

物体にはたらく力の指導について

理 科 倉 庸 康

1. はじめに

物理学の基礎は、力学と電磁気学である。電磁気現象は、テレビやラジオのように、複雑なブラックボックスになっている場合が多く、生徒が原理を直接体験することは少なく、抽象的になりがちで、生徒の理解が困難になっている。

それに比べて力学は、日常、直接体験することが多い。しかし、体験があるからこそ、その体験が根強い誤った考えにつながっていることが多く、それが力学を理解困難にしている理由のひとつとなっている。正しい理解に至るには、単に、正しい考えを教え込むだけでは不十分で、誤った固定観念を取り払わなくてはならない。

今回は、力学を理解するための基礎である物体にはたらく力について、生徒がどのように誤解しているかということと、それを正しい考えに導く指導方法について、生徒に対するアンケート調査に基づいて報告する。

2. 調査の時期

平成8年2学期、本校1年生に対して調査を実施した。このとき、生徒は、力学の運動分野（速度、加速度、等加速度運動、相対速度、放物運動）を学習した直後である。

力については、高校入学後、まだ、何も学習していない。もちろん、摩擦力についても学習していない段階である。中学校では、簡単な力のつりあい、慣性の法則について学習済みと思われる。ただし、作用・反作用の法則については、学習していない生徒が多いと思われる。

3. 調査方法と考察

次ページの図1～図4の場合、物体にはたらく力について、途中で段階的に説明を加えながら、何回か繰り返して、次のように、調査を実施した。

ただし、生徒に配布したプリントには、調査の問題文や物体の図は書いてあるが、力の矢印や力の番号は記載されていない。

(1) 1回目の調査

1回目は、生徒には、プリントに記載されている問題文以外に説明を一切せず、図1～図4の場合について調査した。

図1の場合は、物体が静止しているとき（静力学）にはたらく力の問題であり、図2～図4の場合は、物体が動いているとき（動力学）にはたらく力を答える問題である。中学校段階では、運動している場合の力としては、慣性の法則や加速度のある運動に関連して簡単に扱うのみで、あまりやっていない事項である。

(ア) 図1の場合の調査とその考察

生徒には、何も説明せず、図1の場合について、以下のような条件で調査を実施した。

- ・ボールの重さは無視する。
- ・空気はないものとする。

図1

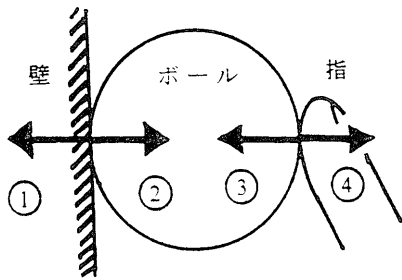


図3

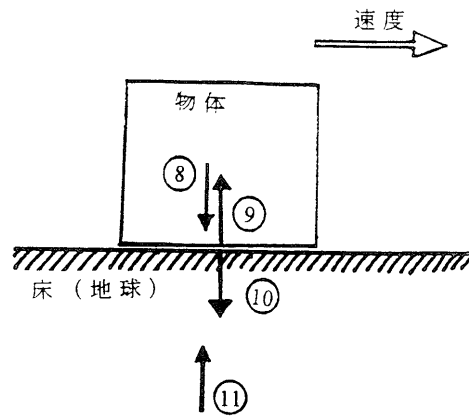


図2

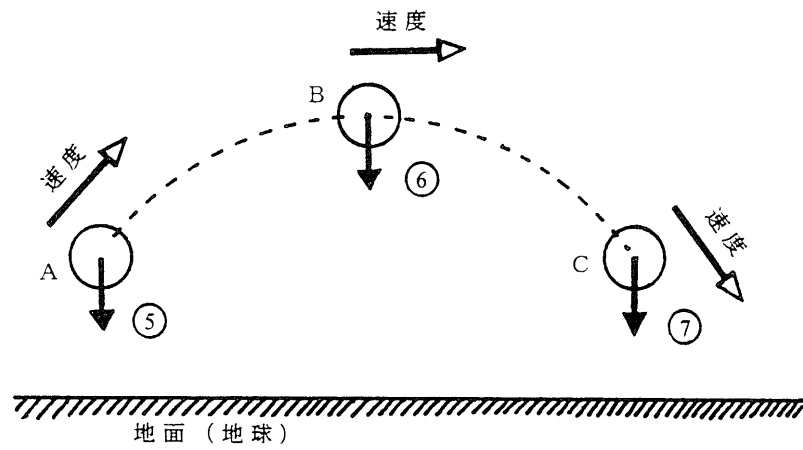
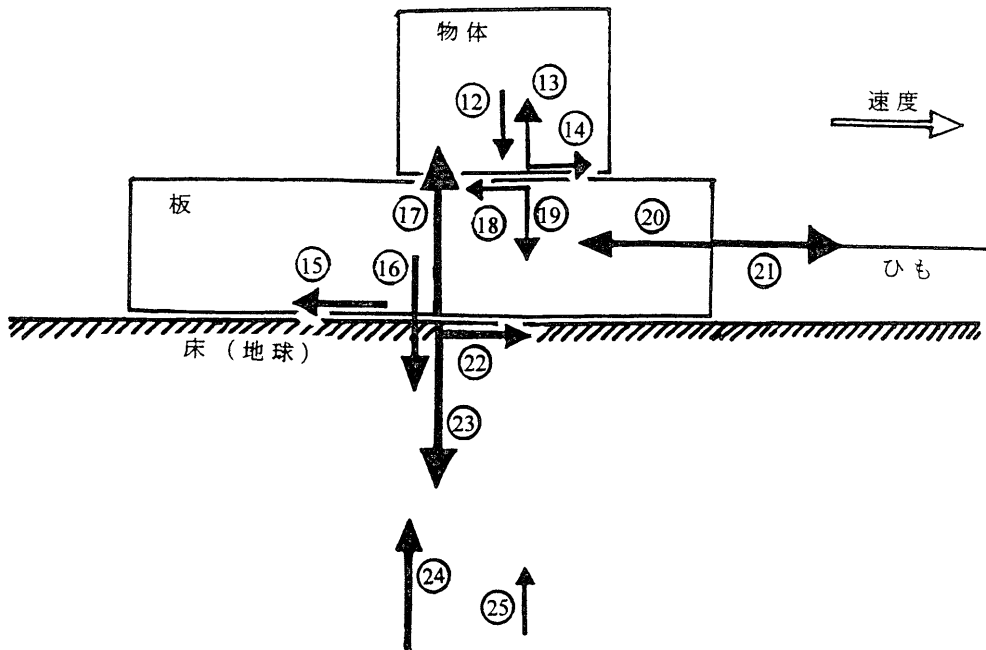


