

高等学校

平成 7 年 度

教育研究員研究報告書

理 科

東京都教育委員会

平成 7 年 度

教育研究員名簿（理科）

分野	学 校 名	氏 名
物 理	都 立 八 潮 高 等 学 校	堀 切 哲 弥
	都 立 世 田 谷 工 業 高 等 学 校	森 田 有 宏
	都 立 白 鷗 高 等 学 校	加 藤 隆
	都 立 三 鷹 高 等 学 校	宮 崎 英 夫
化 学	都 立 蒲 田 高 等 学 校	松 田 夏 樹
	都 立 桜 水 商 業 高 等 学 校	高 橋 千 尋
	都 立 文 京 高 等 学 校	荻 原 章 徳
	都 立 大 山 高 等 学 校	平 塚 智 子
	都 立 砂 川 高 等 学 校	吉 本 千 秋
生 物	都 立 広 尾 高 等 学 校	小 池 幸 彦
	都 立 野 津 田 高 等 学 校	前 川 恵
	都 立 農 林 高 等 学 校	山 沢 徹
	都 立 田 無 工 業 高 等 学 校	早 崎 岳

担当 教育庁指導部高等学校教育指導課 指導主事 五十嵐靖則

科学的思考ができる理科好きな生徒を育てる教材の開発と指導展開の工夫

目 次

I 研究主題設定の理由	2
II 具体的な研究方針	2
III 研究を進める上での留意点	3
IV 研究内容	4
1 生徒に疑問をもたせ、その解決を図る物理の実験と授業展開	4
2 酸と塩基の中和滴定曲線を描く	11
3 脊椎動物の進化　－ヒトの歯型からみえること－	18

科学的思考ができる理科好きな生徒を育てる教材の開発と指導展開の工夫

I 課題設定の理由

「理科離れ」ということがいわれ始めてから久しく、理工系大学進学希望者の減少等の状況から、その言葉は国民の間にもかなり浸透してきている。また、種々の児童生徒に対するアンケート調査結果に共通してみられ、特に問題と思われるのは中学校で理科が好き、あるいは好きでも嫌いでもない生徒が、高等学校に入ってから「理科嫌い」になっているという点である。

高等学校では、新学習指導要領が学年進行で実施され、第2学年まで実施されているが、理科の目標として、「自然に対する関心を高め、観察、実験などを行い、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物・現象についての理解を深め、科学的な自然観を育成する」ことが掲げられ、観察や実験を通して生徒に考える力と科学的な思考力を養い、自然についての見方や考え方を育てることが重視されている。

一方、平成6年度教育研究員報告には、興味・関心とは何か、興味・関心をもつようにするにはどうしたらよいかに主眼を置き、科学的思考力を育成する実践的な研究が報告されている。

そこで、今年度は、まず学習指導要領によって現在の理科教育に求められる科学的思考とは何かについて考察し、併せて、生徒が「理科嫌い」になった理由について様々な側面から検討を加え、どのようにすれば理科好きな生徒が育てられるか、について議論を重ねた。

まず、科学的思考については、①観察、実験を通して養われる客観的・合理的思考、②物事を筋道立てて考える論理的思考、③自然観や自然の法則性を体系的に捉え、構造化して考える体系的・構造的思考、の三つの側面から捉えることが重要である、と考えた。また、「理科嫌い」のおもな原因が「難しい、分からない、面白くない」などであることを踏まえて、理科好きな生徒を育てるのにふさわしい新しい教材の開発と指導の方法の研究が重要であると考えた。

以上述べたことから、現在の理科教育に求められている指導について研究を行うにあたり、研究主題を「科学的思考ができる理科好きな生徒を育てる教材の開発と指導展開の工夫」と設定した。

II 具体的な研究方針

本研究では、理解を得意としない生徒や理科が嫌いあるいは好きでも嫌いでもない、という生徒を理科好きにするための教材の開発と指導方法を研究する。

◎ まず疑問を抱かせる

「理科嫌い」のおもな原因が「難しい、分からない、面白くない」などであることを考えると、まず、生徒が「分かる」授業を創造することが前提となる。そのためには生徒に疑問をもたせ、自らその解決を図らせることが重要である。そこで、観察、実験を通して生徒の問題解決能力を養うことを目指した。そのことがとりもなおさず科学的思考のできる生徒を育てるこ

と、及び理科好きな生徒を育てることになると考えた。

生徒に疑問をもたせるには、予め知識やヒントを与えなければならないが、その際、何をどの程度まで与えるかが大切になる。そこで、この点について工夫した。

◎ 実験の事後処理の工夫

観察や実験は嫌いではないが、理科は好きでないという生徒が多いことが各種のアンケート調査結果に現れているが、その原因は、時間の都合などで実験の事後処理が十分にできないことにあると考えられる。そこで、実験の意味や実験から分かることをじっくり考えさせる指導方法を工夫することにした。

◎ 授業の評価

対生徒の事前または事後のアンケート調査を実施することなどによって授業の評価を行うこととした。

以上のことを十分に考慮した教材の開発と指導展開の工夫によって、理科好きな生徒を育てることができると考え、理科の指導方法を研究した。

研究内容の概要

本研究では、物理、化学、生物の各分野で生徒が意欲的に学習を進めることができ、生徒の科学的な思考能力を養うことができる教材を開発し、それぞれの指導計画を作成し、授業実践を通してその有効性を研究した。

物理では、理科全体の研究主題に合わせて「生徒に疑問をもたせ、自らその解決を図る実験と授業展開」というテーマを設けた。このテーマのもとに、力学、波動、電磁気、原子の4つの分野それぞれで、指導計画を工夫した。

化学では、中和滴定を取り上げ、「酸と塩基の中和滴定曲線を描く」という実験を通じて生じてくる疑問点を、科学的思考を通して解決し、理解を深めさせることができるような指導計画を工夫した。

生物では、生徒自らの「歯」という身近な題材を教材化して、ヒトの進化を含めた脊椎動物の進化について理解を深めさせ、併せて科学的な思考力を養わせる指導計画の工夫を試みた。

III 研究を進める上での留意点

◎ 対象生徒の実態を把握する

生徒の日常経験や理科に対する興味・関心の程度等を十分に把握し、生徒がもった疑問点を自ら進んで解決していけるような、あまり高度にならない、生徒の実態に即した指導計画を工夫する。

◎ 生徒に馴染みやすい題材を教材として取り上げる

生徒が身近に感じて抵抗なく入っていける題材を使うことによって、理科は分かり易いという感覚をもてるようにする。

IV 研究内容

1 生徒に疑問をもたせ、その解決を図る物理の実験と授業展開

(1) はじめに

近年いわれる「理科離れ」の一因として、生徒自身の自然と触れ合う生活体験の欠如が考えられる。中でも、物理離れは著しく、新しい教育課程においても、履修率の大幅な上昇は期待できない。これは、「物理は難しくつまらない」という生徒の認識によるところが大きいが、一般教員の物理に対する認識にも一因があると思われる。

現在物理の履修率は、三割程度と予想されるが、この割合は、おおよそ理工系学部進学希望者の割合である。ほとんどの生徒が進路選択上の必要から履修しているということから、教師が受験を意識した授業を行なっているために、生徒にとって日常接している自然と授業で学ぶ自然の法則とが遊離し、「難しくつまらない科目」という認識が強化され、ますます物理に対して興味・関心を失わせていると考えられる。

そこで、生徒実験を、自然の一端を生徒に実感させ、自然に対する驚きや疑問と興味・関心を強くもたせ、その疑問を自らが探究していく意欲を起こさせる動機づけと位置づけた。この動機づけにより生徒自らがその解決を図ろうと思考し行動する過程においては、教師が意図的に生徒に対して自然についての疑問や驚きを与えることが重要であると考えた。そして、自然に対する疑問を生徒自らが主体的に考え解決していくことを通して、自然科学ひいては物理の面白さを理解することにつながると考えた。

力学、波動、電気、原子の4分野それぞれについて研究・検討を行なった。その際自然に働きかける楽しさを経験させること、なかなか見通しがもてないような事後処理を必要とする観察や実験などではなく、ある程度生徒が見通しをもって進められるよう配慮し、教材・教具の開発と授業展開方法について研究を進めた。

力学分野では、「物理ⅠB」で扱う運動量保存の実験について研究した。従来から行われている一般的な実験は、力学台車同士の衝突を記録タイマーを用いて記録し解析する方法である。これはデータの処理が煩雑であり、実験自体も面白みに欠ける。そこで、鉄道模型のレールを用いた簡単でダイナミックに行える実験装置を開発し、指導方法を工夫した。

波動分野では、「物理ⅠB」での取り扱いが、波の一般的性質（波の伝わり方・波の種類など）を学習した後、音、光について学ぶが、波の種類として、縦波と横波について学習しながら、光がそのどちらであるか詳しく説明されないこともある。そこで、偏光板を使った観察、実験を工夫し、「光は縦波か横波か」という疑問の解決を図る授業展開を考えた。

電磁気の分野では、手回し発電機を用いた電流に関する実験を出発点として、電磁誘導現象を手回し発電機を回す手応えから、実感として理解できるような授業展開を考えた。

「物理Ⅱ」の授業展開の中でどのように取り扱えるかを研究した。

原子の分野では、観察、実験を中心とした放射線の授業展開を研究した。生徒の多くがもつ放射能や放射線についての認識は、「何だかよくわからないが、恐ろしいもの」といった漠然としたもので、身近なものとは感じていない。そこで、生徒自身も日常さらされている自然放射線の測定実験を導入で行う「物理ⅠA」における授業展開を研究し、実践した。

