

化学実験の中から得られるもの

～ 探究的学習の充実を目指して～

理科 溝 口 恵

I. はじめに

平成24年度4月から理科・数学の各教科・科目について新しく改訂された高等学校学習指導要領が実施された。理科改訂に当たっての基本的な考え方については、以下3点ある。

1. 基礎的・基本的な知識・技能の確実な定着を図る観点から小・中・高等学校を通じた理科の内容の構造化を図るとともに、科学的な思考力、表現力の育成を図る観点から探究的な学習活動をより一層充実する。
2. 物理・化学・生物・地学のうち3領域以上を学び、基礎的な科学的素養を幅広く養い、科学に対する関心を持ち続ける態度を育てる。併せて、生徒の能力・適性、興味・関心、進路希望等に応じて学べるよう履修の柔軟性を向上させる。
3. 今日の科学や科学技術の発展に伴って変化した内容について、その変化に対応できるよう学習内容を見直す。科学や科学技術の成果と日常生活や社会との関連にも留意し改善を図る。

上記1にあるように、探究的な学習活動のより一層の充実については、科学的に探究する能力と態度を育てる上で不可欠なものである。また、上記2にあるように、以前の指導要領にはなかった理科の3領域以上という幅広い履修も同時に求められている。今回の改訂では小・中学校とは異なり、高校での理科の大幅な履修単位の増加はない。このような状況下で、いかにして十分な探究的学習活動時間を設定できるか、あるいは、学習内容を工夫できるかが課題だと考える。

ここでは、探究的学習活動のひとつである化学実験について、これまで行ってきた授業の実践報告と考察をする。目新しい実験や特殊な授業ではなく、普段の学習から得られたヒントや失敗を手掛かりに、探究的学習活動をより充実させ、生徒の探究力育成を図ることができるのではないかといくつかの事例も後半に提示したい。

II. 本校の現状

本校の24年度理科に関する教育課程では、化学基礎、地学基礎を1年生に必修で各2単位、旧カリの物理Ⅰ、生物Ⅰを2年生に必修で各2単位、物理Ⅰ・化学Ⅰ・生物Ⅰ・地学Ⅰの各2単位、物理Ⅱ・化学Ⅱ・生物Ⅱの各3単位を3年生に選択科目として設置している。幅広い教養をもった女子生徒を育成するという学校目標のもと、新学習指導要領実施以前より、物理・化学・生物・地学の4分野を必修科目として全員に学習させている。

また、総合の学習の時間では、理科に関して、「生物実験」「化学実験」「電気回路」の各1単位が1，2年生に設置されている。

Ⅲ. 探究的学習活動の実践例

1. 総合の学習の時間…「化学実験」講座 (1単位)

例年、2年生の5～10人を対象に上記テーマで活動を行っている。定性・定量実験などの基本的な実験操作を学習しながら、各自が設定した自由課題研究に取り組み、学年末に研究発表を行っている。(資料1)

この授業のメリットは、対象生徒が少人数であるため指導しやすい、生徒は約半年かけて自分の課題研究にじっくり取り組める、科学的プレゼンテーション能力の育成が計れる、また、場合によってはお茶の水女子大学との連携も可能である、などが挙げられる。

これまでに、2008年度では、お茶の水女子大学理学部化学科永野肇先生の研究室(本校元校長)でエバポレーターをお借りし、先生や院生から直接指導を受けることができた。また、2012年度では、お茶の水女子大学サイエンスエデュケーションセンターの理科自由研究データベースを活用し(資料2)、各自の自由課題設定の参考とした。さらに同センター垣内康孝先生には学年末の研究発表会に出席していただき、貴重なサジェスションやアドバイスをいただいた。

