

概念的葛藤を引き出す視覚モデルの活用とその学習効果

理科教育専攻理科教育学領域（平野研究室） 神谷 俊輔

【要約】

Hashweh は、学習者のもつ素朴概念を科学概念に転換するためには、素朴概念と事象や科学概念との間に葛藤を起こさせ、その葛藤を解消することが必要であるとした。この概念転換モデルの考えに基づき、本研究では指導実践の事前に素朴概念のアンケート調査を行い、生徒がもつ多様な概念と科学概念との違いをはっきりと提示できるような視覚モデルを作成する。ICT 機器を使用して、授業の最初の段階にこれらのモデルを提示して概念同士の違いを理解する機会を設けるほか、まとめの段階においても作成した視覚モデルを用いる。また、学んだ概念を他の事象に適用して考える機会を与えるよう学習過程を組むことで、概念の転換を図る実践を行う。通常の指導では素朴概念が科学概念に転換されにくいとされる「運動する物体に加わる力」について実践を行った結果、授業のまとめ段階において、ほとんどの生徒が自身の概念を正しい科学概念に転換することができたことから、これらの視覚モデルの有効性が示唆された。

1. はじめに

(1) 研究の背景

第二期教育振興基本計画に関連して、教育の情報化を更に進めるために、設置場所を特定しない可動式コンピュータや電子黒板、実物投影機など様々な ICT 機器の導入が計画されている¹⁾。しかし、ハードウェアの整備が進む一方で、ソフトウェアについては取り上げられておらず、学校や授業を行う教師に任されているのが現状である。今後は特に、授業へ活用しやすいコンテンツの充実が求められると考えられる。現在インターネット上に公開されている既存のコンテンツは、正しい科学概念のみを提示する百科事典的なものが多い。構成主義の考えのもと、生徒の素朴概念を科学概念へ転換することを意図したコンテンツの作成と、それを活用することで、学習効果を高められることを示した実践的な研究が必要となる。

Hashweh²⁾ の概念転換モデル（図 1）によると、生徒のもつ素朴概念は、特定の領域の事象を説明することはできるが、概念の境界領域の事象まではうまく説明することができず葛藤を引き起こすとともに、科学概念とも葛藤を起こす。生徒の概念を転換するには、この葛藤を解消することが必要である。そのためには、その領域で生徒が使用する素朴概念を意識化させるとともに、科学概念を用いる方が他の領域も説明でき、より一般性をもつと理解し納得させることが必要であるとされ

ている。

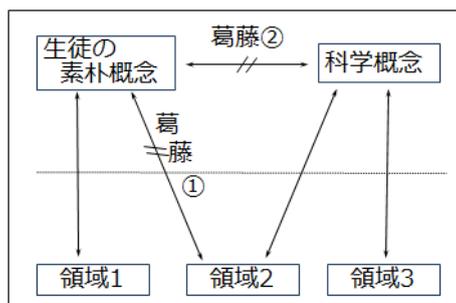


図 1 Hashweh の概念転換のモデル

川上らはこの概念転換のモデルをもとに、花の単元において授業実践を行った。花の概念を花卉等のつくりによるものではなく、花は植物が生殖を行うための器官であるという概念に転換するために、概念の境界領域の事象として、ドクダミを提示して生徒の葛藤状態を引き出した。指導を経てその葛藤を解消した結果、生徒は通常では花として認識することが少ないマツなどの植物についても、正しく花として認識するようになり、概念の適用範囲が拡大したことを報告した³⁾。

生徒の葛藤状態を引き出すためには、科学概念を含む複数の概念が、互いに対立し競合する状態が重要である。デジタルコンテンツとして生徒の素朴概念を視覚化したモデルは、この競合を引き起こすのに有効と考えられる。しかし、このような概念的葛藤を引き出すことを意図したデジタルコンテンツを、実際の授業で活用し、その効果を

