

化学反応のより明確な理解を目指した高等学校化学の「銀鏡反応」教材の開発

梶原 篤

(奈良教育大学理科教育)

前田久三代

(奈良教育大学理科教育)

Development of Teaching Materials of Silver Millar Test at High School for Better Understanding of Chemistry

Atsushi KAJIWARA and Kumiyo MAEDA

Nara University of Education

要旨：奈良教育大学大学院教育実践開発専攻、カリキュラム開発専修のカリキュラム開発分野の情報・ものづくり教育系で開講している授業「ものづくり教育内容学（高分子材料と環境）」から派生した教育実践の試みをまとめた。高等学校の化学の授業で実験としてよく取り上げられる課題ながら再現性を確保することが難しい「銀鏡反応」を対象として選び、試行錯誤を繰り返して、「手鏡づくり」という教材として提案する。再現性に乏しい結果になる主要な問題点は、還元反応の際に振動を与えるとガラス表面への吸着が阻害されるという点と、還元剤としてのアルデヒドの濃度の調節にあると考えられた。実際に高等学校で授業として実施して、その結果の検討も行った。また、学生独自の取り組みとして、東アジア地域の教育支援活動を行う傍ら、現地の水を採用してその水質検査にも取り組み始めている。こちらも教材としての可能性があるため、現時点までに得られている結果を簡単に紹介した。日本の水がすべてにおいて不純物が最も少ないわけではないという結果である。

キーワード：総合的な学習の時間、教材開発、教育実践開発専攻、カリキュラム開発専修、奈良教育大学大学院、理科教育

1. はじめに

奈良教育大学大学院教育実践開発専攻、カリキュラム開発専修のカリキュラム開発分野の情報・ものづくり教育系で、「ものづくり教育内容学（高分子材料と環境）」という授業を展開している。この授業の目的は「ものづくりを土台とした総合的な学習の時間を開発する資質を与える」ことにある（シラバスより）。担当者の専門が高分子合成化学を中心とした材料化学であるので、主としてプラスチックやゴムなどの高分子材料を素材とした活かした形での、総合的な学習の時間の教材として使えるような材料開発を目指している。受講する学生には、できればそのような高分子材料を用いた教材開発の提案を行うことを課題としている。そのほかの化学をもとにした教材の開発でもかまわないとも伝えている。本稿は本年度初めて行ったこの大学院の授業から派生した成果である。

本稿で取り上げる内容は「手鏡づくり」であるが、最後に受講生の個人的な興味と取り組みをもとにした

「アジア各国の水質調査」に関する成果も、国際理解教育や環境教育に関する教材の可能性を持つものとして紹介している。

2. 開発の動機と経緯

この授業を受講する学生は将来理科の教員になることを目指している場合が多いと想定でき、本年度の受講生も実際にそうであった。小学校から高等学校にいたるまで、理科の授業では実験をできるだけ多く見せるほうが良いと思われる。そのための実験書も数多く出版されている。しかし、実際には実験は実験書通りに進むものではなく、実験になれていない人が見よう見まねで実施しようとするとうまくいかないことが多い。本稿で取りあげる「銀鏡反応」も鏡作りなどでいまでも広く用いられている反応でありながら、教室ではなかなか再現性を確保することの難しい実験のひとつである。しかしこの課題はアルデヒドの還元能

と、アルデヒドにより還元されて0価の単体に戻り輝きを取り戻す銀イオンの性質を目の当たりにできる酸化還元反応の教材であり、アルデヒドとして糖を用いると、糖の異性化反応を理解するための教材にもなりうるなど、いろいろな角度からの理解ができる課題である。

ここでは還元剤となるアルデヒドとしてホルムアルデヒドを用いた。ホルムアルデヒドは近年、シックハウス症候群との関連で注目されている物質でもある。教材、特に総合的な学習も意識した教材として提案するに当たり、鏡の歴史を導入部分として、人類がどのように鏡を作ってきたかという話から、化学の授業で学ぶ銀鏡反応でいまだにつくられているという点や、日本における鏡の製造などにも触れながら、銀鏡反応を利用した手鏡作りという授業にした。実際に京都府下の某高等学校で授業として実施し、その際の生徒のアンケート結果も掲載した。

