

受入番号	配布場所
A1-40634	資七研多

高等学校

平成 12 年 度

教育研究員研究報告書

理 科

東京都教育委員会



平成 12 年度

教育研究員名簿(理科)

分野	学 校 名	氏 名
物 理	都立砧工業高等学校	竹 花 康 男
	都立蔵前工業高等学校	入 山 美 樹 子
	都立久留米高等学校	佐 藤 功
	都立南野高等学校	鈴 木 茂 之
化 学	都立明正高等学校	杉 山 和 正
	都立八王子北高等学校	佐 藤 聖 一
	都立小平南高等学校	水 間 武 彦
生 物	都立鷺宮高等学校	中 島 由 貴
	都立日本橋高等学校	山 田 茂 博
	都立第五商業高等学校	生 沼 清 光
地 学	都立大泉北高等学校	永 田 智
	都立小金井北高等学校	大 浦 淳

担 当 教育庁指導部高等学校教育指導課 指導主事 大 室 文 之

環境に対する関心や探究心を高め、科学的な思考力を養い、
総合的に自然をとらえられるようにする指導

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	エネルギー変換効率の実験を通して、省エネルギーや 環境保全の意識を高める指導	4
2	身近な河川の水質調査を通して水の汚染と浄化の仕組みを考察 することにより自然を総合的にとらえられるようにする指導	9
3	酸性雨の理解やミニ生態系の制作を通して、 環境を総合的に考えさせる指導	14
4	オゾン層の破壊問題を通して、 地球環境について考えさせる指導	19
IV	研究のまとめと今後の課題	24

環境に対する関心や探究心を高め、科学的な思考力を養い、 総合的に自然をとらえられるようにする指導

I 主題設定の理由

21世紀を迎え、引き続き我が国の国際化、情報化が進展し、科学技術などの発展が進む中、平成12年度から新教育課程への移行措置が開始されるなど、時代の変化に対応した教育の改革が着実に進んでいる。理科においても、生徒がゆとりをもって観察、実験に取り組み、問題解決能力や多面的・総合的な見方を培うことが従前にも増して重視されるようになった。そして、自然の事物・現象への関心・意欲や疑問を追求してやまない好奇心や探究心を育てることを始め、豊かな科学的素養を養うことが求められている。

また、20世紀後半から地球環境の問題は人類の存亡にかかわることであると認識されるようになってきたが、理科の学習で身に付けた内容を環境に関係した学習を行う際生かすことが期待されている。理科では自然の事物・現象を対象に様々な切り口から学習活動を行うが、自然は総合的なものであり、指導に当たって、生徒が科学的で総合的な自然観を自ら学びとるよう

に援助することが重要である。そこで、人間活動と環境という認識を大切にしながら、社会の変化を踏まえて、「環境に対する関心や探究心を高め、科学的な思考力を養い、総合的に自然をとらえられるようにする指導」を研究主題として設定した。

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視野に入れながら、環境に対する生徒の関心を高め、身近な事物・現象を生かした研究を試みた。そして、実際に起こっている様々な事物・現象について、物理、化学、生物、地学の各分野の特性を生かした学習活動を行い、生徒が自然を総合的にとらえられるようにする指導の在り方や方法を研究することを通して主題の解決に迫ることとした。

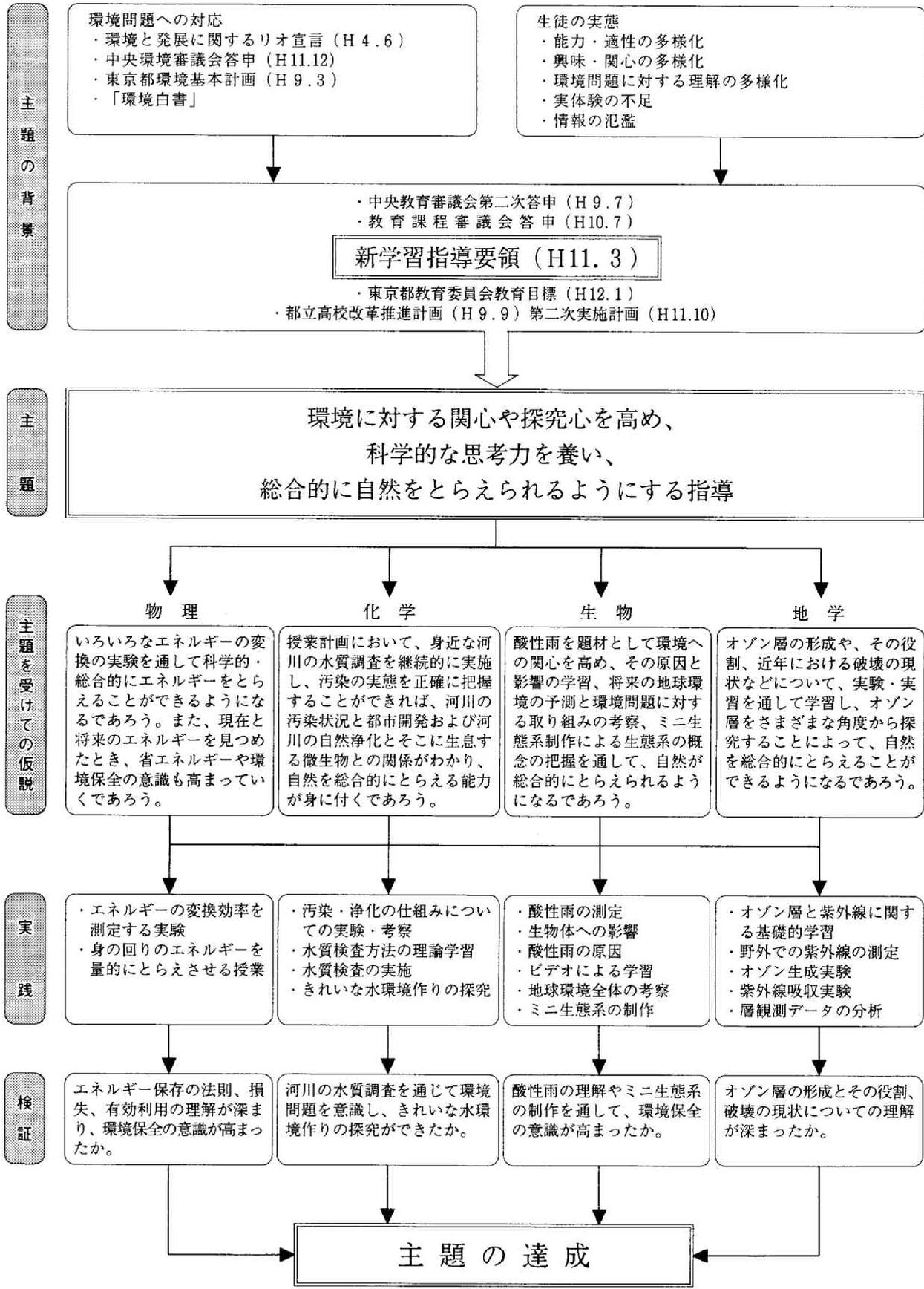
そこで、今までの教育改革の動向、研究主題、研究の進め方などの関係を明確にするため、次のような研究構想図を作成した。本研究構想図では、研究の各分野ごとに、主題を受けての仮説、実践及び検証の項目を設け、研究を進めるとともに、研究方針として、次の3点を設定した。

- 1 環境に対する生徒の関心を高めるために、日常生活と関係の深い事物・現象を観察、実験の対象として取り上げ、体験的な活動を通して生徒の学習意欲を引き出すようにする。
- 2 科学的な思考力を育てるために、探究の過程を重視する指導計画を作成し、授業実践に結び付ける。
- 3 様々な事物・現象を通して問題の本質を認識できるようにするとともに、生徒の問題解決能力を高め、自然を総合的にとらえられるよう指導を充実させるようにする。

また、本研究を進める上での留意点は次のとおりである。

- 現行の学習指導要領だけではなく、「理科総合A」や「理科総合B」などの新科目が設けられた新学習指導要領でも活用できるようにする。
- 生徒へのアンケートなどにより生徒の実態を把握し、指導計画や教材・指導法の開発や工夫に努めるとともに、生徒が自ら学ぶ意欲や態度を積極的に評価する。

研究構想図



Ⅲ 研究内容

物 理

1 エネルギー変換効率の実験を通して、省エネルギーや環境保全の意識を高める指導

(1) はじめに

人間は様々なエネルギーを他の形態のエネルギーに変換しながら利用している。例えば石油のようなエネルギー資源は、エンジンを動かして力学的エネルギーを得たり、発電機を回して電気エネルギーを得るために利用されている。しかしエンジンや火力発電は、石油がもつ化学的エネルギーを力学的エネルギーや電気エネルギーに100%変換することはできず、廃熱などの形でのエネルギー損失を伴い、排気ガスなどの汚染物質を放出する。現代社会において人間は便利さ、快適さを求めてエネルギーを大量に消費しており、このことが大気汚染や地球温暖化などの環境問題につながっている。

新学習指導要領において新設された「理科総合A」は、「自然の事物・現象に関する観察、実験などを通して、エネルギーと物質の成り立ちを中心に、自然の事物・現象について理解させるとともに、人間と自然とのかかわりについて考察させ、自然に対する総合的な見方や考え方を養う」ことが目標とされている。このことを念頭に置きながら、本研究では、エネルギーという観点で人間活動と自然環境とのかかわりを考察させることをテーマとして取り上げた。

「物理I」や「理科総合A」において、エネルギー変換の定量的な実験を行ったり、身の回りのエネルギーを量的にとらえさせる授業を行うことは、仕事やエネルギーの概念を身に付けさせるだけでなく、環境問題を科学的・総合的に理解し、省エネルギーや環境保全の意識を高める上で有効であると考えられる。

