

高等学校

平成 11 年 度

教育研究員研究報告書

理 科

東京都教育委員会

平成 11 年 度

教育研究員名簿(理科)

分 野	学 校 名	氏 名
物 理	都 立 青 山 高 等 学 校	小 林 雅 之
	都 立 墨 田 川 高 等 学 校	田 原 輝 夫
	都 立 三 鷹 高 等 学 校	澤 崎 陽 彦
化 学	都 立 大 森 東 高 等 学 校	高 木 春 光
	都 立 小 石 川 工 業 高 等 学 校	藤 井 大 輔
	都 立 大 山 高 等 学 校	安 田 延 義
	都 立 小 平 南 高 等 学 校	野 澤 隆
生 物	都 立 城 東 高 等 学 校	黒 田 淳 子
	都 立 忠 生 高 等 学 校	平 山 大
	都 立 久 留 米 高 等 学 校	小 林 光 明
	都 立 南 野 高 等 学 校	高 岡 政 弘
地 学	都 立 明 正 高 等 学 校	気 谷 昭 広
	都 立 淵 江 高 等 学 校	鈴 木 将 志

担 当 教育庁指導部高等学校教育指導課 指導主事 荒 川 洋

自然や環境に対する興味・関心を高め、
科学的な思考力や問題解決の能力を養う指導

目 次

I 主題設定の理由	2
II 具体的な研究方針と研究の概要	2
III 研究内容	
1 手軽な実験を通して、環境の中のエネルギーを探究させる指導	4
2 凝集剤を用いた浄水方法の再現と水環境保全の大切さを理解させる指導	9
3 土壌微生物（分解者）の役割を通して、自然環境を考えさせる指導	14
4 地球の温度変化に着目して、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

自然や環境に対する興味・関心を高め、科学的な思考力や問題解決の能力を養う指導 ～見えないものを見るための指導法の工夫～

I 主題設定の理由

二十世紀は科学の時代といわれている。特にこの数十年の進歩は人類史上比類ないものとなっている。各専門分野の分化細分化は加速度的に進み、近縁の分野でさえ互いに理解しにくいものになりつつある。反面、各分野をつなぐ役割（学際領域）や総合的な視野とそれをもとにした高度な理解力や判断力が、これからますます求められてくることが考えられる。例えば、人間生活が地球環境に大きな影響を及ぼすようになり、環境保全の必要性が一般的にも高まっている。このような環境問題に対するには、専門的な知識はもとより社会科学や人文科学までも取り入れた広い視野からの問題提起と、その解決のための総合的な判断力と実行力が強く求められている。

高等学校の理科においても、その必要性から環境教育が大きな課題の一つとなっている。例えば新学習指導要領では、「自然に対する関心や探究心を高め、科学的に探究する能力と態度を育てるとともに、自然の事象や現象についての理解を深め、科学的な自然観を育成する。」ことが目標として掲げられている。具体的には「理科基礎」「理科総合A」「理科総合B」において、「科学技術の進歩と人間生活」や「人間の活動と地球環境の変化」など、人間と自然とのかかわりを総合的に考察させ、自然に対する的確な見方や考え方を養う内容を取り上げている。様々な理科の学習を通じて得たものから総合的に考え判断し、身近な生活に生かすことのできる人間の育成が広く求められている。その中心をなすものとして高等学校における理科教育の重要性はますます高まっていると考える。

そのためにも、生徒たちの科学嫌いや理科離れをいかに食い止め、身近な環境や自然に対する興味・関心を高めどのように科学的な自然観を育成するか、それに必要な科学的な思考力や問題解決のための能力を養うにはどうすればよいか、その方法と内容について研究することとした。具体的には、普通の感覚では意識されないが、人間生活に深くかかわりをもつ巨視的なものや微視的なものをいかに認識させ理解させるかに重点を置いた研究を行った。

II 具体的な研究方針と研究の概要

本研究においては、新学習指導要領の「理科総合A」「理科総合B」を視野に入れながら、現行の学習指導要領の中においても充分活用できるような教材の開発と指導方法の工夫を試みた。研究の当初においては各科目の枠を取りさり、それぞれの科目（物理・化学・生物・地学）の知見と力を総合化する方向も模索したが、最終的には「人間と環境」という共通の認識の上で、研究主題に即した各分野の研究内容を現行の科目ごとに設定することとなった。その結果、火・エネルギー（物理）、水（化学）、土（生物）、大気（地学）と、偶然にも科学の基礎をなしたといわれる四元説の要素を「環境」という視点から取り扱うこととなった。基本的には身近なものの中で、普段は気付かないもの、目には見えないものに対して、どのように興味・関心を引き出すか。また、その中にある本質的な課題にどのように取り組み科学的に解決していくか、その過程に重点をおく指導法はどのようなものかを模索することを試みた。

1 物理―「手軽な実験を通して、環境の中のエネルギーを探究させる指導」

現代の生活は、エネルギーの利用なくしては成り立たない。日常の言葉として誰もが使い、多くの生徒はエネルギーの重要性の認識がある。だが、エネルギーの概念を正しく理解している生徒は意外に少なく、感覚的に便利な言葉として知られているにすぎない。地球規模でのエネルギーの利用について個々の判断が要求される一方で、急速に進む科学技術に現代人が取り残され科学に対する認識は薄れ、嫌悪感さえ漂い始めている。

理科とりわけ物理は、学校教育の中でエネルギーの概念と定義を正しく伝える科目として重要なものである。しかし、物理は選択科目の一つとなり、エネルギーの概念を学ぶか否かは生徒の自由意思に任されている側面もある。そこで、エネルギーについて授業の中だけでなく、公開講座など多様な場面での展開の可能性も模索した。

2 化学―「凝集剤を用いた浄水方法の再現と水環境保全の大切さを理解させる指導」

生活環境の中でもっとも身近なものの一つである水を取りあげた。水道水は生きていく上で必要不可欠なものであるが、昨今その水質について疑問をもつ人が増えている。水道水は浄水場により河川水からつくられているが、その過程での化学的処理の教材化を試みた。

水道原水である河川水は粘土や有機物を含むコロイド溶液で、実際に浄水場で用いられている凝集沈殿剤（PAC）による凝析を行ない、そのコロイド溶液を沈殿させる実験を行った。同時に、凝集沈殿では有機物を完全に除去できないことを確認した。そして浄水処理のしくみを理解させることにより、きれいな水の大切さを考えさせた。

3 生物―「土壌微生物（分解者）の役割を通して、自然環境を考えさせる指導」

様々な環境問題が社会問題として大きく取り上げられ、自然との協調と共生の重要性が求められている。しかし、本来の自然環境を知らずして、環境問題や自然保護を語ることはできない。そのためには、まず自然環境の中での生命現象、生物同士のつながりを知ることが重要である。そこで、身近な自然としての「土」とその中に生きる生物群集を取り上げることにした。土壌生物といわれる生物群集の中でも特に微生物群に注目し、それらが有機物を分解して生産者が再利用できる無機物にかえる働きを理解させ、無機的環境と生物群集のつながりについて考えさせることに重点を置いた。

4 地学―「地球の温度変化に着目して、地球環境について考えさせる指導」

地球的規模の環境問題の一つとして「地球温暖化問題」がある。また、過去の地球でも、氷期・間氷期といった気温の変動があったことが知られている。ここでは、地球の温度変化に着目し、地球環境の複雑さについて考え理解を深められるような指導の工夫を試みた。具体的には、地球温暖化によって地球にどのような変化が生じるかを、科学的論拠に基づき考えさせること、そして、過去の気温変動と生物分布などへの影響を、海底地形図等を用いた実習を通して理解させることの、二つの側面から授業展開を行ってみた。その中で特に、時間的・空間的に広い視野をもたせるように工夫するとともに、生徒自らが探究し発見できるようにすることを重点目標にして、教材の研究を行った。

1 手軽な実験を通して、環境の中のエネルギーを探究させる指導

(1) はじめに

科学技術を応用した生活必需品の多くが、電気エネルギーの変換器具である。エネルギーの概念と言葉が誕生したのは約百年前で、人類の歴史からみれば最近のことであるが、「エネルギー」という言葉は誰もが知っていて、その重要性を認識している。しかし、エネルギーの概念を正しく理解している者は少数である。原子力発電など、地球規模のエネルギーについて国民的な認識が要求される一方、一般の人が急速に進化する科学に取り残され、科学への認識が薄れている状況について、我々は危機感を強めている。

理科、特に物理は、エネルギーの概念と定義を正しく伝える教科・科目として、その使命は重要である。「物理ⅠA」「物理ⅠB」「物理Ⅱ」の各科目は、学校により教育課程の位置付けは選択科目等多様である。また、来年度から始まる「総合的な学習の時間」における生徒のエネルギー概念の形成を目的として、「環境の中のエネルギー」の研究を行った。

(2) 指導計画

本研究のねらいは、第1に「エネルギーに関する実験を通して、エネルギーの多様性や保存則を理解する。」、第2に「エネルギーという視点で身の回りの諸現象を観察・探究し、身近な自然や生活環境に対する興味・関心を高め、科学的な思考力や問題解決能力を身に付ける。」ことである。

第1のねらいの達成目標は、エネルギーの①「仕事をすることができる」、②「様々な形態がある」、③「形態が変化しても消滅しない」という性質の理解である。

第2のねらいの達成目標は、④「身の回りの諸現象において、どのようなエネルギーの変換が起きているか判断できる。」、⑤「火力・水力・原子力・太陽光・風力などによる発電をエネルギーの変換という視点でとらえ、エネルギーの源を追究できる。」、⑥「地球規模の自然環境の中のエネルギー変換の流れがあることに気付く。」という生徒の能力の開発である。そこで、次の指導項目を設定して学習指導案を立てた。

- ①「エネルギーの定義」
- ②「さまざまなエネルギーとそれぞれの特徴」
- ③「エネルギーの移り変わりとエネルギーの保存」
- ④「生活環境中の現象とエネルギーの移り変わり」
- ⑤「発電のしくみとエネルギーの移り変わり」
- ⑥「地球規模のエネルギーの循環」

