

研究論文

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

橘 早苗
三木市立緑が丘小学校

稲垣成哲
神戸大学大学院
人間発達環境学研究科

村山 功
静岡大学大学院
教育学研究科

山口悦司
宮崎大学教育文化学部

坂本美紀
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
宮崎大学大学院
教育学研究科

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

藤本雅司
小林聖心女子学院小学校

山本智一
神戸大学附属住吉小学校

Further Validation of Fostering Students' Meta-understanding of Scientific Principles as Scientific Thinking: Case Study of "Combustion" in Sixth Grade Science

Sanae TACHIBANA*¹, Shigenori INAGAKI*², Isao MURAYAMA*³, Etsuji YAMAGUCHI*⁴, Miki SAKAMOTO*⁴, Jun OSHIMA*⁵, Ritsuko OSHIMA*⁵, Hayashi NAKAYAMA*⁶, Makiko TAKENAKA*⁷, Masaji FUJIMOTO*⁸, Tomokazu YAMAMOTO*⁹

*¹Midorigaoka Elementary School

*²Graduate School of Human Development and Environment, Kobe University

*³Graduate School of Education, Shizuoka University

*⁴Faculty of Education and Culture, University of Miyazaki

*⁵Faculty of Informatics, Shizuoka University

*⁶Graduate School of Education, University of Miyazaki

*⁷Education and Human Development Center, Faculty of Education and Welfare Science, Oita University

*⁸Obayashi Seishin Joshi Gakuin Elementary School

*⁹Sumiyoshi Elementary School Attached to Kobe University

In science education, fostering scientific thinking is important, though few examples of scientific thinking are known. Sakamoto et al. (2007) advocated "meta-understanding of scientific principles" as one area of scientific thinking. If one is capable of meta-understanding, one is able to approach unknown phenomena with the assumption that scientific principles are applicable. Sakamoto and her colleague claim to have verified the existence of meta-understanding and the possibility of teaching it to elementary school students.

However, we think they failed to provide proof, because their definition of meta-understanding is somewhat confused. Through inspection of the idea of "meta-understanding of scientific principles" and a process of inference with this meta-understanding, we refined the definition of meta-understanding introducing an important distinction they missed: whether a key causal mechanism of phenomena is known to students or not. Based on our new definition, we designed a clearer experiment which contained two pairs of tasks. We predicted a different response pattern for each pair of tasks, where the original paper expected no difference. As the result of the experiment supported our predictions, we achieved a more reliable verification of meta-understanding.

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

1. はじめに

1. 研究の背景

科学的思考の育成は、理科教育の重要な目標の一つである。しかしながら、学習指導要領(2008)を見ても、教えるべき科学的内容については詳細に記述されているが、科学的な見方や考え方の具体的な記述はほとんど見られない。

科学教育研究あるいは心理学の分野においては、科学的思考の研究は、要因統制に関する研究(例えば, Inhelder & Piaget, 1958)か、仮説検証に関する研究(例えば, Kuhn, 1993; Klahr, 2000)がほとんどである。

また、近年注目されているPISA型学力の科学的リテラシーにおいて、科学的思考は「能力」もしくは「科学についての知識」のカテゴリーに含まれているが、その内容は用語が列挙されているだけである(OECD, 2006)。

このように、科学的思考を教えることが求められながら、何を教えればよいのか具体的に列挙できないのが理科教育の現状である。

2. 科学的原理・法則のメタ理解

このような状況の中、坂本ら(2007)は「科学的原理・法則のメタ理解(以下、メタ理解)」と呼ぶ、新たな科学的思考の具体例を提唱した。

坂本らは、まず、

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。

(p.221)

ことを問題とした。そして、従来は個々の概念の学習上の問題(板倉, 1966; 伏見, 1992; 伏見・麻柄, 1993)とされてきたこのような現象を、科学的原理・法則についての理解の欠如だと捉えることで、科学的原理・法則のメタ理解を提唱した。

