

観察・実験推進モデル校事業

# 実験事例集

兵庫県教育委員会  
高校教育課



## はじめに

本県では、理数教育の充実のために、教科「理科」の授業に観察・実験を取り入れ、生徒の理科や科学技術等に関する興味・関心を高めるとともに、科学的に探究する能力と態度を育成することを目的に、平成24年度から平成26年度までの3年間、観察・実験推進モデル校10校において、観察・実験を中心とした授業の実施、教材の作成等に取り組んできました。本年度、その取組成果を、全ての県立高等学校及び県立中等教育学校に普及するため、観察・実験推進モデル校実験事例集作成委員会を設置し、観察・実験推進モデル校実験事例集を作成しました。

観察・実験推進モデル校実験事例集は、生徒用プリントと、実験を実施するにあたっての留意点等の解説から構成されています。実験方法だけでなく、実験材料の入手方法といった準備上のポイントから実施上の工夫、結果のまとめ方の工夫等についても示すことで、事例として取り上げている実験を誰もが適切に実施できるようになっています。また、留意点等の解説にあるような観点は、各校でこれまで実施している観察・実験の取組をさらに充実させるための改善方法を検討する際にも、参考として活用できるものとなっています。

この観察・実験推進モデル校実験事例集を各校が活用し、観察・実験を取り入れた授業を充実させることで、生徒の自然科学に対する興味・関心を高め、本県の理数教育がさらに充実・発展していくことを期待します。

平成28年3月

## 目次

### 1 物理分野

|        |                           |    |
|--------|---------------------------|----|
| 実験事例1  | 小型速度測定器を用いた自由落下での重力加速度の測定 | 1  |
| 実験事例2  | 小型速度測定器を用いた力学的エネルギーと仕事    | 5  |
| 実験事例3  | 気体・液体・固体への仕事と熱            | 9  |
| 実験事例4  | 気柱の共鳴による振動数の測定            | 13 |
| 実験事例5  | 分光シートによる光の回折・干渉           | 17 |
| 実験事例6  | 霧吹き彩虹                     | 21 |
| 実験事例7  | スピーカーを作ろう                 | 25 |
| 実験事例8  | クリップモーターの作製               | 28 |
| 実験事例9  | リニアモーターの作製                | 32 |
| 実験事例10 | 測定器とドライアイスの霧箱による放射線の測定    | 35 |

## 2 化学分野

|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| 実験を安全に行うために                          | 39 |
| 実験事例1 結晶格子模型による最密構造の観察と限界(臨界)半径比の算出  | 43 |
| 中和滴定実験を実施するにあたって(実験の注意点)             | 46 |
| 実験事例2 中和滴定(酢酸と水酸化ナトリウム)              | 48 |
| 実験事例3 中和滴定(シュウ酸標準液と水酸化ナトリウム水溶液)      | 52 |
| 実験事例4 色素(指示薬)の色の変化とpHの関係を調べる         | 56 |
| 実験事例5 食品に含まれる天然色素(植物由来)のpHによる色の変化    | 60 |
| 実験事例6 滴定曲線の作成                        | 64 |
| 実験事例7 中和滴定によるクエン酸(citric acid)の価数の決定 | 67 |
| 実験事例8 電池の仕組みを理解する(マイクロスケール実験)        | 70 |
| 実験事例9 化学的酸素消費量(COD)の測定               | 74 |

## 3 生物分野

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 実験事例1 体細胞分裂の観察              | 78  |
| 実験事例2 だ腺染色体の観察              | 82  |
| 実験事例3 相同染色体を探せ!(ヒト染色体の核型分析) | 85  |
| 実験事例4 ヒトのDNA抽出              | 89  |
| 実験事例5 酵素(生体触媒)と無機触媒の比較      | 92  |
| 実験事例6 ニンヒドリン反応を利用した指紋の検出反応  | 96  |
| 実験事例7 透明骨格標本をつくる            | 99  |
| 実験事例8 世界のバイオーム              | 102 |

## 4 地学分野

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| 実験事例1 雲の発生            | 106 |
| 実験事例2 黒点から太陽の自転周期を求める | 108 |
| 実験事例3 鉱物による酸の中和       | 111 |

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 5 観察・実験推進モデル校実施要項            | 114 |
| 6 観察・実験推進モデル校実験事例集の作成に係る実施要項 | 115 |
| 7 観察・実験推進モデル校実験事例集作成委員一覧表    | 116 |

## 実験事例 1 小型速度測定器を用いた自由落下での重力加速度の測定

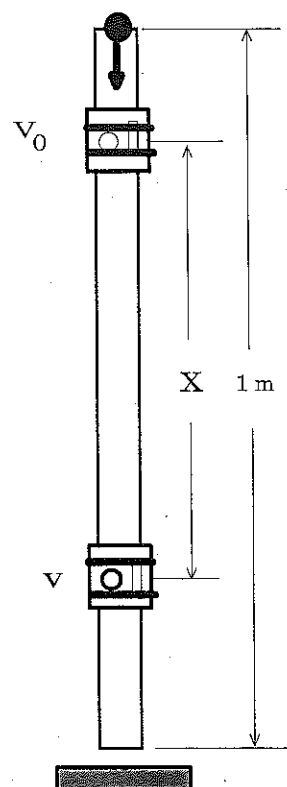
【目的】 小型速度測定器を使って、物体の落下距離や質量を変えた自由落下で重力加速度を求める。

落下距離や質量について重力加速度との関係を理解する。

【準備】 小型速度測定器 2 個、鉄球、透明アクリルパイプ（直径 40mm）、輪ゴム、スポンジ、電子てんびん、電卓

### 【方法】

- (1) 落下させる鉄球の質量を電子てんびんで測定する。
- 次の実験操作(2)～(6)を 5 回行う。
- (2) 透明アクリルパイプに 2 つの小型速度測定器を輪ゴムで固定し、2 つの測定器の間の距離  $x$  を記録する。
- (3) 手で装置を垂直に立てて、下にスポンジを置く。
- (4) 2 つの小型速度測定器のボタンを押し、速度測定をスタンバイにする。
- (5) 鉄球をパイプの中に静かに落下させる。
- (6) 落下後に 2 つの小型速度測定器の測定値を記録する。
- (7) 鉄球の質量が異なるもので、実験操作(1)～(5)を 5 回行う。



### 【重力加速度の求め方】

初めの速度  $v_0$  の地点から、落下距離  $x$  の時の速度  $v$ 、重力加速度  $g$  とすると、つぎのような関係式がある。

$$v^2 - v_0^2 = 2 g x$$

この式を変形させると、

$$g = \frac{v^2 - v_0^2}{2x}$$

となり、重力加速度  $g$  を求めることができる。

【結果】

(1) 鉄球 ( ) g

| 回数 | 距離 $x$<br>[m] | $v_0$<br>[m/s] | $v_0^2$<br>[m/s] <sup>2</sup> | $v$<br>[m/s] | $v^2$<br>[m/s] <sup>2</sup> | 重力加速度 $g$<br>[m/s <sup>2</sup> ] |
|----|---------------|----------------|-------------------------------|--------------|-----------------------------|----------------------------------|
| 1  |               |                |                               |              |                             |                                  |
| 2  |               |                |                               |              |                             |                                  |
| 3  |               |                |                               |              |                             |                                  |
| 4  |               |                |                               |              |                             |                                  |
| 5  |               |                |                               |              |                             |                                  |
|    |               |                |                               |              |                             | 平均値                              |

(2) 鉄球 ( ) g

| 回数 | 距離 $x$<br>[m] | $v_0$<br>[m/s] | $v_0^2$<br>[m/s] <sup>2</sup> | $v$<br>[m/s] | $v^2$<br>[m/s] <sup>2</sup> | 重力加速度 $g$<br>[m/s <sup>2</sup> ] |
|----|---------------|----------------|-------------------------------|--------------|-----------------------------|----------------------------------|
| 1  |               |                |                               |              |                             |                                  |
| 2  |               |                |                               |              |                             |                                  |
| 3  |               |                |                               |              |                             |                                  |
| 4  |               |                |                               |              |                             |                                  |
| 5  |               |                |                               |              |                             |                                  |
|    |               |                |                               |              |                             | 平均値                              |

【考察】

(1) 測定した結果から、落下距離と重力加速度について、どのようなことがわかるか。

(2) 測定した結果から、重力加速度と質量について、どのようなことがわかるか。

(3) 実験から求めた値が、重力加速度 9.80m/s<sup>2</sup>とずれている場合には、どのようなことが考えられるか。

年 組 番 名前 ( )

# 解説 実験事例 1 小型速度測定器を用いた自由落下での重力加速度の測定 (物理: 力学)

## I 実験材料の入手方法

小型速度測定器, 鉄球, 電子天秤, 目盛り貼付透明プラスチックパイプ (直径 4.0cm) [理科教材会社]

## II 実験操作上のポイント

- ・センサーはそれぞれ2つの輪ゴムで固定させる。
- ・センサーの中央からセンサー間の距離を 40cm, 50cm, 60cm, 70cm, 80cm に, 2つのセンサー間の距離を変えて, 5回測定を繰り返す。
- ・鉄球を管壁に当てないようにさせる。
- ・教具を生徒に組立させて, 筒とスポンジの間は少し離しておくようにする。
- ・鉄球を落下させるものと, 実験器の筒を持つものと交代して, 2人一組で実験をしているが, 一班は4人で行っているので, 残り2人と入れ替わる。生徒各自が必ず落下実験をするようにする。
- ・測定する落下距離を変えて同様の実験をさせ, さらに, 質量の異なる鉄球でも, 上記の手順で実験させる。
- ・電卓を用いて計算させるが, 有効数字には注意する。



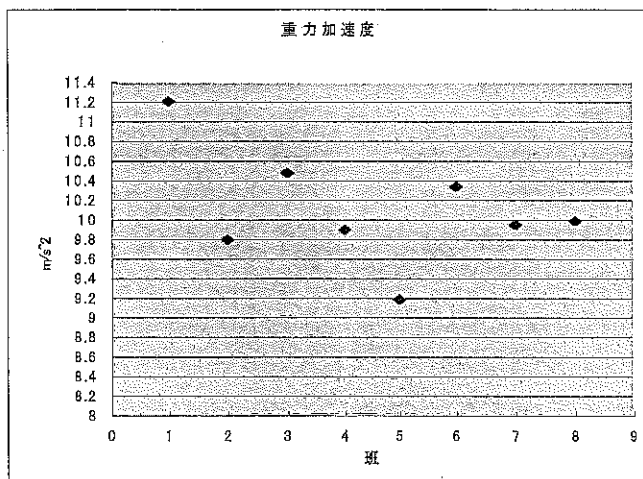
## III 結果のまとめ方等の工夫

【測定結果】実験データの一例 (小型速度測定器は時速で計測)

自由落下を5回測定して, データ処理した例である。重力加速度の平均値を求めると  $9.85\text{m/s}^2$  という結果になった。図は, 1クラス8班各々の重力加速度 (5回の平均値) の測定結果である。各班の重力加速度の平均値は,  $9.2\sim 11.2\text{m/s}^2$  の範囲になったが, 8班のうち半数の4班で  $9.8\sim 9.9\text{m/s}^2$  の範囲の測定結果が出ている。測定結果で  $10\text{m/s}^2$  以上の値を示している3班は, 2点間の距離を正確に測定していないことによるものである。  $9.2\text{m/s}^2$  の値を示している1班は, 管の壁に鉄球が接触して, 減速したことによるものである。

図

| 回数            | $V_1$<br>[km/h] | $v_1$<br>[m/s] | $V_2$<br>[km/h] | $v_2$<br>[m/s] | $x$<br>[m] | $g$<br>[m/s <sup>2</sup> ] |
|---------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|------------|----------------------------|
| 1             | 4.91            | 1.36           | 13.05           | 4.18           | 0.80       | 9.76                       |
| 2             | 4.90            | 1.36           | 14.29           | 3.97           | 0.70       | 9.93                       |
| 3             | 5.08            | 1.41           | 12.37           | 3.44           | 0.50       | 9.84                       |
| 4             | 5.04            | 1.40           | 10.04           | 2.79           | 0.30       | 9.71                       |
| 5             | 4.97            | 1.37           | 7.09            | 1.97           | 0.10       | 10.02                      |
| $g$ の平均値=9.85 |                 |                |                 |                |            |                            |



平成 24 年度より, 小型速度測定器は秒速での測定が可能になり, 時速から秒速に換算する必要がなくなった。データ処理が簡単になった。図 4 は, 物理基礎の授業で, 1 年生が実験に取り組んでいる様子である。鉄球を落下させるものと, 実験器の筒を持つものと交代して, 2 人一組で実験をしているが, 一班は 4 人であったので, 残り 2 人と入れ替わる。生徒各自が必ず落下実験をするようにさせている。ただし, 測定する落下距離は変えて同様な実験をさせている。さらに, 質量の異なる鉄球でも, 上記の手順で実験させている。実験グループは 4 名～5 名なので, 生徒一人一人が鉄球の落下実験をすることができている。

【測定結果】 生徒が提出したプリントでの実験結果（小型速度測定器は秒速で計測）

鉄球の質量＝28 g の場合

鉄球の質量＝36 g の場合

| 回数            | $x$<br>[m] | $v_0$<br>[m/s] | $v_0^2$<br>[m/s] <sup>2</sup> | $v$<br>[m/s] | $v^2$<br>[m/s] <sup>2</sup> | $g$<br>[m/s <sup>2</sup> ] |
|---------------|------------|----------------|-------------------------------|--------------|-----------------------------|----------------------------|
| 1             | 0.70       | 1.50           | 2.25                          | 3.15         | 9.92                        | 9.59                       |
| 2             | 0.50       | 1.48           | 2.19                          | 3.41         | 11.6                        | 9.41                       |
| 3             | 0.60       | 1.48           | 2.19                          | 3.69         | 13.6                        | 9.50                       |
| 4             | 0.70       | 1.39           | 1.93                          | 3.90         | 15.2                        | 9.50                       |
| 5             | 0.80       | 1.52           | 2.31                          | 4.13         | 17.0                        | 9.19                       |
| $g$ の平均値＝9.44 |            |                |                               |              |                             |                            |

| 回数            | $x$<br>[m] | $v_0$<br>[m/s] | $v_0^2$<br>[m/s] <sup>2</sup> | $v$<br>[m/s] | $v^2$<br>[m/s] <sup>2</sup> | $g$<br>[m/s <sup>2</sup> ] |
|---------------|------------|----------------|-------------------------------|--------------|-----------------------------|----------------------------|
| 1             | 0.40       | 1.47           | 2.16                          | 3.11         | 9.67                        | 9.39                       |
| 2             | 0.50       | 1.45           | 2.10                          | 3.45         | 11.9                        | 9.80                       |
| 3             | 0.60       | 1.44           | 2.07                          | 3.65         | 13.3                        | 9.33                       |
| 4             | 0.70       | 1.32           | 1.74                          | 3.95         | 15.6                        | 9.93                       |
| 5             | 0.80       | 1.70           | 2.89                          | 4.25         | 18.0                        | 9.44                       |
| $g$ の平均値＝9.58 |            |                |                               |              |                             |                            |

2つの小型速度測定器の間隔（落下距離）を 40cm, 50cm, 60cm, 70cm, 80cm に変えて測定させた。計算結果では、 $g$  の値が  $9.19\text{m/s}^2 \sim 9.80\text{m/s}^2$  の範囲となり、落下距離に関係なく、重力加速度がほぼ一定になっていることがわかる。また、質量を変えても、 $g$  の平均値が  $9.44\text{m/s}^2$  と  $9.58\text{m/s}^2$  となり、重力加速度にはほとんど影響していないことがわかる。

#### IV 実験の効果

生徒の考察から、同じ条件で試してみても誤差が生じた。また、標準値である  $g = 9.80\text{m/s}^2$  から  $-8.8\%$  の誤差が生じたことを書いている。これはプラスチックパイプの傾きや、プラスチックパイプとの摩擦などによるものを考えている。その他、この実験でピンポン球も用いたが、落下させるとプラスチックパイプの壁面と摩擦しながら、ゆっくり落下したため、結果には入れなかったと書いている。

今回の小型速度測定器は記録タイマーより、簡単に速さを計測することができる実験器を用いて実験をした。やはり、その計測の手軽さは、記録タイマーと比べものにならないほど簡単であったと感想を述べている。

① 測定処理が簡単であるため、 $10\text{m/s}^2$  を超える値や  $9.0\text{m/s}^2$  を下回る値が計算された場合には、その時間中の授業で、落下距離の測定の修正や管壁に当てないように測定するなど、生徒が自主的に実験を再現して、計測をやり直すことができた。

② 質量を変えても、落下の加速度は変化しないことが、分析することで理解させることができた。次は、生徒が考察で記述した例である。

- ・質量が変化しても重力加速度の大きさは変わらない。
- ・質量が変わっても重力加速度は一定である。
- ・質量が違っていても重力加速度の値はあまり変わらない。
- ・質量が変わっても重力加速度はある程度一定である。

以上の同様な内容が実験をしたすべての生徒が書いていた。

③ 測定された値が重力加速度  $9.80\text{m/s}^2$  からずれている原因を実験操作の状況や自然現象による影響について、正しく分析ができるようになった。

次は、生徒が考察で記述した例である。

- ・空気抵抗
- ・まっすぐに落とされていない。
- ・鉄球を落下させる際に、パイプの側面に当たりながら落下したこと。

以上の同様な内容を多くの生徒が書いていた。

教科書にある重力加速度  $g = 9.8\text{m/s}^2$  について、実際に計測してみて、その値に近い測定値が確かめることができ、重力加速度の物理的な意味を考え直して、理解を深めることができた。

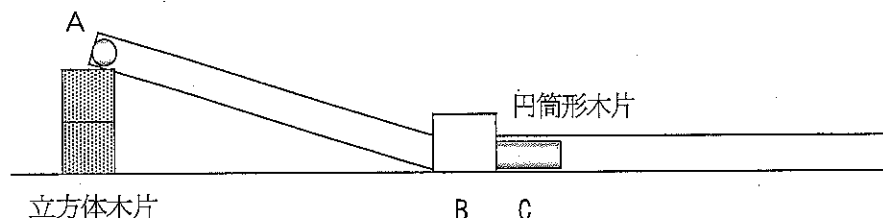
#### 参考文献

- ・浮田 裕：兵庫物理サークルニュース第30号（1997） p.16
- ・浮田 裕：第29回物理教育研究集会発表予稿集（1997） p.1
- ・浮田 裕：「ビースピで自由落下」川村康文編著「サイエンスEネットの親子でできる科学実験工作」かもがわ出版（2000） p.24

## 実験事例2 小型速度測定器を用いた力学的エネルギーと仕事

【目的】 高さを変えて木片に衝突させる鉄球の実験を行う。  
運動の規則性や鉄球のもつ力学的エネルギーの性質や関係を調べる。

【準備】 小型速度測定器、アクリルパイプ、アクリルレール、立方体木片4個、円筒形木片、鉄球、電卓  
電子てんびん



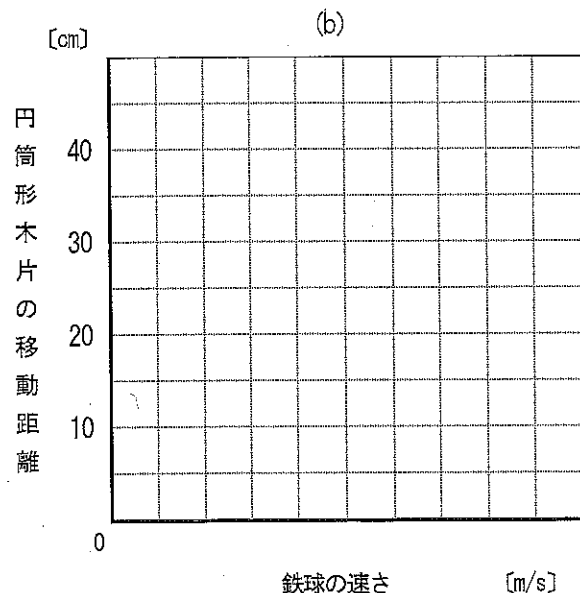
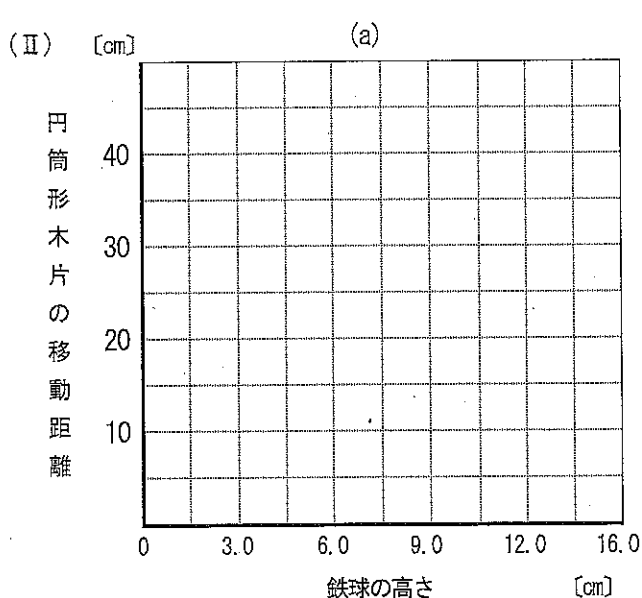
### 【方法】

- (1) アクリルパイプとアクリルレール（あらかじめ接続してある）と立方体木片1個を用いて、上図のように実験装置を組み立てる。
- (2) アクリルレールのBの位置に小型速度測定器を置き、ボタンを押して速さを測定するモードにしておく（[m/s]が点滅）。なお、速さの単位の[m/s]は、この速さ測定器では[m/s]で表示されている。
- (3) アクリルレールのCの位置に円筒形木片を置き、アクリルパイプのAの位置から鉄球を転がして、鉄球を円筒形木片に衝突させる。
- (4) Bの位置での鉄球の速さ[m/s]（以下「鉄球の速さ」という）と、円筒形木片がCの位置から移動した距離[cm]（以下「円筒形木片の移動距離」という）をアクリルレールに貼りつけてある目盛りで測定する。同じことを3回繰り返して、鉄球の速さと円筒形木片の移動距離の平均をそれぞれ求める。【【結果】(I)の表に記入すること】
- (5) 立方体木片の数が2個、3個および4個の場合についても、実験方法(3)、(4)の操作を行い、同様に鉄球の速さと円筒形木片の移動距離を3回測定して、それぞれの平均値を求め【【結果】(I)の表に記入する。
- (6) 【【結果】(I)の平均値を用いて、(a) 鉄球の実験台からの高さ[cm]（以下「鉄球の高さ」という）と円筒形木片の移動距離の関係、(b) 鉄球の速さと円筒形木片の移動距離の関係をそれぞれグラフに表す。ただし、高さは、立方体木片1個の場合は3.0cm、2個の場合は6.0cm、3個の場合は9.0cm、4個の場合は12.0cmとすること。【【結果】(II)(a)と(b)のグラフ用紙にそれぞれ記入すること】
- (7) 立方体木片1個の場合の鉄球の速さと円筒形木片の移動距離の平均値をそれぞれ1としたとき、4個の場合の鉄球の速さと円筒形木片の移動距離の平均値はいくらになるか求める。【【結果】(III)の欄に記入すること】

### 【結果】

(I)

| 回数  | 立方体木片1個の場合 |           | 立方体木片2個の場合 |           | 立方体木片3個の場合 |           | 立方体木片4個の場合 |           |
|-----|------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|
|     | 速さ [m/s]   | 移動距離 [cm] | 速さ [m/s]   | 移動距離 [cm] | 速さ [m/s]   | 移動距離 [cm] | 速さ [m/s]   | 移動距離 [cm] |
| 1   |            |           |            |           |            |           |            |           |
| 2   |            |           |            |           |            |           |            |           |
| 3   |            |           |            |           |            |           |            |           |
| 平均値 |            |           |            |           |            |           |            |           |



(III)

| 鉄球の速さ                       | 円筒形木片の移動距離                  |
|-----------------------------|-----------------------------|
| 立方体木片 1 個の場合 : 立方体木片 4 個の場合 | 立方体木片 1 個の場合 : 立方体木片 4 個の場合 |
| 1 :                         | 1 :                         |

【考察】

- (1) 【結果】(II) (a) のグラフから、鉄球の高さと円筒形木片の移動距離にはどのような関係があるか。また、実験台から一定の高さにある鉄球がもっているエネルギー  $U$  を何というか。



エネルギー

- (2) 【結果】(II) (b) のグラフから、鉄球の速さが 2 倍になると円筒形木片の移動距離はおおよそ何倍になっているか。また、鉄球が動いているときにもっているエネルギー  $K$  を何というか。



エネルギー

- (3) 【考察】(1)、(2) からエネルギー  $U$  と鉄球の高さはどのような関係があるか。また、エネルギー  $K$  と鉄球の速さはどのような関係があるかを述べなさい。

- (4) 鉄球の質量を電子てんびんで測定し、【結果】(I) から各々の運動エネルギーと動摩擦力を求めよ。

| 鉄球の質量   | 立方体木片 1 個の場合 | 立方体木片 2 個の場合 | 立方体木片 3 個の場合 | 立方体木片 4 個の場合 |
|---------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 運動エネルギー |              |              |              |              |
| 動摩擦力    |              |              |              |              |

- (5) (4) の結果から、運動エネルギーから求めた仕事と動摩擦力はどのような関係があるか説明しなさい。

年 組 番 名前 ( )

## 解説 実験事例2 小型速度測定器を用いた力学的エネルギーと仕事（物理：力学）

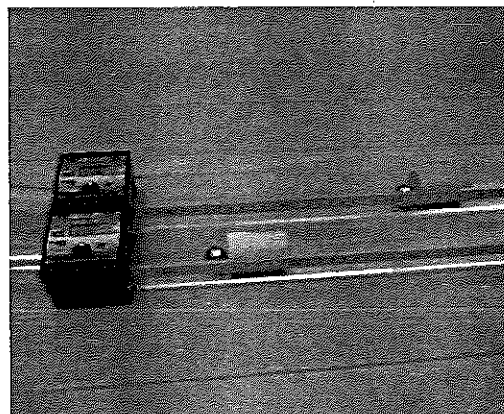
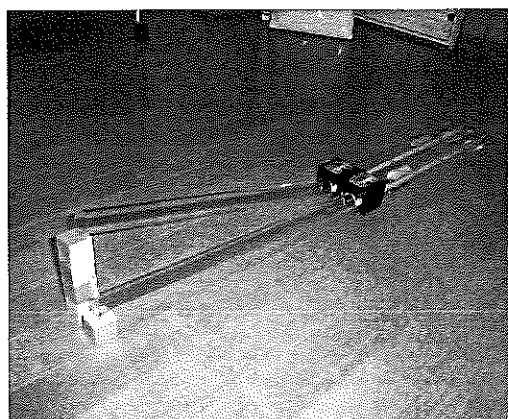
### I 実験材料の入手方法

小型速度測定器、鉄球〔理科教材会社〕

アクリルパイプ、アクリルレール（目盛り貼付）、立方体木片、円筒形木片1個〔ホームセンター〕

### II 実験操作上のポイント

- ・アクリルパイプとアクリルレールの接続を滑らかにし、接続部をセロハンテープで固定する。
- ・円筒形木片は小型測定器の外側に置き、円筒形木片の位置を貼りつけた目盛りで読み取る。
- ・円筒形木片がレールの外に出るようであれば、鉄球は質量が小さいものに取り換える。
- ・小型速度測定器について操作方法を説明して、作動の確認をする。



### III 実験結果のまとめ方等の工夫

【測定結果】（小型速度測定器を用いて km/h で測定した場合）

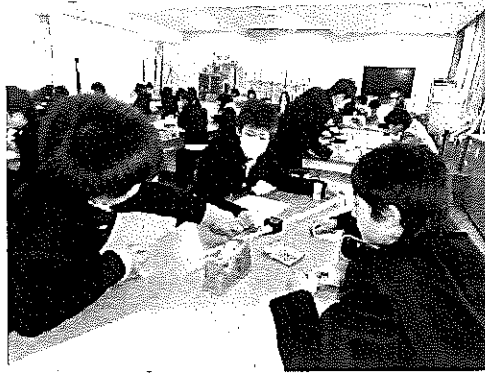
- ・測定した速度（100 分の 1 秒の値）記入させる。

(I)

| 回数  | 立方体木片 1 個の場合 |           | 立方体木片 2 個の場合 |           | 立方体木片 3 個の場合 |           | 立方体木片 4 個の場合 |           |
|-----|--------------|-----------|--------------|-----------|--------------|-----------|--------------|-----------|
|     | 速さ [km/h]    | 移動距離 [cm] | 速さ [km/h]    | 移動距離 [cm] | 速さ [km/h]    | 移動距離 [cm] | 速さ [km/h]    | 移動距離 [cm] |
| 1   | 2.31         | 7.0       | 3.28         | 14.5      | 4.03         | 24.7      | 4.63         | 32.1      |
| 2   | 2.28         | 8.2       | 3.27         | 15.9      | 4.04         | 26.5      | 4.61         | 30.2      |
| 3   | 2.26         | 7.4       | 3.29         | 15.0      | 4.04         | 24.5      | 4.63         | 31.1      |
| 平均値 | 2.28         | 7.5       | 3.28         | 15.1      | 4.04         | 25.2      | 4.62         | 31.1      |

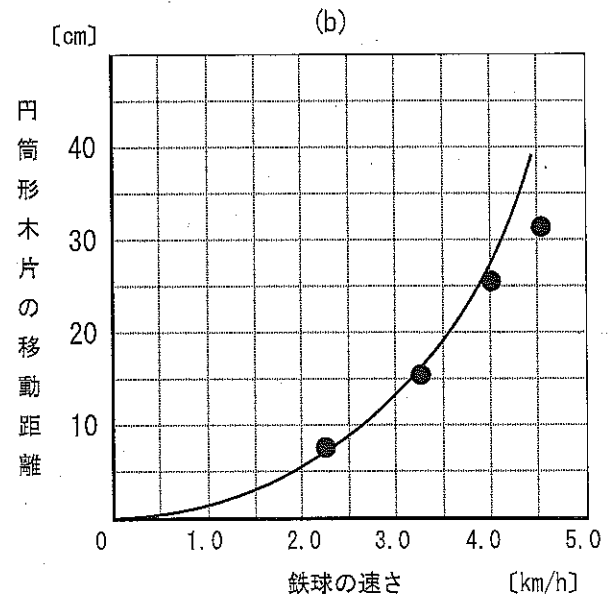
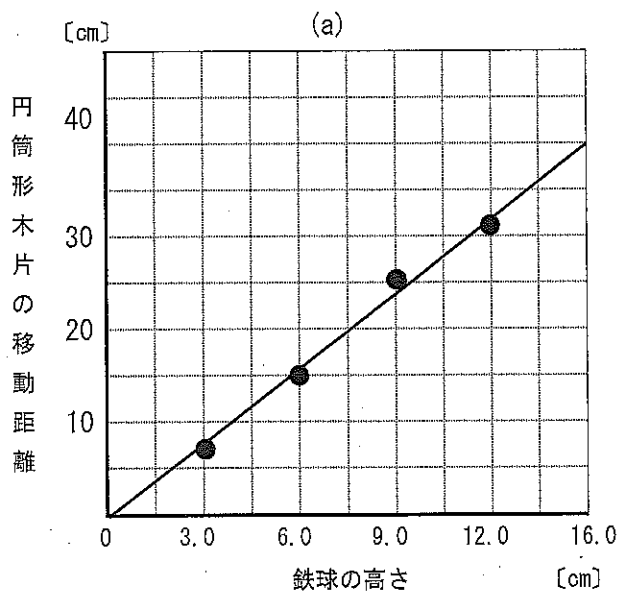
(III)

| 鉄球の速さ                     |        | 円筒形木片の移動距離                |        |
|---------------------------|--------|---------------------------|--------|
| 立方体木片 1 個の場合：立方体木片 4 個の場合 |        | 立方体木片 1 個の場合：立方体木片 4 個の場合 |        |
| 1                         | : 2.03 | 1                         | : 4.15 |



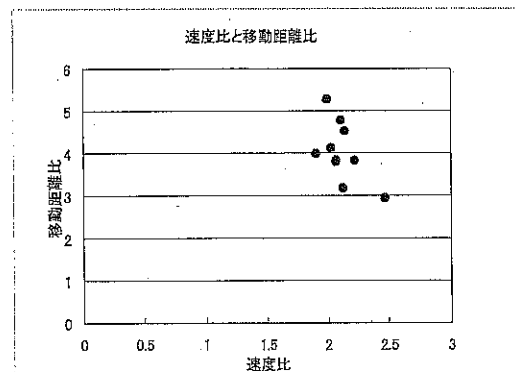
#### IV 実験の効果

##### (II)



- ・力学的エネルギーとして位置エネルギーと運動エネルギーの法則性についての理解を深めた。
- ・エネルギーの定義が仕事をする能力として体感的にとらえることができた。
- ・運動エネルギーと仕事の関係から動摩擦力が一定になることを測定値から確かめることができた。
- ・記録タイマーの解析より、力学的エネルギーの測定値を直接的に解析できて、力学的エネルギーと仕事の関係について定量的に理解を深めた。

| 高さh<br>(m) | 速度v<br>(m/s) | 移動距離<br>s(m) | 加速度a<br>(m/s <sup>2</sup> ) | 動摩擦力<br>F(N) | 仕事W<br>(J) |
|------------|--------------|--------------|-----------------------------|--------------|------------|
| 0.03       | 0.633        | 0.076        | -2.627                      | 0.04643      | 0.00354    |
| 0.06       | 0.912        | 0.153        | -2.709                      | 0.04787      | 0.00734    |
| 0.09       | 1.121        | 0.255        | -2.458                      | 0.04344      | 0.01109    |
| 0.12       | 1.286        | 0.314        | -2.631                      | 0.04648      | 0.01461    |



#### 参考文献

- ・浮田 裕：「スピード測定玩具で仕事とエネルギー」左巻健男・滝川洋二編著「たのしくわかる物理実験事典」(1998) p.425
- ・浮田 裕：「実物に則した理科教育」物理教育第51巻第4号(2003) p.306

## 実験事例3 気体・液体・固体への仕事と熱

### 実験1 気体への仕事と熱

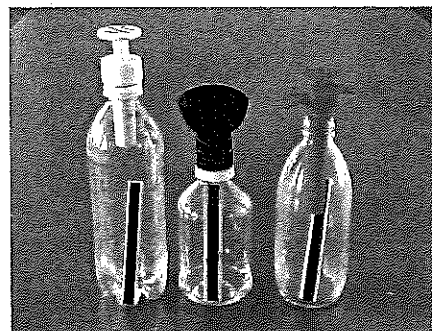
【目的】 容器にいれた気体（空気）に空気入れポンプで加圧（仕事）や空気抜きポンプで減圧（仕事）による温度上昇・降下を液晶フィルム温度計で測定する。

気体への仕事と熱の関係について理解する。

【準備】 ペットボトル、ガラスびん、空気入れポンプ、空気抜きポンプ、液晶フィルム温度計

#### 【方法】

- I (1) ペットボトルに温度計を入れ、空気入れポンプで口を閉じ、温度を測定する。
- (2) 空気入れポンプを数回押して、ペットボトル内の空気を圧縮してみる。
- (3) ペットボトル内の温度を測定する。
- II (1) ガラスびんに温度計を入れ、空気抜きポンプを差し込み、温度を測定する。
- (2) 空気抜きポンプを上下させて、ガラスびん内の空気を減圧してみる。
- (3) ガラスびん内の温度を測定する。



#### 【結果】

| ペットボトル<br>内の温度 | 圧縮前 | 圧縮後 | ガラスびん<br>内の温度 | 減圧前 | 減圧後 |
|----------------|-----|-----|---------------|-----|-----|
|                |     |     |               |     |     |

【考察】 ペットボトル内、ガラスびん内の温度変化と仕事の関係を述べよ。

### 実験2 液体への仕事と熱

【目的】 比熱の異なる液体を上下に振動させて、その振動（仕事）で生じる熱による温度上昇をそれぞれの液体について針式サーミスター温度計で測定する。液体への仕事と熱の関係について理解する。

【準備】 ガラスびん、ゴム栓、試験管、針式サーミスター温度計、テレピン油

#### 【方法】

- (1) 水とテレピン油をピペットで2mL 試験管に入れて、ゴム栓に差し込み、ガラスびんの口に詰める。
- (2) 次に、針式のサーミスター温度計をゴム栓に差し込む。
- (3) それぞれのガラスびんを100回上下に振る。



#### 【結果】

| 物質名   | 初めの温度 | 100回後の温度 | 温度上昇 | 温度上昇比 |
|-------|-------|----------|------|-------|
| 水     |       |          |      |       |
| テレピン油 |       |          |      |       |

#### 【考察】

- (1) 水とテレピン油の比熱から理論上の温度上昇比を求めよ。

| 物質名   | 比熱 [J/g・K] | 比熱 [cal/g・°C] | 温度上昇比 (理論) |
|-------|------------|---------------|------------|
| 水     | 4.19       | 1             | 1          |
| テレピン油 | 1.76       | 0.42          |            |

- (2) 実験から求めた温度上昇比と比熱から求めた理論上の温度上昇比を比べてみよう。

### 実験3 固体への仕事と熱

【目的】 失われた力学的エネルギー  $W$  [J] が金属粒の得た熱量  $Q$  [cal] に変換されることを調べ、 $W=JQ$  から熱の仕事当量  $J$  [J/cal] を求める。

