

A Study of Investigating Misconceptions about Mass in First-year Engineering Students by Utilization of Voting Function in Zoom Software

Zoomの投票機能から知る工学系初年級学生の
質量に関する誤概念

綿引 隆文

Zoomの投票機能から知る工学系初年級学生の 質量に関する誤概念

自然科学系 物理学教育部門 綿引 隆文

1. はじめに

2020年の前期、新型コロナウイルス感染拡大により、全授業がオンラインとなり、筆者が担当したクォーター制の物理学(1)(2)とリメディアル物理学(通年)はいずれもZoomによる遠隔授業になった。一方、後期はハイブリッド授業となり、通年のリメディアル物理学では、11月21日まで対面希望の学生は教室で授業を受け、遠隔学生はZoomを使って受講したが、その後、感染の一層の拡大に伴いすべてオンライン授業となった。

筆者は2019年まで公立高校で物理の授業を担当し、生徒がもつ物理の誤概念の調査、ならびに誤概念変容を促す授業研究をささやかながら行ってきた。その中で感じたことは、1時間の授業の中で、生徒が抱く物理概念が授業の進行に伴ってどのように変化するか、またはしないのか、その把握はかなり難しいということである。方法としては、1時間のなかで、前もって、予定している質問項目と回答欄を設けた質問紙を用意し、授業の各場面に応じ生徒に記入してもらう方法がある。また、授業を録音し、生徒の発言を後で把握する方法がある。いずれも、毎回の授業でこれを行うのはかなり負担であった。授業中、概念把握の状況を調べるために挙手による方法もあるが、挙手をする際、生徒は周りを気にする傾向があり多数派の影響を受けやすい。

2020年度、凶らずもオンライン授業になり、授業の途中でZoomの投票機能を使って概念把握の状況を調べることができた。といっても、オンライン授業は不慣れで、Zoomの機能を駆使したとは全くいえない段階であるが、それでも、投票機能を使ってわかったことがいくつかあった。本報告は、研究以前の覚え書きであるが、投票機能を使って改めてわかった質量に

関する初年級学生の誤概念の状況を報告したい。

2. オンデマンド教材と教科書

物理学(1)(2)の授業では、学生はオンデマンド教材を視聴後、授業担当者が解説や補足をするという形をとり、オンデマンド教材は、物理学教室の3名の専任の先生方がその制作にあたることになった。事前に、非常勤の先生方もまじえ、教材のあり方について意見交換がなされたが、その結果、オンデマンド教材は、あくまでも教科書の記述に沿って作ることを確認した。オンデマンド担当者に独自の優れた学問的、教育的視点があっても、オンデマンド教材ではそれは表に出さず、あくまでも教科書に準拠し、授業担当が独自につけ加えたいところは、オンデマンド視聴後に扱うということになった。

作成されたオンデマンド教材は、いずれも優れた大変な労作であり、教科書の内容のエッセンスを、ある意味教科書以上にわかりやすく的確に伝えるものであった。イラストや図を効果的に用い、数式の展開がより見えやすくなるように工夫し、長い本文をわかりやすくまとめたりと、20分～30分の教材を視聴するだけで、教科書の内容がつかめるようになっている。

長く高校教育にあたってきた立場からみると、初学者が持つ物理の誤概念は頑強であり、調査によれば、進学校で運動の法則を学んだ後でも、運動の法則の誤概念を抱えたままの生徒は少なくなかった。したがって、大学に入学したての学生が、その誤概念を保持し続けていることは容易に予想される。

一方、大学初年級対象の基礎物理学の教科書において、著作者が誤概念の実態を深く理解して執筆しているか、というと、最近そのような教科書も一部出てはきているが、かつて名著といわれる教科書などは、物理学の体系を透徹した論理で述べる点では優れていても、学生が、実際はどのような誤概念を持ち誤解しやすいか、ということは配慮外であったように思える。

使用しているハリデイの教科書¹⁾は、大変実例が豊富であり、これまでの教科書にはない優れた特質を持つが、初学者が抱く誤概念をしっかりと配慮しているかという、そうとは言えない面も持つように思える。というより、学生の誤概念に精通しているのは物理教育研究を主テーマにしている教師や研究者であり、各専門分野に精通している物理学の研究者が、同時に誤概念

