

# 化学と環境の結びつきに着目した科学課題研究

坂部 高平

Scientific research focusing on the connection between chemistry and the environment

Kohei SAKABE

Our school was adopted for the SSH project by the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology in 2006, with freshman students of that school year being the first to study under the curriculum of the Life-Science Course. In the school-specific subject Life Science Research Topics, the core of the project, students selected the desired field and researched in groups, one of which I am in charge of. It was something I had never done before, but through trial and error I was able to continue to this day with the help of my colleagues and students. Here, I would like to introduce my 9-year efforts from the beginnings of the SSH program, which started as fledgling project in 2007, through the first term and on to the second term. I have greatly enjoyed my tenure, and in great thanks to the commitment of students I have acquired a critical perspective, attention to detail, patience, forward-looking planning, communication skills, and presentation skills. I think I was also able to develop rigorous scientific thinking ability.

<キーワード> スーパーサイエンスハイスクール, 課題研究, 化学, 環境, 理科教育

## はじめに

平成18年に本校が文部科学省によるSSH事業に採択され、その年度の入学生から生命科学コースのカリキュラムが新たにスタートした。学校設定科目「生命科学課題研究」は事業の要であり、目玉となる取り組みであるが、本校にはそれまで授業として「課題研究」を実施していたことはなかった。その「生命科学課題研究」は生命科学コース2年次に設定されていたことから、平成19年度から開講され、生徒が希望する分野を選択してグループで実施する形式となり、そのうちの1つの分野の指導を自分が担当することになった。SSH事業において目指した教育プログラム開発の3本柱である『知識』『体験』『研究』のうち最も重要となる『研究』の内容のすべてではないにしろ、その一端を任されることになった。これからは教育現場で探究的な活動が必要とされてくる流れであることから、これらに向けて、SSH指定の1期から2期にかけての9年間を振り返りたい。

## 役割を考える

まず考えたことは、自分がどのような役割を担うべきかという問題であった。それは、対教員でのものでもあり、対生徒のものでもある。幸い、「生命科学課題研究」という科目の中では担当者が複数存在していた。中でもSSH事業の起案者であり、その枠組みを作り上げ、自身で両生類の研究を実践し続けていた秋山繁治先生がいるということは大きな心の支えであった。秋山先生がリードしてくれるとの思いもあり、自分にできることで精一杯やればよいという気持ちで臨むことができたのである。

自分は「化学」の授業を担当し、大学および大学院での卒業研究課題も「有機合成化学」であったこと、さらに大学時代の恩師である伊藤敏幸先生（在学時は岡山大学教育学部助教授、当時は鳥取大学工学部教授）がさらにグリーンケミストリーを推し進めていたこともあり、自分が受け持つ分野を環境および化学を主なテーマとする『環境化学』分野と銘打って1年生を対象とした分野選択説明に臨むことにした。研究らしい研究ができるかどうかは二の次として、やったことの

ないことであつたので、生徒と一緒に考えて、自分としても「なんだか面白そう」などができれば、生徒も自分もやりぬくことができるのではないかと考えた。

### 1年目…グリーンケミストリーを目指して

平成19年度(2007年度)のテーマは大雑把には「グリーンケミストリー」とした。鳥取大学の伊藤敏幸先生が扱っていた「イオン液体」を再利用できる溶媒として使用して、代表的な有機合成反応であるエステル化をさせることを目的として実験をおこなった。当時の高校生にはまだイオン液体のことは知られていない頃のことであつたので、使っている物質が目新しいものであることから、反応条件の最適化を目指して実験を重ねていった。高い収率で溶媒としてのイオン液体が再利用できれば、目的は達成であるが、実際にはなかなかうまくはいかなかった。しかし、高校の実験室でやれる実験として、あまり特殊な機器を使わないという条件のもと、試行錯誤を繰り返したことで、探究的な活動になったのではないかと考えている。

清心女子高等学校 生命科学コース 高校2年生課題研究 環境科学グループ研究課題  
イオン液体を溶媒に用いたエステル化反応  
川村仁彦・川村朱季子・後藤希香・長島純・中藤麻由子・森田洋行 (指導: 坂部浩平)

