

高等学校理科（物理・化学・生物・地学各4単位）の基本実験10の研究

— 新学習指導要領理科の探究活動の実現に向けて(2) —

Ten Studies on High School Science Experiments (2)

— Towards Realizations on the Investigational Activities of Natural Study within the New Educational Guidelines —

理 科

川角 博 小林 雅之 岩藤 英司 坂井 英夫 宮城 政昭
小境久美子 浅羽 宏 田中 義洋 齋藤 洋輔 須藤 俊文*

<要旨>

学習指導要領理科で探究活動は重視されているが、本校の教育実習生対象のアンケート調査によって、観察や実験をしていない高等学校が多数存在する実態が浮き彫りにされた。本研究は、平成21年度・平成22年度の国立教育政策研究所教育課程センターの教育課程研究指定校事業「新学習指導要領の趣旨を具体化するための指導方法の工夫改善に関する研究」に基づいた二年目の研究で、新学習指導要領理科の物理、化学、生物、地学（各4単位）について、探究活動の普及と他校での実現を目的とした理科の観察・実験を、基本実験10としてまとめたものである。

<キーワード> 新学習指導要領 探究活動 物理実験 化学実験 生物実験 地学実験
基本実験10

1 はじめに

1-1 研究のねらい

平成21年度と平成22年度の2年間、本校では地歴、理科、芸術（工芸）、書道、情報の各科目、および特別活動の各分野で、文部科学省の教育課程研究指定校事業「新学習指導要領の趣旨を具体化するための指導方法の工夫改善に関する研究」の研究事業に取り組んできた。

新学習指導要領高等学校理科は平成24年（本校59期生）より実施される。そこでは、科学と人間生活、物理基礎、化学基礎、生物基礎、地学基礎の各2単位の科目、及び基礎を付した科目の履修後に学ぶ、物理、化学、生物、地学（4単位）、理科課題研究（2単位）が設置されている。このうち、物理、化学、生物、地学の基礎を付した2単位の各科目と4単位各科目のうち、いくつかの科目は多くの高等学校普通科の教育課程で標準的に設置されることが予想される。

新学習指導要領の理科は、小学校、中学校、高等学校を通して観察・実験を重視しており、生徒が主体的に探究活動に取り組み、自然の事物・現象に関する関心や探究心を高め、科学的に探究する能力と態度を育成することをねらいとしている。本校では、従来から観察や実験を重視した授業を実践し、実物に触れる機会をなるべく多くしようとしているが、全国的には観察や実験がほとんど行われず、講義形式の授業が主体となっている学校も多くある実態が存在している。科学的な姿勢からかけ

離れた高校生の学習状況を懸念する意見が大学関係者や科学関連研究団体から文部科学省に寄せられているが、本校の毎年三百名を越える教育実習生に対するアンケート調査によってもその実態が裏付けされている。

本研究は、平成21年度・22年度の国立教育政策研究所教育課程センターの教育課程研究指定校事業「新学習指導要領の趣旨を具体化するための指導方法の工夫改善に関する研究」に基づいた2年目の理科の研究報告である。学校で取り組みやすく、生徒達に是非実施してほしい探究活動等を研究し、昨年に引き続いて基本実験10にまとめた。この実験により、新学習指導要領で重視されている探究活動の普及と、全国の高等学校における探究活動の実現を目的としている。また、将来を担う理科教員の育成にも活用する計画である。

1-2 基本実験10の開発計画

平成21年度は新学習指導要領の基礎を付した科目、物理基礎、化学基礎、生物基礎、地学基礎の各2単位の科目について研究を行った。これに引き続き、平成22年度は次の研究方針に基づき、新学習要領の物理、化学、生物、地学（各4単位）についての研究を行った。

（物理）身近な素材を取り入れた探究的な実験を通して、実験データを解く作業から、物理現象を解く姿勢を育成する。

*開成学園

(化学) 生徒各自の情報端末装置と集計投影装置を活用して実験データの分析を行い、教員と生徒、生徒同士の相互理解を図る。

(生物) 学校内外で入手しやすい生物や素材など身近な実験材料を主に使って、生物現象を総合的に捉える力を育成する。

(地学) 野外実習等の実施を通して、体験不足に起因する自然物の苦手意識と総合的判断力の不足を改善する。

2 物理の基本実験

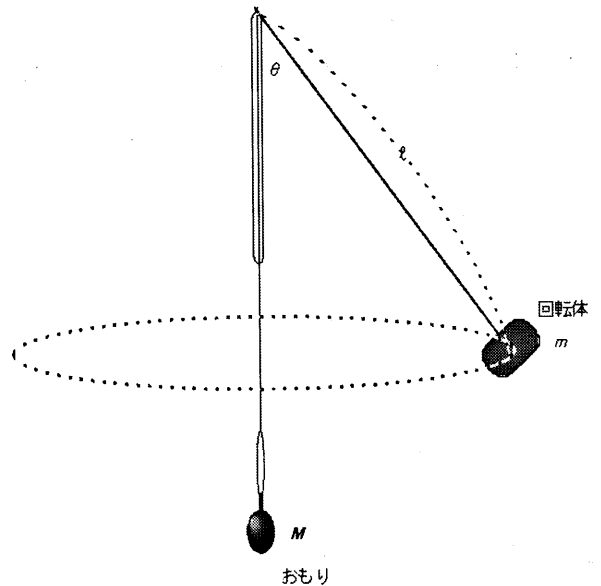
はじめに

本校では、2年生で物理(旧課程では物理I、新課程では物理基礎)を必修としている。ここでのねらいは、自然界から探究的に法則性を見いだす過程を通して、物理的なものの見方や考え方を学ぶことにある。もちろん、これだけで法則が発見できる訳ではないが、この結果等を演繹的に活用したり、様々な現象に照らしてみたりすることで、それが合理的な結論であると納得していく過程が重要である。問題も答えも自然現象の中にあり、人類が、自然界の仕組みを合理的に解釈しようと言うのが物理学である。自然界を探究しない物理は存在しない。実験をすると分かりやすい訳ではない。観察・実験とその解釈、これに基づく新たな現象の推測や説明が、自然科学そのものであり、問題集の中に自然科学はない。

3年生では、理系を中心とする生徒が選択物理を学んでいる。ここでも物理学習の基本姿勢は変わらないが、何もかも観察・実験をしなければいけない訳ではない。たとえば、電子の存在を全員が追実験により確かめる必要はなく、先人たちの実験結果や電子の存在に基づいて構築された論理の合理性を納得する能力があれば良いのである。このセンスを得るためには、2年生の学習は重要である。

つまり科目「物理」では、観察・実験により現象事実を知るとともに、これまで学んだ論理を複合的に活用したり、諸要素を考慮して定量的な精密さをもって解釈したりする実験が多い。

基本実験と言うと、手軽で簡単にできる実験と言うイメージであろうが、ここでは、あえてやや込み入ったものやICTを活用したもの等も入れてみた。ある程度高度な実験の分析・解釈を要求することも「物理」にあっていよいだろう。また、基本中の基本実験は、教科書にあるので、ここで多く載せる必要もあるまい。以下には実験の概略を示す。これらはすべて本校で生徒実験として行われているものである。



2-1 等速円運動

向心力という力はない。運動の向きを常に変えることから、円運動では必ず動径方向に加速度を生じていることがわかる。この加速度を生じるために、向心力となるべき力が必要である。運動方程式を用いて円錐振り子の運動を分析する過程で、向心力や向心加速度についての理解を深める。

【方法】円錐振り子の原理は、生徒各自で確認する。

実験方法は、以下のねらいが達成できるように、上図のような実験器具を構成し、各班で実験を企画し、実施、測定、分析する。

「おもりの質量 M 、回転体の質量 m 、円錐振り子の長さ l により、回転周期 T 、円錐振り子の角 θ などがどのように決定されるべきか、あらかじめ文字式で計算しておき、これを実験でも確かめたい。

- ・回転体は当たっても影響の少ない、柔らかめのゴムがよい。
- ・テグスは、各班で適当な長さを切り取り、おもりをつける輪を作り、回転体が飛んでいかないように端をきちんと固定する。
- ・回転体が水平面内で、一定の半径上を等速円運動するように回転させる(練習する)。
- ・回転周期の測定精度を上げるためには、どうしたら良いだろうか、工夫する。
- ・おもりや回転体、回転の速さなどの実験条件を変えてやってみる。
- ・他にも等速円運動の実験が考えられる。工夫してやってみよ。

2-2 単振動

a ばね振り子による質量の測定

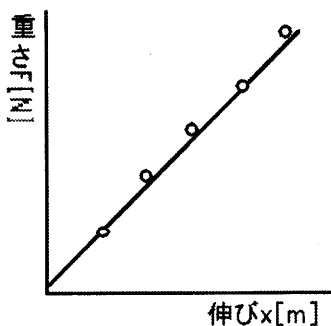
ばね振り子の周期に、重力は関わらない。つまり、これを利用すれば、無重量状態でも質量が測定できる。この分析の過程で、慣性質量についての理解が深まる。

【方法】

無重力下で、物体の質量を測るにはどうしたら良いだろうか。単振動を用いれば、重力の有無、大小によらない質量測定が可能である。どうすれば良いか、班内で話し合っ、実施に必要なデータを測定し、未知の物体の質量を求めてみよ。

(1)ばね定数 k [N/m] を

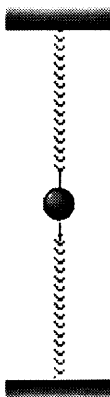
求めよ（有効数字も意識して求めよ）。鉛直に吊したばねに何種類かの重さの重りをつけ、そのときの伸びを測る。このとき、吊す重りの重さと伸びの関係をグラフに描く。



※ $F-x$ グラフは原点を通らないかもしれない。なぜだろう。ばねにその原因を探れ。

(2)ばね振り子の周期 T は、振幅 A に影響されるかどうか確認せよ。

(3)このばねに適当な重りを吊し、振動させる。その周期 T から、重りの質量を求めよ。なお、周期を100分の1秒の精度まで測定するには、どうしたらよいただろうか。工夫しなさい。人間がストップウォッチで直接測れるのは、10分の1秒くらいの精度である。



(4)右図のように重りの上下を各ばねにつなぐなどし、振動周期への影響を調べよ。

【分析】

ばね定数とばね振り子の周期から、未知の質量を求めよ。

b 摩擦力を含む単振動

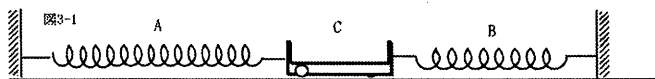
摩擦まで含んで振動現象を分析してみる。

【方法】

力学台車、記録タイマー、ばね（ばね定数は、各班で測定する）を利用して、単振動の $x-t$ や $v-t$ グラフを描き、力学的エネルギーの保存を確認する実験をせよ。実験方法、分析方法は各班で考える。

※ $x-t$ と $v-t$ グラフは、同一グラフ用紙上に、時間

軸を共通にして描くと分析・理解しやすい。この時、 $x-t$ と $v-t$ グラフでのプロット位置の違いに注意が必要（2年生での実験参照）。



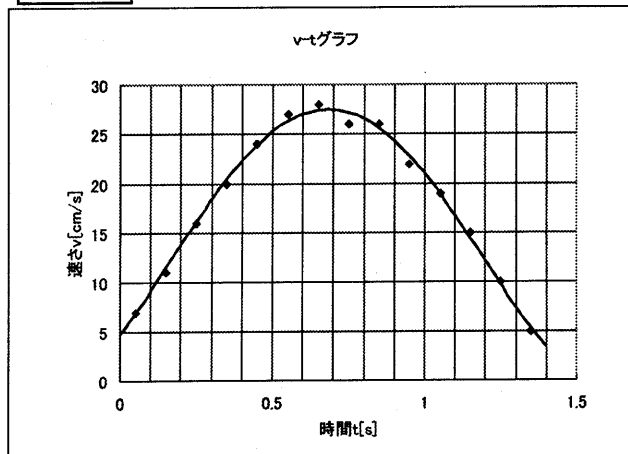
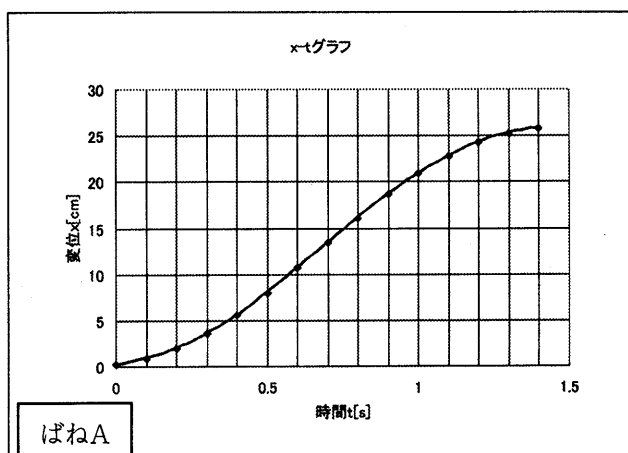
【分析】

- ・最高速になるのはどの位置なのか。
- ・最高速をエネルギー保存から求めて、実際の値と比べよ。
- ・最大加速度はどの位置か。

【実験結果分析例】

力学台車質量 0.997kg

ばね定数 A : $k_A = 1.09\text{N/m}$ B : $k_B = 3.71\text{N/m}$



(1)振動周期の分析

力学台車の運動方程式は、

$$-(k_A + k_B)x = ma \quad \text{である。}$$

従って、力学台車は周期が^s

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k_A + k_B}} = 2\pi \sqrt{\frac{1.0\text{kg}}{(1.09 + 3.71)\text{N/m}}} = 2.87\text{s}$$

となる単振動をすることがわかる。 $x-t$ グラフでは、B側に最大変位するまでに1.4sを要している。これは

半周期なので、上記の計算結果とよく一致している。

(2) 動摩擦力の分析

はじめ弾性力が釣りあう位置から 0.15 m だけ A 側にずらした位置で静かに力学台車を放した。つまり、はじめの振幅は $A_0 = 0.15$ m である。これが $A_0 + A_1 = 0.26$ m まで移動して止まったので、これは釣り合いの位置から $A_1 = 0.11$ m まで移動したことになる。また、この 0.26 m 移動する間に力学的エネルギーの一部が、摩擦力 f' による仕事 W に使われてしまう。この摩擦力を主に力学台車の車軸での動摩擦力的なものとして見て、 f' が一定とみなしておく、力学的エネルギーと仕事は、はじめの位置 ($x-t$ グラフの $x=0$ の位置) と最終位置 ($x-t$ グラフの $x=26$ cm の位置) で考えると、

$$\frac{1}{2}(k_A + k_B)A_0^2 = \frac{1}{2}(k_A + k_B)A_1^2 + f'(A_0 + A_1)$$

となる。これから動摩擦力 [N] は、

$$f' = \frac{(k_A + k_B)(A_0^2 - A_1^2)}{2(A_0 + A_1)} = \frac{4.8 \times (0.15^2 - 0.11^2)}{2} = 0.096$$

(3) 摩擦力を含めた振動中心の分析

振動は弾性力の釣り合う位置を中心とした減衰振動になるわけだが、弾性力と摩擦力が釣り合う位置で最大速度 V_{\max} となる (弾性力が釣り合う位置に達する少し前から摩擦力の方が弾性力よりも大きくなって、減速が始まってしまうから)。ここも半周期における振動中心ということもできよう。この位置を分析してみる。

摩擦力も含んだ運動方程式は、力学台車が x 軸の正方向に進んでいる間は、以下ようになる。

$$-(k_A + k_B)x - f' = ma \text{ 書き直すと}$$

$$-(k_A + k_B) \left(x + \frac{f'}{k_A + k_B} \right) = ma$$

V_{\max} となるのは、 $a=0$ だから、

$$x = -\frac{f'}{k_A + k_B} = \frac{0.096}{4.8} = -0.02 \text{ m} = -2 \text{ cm}$$

つまり、はじめの釣り合いの位置 (放す位置から 15 cm の位置よりも 2 cm だけ A 寄り、すなわち放す位置から 13 cm) で V_{\max} となる。

$x-t$ 、 $v-t$ グラフを見ると、確かに 4 分の 1 周期である 0.7 s のときに最大速度 $V_{\max} = 0.28$ m/s に達しており、このときの力学台車の位置は、放した位置から 13 cm となっている。

(4) 最大速度の分析

はじめの位置での弾性力による位置エネルギーが、最大速度に達する位置 (放した位置から 13 cm) での運動エ

ネルギー、位置エネルギー、摩擦力がした仕事になるので、

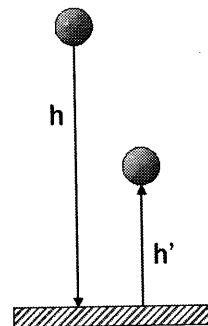
$$\begin{aligned} & \frac{1}{2} \times 4.8 \text{ N/m} \times (0.15 \text{ m})^2 \\ &= \frac{1}{2} \times 4.8 \text{ N/m} \times (0.02 \text{ m})^2 + \frac{1}{2} \times 1.0 \text{ kg} \times v_{\max}^2 + 0.096 \text{ N} \times 0.13 \text{ m} \end{aligned}$$

以上から、 $V_{\max} = 0.29$ m/s となる。グラフ上では、 $V_{\max} = 0.28$ m/s 程度である。

2-3 物体のはね返りに関する法則性を探る

ボールを床に落とすと、跳ね上がる。はじめの高さが一定であると、いつも決まった高さに跳ね上がるだろう。これは立派な法則性である。はじめの条件が同じなら、同じ結果が得られるのだ。ボールや床の材質を変えると、跳ね上がる高さも変わるが、その材質で実験する限りは、やはり決まった高さに跳ね上がるに違いない。

では、はじめの高さと跳ね上がる高さとの間には、どんな法則性があるのだろうか。その結果を基盤にして、思考実験により拡張解釈して、2 物体の衝突におけるはね返りの法則性を推測してみよう。その推測が正しいかどうかは、実際の衝突実験結果が答えてくれるに違いない。



この実験を単なる跳ね返り係数を求める実験には使えない。

【方法】

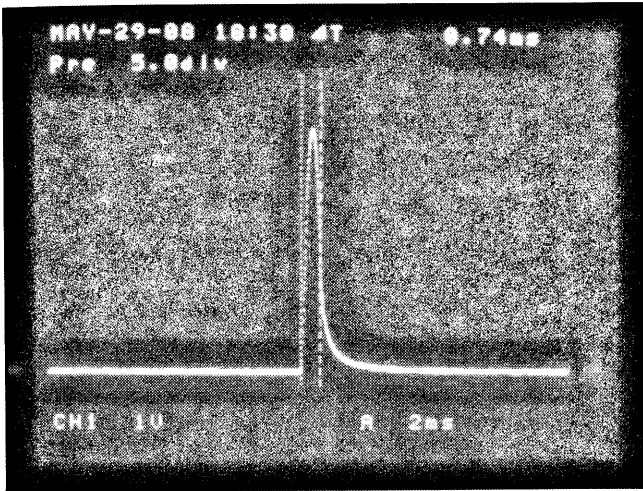
- ・ ボール (ピンポン球、スーパーボール等) とボールを落とす相手 (机、床、石等) を決める
- ・ 物差しを物理スタンドで鉛直に固定し、落下面からボールの高さが測れるようにする。
- ・ いろいろな高さ h から静かにボールを落とし、跳ね上がる高さ h' を測る。この h' を測るのはなかなか難しいので、物差しに輪ゴムの印を付けて何度か跳ね上がる高さを確認するなど、測定上の工夫が必要である。
- ・ h と h' の関係をグラフに描いてみよう。
- * 時間があれば、ボールや落とす相手を変えて同様にやってみる。

【分析】

- 1 実験事実から、どんな法則性が見いだせるか。
- 2 床とボールの衝突という見方をすると、大切なのは高さなのか。
- 3 無重力で、 h から落としたと同じ速さで床に衝突させたらはね返りにどんな特徴が表れるか。
- 4 無重力で、ボールが止まっているところに、床がボー

ルを落としたときの速さで衝突していったら、衝突後のボールの運動の特徴はどうか

ボールの跳ね上がりの場合、物体同士が反発する力以外に、外力としての重力がボールに働いている。この影響は考えなくてよいのだろうか。



ピンポン玉 (2.3 g) の花崗岩板との衝突時間を測定すると、写真のように極めて短いことが分かる。力は、時間とともに変化している。後半のなだらかな変化は、測定器とセンサーの関係で現れたもので、変形がゆっくり戻っているというわけではない。ボールと板との衝突時間は、0.74msである。この場合、0.4mから落とし、0.3mに跳ね上がっている。ボールに加わった力積は、

$$I_c = \sqrt{2 \times 9.8 \text{ m/s}^2} \times (\sqrt{0.4 \text{ m}} + \sqrt{0.3 \text{ m}}) \times 0.0023 \text{ kg} \\ \approx 1.2 \times 10^{-2} \text{ Ns}$$

