

児童・生徒の科学的記述力を育成するための 学習指導法開発

隈元修一*・福松東一*・岡田能直*・中山 迅**
山口悦司**・小石紀博***・兼重幸弘***

Development of Science Teaching Methods
for Fostering Students' Scientific Descriptive Power

Syuichi KUMAMOTO*, Toichi FUKUMATSU*, Yoshinao OKADA*,
Hayashi NAKAYAMA**, Etsuji YAMAGUCHI**, Norihiro KOISHI***
and Yukihiro KANESHIGE***

I はじめに

日本では、「生きる力」の知的側面として「確かな学力」が注目され、その要素として思考力、判断力、表現力などが位置づけられ、それを高めるための指導が工夫されている。ところが、第3回国際数学・理科教育調査（以下TIMSSと表記する）の報告書（1997）は、論述課題に対する日本の中学生の回答には、多面的かつ論理的に自分の考えを記述する学力に弱点があることを指摘している。これは、TIMSS2003の結果においても同様である。

この報告を受けた先行研究（隈元, 2002; 隈元・中山, 2001; 隈元・中山・猿田, 2001, 2002; 隈元・福松・中山・猿田, 2004a, 2004b）では、以下の4点が指摘されている。

- (1) 燃焼に関する論述課題の回答の分析から、誤答の生徒と正答の生徒の使用した動詞や助詞に違いがある。誤答の生徒の多くは共通した概念を保有する。実験場面と生活場面での現象を切り離して考える傾向がある。
- (2) 1つの事象について複数の見地から考える事が必要な論述課題の分析によれば、1つの事象から適しているものを見つけて答えるのは得意であるが、逆の考えを述べることを不得意とする傾向がある。
- (3) 日本の中学生の回答には、現象の要因を見定めることができずに、短い文で現象面のみを答えているものが多い。
- (4) 誤答の生徒を対象とした聞き取り調査の結果によれば、誤答の生徒の多くは、説明するだけの知識は、もっているものの自分の考えをしっかりと記述しようとせず、短い言葉を記述したことで、説明をしたと考えている。

理科の共同研究会では、これらの原因の1つが、小学校や中学校での授業のスタイルにあるのではないかと考え、児童・生徒の科学的記述力を育成するための学習指導法を開発した。本論文では、附属中学校の事例を報告する。

*宮崎大学教育文化学部附属中学校

**宮崎大学教育文化学部理科教育講座

***宮崎大学教育文化学部附属小学校

II 児童・生徒の科学的記述力を育成するための学習指導法

1. 研究の方法

今回の分析では、「TIMSS-R授業ビデオ研究」のプロトコル（小倉，2004）を使用した。まず，25の化学分野の授業を無作為に選び，実験後の生徒と教師の会話に注目し，プロトコルから実験及び活動後の会話の始まりを特定し，教師の言葉と生徒の言葉の量の比較と教師の言葉の内容と授業における結果と考察の区別について調べた。次に，その結果と本校の授業の比較を行い，授業の改善を行った。そして，生徒の記述力を身につけさせるためにレポート指導の工夫を行った。

2. TIMSS-R授業ビデオ研究における教師と生徒の会話

実験，活動後の生徒と教師の会話で最も多く見られたパターンは，教師の問いかけに対し，「紫.」，「水です.」というふうに単語または，短文で答えた後に教師が大量の情報を伝達するというものであった（表1）。この調査から，多くの授業において，実験からわかったことを「結果」とし，結果から考えられることを「考察」として構成している授業が少ないことが明らかになった。このような授業が25のうち20の授業で見られた。2つの授業では，生徒の発言に対し，教師が疑問を投げかけたりしていたが，結果と考察の区分がはっきりせず，「まとめ」を行っていた。残りの3つの授業では，授業の活動や流れがはっきりせず，今回の観点では分析できなかった。

