

連載

恒星天文学の源流【23：最終回】

星と銀河 その6

～銀河系と宇宙～

小暮智一（京都大学 OB）

ここでは渦状星雲の分光観測を始め、銀河の後退速度を測定したベスト・スライファーと、それを発展させて観測的膨張宇宙論を確立したエドウィン・ハッブルの2人の足跡を辿ってみよう。

1. ベスト・メルビン・スライファー (Vesto Melvin Slipher, 1875 - 1969)

1.1 スライファーの生涯

スライファーはインディアナ州ムルベリー (Mulberry) の農家で誕生する。父はダニエル (Daniel Clark Slipher)、母はハンナ (Hannah App Slipher) で、8歳年下に弟のアール (Earl C. Sligher, 1883 - 1964) がいる。2人の兄弟はともにローウェル天文台に勤務してその生涯を送ることになるが、両親は子供たちに農家とは場違いな進路を認めたことから、家は裕福だったのであろう [107]。

スライファーの幼少年時代のことは良く知られていない。インディアナ州のフランクフォートの高校を卒業した後、暫らく、村の小学校で教師をしていたらしい。はっきりしているのはスライファーが1897年9月にインディアナ大学に入学して以来である。彼がどのような契機で天文学を志すようになったか不明であるが、大学では力学と天文学を学んでいる。1901年に卒業、引き続き同大学の大学院に進み、1903年に力学・天文学で修士学位、1909年に天文学で PhD 学位を得ている。学位論文のテーマは「火星の分光観測」であった。このときの指導教官はミラー (John A. Miller) とコグシャル (Wilfur A. Cogshall)

である。コグシャルは1896-97年にローウェル天文台に勤務したこともあり、ローウェルが新しい天文台の観測職員を探していると聞いて、1901年にまだ学生であったがスライファーをローウェル天文台に推薦した。こうしてスライファーは在学中で勉強を続けながら観測に従事することになった。



図 48 スライファー肖像と署名 ([107])

ここでローウェル (Percival Lowell 1855 - 1916) についてひとこと紹介しておこう。

ローウェルはボストンの富豪ローウェル家の嫡男、ハーバード大学で数学と物理学を学んでいる。本来は実業家であったが、カミーユ・フランマリオンの著書「火星」に魅せられてアマチュア天文家としての生涯を送るようになる。惑星観測に適した、シーイングと透明度の良い場所を探し、アリゾナ州のフラ

グスタッフの近郊で海拔 2100mの高地を選定する。1894年、この地に61cm (24インチ) クラーク屈折望遠鏡を装備した私設天文台を建設する。これがローウェル天文台である。それから15年、彼は火星を中心に惑星の観測を続ける。火星のスケッチから運河説を唱えたことは良く知られている。「火星とその運河」(1906)、「生命の住居としての火星」(1909)などの著書もある。なお、ローウェルは日本研究者としても知られており、1889-1893年にかけて何回か日本を訪れている[108]。



図 49 パーシバル・ローウェル肖像 (出典 : Wikipedia, Percival Lowell)

スライファーがローウェル天文台で最初に取り組んだのは惑星の、とくに金星の自転周期の観測であった。その頃、金星の自転周期は表面模様などから測定されていたが、自転周期には23時間(カッシーニ)から225日(ローウェル)といった幅があり、全く不明の状態であった。スライファーは分光によるスペクトル線の傾きから、自転周期は数日以内の短周期でなく、遥かに長いことを示した[109]。金星周期が実証されるのは1960年代

初期に行われたレーダー観測によるもので、250日程度という長い周期であった[110]。これは奇しくもローウェルの推定値に近い。スライファーは惑星の分光を担当していたが、なかでも1912年にはローウェルと共同で天王星の観測を行い、自転周期が10.8時間で逆方向に自転することも示した。スライファーが星雲の分光観測を始めるのは1909年以降である。

スライファーは1904年にアリゾナに移るが、その前にインディアナ州フランクフォートでエンマ(Emma Rosalie Munger)に出会って結婚し、揃ってアリゾナのローウェル天文台宿舎に移る。新しい生活が始まり、娘と息子の2人の子供が生まれる。子供の成長につれて、スライファーもフラッグスタッフでの社会の中に溶け込むようになる。それがスライファーの後年の社会活動の元になっている。