そこで本研究では、様々なエネルギー変換を定量的に調べる実験教材を開発するとともに、身の回りのエネルギーを量的にとらえさせるための指導計画を作成した。

(2) 指導計画

本研究のねらいは第一に「体験に基づくエネルギー感覚を身に付ける」、第二に「エネルギーの変換効率の実測を通して、エネルギーの本質を理解させ、資源の有効活用などを考察させる」ことにある。

第一のねらいは、従来のエネルギー分野の学習における「仕事量」の大きさの議論が生徒の経験的理解から離れたところで行われてきた傾向を見直し、体験を通してエネルギー感覚を身に付けさせようとするところにある。

第二のねらいは、エネルギーの形態が変わる際の「エネルギー保存の法則」と、「エネルギー損失」との関係を理解させる。そしてエネルギー変換効率を実験的に求めることで日常生活におけるエネルギーの量的関係に注目させて環境に対する配慮の意義を理解させることにある。

表 1 - 1 指導計画

	指導項目・内容	学 習 活 動	留 意 点
1 時 限	エネルギーの定義 ①仕事の定義・単位 ②仕事率の定義・単位 ③エネルギーの定義・単位	①仕事=力×移動距離を用いて、物体を持ち上げたり、運搬したりするときの仕事を計算する。 ②仕事率=仕事÷時間を用いて、仕事の効率を表せることを理解する。 ③エネルギーとは仕事をする能力であることを理解する。	・1Jとはどのくらいの仕事・エネルギーであるかを具体例を通して実感できるようにする。
2 時 限	エネルギーの種類と特徴 ①運動エネルギー ②重力による位置エネルギー ③弾性力による位置エネルギー ④熱エネルギー ⑤電気エネルギー ⑥化学エネルギー ⑦光エネルギー ⑧原子核エネルギー ⑨音のエネルギー ⑩その他	・それぞれのエネルギーについて、身近な具体例をあげる。 ・生活の中でエネルギーがどのように利用されているのかを考える。	
3 時 限	エネルギーの移り変わりと保存則	・エネルギーがいろいろの形に姿を変えることができることを具体例を挙げて説明できる。 ・エネルギーの変換において、それに関係する全エネルギーの和は一定であることを理解する。	
4 時 限	エネルギー変換効率の測定(実験) ①化学エネルギー→力学的エネルギー ②力学的エネルギー→熱エネルギー ③電気エネルギー→力学的エネルギー ④光エネルギー→電気エネルギー	①ヘロンエンジンを動かしておもりを持ち上げる。 ②水の入った容器を上下動させ水温を上げる。 ③手回し発電機で発電し、おもりを持ち上げる。 ④太陽電池で太陽光から電気エネルギーを得る。	・これらの実験を可能な範囲でおこなう。
5 時 限	地球環境とエネルギー	・実験結果からエネルギー変換効率の低さを知る。 ・私たちがエネルギーを利用するとき、エネルギーの損失を伴うことを理解し、省エネルギーについて考える。	

(3) 授業実践と教材

① 実験「熱機関によるエネルギーの変換効率の測定」

ア 実験方法：空き缶を利用した蒸気機関（ヘロンエンジン）を用いて、エネルギーの形態が「化学エネルギー（アルコール）→熱エネルギー（水の沸騰）→力学的エネルギー（エンジンの回転）」と変化する様子を観察する。

空き缶に水を約50ml入れアルミテープで穴を塞ぐ。アルコールランプで熱すと、アルミパイプの先から蒸気が噴出し、ヘロンエンジンが回転を始める。30秒ごとのアルコールの減少量を測定し、消費されたアルコールの化学エネルギーを求める。

エンジンの回転軸に糸を結び、糸の先に25gのおもりをつなぐ。おもりが30秒間に持ち上がった高さから、得られた力学的エネルギーを求める。

化学エネルギーから力学的エネルギーへの変換効率を%で求める。

イ 実験結果：メチルアルコール1gあたりの燃焼熱は約2.1kcalで、30秒間で0.5g前後のアルコールが消費される。

得られる力学的エネルギーは、装置が手作りなので安定していないが、おもりは30秒間に25～90cm上がる。

生徒が求めたエネルギー効率は0.0005～0.002%と極めて小さい。

ウ 実験時の生徒の様子：「回った。回った。」あちこちで生徒の歓声が上がる。水を入れただけの空き缶が、熱するだけで回転を始めたのだ。授業中あまり熱心であるとはいえない生徒たちも、目を丸くして大喜びだった。

「先生どうして回るの。」いったん興味を持った生徒達は授業を楽しみ始めた。

エ 生徒の感想より：「目に見えるエネルギーは面白いと思った。見た目はすごいエンジンではないが、すごい仕事をすると思った。地球にはいろいろな形のエネルギーがあると思うと、面白そうだった。」「今までエネルギーが変化するというのがよく分からなかったけど、実験を通して理解できました。あと、空き缶でこんな実験用具ができて、エネルギーの変化の実験ができるのがすごいと思いました。」「水を沸騰させることで、缶を回転させたりするなんて、とても面白いと思った。化学エネルギーが力学的エネルギーに変わると、エネルギーはほとん

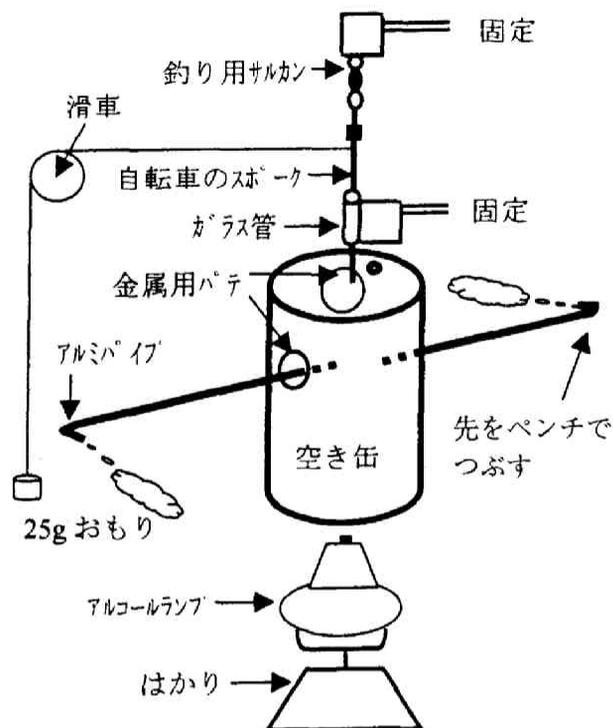


図1-1 ヘロンエンジン概略図



図1-2 実験風景

どなくなることに驚きました。」「自分の暮している身近な所にたくさんのエネルギーがあることが分かった。」「エネルギーの変化が見られておもしろかった。無駄のないエネルギーの利用が大切だと感じました。」

② 実験「力学的エネルギー→熱エネルギーのエネルギー変換効率の測定」

物理の分野において『エネルギー』の単元で、まず最初に扱うのが力学的エネルギーであり、次に出てくるのが熱エネルギーである。この基礎となる2つのエネルギーの変換効率を求めるために、身近にあり、すぐに用意できる材料を用いて以下のような実験を行った。

(実験1) 水を魔法瓶に入れて

- (ア) 1 mの高さから落下させることを繰り返す
 - (イ) 50cmの幅で上下に振ることを繰り返す
- 場合の実験前後の温度を測定し、力学的エネルギーが熱エネルギーに変わる割合を求める。

(実験2) 断熱材でまわりを包んだ紙筒の中に金属粒を入れてふたをし、筒を上下に逆転させることを繰り返す。この実験前後の温度を測定し、力学的エネルギーが熱エネルギーに変わる割合を求める。

③ 実験「手回し発電機を用いたエネルギー変換効率の測定」
(力学的エネルギー→電気エネルギー→力学的エネルギー)

力学的エネルギーと電気エネルギーとの変換において、その変換効率は何のくらいかを市販の手回し発電機を改造して糸巻き車をつけた装置を用意して調べる。

おもり M_1 を静かに落下させると、 G_1 によって発電され、 G_2 がモーターとなって回転し、おもり M_2 が持ち上げられる。

(方法) (ア) 質量 M_1 、 M_2 および高さ h_1 、 h_2 を測定する。

- (イ) おもり M_1 が初めにもっていた位置エネルギー M_1gh_1 及びおもり M_2 が得た位置エネルギー M_2gh_2 を計算する。
- (ウ) エネルギー変換効率 M_2gh_2 / M_1gh_1 を求める。

本実験では、 $M_1 = 500 \text{ g}$ 、 $h_1 = 1.00 \text{ m}$ 程度が適当で、 M_2 を50、100、150 gの3通りについて測定すると、変換効率は10~15%程度となった。 M_2 が大きすぎても小さすぎても変換

