

高等学校

平成 13 年 度

# 教育研究員研究報告書

理

科

東京都教職員研修センター

平成 13 年 度

教 育 研 究 員 名 簿 (理 科)

| 分 野    | 学 校 名               | 氏 名       |
|--------|---------------------|-----------|
| 物<br>理 | 都 立 新 宿 高 等 学 校     | 佐 藤 浩 司   |
|        | 都 立 淵 江 高 等 学 校     | 神 庭 郁     |
|        | 都 立 葛 飾 商 業 高 等 学 校 | 村 中 博 志   |
| 化<br>学 | 都 立 足 立 西 高 等 学 校   | 服 部 幸 一 郎 |
|        | 都 立 青 井 高 等 学 校     | 今 泉 久 美 子 |
|        | 都 立 城 東 高 等 学 校     | 榊 井 直 美   |
|        | 都 立 多 摩 工 業 高 等 学 校 | 小 室 博 道   |
| 生<br>物 | 都 立 農 芸 高 等 学 校     | 松 村 忠 幸   |
|        | 都 立 水 元 高 等 学 校     | 福 田 朱 美   |
|        | 都 立 拝 島 高 等 学 校     | 渡 邊 正 治   |

担 当 東京都教職員研修センター 指導主事 荒 川 洋

身近な事象について関心をもたせ、  
科学的に考える力を育てる理科の指導

目 次

|                                                   |    |
|---------------------------------------------------|----|
| I 主題設定の理由 .....                                   | 2  |
| II 研究方針と研究上の留意点 .....                             | 2  |
| 研究構想図 .....                                       | 3  |
| III 研究内容                                          |    |
| 1 運動量を題材にして、自ら探究していく力を育成する指導 .....                | 4  |
| 2 身の回りのエネルギーを題材にして、<br>科学的に考える力を育てる指導 .....       | 11 |
| 3 遺伝子組換えを題材にして、<br>遺伝子研究の成果と問題点を科学的に考えさせる指導 ..... | 18 |
| IV 研究のまとめと今後の課題 .....                             | 24 |

**身近な事象について関心をもたせ、**

**科学的に考える力を育てる理科の指導**

## **I 主題設定の理由**

新しい世紀を迎え、高度情報化、国際化が進展していく中で平成14年度から完全学校週5日制が実施され、平成15年度からは新しい学習指導要領が実施される。新しい学習指導要領においては、多くの知識を教えることに重点がおかれていた今までの教育から、「自ら学び、自ら考える力」の育成を重視した教育への方向転換が図られようとしている。

将来においても科学の役割は重要度が増す中で、環境問題、遺伝子組換えや臓器移植などの生命倫理の問題、エネルギー問題などが社会問題として取り上げられている。そして、科学技術を利用する一人一人の人間の考え方が今まで以上に重要になっており、多様化する社会において氾濫する情報から必要な情報を取り出し、主体的に物事を考え、科学的に正しい判断のできる人間の育成は、理科教育の重要な使命であると考えた。

また、自然体験の不足などから理科離れが進み、高校生には理科嫌いが多く見受けられるようになった。このような社会状況を踏まえ、観察、実験を通して、生徒に身近な事象に疑問や興味をもたせ、問題解決や探究活動を行うことによって、科学的思考力や判断力を養うために、「身近な事象について、関心をもたせ、科学的に考える力を育てる理科の指導」を研究主題として設定した。

この「科学的に考える力」は、基礎的な知識・理解を基に科学技術の成果と問題点について主体的に考え、正しく判断し、科学的な根拠をもって自分の意見を述べられる力と考え、物理、化学、生物の3分野にわたって研究することにした。

## **II 研究方針と研究上の留意点**

本研究では、新学習指導要領の趣旨を十分いかしながら、身近な事物・現象をとりあげ、生徒が知的好奇心や探究心をもって観察、実験に臨み、それらを通して科学的思考力や問題解決能力を身に付け、「自ら学び、自ら考える力」を養うための研究を試みた。また、物理、化学、生物の各分野の特性を生かしながら、観察、実験を通し、多様な事象について客観的に考察して合理的に思考する能力の育成を研究することにより、主題の解決に迫った。

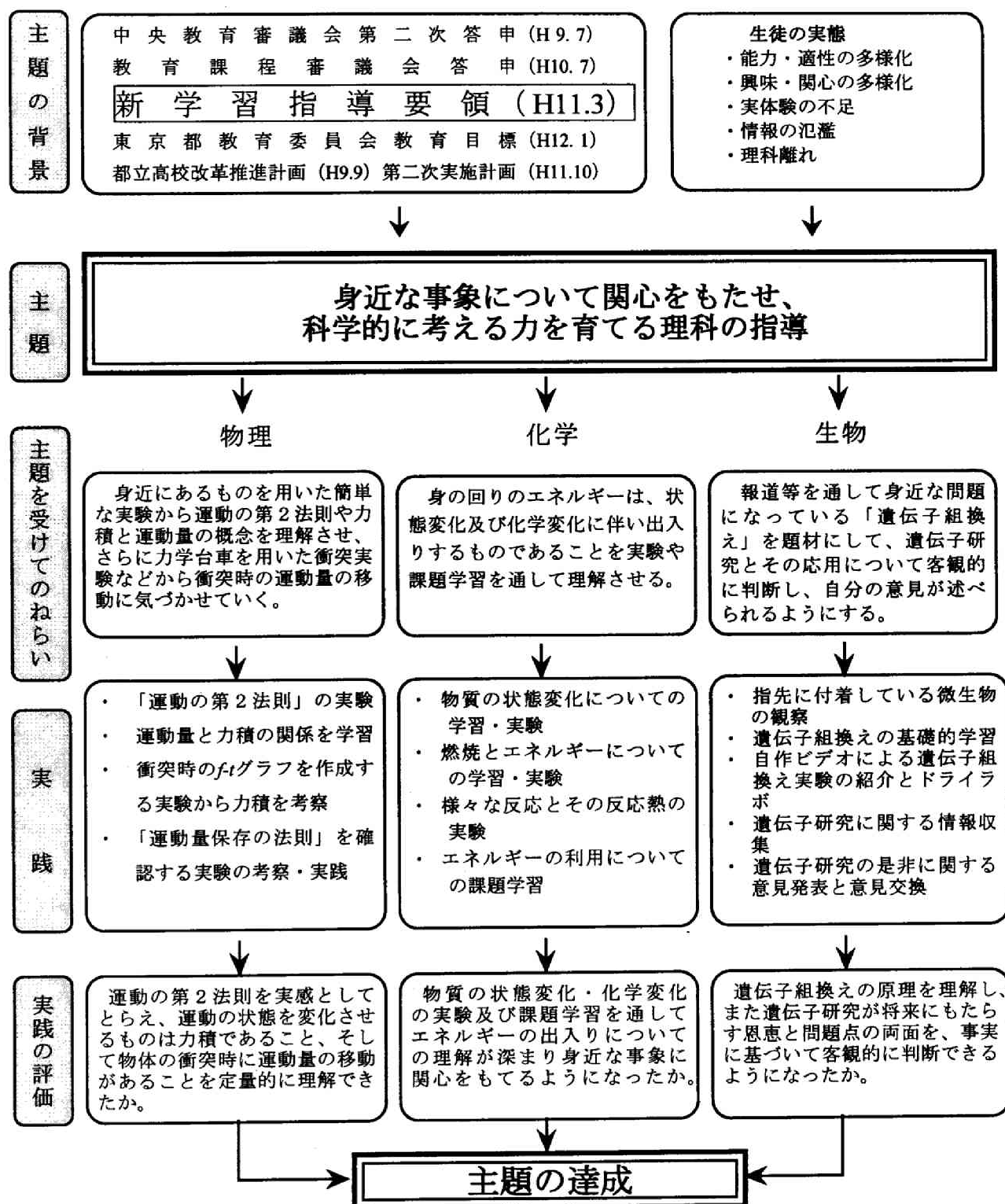
そこで、今までの教育改革の動き、研究主題、研究の進め方などの関係を明確にするために右の研究構想図を作成し、本研究を進めていく上での方針として次の3点を設定した。

- 1 生徒の興味・関心を高めるため、観察、実験の教材として身近にある事物・現象をとりあげ、生徒の学習意欲を喚起するようにした。
- 2 観察、実験を通して、生徒の科学的に物事を調べる能力や態度を育成し、科学的なものの見方や考え方を培うことに重点をおいて研究を行った。
- 3 観察、実験や教材の理解の補助、情報通信ネットワークの活用のためにコンピュータを積極的に活用するようにした。

また、本研究を進める上で次の2点に留意した。

- (1) 現行の学習指導要領だけでなく、新学習指導要領の趣旨も踏まえながら研究を進める。
- (2) 生徒の実態を考慮し、指導計画や教材、指導法の改善・工夫に努めるとともに、生徒が観察、実験、レポート作成などに主体的に取り組む意欲も評価する。

## 研究構想図



## Ⅲ 研究内容

## 1 運動量を題材にして、自ら探究していく力を育成する指導

## (1) はじめに

物理で用いる運動量や力積という“ことば”は、日常生活でほとんど使われていないため、生徒にはとらえにくい概念である。むしろ生徒は“力”に対して力積のようなイメージをもってしまうがちである。その上、物理は体系立てていく学問であるから運動量や力積という概念を形成するためにはそれ以前に学習した内容を習得しておく必要があるため、この単元での学習を一層困難にしている。

そこで本研究では、実験をできるかぎり多く行い、運動量と力積といった分かりにくい概念や運動の第2法則をとらえやすくするように工夫した。また、教材はなるべく身の回りにあるものを利用して作成するようにした。実験を数多く行いながら、自然の中に潜む法則性に生徒自ら気が付くような指導を試みた。

本研究の主題は「身近な事象について関心をもたせ、科学的に考える力を育てる理科の指導」であるが、「科学的に考える力」を身に付けさせることによって、生徒が物理学を学ぶ面白さを感じられるようにした。そして、生徒実験においては、実験結果を導く過程で、興味・関心をもって主体的に考えることができるように指導を行った。