ローウェル天文台長の信任を得たスライファーはローウェルの没後、1916年に副台長になり、1926年には台長に就任している。スライファーは論文などには公表していないが、ローウェルの提唱する火星運河説には陶酔している。1926年のある日、一人の学生が彼を訪ねてきた。クラスで火星に文明人がいるかどうかの論争をすることになり、自分はいない方の論者となったが、これについてどう思いますかという質問である。それに対し、スライファーは「君は悪いほうの論者になったね。最近の観測によるとローウェルの運河説はますます確証されつつある。火星は遠いので望遠鏡によって直接確かめることは出来ないが、火星人の存在は確かだろうね。」と応えている([111])。彼はそれ以前にも1923にも「宇宙には数百万もの惑星があり、そのなかの多くに生命があると思う」とグローバー氏に書き送っている[112]。

スライファーは1951年(76歳)にはまだ台長に留まっていたが、天文学への貢献は

1939年（64歳）でストップしている。その後のスライファーは種々の事業活動に力を入れ、牧場経営、レンタル事業などに投資、大衆的ホテルの創立に参加などを重ね、また、地域での社会活動として、フラッグスタッフ高校開設、アリゾナ科学芸術協会や北アリゾナ博物館の設立などにも深く関与している。こうして天文学とは疎遠になってしまったが、地域社会への貢献は大きい。

弟のアールも兄を引き継いで天文台長だったが、兄に負けず、天文学をおろそかにして政治活動に乗り出し、市議員や、フラッグスタッフ市長を務めたりしている。こうして1940、50年代は他の観測職員も活動的でなくなり、天文台は沈滞した状況に置かれていた。

ローウェル天文台を復興させたのは1958年に台長となったジョン・ホール（John S. Hall）である。彼は天文台の現代化に取り組み、機械、電子工場の設置、計算機の導入とともに若い研究者の取り入れにつとめ、交流事業の立ち上げを進めた。長短期滞在の研究者も増加しローウェル天文台は再び蘇ったのである。

天文台を離れたスライファーは晩年をフラッグスタッフの自宅で過ごし、静かな余生を楽しんでいたが、1969年に病没した。享年94歳の長寿であった。

1.2 スライファーの星雲分光観測

(1) 星雲の視線速度

スライファーが星雲の分光観測を始めたのはローウェル台長からの指示によるものであった。当時、渦状星雲への関心が高まっていたが、その正体については銀河系外の「島宇宙説」と銀河系内の「原始太陽系説」があり、判断としていなかった。後者はアンドロメダ星雲のように中心が明るく、周辺に渦を巻く様子から収縮しつつある原始太陽系ではないかと

想定されたものである。ローウェルは渦状星雲が若し原始太陽であるなら、そのスペクトルは太陽や惑星のスペクトルに似ているのではないかと考え、1909年に星雲の分光観測をスライファーに指示したのであった。スライファーの星雲分光観測はこのときから始まる。

スライファーははじめ星雲観測に乗り気でなかった。太陽系天体に比較して星雲は遙かに微光であり、61cm（24インチ）屈折鏡の取り付けられていた3-プリズム分光器では観測困難であったからである。そこで彼は別に1-プリズムの分光器を製作し、カメラもF2.5の明るいレンズに換えてアンドロメダ星雲の分光に挑んだ。1913年に露出6時間で得られた結果は星雲が300km/sという、これまでに観測されたことのない高速で太陽系に近づいていることを見出した[113]。彼はこのスペクトル線の大きな紫方変移をドップラー効果としてよいのか始めは疑問に思っていた。それをローウェル台長に知らせたところ、台長からは「貴君の観測は偉大な発見のように思える。紫方変移の原因については他の星雲を観測してみてもどうか」というアドバイスがあった。



図50 ローウェル天文台の61cm屈折鏡を収めたドーム（出典：Wikipedia，ローウェル天文台）

こうして彼は渦状星雲の視線速度の観測を続けたが、アンドロメダ星雲以外は遥かに微光であったため、露出は40時間から60時間にも及んでいる。こうして1915年までに15個の渦状星雲について、次のような結果を得ている[114]。

太陽への接近速度を持つ星雲： 3個
(NGC 221, 224, 598)
太陽からの後退速度の星雲： 10個
視線速度の小さい星雲： 2個

このうち、後退速度の大きさは200 km/s (NGC 4736) から1100 km/s (NGC 1068, 4594) の範囲にわたっている。1917年には星雲数も2.5個に増え、後退速度をもつ星雲の割合も増えてきた。こうして、星雲速度の大きなプラスマイナスのあることから、彼はスペクトル線の変移はドップラー効果以外にはありえないと結論に達した。