本稿の後半には、大学院の受講生の学生が取り組んでいる東アジアへの教育支援活動の傍ら地道に取り組んでいるアジア各地の水質検査の結果を簡単に紹介した。これも、今後の展開しだいでは興味深い教材となる可能性を秘めていると考えている。

高等学校「化学 I」の実験教材の提案 ——手鏡づくり——

1. はじめに

高校生の化学分野におけるアルデヒドの還元性の単元で、銀鏡反応という化学反応を学ぶ。銀鏡反応は、私たちの日常では「鏡」に利用されている。ガラスの裏に銀を付着させることによって、鏡を作っている。銀鏡反応は教科書にも資料集にも必ず載っている実験であり、実験方法のマニュアルも存在する。実験書に載っているものは試験管の内壁面に銀を付着させるというものが一般的である。

しかし、生徒実験で銀鏡反応を利用して鏡をつくるとなると話は別である。きれいな鏡を作るには非常に厳密な条件が必要であり、実際やってみると驚くほど再現性の低いことが多い。今回、試行錯誤の末、失敗の少ない鏡づくりの方法のひとつを見つけることができた。その方法を教育現場で提案したい。銀鏡反応を用いてスライドガラスに銀を付着させ、自分の手鏡と作るというのが今回の実験である。

2. 鏡の歴史

古代の遺跡から銅鏡が出土するように人類は古くから鏡を使ってきた。現代は銀鏡反応で作られている鏡を作るために人類は試行錯誤を重ねてきた。14世紀にベネチアで水銀アマルガムを用いた鏡の製法が考え出され、その後、19世紀になって、ドイツで銀鏡反応を

利用した銀メッキによる方法が開発された。

3. 実験のねらい

化学反応を通した「ものづくり」を学ぶ。「鏡」のような身近なものにも化学が隠れていることを知る。銀イオンを酸化還元反応により0価の銀にもどしてガラス表面に定着させるには化学物質との反応による場合や電気化学的に反応させる場合などがあり、いずれの場合にも目に見える変化が起こることや身近なものを作ることができることから教材として適当と考えられる。

4. 準備

試薬：硝酸銀、蒸留水、アンモニア水、ホルマリン
器具：200 ml三角フラスコ、こまごめピペット、葉さじ、プラスチック容器、新聞紙、スポンジ、スライドガラス、わりばし、ピンセット、布テープ

5. 実験

- ① 班に分かれて作業する。0.7g (4.1×10^{-3} mol)の硝酸銀を蒸留水に溶かし、0.1mol/l水溶液40 mlを調製する。
- ② 1 mol/lのアンモニア水を事前に調製しておき、各班に約10mlずつつけておく。①で調製した硝酸銀水溶液にアンモニア水を加えていくと、褐色の沈殿ができるが、さらにアンモニア水を加えていくと再び透明になる。このとき、完全に透明になる直前に止めるのがポイント。
- ③ ②で作ったアンモニア性硝酸銀水溶液をろ過する。ろ過の方法は通常の方法でよいが、ろ紙は4枚程度重ねるようにする。
- ④ ③をもう一度行う。
- ⑤ ろ過したアンモニア性硝酸銀水溶液を40 ml程度はかりとり、プラスチック容器に移す。
- ⑥ ホルマリン(ホルムアルデヒドの37%水溶液)を、こまごめピペットで0.4mlとり、トレイにまんべんなく滴下し、トレイを動かして振り混ぜてすぐにスライドガラスをそっと沈める。このとき、汚れがつくと銀の付着が悪くなるのでスライドガラスの淵をもっていること。
- ⑦ 10分間そのままの状態であまり動かさないこと。
- ⑧ 10分後、割り箸でスライドガラスを取り出し、水道水でよくすすぐ。
- ⑨ 顔が映っているほうの面を、スポンジでよくこそげ落としてきれいにする。
- ⑩ ⑧の面を下にして、新聞紙の上に置き、しばらく乾かす。
- ⑪ 布テープを濁っている方の面に貼って、飾れば手鏡の完成。

