

力・エネルギー観念の理解や区別をいかに促すか —つり合う 2 物体に関する既習者の解釈事例が改めて示す指導の難しさ—

仲野 純章

四天王寺大学教育学部教育学科 s_nakano@shitennoji.ac.jp

キーワード：物理，力，エネルギー

(受付：2025 年 1 月 10 日)

I. はじめに

物理基礎は高等学校における物理学学習の導入的位置づけにあり、「物体の運動と様々なエネルギーに関わり，理科の見方・考え方を働かせ，見通しをもって観察，実験を行うことなどを通して，物体の運動と様々なエネルギーを科学的に探究するために必要な資質・能力を育成することを目指す」ということが目標に据えられている（文部科学省，2019a）。そして，物理基礎の履修によって，身近な物理現象と様々なエネルギーに関する基本的な概念や原理・法則を理解させ，科学的に探究する力を育成するとともに，物理学と日常生活や社会との関わりを考えることができるようにすることが大切であるとされている（文部科学省，2019b）。このような重要な位置づけにある物理基礎において，「力」や「エネルギー」は最も基盤となる物理概念であり，一連の学びの初期段階に登場する。しかし，エネルギーの観念を力の観念で捉えている生徒の根強い認識の実態があるなど，かねてより，力とエネルギーを混同する生徒の存在が報告されてきた（徳永，1990；岸澤，2022 など）。

本研究では，物理基礎を履修し終わった直後段階にある生徒を対象に，つり合う 2 物体に関わる調査問題を課し，力・エネルギー観念の理解や区別が十分なされていないがゆえにつり合う 2 物体に関して適切に解釈しにくくなっている者の存在を事例的に確認することを目的とした。

II. 方法

1. 対象

対象集団は，X 高等学校第 1 学年の 4 学級に所属する合計 156 人とした。X 高等学校は奈良県立の全日制高等学校で，県内有数の進学校の一つである。対象集団は，当該校で使用される検定済み教科書（植松ほか，2022）の掲載内容・順序に基づき，1 年間をかけて物理基礎を履修してきた状態にあった。

2. 調査

図 1 に示す調査問題を配布し，問いに対する回答を選択肢から選ばせると共に，回答根拠の記述も求めた。調査問題には，同じ部材からなるものの，状況設定がやや異なる 2 つの状況①，②を用意した。これは，図形的な対称性からも力のつり合いが容易に導かれる

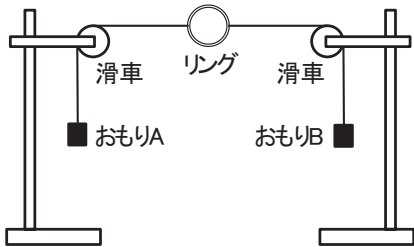
であろうと想定された①に正答した者が、②のように図形的な対称性が崩れた場合にどう対処するかを調べ、これにより力・エネルギー観念の理解や区別が十分なされていないと思われる者の存在を抽出しようとしたものである。

①、及び②に対する回答の選択肢は、それぞれ「静止し続ける」「下がる」「上がる」「特定できない」の4通りとした。回答選択と回答根拠記述のための時間枠は10分とし、その間、教科書の参照や他者との相談は認めず、あくまで自己の素直な考えに基づいて回答するよう指示をした。

<問い>

①②のように、間にリングが固定された糸（リングや糸の質量はない）を左右の滑車にかけ（滑車での摩擦はない）、両端に同じ質量のおもりをつるした（滑車間の糸は、①では水平で、②では傾きを有している）。①②いずれの場合も、おもりA・Bが静止するよう一旦保持した上で、これを静かに放した。①②それぞれの場合において、その後のおもりAの動きがどうか、自身の考えに合うものを選択肢の中から1つ選び、○で囲め。また、そう考えた理由も述べよ。

