

原 著〔実践研究〕

## 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

湯 澤 正 通<sup>1</sup> 山 本 泰 昌<sup>2</sup>

本研究では、理科と数学の関連づけの仕方を変えた授業が、生徒の学習にどのように影響するかを調べた。公立中学校の2年生が金属の酸化に関して定比例の法則（化合する物質の質量比は一定である）を2種類の授業方法で学習した。実験群の生徒は、最初に、定比例の法則を原子モデルから演繹した後、数学で学習した比例の知識を用いて、酸化前後の金属の質量比を求める課題を2回行った。その際、理科と数学の教師がチームで指導に当たった。他方、統制群の生徒は、マグネシウムの酸化の実験を行い、そこから、定比例の法則を帰納した。また、酸化前後の金属の質量比を求める課題を1回行い、すべて理科の教師から指導を受けた。その結果、成績高群の場合、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。また、実験群の生徒は、統制群の生徒よりも、誤差のある測定値を適切に理解することができた。

キーワード：理科教育、数学、中学生、酸化

中学校理科では、事物や現象についての実験・観察を行い、その結果を考察して自らの考えを導き出し表現する能力を育てることがひとつの目標である（中学校学習指導要領,平成12年12月）。そのため、測定結果を数値やグラフなどに表現し、そこからそれらの関係を推測し、表現するといった数学の知識が必要となる。ところが、数学で学習した知識を生徒は必ずしも理科へ転移させないことが分かっている。例えば、中学生を対象に行った調査によると、同型の問題を数学と理科の異なった文脈で解かせた場合、数学の問題では正答できるが、理科の問題では正答することができない生徒がいること（西川,1992）、数学と理科の同型の問題に対して、異なった解法を用いること（石井・箕輪・橋本,1996）などが報告されている。

数学に関する知識を生徒が必ずしも理科へ転移させないことは、知識の文脈依存性の問題として説明されている（西川,1992；石井他,1996）。しかし、大学生を対象とした実験室的な研究では、数学から物理学への自発的な知識の転移が示唆されていること（Bassok & Holyoak,1989）などから、単に知識の文脈依存性の問題であるとは考えにくい。むしろ、現在の理科授業における数学の位置づけ方に問題があるのではないかと考えられる。このことについて、中学理科第1分野「化学変化と原子・分子」における金属の酸化の授業を例にして考えてみよう。

金属の酸化に関する現在の一般的な授業は、生徒たちが異なる質量の金属を燃焼させる実験を行い、燃焼前の質量と燃焼後の質量を測定し、それをグラフに表すことで、両者の関係（定比例の法則）を見いだすというものである<sup>3</sup>。このような授業には、以下のような問題がある。第1に、定比例の法則の認識が生徒にとって難しいという問題である。燃焼の実験では、測定誤差が生じるため、測定した質量の関係をグラフに表現した場合、それらの測定値は、必ずしも直線に並ばない。そのようなばらつきのある測定値が比例関係をなしていることは、生徒にとって決して自明のことではなく、ばらつきのある測定値をどう取り扱うべきか分からない生徒が多いことが理科の教師により報告されている（山本,1999）。第2に、実験が形式的であり、比例に関する数学の知識を使って、測定したデータを主体的に考察する機会が生徒に与えられていない。そのため、生徒は、理科の問題に提示される数値やグラフなどの表面的な情報からのみ数学の知識を想起すると考えられる。

以上のような従来の授業の問題に対して、本研究では、異なった教授方法を提案する。そして、異なった教授方法と従来の教授方法による授業を中学校の2つのクラスに実施し（以下、それぞれ実験群と統制群と呼ぶ）、数学の知識の転移という観点から授業の効果を検討する。TABLE 1は、実験群と統制群の授業の違いをまと

<sup>3</sup> 現行の5社の検定教科書すべてにおいて、金属の燃焼の実験、測定結果のグラフ、定比例の法則に関する説明という配列になっている。

<sup>1</sup> 広島大学大学院教育学研究科 yuzawa@hiroshima-u.ac.jp

<sup>2</sup> 大野町立大野中学校（現所属：広島県広島教育事務所）

めたものである。また、TABLE 2は、5時間にわたる実験群と統制群の授業の概略を示したものである。以下、実験群と統制群の教授内容や教授方法がどのように異なり、それが生徒の学習にどのように影響すると考えられるのかについて、TABLE 1の4つの観点から説明し、最後に授業の効果についての評価方法を説明する。

まず、実験群と統制群の授業では、授業カリキュラムを編成するときの理科と数学の関連づけ方が異なっている。実験群の授業では、数学と連携させた理科の授業として計画された。まず、分子モデルによる定比例の法則の演繹を通して、理科と数学の関連性を最初の授業(1h)で生徒に認識させる。数学の教師も授業に参加したのは、そのような認識を強化し、理科の授業であるとともに、数学の授業であることを生徒に意識させるためである。そして、生徒に数学の知識を使って質量比を求めさせる。いわば、数学を理科の課題解決の手段として位置づけ、定比例の法則の理解という理科の目標だけでなく、1年次に数学で学習した比例についての理解を深めることも、授業の目標としている。

一方、統制群の授業は、あくまで理科の授業として、計画された。比例や酸化に関して教師が生徒に伝える情報を統制するため、生徒に分子モデルによる説明(2h)や燃焼前後の質量の整数比を求める課題を実験群と同様に与えている。しかし、統制群の授業では、あくまで実験結果を定比例の法則にまとめることが授業の目標であった。比例という数学の知識の理解は、授業の明示的な目標とされず、実験結果を定比例の法則にまとめることができ、初めて、理科と数学の関連性が生徒に理解されるようになっていた。このような理科と数学の関連づけの違いは、実際に、以下のような教授方法の違いに反映している。

第1に、定比例の法則についての教授方法の違いである。統制群では、燃焼前後の金属の質量関係を調べた実験結果から、定比例の法則を帰納するのに対して、実験群では、分子モデルに基づいた酸化の説明から、定比例の法則を演繹する。後者の教授方法は、以下の理由から、生徒による定比例の法則の認識を促進すると考えられる。

まず、物理現象に関する科学的な法則の認識が生徒にとって容易ではないのは、生徒が日常生活を通して物理現象に関する素朴概念を形成しているためである。素朴概念は、誤概念、代替概念とも呼ばれ、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)。素朴概念は、単なる自然の事物や事象の観察によっては、変化しない。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究したうえで、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。ところが、燃焼の実験には、測定誤差を伴う。そのため、統制群の授業のように、燃焼前後の質量をそのまま数的表現にマッピングしても、燃焼によってもものが灰になることを知っている生徒が、ばらつきのある測定値に規則性を認識できるのか疑問である。

