

## 研究論文

科学的思考としての原理・法則のメタ理解：  
小学校第6学年「燃烧」を事例として

坂本美紀

神戸大学大学院  
人間発達環境学研究科

村山 功

静岡大学教育学部

山口悦司

宮崎大学教育文化学部

稲垣成哲

神戸大学大学院  
人間発達環境学研究科

大島 純

静岡大学情報学部

大島律子

静岡大学情報学部

中山 迅

宮崎大学教育文化学部

竹中真希子

大分大学教育福祉科学部  
附属教育実践総合センター

山本智一

神戸大学発達科学部  
附属住吉小学校

藤本雅司

神戸大学発達科学部  
附属住吉小学校

竹下裕子

西宮市立西宮浜小学校

橘 早苗

三木市立緑が丘小学校・  
神戸大学大学院  
人間発達環境学研究科Fostering Students' Meta-understanding of Scientific Principles as Scientific Thinking:  
In the Case of a 6th Grade Unit about "Combustion"Miki SAKAMOTO\*<sup>1</sup>, Isao MURAYAMA\*<sup>2</sup>, Etsuji YAMAGUCHI\*<sup>3</sup>, Shigenori INAGAKI\*<sup>1</sup>,  
Jun OSHIMA\*<sup>4</sup>, Ritsuko, OSHIMA\*<sup>4</sup>, Hayashi NAKAYAMA\*<sup>3</sup>, Makiko TAKENAKA\*<sup>5</sup>,  
Tomokazu YAMAMOTO\*<sup>6</sup>, Masaji FUJIMOTO\*<sup>6</sup>, Yuko TAKESHITA\*<sup>7</sup>, Sanae TACHIBANA\*<sup>1\*8</sup>  
Graduate School of Human Development and Environment, Kobe University\*<sup>1</sup>Faculty of Education, Shizuoka University\*<sup>2</sup>Faculty of Education and Culture, University of Miyazaki\*<sup>3</sup>Faculty of Informatics, Shizuoka University\*<sup>4</sup>Education and Human Development Center, Oita University\*<sup>5</sup>Sumiyoshi Elementary School Attached to Faculty of Human Development, Kobe University\*<sup>6</sup>Nishinomiya Elementary School\*<sup>7</sup>Midorigaoka Elementary School\*<sup>8</sup>

Students sometimes fail to give a theory-based explanation of phenomena after they learn scientific principles. The present study investigated the optimum method to train students in scientific thinking in elementary school science lessons. We conducted three experimental lessons to foster students' meta-understanding of scientific principles about combustion. Sixth graders collaboratively inquired into the difficult-to-understand phenomena of combustion for a theory-based explanation. Based on students' achievements in the previous year, the curriculum had been improved twice. At the end of the lesson, students were asked to explain the new phenomena of combustion in a test.

We analyzed students' written responses and evaluated their meta-understanding based on two indices: understanding that principles can be applied to any examples, and thinking about phenomena based on that understanding. The results showed that the improvements in the curriculum brought about more elements referred to in the explanations, more students who mentioned all elements, and some descriptions reflecting their reverse reasoning. It appears that the improved curriculum contributed to the enhancement of students' meta-understanding of scientific principles.

Key words: scientific thinking, meta-understanding of scientific principles, three elements of combustion, elementary science

## I. 本研究の目的と仮説

### 1. 研究の背景

科学的知識を教えるだけではなく、科学的方法を教えることも、理科の重要な目標である（文部省，1999；文部科学省，2003）。しかし、学習指導要領において、教えるべき科学的知識が明確に規定されているのに対し、科学的方法についての記述はかなり不十分である。これは、科学的方法に関する知見の不足を反映していると考えられる。

Kuhn (1962) のパラダイム論以降、科学的思考が単純な仮説検証ではなく、複雑な思考の複合体であることは、広く認められるようになった。しかし、科学的思考に関する心理学研究においては、未だに仮説検証が主要なテーマとなっている。例えば Kuhn & Dean (2005) は、Inhelder & Piaget (1958) の研究以降、科学的思考に関する心理学的研究では要因統制が偏重され過ぎていた、と批判している。これに対し、Klahr (2005) はアナロジー、因果関係、説明、認識論、仮説検証、理論と証拠の関係について、かなりの研究が行われていると反論している。しかし、Klahr 自身の研究 (Klahr, 2000)、あるいは仮説検証や理論と証拠の関係に関する Kuhn らの一連の研究 (e.g., Kuhn, 1993) を除けば、まだ十分な知見が蓄積されているとはいえない。このため、科学的思考という対象領域の全体像が描けないのが現状である。科学教育研究においても、科学的方法あるいは科学的思考に関する研究の必要性は指摘されているものの (e.g., 永野, 1993)、実証的な研究は少ない (e.g., 久田ら, 2005)。