図4



・図中に力の矢印を記入して、左のほうから順に、①、②、③…と番号をつける。矢印の長さはデタラメでよい。

(a) それぞれの力は、何にはたらく力か。

(b) どの力とどの力がつりあっているか。

その調査結果を集計したものが、表1の結果である。この集計では、力の作用点や、どの物体にはたらいっている力かは、あまり考慮せず、矢印の向きが正しければ正しいものとして、集計した。

なお、生徒のAグループ、Bグループというのは、あとの調査で、生徒を無作為に2つに分割して、別の調査を実施したので、そのためのグループ分けである。ただし、無作為にしたつもりであったが、やや、Bグループのほうが、優秀な生徒が多くなったようである。

また、Aグループ、Bグループの生徒を、それぞれ、生徒の2学期末のテスト（力学分野の普通のテストで、この調査の問題とは直接には関係がない）の結果に基づいて、成績順に並べてある。

この結果から分かることは、各物体にはたらく力の矢印については、93%の生徒が正答し、さらに、それらの力が、どの物体にはたらく力かについても、92%の生徒が正答している。これらの点に関しては、ほぼ、完全に理解していると考えられる。

しかし、その4つの力のうち、つりあいの関係にある力（2番と3番の力）を正しく答えられたのは、わずかに5人（13%）であった。そのうち、作用・反作用の関係にある力（図1の1番と2番の力、3番と4番の力）をもつりあいの関係にある力と答えた生徒が2名いたので、つりあいの関係にある力のみを完全に答えられた生徒は、39人中、わずかに3人（8%）という状態であった。作用・反作用の関係にある力を、つりあいの関係にある力と答えた生徒が35人（誤答者の全員で、90%）もいた。

どうも、『押せば押し返す関係ならつりあっている』とか、『大きさが同じなら、つりあっている』というように誤解している生徒が大半のようである。『ボールが壁を押せば、壁がボールを押し返してくれるから、ボールはつりあって？静止することができる。もし、壁が押し返してくれなければボールは左に動き出してしまう。』というように誤解しているのであろう。

すなわち、中学校卒業段階では、**つりあいの関係にある力と、作用・反作用の関係にある力の区別ができていない**ということが分かった。この点について、高校での力の指導には、十分留意しなければならないと考えられる。

つりあいの関係にある力は同じ物体にはたらく力で、作用・反作用の関係にある力は異なる物体にはたらく力であるということを教えて、両者を区別させることができるが、できるだけ、生徒が納得できる方法で、理解させたい。その方法のひとつを、後に記述した。

(イ) 図2の場合の調査結果と考察

図2、図3、図4の場合の調査結果を集計したものが表2である。

図2の場合は、『図は真空中をボールが飛んでいるときの図である。A点、B点、C点でボールにはたらいっていると思われる力を矢印で記入しなさい。矢印の長さは、適当でよい。』という指示で調査した。

図2の調査結果より、重力がボールにはたらいっているということは、89%が正解しているので、重力がはたらくことは、ほぼ、分かっているものと思われる。しかし、真空中を飛んでいるボールにはたらく力は、重力のみと正しく答えられた生徒は、16人（41%）だけである。

重力以外に、ボールの速度の向きや、水平方向、鉛直方向に力がはたらいっていると答えた生徒が16人（41%）もいる。すなわち、昔から誤解されていたように、生徒には『ボールを投げ

たときの力がボールに残っている』という考えが根強いものと思われる。日常では、『力』という言葉が『エネルギー』や『運動量』などと混同して用いられており、同様の誤りをしたものと思われる。摩擦のある面上で、物体を引きずったときの経験から、『引くのを止めると、物体はすぐ止まる』、『力を加え続けなければ物体は止まる』、『物体が動いているときは、必ず、力が加わっている』という間違っただけの法則？が生徒の頭の中にしみ込んでいるのではないかと思われる。

したがって、**速度があれば力があるという誤った考えを訂正する必要がある**。この点について、生徒を納得させる方法を後に記述した。

生徒個人を見ると、2学期末の成績と、この調査のデキは、ほとんど関係がないようである。

(ウ) 図3の調査結果と考察

図3の場合は、『図は、真空中で、摩擦の無視できる滑らかな水平な床面上で、物体を押して速度を与えたのち、物体が滑っているときの図である。物体にはたらく力と床面にはたらくと思われる力を矢印で記入しなさい。』という指示で、それ以外の説明をせず、調査した。その調査結果を表2に掲載した。

この場合、3つの力(図3の8番, 9番, 10番の力)を答えた生徒は6人(15%)いるが、その中で、間違っただけの力をも記入している生徒がいたので、3つの力のみを間違えずに答えられた生徒は、3人(8%)であった。なお、地球が物体から引かれる力(図3の11番の力)を記入した生徒もいたが、問題文や図からして、地球が物体から引かれる力を答えさせるのは無理があると思われるので、集計から除外した。誤答の大半は、速度の向きの力があるとしている。やはり、速度があれば力があるという誤った考えを訂正する必要がある。

この場合も、生徒の2学期末のテストの成績と、この調査のデキには、ほとんど関係がないように見える。

(エ) 図4の場合の調査結果と考察

図4の場合は、『図のように、真空中で、水平な床面上で、初め静止していた板の上に物体を乗せ、板にひもをつけて、ひもを右に引き続けた。このとき、板のほうが物体よりも速い速度で動いた。床と板、板と物体の間に摩擦があるとして、床、板、物体、ひもにはたらくと思われる力を矢印で記入しなさい。人間がひもを引く力は記入しなくてよい。』という指示で、それ以外の説明をせず、調査した。その調査結果を、表2に掲載した。