それぞれの分野の授業実践を評価する方法としては、授業を行った教師の実感とともに、生徒に対する授業後のアンケート調査（授業参加の自己評価（図I-1））を行った。アンケート調査では、それぞれの分野で必要に応じて調査項目を追加して行った。

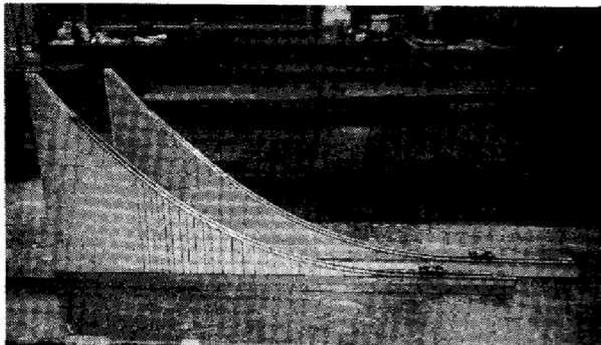
自己評価の項目	評価のスケール（評価点）
①最初に見通しはついてたか	ついてた 5 4 3 2 1 つかなかった
②授業は面白かったか	面白かった 5 4 3 2 1 面白くなかった
③実験はうまくできたか	うまくできた 5 4 3 2 1 できなかった
④現象を説明できるか	できる 5 4 3 2 1 できない
⑤授業は長く感じるか	長かった 5 4 3 2 1 短かった
⑥その他気づいたこと	

(2) 開発した教材と指導計画及び授業実践
ア 力学分野

○開発した教材と実験の方法

図I-1 授業参加の自己評価

写真に示すようなH0ゲージのレールを取り付けた放物線型の斜面台2台を向かい合わせに接続し、両側から2台の台車を同時にスタートさせ、中央で衝突させる。台車の前面には衝突後台車が一体となるよう粘着ゴム（衝突実験用として市販されているもの）を付けておく。2台の台車の質量や高さを変えて、衝突後一体となった台車がどちらに動くか観察する。台車の質量と高さは表I-1に示すようにした。衝突直前の2台の台車の速さが等しい場合、運動エネルギーが等しい場合、運動量が等しい場合について行い、運動量の大きい台車の運動方向に衝突後一体となった台車が動くことを確認させる。衝突直前の台車の速さは、生徒の混乱を防ぐため、予め計算して表の中に入れておいた。台車のスタ



図I-2 実験装置



実験の風景

台車	質量[g]	高さ[cm]	速さ[m/s]	運動エネルギー	運動量	動いた方向
A (右)	10	5	1			
B (左)	15	5	1			
台車	質量[g]	高さ[cm]	速さ[m/s]	運動エネルギー	運動量	動いた方向
A (右)	10	7.5	1.24			
B (左)	15	5	1			
台車	質量[g]	高さ[cm]	速さ[m/s]	運動エネルギー	運動量	動いた方向
A (右)	10	11.25	1.5			
B (左)	15	5	1			

台車	質量[g]	高さ[cm]	速さ[m/s]	運動エネルギー	運動量	動いた方向
A (右)	10	5	1			
B (左)	20	5	1			
台車	質量[g]	高さ[cm]	速さ[m/s]	運動エネルギー	運動量	動いた方向
A (右)	10	8	1.27			
B (左)	20	4	0.89			
台車	質量[g]	高さ[cm]	速さ[m/s]	運動エネルギー	運動量	動いた方向
A (右)	10	10	1.4			
B (左)	20	2.5	0.7			

表I-1 実験プリントより抜粋

ートの高さを表 I - 1 のように設定したのは、衝突の際の脱線を防ぐためである。なお、斜面台の高さは、他の実験への発展を考慮し、30~40 cm まで延ばしてある。

○指導計画

表 I - 2 「力学分野（運動量保存則）」の指導計画

時 間	学 習 事 項	学 習 内 容 及 び 留 意 点
既習事項	物体の運動, 力と運動の法則, 仕事と力学的エネルギー	
導 入 (2時間)	H0ゲージを用いた1次元の衝突実験	<ul style="list-style-type: none"> 実験前に運動エネルギー ($E = \frac{1}{2}mv^2$) の復習と運動量の定義 ($p = mv$) を説明して, 実験プリントの中の台車の運動エネルギーと運動量を計算させておく。 生徒実験の前に教卓で1回演示実験を行い生徒に要領をつかませる。この時, 2台の台車を同じエネルギーで衝突させる。エネルギーは同じであるが, 衝突後台車は重たい台車の運動方向に動いてしまう。これはなぜか, 生徒に疑問を投げかける。 衝突の問題を扱う時には, 運動量が重要な役割を持つことを理屈より先にこの実験結果から, 生徒が実感できるようにさせる。
展 開 (4時間)	運動量と力積 運動量の保存	<ul style="list-style-type: none"> 力積の定義の説明, 運動量の変化と力積の関係について理論的な解説を行う。 作用・反作用の法則から, 衝突の問題で運動量保存則が成り立つことを示す。衝突した時の発熱などを例にとり, 力学的エネルギーは必ずしも保存していないことにも言及する。 ロケットの打ち上げや大砲を打った時の反動を例にとり, 運動量保存則の成り立つ他の例について説明する。
まとめ (2時間)	問題演習	<ul style="list-style-type: none"> これまで学習した内容について, きちんと理解できているか確認する。
発 展 (2~4時間)	はね返り係数 平面内の衝突	<ul style="list-style-type: none"> 生徒の理解度に応じ, 無理のない範囲で学習する。

○授業の評価と今後の課題

授業実践の結果, 生徒の反応は大変よく, 日頃あまり実験に参加しない生徒も積極的に実験を行っていた。演示実験でも注目度が高く, 生徒の興味を引くという点ではかなり成功した。一方, 装置の加工の面では, 斜面台はぐらつかないしっかりしたものを作ると脱線等のトラブルを防ぐことができる。

イ 波動分野

○開発した教材と実験の方法

多くの生徒が偏光板を扱えるよう, 1枚の偏光板で確認できる現象を多く取り入れた。

実験① 反射による偏光 (図 I - 4)

偏光サングラス, 偏光板を通して身の回りの景色や物体を観察する。反射光は入射面に平行な振動成分が減少し偏光となる。屋根, 地面による反射光は水平振動が残った偏光であり, 黒板での反射光は上下振動の偏光である。窓際の人物等, 太陽の下にある立体は光の進行方向に垂直な平面上の様々な振動面を持つ偏光を反射し, 偏光板を通すと

その回転により様々な陰影が見られる。この観察で、光の反射、偏光現象は日常的に起きていることが分かる。

実験② 2枚の偏光板を回転させる

2枚の偏光板を重ねる。結晶軸を平行にすると明るく、垂直にすると暗く見える。

実験③ 複屈折

光が結晶に入射すると2つの屈折光が現れ、その各々は偏光である。本の活字の上に方解石を置くと2つの像が見られるが偏光板を通すとその一方だけを観察できる。

実験④ 空の偏光

昼間、空が青色に見えるのは、太陽光のうち青色光が大気分子により散乱されるためである。この散乱（レイリー散乱）において偏光が発生する。このため、偏光板1枚を空に向けて回転させるとその方角により暗く見える角度がある。

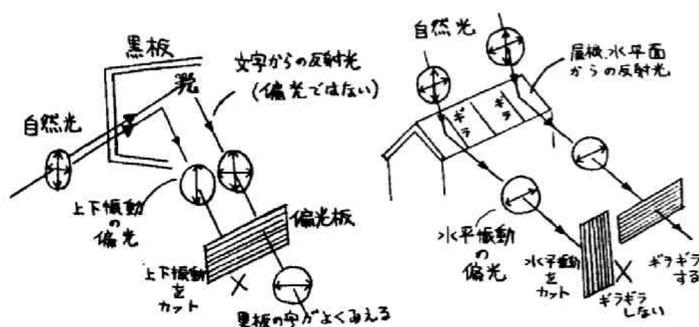
○指導計画

表I-3 「波動分野」の指導計画（指導時間1時間）

時間	学習事項	学習内容及び留意点
既習事項	波の性質	横波と縦波、波の伝わり方、波の干渉・回折
導入 (5分)	波の種類 発問	横波、縦波の区別 「光は横波か縦波か?」、生徒各々が予想する。
展開 (25分)	偏光板による実験 推論 ・偏光板の性質 ・光は縦波、横波?	・偏光サングラス、偏光板で景色、黒板の文字、窓際の物体を観察する〔実験①〕（反射の仕方で見え方が異なること等に気づかせる）。 ・生徒に観察されたことを確認する。 ・偏光板が光を反射の仕方でも識別する事を確認する。光が縦波である場合、横波である場合で議論する（反射光が異なる性質を持つことは光を横波と仮定すれば説明できることを教える）。
まとめ (5分)	解説 結論の確認	・偏光と偏光板、反射による偏光の発生について ・2枚の偏光板による実験〔実験②〕
発展 (15分)	偏光板による実験と解説	・複屈折、空の偏光〔実験③、④〕（偏光顕微鏡、干渉色、ミツバチが巣に帰る方法等に触れる）