(3) 主な教材について

エネルギーの概念形成については、主に2学年「物理ⅠB」で、新しく開発した実験は、3年生「物理ⅠB」「物理Ⅱ」の探究活動として授業の実践を行った。「見えないエネルギー」を、生徒が把握できるように従来の実験に工夫を加えたり、身近な素材やおもちゃ、新素材を取り入れて、生徒の興味・関心が高まるように心掛けた。生徒に好評で、教育的な効果が確認された授業実践を報告する。

表1-1 学習指導案

時間	指導項目・内容	学習活動	準備・留意点
20分	指導項目：「エネルギーの定義」 ①仕事の定義と具体例の提示 ・(仕事) = (力) × (力の向きへの移動距離) ②仕事の単位 ・1 Nの力で1 mだけ物体を動かすときの仕事を1 Jという。 ③エネルギーの定義 ・(物体のエネルギー) = (物体が外部に対してなし得る仕事)	①おもりを引き上げたり、台車を加速するなど、仕事の具体例を観察する。W=FSの公式で仕事を計算することができる。 ②100gのおもりを1 mだけ引き上げる仕事 = 1 kgのおもりを10cmだけ引き上げる仕事 = 1J…1Jの仕事を実感する。 ③エネルギーの定義を学び、100Jのエネルギーをもった物体が30Jの仕事をする、物体に残ったエネルギーは70Jになることを理解する。	力学台車、100 gのおもり
30分	指導項目：「さまざまなエネルギーとそれぞれの特徴」 ①さまざまなエネルギーの演示実験と例示 ● 運動エネルギー：運動する台車がおもりを引き上げる。 ● 重力による位置エネルギー：滑車を通したおもりで台車を引く。 ● 弾性力による位置エネルギー：縮めたばねの弾性力で台車を発射する。弾性力を利用した跳ねるおもちゃ。 ● 熱エネルギー（内部エネルギー）：フラスコと注射器をゴム管でつなぎ、フラスコに熱湯をかけるとピストンが押し出される。 ● 電気的エネルギー：コンデンサーの電気でモーターを回す。 ● 化学的エネルギー：電池でモーターを回す。アルコールを燃やしてスターリングエンジンを動かす。 ● 光エネルギー：光を太陽電池にあてて発電しモーターを回す。 ● 波のエネルギー（水面波、電磁波、音波、地震波）：水面波干渉。電子レンジで水を温める。共鳴管でコルク粉を振動させる。 ● 核エネルギー：放射線の観察。核エネルギーは熱エネルギーとして取り出されることを説明する。 ②それぞれのエネルギーの特徴 輸送性、貯蓄性、利便性などの観点からエネルギーを分類させる。 ア 輸送しやすいエネルギー ・電気的、化学的、核エネルギー（送電線、パイプライン、貨物輸送） イ 蓄えやすいエネルギー ・位置、化学的、核エネルギー（ダムの水、石油、天然ガスなど） ウ 取り扱いやすいエネルギー ・電気的、化学的エネルギー（電気製品、電池、石油など） エ その他の指標（安全性、供給の安定性など）	①演示実験を観察したり、例示されたことがらをプリントにまとめることによって、仕事とエネルギーの関係に基づいて各種エネルギーについての具体的なイメージを獲得する。 プリントで、「～は、～の仕事をする能力を持っているのでエネルギーを持っている。」という理解の仕方です。ひとつひとつのエネルギーを確認する。 ②演示または例示された各種のエネルギーについて次のような指標にもとづいて分類を行う。（プリント） ア 輸送しやすいものとそうでないもの イ 蓄えやすいものとそうでないもの ウ 取り扱いやすいものとそうでないもの エ その他の基準についても考察する。	プリント （実験準備）台車、滑車、おもり、水車、ばね、ジャンピング・トイ、フラスコ、注射器、ゴム管、熱湯、スターリングエンジン、1Fコンデンサー、ブリーチ付きモーター、電池、太陽電池、100 W電球、太陽電池用モーター、電子レンジ、霧箱 （注）これらの実験を可能な範囲で行う。
50分 100分	指導項目：「エネルギーの移り変わりとエネルギーの保存」 ①課題実験（その1） ・手回し発電機で発電し豆電球を点灯させる。 ・手回し発電機で発電しコンデンサーを充電する。 ・ミニ四駆による直流発電、交流発電。 ・コンデンサーの電気で発光ダイオードを点灯させる。 ・コンデンサーの放電のモデル実験。 ・電熱器に通電して発熱させる。 ・太陽電池に光を当てて発電し、モーターを回す。 ・ペルティエ素子に温度差を与えて発電し、モーターを回す。 ・ペルティエ素子に通電し、温度差を生じさせる。 ・身近な素材の放射線を計測させる。 ②課題実験（その2） ・手回し発電機で発電し、ブリーチ付きモーターを回し、ブリーチでおもりを引き上げる。おもりの質量を変えたり、おもりのない場合について、手回し発電機をまわすための仕事の量を比較させる。 ③演示実験 おもりの位置エネルギーを使ってブリーチ付き発電機で発電し、この電気でブリーチ付きのモーターを回転させ、おもりを引き上げる。発電機側のおもりがはじめに持っていた位置エネルギーとモーター側のおもりが得た位置エネルギーの大きさを比較させ、この違いについて考察させる。	①課題実験（その1）を行い、各実験毎に、どのような装置によって、エネルギーがどのように移り変わったかをプリントにまとめる。そして、エネルギーの形態は絶えず変化するものであること、また、さまざまな装置やしくみについて、エネルギー変換装置という考え方が可能であることを知る。 ②課題実験（その2）を行い、おもりを高く上げるほど、または質量の大きいおもりを上げるほど、発電機をまわす仕事が増えることを体験する。 ③おもりで発電し、おもりを引き上げる実験の観察を通して、エネルギーの損失に気づく。この損失の原因について考察し、摩擦熱やジュール熱の発生に伴うものであることに気づく。したがって、この損失は、エネルギーの消滅を意味するのではなく、熱エネルギーの散逸によって起こることを理解する。以上の考察を通して、エネルギー保存則について学ぶための準備をする。	実験プリント ①②（準備）手回し発電機、豆電球、1Fコンデンサー、ミニ四駆、ブラウン管、ベクトルボルト、定規、水受け、発光ダイオード、電熱器、太陽電池、太陽電池用モーター、ペルティエ素子、氷、GM式放射線計、ランタン用マントル、花崗岩、乾燥昆布、ブリーチ付きモーター、おもりの（注）これらの実験を可能な範囲で行う。 ③ブリーチ付き発電機、ブリーチ付きモーター、500 g、100 g おもり
10分	指導項目：「生活環境中の現象とエネルギーの移り変わり」 ①以下に挙げる生活環境中の身近な現象について、エネルギーの移り変わりという視点で捕らえさせる。 投げ上げられたボール・加速中の自転車・定速走行中の自転車・減速中の自転車・テレビ・電子レンジによる加熱・落雷・自動車のエンジン・バッテリーの充電・モーター・弓で矢を飛ばす ②次のことについてエネルギーの移り変わりを考察させる。 ・われわれの食糧（化学的エネルギー）は、どのようなエネルギーの移り変わりの結果できたものか。 ・雨や風はどのようなエネルギーの変換過程を経て生じたものか。	①生活環境の中の身近な現象を、エネルギーの移り変わりという視点で捕らえる。 ②食糧、気象現象について、どのようなエネルギーの変換の過程を経てできたものかを考察する。	プリント
15分	指導項目：「発電のしくみとエネルギーの移り変わり」 ①発電のしくみについて概略を説明する。 水力発電、火力発電、原子力発電、太陽光発電、風力発電など ②各発電についてエネルギーの移り変わりを考察させると同時にエネルギーの源を探索させる。	①資料を参照しながら発電のしくみの概略を学習する。 ②これまでに学習したことをもとに、各発電についてエネルギーの移り変わりを考察する。さらに、それぞれのエネルギーの源を探り、プリントに記入する。	プリント OHPシート
25分	指導項目：「地球規模のエネルギーの循環」 ①太陽放射を源とする地球規模のエネルギーの循環を示し、エネルギーについてのグローバルな視点を獲得させる。 ②カードゲームを通じてエネルギーの多様性、発熱によるエネルギーの散逸、エネルギーの移り変わりについての理解を定着させる。	①地球規模のエネルギーの連鎖について学習する。 ②学習したことがらをもとにカードゲームを行い、エネルギーの多様性、発熱によるエネルギーの散逸、エネルギーの移り変わりについて認識を深める。	プリント ゲームカード

ア コンデンサーの放電と電気エネルギー

授業の導入で行った、電池・電解コンデンサー・発光ダイオードのミニ実験と電解コンデンサーの分解に加え、コンデンサーの放電現象のモデル実験として、底に小さな穴を空けたペットボトルからの放水の観察を取り入れた。コンデンサーに蓄えられた電気エネルギーは、どのように減少していくか、ペットボトルのキャップは直流回路の何の役目をするか、放水量と放水時間の関係はどうか等を考察させた。

イ ミニ四駆にした仕事と電気エネルギー

ミニ四駆を使って力学的エネルギーを電気エネルギーに変換し、さらに、そのエネルギーが光や音のエネルギー、磁場のエネルギーに移り変わっていくことを確かめさせた。ミニ四駆は手回し発電機よりも安価である。

2個の発光ダイオード(LED)の異極同士をつなぎ、それぞれをミニ四駆のモーター側の電極へ接続する。同じ向きにだけミニ四駆を動かすとき、直流発電になり順方向のLEDだけ点灯する。ミニ四駆を前後に往復させるとき、交流発電になり順方向と逆方向のLEDが交互に点灯する。

ミニ四駆の速さと起電力は比例関係にあり、単振動の媒質の変位と速さの関係も理解しやすい。ミニ四駆の出力を中古テレビのブラウン管の偏向コイルへ直接入力すると、ミニ四駆が発電した起電力がブラウン管の輝点の移動で観察できる。2台のミニ四駆を、ブラウン管の水平と鉛直の偏向コイルにそれぞれ入力したり、コンデンサーを直列接続したときのリサージュ図形から、位相差の観察も行った。



