

研究論文

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—

中山 迅* · 大場 裕子** · 猿田 祐嗣***
 宮崎大学教育文化学部* 宮崎大学大学院** 国立教育政策研究所***

Necessity for A Curriculum That Develops Pupils' Ability to Associate Scientific Theories and Phenomena : From Some Analyses of Pupils' Responses to TIMSS Essay Type Items about Oxidization and Combustion

Hayashi NAKAYAMA*, Yuko OHBA**, Yuji SARUTA***
 Faculty of Education and Culture ; University of Miyazaki*,
 Graduate School of Education ; University of Miyazaki**,
 National Institute for Educational Policy Research***

In this paper, we focused on pupils' response to TIMSS items about oxidization and combustion. We analyzed the written responses by seventh and eighth graders' of Japanese lower secondary schools. By surveying typical words in responses we found that many Japanese pupils refer to phenomena and facts but seldom mention theory-based explanation. We pointed that the result might be caused by lack of reference to ability of scientific theory-based investigation in the course of study in Japan. We suggested that it was better to refer expressly to such abilities in the school curriculum.

Key words : TIMSS, essay type test, oxidization and combustion, phenomena, theory, curriculum

1. はじめに

本研究は、理科の教育課程が現在抱えている問題点の一部を TIMSS の回答分析によって明らかにし、それに基づいてこれからの方向性について若干の提言を行おうとするものである。

第3回国際数学理科教育調査 (TIMSS) の枠組みでは、カリキュラムを図1のようにとらえている。

たとえば、学習指導要領のように国レベルで作成されるカリキュラム基準は「意図されたカリキュラム」に該当し、実際に行われた教室レベルの実践は「実行されたカリキュラム」に該当する。教科書は、しばしば「実行されたカリキュラム」と見なされる。そして、TIMSS の課題に対する回答の集計結果は、「達成されたカリキュラム」に該当する。

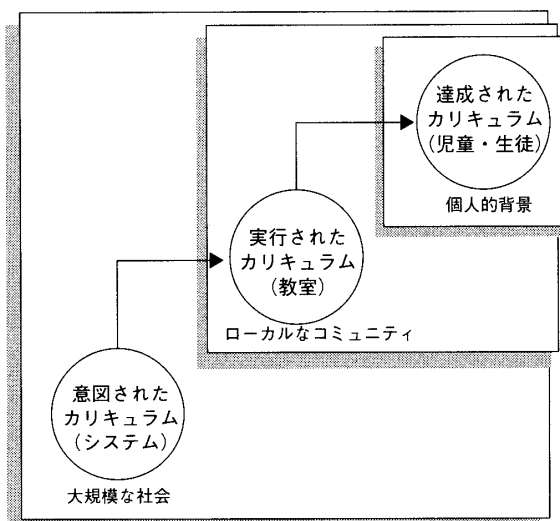


図1 TIMSS によるカリキュラムの概念的枠組み (Robitaille et al, 1993を翻訳)

