

初等力学教育における作用反作用と抗力の誤概念 ～学習指導要領上の変遷をたどりながら～

山本 明 利

北里大学理学部

要旨

「作用反作用と力のつり合いの混同」による誤概念についてはこれまでも多くの指摘があり、初等力学教育の大きな課題とされてきた。本学初年次の教職課程履修者を対象に実施したアンケートでも、ほとんどの学生がこの誤概念を持っていることが示され、経年変化がないことから、この傾向が一時の偏りではなく一般的なものであることが裏付けられる。

特に「抗力」が絡む現象では、「力のすり抜け」の誤概念がさらに混乱を深める。加えて、中学校教科書にも見られる「抗力の弾性モデル」による行きすぎたモデル化が誤概念をむしろ助長している恐れがある。本論では小・中学校の学習指導要領における関連の記述の変遷をたどり、中学校理科教科書の各社の記述も比較しつつ、これらの誤概念がかくも根深く定着するに至った原因を探る。

キーワード：誤概念、素朴概念、学習指導要領、力学、作用反作用の法則、理科教育法、教育方法論、教育課程論、教員養成

1. 学生アンケートの結果から

本学大学初年次の教職課程履修者に毎年、「科学常識度アンケート」という調査を実施する。調査対象は、理学部、海洋生命科学部、獣医学部の1年次生で、いずれも中学校・高等学校理科の教員免許状取得希望者である。2014年から4年間にわたり、「理科教育課程論」の開講時に、同じ調査項目で実施してきた。有効回答数は毎年度約100名でほぼ一定している。

調査項目の一つに、作用反作用と力のつり合いの誤概念に関する問いがある。「机の上のリングにはたらく重力の反作用は何？」(記述式)という問いに対して、正答できる者はほとんどいない。理学部物理学科の学生においてさえ壊滅的な状況である(表1)。

調査を行った4年間にわたって、正答率や誤答の傾向がほとんど同じであることから、この状況は一般的な、そして強固な誤概念であると推測される。おそらく本学の学生に特

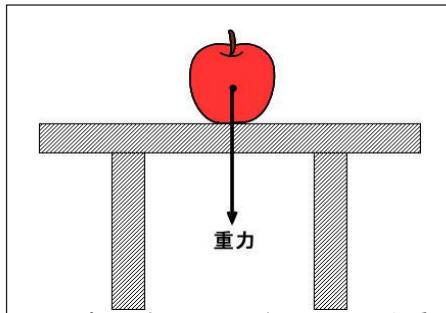


図1 机の上のリンゴにはたらく重力の反作用は？

正答は「リンゴが地球を引く力（万有引力）」である。ただし地球の自転の影響は考えない。

有の現象ではない。

机はダミーで、やや意地悪な問いではあるが、正答は、重力が「地球がリンゴを引く力」であることから、主語と目的語を入れ替えて「リンゴが地球を引く力」となる。誤答のほとんどは「抗力」「垂直抗力」「机がリンゴを支える（押す）力」などと答えるもので、「作用反作用と力のつり合いの混同」という典型的な誤概念にあたる。

一方、間違っているとはいえ「抗力」「垂直抗力」という用語の定着率は非常に良い。おそらく9割に達するであろう。高等学校で「物理Ⅰ」（旧課程）や「物理基礎」（現行課程）を学ばなかった学生も少なくない状況（図2）でのこの定着率の高さは、中学校での学習の影響力の大きさを物語る。

小中学校の学習指導要領には明記されていないにもかかわらず、これらの用語が中学校の教科書には例外なく記載され、しかも誤った概念として定着しているという実態は看過できない。

2. さらに深刻な事例

学生ばかりではない。図3は「平成17年度佐賀県公立学校教員採用候補者選考専門試験・

表1 学科別の正答率(%)

調査年	VZ1	MB1	SP1	SC1	SB1
2014	4.2	0.0	15.0	0.0	0.0
2015	0.0	0.0	9.1	0.0	0.0
2016	0.0	5.0	13.3	12.5	5.6
2017	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