図1-1 放電のモデル実験



図1-2 ミニ四駆と発電機

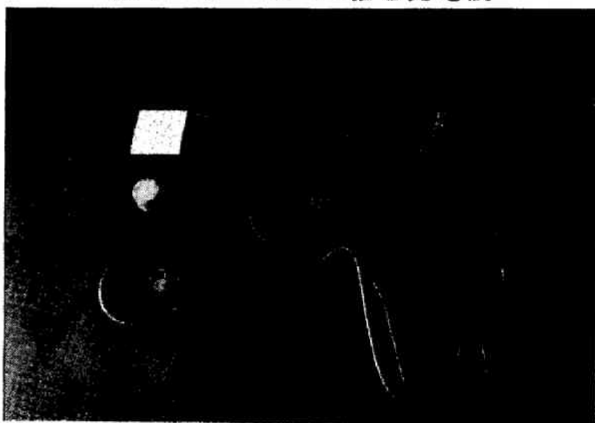


図1-3 ベルティエ素子など

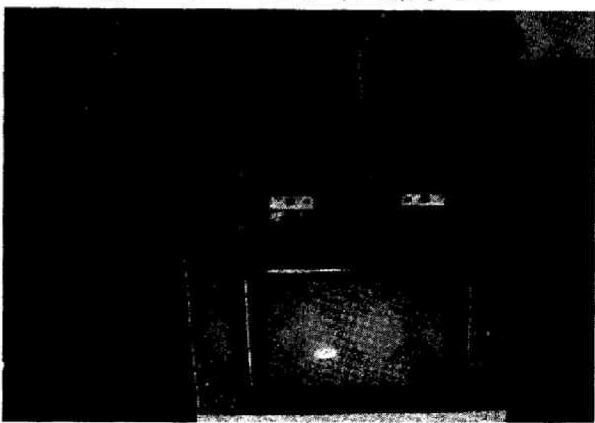


図1-4 ミニ四駆とブラウン管

ウ ペルティエ素子と熱エネルギー

ペルティエ素子と電池を接続すると、ペルティエ素子の両面に温度差が生じる。電池の正負を反対に接続すると、温度差が生じる向きも反対になる。生徒に手で触って体感させた。電池の代わりにミニ四駆を使ってもよい。

氷でペルティエ素子の両面に温度差をつくると電気エネルギーを発生する。

エ 波のエネルギーの伝播のコンピュータシミュレーション

波動のエネルギーが伝播する様子を、水波の干渉実験について数値シミュレーションし、観察した。使用したアプリケーションはMathematica2.2。

Mathematica2.2のカーネルを起動させたのち、プログラムをエディター上に書き込み、シフトキーを押しながらエンターキーを押すと、数秒後に結果が描かれる。同位相の波源、波源の間隔 $d=10.0$ とし、下記のプログラムを実行したときの結果が図1-5である。

```
Needs["Graphics Graphics3D"]; d:=10.0;  
pa[r_,p_]:=Sqrt[r^2+d^2+2r d Cos[p]];  
pb[r_,p_]:=Sqrt[r^2+d^2-2r d Cos[p]];  
SphericalPlot3D[{r Cos[p], r Sin[p],  
Cos[pa[r,p]]+Cos[pb[r,p]]}, {r, 0, 30},  
{p, 0, 2Pi}, Boxed->False];
```

オ 身近な素材の放射線の計測

キットのGM管式放射線計を組み立て、身近な試料の放射線を計測し、バックグラウンド(B.G.)との比較を行った。

- ① KCl 10g (^{40}K が0.012%存在)
- ② 乾燥コンブ、とろろ昆布
- ③ 園芸肥料 100g
- ④ 花崗岩(標本用)
- ⑤ ランタン光源用マントル

(キャンプ用品、 ^{232}Th を含む)



図1-5 ペルティエ素子の実験風景

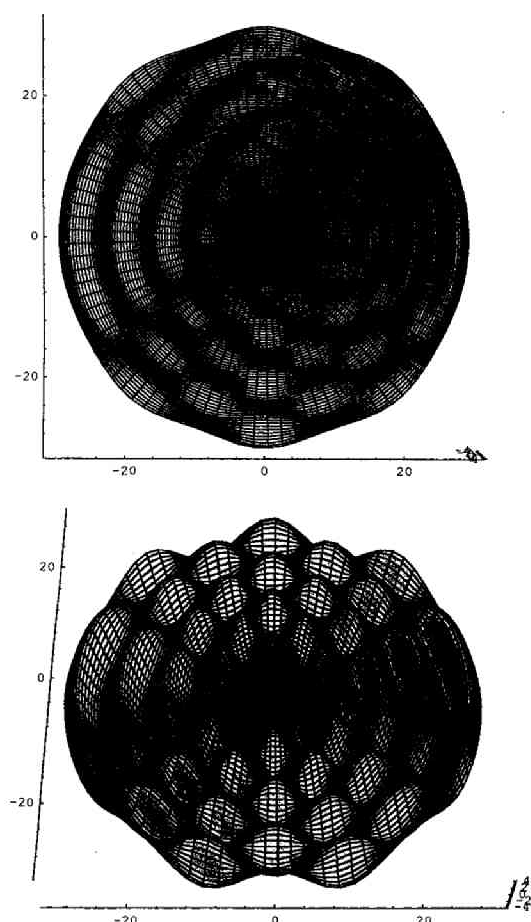


図1-6 水波の干渉のシミュレーション

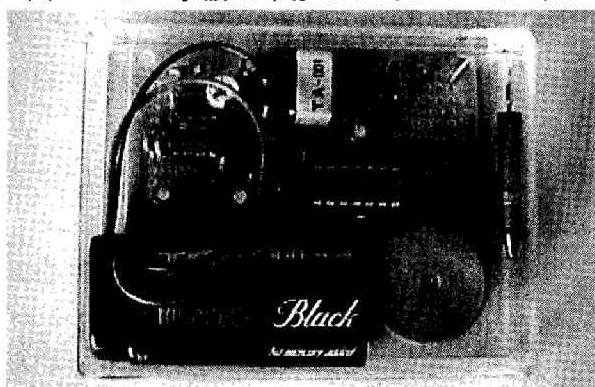


図1-7 GM管式放射線計

カ エネルギー・ゲーム～カード遊びによるエネルギーの学習のまとめ～

図1-8のような現象カードとエネルギーカードを使い、カードゲームを通して、エネルギーの多様性、熱エネルギーの散逸、エネルギーの変換などの理解をねらいとした。ルールを次のように設定して授業実践した。

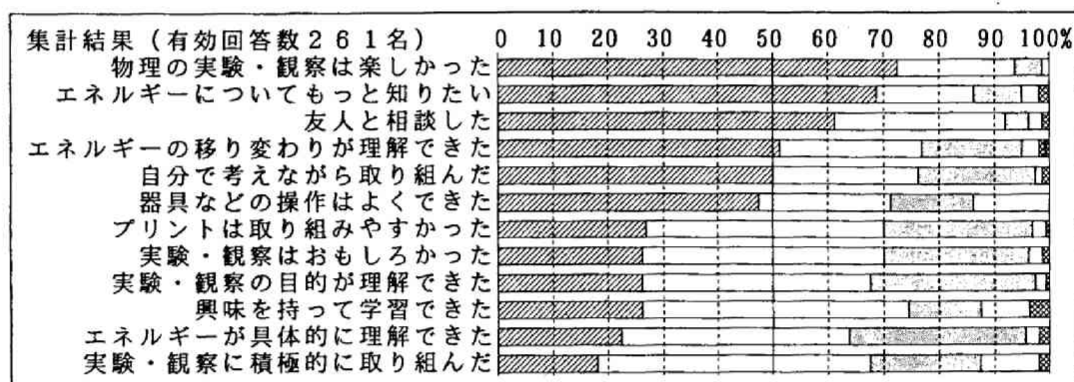
- ①現象カードを裏返して中央に重ね、プレイヤーにエネルギーカードを配る。
- ②プレイヤーは現象カードを1枚めくり自分の前に置く。
- ③場に出た現象カードに関わるエネルギーを手札から出す。例えば現象カードが「電球」なら、「電気的エネルギー」「光の…」「熱…」を1度に出せる。
- ④順番に②、③を繰り返し、手札が無くなれば上がり。

(生徒の感想) ●ルールの改善が必要。

●けっこう考えたりして楽しめた。

●熱エネルギーがやけに多くて驚いた。

キ エネルギーの理解の自己達成度調査 (5段階、できた←-----→できなかった)



(5) おわりに

表1-2 アンケートの集計結果

エネルギーの手軽な実験は、エネルギー概念の形成や、エネルギーの性質(多様性、保存性、変化)についての指導に効果があった。今回の授業実践の後の力学的エネルギー保存則の学習では、従来よりも円滑に進めることができたという実感があつた。定性的な実験の活用は、数式に拒否反応を示す生徒にも、正しいエネルギーの概念をもたせることができたと思われる。いわゆる「エネルギー問題」では、エネルギーとエントロピーという2つの観点をもつことが大切である。今後は、熱エネルギーの散逸についての意識付けを发展させて、エントロピーを分かりやすく教える方法についても研究していきたい。

光のエネルギー	太陽電池	電気的エネルギー
電気的エネルギー	発光ダイオード	光のエネルギー
電気的エネルギー	電球	光のエネルギー
熱エネルギー	ペルティエ素子による発電	電気的エネルギー
光のエネルギー	太陽熱温水器	熱エネルギー

図1-8 エネルギー・ゲームのカードの例



図1-9 エネルギー・ゲームの授業風景

2 凝集剤を用いた浄水方法の再現と水環境保全の大切さを理解させる指導

(1) はじめに

水道水は地下水や河川水を原水としているが、大都市では水質の悪化と水需要の高さから河川水を浄水場で急速ろ過することによって得られている。自然の浄化過程を模した緩速ろ過（微生物を利用する）に対して、急速ろ過は凝集剤を加えることによって原水中の浮遊性物質を沈殿除去する方法であり、現在は性能のよいポリ塩化アルミニウム（PAC）が凝集剤として用いられている。しかし、浄水場でも原水の水質は変動が大きく、最適な凝集剤濃度を求めるために苦労している。

我々は、この浄水方法で粘土コロイドの凝集沈殿を再現できるように研究し、水環境について興味をもたせることにした。

また、凝集剤による沈殿は基本的には浮遊性物質を沈殿させるもので、アンモニア性窒素やリン、有機物等は除去できない。生徒に興味をもたせるために台所用洗剤やしょう油のようなタンパク質を同時に凝集沈殿させ、沈殿前後のCOD（化学的酸素要求量）を測定することにより、どの程度除去できるかを検証した。