メタ理解は、以下のように説明されている。

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・法則に対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。

(p.222)

このメタ理解を獲得することにより以下のような思考が可能となるため、メタ理解は科学的思考の事例であると主張されている。

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、燃えなさそうに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

表1 メタ理解とその指標

<p>「燃焼」単元における科学的原理・法則 燃えるためには、燃えるもの・酸素・十分な温度という「燃焼の3要素」が必要である。</p> <p>メタ理解のない場合 授業で扱っていない題材では、原理・法則と関連しない説明も受け入れる。 例) 二酸化炭素には火を消す性質がある</p> <p>メタ理解のある場合 授業で扱っていない題材でも、原理・法則と関連した説明だけを受け入れ、関連しない説明は拒否する。 例) 湿った薪は中に酸素が入ってこられないので燃えない ※原理・法則に関連した説明であれば、正誤は問わない</p> <p>メタ理解の指標 指標1：原理・法則への言及 現象に対するいかなる説明も、原理・法則に言及すること。燃焼の場合、燃焼の3要素の有無に言及すること（全要素言及）。 指標2：逆推論 原理・法則の成立を前提として、現象から逆向きに推論すること。燃焼の場合、燃えれば3要素が揃っており、燃えなければ3要素のいずれかが欠けている、と結果から推論すること。 指標3：メカニズム説明の留保 現象を具体的なメカニズムによって説明するより、原理・法則の成立に関する言及を優先すること。燃焼の場合、燃焼の3要素への言及を優先する結果、メカニズムへの言及が副次的に減少すること。</p>
--

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）。

(p.223)

坂本らは、ここに記述された全要素言及、逆推論、メカニズム説明の留保の3つを、メタ理解の有無の指標として用いた。表1に、「燃焼」の単元を例にしてメタ理解とその指標を整理して示す。

坂本らは、小学校6年生の「燃焼」の単元においてメタ理解を志向した教授を行った結果、科学的思考としてのメタ理解の存在を示すとともに、それを児童に獲得させることができた、と報告している。

3. 先行研究の問題点

しかしながら、坂本らの論文には、科学的原理・法則のメタ理解の存在をきちんと検証できていない、

表2 指標の予測の比較

論文	坂本ら (2007)		本研究	
	メカニズム		既習	未習
全要素言及	◎	◎	◎	◎
逆推論	○	×	○	○
メカニズム説明の留保	○	×	○	○

◎：必ず行う ○：行う可能性がある ×：行わない

という大きな問題がある。これは、2つの点において指摘することができる。

(1) メカニズムの既習／未習の区別

坂本らは、2つの転移課題で逆推論の出現数が大きく異なることから、指標の妥当性の再検討を今後の課題として挙げている。このことは、坂本らの予測が実験結果と十分に一致していないということを示しており、メタ理解の存在が十分に検証されていないことを意味している。

しかし、坂本らが考慮していない重要な要因が一つある。それは、メカニズムの既習／未習の区別である。メカニズムが既習である場合には、そのメカニズムを用いて説明を行えばよく、逆推論を用いる必要はない。坂本らの用いた転移課題2問は、まさにメカニズムが既習の問題と未習の問題であり、逆推論の出現頻度に差が出るのは当然である。

この区別は、次に述べるメカニズム説明の留保においても必要である。メカニズムの既習／未習の区別を行えば、指標の予測は表2のようになる。

このように、メカニズムの既習／未習の区別を行っていないために、坂本らによる実験計画及び結果の解釈は混乱しており、結果としてメタ理解の検証が不十分なものとなっている。

(2) 関連説明／非関連説明の区別

もう一つは、メカニズム説明の留保に関する評価基準の混乱である。坂本らは、メカニズム説明をすべて同等に扱い、説明のない解答を留保したものとカウントしていた。これは、表1に示したメカニズム説明の留保の定義に基づいた判断である。

