

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3

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・吉田哲也

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3

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
吉田哲也

本校は、平成14（2002）年度より文部科学省研究開発学校であるスーパーサイエンスハイスクール(SSH)の指定を受けている。研究開発課題は、「先駆的な科学者・技術者を育成するための中高一貫カリキュラム研究と教材開発」で、理科ではその研究開発課題達成に向けたカリキュラム研究と、それに合わせた教材の開発に5年計画で取り組んでいる。

これまで本論集では、第一年次（2002年度）に、各科目で開発予定のカリキュラム構想と教材開発の計画を示し、第二年次に（2003年度）開発中の教材の一部を紹介した。第三年次の今年度は、当初予定されたSSHの研究開発期間の終了にあたり、この期間に開発した実験教材について実験マニュアルの形で冊子としてまとめることにしている。この実験マニュアルは、年度末完成を目指して現在作製中であるが、その中から今年度の本校教育研究会・理科研究協議会（2004年11月26日）で配布した試作版を紹介する。

キーワード：スーパーサイエンスハイスクール，カリキュラム開発，教材開発，実験マニュアル

1. はじめに

今年度（第三年次）の理科におけるSSHの取り組みは、過去2年間と同様にSSH研究内容の柱（下表）のうち、i，ii，iiiを中心に実施した。

iは、大学・研究機関との連携による講演会・実験講座・研究室訪問で、合計17回実施した（今後実施予定分を含む）。iiについては、各科目で導入した機器や試薬を活用して、今年度も引き続き実験教材の研究開発および実践を行った。試行的内容が中心だった昨年度に比べ、今年度はその実践結果を踏まえ、実験内容や方法について大幅な改良を加えている。この内容を中心に実験マニュアルを現在作製中である。iiiは、化学部・生物部への活動の支援で、実験・研究に必要

表 SSH研究内容の柱

＜研究内容の柱＞	
i	科学的リテラシーを育成するプログラムの開発・実践
ii	先端技術・研究の成果を活かした授業の研究・開発
iii	クラブ活動などの生徒の自主的活動の支援
iv	カリキュラム開発のための調査・研究
v	SSH指定校との研究交流・情報交換
vi	研究成果発信のための情報環境整備

な書籍・器具・試薬等を購入し、活動の活性化に努めた。その成果は、クラブ生徒の研究論文が今年度の日本学生科学賞で入選を果たすなど、徐々に表れてきている。

本論集に、試作版を紹介する実験マニュアルは、B5版で200頁を予定しており、2005年3月発刊予定である。おもな内容は、2002年度からのSSH3ヶ年で開発した、科目別の実験・教材についての詳しい解説である。教師・指導者が、そのまま実験マニュアルとして活用できるものを目指しており、詳しい解説とともに生徒配布用のプリントも収録する。また、巻末には、SSH3ヶ年で購入した機器のリストも掲載し、今後SSHなどで最新の機器を活用した教材の研究開発・実践に取り組む学校の参考となるよう工夫した。なお、完成した実験マニュアルについては、SSH各校へ配布するほか、希望する学校・教育関係機関への配布を行う。

次頁以降に、物理分野（2テーマ）・化学分野・生物分野・地学分野（各1テーマ）の順で、実験マニュアル試作版を紹介する。

2 物理分野

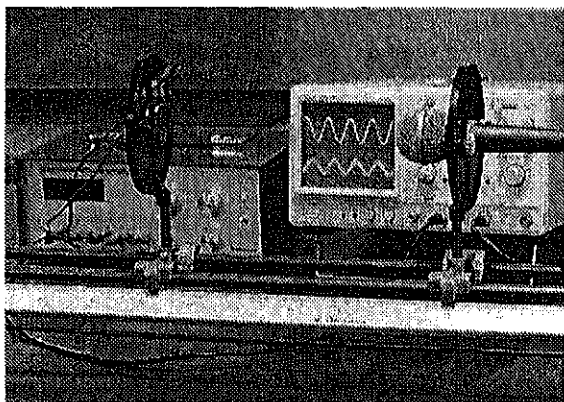
2.1 音波の波長および伝播速度の測定

2.1.1 はじめに

可聴域の進行する音波を使用し、発信された音波と受信された音波を2現象シンクロスコープに入力する。その位相差から音波の波長を測定し、伝播速度も求める。この実験を通して、進行波では空間的にも時間的にも位相が周期的に変化し、次々と媒質を伝わっていることを理解する。

2.1.2 実験機器

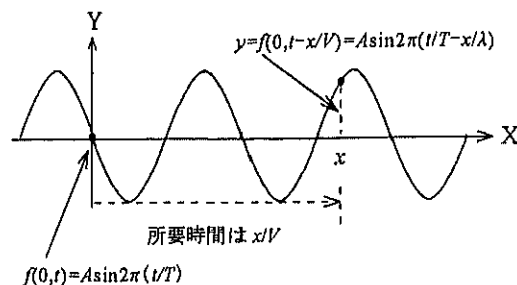
- 低周波発振器 CR-AD(アンプ付)
: Nakamura A05-7630
- シンクロスコープ: KENWOOD CS-4025
- オシロスコープ専用マイク
: Nakamura A05-7800
- スピーカー: 直径 40mm 程度(市販)
- 光学台 OB-C: SHIMADZU 129-030
 - ・ オプティカルベンチ
 - ・ レンズばさみ 2 個 ・ キャリア 2 個



2.1.3 実験原理と支える理論

1. 進行波の位相

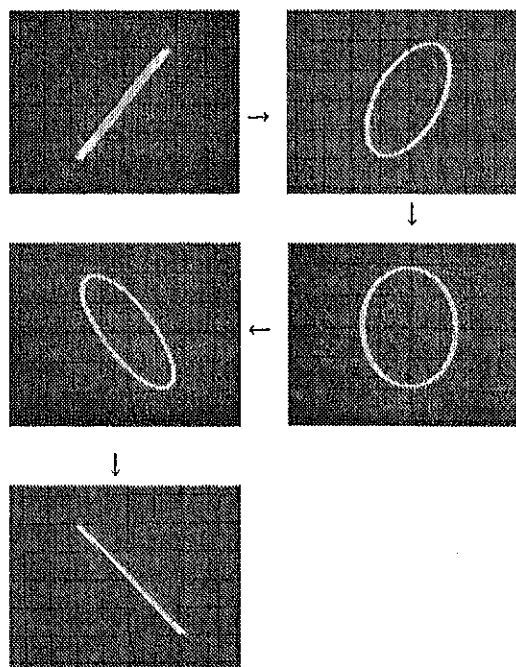
X 軸の正の向きに進行する単音の変位 y は、 $y=A\sin 2\pi(t/T-x/\lambda)$ のように x と t の2変数関数として表現できる。2現象のシンクロスコープを使えば、発信した音波と受信した音波の時間的変化を同時に観察し、進行波における位相のずれから音波の波長や伝播速度を算出することができる。



2. リサージュ図形と位相の関係

シンクロスコープの縦軸(CH1)に入力する電氣的振動が $A\sin(\omega t+a)$ 、横軸(CH2)に入力する電氣的振動が $B\sin(\omega t+\beta)$ である場合、リサージュ図形は以下ようになる。

- ・ $\beta = a+2n\pi$ ならば、
傾きが $A/B (> 0)$ の直線
- ・ $\beta = a+(2n+1)\pi$ ならば、
傾きが $-A/B (< 0)$ の直線
- ・ $\beta = a+(2n+1)\pi/2$ ならば、
軸が水平かつ鉛直な楕円
- ・ その他 … 軸が斜めな楕円



2.1.4 実験方法

1. 次頁のように、発振器(アンプ付)、スピーカー、マイク、シンクロスコープを接続する。

2. シンクロスコープの VERT MODE を ALT にし、CH 1 の線が上に CH2 の線が下に現れるようにセットする。
3. スピーカーを $x=0$ の位置に、マイクを $x=15\text{cm}$ の位置に置き、スピーカーから 4000Hz の音を発生させる。
4. 増幅、CH1 および CH2 の VOLTS/DIV、SWEEP TIME/DIV を適当に調整し、上下に同程度の振幅の波形が横に 2~5 周期並ぶようにする。このとき TRIGGER LEVEL を調整して波形を静止させる。
5. マイクの位置を左 (x の負の向き) や右 (x の正の向き) に移動させて、CH2 の波形の変化から 位相の変化を読み取る。
6. MODE を X-Y に切り換え、シンクロスコープの画面にリサージュ図形を描かせる。
7. マイクをレール上でゆっくりと移動させ、リサージュ図形が直線となる x の値を読み取り、その結果から 波長と音速を算出する。(CH1 と CH2 の波形が同位相なら右上がりの直線、逆位相なら右下がりの直線となる。)

