

数学と理科を明示的に関連づけた授業が 生徒の学習に及ぼす効果

— 中学生による力と運動の関係の理解 —

湯澤 正通・松内 隆泰¹

(2002年9月30日受理)

How do differences in relating mathematics to science affect ninth graders' learning:
Junior high school students' understanding of relationships between force and motion

Masamichi Yuzawa and Takayasu Matsuuchi

The present study examined whether instructions emphasizing the relationship between science and mathematics would improve students' learning of science. Students in four classes of public junior high schools received two types of instructions concerning objects with changing velocity. Students under the experimental condition learned the relations between time and velocity (or distance) for objects moving in different conditions first, and then designed experiments for themselves to obtain a particular time when an accelerating object would reach a particular velocity. On the other hand, students under the control condition examined objects moving in different conditions in terms of time, velocity, and distance, and deduced the relations between these values. It was found that students under the experimental condition did better on tests about objects with changing velocity than students under the control condition, and reported that they were more interested and eager in the studying.

Key words: science, mathematics, junior high school students, motion, force, understanding
キーワード：理科，数学，中学生，運動，力，理解

近年、理科嫌いや理工系離れ、科学技術系人材の不足といった問題が社会的な関心事となっている。理科の好き嫌いに関する調査によると（久田・鈴木，1990），小学校，中学校，高等学校と学校・学年の進行につれて，理科好きは減少し，理科嫌いが増大する傾向にある。中学校，高校入学以降，理科嫌いが急激に増加するが，その理由として，理科における数学的内容を理解できないことが挙げられる。生徒にとって理科における数学的内容の理解が困難であるのは，実験や観察を通して得られた数値的データを科学的法則と対応づけて理解するのが難しいからである。そして，その難しさは，生徒の持つ誤概念や，実験や観察デー

タの取り扱いの問題（例えば，誤差の処理の仕方）などに起因している。理科のカリキュラムから，数値や計算の取り扱いを削除しても，問題の解決にはならない。数値的データにおける法則性の認識が誤概念の修正に必要不可欠だからである。むしろ，科学的法則と数値的データとの関連性を生徒に分かりやすく提示することが重要であると考えられる。そのため，本研究では，実験や観察を通して科学的法則を帰納するのではなく，理論的モデルによって科学的法則（数学的内容）を演繹すること，そして，科学的法則を応用する課題として実験を位置づけることが，科学的思考の育成にとって効果的であると考えられる。

他方，数学嫌いの理由として，生徒にとって数学を勉強することの意味が見えにくいことが挙げられる。

¹福岡県教育庁筑豊教育事務所

数学を学習することの意味を生徒に示すためには、数学の知識を現実の課題に応用する機会を提供することが大切である。そのことは、同時に、生徒の数学的思考力を高めることにつながる。そのため、本研究では、理科の授業を、数学の知識を応用するための機会として位置づける。

以下、まず、数値的データを利用することが科学的概念の構成にとって重要であることを論じる。次に、本研究と同様に理科と数学を関連づけた授業についての先行研究を紹介する。最後に、本研究で取り上げた力と運動の単位について説明する。

私たちが日常生活の中で獲得した知識の中には、素朴概念、誤概念、代替概念などと呼ばれ、必ずしも科学理論と合致しないものが多く含まれている (e.g., Clement, 1983; diSessa, 1993; McCloskey, 1983)。素朴概念は、修正が困難であるばかりでなく、学校での科学的な知識の学習を阻害することが指摘されている (Champagne, Gunstone, & Klopfer, 1985; Chinn & Brewer, 1993; 中山, 1998)。

素朴概念の修正に関して、Carey & Spelke (1994) は、領域間のマッピングが必要であるとする。素朴概念は、日常的な経験に基づいて形成されるが、それが科学理論と合致しないのは、私たちの直接的な知覚や認識に限界があるからである。歴史的に、科学は、数学などの道具を用いて、知覚や認識の限界を拡張してきた。例えば、物質の体積と質量は、測定によって数量化され、グラフに表現されることで、両者の関係 (比例) が正確に理解される。質量や体積を感覚的に把握する限り、そのような理解に達するのは困難である。このように、物理現象を数的表現にマッピングし、数の領域で規則性を探求したうえで、再び、物理現象に立ち返ることで、素朴概念の修正が可能になる。数学は、思考の道具として、素朴概念から科学概念の再構成に重要な役割を果たしていると考えられる。