表1 TIMSS-R授業ビデオ研究の理科授業における教師と生徒の会話の例

教師：	じゃあ，いっしょにまとめます。ちょっと黒板のほう，手やめて，見てください。はい，黒板のほう，顔を向けてください。まとめて書いて，まとめて書いていきましょう。じゃあ石灰水を入れました。どうなりましたか？
生徒：	白く濁る.
教師：	白く濁った. というときは，この気体は何だったのでしょうか.
生徒：	二酸化炭素.
教師：	二酸化炭素という形になりますよね。これ，3つまとめていきますからいいですか。じゃあ液体。塩化コバルト紙，青くドライヤーでしてやりました。何色になりました？ピンクですよ。塩化コバルト紙が青からピンクに変わる，この液体は何ですか。これは？G君.
生徒：	水です.
教師：	水ということですよ。ごめんなさい，もう1つ。じゃあ，フェノールフタレイン液入れました。残った粉末のほうは，何色になったの？
生徒：	紫.
教師：	紫，ちょっとピンクね。ピンク。炭酸水素ナトリウムのほうは，変化なしですよ。ということは残った粉末は炭酸水素ナトリウムではありません。何だろう。ごめん，ちょっと30秒だけちょうだい。水を作るのは何だったの？
生徒：	水素.
教師：	水素でしょう。水素こっちにいつあったのよ。二酸化炭素を作っているのは？作ってるっていうか，二酸化炭素はどこから出てきた？こっちの？
生徒：	炭酸.
教師：	炭酸でしょう。ということは，これが・・・ 新しい物質，残った白い粉末の名前は？
生徒：	炭酸ナトリウム.
教師：	炭酸ナトリウムなんです。ちょっと時間オーバーしてごめんなさい。この3つが新しくつくられたということになります。後からまたね，授業の中でまとめたいと思いますが，報告書のほう，そのことを書いて，あともう一度，再度うちで，自分の考えをまとめて，ねっ，提出してもらおうようになりますので，もうちょっと記入をしておいてください。

3. 附属中学校の事例

附属中学校では、教師が説明するのではなく、生徒に発言させ、考察の記述力も増やそうと考えた。そこで、教師が結果において、試薬の色の変化のみを言うように制限すると、生徒は、変化によってわかった性質を言うことを我慢しなければならない。しかし、知っていることは言いたくなるため、次の考察の段階で教師が、質問すると堰を切ったように性質や変化の過程を話す傾向が多く見られた。これは、論理の手順が、ダムのような効果をもたらしたと言える(表2)。

表2 附属中学校の理科授業における教師と生徒の会話の例

限 元:	結果を発表しましょう。
生徒A:	石灰水が白く濁りました。
限 元:	いきなり白くなったんですか?
生徒A:	まさか! 気体をとおしたら白くなりました。
限 元:	そこを説明して欲しいんですよ。
生徒A:	はい。炭酸水素ナトリウムを加熱すると気体が発生して石灰水を白く濁せました。
限 元:	いいですね。きちんと見た結果を言ってますね。次は?
生徒B:	はい。炭酸水素ナトリウムを加熱すると試験管に水がついて、それに塩化コバルト紙をつけると赤く変化しました。
限 元:	なかなかいいですね。でも水ってわかってたなら塩化コバルト紙いる? 考えて!
生徒B:	あー。水じゃなくて、まだわかんないので、水滴です。
限 元:	水滴?
生徒B:	あー。水滴も水のことでしょね。だったら液体です。
限 元:	なるほど。じゃあもう一度発表して。
生徒B:	はい。炭酸水素ナトリウムを加熱すると試験管に液体がついていました。それに塩化コバルト紙をつけると赤く変化しました。
限 元:	じゃあ次は?
生徒C:	はい。炭酸水素ナトリウムは、加熱する前はさらさらだったけど、加熱するとざらざらになりました。
限 元:	なるほど。確かに手触り変わりましたね。いい表現です。次は?
生徒D:	炭酸水素ナトリウムを加熱したものを水に溶かして、フェノールフタレイン液を入れると赤くなりました。
限 元:	そうでしたね。それじゃ炭酸水素ナトリウムの水溶液も赤だった?
生徒D:	いいえ、変化がありませんでした。
限 元:	じゃもう一度説明してよ。
生徒D:	はい。炭酸水素ナトリウムの水溶液にフェノールフタレイン液を入れても、ほとんど変化しなかったけど、炭酸水素ナトリウムを加熱したものを水に溶かして、フェノールフタレイン液を入れると赤くなりました。
限 元:	すばらしい。それじゃ考察にうつりましょう。それじゃE君お願いします。
生徒E:	炭酸水素ナトリウムを熱すると気体が発生して、それ、いや、その気体が、を、水にじゃなくて石灰水に通すと白く濁ったので、二酸化炭素が発生することがわかりました。
限 元:	いい感じですね。それじゃこのような感じで考察として一つの文にして、書いたものを発表してください。それでは、書いてください。

