

# 理 科

- 事例 1** 生徒が思考を深める物理授業の実践  
..... p. 78
- 事例 2** 思考力の育成を目指した芳香族化合物の学習  
～ 芳香族化合物からなる色素を活用して ～  
..... p. 88
- 事例 3** 思考の深まりと活性化を目指した生物の授業  
..... p. 99

研究協力委員

栃木県立真岡女子高等学校	教諭	矢島直人	(物理)
栃木県立さくら清修高等学校	教諭	瀬尾明久	(化学)
栃木県立佐野東高等学校	教諭	田所陽子	(生物)

研究委員

栃木県総合教育センター

研究調査部	指導主事	岩瀬英二郎	(物理)
研修部	指導主事	今井和彦	(化学)
総務部	指導主事	大高裕一	(生物)

## ○調査研究にあたり

現行の学習指導要領への改訂に当たり、その基本方針の中で「確かな学力を育成するためには、基礎的・基本的な知識及び技能を確実に習得させること、これらを活用して課題を解決するために必要な思考力、判断力、表現力その他の能力をはぐくむことの双方が重要であり、これらのバランスを重視する必要がある」と述べており、「生きる力」を育む上でも、思考力・判断力・表現力等を育成することが求められている。また、理科の改善の基本方針では、「科学的な思考力・表現力の育成を図る観点から、学年や発達段階、指導内容に応じて、例えば、観察・実験の結果を整理し考察する学習活動、科学的な概念を使用して考えたり説明したりする学習活動、探究的な学習活動を充実する方向で改善する」等が示されており、教科の特性を生かした学習活動の充実が求められている。

これらの学習活動では、科学的な思考力を育成する観点から、

- ・実験手順の検討など生徒自身が実験計画を立てる
- ・既習の知識や予備的な実験に基づいて予想したり仮説を設定したりする
- ・直接確認できないものをモデルで置き換えて説明する
- ・共通点や相違点、特徴を明らかにするために事象を比較したり分類したりする
- ・測定値を表にまとめたり、グラフに表したりして、そこから意味や関係・傾向などを分析したり解釈したりする

などの活動を意図的に設けることが大切である。そして、それぞれの学習活動の際には、生徒一人一人にじっくり考えさせるとともに、グループで協議させた後、自らの考えをまとめさせることも考えられる。

また、これからの高等学校教育を考えていく上で、高大接続システム改革会議において「現状の高等学校教育、大学教育、大学入学者選抜は、知識の暗記・再生に偏りがちで、思考力・判断力・表現力や、主体性をもって多様な人々と協働する態度など、真の『学力』が十分に育成・評価されていない」という指摘もあり、各教科における思考力・判断力・表現力の育成がますます重要視されることが予想される。

以上を踏まえて、本研究では、研究協力員の所属校の物理、化学、生物の各科目において生徒の思考力の育成を目指し、授業を実践した。

# 事例 1 生徒が思考を深める物理授業の実践

## 実践 1 生徒に思考させる授業展開の工夫 ～新しい電池と古い電池の違いを題材に～

### 1 ねらい

電池についての指導をしていて、学習内容があまり定着できていないと感じたため、ある生徒に学習の方法を尋ねたところ、「とりあえず公式を暗記して数値を代入する」という答えが返ってきた。授業中に話したり見せたりしたことが、教科書の内容と結び付いていないと痛感させられた。

観察や実験を通して、実物に触れさせながら思考させることの重要性はこれまでも言われてきたことであるが、教科書の内容等と関係付けができていないと、結局はその場しのぎで公式を覚えるだけで記憶に残らない。そこで今回は、これまでに習得した知識や実際に目にした現象を結び付け、生徒が思考を深めることができるように、比較、分類、関係付け、理由付けという「思考のすべ」を取り入れることにした。

(以下に指導案の例を示す。)

#### 学習指導案

#### 高等学校理科（物理）学習指導案

日 時	平成〇〇年〇月〇〇日 第〇校時
学科・学年・組	普通科第3学年〇組
使用教科書	「物理」（数研出版）
指導者	〇〇高等学校 教諭 〇〇 〇〇

1 単元名 電気回路

2 単元の目標 電気回路について理解させる。

#### 3 単元の指導観

電気回路についての学習は苦手とする生徒が多い。その原因は現象をイメージしづらいことにあると考えられる。このことを踏まえて、シミュレーションや観察、実験を通して現象をしっかりと捉えられるようにする。

#### 4 単元の評価規準

関心・意欲・態度	思考・判断・表現	観察・実験の技能	知識・理解
<ul style="list-style-type: none"> <li>複雑な直流回路網で回路のどの部分にどれくらい電流が流れているか探究しようとしている。</li> <li>半導体のはたらきについて興味関心を示している。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>オームの法則、電力、電気量、ジュール熱等の公式を適用して考察している。</li> <li>電流計や電圧計の測定範囲を大きくするにはどうしたらよいか判断している。</li> <li>電流を電子の運動と関連付けて、微視的な視点から電気抵抗やジュール熱等について考察している。</li> <li>新旧の乾電池を混用したときの危険性について起電力と内部抵抗の違いをもとに考察している。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>回路図をもとに回路を組み立てて、適切にデータを集め、整理している。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>オームの法則や抵抗率の温度変化等の導体を流れる電流と電圧についての基本的な性質について理解している。</li> <li>キルヒホッフの法則や電池の起電力と内部抵抗、ホイートストンブリッジ、電球の電流・電圧特性等の電気回路の基本的な知識を身に付けている。</li> <li>半導体の基本的な特性について理解している。</li> </ul>

## 5 単元の指導計画及び評価計画（9時間）

◎で示した評価規準：達成度の状況を主に単元の評価の総括の資料とする

○で示した評価規準：達成度の状況に応じた適切な働きかけや指導の手立てを行うことを主に重視する

時	学 習 内 容	観 点				評 価 規 準	評 価 方 法
		関	思	技	知		
1 5 3	<p>・オームの法則</p> <p>導体を流れる電流の大きさが電位差に比例することや電気抵抗について理解する。また、抵抗率は、温度上昇に伴い大きくなることを考察する。</p>				◎	オームの法則や抵抗率の温度変化等の導体を流れる電流と電圧についての基本的な性質について理解している。	・発問
			◎			オームの法則、電力、電気量、ジュール熱等の公式を適用して考察している。	・発問 ・問題演習
			◎			電流を電子の運動と関連付けて、微視的な視点から、電気抵抗やジュール熱等について考察している。	・問題演習
4 5 6	<p>・直流回路</p> <p>電位差、電流の意味を確認し、キルヒホッフの法則を理解する。電池について起電力、内部抵抗、端子電圧の関係式を把握する。</p>				◎	キルヒホッフの法則や電池の起電力と内部抵抗、ホイートストンブリッジ、電球の電流-電圧特性等の電気回路の基本的な知識を身に付けている。	・発問 ・問題演習
		◎				複雑な直流回路網で回路のどの部分にどれくらい電流が流れているか探究しようとしている。	・問題演習
			◎			電流計や電圧計の測定範囲を大きくするにはどうしたらよいか判断している。	・発問 ・問題演習
					○	電流計や電圧計のつなぎ方を理解している。	・行動観察
7 ・ 8	<p>・半導体</p> <p>半導体について、電流の流れる仕組みや特徴を理解する。また、半導体ダイオードの原理や整流作用及びトランジスタについても学ぶ。</p>	◎				半導体のはたらきについて興味関心を示している。	・発問
					◎	半導体の基本的な特性について理解している。	・発問 ・問題演習
9 (本時)	<p>・探究活動</p> <p>乾電池の内部抵抗に関する実験を行い、電池の内部抵抗について探究する。</p>			◎		回路図をもとに回路を組み立てて、適切にデータを集め、整理している。	・実験プリント ・行動観察
			◎			新旧の乾電池を混用したときの危険性について起電力と内部抵抗の違いをもとに考察している。	・発問 ・実験プリント

## 6 本時の指導計画

- (1) 題 目 電気回路に関する探究活動
- (2) 目 標 回路図をもとに回路を組み立て、適切にデータを集め、整理する。また、乾電池の起電力、端子電圧、内部抵抗について日常生活と関連させながら探究する。
- (3) 準備物 乾電池（新しいものと古いもの）、電圧計、電流計、可変抵抗器、導線、豆電球、グラフ用紙、電卓
- (4) 本時の展開（9時間のうちの第9時）

段階	学 習 内 容	学 習 活 動	指導上の留意点	評価規準（方法）
導入 10分	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ <math>V = E - rI</math> の確認</li> </ul> <p>【実験Ⅰ】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 新旧乾電池の起電力の測定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 事前に学習した <math>V = E - rI</math> の公式を確認する。</li> <li>・ 新旧の乾電池について起電力を予想し、意見交換をする。</li> <li>・ 新旧の乾電池の起電力を測定する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 式の確認程度でとどめる。</li> <li>・ つなぎ方を大型テレビ画面に映し、測定に集中させる。</li> </ul>	<p>【観察・実験の技能】</p> <p>回路図をもとに回路を組み立てて、適切にデータを集め、整理している。 (実験プリント、行動観察)</p>
展開 25分	<p>【実験Ⅱ】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 電池の起電力と内部抵抗の測定実験</li> </ul> <p>【結果の考察】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 各班の結果をまとめる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 実験Ⅱの目的・方法を理解する。</li> <li>・ グラフのかき方を確認する。</li> <li>・ 実験を行う（10分）測定値の記録を行う。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 役割をあらかじめ指定する。</li> <li>・ 机間指導を行い、正しい手順で実験できているか確認する。</li> </ul>	
まとめ 10分	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 新旧乾電池の違いを考察する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 実験結果より新旧乾電池で大きく異なるものを見いだす。</li> <li>・ 新旧乾電池を混用したときに想定される危険性について考察する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 日常生活で行いがちな危険な使用方法について、可能な限り生徒間で挙げられるように適宜アドバイスを与える。</li> </ul>	<p>【思考・判断・表現】</p> <p>新旧の乾電池を混用したときの危険性について起電力と内部抵抗の違いをもとに考察している。 (発問、実験プリント)</p>

(以上、指導案の例)



授業の様子

### 〈観察・実験〉新旧乾電池の違い


3年 組 番 氏名 \_\_\_\_\_

1. 目的  
新しい乾電池と古い乾電池の違いについて、実験を通してその特性を学ぶ。また、乾電池使用の注意点について、実験結果に基づき考察を行うことで、安全に使用するための知識を深める。

2. 実験準備  
乾電池（新しいものと古いもの各1）、電池ボックス、みのむしクリップつき導線、可変抵抗器、電流計、電圧計、グラフ用紙、ものさし、電卓

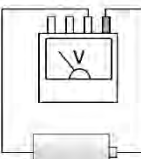
3. 実験Ⅰ 新旧乾電池それぞれの電圧を調べる。使用する電池の種類（ \_\_\_\_\_ ）

①図のように、それぞれの乾電池に豆電球を接続し、乾電池の新旧を区別する。そして、電池に『新』『古』のシールを貼る。



②新旧乾電池の起電力の違いはあるだろうか。予想を立てて、意見交換してみよう。  
〈予想〉  
起電力の大きさは、  
i. 新しい乾電池の方が大きい  
ii. 同じである  
iii. 古い乾電池の方が大きい  
〈理由〉

③図のように、電圧計を乾電池に接続して電圧の大きさを測定しよう。

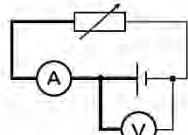


④測定結果  
○新しい乾電池 \_\_\_\_\_ V  
○古い乾電池 \_\_\_\_\_ V

以上の結果より、新旧乾電池の違いは、 \_\_\_\_\_ と考えられる。

4. 実験Ⅱ 新旧乾電池それぞれの電流値と端子電圧の関係を調べる。

①右図のような回路を組み、可変抵抗を変化させ、50mA から 50mA ごとに6つのデータを取る。



【電位の高い部分（右図太線部分）は赤の導線、低い部分は黒の導線を用いる】

②結果の記録

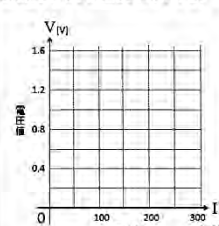
・新しい乾電池

50mA	100mA	150mA	200mA	250mA	300mA
_____ V	_____ V	_____ V	_____ V	_____ V	_____ V

・古い乾電池

50mA	100mA	150mA	200mA	250mA	300mA
_____ V	_____ V	_____ V	_____ V	_____ V	_____ V

③結果をグラフ用紙にプロットする。



④グラフの傾きを求める。  
i. それぞれのプロットからの距離が最小になるように直線を引く。  
ii. 引いた直線から傾きを求める。（プロットの値を読むのではなく直線の座標を用いること）

⑤  $V = E - rI$  であるから、③と④より  $E$  と  $r$  が求まる。  
・新しい乾電池  $E =$  \_\_\_\_\_  $r =$  \_\_\_\_\_  
・古い乾電池  $E =$  \_\_\_\_\_  $r =$  \_\_\_\_\_

図 1 - 1 実験プリント（表）

5. 考察  
新しい乾電池と古い乾電池を混用すると危険である（電池記載の注意事項を確認）。実験結果をもとに、この理由を考察しよう。

①古い乾電池と新しい乾電池の大きな違いは（ \_\_\_\_\_ ）。

②乾電池を複数個使用する機器は基本的に（ 直列 ・ 並列 ）に電池を用いる。

③ 1Ω と 10Ω の抵抗を上②のつなぎ方をしたとき、それぞれの抵抗の（ 電圧値 ・ 電流値 ）が同じであるから消費電力の大きさは（ \_\_\_\_\_ Ω ）の方が大きい。

④新旧の乾電池に置き換えると、①より（ 新しい ・ 古い ）乾電池の方が、内部抵抗による消費電力が大きいということになる。

⑤内部抵抗の消費電力が大きいことによる危険性をグループで話し合ってください。たくさん想定してみよう。

図 1 - 2 実験プリント（裏）

## 2 授業の展開

### (1) 実験結果の予想 (図 1-1 実験プリント：実験 I)

初めに、未使用の新しい乾電池と使い古した乾電池を用意し、豆電球をつないで新旧の区別を行った。その上で、「新しい乾電池と使い古した乾電池の違いは何ですか」という曖昧な発問をすると、ある生徒が「重さが違うかも」と答えた。このように曖昧な発問では、生徒はそれぞれの視点で考え、焦点が定まらない答えが出てくる可能性がある。そこで次に、電池の端子電圧については  $V = E - rI$  の関係式があることを示して、「どの部分が原因で違いが生じるのでしょうか」と問いかけると、「起電力が変化している」または「内部抵抗が変化している」という答えに絞られ、科学的な思考に基づく予想ができるようになった。(思考のすべ **関係付け**)

### (2) 回路を組むときの思考の手助け (図 1-1 実験プリント：実験 II の①)

回路を組むときに、導線の色を指定するとともに、回路図における電位の高低を強く意識させた。そのことにより、自信を持って「この端子には、この線をつなげばいい」と判断して配線することができた。また、実際の回路においても電位との関係付けをさせることができた。

