

理論依存型による理科授業の実践的研究

－ (1) 中学校理科における「銅の酸化」 －

松永 武*・池田 幸夫**

Practical Studies of Science Lesson Based on the Theory-Dependent Teaching and Learning Method

- (1) "Oxidation of Copper" in the Junior High School Science -

MATSUNAGA Takeshi*, IKEDA Yukio**

(Received January 10, 2012)

キーワード：理論依存型授業、銅の酸化、思考実験、矛盾の自覚、中学校理科

はじめに

戦後の日本の教育は、1990年代に教育観の大きな転換があった。「教師が教え、生徒が聞く」という伝統的な授業は、「教師主導」、「知識偏重の教え込み」、「画一教育」と批判され、代わって「自ら学び、自ら考える」ことを目指した「子ども中心主義教育」が登場したのである。子ども中心主義教育においては、「先生の仕事は教えることではなく、子どもが自ら考える活動を支援することである」と考えられるようになり、理科の授業においては、子ども自身が興味をもったことを調べる「調べ学習」や実験方法を子ども自身に考えさせる授業が新しい授業として推奨されるようになった。また、教科書を使わない授業がよい授業として推奨されることが多くなった。

池田(2003)はこのような授業に対して、学力の高い一部の生徒の発言によって授業が進められて、学力が中以下の生徒にとっては、「何をすればよいのか」、「どのように考えればよいのか」ということさえ分からないままに授業が進められて、一見学習しているように見えても、実際には何も分からないまま授業が終わっているのではないかと疑問を提起している。同じような意識をもった市川(2004)は、このような授業を「教えないで考えさせる授業」とよび、生徒の学習意欲を低下させる一因になったのではないかと考え、その代替案として、「教えて考えさせる授業」を提唱している。さらに、進藤を中心にした研究グループも同様の問題意識をもち、「知識伝達—事例化モデル」という授業方法を提唱し、授業実践を展開している(進藤, 2010, 2011)。

池田の理論依存型授業は、「自ら学び、自ら考える」ことを目指した子ども中心主義教育の閉塞感を打開する方法として提唱された授業方法である。この授業では、考えるための基礎的な知識や方法は教師から教えることになる。したがって、ほとんどの生徒が授業の課題を共有して授業に参加することができ、活発な授業を期待することができる。これまでに報告している授業としては、「金星の見え方(池田, 2004)」、「水のふっとう(池田, 2009)」、「被子植物の分類と浮力のはたらき(松永・池田, 2011a)」などがある。

銅粉末を加熱して酸化銅をつくる実験は、化学反応における質量比一定の法則や粒子概念を学習する重要な実験である。従来の授業では、実験結果に基づいて銅と酸素の比は常に4:1になる「きまり」を見つけさせるように展開されているが、生徒実験で4:1になることを見つけることは難しいことがこの授業の問題点であった。私たちはこの問題点を解決して、科学的思考力を育成し、学習意欲を高める活気ある授業をつくるためには理論依存型授業が有効であると考えて、研究を続けてきた。2011年には「銅の酸化」の授業にこの方法を適用して授業実践を行い、いくつかの成果を挙げることができた。成果の一部は、2011年8月

*山口大学教育学部附属山口中学校 **広島修道大学人文学部

に開かれた理科教育学会第61回全国大会（池田，2011a，松永・池田，2011b）や教科教育学会第32回全国大会（池田，2011b）において発表している。本稿はそれらの発表を基にしてまとめた報告である。

1. 授業の型

授業の中に観察・実験をどのように位置づけるかによって、池田（2004）は理科授業を「理論追求型」と「理論依存型」に分けた（図1）。

授業の型	理論追求型授業	理論依存型授業
授業の流れ	観察・実験 ↓ 情報を整理して きまりを見つける	きまりを学習 ↓ きまりを用いて 自然事象を理解する
科学的思考	きまりを見つけることができる	きまりを活用することができる

図1 理論追求型授業と理論依存型授業の比較

理論追求型授業は、観察・実験の結果から「きまり（理論や法則）」を見いだすことを目標に展開する授業である。この授業では、「生徒自身がきまりを見つける」ことが科学的思考力の評価観点として重要である。現在の理科教科書はこの授業を想定して記述されているため、学校で行われている理科授業はほとんど理論追求型で行われることが多い。

理論追求型授業は「生徒が自ら学ぶ」という子ども中心主義教育の考え方によく合っているために、理想的な授業であるように考えられているが、池田（2011）はこの授業の問題点を次のように指摘している。

