

# 遺伝子と形質発現の指導に関する実践的研究

筑波大学附属駒場中・高等学校

貝沼 喜兵

日本生物教育学会全国大会発表

## 遺伝子と形質発現の指導に関する実践的研究

1989年1月15日

筑波大学附属駒場中・高等学校

貝沼 喜兵

### 要 約

選択生物の《遺伝子と形質発現》の章の指導で、筆者は、適切な実験として形質転換が最適であると考えている。その理由は、微生物の栄養要求性変異株を用いて“DNAが遺伝子の本体である”ことを直接証明する実験であるからだ。

そこで筆者は、1988年10月～12月にかけて、高2の選択生物で実践した授業の概要を、次の点について報告する。

- (1) 枯草菌 (W23, Y12s) の遺伝形質を調べる。
- (2) 生菌 (W23) からDNAの抽出をする。
- (3) 形質転換実験。

これらの実験授業の指導の詳例と生徒実験の結果、ならびに生徒の理解度調査などを併せて報告する。

この実践指導と関連して、東京都内の高等学校における微生物の教材化についてアンケート調査を実施した。

狙いは、次の通りである。

- (1) 微生物の教材化の実態を明らかにすること。
- (2) 分子遺伝学的実験の実施状況を明らかにすること。
- (3) 分子遺伝学的実験の高校レベルにおける実施の可否についての意識調査をする、など。

これらのアンケート調査の概要についても報告する。

## 遺伝子と形質発現の指導に関する実践的研究

1989・1・15

筑波大学附属駒場中・高等学校 貝沼 喜兵

### I はじめに

現代の生物学、特に分子遺伝学の研究成果の応用技術であるバイオテクノロジーの発展は著しい。筆者は、1987年、筑波大附属駒場高校の生徒を対象に、バイオテクノロジーのどのような分野に興味と関心を持っているかをアンケート調査してみた。その結果、組換えDNA技術などに著しい関心を持っていることがわかった。

ところで、高校選択生物の《遺伝子と形質発現》ではどのような内容を指導するのであろうか。ある社の教科書の「生命の単位と連続性」の1つである《遺伝子と形質発現》は、次の4節からなっている。

- ①遺伝子の振舞い
- ②遺伝子の本体-DNA
- ③遺伝子とタンパク質の合成
- ④遺伝子と分化

このような内容、特に①～②を指導するのに適切な実験は何だろうか。一体どのような実験を導入したら生徒の理解が促進されるのだろうか。それにはいろいろな実験が考えられるであろうが、高校における実施可能性という観点から、枯草菌を用いる形質転換実験が最も適切な実験の1つではなかろうか。その根拠は、次の通りである。

- (1) DNAが遺伝子の本体であることを直接的に証明する実験であること。
- (2) 微生物の遺伝形質の1つである栄養要求変異株の特徴、野生株は最小培地(M)にコロニーを形成するが、変異株は、Mに有機物(アミノ酸、塩基、ビタミンなど)を加えた培地にコロニーを形成する突然変異株であること。
- (3) 生徒にDNA抽出の実験を経験させることができる。

筆者は、形質転換実験を生徒実験として取り上げ指導し続けて20年近くになる。今回は、1988年に、高校2年選択生物履習者に実践した概要について、その指導方法と実験の結果、および生徒のレポートの分析からみた理解度について報告する。

なお、この実践研究に関連し、形質転換、大腸菌およびバクテリオファージなどを用いた分子遺伝学的な実験の実態について、東京都内の公立私立高等学校300校を対象にアンケート調査を実施した。実施の狙いは、①形質転換などの実験が、どの程度実施されているのかを明らかにする。②実施している学校は少ないと予想されるが、生物担当教師達は形質転換などの実験に対してど

のように考えているのか。すなわち、高校レベルで必要であると考えているのか、あるいは、必要がないと考えているのかを明らかにすること。

③また、実施したいのに、実施できないとすれば、実施を妨げてい障害が何であるかを明らかにすること。

筆者は、この小論で、この2点について報告する。

## II 駒場における選択生物指導の概要

### 1 年間指導計画

1 学期～2 学期の9 月まで：生態系の構造と機能

- (1) 生態系の構造と機能（教室での講義中心）
- (2) 種構成の特徴（枠法で優占種と付随種を決める調査を含めて）
- (3) 池の生産力測定（ウィンクラ法とクロロフィル現存量測定法との併用）実験
- (4) 食物連鎖と生物濃縮（農業生態系と農薬について - 教室での講義中心）

2 学期の10 月～3 学期3 月まで：分子遺伝学的実験を中心に

- (1) 微生物の遺伝形質とその特徴（枯草菌のW23 - wild , Y12 s - mutant の遺伝的特徴を調べる実験）
- (2) 枯草菌の形質転換実験
- (3) ファージの遺伝的特徴（T<sub>4</sub>ファージの wild と r II mutant の遺伝的特徴を指示菌に対するプラークの形成の有無で調べる）
- (4) ファージの生活環（史）を調べる
- (5) 亜硝酸ナトリウム処理による突然変異株の分離
- (6) シス - トランス相補性テストによるシストロンの特徴を調べる
- (7) 三点交雑法による遺伝子地図の作成
- (8) 組換えDNA技術 - プラスミド（pBR322）を用いた
- (9) 組換えDNA技術 - pBR322にPHSG298DNAを挿入したもの

### 2 形質転換実験の指導概要

この実験は、次の3部から構成されている。

実験1：枯草菌の遺伝形質を調べる。

実験2：W23生菌からDNAの抽出。

実験3：Y12sをcpにし、W23DNAを加え、対照実験とともに選択培地で転換菌を検出する。

以下の1～3の実験について詳しい指導方法と生徒実験の結果およびその考察などについて述べる。

◎実験テーマ 1： 枯草菌の遺伝形質を調べる。

1 指導目標

- ①微生物の取り扱いの基本操作（無菌操作，培地の組成と調整法，定量の方法など）ができる。
- ②コロニーとは何か，またその遺伝的特徴について説明できる。
- ③Bacillus subtilis：W23とY12sの遺伝形質を説明できる。
- ④細菌遺伝学の歴史を三期に分け，主要な特徴を文章で説明できる。

2 予備実験

- ①W23とY12sのスラントからそれぞれL字管（Lプロス10 ml入り）に接種し，一晚37℃で培養し，これを生理食塩水で洗い，希釈倍率を変えて適当な菌数の条件を設定する。 $10^{-4}$ ～ $10^{-6}$ でコロニー数を調査し， $10^{-6}$ が適当と決定した。

3 実験準備

- ①W23とY12sの希釈液の準備（ $10^{-4}$ に希釈し，これを小試験管に分注して配布する）。
- ②最小培地（MボトムとMトップ）の調整。
- ③ロイシンとアルギニン溶液
- ④メスピペット（10ml，1.0ml，0.2ml）の準備。
- ⑤生理食塩水
- ⑥加温装置（ガスバーナー，製鉄三脚，ビーカー，温度計，マッチなど）。
- ⑦希釈用試験管2本
- ⑧教材用プリント

4 指導過程

| 段階  | 指導過程   | 生徒の学習活動  | 時間  |
|-----|--|--|-----|
| 導入  | <ul style="list-style-type: none"> <li>1 出欠点検</li> <li>2 プリント配布</li> <li>3 実験の狙いの再確認</li> <li>4 実験器具の配布</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>1 出欠点呼を受ける。</li> <li>2 プリントを受け取る。</li> <li>3 本時の学習課題を再確認する。</li> <li>4 班長の指示で，分担して実験器具を運ぶ。</li> </ul>   | 20分 |
| 展開  | <ul style="list-style-type: none"> <li>1 選択培地の調製法を指導する。生徒を教卓の側に集合させて培地調製法を演示する。その後，生徒に培地を調製させる。</li> <li>2 菌液の塗抹－塗り付け 生徒を教卓の側に集合させ，塗抹方法を演示。</li> <li>3 各班の机間巡視。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>1 教師の行う培地調製法を見て，各班に戻り，班長を中心に選択培地の調製をする（間違った方法の班は，教師の再指導を受ける）。</li> <li>2 教師の塗抹法を見た後，各班に戻り，班長を中心に菌液を希釈し，塗抹する。その後，表面を乾かし，班単位に恒温器（37℃）に入れる。</li> </ul> | 70分 |
| まとめ | <ul style="list-style-type: none"> <li>選択培地上に生じるコロニーの予想を生徒に質問する。結果の観察について指示し，レポートの課題を説明し，提出期限を知らせる。</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>教師の質問に対して答え，課題を印刷したプリントを見ながら教師の説明を聞く。結果の観察をする日時について教師の指示を受ける。また，レポートの提出期日を知る。</li> </ul>  | 20分 |

