

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

湯澤正通・山本泰昌¹

(2001年9月28日受理)

When mathematics as a tool for thought is not congruent with mathematics as a model for a physical phenomenon: Junior high school students' understanding of relationships among electric current, pressure, and resistance

Masamichi Yuzawa and Yasumasa Yamamoto

The present study examined the effects of instruction that avoids the cognitive conflict between mathematics as a tool for thought and mathematics as a model for physical phenomena. Students in four classes of public junior high school received two types of instructions concerning electric current. Students under the experimental condition learned the qualitative relationships among electric current, pressure, and resistance first, and then designed experiments for themselves to obtain the quantitative relationships among these three values. On the other hand, students under the control condition ran experiments that examined electric current when they increased electric pressure for a device with a certain amount of resistance, and learned the quantitative relationships among the three values. It was found that students under the experimental condition did better on tests about the calculation based on the relationships among electric current, pressure, and resistance than students under the control condition.

Key Words: electric current, mathematics, junior high school students, understanding

キーワード：電流、数学、中学生、理解

私たちは、日常生活の中で、自然の事物や事象を直接知覚し、認識しながら、その働きについての知識を獲得している。そのような知識の中には、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ことがわかっている(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)。

私たちの直接的な知覚や認識に限界がある中で、数学は、しばしば、人間が複雑な自然現象を解明するための道具として使用される。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。

Carey & Spelke (1994)によると、素朴概念の修正には、領域間のマッピングが必要である。すなわち、道具を用いた実験によって、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。このように、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。

数学が私たちの思考の道具として、科学概念の理解に重要な役割を果たしていることを示唆する研究として以下のものがある。Schwartz & Moore (1998)は、児童がジュースの濃度を比較するとき、それが実物のジュースであるか、絵であるかによって、また数量で表現されているか、質的な表現(多い、少ない)であるかによって、さらに一方が他方の倍であるような(2

¹ 大野町立大野中学校

と4) 簡単な数量で表現されているか、そうでないか(4と7)によって児童の理解が質的に変化することを示した。このことから、Schwartz & Mooreは、数学が計算機のような単なる思考の補助的道具ではなく、数学によって複雑な現象の表象が容易となり、物理現象に関する子どもの理解そのものが変化することを示唆している。

また、湯澤・山本(2001)は、数学と理科との関連付けが物理法則の理解に及ぼす影響を検討するため、金属の酸化に関する2通りの教授方法で中学2年生に対して授業を行った。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。

他方、私たちの思考が数学によって制約されるため、学習が困難になる場合もある。数学が自然現象を表象するための道具として使用されるとき、単なる数的関係の表現ではなく、しばしば、自然現象の因果モデルとして理解される。例えば、電圧(E)と電流(I)の関係を関数として表現するとき($I = aE$)、電圧が原因となって電流が流れるといった因果的な認識が意味されている。通常、自然現象の因果モデルとしての数学は、思考の道具としての数学と矛盾することはないが、時に、両者が食い違ふことがある。そのような事例として、電流、電圧、抵抗の関係式の学習を挙げることができる。

電流、電圧、抵抗の関係は、オームの法則と呼ばれ($E = RI$)、中学校理科第1分野で学習される。多くの教科書では、測定した電圧と電流の関係をグラフ化し、両者の関係が比例であることを確認した後、抵抗の概念を導入し、オームの法則を定義している。その際、電圧が原因となって電流が流れるという因果的な

認識を伴うため、電圧がx軸、電流がy軸に表現され、両者の関係は、 $I = aE$ となる。ところが、抵抗は、電流の流れにくさであり、比例定数aの逆数として定義される。ここに電流、電圧、抵抗の関係式を学習することの難しさがある。

本研究では、このような従来の教授方法に対して、思考の道具としての数学が自然現象のモデルとしての数学と生徒の認識において一致するような教授方法を考案し、その効果を検討した。具体的には、自由電子モデルによって電流を説明した後、電流、電圧、抵抗の関係を調べる実験を生徒自身に計画させた。自由電子モデルでは、電流を“負の電気を帯びた電子”とし、電圧を“電子を引っ張る力”とし、抵抗を“電子の流れを妨げる固体中の原子”とした。これらの3者の関係を調べる実験を計画するとき、生徒は自らの概念化に沿って数量化を行うことができる。例えば、固体中の原子が増えたら(抵抗が強くなったら)どうなるかという問いに対して、引っ張る力が同じならば、電子の流れはより妨げられ($I = a/R$, $a = E$)、同じ電子の流れを作るためには、引っ張る力を強くしなければならぬ($E = aR$, $a = I$)と因果モデル(自由電子モデル)に基づいて予想することができる。測定による数量化がこのような予想と一致するという点で、生徒の理解が促進されると考えられる。