VZ：獣医学部、MB：海洋生命科学部、SP：理学部物理学科、SC：理学部化学科、SB：理学部生物科学科

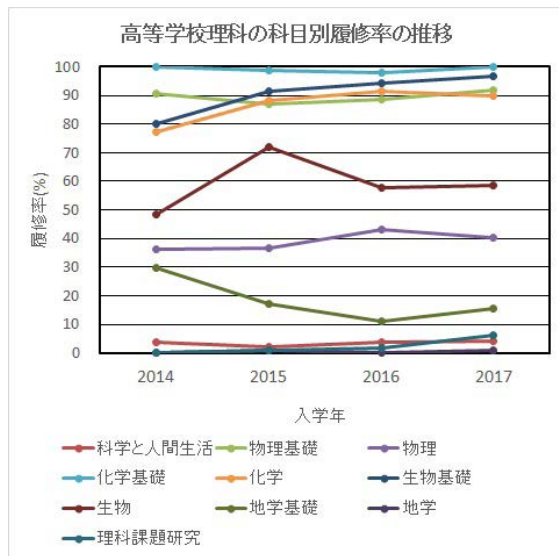


図2 調査対象者の高等学校理科科目別履修率

旧課程履修者については理科総合A+物理Ⅰを物理基礎に、物理Ⅱを物理にカウントしている。他科目も同様である。物理基礎、物理の履修率には大きな変動はない。

中学校理科」の問題¹の一部であるが、選択肢に正答がない。出題者はCを選ばせ、「垂直抗力」と書かせたかったようだが、見事に前述の誤概念にはまっている。理科教員や指導主事といえども正しい理解に達しているとは限らないという一例である。なお、この事例は鈴木亨の文献2によった。この中で鈴木は、回答数こそ小数ではあるが中学校の現役の理科教員を対象にしたアンケートを実施している。その結果は、やはり全滅だったという。

このことは、「誤概念の遺伝」とも言うべき連鎖がすでに定着しているという懸念を抱かせる。本学の学生も、誤概念の修正を受けないまま、将来理科教員として教壇に立てば、この負の連鎖に力を貸すことになる恐れがある。それだけは食い止めたいためである。

これらの事例が示す、初等力学の教育課程上の課題は次の3点に整理できる。

- ①「作用反作用と力のつり合いの混同」の誤概念
- ②「力のすり抜け」という誤概念
- ③「抗力の弾性モデル」の適用限界の課題

本論では、これらの課題それぞれについて、過去の教育課程にさかのぼって分析を試み、対策を考えることにする。

3. 学習指導要領上の作用反作用の扱いの変遷

中学校学習指導要領において、「作用反作用の法則」の扱いはどのような変遷をたどってきたのだろうか。国立教育政策研究所の「学習指導要領データベース」³から拾ってみた

表2 中学校学習指導要領上の「作用反作用」関連の記述

西暦	告示年	施行年	作用反作用に関する記載内容	記載箇所	学年
1958	昭和33	昭和37	a 2力のつりあいを理解する。 b 作用と反作用との関係を理解する。	2 内容	2年
1969	昭和44	昭和47	(ア)物体を押したり引いたりするとき、その物体からも力を受けること。	2 内容	1年
1977	昭和52	昭和56	なし		
1989	平成元	平成5	イ イの(ア)については、物体に力が働くとき反対向きに力が働くことにも触れること。	3 内容の取扱い	3年
1998	平成10	平成14	ア アの(ア)については、物体に力が働くとき反対向きにも力が働くことにも触れること。	3 内容の取扱い	3年
2008	平成20	平成21	ア アの(イ)については、物体に力が働くとき反対向きにも力が働くことにも触れること。	3 内容の取扱い	3年
2017	平成29	平成33	イ アの(イ)の(ア)については、物体に力が働くとき反対向きにも力が働くことにも触れること。	3 内容の取扱い	3年

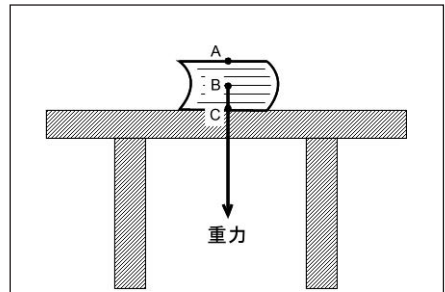


図3 佐賀県の中学校教員採用試験の問題から

(1)図1は、机の上に本を置き、重力がかかる様子を示している。重力の反作用を作図しようとするとき、どの点を力がはたらいっている点として矢印を書き始めるとよいか。A,B,C.の記号で答えよ。
(2)(1)の力のことを何と言うか。

