

連載

恒星天文学の源流【22】

星と銀河 その5

～銀河系と渦状星雲～

小暮智一（京都大学 OB）

1920年、ヒーバー・ズースト・カーティスとハロー・シャプレーの間で「グレート・デバート」と呼ばれる論争があった。大銀河系を主張するシャプレーと、星雲宇宙の存在を主張するカーティスとの論争である。この論争を期に銀河系と宇宙のサイズに関する認識が深まった。今回はこの2人を取り上げ、論争の背景と中身に触れてみよう。

1. カーティス (Heber Doust Curtis, 1872 - 1942)

ヒーバー・ズースト・カーティスはミシガン州のムスケゴン (Muskegon) で1872年6月27日に父、オルソン (Orson Blair Curtis)、母、サラ (Sarah Eliza Doust) の長男として生まれた。父は南北戦争に従軍し片腕を失ったが、ミシガン大学で修士まで進み、教員や税関吏などを勤めた。母はイギリス生まれのアメリカ育ちで英文学に優れ、子供たちにいつも詩文の朗読を聞かせてきた。ヒーバーは快活な少年でフットボールを得意とし、メカに強くて旋盤を一人で製作してしまうほどであった。デトロイト高校を卒業後、1889年にミシガン大学に入学して古典言語学を学ぶが、彼の語学はギリシャ、ラテン語からさらにヘブライ語、サンスクリット語にまで及んでいたという。大学では言語学で修士学位を得る。それまで天文学とは無関係であった ([88],[89])。

1890年にラテン語の教授として、サンフランシスコに近いメソジスト会のナパ カレッジに赴任し、彼に転機が訪れる。このカレ

ジには小型屈折望遠鏡が備えてあったので、彼は偶然、星の観測に興味を持ち始め、最初は趣味であったが、次第に本格的に研究に乗り出すようになり、周囲にも認められるようになった。

1896年にナパ カレッジはサンホセにあるパシフィック大学と合体した。翌年、この大学では数学および天文学の教授職が空席となって公募された。カーティスは思い切ってそれに応募して見たところ、見事にその席を得た。後になってカーティスは「こんな転換が可能になったのも、50年前の田舎の小さな大学だからであった。」と回想している。

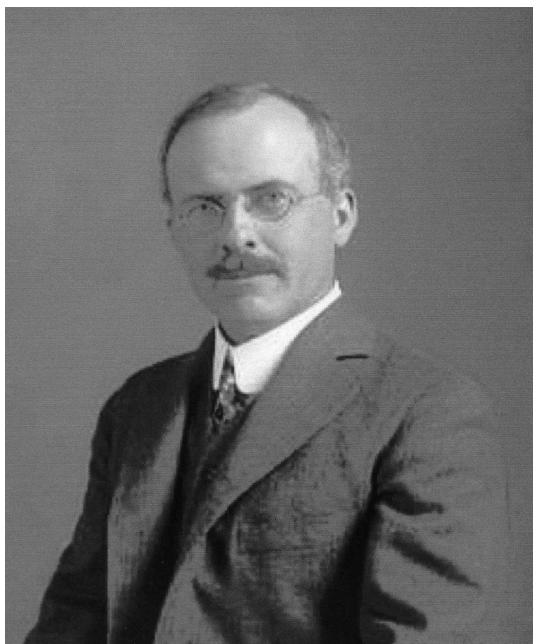


図 41 カーティス肖像

出典: <http://digitalcollections.ucsc.edu/cdm/ref/collection/p265101coll10/id/198>

しかし、天文学研究はまだ本格的でなかった。1897-98 年にかけて、サンホセに近いリック天文台で研修をすすめる。このとき、日食観測隊に加わり、装置の整備とデータ解析を担当したが、その働きぶりは日食隊長でリック天文台長であったキャンベル (W. W. Campbell) に認められ、1899 年にはヴァンダービルト奨学金が与えられた。彼はそれをもとに家族とともにヴァージニアに移る。ヴァージニア大学の博士課程に学び、1902 年に彗星の研究で天文学の学位を得ている。

なお、1895 年にマリー・D. レイパー (Mary D. Raper) と結婚し、2 人は生涯に 4 人の子供をもうけている。

1902 年にキャンベルの招きでリック天文台に戻り研究助手となる。リックにおける最初の仕事は星の視線速度の観測であった。彼は特に連星系の軌道運動に興味を持ち、分光連星の軌道解析法の開発などにも当たった [90] (この論文は軌道解析法の基本文献の一つとなっている)。1906 年から 1910 年にかけてはチリのサンチャゴにあるリック天文台南天観測所に責任者として派遣された。語学に得意な彼はスペイン語を習得し、スペイン語での論文もいくつか書いている。