一方、実験群の授業では、最初に、分子モデルによって物理現象を数の領域にマッピングする。すなわち、燃焼によって、例えば、CuとOが1対1で結合すること、したがって、燃焼前後ではCu $\times$ n対CuO $\times$ nになること、そしてCuとCuOの分子はそれぞれ一定の質量を持っているから、燃焼前後の質量比も一定になることを教える。そのようなモデルの世界では、数学の厳密な規則が成り立ち、演繹的に物理現象の規則性を考えることができる。そのため、実験群の生徒は、数学の知識によって燃焼前後の質量の規則性を理解しやすいと考えられる。

第2に、生徒の実施する実験と課題解決の違いである。統制群の課題の一つは、異なる質量の金属を燃焼させ、燃焼前後の金属の質量関係を調べるというものである。そこで生徒たちがすべきことは、グラフ上にプロットした測定値からその関係性を考えることである。その際、グラフを使用することは、教師から指示されるため、測定値の比を求めるなど他の方法と比較して、グラフの使用が有効であることを生徒が認識することはない。また、課題解決のプロセスで比例に関する知識を使うこともない。

一方、実験群の生徒が行う課題は、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)を求めるための実験を計画し、実際に整数比を求めるというものである。生徒たちは、整数比を求めるためには、どのような量の金属をどのように燃焼させたらよいのか、測定した値からどのように整数比を求めるのかについて、自ら考えなければならない。そして、その課題解決のプロセスで、比例に関する知識を使うことが求められる。

後者のような課題解決は、一義的な解決方法が用意されているのではなく、洞察や発見に依存しながら多義的な解決方法を試みる必要があるという点で、真正

TABLE 1 実験群と統制群の教授方法・内容の違い

	実験群の授業	統制群の授業
カリキュラム編成における理科と数学の関連づけ方	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、位置づけられる。	理科の定比例の法則を学習することが授業目標であり、数学の学習は授業の明示的な目標ではない。
定比例の法則についての教授方法	分子モデルに基づいた酸化の説明から、法則を演繹する。	燃焼前後の金属の質量関係を調べた実験結果から、法則を帰納する。
生徒による実験の実施と課題解決	燃焼前後の質量の整数比を求める課題2回	燃焼前後の質量関係を調べる課題1回、燃焼前後の質量の整数比を求める課題1回
教師による指導体制	理科の教師と数学の教師のチーム・ティーチ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

TABLE 2 実験群と統制群の授業の流れ(全5時間)

	実験群	統制群
1h	教師が金属(Mg)の酸化を分子モデルによって説明し、生徒はMgの質量とMgOの質量が比例することを学習する。	生徒は各班で異なる質量のMgを燃焼させる実験を行い、MgとMgOの質量を報告する。
2h	生徒はMgとMgOの質量比(整数比)を求める実験計画を立てる。	生徒は実験結果をグラフにする。教師はグラフが比例になることを指摘し、酸化を分子モデルによって説明する。生徒はMgとMgOの質量比を求める。
3h	生徒は班ごとに前時の計画により実験を行い、MgとMgOの質量比を求め、発表する。	生徒はCuとCuOの質量比を求めるための実験計画を考える。
4h	生徒はクラス全体で前時の実験結果を考察する。次に、各自、CuとCuOの質量比を求めるための実験計画を考える。	生徒は班ごとに前時の計画に基づいて実験を行い、CuとCuOの質量比を求める。
5h	生徒は班ごとに実験を行い、CuとCuOの質量比を求める。生徒が結果を発表した後、教師が学習をまとめる。	生徒は前時の実験結果を発表し、クラス全体で考察する。教師が学習をまとめる。

評価テスト・期末テスト

注) 1hと2hは連続した時間となっていた。

な(authentic)課題であると言える。数学を日常的な課題などの数学以外の文脈で利用できる能力を育てるためには、ドリル学習のように、抽象的、一般的な文脈で知識を暗記するのではなく、真正な課題に取り組むことが必要であるとされている(e.g., Brown, Collins, & Duguid, 1989; Less, 1999; Schoenfeld, 1992)。真正な課題に取り組むことで、生徒たちは、表面的な情報から理科と数学との関連性を想起し、形式的に数学の知識を理科へ適用するのではなく、測定誤差などを考慮しながら、理科の文脈へ数学の知識をうまく適用できるようになると考えられる。

ただし、整数比の求め方を学習していないという点で、統制群の生徒が不利になることを避けるため、統制群の生徒は、燃焼前後の質量関係を調べる課題1回

に加えて、燃焼前後の質量の整数比を求める課題1回を行った。それに対して、実験群の生徒は、燃焼前後の質量の整数比を求める課題を2回行った。

第3に、教師による指導体制の違いである。統制群では、理科の教師1人が授業を行うのに対して、実験群では、理科の教師1人と数学の教師1人がチームを組んで授業を行う。実験群では、2人の教師が生徒の指導にあたるため、一人ひとりの生徒に対して細かに対応できるという利点を持つが、それだけでない。数学の教師が理科の授業に出ることは、理科と数学との関連性を生徒に示し、生徒が数学で学習した知識を理科の授業で使うことを促進すると考えられる。

最後に、授業の効果についての検討方法を説明する。数学から理科への知識の転移について、以下の2つの観点から授業後のテストにより検討された。

- 1) 数学の比例の知識を用いて、酸化前後の金属の質量関係について計算し、予測できる。定比例の法則を理解することが本研究で取り扱った小単元の目標であり、これは、その評価でもある。
- 2) 測定誤差のある物理現象を数学の道具を用いて適切に理解できる。これは、具体的に以下の点から判定された。第1に、グラフを用いて誤差のある測定値を適切に処理できること。第2に、それとは逆に、測定誤差を無視して数学から理科へ知識を形式的に適用することがないこと。

## 方 法

### 授業の参加者

公立中学校2年2クラスを1クラスずつ実験群、統制群に割り当てた。実験群の生徒数35名(男子20名、女子15名)、統制群の生徒数37名(男子20名、女子17名)であった。理科および数学に関する両クラスの生徒の成績はほぼ等しかった。中間テストの理科の平均点(標準偏差)は、実験群68.6(24.2)、統制群67.1(24.9)であった( $t=0.21$ , ns.)。数学の平均点(標準偏差)は、実験群63.3(25.0)、統制群66.4(24.7)であった( $t=0.53$ , ns.)。

### 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「化学変化と原子・分子」(全18時間)の中の小単元「化学変化と質量」の一部である(5時間)。ここでは、「化学変化に関係する物質の質量を測定する実験を行い、反応する物質の質量の間には一定の関係があることを見いだすこと」がねらいとされている(中学校学習指導要領,平成12年12月)。ただし、一定の関係(定比例の法則)を理解することが目標であり、必ずしも一定の関係を実験から帰

