

銀 河 系

宮 本 昌 典*

銀河座標 歴史的には、太陽近傍で銀河面に強く集中する O, B 型星, 散開星団, セファイド, 惑星状星雲等の分布から、銀河系の主面, あるいはこれに垂直方向の銀河北極が決定されていた。しかし、光学観測から決定される銀河北極は、太陽近傍における局所的な銀河構造の反映と間星吸収による選択効果がからまって、その決定に用いられる天体の種類ごと $1^\circ \sim 2^\circ$ 程度ばらつき、しかもそれぞれの天体による決定精度自体も $1^\circ \sim 2^\circ$ 程度でしかない。このような不完全性を承知の上で、便宜上、オールソン (1932) によって確立された銀河座標系 (l, b) が広く世界的に利用されていたので、1960 年以前の理科年表でもこの座標が採用された。

第二次世界大戦後の混乱期にわずか 10 年で、星間中性水素が放射する $\lambda 21$ cm の電波観測体制を整えたオールト一派が、光学観測の限界を遙かに越えた銀河系奥深くに至るまで星間水素の分布を描き出すと、銀河系の全体像に対する関心がにわかに世界的にたかまった。

星間水素の銀河面への強い集中と太陽位置より内側 ($0 \leq |l| \leq 90^\circ$) での星間水素の分布の平面性から、星間水素の分布面が、銀河系の代表的な主面を高い精度で提供するであろうと考えられた。この頃、将来の混乱を避けるため、銀河系の物理的な全体像にそぐうより適切な座標系の定義の緊急性が、モスコワの IAU 総会 (1950) で叫ばれた。これに応えるために、ライデンとシドニーの電波観測グループが、主に $\lambda 21$ cm の電波観測に基づいて確立した銀河座標 ($l^{\text{II}}, b^{\text{II}}$) が (l, b) として、現在の理科年表に掲載されている (詳しくは 1961 年版理科年表天 89 の「銀河座標の改訂」参照)。

オールソンの座標の銀河北極は、新座標のそれより 1.5° もずれている。光学観測による銀河北極の決定精度を考慮すれば、このずれは、星々の主面と星間水素の主面とが互に傾いていることを積極的に支持するものではない。なお、新座標の銀河北極と銀河中心方向 (電波源 Sgr A の方向) の決定精度は約 $0^\circ.1$ である。最近、銀河中心近傍における微細構造の研究が盛んであるが、Sgr A が丁度 $l=b=0^\circ.0$ の位置にない。これは、当時の Sgr A の測定精度が上述の程度であることと、主面は星間水素の広汎な分布の平均面であることによる。星間水素の主面からの太陽の有意な偏位は認められていない。

太陽位置 理科年表では、銀河中心から太陽までの距

離 R_0 が 3 万光年となっている。この値は、専門家の間で通常用いられる 10 kpc という値を換算してまらめたものである。 R_0 の決定法には、直接法と間接法がある。直接法では、銀河中心方向の球状星団 NGC 6522 近傍の星間吸収が少い窓を通して、こと座 RR 型変光星の空間分布を調べ、その分布密度最大の位置までの距離として R_0 が定められる。問題は、こと座 RR 型変光星の平均絶対等級をいくらに定めるかによって、距離尺度が伸縮することである。諸家による最近の決定によれば、この変光星の平均絶対等級は、 $+0.5 \leq \langle M_0 \rangle \leq +1.0$ の範囲に散らばっている。この散らばりに対応して、 R_0 の値にも不確定性が残る。例えば、オールトとプラウト (1975) は、 $\langle M_0 \rangle = +0.70$ を採用して、 $R_0 = 8.7$ kpc を得ている。

一方間接法では、銀河面内太陽近傍の星間水素や速度分散が小で明るい、O, B 型星等の視線速度を観測することによって、オールト定数 A と R_0 との積の値 AR_0 がまず決定される。独立な方法で A が既知であれば、 R_0 が求まる。しかし、星間水素の電波強度プロファイルのいずれの特徴をもって最大視線速度とみなすかということ、また O, B 型星の距離測定の不確かさから、 AR_0 の値に不確定性が残る。オールトとプラウトによれば、その真の値は $120 \text{ km} \leq AR_0 \leq 150 \text{ km}$ の範囲内におさまっているという。最近のいろいろな試みによると、 R_0 は 10 kpc より多少小さく見積られる傾向がある。

銀河回転 一般に連続的な速度場が与えられた場合、定点近傍の速度場は、並進運動+純粋な運動+回転運動+膨張収縮運動、に分解される。ここで定点を太陽位置 R_0 にとれば、銀河回転速度 Θ_0 は第一項に、オールト定数 A は第二項の変形速度テンソルの一成分に、オールト定数 B は第三項の渦度ベクトルの一成分に、いわゆる K 項は第四項の発散にそれぞれ対応する。 Θ_0 と A, B との間には、 $\Theta_0/R_0 = A - B$ という単純な関係が成立するから、 R_0 と共に太陽近傍星の系統的な変形速度と渦度を測定すれば、 Θ_0 が求まる。

オールト定数 A は、太陽近傍の距離のわかった散開星団、セファイド、B 型星等の視線速度の観測から求められる。従って、 A の決定精度は、主に用いられた天体の距離尺度の精度によって左右される。一方、オールト定数 B は、太陽近傍星の固有運動の解析から求められる。この場合、恒星の厄介な距離の情報は不必要になるので、一見決定精度が高いように思われる。しかし、固有運動の解析には、どのような基本座標系 (慣性系) に