- ①生徒実験で得られた結果からきまりを見つけることが難しい場合には、授業が不自然な形で強引にまとめられることが多い。
- ②見つけさせるべききまりが教科書に書かれているため、教科書を使わずに授業が行われ、教科書軽視した授業が行われている。
- ③生徒の多様な考え方を取り上げると、考察が拡散してまとまりのない授業になりがちである。
- ④教えることを避ける傾向があって、学力が中以下の生徒は「何が分かったのか分からない」中途半端な理解のまま授業を終えることが多い。

これに対して理論依存型の授業は、「きまり」は基本的に教師が教え、与えられたきまりや方法を活用する活動を重視した授業である。新しい課題について観察や実験を行う場合に、その課題に対するイメージや既存の知識がまったくない生徒にとっては、「何をどのように考えればいいのか」が分からず、授業に主体的に関わることは難しいであろう。理論依存型授業では、必要な最小限の知識や方法は教師から教えるためにこの難点を避けることが可能である。したがって、学力が中～下位の生徒でも授業に主体的に参加することができるし、課題を自分の力で考えることもできるはずである。またこの授業では、理論や法則を活用して考えることが科学的思考力の評価観点としてより重要である。

理論依存型授業にはいろいろな方法が考えられるが、池田（2009）は具体的な方法として次の3つを提示している。

- 方法1：授業の過程で「あれっ、おかしいぞ？」という感じをもたせる（矛盾の自覚）
- 方法2：科学モデルに基づいて思考させる（思考実験）
- 方法3：目に見えない現象を生徒がイメージできる工夫をする（比喩モデル）

2. 授業実践

中学校第2学年「化学変化と原子・分子」で学習する「銅の酸化」は、「化合する物質の質量の比は一定である」ことを学習する重要な実験の一つである。銅と酸素の理論的な質量比は4:1であるが、理科室の生徒実験でこの値を導くことは難しいことが知られている。そのため、「今日うまくいかなかったが、もっと上手にやればきっと4:1になるはずだよ」と、教師が強引に授業をまとめてしまうことがよくあった。生徒実験を無視したこのまとめ方は、せつかくの実験を台無しにして理科授業をつまらなくする原因の一つとなるであろう。そのために提唱された授業が理論依存型である。本研究では、「銅の酸化」の授業を理論依存型で行い、その教育的効果についていくつかの知見を得ることができた。研究授業は、2011年5月に山口大学教育学部附属山口中学校2年生（4クラス）で行い、本稿はその成果の報告である。

2-1 単元構成

学習指導要領によると、単元「化学変化と原子・分子」では、「化学変化についての観察、実験を通して、化合、分解などにおける物質の変化やその量的な関係について理解させるとともに、これらの事物・現象を原子や分子のモデルと関連付けてみる見方や考え方を養う」ことが授業の目標である（文部科学省，2008）。

「原子や分子のモデルと関連付ける」ことは、化学変化を粒子概念によって考察することを意味している。

生徒は、第1学年のとき「水溶液中の物質の溶解」や「状態変化と熱」において粒子概念について学習している。しかし、原子や分子を単に「粒子」という表現で扱っているため、粒子の正体である原子や分子の存在については生徒にとっては初めて学習する内容である。化学変化を粒子概念で理解するためには、単なる粒子ではなく質量をもった粒子としての原子概念を導入する必要がある。この概念を使えば、化学変化を原子の組み合わせによって理解し、化学変化の前後で全体の質量は変化しないことや、互いに反応する物質の質量の比は一定であることをよく理解できるようになるであろう。

一般的な教科書では、単元の前半では現象のみに着目し、単元の後半で原子・分子を導入して説明する構成となっている。この単元の授業を理論依存型によって行うために、本研究では表1のように単元構成の一部を変更した。原子・分子の存在やその性質を教える場面をきちんと授業の中に位置づけるためである。

表1 単元構成の比較

理論追求型授業（一般的な教科書）	理論依存型授業
①熱分解 ・酸化銀の熱分解・炭酸水素ナトリウムの熱分解 ②電気分解 ・水の電気分解 ③原子・分子・化学式 ④化学反応式 ⑤化合 ・スチールウール（鉄）と酸素の化合・鉄と硫黄の化合 ⑥質量保存の法則 ・炭酸水素ナトリウムと塩酸の反応 ・炭酸ナトリウム水溶液と塩化カルシウム水溶液の反応 ⑦化合する物質の質量の割合 ・銅と酸素の化合・マグネシウムと酸素の化合 ⑧酸化と還元 ・炭素による酸化銅の還元 ⑨化学変化と熱 ・鉄と酸素の化合 ・希塩酸と水酸化ナトリウム水溶液の中和 ・塩化アンモニウムと水酸化バリウムの反応	①原子・分子・化学式 ②化学反応式 ・水の電気分解・酸化銀の熱分解 ・炭酸水素ナトリウムの熱分解 ③質量保存の法則 ・鉄と硫黄の化合 ・炭酸水素ナトリウムと塩酸の反応 ④化合する物質の質量の割合 ・銅と酸素の化合・マグネシウムと酸素の化合 ⑤酸化と還元 ・炭素による酸化銅の還元 ⑥化学変化と熱 ・鉄と酸素の化合 ・希塩酸と水酸化ナトリウム水溶液の中和 ・塩化アンモニウムと水酸化バリウムの反応