科学的方法を教えるために必要なのは、科学的な思考と総称されているものの具体的な内容を、一つずつ明らかにしていくことである。そこで本研究では、(1) 科学的思考の新たな実例として「科学的な原理・法則に関するメタ理解」に基づく思考を提唱するとともに、(2) 既存の単元においてこの科学的思考を教えるために必要な手立てを明らかにする。

### 2. 問題の所在：科学的原理・法則の適用限界

科学的思考の実態として、第3回国際数学・理科教育調査の回答を分析した研究では、日本の中学生が、ふたをしたロウソクの火が消える理由を正しく答えることが出来た一方で、二酸化炭素には火を消す性質があると考えている者が少なくないことが示唆されている (中山・大場・猿田, 2004；松原, 1999)。問題に正し

く答えた者は、燃焼のためには「燃焼の3要素」(燃えるもの、酸素、十分な温度)が必要であり、その一つでも欠ければ燃焼は起こらないと理解しているはずである。ところがその同じ人物が、燃焼の3要素による説明とは相容れない「二酸化炭素の火を消す性質」なるものの存在を肯定するのは、明らかに一貫性を欠いている。

このように、学習した原理・法則を正しく解答する一方で、具体的な場面ではそれと無関係な説明を行う現象は、燃焼以外の内容でも多く見られることが古くから指摘されている (Anzai & Yokoyama, 1984; diSessa, 1982; 伏見, 1991; 立木, 1982; Trowbridge & McDermott, 1980)。そこで、これを一般化し、「科学的原理・法則の適用限界の問題」と呼ぶことにする。科学的原理・法則が一定のレベルで理解されていながら、それに基づいて正しく思考できる範囲は授業で扱ったような典型的な現象に限られ、それ以外の現象に対しては適用することができないからである。

この問題の解決に向けた努力を行うためには、「学習された科学的原理・法則に適用限界が存在する」という現象をどう考えるかが重要である。これには、少なくとも2つの捉え方がある。一つは、概念学習の問題としての捉え方、もう一つは科学的思考の問題としての捉え方である。

### 3. 概念学習の問題としての捉え方

概念学習の問題としての捉え方とは、この問題の原因を科学的原理・法則の概念的理解のレベルがまだ十分ではないことに求め、その克服のためには概念教授の方法を改善する必要があるとするものである。燃焼を例にとれば、単に燃焼の3要素を理解しただけでは十分ではなく、燃焼の3要素の意味するものを正しく理解させるために、例えば事例やその配列を検討する必要がある、とする。このような考え方に基づく実践および研究としては、仮説実験授業や概念理解に対する提示事例の効果の研究がある。

仮説実験授業の授業書においては、既にその初期から適用範囲を配慮した問題の配列が行われている (板倉, 1966)。「これらの問題はいずれも、『どんなものでも2つのものをあわせたものの重さは、もとのものの重さをたしたものになる』という命題をそのままあてはめれば、どれもごく簡単に答えられるはずのものだったのですが、それができないのです。この先生方も、

自分自身が支持し教えるべきだとした『どんなものでも……』ということばの意味を、ごく浅くしか理解できなかったのです」(板倉, 1996: 153)。「それでは重さの加法性を教えるには、ざっとどんな問題を取りあげればよいのでしょうか。そのことの答えが仮説実験授業の『ものとその重さ』の授業書の一連の問題として与えられているのです」(板倉, 1996: 155)。

概念理解に対する提示事例の効果については、代表的なものとして、伏見らによる焦点事例や事例の提示順序の研究がある。通常、概念やルールをわかりやすく教えるために、概念やルールが成立することがすぐわかるような既知の事例(正知事例)を焦点事例とすることが多い。しかし、その事例に対して概念やルールが成立する事自体が驚きとなるような事例(誤知事例)を用いた方が、学習効果が高いことが明らかにされている(伏見, 1991a, 1991b)。ただし、これは学習者の既有知識と学習内容に依存しており、それによって「誤知事例→正知事例」と「正知事例→誤知事例」のどちらが有効であるかが変わってくる(伏見, 1992; 伏見・麻柄, 1993)。

