

先駆的な科学者・技術者の育成を目指す
授業展開と教材開発 その1

筑波大学附属駒場中・高等学校 理科
石川秀樹・梶山正明・真梶克彦
高橋宏和・仲里友一・濱本悟志

先駆的な科学者・技術者の育成を目指す 授業展開と教材開発 その2

筑波大学附属駒場中・高等学校 理科
石川秀樹・梶山正明・真梶克彦
高橋宏和・仲里友一・濱本悟志

昨年度より5年計画で『先駆的な科学者・技術者の育成を目指す授業展開と教材開発』と題する研究計画を立ち上げた。実施2年目にあたる本年は、昨年度に発表した構想と実施計画をもとに、本校の教育研究会、公開授業での発表内容および当日の研究協議会等における協議内容を加味し、より改善された形で示したい。

キーワード：スーパー・サイエンス・ハイスクール 教材開発 新教育課程 理科教育

1 はじめに

本校理科学科で表題のような研究を計画が可能になったのは、2002年度より3年間、文部科学省のスーパー・サイエンス・ハイスクール（通称SSH 以下SSHと略記）に指定されたことによる。教科で様々な討議をし、表題の研究がスタートした。本校では、理科離れという状況は無く、むしろ理科系志望者が増加している状況がある。一方で学習指導要領の改訂により、理科の授業時数を減少せざるを得なくなっている。そのような状況で、理科系志望の生徒にはより充実した授業を、また文科系志望の生徒にも現状で可能な充実した授業を実施するためにはSSHで研究する高度な内容を最大限教育課程に反映しなくてはならない。また、中等教育と高等教育を橋渡しすることを考えるためには、現在の社会状況（社会に貢献している科学の水準）をいかに反映するかも重要な視点である。このような状況にいかに対応していくか。

一方、いかに社会の要求に応えようとしても、使用できる機械・器具等の制約も大きい。SSHに指定されたことで、その面からの研究も可能となった。

以上のような背景で、各科目ともに表題のテーマによる研究を続けてきた。機械や器具の選択も含め、新しい教材開発の現状を報告したい。

2 物理分野：グループ別実験の開発と実践

SSH 2 年次に当たる本年は、5 つの実験テーマを掲げ、生徒用実験書の作成と「高3 グループ別実験」の実践を中心に行った。5 つの実験テーマは、以下の3 点を念頭に決定されたものである。

- ・高2 当初から約1 年半続けてきた物理の各分野(力学、波動、電磁気、原子物理)の内容を統合した実験
- ・歴史的にも重要かつ将来の専門的な物理学習に発展する要素を含んだ実験

・実験の重要性と工夫の楽しさの理解、理論と実験の融合、各物理概念の統合が効果的に行われる実験
5 つの実験の目的と、その実験を通して生徒が修得する(生徒に修得させたい)内容は以下の通りである。

①音波の波長測定と超音波の干渉実験

音波の波としての性質を示す現象を取り上げ、波固有の性質を定量的に分析する。まず、可聴域の進行する音波を使用し、その位相の変化から波長を測定し、音波の伝播速度を算出する。つぎに、波長の極めて短い超音波をダブルスリットに入射させ、波特有の性質である「干渉」を確認する。

【修得する概念・理論】速度・波長・振動数の関係、進行波の式、進行波の位相、重ね合わせの原理

【修得する実験技術】電気的信号の受信と増幅、シンクロスコープの操作

②発光スペクトルと水素原子のエネルギー単位

希薄な気体に高圧をかけ放電させると発光する。歴史的には、その発光スペクトルの分析から、原子のエネルギー単位そして電子配置が解明されていった。この実験では、発光スペクトルが離散的であり原子固有であることを確認し、その分析から水素原子のエネルギー単位を求める。

【修得する概念・理論】光の屈折率と分散、発光のメカニズム、連続スペクトルと離散スペクトル、離散的エネルギー単位

【修得する実験技術】分光器の使い方、幾何光学の技術

③フランク・ヘルツの実験

1914年にJ.FrankとG.Hertzは、水銀蒸気の原子が、特定の運動エネルギーをもった加速電子から選択的にエネルギーを吸収することを実験で示した。これにより、水銀原子のエネルギー単位が離散的でありことが確認された。(1925年ノーベル物理学賞受賞) 今回の実験では、ネオンガス(Ne)を使用し、基底状態と励起状態のエネルギーギャップを求め、Ne原子のエネルギー単位が離散的であることを確認したい。

【修得する概念・理論】電子銃および放電管の原理、仕事関数、エネルギー保存則、離散的エネルギー単位

【修得する実験技術】真空管(放電管)の操作、電圧・電流の測定法、X-Yレコーダーの操作

④電子の比電荷測定

1898年にJ.J.Thomsonは、陰極線の正体は電子(負の電荷を持った粒子)であることを確認し、その比電荷を測定した。(1906年ノーベル物理学賞受賞) 今回の実験では、Thomsonの行った実験原理と同様に、運動する電子が磁界からローレンツ力を受けることを利用し、電子の軌道からその比電荷を求める。

【修得する概念・理論】静電気力とローレンツ力、等速円運動、エネルギー保存則

【修得する実験技術】一様磁界の作り方、電界と磁界の制御、曲率半径の算出

⑤弦と気柱の固有振動と定常波

物体に外部から周期的な刺激を加えると、その刺激の振動数が物体の固有振動数に等しいときに共振(共鳴)が起こり、定常波が生じる。今回の実験では弦や円筒内の空気を用い、1次元での共振現象を調べる。また、この原理を利用して音を発生させる弦楽器や管楽器の音をパソコンを使って分析する。

【修得する概念・理論】固定端・自由端での反射、重ね合わせの原理、速度・波長・振動数の関係、定常波と固有振動、固有振動数の規則性、弦および管楽器の原理

【修得する実験技術】発振器の操作、シンクロスコープの操作

以上の5 つの実験を次の手順で行った。

<第1回> 生徒用実験書(実験結果および考察記入欄あり)の配布と、各実験の概略説明。

<第2~5回> 5 つの実験を「実験①」「実験②」「実験③と④」「実験⑤」の4グループに分け、それぞれ2セットずつ計8セットを用意した。これに合わせて、学級を8つの班(各班3~4名)に分け、各班はそれぞれのグループに2時間程度の時間を掛けて実験を行った。例えば、A班とB班は、第2回「実験①」→第3回「実験②」→第4回「実験③と④」→第5回「実験⑤」、C班とD班は、第2回「実験②」→第3回「実験③と④」→第4回「実験⑤」→第5回「実験①」、というようにローテーションで実験を行った。

<その後> 放課後等を利用して補充実験や実験結果のまとめを行い、各自が完成した生徒用実験書を提出。

電子の比電荷測定

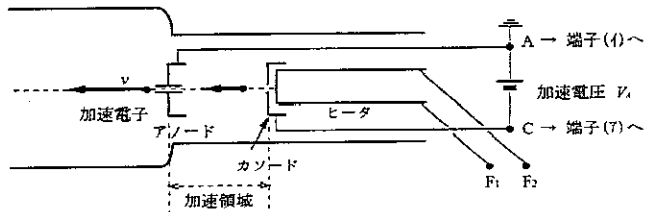
【実験の目的】

1898年にJ.J.Thomsonは、陰極線の正体は電子(負の電荷を持った粒子)であることを確認し、その比電荷を測定した。(1906年ノーベル物理学賞受賞)

今回の実験では、Thomsonの行った実験原理と同様に、運動する電子が磁界からローレンツ力を受けることを利用し、電子の軌道からその比電荷を求める。

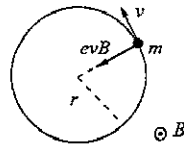
【実験の原理】

①電圧 V_A [V] で加速された電子(質量 m [kg]、電荷量 $-e$ [C]) は、次式で示される速さ v [m/s] に達する。 $eV_A = \frac{1}{2}mv^2 \dots (7)$



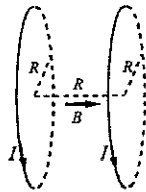
②速さ v [m/s] で進む電子は、一様な磁界(磁束密度 B [Wb/m²]) に対して垂直に入射すると、ローレンツ力を受けて半径 r [m] で等速円運動をする。そのときの運動方程式は、

$$evB = m \frac{v^2}{r} \dots (8)$$



③ほぼ一様な磁界を作るものとしてヘルムホルツコイルがある。半径 R [m] のコイルを平行に距離 R [m] だけ離し、同じ向きに電流 I [A] を流すと、中心軸付近には一様な磁界が発生する。そのときの磁束密度 B [Wb/m²] は、

$$B = \mu_0 \left(\frac{4}{5}\right)^{1/2} \frac{NI}{R} \dots (9) \quad (\mu_0: \text{透磁率}, N: \text{巻数})$$

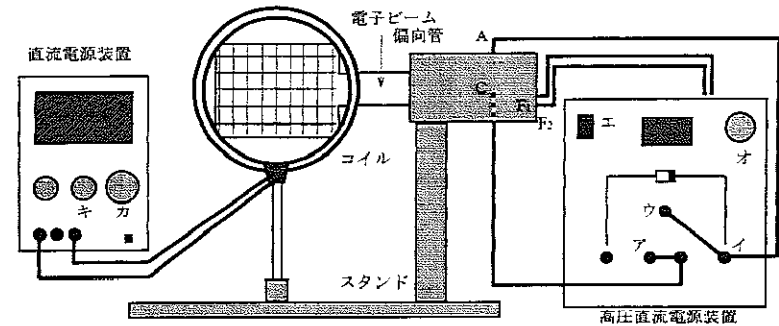


【実験方法】

- ①右頁のようにスタンドに電子ビーム偏向管を取り付け、さらに一对のヘルムホルツコイル(各巻数 320)を H マークの上に取り付け、偏向管をきっちりと包み込むようにする。
- ②電子ビーム偏向管と高圧電源装置を、次のように配線する。
ヒータに電流を流すため、スタンドのソケット F₁ と F₂ を高圧電源装置の背面の出力に接続する。加速電圧をかけるため、スタンドのソケット C を高圧電源装置の (7) に、ソ

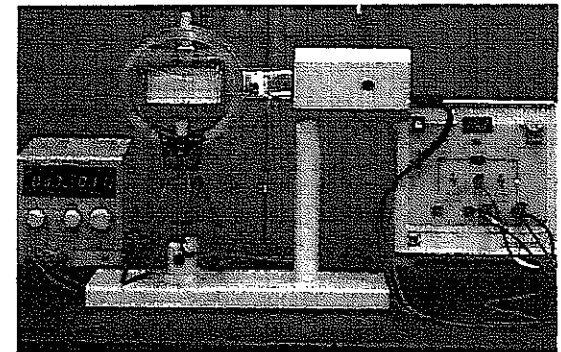
ケット A を (4) に接続し、(4) を (6) に接続して接地する。

- ③一对のヘルムホルツコイルを直流電源装置に並列に接続する。
- ④電子ビーム偏向管のスイッチ (エ) を ON にし、つまみ (カ) を右に回して電子ビームを発生させる。さらに、直流電源装置のつまみ (キ) を右に回して(微調整は(ク)で)磁界を発生させ、加速電圧や磁界を変化させながら電子ビームの軌道を詳しく観察する。
- ⑤ヘルムホルツコイルに流れる電流を逆にし、電子ビームの軌道の変化を観察する。
- ⑥加速電圧 V_A [V] を 4 ~ 5kV のある値に、直流電源装置から流れ出す電流 $2I$ [A] を 0.2 ~ 0.3A のある値にして(各ヘルムホルツコイルに流れる電流は I [A])、電子ビームの軌道をじっくり観察し、軌道上の適当な 3 点を読みとってグラフ用紙上にプロットし、それをもとに軌道の半径を r [m] を求める。