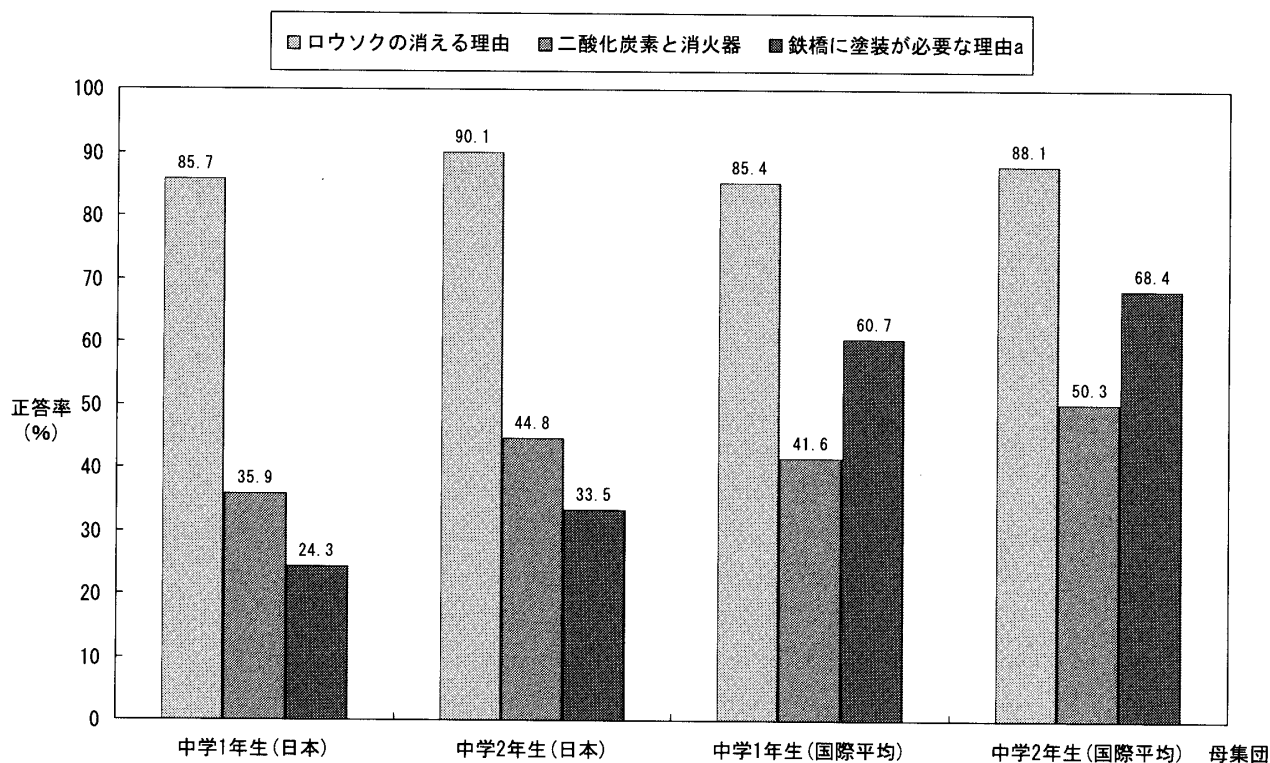


図2 酸化・燃焼に関する課題の平均正答率

今回は、1995年に実施されたTIMSS論述形式課題に対する日本の中学生の回答に注目し、それを「達成されたカリキュラム」とみなすことで、「意図されたカリキュラム」としての学習指導要領に対してささやかな提言を行いたい。中でも、今回は酸化と燃焼に関する内容に焦点を当てる。

2. 問題の所在

1995年に実施されたTIMSS理科の論述形式課題では、酸化・燃焼に関する課題として、「ロウソクの消える理由」課題、「二酸化炭素と消火器」課題、「鉄橋に塗装が必要な理由」課題aが出題された。図2に、これらの課題に対する平均正答率を示す。このグラフの横軸の「母集団」は、「調査を実施するとき13歳以上14歳未満の大多数が在籍している隣り合った2つの学年の全ての生徒とする」という国際的に定められた定義(国立教育研究所, 1997:12)に基づいて抽出された調査対象を示している。

日本の中学生は、この3つの課題のうち「ロウソクの消える理由」課題に対する正答率が高い。しかし、「二酸化炭素と消火器」課題の正答率は低く、中学1・2年生ともに国際平均よりも低い値となってい

る。松原(1999)は、この点について指摘した上で、「二酸化炭素と消火器」課題の正答率が低い原因を、日本では根拠を説明することが重視されないことであると推定している。そして、「二酸化炭素は火を消す物質であるから火が消えるのは当然である」という考えでそれ以上の説明を要求しないのが日本の特徴であることを指摘している。この指摘は、的を射たものであると考えられるが、具体的なデータに基づいた裏付けはとられていない。そこで、本研究では、実際に生徒の回答に用いられた用語の分析を行うことによって、問題点をいっそう具体的にしたい。

さびに関する「鉄橋に塗装が必要な理由」課題aでは「二酸化炭素と消火器」課題よりも低い正答率であり、国際平均値との開きはいっそう大きくなっている。

1995年当時に施行されていた平成元年告示版の小学校と中学校の学習指導要領(文部省, 1989a, b)の記述によれば、日本では、植物体が燃えるときに酸素が使われて二酸化炭素が出ることや金属を空气中で熱すると性質が変わるものがあることを小学6年生で学習済みである。そして、燃焼が酸素と結びつく化学変化であることを中学校で学習する。学習指導要領に

は、燃焼以外の酸化については明示されていないが、中学校指導書理科編には、「金属の酸化などのように、燃焼以外にも物質が酸素と結びつく化学変化があること及び化学変化には熱の発生が伴うことがあることにも触れる。」と記述されている(文部省, 1989b)。中学校の教科書を5社について調べたところ、4社がさびを取り扱っており、2社が使い捨てカイロを取り扱っていた。さびを取り扱ってなかったのは1社、さびと使い捨てカイロを両方取り扱ったのが1社であった。(上田ら, 1993; 戸田ら, 1993; 大木ら, 1993; 栗田ら, 1993; 霜田ら, 1993)。