しかし、そもそもメカニズム説明の留保において留保すべきは、原理・法則と関連しないメカニズムによる説明（非関連説明）である。その説明が原理・法則と関連づけられている（関連説明）ならば、た

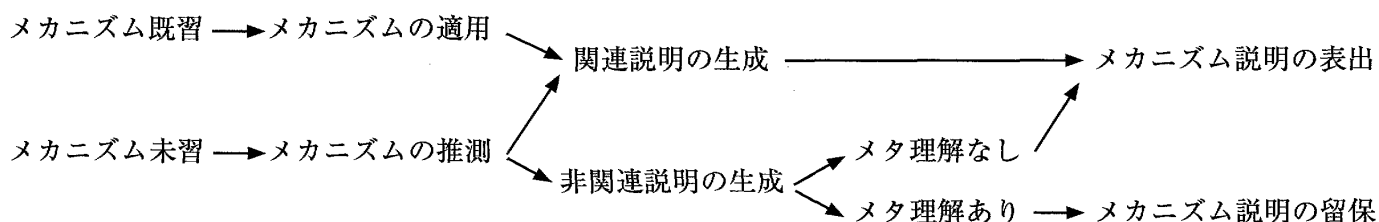


図1 メカニズム説明の留保に至るプロセス

表3 メカニズム説明の留保の再定義

メカニズムの説明
現象の生じた理由を因果的に説明したもの。
・関連説明（原理・法則と関連させた説明） 例）湿った薪は中に酸素が入ってこれないので燃えない
※原理・法則に関連した説明であれば、正誤は問わない
・非関連説明（原理・法則と関連のない説明） 例）二酸化炭素には火を消す性質がある
・メカニズムの説明でないもの メカニズムに言及していない説明 例）酸素が十分な温度がないから燃えない
指標3：（本研究における）メカニズム説明の留保
現象を説明するために考えたメカニズムが原理・法則と整合しない場合には、敢えて説明を留保すること。 燃焼の場合では、「水には火を消す力がある」などの、燃焼の3要素に関連しない説明しか思いつかなければ、その表出を断念し、説明を留保すること。

とえ結果として間違った説明であっても、メタ理解に基づいて留保する必要はない。さらに、原理・法則と関連したメカニズムが既習であるならば、そのメカニズムを用いた説明を留保するのはかえって不適切である。つまり、この指標では原理・法則との整合性に基づいた説明か否かが問われるべきなのである（図1参照）。

しかしながら、坂本らは、関連説明と非関連説明の区別をしていないため、単純にメカニズム説明の留保が増加することを、メタ理解の指標としてしまっている。この点において、メカニズム説明の留保に関する坂本らの評価基準は不適切である。

この問題を解消するため、本研究では、表1に示した坂本らのメカニズム説明の留保の定義を、表3のように定義し直した。この定義に従えば、メタ理解の存在を示すためには、単にメカニズム説明が留保されることを示すだけでなく、メカニズム説明が留保される場合には、原理・法則と関連しない非関連説明が留保されていることを示す必要がある。

まとめると、坂本らの研究には以下の2つの問題があるため、メタ理解の検証が不十分となっている。

- (1) メカニズムの既習/未習の区別がなされていないため、予測と結果が十分に一致していない
- (2) 関連説明/非関連説明の区別がなされていないため、メカニズム説明の留保の定義が不適切であり、どんな説明が留保されたか検討されていない

4. 本研究の目的

本研究の目的は、上記の課題を改善することにより、坂本らが十分に検証できなかったメタ理解の存在を立証することである。そのため、メカニズムの既習/未習と関連説明/非関連説明の区別を導入し、評価課題を作成し直す。

まず、(1) メカニズムの既習/未習の区別によって、被験者の反応が異なることを示す。このため

に、既習のメカニズムを用いて説明できる現象を扱う「既習メカニズム課題」と、現象を説明するには未習のメカニズムを必要とする「未習メカニズム課題」の2種類の課題を作成する。

