



月を地上にひきずりおろしたニュートン

ニュートンは、力と運動に関して数学を徹底して活用することによって、運動の法則や万有引力の法則を発見した。また、今日もなお物理学の発展にとって不可欠の数学的な道具である、微分積分学の確立にも決定的な功績を残している。ニュートンの発見は、われわれの宇宙観についても大きく変更をせまるものであった。地上でわれわれが経験する物体の落下に対するのと同じ法則が、地球のまわりを公転する月にもあてはまることを示したのである。かつて人間にとって、月を含む天体はまさに天上界のものであり、その運動ははかりしれない神秘の現象であったが、ニュートンは、数学の力で月を地上にひきずりおとしたともいえる。

月も落下している

月は地球のまわりを半径約 38.4 万 km の円に近い軌道にそって、約 27.3 日かけて公転している。大地がまるいのでほぼ同じ高さを維持しているが、図 1 のように A から B まで動いたときに、おおよそ $\overline{AC} = x$ だけ落下したと見ることができる。ニュートンは月の「落下」の原因と地上のりんごの落下の原因を同じ起源と考え、距離の 2 乗に反比例する引力の存在を説明している。

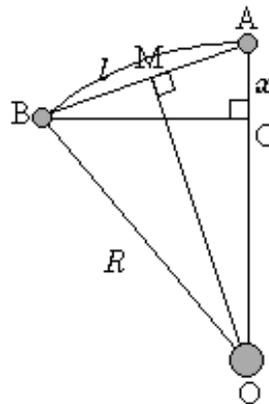


図 1

月の落下と地上の物体の落下

まず、月は 1 秒間にどれだけ「落下」しているだろうか？ 計算してみよう。図 1 において、 R は月の軌道半径である。1 秒間に月が A から B まで移動したとして、 \widehat{AB} の長さは $l = \overline{AB}$ にほとんど等しい。AB の中点を M とすると、 $\triangle ABC$ と $\triangle AOM$ は相似であるから、

$$x : l = \frac{l}{2} : R \quad x = \frac{l^2}{2R}$$

となる。ところで l は 1 秒間に月が動いた距離だから、

$$\begin{aligned} l &= 2\pi R \times \frac{1[\text{秒}]}{\text{公転周期}[\text{秒}]} \\ &= 2 \times 3.14 \times 38.4 \text{ 万} \times \frac{1}{27.3 \times 24 \times 60 \times 60} [\text{km}] \\ &= 1.022 [\text{km}] \end{aligned}$$

となり、月が1秒間に落下する距離は結局、

$$x = \frac{1.022^2}{2 \times 38.4 \text{ 万}} [\text{ km }] = 0.00136 [\text{ m }]$$

すなわち 1.3mm ほどである。

一方、地上で物体が1秒間に落下する距離は約 4.9m であるから、その比は

$$\frac{4.9}{0.00136} = \text{約 } 3600 \text{ 倍}$$

である。

月が受ける引力と地上の物体が受ける引力

ニュートンの運動法則によると、物体が1秒間に落下する距離は、それが受ける引力に比例する。すると、上の結果から地上の物体が受ける引力は、それが月の位置にあるときよりも約 3600 倍大きいということになる。地球から離れるほど、その引力が小さくなるというわけである。ところで、地上の物体は地球の中心からはかると約 6370km (地球の半径) 離れており、一方月は $R = \text{約 } 38.4 \text{ 万 km}$ はなれているわけだから、その比は

$$\frac{384000}{6370} = \text{約 } 60 \text{ 倍}$$

となる。おおざっぱな計算のためやや誤差を含むが、この比の2乗が上の3600倍に等しいことに気づいただろうか。現在、地球の半径や月までの距離は非常に精密に測定されているので、その値を使うとほとんど正確に等しくなる。すなわち、

$$\frac{1 \text{ 秒間の地上の物体の落下距離}}{1 \text{ 秒間の月の落下距離}} = \frac{\text{地上の引力 (重力)}}{\text{月の位置の引力}} = \frac{\text{月までの距離}^2}{\text{地上までの距離}^2}$$

が成り立っているということになる。すなわち、物体が受ける引力が地球(の中心)からの距離の2乗に反比例するという結果が得られた。これこそは万有引力の法則にほかならない。

ニュートンが月を地上にひきずりおろして約 300 年後、人類はニュートンと同様の計算をコンピュータによっておそるべき精度で実行し、その結果を用いて地上の物体(アポロ宇宙船)を月に運び、かわりに月の一部を本当に地上に持ち帰るという快挙を成し遂げるにいたったのである。