この場合も、問題の図には、地球全体が書いてあるわけではないので、問題文や図からして、物体や板が地球から引かれる力(図4の24番の力, 25番の力)を答えさせるのは無理があると思われる。したがって、正解は、力の番号12~23の12個とした。正解者は1人(3%)であった。その生徒は、なかなか、優秀な生徒であると思われるが、図2, 図3の場合に、速度の向きの力があると答えており、やはり、完全に理解しているわけではなさそうである。

全体的に見れば、12個の力のうち、53%が答えられたのみである。すなわち、たくさんある力のうちの、半分程度しか答えられないというところである。

物体の運動と力の関係を知るための元となる運動方程式 $ma=F$ の力 F は、物体にはたらくすべての力の合力である。力が1つでも抜けてしまうと、正しい合力 F は求められず、物体がどのように運動するかも解けなくなる。したがって、物体の運動と力の関係を正しく理解させるためには、**物体にはたらく力を、全部、答えられるようにすることが重要である**。

なお、この場合は、『速度の向きに力がある』という架空の力らしい矢印を記入した生徒はあまりいなかった。それは、物体には摩擦力(図4の14番の力)、板にはひもから引かれる力(図4の21番の力)という速度の向きの力が、実際にあるからであるからであろう。

この場合も、生徒の2学期末の成績と、この調査のデキとは、あまり関係がない。

(2) 2回目の調査と考察

物体にはたらく力を正しく見つけさせるために、

(観点1) 力は、必ず、物体と物体の間ではたらく、必ず、2個ずつ対になって現れる

(観点2) 重力、磁力、静電気力などは、物体と物体が離れていても力がはたらくが、当面、物体と物体が離れていてもはたらく力は重力のみである。残りの力は、物体と物体が接触している点ではたらく

という2つの観点が重要である。(この段階では、慣性力や遠心力は考えない)

そこで、観点1と観点2の効果をそれぞれ別々に調べるため、生徒を無作為にA、B2つのグループに分け、Aグループには観点1のみを、Bグループには観点2のみを、それぞれ、プリントに記載したものを読ませ、図2～図4の場合の問題を、再度答えさせた。

(ア) 力は物体間ではたらく、対になっていること(観点1)を教えた場合

表3のAグループがこの場合の集計結果である。これより、図2の場合、ボールにはたらく力が重力である(図2の5番、6番、7番の力)であることを答えられた生徒が、86%から91%に増加したが、速度があれば力があるという考えの生徒が10人(53%)から15人(79%)に増加し、重力のみを正しく答えられた生徒が9人(47%)から4人(21%)に減少した。

これは、力は、物体と物体の間で、『同時にはたらく』ということを書き記述しなかったため、ボールを投げるとき、手とボールの間で力がはたらく、そのときの力がボールに残っていると解釈した生徒が多かったからではないだろうか。

図3の場合でも、速度の向きに力が無いと考えるようになった生徒が3人増加した反面、力が必ず対になっているということにこだわって、優秀な生徒の中で、2人が、速度の向きに力があると考えるようになった。

また、正しい力のみを3個答えられた生徒が2人から0人に減少した。

すなわち、この観点1のみでは、生徒がより混乱するようである。

図4の場合、高校では、まだ、摩擦力については何も説明していない段階であったが、接触面に正しく摩擦力を示す力の矢印を記入した生徒が増加した。力を間違えずに12個以上答えられる生徒が0人から1人に増加し、答えられる力の矢印の数も、全体として119個から145個に22%増加した。したがって、観点1は、生徒が力を見つけるのに、ある程度、役に立っている面がある。しかし、間違った力の矢印を記入する生徒が1人から5人に増加した。この力の矢印の間違いとしては、力が対になっているということにこだわって、速度があれば力があるという力とその反作用のようなものとか、重力の反作用のようなものを物体の上や空気中に書いてあったりしたものである。重力の反作用が、地球全体にはたらくことを指導する必要があると思われる。

(イ) 重力などを除けば、力は物体の接触面ではたらくこと(観点2)を教えた場合

表3のBグループがこの場合の集計結果である。これより、図2のボールにはたらく力の場合、何も教えなかった表2の場合と比較して、完全正解者の数が、15人(75%)から7人(35%)に半減した。これは、やはり、ボールが手と接触していたときにはたらく力がボールに残っていると考えるようになったためではないかと思われる。そのことは、図3の場合にも当てはまるようで、速度の向きに力があると考える生徒が、5人から9人に増加していることから推察できる。初め、手が物体と接触したときに物体を押したときの力が、その後も物体に残っていると考えているものと思われる。やはり、観点2のみでも、生徒は混乱するようである。

図4の場合、正確な力の矢印の数が131個から157個に20%増加した。また、間違っただけの力を記入する生徒も、4人から1人に減少した。したがって、観点2も、生徒が力を見つけるのに、ある程度、役に立つ面があるものと思われる。

(3) 3回目の調査とその考察

(ア) 各物体にはたらく力矢印の記入

物体にはたらく力を正しく見つけられるようにするため、2回目の調査のときは、生徒に2つの観点のうちどちらか一方だけしか教えなかったが、2つの観点を両方とも生徒に教え、さらに、その内容を、簡単に、私（教師）が説明した後、図2～図4の場合の力について、同じ授業時間中に、3回目の調査をした。その集計結果が表4である。

図2のボールにはたらく力の場合、2回目の調査と比較して、2つの観点を説明した後は、完全正解者が19人（49%）から22人（56%）に増加した。しかし、依然として、速度の向きに力があると考えている生徒が17人（44%）もいる。したがって、力に関するこの表現の説明では、そのような考えを否定することは困難のようである。

図3の場合、力の矢印を3個、間違えずに書いた者は、3人から10人（26%）に増加したものの、速度の向きやその反作用？らしき力を書いた生徒が14人（36%）もいた。また、重力を記入しなかった生徒が9人（23%）いた。力が必ず対になっていると教えたため、重力の反作用がどこにあるか分からなかったのも、重力も記入しなかったケースもあるのではないかと思われる。重力の反作用を指導する必要がある。

