。

星雲 I 明るい星雲 (288)

II 微光星雲 (909)

III 極微光星雲 (984)

IV 惑星状星雲 (79)

V 極めて大型の星雲 (52)

星団 VI 極めて集中し、多数の星を持 つ星団 (42)

> VII 明るい星と暗い星を含む集中 した星団 (67)

VIII 星のまばらな星団 (88)

カロラインは助手として丹念に記録をとっていたが、時には独立して彗星探査と共にスイーパー望遠鏡を用いて星団星雲の探査にも当たっていた。ハーシェルのカタログにはカロラインの発見した天体が20数個含まれており、発見者の記号CH(Caroline 天体)で区別されている。



図 7 カロライン肖像[1]

ハーシェルのカタログは彼の死後、故郷の ハノーバーに戻ったカロラインによって、再 検証、整理されていたが、その仕事は甥のジョン・ハーシェルに引き継がれる。

ジョン・ハーシェル (John Herschel, 1792 - 1871) は父のカタログの整理と共に、自らも天空の探索に乗り出し、多数の新しい天体を発見している。ジョンはそれをスラウでの観測をまとめたスラウ カタログ (1833 年, [12]) と南アフリカでの南天の天体捜索をまとめたケープ カタログ (1847年, [13]) として公表している。1864年にはこれらの天体と父のハーシェル カタログとをまとめた総合カタログを王立協会誌に送っている。それは合計 5079 天体を含んでいる[14]。これは独立したカタログとして別途出版され、GC (General Catalogue) と呼ばれている。

その後はバー・キャッスル天文台、ハーバード天文台など各地の天文台で観測が進み、その成果はアーマー天文台のジョン・ドライヤー (J. L. E. Dryer) によって統合され、NGC (New General Catalogue) として、1888年にアーマー天文台から出版された。その追補版もインデックスカタログ (IC, Index Catalogue) として 1895, 1908年に公刊されている [15]。

5. 銀河系の構造

スラウに移ってから取り組んだ大きな仕事に銀河系の構造の研究がある。もともと、ハーシェルの意図は天界の3次元構造にあった。彼が二重星による年周視差の測定にこだわっていたのはそのためであった。しかし、視差は当面、測定の見通しが立たなかったため、彼は方法を変えて統計的手法で3次元構造に挑むことにした。

第1の方法は彼が星計測法(star gage)と呼んだもので、星密度の高い天域ほど遠方まで広がっていると見なす手法である(1785年、

[16])。彼はそのために 48cm 反射鏡を用い、 天域の一定面積 (望遠鏡視野の直径 15 分角) の星数を数えた。星計測法の基礎にあるのは 次の仮定である。

- 48cm 望遠鏡は宇宙の果てまで見通している。
- 2) 星の明るさはほぼ一様である。
- 3) 星の光をさえぎる物質は存在しない。 彼は 48 反射鏡で 675 個の天域の星数を計測 し、星の数から天空の広がりの限界を推定し た。限界までの距離はシリウスを基準として 相対的距離で表わされる。その結果から描き 出されたのが図 8 である。

この図を見ると、銀河を銀河面方向から見たときの形と思いがちだが、この図は銀極を通り銀河面とは直角で天の川が二股に分かれる点で銀河面と交わる大円に沿う断面図である。一見すると、この図はわれわれの持つ銀河系の断面図を思い起こさせる。しかし、それは偶然に過ぎない。上に挙げた3つの仮定はどれも適合しないからである。

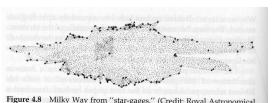


Figure 4.8 Milky Way from "star-gages." (Credit: Royal Astronomical Society.)

図 8 ハーシェルの銀河系モデル ([1] Fig. 4.8)

中央左よりに太陽、周縁で最遠方の星が星印 で示されている。

図8は銀河系を示すハーシェル宇宙として 長い間認められてきたが、ハーシェル自身は 後になってこの宇宙体系を否定している。そ れは48cm 望遠鏡では宇宙の果てまでは見通 せないことが分かったからである。また、星 の明るさはほぼ一定であるという仮定にも疑問を抱いたからである。

