

研究紀要

第1号

平成元年3月

北海道立理科教育センター

発刊に当たって

新学習指導要領が告示され、いよいよ新教育年が出発しました。
この学習指導要領は、21世紀を目指し、社会の変化に自ら対応できる心豊かな人間の育成を図ることを基本的なねらいとしています。

激しい社会の変化や科学技術の著しい発展、情報化・国際化の進展の中で、自ら考え、自ら学ぶ児童生徒の育成を目指し、学習指導において教育の質の改善を図ることが、今日の重要な課題とされています。

当理科教育センターにおいては、理科教育を通して心豊かな人間の育成を図るよう努力しております。

自然とのかかわりが希薄になってきたといわれる今日、理科教育の果たす役割は大切なことであると考えます。

この度、当理科教育センターの所員が、日ごろの研究実践をまとめ、研究紀要として発刊することにしました。通常研修講座等の多忙な中でまとめたものであり、創刊号としては十分でない面もありますが、今後、先生方の学校において、授業実践の一助になればと願っております。

平成元年3月

北海道立理科教育センター所長

奈良 由 夫

目 次

発刊に当たって……………	奈良 由夫
自然の認知についての調査研究	
ー小学生から大学生まで自然をどの様にイメージ化しているかー……………	藤田 郁男……………1
オームの法則と電気抵抗の実験における教材化について……………	竹中 隆公……………9
ジュール熱の実験(気化熱の測定)……………	檀 梓 光一……………17
電子を調べる3題の実験例……………	高柳 賢三……………21
生徒に興味・関心を持たせる陽イオンの分離について……………	宮下 正恪……………27
小学校における液体の拡散(均一化)を視覚的に確かめる一方法……………	作原 逸郎……………35
高校理科Ⅱにおける「水」の教材化	
ー琴似発寒川における河床生物膜の調査ー……………	鈴木 哲……………39
北海道に生息するカエル類……………	白井 馨……………47
蝶類の種間交雑に関する研究(1)	
ーキアゲハを母蝶とする交雑実験の結果と分析ー……………	青山 慎一……………51
エゾタンボポとセイヨウタンボポの殖え方の比較……………	乳井 幸教……………59
植物化石のクリーニング法の一工夫	
ー神戸層群産植物化石を例にしてー……………	那賀島彰一……………63
コリオリの力を理解するための一工夫……………	高橋 文明……………67
大韓民国の低学年自然科学教育について……………	仙石 利彦……………69

自然の認知についての調査研究

ー小学生から大学生まで自然をどの様にイメージ化しているかー

藤田 郁 男

はじめに

最近、日常生活で「自然とのふれ合い」「自然観察」「自然保護」など、「自然」という言葉を多く聞くようになった。しかし、このとき使用されている「自然」という言葉を、みんなが同じイメージをもって使用しているのだろうかという疑問に突き当たった。

一般に、「自然」というと、どのようなイメージとして思い浮かべるだろうか。筆者は1987年から北海道教育大学で小学校教職課程受講者対象の「自然科学教育学」講座を担当しているが、本研究は、この講義の際に、ふと「学生は自然をいったいどのようなものとしてイメージとして持っているのだろうか」と自問自答したことに始まる。

さらに、「子供は自然をどの様に考えているのだろうか」「中学生や高校生はどうだろうか」「部会の子供と田舎の子供では差があるのだろうか」など、自然に対する児童、生徒、学生のイメージの持ち方に深い関心を抱くようになった。

また、講義で大学生に「自然」という言葉が何を連想するかを公表してもらった。そのうち主なものは、「森」「海」「野原」「牧場」などじつに多種多様であった。

そこで、小学生から大学生まで「自然という言葉聞いてどのようなイメージが出てくるのか」を調査する事から始めることにした。

調査には、市内の高校と当センターで長期研修講座を終了した研修員の学校などに協力を得て、児童から大学生までを調査対象にした。

この調査にあたって、室蘭市立桜が丘小学校教諭岩泉邦禎氏、小樽市立緑小学校教諭松田信

子氏、小樽市立銭函中学校教諭松田義章氏、札幌西陵高校教諭向井和夫氏のご協力に心から感謝致します。

1 調査対象と調査の方法

(1) 調査対象

今回の対象として選んだのは、都市部の児童・生徒で、小学校は港町で山に囲まれている小樽市立緑小学校 2年 2組、室蘭市立桜が丘小学校 2年 1組との 2校を選び、小学校低学年での自然のイメージを比較して、地域差があるものかを調べた。

中学校は山・海に近い小樽市立銭函中学校 1年 D組、高校は札幌西陵高校 1年生の有志に、それぞれお願いし発達変化を調べることとした。

大学生は88年度の北海道教育大学自然科学教育学受講者を調査の対象とし、成人の自然のイメージ化の代表とした。この調査は、今後さらに調査をすすめるための予備調査として、比較的自然に恵まれている地域の学校を選んだ。

(2) 方法

担任・担当の教員は「みなさん、自然という言葉を知っていますか。みなさんが考えている自然のイメージを絵に描いてください。」という内容を、学年相応に替えて児童・生徒に指示した。

B 6サイズの上質紙に鉛筆で、15分をめぐりに自由に描いてもらった。

表 1 自然考察の要素分布 (%)

校種・校名	小樽・緑小	室蘭桜が丘小	小樽・銭函中	札幌・西陵高	北海道教育大
学年・人数	2年2組37名	2年1組27名	1年D組39名	1年有志36名	小教員志望46名
情報総数	187	152	195	189	265
山	6.4	15.1	10.8	13.2	11.3
川・滝	3.2	7.9	10.3	4.2	9.8
海・波	5.3	7.2	9.2	4.2	3.8
島	0	1.3	0	0.5	0
湖	1.0	0	0	3.7	2.6
森林	13.4	14.8	14.9	12.7	14.7
大木	1.6	0	7.7	13.8	15.5
草原	9.6	4.6	6.2	5.3	6.0
花	10.7	7.9	2.0	3.2	3.0
果樹	4.8	2.0	0.5	0	0
雲	5.3	7.9	4.1	5.8	3.0
風雨・雪	1.6	0	1.0	0	0
虹	0.5	0	0	0	0
太陽	4.3	7.2	5.1	7.9	6.0
地球	0	0	1.0	0.5	1.1
地平線	0	0	0	0.5	0
地下構造	0	0	0	0.5	0
星・宇宙	0	0	0	0.5	1.1
大型動物	7.5	11.2	10.7	5.8	4.3
鳥	9.1	7.2	3.6	7.9	6.8
昆虫	10.2	0	3.1	0.5	4.9
魚	2.1	1.3	4.6	2.1	3.4
食物連鎖	0	0	0.5	0	0
人	1.6	2.5	1.5	0	1.1
家	1.0	0	0	0	0.8
田園風景	0	0	2.0	2.4	0
牧場	0	0	1.0	1.1	0.4
高層住宅	0.5	0	0	1.1	0
道	0	0.7	0	1.1	0

表 2 校種別の認知項目と指摘項目順

校種・校名	小樽・緑小	室蘭桜が丘小	小樽・銭函中	札幌・西陵高	北海道教育大
学年・人数	2年2組37名	2年1組27名	1年D組39名	1年有志36名	小教員志望46名
情報総数	187	152	195	189	265
項目数	20	15	20	23	19
第一位	森林	山	森林・大木	大木・森林	大木・森林
第二位	花	森林	山	山	山
第三位	昆虫	大型動物	大型動物	太陽・鳥	川
第四位	草原	花・川・雲	川	雲・動物	太陽
第五位	大型動物		海		草原

2 総合的な調査の結果と考察

(1) 集計結果

集計には、個人毎の絵に記録されていた情報のすべてを一覧表にした。その集計情報を景観・植物・環境・動物・社会（人為環境）に大別した。

この集計では、それぞれ校種で指摘した考察事項を、すべて個人毎に集計して、その指摘事項について、それぞれ学校毎に実数を集計したものを、それぞれの情報要素に分けて、百分率にしてまとめたものが表1である。

また、校種別に情報を認知した総数と項目数、項目の中で指摘された要素の多いものの上位5つについて表示したものが表2である。

(2) 全体としての考察

自然のイメージとして浮かんだものは、

- ア 景観としてまとめた山、川・滝、海・波、島、湖など、全体の26.2%であった。
- イ 植物としてまとめた森林・大木、草原、花、果樹など、全体の24.98%であった。
- ウ 環境としてまとめた雲、風雨・雪、虹、

太陽、地球、地平線、地下構造、星・宇宙など、全体の12.98%であった。

エ 動物としてまとめた大型動物、鳥、昆虫、魚、食物連鎖など全体の21.3%であった。

オ 社会としてまとめたのは人為景観に相当するもので、人、家、田園風景、牧場、高層住宅、道など、全体の3.7%であった。

カ 指摘した項目数は平均20項目、一人平均5.3項目であった。

キ 校種によって指摘項目には多少の違い

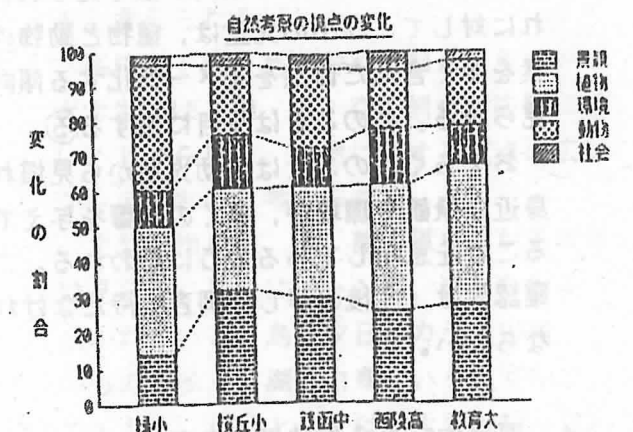
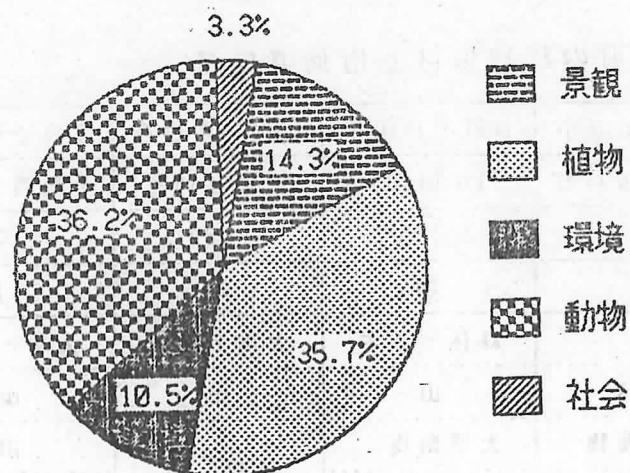


図1 自然考察の校種別視点の変化



小樽市立緑小学校2年2組37名

図2 低学年2校の比較

がある。森林・大木が最も多く、山、動物、川がそれに次ぐ。

ク 校種によって自然を指摘する内容は、図1に示すように変化が見られる。校種が上になるにつれ、動物よりも植物を中心に景観・環境要素が多くなる。

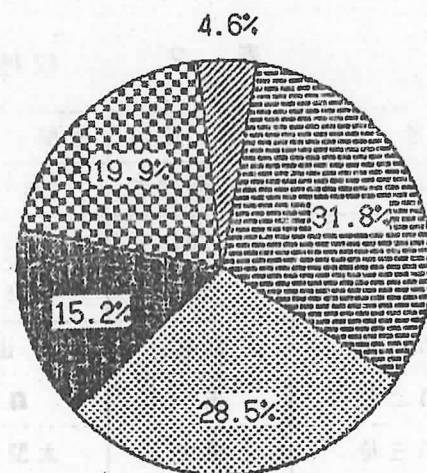
3 低学年の集計結果と考察

小学校低学年の2校の結果を比較したものが図2である。桜が丘小の児童は、緑小の児童に比べて、景観と環境の要素を多く含んだ自然をイメージ化する傾向が強く見られ、これに対して、緑小の児童は、植物と動物の要素を多く含んだ自然をイメージ化する傾向が見られる。このことは注目し値する③。

おそらくこのことは、幼児期から見慣れた身近な景観や環境が、多くの影響を与えていることを意味しているように思われる。この確認には、今後の詳しい調査に待たなければならない。

4 要素内容の分析結果と考察

5区分した指摘要素の校種による情報の要素の変化を、図3～7にまとめた。



室蘭市立桜が丘小学校2年1組27名

(1) 景観の分析と考察

図3は、景観要素の山、川・滝、海、島、湖を集計した分析結果である。

先の低学年の考察で述べたように、小樽緑小と室蘭桜が丘小との最も大きい違いは、緑小の児童は、景観に湖を描き入っていたのに対して、桜丘小の児童は、山を意識している児童が多く、風景に島を描いていたことである。

中学生以上では海を書き込み、島を配置し、燈台や波を描いていた。

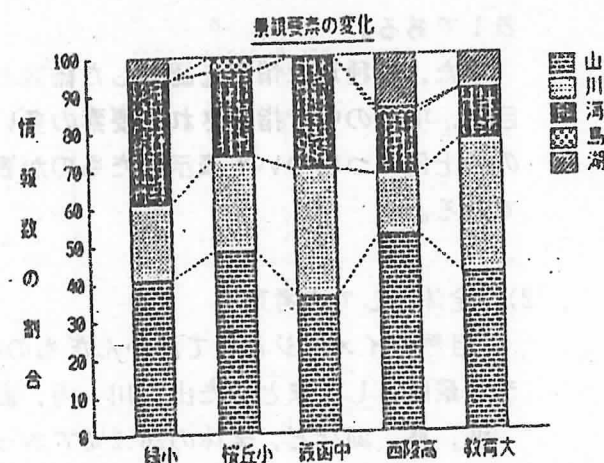


図3 景観要素の校種別変化

校種が上になるにつれて、広い空間を自然の対象としてイメージ化している傾向が見られるようである。

(2) 植物の分析と考察

図4は、植物要素の森林、大木、草原、花、果樹を集計した結果である。

緑小では、草原のイメージ化が多く、桜が丘小では花が多いのが特徴的である。小・中学校では、樹木に果樹が描かれているのも一つの傾向である。校種が上になるにつれて、森林・大木の占める割合が高くなることは、成人の持つ自然のイメージ化に近づく過程を示しているものと思われる。

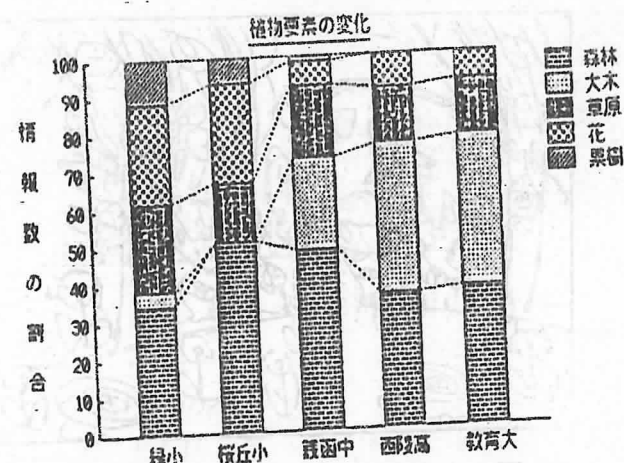


図4 植物要素の校種別変化

(3) 環境の分析と考察

図5は、環境要素の雲、風雪、太陽（虹を含む）、地球（地平線・地下構造を含む）星・宇宙を集計した結果である。

雲と太陽はいずれの校種にも目立ち、太陽は校種が上になるにつれて多くなる傾向が見られる。風雪や虹などが小学生・中学生に意識され、高校生・大学生ともなると地球や星・宇宙まで自然の対象が広がっていることが顕著な傾向である。

小学生での風雪の意識の違いは、降雪地

に居住する違いが表れていることも推定できそうである。

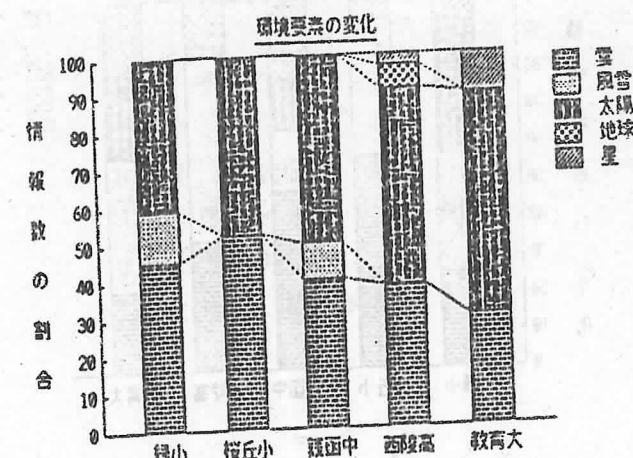


図5 環境要素の校種別変化

(4) 動物の分析と考察

図6は、動物要素の大型動物、鳥、昆虫、魚、食物連鎖を集計した結果である。

緑小では、昆虫が占める割合が多く、桜が丘小では描かれていない。桜が丘小では大型動物の占める割合が多い。

銭函中では魚が多く、地域性を示すものかも知れない。また、動物と植物のかかわりから食物連鎖の絵を描き、自然の中核ととらえていた生徒がいたことは特筆に値すると思われる。

高校生では、鳥の占める割合が多いが、大学生では、陸・海・空の割合が均等に近しいことから見て、自然に対する視点の広がりを見せるものと考えられる。

大型動物には、兎、熊、狐などが各校種に見られ、昆虫にはトンボ、チョウが多く描かれていた。鳥は夕日とカラスの組合せのものが多く、湖に白鳥という定型的なものが多く、全体としては、大型動物を意識する割合が校種が上になるにつれ低くなる傾向を示し、総合的に考えると考えられる。

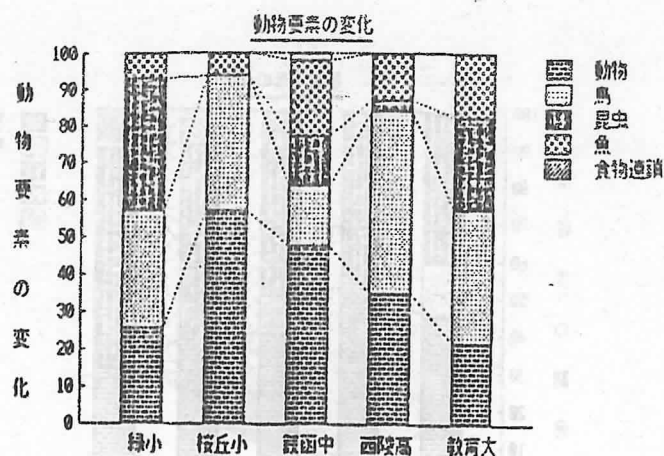


図6 動物要素の校種別変化

(5) 社会(人為景観)の分析と考察

図7は、社会要素の人、家、田園風景、牧場、高層住宅、道を集計した結果である。

この要素を指摘した実数が3.7%と少ないため、それぞれが示す傾向の信頼に欠ける面があるが、小学生・中学生では、動物とのかかわりから人が描かれているものが多く、校種が上になるにつれて、田園風景や牧場のように広い視点から自然をとらえる様になっているように考えられる。

高層住宅は、湖畔や別荘地のような景観の中に描かれているので、観光優先の社会の流を示しているものとも考えられる。

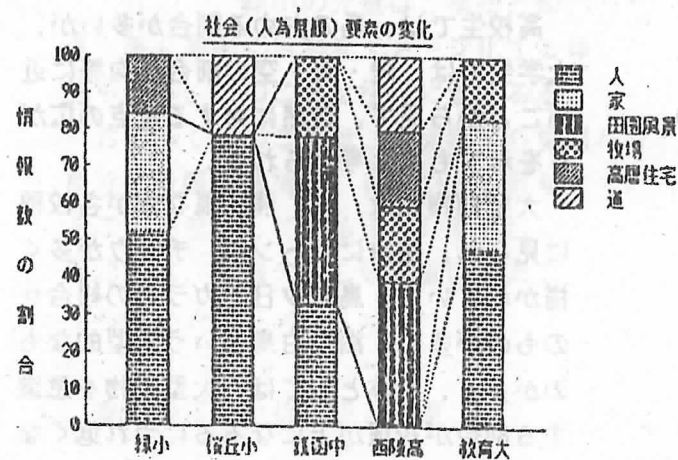


図7 社会要素の校種別変化

5. 描かれた事例の考察

各校種の中で、平均的に描いてあった作品の代表例が図8～13である。

図8、9は小学生、図10は中学生、図11は高校生、図12、13は大学生のものである。

(1) 小学生の事例

図8は、自然の中に自分みずからが没入し同化している絵のようで、中央部の動物が自分自身を示しているようにも考えられる。低学年が描く代表的な事例の自然観である。



図8 事例1 (小樽緑小児童の絵)