【使用する実験機器】

- ①電子ビーム偏向管実験装置
: LEYBOLD 社
(SHIMADZU 100-913)
- ・熱陰極電子ビーム偏向管
- ・ユニバーサル・スタンド
- ・ヘルムホルツ・コイル
- ・高圧直流電源装置
- ・AC/DC 直流電源装置
- ・コード類



【実験結果】

(1) 実験方法④と⑤の観察結果

以下の項目について観察結果を答えなさい。

- ①磁界の強さを変えず(コイルに流れる電流を変えず)に加速電圧を徐々に上げたときの電子ビームの様子。
- ②加速電圧を変えずに磁界を徐々に上げたときの電子ビームの様子
- ③磁界の向きを逆(コイルに流れる電流を逆)にしたときの電子ビームの様子

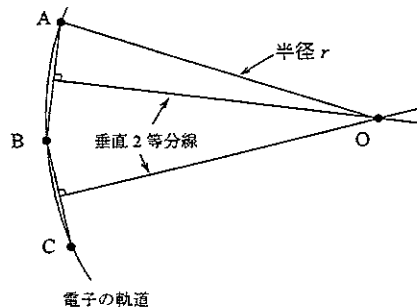
(2) 実験方法⑥の結果

①測定結果

加速電圧 V_A [V]	コイルの電流値 I [A] (出力電流値の+)	軌道半径 r [m]
[V]	[A]	[m]

<軌道半径 r [m]の算出方法>

2点AとBを結ぶ線分の垂直二等分線と、2点BとCを結ぶ線分の垂直二等分線の交点Oを求め、線分OAの長さを測定する。



【理論と計算】

(1) 実験原理の2式(7)と(4)から、比電荷 e/m [C/kg]を3つの物理量(加速電圧 V_A [V]、磁束密度 B [Wb/m²]、軌道半径 r [m])で表しなさい。

(2) 実験原理の式(7)から、実験結果⑥のときの磁束密度 B [Wb/m²]を算出しなさい。ただし、真空の透磁率 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ [H/m]、 $N=320$ [巻]、 $R=6.25 \times 10^{-2}$ [m]である。

【考察】

電子の比電荷 e/m [C/kg]を求めなさい。

3 化学分野

分光光度計を活用した実験教材の開発と実践

1. はじめに

化学科では、スーパーサイエンスハイスクール（SSH）初年度にあたる昨年度（2002年度）、大学等から外部講師を招いて講演会・実験講座を実施してきた。講演会はこのべ7回、実験講座はこのべ4日間にわたり行われた。また、これらの事業と平行して、分光光度計など新しく導入した機器を活用した化学実験の研究と準備も行ってきた。SSH 2年目にあたる今年度は、これらの機器を活用した新しい化学実験を、授業に取り入れる試みをはじめている。本稿では、その中から紫外可視分光光度計を活用した「電離定数」の測定実験の実践報告を行う。なお、外部講師による講演会・実験講座は、今年度も継続実施している。

2. 分光光度計を導入したいきさつ

化学科で導入したおもな機器は、紫外可視分光光度計（UV・VIS）および赤外分光光度計（IR）である。SSHの予算で導入可能な機器には、このほか高速液体クロマトグラフなども考えられたが、取り扱いの容易さ、実験にかけられる時間の制約等から、スイッチを入れるだけですぐに測定が可能な分光光度計を選んだ。実際に機器の性能や扱いやすさは、筆者が大学生だった20数年前とは比べものにならないほど向上している。UV・VISはフォトダイオードアレイの採用により、1サンプルあたりの測定時間がわずか8秒であり、IR（フーリエ変換型）も、ATR装置の装着により、面倒なKBr錠剤の作成が不要になるなど、短時間に多くの生徒による測定を可能としている。また、紫外可視と赤外の分光光度計を揃えることで、光（電磁波）と物質の相互作用について総合的な教材を開発することも視野に入れている。

3. 教材開発のねらい

機器の活用により、これまでの（マクロレベルの）実験では、検出反応等で確認するしかなかった化学結合や分子の構造を直接確認できるようになった。自ら合成した化合物について、その構造を簡単にスペクトルで知ることができ、有機化学実験等への幅広い応用が可能となった。そのほか、pH指示薬との組合せにより、これまで抽象的になりがちだった「反応速度」や「化学平衡」について、理解を深めるための実験にも、機器を活用することにした。

ただし、単に大学レベルの実験を先取りをするのでは、あまり意味がない。そこで、便利な道具として機器を活用しながらも、「なぜスペクトルが測定できるのか」などの基礎的な概念の理解を重視した。光（電磁波）について学び、それらと電子あるいは分子振動の相互作用について考えることから、化学結合から温室効果ガスのしくみまで、高校化学のさまざまな学習内容について一歩深めた理解に結びつけていきたい。

4. 電離定数の測定実験の改良

生徒にもなじみの深い酸・塩基指示薬は、弱酸や弱塩基としての性質を持つので、溶液中の水素イオン濃度を変化させると電離平衡が移動して、その分子・イオン種の割合が変化する。また、それぞれの分子・イオン種の色（吸収波長）が異なるため、分光光度計により容易に濃度が測定できる。そこで、条件（水素イオン濃度）変化による電離平衡の移動を肉眼で確認（変色域の観察）した後、分光光度計とpHメーターによりこれらの濃度を定量的に測定すると、酸・塩基指示薬の電離定数（電離指数）を求めることができる¹⁾。この実験は、大学の学生実験としても多く実施されている。しかし、実験教材の少ない化学平衡の単元で、平衡を視覚的に捉えることができる点で、高校での実施に意義があると考えた。高校で実施するための改良点は、実験時間短縮のための操作の簡略化と最低限度の実験精度の確保である。そのために、もとになった実験¹⁾に比べ、調製するサンプル数の減少（10→7）、用いる酸・塩基指示薬・緩衝溶液の吟味、試薬類の滴加方法の簡略化等を行った。また、これらの改変による実験精度への影響についても、簡単に検討を行った。

5. 実践した授業展開

高校3年生の選択化学クラス2クラスで実施した。

単元：化学反応と平衡

指導過程：

1. 可逆反応と平衡（講義1時間）
 2. 平衡定数（講義2時間）
 3. 化学平衡の移動（講義1時間）
 - ・ルシャトリエの原理（実験1時間）
 - ・酸・塩基指示薬の電離定数の測定（実験2時間）
- なお、電離定数の測定実験は本校の教育研究会（2003.11.28）の公開授業として実施した。また、この実験で使用するUV・VISの測定原理と操作については、事前に2時間かけて扱っている。指導内容は、電磁波と光、波長と光子のエネルギー、ランバート・

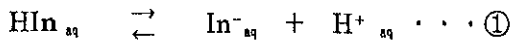
ベールの法則（講義）、光の吸収と物質の色、芳香族炭化水素の吸収スペクトル（実験）である。テキストにはおもに文献2)を活用した。

授業内容：

以下のように、酸・塩基指示薬の性質とその電離定数（実際は電離指数）を測定する原理について講義した後、実験を行った。なお、実験に使用する酸・塩基指示薬は、予備実験の結果、良好な結果を得やすく色の変化の美しい、プロモチモールブルー（BTB）・プロモフェノールブルー（BPB）・メチルレッド（MR）の3種とした。

〔測定原理〕

1. 酸・塩基指示薬のpH変化による構造の変化と平衡
酸・塩基指示薬は、特定のpHの範囲（変色域）で色が変わるが、これは酸・塩基指示薬自身が弱酸または弱塩基として、水溶液中の塩基や酸と反応していることを示している。たとえば弱酸型の酸・塩基指示薬は、水溶液中で次のような電離平衡状態になっている。



（In：Indicator＝指示薬）

ルシャトリエの原理により、酸性（pH小）でH⁺が増加すると、左向きの反応が進み[HIn]が増加する。一方、塩基性（pH大）では中和反応によりH⁺が減少するので、右向きの反応が進み[In⁻]が増加する。このような、平衡の移動によって[HIn]と[In⁻]の比が変化し、色が変わる。

①式の平衡の平衡定数（電離定数）K_{in}は、“質量作用の法則（law of mass action）”により、次式で表される。

$$K_{in} = \frac{[\text{In}^{-}][\text{H}^{+}]}{[\text{HIn}]} \cdots \textcircled{2}$$

②式でK_{in}が一定に保たれることから、酸性（H⁺増加）で[HIn]が増加し、塩基性（H⁺が減少）で[In⁻]が増加することがわかる。また、②式から[HIn]と[In⁻]が等しい時、K_{in}=[H⁺]になることもわかる。すなわち、

$$\begin{aligned} [\text{HIn}] &= [\text{In}^{-}] \text{のとき、} & \text{p}K_{in} &= \text{pH} \\ (\text{p}K_{in} &= -\log K_{in}, \text{pH} &= -\log[\text{H}^{+}]) \end{aligned}$$

pK_{in}は、電離定数の逆数の対数を表し、“電離指数”と呼ばれる。

したがって、HInの濃度とIn⁻の濃度が等しくなるときのpHを求めれば、それがその酸・塩基指示薬のpK_{in}ということになる。

2. [HIn]および[In⁻]の測定

酸・塩基指示薬では、HInとIn⁻とでは吸収する光の波長が異なり、そのためpHの変化により溶液の色が変

化する。そのため、それぞれの波長における吸光度を測定すると、ランバート・ベールの法則により[HIn]や[In⁻]を求めることができる。実際には、酸性色または塩基性色のどちらかの吸光度を測定し、その最大値と最小値のちょうど中間の値を、[HIn]=[In⁻]とし、そのときのpHがpK_{in}となる。

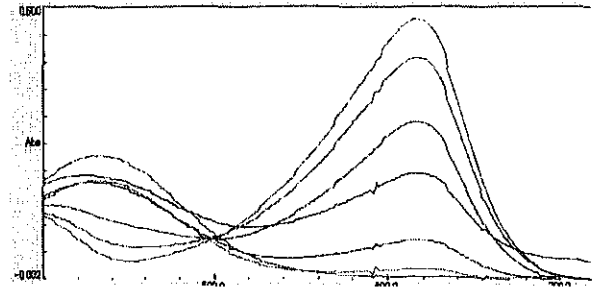


図1 BTB溶液の可視吸収スペクトルのpHによる変化の測定例

図1で、615nmに観測される吸収ピークが塩基性色（溶液は青色、吸収は橙～赤色付近）を与える吸収であり、pHが大きくなるとともに増大する。433nmの吸収ピークが酸性色（溶液は黄色、吸収は青色）を与える吸収で、pHが大きくなるにつれて逆に小さくなる。500nm付近に等吸収点が観測されることから、pHが高くなるにつれて、酸性色を与える分子種が塩基性色を与える分子種に変化していることが示される。615nmの吸収ピークは、pH 3付近でほとんどなく、pHが大きくなるにつれて増大するので、この吸収ピークの高さの変化（吸光度）を測定すればよい。