1817年、78歳になったハーシェルはつい に二重星による年周視差の測定をあきらめた。 彼は、星までの距離は年周視差1秒角以下で ある、と結論している。しかし、相対距離の 測定にはなお意欲を持っていた。彼はそのた めに「等光度法」(equalization method) と 呼ぶ第2の方法を編み出した [17]。これは同 じ口径の2つの望遠鏡を並べて、1つは基準 星に向け、他は探査する星に向ける。彼は基 準星として牛飼い座のアークチュルスを選び、 その明るさが4分の1になるように口径を絞 る。この減光した明るさと等しい明るさを持 つ星を探し、アンドロメダ座 星がそれに該 当することを見出した。星が同じタイプであ るとすればアンドロメダ座 星の距離はアル クツルスの2倍になる。次にアンドロメダ座

星を第2次の基準星にして再び口径を同じ ように絞り、それと等しい明るさの星を探す。 それを第3次基準星とし、この方法を第4次、 第5次と繰り返して、暗い星の相対距離を推 定しようとするのが『等光度法』である。こ の方法を天域の各方向について行い、銀河面 と直角方向では銀河宇宙の果てまで見通した と思った。しかし、ペルセウス座のように銀 画面内の天域では12次から24次まで高める 必要があり、それでも背後に青い空が広がっ ていて、望遠鏡が限界に達していないことを 認めざるを得なかった。その観測結果から彼 は、銀河系は銀河面の方向には望遠鏡の能力 を超えた遥かな遠方まで広がっていると考え、 われわれの宇宙を「深遠な銀河系」 (Unfathomed Milky Way) と呼んだ。それ を図9に示す。

ハーシェルの銀河系構造の研究について、 伝記を書いたベルコラ([1])は次のように述 べている: 「彼の銀河図はどれも試験的なもので、しかも正確ではなかったが、天界の構造に関する彼の生涯にわたる観測の集積に基づいている。彼は長年、望遠鏡の大型化に取り組み、「星計測法」で星を数え、「等光度法」で星の相対距離を測ったりして、銀河系の構造図を完成させたいと苦心していた。しかし、彼にとって満足できる図は得られなかった。それについて、彼は恐らく、失望を禁じえなかったのに違いない。しかし、それでも、銀河系の構造の解明を夢見て、彼は生涯の終わりまで若々しい熱情を失わなかったのである。」

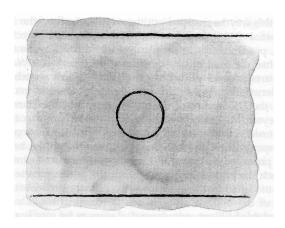


図9 ハーシェルの「深遠な銀河系」 中央の円は肉眼で見える限界を示し、上下の 横線は銀河系の限界幅、

左右は未知の距離まで伸びる銀河系の広がり を表す。([1], Fig. 4.11)

6. 星雲とその進化

スラウに移住してからもハーシェルは星雲とは遠方の星の集団であると考えていた。明白なのは球状星団や散開星団であるが、それ以外の星雲が多様な形態を持つことにも注目していた。帯状のもの、コメット状のもの、扇状のものなどである。1789年に次のように書いている [10]。

「種々の形状をもつ星雲、球状、2 重、彗星

状、扇状などの星雲サンプルを適当に並べれ ば基本的な形成原理を示す系列が得られるで あろう。拡がった不規則な星雲は初期の状態 にあり、中心集中を示す球状星団は長い期間 の引力作用によって星形成の後期の状態にあ る。」

しかし、この論文を提出した翌年、1790 年の秋、おうし座にこれまでの考え方を覆す 奇妙な天体と巡りあった [18]。それは惑星状 星雲(現在、NGC 1514)の1つであるが、 一個の星が円状に広がる微光星雲に取り巻か れている。「これはまったく奇妙な現象だ。約 8 等級の星の回りを微光の大気が取り巻いて いるように見える」と観測日誌に記している。 「周りの星雲が星であるとして、それが星に 分解できないほど遠方にあるためだとすると、 その中心の明るい星は、近傍星との偶然の一 致でないとすれば、あまりにも明るすぎる星 になってしまう。」このとき、彼の心に浮かん だのは星を取り巻くのは遠方の星ではなく、 「輝く流体」ではないかという、「より自然な」 解釈であった。彼は地球で喩えればそれはオ ーロラのような物質ではないかとも考えてい

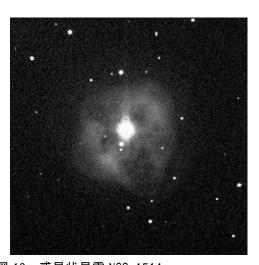


図 10 惑星状星雲 NGC 1514 (出典: Wikipedia, NGC 1514)