1910 年に再びリックに呼び戻され、クロスリー反射望遠鏡の観測責任者となる。主な仕事は前台長であった故ジェイムス・キーラー (James Edward Keeler) が始めていた星雲の写真観測を引き継ぐものであった。キーラーはわずか 42 歳で世を去った。カーティスはその後の 10 年間、クロスリーによる写真観測を行っているが、その成果は 1918 年にリック天文台報に「クロスリー反射鏡によって撮影された 762 個の星雲と星団に関する報告」[91] として公表されている。これはカーティスの優れた業績の 1 つとして高く評価された。彼の写真観測には渦状星雲が多数含まれており、全天に分布することや、形、サイ

ズの多様性などから、渦状星雲はわれわれの銀河系とは独立した恒星系であろうと確信するようになった。また、カーティスは 1885 年に発見されたアンドロメダ星雲中の新星 S And 以降に渦状星雲内に発見された通常の新星の写真観測を行い、それらが疑いもなく渦状星雲に属していること、したがって新星の母体である渦状星雲はわれわれとは独立した島宇宙であることの強い支持を与えると論じた [92]。

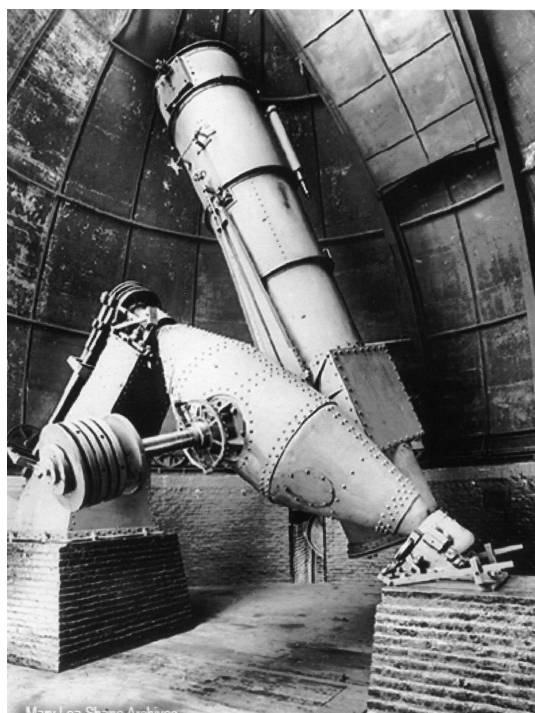


図 42 リック天文台の 91cm クロスリー反射望遠鏡

出典 : <http://www.ucolick.org/public/telescopes/crossley.html>

1917-18 年の第 1 次世界大戦中はパークリーの海軍兵学校で航海天文学を担当したり、ワシントンでは度量衡標準局の光学部長を勤めたりしている。戦後、カーティスは一旦リック天文台に戻ったが、1920 年、ピッツバー

グ大学からアレゲニ天文台台長として招聘された。この天文台における主な仕事は観測、測定機器の開発であった。彼はこの面でも卓越した才能を示している。天文台内に光学ワークショップを設立して彼自ら機器の開発に当たった。その中で特筆されるのは精密なルーリングマシーンの設計製作である。この装置は後に分光グレーティングの線刻用に利用されるようになった。

その後、1930年にミシガン大学天文台の台長となり、1942年まで勤めたが、この年、アンナーバーの天文台宿舎で眠るように他界した。前日まで研究室に顔を見せていたという。ミシガン大学で親交のあったロバート・マクマス (Robert R. McMath) は悼辞の中でカーティスについて [89]

「彼は相談ごとがあるときはいつも思いやりのある理解を示し、何事についても簡明な思考を進める生活態度は、温かな人柄とともに彼の優れた資質となっている。」

と彼を偲んでいる。

2. シャプレー (Harlow Shapley (1884 - 1972))

ハロー・シャプレーは晩年に私的な自伝 (1969年) をあらわしているが、ここではベルコラ [93]、グラス [94] およびボーク [95] を参照にした。

ハロー・シャプレーは1884年11月2日、ミズーリ州のナシュビル (Nashville) 近くの農家で兄弟のホラス (Horace) と一緒に双生児として生まれた。二人には姉にリリアン (Lillian)、弟にジョン (John) がいる。父のウィリス・シャプレー (Willis Shapley) は農業を営み、時には小学校で教鞭をとっていたが、暮らしは豊かではなかった。一家は独立戦争から南北戦争の時代を生き抜きぬいた初期移民の子孫で、ミズーリ州には祖父の時