次に、(2) メカニズム説明が留保されるとき、どんな説明が留保されているかを明らかにする。そのために未習メカニズム課題において、メカニズム説明を求めない課題とメカニズム説明を強要する課題の2種類の課題を作成する。図2に示すように、メカニズムの説明を強要することにより、そうでなければ留保されていたはずの説明が表出されることになる。これにより非関連説明が増加すれば、非関連説明が留保されていたことが示される。

以上より、作成する課題は表4のようになる。

科学的思考としてのメタ理解が存在し、児童がそれを習得していれば、これらの評価課題に対して、以下の予測が成り立つ。

(1) メカニズムの既習/未習の区別

課題1と課題2の指標に対して、坂本らの予測とは異なり、表5のような結果が得られるはずである。これによって予測の精度が増せば、メタ理解の存在をより適切に立証することができる。

(2) メカニズム説明の強要の有無

課題2と課題3を比較することにより、以下の結果が得られるはずである。

- 予測① 説明強要があってもなくても、関連説明はある程度行われる
 - 予測② 説明強要により、メカニズム説明の留保が減少する可能性がある
 - 予測③ 説明強要により、非関連説明が増加する可能性がある
- これらの結果が得られれば、メタ理解によって非

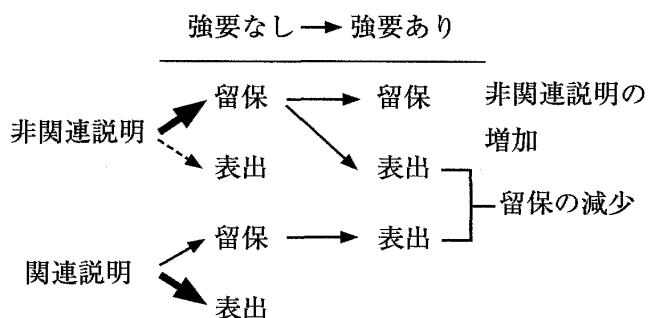


図2 説明の強要によるメカニズム説明の変化 (メタ理解がある場合)

表4 本研究の評価課題

	説明強要なし	説明強要あり
メカニズム既習	課題1	(なし)
メカニズム未習	課題2	課題3

表5 課題1と課題2に対する予測の比較

課題	指標	坂本ら (2007)	本研究
課題1 メカニズム既習	全要素言及	◎	◎
	逆推論	○	×
	説明の留保	○	×
課題2 メカニズム未習	全要素言及	◎	◎
	逆推論	○	○
	説明の留保	○	○

◎：必ず行う ○：行う可能性がある ×：行わない

関連説明が留保されていたことが示され、メタ理解の存在をより適切に立証することができる。

II. 方法

メタ理解の育成を志向した授業実践を行い、新たな評価課題を用いて、メタ理解の有無を調べた。

1. 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。授業デザインは、表6に示す通りである。これは、坂本らが検証のために行った2005年度の授業と同様である。すなわち、

- ・不可解な(燃えそうなのに燃えない、燃えなさそうなのに燃える)現象に対する学習者の自由な探究を学習活動の中心とする
 - ・学級の児童を3~4人1組の班にわけて、各班の意見交流を円滑に行うためにKnowledge Forum(以下、KF)という協調学習支援システムを活用する
 - ・水と3要素との関係が理解できるよう、気化熱について補足的に教示する
- というデザインに加えて、
- ・3要素による説明活動を中心とする

表6 授業デザイン

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、対立する説明を意識しながら他の班のKFノートを読む。
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) 上記について実験を行って確認する。
k) 単元のまとめを行う。

・その説明をメタ的に捉える経験を強化するというデザインを併せ持ったものであった。

時間数は19時間であった。坂本らの2005年度の22時間よりも短縮されているが、これは主としてKFのネットワーク環境の技術的な側面が改善されたためであり、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。