る。

ハーシェルはそれまでも、自ら「惑星状星雲」と名づけた星雲をどのように分類して良いか迷っていた。この NGC 1514 に出会って、ようやく彼は星の進化との関連を推測するようになり、惑星状の星雲は重力によって星が誕生する過程を表わすのではないかと考えた。この解釈は星雲仮説として 1791 年に王立協会誌に報告された[18]。

その頃、ピエール・シモン・ラプラス (Pierre Simon Laplace, 1749 - 1827) はハーシェル の星雲仮説より数年遅れて、ハーシェルとは 独立に太陽系の起源として星雲仮説を提唱し ていた。彼は自著「世界体系」の初版(1796) [19] のなかでその説を展開している。その骨 子は、太陽系は巨大な原始星雲から誕生した というものである。原始星雲は緩やかに回転 しており、重力による収縮と共に回転速度を 上げて、扁平になり、円盤状になって収縮を 続ける。その過程で、円盤の縁からいくつか のリング状の星雲物質が分離して行った。そ れぞれのリングから惑星が形成され、太陽は 最後に残った円盤から誕生した。ラプラスは 原始太陽系の姿がハーシェルによって観測さ れた惑星状星雲に当たるのではないかと推論 している。

ハーシェルは 1802 年にパリを訪ねた折に ラプラスと会っている。2 人はその後、親し くなり、ラプラスは『世界体系』1835 年版の なかでハーシェルに謝辞を述べ、次のように 書いている。

「ハーシェルは種々の凝集の段階にある星雲の観測から『下降』して、星雲説にたどり着き、私(ラプラス)は太陽系の進化の考察から『上昇』して星形成の星雲説にたどり着いた。」

その後、ラプラスの星雲説は 19 世紀を通 して大きな影響を与え、基本的な理論になっ ていたが、その背後にはハーシェルの影響も 大きかったのである。



図 11 ジョン・ハーシェル肖像 [21]

結び: ハーシェルのモットーに「天空に輝くものはすべて観測されるべきである。」という一句がある。これはバース時代から始まった彼の天体捜索者としての本領を表わしている。このモットーは 19 世紀に活躍した 5人の女性科学者の生涯を語るマッケンナーローラーの著書の題名にもなっている[20]。

文 献

- [1] Belkora, Leila 2003, Minding the Heavens The story of our discovery of the Milky Way. Inst. Of Physics Publ., Chapter 4, William Herschel: Natural historian of the universe. (詳しい伝記、本書の題名はハーシェルが留守するさいにカロラインに依頼した言葉「天界のお世話を頼む」に由来する)
- [2] Crowe, M. J. 1994, Modern Theories of the Universe from Herschel to Hubble, Dover Publ. Inc., Chapter 3, Sir William Herschel: Celestial naturalist. (「天界の構造」の 2 論文(1784、1785)

- の主な箇所を掲載している)。
- [3] King, H. C., 1955, The History of the Telescope, Dover Publ. Inc. (第7章がハーシェルの望遠鏡に当てられている)
- [4] Holden, E. 1881, Sir William Herschel, His life and works, Charles Scribner's Suns. (The Green eBook Home でアク セスできる) (詳細な伝記と、ハーシェル の論文の解説に詳しい)
- [5] Herschel, W. 1782, RSPT, 72, 112; 1785, RSPT, 75, 40, Catalogue of double stars. (RSPT = Philosophical Transaction of the Royal Society of London, 王立協会 誌)
- [6] Herschel, W. 1785, RSPT, 75, 40, Catalogue of double stars.
- [7] MacEvoy, B. 2011, The William Herschel Double Star Catalogue Restored, http://www.handprint.com/ASTRO/hers chel.html
- [8] Herschel, W. 1811, RSPT, 101, 269, Astronomical observations relating to the construction of the Heavens.
- [9] Herschel, W. 1782, RSPT, 76, 457 459, Catalogue of one thousand new nebulae and clusters of stars.
- [10] Herschel, W. 1789, RSPT, 79, 212 255, Catalogue of second thousand of new nebulae and clusters of stars, with a few introductory remarks on the construction of the heavens.
- [11] Herschel. W. 1802, RSPT, 92, 477, Catalogue of 500 new nebulae, nebulous stars, planetary nebulae, and clusters of stars. With remarks on the construction of the heavens.
- [12] Herschel, John 1833, RSPT, 123, 359, Observations of Nebulae and Clusters