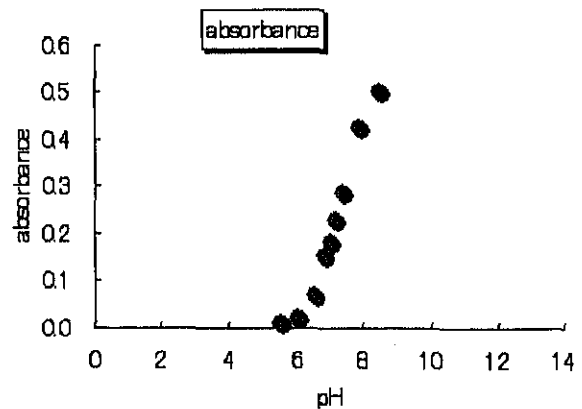


図2 615nmにおける吸光度のpHによる変化

図2を見ると、pH 6～8で急激に吸光度が変化していることがわかる。これが、酸・塩基指示薬の“変色域”である。

この図で、吸光度の最大値と最小値の中間値を与えるpHの値からpK_{in}を決定することができる。

しかし、この方法では誤差が大きくなるので、実際

は、次のようにして求める。

②式を変形して両辺の対数をとると、

$$\frac{K_{in}}{[H^+]} = \frac{[In^-]}{[HIn]}$$
$$\log \frac{[In^-]}{[HIn]} = pH - pK_{in} \quad \dots \textcircled{3}$$

したがって、横軸をpHとし、縦軸に $\log ([In^-]/[HIn])$ をプロットすれば、傾き1の直線となり、横軸との交点のpHの値が pK_{in} となる。直線は最小二乗法で求める。

図3に、図2のデータをこの形でプロットした例を示す。

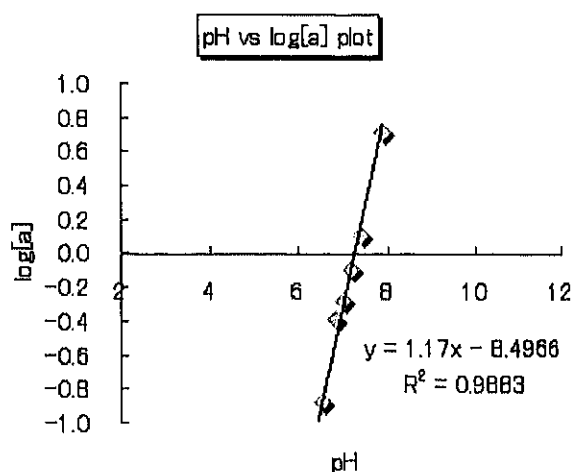


図3 $\log ([In^-]/[HIn])$ のpHによる変化

傾きがほぼ1の直線が得られ、そのx軸との交点から、 $pK_{in} = 7.26$ と求まる(文献値:7.2)。

実験操作:

参考資料(生徒用プリント)参照。

実験結果の処理:

図2にあたるグラフを各班で作成した後、ティーチングアシスタントの協力によりMicrosoft Excelで作成した“マクロ”にデータを入力し、図3のグラフを作成し pK_{in} を求めた。本稿の図1~3は、BTBの電離指数を測定したある班の実験結果である。

評価:

- ・機器を正しく操作して、適切な実験データ(図1・2のグラフ)を得ることができたか。
- ・図1・2のグラフから、酸・塩基指示薬の変色域について、科学的にとらえることができたか。
- ・実験データをパソコンで処理して、図3のグラフを作成できたか。
- ・図3から pK_{in} を求めることができたか。その値は、文献値と比較して適切であったか。

・ pK_{in} から、およその K_{in} (電離定数)を求め、測定した酸・塩基指示薬の弱酸(弱塩基)としての性質について考察することができたか。

以上の点について、提出された実験レポートの評価を行った。

6. まとめ

各班の実験結果は、文献値に対してほぼ満足できる値となった。また、文献値とのずれが大きくなった班の実験における誤差の原因は、ペン型pHメーターによるpHの測定誤差が主たる原因と考えられる。より精度の高い結果を得るためには、測定誤差の少ない大型のpHメーターを使用する必要がある。

実験所用時間について、公開授業では2台のUV・VISにより、8班が時間内に測定とパソコンへのデータ入力を終えることができた。しかし、溶液列の作成にかかる時間にあまり差がなかったため、測定の待ち時間が長くなる班ができてしまった。実験手順について、改良の余地がある。

この実験は、酸塩基指示薬の変色が美しいこと、比較的正確に電離指数が求められることから、高校での生徒実験にも向いている。また、分光光度計がない学校でも、指示薬を選べば環境測定用のスポイト式比色計*や自作の簡易比色計³⁾でも実施できる。なお、紫外可視分光光度計を活用したその他の実験として、「フェノールフタレインの退色反応速度測定」などを試みている。反応速度の測定も、高校では実施が困難だった実験の1つである。

*^商アグネ技術センター(TBL:03-3409-5329)製、35,000円など

謝辞

本実験は、2003年1月11日に国立科学博物館新宿分館で行われた“高校生のための化学実験講座”で、若林文高先生(同館学芸員)が紹介された方法をもとにしています。ここに記して、感謝いたします。

(文献)

- 1) 日本化学会編, 楽しい化学の実験室, 東京化学同人(1993) p.22~27 並木博, “pH指示薬の変色”
- 2) 渡辺正編著, 電気化学, 丸善(2001)
- 3) 伏島均, 大谷龍二, 平成12年度東レ理科教育賞受賞作品集, 東レ科学振興会(2000) p.45~48 “LEDを利用した簡易比色計の製作と利用”

化学実験3-20B 酸・塩基指示薬の変色域と電離定数

[目的] 中和滴定などで用いる酸・塩基指示薬の変色域を、分光光度計を用いて測定する。また、その測定結果から、指示薬の電離定数（電離指数）を求める。

[準備]

(器具) 50mlコニカルビーカー×7 駒込ピペット 安全めがね 紫外可視分光光度計GeneSpecIII
制御用パソコン プリンタ 測定用セル（パイレックス製）×8 pHメーター

(酸・塩基指示薬と緩衝液)

- ① プロモチモールブルー (BTB) 0.25%エタノール溶液
0.05mol/lリン酸二水素カリウム KH_2PO_4 水溶液+0.05mol/lリン酸水素二ナトリウム Na_2HPO_4 水溶液
($\text{pH} \approx 7$)
- ② メチルレッド (MR) 0.2%エタノール溶液
0.1mol/l酢酸水溶液 ($\text{pH} \approx 5$)
- ③ プロモフェノールブルー (BPB) 0.2%エタノール溶液
0.2mol/lフタル酸水素カリウム水溶液 ($\text{pH} \approx 4$)

(pH調整用試薬)

0.2mol/l および0.02mol/l 塩酸 0.2mol/lおよび0.02mol/l 水酸化ナトリウム水溶液

[方法] 1. 塩基性色～酸性色の溶液列をつくる

- (1) コニカルビーカー7個に、使用する酸・塩基指示薬に対応した緩衝液を駒込ピペットで1mlずつ取る。
- (2) (1)の各ビーカーに、酸・塩基指示薬を2滴ずつ取る。
- (3) イオン交換水を各ビーカーに加えて、ビーカーの目盛で20mlにする。
- (4) 各ビーカーに、pH調整用試薬を加えながら、完全な塩基性色から中間色を経て完全な酸性色までの7段階の溶液を作る。各指示薬の変色域とおよそのpHは、下表を参考にすること。なお、完全な酸性色および塩基性色のpHは、他の溶液のpHと大きく離れた値にならないよう、pHメーター（校正は2. を参照）でpHを測りながら調節するとよい。

指示薬	緩衝液	最小pH・酸性色	変色域pH	最大pH・塩基性色
BTB	リン酸二水素カリウム+リン酸水素二ナトリウム	3～4・黄	6.0～8.5	10・青
BPB	水溶液+フタル酸水素カリウム水溶液	1.5～2・黄	3.0～4.6	6・青
MR	酢酸水溶液	2・赤	4.2～6.2	8・黄

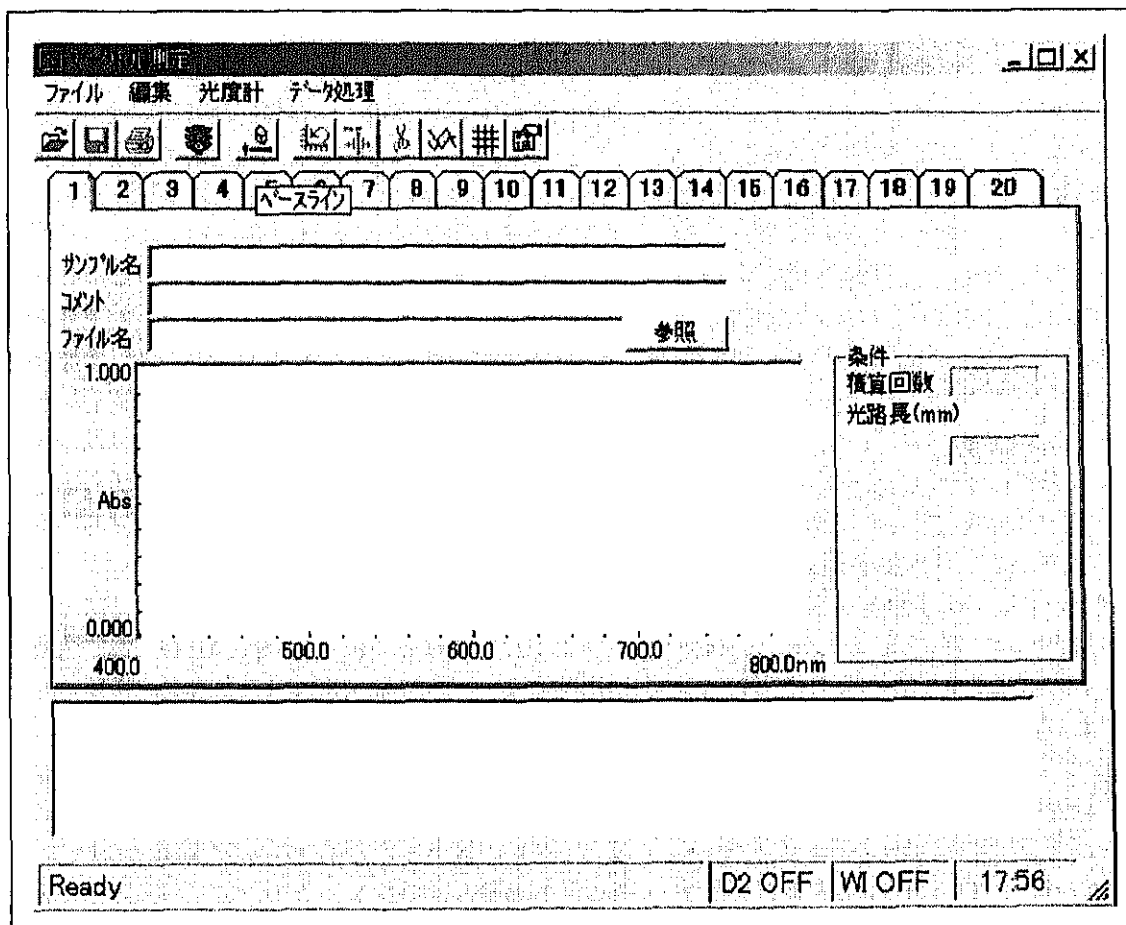
- (5) 溶液列ができたら、さらにイオン交換水を加えて30mlとする。

2. 溶液列の吸光度およびpH測定

- (1) 各溶液を駒込ピペットで測定用セルに取り、紫外可視分光光度計で吸光度を測定する。測定波長は、右表のとおり既に指定してある。

酸・塩基指示薬	測定波長
BTB	615nm (塩基性色)
BPB	592nm (塩基性色)
MR	524nm (酸性色)