**本研究の目的**  
新しい溶媒であり、近年その機能が先端科学分野で注目されているイオン液体を溶媒として用いるカルボン酸とアルコールのエステル化反応で、エステルを多く生成させるのに適する各物質の量や時間といった反応条件と、比較的簡単な装置で生成したエステルを取り出すための条件を探し出す。さらに、使用したイオン液体を繰り返し利用することが可能かどうかを検証することを目指す。

**イオン液体とは?**  
イオンからできた物質という点、一番身近で代表的なものが塩化メチルイミダゾリウムである。室温では皆さんご存知の通り固体になっている。加熱すれば液体になるが、その融点は約100℃と大変高い。そして、水に比較よく溶けることも知られている。しかし、イオンからできているので室温で液体になるものがある。それがイオン液体である。これはその一種の構造をあらわして、今回の研究に用いたイオン液体[bmim]PF<sub>6</sub>である。これはその一種の特徴を持つ。  
・室温で液体である  
正式名称: 1-butyl-3-methylimidazolium hexafluorophosphate  
・置いても蒸発していかない(揮発性がない) → においがしない  
・非常に安定しない  
・変化しにくい、毒性が低い・安全性が高い  
・水に溶けにくく、油にも溶けにくい → イオン液体が取り出しやすい(右の写真)  
これら特徴を活かし、繰り返し利用可能な扱いやすい溶媒などとして利用が期待される。

**エステル化とは?**  
有機化合物の代表的な反応で、糖類やペトロールの材料であるポリエステルを作るために幅広く利用されているのがエステル化という反応である。酢の成分である酢酸に代表されるカルボン酸と呼ばれる化合物と、お酢の成分であるエタノールに代表されるアルコールと呼ばれる化合物が酸が酸を触媒(反応を助ける)に水とH<sub>2</sub>Oが外れて反応して生成する。右の図は酢酸とエタノールが反応して生成する酢酸エチルに代表されるエステルと呼ばれる化合物ができる左の式のような反応である。

#### 反応条件の検討

①反応物の選定

entry	カルボン酸	アルコール	結果
1	酢酸 C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> COOH	エタノール C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	生成物を確認できず 酢酸の臭いがきつ過ぎる
2	プロピオン酸 C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> COOH	1-プロパノール C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> OH	原料も生成物も確認できず
3*	酢酸 C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> COOH	メントール C <sub>15</sub> H <sub>24</sub> OH	原料を確認。ほとんど反応してないのが分かる

\*その他の条件: 反応時間 約20分、反応物はそれぞれ30mg、触媒量のAmberlyst-15=20mg、溶媒[bmim]PF<sub>6</sub> 1.0mL

★entry 3では、メントールが固体で目的物(酢酸メチル)は液体になるので、原料と生成物の違いが目確認できる。

②触媒量の変更

entry	触媒量	収率*	※その他の条件:
1	20mg	46%	反応時間 約20分 酢酸300mg(5.0mmol)
2	100mg	41%	メントール300mg(2.0mmol)
3	150mg	31%	溶媒[bmim]PF <sub>6</sub> 1.0mL
4	200mg	27%	
5	300mg	38%	★20mgは①の実験結果

\*収率は、回収物が液体になったことから、すべてが目的物で、原料は残っていないものとして計算した。ただし、分析機器がないため、純度は不明。

**鳥取大学工学部物質工学科にて化学実験研修**  
鳥取大学工学部物質工学科にて化学実験研修。鳥取大学工学部物質工学科の先生から、鳥取大学の設備や実験器具の使い方、安全な実験の進め方などについて、実験の様子を撮影していただく。また、鳥取大学の先生から、鳥取大学の設備や実験器具の使い方、安全な実験の進め方などについて、実験の様子を撮影していただく。

**Amberlyst-15とは?**  
陽イオン交換樹脂の触媒。色の薄い樹脂で2mm程度の粒状。これは、樹脂の粒子の間に酢酸とメントールの反応を促進させる。反応後は、樹脂の粒子の間に酢酸とメントールの反応を促進させる。反応後は、樹脂の粒子の間に酢酸とメントールの反応を促進させる。

