

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5

筑波大学附属駒場中・高等学校 理科

真梶 克彦・石川 秀樹・梶山 正明
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5

筑波大学附属駒場中・高等学校 理科

真梶 克彦・石川 秀樹・梶山 正明
高橋 宏和・仲里 友一・濱本 悟志
吉田 哲也

本校は、文部科学省が実施しているスーパー・サイエンス・ハイスクール（SSH）事業の指定校として、5年目を迎えた。平成14（2002）年度の当初より、研究開発課題として「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」を掲げ、これに沿う形で、教科としてカリキュラムの検討や実験教材の開発を5年計画で続けてきた。最終年次の今年度は、これまでの成果をまとめるとともに、外部への発信・普及を目的として実施した教員対象の実験研修会の様子を紹介したい。

キーワード：スーパー・サイエンス・ハイスクール、カリキュラム研究、教材開発、実験研修会、理科教育

1 はじめに

この研究は、スーパー・サイエンス・ハイスクール（SSH）として3年間の指定を受けた平成14（2002）年度からスタートした。一昨年、SSHとして2年間の継続（平成17（2005）年度、平成18（2006）年度）が認められ、計画に多少の修正を加えている。

- 1年次：構想や計画の段階
実施予定の内容や展開案の作成を試みる。
- 2年次：準備・リサーチ・試行の段階
授業内容を中心に研究し、実験教材を開発する。
- 3年次：展開・深化・充実の段階
実践を行い、実験書を作成する。
- 4年次：発展の段階
実践を深め、教員対象実験研修会を行う。
- 5年次：まとめの段階
実践を振り返り、カリキュラムをまとめる。

この5年間の中心的な取り組みである「実験教材の開発」は、新しい器具・器材も導入し、大学や研究機関の先生方にご助言を頂きながら、充実したものとなった。その成果を冊子（実験マニュアル）としてまとめたものが、実験書「先駆的な科学者・技術者を育成するための理科実験～スーパーサイエンスハイスクール開発教材の紹介～」(2005年3月25日発刊)であり、今年度は改訂版の発刊を予定している。

次に、開発した実験教材は、普段の授業に反映すべ

く、既存カリキュラムに組み込む作業を行ってきた。この詳細は、2 カリキュラム開発に示す。

また、大学・研究機関との連携で実現した特別授業等も同様に、カリキュラムとの連動を図ってきた。5年間に実施した内訳については、3 大学・研究機関との連携によるプログラムをご覧頂きたい。

さらに、昨年度は物理・地学の両分野でワークショップ（教員対象の実験研修会）を実施し、参加された他校の先生方に実際に実験を行って頂きながら、貴重なご意見も伺うことできた。この内容を4 実験研修会で紹介する。なお、今年度末の3月には、化学・生物の両分野で同目的の研修会を実施する。

2 カリキュラムの開発

開発した実験教材を中心に、大学・研究機関との連携によるプログラムも組み込んだカリキュラム（高校）と「主な実験の概要とねらい」を以下に示す。

学習内容・項目との連動だけではなく、生徒の発達段階に応じて身につけさせたい能力との対応も考慮した。また、総合的な学習の時間で実施した少人数対象のゼミ学習・卒業研究もこの5年間で新たに開発した内容である。

なお、表中の大学や研究機関との連携による特別授業・特別講座等は、平成16（2004）年度に実施された内容である。他年度のものは、後述の3 大学・研究機関との連携によるプログラムを参照されたい。

2.1 物理分野

学習（指導）項目	観察・観測・実験（演示と生徒実験）項目	育成したい理学的能力・一般的能力
【質点の力学（基礎編）】		
1. 質点の静力学 2. 剛体の静力学 3. 運動の基本的法則 （慣性の法則・運動方程式 ・作用反作用の法則） 4. 運動量の保存 5. 力学的エネルギーの保存	演：力の合成と分解 生：剛体の安定性 演：落体の運動の分析 生：等加速度運動の分析 生：等速円運動の分析 生：衝突する台車の運動量 生：斜面を滑る台車の運動 生：バネに引かれる台車の運動	<ul style="list-style-type: none"> 運動の原因である力の認識と定量的表現 物体の静止条件の理解と応用 原因である力と結果である運動の因果関係の解明 数学的手法を使つての論理的な理解 (ベクトルや各種関数の応用、微積分の概念の導入) 系全体の規則性をとらえる視点 系（物体が置かれている環境）からの運動の解明
【特別講演1（SSH）「空と星 ―航空宇宙・技術と社会―」 JAXAの研究者の講演から、ロケットの力学、ジェットエンジンの開発、航空宇宙開発の現状と未来などを学ぶ。 授業で修得した力学概念および定量的分析能力の応用を試みる。		
【波動（基礎編）】		
1. 重ね合わせの原理 2. 進行波の表現 3. 1次元の波の干渉 4. 2次元の波の干渉 5. 光の回折と干渉	演：ウェーブマシンの横波の観察 生：スリンキーの横波・縦波の観察 生：スリンキーの定常波観察 演：水波および音波の干渉 生：レーザー光を使つての光の経路観察 生 S1：回折格子でのレーザー光の波長測定 生 S1：レーザー光でのスリットの間隔測定 生 S1：CDの反射波の干渉と溝間隔の測定	<ul style="list-style-type: none"> 粒子とは異なる波の概念形成 時間的および空間的に現象をとらえる視点 固有振動（系全体の振動）の概念と導入 波特有の性質「重ね合わせの原理」の理解 幾何光学とフェルマの原理の修得 ホイヘンスの原理の理解と現象への応用 幾何光学と波動との融合および波の総合的理解 (フェルマの原理とホイヘンスの原理の統合)
【特別企画1（SSH）大学の研究室にてグループ別実験】 夏季休業中に筑波大学工学基礎学類を訪問し、大学の先生方や研究者の実験指導を受ける。 内容は、電子の粒子性と波動性（講義）、導電性ポリマーの制作（出前実験）、グループ別実験。		
【特別実験1（SSHで開発）】 ① 回折格子でのレーザー光の波長測定／レーザー光でのスリットの間隔測定 ② CDの反射波の干渉と溝間隔の測定 <p style="text-align: right;">*方法：「2種類×5セット＝10班」の交代制で実施</p>		
A【質点の力学（応用編）】		
1. 慣性系での運動方程式 2. 非慣性系での運動方程式 3. 極座標による表現と観測 4. 惑星の運動と万有引力 5. 中心力問題	演：加速度運動する水中での物体の運動 演：鉛直面内での円運動	<ul style="list-style-type: none"> 運動の因果関係を解明する論理的思考 観測する視野の拡張 過去や現在から未来全般を予測する方法の修得 数学との連動：漸化式や微分方程式 粒子間の力で生じる運動の一般化
A【波動（応用編）】		
1. 調和振動 2. 波動現象の力学的考察 3. 1次元の波の分析 4. 音波の分析	演：各種単振動（ばね、単振り子等） 演：連成振動と固有振動 演：連続体の振動 生 S2：弦の固有振動と弦楽器の機構解明 生 S2：音波の波長および伝搬速度の測定 生 S2：気柱の固有振動と管楽器の機構解明 生 S2：超音波の干渉実験と波長測定	<ul style="list-style-type: none"> 振動現象解明の基礎的概念の形成 固有振動（系全体の振動）の概念形成 波が発生する機構の力学的解明 周期的現象の分析方法の修得 定常波と弦楽器のメカニズムの解明 進行波の観点からの分析 定常波と管楽器のメカニズムの解明 「重ね合わせの原理」の立場からの定量的分析

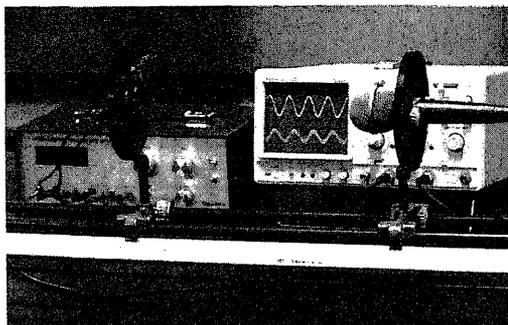
学習（指導）項目	観察・観測・実験（演示と生徒実験）項目	育成したい理学的能力・一般的能力
A【熱力学】		
1. 熱の本性は？ 2. 熱の微視的解釈 3. 等分配の法則 4. 熱力学第1法則 5. 理想気体の熱過程 6. 熱力学第2法則と熱機関 7. エントロピー	演：ブラウン運動の観察 観：気体分子運動のシミュレーション	・熱の概念の推移とその歴史的背景の理解 ・巨視的現象を微視的に理解する手法の修得 ・統計的手法による巨視的現象の微視的解釈 ・エネルギー保存則からの巨視的理解の修得 ・準静的過程からの全体を把握する手法の修得 ・論理性を重視した探求姿勢の修得 ・統計的手法による巨視的現象の微視的解釈
B【電磁気学】		
1. 電荷とクーロン力 2. 電界と電位 3. 系のエネルギー 4. 導体と誘電体 5. 定常電流 6. 磁石と電流が作る磁界 7. 荷電粒子が受ける力 8. 電磁誘導 9. 電磁波 10. 交流回路	演：いろいろな静電誘導の観察 演：いろいろな状況下での電界の観察 生：電池の起電力と内部抵抗の測定 演：いろいろな状況下での磁界の観察 生 S2：磁界中での電子の運動と非電荷測定 生：閉回路内の磁束の変化と誘導起電力 演：LC 並列回路の固有振動と共振	・場の概念の導入と電氣的現象の解明 ・空間的な対称性と自然現象の関連の認識 ・場のエネルギーの概念導入 ・巨視的現象を微視的モデルで解明する方法の修得 ・ミクロな世界における電磁気学の応用 ・電界と磁界の相互作用の理解 ・基本法則から論理的に導き出される電磁波の理解 ・回路を通しての振動現象の一般化（数式化）
B【原子物理】		
1. 古典力学の破綻 2. 量子論のめばえ 3. 水素原子の構造 4. 微視的世界での現象	生 S2：光電効果とプランク定数の測定 生 S2：電子線回折の観察と分析 生 S2：水素原子の発光スペクトルの分析と リュドベリ定数の算出 生 S2：フランク・ヘルツの実験	・古典物理学が通用しない現象の紹介とその分析 ・波動（光波）の粒子的性質の理解 ・粒子（電子）の波動的性質の理解 ・ミクロな世界での力学（量子論）の導入 ・定常状態の力学的かつ波動的解釈の導入 ・粒子概念と波動概念を統合した新しい視点
【特別企画2（SSH）】大学の研究室訪問		
2004年度は、5～6月に東京大学大学院総合文化研究科関連基礎科学系を訪問し、先端分野での研究の様子を学ぶ 各研究室での研究内容の紹介や、高校生向けの講義が企画されている		
【特別講義2（SSH）】「量子力学の世界」		
2004年度は、11月中～下旬に東京大学大学院の先生をお招きし、ミクロな世界での物理現象を学ぶ 講義内容は、粒子性と波動性の基礎的概念から量子ドットという最先端の理論まで 演示実験は、極低温での量子効果で、超流動・超伝導などの実験が体験できる		
【特別実験2（SSH）】		
① 音波の波長および伝搬速度の測定／超音波の干渉実験と波長測定 ② 発光スペクトルと水素原子のエネルギー準位／光電効果とプランク定数の測定 ③ 電子の粒子性（比電荷の測定）と波動性（回折像の分析）／フランク・ヘルツの実験 ④ 弦の固有振動と弦楽器の機構説明／気柱の固有振動と管楽器の機構説明		
*方法：「4種類×2セット＝8班」のローテーション制で実施		

【凡例】 生：生徒実験 演：演示実験 習：演習（無印は講義） S：SSH 関連教材

主な実験の概要とねらい ～物理分野～

1. 音波の波長および伝播速度の測定

【概要】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および伝播速度を調べる。

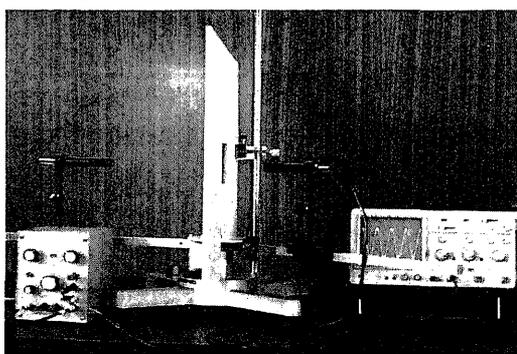


【ねらい】

- ①音波の発信および受信機構を理解する。
- ②力学的振動を電氣的振動に変換し、シンクロスコープで分析する能力を高める。
- ③進行波の空間的かつ時間的な位相変化を理解し、リサージュ図形から分かる位相差を利用して波長および伝播速度を測定する。

2. 超音波の干渉実験と波長測定

【概要】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、後方の音の強弱をシンクロスコープに現れる波形の振幅から判断し、超音波の波長を調べる。

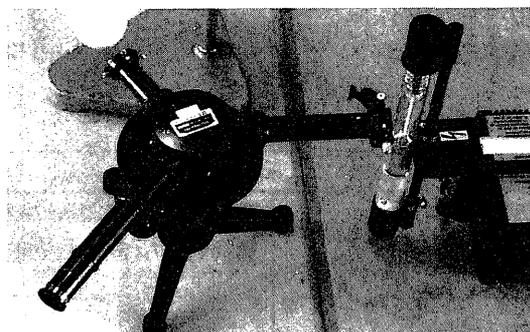


【ねらい】

- ①光波におけるヤングの干渉実験と同様に、音波の場合でも回折した波が干渉し、後方に音の強弱があらわれることを確認する。
- ②「波の経路差=波長の整数倍」で波は強め合い、「波の経路差=半波長の奇数倍」で波は強め合うことを確認する。

3. 発光スペクトルと水素原子のエネルギー準位

【概要】気体を放電させ、その発光スペクトルを分光器を使って観察する。特に水素においては、その輝線スペクトルの波長を正確に測定し、その結果から水素のエネルギー準位を考える。

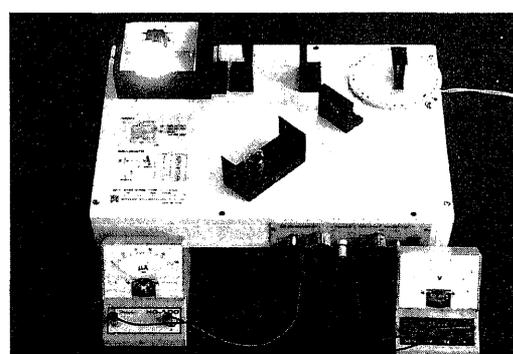


【ねらい】

- ①気体の発する光は、その原子特有の離散的なスペクトルであることを知る。
- ②水素原子の発光スペクトルの規則性(実験式)の物理的意味を、ボーアの理論やド・ブロイの関係式から明確にし、水素のエネルギー準位が離散的であることを定量的に理解する。