これらの実験により、河川水等の水道原水の水質が直接飲料水に影響することを理解させ、さらには、その汚れの原因を考えさせるとともに問題解決の糸口を生徒に探らせた。

水の環境問題に対する関心は近年非常に高く、学校教育でも理科だけでなく公民・家庭・保健等の授業で取り上げられるようになっており、今回の実験はそれら水環境について考えるための導入教材としても利用できるものである。

日常生活の題材	学習意欲を引き出す活動	自然や環境を探究する活動
河川・湖沼・地下水 浄水場 水道水	・コロイドのチンダル現象を調べる。 ・浄水場で用いられている凝集剤を用いて凝析を行う。 ・有機物も凝集剤で除去できるかをCODを指標として調べる。	・浄水の方法を再現する。 ・水の浄化が原水の水質によって大きく影響を受けることを理解し、水環境と私たちの生活とのかかわりについて考察する。

(2) 実験教材

ア 懸濁液の作成とチンダル現象

- ① 1ℓビーカーの内壁に陶芸用粘土5mm角（約0.4g）を貼り付け、炭酸カルシウム0.4gを入れ、純水1ℓを加えてガラス棒でよく溶かす。しばらく静置し、上部の沈殿しない部分を500mlビーカーに移し、増水時の河川を想定した懸濁水とする（図2-1）。

※純水の代わりに水道水を用いる場合は炭酸カルシウムは加えなくてよい。

- ② 上記の懸濁液や、純水、あるいは水酸化鉄（Ⅲ）コロイド溶液にレーザー光を当てて、チンダル現象の様子を観察する（図2-2）。



図2-1 懸濁水

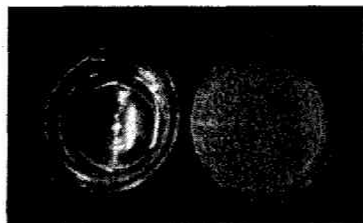


図2-2 純水-懸濁水

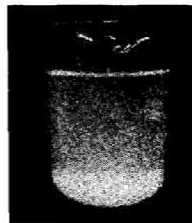


図2-3 フロック沈殿



図2-4 沈殿後

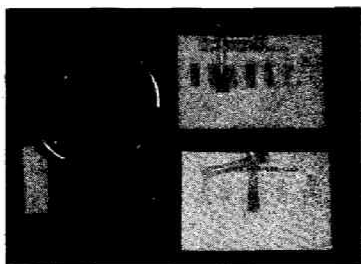


図2-5 懸濁水+しょう油 のCOD

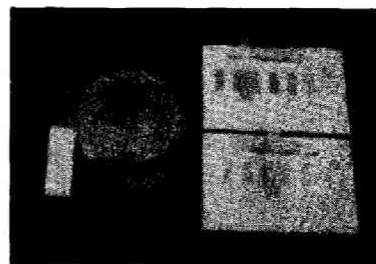


図2-6 懸濁水+しょう油沈殿後のCOD

イ 凝集剤による凝析の観察

- ① ポリ塩化アルミニウム（PAC）10%の原液をホールピペットで5mlとり、100mlメスフラスコに入れ、純水を加えて20倍希釈の溶液をつくる。この溶液はできるだけ新しいものを用いるようにする。

※PACは、アルミニウムイオンにアルカリを加えて水酸化アルミニウムの沈殿を作らせ、ポリマー化させたものである。pH6.5～7付近ではカチオン凝集剤として威力を発揮し、新鮮なポリマーは多くの物質を吸着する活性が高い。水質にもよるがPACは原液に対して通常20～100ppm程度使用する。その添加量はビーカーで試験しなければならないが、季節によって河川の水質は異なるから、浄水場ではその都度試験して最適値を求めている。

- ② ア①の懸濁水に上記のPACを0.7～1.0ml加え、ガラス棒で均一になるように、約2分間よくかき混ぜる。その後ゆっくり1分間ほどかくはんを続け、沈殿の沈降状態を観察する（図2-3）。
- ③ 凝集沈殿したら、その上澄みにレーザー光を当てて、チンダル現象の様子を観察する（図2-4）。

ウ 汚れの指標としてのCOD

- ① 本来、COD（化学的酸素要求量：水の中の有機物を過マンガン酸カリウムなどの酸化剤で酸化し、その酸化に要した量を酸素の量で表したもの、mg/l）は過マンガン酸カリウムを使用して測定するものであるが、授業時間の中では時間的に無理があるので、市販の簡易水質検査器（バックテスト）を使用する。

- ② いろいろな水（純水、ミネラルウォーター、水道水、河川水、水槽の水など）についてCODを測定する。

浄水のしくみ・・・コロイドの凝集沈殿と有機物

【目的】

- ・コロイドについて理解するとともに、浄水方法である、凝集剤PAC（ポリ塩化アルミニウム）による凝集沈殿（コロイドの凝析）を再現する。
- ・凝集沈殿で、有機物の除去ができるかどうかを検証する。
- ・これらの実験を通して、飲料水の元である水道水の品質悪化について考察を深める。
- ※COD測定については、過マンガン酸カリウムを用いたものは時間的に無理があるので、市販のBOD計を用いることにした。

【要旨】

- ・懸濁水のBOD現象をとらえることにより、コロイド粒子を確認する
- ・懸濁水＋しゅう油＋洗剤の溶液を凝集剤で沈殿させ、有機物の量に変化があるかどうかをみる。

【準備】ビーカー、スリッパ、レーザー発生装置、メスビレット

- ・試料溶液Ⅰ（水道水1リットルに陶器用粘土5mm角（約0.4g）と炭酸カルシウム0.4gをよく溶かし、上部の沈殿しない部分を試料とする・・・増水時の河川水を想定した懸濁水の作成）
- ・しゅう油（10倍に薄めたもの）
- ・台所用洗剤（20倍に薄めたもの）
- ・生物室の水槽の水（2倍に薄めたもの）

【実験操作・方法】

【実験】・・・コロイド粒子の確認、懸濁物質の除去、有機物も除去できるか

Aグループ

- ①試料溶液Ⅰの上澄み液 500ml をビーカーに取り、10 倍に薄めたしゅう油を3滴と薄めた台所用洗剤1滴を加えて、それにレーザー光線をあてて、BOD現象を観察する。純水や、水酸化鉄（Ⅲ）コロイド溶液とも比較してみる。
- ②上の溶液について、簡易水質検査器（BOD計、低濃度用）を使用して COD を測定する。
- ③そのビーカーにポリ塩化アルミニウム（PAC）（10%の原液を20倍に薄めたもの）を1.0ml 加え、スリッパで均一になるように約2分間よくかき混ぜる。その後ゆっくり1分間ほど攪拌を続け、沈殿の沈降状態を観察する。しばらくして、沈殿したら、その上澄みにレーザーをあてて、BOD現象を観察する。また、上澄み液の COD を検査器（低濃度用）を使用して測定する。

Bグループ

- ①試料溶液Ⅰの上澄み液 400ml をビーカーに取り、2倍に薄めた水槽の水 100ml を加え、それにレーザー光線をあてて、BOD現象を観察する。純水や、水酸化鉄（Ⅲ）コロイド溶液とも比較してみる。
- ②上の溶液について、簡易水質検査器（BOD計、高濃度用）を使用して COD を測定する。
- ③そのビーカーにPAC（10%の原液を20倍に薄めたもの）を1.0ml 加え、スリッパで均一になるように約2分間よくかき混ぜる。その後ゆっくり1分間ほど攪拌を続け、沈殿の沈降状態を観察する。しばらくして、沈殿したら、その上澄みにレーザーをあてて、BOD現象を観察する。また、上澄み液の COD を検査器（高濃度用）を使用して測定する。

【表示実験】・・・蒸留水にはなにも含まれていない

- ・蒸留水をきれいなビーカーに取り、簡易水質検査器（低濃度用）を使用して COD を測定する。
- ・水道水のCODを検査器（低濃度用）で同様に測定する。

【観察・記録】

【実験】

- (7) コロイド粒子の存在するところに光をあてたとき、光の通路はどうなったか。（BOD現象）

- (1)（粘土＋しゅう油＋洗剤）溶液または（粘土＋水そう水）の COD

[mg/l]

- (9) 凝集剤（ポリ塩化アルミニウム）を加えて攪拌後の溶液の様子

- (11)（粘土＋しゅう油＋洗剤）溶液または（粘土＋水そう水）の凝集沈殿後におけるBOD現象の観察

- (12)（粘土＋しゅう油＋洗剤）溶液または（粘土＋水そう水）の凝集沈殿後の COD

[mg/l]

【表示実験】

- 蒸留水の COD

[mg/l]

- 水道水の COD

[mg/l]

【結果・考察】

- ・BOD現象はどうして起こるのか

- ・実験のBOD現象の比較により、凝集沈殿後のBOD粒子はどうなったか

- ・実験のCODの比較により、沈殿後の有機物の量は、はじめの何分の一に減少したか。

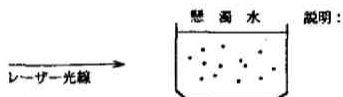
【感想】

年 組 番 氏名

（資料2-1）A高校での実験プリント

考察のプリント

1. なぜ懸濁水中では、チンダル現象が観察されるのか。図示して説明しなさい。



2. ポリ塩化アルミニウムを投入後、コロイド粒子はどうなったか。

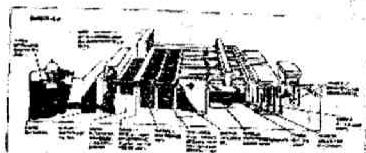
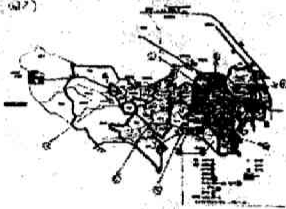
3. ポリ塩化アルミニウムを投入後、CODは約何%減少したか。

4. 凝析とはなにか。

(図1)



(図2)



5. 図1は、一般的な河川を通しての水の流れを表したものである。この図を見て考えたことを書きなさい。（たとえば問題点等）

6. 図2は、東京都の浄水場の場所を表したものである。自宅の水がこの浄水場で作られているか調べよ。

自宅→ 区 市 浄水場名→

7. 図3は、浄水場のしくみを表したものである。図の各行程と実験操作を対応させよ。

実験	実 験 操 作
浄水場	
沈砂池	
凝集剤注入	
薬品混和池	
フロック形成池	
沈殿池	
ろ過池	

8. 次の表Aは、家庭の台所から流される汚水の種類を、表Bはそれらの汚水を、水でうすめて魚がすめる水質にするために必要な水の量を風呂桶に換算して示している。AとBを対応させよ。