理科の学習における数学の重要性に注目し、湯澤・山本 (2002) は、従来の理科の授業カリキュラムに対して、数学と連携させた理科の授業カリキュラムを計画した。具体的に、中学2年生に対して金属の酸化に関する2通りの授業を行い、生徒の学習に対する効果を比較した。実験群の授業では、あらかじめ分子モデルから酸化の現象を説明し、燃焼前後の金属の質量関係が比例関係であることを演繹した。すなわち、最初の段階で、物理現象を数的表現にマッピングした (例えば、酸化によってCuとOが1対1で結合することを教える)。そして、生徒たちは、燃焼前後の金属の質量関係が比例関係であることを前提として、その質量比 (整数比) を求めるという課題を解決した。生徒たち

は、測定誤差のために、きれいな整数比を求めることができず、関数の知識を活用しながら課題を解決することが求められた。一方、統制群では、教科書に沿って授業を行った。すなわち、金属を燃焼させる実験を行い、燃焼前後の金属の質量関係から比例関係を帰納した。

その結果、実験群の生徒は、統制群の生徒よりも、授業後のテストで、数学の関数の知識を用いて、酸化前後の金属の質量関係を予測し、計算する得点が高く、また、測定誤差のある物理現象と物理法則を区別したうえで、比例概念を利用して、前者から後者を推測する志向が強かった。

また、湯澤・山本 (2001) は、2通りの授業カリキュラムによって電流に関する授業を行い、学習効果を比較した。統制群の生徒は、一定の大きさの抵抗のもとで、電圧と電流の間の関係を調べる実験を行い、その結果をグラフに書いたうえで、電圧と電流との関係を考え、オームの法則を導いた。それに対して、実験群の生徒は、自由電子モデルによって、あらかじめ、電圧、電流、抵抗の関係をイメージしたうえで、それらの関係式を求めるための実験を計画し、実施し、関係式 (オームの法則) を導出した。その結果、実験群の生徒は、統制群の生徒よりも、電流、電圧、抵抗の関係をより適切に理解できた。

上記2つの実験群の授業カリキュラムは、以下のような共通点を持っている。すなわち、実験や観察を通して科学的法則を帰納する従来の授業に対して、理論的モデルなどによって科学的法則 (数学的内容) を最初に演繹し、数学との関連性を明示していること、そして、実験を科学的法則 (数学的知識) を応用する課題として位置づけることである。本研究の目的は、このような新しい授業カリキュラムの効果を更に別の授業内容によって検証することにある。

本研究で取り扱うのは、「速さが変わる運動」についての授業である。物体に力が働く運動についての観察・実験を行い、力が働く運動では物体の速さなどが変わることを見出すことが目標である。先行研究と同様に、従来の理科の授業カリキュラムを統制群に行ったのに対して、実験群には、数学と連携させた理科の授業カリキュラムを行った。表1は、実験群と統制群の授業カリキュラムの違いをまとめたものである。統制群では、だんだん速くなる運動、だんだん遅くなる運動、自由落下に関する実験をそれぞれ行い、そこから各運動における時間と速さ、移動距離との関係などを導いたのに対して、実験群では、授業の最初に、それらの関係を学習し、それに基づいた課題解決として実験を行った。また、実験群では、理科の教師と数学の教師がチームを組んで指導を行い、さらに、集団の