#### 4. 科学的思考の問題として捉える

科学的原理・法則の適用限界を概念学習の問題として捉えた上記の研究は、一定の効果を示しており、その重要性は高く評価されるべきものである。しかし、このようなアプローチには異論もある。

diSessa (1983) の p-prim 理論に依拠すれば、物理学の公式を理解していることと、それを具体的な問題に適用できるのとは別であるように、提示事例の工夫などによって概念が一般性を持つものとして学習されることと、それが実際に広く適用されることとは別だと考えることができる。p-prim 理論では、ある現象を観察したときに、それをどの概念で解釈するかは、現象から概念への連想関係によって決まっているとされる。例えば、ボールが落ちる場面では弾性に対する連想が働くが、ガラス玉が落ちる場面では弾性を連想しない。弾性は物体一般に適用される概念である。しかし、獲得された概念が広く適用可能なものであるとしても、それが実際に広く適用されるかどうかは、概念自体の一般性によって決まるのではない、というわけである。

この考え方に従えば、適切な概念を用いて現象を正しく理解するためには、概念自体の学習を強化するのではなく、現象から概念への連想関係を変えていかな

ければならない(Linn, 1986)。しかし、このような変更を多様な現象に対して個別に行うことは現実的ではないため、何らかの一般的な理解によって変更が導かれると考えられる。それは、多様な現象に対して概念が「適用できそう」だと考えるのではなく、「適用しなければならぬ」と考えるような変更である。

そこで、我々はこれを科学的思考の問題として捉えた。これは、「個々の原理・法則」の理解を問題にするのではなく、科学的原理・法則というものの持つ意味の理解、言い換えれば科学的原理・法則についてのメタ理解を問題とする。この「科学的原理・法則に関するメタ理解を持つ」とは、「科学における原理や法則が(その適用範囲内において)どんな事例にも必ず成立することを前提として現象について考えることができる」ことを意味する。つまり、それが科学的原理・法則であるのなら、いま問題にしている現象にどう適用すればいいかはわからなくても、それは必ず成立しているはずだ、と考える姿勢である。燃焼の3要素であれば、「この現象について十分に理解できてはいないが、燃えないからには3要素の少なくとも一つが欠けているはずだ」などと考えられることである。科学的原理・法則に関するこのような理解があるからこそ、現時点ではよくわかっていない現象に対して、原理・法則が成立することを前提として探究を行うことができる。これも科学的思考の一つとして重要であると考えられる。しかしながら、従来の研究では、このような科学的思考は取り上げられてこなかった。

そこで本研究では、燃焼についての科学的原理・法則として「燃焼の3要素」を取り上げ、そのメタ理解に基づく思考を科学的思考の実例の一つとして示すとともに、その教育のための手立てを明らかにする。

#### 5. 本研究の仮説

本研究では、燃焼の3要素に対するメタ理解を促進するため、「燃焼の3要素の発見活動」の代わりに「燃焼の3要素による説明活動」を中心とした授業デザインを採用する。燃焼という現象を対象とした授業としては、ものが燃えるにはどんな条件(具体的には「新鮮な空気」もしくは「空気の通り道」)が必要であるかを児童に探究させるというもの一般的なものである(押田, 2003; 脇元, 2000)。これは、科学的探究を児童に体験させる方法として一定の合理性を持っており、科学的方法を教えるという理科の目的にも合致している。し

かし、この発見中心の授業デザインでは3要素の発見をもって授業が終了してしまい、説明活動がほとんど行われないうちに科学的な原理・法則に関するメタ理解が促進されず、適用限界の問題を生み出していると考えられる。

本研究で採用した説明中心の授業デザインでは、燃焼の3要素は授業の初期に導入してしまい、様々な燃焼現象を3要素の有無によって説明するという活動を繰り返し行う。これにより、説明原理としての科学的原理・法則に関するメタ理解を促進し、それに基づく思考を可能とする。