2. 対象・時期

授業は、国立大学附属小学校の6年生1クラス(38人)を対象に行われた。実施時期は、2008年5月下旬から7月上旬であった。

3. 評価のための課題

単元の学習終了後、3つの課題からなるテストを実施した。所要時間は約25分であった。各課題の内容は以下に示す通りである。いずれの課題も画像を添えて、現象の様子を表示した。

(1) 課題1：メカニズム既習課題

設問は次の通りである。「湿った薪をできるだけやく燃やすには、薪の中の水を蒸発させる必要があります。どうしてでしょう。できるだけ詳しく説明しましょう。」この課題は、「水の気化熱のために燃えるものが発火点に達しない」というメカニズムで説明することが可能な課題である。児童は、このメカニズムを授業中に学習していた。

(2) 課題2：メカニズム未習課題（説明強要なし）

設問は次の通りである。「コンセントに差しこんだ電気コードから火が出ています。どうして火が出たのでしょうか。理由をできるだけ詳しく説明してください。」この課題は、3要素が揃っていることが回答できればよいという課題であり、コンセントの温度上昇のメカニズム説明を求めるものではない。児童は、このメカニズムを授業中には学習していなかった。

(3) 課題3：メカニズム未習課題（説明強要あり）

設問は次の通りである。「消火器の中には、粉末消火器と呼ばれる、粉を吹き出す消火器があります。どうして粉で火を消すことができるのでしょうか。理由をできるだけ詳しく説明してください。」この課題は、粉で火が消えるメカニズムを直接的に問う課題である。つまり、粉による何らかのメカニズム説明を要求している課題である。児童は、このメカニ

ズムを授業中には学習していなかった。

4. 分析

3つの課題の評価は、以下のように行った。児童の自由記述を全要素言及の有無、逆推論の有無で分類した。次に、3要素に関わったメカニズムの説明内容について、関連説明、非関連説明、留保の3つに分類した。いずれのテストも2名が独立に評定を実施した結果、評定者間一致率は、97.6%であり、不一致箇所は協議により解消した。

III. 結果

1. メカニズムの既習／未習の区別

本研究の仮説に従えば、メカニズムの既習／未習にかかわらず、いずれの場合でも全要素に言及し、未習の課題においてのみ逆推論とメカニズム説明の留保が起こると予測される。

表7に、坂本らと本研究の予測及び結果を示す。

坂本らの予測は、課題1と課題2の逆推論、課題1の説明の留保の3つで、結果と異なっている。これに対し、本研究の予測で外れたのは課題2の逆推論のみであった。このことから、メカニズム既習／未習の区別を行うことで、指標の予測精度が向上し、メタ理解の存在を適切に立証することができた。

なお、予想と合致しなかった逆推論については、考察で論じる。

2. メカニズム説明の強要の有無

予測に従えば、①課題2（説明強要なし）と課題3（説明強要あり）のどちらでもある程度の関連説

表7 課題1と課題2の予測と結果

課題	指標	坂本ら	本研究	結果
課題1 メカニズム 既習	全要素言及	◎	◎	33 (87%)
	逆推論	○	×	0 (0%)
	説明の留保	○	×	2 (5%)
課題2 メカニズム 未習	全要素言及	◎	◎	33 (87%)
	逆推論	○	○	3 (8%)
	説明の留保	○	○	16 (42%)