表1. 実験群と統制群の授業カリキュラムの違い

	実験群	統制群
科学的法則の教授方法	科学的法則を最初に知識として教える。	実験や観察を通して科学的法則を帰納する。
生徒による実験の実施と課題解決	数学で学習したことを応用しながら、理科の問題解決を行う。	あらかじめ決められた手順で実験を行い、決められた結果を導く。
教師による指導体制	理科の教師と数学の教師のチーム・ティーミングによる教授と指導。	理科の教師1人による教授と指導。
コンピュータの役割	グループ別の課題解決プロセスをコンピュータに記録し、グループの生徒たちが問題解決プロセスを相互に評価する。	コンピュータは使用しない。
理科授業における数学の位置づけ	理科との関連性が最初から明示され、理科の課題解決の手段として、位置づけられる。	理科の実験結果をまとめあげ、到達すべき目標として位置づけられる。

相互作用を媒介する道具としてコンピュータを活用した。このような実験群と統制群の授業カリキュラムの違いは、理科授業における数学の位置づけの違いを反映していた(湯澤・山本, 2002)。すなわち、統制群では、科学的法則(数学的内容)は、理科の実験結果をまとめあげ、到達すべき目標として位置づけられていたのに対して、実験群では、数学と理科との関連性が最初から明示され、数学は、理科の課題解決の手段として位置づけられていた。

ただし、先行研究と異なる点は、実験群では、科学的法則を理論的モデルなどによって演繹したのではなく、直接教えていることである。これは、酸化や電流の場合と異なり、力と速さの関係(力が加わると、時間とともに、速くなり、また、力が大きいほど、加速する)は、生徒の持つ素朴概念と必ずしも矛盾しないため、現象を記述した法則として、すんなり理解されたと考えたためである。

方法

授業の参加者

公立中学校3校3年の4クラスを2クラスずつ実験群、統制群に割り当てた。実験群の生徒数29名(男子13名、女子16名)、統制群の生徒数29名(男子13名、女子16名)であった。全生徒の受けた標準学力テストによると、理科に関する両群の生徒たちの成績はほぼ等しかった。

実験群と統制群の授業手続き

本研究の対象となる授業は、理科第1分野「運動とエネルギー」の中単元「物体の運動」の一部である(4時間)。「速さの変わる運動」4時間の指導のみ著

者の一人が行った。それ以外の授業については、各校の理科担当教師が行っていた。指導を行った著者と生徒との面識は、授業当日までなく、生徒は、4時間の授業が教科担任以外の教師によって行われることだけを知らされていた。

授業は、実施校のカリキュラムおよび時間表に従い、実施された。実験群、統制群ともに、1単位時間50分の授業が2単位時間続きで、2日連続して行われた。授業を行った場所は、実験群が理科室およびコンピュータ室、統制群は理科室であった。

実験群と統制群の授業の流れを図1に示す。実験群、統制群ともに、学習プリントを用いて授業を行った。また、主要な板書事項については、あらかじめコンピュータにおいて作成し(パワーポイントを使用)、液晶プロジェクターを用いて、電子ボードまたはスクリーンに投影した。

実験群の授業内容(4時間)

表2は、実験群の授業略案である。授業の前半の2単位時間では、まず、「速さの変わる運動」についての知識(「だんだん速くなる運動」、「だんだん遅くなる運動」、「自由落下」についての記録テープの様子とグラフ等)を講義形式で伝えた後、課題を与えた。課題は、上記の3つの運動から1つを選択させ、指定された時間の速さを求めるものであり、通常の授業班で取り組ませた。この課題を解決する手立ては数学科担当教師によって行われた。

ただし、理科の教師と数学の教師がチームを組んで指導を行うにあたり、以下のことをあらかじめ取り決めた。①数学科の教師は、生徒による課題解決の際、関数概念の指導およびコンピュータへの入力指導を行い、理科の領域の指導は行わない。②課題1の解決