## 5 評価

- ①実験に対する取り組みとその結果から、微生物の基本的な操作法について評価する。
- ②コロニーの遺伝的特徴、ならびに、W23, Y12sの遺伝的な特徴については、生徒のレポートを見て評価する。
- ③細菌遺伝学の発展の歴史については、生徒のレポートを見て評価する。

### ◎実験テーマ 2 : W23生菌からDNAの抽出

#### 1 指導目標

- ①形質転換の中でDNA抽出実験の位置付けができる。
- ②M a r m u r法のDNA抽出原理、および、それぞれの試薬の役割が説明できる。
- ③W23生菌からDNAの抽出実験ができる。
- ④抽出実験の際、粘度の増加する理由が説明できる。

#### 2 予備実験

- ①W23生菌の準備（各班0.5gずつの生菌を準備する）。②生徒実験と同じ条件で抽出をし、確実に粗DNAが巻取れることを確認しておく。

#### 3 実験の準備（班単位に必要なもの）

- ①生菌0.5g（共栓付き試験管に入れたもの） ②試薬（リゾチーム10mg, 25% S L S）
- ③N a C l O<sub>4</sub> ④C H C l<sub>3</sub> ⑤1/10 S S C ⑥10 S S C ⑦透析チューブ
- ⑧透析外液（S S C）⑨加温装置 ⑩ガラス棒 ⑪冷エタノール ⑫三角フラスコ
- ⑬マジック ⑭s a l i n e EDTA10ml ⑮教材用プリント

#### 4 指導過程

| 段階  | 指導過程   | 生徒の学習活動  | 時間  |
|-----|--|--|-----|
| 導入  | <ol style="list-style-type: none"> <li>1 出欠点検</li> <li>2 プリント配布</li> <li>3 実験の狙いの再確認</li> <li>4 実験器具の配布</li> </ol>   | <ol style="list-style-type: none"> <li>1 出欠点呼を受ける。</li> <li>2 プリントを受け取る。</li> <li>3 本時の学習課題を再確認する。</li> <li>4 班長の指示で分担して実験器具を運ぶ。</li> </ol>  | 15分 |
| 展開  | <ol style="list-style-type: none"> <li>1 37℃の温湯を準備させる。</li> <li>2 リゾチームを処理させる。この処理の途中に粘度と透明度の変化を注意深く観察させる。この30分の間、DNA抽出の原理について説明する。</li> <li>3 25% S L S 処理 (65℃以上に高くしない)</li> <li>4 <math>\text{NaClO}_4</math> とクロロフォルムを加えさせる。</li> <li>5 遠心分離</li> <li>6 水層を分離し、エタノール沈澱させ、ガラス棒で粗DNAの巻取り。</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1 100℃の湯を受取り、水で薄めて37℃の温湯を準備する。</li> <li>2 生菌0.5gをsaline EDTAに溶かし、リゾチームを加え、37℃で30分溶菌をする。粘度と透明度の変化を記録する。粘度と透明度の変化を観察しながら教師の説明を聞く。</li> <li>3 25% S L S 処理を60℃で行なう。透明になるまで処理を続ける (温度に注意)。</li> <li>4 <math>\text{NaClO}_4</math> とクロロフォルムを加え、5分間軽く振る (激しく振らない)。</li> <li>5 班単位に遠沈管を受取り、乳白色の溶液を遠心分離する (三層に分離)。</li> <li>6 水層を駒込ピペットで吸い取り、三角フラスコに取り、冷エタノールを加え、粗DNAの繊維をガラス棒で巻取る。</li> </ol> | 85分 |
| 閉   | <ol style="list-style-type: none"> <li>7 S S C に溶解させる。</li> <li>8 透析：透析チューブの取扱に付いて演示する。</li> <li>9 後片付けを指示する。</li> </ol>   | <ol style="list-style-type: none"> <li>7 ガラス棒の粗繊維を、1/10 S S C で膨潤させる。次に10 S S C で溶解させる。</li> <li>8 教師の演示を見て、透析チューブを作り、透析外液に入れ、透析する。</li> <li>9 班長の指示で実験器具の後片付け。</li> </ol>   |     |
| まとめ | <p>透析処理後のDNAの扱いに付いて、形質転換実験との関連で説明する。<br/>レポートの課題と提出締切に付いて連絡し授業を終了する。</p>   | <p>形質転換実験で、具体的にDNAをどう取り扱うかを理解する。<br/>レポートの課題と提出期日について了解する。</p>   | 10分 |

#### 5 評価

- ① DNA抽出の原理・方法の理解に付いては、生徒のレポートと実験に対する取り組みなどで評価する。
- ② 抽出に用いた試薬の役割の理解に付いては、生徒のレポートで評価する。
- ③ 形質転換実験に於けるDNA抽出の位置付け役割に付いては、生徒のレポートなどで評価する。
- ④ 実験に対する生徒の熱意・意欲などで実験に対する関心の度合を評価する。

#### 実験テーマ 3：形質転換実験

##### 1 指導目標

- ① 形質転換実験の原理・方法が説明できる。

②DNAが遺伝子の本体であることを実験で証明できる。

③形質転換の分子的機構について説明できる。

## 2 予備実験

予め、前培養、C I～C II培地でY12sを培養して、生徒実験と同じ条件で確実に転換菌が生じることを確認しておく。

## 3 実験準備

①1時20分にc p Y12sを試験管に分注して、生徒への配布ができるようする。②DNAの調整と配布（小試験管に分注して）③メスピペット（10ml：2本，1.0ml：2本，0.2ml：12本）

④加温装置 ⑤シャーレ20枚 ⑥アミノ酸（ロイシン，アルギニン） ⑦Mボトム ⑧Mトップ ⑨マジック ⑩教材用プリント

## 4 指導過程

| 段階  | 指導過程   | 生徒の学習活   | 時間  |
|-----|--|--|-----|
| 導入  | 1 出欠点検<br>2 プリント配布<br>3 実験の狙いの再確認<br>4 実験器具の配布   | 1 出欠点呼を受ける。<br>2 プリントを受け取る。<br>3 本時の学習課題を再確認する。<br>4 班長の指示で分担して実験器具を運ぶ。  | 10分 |
| 展開  | 1 c p Y12S，2本に記号を付けDNA処理をさせる。この60分間を利用して、選択培地の調整と、この後の実験操作の説明をする。<br>2 選択培地にI～IIIなどの記号を付けさせる。<br>3 I～IIIの菌液を培地に塗抹させる。実験操作に誤りがないかどうか、各班の机間巡視をする。<br>4 実験器具の後片付けを指示する。 | 1 c p Y12s：2本に記号I，IIIをつけIにDNAを加え，37℃で60分保温する。その後，シャーレ20枚の選択培地の調整をする。選択培地にどのようにI～IIIの菌液を塗抹するかについての教師の説明を聞く。<br>2 選択培地に記号を付ける。<br>3 班長を中心にI～IIIの菌液を培地に塗抹する。誤った方法の班は，教師の再指導を受ける。塗抹が終わったら，表面を乾燥させて班単位に恒温器(37℃)に入れる。<br>4 作業が終わった班から実験の後片付けをする。 | 90分 |
| まとめ | 実験結果の観察・測定時間を指定し，全員が出席し，測定するように指示する。レポートの課題と提出期限を連絡し授業を終了する。   | 土曜の放課後，12時30分生物実験室で結果の観察・測定をするようにとの教師の指示を聞く。レポートの課題と提出期日についての教師の指示を聞く。   | 10分 |