### (3) 測定結果のプロット (図 1-1 実験プリント：実験 II の③)

実験結果をグラフにした結果をもとにグラフの切片と傾きから何が分かるのかについて考えさせた。数学の学習内容を想起させて、「 $y = ax + b$  の式と比較してみよう。今回の実験で得られた  $V = E - rI$  のグラフで切片は何 (どんな物理量) でしょうか。また、傾きは何でしょうか。」と発問した。このように数学の学習内容と結びつけることで生徒はスムーズに思考することができた。(思考のすべ **比較**)

### (4) 考察

本時の考察は、乾電池の使用上の注意に記載されているように「新しい乾電池と古い乾電池の混用は危険」なのはなぜなのかを実験結果を通して導かせることをねらいとした。そのために、まず内部抵抗が異なるとどのような現象が起こるかを予測させ、その現象によって生じる危険性を考えさせた。

#### ア 抵抗値が異なる 2 つの抵抗を接続したときに起こる現象の確認

複数の乾電池を用いる機器では、多くの場合、直列に用いているが、生徒の多くは意外にも並列だと考えていた。その理由はテレビなどのリモコンで電池が横に並んでいるからだろう。生徒にリモコンの電池部分を観察させ、上下が反対に並んでいることから直列になっていることを理解させた。

その上で、抵抗値が異なる 2 つの抵抗を直列に接続した場合、どちらの抵抗の方が消費電力が大きくなるかを考えさせた。「消費電力の式は?」「直列のときそれぞれの抵抗で共通のものは?」そして、「以上より、消費電力が大きい抵抗はどちらか?」と問いかけ、グループ内で相談して回答させた。

#### イ 新旧乾電池の混用による危険性の考察

実験の結果から古い乾電池の方が、内部抵抗が大きいため電池内部の消費電力が大きくなることが分かった。これをもとに、新旧乾電池を混用した場合に生じる危険性について、生徒個々の経験をもとに自由に考えてほしいので、この実験では図 2 のような補助プリントを作成して考察させた。(思考のすべ **関係付け**)



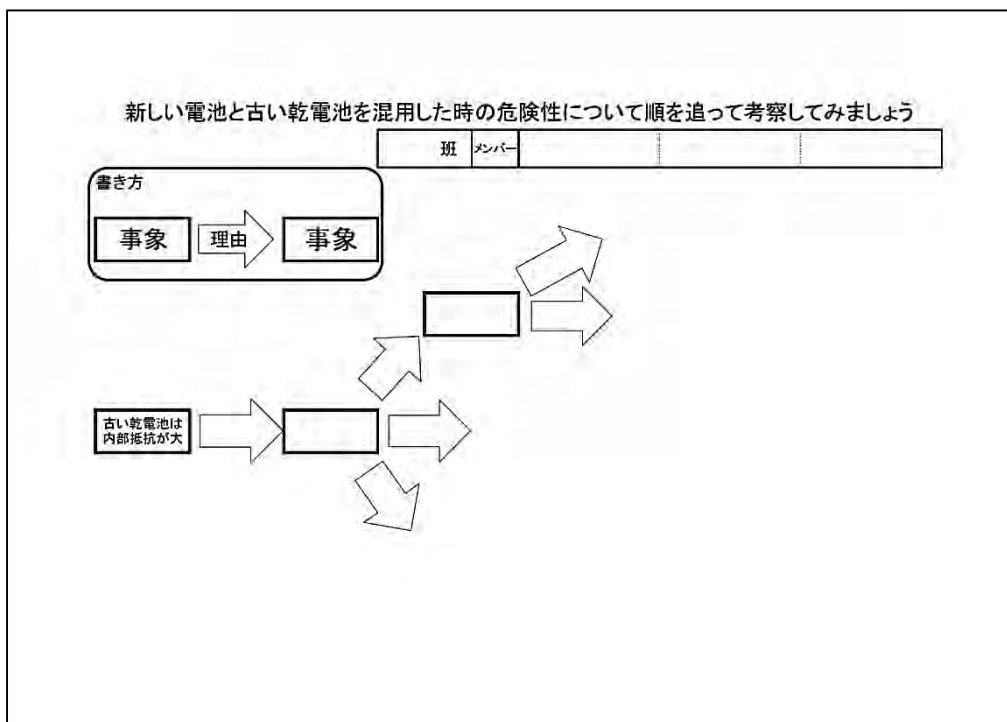


図2 補助プリント

四角の枠の中には事実や考えられる現象を書き、矢印の中にはその理由付けを記入するようにした。まず、補助プリントの左端にある四角に「古い乾電池は内部抵抗が大」という事実を記し、そこから生じる現象や危険性について各班で話し合いながら考えられることを次々に記述させた。図3は、生徒が記述した内容の例である。

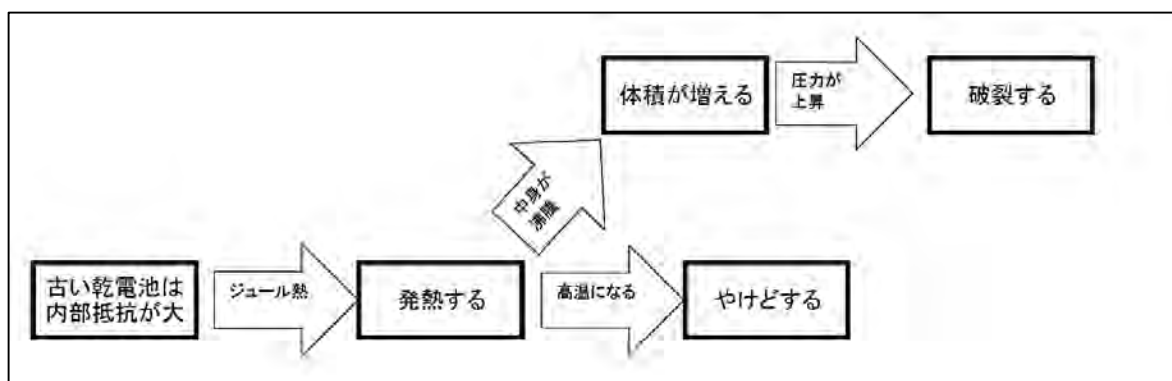


図3 生徒の記述例

### ウ グループ内での議論の結果

グループ活動の結果、生徒たちが考え出した「新旧乾電池の混用による危険性」は以下のとおりである。

- ・ やけど
- ・ 爆発によるケガ
- ・ 液漏れによる機器の破損
- ・ 目に入ると失明の恐れ
- ・ 飛び散った中身の液体が皮膚に付着することでダメージを与える

### 3 実験結果

以下に今回の実験Ⅱの結果を示す。

#### ○端子電圧の測定結果

新しい乾電池と古い乾電池それぞれの端子電圧の測定結果は以下のとおりである。

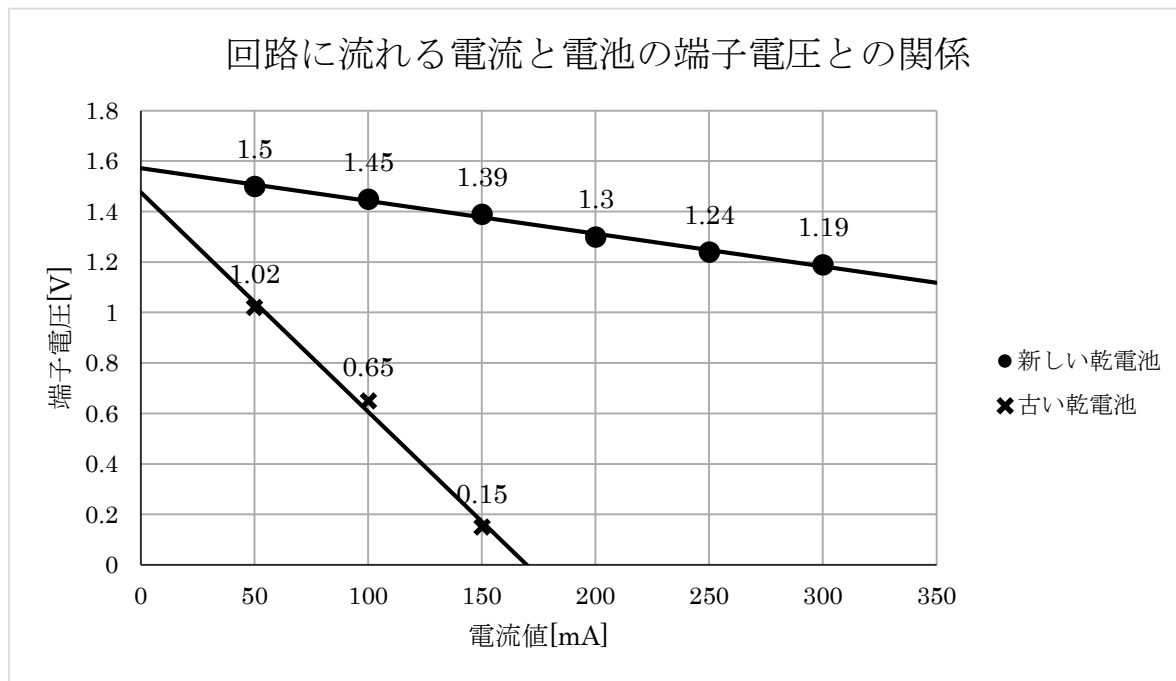


図4 実験結果

図4のグラフの傾きと切片より以下の結果が得られた。

・新しい乾電池

・古い乾電池

$$E = \underline{1.56[V]} \quad r = \underline{1.33[\Omega]} \quad E = \underline{1.48[V]} \quad r = \underline{8.7[\Omega]}$$

### 4 今回の実験について

#### ○古い乾電池の準備

はじめ、「古い電池」が見つからなかったので「使い切った電池」を用意した。つまり、「新しい乾電池」と同時期に購入した乾電池を実験前に豆電球が点かない程度にまで消費したものであった。本来この実験の目的は、新しい乾電池と古い乾電池の違いは、内部抵抗の大きさであり、起電力の大きさはあまり変わらないことを知ることにおもしろさがあると考えていた。しかし、急激に消費した乾電池では、内部抵抗の増加は見られたもののあまり大きい値にはならず、本来は差が出ないはずの起電力の大きさが明らかに落ちてしまった。その結果が図5のグラフである。この乾電池の起電力は1.37V、抵抗値は2.86Ωであった。

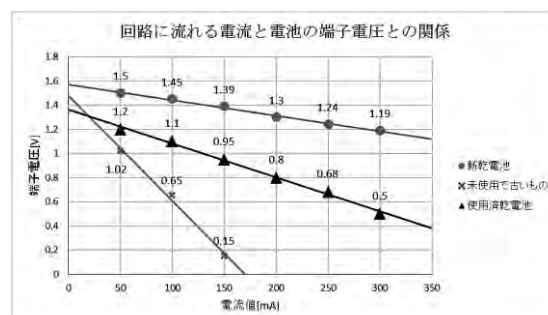


図5 使用済乾電池の端子電圧

## ○感じたこと

今回の実験の結果より、未使用で使用期限を過ぎて使えなくなった乾電池を使用すると、同じ種類の電池で未使用であっても購入時期の違う乾電池を混用することも危険である。また、未開封の状態であれば、内部抵抗が増加していることを意識せずに使用してしまうことも考えられる。これらのことを生徒に考えさせることもできると感じた。

## 5 アンケート結果から

普段の授業展開と、今回のように個人で思考させたりグループで議論させたりする授業展開についてどのように感じたかアンケートを実施した。(対象生徒数 14 名)

<p><b>質問 1</b> 電池の異種混用の危険性についてプリントに従って自分たちで考えることはできましたか。</p>	<table border="1"> <tr> <td>できた</td> <td>29%</td> </tr> <tr> <td>概ねできた</td> <td>71%</td> </tr> </table>	できた	29%	概ねできた	71%		
できた	29%						
概ねできた	71%						
<p><b>質問 2</b> 考察することを楽しめましたか。</p>	<table border="1"> <tr> <td>できた</td> <td>57%</td> </tr> <tr> <td>概ねできた</td> <td>43%</td> </tr> </table>	できた	57%	概ねできた	43%		
できた	57%						
概ねできた	43%						
<p><b>質問 3</b> 一般的な一問一答形式の考察より今回のようなみんなで考える考察の方がいい。</p>	<table border="1"> <tr> <td>そう思う</td> <td>71%</td> </tr> <tr> <td>まあそう思う</td> <td>21%</td> </tr> <tr> <td>あまり思わない</td> <td>7%</td> </tr> </table>	そう思う	71%	まあそう思う	21%	あまり思わない	7%
そう思う	71%						
まあそう思う	21%						
あまり思わない	7%						
<p><b>質問 4</b> 普段の説明中心の授業と今回の実験のように自分で考える授業では、自分で考える方が楽しい。</p>	<table border="1"> <tr> <td>そう思う</td> <td>57%</td> </tr> <tr> <td>まあそう思う</td> <td>43%</td> </tr> </table>	そう思う	57%	まあそう思う	43%		
そう思う	57%						
まあそう思う	43%						
<p><b>質問 5</b> 普段の説明中心の授業と今回の実験のように自分で考える授業では、自分で考える方が記憶に残る。</p>	<table border="1"> <tr> <td>そう思う</td> <td>64%</td> </tr> <tr> <td>まあそう思う</td> <td>29%</td> </tr> <tr> <td>あまり思わない</td> <td>7%</td> </tr> </table>	そう思う	64%	まあそう思う	29%	あまり思わない	7%
そう思う	64%						
まあそう思う	29%						
あまり思わない	7%						

「質問 3」では、そう思う理由も聞いた。

【そう思う・まあそう思う】の理由

- ・ 1人で考えるといつまでも答えが出ないから
- ・ 記憶に残っているから
- ・ 素直に自分の意見と友だちの意見を比べられるから
- ・ 楽しい (同様の意見 2)
- ・ みんなで考えると、いい意味で考えることをサボれないし、印象に残るから
- ・ みんなの考察も参考になるから

アンケートの結果からは、教師に教えられるよりも自分たちで考えたりグループで議論したりするような授業展開の方が「楽しい」「記憶に残る」という肯定的な回答が大部分を占めていた。ただし、生徒に思考させる場面では適切に教師がヒントを与え、思考を深めたりスムーズな流れをつくらせたりする必要があることも実感した。その際に、**比較**や**関係付け**などの「思考のすべ」を意識することは有効であった。

## 実践2 生徒の予想を超える現象で思考力を高める ～ 磁石振り子の考察 ～

### 1 ねらい

電磁誘導の単元に入る前に、電流が流れると磁場が生じることや磁場中に電流が流れると力を受けることを学んだことを生かし、磁場が変化することにより誘導電流が流れることを推測させることを目的とする。NHKの「考えるカラス」という番組がある。この番組を参考として、アルミニウム板上での磁石振り子の振る舞いを考察することで、新しいことを物理的根拠に基づいて予測する能力を養う。