2-2 理論追求型授業における問題点

一般的によく行われている授業では、班ごとに0.50 g ~ 2.00 g 程度の銅粉を与え、ガスバーナーで加熱して酸化銅をつくり、銅と酸素の質量関係を示すグラフに表して、銅と酸素の質量比が4 : 1であることを導き出すように授業は進められる。この展開は典型的な理論追求型である。

図2には、生徒が行った実験結果と理論値が示されている。この図から明らかなように、この実験で得られた測定値は理論値との間に大きな差ができることが普通である。したがって、この授業を理論追求型で行うと、科学的思考力を養う重要な場面で次のような問題が発生する。

1つ目は、生徒が行った実験では、実験値(図2では、生徒が教科書のマニュアルに沿って実験を行い、5回の平均をとったもの)は理論値を大きく下回ることである。直線の傾きから銅と酸素の質量比が4 : 1であることを導くために、教科書のデータなどを生徒に与えて4 : 1を導くように仕向けて、「実験では上手くいかなかったが、実際には4 : 1になるよ」と強引にまとめることがよく行われている。これではせっかくの生徒実験を無視したことになり、何のための実験をしたのか分からない授業になって、生徒にとってはおもしろくないしらけた授業になるであろう。

2つ目は、塾の勉強や予習によって質量比が4 : 1であることを知っている生徒がいると、彼らにとっては、「実験結果から見いだす」のではなく、「すでに知っていることを単に確認する」だけの授業になってしまうことである。実験結果と既有事項とが食い違っていることを矛盾として意識できるならば問題はないが、実際には食い違いがあってもそれを矛盾として意識しないことが多く、これは科学的態度としては大きな問題であろう。矛盾に気づく感性を養うことは、科学的思考や科学的態度の育成にきわめて重要であるからである。

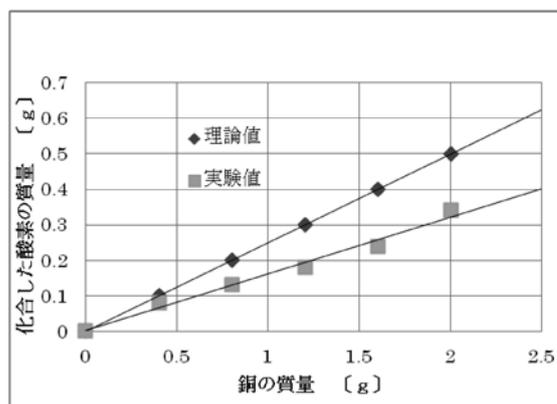


図2 理論値と実験値の比較

2-3 理論依存型授業による授業展開

上述したような実験値と理論値とのずれを、理科室の生徒実験を工夫して解消することは不可能に近いであろう。むしろ、このずれそのものを課題として提起することによって、生徒にとっては感動を覚えるおもしろい授業ができるのではないかと。理論依存型授業はこのような発想の転換で生まれた授業方法である。

本研究では池田の方法に基づいて、表2に示されているような単元計画で授業を行った。この授業のポイントは、初めに銅と酸素の質量比は4 : 1であることを原子量から理論的に導く学習を設定し、この後に実験や話し合い活動を行うことである。

表2 単元計画

1次	理論値を導き出す。	銅と酸素が化合するときの質量比は4 : 1であることを原子のモデルと周期律表から導き出す。
2次	実験方法を検討する。	実験方法を検討し、実験計画を立てる。
3次	実験を行い、方法を再検討する。	実験を行い、理論値通りの結果が得られるように実験方法を再検討する。
4次	再実験を行い、結果を分析・解釈する。	再実験を行い、理論値通りの結果が得られなかった原因を考える。