## 5 評価

①実験の原理・方法の理解については，実験に対する生徒の取り組みの態度などで評価する。

②実験結果で生徒の実験技術の程度を評価する。

③生徒のレポートで実験の原理・方法の理解度を評価する。

④形質転換の分子的機能は，生徒のレポートで評価する。

### 3 形質転換生徒実験の結果

(1) 枯草菌の遺伝形質を調べる。

Table 1 枯草菌の遺伝形質  
( $10^{-6}$ に希釈したもの, 0.1ml中のコロニー数)

| 班 |     | M     | Leu <sup>-</sup> | Arg <sup>-</sup> | All   | cells/ml          |
|---|-----|-------|------------------|------------------|-------|-------------------|
| 1 | W23 | 5 6   | 11 11            | 4 3              | 13 8  | $7.5 \times 10^7$ |
|   | Y12 | 0 3   | 0 3              | 0 3              | 13 33 | $2.3 \times 10^8$ |
| 2 | W23 | 1 10  | 14 17            | 4 7              | 10 18 | $1.0 \times 10^8$ |
|   | Y12 | 0 0   | 0 0              | 0 0              | 25 31 | $2.8 \times 10^8$ |
| 3 | W23 | 12 14 | 19 19            | 4 12             | 8 12  | $1.3 \times 10^8$ |
|   | Y12 | 0 1   | 0 0              | 0 0              | 24 37 | $3.1 \times 10^8$ |
| 4 | W23 | 0 1   | 2 0              | 0 1              | 1 1   | $5.0 \times 10^8$ |
|   | Y12 | 0 0   | 0 0              | 0 0              | 2 2   | $2.0 \times 10^7$ |
| 5 | W23 | 5 11  | 5 9              | 0 3              | 0 3   | $4.5 \times 10^7$ |
|   | Y12 | 0 0   | 0 0              | 0 0              | 27 28 | $2.8 \times 10^8$ |
| 6 | W23 | 7 14  | 4 9              | 3 6              | 8 8   | $7.4 \times 10^7$ |
|   | Y12 | 0 0   | 0 0              | 0 0              | 7 26  | $1.7 \times 10^8$ |

Table 2 形質転換実験の結果

| 培地 |     | Leu <sup>-</sup> |           | Arg <sup>-</sup> |           | All (総菌数) |           |           |           | 転換率                   |                  |    |    |                      |
|----|-----|------------------|-----------|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------------------|------------------|----|----|----------------------|
| 班  | ※   | $10^{-1}$        | $10^{-2}$ | $10^{-1}$        | $10^{-2}$ | $10^{-1}$ | $10^{-2}$ | $10^{-1}$ | $10^{-2}$ | Leu <sup>-</sup>      | Arg <sup>-</sup> |    |    |                      |
| 1  | I   | 1656             | 2622      | 670              | 616       | 3208      | 3728      | 246       | 479       | 56                    | 33               | 1  | 1  | $1.4 \times 10^{-2}$ |
|    | II  | 0                | 0         |                  |           | 0         | 0         |           |           |                       |                  |    |    |                      |
|    | III | 0                | 0         | ※ <sub>2</sub>   |           | 0         | 0         |           |           | ( $4.5 \times 10^7$ ) |                  |    |    | $0.8 \times 10^{-2}$ |
| 2  | I   | 1440             | ★         | 320              | ★         | 1412      | 4112      | 1048      | ★         | 100                   | 181              | 10 | 18 | $1.7 \times 10^{-3}$ |
|    | II  | 0                | 0         |                  |           | 0         | 0         |           |           |                       |                  |    |    |                      |
|    | III | 0                | 2         |                  |           | 0         | 0         |           |           | ( $1.4 \times 10^8$ ) |                  |    |    | $3.8 \times 10^{-3}$ |
| 3  | I   | 3200             | 2960      | 304              | 516       | 700       | 1056      | 320       | 392       | 56                    | 76               | 3  | 6  | $9.0 \times 10^{-3}$ |
|    | II  | 0                | 0         |                  |           | 0         | 0         |           |           |                       |                  |    |    |                      |
|    | III | 0                | 0         |                  |           | 0         | 0         |           |           | ( $4.5 \times 10^7$ ) |                  |    |    | $8.0 \times 10^{-3}$ |
| 4  | I   | 2051             | 3232      | 612              | 722       | 9800      | 720       | 904       | 950       | 200                   | 236              | 24 | 31 | $2.7 \times 10^{-3}$ |
|    | II  | 0                | 0         |                  |           | 0         | 0         |           |           |                       |                  |    |    |                      |
|    | III | 0                | 0         |                  |           | 0         | 0         |           |           | ( $2.2 \times 10^8$ ) |                  |    |    | $3.6 \times 10^{-3}$ |
| 5  | I   | 2216             | 1784      | 688              | 648       | 1949      | 864       | 756       | 416       | 265                   | 91               | 8  | 11 | $4.2 \times 10^{-3}$ |
|    | II  | 0                | 0         |                  |           | 0         | 0         |           |           |                       |                  |    |    |                      |
|    | III | 0                | 0         |                  |           | 0         | 0         |           |           | ( $1.6 \times 10^8$ ) |                  |    |    | $1.1 \times 10^{-3}$ |
| 6  | I   | 536              | 244       | 652              | 316       | 356       | 200       | 368       | 341       | 91                    | 105              | 66 | 52 | $1.4 \times 10^{-3}$ |
|    | II  | 0                | 0         |                  |           | 0         | 0         |           |           |                       |                  |    |    |                      |
|    | III | 0                | 0         |                  |           | 0         | 0         |           |           | ( $3.4 \times 10^8$ ) |                  |    |    | $1.1 \times 10^{-3}$ |

※: I : c p Y12s + W23DNA

★マロニー数が多く測定不能

II : W23DNA only

III : c p Y12s only

※<sub>2</sub> : II, IIIの $10^{-2}$ は, 調整しなかった。

#### 4 生徒の理解度の調査

実験に対する生徒の理解度は、次の3点から評価した。

- (1) 生徒実験の結果
- (2) 実験に対する取り組み
- (3) 課題に対する生徒のレポートの評価

##### (1) 生徒実験の結果

生徒実験として実施した3つの実験は、いずれも予期どおりの結果を納め、成功した。特に、形質転換は、高い転換率を得た (Table 1～2 参照)。この結果は、生徒の理解度の高いことを反映している。

##### (2) 実験に対する取り組み

生徒は、形質転換に対してきわめて意欲的に取り組んだ。ここに若干の生徒のレポートの感想を引用してみる。

◇感想1 (A君) : これまで我々は、DNAに関する実験を4回やってきたわけだが、はじめ3回は、アベリーらがやった形質転換の実験であり、最後の1回は、シャルガフがやったDNAの塩基分析の実験である。

つまり Watoson と Crick の二重らせん構造を解明するために関係した三大研のうち、2つまでを我々はやったのである。この一連の実験によって我々は、DNAの構造・複製・タンパク合成についての知識を得ることができました。なかなかハードな実験ではあったが有意義な実験であったと思う。

◇感想2 (B君) : 2学期は、「遺伝とDNA」についてそれを目標として全ての実習が進んできた。レポートを書いて分かったことだが、僕たちのやった実習は、すべて時代を追って進んでおり、分子遺伝学の重要な実験の追体験をしていたのだ。そんなことを凄く嬉しく思った。

DNAの二重らせんモデルには感動した。とにかく凄いとしか言いようがない。それを見つけた Watoson と Crick も凄いが、それ自身の生命の神秘の方がよっぽど凄い。

ところで毎度のことだが、レポートを書くのに苦労した。特に今回は、下調べを入念にして本を読みまくった。その代わりDNAによる形質の発現などは、時間に迫られ思いどおりに書けなくて残念だ。3学期も一生懸命にやりたいと思いますので宜しくお願いします。

◇感想3 (C君) : 「DNAを扱う」ことは、生物の神秘の迫って行くことだ。僕は、この長い実験の間それによる興奮にとりつかれてきた。DNA抽出作業で、白いナヨナヨした頼りのない塊をガラス棒の先に凝視した時には、「生物という高度の物体がこんなものに牛耳られているのか」と、妙な気分を味わったが、それほどのちっぽけな白いもの“DNA”複雑な機能を持つ生物を生物たらしめているという事実は、もの凄いことである。

