

不思議さから解く化学実験の科学性と教材性

長 沼 健 (愛知教育大学理科教育講座)

(2003年11月25日受理)

Science and Teaching Material of Entertaining Chemical Experiment

Takeshi NAGANUMA (Department of Science Education, Aichi University of Education)

要約 小学生向けのマジック的要素の大きな化学実験について、そのタネ明しを実験で科学的に行った実践から、実験の必要性を感じさせる方策を探った。題材にした実験は「蒸発熱を利用したクリスマスツリーに雪を降らせる」「青いフラスコから溶存酸素を測る」「燃える水の秘密」で化学理論と授業実践を通した教材化について検討した。結論として、反応を起す条件があり、その条件をどのように探すかが科学的素養になるであろう。

Keywords: 化学マジック, タネ明し, 反応の条件

1. はじめに

児童生徒の理科離れをキッカケに、多くの小中学校が実験教室開催の要望を大学に寄せてきた。一方、大学側も大学生の子どもへの接し方の経験、実践的指導力の基礎育成として文部科学省フレンドシップ事業が立ち上げられた。本学のフレンドシップ事業については稲葉がまとめている。この中で小学校の実践がイベント形式(移動式)が多いのに対し、中学校では講座形式(固定型)がほとんどである。小学校は学生が多数参加し、たのしい実験を児童のために行っているがイベント形式になりやすく視覚・体験的で留めるために科学的論理を伝えることは少ない。実際には生徒の理科離れは、中学校以降に表れると考えた方が正しい。専門家として呼ばれることが多い立場から、これらの講座をどのように持つかは意味が大きい。近年高等学校から依頼も増えた、例えば愛知県高校文化サークル連盟(以下高文連という)や日本化学会創立125周年事業「高校出前授業」などがある。筆者も6~7回の中学生・高校生向けを担当した。そこで、小学校で現象的に見せた実験の謎を論理的に解明して行く過程を授業としたいとの発想で、教材化に取り組んだ。「謎解き」からわかる楽しさを実験で追究することは、実験科学の持つ魅力であろう。以下はその科学性の解説とその追究過程の研究内容と実践報告である。

2. 教材化した内容

小学校の実践で好評で不思議さが残る化学的な題材を取り上げることとした。最終的に実践まで行ったのは以下の内容である。

- 1) 「クリスマスツリーに雪が降る」(高校生)
- 2) 「青いフラスコから溶存酸素を測る」(中学生・高校生)
- 3) 「燃える水」(中学生・高校生)

以下、これらの授業案と科学理論について述べる。

2・1 クリスマスツリーに雪が降る

この実験は、夏であってもクリスマスツリーの型に切り取ったフェルト布に「アクリル用接着剤」を数ml垂らすと、やがて布の上に雪が積もる、という不思議な実験である。なお、この実験は常夏のタイ王国やカンボジアでも大好評であった(本物の雪を見たことがない国なので)。理論的には、気体が蒸発するときに周りから熱を奪う蒸発熱の作用であるが、奪われる熱量が著しく大きい場合には空気中の水分が凍ることになる。水分は常温で空気中では水蒸気(気体)であるが、それが水(液体)そして氷(固体)になる過程でどれだけの熱量が必要かは、高校生なら理解できる。通常この現象を体験できるのは注射の時のアルコール消毒時に肌がスーと冷たく感じることであるが、この原理が利用されている冷蔵庫のしくみについては意外と知られていない。

生徒は、アクリル接着剤の成分は何か、またどういう溶媒がこのような性質を示すのかを追究することにした。用いた溶媒は、アセトン、エタノール、ジクロロメタン、ペンタンを主として用いた。他にメタノール、ジエチルエーテル、クロロホルムなども教材の検討を行った。時間の関係で溶媒を選択する場合は、ジクロロメタンとエタノールを共通で行い、各班に一つずつ異なる溶媒を渡し調べてまとめる方法が良い。