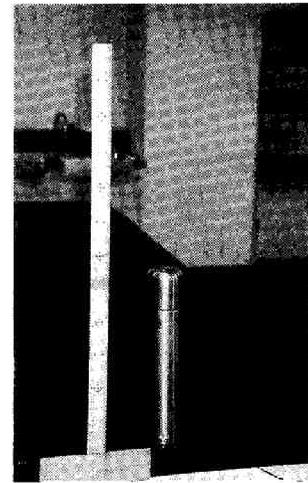


図1-3 実験1

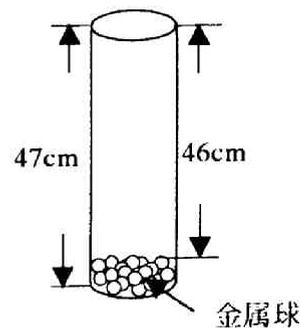


図1-4 実験2

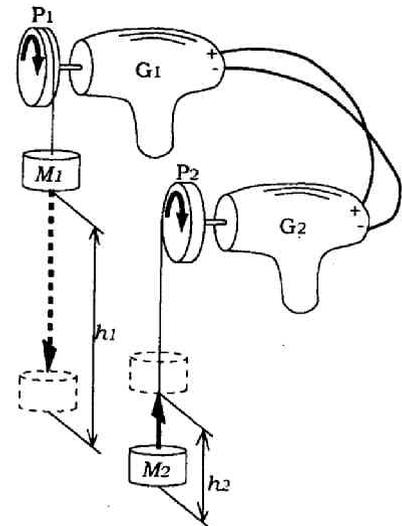


図1-5 実験装置の説明図

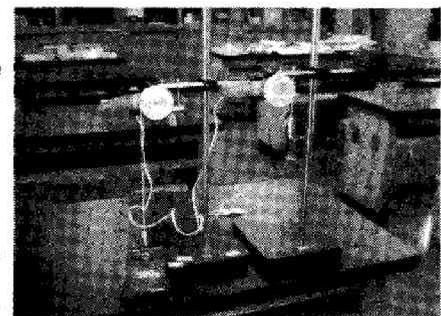


図1-6 実験風景

効率は低下する。

④ 実験「太陽電池のエネルギー変換効率の測定」

太陽電池はクリーンな新エネルギーとして有望視されているが効率やコストの面でまだ実用上の問題を抱えている。

この実験では光エネルギーから電気エネルギーへの変換効率の測定を通して太陽電池に対する関心や理解を深める。

〔方法〕

(ア) 市販の太陽エネルギー放射実験器に太陽光を当てて容器内の水の温度上昇率を測り、入力した太陽光エネルギーの仕事率 (W/cm^2) を求める。

(イ) (ア)と同一条件下において太陽電池に太陽光を当て、負荷に対する電流及び電圧を測定する。出力-負荷特性から最大出力 (W/cm^2) を見積もる。

(ウ) (ア)、(イ)より太陽電池におけるエネルギー変換効率を求める。

(4) 結果と考察

エネルギーに関する単元に入る前に、生徒からアンケートをとった。エネルギーと地球温暖化に関するものである。生徒は「地球温暖化」という言葉は知っているが、「ヒートアイランド現象」や「オゾン層の破壊」と混同している生徒が多くみられた。

エネルギーの変換実験の後、授業でエネルギー消費と環境への影響の話をした。そして最後に「地球温暖化を防ぐ方法」という題で思いつくことを書いてもらった。結果は前回のアンケートに比べ、明らかに違いがみられた。生徒の回答は具体性を帯び、エネルギーと環境について、温暖化対策を真剣に考えるようになってきていることがわかった。

生徒の回答の多くは「植林や木材に変わる資源の開発」「資源の節約」「代替エネルギーの開発と普及」という3つに集約される。具体的には「植林の義務付け、ソーラーカー・電気自動車・エコカーの利用、徒歩・自転車・公共の交通手段の利用、ゴミの肥料や熱源としての再利用、リサイクル製品の開発」等が多かった。また、それ以外にも「二酸化炭素を集めて宇宙に捨てる」「科学的に他の物質に変える」といった個性的な回答も出てくるようになった。中には「エネルギー効率を上げる」と書いてくれた生徒もいたことはうれしいことであり、環境保全に対する意識の高まりがうかがえた。

(5) おわりに

「エネルギーを通して自然を総合的にとらえられるようにする。」これが物理分野の研究主題だった。実験の中でエネルギーが形を変えていくと、生徒の目が輝き、実験後の考察等からも、自分たちの回りの現象がエネルギーの変換であるということに気が付いていることがわかった。生徒の反応が最も良く研究の成果を物語っていた。

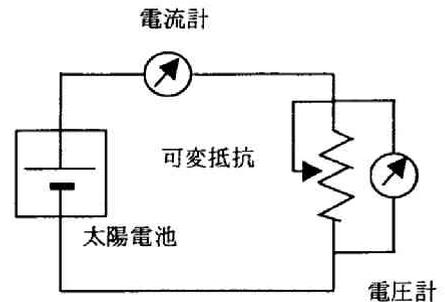


図1-7 回路図

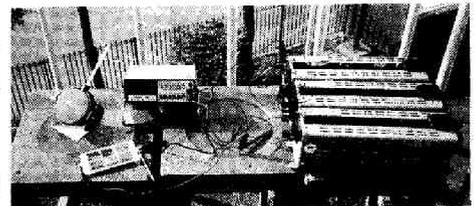


図1-8 実験風景

2 身近な河川の水質調査を通して水の汚染と浄化の仕組みを考察することにより自然を総合的にとらえられるようにする指導

(1) はじめに

私たちの住む地球は、その表面の約70%が水でおおわれている。広い宇宙空間の中で地球のみが表面に満々たる水や海水を保持している。地球上に水という物質は多くあるが、河川水はそのうちの0.0001%に過ぎないといわれている。この河川水は生物体が存在していく上で必要不可欠なものであり、今日のわれわれの生活そのものは河川水の恩恵の上に成り立つものである。水道の蛇口をひねるとあたりまえのように水が出てくるが、多くはこの河川の水を浄水場へ引き各家庭に分配したものである。もともと自然界の水は自浄作用を受けている。例えば、河川に汚染として少量の分解可能な有機物が混入したとしても、河川に生息する微生物の働きにより分解され、もとのきれいな状態に回復する。しかし、河川流域の都市開発により住宅や工場が建ち並び浄化されないままの汚水が河川の自浄能力を上回る量で投棄されるようになると、河川の汚染が目につくようになった。身近な河川を観察したときにはほぼ間違いなく「汚染」という現実がそこに存在し、最近では世間でも頻繁に取り上げられるようになった。「人間活動」と「環境」という観点に立てば、「人間活動」の代償として「環境」の汚染があり両者のバランスが崩れている状態である。河川にどのような汚染があるかを把握し汚染源が何であるかを考察することは環境学習への取り組みの第一歩であると考えられる。

一般的に河川の汚染物質を定量する方法として、汚染の度合いを示す指標の一つであるCODについては、測定方法が簡便なパケットテストという市販キットが用意されており比較的取り組みやすい。これはアルカリ水溶液中における過マンガン酸カリウムの酸化力を利用した測定法である。その他パケットテストによる水質調査の方法は硝酸や亜硝酸、リン酸等の濃度を定量することも可能である。

生徒は具体的な体験活動・実験として身近な河川の水を採取し前記の手法により水質検査を行うことができる。その結果を通して学習展開ができ、問題解決への見通しを持つことが可能である。これらの水質検査を実施することにより、汚染を実感し汚染をなくす方法を学ぶことができるものと思われる。

(2) 指導計画

本研究は、現行学習指導要領での「化学ⅠA」における単元「(1) 自然界の物質とその変化」を指導することを目的として行った。下記の指導計画は、2単位で実践する場合の一例であり、3週間（6時間）にわたり展開したものである。

表2-1 指導計画

	指導項目・内容	学習活動	留意点	
1 時 限	導入 15分	「環境問題における水質検査」 ・地球上の水の分布を認識させ人間の生活にかかわる水の割合を説明する。	・地球上の水の分布や人間の利用する水について理解し、汚染の実態について考える。	・具体的な数字を出し理解を深める。
	展開 30分	・試料の提供場所である「川口川」に関して紹介する。 ・パケットテスト法を利用した操作方法の概略に関しての説明を行う。	・測定場所の雰囲気をつかむ。 ・パケットテスト法によりどのような汚染物質が調べられるか学ぶ。	・パケットテストを用意し実物を見せる。
	まとめ 5分	・次回実験「河川の水の採取」について予告する。	・採取方法を学び汚染源になりうるものについても考える。	

2・3 時 限	導入 10分	「実験：河川の水の採取」 ・川口川の流域環境に関して説明する。 ・安全管理を徹底する。	・川口川を試料提供地点として選んだ理由を理解し、試料採取する上での注意点を学ぶ。	・緊急時の連絡方法の確認
	展開 80分	・各班と連絡をとりながら、一つの班に付き添い、試料採取の方法や測定地点の印象を確認し適切なアドバイスを行う。	・各班ごとに測定地点へ向かい、河川水を採取しpH・COD・亜硝酸・水温・流速等を測定し試料を持ち帰る。	
	まとめ 10分	・五感を使った汚染状況や生き物の有無を確認しながらどの測定地点の汚染が大きいかを把握させる。	・採取後、実験室へ集合し黒板へ測定結果を班毎に板書し、水温や流速・五感を使った汚染度の確認結果について情報交換する。	・後で結果をプリントにまとめる。
4 時 限	導入 10分	「実験：採取した河川水の水質検査」 ・試料の測定項目（pH・アンモニア・亜硝酸・COD・リン酸）毎に操作方法を解説し、注意点を確認する。	・バックテストによる水質検査の概略を学び、メリットやデメリットを把握する。	・判定するまでの時間を項目毎にそろえる。
	展開 30分	・8地点の試料についてpH・アンモニア・亜硝酸・COD・リン酸をバックテスト法により水質検査する。	・採水地点ごとに測定項目にしたがって試料の測定を行う。	・判定時間がそろうよう机間巡回を行う。
	まとめ 10分	・水が源流から下流部分へ流れる中で汚染がひどい部分を確認する。 ・水をきれいにするために何が必要なのかを考える。	・採水地点ごとにデータを測定項目毎に黒板に列記し汚染の実態を認識した上で汚染源に関してディスカッションを行う。	・後で結果をプリントにまとめる。
5 時 限	導入 10分	「実験：河川の自浄作用に関して」 ・前回の実験結果の取り扱い方について指導する。 ・河川の自浄作用とはどのようなものか、微生物による有機物の分解を通して解説する。	・前回実験結果をもう一度見直し、汚染の進行の度合いと汚染源となる人間活動について考え相関関係を探る。	・測定データを用意する。
	展開 30分	・河川に存在する活性汚泥について実物を観察させて、どのような環境のときに有効に働くかを考える。	・活性汚泥はどのようにしてできるかを考える。 ・富栄養化とはどんなものかを学ぶ。	
	まとめ 10分	・窒素に着目したサイクルについて解説する。	・酸化還元反応がかかわっていることを説明する。	
6 時 限	導入 10分	「河川の水質を汚染させるものは何か」 ・ヒトにおける水の役割をデータを示しながら解説する。	・ヒトに関わる水のデータをまとめる。	・資料を用意する。
	展開 25分	・資料を参考に河川の水質が汚染されてしまったらどのようにして回復させることができるのかを考える。	・与えられた資料をもとに河川が汚染される具体的なケースを用紙に書き出す。 ・汚染を浄化するようなモデルプラントを考え設計図を書いてみる。	・自由な発想を引き出す。
	まとめ 15分	・河川を汚染させないために守らなければならないことは何かを考えさせる。 ・身の回りの環境と調和する人類の活動に関して考えさせる。	・今すぐできることについてイメージし考えてみる。 ・水質検査の継続性について学ぶ。	