また、今回の研究では、運動の第2法則の実験による測定値を処理したり、自作ソフトによるシミュレーションを行ったりするために、コンピュータを積極的に活用した。

## (2) 指導計画

本研究の内容は、大きく分けると3つの項目からなっている。

第一は、運動の第2法則の検証である。法則を調べるために台車をゴムひもの張力で引く実験を行う。生徒は台車に力が加わると力の向きに加速度が生じることを学び、台車に生じる加速度の大きさは加える力の大きさに比例し、台車の質量に反比例することを実験によって理解する。ここでゴムひもを使うことの利点は、ゴムひもの本数と台車を引く力が比例しているので力を整数倍にすることが簡単にできることである。

第二は、運動の第2法則から運動量の変化と力積の関係を調べることである。運動量の変化と力積の関係を導き、身近な事例を挙げて説明していく。その中で、運動の第2法則の実験結果を利用して、運動量の変化と力積の関係を説明することを試みる。また、2台の台車を衝突させ、それぞれの台車が受ける撃力を求める実験も行う。

第三は、運動量保存の法則の確認である。科学的に探究する態度を育てることをねらい、新学習指導要領の「物理Ⅱ」にある「課題研究」を想定しながら実践した。運動量の変化と力積の関係から運動量保存の法則を導き、その法則を確かめる実験方法を生徒が考え、実際に生徒の計画した方法で実験を行い、法則を生徒自らの力で確かめさせることを目指した。

以上の点に留意して、次に示すような指導計画を作成した。

表 1 - 1 指導計画

|       | 指導項目・内容                                                  | 学習活動                                                                                        | 留意点                                                         |
|-------|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| 第1時   | 運動の第2法則<br>(実験)                                          | 台車に力を加えるとき、力を加えた向きに加速度が生じることを確かめ、台車に生じる加速度と力及び台車の質量との関係を調べるための実験を行う。                        | ゴムひもの本数が台車を引く力に比例していることを生徒に理解させる。ゴムひもの本数によらずゴムひもの伸びを一定にさせる。 |
| 第2時   | 運動の第2法則<br>① 加速度と力の関係、<br>加速度と質量の関係<br>② 運動方程式<br>③ 力の単位 | 台車に加えた力と生じた加速度のグラフから加速度と力が比例すること、加速度と質量のグラフから加速度と質量が反比例することを理解する。<br>運動方程式を導き、力の単位について考察する。 | 日常語としての“力”と物理で用いる“力”を区別させる。                                 |
| 第3時   | 運動量と力積の関係<br>① 運動量の定義<br>② 運動量の変化と力積との関係<br>③ 力積の単位      | 運動量の変化と力積の関係を運動の第2法則より導き、力積の定義と単位について考える。実験「運動の第2法則」のデータから台車の運動量の変化とゴムひもの与えた力積との関係を調べる。     | 運動量と力積の関係をヘルメット、サーカスのネットの役割、ボールの捕球方法などの身近な例を挙げて説明する。        |
| 第4時   | 運動量の変化と力積の関係<br>(実験)                                     | 衝突する台車の $v-t$ グラフを作成する。撃力の最大値を求める。 $f-t$ グラフを作成し、台車が受けた力積を求め、運動量の変化と比較する。                   | 誤差を少なくするため、グラフはなめらかな曲線で描くように指導する。                           |
| 第5・6時 | 運動量保存の法則<br>① 運動量保存の法則を導く<br>② 法則を検証する実験の考察              | 運動量の変化と力積の関係から運動量保存の法則を導く。<br>運動量保存の法則を確かめる実験方法を考察する。                                       | 台車を用いた衝突、合体、分裂のいずれかの実験もどこかのグループで行われるように指導していく。              |
| 第7時   | 運動量保存の法則<br>(実験)                                         | 各グループで前の授業で考えた方法で運動量保存の法則を確かめる実験を行う。                                                        | 失敗しているグループに随時適切なアドバイスをしていく。                                 |
| 第8時   | 運動量保存の法則<br>(実験のまとめ)<br>① 実験結果の考察<br>② 水ロケットの実験          | 運動量保存の法則の実験結果についての考察を行う。その後、水ロケットの実験を行い、運動量保存の法則に関する理解をさらに深める。                              | 実験がうまく行かなかった場合は、その理由について考えさせる。                              |

### (3) 授業実践と教材

#### ① 実験「運動の第2法則」

運動の第2法則を検証する実験として、一般に行われるものは、バネばかりを使って台車を一定の力で引っ張ったときの運動を調べるものである。この実験は生徒にとって一定の力で台車を引っ張るのが難しいという欠点がある。

そこで、本研究においては、ゴムひもの張力を使って台車を引っ張る実験を試みた。この方法では台車を引っ張る力の大きさを測定せずに、ゴムひもの本数を変えることで力の大きさを変えることができる。

ところで、ゴムひもの張力で台車を引っ張るとき、ゴムひものは伸ばした長さによって弾性力が変わるので、台車を一定の力で引っ張ることはできない。同じ弾性定数の二つのバネを真っ直ぐにつなぐと、二本のバネの弾性定数は小さくなるので、長いゴムひもを用いて引っ張ったとき、ほぼ一定の力で引っ張っているとみなせるのではないかと考えた。

8mのゴムひもを用意し、このゴムひもに台車をつけて長さ11mまで伸ばし、放したとき

の台車の運動を記録タイマーによって調べた。台車に別の台車を乗せ、質量を2倍とした。ゴムひもの本数を1本から6本まで変えて引っ張り、その運動を調べた。その結果、ゴムひもを使って運動の第2法則を検証する実験を行う場合、ある一定の範囲のゴムひもの伸びの変化でも、ゴムひもの弾性力の変化は測定誤差に入るほど小さく、台車に働く力は、短い時間においてはほぼ一定とみなせることが分かった。

次に、ゴムひもの本数を2本にして引っ張って、短い時間では弾性力が一定とみなせるかどうか、時間とともに加速度がどのように変化するかを調べた。加速度とゴムひもの本数の関係、加速度と台車の質量の関係とのグラフを調べ、加速度の値をどのような範囲の平均でとればよいか、考察してみた。

実験によると、8mのゴムひもを11mに伸ばして台車に張力を加えたときの運動では、動き始めたときからある一定の時間での加速度の平均をとるより、ゴムひもが10mまで伸びているときを中心として、およそ0.2秒間（0.02秒間隔で打点を打つ記録タイマーで11区間の間）の加速度の平均をとった方が加速度と力の関係、加速度と質量の逆数との関係をあらわすグラフにおいて、よりよく直線に近似できるという結果が得られた。

#### ア 実験方法

台車に別の台車1台を乗せ、ゴムひもを2本から5本に変えながら引っ張ったとき、ゴムひもを2本にして乗せる台車を1台から4台まで変えて引っ張ったときのいずれか一つを生徒は実験した。そして、この実験では、8mのゴムひもを11mまで伸ばして台車に力を加えて放したとき、台車の動きを記録タイマーで記録し、台車が動き始めて1mのところを中心として11区間それぞれの打点間隔を測定した。

#### イ 実験結果

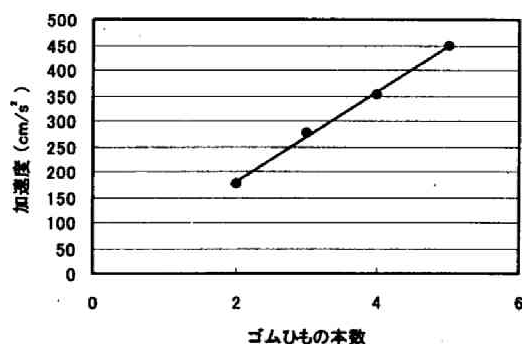


図 1-1 加速度と力の関係

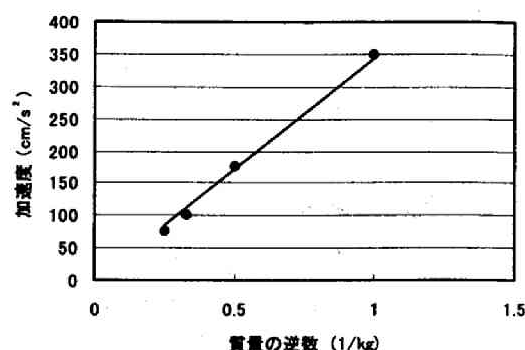


図 1-2 加速度と質量の関係

結果は、図1-1、図1-2のようなグラフになり、ほぼ、直線に近似できた。この実験で、生徒も台車を引く力を実感とともに、運動の第2法則についてよく理解できたようであった。

#### ウ コンピュータの利用

生徒が記録タイマーで測定した計測結果は、コンピュータに入力させて処理を行った。

また、ゴムひもを使った運動の第2法則を検証する実験をシミュレーションするプログラムを自作した。そして、運動の第2法則についての実験をまとめるときに、この自作シミュレーションソフトによるノートパソコンの画面をテレビに映し、説明の補助と



して利用し、生徒の理解が深まるようにした(図1-3)。

エ 実験「運動の第2法則」のデータを用いて運動量の変化と力積の関係を調べる

「運動の第2法則」の実験データを用いて、台車の運動量の変化とゴムひもが台車に与えた力積を調べた。

ゴムひもが台車を引く力は、実験中にばねばかりなどを使って測定しておくという方法もあるが、これでは実験が複雑になってしまうため、

今回は実験で得られた加速度から計算で求めた。また、ゴムひもが台車を引っ張っていた時間は記録テープの打点数を数えることではかり、台車の速さは2打点間の間隔から算出した。どの生徒もよい結果が得られ、生徒は学習に対して満足していた。