A	B
使用済みの食卓油 500ml	25 杯分
おでんの汁 500ml	4.7 杯分
牛乳 200ml	330 杯分
みそ汁 200ml	4 杯分
米のとぎ汁 2l	10 杯分
ラーメンの汁 200ml	3.3 杯分

9. 河川の水はどうして汚れてきたのか。また河川水をきれいにするにはどうしたらよいのか

10. 水道水をおいしく飲むにはどのようにしたらよいのか。

11. 感想

年 組 番 氏名

（資料2-2）B高校での実験プリント

エ 凝集剤による有機物の除去

- ① 懸濁水のCODを測定する（純水からつくった懸濁液のCODは0である）。
- ② しょう油（10倍希釈0.1ml）や台所用洗剤（20倍希釈0.1ml）を加えた各懸濁水、また、懸濁水450mlに水槽の水50mlを加えた溶液のCOD等も測定する（図2-5）。
- ③ 上記の各溶液をPACで凝集沈殿させた後、CODを測定し、沈殿前と比較する（図2-6）。

(3) 評価方法

評価は実験プリントや考察のプリントを使用した（資料2-1、資料2-2）。

(4) 結果と考察

ア 実験結果と考察

① 粘土コロイド粒子によるチンダル現象の観察

一般にコロイド溶液の教材としては水酸化鉄（Ⅲ）コロイドがよく用いられる。ここではより身近な教材として、河川の懸濁水を想定した粘土コロイド水溶液を用いることにより、自然や環境への興味・関心を高めさせた。実際、微量の粘土を分散質とした水溶液にレーザー光を当てると、明瞭に光の通路が見え、チンダル現象が観察された。水酸化鉄（Ⅲ）に比べコロイド粒子が大きいいため、きらきらと輝き、生徒に強く印象づけることができた。

② 凝集剤PACによる凝析の観察

ポリ塩化アルミニウム（PAC）を粘土コロイド水溶液に加え、溶液全体に分散するようにかくはんするとコロイド粒子が次第に大きい粒子となっていく。ゆっくりとかくはんを続けると粒子はもやもやした綿状の浮遊物質（フロック）となる。かくはんを止め静置すると、沈降し、凝集沈殿となる。透明な上澄み液は多少の粒子が浮遊しているものの、チンダル現象から、その数が極端に減ったことが分かる。生徒は実際に浄水場で行っている操作と同様のことを行い、濁水の浄化されなければならない問題がどのように解決されているのか、身をもって体験することができた。また濁水からフロックが出現するのを見て、驚きを感じていた。凝析理論についても理解を深めることができた。

③ 汚れの指標としてのCOD

浄水の実験と並行し、他の身近な水についてCODを測定することにより、CODが汚れの目安になっていることを理解できる（表2-1）。

（表2-1）C高校でのCOD平均測定結果

水の種類	純 水	ミネラルウォーター	水 道 水	河 川 水
COD (mg/ℓ)	0	1	2	10

④ 凝集剤による有機物の除去

凝集沈殿によるCODの減少率は0～60%であった。幅の広いデータであるが、パッケージテストが簡易的な比色法であること、しょう油や洗剤の種類、滴下量、水温、かくはん条件などによるものと考えられる。いずれにしてもCODが増えることはなかった。

有機物は多少除去できるが、十分には除去できなかった。この結果から凝集沈殿では、基本的に浮遊性物質しか除去できない事実を確認させることができた。

イ 生徒の感想（D 高校）

- ・ チンダル現象がきれいに見えて楽しかった。汚い水がだんだんきれいになっていく凝析の現象がすごかった。
- ・ しょう油数滴でこんなに水が汚れてしまうことがわかった。また、砂や粘土を取り除いても洗剤やしょう油などは除けていないのは怖いと思った。
- ・ 食器を洗うときは、しょう油を拭き取ってごみとして捨てたり、なるべく少ない洗剤で洗うようにしたいと感じた。
- ・ 最近、各家庭で浄水器をつけたり、ミネラルウォーターを買って飲む人が多くなってきたのがわかる気がした。
- ・ 川の上流で少しでもきれいさを保つことが大切であると感じた。水は毎日飲むものだから水道代を高くしても良いからもっと高度な浄水処理をきちんとやってほしいと思った。
- ・ 自分の身の回りのことを実験するのは楽しかった。水問題は大きい問題だと思った。このことで水に関心をもった。

(5) おわりに

今回の研究で明らかになったのは次の3点である。

- ① コロイドの凝析を用いた水の浄化法が水道水をつくりだす方法として毎日浄水場で行われており、実際に化学実験室でその原理を用いて再現・操作させることができた。
- ② COD（化学的酸素要求量）を指標として、水の汚染の度合いを測定させ、凝集剤で有機物がある程度除去はできるが、完全には除去できないことを理解させることができた。

このことから、浄水は原水の水質に大きく影響を受けてくることを考えさせることができた。

- ③ さらに発展して、水の汚染について考えると、特に上流域での産業活動からの排水はもちろん生活排水などの汚水処理が重要であることや、河川での自然浄化作用が保持できるような環境づくりをすることも大切であることを深く考えさせることができ、コロイドの化学という分野にとどまらず、グローバルな視点で様々なことに結びつけて学習させることができた。

水道水がコロイドの化学的性質（凝析）を利用して河川水よりつくられていることを理解させ、水を取りまく諸問題について考察を深めさせる内容を開発することができた。

21世紀を迎えるに当たって、生徒が未来の地球環境を科学的に見すえる能力を養わせる教材はこれからさらに重要になると思われる。

3 土壌微生物（分解者）の役割を通して、自然環境を考えさせる指導

(1) はじめに

地球という閉鎖空間において物質は常に循環しているが、その中で生物は重要な役割を果たしている。生産者としての植物の活動、消費者としての動物の活動は目に見え理解しやすいが、分解者としての微生物の活動は微生物自体を容易に見ることができない上、ある意味、消費者としての役割をもち理解しにくい。しかし、有機物を無機物にかえ植物に再利用できる形に戻すという点で微生物の働きは大変重要であり、森林、河川を始めあらゆる環境を作る基盤をなしていると言える。そこで、どこでも手に入れることができる土（土壌）を用いた教材の開発を行い、分解者の働きを理解させ自然環境を考えさせる指導法の研究を今回のテーマとした。

(2) 教材の開発

教材開発に当たって、姿の見えない微生物の分解者としての働きをどう生徒に伝えるか、それも視覚に強い訴えをもって伝えるためにはどうしたらよいのかという点に主眼をおいて開発を行った。その結果、①ペットボトルの利用、②寒天培地上での呈色反応の利用、③市販の有効微生物群（生ごみ分解菌）の利用、そして、④ビデオ教材の利用などを検討・研究した。

ア 土による落ち葉に対する作用の違いを調べる→①ペットボトルの利用

各種の土（グラント・畑・森林）を用い、土によって落ち葉が分解される作用に違いが見られるかどうかを比較することで、土壌環境による有機物分解能力の違いを理解させ、豊かな環境とは何かを考えさせる。

イ 土壌微生物の働きを調べる→②寒天培地上での呈色反応の利用

アの実験より明らかにされた土による有機物を分解する働きの違いが何によるのか、寒天培地上でのコロニー形成を観察させ確認させる。さらに、その働きを化学的に分析し、土の持つ作用が微生物による分解作用であることを理解させる。

ウ 堆肥作りを通し環境問題を考える→③市販の有効微生物群（生ごみ分解菌）の利用

市販の生ごみ分解菌を用いて生ごみから堆肥を作ることで、微生物の分解者としての働きを再認識するとともに、生ごみの再利用（微生物の有効利用）など環境問題に対する意識をもたせる。

エ 生きている土とは何かを考える→④ビデオ教材の利用

映像を通して土壌環境にある、複雑な生態系と各種生物の役割を学び、生きている土とは何か、豊かな土とは何か、そして、生態系の中での人間の役割について考えさせる。



図 3-1 ペットボトルの利用（実験 1）

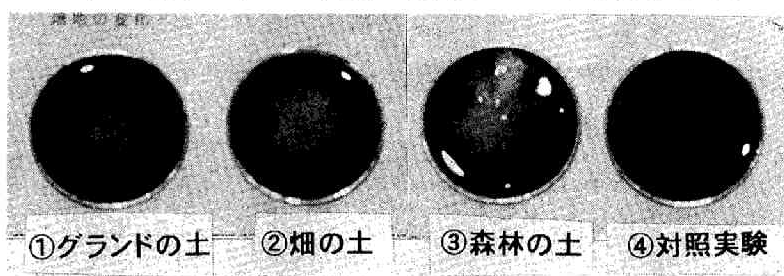


図 3-2 ヨウ素デンプン反応（実験 2）

(3) 指導計画

本研究は、現行の学習指導要領での生物ⅠBにおける単元「生物の集団」の中の「生態系と物質循環」を指導することを目的として行った。下記の指導計画は、3単位（2時間続きと1時間の組合せ）で実践する場合の一例であり、2週（6時間）にわたり展開したものである。

