

ほら！そこにこんな力が…

見えない力を見つける方法

名前：山本 明利

Romaji : YAMAMOTO Akitoshi

p34-37

力は見えない

力学は文字通り「力の学問」です。「力」というと使い慣れた言葉なのでごく身近なものに感じ、ついわかっているような気になりますが、実は力学は難しいのです。その最大の理由は力が見えないことにあります。中学の理科や高校の物理の教科書の図にあるように、力が矢印（ベクトル）としていつも見えているなら何

も苦労はありません。せめて、図1、2に示した「光弾性の実験」のように、物体が力を受けているようすが視覚的に認識できるなら、人類はもっと早く正しい力学の理解にたどり着いていたでしょう。それが見えないから初学者はいきなり入口でつまづくのです。力をもれなく見つけることができ、正しく図示できれば、力学の問題はほぼ解決していると言ってよいでしょう。したがって力学を学ぶ上で一番のコツは、「力を見つける目」を養うことです。もちろん力には目に見えないのですから、それを見るには「心の目」を養わなければなりません。

力の見つけ方

力をもれなく確実に見つけるには次の手順を踏みます。略図を描いて力の矢印を順次書き込んでいくのがよいでしょう。

- ① 着目する物体を1つだけ決める。
- ② その物体にはたらく重力の向きと大きさを求める。
- ③ その物体に直接接している他の物体から受ける力をリストアップする。
- ④ つり合いの関係などに注意しながら各力の大きさを決めていく。

①は些細なことのようにですがとても重要です。力は至る所にはたらいているので、これからの物体に着目して力を論ずるのかを限定しないと目移りして混乱します。その物体以外にはたらいている力に目を奪われてはいけません。実はこれが難しい！