運動の第2法則の実験としては失敗と思われる実験データさえ、台車の運動量の変化とゴムひもの与えた力積との差は小さく、これらの関係を理解させる効果はあった。誤差が0%という生徒も多く、授業で学んだ内容が、そのまま現実の現象でも成り立つのだ、ということを実感し驚いていた。物理に苦手意識のある生徒に対して、この作業は特に効果的であり、運動量や力積の概念形成に役立った。

## ② 実験「運動量の変化と力積の関係」

2台の力学台車を衝突させ、それぞれの台車の  $v-t$  グラフから  $f-t$  グラフを作成し、台車が衝突時に受けた力積を求め、衝突前後の運動量の変化と比較し関係を調べた。

台車と台車を衝突させたときに撃力が働いていた時間はコンパクトな台車では大変短く、記録タイマーを用いて  $v-t$  グラフを作成することはできない。そこで、台車と台車の接触時間を長くするため、図1-4のようなリングばねを作成して実験で用いた。

### ア リングばね

厚さ 0.5mm の塩化ビニル製の板からリング(直径約 11cm)を作り、図1-4のように穴をあけ、ストローを差し込み、適切な大きさの厚紙をストローにはめ込む。リングが変形したときにストローがずれないように画鋲をリングの内側に接着する。

このリングばねをアクリルで作った止め具で確実に台車に取り付ける。これらの台車と台車を衝突させたとき、撃力を受ける時間が約 0.3 秒となり記録タイマーで測定できた。

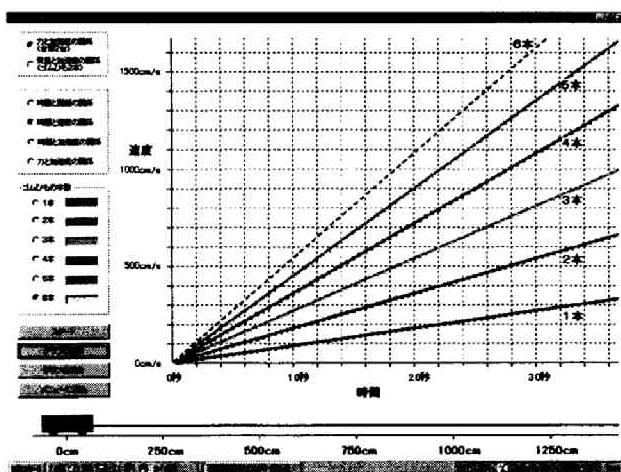


図 1-3 自作ソフトの画面

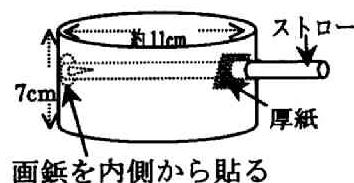


図 1-4 リングばねの構造

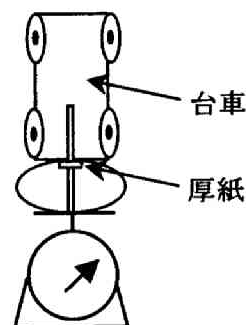


図 1-5 撃力  $f_{MAX}$  の測定

リングばねの最大に変形するところまで厚紙が移動するので、この位置までリングを台ばかりに押し付ければ台車が受けた撃力の最大値  $f_{MAX}$  が測定できる。

## イ 実験方法

- (a) 図 1-6 のように台車 B に、リングばねを取り付け、水平な滑走台の中央付近に静止させておく。台車 A にはおもり 1～2 個を乗せリングを先頭にして滑走台上におき、台車 A を台車 B に衝突させたとき、リング同士がうまくぶつかり合うようにする。

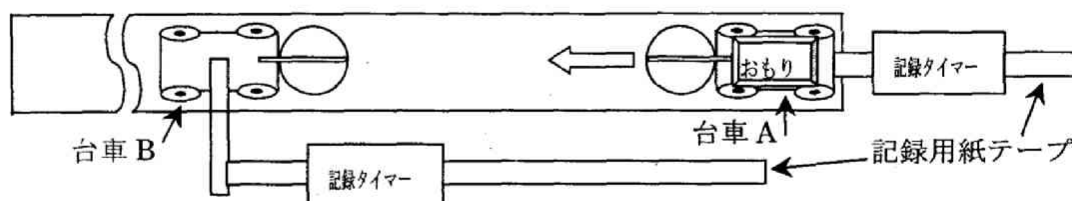


図 1-6 実験見取り図

- (b) 台車 A を静止している台車 B に衝突させる。  
 (c) 衝突時にリングばねは変形し、リングばねに挟まれたストローは移動する。このストローを再び元の状態に戻すと、図 1-7 のように紙片が移動しているのが分かる。台ばかりにリングばねを紙片の位置まで押し付ければ、衝突したときに受けた力の最大値  $f_{MAX}$  が分かる (図 1-8)。  
 (d) 2 打点ごとに速さを求め、 $v-t$  グラフを作成する。測定誤差を小さくするためグラフは滑らかな曲線で結び、折れ線グラフにはしないように注意する。  
 (e) グラフから 2 台の台車の接触時間を求める。 $v-t$  グラフを 2/50 秒ごとに読み取り、この区間の傾きから加速度を計算し、 $f-t$  グラフを作成する。 $f-t$  グラフも滑らかな曲線で結ぶ。  
 (f)  $f-t$  グラフの面積は台車が受けた力積に等しい。作成したグラフのマス目を数えて、台車が受けた力積を求め、衝突前後の運動量の変化と比較し、関係を考察する。

ストローだけを元に戻す

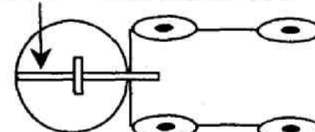


図 1-7 衝突直後の台車



図 1-8 撃力の測定

なお、物理に苦手意識のある生徒には、 $v-t$  グラフを描かせるにとどめ、 $f-t$  グラフを予想させた。

## ウ 実験結果

衝突時に撃力を受けていた時間は 0.1～0.3 秒で、 $v-t$  グラフは逆 S 字型であった。 $f-t$  グラフは、撃力の受けていた時間が短いときには山のような形になるが、時間が長いときにはのこぎり型になり、誤差を考えると台形型といえる。 $f-t$  グラフの面積から読み取った力積の値は台車の運動量の変化量とよく一致し、誤差は数%～20%程度で非常によい結果が得られた。撃力の



図 1-9 実験風景

最大値  $f_{MAX}$  の値は 200gw～800gw であった。

#### オ 実験中の生徒の様子から

生徒は意欲的に実験に取り組み、学習する姿勢をはぐくむにはよい実験であったと思うが、解析に長時間を要した。2台のうち、1台の台車だけを解析させても、効果は十分であったかもしれないと思われる。

生徒はリングばねとストローで衝突の様子を記録できることに、関心と驚きをもって熱心に実験に取り組んでいた。身の回りの現象と学習の内容とを区別してしまっている実体験の少ない生徒も実際に体験し、結果をまとめていく過程で物理概念を実感していった。

### ③ 実験「運動量保存の法則」

運動量保存の法則を確かめるため、物体の衝突、合体、分裂

の3つの場合について実験を行った。材料は力学台車や記録タイマーなどのほか、身近なものを用いた。

#### ア 実験方法

##### (実験1) 衝突

台車A、Bの質量

$m_A$ 、 $m_B$ を測定する。静止している台車Bに別の台車Aを衝突させ、衝突前のAの速度  $v_A$  と衝突後のA、Bそれぞれの速度  $v_A'$ 、 $v_B'$ を測定し、衝突前後における運動量の総和の比  $\frac{m_A v_A' + m_B v_B'}{m_A v_A}$  を求める。

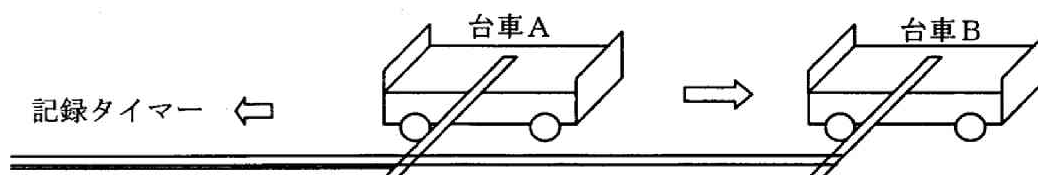


図 1-12 衝突の実験

##### (実験2) 合体

2つの台車が衝突後合体するように、衝突する面に両面テープをはり、台車A、Bの質量  $m_A$ 、 $m_B$ を測定する。静止している台車Bに別の台車Aを衝突させ合体させる。合体前の台車Aの速度  $v_A$  と合体後の全体の速度  $v$ を測定し、合体前後における運動量の総和の比  $\frac{(m_A + m_B)v}{m_A v_A}$  を求める。



図 1-13 合体の実験



図 1-10 実験風景



図 1-11 実験風景

### (実験3) 分裂

台車A、Bの質量 $m_A$ 、 $m_B$ を測定する。2つの台車の間に薄いプラスチック板（下敷きを細く切ったもの）に穴をあけ、ひもを通してU字型に曲げたものを置く。はさみでひもを切り、プラスチック板が元へ戻る力によりそれぞれ反対方向へ動きだした台車A、Bの速さ $v_A$ 、 $v_B$ を測定する。台車A、Bの運動量の大きさの比 $\frac{m_A v_A}{m_B v_B}$ を求める。

