

斜面を下る物体の等速直線運動：中学校理科「力と運動」の指導法を改善する試み

豊島 見 鈴¹

¹池田町立池田中学校

川上紳一²・勝田長貴²・高山文太^{2,3}

²岐阜大学教育学部

Uniform linear motion on a slope: A trial for remediation of misconception on the subject "force and motion" in the junior high school science

Misuzu Toyoshima¹

¹*Ikeda Junior High School, ikeda-cho, Gifu, 503-2418, Japan*

Shin-ichi Kawakami², Nagayoshi Katsuta² and Bunta Takayama^{2,3}

²*Faculty of Education, Gifu University, Gifu, 501-1193, Japan*

要 旨

中学校理科「力と運動」の学習では, "motion implies a force" という日常生活で獲得した素朴概念が根強くあり, この単元を学習したあとでもこの誤概念が解消されないという調査がある. この概念を克服するため, 学習者の概念獲得過程の調査や, 実験器具の開発し, 指導法を工夫する試みが行われている. 本研究では, 加速度運動の例として広く実施されている斜面を下る物体の運動の対照実験として, ネオジム磁石とアルミのレールを用いた実験を提示し, 誘導電流によって生じる磁力と重力の斜面方向の分力が釣り合って, 等速直線運動となる事例を提示した. 生徒にとっては, 斜面方向に力が働いても一定速度で運動することから, 斜面方向の重力の分力につり合う力が働いていることを印象づけることができた. 日常生活における等速度運動は, 運動方向に働く力と摩擦力が釣り合っていることを理解させるうえで, ネオジム磁石とアルミのレールを用いた実験は効果があるものと期待される.

【キーワード】：力と運動, 理科, 中学校, 等速直線運動, 力のつり合い, 渦電流

1. はじめに

中学校理科の学習内容では, 力や運動など, 抽象的な概念の獲得は一般に困難である. 力に関する誤概念としては, 運動している物体には, 運動方向に絶えず力が働いているというものがあり, Clement (1982) は, この誤概念を "motion implies a force (MIF)" と名づけている. この誤概念は, 日常生活においては, 摩擦が絶えず働いており, 力を加え続けないと物体の運動は遅くなり, やがて止まってしまうという経験に基づいていると考えられる (山崎・宮脇, 2007).

一定速度で運動する自動車や新幹線では, 運動を継続させるために, 絶えず動力を働かせなければならない. 物理分野の力と運動の学習においては, 摩擦のない理想的な状況下において働く力と運動の関係を考察していくが, こうした理想的な状況をイメージすることが学習者にとっては困難になっていることが伺える.

MIFの誤概念を取り除くには, 運動している物体に働く力を可視化することが考えられる. 山崎ほか (2009) や小野寺・川上 (2010) は, 力を可視化する実験器具を用いて授業実践やデジタルコンテンツの開発を起きている. また, 加藤・定本 (2011) や渡邊・伊東 (2008), 古平・伊東 (2012) は, 加速度センサーを開発して,

³名古屋女子大学附属高等学校Attached High School, Nagoya Women's University.
〒467-8611名古屋市長区瑞穂区汐路町4-21

運動する物体に作用する加速度や運動の速さを計測し、力と運動の関係を考察するための教具の開発を行い、授業実践で検証している。

本研究では、斜面を下る物体は加速度運動することを学習したあと、力のつり合いによって、斜面上の物体の運動が等速直線運動になるという現象を実験的に調べることで、力と運動に関する学習者の素朴概念を打ち破る事象を提示することができるのではないかと考えた。

2. 斜面を下る物体の等速直線運動

アルミニウム製や銅製の金属パイプに、円筒形のネオジウム磁石を落下させる実験は、五十嵐(1988)で紹介されて以来、物理教育だけでなく、科学の祭典などの演示実験としても広く行われている。この実験は意外性があるため、興味・関心を高める手立てとして有効であると考えられている。五十嵐(1988)は、この運動について、ストロボ写真撮影を行って、落下開始後、ほぼ等速度で落下していることを示している。大山(2007)は、この現象を高校物理の生徒実験として実施できるような工夫を加えている。岸本・本田(2004)は、この現象の理論的考察を行って、落下速度が等速度であること、落下速度は磁石の質量に比例し、磁石の磁束密度の二乗に反比例することを示している。