スライファーは1914年にシカゴの北、エバンストンで開かれたアメリカ天文学会の年会で15個の渦状星雲の視線速度の観測に触れ、次のように述べている。

「顕著な後退速度の卓越さをみると渦状星雲は一般に、われわれから逃げ出しているように見える。」

この講演には後述するように若き日のハッブルも出席して大きな感銘を受けている。

スライファーは星雲の分光観測では視線速度の測定に力を注いでいたので、スペクトル特性についての報告が少ない。1922年になって彼は渦状星雲と球状星団についてのスペクトル特性を次のよう分類している [115]

渦状星雲 (9個)
太陽型スペクトル 7個
バルマー輝線の強い特異型または星団型 2個
球状星団 (5個)
複合タイプ(早期から晩期型スペクトルの複合) 5個

ここでスライファーは、渦状星雲は大部分が太陽型スペクトルをもち、太陽型を主成分とする星の集団であることを指摘している。また、球状星団は星の集団であるが、全体的なスペクトル特性は渦状星雲と異なり、両者は特質の異なった星の集団であることを指摘している。しかし、渦状星雲が島宇宙なのか原始太陽系なのかについては触れていない。

(2) 星雲の自転の発見

彼は星雲の1つ、おとめ座のNGC 4594を観測中にスペクトル線が4°ほど傾斜していることに気が付いた ([116])。念のためにアンドロメダ星雲でも試してみたが、やはり傾斜している。他の星雲でも多かれ少なかれ傾斜が見られたので、彼はそれを星雲の自転とみなし、その報告をローウェル天文台報(1914)に掲載した。

ところがこの報告はウイリソン山天文台のファン・マーネンの強い反発を招いた。ファン・マーネンはM101の星の固有運動から自転を主張していたが、スライファーの分光による回転方向とは反対だったからである。しかも、シャプレーをはじめ当時の主流はファン・マーネン説の支持に立っていた。

こうした強い反発にスライファーは大きな反論もせず、友人への手紙のなかで

「自転方向がファン・マーネンと逆方向になったのは残念です。どちらが正しいかは将来の観測が確かめてくれるでしょう」

と述べるのに留まっていた [107]。スライファーの人となりは謙虚で控えめであり、論争を好まなかったことにもよるが、それにしても、当時はファン・マーネン説が強大な権威をもっており、それに対抗するのは容易ではなかった。

それから20年を経て、1935年によくファン・マーネン自身とシャプレー「Shapley 1935」は渦状星雲 M81, M33, M101 などの星の固有運動の測定は誤差が大きく、信用で

きないことを認めたが、それでもシャプレーは大銀河系説に立って、渦状星雲の星の固有運動にこだわっていたのである。

スライファースは1903年から1939年まで127編の論文を公表し(ADS、調べ)、太陽系天体、恒星から星雲にいたる広い範囲の分光観測を行っているが、彼の大きな業績はやはり星雲の大きな視線速度の発見であろう。それによってスライファースはハッブルの膨張宇宙に大きな影響を与えた。

2. エドウィン・ハッブル (Edwin Hubble 1889 - 1953)

2.1 ハッブルの生涯

ハッブルの生涯をクリスチャンセン [117] とベルコラ [118] によって辿ってみよう。

エドウィン・ハッブルは1889年にミズーリ州の小さな町マーシュフィールド (Marshfield) で生まれた。父ジョン・パウエル (John Powell Hubble) は保険会社の役員で、一時、法律事務所を開いていたこともあった。母のバージニア・リー (Virginia Lee) は結婚前に2年間女子大で学んでおり、教養ある一家であった。8人の子供のうち、エドウィンは兄(ヘンリー)、姉(ルーシー)に続いて3番目であった。ハッブル家は音楽一家、父はバイオリン、姉のルーシーはピアノ、弟のビルはマンドリンを演奏し、エドウィンは歌をうたったという。

1997年、エドウィンが8歳の誕生日を迎えた日に、医者で薬局も営む外祖父のウィリアム・ジェイムスから望遠鏡のプレゼントがあった。その夜は見事な星空でエドウィンは祖父の星座案内で星空の観望を楽しんだという。



Edwin and Grace
[THE HENRY HUNTINGTON LIBRARY, SAN MARINO, CALIFORNIA]

図 51 ハッブル夫妻 ([117])