固体への仕事と熱の関係について理解する。

【準備】 パイプカバー筒，サーミスター温度計，プラスチック付ゴム栓，粒状鉛，粒状錫，粒状銅

### 【方法】

- (1) パイプカバー筒に金属粒を入れる。
- (2) パイプカバー筒の一端にプラスチック付ゴム栓をはめ込む。
- (3) はめたプラスチック付ゴム栓にサーミスター温度計を差し込み、パイプカバー筒を上下に転倒させて、約1分間程度を待って金属粒による温度変化が起こらないことを確かめる。
- (4) 鉛粒で30回、錫で35回、銅で100回転倒させる。
- (5) 転倒が終わった後は、温度上昇が止まるまで約1分間置いて、センサーのサンプリング周期切替ボタンを押して毎1秒間にして温度上昇がないのを確認する。

【結果】 気温    °C

| 金属種類 | 転倒回数 | 初めの温度 $t_1$<br>(転倒前) | 転倒後の温度 $t_2$<br>(1分後) | 温度上昇<br>$t_2 - t_1$ |
|------|------|----------------------|-----------------------|---------------------|
| 鉛    | 30回  |                      |                       |                     |
| 錫    | 35回  |                      |                       |                     |
| 銅    | 100回 |                      |                       |                     |

次に熱の仕事当量を求めるには、金属粒の質量  $m$  [g]、比熱  $c$  [cal/g・°C]、上昇した温度を  $t_2 - t_1$  とすれば、金属粒が落下によって発生した熱量  $Q$  [cal] は、

$$Q = mc (t_2 - t_1)$$

で示される。比熱  $c$  は、鉛の場合は  $0.0309 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$ 、錫の場合は気温が  $18^\circ\text{C}$  以上で  $0.053 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$ 、 $18^\circ\text{C}$  以下の場合は  $0.049 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$ 、銅の場合は  $0.0919 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$  とする。

また、金属粒の質量  $M$  [kg] または  $m$  [g]、重力加速度  $g$ 、転倒回数  $n$ 、金属粒の落下距離  $h$  とすれば、金属粒に加えられた仕事量  $W$  は、

$$W = Mg \times nh = m \times 10^{-3} g \times nh$$

で示される。したがって、熱の仕事当量  $J$  は、

$$J=W/Q=m\times 10^{-3} \text{ g n h}/m c \text{ (} t_2-t_1\text{)}=g n h\times 10^{-3}/c \text{ (} t_2-t_1\text{)}$$

から求められる。ただし、1回の落下距離 $h$ は1.0m、重力加速度 $g$ は $9.8\text{m/s}^2$ として計算しなさい。

また、 $1\text{ cal}=4.2\text{ J}$ という関係がある。cal を J に直した仕事当量はどうなるか求めなさい。

| 金属種類 | 転倒回数  | 熱の仕事当量 $J$ を求める計算 | 仕事当量 $J$<br>(J/cal) | 仕事当量<br>(J/J) |
|------|-------|-------------------|---------------------|---------------|
| 鉛    | 30 回  |                   |                     |               |
| 錫    | 35 回  |                   |                     |               |
| 銅    | 100 回 |                   |                     |               |

【考察】仕事当量は関係から仕事と熱はどのような関係があるか説明しなさい。

年 組 番 名 前 ( )

## 解説 実験事例3 気体・液体・固体への仕事と熱（物理：熱力学）

### I 実験材料の入手方法

液晶フィルム温度計，針式サーミスター温度計〔理科教材会社〕  
空気入れポンプ，空気抜きポンプ〔ホームセンターまたは理科教材会社〕  
プラスチック付ゴム栓，パイプカバー筒〔ホームセンター〕  
粒状鉛〔理科教材会社または釣り具店〕  
粒状錫〔理科教材会社〕  
粒状銅（リベット）〔ホームセンター〕

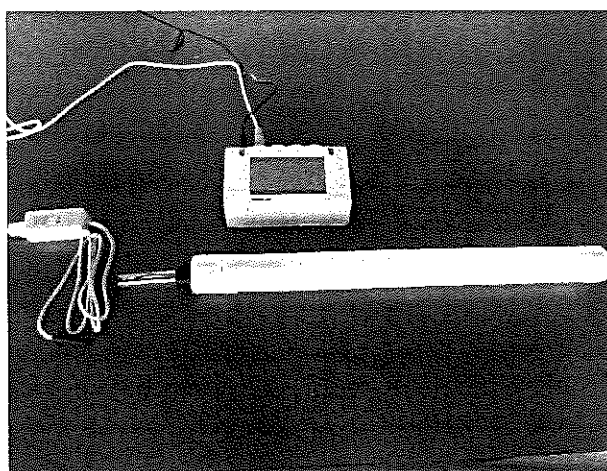
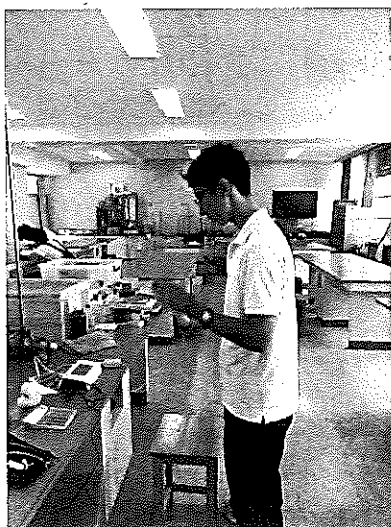
### II 実験操作上のポイント

- ・容器（ペットボトル及びガラスびん）を手の体温で加熱する影響をなるべく避けるように，ポンプを操作させる。
- ・空気抜きポンプは引き上げる方により力を加えて，素早く操作することを指示する。
- ・サーミスター温度計をゴム栓に差し込む方法や取り外しの方法を指示する。
- ・放熱の影響を少なくするため，素早く上下に振るように指示する。
- ・円筒内での金属粒が落下を始めた後は，円筒を鉛直方向にしっかりと支え，円筒が上下方向に動かないように留意する。
- ・円筒が鉛直になった後に金属粒が落下するように留意する。
- ・反転させるときには，円筒の下端が常に机の面の高さとも一致するように指示する。
- ・外部との熱の出入りを最小限にするために，なるべく短時間の間に実験を行い，さらに外気と金属粒との温度差があまり大きくならないようにする。
- ・温度を測定するときには，円筒を傾けてゆっくりと回転させるなどして金属粒全体の温度が均一になるようにする。
- ・温度の正確な測定をするために，温度計の示度が一定になるまで測定を続ける。

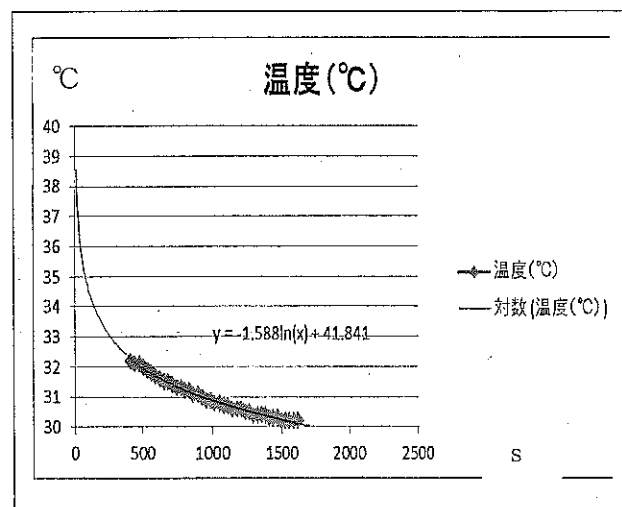
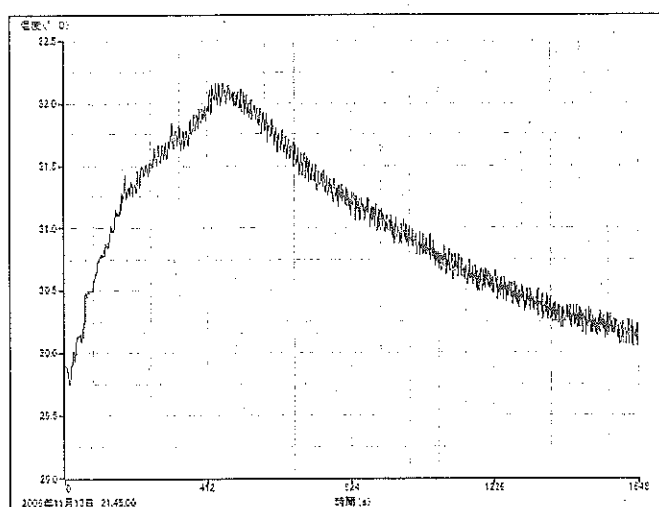
### III 実験結果のまとめ方等の工夫

〔PCでの温度測定と解析例〕

デジタル測定器（温度センサー）で鉛粒の温度を測定して，ニュートンの冷却曲線を表計算ソフトで作成し，鉛粒の羽一たったパイプカバー筒を転倒させた温度上昇後の温度を求めた。



|       |       |                |                 |                  |                  |                  |      |             |       |      |      |
|-------|-------|----------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------|-------------|-------|------|------|
| 鉛(大粒) | 重さ    | 99.58-8.37=    |                 | 91.21 g          |                  | t1=              |      | 29.8        |       |      |      |
|       |       |                |                 |                  |                  | t2=              |      | 41.8        |       |      |      |
|       |       | T <sub>s</sub> | T <sub>so</sub> | T <sub>100</sub> | T <sub>150</sub> | T <sub>200</sub> |      |             |       |      |      |
|       | 温度(℃) | 29.8           |                 | 30.7             | 31.4             | 31.7             | 32   | c=          | 0.163 |      |      |
|       | 時間(s) | 0              |                 | 94               | 200              | 309              | 418  | c=26.8/207= | 0.129 |      |      |
|       |       |                |                 |                  |                  | J=               |      | 1.266       |       |      |      |
| 時間(s) |       | 418            | 448             | 478              | 508              | 538              | 568  | 598         | 628   | 658  | 688  |
| 温度(℃) |       | 32.2           | 32.1            | 32.1             | 32               | 31.9             | 31.8 | 31.7        | 31.6  | 31.5 | 31.5 |
| 時間(s) |       | 718            | 748             | 778              | 808              | 838              | 868  | 898         | 928   | 958  | 988  |
| 温度(℃) |       | 31.4           | 31.3            | 31.3             | 31.2             | 31.2             | 31.1 | 31.1        | 31    | 30.9 | 30.9 |
| 時間(s) |       | 1018           | 1048            | 1078             | 1108             | 1138             | 1168 | 1198        | 1228  | 1258 | 1288 |
| 温度(℃) |       | 30.8           | 30.8            | 30.7             | 30.7             | 30.6             | 30.6 | 30.6        | 30.5  | 30.5 | 30.4 |
| 時間(s) |       | 1318           | 1348            | 1378             | 1408             | 1438             | 1468 | 1498        | 1528  | 1558 | 1588 |
| 温度(℃) |       | 30.4           | 30.4            | 30.4             | 30.3             | 30.3             | 30.3 | 30.2        | 30.2  | 30.2 | 30.2 |



#### IV 実験の効果

- ・仕事から熱への変換に関心をもち、実験に意欲的に取り組んで定量的に測定する態度をみる。
- ・仕事から熱の変換を温度変化による物理現象を的確に説明して報告書にまとめる。
- ・誤差を少なくすることを原理的に理解して、測定値が正確に測定できる。
- ・仕事から熱に変換する原理を分子の熱運動、内部エネルギーから理解できる。
- ・温度上昇が気体への仕事（圧縮）として理解できる。
- ・温度降下が気体への負の仕事（膨張）として理解できる。
- ・液体への仕事として運動エネルギーが熱エネルギーに変換することを理解できる。
- ・比熱の値と温度上昇の差が逆比になることを理解できる。
- ・固体への仕事として位置エネルギーが熱エネルギーに変換することが理解できる。
- ・比熱の値と温度上昇の差が逆比になることを理解できる。

#### 参考文献

- ・浮田 裕：「液晶フィルムとサーミスターを用いた気体と液体の温度測定」近畿の物理教育 第5号 (1999) p. 22
- ・浮田 裕：「サーミスターを用いた固体の温度測定」近畿の物理教育 第5号(1999) p. 14
- ・高等学校物理 IA 学習書 全国高等学校通信制教育研究会編 日本放送出版協会(1996) p. 77
- ・林 正：「いきいき物理わくわく実験」新生出版(1988) p. 59
- ・伊良原国雄：「仕事と熱の関係」'98 青少年の科学の祭典（全国大会）p. 902
- ・川勝 博：「川勝先生の物理授業」鳴海社(1998) p. 84
- ・増子 宏：「手軽にできる実験集(1)」コロナ社 (1989) p. 64
- ・藤岡 朝永 監修、池本 編：「物理学実験辞典」講談社(1977)p. 754
- ・桐山信一：物理教育 vol. 42, No. 1(1994)p. 18

## 実験事例4 気柱の共鳴による振動数の測定

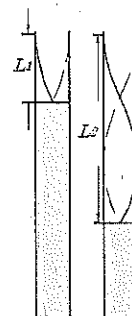
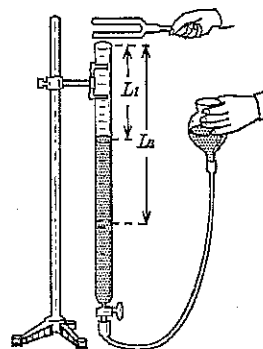
【目的】 気柱共鳴装置を使って音さの振動数を測定する。

閉管にできる音波の定常波について理解する。

【準備】 気柱共鳴装置、音さ、槌、温度計

【方法】

- (1) 実験室の温度を測定する。 ( $t_1$ )
- (2) 気柱共鳴装置の水カップを管口のあたりで支え、ガラス管内に水を入れる。水面の位置は、ガラス管の方は管口近く、水カップの方は底の近くになるようにする。
- (3) 音叉を槌でたたき、管口に近づける。  
※管口近くで音さをたたくと、ガラス管が割れることがあるので注意する。
- (4) 水カップをゆっくり下げていくと、ガラス管内の水面も下がっていく。水面を下げながら、気柱が共鳴して音さの音が大きく聞こえる点を探し、その付近を何度か上下させて、ガラス管の管口から水面までの距離 $L_1$ を求める。  
(目盛の読み取りは3回行い、その平均を求める)
- (5) さらに水カップをゆっくり下げていき、2回目の共鳴点を探し、同様にガラス管の管口から水面までの距離 $L_2$ を求める。  
(目盛の読み取りは3回行い、その平均を求める)
- (6) 管の内径を測る。また、最後にもう一度実験室の温度を測定する。 ( $t_2$ )



【処理】

- (1) 波長を次の式より求める。  $\lambda = 2 (L_2 - L_1)$
- (2) 実験室の平均温度  $t$  を求め、  $V = 331.5 + 0.6 t$  より音の速さ  $V$  [m/s] を求める。
- (3) 音さの振動数  $f$  [Hz] を  $V = f \lambda$  より求める。

【結果】

○実験室の温度 はじめ  $t_1 =$  \_\_\_\_\_  $^{\circ}\text{C}$     ○管の内径 \_\_\_\_\_ cm  
 おわり  $t_2 =$  \_\_\_\_\_  $^{\circ}\text{C}$   
 平均  $t =$  \_\_\_\_\_  $^{\circ}\text{C}$

○共鳴点の測定

| 回数        | 1 | 2 | 3 | 平均 |
|-----------|---|---|---|----|
| $L_1$ [m] |   |   |   |    |
| $L_2$ [m] |   |   |   |    |

○波長 $\lambda$ の計算

式  $\lambda = 2 (L_2 - L_1) =$  \_\_\_\_\_ m

○音の速さ $V$ の計算

式  $V = 331.5 + 0.6 t =$  \_\_\_\_\_ m/s

○音さの振動数の計算

式  $f = V / \lambda =$  \_\_\_\_\_ Hz

【考察】

- (1)  $\lambda / 4$  と  $L_1$  との差から定常波の腹の位置が、開口端より何cm上にあるか求める。  
(これを開口端補正という)

- (2) 開口端補正  $\Delta L$  は管の内径  $d$  のおよそ何倍になるか。

- (3) 温度が高くなると、 $L_2$ 、 $L_1$  の値はどのように変化するか。

- (4) 管楽器の音の高さは気温が高いときどのように変化すると考えられるか。

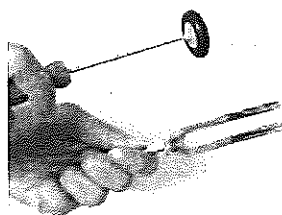
年 組 番 名前 ( )

## 解説 実験事例4 気柱の共鳴による振動数の測定

### I 準備上のポイント

#### 実験材料の入手方法

気柱共鳴装置：理科教材会社  
 音さ：理科教材会社  
 槌：理科教材会社  
 温度計：理科教材会社



### II 実験操作上のポイント

#### 雲の発生 実験の原理と工夫

##### 【実験の原理】

閉管の管口付近で音さをならしたとき、音さの振動数と管の固有振動数が等しければ、管内には定常波ができ、大きく共鳴が起きる。気柱共鳴装置で水面を上下させ、基本振動、3倍振動、(あるいは5倍振動)が起きる場所を測定することによって、音さの振動数を計算することができる。管口は自由端反射、水面は固定端反射と考えることができるので、管口付近は定常波の腹になり、水面の位置は節になる。なお、管口がちょうど腹の位置にはならないことに注意する。

##### 【実験の工夫】

- ① ガラス管内の水面の位置を変えた後に静止させ、そのつど音叉を叩いて共鳴点を探すよりも共鳴点を含むわずかな範囲で水面をゆっくり上下させながら確かめる。
- ② 室内で複数の班が実験を行うと、共鳴音を聞き取りにくくなるので、時間をずらして行うか場所の移動をするなどして行う。

### III 実験結果のまとめ方等の工夫

- ・平均値をより正確な数値にするため、第一共鳴点で目盛りの読み取り練習を行う。
- ・第二共鳴点が第一共鳴点の3倍の位置にあることを確かめさせる。
- ・図解も交えてレポートをまとめさせる。

#### 【結果例】

温度 はじめ  $t_1=15.2[^\circ\text{C}]$

おわり  $t_2=16.0[^\circ\text{C}]$

平均  $t=15.6[^\circ\text{C}]$

| 回数        | 1        | 2        | 3        | 平均       |
|-----------|----------|----------|----------|----------|
| $L_1$ [m] | 0.164[m] | 0.160[m] | 0.162[m] | 0.162[m] |
| $L_2$ [m] | 0.500[m] | 0.501[m] | 0.505[m] | 0.502[m] |

○波長 $\lambda$ の計算

$$\text{式 } \lambda = 2 (L_2 - L_1) = \underline{0.680} \text{ m}$$

○音の速さ $V$ の計算

$$\text{式 } V = 331.5 + 0.6 t = \underline{341} \text{ m/s}$$

○音さの振動数の計算

$$\text{式 } f = V / \lambda = \underline{501} \text{ Hz}$$

#### 【考察例】

- (1)  $\lambda/4$ と $L_1$ との差から定常波の腹の位置が、開口端より何cm上にあるか求める。  
(これを開口端補正という)

0.008[m] つまり、0.8[mm]である。

- (2) 開口端補正 $\Delta L$ は管の内径 $d$ のおよそ何倍になるか。

今回の実験では、0.57 となる。

(※一般に、この値は0.60～0.65倍になると言われている。)

#### IV 実験の効果

- ・共鳴して音が強く出るのを実際に聞いて予想以上に驚いている生徒が多かった。
- ・第一共鳴点はすぐに見つけることができた。
- ・第二共鳴点が第一共鳴点の3倍の位置にあることには気づきにくいようであった。
- ・規定の実験が終わった後で、自分の声を発して共鳴するかを確かめる生徒もいた。

#### 参考資料

岡崎 金雄 氏 『気柱共鳴装置による定常波の実験』

<http://www.nakatani-foundation.jp/wp-content/themes/nakatani-foundation/module/img/news/20150427/k13.pdf>

## 実験事例5 分光シートによる光の回折・干渉

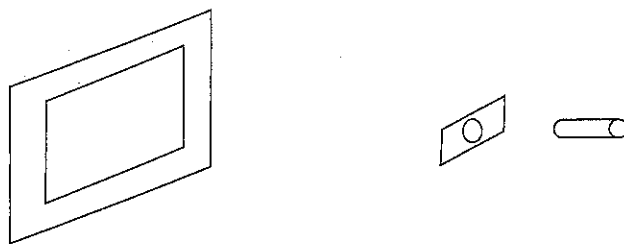
【目的】回折格子（分光シート）の格子定数を求める。

回折格子（分光シート）にレーザー光を当て、スクリーン上に生じた干渉縞を観察して、光の波としての性質を理解する。

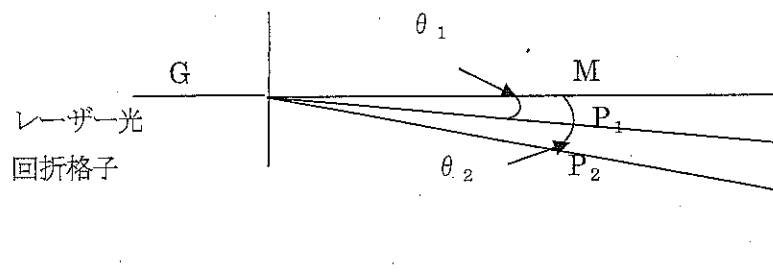
【器具】レーザーポインター、回折格子（分光シート）、スタンド、ダンボール、方眼紙、巻尺、輪ゴム、クリップ、顕微鏡

【方法】

- (1) ダンボールが垂直になるようにスタンドで固定する。
- (2) ダンボールに方眼紙をクリップで取り付け、図のように実験器具を配置し、暗幕をひき実験室を暗くする。



- (3) レーザーポインターをスタンドに固定して、輪ゴムでボタンを押して、レーザー光を回折格子（分光シート）に当て透過した回折光を干渉させ、ダンボール上の方眼紙に干渉縞をつくる。
- (4) ダンボール上の方眼紙に、干渉縞 M（0次）、 $P_1$ （1次）、 $P_2$ （2次）の位置に鉛筆で印をつける。



- (5) 回折格子（分光シート）と方眼紙との距離  $l$  を、巻尺で mm 単位まで読み取る。

【結果】

(1) 回折格子（分光シート）の格子定数  $d$  の測定

① 回折格子と方眼紙との距離  $GM = \boxed{\phantom{000000}} \text{ m}$

② 0 次と 1 次の明点の間隔  $MP_1 = \boxed{\phantom{000000}} \text{ m}$

③ 回折格子と明点（1 次）の距離  $GP_1 = \sqrt{GM^2 + MP_1^2} = \boxed{\phantom{000000}} \text{ m}$

④  $\sin \theta = \frac{MP_1}{GP_1} = \boxed{\phantom{000000}}$  ,

⑤ 格子定数  $d = \frac{\lambda}{\sin \theta} = \boxed{\phantom{000000}}$  (レーザー光：波長  $\lambda = 650 \text{ nm}$  )

$1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$

(2) 強めあいの条件式  $d \sin \theta = m \lambda$  の確認

|        |  |        |  |
|--------|--|--------|--|
| $GP_1$ |  | $MP_1$ |  |
| $GP_2$ |  | $MP_2$ |  |

| 次数 $m$ | $\sin \theta$   |               |
|--------|-----------------|---------------|
|        | $m \lambda / d$ | $MP_m / GP_m$ |
| 1      |                 |               |
| 2      |                 |               |

【考察】

分光シートを顕微鏡で観察して、その構造から干渉現象についてわかることを説明しなさい。

年 組 番 名前 ( )

## 解説 実験事例5 分光シートによる光の回折・干渉（物理：波動）

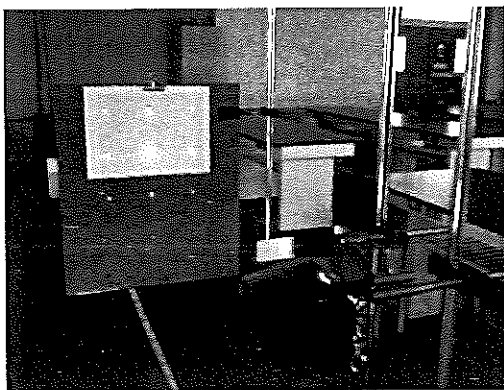
### I 実験材料の入手方法

レーザーポインター [理科教材会社]

分光シート（ホログラム・クロスフィルム） [理科教材会社]

### II 実験操作上のポイント

- ・厚紙にパンチャーであけた厚紙の穴に分光シートをパンチ穴シールで貼る。
- ・レーザーポインターはボタンを輪ゴムで連続照射できるようにする。
- ・レーザーポインターの光が目に入ると、目を痛めることがあるので、取扱について十分に生徒に注意する。



### III 実験結果のまとめ等の工夫

#### 【測定結果】

#### (1) 回折格子(分光シート)の格子定数の測定

分光シートから1次の干渉の明点までの距離 $GP_1$ 、0次と1次の干渉の明点までの距離 $MP_1$ を測定して、分光シートの格子定数 $d$ を求める。

① 回折格子と方眼紙との距離  $GM=0.700\text{m}$

② 0次と1次の明点の間隔  $MP_1=0.094\text{m}$

③ 回折格子と明点（1次）の距離  $GP_1=0.706\text{m}$

$$\textcircled{4} \sin\theta = \frac{MP_1}{GP_1} = \frac{0.094}{0.706} = 0.133$$

$$\textcircled{5} \text{ 格子定数 } d = \frac{\lambda}{\sin\theta} = \frac{650 \times 10^{-9} \text{m}}{0.133} = 4.89 \times 10^{-6} \text{m}$$

#### (2) 強め合いの条件式 $d \sin\theta = m\lambda$ の確認

(1)で求めた分光シートの格子定数 $d$ から2次の $2\lambda/d$ を求め、0次の明点から2次の明点までの距離 $MP_2$ から $MP_2/GP_2$ を計算して、 $d \sin\theta = m\lambda$ を確認する。

|        |        |        |        |
|--------|--------|--------|--------|
| $GP_1$ | 0.706m | $MP_1$ | 0.094m |
| $GP_2$ | 0.726m | $MP_2$ | 0.194m |

| 次数<br>$m$ | $\sin \theta$   |               |
|-----------|-----------------|---------------|
|           | $m \lambda / d$ | $MP_m / GP_m$ |
| 1         | 1.33            | 0.133         |
| 2         | 2.66            | 0.267         |

1次で求めた格子定数  $d$  から、2次の干渉についても  $2 \lambda / d = MP_2 / GP_2$  の関係が成り立つことから、 $d \sin \theta = m \lambda$  の関係を確認することができる。

#### IV 実験の成果

- ・分光シートはガラスの回折格子よりも安価で、数多く実験ができた。
- ・格子定数と強め合いの条件式が実験することによってより理解が深まった。
- ・分光シートは数多く準備することができるので、生徒各自が分光シートを覗いて、蛍光灯など色の分光が確認できるので、回折光を体験できる。
- ・回折格子による明暗縞の間隔についても、教科書の式でだけで理解しないで、体験的に基本的な理解を深めることができた。
- ・顕微鏡観察で分光シートが格子状になっていることから、縦方向と横方向に干渉が起こることが理解できた。

#### 参考文献

浮田 裕：「羽毛、金網、分光シートまたは不思議メガネを使った回折格子」

数学・理科教材・教具コンテスト 2007 発表概要集 兵庫県教育委員会 (2007)

大阪府高等学校理化教育研究会編：物理実験書 (IB, II) (1994)

## 実験事例 6 霧吹きでの虹

【目的】 霧吹きやホースを使って人工に虹を作り、虹の観察を通して虹が生じる原理を理解する。

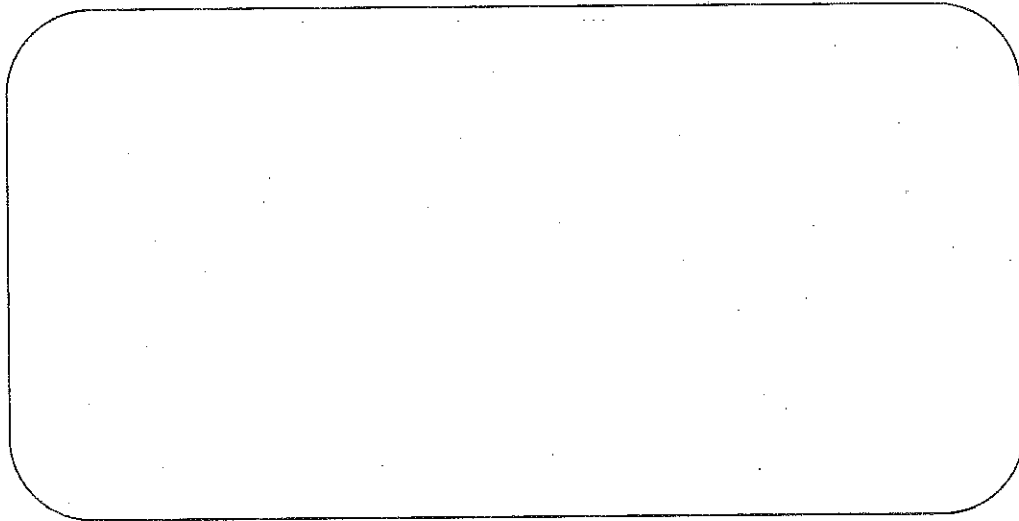
【準備】 霧吹き又はホース、水、太陽光

### 【方法】

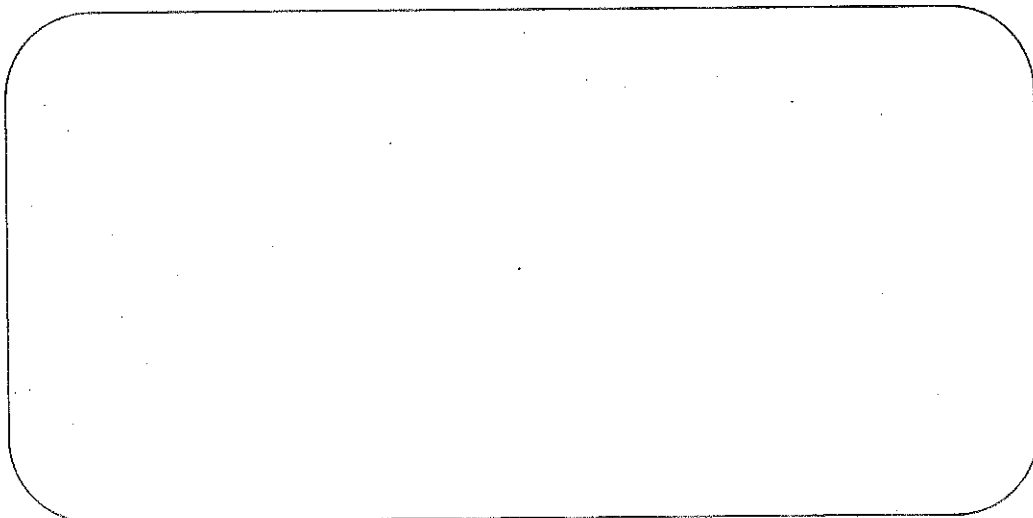
- (1) コンクリートの地面に水をまき黒っぽくしておく。
- (2) 太陽を背にして、コンクリートに向かい霧吹き又はホースで水を撒く。
- (3) 水滴に反射してできる虹を観察する。
- (4) 吹き出し水の形状を変えて同じように実験する。

### 【結果】

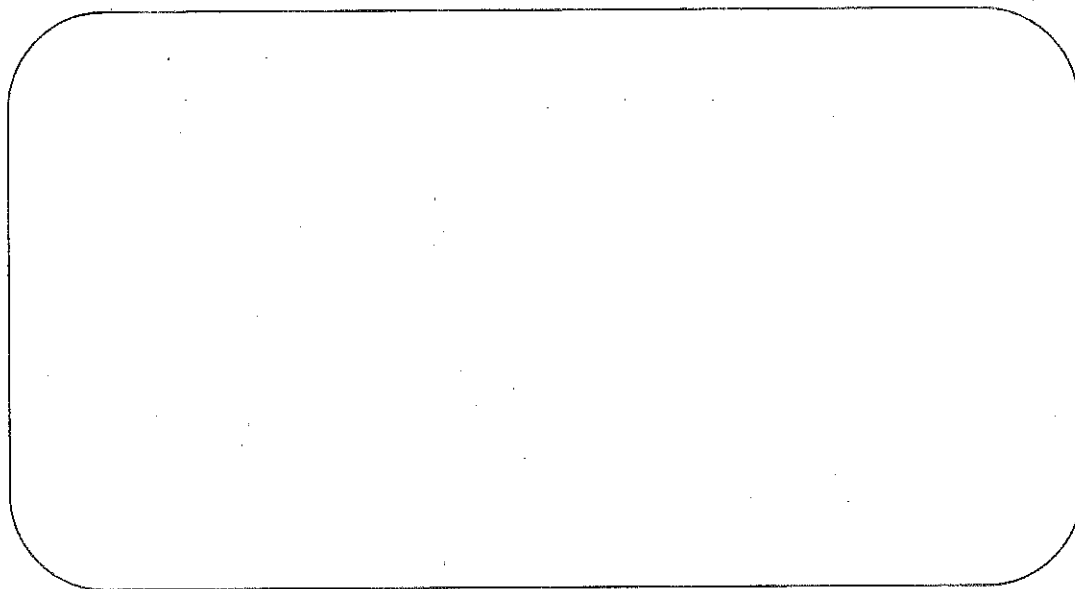
(A) 生じた虹の様子をスケッチしよう。



(B) スケッチした虹の特徴をまとめなさい。



(C) 虹の生じる原理を図などを使ってまとめなさい。



【考察】

(1) 虹の形についてどのようなことがいえるか。

(2) 虹の生じる時間帯についてどのようなことがいえるか。

年 組 番 名前 ( )

## 解説 実験事例6 霧吹きの虹（物理：波動）

### I 実験材料の入手方法

ホースなどは、学校にあるものでよい。

### II 実験操作上のポイント

#### 【実験の原理】

太陽光線は雨粒の表面で屈折して雨粒内に入る。屈折して雨粒内に入った光は、雨粒の反対側で反射し、さらに雨粒内を出て行くときも屈折し、観測者の目に入ってくる（図1）。

この時に光の色（波長）によって屈折率が違い、波長の長い光（赤）ほど屈折率が小さいため、地平面に対して大きな角度で進む。

逆に波長の短い光（紫）は地平面に対して小さな角度になる（図2）。このため赤い光は最も高い位置（虹の最も外側）に見え、紫の光は最も低い位置（虹の最も内側）に見える。その他の色の光は赤と紫の間に順番に並んで現れ、虹が見える。

図1

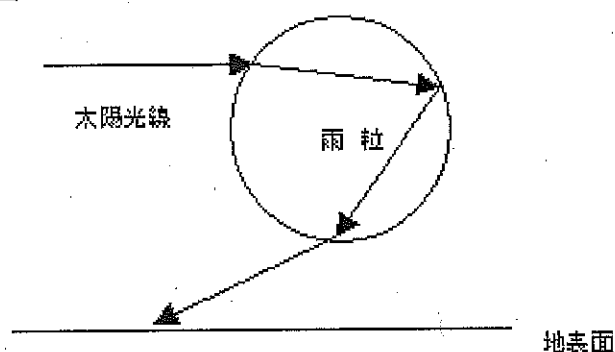
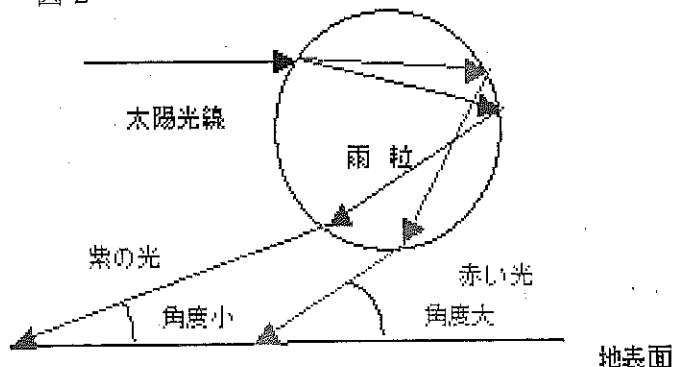
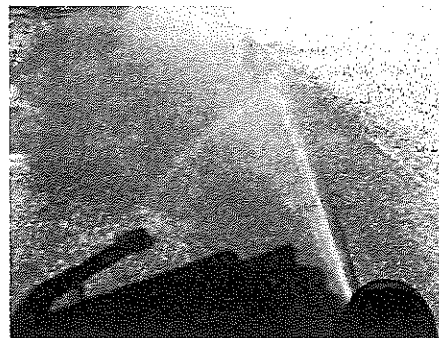


図2



### 【実験の工夫】

- ・ 太陽の高さによって、虹の観測できる高さや大きさが変わる。このため、太陽の高さの低い朝か夕方の方が大きな虹が観測しやすい。
- ・ 水滴の大きさがある程度大きい方が、虹は見やすい。
- ・ 曇りの日など太陽光が弱いと虹は観察しにくい。



### Ⅲ 実験結果のまとめ方等の工夫

- ・ 実際の虹をスケッチさせることで太陽に近い側（外側）の色と遠い側（内側）の色を観察させる。
- ・ スケッチした虹の特徴（形、色の様子）をまとめさせる。

### Ⅳ 実験の成果

- ・ この実験を通して、光の波長による屈折率の違いから光の分散が起こる事を理解し、虹の見えるメカニズムについて理解を深めた。
- ・ 日常生活における不思議な事や疑問が、理科を学ぶことによって解明していく楽しさを感じた生徒が多かった。