2-3-1 第1次「理論値の計算」

1次は与えられた知識を使って、理論値を導く授業である。その導入として、銅粉を加熱して酸化銅をつくる演示実験を行った。授業ではビデオカメラを使って実験の様子をテレビ画面に映して、赤銅色の銅粉が徐々に黒色の粉末へと変化する様子を全員で観察した。この後、既に学習している鉄と硫黄の化合と関連づけて、銅と酸素が化合して酸化銅になったことを教えた後、「これからみなさんには、化学工場の技術者

になってもらいます。酸化銅を2.0gつくりたいのですが、材料となる銅を何g準備したらいいのでしょうか」という学習課題を提起した。

この課題を解決するためには、次のような過程が必要である。

過程1：化学変化を原子のモデルで表す。

過程2：銅原子と酸素原子の数の比が1：1であることを見いだす。

過程3：原子の周期律表を使って、銅原子と酸素原子の質量の比が4：1であることを導き出す。

過程4：質量比が4：1であることを使って、1.6gの銅が必要であることを計算する。

班別の話し合いに入った直後、生徒から「酸化銅の化学式は何ですか」という質問があった。生徒にとって酸化銅は初めて学習する物質であるため、酸化銅の化学式はCuOであることを全員に教えた。一般的には「自分で調べてごらん」と指示することが多いが、この授業では理論的考察に集中させるために、必要な基礎知識として教えることにしたのである。

図3は、必要な銅の質量を正しく算出した班のホワイトボードである。図3に示された記述から明らかなように、この班は過程1～過程4を正しい手順で考察している。これに対して、図4は初めに誤った結論を導いていた別の班のホワイトボードである。

この班は、過程2の銅原子と酸素原子の個数の比が1：1であることは正しく表現しているが、銅と酸素の質量数の違いに気づかず、質量の比も1：1としたようである。机間指導によってこのことに気づき、すぐにこの班の生徒に対して表3に示されているような支援を行った。これによって、生徒は周期律表に示されている質量数の意味に気づいて、すぐに理論的に正しい値を求めることができた(図5)。このように、ホワイトボードを使うと思考の誤りや素朴概念を表出させるでき、安価なホワイトボードは授業のツールとしてたいへん有効である。このような思考作業を通して、最終的には4学級の全ての班(40班)が正しい理論値を導き出すことができた。

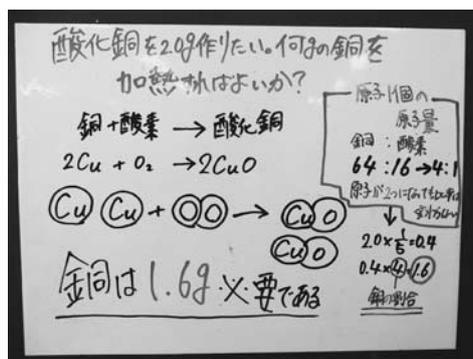


図3 理論値の計算

2-3-2 第2次「実験方法の検討」

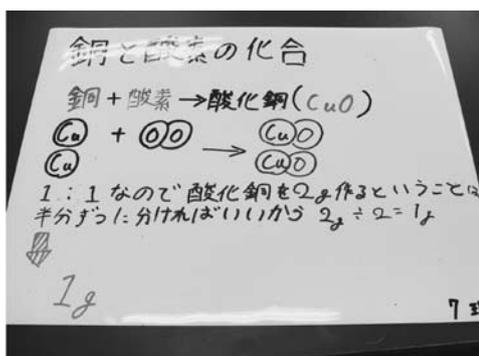


図4 修正前

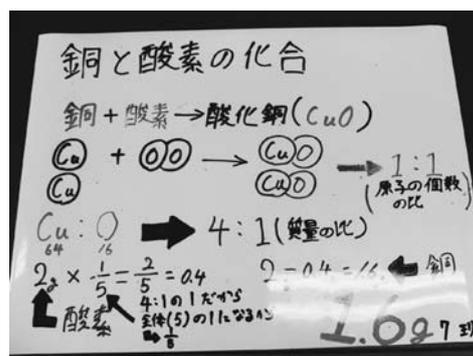


図5 修正後

表3 生徒と教員の対話

S	先生、一応計算できたのですが、何か違っているような気がします。
T	どうして？
S	この計算では、1.0gの銅を加熱すると1.0gの酸素と結びつくことになるのですが、なんとなく不自然な気がするのです。
T	個数の比が1：1で質量の比も1：1なら、銅原子と酸素原子の質量は同じということになるね。
S	あっ、分かりました！