このように、日本の中学2年生は、燃焼に関して履修済みで、さびなどのゆっくりした酸化についてもある程度履修済みである。それにもかかわらず、「二酸化炭素と消火器」課題や「鉄橋に塗装が必要な理由」課題aでは、国際平均よりも平均正答率が低くなっている。このことは、酸化や燃焼にかかわる内容についての日本の中学生の学習には不十分な点が含まれている可能性があることを暗示している。仮にそうであれば、酸化・燃焼についての回答を分析することで、教育課程を検討する際の手がかりを得ることができると考えた。

そこで本研究では、TIMSS 中学校理科の論述形式課題の回答のうち、酸化・燃焼に関する2つの課題を取り上げ、それに対する中学生の回答から酸化や燃焼に関する学習事項の問題点を探り、それにもとづいて理科の教育課程への若干の提言を行うことを目的とする。

3. 「二酸化炭素と消火器」課題

3.1 分析対象課題

中学生を対象としたTIMSS 理科論述形式課題の中から、「R 5. 二酸化炭素と消火器」課題を分析対象とする。図3にその課題を示す。

R 5. 二酸化炭素は、ある種類の消火器に使用されている物質です。二酸化炭素はどのようにして火を消すのか、説明しなさい。

図3 「二酸化炭素と消火器」課題(猿田, 2001, p. 82)

3.2 分析対象

分析対象となったのは、1995年に実施されたTIMSS に対する回答のテキストである。表1に、この課題に回答した日本の中学生の人数を示す。

表1 分析対象人数

中学校1年生	中学校2年生
671人	499人

3.3 分析方法

TIMSS 理科論述形式課題回答のテキストデータに対して分かち書き処理¹⁾を行い、日本電子計算株式会社のテキスト型データ解析ソフトウェア Word Miner[®] (以下、Word Miner[®]と記す)を用いて、各回答コードで用語の頻度による有意性テスト²⁾を行った。ここでは、有意水準5%に該当する検定値が与えられた用語を「有意」とみなした。

有意性テストで有意とみなされた用語のうち、中学1年生と中学2年生の両方の学年で「有意」とみなされた用語を、この課題に対する回答に特徴的な用語とした。そして、各回答毎の特徴的な用語と採点基準とを比較して、各回答コードに分類された回答の特徴を探った。

この課題の採点基準を表2に示す。

表2 「二酸化炭素と消火器」課題の採点基準

(猿田, 2001, p. 82を修正)

回答コード	採点基準
10	「酸素を押しよける」という内容。酸素が書いてあるもの。例：酸素よりも重い二酸化炭素で燃えているものをおおう。
11	「空気を押しよける」という内容。空気が書いてあるもの。
19	その他の正答。
70	「二酸化炭素が火を冷やす」という内容
71	二酸化炭素自体についての説明をしているもの。
76	問題文のくりかえし
79	その他の誤答
90	判読不能、解読不能な回答。(一度書いた答えを消してしまったものも含む)
99	無記入

3.4 結果

各回答コードに分類された回答に特徴的な用語と人数を表3に示す。

正答では、回答コード10に回答が集中し、誤答では、回答コード71が多く、「その他の誤答」としての回答コード79に分類された誤答も多い。

表3 各回答コードの特徴的な用語及び人数

回答コード	中学1, 2年生で共通の特徴的な用語	人数	
		1年生	2年生
正答	10 酸素 なくす まわり 追い出す 必要 減る どかす 少ない 取り除く	183	159
	11 空気	6	4
	19 燃焼	60	60
誤答	70 冷たい 熱 冷却 ドライアイス	3	4
	71 性質 働き 利用 二酸化炭素 ある 持つ	102	61
	76 かかる 二酸化炭素 吹きかける	13	9
	79 粉 煙 白い 混合 吸収 消える 出る 息	151	110
無答	90	16	13
	99	137	79

回答コード10, 11, 70, 71の採点基準ではそれぞれ、「酸素」(回答コード10)、「空気」(回答コード11)、「二酸化炭素」(回答コード70, 71)の言及が条件となっている。そして、生徒の回答から特徴的な用語として、回答コード10では「酸素」、回答コード11では「空気」、回答コード71では、「二酸化炭素」があがっている。また回答コード70では、「ドライアイス」が特徴的な用語としてあがり、ドライアイスが二酸化炭素を利用した冷却剤であることを考えると、使われている用語は採点基準と一致している。このように、回答コード10, 11, 70, 71では採点基準と特徴的な用語は一致している。