◎：必ず行う ○：行う可能性がある ×：行わない
N=38, 単位は人。網掛けは、予測と結果の一致しない指標

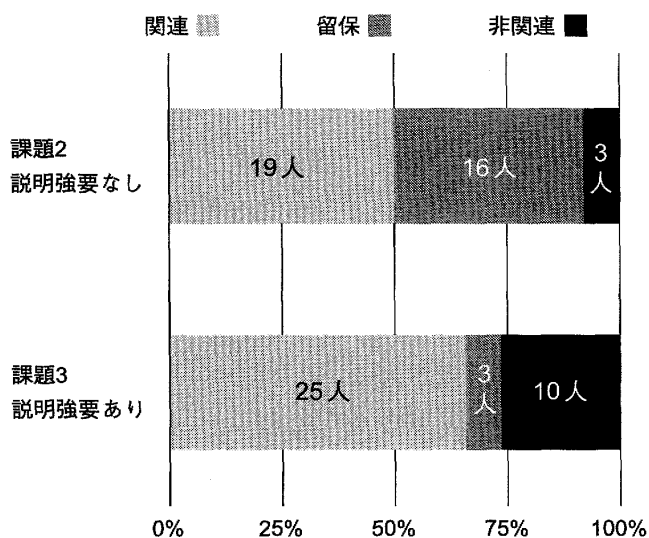


図3 課題2と課題3のメカニズム説明の分類

明は行われるが、②課題3（説明強要あり）でメカニズム説明の留保が減少し、③それに伴って非関連説明が増加する、という結果が得られるはずである。

図3には、課題2と課題3におけるメカニズム説明の分類結果を示している。

まず、関連説明を行った人数については、課題2では19人（50%）、課題3では25人（66%）と、いずれも多かった。この結果は、予測①と合致している。

次に、メカニズム説明の留保を行った人数については、課題2では16人（42%）と多いのに対して、課題3では3人（8%）と少なかった。この結果は、予測②と合致している。

最後に、非関連説明を行った人数については、課題2では3人（8%）と少ないのに対して、課題3では10人（22%）と比較的多かった。この結果は、予測③と合致している。

課題2における度数を期待値とした 1×3 表の比率の検定を実施した結果、課題間で分布の偏りが有意であった（ $\chi^2(2) = 28.353, p < .001$ ）。残差分析より、課題3では課題2に比べて、メカニズム説明の留保を行った人数が減少し、非関連説明を行った人数が増加したことが明らかになった。

IV. 考察

本研究では、メカニズムの既習／未習、説明強要の有無を区別した評価課題を設定し、これらの課題に対する回答を比較することで、坂本ら（2007）が

十分に検証できなかった科学的原理・法則のメタ理解の存在を再検証した。その結果、メカニズムが未習の現象について思考する際に逆推論を用いる、メカニズムが未習の現象について思考する際に原理・法則と関連しないメカニズムを留保する、というメタ理解の特徴を明らかにすることができた。

ただし、「メカニズム未習課題（説明強要なし）」において、逆推論をしていた児童は予想に反してわずかであった。この原因については、本研究の結果だけでは十分に明らかにすることができず、今後さらなる検討が必要である。しかしながら、本研究の結果の範囲内で、以下、考察を試みる。

逆推論というのは、原理・法則に基づいて現象について考えた際に、現象に対する予測が外れたときに始めて駆動するようなタイプの推論、すなわち「予測失敗駆動型推論」だという可能性がある。この考え方について、本研究で取り上げた燃焼の現象「水入り紙コップ」で具体的に検討してみる。

児童は水の気化熱をまだ学習していない。このような児童に対して、まず最初に、水を入れない紙コップをアルコールランプで加熱するという現象について考えさせる。その後で、水を入れた紙コップをアルコールランプで下から加熱する「水入り紙コップ」の現象について考えさせるとしよう。このような事例において、児童はどのように逆推論を駆動させるだろうか。

まず最初の現象について、児童は、紙コップという「燃えるもの」、紙コップの周囲にある「酸素」、アルコールランプの加熱による「温度」という3要素が揃うことにより紙コップは燃えるはずだ、と予測すると思われる。このとき、実際に紙コップは燃えて、児童の予測は的中するため、温度や酸素の存在について逆推論を駆動させる必要がない。

しかしながら、「水入り紙コップ」の場合、実際には、紙コップに入れた水の気化熱のため紙コップが発火点に達しないため、紙コップは燃えないのである。このとき、児童は、予測が外れるために、「紙コップの存在は自明であるから、燃えないということは、酸素か温度のいずれかが足りないはずだ。酸素が足りないのか、もしくは温度が足りないのか」や「酸素か温度が足りないのはなぜか。紙コップの中の水とどのように関係があるのか」というように酸素の存在や温度について逆推論する必要が出てく

