

研究主題

理科室保管薬品「塩化コバルト」を示温剤として用いた
サーモクロミック教材の開発

要約： 現行指導要領（平成 10 年・平成 16 年一部補訂）における義務教育用理科の教科書では、視覚に訴える教材が多数取り上げられている。教科書から色変化を利用した教材を抜き出してみると、サーモテープ・ヨウ素溶液・リトマス紙・BTB 溶液・フェノールフタレイン溶液・塩化コバルト紙・ベネジクト溶液などがある。これらの教材の特徴は、扱いが簡単であり変化が明瞭なことがあげられる。児童生徒の関心・意欲・態度を高め、科学的思考力を伸ばし、教師側も意欲的に取り扱うことができる教材があれば、理科の授業はもっと深まるのではないかと考えた。本研究では、特に示温材料に注目し、小学校及び中学校の理科室保管薬品「塩化コバルト」を活用した教材開発を行った。

キーワード： 理科室保管薬品、扱いが簡単、学校にあるもので製作、呈色反応

I はじめに

(1) 小学校教材

小学校第 4 学年では「金属、水、空気のあたたまり方」を学習する。その際、教材として教科書会社 5 社においてサーモテープ（温度変色テープ）が使用されている。

温度変色テープの便利さは箱からすぐ取り出せて、児童もすぐに使用できること、色変化が明瞭（黄→橙）であることである。

しかし、この原材料は水銀系化合物である。一昨年 7 月に施行された欧州 RoHS 指令（有害物規制）において水銀系化合物は規制対象物質となった。新指導要領の発表が迫るなか、代替品の開発が望まれる。

本研究では、理科室保管薬品「塩化コバルト」を使用し、教師が自ら作製できる示温教材の開発を行った。

(2) 中学校教材

中学校第 1 学年では「物質の状態変化」について学習する。物質の沸点の違いにより物質の分離を見いだす蒸留の実験が取り上げられている。教科書会社 5 社ではいずれも水とエチルアルコールの混合溶液を使用している。また、ワイン・ミリンなども欄外などで紹介されている。

この実験はエチルアルコールの沸点と水の沸点の違いを利用したものであるが、急激な温度上昇や留分の組成変化のわかりづらさが難点としてあげられる。

本研究では、実験結果に直接影響を及ぼさず、エチルアルコール沸点付近で一旦変色し、更にエチルアルコールの沸点が過ぎた後で再度変色する示温材料として、小学校教材と同様に、理科室保管薬品「塩化コバルト」に注目し、そのソルバトクロミズム、サーモクロミズムを利用した教材開発を行った。

II 小学校教材

(1) サーモテープ（温度変色テープ）と RoHS 指令

① 教科書で使用されている温度変色テープについて

教科書で使用されている温度変色テープは、40～70℃の範囲で黄色→橙色の変化が見られ、可逆性を示す。ここで、示温剤として使われているのは $\text{Ag}_2[\text{HgI}_4]$ あるいは $\text{Cu}_2[\text{HgI}_4]$ である。

② RoHS 指令とは

RoHS 指令は欧州連合による指令で、2003 年 2 月に公布され 2006 年 7 月から施行された。

内容は、「電子・電気機器における特定有害物質の使用制限」であり、Cd・Pb・Cr・Hg・Br 及び PBB の 6 物質の使用を制限している。今後様々な分野での制限が予想されている。少なくとも欧州への輸出に制限をうけるため、国内における生産においても脱水銀の動きがある。

③ 温度変色テープの教材開発について

温度変色テープに使用されている物質は水銀系化合物であり、RoHS 指令で制限されているため、今後規制対象が拡大されれば温度変色テープは使用禁止となる。現在、各教科書会社が同じ温度変色テープの使用により実験を行っていることを考えると、代替品の開発が急務となる。

本研究により教材開発を行う「塩化コバルト」は RoHS 指令の規制対象 6 物質以外の遷移金属を含む物質であり、規制をクリアしている。また、温度変化によって物質の色が可逆的に変化するサーモクロミズムの性質を持っているため、従来の温度変色テープと同じ使い方が期待できる。

※ サーモテープは商品名のため、以後温度変色テープとする。

(2) 温度変色テープの製作

① 製作上の注意

小学校で実際に製作することを考えると、1. で述べた通り、時間と手間がかかる物は使用しない方がよい。つまり現状において、すでに学校にある物や購入しやすいものを利用し教材化することが望まれる。

温度変色テープの実験使用を考えると、次の課題が考えられた。

- i 薬品を密閉できること
- ii 変色が確認しやすいこと
- iii 薄く試験管に入る大きさになること
- iv 加熱に耐えうること

課題解決のため、学校用品を教材・教具カタログから見直した。

② 製作手順

- i ラミネートシートの切断

金属板の熱の伝わり方の実験を行う際に、児童自ら配置出来るよう1.5～2cmに切断する。通常使用する試験管では、少し大きすぎて入らない。水のあたたまり方で使用するとき、ひとまわり小さくするか、試験管を太くする。(写真2-1)