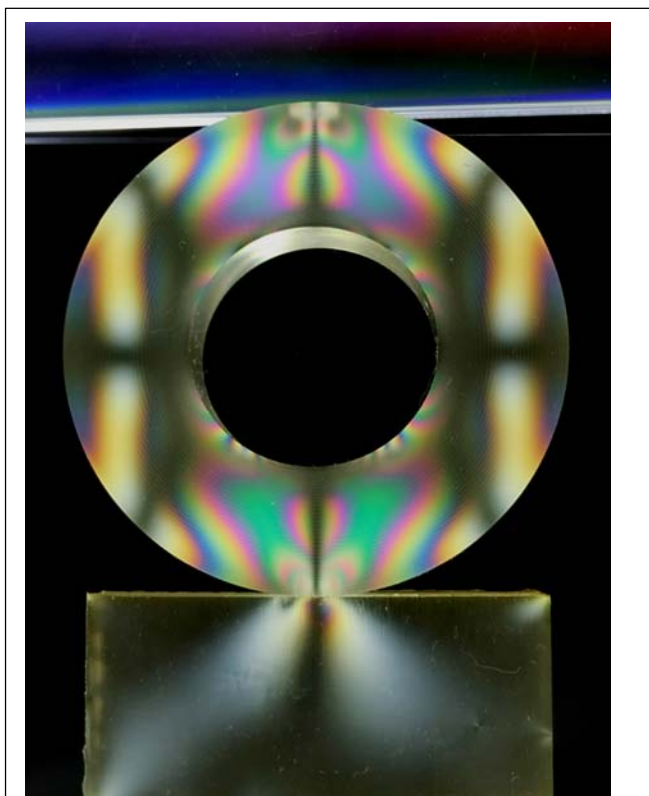


図1 光弾性の実験

透明な樹脂でできた物体を偏光板ではさんで観察すると力を受けて歪んだ部分が色づいて見える。一番上は光弾性を示さない物体。

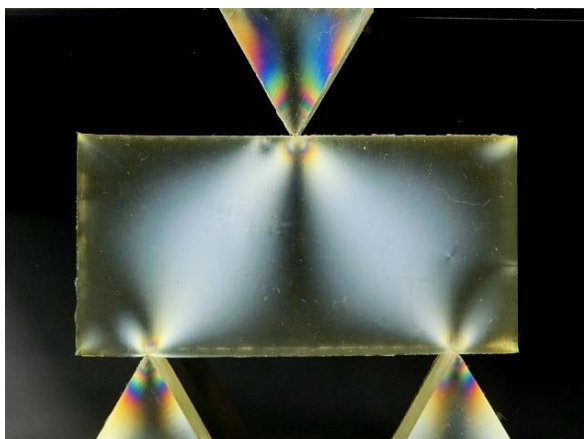


図 2 ふれあう物体が力をおよぼし合う様子
物体は直接ふれあう他の物体から力を受ける。

②は地球上で起こっている現象なら、重力（地球がその物体を引く万有引力）は必ずはたらいていると考えられるので真っ先にリストアップします。その大きさ $W(N)$ （脚注：N は力の単位ニュートン）は

$$W=mg \quad (m: \text{質量(kg)}, g=9.8 \text{ m/s}^2)$$

で求まります。 g は重力加速度という万国共通の定数です。質量が 1 kg の物体なら受ける重力は 9.8 N になります。重力はもちろん真下、地球の中心を向き、その作用点は「重心」です。こうして質量がわかっている物体にはたらく重力は決まります。これを手がかりにして、つり合いの条件などから他の力の大きさを芋づる式に求められることが多いのです。

③では、着目している物体に触れている他の物体（床や糸や人の手など）をもれなくチェッ

クしていきます。他の物体と接する場所では相手から力を受けている可能性があります。ここが「心の目」の出番です。力の候補を表 1 にまとめました。「こういうところではこの力がはたらくはずだ」と推論して力を見つけ出します。逆にこれ以外の力を勝手に「創作」しないように注意します。

アリストテレス的素朴概念

古代ギリシャのアリストテレス(384-322 B. C.)は「万学の祖」と称される偉大な哲学者です。彼は運動や力について次のように考えていました。

- ①物の本性は静止であり、運動している物体には絶えず力がはたらいている。
- ②運動には力が物体に内在するために自然に生じる運動（自然運動）と、他から力が加わって生じる運動（強制運動）とがある。
- ③“自然な”場所が地球の中心付近にあるため、その場所に帰ろうとして物体は落下する。
- ④落下の速さは“自然な”場所に近づくほど速くなる。重い物ほど速く落ちる。

どうでしょう。これらは現代的にはことごとく誤りなのですが、日常の感覚としてはすんなり受け入れられるのではありませんか。このように生活体験などから「なんとなく」獲得してしまった誤った概念を「素朴概念」といいます。素朴概念は科学の正しい理解を妨げる大敵

表1 力の種類 (高校で学ぶ初等力学の範囲)

力の名前	他動詞的表現	備考
重力	地球などの天体が物体を引く力(万有引力)	「重さ」と表現することもある
万有引力	質量を持つ物体が質量を持つ他の物体を引く力	重力を一般化したもの
ばねの力(弾性力)	ばねなどの弾性体が物体を押し(引く)力	
張力	糸・ひもなどが物体を引く力	
抗 垂直抗力	面が接する物体におよぼす力の面に垂直な方向の分力	本来は「抗力」という1つの力
力 摩擦力	面が接する物体におよぼす力の面にそう方向の分力	なので、作用点は一致
空気抵抗力	空気がその中を運動する物体におよぼす速度と逆向きの力	
浮力	液体や気体が物体におよぼす上向き	重力と逆向き
静電気力	電荷や電場が電荷におよぼす力	
磁極にはたらく力	磁極や磁場が磁極におよぼす力	