1889年に一家はイリノイ州のシカゴに近いウイトン (Wheaton) に引越し、エドウィンはここで中学、高校時代を過ごす。ボクシングやバスケットボールなどスポーツの才能では学校中に知られていた。1905年にはバスケットボールのウイトンチームを全米チャンピオンに導いたりしている。

彼は高校時代の成績が抜群であったため、シカゴ大学から「入学許可と1年間の授業料免除」という特典が提供され、法学科に入学する。本人は自然科学、特に天文学を選びたかったが父の意向に逆らわれなかった。法学科でも優れた資質を発揮しているが、大学では時間の許す限り、物理学、天文学の講義に出席していた。当時のシカゴ大学ではこの面で人材が揃っていた。ハッブルが指導を受けたのは、物理学ではマイケルソン (Albert A. Michelson) とミリカン (Robert A. Milikan)、

天文学ではムールトン (Forest R. Moulton) であった。その頃、ムールトンは地質学科のチェンバーリン (Thomas Chamberlin) と共同でラプラスの星雲説を否定し、微惑星仮説を (1899) を提唱していた。

ハッブルは 1909 年にローデス奨学金に応募し、数学、ラテン語、ギリシャ語試験などの難関を突破して合格、3 年間の英国オックスフォード大学への就学資金を得る。こうして翌年、英国にわたり、父の意向に従って法学部のあるクイーンズカレッジに入学する。法学、語学でも成績は優れていたが、同時に天文学への興味も失わず、在学中、付属天文台長のターナー (Herbest H. Turner) の薫陶を受けている。

この頃、父ジョンの健康が優れなくなり、やがて没する。収入は兄ヘンリーが勤める保険会社からのサラリーだけとなり、家族の多い家計は楽でなくなる。1913 年 (23 歳)、ハッブルは法律学で修士号を取得して無事に帰国するが、職につく必要があった。そこで、とりあえず、インディアナ州の高校教員となり、スペイン語と物理学を担当した。

しかし、天文学への思いは変わらず、シカゴ大学に恩師ムールトンを訪ねて、大学院入学の可能性を相談する。ムールトンは早速、シカゴ大学のヤーキス天文台長フロスト (Edwin Frost) に連絡し、奨学金を用意した。こうして、ハッブルはようやく天文学に専念できる生活に入った。その翌年、エバンストンのノースウエスタン大学のキャンパスで開かれたアメリカ天文学会の年会でスライファアの講演を聞き、渦状星雲の多くが大きな後退速度を持つという点に強い印象を受ける。彼はこのとき星雲の謎に挑もうと考え、学位論文のテーマとして星雲の観測を取りあげようと決意したという。

彼はヤーキス天文台の 61 cm 鏡で星雲の観測に乗り出す。その成果は 1917 年の学位

論文「微光星雲の写真的研究」に結実する。この研究はジョージ・ヘール (E. Hale) に評価され、1917 年にウイルソン山天文台の研究員に招かれるが、ハッブルはいったんその招きを断り、陸軍に入隊する。数ヶ月の訓練の後、歩兵大尉になり、翌年には陸軍少佐に昇進している。1918 年にフランスに派遣され、英国を回って帰国する。英国では暫らくケンブリッジに滞在しジーンズ (James Jeans) と知己になった。ジーンズはその後ハッブルのよき理解者として彼を支えた。

1919 年の夏に帰国し、ウイルソン山天文台での観測が始まる。ある晩、リック天文台からの訪問者がすばらしい美人を連れてやってきた。美人の名はグレース・バーク (Grace Burke)、すでに地質学者の夫がいるが、ハッブルはグレースにひそかな思慕の念を抱いた。それから 1 年後、地質学者は炭鉱で調査中に事故のために物故する。それを聞いたハッブルは求婚活動を始め、両親とグレースの住むロサンゼルスを何度も訪ねたという。こうして、1924 年、ハッブルはめでたく、グレースと結婚する。グレースの父は 2 人のためにパサデナに広い邸宅を準備したという。

それ以後、ハッブルは生涯をウイルソン山天文台で過ごす。1948 年にパロマー山天文台が完成したとき、最初の観測者の栄誉を得ている。1953 年 9 月に心不全のためカリフォルニア州サンマリノで没した。享年 64 歳であった。

2.2 ハッブルと系外星雲の世界

(1) 初期の星雲の分類

ハッブルは 1914 年のスライファアの講演に刺激されて星雲の観測を志すが、大学院生ではヤーキス天文台最大の 102cm (40 インチ) 望遠鏡の観測プログラムは困難である。そこで天文台では殆んど使用されていなかった 61 cm 望遠鏡にカメラを取り付け、長時間