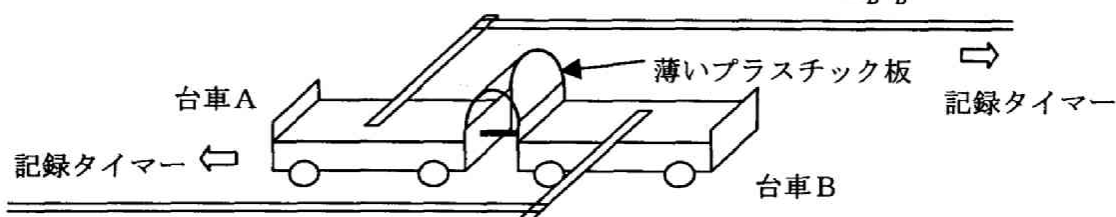


図 1-14 分裂の実験

#### イ 実験結果

実験1（衝突）では、おおむね 0.93 前後、実験2（合体）では、0.93～1.00 までの値が得られ、実験3（分裂）でも多くが 1.00 に近い結果となった。

#### (4) 結果と考察

本研究の実践の前に、物体の速度の変化量と受けた力、そして時間の関係を問う身近な現象についてのアンケートを実施した。その結果、次の3点が分かった。第一に、速度の変化量と力の大きさが比例することは知っていても、速度の変化量と力を受けていた時間とが比例することまでは、かなりの生徒が気付いていないということである。第二に、「クッションが力を吸収する」という答が多く、生徒は力の概念があいまいで、物理的には運動量やエネルギーに近い概念をもっているようであったことである。第三に、運動量保存ではなく速度保存のようなイメージをもっていることである。

本研究の最後に、事前のアンケートとほぼ同じ内容のアンケートを実施した。回答は運動量や力積という言葉を用いて考える生徒が多く見受けられた。しかし、時間をおくと、これらの概念も薄らいでいくようである。問題演習を行うなどして、繰り返し学習することで物理概念を定着させていかなければならない。

実体験の少ない生徒は物理を苦手とすることが多い。このような生徒に生徒実験は有効であるように思う。生徒実験「運動の第2法則」では、ゴムひもの本数が力に比例しているため特に分かりやすかったようで、実験中に加速度の増加を実感していた。レポートをまとめる中で、さらに物理的な疑問を感じている生徒もあり、意欲的な姿勢がみられるようになった。この実験データを用いて台車の運動量の変化とゴムひもが与えた力積との関係を調べさせる授業においては、違った角度から分析できることに驚きとともに興味をもつ生徒も多く、作業を通して、効果的に「運動量の変化が力積に等しい」ことを理解させることができた。

#### (5) おわりに

身近な事例による説明や身の回りにある材料を使った実験などにより、生徒もかなり興味をもち、自分たちの実験につなげることができたようであった。興味・関心をもつようになってから意欲的に取り組む姿勢が現れ、科学的に考える力も育ってきた生徒を見ていると、常に教師は教える工夫の積み重ねをしていかなければならないと感じた。

## 2 身の回りのエネルギーを題材にして、科学的に考える力を育てる指導

### (1) はじめに

日常生活において様々なエネルギーを利用している。身の回りには石炭・石油などの化石燃料を燃焼させ、その化学変化で発生する熱エネルギーや光エネルギーがある。これらは、そのまま熱や光として、あるいは、力学的エネルギーや電気エネルギーなどに変換して利用される。また、状態変化に伴うエネルギーも同様に日常生活の中で利用している。こうしたことに興味・関心を高め、主体的な学習を行うため、生徒にとって身近な題材を多く取り上げ、三態変化や反応熱についての観察、実験を行った。さらに、生徒が主体的に学習に取り組むため、自然に対する総合的な見方や考え方を養うことができるように、新学習指導要領の「理科総合A」のねらいを踏まえ、日常生活の中でのエネルギー利用に関する課題学習を取り入れた学習を行った。

日常生活で利用しているエネルギーは、物質を構成する原子、分子、イオンなどの粒子の運動状態や化学結合の変化によって物質の状態や性質が変わり、その際出入りするエネルギーであることに気付いている生徒は少ない。生徒が粒子の運動状態や化学結合の状態の変化を直接目にするには困難であるが、発する光や熱で感覚的にとらえることができるような実験を工夫した。例えば、ナッツの燃焼の観察、実験を行ったが、生体内の反応はエネルギー効率が低いことに気付くようにした。また、日常生活の中でのエネルギー利用に関する課題学習を取り入れ、科学的に考える力を育てることを目指して指導計画(表2-1)を作成した。

### (2) 指導計画

本研究では、新学習指導要領の「理科総合A」における単元「(3)物質と人間生活 ア物質の構成と変化 (イ)物質の変化」を指導することを想定した。次の表2-1の指導計画は、2単位で実践する場合の一例であり、10時間の計画で展開したものである。

表2-1 物質の変化とエネルギーの指導計画

|             |           | 指導項目                                     | 内 容 ・ 学 習 活 動                                                                                                | 留意点                            |
|-------------|-----------|------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| 第<br>1<br>時 | 導入<br>10分 | ・ 事前アンケート<br>記入                          | ・ 物質の三態、燃焼、エネルギーについての知識<br>がどの程度かを確認する。                                                                      | ・ 課題学習につ<br>いての予告              |
|             | 展開<br>35分 | ・ 物質の三態<br>・ 粒子の熱運動                      | ・ 水や他の物質の三態について学ぶ。<br>・ 粒子の熱運動の激しさと状態の関係を学ぶ。                                                                 | ・ 事例とその裏<br>付けの説明              |
|             | まとめ<br>5分 | ・ 物質の状態                                  | ・ 物質の状態は、粒子間に働く力と熱運動の激し<br>さによることを学ぶ。                                                                        | ・ 粒子モデルに<br>よる理解               |
| 第<br>2<br>時 | 導入<br>10分 | ・ 水の加熱、冷却<br>・ エネルギーとは                   | ・ 水の加熱、冷却について考える。<br>・ 「仕事をする能力である」ことを引き出す。                                                                  | ・ 中学の復習                        |
|             | 展開<br>35分 | ・ 三態変化とエネ<br>ルギー<br>・ 融解熱、蒸発熱、<br>昇華熱の利用 | ・ 三態変化にはエネルギーの出入りが伴うこと、<br>粒子間の結合を切断するにはエネルギーが必要<br>なことを学ぶ。<br>・ 融解熱、蒸発熱、昇華熱が、身近なところで<br>どのように利用されているのかを考える。 | ・ 中学では温度<br>変化までの扱<br>いになっている。 |
|             | まとめ<br>5分 | ・ 熱の移動                                   | ・ 高温の物質から低温の物質に熱が移動するこ<br>とを学ぶ。                                                                              |                                |



|       |        |                                             |                                                                                                                 |                                   |
|-------|--------|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| 第3時   | 導入5分   | ・実験の説明                                      | ・目的、方法等について理解する。                                                                                                |                                   |
|       | 展開35分  | ・粒子の動きと三態変化<br>・昇華<br>・凝縮(体積変化)<br>・気体の熱膨張  | ・ゼラチン溶液中のアルミ箔片の動きを、三態における粒子の運動に置き換え観察する。<br>・ヨウ素の昇華について実験する。<br>・アルミ製ボトル缶を水蒸気で満たし、急冷する。<br>・軽く潰したアルミ製ボトル缶を元に戻す。 | ・やけどに注意。<br>・演示実験                 |
|       | まとめ10分 | ・状態変化とエネルギー                                 | ・分子運動から、気体では、エネルギーの差が体積の差となってあらわれることを理解する。                                                                      |                                   |
| 第4時   | 導入5分   | ・身近な燃焼現象                                    | ・身近な燃焼現象を考える。                                                                                                   |                                   |
|       | 展開40分  | ・熱エネルギー(燃料の燃焼)<br>・光エネルギー(金属の燃焼)<br>・金属の精錬  | ・熱化学方程式を利用し、いろいろな燃料の性質、燃焼生成物、発熱量等について学ぶ。<br>・アルミニウム箔、マグネシウムリボン、スチールウールの燃焼についてまとめる。<br>・精錬に必要なエネルギーについて調べる。      | ・中学では、水素・スチールウールの燃焼、有機物の酸化を扱っている。 |
|       | まとめ5分  | ・燃焼の定義                                      | ・光や熱の発生を伴う反応であることを学ぶ。                                                                                           |                                   |
| 第5時   | 導入5分   | ・実験の説明                                      | ・目的、方法等について理解する。                                                                                                |                                   |
|       | 展開40分  | ・燃焼と発熱量<br>・金属の燃焼                           | ・ナッツの燃焼に伴う発熱量を測定する。<br>・前の時間に取り扱った金属を燃やす。                                                                       | ・燃焼効率について触れる                      |
|       | まとめ5分  | ・燃焼熱                                        | ・燃焼熱は化学反応熱の一つであることを学ぶ。                                                                                          |                                   |
| 第6時   | 導入10分  | ・燃焼以外の発熱反応、吸熱反応                             | ・身近な発熱反応、吸熱反応について考える。<br>・実験の目的、方法等について検討する。                                                                    | ・中学では、熱を取り出す実験は行っている。             |
|       | 展開30分  | ・発熱反応<br>・吸熱反応                              | ・鉄粉の酸化、生石灰と水の反応を行う。<br>・尿素、硝酸アンモニウムを水に溶かす。                                                                      | ・鉄の表面積                            |
|       | まとめ10分 | ・化学変化とエネルギー                                 | ・それぞれの反応についてまとめる。<br>・化学変化には熱の出入りが伴うことを学ぶ。                                                                      | ・熱化学方程式<br>・原子の組替え                |
| 第7時   | 導入10分  | ・身近なエネルギーの利用                                | ・日常生活でどのようなエネルギーが使用されているかを化学エネルギーを中心に復習する。                                                                      |                                   |
|       | 展開30分  | ・課題学習のテーマの設定                                | ・テーマを決定し、なぜそのテーマにしたのか、班の意見をまとめる。                                                                                |                                   |
|       | まとめ10分 | ・テーマ報告                                      | ・役割分担、進め方を確認し、用紙に記入して提出する。                                                                                      |                                   |
| 第8・9時 |        | ・図書館、パソコン教室、実験室などを利用し、課題学習を進める(調査・実験・原稿作成)。 |                                                                                                                 | ・関係職員の協力                          |
| 第10時  | 展開40分  | ・発表                                         | ・発表する。<br>・感想カードを記入する。                                                                                          |                                   |
|       | まとめ10分 | ・事後アンケート                                    | ・物質の三態、燃焼、エネルギーについての理解がどの程度深まったかを確認する。                                                                          |                                   |