ものが表2である。

「試案」の段階を経て、学習指導要領が正式に告示され、初めて法的拘束力を持つようになった昭和33年（1958年）には「作用と反作用」という言葉が、「2 内容」に、力のつりあいの項目と並んで明記されている。このときの学習年次は中学校2学年であった。この時期は1957年のスプートニクショックに始まる米国の科学教育現代化運動が我が国にも上陸し、「科学技術教育向上」、「系統的な学習」をスローガンに、理科教育が強力に推し進められた。高校理科は4科目必修の時代である。早くも「詰め込み教育」との批判が世論を賑わしていた。

引き続き科学技術重点政策がとられていた昭和44年の改訂では、「作用反作用」という用語は明記されなくなったが、「物体を押ししたり引いたりするとき、その物体からも力を受けること」という表現で、やはり「2 内容」の項目に記載がある。学習年次は1学年に降りてきている。

「作用反作用」の扱いが中学校学習指導要領から突然消えたのは、昭和52年の改訂時である。「ゆとりある充実した学校生活」を旗印に、いわゆる「ゆとり教育」へと向かい始める最初の転換点だったから、その影響も考えられるが、さらに内容削減が進められた平成元年の改訂では、「3 内容の取扱い」に格下げした形で、「物体に力が働くとき反対向きに力が働くことにも触れること。」と控えめに復活して、そのまま今日に至ることを考え合わせると、単に内容の削減の影響とは考えにくい。このとき何が起こっていたのだろうか。

4. 小学校学習指導要領における過去のある出来事

昭和33年(1958年)告示の最初の小学校学習指導要領⁴においては、
「ゴムひもや、つるまきばねの伸び方は、それにはたらく力の大きさに関係することを数量的に調べて理解する。」

としてフックの法則を扱っていた。この表現には何も問題はない。ところが文部省(当時)は次の改訂で痛恨のミスを犯す。昭和43年(1968年)告示の小学校学習指導要領⁵の理科〔第6学年〕で次のように書いたのである。(下線は筆者)

「(4)力の大きさは物の重さに置き替えられることを理解させる。

ア おもりをつるして静止したつるまきばねでは、ばねのもとにもどろうとする力とおもりの重さがつり合っていること。」

下線部が何から何にはたらく力なのかが不明瞭な上、ばねが意思を持つかのような表現だったため、当時、各社の教科書には「引く力とばねがもどろうとする力がつりあう」のような表現があふれ、しかもそのまま検定合格してしまったので現場は大混乱に陥った。まさに「作用反作用と力のつり合いの混同」の誤概念が全国一斉に増殖されたのである。当時の混乱ぶりは三井伸雄の報告^{6,7}に詳しい。

批判を浴びたためか、次の改訂（昭和52年）以降、「ばね」が小学校学習指導要領から消えた。実は中学校から作用反作用の記述が消えたのもこのときである。大人でも間違えるくらい難しい概念だから、小・中学生に正しい理解を求めるのは困難と判断したか、現場の教員の力量を評価してのことか、あるいは避けて通ってほとぼりを冷ますためだったか、真相は不明である。ともかくも、これ以降、「フックの法則」の内容は中学校に送られ、小学校では「てこ」だけを扱うようになった。「作用反作用」の方は前述の通り、十年間のブランクの後、中学3年の「3 内容の取扱い」で控え目に復活することになる。

この時代における誤った指導により幼時に誤概念をすり込まれた世代（45～53歳）はまだ現役である。さらに、「作用反作用」が学習指導要領から消えた期間も、多くの現場では引き続き誤った「発展的指導」が行われていたから、誤概念の遺伝子は絶えることはなかった。

石井信也が1983年に「汎日本的に誤解されている『作用・反作用』」⁸と表現した実態は、その後の学習指導要領改訂を経てもなお、ほとんど改善されていないように見える。

5. 学習指導要領と教科書における「抗力」の扱い

次に「抗力」の取扱いについて見てみよう。大きさのある物体同士が接触するとき、触れあう面間に互いにはたらく力が「抗力」である。抗力の面に垂直な分力は「垂直抗力」とよばれ、面に平行な分力が「摩擦力」である。垂直抗力と摩擦力は、中学・高校では別々の力として扱われることが多いが、「抗力」として一本化して扱う方が、正しい作用点・作用線を見だしやすく、教育的であることが石井信也⁹らによって主張されてきた。本稿では摩擦力を含む現象には踏み込まないので、「垂直抗力」の意味に限定して「抗力」と略称している。