4. 光電効果とプランク定数の測定

【概要】金属表面に単色光を照射し、その表面から飛び出した電子の運動エネルギーを測定する。その結果から、光波が電子に与えることができるエネルギーについて考える。

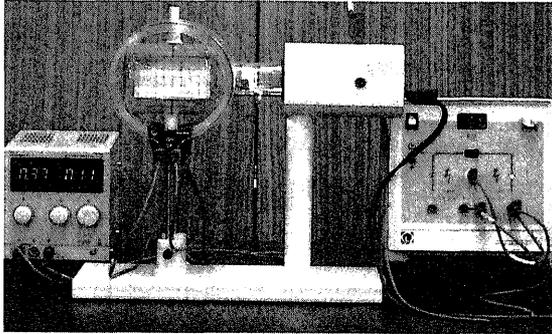


【ねらい】

- ①光を分けるグレーティングのメカニズムを理解する。
- ②電子の運動エネルギーを、妨げる電圧の大きさから求める方法を修得する。
- ③単色光は電子に対し、特定の大きさのエネルギーしか与えられないことを理解する。

5. 電子の粒子性(比電荷の測定)と波動性(回折)

【概要】加速された電子を一様磁界中で等速円運動させ、その半径から電子の比電荷を調べる。また、グラフィートフィルムに照射し、後方に現れる回折像から電子の波動性を知る。

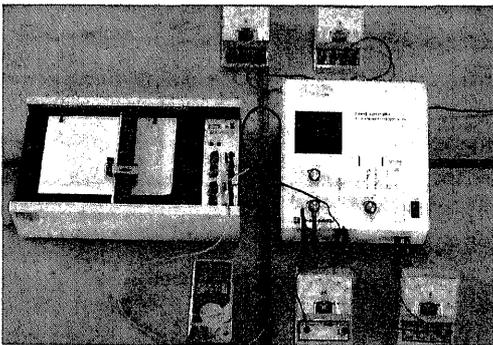


【ねらい】

- ①理論式(電子の力学的エネルギー保存、等速円運動の運動方程式)と実際の測定値から、電子の比電荷を算出する。
- ②回折像から電子が波の性質を持つことを知る。さらに、ド・ブロイの関係から電子波の波長を求め、グラフィートの格子定数を算出する。

6. フランク・ヘルツの実験

【概要】Ne ガス封入管内で加速電子を飛ばし、Ne 原子が加速電子から吸収するエネルギーの値を求める。その結果から、Ne 原子のエネルギー準位と発光のメカニズムについて考える。

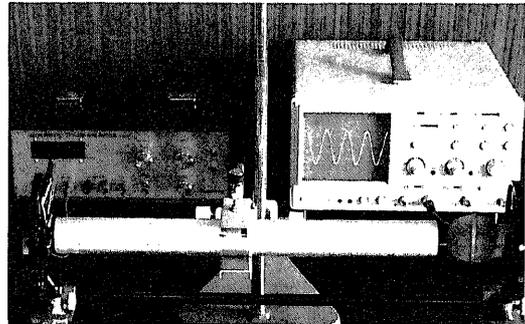


【ねらい】

- ①原子にエネルギーを与え基底状態から励起状態に励起するのは、光子ばかりでなく加速電子でも可能であることを知る。
- ②加速電子がエネルギーを失う電圧から Ne 原子が吸収したエネルギーを算出し、その結果から Ne 原子の基底状態と励起状態の差を求める。これより、エネルギー準位が離散的であることを確認する。

7. 気柱の固有振動と管楽器の機構解明

【概要】開管および閉管(片方にスピーカーを貼り付けた管)の気柱にスピーカーで周期的な刺激を与え、共鳴する振動数(固有振動数)を耳とシンクロスコープの画面の両方から調べる。

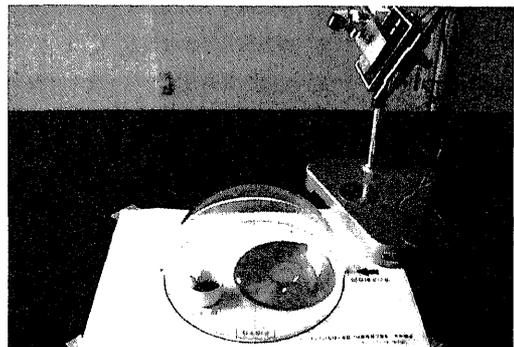


【ねらい】

- ①開管では、ある振動数(基本振動数)の自然数倍の振動数のみに共鳴することを理解する。
- ②閉管では、ある振動数(基本振動数)の奇数倍の振動数のみに共鳴することを理解する。
- ③管楽器の発する音を分析し、その結果と実験結果から管楽器の魅力を科学的に理解する。

8. CD 記録面での反射光の干渉と溝の間隔測定

【概要】等間隔で溝が切られている CD 記録面にレーザー光を入射させ、数本現れる反射光の角度を測定する。その結果から、等間隔の面で反射された光波の干渉を考える。



【ねらい】

- ①「隣合う記録面で反射された光波の経路差=波長の整数倍」が成立する角度では、多くの反射波が同位相で重なり合い、観測される強度までになることを理解する。
- ②反射面の間隔が光の波長に比べて十分に小さいならば、上の条件は「入射角=反射角」の場合のみに成り立ち、これが反射の法則であることを理解する。

2.2 化学分野

学習（指導）項目	観察・観測・実験（演示と生徒実験）項目	育成したい理科的能力・一般的能力
【物質の構成粒子】		
1. 原子・分子・イオン	<p>生：硫黄の同素体</p> <p>生：アルカリ金属とアルカリ土類金属</p> <p>探：結合の種類と結晶の性質</p> <p>生S：化合物の極性と分子間相互作用 (クロマトグラフィー入門)</p>	<ul style="list-style-type: none"> 粒子概念の確立（イオンの導入） 原子の性質の周期性と電子配置の関係 結合する原子間の電気陰性度の差による、共有結合、イオン結合、金属結合についての理解 結合の極性に基づく分子の性質の理解
2. 物質質量	<p>生S：高感量天秤を利用した気体の分子量測定</p> <p>生：化学反応する物質の量的関係</p>	<ul style="list-style-type: none"> 分子量についての理解（有効数字、比の概念） 化学変化の本質についての理解、化学変化する物質の量的関係の解明と応用
【化学反応】		
1. 酸・塩基・塩	<p>生：酸の分類</p> <p>生：食酢の中和滴定</p> <p>探：酸・塩基・塩の識別</p>	<ul style="list-style-type: none"> 酸・塩基の基本的性質の理解 身近な物質や地球環境問題を酸・塩基の性質から捉え直す試み 中和反応の量的関係の理解と応用 酸・塩基概念の定着
2. 酸化と還元	<p>生：酸化剤と還元剤の反応（マイクロスケール）</p> <p>生：酸化還元滴定</p> <p>探：ダニエル電池の反応を考える</p> <p>探：燃料電池の反応を考える</p> <p>生：水溶液の電気分解（マイクロスケール）</p> <p>生：ファラデーの法則</p>	<ul style="list-style-type: none"> 酸化・還元の理解を、化学変化から電子の授受へ拡張・応用 酸化還元反応の量的関係の理解と応用 ダニエル型電池を利用した電池の反応と性能についての探究の試み 電池と電気分解の関係をエネルギー面から解明 水溶液の電気化学についての理解 酸化還元反応と授受される電子の量的関係の理解
3. 反応熱	<p>演：反応熱の測定</p> <p>生：ヘスの法則の利用</p>	<ul style="list-style-type: none"> エネルギー的側面からの化学反応の理解 化学反応におけるエネルギー保存の理解と応用 反応熱を結合エネルギーから捉える試み
【無機物質の化学】		
1. 非金属元素	<p>生：非金属元素の性質Ⅰ</p> <p>生：非金属元素の性質Ⅱ</p>	<ul style="list-style-type: none"> 非金属元素の単体や主な水素化合物の製法・性質についての理解 非金属元素の主な酸化物の製法・性質についての理解
2. 金属元素	<p>生：金属元素の性質Ⅰ（1族・2族・両性元素）</p> <p>生：金属元素の性質Ⅱ（イオンの反応）</p>	<ul style="list-style-type: none"> 典型金属元素の性質について、原子の電子配置との関連から理解 典型・遷移金属イオンの反応についての理解
【有機化合物の化学】		
1. 炭化水素	<p>生：飽和炭化水素と不飽和炭化水素</p> <p>生S：光と色（吸収スペクトル測定入門）</p> <p>生S：アルカンの置換反応（臭素の光反応）</p>	<ul style="list-style-type: none"> 炭素原子の混成軌道の考え方 飽和炭化水素と不飽和炭化水素の性質の比較 光の性質の理解とその本質を考える 光反応（ラジカル反応）理論入門
2. 官能基を含む化合物	<p>S：有機電子論入門</p> <p>探：3種のアルコールを識別する</p> <p>生S：エステル合成と赤外吸収スペクトル測定</p>	<ul style="list-style-type: none"> いくつかのトピックスによる有機電子論入門 アルコール・アルデヒドの酸化反応の理解 有機合成化学入門、赤外吸収スペクトル測定入門 分子の赤外線吸収のしくみと温室効果ガスの性質の理解 分子の対称性と鏡像異性の関係
3. 芳香族化合物	<p>演：光学（鏡像）異性体の性質</p> <p>生S：芳香族化合物の紫外・可視スペクトル測定</p> <p>演：アニリンからアゾ染料の合成</p> <p>探：芳香族化合物の分離と確認</p>	<ul style="list-style-type: none"> 芳香族化合物の特徴とπ電子系の関係を理解 窒素を含む芳香族化合物の性質と反応の理解 π電子系と紫外・可視吸収スペクトルの関係 塩の生成と化合物の極性の関係の応用

学習（指導）項目	観察・観測・実験（演示と生徒実験）項目	育成したい理科的能力・一般的能力
【物質の構造と状態】		
1. 化学結合	生演S：MOPACを用いた分子の構造解析	<ul style="list-style-type: none"> 量子化学入門（分子軌道計算ソフト利用）、安定な分子構造の解明 金属結晶を例とした物質の結晶構造と最密充填構造についての理解 粒子の熱運動からの状態変化についての理解 状態変化のエネルギー的側面 分子運動論に基づく気体の性質についての理解 力学的モデルと巨視的現象の把握（物理との連動：粒子の熱運動） 溶解と分子の極性、界面活性剤についての理解 希薄溶液の束一性についての理解 身近な現象とコロイドの性質の関係について解明
2. 状態の変化	演：金属の結晶構造 生：蒸気圧の測定	
3. 気体の性質	生：シャルルの法則	
4. 溶液の性質	生：溶解のしくみを調べる 生：コロイド溶液の性質	
【反応速度と平衡】		
1. 化学反応の進み方 2. 反応速度 3. 化学平衡	演：時計反応と反応速度 生S：フェノールフタレインの退色反応速度測定 （紫外・可視分光光度計の利用） 生S：酸・塩基指示薬の電離定数測定 （紫外・可視分光光度計の利用） 生：ルシャトリエの原理（マイクロスケール）	<ul style="list-style-type: none"> 既習の化学反応をエンタルピー変化、エントロピー変化から解明 反応速度に対する濃度、温度、触媒の影響の解明 反応速度と反応速度定数についての理解 活性化エネルギーと触媒の作用についての理解 分光光度計を活用して電離定数を測定し、理解を深める 既習の化学反応と化学平衡の概念から解明 平衡移動の原理の観察と理解 化学工業についての理解
【高分子化合物】		
1. 高分子化合物の特徴 2. 合成高分子化合物 3. 天然高分子化合物	生S：付加重合と縮合重合による熱可塑性樹脂の 合成と分析（赤外分光光度計の利用） 生S：プラスチックの識別 （赤外分光光度計の利用） 探：天然高分子化合物の識別	<ul style="list-style-type: none"> 身近な高分子化合物の特徴と性質・基本構造の理解 プラスチック・合成繊維・ゴムの合成法と物理・化学的性質の理解 合成高分子化合物などの物質利用についての科学的な判断力育成 多糖類・タンパク質の分子構造や性質の理解 生物分野との知識の統合と応用
【生活と化学】		
1. 食品の化学 2. 材料・衣料の化学 3. 生命・薬品の化学	生：銅の精錬の原理（プラスチックによる還元） 生：市販薬成分の確認	<ul style="list-style-type: none"> 糖類、タンパク質、脂質の化学的性質についての理解 プラスチック、繊維、金属、セラミックス等の化学的性質の理解 人間社会との関連（化学工業） 生命体を構成する物質、生命を維持する化学反応、医薬品の化学的性質についての理解
【特別講座S】 化学研究者による特別講義 化学研究の最先端に触れ、興味・関心を高めるとともに、科学研究のありかたについて学ぶ 2004年度実施：No.1「ベンゼン、黒鉛、フラーレン・・・分子トランジスター」（東京大学 中村 栄一 教授） No.2「分子および分子集合体中での電子の振舞い -電子は一体何処にいるのか-」（東京大学 永田 敬 教授） No.3「レース専用二輪車の開発と安全について」（本田技研 角増 寿 主任研究員）		
【特別実験S】 生S 化学研究者による実験講座 機器を活用したやや高度な化学実験の取り組み、科学研究の方法について学ぶ 2004年度実施：No.1「バイオリアクターによる有用物質の生産」（筑波大学 向高 祐邦 教授・本校校長） No.2「光と色と化学変化」（東京学芸大学 長谷川 正 教授）		
【ゼミ学習S】 生S ゼオライトの化学（総合的な学習の時間内で実施）希望者選択者を対象にした少人数のゼミ学習 2004年度は、東京大学下井 守教授の指導を仰ぎ、ゼオライトの合成と性質（分子ふるい、イオン交換など）について、実験・研究を進めている		
【卒業研究S】 個人もしくは少人数のグループで化学に関するテーマを設定して実験、研究、発表する		

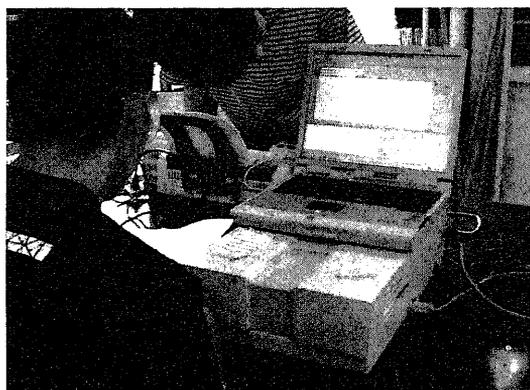
【凡例】 生：生徒実験 演：演示実験 探：科学的な手法を用いた探究の取り組み 習：演習（無印は講義） S：SSH関連教材