○授業の評価と今後の課題

物理IBの授業で、波動の知識が全くない文科系志望の1年生（9人）に約20分間、波の性質等について解説した。その後、上記の指導を行った。授業評価のアンケート調査



図I-4 授業プリントのカット

自己評価の項目	展開後の評価点の平均値	発展後の評価点の平均値
①	1.9	2.4
②	4.8	4.2
③	4.4	4.9
④	2.8	2.8
⑤	2.1	3.3

表I-4 アンケート調査結果

を展開終了時と発展終了時に行った。結果を表 I - 4 に平均値で示した。

反射による偏光の観察 [実験①] で生徒は大変大きな関心を示した。よく提示される 2 枚の偏光板を重ねたり、ショーウィンドウや池の中を覗く等の決められた場面ではなく、自分で身の回りを観察する方法を採った。身の回りから偏光現象を発見できた生徒の喜びは大きかった。しかし、推論の段階で、一度に 2 つの仮定 (光は横波であること、偏光板を通過すると光は偏光すること) を受け入れる必要があり、生徒は混乱した。このため、まとめや発展の段階で興味をなくした生徒が多かった。今後は、推論がし易いように現象を整理し、段階をおって推論や議論が進められるよう指導法の工夫をしたい。

ウ 電磁気分野

○開発した教材と実験の方法

実験① 手回し発電機による直列接続と並列接続の豆電球の点灯

手回し発電機によって 4 つ並列接続した豆電球と 4 つ直列接続した豆電球をおおよそ同じ明るさに点灯させる。このとき消費する電力は同程度のはずであるが、ハンドルを回す手応えが違うことに気づかせておく。

教師の働きかけ：直列で電力を供給したら、電力会社は得をするのではないかな？

実験② 磁石とコイルによる電磁誘導の実験

検流計と可変抵抗とコイルを直列に接続し、コイルの中に磁石を出し入れするとコイルに誘導電流が流れるのを確認させる。その際、磁石の強弱、出し入れの速さ、コイルの巻数などにより電流の大きさや向きに違いがあることを定性的に確認させる。

実験③ フェライト磁石とエナメル線によるスピーカーの自作

スピーカーという音響装置が、電流と磁石の間の相互作用という物理の基本的な現象を利用してできていることと、手近な材料により自作可能な構造であることを理解させる。また、手回し発電機をスピーカーの代わりとして鳴らすことができるのを確認させて、手回し発電機の構造を推察させる。

○指導計画

表 I - 5 「電磁気分野」の指導計画

時 間	学 習 事 項	学 習 内 容 及 び 留 意 点
既習事項	物理 I B 力学 (仕事とエネルギー, 仕事率, エネルギー保存の法則) 直流回路 (オームの法則, 電流のする仕事) など	
導 入 (1時間)	手回し発電機を利用した 電流のする仕事の実験	並列豆電球と直列豆電球の点灯の比較 [実験①] ・直列接続の豆電球を点灯させるときには、並列と比べて手応えが小さい。これは、供給するエネルギーが並列と比べて小さいのではないかな。ならば、エネルギー保存の法則を破っているのではないかな。 ・消費電力 $P=IV$ は、 $P=RI^2$ だけでなく $P=V^2/2R$ とも変形できる。 この式から、高圧送電でも送電ロスが多いと判断されないかな。 ・手回し発電機の実験とともに、この様な話によって、生徒のミスコンセプションを明確にし、考えるきっかけとする。
展 開	電流が磁界から受ける力	~~~~~ 磁石・電流による磁界 ~~~~~ 演示実験と解説

(1時間)	電磁誘導の実験	演示実験：電磁振子 と 磁界中を動く電線 ～～～ 磁束密度・ローレンツ力・磁性体～～～ ・コイルに磁石を出し入れすることにより、誘導電流を検流計で確認する【実験②】。
まとめ (1時間)	運動する導線に生じる誘導起電力	・コの字形のコイル上で動く導線の例で、電磁誘導を説明する。 $F = i l B$ という関係を導き、並列接続と直列接続とで、手応えが違うのは流れた電流の違いであることを理解できる。
発展 (1時間)	スピーカーの自作 手回し発電機をスピーカーとして使用する	・スピーカーを自作して、ラジカセのヘッドホン端子からの信号を再生する。【実験③】 ・手回し発電機の構造を予想する。

○授業の評価と今後の課題

今回検討を重ねた実験以外の生徒実験についても、今回使用したアンケート調査で生徒に評価させた。その結果は、生徒自身が見通しをもって実施でき、煩雑な事後処理を必要としない実験についてはおおむね好評であった。特に、最後に行ったスピーカーの自作は、音が聞こえるという形で実験が成功し、単に数値が正確に出たという以上に生徒に感動を与えた。これまで学習してきた内容を最後に概観するのに役立ったようである。

自作のスピーカーの改良は難しいが、イヤホン程度ではなくもっと大きな音が出せるように改良したい。また、自作のスピーカーをマイクとして利用する方法も考えたい。またオシロスコープに接続して、波形の観察ができないか。それが可能であれば、そこから交流発電や交流電流に発展させたり、音波の復習と関連させることが可能になる。

エ 原子分野

○開発した教材と実験の方法

放射線を知るには、実際に測定してみることが最良の方法と考え、科学技術庁（財）放射線計測協会で貸し出している「はかるくん」という放射線測定器を全員に一台ずつ持たせて放射線を測定した。「はかるくん」は、放射線の入射によって電子音が鳴り、放射線量がデジタル表示されるため手軽に測定が行える。

また、ドライアイスを使った拡散型霧箱で放射線の飛跡を観察することにより、放射線源から何かが飛び出していることを実感できるようにした。



図 I - 5 「はかるくん」による自然放射線の測定



図 I - 6 放射線源を用いた遮蔽効果の実験

○指導計画

表 I - 6 「原子分野」の指導計画

時 間	学習事項	学習内容および留意点
導 入 (1時間)	自然放射線とは 放射線測定器「はかるくん」による測定方法 自然放射線の測定	<ul style="list-style-type: none"> ・放射能をもつ元素 ・日常生活で受ける放射線 宇宙から、大地から、呼吸により空気から、食品から。 ・「はかるくん」はガンマ線を測ることができる。放射線量の測定値にはバラツキがあるので、複数回の測定をして平均をとることが必要である。 ・放射線量の単位。 ・生徒全員に「はかるくん」を持たせ、教室・グラウンド・屋上・廊下・プール等で測定する。
展 開 (2時間)	放射能・放射線とは 放射性物質からの放射線の測定 霧箱による放射線の観察	<ul style="list-style-type: none"> ・放射能の発見、放射線の種類と特徴、原子核の崩壊と崩壊熱、放射能の半減期。 ・モナズ石（ラドン温泉の石）から出る放射線の測定 ・キャンプ用ランタンのマントルから出る放射線の測定 ・ドライアイスを用いた拡散形霧箱で、アルファ放射線源（Ra）から出る飛跡を観察する。
まとめ (1時間)	放射線の農業、工業、医療等への利用例 自然放射線と人工放射線 放射線の人体への影響	<ul style="list-style-type: none"> ・生徒が身近に感じる話題を中心とする。 ・自然放射線量の地域・高度による違い。 ・様々な人工放射線の放射線量。 ・急性障害と遺伝障害
発 展 (2時間)	放射線源を用いた実験	<ul style="list-style-type: none"> ・放射線源からの距離と放射線量の関係調べる実験 放射線量は距離の2乗に反比例する。 ・遮蔽材の材質による遮蔽効果の違いを調べる実験 同じ厚さの亚克力・アルミ・鉄・鉛で遮蔽効果の測定をする。「はかるくん」実習用キットを使用。放射線源はCs-137。バックグラウンドの値を差し引いて正味の値を求めることに注意する。

○授業の評価と今後の課題

導入の「はかるくん」による放射線源の測定で、生徒は自分の身の回りに放射線があることにまず驚いていた。そして、放射線とは一体何なのかという疑問を持った。また、霧箱の観察では、ドライアイスとアルコールと透明な箱という簡単な装置で放射線の飛跡が見えることに感動していた。このように導入や展開の観察、実験では、生徒は興味をもって積極的に授業に参加し、楽しんでいた。

原子核の崩壊や放射線の放射される原理などについては、内容を精選し、わかりやすい説明を心がけたが、より深い理解をさせるためには時間不足を感じた。

まとめの学習事項にも、事前に観察、実験を行ったため興味をもてたようである。

今回の研究で生徒自らが体験することの大切さを改めて痛感した。霧箱による放射線の飛跡の観察は、時間の関係もあり演示実験としたが、今後はぜひ生徒実験として行っていきたい。また、ビデオ等の視聴覚教材も取り入れて、生徒が具体的なイメージをもって理解していけるような工夫をしていきたい。

2 酸と塩基の中和滴定曲線を描く

(1) ねらい

理科離れは化学においても深刻な問題である。なぜ化学嫌いになるのか。原因はいろいろ考えられるが、生徒が「あ、そうか、分かったぞ、面白いじゃないか」という感覚をもてないところに起因しているのではないだろうか。そこで、まず実験を行い、実験の結果から生じた疑問点を様々な角度から検証し解き明かしていくこと、すなわち科学的思考の道筋を踏むことにより、分かる喜び、楽しさを知ることから、化学ひいては理科の楽しみを味わってもらおう、理科を好きになってもらおう、と考えた。