回答コード79では、「粉」、「煙」、「白い」、「消える」が特徴的な用語であり、回答には「煙を出して消す」や「白い粉で消す」といった内容が多かった。中には「火に直接かける」など消火器の使用法を答えた回答もあった。

3.5 考察

回答コード10で、特徴的に用いられた用語には、採点基準で使用されている「おおう」といった二酸化炭素が燃えている物質を取り囲む働きをするという意味の用語よりもむしろ、「なくす」、「追い出す」、「どかす」、「取り除く」などの、「酸素をない状態にする」という意味合いの用語が多かった。すなわち、どのようにして二酸化炭素が酸素を押しよけることができるのかには言及せずに、酸素と燃焼物質が離れることだ

けを説明した回答が多くなっている。

国立教育研究所による報告書(1997)は、この課題で「無答」が増えた原因として、課題文中に二酸化炭素が出てくると、多くの生徒が二酸化炭素には火を消す性質があると考えてしまい、そのため「二酸化炭素がどのようにして火を消すのか」という課題には答えようがなかったのではないかと指摘している。しかし、表3を見ると、誤答の回答コード70, 71, 76に分類された回答の特徴はいずれも二酸化炭素に関することへの注目であり、課題文中の「二酸化炭素」という用語が、無答の原因だけではなく、誤答の原因にもなっていたと推定できる。これは、松原(1999)の推定を支持するものである。

以上より、「二酸化炭素と消火器」課題に対する日本の中学生の回答の正誤を分けたのは、酸素の存在に注目したか、二酸化炭素の存在に注目したかであると考えることができる。正答できなかった中学1・2年生が、燃焼に不可欠な物質として「酸素」に注目していれば正答率はもっと高いものになったかもしれない。

日本の中学生は、ふたをしたロウソクの火が消える理由についての課題でも、正答では「酸素」、誤答では「二酸化炭素」に注目して回答していたことが報告されている(大場ら, 2003a)。そしてそれらの回答の多くが、「酸素がなくなったから」や「二酸化炭素があるから」という内容で、物質の存在を述べたものだったことが指摘されている。

このように、日本の中学生には、燃焼が起こるか起こらないかを「酸素」や「二酸化炭素」などの物質の「ある」と「なし」で説明する傾向が認められる。そして、燃焼に関する説明において「燃焼は物質と酸素が結びつく化学変化の一種である」という本質的な部分に注目して理論的な説明を行うよりも、「二酸化炭素があったから消えた」といった現象的な説明に向かう傾向がある。すなわち、理論よりも現象に注目する傾向が、酸化や燃焼に関する論述式課題に対する低い正答率の背後にある可能性がある。

4. 「鉄橋に塗装が必要な理由」課題 a

4.1 分析対象課題

TIMSS 理科論述形式課題の中から、「鉄橋に塗装が必要な理由」課題 a を分析対象とする。この課題は、酸化の一形態としてのさびに関する内容で、中学生の

みを対象として出題されたものである。図4にその課題を示す。

<p>Z1. ある鉄橋の一方の端から、もう一方の端までを塗装するのに10人の作業員で2年かかります。使った塗料は2年間くらいしかもたないので、作業員は橋を塗装し終わると、元の端にもどって、ふたたび塗装し始めます。 a. その鉄橋は、なぜ塗装が必要なのですか。</p>

図4 「鉄橋に塗装が必要な理由」課題 a
(猿田, 2001, p. 96)

4.2 分析対象

分析対象は、燃焼課題と同様に1995年に実施されたTIMSSに対する回答のテキストである。表4に、この課題に回答した日本の中学生の人数を示す。

表4 分析対象人数

中学校1年生	中学校2年生
494人	676人

4.3 分析方法

燃焼課題と同様に Word Miner[®]を用いて分析を行い、回答の特徴を探った。表5にこの課題の採点基準を示す。

表5 「鉄橋に塗装が必要な理由」課題 a の採点基準
(猿田, 2001, p. 96を修正)

回答コード	採点規準
10	錆や腐食。
19	その他の正答。
70	美的理由から。例：きれいに見せるため。見苦しいから。錆をかくすため。等
71	橋のために10以外の理由。例：ペンキが新しくなった。長く塗っていない。
72	70と71の両方
73	この問題に対しての意見を述べたもの。例：鉄橋にペンキを塗らなくてよい。
76	問題文のくりかえし。
79	その他の誤答。
90	判読不能、解説不能な回答（一度書いた答えを消してしまったものも含む）
99	無記入