このDNAなどの遺伝や、細胞の現状には、まだ知られざる部分が数多い。生物学の真髓が

どこまで究明されて行くか、興味は限りなくのびる。

◇感想4 (D君) : ……しかし、また4つの実験を1つにまとめて1つに体系づけたのは、とても良いことだと思った。1つ1つ実験が終わるごとにそれについての課題レポートもやってきたが、それは、結局断片的なものにすぎず、全体的に見てどういう意味を持つことなのかは、今1つははっきりしていなかった。しかしこうやってまとめて、1つのきれいな流れにそってすすめられ、それは、20世紀前半における生物学の歴史を、一括してたどっているのだと思う。多少わくわくするものでもあった。多少疲れたが、充分意義のあることである。……

これらの感想を読むと、生徒達の、“DNAの働きを直接実験で調べるのだ”という意気込みが、直に伝わってくるような感じがする。

### (3) 課題に対する生徒のレポートの評価

それぞれの実験で筆者は、生徒に次のような課題を出し、レポートを書かせた。

#### ◎枯草菌の遺伝形質を調べる。

- ① Table 1 に測定したコロニー数を記入せよ。
- ② W23 と Y12 s 原液の菌数 (cells/ml) を算出せよ。
- ③ B,subtilis : W23 と Y12 s の遺伝形質はどのように表現されるか。
- ④ コロニーとは何か、遺伝的にはどのように考えたらよいか。
- ⑤ 細菌遺伝学の歴史を3期に分け、それぞれの特徴を簡潔に記せ

#### ◎W23生菌からDNAの抽出

- ① 実験に用いた試薬の組成とその役割をまとめよ。(Saline EDTA, リゾチーム, 25% S L S,  $\text{NaClO}_4$ , クロロフォルム, 1/10 S S C, 10 S S C)
- ② リゾチームで30分間保温すると粘度と透明度はどのように変化するか。また、それはどのように説明されるか。
- ③ 25% S L S 処理で、高温にしない理由は何か。
- ④ Marmur 法でDNAが抽出できる理由は何か。
- ⑤ 形質転換の実験原理は何か。

#### ◎形質転換実験

- ⑥ コロニーを測定し、転換率を求めよ。
- ⑦ 実験結果を考察せよ。
- ⑧ c p とは何か、どのような生理的状态なのか説明せよ。また、枯草菌の他にどのような菌が c p になるか。
- ⑨ この実験で I ~ III の実験区をもうけた理由は何か。
- ⑩ 形質転換の分子の機構は何か (予め資料として配布した教材プリントにあるもの)。
- ⑪ この実験で遺伝子の本体がDNAであると証明できるか。その根拠を述べよ。

これらの課題について (枯草菌の遺伝形質を除いて) 生徒1人1人について、5 ~ 1 の5段

階評価（5 - 秀，1 - 不可）したのが次の表である。ただし，縦は生徒番号（3 - 4 ~ 41，42 ~ 39）で，横の① ~ ⑪は，レポートの課題番号である。

Table 3 レポートの課題の評価（3組）

| 生徒  | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ | ⑥ | ⑦ | ⑧ | ⑨ | ⑩ | ⑪ |
|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3-4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 | 5 | 5 | 5 |
| 5   | 4 | 5 | 3 | 5 | 3 | 5 | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| 6   | 4 | 4 | 4 | 5 | 3 | 5 | 3 | 5 | 4 | 5 | 4 |
| 9   | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 | 5 | 5 | 3 | 4 |
| 12  | 4 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 13  | 4 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 | 3 | 4 | 5 | 3 | 5 |
| 14  | 4 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 | 3 | 4 | 5 | 3 | 5 |
| 16  | 3 | 3 | 3 | 4 | 1 | 5 | 3 | 5 | 4 | 4 | 5 |
| 17  | 4 | 5 | 4 | 3 | 4 | 4 | 4 | 5 | 5 | 4 | 5 |
| 18  | 5 | 5 | 4 | 5 | 4 | 4 | 4 | 5 | 4 | 4 | 4 |
| 19  | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 | 4 | 5 | 5 | 4 | 3 |
| 21  | 5 | 3 | 3 | 5 | 4 | 4 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 23  | 3 | 4 | 4 | 5 | 4 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 5 |
| 24  | 4 | 5 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 5 | 5 | 4 | 3 |
| 25  | 4 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 5 | 5 | 4 | 3 | 5 |
| 31  | 4 | 4 | 4 | 5 | 4 | 4 | 3 | 5 | 4 | 3 | 5 |
| 34  | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 4 | 4 | 4 | 5 | 4 | 4 |
| 40  | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 41  | 4 | 4 | 4 | 5 | 5 | 4 | 3 | 3 | 3 | 4 | 4 |

Table 3 レポートの課題の評価（4組）

| 生徒  | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ | ⑥ | ⑦ | ⑧ | ⑨ | ⑩ | ⑪ |
|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4-2 | 4 | 3 | 3 | 4 | 4 | 5 | 4 | 5 | 3 | 5 | 3 |
| 3   | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 | 5 | 3 | 5 | 5 | 3 | 5 |
| 4   | 4 | 5 | 3 | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 | 3 | 3 | 5 |
| 5   | 4 | 5 | 3 | 4 | 3 | 5 | 3 | 5 | 5 | 4 | 5 |
| 8   | 3 | 5 | 4 | 3 | 1 | 5 | 3 | 5 | 5 | 4 | 4 |
| 13  | 5 | 4 | 5 | 3 | 4 | 5 | 4 | 5 | 5 | 4 | 3 |
| 14  | 3 | 4 | 4 | 4 | 5 | 5 | 3 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 16  | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 20  | 5 | 5 | 4 | 4 | 4 | 5 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 21  | 5 | 4 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 22  | 3 | 4 | 3 | 4 | 4 | 4 | 2 | 3 | 3 | 4 | 3 |
| 24  | 4 | 4 | 3 | 4 | 5 | 5 | 3 | 5 | 5 | 4 | 4 |
| 25  | 4 | 5 | 5 | 4 | 3 | 4 | 4 | 5 | 5 | 4 | 5 |
| 26  | 4 | 2 | 2 | 4 | 4 | 4 | 4 | 5 | 4 | 4 | 4 |
| 27  | 4 | 3 | 3 | 5 | 4 | 4 | 3 | 3 | 5 | 4 | 4 |
| 34  | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 3 | 3 | 4 | 4 | 3 |
| 35  | 4 | 5 | 3 | 3 | 3 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 |
| 36  | 5 | 5 | 3 | 3 | 3 | 4 | 3 | 5 | 4 | 3 | 5 |
| 38  | 4 | 5 | 3 | 3 | 4 | 5 | 1 | 5 | 4 | 3 | 4 |
| 39  | 4 | 5 | 4 | 4 | 5 | 5 | 2 | 3 | 4 | 3 | 4 |

### Ⅲ 実践指導についての考察

この研究は，選択生物の《遺伝子と形質発現》の章を指導するのにより適切な実験は何かという課題追求の1つとして実施したものである。従って次の点を十分に考慮されねばならない。

- 1 章のテーマにふさわしい実験であること。
- 2 高校で実施可能な実験であること。
- 3 高校生の理解可能な実験であること。

#### 1 章のテーマにふさわしい実験であること。

教科書における《遺伝子と形質発現》の節の項目は先に述べた通りである。その内容の前半部分は，アベリーらの肺炎双球菌を用いた形質転換実験の概要を説明した後，ハーシーとチェース

のフェージを用いた実験を取り上げて、『DNAが遺伝子の本体である』ことを証明した実験例として説明している。そしてDNAの複製の仕組み、形質発現であるタンパク質合成という構成になっている。

ところで、アベリーらの実験を、高校の現場で実施できるだろうか。これは無理である。まず、肺炎双球菌は、病原菌であり、形質の確認にハツカネズミの病死を見る必要がある。そして、この実験の転換率は低い。今では、この実験は歴史的産物になってしまった。現代の分子遺伝学では、形質転換の実験系の中心は枯草菌である。この系は、遺伝形質として栄養要求性変異株を用いており、転換率は極めて高い。ここで紹介したように高校生でも実験可能であり、たいへん理解し易い実験系でもある。

## 2 高校で実施可能な実験であること。

この種の実験を実施するには、次の設備・器具が必要である。

- ①オートクレーブ ②恒温器 ③遠心分離機 (4,000 r p mで可能) ④シャーレ相当数
- ⑤メスピペット (10 ml, 1.0 ml, 0.2 mlそれぞれ相当数)