6. 実験を考えるにあたって

- 銀鏡反応においては一般的に②のアンモニア性硝酸銀水溶液の調製が難しいかと思われる。アンモニアを加えるのをやめるタイミングは、少し濁っているぐらいでいい。ろ紙を4枚重ねにしてろ過すると濁りはとれて透明のアンモニア性硝酸銀水溶液ができる。
- ⑤で用いられるトレイはプラスチック製のものがよい。銀はガラスに付着する性質があるのでシャーレなどは使えない。サイズについては、班の人数分のスライドガラスがちょうど入るぐらいの大きさのものが使用しやすい。
- スライドガラスは新品のものを使用し、小さなホコリまでもふき取ること。少しでも汚れがあると、その場所だけ銀が付着しない。
- ⑥においては、すばやく振って、すぐに静止させ、それから十分間は絶対に動かさないことを十分に指示する。
- 銀を付着させた後、上になっていた方の面には絶対に触らないよう指示すること。銀がはがれてしまう。

7. 実際の授業から

- ⑥の作業が一番難しかったようだ。ホルマリンをすばやく混合しなければいけないのに、ピペットからポタポタ少しずつ落として鏡にムラができた、という班があった。やり直させるとうまくいった。
- ②のアンモニア性硝酸銀水溶液の調整だが、多くの班でアンモニア水を加えすぎて完全に透明にしてしまう。その際は硝酸銀を少量加えさせると、やり直すことができるので、生徒にも調整することができた。
- 「自分の鏡」を作るという気持ちがあったせいかな、きれいにできたかどうか、にこだわる生徒が多かった。

8. 生徒の感想より

- こんな方法で鏡が作れるとは思っていませんでした。
- こんなカンタンに手鏡が出来るんだなあってビックリしました。
- 銀をガラスにくっつけるだけでできるんだなあと思いました。
- 鏡の作り方を知っておどろきました。
- マイ手鏡が作れて嬉しかった。手に銀がついた、最悪だ。
- メッキがはがれちゃうと、またガラスにもどって不思議やった。また実験したい。
- 最初は「うそやろ～」と思っていたけど、や

っていくうちにだんだん鏡になっていってびっくりした。最後には本当に鏡になって・・・。科学って何でもできるんだなあ～と、改めて思った。

- カガミは大切にかざっておきます。
- 小さいころから、鏡ってどうやってできてるのかなあ、と思っていたので謎が解決した感じです。
- 手鏡は一回失敗しちゃったけど、もう一回やったらうまくいった。

アンケートは京都府下の某高等学校の2年生の化学の授業後に実施した。アンケート結果や実際の授業中の生徒の態度などを見ていると、「鏡」ができたこと自体に驚いた生徒が多かった。また、「自分の鏡」が作れたことが喜びになったようだ。さらに「鏡づくり」を通して「身近なところに科学が存在していること」を知った生徒が多かった。

ものづくりとしての銀鏡反応という面では、手鏡を自分の手で、鏡になるとは思えないような材料から作ることができるという点が重要であると考えられる。そこには化学反応があり、元素は反応を通じてイオンになったり、単体に戻ったりと変幻自在に変化する。化学の入り口はいつの時代でも色が変わったり、光ったり、音が出たり、といった何かがガラッと変わる点にあり、その先に豊かで有用な学問の世界が広がっている。高等学校の生徒がこれをきっかけにその点を理解してくれると大変ありがたいと思う。