2.1.5 探求課題

1. 実験方法5の観察結果をまとめる。
2. 実験方法7の測定結果をまとめ、音波の波長 λ と伝播速度 v を算出する。

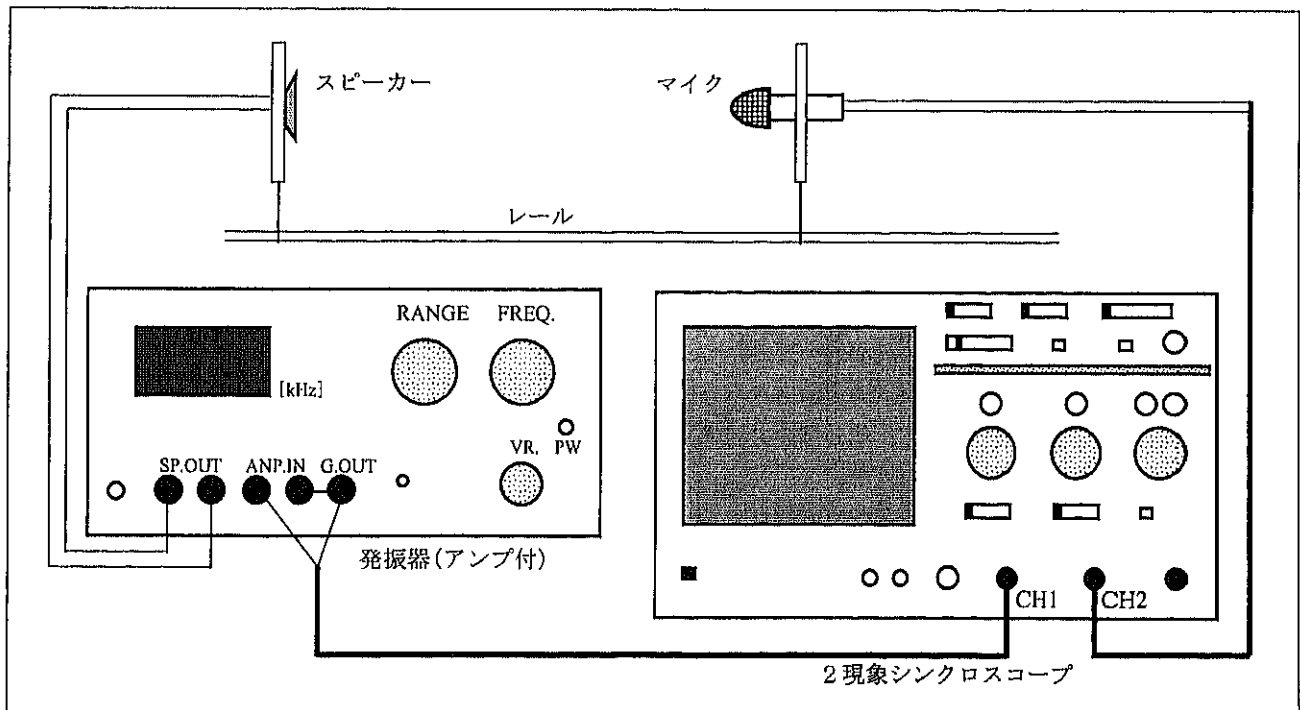
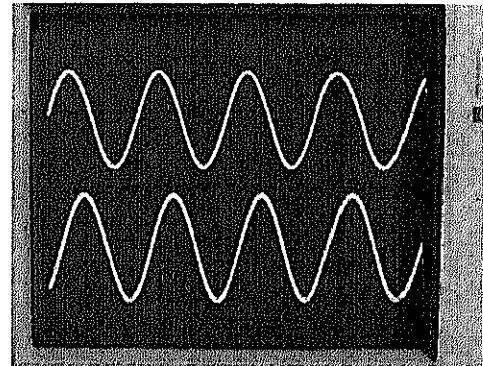
図形	/	\	/	\	/	\
$x[\text{cm}]$						

2.1.6 実験結果の実例

(生徒の実験レポートより)

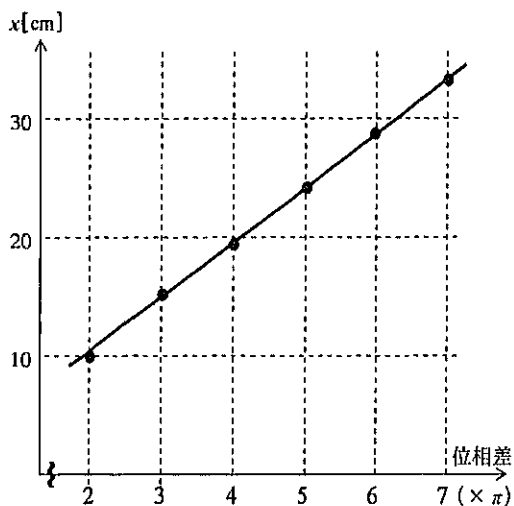
1. 実験方法5の観察結果は以下の通り。

マイクの位置をスピーカーから離していくと、CH2の波形は右に移動する。これは、発信された音波がマイクに到達する時間が長くなり、受信した音波の位相が遅れていくことを示す。一方、マイクの位置をスピーカーに近づけると、CH2の波形は左に移動する。これは、逆にマイクに到達する時間が短くなり、受信した音波の位相が進んでいくことを示す。この結果は、進行波の式 $y = A \sin 2\pi(t/T - x/\lambda)$ を裏付けていると判断できる。



2. 実験方法7の測定結果

図形	／＼	＼／	／＼	＼／	／＼	＼／
x	10.0	15.2	19.3	23.8	28.5	32.7



位相が 2π だけずれたときの距離の差が波長に相当するので、グラフの傾きから波長を求めると、

$$\lambda = 8.9[\text{cm}]$$

よって、伝播速度 V は、

$$V = \lambda T = 8.9 \times 10^{-2} \times 4000 = 356[\text{m/s}]$$

測定時の気温は 17°C 。理科年表によれば、乾燥した空気での音速 V は、

$$V = 331.45 + 0.607 \times T[\text{m/s}]$$

これに、 $T = 17$ を代入すると、

$$V = 342[\text{m/s}]$$

実験結果が $14[\text{m/s}]$ ほど速くなってしまった。おそらく、湿度が影響していると思われる。

2.1.7 評価

- 音波の指向性、シンクロスコープの波形の鮮明さを考えると、耳障りではあるが 4000Hz の音が適している。 2000Hz の音を使って同様の実験も行ったが、波形の減衰および不明瞭さ、他の班のノイズの影響で、結果は思わしくなかった。
- 2現象シンクロスコープでは、2つの信号ともCH1の信号に同期させて掃引している。そのためCH2の信号に位相変化が現れる。
- 進行波の変位は、位置と時間の2変数の関数として表される。「波長 λ = 空間的な周期」および「周期 T = 時間的な周期」という基本的な概念がなかなか身に付かない。シンクロスコープの画面上の波

形が移動する際、位相が進んだのか遅れたのかの判断に苦しむ生徒が多い。2変数の場合、位置と時間のどちらを固定しどちらを変化させて観察しているのか、その意識を持たせる必要がある。

- 「波の位相とは何か？」この問いに対する答えで、その人の波動における理解度が分かると言われている。2つの波形を同時に画面で観察すること、リサージュ図形の変化を観察することは、波の位相の概念を浸透させるのに効果的である。
- 生徒が算出した音速は $345 \sim 360\text{m/s}$ で、彼らの予想より大きかったようである。実験室内には約40名の人(生徒)が呼吸をしている。そのため湿度はかなり高く、乾燥している空気(理科年表の数値)より音速は速くなるようだ。
- スピーカーについては、実験の目的が一方向の音波を測定する以上、大きなスピーカーは使用したくない。一方、小さなスピーカーでは、低音の場合と増幅を大きくした場合には波形が歪み、正弦波とはならない。相反する2点を考慮し、今回は直径 40mm 程度のスピーカーに 4000Hz の音を発生させた。
- スピーカーの位置(相対的な位置で十分)を正確に測定するため、音とは全く無関係な光学台を流用した。その際、レンズ類を固定するスタンドを使用してスピーカーとマイクの両方を固定した。確かに便利ではあるが、スタンドでの反射が影響し、実験精度が落ちていることが懸念される。改良の必要性を感じている。

2.1.8 参考文献

- *小橋豊著「音と音波」裳華房基礎物理学選書
- *有山正孝著「振動・波動」裳華房基礎物理学選書
- *理科年表(国立天文台編：丸善)

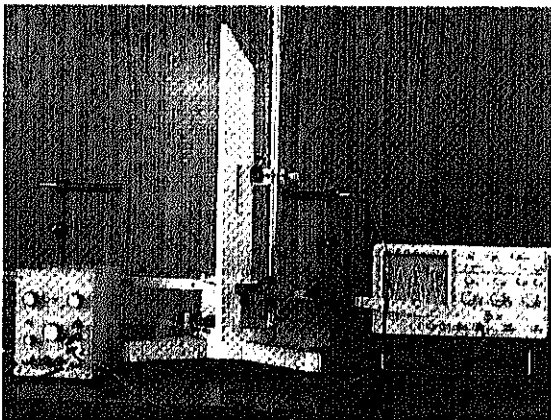
2.2 超音波の干渉実験と波長測定

2.2.1 はじめに

波長の極めて短い超音波(40000Hz程度)をダブルスリットに入射させ、水波や光波と同様に波特有の性質である「干渉(重ね合わせの原理)」が起こることを確認する。さらに、音の強弱が現れる角度を測定し、その結果から超音波の波長を算出する。

2.2.2 実験機器

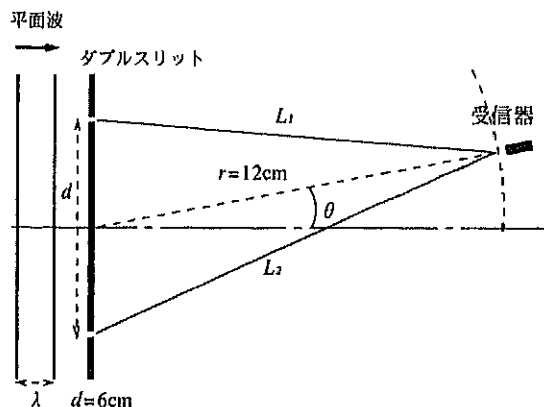
- 超音波による波動実験装置SSA-1
 - : SHIMADZU 100-640
 - ・ 音源装置 ・ 回転支持台 ・ 遮音板
 - ・ 超音波トランスデューサ ・ スタンド
- シンクロスコープ: KENWOOD CS-4025



2.2.3 実験の原理と支える理論

一般に、正弦波である平面波をダブルスリットに垂直に入射させると、後方には回折した波の干渉が起こる。2つのスリットからの距離の差 dL が波長 λ の何倍かで波の強弱が現れる。

$$\begin{cases} dL = n\lambda & \dots \textcircled{1} \text{ 強め合う} \\ dL = (n+1/2)\lambda & \dots \textcircled{2} \text{ 弱め合う} \end{cases}$$