方法

授業の参加者

公立中学校2年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62名(男子31名、女子30名)、統制群の生徒数66名(男子34名、女子32名)であった。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

本研究の対象となる授業は、理科第1分野「電流とその働き」の中の小単元「電流、電圧、抵抗の関係」の一部である(3時間)。ここでは、「金属線に加わる電圧と電流を測定する実験を行い、電圧と電流の関係を見いだすとともに金属線には電気抵抗があることを見いだすこと」を目標としている。

実験群と統制群で電流に関して教師が生徒に伝える情報は、できる限り統制した。実験群と統制群の授業の違いは、以下の点である。①自由電子モデルによる電圧、電流、抵抗の関係についての説明を、実験群では、最初(1h)に行うのに対して、統制群では、最後(3h)に行う。②実験群では、自由電子モデルによって電流、電圧、抵抗の間の関係について定性的に

表1 実験群と統制群の授業の流れ(全2時間)

実験群	統制群
<p>1 h 各班でエジソン電球をシャープペンシルの芯を使って再現する実験を行い、その原理の説明をする(シャープペンシルの芯は炭素からできていて、炭素は電気を通すが、そのとき、電子が固体中の原子に何度も衝突しながら移動するため、発火する)。 電圧、電流、抵抗の関係について自由電子モデルによる説明をする(電圧は電子を引っ張る力、電流は電子の流れ、抵抗は、電子の流れを妨害する原子)。 電流、電圧、抵抗の間の関係調べる実験計画を考えさせる。</p>	<p>各班で電流装置と豆電球(および抵抗)をつなぎ、電圧の大きさを変化させることで、電流の大きさと豆電球の明るさの関係を考察させる。 3種類の抵抗のもとで、電圧と電流の間の関係調べる実験を班ごとに行わせる。</p>
<p>2 h 前時の計画をもとにグループを構成し、グループごとに課題を行う。 課題:電流、電圧、抵抗の間の関係を調べてみましょう。10Ω、20Ω、30Ωの3種類の抵抗について測定してみましょう。どのような実験をすればよいか考え、グラフ化して電流(I)、電圧(E)、抵抗(R)の関係を導き出してみましょう。</p>	<p>前時の結果の表をグラフに書かせ、電圧と電流との関係を考えさせる(個人→グループ→全体)。 抵抗の定義について教える(抵抗とは電流の流れにくさのことで、1Aの電流を流すのに1Vの電圧を必要とする抵抗の大きさを1Ωとする)。 オームの法則をまとめる(E=RI)。</p>
<p>3 h 各班で導いた関係式を全体でまとめる。 自由電子モデルを復習しながら、電流、電圧、抵抗の関係を再度考えさせる。</p>	<p>オームの法則について復習する。 電圧、電流、抵抗の関係について自由電子モデルによる説明を行う。</p>

評価テスト

理解させた後、3者の定量的な関係を調べる実験計画を生徒自身に考えさせる。それに対して、統制群では、最初、異なった抵抗に関して、電圧を変化させたときの電流を測定させ、それをグラフ化してから、電流、電圧、抵抗の定量的な関係を考えさせる。

実験群と統制群の授業の流れを表1に示す。

実験群の授業(3時間) 1h:各班でエジソン電球をシャープペンシルの芯を使って再現する実験を行い、その原理の説明をする。電圧、電流、抵抗の関係について自由電子モデルによる説明をする(電圧は電子を引っ張る力、電流は電子の流れ、抵抗は、電子の流れを妨害する原子)。電流、電圧、抵抗の間の関係調べる実験計画を考えさせる。2h:前時の計画をもとにグループを構成し、グループごとに課題(電流、電圧、抵抗の間の関係を調べてみよう。10Ω、20Ω、30Ωの3種類の抵抗について測定してみましょう。どのような実験をすればよいか考え、グラフ化して電流、電圧、抵抗の関係を導き出そう)を行う。3h:各班で導いた関係式をクラス全体でまとめる。自由電子モデルを復習しながら、電流、電圧、抵抗の関係を再度考えさせる。

統制群の授業(3時間) 1h:各班で電流装置と豆電球(および抵抗)をつなぎ、電圧の大きさを変化させることで、電流の大きさと豆電球の明るさの関係を考察させる。3種類の抵抗のもとで、電圧と電流の間の関係を調べる実験を班ごとに行わせる。2h:前時