## 実験事例7 スピーカーを作ろう

【目的】電流がつくる磁界と磁石がつくる磁界の相互作用で振動板が振動して音が生じることを理解する（身近なものを用いてスピーカーを作る）。

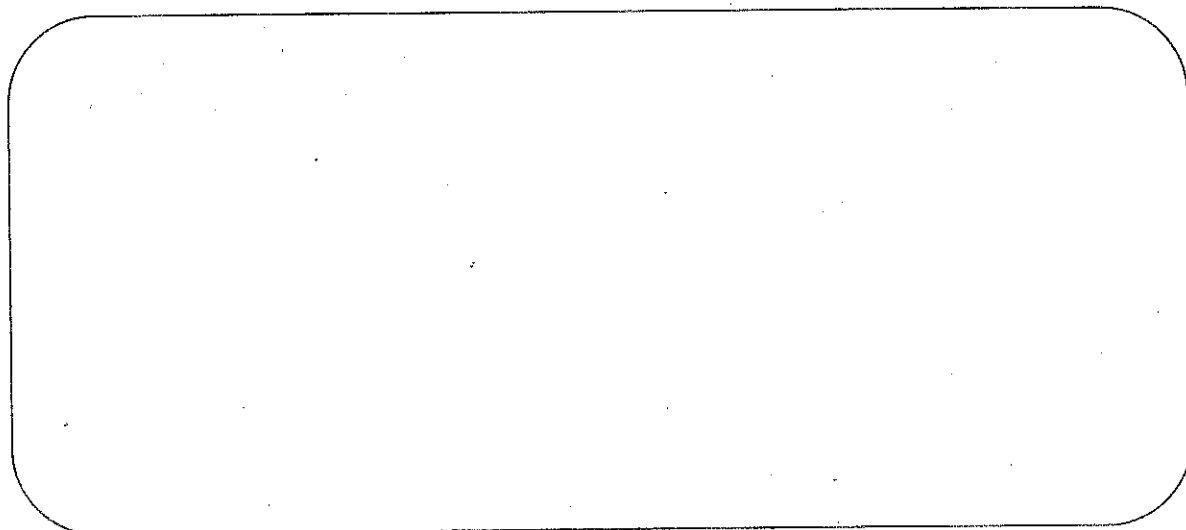
【準備】エナメル線、紙コップ、ネオジム磁石（丸形）、単2電池1本、イヤホンプラグ、ラジカセ、リード線

### 【方法】

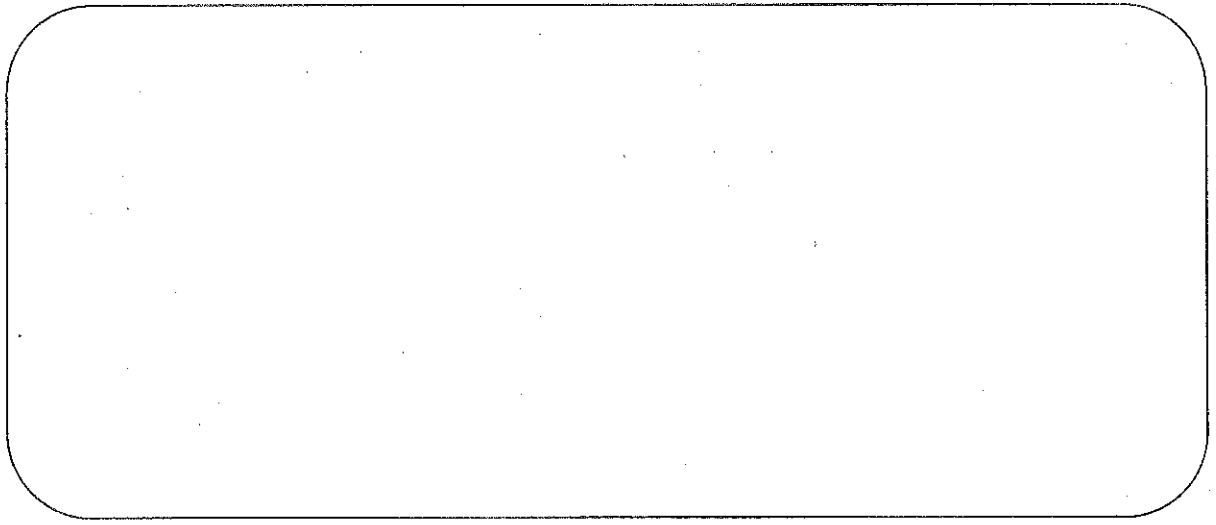
- （1）単2電池に30回程度エナメル線を巻いて半周ずらした位置でセロハンテープでとめる。
- （2）巻いたコイルがほどけないように、エナメル線の上からセロテープを巻く。
- （3）コイルがほどけないように、静かに電池からコイルを外す。
- （4）コイルの巻き終わり、長いほうの線を内側に折り曲げ、セロハンテープで固定する。
- （5）紙やすりで、幅1cm程度メッキをはがす。
- （6）磁石にボンドをつけ紙コップの裏側、中央に張り付ける。
- （7）コイルにボンドを塗り紙コップの裏側に、磁石との距離が均一になるように取り付ける。
- （8）イヤホン端子とコイルの銅線をリード線等につなぎ、ラジカセにつないでボリュームを最大にする。

### 【結果】

- （A）なぜ、コップの底が振動し、音が鳴るのかその原理を図示しながらまとめてみよう。



(B) 紙コップからの音を大きくするのはどのような工夫をすればよいか。



【考察】

- ・ コップの底の振動が音とともに変化するのなぜか。
- ・ 紙コップに向かって音を鳴らし、ラジカセで録音するとどうなるか。録音できるとしたらなぜ録音できるのか。

年 組 番 名前 ( )

## 解説 実験事例7 スピーカーを作ろう（物理：電磁気）

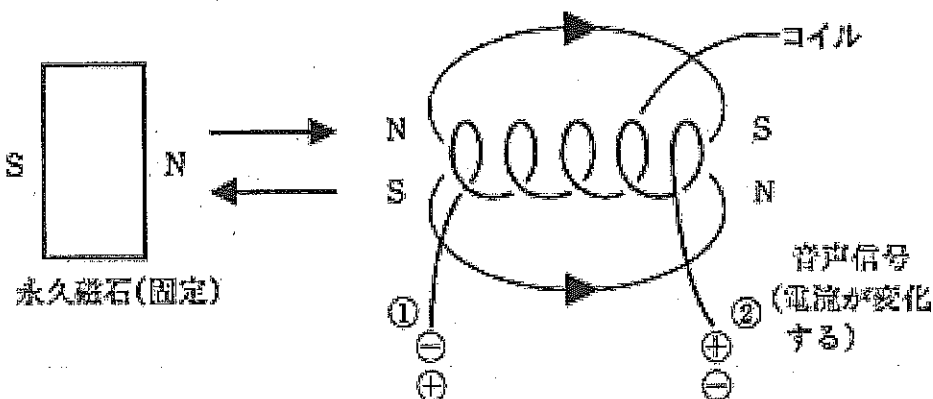
### I 実験材料の入手方法

- ①ネオジウム磁石（丸形） 直径 15mm×厚さ 5mm：ホームセンター
- ②イヤホンプラグ：ホームセンター

### II 実験操作上のポイント

#### 【実験の原理】

手作りしたスピーカーは磁石とコイルと紙（コップ）の組み合わせで出来ており、フレミングの右ネジの法則によって音が出る。図にその原理を示した。コイルの②→①へ電流



を流すと法則によって左端に N 極、右端に S 極が出来る。一方、磁石は固定されており、N 極と S 極はいつも一定の向きにある。したがって、コイルの極性と磁石の極性が同極となり、反発して右方向にコイルは移動する。つぎに、コイルの①→②へ電流を流すと今までとは逆方向に動作し、コイルは磁石の方向へ引きつけられる。手作りスピーカーをラジオにつないだ場合、コイルに発生した磁界と永久磁石が持っている磁界との引き寄せの力（引き合い力）あるいは、はじき飛ばしの力（反発力）によって紙コップが振動する。この振動が音として聞こえる。

#### 【実験の工夫】

- ・磁石がコップの中心になるようにつける。
- ・スピーカーの感度はよくないので大型のラジカセで、できるだけ出力の高いものを使用する。
- ・音が大変微小であるため、大きくするために紙コップに変わり、バケツなどの大きなものを使う。

### III 実験結果のまとめ方等の工夫

- ・コップの底がどのような原理で振動するのか図示しながらまとめさせる。
- ・紙コップスピーカーを作成する上で音を大きくする工夫、感度を高める工夫をまとめさせる。

### IV 実験の成果

- ・音を大きく鳴らすために試行錯誤する様子が見られ、生徒の思考力を高める体験的活動になった。
- ・音が聞こえた瞬間、生徒が驚く様子も見え、生徒の科学的な興味・関心を喚起することができた。

## 実験事例8 クリップモーターの作製

【目的】 クリップを用いた簡易的なモーターを作成し、回転する仕組みを電流が磁界から受ける力より理解する。

【準備】 エナメル線、ネオジム磁石（丸形）、電池BOX、単1乾電池（電源として利用する）  
単2乾電池、電池BOX、紙やすり

### 【方法】

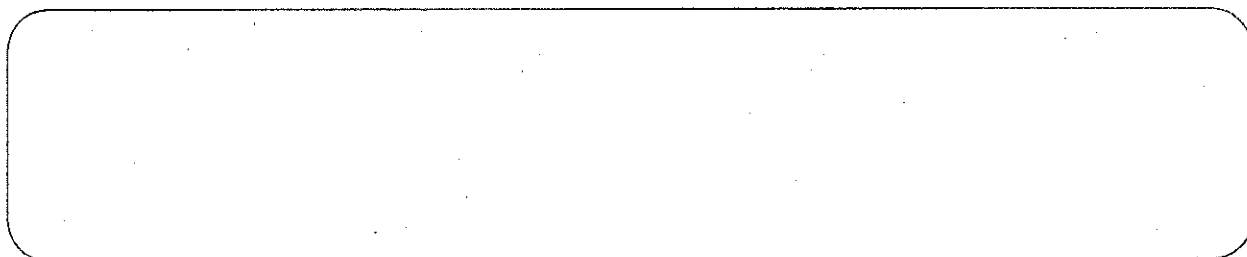
- (1) 単2乾電池を芯にして、エナメル線を巻きコイルにする。
- (2) 巻きコイルの両端を作る。
- (3) 巻きコイルの両端のエナメル（塗料）をはがす。この時、片方の線を全部はがすが、もう片方は半分だけをはがす。
- (4) クリップを図のように伸ばして軸受けを作る。
- (5) 乾電池、電池BOX、軸受け、コイル、ネオジム磁石を取り付ける。

### 【結果】

(A) なぜ、コイルは回転するのか。コイルにはたらく電磁力の方向を図示しながら考えよう。

(B) 電流の向きを逆にしたり、磁石の向きを逆にするとコイルの回転の向きはどうか考えよう。  
また、その理由も考えよう。

- (C) 電池を増やし、直列に繋いで電流の大きくしたり、磁石を増やして磁場を大きくすると回転はどうか。



【考察】

- (1) なぜエナメル線の半分はすべて削り、あと半分は半円しか削らなかったのか。

- (2) 電流の向きと磁場の向き、コイルにはたらく力の向きの関係について、どのようなことがいえるか。

- (3) モーターを回す力と電流の大きさ、磁場の大きさの関係について、どのようなことがいえるか。

## 解説 実験事例8 クリップモーターの作製(物理：電磁気)

### I 実験材料の入手方法

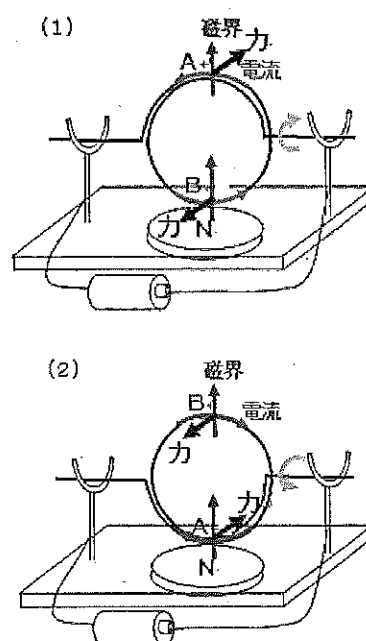
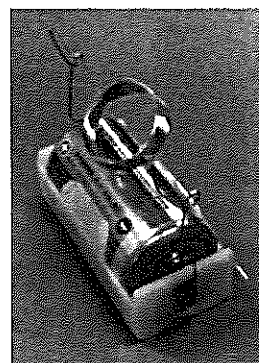
- ①ネオジウム磁石(丸形)(直径mm×厚さ5mm):ホームセンター
- ②ゼムクリップ(長さ29mm):ホームセンター

### II 実験操作上のポイント

#### 【実験の原理】

A部は左向き、B部は右向きに電流が流れる。磁界は上向き。フレミングの左手の法則よりA部は奥向き、B部は手前向きの力を受ける。この力により右から見て、時計回りに回転する(1)。ここで本来ならA部が下になっても流れる電流の向きは変わらないので、A部は奥向き、B部は手前向きの力を受け、回転を妨げようとする力がはたらく(2)。この時には電流を流さないようにするため右側のエナメル線を半分だけやすりをかけて削る。

図1



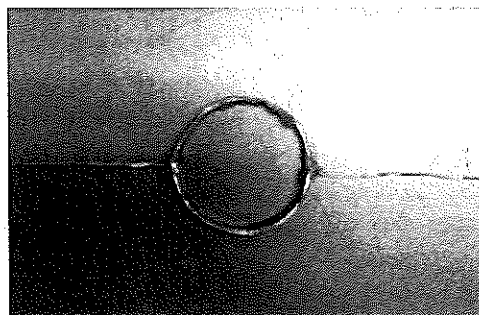
#### 【実験の工夫】

- ・エナメル線を巻き付ける時はばらばらにならないように注意する。(セロハンテープなどで側面を止めておく)(図2)
- ・コイルの両端はコイルの中心を通って直線になるようする。(図3)
- ・片方のエナメルをはがす時は図のように円に対して垂直になるようにしてはがす。

図2



図3



### Ⅲ 実験結果のまとめ方等の工夫

- ・コイルにはたらく電磁力の向きを図を用いて示させる。
- ・電流の向き,磁石の向き,回転の向きを表などにまとめさせる。
- ・電池の数を増やし、磁石の力を大きくして回転の変化の様子をまとめる。

### Ⅳ 実験の成果

- ・コイルが回転するように生徒が試行錯誤して装置を改良する様子がみられた。
- ・フレミングの左手の法則を視覚的に確認し、電磁力の大きさの関係を理解できた。

## 実験事例 9 リニアモーターの作製

【目的】磁石と銅板を用いた簡単なリニアモーターを作成し、フレミングの左手の法則を理解する。

【準備】フェライト磁石  $\phi 30\text{mm}$  4個，アルミ管，銅板，木板，単1乾電池，電池BOX，リード線，両面テープ

### 【方法】

- (1) 木板の上面と側面に両面テープをはり、磁石を並べる。(磁石の向きを揃える) (図1)
- (2) 側面の両面テープをはがし、銅板をはる。(図2)
- (3) 乾電池を直列につなぎ各極と銅板をミノムシクリップでつなぐ。(図2)
- (4) 銅板の上にアルミ管を渡すように乗せる。(図3)

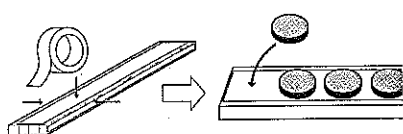


図1

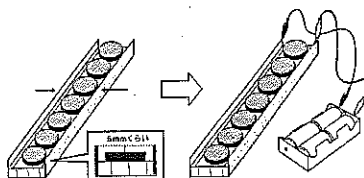


図2

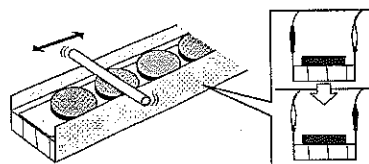


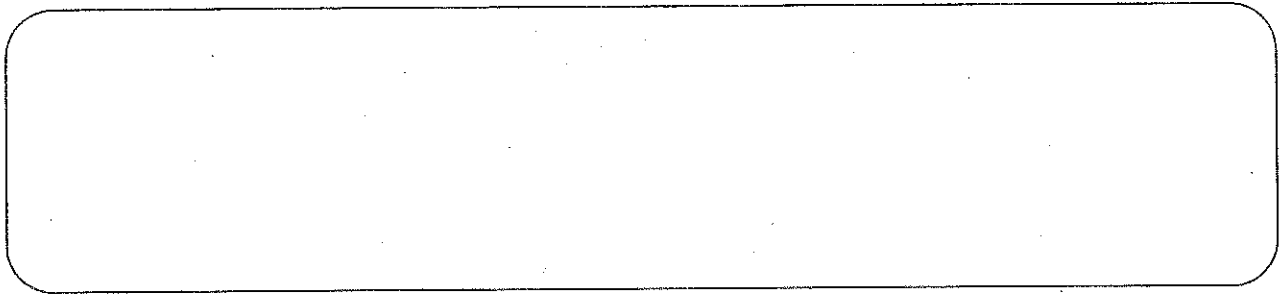
図3

### 【結果】

(A) アルミ管が転がるのはなぜか。アルミ管にはたらく電磁力の方向を図示しながら考えよう。

(B) 電流の向きを逆にしたり、磁石の向きを逆にするとコイルの回転の向きはどうなるか考えよう。  
また、その理由も考えよう。

- (C) 乾電池を電源装置に替え、流れる電流の大きさを大きくするとアルミ管はどのように転がるのか考えよう。



【考察】

- (1) 電磁力と電流、磁場の強さの関係にはどのようなことがいえるか。
- (2) 電流、磁場の強さを変えずアルミ管の動きを大きくするために工夫できることは何か。

## 解説 実験事例9 リニアモーターカーの作製（物理：電磁気）

### I 実験材料の入手方法

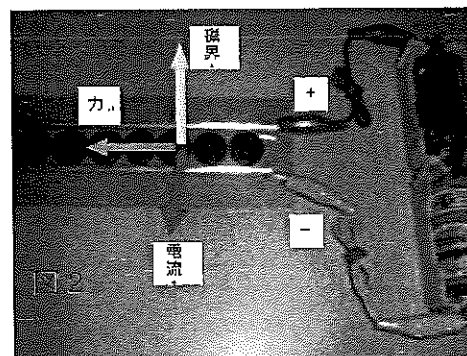
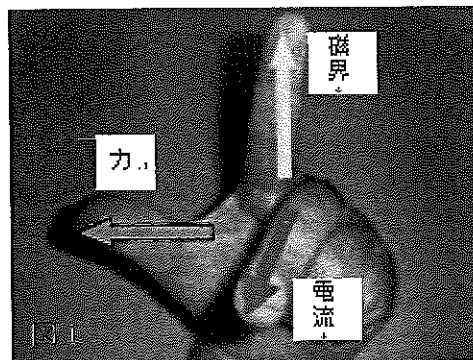
フェライト磁石  $\phi 30\text{mm}$  数個：インターネット注文

### II 実験操作上のポイント

#### 【実験の原理】

磁石の力が働いている所に、直角に電流を流すと、導線を動かす力が生まれる。これをフレミングの左手の法則という。このとき、左手を図1のように開くと、中指を電流の向き、人差し指を磁界の向き（N極から出て行く向き）、とあわせると、親指の向きに力が働く。

緑色の線が+極、黄色の線が一極です。そのため、アルミ管には図2のように電流が流れる。（赤い矢印）フェライト磁石は、N極を上にしておいてある。そのため磁界は真下から真上になる。（黄色の矢印）この向きに中指・人差し指をあわせると親指は左を向く。よって力は左に向く。そのため棒が左に転がるのです。



#### 【実験の工夫】

- ・銅板とアルミ管が接するところをやすりで削る。
- ・レールの部分のつなぎ目の高さを同じにすること。少しでもずれるとアルミ管が止まってしまう。

### III 実験結果のまとめ方等の工夫

- ・アルミ管にはたらく電磁力の向きを図を用いて示させる。
- ・電流の大きさとアルミ管の動きの関係をまとめさせる。

### IV 実験の成果

- ・生徒がフレミングの左手の法則を視覚的にイメージできた。
- ・電流や磁場と電磁力の関係を理解できた。

## 実験事例 10 測定器とドライアイスの霧箱による放射線の測定

【目的】  $\beta$  線測定器と  $\gamma$  線測定器で身のまわりの試料の放射線を測定して、霧箱で  $\alpha$  線の飛跡を観察する。  
身近に放射線が存在することを実感し、 $\alpha$  線・ $\beta$  線・ $\gamma$  線の性質について理解する。

### 【準備】

放射線測定器 ( $\beta$  線,  $\gamma$  線), 耐熱ガラス食器 (径 18cm 用), ハロゲン投光機 (250W), ドライアイス (板状), 放射線源試料 (モザナイト焼結体), フィルムケース, 木綿布 (黒色), スポンジ, ピンセット食品包装用ラップフィルム, アルコール入れペットボトル (小)

【実験 1】 測定器を使って、身の回りの品々からも放射線 ( $\beta$  線,  $\gamma$  線) が出ていることを確認する。

### 【方法】

- (1) 試料が何もない場所で測定器 ( $\beta$  線・ $\gamma$  線) のスイッチを入れる。
- (2) 試料がない状態で測定値を記入する。
- (3) 下記のいろいろな試料の  $\beta$  線と  $\gamma$  線の放射線量を 2 種類の測定器で計測してみる。

### 【結果】

| 測定試料          | $\beta$ 線測定器による<br>$\beta$ 線の測定値 | $\gamma$ 線測定器による<br>$\gamma$ 線の測定値 |
|---------------|----------------------------------|------------------------------------|
| 試料なし (物理実験室内) | cpm                              | $\mu$ Sv/h                         |
| 御影石           | cpm                              | $\mu$ Sv/h                         |
| 乾燥昆布          | cpm                              | $\mu$ Sv/h                         |
| 塩化加里肥料        | cpm                              | $\mu$ Sv/h                         |
| リン酸加里肥料       | cpm                              | $\mu$ Sv/h                         |
| 湯の花           | cpm                              | $\mu$ Sv/h                         |
| クリスタルガラス      | cpm                              | $\mu$ Sv/h                         |

cpm = 1 分間の原子核の崩壊数 Sv/h = 人体の影響を考慮した吸収線量毎時

【実験 2】 ドライアイスを使った霧箱で放射線 ( $\alpha$  線) を観察する。

### 【方法】

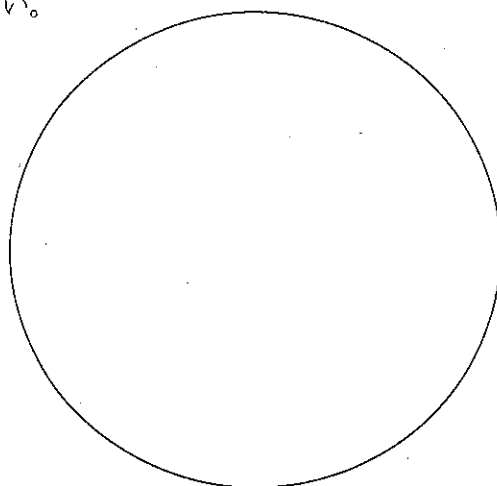
- (1) ガラス容器の底に黒色の布を敷き、エチルアルコールを均等に布にしみこませる。
- (2) 放射線源試料 (モザナイト焼成体) をピンセットで、ガラス容器の中央部に置く。
- (3) ガラス容器の上部をラップで覆って、ガラス容器をふさぐ。
- (4) ドライアイスをスポンジの上に置いて準備する。
- (5) ドライアイスの上にガラス容器をのせて、冷やす。
- (6) 電灯 (キセノンランプ) を点灯させて、実験室を暗くする。
- (7) 電灯を手前から線源に向けて照らしながら、飛跡を観察する。

### ※実験上の注意

- ・ドライアイスは、素手で触らない (軍手をして触ること)。
- ・線源は、勝手に触らない。先生の指示に従うこと。

【結果】

(1) 飛跡をスケッチしなさい。



(2) 飛跡の長さは、およそ何cmくらいか。

(3) 一分間に何個の軌跡が見えたか。

(4) 飛跡は、等間隔の時間（何秒ごと）に観測されるか。あるいは、不定間隔の時間をおいて観測されるか。

(5) スタンドで測定器を固定して、放射線源から測定器との距離（ものさしで測定）を順次変えて測定しなさい。

| 距離               | 5 cm       | 10cm       | 15cm       | 20cm       |
|------------------|------------|------------|------------|------------|
| 測定値（ $\beta$ 線）  | cpm        | cpm        | cpm        | cpm        |
| 測定値（ $\gamma$ 線） | $\mu$ Sv/h | $\mu$ Sv/h | $\mu$ Sv/h | $\mu$ Sv/h |

【考察】 結果（5）から、距離と測定値にはどのような関係があるか。

【感想】

年 組 番 名前（ ）

## 解説 実験事例 10 測定器とドライアイスの霧箱による

放射線の測定（物理：放射線）

〔実験を実施するにあたって〕

### I 実験材料の入手方法

|                  |            |
|------------------|------------|
| $\beta$ 線放射線測定器  | 〔関西原子力懇談会〕 |
| $\gamma$ 線放射線測定器 | 〔関西原子力懇談会〕 |
| 耐熱ガラス食器（径18cm用）  | 〔ホームセンター〕  |
| ハロゲン投光機（250W）    | 〔ホームセンター〕  |
| ドライアイス（板状）       | 〔理科教材会社〕   |
| 線源試料（モザナイト焼結体）   | 〔理科教材会社〕   |
| 黒色木綿布、スポンジ、ピンセット | 〔ホームセンター〕  |



### II 実験操作上のポイント

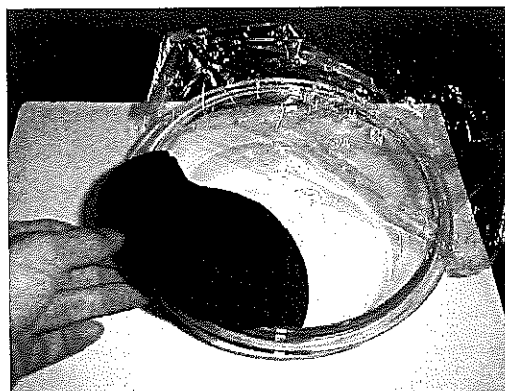
#### 霧箱（ドライアイス冷却型）実験の原理と工夫

##### 【実験の原理】

線源試料のモザナイト焼結体は、 $\alpha$ 線を放出している。実験では、まず、少量のアルコールを耐熱ガラス容器に入れる。容器をドライアイスの上に乘せ、数分間静かに置いておく。しばらくすると、容器の底がドライアイスで冷やされ、容器の中の空気に温度勾配が生じ、ある高さにアルコール蒸気が過飽和となる層ができる。線源試料（モザナイト焼結体）から放射線が空気中を通過すると、その経路に沿って空気中の気体分子を電離するが、過飽和になった層を放射線が通過すると、電離した気体分子が核となってアルコール蒸気が凝結し、霧となって $\alpha$ 線の飛跡が観測される。

##### 【実験の工夫】

- ① 耐熱ガラスの底に敷く布は、過飽和の蒸気の温度勾配の関係で、薄い木綿布が適当である。
- ② フィルムケースに線源試料のモザナイト焼結体を保管している。
- ③ モザナイト焼結体はプラスチック板に接着しており、ピンセットで取り出しやすいようになっている。
- ④ スポンジの上にドライアイスを乗せる。
- ④ 線源試料のモザナイトがアルコールで濡れると $\alpha$ 線が出にくくなるので、アルコールを多く入れすぎないようにする。



### Ⅲ 実験結果のまとめ方等の工夫

- ・測定試料での放射線測定器（ $\beta$ 線・ $\gamma$ 線）の測定値を表に記入する。
- ・霧箱の $\alpha$ 線の飛跡をスケッチして、飛跡の長さと1分間の観測した個数を記録する。
- ・線源と測定器との距離を変えて、放射線の測定値を記録する。

### Ⅳ 実験の成果

- ・日常生活での放射線（ $\alpha$ 線・ $\beta$ 線・ $\gamma$ 線）を知ることができた。
- ・ $\alpha$ 線の本性と一般的な性質を知ることができた。
- ・従来のアクリル素材の霧箱（拡散型霧箱）では、実験に失敗するグループがよくあったが、今回の耐熱ガラスを用いた霧箱実験では、ほぼ100%の割合で放射線の飛跡を見ることができた。生徒たちは一様に驚きをもって霧箱を観察していた。



### 参考資料

- 浮田 裕：実践事例 58「放射能と放射線」ニュークパル 日本原子力文化振興財団（2004）  
菊池文誠：「マントルを用いた放射線実験」物理教育 43-3（1995）  
森 雄児：「霧箱で陽電子をみつけよう」物理教育 42-4（1994）

## 化学実験を安全に行うために

### 1 目的

化学実験を安全に行う。また環境汚染などを防ぐ。

### 2 はじめに

事故を防止し、安全に実験・実習を行うには、決められている規則やルールを正しく理解し、それを守ることが基本である。不注意によるやけどや切り傷、飛散物による怪我、引火、突沸、薬品による中毒や炎症など様々な事態を想定することが大事である。そのためには、実験、観察上の注意をよく聞き、真面目に取り組むことが求められる。また、以下の内容以外にも先生や実習助手の指示を守ること。

### 3 基本的な注意

#### (1) 正しい服装と整理整頓

- ・定められた白衣、実験着、実習服等がある場合これを着用する。
- ・保護眼鏡を着用し、皮膚に影響を及ぼす薬品を扱う時には手袋を着用する。
- ・特に定めがない場合でも、薬品を取り扱う場合は、腕や足が露出しないものが好ましい。
- ・薬品がこぼれた場合などを想定し、実験・実習用のテーブルの上には不要なものは置かない。
- ・操作の手順がわかりやすいように常に整理を心がける。

#### (2) ガラス器具の取り扱い

- ① ガラス管やガラス棒の切り口は、鋭利な状態では使用しない。(自作した場合はガスバーナーで加熱して丸くしておく。)
- ② ガラス管をゴム栓やコルク栓にさし込む時は、ガラス管の表面を水で濡らすなどして入れやすくする。無理な力を入れない。また、万が一ガラス管が破損した時に手を切らないように、栓の出口の側に手を置かない。必ずさし込むガラス管の「きわ」を持ってゆっくりと入れる。
- ③ ガラス棒でビーカーなどの底を攪拌する時は、ビーカーのふちにあてたり、底に強くぶつけて抜いたりしないように注意して行なう。ガラス棒の端にゴム管などをつけて用いるとよい。
- ④ メスシリンダーやメスフラスコ、ビュレット、ホールピペットなどの計量器具は熱湯を注いで洗ってはいけない。
- ⑤ 試験管等の洗浄の際には、底を抜かないように注意する。(支える側の指で試験管の底を押さえながら、力を入れすぎないようにしてブラシで洗う)
- ⑥ メスシリンダーやメスフラスコは転倒させて破損することが多いので注意する。また、「ろうと」を使う時も重心が高くなり、転倒することが多いので、必ず支えて使用する。
- ⑦ 万が一、ガラス器具を破損した場合は、破片は鋭利であり、怪我をする可能性が高い。決して素手で触らず、指示を仰いだ上で革手袋やピンセット、箒などで処理し、指定された容器に入れること。

#### (3) ガスバーナーの取り扱い

- ① 点火する時は、ガスの元栓・ガス調節ネジ・空気調節ネジがしまっていることを確認すること。
- ② マッチを擦ってからガスの元栓を開き点火する。点火はすばやく行なうこと。
- ③ 吸入される空気量が多すぎると、炎がバーナーの中に引き込まれて消えたり、筒の中で燃焼して危険であるから、十分に注意する。はじめはガスの調整ネジだけ開き点火し、徐々に空気調整ネジを開ける。この時、ガス調整ネジが動かないように押さえる。
- ④ ホースやジョイント部分からガスもれがないか注意すること。あやしい所はセッケン水をつけて調べる。

#### (4) 薬品等の取り扱い

- ① 試薬の調整を行なう場合は前もって薬品の性質をよく調べたうえで、注意して取り扱うこと。
- ② 薬品は許可なく保管場所から持ち出さない。指導者の指示を受けること。使用後は必ず元の場

所にもどす。

- ③ 薬品を使用する場合、皮膚や衣服に付着しないように注意すること。
- ④ 試薬びんから試薬を取り出す時はラベルの方を上にして持つ。栓は必ず片手にもって試薬を取り出すこと。
- ⑤ 数種の試薬びんから試薬を取り出す時は、使用することによってそれぞれに栓をする。数個の栓を取り違えることがないように注意する。
- ⑥ 薬サジで試薬を採取する時は、試薬別に薬サジを用いる。混用は絶対にしない。原則として他の容器に移した試薬は元の容器に戻さないこと。
- ⑦ ラベルが汚損したら直ちに新しいものに貼りかえること。
- ⑧ 薬品を別の容器に移しかえたり取り出す時は、飛散したりこぼしたりしないように注意する。
- ⑨ 指示された分量、指示された濃度を厳守すること。量が多すぎたり、高濃度の薬品を用いた場合、反応が急激に進行し、爆発的な反応を起こすことがある。
- ⑩ 有毒な気体や悪臭のある気体を取り扱う場合は必ずドラフトチャンパー (fume hood) 内で行なう。また、実習室の換気に十分気をつけること。
- ⑪ 引火性のある液体 (アルコール・エーテルなど) を取り扱う場合は、付近に火の気がないように十分注意すること。
- ⑫ 実験後の廃棄物・廃液の処理は指導者の指示に従うこと。流しに捨ててはいけない薬品がある。流しに捨てても問題がない薬品の場合でも、十分に水道水を流しながら行なう。ろ紙やマッチの軸などは備え付けの容器に捨てること。
- ⑬ 薬品使用後は必ず手を洗うこと。
- ⑭ 薬品が目に入った時はすぐに水で洗い、指導者の指示を受ける。有毒な薬品を体に浴びた場合は、全身をシャワーで洗い流す。

#### 4 化学実験で使う薬品で注意すべきもの

##### (1) 反応が激しく扱いに注意するもの

- ◆ 水と激しく反応するナトリウムやカリウム、カルシウムなどの金属
- ◆ 酸化剤 (過マンガン酸カリウム、二クロム酸カリウム、硝酸、過酸化水素、濃硫酸など)  
…有機物と触れ合うと激しく反応する。皮膚などとも反応し、損傷する。
- ◆ 強塩基 (水酸化ナトリウム、水酸化カリウム、水酸化バリウムなど)  
…皮膚に付くと皮膚を侵食する。また、目に入ると失明の危険性がある。
- ◆ 有毒ガス (塩素、二酸化硫黄、硫化水素、アンモニア、オゾン、塩化水素、二酸化窒素、一酸化炭素など) …ドラフトで操作すること。実験装置からの漏洩に注意すること。
- ◆ 毒性のある物質 (実験で使用する物質の多くはなんらかの毒性があると考えよう)
- ◆ 重金属を含むもの…全て指示された容器に回収する。ビーカーなどの洗浄液も回収する。  
(Cr, Mn, Cu, Ag, Zn などを含むもの)

#### 5 扱いに注意する器具

- ◆ 水銀を用いた温度計 (破損した場合、有毒の水銀が漏れ出す。水銀の蒸気も有毒である)
- ◆ ビュレットの先端やコック (先端は細いので破損しやすい。コックは軽く押さえながら操作しないと抜けて薬品がこぼれる場合がある。)
- ◆ ガラス器具は急な加熱や急冷で破損するので、ゆっくり温めたり冷やすこと。
- ◆ 加熱した器具など。(実験器具の温度は見た目ではわからない。ガラスは冷めにくいので十分な時間をかけて放冷すること。金属製品は急激に熱が伝わるので、離れた場所でもやけどに注意すること。)
- ◆ 電源装置での感電に注意する。低電圧であっても油断しないこと。また、短絡によって機器を損傷する場合があるので、回路の組み立てには十分注意すること。

年 組 番 名前 ( )

## 解説 化学分野：実験 実験を安全に行うために

### 1 基本的な注意

#### (1) 正しい服装と整理整頓

- ・ 化学実験では可能であれば白衣、実験着、実習服等を着用させる。
- ・ 保護眼鏡は人数分用意し、メガネをかけている生徒にもその上から着用させる、皮膚に影響を及ぼす薬品を扱う時には使い捨ての手袋を用意し着用させる。
- ・ 薬品を取り扱う場合は、腕や足が露出しないものが好ましい。ただし、袖口などで試薬瓶を倒したりしないように袖が絞られたものが適している。
- ・ 薬品がこぼれた場合などを想定し、実験・実習用のテーブルの上には不要なものは置かないように指導する。ロッカーや机の下の手すりなどに置くように指導する。