燃焼の3要素に対するメタ理解の有無を判別する指標として、全要素への言及、逆推論、メカニズム説明の留保の3つを用いる。これは、以下の理由による。燃焼の3要素についての理解と、それが科学的な原理・法則であるというメタ理解があると、どのような解答が可能になるだろうか。まず、3要素が揃っていると言えれば燃えていることの説明になり、逆に3要素が揃っていないと言えない限り燃えていることの説明にならない、と考えることができる。そのため、必ず全ての要素の有無に言及する(全要素言及)、あるいは、「燃えているのだから3要素がそろっているはずだ」と考えることができる(逆推論)。その際、個々の要素について詳細な説明をすること、例えば、燃えなさそうで燃える現象において、どのようなメカニズムで酸素が供給されているのかを説明することは、個別の燃焼現象の理解においては重要である。しかし本研究で扱う原理・法則のメタ理解では、メカニズムの探究に先立って、全ての要素の有無を検討するような思考を重視する。従って、メタ理解に基づく思考を獲得した学習者は、現象の説明にあたり、特定の要素についてのメカニズムの記述よりも全要素言及を優先して、認知リソースを配分するようになると考えられる。その結果、全要素言及や逆推論の増加に伴い、副次的に、メカニズムの説明が減少することが起こりうる(メカニズム説明の留保)。

以上から、説明活動中心の授業デザインにより、燃焼に関する原理のメタ理解が向上し、新規の現象について考える際に、(1)言及する要素の数が増えること、また、3要素の全てに言及する児童が増えること、(2)逆推論が増加すること、(3)メカニズム説明の出現数が減少すること、が予想される。

## II. 授業デザイン

小学校第6学年のB区分「燃焼」の単元において実験授業を実施した。授業デザインを「発見活動中心」から「説明活動中心」へと変更することにより、発展課題における児童の解答に「全要素言及、逆推論、メカニズム説明の留保」の3つが増加することを示す。この結果が、同時に原理・法則に関するメタ理解に基づく思考の存在の証拠となる。

2003年度に比較のベースとなる発見活動中心の実験授業を行い、2004年度、2005年度で説明活動中心の授業に変更し、燃焼に関する原理のメタ理解にもたらす効果を検証した。

3年間に共通する実験授業のデザインは以下の4点である。(1)学習活動：不可解な現象(燃えそうなのに燃えない、燃えなさそうなのに燃える)に対する学習者の自由な探究を中心的な学習活動とした。(2)授業で追究する現象：燃えそうで燃えない現象として、水を入れた紙コップをアルコールランプで下から熱する「水入り紙コップ」、燃えなさそうで燃える現象として、加熱した水蒸気をマッチに当てる「加熱水蒸気」と点火した花火を水中に入れる「水中花火」の3現象を扱った。(3)学習形態：4人1組の班単位で、選択した1現象を追究させた。各班の意見交流を行うために、Knowledge Forum(Scardamalia, 2003;以下KF)という協調学習支援システムを利用した。(4)補足的教示：水と3要素との関係が理解できるよう、気化熱について教示した。

各年度の単元の流れをまとめて表1に示す。ベースとなる2003年度の単元では、まず追究する現象を演示実験で示し、個人及びグループで追究活動を行った。途中で燃焼の3要素の教示を挟み、再度個人及びグループで現象の説明を試みた。最後に、燃焼の3要素でいろいろな現象について説明できるという単元のまとめを行った。2004年度では、説明活動を中心とした授業デザインを採用し、(1)最初に燃焼の3要素を教示し、(2)追究する現象を示してこの3要素によって説明するよう求めた。2005年度では、3要素による説明活動を継続するとともに、それをメタ的に捉える経験を強化した。具体的には、KFノートの作成やクラスにおける話し合いにおいて、「酸素は関係ある／ない」「温度は関係ある／ない」を対立の軸として意見を比較させ、3要素の枠内での議論として意識化させた。