さらに発展的には、エネルギーの計算(水が気体から固体になる熱量=液体が気化するときに奪う熱量)を行うと定量的な扱いとして論議できる。表1に高校で行った授業記録を載せる。

(表1) 「クリスマスツリーに雪が降る」授業記録

日時：2003年11月7日(金)第5限 (50分)

実践校：岐阜県立各務原高校2年 (36名) 授業者：長沼 健 (日本化学会「出前授業」講師)

	教師の活動	生徒の活動
導入	(実験プリントを配布) 自己紹介と科学への導入のためにクイズとマジックを出す。 ◇燃える水／このマジックの可能な条件を訊ねる ・条件の整理「燃えるもの」「水に浮いて混ざらないもの」 ◇どっちが早い／長短のろうソクに火をつけ、ふたで密閉したらどっちが早く消えるか	(実験台に器材等は配布済) 教卓前に集まる ・燃える水への返答「何か入れた」 ・「長い方」「短い方」「同時」の中から選択 挙手ではやや「短い方」の答えが多かった
実験	◇本題のクリスマスツリーの演示実験 雪を降らせる溶媒の条件を探す ・指示(1)クリスマスツリーで雪が降るか確認する ・指示(2)ティッシュを巻いた温度計を溶媒につけ、取り出して何℃温度が降下するかを調べる。 ・温度測定は時間がかかるので分担 (演示実験後各実験台に戻る)	実験準備 ・クリスマスツリーの作成 ・溶媒を垂らし雪がつくかを観察 ・温度計の準備 ・溶媒につけて取り出し温度を測定
まとめ	◇実験結果を各班から答えてもらい溶媒ごとに示し、物性の数値も示す。 ・この結果から、生徒の意見を聞き蒸発熱の小さなものが可能であることを示唆 ・ここで、他の要因として水への溶解性について問いかける ・まとめをする	実験結果をプリントに記入 ・蒸発熱、沸点などの関係を答える ・他の意見です

ここで蒸発熱との関係(蒸発熱が沸点と相関性があることにも気づかせておけば、蒸発熱のデータがない場合でも推測できる。これで、解決と思わせておいて、この実験では他の要因も関係しているという結末にしている。このことは、頭で考えただけなら(理論では)蒸発熱との関係で正解であるが、実験は雪が降るかという問題であるため、気化する溶媒と結晶化する水が布の表面上で接触し雪にならないという現実がある。私たちはなぜ実験が必要なのでしょうか。当然起こり得ると思ったことが起こらず、起こらないと思ったことが起こることがあります。条件はいくつもあってそれを観察できるのは実験からだと考えている。

したがって、この授業の狙いは幾つかあるが、まとめてみると次のようになる。

1) 液体の気化による気化熱のために周りから熱を奪う。そのエネルギーが大きければ、空気中の水分が氷となる。状態変化のときにエネルギーのやりとが行われる。(物質変化とエネルギー変化)

2) 物質により蒸発熱の大きさは異なるが、一般に沸点との関係がみられる。蒸発熱の不明な場合は沸点等の他の物理化学的データで推測が可能である。(データからの推測)

3) 実際の現象を説明するのは理論だけでは説明できない場合が多い。(物質の反応を考慮)

実際の実験結果を表2に示す。

(実験手順)

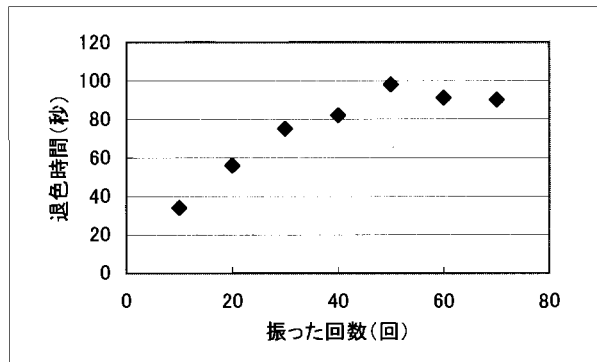
栓のついた容器中の1%水酸化ナトリウム溶液100mlに、グルコース2gを溶かしメチレンブルー溶液1mlを入れると、最初青色を示すが、やがて無色になる。この容器を同じスピードで振る。