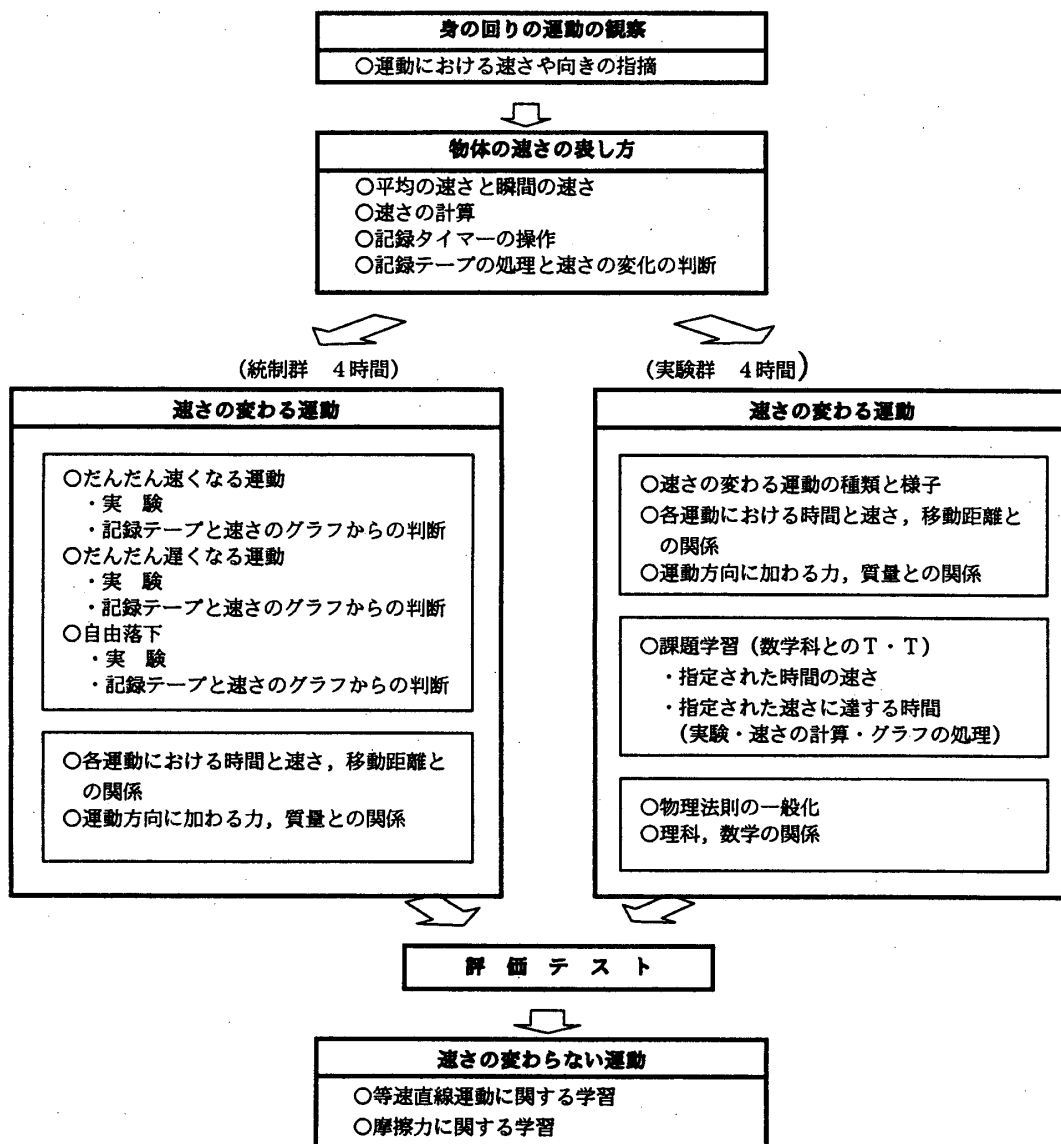


図1. 実験群と統制群の授業の流れ

表2. 実験群の指導略案

学習事項	指導上の留意点	配時	評価
1 速さの変わる運動についての説明を聞く。	○ 速さの変わる運動の様子を、記録テープとグラフから確認させる。 ・斜面を下る運動 ・斜面を上る運動 ・自由落下 ○ それぞれの運動の様子と、力の大きさ、質量との関係を整理し列記する。	20	・速さの変わる運動について理解出来たか。
2 与えられた課題に対して取り組む。	課題：指定された条件の運動に於いて、物体が運動を始めてから0.3秒後、1.5秒後の速さを求める。	40	・実験を適切に行えるか。
①指定された条件で、記録タイマーを用いて実験を行う。	T1 (理科) ○班ごとに、2つの運動を均等に選択させる。 ○記録テープの打点の様子を確認させる。		
○指定の条件 斜面を下る運動、斜面を上る運動、自由落下のいずれか一つを選択。 台車1台、斜面の角度10°	T2 (数学)		