このような設備・器具などは、一般の高校で設備するのに困難なものであるとは考えられない。ただ、筆者の紹介した実験をそっくりそのまま実施するには、シャーレとメスピペットを相当数購入する必要がある。

この種の実験は、段階的に実施するのが望ましい。例えば、クラブ実験、教師の演示実験、そして生徒実験へと発展的に実施するのも一例であろう。

## 3 高校生の理解可能な実験であること。

次の3点を考慮すると、どの高校で実施した場合でも、教科書で説明するよりは生徒の理解は、高まるであろう。

- (1) 微生物の遺伝的特徴を明確にしていること。

栄養要求性変異株として、野生型 (W23) は最小培地にコロニーを形成するが、Y12sは、ロイシン、アルギニン要求型で、遺伝的に「Leu<sup>-</sup> Arg<sup>-</sup>」であることを確かめる。

- (2) W23生菌から直接DNAの抽出実験を経験し、その感激を体験させることができる。
- (3) 形質転換実験で、Y12sにW23DNAを加え、対照実験区と比較してDNAが遺伝子の本体とするのに、あまり高校生の抵抗はないと考えられる。高校の教科書の範囲を少し越えるならば、DNAの組換えの分子の機構を指導すると、一層理解が促進されるであろう。

また、ここで報告したように、生徒のレポートの評価から見ても分かるように理解度は、実験を実施し、それに対する課題であると、生徒の関心も興味も高く、理解の程度は極めて高いとすることができる。

ただ、今回の実験結果で問題なのは、対照実験区の設定である。当初の予定は、次の通りであった。

I : c p Y12s + W23DNA

II : c p Y12s + D N a s e 処理 W23DNA

III : c p Y12s + R N a s e 処理 W23DNA

IV : W23DNA o n l y

V : c p Y12s o n l y

このように出来なかった理由は、予備実験の結果、D N a s e が失活しており、新たに試薬を注文すると生徒実験に間に合わなくなるからやむを得ず実施したものである。

上記の対照実験区は、例年行なっているものである。

なお、これらの生徒実験は、特別な設備のない（クリーンベンチなど）生物実験室で実施したものである。一般の高校の生物実験室で、何時でも実施可能な実験である。

#### IV 高校生物における微生物教材化の実態について

##### 1 アンケート調査のねらい

筆者は、形質転換、ファージを用いた遺伝子地図作成、および、プラスミド（pBR322）を用いた組換えDNA技術などを選択生物の生徒実験として導入し、その実践を報告してきた。その中で、微生物の教材化が、選択生物の《遺伝子と形質発現》に優れた教材であること、またその実験を指導するのに既存の設備でも実施可能であることなどを明らかにしてきた。

しかし、形質転換実験を授業に導入して成果を挙げているという報告を受けたのは極少数である。

そこで、次の諸点を全都的に明らかにしようと考えアンケート調査を実施した。

- (1) 微生物を用いた実験にはどのようなものがあり、どの程度授業に導入されているか。
- (2) 大腸菌を用いたトランスフォーム、枯草菌の形質転換、ファージを用いた遺伝の実験など、いわゆる分子遺伝学的実験実施の実態はどのような状態か。
- (3) 分子遺伝学、とりわけ形質転換などの実験に対して現場の教師は、必要があると考えているのか、それとも高校レベルでは、不用であると考えているのかを明らかにする。
- (4) 必要があると考えている現場の教師で、教材化を妨げている理由として何を考えているのか。
- (5) 高校レベルで不用であると考えている現場の教師は、また、何を論拠にしているかなどを明らかにすること。

##### 2 アンケート調査の結果

結果の報告に代えてアンケート調査の全文と、それぞれに対する結果をこの小論の巻末に全部収録した。

##### 3 アンケート調査の分析

- (1) 導入されている実験の概要（数値は、106校に対する回答数の比率である）

設問1、で生徒実験、あるいは演示実験として実施したことのある実験を聞いた。数値の高い順に上げてみる。

ゾウリムシ・アメーバなどの観察：51.9 酵母を用いたアルコール発酵：50.9 カビ類の観察：14.2 その他：13.2（その内容は、いろいろである。例えば、粘菌の観察，発光バクテリアの発光の観察，光合成細菌の色素観察，納豆菌の観察など） 根粒細菌の観察：6.6 酵母類でコハク酸脱水酵素のはたらきを調べる 乳酸菌を用いた乳酸発酵：1.9 無回答：26.4

## (2) 分子遺伝学的実験概要

分子遺伝学実験としてアカパンカビ，大腸菌，ファージなどをあげて聞いてみた。

設問2，アカパンカビの実験の有無

①ある：2.8 ②ないが出来たらやりたいと考えている：40.6 ③今のところその計画はない：54.7

設問3，どの様な実験が実施されているか

アカパンカビの遺伝形質を調べる：3.8 一遺伝子，一酵素説を調べる：0.9  
その他でアカパンカビの培養があった。

設問5，大腸菌を用いた実験の有無。

①ある：11.3 ②ないが出来たらやりたいと考えている：34.9 ③今のところその計画はない：50.9

設問6，どの様な実験が実施されているか。

大腸菌の遺伝形質を調べる：1.9 生菌からDNAの抽出：2.8 形質転換：1.9  
プラスミドに関するもの：1.9 組替えDNA技術：0.9

設問8，枯草菌を用いた実験の有無。

①ある：11.3 ②ないが出来たらやりたいと考えている：17.0 ③今のところその計画はない：68.9

設問10，どの様な実験が実施されているか。

枯草菌の遺伝形質を調べる：1.9 枯草菌からDNAの抽出：2.8 その他として：分離・培養・染色観察・消化酵素の働きを調べるなど多様であった。

設問11，ファージを用いた実験の有無。

①ある：1.9 ②ないが出来たらやりたいと考えている：34.9 ③今のところその計画はない：60.4

設問12，どの様な実験が実施されているか。

ファージの遺伝形質を調べる：1.9 ファージによる組替えDNA技術：0.9

この調査結果で分かるように，分子遺伝学的実験の実施はきわめて低い。

ここで，分子遺伝学的実験に対する先生方の関心の度合を見るため，次の表1のような比較をして見た。

表1 分子遺伝学的実験の実施概要

|        | ①ある  | ②無いがやりたい | ③計画なし |
|--------|------|----------|-------|
| アカバシカビ | 2.8  | 40.6     | 54.7  |
| 大腸菌    | 11.3 | 34.9     | 50.9  |
| 枯草菌    | 11.3 | 17.0     | 68.9  |
| フェージ   | 1.9  | 34.9     | 60.4  |

このように、表1で比較してみると、①と②の合計より、③の方が割合が高いことが分かる。しかし、関心が無いわけではない。

どんな関心があるかを知るために、次の設問をした。

「②ないが出来たらやりたい」実験としてどのような実験を考えているかを調査結果からみてみよう。主なものを上げて見る。

◎アカバシカビ；一遺伝子一酵素素説：21.7 遺伝形質を調べる：17.0

◎大腸菌；形質転換：13.4 遺伝形質を調べる：9.4 プラスミド：8.5

◎枯草菌；形質転換：10.4 DNAの抽出：10.4 遺伝形質を調べる：7.5

◎フェージ；遺伝形質を調べる：18.9 フェージの生活環：14.2

この結果を概観すると、形質転換、遺伝形質を調べる実験、DNAの抽出実験などに人気があることが分かる。

同じ内容の設問であるが、もし可能性があるならば、生徒実験として導入したい実験、あるいはやりたい実験が何かを聞いてみた。

設問17で、「先生の学校で微生物を用いた生徒実験として実施したいと考えている実験は何ですか。」として必要度の高い順番を聞いてみた。

高い順番にあげてみる。先の人気のある実験との関連性が高いことが分かる。

1位：微生物の遺伝形質を調べる；22.6

2位：形質転換によりDNAが遺伝子の本体であることを証明する；17.9

3位：微生物からDNAの抽出；15.1

要約すれば、形質転換を実施したいということになる。

ところで、やりたい実験が出来ない状況、あるいは、実施を妨げている障害は何人であるかを聞いてみた。

設問18で、「上記のような実験を実施する上で一番障害になると考えておられることは何ですか。」として順番にあげて頂いた。その結果次の通りで、比率の高い順位をあげてみる。

