

中学生の質量概念を深める授業実践

夏目ゆうの・瀧本 家康・綱川 明芳・南 伸昌

宇都宮大学共同教育学部教育実践紀要 第9号 別刷

2022年8月31日

中学生の質量概念を深める授業実践[†]

夏目ゆうの*・瀧本 家康*・網川 明芳**・南 伸昌*

宇都宮大学共同教育学部*

宇都宮大学共同教育学部附属中学校**

物体のもつ性質である「質量（慣性質量）」は、地球上でも宇宙空間でも変化しない。しかし、「重さ（重力）」は、物体のもつ性質ではなく物体が地球から受ける力であるため、物体のおかれた環境によって変わる。中学生が物体の運動を学ぶ際、力として重力が与えられる場合が多く、重さと質量の混同に起因する誤概念が散見される。本授業実践では、質量の異なる台車の、斜面を下る運動を比較することで、物体の「動きにくさ（慣性）」の指標としての質量に気付かせ理解を深めることをねらい、授業実施前後で生徒の「質量」の理解がどのように深まったかを調べた。

キーワード：力と運動、慣性質量、重さ、重力、誤概念

1. はじめに

質量（慣性質量）は、物体に力が働いたときにその運動の変化しにくさを示す、物体の性質である。一方、「重さ」は、物体が地球から受ける力（重力）の大きさである。重力下では、物体が受ける重力の度合いとしての重力質量と慣性質量が等価であるため、日常生活において、重さと質量を混同するなど、「質量」の概念形成が非常に難しいことが知られている [1]。

中学校学習指導要領では「力の働きについて」の一部で、「重さについては、小学校の学習を踏まえながら、力の一種であることを理解させ、重さと質量の違いにも触れる」とあるものの、落下速度の質量依存性などについて広く誤概念がみられる [1,2]。

そこで、本授業実践では、質量の異なる台車の同一斜面上の運動を比較することで、重力が働く物体

の速度の変化のしかたと質量の関係を理解するとともに、ひもで吊りした質量の異なる2つの球を、重力と摩擦力をともに無視できる系と見立て、その動きやすさを比較することで、慣性質量を段階的に理解することを目指した。また、授業実践前後における質問紙調査により質量概念の変容を捉えた。

2. 実践方法

(1) 実践対象と実践時期

宇都宮大学共同教育学部附属中学校第3学年（受講人数計138名）を対象として、2021年10月に通常授業（50分）の一環として実施した。なお、授業は大学教員3名（筆者等）が担当した。

質量概念の変容を捉えるために、次項の調査問題を用いて、実践の前時に受講前の生徒の実態を調査した。調査に際しては、「正解」は伝えなかった。また、授業後2-3週間程度の期間内に、同じ調査問題を用いて、実践後の理解度を調査した。

(2) 調査問題

授業前後における質量概念の変化を評価するため、調査問題では、図1の2題を出題した。

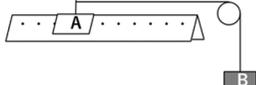
[†] Yuno NATSUME*, Ieyasu TAKIMOTO*, Akiyoshi TSUNAKAWA**, Nobumasa MINAMI*: Practice to deepen junior high school students' concept of mass

Keywords: force and kinetics, mass, weight, gravity, misconceptions

* Cooperative Faculty of Education, Utsunomiya University

** Affiliated Junior High School of Cooperative Faculty of Education, Utsunomiya University
(連絡先:natsumey@cc.utsunomiya-u.ac.jp 著者1)

【問1】物体Aは下からの風で浮いていて、レーンとの摩擦は無視できます。物体AとおもりBを糸で結んで滑車にかけ、静かにBから手を放します。おもりBの運動はどうか、下の選択肢から選び、その理由も記してください。ただし、AとBの質量は同程度で、滑車の摩擦は無視できるものとします。



- ア. Bだけを落下させたときと同じ運動になる。
- イ. Bだけを落下させたときよりもゆっくり落ちる。
- ウ. Bだけを落下させたときよりも速く落ちる。

【問2】無重力の宇宙空間に浮いている、体重180 kgのお相撲さんと体重70 kgのA先生を押しします。同じ力で1秒間押したとき、それぞれの動き方はどうなりますか。下の選択肢から選び、その理由も記してください。