代にやって来た。母のサラ・ロイド・シャプレー (Sarah Lloyd Shapley) はニューイングランドのアボリジニの子孫とのことであるが、教養もあり、子供の教育にも熱心であった。子供の頃、ハローは農業の手伝いに忙しい日を送っていたが、ミルクを絞りながらテニソンの詩を暗誦したり、家のまわりの風景をスケッチしたり、野草の美しさから植物にも興味を持ったり、多感で多才な少年であった。村の小学校では姉のリリアンが先生をしていた。姉が後年語ったところによると、ハローは彼女の教えた中でもっとも優秀な生徒であったという。リリアンは双子の兄弟に進学を勧めたが、学資が足りず、結局ハローは15歳のとき数ヶ月間、ピッツバーグの職業学校に通っただけで10歳台後半はカンサスやミズーリなどで新聞記者として働いた。政治問題についていくつかのスクープ記事を書いたりしている。この間に大学進学のための貯金を始め、学資の安い長老派教会のカーテージ・カレッジに入学、言語学を学んで首席で卒業する。

1907年に資金のめどが立ち、コロンビア市のミズーリ大学に入学する。最初はジャーナリズムを専攻する予定であったが、関係する講座が開かれていなかったのも、止むを得ず他の講座を選択することになる。シャプレーは講座のリストのAから初めて、最初の archaeology (考古学) の意味がわからなかったのも、次の astronomy (天文学) を選んだと後になって語っている。これがシャプレーの天文学との結びつきの発端となった。

大学で天文学の指導に当たったのはシアーズ (Frederick Seares) であった。シアーズはキャンパス内のローウズ (Laws) 天文台 (7.5 インチ屈折鏡) でコメットと変光星の観測を行っていた。シャプレーは観測された変光曲線の誤りを修正するなど、すぐれた才

能を示してシアーズから評価された。

学部3年生のとき、未来の妻マルサ・ベッツ (Martha Betz) と出会う。彼女は同学年の教育学科の学生で数学と語学に優れていた。1910年、シャプレーは天文学科、マルサは教育学科を卒業、マルサは1913年に言語学修士学位を得ている。マルサはシャプレーに出会うまで天文学に関心はなかった。ただ、マルサによると彼女の祖父はハノーバーの出身で祖父は若い頃、老年になったカロライン・ハーシェルが馬車に乗っているのを何度も見かけたという。



図43 シャプレー肖像と署名 [95, Bok]

シアーズはシャプレーが卒業する前年にウイルソン山天文台に移り、シャプレーにも移るように薦めたが、シャプレーは修士コースに進学のためミズーリ大学に残った。幸い、数学者で学部長のケログ (Oliver Kellogg)

はプリンストン大学の出身で、シャプレーの才能を見込んだケログはプリンストン大学院の研究科長にシャプレーを推薦し、プリンストンのドクターコースで学べるように奨学金を用意した。

プリンストンにおける指導教官はヘンリー・N. ラッセル (Henry Norris Russell) であった。シャプレーにとってラッセルの最初の印象は少しとつスキの悪い内気な人柄に見えたが、シャプレーが連星系の軌道力学で非凡な才能を示したことから親密な師弟関係が生まれた。しかし、2人の行き方は異なっていた。ラッセルはHR図の作成と、HR図上での星の進化論を中心にしていた(源流[14])。一方、シャプレーは恒星系の構造に興味を持っていた。しかし、在学期間(1910-1914)にはラッセルの指導に従い、主に食連星の空間分布についての研究を行っている。学位論文は食連星の軌道解析に関する研究であった。

1914年、シャプレーは7年間の期限付き研究員としてウイルソン山天文台に向かった。パサデナに向かう途中でミズーリにより、マルサ・ベッツと結婚する。マルサは数学にも優れており、1918年頃からは球状星団の構造や分布などの研究で共著者としてその名を連ねたこともあり、彼の研究を支えていた。ウイルソン山天文台には旧師のシアーズもあり、シャプレーは彼の助手として変光星の観測に当たることになった。彼がウイルソン山で行った主な仕事は2つある。

第1はケフェウス型変光星の研究である。数日から数100日に及ぶ変光の原因として従来は連星による食現象と考えられていた[96]。しかし、食連星仮説には種々の困難が指摘されていた。軌道要素が特異な値になること、伴星の存在が知られていないこと、光度変化と速度変化が整合しないこと、などである。シャプレーはさらに連星仮説の成り立たない

証拠として、光度曲線、速度曲線に不規則な変動が見られること、および、変光に伴う星の色と分光型の変化を挙げている。こうした困難を避けるために彼は変光の原因は星自体にあると考え、可能な原因として星の振動を提唱した。星の振動の可能性についてはすでにリターやエムデンらによっても指摘されていたし(源流 [13])、ラッセルと検討した課題の1つでもあった。シャプレーは振動論にエムデンの内部構造モデルを採用し、振動周期が星の平均密度の減少とともに増大することを観測的に示した。この研究はエディントンの内部構造論にも大きな影響を与え、エディントンによって振動周期 P と星の平均密度 $\langle \rho \rangle$ との間に基本的な比例関係 $P \propto 1/\sqrt{\langle \rho \rangle}$ が導かれたのである。