※動的な電磁気力はここでは扱わないことにします。

なので、用心がかからないといけません。さて、アリストテレスの考えのどこが誤っているのでしょうか。

自動詞的な力はない・力には主語と目的語がある

初学者は「物体が落ちようとする力」、「物体が斜面を滑る力」、「軽いものが浮く力」などのように、物体自らが意思を持って動こうとするような表現をすることがあります。これこそ上の②、③に見るような素朴概念です。

ニュートンが運動の第1法則に示したように物体には「慣性」という性質があって、他から力がはたらかない限りその運動状態を変えません。止まっている物体が自ら動き出したり、動いている物体が勝手に止まる事はないのです。アリストテレスの①の素朴概念に陥らないように注意しましょう。

「物体が〇〇しようとする力」のような自動詞的な力は存在しません。力学で扱う力ならば必ず「AがBを押す(引く)力」のような主語Aと目的語Bを明確に示した表現、言うなれば「他動詞的表現」が可能です。表1には力の略称と共に、他動詞的表現もまとめておきました。その力が素朴概念に相当しないかどうかはこのように言い直してみることで判別ができます。力学を学ぶ上で、何から何にはたらく力なのかを意識することはとても重要です。

合成していいのは「持ち主」が同じ力だけ

複数の力を足し算してひとつの力にまとめることができます。これを「力の合成」といいます。力はベクトルの性質を持つので、その向きと大きさを矢印の向きと長さで表して図示します。二つの力の矢印を「平行四辺形の法則」で図3のように作図してひとつの力に合成するこ

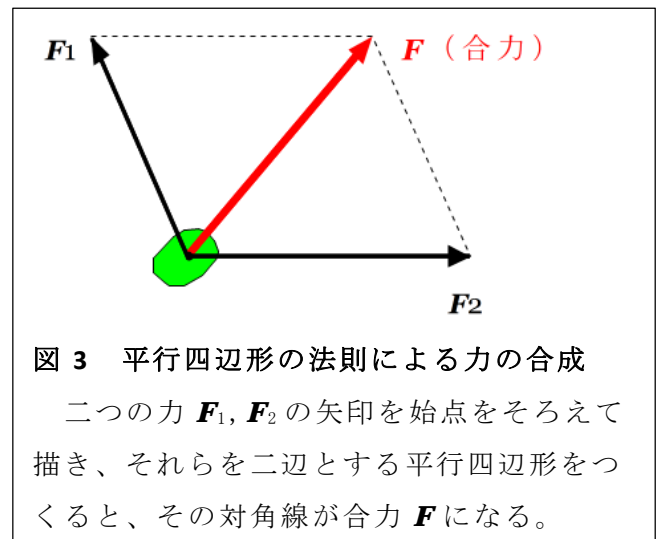


図3 平行四辺形の法則による力の合成

二つの力 F_1 , F_2 の矢印を始点をそろえて描き、それらを二辺とする平行四辺形をつくると、その対角線が合力 F になる。

とができます。三つ以上の力がはたらく場合も二つずつ組んで次々に合成を繰り返してしていけば最終的にひとつの力にすることができます。こうして合成された力を「合力」といいます。合力がたまたま0になる場合を「力がつり合う」といい、力がはたらいっていないのと同じ状態とみることができます。

ただし、ここで重要な注意があります。**合成できるのは同じ物体にはたらいっている力だけです。**違う物体にはたらく力を合成しようとしてはいけません。筆者は力をおよぼされている物体(上述の「目的語B」)を力の「持ち主」にたとえて、「足していいのは持ち主が同じ力だけだよ」と教えてきました。お金も足し算できますが、足していいのは自分の財産だけ。自分のお金と、他人のお金を見境なく足し算するようなことをしてはいけません。

力の作図をするときは混乱を避けるために、同じ物体にはたらく力を同じ色で色分けするとよいでしょう。色分けで「持ち主」を明確にするのです。複数の物体が登場して力をおよぼし合うケースでは、物体ごとに図を分けて考えるのも有効です。