ると考えられる。

以上のような「逆推論は予測失敗駆動型推論である」という考え方に基づいて、本研究の「メカニズム未習課題（説明強要なし）」、および、坂本ら（2007）が用いた2つの課題における逆推論について考察する。

「未習メカニズム課題（説明強要なし）」は、電気コードという「燃えるもの」、電気コードの周りがある「酸素」、そして大量の電気が流れることにより生じる「温度」という3要素が揃ったので電気コードが発火する、ということについて考える課題であった。おそらく児童の多くは、電化製品が原因となった火災のことは聞いたことがあり、電気コードが発火することは想像に難くないと考えられる。したがって、「3要素が揃ったから電気コードが燃えた」という考えに到達し、それ以上の推論を駆動させる必要がなかった。これが、逆推論の出現頻度が少なかった原因であると言える。

坂本らが用いた課題は、「湿った薪が燃えない」と「二酸化炭素の中でマッチが燃える」の2つであった。この2問のうち、逆推論が見られたのは後者だけであった。前者の課題「湿った薪が燃えない」は、経験上よく知っている現象であり、児童にとっては燃えないのは当然の現象である。そのために逆推論の出現数が極端に少なかったと考えられる。

一方、後者の課題「二酸化炭素の中でマッチが燃える」は、マッチという「燃えるもの」、マッチの先端から発生する「酸素」、マッチをこすことで発火点に達する「温度」という3要素が揃ったため二酸化炭素中でもマッチが燃える、ということについて考える課題であった。しかし、二酸化炭素中ではものは燃えないという既習事項に基づく予測が外れたことにより、児童は酸素の存在を逆推論せざるを得なくなったと考えられる。

以上のことから、逆推論の出現頻度については、メカニズムの既習/未習に加えて、現象に対する予測が的中するのか、もしくは、外れるのかということが影響する可能性があると言える。この点については本研究の結果だけでは十分に明らかにすることができなかつたため、今後さらなる検討が必要な課題である。

本論文では、坂本らの提唱した「科学的思考とし

ての原理・法則のメタ理解」を批判的に検討し、より詳細な再定式化を行った。また、それに基づく実験により、坂本らの研究では不十分だったメタ理解の再検証を行い、より明確にメタ理解の存在を示すことができた。さらに、実験結果の考察から、逆推論のメカニズムに関する示唆が得られ、メタ理解に関する研究の次の方向性を見出すことができた。

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）の援助を受けている。

引用文献

- 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，40，54-63，1992。
- 伏見陽児，麻柄啓一：授業づくりの心理学，国土社，1993。
- 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.
- Kuhn, D.: Science as argument: Implications for teaching and learning scientific thinking skills. *Science Education*, 77, 319-337, 1993.
- 文部科学省：小学校学習指導要領（平成20年3月告示），2008。
- Organization for Economic Co-operation and Development (OECD): *Assessing scientific, reading and mathematical literacy: A framework for PISA 2006*. OECD, Paris. (国立教育政策研究所監訳：PISA2006年調査 評価の枠組み：OECD生徒の学習到達度調査，ぎょうせい，2007.)
- 坂本美紀，村山功，山口悦司，稲垣成哲，大島純，大島律子，中山迅，竹中真希子，山本智一，藤本雅司，竹下裕子，橋早苗：科学的思考としての原理・法則のメタ理解：小学校6年生「燃焼」を事例として，科学教育研究，31(4)，220-227，2007。

（受付日2009年5月29日；受理日2009年10月26日）

〔問い合わせ先〕

〒673-0531 兵庫県三木市緑が丘町西1-10-8
三木市立緑が丘小学校
橋 早苗
e-mail: czs14613@nifty.com