4.4 結果

各回答コードに分類された回答に特徴的な用語と人

数を表6に示す。

表6 各回答コードの特徴的な用語及び人数

回答コード	中学1, 2年生で共通の特徴的な用語	人数	
		1年生	2年生
正答	10 さびる 鉄 さび 雨 防止 もろい そのまま	130	225
	19	0	0
誤答	70 色 美しい はがれる 外見 落ちる 見る 汚い 良い 格好 悪い 来る	111	173
	71 壊す 頑丈 鉄橋	24	43
	72 長い	1	3
	73	0	1
	76 二年 保つ 位 燃料 使う かかる 経つ 終わる 最初 塗装 戻す	102	112
答	79 渡る 通る 危険 端	44	36
無答	90	1	4
	99	81	79

正答の回答コード10では、「さび」の要因としての「雨」が特徴的な用語としてあがっている。

誤答では、回答コード70と回答コード76に回答が集中している。回答コード70では、「外見」、「美しい」、「色」、「はがれる」などが特徴的な用語としてあがっている。しかし、回答例の「錆をかくすため」の「錆」や「かくす」は特徴的な用語としてあがっていない。

回答コード76では、「二年」、「かかる」などがあがっている。回答コード76の採点基準は「問題文のくりかえし」であり、実際の回答では課題文中の「使った塗料は2年間くらいしかもたないから」という部分を記述しているものが多かった。

4.5 考察

この課題の正答コード10では「錆や腐食」について触れられていれば良いことになっているが、「二酸化炭素と消化器」課題と同様に考えるなら、「塗料によって鉄橋の鉄に空気や雨が触れないようにする」という趣旨の回答がもっとも望ましい。そこで、表2の回答コード10に特徴的な言葉に注目すると、「鉄」と「雨」が挙がっている。「鉄」と「雨」を「触れさせない」といった意味の回答が多ければ、これらは「物質間の接触は、化学変化を引き起こすために必要である」という化学の基本認識につながる回答である。

そこで、回答コード10の回答に「鉄」と「雨」とい

う用語が含まれている回答をあらためて計数してみた。つまり、「塗装をしてないと雨などにぬれた鉄橋がさびてしまうから。」や「雨にぬれると鉄だからさびてしまう。」などの回答である。すると、中1は130件中の10件、中2は225件中10件しかなかった。類似した回答としての「鉄」と「水」の両方を含む回答は中1で2件、中2で4件である。さらに、回答コード10の回答のうち、さびの原因としての「空気」に言及した回答は、中1、中2ともわずか1人ずつ、「酸素」に言及した回答は1人もいなかった。

回答コード10に多いのは、「さびるから」、「さびを防ぐため」といった「さび」のみに言及し、さびの原因としての「鉄と雨や水の接触」には言及しない回答であった。

このように、日本の多くの中学生には「塗装が必要な理由」を問われたとき、論述式課題では「酸素」や「水分」には言及せず、「さび」のみに言及する回答を書く傾向がある。

これは、「塗装」と「さびない」という現象を関係づけることができても、さびの原因として「鉄と酸素や水がふれて反応すること」という化学変化に注目した説明ができないことを意味している。ここにも、燃焼課題と同様に、現象には注目するが理論には言及しないという傾向が認められる。

酸化に関する課題は1970年に実施された第1回国際理科教育調査（以下 FISS と記す）及び1983年に実施された第2回国際理科教育調査（以下 SISS と記す）でも出題されている。

図5に FISS で出題された課題、図6に SISS で出題された課題を示す。

鉄の表面にペンキをぬると鉄がさびにくくなる理由は、つぎの中のどれですか。

- ・ちっ素が鉄とふれるのをふせぐから。
- ・ペンキが鉄とむすびついて、ちがった物になるから。
- ・酸素や水分が鉄とふれるのをふせぐから
- ・二酸化炭素が鉄とふれるのをふせぐから。
- ・鉄の表面をなめらかにするから。

図5 FISS で出題された課題

(国立教育研究所, 1973)

図5の FISS の課題の正答は、「酸素や水分が鉄とふれるのをふせぐから」、図6の SISS の課題の正答も同じく「オ。 酸素や水分が鉄とふれるのを防ぐから」

鉄の表面にペンキをぬると鉄がさびにくくなる。その理由は、次の中のどれか。

- ア. 窒素が鉄とふれるのを防ぐから。
- イ. ペンキが鉄と化学的に反応するから。
- ウ. 二酸化炭素が鉄とふれるのを防ぐから。
- エ. 鉄の表面をなめらかにするから。
- オ. 酸素や水分が鉄とふれるのを防ぐから