本研究を行うに当たって、生徒に興味・関心をもたせ、学習意欲を高めるためには、どのような教材が適切かを考えた。生徒の興味をひくものとしては、音が出るものや、美しく色が変わるものなどが考えられる。教材としては、身近な物質であること、奇をてらったものでないこと、さらに、生徒が疑問に思ったことを自ら進んで科学的思考によって解決しようとする意欲をもてる教材であることが望ましい。そのためには生徒の先行経験を大切にすることが重要である。

そこで、次の①～⑤の理由から、中和滴定と滴定曲線を教材化することにした。

- ① 中学校でも学習した内容であること
- ② 化学ⅠA・ⅠBを問わず化学の教科書に記載されている内容であること
- ③ 様々な実験器具を用いることにより生徒の興味が喚起され易いこと
- ④ 実験によって生じた疑問点を比較的容易に解決できること
- ⑤ 化学Ⅱにつなげやすいこと

(2) 授業展開と工夫

酸と塩基については、化学ⅠAでは定性的に取り扱うのみにとどまり、化学ⅠBでは、中和滴定について定量的に扱われており、実験は必ず行われている。しかし、中和滴定曲線を描かせることまではあまり行われていないことが多い。また、電離平衡については化学Ⅱの内容となって、教科書にもほとんど触れられていない。

中和滴定曲線を描く実験を行うことによって、酸と塩基の基本的性質や、中和反応についていろいろ考えさせることができるのみならず、酸・塩基の単元の総まとめとしても利用できる。

ア 本実験を行う前の学習事項

- ① 酸と塩基の定義（アレニウスの定義）と種類、酸・塩基の価数
- ② 電離度
- ③ 酸性・塩基性とpH、pH値の範囲
- ④ 中和の概念（モデル図）
- ⑤ 中和滴定の実験と中和滴定の操作

イ 授業計画

授業時間は、実験に2時間、データ処理に1時間、計3時間で、授業実践を行ったいずれの学校でも終了している。実験はできる限り連続した2時間が望ましいが、それができなかったところでは、次のような目安で実験を行った。

1 時間目	実験概略説明	塩酸－水酸化ナトリウムの中和滴定
2 時間目	酢酸－水酸化ナトリウムの中和滴定	実験のまとめ
3 時間目	データ処理	

最近の pH メーターは、比較的安価で性能が良いものが多く、1 回ごとに補正を行わなくても十分に満足できる値が得られるため時間が短縮される。ただし、本実験に使用する pH メーターとしては浸せき型のものの方がより確実に便利である。

ウ 本実験の目的

- ① pH を測定することによって、酸の強弱と水素イオン濃度との関係、すなわち電離度との関係が理解できる。
- ② 中和に使われる塩基の量は、酸の強弱ではなく、酸の濃度によって決まることが理解できる。
- ③ 中和反応の滴定曲線を描くことにより、中和点の pH 値が必ずしも 7 になるとは限らず、酸の強弱によって異なった滴定曲線が描かれることが理解できる。
- ④ 中和点と指示薬との関係が理解できる。
- ⑤ 滴定曲線の傾きなどより電離平衡への発展ができる。

エ 本実験の工夫点

「なぜ」という疑問をもたせることを出発点とし、疑問を解決できた喜びを感じるような指導法を考えた。その疑問の解決に当たっては、多段階の発問により理論的に無理のないように導く工夫をした。

問題解決の流れ

- ① 塩酸と酢酸とでは、同じ濃度でも反応性に違いがあることを気づかせる。
- ② 塩酸と酢酸では同じ濃度でも pH 値が異なることに気づかせる。
- ③ 塩酸と酢酸の濃度が同じであることを水酸化ナトリウム水溶液との滴定で理解させる。
- ④ 同じ濃度の塩酸と酢酸の反応性や pH 値の違いを、電離度から考えさせる。
- ⑤ モデル図により、塩酸と酢酸の電離度が異なることをイメージ化させる。
- ⑥ pH 曲線の特徴を認識させる。
- ⑦ 塩酸と酢酸の pH 曲線の共通点と相違点を挙げさせ、その理由を考えさせる。
- ⑧ 指示薬の選定について考えさせる。

(3) 実験の内容

15 頁～17 頁に示した資料（プリント）に基づいて実験を行った。

(4) 生徒の活動

最初、生徒はプリントの枚数が多いので大変な実験だと思っていたようであるが、実験を始めると、変化がいろいろあり、興味をもち熱心に取り組んでいた。

- ① マグネシウムとの反応では、酸のモル濃度が低いので、入れた直後にははっきりとした差が見られず、戸惑っていた。そこで、約 10 分間放置してから観察するように指示した。
- ② 塩酸と酢酸の pH 値が異なるのに、水酸化ナトリウム水溶液の滴定量が同じであることから、2 種の酸が同じ濃度であると実感していた。また、中和点と考えたフェノールフタレインによる変色時の pH 値が 7 でないことに、疑問をもったようだった。

③ 中和しながら、pH値を測定している生徒たちから、「pH値があまり変わらない。pHメーターが壊れているのではないか。おかしい。」などと不思議がる声が聞こえた。直線的な変化を思い描いている生徒にとっては、一つの驚きであった。なぜか、という疑問をもったようである。

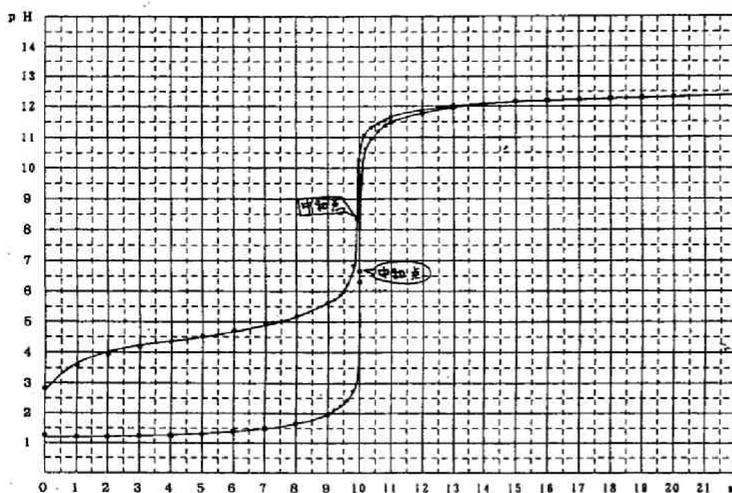
④ ビュレットの細かい作業が苦手な生徒たちも2～3滴の滴下で大きくpH値が変化するので、驚き、納得しているようであった。

⑤ 滴定量のほぼ2倍まで滴下すると、最初の水酸化ナトリウム水溶液に近いpH値になり、中和する相手がいないのだと納得した生徒が多かった。



〈生徒の実験風景〉

〈生徒の提出プリントの一例〉



② 2種類のpH曲線はそれぞれ加えた水酸化ナトリウム水溶液の量に応じてどのように変化したか、書きなさい。

NaOH水溶液の滴下量	グラフの変化
0ml～9ml	少し増加分がほぼ横道いになる
9ml～11ml	急激に増加する ほぼ垂直になる
11ml以上	再び横道いになる

③ 2種類のpH曲線の共通点、相違点をできるだけたくさん述べ、それぞれのそのなる理由を考えてみよう。

・共通点

滴下量14ml以上では値が同じ…… H^+ が少なくなり、NaOHがすべて反応したから
中和の滴下量の値が同じ……濃度が同じのため。

形が似ている……塩酸・酢酸ともに酸性から

滴下量3～8mlでは傾きがほぼ同じ……NaOHがすべて中和されて OH^- がほとんどないから

・相違点

滴下量0～10mlでは傾きが異なる……電離度が異なるため

中和点が異なる……電離度が異なるため

滴下量0～3mlでは傾きが異なる……不明

④ フェノールフタレインの発色域はpH8.3～10.0、メチルオレンジの発色域はpH3.1～4.4である。今回の実験で指示薬としてフェノールフタレインを用い、メチルオレンジを用いなかった理由を、曲線上の中和点と指示薬の発色域から述べなさい。中和点はいくつ、pH 7～8でフェノールフタレイン・メチルオレンジのpHが異なるのは、1.3～0.3、2.6～2.6がある。したがってメチルオレンジの場合、pH値がかなり低いところで発色するので詳しい曲線を描くことは難しい。

⑤ 感想(必ず書くこと)

中学のときの中和実験でBTB溶液を混ぜたのが緑色になってびっくりした理由がわかった。この実験はやるのが細かくて神経も使うので疲れる実験だった。

〈生徒の感想〉

○ 中学の時、塩酸と水酸化ナトリウムの中和反応の実験で、一滴でも多かたり少なかたりするとBTB溶液の色が変わってしまうのが不思議だったが、今回の実験からその理由が分かったように思える。

○ 中和におけるpHの変化がすごくよく分かった。今回は塩酸と酢酸だったけれども、違う酸もやってみたくて思いました。他の酸でも同じようなグラフになるのだろうか？

○ 中和したとき、色がぱっと変わったりするのが「未知の世界」という感じでとても不思議だった。いろいろなガラス器具を使って実験したので化学者になったような気分が楽しかった。「理科」って、少しでも分かるともっと知りたくなるので夢中になってしまう。