さて、現行の中学校学習指導要領および解説、本年3月に告示された新しい中学校学習指導要領および6月発表の解説¹⁰のいずれにも、「抗力」「垂直抗力」という用語はあらわには書かれていない。例えば新しい中学校学習指導要領解説・理科編¹⁰では「机の面が物体を押し上げている力」と表現している。力のおよぼし手と受け手を明記している点で、この表現は明確でわかりやすく教育的である。

それでは教科書での記述はどうだろうか。手元の中学校理科の教科書から拾ってみよう。こちらは現行本である。下線は筆者が施した。

東京書籍・新しい科学3年¹¹

このように、ある面の上に物体を置いたとき、その面から垂直に物体にはたらく力を、垂直抗力という。

啓林館・未来へひろがるサイエンス1¹²

抗力（垂直抗力）物体を机の上に置くと、机がわずかに変形する。この変形した机が元に戻ろうとして、物体を面に垂直に押し返すようにはたらく。

啓林館・未来へひろがるサイエンス3¹³

物体を机の上に置いたとき、地球が物体を引く重力と机が物体を押し返す抗力とがつり合って、物体は静止している。

大日本図書・理科の世界1年¹⁴

「トピック・力のつり合い」

机は物体の重力によってわずかに変形し、その変形による弾性力が生じる。物体にはたらく重力と弾性力がつり合うのである。物体と机の間にスポンジをはさむと、物体の重力によるスポンジの大きな変形が観察できる。

大日本図書・理科の世界3年¹⁵

「トピック・つり合う二つの力」

①机の上に物体を置くと、物体にはたらく重力を受けて机はわずかに変形し、それにより生じる力（弾性力）で物体を支える。机の変形はわずかだが、たとえばスポンジなら、大きく変形する。しかし、弾性力で物体を支えていることに変わりはない。このように、面に接した物体が面から垂直に受ける力を垂直抗力という。

教育出版・自然の探求 中学校理科3¹⁶

抗力 机の上に置いた物体には重力がはたらいているが、物体は下向きに動かず静止している。これは、物体にはたらいっている重力とつり合う力が、机から物体の面へ垂直にはたらいっているためである。この力を垂直抗力、または抗力という。

学校図書・中学校科学3¹⁷

「科学の窓」

抗力はどのようにして生じるか

机などの面は、どのようにして抗力を生じさせているのでしょうか。

うすい板を橋のように渡し、その上に物体を置くと（図a）、板は物体によって下向きに押され、変形します。変形した板は、もとの形にもどろうとして、ばねのような弾性力（変形した物体がもとにもどろうとして生じる力）を生じさせ、物体は上向きの力を受けます。

机の上に物体を置いた場合には、厚い板でできた机の面は変形するようには見えません。しかし、実際はわずかに変形しています。このとき生じた弾性力が、机の面から物体に加えられる抗力となります。

1年には関連の記述がない出版社（東京書籍、教育出版、学校図書）もある。各社とも主として3年の「力のつりあい」の単元で抗力を登場させ、学習指導要領の表現ではなく、あえて「抗力」または「垂直抗力」という用語を使用している。

そして、東京書籍と教育出版を除く各社は、変形と弾性により抗力が発生するという主旨の説明をしている。いわゆる「抗力の弾性モデル」である。このモデルのルーツは不明であるが、前述の混乱の始まった時期に前後して出版され、人気があった板倉聖宣の仮説

実験授業の授業書等^{18,19}が普及に一役買ったことは想像に難くない。板倉自身は、「作用反作用と力のつり合いの混同」を意識して、これらの書籍中では慎重に言葉を選び、作用反作用の説明を遠ざけているが、読者（教員）がそのことを十分理解したかどうかははなはだ疑問である。

なお、大日本図書版は、1年用¹⁴も3年用¹⁵も物体にはたらく重力がその物体を通して下の机やスポンジにはたらくとする典型的な「力のすり抜け」の誤概念を含んでいる。初歩的な誤りであるが、なぜか検定合格している。この誤概念については後で触れる。

6. 意思を持つ物体？

さて、「抗力の弾性モデル」の何が問題なのか。さすがに反作用まで弾性力で説明してしまう教科書はなかったが、上に引用した各教科書の下線部の記述には気になる表現が残る。それは「もとにもどろうとして」とか「押し返す」という表現である。