納する必要はないと解釈した。

実験群と統制群の授業における教師の主な教示と活動、生徒の主な発言と活動をそれぞれ TABLE 3, 4 に示した。なお、実験群、統制群の授業を実施した理科の教師は、同一の人物であり、また本研究の著者の一人である。実験者バイアスを避けるために、実験群と統制群で比例や酸化に関して教師が生徒に伝える情報は、あらかじめできる限り統制し、また、実験群、統制群の授業ともに、教師は、黒板の前で話をする以外、生徒の質問に対してのみ答えるようにした。

実験群の授業は、理科と数学の教師がチームを組んで実施した。授業の進行やクラス全体に対する説明は、主に理科の教師が担当し、数学の教師は、1年次に学習した比例について復習する場面以外、各班を巡回し、個別に生徒の質問に答えた。以下、実験群の授業における生徒の学習活動の概要を説明する。( )内の記号は、TABLE 3, 4 で該当する箇所である。1h)酸化が金属原子と酸素原子の結びつきであること(S1-5)、Mgの原子数と酸化後のMgOの分子数が比例の関係にあること(S6-10)、したがって両者の質量も比例の関係にあること(S11-14)をワークシートに記入しながら学習する。2h)MgとMgOの質量比が整数比で表されることを教えられ(T1)、その整数比を求める実験計画を立てる(S1-7)。3h)前時の実験計画に基づいて、6つの班ごとに実験を行い、整数比を求め、その結果をクラス全体に発表する(S1-2)。結果が班によってバラバラになった理由を考える(S3-4)。4h)各班の結果がバラバラになったことについての教師の説明(T1-9)を聞き、実験の改善点を考察する(S1-10)。次に、CuとCuOの質量比が整数比で表されることを教えられ(T10)、その整数比を求めるための実験計画を個別に考える(S11)。5h)6つの班ごとに実験を行い、CuとCuOの質量比を求め、クラス全体に発表する(S1)。教師による学習のまとめ(T2-4)を聞く。

統制群の授業は、教科書(学校図書)に従い、理科の教師が一人で進めた。以下、統制群の授業における生徒の学習活動である。1h)実験結果の予想をした後(S1-3)、6つの班で異なる質量のMg(0.2g, 0.4g, 0.6g)を燃焼させ、MgとMgOの質量を記録する(S4-5)。2h)前時の実験結果からグラフを描く(S1-7)。酸化が金属原子と酸素原子の結びつきであること(S8-12)、Mgの原子数と酸化後のMgOの分子数が比例関係にあることを学習する(S13-14)。MgとMgOの質量が比例関係にあることを確認し(T16)、その比を求める(S15-18)。3h)MgとMgOの質量比が理論値と異なっていた理由

を考える(S1-3)。CuとCuOの質量比(整数比)を求めるための実験計画を最初、個人で考え(S5)、次に、その計画を班で話し合う(S6-7)。4h)班ごとに実験を行い、整数比を求める(S1-2)。5h)前時の結果をクラス全体に発表し(S1)、各班の結果が理論値と異なっていた原因、実験の改善点を考察する(S2-8)。

#### 授業の効果を検討するための資料と分析方法

本研究では、目的で挙げた2つの観点から授業の効果を検討するため、評価テスト(Figure 1)、および期末テストの一部(Figure 2)を用いた。評価テストや期末テストの解答を導出するためには、定比例の法則を理解するとともに、比例に関する数学の知識を用いる必要があった。

第1に、数学の比例の知識を用いて、酸化前後の金属の質量関係を計算し、予測できることの指標として、評価テスト、および期末テストの各問題に対して正解を導出できた場合を1点とした。その際、評価テストや期末テストの幾つかの問題に関しては、異なる解決方法が考えられるが、いずれも比や関数に関する知識の適用を前提とするため、解答プロセスについては、考慮しなかった。なお、いずれの問題でも実験群の正答率が統制群のそれより0~30%程度高い傾向が見られたため、5問に対する合計点を生徒の得点として、分析した。また、理科の学力によって実験群の授業効果に違いが見られることも考えられるため<sup>4</sup>、授業前の中間テストにおける理科の得点の平均(2クラス全体)によって成績の高低に生徒を分類した。

第2に、測定誤差のある物理現象を数学の道具を用いて適切に理解できるかどうかの指標として、評価テストの解決方法を分析した。評価テストには、測定結果の表に意図的に測定誤差を含めていた。なお、実験群の生徒はほとんど、成績にかかわらず、グラフを利用したこと、成績の高低によって生徒の正答率に違いが見られたが、それは、第1の指標で分析していることなどの理由から、成績の高低を区別せず、分析を行った。

上記の指標以外に、実験群と統制群の授業の内容や生徒の反応を検討するために、授業の観察記録および授業のビデオからTABLE 3, 4を作成し、授業のビデオおよび生徒のワークシートからFigure 3を作成した。なお、ワークシートには、授業の感想を自由に書きこむ欄があった。

<sup>4</sup> 質量比を求める課題では、課題解決方略の評価が重要であるが、そのようなメタ認知能力は、理科の一般的な学力によって異なっていることが考えられる。(例えば、White & Frederiksen, 1998)。

下の量の銅を十分加熱してから、電子天秤で質量を測定したところ、以下ようになった。この表から銅と酸化銅との質量比をどのように求めたらよいか。

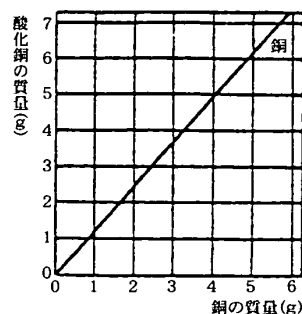
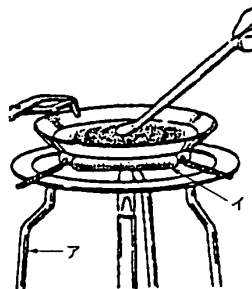
銅 (g)	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
酸化銅 (g)	1.2	2.5	3.7	4.1	6.2	6.7

【求める方法】

【求めた結果】

FIGURE 1 評価テスト

右図は、金属の粉末を皿にのせて加熱し、酸化物をつくる実験装置を示したものである。マグネシウムの粉末については、加熱して燃焼させた後、よくかきまぜながらさらに加熱した。銅粉については、はじめからよくかきまぜながら十分に加熱した。グラフは銅の質量を変えて実験した結果を示したものである。これについて、各問に答えなさい。



問題1 銅と酸化銅との質量比を求めよ。

問題2 2.8gの銅と化合する酸素の質量は何gか。

問題3 マグネシウムと酸素が化合する質量比は3:2である。このことから、解答欄のグラフに銅と同じようなマグネシウムのグラフを記入せよ。

問題4 マグネシウムや銅が酸素と化合するとき、いずれも原子1個と酸素原子1個ずつが結びつく。マグネシウム原子1個の質量と銅原子1個の質量の比はいくらか。最も簡単な整数の比を書け。