(3) 授業実践と教材

① 水質の検査

試料を採取した川口川は東京都八王子市とあきる野市の境に位置する今熊山のふもとを源流とし、主に川口地区を南下し八王子市中央部にて浅川と合流する河川である。浅川と合流するまでは他の河川の水が入ることなく、もしも汚染物の混入が自浄作用を下回る場合は合流部で

もきれいな水が確認されるはずである。しかしながら、この川は八王子市北部の都市開発が進むとともに水質の状態も悪化の一途をたどってきた。どれくらいの水質汚染の実態があるのかを確かめさせるため、都立A高等学校3年生に自分たちの学校の脇を流れる川をよく観察させ、川の水を採取し簡単な水質検査（水温や流速・pH・COD・亜硝酸）を実施した後、その試料を都立B高等学校へ送りさらに分析してもらうことにした。ここでは、採取した川口川の水の他に金魚を飼育している水槽の水や水道水の水質検査（pH・COD・亜硝酸性窒素・アンモニア性窒素・リン酸）を行った。水質の測定に関しては、市販のパックテストによる各種キットが手ごろで迅速に検査を行えることからこの方法により検査を行った。パックテストの操作方法については以下の手順（図参照）に従い測定した。

② 測定項目について

(ア) BODとCOD

湖沼や河川における有機物による水質汚濁の尺度となるものがBOD（生物化学的酸素要求量）やCOD（化学的酸素要求量）である。人間生活における様々な排出物は污水处理をしない限り河川や湖沼に流れ込む現実がある。その排出物はそこに生活するプランクトン等にとっては栄養源となることもあり、こうした生物は水に溶けている酸素を消費しながら生存することができる。有機物の多さはプランクトン等の多さに相関し、これらが多い分、本来あるべき溶存酸素が不足していることになる。この不足している溶存酸素の量が汚染の度合いである。これを測定する方法がCOD及びBODの測定である。

BODを一口に言えば河川水または湖沼水に含まれる有機物（汚れ）をバクテリアが分解するために消費した酸素の量である。このBODは河川のような流水における汚染の度合いを測定するとき用いる。

しかしながら、BODを測定する簡便な方法がないため、自治体などの環境調査の部署が行う河川水の調査においてはBODを用い汚染の度合いを調査するケースが多い。

これに対しCODの場合、河川水中の有機物が酸化されるのに必要な試薬（過マンガン酸カリウム）の量を酸素の量に換算して表すものでありBODに比較して簡単に測定することができ、海域や湖沼水域で利用される単位である。CODの値と水質の関係は以下のとおりである。

- COD値 (mg O / l) 0 : 汚染のないきれいな水、1以下 : ヤマメやイワナのすむ溪流
 1 ~ 2 : 雨水、3以下 : 鮭や鮎がすめる、5以下 : 鯉や鮒がすめる
 2 ~ 10 : 河川の海に近い水質、10以上 : 下水である

(イ) 窒素化合物

また、水質汚染の原因を考えたとき、それは人間を中心とした「生物体の活動」結果として排出された窒素化合物の比重が大きいといえる。

窒素は、「窒素・リン酸・カリ」といわれるように、植物の三大栄養素の1つである。水の

測定の手順

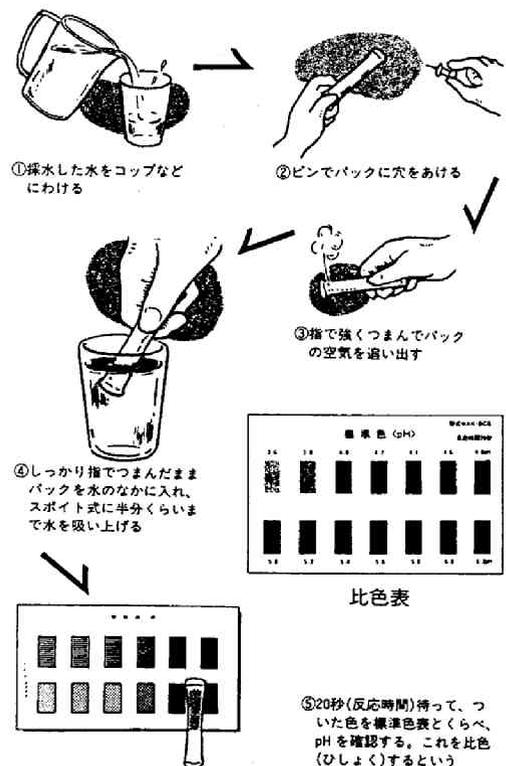


図2-1 pHの測定方法

中に窒素分が過剰になると富栄養化といわれる状態になり、植物プランクトンの異常発生を引き起こす。生物の死骸（タンパク質、アミノ酸、尿素などの窒素分）・人間や家畜などのし尿・生活排水・農薬・肥料などに含まれる窒素が水の中に排出されることで、窒素分は増加する。水の中に排出された窒素の化合物は、腐敗菌によって分解されてアンモニアになり、さらにアンモニアが酸化されて亜硝酸性窒素、さらに酸化されて硝酸性窒素になる。そこでこれらを総称して、窒素化合物とよんでいる。

水中での窒素の形の違いは、水中の酸素の量により変化する。酸素が多くとけ込んでいる水の中では、酸素と結び付いて硝酸性イオンになっている割合が多く、酸素の少ない汚れた水では、還元によって有機態窒素やアンモニウムイオンの形になっている。従って、アンモニウムイオンや亜硝酸イオンを定量していくことにより汚染の推移を知ることができる。

水の中のアンモニアが酸化されたり、硝酸性窒素が還元されたりすると、亜硝酸になる。亜硝酸は、有機物の多い汚水に多く含まれている。この亜硝酸は酸化されて硝酸に、還元されてアンモニアに変化する大変不安定な状態の物質である。従って、湖沼や水槽において亜硝酸が硝酸に変化するときに水中の酸素が大量に消費され、水は酸欠状態になり、魚などは窒息死してしまうことになる。

(ウ) リン化合物

リンは窒素と同様、水が富栄養化する植物の栄養素として知られているが、水の中ではリン酸イオン、あるいは水の中の有機物と結合して有機リンの形で存在する。リンの供給源は、自然界では動物や植物の死骸が分解してできるもの、人工的なものではリンが含まれている合成洗剤やボディシャンプーなどの洗浄剤、台所などの生活排水、化学肥料や農薬によるもの、人間や家畜のし尿などがある。

(4) 結果と考察

以上の見地から、今回の水質調査における測定項目をpH・亜硝酸・アンモニア・COD・リン酸に絞り都立A高等学校並びに都立B高等学校において水質検査を行った。測定結果は以下のようなになった。なお、都立A高等学校では実験時間の関係でアンモニアとリン酸の測定項目は実施しなかった。

表2-2 実験結果1 採水日2000.10.30(月)都立A高校3年生/検査日2000.10.31(火)都立B高校1年生

	(上流部) ← 川口川 → (下流部)							浅川	都立B高校実験室	
	今熊神社	牛頭橋	釜の沢橋	駒形橋	明治橋	新清水橋	川口川橋	浅川橋	水槽(魚)	水道水
COD mgO/ℓ	3	0	0	10	5	5	3	0	10	2
COD-D mgO/ℓ	0.1	0	2	2	2	2	6	3	8以上	2
pH	7.0	7.0	7.0	6.9	6.6	6.9	7.6	7.3	9.2	7.5
NO ₂ mgNO ₂ /ℓ	0.02	0.02	0.02	0.2	0.15	0.2	0.2	0.1	0.05	0.01
NO ₂ -N mgNO ₂ -N/ℓ	0.006	0.006	0.006	0.06	0.045	0.06	0.06	0.03	0.015	0.003
NH ₄ mgNH ₄ /ℓ	0.1	0	0	0.2	1	0.2	0.5	0.1	0.1	0
NH ₄ -N mgNH ₄ -N/ℓ	0.08	0	0	0.16	0.8	0.16	0.4	0.06	0.08	0
PO ₄ mgPO ₄ /ℓ	0	0	0	0.2	1	0.2	0.5	0.2	10	0
P mgP/ℓ	0	0	0	0.066	0.33	0.066	0.165	0.066	3.3	0