学習事項	指導上の留意点		配時	評価
②記録テープを0.1秒ごとに処理し、速さを計算する。 ③求めた速さをもとにグラフ化する。 ④0.3秒後、15秒後の速さを求める。	○0.1秒ごとに計算する理由について説明する。	○計算ができない生徒を援助する。 ○速さの計算を、0.3秒後の実測値で説明する。 ○15秒後の速さは、グラフを用いて、関数の概念から求める指導を行う。		・速さの計算が出来るか。 ・グラフが適切に書けるか。 ・グラフの読みとりができるか。 ・関数概念が理解できるか。
3 与えられた課題に対して取り組む。			40	
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> 課題：物体が地球から宇宙へ出る場合、1200000cm/秒 (12km/秒 M36) の速さが必要である。ここにある物を使って加速装置をつくり、その装置で宇宙に出られる速度に達する時間は何秒後か計算しなさい。 </div>				
①実験計画書を作成する。	○準備したワークシートに個人ごとに実験計画を記入させる。このとき、記入の例を提示する。 ○実験の主眼が同じ生徒にグループ分けし、グループとしての実験計画書をコンピュータのファイルに入れさせる。	○ファイルへの入力を援助する。 ○他グループのファイルの閲覧方法を知らせる。		・興味・関心をもって意欲的に進めることが出来るか。 ・実験計画をたてることが出来るか。 ・実験計画書を適切に書けるか。
②計画に従って実験を行う。 ③記録テープの処理をする。 ○速さを計算する。 ○グラフ化する。 ④課題の時間を求める。	○斜面を下る運動、また自由落下する運動のいずれかを選び実験する。 ・斜面の長さや角度は自由とする。 ・使用する物体は、スムーズに運動するものとする。 ○実験計画についての評価は行わず、すべての計画について可能な限り行わせる。 ○試行錯誤を行わせ、必要に応じて再実験させる。計画を変更することに、他グループの計画を参照し、変更したところをファイルに入力させる。 ○全体が関数概念の導入に気がつかない場合、実験から直接求めることが可能か示唆を行い、関数概念の導入に気づかせる。 ○再検討の際、グループ内で意見が分かれた場合、グループを分ける。 ○全てのグループが関数概念を導入するまで、グループごとに指導を行う。 ○1名を指名して発表させる。発表できなかった場合は、順次指名していく。	○関数概念を用いようとするグループから要請があった場合、助言を行う。	70	・実験が適切に出来るか。 ・情報を収集し、計画を修正出来るか。 ・関数概念の適用が出来るか。
4 実験の経過と結論をグループごとに発表する。			10	
5 時間と速さの関係のまとめを聞き、物理法則の実社会での応用について認識を深める。	○時間と速さが比例の関係にあり、関数概念を応用できることを確認する。 ○実社会における物理法則の適用について説明し、一般概念として認識させる。		10	・理科と数学との関係を認識出来るか。

に関して、0.3秒後の速さは、グラフを利用して求めるように指導し、15秒後の速さは、比例による倍数関係と式の2つの方法で求めるように指導する。③生徒による課題解決を支援する際、示唆（他に方法はないだろうか）、助言（～すると良いんでは）、指導（～なさい）の順序で行う。

授業の後半の2単位時間では、まず、ある物を使って加速装置を作り、その装置によって宇宙に出られる速度（12km/秒）に達する時間を求めるという課題を与え、斜面の落下または自由落下などを選択させた。そして、同じ実験方法を選択した生徒で班を作り、共同で実験計画書を作成させたうえで、実験を行わせた。なお、実験計画や実験結果は、実験計画書とともに、コンピュータの共用ファイルに入力し、教師や生徒がすべての班の計画や結果を参照できるようにした。