また、物体が床を押す力を記入しなかった生徒が16人（41%）もいた。

図4の場合、力の矢印を12個、間違えずに書いた者は、3人（8%）から15人（38%）に増加した。また、正しい力の矢印の数も、総計302個から419個に39%も増加した。この力の数は、生徒ひとりあたり10.7個となり、正解12個の90%に達した。すなわち、物体にはたらく力のほとんどを見つけて見ることができた。摩擦力も教えていないこの段階としては、この問題は大変な難問であると思われたが、まずまずのデキとなった。よって、物体にはたらく力を見つけるための2つの観点は、相当の効果のあることがわかった。

しかし、この場合も、生徒の2学期末のテストの成績と、力の矢印の数とは、ほとんど関係がないように見える。

(イ) どの物体にはたらく力か

一応、図4の場合、力の矢印は、90%くらい書けるようになったが、ある物体の運動を、運動方程式 $ma=F$ を用いて知るには、別の物体にはたらく力を F とするのではなく、まさにその物体にはたらく力を F としなければならない。そのためには、それぞれの力が、どの物体にはたらく力かを正しく答えられなければならない。

そこで、何もヒントを与えず、生徒が記入した力の矢印が、それぞれ、どの物体にはたらく力かを答えさせた。その集計結果が表5である。なお、正解は、床（地球）にはたらく力は、図4の22番、23番、24番、25番の4個の力である。しかし、24番、25番の力を答えさせるのは、無理があるので、22番と23番の力2個で正解とした。また、板にはたらく力は、15番、16番、17番、18番、19番、21番の6個の力、板の上に乗っている物体にはたらく力は、12番、13番、14番の3個の力、ひもにはたらく力は、20番の1個の力で、全部で12個である。

生徒全員の全体の正解数は247個で、正答率は53%である。しかし、別の物体にはたらく力をその物体にはたらく力と誤答したものが、生徒全員の全体で158個もある。これだけ誤答が多いということは、正解のほうも、相当、まぐれのものがあると思われ、あまり良く分かっていな

いということであろう。

誤答の多くは、相手の物体にはたらく力をその物体にはたらく力と誤解したものである。

(4) 4回目目の調査結果とその考察

3回目の調査で50分の授業時間が終了した。以下は、その1週間後の授業時間における調査である。

この4回目の調査をする前に、新しく、

(観点3) ある物体にはたらく力とは、その物体が押ししたり引いたりする力ではなく、その物体が押されたり引かれたりする受け身の力である

ことを簡単に説明した後、調査を実施した。

(ア) 図1の場合

観点3を簡単に説明後、図1の場合について、1回目の調査と同じように、力の矢印を記入させ、それらの矢印がどの物体にはたらく力かを答えさせ、さらに、つりあいの関係にある力は、どれとどれかを答えさせた。その集計結果が表6である。

表1の場合と比較すると、今回は、ボールにはたらく力の矢印は、一人の調査用紙未提出者を除いて、全員完全に正解と(93%から100%に)なった。また、その4つの力が何にはたらく力かについても、正解が92%から99%になった。

しかし、『つりあいの関係にある力はどれとどれか』という問い(正解は2番と3番の力)の正解者は5名から6名(全体の16%)に増加しただけで、そのうち2名は作用・反作用の関係にある力をもつりあいの関係にある力と答えているので、完全につりあいの関係にある力を理解している生徒は、3名から4名(解答者の11%)に増加しただけで、大半の生徒は理解していないままであった。この点については、何も説明はしなかったので、第1回目の調査のときと、ほとんど変化はない。やはり、作用・反作用の関係にある力と、つりあいの関係にある力の区別をはっきりさせる必要がある。

表1と表6を比較して、生徒個人を見ると、30番と31番の生徒が、初めはつりあいの関係を正しく答えていたのに、この学習の後には、誤答となっている。

(イ) 図4の場合

図4の場合について、3回目の調査と同様に力の矢印を記入させ、それらの矢印がどの物体にはたらく力かを答えさせた。その集計結果が表7である。

観点3を教えなかった表5の場合と比較して、説明後の表7では、どの物体にはたらく力かの正解数が全部で247個(53%の正解率)から304個(65%の正解率)と上昇し、誤答の数も158個から115個へと大きく減少した。すなわち、正解の数と誤答の数の差が大きくなり、より理解が深まったと考えられる。このときの誤答も、ほとんどが、力を及ぼす相手の物体にはたらく力をその物体にはたらく力と答えたものである。観点3を、もっとしっかり説明する必要がある。

なお、生徒は、番号順に、Aグループ、Bグループ別に、2学期末のテストの成績順に上から並べてある。2学期末のテストの内容は、この調査の問題とは異なるが、主として、関係の深い力のつりあいの分野の問題であった。表1～表6を見る限り、この調査結果と生徒の成績の間には、あまり相関はなさそうに見える。しかし、図4の場合に『それぞれの力が、どの物体にはたらく力か』を調べた表7の正解数の合計の数値だけは、生徒のテストの成績と極めて高い相関があるようである。結局、物体にはたらく力を良く理解できた生徒が力のつりあいを良く理解できて、力学を理解できるということにつながる結果を示す結果である。

4. 力の指導方法のまとめ

以上より、生徒が、物体にはたらく力を見つけて正しく理解するためには、観点1～3がある程度、有効であることが分かった。

しかし、これだけでは、『初めに押したときの力が物体に残っている』とか、『速度があれば力がある』という運動エネルギーや運動量を力と思いこんでいる点と、作用・反作用の関係にある力をつりあいの関係にある力と誤解している点が問題として残った。

この2つの誤解を訂正する指導として、次のような指導方法が考えられる。

(1) 運動エネルギーや運動量と力を誤解している点について

この誤解を防ぐ簡便な指導法は、作用の力と反作用の力がはたらくのは、同時であることを強調することである。すなわち、図2のような場合、もし、空中を飛んでいるボールに、手で投げたときの力が残っているなら、同時に、ボールが空中を飛んでいる間にも、手に反作用の力を感じ続けなければならない。もちろん、ボールが手を離れた後も、反作用の力を感じ続ける生徒はいない。