露出による微光星雲の観測に乗り出した。彼の意図は星雲の形と明るさ、それに分布である。

1922年に著した「銀河系星雲の研究」([119])の中で彼は星雲を次のように分類している。

I Galactic (銀河系内)

1. Planetary (惑星状)
2. Diffuse (散光)
 - a) Luminous (明るい)
 - b) Dark (暗黒)

II Non-galactic (非銀河系)

1. Spiral (渦状)
2. Elongated (延長状)
 - a) spindle (紡錘状)
 - b) ovate (卵状)
3. Globular (球状)
4. Irregular (不規則)

銀河系星雲と非銀河系星雲とに大別しているが、ここで非銀河系というのは銀河系外という意味ではない。これはファン・マーネンやシャプレーの影響もあって渦状星雲は必ずしも系外の遠方星雲とは認められない状況があったからである。なお、非銀河系星雲の延長状と球状とは後に楕円状にまとめられる(後述)。

ハッブルは1922年にローマで開かれたIAU 第一回総会の星雲星団委員会(委員長スライファー)にこの分類法を提案したが、フランスから別の提案もあり結論は見送られた。

(2) 渦状星雲の距離

1923年10月、ハッブルはアンドロメダ星雲の縁の付近に新星を探していた。それらしい星を3個見つけた。古い乾板と比べてみると、それは新星ではなく変光星であることが分かったので、翌年2月まで観測を続け、それらがケフェウス変光星であることを突き止めた。それまでに知られていた光度周期関係

を適用するとアンドロメダ星雲の距離は825,000光年となり、明らかに銀河系の天体になる。彼はその結果をシャプレーに送ったが、シャプレーは素直には認めなかった。大銀河系説を採るシャプレーとしては渦状星雲を系外の遠方の天体とは認めにくかったからである[118]。

ハッブルはそれには納得せずに観測を続け、1924年8月にM31, M33, NGC 6822に多数のケフェウス変光星を発見した。同じ光度周期関係を用いればこれらの星雲は疑いもなく系外天体である。

ハッブルからの報告を聞いてシャプレーは「悲しんでよいのか、喜んでよいのか悩んでいる」と述べている。悲しみというのは大銀河系との決別であり、喜びはハッブルの偉大な発見を意味している。しかし、シャプレーはまだ自説からの決別には決断しかねていた。ハッブルの系外星雲説はカーティスやジーンズ、それにシャプレーの旧師であるヘンリー・N. ラッセルをはじめ多くの支持者があり、その年の12月にニューヨークタイムス紙は6ページの紙面をさいてハッブルの偉大な発見を報じた。それでもハッブルは公表をためらっていた。ファン・マーネンのM101の近傍説と鋭く対立するものだったからである。

(3) 膨張宇宙の発見

1928年7月にIAU第3回総会がオランダのライデンで開かれた。「星雲と星団」委員会の委員長はハッブルであった。その頃、ライデン天文台長はデ・シッテル(Willem de Sitter)で、彼はアインシュタインの一般相対論の研究と普及の推進者であった。彼は相対論の場の方程式についてデ・シッテル解と呼ばれる空虚な宇宙モデルを提案し、テスト粒子の赤方偏移の可能性を示唆していた。そのため系外星雲の視線速度に強い関心を持つ

ていた。そこでデ・シッテルは星雲と星団セッションの会合に出席し、ハッブルにたいし、スライファールの観測した星雲の観測をさらに進めることは出来ないかと呼びかけた。

ハッブルはこの呼びかけに大きな印象を受け、アメリカに帰国してすぐに助手のフマーソン (Milton Humason) と共同でウイルソン山における新しい観測プログラムを立ち上げた。フマーソンの追憶によるとハッブルは帰国直後から観測の狙いは系外星雲の距離と速度との関係にあると認識していたという。

実際、ハッブルはライデンから帰国 6 ヶ月後の 1929 年 1 月には重要な結果が得られていた。その第 1 報は科学アカデミーの紀要に「系外星雲の距離と視線速度との関係」と題して 1929 年に公刊された [120]。ハッブルは 24 個の星雲について速度と距離を測定しているが、距離については、ケフェウス変光星を用いたのは近傍の 6 星雲、星雲の最輝星の絶対等級からの推定が 13 個、残りは星雲全体の絶対等級から導いた距離である。視線速度は 254cm (100 インチ) 望遠鏡の威力で微光星雲まで測定されていた。遠方の星雲の距離精度は低下するが、このときに得られた距離速度図を図 52 に示そう。

