

# 物体の運動と力の理解を深めるリアルタイムな表現を 可能にする ICT 教材の開発とその評価

神村圭佑\*1・興治文子\*2・小林昭三\*2  
Email: u15b121d@mail.cc.niigata-u.ac.jp

\*1: 新潟大学大学院教育学研究科  
\*2: 新潟大学教育学部

◎Key Words 中学校理科, 力の概念の視覚化, 教材開発, ウェブカメラ

## 1. はじめに

「運動する物体はその運動の方向と同じ向きの力がはたらく」という素朴概念は古くから知られている<sup>(1)</sup>。Clement が 1980 年に “Motion Implies Force” (以下 MIF)<sup>(2)</sup> と表現したこの素朴概念は強固であり、未だに多くの学習者が持っている。

我が国においても平成 14(2002)年度高等学校教育課程実施状況調査の「ボールの投げ上げ」問題で、その MIF 的素朴概念を多くの学習者が持っていることをみてとれる<sup>(3)</sup>。ボールを鉛直上向きに投げ上げたときのボールにはたらく力の向きを問う問題において、正答は下向きの重力のみでありその正答率は約 23% と低かった。一方で進行方向に力がはたらいっているという MIF 的な誤答をした生徒は約 60% にも上った。平成 17(2005)年度の調査でも同様の結果がみられた<sup>(4)</sup>。つまりこの物体の運動と物体にはたらく力の概念の関係性は時代や国を超えて、生徒にとって理解することが困難であることがいえる。

我が国の教育カリキュラムでは、現在この単元の初出は中学校第 3 学年であるが、MIF 的素朴概念だけでなく、さらにいくつかの問題がある為に生徒は理解が難しいのではないかと考える。

具体的には、力はベクトルであり矢印で表現するが、中学校第 3 学年までの数学で生徒はベクトルの学習をしないことである。したがって力の合成や分解を学ぶときに、数学よりも先に理科でベクトルの合成や分解を学ぶことになり、その数学的な法則性を身に付けるに留まり、物理的にどのような軸をとって力を合成したり、分解したりしているかなどの理解には至っていない場合も多い<sup>(5)</sup>。

加えて、教科書での矢印の扱い方にも問題あるのではないかと考える。検定教科書のなかには、本単元で、あるページでは青い矢印を物体にはたらく力として、別のページでは物体の運動する向き、つまり速度として表現しているものもあった。このように同じ青い矢印を同じ単元内で異なる意

味を持つ表現方法として表していることが生徒の混乱を引き起こしている可能性がある。特に、物体の運動と物体にはたらく力の関係性は元々 MIF 的素朴概念が強固であり、このような表現方法が生徒の MIF 的素朴概念を払拭する妨げになっている恐れがある。

## 2. 研究目的

物体の運動と物体にはたらく力の関係性の学習において、生徒の持つ MIF 的素朴概念を克服させるため、本研究では物体にはたらく力を視覚的に表現することができるような教材の開発を行った。本教材は、中学校理科の授業において物体の運動と力の単元で実験を行う際、物体の運動の様子をパソコンにウェブカメラで映しながら、実際には目に見えない物体にはたらく力を重ねあわせて表現することで、物体が運動する際にどのような力がはたらいっているのかを中学生が理解しやすくすることを目的としたものである。

近年の IT 技術の進歩に伴い、教育の分野においても ICT 教材が普及しつつある。力学分野においては、センサー類の活用により、従来できなかった実験が可能になり、測定しながら実験結果のグラフを瞬時に見ることも可能になった。また高分解能を持つカメラが安価になり、ボールが落下する様子などを手軽に示すことができるようになった<sup>(6)</sup>。運動解析についても、運動の様子を撮影し、その映像をパソコンに取り込んで生徒が手軽に解析できるようなソフトウェアが数多く開発されている<sup>(7)</sup>。