測る実践は行われていない。

(2) 研究の目的

このような現状に鑑み、本研究では生徒がもつ様々な概念を調査し、彼らにそれらを意識化させる視覚モデル教材を ICT 機器で提示できるようにコンテンツ化するとともに、Hashweh の概念転換モデルに基づき、作成コンテンツを用いて生徒の概念転換を目指す授業実践を行うことにより実際に概念転換が広く出現されるかを調べ、設計したコンテンツや指導過程の有効性を検証することを目的とした。

コンテンツの作成にあたっては、現職教師に作成可能なものにする観点から、彼らが使い慣れたプレゼンテーションソフトを用いて視覚モデルのアニメーションを作成することにした。なお、学習内容や単元の文脈に依存すること無く視覚モデルの有効性を測るために、本研究では素朴概念についてよく知られる二つの単元において授業実践を行っているが、本要旨では特に、その一つの単元「運動する物体にかかる力」の授業実践に基づく分析内容に焦点をあてて記載する。

2. 運動する物体にかかる力に関する素朴概念調査

(1) 調査の概要

調査対象：愛知県内の公立中学校の第3学年
3 学級の生徒 114 名

調査時期：平成 27 年 7 月・9 月（単元「力のつりあい」の学習の前後）

調査は質問紙調査で行った。Clement が報告した MIF 素朴概念⁴⁾を生徒が保持しているかについて調査するため、鉛直に投げ上げられた物体と、平面を勢いよく運動する台車の二つについて、運動中の物体にかかる力を矢印で作図させ、そのときにははたらく様々な力の大きさを選択肢から選ばせる問題を設けた。物体が「A 手を離れた瞬間」、「B 運動中」、「C 更に移動したとき（投げ上げは最高点到達時）」において、各状況下での力に関する生徒の考え方を回答から、『物体には速さに依存する力が加わっている』といった素朴概念の有無を確認できるように配慮した。事例として、鉛直投げ上げの問題に対する回答分析から得られる、生徒の素朴概念の分類を表 1 に示す。

表 1 運動する物体にかかる力の概念の分類

概念	説明
重力のみ(科学概念)	物体には一定の大きさの重力のみがかかり、その他に力は何も加わらない。
進行方向にかかる力のみ	物体の進行方向に、速さに依存した力のみが加わる。
重力と進行方向にかかる力が加わる	一定の大きさの重力と、徐々に小さくなる進行方向に加わる力との両方が加わる。
重力のみがかかるが、大きさは速さによって変化する	重力の大きさが運動の様子(速さ)に合わせて変化している。
その他	気圧のように、全方向から力が加わる。上向きに一定の力が加わり続ける。重力と進行方向の力が常につりあっている。等

(2) 結果と考察

この単元の学習前後において、それぞれの概念を選択回答した生徒数の構成比率を図 2 に示す。

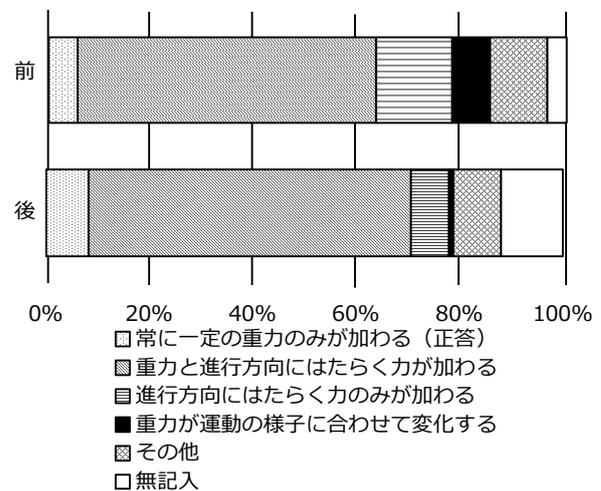
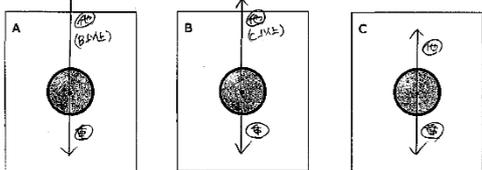