#### (2) ガラス器具の取り扱い

- ① ガラス管やガラス棒の切り口は、鋭利な状態でないか確認しておく。(鋭利な状態の場合はガスバーナーで加熱して丸くしておく。)
- ② ガラス管をゴム栓やコルク栓にさし込む時は、万が一ガラス管が折れた場合、その断面で手を傷つけることが考えられる。まず、ガラス管の表面を水で濡らすなどして入れやすくする。ゴム栓やコルク栓の穴の大きさは、ガラス管と同じ大きさにする。シリコンゴムの場合は一回り大きく開けたほうが良い。
- ③ 攪拌用のガラス棒には 1cm 程度に切ったゴム管を先端に付けておくと、器具の破損を防ぎやすい。
- ④ ガラス製の計量器具は加熱によって精度が落ちるので、必ず常温で扱う。加熱式の乾燥機を使ってはいけない。必要な場合は共洗いで対応する。
- ⑤ 試験管等の洗浄の際には、ブラシで底を抜いてしまうことが多い。洗い方の指示を徹底する。
- ⑥ メスシリンダーやメスフラスコは転倒させて破損することが多いので注意する。また、ろうとを使う時も重心が高くなり、転倒することが多いので、必ず支えて使用する。
- ⑦ 破損したガラス器具を片付ける場合、皮手袋やピンセットなどを用い、決して素手では取り扱わない。細かな破片は箒などで取り除く。破損したガラス専用の容器を用意して回収する。

#### (3) ガスバーナーの取り扱い

- ① バーナーの筒の内部に薬品がこぼれていないかを確認する。穴が詰まってガスが出ないことがある。また、調節ねじが硬くなっているか確認し、硬い場合は汚れをきれいに落とし、ねじの部分に薄くグリスを付ける。
- ② ホースやジョイント部分からガスもれがないか注意すること。あやしい所はセッケン水をつけて調べる。ホースに割れがある場合は交換する。

#### (4) 薬品等の取り扱い

- ① 試薬は毒物や劇物の指定のある薬品は専用の保管庫に保存し施錠する。危険性のある薬品は薬品庫や薬品保管ロッカーに入れ、施錠する。
- ② 可燃物と酸化剤など、同じ場所に保管してはいけない物質の扱いに注意する。また法令にのっとり、保管数量や揮発性物質や腐食性の試薬の保管に適した方法で保管する。
- ③ 使用するごとに、薬品の使用量、使用目的を台帳に記載し、薬品の管理者の監査を受ける。
- ④ 試薬を小分けしたり、溶液を調整した場合、試薬のラベルに、内容物名、濃度、調整日を記載しておく。ラベルが汚損した場合は、速やかに新しいものに交換する。
- ⑤ 実験に必要な分量、必要な濃度を厳守する。量が多すぎたり、高濃度の薬品を用いた場合、反応が急激に進行し、爆発的な反応を起こすことがある。また、一般には高温ほど反応が激しくなるので、反応させる温度にも注意を払う。
- ⑥ 有毒な気体や悪臭のある気体を取り扱う場合は必ずドラフトチャンバー (fume hood または fume cupboard という) 内で行なう。また、窓を開けたり、換気扇を用いることで、実習室の換気に十分気をつける。

- ⑦ 引火性のある液体(アルコール・エーテルなど)を取り扱う場合は、付近に火の気がないように十分注意する。特にエーテルは火元から数メートル離れていても、揮発した蒸気に引火することがある。
- ⑧ 実験後の廃棄物・廃液の処理は、含まれる物質に応じて適切に処理をする。重金属イオンなど(Cr, Mn, Cu, Ag, Zn, Pb など)を含む薬品は流しに流さず専用の容器に回収する。有機溶媒もドラフト内で専用の容器に回収する。その後専門業者に処理を委託する。また、無機物と有機溶媒を混合しない。業者が処理できない場合があるので、無機物と有機物は必ず別の容器に回収する。
- 流しにすてても問題がない薬品の場合でも、酸と塩基は中和してから、十分に水道水を流しながら行なう。炉紙やマッチの軸などは備え付けの容器に捨てる。
- ⑨ 薬品使用後は必ず手を洗う。手洗い石けんを実験室に常備しておく。
- ⑩ 薬品が目に入った時に対応できるように洗浄装置や設備を整えておく。有毒な薬品を体に浴びた場合は、全身シャワーで洗い流す。可能であれば実験室に緊急用のシャワー設備を準備する。

## 2 化学実験で使う薬品で注意すべきもの

### (1) 反応が激しく扱いに注意するもの

#### ◆ 水と激しく反応するナトリウムやカリウム、リチウムなどの金属

保管量や保管状態を確認し、石油中に浸かっているかを確認する。実験で使用する場合も、Naなら米粒の大きさの半分程度を限度とする。カリウムは安全のため極力使用しない。

カルシウムは比較的反応は穏やかではあるが、水と急激に反応するので注意する。カルシウムは窒素充填した容器で保管するのが望ましい。(空気中の酸素で酸化してしまう)

#### ◆ 酸化剤(過マンガン酸カリウム、二クロム酸カリウム、硝酸、過酸化水素、濃硫酸など)

有機物と触れ合うと激しく反応する。皮膚などとも反応し、損傷する。有機物との接触に注意する。重金属を含むものは専用容器に回収する。

過酸化水素は原液(約30%)のまま使用しない。皮膚についた場合、痛みを伴い激しく腐食する。触媒を加えた場合急激に反応するので、濃度に注意する。

濃硝酸は揮発性で腐食性も強いので、使用するときはゴム手袋等を着用することが望ましい。

硫酸は不揮発性であるため、こぼれた希硫酸を拭いた雑巾も乾くに従い硫酸が濃縮され、雑巾の繊維が分解されてしまう。中和してよく水洗いすること。

#### ◆ 強塩基(水酸化ナトリウム、水酸化カリウム、水酸化バリウムなど)

皮膚に付くと皮膚を侵食する。目に入ると失明の危険性があるので必ず保護眼鏡を着用させる。ビュレットなど背の高い器具にそそぐときには、必ず目線より低い位置におろして作業させる。

固体の試薬は潮解性を持つので、吸湿性を有する。また二酸化炭素の吸収を防ぐようにする。ガラス栓をすると固まって取れなくなるので、ゴム栓をする。

#### ◆ 有毒ガス(塩素、二酸化硫黄、硫化水素、アンモニア、オゾン、塩化水素、二酸化窒素、一酸化炭素など)

ドラフトで操作すること。実験装置からの漏洩に注意すること。塩素や硫化水素など、臭いを感じる濃度で毒性を示すものも多いので、吸い込まないように注意する。

## 3 扱いに注意する器具

◆ 水銀を用いた温度計が破損した場合、有毒の水銀が漏れ出すので密閉容器に保管し、専門業者に処理を委託する。水銀の蒸気も有毒である。床やテーブルにこぼれた場合は、専用の吸い取りきで取り除く。流しに落ちた場合は、排水を遮断し、水銀及び汚水を回収する。

◆ 電源装置の電圧設定に注意する。低電圧であってもぬれた手で触れると大電流が流れ、事故につながることもある。また、短絡によって電源装置そのものを損傷する場合があるので、回路の組み立てには十分注意する。

## 参考文献

「実験を安全に行うために」化学同人

「続 実験を安全に行うために」化学同人

「安全心得」兵庫県高等学校教育研究会工業部会

## 実験事例1 結晶格子模型による最密構造の観察と限界（臨界）半径比の算出

【目的】最密構造（面心立方格子）における球の詰まり方や球間に生じる隙間の特徴について理解を深め、結晶の立体構造に関する空間認識力を深める。

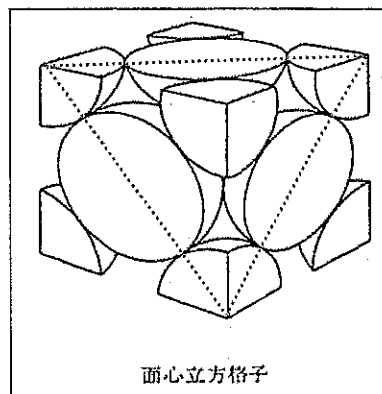
【準備】発泡スチロール球（直径 10 cm）、スチロールカッター、スチロール用接着剤、ポリスチレン（PS）ボード、ニクロム線、カッター、電源装置

### 【実験方法】

- (1) スチロールカッターを用いて、直径 10 cm の発泡スチロール球を半分に切断する。2 分の 1 に切断した半球は最低 6 個残しておく。
- (2) (1) の半球を半分に切断し、さらに半分に切断する。8 分の 1 に切断した球は 8 個必要である。
- (3) 面心立方格子の一辺の長さを計算し、カッターナイフを用いてポリスチレンボードから正方形を 6 枚切り出す。
- (4) 接着剤を用いて、作成したスチロール球とポリスチレンボードを使い、面心立方格子を組み立てる。
- (5) 切断面を決定し、マジックで線を描く。
- (6) 両端を固定したニクロム線に約 20 V の電圧を加え、切断面に沿ってゆっくりと面心立方格子を切断する。
- (7) 切断面で開き、面心立方格子をいくつか重ね、最密構造の様子を確認する。

<発泡スチロール球の数>

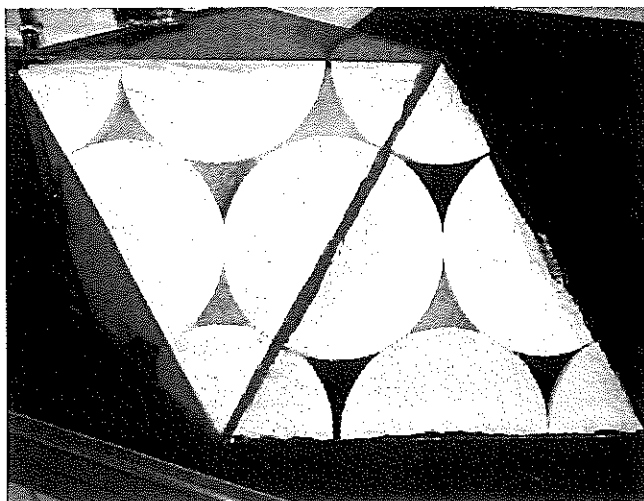
|          |          |
|----------|----------|
| 2 分の 1 球 | 8 分の 1 球 |
| 6 個      | 8 個      |



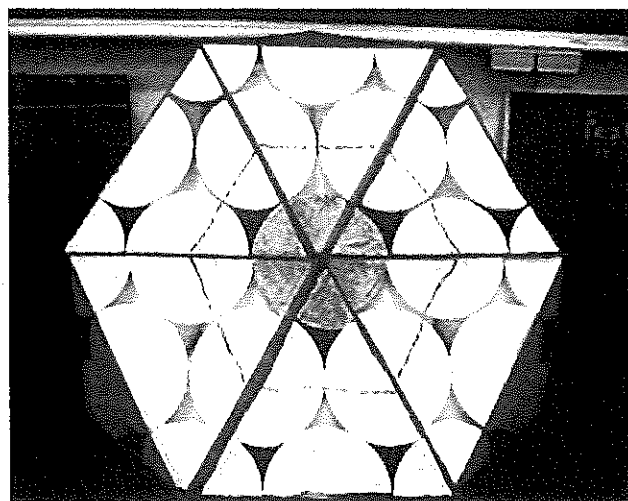
面心立方格子

### 【結果】

切断面で開く



単位格子を 3 個重ねる



(1) 切断面をよく観察して、最密構造における球の並び方をスケッチしなさい。

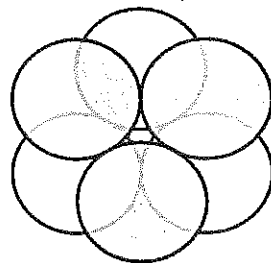
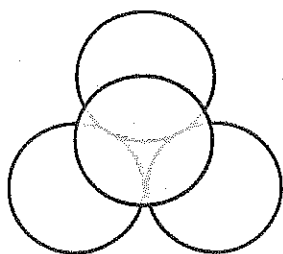
【考察】

(1) 球の半径を  $10\text{ cm}$  とすると面心立方格子の一边の長さはいくらになるか。

(2) 面心立方格子の単位格子 1 個の中に球は全部で何個含まれていることになるか。

(3) 1 つの球に接触する他の球の総数は何個か。

(4) 最密構造において、球の隙間に球を置く方法には下図の 2 つのパターンがあるが、それぞれどのような方法なのか説明せよ。また、その隙間に球を置いた場合、新たに生じる隙間はどのような立体の隙間に相当するか。その立体名を書きなさい。



(5) (4) の隙間にぴったりとはまる小球の対する半径比（限界半径比）をそれぞれ求めよ。

【感想】

年 組 番 名前 ( )

## 解説 実験事例1 結晶格子模型による最密構造の観察と 限界半径比の算出 (化学：結晶の構造)

### I 実験材料の入手方法

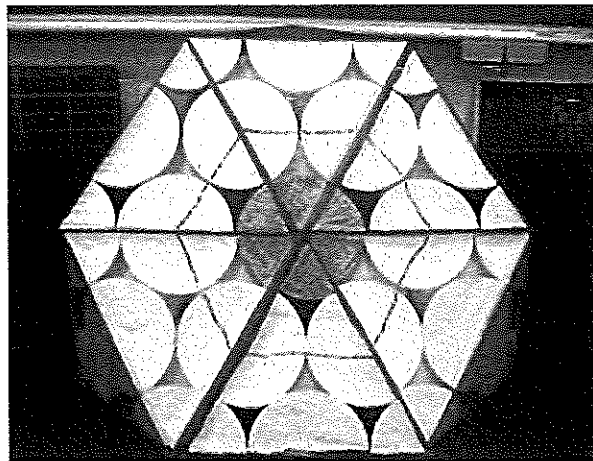
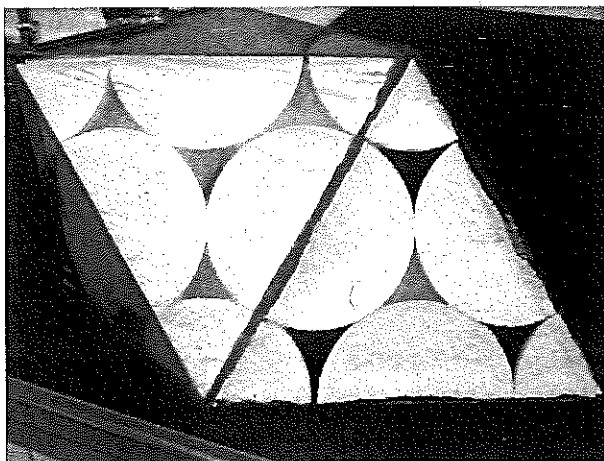
- ・直径 10cm ポリスチレン球 (理科教材会社)
- ・ポリスチレン (PS) ボードはホームセンター等で入手可能  
厚さは数種類あるが、0.5mm はやや強度が弱いと思われるので 0.7mm か 1mm くらいが適切である。  
厚さ 1mm はニクロム線で加熱切断するとき少し時間がかかるかもしれない。  
色つきの PS ボードもあるので、無色透明以外 (オレンジ系、スモーク系) のものも購入できる。
- ・糸鋸型のポリスチレンカッターは、直径 10cm 程度のポリスチレン球を切断するには適切であるが結晶単位格子全体 (立方体) を切断するには短いため、長いニクロム線の両端を木材などの絶縁体に固定した簡単な器具を作製する必要がある。

### II 実験操作上のポイント

- ・単位格子をニクロム線で加熱切断するときは、電圧がかなり高いのでショートに気を付けること
- ・PS 球や PS ボードが切断されるとき、スチレンがとけるため、かなりくさい臭いが発生するので教室の換気に注意すること。また、ニクロム線が通過した後、一度とけたスチレンが再び固まるため、切断面が癒着するので、切断直後は何か不燃性の板などをはさむのも良いと思われる。(爪楊枝をはさんでみると少し効果はあったように思われる。)
- ・また、結晶格子を切断するときは結構ニクロム線を強い力で押さえ続ける必要があるので、力を加えすぎてニクロム線を切断しないように注意する必要がある。

### III 実験結果のまとめ方等の工夫

単位格子の切断面 (球の詰まり方や囲まれ方とそれらの間に生じる隙間の使い方が観察できる。)



### IV 実験の効果

- ・面心立方格子が最密構造であることがリアルに観察でき、結晶格子の理解を深めることができる。
- ・最密構造における球の詰まり方とその球が作り出す 2 種類の隙間についても生徒の理解を助けることができ、その隙間に入れる小球の半径比 (限界半径比) の計算についても理解を深められる。
- ・金属結晶とイオン結晶の関連性についての理解が深められる。
- ・空間認識力は生徒個人差が想像以上に大きく、このような体験を通して結晶構造の本質に切り込んでいくきっかけをつかむことができる。
- ・単位格子の切断面 (ミラー指数) や結晶欠陥の種類についても言及できる機会となる。

## 中和滴定実験を実施するにあたって(実験の注意点)

### I 準備上のポイント

#### 1 シュウ酸標準溶液

- ・シュウ酸二水和物の結晶は、潮解性・風解性がなく成分が変化しないため、酸の標準溶液をつくる際に用いられる。
- ・シュウ酸は、血液中のカルシウムイオンと強く結合するため毒性がある。医薬用外劇物に指定されているので、専用の保管庫で管理する。

#### 2 食酢について

- ・市販されている食酢を準備しておく。
- ・元の液は少し黄色がかったり、薄めた後は透明に近く滴定に影響はない。
- ・一般的な食酢の酸の含有量は4%前後である。実際には複数の酸の混合物であるが、酢酸の溶液と仮定し実験を行う。

#### 3 水酸化ナトリウム水溶液

- ・事前におおよその濃度(約0.10mol/L)に調整した水溶液を準備しておく(生徒に調整させない)。
- ・水酸化ナトリウム水溶液は使用する直前に調整する。空気中の二酸化炭素などと反応するため、正確な濃度の水溶液をつくれなない。
- ・固体の水酸化ナトリウム及び5%を超える溶液が劇物に指定されている。  
強塩基性のため皮膚、粘膜、眼球等に付着すると重度の傷害を起こす恐れがあるので、保護眼鏡、ゴム手袋等を必要に応じて装着する。

#### 4 ガラス器具の洗浄

- 以下の方法に分かれる。濡れている場合、加熱乾燥してはいけない。
- これは、熱によって器具が変形して体積が変化し、冷却しても元に戻らないためである。
- ・ホールピペット、ビュレットについては、濡れている場合は必ず共洗いをを行う。
  - ・洗浄方法は、使用する薬品で器具を水平(ホールピペットは斜め)にして回しながら洗浄する。  
この作業を2～3回行い、洗浄液は全て捨てる。
  - ・共洗いの理由は、濡れたままで使用すると調整した濃度が変化(薄まる)するためである。
  - ・標準溶液を調整するメスフラスコ、溶液を入れるだけのコニカルビーカーは、水洗い後、ぬれたまま使用できる。

### II 実験操作上のポイント

#### 1 安全上の配慮

- (1) ホールピペットで作業する際、安全ピペッターを用いて行う。
- (2) 水酸化ナトリウム水溶液を扱うときは、必ず目を保護するために保護眼鏡を用いる。
- (3) ビュレットの活栓にゆるみがないか常に確認させる。軽く押さえるようにコックを操作する。

#### 2 操作について

##### (1) シュウ酸標準液の調整

- ・電子天秤でシュウ酸二水和物をはかりビーカーに入れ、純水で完全に溶かしておく。
- ・ビーカー、攪拌に用いたガラス棒、ろうとを少量の純水で洗い、その洗液を全てメスフラスコに加える。この作業は、はかり取ったシュウ酸二水和物を完全にメスフラスコへ移すために行う。
- ・最後に、こまごめピペットなどを使い、標線まで純水を加える。
- ・栓をして、溶液が均一になるように、メスフラスコを逆さにして振り混ぜる。
- ・事前調整した溶液を生徒に配布する場合、1Lメスフラスコを使い、0.05mol/Lの濃度になるように、上記操作を行う。

- (2) コニカルビーカーがない場合は三角フラスコで代用することができる。

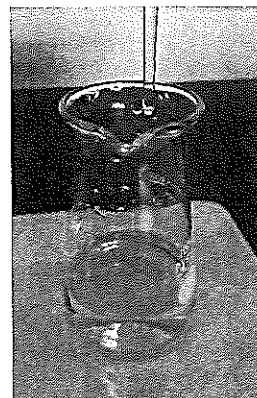
(3) ビュレットの使用については、以下の通りである。

- ・ビュレットのコックが閉じていることを確認し、ろうとを使って溶液を注ぐ。
- ・ビュレットとの間にすき間をあけ、液がこぼれないようにする。注ぎ終わったら、ろうとを必ずはずしておく。
- ・目盛より上の位置まで液を入れておく。
- ・コックを開け、勢いよく流しだし、ビュレット内の空気を抜く。  
このとき、必ずしも目盛を0の位置に合わせる必要はない。
- ・中和滴定の終点付近では、1/2滴や1/4滴ずつ滴下できるようにコックを慎重に操作する。

この場合、コニカルビーカーの内壁に液滴を付けるようにして加えていく。

- (4) 標線に合わせるときや目盛を読むときは、湾曲した液面(メニスカス)の底に目の位置をそろえ、最小目盛の1/10まで読み取る。
- (5) コニカルビーカーの下は、白い紙を置くと、変化が確認しやすい。かすかに呈色したところを中和点とする。
- (6) 食酢を10倍に薄める。

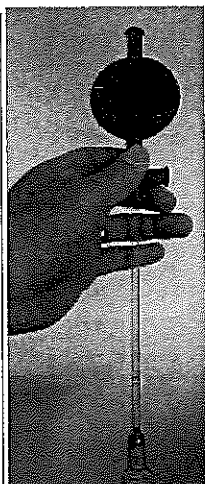
溶液を100mLにする場合は、ホールピペットで食酢を10mL正確にはかり取り、これをメスフラスコに入れ、さらに標線まで純水を加える。なお、ホールピペットが濡れている場合は共洗いをする。操作には安全ピペッターを用いるとよい。



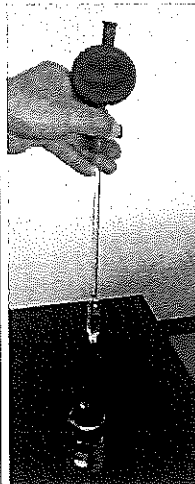
## <操作方法>

### 安全ピペッターの操作

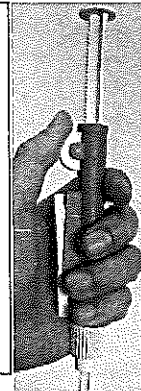
(1) 上部のAバルブを押さえ、ゴム球内部の空気を抜く。ピペットを差し込み、球部と枝分かれの中央にあるPバルブを押さえ、ピペットの標線より上まで試薬を吸い込む。



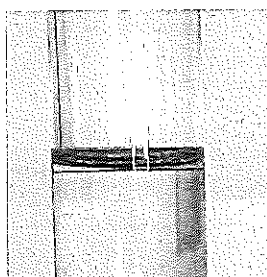
(2) 枝分かれの先にあるEバルブを軽く押さえ、液をゆっくり排出し標線に合わせる。その後、コニカルビーカーにピペットの先端を入れ、Eバルブを押さえ、ピペットの内部の液を全て排出する。



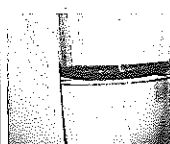
(3) 図のように、ピストン式のピペッターもある。ダイヤルで吸い上げ、バルブで排出する。



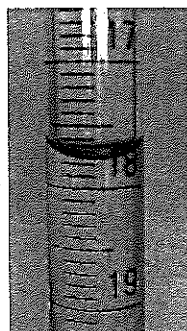
### <メニスカスの合わせ方>



標線に水平に視線を合わせないと、ずれて見えるので注意する。



### <ビュレットの読み>



最少メモリの1/10まで目分量で読む。  
この場合、17.78mL~17.79mLが妥当である。

### <片手でのビュレット操作法>



ビュレットのコックの操作は、コックが抜けないように押さえながら行う。

## 実験事例2 中和滴定（酢酸と水酸化ナトリウム）

### 【目的】

濃度決定した水酸化ナトリウム水溶液を使用し、市販の食酢中の酢酸の濃度を質量パーセント濃度（％）で求める。

市販の食酢中に含まれる酢酸の質量パーセントは、水酸化ナトリウム水溶液で中和滴定して得られた濃度を換算することで求めることができる。さらに求めた食酢の酸度（％）とラベルに書かれた酸度（％）の差が何なのかを追究する。

### 【準備】

器具：10mL ホールピペット，100mL メスフラスコ，ビュレット，コニカルビーカー  
ビュレット台，ビーカー，ろうと，保護眼鏡（NaOHaq 使用時にかける）

薬品：市販の食酢，水酸化ナトリウム標準溶液（濃度決定したもの），フェノールフタレイン溶液，蒸留水

### 【操作】

#### 1 食酢を10倍に薄める

- 食酢をホールピペットで正確に10mLはかり取り，100mL メスフラスコに入れる。ただし、ホールピペットが濡れている場合は、共洗いする。
- メスフラスコの標線まで純水を加え，よく振り混ぜて均一な濃度にする。

#### 2 中和滴定

- ホールピペットでコニカルビーカーに薄めた食酢10mLを量り取り，フェノールフタレイン溶液を1～2滴加えておく。ホールピペットは使用する溶液で共洗いする。
- ビュレットへろうとを使い，水酸化ナトリウム水溶液を注ぐ。このとき，目盛の少し上まで溶液を入れておく。ビュレットが濡れている場合は，共洗いする。
- ビュレットのコックを開き，勢いよく溶液を流し出す。その後コックを閉め，ビュレットの先端まで溶液で満たされ，空気が入っていないことを確認する。
- コニカルビーカーをビュレットの下に置き，測定開始時の目盛りを読み取る。（最小目盛の1/10まで）
- 水酸化ナトリウム標準溶液を滴下する。このとき，コニカルビーカーを軽く振り混ぜながら操作する。
- 軽く振っても赤色が消えずに薄く着色したところを終点とし，ビュレットの目盛りを再度読み取る。（最小目盛の1/10まで）
- 操作をさらに2回繰り返し，中和に要した水酸化ナトリウム標準溶液の体積の平均値を求める。なお，ビュレットの溶液が足らなくなったときは追加する。

### 【結果】

※ 小数第2位まで目盛りを読む。

|           | 第1回目 | 第2回目 | 第3回目 |
|-----------|------|------|------|
| 測定開始時の目盛り |      |      |      |
| 測定後の目盛り   |      |      |      |
| 滴下量       |      |      |      |

平均滴下量

【考察】

(1) この反応の化学反応式を書きなさい。

(2) 使用した水酸化ナトリウム標準液の濃度は何 mol/L か求めなさい。

(式)

\_\_\_\_\_ mol/L

(3) 測定結果から、食酢を 10 倍薄めた水溶液中の酢酸の濃度 [mol/L] を求め、さらに 10 倍薄める前の食酢中の酢酸の濃度 [mol/L] を求めよ。ただし、食酢中に含まれる酸は酢酸のみとして考えなさい。

(式)

薄めた後 \_\_\_\_\_ mol/L

薄める前(食酢) \_\_\_\_\_ mol/L

(4) (3) の結果より、食酢の質量パーセント濃度を求め、ラベルに表示された数値(酸度)と比較しなさい。ただし、食酢の密度は  $1.00\text{g/cm}^3$  とする。

(式)

計算結果 \_\_\_\_\_ %

表示数値(酸度) \_\_\_\_\_ %

結果の比較

(5) 水酸化ナトリウム水溶液は標準液をつくらず、シュウ酸標準液との中和滴定で濃度を決定する no か。理由を説明しなさい。

【感想】

年 組 番 名前 ( )

## 解説 実験事例2 中和滴定（酢酸と水酸化ナトリウム）（化学：中和反応）

### I 準備上のポイント

#### 1 食酢について

- 市販されている食酢を準備しておく。

このとき、複数のメーカーの食酢を準備することで、実験班ごと違った値を求めることができる。

- 元の液は少し黄色がかっているが、薄めた後は透明に近く滴定に影響はない。

#### 2 水酸化ナトリウム水溶液について

- シュウ酸標準溶液との中和滴定で濃度決定した水酸化ナトリウム水溶液を使用する。

- シュウ酸で決定した後、日数が経つと濃度が変化する可能性がある。

空気中の二酸化炭素を吸収するためである。

### II 実験操作上のポイント

#### 1 安全上の配慮

- (1) 事前に使用する器具の使い方や共洗いなど、教師による演示や映像を見せ、実験中のイメージをつけておくと、作業がスムーズに進む。
- (2) ホールピペットで作業する際、安全ピпетターを用いて行う。
- (3) 水酸化ナトリウム水溶液を扱うときは、必ず目を保護するために保護眼鏡を用いる。

#### 2 操作について

- (1) ビュレットやホールピペットが水でぬれている場合は、使用する溶液で数回洗ってから使用する。

操作法は、使用する溶液をビュレットに少量入れ、水平（ホールピペットは斜めに）して回しながら洗い、溶液を捨てる。この作業を2～3回繰り返す。

- (2) コニカルビーカーやメスフラスコは、純水でぬれている場合は、そのまま使用してよい。

- (3) コニカルビーカーがない場合は三角フラスコで代用できる。

- (4) 食酢を10倍に希釈する。

- メスメスフラスコを使用する。生徒が希釈する作業をする場合は、100mL用を使い、事前に準備する場合は1.0L用を使う。

- 溶液を100mLにする場合は、ホールピペットで10mL正確にはかり取り、これをメスフラスコに入れ、さらに標線まで純水を加える。なお、ホールピペットがぬれている場合は共洗いをする。

操作には安全ピペットターを用いるとよい。

- フラスコに栓をして、逆さにしてよく振り混ぜる。

- 濃度を10倍に薄めるのは、水酸化ナトリウム水溶液の滴下量を減らすためである。

- (5) ホールピペットの先端を容器の底につけて作業すると、標線に合わせやすい。

- (6) 安全ピペットの使い方は以下のとおりである。

- Aをつまみ、球部をつぶす。

- Sをつまみ、ホールピペットの標線の上まで溶液を吸い上げる。

- Eをつまみ、液を落として標線に合わせる。

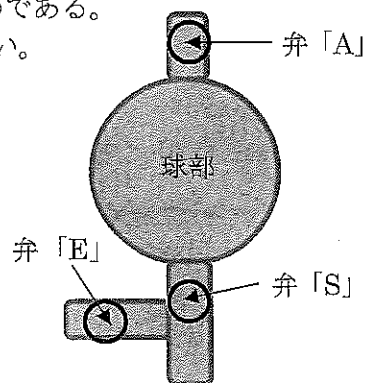
- Eをつまみ、液をコニカルビーカーに流し出す。

- 最後の一滴滴まで流し出す。このとき、ホールピペットのふくらみを手で温めながら行う。

- (7) ビュレットの使用については、以下の通りである。

- ビュレットのコックが閉じていることを確認し、ろうとを使って溶液を注ぐ。

ビュレットとの間にすき間をあけ、液がこぼれないようにする。注ぎ終わったら、ろうとを必ずはずしておく。



- ・目盛より上の位置まで液を入れておく。
  - ・コックを開け、勢いよく流しだし、ビュレット内の空気を抜く。  
このとき、必ずしも目盛を0の位置に合わせる必要はない。
  - ・コックの開閉は図の通りである。特に、中和滴定の最後加えるときは、少しずつ滴下できるようにコックの位置を操作する。
- (8) 標線に合わせるときや目盛を読むときは、湾曲した液面(メニスカス)の底に目の位置をそろえ、最小目盛の1/10まで読み取る。
- (9) 1回目の滴定後は、終点が予測できるため、中和点1.0mL前までは一気に液を滴下し、あとは慎重に滴下の作業を行う。
- (10) コニカルビーカーの下は、白い紙を置くと、色の変化が確認しやすい。

### Ⅲ 結果のまとめ方等の工夫

【結果】実験データの一例 1クラス6班の実験結果である。

表1 実験結果(一例)

| 班 | *1<br>モル濃度<br>mol/L | 滴定量(mL) |      |      |      | 酢酸<br>モル濃度<br>mol/L | *2 酢酸<br>元の濃度<br>mol/L | *3 質量<br>%濃度<br>(酸度) |
|---|---------------------|---------|------|------|------|---------------------|------------------------|----------------------|
|   |                     | 1回目     | 2回目  | 3回目  | 平均値  |                     |                        |                      |
| 1 | 0.093               | 8.46    | 8.62 | 8.35 | 8.48 | 0.079               | 0.79                   | 4.74                 |
| 2 | 0.093               | 8.20    | 7.80 | 7.90 | 7.97 | 0.074               | 0.74                   | 4.44                 |
| 3 | 0.092               | 7.80    | 7.90 | 7.70 | 7.80 | 0.072               | 0.72                   | 4.32                 |
| 4 | 0.092               | 8.10    | 7.90 | 7.90 | 7.97 | 0.073               | 0.73                   | 4.38                 |
| 5 | 0.095               | 7.90    | 7.60 | 7.20 | 7.57 | 0.072               | 0.72                   | 4.32                 |
| 6 | 0.093               | 7.93    | 7.95 | 7.92 | 7.93 | 0.074               | 0.74                   | 4.44                 |

- \*1 前回行ったシュウ酸標準溶液と水酸化ナトリウム水溶液の中和で決定した水酸化ナトリウム水溶液のモル濃度である。最終的に、酢酸のモル濃度を求めるときに使用した。
- \*2 食酢を10倍薄めているため、もとの食酢のモル濃度を求めている。
- \*3 使用した食酢の酸度は4.20%であった。(今回は、1種類の食酢を利用した)  
また、食酢の密度を1.0g/cm<sup>3</sup>とした。

- ・シュウ酸標準溶液と水酸化ナトリウム水溶液の中和滴定を行った班と同じ生徒で実施している。
- ・中和滴定実験2回目であり、生徒の操作技術も向上した。ただ、班によっては水酸化ナトリウム水溶液を多く加えていたため(指示薬の色が濃い)、結果に差が出ていた。

- 1 考察として、以下のような内容を加えることで、器具の扱い方、薬品の特徴などの理解を深めることができる。
- 指示薬として「フェノールフタレイン溶液」を使用した理由
  - ホールピペット・ビュレットを共洗いする理由
  - メスフラスコ・コニカルビーカーは共洗いが必要ない理由
  - 水酸化ナトリウム水溶液は「標準溶液」にできない理由  
(標準溶液として使用するためには、一度滴定で濃度決定しておく必要がある理由)
- 2 実験値から質量パーセント濃度を求め、表記されている値と比較する。

### Ⅳ 実験の効果

- 中和滴定に使用するガラス器具の操作法を習得できる。
- 食酢を薄めることで、濃度調整の方法を理解できる。
- 中和に必要な指示薬を適切に選ぶことができる。
- 中和反応の量的関係から、未知の濃度を決定することができる。

### 実験事例3 中和滴定(シュウ酸標準液と水酸化ナトリウム水溶液)

#### 【目的】

酸と塩基で学習した中和反応を利用して、未知の水溶液の濃度を、中和滴定によって求め、学習内容の理解を深める。シュウ酸標準溶液を用いて、水酸化ナトリウム水溶液の濃度を求める。

#### 【準備】

器具：10mL ホールピペット、100mL メスフラスコ、ビュレット、コニカルビーカー、ビーカー  
ビュレット台、ろうと、ガラス棒、電子天秤、薬さじ、保護眼鏡(NaOHaq 使用時にかける)

薬品：シュウ酸二水和物( $\text{COOH}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )、約 0.1mol/L 水酸化ナトリウム水溶液  
フェノールフタレイン溶液、純水

#### 【操作】

##### 1. シュウ酸標準溶液をつくる

- (1) 電子天秤でシュウ酸二水和物 0.63 g を正確にはかり取る。
- (2) ビーカーにシュウ酸を入れ、純水を加えて溶かす。
- (3) (2)の溶液を 100mL メスフラスコに移す。また、(2)のビーカーを純水で洗い、洗液もメスフラスコに移す。この作業を 2～3 回繰り返す。(メスフラスコは純水でぬれたまま使用できる)
- (4) メスフラスコの標線まで純水を加え、よく振り混ぜて均一な濃度の水溶液をつくる。

##### 2. 中和滴定

- (1) ホールピペットでシュウ酸標準溶液を 10mL 量り取り、コニカルビーカーに移す。ただし、ホールピペットが濡れている場合は共洗いする(コニカルビーカーは純水で濡れたまま使用できる)。
- (2) (1)のコニカルビーカーに、フェノールフタレイン溶液を 1, 2 滴加える。
- (3) ビュレットにろうとを使って水酸化ナトリウム水溶液を注ぐ。このとき、溶液を目盛りの少し上まで入れておく。ただし、ビュレットが濡れている場合は共洗いする。
- (4) ビュレットのコックを開き、勢いよく水溶液を流し出す。その後コックを閉め、ビュレット先端まで水溶液で満たされ、空気が入っていないことを確認する。
- (5) 滴定開始時、ビュレットの目盛りを読む。(最小目盛の 1/10 まで)
- (6) 水酸化ナトリウム水溶液を滴下し、軽く振り混ぜながら操作を続ける。
- (7) 軽く振っても赤色が消えずに薄く着色したところを終点とし、ビュレットの目盛りを再度読む。(最小目盛の 1/10 まで)
- (8) 操作をさらに 2 回繰り返し、中和に要した水酸化ナトリウム水溶液の体積の平均を求める。  
なお、ビュレットの溶液が足らなくなったときは追加する。

#### 【結果】

※ 小数第 2 位まで目盛りを読む。

|                | 第 1 回目 | 第 2 回目 | 第 3 回目 |
|----------------|--------|--------|--------|
| 滴定開始時の目盛り [mL] |        |        |        |
| 滴定後の目盛り [mL]   |        |        |        |
| 滴下量 [mL]       |        |        |        |

平均滴下量 [mL]

【考察】

(1) この反応を化学反応式で書きなさい。

(2) シュウ酸標準溶液の濃度[mol/L]を求めなさい。ただし、原子量はH=1.0, C=12, O=16 とする。  
(式)