**今後に向けて**  
反応条件はまだ検討の余地があるため、他の条件を変えて実験を進めて、早く最適な条件を見つけたい。そして、イオン液体を繰り返し利用する実験を試してみたいと考えている。

### 2年目…研究テーマを引き継いで

研究課題を深めて完成度を上げるためには、長く続けることが1つの方法であることは間違いない。そこで、次年度は基本的に前年度の研究課題を継続することとして、「イオン液体を用いたエステル化反応の条件検討」をテーマとした。基本的な反応は前年度と同じにしたので、いろいろな条件検討をおこなうことができた。この年度は前年度の研究課題を見てから分野を選んで集まった生徒たちであつたので、継続ではあつたが、熱心に試行錯誤をしてくれた。

**イオン液体を用いたエステル化反応の条件検討**  
清心女子高等学校 課題研究化学班  
梶原真理子・小西真子・多田麻友子・多田羅佑佳・三宅晃代

**研究目的**

- イオン液体を再利用可能な溶媒として利用し、環境への負荷が少ないエステル化反応を実現する。
- 高校の設備でも実験可能で、効率的なエステル化反応の条件検討をおこなう。

**イオン液体**  
常温でも液体の状態で、蒸発しにくい、燃えにくい、電気を通しやすい、熱に耐えるといったような性質を持ったものがあり、今回は溶媒として使用した。

**エステル化**  
アルコールと無水物(またはカルボン酸)という2種類の化合物から、エステル結合を持つ化合物ができることを行う。この反応では、触媒を使用する。  
【設定したエステル化反応のモデル】  
(-)-メントール + 無水酢酸 → (-)-酢酸メントール

**実験手順**

- イオン液体にメントール、無水酢酸、触媒を加えて、攪拌する。
- ヘキサンを加えて再度約1分攪拌し、生成物の抽出を行う。(2回)
- 取り出した溶液に炭酸水素ナトリウム水溶液を加えて混ぜる。必要な部分を捨てて水の層を捨てる。
- 水を加えて混ぜ、水の層を捨てる。(2回)
- 溶液に硫酸マグネシウムを入れて混ぜ、しばらく置いて過す。
- 三角フラスコに入れ、ヘキサンを蒸発させると目的物が残る。

**条件検討**

**検討① 抽出する溶媒の種類を変える**

条件	抽出する溶媒の種類	生成物回収量
攪拌 15分	ヘキサノール	296mg
触媒 35mg	ジエチルエーテル	246mg

※触媒=トリフルオロメタンスルホン酸(II)

**検討② 抽出するための溶媒量を変える**

条件	ヘキサノールの量	生成物回収量
攪拌 15分	2mLx2回	296mg
触媒 35mg	3mLx2回	256mg
	4mLx2回	273mg

※触媒=トリフルオロメタンスルホン酸(II)

**検討③ 攪拌時間を変える**

条件	攪拌時間	生成物回収量
触媒 35mg	5分	297mg
	10分	306mg
	15分	296mg
	20分	318mg
	30分	305mg

※触媒=トリフルオロメタンスルホン酸(II)

**検討④ 触媒の種類を変える**

触媒の種類	攪拌時間	触媒の量	生成物回収量
Amberlyst15	15分	70mg	251mg
	30分	140mg	322mg
	30分	70mg	365mg
	30分	140mg	310mg
トリフルオロメタンスルホン酸(II)	15分	35mg	312mg

※Amberlyst15=酸化したイオン交換樹脂

**まとめ**

- 抽出する溶媒はジエチルエーテルよりヘキサノールの方がいい。
- 触媒は Amberlyst15 を 70mg、攪拌時間は 30分 で生成物の最高回収量を記録。(これが全部酢酸メチルだとすると、収率 96%)

**今後の課題**

- 攪拌時間や触媒の影響を詳しく調べる。
- イオン液体の種類を変えてみる。
- 連続してイオン液体と触媒が利用できるかを探る。
- 生成物に含まれる酢酸メントールとメントールの割合を正確に測る方法を検討する。