の結果の表をグラフに書かせ、電圧と電流との関係を考えさせる。抵抗の定義について教え、オームの法則をまとめる(E=RI)。3h:オームの法則について復習する。電圧、電流、抵抗の関係について自由電子モデルによる説明を行う。

評価テスト

3時間の授業後、評価テストを実施した。評価テストは、電流、電圧、抵抗の関係を式に表し、説明させる問題、2変数の数値を与えて、残りの変数の値を求めさせる問題などから構成された(図1)。(1)の問題は、電流、電圧、抵抗の関係を正しく式に表せた場合(E=

(1) 電流(I)と電圧(E)と抵抗(R)との関係を式に表せ。

(2) 電流(I)と電圧(E)と抵抗(R)との関係をモデルに表し、説明せよ。

(3) 次の計算をしろ。

①

②

③

図1 評価テスト

RI)、1点、表せなかった場合、0点とした。(2)の問題は、分子モデル、水流モデル、パチンコモデルのいずれかによって、電流、電圧、抵抗の3者関係を適切に表象(説明)した場合、2点、電流、電圧、抵抗の2者関係のみを表象(説明)した場合、1点、関係の説明がない、または不適切な説明をした場合、または分子モデル、水流モデル、パチンコモデル以外の場合、0点とした。(3)の問題は、それぞれ正答の場合、1点とした。合計得点は、7点であった。

結果

評価テスト

まず、実験群と統制群の評価テストの合計点に関して比較したところ(表2)、実験群の成績が有意に高かった($F(1,123)=8.33, p<.01$)。ただし、実験群の生徒の中で、電流、電圧、抵抗のうち、どの変数を固定して実験を行うかによって人数や成績に違いが見られた。電流を定数として電圧と抵抗の関係を調べた生徒(I群)は20名、電圧を定数として電流と抵抗の関係を調べた生徒(E群)は32名、抵抗を定数として電圧と電流の関係を調べた生徒(R群)は10名であり、これらの群の人数に偏りが見られた($\chi^2(2)=11.74, p<.01$)。I群、E群の生徒は全員、抵抗を変化させて、電圧または電流の変動を調べた。それに対して、R群の生徒は全員、電圧を変化させて、電流の変動を調べた。統計的には有意ではなかったが、I群、E群の評価テストの成績がR群のそれと比べて高い傾向にあり、実験群の成績の高さは、I群、E群の成績の高さに起因すると考えられる。

以上の結果から、思考の道具としての数学が自然現象のモデルとしての数学と矛盾しない教授方法で学習した場合、両者が矛盾する従来の教授方法で学習するよりも、生徒の理解が促進されることが示唆された。

表2 評価テストの成績

実験群				統制群
I群	E群	R群	全体	
$n=20$	$n=32$	$n=10$		$n=64$
5.20	4.87	4.40	4.90	3.89
(1.69)	(1.95)	(2.38)	(1.96)	(1.92)

注) E群の1名は、評価テストを受けていない。

実験群の課題解決プロセス

実験群の生徒は統制群の生徒よりも、評価テストの成績が良かったが、それは、課題解決を通して、電流、電圧、抵抗の関係を適切に理解できたからであると考えられる。そのことについて考察するため、実験

群の1つの班による問題解決のプロセスに注目する。

その班では、電流(I)、電圧(E)、抵抗(R)の間の関係を導き出すという課題に対して、Rを固定して、EとIの関係を調べるという方略を用いた。10Ω、20Ω、30Ωの3種類の抵抗について、それぞれ1V、2V、3Vのときの電流を測定して、3つのグラフを描いた。しかし、グラフの目盛りのとり方が異なっているため、3つのグラフの傾きがほとんど同じように見えた。そのため、グラフの傾きが抵抗の大きさと関連していることの手がかりを失い、行き詰まってしまった。以下は、そこに教師がきた場面である(Tは教師、Sは生徒の発言である。SSは複数の生徒による発言である)。

- 1S1: とうか、式がよく分からない。
 2S2: わかんない。
 3T: これって何のグラフ? こういう直線って何のグラフ?
 5S3: これは。
 6SS: え。
 7S2: 何ですか?
 8T: 数学で習わなかった?
 9S1: 比例。
 10T: 比例よね。
 11S3: 比例か?
 12T: 比例ってどういう関係?
 13S2: えーと、何か、何か、何か。
 14S3: yイコールax。
 15SS: あー、そう、yイコールax。
 16S2: x分のyイコールa。
 17T: ん、何? yイコールax。
 18T: 同じように書けない?
 19S2: じゃ、yイコールax、してみようや。どっちがyだったか。
 20S4: yは、
 21SS: えーと、上の方だよな。
 22S4: ということは?
 23S2: 1、2、3じゃない方だから、こっちがxで、こっちがy。
 24S4: で、aが、
 25S1: ちがう、yが、
 26S2: yがミリアンペアじゃない。だって、1、2、3って増えていく方がxだったじゃん。
 27S1: そうか。
 28S3: x座標とか、y座標とかあったね。
 29T: 縦がyで、横がxなんでしょ。そのときにaが分からない。