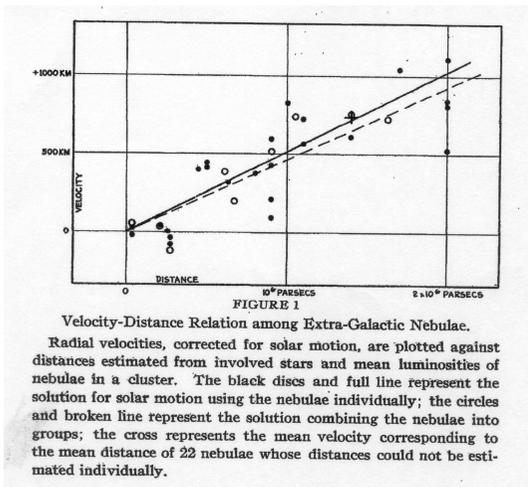


図 52 系外星雲の最初の距離速度図 [120]

この図は明らかに遠い星雲ほど速い速度で遠ざかっていることを示している。膨張宇宙の発見である。しかし、ファン・マーネンの M101 の近傍説はまだ、依然として大きな影響力を持っていた。ファン・マーネンの説に決着がついたのはようやく 1935 年になってからであるが、それまでは膨張宇宙に疑問を持つ人も少なくなかった。

その 1 つの理由に宇宙の年齢の問題がある。宇宙が膨張すれば、当然、逆算すると、星雲は過去のある時期に 1 点に収束するはずである。その時期はいつか。ハッブルの図によると、それはおよそ 18 億年前になる。地球の年齢が 30 億年を超えていることは当時の地質学でも知られていたから、膨張宇宙説にはどこかに欠陥があるはずである。この困難は 1944 年にウォルター・バーデ (Walter Baade) がケフェウス周期光度関係の見直しによって解決し [121]、宇宙年齢の問題は大きく前進することになるが、当初は宇宙膨張説の大きな難点であった。

こうした問題もあったが 1930 年代にはハッブルの系外星雲と宇宙膨張は広い支持を受け、1936 年に著された「星雲の世界」 ([122]) はこの時代の基本的文献になった。なお、系外星雲を銀河 (galaxies) と呼ぼうと提案したのはシャプレーであったが、ハッブルは銀河系外星雲という呼び名にこだわっていた。

「銀河」が定着するのはハッブル没後である。

ハッブルが星雲の視線速度に関心を持ったのはスライファールの影響であり、1929 年の論文ではスライファールの値も用いているが、スライファールの 61cm 鏡に比べてウイルソン山の 254cm は桁が異なる。ハッブルとフマーソンの分光観測は遥かに微光の星雲まで及んでいる。1934 年に公表された改訂版では ([123]) は信頼性の高い速度距離関係を導いているが、ハッブルはスライファールに大きな敬意を払っており、ローウェル天文台のアーカイブ資料の中にハッブルが最晩年にスライ

ファーに宛てた謝辞の手紙（1953年3月）が残っている。

「私（ハッブル）の速度距離関係はあなたの速度（観測）と私の距離（測定）によって出来上がったものです。新しい分野の第一歩はきわめて困難であり、それだけに意義深いものです」[107]

(4) 星雲の分類と進化

ハッブルは1920年代から「宇宙の均質性」を観測の基本原則としていた。それはケフェウス変光星の周期光度関係、星雲の最輝星の絶対等級、星雲の平均サイズなどから推定される星雲の距離がほぼ一致することから、宇宙における天体の存在形態は星から星雲まですべて均質的であるという原理である。この原理に基づいてハッブルは微光の星雲まで観測の範囲を広げ、系外星雲の形態と進化に思いを寄せた。その成果は1926年の「銀河系外星雲」([124])としてあらわれる。このなかで彼は銀河系内外の星雲の分類と統計的性質を調べ、銀河系外星雲の進化を論じている。

彼はまず、銀河星雲とは「それぞれの星系と結合したダストとガスの混合した雲状天体」、系外星雲とは「星と星雲から形成される独立した集合体」と規定する。そのうち、系外星雲については約400個の星雲について写真乾板上の形状から、図53のような良く知られた分類を行っている。