### (3) 授業実践と教材

#### ① 物質の状態変化

すべての物質に三態が存在することはこれまで学んできており、日常生活の中で感覚的に理解している。しかし、それは巨視的な状態としてとらえているのであって、物質の状態変化を粒子の運動という視点でとらえられていない。物質を構成している粒子の熱運動がその状態を決めていること、外部からの熱エネルギーが原子や分子の集合状態の変化にかかわっていることを、観察、実験を通して理解できるようにすることを目的とした。

こうした原子・分子の動的モデルを導入していくことは、固体の溶解の原理や希薄溶液の性質、化学反応での分子衝突、温度による反応速度の変化など、状態変化や化学変化の際に起こっている現象の微視的な視点からの理解への助けにもなる。

次に示した実験は「状態変化に伴う体積の変化や気体の熱膨張を観察する」ことを目的に行った。いずれの実験においてもその結果を説明する設問を設け、微視的な視点から考察させるようにした。

#### ア 液体、固体の分子運動モデルの実験

熱と粒子運動の関わりが実感できるようにゼラチン溶液中に物質を構成する粒子のモデルとしてアルミ箔片を分散させた。ゼラチン溶液が固まって、中のアルミ箔片の位置が動かない状態を固体とした。図2-1のように、加熱してゼラチンが融ける時にアルミ箔片が動くのを液体のモデルとして観察させた。また、物質の三態を粒子の運動の違いが分かるように図を描かせ、アルミ箔片の動きから固体や液体の粒子の運動を理解させ、気体の分子運動の理解へとつなげるようにした。

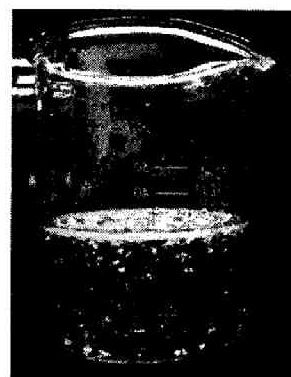


図2-1 分子運動モデル

#### イ ヨウ素の昇華

昇華の実験としてはヨウ素を題材にした。アの分子運動モデルの実験では気体についてのモデルは示せないなので、ヨウ素の昇華現象から気体分子の運動を印象づけることとした。

#### ウ アルミ製ボトル缶を使用した水の凝縮

生徒は、大気圧の存在については学習しているが、実際に意識する機会は少ない。大気圧を確認する方法として、従来よりアルミ缶を使った実験例は多く報告されているが、缶の密閉性に難点があった。最近飲料水の容器として使われ始めたアルミ製ボトル缶は、スクリューキャップにより容易に密閉できるため、本実験で用いた。ここでは大気圧によって常に押されていることを実感するとともに、空気や水蒸気分子がボトル缶の壁に激しく衝突している事実に生徒が気付くことができるように留意した。

アルミ製ボトル缶内を水蒸気で満たしてからキャップで密閉し冷却すると、缶は大気圧によって潰される。逆に潰された缶を再び加熱することにより元の形に戻る。この時、急激に冷却すると缶が潰れる際に亀裂が入り密閉の状態が保てないことがあるので、徐々に冷却して少し潰れた缶をすぐに加熱し、元に戻るのを演示実験で観察させた。

#### ② 燃焼に伴うエネルギー

「燃料」は、日常生活の中で自動車を走行させたり調理したりするのに、なくてはなら

ないものである。家電製品に使われる電気エネルギーも、燃料がもつエネルギーから得ている。この他、燃料の燃焼に伴う熱エネルギーは様々な用途があるが、身近すぎるためか、化学変化に伴うエネルギーであるという認識は低いように思われる。ここでは、燃料を構成する分子と酸素分子がある速度以上で衝突することで、物質を構成する原子の組替えが起こるとともに、光エネルギーと熱エネルギーが放出されることを取り上げた。また、金属も扱うことで、燃焼を有機化合物だけに限らず意識させるようにした。

#### ア メタン、プロパンの燃焼

都市ガスは生活に欠かせない燃料である。その主成分はメタンガスであるが、メタンは燃焼する際に、二酸化炭素と水が生成することを理解している生徒は少なく、ここで発生する熱量は化学反応と関係付けられていないようである。授業ではメタンの他、水素、炭、プロパンなどの燃焼についても取り上げ、熱化学方程式を扱い、量的関係を把握できるようにした。

#### イ ナッツの燃焼

食物は一番身近なエネルギー源である。体内に取り込んだ食物の脂肪や炭水化物等が体の中で「燃焼」するということは言葉では知っていても、化学反応としての燃焼と結びつかない生徒は多い。食物が摂取され体内で熱エネルギーが発生することを理解できるよう、ナッツを燃焼させ、水を温める実験を試みた。水を入れる容器は熱伝導率の良いアルミ缶を使用した。ナッツが燃えると同時に、アルミ缶の中に入れた水の温度上昇を測定する（図2-2）。この実験により、ナッツから得た熱量を計算することで食物のもつエネルギーを実感できる。ナッツの発生した熱量を食品成分表の値と比較すると、この実験における熱量の損失も分かり、体内では効率の良い燃焼が起こっていることが推測できる。また、体内における「燃焼」はゆっくり進み、この実験のように光を発生したり、炭となって残ったり、すすが宙を舞うようなことはない。



図2-2 ナッツの燃焼実験

#### ウ 金属の燃焼

有機物だけでなく、マグネシウムリボンを空気中で、また、酸素を充填した集気びんの中でスチールウールとアルミ箔を燃焼させた。金属は、激しい光と熱を伴って燃焼する場合がある。反応の速度、光の強さなど、金属が酸素と反応する様子は有機物の場合と異なるが、確かに燃焼することが生徒にも伝わるであろうと考えた。また、逆に金属の酸化物から金属を精錬する場合は、大量のエネルギーが必要になることも考察させた。

### ③ 様々な反応と反応熱

#### ア 鉄粉の酸化

鉄がさびることを知っていても、反応速度は遅く、発熱の確認は困難である。使い捨てにできるカイロはこの鉄がさびるときの発熱を利用したものである。このようなカイロをつくる実験は、教科書でも取り上げられているが、ここでは市販品を用いて実験を試みた。



市販の使い捨てカイロに磁石を近づけると、強磁性を持つ物質（鉄）が主成分であることが分かる。また、中身を水に溶かした溶液に硝酸銀水溶液を加えると白色沈殿を生じることから、塩化物イオンが含まれることも分かる。

使い捨てカイロの中身を十分に空気に触れさせると、30～40度の温度が上がるのが観察できる。次に、ビニール袋などに入れて密閉し、空気を遮断すると温度が下がり、再び空気に触れさせると温度が上がる。1時間の授業時間内で反応を完全に終了させるのは難しいが、反応後の内容物の色は赤褐色の別の物質（赤さび）になったことが確認できる。

#### イ 酸化カルシウム（生石灰）と水との反応

弁当などで温める機能をもった食品が市販されている。これは酸化カルシウム（生石灰）と水が反応するときに発生する熱を利用したものである。発熱機能をもった食品では、酸化カルシウムの中に水が入った袋があり、この袋を破ることにより反応が始まり、食品が温まるよう工夫されている。

酸化カルシウムと水の分量によっては100℃近くまで温度が上昇する。酸化カルシウムは空気中の水分と反応しやすく、徐々に水酸化カルシウム（消石灰）に変化するため、購入してから時間がそれほど経過していないものを用いる必要がある。また、塊のまま用いると、表面は水酸化カルシウムになっているため、内部の酸化カルシウムに水がしみ込み発熱が確認できるまで時間を要する。実験直前に酸化カルシウムの塊を砕いて適当な大きさにすると、発熱は比較的早く確認できる。

酸化カルシウムは吸湿性に富むので、お菓子の乾燥剤にも利用されている。乾燥剤として用いる場合、吸収する水分は少量のため反応速度は遅く、発熱していることは分かりにくい。しかし、水の量が多くなると反応が急速に進むため温度がかなり上昇し、事故につながる危険性がある。このため、酸化カルシウムを主成分とする乾燥剤には、「禁水」と表示されている。

#### ウ 硝酸アンモニウムの水への溶解

携帯用即冷パックは、硝酸アンモニウムの水への溶解熱を利用したものである。水への溶解度を上げるため、尿素も成分として含まれている。携帯用即冷パックは、顆粒状の硝酸アンモニウムと尿素、内袋に入った水からなる。パックに外から衝撃を与え、内袋を破ると、硝酸アンモニウムの水への溶解が始まり温度が下がる。

実験室では、適量の水に適量の硝酸アンモニウムを溶かし、かき混ぜるだけで温度の低下が観察できる。適切な量で実験を行えば20度近く温度が下がり、硝酸アンモニウムを入れた容器を水でぬらした段ボールの上に置けば、氷結してくっつくこともある。

#### ④ エネルギーの利用についての課題学習

身近な現象や商品をもとに実験を行い、身の回りのエネルギーが物質を構成する粒子の運動状態や化学結合の変化によって出入りするエネルギーであることを学んだ。そこで、生徒が自主的に学習することで、理解を深め、知識が関連づけられるような課題学習とその発表を行った。

#### ア テーマの決定について

生徒には課題学習を単元の学習に入る前に予告した。テーマを決める際はプリントを用

意した。物質の三態又は化学変化に伴うエネルギーの出入りをポイントとすることと、模造紙に図やグラフなどをまとめ、読上げ原稿を用意することを説明した。生徒には図2-3のように黒板に模造紙を貼り付け発表を行うよう指示した。

#### イ 生徒の活動

授業時間だけでなく、放課後も実験室を開放し、学習環境を整えた。インターネットでの情報検索については、利用環境が整わなかったため、今回は見送った。

#### ウ 発表

発表に先立って各班には発表を聞く生徒への質問を一つ考えるよう指示した。他の班の発表も真剣に聞くように、各班の質問に対する答えと発表の感想を記入するプリントを用意した。