FIGURE 2 期末テストの問題

## 結 果

### 班による課題解決方略

まず、実験群と統制群での生徒の課題解決活動を記述する。燃焼前後の金属の質量比(整数比)を求めるための実験計画の立案と実行を実験群では2回、統制群では1回行っている。そのとき各班が採用した課題解決方略を分析した。

生徒の課題解決方略は、実験の操作変数として、金属の質量を組み入れるか、燃焼の回数を組み入れるかによって異なっていた。また、得られた測定値から質量比を求めるとき、1組の測定値のみを利用するか、複数の測定値を利用するか、グラフを利用するかという点で異なっていた。そのような課題解決方略の違いを組み合わせて示したのがFIGURE 3であり、それぞれの課題解決方略の組み合わせを採用した班の数をTABLE 5に示している。

実験群では、最初(3h)、一定量の金属を燃焼させ、1組の測定値から燃焼前後の金属の質量比を計算するという実験を行った生徒が半数以上を占めた(4班24名)。この方略は、質量比を求める最も単純な方法であり、測定誤差がなければ、正しい質量比を導出することができる。

しかし、実験後のクラス全体の発表で、各班の求め

た整数比がばらばらであることを知って、生徒たちはとてもおどろいていた。その原因として、生徒たちは、測定誤差を挙げたが、それに対する対応として、2回目の実験では(5h)、燃焼を十分行うなどして測定誤差をなくそうとする生徒たちと、測定誤差を前提に、それを考慮した手続き(平均値やグラフの利用)を取り入れた生徒に分かれた。実験後のクラス全体の発表で、依然として各班の求めた整数比がばらばらであることから、測定誤差をなくすことは難しく、むしろそれを前提にして対応する後者の手続きの必要性がクラス全体で認識されたように思われる。そのことは、「実験結果がバラバラだった」とか、「グラフの使い方が分かった」という生徒の感想から伺える。

一方、統制群でも、一定量の金属を燃焼させ、1組の測定値から燃焼前後の金属の質量比を計算する班が多かったが(4班24名)、その際、燃焼の回数を実験操作に組み入れることが多かった(4班24名)。これは、2hで、燃焼前後の質量のグラフが直線にならない原因として、燃焼が十分でなかったことを議論しているため、燃焼時間を変数として組み入れる実験が増加したためであると考えられる。そして、不適切な解決方略として、燃焼回数を横軸にし、酸化後の質量を縦軸にしたグラフを書き、原点を通る直線をその上に引いた班が2つ(12名)、3回繰り返し燃焼させた後に測定した3

TABLE 3 実験群の授業における教師・生徒の活動と発言

	教師の活動・主な教示	生徒の活動・主な発言
1h	<p>T1: スチールウール (鉄) を燃やすと何ができるか。 T2: マグネシウムを燃やすと何ができるのだろうか。 T3: マグネシウムの化学式は、酸化マグネシウムの化学式は。 T4: この反応を化学反応式で表してみよう。 T5: これをモデルで表して考えよう。 T6: このモデルから化学反応式を完成させよう。 T7: マグネシウム2個から酸化マグネシウムは何個できるか。4個では、6個では、10個では、100個では。 T8: マグネシウムと酸化マグネシウムはどういう関係ですか。 T9: マグネシウムの数と加熱してできる酸化マグネシウムの数の関係をグラフにするとどうなるか。 T10: マグネシウムが0個のとき酸化マグネシウムは何個できるか。 T11: どんな直線だろうか。 T12: ビー玉と発泡スチロールの玉をみせる (各班に準備する)。ビー玉をマグネシウム、発泡スチロールを酸素とすると、これらはある決まった重さ、すなわち質量を持っていて、それは原子の種類によって決まっています。そしてマグネシウムと酸素は原子が1個ずつ結びつきまますから、マグネシウムと酸化マグネシウムの質量は、どんな関係になるか。グラフは。 T13: このグラフを式に表してみるとどうなるか。 T14: このaは何ですか。 T15: (x, y) = (2, 3) とすると比例定数はいくらになりますか。 T16: <math>3/2 = 2:3</math> とします。</p>	<p>S1: 酸化鉄です。 S2: 酸化マグネシウムです。 S3: Mgです。MgOです。  S4: モデルを考え、かく。 S5: <math>2Mg + O_2 \rightarrow 2MgO</math> S6: 2個、4個、6個、10個、100個。 S7: 比例です。 S8: 直線です。 S9: 0個です。 S10: 原点を通る右上がりの直線です。  S11: 比例です。原点を通る右上がりの直線です。 S12: <math>y = ax</math> です。 S13: 比例定数です。 S14: <math>3/2</math> です。</p>
2h	<p>T1: マグネシウムと酸化マグネシウムの重さ (質量) は簡単な整数比になりますが、その整数比を求めるためにはどうやって調べたらいいでしょうか。まず自分で考えをワークシートに書いてみましょう。 T2: そうですね、今回は電子天秤ではかろう。 T3: 今回は三角架を使いましょう。 T4: 考えてごらん。  T5: 今日は自分の考えを書いて提出すること。 T6: この時間の考えをある程度まとめること。 T7: このような考えがありました (いくつかのワークシートを読み上げる)。この同じ考えを班にします。誰か班をつくってくれないかなあ。  T8: 各班ごとに机に座って次時にやることを確認してください。</p>	<p>S1: むずかしいなあ。 S2: マグネシウムを燃やすんじゃないかな。  S3: 上皿天秤で測ればいいだろう。 S4: どうやって燃やすんですか。 S5: 皿の上にマグネシウムをのせてガスバーナーで加熱すればいいんじゃない。 S6: 何グラムを加熱しようか、何回やろうか、でもどれくらい燃やすかな、1gにしようか、など他の意見を聞きながら考える。 S7: ワークシートに考えを書く。  S8: 僕がやります、とある男子が名乗り出る。そして班をつくる。</p>
3h	<p>T1: 各班ごとに実験を行い各班ごとに比を求めたら黒板に書きにすること。  T2: みんなの求めた比はバラバラだね。そんなはずはない。バラバラになった原因を考えよう。またバラバラにならないようにするためにどうしたらいいだろうか。各班ごとに原因を考え発表してください。</p>	<p>S1: 班ごとに実験を行う (FIGURE 1参照)。 S2: ワークシートに記入しながら、実験を行い、比を求めたら黒板に書く。  S3: 加熱時間が短い、火が弱い。 S4: 測るときはぼした。</p>
4h	<p>T1: 前時は実験後バラバラになった原因とそうならないためにはどうするかをよく考えたね。(各班が具体的に考えた原因を再度読み上げる) T2: 実は科学者が求めたらマグネシウム:酸化マグネシウム = 3:5 になるんだ。 T3: みんなが考えたように「加熱時間が短い」とか「火が弱い」と完全に酸化していないんだ。そうすると誤差といううまくいかない点が出てきます。 T4: 金属の量をあまり多くすると誤差が大きくなります。ある班は1点しか取らなかったがこれはいい方法だろうか。 T5: これはよくない。例えばその点が誤差だったらうまくいかないでしょ。 T6: ある班は数点取って平均していたね。これはいい方法だろうか。 T7: もし1点誤差があったとしたら、平均するとそれを含むことになります。</p>	<p>S1: 誤差を小さくするにはどうすればいいのですか。 S2: いい、よくない。  S3: いい、よくない。  (以下S10まで、教師のT8「どうすればいいか」に対する生徒の反応)</p>