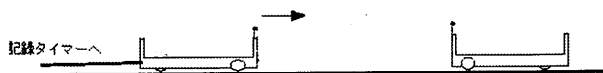
一方、この衝突中の重力による力積は、

$$I_g = mg\Delta t = 0.0023 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2 \times 7.3 \times 10^{-4} \text{ s} \\ = 1.6 \times 10^{-5} \text{ Ns}$$

となり、重力による影響は2桁ほどの測定精度なら無視できることがわかる。

2-4 力学台車の衝突

外力（摩擦）があっても、撃力がはたらく場合には、衝突直前直後で運動量が保存される。



【方法】

(1) 1台の台車を標的として静かに置き、これに台車を衝突、連結させる。衝突させる台車には、記録タイマーを通した紙テープと連結用の吸盤をつけておく。

(2) テープから衝突前後の境となる打点を探し、これより前後に5打点ごとに区切り速さを求める。

(3) これをv-tグラフにして、衝突直前、直後の速さをそれぞれ求める。

(4) この結果から、系全体の運動量を求める。

(5) 台車におもりを乗せるなどして質量を変え、同様に行う。

① 吸盤の代わりにばねをつけて連結しないように衝突させたらどうだろうか。

② 相手の台車が動いている状態で衝突させたらどうなるだろうか。

いずれにしても、この場合には2台の台車の速度を同時に調べる必要がある。

※全体のエネルギーや相対速度の比が、衝突条件（連結、跳ね返りなど）によってどうなるのかも興味深い。

2-5 原子と比熱

金属のモル比熱を測定すると、どの金属もほぼ同じ比熱（デュロン・プティの法則）であることから、温度とは何かの理解が深まる。また、極低温の比熱を測つてみると、比熱が温度により変化することも分かり、大学の物理につながる。

【方法】

デュロン・プティの法則

・物理基礎で扱った混合法により、各種金属のグラム比熱を求め、モル当りに換算し、モル比熱を求める。

【分析】

モル比熱を金属ごとに比べて、その特徴を確認する。

デュロン・プティの法則は古典論的に金属原子の振動エネルギーにより比較的うまく説明されていた。また、1 molの比熱が3Rであることを利用して、原子量を求める等にも使われた。しかし、金属も低温になるとデュロン・プティの法則から大きく外れた比熱があらわれる。この説明には、量子力学の導入が必要となる。

【方法】

液体窒素を使った比熱測定

0 水の質量を測定しておく。水は、金属塊を入れた時に少し水がかぶる程度の量が必要。少ないと水が凍ってしまう。金属塊の質量は、測定後はかる。

1 液体窒素中で十分に冷えた金属塊を、あらかじめ水温を測定した水中に入れ、よくかき混ぜながら10秒後に水温を測る。

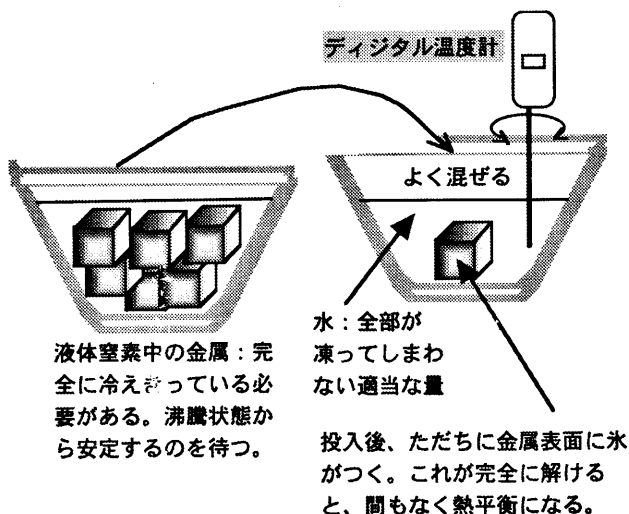
2 いったん温度が下がって、再び上がりはじめたら、測定終了。はじめ金属の周りに氷がつくが、これが解け

ると熱平衡に至る。

【分析】

液体窒素温度から熱平衡温度までの平均 \bar{c} のモル比熱を求め、これを $3R$ と比べよ

- *液体窒素中での金属の温度は何度だろうか、理科年表などで調べなさい。
- *熱平衡とは、具体的にどんなイメージなのだろう。
- *なぜ極低温では、比熱が小さくなるのだろう？絶対零度での比熱はいくらと推定されるのだろう？



- *アルミニウムや銅、鉄と比べて鉛の比熱には特徴がある。金などのように柔らかい物質は同じような傾向があるようだ。
- *ゴムを極低温にすると硬くなるのはなぜだろう。そもそも、常温のゴムが弾性を持って柔らかいのはなぜだろう
- *関連項目：アインシュタインの比熱、デバイ温度、統計熱力学、物性論

参考資料：単体の定圧モル比熱（理科年表参照）

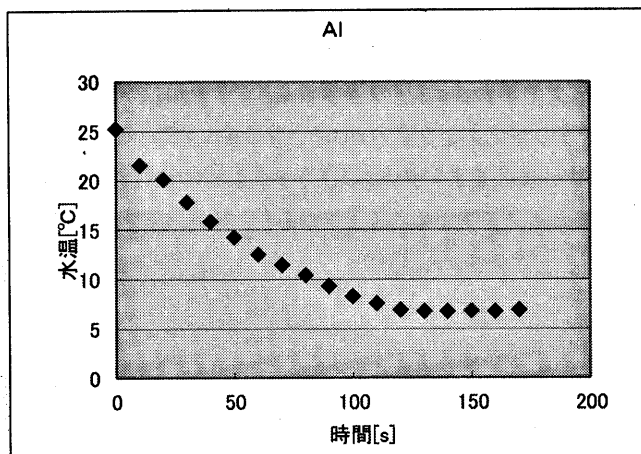
【結果】

アルミニウム 72.4 g を液体窒素で冷却し、水 117.6 g に投入した場合、実験結果より、平均の比熱は $c = 17.6\text{J}/(\text{mol K})$

理科年表によると、

75K における比熱は、 $c_{75\text{K}} = 8.7\text{J}/(\text{mol K})$

300K における比熱は、 $c_{300\text{K}} = 24.4\text{J}/(\text{mol K})$



2-6 ボイルの法則

実験自体はシンプルだが、考えることは多い。また、パソコンと連携することで、この実験の理解が深まる。

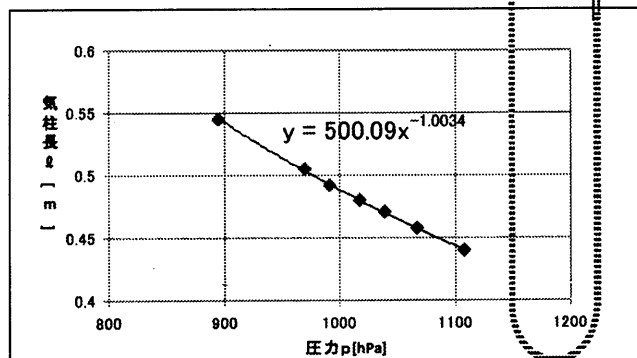
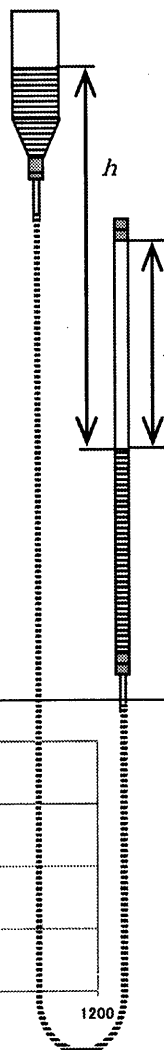
【方法】

- ・気圧、気温、 $h = 0$ のときの気柱の長さを測る。
- ・ h をプラスからマイナスの値まで、いろいろ変えて気柱の長さ l を測る。

【分析】

測定結果を表計算ソフトで圧力と体積（気柱の長さ）との関係をグラフ化する。これを累乗回帰で調べる。

下に生徒の結果例を示す。



2-7 リモコンが出す光は赤外線か

赤外線リモコンとは言うが、本当に赤外線であることを実証する実験を生徒自らが考え、実施する。

【方法】

- ・太陽電池にイヤホンをつけ、赤外線リモコンの光を当てて音を聞く。
- ・携帯電話のデジカメレンズ前にレプリカグレーティングシートを置き、様々な色のLED、赤外線リモコンを撮影する。

【分析】

波長と光点の間隔の法則性を確認し、この法則性をリモコンから出ている光にも適用し、判断する。撮影画像は、そのままメールに添付して、提出する。

生徒撮影例を下に示す。左が赤外線である。

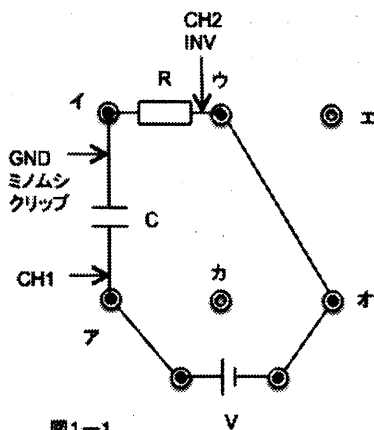
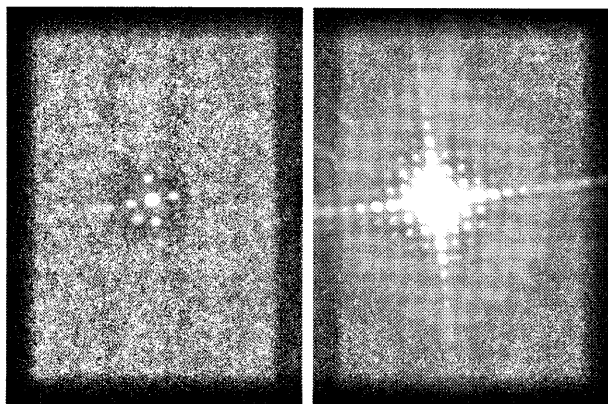
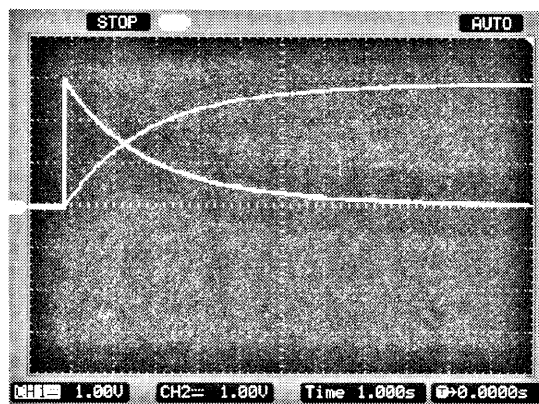


図1-1

【結果】

デジタルオシロスコープの実験結果画面を下に示す。



2-8 コンデンサの実験

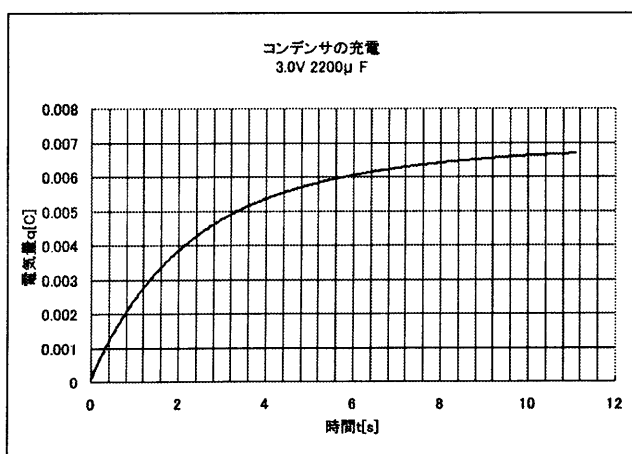
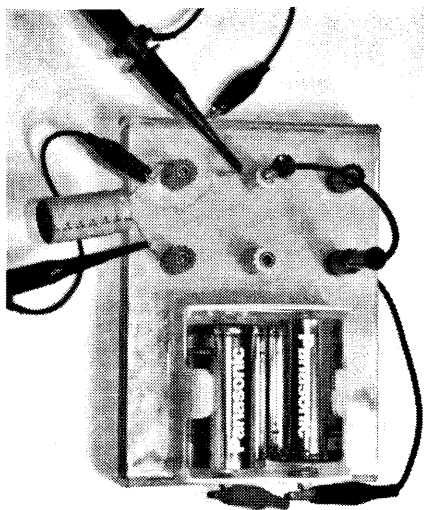
a 充放電

デジタルオシロスコープとパソコンを連携することで、短時間で実験が済むとともに、区分求積法の具体的な活用ができる。

【方法】

汎用端子板に図1-1のように配線する。

- ・コンデンサをショートした後、図のようにすれば、充電実験、オをアにつなげば放電実験となる



【分析】

充電電流から電気量を求める

このデータを USB メモリーを介して、パソコンに入れ、表計算ソフトで区分求積法により充放電電気量を求める。求めた結果のグラフを上を示す。

1. USB メモリーに保存した csv ファイルを、エクセルなどの表計算ソフトで開く。数値は指数表示になっており、E - 02 は、 $\times 10^{-2}$ の意味。
2. この場合、測定時間刻みは、 $\Delta t = 0.02 \text{ s}$ 刻みになる

ている。B列はコンデンサ両端の電圧 V_C 、C列は抵抗両端の電圧 V_R である。R=985 Ω であったので、B列の値を 985 で割れば、コンデンサに流れる電流が求まる。

3. 時間刻みが十分に小さく、その間での電流変化が十分に小さければ、その微小時間に流れ込んだ電気量 Δq は、 $\Delta q = \frac{V_R}{R} \Delta t$ これを充電完了まで、全て足し合わせれば、充電電気量 Q になる。このとき、 $Q=CV$ である。

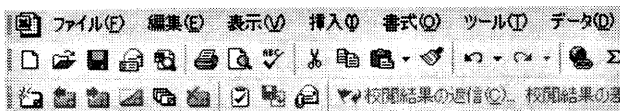
この表では、D列で 0.02 s 毎の Δq を求めるのではなく、これとすぐ上のD列の値を足している。これにより、時々刻々に蓄えられていく電気量が求められている。

A列とB,C列のグラフ(散布図)は、オシロスコープに表示されたグラフになる。

A列とD列のグラフ(散布図)を描けば、充電電気量の時間変化が求められる。

$q = CV \left(1 - \exp\left(-\frac{t}{CR}\right) \right)$ グラフから、時定数 CR が妥当かどうかも吟味したい。

時間軸や電気量の表示を工夫すれば、分かりやすいグラフを描ける。



D3 $=C3/985*0.02+D2$

	A	B	C	D	E
1	時間[s]	CH1 電圧 V_C [V]	CH2 電圧 V_R [V]	電気量 q [C]	
2	-5.14E+00	7.99E-02	3.00E+00	6.09E-05	
3	-5.12E+00	7.99E-02	2.96E+00	1.21E-04	
4	-5.10E+00	1.60E-01	2.88E+00	1.79E-04	
5	-5.08E+00	1.60E-01	2.88E+00	2.38E-04	
6	-5.06E+00	2.00E-01	2.80E+00	2.95E-04	
7	-5.04E+00	2.00E-01	2.84E+00	3.52E-04	
8	-5.02E+00	2.40E-01	2.76E+00	4.09E-04	
9	-5.00E+00	2.40E-01	2.76E+00	4.65E-04	
10	-4.98E+00	3.20E-01	2.68E+00	5.19E-04	
11	-4.96E+00	3.20E-01	2.72E+00	5.74E-04	
12	-4.94E+00	3.60E-01	2.64E+00	6.28E-04	
13	-4.92E+00	3.20E-01	2.64E+00	6.81E-04	

b つなぎかえ

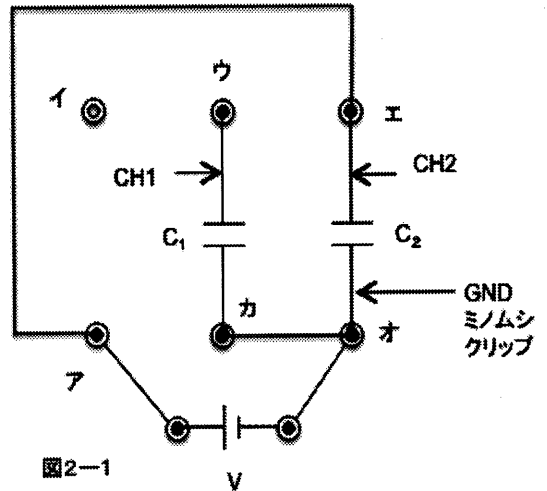
デジタルオシロスコープにより、コンデンサのつなぎかえによる電圧の変化が容易に確認でき、そのイメージもわかりやすい。また、デジタルオシロスコープは、高入力電圧計なので、ほとんど電荷を逃さずに測定できる。

【方法】

・回路は、充放電実験に使った端子盤に組む。一方のコンデンサに、一瞬電池と並列につなぎ充電する。他方のコ

ンデンサは、一瞬ショートして電荷を無くしておく。

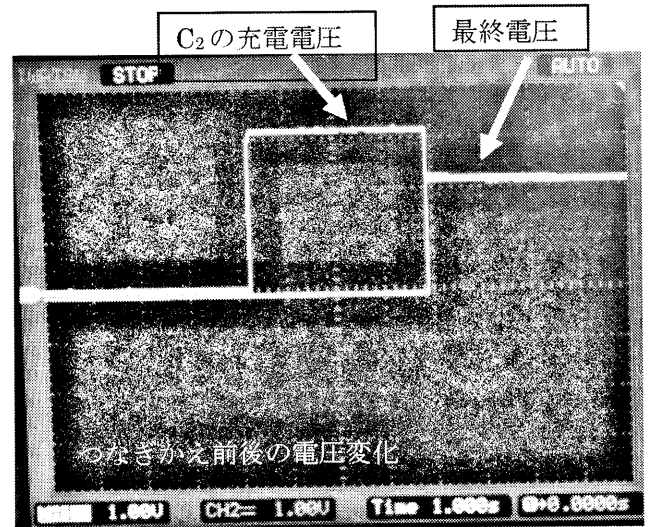
・2つのコンデンサの電圧をデジタルオシロスコープの各チャンネルにつなぎ(下図)、電圧の記録をしながら、



2つのコンデンサを並列接続する(ア→ウ)。

【結果】

充電していないコンデンサと並列に接続した場合の結果を下に示す。

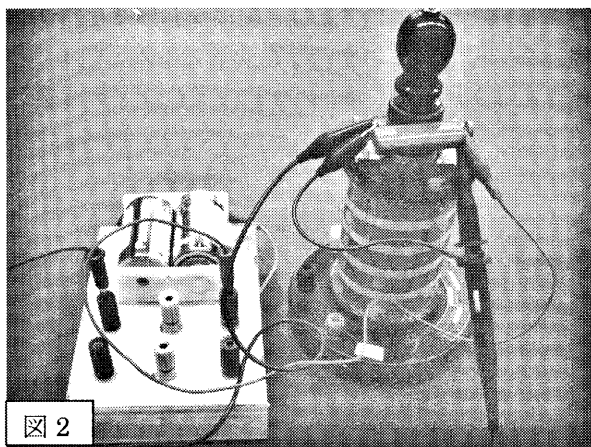
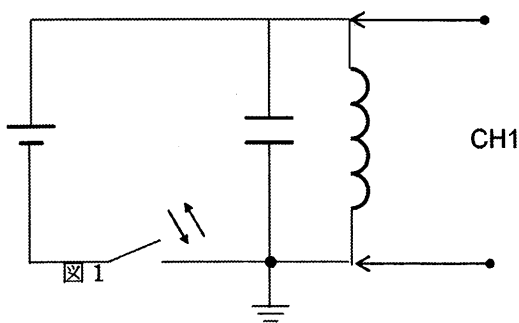


2-9 LC 振動電流

デジタルオシロスコープにより、インダクタンスの測定、コイルが磁場として蓄えていたエネルギーがコンデンサを充電する様子などが、論理と計算を含めて理解できる。

【方法】

図1のような回路で、スイッチを急に切ると、コンデンサとコイルとの間でエネルギーのやり取りが行われ、振動電流が流れる。この振動数、コイルのインダクタンス、振動電圧の最大値、エネルギー等について調べる。