これまでの生徒の自由課題テーマは以下の通り。

2008年度

- | | |
|--------------------|----------------|
| ・ 土壌の pH を測る | ・ 繊維をつくる |
| ・ DNA の抽出 | ・ 石けんについて |
| ・ 炭酸ガスの発泡入浴剤の原理を追求 | ・ ケミカル・ガーデン |
| ・ 身近な市販薬の成分を確認する | ・ アミノ酸の緩衝作用 |
| ・ 昆布からグルタミン酸を取り出す | ・ 色ガラスをつくってみよう |

2009年度

- | | |
|-------------|-----------------|
| ・ 塩素の漂白作用 | ・ 2種類以上の金属の炎色反応 |
| ・ 香料抽出 | ・ 元素によるガラスの色の違い |
| ・ アゾ染料による染色 | ・ 光るガラスを作る |
| ・ 食物中の二酸化硫黄 | ・ ビタミンCの定量実験 |
| ・ 花火を作る | ・ 銀鏡反応 |

2010年度

- | | |
|----------------|--------------------|
| ・ 処方箋軟膏の成分を調べる | ・ 茶葉からカフェインを抽出 |
| ・ カプセルの成分 | ・ ミルクから顔料をつくる |
| ・ ルミノール反応について | ・ 毛髪残留シャンプーの量とダメージ |

2011年度

- ・ DNAの抽出
- ・ ナイロンとレーヨンの繊維をつくる
- ・ 食品中の塩分測定
- ・ カフェインの抽出
- ・ ビタミンCの定量

2012年度

- ・ 制汗剤の効き目と成分
- ・ 色つきロウソク
- ・ 水道水中の塩素量
- ・ 何色で髪を染めると1番髪を傷めるのか
- ・ 化学療法～サルファ剤～

3年生で学習する実験を少し背伸びをして取り組むタイプ、実験書に記載してあるものをそのまま取り組むタイプ、更にオリジナルな観点から工夫をして取り組むタイプ、普段の疑問を解決するため実験方法も手探りで始めるタイプと、生徒の課題設定には4タイプあるようだ。最近では、初期の研究レポートを参考にして、より創意工夫した内容を課題にする生徒が増えてきている。

通常授業の生徒実験以上に本授業での教師の負担は大きいですが、生徒の科学的探究力育成の絶好の機会になっていることは間違いない。

2. 化学I・IIの実験…通常授業の実験からも探究力育成のヒントが得られる。通常1、2時間の授業内実験では、予測通りの結果が出て、はい、おしまい。ところがちょっとした躓きや予想に反する結果を大切にすることで、より深い探究力育成が図れることがある。その事例を紹介する。

(1) エステルの合成と加水分解…3年 化学I (2単位)

濃硫酸を触媒に、酢酸とエタノールを脱水縮合して酢酸エステルを合成する定番実験。合成後、水を加えると二層に分離し、上層が酢酸エチルに相当する。しかし、条件によっては、二層に分離しないことも多い。試験管内は確かにエステルのおいがあるので合成できてはいるのだが、合成量が少ない。この結果をどう捉えるかで、探究力育成につながられる。エステル化が可逆反応であることを指摘すれば、水を加える操作をすることで、生成した酢酸エチルが加水分解してしまったことがわかる。また、教科書では、エステルは水に溶けにくいとの記述があるが、実際に酢酸エチルの水への溶解度を調べると、20℃において、水10mlに対し約1mlは溶解する。(写真1)つまり、水を加えることで加水分解だけでなく生成した酢酸エチルの一部が水に溶解したのである。生徒は、極性が小さいことはすなわち水にまったく溶けないことであると、勘違いしやすい。有機化合物の単元はややもすると知識を丸暗記して学習しがちであるが、このような実際の実験結果をもとに、考察することは大切であろう。時間が許せば加水分解をなるべく