1位：実験設備が無い；25.5

2位：実験技術を分かりやすく教えてくれるところが無い 17.0

3位：実験の基礎が分からない；16.0

4位：実験材料の入手方法が分からない；12.3

### (3) 〔感想〕の分析

アンケート調査の最後に〔感想欄〕を設け、微生物実験に関する感想を自由に書いて頂いた。多くの先生方からいろいろな感想が寄せられた。これを筆者が、次のように分類してみた。微生物実験の出来にくい理由について：①時間が無い（授業内容を消化するのが大変、実験準備が大変など）。②微生物に対する教師の先入観（肉眼で見えない、小さい、汚い、興味を引かない、顕微鏡で観察しても迫力が無い、など）③指導上の自信が無い（経験が無い、専門の先生がいない、安全性について不安があるなど）④生徒の能力（低学力の生徒では実験の意義を理解させることは困難、生徒は動くものに興味がある、600倍で小さな粒のような微生物では、生命の神秘さを感じさせることはできないなど）。⑤教材化は困難（DNAレベルのことは高校ではやや専門的で相対的に必要度は低いのではないか。このような実験の出来る学校は、学力面限られるのではなど）。⑥もちろん教材化賛成の意見もある（視覚的に分かりやすく捉えられるように工夫が必要、微生物が専門で教材化に取り組んでいる、短時間で終了し、生徒に分かりやすく、生物学に対する興味を起こさせる実験を開発したいもの、など）⑦現在微生物を用いた実験を実施している学校が2校あった。

### (4) アンケート調査の要約

アンケート調査の結果を大まかに要約すると次のようなる。

現状では、実験技術の修得が困難、材料の入手方法がよく分からない、時間が無く勉強できない、生徒の学習意欲の低いなどの状況を反映して、微生物の教材化にはなかなか足を踏み出せないようである。しかし、まったく教材化を諦めているかというところではない。出来たら生徒実験としても導入したいと考えている教師はかなりある。そのような教師達のやりたい実験の主なものは、微生物の遺伝形質を調べる、DNAの抽出、形質転換などである。

それを可能にする方法の一つとして、誰でも参加できる実験講習会の開催、必要な器具を貸してくれる機関の設置などを希望する先生の意見がみられた。

## V おわりに

この小論で、筆者は、1988年10月から12月にかけて選択生物の生徒を対象に実施した形質転換の実験指導の概要と、東京都内の高校における微生物の教材化、特に分子遺伝学的実験の実施の実態について報告した。

筆者は、形質転換の実験が、“遺伝子と形質発現”の章の指導実験として最適であると考え、その指導実践例を具体的に紹介し続けてきた。

しかし、都内の学校をはじめ、全国的にみてこの種の実験の実施例は極めて稀であった。その理由は一体何処にあるだろうか。これをはっきりさせたいと考えたのがアンケート調査の動機であった。

調査の結果、枯草菌を用いた形質転換を実施している学校はゼロであることが分かった。しか

し、分子遺伝学的実験に対して無関心であるわけではないことも分かった。このことについては本論で詳述した。現場の教師にとって、今一番実施したい実験は、要するに形質転換の実験であることがわかり、やりたい実験が出来ない障害について明らかにすることができた。そして、現場の教師の中にこの種の実験の講習会を開いてほしいという要望が根強いことも分かった。

このアンケート調査は、昭和63年度文部省科学研究費補助金による研究の一環として実施したものである。調査にご協力くださった都内の高校の生物担当の先生方に対してお礼を申し上げる。

## アンケート調査結果

(数値は、106校に対する比率である。回収率=105/300=35%，また、○印は、1校分のコメントである。)

選択肢に該当する実験項目のない場合は、その他を選び、具体例を( )内にご記入ください。

設問1 微生物を用いた生徒実験、あるいは演示実験で、実施されたことのある実験は次のどれですか。

①コウボ菌を用いたアルコール発酵：50.9 ②コウボ菌を用いたTCA回路でのコハク酸脱水素酵素の働きを調べる：5.7 ③乳酸菌を用いた乳酸発酵：1.9 ④根粒細菌の観察：6.6 ⑤カビ類の観察：14.2 ⑥ゾウリムシ・アメーバなどの観察：51.9 ⑦その他：13.2%

(○口内細菌の培養，粘菌の観察 ○ミドリムシ，ゾウリムシの走性(2校) ○発光バクテリアの発光(培養)実験 ○納豆菌の分離培養・染色観察(3校)，アオミドロの観察，納豆菌によるTCA回路でのコハク酸脱水素酵素の働きを調べる実験，淡水微生物の観察，空中降下細菌数の測定 ○ブレファリズマの観察 ○空中雑菌，酵母の増殖 ○細胞性粘菌の観察培養 ○酵母の突然変異の誘起 ○大腸菌，納豆菌 ○ミクロコッカスの観察 ○光合成細菌の色素抽出 ○手・指などの細菌，カビの培養と観察 ○納豆菌を用いたデヒドロゲナーゼのはたらき ○発光バクテリアの分離培養，発光ランプ ○大腸菌，納豆菌の抗生物質に対する反応，発光バクテリア ○分解者としての土の中の微生物の呼吸の測定，および基質の分解 ○クラブで，バター，カルピスなどを造るときに乳酸発酵させている) 無回答：26.4

設問2 アカパンカビを用いた生徒実験、あるいは演示実験を実施されたことがありますか。

①ある：2.8 ②ないが、出来たらやりたいと考えている：40.6  
③今のところその計画はない：54.7 ④その他：0.9

設問3 設問2で、①あると答えた先生は、その実験は次のどれですか。

①アカパンカビの遺伝形質を調べる：3.8 ②野生株から突然変異株を分離する ③一遺伝子一酵素説を調べる0.9 ④減数分裂の仕組みを調べる：0 ⑤染色体地図を作成する：0  
⑥その他：0.9 (アカパンカビの培養：生活史 ○クラブで遺伝実験させたことがある)  
無回答：95.3

設問4 設問2で、②ないが、出来たらやりたいと考えていると答えた先生は、実施したいと考えている実験は何ですか。

①アカパンカビの遺伝形質を調べる：17.0 ②野生株から突然変異株を分離する8.5  
③一遺伝子一酵素説を調べる：21.7 ④減数分裂の仕組みを調べる：4.7  
⑤染色体地図を作成する：0.9 ⑥その他：0.9 (○一遺伝子一酵素説 ○生活環すべて

のステージの観察，子嚢顆と分生子と両方できる方法があればと考えている ○あまり  
適当な実験は見あたらないと思います。)

無回答：59.4

設問5 大腸菌を用いた実験，あるいは演示実験を実施されたことがありますか。

①ある。11.3 ②ないが，出来たらやりたいと考えている。34.9

③今のところその計画はない。50.9

④その他：0.9 (○枯草菌でできなければ大腸菌を使いたい。 ○観察培養程度 ○  
大腸菌の観察のみ ○時間的，物理的余裕無し，器具設備なし)

無回答：1.9

設問6 設問5で，①あると答えた先生は，その実験は次のどれですか。

①大腸菌の遺伝形質を調べる：1.9 ②大腸菌の接合（メーテング）を調べる：0.9

③生菌からDNAの抽出：2.8 ④形質転換（トランスフォーム）：1.9 ⑤プラスミド  
に関する実験：1.9 ⑥組換えDNA技術（遺伝子組換え）：0.9

⑦その他：5.7 (○汚水の中の大腸菌群の検出 ○観察のみ。○単なる培養観察です。

○抗生物質に対する反応)

無回答：88.7

設問7 設問5で，②ないが，出来たらやりたいと考えていると答えた先生は，実施したいと考  
えている実験は何ですか。

①大腸菌の遺伝形質を調べる：9.4 ②大腸菌の接合（メーテング）を調べる：4.7

③生菌からDNAの抽出：4.7 ④形質転換（トランスフォーム）：13.2

⑤プラスミドに関する実験：8.5 ⑥組換えDNA技術（遺伝子組換え）：6.6

⑦その他 (○大学時代に行ないましたが，生徒向けには技術的に困難なため，また微生物  
実験を行なうには，事前にかなり学習に積んでおかないと理解度が浅くなる。事前準  
備が大変で生徒に参加させながらやらせればよいのだが，その具体的指導法，開発が難  
しそう。○自分の勉強として)