各学習活動は、授業1～2コマ(1コマは45分)をか

表1 2003年度～2005年度の授業デザイン

2003年度	2004年度	2005年度
	a) 燃焼の3要素を教示し、演示実験と児童実験を行って確認する。	
b) 「燃えそうで燃えない」「燃えなさそうで燃える」現象を提示する。		
c) 子ども一人ひとりがワークシートに現象の原因に関する説明を記入する。		
d) 班で意見交流を行い、KFノートに現象の原因に関する説明を記入した後、他の班のKFノートを読んだりビルド・オンしたりする。		d) 班で意見交流を行い、KFノートに現象の原因に関する説明を記入した後、対立する説明を意識しながら他の班のKFノートを読んだりビルド・オンしたりする。
a) 燃焼の3要素を教示し、演示実験と児童実験を行って確認する。		
e) 燃焼の3要素に基づき、KFノートに現象の原因について説明しなす。	e) クラスで、各班の説明について話し合う。	e) 対立する説明を意識しながら、クラスで各班の説明について話し合う。
f) 上記の説明を実験で検証する。		
g) 実験結果をKFノートに記入した後、他の班のKFノートを読んだりビルド・オンしたりする。		
h) 各班のKFノートに基づきクラスで話し合い、現象の原因に関する最終的な説明を作り上げる。		
i) クラスで、理解が不十分な点、新しい疑問について話し合う。		
j) 上記を、実験と教師の解説で確認する。	j) 上記について実験を行って確認する。	
k) 単元のまとめを行う。		

Note: 太字は、他年度と異なる学習活動を示す。総時間数は、2003年度18時間、2004年度21時間、2005年度22時間。

けて行われた。総時間数は、2003年度が18時間、2004年度21時間、2005年度22時間であった。2004年度と2005年度で、2003年度より総時間数が増加しているのは、主としてKFの操作やネットワーク環境に関わる技術的なことに起因するもので、授業デザインの各種の活動の内容や時間に大きく影響するものではなかった。

授業の実施時期は、2003年度が2004年1月中旬～2月中旬、2004年度が2004年5月下旬～7月中旬、2005年度が2005年5月下旬～7月中旬であった。

### Ⅲ. 実験授業とその評価

#### 1. 目的

「発見活動中心」から「説明活動中心」へと授業デザインを変更し、3要素による説明活動をメタ的に捉える経験を強化することで、燃焼に関する原理のメタ理解が向上することを検証する。

#### 2. 対象

各年度の授業は、国立大学の附属小学校の6年生1クラスにおいて実施された。授業に参加した児童は、2003年度と2005年度が37名、2004年度が33名であっ

た。教科専門の同一の教員が絶対評価をした前年度の理科の個人成績に基づいて、各クラス間の理科の学力差を検討したところ、有意な差は認められず、年度間での児童の等質性が確認できた。授業者は、年度によって異なるが、いずれも5年以上の教職経験年数を有し、対象校において理科の授業を専門とする教師であった。授業者は全員、研究チームの一員として授業デザインの会議に参加し、各年度の授業デザインの詳細を決定する過程に関与していた。また、メーリングリストやKFを利用して、各年度における実際の授業の展開についても共有していた。従って、授業者の間でも、デザインの方針や授業の展開等についての共通理解がなされていた。

#### 3. 課題

授業で扱わなかった2つの燃焼現象（湿った薪が燃えない、二酸化炭素の中でマッチが燃える）について、燃える／燃えない理由を自由記述で説明させた。課題は単元後にクラス単位で実施され、所要時間は約10分であった。

#### 4. 分析

児童の自由記述を要素に分解し、燃えるもの、酸素、温度の各要素について、言及、メカニズムの説明の有無、逆推論を反映した記述をそれぞれ評定した。メカニズムの説明とは、原因を特定するだけでなく、原因と結果のプロセスにまで言及したものを指し、温度の要素では「水が薪の温度が高くなるのを妨げる」など、酸素の要素では「マッチの先端に、酸素を発生させる薬品がある」などの記述を、メカニズムの説明ありと評定した。また、「燃えるもの、酸素はある。だから温度が欠けている」「火は、酸素がないとつかないの、マッチに酸素がふくまれている」などの、3要素原理を根拠にした推論を、逆推論と評定した。2名が独立に評定を実施した結果、評定者間一致率は97.3%であり、不一致箇所は協議により解消した。

#### IV. 結果・考察

原理・法則のメタ理解の指標として、新規の燃焼現象を説明する際における(1)言及する要素の増加と全要素言及の増加、(2)逆推論の増加、(3)メカニズム説明の留保の3つを用い、年度間で比較を行った。