まで深く精通しているかということ、実際は難しいと思うからである。

物理学教室で用意されたオンデマンド教材は、教科書のエッセンスを極めてわかりやすく伝えている。逆に、そうであればあるほど、教科書そのものの記述が物理の誤概念変容に対し有効か、そうでないか、さらには概念形成上の限界や問題点も映し出される面があろう。そこも含めて本稿では、高校生が陥りやすかった質量の誤概念に焦点をあて、Zoomの投票機能を使って、授業の各場面で調べた工学部初年級学生の誤概念保持の状況を報告したい。

3. ハリデイの教科書における質量概念の取り扱いと他の教科書

使用教科書である、ハリデイらが著した「物理学の基礎・1力学」¹⁾は、説明が丁寧で、具体的で興味深い事例や数値計算を豊富に取り入れており、工科向けの基礎物理学の教科書として評価が高い。

この教科書での質量の取り扱いを簡単に述べたい。まず、床に置かれた野球のボールとボウリングを同じ強さで蹴飛ばしてみよう、と提起し、2者に生じる加速度が異なるのは質量の違いによると述べる。そして、基準物体(1 kg)と質量不明な物体に同一の力を加え、生じる加速度の逆比で未知な質量を定めると説明する。最後に、物体の質量とは、物体に作用する力と、それによって生じる加速度を関係づける性質(原文、Characteristic)であると結論し、質量は、物体を加速するときだけに実感できるものである、とまとめている。下線:筆者

まず、質量が力と加速度を関係づける性質とするのは問題がある。性質ではなく物理量だからである。特徴的なのは、概念的に「質量は慣性の大きさを表している。」という表現を避けていることである。

アメリカの初年級学生向けの他の教科書、例えば、ヒューエット²⁾やサーウェイ³⁾の教科書が、質量の定め方以前に、質量が慣性の大きさを表すことを、豊富な具体例をもとに実感がわくように説明をしているのに対し、「実感できるものである」とし、どう実感できるのかに触れていない。

一方、手元にあった基礎物理学の教科書⁴⁾(金原、原島、多田、福田、小出、原、長岡)の教科書を調べてみた。表現はそれぞれ異なるが、すべて「質量は慣性の大小を表している。」の意味の記述がされていた。特に、比較的新

しい教科書では、その事例にも言及している（例えば、原、長岡）。

4. 筆者の仮説（予想）

筆者はこれまで、高校生が質量に抱く誤概念の実情や誤概念変容への取り組みについて報告してきたが、それによれば、高校段階で運動の法則を学んだ後も「無重量や摩擦のない水平面上では、物体の動かしやすさや止めやすさに、質量の違いは関係なくなる。」といった誤概念を保持する割合が高かった⁵⁾。したがって、大学初年級の学生においてもその傾向が見られると思われる。

しかも、ハリデイの教科書の記述は、質量の大小とはどういうもので、その事例はこのようなものがある、といった具体的記述がない。筆者から見ると、この記述だけでは学生が持っている誤概念を十分に変容することは難しいのではないか、と思われた。

5. Zoom の投票機能からわかる質量の誤概念の状況

質量を扱う運動の法則のオンデマンド教材を視聴後、まず、教材の内容はよく理解できたか？という質問をした。質問に対する回答を次に示す。（リメ）はリメディアルクラスを意味する。

		リメ
よく理解できた	(61%)	(40%)
理解できない所がいくつかある。	(39%)	(51%)
理解できない所が多い。	(2%)	(9%)

以上のように、大部分が、よく理解できた、またはほぼ理解できた、を選んでいった。次に、質量概念の誤概念保持の状況を投票機能を使って調べた。問と学生の回答状況を示す。通常クラスは57名、リメクラスは25名の出席である。

問1 宇宙船の壁に飛行士の体を固定し、飛行士の前に浮いている質量1 kg

の石と 20kgの石を飛行士がそれぞれ同じ大きさの力で押した。宇宙船内は無重力になっているものとする。石の動きで、最も適当な答えは？

(リメ)

- | | | |
|--------------------------|-----|-----|
| (1) 質量が大きな 20kgの石の方が速くなる | 12% | 14% |
| (2) 質量が大きな 20kgの石の方が遅くなる | 39% | 23% |
| (3) 1 kgの石と 20kgの石の速さは同じ | 49% | 63% |

問2 . 飛行士が 1 kgの石と 20kgの石を押すときの手応えは

(リメ)