無回答：67.9%

設問8 枯草菌を用いた実験，あるいは演示実験を実施されたことがありますか。

①ある。11.3 ②ないが，出来たらやりたいと考えている。17.0

③今のところその計画はない。68.9

④その他：0.9 (納豆菌の培養と観察のみ)

無回答：2.8

設問9 設問8で，①あると答えた先生は，その実験は次のどれですか。

①枯草菌の遺伝形質を調べる：1.9 ②枯草菌からDNAの抽出ならびにその塩基分析：  
2.8 ③枯草菌の形質転換（トランスフォーム）0

④その他：7.5 (○分離・培養・染色観察2校 ○エンゲルマンのバクテリア法, アメーバの餌 ○納豆より純粋分離, 消化〈アミラーゼ, プロテアーゼ〉の実験 ○納豆菌を用いた生態系の分解者の実験 ○呼吸熱)

無回答：88.7

設問10 設問8で, ②ないが, 出来たらやりたいと考えていると答えた先生は, 実施したいと考えている実験は何ですか。

①枯草菌の遺伝形質を調べる：7.5 ②枯草菌からDNAの抽出ならびにその塩基分析：10.4 ③枯草菌の形質転換(トランスフォーム) 10.4 ④その他：0.9 (抗生物質)

無回答：81.1

設問11 ファージを用いた実験, あるいは演示実験を実施されたことがありますか。

①ある。1.9 ②ないが, 出来たらやりたいと考えている。34.9

③今のところその計画はない。60.4

④その他：0

無回答：2.8

設問12 設問11で, ①あると答えた先生は, その実験は, 次のどれですか。

①ファージの遺伝形質(指示菌に対するプラークの形成)を調べる：1.9 ②ファージの生活環境を調べる：0 ③野生株から(紫外線や化学物質を用いて)変異株を分離する：0 ④シス-トランス相補性テスト：0 ⑤ファージの遺伝子地図作成(三点交雑法による)：0 ⑥ファージによる組換えDNA技術：0.9

⑦その他：0

無回答：98.1

設問13 設問11で, ②ないが, 出来たらやりたいと考えていると答えた先生は, 実施したいと考えている実験は何ですか。

①ファージの遺伝形質(指示菌に対するプラークの形成)を調べる：18.9 ②ファージの生活環境を調べる：14.2 ③野生株から(紫外線や化学物質を用いて)変異株を分離する：9.2 ④シス-トランス相補性テスト ⑤ファージの遺伝子地図作成(三点交雑法による)：3.8 ⑥ファージによる組換えDNA技術：5.7 ⑦その他：0.9 (ファージの生活環境)

無回答：67.9

設問14 微生物以外の生物材料からDNA抽出の生徒実験, あるいは演示実験を実施されたことがありますか。

①ある。26.4 ②ないが, 出来たらやりたいと考えている。32.1

③今のところその計画はない。37.7

④その他 (○抽出にかなり時間を要するが, 抽出したものにどれだけ意義を見いだせる

か、またその利用方法も分からない。)

無回答：73.6

設問15 設問14で、①あると答えた先生は、その実験材料は何ですか。

①カイコの絹糸腺：17.0 ②仔牛の胸腺：0 ③魚の精子：11.4

④その他2.8 (ブタの肝臓 ○タラの精巣)

無回答：73.6

設問16 設問14で、②ないが、出来たらやりたいと考えていると答えた先生は、実施したいと考えている実験は何ですか。

①カイコの絹糸腺：20.8 ②仔牛の胸腺：1.9 ③魚の精子：2.8

④その他：2.8 (○魚の精子 ○何を使ったらよいか分からない ○手軽にできるものなら材料は問わない ○ニワトリの肝臓 ○大腸菌・枯草菌 ○ニワトリの胸筋からDNAを抽出する実験は、立教の先生が研究会でご指導くださった。抽出したDNAからさらに実験を考案できればよい。絹糸腺でやりたい。考案する力量がないのが恥ずかしい。○ヒト白血球)

無回答：66.0

設問17 先生の学校で微生物を用いた生徒実験として実施したいと考えておられる実験は何ですか。次の中から必要度の高い順番に3つ選び、その番号を記入してください。

1番

①微生物の遺伝形質を調べる：22.6 ②微生物からいろいろな方法で突然変異株を分離する：5.7 ③微生物からDNAの抽出，ならびに加水分解物のペーパークロマトグラフによる塩基分析：15.1 ④大腸菌の接合を利用した遺伝子地図の作成：0 ⑤形質転換によりDNAが遺伝子の本体であることを証明する：17.9 ⑥組換えDNA技術：3.8 ⑦ファージの遺伝的特徴を調べる：2.8 ⑧ファージを用いた遺伝子地図の作成：0

⑨その他：4.7% (電子顕微鏡による観察を検討中。生徒実験としては必要ないのではないかと考える。生徒の状況から困難であり、この中で可能なものはないか。2時間で実施出来る方法がありましたらお教えてください。○微生物以外の実験内容で現行単位時間数がいっぱいである。○動物の観察 ○この中にはありません。○分解者としての微生物の役割を調べる。)

無回答：27.4

2番

①微生物の遺伝形質を調べる：5.7 ②微生物からいろいろな方法で突然変異株を分離する：15.1 ③微生物からDNAの抽出，ならびに加水分解物のペーパークロマトグラフによる塩基分析：13.2 ④大腸菌の接合を利用した遺伝子地図の作成：2.8 ⑤形質転換によりDNAが遺伝子の本体であることを証明する：21.7 ⑥組換えDNA技術：5.7

⑦ファージの遺伝的特徴を調べる：0.9 ⑧ファージを用いた遺伝子地図の作成：0.9

⑨その他：0

無回答：34.9

### 3番

①微生物の遺伝形質を調べる：6.6 ②微生物からいろいろな方法で突然変異株を分離

する：9.4 ③微生物からDNAの抽出，ならびに加水分解物のペーパークロマトグラフによる塩基分析：12.3 ④大腸菌の接合を利用した遺伝子地図の作成 ⑤形質転換によりDNAが遺伝子の本体であることを証明する：3.8 ⑥組換えDNA技術：12.3

⑦ファージの遺伝的特徴を調べる：2.8 ⑧ファージを用いた遺伝子地図の作成：2.8

⑨その他：2.8

無回答：47.2

設問18 上記のような実験を実施する上で一番障害になると考えておられることは何ですか。障害度の高い順番に2つ選びその番号を記入してください。

### 1番

①実験材料の入手方法がわからない。12.3 ②実験の基礎がわからない：16.0 ③実験技術をわかりやすく指導してくれるところがない。17.0 ④実験設備（オートクレーブ、恒温器，遠心分離機など）がない。24.5 ⑤予算（金）がない。2.8 ⑥その他19.8

◇受験を意識すると時間的に乏しく，實際上単純な実験が中心になってしまう。◇材料の保存の困難性。◇生徒が能力的について来れない。◇ときどき研修に出ているのですが。◇生徒の学力がそこまでついて行かない。もっと生命の学習に必要で理解しやすい他の実験があるのでは。◇授業時間数，生徒の理解力。◇忙しくて準備する暇がない。◇実施しても生徒が理解できない。◇高校生に何を教えるべきか。◇実験経過の管理すべき時間の欠除。実験準備の時間が他のものに比べてかかりすぎるものが多い（減菌・培養時間・培地調整など）。◇発生の実験や動植物の分類の方が重要と考える。◇生徒指導上の問題が一番多い。◇時間がない。◇オートクレーブがない。◇生徒にとって内容の理解が困難だと思われる。◇教材として適当かどうか疑問。◇生徒実験の簡便化・指導方法。◇生徒の目に分かりやすく，できれば美しく写る（何をやったか分からないがきれいだと感じる）実験をしたい。

無回答：7.5

### 2番

①実験材料の入手方法がわからない：7.5 ②実験の基礎がわからない：4.7 ③実験技術をわかりやすく指導してくれるところがない：25.5 ④実験設備（オートクレーブ，恒温器，遠心分離機など）がない24.5。 ⑤予算（金）がない：15.1 ⑥その他2.8