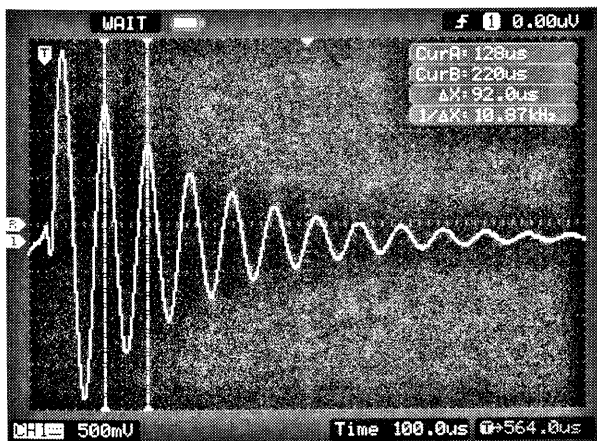


- (1)図1の回路（図2のようになる）を組む。コイルは、中央の細いほうを使っている。鉄心を入れるかどうかでインダクタンスは変わってくる。
- (2)スイッチを入れておき、急に回路を開き、この振動電流をデジタルオシロスコープに記録する。
- (3)記録画像から、振動数 f 、最大電圧 V 等を読む。
- (4)コンデンサやコイルを変えて同様に実験する。

【結果と分析】

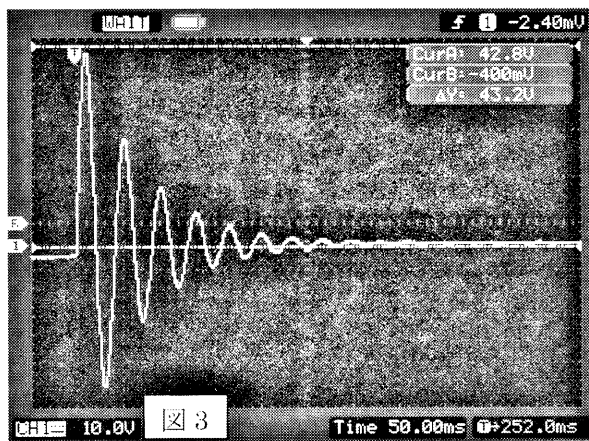
コイルのインダクタンスは不明なのだが、

$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ より、実験結果から振動数 f を求めれば、コンデンサの既知の電気容量とから求められる。



この実験では、 $C=4.7 \mu F$ 、 $f = 1.09 \times 10^4 \text{Hz}$ より、インダクタンス $L=4.5 \times 10^{-5} \text{H}$ が求められる。振動電流は、図3のように観測されるが、コイルなどの抵抗によりエネルギーが失われるため、減衰振動が観測される。ところで、電池の電圧は3Vであったが、図3の最大値は43.2Vを示している。これは、はじめコンデンサとコイルの両方にエネルギーが蓄えられており、コイルが蓄えていたエネルギーがまずコンデンサを充電したためである。このとき、エネルギー保存により、

$$\frac{1}{2}CV_0^2 + \frac{1}{2}LI^2 = \frac{1}{2}CV^2 + Q$$



(Q を抵抗によるジュール熱として) もとめられる。抵抗 R はコイルの抵抗として測定しておけば、 Q がいくら位なのか、逆に V がこれで妥当であるのかは、概算はできる。

2-10 CT スキャナの原理

セシウム 137 が出す γ 線を利用して、非破壊検査の原理を扱う。この過程で、 $\mu \text{Sv/h}$ 、 Bq 等の放射線に関わる具体的な数値を扱い、そのイメージを育てる。

- 1 線源の影響がない状態で、はかるくんの電源を入れ、測定結果を待つ。およそ35秒で $0.05 \mu \text{Sv/h}$ 程度の値が表示される。これをバックグラウンド値と呼び、主に自然界の γ 線による放射線吸収等量線量である。
- 2 線源とはかるくんを図1のように置き（BlackBox内は空とする）、はかるくんの電源を入れ、測定結果を待つ。1分待つと $1.3 \mu \text{Sv/h}$ 程度の値が表示される。これは、バックグラウンドと線源からの γ 線による値を足したものである。これを相手の班に教える。
- 3 隣の班の机に行き、相手の座標紙上に銅片5個以内で座標の枠内に置き、位置を記録してふたをし、相手に渡す。

設置条件

- ①座標 (1, A) ~ (4, D) の枠内にきちんと置く (中途半端や斜めは禁止)。

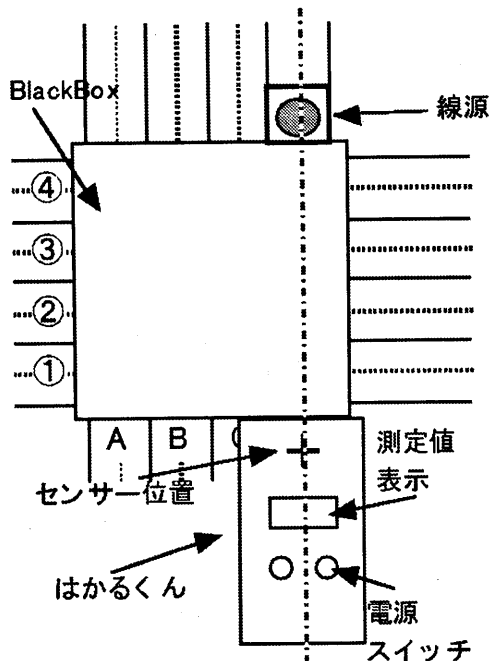


図1 D列の測定例

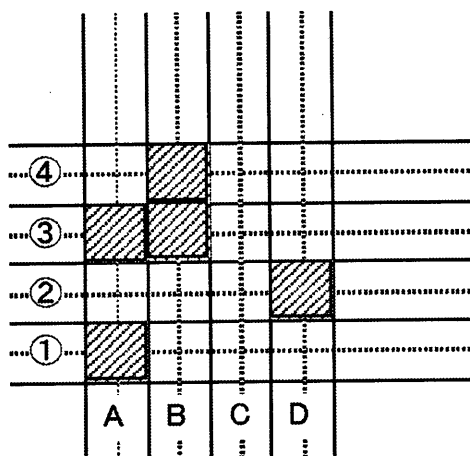


図2 位置が一意に決定できない配置例

- ②この測定方法から、銅片の位置が一意に決定できるように置かねばならない。

例えば、図2のように置いてあると、この測定方法では、例えば (④, D) & (②, B) や (②, A) & (①, D) でも、図2と同じ結果になってしまう。この場合には、唯一の位置が決定できないので、設置条件としては失格。
※もちろん、現実には癌細胞の配置が一意に決まらない状況があったり、癌細胞が正常細胞と同じ吸収率だったりするかも知れない、測定結果をコンピュータが正

しく判断できているかどうかまで吟味し判断する慎重さが欲しい。

※線源とはかるくんの距離が、常に一定であること。線源とはかるくんが図1のように接した状態で測れば良い。

- 線源とはかるくんに図1のように置き、A~D列と1~4行を透過する放射線をはかるくんで測定、記録する。
- 測定値からバックグラウンドを差し引き、内部構造を推測する (他班からの影響でバックグラウンドの変化もあるが、実際には、バックグラウンドを考慮しなくても十分に判断できる)。
- 曖昧な箇所があれば、さらに測定をして、平均値をとるなどし、内部構造を特定する。

【実験資料】

本校物理実験室内にて「はかるくんDX-300」にて測定したデータを示す。線源とはかるくんの距離は、常に一定 (13cm) であり、一直線上にある。

バックグラウンド 0.05 ~ 0.06 $\mu\text{Sv/h}$

東京の平均的な値 = 0.9mSv/年 (「原子力2003 経済産業省」より)

1回の胸部X線撮影 = 0.05mSv

東京-ニューヨーク航空機旅行 = 0.19mSv

	④	③	②	①	約 [$\mu\text{Sv/h}$]
					1.29
Cu					0.34
					0.18
					0.10
					0.08
					0.11

3 化学の基本実験

3-1 はじめに

化学分野では、平成21年度は新学習指導要領の基礎を付した科目、化学基礎（2単位）の科目について研究を行い、基本実験10を提案した。これらの中で、情報端末装置と集計投影装置を活用して実験データの分析を行い、教員と生徒、生徒同士の相互理解を図ることができた。

本校化学科では、旧課程においても毎学期10テーマ前後の実験を行い、探究的な活動を含めながら実施してきている。（写真1、写真2）

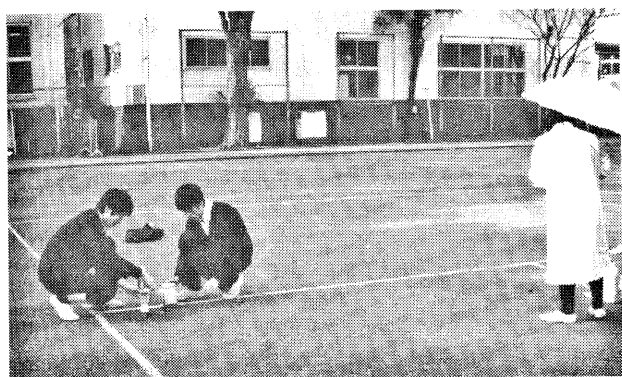


写真1 探究的な活動（化学反応を利用したペットボトルロケット打上げ）の例（旧課程）

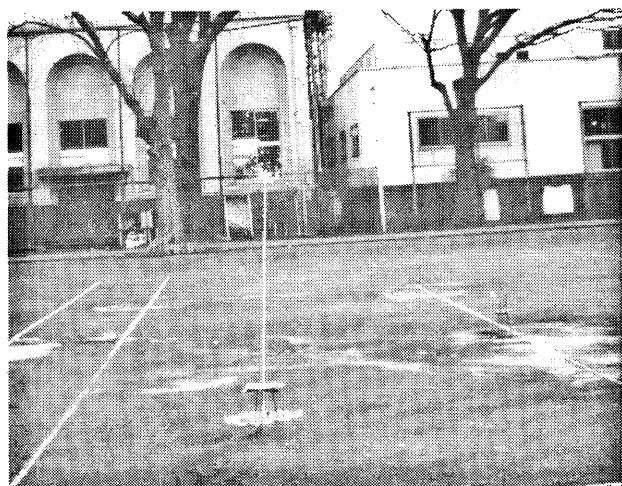


写真2 ペットボトルロケット打上げの上昇の瞬間（水を噴射する軌跡が判別できる）

これらの活動の中で、生徒たちは科学的に学ぶ態度が身につく、自ら進んで調査研究していく姿勢をつくってきた。机上の紙だけに頼る薄っぺらな学習ではなく、本来あるべき、科学の姿に自ら触れ、自ら感じ学び取り、自ら実践に結びつけてきた。

新しい学習指導要領の化学のねらいについては前報に述べたが、それは、すでに本校で旧課程から実践してき

ている内容そのものである。そこに新学習指導要領にて新たに追加された実験をこれまでの実験のように構築して組み込み、それを実践につなげることで新学習指導要領のねらいに合致したものになると考えられた。

そこで、本研究では、新学習指導要領の解説に述べられている具体的な実験例を、「化学基礎」と「化学」に分けて分析した。（これは、前報に述べた。）

今回の報告のテーマは「化学」分野の基本実験10であるので、前回報告した「化学」分野についての分析結果を、再度以下に掲載し、実験10についても述べる。

3-2 新学習指導要領の解説にある実験例の分析 および10例の実験の選定

教科【化学】

A これまでもよく授業で行われてきている実験

- ①減圧あるいは加圧下での沸騰の実験
- ②気体の分子量を測定する実験
- ③水やヘキサンなどへの極性分子及び無極性分子の溶解の実験
- ④水溶液の凝固点降下の測定実験
- ⑤コロイド溶液の性質を調べる実験
- ⑥ファラデーの法則の検証実験
- ⑦アルカリ金属、アルカリ土類金属、ハロゲンの単体及び化合物の性質や反応性を調べる実験
- ⑧鉄、銅、銀などの単体及び化合物の性質や反応性を調べる実験
- ⑨典型元素及び遷移元素の金属イオンを分離する実験
- ⑩アルコールの性質を調べる実験
- ⑪エステル合成と加水分解に関する実験
- ⑫フェノール類の性質を調べる実験
- ⑬サリチル酸の誘導体の合成実験
- ⑭アゾ染料の合成実験 など

B これまであまり授業で扱われていなかった実験

- ①酸素の分圧を測定する方法を調べ、その方法を使って、呼吸による酸素の割合の変化について探究させる
- ②鉛蓄電池や酸素水素電池の製作
- ③様々な金属や合金の物理的性質及び化学的性質を調べる実験
- ④酸化チタン（IV）の光触媒作用を調べる実験

そして、これらのうちから、その実験を扱う重要性や実験準備の面なども含めて考慮し、全国の高等学校で普通に実践しやすいと考えられたものを、以下のように10例選定した。

- ①減圧・加圧下での沸騰

- ②極性分子・無極性分子の溶解
- ③ファラデーの法則の検証
- ④濃度，温度，触媒の反応速度への影響
- ⑤ル・シャトリエの原理の検証
- ⑥アルカリ金属
- ⑦酸化チタン（IV）の光触媒作用
- ⑧エステル合成と加水分解
- ⑨サリチル酸誘導体，アゾ染料の合成
- ⑩ナイロン，熱硬化性樹脂の合成

さらにこれらの幾つかについて、現行の教育課程の中で実践できるようにアレンジし試行したことについて、以下に述べる。

3-3 基本実験10の実践

平成21年度の研究に基づき前回は、情報端末装置を実験授業の中で用いることを提案した。報告会では多くの方々から好評をいただき、新課程の教科「化学基礎」の中で、さまざまな高等学校においても十分実施可能であるとの見通しができた。今後、予算があれば広く日本各地の高等学校に広め、実践を推奨して行きたいと考えている。

一方、今回の研究対象である教科「化学」の中でも、同様に活用できることは十分可能であると思われる。すでに本校では、現行の教育課程の中で、新課程の教科「化学」に相当する実験においても何度か実践してきている。

(写真3、4)



写真3 化学実験室で用いる情報端末装置（机の上に置いてある）

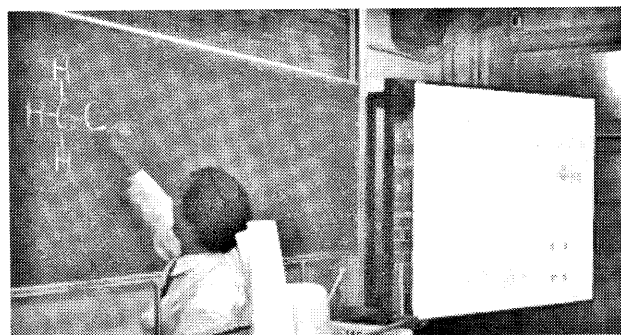


写真4 黒板に記入しながらモニターを活用

今回は、情報端末装置を容易に購入することができない学校もあるだろうということから、基本実験10を広く全国の高等学校で実践できるように、特定の装置などを使わず、普通の学校でそろえることができる装置や器具などを用いた、普遍型の実験授業を構成するように心がけた。

3-3-1 (基本実験10ナンバー①)

減圧・加圧下での沸騰

丸底フラスコに水と沸騰石を入れ、加熱する実験である。フラスコの口には銅管を接続しておく。(写真5)

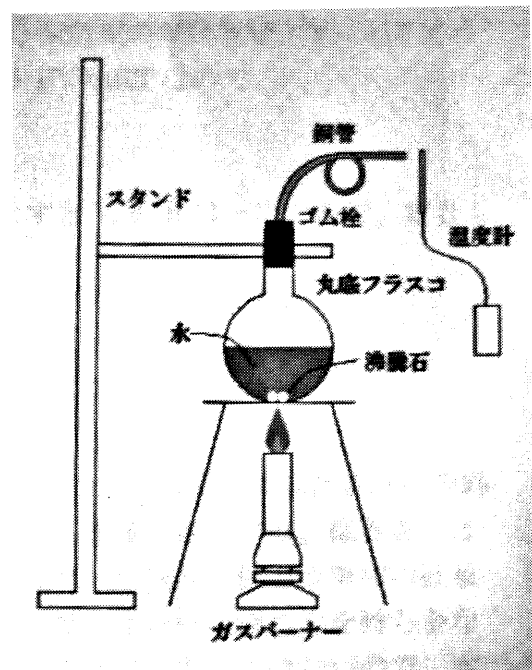


写真5 水の沸騰の実験装置（生徒のレポートより）

フラスコ内の水が沸騰したら、銅管の曲管部分をハンディーバーナーで加熱すると、銅管の先から200℃以上の水蒸気が出てくる。薬包紙やマッチをそこに当てると、焦がしたり点火させたりすることができる。実験終了後、銅管を外しそこにゴム栓をしっかり取り付けて、スタン

ドに設置し倒立させる。その上から冷水をかけると減圧沸騰が観察できる。

操作は単純で時間がそれほどかからず、使う試薬もなく水だけであるため、取り組みやすい実験であると考えられる。

実験をしてみて、生徒からは、

「水蒸気でマッチが点火できるなど不思議でおもしろかった。」「減圧沸騰の現象が簡単な実験操作で理解することができて勉強になった。」などの感想が寄せられた。どこの高等学校でも十分実施可能であると考えられる実験である。



写真8 電極に析出した銅の様子

4-3-2 (基本実験10ナンバー③)

ファラデーの法則の検証の実験

この実験は、旧課程でも定番の実験である。硫酸銅(Ⅱ)水溶液を、電極に銅板に用いて一定電流で一定時間電気分解させる。(写真6、7、8)



写真6 電気分解の実験をする生徒

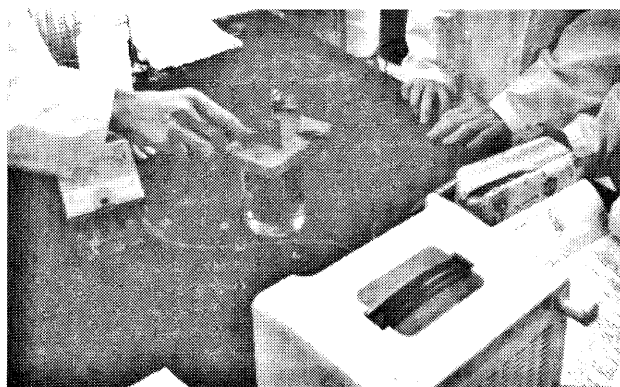


写真7 電気分解の実験装置(手前は電源装置)

そして、実験前後の両極の質量の増減を測定してファラデーの法則に照らし合わせ、質量について理論値と実測値を求めさせる実験である。

教科書や参考書上にある計算問題をただ漠然と解いて学習を進めるだけではなく、電気分解の回路や装置を自分の手で組み立てて実際に実験し確かめることで、化学に考察する態度の習得がはかられていると考えている。

4-3-3 その他の実践

教科「化学」のその他選定した基本実験10についても、従来の教育課程の中に取り入れて試行実施した。

それらの一部について、実験プリントを資料として次ページ以降にまとめた。(資料1~4)

本論文をお読みになされた高等学校の先生方には、実際にこれらのプリントを用いて実験を行ってみたいいただき、忌憚のないご意見ご批判などをいただけると幸いです。

4-4 まとめ(化学分野)

今回の研究を通じて、以下のような課題が主に挙げられた。

- ①実験の更なる改善
- ②成果の普及方法
- ③実験環境整備

特に折角の文部科学省による指定研究であるにも関わらず予算が少ないため、十分に本研究の成果を全国に広めることができず、その見込みもないことが現状である。多くの教員が協力し多大なる労力のかかった本研究を「絵に描いた餅」で終わらせないために、関係諸方面の理解と協力を求めたい。(文責：岩藤英司)

化学実験 3-02 物質の溶解

[目的] 各種の溶媒にいろいろな溶質を混合し、溶解性についての理解を深める。

[準備] 試験管、試験管立て

溶媒 (水, エタノール, ベンゼン, 四塩化炭素, メタノール, ブタノール)

溶質 (塩化ナトリウム, ナフタレン, ブドウ糖, 塩化コバルト)

[操作] [1] 固体の溶解性

1) 4本の試験管に水を約2mL入れ、それぞれに塩化ナトリウム、ナフタレン、ブドウ糖、塩化コバルトを少量ずつ入れ、試験管を振って混ぜる。

*入れる溶質の量は、耳かき1杯程度。多く入れすぎない。

2) 4本の試験管にエタノール2mLを入れ、1)と同様の操作を行う。

3) 4本の試験管にベンゼン2mLを入れ、1)と同様の操作を行う。

4) 4本の試験管に四塩化炭素2mLを入れ、1)と同様の操作を行う。

[2] 液体の溶解性

5) 5本の試験管に水を約2mL入れ、それぞれにエタノール、ベンゼン、四塩化炭素、メタノール、ブタノールを約2mL加え、試験管を振り混ぜて溶けたかどうかを判断する。