主な実験の概要とねらい ～化学分野～

化学科がSSHで導入したおもな機器は、紫外可視分光光度計 (UV-VIS) *¹およびフーリエ変換型赤外分光光度計 (FT-IR) *²である。これらの機器の性能や扱いやすさは、二十数年前 (担当者の大学時代) 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、FT-IR も、ATR 装置*³の装着により、面倒なKBr錠剤の作成が不要になった。

また、どちらもパソコンとの接続により、スペクトルチャートを画面上で観察しながら測定を行うことができる。このことは、測定の効率化とともに、生徒にとって今ひとつ実感の湧かない機器分析を、少しでも親しみやすいものにするために大きな貢献をしている。

<紫外可視分光光度計とパソコン>



分光光度計を使うと、これまでの生徒実験 (マ

クロレベル) では、検出反応等で確認するしかなかった官能基やπ結合などの分子構造を、スペクトルから知ることができる。そこで、これらの機器を活用した、身近な現象や物質についての本質的な理解 (たとえば、光の吸収と物質の色の関係など) や、有機合成実験の充実を教材開発のねらいとした。また、高校化学Ⅱの学習内容で、どうしても抽象的になりがちだった「反応速度」や「化学平衡」についても、機器を活用した生徒実験を実施した。

*1 那珂インストルメント社製, Gene-Spec III

*2 サーモエレクトロン社製, AVATAR 330

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

1. フェノールフタレインの退色反応速度の測定

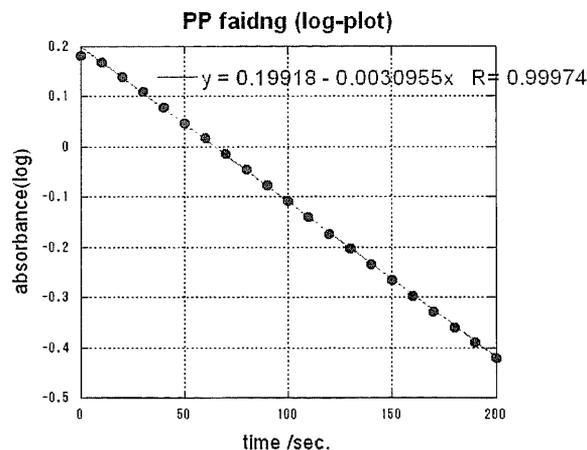
【概要】 フェノールフタレイン (PP) の塩基性色 (赤色) は、強塩基性下においてゆっくりと退色する。この反応は擬一次反応であることが、知られている。今回導入した UV-VIS は、特定の波長 (本実験では 553nm, 赤色 PP の λ_{\max}) の吸光度を指定の間隔 (同 10 秒) で自動的に測定・記録することができる。3 台の UV-VIS を用いると、1 時間の授業内に 1 クラス 11 班の生徒に退色反応を観察させ、濃度変化を測定させることが可能である。また、班により水酸化ナトリウム水溶液の濃度 $[\text{OH}^-]$ を変えて実験するので、平行して中和滴定も実施する。

$[\text{PP}^{2-}]$ (赤色の PP 濃度) は、その吸光度 A に比例し (比例定数 K , ランバート・ベールの法則)、反応時間 t との間には次式が成り立つ。

$$\log A = \log [\text{PP}^{2-}]_0 / K - k[\text{OH}^-]t / 2.303$$

($[\text{PP}^{2-}]_0$: PP^{2-} の初濃度, k : 反応速度定数)

式より、 $\log A$ と t は直線関係にあり、その傾きは $-k[\text{OH}^-] / 2.303$ であることがわかる。そこで、グラフの傾きと $[\text{OH}^-]$ から、フェノールフタレインの退色反



応速度 k を計算する。

<フェノールフタレインの退色反応の測定例>

【ねらい】 ①フェノールフタレインの退色反応を観察し、その濃度変化を分光光度計により測定する。②測定結果を処理してグラフを作成し、反応速度定数 k を求める作業を通して、グラフによるデータ処理の意味や重要性について学ぶ。③これらの実験とデータ処理を通じて、抽象的な概念である反応速度やその定量的扱いについて理解を深める。

2. 酸・塩基指示薬の電離定数の測定

【概要】 酸・塩基指示薬は、溶液中の $[H^+]$ 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わり、鮮やかに変色する。この分子・イオン種の濃度 $([HI_n] \cdot [In^-], In: Indicator=指示薬)$ は、それぞれの λ_{max} における吸光度を測定することにより容易に求められる。このため、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。

弱酸型の酸・塩基指示薬の電離平衡において、平衡定数(電離定数) K_{In} は、次式で表される。

$$K_{In} = [In^-][H^+]/[HI_n]$$

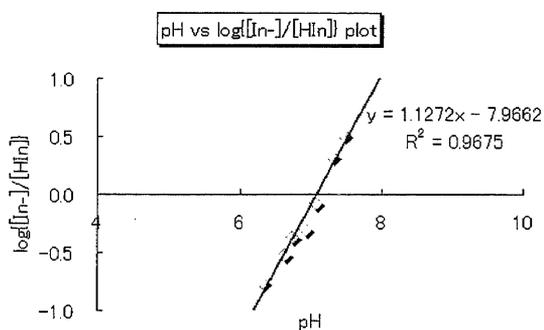
上式で、 $[HI_n] = [In^-]$ のとき、 $K_{In} = [H^+]$ より、 $pK_{In} = pH$ (電離指数: $pK_{In} = -\log K_{In}$)

よって、 $[HI_n] = [In^-]$ のときのpHを測定すれば、指示薬の pK_{In} が求められる。 pK_{In} を正確に求めるためには、上式を変形し両辺の対数をとる。

$$\log([In^-]/[HI_n]) = pH - pK_{In}$$

横軸にpHをとり、縦軸に $\log([In^-]/[HI_n])$ をとればグラフは傾き1の直線となり、横軸との交点のpHが pK_{In} となる。この操作は、パソコンの表計算ソフトを用いて行う。

3台のUV-VISを用いると、2時間の授業内に1クラス11班の生徒が、測定とパソコンへのデータ入力終わらせることが可能である。



<log([In⁻]/[HI_n])のpHによる変化の測定例>

【ねらい】 ①化学平衡(電離平衡)の具体例を、酸・塩基指示薬の変色によって観察する。②酸・塩基指示薬の分子・イオン種の濃度変化を分光光度計で測定し、表計算ソフトによるデータ処理を行って、電離定数(電離指数)を実際に求めてみる。③これらの実験とデータ処理を通じて、抽象的な概念である化学平衡や平衡定数に関する理解を深める。

3. 芳香族化合物の紫外吸収スペクトル測定

【概要】 芳香族化合物の授業において、 π 電子系(共役二重結合)が長くなるほど、 π 電子のエネルギーが低下(安定化)することを扱った。この現象を確認するため、ベンゼン・ナフタレン・アントラセンの各エタノール溶液(1%未満)の紫外吸収スペクトル測定を行い、吸収波長(λ_{max})の変化を観察する。また、ストークスの法則により、アントラセンが蛍光物質である理由についても説明を加える。

【ねらい】 ①物質のもつ色と光の吸収との関係を理解する。②身近な物質(現象)である染料の発色や蛍光の生じる仕組みについて考える。③芳香族化合物の π 電子系(共役二重結合)の長さや吸収される光のエネルギー(波長)の関係を、量子化学的に考える。

4. エステルの合成と赤外吸収スペクトルの測定

【概要】 簡易合成法で種々のエステルを合成し、精製して赤外吸収スペクトルを測定する。スペクトルチャートの、特性吸収や指紋領域から生成したエステルを同定する。ATR装置の利用により、最小限の精製操作で測定できるので、1クラス11班の生徒が、2時間の授業内で合成・生成と測定を終えることが可能である。また、バックグラウンド測定時に、大気中の二酸化炭素や水蒸気の赤外吸収スペクトルが視認できることを利用して、分子が赤外線を吸収するしくみと温室効果ガスの作用について解説する。

【ねらい】 ①エステルを例に有機化合物の合成反応と精製法、分析法を学ぶ。②赤外吸収スペクトルの測定を通じて、分子が赤外線を吸収するしくみについて理解する。③温室効果ガスの作用と地球温暖化の関係について考える。

5. 高分子化合物の合成とIRスペクトルによる確認

【概要】 合成した6,6-ナイロンやポリメタクリル酸メチルのほか、生徒に持参させたプラスチック・合成繊維など、さまざまな有機高分子化合物の赤外吸収スペクトルを測定する。ATR装置により、不透明な試料でも、クリスタル上に密着させるだけで、測定が可能である。

【ねらい】 ①最新機器による、身近な物質の分析・同定を体験させ、化学的な興味・関心を高める。②低分子量の有機化合物とは状態が異なる高分子化合物もエステル結合やアミド結合などを繰り返して重合していることを確認する。

2.3 生物分野

学習（指導）項目	観察・観測・実験（演示と生徒実験）項目	育成したい理科的能力・一般的能力
【細胞の構造と機能】		
1. 細胞説 2. 細胞のつくり 3. 細胞膜の性質 4. 体細胞分裂 5. 細胞分化と生物体の構造	生：様々な細胞の観察／原形質流動 生：限界原形質分離から浸透圧を求める 生：細胞分裂の観察	<ul style="list-style-type: none"> 様々な生命現象を細胞レベルで捉える 細胞膜や細胞内小器官の理解 細胞を構成する成分物質の理解 半透膜モデルで細胞膜を考える (モデルで説明できること、できないこと) 染色体の分配方法の理解（現象の合目的性を考える） 多細胞体の構成の理解、細胞分化の概念
【生命の連続性】		
1. 生殖 2. 減数分裂 3. 配偶子の形成と受精 4. 遺伝の法則 5. 遺伝子と染色体 6. 発生の過程 7. 発生のしくみ	生：ショウジョウバエの遺伝実験 生S：大腸菌の形質転換 生：ウニの初期発生の観察	<ul style="list-style-type: none"> 生殖の捉え方（既成概念にとらわれない見方） 配偶子のもつ染色体構成の多様性が、交叉によって増す仕組みの理解 配偶子の違いと、雌雄の違い 粒子として捉える方法の理解（実験材料と手法の重要性） 統計学的なデータ処理方法の導入 有性生殖の意義についての深い理解（究極要因） 形質を作る遺伝子のはたらきの実感 遺伝子組換えとは何か 組換え作物の有用性と問題点を考える 卵割と形態形成の理解（3次元空間での変形） ウニと両生類の発生（共通点と相違点の発見） 形成体と誘導の仕組みの理解（モデルによる一般化）
【環境と生物の対応】		
1. 刺激と受容と反応 2. 動物の行動 3. 体液とその恒常性 4. 生体防御のしくみ 5. 植物の生活と環境 6. 植物の反応と調節	演：ショウジョウバエの配偶行動の観察 生：抗体による血球凝集反応の観察	<ul style="list-style-type: none"> 神経細胞のつくりとはたらきの理解 動物の行動についての科学的な理解 ホルモンによる調節と自律神経系による調節 自己-非自己認識のしくみとその意味 多様な抗体生産を可能にする遺伝的な仕組み ヒトと疾病 環境と光合成についての科学的な理解 植物ホルモンについての理解（実験科学発展の仕方）
【タンパク質の機能】		
1. タンパク質の構造と性質 2. 生体内の化学反応と酵素	生：タンパク質の性質 生：酵素の最適温度、最適 pH を求める	<ul style="list-style-type: none"> 身近な生命現象との関連性を考える 定量的な実験技法の習得（分子相互作用の考えの導入）
【代謝】		
1. 呼吸 2. 光合成 3. 同化と異化	生：脱水素酵素のはたらき 生：光合成色素の分離	<ul style="list-style-type: none"> 呼吸の意味と、ATP 合成の仕組みの理解 競争阻害剤の作用機作を考える (分子相互作用の考えの発展) 色素と光エネルギーの吸収、光合成のしくみ エネルギーの出入りと生体内の化学反応の関連

学習（指導）項目	観察・観測・実験（演示と生徒実験）項目	育成したい理科的能力・一般的能力
【生態系】		
1. 個体群の維持と適応 2. 生物群集の維持と変化 3. 物質循環とエネルギー流	生：人工池の生産力測定	<ul style="list-style-type: none"> ・ 数学との連動：数学的モデルの作成（微少な時間における変化から一般的な経時変化を考える方法の導入） ・ モデルから個体群の適応戦略を考える ・ ニッチと生物の相互作用、遷移の理解 ・ 生産効率の理解（実験計画の立案と実行） ・ エネルギーの流れをシステム全体で捉える
【遺伝情報とその発現】		
1. DNA の構造と性質 2. DNA の複製 3. 遺伝子の発現と調節 4. 発生と遺伝子発現 5. 発生工学と再生医療	<p>生 S：枯草菌の形質転換</p> <p>生 S：ヒトの Alu リピート検出</p> <p>生 S：GFP 組換え体を用いた 遺伝子発現調節機構の解析 (生 S：ショウジョウバエの初期発生の観察と <i>bcd</i>、<i>osk</i> 等の RNA の検出)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ DNA の抽出方法の理解 ・ 生体物質（特に核酸）の化学的性質の理解 ・ 様々な検査法として利用されている PCR 法の理解 ・ 数学との連動：漸化式 ・ 統計学的なデータ処理方法の適用 ・ 集団遺伝学への発展 ・ 個人の遺伝情報管理と生命倫理の問題を考える ・ DNA とタンパク質の相互作用（分子相互作用の考えの応用） ・ 遺伝子発現と個々のタンパク質のはたらきから、経時的に起こる細胞分化と形態形成を理解する ・ バイオテクノロジーを使った先端医療技術の原理を理解し、生命倫理の問題についても考える
【特別企画 S】 生命科学分野の研究者による特別授業 No. 1～No. 5		
<p>科学者がどのようなことを考えて研究に臨むのか、科学研究で大切なことは何かを学ぶ</p> <p>2004 年度実施：No. 1 「昆虫の行動を制御する微小脳と昆虫ロボット」（東京大学 神崎 亮平 教授）</p> <p>No. 2 「細胞性粘菌の生存戦略とゲノム」（筑波大学 漆原 秀子 教授）</p> <p>No. 3 「薬物で遺伝子病を治せるか？」（東京大学 松田 良一 助教授）</p> <p>No. 4 「生殖細胞の作り方」（岡崎国立共同研究機構統合バイオサイエンスセンター 小林 悟 教授）</p> <p>No. 5 「レトロポゾンが解き明かす生物の進化」（東京工業大学 岡田 典弘 教授）</p>		
【ゼミ学習 S】 生・習 S 基礎分子生物学講座 1（総合的な学習の時間内で実施）		
<p>希望選択者を対象とした少人数のゼミ学習 基礎的な分子生物学の生徒実験と学術論文紹介の簡単な演習を行う</p> <p>2004 年度実施：① プラスミド DNA の抽出 ② 電気泳動と改変プラスミド作成 ③ 免疫酵素学的手法を用いたタンパク質の定量</p> <p>④ 蛍光抗体を用いた細胞内局在タンパク質の検出 ⑤ 一塩基置換による人為突然変異体作成の実際</p> <p>⑥ 学術論文の紹介を実施</p>		
【ゼミ学習 S】 習 S 基礎分子生物学講座 2 希望選択者を対象とした少人数のゼミ学習		
<p>分子生物学に関する英語文献の分担発表学習を行う</p> <p>英語で書かれたテキストの一部と、Nature、Science、Cell、PNAS などの学術論文数編を教材として用いる</p>		
【卒業研究 S】 個人もしくは少人数のグループで生物学に関するテーマを設定して実験、研究、発表する		
<p>研究テーマとしては【ゼミ学習 S】 生・習 S 基礎分子生物学講座 1 で行った実験をさらに発展させたもの、同じ実験手法を使った生徒独自の実験研究、または学術論文の文献調査などを想定している</p>		