統制群の授業内容（4時間）

統制群では、教科書（大日本書籍）に従い、実験用台車を使用し、「だんだん速くなる運動」の実験を全員に行わせて、記録テープの処理の仕方や速さの計算、グラフの作成についての実習を行わせた。「だんだん遅くなる」運動、「自由落下」については、班でいずれかを選択させ、実験を行わせた。なお、上記のいずれかを選択させたのは、「速さの変わる運動」に関する実験を各生徒が2回行うという点で、実験群と同じにするためである。

評価テスト・自己評価アンケート

授業後、実験群、統制群ともに、評価テスト（図2）および自己評価アンケート（表4）を実施した。評価テストの問題1は、「速さの変わる運動」について理解を調べるためのものであった。問題2の(1)～(3)は、関数概念の活用が必要な問題であった。問題2の(4)、(5)は、授業の中で間接的に取り扱った現象ではあるが、生徒の持つ素朴概念（重い物体ほど速く落下する）から間違いやすい問題であった。それぞれの問題に対して正答した場合、1点とした（ただし、1の(5)は問題が2つあるため、2点）。合計得点は、0～11点であった。

また、自己評価アンケートは、各項目に対して、1（まったくできなかった）から4（とてもよくできた）の4段階で評定を求めた。

結果

評価テスト

実験群と統制群の生徒を理科標準学力テストの平均得点によって、成績高群（平均点より高い）と成績低

群（平均点より低い）に分けた。そして、クラス、成績ごとに、全体、問題1、問題2の(1)～(3)（関数の活用）の平均点を表3に示した。なお、表3には、各グループの標準学力テストの平均点も示してある。クラス（実験群と統制群）×成績（成績高と成績低）の分散分析を行ったところ（表3）、合計点、関数でクラスの主効果が見られ、実験群の得点が有意に高かった。また、問題1でも有意に近い主効果が見られ、実験群の得点が高い傾向が見られた。

以上の結果から、実験群の生徒は、成績に関わりなく、統制群の生徒よりも、「速さの変わる運動」についてよりよく理解するとともに、関数概念に関してもより有効に活用できるようになったことが示された。

自己評価アンケート

自己評価アンケートの各項目に対する平均評定値をクラス、成績ごとに示したのが表4である。クラス（実験群と統制群）×成績（成績高と成績低）の分散分析を行ったところ（表4）、クラスの主効果が見られたのは、「授業に対する興味・関心」、「授業に対する意欲」、「グループでの協力」であり、いずれも、実験群の評定値が統制群のそれよりも有意に高かった。また、「授業に対する意欲」、「授業内容の理解」で、成績高群が成績低群よりも有意に高く評定した。

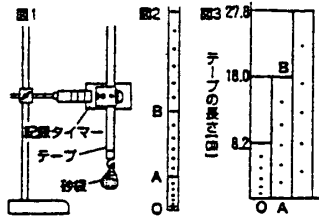
考察

本研究では、2つの異なったカリキュラムによって「速さの変わる運動」に関する授業を行い、学習効果を比較した。統制群の生徒は、だんだん速くなる運動、だんだん遅くなる運動、自由落下に関する実験をそれぞれ行い、そこから各運動における時間と速さ、移動距離との関係などを導いた。それに対して、実験群の生徒は、授業の最初に、各運動における時間と速さ、移動距離との関係を教えられ、それに基づいた課題解決として実験を行った。また、実験群では、理科の教師と数学の教師がチームを組んで指導を行い、さらに、集団の相互作用を媒介する道具としてコンピュータを活用した。その結果、実験群の生徒は、統制群の生徒よりも、「速さの変わる運動」についてよりよく理解でき、また、関数概念もより有効に活用できるようになった。

以上の結果は、湯澤・山本（2002, 2001）と同様、理科の学習にとって、実験や観察を最初に行って、そこから科学的法則を帰納することが必ずしも最良の方法ではないことを示している。確かに、生徒が物理現象を主体的に探求し、そこから物理現象の規則性を発

1 図1の装置で、下のような実験をした。次の問に答えなさい。

【実験】I. 図のように砂袋を落下させ、1秒間に60回打点する記録タイマーで記録した。
II. 運動が記録されたテープを、はじめの数打点を除いて、6打点ごとに切り、グラフ用紙にはった。図2, 3はその結果である。