上図のポスターは1月の段階で作成したものである。実験条件については、有機化合物について学習する前から研究がスタートしているため、教員との相談なしには決めることができないのが現状であったが、それでもテーブル作成のための条件変更については意見を出してくれるようになったので、成長が見られた。さらに、ポスターの作成についても自分たちで説明イラストを描いたり、レイアウトを考えてPCでポスター形式にまとめたりといった作業をしてくれるようになった。最終的に教員側で見やすいようになりかなり手直しが必要だったが、まずは預けて任せてみることができた。昨年度や他のグループの発表用ポスターを見ることで具体的なイメージをしやすくなったものと考えられ、先輩の姿や結果を見ることが、大きく影響することが感じられた2年目であった。

上図のポスターは9月の段階で作成したものであるが、本研究課題「イオン液体を溶媒に用いたエステル化反応」はこちらから生徒に提示したテーマの一つをふくらませたものであった。この段階では、ポスター作成はかなりの部分で教員の手が入って進められた状態であった。





### 塩化鉄(III)によるフェノール類の呈色の違いと条件

ノートルダム清心学園清心女子高等学校 生命科学コース2年 塩津有華・花村梓・三村都・横井聖香

**はじめに**  
化学の教科書に塩化鉄(III) FeCl<sub>3</sub>によるフェノール類の呈色反応があり、その反応を調べたい。その結果、結果より、加えたFeCl<sub>3</sub>の濃度によってかなりの色の違いが見られるフェノール類があったから、今回は色の異なるフェノール類を加えるFeCl<sub>3</sub>の量による色の違いを詳しく調べたいことにした。

**実験手順**  
①フェノール類を天秤でかりとり、試験管に入れる。  
②濃度が10 mL入れて加える。(濃度が低い場合は、濃度をあてる)  
③ガラス棒でよくかき混ぜる。  
④目で色を確認する。  
⑤分光光度計 (Youngwoo Instruments Corp.製 SMART Plus 3255) で測定して比較する。

**1. サリチル酸ナトリウム**  
まずは、異なる色が大きく異なるサリチル酸ナトリウムについて、FeCl<sub>3</sub>を加える量を変えて比較した。

加える FeCl <sub>3</sub> の量	0.1 mol/L	0.1 mol/L	1.0 mol/L	1.0 mol/L
サリチル酸ナトリウム (11 mg)	3	10	3	10
観察の色	無色	無色	無色	無色

【グラフ1】 FeCl<sub>3</sub>の量によるサリチル酸ナトリウムの吸光度スペクトル

【グラフ2】 pHによるサリチル酸の吸光度スペクトル

**2. サリチル酸**  
サリチル酸ナトリウムの割合で、目で見て同じ濃度に見える場合でも、吸光度のグラフの形が変わっていることから、サリチル酸も吸光度のグラフの形が変化しているかもしれないと考え、サリチル酸 10mg に対して FeCl<sub>3</sub>を加える量を変えて比較した。

【グラフ3】 FeCl<sub>3</sub>の量によるサリチル酸の吸光度スペクトル

**3. pHの測定**  
サリチル酸とサリチル酸ナトリウムは pHの違いによって互いに変化する化合物なので、pHを測定して見た。

【グラフ4】 pHによるサリチル酸の吸光度スペクトル

上図がその発表ポスターであるが、がんばって計測した数値がグラフとしてきれいに出力されるのは、生徒にとってもうれしいことであったようである。さらにグラフにしたからこそ同じものであることがわかるという好例を目にすることもできた。

### 6年目…継続テーマ2つのうち1つは復活テーマ

この年度は、継続テーマ2つを同時に進める年になった。これまでと異なるのは、その継続の仕方であった。前年度の継続で進めた研究が「塩化鉄(III)によるサリチル酸の呈色の違いと条件」であるが、もう1つのテーマは一昨年度の前半までで止まっていたテーマを進めた「ブロッコリースプラウトを使った植物の成長実験」であった。これまで、研究テーマを継続する場合は、必ず前年度から継続していたが、今までにいくつかの研究テーマに取り組んできたこともあり、さらに遡って先輩の研究を見直し、内容について先輩に直接教えてもらうことはできないものの、途中の空白期間を経て再び継続するというパターンを実践することができた。これによって、研究課題の設定パターンについては次の4パターンとなった。

