

科学史から何を学ぶか—ス・グラーフエサンデの実験を例に—

日本学術振興会特別研究員(科学史) 有賀 暢迪

1. 実験室からの悲鳴

その実験は、こんな具合に行われた。

大きさが同じで質量の異なる球を用意し、さまざまな高さから落下させる。その下にはやわらかい粘土がしいてあって、球が落下するとその衝撃でくぼみができる。実験は、球の質量と落下させる高さをいろいろと変えてみて、作られるくぼみの大きさを比較する、というものである。

何度か繰り返してみた結果、実験者はあることを認めざるをえなくなった。そしてこう叫んだという——「ああ！ 間違っていたのは私のほうだ！」

この実験から何が学べるか、考えてみたい。

2. ス・グラーフエサンデの実験

実験を行ったのは、ウィレム・ヤコブ・ス・グラーフエサンデというオランダの人物だった(日本語では「スフラーフェサンデ」とも表記される)。1688年生まれ、1742年没。ライデン大学の教授で、『実験によって確かめられた自然学の数学的諸原理、あるいはニュートン哲学入門』(初版1720—21年)という教科書を書き、ニュートンの思想を広めるのに貢献した人である。

冒頭の実験は、この教科書が出た直後、1722年の論文で報告された。まずはその内容を、もう少し詳しく見てみよう。

実験では、重さが1対2対3になっている三つの球が使われた(以下、それぞれの質量を M , $2M$, $3M$ と表す)。この三つの球をさまざまな高さ(単位を H とする)から落下させて、粘土にできるくぼみの大きさを比べるのである。

ス・グラーフエサンデはたとえば、質量 $3M$ の球を $9H$ の高さから、質量 M の球を $27H$ の高さから落としてみた。するとこの場合、くぼみの大きさはどちらも同じだった(図1)。

次に、 $2M$ の球を $9H$ から落とし、 M の球を $36H$ から落としてみると、くぼみの大きさは「極端に違った」(本人の表現)。けれども $36H$ ではなく

$18H$ の高さから M の球を落とすと、くぼみは等しくなった。

こういった結果から、くぼみの大きさが等しくなるのは質量と高さが反比例している場合、つまり質量と高さとの積が等しい場合だということがわかる(最初の場合では $3M \times 9H = M \times 27H$, その次の場合では $2M \times 9H = M \times 18H$ となっている)。

ところで一般に、自由落下によって得られる速さ v は落下距離(高さ) h の平方根に比例する。あるいは逆に、高さは速さの2乗に比例すると言ってもよい。高校物理の公式で言えば $v^2 = 2gh$ (g :重力加速度)である。

この関係を使うと、くぼみの大きさが等しくなるのは質量と衝突時の速さの2乗とが反比例している場合、つまり質量と速さの2乗との積 mv^2 が等しい場合だということになる。

これは何を意味するだろうか。

本誌の読者なら、すでにおわかりかもしれない。くぼみの大小は(衝突時に発生する音や熱を無視できるとすれば)球が衝突したときに持っていた運動エネルギーを表していると考えられる。当然、くぼみが大きいほどエネルギーは大きかったはずだ。とすればこの実験は、運動エネルギーが mv^2 に比例するというを示していることになる。

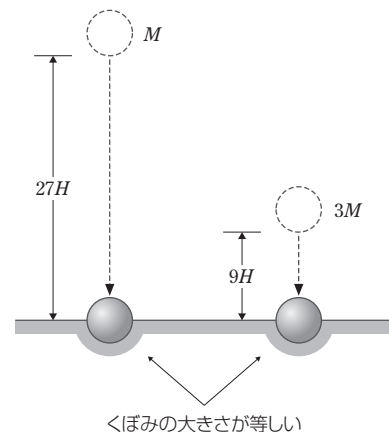


図1 ス・グラーフエサンデの実験(模式図)