- ア. A先生の方が速く動く。
- イ. お相撲さんの方が速く動く。
- ウ. 二人とも同じ速さで動く。

図1. 調査問題

問1は、摩擦を無視できるが重力を無視できない系、問2は、摩擦も重力もない無重力の宇宙空間における運動を問う問題である。なお、本実践で使用した調査問題は先行事例[3,4]を参考に、問1では物体AとおもりBの質量を同程度と改変した。元の問題ではAとBの質量の関係は示されていない。

(3) 実践授業とワークシート

本実践で用いたワークシートを図2に授業の流れを以下の①～⑧に示す。本実践の前時に【活動1：事前課題】として「同じ角度の斜面のとき、台車の質量が2倍になると、速さの変化はどうなるだろう？」という問いに対する予想を各生徒に行わせ、本時は個々の考えを班内で共有することから始めた。

①授業のねらいの提示 (3分)

本実践のねらいは、運動（物体の速さの変化のしかた）を決める要因として、力や質量があることを意識させることであるため、「質量とはどのような性質のことなのか？」という疑問を顕在化させ、授業を通じて質量の本質に迫ることを予告した。

②活動2 (7分)

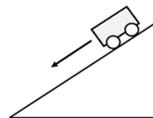
【活動1】の回答の全体的な傾向を挙手で確認後、班ごとに【活動2】に移った。班活動中の机間指導では、予想の根拠の文章化を重点的に促した。

③予想 (【活動2】③)の全体での共有 (5分)

ここでは予想の根拠の説明を中心に数名の生徒に発表させ、全体で共有した。

【活動1：事前課題】以下の問について、自分の考えを書いてください。(相談×)

① 同じ角度の斜面での台車の運動を考えます。台車の質量が2倍になると、速さの変化はどうなるか選んでください。



大きくなる / 変わらない / 小さくなる

② ①で変わる(大きくなる、小さくなる)と考えた人はどのくらい変わりそうか選んでください。

4倍 / 2倍 / 2分の1倍 / 4分の1倍 / それ以外 ()

③ ①及び②でそのように考えた理由を書いてください。

【活動2：班活動】活動1の①から③の間について、班の人と相談した結果を記してください。

【活動3：観察→班活動】以下の問について、観察に基づき答えてください。

① 同じ角度の斜面での台車の運動を考えます。台車の質量が2倍になると、速さの変化はどうなるか選んでください。

大きくなる / 変わらない / 小さくなる

② ①ようになった理由について話し合った結果を書いてください。

図2. 授業ワークシート (一部抜粋)

④演示実験の観察 (3分)

同一斜面上を質量の異なる2つの台車を別々に下らせた。次に2台同時に下らせ、運動の様子を捉えた。

⑤活動3 (5分)

机間指導では「どうしてそうなったのか」の文章化を重点的に促した。ヒントも与えつつ「重いと動かしづらい」等の質量と動きにくさのつながりを生徒から引き出した。

⑥結果の全体での共有 (5分)

ここでは「重くなると力は大きくなるが動かしづらくなるから」程度の共有にとどめた。

⑦教師の説明 (20分程度)

「質量が大きくなると運動にどのような影響を与えるのか？」について、再度問いかけた。机に置いた軽重異なる2物体の場合、同じ力で押すと動きやすいのは軽い方であり、「動きやすい」は「速くなりやすい」ということで共通認識をもたせた。しかし、「どうして重い方が動きにくいのか？」という問いかけに対しては、「重いと摩擦が強くなるから」という意見が多く出た。そこで、重力も摩擦も無視できる系である軽重2種類のぶら下げたおもり(鉄球2.8 kg, ソフトボール180 g)を手で同じ力で押す実験を行った。その結果から質量が大きいと「動