【凡例】 生：生徒実験 演：演習 習：演習（無印は講義） S：SSH 関連教材

主な実験の概要とねらい ～生物分野～

1. 大腸菌の形質転換

【概要】 BioRad 社の開発、販売している「pGLO バクテリア遺伝子組換えキット」を使って行う。オワンクラゲの発光タンパク質 GFP の遺伝子をアラビノース・オペロンのプロモーターによって大腸菌内で発現調節できるようにされたプラスミド pGLO を大腸菌 HB101 に導入する。そして、蛍光を発するようになったコロニーの出現により形質転換を確認する。

【ねらい】 ①形質をつくる遺伝子のはたらきの実感。この実験のような形質転換が「遺伝物質＝DNA」の証明の一つとなるのはなぜかを理解する。②遺伝子組換えの理解。組換え体とはどのような操作によって作成された生物かを理解する。③組換え作物の有用性と問題点について考える。

2. ヒトの Alu リピート検出

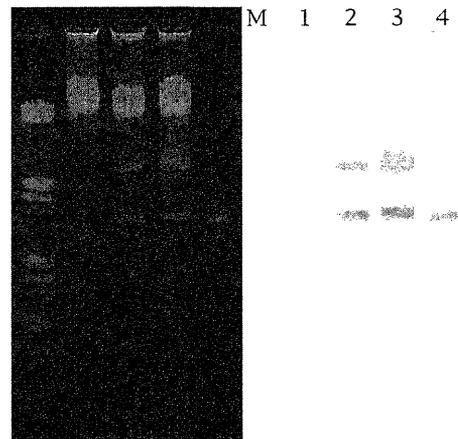
【概要】 現在、生命科学分野の検査・研究で広く用いられている PCR 法（ポリメラーゼ連鎖反応法）を生徒実験として取り上げる。BioRad 社の開発、販売している「Chromosome16 PV92 PCR/Informatics キット」を使って行う。

Alu の挿入の有無を調べる DNA 領域は、イントロン中にあり、体内で利用されることはまずないので、生徒は自分の結果に心配する必要はない。実験後、結果の分析と解釈を講義形式で行う。Alu の挿入の有無について集団内の遺伝子頻度を求め、既知の遺伝子頻度データと同一かどうかを、カイ二乗検定（またはフィッシャー検定）にかけて判定する。ここで、ハーディー・ワインベルグ則と集団遺伝学についても併せて取り上げる。さらに、今回の一連の実験過程を再度辿りながら、個人の遺伝情報の漏洩する可能性とその対策を考える。

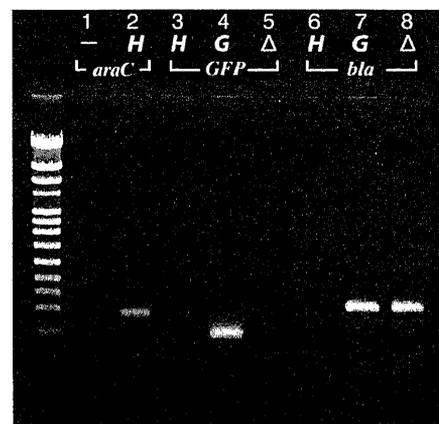
【ねらい】 ①DNA の複製について深く理解するとともに PCR 法の原理を理解する。②カイ二乗検定等の統計学的手法の利用の仕方を習得する。③生命倫理の問題とも関連付けながら、個人の遺伝情報保護について望ましい姿を考える。

3. GFP 組換え体を用いた遺伝子発現調節機構の解析

【概要】 先の「1. 大腸菌の形質転換の実験」を発展させたもの。ここでは、pGLO をもとに作成した数種の改変型プラスミド（GFP 領域の大部分を欠失したプラスミドや、転写調節タンパク質 ARAC の遺伝子中の一塩基置換によりアミノ酸置換を生じたり、ナンセンス突然変異を起こすようにした変異型プラスミド）を大腸菌内に導入する。はじめに形質転換体中に導入したプラスミドが存在していることを、サザン・ハイブリダイゼーション法または PCR 法を用いて確認する。従来、サザン法などのハイブリダイゼーションの実験では放射性同位体プローブを用いなければならなかったが、近年、DIG による non-RI 系が開発・改良され、高校生でも安全に学校のベンチトップで行えるようになった。



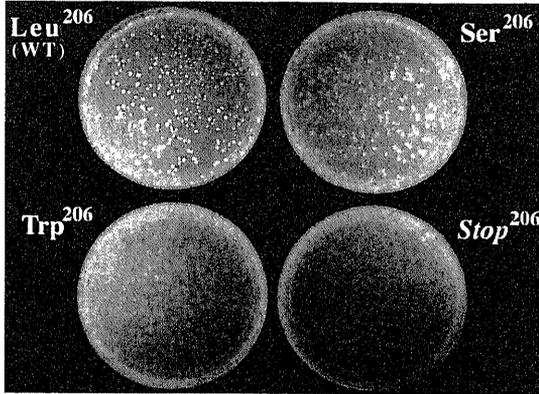
<サザン法で検出した導入プラスミド>



<PCR 法で検出した導入プラスミド>

次に、形質転換体をアラビノースやグルコース（カタボライト・リプレッション）の有無について条件の異なるアンピシリン・プレートにまき、コロニーの蛍光発色

の違いを調べる。これらの実験結果から転写制御のしくみについて、転写調節タンパク質の働きを中心に理解を深める。また、アミノ酸置換の効果から、アミノ酸とタンパク質の立体構造の関係についても考察する。

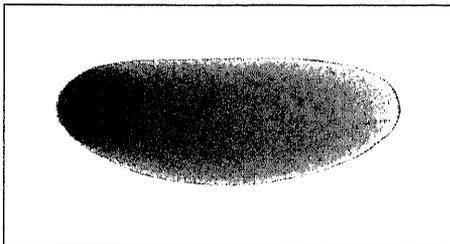


<pGLO- araC 遺伝子の一塩基置換変異体>

【ねらい】 ①形質転換体中に導入したプラスミド DNA が存在することを物質レベルで確認するための分子生物学的な実験手法を学ぶ。また、PCR 法が様々な実験に応用できることを考える。②転写制御による遺伝子発現調節機構を知り、タンパク質と DNA との相互作用の例から、さらにタンパク質などの分子間相互作用によって生命現象を捉える視点を身につける。

4. ショウジョウバエの初期発生の観察と *bcd*, *osk* 等の RNA の検出

【概要】 はじめに、ショウジョウバエの初期発生を通常の光学顕微鏡で観察できる卵割の過程、極細胞の形成過程に限って行う。次に、卵内に局在する前後軸形成に関わる、*bicoid* や *oskar* といった母性 RNA を *in situ* ハイブリダイゼーション法により検出する。この後半の実験は希望者のみを対象とする特別実験として行う。DIG を用いた non-RI 系キットで RNA プローブを作成する。観察は、ホール・マウントの胚を用いて通常の光学顕微鏡で行うことができる。



<検出したピコイド RNA>

【ねらい】 ①昆虫の発生に特徴的な表割の過程を観察

するとともに、極細胞形成に見られるように生殖細胞の分化が発生過程のかなり初期に開始すること、生殖細胞系列の分化の重要性を理解する。②体軸形成に関わる因子が卵内にすでに RNA として存在していることを確認し、遺伝子の発現制御のカスケードにより発生過程における細胞分化が進行していくことを学ぶ。③ RNA の取り扱い方法、*in situ* ハイブリダイゼーション法の原理について理解する。

(※この実験は、大学共同利用機関法人 自然科学研究機構 岡崎統合バイオサイエンスセンター基礎生物学研究所教授 小林悟先生のご指導とご協力により実現したものである。)

5. 蛍光抗体を用いた細胞内局在タンパク質の検出

【概要】 細胞性粘菌の無菌培養株を材料にして、分裂期の微小管を FITC で標識した抗チューブリン・モノクローナル抗体により検出する。核の観察を容易にするために、PI による二重染色法を行う。また、取り出されたダイクロイック・ミラーを実際に手にしたりしながら、蛍光顕微鏡の原理・仕組みについても理解を深める。



<蛍光抗体による分裂期微小管の検出>

【ねらい】 ①蛍光抗体法の実際について学び、免疫学的な手法が分子生物学の研究に有効であることを学ぶ。②蛍光顕微鏡の原理を理解し、簡単な操作方法について習得する。これらを通して、実験技術、実験機器の開発、改良がいかに重要であるかを認識する。③細胞性粘菌の特殊な核分裂様式を観察し、細胞分裂の、ひいては生命現象の多様性について学ぶ。

(※この実験は、筑波大学大学院生命環境科学教授 漆原秀子先生のご指導とご協力により実現したものである。)

2.4 地学分野

学習（指導）項目	観察・観測・実験（演示と生徒実験）項目	育成したい理科的能力・一般的能力
【地球の構成】		
1. 地球の形と構造	習：走時曲線の作成と地殻の厚さの推定 演：アイソスタシーの原理 生：シャドーゾーンの形成	・地震波の速度からモホ面の深さを求める能力 ・地表の構造が重力的に浮いていることへの理解
2. 動く大地	習：ホットスポット火山とプレートの移動速度 察：日本列島周辺の震源の分布の立体視	・地震波速度の増減と地震波の屈折角の関係 ・プレートの動く方向と速さを求める
3. 地震	習：震源と震央の決定 習：地震動の初動の向きと断層運動の性質 察：空中写真を利用した活断層の観察	・深発地震が海溝から傾いた面の上で発生する ・3点観測による震央・震源の決定の原理を理解 ・地震は断層運動によって生じることを理解
4. 火山とマグマ	習：火山活動の周期性と噴火の予知 生：火成岩の密度 生：マグマの冷える速さと結晶の大きさ 生：火山灰中に含まれる鉱物の観察と同定 生：深成岩の色指数と岩石の色調	・直線状の地形から活断層の存在を推定する能力 ・火山の噴火の周期性を読みとって予測する能力 ・火成岩の密度の違いと造岩鉱物の組成との関係 ・火成岩の組織とマグマの冷え方との関係を推定 ・固有の結晶の形を保った火山灰中の鉱物の同定
5. 地球の歴史	生：級化層理などの堆積構造の形成 習：水系図の作成と地質構造の推定 生：偏光顕微鏡による各種岩石の観察	・深成岩中の有色鉱物と無色鉱物の割合と色合い ・粒子の大きさによる沈降速度の違いを理解 ・水系から地下の岩石の種類や地質構造を推定 ・岩石の種類による造岩鉱物の組成と組織の違い
【大気と海洋】		
1. 地球の大気	習：気温・気圧と高度の関係 生：太陽の放射エネルギーの測定 演：転向力のはたらき方	・標高の高さと気温の減り方の関係を理解する ・地表で受ける太陽放射エネルギーの大きさ
2. 日本の天気	習：天気図情報に基づく天気の変化と予想 生：低気圧のモデル実験 習：風向の変化の仕方と台風の進路の推定	・天気図や雲画像から天気の変化を予測する能力 ・低気圧の中心に吹き込み上昇する流れを視覚化 ・観測点の風向の変化から台風の中心位置を推定
3. 大気と海洋の相互作用	生：海洋の深層循環のモデル実験 習：大陸棚の深さと氷期の海面低下量の推定	・密度の異なる水溶液で成層構造と深層循環を作成 ・大陸棚の外縁が氷期の海岸線であることを理解
【宇宙の進化】		
1. 太陽系の姿	演：惑星の順行と逆行 習：金星（火星）の公転軌道の作成	・惑星の公転運動から惑星の視運動を説明できる ・地球と金星（火星）の位置関係から公転軌道を推定
2. 恒星の進化	生：分光器の作成と太陽スペクトルの観察 習：HR図の作成	・CDを使って太陽光や蛍光灯のスペクトルを観察 ・HR図の恒星の分布により恒星を分類できる
3. 宇宙の構造と進化	習：球状星団の分布図 生：ハッブルの法則の検証とモデル実験	・球状星団の分布から銀河系での太陽の位置を確認 ・銀河の視線速度と距離の間の比例関係を検証・理解
【特別企画（SSH）】大学の博物館訪問 東京大学総合研究博物館を訪問し、化石や鉱物などの貴重な標本の観察と研究施設の見学を行う		
【特別講義（SSH）】「科学・技術と社会の関わり」 2004年度は、12月中旬に名古屋大学理学部教授の池内了先生をお招きし、科学・技術は人間にとっていかなる営みか、それが社会とどのように関わっているのかを様々な側面から論じていただいた		
【特別実験（SSH）】 ① デジタルノギスを使った貝化石の計測と個体変異の研究 ② 偏光顕微鏡下での深成岩薄片のデジタル画像に基づく色指数の計測 ③ 顕微鏡下でのフズリナ化石の計測と断面の観察		

【凡例】 生：生徒実験 演：演示実験 習：演習（無印は講義） S：SSH関連教材

主な実験の概要とねらい ～地学分野～

1. 貝化石標本をもとにした生物の個体成長と個体変異の研究

【概要】 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。次に、各種の相対成長と個体変異の幅について、表計算ソフトを用いて解析する。

【ねらい】 千葉県市原市瀬又の瀬又層(約 30 万年前の間氷期の地層)、印旛郡印旛村鶴巻の清川層(約 20 万年前の間氷期の地層)・同吉高の木下層(約 12~13 万年前の最終間氷期の地層)より産出する貝殻を、電子ノギスを使用して計測し、それぞれの種の個体成長の様子と個体変異の幅を明らかにする。合わせて、それぞれの時代の貝化石群集の種構成や同じ種の殻長と殻高に関する個体成長の割合や放射肋の数の変異の幅から、堆積環境の違いなどの原因を推定できるかを考えさせる。