- | | | |
|-------------------------------------|------|-----|
| (1) 20kgの石の方が押しやすい | 4% * | 0% |
| (2) 20kgの石の方が押しにくい | 32% | 29% |
| (3) 1 kgの石も 20kgの石も風船を押すように手応えなく押せる | 30% | 23% |
| (4) 手応えはあるが、手応えは 1kgの場合も 20kgの場合も同じ | 39% | 49% |

* 計が 100%を超えているのは、複数回答した学生が一部いたらしい。

前述した質量の典型的誤概念は、「無重量では、物体の動かしやすさや止めやすさに、質量の違いは関係ない。」であった。問1において、無重量下では、質量の異なる物体に同じ力を加えた場合、同じ速さになる、を両コースともに5~6割が選んでいるのは驚きである。また、問2の、質量の異なる物体を押すときの手応えについても、「風船を押すように手応えはない」または「手応えはあるが質量による違いはない」を選んだ学生が、クォータークラス、リメクラスともに7割に及んでいる。

しかし、高校における調査によればこの結果はある程度頷ける。例えば、茨城県の進学校6校(筆者の勤務校は除く)の計249名の高校生を対象に、運動の法則を学んだ後での調査結果(2011年)⁶⁾は次のようであった。

「無重力の宇宙空間で、地球に対して静止している質量20kgの物体Aと質量10kgの物体Bに、同じ向きに同じ大きさの力が同じ時間作用したときの、地球に対し静止している人から見たA,Bの運動」を、三つの選択肢から選ぶ問題で、「無重力空間では質量の違いは影響しないのでAとBは同じ速さに

なる。」という典型的誤概念の選択肢を回答した者が全体の約63%を占め、正解「Bの方の質量が小さいのでBの方が速くなる」を選んだ割合は32%に過ぎなかったのである。

これらの高校生が、誤概念を保有したまま大学に進学していくことは大いにあり得る。というのも、高校生が授業の後で学び直しをする機会として試験や大学入試があるが、入試問題では物理の概念理解を直接問うような問題は少ないので、入試の勉強によって誤概念を大きく変容することがあまり期待できないからである。高校で教えていた頃、難関大学を志望する成績上位の生徒でも前述のような誤解をしたままになっているケースに何度か出会っている。

6. 誤概念を踏まえた筆者の説明と学生の反応

生徒が持つ誤概念を授業の中でどのように変容させるか、という授業研究について、これまでにいくつか報告をしてきた⁷⁾。その中で、概念の本質的な理解を問い、かつ予想が割れやすい選択肢を持つ問題を用意して、生徒に考えさせ、意見交換(討論)の後、実験で検証する方法は、教師側の押しつけを廃し、新しい概念を生徒が発見的に理解する方法として有効であったと思われる⁸⁾。しかし、進度がシラバスで定まっていたり時間的制約があり、かつ実験が難しい自宅からのオンライン授業ではこの方法はとれなかった。したがって、簡便ではあるが、具体的な図をホワイトボードに板書しながら次のような説明をした。

「皆さんの多くが、無重量下では、物の動かしやすさ、止めやすさは質量の大小には関係ない、と予想した。これを、まず運動の法則で考えてみよう。仮に1kg(物体A)と20kg(物体B)が無重量下で、観測者から見て浮いているとする。これに、共通の1Nの力を加えたとする。 $a = F/m$ からわかるように、Bの方に生じる加速度は、Aの1/20で、加速度が小さい。ということは、BはAに比べ加速するときも減速するときも運動変化が1/20になる。それだけ運動が変化しづらい、と言える。物体は自分の速度を保ち続けようとする慣性を持っているが、BはAに比べ運動が変化しづらいので慣性が大きいと言える。質量とは物体の慣性の大きさを表す物体固有の量です。例え

ば、スーパーで買った物をカートに載せて動かすとき、買った物を満載したカートは、動かしにくい、止めるときは止めにくい。慣性が大きくなったからである。このような例は日常からいろいろ見つけることができる。かつて高校生に教えていたとき、質量と慣性の事例として、禁止されている自転車の二人乗りを多くの生徒が挙げた。二人乗りでは、こぎ出すときペダルは異様に重くなりスピードはなかなかつかないが、一端スピードがつくと、ブレーキをかけてもスーッと進んで行ってしまい恐かったという話である。二人乗りでは質量が大きくなり慣性が大きくなったからである。問題2にある手応えの問題もそこから推し量れるだろう。」