①



②

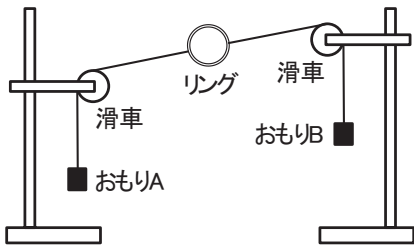


図1 調査問題

Ⅲ. 結果

①への回答状況を表 1 に示す。①については、力のつり合いを回答根拠に選択肢の中から「静止し続ける」を選ぶものが正答となるが、全体を俯瞰すると、用意した選択肢の中から「静止し続ける」「上がる」「特定できない」の 3 通りの選択肢が選ばれ、またその回答根拠も多岐にわたった。本研究では、力・エネルギー観念の理解や区別に着目したため、回答根拠の種別としては、「力」、「エネルギー」、あるいはその両者が回答判断をするにあたり依拠され、記述文面に明記されているかを中心に分類した。具体的には、回答根拠が専ら「力」に依拠しているもの、「エネルギー」に依拠しているもの、そして「力とエネルギー」の両者に依拠しているものがどの程度の内訳で存在するかを分析した。回答根拠の種別としてこれらに分類されないものは「その他」に分類した。なお、設定・提示した題意を無視して回答する事例も散見され、それらの回答根拠の種別としては「題意無視」とした。

表 1 調査問題の①への回答状況（集計対象：全員 n=156）

選択肢 (選択人数)	回答根拠		内訳
	種別	具体的な記述例	
静止し続ける (147 人)	力	・ A, B は同じ重さなので、力がつり合っている。 ・ A も B も同じ質量なので、引っ張る力もつり合う。	125 人
	エネルギー	・ A が持つ位置エネルギーと B が持つ位置エネルギーがつり合っている。 ・ 同じ質量、同じ高さなので、持っているエネルギー量が同じで均衡がとれる。	9 人
	力+エネルギー	・ A, B の運動エネルギーが等しいため、つり合う。 ・ A, B は位置エネルギーが同じため、A, B は重力が等しいといえ、つり合い続ける。	
	その他	・ A, B は同じ質量であるので左右から同じ大きさの力で引かれ、また、A, B の持つ位置エネルギーは同じである。よって、つり合う。	4 人
	その他	・ 左右対称となっているからつり合う。 ・ 同じ高さ、同じ質量であるからつり合う。	9 人
上がる (1 人)	題意無視	・ リングを放すと、リングは下がり、A, B は上に行く。	1 人
特定できない (8 人)	題意無視	・ A, B の質量が分からないため、大小関係が分からず、どちらに動くか予想できない。	4 人
	その他	・ リングが回転することでおもりが動く可能性がある。 ・ A, B の高さが分からないから特定できない。	4 人

一方、①に正答した 125 人に焦点を当て、これらの者が②ではどのように回答したかを同様に分析した。表 2 には、その回答状況を示す。②についても、力のつり合いを回答根拠に選択肢の中から「静止し続ける」を選ぶものが正答となるが、全体を俯瞰すると、用意した選択肢のいずれもが選ばれ、またその回答根拠もやはり多岐にわたった。