(5) 指導結果とその分析

実験としては内容が豊富であり、器具の取扱や操作も細かく、生徒にとっては気遣いの多い実験であったようである。しかし、ほとんどの生徒がきれいな滴定曲線を描くことができた。この結果から、塩酸と酢酸の違い、モル濃度が同じであるので曲線の立ち上がりの体積がほぼ一致していること、中和点が塩酸と酢酸で異なることなどを理解しているようであった。

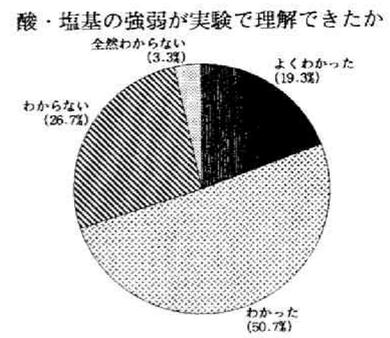
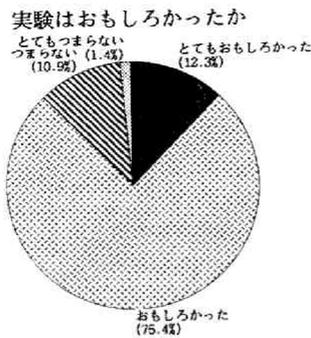
ほとんどの生徒が、中和点を指示薬の変色したときのpH値であると解釈していたが、本実験でpH曲線を描くことによって、中和点の意味が理解できたようである。

中和反応におけるpH値の変化がどのようになるか実験プリントで予想させたところ、㉗と㉘が多かったが、なかには中学時代の経験から㉙を予想した生徒も何人か見られた。生徒の先行経験が教材の中で生きた例であり、このような生徒は非常に興味をもって実験を行っていた。

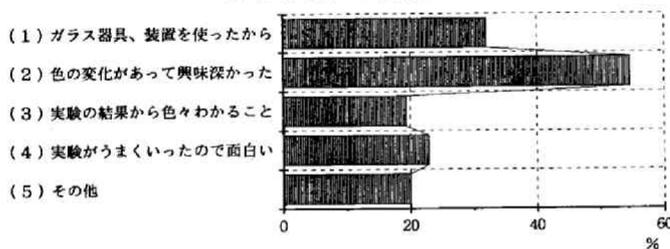
実験後のアンケート調査の結果から、「操作、作業はめんどろで難しい」と感じた生徒が多かったにもかかわらず、「とてもおもしろい」「おもしろい」と回答した生徒が8割を超えた。

面白かった点としては、「いろいろなガラス器具、装置を使ったから」と「色の変化があって興味深かった」を挙げた生徒が多かったが、「結果からいろいろわかったこと」を挙げた生徒が2割位いたことは注目できる。

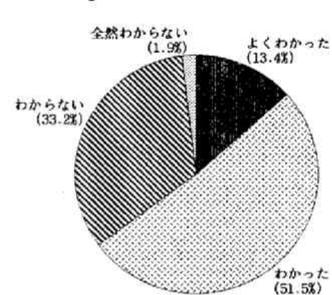
また、比較的難しい概念である酸の強弱、電離度、中和反応におけるpH値の変化を、今回の実験から「よくわかった」「わかった」と回答した生徒が7割近くいた。このことは、本実験において、我々が工夫した試みが一応の成果を得たと評価しても良いのではないかと考える。



おもしろかった点は



中和反応のpHの変化の意味が理解できたか



(6) まとめ

本研究の結果、当初のねらいである実験結果から生じた疑問点を科学的思考により解決し、分かる喜び、楽しさを知ることという目的が、ある程度達成できたように思われる。このような科学的思考を促す学習を重ねることにより、生徒は次第に理科に興味・関心をもち、学ぶ意欲が湧き、最終的には理科好きになっていくのではないかと考える。

実験 中和滴定曲線を描く

【1】目標：

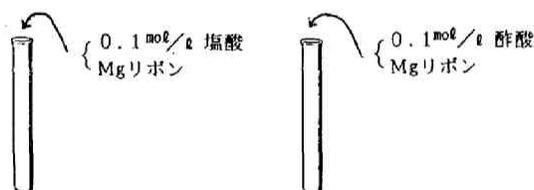
酸・塩基による中和滴定を行い、中和滴定曲線を描く。
描いた中和滴定曲線から、酸の強弱、中和の量的関係等を理解する。

【2】準備：

0.1 mol/l 塩酸、0.1 mol/l 酢酸水溶液、0.1 mol/l 水酸化ナトリウム水溶液
フェノールフタレン溶液、Mgリボン、ホールビペット、ビュレット、ビュレット台
ピーカー、試験管、pHメーター

【3】操作：

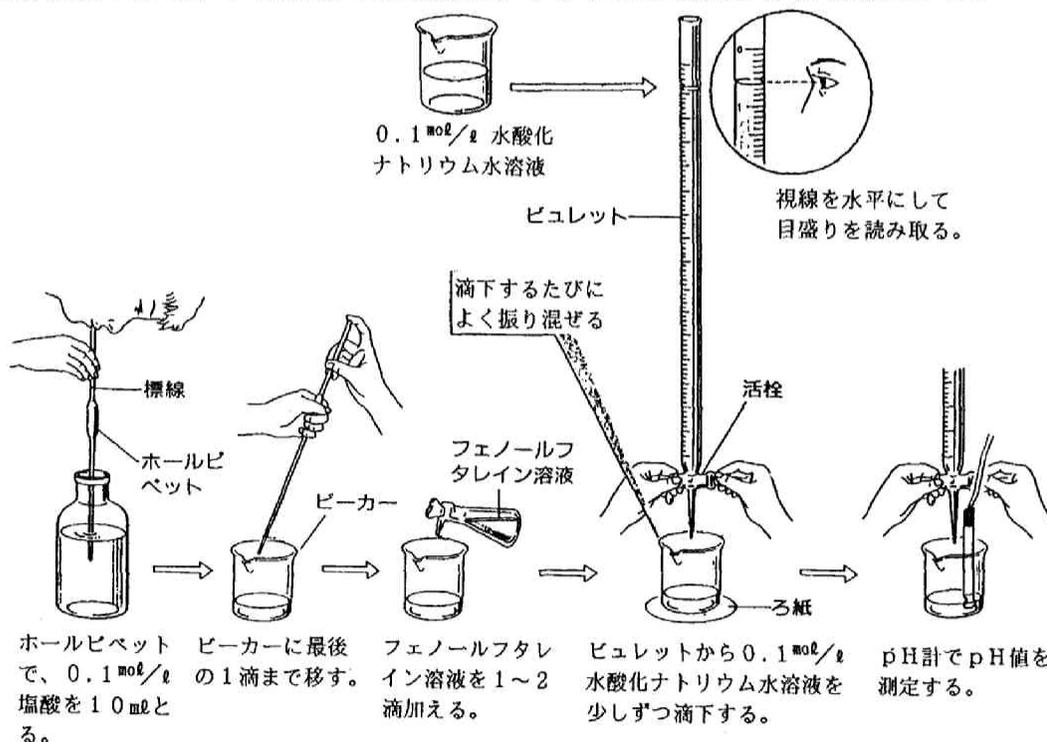
1. 試験管に0.1 mol/l 塩酸と0.1 mol/l 酢酸水溶液をそれぞれ3 mlとり、Mgリボンを加えて反応を見る。



2. 0.1 mol/l 塩酸、0.1 mol/l 酢酸水溶液
0.1 mol/l 水酸化ナトリウム水溶液各々のpHをpHメーターで測定する。

3. 塩酸と水酸化ナトリウム水溶液の中和

① 0.1 mol/l 塩酸をホールビペットで10 mlはかりとり、ピーカーにいれる。
フェノールフタレン溶液を1~2滴加えビュレットから0.1 mol/l 水酸化ナトリウム水溶液を滴下して、中和点までの水酸化ナトリウム水溶液の体積を測定する。



② ①の操作を二度行う。

一度目は変色するまでのおよその滴下量を求め、二度目で正確な滴下量を求める。

③ ついで、ピーカーにpHメーターを入れて、中和滴定を行う。

水酸化ナトリウム水溶液を1 ml入れるごとに、pH値を読む。②で求めた中和点の体積の前1 mlでは、0.2 ml滴下することにpH値を読む。

④ ③において特にフェノールフタレンの変色する際のpHも記録しなさい。

⑤ 中和点後1 mlの間も0.2 ml滴下することにpHを測定する。中和点までに加えた水酸化ナトリウム水溶液の量の2倍の体積になるまで1 mlずつ加えてpH値を読む。

4. 酢酸と水酸化ナトリウム水溶液の中和
 3. の塩酸に替えて、酢酸を用いて同様に 3. の①～⑤の操作を行いなさい。

【4】結果

1. 塩酸と酢酸とMgリボンとの反応の様子

塩酸とMgリボンとの反応

酢酸とMgリボンとの反応

2. pH値

0.1 mol/l 塩酸 ()

0.1 mol/l 酢酸水溶液 ()

0.1 mol/l 水酸化ナトリウム水溶液 ()

3. 滴定量とpH

塩酸について

NaOH水溶液の滴下量

1回目 () ml

2回目 () ml ←中和滴定量

↓ このときのpH値

()