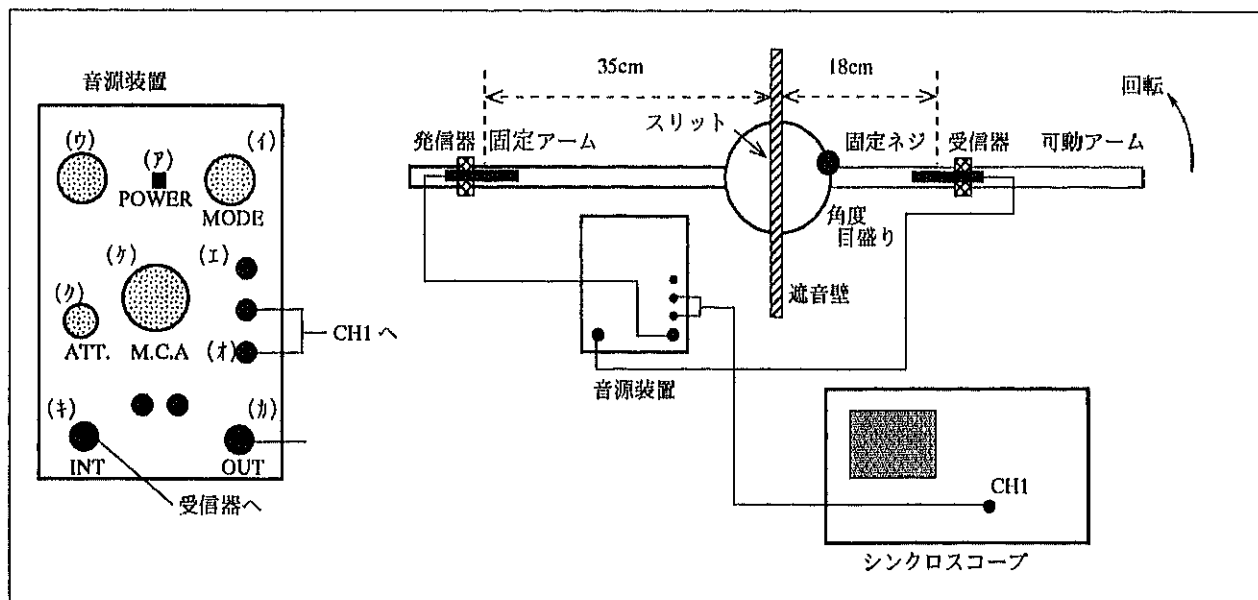
この実験では θ が広範囲にわたるので、ヤングの干渉実験のときのような近似は使えない。そこで、第2余弦定理から L_1 と L_2 を求めると、

$$L_1 = \{r^2 + (d/2)^2 - rd \cdot \sin\theta\}^{1/2}$$

$$L_2 = \{r^2 + (d/2)^2 + rd \cdot \sin\theta\}^{1/2}$$

よって、2つの波の経路差 $\Delta L = L_2 - L_1$ は、

$$\Delta L = \{r^2 + (d/2)^2 + rd \cdot \sin\theta\}^{1/2} - \{r^2 + (d/2)^2 - rd \cdot \sin\theta\}^{1/2}$$



2.2.4 実験方法

- 前頁の図のように、実験装置を組み立てる。その際、次の点に注意する。
 - 本体は水平に、固定アームと可動アームは一直線になるようにする。
 - 発信器と受信器は同じ高さで、その筒が一直線になるようにする。(各アームと平行にする)
 - 遮音板はアームに垂直に固定する。また、ダブルスリットは遮音板の中央になるように赤マークで確認し、発信器と受信器はダブルスリットの間を向くようにセットする。
- 発信器の副尺 0 がスリットから 35cm、受信器の副尺 0 がスリットから 18cm となるように固定する。このとき、受信器のスリットから距離は 12cm である。
- MODE(イ)を CONT.に ATT.(ウ)を 1/1 にし、音源装置の OUT(カ)に発信器を、INP(キ)に受信器を接続する。
- 音源装置の CH2(ケ)にシンクロスコープの CH1 を接続する。
- POWER(ク)を ON にし、シンクロスコープの波形を VOLTS/DIV で調整する。
- 可動アームの固定ネジをゆるめ、可動アームを少しずつ回転させる。シンクロスコープの波形の振幅から、受信する干渉波の振幅が極大および極小となる角度を測定する。

2.2.5 探求課題

- 実験方法6の結果を表にまとめ、それぞれに対応する経路差 $\Delta L (=L_r - L_i)$ を求める。

$$L_i = \{r^2 + (d/2)^2 - rd \sin\theta\}^{1/2}$$

$$= \{12^2 + 3^2 - 72 \sin\theta\}^{1/2} = \{153 - 72 \sin\theta\}^{1/2}$$

$$L_r = \{153 + 72 \sin\theta\}^{1/2}$$

以上より、

$$\Delta L = \{153 + 72 \sin\theta\}^{1/2} - \{153 - 72 \sin\theta\}^{1/2}$$

極値	$\times \lambda$	角度 θ	$\sin\theta$	ΔL [cm]
極大	0			
極小	0.5			
極小	4.5			
極大	5.0			

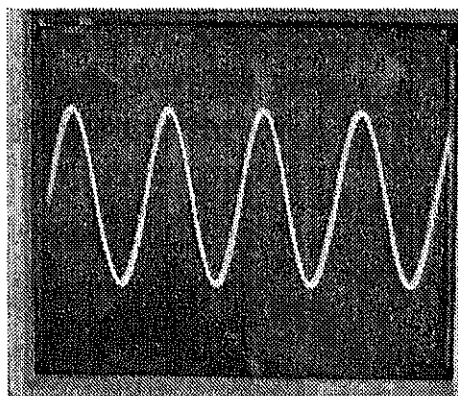
- 横軸に数(極大の場合は $n=0, 1, 2, \dots$ 、極小の場合は $n=0.5, 1.5, 2.5, \dots$)を、縦軸にはそれに対応する経路差 ΔL をとり、グラフに表す。また、そのグラフから使用した超音波の波長 λ を求める。

2.2.6 実験結果の実例

(生徒の実験レポートを中心に)

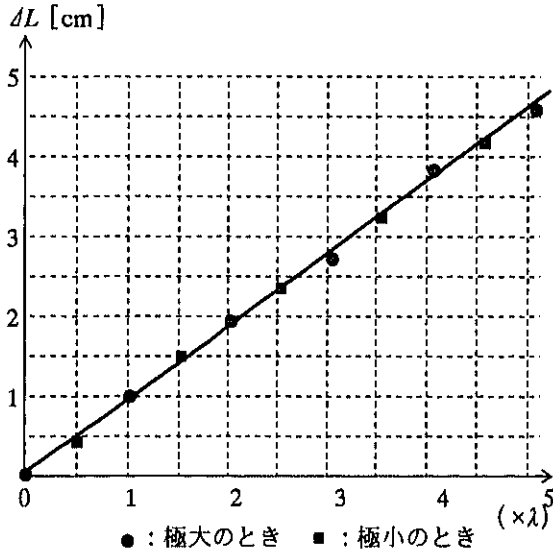
- 極大となる角度と極小は交互に現れ、その角度は以下ようになる。各角度に対応する L_i と L_r を計算し、その差から ΔL を求めると下表のようになる。

極値	$\times \lambda$	θ [°]	$\sin\theta$	ΔL [cm]
極大	0	0	0	0
極小	0.5	4	0.070	0.41
極大	1.0	10	0.174	1.01
極小	1.5	15	0.259	1.51
極大	2.0	19	0.326	1.90
極小	2.5	23	0.391	2.29
極大	3.0	27	0.454	2.66
極小	3.5	33	0.545	3.20
極大	4.0	40	0.643	3.79
極小	4.5	44	0.695	4.10
極大	5.0	50	0.766	4.54



極大のときは振幅の大きな正弦波となる

2. グラフは以下の通り。



実験原理の式①および式②から、「直線の傾き = 波長 λ 」となることが分かる。グラフの傾きを計算して、

$$\lambda = 0.92 \text{ cm} = 9.2 \times 10^{-3} \text{ m}$$

2.2.7 評価

1. 使用した超音波は指向性の強い約 4 万 Hz で、反射音などによるノイズも極めて小さく、シンクロスコープの波形も明瞭である。音の実験は、他の班の影響を受けやすく、生徒実験には不向き (= 演習実験で済ます) と言われているが、超音波を使用すれば生徒実験が可能となる。
2. 実験装置の組み立て(実験方法1)に時間が掛かり、正確な組み立てが実験精度に大きく関わる。実質 1 時間程度の時間を費やせる場合は生徒自身に組み立てさせ、足りない場合は予め教員がある程度組み立てておく必要がある。
3. この実験は、ダブルスリットによる光波の実験と比較すると、以下の特徴があるので注意したい。
 - ① 重なり合った波の強弱(音量の大小)が明瞭に測定できる。
 - ② 回折角が極めて狭い光波とは異なり、この実験では近似計算は使えない。
 - ③ 音の干渉パターンが広範囲で観測できる。
 $d=6\text{cm}$ 、 $r=12\text{cm}$ で行った実験の場合、 $-50^\circ \sim +50^\circ$ の範囲で、音量の極大値および極小値がそれぞれ10ポイントも観測された。
 - ④ 光波の明暗や水波の縞模様は目で確認できるが、超音波は耳に聞こえないため、シンクロス