前者は「落ちようとする力」、「進もうとする力」のように、「物体が何々しようとする力」のたぐいである。あたかも物体が意思を持って自主的に行動するような表現だが、これはアリストテレス流の自然観に通じる危険な素朴概念である。初学者はともすればそうした素朴概念にとらわれがちであるからこそ、それを助長するような表現は物理教育の場では慎みたい。

ニュートン力学は、物体には慣性があって、外力がはたらかない限りその運動状態を維持すると教える。擬人化表現は好ましくないが、あえて言うなら、始めに静止していた物体は外力がはたらくからしぶしぶ動くのであって、決して自ら進んで動こうとはしない。

次に後者の「押し返す」という表現である。「押されると変形し、戻ろうとして押し返す。」これが「抗力の弾性モデル」のロジックである。しかし石井信也の主張²⁰のように、「～し返す」という表現にはタイムラグが感じられ、押されたことが原因で、結果として押し返す力が発生したというニュアンスが伴う。しかし、この2つの力は作用反作用の対で、押し合いの相互作用だから、同時に発生し、主従や順序性はない。これも慎みたい表現である。

7. モデルの限界・禁断の領域

ところで、中学・高校で学ぶ初等力学では、大きさのある物体は「剛体」として扱う。「剛体」とは外力を受けても変形しない物体のことで、質量のみで大きさを持たない「質点」や「伸びない軽い糸」や「滑らかな面」などと同様、理想化された実体である。こうした理想化は非現実的な印象も与えるが、単純化により本質的な中心概念を際立たせるための重要な思考手段である。初等力学はこうした理想化のもとに閉じた理論体系を形成している。

その中であって「抗力」は主として運動の束縛力として物体の軌道を限定するために登場する。剛体は変形しないから、その面に垂直な方向の運動を考える必要がない。複数の

物体が押し合いながらその抗力の方向に加速度運動するような現象も高校では登場するが、いずれにしても、「抗力」の大きさはつり合いの式や運動方程式を満たすように任意の値をとりうる。そんなつかみ所のない力だから、そこに力がかかっていることすら初学者には大変イメージしにくく、中学校の理科教員が苦勞するところではある。そこで、「変形していないように見える物体でも実は少し変形していて・・・」と「抗力の弾性モデル」が登場するわけである。

ばねやゴムは変形が大きいので、それらが力を受けていることを視覚的にとらえられる。それらは力を視覚化する道具、いわばセンサーである。一方、机や床・壁などは変形が目立たないから力のおよぼし合いに気づきにくいので、ばねやゴムにたとえることでイメージを作ろうという意図は理解できる。

しかし、こうしたモデル化には危険も伴う。

机や床がその上の物体に力をおよぼしていることが理解しにくいという学習者に、例えば光弾性の実験（図4）を示して、表面に力が加わると物体内部に変形が生じることを示すのは説得力があるだろう。ただし、このときに注目させたいのは、力をおよぼし合う物体の双方が共に同時に変形していることである。

双方の物体は、作用反作用の関係を保ちながら、互いに等しい大きさの力（抗力）を逆向きにおよぼし合いつつ、しだいに変形を進めていくのである。変形が進行していく短時間の途中では力はつり合っていない過程もある。このときは一部の構成粒子が加速度運動をしている。その場合でも二物体が押し合う「抗力」同士はどの瞬間にも等しく、作用反作用の関係を満たす。

この観察によって示すことができるのは、変形が目立たず、一見、力をおよぼしたり、およぼされたりしているようには見えない物体でも、確かに力をおよぼし合っていることである。力を物体の変形によって視覚化するのが光弾性の実験の意義である。