図6 SISS で出題された課題

(国立教育研究所, 1993)

ら」である。これらの課題に対する日本の中学生の平均正答率は FISS では、77%、SISS では79%と、TIMSS の論述式課題よりも高い。FISS と SISS のペンキの課題と、TIMSS の塗装の課題は、いずれも塗装によるさびや腐食の防止に関する課題であり、内容が類似している。そこで、3つの課題を比較してみた。

表7 FISS, SISS, TIMSS の塗装課題の比較

	与える情報	求める回答	正答の回答	回答形式
FISS	鉄の表面にペンキを塗ると鉄がさびにくくなる	鉄がさびにくくなる理由	酸素や水分が鉄とふれるのを防ぐから	選択式
SISS	鉄の表面にペンキを塗ると鉄がさびにくくなる	鉄がさびにくくなる理由	酸素や水分が鉄とふれるのを防ぐから	選択式
TIMSS	鉄橋に塗装をする	塗装が必要な理由	錆や腐食	論述式

表7から分かるように、FISS と SISS の課題は、「鉄橋に塗装をするとさびにくくなる」という事実にかかわる情報を与えた上で、そのようなことが起こる理由を選択肢から選ばせるものである。ここでは、「酸素や水分が鉄とふれるのを防ぐから」を選ぶことが求められる。

これに対して TIMSS の課題で与えられるのは「鉄橋に塗装をする」という事実に関する情報であり、塗装によって鉄がさびにくくなるという情報は与えられない。事実の提示の後で、塗装が必要な理由についての回答が求められ、塗装がないとさびや腐食が起こることを論述によって指摘することを求めている。TIMSS の「二酸化炭素と消化器」課題と同じ考えで正答の採点基準を作るなら、単に「さびや腐食が起こ

る」ことを指摘するだけでは不十分なはずである。「空气中の酸素や水が鉄橋の鉄に触れるとさびるので、塗装によって空气中の酸素や水が鉄橋の鉄に触れないようにする」ことが述べられているのはじめて科学的に妥当な正答と言える。TIMSS 課題では、そこまでの回答の精緻さを求めず、錆や腐食について指摘するだけで正答とすることになっている。国際的に定められたこの採点基準は、回答への要求レベルを下げた甘いものと言っても過言ではない。それにもかかわらず、TIMSS の「鉄橋に塗装が必要な理由」課題の正答率が低い原因は、FISS や SISS と違って論述式で出題されていることが関係していると考えてもよいであろう。

このように、選択式の FISS と SISS では、二つの物質を引き離せば反応が起こらないという化学の基本的知識につながる回答が多く出ているにもかかわらず、論述式の TIMSS では、これに類する回答が出にくくなっている。そこで、その原因を探りたい。

TIMSS と FISS, SISS の課題を比較すると、FISS と SISS では、「鉄橋に塗装をするとさびにくくなる」ということは課題文中に書いてあり、それを知った上で「さび」の原因を考えることができる。それに対して、TIMSS では、課題文中には「鉄橋に塗装すること」だけが書いてあり、さびなどの化学変化についての情報がないままで「塗装が必要な理由」を考えなければならない。

問題中で与えられた情報の違いと、FISS および SISS と TIMSS の平均正答率の違いをあわせて考えると、日本の中学生は、問題文中で「さびる」という現象が与えられていれば、物質と物質が結びつく現象としての酸化とさびを結びつけて考えることができるが、「塗装」という日常的方法のみが提示されて、酸化との関係が明示されていない場合には、「塗装」を「酸化」と結びつけることができないのではあるまいか。

日本の多くの中学生は、さびと酸素や水の関係を示す選択肢が提示されれば、適切な回答を選ぶことはできるが、自分からさびと酸素や水に関係づけた説明を行うことは難しいことが分かる。これができるためには、酸化に関する理論的知識を適切に引き出して、当該の現象と関係づけることが必要である。しかし、日本の中学生には、さびという現象に関する理論的知識としての「酸化」を適切に引き出して適用する能力が

不足していたか、もともと酸化について理論的に理解していなかったと考えられる。

5. 燃焼と酸化に関する TIMSS 課題の分析に関する考察

燃焼に関する論述形式課題に対する中学生の回答には、酸素がなければ燃えないとか、二酸化炭素があれば燃焼が止まるといった、現象に関する事実と事実を結びつけた説明が多い。その反面、酸素と物質との結びつきが燃焼という現象の本質であることを根拠にして、酸素と物質を引き離すことによって燃焼が止まることを指摘する回答は、それほど多くない。