防ぐにはどのような反応条件が必要かなども検討、実験できる。

(2) アルコールとエーテルの性質の比較（金属ナトリウムとの反応）… 3年 化学 I

金属 Na と反応するのはアルコールであり、本来エーテルは反応しない。しかし、実験では、エーテルからも気体（水素）が若干量だが発生する。（写真 2）

この原因を考えさせ、実験で検証した。まずは、用いたジエチルエーテルの純度の問題。使用したものは 99%。ジエチルエーテルの製造方法について振り返ると、エタノールを分子間脱水して得られることは学習済み。水の混入や、原料のエタノールの混在など、不純物の予想がつく。そこで、より純度の高いジエチルエーテルを用いて同様の実験をした。99.5%および超脱水（有機合成用）である。しかし、いずれも反応がわずかに起きた。試薬製造元に問い合わせをしたところ、超脱水のタイプでも水、酢酸、アルデヒド、ケトンなどの混入が 0.001% 以下、エタノールが 0.05% 以下存在し、原料由来の不純物が含まれるのはしかたがないこと、通常、一級試薬をモレキュラーシーブ（ゼオライトなどの分子ふるい）を用いて脱水して使用することなどを示唆いただいた。（大学有機実験では、当たり前）そこで、超脱水のジエチルエーテルにゼオライトを入れさらに脱水処理したものをを用いて再度実験をしたところ、これまでより明らかに気体の発生量が低く抑えられた。しかし、反応はわずかながら依然起こっていた。（写真 3）

エーテル以外の原因となると、最後に考えられるのは金属ナトリウム Na である。石油中に保存してある Na を空気中に取り出し、小さく切断してエーテルと反応させる間に空気中の水分や酸素と既に反応をしている可能性があるのではないかとということが考察された。通常よりも手早く Na を切り出し、即座に、ゼオライトで処理したエーテル内に投入したところ、投入直後にわずかに気体が発生したが、その後はほとんど反応がみられなかった。（写真 4）以上の結果から、エーテルと金属 Na との反応の原因がエーテルの純度と金属 Na 自身の反応性によるものであることがわかった。

この検証は、実験後の授業を数回、小時間ずつ使いながら生徒とディスカッションを行い、追実験で確かめた。

(3) 塩化カルシウム水溶液の凝固点降下… 3年 化学 II （3 単位）

毎年実施している定番の水溶液の凝固点降下実験である。1.00mol/kg の尿素水溶液、塩化ナトリウム水溶液、塩化カルシウム水溶液の各凝固点を測定する。凝固点降下度は溶液中に存在する溶質粒子の質量モル濃度に比例して大きくなる。非電解質の尿素と異なり、塩化ナトリウムや塩化カルシウムのような電解質水溶液の場合、電離して粒子数が増加するために、凝固点降下度が大きくなることを定量的に確認する内容である。ところがある年、予想結果と大幅に異なる測定結果が得られた。

本来、塩化カルシウム水溶液は同じ質量モル濃度の尿素水溶液の 3 倍程度凝固点降下度があるはずのところ（活量係数を 1 とみなすと、5.6 度の凝固点降下度）、ほとんどの実験班で、凝固点降下度の値が小さくなった（4.0 度前後）。塩化ナトリウム水溶液や尿

素水溶液のデータには問題がなかった。この原因を検討することにした。

原因として挙げられたのは以下の2点であった。

- ① 寒剤の効果不足
- ② 用いた塩化カルシウムの問題

①については、多くの実験班の測定結果がほぼ同じ値になったこと、十分に冷却効果のある状態で実験を実施していることなどから、これが原因とはいえない。

②については、塩化カルシウムの性質として、乾燥剤としても使用されていることからわかるように、吸湿性が高い。使用した試薬瓶は、無水物との表記がされているとはいえ、開封してからかなりの時間が経過している。今回用いた試薬の純度（含水量）に原因があることが予想された。1.00mol/kgの水溶液を調整したつもりが、実は吸収した水の分だけ、濃度が小さかったのではないかという推察がなされた。そこで得られた測定結果をもとに、試薬に含まれる水分量（ $\text{CaCl}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ）を計算によって求めてみることにした。