図2-3 発表の様子

### (4) 結果と考察

#### ① 物質の状態変化

三態変化のモデルでは、ゼラチン溶液中（濃度3～5%）に分散させる粒子に苦労した。ビーズ・活性炭・家庭用のアルミ箔片（厚さ15 $\mu$ m程度）では、ゲル状のゼラチンが融け始めるとビーカーの底に沈んでしまい、液体における粒子の運動は観察できなかった。厚さ0.1 $\mu$ m程度のアルミ箔片を使用した場合には、ゼラチン溶液中に分散しており、固体モデルや液体モデルをイメージするのに適当であった。対流の影響が顕著に出ないように、ビーカーに入れるゼラチン溶液の量を少なくする必要がある。また、金属の燃焼でも同じ厚さのアルミ箔を用いた。水の凝縮では、水蒸気で満たされたボトル缶を急冷すると、亀裂が入るほど激しく潰れた。実験後、「大気圧のすごさを感じた・驚いた」「面白かった」といった感想がほとんどの生徒からあげられた。従来の実験に比べ、ボトル缶は確実に密閉されるため、大気圧の大きさを確認するためには効果的であった。

物質の三態変化を粒子の集合状態の違いやその運動の激しさの違いで表現する生徒が多くなったものの、ボトル缶が潰れた理由を「缶内の水蒸気が液体になったから潰れた」という説明で終わらせる生徒が多く、分子運動から現象をとらえることができた生徒は少なかった。今後、圧力や温度と、分子運動の関係について明確に位置づける学習計画を立てる必要性を感じた。

#### ② 燃焼に伴うエネルギー

アンケート結果によると、ロケット燃料、炭火などの認知度は元から高かったが、メタン・プロパンの燃焼は熱化学方程式を使用することで生成物や熱量とともに理解できた生徒が多くなった。この燃焼実験において食品と金属を扱った結果、燃焼反応の多様性と日常生活における燃焼熱の利用を理解できたようである。

今後の課題としては、燃焼反応の中で爆発を取り入れることや、酸素にかかわらない燃焼反応にも触れるようにしたい。

### ③ 様々な反応と反応熱

発表後「普段何気なく使用しているが、反応の仕組みを理解できて良かった」といった感想が数多くあげられた。使い捨てのカイロを用いた実験では、酸素の供給と発熱との関係や反応物と生成物の関係に言及した生徒が少なからずみられた。酸化カルシウムと水との反応では、生徒の予想よりも温度が上昇し驚きがみられた。さらに、乾燥剤の中身を用いたり、水分と十分に反応した乾燥剤では発熱がみられないことを確かめたりすれば、生徒の興味・関心がより一層高まると考えられる。硝酸アンモニウムの水への溶解では、氷結が観察できず、生徒は残念がっており、水温の低くなる時期を選ぶ必要性を感じた。

これらの実験を通して、化学反応と関連させて反応熱の発生の仕組みを考えようとする姿勢がみられた。

### ④ エネルギーの利用についての課題学習

実験を行いながら研究した班は、実験装置の改良点を見つけたり、実験に失敗しやる気を無くしてしまったり、創意工夫してみるなど様々であった。放課後も残って取り組むなど、予想した以上に積極的な活動がみられ、通常の授業とは違った表情を見せた。

実際の発表では、説明内容を分かりやすくまとめた模造紙を用意したり、演示実験を行う班もあり、工夫がみられた。発表後の他の班への評価として「よく調べている」「思ったよりもまじめに発表していた」「身近な問題なので発表を聞いて気をつけようと思った」などの感想が他の生徒からあげられた。

生徒の自主性・積極性を育てようという観点で行ったが、自分たちで資料を探し出す能力をどのように伸ばすかは、今後の検討課題である。また、授業の中で課題学習の活動や発表の時間を取れない場合には、レポート提出などの方法も考えられる。

情報の取捨選択の仕方、比較のための実験の必要性を理解させること、受け身の生徒に対する働きかけなど課題は多いが、生徒が実験や授業内容に関心をもち、自らが積極的に行動するという意識をもっていることが分かった。

### (5) おわりに

身近な素材を利用した実験を実施することで、生徒は積極的にかかわり、その結果に興味・関心をもち受け止めている様子が多くの場面で見られた。「なぜ熱が発生するのか」「なぜ物質が状態変化するのか」という疑問はその中で自然とでており、科学的にとらえようとする姿勢が生まれてきた。エネルギーの出入りを原子の組替えや粒子運動の激しさの観点からとらえるには、生徒にとって抽象的な思考を必要とする。こうした概念の学習は、座学だけで形成されるものではなく、実際に実験で確かめ、その結果を考察しまとめていくことで確実に身につくものであると実感した。また課題学習では、単元で学んだことを自らの問題として科学的に考えていこうとする姿勢がみられ知識の定着に役立った。今後、新学習指導要領に基づき、エネルギーの変換と利用、環境とのかかわりについてさらに取り上げたい。

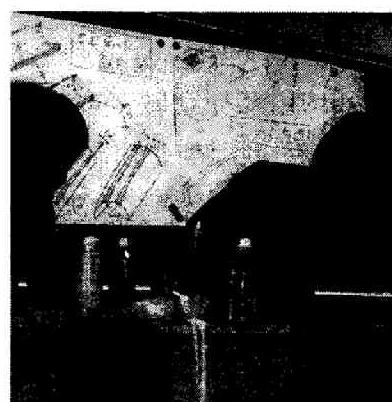


図2-4 発表の様子

### 3 遺伝子組換えを題材にして、遺伝子研究の成果と問題点を科学的に考えさせる指導

#### (1) はじめに

近年、遺伝子に関する研究は目覚ましい進歩をとげ、2001年2月、ついに科学雑誌「ネイチャー」にヒトゲノムの全データが公開された。ヒトゲノムの解読は、各個人の体質にあったオーダーメイド医療の実現へと可能性を広げ、遺伝子研究の基礎となる遺伝子組換え技術は、インスリンやインターフェロンなど、既に多くの医薬品の生産に利用されている。農業の分野でも、近い将来にも起こりうる食糧危機への対応の切り札として、遺伝子組換え作物の研究と開発が進められてきた。一方で、ヒトゲノムは極めて重要な個人情報であり、取扱いによっては遺伝子による差別を生む恐れがある。また、遺伝子組換えについても、食品となる作物への応用は、予期せぬ物質を生み出す危険性や、生態系に影響を及ぼす可能性も指摘されており、これら負の部分に偏った内容の報道や食品表示から、消費者の間には「遺伝子組換え＝怖い」という科学的根拠のないイメージだけが広がっている傾向がある。

本研究に先立ち、遺伝子組換えなどの生命操作に関する現在の高校生の認知度・関心度及びイメージ調査を行った。その結果、遺伝子組換えとクローンの認知度・関心度が高かったが、詳細を知っている生徒は少なかった。またDNA鑑定についても高かったが、ヒトゲノム関係全体としての認知度・関心度は低かった（図3-1・3-2）。また、理由とともに回答させたイメージ調査では、遺伝子診断や遺伝子治療に関して認知度・関心度が低いにもかかわらず、治療という言葉から肯定的なイメージをもつ生徒が多かった。また、遺伝子組換えやクローンに対しては人工的に生命を操作することへの疑問や嫌悪感、安全性への不安から否定的なイメージをもつ生徒が多かった（図3-3）。またマスコミ報道の影響力の強さをうかがわせる回答が多く、生徒が非科学的なイメージをもっている可能性を示唆している。

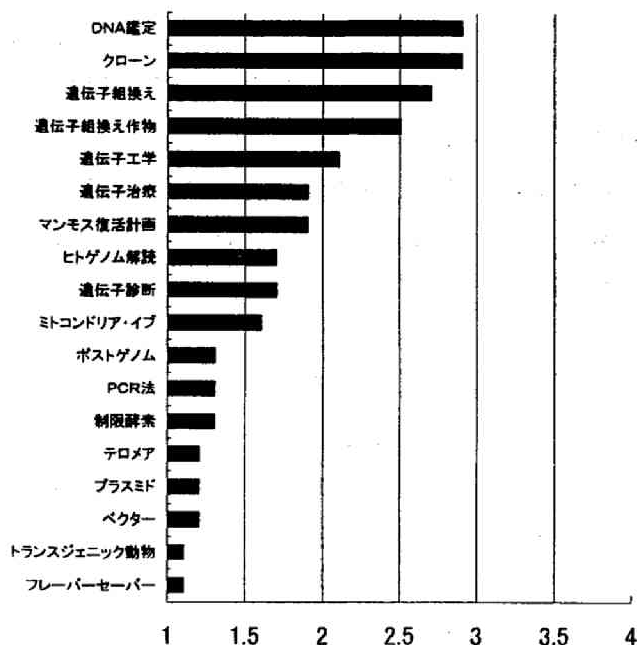


図3-1 認知度調査の結果 (4段階評価の平均)

調査対象 A校：61人 B校：36人  
C校：42人 D校：145人  
計 284人

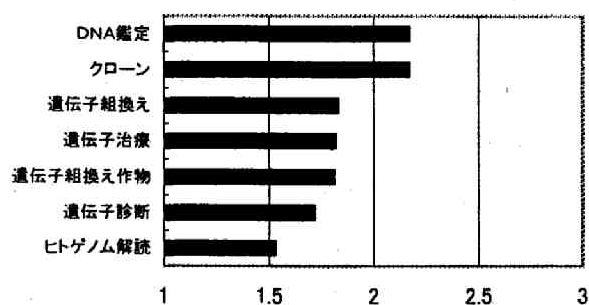


図3-2 関心度調査の結果

(3段階評価の平均)