6) 2本の試験管にエタノールを約2mL入れ、それぞれにベンゼン、四塩化炭素を約2mL加え、試験管を振り混ぜて溶けたかどうかを判断する。

7) 1本の試験管にベンゼンを約2mL入れ、四塩化炭素を約2mL加え、試験管を振り混ぜて溶けたかどうかを判断する。

[実験結果] 観察結果を表にまとめてみよう。

溶質 \ 溶媒	水	エタノール	ベンゼン	四塩化炭素
塩化ナトリウム				
ナフタレン				
ブドウ糖				
塩化コバルト				
水				
エタノール				
ベンゼン				
四塩化炭素				
メタノール	○：溶ける (均一になる)			
ブタノール	×：溶けない (ほぼ同量で2層に分離するまたは固体がほとんど残る)			

△：少し溶ける (2層に分かれるが一方が少なくなっている)

[課題] (1)溶媒、溶質の化学式をそれぞれ書け。

(2)溶質や溶媒をイオン化合物、分子性化合物等、化学結合に着目して分類せよ。

(3)(2)の分類と溶解性について考察せよ。

(4)(3)以外の観点で、溶質が溶媒に溶解する理由を考えてみよ。

資料1 原稿の教育課程に取り入れて施行～実験プリントより抜粋①

化学実験 3-06 化学反応速度

[目的] 濃度や温度を変化させることにより、化学反応速度がどのように変化するか、その関係を調べる。

[準備] 温度計、ビーカー、メスシリンダー、加熱器具、ストップウォッチ、
0.05mol/L ヨウ素酸カリウム (KIO₃) 水溶液 [A液]、
デンプンを加えた0.02mol/L 亜硫酸水素ナトリウム (NaHSO₃) 水溶液 [B液]

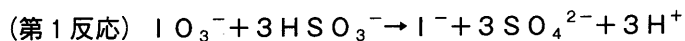
[操作] 化学反応速度と濃度との関係

- 1) ヨウ素酸カリウム水溶液 [A液] を 1mL, 2mL……5mL を 5本の試験管にとり、水で薄めて全量が 5mL になるように調製し、5種類の濃度の [A液] をつくる。
- 2) デンプンの入った亜硫酸水素ナトリウム [B液] 5mL を別の5本の試験管にとり、1) で調製した5種類の濃度の [A液] に加え、着色するまでの時間（反応時間）をそれぞれ秒単位で測定する。
 - [A液] の濃度が大きい溶液から実験を始めて、[A液] の濃度の変化に伴う反応時間がどのようになるかをあらかじめ予想してから、実験をするとよい。
 - 濃度によっては着色反応が起こらない場合がある（理由は参考を見よ）ので注意せよ。
- 3) 反応時間の逆数を計算し、混合溶液中のヨウ素酸カリウムの濃度 (mol/L) を横軸に、反応時間の逆数 (s⁻¹) を縦軸にとってグラフ化する。

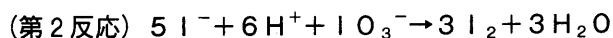
化学反応速度と温度との関係

- 4) ビーカーに水と砕いた氷を入れ、[A液] と [B液] を 5mL ずつ入れた2本の試験管をひたす。両方の試験管中に温度計を入れ、同じ温度 (0℃) になったら [A液] を [B液] に加え、2) と同様に着色するまでの時間を測定する。
- 5) 以降、[A液] と [B液] の温度を少しずつ（およそ10K程度ずつ）上昇させて実験を繰り返し、温度を横軸に反応時間の逆数を縦軸にとってグラフ化する。
 - 温度は正確に10Kずつ変化させる必要は無い（グラフ化すれば、関係は分かる）。
 - 複数の [A液] と [B液] をビーカーに入れて、ヒーターで温めながら水をよくかき混ぜ、温度計の温度が目標とする温度におおよそなったら、2本の試験管を取り出して実験を行えば、効率よく実験が行なえるだろう。

[参考] この実験で用いた反応は、反応の終わりに瞬間的に色が変わることから「時計反応」と呼ばれている。ヨウ素酸カリウム [A液] に亜硫酸水素ナトリウム水溶液 [B液] を加えると、次の反応でヨウ素が析出する。これが [B液] に含まれるデンプンと反応して青紫色となる。



HSO₃⁻ が使い尽くされると、第2反応が起こる。



- [考察] ①濃度と反応時間の逆数との間にはどのような関係があるか。
②温度と反応速度の逆数との間にはどんな関係があるか。
③この反応で反応速度を大きくするためには、どうしたらよいことが分かるか。
④このときの反応時間の逆数 (s⁻¹) は何を意味しているのか。

化学実験 3-07 化学平衡と平衡移動

[目的] 可逆反応の存在を知るとともに平衡状態があることを確かめる。また、化学平衡が濃度・圧力・温度等の条件変化により移動し、新しい平衡状態になることを確かめる。

[準備] 試験管、ビーカー、温度計、二又試験管、ゴム栓、注射器、ピペット、ナイフ
メスシリンダー、コニカルビーカー、ピンセット、
0.1mol/L クロム酸カリウム (K_2CrO_4) 水溶液、0.1mol/L ニクロム酸カリウム ($K_2Cr_2O_7$) 水溶液、
1 mol/L 塩酸 (HCl)、1 mol/L 水酸化ナトリウム (NaOH) 水溶液、濃硝酸 (HNO_3)、銅片 (Cu)、
塩化鉄(Ⅲ) ($FeCl_3$)、チオシアン化カリウム (KSCN)、塩化カリウム (KCl)、
1mol/L アンモニア水 (NH_3aq)、フェノールフタレイン溶液、炭酸アンモニウム ($(NH_4)_2CO_3$)、
酢酸アンモニウム (CH_3COONH_4)、塩化ナトリウム (NaCl)、金属ナトリウム (Na)、濃塩酸 (HCl)

[操作] ① ニクロム酸イオンの平衡 $Cr_2O_7^{2-} + OH^- \rightleftharpoons 2CrO_4^{2-} + H^+$
(橙赤色) (黄色)

- 1) 0.1mol/L ニクロム酸カリウム水溶液に、2 mol/L 水酸化ナトリウム水溶液を1滴ずつ加え、その変化を観察する。
- 2) 1) に 2 mol/L 塩酸を1滴ずつ加え、その変化を観察する。
- 3) 1), 2) を繰り返す。
- 4) 0.1 mol/L クロム酸カリウム水溶液に、2 mol/L 塩酸を1滴ずつ加え、その変化を観察する。
- 5) 1) に 2 mol/L 水酸化ナトリウム水溶液を1滴ずつ加え、その変化を観察する。
- 6) 4), 5) を繰り返す。

② アンモニア水の平衡 $NH_3 + H_2O \rightleftharpoons NH_4^+ + OH^-$

- 1) 1mol/L アンモニア水を少量取り、数滴のフェノールフタレイン溶液を加える。これを水で薄めて淡桃色としたものを数本の試験管に取る。
- 2) 1) のうち1本は、炭酸アンモニウムや酢酸アンモニウムなどのアンモニウム塩を加えてよく振り混ぜてみる。
- 3) 1) のうち1本は、ガスバーナーで煮沸してみる (突沸に注意せよ)。
- 4) 1) のうち1本は、1mol/L 塩酸を数滴ずつ加え、その変化を観察する。

③ Fe^{3+} とSCN⁻の平衡 $FeCl_3 + 3KSCN \rightleftharpoons Fe(SCN)_3 + 3KCl$

- 1) 0.03mol/L 塩化鉄(Ⅲ)水溶液 2 mL を10倍に薄めて、0.003mol/L 塩化鉄(Ⅲ)水溶液 20mL をつくる。
- 2) 0.1mol/L チオシアン化カリウム水溶液 2 mL を10倍に薄めて、0.01mol/L チオシアン化カリウム水溶液 20mL をつくる。
- 3) 1) と 2) を混合して4本の試験管に分ける。
- 4) 1本は比較用とし、他の3本には別々に0.03mol/L 塩化鉄(Ⅲ)水溶液 1mL、0.1mol/L チオシアン化カリウム水溶液 1mL、塩化カリウムの結晶小さじ1杯を加えてよく振り混ぜ、それぞれの変化を比べる。

④ 二酸化窒素と四酸化二窒素との平衡 $2NO_2 \rightleftharpoons N_2O_4$
(赤褐色) (無色)

- 1) 二又試験管の一方に銅片、他方に濃硝酸を入れた後混合させ、二酸化窒素を発生させ、乾燥した試験管2本に下方置換で捕集し、ゴム栓をする。

*二酸化窒素は有毒で刺激臭の気体なので、捕集後すぐに銅と濃硝酸を分離する (ドラフト使用可)。

2) 1本は比較用として残し、もう1本の試験管を氷水中に入れてみる。

3) 次に、2)の試験管を熱湯中に入れ、変化を観察してみる。

*色の変化は、後ろに白い紙を置き、条件を変化させない比較用のものと比べてみると分かりやすい。

**必要に応じて、2)、3)の操作を繰り返す。

4) 二酸化窒素を注射器中に入れ、ゴム栓で密栓する。次にピストンを押ししたり、引いたりして圧力を変化させ、変色の様子を比較する。

*色の変化は、後ろに白い紙を置き、条件を変化させない比較用のものと比べてみると分かりやすい。

**ピストンを押し続けてしばらくすると変化が見られるので、押し込んだ状態でしばらくピストンを静止させて変化を見るようにする。必要に応じてピストンの操作を繰り返す。

⑤飽和食塩水の溶解平衡 $\text{NaCl (固)} + \text{aq} \rightleftharpoons \text{Na}^+ + \text{aq} + \text{Cl}^- + \text{aq}$

1) 飽和食塩水を2本の試験管に5mL取る。

2) 1本の試験管に、米粒大の金属ナトリウムを加え、すぐ試験管でふたをして、溶液の変化を観察する。

3) もう1本の試験管に濃塩酸を数滴ずつ加えて、溶液の変化を観察する。

[考察] 平衡を示す式を参考にして、条件変化と平衡移動の方向についてそれぞれ考察せよ。

化学実験 3-14 合成染料・医薬品の合成

[目的] 合成染料・指示薬や医薬品を合成して、その化学変化について理解する。

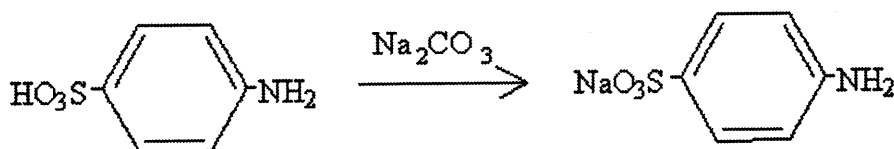
[準備] ビーカー、メスシリンダー、温度計、ガラス棒、ピンセット、木綿布、試験管、三角フラスコ、吸引ろ過装置（アスピレーター、ニツェ、吸引びん、ろ紙）、ガラス棒、投げ込みヒーター、アニリン $C_6H_5NH_2$ 、2 mol/L 塩酸、希硫酸、二クロム酸カリウム水溶液 $K_2Cr_2O_7$ 、炭酸ナトリウム $NaCO_3$ 、スルファニル酸 $HSO_3-C_6H_4-NH_2$ 、亜硝酸ナトリウム $NaNO_2$ 、ジメチルアニリン $C_6H_5-N(CH_3)_2$ 、無水酢酸 $(CH_3COO)_2O$ 、サリチル酸 $C_6H_4(OH)COOH$ 、メタノール CH_3OH 、濃硫酸、塩化鉄(Ⅲ)水溶液、炭酸水素ナトリウム

[操作] [1] アニリンブラックの合成

- 1) アニリン 1 mL に塩酸を少しずつ加えて溶かし、あらかじめ湯に浸けて絞っておいた木綿の布を浸して十分にしみ込ませる。
- 2) 1) の布を 50 mL の硫酸酸性二クロム酸カリウム水溶液の中に入れて加熱する。
- 3) 布を取り出して水洗いしてみよ

[2] メチルオレンジ (p-スルホベンゼンアゾ-4-ジメチルアニリンナトリウム塩) の合成

- 4) 50 mL のビーカーに 15 mL の水を入れ、0.2 g の炭酸ナトリウムを加え溶解させる。



- 5) 4) に 0.5 g のスルファニル酸を加え、ガラス棒でかき混ぜ、加熱しながら溶解させる。
- 6) 5) の溶液を氷水で 0~5℃ に冷却しながら、0.2 g の亜硝酸ナトリウムを加え、溶けるまでかき混ぜる。
- 7) 6) に、2 mol/L 塩酸 5 mL を攪拌しながらゆっくり加える。赤褐色の溶液となる。
- 8) 別のビーカーに、2 mol/L 塩酸 5 mL を加え、これに 0.3 mL のジメチルアニリンを混ぜる。これを氷冷しておく。
- 9) 7) のスルファニル酸のジアゾニウム塩に、8) のジメチルアニリン塩酸塩溶液をかき混ぜながら加える。赤色の染料が析出する。
- 10) これに 2 mol/L の水酸化ナトリウム水溶液をゆっくり加えて、オレンジ色のナトリウム塩をつくる(完全にオレンジ色の塩になるまで十分に加える)。
- 11) 10) の溶液に 2.5 g の塩化ナトリウムを加えて、加熱してメチルオレンジの細かな沈殿物のみを得る。
- 12) 11) を水で冷やした後、吸引ろ過をする。
- 13) 得られた沈殿を水やエタノールに少量溶かし、酸や塩基を加えて色の変化を確認せよ。

4 生物の基本実験

4-1 はじめに

実験や観察を通して、自然現象の見方や捉え方を養い、一層深めていくための方法を研究する。昨年の研究に引き続き、4単位の生物でも身近な材料を使った生物実験をどのように行うかを中心に研究し、私たちの身の回りの自然現象を科学的に捉える力を育成することを目指した。今年度は身近な材料や素材を念頭に置きながら、その点だけにとらわれず範囲を広げ、生徒に是非行っておいてほしい10テーマの実験を選定した。その内訳は、学校内外で入手しやすい身近な材料を使った取り組みやすい実験・観察(②⑥⑨⑩)、および学校内に見られる生物を用いた実験・観察(③⑦⑧)、さらに、生徒に経験しておいてほしい実験(①④⑤)、以上である。

4-2 基本実験10の選定

広く実験や観察を主体とする教育を目指すため、昨年度に引き続き、選択生物においても「基本実験10」を選び出し、実験や観察を行う際に各種の障害や、組みにくさをどのように取り除いていけるか。事前準備をどのようにすれば効率的に行うことができるか。以上の点に関して実践をもとにして研究を続けた。生物の基本実験10に関しては、以下のものを取り上げて研究を行った。

- ①タンパク質の特性と立体構造（カタラーゼの実験）
- ②呼吸に関わる脱水素酵素のはたらき
(デヒドロゲナーゼの実験)
- ③光合成色素の分離（クロマトグラフィーによる色素の分離実験）
- ④遺伝子の発現調節
- ⑤ウニの発生
- ⑥ブタの眼球の解剖
- ⑦植物ホルモンの働き
- ⑧植物群落と層別刈取り法
- ⑨ネコの毛色の遺伝子と集団遺伝
- ⑩ニワトリの手羽先の比較解剖

生徒による実験や観察を实践した結果、生物現象そのものや生物のもつしくみについて、より総合的に捉え、本質に迫る力が生徒達の中に育ってきていると思われる。これは書物その他の情報だけでは発達しにくい、自然科学に対する真の見方が育成されつつあるためと考えられる。

4-3 基本実験10の内容

本年度は、基本実験を広く研究していったが、今回は以下の7つの実験について述べる。

4-3-1 ブタの眼球の解剖

生物の環境応答に関連し、ヒトの眼球の構造と機能を理解するために、動物の眼球を実際に解剖することは意義が深い。かつて行われていたウシの眼球の解剖は、現在も取扱い禁止となっており使用できない。その代わりに、やや小型であるがブタの眼球は入手できる。地域の食肉市場内の取扱い業者に依頼して材料を揃えてもらうことは、交渉次第で可能である。近くの食肉店に依頼して取り寄せてもらうことも出来よう。前もって余裕を見ておくことにより、1個100円から200円程度で入手できるだろう。実験日時が未確定の場合には、入手次第に家庭用の冷凍庫で冷凍してしまうとよい。ウシの眼球と比較して小型のため冷凍しやすい。解凍の際は、一日前に冷凍庫から冷蔵庫内へ移動しておけばよい。以下は、実験プリントの一例である。

生物実験 眼球の構造

〔目的〕 眼球の解剖を行い、光受容器としての眼の構造についての理解を深める。

〔準備〕 解剖バサミ ピンセット メス 解剖皿 手術用手袋 物差し

〔材料〕 ブタの眼球（二人で1個）

〔方法〕

1. 解剖皿に眼球をのせ、周囲に付着している脂肪や筋肉を、解剖バサミできれいに取り除く。
このとき、視神経の束を切断しないように気をつける。こうして、眼球の部分だけを露出させる。
★やや上方から見た眼球の全体像をスケッチし、眼球の幅と高さ、視神経の直径などを測定し、図に記入する。
2. 眼球の側面の中程に、メスで切り込みを入れる。強膜は硬く1回では穴が開かないので、メスの先端近くを持ち、少しずつ膜に切れ目を入れるようにする。穴が開いたら、そこにハサミの先を入れて、眼球の一周を切りすすみ、眼球を前後2つの半球に切り離す。
★眼球の中から出てくる透明な物質は何か。この特徴を記せ。
3. 後半の半球内部から透明な物質だけを丁寧に取り除き、半球内部を観察せよ。
★網膜を確認し、その形状や広がり具合、色などを観

察せよ。さらに視神経と網膜の連続性を追跡せよ。

- 前半の半球内部から透明なものを取り除き、毛様体、水晶体、チン小帯、虹彩などを観察し、できるだけスケッチせよ。
- 前半の半球の角膜に指をあてて、裏返しにするようにめくって返し、水晶体を取り出す。

★大きさ、質感、レンズとしての機能などを観察せよ。

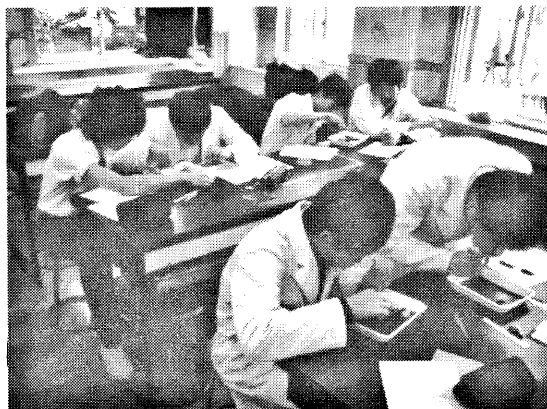
〔考察〕

- 上の★印の部分について、観察した結果をまとめよ。
- 眼球を構成している3層の膜の機能について、解剖をもとに考えてまとめよ。
- ヒトの眼球と比較して、ブタの眼球の特徴をまとめよ。(自分の眼を鏡に写して観察し比較する)

以下は、実験後のスケッチに述べられていた感想である。

・解剖らしい解剖の実験で面白かった。普段は資料の図でしか見ることのできない構造を実際に自分の手で見つけ出していくというのは、自分の知識の利用、整理ができて楽しかった。ペアの人やまわりの人にこれは何だとか、これは違うとか話し合うのも、自分はまだまだなことが分かったので良かったと思う。スケッチは大変だけど解剖は楽しいのでまた機会があればやりたい。

文系男子



解剖の実験風景

・まず眼球が解剖できるというだけで興奮気味だったが、切ってみると実際に資料集に載っている通りの構造が現れたので本当に感動した。水晶体は綺麗だった。また、強膜が意外に丈夫で中々貫けないことに驚いた。これで眼の構造は一生忘れないと思う。楽しかった。

文系男子

・今回はいろいろな構造を習ってからの解剖だったので、より深く知識を得ることが出来た。やっぱり、教科書で見ているだけでは気づかないこともあるんだと感じた。一つ一つの部位を確認しながらの解剖だった

ので、授業で習ったことの確認になり、とても有意義な解剖になったと思う。

文系女子

・人生初の解剖でとにかく恐かったです。目のまわりの脂肪をハサミで切ったのも、眼球を切った時に液体が出てきたのもきっと一生忘れません。一番意外だったのは、眼球を切った時に内部が一面真っ黒だったことです。人の眼の中は黒いのでしょうか。水晶体が本当にレンズの役割をしているのも感動でした。いい経験が出来たと思います。

文系女子

・ブタの眼球を最初に見たときは、少し気持ち悪いと思ってしまったが、作業を始めるとすぐに慣れて、細かく観察できた。授業で習ったり、図表で見たものは知識としては役立ったけれど、やはり実際に見るとイメージとはかなり違った。例えばガラス体があんなにドロドロした液体のようなものかとは思っていなかったし、網膜もほとんど液体のようにドロドロしていて驚いた。動物の体はこのような複雑な構造があって周辺環境に適応していて、本当に不思議だしすごいと思う。