本研究では、いくつかのネオジウム磁石を用意した。一つは、直径5ミリメートル、長さ5mmの円筒形の希土類マグネット(KN-3)、磁束密度は4000ガウスである。円筒形のため、棒磁石のような磁場をもつが、斜面を転がりながら下る際に、速度はほぼ一定に保たれているようにみえるが、転がし方によっては動きが不安定になる。直径20mmボール型6850ガウスの磁石(ネオジウム磁石(N40)、ボール型)では、地球磁場のような磁場をもつが、磁極が見た目に分かりにくい。球形のため、運動速度が一定になってからは動きは安定している。斜面における等速直線運動には、アルミ製の等辺アングル15mm×15mm×1000mmを使用した(図1)。



図1. ネオジウム磁石ボール型(φ20)と等辺アルミニウムアングル。

3. 授業実践

本授業は、平成27年10月2日に、岐阜県池田町立池田中学校で行った。以下で示す授業は3年6組を対象にしたもので、生徒数は38名(男子19名、女子19名)である。

(1) 単元指導計画

単元「運動とエネルギー」は、全20時間とした。第1時に導入として、力のはたらきについて復習したあと、第2時から第6時で、2つの力のつり合い、合力、分力について学習した。第7時と第8時で、運動の速さ、記録タイマーの使い方を学習したあと、第9時でだんだん速くなる運動、第10時でだんだん遅くなる運動を学習した。第11時で等速直線運動を扱ったあと、本時を位置づけた。また、この授業のあとに慣性の法則について学習した。第11時の学習では、等速直線運動では、運動方向にも運動方向と反対側にも力が作用していないことを学習している。

(2) 本時(第12時)の実践

本時のねらいとして、「斜面を下るにも関わらず等速直線運動する物体に作用する力を考えることを通して、等速直線運動には物体に力がはたらかない場合のほかに、物体にはたらく力がつり合う場合があることを理解することができる」とした。

事象提示において、円筒形のネオジウム磁石とアルミニウムのレールで、斜面を下る物体の運動であるにも関わらず、速さが変化しない現象を提示した。この事象を受けて、課題として、「斜面を下るのに、等速直線運動をする物体にはどんな力が

働いているのか」とした。その後、個人個人で実験を行って現象を追試したあと、物体にはたらいている力について考え、班で交流を促した(図2)。



図2. 実験を行う生徒.

生徒は、斜面を下る物体には、斜面方向に力が働いていて、徐々に速度が増加することは第9時で学習している。このことを踏まえて、速度が変化しない理由として、斜面を下る運動とは逆向きに力がはたらいているからではないかという考えをもつことができた。

授業のまとめでは、自転車や自動車、電車が一定速度で等速直線運動する例を挙げて、物体にはたらく力が釣り合っている場合の運動の規則性を導くことができた。授業後の生徒のノートの記事の例を図3に示す。

