

## 天文学 定数最前線 (3)

重力定数  $G$ 

重力定数  $G$  は物体と物体との間に働く力の大きさの程度を表わす係数である。物体を自由にすると落下を始めることは、大昔から万人が理解していたことであるが、それが月や惑星の運行を決めている力と同じであることを初めて認識したのはニュートンである。しかし、その法則やその理解については、電磁気力などに比べるとまだまだ議論の余地が残っていて、素粒子論の立場から数 100 m の距離範囲で  $G$  に距離依存性があるかも知れないということが最近になって指摘されている。まず、重力定数の物理的基礎について調べよう。

ガリレイは、斜面を用いて、落下する物体の加速度は定数であり、すべての物体について同一であることを実験的に示し、地球の重力の中での物体の運動を明らかにした。その後重力の法則に本格的に取り組んだのはニュートンで、彼はケプラーの法則を解析して、その中心間の距離が  $r$  で質量がそれぞれ  $m_1, m_2$  である 2 つの球の間には  $F = Gm_1m_2/r^2$  の力が働くことを見出した。また、ニュートンは、彼の第 2 法則  $F = m_1a$  における  $m_1$  と重力場内の質量  $m_0$  の物体に作用する力が  $m_0g$  であると書くときの  $m_0$  とに一定の関係があり、単位を適切に選べば物体の種類によらずに等しくできること(等価原理)も、振り子の実験で示している。この等価原理と重力の法則により、重力に従って運動する物体の記述が可能となり、実験、観測との比較から逆にこの法則を検証できることとなった。ニュートンの理論はその後数学的な観点からポアソン、ラプラスなどにより、完璧な形に高められ、現在重力の古典理論として知られるものになった。重力を時空の歪としてとらえるアインシュタインの一般相対性理論でも、太陽の重力場のような弱い重力場のもとでは、ニュートンの理論と整合するようになっている。この法則は、これまで主に天体の運動の解析からその正しさが裏付けられていて、太陽系の尺度の範囲では相対論的な補正を考慮すれば疑問の余地はないと信じられている。 $G$  はこのように確固としたニュートンの重力法則の正しさを前提としており、太陽系の尺度では空間的にも時間的にも一定不変の普遍定数である。

次に  $G$  を測定する立場から見てみよう。 $G$  が必要になるときはいつでもその重力の源である物体の質量との積という形で出てくる。天体の運動から逆 2 乗の関係は精密に測定できるが、 $G$  の値そのものを決めるためには質量を推定するしかない。現実には天体の質量を推定

するために  $G$  の値が必要なわけである。

$G$  の値は 2 つの質量とその間の距離を精密に測定してからその間に働く力を測定して得られる。この値を初めて精密に決定したのは 18 世紀末のキャベンディッシュである。もちろん彼以前にも地球の引力の測定から地球の質量を決定することを目的として  $G$  の測定がなされてはいたが、彼の精度に及ぶものはない。その装置は、ねじれ秤の 1.8 m のはりの両端に直径約 5 cm の鉛の球をつるし、それぞれの球から一定の距離の位置に直径約 30 cm の鉛の球を置き、重力によって生じるねじれを、一方のはりの端につけた目盛を望遠鏡で読み取ることによって、得るものである。測定中のねじれ糸のドリフトの影響を考慮して、大鉛球の位置を小鉛球の反対側に置いた場合の測定も行なう。ねじれ秤のばね定数はねじれの周期測定から決める。こうして得られた測定値は現在の値よりも 1.2% だけ大きいだけで、この精度を越える測定はその後 1 世紀余り経ってもなされなかった。 $G$  の測定にはその後種々の改良、即ち、ドリフトの影響を抑えるため、重力によるねじれ秤のねじれの周期の変化を測る方法の採用、空気の対流による影響を減らすため、真空の採用などが加えられ、精度の向上がなされているが、測定の原理そのものは依然としてキャベンディッシュのねじれ秤が用いられているなど質的な変更はなされていない。

1986 年に勧告された  $G$  の値は、

$$G = (6.67259 \pm 0.00077) \times 10^{-11} \text{ N m}^2/\text{kg}^2$$

である。これは、1982 年に米国国家標準局 (NBS) で測定された値を中心にこれまでに測定された重力定数値との整合性などを考慮して決められたものである。他の物理定数と比べると精度の悪さは否めない。これは、重力が実験室のスケールでは極端に弱いこと、また、重力が重力以外の物理、特に電磁気力と係わりのないため精度よく決められた素電荷とかプランク定数などから間接的に精度を上げる調整が不可能であることに起因する。

最後に、このようにして実験室で決められた  $G$  が、果たして天体の尺度での  $G$  と同一であるか否かについては、実験、観測で確かめる他ないのであるが、現在までの実験を整理するとそれらが数%以上異なっているという心配はないようである。しかし、わずかでも異なっているとそこには今までの物理にはなかった新しいものがあるはずで、それを突き止める必要がある。現在、わが国では計量研究所及び緯度観測所で、世界では米国カリフォルニア大やコロンビア大、パリの国際度量衡局などで進められている“第 5 の力”の検証実験もそのためのものであり、結果が待ち望まれる。

黒田和明 (計量研究所)

昭和 62 年 2 月 20 日 発行人 〒181 東京都三鷹市東京天文台内  
印刷発行 印刷所 〒162 東京都新宿区早稲田鶴巻町 565-12  
定価 450 円 発行所 〒181 東京都三鷹市東京天文台内  
電話 (0422) 31-1359

社団法人 日本天文学会  
啓文堂 松本印刷  
社団法人 日本天文学会  
振替口座 東京 6-13595