第2の研究は球状星団の空間分布である。その発端になったのはハーバード天文台でのベイリー (S. I. Bailey) との出会いであった。球状星団内の変光星の観測を長年続けていたベイリーから強い刺激を受け、自らも星団内の星の研究を始めた。その成果は「星団内の星の色と等級に関する研究」と題した18編の論文シリーズとして1916年から1920年にかけて公表されている。そのうち1918年に公表されたNo. VI, VII, VIIIは球状星団が中心課題であり、星団の距離測定、分布、構造などの観測的研究に当てられている、([97], [98], [99])。これらの論文のなかで球状星団の空間分布が銀河系の骨格を成すという構想を提唱しているが、銀河系の構造については第3節の大論争(1920年)で触れる。ここでは彼の研究の基盤となった球状星団の距離の求め方をまとめておこう [97]。

(1) 近傍のケフェウス型変光星11個について固有運動、視線速度から絶対等級を決定し、リービット (H. Leavitt) によっ

てマゼラン雲中に見出された光度周期関係と比較して M13 の距離を推測した。

(2) 球状星団の直径は M13 にほぼ同じであると仮定して、見かけの直径から相対距離を導いた。

(3) 球状星団内の最輝星の絶対等級はほぼ同じと仮定して、見かけの等級から相対距離を求めた。

これらを組み合わせることによって彼は29星団の実距離を推定した。代表的な例を表2に示そう。この表を見るとシャプレーは実距離をかなり過大に見積もっていたことが分かる。彼が大銀河系と呼んだ理由もその辺にうかがわれる。

表2 球状星団の距離と空間分布 [Shapley 1918b] 距離単位 (kpc)

星団名	実距離	銀河面内	垂直方向	実距離 (現在値)
M3	13.9	3.1	+13.5	9.7
M5	12.5	8.8	+ 8.8	7.3
M13	11.1	8.5	+ 7.1	6.9
ωCen	6.5	6.2	+ 1.8	5.0
M53	18.9	3.6	+18.6	18.4
M75	45.5	40.1	-21.3	17.2
M79	25.6	22.6	-12.0	12.5
M92	12.3	10.2	+ 3.9	7.6

現在値は Lang, K. R, 1991, *Astrophysical Data: Planets and Stars*, Springer-Verlag による。

シャプレーは1920年までウイルソン山に留まり、その年に「大論争」が行われるが、その翌年の1921年にハーバード大学天文台の台長に迎えられた。これは第4代台長のエドワード・チャールス・ピッケリングの急逝に伴う第5代台長としてであった(源流 [8])。

ハーバード時代、特に 1930 年代から 1950 年代にかけて、彼は多くの国家的、国際的活動に乗り出している。1930 年台にはナチス政権に追われたユダヤ系科学者の亡命希望者の受け入れ事業を立ち上げた。シャプレーは 1934 年に政府内に緊急委員会 (Emergency Committee) を組織し、全米の大学や研究機関に 335 のポストを用意して亡命科学者の受け入れを始めた。最初の対象国はドイツだけであったがその後、ヨーロッパ全域に広げたため、この委員会には 6000 人もの問い合わせがあった。シャプレーの手を通して 100 人以上の科学者が受け入れられたという。こうして多くの科学者を受け入れたことによって、アメリカの研究水準が大きく上昇したことは良く知られている。

1945 年に大戦が終結後、シャプレーは荒廃に帰した東ヨーロッパの天文台、プルコヴァ天文台やポーランドのトルン天文台などの復興にも力を尽くした。コペルニクスの生地であるトルンにはアンニー・キャノンも使用していた由緒ある小型望遠鏡を寄贈している。この望遠鏡はいまは使われていないが天文台内に大切に展示されている。

戦後はまた国立科学財団 (National Science Foundation) の設立委員としてその実現に寄与している。設立法案はいったんトルーマン大統領の否決にあったが、1954 年に両院議会で認められ、40 億ドルの予算規模で設立された。国際的には国連のユネスコ (UNESCO = United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization) の設立にも深く関与している。一部の国から科学にまでは手が回らないとして $S = \text{Science}$ を落とすような提案もあったが、シャプレーの擁護によって S が残されたという逸話もある。シャプレーの国際的活動は 1950 年、赤狩りで有名なジョセフ・マッカーシー上院議員の非米活動委員会によって、マルサ夫人と

ともに共産主義シンパと烙印を押された。これは公職からの追放を含む危険性をはらんでいたのである。この疑いは 1952 年に晴らされたが、それはシャプレーがハーバード天文台を定年退職した直後であった

彼はひきつづき客員教授として 1956 年までハーバードに留まったが、その後はケンブリッジに近いニューハンプシャー州のシャロン (Sharon) に移り住み、自然と親しむ生活を送った。地域の人たちと天文を通して交流を深め、昆虫や野草にも親しんだ。自宅の庭に 121 種もの野草を同定したことを誇りにしたりしている。1972 年にコロラド州ボルダーに住む息子を訪問中に心臓発作で急逝した、享年 87 歳。遺体はシャロンに葬られた。