- ① 班ごとに測定用セル8本を用意し、1本には純水、他7本には溶液を入れる。
- ② 純水の入ったセルの透明な面が光路に向くように、分光光度計のホルダーに差し込み“ベースライン”を実行する。画面右下に“ベースライン実行中”が表示され、約8秒後に“Ready”が表示される。



- ③ 画面上のチャンネル（シート）1の“サンプル名”等に必要事項を打ち込み、セルにとった溶液1をホルダーに差し込み、“測定”を実行する。画面右下に“測定中”が表示され、約8秒後に吸収スペクトルが表示される。
- ④ 画面上のチャンネル2～7までを使って、③の手順で溶液2～7の測定を行う。
- ⑤ “重ね書き”を実行し、溶液1～7の吸収スペクトルをすべて表示し、“等吸収点”の存在を確認する。
- ⑥ ⑤で吸収スペクトルデータに問題がなければ、純水以外のセルを水道水で洗い純水ですすいだのち、“キムワイブ”で水滴を拭き取り次の班に渡す。セルの扱いは、慎重に行うこと。
- ⑦ “ファイル” → “一括ファイル保存”を実行し、ファイル名を入力して“保存”ボタンをクリックする。
- ⑧ “ファイル” → “印刷”を実行し、“重ね書き”ボタンをクリックして、班の人数分のデータをプリントアウトする。

(2) 各溶液のpHを、pHメーターで測定する。pHメーターは測定前に標準溶液で校正しておく。なお、BPBを測る班は、白色の2点校正型pHメーターを使うこと。他の班は、ピンク色の1点校正型pHメーターでもよい。（校正のしかた）

- ① 赤い“POWER”ボタンを押す。
- ② pHメーターの先端（電極）を水道水で洗浄する。（本体に水がかからぬよう注意！）
- ③ pH6.9の緩衝液を点眼ピンから先端に一滴付ける。“CAL”または“CAL1”（calibration：校正）ボタンをペン先等で押し、本体の液晶表示で“CAL”がしばらく点滅後に消えることを確認する。
- ④ 白い2点校正型のpHメーターでは、先端を洗浄後、③と同様にして pH4.0の緩衝液を1滴付け“CAL2”ボタンを押して校正する。
- ⑤ 校正終了後は、水道水で先端を洗っておく。

4 生物分野：分子遺伝学実験教材の開発と実践

(1) ねらい

遺伝子とDNAの関係は、学習指導要領では「生物I」の(1)生命の連続性-ウ、遺伝-(イ)遺伝子と染色体で扱うことになっている。遺伝子の物質的実体がDNAであることを直感的に伝えるために、形質転換は極めて優れた実験である。しかし、形質転換の操作が簡単であるだけに、導入したDNAが細胞内に存在することを物質レベルで検出する実験を行って確認できればなお良いように思われる。昨年度(2002年度)から、アメリカBioRad社が、開発・販売した教材「Biotechnology Explorer pGLO バクテリア遺伝子組換えキット」(以下、キット)の応用教材の開発に取り組んできた。このキットはオワンクラゲの発光遺伝子(GFP)を大腸菌内に導入し、アラビノースオペロンを利用した転写調節を大腸菌コロニーの発光から確認するものである。昨年度は、キットの実験に加え、GFPの発現がグルコースの影響(カタボライト・リプレッション)を受けることを確認する実験を加えたり、形質転換体中に導入したDNAをサザン・ハイブリダイゼーション法によって検出する実験を加えたりした応用手がけた。今年度(2003年度)は、形質転換体中の導入DNAをサザン・ハイブリダイゼーション法よりも簡便なPCR法を用いて検出する生徒実験を開発した。

(2) 教材開発について

1. プラスミドpGΔ649の作成

キット付属のプラスミドpGLOをもとにして、GFP遺伝子の大部分を欠失させたプラスミドpGΔ649を自作した。pGLOまたはpGΔ649で得られた形質転換体のDNAについて比較することが可能となる。

2. PCR反応で検出する遺伝子領域の決定

pGLOには、araC遺伝子、GFP遺伝子、bla遺伝子の3種がコードされている。特にaraC遺伝子は、大腸菌ゲノムにも存在するので非形質転換体からもPCRで検出される(ただし、HB101は変異アリアルをもつ)。これは、PCR反応自体のポジティブ・コントロールとしても利用可能である。

3. プライマーの設計

PCR反応で使うプライマー6種は、コンピュータプログラムを用いて設計した。このうち、pGLOの領域検出に用いたプライマーは、昨年度開発、実施したサザン・ハイブリダイゼーションのプロープ調整に

用いたものをそのまま流用した。

4. 鋳型DNA調整方法の検討

Chelex Beads を用いない簡便な方法を検討した。特に、下記6. のPCR産物の検出時のバックグラウンドを下げるために、採取する形質転換体のコロニー数と懸濁液量を入念に検討した。

5. PCR反応条件の検討

反応系ボリュームの減量化、アニーリング温度、各3ステップの反応時間、サイクル数などを、時間制限のある授業展開や生徒の技量にも配慮して検討した。特にアニーリング温度については、複数の異なるプライマーで異なる領域の増幅を同時に行うため、また期待しないDNA鎖の増幅をさけるため、各プライマーのT_m値から入念に検討した。

6. PCR産物の検出方法の検討

PCR産物の確認方法としては、通常、電気泳動が用いられる。今回は期待されるPCR反応産物がそれぞれDNA鎖1種類となるため、電気泳動を用いない簡便な方法を検討した。PCRを行った後の反応溶液を直接染色する方法である。バックグラウンドを低いままにDNAの検出できるような染色液の濃度決定には、検出を行うタイタープレートのウェルの大きさや液量に応じて周到な予備実験が必要であった。

(3) 生徒実験時の準備(PCR実験1クラス分)

サーマルサイクラー(1台)、卓上小型遠心機(5台)、UVトランスイルミネーター(1台)、ボルテックスミキサー(5台)、ガスコンロと沸騰させたお湯を入れた鍋(1組)、小型UVランプ(10個)、ピベットマン(P20~P1000、各5個)、チップ(イエロー5箱、ブルー1箱)、ループ棒(3~10本入り5袋)、スクリーキャップ付チューブ(15本)、PCRチューブ(40本)、PCRチューブ遠心用アダプター(20本)、アイスボックス(5箱)、前回の形質転換体プレートとHB101プレート(各班1枚ずつ)、試薬(Taqミックス、プライマーミックス3種、各5本)、染色液入り96穴タイタープレート(5枚)、マジックインキ(10本)、アルミホイール(10枚)、使い捨てグローブ(1箱)、ハザードバッグ(1袋)、消毒用アルコール入りスプレー(2個)、サンプル保存用箱(1箱)、ティッシュペーパー(1箱)、モニターTV(1台)、画像提示用デジタルカメラ(1台)、ビデオデッキ(1台)、ビデオテープ(1本)、サーマルサイクラーウェルシート(1枚)

(4) 実践した授業展開

① 授業者／対象生徒

本校生物科教員 仲里友一／高校1年生 全163名
(4クラス)

② 実施日時／場所／内容／時間

クラスによって授業時間割が異なるので、ここでは1年4組の場合を例に示す。生物の授業の配当時間は週当たり1.5時間(隔週ごとに1時間と2時間)である。

1. 平成15年10月24日(金)／本校生物講義室／遺伝子の本体の究明(講義1時間)
2. 平成15年10月28日(火)／本校生物実験室／組換えDNAを用いた大腸菌の形質転換(実験2時間)
3. 平成15年10月29日(水)／本校生物実験室／コロナ形成の確認(実験20分：昼休み)
4. 平成15年11月11日(火)／本校生物講義室／遺伝子の構造(講義1時間)
5. 平成15年11月21日(金)／本校生物講義室／遺伝子のはたらき(講義1時間)
6. 平成15年11月25日(火)／本校生物実験室／形質転換体中の導入遺伝子の存在をPCR法で確かめる-1(実験2時間)
7. 平成15年12月2日(火)／本校生物実験室／形質転換体中の導入遺伝子の存在をPCR法で確かめる-2(実験1時間)

なお、6. は、今年度の本校の教育研究大会で公開授業とした。

(5) PCR実験の目標と生徒への課題

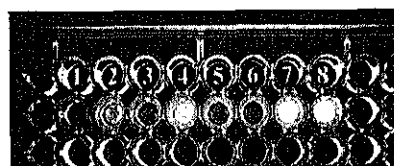
このPCR実験では、作成した組換え体中に存在する3種類の導入遺伝子の有無を物質レベルで確認する。この実験を通してDNAの構造や複製についても理解を深めさせ、遺伝子の物質的実体がDNAであることを確実に理解させたいと考えた。具体的には次の3項目の理解を学習目標とした。

- ① DNAの存在を確かめる方法としてPCR法が有効であること
- ② PCR法の原理と、操作方法
- ③ DNAの構造と複製のしくみについて

この実験は、生物II「遺伝情報とその発現」の一部、「遺伝情報とタンパク質の合成」の中で扱われる内容をより発展させたものとなっている。これまで、通常の生徒実験は4～5名構成×10班で進めてきたが、今回は、2班が組になり、PCR反応に使う鋳型DNA溶液の準備をする班と、PCRチューブにプライマー、緩衝液、基質、Taqポリメラーゼを

入れて反応溶液を準備する班とに分かれ、途中まで分担作業を進めるようにした。生徒に課したレポートには結果のまとめと考察課題として次のようなものを与えた。

1. #1は対照実験(ネガティブ・コントロール)である。どんな意味があるか。
2. #2は対照実験(ポジティブ・コントロール)である。どんな意味があるか。
3. 結果から、HB101、pGLO形質転換体、pGΔ649形質転換体の3種類について、調べた各遺伝子領域の有無をまとめよ。
4. +となったものでも、染色の度合いに大きな差があるものは、PCRによってできてきたDNA量に差があることを意味する。PCR反応後のDNA量に差ができる原因には、どんなことが考えられるか。考えられるだけ挙げよ。
5. プリント表面左側の図(PCR反応の1サイクル目だけが示されている)にならって、この続きの2サイクル目と3サイクル目の様子を図示せよ。また、二本鎖とも2つのプライマー部位の間だけの塩基配列からなる二本鎖DNAが最初に出現するのは3サイクル目であることを示せ。またサイクルが進むほど、このタイプの二本鎖DNAの割合が高くなることを図を使って説明せよ。
6. PCR反応が、実用的になったのは、95℃前後でもある程度活性が保持される耐熱性のDNAポリメラーゼが見つかったからのことである。耐熱性のないDNAポリメラーゼ(例えば、普通の大腸菌のDNAポリメラーゼなど)を使ったPCRが実用的でなかったのはなぜか。
7. その他



<実験結果の一例>

(6) 評価

課題1～7への取り組みによって行った。プリント(レポート)提出は全員に課し、実験結果が出てから約1週間後を提出期限とした。この実験の課題は10点満点で採点し、学期末評点中に含めた。

形質転換体中の導入遺伝子の存在をPCR法で確かめる

1. 実験のアウトライン

前回の実験で作成した形質転換体は、新たにアンピシリン耐性や、GFP合成といった形質を獲得している。そのため、*bla*遺伝子（アンピシリン耐性遺伝子）やGFP遺伝子が、細胞内にあることはまず間違いない。今回は、導入したプラスミド中の遺伝子が存在することを、さらに物質レベル（つまりDNAの存在）で確かめる実験を行う。実験手法は、PCR（Polymerase Chain Reaction = ポリメラーゼ連鎖反応）法というもの。極めて微量のDNAを鋳型として、その調べたいDNA領域だけを大量に増幅させることができる（理論的には一つの鋳型があれば数百万個のDNA分子にまで複製することができる）。増幅させて量を増やせば、染色などを行ってDNAの存在は比較的簡単に調べられるようになる。