最近の研究では、運動の様子を撮影するのではなく、パソコンにウェブカメラで運動の様子を映し、ウェブカメラのリアルタイム性を利用した教材も開発されている。物体の運動にあわせて位置の変化、速度、加速度を表示する教材<sup>(8)</sup>や、物体の運動にあわせて位置の変化、速度、加速度を表示することに加えて、それらの時間変化のグラフ表示やストロボ写真のような軌跡表示をすること

を可能とした教材<sup>9)</sup>などである。

これらの先行研究で開発された教材は、運動の様子を詳細に観察することや解析することはできるものの、力の表現に着目させるような教材とはなっていない。本研究で開発した教材は、実験を見ながら運動の様子を観察する点では同じであるが、生徒が物体の運動の様子と物体にはたらく力との関係性の理解を深められるようにウェブカメラのリアルタイム性を利用しており、抽象的な概念の形成を補助できるようにしている。

### 3. 開発した教材

図1は物体の運動の様子を開発した教材を用いて表示したものである。図1の左の画面には、ウェブカメラで撮影した「実際に斜面を下り降りる力学台車の映像」が表示されている。図1の右画面には、物体の運動の法則性を考える際に必要な「概略図化された図」を表示できるようになっている。図1の右画面には、その描画結果として表示される概略図を表示したが、右画面の初期状態は白紙である。

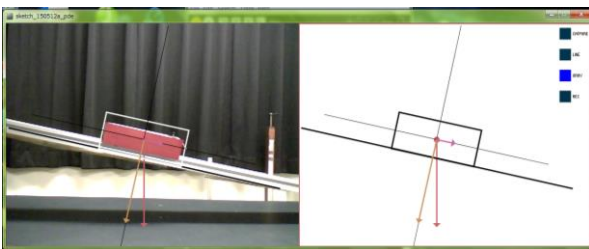


図1 開発した教材の画面

右の画面に概略化された図を表示させた理由は、物体の運動を理解する際には実物から抽象化して現象を捉える必要があるためである。タイヤなどが付いた台車ではなく、四角に置き換えて単純化して表示させ、そこに力の矢印等の力学的な概念図を描画できるようになっている。本研究ではこれらの概念図と実験との間につながりをもたせることも重要視しているため、左の画面にも単純化された図と概念図を重ねて表示している。

生徒が使用する際には、対象となる物体を指定するためにマウスでクリックする。すると本教材は対象となる物体を色によって認識し、物体を四角く概略化して表示し、物体が動いても物体を追跡することで概略図が動くようになっている。概略図は物体の運動と連動して動くため、概略図の移動や変化を連続的に捉えることが可能となる。

さらにこの映像に対して作図を行うことができる。例えば、斜面上の台車の運動の場合には、基準となる斜面に沿って線を引くことや、台車にはたらく重力の矢印を描くことができる。この斜面に沿って線を引く機能は、生徒が力を分解する

ときの軸の取り方を考えさせることを目的としている。力の分解は設定した軸に対して表される。

実際に授業で使用するときには、斜面の角度を変えて繰り返し実験することを想定している。台車にはたらく力はここでは重力のみで考えており、台車が斜面を下り降りるときにはたらく力は重力の斜面方向の分力のみが作用する。斜面の傾きをいろいろ変化させながら実験させることで、重力の分力の変化を連続的に見ることができ、斜面が垂直、あるいは水平の時には鉛直下向きのみ重力がはたらいっていることがわかる。

### 4. 教材の妥当性に関する調査

#### 4.1 調査の目的と対象

中学生を対象に本教材を用いた授業を行う前に、まず理科の教員を目指す大学生、大学院生計15名を対象にアンケート調査を行い、教材の妥当性について検証することとした。

アンケート調査は2015年度の理科教育法の授業内で実施し、その受講者は教育系理科と理学系所属の学生であり、すべて理系の学生である。ただし、理系の学生であっても高校で物理を未履修、つまり中学校理科までで物理の学習を終えてしまった学生もいる。そこで、MIF的素朴概念に関する調査も同時に実施し、高校での物理の履修状況とMIF的素朴概念、本教材で得られることが期待される力の概念との相関をみることにした。MIF的素朴概念の調査は15分程度、本教材の使用とそのアンケート調査は20分程度の時間で行った。