「光弾性」の名の通り、もちろんこれは物体の「弾性」を観察しているのであり、固体

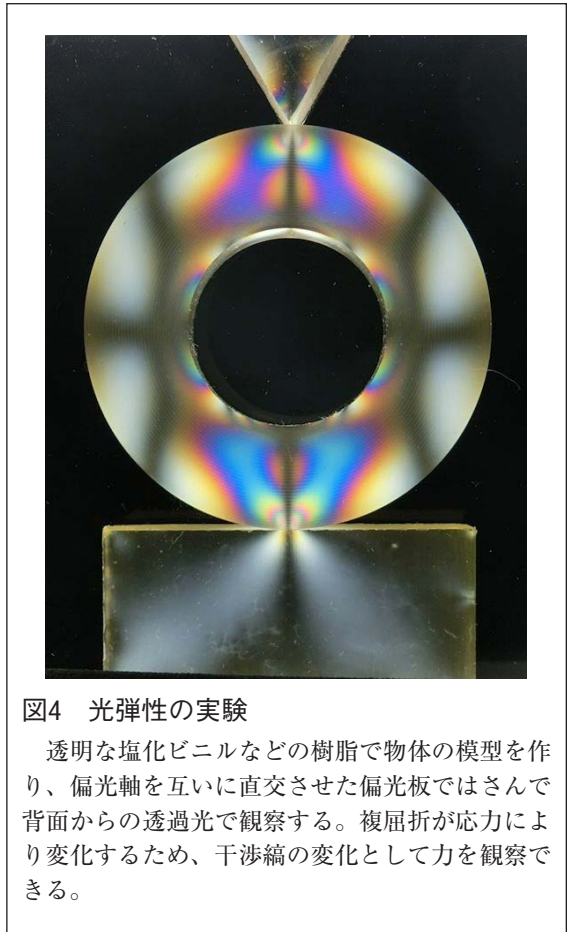


図4 光弾性の実験

透明な塩化ビニルなどの樹脂で物体の模型を作り、偏光軸を互いに直交させた偏光板ではさんで背面からの透過光で観察する。複屈折が応力により変化するため、干渉縞の変化として力を観察できる。

が外部から力を受けると多かれ少なかれ変形することは事実である。それを「ものはみんなばねだ」と表現することに問題はない。さらにそれを物体を構成する粒子のレベルまで還元して、変形が原子間距離の変化によるとして「原子論的」に表現することも、それがわかりやすいというならば差し支えない。しかし、モデル化して良いのはそこまでである。その先に、魅力的な禁断の領域が待ち受けていることに十分警戒すべきである。

すなわち、力によって変形が生じるという事実を超えて、物体が意思を持つかのように「元の形に戻ろうとして押し返すので抗力が生じる」などと言えば非科学に陥るし、いわんや「それが反作用の原因だ」などと口を滑らせてはいけない。これが禁断の領域である。

抗力は双方の物体が相互におよぼし合っており、変形は双方に同時に生じている。どちらが先でも後でもない。作用反作用の法則に原因などはないのである。

そもそも抗力を弾性論的・原子論的に説明することは必要なのだろうか。初学者は本当にそれがわかりやすく、それで正しい理解に達するのだろうか。光弾性の実験を見せて、「ほら、机もリングも互いに相手から力を受けてひずんでいるのがわかるでしょう。お互いに力をおよぼし合っているんだね。」というだけで十分ではないか。その先に進むことで朝生邦夫らが言う「説明主義」²¹に陥ってしまうことを恐れる。鈴木健夫は「抗力」「垂直抗力」という言葉を使わず、弾性モデルに頼らない力学の授業プランの再構築に取り組んでいる^{22,23}。その研究成果に注目したい。

鈴木亨は「作用反作用の法則の説明論理に見られる誤概念の起源」²の中で次のように警告している。

『反作用弾性力説』は、因果的な思考の枠組み、因果スキーマにみごとに合致する。すなわち、机上に置いた物体について、

①物体に重力が働く → ②物体が机を押す → ③机がわずかに変形する → ④変形を戻そうと力が働く → ⑤よって、物体に働く力はつり合う

と解釈することで、因果の輪が完結し、これによって、認知的な安定に至る。ある程度学習を進めた生徒や大人が、誤概念を強固な信念として形成する原因となっているのである。」

8. 「力のすり抜け」の誤概念

最後に、「作用反作用と力のつりあいの混同」とセットになって根強い誤概念を形成する「力のすり抜け」の認識についてまとめておこう。「力が物体の中を通り抜ける」、「物体が力を伝える」という、日常生活でも陥りがちな素朴概念である。

鈴木亨が述べる上記の因果スキーマの中には、机の上の物体にはたらいていたはずの重力がいつのまにかその下の机にはたらいてしまう「力のすり抜け」という誤概念も含まれている。①→②の部分である。

前に引用した大日本図書の教科書^{14,15}でも、「物体にはたらく重力」がその物体を通して下の机やスポンジを押していた。「重力」と「物体が机を押す力（抗力）」とを同一視して