PCR法について

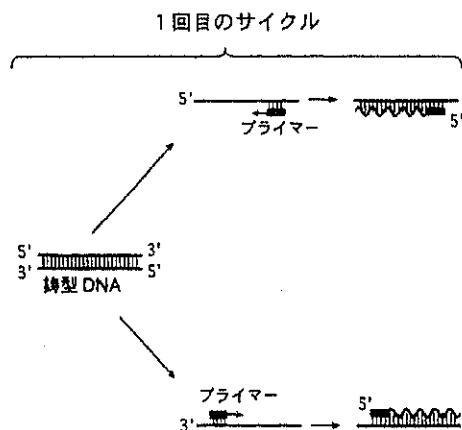
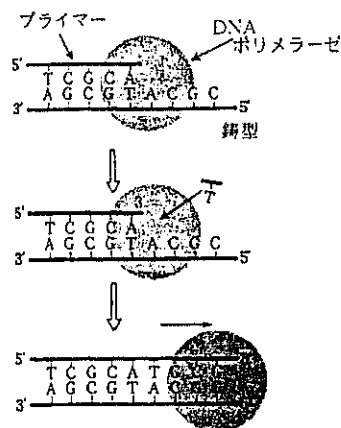
(1) DNAポリメラーゼの一般的な特徴

- ① () となるDNA鎖が必要である。
- ② () が必要である。合成開始のための短い一本鎖。DNAポリメラーゼは、既にあるDNA鎖一本の3'側にヌクレオチドを付加して伸長させていくことしかできない。新規の合成開始にはこれが必要。通常、20ヌクレオチド程度の長さの人工合成一本鎖DNAを用意する。

(2) 反応段階 次の3つのステップを繰り返し行う。

- ①変性…94℃で短時間加熱し、目的のDNAの二本鎖をほどこき一本鎖にして、DNA合成の鋳型としてはたらくようにする。
- ②アニーリング…反応混合物を決められた温度まで急速に冷却し、それぞれ別の鎖上の特定の場所に、2つのプライマーを結合させる。
- ③伸長…反応混合物の温度を、72℃に上昇させ、一定の時間この温度に保ち、DNAポリメラーゼにそれぞれのプライマーを伸長させ、二本鎖DNAにする。

※変性の段階でも、DNAポリメラーゼが失活しないように、*Thermus aquaticus* という高度好熱菌から分離された耐熱性DNAポリメラーゼ（Taqポリメラーゼと呼ぶ）を用いる。



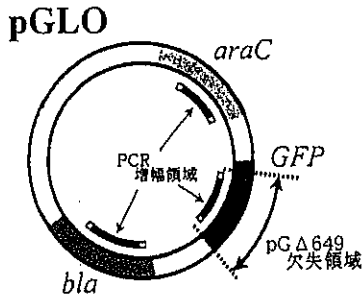
2. 実験計画

調べる遺伝子領域

① *araC* 遺伝子 (pGLO中に含まれるが、大腸菌ゲノム中にも存在している遺伝子)

② GFP 遺伝子

③ *bla* 遺伝子



DNAの変性とプライマーのアニーリング
DNA合成(伸長)

	<i>araC</i> 増幅領域	GFP 増幅領域	<i>bla</i> 増幅領域
大腸菌ゲノム			
pGLO			
pGΔ649			

○: あり ×: なし

3. 操作方法

A. 鋳型DNA溶液の準備

- (1) 3枚のプレートのふたをあげ、UVランプでGFPの発光を再確認する。
- (2) 3本のスクリュウキャップ付きチューブの横とふたに、「H」、「G」、「Δ」と書き、3本すべてに600μlのDWを入れる。「H」はHB101（非形質転換体）、「G」はpGLOでの形質転換体、「Δ」はpGΔ649での形質転換体を表す。
- (3) ループ棒で、HB101および、各形質転換体コロニー1~2個（1~2班分）をすくい取って、各々のチューブの底までループ棒を入れ、親指と人差し指をこすり合わせるようにしてループ棒を回して先に付いている大腸菌を懸濁させる。コロニーは数多く入れすぎないこと。
- (4) 10秒間、ポルテックスミキサーで攪拌する。
- (5) キャップをしっかりと開けてから、発泡スチロール板フロートの穴にチューブを差し、沸騰しているお湯に浮かべ5分間加熱する。
- (6) チューブを湯から出し、氷上におく（3分以上）、これを鋳型DNA溶液とする。

B. PCR反応の準備

- (1) 8本のPCRチューブに1~8までの番号を書く。（≠1~≠8とする）

- (2) Taqミックス20μlを、すべてのチューブに入れる。
※Taqミックス中には、Taqポリメラーゼ、A,T,G,C4種類のヌクレオチド、pH緩衝液が入っている。

- (3) プライマーミックス3種を右の表にしたがって各チューブに20μlずつ入れる。チップはチューブごとに付けかえること。

※3種類のプライマーミックスには、増幅させたい領域の両端のプライマー2種が含まれている。

		加えるプライマーミックス		
		araC ミックス	GFP ミックス	bla ミックス
鋳 型 DNA	DW	≠1	-	-
	H	≠2	≠3	≠6
	G	-	≠4	≠7
	Δ	-	≠5	≠8

- (4) ≠1のチューブにDWを、≠2~≠8のチューブにはAで準備した鋳型DNA溶液を、上の表にしたがって各チューブに10μlずつ入れる。チューブには全部で50μl入ったことになる。チップはチューブごとに付けかえる。1本入れ終わるたびにチューブのふたをしっかりと閉めて氷上に差ししておく。チューブ内壁に飛び散っている溶液があれば3秒ほど遠心処理をしてチップの底に集めておく。

- (5) 8本分の準備ができたなら、サーマルサイクラーの決められた場所に各チューブを差し込む。チューブの外側に着いた氷や水滴を完全に拭き取ってから入れること。

※サーマルサイクラーとは、正確な温度、時間で保温や加熱、冷却を全自動で繰り返すPCR反応のための装置

C. PCR反応

右のようなプログラムをサーマルサイクラーに組み、反応を行う。

途中、サーマルサイクラーの表示パネルを確認する。

反応段階	ステップ	作用	温度	時間
1	Step0	予備保温	94℃	1分間
2 (20回)	Step1	変性	94℃	10秒間
	Step2	アニーリング	62℃	20秒間
	Step3	伸長	72℃	30秒間
3	Step4	最後の伸長	72℃	3分間
	Step5	保存	4℃	∞

D. DNAの染色

- (1) サーマルサイクラーから、8本のチューブを取り出す。
- (2) 予めエチジウムブロミド溶液を入れてあるタイタープレートの穴に、チューブ中の溶液40μlを入れ、入れたチップをつけたままのピペットマンで2~3回出し入れして混合する。泡立てないように、エチジウムブロミドは強力な発ガン性があるので、使い捨てグローブをし、注意してこの操作をすること。
- (3) タイタープレートの蓋をして、UVランプの上に乗せて観察する。DNAが増幅して多くなった溶液はピンク色の蛍光色となる。UVランプの光源は直視しないように。

<裏へ>

5. 地学科（貝殻化石を使用した個体標本の計測に基づく種の相対成長の研究）

SSH 2年目は、1年目に購入した電子ノギスを使用した授業を考案・実施した。

授業は、本校の中学3年生で実施されているテーマ学習「地球史を読み解く」の中で試みた。「地球史を読み解く」では、関東地方南部に氷河性海面変動に伴う更新統の海成層がよく発達し、その中に寒流系および暖流系の貝化石が多産することから、保存の良い貝化石をたくさん採り、貝化石という実物からどれだけの情報が引出せるかをひとつのねらいとしている。

テーマ学習「地球史を読み解く」の指導は以下のように行われた。（2時間単位）

- (1)化石概論・化石模型(外形雌型)の作成(シリコンラバー)
- (2)化石模型(外形雄型)の作成(石膏)・化石採集オリエンテーション
～貝化石の採集:千葉県印旛郡印旛村鶴巻(下総層群木下層)～
- (3)貝化石のクリーニングと標本整理・図鑑による貝化石の同定と分類、ラベル作成
- (4)採集した貝化石のリスト作成・古緯度や深度などの堆積環境の推定
- (5)生物の系統と貝類の分類形質
- (6)12万年前の古環境(最終間氷期)・砂粒中の底生有孔虫の観察
- (7)貝殻の計測(アナログノギスを使用)
- (8)相対成長のグラフの作成・二枚貝の放射肋の本数勘定
- (9)殻長・殻高・殻幅の2変数間の相関係数計算
- (10)石灰岩の研磨・エッチングによるフズリナ化石の観察
- (11)泥岩中に含まれる珪藻化石の抽出と観察

★(12)貝殻の計測2(電子ノギスを使用)・表計算ソフトによる相対成長のグラフの作成

アナログノギスによる測定や電卓による計算、グラフの作成などを行ったうえで、デジタルノギスによる測定と表計算ソフトによるグラフの作成を、03年度の教育研究会における公開授業で行った。

公開授業の学習指導は以下の通り。

- (1)題材・・・貝殻の計測と相対成長のグラフの作成(その2):採集してきた千葉県市原市瀬又の瀬又層と印旛郡印旛村鶴巻・吉高の木下層の貝殻を使用
- (2)授業のねらい
 - ①電子ノギスを使用して、多数の貝殻標本の計測を実行できる。
 - ②電子ノギスからコンピュータに送られた計測データを加工・処理できる。
 - ③計測データをグラフ(散布図)化し、成長の傾向を読み取ることができる。
- (3)準備・・・電子ノギス、インプットツール、コネクティングケーブル、データ処理用コンピュータ、計測用貝殻、プリンター
- (4)指導過程
 - 1.班ごとに計測機器を作業できるように配線させる。
 - 2.コンピュータを起動させて、表計算ソフトを立ちあげる。
(フロッピーディスクのファイルを開く)
 - 3.電子ノギスに貝殻標本を当てて、殻長・殻高・殻幅を計測し、その値をコンピュータに送らせる。
*ノギスのスイッチを入れたら、必ずゼロ調整させる。