酢酸について

NaOH水溶液の滴下量

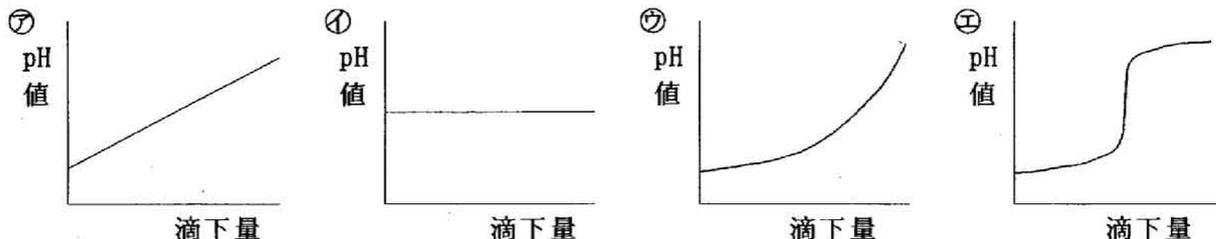
1回目 () ml

2回目 () ml ←中和滴定量

↓ このときのpH値

()

塩酸 10 ml に水酸化ナトリウム水溶液を加えていったときの pH 変化をグラフに表したとするとどのようなグラフになるか予想し、下記のグラフから近いと思うものを選びなさい。



塩酸と水酸化ナトリウムの中和滴定

滴下量 ml	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0		
pH 値										
滴下量 ml										
pH 値										
滴下量 ml										
pH 値										

【5】考察：

- ① 塩酸とMgリボンとの反応、酢酸とMgリボンとの反応の違いを塩酸と酢酸のpH値から考えてみよう。
- ② 結果 3. から塩酸と酢酸を中和するのに必要な水酸化ナトリウム水溶液の滴定量を比較してみよう。
- ③ 同じ濃度の塩酸と酢酸であるのにMgリボンとの反応性やpH値の違いが表れるのはどう

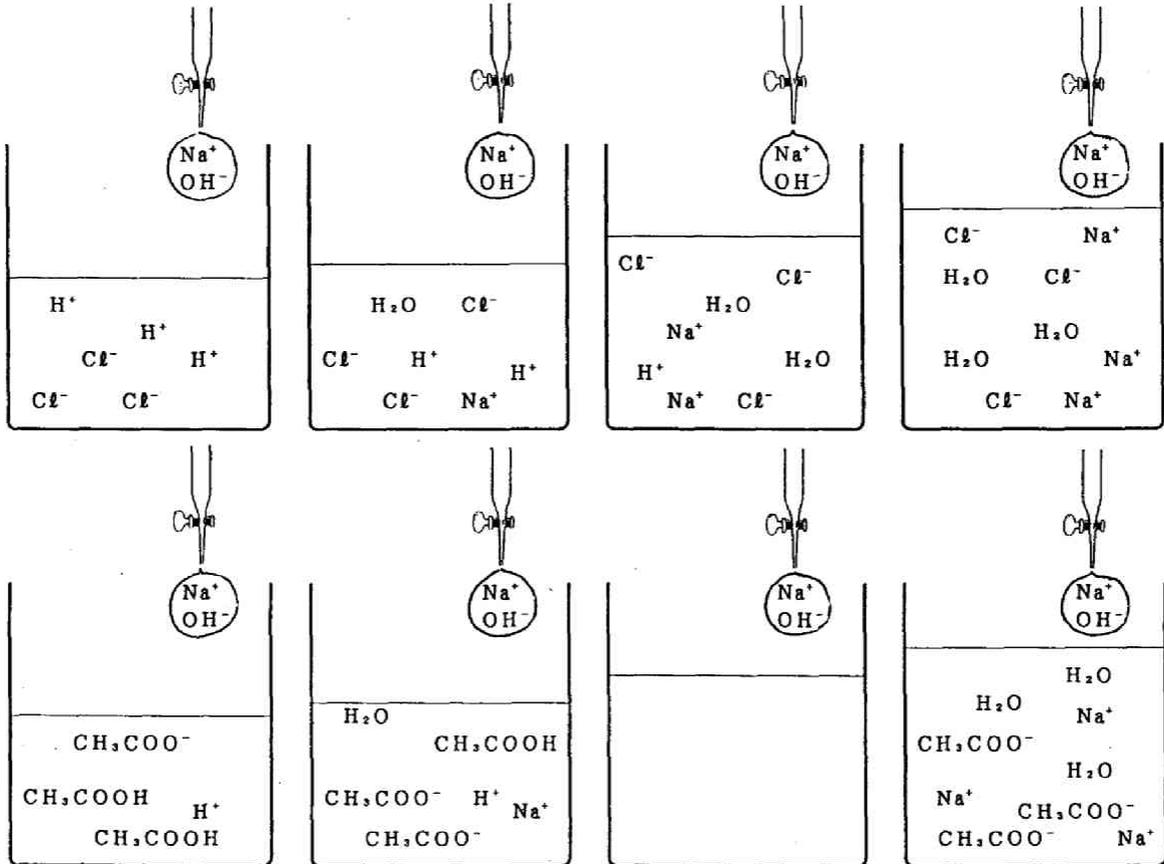
してか電離度の大小から説明しなさい。

- ④ 中和滴定の表からグラフに滴定曲線を描き、曲線上に中和点を表示しなさい。
 ⑤ 濃度が同じ酸であれば pH 値が異なるのに滴定量は同じになる。その理由を下記のモデル図を参考に考えてみよう。

- (1) 酢酸のモデル図を完成させなさい。
 (2) 次の文の () 内に適語を入れなさい。

濃度が同じであれば水溶液中の酸の () は同じである。電離度が違うために水溶液中の () イオンの数が違うので pH 値が違う。

この2つの酸を中和していくとき、中和反応が進行している水溶液中のイオンの変化は下記の2つの図のような形で表すことができる。下記の図からわかるように電離度が () い酢酸の場合は、使われた () イオンを補うように酢酸分子が電離し、水素イオンを出す。最終的には塩酸の場合と同じ数の水酸化ナトリウムが使われる。



- ⑥ 2種類の pH 曲線はそれぞれ加えた水酸化ナトリウム水溶液の量に応じてどのように変化したか、書きなさい。

NaOH 水溶液の滴下量	グラフの変化
0 ml ~ 9 ml
9 ml ~ 11 ml
11 ml 以上

- ⑦ 2種類の pH 曲線の共通点、相違点をできるだけたくさん述べ、それぞれのそうなる理由を考えてみよう。

- ⑧ フェノールフタレインの変色域は pH 8.3 ~ 10.0、メチルオレンジの変色域は pH 3.1 ~ 4.4 である。今回の実験で指示薬としてフェノールフタレインを用い、メチルオレンジを用いなかった理由を、曲線上の中和点と指示薬の変色域から述べなさい。

- ⑨ 感想

3 脊椎動物の進化－ヒトの歯型からみえること－

(1) はじめに

生物はどのようにして現在のような姿になったのだろうか。また、ヒトはどこから来たのだろうか。生物を教える者にとって、進化についての興味は尽きない。

新学習指導要領では、進化は生物ⅠAの「生物としての人間」、生物Ⅱの「生物進化と系統」で扱われ、授業でも普通、進化の単元として独立して扱われる。しかし、進化を統一した柱として生物の指導を行う試みが以前からあったように、実は進化は、生理、形態形成、恒常性の維持、遺伝、動物の行動、生態といった他のほとんどすべての生物の分野に関連している。

そこで、『科学的思考ができる理科好きな生徒を育てる』という研究課題を考えると、進化を学ばせることが、生物全体への興味・関心の深化につながっていくという発展性に注目した。また、学習指導要領には、理科の目標として、観察、実験などを行い、科学的に探究する能力と態度を育てるとともに、自然の事物・現象についての理解を深め、科学的な自然観を形成することがあげられている。しかし、進化の分野については、生徒の興味を喚起し、学習効果をあげるような実験・実習が少なく、授業内容が羅列的な扱いになりやすい。そこで、本研究では、生徒にとって身近な題材で、できれば実習の結果が「形」に残るもの、また様々な方向への発展性のあるものということで、生徒自らの「歯」を教材化することを考えた。それによって、ヒトの進化を含めた脊椎動物の進化について理解を深めさせるとともに、その理解が生物全体への興味・関心へと発展していくことを目的として、以下のような指導計画の工夫を試みた。

(2) 実習方法

本研究で行ったヒトの歯型をつくる方法は、歯科治療で用いる歯型の石膏模型をつくる方法を生徒実習用に簡便化したものである。同様の方法は、骨格標本や頭蓋骨の化石から歯型の石膏模型をつくる時にも用いられ、人類学や古生物学における歯の研究の際にも利用されている。なお、歯科治療中の生徒等への実施については考慮することが必要である。

〔材料・器具〕

本研究の実習で購入しなければならない材料及び器具は次のとおりである。

印象材（粉末状アルギン酸塩印象材、1kg 3,960円）、ラバーボウル（1個 360円）、へら、または葉さじ、歯科用プラスチックトレー（上顎・下顎各10個入り 3,400円）、歯科用硬質石膏、石膏、歯型用枠型（「石膏模型用プラスチック枠型」60個入り 2,500円）
バイブレーターまたは電動歯ブラシなど