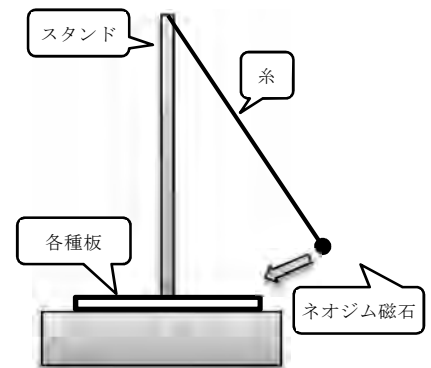


図6 実験装置

### 2 授業の展開

図6のような装置を生徒に示して、振り子の運動の様子を図7に示した実験プリントに従って考えさせた。

磁石でできた振り子の最下点部分に

- ①アクリル板
- ②鉄板
- ③アルミニウム板

の3種類の板を敷いてそれぞれ実験を行うとき、振り子はどのような動きをするのかを問いかけた。

#### (1) 板の分類

電磁気分野の視点に立って、3種類の板を分類させた。どのような視点で分類したらよいかについては生徒から意見を募った。教師側としては、「電流を流すか」「磁石につくか」で分類することを想定した。

#### (2) 各種板での振り子の動きの予測

アクリル板、鉄板、アルミニウム板それぞれの場合について、先の分類に基づいて各自で予想を立てさせた。また、なぜそう考えたのかを班内で意見交換させて、次に班としての予想を発表させた。

**〈観察〉磁石振り子**

氏名 \_\_\_\_\_

1. 目的  
下の図のように、ネオジム磁石の振り子をつくる。最下点に各種板を敷き、振り子の振れ方を予想し理由を考察しよう。
2. 最下点に敷く板の種類  
①アクリル板 ②鉄板 ③アルミニウム板
3. 板の仲間分け  
電気や磁気に関する性質で金属板を分類せよ。  
・分類方法① ( )  

がある		が無い	
その性質		その性質	

  
 ・分類方法② ( )  

がある		が無い	
その性質		その性質	
4. 振り子の運動の予想と結果  
選択肢：ア 遅くなりすぐ止まる イ 加速してなかなか止まらない ウ 変わらない  
①アクリル板  
予想 ( ) 結果 ( )  
②鉄板  
予想 ( ) 結果 ( )  
③アルミニウム板  
予想 ( ) 結果 ( )
5. 考察  
○実験結果について、3で行った分類から理由を考えてみよう。

図7 実験プリント

### (3) 検証実験

アクリル板と鉄板に関しては、大方の予想どおりの振る舞いをするので、先に実験を行った。アルミニウムに関してはグループで意見交換をして、十分に予想を立てさせ、後から実験を行うようにした。

### (4) 生徒の予想

生徒に予想を立てさせるときに、先に行ったそれぞれの板の性質を分類したものを根拠に、生徒全員に「アルミニウム板は磁石にはつかないが電流は流す」ことを共通理解した上で話をさせた。十分に話し合った後のアルミニウム板に関する生徒の予想は以下のとおりであった。

回 答	人数	そう考えた理由
ア. 遅くなりすぐ止まる	0人	
イ. 加速してなかなか止まらない	8人	・磁石にはつかないけれど、電気が流れるから何か反応しそうだから ・あえてアルミニウム板の実験をしているから変化すると思ったから
ウ. 変わらない	6人	・磁石につかないから

### (5) 考察

実験結果を見たときは、歓声が上がった。なぜ止まったのか以下の手順で考察させた。

#### ア アクリル板との違い

実験プリントの3で分類した結果から、アルミニウム板は電気を流すことに着目させた。

#### イ 磁石が止まる理由

「磁石を止める力は何か」と問いかけて、アルミニウム板に磁場が生じたのではないかと推測させた。その次に「磁場を生じさせたものは何か」を既習の内容を振り返りながら考えさせた。その結果、アクリル板との比較から電流が流れるからではないかとの結論に至った。

#### ウ まとめ

以上のことから、鉄のように磁力を受ける物質（強磁性体）でなくても磁場の影響を受けることを印象づけ、次の「電磁誘導」の単元に入った。

## 3 成果と課題

生徒は意外な結果に興味を持つとともに、直感的な予想よりも深く現象を捉えることができた。また、この現象をエネルギーの観点から捉えて、IH (Induction Heating) 技術などに関係付ける展開も考えられる。

[参考文献等]

- ・文部科学省検定教科書『高等学校 物理』（数研出版 平成26年）
- ・栃木県総合教育センター『思考力・判断力・表現力を育む授業づくり【理論編】』（平成27年3月）
- ・日本放送協会『考えるカラス ～科学の考え方～』（NHK for school）  
<http://www.nhk.or.jp/rika/karasu/>

## 事例2 思考力の育成を目指した芳香族化合物の学習 ～ 芳香族化合物からなる色素を活用して ～

### 1 科目「化学」の中で扱う有機化合物及び高分子化合物について

化学は、実際に物質に触れることで、その物質の性質や他の物質との相互作用等を探究しながら、物質観と思考力が育まれる科目である。特に観察・実験は、対象とする物質を通して生徒に主体的に思考させるための様々な仕掛けづくりが可能な機会である。そしてその物質を追究することで、多様な物質への興味・関心が高められる。次の学習指導要領では、さらに高度な思考力・判断力・表現力の育成が求められ、化学における探究的な諸活動は大きな役割を果たせることが期待できる。

本調査研究では、科目「化学」の大項目「有機化合物の性質と利用」や「高分子化合物の性質と利用」を対象単元とした。現行の学習指導要領の実施に伴って、大項目「物質の状態と平衡」で分子間の相互作用や電離平衡等について学習した後に、体系的に有機化合物や高分子化合物を扱うことになった。これにより種々の物質を多面的かつ論理的に捉えさせることが可能になった。一方で、それらの物質と日常生活や社会との関係などを押さえることもこれまで以上に重視している。

そこで、既習事項である電離平衡や粒子間の相互作用に関する知識等を生かしながら、人間生活と関係が深い染料や繊維となる有機化合物への探究を深めさせる活動を通して化学的な思考力を育成することを目的とする指導事例を検討した。特に、観察・実験における考察や問題演習を通してどのような思考力を育成するかを、栃木県総合教育センターで実施した「思考力・判断力・表現力の育成に関する調査研究」の報告書に示された「思考のすべ」(次表)に照らしながら検討し、指導・実践した。

「思考のすべ」の種類			「思考のすべ」の種類			「思考のすべ」の種類	
記号			記号			記号	
比較	示された視点による比較	A1	関係付け	課題を見いだす	C1	理由付け	D
	視点を見いだす比較	A2		類推	C2		
	検討	A3		想像	C3		
分類	示された視点による分類	B1		構造化	C4		
	視点を見いだす分類	B2		帰納的思考	C5		
	まとめ	B3		演繹的思考	C6		

表中の「記号」を用い、下の「実践内容」を示す表や、次頁以降の各事例の説明において、育成したい思考力を表している。

なお、今回の調査研究の対象生徒は、学校設定科目「実践化学」を履修し、主に「化学」の内容を学習する総合学科第3学年の理科系の生徒である。生徒の進路希望は四年制国公立大学から専修・専門学校への進学まで多様であり、本科目の学習内容に対する習熟度に個人差が大きい。

### 2 実践内容(本調査研究に関連する「指導計画・評価計画」(例))

報告する事例に関係する実践内容を、「指導計画・評価計画」の形で示す。特に、「評価の観点」の「思」(「思考・判断・表現」)の欄には、評価の該当の有無を示す「◎」または「○」の他に、対応を想定した「思考のすべ」の種類を示す記号「A1」、「A2」、…、「D」(上表)を付した。なお、記載を省略している時間の指導内容等については、平成25年度の調査研究報告書を御参照いただきたい。

◎の付いた評価規準：到達度の状況を主に単元の評価の総括資料とする。  
○の付いた評価規準：到達度の状況に応じた適切な働きかけや指導の手立てを行うことを主に重視する。

時間	学習内容	学習活動とねらい	評価の観点				評価規準 (学習到達目標)	評価方法
			関	思 (*)	技	知		
1 ～ 7	有機化合物の性質と利用 芳香族化合物							

8	関連事例(1)	<p>演示実験を観察しながら、基本的な芳香族化合物を抽出・分離する原理を理解する。また、模擬実験を通して抽出・分離するための技能を身に付ける。</p> <p>【板書】【演示実験】 【生徒実験】</p>			◎	<p>分離する芳香族化合物の官能基に着目し、液性の調節によって抽出・分離する原理を理解し、操作過程を説明している。</p>	<p>・演習問題 ・実験レポート</p>
					◎	<p>分液ロートの構造を理解し、分液ロートを適切かつ安全に使用し、水と有機化合物の混合物からそれぞれを分離することができる。</p>	<p>・行動観察 ・実験レポート</p>
9	関連事例(2)	<p>芳香族化合物の異性体を考えながら、それぞれの化合物の性質を官能基から判断する。また、それらの異性体が混合した溶液からそれぞれを抽出・分離する方法を考え、文章や図で表現する。</p> <p>【板書】【問題演習】</p>	◎ C4 B1			<p>分子式から芳香族化合物の異性体を漏れなく見いだしている。さらに官能基に着目して、異性体を分類・整理することができる。</p>	<p>・演習レポート</p>
			◎ C2 C6			<p>基本的な抽出・分離方法の知識を活用しながら、芳香族化合物の官能基から判断して分離方法を検討し、文章や図で表現している。</p>	
10	有機化合物と人間生活 中心事例	<p>人間生活で使用されている、芳香族化合物である3種類の色素の混合物から、抽出・分離によりそれぞれの色素を分離する。また、身近にある有機化合物の存在に気づき、それらへの関心を高める。</p> <p>【生徒実験】</p>	◎ C2 A3			<p>色素の混合物を抽出・分離する方法を既習事項を基に導き出し、他者の合意を得て分離している。また他班の分離方法と客観的な比較をし、合理的な評価・説明をしている。</p>	<p>・行動観察 ・実験レポート</p>
			○			<p>分離した色素など、人間生活と染料とのつながりについて実験班で協議しながら、身近にある有機化合物への関心を高めている。</p>	<p>・実験レポート</p>
11							
12	高分子化合物の性質と利用に関する探究活動 関連事例(3)	<p>これまでに自身が身に付けた化学の知識や探究方法を活用し、染料の繊維への染着のメカニズムを化学的に追究する。また、繊維を中心に、大項目「高分子の性質と利用」全体の学習内容を振り返り、自身の理解度を確認する。</p> <p>【探究活動(生徒実験)】</p>	◎ C1			<p>3種類の染料を用いた多織交織布への染色実験結果を整理し、それぞれの分子構造や官能基等の違いに着目しながら、染着のメカニズムを探る視点を見いだしている。</p>	<p>・探究レポート ・行動観察</p>
			◎ A2 B2 C5 C6			<p>これまでに身に付けた「化学」全体の学習内容を活用し、染色実験結果を分析したり、帰納的・演繹的に考察を深めたりでき、得られたことを探究レポートにまとめている。</p>	<p>・探究レポート ・行動観察</p>

(\*) 「思考・判断・表現」の「思考」には、対応する「思考のすべ」の種類(前頁)を付してある。

### 3 関連事例(1) 実験・観察「芳香族化合物の分離(1)」(※ 学習指導案は省略する。)

#### (1) 実施目的

分液ロートの構造を理解させ、使い方を習得させる。また、基本的な芳香族化合物の抽出・分離の演示実験を観察させることで、芳香族化合物の分離の原理や分離の際の留意事項を理解させる。

#### (2) 生徒実験における配慮事項

- ア 分液ロートのコックにはシリコングリース等を塗っておく。テフロンコックの場合は不要。
- イ 支持環にはサラシ等を巻いておき、分液ロートを静置しやすくする。分液ロートホルダーの場

合は不要。

### (3) 演示実験における配慮事項

ア 飽和炭酸水素ナトリウム水溶液は、演示実験を行う直前に調製する。

イ 時間が確保できれば、下層（水溶液）を排出した後に再度水を加えて残渣を抽出するのが望ましい。

ウ 抽出中、分液ロート内のジエチルエーテルの揮発等に注意しながら、適宜補充・追加する。

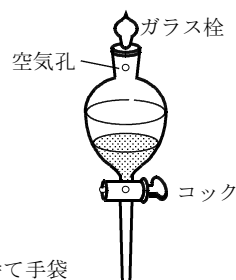
エ 実物投影装置やプロジェクター等を用い、投影・提示する。

### (4) 実験プリント例（※ 記入欄は省略している。）

#### 実験・観察 芳香族化合物の分離（1）

##### [目的]

- (1) 分液ロート（右図）の構造と使い方を身に付ける。（生徒実験）
- (2) ニトロベンゼン、アニリン、フェノール、安息香酸の混合エーテル溶液から、それぞれの芳香族化合物を、抽出により分離する。（演示実験の観察）



##### [準備]

###### (1) 器具

〈生徒実験〉 分液ロート(100mL)、支持環付きスタンド、駒込ピペット、50mLビーカー 2個、使い捨て手袋  
〈演示実験〉 分液ロート(100mL)、支持環付きスタンド、駒込ピペット、試験管、試験管立て、100mLビーカー 4個

###### (2) 試薬

〈生徒実験〉 ジエチルエーテル

〈演示実験〉 試料（ニトロベンゼンとアニリン各 1 mL、フェノール 2 mL、安息香酸 0.5 g を 10 mL のジエチルエーテルに溶かした混合溶液）、塩酸（6 mol/L、2 mol/L）、水酸化ナトリウム水溶液（6 mol/L、2 mol/L）、飽和炭酸水素ナトリウム水溶液、1% さらし粉水溶液、0.1 mol/L 塩化鉄(III)水溶液、ジエチルエーテル

##### [方法]

(1) 分液ロートの構造と使い方の確認、事故防止に向けて注意すべきことの確認（生徒実験）

- ① コックを開閉したり、ガラス栓の溝と空気孔を合わせたりずらしたりしてみる。
- ② 分液ロートのコックが閉じていることを確認し、10mL程度の水と5mLのジエチルエーテルを分液ロートに入れた後、ガラス栓の溝と空気孔がずれるように栓をする。
- ③ 分液ロートを図の状態から逆様にし、一方の手でガラス栓を下から押さえ、他方の手でコックを固定しながら分液ロートを上下によく振り、中の液をよく混ぜ合わせる。
- ④ コックを開き、液から発生した気体を外部に出す。（ガス抜き。）
- ⑤ コックを閉じ、分液ロートを上下によく振り、中の液をよく混ぜ合わせる。  
\* ④と⑤を何度か繰り返す。
- ⑥ 分液ロートを図の状態に戻し、ガラス栓の溝と空気孔を合わせた後に支持環に置き、水とジエチルエーテルが完全に分離するのを待つ。
- ⑦ 分液ロートの下に50mLビーカーを置き、コックを少しずつ開いて、下層（水）をビーカーに移す。  
\* 上層と下層の境界面を見ながら、ジエチルエーテルが排出されないように注意する。
- ⑧ ガラス栓を外し、駒込ピペットで上層（ジエチルエーテル）だけを吸い上げ、別の50mLビーカーに移す。