*貝殻に対するノギスの当て方に注意を促す。

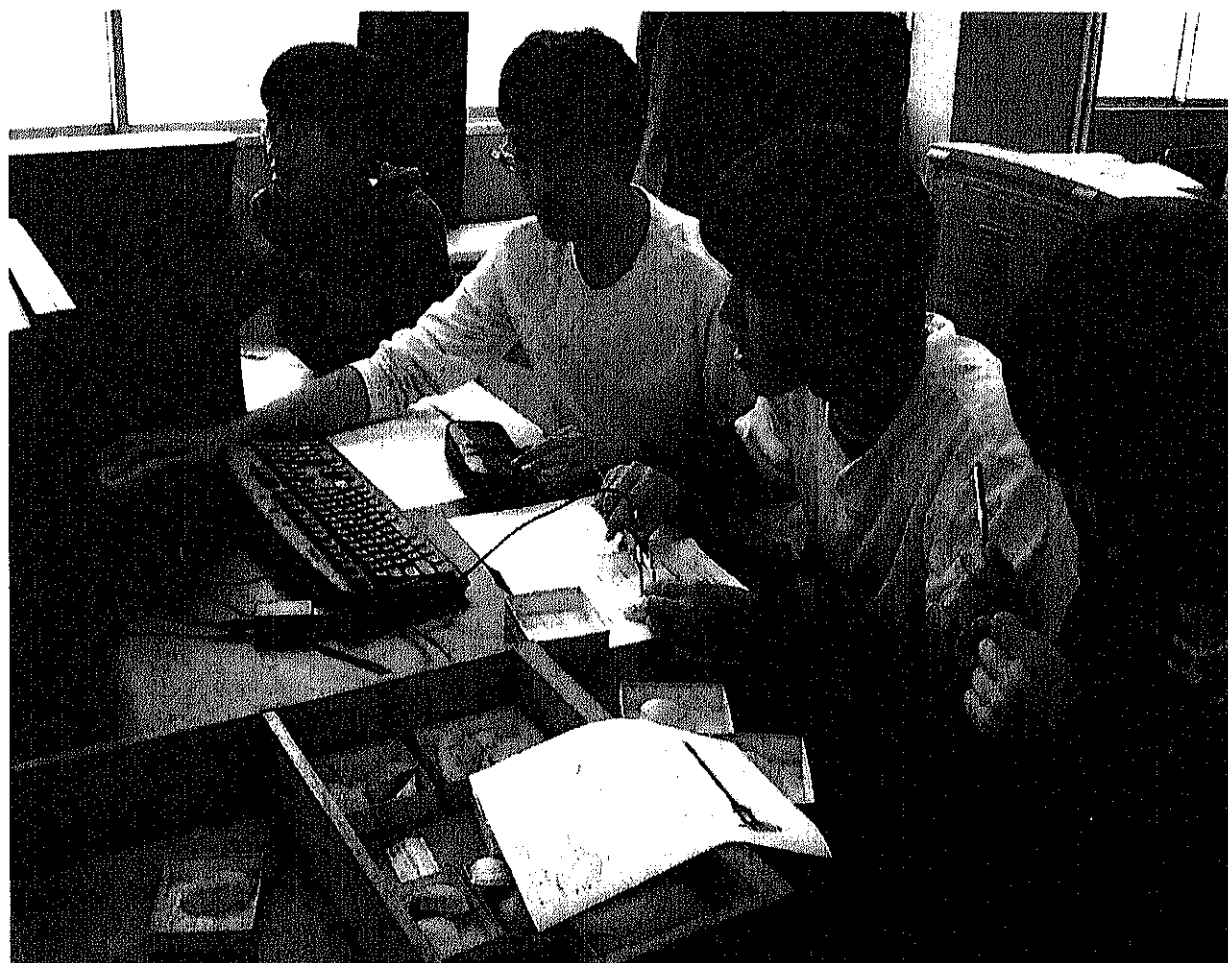
4.以下の手順で、データの散布図を作成させ、表計算ソフトの線形近似による近似直線と数式を求めさせる。

- ①グラフにするデータの範囲を選択する。
- ②「グラフウィザード」を使用する。
- ③「散布図」を選択させ、「形式」を確認する。
- ④「近似曲線の追加」を選択する。
- ⑤「線形近似」を選択し、「追加対象の系列」を確認する。
- ⑥オプションの「グラフを数式に表示する」を選択する。

5.計測表と散布図をプリントアウトさせる。

まとめとして、殻長と殻高の散布図などから種ごとの成長の傾向を生徒に答えさせる。

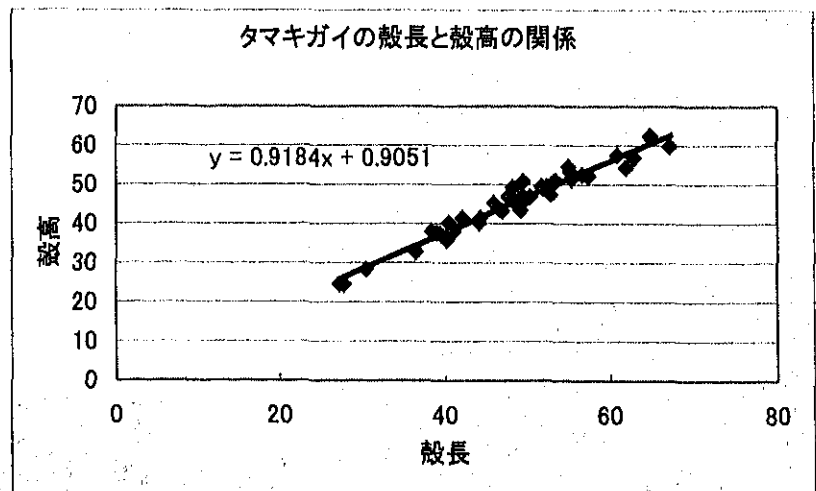
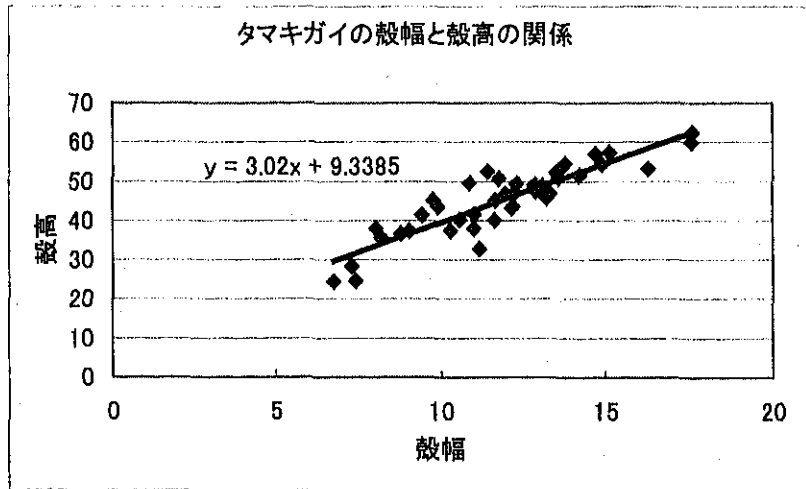
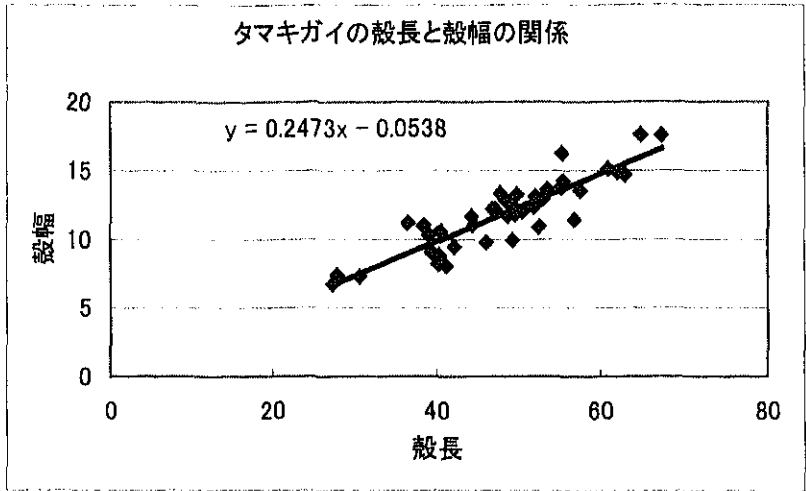
生徒は、手際良く共同して貝殻の計測を行い、表計算ソフトからそれぞれの種の殻長と殻幅の関係をグラフ化し、近似曲線を求めた。下に、生徒の作業の様子と生徒がプリントアウトした結果の一例を示す。どの種も殻長と殻高の相関が高く、ほぼ等成長になっていることがわかる。さらに放射肋の数を数えて、個体変異の幅を調べさせ、棒グラフを作成させ、放射肋の数の分布が、ほぼ正規分布になることを確かめさせることを計画した。内容は充分達せられたように思っている。



公開授業における生徒の作業の様子

タマキガイ

殻長	殻幅	殻高	放射肋の数
67.27	17.58	59.85	
50.5	12.02	46.87	
48.45	12.89	49.15	
49.85	13.25	45.86	
52.57	10.89	49.58	
55.32	16.27	53.23	
55.14	13.79	54.58	
46.82	12.24	43.55	
52.98	12.93	47.55	
52.13	13.13	48.86	
46.1	9.78	45.23	
40.48	10.59	40.24	
40.17	8.2	35.78	
49.57	12.29	47.05	
56.79	11.44	52.6	
48.75	11.69	45.25	
47.17	12.2	43.31	
42.17	9.44	41.48	
44.42	11.05	41.55	
57.57	13.52	52.16	
62.94	14.7	56.93	
39.4	9.06	37.33	
38.41	11.02	38.06	
55.46	14.24	51.51	
64.81	17.62	62.49	
27.28	6.75	24.52	
27.79	7.42	24.6	
36.47	11.2	32.72	
44.21	11.68	40.16	
53.55	13.61	50.96	
30.57	7.3	28.39	
39.05	10.29	37.58	
47.82	13.36	46.93	
49.65	11.81	50.77	
51.87	12.36	49.46	
40.34	8.81	36.77	
41.12	8.04	38.04	
49.39	9.91	43.51	
60.95	15.13	57.48	
61.96	14.9	54.27	



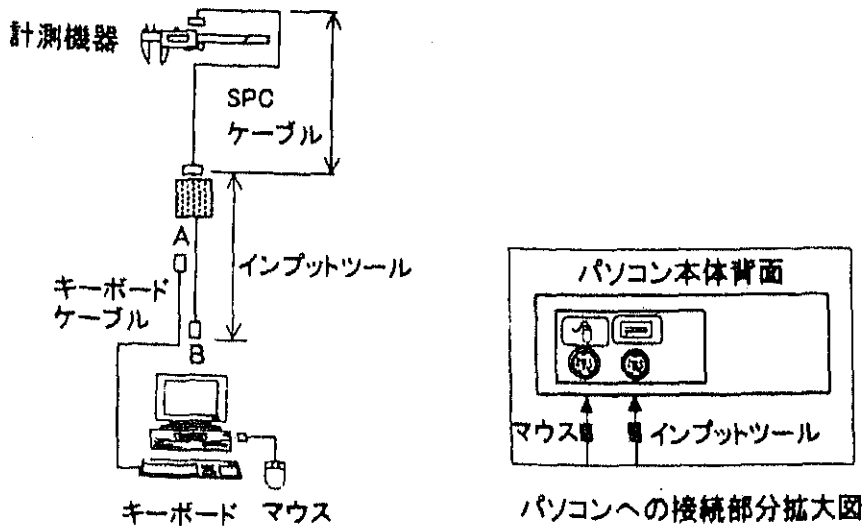
X. 電子ノギスを使用した貝殻の計測

(用意するもの) 電子ノギス、インプットツール、コネクティングケーブル、
パーソナルコンピューター式、貝殻標本

< 作業手順 >

(操作 1) 班ごとに計測機器を作業できるように配線する。

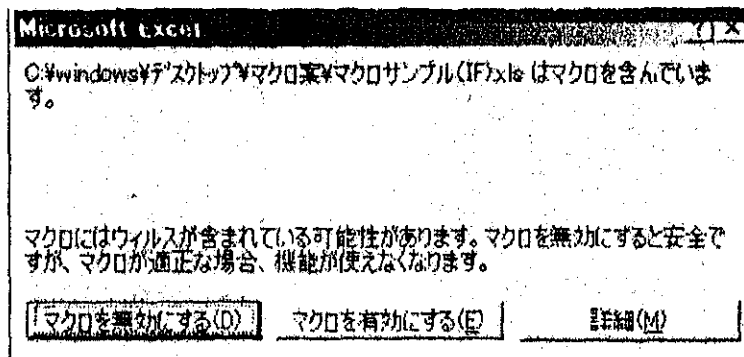
(図 1)