（これらの器具・薬品類は歯科用材料店ですべて購入することができる）

印象材には粉末状とペースト状のものがあ、素材にもシリコンペーストやラバーペーストなどの種類があるが、上記の印象材が比較的安価である。歯科用トレーはプラスチック製のものや金属製の網トレーがあるが、プラスチックトレーの方が印象材の剥離がよく、網トレーに比べ安価であり生徒実習用に適している。サイズは特大、大（L）、中（M）、小（S）の4種類があり、高校生の男子では特大または大、女子では大または中がよく適合した。また、バイブレーターについては高価なため、試験管振とう器や電動歯ブラシなどで代用することができる。



図3-1 印象材(左)と歯科用硬質石膏(右)

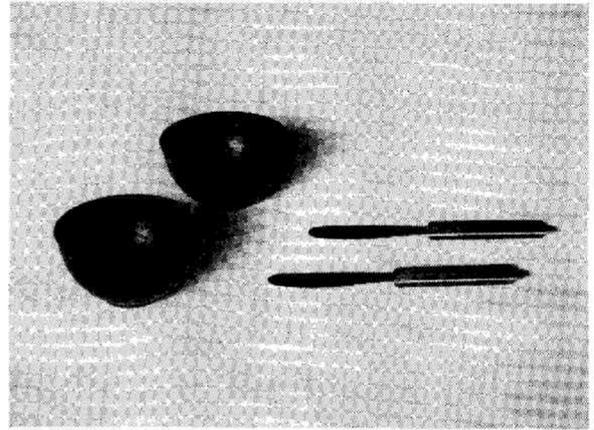


図3-2 ラバーボウル(左)とへら(右)



図3-3 歯科用トレー
プラスチックトレー(左, 中)
網トレー(右)

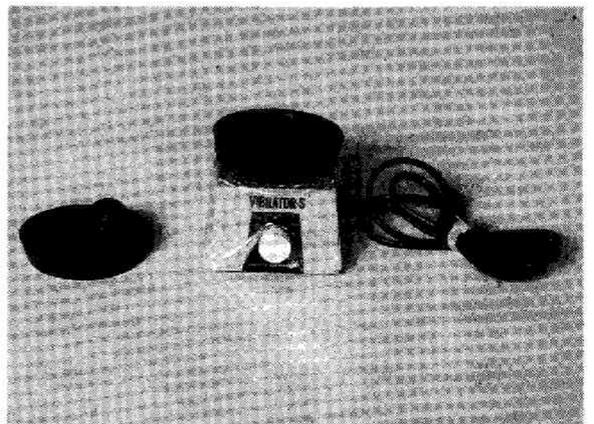


図3-4 バイブレーター

〔実習方法及び留意点〕

歯型の作成(第1日目: 50分)

- ① ラバーボウルに印象材を1.3gはかりとり、水3.5mlを加え、へらですばやく練る。
(留意点) 歯型は上顎、下顎同時に取ることはできない。上記の分量は上顎または下顎の型を取る1回分の分量である。この分量は印象材の使用法と予備実験から算出した。気温によって印象材の粘性が異なるので、水の量は適宜増減する。
- ② 練った印象材をへらを使ってすばやく歯科用プラスチックトレーにつめ、口の中に入れ歯に押しつける。
(留意点) 歯科用プラスチックトレーはやや大きめのサイズを使用した方がよい。また、歯科用プラスチックトレーは多くの生徒が使用するので、そのつど殺菌・消毒する。殺菌消毒剤としては逆性石ケン液(塩化ベンザルコニウム液)を用いることが多い。また、使用後中性洗剤と古い歯ブラシ等を使いよく水洗し、70%アルコールに浸してから殺菌・消毒する方法もある。

- ③ 2～3分で固まるので、固まったらゆっくりと歯から取り外す。

(留意点) 奥歯の方から外すとうまく取り外せる。

- ④ 歯科用プラスチックトレごと水洗し、固まった印象材を取り外す。これが雌型となる。ろ紙で雌型の水滴を拭き取っておく。

- ⑤ ラバーボウルまたはビーカーに歯科用硬質石膏を30gはかりとり、水10mlを加えよく練る。このとき気泡が入らないように静かに練る。

(留意点) 石膏は加える水の量によって固まる速さがかなり異なる。上記の分量は石膏の使用法と予備実験から算出した。また、石膏中に気泡が多い場合は、容器ごとバイブレーターまたは電動歯ブラシなどに触れさせて気泡を追い出すとよい。

- ⑥ 歯科用硬質石膏を④の雌型に少しずつ静かに流し込み、30分以上放置する。

(留意点) 雌型を切歯の方が下になるように少し傾け、大臼歯の方から少しずつ石膏を流し込むとよい。

- ⑦ 歯科用硬質石膏がよく固まった後で、まわりの印象材を取り除く。

(留意点) 印象材は乾燥してくると石膏状に硬化し縮小してくるので、弾力性があるうちに取り除く。歯型の硬質石膏が割れた場合はゼリー状瞬間接着剤で接着するとよい。また、使い終わった印象材や石膏は所定の場所に捨てさせ、流しに流さないようにする。特に石膏は排水管につまると取り除くことが困難である。



図3-5 歯型の採取

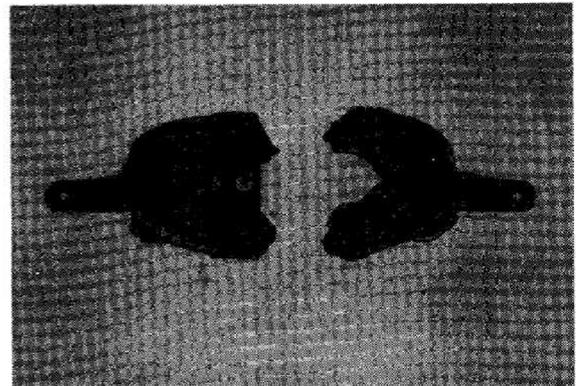


図3-6 プラスチックトレ上で固まった印象材(雌型)

歯型の台の作成(第2日目:50分)

- ① 歯型が十分に入る大きさの歯型用枠型を用意する。

(留意点) 市販の歯型用枠型には6種類の大きさがある。歯型用枠型は市販のものが安価で便利であるが、アルミホイルでつくってもよい。また、菓子類の容器でも代用できる。

- ② 歯型についている余分な石膏を削り取る。

(留意点) 歯科用硬質石膏はかなり硬いので、ラジオペンチやカッターナイフなどを用いる。

- ③ ラバーボウルまたはビーカーに石膏を30gはかりとり、水25mlを加えよく練る。このとき気泡が入らないように静かに練る。

- ④ ①の型に②の石膏を5mm～1cmほどの厚さに流し込む。5分ほどすると石膏が少し硬くなるので、その上に歯型を置く。
- ⑤ もう一度石膏30gを水25mlに溶かし、歯型のまわりに流し込む。このとき石膏を多く流し込まないように注意する。
- ⑥ 30分以上放置すれば石膏が固まるので枠型から取り出す。余分な石膏はカッターナイフまたは紙やすりなどで削り取る。

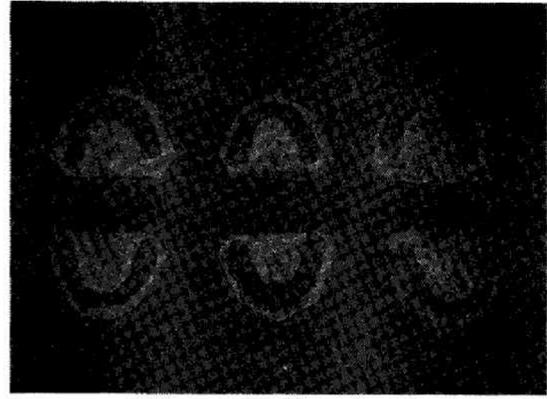


図3-7 完成した歯型

(3) 指導展開例

進化の授業の進め方にはいろいろあるが、ここでは前記の「ヒトの歯型をつくる」という実習と合わせて、脊椎動物の進化を「歯」という教材を通して考察させることをねらいとしたい。いくつかの指導内容の例をあげる。

① 魚類の進化 (脊椎動物における歯と顎の進化)

最古の脊椎動物はカンブリア紀後期に出現した無顎類という魚類である。この動物は現生のヤツメウナギの仲間であるが、海底の泥、砂などを口から吸い込み、鰓で小さな生物をろ過していたと考えられている。この無顎類の鰓弓中で一番口腔に近い骨が強力に発達して顎になり、顎上に存在した皮歯（現在のサメの皮にみられるような）、あるいは粘膜歯が獲物を捕らえる機能を持つようになり大きく発達して歯を形成するようになったと考えられている。

こうして捕食器としての顎と歯を持つようになった魚類（有顎類）は活発で攻撃的な動物となり、その後の脊椎動物の進化と繁栄の礎を築くこととなった。

(ヤツメウナギは乾燥したものが魚屋などで市販されている、またアジなどの鰓、サメの皮のわさびおろしなど実際に見せると生徒は実感できるようである。)