30S 2 : x 分の y だ、 x 分の y だ。
 31T : a の値をそれぞれ求めてみたら。
 32S 2 2 : あー、 x 分の y だ。
 33S 2 : だから、3 分の、えーと、300 mA じゃおかしいから、0.3 か？
 34S S : ということは？
 35S 2 : 0.3、300 でいいや、後で 100 分の 1 すればいよいよ。
 36S 2 : 100 でしょ、そしたら、10。
 37S 4 : で、式はどうなるわけ？
 38S 1 : じゃ、式書こうや。
 39S 2 : ここの式は、だから、 V 、 V は電圧か、 V 分の I イコール、じゃ、こっちはアンペアにしないとけない。
 40S 4 : そっか。
 41S 4 : 久々にこんな頭つかった。
 42S 4 : じゃ、この辺に式書いてみようか。

上記の場面では、グラフからどのように I 、 E 、 R の間の関係を導き出すのか分からない生徒に対して、教師がグラフに関して質問をする (3-18)。そして、生徒は、それを手がかりに、数学の比例に関する学習を思い起こし、 $y = ax$ の式を当てはめようとする (19-28)。そのとき、 a が分からないことを教師から指摘され (29, 31)、生徒たちは、 a の値を求めるための計算を始めるが、32-42 では、測定の単位をどうすべきかを迷っている。

以下の場面は、ある生徒が比例定数の求め方に気づいて、測定値を式に当てはめているところである。

43S 2 : これが 1 のときの y の値が比例定数。
 44S 1 : ということは、
 45S 2 : 0.1 か、2 になったら、2 倍したら、0.2 になって、3 倍したら、0.3 で、0.1 かける 2。
 46S S : よくわからない。
 47S 2 : だからさ、 x が 1 のときの y の値が、1 のとき 3 だって、2 のとき、6 じゃん、2 倍したら、2 倍になって、このとき、何ぼずつ増えているかという、3 ずつ、増えているじゃん、だから、 x が 1 のときの y のこれが比例定数じゃん。
 48S 1 : あー。
 49S 2 : だから。
 50S 4 : こっちは x で、 y だから、これんとき、これなんよね。
 51S 3 : えーと。
 52S 2 : 0.1 が比例定数だよ、0.1 というか、100 が。
 53T : 0.1 が比例定数だよ、 y イコール、 $0.1x$ だよ

ね。
 54S 2 : ん、 y イコール、 $0.1x$ だから、
 55T : 0.1 というのは、この 10 とどのように関係するの。
 56S 2 : 10 分の 1、かける 10。
 57T : 同じように、こっちも、どのように関係するの。
 58S 2 : こっちだけミリアンペアです。
 59S 4 : ほんまじゃ。
 60S 1 : ここのアンペアになおさなきやいけないかな。
 61S 2 : ミリアンペアでもいいかなと思うけど。
 62S 4 : いちおう。
 63S 1 : どうなのかよく。
 64S 2 : 0.05 か、50 って。
 65S 4 : ややこしくなってきた。
 66S S : ここの直して、0.15、細かいなあ。
 67S 2 : 0.05、0.03、ミリアンペアの方がよかったかな、と、今、ちょっと後悔。
 68S 2 : こうでしょ、1 のときだから、0.05 が、 y イコール $0.05x$ よね、これは、こっちは y で、こっちは x で、 y イコール、 $0.03x$ 。
 69T : ここの比例定数とこれはどういう関係にあるの？
 70S 2 : どういう関係にあるんだ。
 71S 4 : 何が？
 72S 2 : この比例定数と、ここのオームがどのような関係にあるかという、
 73S 4 : オームは、
 74T : これをどうすると、こうなる？ 0.1。
 75S 2 : これは、10 分の 1、100 分の 1 だから、
 76T : 10 分の 1 でしょう。これは？
 77S 2 : 10 分の 1 になりますか？
 78S S : 10 分の 1？
 79S 1 : 1 じゃないの？
 80S 2 : 1 だよ、ね。
 81S 4 : 100 分の 1？
 82S 3 : あれ。
 83T : 10 分の 1 は 0.1 でしょ。
 84S 1 : ちがう、10 を 10 で割ったら 1 でしょ。
 85T : ちがう、ちがう、1 割る 10 は 0.1 でしょ。
 86S S : あ、えー、はー。
 87T : 1 割る 10 は、0.1 でしょ、10 分の 1 でしょ。10 分の 1 が 0.1 でしょ。
 88T : これは？
 89S 4 : 0.05 分の、割る、20 だから、
 90S 2 : 100 分の 5 だから、
 91T : いくつ、何分の 1 になる。
 92S 2 : 5 いちが 5、5 に 10、
 93T : 20 分の 1 でしょ。これは？