図9は、空高く鳥になったような気持ちで遠くまで見おろした景色は、誰もが幼児

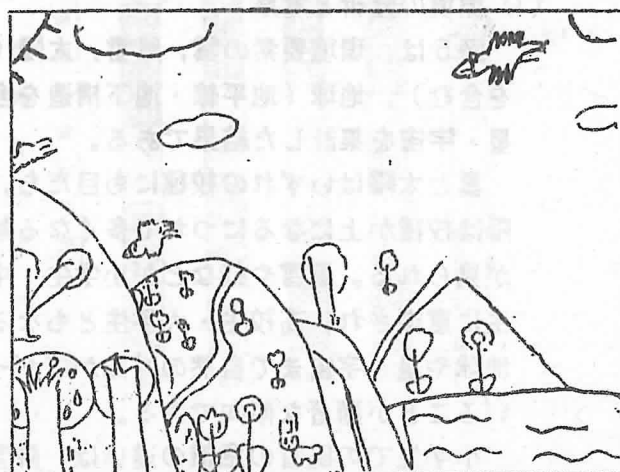


図9 事例2 (室蘭桜が丘小児童の絵)

期などに、歌を口ずさみながらとめどなく空想が広がっている様な自然を描いている、児童の作業の様子まで思い出される。本能的に広い空間をイメージ化した事例である。

(2) 中学生の事例

図10は、広い空間に、澄み切った空、自然の清純さや美しさを、心の中の基底に置き自然を表現していると考えられる事例である。

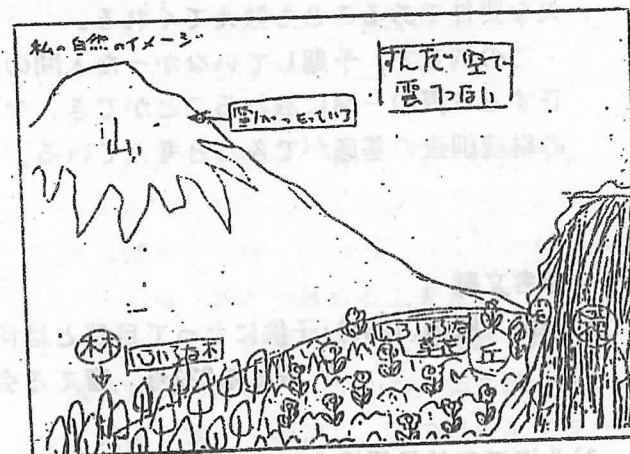


図10 事例3 (小樽銭函中の生徒の絵)

(3) 高校生の事例

図11は、自分のイメージをできるだけ簡単に抽象化した女子高校生の自然である。アニメのように、物語風に自然を考えながら描いたと考えられる事例である。

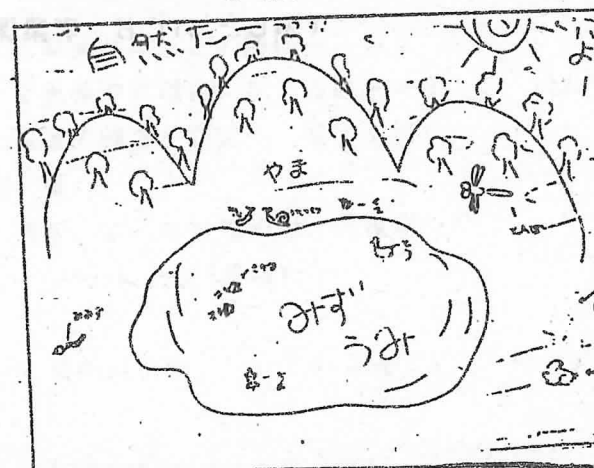


図11 (札幌西陵高生徒の絵)

(4) 大学生の事例

図12、13は、大学生の2つのタイプの代表例である。図12は、ふと子供の頃を思い出しながら、懐かしさとともに自然への憧れを感じながら描いた事例で、大学生の3分の1が描いているスタイルである。

図13は、半数ほどの学生が描いたスケッチ風の自然のイメージ化の事例である。とくに、大学生の絵は、できるだけ写真風に描こうとして、所用時間が多くかかった。

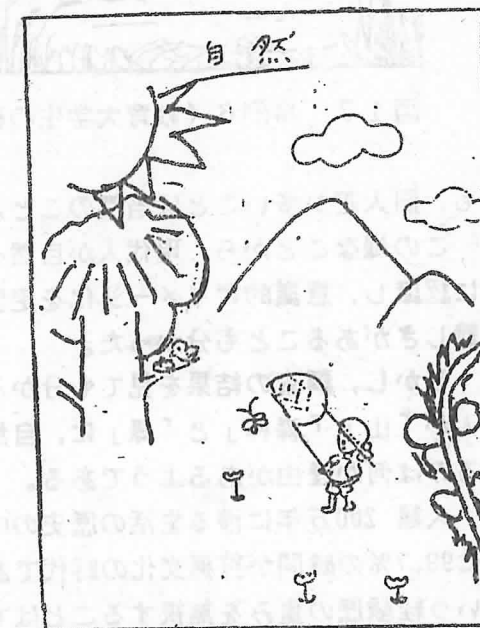


図12 事例5 (教育大学生の絵)

6 「自然」をまとめて

1年余になるが、日を追って世の中は「自然」に対する関心が高まっている。

「自然」の感じ方を分析した結果は、生い立ちから、成長していく環境の中で、人間が自然とのかかわりの中で、自然の複雑にして多様性に富み、多くの情報量から育てられていることを知ったことである。従って、自然を言葉で説明し、理解している子供について



図13 事例6 (教育大学生の絵)

も、個人差が多いことは当然のことになる。

この様なことから、現代人が自然を本能的に認識し、意識的にイメージ化を定型化する難しさがあることも分かった。

しかし、調査の結果を見ても分かるように、人が「山」「森林」と「緑」に、自然を求めるのは何か理由があるようである。

人類 200万年に渉る生活の歴史の中で、実に99.7%の時間が狩猟文化の時代であったという経験の重みを無視することはできない。

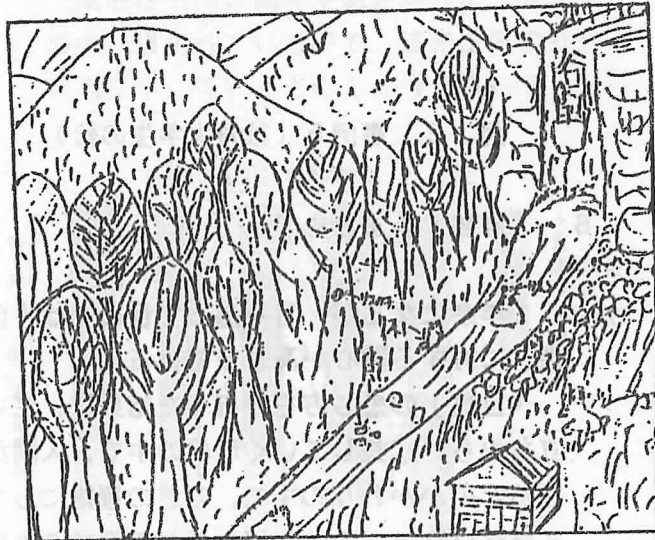


図14 森を描いた事例 (銭函中生徒)

柴田敏隆氏の著作によると、人間が緑に安らぎを覚えるのは、長い歴史の中で、緑の環境が人間に有利に機能してきたので、それが遺伝子の中に記憶されてきたからであろうと述べている。最近、子供たちがあえて自然に触れて遊ぼうとしなくなっている。公園の緑も単に見るだけの存在になって、人間に対する自然としての機能を十分に果たしていない現実である。

子供が自然に触れて育つことは、単に「望ましい」といったレベルを越えて、必要不可欠な要件であることも教えてくれる。

この調査で、予期していなかった人間の内在する本質の一端に触れることができ、今後の継続調査の基底ができたと考えている。

参考文献

- 1) 柴田 敏隆(1986): 子供にとって自然とは何か 育てる223号 育てる会
- 2) 北海道自然保護協会編(1985): 自然とわたしたち 北海道自然保護協会
- 3) 北海道自然保護協会(1986): 自然を読む 北海道自然保護協会
- 4) 北海道自然保護協会(1987): 自然を考える 北海道自然保護協会

(ふじた いくお 事業課長)

オームの法則と電気抵抗の実験における教材化について

竹 中 隆 公

はじめに

中学校理科第1分野の大項目「(4)電流」の中の「ア.電流と電圧」では、電流回路の電流や電圧の測定を通して、いろいろな回路の性質、オームの法則、金属の種類、金属の長さや太さによる電気抵抗の基本的事項を理解させることを主なねらいとしている。

こうしたときの電流・電圧・電気抵抗の関係をとらえる実験で用いられる素材は、従来からの電熱線ばかりでなく、いろいろなものを用いて生徒の興味・関心を高める工夫をしている。

生徒にとって、導電物(下記の実験で用いている電熱線等の総称)にかかわる条件統一をしながら電流や電圧を測定し、その結果をグラフに表して規則性を推測することは、かなり難しいことである。従って、実験はできるだけ簡素化し、操作的なつまづきをさけるよう留意しているのが通例である。

ここでは、いくつかの素材について検討し、適切な教材化に努めたものをまとめて紹介したい。

I 電流と電圧との関係

電熱線や導電物に加える電圧を変えて、流れる電流の強さを測定して関係を調べる。

準備

電源装置、直流電流計、直流電圧計、リード線、電熱線(及び導電物)

1 電熱線を用いたときの電流と電圧との関係 方法

- (1) 図1のような回路を組み、導電物のところには、電熱線(100V-100W, 200W,

300W, 500W)の4種類を入れ替えて用いる。

- (2) 電源装置の電圧は、1.0, 2.0, ……7.0Vと変えて、その時々流れる電流の強さを測定する。

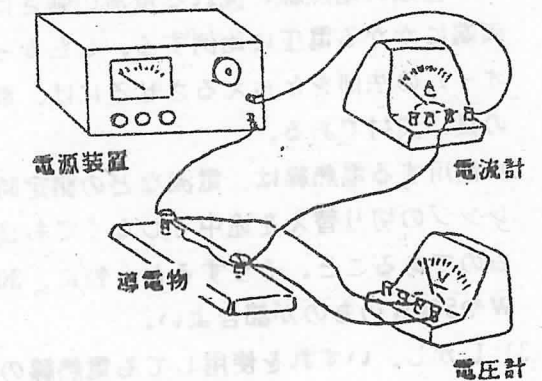


図1 配線図

結果

4種類の電熱線で測定をして得たデータは、次の表1~4であり、これをグラフにしたものが図2である。

表1 100W

電圧 [V]	1	2	3	4	5	6	7
電流 [mA]	16.0	22.0	38.0	44.0	53.0	67.0	77.0

表2 200W

電圧 [V]	1	2	3	4	5	6	7
電流 [mA]	27.0	52.0	78.0	102.0	127.0	153.0	193.0

表3 300W

電圧 [V]	1	2	3	4	5	6	7
電流 [mA]	40.0	77.0	113.0	149.0	187.0	223.0	259.0

表4 500W

電圧 [V]	1	2	3	4	5	6	7
電流 [mA]	63.0	123.0	183.0	242.0	305.0	365.0	422.0

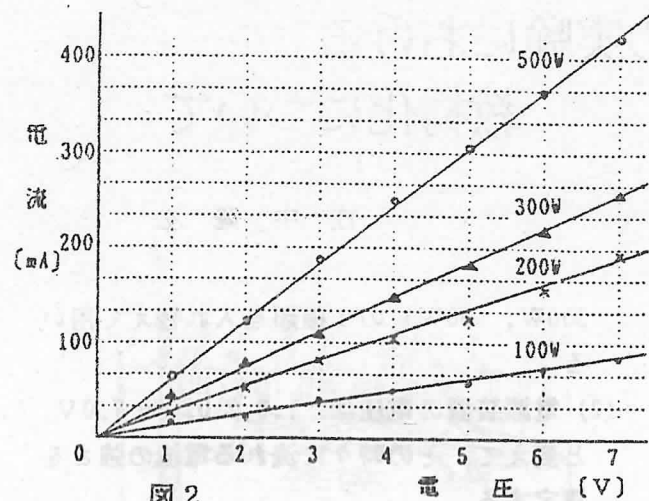


図2

- 考察
- (1) 4種類の電熱線に流れる電流の強さは、両端にかかる電圧に比例する。したがってオームの法則をとらえるさせるには、都合の良い素材である。
 - (2) 使用する電熱線は、電流などの測定時にレンジの切り替えを途中でしなくても良いものであること。そうすると、特に、300Wや500Wのものが都合よい。
 - (3) しかし、いずれを使用しても電熱線の場合は、安全で、かつ精度の高いデータが得られる特徴を持っている。

2 放電式記録タイマー用記録テープを用いたときの電流と電圧との関係

方法

- (1) 図1のような回路を組み、導電物のところには、放電式記録タイマー用記録テープを用いる。
- (2) テープのリード線への接続には、テープの幅以上の長さの山型クリップを用いて取り付ける。
- (3) 電圧は1. の電熱線で用いたときと同様にする。

結果

長さ2種類の記録テープで実験をして得たデータは、次の表5、6であり、これをグラフにしたものが図3である。

表5 長さ50cm

電圧 [V]	1	2	3	4	5	6	7
電流 [mA]	8.0	16.0	23.8	32.7	42.0	48.0	56.0

表6 長さ100cm

電圧 [V]	1	2	3	4	5	6	7
電流 [mA]	4.2	8.6	13.0	16.9	20.5	24.8	29.6

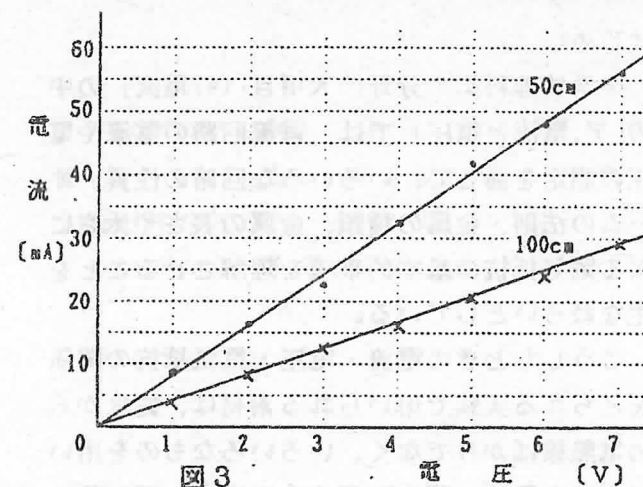


図3

考察

- (1) どのような長さのテープであっても、流れる電流の強さは、両端にかかる電圧に比例し、オームの法則をとらえさせるのに適当である。
- (2) しかし、テープの長さ50cm以下のものでは、電流値を適切に読み取るのにレンジを切り替える必要があるため、60cm以上のものを用いるとよい。
- (3) 電圧の低いときは、流れる電流が少ないことから発熱への心配をしなくてよい。

3 ファックス原紙の裏紙を用いたときの電流と電圧との関係

方法

- (1) 図1のような回路を組み、導電物のところには、ファックス原紙の裏紙を用いる。
- (2) 裏紙をリード線へ接続するには、図4のように山型クリップ (幅14cm以上のもの)

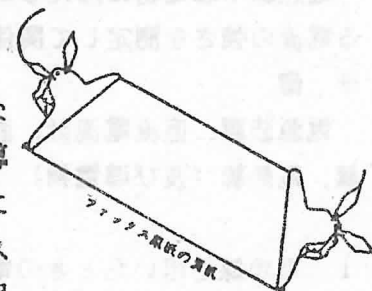


図4

を用いて取り付ける。

- (3) 電圧は1. の電熱線で用いたときと同様とする。

結果

長さ10cm、幅14cmのファックス原紙の裏紙で実験をして得たデータは、次の表7であり、これをグラフにしたものが図5である。

表7

電圧 [V]	1	2	3	4	5	6	7
電流 [mA]	0.9	1.9	2.9	3.9	4.8	5.7	6.6

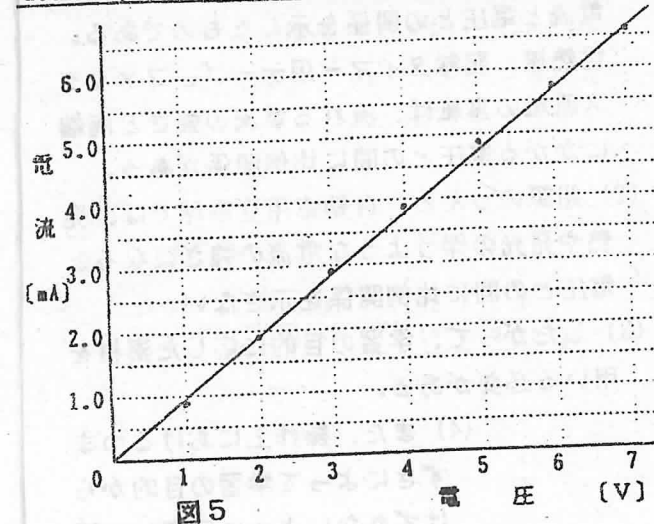


図5

考察

- (1) 流れる電流の強さは、両端にかかる電圧に比例し、オームの法則をとらえることができる。
- (2) しかし、電流の値は非常に小さく10cmの長さでも50mAレンジを用いてもスケールの10分の1しか指針が振れず、実験には、一考を要する。部活動などでの応用発展的な運用が良いであろう。

4 鉛筆のしんにかかる電流と電圧との関係

方法

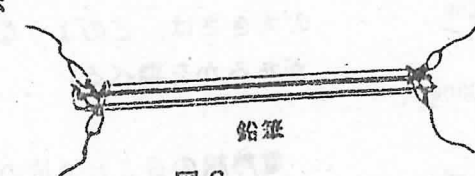


図6

- (1) 図1のような回路を組み、導電物のところには、鉛筆のしんを用いる。
- (2) リード線への接続には、鉛筆の両端を削

り、図6のように、クリップではさむ。

- (3) 電圧は1. の電熱線で用いたときと同様とする。

結果

濃さHBの鉛筆のしんで実験をして得たデータは、次の表8であり、これをグラフにしたものが図7である。

表8

電圧 [V]	1	2	3	4	5	6	7
電流 [A]	0.41	0.79	1.18	1.61	2.0	2.52	-

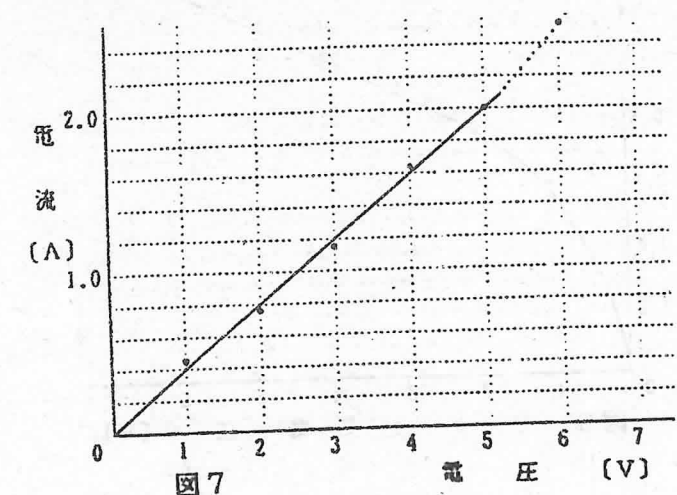


図7

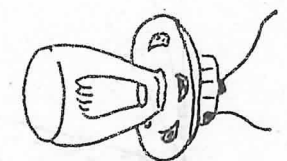
考察

- (1) 電圧4Vで電流の強さが1.61A程になったときに発熱し、同様に臭いも発生する。
- (2) 両端にかかる電圧5V以上になると、抵抗が小さくなる傾向にあり、オームの法則をとらえさせるのに使用する場合には、電流と電圧で比例関係の成り立つ範囲を事前にわきまえて用いねばならない。
- (3) この素材は、高温になると抵抗が小さくなることに用いると都合良い。