	<p>T8: どうすればいいか考えよう。 T9: そうですね。グラフの数を取ればどこが誤差か分かるかもしれない。  T10: 次は銅について銅と酸化銅が結びつく重さ (質量) の比を求めよう。これも簡単な整数比になります。どのように調べたらいいでしょうか。各自で考えてください。また同じ考えの人を班にします。 T11: 同じ考えの人を班にする (機械的に)。</p>	<p>S4: グラフにすればいいんじゃない。 S5: 数点取ってグラフにしてみよう。 S6: 何種類の重さ (質量) を測定しようか。 S7: 数点取って平均しよう。 S8: 面倒だから1回実験しよう。 S9: 加熱時間を長くしよう。 S10: 量を少なめにしよう。  S11: 各自ワークシートに記入する。</p>
5h	<p>T1: 今日は前時に考えた計画に従って実験しよう。整数比が出たら前の黒板に書きに来てください。 T2: 実は科学者が求めたら銅:酸化銅 = 4:5 になるんだ。 T3: しかし、この実験も銅が完全に酸化するには充分加熱しないといけないし、それでもこぼした班などあったりしてなかなか科学者の値にはなりません。 T4: 原子の種類によって決まった重さ (質量) をそれぞれ持っていて、それがMgOやCuOのように、例えば、MgOならMgとOが1つずつ、CuOもCuとOが1つずつ結びつきまますから、いつも同じ重さ (質量) の比で結びつくのです。それをみなさんに求めてもらったのです。</p>	<p>S1: 各班とも計画に従って実験を進め、結果を黒板に書きにくる (FIGURE 1参照)。 S2: ええーと声が出る。 S3: わお近い値になった。 S4: こぼした班のメンバーが自分だとささやく。</p>

TABLE 4 統制群の授業における教師・生徒の活動と発言

	教師の活動・主な教示	生徒の活動・主な発言
1h	<p>T1: 今日は金属を燃やすとその前後で重さ (質量) がどうなるか調べます。 T2: 重さ (質量) はどうなると思いますか。 ア: 重くなる、イ: 軽くなる、ウ: 変わらない。 どれか手を挙げなさい。またそれはなぜですか。  T3: ワークシートをみながら実験を説明する。 T4: 実験が終了したら、黒板に結果を書かせる。</p>	<p>S1: 手を挙げる。 ア: 10名、イ: 19-20名、ウ: 7-8名 S2: 以前スチールウールを燃やすと重くなったから (アの理由)。 S3: 燃えてなくなる (イの理由)。 S4: 班別に実験を行う。 S5: 質量の違うマグネシウムを各班に与えたので、各班とも全班的実験結果をうつす。</p>
2h	<p>T1: 前時の結果をワークシートのグラフに表してみよう。 T2: 全部の値が目盛に入るように考えてとります。 T3: マグネシウムがない (0g) のとき酸化マグネシウムはいくらですか。 T4: 必ず通る点があります。それはどこですか。 T5: グラフにしてみよう。 T6: だいたい直線になっているので、直線に引きましよう。 T7: どうすればいいでしょうか。 T8: 直線からはずれた点を何と何ののでしょうか。 T9: そうですね。これは誤差といて測定していくと、測定ミスとか実験中にこぼしたりするなど、おかしなことがあります。だから無視しましょう (グラフをかいて説明する)。 T10: この実験について説明します。まずこの実験を化学反応式で表してみよう。マグネシウムの化学式は、酸素の化学式は。 T11: 燃えるとは何ができるのでしょうか。 T12: その化学式は。 T13: 化学反応式にしてみよう。下の式をモデルで表してみよう。 <math>Mg + O_2 \rightarrow MgO</math> T14: 化学反応式から考えましよう。マグネシウムが2個あったら酸化マグネシウムは何個できるでしょうか。4個では、6個では、10個では、100個では。 T15: こういう関係を何と何というか。 T16: 数学で習ったね。自分たちのグラフを見ましよう。誤差はあるが、確かに比例になっているね。ここでマグネシウムの重さ (質量) と酸素が結びついてできた酸化マグネシウムの重さ (質量) の比は何対何でしょうか。比を求めよう。比例のグラフをかいて、このグラフの式は。</p>	<p>S1: 縦軸の目盛はどうとるんですか。  S2: 0gです。  S3: 原点です。 S4: 折れ線グラフにするんですか。 S5: 直線にならない点があります。どうすればいいのですか。  S6: 誤差 (このようなささやきが聞こえる)。 S7: グラフを完成する。  S8: Mgです。O<sub>2</sub>です。  S9: 酸化マグネシウムです。 S10: MgOです。 S11: モデルにする。  S12: 化学反応式を完成させる <math>2Mg + O_2 \rightarrow 2MgO</math> S13: 2個、 4個、6個、10個、100個。 S14: 比例です。  S15: <math>y = ax</math> です。</p>