さびに関しても、さびが金属と酸素の結合であるという理論的な知識に基づいて、金属と酸素を引き離すことがさびを食い止めることに言及する回答は少ない。

このような回答の傾向は、酸化や燃焼についての現象的説明はできるが、それを自然の仕組みにかかわる理論的知識に基づいて説明することは、日本の中学生にとって困難であることを示している。

6. 望ましい教育課程に向けての課題と提言

酸化に関しては、単にさびや使い捨てカイロなどの身近な現象を取り上げるだけでなく、酸化や燃焼を物質間の接触によって起こる化学変化の一つとして理解させる工夫が必要である。現象あって理論なしでは、観察や実験を積み重ねても科学的な知識を日常的な生活に生かす生徒は育ちにくい。教育課程には基礎的な理論をきちんと配置した上で身近な事象を取り上げることが望まれる。

自然の仕組みに関する理論への言及を含み、現象についての因果的關係に言及する論述を行う生徒を育てようとするなら、「意図されたカリキュラム」と「実行されたカリキュラム」の両方に、そういった観点を含むことが必要になる。

TIMSS (1995) が実施された当時の平成元年版中学校学習指導要領では、酸化や燃焼を学習する時点では原子や分子は学習しておらず、直後に原子や分子についての学習を行ってから、改めて原子・分子の結合で化学変化を学ぶ構成になっている。つまり、先に現象的な理解があつて、そのあとで理論を学ぶ構成であった。通常の授業の進捗の場合は、この内容は中学 2 年生で取り扱われていた。

平成10年版の学習指導要領では、通常の授業の進度では、原子・分子のモデルと、化学変化としての金属と酸素との反応が中学2年生で同時に学習される構成である。ただし、酸化・還元や燃焼が本格的にとりあげられるのは中学3年生である。

ここで、注目したいのは、中学1年生での化学変化に関する学習では、物質の化学変化を粒子の結びつきで説明しないということである。これは、中学1年生では直接観察を重視した学習を中心に行って、その次に規則性を見つけて考察する学習に進むという現在の中学校理科の学習指導要領の基本的な構成に基づくものである。

現象的な事実の羅列ではなく、自然の仕組みや規則性に関する理論に基づいて、現象を因果的に説明し予測することが科学において重要であると考えられるなら、ここでの直接観察を中心に行う学習がその後の理論的な学習とうまく結びつけなければならない。しかし、今回の分析結果は、それが必ずしもうまくつながらない可能性を示している。

TIMSSが示すカリキュラムの枠組みは、内容 (content)、行動期待 (performance expectations)、パースペクティブ (perspectives) (Robitaille et al. 1993, pp.72-73) という3つの局面で構成される。このうち、行動期待の中には、次のような下位項目が含まれている。

2.2.4 モデルの構成、解釈、そして適用

2.4.1 探究すべき疑問の同定

2.4.5 データからの結論の導出

これらは、科学的な問題解決のうち、自然の仕組みについての理論にかかわる能力と態度に関係する事柄である。

現在の中学校の学習指導要領には、「2.4.1 探究すべき疑問の同定」に該当する目標や内容が具体的に明示されていない。第1分野の目標と第2分野の目標に関する記述の中に「観察、実験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」(文部省, 1998b) という記述があるが、学習者自身が「問題」を明確に同定することができなければ、「結果を考察」することも「自らの考え」を導き出すこともできない。なぜなら、科学において「考察」や「自らの考え」は、「問題」と対になるものであり、問題と無関係にそれらを行ったり導いたりすることはできないからである。そのため、TIMSSの行動期待の「2.4.5

データからの結論の導出」が困難なのが実情なのかもしれない。実際に、学習指導要領には「結論」という言葉は使われていない。したがって、生徒が自分自身で科学的に探究可能な「問い」を立て、それに対する「答え」、すなわち「結論」を自分自身の言葉で書く訓練が授業の中で行われにくいとしても、その原因を教育現場の取り組みの不十分さに帰着することはできない。

さらに、モデルを構成し、現象をモデルで説明し予測するということが明示的に求められていない。「規則性」という言葉がこれを暗示するが、規則性についての認識は必ずしもモデル的な思考に基づかなくてもよい。現象が同じようなパターンで繰り返し起こることが規則性であり、モデルは、なぜそれが起こるのかを事実とは別のレベルで説明するために頭の中に作られるものである。したがって、生徒が頭の中に科学的モデルを構成し、そのモデルを使って現象の予測や説明をするようになれば、理論と観察・実験が結びついた学習ができる。その意味では、「規則性」についての学習が、かならずしも理論的な理解につながらない可能性がある。