理系女子



脂肪の除去(下)

4-3-2 植物群落と層別刈取り法

本校では、敷地内の草本植物を用いて層別刈取り法を実施し、生産構造図を作成している。春から秋の間には、除草されなければ、色々な草本植物が生育してくると思われる。それらのうちから、多くの個体が生育しているものを、広葉型とイネ科型とを選び出せばよい。学校敷地内で利用できる草本類としては、エノコログサ、チカラシバ、イタドリ、ツユクサなどがある。

1 実験方法の概略

〔目的〕 植物群落における光合成系と非光合成系の空間配置を量的に明らかにし、物質生産と植物体の構造との関係を考察する。

〔準備〕 せん定ばさみ（古い裁ちバサミで代用可能）、ビニール袋、ポール4本（10cmまたは30cmごとに印をつけた1m以上の棒、園芸店で支柱などを購入可能）、タコ糸、照度計、はかり、植物図鑑

〔方法〕

(1)場所の選定：学校敷地内の草本群落のうち、イネ科型植物の優占する群落と、広葉型植物の優占する群落の2つを選ぶ。



(2)群落内の比較的均一な場所を選び、一定面積（50cm×50cmまたは1m×1m）の方形区をとり、その四隅にポールを立てる。

(3)照度計を用いて群落の外部と内部の照度を測定する。内部の照度は、地表面から一定の高さ（ふつう10cmまたは20cm）ごとに測定し、外部の照度を100とした相対照度であらわす。

(4)群落最上部の植物を含む高さに糸を張り、一定の厚さ（10cmまたは20cm）ごとに、順次、せん定ばさみを使って植物体を刈り取る。刈り取りは、斜めになっている葉もその位置で刈り取るというように、できるだけ自然の状態のままでおこなう。

(5)刈り取った植物体は、各層ごとにビニール袋につめ、実験室に持ち帰る。

(6)植物を種類別にして、（種類が多いときには、ススキ群

落ではススキとその他の植物というように大別してもよい）、光合成系（葉）と非光合成系（茎、葉柄、花、果実）とに分け、生重量、乾燥重量を測定する。乾燥する時間や装置がない場合、生重量でも構造図は描ける（左下図）。(7)結果を表に表わし、生産構造図を作成する。左下図は校庭のクサイチゴ（広葉型）の群落に、1m四方の方形枠を設置し、層別刈取り法を行って描いた生産構造図である。ただし、この図は野外での採取直後の生重量を用いたものである。

2 留意点

生産構造図作成の目的は、植物の形状が光合成にどのような影響を及ぼしているかを実際に測定して体験することにある。本実験のやりにくさは、学校近辺に適切な実験地がない、植物名が分かりにくい、採取した植物の乾燥に手間と時間がかかる、などであろう。この実験は春から秋が適切な時期であるが、校内に草が伸び放題になると除草されてしまうので、予め適当な範囲に棒を立て、実験中といった看板を掲示して立ち入りを遠慮してもらおうとよい。種名は日頃から調べておくべきである。エノコログサやオヒシバなどが群落状を呈してきたら、早目にロープなどで囲い込んでおくことよい。刈取り自体は生徒が進んでやるが、実験室内の作業は手間がかかるので、野外から持ち帰り一気にやってしまうのがよい。その際は、光合成系と非光合成系の選り分け、生重量測定まで終えてしまう。

正統的な方法では、乾燥重量を用いる。実際に行うと、植物を乾燥するために場所と時間を要するが、上記の生産構造図を描いたのと同じ植物材料を、通常の方法により乾燥した場合と比較すると、大まかに重量が3分の1から4分の1に減少するが、グラフの形状自体には大きな差異が見られず、近似的なグラフとして生重量の利用価値もあると考えられる。

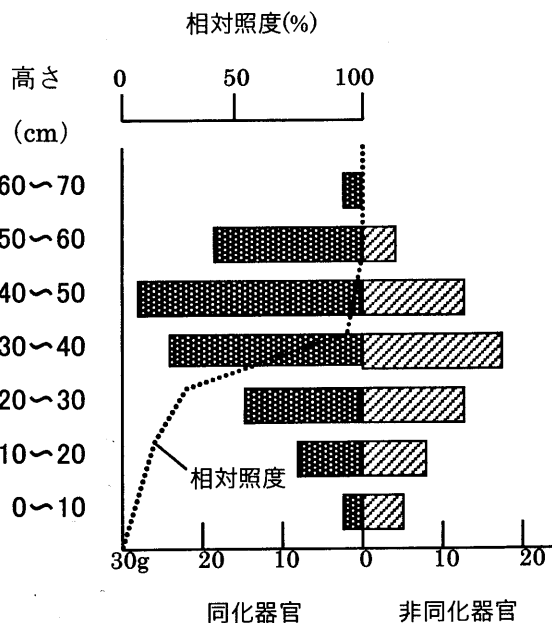
4-3-3 ネコの毛色の遺伝子と集団遺伝

(1)身近のネコの毛色の遺伝様式

遺伝子とその働きについての知識を実地に応用し、親子間でどんな遺伝子が受け継がれ、どのような表現型が現われるかを、実際の生物をもとにして考察する。身近に生活するネコの毛色の観察から、遺伝子の働きや、その遺伝様式などを交配実験なしでも知ることができる。毛色の基本的な遺伝様式を学習すれば、野外のネコの9割以上の遺伝子の働きを理解することができる。

①ネコの毛色を決定する主な遺伝子

初めてネコの遺伝子を考える際には、以下の5組の遺



伝子程度が適当である。

1. W-w 遺伝子

W 遺伝子は優性で、他のすべての毛色遺伝子に対して最上位である。WW または Ww をもつネコは、他の毛色遺伝子がどのような体毛は白一色となる。したがってキジ、黒、茶などいろいろな毛色が現われるネコは、劣性ホモの ww をもつことになる。

2. O-o 遺伝子

優性の O 遺伝子をもつネコは茶(オレンジ)色となる。O は A や a より上位であり、O があると全身茶色となる。ネコの性決定は XY 型で、O と o は X 染色体上にあるため、茶色の雌が OO、雄が O となる。ただし、Oo の雌個体は、茶色の部分とアグチまたは黒色の部分との2色がモザイク状に現れる。

3. A-a 遺伝子

優性の A 遺伝子をもつネコの1本の毛は、根元と先端が黒色で中間部がうすい褐色となるアグチ毛となる。aa のネコでは体毛全体が黒一色となる。

4. T 遺伝子

優性の T 遺伝子は縞模様(毛色の濃淡のパターン)を決定する遺伝子で、T- と A- をもつと、個体全体として黒とうすい褐色が交互にみられるキジ(野生型)になる。日本のネコの多くは魚のサバのような縞を生じる T をもつ。

5. s 遺伝子

優性の S 遺伝子をもつと体表に白い斑紋(ブチ)を生じる。O と共存すると茶ブチ、A- と共存するとキジブチ、aa と共存すると黒ブチとなる。雌で Oo と S- をもつと三毛となり、黒色部が A- の場合はキジ三毛、黒 aa の場合は黒三毛とよぶ。Oo と ss をもつと茶と黒の二色となり、黒二毛またはキジ二毛となる。

②ネコの毛色の主な型

以上をまとめると、野外のネコの毛色の主要な表現型は次の11種類となる。関東地方のネコの遺伝子を15年間調べた結果、11種類の型ではほぼ95%をカバーできることが分かっている。それらの表現形と一目で判別できる遺伝子型との関係は、下の表ようになる。

表現型	白	黒	茶	キジ	黒ブチ
遺伝子型	W-	wwO- aass	wwO- ss	wwO- A-T-ss	wwO- aaS-
茶ブチ	キジブチ	黒三毛	キジ三毛	黒二毛	キジ二毛
ww O-S-	wwO- A-T-S-	wwOo aaS-	wwOoA -T-S-	wwOo aass	wwOoA- ss

(2) 地域のネコの表現型の調査

①次のような方法により、自分の住んでいる地域のネコの毛色を調べ、まとめていく。

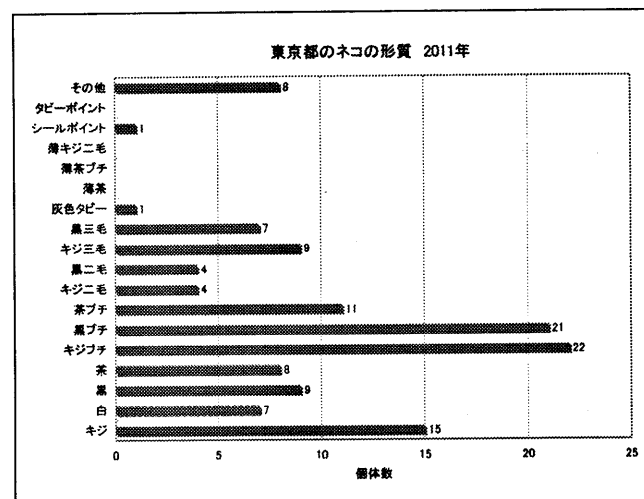
[準備] ノート、カメラ

[方法]

1. 自分の家や学校の周囲、公園、路地などでネコを探し、毛の色の特徴を記録し、その様子がわかるように写真を撮影する。
2. 写真を参考にしてネコの表現型を判定し、その個体に含まれている遺伝子を推定する。
3. 多くのデータを集計して、ネコの個体群中の遺伝子頻度を推定する。

②実際の調査の集計結果

以下は、平成23年に東京都内で調査された生徒のレポートを集計し、合計で127匹分のネコを表現型別に表わしたものである。



③遺伝子頻度の算出

集計結果から、代表的な2つの遺伝子の頻度を実際に計算していく。以下は生徒プリントとその指導例である。()内は生徒が記入する部分。

I) 我々が調査したネコの個体群がメンデル集団としての条件を満足すると仮定して、遺伝子頻度の推定を行ってみよう。

調査した東京都のネコ127個体で、毛の色を白色にする遺伝子 W の頻度 p と、w の頻度 q とを求める。右の表より白色は7個体で、これは WW と Ww の遺伝子型である。非白色は120個体で、これは ww のみなので、

$$q^2 = 120/127 \approx 0.945$$

$$\therefore q = \sqrt{0.945} \approx 0.972$$

$$p = 1 - q = 1 - 0.972 = 0.028 \text{ となる。}$$

2009年度(54期生)の調査集計(405個体)では p=0.016 q=0.984、2010年度(55期生)の調査集計(275個体)

では $p=0.043$ $q=0.957$ であった。

野沢謙氏らによる日本全国1万2千頭のネコの調査結果の平均値によると、 $W=0.0426$ $w=0.9574$ となっている。

II) 次に、毛色の表現型をブチにする遺伝子 S 、非ブチにする遺伝子 s とする。 S の遺伝子頻度 $=p$ 、 s の遺伝子頻度 $=q$ とする。ネコ総数 127 個体のうち、白ネコ 7 個体を除き、非白ネコ = 120 個体をもととする。この中には、 SS 、 Ss 、 ss が含まれる。ブチをもつ SS と Ss の個体の表現型には次のものがあるので、それらの個体数を数える。

キジ	15
白	7
黒	9
茶	8
キジブチ	22
黒ブチ	21
茶ブチ	11
キジ二毛	4
黒二毛	4
キジ三毛	9
黒三毛	7
灰色タビー	1
薄茶	
薄茶ブチ	
薄キジ二毛	
シールポイント	1
タビーポイント	
その他	8
合計	127

キジ三毛 (9)、キジブチ (22)、茶ブチ (11)、黒三毛 (7)、黒ブチ (21)。

これらの総計は (70 個体) …これは SS (頻度 p^2) と Ss (頻度 $2pq$) に相当。非白ネコからこの数を引くと、 $(120) - (70) = (50)$

これはブチなしにあたり、… ss (頻度 q^2) に相当する。 q^2 はこの頻度であり、 $(50) \div (120) \approx (0.4167)$

$$\therefore q = \sqrt{q^2} = \sqrt{(0.4167)} \approx (0.645) \rightarrow s$$

$$p = 1 - q = 1 - 0.645 = 0.355 \rightarrow S$$

2009 年度の集計では、 $p=0.426$ $q=0.574$ 。2010 年度の集計では、 $p=0.419$ $q=0.581$ であった。

同様に、野沢謙氏らの調査結果の平均値によると、 $S=0.4239$ $s=0.5761$ である。

4-3-4 ニワトリの手羽先の解剖

(1) 手軽な動物材料

動物の骨格標本を作成しようと考えると、まず生徒数の材料を揃える困難さが思い浮かぶ。その点で、ニワトリの手羽先はどこかのスーパーマーケットや肉屋でも入手が可能で、安価であり食品であることもあり、安心して実験に使用できる。

(2) 実験方法の概略

〔目的〕 ニワトリの手羽先を解剖して、骨格の標本を作成し、脊椎動物前肢の基本的な構造を学び、脊椎動物の四肢の進化についての理解を深める。

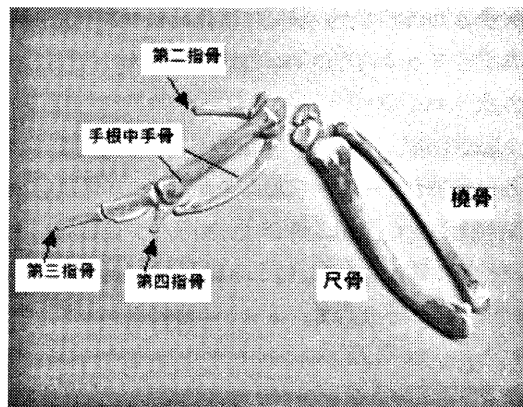
〔準備〕 ニワトリの手羽先 (大きめのもの)、ピーカー、中性洗剤、漂白剤 (家庭用のものでよい)、解剖皿、ピンセット、古歯ブラシ、厚紙、ガスバーナー

〔方法〕

(1) ニワトリの手羽先の全体の形を大きめにスケッチ

し、右・左どちらの肢かも確認しておく。

- (2) ピーカーに水を入れて火にかけ、ニワトリの手羽先を煮る。全体に十分に火が通り、しばらく置いたところで解剖皿に上げて冷ます。指やピンセットを用いて筋肉や腱、軟骨を取り去り、硬骨の部分だけにする。
- (3) 手首の関節にあたるには、軟骨に包まれた骨が入っているので、ていねいに取り出す。細かい骨はバットなどに並べ、(1)で行なったスケッチの上に、大まかな位置を記しておく。
- (4) すべての骨を取り出したら、薄く溶かしておいた中性洗剤を用いて、個々の骨を歯ブラシでよく洗い、余分な肉や油分を落とす。その後よく水洗する。
- (5) 漂白剤を薄めに溶かしておき、その中に骨を入れて 2~3 日おく。液は毎日新しいものと交換する。
- (6) 白くなった骨を水洗する。水を何回かとり代えてよく洗う。
- (7) 解剖図と比較しながら、厚紙に取り出した骨をならべていく。接着剤などで、厚紙に張り付ける (下図)。



- (8) 厚紙の上に、調べた骨の名称を記入する。
- (3) 実験上の留意点と困難さ

材料は食肉店などで予め購入しておき、冷凍庫で冷凍しておけばいつでも実験に取りかけられるので便利である。価格も 1 つあたり数十円と安価である。上記の方法では、班ごとに煮るやり方であるが、用具の準備や数を揃えるための時間が取りにくい場合は、大きな鍋で数十個の手羽先を同時に煮てしまうという方法を取ることもできる。

1 時間の授業時間内にきれいな標本を作成するのは難しい。骨をきれいに磨いたり、漂白したりするのにどうしても時間がかかる。そのような場合、紙袋やビニール袋に作成途中の手羽先を入れて、生徒に持ち帰らせるのもよいだろう。古い歯ブラシや家庭用の漂白剤などはどの家庭にもあると思われるので、たとえば 1 週間後に提

出させるとか、学校に持ってこさせるとかの方法をとることができる。

4-3-5 ウニの発生

動物の発生に関しては、板書、発生のビデオ学習、市販のプレパラート観察などを適宜実施してきたが、ウニが入手できた場合には、人工授精させて胚発生の観察を行っている。入手方法としては、教員が漁業権を得たうえで採集にいく、臨海実験施設などに分けてもらう、教材業者から購入するなどの方法がある。以下は実験プリントの一例である。

生物実習 ウニの受精と初期発生の観察

〔目的〕 ウニを人為的に受精させて、受精や発生の様子を観察する。

〔準備〕 人工海水、塩化カリウム溶液、注射器、三角フラスコ

〔材料〕 バフンウニ

〔方法〕

(1)口器のまわりの柔らかい部分に塩化カリウム溶液を注射する。塩化カリウム溶液がウニのからだ全体に行き渡るように揺り動かす。

(2)海水を満たした三角フラスコに、口器を上にして置く。

(3)卵または精子が生殖孔から放出されたら、卵の場合はそのまま放卵をさせ、精子の場合は、雄個体を口器側を上にしてシャーレに置き、そこに精子を放出させる。

(4)卵、精子をそれぞれ少量、海水とともにホールスライドガラスにとり、カバーガラスをかけずに150倍で検鏡する。

(5)卵、精子をそれぞれスケッチする。

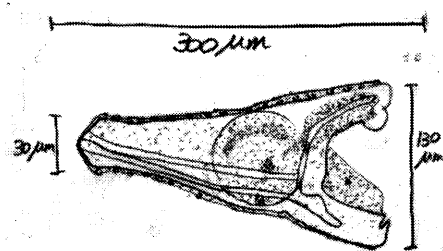
(6)卵の入ったホールスライドガラスにごく少量の精子を加え、受精させる。

(7)ただちに150倍で検鏡し、受精の様子を観察する。受精卵をスケッチする。

(8)受精後、時間の経過した胚の観察を行い、スケッチする。

〔考察〕

1. 発生の進行にともなって胚全体の体積、1つの割球の体積はどのように変化したか。



生徒によるスケッチ

2. 発生の進行にともなって起こる分化は、今回の観察ではどのような点において観察されたか。

以下は上記の実験を行った後に、生徒が提出した感想の一部である。

・カエルの卵の受精を見てみたいと思う。せっかく授業でもウニの受精卵とカエルの受精卵について学んでいるので、実際に見てみたい。また、植物の受精も見てみたい。花粉管の伸びた後のことは理屈ではわかっているが、実際に見たことはないからだ。 理系女子

・今回のウニの観察では、様々なウニの胚や発生過程を観察することができて、とてもおもしろかった。途中、胞胚期の観察時、同じ机を使っている人がスケッチで点を打っていたために胚が1つまたはそれ以上動いていたのを見て、胚はこのような小さな振動であってもこんなにも大きく動いてしまうのかと思い、このような小さなものが一生懸命に生きているのだ、そして大きくなってバフンウニになっていくのだと考えると、生物の不思議さ、面白さに改めて気付かされた。また、胚の時期によってはめまぐるしく動いているものも多く、スケッチをとったり観察したりするのがとても大変なものもあった。しかし、こんな小さなものがこんな速さで動くのかと思うと、とても不思議な感じがした。 理系男子

4-3-6 ジベレリンの働き

植物ホルモンは、植物の発芽・成長・花芽形成・老化・果実の成熟などさまざまな場面で多面的な働きを行っている。これを、簡単な実験を通じて理解を深めていくことができる。市販の種子から双子葉類としてツルなしエンドウ、単子葉類としてライ麦の種子を用意した。ジベレリンとしては、ホームセンターなどで市販されているジベレリン製剤を購入して実験に用いた。

〔方法〕

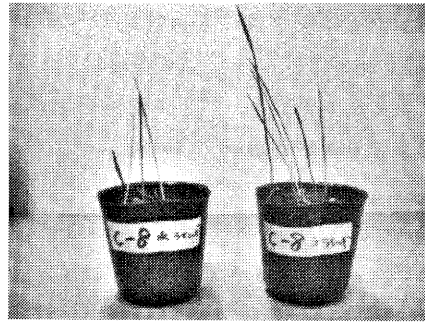
(1)用意した種子を半分に分け、各班ごとにそれぞれ5～10個ずつ準備する。一方は純水または水道水に浸し、他方は100ppm程度に調製したジベレリン溶液に浸す。それぞれ室温で6時間程度おく。(2)それぞれの容

器中の液を捨てて、水道水で種子を洗い、種子がややかぶる程度に水を満たし一晩おく。

- (3)条件をなるべく同一にした鉢を用意し土を入れる。
- (4)種子を土にまき、かぶる程度に土をかけて室内におき、発芽を待つ。
- (5)発芽から二週間程度、3日おき程度の間隔で観察し、スケッチなどを行う。