この説明は、高校でも行ってきたが、学生にとってどのくらい納得できたか、投票機能を使って調べた。結果を示す。

質量に関する先生の解説は？

よく理解できた	(95%)	リメ (86%)
理解できない所がいくつかある。	(5%)	リメ (14%)
理解できない所が多い。	(0%)	リメ (0%)

高校生にも何度となく行ってきたこの説明は、大学生にとってわかりやすいものであったと思われる。

生徒が新しく学んだ物理概念をさらに己の中に定着させるには、生徒自らが、自分の生活や身の回りからその概念を再発見することが重要だと思われる。筆者はそれを課題「物理ウォッチング」として生徒に提出させる実践をしてきた。慣性質量概念については「質量が大きいほど慣性が大きくなる事例を生活の中から発見してレポートする」ことを、これまでの勤務高校で実施してきたが、生徒による再発見の過程は、概念形成上、有効であると考えている。その中から、興味深い例をいくつか要約して示す⁸⁾。

- ・すずめは軽いのですがすぐ止まれるけど、白鳥はいっぱい羽を羽ばたかせないと止まらない。(那珂高校)
- ・世界陸上をテレビで見っていたとき。ハンマー投げの球と軽い取っ手を見て。取っ手は球に振り回されながら飛ぶが、球はほとんどおれずに放物線を描いて飛ぶ。(土浦一高)

- ・リュックをしょって登校時、横断歩道を走って渡るとき。リュックの質量が大きいと、走り終わってもとのペースに戻るとき、前方に押される感じになる。質量が大きいとそれだけ止まるのに時間がかかる感じ。(同上)

7. おわりに

高校教員時代、誤概念として顕著だと感じた項目について、今回、質量の他にも投票機能を使って授業中に調べた。作用反作用、運動量保存、力学的エネルギー保存と運動量、力のモーメント(トルク)などである。紙数のため、それらの結果については機会があれば報告したい。

Zoomによる1時間のオンライン授業の中で、投票機能を使った適切な問を入れることで、授業の理解度、概念の変容度が推し量れるようである。オンライン授業の教育的な可能性を考える一事例になるだろう。投票機能を使う場合、どのタイミングでどのような適切な問を出すかがキイになると思われる。そのためには、投票を編集する段階で、指導者が誤概念に対する知見を持ち、明確な見通しを持っていなければならないだろう。コロナ禍の収束を祈ると同時に、投票機能の授業への活用を今後も考えていきたい。

最後になりましたが、コロナ禍の中、物理学(1)(2)の優れたオンデマンド教材の作成に大変な労をおとりいただいた長田剛先生、西村太樹先生、中村正人の各先生に厚く感謝の意を表します。

引用文献

- 1) D. ハリディ他：物理学の基礎 [1] 力学、倍風館 (2002).
- 2) ポール G. ヒューエット (小出監訳)：物理のコンセプト①力と運動、共立出版 (1984).
- 3) R.A. サウエイ (松村博之訳)：科学者と技術者のための物理学 1a, 学術図書 (1995).
- 4) 金原寿郎編：基礎物理学, 掌華房 (1963). 原島鮮：新編基礎物理学, 学術図書出版 (1975). 多田政忠：新稿物理学概説, 学術図書 (1974). 福田義一：基礎教養物理学, 廣川書店 (1968). 小出昭一郎：物理学, 掌華房 (1975). 原康夫：基礎物理学第 5 版, 学術図書 (2018). 長岡洋介：力学の基礎, 東京教学社 (2020).
- 5) 綿引隆文 湊淳 小澤哲：「高校における質量概念形成の実態と問題点」
日本物理教育学会誌 Vol53-1(2005)
- 6) 綿引隆文：「概念理解を問うセンター試験問題の試作と調査結果」
日本物理教育学会誌 Vol59-4(2011)
- 7) 例えば 綿引隆文 湊淳 小澤哲：「質量概念の授業実践と概念の形成過程についての考察」
日本物理教育学会誌 Vol53-2(2005)
- 8) 前掲書 7) p.140
- 9) 綿引隆文：「課題研究『物理ウォッチングの』実践－概念の再発見と定着をめざして－」
日本理化学協会研究紀要第 40 巻 (2008)

