

質量の定義が改定される見込みである、ということは本項 Vol. 44、51、などで報告してきたとおりですが、ここで改めて質量を決定するとはどういうことか、考えてみたいと思います。

重い・軽い、という、地球にへばりついている私たちにとっての直感であった重さを、力と質量に区別して体系化したのはよく知られるとおりニュートンです。そのひとつは運動方程式として(1)の様に表せます。

$$F = ma \quad (1)$$

ここで F は力、 m は物体の質量、 a は物体にはたらく加速度です。

もうひとつは万有引力、二つの物体の質量に働く引力 F は(2)の様に表せます。

$$F = G \frac{Mm}{r^2} \quad (2)$$

ここで G は万有引力定数、 M 、 m はそれぞれの物体の質量、 r は物体間の距離。すなわち万有引力は二つの物体の質量に比例し、その距離の二乗に反比例します。

いずれも物体の質量と力を表したのですが、(1)は力を加えた時にその場に留まろうとする、いわば動きにくさの度合い、(2)は引力の源（比例要素）と言えます。このため(1)を特に慣性質量、(2)を重力質量と呼ぶことがあります。

同じ物体がもつ慣性質量と重力質量の同等性は実験的に確かめられており、通常は双方を区別せずに済みます。起源が異なる慣性質量と重力質量が同じというのは、考えてみると不思議なことなのですが、そこは立ち入らないとして、これらの法則の下で質量を測定する方法を考えてみましょう。

(1)から未知の質量 m に既知の力 F を加えたときの加速度 a を測れば質量が判ります。加速度は現在では時間と長さという、正確に測定出来る2つの基本量から決定出来ます。しかし既知の力を発生させるにはどうしたら良いでしょうか。例えば「ばね」を縮めれば反発力が発生しますが、その力を決定するために別の力の基準が必要となる、堂々巡りに陥ります。

(2)では、仮に M が地球の質量とすると m に働く力が判れば質量を決定できます。しかしこの力を測るのも力の発生と同様、力の基準が必要となる循環論に陥ります。

しかしいずれの方法でもある物体の質量との「比」なら、てんびんを使って正確に決定できます。例えば図1では慣性質量に基づいた質量の決定を示しています。(地球の引力が影響しない無重力空間や、水平面内で) てんびんを加速させた時、既知の質量と未知の質量が同じなら、てんびんは釣り合います。

図2では重力質量に基づいた質量の決定を示しています。物体に働く鉛直方向の重力は質量に比例するので、ふたつの質量が同じならてんびんは釣り合います。

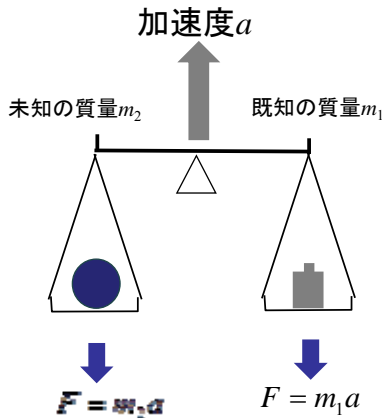


図1 (無重力下で) てんびんを加速させたとき、(モーメントが) 釣り合えば質量は同じ

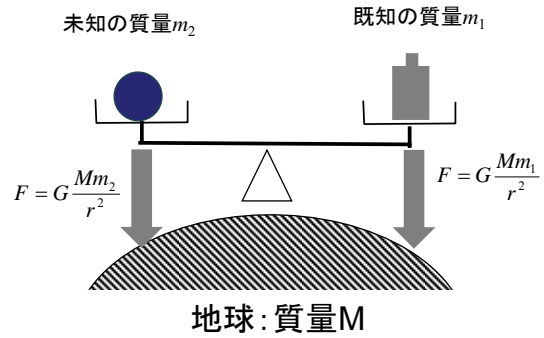


図2 地球上でてんびんが釣り合えば質量は同じ

こうして最初に基準となる物体を決めれば、他の物体の質量を基準との比として決定していく事が出来ます。この基準となる物体こそが国際キログラム原器です。

以上の関係を見ると、質量を測定するとは、力(引力・慣性力)を介した基準質量との比較でしかないことが判ります。直接、質量そのものを決定する手段はないのでしょうか。

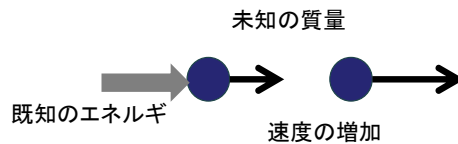
ニュートンはまた、物体の運動エネルギーは、物体の質量と速さの二乗に比例する事を示しています。式に表すと(3)

$$E = \frac{1}{2}mv^2 \quad (3)$$

ここで E はエネルギー、v は物体の速度です。既知のエネルギー ΔE を加えた結果、速度が Δv に変化した時、質量は

$$m = 2\Delta E / \Delta v^2$$

となる。つまり質量はエネルギーで表せる! ?



もちろん既知のエネルギーを決めるためには、そのまた基準となるエネルギーを決めるという堂々巡りに陥ります。でももし、自然界に必ず一定のエネルギーを持つ事が判っているエネルギー源があったらどうでしょう。そんなエネルギー源に関与するのが、プランク定数なのです。

本項続く (多分)