この実験は、銅粉末をステンレス皿に入れて、ガスバーナーで加熱して酸化銅をつくる比較的簡単な実験であるが、加熱後の酸化銅がステンレス皿にこびりついてしまうため、質量を皿ごと量って加熱前後で比較するというやや複雑な操作が必要である。そのため、途中で量ることを忘れて、何を量った記録なのか分からなくなったりしてしまうことがよくあるので、実際に使用する器具を各班に配布してシミュレーションをさせながら、実験計画を立てさせることにした。

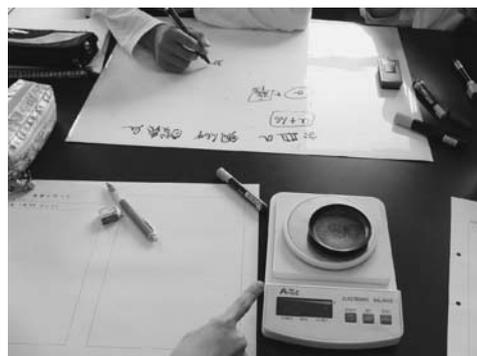


図6 実験方法の検討

2-3-3 第3次「実験と実験後の再検討」

前次に検討した方法で、班別の実験を行った。各班とも理論的には正しい結論を出しているのに、実験が理論通りに行うことができれば、1.6gの銅から2.0gの酸化銅ができるはずであった。ところが、できた酸化銅の質量はすべての班で理論値(2.0g)を下回り、全体の平均は1.82gであった。これは、理論値の55%の酸素しか化合していないことを意味しており、その差はかなり大きい。

初めに理論値を計算するというステップを踏んでいないために、この差を見てほとんどの生徒は「あれっどうして?」と疑問を感じていた。このような状況を池田(2009)は「矛盾の自覚」と呼んでいるが、矛盾の自覚は、なぜそのようになったのか、どのようにすればよいのか、もっと調べてみたい」という主体的な学習意欲につなげていくために、きわめて重要なステップである。

すべての生徒がこの矛盾を意識したところを見計らって、「どのようにすれば、計算通り2.0gの酸化銅を作ることができるのだろうか」という新たな学習課題を提起した。この課題について班別話し合いを行ったところ、最初にほとんどの生徒がうまくいかなかった原因に注目して、できた酸化銅を葉さじでほぐしたり、ひっくり返したりして、その内部には酸化していない銅が残っていることに気づいた。その結果、実験を改良する方法として、図7、図8のホワイトボードに示されているような方法を考えた。生徒から出された意見は、大別すると次のA~Cのようになる。

- A: 加熱時間を長くする
- B: 皿の上に銅粉を薄く広げる
- C: 途中でかき混ぜる

Aの方法は、加熱が不十分であったため、まだ酸化していない部分が残ったはずだから、加熱時間を十分長く取ればよいという方法である。

Bの方法の根拠となった考察には2つのタイプがある。一つは「薄く広げることで熱が伝わりやすいから」であり、熱の伝わり方に注目した考え方である。他の一つは「薄く広げることで空気中の酸素がよく触れ合う」と考えて、銅原子と酸素原子との接触に注目した意見である(図7)。

Cは、「中心部の銅が酸化できなかったのは酸素と触れ合わなかったため」と考え、かき混ぜることでより多くの銅と酸素を触れ合わせたいと考えた意見である。図8はこの方法を提案した班のホワイトボードであるが、この班の思考の特徴は、使い捨てカイロを連想してアイデアを出していることである。

これらの他に特徴的なことは、図7と図8のホワイトボードに記述されているように、最初の実験で葉さじに銅粉がくっつくという経験から、かき混ぜることで葉さじについての銅の分だけ質量が減少することに懸念をする班が多いことである。

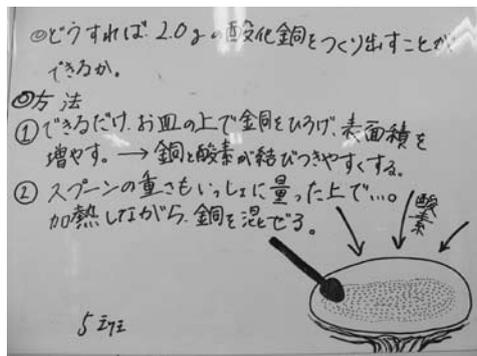


図7 実験方法の再検討(1)

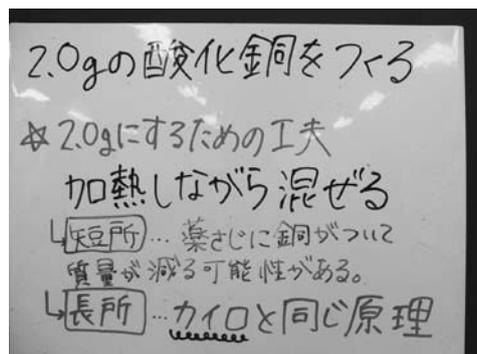


図8 実験方法の再検討(2)