- (1) 図3からAB間の砂袋の平均の速さを求めなさい。
- (2) 砂袋は、0.3秒間でO点から何cm落下しているか。
- (3) 図3の3枚のテープの、次の6打点のテープの長さは何cmになると考えられるか。
- (4) 落下運動の速さが変化する理由を簡単に書きなさい。
- (5) この運動について、①時間と速さの関係、②時間と距離との関係を表すグラフを下から選び記号で答えなさい。

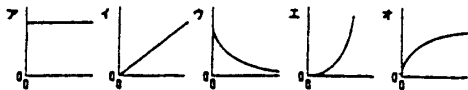
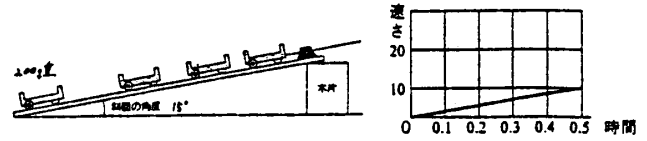


図2. 評価テスト (解答欄および求め方の記載を求める教示は省略)

2 200g重の重さの物体を15°の角度の斜面上で運動させたところ、0.5秒後の物体の速さは10cm/秒であった。これについて次の問に答えなさい。



- (1) 3秒後の物体の速さはいくらか。
- (2) 物体の速さが35cm/秒になるのは何秒後か。
- (3) 同じ斜面をずっと走らせたとき、物体の速さが240cm/秒になるのは何秒後か。
- (4) 斜面の角度を変えずに物体の重さを400g重にすると、0.5秒後の物体の速さはどうなるか。a~cの中から選び、その理由を書きなさい。
a 10cm/秒より速くなる b 10cm/秒より遅くなる
c 変わらない
- (5) 物体の重さを変えずに斜面の角度を30°にすると、0.5秒後の物体の速さはどうなるか。a~cの中から選び、その理由を書きなさい。

表3. 授業前の理科標準学力テストおよび授業後の評価テストの成績および分散分析の結果

	実験群		統制群		主効果		交互作用
	成績高 n=15	成績低 n=14	成績高 n=14	成績低 n=15	クラス F(1,54)	成績 F(1,54)	
学力テスト	58.33	35.07	58.93	36.93	0.33	113.12	0.09
評価テスト							
合計点	6.40	3.93	4.86	2.60	7.08*	19.19**	0.04
問題I	3.80	2.93	3.21	2.20	3.07*	6.32*	0.85
関数	2.20	0.71	1.21	0.33	8.50**	25.50**	0.20

成績高低は、理科標準学力テストの平均得点(47.33)より高いか、低いかによって分類。
合計点: 0~11点, 問題I: 0~6点, 関数: 0~3点。関数は、問題IIの(1)~(2)の3題。^{*}p<.10,
^{**}p<.05, ^{***}p<.01

表4. 授業後の自己評価アンケートに対する平均評定値および分散分析の結果

評価項目	実験群		統制群		主効果		交互作用
	成績高 n=15	成績低 n=13	成績高 n=14	成績低 n=15	クラス F(1,53)	成績 F(1,53)	
授業内容に興味・関心を持てた	3.20	2.69	2.64	2.47	4.10*	3.13*	0.74
授業に意欲をもって取り組めた	3.40	2.92	2.93	2.53	7.27**	7.46**	0.07
授業の課題について自分でよく考えることができた	2.87	2.85	2.61	2.47	2.49	0.18	0.10
自分たちで工夫しながら実験を行うことができた	3.00	3.08	3.07	3.00	0.00	0.00	0.14
この時間の授業内容を理解することができた	2.93	2.39	2.57	2.33	1.41	5.12*	0.80
グループで協力することができた	3.73	3.54	3.36	3.07	5.57*	1.82	0.07
理科と数学が関係していることを理解できた	3.47	3.23	3.29	3.53	0.12	0.00	1.94