\_\_\_\_\_ mol/L

(3) 測定結果から、使用した水酸化ナトリウム水溶液の濃度[mol/L]を求めなさい。  
(式)

\_\_\_\_\_ mol/L

(4) 指示薬として「フェノールフタレイン溶液」を使用した理由を答えなさい。

(5) ホールピペットやビュレットを共洗いする理由を答えなさい。

【感想】

年 組 番 名前 ( )

## 解説 実験事例3 中和滴定(シュウ酸と水酸化ナトリウム) (化学: 中和反応)

### I 準備上のポイント

#### 1. シュウ酸標準溶液

シュウ酸二水和物の結晶は、潮解性・風解性がなく成分が変化しないため、酸の標準溶液をつくる際に用いられる。

#### 2. 水酸化ナトリウム水溶液

事前におおよその濃度(約  $0.10\text{mol/L}$ )に調整した水溶液を準備しておく(生徒に調整させない)。水酸化ナトリウム水溶液は使用する直前に調整する。空気中の二酸化炭素などと反応するため、正確な濃度の水溶液をつくれない。

#### 3. ガラス器具の洗浄は、以下の方法に分かれる。ぬれている場合加熱乾燥してはいけない。

これは、熱によって器具が変形して体積が変化し、冷却しても元に戻らないためである。

(1) ホールピペット、ビュレットについては、ぬれている場合は必ず共洗いを行う。

○洗浄方法は、使用する薬品で器具を水平(ホールピペットは斜め)にして回しながら洗浄する。

この作業を2~3回行い、洗浄液は全て捨てる。

○共洗いする理由は、ぬれたままで使用すると調整した濃度が変化する(薄まる)ためである。

(2) 標準溶液を調整するメスフラスコ、溶液を入れるだけのコニカルビーカーは、水洗い後、ぬれたまま使用することができる。

○コニカルビーカーに入れる溶液は、すでに溶質の物質量を正確に量っているため、水でぬれていても溶質の物質量が変わることはない。

○メスフラスコは、天秤で正確に計量した溶質を加えて水で薄めるため、溶質の物質量が変わることはない。

### II 実験操作上のポイント

#### 1. 安全上の配慮

(1) 事前に使用する器具の使い方(共洗いも含め)を、教師による演示や映像を見せておき、イメージを作っておいた方が、作業がスムーズに進む。

(2) ホールピペットで作業する際、安全ピпетターを用いて行う。

(3) 水酸化ナトリウム水溶液を扱うときは、必ず目を保護するために保護眼鏡を用いる。

#### 2. 操作について

##### (1) シュウ酸標準溶液の調整

○電子天秤でシュウ酸二水和物をはかりビーカーに入れ、純水で完全に溶かしておく。

○ビーカーを洗い、その洗液を全てメスフラスコに加える。この作業は、はかり取ったシュウ酸二水和物を完全にフラスコへ移すために行う。

○最後に、こまごめピペットなどを使い標線まで純水を加える。

○栓をして、溶液が均一になるように、フラスコを逆さにして振り混ぜる。

○事前調整した溶液を生徒に配布する場合、1Lメスフラスコを使い、 $0.05\text{mol/L}$ の濃度になるように、上記操作を行う。

(2) 水酸化ナトリウム水溶液の調整は、ビーカーなどでおおよその濃度に調整しておく。

(3) コニカルビーカーがない場合は三角フラスコを代用できる。

(4) ホールピペットの先端を容器の底につけて作業すると、標線に合わせやすい。

(5) 安全ピペットの使い方は以下のとおりである。

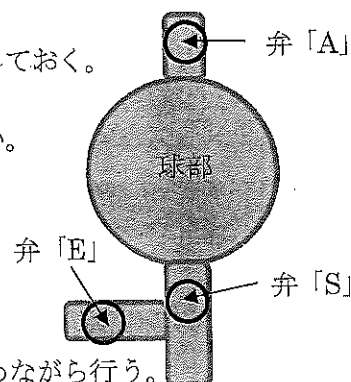
○Aをつまみ、球部をつぶす。

○Sをつまみ、ホールピペットの標線の上まで溶液を吸い上げる。

○Eをつまみ、液を落として標線に合わせる。

○Eをつまみ、液をコニカルビーカーに流しだす。

○最後の一滴まで流しだす。このとき、ホールピペットのふくらみを手で温めながら行う。



- (6) ビュレットの使用については、以下の通りである。
- ビュレットのコックが閉じていることを確認し、ろうとを使って溶液を注ぐ。  
ビュレットとの間にすき間をあけ、液がこぼれないようにする。注ぎ終わったら、ろうとを必ずはずしておく。
  - ・ 目盛より上の位置まで液を入れておく。
  - ・ コックを開け、勢いよく流しだし、ビュレット内の空気を抜く。  
このとき、必ずしも目盛を0の位置に合わせる必要はない。
  - ・ コックの開閉は図の通りである。特に、中和滴定の最後加えるときは、少しずつ滴下できるようにコックの位置を操作する。
- (7) 標線に合わせるときや目盛を読むときは、湾曲した液面(メニスカス)の底に目の位置をそろえ、最小目盛の1/10まで読み取る。
- (8) 1回目の滴定後は、終点が予測できるため、中和点1.0mL前までは一気に液を滴下し、あとは慎重に滴下の作業を行う。
- (9) コニカルビーカーの下は、白い紙を置くと変化が確認しやすい。

### Ⅲ 実験結果のまとめ方等の工夫

【測定結果】実験データの一例 表1は、6班分の実験結果である。

表1 実験結果(一例)

| 班 | 滴定量(mL) |       |       |       | モル濃度<br>mol/L |
|---|---------|-------|-------|-------|---------------|
|   | 1回目     | 2回目   | 3回目   | 平均値   |               |
| 1 | 10.4    | 11.2  | 10.8  | 10.80 | 0.093         |
| 2 | 10.95   | 10.82 | 10.62 | 10.80 | 0.093         |
| 3 | 10.8    | 10.9  | 10.9  | 10.87 | 0.092         |
| 4 | 10.8    | 10.8  | 10.9  | 10.83 | 0.092         |
| 5 | 10.1    | 10.7  | 10.7  | 10.50 | 0.095         |
| 6 | 11.0    | 10.5  | 10.8  | 10.77 | 0.093         |

標準溶液を作ったあと中和滴定を行った。水酸化ナトリウム水溶液は約0.10mol/Lに調整してあった。特に、ビュレット操作に慣れるまでに時間がかかり、全体として滴下量が多くなる傾向があった。1班2人ないし3人グループで滴定をすることで、必ず一度は操作するように工夫した。

考察として、以下のような内容を加えることで、器具の扱い方、薬品の特徴などの理解を深めることができる。

- 指示薬として「フェノールフタレイン溶液」を使用した理由
- ホールピペット・ビュレットを共洗いする理由
- メスフラスコ・コニカルビーカーは共洗いが必要ない理由
- 水酸化ナトリウム水溶液は「標準溶液」にできない理由  
(標準溶液として使用するためには、一度滴定で濃度決定しておく必要がある理由)

### Ⅳ 実験の効果

- 中和滴定に使用するガラス器具の操作法を習得できる。
- シュウ酸標準溶液をつくることで、モル濃度の計算、調整に使うガラス器具の操作法を習得できる。
- 水酸化ナトリウムの性質(潮解性)が理解できる。
- 中和に必要な指示薬を適切に選ぶことができる。
- 中和反応の量的関係から、未知の濃度を決定することができる。

## 実験事例4 色素（指示薬）の色の変化とpHの関係を調べる

### 【目的】

試験紙、指示薬や色素の色が、pHの値とどのように関連しているかを調べる。  
身近にある物質のpHを試験紙、指示薬や色素で測定する。

### 【準備】

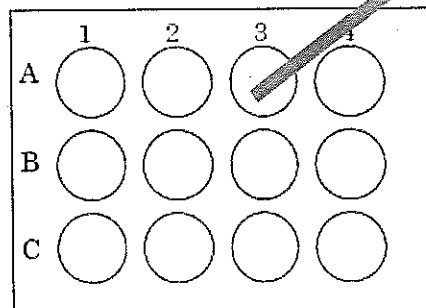
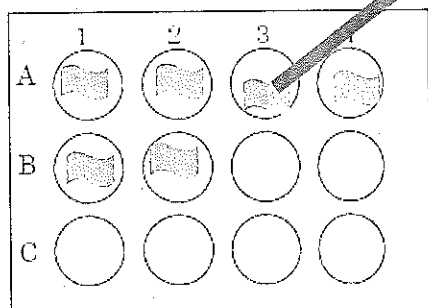
ビーカー、ふた付きの4×3セルプレート（または試験管10本程度）、ピペット、ピンセット、  
ガラス棒、ユニバーサルpH試験紙、純水、ペーパータオル  
身近にある酸性～塩基性の物質（レモン果汁、果汁飲料、炭酸飲料、食酢、塩酸を含むトイレ洗浄剤、  
石けん水、木や草を燃やした灰の溶液、肥料など）  
色素（紫キャベツ、ブドウ果汁、マローブルー（花）、ターメリックなど）

### 【操作】

#### 1 試験紙を使ったpHの測定

- (1) pH試験紙を約1cmに切ったものを10枚用意する。
- (2) セルプレートのふたに試験紙を並べる。
- (3) セルプレートのそれぞれの穴にpHを調べる溶液（レモン果汁など）を1mL入れる。
- (4)きれいに洗浄し、水分を拭き取ったガラス棒の先端に、セルプレート中の溶液を付け、試験紙に溶液を付けて色の変化を調べる。変色表と比較しpHを決定する。

セルプレートのふた

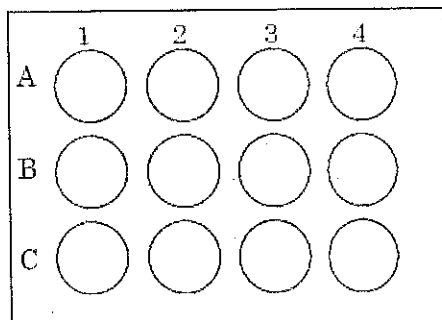


穴の中の液をガラス棒に付ける

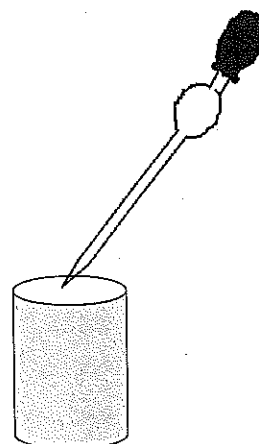
#### 2 身近な色素を使ったpHの測定

- (1) 紫キャベツの葉(10cm四方)を小さくちぎり、ビーカーに入れる。
- (2) 熱湯(100mL)を注いでゆっくりかき混ぜる。色素が溶け出たらしばらく放冷する。
- (3) 1の試料溶液が入ったセルプレートの穴に、紫キャベツの色素が溶けた溶液を1mLずつ加えて色の変化を観察する。
- (4) 1の結果をもとに、色素の色とpHの関係をまとめる。

pHを調べる溶液



紫キャベツの溶液



【結果】

(1) 対応するセルプレート穴の位置に、使用した試薬と試験紙の色、pHを記録しなさい。

|    |    |    |    |
|----|----|----|----|
| 1A | 2A | 3A | 4A |
|    |    |    |    |
| 1B | 2B | 3B | 4B |
|    |    |    |    |
| 1C | 2C | 3C | 4C |
|    |    |    |    |

←上段に試料名

←下段に色とpH

(2) 対応するセルプレート穴の位置に、使用した試薬と色素の色を記録しなさい。

|    |    |    |    |
|----|----|----|----|
| 1A | 2A | 3A | 4A |
|    |    |    |    |
| 1B | 2B | 3B | 4B |
|    |    |    |    |
| 1C | 2C | 3C | 4C |
|    |    |    |    |

←上段に試料名

←下段に色素の色

【考察】

【感想】

年 組 番 名前 ( )

## 解説 実験事例4 色素(指示薬)の色の変化と pH の関係を調べる (化学: 酸・塩基)

### I 準備上のポイント

- マイクロスケール実験用のセルプレート 4×3 穴を使うと準備が簡単である。  
(教材カタログにも記載されている)
- 試料はできるだけ身近なもので pH に変化があるものを選ぶとよい。
- 紫キャベツは比較的安価で手に入りやすい。冷蔵庫で保存すれば2週間ほもつ。凍結すれば色素を抽出しやすくなる。水、エタノールの混合液で抽出すると濃い溶液ができる。
- マローブルーは教材カタログにも記載されているが、紅茶やハーブの専門店でも手に入る。
- 粉末のカレーパウダーや、スパイスのターメリックを使っても実験できる。エタノールで抽出するとよい。
- 漂白剤の入っているものは、色素が脱色してしまうので注意する。
- ジュースによってはリン酸塩が添加されているものがある。この場合、緩衝作用が働き試料を加えても変色しにくい場合があるので、事前に成分を確認すること。

### <発展的内容, 課題研究>

- 色の変化とスペクトルの関係を、簡易分光器で観察する。
- スペクトルの観察をする場合は、事前に光の吸収と反射で色の変化がどうなるかを確かめておく和良好的。(例) スライドガラスに金箔を丁寧に貼り付け、反射光と透過光を比較することで補色の理解も進む。

### II 実験操作上のポイント

- 試料の中で強酸性(トイレ洗浄剤など)や強塩基性のものは扱いに気を付ける。生徒配布試料は10倍程度薄めて使用しても良い。
- 紫キャベツの色素は濃いと変化がわかりやすい。色の観察は白い紙の上で行うと鮮明になる。
- pH 試験紙は必要な枚数をあらかじめ用意する。溶液を入れたセルプレートの配置と同じように試験紙を並べるとわかりやすい。
- ガラス棒は毎回純水で洗浄し、ペーパータオルで水分を拭き取り、それから試料を付け試験紙で色の変化を見る。

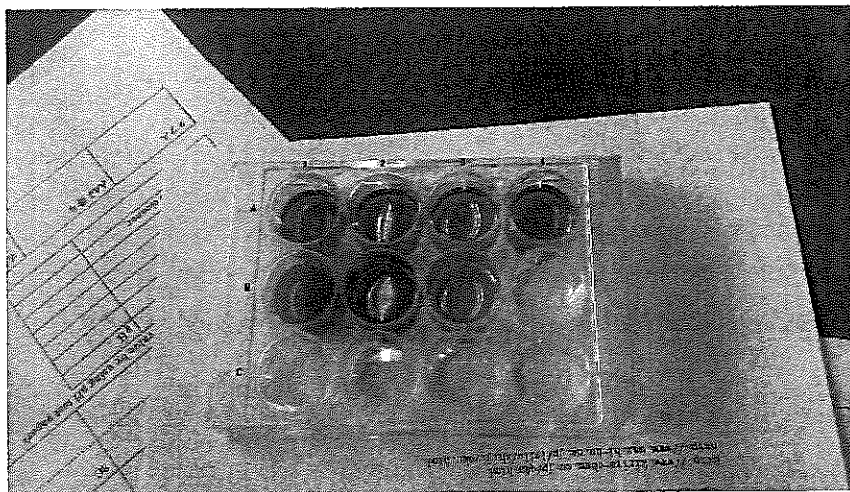
### <発展的内容, 課題研究>

- pH 試験紙と、植物色素の色を対比させ、紫キャベツを用いた pH のカラースケールを作成すると、指示薬と pH の関係を理解させやすい。
- pH メーターは1 mL ぐらいのごく少量の試料で測定可能なものが良い。メーターのセンサー部分はガラス薄膜を用いているので、使用中、洗浄中の破損に気をつける。
- 簡易スペクトルスコープで観察する場合は、試験管に溶液を入れ、明るい窓辺で観察する。ただし、直射日光を見ないように注意する。

### Ⅲ 実験結果のまとめ方等の工夫

(例)

- デジタルカメラ、カラープリンターを持いて、実際の色調を記録させると実験結果をまとめやすい。



- pH がわかっている緩衝溶液を用いて測定を行ったり、pH メーターや各種色素を用いた試験紙との対比を行ったりすると、色の変化の幅などを比較することができる。
- スペクトルメーターや、吸光度計などを用い、吸収される波長で検量線を作ることにより求めることができる。

### Ⅳ 実験の効果

- 酸と塩基の性質と pH の関係を学習するときに、身近な素材を用いて実験できるので、生徒の興味・関心を引き出すことができる。
- 大多数の薬品や試料は市販されているものであり、安全を確保しやすく、環境負荷を小さく抑えることができる。環境教育への観点でも指導することができる。
- 色素の構造変化と化学平衡まで関連付ければ、発展的な内容で理解を深めることができる。特に、吸収スペクトルと有機化合物の構造の関連を考察すればかなり高度な内容を扱うことができる。
- 実際に雑草や落ち葉を燃やし、得られた灰の水溶液を使うと、強塩基性の水溶液が得られる。アルカリの語源（アラビア語の木や草の灰）も実際に体験することができる。
- リトマスもリトマス苔の色素を利用したものである。天然色素が利用されている事例を教えるとよい。
- 単純な色の変化の確認実験から始まり、色素の構造と吸光スペクトルの関係、化学平衡と分子の構造などを扱うことができる。

## 実験事例5 食品に含まれる天然色素（植物由来）の pH による色の変化

### 【目的・仮説】

水溶液の液性（酸性、中性、塩基性）を調べるのに用いられるリトマス試験紙は、リトマスゴケという植物の抽出液を紙にしみこませたものである。また、ムラサキキャベツの葉から抽出した色素液を水溶液に加えると、その水溶液の液性（酸性、中性、塩基性）によって色が変わる。これらのことから、食品に含まれる植物由来の天然色素を使うことで、液性の違いを調べることができる考えた。

### 【準備】

1. 器具 製氷皿（14ブロック以上）2個、ビニール袋 1枚、平たい容器（バットなど）1個  
駒込ピペット（2mL）2個、メートルグラス（10mL）2個
2. 試薬 0.1mol/L 塩酸、0.1mol/L 水酸化ナトリウム水溶液
3. 試料 ムラサキキャベツ抽出液  
野菜ジュース、カレー粉末、緑茶葉、紅茶葉、シソのふりかけ など

### 【操作】

1. ムラサキキャベツの色素の抽出  
あらかじめ細かく刻んで冷凍保存しておいたムラサキキャベツの葉をビニール袋に入れ、少量の精製水を加えて揉みほぐすと、紫色の色素が抽出される。
2. pH1～13の各水溶液の調整  
製氷皿（7ブロック×2列）に、以下の要領で pH1～13の水溶液を順次調整する。
  - ① 上段左端のブロックに 0.1mol/L 塩酸を 10mL 入れる。（pH1）
  - ② ①のブロックから水溶液を駒込ピペットで約 1mL 採取してメートルグラスに移し、精製水を加えて 10mL としたのち、①の右隣のブロックに戻す。（pH 2）
  - ③ ②のブロックから水溶液をこまごめピペットで約 1mL 採取してメートルグラスに移し、精製水を加えて 10mL としたのち、②の右隣のブロックに戻す。（pH 3）
  - ④ 同様の操作を繰り返して pH 4～7 の水溶液を調整し、上段の 7ブロックに水溶液が入る。
  - ⑤ 下段左端のブロックに 0.1mol/L 水酸化ナトリウム水溶液を 10mL 入れる。（pH 13）
  - ⑥ ②～④と同様の操作で pH 12～7 の水溶液を調整し、下段の 7ブロックに水溶液が入る。

|       |       |       |       |      |      |      |
|-------|-------|-------|-------|------|------|------|
| pH 1  | pH 2  | pH 3  | pH 4  | pH 5 | pH 6 | pH 7 |
| pH 13 | pH 12 | pH 11 | pH 10 | pH 9 | pH 8 | pH 7 |

これらの 製氷皿を A・B の 2セット準備する。

3. 天然色素の pH による色の変化を確認
  - ① 製氷皿 A の各ブロックにムラサキキャベツの抽出液を少量加えて、色の変化を観察する。
  - ② 製氷皿 B の各ブロックに任意の食品試料（野菜ジュース、カレー粉末、緑茶葉、紅茶葉、シソのふりかけ等から各班で 1つ選ぶ）を少量加えて、色の変化を観察する。
  - ③ 観察と記録が終了後、製氷皿 A のすべての水溶液をバットなどにまとめて、色を観察する。

## 【結果】

### 1. ムラサキキャベツ抽出液の色の変化

|              |              |              |              |             |             |             |
|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|
| pH 1<br>( )  | pH 2<br>( )  | pH 3<br>( )  | pH 4<br>( )  | pH 5<br>( ) | pH 6<br>( ) | pH 7<br>( ) |
| pH 13<br>( ) | pH 12<br>( ) | pH 11<br>( ) | pH 10<br>( ) | pH 9<br>( ) | pH 8<br>( ) | pH 7<br>( ) |

### 2. 食品色素（食品名： ）の色の変化

|              |              |              |              |             |             |             |
|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|
| pH 1<br>( )  | pH 2<br>( )  | pH 3<br>( )  | pH 4<br>( )  | pH 5<br>( ) | pH 6<br>( ) | pH 7<br>( ) |
| pH 13<br>( ) | pH 12<br>( ) | pH 11<br>( ) | pH 10<br>( ) | pH 9<br>( ) | pH 8<br>( ) | pH 7<br>( ) |

### 3. 製氷皿Aのすべての水溶液を1つの容器にまとめたときの色

( )

## 【考察】

(1) 天然色素の色と水溶液の液性（酸性、中性、塩基性）の関係について、この実験を通して気づいたことをまとめなさい。

(2) 製氷皿に pH 1～13 の水溶液を調整する実験操作を通して、酸・塩基の水溶液の濃度と pH の関係について気づいたことをまとめなさい。

(3) 実験後の製氷皿Aの水溶液を1つの容器にまとめたときの色の变化から、気づいたことを書きなさい。

## 【感想】

年 組 番 名前 ( )

解説 実験事例5 食品に含まれる天然色素（植物由来）の  
pHによる色の変化（化学・酸・塩基）

I 準備上のポイント

- ムラサキキャベツは手に入りにくい時期があり、値段も高くなる。安く手に入る時期に多めに購入し、冷凍保存しておくといよい。冷凍で細胞壁が壊れ抽出の効率もよい。
- 製氷皿を用いて水溶液を調整するメリット
  - ・ブロックごとの仕切りがしっかりしており隣り合う水溶液が混ざりにくい。
  - ・14ブロックの製氷皿は安価で購入でき、1つのブロックの容量も大きい。
  - ・白色のプラスチック製であるため、抽出方法による色素液の濁りが気にならない。

II 実験操作上のポイント

[操作1. ムラサキキャベツの色素の抽出]

- 今回の抽出方法（冷凍保存した試料を常温水で抽出）以外の方法
  - ・細かく刻んだムラサキキャベツの葉を鍋に入れて熱湯で煮出す。  
（簡単だが抽出液は濁る）
  - ・細かく刻んだムラサキキャベツの葉をビニール袋に入れて、食塩か砂糖を加えて揉む。  
（濃い抽出液が得られるが、抽出液は濁る）
  - ・細かく刻んだムラサキキャベツの葉をエタノールで抽出。  
（澄んだ抽出液が得られるが、安全面の配慮が必要）

[操作2. pH1～13の各水溶液の調整]

- 製氷皿A・Bに水溶液を準備するのに、操作①～⑥を2回繰り返すと時間がかかる。  
同時にA・Bを作る機転が必要。

[操作3. 天然色素のpHによる色の変化を確認]

- 製氷皿A（ムラサキキャベツ）は変色域が広く、変化も観察しやすい。
- 製氷皿B（任意の食品試料）は、あらかじめ抽出液を作っておくと変化がわかりやすいが、それぞれの食品のイメージがつかみにくくなる。  
（各班で粉末状にして用いるなど工夫するとよい。）
- 製氷皿Aの水溶液を1つの容器まとめる際の視点
  - ・上段、下段とも最右端のブロックはおおよそpH 7の水溶液になっている。  
（酸を希釈しても塩基を希釈しても、最後はおおよそ中性になる）
  - ・1つの容器にまとめるとpH 7と同じ色になる。（中和反応）

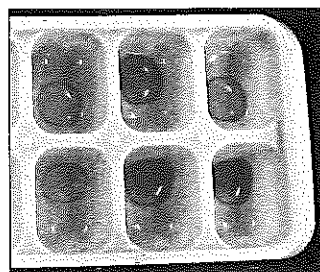
○ 実験結果 (参考)

ムラサキキャベツ : pH1~5 (濃赤色~淡赤色) pH6~8 (紫色) pH9~10 (青色)  
pH11~12 (青緑色) pH13 (緑色~黄色)

- 色の微妙な違いは言語による表現が難しいので、デジタルカメラで撮影した写真を実験プリントに添付させる等の工夫ができれば望ましい。(フラッシュは使用しない)



フラッシュを使用して撮影



フラッシュ使用せずに撮影

- 製氷皿B (任意の食品試料) は、時間の関係で班ごとに1つの食品を選択して実験するので、他の班と結果を共有する工夫ができれば望ましい。

#### IV 実験の効果

本実験の題材である「ムラサキキャベツの色の変化」は小学校段階でも扱う内容であるが、溶液の調整や片付けの際の観察と組み合わせることで、化学基礎「酸と塩基」の導入実験として効果的である。

○ 操作2. pH1~13の各水溶液の調整 … 写真1

「水素イオン濃度とpH」の導入

- ・水素イオン濃度が10倍(1/10倍)になるとpHは1変化することをこの実験で実感する。

○ 操作3. 天然色素のpHによる色の変化を確認 ① ②

「指示薬と変色域」の導入

- ・指示薬(色素)の種類によって変色域が異なることを、この実験で実感する。

○ 操作3. 天然色素のpHによる色の変化を確認 ③ … 写真2、写真3

「酸・塩基の中和」の導入

- ・酸と塩基が互いの性質を打ち消し合う反応が中和反応であることをこの実験で実感する。

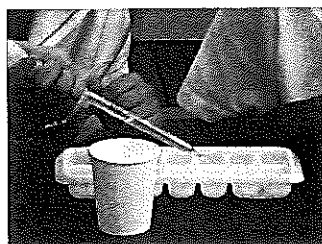


写真1 : 水溶液の調整

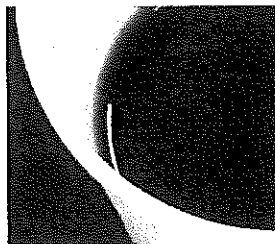


写真2 : 抽出液(中性)

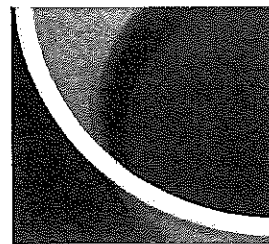


写真3 : 実験後(ほぼ中性)

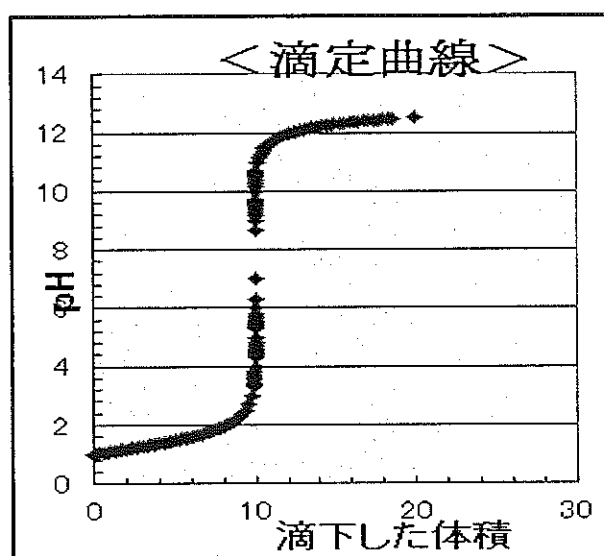
## 実験事例 6 滴定曲線の作成

【目的】コンピュータ（表計算ソフト）により作成した理論滴定曲線と pH センサーを用いて測定した滴定曲線を比較することにより、滴定曲線の特徴や溶液の緩衝作用についての理解を深める。

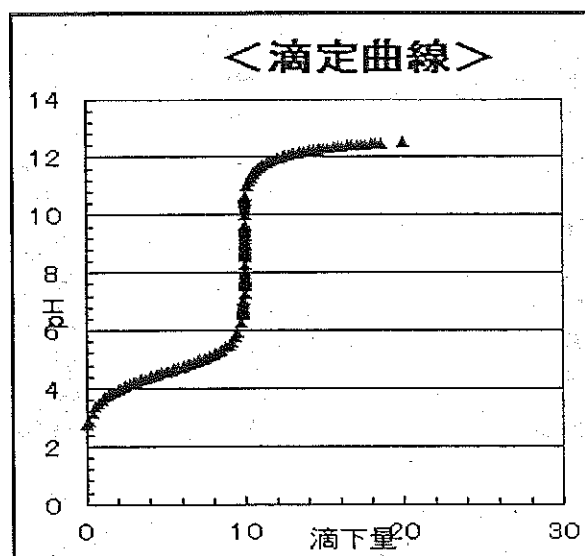
【準備】IT 計測器、pH センサー、マグネチックスターラー、酸塩基指示薬、ホールピペット、ビュレット、コニカルビーカー、PC、外部モニター、純水、  
0.10mol/L HCl、0.10mol/L NaOH 水溶液、0.10mol/L 酢酸、0.10mol/L シュウ酸溶液

【操作】①表計算ソフトにより 2 種類の理論滴定曲線（強酸 v s 強塩基、弱酸 v s 強塩基）を作成し、滴定曲線の相違点や溶液の濃度による滴定曲線の変化を確認する。  
②ホールピペットを用いてコニカルビーカーに塩酸を 10mL とり、指示薬を数滴加えた後、マグネチックスターラーで攪拌しながら、ビュレットから塩基の溶液を静かに滴下して中和滴定を行う。IT 計測器の画面は小さいので、できれば外部ディスプレイに接続すればグループ全員が同時にそしてリアルタイムに pH の変化を観察することができる。  
（IT 計測器の画面と外部ディスプレイは排他表示になるのでマウスを接続すること。）  
③酸の種類を酢酸やシュウ酸水溶液に替えて、②と同様の実験を行う。

【結果】(1) コンピュータによる滴定曲線



塩酸 VS 水酸化ナトリウム

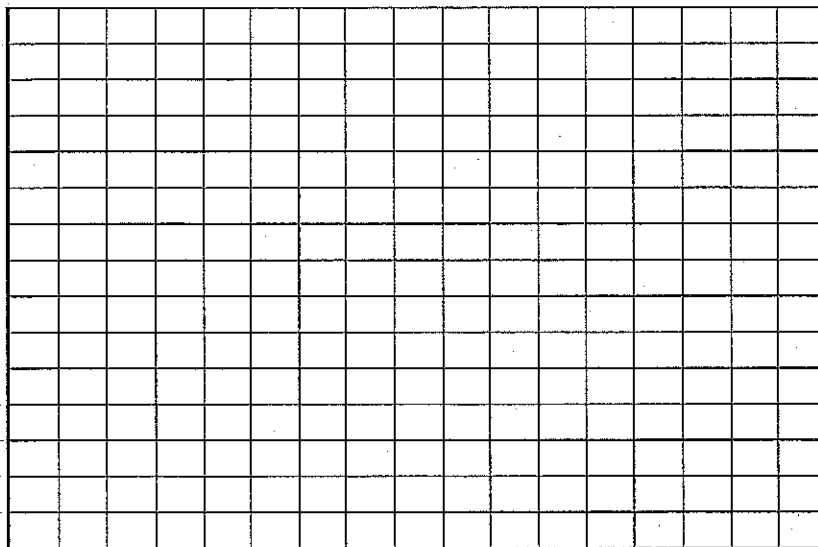


酢酸 VS 水酸化ナトリウム

(2) IT 計測器による pH の測定

| 体積 [mL] | 0 | 1.0 | 2.0 | 3.0 | 4.0 | 5.0 | 6.0 | 7.0 | 8.0 | 9.0 |
|---------|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 塩酸      |   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 酢酸      |   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| シュウ酸    |   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |

(3) 滴定曲線 (グラフ)



【考察】

(1) 酸の種類や濃度の違いにより滴定曲線にはそれぞれどのような特徴や違いが見られるか書きなさい。

(特にシュウ酸は2価の弱酸であり、電離定数は $K_1=5.4 \times 10^{-2}$   $K_2=5.4 \times 10^{-5}$ である。)

(2) 緩衝作用とは何か書きなさい。また、緩衝作用は中和滴定のどのあたりが最も大きいと思われるか理由とともに書きなさい。

(3) 滴定曲線を比較すると、強酸、強塩基の組み合わせで生じる塩の方が緩衝作用が大きいように思われるが、緩衝溶液としてはなぜ弱酸とその塩の混合溶液が一般的に使われるのか書きなさい。

【感想】

年 組 番 名前 ( )

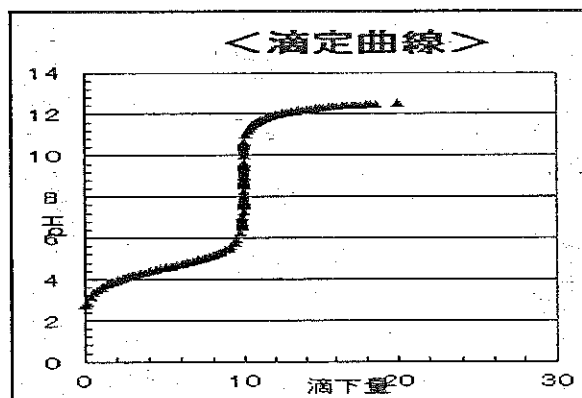
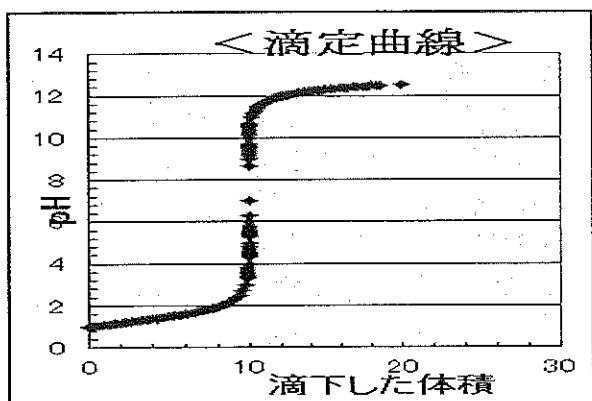
## 解説 実験事例6 滴定曲線の作成（化学：中和反応）

### I 実験材料・機器の入手方法等

IT計測器（理科教材会社）、pHセンサー（理科教材会社）

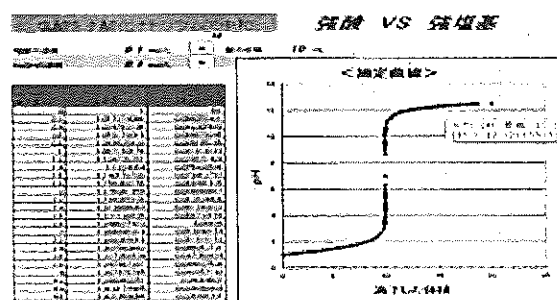
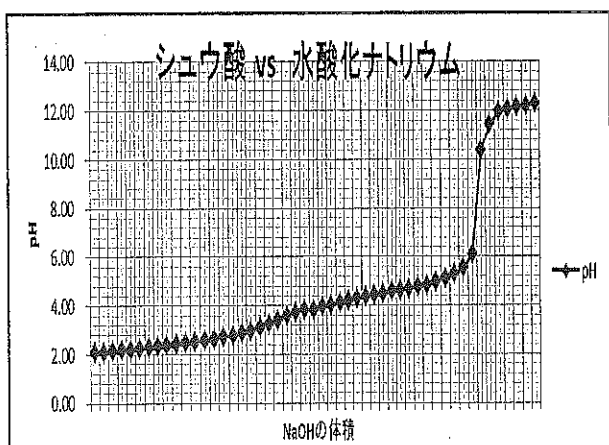
### II 実験操作上のポイント

表計算ソフトの関数とグラフ機能を用いて滴定曲線を作成する。



### III 実験結果のまとめ方等の工夫

- 表計算ソフトのグラフ機能を利用して、あらかじめ強酸 vs 強塩基、弱酸 vs 強塩基の組み合わせの典型的な滴定曲線を作成しておき、実験前に両者の滴定曲線の違いを説明する。特にグラフの立ち上がりポイントやpHが大きく変化する終点とさらに終点に至るまでの緩衝作用が生じている滴定曲線の比較的プラトリーなエリアを強調する。また、中和の終点におけるpHの値から、塩の加水分解についても言及できる。
- 滴定率がちょうど50%のときのpHの値から弱酸の電離定数を求めることができる。その理論的裏付けも重要である。（すなわち  $pK = pH$  の関係が成立している。）



### IV 実験の効果

- 理論と実験結果を比較することにより、滴定曲線全体を総合的に理解することができる。
- 多段階電離やその電離定数についての理解を深めることができる。
- 強酸と弱酸の根本的な違いを種々の体験によって理解できる。