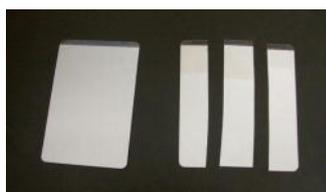


写真2-1
ラミネートシート

- ii 両面テープの貼り付け

ラミネートシートの片側の1cm幅の両面テープを貼り付ける。あまり端まで貼り付けるとラミネートが十分でなくなり試料が完全に密封されない。(写真2-2)

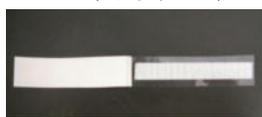


写真2-2
両面テープ貼り付け

- iii 試料の調整

試料をすり潰す。塩化コバルト(II)六水和物と低融点アルコールを1:3で混合する。調整した試料は両面テープに塗るためにステンシル用ハケを用いる。(写真2-3)



写真2-3
調整試料とハケ

※ 使用する低融点アルコール
30～40℃ 1-トリデカノール
40～50℃ 1-ペンタデカノール
60℃～ 塩化コバルトのみ

- iv 試料を塗る(その1)

両面テープの表面に試料を塗っていく。ハケに試料をつけ、軽くはたき、斑が出来ないように薄くぬる。(写真2-4)



写真2-4
試料を塗る

- v 試料を塗る(その2)

両面テープ全体に試料を斑なくぬる。ラミネートする際、両面テープ以外に試料が付着するときちゃんと密閉されないので余分な試料ははらう。(写真2-5)

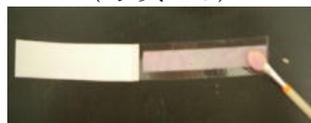


写真2-5
試料を塗り終わったもの

- vi ラミネートする

可逆性はあるが、使用時までなるべく変化を起こさせないために低温パウチでラミネートする。(写真2-6)



写真2-6
ラミネート

- vii 温度変色テープの完成

ラミネート後の仕上がった温度変色テープ。(写真2-7)



写真2-7
完成品

- viii 製品チェック

変色温度に設定した温浴中で変色を確認する。(写真2-8) 写真は50～60℃での変色剤を塗布したテープである。お湯につかっていた部分のみ、青色に変色する。

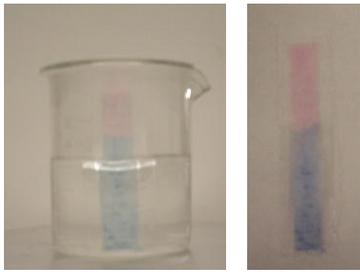


写真2-8
65℃の温浴中
での変色

i ~ viii の手順による操作だが、視覚的にピンク色→青色と見やすい製品となった。

Ⅲ 中学校教材

(1) 蒸留実験について

純粋な物質は特定の沸点が決まってお
り、混合物では一定した沸点がないことを
学習した後、「蒸留」の実験が行われる。
蒸留では、どの教科書もエチルアルコール
と水の混合溶液を使用している。(欄外や
発展でワインやミリンを紹介する教科書も
ある。) 共沸は中学校では学習しないが、
エチルアルコールの沸点付近でエチルアル
コールがさかんに沸騰し、エチルアルコ
ールの沸騰が済むと水がさかんに沸騰す
ることを実験で確かめる。沸騰で蒸発し
た気体を何本かの試験管に凝縮させ液体
として集め、液体の臭いや燃焼から蒸留
の操作について考察を行う。

(2) 蒸留実験の課題

蒸留実験の課題を中能登及び奥能登教育
事務所管内に勤務する中学校教員にアンケ
ートをとった。

その結果は、次のようになった。器具の
操作が不十分であるために、実験が上手く
行えていないことが目につく。器具の破損
や液体の逆流などである。また、実験器材
がそろってないために上手く行えていない
様子も見られる。このことに関しては、操
作の練習や器材の購入や工夫で何とか解決
できそうである。

基本的な課題はやはり状況に応じた加熱
の仕方である。共沸であるので、温度が急
激に上昇してしまうと、70 ~ 80℃におけ
る主にアルコールの沸騰を確認できないま
まに水の沸騰が始まってしまう。その結果、
「温度変化の仕方のわけ」、「温度変化を
とらえにくい」ことになり「液体を分けて
集められない」「それぞれの時点での留分
が何であるかを理解しにくい」ことになる。

そこで、生徒自身が温度を視覚的にとら
えやすい示温剤をエチルアルコールと水の
混合溶液に添加することで、温度変化に注
意をはらいながら、沸点の違いを利用して
混合物から物質を分離することができる
「蒸留」実験の操作ができないかと考えた。

(3) 示温剤としての塩化コバルト のエチルアルコール水溶液

塩化コバルトのエチルアルコール水溶液
そのものが示温剤となる。つまり、塩化コ
バルトのエチルアルコール水溶液を加熱蒸
留することで、留分を分け、考察をするこ
とを考えた。次のような手順になる。