この銀鏡反応の実験の準備および実施に当たって特に注意すべき点は以下のとおりである。

- アンモニア水を薄めるときは、局所排気装置のついた場所で、安全に実験を行うための手順を厳守する。アンモニアやホルマリンを用いる際は、十分な換気のもとで行い、使用後はすぐにふたを閉めること。
- 硝酸銀水溶液が手につくと、数時間後に銀の黒いシミができる。無害であるが、洗っても簡単にはとれないので、水溶液を触ったら早めに洗い流す方がよい。
- 机が汚れてしまったときや、スライドガラスに付着した銀を再び落としたいときは、希硝酸で拭くととれる。硝酸を薄める際は安全に実験を行うための手順を厳守する。
- アンモニア性硝酸銀水溶液を長期間保存しておくと、爆発性の窒化銀(I) (Ag_3N) が生成するので大変危険である。アンモニア性硝酸銀水溶液は作ったならばなるべく早く使い、反応が終わった後の廃液もすぐに処理または廃棄すること。

素の一つ。リンは、自然界では動物や植物の死骸が分解してできるもの。人工的なものではリンがふくまれている合成洗剤やボディシャンプーなど、台所などの生活排水、化学肥料や農薬によるもの、人間や家畜のし尿などがある。

⑤ COD (化学的酸素消費量)

水のごれを知る上でとても重要な目安として、水の中の有機物の量が挙げられる。

1. 測定方法

パックテストによる

2. 測定場所

A: フィリピン パナイ島アンティーク県パンダン町
マロンパティ水源より家庭に引かれた水

B: タイ ナン県ターワンバ郡バトン村
バーナムラック小学校 手洗い場の水道水

C: ネパール ノールパラシイ ピトゥリー村
小学校 手洗い場の水道水

D: マレーシア サラワク州 クチン
民家の水道水

E: カンボジア プノンペン
ホテルの水道水

F: インドネシア

G: 日本 奈良県 奈良市高畑町
奈良教育大学 水道水

H: マレーシア サラワク州クチン
サラワク川の水

I: インド ベナレス
ガンジス川の水

J: カンボジア プノンペン
メコン川の水

これらの水の試料は著者が現地を訪問した際に検査をしたもの (A, D, H, I)、現地を訪問した人に頼んで検査をしてもらったものがある。

3. 測定結果を以下の表に示す。一部の結果は棒グラフでも示した。

4. 結果と考察

検査の結果は以下のとおりである。

- アンモニウムの値は、日本の水道水だけがゼロだった。日本の浄水場では、し尿や家庭排水、工場排水などの汚れを十分に除去しているようだ。

- ネパール、インドネシア、マレーシアの水道水では、し尿や家庭排水などの汚れが十分に除去していないようだ。

- 硝酸の値が、日本の水道水で高い。硝酸は浄水場で除去しないため、このような結果になったと思われる。

- リン酸の値が、インド (ガンジス川) で高く、次いでタイが高い。リン酸は、生活排水に入っているため、ガンジス川に多いことは納得できる。しかし、タイの小学校の水道水に生活排水に含まれるリン酸が多いのは疑問であった。調べたところ、リン酸は、高い山の土壌中の成分に多く含まれることが分かった。タイのバーナムラック小学校のすぐ前には高い山があったので、その山の土壌に含まれるリン酸が水道水に溶け込んでしまっている可能性が高いと考えられる。

この調査はまだ不十分で、試料の数をもう少し増やさないといろいろな議論をするのは困難である。

また、水の状態、特に川の水の状態は季節によって大きく変わるので、いろいろな季節の水についても今後調べていきたい。

現地の人々の生活の現状とこの結果とのかかわりについても、もう少し調査が必要で、人々の生活と直接かわる水の、その係わり合いの部分をもう少し詳しく調べたいと思っている。