伝記を書いたボーク [95] は、宇宙の中心を太陽から銀河系中心に移し変えたシャプレーをコペルニクスになぞらえている。



図 44 晩年のシャプレーとマルサ夫人 [94]

3. 銀河と銀河系の大論争 (Great debate)

1920 年 4 月 26 日、アメリカの科学アカデミーの講堂において、シャプレーとカーティスによる論争が開催された。テーマは「宇宙のスケール」(The scale of the universe) で主な論題は次の二つであった。

(1) 銀河系の規模と構造

(2) 渦状星雲と宇宙の構造

論争は始めにシャプレー、ついでカーティスが壇上に登って自説を述べた。このときの記録はアカデミーの紀要に掲載されている ([100], [101])。

3.1 論争の背景

論争を紹介する前に 1900 年代に入ってから
の論争の背景を箇条書きにしてみよう
[102]。

1912 リービット (H. Leavitt) は小マゼラン雲中のケフェウス変光星について光度と変光周期との関係を発見する。

1913 イーストン (C. Easton) が銀河系の渦状構造を提唱する (源流 [20])。

1913 ヘルツシュプルング (E. Hertzsprung) はリービットの発見したケフェウス変光星の光度周期関係のゼロ点を推定し、小マゼラン雲の距離を 3 万光年と見積もった。(過小評価)

1914 スライファー (V. M. Slipher) は渦状星雲の分光を行い、吸収線が傾いていることから、渦状星雲の自転運動を推測した。

1915 スライファーは 15 個の渦状星雲の視線速度を測定し、そのうち 9 個が高い後退速度 (300 – 1100 km/s) をもつことを示した。

1916 ファン・マーネン (van Maanen) は渦状星雲 M101 内の星の固有運動を測定し、この銀河は年率 0.002 秒角で回転していると主張した [103]。

1917 リッチー (G. W. Ritchey) とカーティスとは渦状星雲中の新星を観測した。カーティスは新星光度を距離決定に利

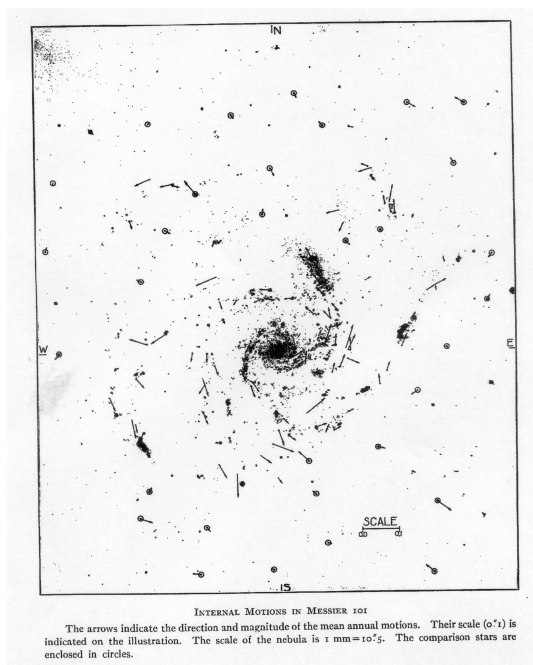


図 45 渦状星雲 M101 内の星の固有運動 [103]

リッチー、カーティスらによる写真撮影と、ファン・マーネンによる解析。矢印は測定された星の固有運動のベクトルを示す。

用できないかと考え始めた。

1917 カーティスは側面から見た渦状星雲の中心に暗黒帯が存在するのをみて、銀河系でも銀河面に沿って吸収体が存在することを認めれば、渦状星雲がなぜ銀河面近傍に観測されないかが説明できると主張。

1917 シャプレーは 11 個の銀河系内のケフェウス変光星について光度周期関係のゼロ点を導き、球状星団 M13 の距離を測定した。他の球状星団も同程度のサイズとみなして球状星団系の直径を 30 万光年と推定、これから銀河系のサイズも同様として大銀河系を主張。

1919 シャプレーは渦状星雲 M101 は島宇宙でないと主張した。もし、この星雲が銀河系の5分の1程度であるとしても、大銀河系の外側にあるとするとその回転速度は光速を超えてしまうからである。