しかし、この指導方法は、生徒の実感には合わないようで、生徒は納得できない考えを先生に押しつけられたように感じるようである。生徒は、投げたときの力(本当は運動エネルギー?)が残っているから、ボールは飛び続けることができるのではないかと思うようである。この考えは、幼少の頃からの数多くの経験からきたもので、なかなか根強いものがある。すなわち、生徒は、『物体に力を加え続けなければ物体は止まる』、『速度があれば力のはたらいているに違いない』という『力があれば速度があり、速度があれば力がある』という日常経験の重みは大変大きいようである。もちろん、普通は摩擦力があるからであるが。

そこで、この考えを、天下りの押しつけにならないように否定するために、『力があれば速度がある』という考えの逆の実例を示して納得させるようにしている。『論より証拠』というところである。その例が図5の場合である。この実例より、速度と力の間には、一般的には関係がないということを納得させ、さらに、慣性の法則の理解を深めるようにしている。

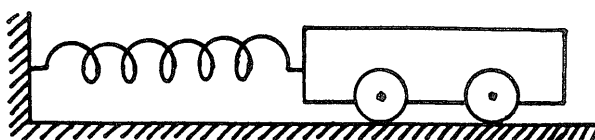
すなわち、図5で、台車を右に引っ張って、静かに手を放す。放した直後は、台車を引くばねの力は最大であるが、このとき速度は0で最小である。その後、台車がゆっくりと左に動き出すに従って、ばねの引く力は小さくなるが、速度は逆に大きくなる。すなわち、この場合は、力が大きいときに速度が小さく、力が小さいときに速度が大きくなるという状況になっている。その結果、力の大小と速度の大小の間には一般的な法則はないことを理解させる。このような実例で、力があれば速度があるという考えには一般性がないことを納得させる。

また、慣性の法則は、言い換えると、一定の速度で動くだけなら、力はいらない(合力が0である)ということを述べた法則であることを理解させる。物体が動き続けるには、必ずしも力はいらないのである。

さらに、普通、物体を動かし続けるには、力が必要なように思うが、それは摩擦力があるからで、摩擦力が小さくなるに従って、小さな力で済むことと、物体がどう動くかは、人間が加えた力のみを考えたのでは片手落ちで、物体の運動は、物体にはたらくすべての力(合力)を考慮しなければならず、摩擦力を抜かして、人間が加えた力だけを考えても、物体の正確な運動は分からないことを強調している。

なお、この指導方法が、どの程度、生徒に対して効果があるかについては、次の機

図5



会に報告したい。

(2) 作用・反作用の関係にある力と、つりあいの関係にある力の混同について

この混同を防ぐ簡便な指導法は、作用・反作用の2つの力は、異なる物体にはたらく力であるのに対して、つりあいの関係にある力は、同一物体にはたらく力であることを強調することである。それぞれの力がどの物体にはたらく力かが分かるようになれば、これで、混同は防止できる。しかし、この指導法は、正しい答えを得るには有効な方法であるが、生徒の直感には必ずしも合わないようで、やはり、納得できない考えを先生から押しつけられたように感じるようである。

すなわち、生徒は、『図1の場合、ボールが壁を押せば（1番の力）、壁がボールを押し返す（2番の力）から、ボールは左に動かないわけで、もし、壁がボールを押し返してくれなければ、ボールはつりあわないで左に動いて行ってしまう。したがって、押す力（1番の力）と押し返す力（2番の力）がつりあっているに違いない』と誤解するようである。一理あるように感じる。

もちろん、1番の力と2番の力は、作用・反作用の関係にあり、大きさが同じで逆向きである。しかし、この2つの力は大きさが同じで逆向きであることを教えると、作用・反作用関係であると同時に、つりあいの関係にある力ではないかと、より強く思うようである。

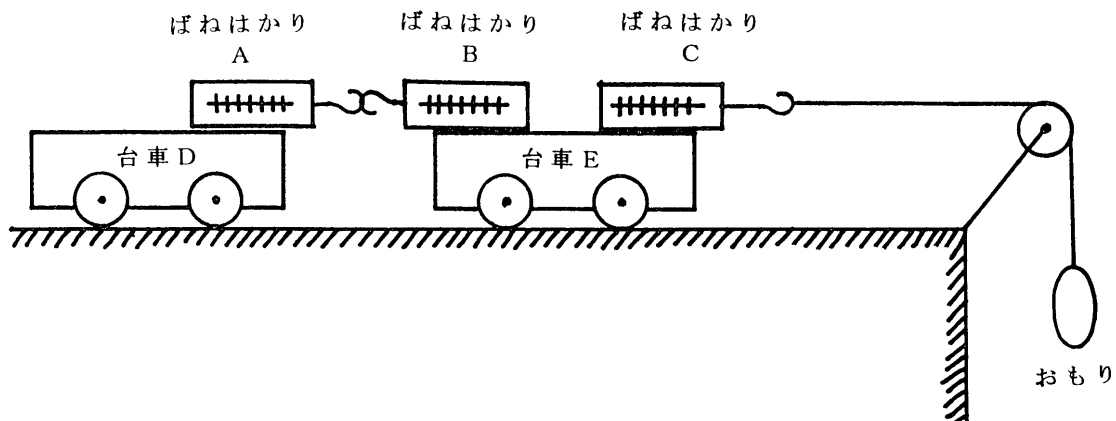
この考えを否定するには、やはり、つりあっていないときでも、作用・反作用の力は大きさが同じで逆向きである実例を示すのが良いと思われる。

その実例として、図6のような簡単な実験がある。台車Dを手で押さえて静止させているとき、手を放して台車が加速度運動をしているとき（つりあっていないとき）に、それぞれのばねはかりの目盛りを読みとらせる。加速度運動しているときでも、ばねはかりA、B、Cの目盛りがおもりの重さに等しいと誤解している生徒も少なくない。つりあっていない場合でも、作用・反作用の関係にあるばねはかりAとBの目盛りが等しい（ただし、静止しているときよりも小さい）ことと、ばねはかりBとCの目盛りより、台車Eにはたらく力の合力を求めさせ、物体がつりあっているか否かは、ひとつの物体にはたらく力で考える必要があることを実例に基づいて納得させたい。