5 自動車用豆電球にかかる電流と電圧との関係

方法

- (1) 図1のような回路を組み、導電物のところには、自動車用豆電球 (12V-23W)



自動車用豆電球

図8

(2) 電圧は1. の電熱線で用いたときと同様とする。

結果

上記の豆電球を用いて実験をして得たデータは、次の表9であり、これをグラフにしたものが図9である。

表9

電圧 [V]	1	2	3	4	5	6	7
電流 [A]	0.60	0.77	0.92	1.02	1.15	1.26	1.36

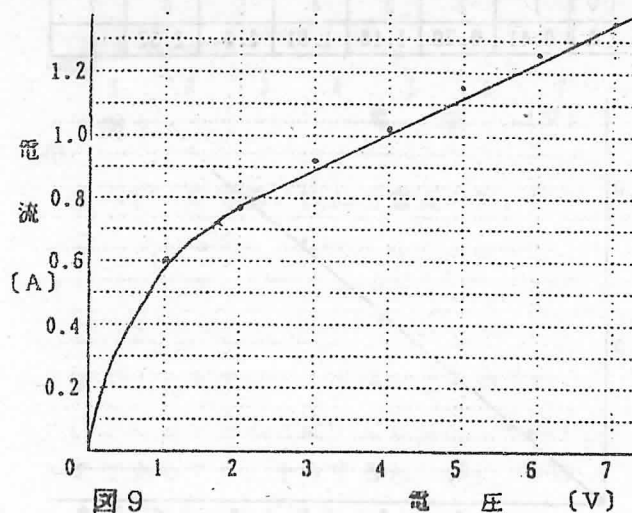


図9

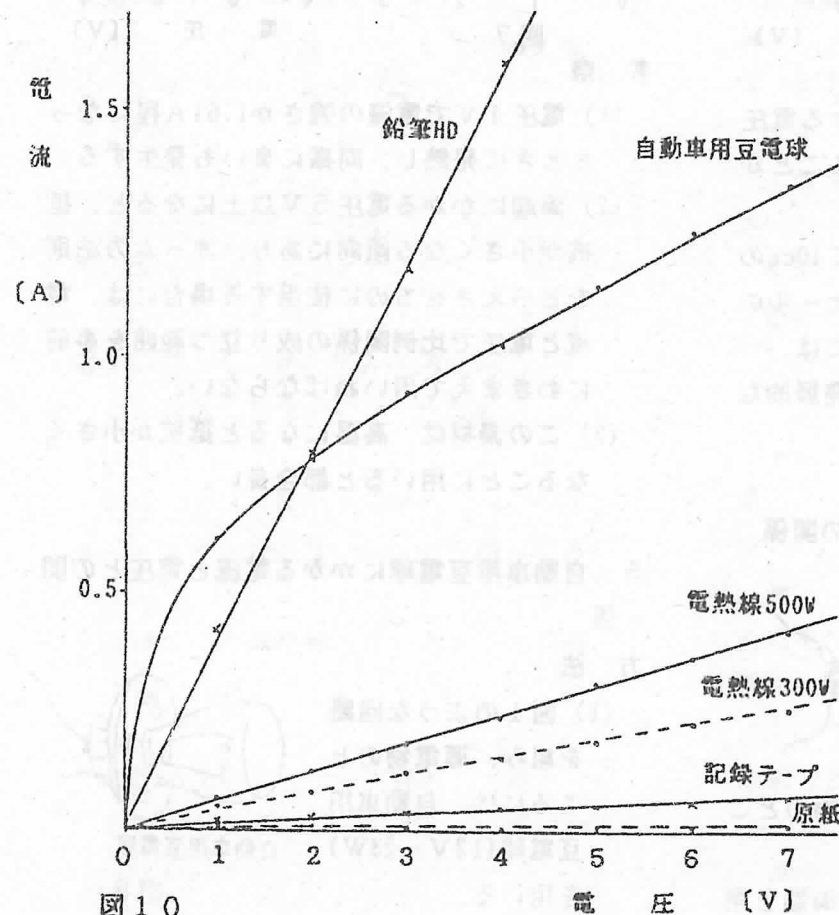


図10

考察

- (1) 測定値を用いてグラフ化すると、電流と電圧の関係は原点を通る直線にならない。
- (2) したがって、この素材はオームの法則をとらえるための試料としては、不適当である。むしろ、導電物の温度が変化したときには、電流は電圧に比例しないことを理解させるために用いるとよい。

<教材化における留意事項>

- (1) 図10では、取り上げた導電物に流れる電流と電圧との関係を示したものである。電熱線、記録タイマー用テープ、ファックス原紙の裏紙は、流れる電流の強さと両端にかかる電圧との間に比例関係がある。
- (2) 鉛筆のしんと、自動車用豆電球では、発熱や発光の伴うような電流の強さになると電圧との間に比例関係を示さない。
- (3) したがって、学習の目的に応じた素材を用いる必要がある。
- (4) また、操作上におけるつまずきによって学習の目的からはずれないように留意し、複雑化をできるだけさけることや、計測に当たっても途中でレンジを変えなくても済む範囲で行わせる工夫が必要である。

II 長さ と 抵抗の大きさとの関係

電熱線と記録テープを用いて、一定の電圧を加えたときに、その試料の長さ と 抵抗の大きさは、どのような関係があるかを調べる。

1 電熱線の長さ と 抵抗の大きさとの関係

方法

- (1) 図1のように回路を組み

10cm毎に100cmまで印の着いた板に電熱線を張る(図11)。

- (2) 電源装置の電圧は、1.5Vの一定に保ちそれぞれの長さで電流を測定する。

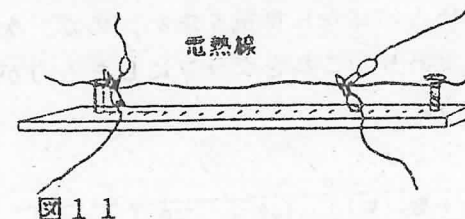


図11

結果

300Wと500Wの電熱線で実験して得た電流の大きさをもとに電圧との比から抵抗を求めたものが、次の表10・11であり、これをグラフにしたのが図12である。

表10

電熱線300W		電圧 1.5V				
長さ [cm]		10	20	30	40	50
電流 [mA]		1.88	0.93	0.62	0.47	0.38
抵抗 [Ω]		0.79	1.61	2.42	3.19	3.95

60	70	80	90	100
0.31	0.26	0.23	0.41	0.18
4.84	5.77	6.52	7.50	8.33

表11

電熱線500W		電圧 1.5V				
長さ [cm]		10	20	30	40	50
電流 [mA]		3.33	1.78	1.21	0.91	0.72
抵抗 [Ω]		0.45	0.84	1.24	1.65	2.08

60	70	80	90	100
0.61	0.52	0.45	0.41	0.37
2.46	2.88	3.33	3.66	4.05

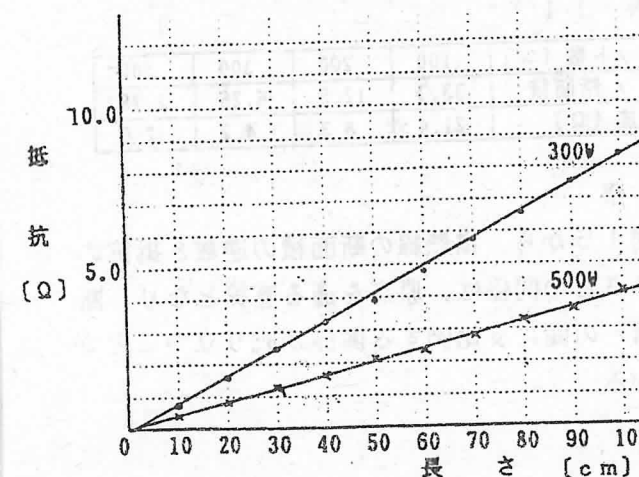


図12

考察

- (1) 図12から、電熱線の長さ と 抵抗の大きさとの関係は、原点を通る直線となることから、抵抗の大きさは電熱線の長さに比例することが分かる。
- (2) 300Wと500Wのどちらを用いても、レンジは5Aに設定しなければならないが、500Wの方が指針の振れも大きいことから適当である。

2 記録テープの長さ と 抵抗の大きさとの関係 方法

- (1) 図1のように回路を組み、10cm毎にサインペンで記録テープに印をつけて山型クリップではさむようにする。
- (2) 電源装置の電圧は、1.5Vの一定に保ちそれぞれの長さで電流を測定する。

結果

電流の大きさを測定し、電圧との比から抵抗を求めたのが、次の表12であり、図13はこれをグラフにしたものである。

表12

長さ	10	20	30	40	50
電流 [mA]	62.0	33.0	21.7	16.7	13.2
抵抗 [Ω]	24.19	45.12	69.12	89.82	113.64

60	70	80	90	100
11.2	9.7	8.6	7.5	6.9
133.93	154.64	174.42	200.00	217.39

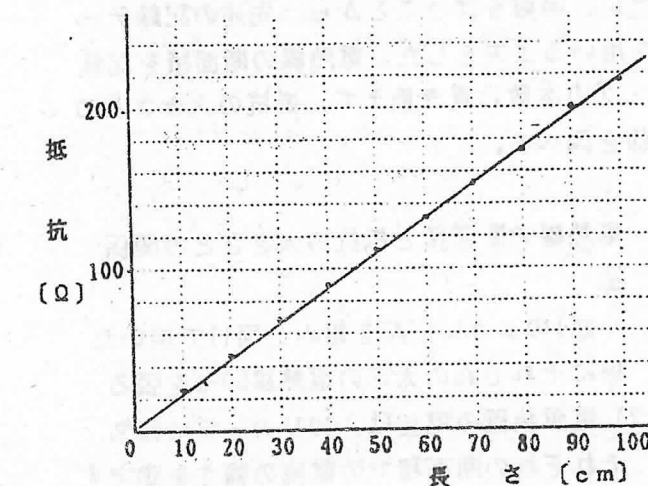


図13

考察

図13から、記録テープも原点を通る直線となり、抵抗の大きさは長さに比例することがわかる。

<教材化における留意事項>

(1) 記録テープは、紙テープに導電物質を蒸着したものであり、折り傷などをつけると通電しなくなるので、印を着けるときにフェルトペンを用いるとよい。

また、それぞれの長さでの電流を測定するときには、100, 90, 80 …… 10cmの順に行うと折り目の影響が少ない。

(2) 300Wと500Wの電熱線、記録テープのいずれであっても長さと抵抗の大きさは、相関係数0.999以上の規則性を示した結果が得られた。

(3) 教材化に当たっては、抵抗の大きさを算出するには、電熱線を用いた方が生徒にとって計算しやすいであろう。また、記録テープの方は、テープに直接に印をつけて、山型クリップではさむだけで良いという利点がある。

Ⅲ 断面積（本数）と抵抗の大きさとの関係

この実験で一般的に使用されている電熱線を断面積の違う4種類を用いて、抵抗の大きさとの関係をとらえようとする。

さらに、中学生が電熱線の断面積を測定することに、困難を伴うことから、先述の記録テープを用いる工夫をした。電熱線の断面積を記録テープの本数に置き換えて、抵抗の大きさとの関係を調べる。

1 電熱線の断面積と抵抗の大きさとの関係方法

- (1) 図1のように回路を組み、図11で用いた板にそれぞれの太さの電熱線50cmを張る。
- (2) 電源装置の電圧は、30Vの一定に保ち、それぞれの断面積での電流の強さを測定する。

(3) 電熱線の断面積は、電熱線の直径を示し生徒に計算させる。

結果

電熱線で実験をして得た、電流の強さをもとに電圧との比から抵抗を求めたのが、次の表13であり、これをグラフにしたものが図14である。

表 13

ワット数 [W]	100	200	300	500
直径 [mm]	0.20	0.31	0.45	0.68
断面積 [mm ²]	0.03	0.08	0.16	0.36
電流 [A]	0.14	0.36	0.72	1.48
抵抗 [Ω]	21.4	8.3	4.2	2.0

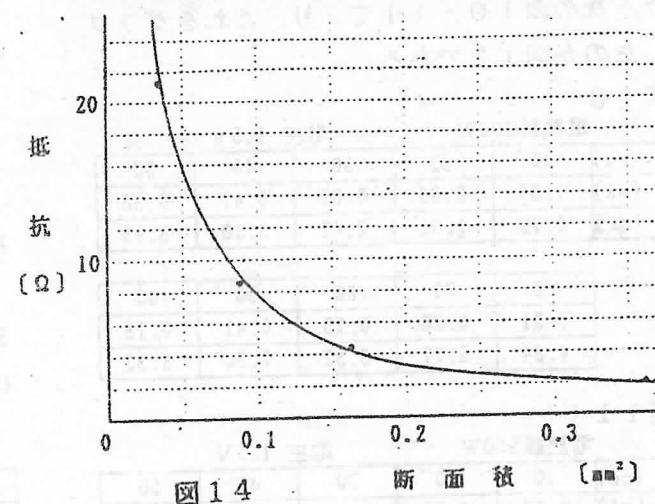


図 14

図14のグラフから、抵抗の大きさは電熱線の断面積に反比例することが予想される。従って、表13の断面積の逆数を求め（表14）、図15にグラフを示す。

表 14

ワット数 [W]	100	200	300	500
1 / 断面積	33.3	12.5	6.25	2.78
抵抗 [Ω]	21.4	8.3	4.2	2.0

考察

図15から、電熱線の断面積の逆数と抵抗の大きさとの関係は、原点を通る直線となり、断面積との間に反比例する関係が成り立つことが分かる。

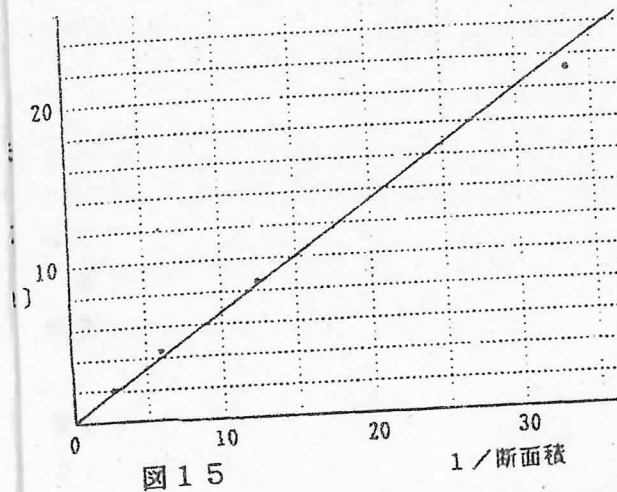


図 15

2 記録テープの本数と抵抗の大きさとの関係方法

(1) 図1のように回路を組み、記録テープは50cm以上の長さにして5本を接触しないように並べ、両端から山型クリップで50cmの間になるようにはさむ。

(2) 電源装置の電圧は、3.0Vの一定に保ち、初めに5本並列のものの電流を測定する。

(3) 次に、クリップは動かさずに、記録テープの1本をはさみで切断し、4本の並列として電流の強さを測定する。

(4) 以下、同様に3, 2, 1本の記録テープを流れる電流の強さを測定する。

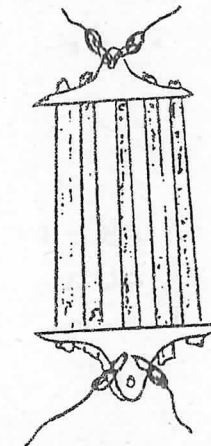


図 16

結果

- (1) 一定の電圧にして、それぞれの本数にしたときに流れた電流の強さをもとに、電圧との比から抵抗を求め、表15にする。
- (2) 記録テープの本数の逆数は表15にとり図17には、これを抵抗の大きさとの関係で表し、グラフにしたものである。

表 15

本数 [本]	1	2	3	4	5
電流 [mA]	25	50	78	102	129
抵抗 [Ω]	120.0	60.0	38.5	29.4	23.3
1 / 本数	1	0.50	0.33	0.25	0.20

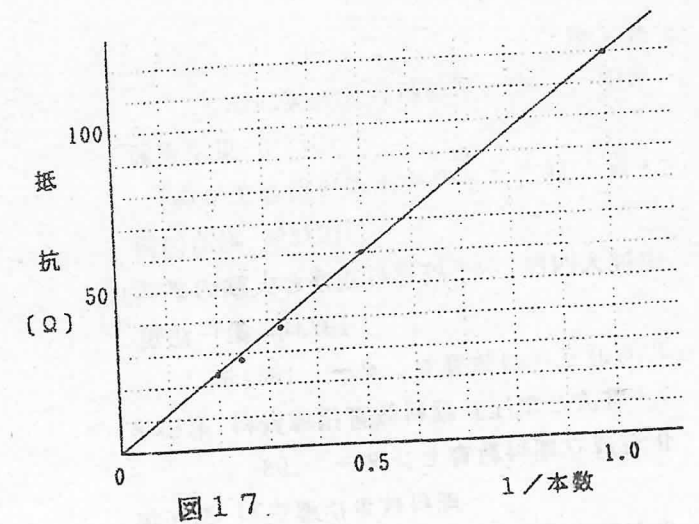


図 17

考察

図17から、記録テープの本数と抵抗の大きさとの関係は、反比例することが分かる。

<教材化における留意事項>

- (1) 電熱線の直径を計測し、断面積を求めることは、中学生にとって困難である。ここでは、定性的な扱い方でも、やむをえないができるだけ直接経験をもとに、断面積が大きくなると、抵抗は小さくなることをとらえさせたい。
- (2) 記録タイマー用テープの本数と抵抗の大きさの関係は、電熱線の断面積を置き換えて教材として用いる指導法の工夫をしたい。

おわりに

ここでの実験は、発見的過程によって法則を導くことのできる科学の方法の習得のために都合の良い教材である。しかし、回路の結線や電流・電圧を計器を用いて測定することは、中学生にとって困難なものである。また、グラフ化やグラフから規則性をとらえることについても教師の十分な助言や指導を必要とする。特に、数量的な取り扱いについては、既習の程度に個人差があるので多くの配慮が大切である。無理に定量的な扱いにこだわることなく、観察・実験を重視した定性的な把握であっても良いものもあるので、生徒の納得する度合いを十分に検討した取り扱いを工夫することが大切である。

参考文献

- ・嶋田 治 「理科教具と実験法」
1970年 東京書籍
- ・大塚 誠造 「現代化理科指導法事典」
1972年 明治図書
- ・伊神大四郎「中学校理科観察と実験の事典」
1973年 第一法規
- ・北海道立理科教育センター 1981年
「電流と電圧」理科教育指導資料 第13集
- ・北海道立理科教育センター 1984年
理科教育指導資料 第16集
- ・北海道立理科教育センター 1988年
理科教育指導資料 第20集
- ・北海道立理科教育センター 1987年 1988年
「理科教育研修講座中学校部会テキスト」

(たけなか たかお 物理研究室 研究員)

ジュール熱の実験 (気化熱の測定)

榎 棒 光 一

はじめに

高等学校におけるジュール熱の実験は、水熱量計を用いて水温の上昇を調べることが多いと思われる。この方法では水熱量計の熱容量を取り扱うことが煩雑であり、生徒が消費された電力量と水温を上昇させた熱量との関係を考えるときにも、思考の過程を複雑にしている。

ここでは、試験管を発泡スチロールで被ったものを熱量計として用い、水が沸点で気化した質量を測定し、電流によって発生した熱量を考察する方法で、実験過程を簡易にするよう工夫した実験例について報告する。

1 実験の方法

準備

熱量計 (管口30mmの試験管を発泡スチロールで被ったもの-図1)、ばねはかり (秤量200g、最小目盛り2g)、ビーカー、水、時計 (秒針つき)、交流電圧計、交流電流計、半田こて用ヒーター (40、60、80、100W 用)、スナップスイッチ (両切り)、リード線

方法

- (1) 熱量計の試験管に半田こて用ヒーターを入れ、引出し線を固定する。
- (2) 熱量計の試験管に水を 2/3程入れる。
- (3) 引出し線にリード線 (ミノムシクリップつき) をつなぎ、図2の回路を組む。
- (4) スイッチを閉じ、電流を流す。
- (5) 水が沸騰したら、スイッチを開きミノムシクリップを引出し線からはずし、熱量計全体の質量を測る。
- (6) ミノムシクリップを引出し線につないだのち、スイッチを閉じ電流を流して水を沸騰気化させる。この時から、時間・