1~4の4段階評定の平均値, ^{*}p<.10, ^{**}p<.05, ^{***}p<.01

見ることができれば、学習効果は大きいと考えられる。しかし、実際の授業では、生徒による実験の不手際や、物理現象と物理法則の複雑な対応関係などのために、教師の側から“正答”を教えることがしばしば生じていた。そのような授業では、生徒の素朴概念を変えるのは困難であった(湯澤, 1998)。

それに対して、実験群では、学習すべき科学的法則(数学的内容)が最初に教示され、数学との関連性が明確に示された。そして、それに基づいて課題解決を行った。このような課題解決は、数学に関する知識を用いて、物理現象を主体的に表現する機会を生徒に提供し、それによって生徒たちは、物理現象をより深く理解するとともに、数学の知識を積極的に利用するようになったと考えられる。

しかも、実験群の生徒は、「速さの変わる運動」についてよりよく理解しただけでなく、「授業に対する興味・関心」、「授業に対する意欲」、「グループでの協力」についてより高く評価した。このことの理由として、実験群の生徒が創意工夫をしながら、課題解決を行い、それをクラス全体で共有し、評価したこと、また、学習した数学や理科の知識を現実の課題に応用する機会を得ることで、学習の有用性を感じることができたことなどが挙げられる。

以上のように、本研究および一連の先行研究(湯澤・山本, 2002, 2001)で提案する授業カリキュラムは、数学や理科の基礎的な知識の理解を促進し、また、生徒の学習意欲を向上させ、理科嫌いや数学嫌いを克服する可能性を持っている。今後、この授業カリキュラムを他のテーマの授業にも更に拡張し、教育的な効果を確認していくことが必要である。

【引用文献】

- Carey, S., & Spelke, E. 1994 Domain-specific knowledge and conceptual change. In L. A. Hirschfeld, & S. A. Gelman (Eds.), *Mapping the mind: Domain specificity in cognition and culture*. Cambridge: Cambridge University Press. Pp.169-200.
- Champagne, A. B., Gunstone, R. F., & Klopfer, L. E. 1985 Instructional consequences of students' knowledge about physical phenomena. In L. H. T. West & A. L. Pines (Eds.), *Cognitive structure and conceptual change*. New York: Academic Press. Pp.61-90.
- Chinn, C. A., & Brewer, W. F. 1993 The role of anomalous data in knowledge acquisition: A theoretical framework and implications for science instruction. *Review of Educational Research*, **63**, 1-49.
- Clement, J. 1983 A conceptual model discussed by Galileo and used intuitively by physics students. In A. L. Stevens & D. Gentner (Eds.) *Mental models*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates. Pp.325-340.
- diSessa, A. A. 1993 Toward an epistemology of physics. *Cognition and Instruction*, **10**, 105-226.
- 久田隆基・鈴木章久 1990 理科に対する好悪調査(2) 静岡大学教育学部研究報告 教科教育学編, **22**, 71-100.
- McCloskey, M. 1983 Naive theories of motion. In A. L. Stevens & D. Gentner (Eds.) *Mental models*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates. Pp.299-324.
- 中山迅 1998 学校知と日常知の隔たり：素朴概念の問題 湯澤正通(編) 認知心理学から理科学習への提言：開かれた学びをめざして 京都：北大路書房 Pp.23-40.
- 湯澤正通 1998 学校の授業は子どもの生きる力を育てているか 湯澤正通(編) 認知心理学から理科学習への提言：開かれた学びをめざして 京都：北大路書房 Pp.2-22.
- 湯澤正通・山本泰昌 2001 思考の道具としての数学が物理現象のモデルとしての数学と対立するとき：中学生による電流、電圧、抵抗の関係の理解 広島大学教育学部紀要 第三部(教育人間科学関連領域) **50**, 309-316.
- 湯澤正通・山本泰昌 2002 理科と数学の関連づけ方の異なる授業が中学生の学習に及ぼす効果 教育心理学研究, **50**, 377-387.
- 付記 本研究は、平成14年度科学研究費補助金(重点領域研究)(課題番号14022234)の補助を受けた。