図 2 「力のつりあい」学習前後に生徒がもつ素朴概念の構成比率の変化 (N=114)

学習により重力についての理解が進み、進行方向のみにしか力のはたらかないと考えたり (15%→7%)、重力の大きさが変化すると考えたりする (7%→1%) ような生徒の割合は減少している。しかし、科学知識である「一定の大きさの重力のみがかかる」と考える生徒はわずかな上昇であり (6%→8%)、全体の 1 割にも満たない。これは加藤らの報告⁵⁾とも近い結果となっている。最も増加したのは、重力と、進行方向にはたらく力の 2 つの矢印を描く生徒の割合である (58%→62%)。特に、学習後は図 3 のように投げ上げ時の運動の様子と、力がつりあうと物体は静止するという学習内容とを結びつけて考えることで、間違った納得の仕方をしていく様子が多くみられた。

図2 A-Cへ上昇すると、A・B・Cそれぞれの状態のボールにかかっていると考えられる力を、全て下図の中に記入するとともに、その力が2Nと比べてどうなっているか、当てはまるものに丸をつけよ。



①重力 (大・小・同・無) (大・小・同・無) (大・小・同・無)
 ②その他の力 (大・小・同・無) (大・小・同・無) (大・小・同・無)

図3 力のつりあい学習後の生徒に多く見られる素朴概念 (事前アンケートより)

3. 概念の転換を目指した授業の構築

Hashweh の概念転換モデルをもとに、状況改善のために考えた授業実践の指導過程を図4に示す。

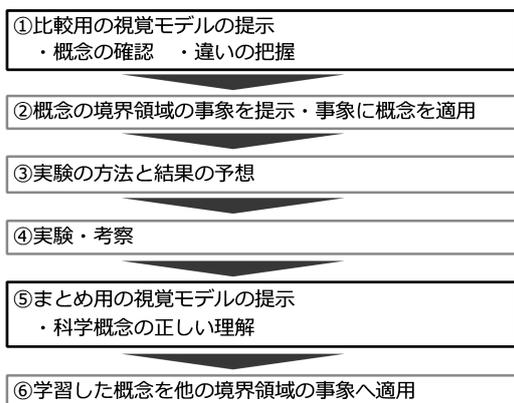


図4 概念転換を目指した指導過程

視覚モデルを用いた指導を行うのは、主に①と⑤の段階である。段階①で利用する様々な概念を比較するための視覚モデルは、事前アンケートの設問と同様に、鉛直投げ上げ時のボールにどのような力が加わるかを矢印で示すことにした。各々の素朴概念だけでなく、科学概念のアニメーションもあわせて作成した。素朴概念の選定では、力のつりあいの学習後に不選択になった、重力の大きさが運動に合わせて変化するものを削り、代わりに重力方向と運動方向に力が加わるものに関して、進行方向に速さに依存した力が加わるタイプと、最初に与えた上向きの力が徐々に減少して最高点で重力とつりあうタイプの2つに分け、進行方向にのみ力がはたらくものとともに計4種類を比較・検討できるようにした。

段階⑤で利用するまとめ用の視覚モデルは、実験の結果について科学概念を用いて説明するために用いるものである。段階①で示した比較用の視覚モデルとのつながりを意識し、斜面上を運動する物体に力を表す矢印をつけたアニメーションを

作成する。また、今回の実践では、実験結果を生徒に正しく把握させるために、実験の様子そのものをスローモーションで撮影し、繰り返し確認することができる動画コンテンツも用意した。