- of Stars, made at Slough, with a Twenty-feet Reflector, between the years 1825 and 1833. (2307 天体、スラウ カタログ)
- [13] Herschel, John 1847, Results of Astronomical Observations made during the years 1834 1838 at the Cape of Good Hope, being a completion of a telescopic survey of the whole surface of the visible heavens commenced in 1825. Smith, Elder & Co., London. (1713 天体、ケープ カタログ)
- [14] Herschel, John 1864, RSPT, 154, 1 137, Catalogue of nebulae and clusters of stars. GC (General Catalogue John Herschel 1864, (一般カタログ)
- [15] 小暮智一 2011、天文月報、104、38、 歴史的天文台バーチャル探訪、8. アーマー天文台(NGC 製作の由来)
- [16] Herschel, W. 1785, RSPT, 75, 213, On the construction of the heavens. (星計 測法)
- [17] Herschel, W. 1817, RSPT, 107, 302
 -331, Astronomical observations and experiments tending to investigate the local arrangement of the celestial bodies in space, and to determine the extent and condition of the Milky Way.

 (等光度法)
- [18] Herschel, W. 1791, RSPT, 82, 11, O nebulous stars, properly so-called by William Herschel. (ハーシェルの星雲 仮説の始まり)
- [19] Laplace, P. S. 1796, The System of the World (初版), (「世界体系」、1835年まで版を重ねる)。
- [20] McKenna-Lawlor, Susan M. P., 2003, Whatever Shines Should be Observed,

Kluver Acad. Publ. (19世紀活躍した5人の女性の物語、天文関係ではロス卿夫人マリー、ハギンス夫人マーガレット、天文学史のアグネス・クラークを含む)

[21] Clerke, Agnes. M. 1895, The Herschels and Modern Astronomy, Cassell and Comp. Ltd. (復刻版)

追記

本文を書き終えた直後に、注文しておいた アグネス・クラークの著書 [21]がアマゾンか ら送られてきた。これはハーシェル家 3 人(ウ イリャム、カロライン、ジョン) の伝記から 始めて、彼らの天文学の成果と当時の天文学 に与えた影響などをまとめたエッセイである。 興味深い書物であるが、ここではカロライン の晩年について触れておきたい。

実はカロラインのハノーバーに戻ってから の足跡が他の伝記でははっきりしなかったが (本文第 4 節)、この書のおかげで事情が少 し分かってきた。

カロラインは兄ウイリャムが亡くなった 1822年に、はやばやと故郷のハノーバーに戻 っている。これは彼女に大きな悔いを残した。 彼女は、天文学の仕事はやめて静かな余生を 送りたい、親戚や知人の多い故郷で暮らした いと思っていたのである。しかし、彼女を待 っていたのは失望と孤独であった。50年も離 れていた故郷は冷たかった。英国の王室から は年俸の 50 ポンドが支給されていたが生活 には不足した。兄デートリッヒの援助でよう やく生活する日々となり、家に引きこもる日 も多くなった。そんなある日、ソファに座っ ていた彼女に隣室の書棚が眼に入ってきた。 そこには兄ウイリャムが残した観測記録がぎ っしり詰まっている。そのとき初めて彼女は 眼が覚め、兄の観測記録の整理を始めた。天 体はほぼ発見順に並べられていたのでそれを

赤緯ゾーンごとにアレンジし、カタログとし てまとめて、1825年にジョン・ハーシェルの もとに送った。これは天体を比較し、検索を 容易にする貴重なものであった。カロライン のカタログに基づいてジョンは自らの観測も 含めて「作業リスト」の制作をすすめ、これ が 1847 年のカタログ [13]と 1864 年の GC (一般カタログ) [14]の基になった。ジョン と親交のあったエディンバラ大学のデーヴィ ッド・ブリュースター卿 (Sir D. Brewster) は「彼女の"ゾーンカタログ"は75歳の婦人 の情熱によって生み出された偉大なモニュメ ントである。」と称えている。この業績によっ てカロラインは 1828 年にロンドン王立天文 協会からゴールドメダルが授与されている。 カタログ化の仕事が始まってからカロライン は元気を取り戻した。その後はジョンの後ろ 盾となって研究を進めるが表立つことはなか った。それでもヘルムホルツやガウスなど多 くの研究者がハノーバーを訪れるようになり カロラインの家は活気を取戻した。彼女は晩 年まで元気であった。音楽をこよなく愛し、 死去する前年に皇太子夫妻に招かれたときも、 ウイリャムの作曲した歌を披露したという話 もある。そして 1848 年に 98 歳の天寿を全う した。

小暮智一(京都大学 OB)