(2) ニトロベンゼン・アニリン・フェノール・安息香酸の抽出・分離（演示実験の観察）

- ① 試料約10mLを分液ロートに入れ、6 mol/L塩酸10mLを加えた後よく振って、抽出・分離させる。下層をビーカーAにとる。  
\* 上層・下層の境界付近の溶液は、別の容器に排出する。
- ② ビーカーAに6 mol/L水酸化ナトリウム水溶液10mLを加えた後よくかき混ぜて静置する。遊離して生じた物質を駒込ピペットを使って吸い上げ、さらし粉水溶液の入った試験管に加える。（分離した物質の確認）
- ③ 分液ロートに飽和炭酸水素ナトリウム水溶液10mLを加え、抽出・分離させる。下層をビーカーBにとる。  
\* 炭酸水素ナトリウムを加えると激しく発泡するので、ガス抜きを頻繁に行う。  
\* 上層・下層の境界付近の溶液は、別の容器に排出する。
- ④ ビーカーBに2 mol/L塩酸5mLを少しずつ加えた後よくかき混ぜて静置する。（分離した物質の確認）
- ⑤ 分液ロートに2 mol/L水酸化ナトリウム水溶液10mLを加え、抽出・分離させる。下層をビーカーCにとる。
- ⑥ ビーカーCに6 mol/L塩酸5mLを少しずつ加えた後よくかき混ぜて静置する。遊離して生じた物質を駒込ピペットを使って吸い上げ、塩化鉄(III)水溶液の入った試験管に加える。（分離した物質の確認）

##### [結果・課題A]

演示実験で行った分離の操作と分離した物質の確認実験とを図を用いて表そう。そこに実験結果も書き込もう。



[課題B]

演示実験で行った操作で、最初に、塩酸でなく水酸化ナトリウム水溶液を加えてスタートしても分離が可能である。この場合、その後どのような操作を行うことになるだろうか？また、それぞれの操作でどの化合物が分離できるであろうか？次の授業までに考えてみよう！

(5) 生徒の様子と学習到達度

実際に分液ロート等を手にし、その構造を理解するとともに、試行錯誤しながら抽出・分離の操作を確かめていた。また、ほとんどの生徒が教科担当教師の助言を受けながら演示実験で行った分離操作方法を図を用いて表現できたことを、実験レポートの記述から確認できた。

(6) 成果と課題

分液ロートを用いた実験は試験管を用いて行う場合に比べて使用する試薬の量は増えるものの、抽出と分離がしやすく、その原理も理解させやすい。また、演示実験を観察させることによって、次時以降に行う生徒実験等に向けた、学習の見通しや目的意識をもたせることができた。

4 関連事例(2) 演習「芳香族化合物の分類と分離」(※ 学習指導案は省略する。)

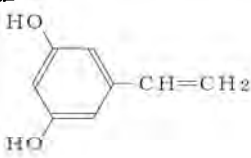
(1) 実施目的

ある分子式で表される異性体を思考・整理させ(C4・B1)ながら芳香族化合物に関する学習内容全体を振り返らせる。ベンゼン環に置換する原子団、官能基によって性質の多くが決定するという知識を生かし、やや複雑な芳香族化合物の性質を類推させる(C2)。また、類推したことと、前時に学習した知識を利用し、それぞれの芳香族化合物を抽出・分離する方法を演繹的に発想させる(C6)。


(2) 演習問題例 (※ 解答欄は省略している。)

**演習 芳香族化合物の分類と分離**

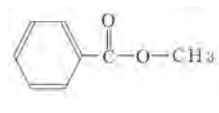
分子式  $C_8H_8O_2$  で表される芳香族化合物には、右の化合物 I、II、IIIをはじめ様々な異性体が存在する。このことについて、次の1と2にそれぞれ答えなさい。



化合物 I



化合物 II



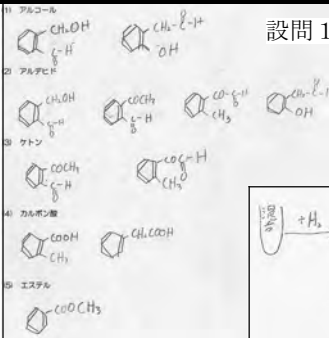
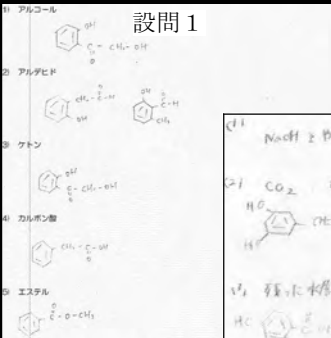
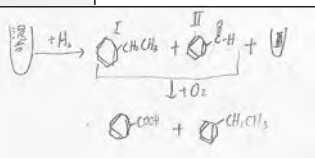
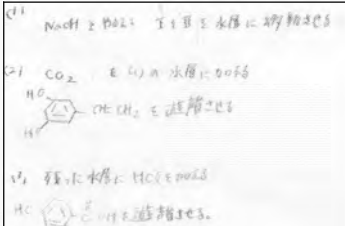
化合物 III

1 化合物 I、II、III以外の芳香族化合物の異性体について、(1)~(5)の性質をもつと考えられる化合物の構造式をそれぞれすべて書き出さない。ただし、同じ化合物が複数に該当することもある。また、オルト、メタ、パラといったベンゼン環への置換の位置で生じる異性体は考えないものとする。  
 (1) アルコール (2) アルデヒド (3) ケトン (4) カルボン酸 (5) エステル  
 ※ ところで、化合物 I、II、IIIはそれぞれ、(1)~(5)のいずれに該当するだろうか？

2 化合物 I、II、IIIが混合したジエチルエーテル溶液がある。この溶液から化合物 I、II、IIIをそれぞれ分離したい。どのような試薬を用いてどのような操作をすればよいか。文章や図を用いて説明しなさい。

(3) 生徒の様子と学習到達度

次の表は、二人の生徒の、演習レポートへ記述した解答の様子である。

生徒 A	<p>設問 1</p> 	生徒 B	<p>設問 1</p> 
	<p>設問 2</p> 		<p>設問 2</p> 

生徒Aのように、設問1の課題に対応できても設問2の課題に対応できない生徒が多かったが、

生徒Bのように、設問2のみ解決に至った生徒も若干名見られた。設問1については、異性体を見だし構造式で表す過程と、その構造式内の官能基から性質を分類する過程の二段階の思考を必要とする。半数程度の生徒は、異性体を見だし過程で苦戦しているが、どの生徒も見だした異性体を分類することは容易にできていた。設問2は異性体の性質を利用し、前時までに身に付けた知識から類推して解決することが求められるが、習熟度の高い生徒を中心に学習目標に到達していた。

#### (4) 成果と課題

本事例で有機化合物の学習全体を振り返らせ、生徒自身に学習到達度を確認させることができた。生徒の実態によっては、**中心事例**で行う実験を実施した後に、本教材を使用しても効果的である。

### 5 中心事例 実験「芳香族化合物の分離（2）～色素の分離～」

#### (1) 実施目的

与えられた情報を基に、既習事項である基本的な芳香族化合物の抽出・分離の原理から類推しながら抽出色素の分離方法を発想・計画し（C2）、計画に従って分離して得られた結果から、色素の芳香族化合物を同定させる。また、実験結果をフィードバックし、自班が行っていない別の分離方法と比較しながら自班の方法の妥当性を客観的に検討させる（A3）。同時に、マラカイトグリーンやエリスロシンなどを実際に扱わせ、その化学的性質を追究させながら染料や医薬品などへ視野を広げ、有機化合物と人間生活とのつながりへの関心を高めさせる。

#### (2) 学習指導案

##### ア 単元名

芳香族化合物

##### イ 単元の目標

芳香族化合物の構造、性質及び反応について、観察や実験を通して探究させながら理解させる。

##### ウ 単元の指導観（指導の方針）

単元で扱う芳香族化合物は、医薬品、染料、プラスチック等、人間生活を支える多くの物質の原料となることから、機能的な有機化合物や高分子化合物を学習するための基礎を学ぶ単元である。加えて、本科目において一つ一つの物質に対して深く追究させられる最後の単元でもあり、芳香族化合物の性質や化学変化を系統的に理解させながら、適切な物質観を身に付けさせる。

##### エ 単元の観点別評価

関心・意欲・態度	思考・判断・表現	観察・実験の技能	知識・理解
<ul style="list-style-type: none"> <li>ベンゼンの代表的な置換反応を、反応経路図等を描きながら整理している。</li> <li>複数の置換基がベンゼン環に置換する場合に生じる異性体について、分子モデル等を活用しながら理解しようとしている。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ベンゼン環への置換基から、芳香族化合物の性質を判断している。</li> <li>分子式から芳香族化合物の異性体を漏れなく見だせている。さらに官能基に着目して、異性体を分類・整理することができている。</li> <li>基本的な抽出・分離方法の知識を活用しながら、芳香族化合物の官能基から判断して分離方法を検討し、文章や図で表現している。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>アセチルサリチル酸を合成し、フェノール類や芳香族カルボン酸の性質を確認することができる。</li> <li>アゾ染料を合成し、繊維への染色をしながら、芳香族アミンやアゾ化合物の性質を確認することができる。</li> <li>分液ロートの構造を理解し、分液ロートを適切かつ安全に使用し、水と有機化合物の混合物からそれぞれを分離することができる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ベンゼンの性質及び分子構造を理解している。</li> <li>フェノール類や芳香族カルボン酸の性質を理解し、知識を身に付けている。</li> <li>芳香族アミン及びアゾ化合物の性質を理解し、知識を身に付けている。</li> <li>分離する芳香族化合物の官能基に着目し、液性の調節によって抽出・分離する原理を理解し、操作過程を説明している。</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>分離した色素など、人間生活と染料とのつながりについて実験班で協議しながら、身近にある有機化合物への関心を高めている。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>色素の混合物を抽出・分離する方法を既習事項を基に導き出し、他者の合意を得て分離している。また他班の分離方法と客観的な比較をし、合理的な評価・説明をしている。</li> </ul>		

## オ 単元の指導計画及び評価計画（11時間）

P 88～P 89を参照。

## カ 本時の展開

題目	芳香族化合物の分離（2）～色素の分離～			
本時の目標	①提示された条件から、芳香族化合物である色素の混合物を抽出・分離する方法を既習事項を基に導き出し、他者の合意を得た上で混合物を分離するとともに分子構造を同定する。（思考・判断・表現） ②分離した色素など、人間生活と染料とのつながりについて実験班で協議しながら、身近にある有機化合物への関心を高める。（関心・意欲・態度）			
準備	※生徒実験プリント例を参照。			
段階	学習内容	学習活動	指導上の留意点	評価規準（方法）
導入 10分	<ul style="list-style-type: none"> <li>本時の学習内容・到達目標の確認</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>実験の目的及び本時の学習内容を確認する。</li> <li>各色素に対応する基本的な芳香族化合物の特徴を再確認する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>前時に実験プリント（レポート用紙）を配付し、目的等を事前に確認させる。</li> <li>前時までに行った、抽出・分離の実験レポートを適宜参照させる。</li> </ul>	
展開 30分	<ul style="list-style-type: none"> <li>分離方法の検討・決定、結果の予想</li> <li>分離操作上の留意点の確認</li> <li>色素の抽出・分離【生徒実験】</li> <li>マラカイトグリーンの性質の確認</li> <li>色素の構造式の同定 →[考察・課題] 1</li> <li>分離方法の評価 →[考察・課題] 2</li> <li>実験結果等の発表</li> <li>片付け・廃液処理</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>班員と色素の分離方法を検討し、実験レポート用紙にまとめる。</li> <li>実験操作の留意点、事故防止対策を確認する。</li> <li>自班で計画した分離方法に従って色素を分離し、結果を記録する。</li> <li>液性によってマラカイトグリーンの溶液の色が変化することを確認する。</li> <li>分離した色素の構造式を、対応する基本的な芳香族化合物の分子構造と比較しながら同定する。</li> <li>自班で行った分離方法と異なる別の方法を班員と協議し、レポート用紙にまとめた上で、それぞれの方法の利点と難点を検討する。</li> <li>自班で行った実験方法及び得られた結果を板書しながら発表する。</li> <li>廃液の処理、器具の洗浄・片付けを行う。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>実験班を回り、生徒が考えた分離方法が妥当かどうかを確認する。</li> <li>分離に必要な試薬の量や、二酸化炭素の吹き込み方を指示する。</li> <li>実験班を回り、実験が安全かつ適切に行われているかを確認する。</li> <li>マラカイトグリーン、液性により溶液が変色する様子を演示する。</li> <li>※既習の酸塩基指示薬と比較させる。</li> <li>各色素の構造式及び物質名を提示する。</li> <li>他班の発表を参考に、検討した分離方法を客観的に評価させる。</li> <li>※必要に応じて、発表する生徒に発表内容について助言する。</li> <li>片付け方法を指示する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>班内で、各自が考えた分離方法の妥当性について、前時までの既習事項を振り返りながら協議し、他者の合意を図っている。（思・判・表）</li> <li>【行動観察】</li> <li>実験レポートに、分離方法に加え、分離により確認できる結果まで、図や文章で記述している。また、実験結果を踏まえ、分離方法の利点と難点を簡潔に述べている。（思・判・表）</li> <li>【実験レポート】</li> </ul>
まとめ 10分	<ul style="list-style-type: none"> <li>人間生活で利用している染料等への視点の拡張 →[考察・課題] 3</li> <li>本時の到達度の確認</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>人間生活に関連が深い色素（染料）等について、補助教材等を参考に確認しながら班内で共有する。</li> <li>次時の内容を確認する。</li> <li>実験レポートを提出する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>染料や医薬品の分子構造の多くが、学習した有機化合物の分子骨格が基本となっていることを提示し、次時の学習内容を予告する。</li> <li>レポート提出を指示する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>色素の構造式や補助教材等に記載された染料の構造式を確認しながら意見交換をし、レポートに記述している。（関・意・態）</li> <li>【実験レポート】</li> </ul>

### (3) 生徒実験を実施する際の留意点

ア 前時に、次頁の「生徒実験プリント例」を配付し、実験の目的等を十分に理解させるとともに、色素の分離方法を考えさせ、実験実施時までに操作図を記入させておく。

イ 試料の調製は事前に行う。それぞれの色素が  $1 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$  程度の濃度でジエチルエーテルに溶解したものの約10mLを分離させるとよい。ただし、マラカイトグリーンはシュウ酸塩で市販されているので、0.1mol/L水酸化ナトリウム水溶液を加えた後にジエチルエーテルに抽出・溶解する。エリスロシンはナトリウム塩であるので、0.1mol/L塩酸を加えた後にジエチルエーテルに抽出・溶解する。p-フェニルアゾフェノールはそのままジエチルエーテルに溶解する。

ウ 分離する試料は揮発性が高いジエチルエーテル溶液であるので、試験管に入れシリコン栓等をした状態で各班に配付する。配付前は、氷水で冷却し揮発を抑える（写真1）。



写真1  
配付する試料

写真2  
ガス量調節器

エ 二酸化炭素を分液ロート内の混合溶液に吹き込む必要がある場合、二酸化炭素ボンベにガス量調節器を装着し（写真2）、溶液が噴出しなように二酸化炭素を少しずつ吹き込ませる。

オ 分離の際に必要なに応じて加える試薬の体積は、操作開始時に板書で示す。イで記述した濃度の場合、いずれの試薬ともに加える体積は5 mL程度がよい。

カ 緑色と赤色の区別が苦手な特性をもつ生徒に配慮し、色以外の情報にも着目させる。

キ 頻繁に換気をしながら、ジエチルエーテルの蒸気を室外に逃がす。

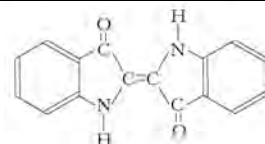
ク 使い捨て手袋と保護メガネを着用させるとともに、極力白衣を着用させ、安全面への配慮を確認させながら実験を進めさせる。

(4) 生徒実験プリント例（※ 記入欄は省略している。）

**実験 芳香族化合物の分離（2）～色素の分離～**

[目的]

- (1) 芳香族化合物である、未知の3種類の色素の混合物を、抽出・分離する。
- (2) 分離した色素の特性を決める要因を、分子構造から見いだす。



藍染めに使う色素「インジゴ」  
(実験では登場しませんが)

[準備]

- (1) 器具  
分液ロート(100mL)、支持環付きスタンド、駒込ピペット、50mLビーカー4個、ガス量調節器、使い捨て手袋
- (2) 試薬  
試料(ソルベント(イ)エロー7、食用赤色3号、ベーシックグリーン4を10mLのジエチルエーテルに溶かした混合溶液)、0.1mol/L塩酸、飽和炭酸水素ナトリウム水溶液、0.1mol/L水酸化ナトリウム水溶液、二酸化炭素(ボンベ)  
※ 全てを使用するとは限らない!