表2 調査問題の②への回答状況（集計対象：調査問題の①に正答した者 n=125）

選択肢 (選択人数)	回答根拠		内訳
	種別	具体的な記述例	
静止し続ける (66人)	力	・傾きを変えてもAに働く力の大きさは変わらないため、①と同様になる。	61人
	エネルギー	・A、Bの力学的エネルギーの総和が同じであるから静止し続ける。	1人
	力+エネルギー	・Bの位置エネルギーがAより大きいから、リングを上にするのに必要な力とAの力が同じくらいと感じる。	1人
	その他	・(理由なし)	3人
下がる (41人)	力	・傾いているため、Bの分の重さまでかかり、Aが下がる。 ・Aの方に傾いているためAに働く下向きの力が大きくなり、下がる。	7人
	エネルギー	・Aの方が、位置エネルギーが小さくなるため、運動エネルギーが大きくなり、下がる。 ・①と比べると、②ではAが下がっており、位置エネルギーが消費されるため、Aに多くのエネルギーが加えられて下がる。	7人
	力+エネルギー	・Aの位置エネルギーがBとは違い、Aに加わる力とBに加わる力を計算するとAに加わる力の方が大きいのではないかと考える。	1人
	その他	・元々Aの方に傾いているので、そのままAの方に下がる。 ・傾きを有しているから下がる。	26人
上がる (13人)	力	・A、Bの質量が同じなので、糸を水平にしようとする力が働き、Aが上がる。	1人
	エネルギー	・A、Bは同じ質量でBの方が高い位置にあることから位置エネルギーはA<Bとなり、Aは上がる。 ・Bの方がAよりも位置エネルギーが大きいから、Aは上がる。 ・位置的な関係でBがエネルギーを多く持つため下に下がり、同時にAが上がる（水平になるまで）。	5人
	力+エネルギー	・A、Bは同じ質量であるがBの方が高い位置にあるので位置エネルギーはBの方が大きい。そのため、Bの方に大きな力がかかり、Bが下がってAが上がる（最終的には水平になる）。	1人
	その他	・A、Bが同じ質量であるから、つり合いの関係に戻ろうとし、Aが上がる。 ・A、Bが同じ質量であるから、なるべく①の状態（水平でつり合っている）になろうとするためにAが上がる。	6人
特定できない (5人)	その他	・Aが最初からBよりも下にあるから、そのまま下に引っ張られていくと感じるが、Bの方がより多くの位置エネルギーを持っていることもあり、特定できない。 ・A、Bの高さの差（または糸の角度）がある一定のラインを超えればAは下がるが、そうでなければ静止し続ける。高さや角度については明記されていないため、特定できない。	5人

IV. 考察

表 1 に示すように、①では、全体の約 94% (147 人) に上る者が、A の動きとして「静止し続ける」を選択する結果となった。ただし、力のつり合いを回答根拠に正答の「静止し続ける」を選んだ者は全体の約 80% (125 人) であり、「静止し続ける」を選んだ者の中にも不適切あるいは不十分な解釈を示した者が一部存在した。しかし、図形的な対称性を有した①では、大半の者が力のつり合いを回答根拠に正答を導いたといえ、これらの者が図形的な対称性が崩れた②でどのように対処するかを調べるという狙いに向けて①が事前想定どおりに機能したといえる。なお、①では、「上がる」や「特定できない」を選んだ者も少数存在した。このうち、「上がる」を選んだ者は題意を無視した解釈をしており、「特定できない」を選んだ者は、半数が題意を無視した解釈をしており、他は真意を汲めない不十分な回答根拠の記述であった。

一方、②では、力・エネルギー観念の理解や区別が十分でない事例が出現した。すなわち、①では力概念のみで解釈し、力のつり合いを回答根拠に正答を導いていたにも関わらず、図形的な対称性を崩した②では、表 2 に示すように、その約 13% (16 人) が「エネルギー」に全面的あるいは部分的に依拠した回答根拠を記す、すなわちエネルギー観念を持ち出して解釈するようになった。そして、力のつり合いを回答根拠に「静止し続ける」を選んだ正答者は、①の正答者の約 49% (61 人)、すなわち半数に満たない結果となった。

なお、②では、A の動きとして、「静止し続ける」の他に「下がる」や「上がる」を選択する者も多く存在した。具体的には、「静止し続ける」を選択した者は①の正答者の約 53% (66 人) に留まり、「下がる」を選択した者は約 33% (41 人)、「上がる」を選択した者は約 10% (13 人) となり、とりわけ「下がる」を選択した者の存在感が際立った。その要因としては、物理学習の中で問題視されることの多い、「正しい科学的概念とは異なる何らかの既存概念 (仲野, 2019)」の影響も考えられるが、その追究を趣旨としていなかった本研究ではデータが不足しており、この点に関する追究・議論は今後の研究課題とする。