電圧・電流を測定する。

- (7) 適当な時間 (2分間程) が経過した時スイッチを開き、ミノムシクリップをはずし、熱量計全体の質量を測る。
- (8) (6)、(7)を数回繰り返す。

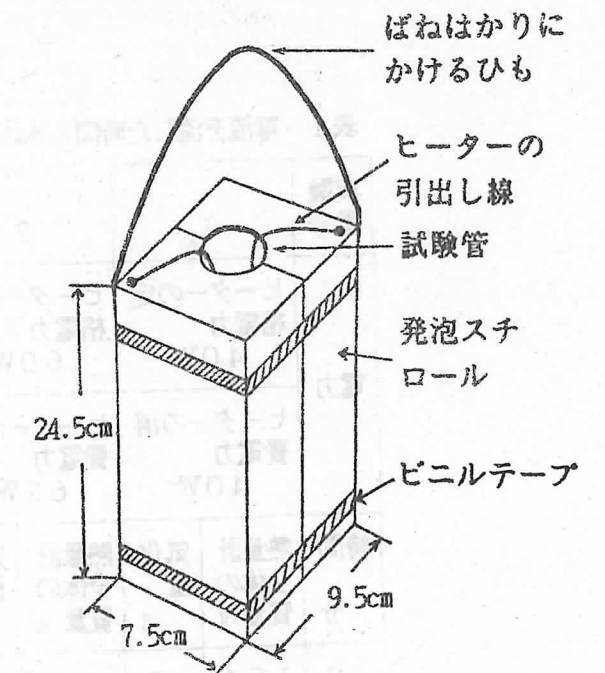


図1 熱量計

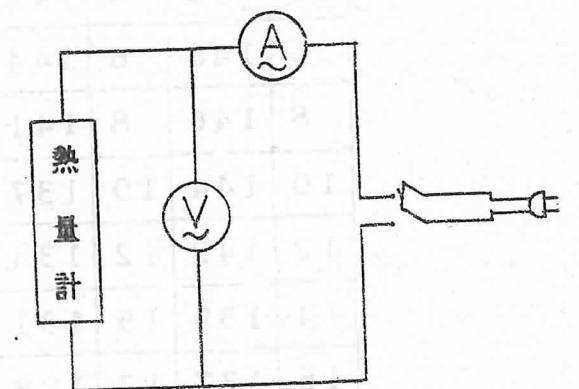


図2 回路図

2 結果と考察

上記の方法で、半田こて用ヒーター40、60、80、100Wを用い、2分間隔毎に水の気化量を測定した。結果は、表1、図3、図4、表2のとおりで、下記、(1)~(4)のことが認められる。

- (1) 図3より、気化した水の量と電流を流した時間との間に比例関係がある。
- (2) 図4より、一定時間内(20分間)に気

化した水の量と消費電力との間に比例関係がある。

- (3) 熱の仕事当量を4.2J/calとして、水1g当りの気化熱を求めると、528cal/g(平均値)となる。(表2)
- (4) 気化熱を539cal/gとして、熱の仕事当量を求めると、4.12J/cal(平均値)となる。(表2)

表1 電流を流した時間と水の気化量との関係

実験 番号	1		2		3		4	
電力	ヒーターの定 格電力 40W		ヒーターの定 格電力 60W		ヒーターの定 格電力 80W		ヒーターの定 格電力 100W	
	ヒーターの消 費電力 40W		ヒーターの消 費電力 62W		ヒーターの消 費電力 80W		ヒーターの消 費電力 103W	
時間 分	熱量計 全体の 質量 g	気化 量 g	熱量計 全体の 質量 g	気化 量 g	熱量計 全体の 質量 g	気化 量 g	熱量計 全体の 質量 g	気化 量 g
0	154	0	154	0	154	0	154	0
2	152	2	151	3	149	5	148	6
4	150	4	147	7	146	8	142	12
6	148	6	144	10	141	13	137	17
8	146	8	141	13	136	18	131	23
10	144	10	137	17	132	22	126	28
12	142	12	134	20	128	26		
14	139	15	131	23	124	30		
16	137	17	128	26	119	35		
18	134	20	124	30	115	39		
20	132	22	121	33	111	43		

表2 電力量と水の気化量との関係及び熱の仕事当量と気化熱

実験 番号	A 20分間 での気化 量 g	B Aを気化させ るための熱量 $A \times 539$ cal	C 20分間でヒ ーターが消費 した電力量 消費電力×時 間 J	D 発生した熱量 $C/4.2$ cal	E 熱の仕事 当量 C/B J/cal	F 気化熱 D/A cal/g
1	21.5	1.16×10^4	4.80×10^4	1.14×10^4	4.14	530
2	33.0	1.78	7.44	1.77	4.18	536
3	43.5	2.34	9.60	2.29	4.10	526
4	56.5	3.05	12.4	2.95	4.07	520
平均値					4.12	528

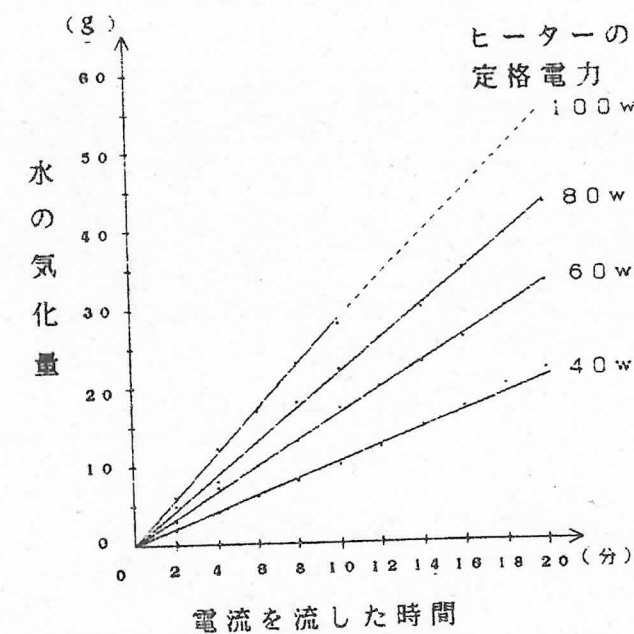


図3 電流を流した時間と水の気化量との関係

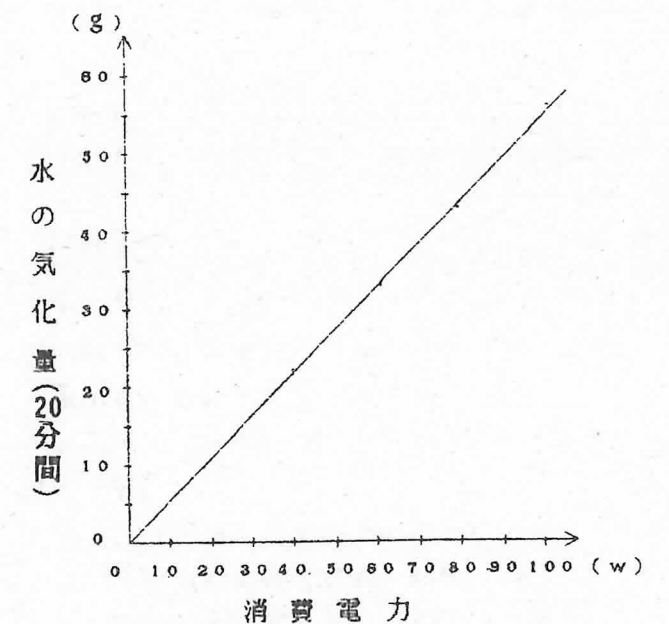


図4 消費電力と水の気化量との関係

3 まとめ

本実験の装置と方法は、生徒が実験をした時、結果について誤差数パーセントを許容する簡易な実験として実施できる。さらに、副次的な利点としては、下記のことが上げられる。

- ・水の沸点における気化量を直接測定できる。
- ・交流電圧計、交流電流計、単巻き可変変圧器等の数が不十分なきには、商用電源が100Vであること及び半田こて用ヒ-

ターの定格電力を援用すると、電圧、電流の測定を省略することも可能である。なお、交流100Vを使用しているので、安全指導を十分配慮することが大切である。

参考文献

中西啓二（昭和34年）：潜熱の測定 先生と生徒のための物理実験 科学の実験編集部 共立出版株式会社

（かしほう こういち 物理研究室 研究員）

電子を調べる3題の実験例

高柳賢三

方法

- (1) 10%の硫酸銅溶液をつくる。
- (2) 3枚の銅板の質量を測る。
- (3) 1枚の銅板を陽極とし、他の1枚（2枚を導線で接続したもの）の銅板を陰極として、硫酸銅溶液中に浸す。
- (4) 図1のように、回路を組み立てる。

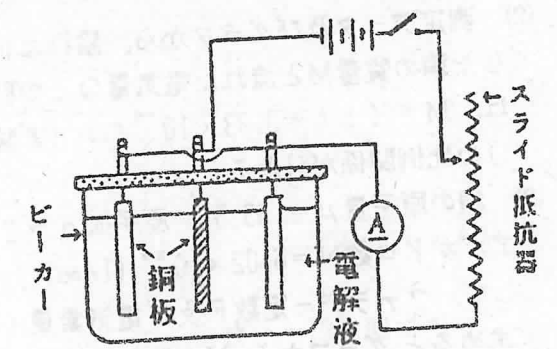


図1 電気分解の回路図

- (5) スイッチを入れ、抵抗器を素早く調節して電流を0.8(A)にする。電流が一定であるように確かめながら10分ずつ合計20分間流す。
- (6) 電流を流してから、10分後、20分後ごとにスイッチを開き、陽極、陰極それぞれの銅板を取り出し、よく乾かした後、その質量を測定する。
- (7) 流した電気量 $Q=It$ と析出した銅の質量 M との関係を調べ、アボガドロ数 $N=6.02 \times 10^{23}$ を用いて、電気素量を求める。

結果と考察

- (1) 表1は実験データの一例であり、グラフはその流れた電気量 Q と、陰極に析出した銅の質量 M との関係を示したものである。

表1

銅板名	初めの質量	10分後の質量	増減量	20分後の質量	増減量
陽極	45.00	44.83	-0.17	44.66	-0.34
陰極	15.05	15.21	+0.16	15.38	+0.33

はじめに

この論文の目的は、高等学校物理の電子を学習するうに、生徒実験として適切と思われる3題の実験例を示すことにある。ここでは、イオンの運動である電気分解から、電子は電気素量をもつ粒子であること、また、真空管中の電子の円運動の測定から電子の比電荷を求め、更に電子の移動による平行電流間の電磁力の測定から、電流の強さの定義を考察したので報告する。

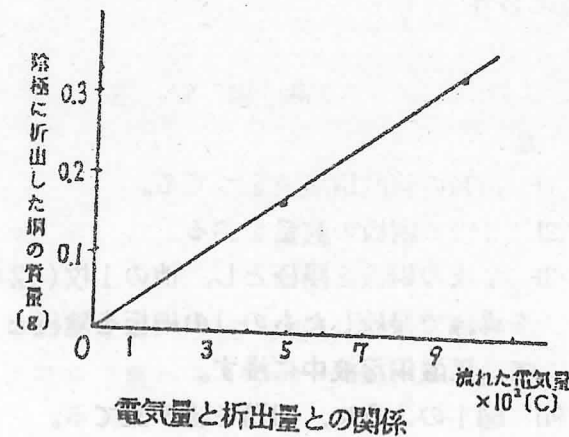
高等学校の物理の履修者が減少している。理屈っぽく、数式が多く数学をやっているようでやたら難しい理由から好きになれないといって敬遠される。一方、指導者は何とか学習者の興味を継続させようと学習内容や方法に懸命な努力を注いでいることも事実である。筆者は常日頃より、物理はちょっとした実験の繰り返しを生徒に行わせることが大切であると考え、実験法のポイントになることを模索している。

今、情報化に相まって、物理では目に見えない現象をとらえたり、計測及びその処理にコンピュータが普及してきているが、何もかもこれ一辺倒でもいけない。こうした中で、最近になって、電子に関する実験を生徒実験として行わせるうえで、指導上のキーポイントがどこにあるかを探るための追実験を試みた。市販の道具・測定器の外、手づくりの装置を用いた実験などから、データを整理したので下記に述べる。

実験1 硫酸銅溶液の電気分解による電気素量の測定

準備

直流電流計、アルカリ蓄電池、抵抗器、電子上皿天びん、ビーカー（300 cc）、リード線、銅板（3枚）、硫酸銅溶液（10%）、サンドペーパー、銅板を支える物



(2) 測定データ及びグラフから、陰極に析出した銅の質量 M と流れた電気量 Q との間には、 $M = K I t = 3.33 \times 10^{-4} I t$ (実験値) の比例関係が分かる。

(3) 銅の原子量 $\mu = 63.5$ 、原子価 $n = 2$ 、アボガドロ数 $N = 6.02 \times 10^{23}$ (1/mol) として、ファラデー定数 F 及び電気素量 e を求めると、グラフから、 $M = 0.33$ (g), $I t = 10^3$ (C) であるから、

$$F = \mu I t / M n = 63.5 \times 10^3 / 0.33 \times 2 = 96212 \text{ (C/mol)}$$

と得られ、正しいとされている値のファラデー定数 9.65×10^4 (C/mol) とよく一致している。

また、電気素量は、 $F = e N$ から、
 $e = F / N = 9.62 \times 10^4 \div 6.02 \times 10^{23} = 1.59 \times 10^{-19}$ (C) となる。

指導上の留意事項

- (1) 電解液は硫酸銅 ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) を用いるが、その際、陽極側からの O_2 の気泡発生を防ぎ、両極板の酸化抑制のためには、電解液の処方を次のように行うとよい。
 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (1級) 150g, H_2SO_4 27.2cc, $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ (1級) 56cc, これに蒸留水を加えて全量を1000ccにする。
- (2) 流す電流が大きすぎると、析出した銅が陰極板に固着しにくく、また、電流計の指針にふらつきが見られるなどの障害が出るので、実験の調整と監視とが必要である。

(3) 負極板は電解液から引き上げた後、まず水の入れてあるビーカーに浸して洗い (場合によっては、アルコールで洗うこともある)、ドライヤーで乾燥させてから、質量を測る。

実験2 電子の比電荷の測定

準備

比電荷測定実験器、安定化電源装置、真空管用電源装置、高感度回路計 (電圧計)、直流電流計、リード線、物差し

方法

(1) 図2のような回路を組み立てる。

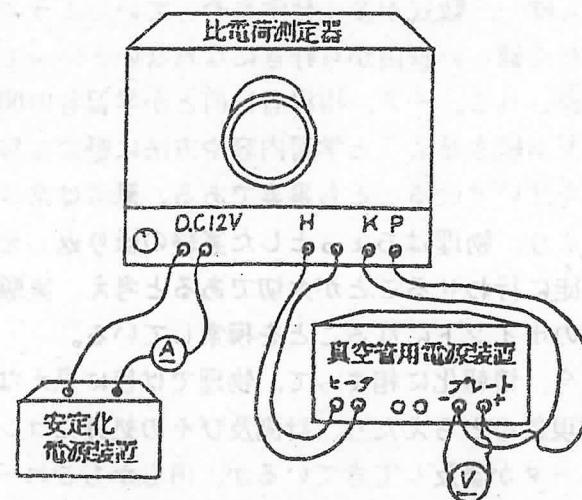


図2 比電荷測定の回路図

- (2) スイッチを閉じる前に、配線に間違いがないか確認する。
- (3) ヒーター端子に 6.3 [V] の電圧をかけ、ヒーターが点火したら、プレート端子に直流 150~300 [V] の範囲の加速電圧をかける。
- (4) 一定の加速電圧 V [V] をかけ、ヘルムホルツコイルに一定の電流 I [A] (1.5 [A] 以上は流さない) を流し、磁界内に生じる電子ビームの軌道半径 D [m] を精確に測定する。

結果と考察

(1) 下記に実験データの一例を示す。

① 軌道半径が一定のとき ($D = 4 \times 10^{-2}$ [m])

加速電圧 V [V]	コイル電流 I [A]	軌道半径 D [m]	e/m の値 (C/kg)
85	0.87	0.04	2.31×10^{11}
140	1.17	0.04	2.10×10^{11}
195	1.42	0.04	1.99×10^{11}
220	1.51	0.04	1.96×10^{11}
250	1.60	0.04	2.01×10^{11}

電子の軌道半径 4 [cm] における e/m の平均値は 2.074×10^{11} (C/kg) である。

② コイル電流が一定のとき ($I = 1.5$ [A])

加速電圧 V [V]	コイル電流 I [A]	軌道半径 D [m]	e/m の値 (C/kg)
110	1.5	0.050	2.58×10^{11}
160	1.5	0.068	2.02×10^{11}
210	1.5	0.078	2.02×10^{11}
250	1.5	0.084	2.07×10^{11}
300	1.5	0.098	1.83×10^{11}

電流 1.5 [A] と一定のときにおける e/m の平均値は、 2.10×10^{11} (C/kg) である。

(2) 比電荷測定器の原理について

磁束密度 B なる均一な磁界中に電荷 e が速度 v で、磁界に直角な方向に進入すると、電荷はローレンツの力 F を受ける。

$$F = e v B \quad (1)$$

電子は磁界に直角な平面内で運動

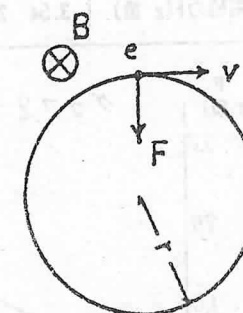


図3 磁界内の電子の運動

し、その軌道は半径 r の円になり、力 F は電子の質量を m とすると、遠心力 $m v^2 / r$ と等しい関係にあり、 $e v B = m v^2 / r$ 、つまり、 $e / m = v / B r$ (2) が成り立つ。

電子銃から出る電子の速度は、加速電圧を V として、 $V e = m v^2 / 2$ (3) となる。

(2)式と(3)式から v を消去すると、

$$e / m = 2 V / B^2 r^2 \quad (4) \text{ が得られる。}$$

一方、ヘルムホルツコイル内の磁界の強さは、ビオ・サバルの式 (H_0) から求めて、($H_0 = 1 / 4 \pi \times i d s / r^2 \times \sin \theta \cdot n$)

$$H = 1 / 2 \times (4/5)^{3/2} \times n I / R \text{ となる。}$$

$$\therefore B = \mu_0 H \approx 4.49 \times 10^{-7} n I / R \quad (5)$$

ここで使用している比電荷測定実験器は、コイル間隔が $R/2$ (コイル半径 $R = 0.15$ [m]) で、巻数 $n = 130$ 回であるから、

$$\text{磁束密度 } B = 7.8 \times 10^{-4} I \quad (6)$$

で与えられる。ゆえに、(4)式と(6)式とから、
 $e / m = V / 3042 \cdot 10^{-10} I^2 \cdot r^2$ となる。

(3) この実験では、電子のつくる軌跡を目で見ることができ、直観的な計測から容易に電子の比電荷が求められるのが特徴である。

指導上の留意事項

- (1) 比電荷測定器は高価な道具でもあるから、プレート端子、ヒーター端子の結線を見誤らないように十分注意しなければならない。
- (2) 測定に当たっては、プレート電圧は 300 [V]、コイルに流す電流は 1.5 [A] 以下で使用することが器機の保守点検の意味からも大切なことである。
- (3) 測定実験では、ここに挙げた例のように、電子の半径を一定にして、電流と電圧を読む方法、電流を一定にして、加速電圧の変化による半径の測定を行う方法の2とおりが考えられる。

- (4) 精密に測定するには、電子軌跡の直径を正しく読み取る必要があり、その際、目と指標と電子軌跡が一直線となるようにするため、事前にその読み取る方法を十分練習しておくことが大切である。