[計画]

ソルベントエロー7、食用赤色3号、ベーシックグリーン4は、それぞれ黄色、赤色、青緑色の染色液である。これらは、抽出・分離する際に、アニリン、安息香酸、フェノールのいずれかと同じ挙動を示すことが分かっている。(つまり、アニリン、安息香酸、フェノールの分離と同様の操作を行えば、黄、赤、青緑の3色に分離できるはず。)  
では、操作の手順を考えてみよう。アニリン、安息香酸、フェノールと同じ挙動を示す色素をそれぞれ色素Ⅰ、色素Ⅱ、色素Ⅲとして、次の操作図と予想する結果をかいてみよう。

[方法・操作]

色素Ⅰ(≒アニリン)、色素Ⅱ(≒安息香酸)、色素Ⅲ(≒フェノール)

[結果の予想]

+

※ 抽出・分離のための器具の扱い方や注意すべき点は、前回の実験レポートを参照しながら思い出そう!

[結果]

- (1) 混合溶液は、    色、    色、    色の溶液に分離できた。  
\* 青緑色の色素が得られず、黄色の色素が二つ得られたら、それぞれに水酸化ナトリウム水溶液を少しずつ加えてみる。
- (2) 分離した溶液の色から、色素Ⅰ～Ⅲに対応する化合物名は以下のとおりである。  
① アニリンと同じ挙動を示す色素Ⅰは    色であったので、                    である。  
② 安息香酸と同じ挙動を示す色素Ⅱは    色であったので、                    である。  
③ フェノールと同じ挙動を示す色素Ⅲは    色であったので、                    である。

[考察・課題]

- (1) このレポートの裏面の[参考]に、今回分離した3種類の色素の構造式と一般に使われる化合物名を示してある。それぞれ、色素Ⅰ、Ⅱ、Ⅲのどれに該当するだろうか。([参考]の(1)に記入しよう。)
- (2) 自班が行った分離方法(方法Ⅰ)以外に、もう一つ別の方法(方法Ⅱ)がある。その方法を検討し、結果も含めて図で表してみよう。また、方法Ⅰと方法Ⅱのどちらの方法が優れた方法であると思うか、理由とともに説明しよう!

(3) 今回扱った3種類の色素(染料)が、我々の生活のどのようなところで使われているかを話し合ったり調べたりしてみよう。また「インジゴ」のように、私たちの生活では、他にどのような染料が利用されているだろうか？

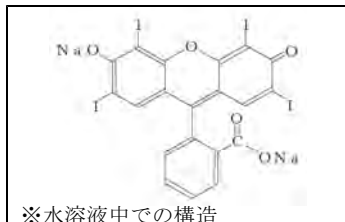
《以下は実験プリントの裏面に記載した。》

[参考]

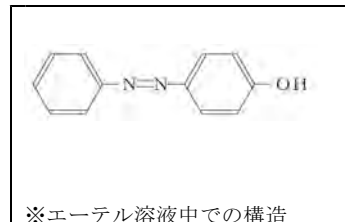
(1) 3種類の色素の構造式



※水溶液中での構造  
マラカイトグリーン  
→色素 (別)



※水溶液中での構造  
エリスロシン  
→色素 (別)



※エーテル溶液中での構造  
p-フェニルアゾフェノール  
→色素 (別)

(2) マラカイトグリーンについて

① マラカイトグリーンは、液性(pH)を変化させると色が変化する。

pH	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	(色)	変色域			(色)						変色域		無色		

この性質から、マラカイトグリーンを酸塩基指示薬として利用することもある。

※ フェノールフタレインの場合と比較してみよう！

② マラカイトグリーンは、公衆衛生薬の一種として医薬品としても利用されている。

(3) エリスロシンは、食用色素として利用される食品添加物の一種である。一方、「エリスロシン」という製品名の医薬品(抗生物質)があるが、「エリスロマイシン」という別の物質である。

## (5) 生徒の様子と学習到達度

### ア 活動の様子

調査対象クラスの各実験班ともに、話し合いをしながら操作手順を円滑に決定し、適切な図で表現することができた。教科担当教師が各班の手順の妥当性・安全性を確認し、実験を開始した。全5班中三つの班が、塩酸を加えてマラカイトグリーンを塩として水層で分離するところから始め、残りの二つの班が、水酸化ナトリウム水溶液を加えてマラカイトグリーンを対イオンの形で分離するところから始めていた。前回までに分液ロートの扱い方を習得していることもあり、いずれの班も、短時間で分離に成功した。また発表では、各班の代表生徒が、教科担当教師の助言を受けながら、分離方法と原理を板書し、適切な説明を他の生徒に伝えていた。



写真3 分離方法を検討する様子



写真4 生徒実験の様子



写真5 考察したことを発表する様子

### イ 実験レポートの記載状況等

自班で行う色素の抽出・分離方法については、ほとんどの生徒が導き出すことができ、フローチャート等を用いて適切に記述していた(C2)。関連事例(1)、(2)の学習活動を通して習得できたものと思われる。同時に自班が行った分離方法と別の方法を考え出すこともできていた。さらにそれらと比較・検討し、どちらが優れているか合理的な理由を導き出せた(A3)生徒も見られた。到達できた生徒に、到達できなかった同班の生徒に向けて説明させると、双方の生徒の到達度を高めることができた。生徒が実験レポートにどのような記述をしていたか、典型的な表記のもの(生徒E)及び想定以上の思考や表現をしたもの(生徒C、D、F)を次頁の表に示す。

また、生徒は実験プリントに以下のような感想を述べていた。「身の回りのものと化学とのかかわりを改めて知り、驚いた」「色素がきれいに分離できて感動した」「複雑な構造をした有機化合物も、官能基に着目すればよいことが分かった」「芳香族化合物の分離方法を完全にマスターできた」などである。このような記述からは、多くの生徒が、「思考・判断・表現」の到達目標に加え、「関心・意欲・態度」に関する学習到達目標にも概ね到達できたものと判断した。

分離方法・手順の計画	生徒C	別 の 分 離 方 法 の 検 討	生徒E
	生徒D		生徒F

生徒Cは、「油層」、「水層」と一般化した表現をしており、表記の分子を色素分子に置き換えても柔軟に類推ができています。生徒Dは、2種類の操作手順を一つの図で表現している。酸の強さに再度着眼点を置いて計画の妥当性を検討している。

教科担当教師の指示で、色素分子の代わりにモデルとした芳香族化合物の構造式を用いて表現させた。生徒Eのような表記をする生徒が多く演繹的に拡張することができた。生徒Fは、自班と他班が行ったそれぞれの分離方法の利点を比較・検討し、導き出した結論を論理的に述べている。

### (6) 成果と課題

本事例の特長として次の三点が確認できた。一点目は、色素を分離するというゴールを認識させ、主体的に検討した分離方法に従って取り組ませることができるので、目的意識をもって実験に臨ませることができる点である。加えて、使用する色素の性質や扱う試薬の濃度設定から鑑みて、安全に実験を進めさせやすい。二点目は、3種類の色素が分離できたことを視覚的に確認させ、達成感を与える点である。三点目に、複数の分離方法が存在し、それぞれの方法に対する様々な視点での評価が可能である点である。本事例を通して、それまでに身に付けた有機化合物や分離方法に関する知識を基に、問題の解決方法を考えさせ、行動させることで、その知識が生きたものになることが期待できる。定期試験等を通して、様々な芳香族化合物に関して設定した課題に、生徒が習得した力を活用して対応できるようになっているかを見取る必要がある。

## 6 関連事例(3) 探究活動「繊維への染着の原理を探る」(※ 学習指導案は省略する。)

### (1) 実施目的

「化学」における最後の単元の指導事例である。全ての学習内容を活用し、繊維への染色のメカニズムを探究させる。中心事例で用いた3種類の性質の異なる染料と8種類の繊維(本事例で用いる多織交織布を構成する繊維)との間の染着性を調べ、染着結果とそれぞれの分子構造を比較したり(A2)分類したり(B2)しながら着目すべき視点を見いださせ(C1)、染着の原理を追究させる(C5・C6)。

### (2) 生徒実験における配慮事項

- ア マラカイトグリーンは塩基性染料(カチオン染料)の一種、エリスロシンは酸性染料の一種である。エリスロシンでの繊維への染色はあまり行われないので、エオシンなどを用いてもよいが、分離・抽出の実験(中心事例)で生徒が既に扱った物質を使用した方が効果的である。
- イ p-フェニルアゾフェノールは水に溶けにくい分散染料の一種であり、本活動で行う染色は本来の技法でない。各繊維との染着性について他の染料と比較するために、希薄な水溶液で染色する。
- ウ 探究活動ではなく、1単位時間単体の生徒実験として実施する場合には、染料を水に溶かす過程を演示実験で行ったり、調べる染料を各班で分担したりするなどの工夫をし、考察の時間を十分に確保する。

### (3) 探究プリント例 (※ 記入欄は省略している。)

#### 探究活動 繊維への染着の原理を探る

##### [目的]

- (1) 染料 (マラカイトグリーン、エリスロシン、p-フェニルアゾフェノール) の水溶液に多織交織布を浸し、染色の様子から、染料と繊維の染着のしやすさの違いを確認する。
- (2) 各染料の各繊維に対する染着のしやすさを、染料分子と繊維分子などの分子間の相互作用 (引力・結合や斥力など) から考察し、染着のメカニズムを探る。

##### [準備]

###### (1) 器具

100mLビーカー4個、ミクロスパーテル、ガラス棒、三脚、金網、ガスバーナー、ピンセット、ガス量調節器、キッチンペーパー、油性ペン、食器用洗剤

###### (2) 試薬・試料

多織交織布 (長さ1cm、4枚) …ポリエステル、絹、アクリル、レーヨン、羊毛、アセテート、ナイロン、綿が、順に並んで織り込んである布 (右写真)  
エリスロシン、マラカイトグリーン、p-フェニルアゾフェノール、二酸化炭素 (ボンベ)



写真 多織交織布

##### [方法]

###### (1) 染料の準備

- ① 100mLビーカー (ビーカーA) に、約60℃の湯80mLを入れ、ミクロスパーテル2杯 (約0.02g) のエリスロシンを加え、ガラス棒で攪拌して完全に溶かす。そして、別の100mLビーカー (ビーカーB) に半分の量の水溶液を移す。
- ② 100mLビーカー (ビーカーC) に、約60℃の湯40mLを入れ、ミクロスパーテル1杯 (約0.01g) のマラカイトグリーンを加え、ガラス棒で攪拌して完全に溶かす。
- ③ 100mLビーカーに、約60℃の湯40mLを入れ、ミクロスパーテル1杯 (約0.01g) のp-フェニルアゾフェノールを加え、ガラス棒で攪拌する。(完全には溶けないことを確認する。)
- ④ ビーカーBに二酸化炭素ボンベから二酸化炭素を十分に吹き込む。

###### (2) 染着実験

- ① 4枚の多織交織布それぞれの、ポリエステル上に油性ペンで印「・」を付ける。  
\* 多織交織布においてベージュ色の布が「羊毛」である。染色前は「羊毛」を基準に他の繊維の位置を確認できる。ポリエステルは、「羊毛」から数えて5番目の位置 (端) である。
- ② ビーカーAをガスバーナーで加熱し、沸騰を始めたら、多織交織布を浸し、2分間弱火で加熱を続ける。  
\* ビーカーに布を入れるときには、染色液の吹き上げに注意する。
- ③ 加熱後、ピンセットで多織交織布を取り出し、水洗いをする。その後、食器用洗剤でよく洗い、キッチンペーパー上で乾かす。
- ④ ビーカーB、C、Dについても、②と③の操作を同様に行う。

##### [結果]

- (1) エリスロシンに二酸化炭素を吹き込んだとき、どのような変化が確認できたか。
- (2) 染色の結果を下表に書き入れてみよう。染まり具合を4段階 (よく染まった: ⊙、染まった: ○、多少染まった: △、染まらなかった: ×) で評価し、記入すること。

《結果を記入する表は省略。》

##### [考察]

今回の活動で行った染色の実験結果を理論的に説明するためには、染料分子、繊維分子、水分子の相互作用を考える必要がある。そのためには、それぞれの分子の構造や、分子に存在する官能基などに着目したい。3種類の染料と8種類の繊維の組み合わせで見られる染色のしやすさ・しにくさの原因を、[参考] に示す繊維の分子構造を参考にして探究しよう!