2-3-4 第4次「再実験と結果の分析・解釈」

再検討によって考えた方法で実験を行ったところ、ほとんどの班が1回目の実験よりも理論値に近い値を得ることができた。10班の平均は1.87 gであり、化合した酸素の量で示すと、理論値の68%となり、1回目の実験結果（55%）よりもかなり改善することができた。

次に、改善することはできたが、それでも理論値とは隔たりがあることを指摘して、「なぜ、理論値通りにならないのだろうか」という新たな学習課題を提起して、原子や分子という粒子概念に基づいた班別の話し合い活動を行わせた。表4は、この話し合いの結果として出された理由である。

表4 理論値通りにならない理由

- A: 混ぜるときにこぼしてしまったり、薬さじについてしまったりしたからではないか。
B: 電子てんびんが正確ではないのではないかと。
C: 不純物が入っていたのではないかと。
D: すでに酸化していたのではないかと。
E: すべての銅原子を酸素に触れさせるには限界があるのではないかと。

Aは、実験の操作に注目した意見である。薬さじを用いてステンレス皿の上に銅粉を広げたり、途中でかき混ぜたりしたが、その際に薬さじにはどうしてもわずかな量の銅粉がくっつくことを理由として挙げた意見である。

Bは、使用した装置の性能に関する意見である。質量の測定にはアーテック社製の電子てんびん（0.01 gまで測定可能）を使用したが生徒は「同じものでも載せるたびに値が違う」や「風が吹いたり、台に手を載せたりすると値が変わる」という微妙な違いが気になったようである。実験に使用した電子てんびんで班ごとに同じ物体を10回量らせたが、0.02~0.04 g程度の差異があることが分かった。

Cは、実験に使用した銅粉の純度に注目した意見である。実験に使用した銅粉は、粒度325メッシュ、純度97%以上、ステアリン酸2%添加というものであるが、加熱をすると、ロウを燃やしたようなにおいとわずかな煙が発生する。このことに気づいた生徒から、「先生、銅粉が入っている瓶をみせてもらってもいいですか」と質問があった。ある生徒は、加熱をすると煙が出たり、ろうそくを燃やしたようなにおいがしたことから、何か不純物が入っているのではないかと考え、他の生徒は、煙が出たということから、何かの原子が空气中に逃げて、質量は減ったはずだと考えたからである。与えられた試薬の純度に生徒が疑問をもつということは、我々の長い教員経験において初めての経験であった。一般の理科実験では与えられた実験装置や試薬に生徒が疑問を投げかけることは、ほとんどないからである。基礎的な知識を与えることから始める理論依存型授業では、このように装置や試薬に対する疑問を意識させやすい授業になることを示唆している可能性がある。これはいわゆる批判的思考であり、科学的な問題解決を行う場合にはきわめて重要な思考方法である。理論依存型授業でこの批判的思考が育成できるとすれば、理論依存型授業の可能性はさらに大きく広がる可能性がある。

Dも同様に銅粉の純度に着目した意見である。十円硬貨を空気中に置いておくと徐々に酸化していく経験的事実から、実験に使用した銅も徐々に酸化しているのではないかと考えたのである。この意見もやはり批判的思考の一つである。

Eは、図9のように原子のモデルに基づいて、「すべての銅原子を酸化させるのは困難だ」と考えたのである。この考え方を発表した生徒は、「銅粉をいくら細かくして広げても、原子レベルで見れば大きな塊と言えます。内部の銅原子に酸素は触れないのだから理論値通りになることは難しいと思います」と、モデル図を使いながら説明を行っている。この考察は物質を粒子概念で科学的に正しく理解し、原子の大きさまで考慮に入れたきわめてレベルの高い考察であり、高く評価することができるであろう。

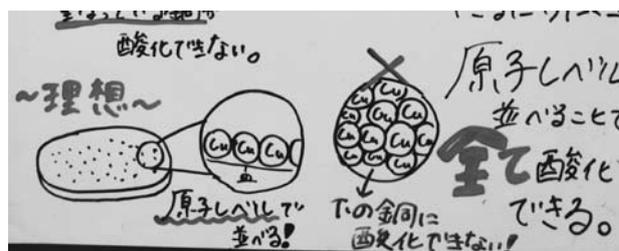


図9 理論値通りにならない理由

2-4 考察

銅と酸素の質量比が4:1になることを実験的に導くことは難しい、と考えられている。酸素の質量が理論値より大きくなることはない、これは実験に伴う誤差ではない。この難点は、きまり（質量比一定の法則）を見つけることを目標に行う理論追求型の授業では克服できないであろう。