	T17: aは何ですか。 T18: 例えば (2, 3) とすると a はいくらになるか。 T19: これを比にすると 2:3 になります。各班で全部の班の結果を基にして比を求めよう。	S16: 比例定数です。 S17: a=3/2です。 S18: それぞれ求めた比を発表する。
3h	T1: この前の時間はマグネシウムを燃やして酸化マグネシウムをつくり、結びつく重さ(質量)の比を求めました。実は科学者が求めた比はマグネシウム対酸化マグネシウムの場合、3:5なのです。 T2: どうしてこのように違ったのでしょうか、各班で考えて発表してください。 T3: 今日は違う金属について考えます。これは何でしょうか。 T4: そうです、銅です。これもマグネシウムと同様結びつく重さ(質量)は簡単な整数比で表すことができます。それをどうやって求めたいのでしょうか。自分で考えてみなさい。 T5: (個人では書けないと判断して、班で考えさせる) 班で考えてみましょう。	(S1~S3までT2に対する反応) S1: 加熱時間が短い。 S2: こぼした。 S3: 火が弱い。 S4: いろいろな金属をあげる。銅。 S5: 生徒は考えるが困っている様子。「分からない」という声が出る。 20分たつがなかなか一人ではかけない。 S6: この前と同じようにやろうか。 銅を燃やして重さをはかろう。銅を何gにしようか。 S7: 各班で立案する。
4h	T1: 今日は各班で考えた計画に従って実験しましょう。器具は計画通り自分たちで準備してください。必ず重さの比(質量比)を出しましょう。	S1: 各班が計画に従って実験する(Figure 1参照)。 S2: 比を求めるところで苦労している。誤差をどう扱うか迷っている。
5h	T1: この前の時間、班ごとに実験をして求めた銅と酸化銅の重さ(質量)の比を発表してください。 T2: 実は科学者が求めた銅:酸化銅=4:5になるんだ。 T3: 原子の種類によって決まった重さ(質量)をそれぞれ持っていて、それがMgOとCuOのように、例えば、MgOならMgとOが1つずつ、CuOもCuとOが1つずつ結びつきますから、いつも同じ重さ(質量)の比で結びつきます。 T4: しかしどうして4:5にならなかったのでしょうか。 T5: そうですね。それも考えられます。しかし、みなさんの実験を見ると1点しか取っていない班がありました。それではもしその結果が誤差だったら正しい結果を求めることはできません。また平均した班は、誤差も含めて平均しているのですから当然うまくいきません。 T6: ではどうすればよかったですでしょうか。 T7: そうです。何点かとってまずグラフにすればいい。そして、直線を引いてから明らかに違う点は無視しましょう(黒板にグラフをかく)。そうすれば科学者のような結果が出たかもしれないね。	S1: 班ごとに発表する。 S2: ええーと声が出る。 S3: わあ、近い値になった。 S4: まだ加熱がたらなかった。 S5: かき混ぜる時こぼれたのかもかもしれない。 S6: かき混ぜるのが十分でなかった。 S7: 数点取ればよかった。 S8: グラフをかけばよかった。

TABLE 5 それぞれの課題解決方略の組み合わせを示した班の数

	A	B	C	D	E	F	G	H
実験群3h	3			1			1	1
実験群5h	2	1				1		2
統制群4h		3	1		1		1	

つの測定値を平均して比を求めた班が1つ(6名)あった。

酸化による金属の質量関係の計算・予測

質量関係の計算・予測について、実験群と統制群の平均点を成績の高低別に示したのが、TABLE 6である。成績低群では、実験群と統制群の得点にほとんど差は見られないが、成績高群では、実験群の得点が統制群のそれより高くなっている。2クラス(実験群、統制群)×2成績(高低)の分散分析を行ったところ、クラスの主効果は有意ではなかったが(F(1,68)=1.33, ns.), 交互作用がほぼ有意水準に近かった(F(1,68)=3.93, p=.051)。単純主効果の検定の結果、成績高群で実験群と統制群の間に有意な得点差が見られた(F(1,68)=4.92, p<.05)。

TABLE 6 期末テスト、評価テストでの平均正答数

	実験群		統制群	
	成績高 (n=23)	成績低 (n=12)	成績高 (n=22)	成績低 (n=15)
平均正答数 (標準偏差)	2.57 (1.25)	0.50 (0.65)	1.68 (1.29)	0.73 (0.93)

注1) 期末テスト4問、評価テスト1問、計5問  
注2) 成績の高低群は、中間テストの理科平均点により分類した。各群の中間テストの理科平均点は、実験群成績高:83, 成績低:41, 統制群成績高:85, 成績低:42。数学平均点は、実験群成績高:76, 成績低:40, 統制群成績高:78, 成績低:50。

以上の結果から、成績高群では、統制群の生徒よりも実験群の生徒の方が、酸化前後の金属の質量関係を予測し、計算できることが示唆された。

測定誤差に対する適切な対応

評価テストに対してそれぞれの解決方法を用いた生徒の人数を示したのがTABLE 7である。実験群では、ほとんどの生徒が表からグラフを作成したのに対して(35人中34人)、統制群では、グラフを作成した生徒はあまり多くなかった(37人中12人)(p=.000:フィッシャーの直接法による比率の検定, 以下同様)。また、実験群では、グラフを描き、誤差のある測定値を無視し、正答した生徒の割合は、35人中15人であるのに対して、統制群では、37人中2人であった(p=.000)。一方、統制群の生徒の多くは、グラフを描かず、表中の数値を操作して

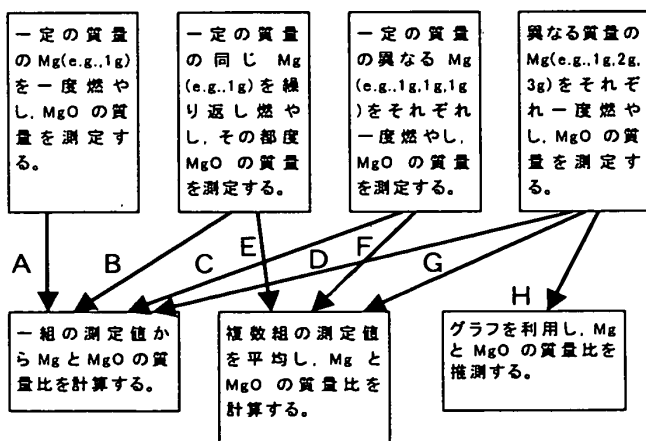


FIGURE 3 金属と酸化物の質量比を求める課題に対する課題解決方略の組み合わせ

TABLE 7 評価テストに対してそれぞれの解決方法を示した生徒の人数

	実験群	統制群
白紙	0	14
数の操作(計算)のみから解答を生成する <sup>1</sup> 。	1	11
グラフを描くが、グラフの読み方、描き方が分からず、解答がない。	9	3
グラフを描き、視覚的に解答を求めるが <sup>2</sup> 、グラフを読み違える。	1	0
グラフを描き、視覚的に解答を求めるが、グラフが不正確なため、解答が不正解である。	5	3
グラフを描くが、誤差のある数を含めて解答を計算するため、不正解である。	3	4
グラフを描き、直線上に位置する点のみを考慮して、解答を計算するが、計算間違いのため、不正解である。	1	0
グラフを描き、誤差のない数から正しい解答を計算する。	5	2
グラフを描き、視覚的に正しい解答を求める。	10	0

<sup>1</sup> 計算間違いの場合も含んでいる。

<sup>2</sup> “視覚的に解答を求める”とは、計算をせずに、グラフ上の点から直接解答を求めることである。例えば、直線が(4, 5)の点を通るから、 $Cu : CuO = 4 : 5$ と判断する。

解答を求めた(37人中11人)。それに対して、実験群では、そのような生徒は少なかった(35人中1人)( $p = .002$ )。さらに、グラフを描かず、表中の数値を操作して解答を求めた統制群の生徒11人のうち、正しい測定値を用いて、正答したのは、3人であり、その他の生徒は、誤差を含めた測定値全体の平均や誤差のある数値から比を計算したため、誤答している(8人)。