1. 新規にテーマを教員が提案
2. 新規にテーマを生徒が探して提案
3. 前年度のテーマを次年度も継続(先輩から直接引継)
4. 前年度以前のテーマを復活して継続(直接引継無し)

### ブロッコリースプラウトを使った植物の成長実験

ノートルダム清心学園 清心女子高等学校 生命科学コース2年 ★菅原 高哉、菅原 高哉、菅原 高哉

**実験方法**  
大きく分けて2つの実験を行った。また、今回は毎日写真を撮ることにした。

**実験1**  
1. 種を、約20 mLのブロッコリースプラウトを使用した。また、種子は1つのグループにつき9個ずつ入れた。種を約1cmに切り込みを入れたその上を土で覆い、水を注ぎ、約20°Cの環境で育てた。また、毎日水を注ぎ、約20°Cの環境で育てた。

**実験2**  
2. 約1cmに切り込みを入れたその上を土で覆い、水を注ぎ、約20°Cの環境で育てた。また、毎日水を注ぎ、約20°Cの環境で育てた。

**実験1の結果**

経過日数	0日目	5日目	6日目	7日目	8日目
AI(1)	0 cm	7.3 cm	7.3 cm	7.3 cm	9.2 cm
AI(2)	0 cm	7.0 cm	8.7 cm	11.2 cm	11.2 cm
SA(1)	0 cm	7.0 cm	8.7 cm	10.4 cm	10.4 cm
SA(2)	0 cm	4.9 cm	8.2 cm	8.0 cm	8.0 cm
OU(1)	0 cm	8.5 cm	8.2 cm	8.2 cm	8.2 cm
OU(2)	0 cm	8.5 cm	8.2 cm	8.2 cm	8.2 cm
ブロッコ	0 cm	8.5 cm	8.2 cm	8.2 cm	8.2 cm

【表1】 各実験の成長の様子をまとめた。【表2】 各実験の成長の様子をまとめた。

**実験2の結果**

経過日数	0日目	5日目	6日目	7日目	8日目
AI(1)	1.5	1.6	1.4	1.5	1.2
AI(2)	7.3	8.7	8.7	8.5	9.2
SA(1)	7.3	8.7	8.7	8.5	9.2
SA(2)	4.9	8.2	8.2	8.0	8.0
OU(1)	8.5	8.2	8.2	8.2	8.2
OU(2)	8.5	8.2	8.2	8.2	8.2
ブロッコ	8.5	8.2	8.2	8.2	8.2

【表3】 各実験の成長の様子をまとめた。【表4】 各実験の成長の様子をまとめた。

**今後の課題**  
実験2で2つの実験の成長の様子をまとめた。実験の結果を詳しく、結果の差を詳しく調べる。また、実験の結果を詳しく調べる。また、実験の結果を詳しく調べる。

上図のポスターは、復活テーマのものであるが、このテーマに取り組んだ生徒は、以前の実験のようすを見ていないこともあり、実験方法(この場合は寒天の状態)から練り直しをおこなった。以前の方法が絶対ではなく、もっと分かりやすい、やりやすい方法がないかという点を自分たちで追求した。そういう視点をもって取り組んでくれる生徒が育っていたことをうれしく思ったことが印象に残っているグループである。さらに、このときのポスターは私がほとんど手を入れずとも、ほぼ整った形のものを生徒が提出してきたことも印象に残っている。

### 7年目…実験対象の変更からの発見とモチベーション再び

平成25年度(2013年度)は、エネルギーシユな生徒がグループに存在していたことから、前年度の継続テーマ2つとちょっとした好奇心からの発見によるモチベーション上昇による新テーマの開拓、以前の研究を元にした新たなテーマを進めた年であった。全く新規に2つのテーマを1年間続けたのはこの年度が初であるが、自分のグループの人数がそれほど多いわけでもないのに3つのテーマをほぼ同時に1年間進めたのも初となった。そのテーマは、スプラウトの成長への影響を継続で調べ、さらに新たに動物への影響も調べ