いるわけである。これは明らかな誤りである。

糸やひもの張力を扱う場合も同様の誤概念が入り込みやすい。高等学校の運動の法則の単元で、どの教科書にも必ず登場する、アトウッドの装置や、おもりをつるした糸で台車を引く問題（図5）などでも、初学者はおもりにはたらく重力 W が糸を伝わって他端にある台車を引く力 T になるという素朴概念にとられる。実験や計算で $T \neq W$ であることを示すのだが、なかなか納得してもらえず、高等学校でも教授に苦勞するところである。

これらの誤りは、力が何から何にはたらくのか、つまり力のおよぼし手と受け手（主語

と目的語）を強く意識し、それらが違えば（たとえ向きや大きさが等しくても）全く別の力であることを徹底すれば防止できるはずである。すなわち

- ・重力は「地球が物体を引く力」であり「物体が机を押す力（抗力）」とは異なる
 - ・重力は「地球がおもりを引く力」であり「糸が台車を引く力（張力）」とは異なる
- という判断ができるように指導したい。その意味では、初学のうちは「重力」「抗力」「張力」「弾性力」などと短縮した呼び方ではなく、多少面倒でも「何が何を引く（押す）力」のように呼ぶ方がよい。そのような習慣づけは誤概念の克服に大いに効果があるだろう。小・中学校の学習指導要領が、上記のような短縮した呼び方を避けている意味をしっかりとらえた教科書編集や授業開発が必要だろう。

複数の力の合成を扱う際は、とりわけ力の「受け手（目的語）」を意識することが重要である。力の合成（足し算、引き算）は同一物体にはたらく力に限るので、受け手が異なる力は、力のつり合い（合力 = 0）を論ずることがそもそもできない。「作用反作用と力のつり合いの混同」の誤概念に関して言えば、作用を「AがBにおよぼす力」とするなら、反作用は主語と目的語を入れ替えた「BがAにおよぼす力」であるから受け手が違っている。したがって「作用と反作用がつり合う」とは断じて言えないのである。たとえ話で「持ち主が違うお金をやたらに足し算してはいけない」などと表現したりする。

9. 作用反作用と抗力に関する誤概念の克服のために

本稿では、初等力学において初学者を惑わす「作用反作用と力のつり合いの混同」と「力のすり抜け」の誤概念を取り上げ、正しい認識を確認すると共に、それらを克服する教授法について先行研究を見ながら提案してきた。

「抗力」はその具体的な一例として取り上げたものだが、「抗力」が登場する場面は必ず

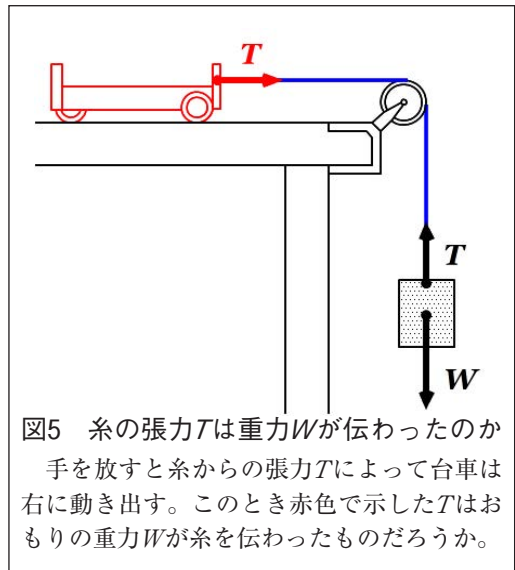


図5 糸の張力 T は重力 W が伝わったのか
手を放すと糸からの張力 T によって台車は右に動き出す。このとき赤色で示した T はおもりの重力 W が糸を伝わったものだろうか。

と言っていいほどこれらの誤概念が入り込みやすい場面であるからよほど注意してかからねばならない。その際慎重に扱いたいのが「抗力の弾性モデル」である。

「抗力の弾性モデル」は、抗力の存在を発見しにくい初学者のために、イメージを助けるわかりやすい教え方として善意で導入されたものには違いないが、そこにはアリストテレス流の自然観に通じる素朴概念が入り込んでおり、それゆえに納得しやすいという陥穽を秘めている。それは、ともすれば勢い余って「反作用の発生」をも説明してしまう危険性もはらんでいる。言い過ぎが言い訳を生み、しだいに説明のための説明に陥っていく泥沼の落とし穴がそこにはある。モデルはどんなにわかりやすいと思っても、非科学にならない範囲で用いるのが理科教育として正しいスタンスだと思う。