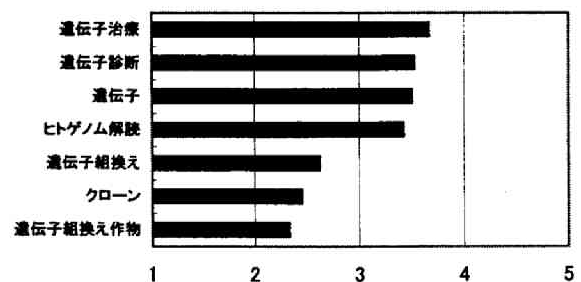


図3-3 イメージ調査の結果

(5段階評価の平均)

このような状況の中、遺伝子組換えについて体験的に学び、遺伝子研究の成果と問題点を科学的に考えさせる指導の開発は、生物教育の急務の課題と考え、本研究に取り組んだ。

## (2) 指導計画

新学習指導要領における「生物Ⅱ」の単元「生物現象と物質」の中の小単元「遺伝情報とその発現」を想定し、DNAの分子構造やタンパク質合成のしくみを学習した後、以下のような指導計画を作成した。

表3-1 指導計画

|       |             | 指導項目 ・ 内容                          | 学 習 活 動                                             | 留 意 点                                        |
|-------|-------------|------------------------------------|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| 第1時   | 導入<br>15分   | 事前アンケートの記入                         | 生命操作に関する現時点での知識の度合いとイメージを確認する。                      |                                              |
|       | 展開<br>35分   | 指先に付着している微生物調査(実験)                 | 培地作成など細菌の培養に関する基礎知識と基本操作を習得する。                      |                                              |
| 第2・3時 | 導入<br>20分   | 指先に付着している微生物調査の結果                  | 細菌のコロニーを観察し、抗生物質のはたらきについて考察する。                      | 滅菌処理の重要性についてもふれる。                            |
|       | 展開①<br>5分   | 事前アンケートの結果発表                       | 他の生徒がもっている知識の度合いとイメージを知る。                           |                                              |
|       | 展開②<br>2.5分 | 遺伝子組換えとその利用例                       | 遺伝子組換えとはどんなことで、何に利用されているのかを学ぶ。                      | 興味を喚起する話題を取りあげる。                             |
|       | 展開③<br>30分  | 遺伝子組換えの基本原理                        | プラスミド、制限酵素、ベクターなどについて学び、遺伝子組換えの原理を理解する。             |                                              |
|       | 展開④<br>20分  | 仮説の設定                              | 「光る大腸菌」をつくるにはどのようにすればよいか考える。                        | 生物発光の例を示す。                                   |
| 第4・5時 | 導入<br>5分    | 仮説の確認                              | 前回の授業を想起し、他の生徒の仮説を知る。                               |                                              |
|       | 展開①<br>4.5分 | 遺伝子組換え実験の説明                        | 発光クラゲの遺伝子を大腸菌に導入する実験の概略を理解する。                       |                                              |
|       | 展開②<br>40分  | 遺伝子組換え実験の疑似体験<br>(自作ビデオ教材)         | 実験の様子を、結果を予想しながらビデオで見る。またその原理をドライラボを通して理解する。        | 実験後の滅菌処理の重要性にもふれる。                           |
|       | まとめ<br>10分  | レポートの作成                            | 学習内容を整理し、実験結果についての考察をする。                            |                                              |
| 第6・7時 | 導入<br>10分   | 疑似体験レポートの返却とまとめ                    | 正しく考察できていたか確認する。                                    |                                              |
|       | 展開①<br>40分  | ヒトゲノム解説                            | ヒトゲノム解説の意義について学ぶ。                                   | 遺伝子診断、オーダーメイド医療についてもふれておく。                   |
|       | 展開②<br>40分  | 遺伝子診断(ビデオ)                         | 遺伝子診断の現状を知る。                                        |                                              |
|       | まとめ<br>10分  | レポートの作成                            | 遺伝子診断の成果と問題点について考える。                                |                                              |
| 第8・9時 | 導入<br>5分    | ビデオレポートの返却とまとめ                     | 問題点を整理し、医学技術の利用と社会面での問題点を知る。                        |                                              |
|       | 展開<br>9.5分  | 遺伝子研究の成果と問題点<br>(インターネットを利用した課題学習) | インターネットを用いて情報を収集しまとめるとともに、自分の感想や意見をレポートする。          | インターネット未経験者には使用法を説明する。                       |
| 第10時  | 展開<br>40分   | 課題学習の発表と遺伝子研究に関する意見交換              | 各自の調査結果を基に遺伝子研究に関する意見交換を行い、いろいろな考え方を知り、成果や問題点を整理する。 | 客観的に判断することの重要性を伝える。特定の考え方を押しつけることのないように留意する。 |
|       | まとめ<br>10分  | 事後アンケート記入                          | 他の生徒の意見を踏まえ遺伝子研究に関する賛否と理由を記入する。                     |                                              |



### (3) 実験材料と方法

#### ア 指先に付着している微生物の観察

指先に付着している微生物の培養には普通寒天培地を用いた。抗生物質を含む培地には、合成ペニシリンの一種であるアンピシリンナトリウムを 0.1mg/ml の濃度で加えた。アンピシリンを含む培地には親指を、含まない培地には人差し指を、S字を描くようにこすりつけ、室温にて1週間培養した。顕微鏡観察には、遺伝子組換え実験で使用する大腸菌 K-12 株を用いた。

#### イ 遺伝子組換え実験

本研究は、既に米国で市販されている実験キットを利用し、生徒実験を行うことを想定して進めてきた。新聞報道では、平成 13 年 10 月に高等学校での遺伝子組換え実験が解禁されるとのことであったが、実現しなかった。そこで、組換え DNA 実験についての安全委員会が設置されている大学で、実験キットを使った実験講習を受けた際に撮影した映像をもとにビデオ教材を作成した。ビデオに収録した実験操作の概略は以下の通りである。

「+DNA」、「-DNA」と書いた2本のチューブに塩化カルシウム緩衝液を入れ、大腸菌を適量懸濁させる。「+DNA」チューブのみにプラスミド(小さな環状のDNA)を加え、2本のチューブを冷却する。プラスミドには、次の遺伝子が組み込まれている。

- オワンクラゲ *Aequorea victoria* の Green Fluorescent Protein (GFP) 遺伝子  
(緑色の蛍光を放つタンパク質の遺伝子)
- 抗生物質アンピシリンを分解する酵素の遺伝子
- アラビノースオペロンの制御タンパク質の遺伝子

2本のチューブを 42℃ のウォーターバスに 50 秒入れた後、素早く冷却する。冷→熱→冷のヒートショックで大腸菌の一部にプラスミドが取り込まれる。液体の LB 培地を加え室温で 10 分放置した後、次の4種類の培地に大腸菌を植え付け、37℃で一昼夜培養する。

「+DNA」チューブの菌を植え付ける培地

培地① LB 培地+アンピシリン      培地② LB 培地+アンピシリン+アラビノース

「-DNA」チューブの菌を植え付ける培地

培地③ LB 培地+アンピシリン      培地④ LB 培地

### (4) 授業実践

#### ア 指先に付着している微生物の観察

生徒が仮説を立て、探究的に遺伝子組換え実験を進めるためには、微生物実験の基礎知識と抗生物質の働きについて理解しておく必要がある。そこで、生徒の指先に付着している微生物を培養し、コロニーを観察させた。さらに、遺伝子組換えが成功した菌の選別に使用する抗生物質アンピシリンを含む培地も作製し、結果を比較させた。また、遺伝子組換えに使用する大腸菌も培養し、顕微鏡下で長さを測定させた。

#### イ 遺伝子組換えの基礎的学習

導入として、「納豆」の包装フィルムの表示や、スナック菓子回収のお知らせなど、遺



図3-4 培地の作製



伝子組換えに関する身近な話題を取り上げた。遺伝子組換えの原理についての説明では、遺伝子組換え作物をつくるのに最もよく利用される、アグロバクテリウム法を取り上げた。

さらに、大腸菌に成長ホルモンを生産させる方法を通して基本的な用語を復習し、ベクター(運び屋)であるプラスミドや、DNAを切る「はさみ」にあたる制限酵素、「のり」の役目をするリガーゼなどについて、知識の定着を図った。学習のまとめとして、「大腸菌を光らせることができるのか」について仮説を立てさせ、検証する授業展開とした。

#### ウ 自作ビデオによる遺伝子組換え実験の紹介とドライラボ

高等学校での遺伝子組換え実験が解禁されなかったため、遺伝子組換え実験を収録したビデオ教材と、切り貼り作業を含むプリントによるドライラボを組み合わせ、実験を疑似体験できるように工夫した。ビデオ教材は単に実験風景を流すだけでなく、各操作段階で起こっていることについての問いかけと解説図を挿入し、ドライラボとの組み合わせで、予想を立てて検証するという、探究的な流れを組み立てた。

#### エ 遺伝子研究に関する情報収集

##### (ア) テレビ番組からの情報

遺伝子研究の医学分野における利用例を紹介するVTRを視聴させ、学習内容の定着を図るためのプリント学習を行った。本番組では、染色体の構造を解説した後、個人のDNA塩基配列の調査によって特定疾患に対する感受性が分かることや、遺伝子情報漏洩による社会的な差別発生の危惧などの話題が紹介されている。

##### (イ) インターネットからの情報

各学校、各家庭にインターネットが普及しつつあることから、インターネットを用いた情報収集の方法を学ぶことは今後に向けて大切であると考え、「遺伝子組換え」又は「ヒトゲノム解読」のいずれかについての情報を収集させ、成果と問題点についてレポートにまとめさせた。基本的には自由に検索させたが、事前にいくつかの有用なホームページのアドレスを選び出しておき、必要に応じてアクセスするように助言した。

##### (ロ) 新聞記事からの情報

遺伝子研究に関する最近の新聞記事に注目するとともに、過去の特筆すべき成果を報じた記事・論点を扱っている記事を調べさせ、遺伝子研究の成果と問題点を考える材料とするよう指導した。また、授業の中でも積極的に紹介した。