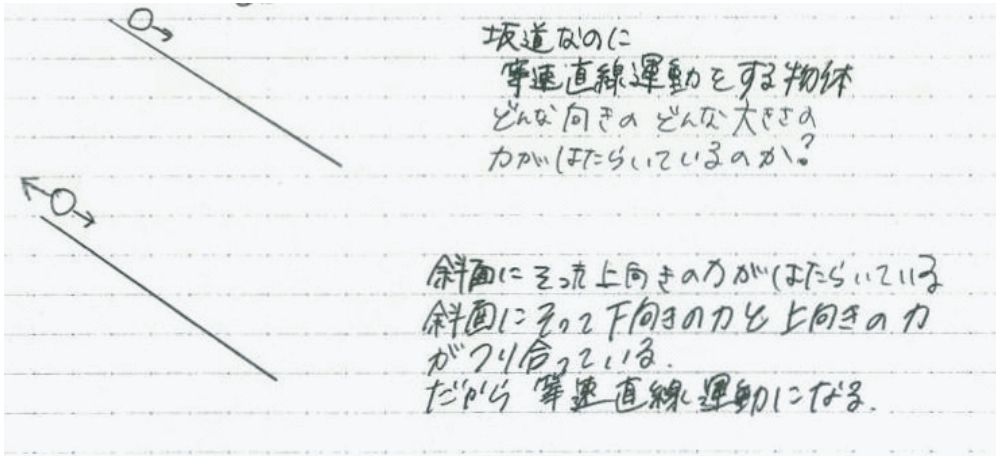
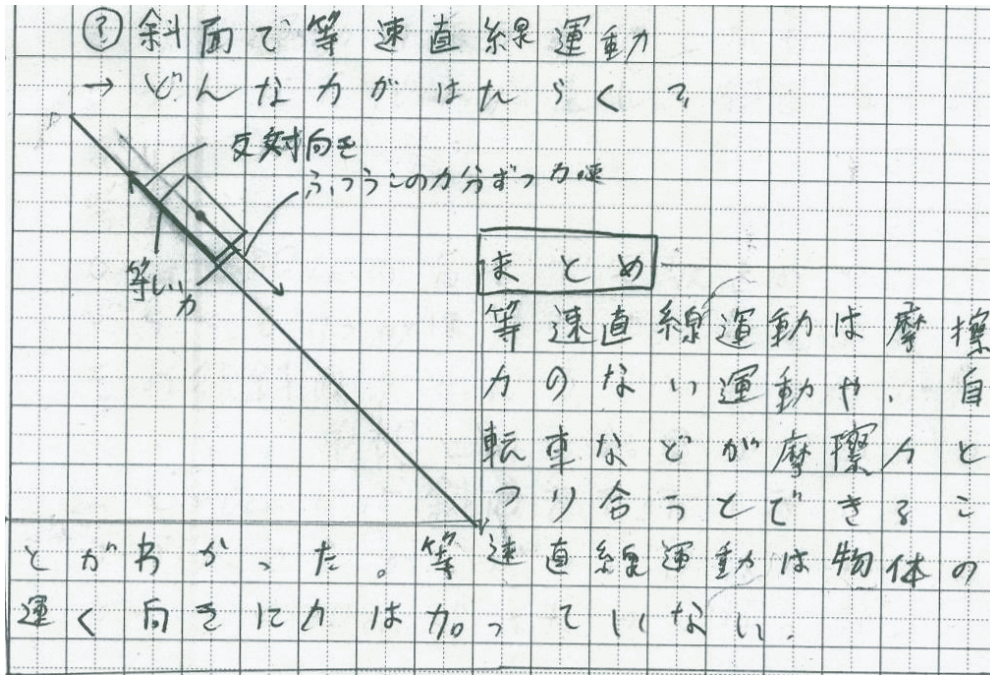


図3. 実験後の生徒の記録の例.

4. 議論

(1) 対照実験による指導方法の改善

金子ほか(2009)は、水平面上を運動する物体に一定の大きさの力をはたらかせた場合の運動を調べる実験器具を製作している。この実験は、生徒が抱く、「速く動く物体ほど大きな力をはたらいている」という素朴概念を克服するために意図された。その結果、MIF概念をもっている生徒に対しては、この実験を行うことによって正答率の向上がみられたと報告している。しかし、MIF概念をもっていない生徒に対しては、実験の有無が正答率に大きな影響を与えていない。このことから、金子ほか(2009)は、実験前に自分の考えを意識させたうえで、自分の考えと矛盾する現象を体験させることで、正しい理解に到達できると指摘している。

本研究では、斜面を下る物体の運動について、鉄球を使った場合と、ネオジム磁石を使った場合で、落下する物体の速度に大きな違いが観察できる。生徒は、斜面を下る物体の運動では徐々に速度が増加するという考えをもっているため、ネオジム磁石を用いた実験で意外性のある結果に接することで、正しい理解に到達できるものと考えられる。

(2) 力と速度の計測できる教具の工夫

力と運動に関する誤概念を解消するには、等速直線運動をする物体には力が作用していないことを示す実験が有効である。そのためには、力を可視化することが考えられる。山崎ほか(2009)は振り子を取りつけた台車を用いて力の可視化する実験を取り入れ、定着度が向上することを示している。小野寺・川上(2010)は、市販の角度測定器を用いて、力を可視化し、授業実践を行ってその効果を調べている。渡邊・伊東(2008)と加藤・定本(2011)は、力学台車にはたらく力の大きさと速さをわかりやすく測定できる実験教材の開発を行っている。これらは、運動している物体とそれにはたらく力の関係を可視化することに成功しており、等速直線運動する物体には、見かけ上力がはたらいていないことを確認できる(古平・伊東, 2012)。加藤・定本(2011)は、授業後に調査を行って、

