

天文学 定数最前線 (11)

重力の逆二乗則

重力の逆二乗則は、別名万有引力の法則と呼ばれるように、極めて普遍的な物理法則の一つであると考えられている。歴史的にみると、重力そのものについては、プトレマイオスが、全ての物質を地表に引き留める力が地球の中心に向かっており、何らかの形で宇宙の秩序と関わっていることに、曖昧ながら気付いていた。その後何世紀もたって、ケプラーの第3法則が発見され、逆二乗則が示唆されたが、明確かつ厳密に定式化したのは、アイザック・ニュートンである。ニュートンは、月が地球から受ける引力は、地球上の物質に対する引力と同じものであり(万有引力)、大きさが逆二乗則にしたがって小さくなっているだけであることを示した。さらに、地球の全重力は、地球を球と仮定すると、地球の質量が中心に集中していると考えたものと同じであることを明らかにした。こうして、逆二乗則は、非常に一般的な法則として定式化されたのである。

逆二乗則は、天体の運動の解析から得られたものであるが、その検証もまた天体の運動の精密な観測によって行われている。例えば、水星の近日点の移動は、ニュートン力学で計算される値と僅かに異なることが、長い間謎とされていたが、アインシュタインの一般相対論によって測定精度の範囲で説明された。その結果、一般相対論が検証されただけでなく、実は、逆二乗則のチェックにもなった。それによると、天体スケールの距離では、重力の逆二乗則は、 10^{-8} の精度で正しいことが分かっている。一方、実験室の実験では、主にキャベンディッシュ型の実験(トーションバランスを用いる)から、逆二乗則を仮定して、万有引力の定数 G が求められている。(天文月報3月号、天文学定数最前線を参照。)

ところが、最近になって、逆二乗則の検証という意味では、実は、天体スケール以下の近距離では、未だ確固たる実験的な証拠がないことが大きく取り上げられてきた。実験家の中には、実験室で測った G が、距離によって僅かに違うと指摘する研究者が現われた。また、地球物理学や太陽物理学等に基づいて、地球や太陽などの天体の構造を仮定して質量を求め、 G から求めた質量と比較することにより、実験室での G と天体スケールでの G が最大40パーセントも異なる可能性を指摘する報告がある。一方、素粒子物理学の立場から、理論上湯川型の力が付加項として存在するという主張もある。考えてみれば、自然界の中で、全ての距離のスケールに亘って成り立つ物理法則と言うものは、量子力学とニュートン力学の関係を見るまでもなく、必ずしも一般的ではない。特に、重力のように、力の到達距離が長く、全ての物質に働くものが、全ての距離に亘って正しいかどうかは、決して自明ではない。天体の質量を推定するのに、

実験室で求めた万有引力の定数を用いるのは、ある意味で極めて大胆なことなのである。

地球物理学では、地球の重力異常が問題とされ、重力加速度が各所で測られているが、鉾山の縦坑の中で1000メートルに亘って深さを変えて重力加速度を測ったところ、周囲の密度の測定値から計算される値と有意の差があるとする報告(オーストラリア)がある。その結果は、現在のところ逆二乗則のずれを示唆する唯一のものであるが、解析にある程度の密度分布の仮定を必要とするなど曖昧な点がある。自然界の物体を用いる実験は不確定要素が多いので、やはり実験室規模の実験でまず精度良く調べる必要があるだろう。

実験室スケールで、ある距離範囲に亘って重力の逆二乗則を直接検証することは、実は、非常にむづかしい実験の一つである。いくつかのグループが、 G を求めるキャベンディッシュ型の実験を工夫して、逆二乗則を数センチから数十センチまでの距離範囲で 10^{-8} ~ 10^{-4} の精度で検証したが、測定範囲をさらに広げ、1メートルから数十メートルに亘って逆二乗則を検証するのは、この方法では困難である。キャベンディッシュ型では、通常、静的な実験のため周囲の質量の作る重力場の影響が大きだけでなく、用いるトーションバランス自身の不安定性が問題となるためである。一方、動的な実験によって、この困難を克服する方法が考えられた。重力の源を周期的に運動させ、変調重力場を作り、その周波数成分を、共鳴型の検出器で測定する。トーションバランスも共振器であるが、共振周波数は極めて低く、変調重力場が作りにくい上に、上述の問題点が残る。重力波実験の分野では、弾性体を用いた高感度の共鳴型の質量四重極検出器が開発されており、特に、東京大学理学部では、かにパルサーからの60 Hzの重力波検出用のアンテナが作られている。このアンテナと、ローターと称する質量回転体を用いて、これまでに、最大10メートルの距離まで、 10^{-2} ~ 10^{-3} の精度で逆二乗則を検証するのに成功している。精度の点では、キャベンディッシュ型に比べてやや劣るが、さらに遠方までの測定が可能であり、数十メートルまで、 10^{-3} の精度で逆二乗則を検証する提案がなされている(高エネルギー物理学研究所、東京天文台、東京大学理学部)。この方法の特長としては、動的実験であることのほかに、検出器と重力の間の距離を変化させて測定を行なうために、データの信頼度が高いだけでなく、仮に、理論の予想するように、重力の逆二乗則に付加項があるならば、そのずれを広い測定距離の全ての範囲に亘って追って行くことが可能な点にある。

逆二乗則の検証には、最近話題になっている第五の力に対する間接的な検証という意味もある。普遍法則と考えられてきた逆二乗則は今、ニュートン以後3世紀たって再び、現代的な意味でその正当性を問われているのである。

小川雄二郎(高エネ研)

昭和62年10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565-12	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 6-13595