振ると青色になるので、そこから時間計測を行い、無色に戻るまでの退色時間を測定する。この時間は水に溶けている酸素の量に比例する。この項については別に報告することになっている。

図3は中学校における振った回数と退色時間との関係を示したものである。当初教師からの指示は10, 20, 30回のデータをとるようにと出すが、直線的に伸びることから、自主的にさらに回数を増やして振るようになる。結果は図3のように、頭打ちのグラフとなり予想とずれることになる。

図4には高校生による温度変化の退色時間を表している。

(図3) 振った回数と退色時間の関係



(図4) 水温と退色時間の関係

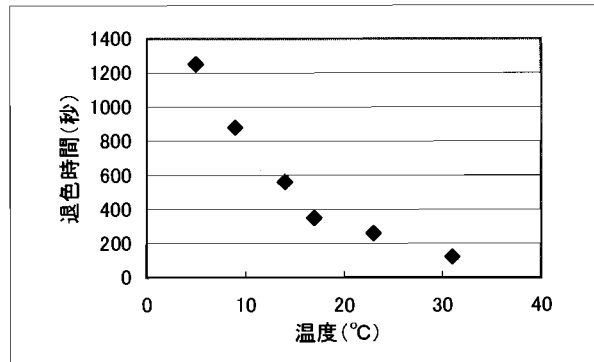


図3で、生徒は頭打ちのグラフについては、納得がいかない様子で、水に溶ける酸素量の条件が単一でないことを知る。実際には気体の水への溶解度は一部を除いてかなり小さく、酸素では20℃で1気圧で水

100mlに溶ける量は3mlである。気体にも溶解度があることがわかる。

授業記録を表3に示す

(表3)

生徒の活動	指導上の留意点
①青いフラスコのマジックを見る ・色の変化の仕組みを理解する ②実験の説明を受ける ・振る回数を変えるとどうなるかを実験する。 ③実験開始 ④実験結果を発表し、わかったことをワークシートに記入する ・グラフに表し、各班の比較	○メチレンブルーは、空気中の酸素と反応することを説明 ○水酸化ナトリウムの計量を監視する ○退色した時間がわかりにくいので机間巡視 ○実験結果から酸素量との関係を気づかせる 気体の溶解度の概念を示唆

高校生の場合は、

②実験の説明を受ける ・無色の状態の液をつくり温度の異なる水をプラスチック注射器に20mlとり、無色の溶液5mlをさらに加えて青くなった液が無色になるまでの時間を測る	○水温は20℃以下ではかなり退色まで時間がかかるので、50℃や30℃くらいを比べるのが良い
--	---

2・3 燃える水

生徒に封を切ってもらった飲料水をコップに一杯注ぎ、その水面に火を近づけると水が燃えあがる。これを授業として組みたててみた。

(表4)

活動内容	生徒の思考
演示実験 ①水が燃える理由 ②どんなものが入っているか？ ③この中の液体のどれが使えるか 調べる。(5種の溶媒を用意) ④実験方法を指示・燃やし方 ・浮く調べ方 ⑤まとめ	生徒参加 答え・何か入っている ・アルコールだ 答え・燃えるもの ・水に浮くもの 実験1 ルツボの中に溶媒を少し入れ点火(消火はぬれ雑巾) 実験2 試験管内で色紅水と混ぜ様子をみる まとめの表に○, ×を記入