視覚モデル以外の概念転換を図る工夫としては、段階②において概念の境界領域の事象を提示する。本実践では、斜面上を上げる台車や下る台車にかかる力がどうなっているかについて考えさせてから確認をするが、台車にかかる力を可視化するための教材として、Fi-cube を利用することにした。Fi-cube は加速度センサーと LED を組み合わせ、運動している物体にかかる力の向きと大きさをインディケーターによって視覚的に表示する教材である。一般的な加速度センサーと違い、単に加速度を表示するだけでなく、静止の状態を重力と他の力のつりあいとして表示するための工夫が施されている⁶⁾。これを用いることで、通常では測定できない、運動中の物体に加わる力を簡易に生徒に示すことができるようになると思われる。また、段階⑥では、習得した科学概念を他へ適用するために提示する境界領域の事象として、平面上を運動する力学台車にかかる力を用いる。力の向きは加速度の変化に関係し、運動の向きそのものとは無関係であるという科学概念を生徒に自覚させて活用させることを目的に、斜面上の台車の運動と同じように指導過程を立案した。

4. 授業実践の結果と考察

(1) 実践の方法

実践対象：愛知県内の公立中学校の第3学年
 3学級の生徒114名

実践時期：平成27年10月

授業実践は表2のように、中学校理科第3学年の単元「物体の運動」のうち、記録タイマーを使った運動の測定後に位置づけた。

表2 授業実践の単元内の位置づけ

単元「物体の運動」		
第1次	第1時	物体の速さについて知る
	第2時	運動の様子を記録する方法を考える
第2次	第3時	記録タイマーを使って車のおもちゃの運動の様子を調べる
	第4～5時	斜面を下る台車の運動を調べる
	第6～7時	平面上の台車の運動を調べる
	第8時	運動する物体にはたらく力を考える
第3次	第9時	慣性の法則について知る
	第10時	作用・反作用について知る
		単元のまとめ 運動の様子を力の観点から説明

授業実践以外の部分については、使用教科書の内容記載に準じた通常通りの過程によって指導を行っている。データ収集の方法として、授業の各段階において生徒の保持する概念がどのように変化したかを「自分の考え記録シート」に記録させるとともに、概念が変化した場合には変えた理由を自由記述させた。また、各段階において自身が保持する概念に対する自信の度合いについて運勢ライン法⁷⁾を使って記録させている。運勢ラインの降下から、概念転換に必要な葛藤状態を引き出すことができているかを測るものとする。

この他のデータとして、授業プリントや事後テスト、3ヶ月後に実施した遅延テストを加えて、授業で獲得した科学概念の内容や、それが長期にわたって継続して保持されるかを調査した。

(2) 授業実践中における、生徒の概念転換の様子

授業の各段階における概念ごとの回答生徒数構成比率の変化と、運勢ラインの昇降から得られる自信の増減値の平均について、これら2つを重ねて示したグラフを図5に示す。

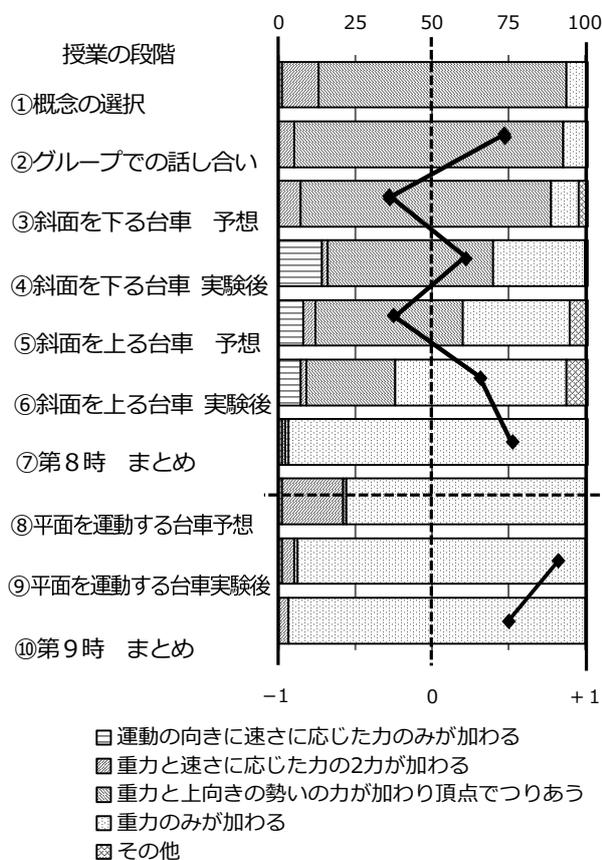


図5 生徒のもつ力の概念と運勢ラインの変化
(第8時 N=101, 第9時 N=100)