##### 1. 言及する要素の増加と全要素言及の増加

本研究の仮説に従えば、授業デザインの改善が進んだ2005年度には、ベースラインの2003年度よりも全要素への言及が増加することが予測される。これを確かめるため、各年度において、燃焼の各現象を説明する際に児童が言及した要素の数と、全ての要素に言及した児童の割合を調べた。各年度において、児童が言及した要素の数の平均値を図1に示す。言及した要素の数を、年度間で比較するために、現象ごとに1要因分散分析を実施した。その結果、マッチの現象では有意差は認められなかった( $F(2,104) < 1$ , n.s.)。一方、湿った薪の現象においては、年度の主効果があり( $F(2,104) = 4.212$ ,  $p < .05$ )、多重比較の結果、2004年度と2005年度は、言及した要素の数が2003年度より増加したことが明らかになった。なお、薪の現象においては、「水は火に強い」などの、3要素によらない説明が出現した。しかし、この種の説明は、2003年度1例、2004年度3例、2005年度2例と、どの年度でも少数であった。

各現象の説明にあたり、全ての要素に言及した児童の割合を、年度ごとに図2に示す。年度による差を、

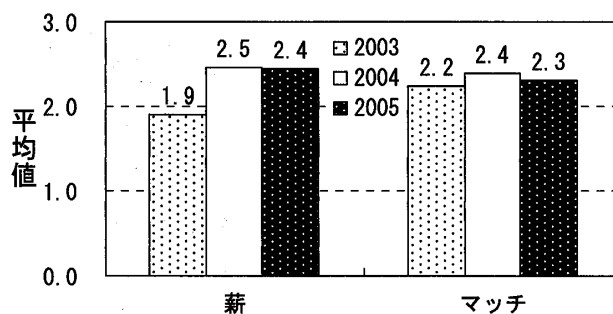


図1 燃焼現象の説明で児童が言及した要素の数  
Note: SDは、2003年から順に、薪の現象 .95, .82, 1.0, マッチの現象 .99, .83, .96であった。

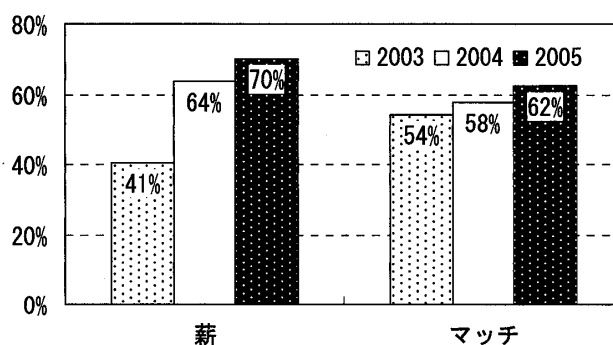


図2 現象の説明で全要素に言及した児童の割合

現象ごとに $\chi^2$ 検定で比較した結果、薪の現象で有意差が認められ( $\chi^2(2) = 11.440$ ,  $p < .01$ )、残差分析の結果、2005年度は他の年度より、全要素に言及した児童の割合が高いことが明らかになった。マッチの現象では、年度の差は有意傾向であった( $\chi^2(2) = 4.962$ ,  $p < .10$ )。以上の結果から、要素への言及に関して、仮説はほぼ支持された。

##### 2. 逆推論の増加

本研究の仮説に従えば、授業デザインの改善が進んだ2005年度には、ベースラインの2003年度よりも逆推論が増加することが予測される。これを確かめるため、各年度において逆推論による説明が出現した要素の数を調べた。薪の現象では、出現数が極端に少なかったため、分析から除外した。マッチの現象では、複数の要素で逆推論による説明を行った児童が2名しかいなかったため、出現数に基づく分析は不適切と判断し、逆推論の有無で児童を分類して年度間の比較を実施した(図3参照)。逆推論による説明を行った児童の割合を、 $\chi^2$ 検定で比較した結果、年度間の差が有意傾向であり