- (1) 絹、羊毛への染着とその他の繊維に対する染着の違いに着目してみよう。  
各染料の各繊維に対する染着のしやすさ (結びつきやすさ) を、染料・繊維のそれぞれの分子構造や分子内に帯電する静電気の大きさや偏りから説明しよう!
- (2) 絹、羊毛の分子構造とマラカイトグリーン、エリスロシンの分子構造から、それらの共通点に着目してみよう。  
マラカイトグリーン分子、エリスロシン分子の、それぞれどの部分と、絹や羊毛の分子のどの部分が結びつく (結合する) と考えられるか。また、それはどのような種類の結合と言えるだろうか。二酸化炭素を吹き込んだエリスロシン分子と吹き込んでいないエリスロシン分子それぞれの染着性も考慮して説明しよう!
- (3) p-フェニルアゾフェノールの絹、羊毛、ナイロンへの染着性の違いに着目してみよう。  
p-フェニルアゾフェノール分子のどの部分と、ナイロン分子のどの部分が結びつく (結合する) と考えられるか。また、それはどのような種類の結合と言えるだろうか。
- (4) (1)~(3)で着目しなかった繊維を染色するためには、どのような分子構造をもった染料を用いればよいだろうか?  
《以下省略。[参考]の記載は、次頁の図を参照。》

#### (4) 生徒の様子と学習到達度

いずれの班も円滑に実験操作を進めることができ、写真6のような染色結果を得られた。①、②、③では、それぞれイオン化した官能基をもつために、羊毛と絹の構成アミノ酸のイオン化した官能基との間のイオン結合により染着性が確認できる。②と③では、ヒドロキシ基等がアミド結合部と水素結合したり、電荷が帯電していない部分とナイロンのメチレン鎖との間のファンデルワールス力により引力が生じたりして染着性を示すが、①ではどちらの条件にも合致せず染着性を示さないことが予想できる。生徒には探究プリントの〔考察〕の問いかけに沿って班員と協議しながら思考を深め、それらのことを見いだすことを期待した。

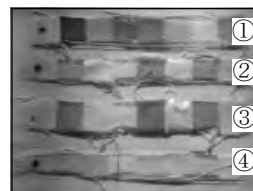


写真6 染色の様子

染料は、上から、①マラカイトグリーン、②エリスロシン、③エリスロシン+二酸化炭素、④p-フェニルアゾフェノールである。また、繊維は、左から、ポリエステル、絹、アクリル、レーヨン、羊毛、アセテート、ナイロン、綿である。

色素の分離の実験において官能基に着目した経験から、多くの生徒はマラカイトグリーンとエリスロシンが水溶液中でイオン化していることを思い出し、繊維分子との間に静電的な引力が生じていることに気付いていた。ただし、その他の種類の分子間の相互作用に視点を向ける生徒は少なく、教科担当教師が想定した発言をする生徒は少なかった。次に、プリントに記載した構造式(図1)を用い、分子間の相互作用が生じる原因となりそうな部分に印を付けさせた後に改めて様々な相互作用について検討させると、官能基以外の部分にも目を向けて種々の分子間の力の関与に気付く生徒が増える様子が見られた。特に、本科目の各学習内容を十分に整理できている生徒は、これまでに身に付けた化学の知識を生かしながら探究を深めることに、充実感を得ていた。

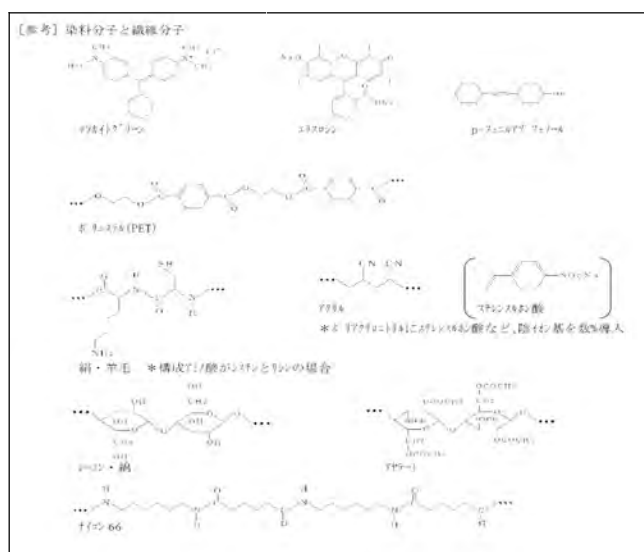


図1 探究プリント例における[参考]の記載

#### (5) 成果と課題

一連の学習を通して習得した様々な分子の化学的性質を類推する力が、分子間の複雑な相互作用を分析する思考を助長することが確認できた。探究させるために用意した課題はどれも容易なものではないが、思考する上で着目すべき視点を教師が明確に提示することで、多くの生徒が解決の切り口を見いだすことが可能になるものとする。さらに、生徒の習熟度等の実態に応じて、考察したことを説明するための定型文を提示して、記述・発言させることも有効である。

#### 〔参考文献等〕

- ・ 文部科学省 『高等学校学習指導要領解説 理科編 理数編』 平成21年12月
- ・ 国立教育政策研究所教育課程研究センター 『評価規準の作成、評価方法の工夫改善のための参考資料【高等学校 理科】』 平成24年7月
- ・ 『初等中等教育における教育課程の基準等の在り方について』 文部科学大臣諮問(平成26年11月)
- ・ 栃木県総合教育センター 『高等学校における教科指導の充実 理科 科目「物理」「化学」「生物」における指導事例～指導と評価の一体化を目指して～』 平成26年3月
- ・ 栃木県総合教育センター 『思考力・判断力・表現力を育む授業づくり【理論編】－「思考のすべ」と発問の工夫－』 平成27年3月
- ・ 吉田俊久・稲場秀明 編 『図説 学力向上につながる理科の題材 化学編』(東京法令)
- ・ 赤土正美 『染色・加工学』(三共出版)
- ・ 後飯塚由香里 「色素を利用した高校化学の教材」 『平成24年度東レ理科教育賞受賞作品集』
- ・ 『新編 化学 教師用指導書』(東京書籍)
- ・ 左巻健男 編著 『たのしくわかる化学実験事典』(東京書籍)
- ・ 日本化学会 編 『中・高校生と教師のための化学実験ガイドブック』(丸善)
- ・ 宮村一夫 「有機化合物を分析する」 『化学と教育』63巻12号(2015年)
- ・ 愛媛県総合教育センターWebサイト 教科に関する学習指導資料「染色の違いによる繊維の識別法」 <http://www.esnet.ed.jp/center/shiryu/uploads/dyestuffs.pdf>



### 事例3 思考の深まりと活性化を目指した生物の授業

#### 実践事例における指導上の工夫

##### 実践1 知識の整理と、それらの活用を意識した授業展開～「生物の系統」の学習を通して～

実践1では、知識を詰め込む指導になりがちで、実験・観察の場面も少ないと思われる、科目「生物」の「生物の系統」分野で、単元の最後にそれまでに得た知識の活用を踏まえた実験を設定した。その中で、思考力・判断力等を育成するための学習活動として、「比較」「分類」「理由付け」という、考えるための技法（思考のすべ）を用いて思考させる授業を実践した。

生徒は前時までに、生物の分類体系、それに属する生物やその特徴について学んでいる。また、生物の分類は種の類似性に基づいて行われてきたこと、いくつかの分類の基準を組み合わせることで進化の系統が見えてくることも学習している。ここでは、与えられた分類の視点及び各自が設定した視点からそれまでの知識を整理し、生物の分類を行った後、これらの知識と実験で得られたデータを活用して考察を行う過程を設けた。さらに、調査研究協力委員が所属する学校の生徒は「グラフや表を読み取ることが苦手である」という傾向も踏まえ、実験のワークシートには、科学的な概念の理解を促すために観察・実験の結果にグラフ資料を加えて、考察し論述する欄を設けた。考察の場面では、実験ペアでお互いの考えを伝えたりして意見交換をするように指導した。

実践1の授業展開は、「生物の系統」を一通り学習した後、知識を整理する時間をとり、実験の時間を1単位時間、十分な考察の時間を確保するために考察の時間を1単位時間で計画した。なお、本時の指導案は実験の時間のみを示している。

##### 実践2 モデルの活用とグループ活動を取り入れた授業展開～「遺伝情報の発現」の学習を通して～

実践2では、科目「生物」の「遺伝情報の発現」分野で「PCR法」を題材にした。「PCR法」の学習では、「DNAの半保存的複製」と混同してしまい、何サイクル目に目的とする二本鎖DNAを得ることができるのか戸惑う生徒も多いと思われる。そこで、両者の違いを明確にするために、数学的な考え方を用いて規則性を見だしサイクル数と増幅される二本鎖DNAの関係を示した式を導く過程を重視した授業展開を試みた。

また、DNAに関する学習は、分子レベルの内容が多く扱われ、生徒が実感しにくい分野でもある。そこで、簡単なDNAモデルを作製し、実際に自分たちの手でDNAモデルを動かし、かつグループ活動を通して考えを出し合いながら規則性を導き出す場面を設定した。DNAモデルセットの中にはダミーのプライマーも入れ、正しいプライマーやDNA鎖を考えて選び出せるようにし、知識の確認・定着も促せるようにした。ワークシートには、思考の流れを提示し、サイクル数と増幅される二本鎖DNAの関係性を記録できるようにして、規則性を考察しやすくした。

実践2の授業展開は、考えをやりとりしながらの展開が予想されることなどから十分な活動の時間を確保するために2単位時間で計画した。

##### 実践3 確認実験から探究的な実験へ～「遺伝子とその働き」の学習を通して～

実践3では、科目「生物基礎」の「遺伝子とその働き」分野で「DNAの抽出実験」を題材とした。DNAの抽出実験は、DNAが含まれていることを確かめる確認実験であることが多い。ここでは、ブロッコリーを試料として、「部位でDNA収量に差が出るのか」という視点で、根拠を基に仮説を立て、細胞の分裂・成長やDNA複製などのそれまでに得た知識を活用して、細胞の大きさとDNA量について考える授業展開を計画した。

実践3については、当センターWebサイト「教材研究のひろば」に掲載した学習指導案及びワークシートを御参照いただきたい。

## 実践1 知識の整理と、それらの活用を意識した授業展開

～ 「生物の系統」の学習を通して ～

### 1 単元名 生物の系統

### 2 単元の目標

- ・生物がその系統に基づいて分類できることを理解させる。
- ・種を基本単位として、生物の類縁性の程度によっていくつかの階層に分けて整理されることを理解させる。

### 3 単元の指導観

- ・生物の分類については、様々な視点（形態や発生、遺伝子の塩基配列の共通性等）に基づいて行われることを示す。
- ・海藻などの光合成色素を調べる実験を行い、分類と系統の関係性に着目させる。

### 4 単元の評価規準

関心・意欲・態度	思考・判断・表現	観察・実験の技能	知識・理解
<ul style="list-style-type: none"> <li>・多様な生物が様々な視点から分類されてきたことに関心を示している。</li> <li>・目的意識をもって意欲的に観察している。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・分類階級を種の類似性や系統と関連付けている。</li> <li>・R f 値などから系統関係を考察し、系統樹を作成している。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・原生生物を中心に、光合成色素の分離結果から、R f 値を求めている。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・種概念、学名の意義、分類の方法を理解している。</li> <li>・各界の分類、それに属する生物やその特徴を理解している。</li> <li>・動物界の各分類群の特徴を進化の過程と関連付けて理解している。</li> </ul>

### 5 単元の指導計画及び評価計画（6時間）

◎の付いた評価規準：評価規準に照らして到達度を確認し、到達度の状況を主に単元の評価の総括の資料とする。

○の付いた評価規準：評価規準に照らして到達度を確認し、到達度の状況に応じた適切な働きかけや指導の手立てを行うことを主に重視する。

時間	学習内容	学習活動とねらい	評価の観点				評価規準	評価方法
			関	思	技	知		
1	生物の分類	分類体系の歴史を確認する。生物の分類は、形態や発生、および遺伝子の塩基配列の共通性に基づいて行われることを理解する。	◎				多様な生物が様々な視点から分類されてきたことに関心を示している。	行動観察
						◎	種概念、学名の意義、分類の方法を理解している。	ノート ワークシート
2	分類と系統	分類と系統の関係性について考察する。		○			分類階級を種の類似性や系統と関連付けている。	ノート ワークシート
3	原生生物界、植物界	原生生物界は多様な生物群が含まれることを理解する。植物界の分類とその特徴を理解する。				◎	原生生物界及び植物界の分類、それに属する生物やその特徴を理解している。	ノート
4	菌界、動物界	菌界の分類とその特徴を理解する。動物界の生物群の特徴と系統を理解する。 ワークシート1				◎	菌界の分類、それに属する生物やその特徴を理解している。	ノート
						◎	動物界の各分類群の特徴を進化の過程と関連付けて理解している。	ノート
5 本時 実践1	光合成色素の観察	海藻などの光合成色素を分離し、R f 値を求める。 ワークシート2	○				目的意識をもって意欲的に観察している。	行動観察
					◎		原生生物を中心に、光合成色素の分離結果から、R f 値を求めている。	ワークシート
6	海藻などの系統分類	前時の結果などをもとに系統関係を考察し、系統樹を作成する。 ワークシート2		◎			R f 値などから系統関係を考察し、系統樹を作成している。	ワークシート 行動観察

## 6 本時の展開

題目	光合成色素と系統・生息域との関係			
本時の目標	①薄層クロマトグラフィーを使って、海藻（緑藻類・褐藻類・紅藻類）、原核生物、植物のもつ光合成色素の分離の様子を観察し、Rf値を求める。（観察・実験の技能） ②目的意識をもって意欲的に観察する。（関心・意欲・態度）			
準備	乾燥ワカメ、アオノリ、スサビノリ、イシクラゲ、茶、乳鉢、乳棒、ジエチルエーテル、展開液（石油エーテル：アセトン＝7：3）、TLCシート、蓋付きガラス瓶、ガラス毛细管、ピンセット、マイクロチューブ			
段階	具体目標	学習内容・活動	指導上の留意点	評価
導入 5分	○試料を確認する。	○3種の海藻、イシクラゲ、茶を確認する。	○光合成色素について復習させる。	
展開 30分	○各生物がもつ色素に関する観察実験に目的意識をもって意欲的に取り組む。 ○観察実験の方法を理解し、的確に行う。	○実験プリントで、実験操作・手順を理解する。  ○シートに原線などを鉛筆で引く。 ○全ての試料を1枚のシートにスポットする。 ○展開液につけ、展開する。 ○分離結果を鉛筆でなぞる。  ○それぞれの色素のRf値を求める。	○実験方法を理解させる。 ・原線とスポット間隔 ・スポット方法 等  ○机間指導し、実験が正しく行われているか確認する。 ・シートが傾いて展開されていないか。 ・結果を素早く鉛筆でなぞっているか。 ・色の記入ができていないか。 ○展開色素の中心までを計測させる。	○目的意識をもって意欲的に観察している。 （関心・意欲・態度） ○抽出液を的確にスポットし、展開している。 （観察・実験の技能）  ○光合成色素の分離結果から、Rf値を求めている。 （観察・実験の技能）
まとめ 10分	○結果をまとめる。	○Rf値から色素を特定する。  ○所定の場所へ片付ける。 ○実験の感想及び自己評価を記入する。	○数値には幅をもたせ、色素の色味も踏まえて特定させる。 ○実験結果を発表させ、共有させる。 ○協力して片付けるよう促す。 ○プリントに感想と自己評価の記入を促す。	