#### 4.2 高校での物理の履修状況とMIF的素朴概念

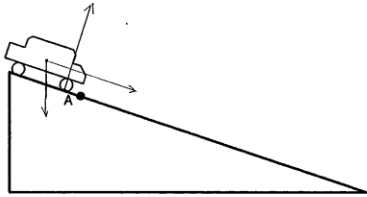
調査を行った学生のうち、高校で物理を履修していたのは15人中8人であった。

MIF的素朴概念に関する調査にあたっては、物理教育研究でいくつか概念テストが開発されている。このうち本調査では対象者が被験していないForce and Motion Conceptual Evaluation (以下FMCE)<sup>(10,11)</sup>の問題のQ.8-10を参考としたものを作成し、用いた。

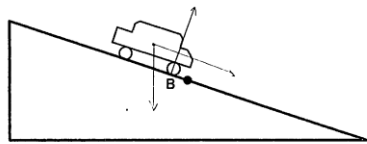
調査項目は3つの大問から構成した。それぞれ台車が斜面を下り降りる運動(図2)、台車が垂直な壁に沿って登り上がる運動、台車が水平な床の上を移動する運動について台車にはたらく力を矢印で図示することを求めた。台車と斜面などの中には摩擦がないものとし、重力の矢印のみを図示することを期待した。ただし、抗力を図示することに関しては任意とした。図2に問題の一部と学生の回答例を示す。この例は典型的なMIF的素朴誤概念を含んだ誤答であると判断したものであり、台車の進行方向に矢印が図示されている。その矢印は斜面での台車にはたらく力のうち明らかに斜

面に対する重力の水平方向の分力ではないような力の矢印を図示しているためである。この例では、垂直抗力が図示されているので、重力の分力を図示するのであれば垂直抗力とつり合うような力の矢印も図示されるべきである。よってこれらの回答は物体の運動する系に対応させて重力を分解することができておらず「物体が運動する時、その進行方向と同じ向きの力がはたらく」という MIF 的素朴概念を保持しているものであるとみなすことができる。

1) 地点 A で台車にはたらく力



2) 地点 B で台車にはたらく力



3) 地点 C で台車にはたらく力

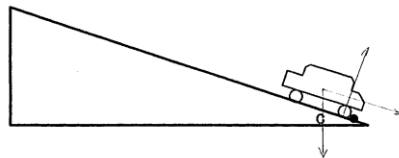


図 2 典型的な MIF 的素朴概念を持っていた学生の斜面を下り降りる台車にはたらく力の回答例

また、斜面を下り降りる運動について、垂直抗力は図示されていないが、重力の矢印と進行方向の矢印を描いている回答も見られた。これらの回答についても誤答として扱った。これらの回答者も水平方向の台車が水平な床の上を移動する運動においても台車の水平方向の矢印を描いていたので MIF 的素朴概念を保持しているものであるとみなすことができる。

表 1 高校物理の履修状況による誤答者数

	高校物理 未履修者(7人)	高校物理 履修者(8人)
力の分解の誤り	4人	1人
MIF 的素朴概念の保持	6人	1人

表 1 にまとめたように 15 人中 7 人が MIF 的素朴概念を持っていることが明らかになった。このうち、7 人中 6 人が高校で物理を未履修であった。

理系の学生であっても、中学校理科までで物理の学習を終えてしまった学生においてこのような MIF 的素朴概念が払拭されていないことがわかる。

したがってウェブカメラを用いて力を視覚化しながら運動を観察することを目指した本教材は中学生を対象に開発したものであったが、大学生を対象とした概念調査から次の点の重要性が再確認された。