図1のような押し合う力の場合をやれば良いと思われるが、その場合は、押す力を表示するばねはかりが必要になる。残念ながら本校にはない。

なお、この指導法が、どの程度、生徒に効果があるかについては、次の機会に報告したい。

図6



5. おわりに

生徒が力学を理解するためには、物体にはたらく力を矢印で記入できること、さらに、その力がどの物体にはたらく力であるかを理解できることが重要であることが分かった。それらのことを理解するためには、観点1を少し修正して

(観点1) 力は、必ず、物体と物体の間で同時にはたらき、必ず、2個ずつ対になって現れる

(観点2) 重力、磁力、静電気力などは、物体と物体が離れていても力ははたらくが、当面、物体と物体が離れていてもはたらく力は重力のみである。残りの力は、物体と物体が接触している点ではたらく

(観点3) ある物体にはたらく力とは、その物体が押したり引いたりする力ではなく、その物体が押されたり引かれたりする受け身の力である

という3つの観点が有効であることが分かった。

さらに、この3つの観点だけでは、速度があれば力があるという誤解や、作用・反作用の関係にある力とつりあいの関係にある力の区別を、あまりうまくできないことが分かった。

それらの問題点の解決方法の一例を記述したが、その解決方法が、生徒に、どの程度、効果があるかについては、次の機会に報告する。

表1 壁・ボール・指にはたらく力

	生徒 番号	学期末 テスト の得点	力の矢印 の正解の 数	何にはたらく 力か、正解し た数	つりあいの 関係を正解 した生徒	つりあいの 関係を誤答 した数
A グ ル ！ フ	1	25	2	2		2
	2	39	4	4		2
	3	41	4	4		3
	4	42	4	4		1
	5	49	3	3		1
	6	50	4	4		2
	7	55	4	4		2
	8	61	4	4		2
	9	62	4	4		0
	10	62	4	4		2
	11	64	4	4		1
	12	65	4	4		2
	13	66	4	2	○	1
	14	68	4	4		2
	15	70	2	3		2
	16	74	4	4		2
	17	78	2	2		1
	18	90	4	4	○	0
	19	97	4	4		2
小計			69	68	2	30
正答率%			91	90	11	
B グ ル ！ フ	20	29	4	2		2
	21	36	4	4		2
	22	37	4	4		2
	23	42	4	4		2
	24	57	4	4		2
	25	57	4	4		3
	26	73	4	4		3
	27	73	4	4		2
	28	75	4	4	○	1
	29	78	4	4		2
	30	80	4	4	○	0
	31	83	2	2	○	0
	32	84	4	4		2
	33	84	4	4		3
	34	85	4	4		2
	35	85	2	4		2
	36	88	4	4		2
	37	100	4	4		2
	38	100	4	4		1
39	100	4	4		2	
小計			76	76	3	37
正答率%			95	95	15	
合計			145	144	5	67
正答率%			93	92	13	

表2 物体にはたらく力（1回目、力の説明なし）

	生徒 番号	図2のボ- ールにはたら く力の矢印 の正解の数	図2のボ- ールにはたら く力の矢印 の誤答の数	図3の場合 の力の矢印 の正解数	図3の場合 の力の矢印 の誤答数	図4の場合 の力の矢印 の正解数	図4の場合 の力の矢印 の誤答数
A グ ル ！ フ	1	1	4	1	1	3	0
	2	3	0	2	0	8	0
	3	3	3	2	1	6	0
	4	0	3	1	1	0	0
	5	3	0	3	2	7	0
	6	3	5	2	1	8	0
	7	3	3	1	1	5	0
	8	3	3	0	0	6	0
	9	1	1	2	1	7	0
	10	3	4	1	1	5	0
	11	3	2	1	1	4	0
	12	3	0	2	0	8	0
	13	3	0	2	0	9	0
	14	3	0	2	0	10	0
	15	3	0	* 3	0	8	0
	16	2	3	3	0	7	0
	17	3	0	1	0	5	0
	18	3	0	2	0	8	0
	19	3	0	1	0	5	1
小計		49	31	32	10	119	1
正答率%		86		56		52	
B グ ル ！ フ	20	3	0	2	0	7	0
	21	3	3	2	0	9	0
	22	3	0	2	0	6	0
	23	0	3	1	1	5	1
	24	3	4	1	1	6	0
	25	3	0	2	0	7	1
	26	3	5	2	1	7	0
	27	3	0	3	0	7	0
	28	3	6	2	0	7	0
	29	3	6	2	1	7	0
	30	3	0	1	0	4	0
	31	3	1	2	1	1	0
	32	3	0	2	0	6	0
	33	3	2	2	0	8	0
	34	3	2	2	1	6	1
	35	3	3	2	0	7	0
	36	3	3	3	1	12	0
	37	3	2	3	1	6	0
	38	3	0	2	0	7	1
39	1	4	2	1	6	0	
小計		55	44	40	9	131	4
正答率%		92		67		55	
合計		104	75	72	19	250	5
正答率%		89		62		53	