1920 ルンドマーク (K. Lundmark) はアンドロメダ星雲内の新星22個の光度から星雲までの距離を60万光年と推定。島宇宙説を支持。

以上のような背景に基づいて両者はそれぞれ次のように自説を展開した。

3.2 シャプレーの論点

シャプレー [100] は銀河系の形状についての歴史的概観から話をはじめ、本論として球状星団の重要性を指摘し、大銀河系を主張する。

(1) 球状星団の分布と大銀河系の提唱

シャプレーはまず、次の前提を置く。

- 1 - 球状星団は銀河系内の天体である。銀河系のサイズは球状星団系と同程度か、それより大きい。
- 2 - 球状星団の距離はこれまでのカプティンやゼーリガーの推定より10倍程度大きい。
- 3 - 球状星団内の星の明るさ、色などは太陽近傍の対応する星と変わらない。

この前提に立って彼は次のように推論する。

- 1 - 銀河系は扁平な恒星系である。銀河面の直径は30万光年に達する。
- 2 - 太陽は銀河系の中心から遠く離れている。
- 3 - 渦状星雲は銀河系外の天体であろう。しかし、銀河系に匹敵するほど大きな恒星系ではない。

これが大銀河系の提唱であるが、その元となった球状星団の分布を図46に示そう [104]。

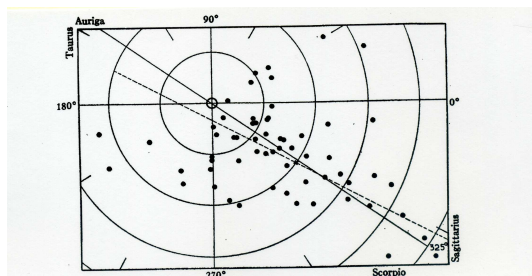


FIG. 2. THE SYSTEM OF GLOBULAR CLUSTERS PROJECTED ON THE PLANE OF THE GALAXY

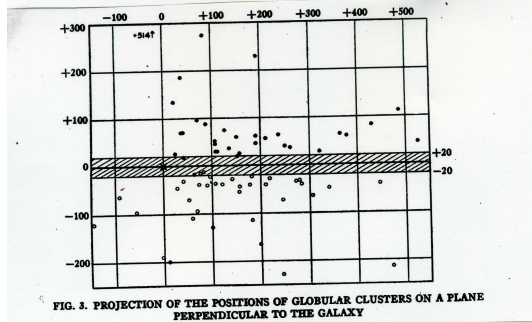


FIG. 3. PROJECTION OF THE POSITIONS OF GLOBULAR CLUSTERS ON A PLANE PERPENDICULAR TO THE GALAXY

図46 シャプレー (1918) の大銀河系 [104]

A. 銀河面に投影した球状星団の分布。

B. 銀河面に垂直面に投影した球状星団の分布。距離の単位は100光年。

(2) 渦状星雲と系外銀河の存在への疑問

シャプレーは1919年に「系外銀河の存在について」([105])のなかでも述べているが、島宇宙説に対して賛否両論の比較から始める。まず、島宇宙説の根拠として次の点をあげる。

- 1 - 銀河面近くから銀極まで全天に分布する。
- 2 - 一般に高い視線速度を示し、後退速度が卓越する。
- 3 - 分光特性は G - K 型星の集団に対応する。
- 4 - 視差が測定できないほど遠方の天体である。
- 5 - 構造が銀河系を遠方から見たときと似ている。

こうした根拠に対しシャプレーは次のように反論する。

- 1 - 銀河系のサイズが従来の推定値より一桁拡大されたので、渦状星雲がこれと同等の

サイズを持つとすると、星雲の角直径などからその距離は数 100 万光年を越えてしまう。

- 2 - それは渦状星雲中にファン・マーネンが M101 に固有運動による自転を測定したことと矛盾する。
- 3 - 渦状星雲中の新星光度が銀河系内の新星と同程度とすると星雲までの距離は 2 万光年くらいであろう。
- 4 - 渦状星雲が銀河系の周辺で全天に分布するのは、銀河系内部からの何らかの斥力が働くためかもしれない。

これらの論拠に基づいて、シャプレーは渦状星雲とは銀河系の近傍の外側に分布する、星と星雲の集団であろうと結論している。

3.3 カーティスの論点

カーティスは話を恒星の「平均視差」の測定法から始める [101]。遠方の星について三角視差は測定できないから、カプタインやゼーリガーらと同じく統計的方法によらざるを得ない。それは近傍の星について分光型ごとに平均光度と平均固有運動を導き、それを物差しとして遠方の星の見かけの光度と固有運動からその星の平均視差を求めるものである。その結果、彼は銀河系の直径を約 3 万光年と見積もった。それに基づいて次のように推論する。

- 1 - 星の分布は一樣ではない。総数はおよそ 10 億個である。
- 2 - 銀河系は直径 3 万光年のレンズ状で、中心の厚みはその 6 分の 1 程度である。
- 3 - 太陽はほぼ銀河系の中心に位置する。
- 4 - 銀河系が渦状構造を持つかどうか、いまのところ推定は困難である。