- ① 物体にはたらいっている力についてまず重力を考え、重力の矢印のみを図示すること
- ② 進行方向には重力の分力しか作用しないこと

概念調査の結果、この 2 点を意識することが重要であったことが改めて確かめられた。

### 4.3 教材の使用とアンケート調査

概念調査の後に、学部生 14 人を 2 グループに分け、1 人ずつ本教材を使用してもらった。ただし大学院生には別の機会を設けた。

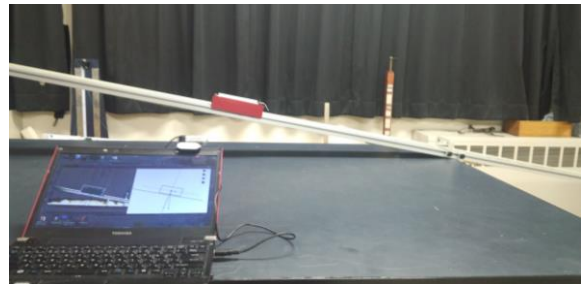


図 3 教材を使用する際の外観

図 3 のように力学台車とレールを使い、台車が斜面を下り降りる運動について、学生ごとに斜面の角度を変えながら実験し、その後、本教材に関するアンケート調査を行った。

アンケートは 5 項目から成り、

- 0) 「物体の運動と力」の単元で中学生が学習する際に、どのような点が難しいと考えますか
- 1) 画面に表示されている矢印が重力を意味していることがわかりましたか
- 2) 重力以外に描き込みたいと感じた力の矢印はありましたか
- 3) 力を分解する方向の軸の取り方に関する理解の助けになりましたか
- 4) 操作する上で気づいた点や不便な点、あるいは欲しいと思った機能をお聞かせ下さい

について、選択式と自由記述による回答を求めた。

回答の結果は、高校物理未履修者は、理解の助けになると感じると回答した学生が多く、高校物理履修者にとっては未履修者と比べ、その効果を有効と感じた学生は少ないことがわかった。

質問 1) について、1.よくわかった、2.わかった、3.どちらでもない、4.あまりわからなかった、5.わからなかった、の 5 択であり、回答結果は高校

未履修者で平均1.7, 物理履修者で平均2.1となり, 高校物理未履修者の方が重力の矢印が実際の台車の上に視覚的に表現されることを有用であると感じたようであった。

質問3)についても同様に5択であり, 未履修者は平均1.3, 高校物理履修者は平均2.1の回答が得られた。質問1), 3)から, 本教材は物理の未履修者にとって, 理解の助けになりうることが示唆される。

質問2)をアンケート項目入れた意図としては, 本教材は重力の矢印のみが描き加えられるものとなっており, 他に垂直抗力や摩擦力等は描き加えることはできない。この点に関し, 重力以外の力の矢印を「書き込みたい」と, 回答した学生は3人で, それはいずれも高校物理履修者であった。

一方で, 高校物理未履修者には力について重力以外に着目した回答した学生はいないことから, 学習の段階によって描き込む力の種類は変わってくるため, 本教材でも表示する力の切り替えの機能が求められていることがわかる。

質問4)の自由記述に関しては, 良かった点として, 「斜面が変化した時の力の変化が連続的に見られたこと」や「力の分解の様子を見ることができたこと」が挙げられた。いずれも本教材の目的である力に注目し, 運動を観察することが達成できたと判断できる回答であった。改善点として, 機能の面で「軌跡の表示や, 記録・出力出来たほうが良い」といった意見が挙げられた。また, 「自由に力を描き込む機能や, 合力を表示する機能が欲しい」との意見もあった。その他デバックの不足による不具合なども見られたので, 今後改良を重ねていきたい。

## 5. まとめと今後の課題

本研究では, 物体の運動と物体にはたらく力の関係について, MIF的素朴概念を克服させる手立てとすることを目的として, ウェブカメラを用いて運動の様子を映しながら物体にはたらく力を視覚化する教材の開発を行った。力のベクトル表現である矢印をリアルタイムに, 物体に重ね合わせて表現し, 物体の動きに合わせて力の矢印も連動して動くことで, 生徒が運動している物体にどのような力がはたらいているか理解を深められるような教材とした。