実験3 平行電流間の電磁力の測定

準備

電子上皿天びん、円形コイル(自作)、安定化電源装置、物差し、直流電流計、ジョリーのばねはかり、スタンド、抵抗器

方法

- (1) 図4のように、装置を組み立てる。

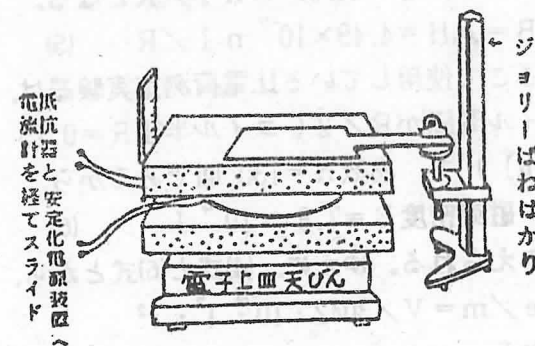


図4 電磁力測定装置

- (2) コイルはジョリーのばねはかりの固定金具に取り付け、上下微動を使って距離の操作を行う。
- (3) コイルは電子上皿天びんの皿に直接のせて力を測定する。
- (4) コイルAとコイルBとの間の距離を1.5 [cm] と固定する。コイルBに一定の電流0.8 [A] を流し、そのとき、コイルAに0.1 [A] ずつ、0.8 [A] まで電流を流して、それぞれの電磁力の及ぼす力を読み取る。
- (5) コイルA、コイルBそれぞれに一定の電流値0.8 [A] を流し、コイル間の距離 r を変えたときの電磁力を読み取る。

- (6) 実測値を表やグラフにして、平行電流間の電磁力から電流の強さの定義を検証する。

結果と考察

- (1) 表1、2及びグラフ1、2は実験データの一例である。

表1 コイルBの電流を一定にしたとき

($I_B = 0.8$ [A], $r = 1.5$ [cm])

コイルAの電流 I_A [A]	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
$I_A \cdot I_B$ [A ²]	0.16	0.24	0.32	0.40	0.48	0.56
電磁力 F (g 重)	0.36	0.58	0.76	0.96	1.16	1.36

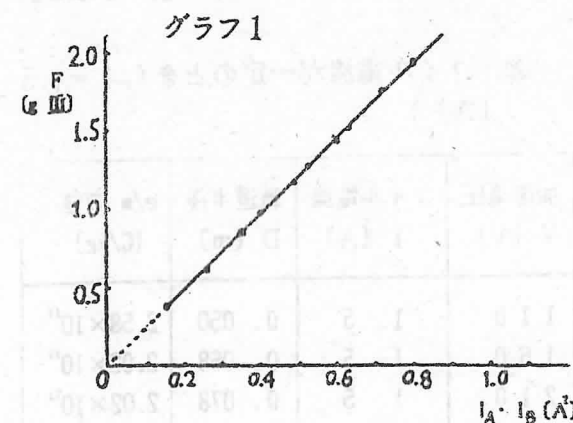
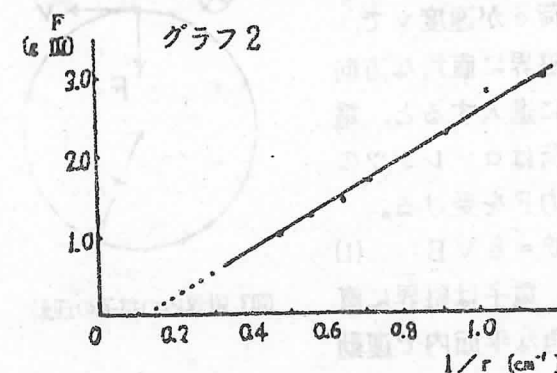


表2 コイルA、コイルBの電流を一定にしたとき ($I_A = I_B = 0.8$ [A])

コイル間の距離 r [cm]	0.7	0.9	1.1	1.4	1.6	1.8
$1/r$ (cm ⁻¹)	1.42	1.11	0.91	0.71	0.63	0.56
電磁力 F (g 重)	3.54	2.98	2.25	1.76	1.47	1.26



- (2) この実験で用いた円形コイルは図5のようにして、自作したものである。

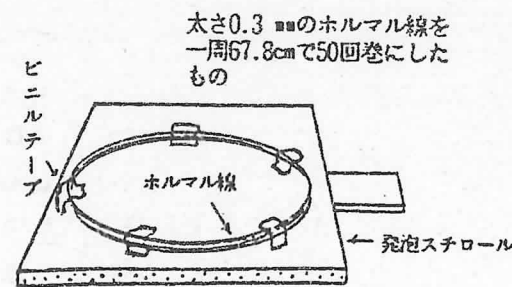


図5 円形コイルの作り方

- (3) グラフ1から、 $F \propto I_A \cdot I_B$ 、グラフ2から、 $F \propto 1/r$ が分かる。従って、 $F \propto I_A \cdot I_B \times \ell / r$ として、比例定数を求めることができる (ℓ は導線の長さである)。

ここでは、グラフ1から、
 $1.74 \times 9.8 \times 10^{-3} = k \times 0.72 \times 25 \times 10^2$
 $\times 0.678 \times 10^2 \times 1/1.5$
 $\therefore k = 2.10 \times 10^{-7} \text{ (N/A}^2\text{)}$

また、グラフ2から比例定数 k' を求めると、

$1.47 \times 9.8 \times 10^{-3} = k' \times 0.64 \times 25 \times 10^2$
 $\times 0.678 \times 10^2 \times 0.625$
 $\times 10^2$
 $\therefore k' = 2.12 \times 10^{-7} \text{ (N/A}^2\text{)}$

指導上の留意事項

- (1) コイルAとコイルBの電流が一定のとき、グラフが原点を通らないのは、電流(導線の長さ)が有限の為であること、電流計に2.5級の物を用いたことによる測定誤差が考えられること、また、鉄製のスタンドを用いることによって、磁界に影響を受けることなどのためである。

- (2) 授業で実験として行うには、最初から装

置をセットしておき、 r , ℓ , I_A , I_B の値を示して電磁力を求めた上で、検証実験として進めていく学習方法もよいであろう。

- (3) この実験は課題実験として取り上げ、生徒自身にコイルを作らせて行わせる学習ができると思われる。

- (4) コイルに流す電流は、蓄電池を使用するよりも電圧調整のできる安定化電源装置の方が実験しやすい。また、コイルに過電流が流れないように抵抗板を挿入するとよい。

- (5) 電流の単位の定義は、真空中で、距離1 [m] を隔てて、平行に置いた非常に長い2本の導線に同じ強さの電流を流したとき、それらの間にはたらく力が、導線1 [m] 当たり正確に 2×10^{-7} [N] であるときの電流を1 [A] (アンペア) と定めている。

これを一般には、次式で表している。

$$F = \mu_0 I_1 I_2 \ell / 2\pi r$$

ただし、 $I_1 = I_2 = 1$ [A], $r = 1$ [m], $\ell = 1$ [m], $F = 2 \times 10^{-7}$ [N] を代入して、 μ_0 を求めると、

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ (N/A}^2\text{)} \text{ となる。}$$

おわりに

実験を実施するには時間と労力とが伴うものである。授業では、やりたい実験が沢山ありながらも、進度に合わせて学習を行うため、内容を精選して最小必要限度の実験を行っているとも聞いている。

今回の報告は、学校の実験室に用意されている道具類と材料とを組み合わせ、電子に関する内容で、是非とも生徒実験として取り上げてみたいと考えていたものを、事例3題にまとめたものである。

なお、試作や実験には多くの疑問が生ずると思われるが、他の実験書や下記の参考文献などと合わせて、この論文が少しでも役立つならば幸いである。

参考文献

- ・大塚 明郎 「実験観察教材教具」
1979年 東京書籍
- ・中込 八郎 「物理実験ハンドブック」
1978年 講談社
- ・朝倉 利光 「物理」 1982年 開隆堂
- ・東京天文台編纂 理科年表 1988年 丸 善

(たかやなぎ けんぞう 物理研究室長)

生徒に興味・関心を持たせる 陽イオンの分離について

宮下 正悟

はじめに

高等学校の化学教材のなかで金属イオンの分離・確認は、無機化合物の性質及び化学反応の総合的理解を確認する上でもっとも適切な実験である。しかし、現実の授業の中で生徒実験として実施するには、準備に要する時間、実験に要する時間、有毒ガスの処理等多くの問題点がある。

生徒実験として手軽にできる金属イオンの推定を行わせる実験について記載する。

各種金属イオンと酸・塩基の反応を調べ(実験1)、その結果を基に混合溶液(2種類の金属イオンを含む)中の金属イオンを分離操作をせずに、推定する実験(実験2)についての操作等を検討する。

また、この実験の発展として、酸・塩基反応を利用した分離・確認実験(実験3、4)を生徒の学習深度に応じて実施するのも、無機化合物の総合的な理解を深める上で有効な手段である。

現行の高等学校指導要領解説「理科編」によると、「陽イオンについてその混合物からの分離も扱うことになるが、それはごく基本的なものにとどめ、系統分離は扱わない」と明記されている。本項に記載してある硫化水素を利用した系統分離及び確認実験(実験5)は、クラブ活動での基礎実験として活用されることを期待してのものである。

1 興味・関心をもたせるための実験

実験1 酸・塩基と金属イオンの反応

ねらい 単独の金属イオン(硝酸塩)と酸・塩基の反応を行い、その結果を整理し、実験2

の基礎資料とする。

この実験は、すでに学習した酸・塩基と金属イオンの反応を実験事実と照合しながら整理し、実験2で生徒の興味・関心を起こさせ、次に金属イオンの分離確認へと発展させることをねらいとしている。

準備 0.1mol/l 硝酸塩溶液(Ag^+ , Ba^{2+} , Cu^{2+} , Fe^{3+} , Pb^{2+} , Zn^{2+}), 1mol/l 塩酸, 1mol/l 硫酸, 1mol/l 水酸化ナトリウム溶液, 1mol/l アンモニア水, スポイト

方法 (1) 各硝酸塩溶液を約 2ml ずつ試験管に取り、それぞれに塩酸をスポイトを用いて 1 滴ずつ約 2ml 加える。

(2) 各硝酸塩溶液について、硫酸、水酸化ナトリウム溶液、アンモニア水のそれぞれについて、(1)と同様の操作を行う。

(3) (1), (2)の変化の様子を表にまとめる。

留意事項 (1) 実験を行う前に、既習事項を整理し、実験結果を予測させること。

(2) 実験2で行う金属イオンの推定の基礎データとなる実験なので具体的な変化を十分に観察し、正確に記録すること。

(3) 変化の観察は、加える溶液の滴下直後、よくかき混ぜた後、の様に段階的に行い、沈殿の有無・溶液の色の変化など多面的に行うこと。

(4) 加える溶液の液量によって、一度生じた沈殿が溶解する場合があるので、加える溶液の液量に注意すること。

参考 この実験で生成する難溶性の塩及び水酸化物の溶解度積を表1にまとめる。

表中の空欄は、難溶性の塩が生成しないものである。

表1 難溶性化合物の溶解度積

塩化物		硫酸塩		水酸化物		水酸化物	
化合物	溶解度積	化合物	溶解度積	化合物	溶解度積	化合物	溶解度積
AgCl	8.2×10^{-11}	Ag ₂ SO ₄	1.6×10^{-5}	AgOH	2.6×10^{-8}	Pb(OH) ₂	1.6×10^{-7}
PbCl ₂	1.6×10^{-5}	BaSO ₄	1.3×10^{-10}	Cu(OH) ₂	5.9×10^{-14}	Zn(OH) ₂	1.2×10^{-17}
—	—	PbSO ₄	1.6×10^{-8}	Fe(OH) ₃	2.5×10^{-39}	Fe(OH) ₂	8×10^{-16}

結果 実験の結果を次の表2にまとめる。

表2 金属イオンと酸・塩基の反応

試薬	イオン	Ag ⁺	Ba ²⁺	Cu ²⁺	Fe ³⁺	Pb ²⁺	Zn ²⁺
塩酸		白色沈殿	無色透明	青色透明	黄色透明	白色沈殿	無色透明
硫酸		微量の白色沈殿	白色沈殿	青色透明	淡黄色透明	白色沈殿	無色透明
水酸化ナトリウム溶液		黒褐色沈殿	微量の白色沈殿	青白色沈殿	赤褐色沈殿	白色沈殿から無色透明	白色沈殿から無色透明
アンモニア水		淡褐色沈殿から無色透明	微量の白色沈殿	青白色沈殿から深青色透明	赤褐色沈殿	白色沈殿	白色沈殿から無色透明

注) Ba²⁺と水酸化ナトリウム溶液及びアンモニア水で生成する微量の白色沈殿は、炭酸バリウムの沈殿である。

考察 (1) 白色沈殿には、“ゲル状”“微粒子状”など様々な状態が観察され、比較することにより、それぞれの違いの判別が可能である。

(2) 両性金属イオン(Pb²⁺, Zn²⁺)と錯イオンを作る金属イオン(Ag⁺, Cu²⁺, Pb²⁺, Zn²⁺)の比較検討が容易である。

実験2 酸・塩基反応による金属イオンの推定
ねらい 2種類の金属イオンを含む混合溶液と酸及び塩基を反応させ、混合溶液中に含まれている金属イオンを実験1の結果を参考に、推定する。

準備 混合溶液(実験1で用いた6種類の金属イオンを任意に2種類混合した溶液: 15種類), 1mol/l塩酸, 1mol/l硫酸, 1mol/l水酸化ナトリウム溶液, 1mol/lアンモニア水, スポイト

方法 (1) 適当な混合溶液を約2ml試験管に取り、スポイトを用いて塩酸を1滴ずつ約

2ml加える。

(2) (1)と同じ混合溶液で、硫酸、水酸化ナトリウム溶液、アンモニア水のそれぞれについて、(1)と同様の操作を行う。

(3) (1), (2)の結果から混合溶液中に含まれている金属イオンを推定する。

留意事項 (1) 2種類の金属イオンが含まれているため、生成する沈殿が2種類となる場合がある。

合がある。

(2) 酸又は塩基を過剰に加えた場合、“沈殿のかさ・色”及び“溶液の色”の変化に注意すること。

(3) 金属イオンの種類によっては、単独の場合と異なる反応を行うものもある。

結果 混合溶液中の金属イオンの組み合わせによる反応の結果を表3にまとめる。

表3 各混合溶液で観察される変化

試薬	溶液の色	塩酸	硫酸	水酸化ナトリウム溶液	アンモニア水	推定
① Ag ⁺ , Ba ²⁺	無色	白色沈殿	白色沈殿	黒褐色沈殿	茶褐色沈殿から無色透明, 微白濁	可
② Ag ⁺ , Cu ²⁺	青色	白色沈殿	変化なし	緑褐色沈殿	青白色沈殿から深青色透明	可
③ Ag ⁺ , Fe ³⁺	褐色	白色沈殿	変化なし	赤褐色沈殿	黒褐色沈殿から赤褐色沈殿, 無色透明	可
④ Ag ⁺ , Pb ²⁺	無色	白色沈殿	白色沈殿	黄色沈殿 ※1	茶褐色沈殿から白色沈殿, 無色透明	可
⑤ Ag ⁺ , Zn ²⁺	無色	白色沈殿	変化なし	黒褐色沈殿	茶褐色沈殿から無色透明	可
⑥ Ba ²⁺ , Cu ²⁺	青色	変化なし	白色沈殿	青白色沈殿	青白色沈殿から深青色透明	可
⑦ Ba ²⁺ , Fe ³⁺	褐色	黄色透明	白色沈殿	赤褐色沈殿	赤褐色沈殿	可
⑧ Ba ²⁺ , Pb ²⁺	無色	白色沈殿	白色沈殿	白色沈殿	白色沈殿から微量の白色沈殿, 無色透明	可
⑨ Ba ²⁺ , Zn ²⁺	無色	変化なし	白色沈殿	白色沈殿から無色透明	白色沈殿から微量の白色沈殿, 無色透明	可

⑩	$\text{Cu}^{2+}, \text{Fe}^{3+}$	緑色	黄緑色透明	淡緑色透明	茶褐色沈殿	緑褐色沈殿から褐色沈殿, 深青色透明	可
⑪	$\text{Cu}^{2+}, \text{Pb}^{2+}$	青色	白色沈殿	白色沈殿	青白色沈殿	青白色沈殿から白色沈殿, 深青色透明	可
⑫	$\text{Cu}^{2+}, \text{Zn}^{2+}$	青色	変化なし	変化なし	青白色沈殿	青白色沈殿から深青色透明	可
⑬	$\text{Fe}^{3+}, \text{Pb}^{2+}$	褐色	白色沈殿	白色沈殿	赤褐色沈殿	褐色沈殿	可
⑭	$\text{Fe}^{3+}, \text{Zn}^{2+}$	褐色	変化なし	淡黄色透明	赤褐色沈殿	褐色沈殿	可
⑮	$\text{Pb}^{2+}, \text{Zn}^{2+}$	無色	白色沈殿	白色沈殿	白色沈殿から無色透明	白色沈殿	可

※ 1 $\text{Ag}^+, \text{Pb}^{2+}$ と水酸化ナトリウム溶液で生じた黄色沈殿(亜ナマリ酸銀)の解説
 Pb^{2+} 溶液に水酸化ナトリウム溶液を加える。

少量(白色沈殿)の場合
 $\text{Pb}^{2+} + 2\text{OH}^- \rightarrow \text{Pb}(\text{OH})_2 \downarrow$

多量(無色透明)の場合

$\text{Pb}(\text{OH})_2 + 2\text{OH}^- \rightarrow [\text{Pb}(\text{OH})_4]^{2-}$ -----①

①の溶液に Ag^+ 溶液を加えると黄色沈殿を生じる。

$2\text{Ag}^+ + [\text{Pb}(\text{OH})_4]^{2-} \rightarrow \text{Ag}_2[\text{Pb}(\text{OH})_4] \downarrow$ -----②

②の沈殿をろ過, 沈殿を硝酸で溶解する。

$\text{Ag}_2[\text{Pb}(\text{OH})_4] + 4\text{HNO}_3 \rightarrow 2\text{AgNO}_3 + \text{Pb}(\text{NO}_3)_2 + 4\text{H}_2\text{O}$ -----③

③の溶液にアンモニア水を加え, 生じた沈殿をろ過する。

白色沈殿: $\text{Pb}^{2+} + 2\text{OH}^- \rightarrow \text{Pb}(\text{OH})_2 \downarrow$ -----④

無色透明: $\text{Ag}^+ + 2\text{NH}_3 \rightarrow [\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ -----⑤

以上の結果から生じた黄色沈殿は亜ナマリ酸銀と推論する。

考 察 (1) 混合する金属イオンによって, 難易の差が大きいので, 未知資料として配付する場合は十分に注意する必要がある。

(2) $\text{Ba}^{2+}, \text{Pb}^{2+}$ と $\text{Pb}^{2+}, \text{Zn}^{2+}$ の組み合わせは,

微量の沈殿の有無が判定基準になるので慎重な実験が必要である。

2 発展実験

実験3 金属イオンの確認反応

ねらい 6種類の金属イオン($\text{Ag}^+, \text{Ba}^{2+}, \text{Cu}^{2+}, \text{Fe}^{3+}, \text{Pb}^{2+}, \text{Zn}^{2+}$)を確認するための反応を行い, 各金属イオンの確認の方法を検討し, 実験4の基礎資料とする。

準備 0.1mol/l 硝酸塩溶液($\text{Ag}^+, \text{Ba}^{2+}, \text{Cu}^{2+}, \text{Fe}^{3+}, \text{Pb}^{2+}, \text{Zn}^{2+}$), 白金線, 0.1mol/l 硫化ナトリウム溶液, 0.1mol/l ヘキサシアノ鉄(II)酸カリウム溶液, 0.1mol/l クロム酸カリウム溶液, スポイト

方法 (1) 6種類の硝酸塩溶液 2mlを試験管に取り, あらかじめ濃塩酸で処理した白金線に各硝酸塩溶液を付け, 炎色反応を調べる。

(2) (1) の各溶液 2mlに硫化ナトリウム溶液を少量ずつ滴下する。

(3) 各硝酸塩溶液 2mlにヘキサシアノ鉄(II)酸カリウム溶液を少量ずつ滴下する。

(4) 各硝酸塩溶液 2mlにクロム酸カリウム溶液を少量ずつ滴下する。

(5) (1)~(4)の変化の様子を表にまとめる。
 参考 この実験で生成する難溶性の塩の溶解度積を表4にまとめる。

表4 難溶性塩の溶解度積

分類 イオン	硫化物		ヘキサシアノ鉄(II)酸塩		二クロム酸塩	
	化合物	溶解度積	化合物	溶解度積	化合物	溶解度積
Ag^+	Ag_2S	6×10^{-50}	—	—	Ag_2CrO_4	2.4×10^{-12}
Ba^{2+}	—	—	—	—	BaCrO_4	1.2×10^{-10}
Cu^{2+}	CuS	6×10^{-36}	$\text{Cu}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]$	1.3×10^{-16}	CuCrO_4	3.6×10^{-6}
Fe^{3+}	FeS	6×10^{-18}	$\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$	3.0×10^{-41}	—	—
Pb^{2+}	PbS	1×10^{-28}	$\text{Pb}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]$	3.5×10^{-13}	PbCrO_4	1.8×10^{-14}
Zn^{2+}	ZnS	6×10^{-22}	$\text{Zn}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]$	4.1×10^{-16}	—	—