		学 習 活 動	指 導 項 目	備考
1 時 限	導入	土に関するアンケートに答える。 （土の役割を考える）	生徒に土のイメージを認識させる。	10分
	展開 （実験1）	グランド・畑・森林の土を用いて、落ち葉 に対する作用を調べる。 ①実体顕微鏡により土を観察、②準備する	実験の方法と注意を説明する。 土壌の成分など土に対する知識を与える。	40分
2 時 限	導入	実験1－①での土の観察結果を確認する。	実験結果をまとめる。（生物の有無・土の 色・臭いなど各班毎にまとめ報告させる）	10分
	展開	プリントを使い生物同士のつながり、栄養 段階についてまとめる。	生態系の構成要素、食物網と栄養段階につ いて説明する。	30分
	まとめ	土壌中の生物を上げ、そのつながりを考え まとめる。	本時の内容を土壌に当てはめ考えさせる。	10分
3 時 限	導入 （実験1 まとめ）	②落ち葉の変化を観察する。 実験1の結果より、生物（微生物）の存在 とその働きを考え、土による結果の違いの 原因を考える。	事前に準備した実験経過を提示する。 実験結果の差の原因を考えさせる中で、見 えない微生物の存在を考えさせ、実験2の 導入とする。	15分 （実験1の まとめを 本時の導 入とする）
	展開 （実験2）	寒天培地を用いて、分解者の働きを調べる。 ①準備（培地への土の定植）	実験の方法と注意を説明する。（培地の作 り方、コロニー、ヨウ素反応について）	35分
4 時 限	展開1 （実験2）	②培地上のコロニーを観察する。 ③培地の変化を呈色反応で化学的に調べる。	コロニー観察より微生物の存在を確認させる。 有機物分解の様子を化学的に確認させる。	20分
	展開2 （実験3）	市販のごみ分解菌を用い生ごみから堆肥作 りを行う。（①実験準備をする）	実験の方法と注意を説明する。	15分
	まとめ	分解者としての微生物の働きを理解する。 豊かな環境について考える。	物質循環とそこでの微生物の役割を説明す る。（タンパク質や脂肪の分解についても触れる。）	15分
5 時 限	導入	前時の内容を確認し土壌生態系を考える。	前時の内容を板書にまとめる。	5分
	展開 （ビデオ）	ビデオの鑑賞。 ビデオ教材は(4)実践報告のエを参照	ビデオを通し土壌生態系の複雑さと生物の つながり、そして物質循環を考えさせる。	40分
	まとめ	プリントをまとめる。	プリントを完成させる。	5分
6 時 限	導入	実験1、2を通し分かった微生物の働きの 有効利用を考える。	微生物の有効利用の例を挙げ説明する。 生ごみ分解菌について説明する。	10分
	展開 （実験3）	②実験3における、生ごみの分解状態を観 察する。	生ごみの変化を形状、臭いなどの点で観察 させる。	20分
	まとめ	ごみ処理問題などの環境問題について考え る。	生ごみ分解菌の環境への影響についても考 えさせる。	20分

(4) 実践報告

ア 実験1「土による落ち葉に対する作用の違いを調べる」

(ア) 方 法

ペットボトル内に自然界からいろいろな条件で採取した土と落ち葉を入れ、土壌の違いによって、落ち葉が分解される様子の違いがあるかどうかを比較した。

(イ) 結 果

グランドの土の上に置いた落ち葉は2～3週間ではほとんど変化しなかった。畑や森林から採った土では、4～5日で葉の表面が白くなった。これは土中の糸状菌類が増殖した結果である。しばらくすると糸状菌は姿を消し、落ち葉のかさが少しずつ減り、約1か月たつとはじめの半分ほどになった。土中微生物により、落ち葉が分解されつつあることが推測される。(P14. 図3-1)

イ 実験2「寒天培地を用い分解者の働きを調べる」

(ア) 方 法

有機物(デンプン)を含んだ寒天培地にいろいろな条件で採取した土を少量乗せ、土壌微生物を増殖させた。2～5日後、寒天上の土を洗い流した後シャーレにヨウ素液を流し、微生物がデンプンを分解したことをヨウ素デンプン反応で確かめた(P14. 図3-2)。また、培地上に増殖した微生物を顕微鏡で観察することを行った。

(イ) 結 果

シャーレに乗せた土のまわりには微生物のコロニーが観察された。土に乗せた部分には、ヨウ素デンプン反応がなく、デンプンが微生物によって分解されたことが分かった。土の状態により、微生物の繁殖状態やデンプンの分解量に違いがあり、畑や森林の土はグランドの土に比べ、微生物の繁殖がよく、デンプンの分解も進んでいた。

コロニーの一部を採集し、600倍くらいで検鏡してみると、糸状の菌糸が観察された。自然農法の堆肥作りでは、最初に増殖するのは糸状菌類であるが、寒天培地でも自然の土の中にいる糸状菌類が増殖したものと思われる。実験1のペットボトル内でも糸状菌類の繁殖により葉の表面が白っぽくなった。

ウ 実験3「市販の生ごみ分解菌を用いた堆肥作り」

(ア) 方 法

ペットボトル内に適当な大きさに切った生ごみと市販されている生ごみ分解菌を入れ、生ごみが分解されていく様子を観察し、1週間後、中身を出して、生ごみがどうなっているか匂いや手触りはどうかなどを確かめた。生ごみ分解菌を入れた場合と入れない場合との実験後の生ごみの様子の違いや、生ごみは班別にいろいろなものを準備し、生ごみの種類による分解の様子の違いも比較した。現在、市販されている生ごみ処理装置は、処理方法によって5種類に大別されるが、今回はその中で、微生物によって生ごみを水とCO₂

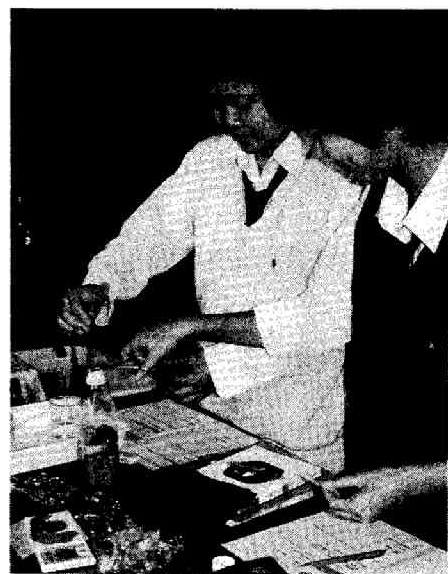


図3-3 実験の様子

にまで分解する「生分解型」のもので使用されている微生物を使った。微生物の内容は、放線菌類、光合成細菌類、セルロース分解菌類である。市販の処理装置と同様に、ペットボトル内には生ごみと分解菌の他に、ココヤシ繊維からできた培養材と水を入れた。

(イ) 結 果

- ①ほとんど分解されたもの……ワカサギ（生丸ごと）、サラダ菜、キュウリ
- ②骨やカラだけ残して肉が分解されたもの……鶏手羽肉、大正エビ（図3-4）
- ③果肉は分解されたが皮はまだ残っていたもの……バナナ、リンゴ、カキ、ミカン
- ④分解が遅かったもの……タマネギ、ニンジン

皮は細胞壁も厚く、分解に時間がかかる。特に、もともと土中にある部分（根など）は、より一層分解されにくい。生ごみの種類を限定すれば、細菌による分解の過程がダイナミックに短時間に観察でき、生徒の視覚的認識に効果が高いと言えた。

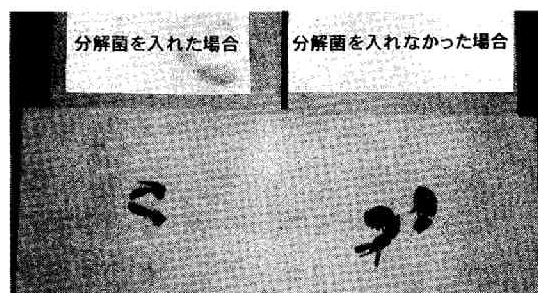


図3-4 大正エビの変化

エ ビデオ

自然農法を紹介し、複雑な生態系、各種生物の役割及び生態系の中での人間の立場について考えさせることを目的として、ビデオ教材を取り入れた。ビデオの一例としては、「生きている土」（桜映画社 41分）などがあげられる。

また、土中小動物や微生物などをビデオで見せるという方法も有効であると思われる。

(5) 考 察

ア 実験1

実際の土の中では、ミミズなどの働きにより落ち葉は微生物が分解しやすい状態になっている。農地ではこれらの小動物の働きにより土が軟らかく通気性や保水性がよくなり、植物の根が伸びやすくなる。土の中の小動物を採集し、実体顕微鏡で観察するという時間を入れるとなおよいと思う。

生徒に、「なぜ畑や森林の土の方が落ち葉が分解されたのか」について考えさせ、畑や森林の土の方が、有機物が多いこと、有機物を分解する微生物が多いことに気付かせた。土の落ち葉への作用を、ペットボトル内の体積変化として視覚的に容易にとらえることができたため、生徒は土による葉の分解能力の差を納得し理解していた。ただし、大きな体積変化を生じるためには3週間程度の日数が必要であり、反応日数にあわせた指導の工夫が必要である。

この実験を発展させて、街路樹や雑木林等での落ち葉の処理方法を調べたり、アスファルトの道路では落ち葉の処理に困っていることや明治神宮の森では敢えて落ち葉掃きをしないことなどについて考えさせたりすることも有効である。

イ 実験2

生徒の感想は「肉眼では見えないのに土の中の微生物がデンプンを分解していることがわかった」という内容のものが多く、目に見えない土壌微生物の働きや土の役割に対して

目を向けさせることができた。今回は、デンプンを培地に添加し主に糸状菌類を繁殖させ、デンプンの分解の有無を確かめたが、生ごみにはタンパク質や脂肪も多く、分解菌はこれらも分解している。土壌微生物によるタンパク質や脂肪の分解を検出する実験を行うことが今後の課題である。

ウ 実験3

いやな匂いがしそうという生徒の予想に反して、どのペットボトルもいわゆる生ごみ臭はせず、少し甘酸っぱいような匂いがした。完熟した堆肥の匂いや肥沃な土の匂いの発生源は放線菌ということであるが、本実験で使用した微生物群にも放線菌が含まれているため、完熟堆肥に近い匂いになったものと思われる。菌を入れなかったときの匂いは強烈で、この匂いの違いを感想に書く生徒も多かった。「テレビとかで見て、生ごみが土になることは知っていたが、実際に1週間でそれが見られると不思議だった。」「分解菌を入れた方のエビは身が全部なくなりカラだけになっていてびっくりした。」という感想が代表的なものだった。

今回は有機物の分解の様子を手軽に観察するという目的で、ペットボトル内で実験を行ったが、校庭の隅や中庭などの空き地を利用して、実際に落葉から堆肥を作ることや作った堆肥を肥料として与えて植物を育て、その有効性を調べるのが今後の発展として考えられる。ただし、このようにして家庭で生ごみから作られる「土」が、植物の栽培などに利用されるとき、人間の手によって導入された、本来その土壌には存在しない微生物が、土壌の生態系を変えてしまうことになる。つまり、化学肥料や農薬などによる環境汚染とは異なった生物による環境汚染を引き起こす可能性があり、こうしたことにも触れておく必要がある。