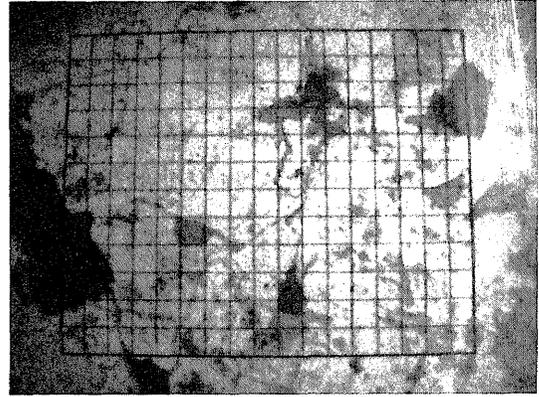


2. CCDカメラを用いた火成岩(深成岩)の色指数の測定

【概要】 偏光顕微鏡(平行ニコルの状態)の接眼レンズの代わりにCCDカメラを取り付けて、火成岩(深成岩)の岩石薄片の任意の視野部分をコンピュータに写し出し、プリントアウトする。次に、方眼の入ったOHPシートを印刷された画像の上に乗せて、格子状の有色鉱物の数を数える。

【ねらい】 これまで深成岩の色指数を測るのに、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

つぶす方法で行っていた。今回、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。



3. デジタルカメラを利用した微化石(フズリナ)の測定とその内部構造や個体変異の解析

【概要】 古生代後期の石灰岩に含まれるフズリナ化石を、鉱物顕微鏡又は三眼顕微鏡に取り付けたデジタルカメラを利用して、薄片中のフズリナ個体を記録、計測する。次に、フズリナ化石の同定と断面による構造の違い、大きさの変異の幅を解析する。

【ねらい】 画像計測合成ソフトを使って、フズリナ化石の大きさや断面積を短時間で効率よく計測できる。また、そのデータを CSV 形式でファイルに保存したり、表計算ソフトの表に出力して統計処理することにより、縦断面と横断面でのフズリナの個体変異の幅を押さえることができる。

3 大学・研究機関との連携によるプログラム

大学の附属校である本校にとって、中等教育と高等教育の連携は、SSH 研究開発の指定校となる以前から、大きな研究テーマであった。

SSH の指定校になった平成 14 (2002) 年度より、研究開発の柱の一つである「科学的リテラシーを育成するプログラムの開発・実践」のもと、特に「科学に対する興味・関心の醸成」を目指して数々のプログラムが企画された。

行われてきた数々の実践は、いずれも「高い専門性」と「幅広い視野」を育む上で貴重な体験となり、生徒に限らず我々中等教育の教員にとっても大いに参考となることが多かった。特に、実験講座の多くは高校の実験室では再現できない内容と規模を目の当たりにすることができ、その経験は普段の授業にも活かすことができたと感じている。

さらに、手探りの状態から3年が経過したころ、この間の蓄積をバネに更なる発展を模索し、母体である筑波大学にも積極的にはたらきかけを行うようになった。「つくばエクスプレス」の開通が追い風となり、昨年度2月には中学3年、今年度は7月に高校2年、2月に中学3年が学年全体で筑波大学へ訪問し、各生徒の興味・関心

に応じて 20 以上の研究室に受け入れてもらっている。SSH 研究開発の企画として行われた特別講座等の積み重ねが大学・研究機関との距離感を縮めてきたことは確かであり、そのことが今後の財産となっていくはずである。

これまで実施されたプログラムの内訳は、大まかに次の3つに分類できる。その多くは、学期末考査後の特別授業期間中に行われたことから、特別授業・特別講座と呼ばれている。

1. 特別授業・特別講座

講義を中心とした内容であるが、実験を伴うことも多い。

2. 実験講座・実験プログラム

専門性の高い実験を中心に進められる。大学等へ向いて最先端に触れる機会となる。

3. 特別講演・シンポジウム

自然科学の枠を超えて、広い視野の獲得を目指した内容を扱う。授業の枠を超えて、受講者を募ることが多い。

以下に、過去5年間の間に行われたプログラムについてまとめた。

大学・研究機関との連携によるプログラム一覧

*網掛け部分は SSH 以外の企画 敬称略

敬称は省略

※：特別授業、特別講座 ◎：実験講座・実験プログラム等 ◇：特別講演・シンポジウム ↓

年度	分野	実施日	タイトル	講師等	形式
2002	物理	5.31	東京大学大学院総合文化研究科 関連基礎科学系 (大学訪問)	東京大学 小宮山 進	◎
		7.23・30	筑波大学工学基礎学類 一日体験教室 (大学訪問)	筑波大学 大嶋 健一ほか	◎
	化学	9.2	ホタルの発光をめぐって	筑波大学 藤森 憲	※
		9.27	分子分光学の最先端 ～星間にある分子を捉える～	東京大学 遠藤 泰樹	※
		10.11	振動分光法で探るタンパク質機能発現のしくみ	東京大学 小倉 尚志	※
		10.18	対称性から分子の形を捉える	東京大学 下井 守	※
		11.15	進化する機能性物質	東京大学 菅原 正	※
		11.22	化学の目で見る地球環境	東京大学 松尾 基之	※
		12.12	大気環境化学としての酸性雨を考える	国立保健医療科学院 原 宏	※
		3.10・11・17	化学実験講座 有機鉄錯体の合成と分析	東京大学 下井 守	◎
		3.14	化学実験講座 化合物の極性と分子間相互作用	筑波大学 野本 信也	◎

年度	分野	実施日	タイトル	講師等	形式
2002	生物	8.26～30	生物部実験 ショジョウバエの左右はどのように決まるか？（1）	岡崎国立共同研究機構 小林研究室	◎
		12.16	生殖細胞の作り方	岡崎国立共同研究機構 小林 悟	※
		12.19	ゲノム解読 ～その客席・舞台・舞台裏～	筑波大学 漆原 秀子	※
		2.18	私たちの心の動きと遺伝子の働き	東京大学 石浦 章一	※
	総合	11.6	マンザナー計画” 人類を飢餓から救う”	米国科学アカデミー ゴードン・H・Sato	※
		3.18	脳と心を考える（主催 東京都精神医学総合研究所）	都立松沢病院 松下 正明 東京女子医大 岩田 誠 東京大学 廣川 信隆	◇
2003	物理	8.1	筑波大学工学基礎学類 ～楽しい実験教室～参加	筑波大学 小林 正美ほか	◎
		8.8	筑波大学自然科学類～体験教室～参加、加速器センター見学	筑波大学	◎
		10.17	星と空 ー航空宇宙・技術と社会ー	航空宇宙技術研究所 二村 尚夫	※
		11.21	量子力学の世界	東京大学 小宮山 進	※
	化学	6.25	理論で考える化学 ～見えないものを観る～	東京大学 高塚 和夫	※
		7.17	サッカーボール型分子C ₆₀ とその仲間たち	筑波大学 赤阪 健	※
		11.26	光と分子 ～身近な光反応とそのしくみ～	東京大学 村田 滋	※
		12.18	化学実験講座 色と光と化学変化	東京学芸大学 長谷川 正・前田 優	◎
		12.19	化学実験講座 バイオリクターによる有用物質の生産	筑波大学 向高 祐邦（校長）	◎
		2.24	包接化合物の世界	東京大学 錦織 紳一	※
		3.15・17・24	化学実験講座 ゼオライトの化学	東京大学 下井 守・河野 泰朗	◎
	生物	7.9	ゲノム情報の解読 ～それはどんなに手ごわいものだったか～	筑波大学 漆原 秀子	※
		8.4～8	生物実験講座 細胞性粘菌における遺伝子発現パターンの解析	筑波大学 漆原研究室	◎
		8.18～22	生物部実験 ショジョウバエの左右はどのように決まるか？（2）	岡崎国立共同研究機構 小林研究室	◎
		12.19	生殖細胞の作り方	岡崎国立共同研究機構 小林 悟	※
2.18		私たちの遺伝子からわかること	東京大学 石浦 章一	※	
2004	物理	8.26	筑波大学工学基礎学類～楽しい実験教室～参加	筑波大学 大嶋 健一ほか	◎
		10.15	空と星 ー航空宇宙・技術と社会ー	宇宙開発研究機構 二村 尚夫	※
		11.19	量子力学の世界	東京大学 小宮山 進	※
	化学	6.26	化学実験講座 ゼオライトの化学（1）	東京大学 下井 守	◎
		7.15	化学実験講座 バイオリクターによる有用物質の生産	筑波大学 向高 祐邦（校長）	◎
		11.13	化学実験講座 ゼオライトの化学（2）	東京大学 下井 守	◎
		11.2	炭素の不思議 ～ベンゼン、黒鉛、フラーレン、分子トランジスター	東京大学 中村 栄一	※
		12.13	分子および分子集合体の中の電子の振舞い	東京大学 永田 敬	※
		12.17	化学実験講座 色と光と化学変化	東京学芸大学 長谷川 正・前田 優	◎
3.18	二輪世界選手権への挑戦 ーRC211Vの開発と安全性ー	本田技術研究所朝霞 角増 寿	※		

年度	分野	実施日	タイトル	講師等	形式
2004	生物	5.29	昆虫の行動を制御する微小脳と昆虫ロボット	東京大学 神崎 亮平	※
		7.14	細胞性粘菌の生存戦略とゲノム	筑波大学 漆原 秀子	※
		9.25	薬物で遺伝子病を治せるか？	東京大学 松田 良一	※
		12.16	サイエンスとともに歩み、研究を楽しむ	岡崎国立共同研究機構 小林 悟	※
		2.19	レトロボゾンを用いた系統関係の決定と応用	東京工業大学 岡田 典弘	※
	地学	12.14	科学・技術と社会の関わり	名古屋大学 池内 了	※
総合	12.15	君のいのちを輝かせるためのサイエンスリテラシー	元筑波大学 藤森 憲 筑波大学 成田 奈緒子 元筑波大学 西原 克成 元筑波大学 芳賀 脩光	◇	
2005	物理	8.4	筑波大学工学基礎学類～楽しい実験教室～参加	筑波大学 大嶋 健一ほか	◎
		11.22	量子力学の世界	東京大学 小宮山 進	※
		3.17	空と星 ー航空宇宙・技術と社会ー	宇宙開発研究機構 二村 尚夫	※
	化学	7.11	化学実験講座 酵素を利用した有用物質の生産技術	筑波大学 市川 創作・向高 祐邦	◎
		12.12	サッカーボールの内側を化学する ー超分子化学へのキックオフー	筑波大学 赤阪 健	※
		12.19	化学実験講座 冷たい分子から光を取り出す	元筑波大学 藤森 憲	◎
		3.14	化学実験講座 地球環境と「酸性雨」：大気化学から考える	東京農工大学 原 宏	◎
	生物	7.8	「まさか巢ある、明日、笠間？」 ～マルハナバチ奮闘記～	筑波大学 徳永 幸彦	※
		12.20	培養装置としてみた鳥類の卵の先進性	東京大学 松田 良一	※
		3.16	レトロボゾンを用いた系統関係の決定と応用	東京工業大学 岡田 典弘	※
		3.20	卵から体ができるしくみ	大阪大学 西田 宏記	※
	総合	12.16	研究における偶然と必然 ～こうして導電性高分子は発見・開発された～	筑波大学2000年ノーベル化学賞 白川 英樹	※
		2.9	筑波大学訪問 (対象：中学3年生全員)	筑波大学	※◎
2006	物理	7.18	朝永振一郎博士生誕100年記念講演会① ～朝永振一郎先生と宇宙の歴史～	筑波大学 三明 康郎	※
		7.27	筑波大学工学基礎学類 ～楽しい実験教室～参加	筑波大学 大嶋 健一ほか	◎
		12.18	朝永振一郎博士生誕100年記念講演会② ～計算機を使って宇宙を探る～	筑波大学 宇川 彰	※
	化学	7.6	化学実験講座 光とマジックと化学	東京学芸大学 長谷川 正・前田 優	◎
		9.9	研究室訪問 時間分解分光法の開発とその応用	東京大学 岩田 耕一	◎
		10.14	化学実験講座 核磁気共鳴 (NMR) による有機化合物の構造決定	東京大学 下井 守	◎
	生物	7.12	プラナリアの再生を科学する	京都大学 阿形 清和	※
		12.13	ミトコンドリア・ミステリー	筑波大学 林 純一	※
	総合	7.13	筑波大学訪問 (対象：高校2年生全員)	筑波大学	※◎
		2.8	筑波大学訪問 (対象：中学2年生全員)	筑波大学	※◎

4 実験研修会

4.1 物理グループ別実験研修会

4.1.1 実験の目的

平成14年度からの3年間にわたるSSH研究開発では、物理分野は授業におけるグループ別実験の教材開発を行ってきた。平成16年度には、本校理科の開発教材を紹介する実験書「先駆的な科学者・技術者を育成するための理科実験」を作成し、物理分野では開発した11の実験を紹介した。

今回の研修会は、SSH指定校として受けた恩恵を多くの学校と共有し、中等教育における生徒実験の充実に少しでもお役に立てればとの思いから、開発した11すべての実験を準備し、多くの教員の方々に体験していただいた。

4.1.2 実験研修会の準備

平成17年10月上旬、本校の教育研究会(11月25・26日実施)の案内に同封して、全国の国立大学附属校と関東地方の学校を中心に、本研修会への参加を呼びかけた。

平成18年度1月末(参加申込み〆切)までに、27名の方から参加申込みをいただいた。並行して、参加申込者には実験書「先駆的な科学者・技術者を育成するための理科実験(計200頁、物理分野62頁)」、当日使用する実験テキスト「高校物理実験テキスト(二分冊、計62頁)」、高2の総合的学習の時間で使用したテキスト「2次曲線の不思議と物理現象テキスト(20頁)」を参考資料として郵送し、特に時間を掛けて行いたい実験3グループ(5～6つのテーマ)を選択していただいた。

平成18年2月中旬、27名の参加希望者に対して実験研修会の実施要項およびローテーション表を郵送し、研修会当日(2月23日)に備えた。

4.1.3 実験研修会の実施要項

日時：2月23日(木) 13:30～17:30

時程：13:30～14:20 ①実験(1回目)

14:20～15:10 ②実験(2回目)

15:10～16:00 ③実験(3回目)

16:00～16:20 休憩・演示実験の打合せ

16:20～16:50 ④演示実験(前半)

17:00～17:30 ⑤演示実験(後半)