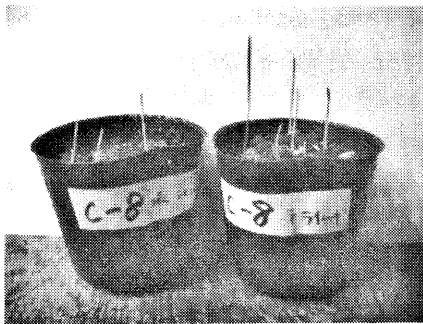
[結果]

今回実験した種子の両方とも、ジベレリン処理により発芽率の増大、発芽後の伸長生長の促進などが観察された。ジベレリンの示す多くの作用のうち、休眠打破・種子発芽促進作用があるが、このような実験により、播種後5日目頃から明らかな違いが認められる。初期の生育程度の差異はその後も引き続いたため、播種後3週間、その作用を確認し続けることができる。

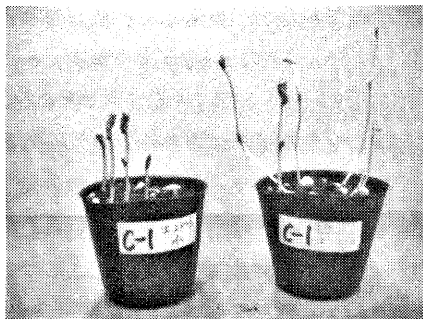


B②

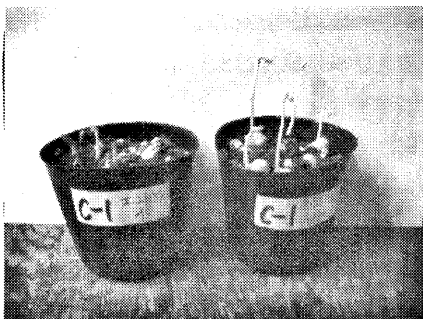
(種子発芽の実験 A はエンドウ、B はライムギの芽生え。各写真の左が純水、右が 100ppm のジベレリン溶液に 6 時間浸したもの (10/18)。播種は 10/19、①は 6 日後の 10/25。②は 9 日後の 10/28 撮影。室温は 19℃。)



A①



A②



B①

4-3-7 遺伝子組換え実験

古典的な遺伝実験とともに、これからの時代は遺伝子組換え実験を高校でも実施していくべきだろう。ただし、無菌条件での培地や器具の準備、組換え用 DNA の入手、実験操作の習熟、廃棄物の処理等、現場で考えなければならぬハードルが高く、二の足を踏むことも多いようである。今回、本校では山口大学工学部応用化学工学科より、無償にて実験キットをお譲りいただいたため、きわめて簡便に高度な実験を実施することができた。

キットに添付していた詳細なマニュアルから、必要部分を抜き書きして次のような生徒用プリントを作成し、これに従って実験を実施した。

生物Ⅱ実験 酵母菌を用いた遺伝子組換え実験

☆この実験キットは山口大学工学部応用化学工学科よりご提供いただいたものです。

1 実験の概要

宿主酵母 (ウラシルを合成できない株→ウラシル欠損培地 (最少培地) で生育できない)

+

DNA を導入 == アミラーゼ遺伝子とウラシル合成遺伝子を含む DNA を用いる。(アミラーゼはコウジ菌由来で、消化薬としても利用されている)

↓

遺伝子導入 2種類の形質が転換する

ウラシル合成遺伝子が入った酵母は、ウラシルがない最少培地でも生育できることを利用する。中には、遺伝子が入っていない酵母菌も多くあり、これらをすべてウラシルがない培地にまいてやれば、DNAが入った酵母のみが生育する。生育した酵母=ウラシル合成遺伝子が入った酵母となる。(これ

をマーカー遺伝子とよぶ) ウラシル合成遺伝子の横にアミラーゼ遺伝子を隣接させているので、この酵母はアミラーゼ遺伝子も導入されることになる。

酵母菌は本来アミラーゼ遺伝子をもたないが、アミラーゼ遺伝子が導入された酵母は、その遺伝子が転写、翻訳されてアミラーゼが合成され、外部の培地に分泌される。このアミラーゼ活性はデンプン分解能力で検出する。→ヨウ素デンプン反応による。

2 実験の日程

(1) 実験前日酵母菌の培養を開始

凍結した酵母菌を解冻し、YPD 培地へ約 0.3ml 分を滴下し、酵母液をシャーレの培地に傾けながら広げ、30℃前後で1日培養する。

(2) 酵母菌への遺伝子導入

《教育目的組換え DNA 実験の注意》

- ・窓や扉は閉じておく・飲食、食品の保存等の禁止
- ・実験終了後には手を洗う・保管管理を確実に
- ・口を使うピペット操作はしない
- ・実験終了後に組換え体、実験器具を確実に滅菌
- ・実験室の整理整頓

〔準備〕

前日準備した酵母菌プレート2班で1枚

以下は班で用意：DNA 液1本、遺伝子導入液1本、ループ1本、最少培地1枚、滅菌済みスポイト2本、スプレッター1本（無菌なので直前まで袋をあけない）

★注意事項★

- ・無菌操作なので、操作の直前に袋から出し、出したら手や服、実験台などに先が触らないように注意すること。無菌操作中は話をしてはいけない。
- ・培地プレートのフタをむやみに開けないこと。空気中の雑菌が混入する。
- ・酵母菌チューブは使用直前まで開けないこと。
- ・イメージトレーニングを実際の操作の前に行っておく。
- ・生物材料や DNA に触れた器具は机の上に置かず、漂白剤に投入し、滅菌後廃棄する。

〔方法〕

- 1 YPD プレート を 2 班 で 1 枚 用 意 す る。
- 2 ループの袋を開いて取り出し、これでフタを開けた YPD プレート上に生育している酵母菌を掻きとり、棒のループ側でできるだけ多く集める。米粒程度は必要。
- 3 ループの酵母菌全部を遺伝子導入液に直接入れる。
- 4 滅菌済スポイトを用いて「DNA」マイクロチューブの中に入っている DNA 溶液すべてを酵母菌の入った遺伝子導入液に入れる。

5 入れた後、同じスポイトで液を吸ったり出したりを5回から10回繰り返して酵母菌を懸濁する。この操作は重要。

6 チューブにしっかりフタをし、そこに班の名前（または代表者名）を書く。恒温器中のフロートに差し込み、42℃で20分間温浴させる。

7 42℃に置いた酵母-DNA 混合液を最少培地にまく。新しい滅菌済スポイトを袋から出し、酵母-DNA 混合液を2〜3回スポイトですったり出したりして混合後、その全部の液を吸い取って最少培地の中心に全部たらす。

8 スプレッターを袋から出し、培地のフタを開けて中の液をプレート上に均一に引き伸ばす。プレートを回しながらスプレッターを前後に動かす。水分が残っているうちに引き伸ばしをやめ、その後すぐにフタをする。

9 フタに名前を書く。室温で3-7日間置いておく。

(3) 遺伝子導入酵母の観察とアミラーゼ活性検出準備

〔準備〕

実験室に1つ：導入前酵母菌1枚

1グループ分：遺伝子導入酵母コロニーの生育した最少培地1枚、デンプン培地1枚、ループ2本、ペン1本

〔酵母の観察〕

最少培地に白い小さな盛り上がった点があいくつも現れており、この個々の点をコロニーとよぶ。1つのコロニーは、もともと1個の酵母菌が生育してできている（100万以上の酵母菌）。1コロニーは遺伝子導入された酵母菌が1つついたことを示すので、コロニーの数が遺伝子導入の効率を示す。コロニーの数え方は、プレートを裏返して、底からサインペンでコロニーに点を打ちながら数える。

多い場合は4分割して1分割分を数えて4倍する。これらの最少培地に増殖した酵母は、アミラーゼ遺伝子も同時に導入されている。酵母菌はアミラーゼをもたないので、新たにアミラーゼを持ちデンプンを分解する能力が付与された酵母菌が作成されたことになる。

〔アミラーゼ活性検出準備-方法〕

- 1 デンプン培地の裏側にサインペンで点を2つ書く。その1つにD、残りにCと記入する。
- 2 遺伝子導入された酵母菌コロニーの数個をループで取り、それをデンプン培地の「D」点に合わせて培地上に5mmぐらいの円形に塗る。すぐフタをする。
- 3 別のループを用い、導入前酵母菌を「C」点上に同様に5mmぐらいの円形に塗る。すぐフタをする。
- 4 室温（28℃〜30℃がよい）で静置する。翌日から検出可能で、1週間おいてもよい。

(4) アミラーゼ活性の検出

〔準備〕

1 グループ分酵母を塗ったデンプン培地1枚、スポイト1本、発色液1本（3ml）

〔酵母の観察〕

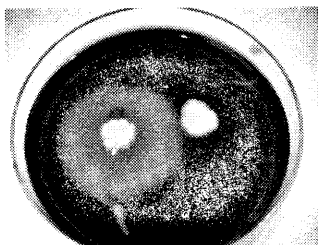
デンプン培地に塗布した酵母菌がプレートに白く増殖しているはずである。このプレートにヨウ素を反応させて、デンプンを検出する。

〔方法〕

- 1 酵母を塗った培地のフタを開け、2ml程度の発色液をスポイトで2つの酵母菌の上とそのまわりにそっと落とす。プレートは振らないように。
- 2 すぐにヨウ素デンプン反応が始まり、プレートが紫色を示すはずである。ただし、アミラーゼ導入酵母の周りは透明のはずで、この透明帯をハロとよぶ。「C」の導入前酵母株の周囲にはハロがないはず。このハロがアミラーゼ活性を示す。酵母菌から分泌されたアミラーゼによりデンプンが分解されるので、酵母菌の周囲にはデンプンがなくなる。デンプンはヨウ素反応で紫色として検出されるので、デンプン培地上で培養したアミラーゼをもつ酵母とその周囲にヨウ素液を垂らすと酵母菌の周囲はデンプンがないので透明になるが、アミラーゼをもたない酵母菌の周りは紫色となる（下図は実験結果、左に透明帯が見られる）。

〔3〕実験後の生徒の感想

・遺伝子組換え実験はもっと大掛かりで、高校でできるようなものではないと思っていたため、実験をすることができてとてもよかった。無菌操作をしなければならないということで、普段の実験より緊張感があった。（理系女子）



・遺伝子操作という響きはとても高度なものに聞こえて、まさか高校でこんな実験ができるとは思っていませんでした。「無菌操作」と言われ、操作が終わってシャーレのふたを開めるたびに「フー」と息を吐くような、いつになく緊張感のある実験でしたが、日を置いた酵母菌がしっかりコロニーを形成していたところや、最後の観察でアミラーゼ活性がしっかり現れているのを見て、やっぱり生物の実験って面白いな、と思いました。（理系女子）

・実験を無菌状態で進めるために必要な注意が多く大変でしたが、面白かったです。遺伝子導入した後に、最小培地で培養してできたコロニーが、きれいにできてうれしかったです。実験上の注意として、ヒトの雑菌が入ってしまわないように、手洗いはもちろん、話すのも厳禁という説明を受け、それほど培地は敏感なのだと思ったが、使用した実験キット

のYPD培地やデンプン培地は表面がとてもきれいで驚いた。遺伝子導入液の入れ物や、実験の手順など、すべてが大学でしかできないようなものだったので、大学入学後のイメージがなんとなくできた。（理系女子）

・今回、人生初の遺伝子組み換えをおこなった。今までは、身近にGMフードがあふれているのにも関わらず、遺伝子組み換えは私たちにとって、とても疎遠なものであり、何となくさけてきたことだったので、今回自分の手で扱うことでとても組換え技術というものに興味があった。キットもとても使いやすく、きれいに結果が出てくれたので、本当に毎回の実験がたのしみだった。有り難うございました。これを生かして生物の学習や日々の生活の考察をしていきたいと思う。（理系女子）

5 地学の基本実験

5-1 はじめに

地学の場合、平成24年度から先行実施される高等学校学習指導要領において、普通科では基礎科目（2単位）3科目を必修とする学校が多く、従来に比べて「地学基礎」の履修率が上がることが予想される。

しかし、「地学基礎」に比べて、「地学」の内容は専門的であり、地学を専門としない教員が担当することは難しいであろう。そのため、「地学」の履修率は決して高くはないと考えられる。

そこで、本研究では、地学の基本実験として、現行のカリキュラムで実施しているものを中心に、比較的取り組みやすい10テーマの観察・実験を設定し、その実験方法や評価などについて研究を進めた。

5-2 基本実験10の選定

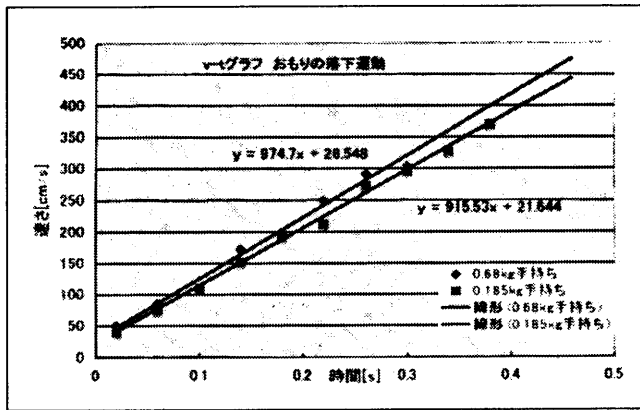
現行の教科書に載っていたり、従来から行われたりしている観察・実験の中から、「地学」の内容に対応する以下の10個の観察・実験を選定した。ただし、地学の特徴から、他の3科目と比べて観察や実習が多くなっている。

- ①重力加速度の測定
- ②岩石や鉱物の偏光顕微鏡観察
- ③野外観察
- ④地層や化石の観察
- ⑤レーダーや気象衛星画像の解析
- ⑥転向力の実験
- ⑦偏西風波動の実習
- ⑧恒星の南中、日出・日没の時刻と方位の実習
- ⑨火星軌道の作成
- ⑩木星の衛星データを用いたケプラー第3法則の検証

5-3 基本実験 10 の内容

5-3-1 重力加速度の測定

重力加速度の測定については、本校では2年生の必修科目である現行の「物理I」の中でも行っている。ここでは、落下させるおもりにテープをつけて、記録タイマーで落下の様子を記録し、 $v-t$ グラフを描き、そのグラフの傾きから加速度を求めている。もちろん、物理の中での実験であるから、おもりの質量を変えてみたり、テープを手で持っておもりを落下させたり、テープを手で持たないで、テープを固定しておき、はさみで切って落下させたりなど、条件を色々変えて実験し、物体が静止していても、落下していても、同じ重力がはたらいていることを探ることに力点が置かれている。

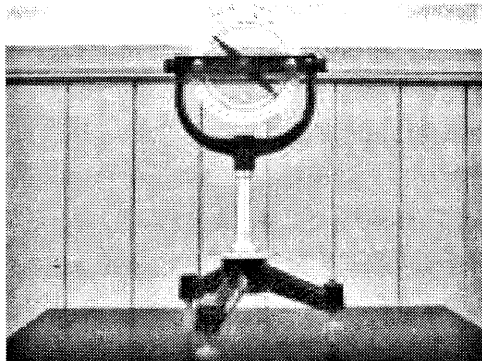


[$v-t$ グラフの例]

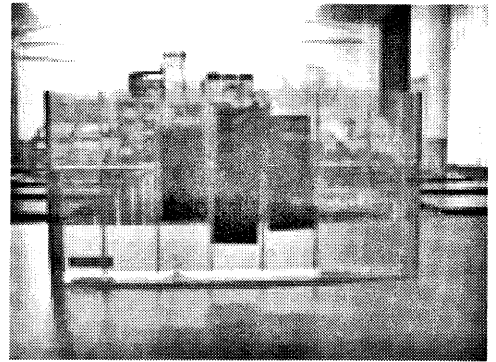
上の $v-t$ グラフからは、おもりの質量が 0.185 kg の時に、重力加速度が 9.16 m/s^2 と、0.680 kg の時に、重力加速度が 9.75 m/s^2 と求められている。

この他、単振り子を用いて、その周期と振り子のひもの長さとの関係から、重力加速度を求めることもできる。

したがって、このような物理の実験と重複がある場合には、地磁気の測定や、走時曲線の作成、アイソスタシーのモデル実験などに替えることもよいであろう。



[伏角の測定]



[アイソスタシーの実験]

5-3-2 岩石や鉱物の偏光顕微鏡観察

岩石の中でも、火成岩が観察しやすいであろう。

火成岩を深成岩と火山岩とに分類する基準となっている組織の観察も、偏光顕微鏡を通して観察すると、斑状組織と等粒状組織とを容易に区別することができる。また、同じ組織の火成岩でも、鉱物組成の違いを、容易に区別することができる。まさに、百聞は一見に如かずであろう。

観察する火成岩のプレパラートについては、生徒自身が作成することも可能であるが、用具や薬品の準備が必要であるし、時間もかかり、必ずしも、うまくプレパラートを完成させることができないので、市販のプレパラートを用いて、観察に重点を置くとよい。教材屋では、1 岩石 10 枚のプレパラートで約 2 万円で購入できる。

また、偏光顕微鏡は高価であるが、北辰光器製作所から販売されている簡易型偏光顕微鏡（ポラスター）を用いれば、台付きで 1 台 2 万円強と比較的安価に数をそろえることが可能である。

[準備]

簡易型偏光顕微鏡、火成岩のプレパラート

[簡易偏光顕微鏡の操作法]

①プレパラートの出し入れは、回転ステージ上の矢印の方向で行う。プレパラートを入れ、上方ポーラをはずしておき、台付きの簡易偏光顕微鏡では、まず見やすいように、反射鏡を調節して光を導入する（直射日光は避ける）。

※直視型の簡易型偏光顕微鏡では、プレパラートを入れ、上方ポーラをはずしておき、のぞいて明るい方向を見つけておく。

②ピント調整用リングを回転させ、プレパラートのピントを合わせる。この状態が開放ニコルである。

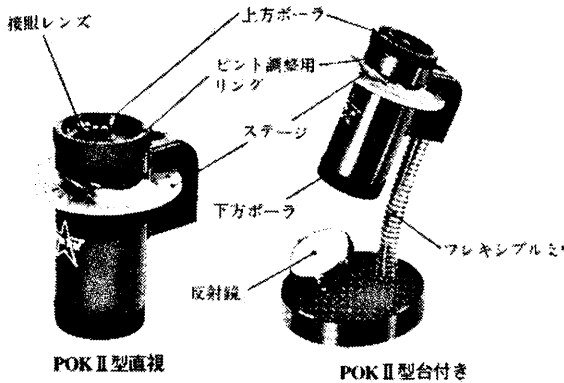
③上方ポーラを入れ、いったんプレパラートを抜き取り、下方ポーラを回しながら、視野が最も暗くなる所を見

つける。このときが直交ニコルの状態である。

④上の③の状態のときに、下方ポーラおよび接眼レンズの周囲の小さな突起の位置を確認しておくとう便利である。

⑤消光角の測定は回転ステージ上の角度目盛を標線にて読み取る。

観察した鉱物の同定は慣れないと難しいかもしれないが、地学の図表や『新版顕微鏡観察シリーズ4 岩石・化石の顕微鏡観察』（井上勤監修）〔地人書館〕などを参考に、行うとよい。



上方ポーラの出し入れができる簡易型偏光顕微鏡(北辰光器)

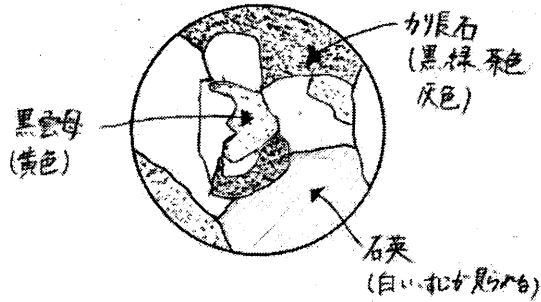
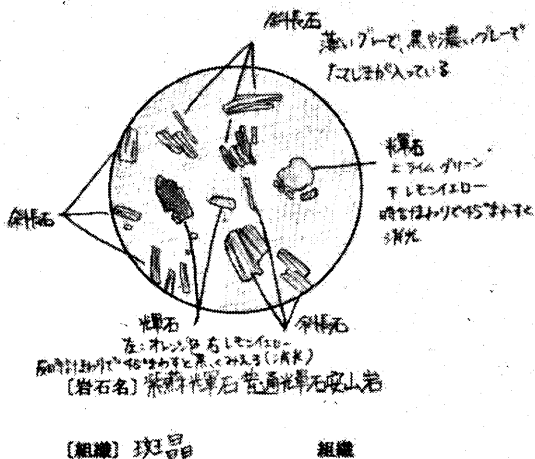
〔簡易型偏光顕微鏡〕