た「銅の微量金属作用を調べる」、フェノール類の呈色反応を継続して調べた「サリチル酸と鉄(Ⅲ)イオンを利用したpH指示薬の可能性を調べる」、以前使ったことのある物質に関係した「磁性イオン液体の合成と磁性の強さの簡便な比較法の検討」であった。

上げて実験に取り組んでいた。最初は何か役に立つかも…という気持ちでスタートしていたが、役に立ちそうだとすると、研究の進路をイメージしやすい生徒もいることがよくわかる事例だった。

それに対して磁性イオン液体については、理屈が難しく、理解が追いつかない面もあるものの、ちょっと難しいことに挑戦していることを感じるのがモチベーションになる生徒がいるというパターンであった。難しいながらも理解しようと努力していたようすが思い出される。いろいろなパターンで課題研究に取り組む姿勢が変わってくる生徒がおり、そこをある程度見極めて接していきたいと感じた年度であった。

**研究Ⅲ 動物に及ぼす影響**  
動物に対する銅の影響をミジンコ、サカマキガイ、スクミリンゴガイを使って調べた。

**実験① サカマキガイとミジンコに対する銅の影響**  
 (方法) ・直径65mmのシャーレに、池の水50mL、対象となる動物30匹、長さ270mmの銅線をシャーレの縁に沿って入れ観察した。  
 ・对照実験として、銅線が入っていないものも準備した。

24時間後	サカマキガイ	ミジンコ
銅線が入っているシャーレ	全て生存 (動きが鈍)	全て生存 (動きが鈍)
銅線が入っていないシャーレ	全て生存 (動きが鈍)	全て生存 (動きが鈍)

(サカマキガイ30匹) (ミジンコ30匹)

(写真) 体の小さなミジンコの方が影響が大きいと予想していたが、体の大きなサカマキガイの方が耐性が高かった。このことから、体の大きさではなく生物種の違いによって、銅の影響が異なると考えられる。



**実験② サカマキガイに対する銅の形による影響**  
 (方法) ・直径65mmのシャーレに、サカマキガイを15匹入れた。  
 ・シャーレAには実験①と同じ銅線(直径1.2mm、270mm)、シャーレBには銅板(10mm×20mm)4枚を右の図のように配置し観察した。

24時間後	シャーレA	シャーレB
銅線が入っているシャーレ	銅線が折れている	銅線が折れている
銅線が入っていないシャーレ	全て生存 (動きが鈍)	全て生存 (動きが鈍)

(サカマキガイ15匹) (シャーレA) (シャーレB)

(写真) シャーレA、シャーレBのサカマキガイはどちらも銅を避けるような行動はとらなかったように見えた。  
 ・銅線に対して銅の表面積が小さいシャーレAの方が、全体的に早く生存数が減少した。  
 (写真) 銅線と銅板の表面積を比較すると、銅板の方が大きい。しかし、銅板の方が、サカマキガイが銅線より早く死んでいくことから、銅線ではない他の要因で死亡が起きたと考えられるが、その要因は特定できない。

**実験③ サカマキガイの個体の大きさによる影響の違い**  
 (方法) ・サカマキガイの大小15匹ずつをシャーレA、シャーレB(270mm)にシャーレの縁に沿って配置した。  
 ・对照実験として銅線が入っていないものをそれぞれ準備した。  
 ・カメラで30分おきに24時間撮影し記録した。

24時間後	銅線あり	銅線なし
サカマキガイ 大	1匹生存	死になし
サカマキガイ 小	全滅	死になし

(サカマキガイの大小の比較では、予想通り体の小さい個体に銅線が影響がなかった。)

**実験④ サカマキガイに対する手洗剤で包んだ銅による影響**  
 (方法) ・銅線を半洗剤(セトビイソ)で包んだものをシャーレAに配置した。  
 ・对照実験として銅線が入っていないものを準備した。  
 ・カメラで30分おきに24時間撮影し記録した。