コープの波形に頼るしかない。しかしながら、実験結果から得るイメージは、水波での干渉パターンと同じである。

4. 音量が極大値および極小値となるときの間スリットからの距離の差は、ほぼ等間隔。グラフもほぼ一直線となり、実験原理の式①および式②は実験的に確かめられたといえる。
5. 超音波は聞こえないが、シンクロスコープの波形から周期 T は測定できる。実験で算出された波長 λ と組み合わせて音の伝播速度を算出することも可能である。これを探求課題としても面白い。
6. この実験を通して気になるのは以下の点である。
 - ① 受信する位置が受信器の内部であり、正確に r の値が決定できない。一応、受信器の副尺0がスリットから18cmのときに $r=12\text{cm}$ としたが、その精度に疑問は残る。
 - ② 2つのスリットからの距離の差 ΔL が大きくなると、重なり合う2つの波の振幅が異なるので、実験原理の式①および式②とのずれが生じる。角度 θ の値が大きくなるにつれ、極大・極小は不正確となっていく。また、角度 θ の値が大きいときは、障壁の外を伝わってきた超音波(ノイズ)の影響も考えられる。
 - ③ 使用している超音波の波長が9mm程度ならば、同じスリットを通過した波どうしの干渉も考えられる。どの程度影響しているのか、心配な点である。
7. 超音波による波動実験装置SSA-1(SHIMADZU 100-640)には、格子状に立てた金属棒を使ってブラッグ反射のシミュレーションが行えるようになっている。しかしながら、発信器と各金属棒との角度や格子間隔を考えると、平面波として取り扱った「ブラッグ反射の条件式」を使うわけにはいかない。今後の課題としたい。

2.2.8 参考文献

- * 小橋豊著「音と音波」裳華房基礎物理学選書
- * 有山正孝著「振動・波動」裳華房基礎物理学選書
- * 理科年表(国立天文台編：丸善)

超音波の干渉実験と波長測定

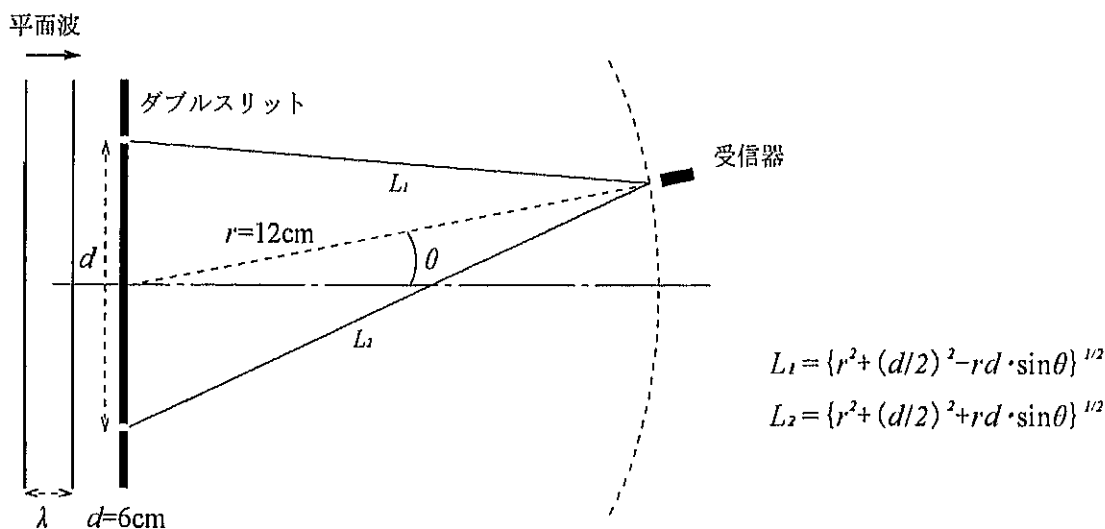
【実験の目的】

波長の極めて短い超音波(40000Hz 程度)をダブルスリットに入射させ、水波や光波と同様に波特有の性質である「干渉(重ね合わせの原理)」が起こることを確認する。さらに、音の強弱が現れる角度を測定し、その結果から超音波の波長を算出する。

【実験の原理】

一般に、正弦波である平面波をダブルスリットに垂直に入射させると、後方には回折した波の干渉縞が現れる。これは波特有の現象であり、水波や光波と同様に音波でも起きる。2つのスリットからの距離の差 ΔL が波長 λ の何倍かで波の強弱が現れる。

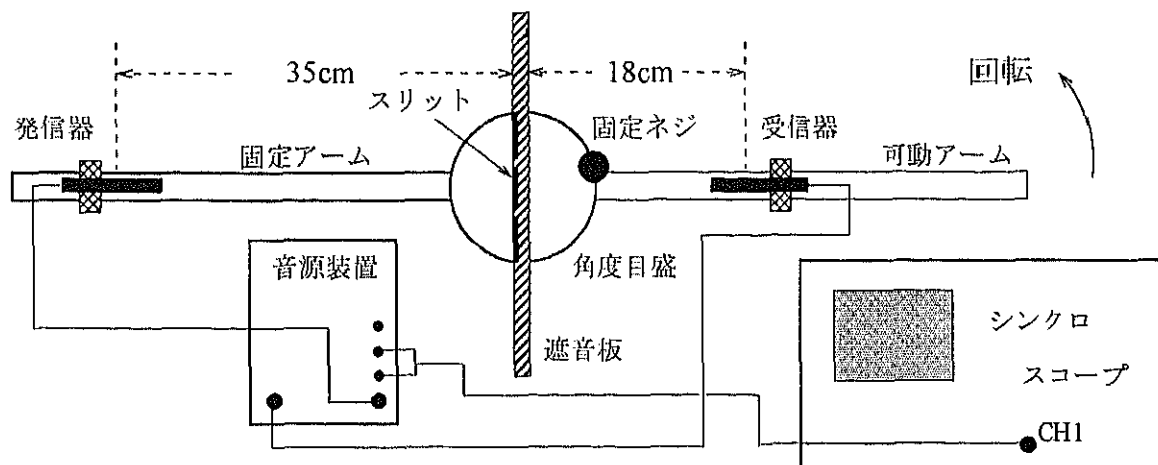
$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta L = n\lambda \quad \dots \textcircled{1} \text{ 強め合う} \\ \Delta L = (n+1/2)\lambda \quad \dots \textcircled{2} \text{ 弱め合う} \end{array} \right.$$



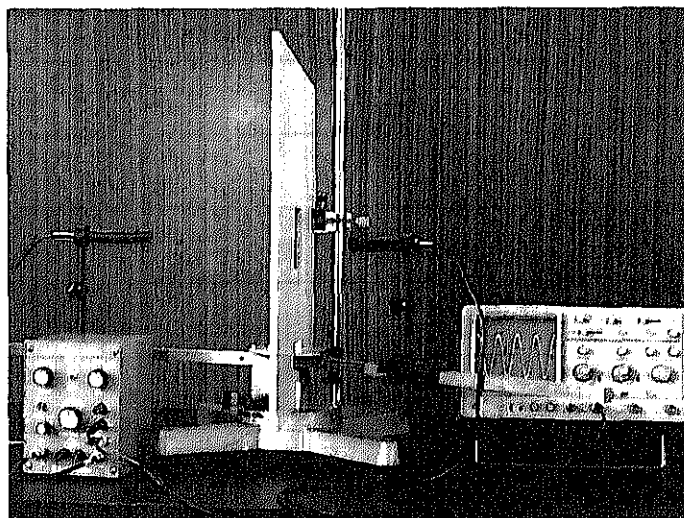
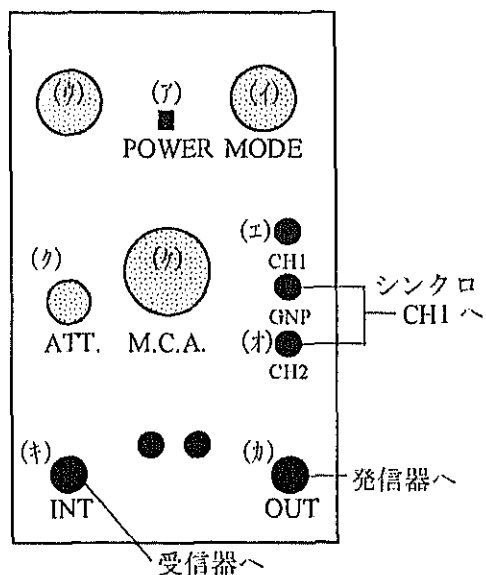
【実験方法】

- ①図のように、実験装置を組み立てる。その際、以下の事柄に注意する。
 - ・本体は水平、固定アームと可動アームは一直線、遮音板はアームに垂直に固定する。
 - ・ダブルスリットは遮音版の中央になるように赤マークで確認し、発信器と受信器はダブルスリットの間を向くようにセットする。
- ②発信器の副尺0がスリットから35cm、受信器の副尺0がスリットから18cmとなるように固定する。このとき、受信器のスリットから距離は12cmである。
- ③MODE (イ)をCONT.にATT.(ク)を1/1にし、音源装置のOUT(カ)に発信器をINP(キ)に受信器を接続する。

- ④音源装置の CH2(オ)にシンクロスコープの CH1 を接続する。
- ⑤POWER(ア)を ON にし、シンクロスコープの波形を VOLTS/DIV で調整する。
- ⑥可動アームの固定ネジをゆるめ、可動アームを少しずつ回転させる。シンクロスコープの波形の振幅から、受信する干渉波の振幅が極大および極小となる角度を測定する。



音源装置



【使用する実験機器】

- ①超音波による波動実験装置 SSA-1 : SHIMADZU 100-640
 ・音源装置 ・回転支持台 ・超音波トランスデューサ 2 個 ・遮音板 ・スタンド
- ②シンクロスコープ : KENWOOD CS-4025

【理論】

経路差 $\Delta L (=L_2 - L_1)$ がどのようなときに、干渉した音の強さが極大あるいは極小になるか、**【実験原理】** の図を参考にして式で示しなさい。

【実験結果と考察】

(1) 実験方法⑥の結果を表にまとめ、それぞれに対応する経路差 $\Delta L (=L_2 - L_1)$ を求めなさい。

$$L_1 = \{r^2 + (d/2)^2 - rd \sin \theta\}^{1/2} = \{12^2 + 3^2 - 72 \sin \theta\}^{1/2} = \{153 - 72 \sin \theta\}^{1/2} \quad L_2 = \{153 + 72 \sin \theta\}^{1/2}$$