カーティスは観測される天体を：恒星、星団（散開、球状）、散光星雲、惑星状星雲、および渦状星雲の 5 種類に分けた。このうち渦状

星雲以外はすべて銀河系内の天体であろうと推察した。上述した論拠によってカーティスは従来のカプタインらの説に従い、銀河系をほぼ太陽中心、レンズ状構造であると主張した(源流 [20])。

また、シャプレーの大銀河系説に対して次のように反論する。

- 1 - ケフェウス変光星 11 個の光度周期関係は誤差が大きく信頼性に乏しい。カーティス自身の観測によるとこの光度周期関係から外れるケフェウス変光星が多い。
- 2 - 直径 3 万光年はこれまでのカプタイン、ゼーリガーらの推定と整合する。

カーティスはこの銀河系サイズを基礎にして渦状星雲の議論を(A) 島宇宙説と(B) 銀河現象説に分け、(A)説の有利性を項目ごとに推論する。順に見て行こう。

第 1：恒星系のサイズ

- A 説 渦状星雲の距離はアンドロメダの 50 万年から遠方では 1 億光年に達する。
- B 説 アンドロメダを直径 2 万光年とすると小さな星雲は遥かに小さく、同じ天体として大小の差が大きすぎる。

第 2：星雲のスペクトル

- A 説 F・G 型の吸収線を示し、星の集団であることを示す。
- B 説 系内の天体とすると主としてガス星雲であろう。そうすると吸収線スペクトルと矛盾する。

第 3：渦状星雲の分布

- A 説 横から見える渦状星雲は暗い輪に取り巻かれている。銀河系も同様とすると、渦状星雲がなぜ銀河面を避けているかを理解するのは容易である。
- B 説 渦状星雲が系内の天体であるとする、銀河面の星密度の高い領域を避けている。これはシャプレーが示唆したような銀河系から外に向かう何らかの斥力によるの

であろうか。しかし、そうした斥力の存在は知られていない。

第4：渦状星雲の空間運動

A 説 渦状星雲は例外なく数 100 km/s 以上の高速度をもち、銀河系内のどの天体よりも著しく大きい速度である。

B 説 系内の星の中に数 100 km/s をもつ星もある。しかし、それらは固有運動の大きい特殊な星に限られる。渦状星雲では高速度は例外ではない。

第5：渦状星雲の固有運動

もし、渦状星雲中に固有運動が測定されたとすれば島宇宙説にとっては致命的であるが、これまでのところ、測定されたのは 1 例 (M101) のみで、しかも測定誤差が大きい。まだ、固有運動の測定を信用すべきでない。

第6：渦状星雲中の新星光度

渦状星雲には最近、27 個の新星が発見されているが、そのうち 16 個はアンドロメダ星雲に発見されている。これらの新星は 1895 年に発見された S And に比較すると著しく暗い。カーティスは新星には 2 つのクラスがあるのではないかと考えた。彼は S And より暗い 16 個の新星を通常の新星と呼び、それについて極大時と極小時の絶対等級を、銀河系内で距離の測られた 4 個の通常の新星と比較した。アンドロメダ星雲内の新星の絶対等級は星雲までの距離を 50 万光年 (A 説) と 2 万光年 (B 説) として推定しているが、その結果は表 3 のようになる。ここでアンドロメダ星雲中の新星極小時の等級は極大時との等級差を 10 等として推定したものである。

A 説 銀河系内とアンドロメダ星雲内の新星の光度はほぼ同程度になり、両者が同じ現象であることを示している。

B 説 銀河系内には類似の明るさの新星は存在しない。また、+13 等級という極度に暗い星も銀河系には存在しない。

以上のような比較を行ってカーティスは渦状

星雲が銀河系と同等のサイズをもち遠方まで分布する島宇宙であると結論した。

表 3 新星の実視等級と絶対等級の比較 [100]

	銀河系内 4 個の新 星	アンドロメダ星雲中 16 個の新星	
極大実 視等級	+5	+17	
極小実 視等級	+15	+27 (推定)	
	距離は個 別に推定	アンドロメダ星雲の 距離	
		50 万光年	2 万光年
極大絶 対等級	-3	4	+3
極小絶 対等級	+7	+6 ?	+13?