考察の段階で、試薬の色の変化からすぐわかることを考察1とし、考察1をもとに、考えられることを考察2とした。図1に示すのは、酸化銅の還元でのレポートである。この考察1では、酸化銅を加熱して石灰水が白くにごり、金属光沢の見られる物質ができたことから、二酸化炭素と銅ができたことを記述し、現象面から言えることのみを書いている。考察2では、その成因について述べて、化学反応式などを用いて考えている。

このような取り組みの結果、生徒が自分の言葉で表現するようになった。さらに、考察を2段階に分けることにより、生徒の理解の段階がわかり、評価もしやすくなった。また、自分の言葉で生徒が発言し、レポートを書くことで、記述量も増えた。

結果：結果は現象面のみを答え、記述する（例：物質の形状や色，試薬の変化など）



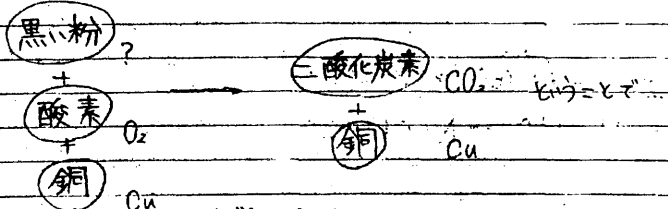
考察1：物質の形状や色，試薬の変化などからわかることを答え、記述する



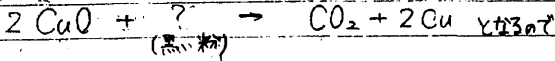
考察2：考察1から考えられることについて記述する（例：二酸化炭素と水が発生したことから，この物質は，もとの物質でなく〜と考えられる）

考察1 酸化銅と黒い粉の混合物を加熱すると、気体が発生し、その気体を石灰水に通すと白く濁ったことから、二酸化炭素が発生したと言える。また加熱後の混合物を試験管から取り出し、蒸餾水と混ぜると赤褐色の金属沈殿が出て、触れてみると10円玉のようにおいかした（？）と、赤褐色になったことから酸化銅と黒い粉の混合物を加熱すると銅に変化すると思われる。

考察2



左下の図を参考に化学反応式をつくらせると...

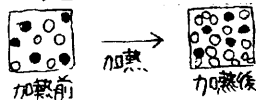


Cが1つ足りない、ということは黒い粉は炭素と言える。

その理由は、酸化銅と炭素を混合して加熱すると、銅と酸素に分かれて、酸素と炭素が結びついて二酸化炭素となった。そして二酸化炭素がガラス管を通って試験管から出て、試験管の中には銅だけが残るので炭素と言える。

図1 結果、考察1、考察2

考察：実験前には普段の経験や映画からして温度が高いと湿度も高くなるかと思っていたけど、密閉容器にドライヤーをあて加熱すると加熱前は58%だったのが加熱後は33%と、25%も湿度が下がった。これは、モデルを使って説明すると、次のようになる。



加熱前の空気の飽和水蒸気量を10とすると水蒸気量は5しかなかった。しかし、加熱後は、温度が上がると飽和水蒸気量が大きくなるので、

20と仮定すると、容器は密閉してあるので水蒸気量は変わらない。

つまり5のまま。これで、加熱前と加熱後では飽和水蒸気量に対する水蒸気量が加熱後の方が小さいので加熱後の方が湿度が下がった。水溶液の濃度と同じ原理だと思う。でも、夏は温度は高いと湿度も高いのでそれが少し矛盾していると思う。