極値	n の値	角度 θ [度]	$\sin \theta$ の値	経路差 $\Delta L (=L_2 - L_1)$ [cm]
極大	0			
極小	0.5			
極大	1.0			
極小	1.5			
極大	2.0			
極小	2.5			
極大	3.0			
極小	3.5			
極大	4.0			
極小	4.5			
極大	5.0			

- (2) 横軸に極大の場合は $n = 0, 1, 2, \dots$ 、極小の場合は $n = 0.5, 1.5, 2.5, \dots$ を、
軸にはそれに対応する経路差 ΔL をとり、グラフに表しなさい。また、そのグラフから
使用した超音波の波長 λ を求めなさい。

<グラフ貼付>

3. 化学分野

エステルの短時間合成と赤外吸収スペクトル測定

3.1 はじめに

フーリエ変換型赤外分光光度計 (FT-IR) と ATR 装置*を用いると、試料を液体なら 1 滴、固体なら 1 片を ATR 装置のクリスタルに接触させるだけで、簡単に赤外吸収スペクトルを測定することができる。この簡便な操作性を生かし、有機合成と赤外吸収スペクトル測定の入門実験を 2 時間 (50 分×2) で実施した。

また、本校が導入した FT-IR はシングルビーム式のため、試料測定の前にバックグラウンドを測定し、大気補正を行う必要がある。この操作により、大気中の二酸化炭素や水蒸気の赤外吸収スペクトルを視認することができる。そこで、分子が赤外線を吸収するしくみについて解説し、赤外吸収スペクトルの学習の一環として温室効果ガスの性質と地球温暖化の関係についても考察した。この実験は、化学 I 「有機化合物」の発展として扱うことができる。

*Attenuated Total Reflectance, Ge など高屈折率のクリスタルに試料を接触させ、試料にしみこむわずかな赤外光により分析する装置。

3.2 準備

フーリエ変換型赤外分光光度計 (サーモ電子社製、AVATAR330)、ATR 装置 (Ge クリスタル)、制御用パソコン、制御用ソフトウェア (easy omnic)、マウス、プリンタ、接続ケーブル類、エタノール・キムワイブ・綿棒 (クリスタル清掃用)

21mm 径試験管、50ml ビーカー、50ml コニカルビーカー、沸騰石、ロート、ろ紙、ガスバーナー、駒込ピペット、ラップ、スポイト

酢酸、エタノール、2-プロパノール、1-ブタノール、濃硫酸、2 mol/l 炭酸ナトリウム水溶液

3.3 方法

3.3.1 講義 1 : 赤外線を吸収するしくみ

実験前に、分子が赤外線を吸収するしくみについて解説する。テキストには、竹内敬人、「高校からの化学入門②分子の形と性質」、岩波書店 (1999) の抜粋 (p.6~14) 等を用いた。

(指導内容)

- ・分子固有の変角振動・伸縮振動
- ・赤外線 (電磁波) と分子の共鳴現象

(振り子モデルによる説明 (図 1)、振動数が同じ振

り子どうし (図 1 : 左端と右から 2 番目) が共鳴 (共鳴) する)

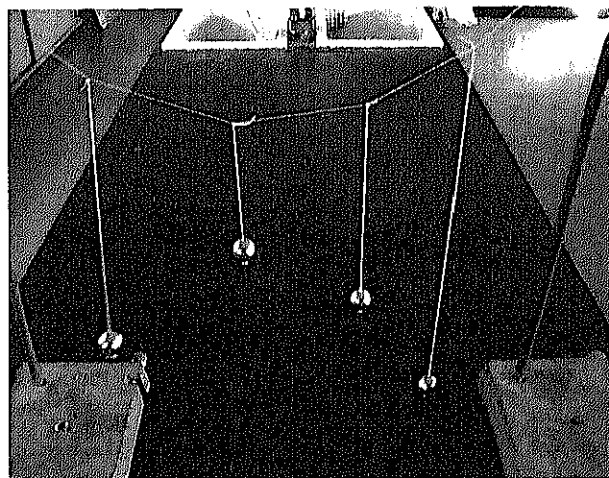


図 1 振り子の共振 (共鳴) モデル

・分子振動による極性の周期的変化と赤外線 (電磁波) との共鳴 (CO_2 や H_2O が赤外線を吸収するしくみ)

3.3.2 演示実験 : 二酸化炭素の赤外吸収スペクトル

- ① FT-IR 制御用パソコンを操作し、バックグラウンドの測定のプレビュー画面 (図 2) を表示する。水蒸気や二酸化炭素による赤外吸収を説明する。特に、水蒸気の吸収スペクトルの“窓領域”にある二酸化炭素の大きな吸収 ($2,400\text{cm}^{-1}$ 付近) に注目させる。パソコン画面を大画面のモニター等に映せば生徒全員で観察することができる。

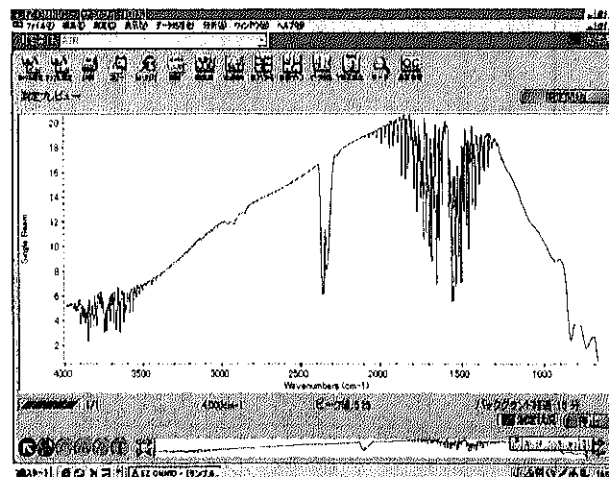


図 2 プレビュー画面

- ② FT-IR の光路付近にストローで、軽く息を吹き込むと、 $2,400\text{cm}^{-1}$ 付近の二酸化炭素の吸収がさらに大きくなるのが観察できる。
- ③ 二酸化炭素などの温室効果ガスが、地表から放射される赤外線の一部を吸収し、地表に向けて再放射するしくみを解説する。

3.3.3 講義2：赤外吸収スペクトルの解析法

(指導内容)

- ・特性吸収 (官能基に特有の吸収スペクトル、カルボニル基・ヒドロキシ基を例に説明)
- ・指紋領域 (類似の化合物を識別する手がかり)

3.3.4 生徒実験：エステル合成と精製

- ① 21mm径試験管に、酢酸4mlとアルコール (エタノール、2-プロパノール、1-ブタノールのいずれか) を4ml取る。沸騰石2~3粒と濃硫酸7~8滴を加え、軽く振り混ぜながら、試験管を素手で持って加熱する。一度沸騰したら加熱をやめ、冷めるまで軽く振り混ぜる。素手で持たせるのは、温度の上がり過ぎによる内容物の蒸発を防ぐためである。
- ② 放冷後、炭酸ナトリウム水溶液10mlをとった50mlコニカルビーカーに少しずつ注ぎ、残った酸を中和する。有機層と水層に分離する。
- ③ ロートにろ紙を四つ折りにして入れ、水で十分に湿らせる。このろ紙上に②の液体を注ぐと、水層はろ紙を通り抜けるが有機層はろ紙に残る。この有機層を乾いた50mlビーカーに移す。極性の小さなエステル分子は、ろ紙に染み込んだ水の膜を通過できない。
- ④ ③の有機層を細く切った色上質紙に染み込ませて、匂いを調べてみる。視覚との相乗効果により、赤色の紙で匂いを付ければイチゴ、黄色ならバナナなどのように感じられる。
- ⑤ ④の液体に、乾燥剤の粒状塩化カルシウムを薬さじで軽く1杯加え、ラップをかぶせて静置する。しばらく置いても、エステルの濁りがとれないときは、乾燥剤を追加する。

3.3.5 生徒実験：赤外吸収スペクトル測定

- ⑥ ⑤で10分以上静置した後、上澄み部分のエステルをスポイトでとって、吸収スペクトル測定を行う (図3、測定手順は、生徒用プリントを参照)。この操作は1班ずつしかできないので、その間「サリチル酸メチルの合成」「酢酸エチルの加水分解」など他の実験を、平行して行わせるなど時間を無駄にしない工夫が必要である (平行して行った実験の操作は、生徒用プリント参照)。
- ⑦ スペクトルチャートをプリントアウトする。あらかじめ準備した標品のスペクトルチャートの特性吸収や指紋領域との比較から、エステルを同定させる。なお、スペクトルデータベース (ライブラリー) がインストールされている場合は、“サーチ” (データベースとの照合) を行ってもよい。

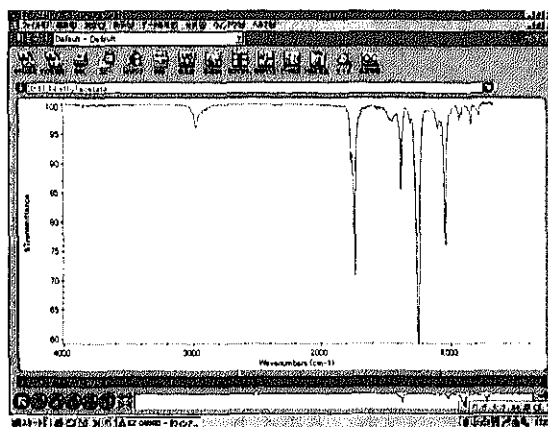


図3 酢酸エチルの吸収スペクトル

3.4 結果

⑥で乾燥が不十分な班は、若干の水分が残っているため $3,000\sim 3,500\text{cm}^{-1}$ 付近にヒドロキシ基による吸収が若干見られることがある。しかし、原料のヒドロキシ基、カルボニル基が、生成物のカルボニル基などに变化したことは、特性吸収から確認できる。また、標品のスペクトルの指紋領域との比較により、酢酸エチル、酢酸イソプロピル、酢酸ブチルの識別も行うことができる。