## 7 ワークシート

### (1) ワークシート1

ワークシート1

**実習 生物を分類してみよう**

年 組 番 氏名 \_\_\_\_\_

生物は、無数の個体からなり、それらは多様性をもつと同時に、一定の類型に分けられる。人は、古くからそれらを形態などから分類してきた。例えば、虫、魚、鳥、草、苔などである。そして、さらにそれらの次まかな分類の中にも、多様な形質を観察することができ、より細かい集団に分けられる。

次に挙げられた生物は、どのような視点に注目して、どのように分類できるだろうか。  
【参考資料として写真配付】

【課題】 1. A～Dの視点で生物を分類しよう。  
2. E、Fは、自分で視点を設定して分類しよう。

【生物】 イシクラゲ（藍色細菌）、ワカメ、コンブ（褐藻類）、スサビノリ、ツノマタ（紅藻類）、アオノリ、アナアオサ（緑藻類）、茶、タンポポ（緑色植物）

<p>視点A：生活場所</p> <table border="1" style="width: 100%; height: 40px;"> <tr> <td style="width: 20px; text-align: center;">水中</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="width: 20px; text-align: center;">陸上</td> <td></td> </tr> </table>	水中		陸上		<p>視点B：からだ全体の色</p> <div style="border: 1px solid black; height: 40px;"></div>
水中					
陸上					
<p>視点C：核膜の有無</p> <div style="border: 1px solid black; height: 40px;"></div>	<p>視点D：（                      ）</p> <div style="border: 1px solid black; height: 40px;"></div>				
<p>視点E：（                      ）</p> <div style="border: 1px solid black; height: 40px;"></div>	<p>視点F：（                      ）</p> <div style="border: 1px solid black; height: 40px;"></div>				

第4時の最後にワークシート1を用いて、第5時の実験試料となる光合成生物を複数の視点から分類した。与えられた視点のみでなく、各自が視点を見いだすことで思考をともなった知識の整理となることを目指した。補足資料として各生物が生息している様子が分かる写真シートを作成し、生徒に配布した。

#### 予想される視点例

- ・食用か食用でないか
- ・単細胞か多細胞か
- ・種子を作るか作らないか
- ・植物か原生生物か原核生物か
- ・もっているクロロフィルの種類

(2) ワークシート 2

ワークシート 2

実験 光合成生物の進化を探る

年 組 番 ( )

1. 目的

原核生物や原生生物の藻類、植物が持つ光合成色素を調べ、系統関係を考える。

2. 準備

試料：ワカメ、アオノリ、スサビノリ（板のり）、イシクラゲ、茶

器具：乳鉢、乳棒、マイクロチューブ、蓋付きガラス瓶、ガラス毛细管、ピンセット、ハサミ、駒込ピペット、TLCシート（5cm×8cm）、粉末シリカゲル

薬品：抽出液（ジエチルエーテル）、展開液（石油エーテル：アセトン＝7：3）

3. 方法

(1) 試料（ワカメなど）をハサミで細かく切り、適量の粉末シリカゲルと共に乳鉢に入れる。これを乳棒ですりつぶし、さらに抽出液を加えて放置する。その後、上澄み液をマイクロチューブに取り分ける。

(2) TLCシートの上下の端からそれぞれ1cmのところに鉛筆で線を引く。下側の線を6等分し、左から「イシ」、「ワカ」、「スサ」、「アオ」、「茶」と鉛筆で薄く書く。

(3) ガラス瓶に展開液を10mL駒込ピペットで入れ、蓋をしっ

(4) (1)をガラス毛细管で少量取り、TLCシートの原点に丁寧にスポットする。イシクラゲ、スサビノリは30回、他は10回程度、原点の同じ場所にスポットを繰り返す。  
（\*大きくならないように素早く。完全に乾いてから1回1回スポットをする。）

(5) TLCシートをピンセットではさみ、展開液を入れた瓶に原点が下側になるように静かに入れ、蓋をしっかりと閉めてしばらく静置する。（\*傾かないようにする。）

(6) 展開液が終点に達したら TLCシートをガラス瓶から取り出し、原点と終点の間に展開された色素が濃くなった部分を鉛筆ですばやく囲む。

(7) 原点から各色素の中心までの長さを測り、これを、原点と終点の間の長さで割った値をその色素の[Rf値]とし、試料ごとに比較する。

$$Rf \text{ 値} = \frac{\text{原点から各色素の中心までの距離 (b)}}{\text{原点から展開液の終点までの距離 (a)}}$$



4. 結果（確認できたものに「○」をつける）

材料 (上段：分類名・下段：生物名)	藍色細菌	褐藻類	紅藻類	緑藻類	緑色植物
光合成色素 色 Rf 値	イシクラゲ	ワカメ	スサビノリ	アオノリ	茶
クロフィル a	青緑 0.47				
クロフィル b	黄緑 0.42				
クロフィル c	薄緑 0.10				
カロチン	橙黄 0.90				
キサントフィル	黄 0.39				
フコキサンチン	褐 0.36				
フィコエリトリン	褐～灰 0.55				
フィコシアニン	青～赤			○	

\*フィコエリトリン…水溶性色素。フィコエリトリン・フィコシアニンなど

5. 考察

(1) すべての生物に共通する光合成色素は何か？

\_\_\_\_\_

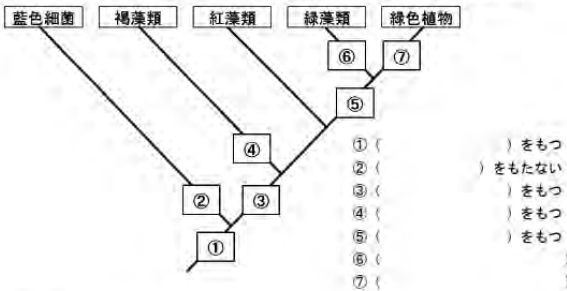
(2) もっているクロロフィルの種類から、ベン図を用いて各生物を分類せよ。

\_\_\_\_\_

(3) 実験の結果から、緑色植物と最も近縁と推定される藻類は何か？理由も答えよ。

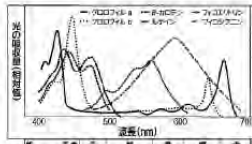
\_\_\_\_\_

(4) 分類群がもっている特徴を比較することで、系統関係を考えることができる。実験で得たクロロフィルによる分類【考察(2)】と実習「生物を分類してみよう」のいずれか二つの分類の視点の各基準を用いて、系統樹の①～⑦にはいる枝分かれの判断基準を答えよ。



<発展>

(5) 右図は各光合成色素の波長と光吸収量の関係を示している。このことをふまえて、光合成生物が複数の光合成色素をもつ利点を考えよ。なお、フィコピリンはフィコエリトリンとフィコシアニンに分けて示してある。



\_\_\_\_\_

(6) 右表は、海の水深と光の透過の関係を示している。深い海では緑藻類は少なく、紅藻類が多くなる。この理由を考えよ。

光の色	青	緑	橙	赤
水深(m)				
1	100	100	100	100
5	45	25	0.3	0.3
10	44	17	0.2	0.3
20	28	0.6	0.1	0.0

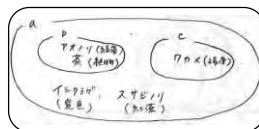
(© Itmann, 1923)

\_\_\_\_\_

ワークシート 2 において、考察(2)では、ベン図を用いて実験結果を整理し、考察(3)では、結果の比較・分類から分かったことを考えの根拠として示させ、考察(4)では、前時までの学習内容で整理した資料を併用することで、意図的にこれまでの知識の活用を促した。また、考察(5)、(6)では、既に学習をしている光合成色素と関わりがあるグラフを実験につなげて取り入れることで、日頃から生徒に感じている課題への対応も試みた。

生徒の記述例

考察(2)



考察(3)

・緑藻類（アオノリ）なぜなら、茶と同じクロロフィル a とクロロフィル b をもっているから。

考察(5)

- ・効率的に光合成を行って有機物を多く作ることができる。
- ・複数の波長の光を利用して効率よく光合成ができる。

考察(6)

- ・深海まで届く緑や黄色の波長の光を利用できるようにすることで、効率よく光合成ができるから。
- ・紅藻はフィコピリンをもっていて、黄色などの光も光合成に使えるから。
- ・紅藻が利用できる波長の光が深海まで届くから。

## 8 実験の留意点

### ○R f 値

R f 値は、展開液の種類や比率、温度条件等により値が変動する。そのため、ワークシートで示すR f 値は、授業実施日の直前に複数回の予備実験を行い、それらのデータから得た値を参考とすることで、実験当日の結果と近い値が示せるように努めた。その上で、実験では、参考値として示したR f 値には、ある程度、幅をもたせ、色素の特定は色素の色味も踏まえて行うように指導した。

また、生物ごとに展開された各色素のすべてのR f 値の算出は時間も要するので、各生物から展開された色素を比較して、同じ色味でほぼ同じ位置に展開された色素については、そのいずれか一つのR f 値を求めさせた。

### ○光合成色素

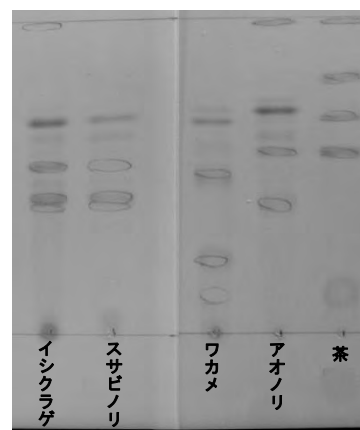
実験で特定する光合成色素は、各生物に共通な色素や特徴的な色素のみとしてワークシートに示した。

フィコビルリン（フィコエリトリンやフィコシアニン）は水溶性であり、有機溶媒による抽出・展開はできない。今回は、ワークシートにその存在を示し、細かく切ったスサビノリ※を水とともにシャーレに入れ、抽出液の色を観察し、水溶性色素の存在を確認させた。抽出液は紫色となり、紅色系のフィコエリトリンと青色系のフィコシアニンによるものと思われる（図1）。

※ 焼き海苔では、紫色の色素は抽出されないので、焼いていない板海苔を用いる。

### ○有機溶媒の取り扱い

ジエチルエーテル、石油エーテル、アセトンは有害で揮発しやすいので、実験中の換気に十分注意する。また、引火性が高いので、火気の取扱いに配慮する。



TL Cシートに展開された色素

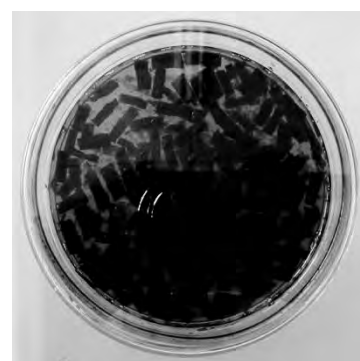


図1 スサビノリの抽出液

## 9 実践を終えて

生徒たちは、海藻をはじめ光合成生物を様々な視点から捉えて考え、分類しようとしていた。分類の視点を意図的に設けることで、比較・分類しやすくするだけでなく、自分たちで新たな視点を見いだそうとしていた。そして、自らが分類した視点と実験結果を基に、考察に取り組んでいた。

これまでの授業では、周囲の生徒と話し合いをしながらの授業を意識することがほとんどなかった。今回の実践では、いつもの授業よりも意見交換される場面がたくさん見られた。お互いの意見を聞いて様々な意見があることを知り、聞き合った内容から自分の意見を振り返っていた。

分類の視点を意識させることは、生徒たちが考えながら知識を整理することに役立っていたと思われる。また、生徒の感想にも見られるように、意見交換が再考を促し、考えを深めることにつながっていた。

表1 生徒の感想

- ・グループ学習は、他人の意見を聞きながらでき、考えが深まった。
- ・植物も効率を考えて進化することが分かり、進化はすばらしいと思った。
- ・もっている光合成色素が異なることで吸収できる光の色が変わり、生活空間を変えていることが分かった。
- ・同じ海藻といっても進化の過程が異なり、もっている色素も大きく違うことに興味を引かれた。機会があれば、身近にある光合成色素を調べて、進化の過程などを考察してみたいと思った。
- ・もう少し細かいところも調べたいと思った。

## 実践2 モデルの活用とグループ活動を取り入れた授業展開 ～ 「遺伝情報の発現」の学習を通して ～

### 1 単元名 遺伝情報の発現

### 2 単元の目標

- ・DNAの複製や遺伝情報の発現の仕組みと遺伝情報の調節について、分子レベルで捉え、理解させる。
- ・遺伝子を扱った技術について、その原理と有用性と理解させる。

### 3 単元の指導観

- ・DNAの半保存的複製の仕組みについては、仮説を立て、メセルソンとスタールの実験結果からその正誤を考察するという探究的な活動を行う。
- ・分子レベルの学習内容については、モデル等を利用し理解を促す。
- ・バイオテクノロジーについては、その有用性や是非を各自が判断できるように、様々なバイオテクノロジーに触れる。

### 4 単元の評価規準

関心・意欲・態度	思考・判断・表現	観察・実験の技能	知識・理解
<ul style="list-style-type: none"> <li>・DNAについて関心を示している。</li> <li>・バイオテクノロジーに関心を持ち、意欲的に探究している。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・バイオテクノロジーの医療や農業分野への応用と課題について考え、意見を述べている。</li> <li>・プライマーと3種類のDNA鎖の関係性から、サイクル終了時のDNA鎖を考察している。</li> <li>・サイクル数と増幅される二本鎖DNAの規則性を見いだしている。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・だ腺染色体を取り出して染色体とパフの特徴を適切に記録している。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・DNAの構造や複製に関わる酵素や合成方向を理解している。</li> <li>・スプライシング、転写と翻訳の過程と関係するRNAのはたらきを理解している。</li> <li>・オペロンや調節遺伝子、ホルモンによる発現調節の仕組みを理解している。</li> <li>・制限酵素、ベクター、電気泳動法の原理を理解している。</li> <li>・プライマーや合成酵素のはたらき、温度条件と反応を理解している。</li> </ul>

### 5 単元の指導計画及び評価計画（14時間）

時間	学習内容	学習活動とねらい	評価の観点				評価規準	評価方法
			関	思	技	知		
1 2 3	DNAの構造と複製	DNAの分子構造や半保存的複製の仕組みを理解する。	◎				DNAについて関心を示している。	行動観察
4 5 6	遺伝情報の発現	タンパク質合成の仕組みを理解する。				◎	DNAの構造や複製に関わる酵素や合成方向を理解している。	ワークシート
7	パフの観察	アカムシのだ腺染色体を取り出し、染色体とパフを観察する。				◎	だ腺染色体を取り出して染色体とパフの特徴を適切に記録している。	行動観察 ワークシート
8 9 10	遺伝子の発現調節	原核生物と真核生物における遺伝子発現の転写レベルの調節を理解する。				◎	オペロンや調節遺伝子、ホルモンによる発現調節の仕組みを理解している。	ワークシート
11 12	バイオテクノロジー	遺伝子組換え技術を理解する。	○				バイオテクノロジーに関心を持ち、意欲的に探究している。	行動観察 ワークシート