次頁に、生徒による考察結果のレポートの一例を挙げる。おおよそ、2水和物であることがわかった。

IV. まとめ

定性・定量的な確認実験の中でも、教科書通り、理論通りの結果が得られないことがある。試薬の調整を確実にしておくことの大切さはごく当たり前の話だが、意図的に適当に、または、ごく自然に準備しておくことで、生徒にとって、時には教師にとっても予期せぬ結果が生じる場合がある。これを良い機会として取り上げ、より探究的な活動につながる事が可能である。探究活動に必要な十分な時間（単位）やおおがかりなプログラムはあればあったにこしたことはないが、制約のある条件下で少しでも探究力を育成するには、失敗や予想に反した結果から、おや？なぜ？という疑問を引き出し、その解決方法を短時間でも探ることが大切ではないかと思う。

基本は、1. 注意深い観察 2. 結果から何がわかり、何が疑問なのか考察する 3. 疑問を解決する方法（仮説）を検討する 4. 仮説を検証するための実験を考え、実施する。

あたりまえのことだが、普段の授業「化学実験」の中に、そのチャンスがいつでも潜んでいる。それを拾う場面を設けることがポイントだろう。

実験 3 5 溶液の凝固点降下 (2)

結 果 実験結果を次の表に書き込みなさい。

	尿素水溶液	(塩化ナトリウム)水溶液	水*クリソライト水溶液
溶媒の質量 (W)	10.00 g	10.00 g	10.00 g
溶質の質量 (w)	0.62 g	1.11 g	0.74 g
純水の凝固点 (T ₀)	-0.60 °C	-0.60 °C	-0.60 °C
溶液の凝固点 (T ₁)	-2.30 °C	-4.50 °C	-1.20 °C
凝固点降下度 (ΔT)	1.70 K	3.90 K	0.60 K

考 察 * (1) 溶質となる物質のモル質量を求めなさい。また、溶媒を10.00gとして、1.00mol/kgの水溶液を調製するのに必要な溶質の質量を求めなさい。

	化学式	モル質量 (g/mol)	溶質の質量 (g)	溶媒の質量 (g)
尿素	CH ₄ N ₂ O	60.0	0.60	10.00 g
塩化ナトリウム	NaCl	58.5	0.585	10.00 g
塩化カルシウム	CaCl ₂	111	1.11	10.00 g

$$0 \text{ CaCl}_2 \cdot x \text{ H}_2\text{O}$$

$$9.90 = 1.85 \times m$$

$$m = 2.1081 \approx 2.108 \text{ (mol/kg)}$$

溶媒 $10.60 + d \text{ (g)}$
 溶質 $1.11 - d \text{ (g)}$

$$d = 1.11 \times \frac{18x}{111 + 18x}$$

$$\frac{1.11 - d}{111} \times 3 \times \frac{1000}{10 + d} = 2.108$$

$$3 \times (1110 - 1000d) = 2340 + 234d$$

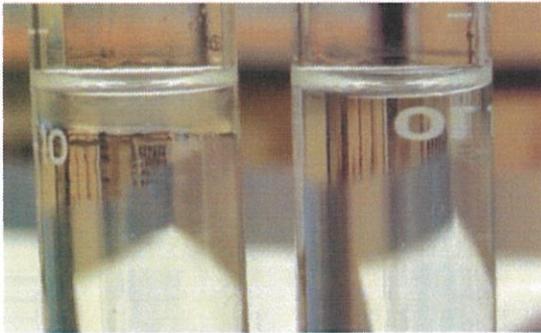
$$3234d = 990$$

$$d \approx 0.3061$$

$$1.11 \times \frac{18x}{111 + 18x} = 0.306$$

$$x \approx 2.3 \quad \text{約 } \underline{2}$$

写真1



左の試験管：10mlの水に酢酸エチルを1ml
混合した直後の様子
右の試験管：左の試験管を十分に混合した
あとの様子

写真2



写真3



写真4



実験の種類

1 分析実験

定性分析・・・試料中の化学成分の種類を判定することを目的とした実験（同定）

- ・陽イオン、陰イオン分析(沈殿反応利用など)
- ・炎色反応

定量分析・・・試料中の特定成分の量あるいは比率を決定することを目的とした実験（定量する）

2 合成実験

目的とする物質を化学反応を利用して作り出す実験

分離・精製方法

- ・クロマトグラフィー
 - ・ペーパークロマトグラフィー
 - ・薄層クロマト
 - ・イオン交換クロマト
 - ・ガスクロマト
 - ・液体クロマト
 - ・アフィニティクロマト
 - ・ゲル濾過
- ・蒸留
- ・抽出
- ・透析
- ・電気泳動