エ ビデオ

「食べ物が土からできていることが分かった。」「有機農法の意味が分かった。」「やっぱり人間は土を大切にしていかなければならないと思った。」という感想が多く、人間が手を加えない自然な状態での環境がどういうものなのかに気付き、自分たちが住んでいるところや食べているものを改めて考え直すきっかけになったものと思われる。

(6) おわりに

本研究は、現行指導要領の総合理科「人間と自然」、生物ⅠA「人間の生活と生物」、生物ⅠB「生物と循環」、生物Ⅱ「課題研究」の各大項目で扱うことが可能と思われる。今回の授業実践では、人間の活動が自然界の微妙な平衡状態と物質循環にどのような影響を与えているのかを、土からアプローチすることで、気付かせることができた。

肥沃な土壌は有機物の生産・消費・分解が過不足なく行われており、生態系維持の基本をなしている。そのことは、ごみ処理の問題（ごみ減量化）と再利用に応用できる。ごみはどの家庭でも出るが、なぜ分別収集をしているのか、私たちはなぜそれを守っているのかを今回の授業で話し合うこともできた。

かけがえのない自然環境は今崩壊しつつあることが指摘されている。一度崩壊したものは回復が容易ではない。問題解決の能力を養う授業を実践することを通して環境問題に取り組む意欲を育てていきたいと考えている。

4 地球の温度変化に着目して、地球環境について考えさせる指導の工夫

(1) はじめに

地球環境問題が大きくクローズアップされている現代において、我々人間と地球環境のかかわりについて、多面的な視点でとらえ、考えていく能力が要求されている。ところが、学校現場での環境教育の重要性が指摘されながらも、実際には各教科・科目でバラバラなかたちで行われているのが現状である。そのような状況のなかで、特に環境科学としての地学に注目し、環境教育を実践するようなテーマ設定を行った。本研究では地球環境の中でも、地球大気の温度変化に着目して、生物や我々人間に与える影響を生徒に考えさせる指導の工夫を試みた。

(2) 指導のねらい

大気は我々を取り巻く身近な環境要因の一つであり、その大気温度のわずかな変化によっても、地球全体の環境が大きく変化し、人間とそれを取り巻く生物に対して大きな影響を与えている。本研究では地学という科目の特徴である時間的な広がり意識して、過去の大気温度の変化、未来の大気温度の予測の二つの側面から取り上げた。これらを通して、地球環境について多面的にとらえ、その複雑さを理解し、長期的な視点で考えていく科学的態度を育成することを目指した。具体的な授業展開は以下のとおりである。

ア 地球温暖化問題に着目した展開

地球温暖化によって現れる地球環境の変化について考え、地球環境が複雑な条件の関連によって維持されていることをつかむ。コンピュータを用いたデータ提示の方法を工夫した。

イ 過去における海水面変動に着目した展開

氷河性海面変動について調べることを通して、過去に地球環境の大きな変化があったことを示し、それが生物の分布や進化などにも大きな影響を及ぼしていることを理解させる。ここでは、海底地形図・堆積層基底図等の教材化を試みた。

(3) 地球温暖化問題に着目した展開

ア 地球環境問題への生徒の認識

(ア) 地球環境問題の認知度

地球環境問題に対する生徒の認識を調査するとともに、学習の動機付けとするため、E高校の1、3年生の一部を対象にアンケート調査を行った。

いろいろな地球環境問題への認知度は図4-1に示すように、どの問題も高かった。特に地球温暖化・オゾン層の破壊・酸性雨に関しては、ほとんどの生徒が何らかの形で認知していた。

(イ) 危機的に感じる地球環境問題

いくつかの地球環境問題をあげ、その中でどれが人類にとって危機的と考えられるかという質問をした。結果は図4-2のとおりであるが、答えがオゾン層の破壊と地球温暖化に集中した。これらの項目について関心が高いことがうかがえる。

(ロ) 地球温暖化の影響

実際に地球温暖化が起こった場合、温度の上昇はどれくらいになるかという質問に対する答えは、1～50℃と大変ばらついた。また、実際にどのような影響がでてくるかという質問には「暑くなるので雨が降らなくなる（砂漠になる）」、「海面があがり日本全体が沈没する。」などといった誤認識を含んでいたり、極端であったりする意見や、「冬が過ごしやすくなる」、「クー

ラーなしでは生きられなくなる」といった地球全体の問題としてとらえていない答えがあった。問題をある程度正確にとらえている答えも、「海面水位が上昇する。」ということにとどまっており、気候の変動や農作物への影響などに触れている解答はなかった。

地球温暖化一つをとっても、マスコミ等を通じて断片的な知識は得ているが、それらを総合的にとらえて考えたり、科学的な根拠をもとに考察したりするといった視点が不足しているといえよう。地球環境問題を科学的な根拠をもとにとらえ、また地球という系の複雑さを認識していくことが、環境教育の立場からも重要な課題といえるのではないか。

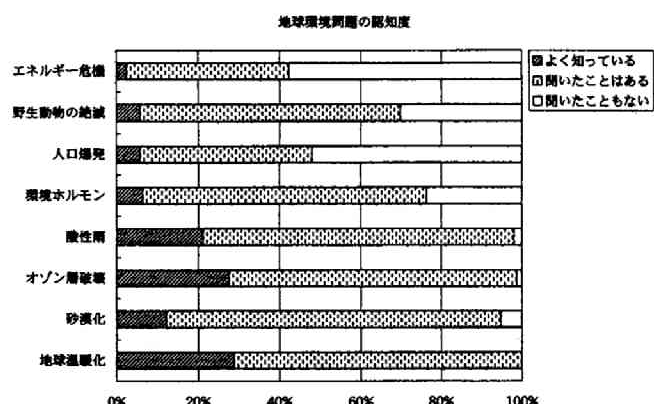


図4-1 地球環境問題の認知度

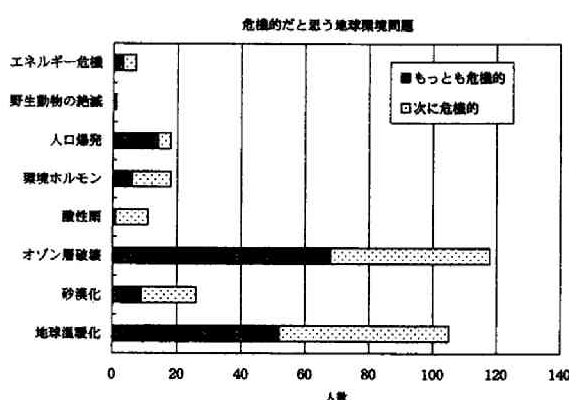


図4-2 危機的だと思う地球環境問題

イ 地球温暖化問題を取り上げた授業展開

(ア) ねらい

アンケート調査の結果を受けて、地球温暖化についての科学的認識をもたせると同時に、地球環境の複雑さを理解させることを第一義にして授業展開を考えた。地球温暖化によって具体的に環境がどう変わるかを理解するより、むしろ地球環境は様々な要因が複雑に絡み合い、少しの人為的变化で、地球環境全体が大きく変わっていく可能性を認識させることを目標にした。

(イ) 内容

地球温暖化の影響予測には諸説があるが、今回は、気象庁から発表された『地球温暖化予測情報第2巻』を用いた。これは、気象庁が開発した全大気・海洋結合モデルに基づき、大気中の二酸化炭素が年率0.5%で増加する場合の今後150年間の気候変化についてまとめたものである。その結果から得られた図表が、大蔵省印刷局から出版されるとともに、各予測の格子点データ、図表とそのHTMLデータを収めたCD-ROMが気象業務支援センターから提供されている。

授業は用意したデータを生徒が調べ、ワークシートの設問に答える形で進めた。特に、大気中の二酸化炭素の増加にともなう地上気温の変化、気温の上昇による降水量や海面水位の変化によって、どのような地球環境になるかをとらえさせるように設問を設定した。生徒へのデータの提示には、HTMLファイルを利用して、コンピュータを通じて行った。図表はCD-ROM収録のHTMLファイルを用い、フロントページ及び関連ページをHTMLで作成した。関連ページとしては、地球温暖化京都会議の京都議定書などを提示した。これらのファイルをパソコン教室のNTサーバーにおくことで、生徒はパソコン教室のクライアントコンピュータから、HTMLブラウザを用いて、自由に必要なデータを閲覧し学習を進めていくことができる。

現在のように、都立学校のパソコンから自由にインターネットに接続できない状況では、今回のようにサーバーにHTMLファイルをおく方法は、データ提示の方法として有効であるといえる。生徒は、自分の学習進度に合わせて、必要なデータを自由に調べていくことができる。インターネットブラウジングの疑似体験としての意味もある。関連するホームページからデータをダウンロードしておき、リンクで関連づけて収納しておけば、提示するデータの幅も広がっていく。HTMLファイルの生成は専用ソフトを用い

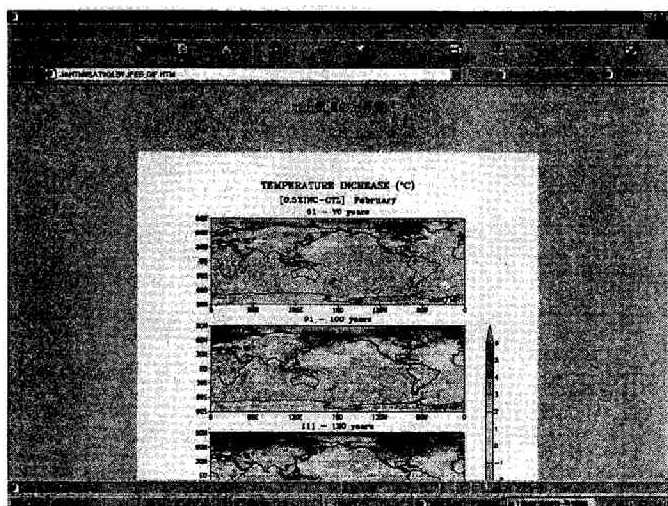


図4-3 HTML閲覧画面例

ることで容易にできるし、音声や動画等を読み込むことも簡単であり、利用価値が高い。

(ウ) 成果

学習にはコンピュータの操作を伴うため、事前に多少の操作法の学習が必要であるが、直感的な操作で目的のデータにたどり着けるため、概ね順調に学習は進行した。地球温暖化が具体的にどのようなかたちで我々に影響するかを、今回のデータのみから推測することはなかなか困難であったが、地球環境の複雑さを科学的にとらえる学習目的は達成されたようであった。