(操作 2) コンピュータを起動させ、ディスプレイ上のマイコンピュータのアイコン
を経由して、フロッピーディスクのファイル(貝の名称)を開く。

★注意：このエクセルのファイルはマクロを含んでいるため、図2のような
警告が出てくるので、真ん中の「マクロを有効にする(E)」を左クリ
ックで選択する。

(図 2)



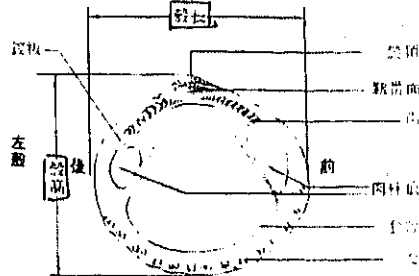
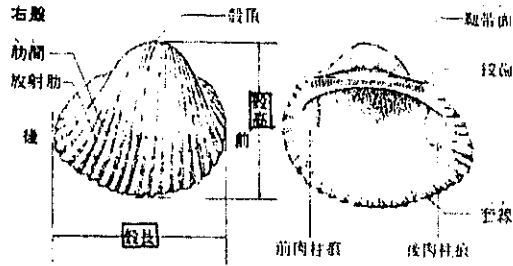
(操作 3) ディスプレー上に集計表が出てきたら、貝殻の計測を開始する。

電子ノギスに貝殻標本を当てて、それぞれの貝の殻長・殻高・殻幅を計測し、その値をコンピュータに送る。

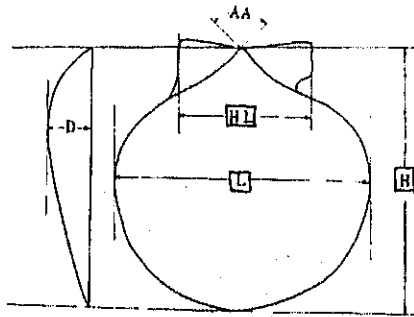
[計測部位]

アカガイ

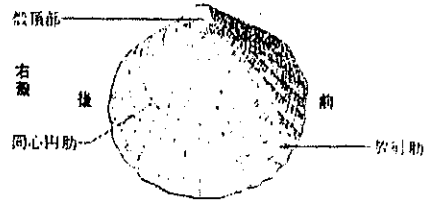
タマキガイ



ホタテガイ

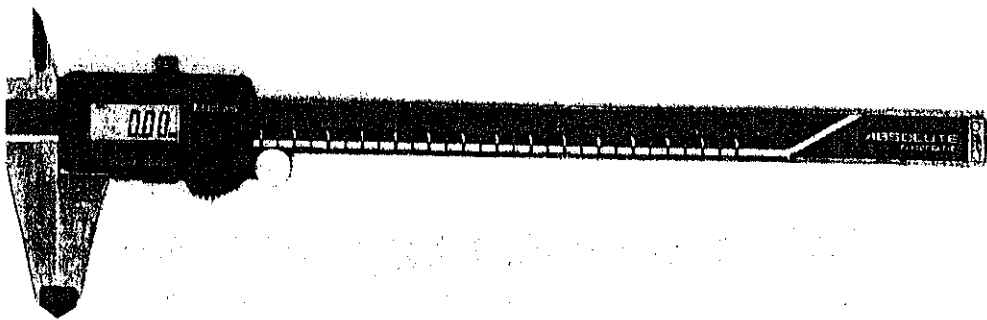


H: 殻高, L: 殻長, D: 殻幅, HL: 頂の長さ, AA: 頂角

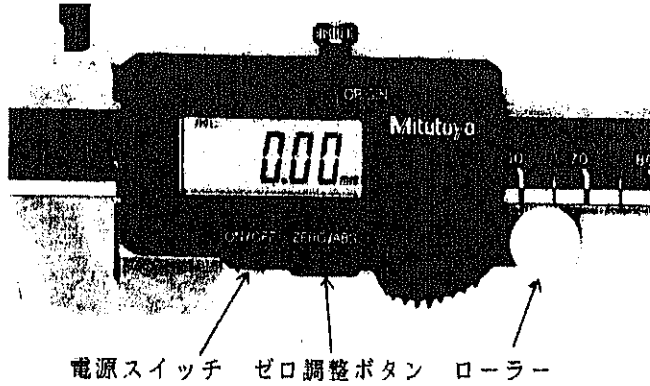


[方法] ①電子ノギスのスイッチ(図3の左の水色ボタン)を押して電源を入れ、液晶画面に数字が表示されたら、ゼロ調整用のスイッチ(図3の右の白色ボタン)を押して、外側用測定面を閉じた状態での数字の表示を0.00mmにする。

(図3)



(拡大)



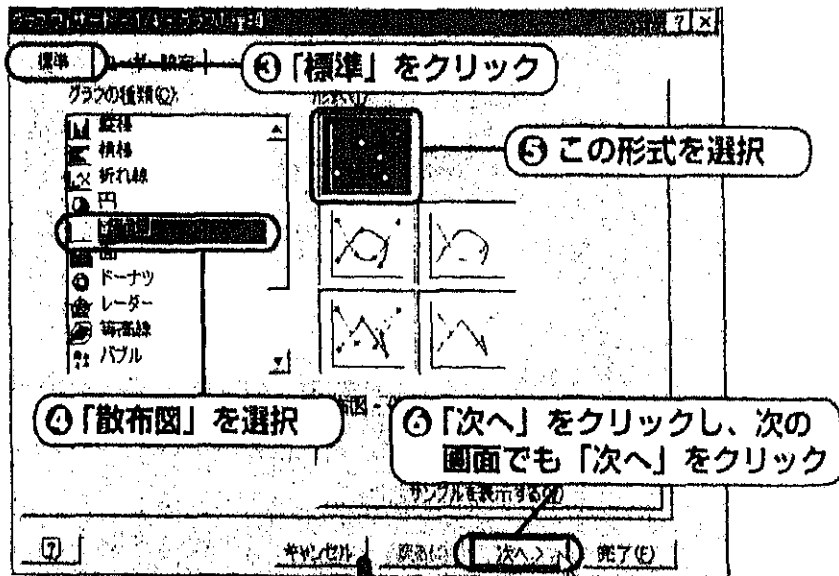
- ② 貝殻の測定部位にノギスの当てるときに、その当て方に注意する。左手で貝殻をつかみ、右手に持つノギスのローラーを親指を使って、外側用測定面を移動させながら貝殻をはさむ。
☆ 殻長・殻高・殻幅の順番に測定する。ホタテガイ類は右殻と左殻で殻幅が異なるので、殻幅の代わりに耳の長さを測定する。
- ③ 測定値を確定したら、コネクティングケーブルのDATAボタン(オレンジ色)を押して、コンピュータにその値を送る。
- ④ 画面のセルに測定値が表示されたら、キーボードのリターンキーを押して、次の部位の測定を行う。
- ⑤ 1つの貝殻について測定し終わったら、マウスを使って、次の行の先頭のセルに移動させ、次の貝殻の測定を行う。測定を終えた貝殻の内側に、測定値が入力された表の行番号を鉛筆で記録しておく。

(操作 4) 貝殻の測定値の入力が終了したら、以下の手順で、データの散布図を作成する。

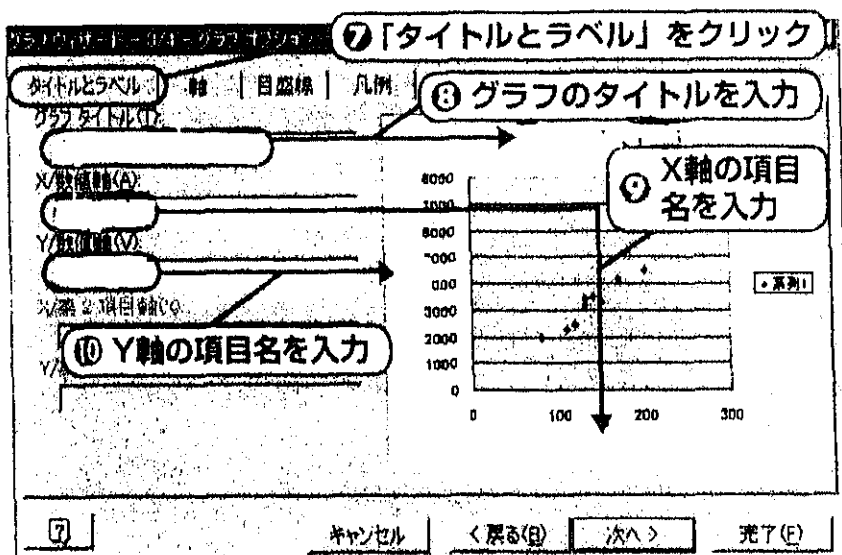
- ① グラフにするデータの範囲を選択する。(図4)
 - ② 「グラフウィザード」のマークをクリックする。(図4)
- (図4)

	A	B	C	D	E	F	G
1	トウキョウホタテ						
2	殻長	殻幅	殻高	肋の本数			
3	68.07	67.7	15.84	12			
4	79.48	67.24	20.39	15			
5	81.41	37.37	41.02	13			
6	52.76	43.18	17.94	12			
7	103.37	163.88	6.45	12			
8							
9							
10							
11							
12							
13							

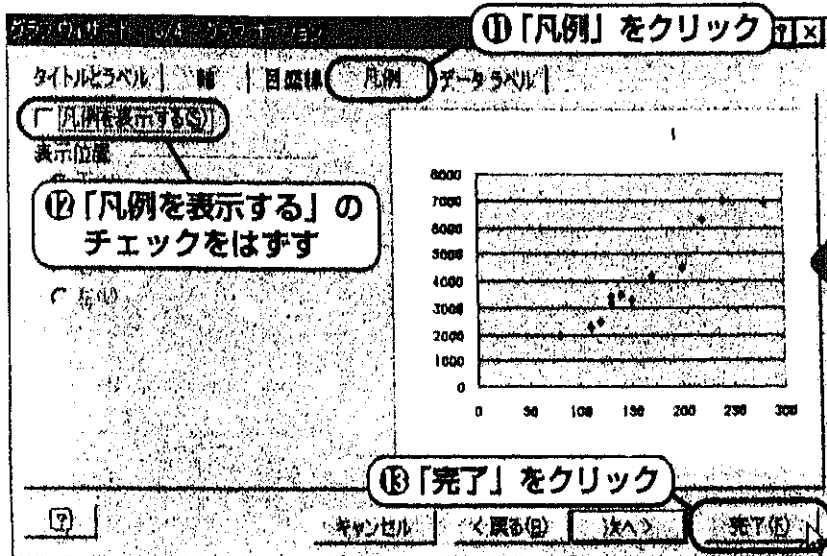
- ③ 次の「標準」の画面を確認する。(図 5)
 - ④ 画面左側の「グラフの種類」の中の「散布図」を選択する。(図 5)
 - ⑤ 画面中央の「形式」の 1 番上の形式を選択する。(図 5)
 - ⑥ 画面右下の「次へ」をクリックする。(図 5)
- (図 5)