## 実験事例7 中和滴定によるクエン酸(citric acid)の価数の決定

【目的】身の回りの食品に含まれているクエン酸の価数を中和滴定を利用して求める。

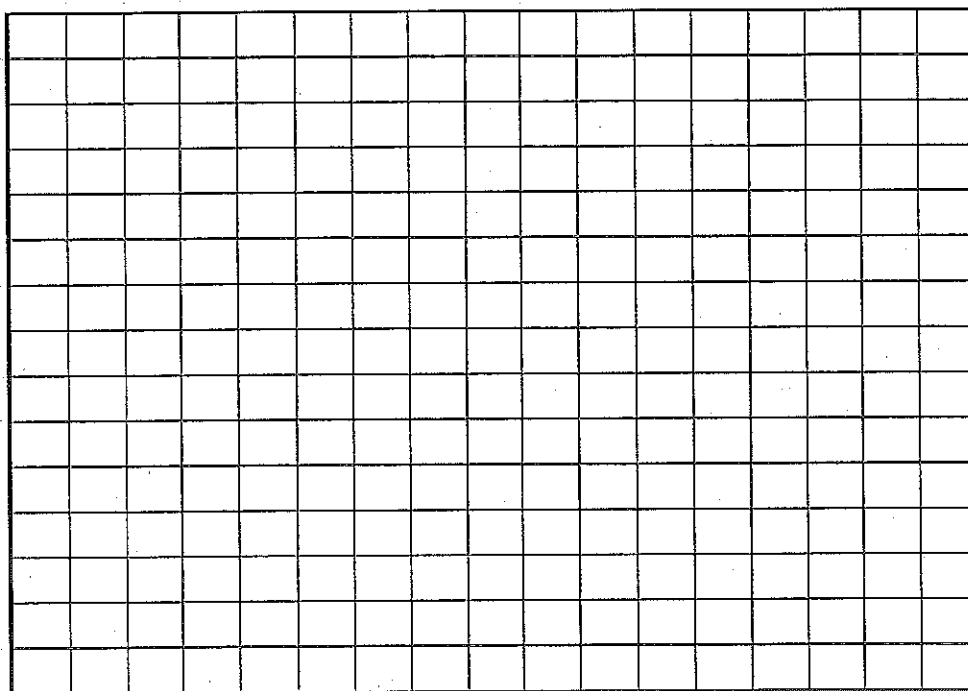
【準備】レモン果汁、メスフラスコ、ホールピペット、ビュレット、酸塩基指示薬、  
I T計測器、pHセンサー、マグネティックスターラー、水酸化ナトリウム水溶液

【操作】(1)市販のレモン果汁をホールピペットを用いて10mLはかりとり、100mLメスフラスコ  
にいれてから水を加えて10倍に希釈する。  
(2)希釈した①のレモン果汁10mLをホールピペットを使って吸い上げ、ビーカーにとる。  
(3)指示薬を数滴入れ、ビュレットから0.1mol/L水酸化ナトリウム水溶液をゆっくり滴下  
する。  
(4)pHセンサーを使って、よく攪拌しながらpHの変化を観察して記録をとる。  
(5)実験データに基づいて滴定曲線を描く。

【結果】

| 滴下した<br>体 積<br>[mL] | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
| pH                  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |

滴定曲線 (グラフ)



【考察】

(1) 中和に要した体積は何mLか求めなさい。

(2) レモン果汁の成分表示から、クエン酸の含有率を計算して、希釈後のレモン果汁の濃度を求めよ。  
ただし、レモン果汁の比重は1、クエン酸の分子量は192とする。

(3) 中和の定量的関係を用いて、クエン酸の価数を求めなさい。

(4) クエン酸の構造式やその特徴を調べてみよう。

(5) クエン酸の電離平衡の各電離定数を調べてみよう。

【感想】

年 組 番 名前 ( )

## 解説 実験事例 7 クエン酸の滴定 (化学: 中和反応)

### I 実験材料の入手方法

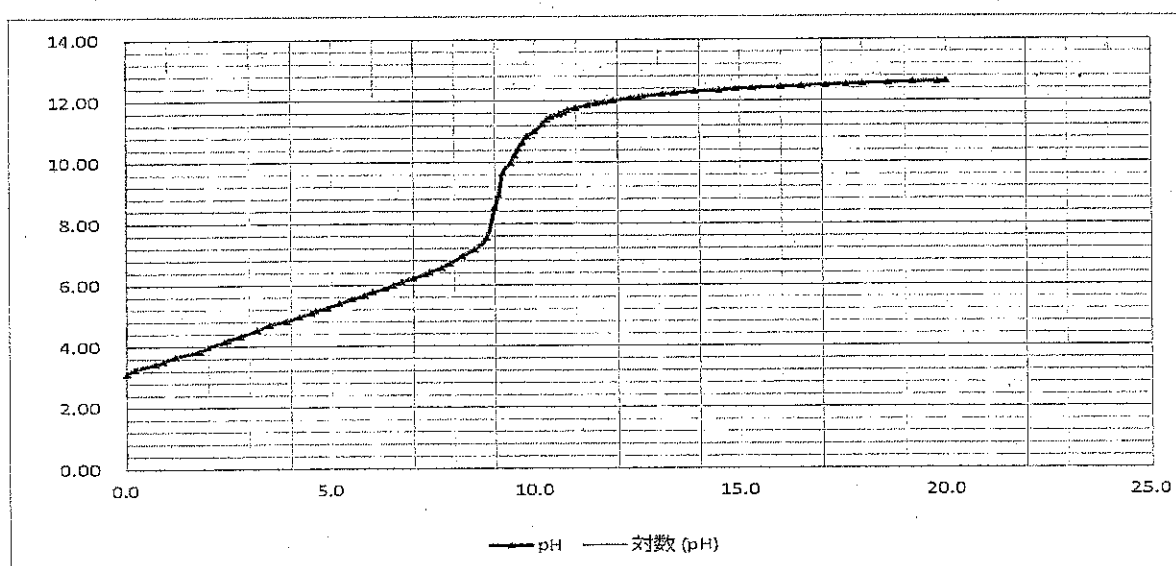
I T 計測器 (理科教材会社)

### II 実験操作上のポイント

- ・市販のレモン果汁はやや濁って見えるが、実験にはそれほど支障はなく、中和の終点も酸塩基指示薬の色の変化によって十分に判定できる。
- ・クエン酸の価数を決定する前に、中和の定量的関係  $acv=bc'v'$  をしっかりと押さえておく必要がある。

### III 実験結果のまとめ方等の工夫

< I T 計測器での測定結果例 >



第3中和点ははっきり読み取れるが、第1中和点と第2中和点はやや判別しにくい。  
中和に要した NaOH 溶液の体積は 9.3mL 程度と推測できる。

### IV 実験の効果

- ・クエン酸の価数である 3 という結果は意外に簡単に算出でき、身近な物質に興味を持たせることができる。
- ・中和反応の定量的関係を再認識でき、その実用的な活用方法を体験できる。

## 実験事例8 電池の仕組みを理解する（マイクロスケール実験）

### 【目的】

ダニエル電池、ボルタ電池、鉛蓄電池の仕組みを実際に製作することで確認する。

### 【仮説】

ダニエル電池やボルタ電池を利用し、金属のイオン化傾向の大きさを電位差で比較することはできるか確かめる。

### 【準備】

ふた付きの3×2セルプレート、ピペット、ビスキングチューブ(5cm程度)

1×3 cm程度の金属板（亜鉛、銅、鉄、ニッケル、マグネシウム、鉛、アルミニウム）

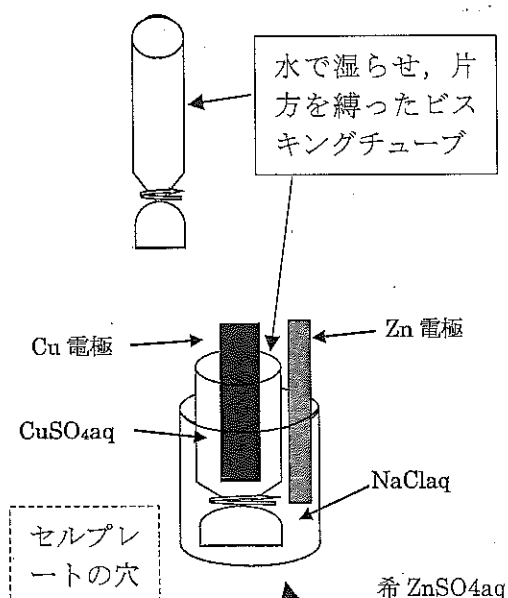
クリップ付きリード線、電圧計、1 V対応 LED、太陽電池用モーター（1 Vで駆動可能なもの）

硫酸亜鉛水溶液、希硫酸、硫酸銅(II)水溶液、硫酸亜鉛水溶液、サンドペーパー、直流電源装置

### 【操作】

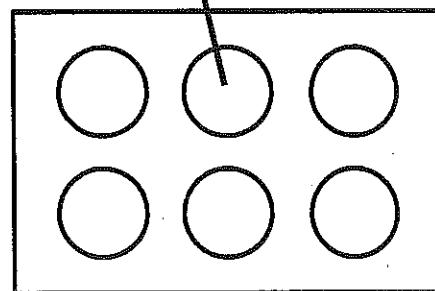
#### 1 ダニエル電池の製作

- (1) ビスキングチューブを水に入れ、やわらかくする。チューブの一端を縛る。そして一端が閉じたチューブの形にする。
- (2) 一つのセルの中にビスキングチューブを入れ、そのなかに  $\text{CuSO}_4\text{aq}$  を入れる。電極は Cu を使う。
- (3) セルの中には  $\text{ZnSO}_4\text{aq}$  を入れる。電極は Zn を使う。
- (4) 電圧計を用いて電位差を測定する。  
LED ランプやモーターの回り方などを観察する。
- (5) 亜鉛電極の代わりに、鉄、ニッケル、マグネシウム、鉛、アルミニウムなどを用い、電圧のそれぞれの場合の電位差を測定する。
- (6) モーターの回転の違いや、LED の点灯状況の違いを比較する。



#### 2 ボルタ電池の製作

- (1) セルの中に、希硫酸を入れ、その中に亜鉛板と銅板を触れ合わないよう浸し、2つの金属板の間の電位差を測定する。
- (2) モーターまたはLEDを接続し、時間の経過とともに回転や、明るさがどのように変化するかを確かめる。接続直後と、一定時間経過後の電位差を比較する。
- (3) 金属の組み合わせを変えて、電位差を測定する。



2×3セルプレート

#### 3 鉛蓄電池の製作

- (1) セルの中に希硫酸を入れ、2枚の鉛版を触れ合わないよう浸す。2枚の電極の間の電位差を測定する。
- (2) 直流電源を2枚の鉛版につなぎ、約3Vで電流を流す。一方の(陽極の)電極の色が褐色になれば通電をやめ、直流電源を取り外す。
- (3) 電圧計で電位差を測定する。また、モーター、LEDを接続し、他の電池と比較する。
- (4) モーター等を接続し、充電時間と放電時間の関係を調べる。

【結果】

1-1 作成したダニエル電池の電位差を測定しなさい。

| 金属の組み合わせ | 電位差 (V) | 金属の組み合わせ | 電位差 (V) |
|----------|---------|----------|---------|
| Zn-Cu    |         | Ni-Cu    |         |
| Al-Cu    |         | Pb-Cu    |         |
| Fe-Cu    |         | Mg-Cu    |         |

1-2 モーターの回転の様子, LED の発光の様子を記録しなさい。

| 金属の組み合わせ | 回転, 発光の様子 | 金属の組み合わせ | 回転, 発光の様子 |
|----------|-----------|----------|-----------|
| Zn-Cu    |           | Ni-Cu    |           |
| Al-Cu    |           | Pb-Cu    |           |
| Fe-Cu    |           | Mg-Cu    |           |

2-1 作成したボルタ電池の電位差を測定しなさい。

| 金属の組み合わせ | 回転, 発光の様子 | 金属の組み合わせ | 回転, 発光の様子 |
|----------|-----------|----------|-----------|
| Zn-Cu    |           | Ni-Cu    |           |
| Al-Cu    |           | Pb-Cu    |           |
| Fe-Cu    |           | Mg-Cu    |           |

2-2 ボルタ電池 (Zn-Cu) の電位差の時間経過による変化 (電圧は何秒後に低下したか)

| 時間           | 1 秒 | 2 秒 | 3 秒 | 4 秒 | 5 秒 | 6 秒 | 7 秒 |
|--------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 電 位 差<br>[V] |     |     |     |     |     |     |     |

3-1 鉛蓄電池の電位差

3-2 充電時間と放電時間の関係

| 充電時間 | 30 秒 | 1 分 | 1 分 30 秒 | 2 分 | 2 分 30 秒 | 3 分 | 3 分 30 秒 |
|------|------|-----|----------|-----|----------|-----|----------|
| 放電時間 |      |     |          |     |          |     |          |

【考察】

(1) ダニエル電池またはボルタ電池の電位差の差をもとにイオン化列を作りなさい。

(2) 違っているところがあればその理由を考えなさい。

(3) ボルタ電池は, なぜすぐにモーターが回らなくなったり, 電位差が低下したりするのか, その理由を考察しなさい。

(4) 鉛蓄電池の放電と充電の反応式を答えなさい。

【感想】

年 組 番 名前 ( )

## 解説 実験事例 8 電池の仕組みを理解する (化学：電池)

### I 準備上のポイント

○マイクロスケール実験用のセルプレート 4×3 穴または 3×2 穴を使うと準備が簡単である。

(教材カタログにも記載されている)

○ビスキングチューブは透析用のものでできるだけ穴が小さいものがよい。また、太さも直径 2cm になるぐらいのものが使いやすい。教材カタログでダニエル電池用として掲載されている場合もある。

○ダニエル電池の本来の電解液は、硫酸銅(II)水溶液と、硫酸亜鉛水溶液であるが、薬品の価格、廃液の処理を少しでも簡素化するには硫酸亜鉛水溶液のかわりに塩化ナトリウム水溶液や塩化カリウム水溶液を使用するとよい。

○電極板は電池電気分解用に数種類がセットになったものが市販されている。マグネシウムはリボン状のもので実験が可能である。

○電圧計は 3 V のレンジで測定できるものがよい。

○LED は定圧回路を内蔵し、1 V で点灯するものがある。

○モーターは太陽電池や燃料電池の実験用に 1 V ~ 12 V ぐらいの範囲で駆動できるものが市販されている。モーターの回転速度で比較する方法もある。

○直流電源装置がない場合は乾電池で 3 V にし、充電することもできる。

### II 実験操作上のポイント

○銅(II)イオンや亜鉛イオンを含む溶液は回収して、業者に委託するなどして処理をする。

○希硫酸を扱う場合、保護眼鏡やゴム手袋などを使用する。

○実験前に電極板はよく磨いておく。

○ボルタ電池では電極同士が直接触れ合わないよう、ろ紙などで仕切るとよい。

○電極の表面の状態により電位差が異なる。特にアルミニウムは酸化被膜を形成しやすいので、標準電極電位の値からかなり離れた数値になる。イオン化列を作る場合は、このような条件を考慮する必要がある。

○ビスキングチューブは純水に 1 分か 2 分浸けておくと柔らかくなる。輪ゴムで一端を縛るか、そのままビスキングチューブを結んでもよい。袋状にしたのち、硫酸銅(II)水溶液を入れ、その中に銅板を入れる。銅板の角が鋭くとがっている場合、チューブを破らないように注意する。

○セルの 1 つに塩化ナトリウム水溶液を半分程度入れ、その中に上記のビスキングチューブを入れる。塩化ナトリウム水溶液の側に亜鉛板を入れ、電位差測定等を行う。亜鉛板の代わりに他の金属を入れ、電位差を測定する。

○鉛板を電気分解すると、陽極側の鉛が酸化され、酸化鉛(II)に変化する。電極板が褐色になることで確認できる。陰極からは水素が発生する。

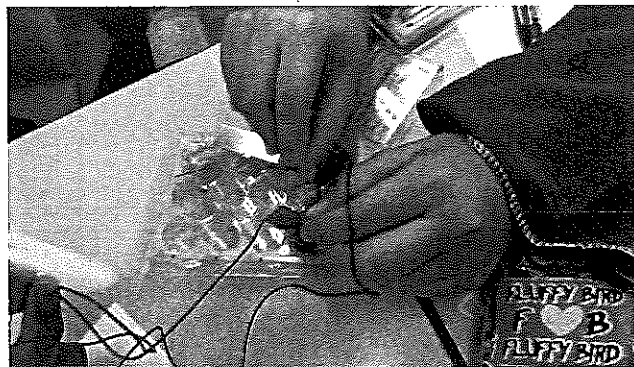
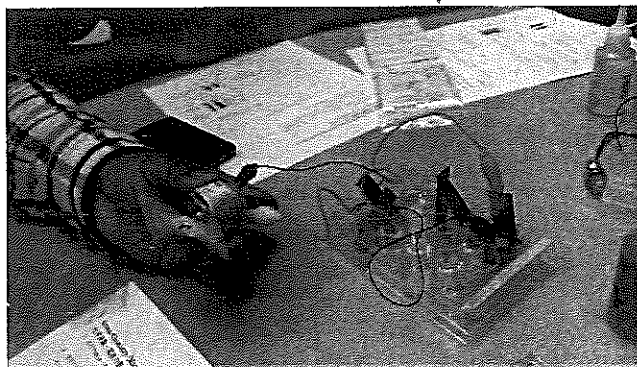
○鉛蓄電池を放電すると、鉛と酸化鉛(II)がそれぞれ白色の硫酸鉛(II)に変わるので、色の変化で放電の様子を確かめることができる。

○LED は一定の電圧を下回ると点灯しなくなるので、低電圧で点灯する電球でもよい。

### Ⅲ 実験結果のまとめ方等の工夫

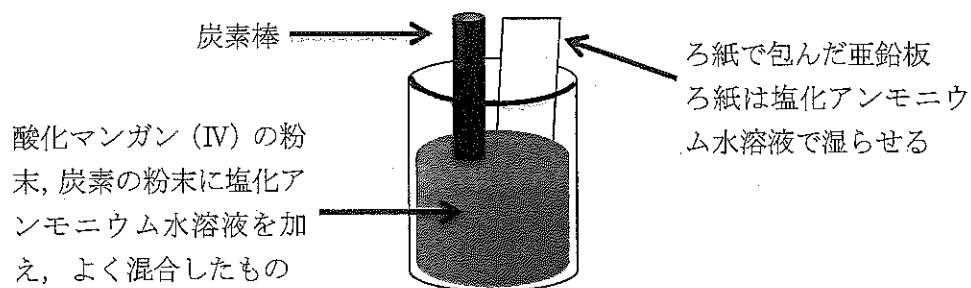
(例)

- 金属の組み合わせと、電位差の関係をグラフで表し、イオン化列を作成する。
- 金属の種類とイオン化傾向、標準電極電位との比較などを行う。
- 化学反応により電気を作り出すことができることがわかるように、電極の色の変化や発生する気体のようすなどをまとめさせる。
- モーターの回転数は10秒あたりなどでカウントし比較する。
- 電子メロディーやLEDは動作する電圧、電流の下限があるため、電極の組み合わせによっては動作しない。このように観察される現象を理論的に説明することで理解を深める。
- デジタルカメラ、カラープリンターを用いて、実際の色調を記録させると実験結果をまとめやすい。



### Ⅳ 実験の効果

- 身近で使用している電池の原理を理解させるのに適している。
- イオン化列、標準電極電位と金属の関係が理解できる。
- 鉛蓄電池では、化学反応による充電、放電が物質の色の変化で観察できる。
- 亜鉛板、ろ紙、酸化マンガン(Ⅳ)、炭素粉末、炭素棒、塩化アンモニウム水溶液で乾電池を作ることができる。



## 実験事例 9 化学的酸素消費量 (COD) の測定

【目的】 化学的酸素消費量 (COD: Chemical Oxygen Demand) は、有機物による水質汚濁を示す指標のひとつで、水質汚濁防止法の排水基準項目としてあげられている。ここでは、JIS K 1020 工場排水試験法 100℃における過マンガン酸カリウムによる酸素消費量を測定する。

### 【要点】

#### (1) 測定の原理

硫酸酸性にした試料水中の有機物を一定量の過マンガン酸カリウムで酸化し、残存する過マンガン酸カリウムを一定過剰量のシュウ酸ナトリウムで還元させたのち、残存しているシュウ酸ナトリウムを過マンガン酸カリウム溶液で滴定する。この滴定操作を逆滴定という。この操作により有機物の酸化で消費された過マンガン酸カリウムの量を求め、酸化された有機物の量を、消費された過マンガン酸カリウムの量に相当する酸素量 [mg/L] としてあらわした値が COD である。

#### (2) 測定上の注意

一般に試料水中の有機物は、微生物によって時間とともに分解される。したがって分析は、試料採取後すぐに行うのがよいが、やむを得ず保存する場合は、0～5℃の冷暗所で保存する。

### 【準備】

器具：コニカルビーカー (300mL)、ビーカー (200, 500mL)、水浴一式  
メスフラスコ (250mL)、安全ピペッター、ホールピペット (10, 50mL)  
こまごめピペット (10mL)、褐色ビュレット (25mL)、メスシリンダー (100mL)  
薬品：0.005mol/L 過マンガン酸カリウム標準溶液、6mol/L 硫酸  
0.0125mol/L シュウ酸ナトリウム標準溶液、硝酸銀溶液 (200g/L)

### 【操作】

- (1) 試料を 50mL 正確にはかり取り、コニカルビーカーに移し、純水を加えて全量を 100mL とする。
- (2) 試料同様ブランク試料として純粋 100mL をコニカルビーカーに入れる。
- (3) (1) (2) に硝酸銀水溶液を 5mL 加える。
- (4) (3) に 6mol/L の硫酸を 10mL 加える。
- (5) 激しく攪拌し、5 分間放置する。
- (6) 0.005mol/L の過マンガン酸カリウムをホールピペットで 10mL はかり取り加える。
- (7) 湯浴に入れ、30 分間沸騰させる。
- (8) 0.0125mol/L のシュウ酸ナトリウムをホールピペットで 10mL はかり取り加える。
- (9) 0.005mol/L の過マンガン酸カリウムで 3 回滴定す。

【結果】

試料水（3回平均）・・・

空実験（3回平均）・・・

【考察】

（1）操作（3）で硝酸銀水溶液を加えないと、正確な値を測定できない理由を述べなさい。

（2）操作（6）で酸性溶液中では過マンガン酸カリウム水溶液はどのように反応するか。

（3）操作（8）でシュウ酸ナトリウム水溶液はどのように反応するか。

（4）CODを求めなさい。

【感想】

年 組 番 名前（ ）

## 解説 実験事例 9 化学的酸素消費量(COD)の測定 (化学：酸化還元)

### I 準備上のポイント

COD (Chemical Oxygen Demand : 化学的酸素消費量) とは、試料水 1L に含まれる有機物等を酸化するのに必要な酸素の質量[mg] のことで、単位は[mg/L] である。

COD は、有機物による水質汚濁の程度を示す指標である。しかし、測定値には亜硝酸塩、亜硫酸塩、硫化物、鉄(II) のような還元性物質の量も含んでしまう。COD の測定は、加熱の温度や時間などの反条件によって値が異なってくるので、一定の条件のもとで行うことが重要である。今回は、JIS K 1020 工場排水試験法 100℃における過マンガン酸カリウムによる酸素消費量を基に実験を行う。

### II 実験操作上のポイント

有機物は非常に酸化しにくく、酸素も常温では反応性が低い。したがって、水中の有機物を酸素で直接酸化するのは効率が悪い。そこで、反応性の高い酸化剤の過マンガン酸カリウムを使って水中の有機物を酸化し、消費された過マンガン酸カリウムの量を酸素に換算して COD を求める。

#### ・ 過マンガン酸カリウム水溶液を過剰に加え加熱する理由

有機物は還元剤として反応するが、反応が非常に遅く、酸化還元滴定には不向きである。そこで、過マンガン酸カリウム水溶液を過剰に加え加熱し、完全に有機物を酸化したのち、余った過マンガン酸カリウムをシュウ酸ナトリウム水溶液で滴定し、有機物を酸化するために消費された過マンガン酸カリウムを求める。

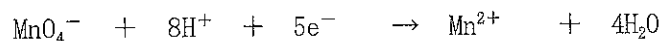
#### ・ シュウ酸ナトリウム水溶液で過マンガン酸カリウム水溶液を直接滴定しない理由

赤紫色から透明に変化するよりも、透明から赤紫色になる瞬間をとらえる方が誤差が少ないからである。

### III 実験結果のまとめ方等の工夫

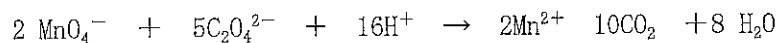
#### 操作(6) (7) の反応

試料水中の有機物が酸化され、 $\text{MnO}_4^-$  が還元される。

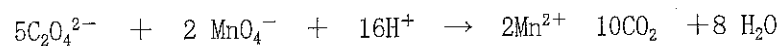


#### 操作(8) の反応

未反応の  $\text{MnO}_4^-$  が還元される。



#### 操作(9) の反応



それぞれの操作における酸化剤・還元剤の量の関係をグラフで表す。

試料水中の有機物 ○○○○○○○○○○

一定量の  $\text{KMnO}_4$



還元された  $\text{KMnO}_4$

残存している  $\text{KMnO}_4$

一定量の  $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$



残存している  $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$

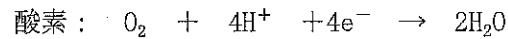
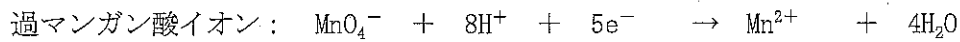
酸化された  $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$

$\text{KMnO}_4$  の滴定値



したがって、試料水中の有機物 =  $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$  残存している =  $\text{KMnO}_4$  の滴定量

1mol の過マンガン酸イオンが酸素何 mol に相当するか



したがって、1mol の過マンガン酸イオンは 1.25mol の酸素に相当する。

また、COD は次の式から求めることができる。

$$\text{COD} = (a - b) \times f \times \frac{1000}{V} \times 0.2 \quad [\text{mg/L}]$$

a : 滴定に要した 5mmol/L  $\text{KMnO}_4$  溶液の体積 [mL]

b : 空試験の滴定に要した 5mmol/L  $\text{KMnO}_4$  溶液の体積 [mL]

f : 5mmol/L  $\text{KMnO}_4$  溶液のファクター

V : 試料水の体積 [mL]

0.2 : 5mmol/L  $\text{KMnO}_4$  溶液 1mL の酸素相当量 [mg]

## 実験事例 1 体細胞分裂の観察

### 【目的】

細胞は体細胞分裂によって増殖する。体細胞分裂では、あらかじめ複製されたDNAが2つの細胞に分配される。間期や分裂期のそれぞれの細胞の特徴を観察し、染色体が正確に分配されるしくみを理解する。また、体細胞分裂を観察するための植物細胞の根端分裂組織のプレパレートを作成し、プレパレートの作り方を学ぶ。

### 【準備】

顕微鏡、スライドガラス、カバーガラス、時計皿、ピンセット、柄付き針、先端を削った割りばし、ろ紙、ビーカー

酢酸ダーリア、1mol/L 塩酸、50%グリセリン水溶液

※これらの試薬は点眼瓶に入れておく

ネギの発根種子（事前に固定したものでもよい）

操作手順シート（実験の操作手順を写真で示したもの）

### 【方法】

#### 1 根端分裂組織のプレパレートの作成

- (1) 時計皿に塩酸を3滴、酢酸ダーリアを7滴入れ、時計皿を静かに揺すって液を混ぜ、解離・染色液をつくる。
- (2) 発根した種子をろ紙にとり、水分を取り除き、解離・染色液に約10分浸ける。
- (3) ビーカーに水を入れておき、解離・染色液を水で洗う。
- (4) スライドガラスにのせ、根端から2mm程度を切り取って残し、他は捨てる。
- (5) グリセリン水溶液を1～2滴のせてカバーガラスをかける。
- (6) カバーガラスの一辺を押さえカバーガラスが動かないようにした上で、先を削った割りばしで根端の部分をつたき、細胞をできるだけ広く散らす。円を描くようにたたくとよい。
- (7) スライドガラス全体をろ紙ではさみ、余分なグリセリン水溶液を吸い取り、カバーガラスの真上から親指の腹で強く押しつぶし、細胞を平面状に広げる。

#### 2 体細胞分裂の観察

- (1) 間期や分裂期の細胞を探し、核や染色体の形や位置に注目しながらスケッチしなさい。分裂期は前期→中期→後期→終期の順に進む。これら4つの時期の細胞を探し、互いの時期の特徴が分かるようにスケッチすること。
- (2) 細胞周期の各時期（間期、前期、中期、後期、終期）の細胞の数を数える。なお、間期の細胞を数える場合、分裂組織にある細胞だけを数える。維管束の組織などに分化した細胞は既に細胞周期から外れており、分裂しなくなっている。このような分化した細胞を数えないように注意すること。それぞれの細胞は細胞の形に注目すると見分けることができる。

分裂組織の細胞：小さくて丸い細胞であることが多い。細胞壁が薄く目立たない。

分化した細胞：形が細長い。細長い細胞が縦に並んでいる。

## 【結果】

### (1) 分裂組織の細胞

観察した顕微鏡の倍率 (                      倍)

間期                      前期                      中期                      後期                      終期

### (2) 分裂組織の各時期の細胞の数

| 細胞の数     | 間期 | 前期 | 中期 | 後期 | 終期 | 分裂期全体 | 細胞周期全体 |
|----------|----|----|----|----|----|-------|--------|
| 各自の観察    |    |    |    |    |    |       |        |
| クラス全体の合計 |    |    |    |    |    |       |        |

## 【考察】

### 1 体細胞分裂

(1) 間期に核の中で起きていることは何か。

(2) 染色体が細胞の両極へ移動するのはどの時期か。

(3) (2) に関連して、体細胞分裂では染色体はどのようにして娘細胞に分配されるか。

### 2 細胞周期

(4) 細胞周期の各時期にかかる時間の割合は、観察した全細胞数に対するその時期の細胞数の割合に比例するものとする。これより、細胞周期における間期、分裂期（前期、中期、後期、終期）に要する時間の割合を推定してみよう。

|            | 間期 | 前期 | 中期 | 後期 | 終期 | 分裂期全体 | 細胞周期全体 |
|------------|----|----|----|----|----|-------|--------|
| 各時期の割合 [%] |    |    |    |    |    |       | 100%   |

(5) ネギの根端分裂組織の細胞周期の長さを 26 時間とすると、分裂期に要する時間はいくらか。

## 【感想】

年    組    番    名前 (                      )

## 解説 実験事例 1 体細胞分裂の観察（生物：体細胞分裂）

### I 準備上のポイント

#### ○ネギの発芽種子の準備

ネギの種子を暗所にて発芽させておく。播種して約3日前後に実験に適当な長さに成長する。

#### ☆ネギの種子の発芽のさせ方

ネギの種子は暗発芽種子であり、光があると発芽が抑制されてしまう。ホームセンターなどで購入した種子を吸水させたキッチンペーパーかティッシュペーパー上にまき、暗所に置く。1学年分など大量に試料を得たい場合は、大きなタッパーやバットを利用する。

固定するなら、カルノア液（酢酸：アルコール=1:3の混合液）に浸して冷蔵庫保存で1年間はもつ。タッパーのフタ（ラップも可）は少しずらして置き、蒸れないようにする。また、乾燥していないか注意し、乾き気味なら保水する。2.5cm以上では伸び過ぎで、分裂頻度が低く観察には不向きになる。

#### ○0.5%酢酸ダーリア液と代替色素

酢酸ダーリアはダーリアバイオレットを酢酸に溶かしたもので、酢酸オルセインに比べ短時間でよく染まる。教科書では酢酸オルセインが書かれているが、授業時間内できちんと観察させたいのであれば酢酸ダーリアを使うとよい。ただ、ダーリアバイオレットは既に製造中止になっている。買い置きがあればそれを利用すればよいが、ない場合は代替試薬を利用する。

ベーシックバイオレット（試薬製造販売メーカー）

メチルバイオレットB（試薬製造販売メーカー）

メチルバイオレット2B（試薬製造メーカー）

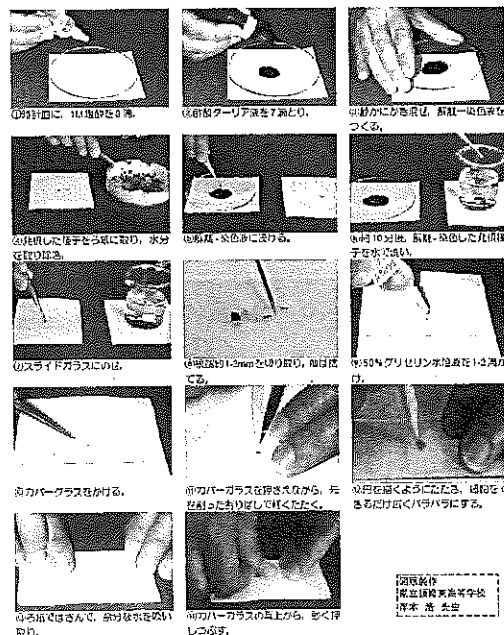
これらの試薬のいずれかを酢酸に0.5%濃度で溶かしたものを酢酸バイオレットと呼び、酢酸ダーリアと同様の効果があることが確かめられている（米澤、2009）。

#### ○実験手順シート（下図）

この実験手順シートは実験の手順をカラー写真入りで簡潔に示したものである（岸本）。これがあれば、教員が細かに手順を説明しなくても生徒たちがシートを読みながら実験ができる。

体細胞分裂の観察（押しつぶし法、染色液：酢酸ダーリア）

材料：ネギなどの種子を発芽させたもの  
試薬：酢酸ダーリア、1M酢酸、50%グリセリン溶液、水  
器具：スライドガラス、ピンセット、ピーパー、スライドガラス、押しつぶし、カバーガラス、糸を刺した割りばし



この実験手順シートは、生物部会のブログよりダウンロードできるので、ぜひ電子ファイルとしてダウンロードして手元に用意しておきたい。

#### ○実験手順シートのダウンロード先

兵庫県高等学校教育研究会生物部会  
ブログ

<http://hyogo-bio.seesaa.net/>

また、カラー印刷した手順シートはラミネート加工しておけば、毎年使うことができ、重宝する。

## II 実験操作上のポイント

### ○固定と解離と染色を同時に行うことができる

染色液と塩酸の混合液をつくり、根端を約 10 分浸す。待ち時間で実験手順に関する説明ができる。教科書では、固定、解離、染色の順に別々に行う手順が掲載されていることが多い。この実験の方法は簡便法であることに触れておく。

### ○点眼ビンで試薬を用意する

点眼ビンは小さいので机上で邪魔にならない。転倒してもこぼれない。誰でもすぐに滴下できる。体積は滴の数で指示できる。

### ○封入にグリセリン水溶液を使う

プレパラートが乾燥しにくく、数日間はおもつ。しかし、1 時間で完結する実験計画であれば、通常は水で代用してかまわない。

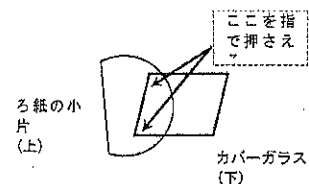
### ○伸びすぎた根ではあまり分裂していないことが多い。

プレパラート作成に用いる根端は長さが 1~1.5cm 程度のものにする。これくらいの長さの根端ではよく分裂しており、観察しやすい。

### ○カバーガラスをたたく操作について

この操作を省略して押しつぶしに進んでも、結果的に分裂期の細胞が観察できることもあるだろうが、棒でたたくと細胞が分散して平面状になりやすいので、押しつぶしの効果が大い。

なお、ろ紙の小片をカバーガラスの一辺にかぶせ、指先でカバーガラスの角を 2 か所押えてたたくと、カバーガラスがずれるのを防ぐことができ、細胞の形が損なわれない（図参照）。



## III 実験結果のまとめ方等の工夫

### ○細胞周期の各時期の集計結果には PC の活用が便利

各班ごとに取りまとめた各時期の細胞数は、あらかじめ作成した集計表（表計算ソフトなどで作成）に入力させる。クラス全体の合計とグラフ表示ができるようにしておけば、授業時間内にクラス全体の結果としてデータを共有できる。

### ○細胞分裂の頻度について

根の成長段階や固定時の温度などによって異なる。観察した細胞の中に根の組織に分化した細胞が混ざっていると、間期として数えられるので、分裂期の細胞の割合は実際より小さくなる。

## IV 実験の効果

### ○生徒の関心・意欲・態度の変化

- ・実験手順シートにある説明と写真が分かりやすいので、班の中で確認や相談しながら生徒主体で実験を進めることができ、意欲的に取り組むことができる。

### ○生徒の知識・理解の変化

- ・この実験方法では多くの生徒が分裂期の細胞を観察することができるので、染色体の分配の仕方や核分裂の順序などに対する理解を深めることができる。

### ○実験をした生徒の感想

- ・なかなか上手くできない観察がこんなに簡単にできて、嬉しかった。
- ・染色液の違いでこんなに見やすい細胞が観察できることが分かった。
- ・室温で解離ができるのに驚いた。

## 参考文献

- ・半本秀博 (2000). 体細胞分裂の観察を確実にこなう簡易染色法と材料の条件. 遺伝, 54 (6) : 50-54
- ・米澤義彦ら (2006). 中学校における細胞分裂観察法の改良. 生物教育, 46 (4) : 199-205
- ・米澤義彦 (2009). 体細胞分裂を観察するための色素, ダーリアバイオレットの代替品について. 生物教育, 50 (1) : 15-18