生徒の感想では「地球温暖化は、思っていたより深刻な内容を含んでいることがわかった。」「海があふれるだけでなく、降水量や気候などいろいろと変わってしまうことがわかった。」などというものが多くあり、今までの認識が不足であったことを実感したようである。

今回は、「地学ⅠB」の地球の温室効果の分野に関連させて授業を行ったが、課題研究のテーマとしても発展性があり、広く環境教育に応用していくことができるといえる。

参考文献 「地球温暖化予測情報第2巻」 気象庁(1998) 66p 大蔵省印刷局

CD-ROMの入手は(財)気象業務支援センター Tel 03-5281-0440

ホームページ上からも注文できる。URL <http://www.jmbasc.or.jp/>

(4) 過去における海水面変動に着目した展開例

過去における地球の大規模な温度変化は、氷河性海面変動として知られ、証拠が残されている。これは、少なくとも過去数十万年にわたって全地球的規模で起こった環境変化であり、生物進化や生物分布とも深く関わってきた。

海面低下の証拠、海面低下量、日本列島付近における陸橋形成の時期(大陸と地続きになっていた時期)、陸橋形成と生物進化・生物分布とのかかわり等の点について、表4-1(次ページ)のように問題提起や指導を行い、実習によって考察させていった。

過去において本当に海面が低下していたということを、生徒自らに実感をもって確かめさせるために、堆積層基底図を用いて陸上及び海底の谷の水系図の作成を行わせ、陸上の谷と海底の谷の連続性を調べさせ、海底の谷の成因を考えさせた。また海面がどの程度低下していたの

表 4 - 1 授業計画

	過程	問題提起・指導項目	学習活動・考察内容
1 時 限	導入	・地球温暖化問題について ・過去においてどのような気温や環境の変化がおこったのか？	・現在における地球温暖化問題について考える。 ・過去における気温変化、環境変化について考える。
	展開 1	・海底では主に堆積作用が起こるにもかかわらず、海底に川の跡らしいものがあることを堆積層基底図で示す。	〔実習 1〕 対馬付近の堆積層基底図を用い、陸上及び海底の水系図を描き、それらの連続性を調べる。 ・海底の谷がどのように形成されたのかを考える。 ・海面が少なくとも何m低下していたのかを考える。
	展開 2	・実習 1 の結果から、陸橋形成の可能性があることを指摘する。	〔実習 2〕 宗谷、津軽、対馬・朝鮮の各海峡付近の海底地形図を用い、海面が何m低下すれば日本列島が大陸と地続きになるのかを調べる（陸橋の色塗りを行う）。
2 時 限	展開 1	・過去それぞれの海峡がどれくらいの期間地続きになっていたのか？	〔実習 3〕 過去 14 万年間の海面変動曲線と、前の時間調べた陸橋の形成に必要な海面低下量のデータを用いて作図を行い、それぞれの海峡がどの期間陸橋化していたのかを調べる。
	展開 2	・気温、海水面の変化が動物の分布や進化にどのような影響を与えたのか？	〔実習 4〕 ワークシートでまとめ考える。・日本列島やオセアニアにおける哺乳類の固有種について。・氷期に陸上動物が渡来しやすい理由について。・ナウマン象やマンモスの化石分布と渡来時期について。

かということ、海底の谷がどの程度の深さまで連続しているのかということによって調べさせた（実習 1、図 4 - 4）。

実習 1 の結果から、日本列島周辺の海峡において陸橋形成の可能性があることを指摘し、宗谷、津軽、対馬・朝鮮の各海峡について、海面が何m低下すれば陸橋が形成されるのかということ、海底地形図から読み取らせ、その時の陸橋の様子を実感させるために、陸橋の色塗りを行わせた（実習 2）。

実習 2 の結果と過去 14 万年の海面変動曲線を合わせて作図を行わせることによって、各海峡が実際に陸橋化していた時期を調べさせた（実習 3、図 4 - 5）。

以上をもとに、ワークシート形式で、日本列島やオセアニアにおける氷河性海面変動と生物進化・生物分布との関係について理解させ、考察させていった（実習 4）。日本列島を北海道、本州・四国・九州、西南諸島の 3 地域に分け、それぞれの地域の固有種及びその割合、またナウマン象やマンモスの化石の年代・分布と氷河性海面変動による陸橋形成との関わりについて考察させた。オセアニアにおいては、オーストラリア・ニューギニア・ニュージーランドについて、それぞれの地域の固有種及びその割合と氷河性海面変動や各地域の自然地理的特徴との関わりについて考察させた。

一般の海底地形図では、陸上で形成された後に水没した谷の水系図までは描けず、海水面が低下していた証拠としては、従来は海底に存在する陸上生物の化石についての指摘などが主であった。日本列島のごく一部について作成された堆積層基底図を用いることによって、海底谷



図4-4 陸上及び海底の水系図

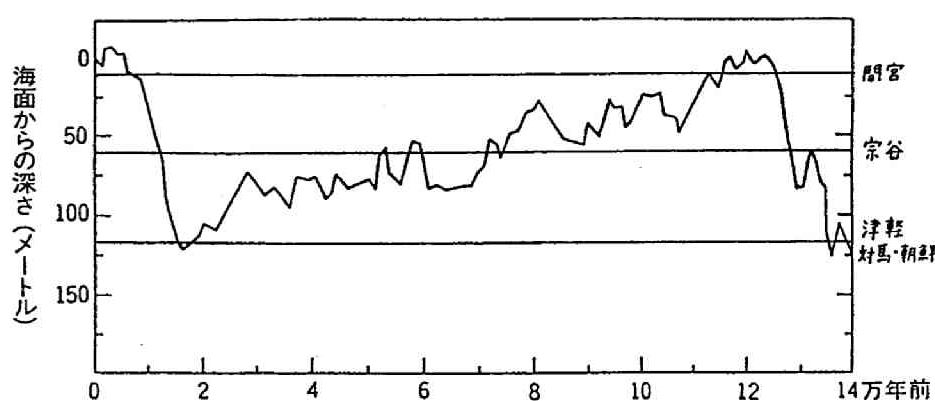


図4-5 陸橋形成時期を調べる作図

の水系図が描け、それによって陸上の谷との連続性を調べたり、海面低下量を推定したりすることができた。また、海底地形図を読み取ることによって得られた陸橋形成に必要な海面低下量のデータと、海水面変動曲線のデータを用いて作図を行うことによって、陸橋形成時期を推定させ、それがナウマン象やマンモスの化石の年代や地理的分布と関連していることを明らかにすることができた。

「自分で作業し考えていくのは楽しかった。」「水系図について、知ることができてよかった。」「本州・四国・九州に固有種が多いこと、逆に北海道に固有種がほとんどいないことには驚いた。」「日本人の起源についても知りたくなった。」などの感想が生徒から得られた。

生徒は、特に水系図の作成や陸橋の色塗りにおいては、作業そのものに熱中して取り組んでいた。自ら予測をし作業を行い考察をすることによって、研究の楽しさや醍醐味を感じることができたのではないと思う。

(5) おわりに

今回の研究では、未来と過去という2側面から地球温度変化に着目した授業展開を試みたが、気温の変化という一要因が、様々な地球環境に大きく影響していくことが、実際の例を通じて生徒に理解させることができた。また、地球という系の複雑さが実感できたようであった。

V 研究のまとめと今後の課題

<物理>

身近な素材やおもちゃの導入は、生徒の興味と積極的な姿勢を引き出し、活気ある授業が展開できた。また、見慣れた物や現象に科学的な考察を加えると、微視的な視点からグローバルなエネルギー・環境問題、自然と人間とのかかわりへの意識付けが可能になった。学習内容に生徒の発想を反映させていけば、1年間を通した授業の展開へと発展できる。今後も、自然や環境に対する興味・関心を高め科学的な思考力を養う、新鮮な教材を開発していきたい。

<化学>

浄水方法や有機物の除去について実験を行うことにより、水道水だけでなく河川やまわりの自然環境にも興味・関心をもち、水道原水の水質がいかに大切であることを理解することができたのは大きな成果であった。しかし、水を取り巻く諸問題は自然科学だけでなく社会全般を巻き込んだ大きな問題であり、総合的な視野に立って考察する必要がある。今回の研究が理科だけでなく総合的な学習の時間などに取り組む際の糸口に利用されれば幸いである。

<生物>

最低でも数日から数ヶ月かかる土壌中での変化をどのように提示し、具体的に実験の指導案をつくるかに苦心したが、結果的にペットボトルや生ごみ分解菌など新しい材料をもとに教材化することができた。その中で、生物界や生物の活動の理解には時間的そして空間的な把握能力が必要であるということを実感した。それらをいかに限られた授業や実験などの中で理解させ伸ばしていくかなど、多くの課題を今回の研究は与えてくれた。これからも多様化する教育内容に対応できるように、さらに検討を進めていきたい。

<地学>

地球の温度変化に着目し、過去と未来という二側面から取り上げてみたが、今回の研究では、過去と未来を接続し総合的にとらえていくことまではできなかった。地学では、時間的・空間的な広がりをとらえることが重要な課題の一つでもあり、今後の課題として取り組んでいきたい。新学習指導要領の「理科総合」や「総合的な学習の時間」に、環境教育の視点から地学が果たしていく役割とあわせて模索していく必要があるといえる。

エネルギーの本質についての教材研究に取り組んだ「物理」、様々な有機物によって引き起こされる水界や土壌の環境問題について研究した「化学」や「生物」、大気環境の変化に関する教材を研究した「地学」、今回の研究においてそれぞれの分野で現行の学習指導要領の範囲から発展して、「環境」に関する多様な教材研究の可能性を試行することができた。そして、研究当初に掲げた「環境教育」や「理科離れ」の課題にある程度近づけたのではないかと考える。そして、新学習指導要領で示された「理科総合A」や「理科総合B」という科目に限らず、「総合的な学習の時間」など幅広い学習の機会に利用されるよう、今後もさらに精選と発展を試みていきたい。