高等学校での教材としては、調査をして初めてわかることがある。清浄そうに見えても化学反応を利用した試験をすることにより、目に見えないイオンなどの化学物質を視覚化して検出することができる。また、数値化して国別の比較をすることにより、アジア各国の状況と比較して学ぶこともできる。試験は簡単で、問題意識さえ持てば誰にでもできる。このようなデータは国際機関によるものなど探せば詳しいものがあると思われるが、このような形で教材化することの利点の一つに、現地に行った教員が自分の体験をもとに生徒に語りかけることができるという点がある。化学を教えている教員が、自分の体験から、化学反応を利用した水質検査の結果とそれをしようとした動機とを語るとき、結果は化学の範囲を超え、教科の枠を超えて、自分たちの身の回りの出来事を高校生自身が考えるきっかけを与えるかもしれない。

いろいろなものがブラックボックスの中に入ってしまう、仕組みを詳しく知らなくても日常的に何の不便も無いことが多い。しかし、理科教育としては便利な仕組みの裏に隠れている物理や化学を理解してほしい。

以下に、このような活動に取り組んだ大学院生の感想を示す。

世界の5人に一人、すなわち約12億人は、安全な水を確保できないといわれている。世界の約半数の人たちが不衛生な状況の下に置かれているといわれている。NGO活動に取り組む過程で、自分なら到底飲むことができないと思うような水を日常的に飲んでいる人々の生活に直接的にかかわった。この現実、私が学んできた科学的な視野を加えることによって、「かわいそう」だけを学ぶのではなく、自分たちが水問題に対してどのような取り組みができるか、の糸口にし

ていければと考える。

世界をとりまく水事情、それが今の国際化社会では他人事ではないことを知ってほしい。

実際、水は様々な輸入品（果物、肉、その他）に含まれており（それをバーチャルウォーターと呼ぶのだが）、国内の農業用水の約2倍もの水が輸入されている。これと関連させても私たちの生活は世界の水と関係が深いことになる。世界をとりまく水事情を意識させること、また世界には水が悪くて生きられない人がいることを教えるべきだと思う。

表1 いろいろな場所で採取した水のパックテストの結果

		アンモニウムイオン (NH ₄ ⁺) ppm	硝酸イオン (NO ₃ ⁻) ppm	亜硝酸イオン (NO ₂ ⁻) ppm	リン酸イオン (PO ₄ ³⁻) ppm	COD ppm
A	フィリピン (水道水)	0.2	1	未測定	0	未測定
B	タイ (水道水)	0.2	1	未測定	0.2	未測定
C	ネパール (水道水)	1	0	未測定	0	未測定
D	マレーシア (水道水)	0.4	3	0.1	0.1	0
E	カンボジア (水道水)	0.1	0.1	0	0	6
F	インドネシア (水道水)	0.5	0.2	0.005	0.1	0
G	日本 (水道水)	0	2	0	0	0
H	マレーシア (サラワク川)	0.2	0.2	0	0.05	8
I	インド (ガンジス川)	0.2	2	0.02	0.5	8
J	カンボジア (メコン川)	0.2	1	0	0	6

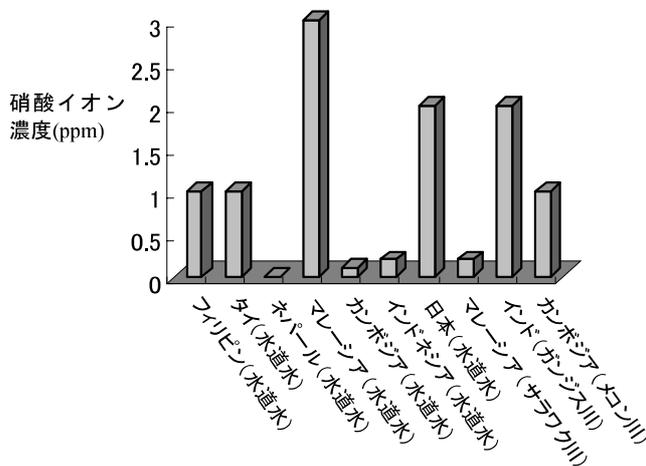


図4 表1の結果のうち、硝酸の結果を左に棒グラフで示す。数値のみを示すよりも、それぞれの場所における結果の違いがよくわかる。