概念選択場面(①)において、比較用の視覚モデルコンテンツを提示した。自分の考えに近いモデルを選択させるため、無回答が出なくなり、必ず自分の考えを生徒に持たせて授業を進めることができた。選択回答の状況を見ると、生徒は前時までに斜面上や平面上における台車の運動について教科書通りに実験活動をしているにもかかわらず、ほとんどの生徒(80%)が重力以外にも力が存在し、2力が頂点でつりあうという素朴概念を選択した。その後、話し合いを経て、②の段階では88%の生徒がこの素朴概念を選択しており、頂点で一瞬力がつりあうという考えが、生徒にとってかなり納得のいく強固な素朴概念であることが伺える。③の段階で斜面を下る台車という概念の境界領域を提示し、自身が保持する概念を適用した予想を行なった際も、概念転換は極わずかしら起こっていない。その後、④・⑥の段階において2つの実験を行うことで徐々に科学概念を選択する生徒が多くなり、最終的にまとめの段階(⑦)でまとめ用の視覚モデルのコンテンツを見ることで、97%とほとんどの生徒を科学概念に転換することができた。第9時では、第8時で身につけた科学概念を、平面上を運動する台車に適用させた。予想の段階から78%と多くの生徒が科学概念を用いて考えており、最終的なまとめにおいては97%の生徒が科学概念を支持するようになった。

第8時のまとめの段階までに科学概念への転換が徐々に起こっていった理由として二点考えられる。一つめは生徒が素朴概念の中に抱えている上向きの力を、投げ上げ時に与えられた勢いに依拠するものと考えている点である。実際に、③の予想の段階で、「静かに手を離す実験では、自分の考えが正しいかどうか確認することができない」と指摘する生徒がいた。この考えを持っていた生徒については、⑤～⑥の斜面を上る台車についての予想・実験で自分の考えが間違っていたことを理解し、概念の転換に至ったと考えられる。もう一つは、Fi-cubeのLEDインディケータの点灯遅延を、自身が保持する概念にとって都合良く解釈してしまうことがある点である。実際に実験で点灯の様子を観察した後でも、生徒の中には図6に示すように、手が支えている間のみはた

らく斜面上向きの力の存在を継続して考え、斜面を下る際に徐々に減っていくと捉えたり、斜面を上る際に手が台車を押ししている間のみはたっている力の存在を継続して考え、斜面を上っている間に徐々に減っていくと捉えたりする者が存在する。

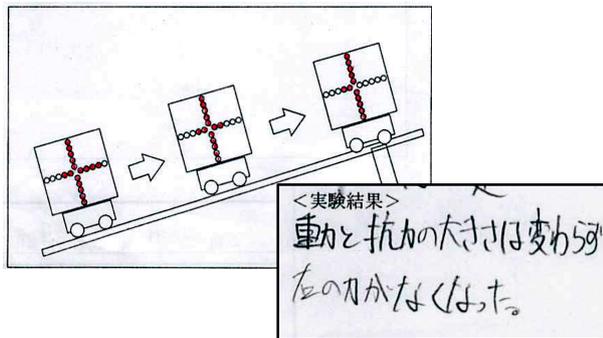


図6 実験結果に関する生徒の誤った解釈 (授業プリントより)

このような生徒には、まとめの段階で視聴させた、実験をスローモーションで撮影したビデオが有効であった。スローモーションビデオを視聴させることで、実験結果を正しく把握させる事ができ、更にその後提示したまとめ用の視覚モデルとの対応によって理解につながり、結果として科学概念への転換ができたと考えられる。