分析方法

- ・重量分析
- ・容量分析・・・滴定（中和滴定、酸化還元滴定、沈殿滴定など）
- ・電気化学的分析・・・pH測定など
- ・分光（電磁波）分析・・・UV、IR、X線、NMRなど

基礎実験（この中から実施する予定）

分離

- ・ペーパークロマトグラフィー（水性ペンの色素分離）
- ・抽出・・・①ごまからごま油
 - ②昆布からヨウ素
 - ③ブロッコリーからDNA
 - ④茶葉からカフェイン
 - ⑤分液ロートを用いた抽出
- ・醤油から塩化ナトリウム
- ・透析・・・水酸化鉄コロイド
- ・吸着・・・活性炭を用いて色素溶液を脱色
- ・電気泳動・・・アミノ酸、イオンのろ紙電気泳動
- ・酸化還元反応を利用した金属の単離・・・テルミット反応（演示）

分析（定量実験）

- ・目的とする物質を欲しい分量だけ生成する
 - ・・・Mgリボンと塩酸から水素を必要量発生
- ・結晶に含まれる結晶水の数を求め、化学式を決定する。
 - ・・・硫酸銅(II) $\text{CuSO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$
 - 塩化コバルト(II) $\text{CoCl}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$
- ・滴定・・・中和滴定 滴定曲線の作成（2段階中和）
 - 酸化還元滴定
 - 沈殿反応利用した滴定・・・食品中の塩分量測定

合成実験

- ・香料（エステル）、頭痛薬（アセチルサリチル酸）、サリチル酸メチル
ガラス、合金の生成

課題（テーマ）探しの参考として

お茶の水女子大学 サイエンス&エデュケーションセンター の
理科自由研究データベース も利用してみましょう。
<http://www.cf.ocha.ac.jp/sec/projects/independentresearch/db/>

（以下 HP より抜粋）



サイエンス&エデュケーションセンター

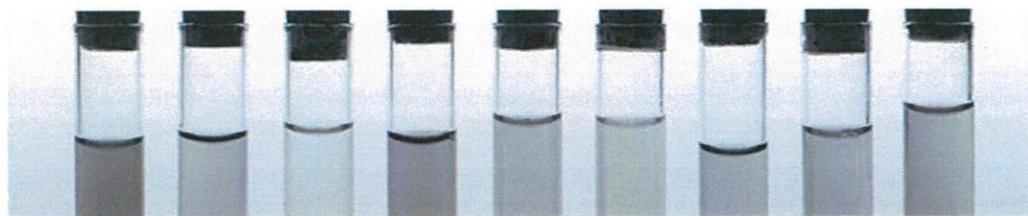
Science & Education Center

理科自由研究データベースでは、夏休みの「自由研究」や「課題研究」について、これまでどのような作品や論文が発表されているのかを調べることができます。
また、自分で考えたことや、見つけたことが、すでに誰かが研究しているかどうかについても、簡単に確かめられます。

その上で、さらに 深く研究を進めていくことができるように、活用してください。

身近な理科や科学についての、驚きの発見や発明をいっぱい見つけて、楽しんでください。

理科自由研究データベース



理科自由研究データベース検索

全文検索:

複数のキーワードで検索する場合は、間にスペースを入れてください。

学年検索:

AND 検索

OR 検索

コンクール名:

コンクール年度: 年度

全文掲載された作品のみ表示する