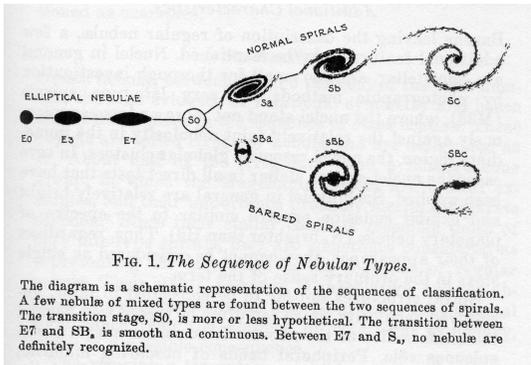


FIG. 1. The Sequence of Nebular Types.

The diagram is a schematic representation of the sequences of classification. A few nebulae of mixed types are found between the two sequences of spirals. The transition stage, S0, is more or less hypothetical. The transition between E7 and SBa is smooth and continuous. Between E7 and S3, no nebulae are definitely recognized.

図 53 銀河のハッブル系列 [122]

図 53 において楕円星雲は En で表され、楕円の扁平率は $n = 0 - 7$ で表し、E0 は円形、E7 は観測されるもっとも扁平な楕円星雲である。渦状星雲は正常 (normal) と棒状 (barred) に分けられ、それぞれ a, b, c の系列を作る。ハッブルは楕円星雲と渦状星雲の間に仮想的には S0 タイプをおいたが、これは現在すでに発見されている。不規則星雲は Sc 型の右に置かれる。ハッブルは、系外銀河は E0 から始まって最後の不規則星雲まで次第に右方へと進化する筋道を考えた。

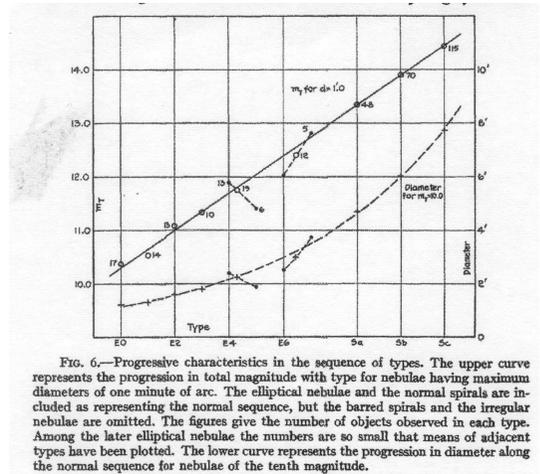


FIG. 6.—Progressive characteristics in the sequence of types. The upper curve represents the progression in total magnitude with type for nebulae having maximum diameters of one minute of arc. The elliptical nebulae and the normal spirals are included as representing the normal sequence, but the barred spirals and the irregular nebulae are omitted. The figures give the number of objects observed in adjacent types. Among the later elliptical nebulae the numbers are so small that means of adjacent types have been plotted. The lower curve represents the progression in diameter along the normal sequence for nebulae of the tenth magnitude.

図 54 星雲型の系列による特性 [124] ([Hubble 1926])

彼の考えの根拠を示す一つの統計を図 54 に示そう [124]。図の横軸は星雲の系列、縦軸は左右で異なる。上の観測点と曲線は「最大角直径が 1 分角の星雲の見かけの等級」で左の縦軸に示される。下の観測点と曲線は「見かけの等級が 10 等の星雲に対する星雲の角直径」で右の縦軸で示される。これらの観測点がきれいに並ぶことから、彼はこれらの曲線は進化過程を表わすものと考えた。論文の中で「(銀河系外星雲の、楕円型から渦状型までの) すべての系列は原始的な球状の星雲の誕生から始まって、赤道方向への膨張によつ

て生じる種々の形態として表わされる」と述べている。ただし、図 54 では棒渦状星雲は省かれている。彼は渦状と棒渦状の区別を進化観点からは説明困難と考えていたようである。

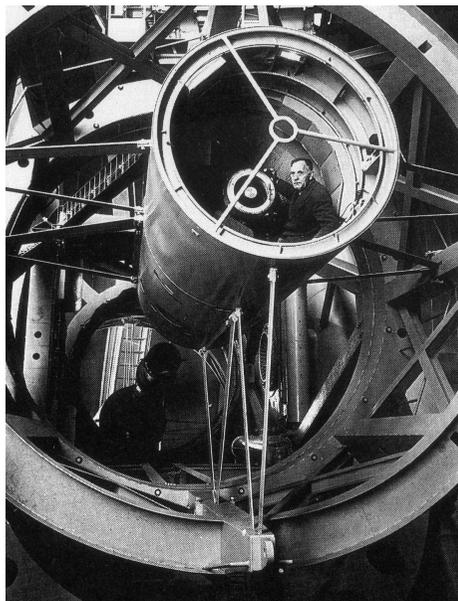


図 55 パロマー天文台 200 インチ反射鏡の焦点におけるハッブル [117]