24時間後	銅+半洗剤	15匹中5匹生存
半洗剤のみ	15匹中死亡なし	

(写真) 銅線に包んでなくても影響を受けたことから、サカマキガイは銅から出る銅イオンの影響を受けていると考えられる。

**実験⑤ 銅とサカマキガイの距離による影響の違い**  
 (方法) ・包んで包んだ銅線(長さ30mm)を円筒形(高さ30mm)に加工して円筒状のように配置し、銅線(50mm)を円筒の中心に(直径140mm)の縁に沿って配置した。  
 ・池の水40mLを入れて、タッパーの中心から銅線まで23mmずつの3つの反応皿に、サカマキガイ(体長2~4mm)を5匹ずつ配置した。

24時間後	反応皿①(一番外側)	反応皿②	反応皿③
銅線が最も近い反応皿	23mm以下で全滅	23mm以下で全滅	23mm以下で全滅

(写真) 銅イオンが最も濃くなる23mm以下で全滅と考えられる。サカマキガイはシャーレの縁に沿って動き回るので、銅線が最も近い反応皿で死亡したと考えられる。銅線が最も遠い反応皿(3)は銅線に触れることもできる状態だったので、それを考慮した実験結果である。

**実験⑥ スクミリンゴガイ(ジャンボタニシ)への応用**  
 (方法) ・池の水(体積0.3)を100mL程度(直径200mm)に入れ、さまざまな大きさのスクミリンゴガイ5匹(平均長さの池水採取から採取)と銅線(50mm×100mm)3枚を写真のように配置した。  
 ・1時間おきに48時間撮影し記録した。

24時間後	2匹死亡
48時間後	全滅

(写真) 体の大きさに比べて体が小さかったため、銅を避けて移動することができなかった可能性がある。サカマキガイと銅線の距離が関係する。

**今後の課題**

- 銅線への影響を確認する実験法を検討する。
- 銅に包みこむことで銅イオンによる影響の違いを確認する。
- 銅の影響を及ぼす範囲をさらに詳しく調べる。
- 濃度の決まった水溶液を準備して、銅イオンの濃度による違いを確認する。
- サカマキガイの結果がスクミリンゴガイにも適用できるかどうかを確認する。
- イネやトウモロコシの影響も考えながら、水田でのスクミリンゴガイの持続可能な駆除方法への応用につなげていきたい。

8年目…新規生徒提案のみで

平成26年度(2014年度)は、生徒が見つけてきた資料の現象をもとにしたテーマのみで進めた。そのテーマは「銀の変色を磨かずに元に戻すには?」というものになった。右上の図はその発表ポスターである。この年度のポスターは細かなレイアウト以外はほとんど生徒の手によるものである。PC(ワープロ)の扱いに関しては特に指示の必要なレベルに到達していた。

研究課題としては、元に戻すことができることはわかっていることだったので、その最適条件を探しているというものであった。これもどんな実験方法で調べればいいのか、ということから始まり、方法を確定してからさまざまなデータをそろえていくというオーソドックスな展開である。ただし、このときはまずどんな方法で変色した銀を準備するかということが最初に問題になり、そこに少し時間がかかった課題であった。しかし、それをていねいに進めていくことが生徒の自力になって身についていくのではないかと思えた。

前段の図は水生動物に対する銅の微量金属作用に関するポスター2枚組の一部である。この部分を担当した生徒が特にエネルギーで、微量金属作用なので小さな水生生物ということで、ミジンコからはじまり、サカマキガイ、スクミリンゴガイと徐々に対象を大きな体ものに変えていった。タニシ類を使ったのは全くの偶然であったが、想像以上の影響があつて驚いたのを覚えている。いろいろやらせてみるものだと、つくづく感じた事例である。さらに銅の影響を高価な測定機器を使わずにどうやったら比較できるかを、知恵を絞って考えて実験装置を設計していた。さらにスクミリンゴガイ(ジャンボタニシ)にも影響があるとわかると、駆除に役立つはずとさらにモチベーションを