いずれにしても、同じ重さの A, B が同じ高さにあるなど図形的な対称性を有する①では力のつり合いを回答根拠に正答を導いていた者が、②のような図形的な対称性が崩れた場合、回答状況が多様化し、その中で、力・エネルギー観念の理解や区別が十分でないがゆえにつり合う 2 物体について適切な解釈をしにくくなっていると思われる者の存在が具体的に認められた。

「力のつり合い」については、中学校で学習がなされ、高等学校では、そうした中学校での学習を発展させ、物体に働く力のつり合いについてより深く理解させることが狙いとされる (文部科学省, 2019b)。例えば、鈴木 (2021) は、中学校第 3 学年の生徒を対象にして、本研究における②と状況設定が類似したつり合う 2 物体に関わる調査問題を課し、本研究で見られたように、多様な誤解釈がなされることを報告している。そこでは、同じ重さのおもり A, B を両端につけた軽い糸を定滑車にかけ、B より高い位置になるように A を一旦保持してからこれを放した際、その後の A の動きがどうなるかを問うている。そして、A は静止し続けると回答した者が約 28% に留まり、その他の多くの者が、上がる (38%)、あるいは下がつて元の位置に戻る (33%) と解釈する実態が示されている (なお、回答根拠は開示されておらず、正しい回答根拠に基づく正答者は、上記数値以下と推察される)。本研究では、高等学校で物理基礎を履修し終わった直後段階にある生徒において、

力・エネルギー観念の理解や区別が十分なされていないがゆえにつり合う 2 物体に関して適切に解釈しにくい者がいる実態が窺われたが、そもそも、中学校で「力のつり合い」を理解しきれていないことも影響しているのではないかと考えられる。

V. おわりに

本研究は、対象集団の所属する高等学校で使用される検定済み教科書の掲載内容・順序に基づき、一般的な方法で物理基礎の内容を 1 年間履修してきた生徒を対象に調査を行ったものである。結果の一般化を図るには、より多くの学校を対象に調査する必要がある、また調査問題への回答状況も、どのように指導したかによって変動しよう。しかしながら、少なくとも現状の一般的な指導体系では、かねてより報告されてきたように力とエネルギーを混同する生徒が生まれ得ることが、比較的学力層の高い高等学校においても確認された。

例えば、唐木 (1971) は、高等学校の生徒の実態から、力はエネルギーより扱いにくく、誤りやすいと評価した上で、力によって物体の運動を考えるのをやめて、エネルギーや運動量によって物体の運動を判断する指導体系の研究とその実践・分析が必要と主張している。そうした現場の実態を踏まえた様々な意見を積み上げ、力・エネルギー観念の理解や区別を促す指導方略の在り方を議論していきたいものである。また、それだけでなく、例えば鈴木 (2021) の報告からも示唆されるように、力のつり合いに基づいてつり合う 2 物体について適切に解釈できるよう、中学校段階から力観念の基礎をいかに養うかといったことも議論していく必要があるだろう。

文献

- 岸澤眞一 2022. 授業報告「仕事と運動エネルギー」. 物理教育通信, 187, 17-23.
- 文部科学省 2019a. 高等学校学習指導要領 (平成 30 年告示). 東山書房, 602pp.
- 文部科学省 2019b. 高等学校学習指導要領 (平成 30 年告示) 解説理科編理数編. 実教出版, 370pp.
- 仲野純章 2019. 非弾性衝突に関する誤概念とその修正方略の事例的研究. 理科教育学研究, 59, 423-430.
- 鈴木健夫 2021. 生徒に考えさせる授業を模索し続ける. 物理教育, 69, 171-176.
- 徳永好治 1990. エネルギー概念の歴史的形成過程と理科教育 (II): 活力論争と力学的エネルギー. 日本理科教育学会研究紀要, 30, 45-56.
- 唐木 宏 1971. 力学的エネルギーの指導と理解: 生徒の理解プロセスとその指導の 1 例. 物理教育, 19, 101-107.
- 植松恒夫・酒井啓司・下田 正 (編) 2022. 物理基礎. 新興出版社啓林館, 271pp.