*は地球が物体から引かれる力を記入した生徒

表3 物体にはたらく力（1つの観点のみ説明後）

	生徒 番号	図2のボ- ールにはたら く力の矢印 の正解の数	図2のボ- ールにはたら く力の矢印 の誤答の数	図3の場合 の力の矢印 の正解数	図3の場合 の力の矢印 の誤答数	図4の場合 の力の矢印 の正解数	図4の場合 の力の矢印 の誤答数
A グ ル ー プ	1	2	4	0	2	3	0
	2	3	3	2	0	10	0
	3	3	3	2	0	6	0
	4	3	3	2	0	6	0
	5	3	3	3	3	8	3
	6	3	5	2	2	8	0
	7	3	0	2	0	5	0
	8	3	0	0	0	12	0
	9	1	3	2	2	6	1
	10	2	3	2	1	8	1
	11	3	3	1	1	6	4
	12	3	3	2	0	8	0
	13	3	3	2	0	8	0
	14	3	0	2	0	10	0
	15	3	3	3	2	7	2
	16	2	4	3	2	9	0
	17	3	3	2	0	8	0
	18	3	0	2	0	7	0
	19	3	3	2	0	10	0
小計		52	49	36	15	145	11
正答率%		91		63		64	
B グ ル ー プ	20	3	0	2	0	7	0
	21	3	0	2	0	10	0
	22	3	0	3	0	8	0
	23	3	0	2	1	6	0
	24	3	0	1	0	4	0
	25	3	0	2	0	4	0
	26	3	0	2	0	8	0
	27	3	0	2	0	7	0
	28	3	0	2	0	8	0
	29	3	5	1	1	6	1
	30	3	0	3	0	12	0
	31	3	3	2	1	7	0
	32	3	0	3	0	10	0
	33	3	0	2	0	9	0
	34	3	0	2	0	10	0
	35	3	3	2	0	8	0
	36	3	0	2	0	12	0
	37	3	4	2	1	6	0
	38	3	0	2	0	7	0
39	3	5	2	1	8	0	
小計		60	20	41	5	157	1
正答率%		100		68		65	
合計		112	69	77	20	302	12
正答率%		96		66		65	

表4 物体にはたらく力（2つの観点を説明した後）

	生徒 番号	図2のボ- ルにはたら く力の矢印 の正解数	図2のボ- ルにはたら く力の矢印 の誤答数	図3の場合 の力の矢印 の正解数	図3の場合 の力の矢印 の誤答数	図4の場合 の力の矢印 の正解数	図4の場合 の力の矢印 の誤答数
A グ ル ー プ	1	3	3	0	2	10	2
	2	3	3	2	0	11	1
	3	3	3	2	0	7	1
	4	3	3	3	2	12	2
	5	3	0	3	2	10	0
	6	3	4	2	2	12	0
	7	3	0	2	0	11	1
	8	3	0	0	0	12	0
	9	1	1	2	2	9	0
	10	2	4	2	2	10	0
	11	2	4	2	1	10	1
	12	3	3	2	0	12	0
	13	3	0	2	0	10	0
	14	3	0	2	0	11	0
	15	3	3	3	1	12	0
	16	2	3	3	1	11	1
	17	3	0	3	0	12	0
	18	3	0	3	0	10	0
	19	3	0	1	0	* 12	0
小計		52	34	39	15	204	9
正答率%		91		68		89	
B グ ル ー プ	20	3	0	2	0	10	0
	21	3	0	3	0	12	0
	22	3	0	3	0	12	0
	23	3	6	0	2	8	2
	24	3	0	1	0	9	1
	25	3	0	2	0	8	0
	26	3	0	2	0	11	1
	27	3	0	3	0	10	0
	28	3	0	2	0	10	0
	29	3	4	1	1	12	0
	30	3	0	3	0	12	0
	31	3	3	2	1	11	0
	32	3	0	3	0	* 12	0
	33	3	0	3	0	12	0
	34	3	0	3	0	12	0
	35	3	3	2	0	12	0
	36	3	0	3	0	12	0
	37	3	4	2	1	12	0
	38	3	0	2	0	9	1
39	3	5	2	1	9	0	
小計		60	25	44	6	215	5
正答率%		100		73		90	
合計		112	59	83	21	419	14
正答率%		96		71		90	

*の生徒は、地球が板や物体から引かれる力を記入した生徒

表5 どの物体にはたらく力か (図4の場合, 説明前)

	生徒 番号	床には たらく 力の正 解数	床には たらく 力の誤 答数	板には たらく 力の正 解数	板には たらく 力の誤 答数	物体に はたらく 力の正 解数	物体に はたらく 力の誤 答数	ひもに はたらく 力の正 解数	ひもに はたらく 力の誤 答数	正解数 の合計	誤答数 の合計
A グ ル ブ	1	0	5	1	2	1	1	1	2	3	10
	2	2	2	4	3	2	2	0	1	8	8
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	1	3	1	1	1	1	1	1	4	6
	6	0	2	2	2	2	1	0	1	4	6
	7	1	3	3	2	1	1	0	1	5	7
	8	1	2	3	1	2	0	1	2	7	5
	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	10	1	0	3	1	2	1	1	1	7	3
	11	2	1	3	2	1	1	0	1	6	5
	12	1	3	3	1	1	2	1	0	6	6
	13	1	0	4	1	2	1	1	0	8	2
	14	1	2	3	2	1	1	1	1	6	6
	15	2	1	4	1	2	1	1	0	9	3
	16	0	2	3	2	2	2	1	0	6	6
	17	1	2	3	2	2	1	0	1	6	6
	18	1	1	5	0	2	2	0	1	8	4
	* 19	2	2	4	1	2	0	1	0	9	3
小計		17	31	49	24	26	18	10	13	102	86
正答率%		45		43		46		53		45	
B グ ル ブ	20	1	3	3	3	1	1	1	0	6	6
	21	1	1	4	1	3	1	1	0	9	3
	22	2	0	3	1	1	2	1	0	7	3
	23	1	0	3	0	2	0	0	1	6	1
	24	0	4	1	2	2	0	0	1	3	7
	25	1	0	3	1	1	1	1	1	6	3
	26	0	3	3	2	2	0	0	1	5	6
	27	1	0	3	2	2	1	1	0	7	3
	28	1	1	4	1	2	0	1	1	8	3
	29	2	0	5	0	3	1	1	0	11	1
	30	2	0	6	0	3	0	1	0	12	0
	31	1	2	2	1	1	1	1	1	5	5
	* 32	2	0	6	0	3	0	1	0	12	0
	33	0	2	4	1	2	1	1	0	7	4
	34	1	4	2	3	1	1	0	1	4	9
	35	1	4	4	1	1	0	1	0	7	5
	36	2	0	6	0	3	0	1	0	12	0
	37	2	1	4	2	2	0	0	1	8	4
	38	1	1	2	1	2	2	1	0	6	5
39	0	1	3	1	1	1	0	1	4	4	
小計		22	27	71	23	38	13	14	9	145	72
正答率%		55		59		63		70		60	
合計		39	58	120	47	64	31	24	22	247	158
正答率%		50		51		55		62		53	