〔観察〕

火成岩4種（黒雲母花崗岩、かんらん玄武岩、石英閃緑岩、輝石安山岩または、紫蘇輝石普通輝石安山岩）を、図表を参考にしながら、簡易型偏光顕微鏡で観察しなさい。

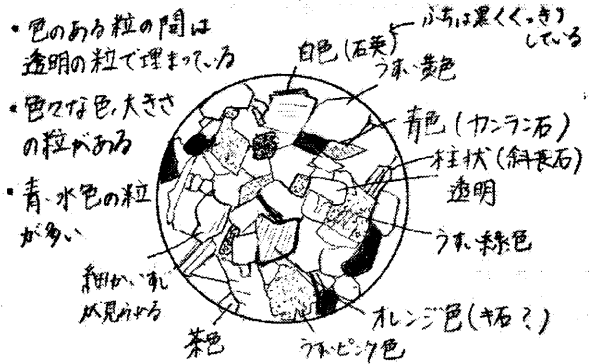
なお、任意の1種類の岩石については、スケッチをすること。その際、識別できた鉱物名をスケッチ中に示しなさい。

〔生徒のスケッチの例〕



〔岩石名〕 黒雲母花崗岩

〔組織〕 等粒状 組織



〔岩石名〕 石英閃緑岩(山梨県大月市)

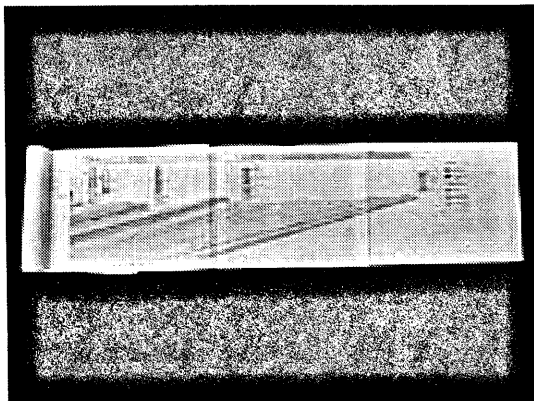
茶色の粒を
折り返す
と明るくなり、
消光が見え
た。

5-3-3 野外観察

地層の野外観察については、「地学基礎」の基本実験10で紹介したので、そちらを参照されたい。

〔生徒の地質断面図の例〕





「地学基礎」では、クリノメーターを使った走向・傾斜の測定などに制約があるが、「地学」では、そのような制約がないので、地域や実情に応じて、地層の野外観察を行うことができるであろう。

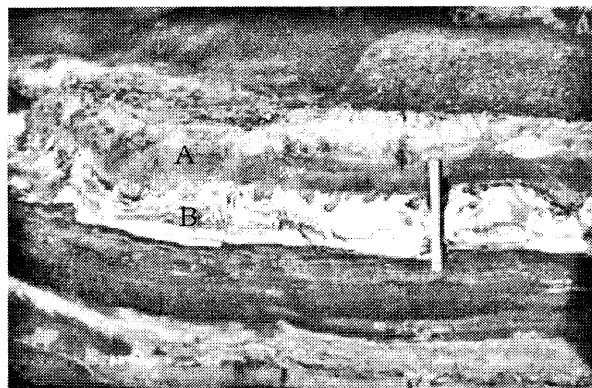
河岸段丘や海岸段丘といった地形の観察や、火山の観察なども地域によっては可能であろう。

また、ジオパークを利用した野外観察も有効であろう。例えば、南アルプス(中央構造線エリア)ジオパークでは、板山露頭(伊那市高遠町)や溝口露頭(伊那市長谷)などで、中央構造線の断層の断層の様子が観察できる〔経済産業省の日本のジオパークのホームページ(http://www.meti.go.jp/policy/economy/hyojun/techno_infra/geoparks/geoparks/alps/alps.html)などを参照〕。

5-3-4 地層や化石の観察

地層の観察は、先に述べた野外観察と同様であるとともに、実際に野外での観察が行えない場合には、露頭の写真を使って、具体的な観察を行うこともやむをえないであろう。

例えば、城ヶ島で見られる火炎構造の写真を見せて、地層Aと地層Bとの境界は凸凹しているが、どのようにして、この凹凸が生じたのかを考えさせてみるのもよいであろう。



〔城ヶ島で観察できる火炎構造〕

この場合、地層Bになる細粒の堆積物が堆積して未固結のうちに、その上により重い地層Aになる粗粒の堆積物が堆積したため、その重みによって凸凹が生じた構造であると考えられる。

また、化石の観察では、学校の近くに化石を含む露頭があれば、直接観察することが望ましいが、必ずしも、そのような露頭がない場合には、代表的な化石を標本で観察するとよいであろう。ここでは、第四紀の化石標本を用いて、さまざまな部位を計測して、その成長の様子を調べたり、地層中に残された証拠から、過去のできごとを推定したりすることを紹介する。

a. ハスノハカシパンウニの成長

ハスノハカシパンウニは、さまざまな大きさの個体が化石として産出するが、どのように成長しているのか考えてみよう。

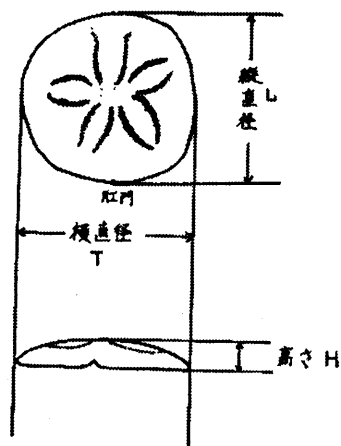
〔準備〕

ハスノハカシパンウニ(※)、ブラシ、油性ペン、表計算ソフト、ノギス(キャリパー)

※二枚貝の化石などでも可。

〔手順〕

- ①採集したハスノハカシパンウニをブラシで、砂を十分に落とす。
- ②ハスノハカシパンウニの完全個体を50個体任意に選び取る。
- ③各個体に、油性ペンで1～50番の通し番号を付し、以下の計測部位をノギスで計測する(計測はmm単位まで行う)。



縦直径(L) : 肛門を通る直径

横直径(T) : 縦直径に垂直な方向の直径

高さ(H) : 口面と反口面とをはさむ最大の厚さ

〔計測部位〕

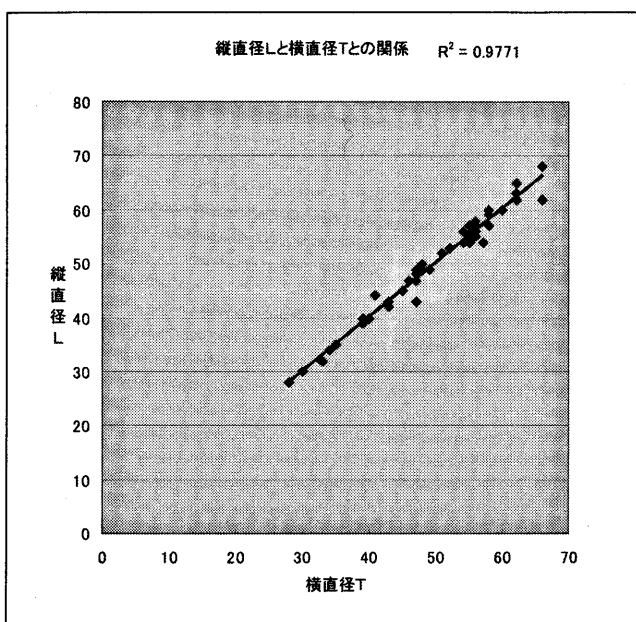
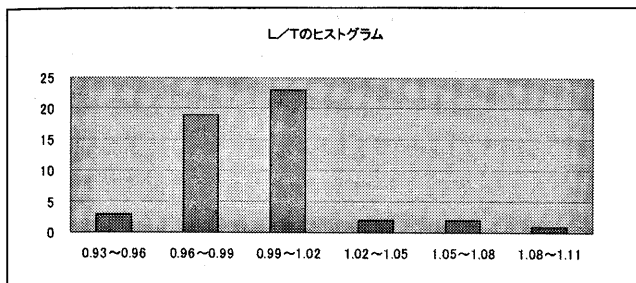
なお、計測は各部位について3回ずつ行い、その平均をとる。

④L/Tの値を表計算ソフトを使って求め、度数分布グラフを作成する。

⑤LとTの散布図を表計算ソフトを使って作成する。

〔L/Tの度数分布グラフ、LとTの散布図の例〕

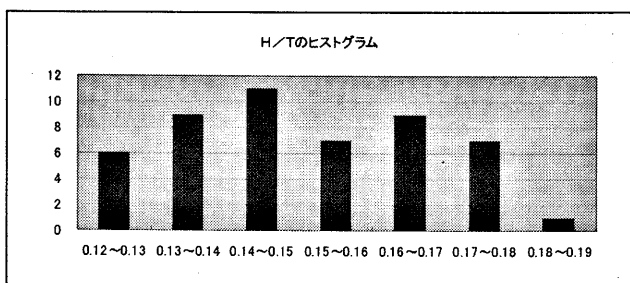
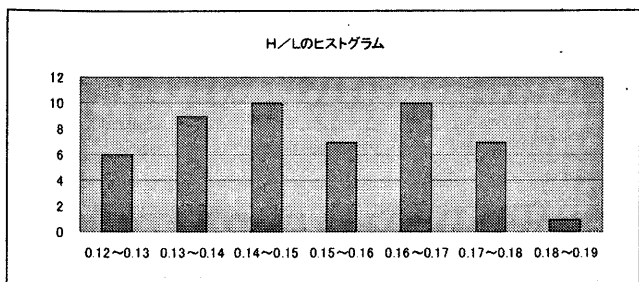
以上のようにして作成したL/Tの度数分布グラフ、LとTの散布図は次のようになる。



L/Tの度数分布からは、ほぼ1となる個体数が多いこと、LとTの散布図の結果からも、ハスノハカシパンウニは、同心円状に殻体を付加させて成長していくと考えられる。

〔H/L、H/Tの度数分布グラフの例〕

H/L、H/Tの度数分布グラフは次のようになる。



b. 足跡のパズル

科学者たちは、地層中に残されている化石などの証拠からどのように過去のできごとを推定しているのか、追体験してみよう。

〔手順〕

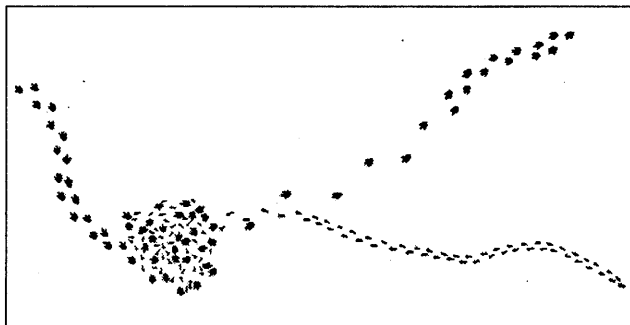
①以下の足跡のパズルを見て、次のことを推定しなさい。

脚の大きさと形

およその脚長

動物の姿勢

動物の歩くようす



〔ESCPの教材より〕

②この足跡からどのようなできごとが起きたかを、さまざまな知識を総動員して、矛盾がないように自由に推定してみよう。

③推定したことを基に、お互いに討論してみよう。

〔推定の例〕

右下と右上から、それぞれ左へ向けて歩いてきた動物が出合って、争いになった。その後、右上から来た動物は左上に歩いていき、右下から来た動物の足跡は消えてしまった。右下から来た動物は死んでしまったかもしれないし、あるいは、右下から来た動物が幼鳥だとすると、親鳥が助けたかもしれない。

5-3-5 レーダーや気象衛星画像の解析

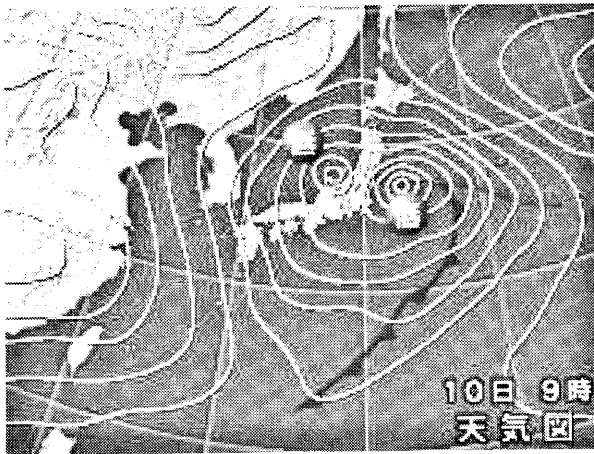
レーダーや気象衛星画像の解析には、まず授業で使用するデータや画像を準備する必要がある。特に、任意の月・日・時刻のデータがいつでも閲覧可であること、過去数年分を自由に使用できることが有用な気象データの

条件となる。

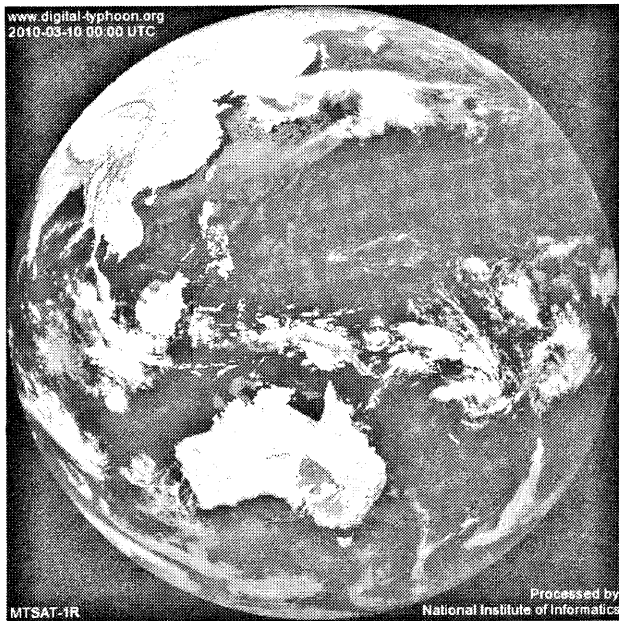
そして、それらの気象データを、教える側がきちんと読むことができないといけませんが、そのためには気象予報士を目指す人のために書かれた本が参考になるであろう。

本校では、地上天気図は、2002年1月以降のデータであれば、「気象人」〔<http://www.weathermap.co.jp/kishojin/>〕を使っている。

また、気象衛星画像（雲域）と気象レーダー（降水域）であれば、「デジタル台風」〔<http://agora.ex.nii.ac.jp/digital-typhoon/>〕を使っている。気象衛星画像は1978年12月以降、気象レーダーは2004年6月以降のデータを使うことができる。



〔気象人の地上天気図〕



〔「デジタル台風」の静止衛星気象画像〕

〔生徒の感想例（3年生）〕

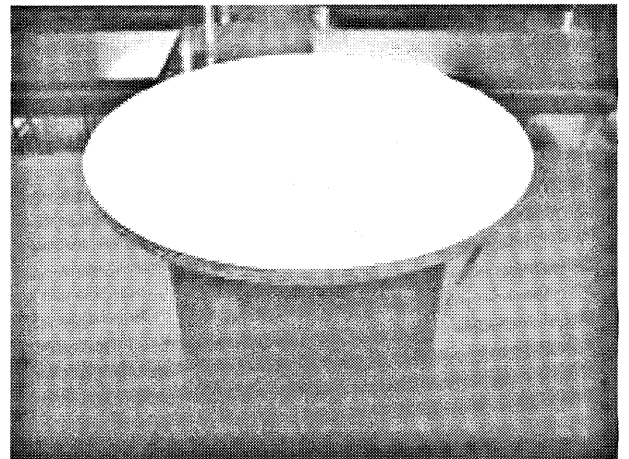
- ・身近に体験した降水や天気の変化なので、興味をもつ

て全体像を確認することができた。

- ・実際の低気圧が、資料集の図に似ていた。しかし、違っていることも分かった。
- ・レーダーや雲画像の動画では、個々に低気圧のどの構造に対応するかおよそ想像できた。
- ・データを見るまで多少手間がかかった。

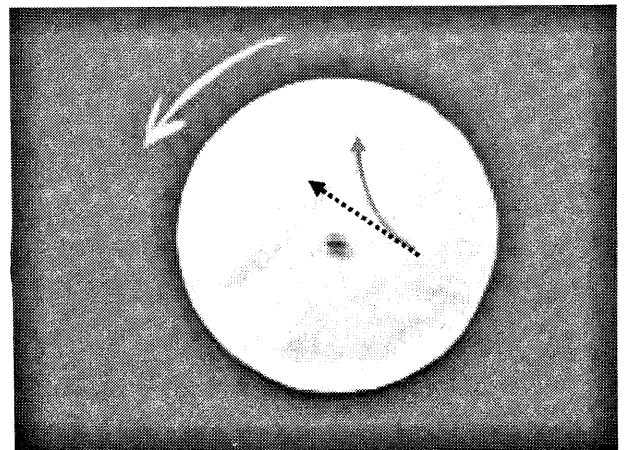
5-3-6 転向力の実験

気象や天文分野で、転向力は生徒にとってわかりにくく、物理的に厳密な扱いは困難である。そこで、回転円盤を使って、円盤上に白い紙を貼り、回転させ、墨汁を吸わせたスチールボールを転がして、その軌跡が曲線になっていることから、転向力のはたらく向きを直観的に理解するとよいであろう。回転円盤を反時計回りに回転させれば、北極上で、時計回りに回転させれば、南極上で実験したとみなすことができる。



〔回転円盤〕

また、回転円盤がなくても、黒板に貼った円盤を回転させながら、チョークで直線を引こうとすると、曲線になることでも、転向力のはたらく様子を直観的に示すことができるであろう。



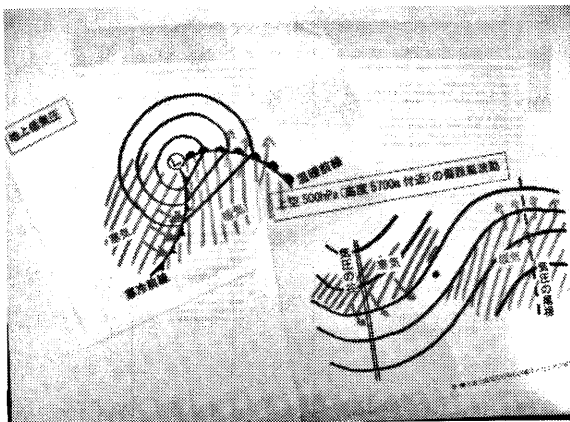
〔北半球での転向力の演示例〕

5-3-7 偏西風波動の実習

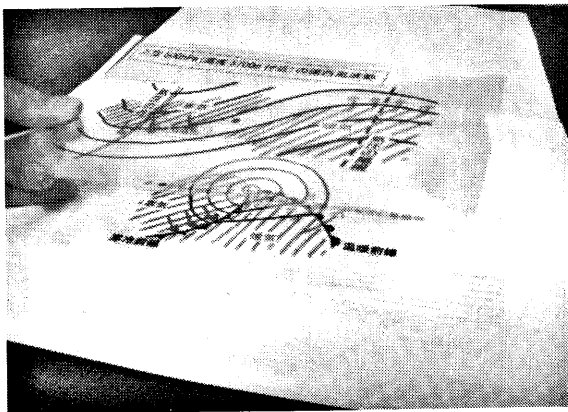
現行の「地学Ⅱ」の教科書にも、「地上の温帯低気圧の中心は、上層の偏西風波動が南下する軸（気圧の谷）の東側にある」という記述があるが、生徒にとってそのイメージはつかみにくい。そこで、透明なシート、ここではOHPシートを用いて、図のような教材を使って実習を行うことで、イメージをつかまえた。

〔生徒の感想例（3年生）〕

- ・教科書の表現が瞬時に理解できた。
- ・下層と上層の関係や、前線面の構造がよくわかった。
- ・原始的な実習道具であるが分かりやすかった。



〔使用した教材〕



〔実習中の様子〕

5-3-8 恒星の南中、日出・日没の時刻と方位の実習

本校では、「プラネタリウム見学」が教科行事としてあることもあり、天球の考え方や地平座標、赤道座標を授業の中で取り上げている。そのため、天球儀を使った実習を通して、東京をはじめ、世界各地の緯度での恒星や太陽の動き方や、南中高度、そして、ある地点で、どのような星が周極星、出没星、全没星になるかを、緯度と星の赤緯との関係で考えさせている。