◇手順を簡単にする方法がない。授業時間が短く時間的制限がある。

無回答：34.9

◎微生物の教材化，あるいは，微生物の実験について何かご感想がありましたら何なりとお書き下さい。

《寄せられた感想を，筆者が分類して以下に収録した》◇印は，1校分の感想である。

## 1 教師側の問題

### (1) 時間がない。

◇理科Ⅰ 3単位と選択生物3単位で授業内容を消化するのに手いっぱいです。

◇微生物実験をやれば面白いと思うが，実験準備のことを考えると今の生徒数，最低で1クラス30名，最大50名ではとても出来ない。また出来たとしても事故が心配なので難しいだろう。

◇微生物を培養し続けるのが困難である。時間的余裕がない。アンケート調査の結果を送って頂きたいのです。

◇微生物の実験は，大変に手間と時間を要するよう思われ，雑務に追われる日常ではなかなか手が出せないのが実状です。微生物を用いたDNAに関する実験を是非取り入れたいものと考えておりますが。

◇何とか微生物実験を行いたい，行わなければと考えておりますが，設問18で答えたことなどが理由で実行できていません。具体的に1から2時間の授業の中で行うのか，どこまでを到達目標（全員の最低線）にするのか。また，何回ぐらいの積み上げが必要なのかということに悩んでしまいます。行き着くところ私の意気込みが不足しているから取り組まないの正直言っても上記の理由は，2の次だと思います。でも現実に生徒指導が多忙で勉強する時間がまとまって取れません。定期的に講習会や，長期の休みに研修分をおこなって頂ければ幸いです。

◇実験準備・生徒への説明も含め時間がかかる。後始末が大変。ファージなど目に見えないので「生物」を扱っている気になれない。

### (2) 微生物に対する先入観

◇高校生が扱うとき肉眼で見えないため実態をきちんと確認できず興味を引かない可能性が多い。扱いが面倒くさいので，いやがると思う。以上のことを越えて興味を引く何かを与えないと授業に使いにくいと思おう。

◇微生物はどれも怖い。汚い（失礼）捉えどころがない，分からない，ということで手が出ません。クラブ活動で少しずつ（ヨーグルト，納豆をつくるなど）始めたところです。

◇微生物を実験材料にした場合，後の処理に困る場合があるので，なかなか手がつけれないのが現状です。

◇生徒の興味・技術などを考えると，1人1人が1台ずつ顕微鏡を操作して微生物を扱うことは

無理と思う。演示用顕微鏡でテレビの画面を通して説明するのが精いっぱいである。その場合でも生徒が10~20名くらいでないと成り立たないであろう。生化学的実験は、理科 I だけの本校では扱わない。

### (3) 指導上の自信がない。

- ◇ある程度微生物について扱った経験があるので、何とかやって行けるが、しかし、自分の持っている知識・技術に不安がある。やはり安心して扱うためには、かなりの慣れを必要とすると思われる。是非、実質的講習会があればと思っている。微生物を実験の中に取り入れることは絶対必要だと思う。私自身も興味あることである（私は、大学で植物病理を専攻しました）。
- ◇本校では、理科 I の生物分野を物理または、化学の教師がやっているだけです。（生物の授業はなく、生物専門の先生はおりません）。
- ◇安全性を考えてしまい、安全と分かっている一般生徒に対しての扱い方その他を考えると不安になり、あまり扱っていません。また、DNA抽出などは、その後の検定などを考えると、ただ抽出できただけで終わってしまいそうで手がつけられません。
- ◇微生物の扱いが十分技術的に行えないことが一番難点です。
- ◇直接目に見えないものなので、実験としては高度なものと思う。論理的思考を楽しむくらいの生徒でない理解できない生徒が多くでるのではないかと。余り実施しようとは思わない。分かりやすく、生徒の興味を引く実験が開発されるとよいと思います。

### (4) 生徒の能力

- ◇実験を行いたいのが低学力の生徒を多く抱えている学校では、生徒に実験の意義を理解させるまで多くの時間がかかり現実には、実験はきわめて困難であり、現状では、おもに観察実験にとどめている。
- ◇本校の生徒の能力は、きわめて低く、毎時間毎の授業を成立させるのが大変です。化学の実験は、1クラスを男女半分に分けて少人数で実施しているのが現状です。
- ◇設問17の実験は、本校のレベルでは不可能であり、無理に行なっても効果がないので、より大型で変化や反応が分かりやすい教材を考えたい。
- ◇一般には、微生物実験はなかなか好まれないようです。ぜひ各実験のキットをお考えください。
- ◇うちの生徒は、動いてくれるものにちばん興味を示す。肉汁寒天培地で、唾液や指先から細菌のコロニーがぶつぶつとでてくると「汚れているのだなあ」など一応の興味は持ってくれるのだが、顕微鏡でみても小さな粒しか見えなく、私の力が足りないせいなのですが、そこに生命の不思議を感じるとか、そういうところまで行ってくれない。600倍で粒粒しか見え不了というのは、弱みなのかも知れません。

だから、できるだけ物質代謝的方法の利用ということになるわけですが、これは、発酵実験

などマニュアルのあるものだけに逃げてしまいます。腐敗や窒素固定はどうやって良いか分からない。腸内細菌なども3年選択者には、看護学校を受けるものがあるのでやってみたくもするが、マニュアルを調べる手間を教員がさぼっています。不勉強です。もっと研修を心がけたいと思っているのですが。

◇校内で空中落下細菌の調査などを一度実習で取り上げてみたいと思っています。うちの生徒の場合、視覚的にインパクトの強いものの方がよいようです。

#### (5) カリキュラム

◇遺伝物質を取り扱う実験をやるには、生徒の大部分の中学時代の理科その他の学習が不完全である。高校全体に一般化するには、何か対策が必要と思われる。

#### (6) 教材化賛成

◇今後いろいろな学校で実験が行なわれると思う。ただし、視覚的に分かりやすく捉えられるように工夫が必要であると思う。また実験の意味が分かりやすいように工夫がいる。

◇フージなどを教材に使って最新の遺伝学的知見を実験できることは大変結構なことで、高校でも実験しているところがあることを知り、大変感動しました。生物教育のリーダーシップを十分に発揮され、よりよい教材開発に益々ご尽力下さいませよう。

◇私も微生物が専門だったので教材化を考えています。現在扱っているもの：

*E. coli* *Micrococcus* *Aerobacter* *Pseudomonas* *Batillus* *Rhodo-pseudomonas* など。

どこまで技術的に手を抜けるか（無菌操作など）。どこまで培養を簡単にするか（培地条件など）、をポイントに考えています。いま考えているのは、抗生物質「ストレプトマイセス、ペニシリウム）。大腸菌の検出、空中に浮遊する微生物などです。先生の手持ちの資料をいただければ幸いです。

◇比較的簡単で、短時間で実験が終了し、生徒にとって分かりやすく、生物に対する興味を起させるような実験となるとなかなかないものです。

授業の中で1つの実験を完結させるには、50～100分の時間内で終了させるものを考えなければいけないのですから大変難しいと思います。高校生物実験に関するよいテキストがあればお教えください。

#### (7) 教材化は困難

◇材料の入手が比較的容易で短時間で結果のでるのは利点と思いますが、無菌操作、植え継ぎ・培養の手間が少々面倒で材料自体に愛着が湧かないということで二の足を踏むというのが実状といえそうです。もっともっと生徒向きの実験（興味を持って意欲的に取り組むような）が開発され、実践例が数多く紹介されたらと思います。

- ◇微生物の存在やその性質を実感させるには、高校生全体に対して必要であると思いますが、DNAレベルのことは、やや専門的になるので相対的な必要性は小さいと思います。(むしろ、他分野の実験・観察を充実させたい)。
- ◇対象が微少なバクテリアであるので非常に視覚的に捉えにくい点をどうするかである。また培養が必須条件となる点、実験の精密さが要求され高等学校すべての学校で可能かという点で不安がある。
- ◇ものが小さいだけに、視覚化できる教材でないと興味を引き出せないし、印象に残りにくいのではないか。細菌についても生徒用に600倍の顕微鏡では感動しない。
- ◇高校の教科書にかかっている実験内容をビデオでも見せられるとよいと思います。
- ◇微生物実験はいろいろ問題があり、難しいが課外の生物クラブの活動の1つとして取り上げている。