3.5 発展・補足

実際の授業展開は、合成したエステルの乾燥時間を十分確保するため、はじめに合成・精製を行い乾燥剤を加えたのち、講義1を始めるとよい。また、FT-IR + ATR装置の組み合わせは、エステルの合成以外にも、ニトロベンゼンの合成など、高校で行われる有機合成実験の多くに有効である。

3.6 参考文献

- 渡辺正編, 電気化学, 丸善 (2002)
- 竹内敬人, 高校からの化学入門②分子の形と性質, 岩波書店 (1999)
- 岸田 功, 化学と教育, 46, 250 (1998)
- 梶山正明, 大平健二, 化学と教育, 40, 860 (1992)

化学実験 エステルの合成と赤外吸収スペクトルの測定

[目的] カルボン酸とアルコールからエステルを合成する。合成された物質の赤外吸収スペクトル (IR) を測定し、各化合物の官能基に特有な「特性吸収」や「指紋領域」を調べて、目的の物質が合成されたかどうかを確認する。また、分子が赤外線を吸収するしくみと温室効果ガスの働き、赤外分光光度計のしくみについても学ぶ。

[準備]

- (器具) 大型試験管 50ml, 100ml, 300mlビーカー 50mlコニカルビーカー ロート ガスバーナー
駒込ピペット スポイト ろ紙 沸騰石
電子天秤 電気ポット ラップ 温度計 ゴム栓(4号)
フーリエ変換型赤外分光光度計(FT-IR) 水平型ATR装置
制御用パソコン プリンタ キムワイプ 綿棒
- (試薬) 酢酸 サリチル酸 エタノール 2-プロパノール 1-ブタノール
メタノール 濃硫酸 2 mol/l炭酸ナトリウム水溶液 塩化カルシウム
飽和炭酸水素ナトリウム水溶液 6 mol/l水酸化ナトリウム水溶液

[方法] 実験1. エステルの合成—果物の香りを作る—

- (1) 大型試験管に酢酸 4 mlとアルコール (エタノール, 2-プロパノール (慣用名イソプロピルアルコール), 1-ブタノールのいずれか) を 4 ml取る。

・酢酸と () のエステル化反応を化学反応式で示せ。

- (2) (1)の試験管に、沸騰石2~3粒を加えた後、駒込ピペットで濃硫酸を7~8滴加え、軽く振り混ぜる。試験管を手で持ち、ガスバーナーで加熱する。加熱中は試験管を良く振って、突沸しないように注意する。
- (3) 沸騰が始まったら加熱をやめ、2~3分軽く振り混ぜながら冷却する。
- (4) 50mlコニカルビーカーに炭酸ナトリウム水溶液10mlを取り、(3)の試験管の内容物を少しずつ注ぎ、軽く振り混ぜて酸を中和する。同時に、有機層と水層を分離させる。
- (5) (4)で泡の発生がほぼ止まったら、ロートにろ紙を四つ折りにして入れ、水で十分に湿らせた後、(4)の内容物の“ろ過”を行う。液体はできるだけ一度に、ろ紙上へ流し込むとよい。ロートからほとんど水が落ちなくなったら、ろ紙が乾く前にろ紙上に残った液体 (有機層) を、乾いた50mlビーカーに移す。この液体にエステルが含まれる。
- (6) 細く切った色上質紙に、(5)の液体を少し染み込ませて、匂いを調べる。どんな果物の香りに、例えられるだろうか。
- (7) (5)のビーカーに、粒状塩化カルシウムを葉さじで軽く1杯加えて振り混ぜる。蒸発防止のためラップをかけて、液体が透明になるまで静置する。10分以上経っても濁りがとれない場合は、塩化カルシウムを少量追加する。

講義：分子が赤外線を吸収するしくみ（テキスト「分子の形と性質」参照）

電場と磁場が振動しながら30万km/sで進む波を電磁波という。赤外線も電磁波の一種である。アインシュタインは、波と粒子の性質を次式で結びつけた。

$$\epsilon_p = h \nu \quad \dots \textcircled{1}$$

ϵ_p : 電磁波の光子1個のもつエネルギー
 h : プランク定数 $6.626 \times 10^{-34} \text{ Js}$
 ν : (波の) 振動数

光の速さ $c = 2.998 \times 10^8 \text{ m/s}$ を波長 λ で割ったものが振動数 ν だから、

$$\nu = c/\lambda \quad \text{より、}$$

$$\epsilon_p = h c/\lambda \quad \dots \textcircled{2}$$

よって、波長の短い電磁波ほど ϵ_p (エネルギー) が大きく、波長の長い電磁波ほど小さいことがわかる。

比較的波長が短くエネルギーが大きい紫外線～可視光線は、原子内の電子の励起にかかわるエネルギーを持つ。これに対して、より波長が長くエネルギーが小さい赤外線は、分子の結合の振動に共鳴する程度のエネルギーを持つ。

(1) 体験：分子の結合の伸縮振動、変角振動を“体験”しよう。

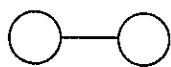
(2) 演実実験：振り子の共振（共鳴）を観察しよう。

・観察結果

分子は、その結合の振動によって対称性が崩れると、極性（双極子モーメント）が変化する。その結果、分子の極性変化の振動数と等しい振動数の電磁波＝赤外線を浴びると共鳴して、そのエネルギーを吸収する。吸収される赤外線の波長は、分子を構成する原子の組み合わせや振動の種類によって異なる。よって、特定の官能基は特定の波長の赤外線を吸収することになり（特性吸収）、分子を識別する一つの方法になりうる（cf.指紋領域）。

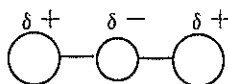
なお、赤外線は、波長ではなく波数（1cmあたりに入る波の数： cm^{-1} 、カイザーと読む）で表されることが多いので、大きい波数の赤外線ほど、（波長は短く）エネルギーも大きいことになる。

(3) 次の分子は、赤外線を吸収するだろうか？



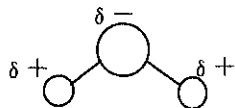
O_2

極性なし→吸収しない



CO_2

極性()→吸収()



H_2O 極性あり＝吸収する

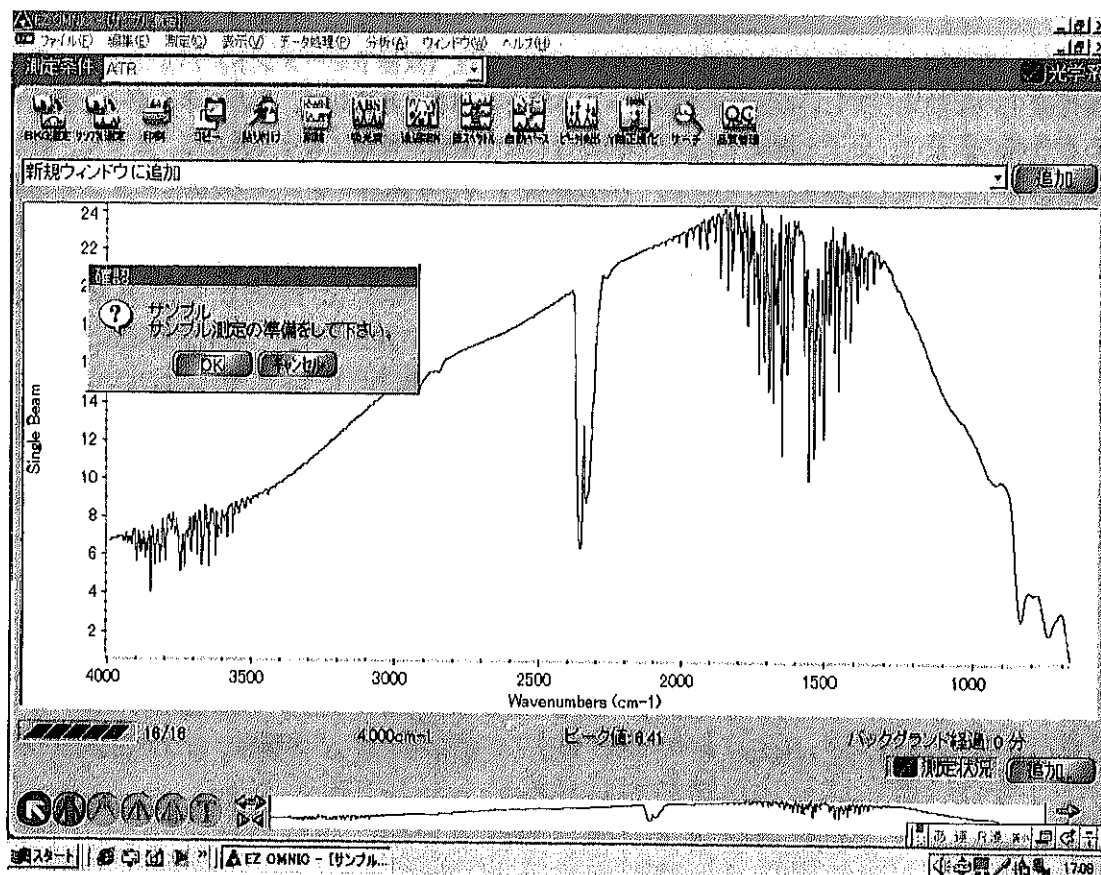
(4) 演示実験：赤外分光光度計で、二酸化炭素の赤外線吸収を見てみよう。

・観察結果

(5) 以上の講義・実験結果を踏まえて、温室効果ガスの作用と地球温暖化との関係について考察してみよう。

実験 2. エステルの赤外吸収スペクトル測定

- ① 赤外分光光度計、パソコンの順に電源を入れる。機器が安定するまで、1時間程度待つ。パソコンの“デスクトップ”の“EZ OMNIO”を実行する。測定→測定の設定→診断機能→アライメントを実行する。
(授業開始時には、この状態になっている。)
- ② “ウインドウ(W)”から、“新規ウインドウ”を選択する。“ウインドウX”と表示されるので、“OK”する。
- ③ サンプル測定をクリックする。“サンプルのタイトルを入力”と表示されるが、そのまま“OK”する。次に“バックグラウンド測定の準備をしてください”と表示されたら、そのまま“OK”する。プレビュー画面が表示されるので、画面右上の“測定開始”をクリックする。