* 東京天文台 M. Miyamoto: The Galaxy

準拠して恒星の系統的な固有運動を記述するか、地球の歳差運動の固有運動への反映をどのように考慮するかという二つの問題が常につきまとう。このため、固有運動に基づく B の決定精度はそれほど高くはならない(理科年表の $B=0.0021$ /年という値は、星々の系統的な固有運動の反映であるが、この値は正に観測データのゴミのようなものである。いかに有意なゴミを拾い上げることが困難か御想像いただきたい)。そこで、 A と太陽近傍星の速度分散をまず観測から求めて、恒星集団の力学平衡理論から B を演繹するという方法もしばしば用いられる。

基本座標系と地球歳差の問題が解決されさえすれば、原理的には、恒星の距離に無関係に固有運動の解析だけから、 A と B は同時に決定できる。実際フリッケは、基本座標系の決定に用いられた FK4 の固有運動から、信頼性の高いオールド定数を得ている。いずれにせよ、 R_0 , A , B の値は、前述のような諸々の不確定性から、諸家によってかなりばらついている。銀河系の構造を共通の立場から究明しようとする場合、このような事情は極めて不都合であろう。そこで、一応の目安として、1964年の IAU 総会で申し合わされた値が 1965 年以降の理科年表に掲載されている。

R_0 と θ_0 が定められると、太陽位置における銀河回転速度 θ_0 に相対的な星間中性水素の視線速度を $0^\circ < |l| < 90^\circ$ の範囲で観測することによって、銀河中心近傍から R_0 までの距離の関数として銀河回転の分布が決定される。 $90^\circ < l < 270^\circ$ (太陽位置より外側)の銀河回転は、直接観測から決定できない。そこで、内側の銀河回転の分布と銀河極方向の重力分布を出来るだけ忠実に表現するような銀河系の質量分布モデルを作ることによって、内側の銀河回転が外側に外挿されている。

実は、内側の観測事実を正当に考慮しても、この外挿の方法が一意でないことが深刻な問題をひき起す。外側での銀河回転の与え方次第で銀河系の総質量が大きく(場合によっては 10 倍も!)左右されるからである。最近の電波観測は、銀河系と同種の銀河の回転速度がかなり遠方まで 200 km/sec 程度の値を保っていることを示している。一方、銀河系全体の安定論は、現在の推定総質量の 2~3 倍の値を要求している。更に、銀河団を構成する個々の銀河の質量は、わが銀河系のそれより 10 倍も大きな値を持つと推定されている。これらのことから、将来、理科年表の総質量の値が大幅に変更されるかもしれない。その時、宇宙全体の物質密度も確定し、宇宙の開閉についてはっきりした結論が下せることになるのかもしれない。

太陽近傍における物質密度 銀河系は非常に扁平で、少なくとも太陽近傍では銀河中心に向う重力に比べて銀河

面に垂直な方向の重力の方が圧倒的に大きいであろう。従って、星々の各成分は、銀河面に垂直な方向の“共通”な重力のもとに、それぞれ固有の運動学的温度(速度分散)をもって、それぞれ等温静水圧平衡を保っているであろう。銀河系のこのような平衡模型を想定すると、明るくて銀河面より非常に高くまで分布する K 型巨星や A 型星を選んで、それらの垂直方向の分布と太陽近傍での速度分散を測れば、銀河面に垂直な方向の重力成分の分布が求まる。この重力は全ての物質による重力であるから、その重力勾配から全質量密度が得られる。太陽近傍星総べてを数え上げることなく、このような力学平衡の観点から、オールド(1960)によって決められた物質密度が、理科年表に掲載されている $0.15 M_\odot/\text{pc}^3$ である。

ところが、ここで奇妙な題が派生して未だに結着がついていない。太陽近傍 20 pc 以内で実際に観測される(見える)総べての星の密度は、ロイテンやグリーンゼによると $0.06 M_\odot/\text{pc}^3$ 程度で、星間中性水素の密度 $0.02 M_\odot/\text{pc}^3$ を加えても、オールドの力学的な密度の 50~60% にしか達しない。残りの物質は、invisible mass と呼ばれている得体の知れぬ“gravitating matter”である。このような潜在的な物質については、直接電波観測できない H_2 分子が星間空間に予想外に多いとか、観測困難な暗い星々(M 型矮星)の寄与が予想外に多いとか(実際、 $0.06 M_\odot/\text{pc}^3$ への M 型矮星の寄与は、暗くても発見容易な大きな固有運動を示すものが主体となっている)、ブラックホールがウヨウヨしているとか……想像されている。

最近、CO 分子の電波観測から星間 H_2 分子の量が推定された。ゴールドンとブルトンによれば、 $\text{H}+\text{H}_2$ の寄与は、 $0.03\sim 0.04 M_\odot/\text{pc}^3$ 程度でしかない。一方、銀河北極近傍における対物プリズム掃天等によって、サンドウリックとワイストロップが、予想外に多くの M 型矮星が銀河面に集中(有効厚 ~ 100 pc, 速度分散 ~ 10 km/sec)している事実を発見するに及んで、invisible mass の問題は一挙に解決しそうに見えた。彼らは、ロイテンやファン・リーンによる光度関数の値が M 型矮星の光度($M_V \geq 10$)で数倍から 10 倍に修正されるべきだと主張した。M. ジュミットも彼等の主張を支持して、P. ビーアマンと共に、この事実から新たに派生する銀河系の力学安定性に関する困難に悩まされた。ところが 1976 年に、サンドウリックとワイストロップは、M 型矮星の絶対等級(平均視差)の決め方に問題があったことを自ら認め、M 型矮星の銀河面への極端な集中性に関する主張を大半覆えしてしまった。傍観者にとっては、何のための主張であったのか理解に苦しむ。このあたりの経緯は、今年のグルノーブル IAU 総会で討論された。