けれども、ス・グラーフエサンデ本人に対して「何がわかったのですか?」と尋ねてみたとしたらどうだろうか。

彼はたぶん違った答え方をしたはずである——「さまざまな物体の力は質量と速度の2乗との積に比例するのです」というふうな。そしてこうも言ったことだろう。「ライプニッツ氏の見解は正しいのです」と。

彼はいったい、何の話をしているのだろうか。ここから先が科学史の領域になる。

3. 活力論争

ライプニッツといえば、ニュートンの最大のライバルだったドイツの哲学者・数学者である。そしてこの人物はまた、運動している物体の持つ「力」は質量と速度の2乗との積に比例するという説を唱えた人でもあった。彼はそのような「力」に「活力」という名前をつけている。

ライプニッツの活力説は、その半世紀前に活躍したフランスの哲学者デカルトに対する反論だった。デカルトの書いたものを見ると、「力」は質量と速さに比例することになっているのである。

運動物体の「力」は、質量と速さの積(mv)に比例するのか(デカルト)、それとも質量と速さの2乗との積(mv^2)に比例するのか(ライプニッツ)——この問題をめぐる一連の議論は、活力論争と呼ばれている。

現代の物理学の立場からすると、この論争は無意味としか言いようがない。運動物体の「力」という言葉自体、物理学者の辞書にはないからだ。

よく誤解されているのだが、この「力」は高校物理で教えられるような、物体から物体にはたらくものという意味ではない。運動する物体が持っているといわれる、一種のいきおいのようなものである。運動エネルギーやら運動量やらをごちゃまぜにしたもの、といったところだろうか。

だが奇妙なことに——そしてここが科学史の面白いところでもあるのだが——当時は運動物体の「力」なるものがまっとうな研究対象とされ、大いに議論されていたのである。

このことをふまえると、冒頭で聞こえてきたス・グラーフエサンデの悲鳴が理解できる。

実をいえば、この実験はもともと、デカルトの見解を立証しようとして行われたものだったのだ。しかしその結果は反対に、ライプニッツの主張を支持していた(と、ス・グラーフエサンデは解釈した)。だから彼は「ああ！ 間違っていたのは私のほうだ！」と叫んだのである。

ス・グラーフエサンデが発表した論文は当時、かなりの反響を呼んだ。ニュートン支持者のはずの彼が宿敵ライプニッツの支持に回ったという話題性も大きかったように思う。ともかく、活力論争はこれをきっかけに、さらなる広がりを見せていったのだった。

4. 歴史を使って学ぶ／歴史を学ぶ

ス・グラーフエサンデの実験は、科学の考え方・ものの見方が時代によって変わっていることを教えてくれる。また、歴史上の出来事はその時代背景をふまえないと的確な理解ができない、ということの一例でもある。どう逆立ちしようと、彼はデカルトとライプニッツの説を比較検討するために実験を行ったのであって、運動エネルギーが mv^2 に比例することを確かめようとしたのではない。

とはいえ、それではこの実験が理科教育に応用できないかと言えばそうでもないだろう。むしろス・グラーフエサンデの実験そのものは、運動エネルギーについて理解するのに何かしら役に立つのではないかと筆者は思う(ただしこの実験では、運動エネルギーが $\frac{1}{2}mv^2$ だということまでは示すことができないが)。しかしこの点については、教育を本業とする方々の判断を仰ぎたい。

このように考えてくると、歴史上の出来事を現代的に解釈して使うこと自体に問題があるというわけではなさそうである。そうではなく、当時の人々も同じように考えていたと(暗に)想定することが問題なのだ。

科学は歴史を通じて変化してきた。「間違っていたのは私のほうだ」というス・グラーフエサンデの発言を、「彼は運動エネルギーの適切な理解に一步近づいた」という意味にしか受け取らないとしたら、私たちは歴史から学ぶ機会をみすみす逃してしまうことになるのではないだろうか。