## 実験事例2 だ腺染色体の観察

### 【目的】

双翅類（ユスリカ、ショウジョウバエなど）の幼虫のだ腺染色体を観察し、その特徴であるしま模様や大きさ、パフなどを調べる。

### 【準備】

顕微鏡，スライドガラス，カバーガラス，ろ紙，ガスバーナー，マッチ，ピンセット，柄付針  
酢酸オルセイン（酢酸カーミン）  
ユスリカの幼虫

### 【方法】

- (1) ユスリカの幼虫を1匹スライドガラスに取り，頭部（小さく黒っぽい），尾部（かぎ状）を見分ける。
- (2) ピンセットで胴体をはさみ，もう1本の先が細く尖ったピンセットで頭部をつかむ。または，柄付針で頭部を押さえる。
- (3) ピンセットでつまんだ（または，柄付針で押さえた）頭部の先端を静かにひっぱり，内臓を出す。
- (4) 消化管の両側に，一対の透明で約1mm程の大きさの唾液腺がくっついている。
- (5) 唾腺だけをスライドガラス上に残し，周りに付着している乳白色不透明の脂肪体，有色の内臓は取り除く（ピンセット，柄付針でより分け，ろ紙でふき取る）。
- (6) 唾腺に酢酸オルセインを1～2滴かけて5～10分程放置しておく（染色状況が悪いと判断できるときには，ガスバーナーで酢酸オルセインが蒸発しない程度にあたためる）。
- (7) カバーガラスをかけ，ろ紙を置き，親指の腹で押しつぶす。しみ出した余分な染色液は，ろ紙でふき取っておく。
- (8) 完成したプレパラートを検鏡する。まず低倍率（70～100倍）で，唾腺染色体が，十分に染色され，なおかつ良く広がっている像を探し，高倍率（400～600倍）で観察をする。
- (9) 唾腺染色体の数，形，しま模様注目し，スケッチを行う。その際，可能であれば，マイクロメーターで長さ，太さなども計ってみる。

だ腺染色体のスケッチ 倍率 (      ) 倍

【考察】

(1) だ腺染色体のしま模様は何に対応していると考えられるか。

(2) だ腺染色体のところどころに見られるパフ（膨らんだ部分）では、何が起きているか。

【感想】

年 組 番 名前 (      )

## 解説 実験事例2 だ腺染色体の観察（生物：遺伝子）

### I 準備上のポイント

#### ○ユスリカの幼虫（アカムシ）

- ・教材業者から購入する。届いたら冷蔵庫に入れて保存する。
- ・弱って死んだアカムシが混ざっていると、他のアカムシも早く痛んでしまう。できれば、アカムシが届いたら一度包みを開き、弱ったアカムシや死んでいるアカムシをピンセットでつまんで除いておく。
- ・冷蔵庫内は乾燥しやすい。ビニル袋に入れるなどして適度な湿度が保てるようにしておく。

### II 実験操作上のポイント

#### ○だ腺の見つけ方

- ・だ腺は透明だが、内臓にも同様に透明な部分があり、見極めが難しいと感じる生徒が多い。次の点に気をつけてよく観察すると、思いの外、だ腺を見つけやすくなる。

##### □だ腺の位置

だ腺は腹部第2体節あたりにある。頭部に続いて細長い消化管がでてくるが、だ腺は他の内臓が出るよりも先に出てくる。

##### □だ腺の形

ハート形もしくはYの字形をしている器官を探すよう指示するとよい。

##### □だ腺の色

透明ではあるが、表面が光っているようにみえる。蛍光灯の光に透かすと光って見える。また、黒い紙や黒いビニル袋などを下に敷くと、だ腺は透明で見づらくなるが、腸は白っぽく見えるので区別がしやすくなる。

- ・頭だけがちぎれてしまう場合、だ腺は腹部の方にまだ残っているので、内容物を絞りだせばだ腺が見つかる場合もある。
- ・スライドガラス上の作業に手間取っていると乾燥していく。乾燥するとだ腺は見つけにくくなってしまうので、もう1匹を最初からやる方がよい。

#### ○酢酸オルセインによる染色

- ・染色時間が短いと、せっかくだ腺が取れていても肝心の染色体が観察できない。10分程度の染色時間を取りたい。

#### ○ビデオや書画カメラの活用

- ・だ腺の取り出しを事前にビデオで撮影した動画を用意しておくといよい。あるいは、書画カメラで手元を投影し、実際に教員が演示してもよい。

#### ○教師用顕微鏡像の投影

- ・よくできたプレパラートの映像を液晶テレビやプロジェクターなどに投影し、生徒に見えるようにするとよい。

### III 実験結果のまとめ方等の工夫

#### ○だ腺のスケッチ

- ・横しま模様の様子をよく観察し、スケッチするよう指導する。パフが観察できる場合は、その部分の拡大スケッチもしてみるよう指示する。

### IV 実験の効果

- だ腺染色体の観察方法に関する理解が深まる他、染色体と遺伝子の関係を理解しやすくなる。

### 実験事例3 相同染色体を探せ！（ヒト染色体の核型分析）

#### 【目的】

体細胞には同じ形や大きさの相同染色体がある。ヒトの体細胞には 46 本の染色体が含まれる。46 本の中期染色体のうち、相同染色体の関係にあるものどうしを見つけ、対をつくることにより、相同染色体に対する理解を深める。

#### 【準備】

はさみ、のり、ピンセット（必要に応じて）

ヒト体細胞中期染色体の写真\*（性別は不明とする）

\*は「遺伝 57 巻 3 号」より許可を得て転載

#### 【操作】

##### 1 染色体の切り抜き

- ・染色体を 1 つ 1 つハサミで切りぬく。染色体の輪郭そのものを切り抜くのではなく、余白を少しつけて切り抜くと、その後の作業の時に扱いやすい。

##### 2 相同染色体のペアリング

- (1) 切り抜いた染色体は、おおよそ大きさの順になるように並べておく。

染色体はピンセットを使って扱ってもよい。

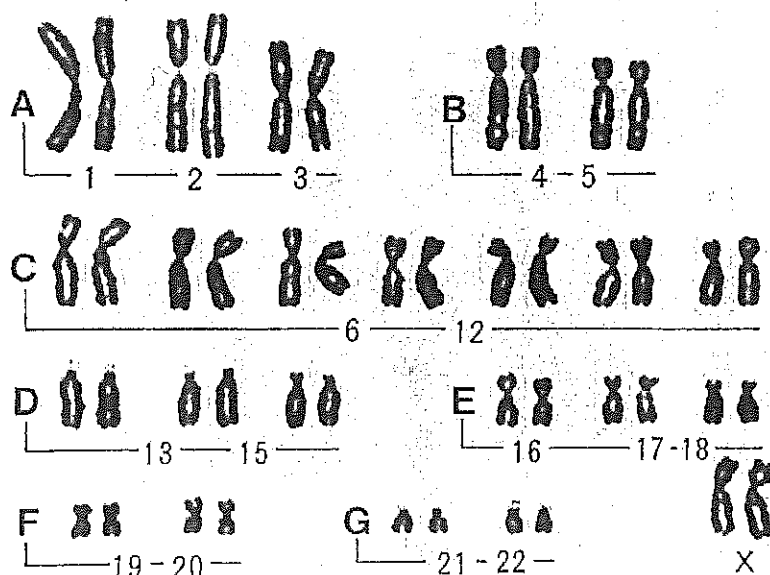
- (2) 染色体には動原体（くびれている部分）がある。大きさが同じでも動原体の位置が違えば、それは相同染色体ではない。動原体の位置がどこであるかに注目しながら、相同染色体の対を決めていく。

- (3) 核型見本\*と染色体の特徴を参考にして、A 群～G 群の 7 つの群に分類する。

- (ア) まず A 群（1～3 番、3 対）と E 群（16～18 番、3 対）を特定する。

☆A 群 大型。1 番と 3 番の動原体はほぼ中央にあるが、2 番の動原体は中央から少し端に片寄った位置にある。

☆E 群 やや小型。17 番と 18 番の動原体は中央から少し端に片寄った位置にあるが、18 番の方がより端に片寄っている。



ヒト核型見本  
(2n=46、女性)

(イ) B群 (4・5番)、C群 (6～12番)、D群 (13～15番)、F群 (19・20番)、G群 (21・22番)、性染色体のそれぞれに分類し、似た形の染色体が対になるように並べる。

それぞれの群では大きい順に並べる (染色体番号を正確に識別することはできない)。

性染色体の組み合わせから性別を判定する。

☆B群 大型で、動原体は中央から少し端に片寄った位置にある。

☆C群・D群 D群の動原体は染色体の端に片寄った位置にある点でC群の染色体と区別できる。

☆F群・G群 F群の動原体はほぼ中央にあるが、G群では端に片寄っている。

☆X染色体 C群の中では大きい方で、動原体は中央からややずれた位置にある。

☆Y染色体 F群の染色体とG群の染色体の間の大きさで、動原体は端に片寄る。

(4) 相同染色体の対を4 結果の欄に貼りつける。

### 【結果】

| ヒト体細胞 中期染色体の核型分析 |  |    |     |    |  |    |  |      |  |
|------------------|--|----|-----|----|--|----|--|------|--|
| A 群              |  |    | B 群 |    |  |    |  |      |  |
| 1                |  | 2  |     | 3  |  | 4  |  | 5    |  |
| C 群              |  |    |     |    |  |    |  |      |  |
|                  |  |    |     | 6  |  | ～  |  | 12   |  |
| D 群              |  |    | E 群 |    |  |    |  |      |  |
| 13               |  | ～  |     | 15 |  | 16 |  | ～ 18 |  |
| F 群              |  |    | G 群 |    |  |    |  |      |  |
| 19               |  | 20 |     | 21 |  | 22 |  | X Y  |  |

### 【感想】

( ) 年 ( ) 組 ( ) 番 名前 ( )

## 解説 実験事例3 相同染色体を探せ！（生物：ヒト染色体の核型分析）

（注）この実験で使用する染色体の写真は「クイズ：核型分析に挑戦！」（池内達郎、遺伝 57 巻 3 号）より許可を得て転載したものである。

### I 準備上のポイント

- （1）準備 はさみ、のりは持参させる。または、実習用として購入しておいてもよい。のりづけするときの台紙の紙があると机が汚れなくてすむし、紙くずを包んで丸めて捨てることもできる。

ピンセットはなくても生徒は器用に貼りつけしていることが多い。必要な生徒があれば貸す程度でよい。

- （2）材料 ・ヒト体細胞中期染色体の写真

人数分を印刷しておく。更紙より上質紙の方が扱いや切り貼りがしやすい。

### II 実験操作上のポイント

- （1）染色体の切り抜き

- ・適当な余白をつけて切り抜くよう指示する。
- ・切り抜くのに時間をかけてしまうと、そのあとの相同染色体の対を探すなどの作業に時間がかけられなくなる。てきぱきと素早く切り抜くことができるよう机間巡視する。

- （2）相同染色体のペアリング

- ・バラバラになった状態の染色体の中からいきなり相同染色体を探す生徒もいるが、この方法は結局時間が余計にかかり、また、性染色体の判定がおろそかになりがちである。実験プリントにあるように、まず、大きさの順に染色体を一行に並べるのがよい。

- ・染色体の形態には大きさだけでなく形（動原体の位置の違い）もある。

染色体の中央に動原体がある → 中部動原体型の染色体

染色体の中央より少し端に寄った位置に動原体がある → 次中部動原体型の染色体

染色体の端に片寄った位置に動原体がある → 端部動原体型の染色体

- ・相同染色体の対が正しいかどうか迷う場合は、とりあえずの対をつくっておき、同様に正しいかどうか迷っている対との間で染色体の入れ替えをしてみるとよい。どちらの対も収まりがよい組み合わせを採用する。
- ・A群の染色体は1番、2番、3番のそれぞれを区別できるが、A群以外の染色体は個別の番号の識別は困難である。実験プリントの見本にならっておよその区別ができればよい。
- ・参考として、13、14、15、21、22番の染色体には染色体の端に小さな付属があり、付随体（サテライト）という。プレパラートの出来具合や写真の精度などの原因で必ずしも明確に見えるものではない。

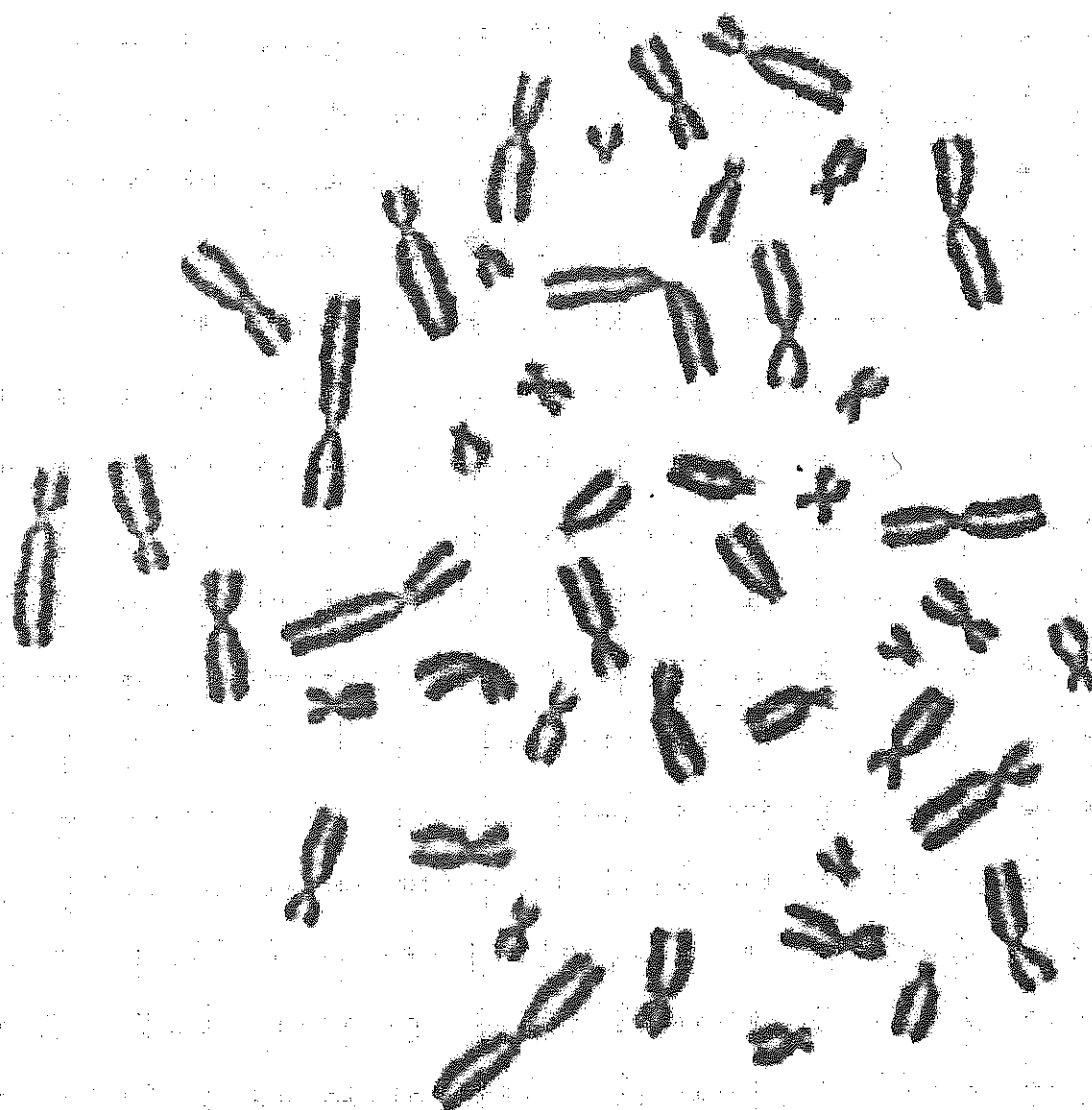
### III 実験結果のまとめ方等の工夫

- （1）相同染色体のペアリングが大きな矛盾なくできれば、まずは良しとするとよい。50分授業内でやり遂げられたことを評価する。
- （2）性別の判定については、性染色体の組み合わせがホモになったかヘテロになったかで行う。相同染色体のペアリングがおおむねできているように見えるものでも、XX（女性）と判定している場合がある。性染色体の判定は相同染色体のペアリングよりも難易度が高い。模範解答にある性染色体におおむね近いものが選択できていれば十分とするのがよい。
- （3）性染色体によって判定される性は遺伝的な性である。性については社会生活上の形も議論される場合がある。性が染色体によって一義的に決定されるといった言い方は避けた方がよい。

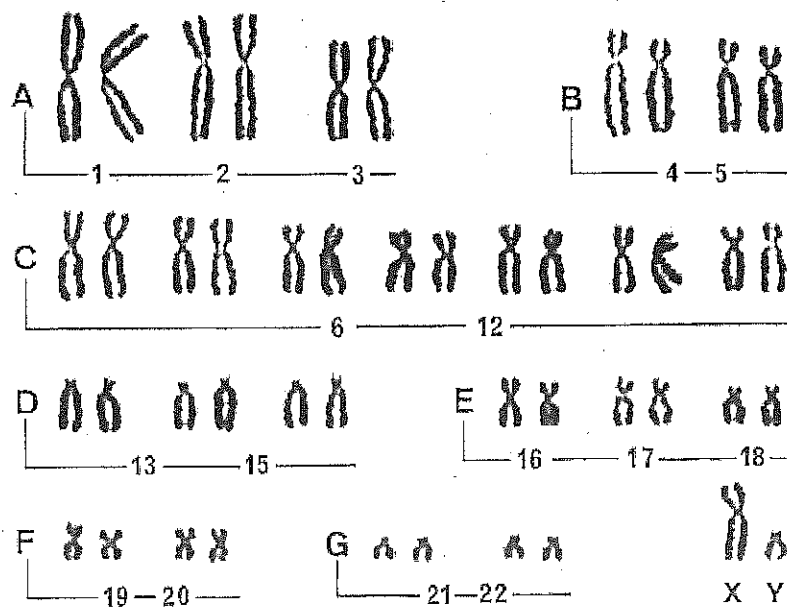
### IV 実験の効果

- （1）相同染色体に対する理解や遺伝子を運ぶ実態としての染色体に対する興味関心が高まる。
- （2）性別の判定というクイズ性があり、意欲的に取り組みやすく、実習の目的が達成されやすい。

ヒト体細胞中期染色体の写真



核型分析 解答



## 実験事例4 ヒトの DNA 抽出

### 【目的】

自分の口腔上皮細胞から DNA を抽出する。

### 【準備】

#### (1) 材料

口腔上皮細胞（各自が採取する）

#### (2) 薬品・器具

透明カップ、3%食塩水、冷エタノール、タンパク質分解酵素液、爪楊枝、冷エタノール（95%以上、直前まで冷凍庫保存）、恒温槽

### 【方法】

#### (1) 細胞の採取

- ①透明カップに 3%食塩水を 5mL 入れる。
- ②食塩水を口に含み、歯で頬の内壁をゴシゴシとほぐしながら擦る。  
\*よくこすると細胞が多く取れ、DNA の抽出量が多くなる。  
\*擦りすぎて口の中を傷つけないよう注意する。
- ③口の中の食塩水を透明カップに戻す。

#### (2) タンパク質の分解

- ④③の液に中性洗剤 2 滴を加え、軽く揺らして混ぜる。
- ⑤④の液にタンパク質分解酵素を 2 滴加え、軽く揺らして混ぜる。
- ⑥透明カップを 40～45℃の湯に 5～10 分浸す。

#### (3) DNA の抽出

- ⑦よく冷やしたエタノール 10mL を透明カップの壁面を伝わせながら静かにゆっくりと入れる。  
\*一度に加えると DNA の抽出に失敗する。
- ⑧透明カップを黒画用紙上に置き、カップを持ち上げずに前後左右にゆっくり揺らす。  
エタノールと食塩水の境界面に現れた白い糸くずのようなものが DNA である。  
\*机上が白っぽいと生じた DNA が確認しにくいので、黒い画用紙を透明カップの下に敷くとよい。

【結果】

【考察】

【感想】

年 組 番 名前 ( )

## 解説 実験事例4 ヒトのDNA抽出（生物：遺伝子）

### I 準備上のポイント

#### (1) 透明カップ

容量が60mLほどの小さい透明カップを用意する。一人に1個の透明カップが必要であり、また、食塩水を口に含むときに透明カップに口をつけることから使いまわしができない。一学年全体で実施するとなると多数のカップが必要になるので、大きい透明カップは高くつく。また、扱う液量が少なく、容器が小さいほうが観察しやすいことから、このサイズの透明カップが適している。

#### (2) 3%食塩水

授業が始まる前までに5mLの食塩水を入れた透明カップを生徒の人数分だけ用意しておく。授業の進行がスムーズでよい。生徒の口に入れるものなので、食塩水の分注につかうピペットは新しいもの（使い捨てタイプの透明ピペットか、5mLが測りとれるチップ交換タイプのピペット（マイクロピペットの大容量タイプ））が便利で使いやすい。

食塩水を入れた透明カップは実験バットにまとめておき、実験が始まるまでは埃やゴミなどの混入を防ぐためにラップで覆っておく。

#### (3) 冷エタノール

使用直前までは冷蔵庫においてよく冷やしておく。各班に配れるよう、小型の試薬瓶に入れ、分注用のピペットと一緒に配る。

### II 実験操作上のポイント

#### (1) 細胞の採取

- ・歯で頬の内側を擦るとき、生徒によって擦る程度が違う。ここで細胞が採取できていなければDNAは抽出できない。きちんと細胞が採取できるよう、丁寧に擦るなど指示する。
- ・3%食塩水は濃いので口の中に塩味が残る。口の中を水でゆすいでよいことを告げる。

#### (2) タンパク質分解の酵素処理

- ・加温した方が酵素処理の効果が大きい。特に冬場など教室内が寒い場合は、湯煎またはインキュベーターで処理温度を高くした方がよい。

#### (3) エタノールによるDNAの沈殿

- ・比重が小さいエタノールが食塩水の上に層をつくり、食塩水とエタノールの二層に分離する。エタノールを一気に注ぎ込むと食塩水と混ざってしまい、DNAは抽出できない。壁面に沿わせてゆっくりとエタノールを加えるよう指示する。

### III 実験結果のまとめ方等の工夫

- (1) 用いた試薬の役割を考えながら、考察をまとめる。
- (2) 透明カップに現れたDNAの性状をよく観察させる。

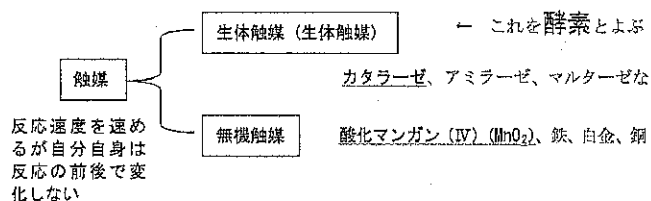
### IV 実験の効果

自分の細胞からとったDNAを見ることができるということで、DNAの存在をより身近に感じることができる。

## 実験事例5 酵素（生体触媒）と無機触媒の比較

### 【目的】

さまざまな条件におけるカタラーゼのはたらき（活性）を比較することにより、酵素の性質を理解する。また、酵素は無機触媒である酸化マンガン（IV）との違いを調べる。



### 【準備】

酵素液\*、酸化マンガン（IV）、試験管、3%過酸化水素水、1mol/L 塩酸、

\*酵素液

ニワトリのレバー塊（15g）をミキサーに入れ、水 200mL を加えてミキサーで攪拌する。  
それをガーゼでろ過し、得られたろ液を水で約 3 倍に希釈したものを酵素液とする。

### 【操作・結果】

次の①～⑥の仮説が正しいか誤りかを検証しなさい。

①カタラーゼは過酸化水素の分解を促進する。

〔検証方法〕

過酸化水素水に酵素液を加える

〔結果〕

〔検証〕 仮説は正しい ・ 仮説は誤り

②酸化マンガン（IV）は過酸化水素の分解を促進する。

〔検証方法〕

〔結果〕

〔検証〕 仮説は正しい ・ 仮説は誤り

③カタラーゼは酸性の状態でも働く。

〔検証方法〕

〔結果〕

〔検証〕 仮説は正しい ・ 仮説は誤り

④酸化マンガン (IV) は酸性の状態でも働く。

[検証方法]

[結果]

[検証] 仮説は正しい ・ 仮説は誤り

⑤加熱したカタラーゼでも正常に働く。

[検証方法]

[結果]

[検証] 仮説は正しい ・ 仮説は誤り

⑥加熱した酸化マンガン (IV) でも正常に働く。

[検証方法]

[結果]

[検証] 仮説は正しい ・ 仮説は誤り

### 【考察】

(1) 過酸化水素 ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) は分解して水 ( $\text{H}_2\text{O}$ ) と酸素 ( $\text{O}_2$ ) になる。この反応を反応式で記せ。

(2) 酸性の影響 (③・④) と熱の影響 (⑤・⑥) について、カタラーゼと酸化マンガン (IV) で比較し、なぜそうなるのか、調べてまとめなさい。

### 【感想】

年 組 番 名前 ( )

## 解説 実験事例5 酵素（生体触媒）と無機触媒の比較（生物：酵素の性質）

### I 準備上のポイント

#### (1) 薬品など

##### ・酸化マンガン(IV)

粒状のもの（粉末状ではない）を準備する。ピンセットでつまんで試験管に入れることができ、また、実験後に茶こしでこしとれば容易に回収できる。試薬の注文時に粒状を指定する。

##### ・酵素液の調整

レバーはスーパーで購入してものを冷凍庫に保存しておけばいつでも使える。ミキサーで水とともに粉碎すれば簡単に酵素液が得られる。ガーゼでろ過してレバーの組織片を除き、上澄みを酵素液として用いる。ペットボトルに入れて冷蔵庫に入れておけば1週間程度は実験に使用できるが、日数が経つと腐敗し始める。

##### ・3%過酸化水素水

過酸化水素水の原液（試薬として購入したもの）を希釈して使用する。ドラッグストアで購入できるオキシドールは過酸化水素の濃度が約3%なので、そのまま使用できる。

##### ・1mol/L 塩酸

生徒への提供の仕方として、小さめの試薬瓶に入れたものが班の数だけあればそれでよいが、駒込ピペットも準備しなければならない。この実験では少量しか使わないので、教卓に準備しておく（3つほどあれば待ち時間が派生しない）方法もある。

別の手段として、点眼瓶に入れて各班に提供する方法がある。点眼瓶を使うメリットは、①小さいので場所をとらない、②素早く滴下できる（駒込ピペットが不要）、③滴下する量は液滴の数で指示できる、④準備する塩酸の量が少なくて済む、⑤根端分列組織の実験にも同様に使用できるなど、多数ある。注意点としては、使用量が少量とはいえ、劇薬であるので扱いには十分に配慮すること、また、あくまでも簡便法であることを知りつつ使いたい。

点眼瓶は消耗品カタログに掲載されており、出入りの業者から購入できる。

(2) 試験管は8本用意する。6本に過酸化水素をあらかじめ3 mL 入れておく。残りの2本は実験⑤と実験⑥で加熱するのに使用することを想定したもので、何も入れないしておく。すべて試験管立てに立てておく。

(3) 酵素液は試薬ビンなどに入れたものを各班分用意し、3 mL を測りとることができる駒込ピペットを一緒に各班に配る。実験が終わったら酵素液は冷蔵庫に入れて腐敗しないようにする。

(4) 実験⑤と実験⑥では酵素液や酸化マンガン(IV)を高熱にさらす処理が必要になる。通常であれば、生徒は試験管に酵素液を入れる（実験⑤）か酸化マンガン(IV)を入れる（実験⑥）などして、試験管を湯煎するか火で直接加熱することを思いつくだらう。湯煎による方法であれば一度にまとめて処理できるし、班ごとに処理を始める時間がずれても対応できる。教卓にガスコンロの火にかけた大きな鍋を用意し、中の水を沸騰させておく。試験管を立てることができるように、金属製の試験管立てを沈めておき、生徒が熱処理を依頼して来れば、その都度、試験管立てに立てて熱処理すればよい。酵素液が変性しているかどうかを目視（変性したタンパク質が沈殿することがあり、液は透明度を増す。）すればよいが、5～8分ほど熱湯中におけばよいだろう。

もちろん、ガスバーナーで加熱させてもよいが、火から離す操作をいれることで突沸が起らないよう指導する。また、実験に使える電子レンジがあれば、加熱に使うとよい。

## II 実験操作上のポイント

### (1) 実験の設定

- ・この実験では、プリントに書かれた6つの仮説を検証するためにどんな実験をすればよいか、その検証方法を生徒に考えさせ、実際にその実験を行って結果を確認し、その結果から仮説を検証する、という設定にしている。この趣旨を授業の最初に説明し、班のメンバーで互いに相談しながら進めるよう伝える。
- ・どのような検証方法を書くのかイメージしにくいだろうから、仮説①について例を示して説明するとよい。

仮説①の検証方法      (例) 過酸化水素水に酵素液を加える

### (2) 酸性の状態のつくり方

- ・点眼ビンに入れた塩酸を何滴入れれば酸性になるかを情報提供する。授業に先立って、何滴ほどいれると酵素反応が低下するのかを確かめておく。4～5滴ほど入れるとよい。

### (3) 加熱の仕方

- ・各班にガスバーナーを用意して各自で加熱させてもよいが、試験管ばさみによる試験管の扱い方や突沸させないための試験管の加熱方法などを指導する必要がある。普段からガスバーナーを使っているのであればよいが、そうでないのであれば、事故の危険を避け、実験操作上の効果を得る目的を優先させるのがよい。教卓に加熱のための準備をし、「加熱したいものがあれば試験管に入れてもってくれば加熱できる」ことを情報として生徒に伝えておく。熱湯中で加熱する場合は教員が管理し、火傷などの事故が起こらないよう気を配るとよい。詳細はI 準備上のポイントを参照。

## III 実験結果のまとめ方等の工夫

### 考察の進め方

- ・教科書と資料集を使って調べ学習させながら、酵素と無機触媒のそれぞれについて、酸性の影響と熱の影響を考えさせる。
- ・「酵素の成分は何か」という問いかけをし、酵素に対する酸性や熱の影響は、タンパク質の性質によるものであることに気づかせたい。また、酸化マンガンは金属元素マンガンを含んでいる。生体成分としてのタンパク質と金属元素としてのマンガンの比較という視点を持たせて、考察が深まるよう促す。

## IV 実験の効果

### (1) 評価

実験プリントを提出させ、検証方法の設定や考察の内容を評価する。

### (2) 生徒の感想

- ・仮説を検証するためにどんな実験をすればよいかを考えるとところが楽しかった。
- ・班の人と相談して進めるので、酵素の性質が理解しやすかった。
- ・書かれた方法通りにやる実験と違い、積極的に取り組むことができた。
- ・他の実験も自分たちで考えながらやってみたい。

## 実験事例 6 ニンヒドリン反応を利用した指紋の検出反応

### 【目的】

簡単な操作で指紋がとれるという実験を通して、興味を誘いながら、アミノ酸の検出方法や身近な指紋にもアミノ酸やタンパク質が含まれているということを学ぶ。

### 【準備】

ニンヒドリン溶液(アセトン 100 mL に対してニンヒドリン 0.5 g を溶かしたもの)

試薬ビン、駒込ピペット、ピンセット、ドライヤー、紙

### 【方法】

(1) 無地の紙に指紋を付着させる。

※このとき余分な指紋が付かないようにする

(2) ニンヒドリン溶液を、紙の指紋をつけた部分にピペットで 1 滴ずつ均等にかけていく。

(3) 紙を完全に乾燥させてから、ドライヤーなどの熱で反応させる。

### 【結果】

ここに指紋がついた紙を貼り付ける。また、自分の指紋を分類してもよい

### 【考察】

### 【感想】

年 組 番 名前 ( )

## 解説 実験事例6 ニンヒドリン反応を利用した指紋の検出反応(生物)

### I 準備上のポイント

- (1) 実験材料はヒトの指紋ですが、少し汗ばんだ状態が適切  
頭、顔、脇の下等他の汗をかいた部位を少し触るのもよい。
- (2) アセトンは引火性の高い液体及び蒸気で、目とのどに刺激を与える有毒性  
ドラフト内で試薬を調整する方がよい。  
また、有機溶媒なのでプラスチック容器で試薬を調整しない。
- (3) ニンヒドリンは刺激物であり、常温で淡黄色の固体  
皮膚などに触れると炎症を起こすので、決して手で触らない。

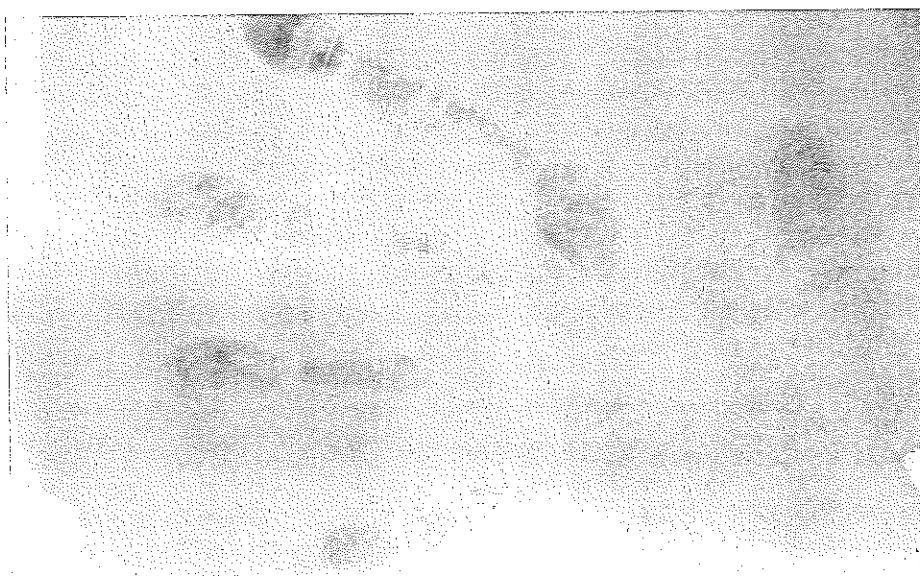
### II 実験操作上のポイント

- (1) 操作のコツとしては紙を加熱する必要があるのだが、ガスバーナーでは燃えてしまう。ドライヤーは一度にたくさん使用できない。よって冬場に実験を行い、ストーブにかざすのがよい。しかし、夏場の方が汗をかきやすく、アセトンも揮発しやすい。また、換気もしやすい。
- (2) 変化の見極めのコツとしては、くっきり青紫色の指紋が見えれば成功。

### III 実験結果のまとめ方等の工夫

- (1) 人間の手のひらには汗腺があり、汗が出ている。汗には水分、塩分、タンパク質、アミノ酸、脂肪などが含まれている。ニンヒドリン反応はアミノ酸とニンヒドリン2分子が縮合してルーヘマン紫という青紫色の色素とアミノ酸が還元されてできるアルデヒドが生成するというものである。アミノ酸が多く存在するほど濃い紫色に発色する。

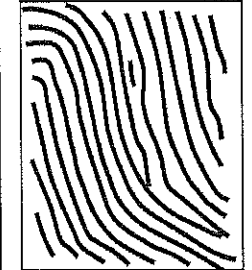
#### 〔実験例〕



(2) 時間があれば指紋の分類をさせてもよい

日本人の約 50%が渦状紋、約 40%が蹄状紋、約 10%が弓状紋、約 1%が変体紋と  
言われています。自分の指紋や友達の指紋を分類するのも興味・関心が高まるでし  
ょう。

### 指紋の種類

| 渦状紋                                                                                | 蹄状紋                                                                                | 弓状紋                                                                                 | 変体紋                                                                                  |
|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |  |  |

この図は齋藤鑑識照明研究所HPより一部抜粋

その際、指紋は個人情報なので取り扱いには要注意

また、手の指全てを分類するのではなく、右手の人差し指とかどれか一つに限定すれ  
ばよい。

#### IV 実験の効果

よくテレビや映画等でDNA鑑定で犯人を特定したというシーンを目にしますが、指  
紋検出もよく目にします。もちろん他の検出方法もあるのですが、簡単な実験で自分や  
クラスメイトの指紋が検出されることに驚き、自分と他人では指紋が異なることにも気  
づくので、興味をもってこの実験に臨み、他の科学捜査、例えば血痕調査であるルミノ  
ール反応を行ってもよい。

## 実験事例 7 透明骨格標本をつくる

### 【目的】

小さな脊椎動物の骨格標本は作成しにくく、その骨格はわかりにくい。体をタンパク質分解酵素で透明にし、硬骨と軟骨を二つの色素で染め分けることにより、小さな生物の骨格について学ぶ。

### 【準備】

試料 小魚と小さなカエルなど

薬品 ホルマリン、エタノール、氷酢酸、ホウ酸ナトリウム（ホウ砂）；  
水酸化カリウム、グリセリン、抱水クロラル、アルシャンブルー（軟骨染色）、  
アリザリンレッド（硬骨染色）、トリプシン（タンパク質分解酵素）

### 【操作】

#### ① 試料の水洗い

試料の表面をよく洗い、腹の部分を少し切って内蔵を出す。

#### ② ホルマリン固定

10 倍に薄めたホルマリンに 3～5 日ほど入れる。試料の腐食、型くずれ防止。

#### ③ 軟骨の染色

水を交換しながら 1 日水に入れておく。皮をはいで、軟骨染色液（アルシャンブルー 10mg を 95% エタノール 70mL、氷酢酸 30mL に混ぜたもの）に 1 日入れる。軟骨染色液から出したあとは、90%、50%、20% のエタノールにそれぞれ 3 時間ずつ入れて、余分な色素を取り除き、最後は 1 日水に入れる。

#### ④ 試料の透明化

試料の筋肉部分をトリプシン液で透明化する。トリプシン液は、飽和ホウ酸ナトリウム液 30mL、蒸留水 70mL、トリプシン 1g の割合で作る。試料を入れてふたをし、2 週間ほど 35～40℃ に保つ。徐々に試料が透明になり、軟骨が青く見える。