結 果 実験の結果を次の表5にまとめる。

表5 金属イオンの確認実験の結果

分類 イオン	Ag^+	Ba^{2+}	Cu^{2+}	Fe^{3+}	Pb^{2+}	Zn^{2+}
炎色反応	変化なし	淡緑色	青色	変化なし	変化なし	変化なし
Na_2S	黒色沈殿	変化なし	黒色沈殿	黒色沈殿	黒色沈殿	白色沈殿
$\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$	淡黄色沈殿	変化なし	赤褐色沈殿	青色沈殿	白色沈殿	淡黄色沈殿
K_2CrO_4	赤褐色沈殿	黄色沈殿	黄褐色沈殿	変化なし	黄色沈殿	変化なし

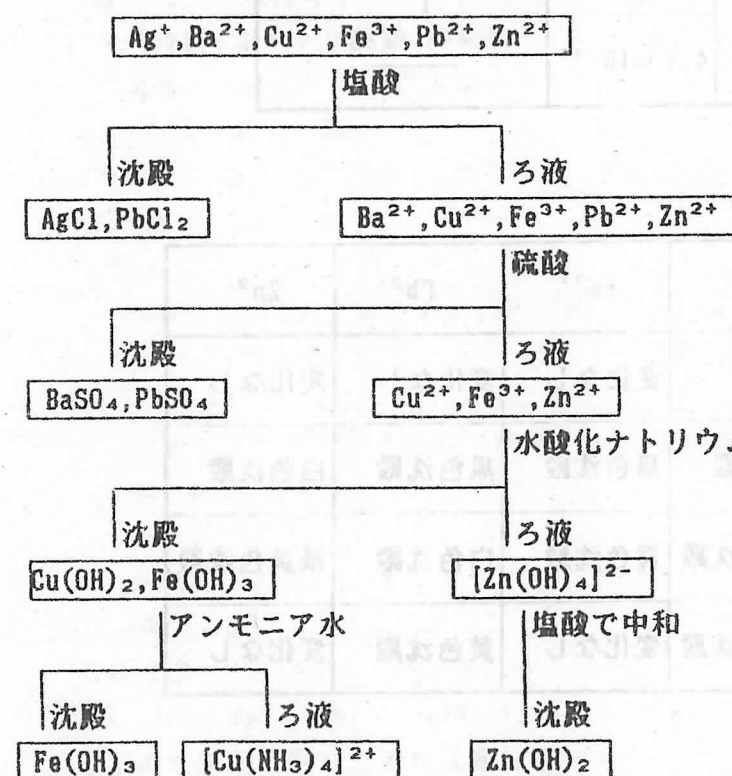
実験4 酸・塩基反応による金属イオンの分離
 ねらい 実験1の酸・塩基による反応を利用し, 混合溶液から金属イオンの分離方法を検討し, その方法で分離したのち, 実験3の結果を活

用して, それぞれの金属イオンを確認する。
 準備 硝酸塩混合溶液 [$\text{Ba}(\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} : 57\text{g/l}$, $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} : 235\text{g/l}$, $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2 : 80\text{g/l}$, $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O} : 362\text{g/l}$, $\text{AgNO}_3 : 79\text{g/l}$,

$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$: 190g/ℓの等量混合溶液],
1mol/ℓ塩酸, 1mol/ℓ硫酸, 1mol/ℓ水酸化ナト
リウム溶液, 1mol/ℓアンモニア水, 白金線,
2mol/ℓ酢酸, 0.1mol/ℓ硫化ナトリウム溶液,
0.1mol/ℓヘキサシアノ鉄(Ⅱ)酸カリウム溶液,
0.1mol/ℓクロム酸カリウム溶液, 漏斗, ろ紙,
簡易迅速ろ紙保護材(※2), 簡易迅速ろ過装
置, 水流ポンプ

方法 (1) 混合溶液に含まれている金属イオ
ン(Ag^+ , Ba^{2+} , Cu^{2+} , Fe^{3+} , Pb^{2+} , Zn^{2+})を塩酸,
硫酸, 水酸化ナトリウム溶液, アンモニア
水を用いての分離方法を計画する。
(2) (1) で計画した分離方法で各金属イオン
を沈殿させ, ろ過分離する。
(3) 確認は, 次の方法で行う。

分離実験計画の1例



留意事項 (1) ゲル状沈殿でろ過速度が遅い場
合には, 吸引ろ過を行うとよい。

※2 簡易迅速ろ紙保護材

薄いポリエチレンシートをろ紙と同じ大

- ◎ Ag^+ : AgCl
ろ紙上の沈殿に直射日光を当てる。
- ◎ Pb^{2+} : PbCl_2 , PbSO_4 , $\text{Pb}(\text{OH})_2$
硫化ナトリウム溶液を滴下する。
または, クロム酸カリウム溶液を滴下
する。
- ◎ Ba^{2+} : BaSO_4
白金線に付け, 炎色反応を調べる。
- ◎ Fe^{3+} : $\text{Fe}(\text{OH})_3$
ヘキサシアノ鉄(Ⅱ)酸カリウム溶液を
滴下する。
- ◎ Cu^{2+} : $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$, $\text{Cu}(\text{OH})_2$
塩酸酸性にした後, ヘキサシアノ鉄
(Ⅱ)酸カリウム溶液を滴下する。
- ◎ Zn^{2+} : $\text{Zn}(\text{OH})_2$, $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$
硫化ナトリウム溶液を滴下する。

きさに切り, その中心部(直径3cm 程度の
範囲)に千枚通しで小さな穴を, 周辺部は
カッターなどで比較的大きい穴をあけると
よい(図1)。

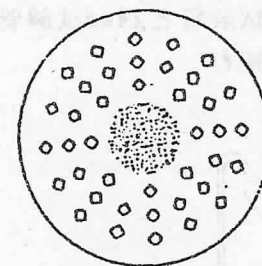


図1 簡易迅速ろ紙保護材

(2) 簡易迅速ろ過装置は, 図2のように組む。
24mm試験管に漏斗とガラス管を付けたゴ

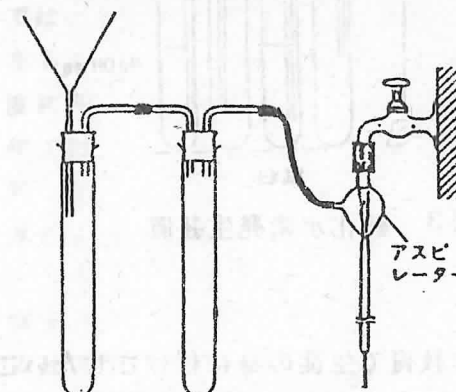
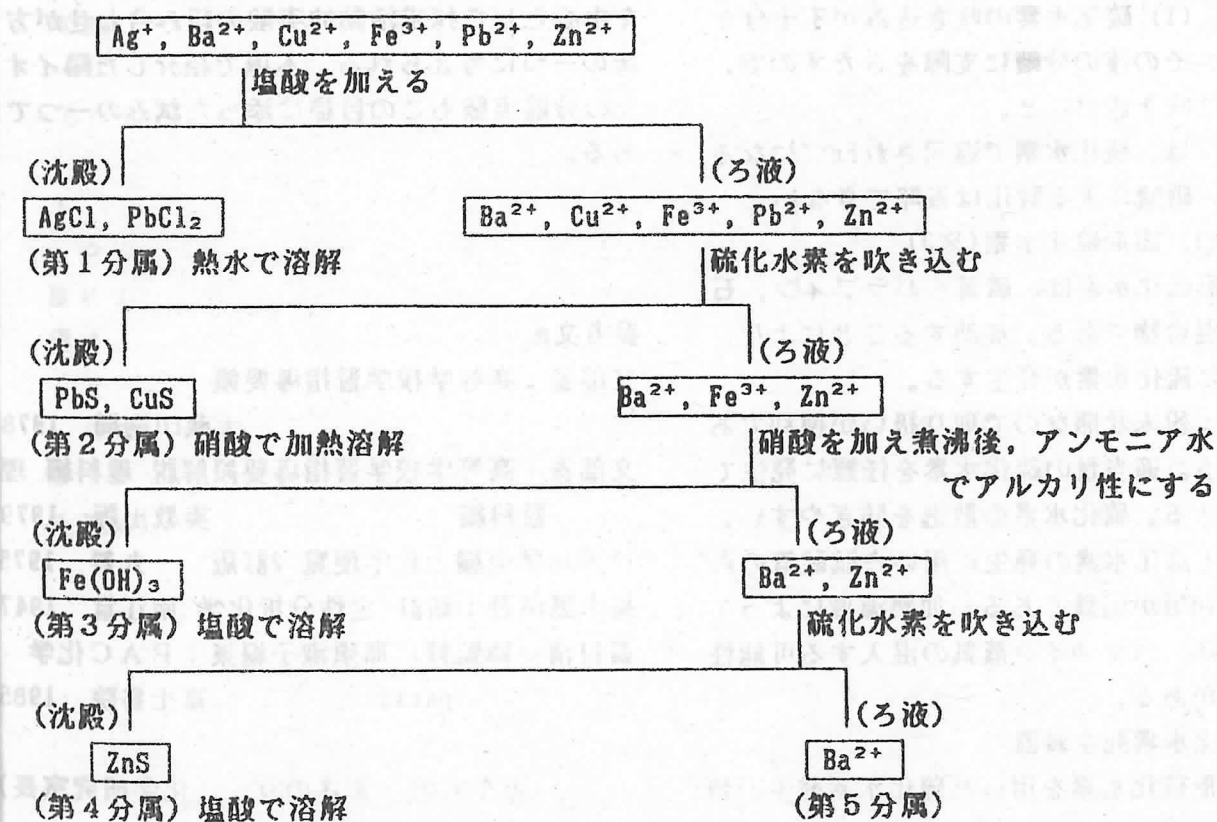


図2 簡易迅速ろ過装置

分離のための系統図



ム栓(No5)をし, 逆流防止の試験管を間に
入れて, 水流ポンプにつなぐ。

ろ紙と簡易迅速ろ紙保護材を重ね円錐形
に折り漏斗に貼り付ける。

3 クラブ活動の基礎実験

実験5 金属イオンの系統分離

ねらい 分属試薬を用いて系統的に分離・確認
の実験を行う。

準備 硝酸塩混合溶液(実験4で用いたもの
と同じ), 2mol/ℓ 塩酸, 2mol/ℓ 硝酸,
2mol/ℓ アンモニア水, 固形硫化水素(※3),
3mol/ℓ 硫酸, 0.1mol/ℓ クロム酸カリウム
溶液, 0.1mol/ℓ ヘキサシアノ鉄(Ⅱ)酸カリ
ウム溶液, 漏斗, ろ紙, 簡易迅速ろ過保護材,
簡易迅速ろ過装置, 水流ポンプ, 硫化水素の
発生装置

方法 (1) 混合溶液を次の系統図にしたがっ
て分離する。

(2) ろ過は、吸引ろ過法で行う(実験4参照)。分離後のろ液には、少量の沈殿試薬を加え新たに沈殿の生じないことを確認する。

(3) 硫化水素は、固形硫化水素の加熱により発生させる。

(4) 金属イオンの確認は、次の方法で行う。

第1分属 ($\text{Ag}^+, \text{Pb}^{2+}$)

Ag^+ : ろ紙にのせたまま感光する。 AgCl

Pb^{2+} : 硫酸を加える。 PbSO_4

第2分属 ($\text{Cu}^{2+}, (\text{Pb}^{2+})$)

Pb^{2+} : PbSO_4 として除去する。

Cu^{2+} : アンモニア水を加える。

$[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$

第3分属 (Fe^{3+})

Fe^{3+} : ヘキサシアノ鉄(II)酸カリウム溶液を加える。 $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$

第4分属 (Zn^{2+})

Zn^{2+} : ヘキサシアノ鉄(II)酸カリウム溶液を加える。 $\text{Zn}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]$

第5分属 (Ba^{2+})

Ba^{2+} : クロム酸カリウム溶液を加える。

BaCrO_4

留意事項 (1) 硫化水素の吹き込みが不十分な場合、その後の分離に支障をきたすので、十分に吹き込むこと。

(2) Fe^{3+} は、硫化水素で還元され Fe^{2+} になるので、硝酸による酸化は省略できない。

参考 (1) 固形硫化水素(※3)

固形硫化水素は、硫黄、パラフィン、石綿の混合物である。加熱することにより、簡単に硫化水素が発生する。

利点 : 粉末状態なので取り扱いが便利である。適当量の硫化水素を任意に発生できる。硫化水素の散逸を防ぎやすい。

欠点 : 硫化水素の発生に用いた試験管の再利用が困難である。加熱温度によっては、パラフィン蒸気の混入する可能性がある。

(2) 硫化水素発生装置

固形硫化水素を用いた硫化水素発生装置

置は、18mm試験管と24mm試験管を用いて、図3の様に組む。

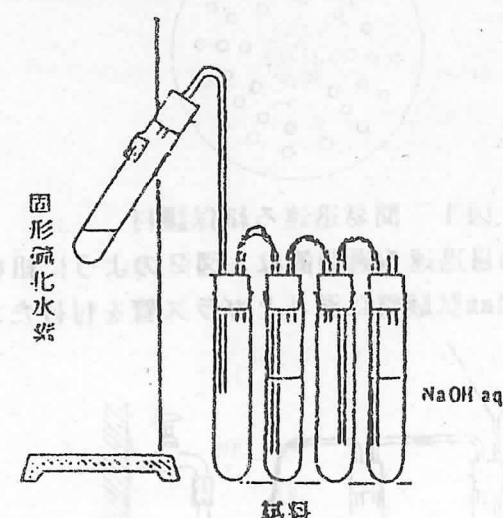


図3 硫化水素発生装置

おわりに

高校化学教育で生徒の身に付けさせたいことの一つに実験事実の正確な観察眼と事実に基づく適切な判断力がある。

このためには、基礎・基本の定着をねらいとしたグループ実験とそれを基盤とした個別実験を中心とした探求活動的実験の組み合わせが方法の一つに考えられる。本項で紹介した陽イオンの分離実験もこの目標に添った試みの一つである。

参考文献

文部省 : 高等学校学習指導要領

大蔵印刷局 1978

文部省 : 高等学校学習指導要領解説 理科編 理科編 数科編 実教出版 1978

日本化学会編 : 化学便覧 2訂版 丸善 1978

高木誠司著 : 新訂 定性分析化学 南江堂 1941

藁目清一郎監修 那須淑子編集 : PAC化学 part2 富士書院 1981

(みやした まさのり 化学研究室長

小学校における液体の拡散 (均一化) を視覚的に確かめる一方法

作 原 逸 郎

はじめに

水溶液についての学習は、第2学年に、物や水の変わる様子や水の温かさによって物の溶ける速さが違うことに気付かせ、第4学年では、物が水に溶けると全体に広がり均質になることや溶ける量に限度があり、それが温度に関係することなどを理解させる。第5学年では、濃さと重さとの関係を理解させ、更に、第6学年では、水に溶けている物を調べ、水溶液の性質を理解させることになっている。

「溶解」概念での「溶ける」の基本的な意味を正しく理解させるには、「まんべんなく広がる」ということと「時間がたっても広がるの状態は変化しない」という「拡散」概念を観察・実験によって確かなものにしていく必要がある。

これまでは、味で調べたり、蒸発乾固などで調べてきたが、ここでは、液体の拡散 (均一化) を視覚的に確かめる方法について述べることにする。

1 児童の拡散についての実態

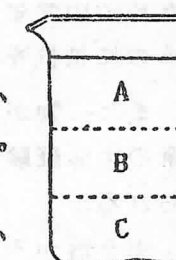
食塩を素材にした場合に、水溶液の量や温度に変化がなくとも、濃い食塩水は、長く放置すると食塩が沈んでくるとか、底の方が濃くなっていると思ひこんでいる児童が多い。

このことについて、東京教育研究所 (昭和59年発行、No.64) で次のような調査結果を発表している。

(1) 調査問題

食塩を水にとかし、よくかきまぜて全部をときました。この食塩水をそのままにして、次の日に調べました。食塩水のこさはどうなりますか。次の1~4の中から、正しい答えを1つ選びなさい。

- 1 とけた食塩はまん中に集まるので、Bの部分がかくなる。
- 2 とけた食塩は下にしずんで集まるので、Cの部分がかくなる。
- 3 とけた食塩はまんべんなく広がるので、A、B、Cのこさはどれも同じになる。
- 4 とけた食塩は軽くなるので、Aの部分がかくなる。



(2) 結果

調査対象 : 第6学年

調査数 : 492名

正答率 : 14.1%

応答率

1 1 %
2 76 %
3 14 %
4 8 %

(3) 考察

正答率は、14%で底部が濃くなると応答しているのが76%もある。この誤答の原因は、長時間放置した後で食塩の広がり状態を調べる学習経験がないことが第1であるが、紅茶やコーヒーに入れた砂糖が、(溶け残った分だけ) コップの底に最後に残る生活経験とか、あるいは、2学年で行った水の中に砂や土を入れて沈み方の違いを調べる学習経験等が影響していることも考えられる。

この調査結果や筆者の実践から、児童は、物が溶けたと判断する基準は、色・粒・味が主になっていると考えられる。

低学年では、溶質に有色物を使用し、4年生になって、無色の物を使用することが多いため、中学年以上になると、溶けたと判断するのに抵抗を感じるのであろう。

また、物が溶けたと判断する基準には、児童の生活経験が大きくかかわっていると考えられる。

物を溶かそうとする際に、児童は、「湯を使う」「かき混ぜる」「全体を同じ色にする」「粒をなくする」などを考えている。その上、日常生活の中では、ほとんどが有色の物を溶かす経験が多い。

更に、溶かした液を長時間放置した後を使用する経験が少ないことも、均一性についての考え方に影響していると考えられる。

2 溶液の拡散 (均一性) を観察するのに適した素材や方法について

溶液の拡散を観察させるには、児童が視覚的に観察できることや有害でないもの、生活経験に適した物を素材にする必要がある。

また、方法的には、石けんを湯の中で溶かしたり、食塩水を使って、スポイトやピペットを使って容器の上・中・下部のそれぞれの溶液を取り、蒸発乾固して、あとに残る食塩

の量を比べる方法などがある。

ここでは、小学校の児童に視覚的に観察しやすくするため、食紅で着色した食塩水を使い、トールピーカーの底部に注ぐ方法で拡散の観察をすることにした。

3 食紅で色を付けた食塩水の拡散 準備

1%・5%・飽和の各種濃度の食塩水、食紅、トールピーカー (500cm³、5個)、活栓付きろうと、スタンド、ガラス管、ゴム管、時計皿、白い紙

方法

- (1) 前日から、ピーカー5個に、水500cm³をため置き、水の状態を安定させておく。
- (2) 水をため置いたピーカー1個に、食紅で着色した水50cm³を活栓付きろうとを使って、静かに注ぐ (図1)。

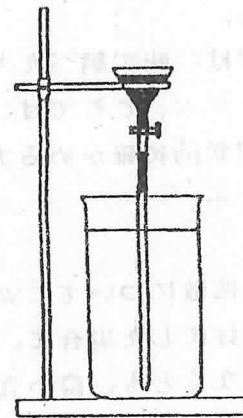


図1 水溶液注入装置

- (3) 次に、ピーカー3個に、食紅で着色した1%・5%・飽和の各種濃度の食塩水50cm³ずつを(2)と同じように静かに注ぐ
- (4) 残り1個のピーカーには、ため置きの水だけにしておく。
- (5) 5個のピーカーを白い紙の前に置き、時計皿でふたをしておく。
- (6) それぞれの着色部の高さをピーカーの底面から測定する。