					◎	制限酵素、ベクター、電気泳動法の原理を理解している。	ワークシート
		バイオテクノロジーと人間生活への応用について考察する。		◎		バイオテクノロジーの医療や農業分野への応用と課題について考え、意見を述べている。	ワークシート
13 本時	実践 2	PCR法演習	PCR法の仕組みについて考察する。		○	プライマーと3種類のDNA鎖の関係性から、サイクル終了時のDNA鎖を考察している。	ワークシート 行動観察
14 本時		PCR法の規則性演習	前時の学習をもとにPCR法の規則性を考察する。		◎	サイクル数と増幅される二本鎖DNAの規則性を見いだしている。	ワークシート 行動観察

## 6 本時の展開

この演習は、DNAモデルを使ったグループ活動を通して、「①サイクル終了時のDNA鎖を考察する」「②サイクル数と増幅される二本鎖DNAの規則性を考察する」という二つの目標を設定したため、下記指導案の展開の破線部で、2単位時間に分けて実施した。

題 目	PCR法について			
本時の 目 標	①プライマーと3種類のDNA鎖の関係性から、サイクル終了時のDNA鎖を考察する。 (思考・判断・表現) ②サイクル数と増幅される二本鎖DNAの規則性を考察する。(思考・判断・表現)			
準 備	3種類の長さ(長・中・短)のDNAモデル、2種類のプライマーのモデル			
段 階	具体目標	学習内容・活動	指導上の留意点	評 価
導 入	○PCR法の原理、DNA複製の方法を確認する。	○PCR法について原理を学習する。 ○DNA複製の方法を復習する。	○モデルを使い、視覚的に捉えられるようにする。 ○複製に方向性があることを強調する。	
展 開	○モデルを使って各サイクルのDNA鎖の様子を再現し、3サイクル終了時までを考察する。	○グループで話し合い、モデルを使って1サイクル終了時を再現する。 ○モデルを使い、長中短から複製するDNA鎖を再現し、図示する。 ○3サイクル終了時までを長中短を使って表現する。	○複製の方向性とモデルの長さに注意し再現するよう促す。 ○グループで協力し、方向性と長さに注意するよう促す。 ○鋳型鎖と複製されるDNA鎖が区別できるように促す。	○プライマーと3種類のDNA鎖の関係性から、サイクル終了時のDNA鎖について考察している。 (思考・判断・表現)
	○サイクル数と増幅される二本鎖DNAの規則性を考察する。	○グループで話し合い、サイクル数と増幅される二本鎖DNAの規則性を考察し、表に書く。	○表に示すDNA鎖の違いに注意するよう強調する。	○サイクル数と増幅される二本鎖DNAの規則性を見いだしている。 (思考・判断・表現)
ま と め	○PCR法によるDNA複製について振り返る。	○PCR法によるDNA複製について振り返る。 ○所定の場所へ片付ける。 ○感想及び自己評価を記入する。	○規則性があることを強調する。 ○協力して片付けるよう促す。 ○プリントに感想と自己評価の記入を促す。	

# 7 ワークシート

## 実習 PCR法

年 組 番 ( )

### 1. PCR法とは

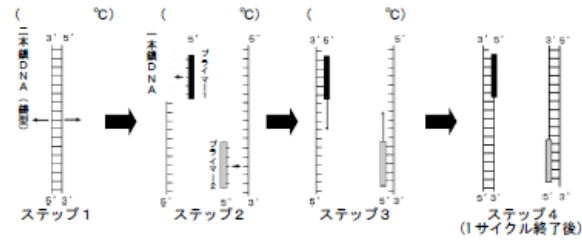
### 2. PCR法の原理

ステップ1: 目的とするDNAを( ) °Cに加熱し、1本ずつのヌクレオチド鎖に分離する。

ステップ2: 約( ) °Cまで冷やして、増幅したい部分の端に、プライマーを結合させる。(アニーリング)

ステップ3: ( ) °Cに加熱し、DNAポリメラーゼのはたらきによって、ヌクレオチドを結合させ、プライマーに続くDNAを伸長させる。

ステップ4: ステップ1~3を何度も繰り返し、二本鎖DNAを大量に増幅する。



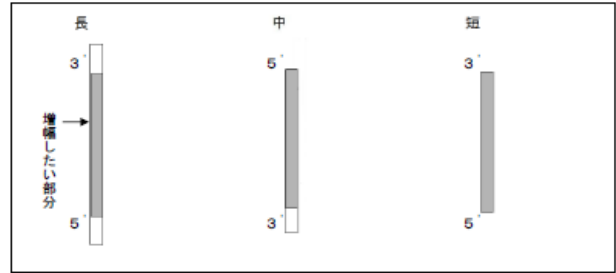
### 3. 課題 I 増幅したい部分の二本鎖DNAは何サイクル目に生じるだろうか。

II サイクル数と、増幅したい部分のみからなる二本鎖DNA数には規則性があるだろうか。

(1) 1サイクル終了時までをモデルを使って再現しよう。

(2) 最初に鋳型となる一本鎖DNA : 長 }  
増幅したい部分(断片)以外も持つ二本鎖DNA : 中 } とする。  
増幅したい部分(断片)のみからなる二本鎖DNA : 短 }

それぞれの一本鎖DNAから増幅されるDNA鎖を再現し、図示しよう。



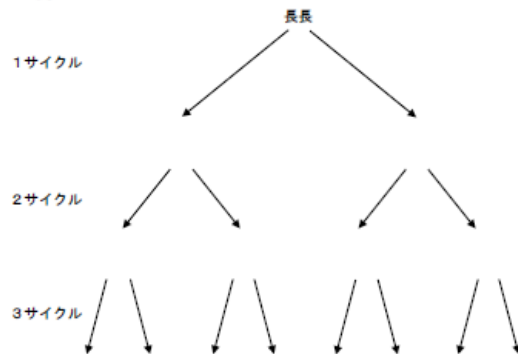
(3) それぞれの長さのDNA鎖から増幅されるDNA鎖は、長・中・短どのタイプのものか。

長 → ( )

中 → ( )

短 → ( )

(4) PCR法を3サイクル繰り返したときどのようなようになるか考え、「長・中・短」で答えよう。



(5) 生じる二本鎖DNAについて、次の表を完成させなさい。

STEP 1	サイクル数	生じる二本鎖DNA数	増幅したい部分以外も持つ二本鎖DNA数(長中, 中短)	増幅したい部分のみからなる二本鎖DNA数(短短)
	1			
	2			
	3			

↓ サイクル数を使って表現すると

STEP 2	サイクル数	生じる二本鎖DNA数	増幅したい部分以外も持つ二本鎖DNA数(長中, 中短)	増幅したい部分のみからなる二本鎖DNA数(短短)
	1			
	2			
	3			

↓ 「nサイクル終了時」、nを使って表現すると

STEP 3	サイクル数	生じる二本鎖DNA数	増幅したい部分以外も持つ二本鎖DNA数(長中, 中短)	増幅したい部分のみからなる二本鎖DNA数(短短)
	n			

DNAモデルを作製し、複製の流れをイメージしやすいようにした。また、DNAモデルのセットの中にダミーを入れ、正しいプライマーやDNAを考えて選び出せるようにした。DNAの種類については、「5'末端」「3'末端」などの表現を使うと混乱すると考え、どの長さのDNAが複製されるかを把握することを優先させ、3種類のDNAの表現を「長・中・短」とした。

なお、規則性を導き出すために、ワークシートにおいて3段階に分けて思考の流れを提示したが、STEP 2は省略することも考えられる。

### 生徒が導き出した式

n サイクル後の増幅したい二本鎖DNA数  

$$= 2^n - 2^n$$



## 8 DNAモデル

### モデルの作製

モデルはカラーボード（厚さ2mmのポリスチレン製：百円ショップで購入）にエクセルで作成したDNA鎖を貼り付けて作製した。塩基部分は、プライマー及びプライマーが結合する部分のみをアルファベット表示し、他は省略した（図2）。

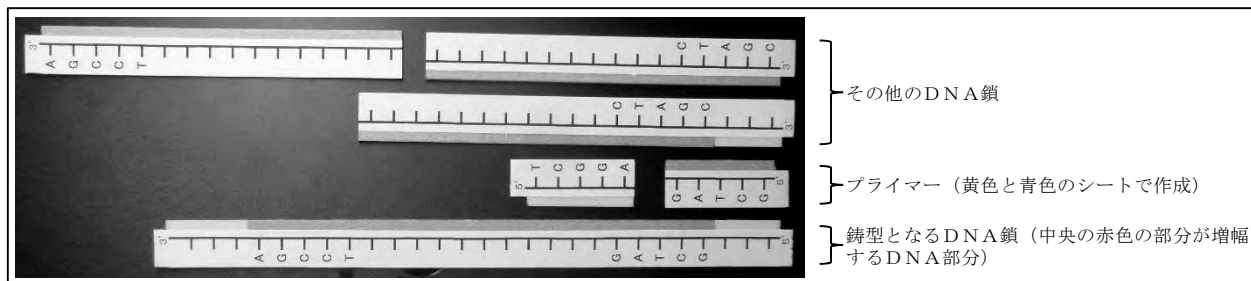


図2 作製したモデル

### モデルとDNAの長さ（長・中・短）の関係

複製時における各DNA鎖（一本鎖）を表したモデルと「長・中・短」で示した長さ表現の関係を以下に示す（図3）。

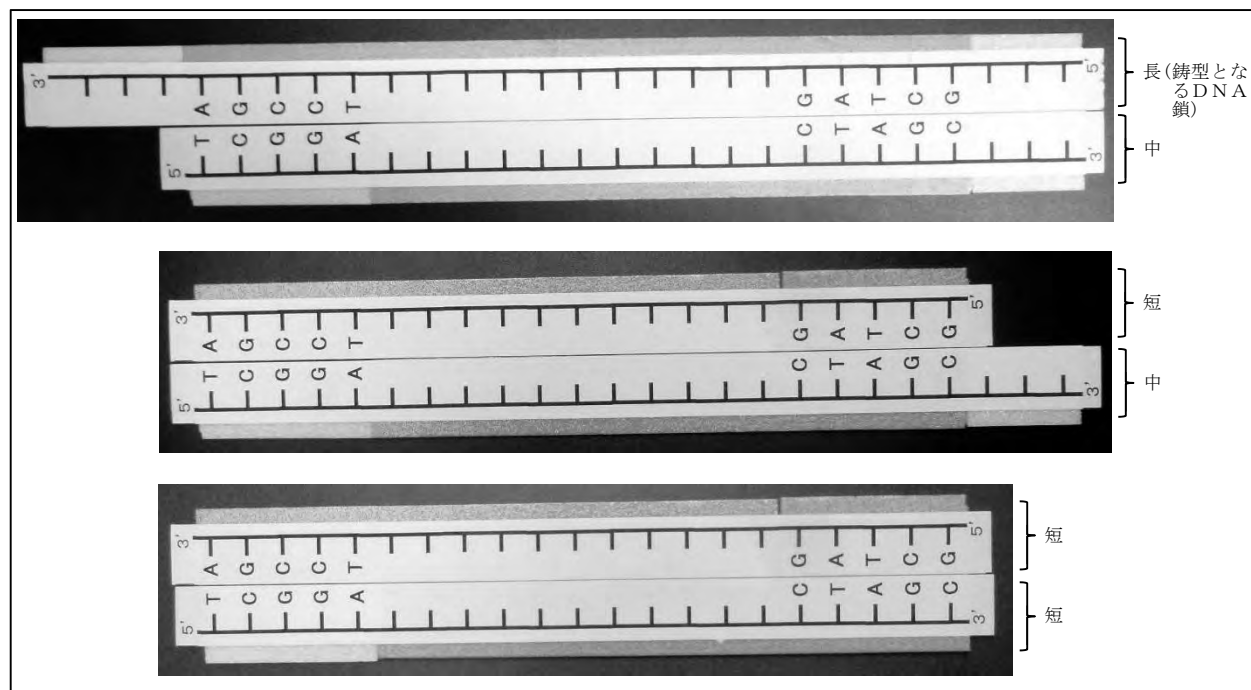


図3 モデルとDNAの長さ（長・中・短）の関係

## 9 実践を終えて

生徒たちは、最初、DNAモデルに戸惑いを見せていたが、活動内容を理解するとグループの生徒たちと話し合いながら試行錯誤して進んでいた。DNAの長さの表現を「長・中・短」としたが、サイクル数と複製される二本鎖DNAの長さの関係は理解できたようである。また、規則性を導くときにも、DNAモデルを動かしながら考え、各サイクルにおけるDNA鎖の関係性をスムーズに解答していた。



活動の様子

これまで、PCR法の学習では黒板に線で表したDNA鎖を描き、一方的に事実を教えており、生徒の様子を見ていると、DNA複製のイメージもできていないように感じていた。今回の実践では、生徒たちは意見交換しながら、自らの力で「サイクル数と増幅される二本鎖DNAの規則性」を見いだしている。

モデルによるイメージのしやすさと、そのモデルを用いながらの話合いを伴ったグループ活動は、生徒たちの思考を促していたと感じている。

表2 生徒の感想

- ・頭の中や図で考えるよりもPCR法について理解しやすかった。
- ・黒板で書いて説明されるより、自分たちで活動した方が興味がわく。
- ・グループ活動は自分とは違う考え方を知る良い機会となった。
- ・自分の出した答えに自信を持つことができた。
- ・グループで話し合ったことでPCR法をよく考えることができたと思う。
- ・達成感がある。

[参考文献・引用文献等]

- ・文部科学省検定教科書『高等学校 生物』（第一学習社 平成25年）
- ・文部科学省検定教科書『生物』（数研出版 平成24年）
- ・文部科学省検定教科書『生物基礎』（数研出版 平成27年）
- ・国立教育政策研究所教育課程研究センター『評価規準の作成、評価方法等の工夫改善のための参考資料【高等学校 理科】』（平成24年）
- ・文部科学省『言語活動の充実に関する指導事例集【高等学校版】』（平成24年）
- ・栃木県総合教育センター『思考力・判断力・表現力を育む授業づくり【理論編】～「思考のすべ」と発問の工夫』（平成27年）
- ・『ニューステージ新生物図表』（浜島書店 平成27年）
- ・『新課程サイエンスビュー生物総合資料』（実教出版 平成25年）
- ・「『海藻サラダ』を材料とした光合成色素の分離による系統分類の実験教材の開発」  
千葉県総合教育センター <http://www.chiba-c.ed.jp/shidou/k-kenkyu/H19/k200717.pdf>
- ・『生物教育』 第44巻第1号（2003）
- ・『ワークブックで学ぶ生物実験の基礎』（オーム社 平成26年）
- ・『今日からモノ知りシリーズトコトンやさしい光合成の本』（日刊工業新聞社 平成24年）
- ・『海藻学入門』（講談社 1989）