#### ⑤ 硬骨の染色

1% 抱水クロラル溶液 120mL にアリザリンレッド 100mg を溶かし、グリセリン 20mL、氷酢酸 10mL を加える。次に、2% 水酸化カリウムに青紫になるまで原液を加える。水は蒸留水を使う。試料を入れ、脊椎骨が赤くなるまで染める。一日入れておく。

#### ⑥ グリセリン処理

0.5% 水酸化カリウム液とグリセリンの混合液に入れる。最初は 3 : 1、次に 1 : 1、さらに 1 : 3 の比率で、各段階を 2～3 日ずつ入れる。最後に純粋なグリセリンに入れる。

【結果】

作成した標本を赤と青の色鉛筆でスケッチしてみよう。

例 カエルであれば後ろ脚

【考察】

軟骨と硬骨の役割を考えてみよう

【感想】

年 組 番 名前 ( )

## 解説 実験事例7 透明骨格標本をつくる（生物）

### I 準備上のポイント

#### （1）実験材料の入手方法

近くの小川等で採取した小魚やカエルをまず飼う。飼っているうちに死ぬものが出てくる。それをすばやく冷凍保存し、何匹かたまったら、行う。生きているものを殺さない。

#### （2）薬品の取扱い上の注意点

2つの染色液、トリプシン、ホウ酸ナトリウム以外劇物、危険物、毒物の何れかに指定され、皮膚障害をおこすものが多いので取り扱いには十分注意する。

### II 実験捜査上のポイント

#### （1）安全上の配慮

ホルマリン（劇物）、エタノール（危険物、引火性）、氷酢酸（危険物、皮膚障害）、水酸化カリウム（劇物、皮膚障害）、抱水クロラール（危険物、皮膚障害）、グリセリン（危険物）

#### （2）操作のコツ

生物の種類、大きさ、個体数によって薬品の量は異なるが、基本液にしっかり浸かる量を用意すればよい。

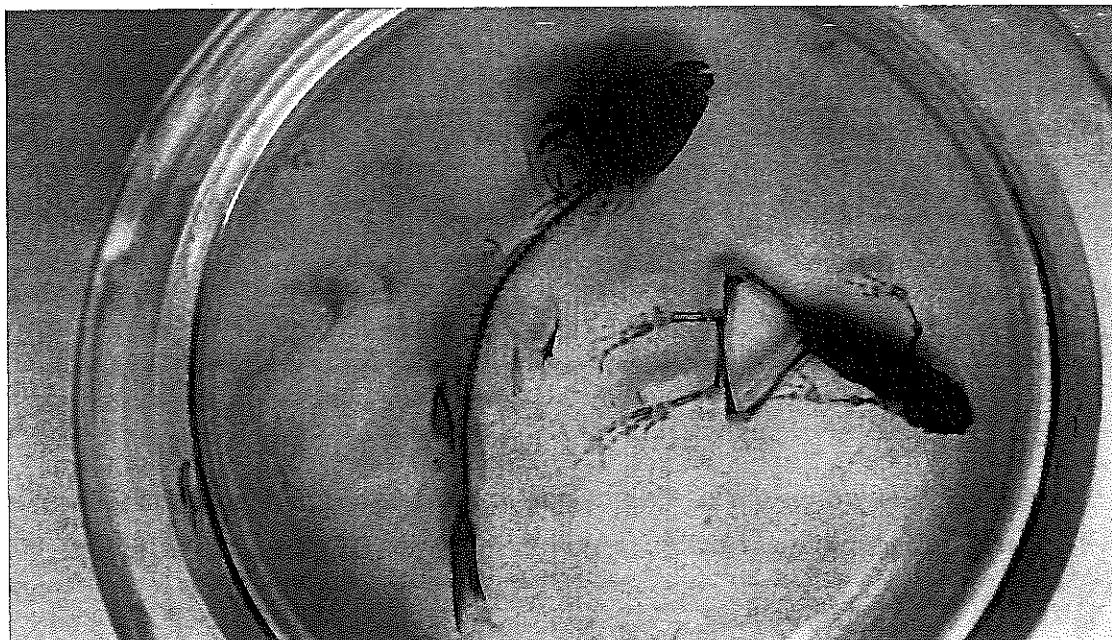
#### （3）変化の見極めのコツ

この透明骨格標本は様々な人が試み、条件もまちまちなどところがある。完成形のイメージはしっかりあると思うので、試行錯誤しながらしっかりステップを刻むとよい。すなわち操作の①～⑥を着実に行う。

### III 実験結果のまとめ方等の工夫

#### （1）言葉で表現し、スケッチや写真が添えてあるとわかりやすい。

#### （2）カエルならば成体だけではなく幼生（オタマジャクシ）の標本も作製し、幼生から変態して成体になる過程でどのように骨格が形成されるのか確かめるのもよい。カエルの脚の硬骨と軟骨がくっきり染め分けられているのでわかりやすい。



### IV 実験の効果

百貨店などで売られているものを見たり、中学校の理科の教科書で見た生徒等が少なからずおり、実際に作成に成功すると大きな感動が得られる。その標本を高性能な実体顕微鏡で観察すると、さらなる感動が得られる。

## 実験事例 8 世界のバイオーーム

### 【目的】

世界には様々なバイオーームがみられるが、どのようなバイオーームが成立するかは年平均気温と年間降水量の2つの要因によって決まっている。世界のバイオーームの成立について、実習を通じて理解を深めよう。

また、木本には常緑樹と落葉樹がある。常緑樹と落葉樹を比較し、それぞれの特徴をまとめてみよう。

### 【準備】

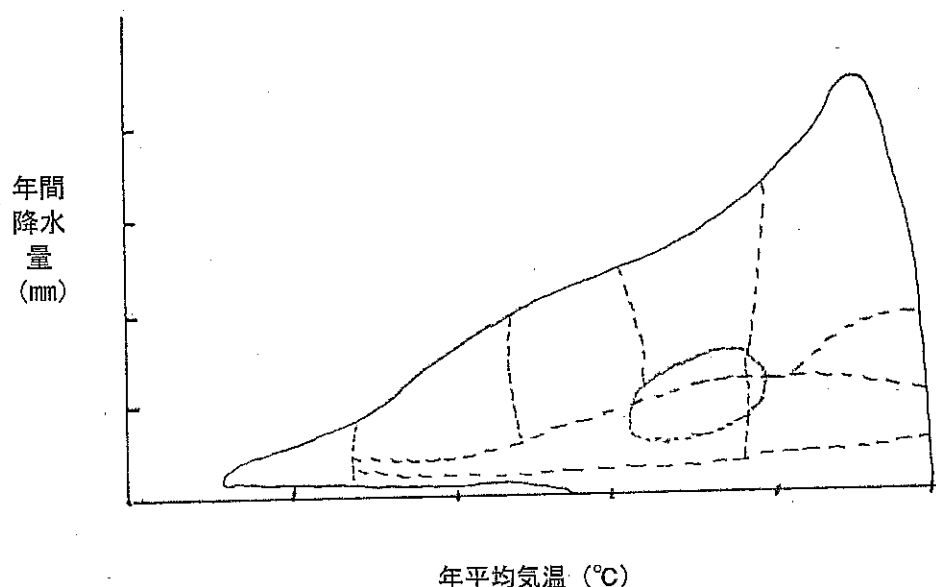
常緑樹の葉（アラカシ、クスノキ、スダジイなど）

落葉樹の葉（ケヤキ、カエデ、ブナ、ミズナラなど）

色鉛筆

### 【実習 1】 世界のバイオーーム

図



### 【作業】

- (1) 年平均気温、年間降水量の目盛りに数値を記入しなさい。
- (2) それぞれのバイオーームの名称を書き込みなさい。
- (3) 植物のバイオーームは、森林、草原、荒原の3つに分けられる。森林・草原・荒原をそれぞれ太い線で囲み、その枠が何であるか分かるように示しなさい。
- (4) 森林をつくる樹木には、年中、葉が茂っている常緑樹と、季節によっては葉を落として休眠する落葉樹がある。主に落葉樹からなるバイオーームに色を付け、落葉樹と記しなさい。
- (5) 日本に見られるバイオーームに斜線を書き込みなさい。
- (6) 神戸市と那覇市、秋田市の気候は次のとおりである。図中にそれぞれの市の位置を記せ。

|            | 神戸市    | 那覇市    | 秋田市    |
|------------|--------|--------|--------|
| 年平均気温 (°C) | 16.7   | 23.1   | 11.7   |
| 年間降水量 (mm) | 1216.2 | 2040.8 | 1686.2 |

(1981年～2010年の平均値、理科年表)

(7) 次の文中の空欄にあてはまる適当な語を答えよ。

・植物のバイオームの成立に大きく影響する要素は〔 〕と〔 〕である。しかし、例外として、地中海性気候の地域では、年平均気温や年間降水量に関わらず、薄くて硬い葉をつけて蒸散量を減らすオリーブやコルクガシなどが優占する〔 〕が出現する。

(8) 次は落葉樹が優占するバイオームを説明したものである。その名称は何か。また、落葉せざるを得ない環境要因は何か。

- ・雨季と乾季がある熱帯の気候に見られる。〔 〕  
→落葉する理由〔 〕
- ・冷温帯の気候に見られる。〔 〕  
→落葉する理由〔 〕

【実習2】 常緑樹と落葉樹の葉の違い

(1) 常緑樹と落葉樹のそれぞれについて、葉をスケッチしなさい。

常緑樹〔 〕の葉                      落葉樹〔 〕の葉

(2) 葉の色やクチクラ層の様子、葉の厚さなどを比較し、気がついたことを(1)のスケッチに書き加えなさい。

(3) 植物は、葉をつくるために物質やエネルギーなどを消費する(これをコストという)。一方、光合成により有機物を得ている(これを利益という)。コストよりも利益が大きくなるよう、植物は成長の仕方や生活形を選択している。次の表も参考にして、生存に関する常緑樹と落葉樹の違いについて考察しなさい。

|              | 常緑樹 | 落葉樹 |
|--------------|-----|-----|
| 単位面積当たりの葉の重量 | 大きい | 小さい |
| 最大光合成速度      | 小さい | 大きい |

常緑樹と落葉樹の重量と光合成速度の一般的な傾向

【感想】

年 組 番 名前 ( )

## 解説 実験事例 8 世界のバイオーム（生物：生態）

### I 準備上のポイント

#### (1) 実習 1

- ・ 色鉛筆を持参するよう事前に連絡しておくといよい。実習費で消耗品として購入しておくとい便利である。

#### (2) 実習 2

- ・ 常緑樹と落葉樹の葉をそれぞれクラスの人数分（一人に一枚配れるように）準備する。常緑樹の葉としては、アラカシやクスノキが身近で準備しやすい。スダジイやマテバシイなどでもよい。落葉樹の葉としては、ケヤキやカエデの他、サクラやナンキンハゼなどでもよい。ブナやミズナラなどは、山に登った時に採集し押し葉標本にして保存しておくといこのような実習に使うことができる。

- (3) 落葉樹は秋以降は落葉して既になくなっている。世界のバイオームを学習するのは 3 学期であることが多いので、秋になるまでに葉を採集しておき、押し葉標本しておく必要がある。

### II 実験操作上のポイント

#### 1 実習 1

- ・ 作業 (1) 教科書や資料集にある図をみながら、年平均気温（-20、-10、0、10、20、30）と年間降水量（0、1000、2000、3000、4000）の数値を記入する。
- ・ 作業 (2) 照葉樹林、夏緑樹林などバイオームの名称を記入する。この図では熱帯多雨林と亜熱帯多雨林は境界を描いていない。年平均気温がおおよそ 25℃を境に左側が亜熱帯多雨林、右側が熱帯多雨林とするとよい。
- ・ 作業 (3) 森林・草原・荒原それぞれに複数のバイオームがある。それらを太い線でひとくくりにする。
- ・ 作業 (4) 落葉樹には夏緑樹林と雨緑樹林がある。
- ・ 作業 (5) 日本には亜熱帯多雨林、照葉樹林、夏緑樹林、針葉樹林のバイオームがみられる。
- ・ 作業 (6) 神戸は照葉樹林、那覇は亜熱帯多雨林、秋田は夏緑樹林の場所にデータの点がくる。なお、針葉樹林の場所に点がうてる適当な都市は見当たらなかった（たとえば、帯広は夏緑樹林の場所になってしまう）が見当たらなかった。
- ・ 作業 (7) バイオームの成立に影響する要因は年平均気温と年間降水量である。また、地中海性気候の地域に成立するのは硬葉樹林である。
- ・ 作業 (8)
  - ・ 雨緑樹林 乾季には降雨がなく乾燥するので落葉して休眠するため
  - ・ 夏緑樹林 冬季にはかなり低温になるので落葉して休眠するため

※ 作業 7 と作業 8 は生徒に発表させたり、黒板に書かせて説明させるなど、生徒の言語活動を取り入れるとよい。

#### 2 実習 2

- (1) 常緑樹、落葉樹のそれぞれについて、葉一枚をスケッチする。葉は葉柄がついた状態である方が好ましい。枝と葉柄の境にある離層ができる面に言及するとよい。
- (2) 常緑樹の方が落葉樹より緑が濃いように見える場合もあるが、違いがはっきりしない場合もある。緑が濃く見えるかどうかは、一つには、葉の厚さが関係しているだろう。クチクラ層は常緑樹（この場合は照葉樹）で発達しており、葉の表面につや（光沢）がある。ケヤキなどの落葉樹にはクチクラ層は発達しないので葉の表面に光沢がない。葉の厚さは手で持った時の感触で判断する。葉の切片を顕微鏡で見た映像を示すと効果的である。これら以外に、常緑樹は葉が硬くしっかりした感じであるが、落葉樹は葉が薄くて柔らかい印象をうけるなどといった

といった点に気がつく生徒が多い。

- (3) 常緑樹の葉は2年から数年程度の寿命があり、また、冬季であっても照葉樹林が成立するような暖温帯では光合成を盛んにしているものと思われる。このように一年を通じて光合成ができる環境においては、丈夫で長持ちする葉をしっかり作ることに意味がある。丈夫で長持ちする葉をつくるには多くのコストが必要だが、それを上回る光合成が期待できるからである。クチクラ層の形成にも多くの物質やエネルギーを投資するのであるが、葉の寿命を長くするための投資として必要なであろう。

一方、落葉樹はおおよそ5月ごろに若葉が展開し、11月ごとには落葉すると考えると、葉の寿命は約6か月ほどであり、その期間で行う光合成でコストを上回るような光合成能力の高い葉をつくらなければならない。葉を丈夫にすることにかかるコストを減らして光合成能力を高くすることにコストをかけ（たとえば、光合成関連のタンパク質の量を増やすなどが考えられる）、常緑樹の葉より短い光合成期間でコストを上回るだけの光合成が可能になる。

※ (3) の常緑樹と落葉樹のちがいは、植物の環境への適応ととらえることもできるし、適応戦略の選択としてコストと利益の関係から議論することもできる。発問を設定し、グループ協議を取り入れ、発表させると、時間はかかるがクラス全体で理解が深まる。

発展として、針葉樹の低温乾燥への適応へとつなげることができる。エゾマツやトドマツ、オシラビソなど針葉樹の多くは常緑樹である。冬季の生育環境がより厳しい地域で常緑性であることを考えさせるとよい。

#### IV 実験の効果

##### 1 実習1

- ・生態分布図に色をつけたり書き込みをしたりしながら、それぞれのバイオームの特徴を理解できる。
- ・世界のバイオームの中に日本のバイオームの水平分布を入れ込んで理解できる。

##### 2 実習2

- ・常緑樹と落葉樹の特性の違いについて考察することにより、それぞれが生育する地域の気温などの環境要因との結びつきを知ることができる。
- ・常緑樹と落葉樹をある程度見分けることができるようになり、身近な自然に対する興味関心が高まる。

## 実験事例 1 雲の発生

【目的】簡易的な装置で雲を発生させる。気圧と温度の関係を理解する。

【準備】300 cm<sup>3</sup>の炭酸飲用量ペットボトル、ペットボトル用小型ポンプ、デジタルサーモテープ

### 【方法】

- (1) セロハンテープ等を使用して、デジタルサーモテープをペットボトル内に固定する。
- (2) ペットボトルに小型ポンプを取り付ける。
- (3) 小型ポンプを15～20回押し、ペットボトル内に空気を送り込む。
- (4) フィルム型温度計を読み取ると気温が上昇していることが分かる。
- (5) 気温が低下し、室温に近い状態に安定したら、小型ポンプの栓を素早く開ける。
- (6) 開けると同時に雲が発生する。サーモテープを読み取ると気温が低下したことが分かる。

### 【結果】

(A) ペットボトル内の温度はどのように変化したのか。

|  |
|--|
|  |
|--|

(B) ポンプの栓を一気に開けたときペットボトル内のようすはどうなったか。

|  |
|--|
|  |
|--|

### 【考察】

(1) ポンプで空気を加えたときの気圧と温度の関係について、どのようなことがいえるか。

(2) ポンプの栓を開けたときの気圧と温度の関係について、どのようなことがいえるか。

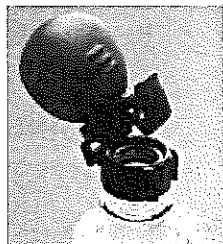
(3) ペットボトル内の雲の発生と露点の関係について、どのようなことがいえるか。

年 組 番 名前 ( )

## 解説 実験事例1 雲の発生（地学：水と気象）

### I 実験材料の入手方法

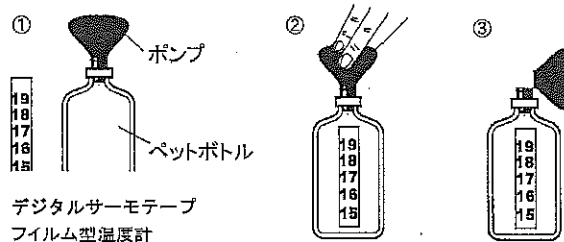
- ① ペットボトル用小型ポンプ：理科教材会社
- ② 300mLの炭酸飲用量ペットボトル：各自準備
- ③ デジタルサーモテープ：ホームセンター



□ ペットボトル用小型ポンプ



□ 300mLの炭酸飲用量ペットボトル



デジタルサーモテープ  
フィルム型温度計

|    |    |
|----|----|
| 30 | 32 |
| 30 | 32 |
| 30 | 32 |
| 30 | 32 |
| 30 | 32 |
| 30 | 32 |
| 30 | 32 |
| 30 | 32 |
| 30 | 32 |
| 30 | 32 |

③ デジタルサーモテープ

### II 実験操作上のポイント

#### 雲の発生 実験の原理と工夫

##### 【実験の原理】

ペットボトル内は空気を送り込むことによって加圧され、初期状態から断熱的に昇温する。  
 （この実験では完全に断熱ではない）。その後、等圧で周囲に熱を奪われ、初期状態の室温に近づく。  
 ここでペットボトルの栓を抜くと、断熱的に減圧・冷却し、露点に達すると雲が発生する。  
 その後は、雲の発生に伴う潜熱（凝結熱）の発生により冷却が弱まり、湿潤断熱の過程に沿って初期気圧の状態まで冷却する。

##### 【実験の工夫】

冬季の乾燥している時期を除き、ペットボトル内に特別に水分を供給する必要はない。ただし、空気が乾燥して雲が発生しにくいときは、息を吹き込んだり少量の水を加えたりして、ペットボトル内を加湿する。



### III 実験結果のまとめ方等の工夫

- ・気圧の上昇時の温度数値を記録させる。
- ・気圧の降下時の温度数値を記録させる。
- ・室内の露点をあらかじめ調べておく。

### IV 実践の成果

- ・簡易な装置で雲を発生させることができるので、生徒が容易に成功体験を積むことができた。
- ・デジタルサーモテープによって温度の上昇や下降が視覚的に確認できた。

### 参考資料

大阪府教育センター：簡便な雲生成実験での物理量の変化(佐藤 昇)

[www.osaka-c.ed.jp/kak/web/kenkyuu17/pdf/04/6.pdf](http://www.osaka-c.ed.jp/kak/web/kenkyuu17/pdf/04/6.pdf)

## 実験事例2 黒点から太陽の自転周期を求める

### 【目的】

太陽は、赤道付近で26日、極付近で30日くらいで自転している。太陽面には、黒く見える黒点があり、日時をあけて撮影した太陽面からは、黒点が移動している様子がわかる。この黒点の移動量を測定することで、太陽の自転周期を求め、理解を深める。

### 【準備】

- ・望遠鏡(屈折式)……赤道儀式が望ましい
- ・太陽が望遠鏡で直接観察できる減光フィルター(アストロソーラーフィルターとして市販)
- ・上記2点の代わりに、 $H\alpha$ 光で観測できる太陽望遠鏡でもよい。
- ・カメラ(できれば1眼)および望遠鏡に接続するためのアダプター  
(カメラがなければ太陽投影板……この場合は、アストロソーラーフィルターは不要)
- ・PC

### 【操作】

- (1) 望遠鏡の設置し、鏡筒の影を見ながら太陽を導入し、ソーラーフィルターを装着して太陽を見て、黒点があることを確認する。(決して、フィルターなしで見てはいけない)
- (2) 太陽が視野の中心に入ったら、アダプターを介して一眼レフカメラのボディ(または、接眼レンズに固定したコンパクトデジカメ)を装着し、直焦点法(コリメート法)で太陽全体面を撮影する。また、追尾用のモーターを止めて太陽(黒点)像がずれた写真も撮る。いずれも数枚撮る。
- (3) 数日後、上記1, 2の操作をして同じ光学系、倍率で写真を撮る。
- (4) 撮った写真をパソコンに取り込む。
- (5) 同じ日の写真で黒点がずれた方向が西の方向である。東西が決まったら、その黒点の太陽面での緯度、経度を決定する。ホームページ「ある日の太陽面」から計算した太陽面経緯度の図と、写真を重ねると簡単である。同様に数日後の太陽面についても、緯度、経度を求める。
- (6) 黒点の数日間での経度の差と、その時間を求める。
- (7) 黒点が自転により太陽面を移動した数日間に、地球が公転した角度を求める。
- (8) 経緯度差に、地球の公転角度の補正を行い、黒点が太陽面を一周( $360^\circ$ )する時間を求める。これが太陽の自転周期である。



減光フィルター  
(自作)

【結果】

| 観測日時刻 | 移動日数 t (日) | 黒点の緯度(°) | 黒点の経度(°) | 移動角(°) | 地球公転角(°) |
|-------|------------|----------|----------|--------|----------|
|       |            |          |          |        |          |
|       |            |          |          |        |          |

(観測角)+(公転角) : 360 = 日数 t : 自転周期(太陽)S の関係より、Sを求める。

【考察】※参考：地学基礎の教科書には、赤道付近で26日程度とある。

【感想】

年 組 番 名前 ( )

## 解説 実験事例2 黒点から太陽の自転周期を求める（地学：天体）

### I 準備上のポイント

- 望遠鏡の対物レンズの前に装着する減光フィルターは赤外線を通さない安全なものを使用する。フィルム状のものが市販されているので、それをボール紙などで加工・自作して望遠鏡に装着する。減光フィルムはA4サイズで2800円程度。
- カメラは一眼レフデジカメのボディ+アダプターで望遠鏡に取り付けるのが便利だが、コンパクトデジカメでも汎用のアダプターがあるのでそれを用いても撮影できる
- アダプターがなければ、太陽投影板を用いて、投影した像を撮影する。太陽像が円になって写るように、できるだけ正面から撮影する。

### II 実験操作上のポイント

- 赤道儀式の望遠鏡では、極軸を北に向けて設置する。これにより、赤経ハンドル（モーター）のみで太陽が追尾できる。
- 自作した減光フィルターは、観測中に外れないようにくれぐれも注意する。また、フィルターなしで決して覗いてはいけない。失明する。
- 太陽面の東西方向は、地球の公転のため地球の自転による東→西の方向とはずれる。そのずれは日毎に異なるので、インターネットで調べるとよい。例えば、「ある日の太陽面」のホームページは [http://www.carina.gr.jp/~yamane/sun\\_pbl/](http://www.carina.gr.jp/~yamane/sun_pbl/)

### III 実験結果のまとめ方等の工夫

例

| 観測日時分        | 移動日数 t (日) | 黒点の緯度(°) | 黒点の経度(°) | 移動角(°) | 地球公転角(°) |
|--------------|------------|----------|----------|--------|----------|
| 11/20, 15:05 | 4.96       | +3.5     | -28.0    | 68.0   | 4.89     |
| 11/25, 14:07 |            |          | +40.0    |        |          |

$(\text{観測角}) + (\text{公転角}) : 360 = \text{日数 } t : \text{自転周期(太陽) } S$  の関係より、S を求めると  
 $(68.0 + 4.89) : 360 = 4.96 : S$   
 これより  $S = 24.5$  日  
 地学基礎の教科書には、赤道付近で26日程度とある。

- 複数回の測定を行うことで、精度の向上が期待できる。
- 黒点の緯度による自転周期の違いも測定できるかもしれない。

### IV 実験の効果

- 太陽の自転が実感でき、理解が深まる。
- 同じ黒点でも、大きさや形が変化しているのが実感できる。
- 天体望遠鏡の仕組みが理解できる。

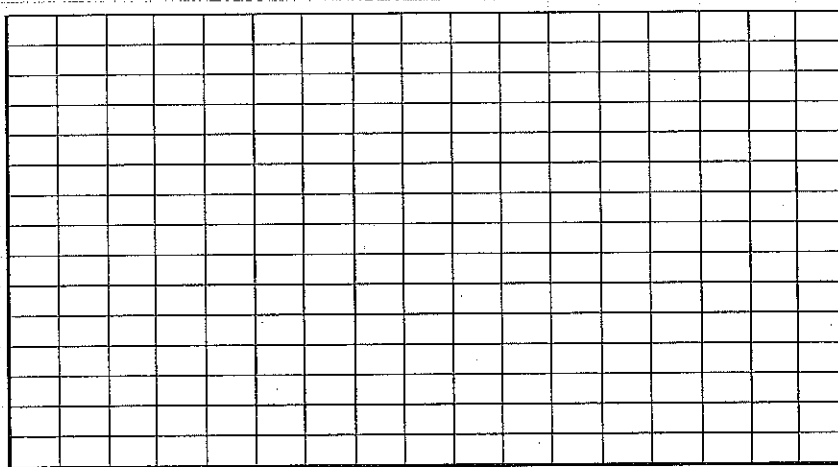
### 実験事例3 鉱物による酸の中和

【目的】 酸性雨は、pH5.6程度の雨のことである。しかし、私たちが料理や飲料水として使っている地下水のpHは普通7程度に保たれている。したがって酸性雨が地下水になるまでのどこかの過程で、鉱物や土壌の働きにより中和反応が起こっていると考えられる。どのような鉱物によってどのように酸が中和されていくのかを、pHの時間的変化を観察することによって調べる。

【準備】 硝酸(pH4)、鉱物標本(石英、方解石、雲母、カリ長石、輝石、緑泥岩等)、瑪瑙乳鉢、瑪瑙乳棒、指示薬、マグネチックスターラー、固定スタンド、IT計測器、pHセンサー、ビーカー、鉱物カッター、時計

【方法】 (1) 造岩鉱物標本から適切な鉱物を選び、鉱物カッターで小片に分けるか、瑪瑙乳鉢を使って粉末状に加工する。  
 (2) 硝酸30mLをビーカーにとる。  
 (3) (1)で作成した鉱物のサンプル約1gをビーカーの硝酸に加え、IT計測器に接続したpHメーターを用いて、よく攪拌しながらpHの変化を観察する。

【結果】 (1) グラフ (横軸：時間(h)、縦軸：pH)



(2) 反応があった鉱物は○、反応がなかった鉱物は×を記入する。

| 番号 | 鉱物名  | 反応 |
|----|------|----|
| 1  | 石英   |    |
| 2  | 方解石  |    |
| 3  | 雲母   |    |
| 4  | カリ長石 |    |
| 5  | 輝石   |    |
| 6  | 緑泥岩  |    |

**【考察】**

(1) 反応が見られた鉱物にはどのような特徴があるか。また、その組成や成分を調べてみよう。

(2) 有色鉱物のほうが一般に反応しやすいのはなぜだろうか。

(3) 鉱物はどのようなしくみや反応を用いて、酸を中和しているのだろうか。

(4) 地球上の岩石や土壌がもつこのような能力は一般に何と呼ばれているか。

**【感想】**

年 組 番 名前 ( )

## 解説 実験事例3 鉱物による酸の中和（地学：鉱物）

### I 準備上のポイント

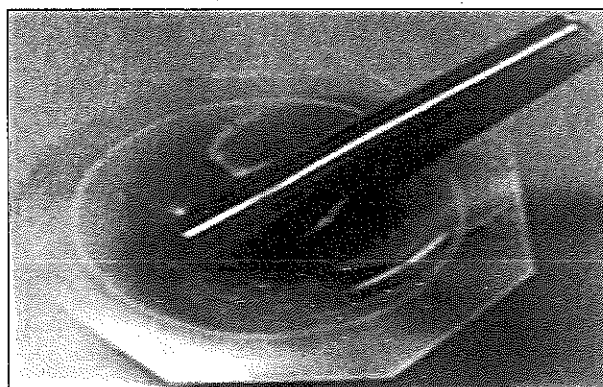
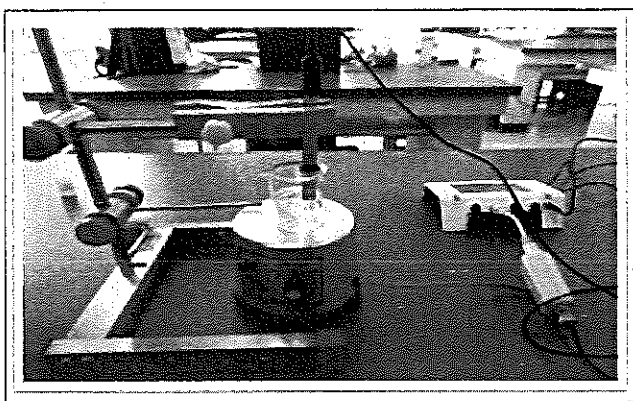
#### 実験材料

鉱物標本、瑪瑙乳鉢、瑪瑙乳棒

IT計測器、pHセンサー、マグネチックスターラー、ビュレット、ビーカー、希硝酸（pH4）、酸塩基指示薬、鉱物カッター、固定スタンド

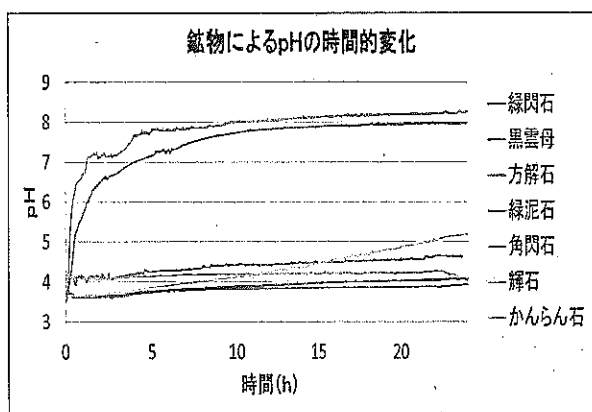
### II 実験操作上のポイント

- ・pHセンサーで攪拌操作を行うと、pHセンサーのガラス電極が破損する危険性があるので絶対にしてはならない。そのためにも鉱物はできるだけ粉末状にすりつぶした方が良い。
- ・pHの変化が現われるまでに数時間かかり、測定は約1日かかるので観察時間が非常に長くなる。



### III 実験結果のまとめ方等の工夫

- ・IT計測器は基本的にデータロガーなので測定データをすべて蓄積できる。IT計測器にテキスト形式で測定データを保存しておき、その後PCを接続して表計算ソフトでグラフ化するのが良い。
- ・種々の鉱物について、その成分組成やそれに基づく分類に関する事前の知識がかなり必要である。
- ・酸と塩基、特に塩基に関する総合的な知識と中和反応に関する化学的な理解が必要である。



| 鉱物名     | 反応 | 鉱物名       | 反応 |
|---------|----|-----------|----|
| 1 かんらん石 | ○  | 14 角閃石    | ○  |
| 2 ジルコン  | ×  | 15 藍閃石    | ×  |
| 3 チタン   | ×  | 16 白雲母    | ×  |
| 4 ザクロ石  | ×  | 17 黒雲母    | ○  |
| 5 珪線石   | ×  | 18 緑泥石    | ○  |
| 6 紅柱石   | ×  | 19 アルカリ長石 | △  |
| 7 十字石   | ○  | 20 斜長石    | △  |
| 8 緑簾石   | △  | 21 石英     | ×  |
| 9 堇青石   | ×  | 22 燐珪石    | ○  |
| 10 電気石  | ×  | 23 磁鉄鉱    | △  |
| 11 輝石   | ○  | 24 方解石    | ○  |
| 12 単斜輝石 | ×  | 25 燐灰石    | △  |
| 13 緑閃石  | ○  |           |    |

### IV 実験の効果

- ・鉱物や土壌のもつ中和能力や緩衝作用を通して、地球レベルでの環境問題に対する理解を深められる。
- ・鉱物の組成やそのはたらきを通して、地学分野にも興味を持たせられる。

## 観察・実験推進モデル校実施要項

### 1 趣 旨

理数教育の充実のために、教科「理科」の授業に観察・実験を取り入れ、生徒の理科や科学技術等に関する興味・関心を高めるとともに、科学的に探究する能力と態度を育成するために、観察・実験推進モデル校を指定し、実験事例等の研究成果を全ての県立高等学校等に普及することをねらいとする。

### 2 期 間

平成 24 年度から平成 26 年度までの 3 年間、観察・実験推進モデル校を指定する。

### 3 対 象

全県立高等学校及び中等教育学校

### 4 事業内容

- (1) 事業対象校において、教科「理科」の授業について基礎的・基本的な事項の確認と定着を図るために、観察・実験を中心に進めるように工夫するとともに、生徒の興味・関心を高める取り組みを行う。
- (2) 普段の授業で行えないような時間のかかる実験を行うなど、全県立高等学校に還元できる教材の作成を実施する。
- (3) 生徒の興味・関心を高め、科学的に探究する能力と態度を育成し、意欲を向上するために、生徒アンケート等を実施し、成果の評価・検証を実施する。
- (4) 観察・実験を重点的に行った生徒の変容や実験事例集などの成果物を報告し、全ての県立高等学校等へ還元することにより、県下全体の観察・実験の取り組みの充実を図る。

### 5 事業の実施にあたって

- (1) 事業対象校は、教科「理科」の授業における観察・実験や、日頃は時間がかかって実施が難しい実験等を行うための、初年度に理科備品等を購入し活用することによって、事業が円滑に行えるように工夫する。
- (2) 事業指定校は、事業の開始時、中間時、終了時の比較のため、モデル校の教員・生徒を対象に、生徒の理科や科学技術等に関する興味・関心や、科学的に探究する能力・態度の育成等についての実態調査アンケートを実施するなど成果等の数値化を行う。
- (3) 事業指定校は、研究成果（途中経過）報告書を作成し、各学年度末に提出する。

### 6 経費

県教育委員会は、各年度に示す「観察・実験推進モデル校の指定に係る経費基準」により、必要に応じて、予算の範囲内で、この事業の実施に必要な経費を支出する。

### 7 その他

この要項に定めるものの他、本事業の実施に関し、必要な事項は別に定める。

## 観察・実験推進モデル校実験事例集の作成に係る実施要項

### 1 事業趣旨

観察・実験推進モデル校（平成 24 年度から平成 26 年度までの 3 年間指定）における実験事例等の研究成果をまとめた実験事例集を作成し、全ての県立高等学校及び県立中等教育学校に普及することにより、学習指導要領理科の目標に資する。

### 2 事業期間

平成 27 年度（1 年間）

### 3 事業内容

ア 「観察・実験推進モデル校実験事例集」作成委員会の設置

- ・観察・実験モデル校の趣旨を踏まえ、実験事例集の作成を行う。
- ・構成：県立高等学校教員

イ 「観察・実験推進モデル校実験事例集」の全県への周知及び活用を推進する。

### 4 その他

この要項に定めるもののほか、本事業の実施に関し必要な事項は別に定めるものとする。

観察・実験推進モデル校実験事例集作成委員一覧表

| No | 種別       | 氏名    | 所属等            |
|----|----------|-------|----------------|
| 1  | 高校教育課    | 清瀬 欣之 | 課長             |
| 2  | 県立高等学校教員 | 浮田 裕  | 県立星陵高等学校教諭     |
| 3  |          | 植松 啓  | 県立西宮高等学校主幹教諭   |
| 4  |          | 和田 秀雄 | 県立西宮北高等学校教諭    |
| 5  |          | 藤崎 敦士 | 県立西宮甲山高等学校主幹教諭 |
| 6  |          | 藤本 陽子 | 県立柏原高等学校教諭     |
| 7  |          | 稲葉 浩介 | 県立小野高等学校教諭     |
| 8  |          | 的埜 光浩 | 県立姫路工業高等学校教諭   |
| 9  |          | 大西 康之 | 県立相生高等学校教諭     |
| 10 |          | 武内 和彦 | 県立龍野高等学校主幹教諭   |
| 11 |          | 石橋 裕之 | 県立八鹿高等学校教諭     |

〔事務局〕

|   |       |       |                 |
|---|-------|-------|-----------------|
| 1 | 高校教育課 | 宮垣 覚  | 副課長兼教育指導班長      |
| 2 |       | 千家 弘行 | 教育指導班主幹（教育課程担当） |
| 3 |       | 大角 謙二 | 教育指導班主任指導主事     |