(7) 継続して、観察と測定をする。

結果と考察

- (1) トールピーカーの底面から、それぞれの水面までの高さは、13cmあった。
- (2) ため置いた水に、食紅で着色した水を

注ぐと、直後にピーカー全体が着色するが各種濃度の食塩水を注いだときは、下部だけが着色する (図2)。

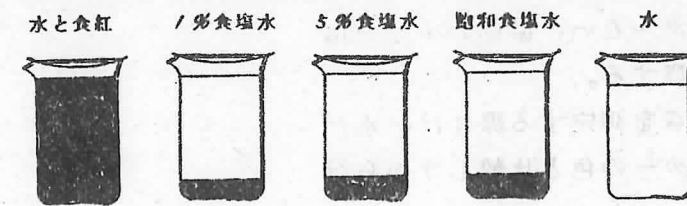


図2 水溶液注入直後の様子

- (3) 2日目の食紅で着色した各種濃度の食塩水の拡散状態は、図3の通りである。
- (4) 最初は、はっきりしていた境界面が、2日目にはぼやけてくる。

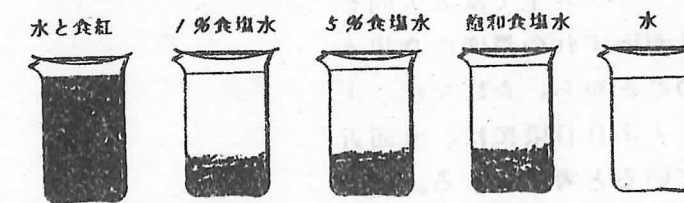


図3 2日目の拡散の様子

- (5) 5日目には、各種濃度の食塩水の拡散が液全体のほぼ半分位まで進んでいるの

が確認できる (図4)。



図4 5日目の拡散の様子

- (6) 食紅で着色した各種濃度の食塩水の拡

散状態は、表1のような結果を得た。

表1

経過日数	1日目	3日目	5日目	7日目	9日目	11日目	13日目
着色した食塩水							
1% 食塩水	2.8	4.5	6.0	7.0	8.2	9.0	9.5
5% 食塩水	3.0	4.8	6.2	7.0	8.5	9.2	9.7
飽和 食塩水	2.3	4.7	6.0	6.0	6.0	7.0	7.0

(cm)

4 留意事項

- (1) ため置きの水も各種濃度の食塩水も室温になるまで放置する。
- (2) 活栓付きろうとに接続するガラス管は、先を細くして使う。
- (3) トールピーカーは、温度変化が少なく、直射日光が当たらない、振動の少ない場所に置いて観察する。
- (4) 着色部の高さを測定する際には、水だけ入れたピーカーの色と比較しながら行う。

おわりに

13日目に、水面近くの液をスポイトで1滴ずつ取り、スライドガラス上で蒸発乾固をしてみると白い結晶がいずれの濃度の食塩水にも見られた。このことから、食紅を使って着色した食塩水は、13日目頃には、水面近くまで拡散してきていると考えられる。

しかし、視覚的には、拡散していないように見えるので、観察の仕方に問題点があったと考えられる。再実験をして確かめていきたい。

参考文献

- (1) 志田正二 化学辞典 1981年 森北出版
- (2) 図解実験観察大事典 化学 昭和57年 東京書籍
- (3) つまづき教材内容に関する実証的研究 昭和59年 東京書籍

(さくはら いつを 化学研究室 研究員)

高校理科IIにおける「水」の教材化 — 琴似発寒川における河床生物膜の調査 —

鈴木 哲

はじめに

河床のれきは膜状の付着物で覆われている。そこには、砂や粘土のほかにも多くの生物が生息している。この付着物中に微生物が多く生息する場合、一般に生物膜と呼ぶ。

この河床生物膜の組成は、水質及び水温、流速、照度などの影響を受けるため、河川の様子を知るための指標として極めて有効である。

また、生物膜は水質を浄化する働きを持っており、その能力を知ることは、河川の働き及び河川の水質管理を考えるうえで、貴重な学習体験となる。

表1 学習の観点(領域別学習課題)

領域	学習課題
化学的領域	(化学的分析法の実習) pHの測定、滴定によるCOD(化学的酸素消費量)及び乾燥重量・強熱減量(有機物量の定量)の測定
物理的領域	(物理的環境観測法の理解) 気温・水温及び流速・流量(河床面積の測定を含む)などの現地観測
生物的領域	(水中生物相の観察) 生物膜に生息する微生物の顕微鏡観察
地学的領域	(底質組成の観察) 砂れき及び粘土の付着状況や色の観察
総合的領域	河川流況・汚染の観察 河川内での化学的・生物的反応の理解 試料採取の方法

ここでは、直接自然に接する現地調査を重視し、表1の領域別学習課題に示した水質(CODを代表させる)や流速の基本調査を行う。さらに、河床れきへの生物膜の付着状況や生物膜の組成を実際に調べ、生物膜生成のメカニズムなどを分析的・総合的に考察する。

また、環境学習には、自然のしくみの理解をはじめ、自然を尊重する態度の育成、人間と自然とのかかわりについての理解と認識を深めるなどの根本的課題がある。これらの課題に対処するため、河床生物膜を中心とした学習の観点及び内容、自主的・自律的学習、実践活動などの点から、その有効性について考察する。

1 調査方法

(1) 対象河川

札幌市西区を貫流する琴似発寒川を中心とした都市河川を対象とした。琴似発寒川は流域面積100.6km²、流路延長16.6kmの河川で、新川に合流したのち石狩湾に注いでいる。

図1に対象河川の略図及び試料採取地点を示す。



図1 琴似発寒川周辺図

琴似発寒川は、

(i)上流部の水源は水道水供給源（西野取水場）として使用されている。(ii)都市排水の流入程度は極めて少ない。(iii)河床の勾配が急なため、洪水氾濫防止と土石流防止の治水対策としてのダム及び流路工（川岸をコンクリートブロックで護岸し流路を固定するとともに、低くて横に長いせきを、適当な間隔をとり連続的に配置して、河床の傾斜を緩やかにする）が随所に施されている。(iv)砂防環境整備事業により、河川敷内に広場、テニスコートが整備され、市民利用が盛んである。(v)近年、サケの遡上が話題になっている。

などの特徴をもつ。

(2) 調査・分析方法

① 温度の測定

気温：棒状温度計を用い、採取現場で地表より少なくとも1m離し、直射日光を避けて測定する。

水温：棒状温度計を用い、対象とする水の中に球部が全部浸るように温度計を入れ、液温安定後、測定する。

② pHの測定

ハンディーpH計を用い測定する。また、pH試験紙（ろ紙の細片に適当な指示薬溶液をしみこませ乾燥したもの）を対象とする水に浸して呈色させ、標準変色表と比べる方法も簡便である。

③ 流速の測定

フィルムケースに、風などの影響を受けぬよう水を九分目程入れたものを用い測定する（飲料水の空き缶も利用可能である）。

④ 水質分析

COD(化学的酸素消費量)の測定

準備 0.002mol/l 過マンガン酸カリウム溶液、硫酸(1+3)、0.005mol/lシュウ酸溶液、10%水酸化ナトリウム溶液、ビュレット、ホールピペット(10ml)、メスシリンダー(100ml)、駒込ピペット(5ml)、三角フラスコ(200ml)、三脚、水浴、スタンド

<過マンガン酸カリウム溶液の標定>

- (1) 三角フラスコにシュウ酸溶液10ml、硫酸10ml、純水を適量入れる。
- (2) ビュレットより三角フラスコに過マンガン酸カリウム溶液を滴下し、わずかに赤紫色になった時を、滴定終点とする。
- (3) 純水10mlを取り、同じ操作((1)~(2))を行い、そのとき消費された過マンガン酸カリウム溶液の液量を測定し、(2)の方法で得られた滴定値より差し引く。
- (4) 滴下した過マンガン酸カリウム溶液の液量(ml)から、次式によりファクター(F)を求める。

$$F = 0.01 \times \frac{\text{シュウ酸の採取量(10ml)}}{\text{過マンガン酸カリウム溶液の滴下量}} \quad (\text{整理})$$

	標定1	標定2	標定3
標定滴定値 (ml)			
①			
空滴定値 (ml)			
②			
F(ファクター)	$0.01 \times \frac{10}{(1)-(2)}$		
③			

方法

- (1) 試料水50mlを、三角フラスコにとり、10%水酸化ナトリウム溶液10mlを加える。
- (2) 過マンガン酸カリウム溶液10mlを加えて、煮沸水浴上に正確に15分間保つ。
- (3) 次に硫酸10mlと、シュウ酸溶液10mlを加え、三角フラスコをよく振って混ぜる。
- (4) ビュレットより三角フラスコに過マンガン酸カリウム溶液を滴下し、溶液全体がわずかに赤紫色になるまでに要した液量A(ml)を測定する。
- (5) 純水50mlを取り、同じ操作((1)~(4))を行い、そのとき消費された過マンガン酸カリウム溶液の液量をB(ml)を測定する。

リウム溶液の液量をB(ml)を測定する。

(6) 過マンガン酸カリウム消費量(COD)は、次の計算により求める。

$$\text{COD} = \frac{1000}{V} \times F \times (A - B) \quad (\text{meq/l})$$

(結果の整理)

	試料1	試料2	試料3
試料採取量 (ml)			
④			
滴定値 A(ml)			
⑤			
空滴定値 B(ml)			
⑥			
過マンガン酸 カリウム消費量 (meq/l)			
⑦ = (1000/④) × ③ × (⑤ - ⑥)			

⑤ 生物膜の組成分析

乾燥重量・強熱減量(有機物量の定量)の測定

準備 アルミ箔、バット、歯ブラシ、メスシリンダー、磁性蒸発皿、水浴、電気乾燥器、天びん、三脚、三角架

方法

- (1) 石の採取
川の中に入り、生物膜の付着した石を採取する。
- (2) 生物膜の採取
れきの水面側に付着した生物膜を歯ブラシで静かにはがし、純水で洗浄しながらバットに受ける。バット上の生物膜の混入した水を標本びんに移す。
- (3) 生物膜の付着部面積の測定
生物膜の付着部分の周囲をマジックで印を付ける。その部分をトレーシングペーパーで覆いなぞり、アルミ箔を張り付け切り

取った後、アルミ重量を測定し、単位面積重量から換算して膜面積を求める。

(4) 乾燥重量の測定

メスシリンダーを用い、生物膜を磁性蒸発皿にとり、水浴上で蒸発させる。その後、電気乾燥器(105℃)で2時間乾燥後デシケター中で放冷し、乾燥重量を測定する。

(5) 強熱重量の測定

乾燥重量を測定した後、約600℃で3時間強熱後デシケター中で放冷し、強熱重量を測定する。

(6) 乾燥重量・強熱減量の計算

乾燥重量、強熱重量から算出する。

$$\text{乾燥重量 (g/cm}^2\text{)} = \frac{\text{乾燥重量} - \text{蒸発皿重量}}{\text{単位面積}}$$

$$\text{強熱減量 (g/cm}^2\text{)} = \frac{\text{乾燥重量} - \text{強熱重量}}{\text{単位面積}}$$

(結果の整理)

	試料1	試料2	試料3
磁性蒸発皿No.			
蒸発皿重量(g)			
①			
乾燥重量(g)			
②			
強熱重量(g)			
③			
付着部面積 (cm ²)			
④			
乾燥重量 (g/cm ²)			
⑤ = (② - ①) / ④			
強熱減量 (g/cm ²) (有機物量)			
⑥ = (② - ③) / ④			
強熱減量 × 100 乾燥重量 (%)			
⑦ = (⑥ / ⑤) × 100			

⑥ 生物膜に生息するプランクトンの顕微鏡観察

方法

生物膜を観察し、生物膜に生息するプランクトン（珪藻、緑藻、藍藻、動物性プランクトンのおおまかな分類）、微生物の集塊、後生動物（イトミミズ、線虫、貝類、昆虫など）を区別する。

（結果の整理）

	試料1	試料2	試料3
顕微鏡観察結果			

2 結果及び考察

(1) サンプルング方法

① 同一地点における方形枠でのサンプルリング

同一地点においてもサンプルリング等による分散が考えられるので、図2に示した通り、方形枠(1m×1m)を使って5箇所の石を採取し、調査を行った。同時に、歯ブラシを使っての生物膜の取り方などについても考察した。

生物膜付着状況の分散の程度を把握するため、乾燥重量と強熱減量の関係から考察した。

結果は図3に示す通りの相関関係がみられ、歯ブラシの使用によるものを含めても、分散の程度は極めて小さい。

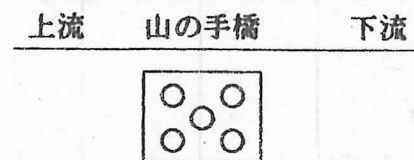


図2 方形枠によるサンプルリング

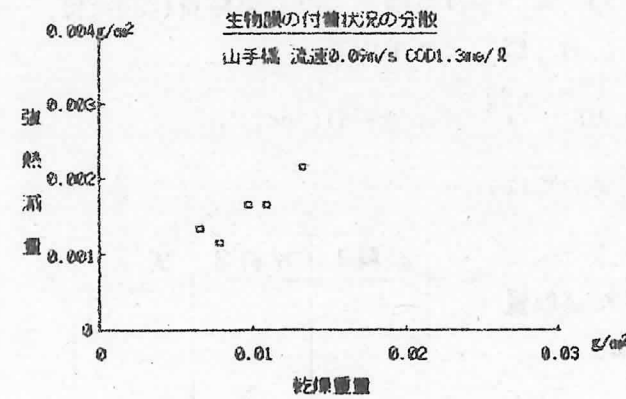


図3 生物膜の付着状況の分散

② 同一地点における水平方向のサンプルリング

同一地点における水平方向のサンプルリングについて、水深及び流速の異なる地点の石を採取し、調査を行った。

サンプルリング方法を図4・図5に、結果を図6・図7に強熱減量/乾燥重量と水深及び流速との関係で示す。

上流	寒月橋	下流
	○左岸	
	10cm	
	25cm	
	40cm	
	55cm	
	65cm	
	70cm	
	○右岸	

図4 水深の違いによるサンプルリング

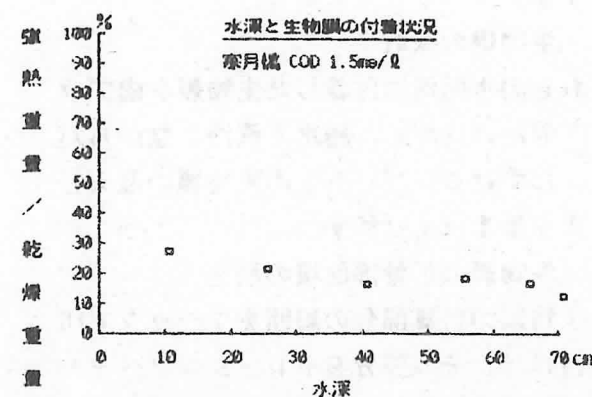


図5 水深と生物膜の付着状況

上流	なかよし橋	下流
	左岸	
	0m/s	
	0.15m/s	
	0.19m/s	
	0.10m/s	
	0.07m/s	
	0m/s	
	右岸	

図6 流速の違いによるサンプルリング

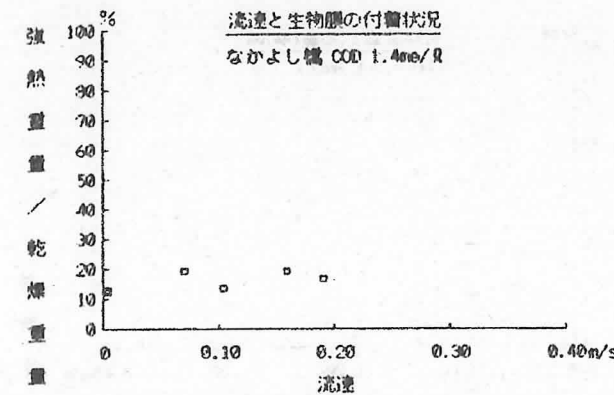


図7 流速と生物膜の付着状況

川の幅が広く、右岸（下流に向かって右側）寄りと左岸（下流に向かって左側）寄りとの、流れの速さ及び光の到達度（照度、水深）・水質（CODなど）が違ふことが予想される河川においては、それらを考慮したうえで採取地点を選定することが必要である。

文献等によると、一般には同じような流れの状態のところで行い、流速0.3~0.5m/s、水深30cm位で川底にこぶし大の石が多い場所が望ましいと言われている。

表2には視覚による流れの速さと流速を記す。

表2 視覚による流れの速さと流速

視覚による流れの速さ	流速
ゆっくりした流れ	0.1~0.2m/s
ふつうの流れ	0.3~0.5m/s
速い流れ	1m/s
すごく速い流れ	2~3m/s

③ 同一河川での上・中・下流域でのサンプルリング

零似発寒川の上流部より下流部に向け、地点IからVまでの採取を行った。サンプルリングの位置は、②の調査結果を参考にする。

採取地点及び流程による生物膜の付着状況の変化の結果を図8・図9に示す。

上流	零似発寒川				下流
I	II	III	IV	V	
どんぐい橋	右股橋	山の手橋	なかよし橋	寒月橋	

図8 採取地点(流程変化)

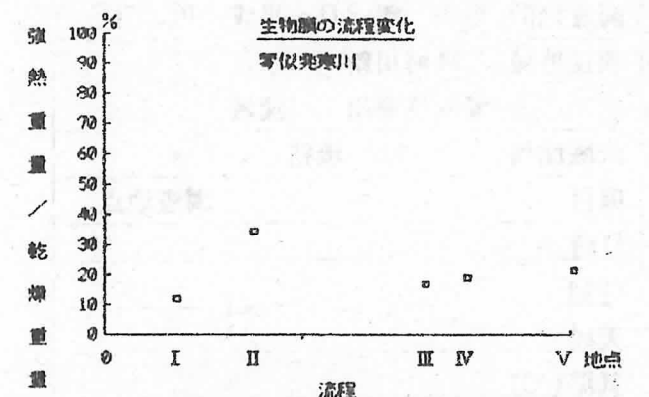


図9 生物膜の流程変化

有機物量(%)は、どんぐい橋と右股橋の中間点付近で、水質の著しく異なる水の流入があり、II地点(右股橋)において著しい増加がみられた。また、下流部になるにしたがい住宅密集地域を貫流するため、徐々に増加する傾向となった。

同一河川における数箇所でのサンプルリングは、川の流れに沿って適当な距離をおいて採取地点を決める。地点間の距離は、川の大きさや、調査の目的によっても違ふが、あとで川全体の水質地図をつくるような場合には、あまり離れないようにする。

支川や工場、処理場などからの、水質が著しく違う水が流入するところでは、流入点の上流側と、下流側で流入水がよく混じり合った地点とを調べるとよい。

(2) 生物膜付着量について

河床れきに付着した生物膜の一般的組成を、物理的及び化学的環境との関連に注目して調査した。流速や気温そして照度などの河川環境は、流況や気象条件によって絶えず変化している。生物膜の付着したれきを取り巻く、日々刻々の環境を表現することは難しい。

ここでは、調査前比較的好天が続く、流況が安定して、測定したデータが、局地的なれ

表3 調査・分析表

No.	調査・分析表
調査期間	平成 年 月～平成 年 月
調査地域	二級河川新川 水系 琴似発寒川 流域
流域面積	km ² 流路 km
項目	調査地点
日時	
時刻	
天候	
気温(°C)	
水温(°C)	
pH	
川底の状態	
流れの速さ(m/s)	
水の色やその他気付いたこと	
COD(meq/l)	
生物膜採取水深(cm)	
乾燥重量(g/cm ²)	
強熱減量(g/cm ²)	
(強熱減量/乾燥重量)×100 (%)	
(顕微鏡観察結果所見):	