きにくく」なるという「動きにくさ」の概念を導入し、班で話し合いの時間を設け、結果の文章化を促した。

⑧まとめ

ここまでの学習内容から斜面上の台車の運動について、質量が2倍になると物体にはたらく重力が2倍になると同時に、質量が2倍になる物体の「動きにくさ」も2倍になることを生徒から引き出した。ここで「なぜ質量が大きくなると動きにくさが大きくなるのか？」を問いかけ、「質量」の大きさが「動きにくさ」の程度を表すことに気付くよう誘導した。

3. 調査結果

(1) 授業内の活動における認識の変化

台車の質量が2倍になると速さの変化はどうなるのかという問いについて、活動1から3の結果を表1に示す。活動1の個人での事前予想では、「速さの変化が大きくなる」という回答が112/138名と81.1%であった。活動2の班で話し合った結果、「大きくなる」が減り「変わらない」が増えた。活動2と活動3の間に演示実験を行ったところ、「変わらない」が131/138名と94.9%となった。

表1：「台車の質量が2倍になったときの速さの変化」の選択肢と回答者数

選択肢	回答者数	活動1		活動2		活動3	
		事前個人	演示前	演示前	演示後	演示前	演示後
大きくなる		112	77	77	1	77	1
変わらない		25	55	55	131	55	131
小さくなる		1	0	0	0	0	0

演示実験前に行った活動2について、「大きくなると考えた理由」では、「台車の質量が2倍になると、それにかかる重力の大きさも2倍になるので、斜面に平行な分力の大きさも2倍になると思ったから」という回答が多く見られた。

活動3の回答は演示実験の観察に基づいており、ほぼ全員が「変わらない」と回答している。その理由として「質量が大きくなれば、運動している方向への力も大きくなるが、台車を動かすために必要な力も大きくなるから」という質量の理解がみられる一方で、「(形が同じなので) 空気抵抗がほぼ同じだから」や「質量が大きくなると摩擦力も大きくなるから」という回答も散見された。

(2) 事前事後調査の比較

全体の傾向として、問1は事前事後調査で、正答者数が横ばいであった(図3)。一方、誤答の傾向をみると、ウの回答者が減りアの回答者が増えた。問2は事後調査において正答者が大幅に増加した。問1と2の両問正答者は事前調査の14名(11.7%)から事後調査で34名(26.4%)と増えた。

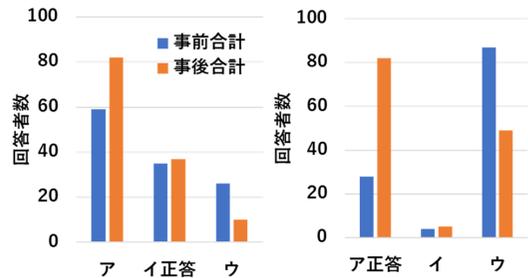


図3. 事前事後調査の比較 左【問1】、右【問2】

問1の事前調査において、正答イを選んだ理由として、「質量のあるものを動かすには力が必要だと考えたから。」と、「質量」という言葉を用いた回答が散見された。アを選んだ理由として、「Aは浮いているのでAの重力はBに力を及ぼさない、そのためBだけを落下させたときと同じ運動になる」といった回答が多かった。ウを選んだ理由は、大きく2つに分けられる。ひとつは「風を浴びて加速する」など空気的作用に起因する理由であり、もう一つは「Aが足されたぶんBだけの時より重くなるから」といった「重いものほど早く落ちる」[5]という素朴概念に基づく理由であった。

問1の事後調査において、誤答アまたはウを選んだ理由について、ともに事前調査とは異なる傾向がみられた。アを選んだ生徒は、その理由のなかで質量と動きにくさについて言及する回答が増加した。ウを選んだ理由として、事前調査で見られた空気的作用は大幅に減少したが、素朴概念に基づく理由は依然として見られた。

問2の事前調査において、正答アを選んだ生徒は、質量が大きいあるいは体重が重いほど動きにくいことを理由として挙げていた。ウを選んだ生徒は、無重力状態では、重さあるいは重力、体重、質量が関係なくなることを理由として挙げていた。