これに対して理論依存型授業では質量比が一定であることを理論的に学習した後で実験を行うために、理論値と実験値の食い違いそのものを授業の学習課題とすることによって、新しい授業展開が可能である。

現在の理科教育には、児童生徒の理科離れや学力低下、自然事象に対する興味関心の低下など、克服しなければならない様々な問題が存在している。これらの課題と対比することによって、理論依存型の特徴を次のようにまとめることができる。

2-4-1 思考すべき内容の焦点化

理論追求型授業においては、導入時に「銅と化合する酸素の質量の間にはどのような関係があるのだろうか」というように学習課題を提起することが多いが、「どのような関係か」という漠然とした課題では、生徒は何が課題なのか分からないままに授業が行われることになりやすいであろう。さらに、学習課題が分かっている場合においても、きまりは教科書に書かれているために、きまりを見つけること自体にそれほど感動を覚えることがないようである。実験結果がうまくいかなくても、「教科書に書いているきまりを覚えればいいや」と割り切った考え方の生徒はけっこう多いのである。理科に対する興味・関心や理科学習の意欲を高めるためには、このような彼らの固定観念を揺さぶるような新しい授業展開が必要である。

理論依存型で行った本授業事例では、生徒は「酸化銅を2.0g作る」という導入時の学習課題をまとめの段階まで持ち続けている。そのため、原子や分子の存在、質量数や周期律表などの与えられた知識を活用して理論値を導き出す活動、実験結果と理論値との食い違いをなくすための実験方法の検討など、ほとんどの生徒が常に共通の目標をもって学習に臨むことができるのである。話し合い活動では「何を考えればよいのか分からない」ということが少なく、ほとんどの生徒が話し合いに参加して自分の意見を出しやすいために、話し合いが活発になるのである。

3次や4次の話し合い活動にそのことがよく表れている。たとえば、3次は「理論値になるように実験方法を再検討する」が学習課題であるが、具体的には「酸化せずに残っている銅をどのように酸化させるか」ということが話し合いの焦点である。「表面積を広げる」や「かき混ぜる」といったアイデアの根拠を、使い捨てカイロを振るなどの素朴な知識や経験によって説明している。4次は、理論通りにならない理由を考えることが学習課題である。表4に示されているように、操作方法、使用した器具や試薬、原子モデルなどの共通の知識や経験を基に原因を推測している。このように、理論依存型授業における話し合いで活動では、考察すべき内容が焦点化され、多くの生徒に共有されているために、単元の学習を通して話題が拡散することはほとんどないのである。銅粉末の成分や純度に疑問を呈するような、教員が予想していないアイデアが生まれたのは、このためではないかと考えている。

2-4-2 批判的な思考の育成

今回の授業実践で最も重要なポイントの一つは、授業の中に「矛盾の自覚」の場面をつくることである。「なぜ実験値が理論値通りにならないのか」という課題がそれに当たる。この課題に対して生徒から出されたアイデアは、「装置に問題はないか」、「銅粉に不純物が入っていたのではないか」、「銅粉の一部はすでに酸化していたのではないか」など、実験装置や使用した試薬に疑問を向ける批判的思考が多く見られた。理論依存型授業は、批判的思考を育成する有効な授業方法の一つである。

理科の一般的な授業では、教員から与えられた実験器具や試薬に生徒が疑問を呈することはほとんどないのである。学校で行う実験装置や試薬には不備がないことは、学校理科教育の暗黙の前提と考えられているからである。実験がうまくいかない場合に、批判的思考によって実験装置や試薬を見直すことは問題解決活動においては必要なことである。批判的思考はしばしば「はずれ」ることがあるが、重要なことは、たとえはずれであっても、科学的思考の観点からすれば「科学的思考力あり」と評価することである。池田（2009）が指摘しているように、問題解決学習における科学的思考の評価はその正誤によって判断すべきではないからである。

理論依存型授業では理論や法則を基礎的な知識として先に教えているため、実験の結果の矛盾を意識させ

ることが容易である。矛盾を自覚することができれば、課題に対する興味・関心や学習への意欲が高まると共に、解決したときの達成感によって理科学習のおもしろさを実感することになるであろう。