なお、本件に関する「作用反作用」と「力のつりあい」の混同については次の記事で詳しく取り上げることにします。

力は物体を通り抜けない・物体は力を伝えない

図4は高校の物理で登場する典型的な力学の問題です。滑らかな水平台上の台車が軽いのびない糸で軽い滑車を介しておもりと結ばれています。手を放すと台車は右に動き出し、加速度運動をします。台車にはたらく重力と台からの垂直抗力はずり合うので省略してあります。

さて、この図を見て「おもりの重さ（重力） W が糸を伝わって台車を引く張力 T になるから、 $T=W$ だ」などと言いたくなりませんか。実はこれも素朴概念で、多くの高校生を迷わせています。正しくは次のように推論を進めます。

まず、おもりに着目します。重力 W がはたらいています。おもりの上には糸がついているので、糸の張力 T が上向きにはたらきます。これらは共におもりにはたらく力ですので合成することができます。運動の向き（下向き）を正の向きにとると、合力は $W-T$ です。おもりは下向きに加速度運動していくのですからこの合力は正、つまり $W>T$ のはずです。

次に台車に着目します。このときはおもりを

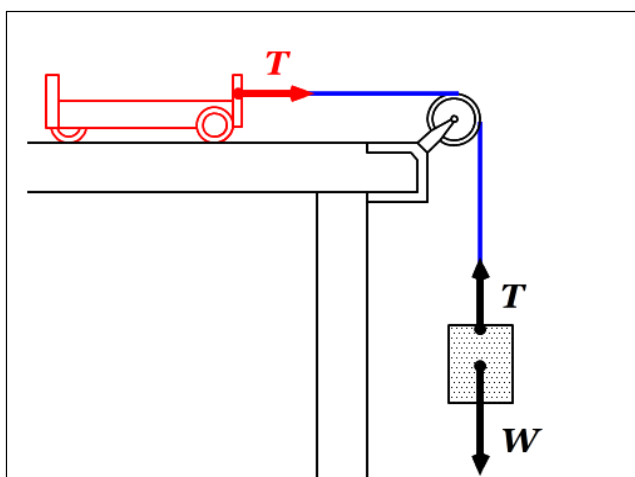


図4 糸の張力 T は重力 W が伝わったのか
手を放すと糸からの張力 T によって台車は右に動き出す。このとき T はおもりの重さ（重力） W が糸を伝わったものだろうか。

手で隠してしまってください。台車のまわりだけを見るのです。もちろん台車自身にはたらく下向きの重力と車輪が触れている台から上向きにはたらく垂直抗力もありますが、これらの力はちょうどつり合っているので、台車は上下には動きません。図4ではこれらは省略しました。最後に台車には糸が取り付けられていますから、糸の張力 T が水平右向きにはたらいているでしょう。摩擦力はないので手を放せば台車は張力 T によって右へ動き出します。

ところで図4に赤で描いた張力 T と黒で描いた張力 T は大きさが等しいと言っているのでしょうか。これを保証するのが糸が「軽い」という条件です。これは糸の質量が無視できるので、糸を動かすのに力は必要ないという意味です。糸の各部分はどこも等しい張力 T で緊張しています。したがって台車を引く張力 T はおもりにはたらく重力 W より小さいということがわかります。重力 W が糸を伝わって台車を引くものではありません。

おもりと台車の質量が与えられれば、それぞれの運動方程式を立てて、両物体の加速度や張力の大きさ T を実際に計算で求められますがそれは高校物理の教科書に譲ります。

手に持った棒で物体を押す場合も、手で押した力が棒を伝わって物体に作用するものではありません。もし、棒の質量が無視できなくて加速度運動中ならば、手が棒を押す力と、棒が物体を押す力は違う値を示します。力は物体を通り抜けたりはしないのです。

だんだん混乱してきましたか。次項に進んで、さらに素朴概念との戦いを続けましょう。

プロフィール

やまもとあきとし

北里大学理学部教授・教職課程センター副センター長