【6つのグループと実験テーマ】

〈グループA：①4名→②2名→③4名〉

1 弦の固有振動と弦楽器の秘密

2 気柱の固有振動と管楽器の秘密

〈グループB：①4名→②4名→③4名〉

3 音波の波長および伝播速度の測定

4 超音波の干渉実験と波長測定

〈グループC：①0名→②2名→③4名〉

5 交流における各素子のはたらきとLC共振回路

〈グループD：①6名→②6名→③4名〉

6 レーザー光の回折と干渉

7 CD記録面での反射光の干渉と溝の間隔測定

〈グループE：①6名→②6名→③6名〉

8 光電効果とプランク定数の測定

10 発光スペクトルと水素原子のエネルギー準位

〈グループF：①6名→②6名→③4名〉

9 電子の粒子性と波動性

11 フランク・ヘルツの実験

(実験番号は、実験テキストの掲載順)

【ローテーション表】

氏名	所属	1回目 13:30～ 14:20	2回目 14:20～ 15:10	3回目 15:10～ 16:00
1	千葉県立	A-1	E-1	C-1
2	栃木県立	F-1	C-1	E-1
3	東京都私立	B-1	F-1	E-1
4	群馬県私立	E-1	F-1	C-1
5	群馬県立	E-1	F-1	B-1
6	東京都私立	E-1	F-2	C-2
7	埼玉県	F-1	C-1	D-1
8	東京都私立	B-1	D-1	A-1
9	愛知県立	F-1	A-1	E-1
10	東京都私立	F-2	E-1	B-1
11	茨城県立	D-1	B-1	A-1
12	茨城県立	E-2	F-2	A-2
13	群馬県立	F-2	D-1	A-2
14	東京都私立	D-1	F-2	E-2
15	山梨県	E-2	B-1	D-1
16	東京都私立	F-2	D-1	E-2
17	世田谷区立	A-1	E-1	D-2
18	千葉県私立	A-2	D-2	B-2
19	東京都私立	D-1	A-1	E-2
20	福島県立	E-2	B-2	F-1
21	埼玉県立	A-2	B-2	D-2
22	国立大附属	D-2	E-2	F-1
23	埼玉県私立	D-2	E-2	B-2
24	国立大附属	B-2	D-2	F-2
25	群馬県立	D-2	E-2	F-2
26	埼玉県私立	B-2	D-2	C-2
27	物理教育学会	フリー(実験協力者)		

各グループには2セットの実験装置を用意
(グループAにはA-1とA-2を用意)

4.1.4 実験実習会のようにすと各実験の紹介

物理実験室および講義室の各机には各種実験装置を並べた。参加者は実験書および実験テキストを参考にしながら、協力して実験を進めていった。下の写真は、実験開始時の風景である。



1 弦の固有振動と弦楽器の秘密

弦楽器の音の発生源は弦である。びんと張った弦に周期的な振動を与えると、特定の振動数のときにのみ共振し定常波が観察される。今回の実験では、弦の一端にバイブレータで周期的な刺激を与え、振動のようすや共振する振動数を調べた。また、弦楽器が発する音の振動数をパソコンを使って詳細に分析し、弦における定常波の理論を検証するとともに、弦楽器の音色の秘密も科学的に分析した。

【実験の内容】

- ①弦の長さや張力を一定にして、バイブレータの振動数を徐々に増加させ、弦全体が共振するときのようすを観察する。さらに、そのときの振動数を測定して規則性も調べる。
- ②弦の張力を一定に保ち、弦の長さや基本振動数との関係を調べる。
- ③弦の長さを一定にし、弦の張力や基本振動数および伝播速度との関係を調べる。
- ④ギターなどの弦楽器の音をパソコンで分析し、その音に含まれている振動数の規則性を調べる。



左下の写真は、ウクレレの音をパソコンに取り入れ、周波数を分析しているようすである。基本振動数の自然数倍の振動数の音だけが発生していることが確認された。また、倍音の多さに多くの参加者が驚いていた。

2 気柱の固有振動と管楽器の秘密

管楽器では、息を吹き込むことで管内の空気を振動させ、開いている穴をふさぐことで管の長さを変えて特定の音をまわりに伝えている。今回の実験では、振動の発生源のメカニズムと管内の気柱における共鳴現象を調べた。また、管楽器の音をパソコンを使って詳細に分析し、気柱における定常波の理論を検証するとともに、管楽器の音色の秘密も科学的に分析した。

【実験の内容】

- ①アルミ管の端にスピーカーを近づけ、スピーカーが発する音の振動数を徐々に増加させる。開管内の気柱が共鳴するときの振動数を、耳と目(シンクロスコープの波形)で測定する。
- ②スピーカーを管の端にしっかりと密着させて同様の実験を行い、閉管での共鳴振動数を測定する。
- ③リコーダなどの開管楽器や試験管笛などの閉管楽器の音をパソコンで分析し、その音に含まれる振動数の規則性を調べる。
- ④管楽器での指使いや演奏方法(工夫)を考え、そのメカニズムを明らかにする。



上の写真は、開管の固有振動を調べているようすである。アルミ管の両側にスピーカーとマイクを設置し、スピーカーが管の固有振動数に等しい音を発すると、大きな音が発生するばかりでなく、シンクロスコープの画面に大きな振幅の美しい正弦波が現れた。

3 音波の波長および伝播速度の測定

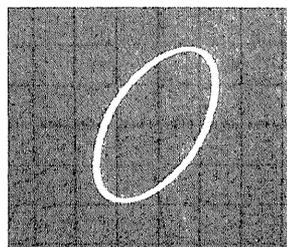
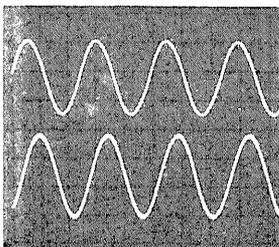
進行する可聴域の音波を使用し、発信された音波と受信された音波を2現象シンクロスコープに入力する。その位相差から音波の波長を測定し、伝播速度を求める。この実験を通して、進行波では空間的にも時間的にも位相が周期的に変化し、次々と媒質を伝わっていることを確かめた。

【実験の内容】

- ①マイクから4000Hzの音を発生させ、それを離れた位置にあるスピーカーで受信する。
- ②発信および受信の信号波形を2現象シンクロスコープで上下に並べて観察する。また、受信位置を変え、進行波の位相の変化をシンクロスコープの画面から調べる。
- ③発信および受信の電気的信号を、それぞれシンクロスコープの縦軸と横軸に入力し、リサージュ図形を描かせる。
- ④受信位置を変え、リサージュ図形の形から、同位相および逆位相の位置を調べ、音波の波長および伝播速度を算出する。



上の写真の左側が、音波の位相を調べているようすである。発信および受信の音波を2現象シンクロスコープで観察すると左下のような画面が現れた。また、X-Yモードに切り替えて観察すると右下のリサージュ図形が画面に現れた。進行波での位相の推移が理解できるとともに、同位相となる位置の差から波長を求めることができた。

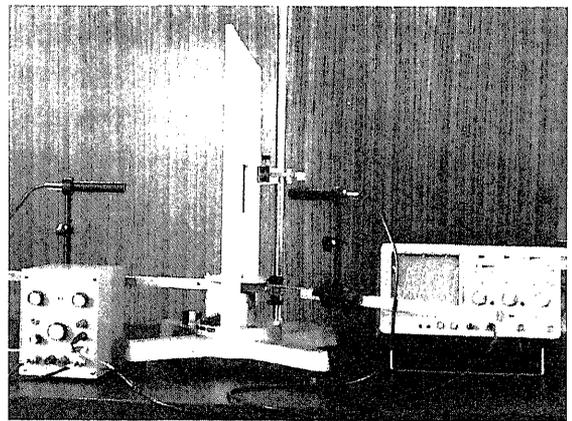


4 超音波の干渉実験と波長測定

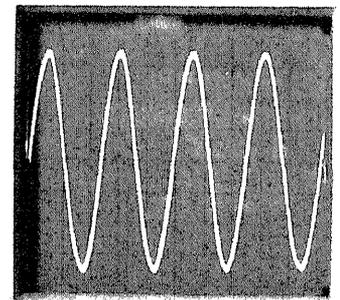
波長の極めて短い超音波(4×10^4 Hz程度)をダブルスリットに入射させ、各スリットを通った後の回折波どうしの「干渉(重ね合わせの原理)」を確認した。さらに、重ね合わさった音の強弱をシンクロスコープを使って測定し、その結果から超音波の波長を算出した。

【実験の内容】

- ①超音波の発信器および受信器を一直線上で向かい合わせ、その間にダブルスリットを置く。
- ②約 4×10^4 Hzの超音波を発信させ、受信器の位置を変えながら(角度を変えながら)、2つのスリットを通った後に合成された音の強弱を、シンクロスコープの画面で観察する。
- ③特に極大値(同位相の波が出会っている)の角度および極小値(逆位相の波が出会っている)の角度を正確に測定する。
- ④各極大値および極小値での両スリットからの距離の差を算出し、その値から超音波の波長を求める。



上の写真は、装置全体を撮影したものである。受信器のアームを回転させると、耳には聞こえないが音の強弱がシンクロスコープの画面で確認できる。2つの音波が強め合ったときには、下のような大きくて美しい正弦波がシンクロスコープの画面に現れた。弱め合うときは、振幅が小さくなるばかりでなく、同期が困難で画面に静止した波形は現れない。



5 交流における各素子のはたらきと LC 共振回路

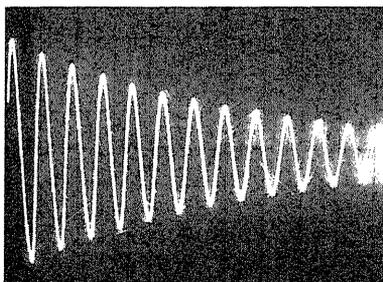
交流回路におけるコイルとコンデンサーのはたらきを実験を通して明らかにするとともに、交流理論およびエネルギー推移の観点からの考察も試みた。コイルとコンデンサーを組み合わせて LC 共振回路を組み、電気的な固有振動を定量的に確認した。さらに、この電気的振動をエネルギー推移に注目して系の固有振動として捉えた。

【実験の内容】

- ①コンデンサーと抵抗を直列に接続し、その両端に交流電圧をかける。周波数を変化させながら、流れる電流の大きさの変化や位相のずれを、2 現象シンクロスコープで分析する。
- ②コイルと抵抗を直列に接続し、その両端に交流電圧をかける。周波数を変化させながら、流れる電流の大きさの変化や位相のずれを、2 現象シンクロスコープで分析する。
- ③LC 共振回路を組み、ダイオードを介して両端に方形波の交流電圧をかけ、周期的に電源を入れたり切ったりする。そのときの両素子にかかる電圧の変化をシンクロスコープで観察し、LC 共振回路の周波数を調べる。
- ④外部から LC 共振回路に交流電圧をかけ、外部に流れる電流から LC 共振回路の応答を調べる。



上の写真は、周波数を変化させながら各素子のインピーダンスの変化を観察したり、電圧と電流の位相の差を読みとっているようすである。また、LC 回路でのシンクロの画面は右のようになった。

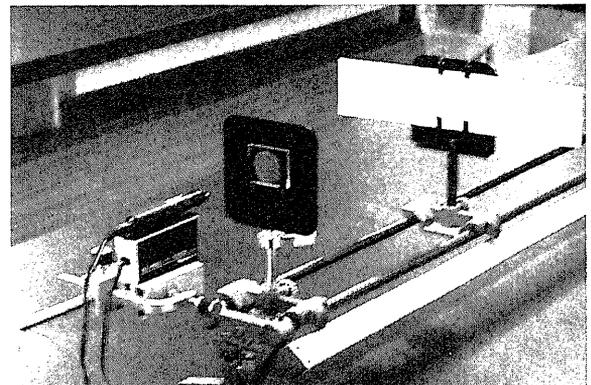


6 レーザー光の回折と干渉

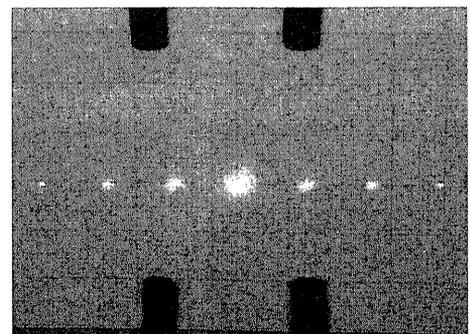
1803 年に Thomas Young は、非常に狭い穴に光を通すと鮮明な影ではなく光の帯が現れることを発見し、これを契機に光の波動説が確立していった。この実験では、グレーティング(回折格子)やスリットにレーザー光(正弦波である平面波)を入射させ、回折光の重なりによって現れる干渉縞から、光の波長およびスリット間隔や幅の測定を行った。

【実験の内容】

- ①レーザー光と平行に光学台を設置し、実験用グレーティングを透過したレーザー光がスクリーン上に描く輝点を観察する。この結果から、使用したレーザー光の波長を算出する。
- ②レーザー光と平行に光学台を設置し、ダブルスリットを通ったレーザー光がスクリーン上に描く干渉縞を観察する。この実験結果から、ダブルスリットの間隔を算出する。
- ③レーザー光と平行に光学台を設置し、シングルスリットを通ったレーザー光がスクリーン上に描く干渉縞を観察する。この実験結果から、シングルスリットの幅を算出する。



上の写真は、装置全体を撮影したものである。スクリーンにグラフ用紙を貼り、グラフ用紙上の明暗を写真に納めると分析しやすい。下の写真は、グレーティングを使用した場合のスクリーン上の輝点である。



7 CD記録面での反射光の干渉と溝の間隔測定

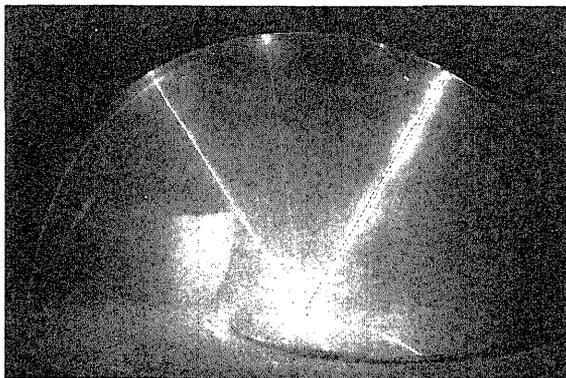
コンパクト・ディスク (CD) の記録面は虹の七色に輝いている。この秘密を探るため、レーザー光 (単色光) を CD 記録面に入射させて反射光のようすを観察し、その角度を測定した。また、実験結果から、滑らかな金属面で生じる「入射角=反射角」となる反射のようすとの違いを検討し、CD 記録面の構造を解明していた。