以上の結果から、実験群では、誤差のある測定値をそのまま使用せず、グラフを利用して、正しい測定値を推測したうえで、質量比を求めようとした生徒が多かったのに対して、統制群では、測定誤差を必ずしも考慮せず、そのまま質量比を求めようとした生徒が多かった。すなわち、実験群の生徒は、統制群の生徒よりも、測定誤差のある物理現象を数学の道具を用いて適切に理解できたと言える。

#### 実験群の授業に対する生徒の反応

最後に、実験群の生徒が2hの授業のワークシートに記入した授業に関する感想をまとめたのが、TABLE 8である。理科と数学の関連性を強調することで、数学

TABLE 8 理科と数学のチームティーチングに対する生徒の反応(実験群)

生徒の反応	人数
数学と理科の関係性に対する発見と驚き 例:まさか理科と数学がここまで密接した関係だと言うことに正直驚かされました。	17
チームティーチングに対する反応 例:この授業は2人も先生がいるくらいだからものすごく大事な所だと思った。	6
ポジティブな反応 例:理科を数学みたいにして今日の理科は結構分かりやすかった。	3
ネガティブな反応 例:理科なのに数学だった。数学はよく分からないから嫌いだ。	8
授業に関する疑問 例:マグネシウムや酸素などの原子はどのくらいの重さなのだろうか。	6

注)人数は、各タイプの反応を感想に含めていた生徒の人数(延べ人数)

を嫌いな生徒が理科に対しても拒否感を示す反応も少なくないが(成績高群6名,成績低群2名),多くの生徒が数学と理科の密接な関連性に驚き、実験群の授業を肯定的に受け止めた。

#### 考 察

本研究では、理科授業における異なった数学の位置づけ方が、生徒の学習にどのように影響するかを調べた。その結果、成績高群の場合、実験群の生徒は、統制群の生徒よりも、授業後のテストで、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。また、実験群では、統制群よりも、誤差のある測定値を適切に理解できる生徒が多かった。以下、実験群と統制群の授業のどのような違いがそれらの授業効果を生み出したのかについて考察する。

#### 酸化前後の質量関係の予測・計算

成績高群で、統制群の生徒よりも実験群の生徒が、酸化前後の質量関係を正しく予測し、計算することができた。このことの本来的理由として、定比例の法則についての教授方法の違いを挙げることができる。

実験群の授業では、最初に、分子モデルによって物理現象を数の領域にマッピングする。すなわち、燃焼によって、例えば、CuとOがn個ずつ結合すると、燃焼前後では $Cu \times n$ 対 $CuO \times n$ になること、そしてCuとCuOの分子はそれぞれ一定の質量を持っているから、燃焼前後の質量比も一定になることを学習する。いわば、よく知っている数の領域で、比例関係を確認したうえで、物理現象に立ち返って、定比例の法則を理解する。

Carey & Spelke (1994)は、マッピングによって概念的变化が生じた歴史的な事例を引用し、その方法として、物理的アナロジーの利用、メンタルモデルによる物理現象のシュミレーションなどの思考実験、矛盾する事例の分析(例えば、重い物体と軽い物体をつなげて落としたとき、アリストテレス力学によると、矛盾する予測が生じることを考えて、矛盾が解消するような手段を考える)を挙げている。本研究の分子モデルによる学習は、物理的アナロジーの利用にあたる。

また、実験群の生徒は、定比例の法則を理解したうえで、yとxの関係や比例定数aの求め方など数学の知識を用いて、質量比を求める課題解決を行った。こうした課題解決もまた、酸化前後の質量関係を正しく予測し、計算する力を伸ばしたと考えられる。

一方、統制群の授業では、最初、金属の燃焼後、質量がどう変化するかを生徒に予測させた。すると、半



数の生徒が軽くなると予測した(1hのS1)。この授業以前に、生徒たちはスチールウールを燃焼させ、燃焼後、重くなることを確認している。それにもかかわらず、軽くなることを予想する生徒が多いことは、ものが燃えるとなくなるという素朴概念が根強いことを示唆している。

その後、生徒たちが異なる質量の金属を燃焼させる実験を行い、燃焼前後の金属の質量から両者の関係を調べた。そこでは、金属の質量を数値に変換することで、物理現象を数の領域にマッピングしている。しかし、いったん数学の領域に入ると、数学の厳密な規則に従わなければならない。生徒たちが、厳密な規則に従わない数値をどのようにグラフにすればよいのか分からなかったことが、生徒の発言から伺える(2hのS4, S5)。

また、統制群の場合は、質量比を求める課題が与えられたとき、多くの生徒がどのように考えて良いか分からない様子であった(3hのS5)。さらに、測定結果から質量比を求めるとき、どうすべきか迷う班が多く(4hのS2)、不適切なグラフの描き方や測定値の取り扱い方をする班が多かった(班による課題解決方略)。これらのことから、実験群の生徒と比較して、統制群の生徒は、燃焼前後の質量の変化と比例概念を十分に関連づけて理解することができなかったと考えられる。

なお、成績高群でのみ、実験群と統制群との違いが見られたことは、次のような可能性がある。酸化前後の金属の質量関係を正しく予測し、計算するためには、数学の比例を十分に理解している必要がある。成績高群の生徒は、数学の成績も良く(TABLE 2の注2参照)、比例について十分に理解していると考えられる。また、質量比を求める課題では、どの数学的知識や手続きを用いるべきかといったメタ認知的な評価が求められるが、成績高群の生徒は、メタ認知能力が高く、手続きの意味を理解できたことが考えられる。一方、成績低群の生徒は、比例について十分に理解しておらず、メタ認知的な評価を行う能力も不十分であったため、質量比を求める課題に関して、その計算の手続きの意味を十分理解できなかったことが考えられる。ただし、グループで課題解決を行ったため、授業時には、成績低群の生徒でも、他の生徒の助言を受けたり、ワークシートを見たりしながら、課題を進めることができた。そのため、実験群で個別指導を行った数学の教師も、特定の生徒(成績低群)の理解が不十分であることには気がつかなかった。

### 測定誤差に対する適切な対応

誤差のある測定値が与えられたとき、統制群の生徒は測定誤差を考慮せず、そのまま質量比を求めようとしたのに対して、実験群の生徒の多くは、それをそのまま使用せず、グラフを利用して、正しい値を推測したうえで、質量比を求めようとした。

このことの理由として、実験群の生徒は、分子モデルを通して質量比が比例関係にあることを演繹的に理解したうえで、課題解決を行ったため、測定値がモデルにおける関係と異なることを強く意識したことが挙げられる。また、2回の課題解決を通して実験には必ず測定誤差が伴うことを知ったこと、そして、測定誤差に対処するためにはグラフが有効であることを認識したことなども、理由として考えられる。