*の生徒は、地球が板や物体から引かれる力も記入した生徒

表6 図1のボールにはたらく力（1週間後、何にはたらく力について説明後）

	生徒 番号	ボールには たらく力の 矢印の正解 の数	ボールには たらく力の 矢印の誤答 の数	何にはたら く力かの正 解数	何にはたら く力かの誤 答数	ボールの力 のつりあひ の関係の正 解者	ボールの力 のつりあひ の関係の誤 答数
A グ ル ー プ	1	4	0	4	0	○	3
	2	4	0	4	0		1
	3	4	0	4	0	○	0
	4	未提出	未提出	未提出	未提出	未提出	未提出
	5	4	0	2	2		2
	6	4	0	4	0		2
	7	4	0	4	0		2
	8	4	0	4	0		2
	9	4	0	4	0	○	0
	10	4	0	4	0		2
	11	4	0	4	0		2
	12	4	0	4	0		2
	13	4	0	4	0	○	1
	14	4	0	4	0		2
	15	4	0	4	0		2
	16	4	0	4	0		2
	17	4	0	4	0		2
	18	4	0	4	0	○	0
	19	4	0	4	0		2
小計		72	0	70	2	5	29
正答率%		100		97		28	
B グ ル ー プ	20	4	0	4	0		0
	21	4	0	4	0		2
	22	4	0	4	0		2
	23	4	0	4	0		2
	24	4	0	4	0		2
	25	4	0	4	0		2
	26	4	0	4	0		2
	27	4	0	4	0		2
	28	4	0	4	0	○	0
	29	4	0	4	0		2
	30	4	0	4	0		2
	31	4	0	4	0		2
	32	4	0	4	0		2
	33	4	0	4	0		2
	34	4	0	4	0		2
	35	4	0	4	0		2
	36	4	0	4	0		2
	37	4	0	4	0		2
	38	4	0	4	0		2
39	4	0	4	0		2	
小計		80	0	80	0	1	36
正答率%		100		100		5	
合計		152	0	150	2	6	65
正答率%		100		99		16	

表7 図4の場合の調査（1週間後、何にはたらく力かの説明後）

	生徒 番号	力の	力の	床	に	床	に	板	に	板	に	物	体	物	体	ひ	も	ひ	も	正解数 の合計	誤答数 の合計
		矢印の 正解数	矢印の 誤答数	はたらく 力 正解数	はたらく 力 誤答数	はたらく 力 正解数	はたらく 力 誤答数	はたらく 力 正解数	はたらく 力 誤答数	はたらく 力 正解数	はたらく 力 誤答数	はたらく 力 正解数	はたらく 力 誤答数	はたらく 力 正解数	はたらく 力 誤答数	はたらく 力 正解数	はたらく 力 誤答数	はたらく 力 正解数	はたらく 力 誤答数		
A グループ	1	7	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	4	2			
	2	10	2	2	1	2	2	2	2	1	2	0	1	2	0	1	5	6			
	3	12	0	1	3	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	5	7			
	4	10	0	1	3	3	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1	5	5			
	5	8	0	1	2	3	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	6	2			
	6	8	4	1	2	3	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	6	3			
	7	12	1	1	3	3	2	2	2	0	0	0	1	0	0	1	6	6			
	8	10	0	2	1	3	2	1	1	0	0	0	1	0	0	1	6	4			
	9	12	0	1	1	3	2	3	1	1	0	1	0	1	0	1	7	5			
	10	10	0	1	0	4	1	2	1	1	0	1	0	1	0	1	7	3			
	11	10	0	1	1	4	2	1	1	0	1	0	1	0	1	0	7	3			
	12	10	0	1	2	4	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	7	3			
	13	12	0	1	1	4	1	2	0	1	1	0	1	0	1	0	8	2			
	14	10	0	1	3	4	3	2	1	1	1	0	1	0	1	0	8	7			
	*15	11	1	2	0	4	1	2	1	1	1	0	1	0	1	0	9	2			
	16	10	0	1	0	4	1	2	1	1	1	0	1	0	1	0	8	2			
	17	12	0	2	1	4	0	2	2	2	1	0	1	0	1	0	9	3			
	18	10	0	2	0	5	0	2	0	1	0	1	0	1	0	1	10	0			
	*19	12	0	2	0	6	0	3	0	1	0	1	0	1	0	1	12	0			
小計		196	8	25	24	66	22	31	12	13	7	135	65								
正答率%		86		66		61		57		72		59									
B グループ	20	9	0	0	1	2	2	1	2	1	0	4	5								
	21	10	0	1	2	3	2	1	0	0	1	5	5								
	22	6	0	0	1	3	0	1	0	1	0	5	1								
	23	8	0	0	1	3	1	1	1	1	0	5	3								
	24	10	2	2	1	2	2	1	3	1	0	6	6								
	25	8	0	1	1	3	0	2	0	0	1	6	2								
	26	12	0	2	3	3	0	2	0	1	0	8	3								
	27	12	0	2	2	4	1	1	1	1	0	8	4								
	28	10	0	2	0	4	1	1	1	1	0	8	2								
	29	10	0	2	0	4	1	2	0	1	0	9	1								
	30	12	0	2	2	4	1	2	0	1	0	9	3								
	31	12	0	2	0	5	1	2	1	1	0	10	2								
	*32	12	0	2	2	5	0	2	0	1	0	10	2								
	33	12	0	2	0	5	1	2	1	1	0	10	2								
	34	10	0	2	1	5	2	2	1	1	0	10	4								
	35	12	0	1	0	5	1	3	1	1	0	10	2								
	36	12	0	2	0	5	1	3	0	0	1	10	2								
	37	12	0	2	0	6	0	3	0	1	0	12	0								
	38	12	2	2	0	6	0	3	1	1	0	12	1								
39	12	0	2	0	6	0	3	0	1	0	12	0									
小計		213	4	31	17	83	17	38	13	17	3	169	50								
正答率%		89		78		69		63		85		70									
合計		409	12	56	41	149	39	69	25	30	10	304	115								
正答率%		87		72		65		61		79		65									

*の生徒は、地球が板や物体から引かれる力も記入した生徒