【実験の内容】

- ①金属板をシートの上に置き、透明半球で覆った後に、内部を線香の煙で適度に曇らせる。
- ②レーザー光をいろいろな角度で金属板表面に入射させ、反射角を測定して規則性を調べる。
- ③金属板をコンパクト・ディスク (CD) に取り替えた後、入射角 30° でレーザー光を入射させ反射光のようすを観察する。さらに、反射角をすべて測定する。
- ④実験結果から溝の間隔を算出して、CD 記録面の構造を明らかにする。
- ⑤さらに、反射の法則が成り立つ条件や CD が虹のように七色に輝く理由を明らかにする。



上の写真は、CD にレーザー光を照射しているようすである。この後、室内を暗くすると、下の写真のように反射光が数本現れる。「入射角=反射角」の既成概念が崩れるこの実験は、人気が高かった。



8 光電効果とプランク定数の測定

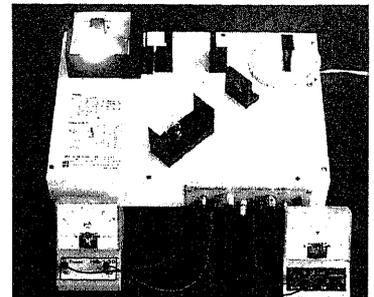
1887 年、固体に光を当てると電子が飛び出す現象 (光電効果) が発見されたが、その実験結果は光を波動として取り扱おうと説明ができないものであった。1905 年に A.Einstein が光量子仮説によって初めて説明し (1921 年ノーベル物理学賞受賞)、1916 年に R.A.Millikan が実験で検証した。今回は、光電管を使用し量子論の扉を開いたこの実験をほぼ再現するとともに、プランク定数を算出した。

【実験の内容】

- ①光源の発する白色光をグレーティングを使って単色光に分け、特定の波長の単色光のみを光電管内の金属面に照射する。
- ②金属表面から飛び出した電子の運動を阻止するために電圧をかけ、阻止電圧の大きさから飛び出した電子の運動エネルギーを求める。
- ③照射した単色光の振動数と飛び出した電子の運動エネルギー (阻止電圧) の関係を、グラフにまとめる。
- ④実験結果を示すグラフから、電子を飛び出させるのに必要な光の振動数、金属の仕事関数、プランク定数を算出する。



上の写真は、マイクロアンペア計の針の振れに注意しながら阻止電圧を読みとっているようすである。この実験の面白さは、装置そのものにあるようだ。カバーを外すと、幾何光学、回折格子、電子の運動制御等の仕組みが分かり、実験原理が自然に身に付く効果がある。

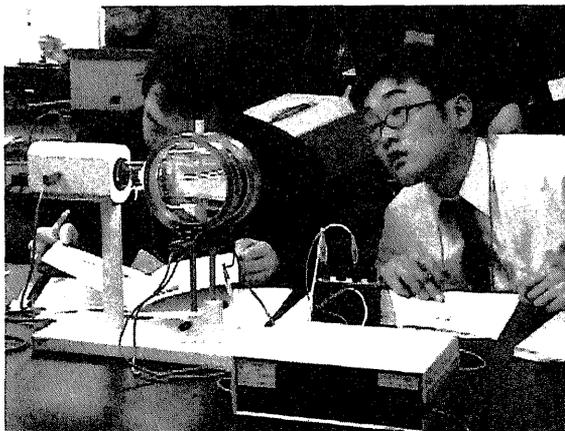


9 電子の粒子性と波動性

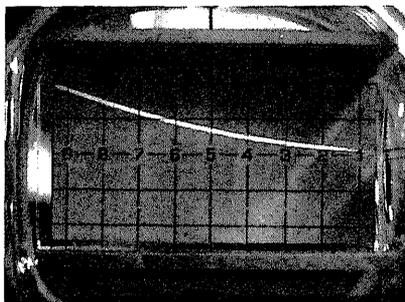
1898年にJ.J.Thomson(父)は、陰極線の正体は電子(負の電荷を持った粒子)であることを確認し、その比電荷を測定した。(1906年ノーベル物理学賞受賞) 一方、1927年にG.P.Thomson(子)らは、電子線を結晶に当てると回折が起きることから、電子が波としてふるまうことを実験的に検証した。(1937年ノーベル物理学賞受賞) 電子の二つの顔を世に示した親子の実験を参考に、電子の粒子性(比電荷の測定)と波動性(回折)を確かめる実験を試みた。

【実験の内容】

- ①ヘルムホルツ・コイルを使って一様磁界を作り、その中に加速電子を入射させる。
- ②加速電圧や磁界を変化させ、加速電子の軌道とその変化を調べる。
- ③ヘルムホルツ・コイルに流した電流値から磁束密度を算出する。
- ④加速電子の軌道の曲率半径を測定し、磁束密度の大きさから電子の比電荷を算出する。
- ⑤グラファイト・フィルムに電子ビームを照射し、後方に現れる回折像を観察する。その結果から、グラファイトの格子定数を求める。



上の写真は、電子の軌道を観察して曲率半径を求めているようすである。暗室にしなくとも、電子の軌道が鮮やかに見えるのがこの装置の特徴である。しかし、コイルの直径の小ささから判断して、一様磁界の領域は狭いと思われる。



10 発光スペクトルと水素原子のエネルギー準位

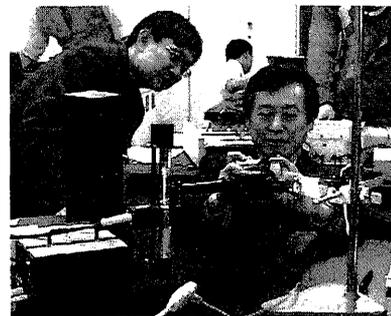
1800年代には既に、希薄な気体は高電圧をかけ放電させると発光し、そのスペクトルは太陽光のように連続的ではなく離散的であることが知られていた。1913年、Niels Bohrは水素原子の電子軌道に関して、ある条件を満たす電子は電磁波を放出することなく安定した軌道を描くこと、その安定な状態は複数存在し、その間のエネルギーの差が放出あるいは吸収される光子であるとして、水素原子の発光スペクトルを理論的に解明した。(1922年ノーベル物理学賞) この実験では、分光器を使って気体の発光スペクトルを測定し、古典物理学では理解できなかった原子の構造の解明に大きく寄与した Bohr 理論に触れた。

【実験の内容】

- ①分光器を使って、白熱灯・ヘリウム管・ネオン管の発光する光のスペクトルを観察する。
- ②バルマーランプを使って、水素原子の輝線スペクトルの波長を測定し、実験式(バルマーの式)と比較して Rydberg 定数を算出する。
- ③Bohr の量子条件およびド・ブロイの物質波の立場から、安定した電子の軌道半径および原子のエネルギー準位を理論的に求め、実験結果と比較検討する。



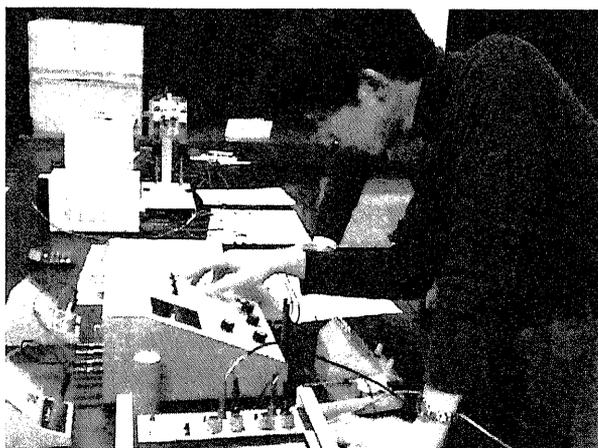
上の写真は、バルマーランプを使用して水素原子のスペクトルを調べているようすである。また、デジカメを使ってスペクトルの撮影に成功し歓声が上がる場面もあった。むしろ、携帯電話のカメラの方が撮影しやすかった。



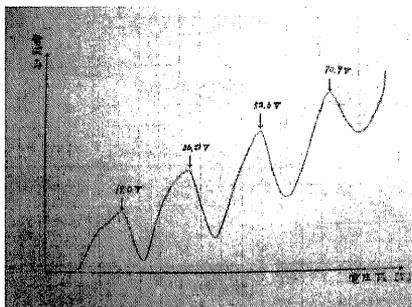
11 フランク・ヘルツの実験

実験の内容については、次頁からの「実験テキスト」で詳しく紹介する。

この実験は、生徒にとっては敷居の高い実験と言える。原子物理の分野では実験原理が高校生にとって難解であること、「箱物」(完成された実験装置を使用した実験)でブラックボックスになりやすいこと、測定中心の地味な実験であることが影響していると思われる。



しかしながら、今回の研修会では予想外に好評であった。参加されている先生方は実験原理を十分に理解しているため、同軸上に Ne ガスが発光する現象や、エネルギーの吸収と放出が X-Y レコーダーにグラフとしてあらわれることに強い関心を示していた。X-Y レコーダーのグラフは右のようになった。



4.1.5 評価

SSH でグループ別実験を開発するとき、以下の4つの観点で実験テーマを選定した。

- ①高校課程の物理で解明できる身近な物理現象
実験 (1・2・3・7)
- ②物理学史上で概念が質的に大きく転換した代表的

実験 (6・8・9・10・11)

- ③粒子概念および波動概念が確立され、ミクロな世界を対象とする物理学では不可欠な量子概念の第一歩となるような実験 (8~11)
- ④実験原理に高校課程で習う物理概念が多く登場し、実験を通して実験技術ばかりでなく理論面も大いに鍛えられる実験 (1~11)

ただし、() 内は該当する実験番号

これら観点が参加された先生方にどのように評価されるのかが、最も気になるところであった。3グループを選択する希望調査では、「5 交流回路」の実験以外はほぼ均等に選ばれた。26名の希望調査対象者のなかで、①を中心に選んだ(A~Dから3つを選択)先生方は5名、③を中心に選んだ(EとFの両方を選択)先生方は13名、またがって選んだ先生方は8名であった。現教育課程では選択とされ、今後高校生に紹介される可能性が低くなった原子物理の分野での実験に対して、多くの先生方が関心を示したことは興味深い。

今回の研修会の大きな特徴は、参加者が互いに協力して実験を行うことである。前半の2時間半は生徒の気分で実験を体験し、後半は教員の気分で体験した実験をそれ以外の参加者に演示実験として説明する方式をとった。互いに教え教えられながら、参加者全員で研修会を運営するこの方式は、同じ教員という仲間意識からか実に和やかであった。なお、研修会中およびその後の懇親会では、参加された先生方から次のような忌憚のないご意見をいただいた。

- *実験1・2・6・7は経費が易く、すぐにでも生徒実験に応用できる。
- *実験1・2・7は、「総合的学習の時間」に発展することが可能な実験である。
- *実験8~10は経費はかかるが、演示あるいは物理部などでの実験に適する。また、原子物理の実験でも興味を持たせるのは可能である。
- *どのような実験をするにしても、シンクロスコープ、発振器、スタンドや光学台は生徒実験のベースになる汎用機器である。

今回の研修会には1都9県から25名(当日欠席2名)の先生方が参加された。そのなかには4校のSSH指定校も含まれていた。多くの参加者が、各学校で開発した実験を互いに紹介し、できれば互いに体験しながら中等教育の実験を充実させる重要性を語っていた。僭越ながら、今後多くの学校でこのような研修会が開催されることを、切に願っている。

4.2 地学実験研修会

4.2.1 実験研修会の目的

2002(平成14)年度から3年間にわたるSSH研究開発において、地学分野では中学での課題研究を発展させた、高校地学Iの教材開発を行ってきた。1つは生徒が採集してきた貝化石標本をもとにしたもの、もう1つは同じく生徒が採集してきた岩石標本を切断・研磨した薄片をもとにしたものである。その内容については、2004(平成16)年度に作成、発行した「先駆的な科学者・技術者を育成するための理科実験」に紹介した。

今回の地学実験研修会では、主に前者の貝化石を使った実験を実施した。その理由は、各学校で所有・保存している標本や試料の中から、計測にむいた材料をデジタルノギスで実測し、その値がそのままコンピュータ内に入っているエクセル(表計算ソフト)の集計表のセルに入っていくという具合に、短時間に大量の計測データを処理できるので、1～2時間の授業時間内に充分終わることができるためである。とにかく、デジタルノギスがあれば、手持ちの材料とコンピュータ(Windows98とOffice97の組み合わせでも大丈夫)を使って、すぐにでも実施可能な内容になっている。特に大がかりな装置を必要としないため、どの学校でも、それぞれの先生の工夫で、別な分野でさらに楽しめる内容に発展させられることを期待する。

4.2.2 実験研修会の準備

2005(平成17)年10月に発送した、本校の教育研究会(11月25・26日)の2次案内に、今回の実験研修会の参加申込書を同封して、全国の国立大学附属高等学校と関東地方の高等学校に研修会の参加を呼びかけた。

2006(平成18)年1月末の締め切りまでに、6名の参加申込みがあった。実験内容は1～2時間で終わる内容なので、2回に分けて、同日に行われている物理分野の参加者にも、手の空いているときに参加できるように配慮した。

実験に際し、1993(平成5)年から生徒が採集してきた貝化石標本を、分類群ごとに整理して大きな箱に入れておき、地学室の各実験机に配備した。また、デジタルノギスとコンピュータのセットを8セット用意し、当日に備えた。

4.2.3 実験研修会のようす

2006(平成18)年2月23日(木)の午後に2回に分けて行った。1回目は13時～15時、2回目は15時～17時に実施し、1回目は2名、2回目は4名の教員(および本校の教員)が参加した。

実験に入る前に、今回の貝殻計測に至るまでの簡単な講義を、以下の内容で行った。

地球の歴史46億年の間に、しばしば氷河期が訪れたことが知られている。最も近い氷河期は、第四紀後半の今から70万年前から現在までの期間で、主に氷河の消長に伴う海面の変動と地殻変動により、関東地域に広大な関東平野が広がっている。温暖化に伴う氷河の縮小により海面が上昇し、様々な海生無脊椎動物の遺骸を含む海成層が堆積する。特に、関東地域の南部、神奈川県南部から千葉県、茨城県南部にかけて、温暖な間氷期に堆積した地層が広く分布している。

(表1) 下総層群層序区分

下 総 層 群	常総層	10万年前
	木下層*	
	横田層	
	清川層*	20万年前
	上泉層	
	藪層*	30万年前
	地蔵堂層	
	40万年前	

*はこれまで貝化石を採集した地層

今回の実験で使用する貝化石は、本校生徒が1993(平成5)年から昨年(2005(平成17)年)まで継続して採集したもので、産地は主に千葉県印旛郡印旛村、印西市、市原市などである。これらの千葉県北部地域には、先ほど述べた第四紀更新世後期の氷河性海面変動に伴う、海進-海退サイクルによって堆積した地層が分布し、下総層群と呼ばれている。下総層群は、表1のように区分されており、特に、12～13万年前の最終間氷期の堆積物からなる木下層は、砂の採取場などの崖によく露出し、今のところ貝化石を最も採集しやすい地層である。