③と⑤の2つの実験に対する予想の場面で、生徒の葛藤を引き出したことが、運勢ラインの降下の様子から見て取れる。概念の境界領域を提示し、生徒が保持する概念をそれへ適用するよう求めることで、生徒に素朴概念と向き合って深く考える機会を与え、葛藤状態を引き出したものとする。しかしながら、葛藤は引き出したものの、その段階で概念転換が起こったわけではない。概念転換が起こっていたのは④・⑥の実験後や、⑦のまとめの段階である。特に、⑦のまとめの段階において、概念転換が多く起こっていた上に、運勢ラインの昇降変化の平均も大きくプラスとなっていたことから、まとめの段階で生徒に示した動画や視覚モデル等のコンテンツが有効に作用し、生徒は科学概念について十分納得することができたのではないかと考えられる。

単元全体のまとめの時には、物体の運動の様子を、そこではたらく力の観点から文章で説明する活動を生徒に行わせた。実際の問題を図7に示す。

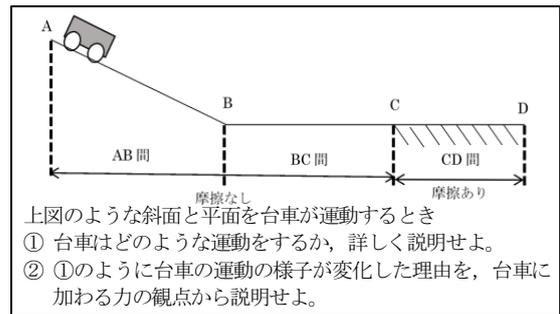


図7 単元のまとめにおける文章記述の問題

速さではなく加速度の変化に着目して場合分けをして、力の有無や加わる方向と運動の様子を関連付けて記述する生徒が多く見られた。しかし、運動の様子は記述できても物体に加わる力について文章記述できない生徒や、力に関する記述が「摩擦があるから」や「斜面を下るときは加速するから」といった、日常生活での体験的文脈に留まった説明をする生徒も一部に存在する。特に、成績下位の生徒において顕著であり、実践中に提示した視覚モデルの内容について、漠然としか把握できていないという課題が浮き彫りとなった。

(3)事後テスト・遅延テストの分析

この単元の終了後すぐに行った事後テストと、単元終了3ヵ月後に行った遅延テストにおける、概念ごとの回答生徒数の構成比率を図8に示す。

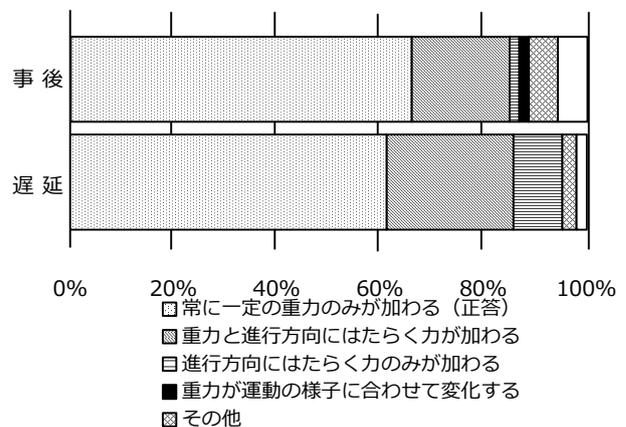


図8 事後・遅延テストにおける生徒のもつ概念の割合 (N=106)

テスト問題は事前アンケートと同様であり、回答は4つの概念とその他に分類している。授業実践の中では、最終的に97%とほぼ全ての生徒が科学概念を選択していたが、その数日後の授業で行った事後テストにおいては、科学概念を記述できた生徒は66%に留まった。この原因として、回答方