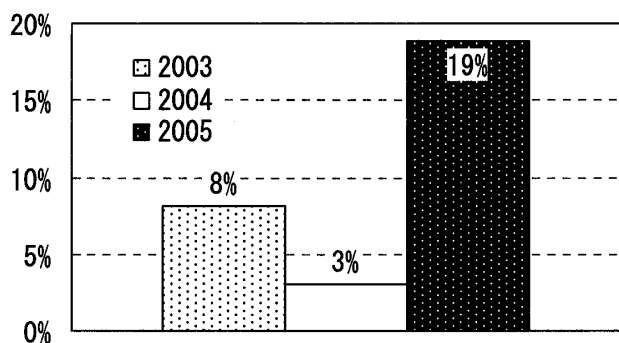


図3 マッチの現象で逆推論の説明を行った児童の割合

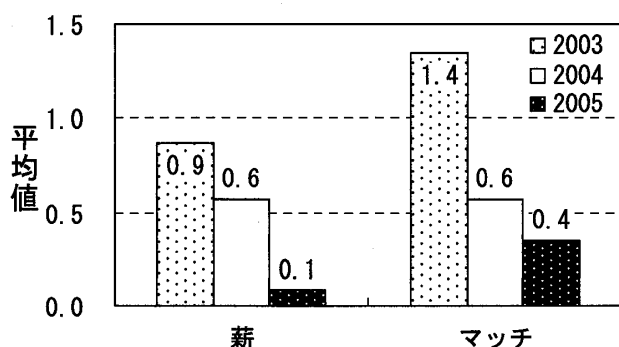


図4 児童が言及したメカニズムの数

Note: SDは2003年から順に、薪の現象 .96, .84, 1.0, マッチの現象 .90, .99, 1.0であった。

( $\chi^2(2) = 5.063, p < .10$ , イエーツの修正済), 残差分析より, 2005年度は, 他の年度より, 逆推論をした児童が多かったことが明らかになった。「燃えなさそうで燃える」現象においては, 「燃えているのだから, 3要素が成立しているはずだ」という思考がしやすかったと考えられる。この結果から, 逆推論に関して, 仮説は部分的に支持された。

### 3. メカニズム説明の留保

本研究の仮説に従えば, 授業デザインの改善が進んだ2005年度には, ベースラインの2003年度よりもメカニズム説明の出現数が減少することが予測される。これを確かめるため, 現象の説明にあたり, メカニズムに言及した説明が, どの要素で出現したかを調べた。各現象において, メカニズム説明の出現数の平均値を, 年度ごとに図4に示す。出現数を年度間で比較する1要因分散分析を現象ごとに実施したところ, 薪の現象, マッチの現象ともに有意差が認められた ( $F(2,104) = 22.23, p < .01; F(2,104) = 25.71, p < .01$ )。多重比較

の結果, 薪の現象では, 2003年度と2004年度で2005年度より, マッチの現象では, 2003年度で2004年度と2005年度より, それぞれメカニズムの説明が多く出現したことが明らかになった。この結果から, メカニズム説明の留保に関して, 仮説は支持された。

以上より, (1) 言及する要素の増加と全要素言及の増加, (3) メカニズム説明の留保, の2つの指標において, 仮説を支持する結果が得られたことが示された。このことから, 科学的な原理・法則に関するメタ理解に基づく思考の存在が間接的に支持された。ただ, (2) 逆推論の指標では, 十分な出現数が得られなかったことから, 再検討の必要があると考えられる。

## V. 結語

本研究では, 科学的思考の新たな実例として, 「科学における原理・法則がどんな事例にも必ず成立することを前提として現象について考えることができる」という原理や法則のメタ理解に基づく思考を提唱し, 小学校6年生理科の単元「燃焼」において実験授業を実施した。燃焼についての原理・法則に関する学習者のメタ理解を, 新規の燃焼現象に対する原理の適用という面で測定し, 3つの実験授業での成果の比較を通して, 授業デザインの変更による効果を検証した。「燃焼の3要素による説明活動を中心」とした授業デザインを採用したことにより, 全ての要素に言及した児童の割合の増加とメカニズム説明の留保が示され, 説明原理としての科学的原理・法則に関するメタ理解が向上したことが示唆された。3要素による説明活動に加え, それをメタ的に捉える経験, 例えば追究活動の中で対立する説明を意識させることが, 燃焼についての原理・法則のメタ理解の向上に寄与したと言える。ただし, 逆推論に関しては, 片方の現象でしか増加せず, その出現率も高くはなかった。授業内容を再吟味すると同時に, メタ理解の指標としての逆推論の妥当性を検討することが必要であろう。

今後の課題は, 「燃焼」を事例として検証した原理・法則のメタ理解に関する知見が, 他の原理・法則の学習でも追認されるのかどうかを検討すること, そして, 理科における科学的方法の教育を充実するために, 様々な科学的思考の形態を具体的に明らかにしていくとともに, その育成に関する知見を蓄積していくことである。

## 附記

本研究は、科学研究費補助金基盤研究 (A) 「ユビキタス社会における創造的人材育成をめざした科学教育プログラムの開発と評価」(課題番号: 18200048, 代表: 稲垣成哲) の援助を受けた。