さらに、現在の学習指導要領では、知識に関する事柄は、「内容」として具体的に明示されているが、生徒が獲得すべき能力や態度については、「内容」として明示されていない。そのため、科学的に解決可能な問題を立てること、モデルを構成しモデルを用いて考えること、そして事実に基づいて結論を導くことなどは、教科書の記述に顕在化しにくい。

「達成されたカリキュラム」としてのTIMSSの回答に理論的な側面への言及がなく現象的な事実の関係づけが多かった原因の一つは、「意図されたカリキュラム」としての学習指導要領で、モデルで考えることや、自ら結論を導出することが求められていないことと関係があるかもしれない。この問題を解決するためには、各学校でこれらの能力を育成するためのいっそう具体的な教育課程を編成するか、学習指導要領自体にそれらを明記して、教科書にもこういった内容が盛り込まれるようにするかどちらかであろう。生徒に自らの言葉で科学的な論述を行う力を育成しようとするなら、何らかの対策が必要になる。

これからの科学教育カリキュラムには、こういった事項を、目標と内容に意識的に組み込み、「実行されたカリキュラム」のレベルでこれらを実現する工夫が

求められるのではあるまいか。

註

- 1) 「分かち書き」とは、Word Miner[®]の機能の一つで、文を「ある単位」に分解する処理のことである。形態素解析の一種である。
- 2) 「有意性テスト」は Word Miner[®]の分析機能の一つで、データを超幾何分布と見なし、或る質的変数のカテゴリー内の或る特定の構成要素が全体的に見たときにその値の多いこと、あるいは少ないことの有意性を仮説検定に基づき、判定するための分析手法である。検定値は、片側検定の正規分布表に対応している。

附記

本研究は、日本学術振興会平成13・14・15年度科学研究費補助金基盤研究(B)(1)「理科の論述式課題における児童・生徒の学力構造の明確化」(研究代表者：宮崎大学・教育文化学部・教授・中山迅、課題番号13480037)の補助を受けて行われたものである。

なお、本論文は、第26回日本科学教育学会年会における課題研究発表(中山ら、2002)、および、平成15年度日本科学教育学会第3回研究会における研究報告(大場ら、2003)を加筆・修正したものである。

引用文献

- 国立教育研究所：国際理科教育調査 IEA 日本国内委員会報告書 第1部 国内結果の概要，107，1973。
- 国立教育研究所：理科教育の国際比較—第2回国際理科教育調査—，196，1993。
- 国立教育研究所：中学校の数学教育・理科教育の国際比較—第3回国際数学・理科教育調査報告書—，172-173，1997。
- 栗田一良：新版中学理科1分野上，教育出版，90-93，1993。
- 松原静郎：第3 IEA 国際数学・理科教育調査の知見を如何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)，56-59，1999。

文部省：小学校指導書理科編，教育出版，1998a。

文部省：中学校指導書理科編，学校図書，1998b。

中山 迅・猿田祐嗣：学習方法からの新教育課程への提言—TIMSS の論述式課題に対する日本の児童・生徒の回答分析から—，日本科学教育学会年会論文集，26，49-50，2002。

大場裕子・中山 迅・猿田祐嗣：TIMSS 理科の論述形式課題に対する回答に見る日本の児童・生徒の特徴(1)—「ロウソクの消える理由」課題—，日本科学教育学会第27回年会論文集，329-330，2003a。

大場裕子・中山 迅・猿田祐嗣：TIMSS 理科の論述形式課題に対する回答に見る日本の児童・生徒の特徴(4)—酸化・燃焼に関する課題—，日本科学教育学会研究会報告集，18(3)，19-22，2003b。

大木道則ほか：理科1分野上，新興出版社啓林館，80-84，1993。

Robitaille, D. (Ed) :TIMSS Monograph No. 1: Curriculum Frameworks for Mathematics and Science, Pacific Educational Press, Vancouver, Canada, 1993.

猿田祐嗣：文章や図を用いて自然事象を説明する能力に関する分析的研究，国立教育政策研究所，2001。

霜田光一ほか：中学校理科1分野上，学校図書，96-97，1993。

戸田盛和ほか：中学校理科1分野上，大日本図書，83-89，1993。

上田誠也ほか：新しい科学1分野上，東京書籍，92-95，1993。

(受付日2003年12月8日；受理日2004年2月12日)

[問い合わせ先]

〒889-2192 宮崎市学園木花台西1-1

宮崎大学教育文化学部

中山 迅

e-mail: e04502u@cc.miyazaki-u.ac.jp