#### オ 遺伝子研究に関する意見交換

遺伝子研究の成果と問題点についてのレポートを発表させるとともに、遺伝子研究について自分がどのような意見をもっているかを述べさせた。また、自分と異なる意見も加味した上で、改めて遺伝子研究に関する賛否と理由をまとめさせた。

### (5) 結果と考察

#### ア 指先に付着している微生物の観察

自分の指先に付着している微生物ということもあり、結果についての生徒の関心は非常に高かった。アンピシリンを含まない培地には細菌類と菌類(カビ)の両方のコロニーが現れたが、アンピシリンを含む培地では菌類のみが生育し、細菌類の生育が阻害されることが確認できた(図3-5)。生徒は、この実験を通して、微生物実験の基本的な操作を学び、

抗生物質の働きについても理解できた。遺伝子組換え実験を探究的な流れで進めるためには、このような事前実験は不可欠であると考えられる。

#### イ 遺伝子組換えの基礎的学習

遺伝子組換えの原理についての学習後、ほとんどの生徒が「遺伝子組換えによって大腸菌を光らせることができる」という仮説を立て、制限酵素とリガーゼにより大腸菌のプラスミドの遺

伝子を組み換える方法を図示できるようになった。教室には、オワンクラゲをはじめ、色々な発光生物の写真を掲示しておいたが、多くの生徒は、組換えに使う遺伝子として、ホタルの発光に関わるルシフェラーゼとルシフェリンを合成させる遺伝子をあげ、改めて発光生物としてのホタルの認知度の高さを感じた。一部の生徒には、「光る遺伝子」や「ルシフェリンを入れる」などの表現が見られ、遺伝子と遺伝子の情報をもとにつくられる物質との関係を理解させる工夫が必要であると感じた。

#### ウ 自作ビデオによる遺伝子組換え実験の紹介とドライラボ

実験の結果、アンピシリンを含む培地には、遺伝子組換えが成功した菌のみが繁殖した。アラビノースを含む培地では、発光クラゲの遺伝子を組み込んだ大腸菌が、紫外線のもとで光っているようすが映像でもはっきりと分かり、ほとんどの生徒が「是非自分たちで実験をやってみたい」という感想をもった。またドライラボによって、遺伝子組換えを行う上で実験操作それぞれにどのような意味があるのかを理解することができた。しかし、あくまで疑似体験であることと、またプラスミドなどがすでに調整済みの実験キットを使用していることから、「遺伝子組換え実験というものは非常に簡単にできるのだ」という印象をもった生徒もいた。

#### エ 遺伝子研究に関する情報収集

##### (7) テレビ番組からの情報

番組視聴後に「あなたは遺伝子診断や出生前診断を受けてみたいですか。」と生徒に尋ねたところ、「是非を受けてみたい」又は、「将来のことを知りたくない」など、様々な意見があり、遺伝子診断を我が身に起こる現実的なものとして受け止めていることがうかがえた。

##### (イ) インターネットからの情報

授業では90分程度の限られた時間であったが、非常に多くの情報が短時間で得られることに驚きと楽しさを感じた生徒が多かった。遺伝子研究の様々な成果や問題点を新たに知ることができたようである。D校では、約半数の生徒が家庭でさらにインターネットを利用した情報収集を意欲的に行った。



図3-5 指先に付着している微生物のコロニー  
a. アンピシリン無し b. アンピシリン有り



図3-6 インターネットによる情報収集

#### (ウ) 新聞記事からの情報

新聞記事は、遺伝子研究の成果と問題点、是非に関する意見を知る材料として利用できた。今後は普段の授業の中で随時紹介していくほか、生徒各自でスクラップさせるなどして、つねに最新の情報に注目させたい。

#### オ 遺伝子研究に関する意見交換

他の生徒の調べた内容を聞くことにより、遺伝子研究の成果に関する知見を増やすことができた。また、遺伝子研究の是非に関しては様々な意見を知ることができ、客観的に判断する材料にすることができたようである。

#### カ 事後アンケート

学習後に生徒がどのように変容したのかを知るために事後アンケートを行った。遺伝子研究に対するイメージの変容を調べたところ、学習前に比べて肯定的なイメージをもつようになった項目が多かったが、出生前診断については、診断結果によって産むか産まないかを決めることへの懸念から否定的なイメージが強かった(図3-7)。またそれぞれの項目について、そのようなイメージをもつようになった理由を書かせ、科学的に理由が述べられている場合を3、理由は書かれているが理論的に不完全なものは2、感情的な語句のみの場合は1、理由が書けない場合は0として平均値を出し、事前アンケートのイメージ調査と比較した。その結果、C校とD校の3年選択生物受講者では学習前に0.85であったが、学習後は2.03となり、科学的に理由を述べられるようになっていたことが分かった。さらに学習活動全般を自己評価させたところ、両校で半数以上の生徒が遺伝子組換え実験に強い興味をもち、また、ほぼ全員が遺伝子研究とその利用についてもっと学習したいと回答した。

|                      |      |
|----------------------|------|
| 遺伝子組換え技術の基礎研究        | 3. 7 |
| 遺伝子組換え技術の医療・薬品製造への応用 | 3. 6 |
| 遺伝子組換え技術の農作物への応用     | 3. 1 |
| ヒトゲノム解読              | 3. 6 |
| 遺伝子診断                | 3. 7 |
| 出生前診断                | 2. 7 |
| 遺伝子治療                | 4. 1 |

学習前とイメージが変わらない場合を「3」としてイメージの変容を示す。

(調査対象：C・D校 3年生物選択者)

図3-7 学習後のイメージ調査

#### (6) おわりに

遺伝子研究がめざましい進歩を遂げている。様々な恩恵がもたらされるとともに、問題点も危惧されているが、情報が氾濫する中で、科学的な根拠に欠ける情報や偏った考え方が広がっている。そこで、本研究では遺伝子研究の成果と問題点の両面を多角的に理解させ、客観的に考える力を育てることに主眼をおいた。これについては事後アンケートの結果に示されるように、一定の成果が得られたようである。21世紀を迎え、遺伝子研究の分野のほか環境問題、医療問題などに関しても、このような指導はますます必要になってくるであろう。

本研究では遺伝子組換えを主な題材としてきたが、高等学校における遺伝子組換え実験が解禁となり、講習を受けた指導者のもと、本研究で紹介したような実験キットを用いた生徒実験を行うことが可能になりそうである。このことで遺伝情報発現の仕組みについて体験的に学ぶ授業を行うことも可能であると考えられる。

#### IV 研究の成果と今後の課題

本研究の主題「身近な事象について関心をもたせ、科学的に考える力を育てる理科の指導」をもとに、物理、化学、生物のそれぞれの分野で実践的な研究を進めてきた。物理、化学、生物各3分野とも身近ではあるが、意識されにくい事象を題材に取り組んできた。教材の改善・工夫に努めるとともに、新学習指導要領の趣旨を生かしながら、生徒の学習意欲を高めるために、観察、実験を行い、レポートの作成等に主体的に取り組むための方策を検討してきた。生徒が学習課題を設定し、実験の企画、調べ学習、意見交換などを行い、調査結果や自らの考えを他の生徒へ発表する授業を工夫してきた。

物理では、実験材料としてなるべく身近にある物を使うことや、実験結果を能率的にまとめることができることを目指して指導法を工夫した。生徒は数多く実験を行い、実験結果をまとめることで、運動の第2法則についての理解とともに力積と運動量といった物理概念を実感することができていた。

化学では、「エネルギーは物質の状態変化及び化学変化に伴っている」ことについての学習から、「エネルギーの利用」に関する課題研究へと発展させる授業展開を工夫した。実験を通じて物質は粒子から構成されることを認識し、物質が状態変化や化学変化をする際にエネルギーが出入りすることを容易に把握できていた。また、エネルギーの利用を生徒それぞれが調査、発表することで日常生活の中で化学が深く関わっていることに気づき科学的に考える力が養われていた。

生物では、微生物についての基礎的な実験とともに疑似体験的な授業を工夫し、遺伝子組換えの原理についての学習を進めた。遺伝子研究の成果と問題点については、情報通信ネットワークをはじめとする様々な手段を活用し、生徒自身が情報の収集を行うことで主体的な学習ができるようにした。これらの学習活動を通して、生徒は遺伝子組換えの原理について探究的に学ぶことができた。さらに、意見交換等の活動を通して、遺伝子研究とその応用の是非について客観的に判断し、自分の意見が述べられるようになった。

今回工夫した指導方法により、生徒たちは、身近にありながら意識しにくい事象についても関心をもち、意欲的に学び、発表することで自信をもつことができたようである。今後理科の学習以外にもつながっていくことが期待される。

今後の課題としては、次のようなことがあげられる。物理では、実験で使用したリングばねは耐久性に欠けていた。塩化ビニル製のものを金属製にするなど実験器具の改良を進める必要がある。化学では、電気エネルギーや原子力エネルギーなども取り上げ、エネルギーの発生の仕組み、利用法、エネルギー問題などについて考えさせ、さらに化学以外の分野と関連づけることで、エネルギーの出入りをグローバルな視点から考えさせられるような方向を示していきたい。生物では、氾濫している遺伝子関連の情報を精選し、授業展開の中で、効果的に情報提供する方法を工夫していくことが課題である。

21世紀の初めに本研究に取り組み、多様化する今後の社会を生きる生徒に「自ら学び、考える力」を身に付ける重要性をさらに強く感じた。生徒が理科の学習に対して主体的に取り組む、身近な事象を科学的に考えさせる力をさらに養わせていけるよう、本研究を継続しながら今後の授業に取り入れて行きたい。

平成13年度教育研究員研究報告書

東京都教育委員会印刷物登録  
平成13年度 第41号

平成14年1月23日

編集・発行 東京都教職員研修センター  
所在地 東京都目黒区目黒1-1-14  
電話番号 03-5434-1976

印刷会社名 株式会社 ドゥ・アーバン