法の違いが挙げられる。単元まとめ時の文章記述と同様に、様々な概念を視覚モデルで教師の側から提示し、そこから生徒は選択するだけであった授業実践時とは違い、生徒自身がもつ力の概念を、矢印で記述する形態においては、特に下位の生徒が、自分の考えを上手く表現できなかつたことが考えられる。事後テストと遅延テストを比較すると、科学概念の割合は 66%→61%と若干減少している。一度正しい科学概念を獲得した多くの生徒は、それを保持したままと言えるが、完全とは言えない。素朴概念の中で回答の構成比率が増加していたのは、進行方向にはたらく力を描くものである。重力とともに物体の運動の方向に力を記入するものが 19%→25%、進行方向にはたらく力のみを記述する生徒が 2%→9%に増加している。授業実践中に行わせた自由記述で、運動の様子と力との関係について正しく解答し、更に事後テストにおいても科学概念に基づいた力の矢印を記入できていたにもかかわらず、遅延テストで運動方向に力を描いてしまう生徒も存在していたことから、MIF 素朴概念は生徒の中に強固に残り続けており、摩擦が存在する日常生活内での体験の文脈で得られる実感も相まって、無自覚に科学概念から素朴概念に戻ったり、両者を併用させたりしてしまうものであることが分かる。

5. おわりに

本研究により、運動する物体にかかる力についての生徒の素朴概念は、力のつり合いを学ぶことで生徒が都合よく新たな理論を構築して、運動の進行方向に力が加わるという MIF 素朴概念をより強固にしてしまう可能性があることが分かった。この概念を転換するために、様々な素朴概念を生徒に自覚させ、対比させることを目的に作成した比較用の視覚モデルは、全ての生徒に自身が保持する概念を自覚させ、その考えを適用させて授業や実験に向かわせることができる点において有効であった。また、概念的葛藤を意識した指導過程を編成することで、ほとんどの生徒に科学概念の視覚モデルが正しいものと考えさせることができた。しかし、視覚モデルは直感的に分かりやすいという利点をもつ反面、見て分かった気になるという欠点ももつ。これは比較用だけでなく、

まとめ用のモデルにも同様に言える。特に、成績下位の生徒は提示されたモデルから自身が保持する概念に近いものを選択できても、自分で文や作図でその内容を説明できるところまで到達はできなかった。この点は更なる指導法の改善が必要となるため、今後の課題として提起したい。

さらに、プログラミング等の特別な技能をもたない教員でも、市販のプレゼンテーションソフトの活用で、アニメーションによる視覚モデルのコンテンツ作成が十分に可能であり、これを用いた授業の有用性についても検証することができたと考える。これらの示唆が、中学校理科教員の間で広く共有されることを期待したい。

【引用・参考文献】

- 1) 文部科学省：『教育の IT 化に向けた環境整備 4 年計画—学校の ICT 環境を整備しましょう！—』, 2014, Retrieved from <http://jouhouka.mext.go.jp/school/pdf/2014-ICT-panf.pdf> (2016.02.01 最終閲覧).
 - 2) M. Z. Hashweh: Toward explanation of conceptual change, *European Journal of Science Education*, Vol. 8, No. 3, 1986, pp. 229-249.
 - 3) 川上泰司・坂本憲明・花村幸次郎：「理科授業における事例提示の方法に関する実践的研究—概念の適用範囲に着目して—」『日本科学教育学会 研究会研究報告』, Vol. 25, No. 2, 2010, pp. 107-110.
 - 4) J. Clement: Student's Preconceptions in Introductory Mechanics, *American Journal of Physics*, Vol. 50, 1982, pp. 66-71.
 - 5) 加藤信明・定本嘉郎・川村康文：「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』, Vol. 36, No. 1, 2012, pp. 53-60.
 - 6) 宇都宮大学教育学部理科教育学教室：『力表示機「Fi-Cube」』, 2015, Retrieved from <http://www.edu.utsunomiya-u.ac.jp/scied/Fi-Cube/> (2016.02.01 最終閲覧).
 - 7) 日本理科教育学会：『今こそ理科の学力を問う』東洋館出版社, 2012, pp. 254-260.
- G. J. Posner, et. al.: Accommodation of a Scientific Conception: Toward a Theory of Conceptual Change, *Science Education*, vol. 66, No. 2, 1982, pp. 211-227.
- R. Osborne・P. Freyberg 編著, 森本信也・堀哲夫訳：『子ども達はいかに科学理論を構成するか—理科の学習論』東洋館出版社, 1988