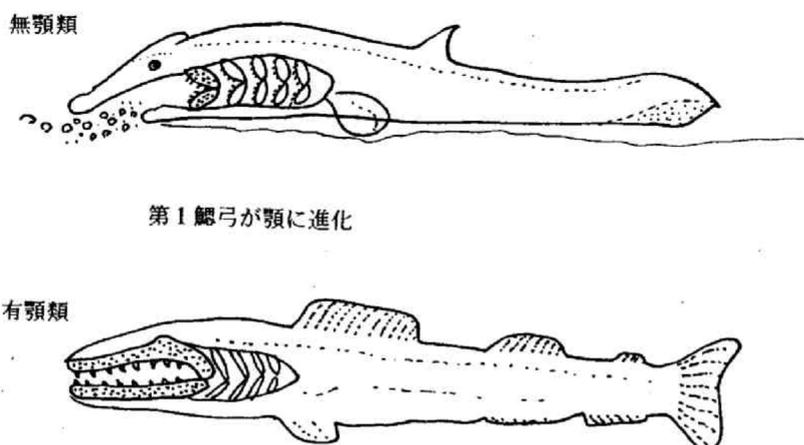


図3-8 魚類の進化

② 哺乳類の適応放散 (臼歯の形から哺乳類の進化を考える)

哺乳類は新生代になって地球上の様々な場所へ広がり、適応放散していった。このあとを臼

歯の分化に見ることができる。つまり初期哺乳類の持っていたトリボスフェニック型臼歯のうち、モグラ目、コウモリ目、サル目などのグループは、トリボス（噛み砕きとすりつぶし）の機能を強調する方向に向かい、ウシ目、ウマ目などはスフェン（切断機能）を強調する臼歯に向かったあと、再び高度のすりつぶし機能をもつようになった。そしてネコ目では切断機能を発達させていった。このように臼歯はそれぞれの食性によりはっきりとした特徴があることを図を示して考察させる。

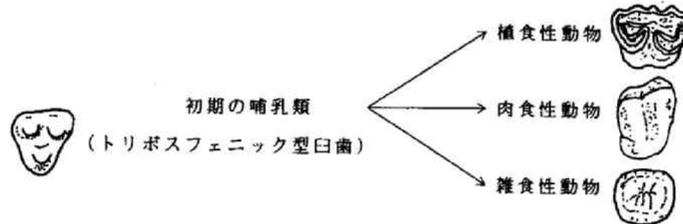


図3-9 哺乳類の臼歯の進化

③ 霊長類の進化 (歯と歯列の特徴)

チンパンジー、アウストラロピテクス、ヒトの歯列の図を示し、比較させる。チンパンジーでは切歯は大きく前に突き出し、犬歯も大型である。これに比べてアウストラロピテクスではヒトと同じくらい小さくなっていることが分かる。これは餌を得るのに前歯が必要でなくなった（むしろ手が重要になった）ことを示している。アウストラロピテクスでは、小臼歯、大臼歯ともヒトより大きく、咬合面が広いという特徴があり、硬い食物をすりつぶすのに適応した形になっていることが分かる。また歯列についてはチンパンジーでは長四角形、アウストラロピテクスではゆるいU字形、ヒトでは放物線という傾向がみられる。



図3-10 霊長類の歯列

④ 現代人類学より (歯が語るアジア人について—シャベル型)

歯型から分析した人種の移動については以下のような研究がある。シャベル型という歯の形態は生徒にとっても分かりやすいので、進化の発展的な教材として取り上げてみた。

アジア人は人種分類からすると、北方モンゴロイド（日本、朝鮮半島、中国北部、シベリア等）と、南方モンゴロイド（東南アジア、インドネシア、ポリネシア等）に分類される。両者の相違点はいくつかあるが、上顎切歯にその違いを見つけることが出来る。シャベル型切歯とは、歯の辺縁隆線が強く発達して、内側の面がシャベル状に窪んでいるものをいう。

シャベル型切歯の出現率の高いものを中国型といい、全体に歯が大きく、特に前歯が大きいという特徴があり、北方モンゴロイドに多い。出現率の低いものをスダ型といい、歯の形が簡単である。これは南方モンゴロイドに多い。また日本の縄文人はスダ型、弥生人は中国型

という分析もなされている。このような分析をもとに、アジア人の移動についての研究が行われている。

なお、この教材についてはあくまでも人類学上の統計的事実として取り扱うよう配慮する。

授業の際には上顎切歯のスケッチなどをさせて形態の観察を行うが、ヒトの形態を扱う際には、生徒の人権等には充分配慮することが必要である。



(上顎中切歯を裏側からみた図)

図 3 - 11 シャベル型切歯

(4) 生徒の反応

実習前の事前アンケート調査で、生徒が動物の進化に対してどのくらい興味・関心を持っているかを調べ、また事後アンケート調査で、実習、授業を通してそれらがどのように変わったかについても調査を行った。事前アンケート調査では動物の進化に対してはどの学校でも、学年が異なってもかなりの興味を示しており、高校生物の範囲ではDNAなどと並んで、興味・関心が高いことが分かった。

自分の歯型をつくるという実習に関しては、ふだん見られない奥歯の形がよく分かってよかった、あるいは歯医者で歯型をとったことがあったが、自分でも簡単にしかも正確に歯型がとれることに感心したという声もあった。事前の調査で元々興味があった生徒だけでなく、あまり興味のなかった生徒も動物の進化に対する興味が増したという結果が得られた。実際に実習中、顕微鏡の観察実験などとは異なる生き生きとした生徒の反応があり、熱心に取り組む姿が多く見られた。また、歯型からでも動物やヒトの進化のことがいろいろと分かり、さらに皮膚や髪の毛などでも考えられるのではないかなどという意見もあり、身近な歯型を扱うことにより、進化への興味は確実に増し、思考力も深まったのではないかと考えられる。

ヒトの歯型をつくったことについて

	面白かった	ふつう	面白くなかった
A校 (必修1年)	52人	59人	18人
B校 (必修3年)	41人	20人	6人
C校 (選択3年)	7人	2人	0人
D校 (選択3年)	7人	4人	0人

動物の進化について実習や授業後に興味関心が変化したか
(①元々興味があった生徒 ②あまり興味がなかった生徒)

		増した	変わらない	減った
A校	①	44人	43人	2人
	②	11人	23人	3人
B校	①	29人	26人	0人
	②	8人	10人	0人
C校	①	6人	0人	0人
D校	①	8人	2人	0人
	②	1人	1人	0人

表 3 - 1 アンケート調査の結果

(5) 指導内容の検討と評価

理科好きな生徒を育てるという点だけではなく、科学的思考のできる生徒を育てるためにはどうすればよいかということにも重点を置き指導計画を立てた。そこでまず大切なのは、生徒が生物の授業で扱う内容に関して興味をもつことである。事前のアンケート調査結果からも分かるように、生徒の進化への関心は高い。しかしながら、進化を身近に感じる材料は、彼らにとって意外に少ない。また、進化を体の成長と捉えている生徒も多く、興味はあってもなじみの薄い分野であることが分かった。これらの調査の結果を踏まえ、指導内容を検討した。

まずは脊椎動物の進化について学習させ、次に人類の進化を取り上げ、そのなかでヒトの歯型作製の実習を行った。歯科治療の現場でしか目にすることのない歯型模型を作製することは、実習中の生徒の反応や取り組み及び事後調査結果からも分かるように、生徒にとって貴重な体験となった。生徒には自分の歯型模型をスケッチさせ、他の脊椎動物の歯との比較から、脊椎動物の進化や人類の進化について考察させた。またシャベル型切歯の観察から、アジア人の移動についての説を紹介した。これらの実習および考察の結果、生徒の歯に対する興味や進化に対する興味はいっそう増したと思われる。しかし今回の指導では、骨格標本等の資料不足から他の脊椎動物との比較が十分とはいえない点があった。今後は博物館の利用等も検討し、指導内容を発展させたい。

進化についての様々な考え方を生徒に伝えることは、生徒の想像力や科学的思考力を養う上で有効であると思われる。しかし、歯の形態から判明した様々な説については専門的な内容もあるので、生徒の実状に合わせて取り扱う必要がある。また、実習後生徒が歯について様々な疑問を投げかけてきたことから、進化の学習以外に歯についてのいろいろな知識を教えるにも役立つと思われる。その点についても、少しずつ指導内容を充実させていきたい。

実習方法に関してはポイントを押さえれば失敗は少ない。本研究のA校では1クラス40名を二つに分けて全員が実施した。B校では4人に1人が実施したが、生徒の反応からできるだけ多くの生徒に経験させたいと感じた。またC校においては上顎標本のみを作製したが、生徒からは下顎の標本も作製したいと強い要望があった。D校では選択授業において生徒全員が実施した。実施人数については20名以内が適当である。当初は、生徒が実習を嫌がるのではないかと心配したが、その点は問題がなかった。しかし実習にあたっては、個々の生徒の状況に十分配慮する必要がある。この実習に限らず、ヒトの形態を扱う場合には、生徒の人権等に十分配慮する必要がある。本実習は我々が行っても非常に興味深かった。生徒にとっては「自分のもの」であることから、興味を喚起させ科学的思考を育てるには適当な実習であったと思われる。

(6) おわりに

本研究に関しては国立科学博物館人類研究部人類第二研究室長の溝口雄司氏に多大な援助をいただいた。今後は、生徒が自分の体から出発した進化に関する興味や疑問をさらに発展させ、自らの研究・考察課題とし科学的に思考し解決できるような指導内容を工夫していきたいと考えている。