次に貝類の中で最も系統的に分類されている二枚貝

類の分類方法と分類形質について説明した。

二枚貝類を貝殻の特徴で分類する場合、最も重要なのは二枚の殻がかみあう蝶番の部分、すなわち、歯の発達状態や配列状態である。他に殻の外形、大きさ、表面装飾、内面の套線など様々な分類基準がある。特に歯の形がよく似ているアカガイとタマキガイについて、くし状の歯が直線状であるか、ハの字型に分かれているかで、両者を区別できる。貝化石のほとんどは現生種なので、先に説明した貝の分類基準を参考にしつつ、図鑑を利用すればだいたい鑑定できる。

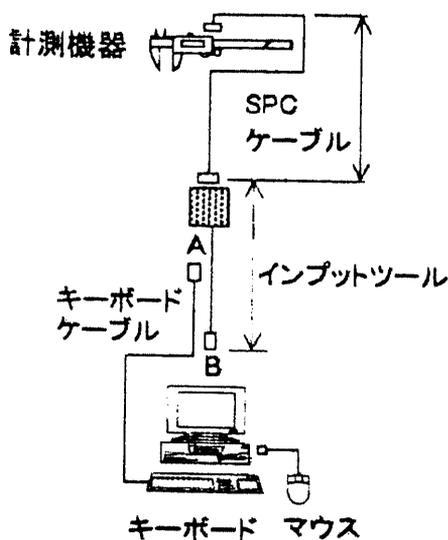
ここで、電子ノギスを使用した貝殻標本の計測に入る。実際の授業では、デジタルノギスによる計測の原理を生徒に理解させるために、アナログノギスの使い方を説明して、二枚貝の殻長、殻高、殻幅の3つを計測させることをお勧めする。

実験に使用した機器は、以下の通り。

- ミットヨ製 電子ノギス CD-20C
- インプットツール IT-005D
- コネクティングケーブル 959149
- オフィス 2000(XP)搭載パソコン一式

以下の作業手順をもとに、参加者に貝化石標本を計測してもらった。

(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)



(図1) 計測機器配線図

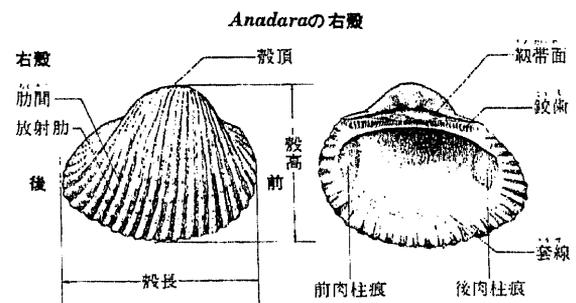
(操作 2) コンピュータを起動させ、ディスプレイ

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(貝殻測定1~5のどれか)を開く。

- ★ 注意1: このエクセルのファイルはマクロを含んでいるため、警告が出てくるので、「マクロを有効にする(E)」を左クリックで選択する。(Office97,2000の場合)
- ★ 注意2: Office XPの場合は、あらかじめマクロを組んでおく必要がある。Move Right: 計測値がセルに入ると同時にその右側のセルに移動するように組む。

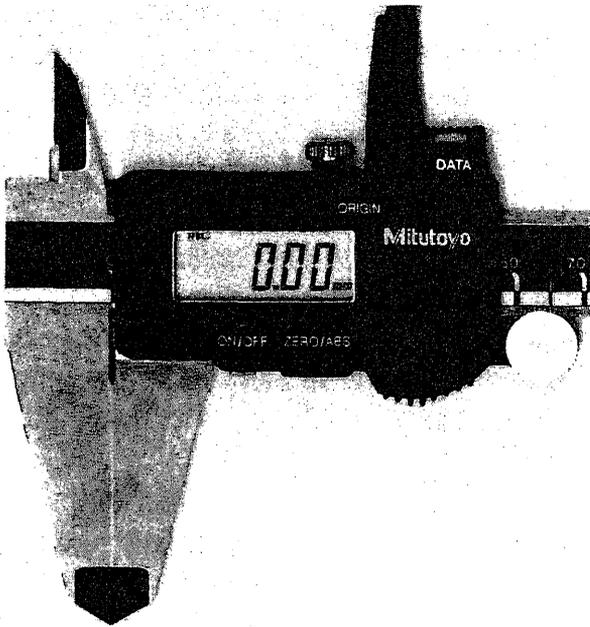
(操作 3) ディスプレー上に集計表が出てきたら、貝殻の計測を開始する。電子ノギスに貝殻標本を当てて、それぞれの貝の殻長・殻高・殻幅を計測し、その値をコンピュータに送る。

[計測部位] 《例》サルボウ



[方法]

- ① 電子ノギスのスイッチ(図2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2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。
- 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で、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。
- 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。



(図2) 電子ノギスの表示・操作部

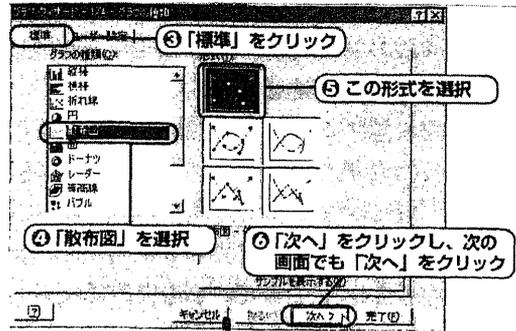
マルサルボウ			
	殻長	殻幅	殻高
	47.91	15.94	40.51
	54.94	19.67	42.1
	67.32	23.49	48.9
	58.07	22.22	43.48
	55.36	19.84	38.95
	50.39	18.31	43.48
	44.59	15.19	37.27
	53.01	18.13	41.39
	51.32	18.58	40.73

(表2) バカガイの計測値(当日の記録)

- 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。

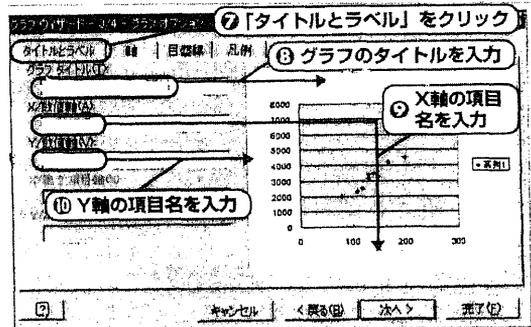
(操作 4) 貝殻の測定値の入力が終了したら、以下の手順で、データの散布図を作成する。

- ① グラフにするデータの範囲を選択する。
- ② 「グラフウィザード」のマークをクリックする。
- ③ 次の「標準」の画面を確認する。(図3)



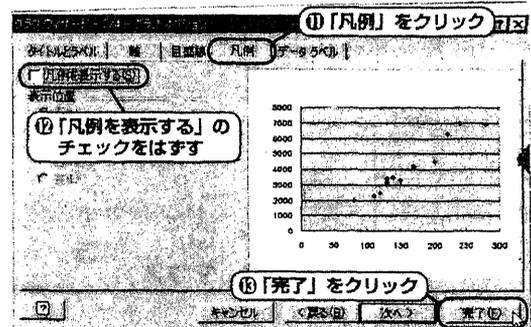
(図3) 散布図の選択

- ④ 画面左側の「グラフの種類」の中の「散布図」を選択する。
- ⑤ 画面中央の「形式」の1番上の形式を選択する。
- ⑥ 画面右下の「次へ」をクリックする。
- 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4)
- 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
- ⑨ X軸の項目名を入力する。(例)殻長
- ⑩ Y軸の項目名を入力する。(例)殻高



(図4) グラフのタイトルとラベル

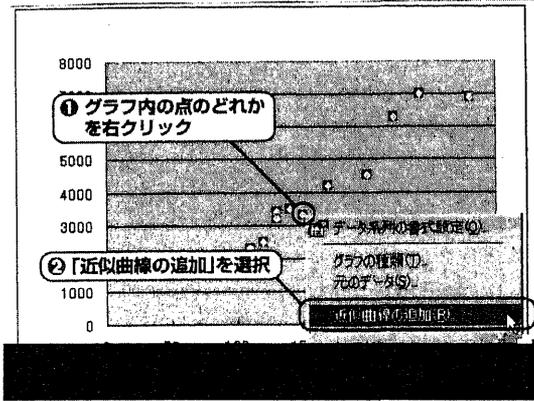
- ⑪ 画面中央の「凡例」をクリックする。(図5)
- ⑫ 「凡例を表示する」のチェックをはずす。
- ⑬ 画面右下の「完了」をクリックする。



(図5) グラフの凡例

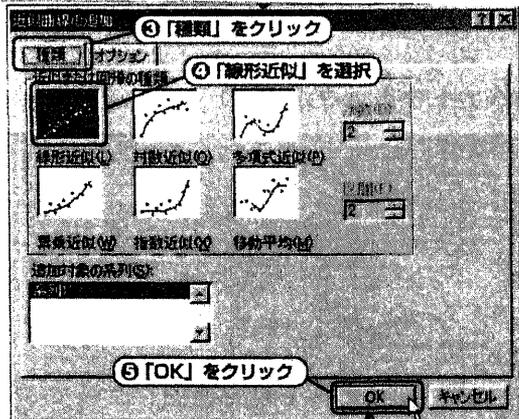
(操作 5) 散布図が完成したら、以下の手順で、グラフの点を直線に置き換える。

- ① 散布図の点の上で右クリックする。
- 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6)



(図6) 近似曲線の追加

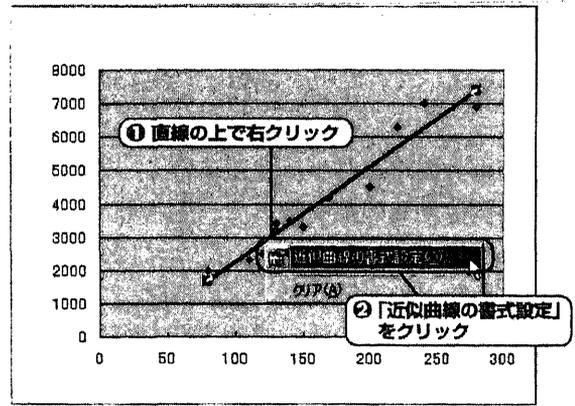
- ③ 次が「種類」の画面であることを確認する。(図7)
- ④ 「近似または回帰の種類」の欄内の「線形近似」を選択する。
- ⑤ 画面右下の「OK」をクリックする。すると、傾向を表す直線が入る。



(図7) 線形近似の選択

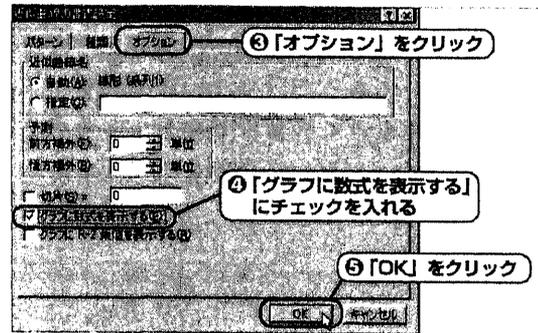
(操作 6) 散布図に直線を入れたら、以下の手順で直線を表す式を求める。

- ① 直線の上で右クリックする。(図8)
- ② 「近似曲線の書式設定」をクリックする。



(図8) 近似曲線の書式設定

- ③ 画面の上の行の「オプション」をクリックする。(図9)
- ④ 画面下方の「グラフに数式を表示する」にチェックを入れる。
- ⑤ 画面右下の「OK」をクリックする。



(図9) グラフ内の数式の表示

以上のように、相対成長のグラフを作成し、回帰直線も求める。一般に、殻長と殻高の相関性は高いが、殻幅との相関性はデータの散らばり具合からあまり高くない。

成長に関係の深い2つの変数の間の関連性を調べることで、すなわち相対成長の調査は、個体の成長の傾向を知るだけでなく、分類学、進化学、生態学的に重要な意義があるので、生物分野の見地からも実施すると良い。

また、生徒実験では、いろいろな成長段階を示す多くの個体から、平均的な成長傾向を調べる平均成長の調査方法を試み、アナログ的にグラフの縦軸と横軸に殻長、殻高、殻幅の3つのうち2つを選び、計測値をプロットして散布図を作成させる。見当をつけて引いた直線と、表計算ソフトの最小2乗法による回帰直線の方程式とを比較検討してみるのも良い。数学の統計

の授業との関連から、殻長・殻高・殻幅のうちの2つの変数を選んで相関係数を求め、相関の度合いを調べることもできる。

貝化石標本の測定が終わったら、いくつかの形質をもとに種の個体変異の幅を調べて、生物種はどのように分類されているかを確認する。たとえば、二枚貝の放射肋の本数などの形質をグラフの横軸に、個体数を縦軸に取り、それぞれの種の個体変異の幅を調べる。

形質の例として、エゾタマキガイについては放射肋の本数、歯の数、内側のひだの数、サルボウ、イタヤガイ、トウキョウホタテについては放射肋の数と頂角の大きさについてヒストグラムを作成し、それぞれの個体変異を確認させる。

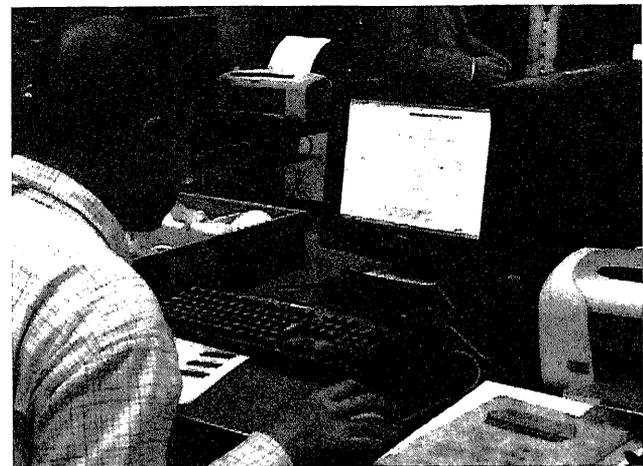
4.2.4 評価

参加者は少なかったが、概ね良い評価を受けた。デジタルノギスを使って、それぞれの先生が自分の教材や手持ちのサンプルで応用的なことができそうだ、という地学分野以外にも適用範囲が広がるような感想を頂いた。今後も、できるだけ少ない設備投資で、なるべく平易かつ応用もきく教材を開発し、より多くの先生に使って頂いて、お互いの情報を交換したい。

(実験風景1)



(実験風景2)



(測定標本：トウキョウホタテ)