表2-3 実験結果2 採水日2000.10.30(月)都立A高校3年生/検査日2000.10.30(月)都立B高校3

	(上流部) ← 川口川 → (下流部)							浅川
	今熊神社	牛頭橋	釜の沢橋	駒形橋	明治橋	新清水橋	川口川橋	浅川橋
採取時刻	9:15	9:30	9:45	9:20	9:00	9:30	9:25	9:30
水温 ℃	15.0	15.2	15.0	15.0	14.0	16.0	16.0	16.2
COD mgO/ℓ	5	5	0	5	10	50	75	75
COD-D mgO/ℓ	2	3	2	4	8以上	8以上	8以上	8以上
pH	7.0	8.0	8.0	7.5	8.5	7.0	8.5	7.5
NO ₂ mgNO ₂ /ℓ	0.05	0.05	0.075	0.35	0.2	0.5	0.2	0.2
NO ₂ -N mgNO ₂ -N/ℓ	0.015	0.015	0.018	0.11	0.06	0.15	0.06	0.06

① 自浄作用について

本研究では、河川の汚れがどのようにして浄化されるかを探るため、下水処理にも用いられる活性汚泥に注目した。活性汚泥は擬似排水に空気を送ることにより羽毛状の固まり(フロック)が形成された。この活性汚泥を採取して、金魚を飼育する水槽に入れて水質の変化を観察したところ、富栄養化の進んでいる透明度の低い水は透明度がかなり高くなったことが観察された。

② 考察

CODやアンモニア・亜硝酸の値等の水質検査結果をみれば下流部へ向かうにつれて水質が劣化していることが分かった。特に「明治橋」付近の水質検査結果は悪く、採水にあたった生徒の意見においても「見た目に汚れている。家庭排水がそのまま川に流れれば当然汚れる」ということであった。河川の自浄作用に関する再現実験では、河川の底などにある微生物が水中の有機物を分解して水質がきれいになることを観察することができた。

(5) おわりに

本研究において、生徒は授業・実験を通して、身近に流れる河川水の水質を検査することにより水質汚濁の実態を知り周囲の自然環境にも興味・関心を持つことができた。人類を含めた生物が活動をすれば必ず汚染物質が発生し周囲の環境を汚染してしまうという現実も知らせることができた。本稿の「(1)はじめに」でも触れた河川や湖沼が本来持つ汚染に対する自浄作用は、実験室においても再現することができ浄化作用を目の当たりに見たので生徒も満足できたようである。

しかしながら、実際に流れる河川に実験で検証した浄化システムをフィードバックするまでには至らなかった。この点に関しては、この研究が学習指導要領「理科総合B」の「(4)人間の活動と地球環境の変化」の部分で取扱うこともできるので、さらに研究を続けていきたい。そして、定期的なサンプリングと水質検査を実施していくとともに河川水を浄化するシステム作りを模索していくことも必要である。

おわりに、人類がこの地球上で生きていくために自分自身の回りの環境と協調・共存していく必要があり、その方法や具体的な方策にかかわる問題解決能力を育てるような授業を実践していきたい。

3 酸性雨の理解やミニ生態系の制作を通して、環境を総合的に考えさせる指導

(1) はじめに

現在、さまざまな環境問題が報告されている。生徒たちの興味・関心も高まりつつあるが、環境問題そのものを実体験としてとらえる機会が不足していると考えられる。また、これらの環境問題を総合的に理解し、今の地球の状況や将来の予測などを論理的に考察することがあまり行われていないのも現状である。

今回の研究では、身近な環境問題の一つである「酸性雨」を題材に選んだ。実験・観察などを行い、その影響を身近なものとしてとらえさせたり、他の環境問題を紹介し、それらを総合して環境に対する考察を深めていくことを目標としている。さらに発展として、「ミニ生態系」を制作させることにより環境保全に対する見識を養っていく。

(2) 指導計画

		指導項目・内容	学習活動	留意点
1 時 限	導入 15分	アンケート記入	酸性雨についての知識がどの程度か確認する。	
	展開Ⅰ 10分	酸性雨を集めるには(実験Ⅰの準備)	酸性雨の採取方法を確認する。	降り始めの雨を採取する。
	展開Ⅱ 25分	生物に対する酸性水の影響Ⅰ(実験Ⅱのa)	酸性雨(水)が植物の発芽に対して与える影響を調べる。	暗所で保存する。
2・3 時 限	導入 15分	前回の実験のまとめ(観察)	種子発芽に影響を与えるpHを確認し、その影響について考える。	
	展開Ⅰ 15分	雨水のpHの測定(実験Ⅰ)	採取してきた雨水のpHを測定する。	pHメーターの操作法を説明する。
	展開Ⅱ 70分	生物に対する酸性水の影響Ⅱ(実験Ⅱのbとc)	花卉と魚類への酸性水の影響を調べる。	
4 時 限	導入 5分	前回の実験のまとめ	花卉や魚類に対して酸性雨が与える影響について考える。	
	展開Ⅰ 20分	酸性雨の原因と生成	酸性雨はどのようにしてできるのかを理解する。	SO _x 、NO _x の発生源についてふれる。
	展開Ⅱ 25分	酸性雨の原因(実験Ⅲ)	自動車から採取した排気ガスを水溶液にし、pHを測定する。	ガソリン車とディーゼル車で比較する。
5 時 限	展開 40分	ビデオ学習	私たちの生活に対する酸性雨の影響を確認する。	
	まとめ 10分	ビデオのまとめ	レポート、感想などをまとめる。	プリント記入
6 時 限	導入 10分	酸性雨のまとめ	酸性雨の性質、生成、影響などを再確認する。	
	展開Ⅰ 15分	酸性雨以外の環境問題	現在問題になっている環境問題を挙げ、その影響を考える。	生徒の関心の強い問題を取り上げる。
	展開Ⅱ 25分	今の地球環境と将来の地球環境	展開Ⅰをもとに、現在の身の回りや地球全体の環境について考え、将来に向けて何をしていけばよいか考える。	
7・8 時 限	導入 20分	生態系とは	生態系の概念を理解する。	生態系の調和を考える。
	展開 60分	ミニ生態系の制作(実験Ⅳ)	環境と生物とのかかわり合いを考える。	作業完了後、人為的操作を加えない。
	まとめ 10分	自然を守るということ	環境保全について考える。	

(3) 授業実践と教材

① 教材について

酸性雨とその影響を身近なものとしてとらえられるように、教材を検討した。

ア 生物に対する酸性水の影響

酸性水の影響を目で見てわかりやすいという観点から次のような生物を選定した。

a 植物の種子

植物の種子は取り扱いが容易であるし、酸性雨が農作物に被害を与えていることを実感させることができる。具体的には、余計な条件を取り除くため、秋播きまたは年中播けるもので入手が容易なものの中から検討した。その結果、サヤエンドウ、ハツカダイコン、ホウレンソウの3種類を使用することとした。

b 花卉

酸性雨による花卉への被害で有名なのは「アサガオ」であるが、授業の実施時期との関係から他の花を検討した。紫系統の花がよいだろうと考え、予備実験を繰り返した。その結果、ブルモナリアAアズレアが教材として適切であることがわかり実験に使用した。

c 淡水魚

pHの影響を調べるためには、陸上動物より水棲動物の方が良いと考え、淡水魚を使用した。まず、教材生物として入手しやすいことからメダカを選んだ。メダカは耐酸性が強いと言われているため、耐酸性のあまり強くないものとしてゼニタナゴを使用した。タナゴ類の中にタイリクバラタナゴなど入手が容易なものもあるが、それらも耐酸性が強いようであり、教材としては不適當である。

なお、メダカとゼニタナゴは関東地方にも生息する魚種なので、生息域が私たちの生活している環境と重なり、酸性雨の測定

値が生かせるという長所もある。

イ 酸性雨の原因

酸性雨の原因は大きく分けて2つある。その一方である自動車の排気ガス中のNO_xが酸性雨の大きな原因であることが実感できるように、実際に自動車の排気ガスを採取し、それを溶かした溶液のpHの測定をした。また、特にディーゼル車が問題となっていることから、ガソリン車とディーゼル車の比較もできるように、両方の排気ガスを採取して分析した。

② 実践報告

ア 実験1「雨水のpHの測定」

a 方法

漏斗とポリビンを用いて、生徒各自が自宅付近で雨水を採取し、そのpHを測定した。

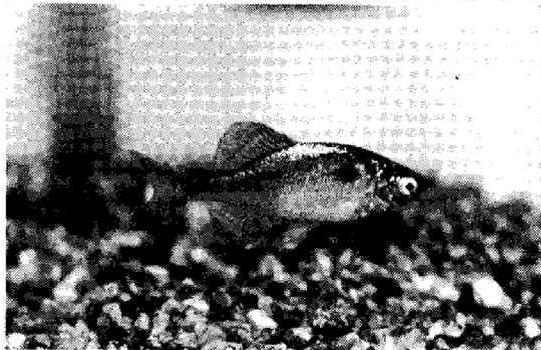


図3-1 ゼニタナゴ

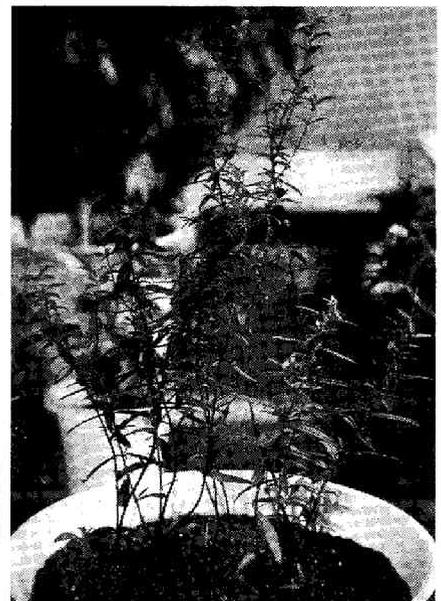


図3-2 プルモナリアAアズレア

b 結果

採取した雨水は、2例を除いてすべて pH4.5~5.3の酸性雨であった。

イ 実験2「生物に対する酸性水の影響」

a 方法

(i) 種子発芽に対する酸性水の影響

サヤエンドウ、ハツカダイコン及びホウレンソウの種子を、pHの異なる酸性水をしみ込ませた脱脂綿に蒔き、1週間後に発芽率と根及び芽の長さを測定した。酸性水は酸性雨の成分との関連で硝酸を使用し、0.01mol/lを基準にそれを10倍、100倍、1000倍……と希釈して調整した。各溶液のpHはpHメーターで測定した。