- ① エチルアルコールに塩化コバルトを
加える(青色)。
- ② 更に水を加える(ピンク色)。
- ③ ②の状態から生徒が実験を行う。
- ④ 加熱する(ピンク色→青色) 60℃
~エチルアルコール沸点付近で青色と
なる。
- ⑤ 青色時の留分を2~3回収集する。
- ⑥ 青色→赤色に変化後さらに留分を取
集する。(エチルアルコール沸点付近
~水沸点)

この時、色調はピンク色→紫色→青色と
変化する。青色に変色する温度域をエチル
アルコールの沸点付近に設定すれば、エチ
ルアルコール留分採集の目安となる。更に
加熱を続けると、エチルアルコールが全て
無くなった時点で、塩化コバルトの配位分
子がエチルアルコールから水に変わるため
ソルバトクロミズムにより青色→赤色に変
化する。赤色で留分を収集すれば、ほとん
どが水である。

本研究では、生徒が留分を分けやすくし、
留分に何が多く含まれているか考察しやす
いような示温剤としての塩化コバルトのエ
チルアルコール水溶液を開発した。

示温剤としても可能な、蒸留に使用でき
る塩化コバルトエチルアルコール水溶液の
分量は次の通りである。

示温剤としての
塩化コバルトエチルアルコール水溶液
① 2%塩化コバルトエチルアルコ
ール溶液をつくる。
② ①と水を4:1で混合溶液とす
る。
※ 全体で100 cm³~で作成したほう
が色変化が明瞭である。
(北原:2008)

(4) 実験手順・操作

教科書のやり方に従って実験を行うが、
エチルアルコールの濃度が大きいため、加
熱時には、特に注意が必要である。連結部
での蒸気の漏れがないようにしっかりと装
置を組み立てること、そして、急激な蒸気
圧の上昇で連結部が外れないように弱火で
ゆっくりと行う。ゆっくりと加熱を行えば、
留分を採集する際に、留分とエチルアルコ
ールの分量の関係の考察がより深まるこ
とが期待できる。

また、5段階にわけた示温の変域を示したカードをあらかじめ配布しておくことで、示温剤の色変化と留分と温度変化の関係が分かりやすくなるであろう。(写真4-1)



写真4-1
示温変域カード

実際に生徒が行った実験結果の様子である。(写真4-2.①～③)

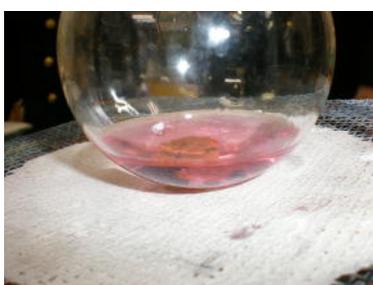


写真4-2.①
加熱前の色



写真4-2.②
加熱中の色

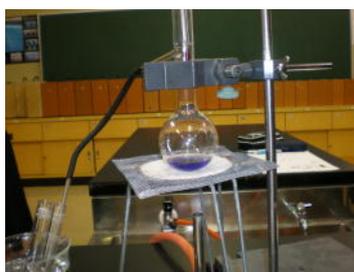


写真4-2.③
留分採集中の色

また、集めた留分の確認においても1本目がよく燃焼し、徐々に火力が小さくなっている。教科書のねらい通りの結果となり、教材として十分に使えることがわかった。(写真4-3)

心配していた高濃度に関しては問題がなかった。



写真4-3
点火しアルコールの量を確認する

(5) 今後の課題

示温剤としての色変化の再現性はあるものの、必ずしも示温変域カードで示した5段階で変色するわけではないことが授業実践から分かった。確実に5段階の示温となるような調合の確認が必要である。

IV まとめ

本研究では、理科室保管薬品「塩化コバルト」を使用し小学校及び中学校の教材開発を行った。「塩化コバルト」の優れたクロモトロピズムを活用し示温剤とした。

教師側の反応は好意的であり、すでに学校にあるもので手軽に製作できることに興味を示し、教材を取り入れようとする姿勢が見られた。現場の多様・多忙化の中、教師自身が前向きに授業を行うことで内容が更に深まることが期待できる。

また、児童・生徒は「色変化」が明瞭に起こることで、授業内容に興味・関心を深め、実験結果から科学的思考力をより高めることが期待できる。

今回は、小学校及び中学校の実験道具としての「塩化コバルト」を使用した教材開発であったが、その内容はソルバトクロミズム及びサーモクロミズムを合わせ持つクロモトロピズムの利用である。そこを中心に据え本研究で開発した教材を活用すれば、高等学校での無機化学の導入教材となることも可能である。

主に教材開発を中心に行ったため、明確な反応機構の解明までは至らなかった。今後、確実な教材とするためにも反応機構の継続研究が必要である。