1930年代から40年代初期まで、ハッブルはウイルソン山天文台の254 cm鏡の威力を活かして微光星雲の観測に取り組んでいたが、その間にジョージ・ヘールの主導の下に508cm (200インチ) 反射鏡の建設がパロマー山で進んでいた。1948年に完成すると、ハッブルは第一観測者の栄誉を担ったのである。

ハッブルの観測は没年の1953年まで続けられるが、ハッブルの天文学に対する最も大きな貢献はベルコラ ([118]) も述べているように「宇宙論の中に初めて物理的、数値的は基盤を与えた」という点であろう。ハッブルはそれまで、殆んど思弁的であった宇宙論に観測的基盤を与え、理論と観測が平行して宇宙論を発展させる時代を開いたのである。

3. 連載の終わり

星から始まっていつの間にか宇宙の彼方まで来てしまった。恒星天文学の源流を辿るとフラウンホーフェル、キルヒホッフ、ハギンスに始まる星の分光學、レーン、リター、エムデンに始まる星の内部構造論、およびハーシェル、カプタインに始まる恒星系天文学の3つに源流に行き着く。これらは20世紀に入って合流し、現代天文学の大きな流れへとつながるが、連載はここで終わりにしたい。拙文との長い付き合いに謝意を表す。

文 献

- [107] Hoyt, W. G. 1980, Biographical Mem. Nat. Acad. Sci., Vesto Melvin Slipher 1875 - 1969.
- [108] 宮崎正明「知られざるジャパノロジスト、ローエルの生涯」丸善ライブラリー
- [109] Slipher, V. M. 1903, AN, 163, 35, A spectrographic investigation of the rotation of Venus.
- [110] Goldstein, R. M. 1964, AJ, 69, 12 - 18, Symposium on Radar and radiometric observations of Venus during the 1962 conjunction.
- [111] Slipher, V. M. 1926, LOA (Lowell Observatory Archive), Letter of Slipher to H. Wetherald, March 9, 1926
- [112] Slipher, V. M. 1923, LOA (Lowell Observatory Archive), Letter of Slipher to F. O. Grover, Jan. 23, 1923.
- [113] Slipher, V. M. 1913, Lowell Obs. Bulletin, No. 58, 56 - 57, The radial velocity of the Andromeda Nebula.
- [114] Slipher, V. M., 1915, Pop. Ast. 23, 21 - 24, Spectrographic observations of nebulae.
- [115] Slipher, V. M., 1922, Pub. Amer. Ast.

- Soc.,4, 284 – 286, Further notes on spectrographic observations of nebulae and clusters.
- [116] Slipher, V. M., 1914, Lowell Obs. Bull., No. 62, 66, The detection of nebular rotation.
- [117] Christianson, G. E. 1995, Edwin Hubble, Mariner of the Universe, Farrar, Straus and Giroux Publ.
- [118] Belkora, L. 2003, Minding the Heavens, The story of our discovery of the Milky Way, Chap. 9, Edwin Hubble: Redeemer of island universes.
- [119] Hubble, E. 1922, ApJ.,56, 162, A general study of diffuse galactic nebulae.
- [120] Hubble, E. 1929, Proc. Nat. Acad. Sci., 15, 168 – 173, A relation between distance and radial velocity among extra-galactic nebulae.
- [121] Baade, W. 1944, ApJ., 100, 137 – 146, The resolution of Messier 32, NGC 205, and the central region of the Andromeda nebula.
- [122] Hubble, E. 1936, The Realm of the Nebulae, Yale Univ. Press. (邦訳：戎崎俊一訳銀河の世界、岩波文庫、1999)
- [123] Hubble, E. and Humason, M. L. 1934, Proc. Nat. Acad. Sci., 20, 264, The velocity-distance relation for isolated extra-galactic nebulae.
- [124] Hubble, E. 1926, ApJ., 64, 321 – 369, Extra-Galactic Nebulae.

小暮智一（京都大学OB）

* * * * *