一方、統制群では、最初の実験結果から各班で質量比を求め、それがバラバラになったとき、加熱時間が短いなどの実験の得手不得手をその原因として考えた(3h)。1hと2hでは、異なった質量のMgを燃焼させ、その結果をグラフに直線で表すことは、教師から指示されたため、生徒がその手続き自体の妥当性について考えることはなかった。そして、質量比を求める課題を行ったとき(4h)、先の実験で失敗を帰属させた燃焼時間に注意を向けたため、6つのうち4つの班が燃焼の回数を実験操作に組み入れた。そのような不適切な解決方略を用いる班が多かったため、実験群と異なり、班の結果が食い違ったことが必ずしも、測定誤差の必然性やグラフの有効性の認識に結びつかなかったと考えられる。

### 教育実践に対する示唆

数学と理科の内容面での共通性のため、横断的な関連づけが必要であることは、従来も主張されてきた(e.g., 石井他, 1996; 佐伯・氏家, 1999)。しかし、本研究の結果が示唆するように、数学と理科をどのように関連づけるかが重要であると考えられる。統制群の授業では、実験結果を定比例の法則にまとめることが授業の目標であり、数学(比例)は、まとめることができて初めて、その関連性が生徒に意識されるようになっていた。ところが、理科の授業では、実験を実施する技能の未熟さや測定誤差のために、期待した結果にならないことがしばしばである。そのとき、教師の側から“正答”を教えるというのが従来の授業であり、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)。

一方、実験群の授業では、分子モデルによる演繹を通して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、位置づけられた。また、ワークシートの感想から伺えるように、数学の教師の存在は、数学と理科の関連性を改めて生徒に意識させた。このような授業を通して、生徒は、定比例の法則を理解するとともに、理科と数学の密接な関連性を認識し、自然現象を探究する手段として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。

同様のことは、Roth & Brown (1995) によっても報告されている。Roth & Brownの研究では、中学2年生が土壌、地形、気候の特徴と生体の種類との関連性などに関する自由な探究活動を行った。すると、他者とのやり取りの中で、自分たちの結果を数的に表現することの有効性を感じることで、測度の入った地図、平均、グラフなどを自発的に使用する生徒のグループが増加した。

なお、実験群では、理科と数学の教師がチームを組んで指導を行ったが、教師と生徒の相互作用に焦点を当てた記録をとっていなかったため、数学の教師の存在は、数学と理科の関連性を生徒に認識させること以外に、どのような役割を果たしていたのか十分に明らかでない。確かに、2人の教師がいる方が生徒の質問に対応しやすいが、指導体制の違いよりも、定比例の法則についての教授方法や課題解決の方が、授業効果にとって重要であったかもしれない。それを検証するためには、今後、指導体制の要因を統制したうえで、実験群と統制群の授業効果を比較してみる必要がある。

また、中学校理科では、金属の酸化以外に、測定誤差や素朴概念のために、生徒にとって実験や観察結果から単純に法則を帰納するのが難しい単元がある(例えば、「運動とエネルギー」)。そのような単元の授業では、法則を概念的なモデルから演繹したうえで、その法則を応用するような課題を行う教授方法が、効果的であるように思われる。今後、そのことを検討していくことが望まれる。

### 引用文献

- Bassok, M., & Holyoak, K. J. 1989 Interdomain transfer between isomorphic topics in algebra and physics. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory, and Cognition*, **15**, 153—166.
- Brown, J. S., Collins, A., & Duguid, P. 1989 Situated cognition and the culture of learning. *Educational Researcher*, **18**, 32—42.
- 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.
- 石井俊行・箕輪明寛・橋本美彦 1996 数学と理科との関連を図った指導に関する研究—文脈依存性を克服した指導への提言— *科学教育研究*, **20**, 213—220.
- Less, R. 1999 The development of representational abilities in middle school mathematics. In I.E. Sigel (Ed.), *Development of mental representation : Theories and applications*. Mahwah, NJ : Lawrence Erlbaum Associates. Pp.323—350.
- 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* 北大路書房 Pp.23—40.
- 西川 純 1992 理科における計算能力の文脈依存性に関する研究—オームの法則を事例として— *日本理科教育学会研究紀要*, **32**, 49—60.
- Roth, W., & Brown, G. M. 1995 Knowing and interacting : A study of culture, practices, and resources in a grade 8 open-inquiry science classroom guided by a cognitive apprenticeship metaphor. *Cognition and Instruction*, **13**, 73—128.
- 佐伯昭彦・氏家亮子 1999 数学と他教科を関連付けたクロスカリキュラムの試み 日本数学教育学会(編) *日本の数学・数学教育 1998 算数・数学カリキュラムの改革へ* 産業図書 Pp.295—308.
- Schoenfeld, A.H. 1992 Learning to think math-

ematically : Problem solving, metacognition, and sense making in mathematics. In D.A. Grouws (Ed.), *Handbook of research on mathematics teaching and learning*. New York : Macmillan Publishing Company. Pp.334—370.

White, B.Y., & Frederiksen, J.R. 1998 Inquiry, modeling, and metacognition : Making science accessible to all students. *Cognition and Instruction*, 16, 3—118.

山本泰昌 1999 生きる力を育む理科学習の創造—数学とのクロスカリキュラムによる金属酸化の指導— 広島県教育センター平成 11 年度理科教育研

#### 究講座資料

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 北大路書房 Pp.2—22.

#### 付 記

本研究は、科学研究費補助金(奨励研究(A): 11710065)の助成を受けた。また、授業に際し、山崎孝明教諭をはじめ、大野中学校の諸先生方、先生の皆様にご協力を頂いた。記して、謝意を示す。

(2001.1.22 受稿, '02.4.2 受理)

## *How Do Differences in Relating Mathematics to Science Affect Eighth Graders' Learning ?*

MASAMICHI YUZAWA (GRADUATE SCHOOL OF EDUCATION, HIROSHIMA UNIVERSITY) AND

YASUMASA YAMAMOTO (OHNO JUNIOR HIGH SCHOOL) JAPANESE JOURNAL OF EDUCATIONAL PSYCHOLOGY, 2002, 50, 377—387

The present study examined whether instructions emphasizing the relations between science and mathematics would improve students' learning of science. Students in 2 public junior high school classes received 1 of 2 types of instruction concerning the physical law predicting that the weight of oxidized metal is proportionate to the weight of the metal before oxidation. Students in the experimental class first deduced the physical law from an atomic model, and then, in order to obtain the proportion of the weight of the metal to the oxidized metal, designed 2 experiments by themselves, using what they had learned about proportionality in their mathematics class. 2 teachers were in charge of the experimental class : a science teacher and a mathematics teacher. The students in the control class induced the physical law from experiments on the oxidation of magnesium. They designed an experiment to obtain the proportion of the weight of the metal to the oxideized metal, but did this 1 time only, and only 1 teacher (a science teacher) was in charge of their class. It was found that the students in the experimental class did better on tests involving calculations based on physical laws, and took measurement errors into consideration more appropriately, than did students in the control class.

Key Words : science education, mathematics, oxidation, junior high school students