問2の事後調査において、ア、ウともに選んだ理由は事前調査と同じであったが、正答のアを選択した生徒数が増加した。

4. 考察

事後調査において問1の正答イを選んだ生徒は「落ちる物体の質量はBだけの時と変わらないが、動く物体の質量はBだけの時より大きくなるから」と、質量と重さ（物体Bに働く重力）を区別して考えることができていた。誤答アを選択した生徒は、「質量が2倍になるのでおもりを動かす力も2倍になるが、おもりの動かしにくさも2倍になるから」など「質量」が動きにくさであることに言及した生徒が多く「質量」に関する理解は実践を経て進んだものの、Aに関わる「重力」と「摩擦力」の関係を理解するには至っていないと言える。誤答ウを選択した理由は、「摩擦がないので、Aの質量がBの質量に加わり、Bだけのときよりも早く落ちる」が多く、「固い重いものと軽いものを同時に落とすと、重いものの方が先に地面につく」[5]という素朴な概念に基づいていると考えられる。

問2の正答のアを選んだ生徒は、作用・反作用により、お相撲さんと先生は同じ大きさの力を受けること、同じ大きさの力を受ける場合、質量が大きいつまり動きづらいお相撲さんよりも質量が小さい先生の方が速く動くことを理由に挙げている。このことから「動きにくさ」としての慣性質量を理解し、作用・反作用とあわせて問題の現象を理解していることが分かる。問2では誤答としてウの「2人とも同じ速さで動く」が多く選ばれた。理由を見ると、無重力空間なので質量がなくなる、または質量が関係なくなるといった回答が散見された。このことから、重力によって生じる重さと質量を混同し、無重力空間では質量自体が消失すると考える生徒が実践を得た後も、一定数いることが推察される。摩擦力が働かない系であったり、重力が働かない無重力空間であったりということに関わらず不変な物体の性質である「動きにくさ」の指標としての質量（慣性質量）と、系に依存する力とである重力（重さ）をきちんと区別して理解させることが重要である。

5. まとめと課題

本実践授業では、慣性質量の理解を深めることを目的として、中学生を対象に同一斜面上を質量の異なる台車が運動する演示実験を行った。概念調査において、落下物の質量が増した場合の運動に関する問題の正答者数は、事前事後ではば変化しなかったものの、回答にいたった理由を比較すると、重いも

のが速く落ちるという素朴概念を脱し、自由落下を想起するなど、質量概念の理解が進んだことが分かった。より正確に「質量」を理解するためには、さらなる工夫が必要である。例えば、本題では、状況設定を明瞭にするために、滝川等[3]の問いに、AとBの質量が同程度であることを追加したが、その場合でも、思考実験として、AとBの質量が極端に異なる場合を考えさせるという検討があり得る。

また、本授業では質量の異なる球の「動きやすさ」の違いを示した。しかし、慣性とは運動の変化のしにくさであり、「動きの止まりにくさ」もまた慣性である。慣性とは何かについて理解を深めるために、「動きやすさ」に加えて「動きの止まりにくさ」の演示実験を行うことが有用である。慣性質量を物体のもつ「運動の変化のしにくさ」ととらえることで、運動方程式が「力＝運動の変化のしにくさ×変化の割合」であるという中学課程以降の物理の学習の理解につながる。

6. 参考文献

- [1] 中村美知生, 荒木紀幸, 兵庫教育大学教科教育学会紀要, 第12号, pp.22-27 (1999) .
- [2] 土佐幸子, 島影樹, 新潟大学教育学部研究紀要, 第12巻, 第2号, pp.21-40 (2019) .
- [3] 滝川洋二, 国際基督教大学学報I-A 教育研究, 第28巻, pp. 157-186 (1986) .
- [4] 綿引隆文, 湊淳, 小澤哲, 物理教育, 第53巻, 第2号, pp.133.140 (2005) .
- [5] 中村美知生, 荒木紀幸, 兵庫教育大学教科教育学会紀要, pp.12, 22-27 (1999).

令和4年4月1日 受理

Practice to deepen junior high school students' concept of mass

Yuno NATSUME, Ieyasu TAKIMOTO, Akiyoshi TSUNAKAWA,
Nobumasa MINAMI