(ii) 花卉に与える影響

プルモナリアAアズレアの花弁を(i)の実験と同様に調整した各溶液に浸し、40~50分放置後、花弁の色や手触り(やわらかさ)を比較観察した。

(iii) 淡水魚に与える影響

メダカを入れた水槽とゼニタナゴを入れた水槽を用意し、エアレーションをしながら、それぞれ5分ごとに硝酸を加え、魚の様子(行動、エラの動き、体表粘膜の様子)の変化を観察、比較した。新たに硝酸を加えるたびに、飼育水をpHメーターで測定し、その期間のpHとした。

b 結果

(i) 種子発芽に対する酸性水の影響

どの植物も根や芽の長さやpHに明瞭な相関は見られなかったが、発芽率には一定の傾向が確認できた。ハツカダイコンではpH2~3で、サヤエンドウではpH2~4で、ホウレンソウではpH2~6でそれぞれ発芽率が低下した。このことは、ハツカダイコン>サヤエンドウ>ホウレンソウの順に耐酸性が低くなることを示しており、ホウレンソウは酸性雨の影響を受けやすいことが実験結果から考察される。

(ii) 花卉に与える影響

pH4.5付近で花弁の色が青色から赤紫色になり、pH3.4付近で花弁が柔らかく変化した。花は植物の生殖器官であり、酸性水によって花弁の色や柔らかさに変化が見られることから、酸性雨が植物の生殖(種子形成)に影響を与えることが実験結果から考察される。

(iii) 淡水魚に与える影響

メダカはpH3.7~3.9付近で、ゼニタナゴはpH4.5付近で行動に変化が見られた。このことからメダカとゼニタナゴでは、酸性水に対する耐性が異なることが明らかになった。また、両魚種ともに平野部の浅い湖沼や池、それらに連なる水路などに生息することから生息域が酸性雨の影響を受けやすく、特に耐酸性の低いゼニタナゴでは比較的高いpHでも忌避行動を示し、その水域から姿を消してしまうことが推測される。

ウ 実験3「酸性雨の原因」

a 方法

ビニールホースと漏斗を用いて、ペットボトルにガソリン車とディーゼル車の排気ガスをそれぞれ採取する。採取した排気ガスを純水に溶かし込み、溶液のpHを測定した。

b 結果

ガソリン車の排気ガスがpH4.4~4.6、ディーゼル車の排気ガスがpH3.6~4.0を示した。

エ ビデオ

酸性雨がコンクリート建造物や文化遺産などにも影響を与えることについて気付かせ、考えさせることを目的として、ビデオ教材を取り入れた。

オ 「ミニ生態系」の制作

材料としては、水槽、珪砂、中和剤、オオカナダモのみを用意した。その他必要と思われるものはすべて各班で調達し（主として校内で）、雌雄2匹のメダカが生息でき、再生産できる環境を創造した。また、作業に入る前

に、完成予想図をつくり、それが生態系として機能するかどうかを話し合う中で、生態系についての理解を深めた。

(4) 考察

ア 実験1 「雨水のpHの測定」

本実験では、雨水の採取場所を生徒の自宅付近にしたが、酸性雨をより身近なものに感じさせる上で大変効果的であった。環境問題を取り扱うときに、その対象をどれだけ身近なものにとらえさせるかが1つのポイントとなるが、その点で酸性雨は優れた題材といえる。

イ 実験2 「生物に対する酸性水の影響」

種子発芽に対する影響については、標本数が少ないことや植物によって好むpHに差があることなどから、本実験の結果のみを見て、酸性雨が植物の発芽とその後の成長に重大な影響を与えると短絡的に考えるのは危険である。しかし、ある種の植物では、その種子の発芽率に対し、酸性雨が何らかの影響を与えることを確認するには有効な実験だと思われる。根と芽の成長については、どこからが根で芽はどこまでを測るかによって測定誤差が大きくなるため、実験結果がかなりばらついた。根と芽は分けずに測定すること、長さではなく重さで比較すること、はっきりとした傾向を示す教材を選定することなどについても予備実験を通して検討し、その上で指導、援助をすべきであったと考える。

花卉に対する影響と淡水魚に対する影響については、教材の選定に苦慮した甲斐があって、はっきりとした傾向が出た。生徒の感想にも「酸性雨が生物に与える影響の大きさを改めて知った。」という内容のものが多く、酸性雨の生物界への影響を直接観察し、実感する上で大変効果的であった。生徒にとっては非常に印象深い実験であったようである。また、酸性雨がそれぞれの生物の生態にどのような影響を与えるかを考察させる中で、人に対する影響やその生物の住む環境全体に対する影響を推測した生徒もおり、思考の広がりにつながる実験でもあった。ただし、教材として用いたブルモナリアAアズレアやゼニタナゴは入手しにくい材料であるため、入手の容易な教材の開発が今後の課題である。

ウ 実験4 「酸性雨の原因」

排気ガスの採取からpHの測定まで、すべて生徒自身が手がけるという実験形態が、酸性



図3-3 排気ガスの採取

雨の原因物質の理解に大変有効であった。さらに、排気ガス水溶液のpHが測定した酸性雨のpHとほぼ一致したことも、排気ガスが原因物質となることを実感する上で効果的であったと思われる。

また、ディーゼル車の排気ガスが現在なぜ問題になっているのかを考えさせるために、ディーゼル車とガソリン車についてそれぞれの排気ガス水溶液のpHを測定し比較させた。排出されるNO_x濃度を測定し比較することができれば、より論理的な理解が得られると考えられる。その際、気体検知管などを利用したNO_xの濃度測定を組み込んでいくことができれば今後の発展につながるであろう。

エ ビデオ

前時までは主として生物体への影響を扱ってきたが、本時ではコンクリート建造物、文化遺産などについて取り扱ったものを教材として選定した。このことは、酸性雨の影響を別の視点から見させる上で有効であった。マンションや団地に住む生徒が多いため、「自分の家は大丈夫なのだろうか。」という感想が多かったことから、酸性雨の問題を自分自身の問題としてとらえさせる上で十分効果があったと思われる。

オ 「ミニ生態系」の制作

本時の目的は「メダカを飼う装置をつくる。」ことではなく、「メダカが生息でき、再生産が行える環境を創造する。」ことにある。最初に完成予想図を提出させたときは、ほとんど全ての班がメダカを飼う装置づくりになっていたが、それをチェックし、環境を創造することを考えなければならぬと助言しながら、何度かやりとりを繰り返していく中で、徐々に生態系の概念についての理解が深まっていった。この実験のポイントは、すぐには結果が出ないことにあり、そして一度スタートしたら決して再現ができないことに気付かせることにも重要な意義がある。また、メダカを保護することとメダカの住める環境を取り戻すこととの違いについて触れることにより、環境保全を考えさせるきっかけにもなったと思われる。

(5) おわりに

環境問題を授業で取り扱うときは、それをいかに生徒自身の問題として認識させるかがポイントになる。本研究では、「体験を通して知るという行為が内的動機付けとなり、それが総合的な理解へと結び付いていく」という考えを指導計画の中心に据え、実践へとつなげていった。今回の授業実践では、人間の活動が自然界の平衡にどのような影響を与えているか、バランスの崩れた生態系をどのように保全していけばよいのかを、酸性雨を切り口として追究した。酸性雨は、その原因や実態を体験的に学習する上で教材化しやすく、環境に対する関心を高めるのに非常に効果的であった。また、ある事象への関心の高まりが次の興味を呼び、科学的思考力を育て、総合的に自然をとらえることを可能にしていったと考える。

自然を総合的にとらえることは、環境保全の意識を高め、環境問題を解決する上で重要な糸口になると思われる。これをいかに実践的な態度の育成へとつなげていくかが、今後の課題である。

4 オゾン層の破壊問題を通して、地球環境について考えさせる指導

(1) はじめに

オゾン層の破壊は、フロンガスの発明された1930年代に始まり、その破壊は現在のところ収束する様子を見せていない。平成12年に南極上空で観測されたオゾンホールが、過去最大のものであったことが報じられるなど、オゾン層破壊は極めて深刻な事態となっている。

現在の地球環境は、46億年という地球の歴史の過程の中で形成されたものであり、自然界の微妙な平衡の上に成り立っている。この問題を理解するためには、オゾンの化学的特性、紫外線の性質、生命への影響、地球規模の大気の運動といった、多角的な側面の理解が不可欠である。そのような意味で「オゾン層破壊」というテーマは、「地球」という自然を様々な立場からとらえ、総合的な自然観を育成するのに格好のテーマであると考えられる。

昨年度の教育研究員報告書によれば、生徒アンケートで、「危機的だと思われる地球環境問題」の第1位が、「オゾン層破壊」であったことが述べられている。しかしながら、本年度、「オゾン層破壊」に関するいくつかのアンケートを行い、生徒の「地球環境問題」に関する興味・関心と認知度の調査を行った結果、「危機的である」と感じていても、決して興味・関心は高くなく、具体的知識も高くはないということが明らかとなった(表4-1・4-2)。