また、一年間を通して太陽の日出・日没の時刻と方位を観測させることで、自転軸の傾きを実感させることも

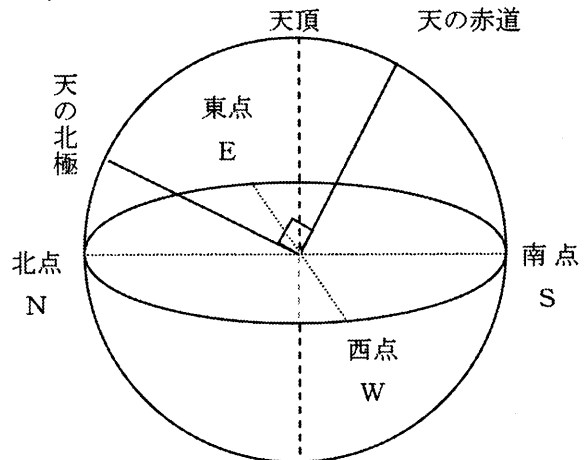
できる。

〔課題例〕

1. 赤道座標と緯度との関係

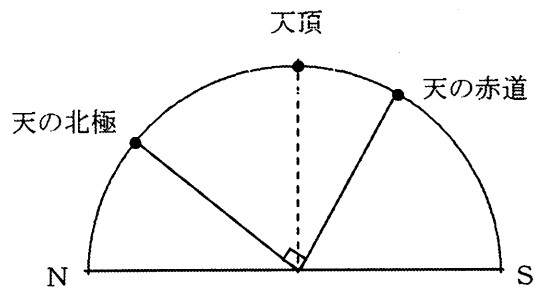
- ①地球の赤道上では天頂にあるのは（ア）であり、地球の北極では、天頂にあるのが（イ）であり、地球の南極では、天頂にあるのが（ウ）である。
- ②北緯 ϕ の地点では赤緯（エ）が天頂にくる。例えば、北緯 35° の地点での天頂は（オ）である。
- ③したがって、北緯 ϕ の地点では、天の北極の高度は（カ）であり、天の赤道の高度は（キ）である。南の地平線の赤緯は（ク）で、北の地平線の赤緯は（ケ）である。

※天球



〔天球の図〕

このような、立体的な図の代わりに、次のような平面図を書くとよい。



2. 日周運動と緯度

①周極星

北緯 ϕ の地点では、赤緯（コ）の星は、日周運動で天の北極を中心に回転するとき、地平線に没することがない。このような星のことを周極星という。

②全没星

北緯 ϕ の地点では、赤緯（サ）の星は、日周運動によって地平線上に現れることがない。このような星のことを全没星という。

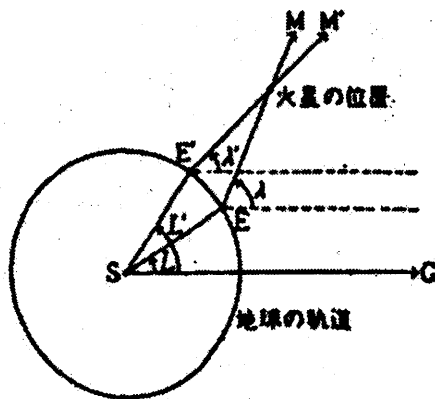
③出沒星

北緯 ϕ の地点では、赤緯(シ)の星は、日周運動によって地平線に出たり、没したりする。このような星のことを出沒星という。

3. 南中高度を求めてみよう。

①北緯 60° の地点で、赤緯 $\delta = +70^\circ$ の星の南中高度はいくらか。

②南緯 30° の地点で、夏至の日の太陽の南中高度はいくらか。



5-3-9 火星軌道の作成

ティコ・ブラーエのデータを用いて、ケプラーがやった方法にしたがって、火星軌道を作成してみる。

[準備]

定規、全円分度器、コンパス、方眼紙

[手順]

①表は、火星の1公転周期687日をへだてて観測された火星の黄経および、そのときの地球の日心黄経(太陽から見た地球方向の黄経、すなわち地球から見た太陽の黄経に 180° を加えたもの)の値の組である。ここで、黄経とは天球上の天体の位置を表す黄道座標のことで、黄道を基準の大円とし、春分点(黄経 0°)を基準として、黄道にそって東回りに $0 \sim 360^\circ$ まで測る。

ケプラーが火星の位置の観測値から巧妙なやり方で地球の軌道を求め、確かめたように、地球が太陽を中心とする円軌道を公転するものとし、さらに地球と火星が同一平面上を公転するものとして、次のようなやりかたで火星の軌道を作図する。

②半径5cmの円を方眼紙上に描き、これを地球の軌道とする。中心は太陽である。太陽Sから任意の方向に半直線SGを引き、これを日心黄経 0° の方向とする(したがって、Gは春分点の方向)。

今、各組において2個の地球の日心黄経をL、L' とするとき、Sを通りSGとそれぞれL、L' をなす方向に半直線を引き、地球の軌道との交点をE、E' とする。E、E' はそれぞれL、L' に対応する地球の位置である。

組番号	年月日	日数差	火星の黄経	地球の日心黄経
1	1958. 12. 3.	687	49°	70°
	1960. 10. 20		103°	27°
2	1961. 1. 21.	687	92°	121°
	1962. 12. 9.		143°	76°
3	1963. 2. 20	687	129°	151°
	1965. 1. 7.		175°	107°
4	1965. 3. 31.	687	161°	190°
	1967. 2. 16.		211°	147°
5	1967. 5. 20.	687	195°	238°
	1969. 4. 6.		254°	196°
6	1969. 7. 8.	687	242°	286°
	1971. 5. 26.		311°	244°
7	1971. 9. 16.	687	312°	352°
	1973. 8. 3.		25°	311°
8	1973. 11. 4.	687	28°	41°
	1975. 9. 22.		81°	358°
9	1975. 12. 24.	687	80°	92°
	1977. 11. 10.		125°	47°
10	1978. 2. 11.	687	115°	142°
	1979. 12. 30.		164°	98°

③L、L'に対応する火星の黄経をそれぞれ λ 、 λ' とすると、E、E'を通り、SGとそれぞれ λ 、 λ' をなす方向に半直線EM、E'M'を引く。EM、E'M'はそれぞれ地球がE、E'に位置するときの火星の方向である。

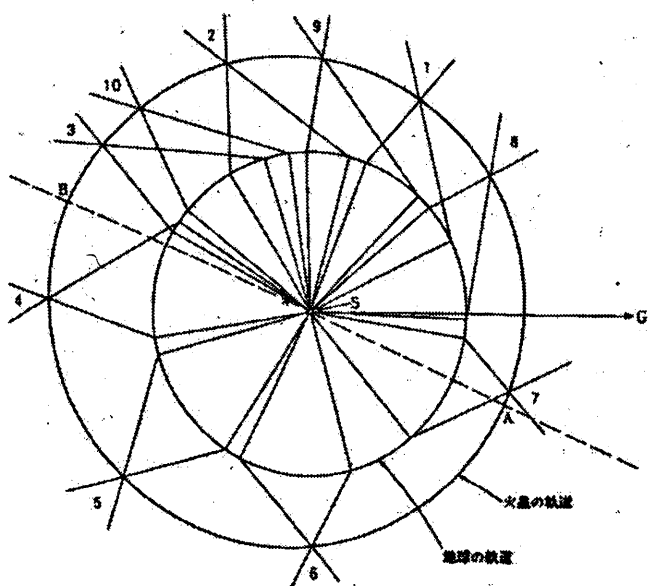
一方、1公転周期後には火星は同じ位置にもどっているはずであるから、EMとE'M'との交点がこの観測の組における火星の位置となる。こうして、各組ごとに得られた火星の位置を通るなめらかな曲線を描くと、火星の軌道となる。

〔考察〕

次のものを求めてみましょう。

- ①火星軌道の離心率
- ②太陽Sと火星の位置（1、2、3……）とを結んでできる扇形の面積より、ケプラーの第2法則を確認する。
- ③地球と火星の軌道を比較して、ケプラーの第3法則を確認する。火星の公転周期は、1.88年としなさい。

〔作図例〕



図の番号は、表の組番号に対応している。得られた火星の軌道は、Sを通り、SGと 24° の角度をなす点線に対して対称になっている。この点線上でSから7mm離れた×印の点を中心として、半径7.6cmの円とほぼ一致している。この点線と火星の軌道との交点のうち、Aが近日点であり、Bが遠日点である。ただし、この作図例は縮小してあるので、長さは実際のものとは異なる。

5-3-10 木星の衛星データを用いた

ケプラー第3法則の検証

前述の火星軌道の作成においても、ケプラー第3法則の検証は行えるが、惑星とその衛星の間にも、ケプラーの第3法則は成り立つので、データを用いて、その検証を行う。もちろん、自ら木星とその衛星（ガリレオ衛星）を望遠鏡で観測、撮影して、検証のデータを作ることもしることができる。

しかし、『天文年鑑』（誠文堂新光社）に載っている「木星の衛星の運動図」を用いることによって、軌道半径と公転周期とを求めることができる。

この図で、中央にある幅の狭い平行線は木星の位置と大きさを示している。原図では、木星の直径は0.15cmである。図中の1がイオ、2がエウロパ、3がガニメデ、4がカリストである。

イオは、木星の直径を1とすると、軌道直径Dが0.95cmなので、軌道半径aは、

$$\frac{(0.95)}{2} \div 0.15 \approx 3.2 \text{ となる。}$$

また、公転周期Tは、3Tが2.2cmより、Tが0.73cmとなる。ここで、1日の長さは、図から0.42cmなので、公転周期Tは、

$$\frac{0.73}{0.42} \approx 1.7 \text{ [日] と求められる。}$$

4つの衛星についてまとめると、次の表のようになる。

衛星	軌道半径 a (木星の直径を1)	公転周期 T [日]
イオ	3.2	1.7
エウロパ	5.0	3.6
ガニメデ	8.2	7.1
カリスト	14.3	16.7

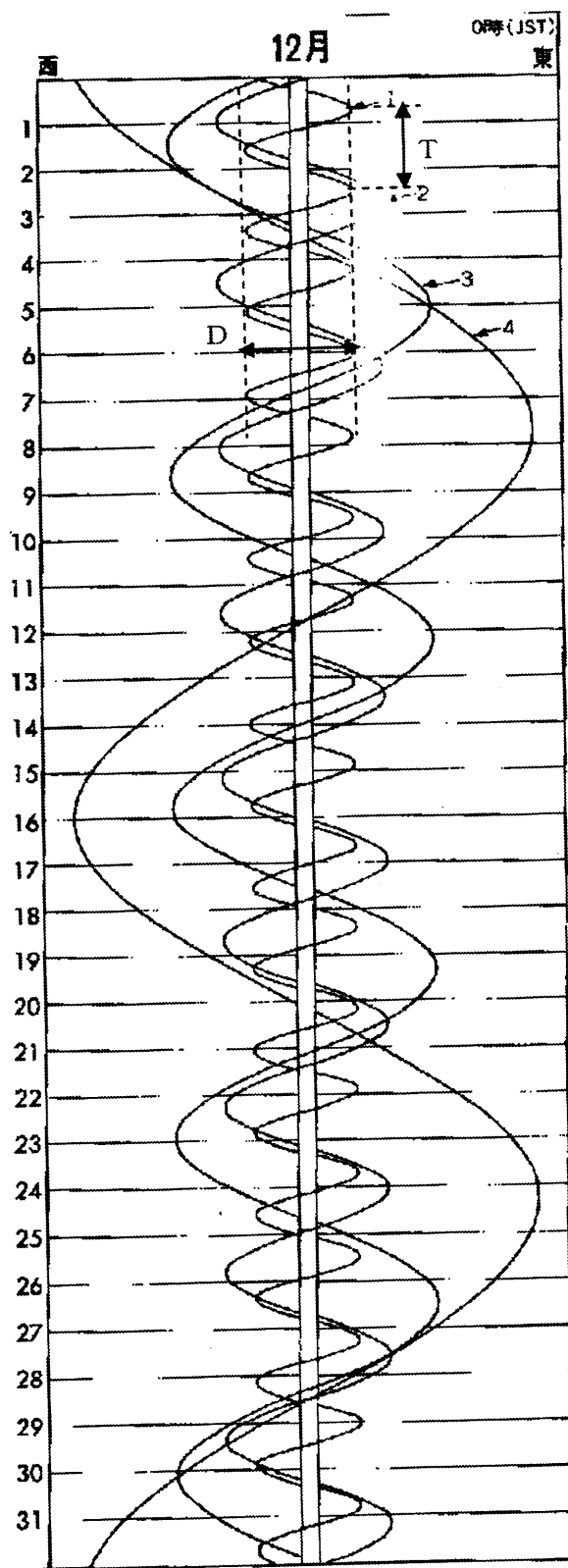
したがって、それぞれの衛星の公転周期Tの2乗と、軌道半径aの3乗の比を求めてみると、

$$\text{イオ} : \frac{a^3}{T^2} = \frac{3.2^3}{1.7^2} \approx 11.3$$

$$\text{エウロパ} : \frac{a^3}{T^2} = \frac{5.0^3}{3.6^2} \approx 9.6$$

$$\text{ガニメデ} : \frac{a^3}{T^2} = \frac{8.2^3}{7.1^2} \approx 10.9$$

$$\text{カリスト} : \frac{a^3}{T^2} = \frac{14.3^3}{16.7^2} \approx 10.5$$



[2011年12月の木星の運動図
 『天文年鑑 2011』〔誠文堂新光社〕より]

となる。求めた軌道半径と公転周期の値が、実際の資料の値と異なっていることが、ばらつきの原因の1つであるとはいえ、それぞれの衛星の公転周期の2乗と、軌道半径の3乗の比は、9.6～11.3となり、概ね一致していると言える。

5-4 基本実験10の評価

どのような形で評価を行うかは、実験の内容により異なってくるが、その一例を示す。

5-4-1 ワークシートによる評価

- ⑧恒星の南中、日出・日没の時刻と方位の実習
- ⑨火星軌道の作成
- ⑩木星の衛星データを用いたケプラー第3法則の検証

については、作成したワークシートを提出させて、その達成度で評価することができる。ワークシートの作り方を変えることで、学校の状況や配当時間に応じて、実施することが可能であろう。

5-4-2 レポートによる評価

- ②岩石や鉱物の偏光顕微鏡観察
- ③野外観察
- ④地層や化石の観察

については、レポートを提出させて、その達成度で評価することができる。レポートや課題の取り組みは生徒にとって苦しく、大変であるが、試行錯誤によって、目の学力ではない本物の実力を養うことができる。

岩石や鉱物の偏光顕微鏡観察では、レポートの形にせず、観察した岩石や鉱物のスケッチを提出させるのもよいであろう。

地層や化石の観察については、学校の状況や配当時間に応じて、レポートに限らず、さまざまなまとめ方が可能であろう。

5-4-3 観察・実験の技能の評価

- ①重力加速度の測定
- ⑥転向力の実験
- ⑦偏西風波動の実習

については、正しく実験操作ができ、実験目的が達成できたかどうかを自己評価させる。事後のまとめとして、感想や反省を書かせるとよい。

5-4-4 発表による評価

- ⑤レーダーや気象衛星画像の解析

については、グループまたは個人で、報告書をまとめさせ、その内容を報告会で発表させ、相互評価させるとよいであろう。

5-5 研究の成果と課題

- 今回の研究で得た成果と課題を、以下にまとめておく。
- ・野外での実習は、さまざまな知識を使って総合的に判断する力が養われる。
 - ・野外観察を実施するには、理科の他の科目の教員などの協力が不可欠であり、実施マニュアルを作成する必要がある。
 - ・生徒は基本部分でつまづいていることがある。
 - ・ささいな実験道具でも、生徒の興味を引き出すことができる。
 - ・難解なテーマについても、観察・実験を行うことで、比較的スムーズに深い理解が得られる。
 - ・基本実験10は、今後も実践や、さまざまな方との意見交換などを通して改良されることで、より取り組みやすいものとなりうる。
 - ・全体的な学習の充実のためには、補足的に10分程度の小実験を行うことも有効である。

5-6 まとめ

「地学基礎」と異なり、「地学」の履修率を上げていくためには、地学を専門とする理科教員が各学校にいることが不可欠である。しかし、公立学校の場合、都道府県の教員採用試験の理科の採用枠に地学が設定されていないことが多い。そのような都道府県では、理科の他の科目で受験しない限り、地学を専門とする理科教員が増えることはない。そして、地学が専門であっても、理科の他の科目で受験し、採用された教員は、地学以外の科目を中心に担当することになり、結局、地学の授業を中心に担当することはできない。

現在、地学や地学教育に関連する学会が中心に、各都道府県の高等学校で、地学を専門とする理科教員が採用されること、とりわけ、公立学校の教員採用試験の理科の採用枠に地学が設定されることを要望している（※）。

教員養成を担う東京学芸大学においても、地学を専門とする理科教員が増えるように、取り組みを行うことを強く願ってやまない。

※地学の置かれている状況については、『第四紀研究』Vol. 50 別冊号（2011）〔日本第四紀学会〕などを参照されたい。

6 おわりに

新学習指導要領で、基礎を付した2単位の科目と共に4単位の各科目では、今まで以上に観察・実験が重視され、探究的な活動の推進も図ることになっている。しかし、知識を理解することのみに重点を置いた指導では、生徒達が実験・観察を行う機会を奪ってしまうことになる。また、暗記や問題練習を行うだけの授業では、問題のための問題を解くことができるようになったとしても、科学的に探究する能力や態度は育たないし、真に科学的な自然観の育成には寄与しないであろう。

本校では、従来から観察や実験を重視した理科教育を実践し、そのまとめとして生徒にレポートや課題の作成に取り組みせている。こういったレポートや課題は、生徒にとって大きな負担となっているであろう。しかし、自らの頭でいろいろと考え、試行錯誤を繰り返す経験は、目先の学力に留まらず、本物の実力を養うことにつながっていくと考えられる。現代の社会に必要な能力や態度は、暗記した知識や与えられた問題を解くことだけではなく、自ら課題を見つけ、その問題を解決していくことにある。そのような能力や意欲を養成するために、常日頃から観察・実験を重ねていくことは極めて有効であろう。

観察や実験を生徒に行わせていく上で、準備・片付け・実験上の工夫・改善などの作業は、時間を取られる大変な作業であろう。しかし、我々教員がそれを避けてしまうことは、生徒達の可能性の大きな芽を摘んでしまうことになる。理科の教員としては、生徒達の眼を輝かせるために、出来るだけの努力をするべきであろう。さらに、授業で行うべき観察・実験は、本来、大学における教員養成の中でも、学生自らが観察・実験を行うとともに、生徒に対して指導ができるようにすべきである。教員になった後も、観察や実験の指導技術が向上するような場所的、時間的な研修の機会を確保すべく努めるようにすることも必要である。

今回紹介したさまざまな実験は、比較的实践しやすい内容のもの、さらには是非生徒に実際経験してほしいものを選んでいく。そのうちのいくつかでも、各学校において実践し、新たな工夫や方法等に関しても、ご意見を頂ければ幸いである。

なお、本校理科の各科目では、それぞれ現職教員研修講座を実施している。平成23年度は以下のような内容で実施した。

〔物理〕 夏期特別実験講座物理 体験講習会

本校物理科で毎年実施している3年物理選択対象者の

夏期特別実験講座に参加・体験を行う。

[化学] 夏期特別実験講座化学 体験講習会

本校化学科で毎年実施している3年化学選択対象者の夏期特別実験講座に参加・体験を行う。

[生物] 国立科学博物館・科学関係研究施設見学実習

本校で1年生全員を対象に、1年間の理科学習のまとめとして実施している国立科学博物館の見学と東京近辺の大学や研究施設の見学実習に参加・見学を行う。

[地学] 地学科公開研究会 野外観察講座

本校で1年生全員を対象に、神奈川県三浦半島の先端にある城ヶ島で地層観察を行う野外実習に参加・見学を行う。

さらに、公開研究大会(平成23年度は11月5日に実施)や学校訪問などの機会に、授業公開を行っている。これらの講座や授業公開は今後も毎年実施する予定なので、本校の教育活動を直接ご覧頂いて、授業実践の一助として戴ければ幸いである。

最後に、本研究の実施にあたり、本校元校長の東京学芸大学 吉野正巳教授、現校長の東京学芸大学 新田英雄教授には、実践研究にあたって大変お世話になった。ここに記して謝意を表す。

7 本校の使用教科書・副教材

- ・教科書 高等学校理科総合B (東京書籍)
- ・教科書 高等学校物理I (東京書籍)
- ・教科書 高等学校物理II (東京書籍)
- ・教科書 高等学校化学I新訂版 (実教出版)
- ・教科書 高等学校化学II新訂版 (実教出版)
- ・教科書 高等学校生物I (三省堂)
- ・教科書 高等学校生物II (三省堂)
- ・教科書 高等学校地学I (啓林館)
- ・教科書 高等学校地学II (啓林館)
- ・サイエンスビュー化学総合資料 (実教出版)
- ・スクエア最新図説化学
- ・最新図説生物 (第一学習社)
- ・生物図表 (浜島書店)
- ・ニューステージ地学図表 (浜島書店)

8 参考文献

- ・高等学校学習指導要領 文部科学省 (平成21年)
- ・高等学校学習指導要領解説 理科編 文部科学省 (平成21年)