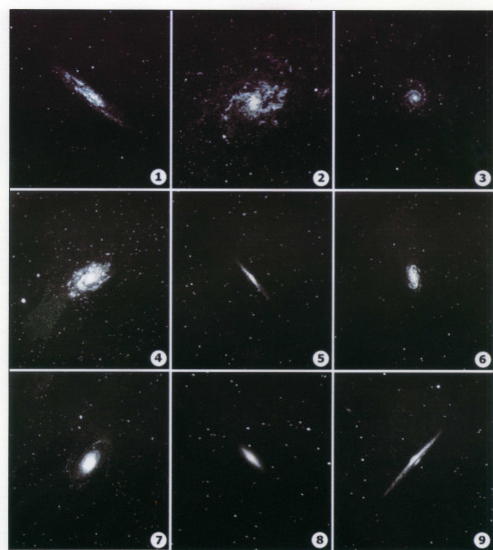


Figure 6- Selection of photographs obtained by Keeler and collaborators with the Crossley reflector: 1- NGC 253, 3h, November 18-20, 1902; 2- M 33, 3h30min, September, 12 1899; 3- M 74, 4h, October 31, 1899; 4- NGC 2403, 3h, February 27, 1900; 5- NGC 2683, 3h30min, February 23, 1900; 6- NGC 2903, 3h30min, February 24, 1900; 7- M 81, 3h55min, March 21, 1900; 8- NGC 3115, 2h30min, April 9, 1901; 9- NGC 4565, 3h, April 21, 1901.

図 47 リック天文台 91cm 反射鏡で撮影された星雲の例 (観測者はキーラー) [106]

3.4 論争の成果

シャプレーとカーティスの2人の論争は銀河系と渦状星雲の観測的性質をそれぞれの立場から解明する上で有益であったが、結局、議論はかみ合わなかった。

シャプレーはケフェウス変光星の光度周期を距離測定に用いたが、それはデータ不足ではあったが正しい方向であった。一方、渦状星雲については「大銀河系」との対比にこだわったこと、M101の固有運動にこだわったことなどで誤った結論に達した。

それに対し、カーティスは恒星の距離について「平均視差」という古典的手法にこだわったため、銀河系のサイズを過小に見積もった。一方、渦状星雲を島宇宙として位置づけた点は大きな前進であった。

こうして、論争から多くの課題が生まれたが、これらは1920年代から1930年代にかけて順次解決し、銀河系と銀河宇宙の現代的な宇宙論が開幕する。それについては次回に述べよう。

文 献

- [88] Aitken, R. G. 1942, Biographical Mem. of Nat. Acad. Sci., 22, 275 – 294, Curtis, Heber Doust (略伝)
- [89] McMath, R. R. 1942, PASP, 54, 68 – 69, Heber Doust Curtis (追悼と略伝)
- [90] Curtis, H. D. 1908, PASP, 20, 132 – 155, Methods of determining the orbits of spectroscopic binaries.
- [91] Curtis, H. D. 1918, Pub. Lick Obs., 13, 9 – 42, Description of 762 nebulae and clusters photographed with the Crossley reflector.
- [92] Curtis, H. D. 1918, PASP, 29, 182 – 183, New stars in spiral nebulae.
- [93] Berkora, Leila, 2003, Minding the

Heavens, Inst. Of Phys, Publ.,
Chapter 8 : Harlow Shapley :
Champion of the big galaxy.

- [94] Glass, I. S. 2006, Revolutionaries of the cosmos, Oxford UP. Chapter 8, 235 – 267
- [95] Bok, B. 1978, Biographical Memoire, National Acad. Sci., 141 – 194, Harlow Shapley, 1885 – 1972.
- [96] Shapley, H. 1914, ApJ, 40, 448 – 465, On the nature and cause of Cepheid variation)
- [97] Shapley, H. 1918a, ApJ, 48, 89 – 133, Studies based on the colors and magnitudes in stellar clusters. VI: On the determination of the distances of globular clusters.
- [98] Shapley, H. 1918b, ApJ, 154 – 181, Studies based on the colors and magnitudes in stellar clusters. VII: The distances, distribution in space, and dimensions of 69 globular clusters.
- [99] Shapley, H. 1918c, ApJ, 279 – 294, Studies based on the colors and magnitudes in stellar clusters. VIII: The luminosities and distances of 139 globular clusters.
- [100] Shapley, H. 1921, Bull. Nat. Res. Council, II Part 3, 171 – 193, The scale of the universe.
- [101] Curtis, H. D. 1921, Bull. Nat. Res. Council, II Part 3, 194 – 217, The scale of the universe.
- [102] Crowe, M. J. 1994, Modern theories of the Universe from Herschel to Hubble, Dover Pub., Chapter 7 : Background to the Great Debate, Chapter 8 : The Great Debate

-
- [103] van Maanen, A. 1916, ApJ, 44, 210 – 228, Preliminary evidence of internal motion in the spiral nebula Messier 101.
- [104] Shapley, H. 1918, Proc. Nat. Acad. Sci. of USA, Vol. 4, 224 – 229, Studies of magnitudes in star clusters. VIII. A summary of results bearing on the structure of the sidereal universe.
- [105] Shapley, H. 1919, JRAS, Canada, 13, 438 – 446, On the existence of external galaxies.
- [106] Ré, P. http://www.astrosurf.com/re/crosseley_reflector_PRe.pdf The 36-inch Crossely reflector.

小暮智一（京都大学 OB）

* * * * *