- ④ “サンプル測定の準備をしてください”と表示されたら、水平型ATR装置の中央のGe結晶上（透明なレンズのような部分）に試料（実験1. (7)の上澄み）をスポイトで2滴たらし“OK”する。プレビュー画面が表示されるので、画面右上の“測定開始”をクリックする。測定終了後、“確認”画面で、“追加先ウィンドウX?”の“はい”をクリックしてデータを保存する。
- ⑤ 表示されたスペクトルを印刷し、原料物質のスペクトルと比較する。官能基による特性吸収や指紋領域を調べて、目的のエステルが合成できたかどうか確認を行う。
- ⑥ “サーチ”を実行し、データベースから検索してもよい。
- ⑦ Ge結晶上の試料をキムワイプで拭き取る。さらに、Ge結晶をエタノールをしみこませた綿棒とキムワイプで拭いておく。

実験3. 消炎塗布薬を作る（実験2. 赤外吸収スペクトル測定の合間をみて行う）

- (1) 大型試験管にサリチル酸1gとメタノール1mlを取り、沸騰石を2~3粒加えた後、駒込ピペットで濃硫酸を0.5ml（10滴）加える。これをよく振り混ぜながら、軽く沸騰する程度にガスバーナーで加熱する。
- (2) しばらく加熱すると、サリチル酸が溶け透明な溶液となる。さらに加熱を続け、試験管内の反応液が白濁したらやめる。
- (3) しばらく放置して反応液が透明になって2層に分かれたら、飽和炭酸水素ナトリウム水溶液約30mlを入れた100mlビーカーに注ぐ。
- (4) 軽く振り混ぜ、二酸化炭素の泡が出なくなったら、水面あるいは底にたまった油状物質をろ紙に染みこませ、臭いを調べる。この油状物質が、サリチル酸メチル(商品名サロメチール)である。

実験4. エステルの加水分解（2. 赤外吸収スペクトルの測定の合間を見て行う）

- (1) 大型試験管に酢酸エチルを1ml取り、6mol/l水酸化ナトリウム水溶液2mlを加える。これらの液体は、2層に分かれている。
- (2) (1)の試験管を300mlビーカーに入れた約50℃の湯にしばらく浸してから、ゴム栓をして約5分間激しく振り混ぜ、変化を観察する。

[考察]レポートに記入せよ

- (1) 実験1. (4)で、炭酸ナトリウム水溶液を加えると二層に分離するのはなぜか。また、上層・下層に含まれると考えられる物質は、それぞれ何か。
- (2) エステルが水で湿らせたろ紙を通過できないのはなぜか。
- (3) 実験1および3で起きた縮合反応(エステル化)を、化学反応式で示せ。
- (4) 実験1および3で生成したエステルの香りなど性質についてまとめよ。
- (5) 実験に用いた濃硫酸および炭酸ナトリウム（炭酸水素ナトリウム）の働きは何か。
- (6) 赤外吸収スペクトルの測定と結果の分析について
 - ①サンプル測定の前に、バックグラウンドを測定するのはなぜか。
 - ②赤外吸収スペクトルから、カルボン酸とアルコールがエステルに変化したかどうか検証してみよ。また、その根拠となったスペクトルのデータを示せ。
 - ③実験1. (7)で加えた、塩化カルシウムの働きを示せ。
- (7) 実験4ではどのような反応が起きたか。また、その反応を化学反応式で示せ。

4. 生物分野

枯草菌の形質転換 —形質の確認—

4.1 はじめに

1928年、Griffith らにより肺炎双球菌のネズミへの接種実験が行われ、遺伝物質が細菌細胞の間で伝達できることが示された。この実験は、1944年の Avery らによる、強毒菌から抽出した DNA が弱毒菌を強毒菌に形質転換するという研究に引き継がれた。その他いくつかの重要な実験が背景となって、1953年の Watson と Click による DNA の二重らせんモデルの提唱につながっていく。

DNA が遺伝子の本体であることを証明する、基本的だが非常に重要な実験である。

また、本実験は新学習指導要領の生物 I 「(1) 生命の連続性-ウ、遺伝」のなかで扱われる形質転換をより発展させたものとなっている。

4.2 実験機器・材料・準備

振とう培養器、恒温培養器、乾熱滅菌器、オートクレーブ、ガスバーナー、ガラス器具

シャーレ、メスピペット、試験管、L 字管、選択培地作成用培養ビン、ピーカー

枯草菌 (W23、Y12S)

1 班分の器具など

小試験管 (枯草菌懸濁液配布用) 2 本、試験管 4 本 (配布する菌液の希釈率により適切な本数) メスピペット (10ml 2 本、1 ml 2 本、0.2ml 6 本)、培養ビン (選択培地作成用) 1 本 200ml 三角フラスコ 2 本 (生理食塩水、上層寒天用) 有機物入り大試験管 2 本 (ロイシン、アルギニン)、9 cm シャーレ 必要枚数



図 1 班分の器具

上層寒天は使用するまで 500ml ピーカー (少量の温湯) に入れ、50°C を保つ。

4.3 実験の原理・方法

本実験系は、実験全体の目的である「遺伝子の本体が DNA であることを証明すること」を目的として、以下の 3 種類の実験から構成される。

- ① W23、Y12S の形質を確認する。
 - ② 突然変異体である Y12S を形質転換させるための W23DNA を抽出する。
 - ③ コンピテントにした Y12S に抽出した W23DNA を取り込ませ、形質転換させる実験
- 以上 3 種類の実験を通して、分子遺伝学実験の基礎の理論と方法を理解することを目的とした。

さらに、①②③の各実験において、その実験の目的を設定した。

①にあたる本実験の目的

- ・無菌操作の基本を学ぶこと
- ・枯草菌の形質として、コロニー形成の可否を利用できることを理解すること
- ・選択培地の作り方をすること
- ・コロニーの数から、懸濁液中の枯草菌の密度を測定できること
- ・懸濁液の正確な希釈法を知ること

方法

授業前に行う教師の準備

—生徒実験前日までの準備—

- ・使用するガラス器具等の乾熱滅菌
- ・使用する試薬のオートクレーブ
生理食塩水、L-ブローズ、25M、MgSO₄、有機物 (ロイシン、アルギニン)
- ・枯草菌の準備 (予備実験の日程を考慮し生徒実験の 5 日前迄に実施)

-70°C で保存しておいた枯草菌 W23、Y12S 株をスラントにおこす。

(-70°C で氷ったままの塊をスラントに移し 37°C で 1 晩培養する。これを冷蔵保存する)

—生徒実験前日の準備—

- ・スラントにおこした枯草菌を 1 ループ 10ml の L-ブローズ入り L 字管に植え、1 晩振とう培養 (37°C) する。(これを小試験管に分注し、生徒に配布する。)

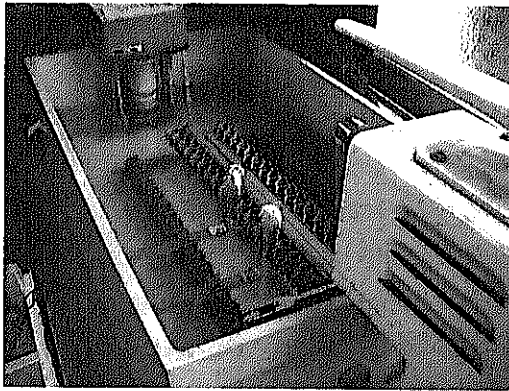


図 枯草菌のオーバーナイトカチャーの準備

—生徒実験当日の準備—

※すべて教卓上に班ごとにまとめておく

- ・ 1晩培養した W23、Y23S の懸濁液をそれぞれ小試験管に約 1 ml 分注し、生徒に配布する。
- ・ 試験管などのガラス器具を準備する。
- ・ M (最少) 培地、M トップをオートクレーブする。
(授業の進行を考慮し、適切な時間にスタートする)

生徒実験 (方法の詳細は生徒用プリント参照) 及び指導内容

※あらかじめ、窓を締め切り、実験機の上を雑巾がけしておく。極力雑菌の混入を防ぐためである。(実験機をアルコールで消毒することも考えられるが、雑菌の混入の状況から省略してもよい)

4.4 指導内容 (授業の流れに沿って)

- ① 選択培地の作成
 - ・ DNA の二重らせんモデルの提唱にいたる当時の時代背景の説明と形質転換実験の意義。
 - ・ 細菌の細胞の構造、細菌の遺伝形質。
 - ・ 選択培地の意味。
- ② 細菌懸濁液の希釈
 - ・ 希釈の方法と懸濁液中の細菌数との関連。
 - ・ 実験結果のコロニー数と懸濁液中の細菌の数との関連
- ③ 希釈した菌液を選択培地にまき、上層寒天で菌を均一に広げ、固化させる
 - ・ 生ずるコロニーの意味。
- ④ 恒温器で培養
これ以後は、授業時間外に実施。
- ⑤ 2日後に結果の判定

・ 実験結果の確認及び結果の評価

- ⑥ 後片付け。
という流れで実施する。

4.5 結果

結果は、定性的には W23 は全ての選択培地に、Y12S は、最少培地にロイシンとアルギニンを加えた培地のみにコロニーを形成する。コロニー数から推定される菌数は $x \times 10$ の 6-7 乗のオーダーになる。(条件が良ければ 7 乗)