2-4-3 生徒の反応

理論依存型授業では生徒の反応が明らかに変わることが多い。知識を教える場面である1次の授業においても、理論値を導く過程で「あっ分かった」という声が上がったし、理論値を導きだした後は「ああ、すっきりした」という声が多く聞こえた。実験結果と理論値との食い違いを粒子概念によって考察する4次の授業では、様々な視点から意見が出されて、その度に「たしかに・・・」や「なるほど・・・」のような納得の声が自然に漏れてきた。また、自分の考えを班員や全体に伝える際には、授業で学習した知識や教科書の記述を引用して、「十円硬貨が空気中で自然に酸化しているように」など、誰でも経験している共通の知識を例に挙げて、話し合いが活発に行われた。このように、既有知識の違いや学力レベルの違いに関係なく、すべての生徒が主体的に話し合いに参加して意見を出すことができる場をつくるために、理論依存型授業はたいへん有効である。

おわりに

1990年代から進められてきた理科授業は、生徒自身がきまりを見つけることを重視した理論追求型の授業である。この授業になじんでいる教員にとっては、「先に教師から教える」ことに違和感を覚える方が多いであろう。生徒の科学的思考力を育成するために重要なことは、生徒自身が発見することであり、それを支援することが教員の役割であると考えられているからである。

「考える」ためには、その拠り所となる知識や経験が必要である。しかし、理論追求型授業では、様々な素朴概念をもち、質的にも量的にも一様でない生徒に対して、共通の課題を与えて「考えさせる」ことになるのである。その結果、既に知識として習得している生徒にとっては「退屈なつまらない授業」になり、知識や経験が乏しい生徒にとっては、「分からない授業」になることが多いのである。これに対して理論依存型授業では、思考に必要な知識を先に教えるため、「考える」ための拠り所をなす「知識」をすべての生徒に共有させる場面を必ず設定する。したがって、ほとんどの生徒が共通の拠り所をもつことになり、課題解決の過程ではすべての生徒に「考える」きっかけを提供することになるのである。

理論依存型の授業にはもう一つの重要な特徴がある。理論追求型授業が理論や法則を見つけるように展開する収束型の授業であるのに対して、理論依存型授業は、理論や法則から広がる発散型の授業であるということである。本稿において示されているように、理論依存型授業では教員が予想していなかった独創的な発想やアイデアが生徒からたくさん出てくるのはこのためである。

もちろん中学校理科のすべての単元が理論依存型に適しているわけではない。教材によっては、むしろ理論追求型が適しているものもあるであろう。しかし、理論追求型授業ではどうしてもうまくいかない単元は少なくないので、今後はこのような授業の教材研究や授業研究によって、理論依存型による新しい授業方法を開発していきたいと考えている。

引用・参考文献

- 池田幸夫 (2004) : 文化としての科学史とその理科教育への応用, 理科の教育, 53巻, No. 11, 東洋館出版社, 4-7.
- 池田幸夫 (2009) : 矛盾の自覚から始める問題解決学習, 楽しい理科授業, No. 513, 明治図書, 12-15.
- 池田幸夫・松永武 (2011a) : 理論依存型による理科授業の展開—方法とねらい—, 日本理科教育学会全国大会発表論文集, 第9号, 275.
- 池田幸夫・松永武 (2011b) : 理論依存型による理科授業の方法と実践—中学校理科「銅の酸化」の授業を例として—, 日本教科教育学会第37回全国大会論文集, 164-165.
- 市川伸一 (2004) : 学ぶ意欲とスキルを育てる—いま求められる学力向上策—, 小学館.
- 市川伸一 (2008) : 「教えて考えさせる授業」を創る, 図書文化.
- 進藤公夫 (2010) : 「知識伝達・事例化モデル」の10年—理科授業のモデルとしてのこれまでとこれから—,

- 日本科学教育学会中国支部研究発表会講演論文集, 59-62.
- 進藤公夫 (2011): 「知識伝達・事例化モデル」から「文化伝承・活用モデル」へ, 日本理科教育学会四国支部会報, 第30号, 47-48.
- 松永武・池田幸夫 (2011a): 理論依存型授業による科学的思考力の育成, 山口大学教育学部・附属教育実践研究紀要, 第10号, 21-33.
- 松永武・池田幸夫 (2011b): 理論依存型による理科授業の展開ー中学校理科「化学変化と原子・分子」の授業実践ー, 日本理科教育学会全国大会発表論文集, 第9号, 276.
- 文部科学省 (2008): 中学校学習指導要領解説理科編, 大日本図書.
- 山下芳樹・池田幸夫 (2003): 文化として学ぶ物理科学, 丸善株式会社.