正答率が向上することを報告している。

(3) 力と運動の関係に関する学習者の変容の調査について

加藤ほか(2012)は、力と運動の学習における学習者の素朴概念の獲得と、理科授業における概念変容について、小学生から大学生までを調査し、実態を明らかにしている。また、加藤ほか(2013)は、公立中学校の生徒と教員養成系大学の学生を対象に、「力と運動」に関する調査を行って、概念地図を作成している。この結果では、力が働く運動として、斜面上の物体の運動、力が働かない運動として、水平面上における等速直線運動あるいは静止を挙げている。さらに加藤ほか(2014)では、中学生を対象として授業を展開し、その過程で理科の学習内容と生活経験が概念の変容にどのような影響を与えるのかを調べている。加藤ほか(2013)が行った概念地図法による研究では、「力がはたらかない」と並列させた「力のつりあい」という概念については、高校における物理授業の内容であるとしている。

本研究では、生徒の変容についての追跡調査は行っていないが、同様の問題を用いて、本研究で提示した事象が生徒にどのような概念の変容を促すか、今後調査を行っていきたいと考えている。授業実践後の生徒がノートに書いた記述をみると、等速直線運動をする物体では、力が作用していないか、力がつり合っているという記述が多くあり、日常生活における自動車などの運動では、摩擦力が働いているために、自動車の動力と摩擦力がつり合っていることを理解していることがわかった。

5. おわりに

本研究では、ネオジム磁石とアルミ製のレールを用いて、金属内で生じる渦状の電磁誘導(渦電流)で生じる力と重力の斜面方向の分力のつり合いによって、斜面を下る物体が等速直線運動するという事象を提示し、力と運動の関係に対する生徒の誤概念を改善することを試みた。力がつり合っている場合における物体の運動を、力がはたらいて加速度運動している物体の運動

と対照させることで、日常生活で獲得しているMIF概念が、摩擦力がはたらいていることによるものであることを印象づけることができた。本研究で行った実験で、どの程度等速直線運動が実現しているのか、落下する物体であるネオジム磁石の速さ、質量、磁束密度の関係を調べて、より適切な実験器具を開発すること、開発した実験器具を用いた授業による理解の向上や、学習者のいづく概念の変容について、さらに研究を進展させる必要がある。

謝辞。本研究は、平成27年度岐阜県総合教育センター、理科教育講座における議論に基づく、授業実践研究である。岐阜県教育委員会教育研修課の松田義彦先生をはじめ、岐阜県中学校理科教育研究部会研究員の方々には、研究の構想について、議論していただいた。ここに記して深謝する。

文献

- Clement, J. (1982) Students' pre-conceptions in introductory mechanics. *Am. J. Phys.*, **50**, 66-71.
- 五十嵐靖則 (1988) ネオジム磁石の落下実験. *物理教育*, **36** (3), 301.
- 金子健治・小林経辰至・伊東明彦・渡辺一博 (2009) 中学生の「斜面上の物体の運動」の指導方法に関する研究-台車を水平面上で一定の大きさの力で引く実験を取り入れることの効果-. *理科教育学研究*, **50**(2), 31-38.
- 加藤伸明・定本嘉郎 (2011) 力の誤概念の解消を促す教材の開発と指導方法の改善. *物理教育*, **59** (3), 181-186.
- 加藤伸明・定本嘉郎・川村康文 (2012) 「運動中の物体にはたらく力」の認識に関する実態調査. *科学教育研究*, **36** (1), 53-60.
- 加藤伸明・定本嘉郎・賀原一陽 (2013) 「力と運動」領域における概念地図法の適用. *理科教育学研究*, **52** (2), 171-179.
- 加藤伸明・川村康文・定本嘉郎・賀原一陽 (2014) 理科学習と生活経験が中学生の力学概念に及ぼす影響. *科学教育研究*, **38** (2), 107-116.
- 古平暁子・伊東明彦 (2012) 中学校理科における「力と運動」概念の形成に関する研究-力を目で見る授業の実践とその成果-. 宇都宮大学教育学部教育実践総合センター紀要, 第**35**号, 343-349.
- 小野寺久美子・川上紳一 (2010) 中学校理科「運動と力」における生徒の課題と力を可視化する教材の効果. *岐阜大学教育学部研究報告 (自然科学)*, **34**, 57-60.
- 大山光晴 (2007) 金属パイプに生じる渦電流に関する生徒実験の開発. *物理教育*, **55** (3), 219-223.
- 渡邊剛士・伊東明彦 (2008)-. 力のイメージを育てる「力表示器」の開発. *日本理科教育学会全国大会要項*, **58**, 427.
- 山崎昭久・宮脇亮介 (2007) 等速直線運動と慣性の学習においてみられる子どもたちの誤解に関する調査. *福岡教育委大学紀要*, 第**56**号, 第4分冊, 155-163.