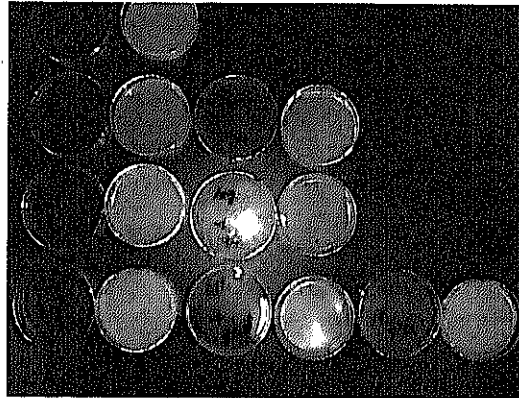


図 Y12S の結果 ALL のみにコロニーが生育している

4.6 発展・補足

生徒には、菌液に枯草菌が生育していることを実感させる必要がある。生徒の状況により、実験全体を始める前に、枯草菌を観察しておくことも大切であろう。また、生徒はメスピペットの取り扱いに不慣れなうえに、常に無菌操作を要求されるので予想よりはるかに時間がかかる。特にメスピペットの扱いは全員に体得させる必要がある。

発展的な内容を扱うとすれば W23DNA の塩基分析や PCR 法を利用して、DNA を増幅し、形質転換した Y12S としていない Y12S の塩基配列を調べるなどが考えられよう。

4.7 参考文献

- 田村隆明ら編、分子生物学イラストレイテッド、羊土社 (2004)
筑波大附属駒場高校、スーパーサイエンスハイスクール研究開発実施報告書 (2003)

形質転換 その1 枯草菌の形質の確認

1. 形質転換

細胞から単離したDNAが他の細胞に取り込まれ、遺伝的形質が取り込まれたDNAにより変化する現象。E.Griffith(1928),O.T.Avery(1944)らが、肺炎双球菌を用いた実験により見いだした。この実験により、遺伝子の本体がDNAであることが証明された。その後、多くの生物で確認され、遺伝子組換え実験を支える基本的な技術となった。

2. 実験の概要

形質転換実験は、3種類の実験から構成される。

- ・枯草菌 (*Bacillus subtilis*) のW23株、Y12S株の形質の確認
- ・W23株から(形質転換に用いる)DNAを抽出する
- ・W23株DNAによるY12S株の形質転換

3. 目的: 枯草菌 (*Bacillus subtilis*) の遺伝形質を確認する

無菌操作の方法を知る

原液の細菌の濃度を計測する(原液1ml中の細菌の濃度を実験結果から知る)

4. 枯草菌の形質など

・使用する細菌:

枯草菌 (野生株であるW23とその栄養要求性突然変異体Y12S)

W23: 最小培地に、生育できる

Y12S: 最小培地にLeu及びAlgを加えた培地(AIIとする)に生育できる。

・最小培地

ブドウ糖、KOH、KH₂PO₄、(NH₄)₂SO₄、MgSO₄、クエン酸Na、(寒天)

5. 方法

① 選択培地の作成

- ・シャーレに右図のようにマジックで必要事項を記載する。
- ・有機物を必要なシャーレに分注する。(1mlのメスピペットで0.1mlずつ入れる)
- ・最小培地(教師が25M及び5%MgSO₄を分注し教卓に置いておく)を分注する。
- ・シャーレのふたを半分程ずらし、10~15分放置する。(この操作は省略することがある)

② 枯草菌をまく

- ・教卓の細菌の溶液を持ち帰り、適切な濃度に希釈する。
- ・希釈した細菌溶液を(0.1mlメスピペットで)0.2mlを正確にとり、1枚のシャーレに0.1mlずつまく。
0.2mlめの時は少しメスピペットの先に残るので、軽く息を吹き込み、全量をまく。
- ・シャーレを間違えないこと。

③ 上層寒天処理

- ・希釈した菌液をまいたら、すぐに上層寒天(45~50°Cに保温)を1mlメスピペットにて、2ml注ぎ、シャーレを軽く動かし、上層寒天を全体に均等に広がるように広げ固

化させる。

- ・シャーレのふたを半分程ずらし、10～15分放置する。(この操作は省略することがある)

④恒温器で保温する

- ・上層寒天が固化したら、37℃恒温器にシャーレを逆さまに（ふたが下になるようにして）並べる。

⑤結果の確認

- ・2日後の朝か昼休みにシャーレを恒温期から出す。
- ・コロニーの数及び特徴を記録する。(2日後の昼休みか放課後。今回は説明するので、昼休み) 班毎に、シャーレを洗う。(班の都合で、金か土のうちに行う)

6. 実験の結果 (表に記入する)

希釈率	W23				Y12S			
	M	+Leu	+Arg	All	M	+Leu	+Arg	All
10 ⁻								
10 ⁻								

コロニー数の計算

気づいたことなど

7. 課題及び考察

1. W23、Y12Sの形質はどのようなものか。具体的に説明しなさい。
2. 選択培地とは何か。具体的に説明しなさい。
3. コロニーとは何か。
4. いずれかのシャーレを選び、そのコロニー数から、使用したW23、Y12S懸濁液に含まれていた、菌数(1mlに含まれる)を求めなさい。計算式も示すこと。
5. この実験の結果から、実験の目的は達せられたと言えるか。
6. その他、自分で考察したことなど。

実験実施 月 日

2年 組 番氏名

5. 地学分野

デジタルカメラを用いた火成岩(深成岩)の色指数の測定

5.1 はじめに

火成岩の色指数の測定は、火成岩の分類ならびに造岩鉱物の識別に大きな役割を果たしている。しかし従来の方法は、偏光顕微鏡下での岩石薄片のスケッチに升目を切るか、あらかじめ一面を研磨した岩石標本の上に升目を書いたトレーシングペーパーを当て、有色鉱物を塗りつぶすやり方であった。今回、デジタルカメラを使用したもっと簡単な方法で色指数を測り、併せて造岩鉱物の種類から岩石を分類できる能力を養うことを目的とする実験を考案した。

5.2 準備

偏光顕微鏡、デジタルカメラ、アタッチメント、パーソナルコンピュータ、USB 対応ケーブル、プリンター、升目入り OHP シート

5.3 方法(講義)

火成岩は化学組成が異なることからその鉱物組成も異なり、有色鉱物の含有量にも違いが現れる。塩基性岩は有色鉱物の含有率が大きく黒っぽい。一方、酸性岩は有色鉱物の含有率が小さいので白っぽい。有色鉱物の含有率を色指数といい、普通体積パーセントで表される。各鉱物は岩石標本に比べて小さいから、ある断面に現れる各鉱物の確率はどの断面をとっても同一と考えて良い。従って火成岩の色指数は、岩石の断面の有色鉱物の面積パーセントに等しい。このことから、火成岩の適当な断面で有色鉱物の面積パーセントを調べることで、火成岩を分類できることがわかる。

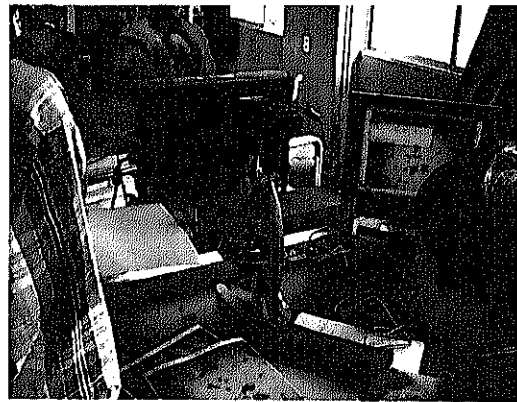
5.4 実験手順

【操作1】色指数を測定したい火成岩(特に白っぽい深成岩である花崗岩ないし閃緑岩が望ましい)の薄片を用意する。

【操作2】薄片を偏光顕微鏡(平行ニコルの状態)のステージの上に固定し、接眼レンズ(またはステージ)の高さを調節してピントを合わせる。

【操作3】偏光顕微鏡の接眼レンズの代わりに、アタッチメントの付いたデジタルカメラを鏡筒に取り付ける。

【操作4】デジタルカメラの液晶パネルに現れた岩石薄片の画像を見ながら、観察および測定に都合が良さそうな場所を探す。



(図1)デジタルカメラによる操作風景

【操作5】測定する場所が決まったら、デジタルカメラでその部分を撮影する。他に測定に適した場所を探し、何枚か撮影する。

【操作6】USB 対応のケーブルを使って、デジタルカメラからコンピュータに画像を転送する。



(図2) 転送された閃緑岩薄片の画像

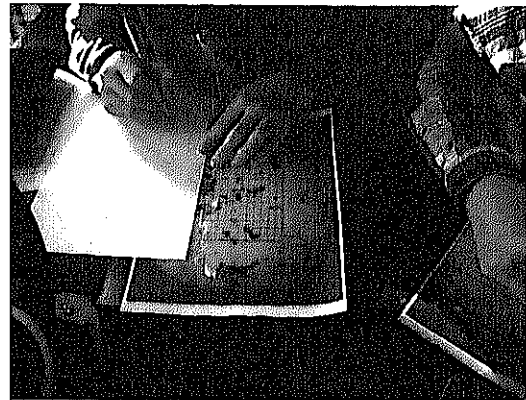
【操作7】最も測定しやすいような画像を選び、プリントアウトする。



(図3) プリントアウトされた画像に方眼の入ったOHPシートを乗せた状態

【操作8】方眼の入ったOHPシートをプリントアウトされた画像の上に乗せて、方眼の交点上の有色鉱物の数を数える。(方眼の交点の数は200カ所以上あるようにする。)交点がちょうど有色鉱物と無色鉱物の境目にあるときは、0.5個に数える。

【操作9】有色鉱物の交点の数を全交点の数で割って、有色鉱物の面積パーセント、すなわち色指数を計算する。



(図4) 格子上の有色鉱物の数を数える生徒の実習風景

【操作10】算出された色指数から、実際の岩石名との対応関係を確認する。

一般に花崗岩は色指数10%以下、閃緑岩は10~35%、はんれい岩は35%以上である。

5.5 発展

火成岩の組織が違えば見かけ上の色指数が違ったように感じられる。鉱物が細粒なときと粗粒なときで色指数がどのように違って見えるかを、ほぼ同じ化学組成である火山岩の安山岩と深成岩の閃緑岩で確かめるとい、発展的な作業も併せて行うと良い。