本学教職課程の学生も、他の例にもれず、上記の誤概念を持って入学してくる。教職を目指す以上は、誤概念を拡大再生産しないように、学生には講義で正しい理解を求め、模擬授業²⁴のテーマにも選んで関心を高めたりもする。それでも、冒頭に紹介したアンケートを講座の修了時にもう一度（予告なく）行くと、正答率は確かに上昇するが、なお50%程度にとどまる。何度教えても「重力の反作用は抗力」の安定点に戻っていつてしまうのである。それほど手強い誤概念であると言える。

以上述べてきたことは、現場教員の読者も多い雑誌^{25,26,27}にも投稿して対策を呼びかけている。先人たちの取り組みにも増して、息の長い取り組みが必要だと感じている。

力の探索の手段としての作用反作用の法則の、正しい認識と正しい使用法を徹底させれば、初等力学の理解はずっと確かなものになる。力は日常にありふれているようでも目に見えないから難しい。力が正しく見つけられれば、力学の問題は解けたようなものである。「力の受け手」（目的語、持ち主）を明確にする習慣をつけることを、初等力学の教育においては特に重視したいものである。

参考文献

- 1 筑波大学附属学校教育局(2005)「試験問題から見る教員採用の現状と課題」時事通信出版局
- 2 鈴木亨(2008)「作用反作用の法則の説明論理に見られる誤概念の起源」『物理教育』Vol.56 No.4
- 3 国立教育政策研究所「学習指導要領データベース」<https://www.nier.go.jp/guideline/>
- 4 文部省(1958)「小学校学習指導要領」（昭和33年10月告示施行、昭和36年4月実施）
- 5 文部省(1968)「小学校学習指導要領」（昭和43年7月告示、昭和46年4月施行）
- 6 三井伸雄(1971)「教科書の「力学教材」の問題点(1)」『理科教室』1971年1月号（国土社）
- 7 三井伸雄(1971)「教科書の「力学教材」の問題点(2)」『理科教室』1971年5月号（国土社）
- 8 石井信也(1983)「汎日本的に誤解されている『作用・反作用』」『理科教室』1983年12月号（新星出版）

- 9 石井信也(1984)「抗力の作用点は？」『理科教室』1984年8月号(新星出版)
- 10 文部科学省(2017)「中学校学習指導要領解説・理科編」平成29年6月
- 11 新しい科学3年[2東書 理科921](東京書籍)平成25年2月
- 12 未来へひろがるサイエンス1[61啓林館 理科726](啓林館)平成27年2月
- 13 未来へひろがるサイエンス3[61啓林館 理科925](啓林館)平成27年2月
- 14 理科の世界1年[4大日本 理科722](大日本図書)平成26年2月
- 15 理科の世界3年[4大日本 理科922](大日本図書)平成27年2月
- 16 自然の探求 中学校理科3[17教出 理科924](教育出版)平成27年1月
- 17 中学校科学3[11学図 理科923](学校図書)平成27年2月
- 18 仮説実験授業研究会(1964)「授業書・ばねと力」(仮説社)2014年増刷
- 19 板倉聖宣(1974)「仮説実験授業－授業書〈ばねと力〉によるその具体化」(仮説社)
- 20 石井信也(2000)「<～し返す力>はやめよう」『理科教室』2000年11月増刊(新星出版)
- 21 朝倉邦夫「静力学でこそ『力』の基本を教えたい」『理科教室』1988年11月増刊(新星出版)
- 22 鈴木健夫(2009)「力の学習の順序について(作用反作用の扱い)」科教協埼玉大会
- 23 鈴木健夫(2010)「力の学習－抗力を弾性で説明しない」科教協兵庫大会
- 24 山本明利(2011)「電車の綱引き」『物理教育通信』第143号
- 25 山本明利(2016)「ほら！そこにこんな力が…見えない力を見つける方法」『理科の探検』2016年10月号(文理)
- 26 山本明利(2016)「間違っていますか？『作用反作用の法則』の理解」『理科の探検』2016年10月号(文理)
- 27 山本明利(2018)「抗力の弾性モデルの功罪～作用反作用誤概念への落とし穴～」『理科教室』2018年2月号(本の泉社)