

## 天文学 定数最前線 (6)

## 惑星系の質量

<表現> 一般に質量 Mass というと、天秤ばかりなどを用いることによって、キログラム原器と直接あるいは間接的に比較して得られる量をさし、何 kg であるなどと表現するのが普通である。恒星や銀河など一般の天体の場合も、もちろん kg で表わすこともまったくないわけではないが、我々の身近に太陽という代表的な天体(恒星)があるので、普通、その質量  $M_{\odot}$  を単位として測ることが多い。

太陽系天体の場合も同じように表現してなら不思議はないのであるが、なぜか昔から、惑星本体もしくは惑星本体にその衛星を含めた惑星系に限って、その質量  $M$  で太陽質量  $S$  をわった値  $S/M$  で表現する習慣になっている。(ちなみに太陽系天体の質量を表わすときには、太陽質量を  $M_{\odot}$  のかわりに単に  $S$  と表記することが多い。)例えば、木星系の場合、 $M=9.5478 \cdots \times 10^{-4} S$  などとせずに、 $S/M=1047.355$  などと逆比で表わすのである。これに反して、小惑星などは、例えばセレスで、 $M=5.9 \times 10^{-10} S$  などと太陽質量との普通の比で表わす。また、衛星については、例えばイオで、 $m=4.70 \times 10^{-9} M$  などと、その母惑星との質量比で表わすのが普通である。

また、天体の質量  $M$  をそのまま表現するのではなく、この「天文学 定数最前線」でも既に扱った万有引力定数  $G$  との積  $GM$  として国際単位系 (SI) で表現されることもよく行なわれる。このとき、 $GM$  を(その天体を中心とする座標系での)重力定数 Gravitational Constant とよぶ。たとえば、太陽の場合、 $GS$  を日心重力定数 Heliocentric Gravitational Constant とよび、地球の場合(地球の質量は特に  $E$  と表わす)、 $GE$  を地心重力定数 Geocentric Gravitational Constant とよぶ。

<質量の測定> 惑星に限らず、一般に天体の質量を測るには4つの方法がある。第一の方法は力学的方法であり、他の天体との力学的相対運動を観測して質量を求めるものである。第二の方法は幾何学的方法であり、時計の遅れや光の曲がりなど一般相対論に基づく幾何学的効果を観測して質量を求めるものである。第三の方法は天体物理学的方法であり、質量光度関係など天体物理学の法則を利用して、光度など他の物理量を観測して質量を求めるものである。第四の方法は計量学的方法であり、小惑星などのように体積と(推定)密度、星団のように恒星の個数と平均質量など計測学的手段によって得られる量から質量を求めるものである。後の3者は前者に比べて決定精度が低いので、力学的方法が使えるときは行なわれない。

惑星または惑星系の質量は、原理的には、次の3種類の力学的方法もしくはその組み合わせから求められる。

- 1) 他の惑星の公転運動に与える摂動(特に永年摂動)から太陽との質量比を求める方法。
- 2) 惑星の天然衛星(その質量を  $m$  とする)の公転運

動の観測からケプラーの第3法則を用いて  $G(M+m)$  を求める方法。

- 3) 惑星のまわりもしくは近くを飛行する人工衛星/宇宙探査体の運動の観測から惑星の  $GM$  を求める方法。このうち、最後の方法が最も精度が高く、地球、月、内惑星(水星、金星、火星)などの質量の最近の測定値は主にこの方法によっている。2)の方法で求められているものとしては、冥王星の質量の最近の値などがある。冥王星以外の外惑星、すなわち木星、土星、天王星、海王星の質量の現在の値は1)の方法で求められている。冥王星の最初の質量の推定値が、その軌道要素と共に海王星の摂動から求められたのは有名な話である。

上に述べたのはあくまでも原理的な話であって、実際には質量もしくは重力定数だけ単独に精度良く求められることは難しく、

- 1) レーザー(月)やレーダー(惑星)による測距値、
- 2) バイキングなどの宇宙探査体との電波通信による距離、距離変化率、ドップラー、JVLBI データ、
- 3) 子午線、アストロラーベや写真などによる測角値、
- 4) ミリ秒パルサーからのパルスの受信時刻データなど使えるデータを全部ほうりこんで、関係する全天体の軌道要素や重力場の高次の調和係数などと同時に最小2乗法で決定するのが普通である。

<惑星質量システム> 現在、天体位置表など各国の天体暦に掲載されている月や惑星の暦は、国際天文学連合 (IAU) が1976年のグルノーブル総会で採用した惑星系の質量システムに概ね基づいて作成されている。同システムの詳細は天体位置表にみることができる。この質量システムは、主に1970年代前半までの月・惑星探査の知識を基に作られており、その点でやや古いといえよう。たとえば冥王星については、質量システムの採用時点がその衛星がまだ発見される前だったので、海王星や天王星の摂動から推測された値(太陽の300万分の一)が採用されている。

より最新の惑星質量システムとしては、アメリカのジェット推進研究所(JPL)が計算した月・惑星暦 DE 200/LE 200 に採用されたシステムがある。理科年表の惑星定数表の質量はこのシステムに基づいているが、ページの都合で数値が丸められている。

これらの質量システムの精度は、それを用いて計算される暦の精度とほぼ同じとみなしてよく、JPLのもので、月、内惑星で太陽質量の  $10^{-9}$ 、木星、土星で約  $10^{-8}$ 、天王星、海王星、冥王星で約  $10^{-7}$  程度と考えられる。ただ、冥王星については衛星の発見により、その質量が太陽の  $10^{-8}$  以下と非常に小さいことがわかったため、逆に冥王星発見の鍵となった天王星や海王星の摂動をうまく説明することができなくなっており、第十惑星の存在を唱える人が出るほど、現在、事態は混乱している。

ともあれ、質量に限らず、外惑星については未知の部分が多いので、ガリレイ探査計画などによって、いくらかでもその謎が解き明かされるのが切望される。

福島登志夫(海上保安庁水路部)

昭和62年5月20日	発行人	〒181 東京都三鷹市東京天文台内	社団法人 日本天文学会
印刷発行	印刷所	〒162 東京都新宿区早稲田鶴巻町 505-12	啓文堂 松本印刷
定価 450 円	発行所	〒181 東京都三鷹市東京天文台内	社団法人 日本天文学会
		電話 三鷹 31 局 (0422-31) 1359	振替口座 東京 6-1 3 5 9 5