がっている。例え、賞がもらえなかったとしても、「今度こそ」という改善への気持ちにつながっていく面もあり、発表時の質問者からのアドバイスも直接役立ったり、ヒントになったりすることもある。もちろん、指導した立場からしても、外部から賞などによって成果が形あるもので認められるということは嬉しいものであり、続けていくモチベーションとなった。

私の指導したグループでこの9年間に参加した校外の研究発表会・論文コンテスト等を列挙すると次のとおりである。現在も続いているものも多い。学会主催の高校生対象研究発表会は、特に分野を特定していないことが多いので、中国四国地区の大会など地理的に近くで開催される場合は参加しやすい。

- ・高校生大学院生による研究紹介と交流会（岡山大）
- ・青少年のための科学の祭典倉敷大会
- ・高校化学グランドコンテスト（大阪市立大・大阪府立大）
- ・宇宙エレベーターロボット競技会（ナリカ）
- ・サイエンスキャッスル関西大会（リバナス）
- ・集まれ！科学好き 科学好き発表会（岡山県）
- ・科学への挑戦者（岡山理科大）
- ・理数科理数コース課題研究合同発表会（岡山県）
- ・ジュニア農芸化学会（日本農芸化学会）
- ・高校生オープン学会（日本薬学会等）
- ・益川塾シンポジウム（京都産業大）
- ・坊っちゃん科学賞（東京理科大）
- ・高校環境化学賞（日本環境科学会）

課題研究への取り組みを通して、批判的に物事を見る視点や細かな変化を見逃さない注意力、諦めない粘り強い忍耐力、先を見通した計画性、他者との関わりのためのコミュニケーション力およびプレゼンテーション力、もちろん科学的な思考力も養うことができると信じて課題研究に関わっていきたい。その中に、自分としては好奇心を満たすような楽しみな部分も入れながらやっているとよいのではないかと考える。いつか、当時の生徒が良い経験、良い思い出、人生のプラスになったと感じてもらえる課題研究であってほしいと願い、それを目指したい。また、ここには私の経験を並べただけの形になっているが、これから学校における探究的な活動の時間が増え、関わる先生も増えることから、一部でも参考になれば幸いである。

## 参考文献

- 北爪智哉, 北爪麻己「イオン液体の不思議 驚異の液体－何が起り,何ができるか?」工業調査会 (2007)
- 北爪智哉, 伊藤敏幸他「イオン液体－常識を覆す不思議な塩－」コロナ社 (2005)
- J. S. Yadav, B. V. S. Reddy, B. EshwaraihandK. Anuradha, *Green Chemistry*, **4**, 592 (2002)
- T. Itoh, N. Ouchi, S. HayaseandY. Nishimura, *Chem. Lett.*, **32**, 654 (2003)
- 長谷川正, 白井豊和「塩化鉄(Ⅲ)によるフェノール類のTLC上での呈色挙動」化学と教育, 第39巻, 74 (1991)
- 長谷川正, 白井豊和「塩化鉄(Ⅲ)によるフェノール類の呈色反応」化学と教育, 第39巻, 90 (1991)
- 長谷川正, 白井豊和「フェノール類の塩化鉄(Ⅲ)試験における酸の呈色の妨害」化学と教育, 第40巻, 780 (1992)
- 宮垣友美, 古賀信吉, 白根福榮「鉄(Ⅲ)イオンとフェノール類の呈色反応と退色」化学と教育, 第47巻, 706 (1999)
- 日本化学会編「微量金属の生体作用」学会出版センター (1995)
- E. F. WespanandW. R. Brode, *J. Am. Chem. Soc.*, **56**, 1037 (1934)
- S. H. Lee, S. H. Ha, C. YouandY. Koo, *KoreanJ. ChemEng.*, **24**, 436 (2007)
- S. Hayashi, H. Hamaguchi, *Chem. Lett.*, **33**, 1590 (2004)
- 塩谷敏明他「アルギン酸カルシウムゲルから成るカプセル体の性質」日本食品工業学会誌, 第36巻, 631 (1989)