この実験は2つの条件が合致したものが正解になる。条件が多くなればこの実験回数を多くすれば良いことで科学的な方法を学ぶ初歩といえる。

また、この中で教育的な視点として重要なことは、物質を見る目を育てることにある。「燃える」という現象でもメタノール、エタノール、プロパノールと炭素鎖の大きくなるほど炎の色が赤みを出すなどが実験で

観察できる。本来の目的以外で物質感を養うことができる。もう一つは、ルツボの中の火をぬれ雑巾で消すという操作はやりそうでありやらない操作であり安全教育に利用できる。

この実験は条件が2つあり、それで決まるという明快さがあり、中学校の実践で行っている。結果を下記(表5)に示す

(表5)

	燃える	水を加えた時	2つの条件をクリア
メタノール	○	×混ざる	
エタノール	○	×混ざる	
プロパノール	○	×混ざる	
石油ベンジン	○	○浮く	○
灯油	×	○浮く	
灯油	×	○浮く	

4. 受講者の声

・「燃える水」と「青いフラスコ」というマジックのタネを皆でかんがえているとき、私もいろいろ考えてはいたんですけど、とても難しかったです。いろいろ実験して、皆で考えて、マジックのタネがわかったときは、とても驚いたしうれしかったです。実験の反応を「マジック」として考えているところをとっても楽しいと思いました。(中学生)

・化学マジックのタネ明しでもただ単にタネを明してやらせるのではなく、あくまでもそのタネを探させる姿勢がよかった(複数、高校生)

・いろいろな薬品を使って本格的で結果もはっきりしていて、興味深い実験ばかりでした。楽しくできましたと思います。(高校教員)

かなりの人が、実験で確かめることができたと言

の有効性について書かれていた。単に実験が操作法の習得ではなく、正に真実を追究するための道具であり、その方法を考えることが科学なのだ、と気づいて欲しい。

5 不思議な実験のまとめ

ここでは、「クリスマスツリーに雪を降らす」「青いフラスコから溶存酸素を測る」「燃える水」の3つについて述べたが、実験方法の詳細については前者2つについては、本学理科教官有志刊「サイエンス・エクスペローラー」に掲載してある。また、これらを含めた教材実験集を試作している。

前者2つは、わかりやすい条件だけで、「わかった」と思ってやってみると、意外と思い通り(理論通り)にいかない場合が多い。実際に実験を役立てようとい

うのは、このような場面に遭遇することが必要ではないであろうか。大学3年までの化学実験は、教師の用意した器具・薬品を使ってプリント通りに手順をこなし、わかっている結果にたどりつけばよし、の実験が多い気がする。

そういう点で、これらの実験は、もう一捻りして結論を導くように考えられている。最後の一つは、条件をクリアしたものが答えという単純さはあるが、実験してみると炎に煙がでたり臭いがあつたりと、五感を使って物質を体験することが必要になってくる。

謝辞

本実験は筆者ならびに指導卒研究生が学校の授業時間に実践を行ったものをまとめたものである。以下に実践日および実践学校校を記し校長先生はじめ関係の先生に謝意を表します。また、授業を担当してくれた卒研究生にも感謝いたします。

2000.11	高文連実験講座	坂田周一
2001.10	岡崎市立竜海中学校	塚本 浩二
2001.11	瀬戸市立光陵中学校	塚本 浩二
2001.11	刈谷市立朝日中学校	塚本 浩二
2002.10	岡崎市立竜海中学校	太田みちる
2002.11	高文連実験講座	太田みちる
2003.7	静岡県立清水西高校	長沼 健
2003.11	岐阜県立各務原高校	長沼 健

参考文献

- 1) 稲葉吉則「平成14年度修士論文」愛教大(2003)
- 2) 後藤道夫他「おもしろ理科実験2」
- 3) L.A.フォード「化学マジック」白揚社(1960)
- 4) Lee.R他(日本化学会訳)「続実験による化学への招待」,丸善(1989)
- 5) 菅沼,岩山,稲毛,三宅編「サイエンス・エクスプローラー」愛教大(2003)