開発した教材の有用性を評価する目的で, 理科の教員を志望する大学生・大学院生を対象として物体の運動と力の概念調査と教材を使用したことに対するアンケート調査を実施した。

概念調査の結果から, 高校物理の履修状況によって物体の運動と物体にはたらく力の関係性について理解の度合いが大きく異なっていることがわ

かった。高校物理未履修者には理解の不十分な学生が多くおり, 本教材を使うことで「よくわかった」, 「わかった」とアンケートに回答した割合は高校物理履修者よりも多かった。したがって, 本教材は, 中学校理科における物体の運動と物体にはたらく力の関係性の理解を助けるための手立てとして, かなり有効であることが示唆された。

一方で, 高校物理履修者からは「垂直抗力などの重力以外の力の矢印を描き込みたい」といった意見も聞かれた。これを受けて重力以外の力も描き込むことができるなどの新機能を設け, さらに学習者の学習段階に応じてそれらの機能を取捨選択できるような教材へと発展させたい。

また, 本教材を, 実際に中学生を対象とした授業の中で利用して教材が生徒の科学的概念獲得に与える効果を確かめる必要もある。初等中等教育段階において, 児童生徒用がタブレット端末を授業や事前・事後学習で活用するICT活用教育が普及しつつある現在, このようなウェブカメラのリアルタイム性を利用して実際の現象と抽象的な科学的概念を繋ぎ, 生徒の概念獲得を支援するような教材にすべく, 開発を進めていきたい。

## 6. 参考文献

- (1) 小林昭三: 「力学形成の論理と力学教育の論理(III) - 運動の3法則をめぐる一」, 新潟大学教育学部紀要, 第23巻, 自然科学編, pp.1-15, (1981).
- (2) John Clement: "Students' preconceptions in introductory mechanics", *Am. J. Phys.*, **50**(1), pp.66-71, (1982).
- (3) 国立教育政策研究所教育課程研究センター, 平成14年度高等学校教育課程実施状況調査, (2002).  
[http://www.nier.go.jp/kaihatsu/katei\\_h14/H14\\_h/report\\_p\\_fnl.pdf](http://www.nier.go.jp/kaihatsu/katei_h14/H14_h/report_p_fnl.pdf) (2015年6月10日アクセス)
- (4) 国立教育政策研究所教育課程研究センター, 平成17年度高等学校教育課程実施状況調査, (2005).  
[http://www.nier.go.jp/kaihatsu/katei\\_h17\\_h/h17\\_h/05001042140004000.pdf](http://www.nier.go.jp/kaihatsu/katei_h17_h/h17_h/05001042140004000.pdf) (2015年6月10日アクセス)
- (5) 井上賢: 「中学生でも可能な静力学実験授業の展開(21世紀が求める科学教育)」, 物理教育学会年会物理教育研究大会予稿集, **23**, pp.5-8, (2006).
- (6) 島山森魚, 小林昭三, 興治文字: 「Active Learning型授業を刷新するミリ分解能ICT基盤システムの新展開」, 2011PCカンファレンス論文集, pp.412-413, (2011).
- (7) 例えば Vernier Software & Technology, Logger Pro3.8, <http://www.vernier.com/>
- (8) 佐藤実: 「ARを用いた運動解析ツール」, 日本物理学会講演概要集, **61**(2-2), p.293, (2006).
- (9) 末谷健志: 「簡明なプログラムによる便利な高機能運動解析システム」, 第41回 東レ財団法人理科教育賞受賞作品集, pp.1-6, (2010).
- (10) Ronald Thornton, David Sokoloff: "Assessing student learning of Newton's laws: The Force and Motion Conceptual Evaluation", *Am. J. Phys.*, **66**(4), pp.228-351, (1998).
- (11) Edward F. Redish: "Teaching Physics with the Physics Suite", Wiley, (2003); Edward F. Redish: 日本物理教育学会 監訳, 『科学をどう教えるか アメリカにおける新しい物理教育の実践』, 丸善出版, (2012).