図2 レポートの例：粒子での説明

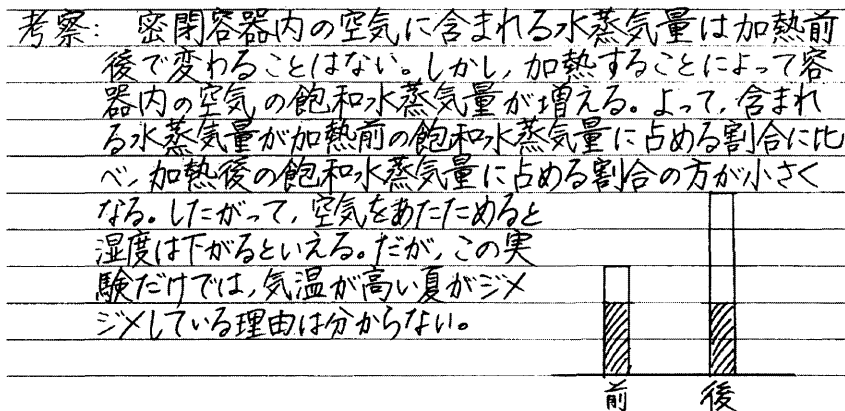


図3 レポートの例：グラフでの説明

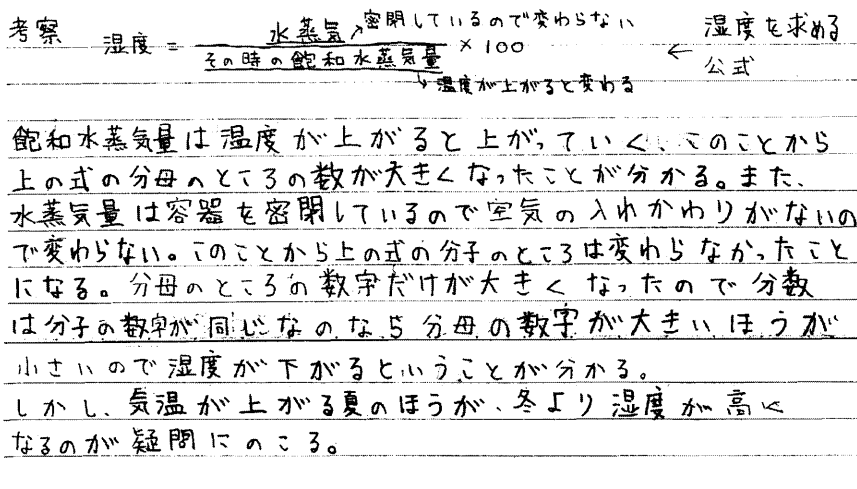


図4 レポートの例：公式での説明

図2～図4は、相対湿度に関する考察である。この授業では、密閉した容器に湿度計を入れ、ドライヤーで加熱するという実験(図5)を行った。生徒は、自分の予想を基に、この現象を説明するようにし、班及び学級全体での話し合いを行い、最終的には、自分の言葉で考察するようにした。その際、前述の手法で、生徒の発言する機会を増やし、結果と考察を分けて授業を行った。

その後レポートを分析した結果、41人のうち、科学的に妥当な記述をしていた生徒が、36人、結果の繰り返しが2人、誤った概念で記述している生徒が3人という結果であった。また、科学的に妥当な記述をしていた36人については、粒子で説明した生徒22人、グラフで説明した生徒11人、公式を使って説明した生徒が3人であった。