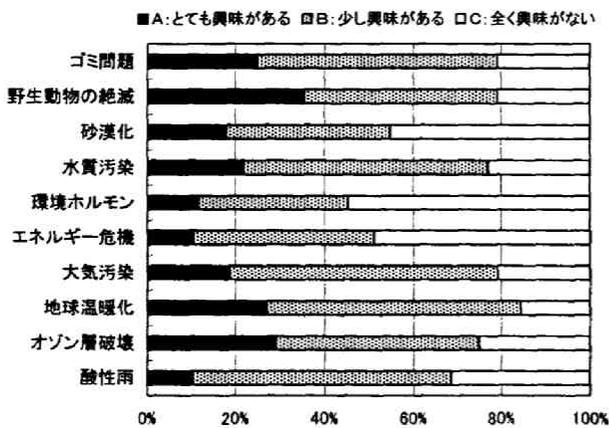


表4-1 興味・関心に関する調査

調査対象 C校: 3年生47人
D校: 2年生49人
計 96人

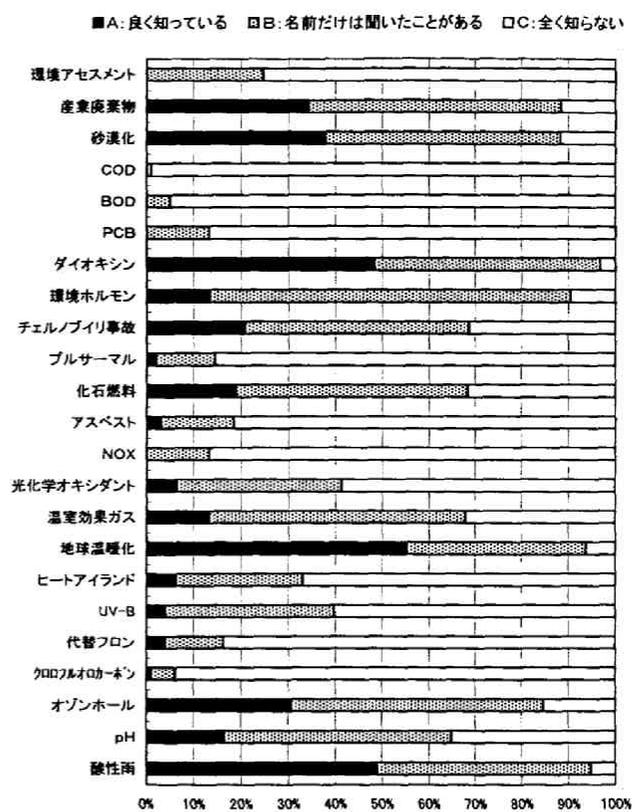


表4-2 認知度に関する調査

特に「オゾン層破壊」については、オゾン層や紫外線自体が目に見えるものではなく、生徒にとっては身近な現象としてとらえにくいテーマであると考えられる。

ここでは、オゾンを実験室で生成し、その特性について学び、さらに太陽光線中の紫外線の測定やオゾンによる紫外線吸収実験を行うことによって、オゾン層を身近なものとしてとらえ、その役割についての理解を通して、地球環境について考えさせる指導の工夫を試みた。

表 4-3 学習指導計画

	指導項目・内容	学習活動	留意点
1 時 限	導入 5分 オゾン層破壊の現状 オゾンホールの資料を提示	資料を見て何を意味するものか考える。	
	展開1 15分 オゾン層破壊の影響 身の回りの紫外線 日常生活とオゾン	日焼けや曇の色あせなど、身近な紫外線の働きについて考える。 生物への影響について考える。 日常生活とかかわりのあるオゾンの例（脱臭・殺菌効果・光化学スモッグなど）について知る。	オゾン層での吸収については簡単に触れる。 有益・有害の両面があることに触れる。
	展開2 30分 実習 太陽放射に含まれる紫外線の測定 野外での紫外線測定	UVチェックカードを用いて、日なたや日陰など野外での紫外線を測る。 殺菌灯などを照射した場合と比較する。	カードの使用方法について説明する。 雨天時に注意する。
2 時 限	導入 5分 オゾン層を通る紫外線	紫外線はオゾン層を通過してきていることから、紫外線とオゾンとのかかわりについて考える。	
	展開1 20分 実験 オゾンの生成とその性質 オゾンの生成 無声放電によるオゾン生成 オゾンの性質	生成したオゾンで性質（臭い・酸化作用）を確かめる。 自然界でのオゾン生成についても知る。	臭いやヨウ化カリウムでんぶん紙で確認させる。
	展開2 25分 演示 オゾンによる紫外線の吸収 殺菌灯紫外線の吸収	オゾン層のオゾンが紫外線の吸収効果を持つことを理解する。	他の紫外線吸収・蛍光物質についても触れる。 殺菌灯を直視させない。
3 時 限	展開1 25分 実習 オゾン層の今後の様子 グラフ作成を通して、オゾン層の将来を予測させる。	オゾン量の減少傾向を見だし、将来について予測し、観測の重要性を理解する。	気象庁観測資料を利用する。
	展開2 20分 実習 オゾン層破壊の現状 作図実習によりオゾン層の今を理解させる。	オゾン分布の特徴や、オゾンホールの大きさなどについて理解する。	
	まとめ 5分 オゾン層の仕組みと役割について	オゾン層の役割や現状・将来についてまとめる。	
4 時 限	導入 10分 オゾン層破壊の原因 フロンによる破壊説	フロンによるオゾン層破壊の考えを理解する。	研究史にも触れる。
	展開1 15分 オゾンホールの成因	極渦・極成層圏雲など、大気循環との関連を理解する。	
	展開2 15分 Web情報の利用	現状を正しく理解するための情報源を知り、その収集方法を理解する。	インターネット疑似体験を行う。
	まとめ 10分 人間活動とオゾン層の保全	オゾン層の生成を地球史的に考え、人間活動が及ぼす影響について考える。	

(2) 指導計画

新学習指導要領における「理科総合B」の単元「人間の活動と地球環境の変化」の中の小単元「オゾン層の仕組みとその役割」を想定して、4時間の指導計画を作成した(表4-3)。

なお、総合的な学習をより重視した場合には、紫外線の特性について、さらに詳しく触れ、全体で5時間の指導計画を立てることも考えられる。

(3) 教材について

① 野外での紫外線測定(生徒実験)

市販のUVチェックカード(N社製: 図4-1)を用いる。UVチェックカードを約20秒間太陽光にさらし、その反応を見る。チェックカードの表面には、紫外線に反応する物質が塗られており、紫外線を浴びると数十秒で色が変わる。その色の度合いによって、紫外線の強度を指数表示で4段階に判定することができる。

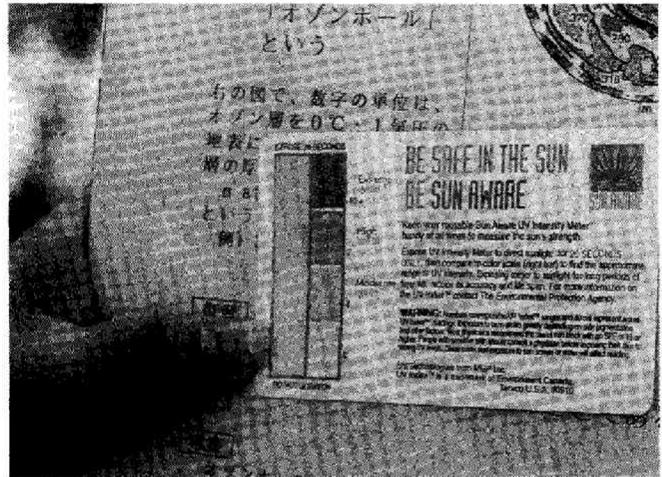


図4-1 UVチェックカード

② オゾン生成実験(生徒実験)

簡易な実験装置も市販されているが、生徒個々に1台ずつ用意することはできないので、ガラス試験管とガラス棒にそれぞれアルミ箔を巻いて電極とし、誘導コイルと接続したものをを用いる。また、誘導コイルは数が限られているため、交代で実験を行うなどの工夫が必要である。

発生したオゾンは、臭いを確かめた後、水で濡らしたヨウ化カリウムでんぷん紙の変色反応によって確認する。

なお、オゾンは大量に体内に摂取すると有害であるため、軽く臭いをかがせる程度にとどめておく注意が必要である。

③ オゾンによる紫外線吸収実験(演示実験)

無声放電によって発生させた大量のオゾンを長辺60cmの水槽内に貯める。水槽の片側の側面にUVチェックカードを両面テープで留め、反対側には殺菌灯(波長253.7nm)を用意する。さらに同じ寸法の水槽を用意し、オゾンを貯めずに、カードと殺菌灯を同様の方法で設置する(図4-2)。

2つの水槽内の殺菌灯を同時に点灯させ、紫外線を2分間照射した後、チェックカードを取り出し、オゾンを通した場合と、そうでない場合との色の違いを比較する。

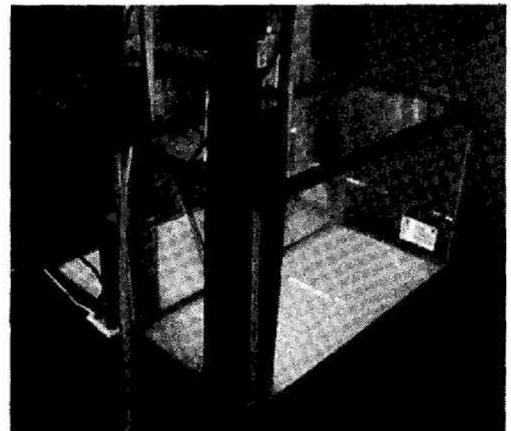


図4-2 紫外線吸収実験

④ オゾン層の現状や将来を考える実習

ア 「オゾン層観測年報」を利用した実習

日本上空のオゾン量を1958年から観測している気象庁のデータが「オゾン層観測年報」として刊行されている。このうち、札幌と鹿児島2地点のデータ（月平均値を年平均値に直したもの）を用いて、グラフ作成実習を行う。