## 引用文献

- Anzai, Y. & Yokoyama, T.: Internal models in physics problem solving. *Cognition and Instruction*, 1 (4), 397–450, 1984.
- diSessa, A.: Phenomenology and the evolution of intuition. In Gentner, D. and Stevens, A., (eds.), *Mental models*. Lawrence Erlbaum Press, 15–33, 1983.
- 伏見陽児: 科学的文章教材の学習に及ぼす焦点事例の違いの効果. *読書科学*, 35 (3), 111–120, 1991a.
- 伏見陽児: 焦点事例の違いが概念の学習に及ぼす影響. *教育心理学研究*, 39 (4), 409–418, 1991b.
- 伏見陽児: 提示事例の配列順序の違いが概念の学習に及ぼす効果. *教育心理学研究*, 40 (1), 54–63, 1992.
- 伏見陽児・麻柄啓一: 授業づくりの心理学. 国土社, 1993.
- 久田隆基・萱野貴広・天野真一・成瀬英明: 科学的思考力を育むための理科教材の開発研究: 小学生の気体概念および科学的な見方に対する認識状況. *科学教育研究*, 29 (2), 146–156, 2005.
- Inhelder, B., & Piaget, J.: *The growth of logical thinking from childhood to adolescence*. New York: Basic Books, 1958.
- 板倉聖宣: 未来の科学教育. 国土社, 1966.
- Klahr, D.: *Exploring science: The cognition and development of discovery processes*. Cambridge, MA: MIT Press, 2000.
- Klahr, D.: Early science instruction. *Psychological Science*, 16 (11), 871–872, 2005.
- Kuhn, D.: Science as argument: Implications for teaching and learning scientific thinking skills. *Science Education*, 77 (3), 319–337, 1993.
- Kuhn, D., & Dean, D.: Is developing scientific thinking all about learning to control variables? *Psychological Science*, 16 (1), 866–870, 2005.
- Kuhn, T. S.: *The structure of scientific revolutions*, The University of Chicago Press, 1962. (中山茂訳: 科学革命の構造, みすず書房, 1971.)
- Linn, M. C. Science. In R. F. Dillon & R. J. Sternberg (Eds.) *Cognition and instruction*, New York: Academic Press, 1986.
- 松原静郎: 第3回国際数学・理科教育調査の知見をいかに理科教育の改善に生かすか3 中学校理科における指導法の改善への提言. *理科の教育*, 48 (6), 416–419, 1999.
- 文部省: 小学校学習指導要領解説: 理科編. 東洋館出版社, 1999.
- 文部科学省: 小学校学習指導要領 (平成10年12月告示, 15年12月一部改正), 2003, <[http://www.mext.go.jp/b\\_menu/shuppan/sonota/990301/03122601/005.htm](http://www.mext.go.jp/b_menu/shuppan/sonota/990301/03122601/005.htm)> [2007, October 25].
- 永野重史: 科学的概念と科学的思考のプロセス. *科学教育研究*, 17 (4), 219–220, 1993.
- 中山迅・大場裕子・猿田祐嗣: 科学理論と現象を関係づける力を育てる教育課程の必要性: 酸化・燃焼に関する TIMSS 理科の論述形式課題に対する回答分析から. *科学教育研究*, 28 (1), 25–33, 2004.
- 押田春美: 物の燃え方. 日置光久編著「基礎・基本が身につく理科単元プラン」116–135, 東洋館出版社, 2003.
- Scardamalia, M.: Knowledge Forum (Advances beyond CSILE). *Journal of Distance Education*, 17 (Supple.3), 23–28, 2003.
- 立木徹: 単純で基本的な自然法則の理解について. *日本教育心理学会第24回総会発表論文集*, 588–589, 1982.
- Trowbridge, D. E. & McDermott, L. C.: Investigation of student understanding of the concept of velocity in one dimension. *American Journal of Physics*, 48 (12), 1020–1028, 1980.
- 脇元宏治: 第6学年4「物の燃え方」. 角屋重樹・森本信也・村山哲哉編著「見通しをもって学ぶ子どもを育てる理科学習 小学校6年」, 東洋館出版社, 110–121, 2000.

(受付日2007年3月22日; 受理日2007年12月3日)

[問い合わせ先]

〒657-8501 兵庫県神戸市灘区鶴甲3-11  
神戸大学大学院人間発達環境学研究科  
坂本美紀  
e-mail: msakamo@pearl.kobe-u.ac.jp