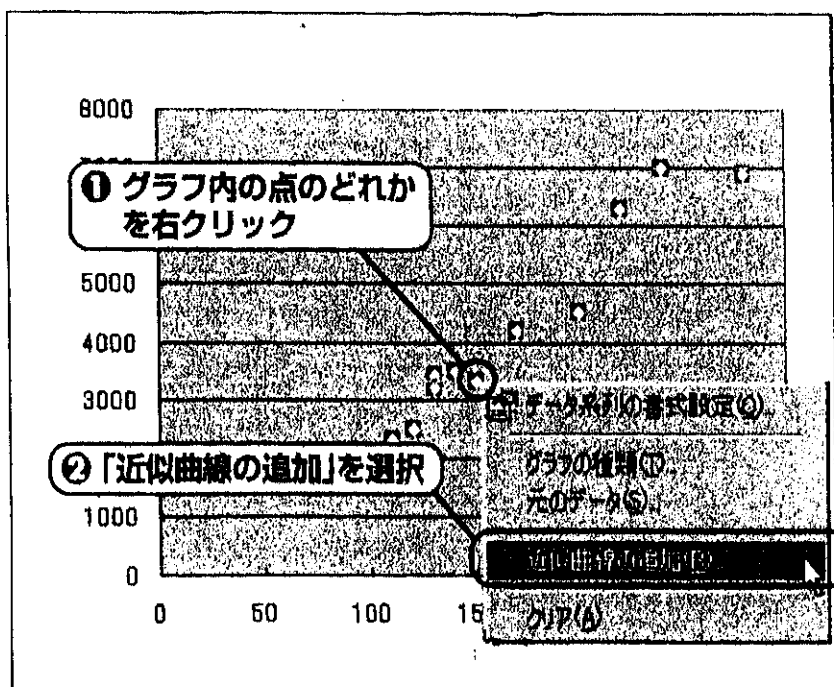
- ⑦ 次の画面が「タイトルとラベル」であることを確認する。(図 6)
 - ⑧ グラフのタイトルを入力する。(例)アカガイの殻長と殻高の関係 (図 6)
 - ⑨ X軸の項目名を入力する。(例)殻長 (図 6)
 - ⑩ Y軸の項目名を入力する。(例)殻高 (図 6)
- (図 6)



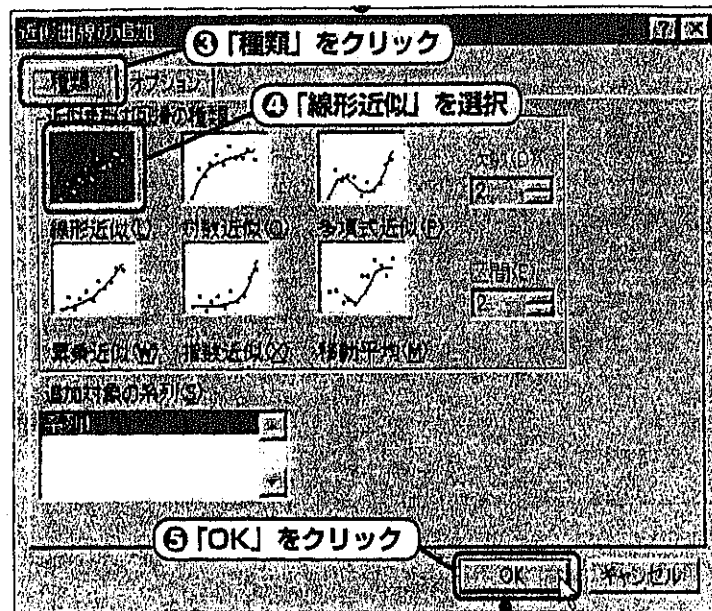
- ①画面中央の「凡例」をクリックする。(図7)
 - ②「凡例を表示する」のチェックをはずす。(図7)
 - ③画面右下の「完了」をクリックする。(図7)
- (図7)



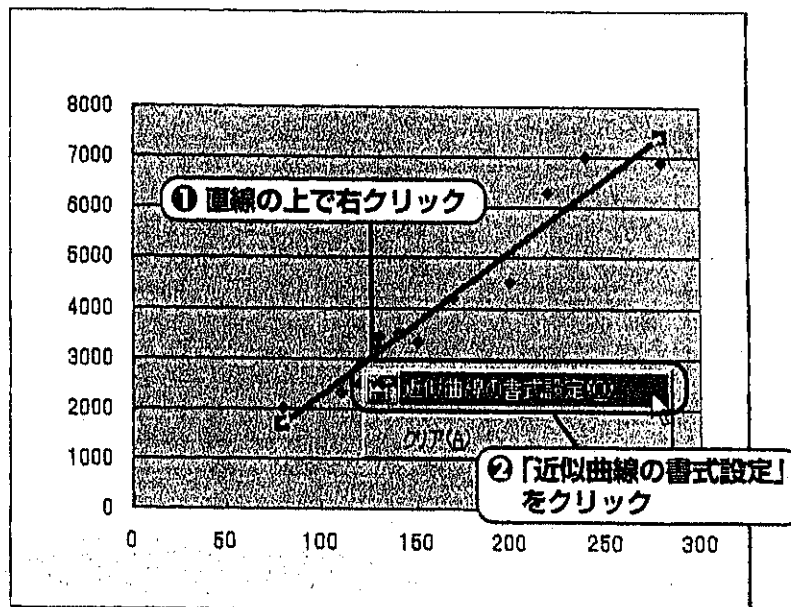
- (操作 5) 散布図が完成したら、以下の手順で、グラフの点を直線に置き換える。
- ①散布図の点の上で右クリックする。(図8)
 - ②「データ系列の書式設定」のメニューが表示されるので、「近似曲線の追加」を選択する。(図8)
- (図8)



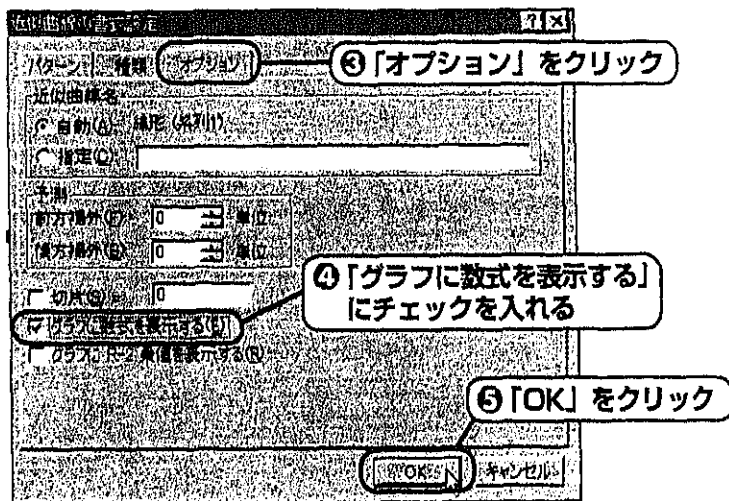
- ③次が「種類」の画面であることを確認する。(図9)
- ④「近似または回帰の種類」の欄内の「線形近似」を選択する。(図9)
- ⑤画面右下の「OK」をクリックする。(図9)すると、傾向を表す直線が入る。
(図9)



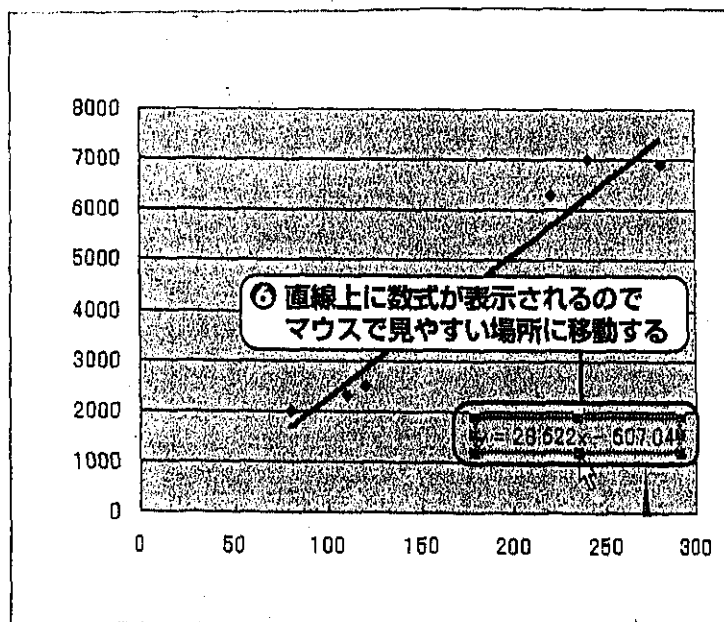
- (操作 6) 散布図に直線を入れたら、以下の手順で直線を表す式を求める。
- ①直線の上で右クリックする。(図10)
 - ②「近似曲線の書式設定」をクリックする。(図10)
(図10)



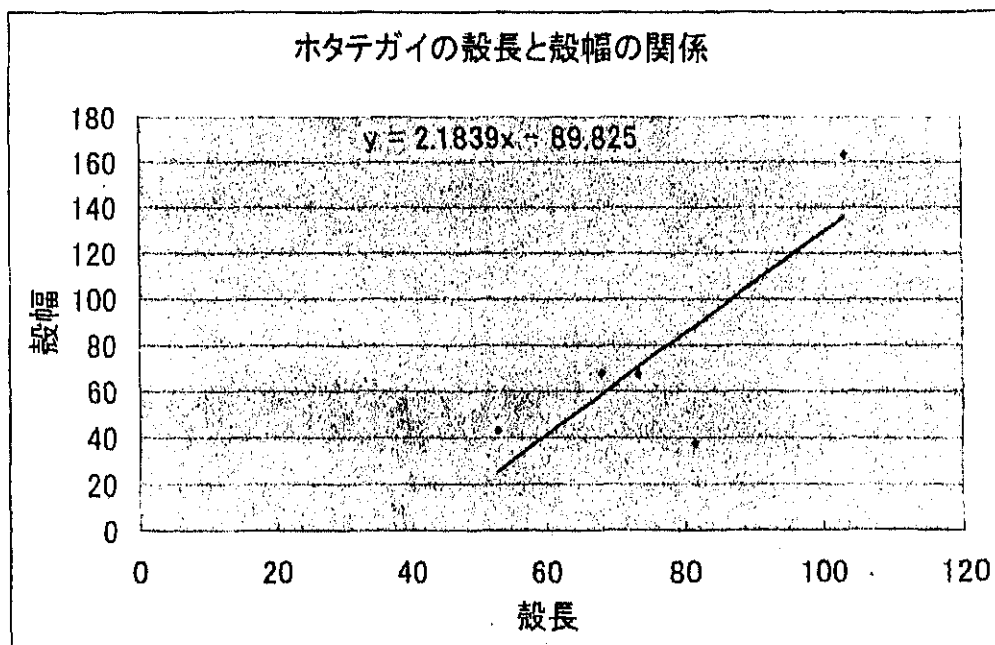
- ③ 次の画面の上の行の「オプション」をクリックする。(図11)
 - ④ 画面下方の「グラフを数式に表示する」にチェックを入れる。(図11)
 - ⑤ 画面右下の「OK」をクリックする。(図11)
- (図11)



- ⑥ 関係式は直線の上に表示されるので、そのままでは見づらい。そこで見やすい位置までマウスで式を移動する。(図12)
- (図12)



- (操作 7) 結果をフロッピーディスクに保存する。
 (操作 8) 教室前方の教卓にあるプリンターで結果を印刷する。
 (例)



- (操作 9) 測定を終えた貝殻の放射肋の数を数え、計算表の欄に入力する。
 ☆時間があったらグラフ化を試みる。
 (操作 10) 計測機器をかたづける。
- (考察 1) 殻長と殻高の散布図などから種ごとの成長の傾向を考える。
 (考察 2) 放射肋の数の分布からそれぞれの種ごとの変異を考える。