- 94S3 : 30分の1。
 95S2 : あー、あー、そっか、下がこっちの、これ、
 オームが下に来て。
 96S4 : オーム分の、
 97S2 : Vイコール、アンペア？ そやね、これ1じゃ
 ん、結果としてyがでるんでしょ。でもさ、ただ、
 かけるの決めた？
 98S2 : これが30分の1かけるxで、10分の1xだよ
 ね、で、だから、これがアンペアになるでしょ。
 99T : ということは、Aイコール？
 100S2 : Aイコール、あ、これ分の1、これか。
 101SS : オーム、オーム分の。
 102T : yイコールオーム分の1かける？
 103S2 : yイコールオーム分の1かけるV。
 104S2 : そっか。yだったから、直したらIで、Rで、
 E、こう？ どうか。
 105S2 : そうですね。
 106S4 : いいんじゃない。
 107S2 : いいよね。

上記の43-52では、一人の生徒が班の他の生徒に比例定数の求め方を説明している。ただし、比例定数が小数で表現されたため、求めた比例定数(0.1)と抵抗(10Ω)の関係がわかりにくいと、55と57では、教師が0.1を分数(1/10)で表現するようにアドバイスを与えている。68以降では、同様に、 $y=0.05x$ の比例定数をどのように分数に変換するかを考えている。そして、95で、比例定数が抵抗の逆数であることに気づき、I、E、Rの間の関係を導き出すことに成功している。

以上の事例に見られるように、実験群の生徒は、電流、電圧、抵抗の関係を数式で表現することを目標として課題解決を行った。生徒たちは、数学が物理現象のモデルであることを認識し、モデルを表現するための手段(思考の道具)として関数に関する知識を利用できた。そのため、生徒の意識において、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ことなく、上記の例のように、比例定数が抵抗の逆数であっても、課題解決の結果として得られた関係式を納得することができたと考えられる。

考察

本研究では、2つの教授方法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。

以上の結果は、湯澤・山本(2001)と一致している。湯澤・山本(2001)では、本研究と同様に、2つの教授方法によって金属の酸化に関する授業を行った。統制群では、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定比例の法則を導いたのに対して、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、定比例の法則を導いたうえで、生徒たちは、燃焼前後の質量比を求めるという課題を解決した。すると、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、計算する得点が高かった。

本研究と湯澤・山本(2001)の違いは、以下の点である。湯澤・山本(2001)で取り扱った金属の酸化の授業では、定比例の法則を理解することの難しさが主に実験の測定誤差に起因していた。それに対して、本研究で取り扱った電流の授業の難しさは、電圧と電流の大きさを測定し、表現するときの関係式($I=aE$)と、実際の電流、電圧、抵抗の関係($I=1/RE$)との対応関係がわかりにくいという点にあった。

このように、物理法則の理解における難しさの原因が異なっているが、本研究と湯澤・山本(2001)では、難しさを克服する方法に共通点があった。すなわち、学習すべき物理法則と数学との関連性を生徒にあらかじめ明示したうえで、それに基づいて課題解決を行わせるという点である。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。

従来の授業では、生徒に物理現象を探索し、そこから生徒が物理現象の規則性を発見することを期待していたが、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ると指摘されている(湯澤、1998)。

本研究と湯澤・山本(2001)で提案する教授方法は、従来の授業の問題点を克服する可能性を持っている。今後の課題として、その教授情報を他のテーマの授業にも広げ、教育的な効果を確認していくことである

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*. Orland, FL: Academic Press.
- 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**, 105-225.
- McCloskey, M. 1983 Naive theories of motion. In A. L. Stevens & D. Gentner (Eds.) *Mental models*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates. 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.
- Schwartz, D. L., & Moore, J. L. 1998 On the role of mathematics in explaining the material world: Mental models for proportional reasoning. *Cognitive Science*, **22**, 471-516.
- 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 中学生の物理法則の理解における数学の役割 広島大学教育学部紀要 第三部（教育人間科学関連領域），**49**，207 - 212.

付記

本研究は、平成12年度文部省科学研究費補助金（奨励研究A）（課題番号11710065）の補助を受けた。