もし、教師が一方的な説明を行えば、この科学的に妥当な3つのパターンの1つまたは、い



図5 相対湿度に関する実験

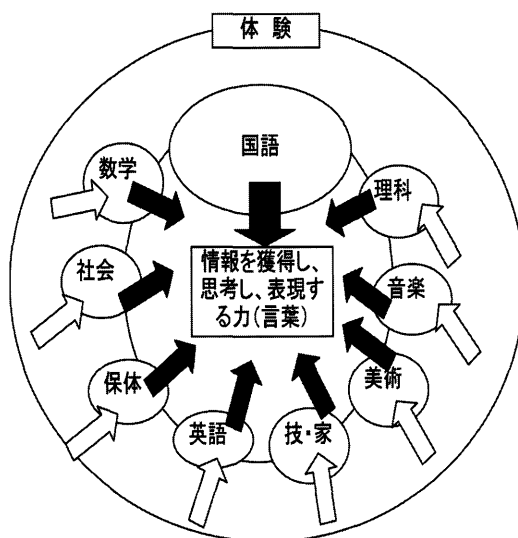


図6 言葉と体験の具体化

くつつかをミックスした説明になり、生徒にとっては、理解しにくい可能性がある。自分の言葉で表現することにより、このレポートを書いた時点では、もっとも自分に合った説明で書いていると思われる。これが、記述力を高める最も大切な意義であると言える。このことにより、知識の定着も促進されると期待できる。

現在、理科で取り組んでいる日常生活及び授業での情報を教科のフィルターを通して自分の言葉として昇華させ、それを知識としていくことが、次の中学校学習指導要領のキーワードである「言葉と体験」の具現化した形であると言える（図6）。

III おわりに

理科の共同研究部会では、実験における結果と考察（結論）を分けて、生徒の発言を求め、記述をさせるという実践を行ってきた。本研究では、記述力の向上について、授業スタイルの改善が重要だということを示せたのではないかと考えている。また、記述力の向上には、小・中学校の連携が大切で、論理的に思考し、考えを表出するという流れを一貫して身につけさせることが重要でないかと考える。今回の研究では、それぞれの学校で、記述力の向上という目標に向かって行われたが、今後は、記述力を高めるための指導を受けた小学生が、中学校の指導を受け、どのように変容するかといった経年変化やそれに伴う指導法について研究していく必要がある。

附記

本論文は、以下の研究会報告を加筆・修正したものである。

隈元修一・福松東一・中山迅・猿田祐嗣（2006）「中学生の科学的記述学力の評価に関する研究（9）」『日本科学教育学会研究会研究報告』第21巻，第2号，pp.47-50.

引用文献

国立教育研究所（1997）「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—」『国立教育研究所紀要』第127集，pp.1-270.

隈元修一（2002）『中学生の科学的論述学力の評価に関する研究』宮崎大学大学院教育学研究科修士学位論文.

隈元修一・中山迅（2001）「中学生の科学的記述学力の評価に関する研究（1）：TIMSS 自由記述問題の分析から」『日本科学教育学会年会論文集』第25巻，pp.507-510.

隈元修一・中山迅・猿田祐嗣（2001）「中学生の科学的記述学力の評価に関する研究（2）：複数の見地を要求するTIMSS理科課題の分析」『日本科学教育学会研究会研究報告』第16巻，第2号，pp.41-44.

隈元修一・中山迅・猿田祐嗣（2002）「中学生の科学的記述学力の評価に関する研究（2）：複数の見地を要求するTIMSS理科課題の分析」『宮崎大学教育文化学部附属教育実践研究指導センター研究紀要』第9巻，pp.99-106.

隈元修一・福松東一・中山迅・猿田祐嗣（2004a）「中学生の科学的記述学力の評価に関する研究（5）」『日本理科教育学会九州支部研究紀要』pp. 1a-1d.

隈元修一・福松東一・中山迅・猿田祐嗣（2004b）「中学生の科学的記述学力の評価に関する研究（6）」『日本科学教育学会研究会研究報告』第19巻，第2号，pp.83-86.

小倉康（2004）『平成12～15年度科学研究費補助金基盤研究(A)(2)研究成果報告書「わが国と諸外国における理科授業のビデオ分析とその教師教育への活用効果の研究：IEA/TIMSS-R授業ビデオ研究との協調」』