縦軸にオゾン量、横軸に時間をとって、グラフ用紙上にデータをプロットする。さらに、札幌・鹿児島それぞれについて、全体の傾向を表すことができるような1本の直線を描く。横軸は2020年までとってあり、直線を延長することによって、将来のオゾン量を予測することができる。

イ オゾンホール作図実習

1980年以降、5年毎の南極上空のオゾン量を示した図を、色鉛筆を用いてオゾンの量に応じて色分けする。さらにオゾンの量を縦軸にとり、グラフ上で断面図にする。

ウ 「NASAホームページ」を利用した実習

オゾン層破壊の現状については、インターネットなどから容易に情報を得ることが可能である。ここでは、NASAのホームページの中にある「インターネットTOMS」を利用する。必要な情報をダウンロードし、ホームページ作成用のソフトで再構築したファイルを用いて、擬似的にインターネットからの情報収集を行う。

(4) 結果と考察

① 野外での紫外線測定

UVチェックカードを用いて、11月下旬の晴れた日（正午過ぎ）に、日なた及び日陰での紫外線を測定する実習を行った。（図4-3）。チェックカードに表示されている指数で読みとるように指導し、日なたで4～7、日陰でも0～4程度の値が測定され、地上に到達している紫外線の存在を定量的に確かめることができた。日陰でもかなりの強さであったことが生徒には意外だったようである。



図4-3 野外での実習風景

② オゾン生成実験

オゾン発生装置を用いて、オゾンを生成させてから、臭いを調べさせ、さらにヨウ化カリウムでんぷん紙の変色反応を確かめさせた。生徒は1～2人で実験を行うことができたので、オゾンの臭いや酸化作用の強さなど基本的な性質について十分に確認することができた。オゾン層に対する生徒の興味や関心を高めることができたと考えられる。

③ オゾンによる紫外線吸収実験

オゾンによる殺菌灯紫外線の吸収効果を確かめる実験では、オゾンによる紫外線の吸収効果を具体的に確かめることができた。ただし、UVチェックカードを用いての色の比較は、肉眼での微妙な判断となることも考えられるので、可能であれば、市販の紫外線強度計など、結果がデジタル表示される装置を用いることが望ましい。

④ オゾン層の現状や将来を考える実習

ア 「オゾン層観測年報」を利用した実習

気象庁資料による札幌と鹿児島でのオゾン量の比較では、札幌での明瞭な減少傾向について気付くことができた(図4-4)。さらにグラフを作ることによって、将来のオゾン量の予測を行うことができた。環境やその変化を知るためには、観測が不可欠であるとい

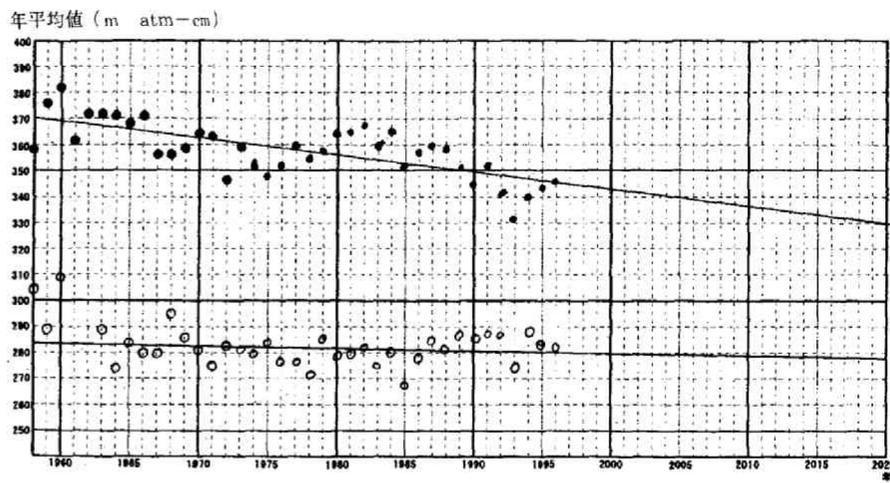


図4-4 実習結果の例

うことに意識を向ける機会になったと考えられる。

イ オゾンホール作図実習

アの実習に続いて、南極上空のオゾン量を示した地図を色分けし、さらに断面図を作成してオゾン層の変化を確かめる実習を行った。オゾンホール周辺でのオゾン分布の特徴や、オゾンホールでのオゾン層の「薄さ」など、図を見るだけでは気付きにくい内容についての理解を促すことができた。

ウ 「NASAホームページ」を利用した実習

残念ながら授業の都合で、今回はこの教材を活用することができなかった。この教材は、オゾンホールの季節変化、年変化の理解に有効である。扱えるデータが限られるものの、豊富なデータを生の情報として目にするができる。将来的にインターネットが授業に活用できるようになれば、NASAのホームページの利用価値は高い。

⑤ 生徒の感想

「実験や作業が入っているとやる気も起きるし理解しやすくなる」「(プリント作業は)楽しみながら理解できて良かった」「楽しかった。特に色塗りが」など、実験や実習によって生徒の意欲や理解を促したことがうかがえる。内容については「オゾンホールの範囲が拡大していることにビックリした。…これは重大な問題だと、言葉ではなく心で感じた。」「オゾン層がいかに大切かわかった」など生徒はオゾン層の役割やその破壊の現状について強い印象を得ていることが分かった。

(5) おわりに

今回の研究では、オゾン層の役割や破壊の現状について多角的にとらえることができるように指導計画と教材を工夫した。生徒は、実験や実習を行うことによって、オゾン層をより身近にとらえ、その役割についての理解を深め、破壊の現状について知ることができた。本実践研究を通じて生徒の地球環境に対する意識を高め、自然を総合的にとらえることができたと考えられる。また、オゾン生成の実験では、成層圏でのオゾン生成と同様の短波長(波長200nm以下)の紫外線によるオゾン生成が実現できず、生徒に対してはプリント学習による紹介にとどまってしまうことは残念である。この点については今後の検討課題としたい。

IV 研究の成果と今後の課題

本研究は「環境に対する関心や探究心を高め、科学的な思考力を養い、総合的に自然をとらえられるようにする指導」という主題のもとに進められた。物理・化学・生物・地学の4つの分野に分かれて主題の達成に努めた。

物理では実験を通して生徒がエネルギーというものに関心を持ち、自分の身の回りにたくさんエネルギーが形を変えて存在することや、エネルギー消費が環境に与える影響を考えるようにした。化学では河川の水質を検査することにより、生徒は自分を取り巻く環境の実態を知り、さらに河川や湖沼が持つ自浄作用を目の当たりにして、自然環境に興味を持つことができた。生物では酸性雨が生物体に与える影響を調べることにより、環境に対する意識を高め問題解決能力を養う指導を試み、環境保全について考えるようにした。地学ではオゾン層の性質と破壊に関する研究で、オゾン層に着眼した展開例が多くは知られていない中、この分野の授業実践に一石を投じることができた。

以上のように、各分野で実験・実習を用いた授業が展開され、生徒は興味・関心を示した。それぞれの問題解決を考える過程では、「どうしてこの現状が生じたのか」「これからどうしたらよいのか」を生徒は考え、探究心や科学的思考力を養うことができたといえる。そして生徒から集めたアンケートや感想から、以前に比べ生徒は自然を総合的に考えるようになっていくことを把握した。

さらに、本研究は新学習指導要領における「理科基礎」、「理科総合A」及び「理科総合B」も視野に入れて進めてきた。物理の「エネルギー変換効率の測定実験」は「理科基礎」の「エネルギーの考え方」や「理科総合A」の「資源・エネルギーと人間生活」の中で利用できる。また、化学の「河川の水質調査・川の自浄作用」や、生物の「酸性雨の生物体への影響・ミニ生態系による学習」、地学の「オゾン層の破壊について」は「理科基礎」の「科学の課題とこれからの人間生活」や、「理科総合B」の「人間の活動と地球環境の変化」で取り扱うことができるであろう。

今後の課題として、物理では実験装置が手作りであるため、班によってデータがまちまちになってしまったので、実験装置の改良が必要である。化学では定期的なサンプリングと水質検査を実施していくとともに、河川が水を浄化する仕組みを探究していくと、よりよい授業展開になるであろう。生物では身に付けた問題解決能力を、今後いかに実践的な態度の育成につなげていくかが課題である。地学では実験に用いる機材を改善し、オゾンの性質を理解させるより効果的な授業展開を工夫していくことが課題としてあげられる。

最後に、各分野の研究内容を総合してみると、地学分野で行ったオゾン層の研究は「環境の変化」の一例を研究している。また、化学分野では河川の水質を調べることにより「環境の現状を調査」している。さらに、生物分野では酸性雨を例にとって「環境が生物に与える影響」を調べている。そして、物理分野のエネルギー変換効率の研究は「環境悪化を改善するための手段」を考えさせる授業へとつながっている。これらの研究を発展・展開させることにより「環境変化の原因→現状の調査→その影響→改善策の考察」といった環境を大きな視点で考える授業へと発展していけるのではないだろうか。今後もこれらの研究を継続して、地球の環境をいろいろな方向から考える授業へと展開させていきたい。