き周囲の流れ環境を、説明できると思われる河川の調査結果に基づいて考察する。表3には水質調査・分析結果一覧の様式の例を示す。

① 流速との関係について

れき上水表面の流量とれき付着生物膜の乾燥重量、強熱減量、強熱減量/乾燥重量との関係を図10・図11・図12に示す。

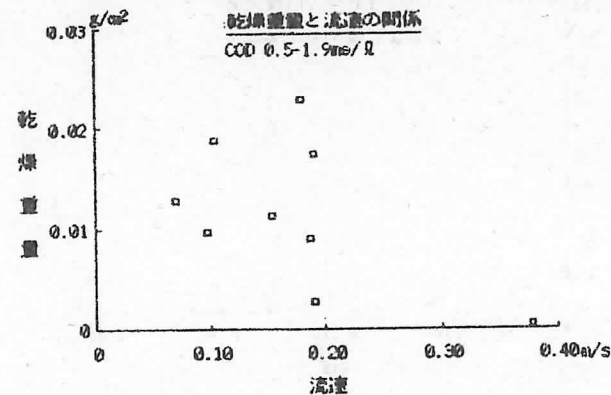


図10 乾燥重量-流速

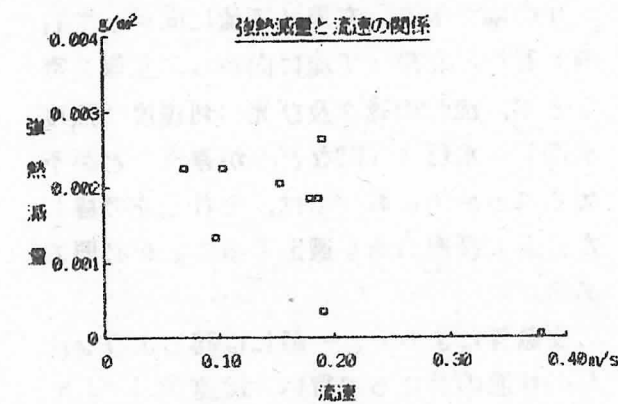


図11 強熱減量-流速

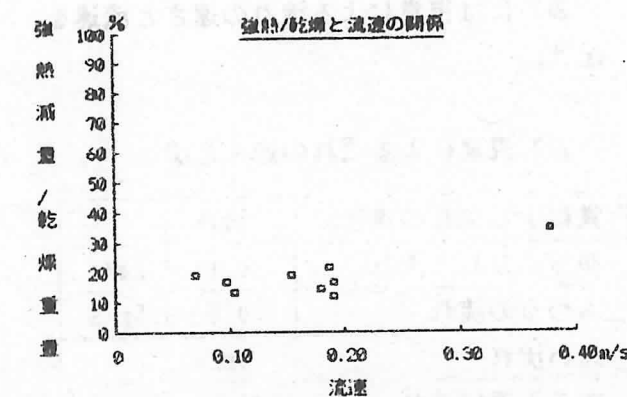


図12 強熱減量/乾燥重量-流速

乾燥重量及び強熱減量は流速の増加とともに減少する。

また、乾燥重量の方がこの傾向が著しいため、流速の増加とともに強熱減量/乾燥重量が増加し、有機物量の割合が増加する傾向にある。

水表面流速が0.1～0.2 m/s程度になると有機物が約10～20%占めることがわかる。

② 水質との関係について

れき付着生物膜の乾燥重量及び強熱減量と、水質(COD)との関係を図13・図14に示す。

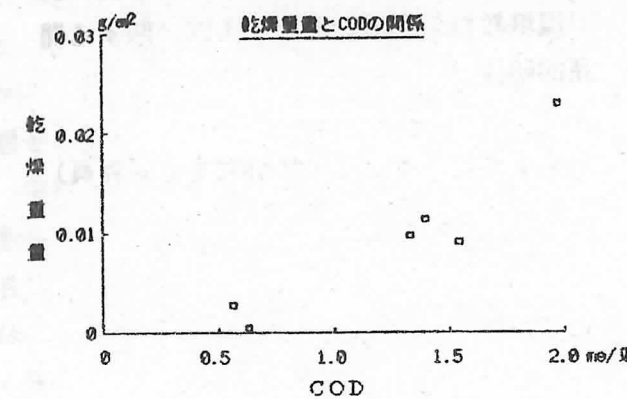


図13 乾燥重量-COD

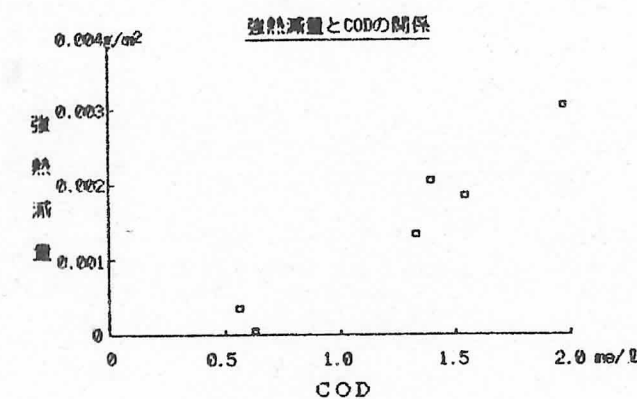


図14 強熱減量-COD

同じような流況の地点で採取した場合、乾燥重量及び強熱重量は水質(COD)と対応することがわかる。

(3) 各調査地点の長期間観察及びサンプリング

水温や流速・流量など気象条件との対応

数箇月さらには1～数年間に及ぶ長期間の調査をする場合には、水温の変化を考慮して調査する必要がある。

1年1回の調査を継続する場合には、成長の著しい春から夏に調査するのがよい。また、同じ時期・場所で調査をするようあらかじめ決めておくのが望ましい。

調査前の数日間に雨が降って増水した場合には、生物の流出がありうるので、雨の降る前の状態にもどるのを待って調査したほうが望ましい。

なお、表3の調査・分析表は各調査ごとに作成する。

(4) 河床生物膜についての総合的考察

調査・分析表をもとに、以下の観点から考察を深める。

- (i)河床生物膜と水質汚染との関連、流況との関連、水質浄化との関連について。
- (ii)汚染指標としての有効性とその利用について。
- (iii)サンプリングならびに現場測定の問題点について。

3 おわりに

高校理科IIにおける「水」の教材化については、様々な形態で取り組みがなされている。とりわけ教材化に向けての、指導のねらいや指導内容・方法、さらにはそれらの指導上の工夫等についての報告が多い。

身近な自然に学ぶ環境学習活動は、生徒一人ひとりが直接野外に出かけ観察することでより学習が深められる。

特に、北海道は広い大地に、豊かな自然が四季折々に展開する特色を有しており、その自然を積極的に活用し、学習活動を展開することで、その効果を高めることが十分期待できる。

また、自然に対する総合的な見方・考え方についても、その対象とする範囲が、地域的、局地的な区分に留まらず、地球的規模の視野に立ち、種々の環境問題を考えることが望まれる。

人間活動とのかかわりで、環境としての河川

の水質を把握するには生物化学的酸素消費量(BOD)・塩化物イオン・窒素・リンなど調査項目は数多い。

しかし、それらのほとんどは特別の機器などの使用や高度の測定技術を要する。

河床生物膜の調査・研究は、

(i)石の採取、生物膜のはく離、付着面積の測定、乾燥、重量測定など、極めて簡単な操作で高度の技術を要しない。

(ii)歯ブラシ、蒸発皿、乾燥器、バーナーなどの使用器具が手近にある。

(iii)現地調査、サンプリング、測定、考察等の有機的結合による学習活動で、生徒が興味・関心をもち、自主的・自律的な学習・調査活動が行える。

(iv)生物膜の直接的観察結果とその有機物量としての定量化との相関など、結果が明確でその説明が容易である。
などの利点が多い。

また、

(v)現地調査を通して、自然のありのままの姿を正しく把握し、認識することができる。

(vi)人間活動と環境のかかわりについて、分析的・総合的に判断し、理解と認識を深めることができる。

など、環境学習の観点からも、大きな学習効果が期待できる。

謝辞

本調査を進めるにあたり、適切な指導と助言をいただいた北海道大学工学部橋 治国助手、試料採取に協力していただいた北海道立理科教育センター柳川克人長期研修員に感謝の意を表します。

参考文献

文部省(1978):「高等学校学習指導要領」,大蔵省印刷局

国立教育研究所内環境教育実践研究会編(1983)

:「環境教育のあり方とその実践」,実教出版

環境庁編(1988):「みんなで楽しくよりよい環境を求めて」,大蔵省印刷局

半谷高久著(1960):「水質調査法」,丸善。

日本分析化学会北海道支部(1981):「水の分析」,化学同人。

橋 治国ほか(1988):「河床生物膜の組成と水質浄化能」,衛生工学研究論文集。

北海道開発局(1984):「北海道一級河川の水生生物による水質の簡易調査結果」。

札幌市教育委員会編(1988):「さっぽろ文庫44川の風景」,北海道新聞社。

小倉紀雄著(1987):「調べる・身近な水」,講談社
札幌稲北高校環境教育研究実践グループ(1985):「環境教育の指導計画及び実践に関する開発的研究」。

(すずき さとし 化学研究室 研究員)

北海道に生息するカエル類

白井 馨

はじめに

北海道に生息するカエル類についての報告としては、岡田(1930, 1966), 中村・上野(1963), 白井(1971)などがある。岡田は、北海道に分布するカエル類として、エゾヒキガエル(*Bufo bufo hokkaidoensis*), ニホンアマガエル(*Hyla arborea japonica*), エゾアカガエル(*Rana temporaria chesinensis*) ヤマアカガエル(*Rana ornativentris*)の4種類をあげている。

中村・上野は岡田が北海道の南西部にのみ生息するヒキガエルとして、エゾヒキガエルと命名したものを、本州に広く分布するヒキガエル(*Bufo bufo japonicus*)と同種とし、北海道での生息が自然分布かどうか疑わしいと述べ、さらに、*Rana*属としてはエゾアカガエルのみが生息し、ヤマアカガエルは見られないとしている。したがって、中村・上野によれば、北海道に生息するカエル類は3種類ということになる。

筆者は1971年に、北海道南西部での調査結果から、北海道には少なくとも4種類のカエル、すなわち、ヒキガエル、アマガエル、エゾアカガエル、ウシガエルが生息することを報告した。

このように、北海道におけるカエル類の分布についての研究は少なく、最近では、エゾヒキガエルの分類学上の位置(本州のヒキガエルとの遺伝的關係など)についての研究がいくつか報告されているだけである。

このような状況のもとで、筆者と研究室のスタッフは、1986年9月に札幌市郊外において、これまで北海道には生息しないとされていたツチガエル(*Rana rugosa*)の成体を採集した。その後の調査により、最初の発見場所の近くや、道内の他の地域でも同種の生息や繁殖が確認さ

れた。北海道に生息するカエルが1種類ふえたことは、生物地理学的にきわめて大きな意義をもっている。

ここでは、これまで行った調査の結果から、主として北海道南西部におけるカエル類の分布について説明し、本州におけるそれと比較することによって、北海道の生物地理学上の特徴を考察してみたい。最後に、北海道に生息するカエル類の教材性についても論じてみたい。

1 北海道に生息するカエル類とその生態

1966年より、北海道南西部、札幌市郊外において行った調査や、他の地域で採集された標本をもとに、北海道で生息が確認されたカエル類は次の5種である。

- ・ヒキガエル(*Bufo bufo japonicus*)
- ・アマガエル(*Hyla arborea japonica*)
- ・エゾアカガエル(*Rana chensinensis*)
- ・ウシガエル(*Rana catesbeiana*)
- ・ツチガエル(*Rana rugosa*)

以上5種のうち、アマガエルとエゾアカガエルの2種は全道的に分布するが、ヒキガエルとウシガエルは函館付近の限られた場所では確認されておらず、その数も少ないので、研究対象として貴重な種類である。また、北海道におけるツチガエルの採集と、その幼生についての記載は、ここでの報告が最初である。

それぞれのカエルについて、これまでに得られた結果を記述する。

(1) ヒキガエル

ヒキガエルは函館市谷地頭町から元町にかけての函館山麓から中腹、湯の川付近の日吉町滝沢町にのみ生息する種類で、北海道の他の地域で採集された報告はない。この種は本州に広

く分布するヒキガエルの亜種として、岡田によりエゾヒキガエルと命名された。しかし、形態、生態を調査した結果では、やや小型であることを除いては、本州のヒキガエルとの相違は認められず、この種はかなり以前に本州から人為的に移されたものと考えられる。したがって、本州のヒキガエルと同種として扱うべきで、ヒキガエルと呼ぶべきであると考ええる。中村・上野も、筆者と同様の考えからヒキガエルと命名している。このカエルは函館付近でその分布を広げており、かつては生息しなかった函館市の東部方面（日吉町、湯の川町、見晴町）でも産卵が確認されている。これらの分布は人為的なものと考えられる。

ヒキガエルについては1966年から4年間、形態や生態を調査した。以下、その結果について記述する。

函館で採集されたヒキガエルと本州のヒキガエルとの間に、色彩、形態の差は認められなかった。しかし、採集個体（雄44匹、雌15匹）の平均体長は雄9.5 cm、雌10.5 cmで本州産のヒキガエルの平均体長、雄13.4 cm、雌13.3 cmより小さかった。この原因として、函館産の餌をとる期間が短いことが考えられる。

産卵場所として確認されたのは、函館市営谷地頭温泉の近くにある2箇所の池だけで、その近くには他にも池があるがそこには産卵せず、この種は産卵池の選択性がきわめて強いことが

わかった。産卵期は毎年殆ど変わらず、4月下旬から5月上旬にかけての数日で、この間に多数の雌雄が産卵池に集合する（第1表）。まず産卵1～3日より越冬場所（産卵池を中心に約50 m周辺で越冬する個体が多い）から産卵池へ向かって移動を開始する。この移動は夜間に限られ、午後8時頃より開始し翌朝まで続くが移動中の個体群を調査すると、雌雄が抱接したものと単独の雄のみで、単独で池に向かう雌は見あたらない。この現象より、成熟した雄はすべて産卵池へ向かうが、雌は産卵可能な個体のみが産卵池へ移動するものと考えられる。産卵を終えた雌はただちに池より姿を消し、雄はそのまましばらく池に残るので、池の中の雌雄の比は雄が圧倒的に多い（第1表）。産卵は僅か3～5日間で終わり、その後は雌雄とも池より姿を消すので、すべての産卵可能な雌がこの期間に池に集合することになり、4年間の観察ではこの種の雌が非常に少ないことが考えられるが、これが性比の差によるものか、他の原因によるかは不明で、今後解明したい問題である。

産卵終了後、池には多数の紐状の卵塊が見られ、卵はただちに発生を開始し、約60日後には変態を完了した無数の幼蛙が陸上にはい上るのが観察される。

産卵数は2000～5000個、卵の大きさは2.0～2.3 mmである。

第1表 エゾヒキガエルの産卵期および雄、雌の比

観察年度	産卵池へ移動開始日	産卵開始～終了日	産卵池における雄、雌の比
1966年	4月27日	28日～5月2日	雄：雌=140匹：45匹 =3.1：1
1967年	4月25日	27日～30日	雄：雌=130匹：33匹 =3.9：1
1968年	4月26日	29日～5月2日	雄：雌=80匹：23匹 =3.5：1
1969年	5月3日	5日～7日	雄：雌=105匹：29匹 =3.6：1

(2) アマガエル

アマガエルは函館山表側の山麓一帯に生息し、水溜まりなどに産卵しているが、その数は多くはない。函館山全体としては、アマガエルの生息場所としてはあまり適していないようである。この種は市内でも湿地帯や適当な水辺のあるところでは採集できる。一方、郊外に出ると水辺の草の上や、森、水田などいたるところに生息しているが、小型であることと、体色変化をして周囲の色に似せるので発見しにくく、数多く採集するには相当の時間がかかる。全道的に分布していると考えられ、釧路地方でも生息が確認されている。産卵期は6月～8月で、産卵数は250～500個、卵の大きさは1.3～2.0 mmである。

(3) エゾアカガエル

エゾアカガエルは函館山には生息しない。このカエルは山地を好んで生息する種類なので、函館山に生息しないことは、生態学上、生物地理学上興味ある問題である。郊外に出ると海岸地帯を除いて、広く分布し、函館市赤川町一帯の水田、水溜まりには産卵期になると多数集まり、一度に多くの成体と産卵直後の卵の採集が可能である。全道的に広く分布する。産卵期は4月上旬～5月下旬で、産卵数は500～1000個、卵の大きさは1.5～2.0 mmである。

(4) ウシガエル

ウシガエル（ショクヨウガエル）は1947年頃、養殖のため本州より函館に移入されたものであるが、現在、湯の川町、亀尾町付近の沼池、五稜郭公園の掘などで野性化しているのが確認され、今後さらに生息範囲を広げるものと思われる。しかしその数は少なく、幼生は採集できるが、成体の採集は非常に困難である。この種が北海道にも生息することはこれまで報告されておらず、函館付近における周年の生態、幼生が変態までに要する日数、本州産のものとの形態的相違など、興味ある問題が多く残されている。産卵期は6月～8月、産卵数は10000～20000個、卵の大きさは1.2～2.0 mmである。

(5) ツチガエル

このカエルは北海道には生息しないことになっていたが、1986年9月、筆者等によって、札幌市南区滝野の池で体長5.7 cmの雌1個体が発見された。その後の調査により、札幌市南区常盤にある池、留萌管内羽幌町にある池などでも相次いで採集された。

常盤の池での観察では、62年6月3日と23日に産卵直後の卵が発見された。卵はアシなどの水草に生みつけられており、黄褐色で、大きさは1.5 mmと小さかった。6月3日には後肢完成期、23日には尾部退化初期、6月30日には尾部退化中期の幼生が採集されたことから、6月には産卵と前年にふ化した幼生の変態が起こることがわかった。また、この時期には前年変態したと思われる25～33 mmの亜成体も多く採集された。9月26日には、多くの幼生が採集され、その中には、後肢の出た個体もみられた。これらのことから、その年にふ化した幼生はいろいろな段階で、最も進んだ段階としては後肢形成第5期で越冬することがわかる。

常盤の池における上記の観察から、自然分布は間違いないものと考えられる。

10月9日に多数の成体と亜成体を採集したが、成体の体長は、雌で平均52.4 mm、雄で平均46.6 mmで、本州産のものと差はなかった。

産卵期、産卵数、卵の大きさについては、さらに調査したい。

2 本州に生息するカエル類との比較

本州には13種のカエルが生息する（中村・上野、1963）ので、北海道のカエルの種類はきわめて少ない。北海道に生息する5種は全て旧北区系種で、東洋区系種はいない。5種のうち、エゾアカガエルはサハリンにも分布し、ヒキガエル、アマガエル、ウシガエル、ツチガエルは本州に広く分布するので、北海道の固有種はない。このように、北海道のカエルの分布と本州のそれとの間には明確な区別はできないが、本州に生息する種類のうち北海道の自然に

適応できた種類が残ったと考えるべきであろう。

3 生物教材としてのカエル類

生物実験には、その目的により、さまざまな生物が使用されるべきであるが、セキツイ動物を用いる実験には、カエルの使用が望ましいものも多い。高等学校における生物教育においても、血球観察、赤血球と浸透圧、心臓摘出・拍動、絨毛運動、骨格筋の収縮、脊髄反射、体色変化、受精と発生、組織と器官の観察などの実験には、カエルが最も適した材料である。北海道に生息するカエルはわずかに5種類なので、この中から実験材料を選ばなければならないが、大型であるウシガエルとヒキガエルとがすべての実験に適している。しかし、両種とも函館付近にしか生息しないし、その数も少ないので、実際には教材としては利用できない。しかし、生物クラブなどの研究対象として、興味ある種類である。

アマガエルは北海道に広く分布するので、採集に時間さえかければ、多数手に入るので、教材として十分利用できる。ただ小型なのが欠点である。

エゾアカガエルは生息範囲も広く、産卵期に郊外に足をのばせば、多数の卵を採集できる。産卵数も多く、産卵期である4月はまだ水温も低く、卵の発生の進み方も遅いので、発生初期の卵も採集しやすい。また、産卵池には抱接した雌雄が多数集合するので、それらを採集して実験室に持ち帰れば、2～3日後に産卵する個体が多い。卵の大きさも適当であり、発生段階表も作成されているので、北海道のカエルのなかでは発生の観察、実験の材料として最も適している。アマガエルとウシガエルの卵は小さいので、発生の観察、実験の材料としては適さない。

最近発見されたツチガエルは、予想以上に個体数が多く、今後の調査によって、さらに生息地も見つかるものと予想され、将来、生物教材としての利用が期待される。

以上、生物教材としてのカエルの利用について述べてきたが、全国の学校で実験に使用されるカエルは、おびただしい数にのぼるであろう。実験のためにカエルを殺すのはやむをえないことであるが、最近のカエルの減少を考えると、その犠牲を無駄にしないよう有効に活用しなければならない。

参考文献

- 1) 岡田 弥一郎 「日本産蛙総説」
岩波書店 1930年
- 2) Y. Okada 「Fauna
Japonica Anura」
1966年
- 3) 中村、上野 「原色日本両生は虫類
図鑑」 保育社 1963年
- 4) 白井 馨 「生物教材としてみた函
館付近の両生類」
研究紀要(第8号) 北海道高等学校
教育研究会 1971年

(しろい かおる 生物研究室長)

蝶類の種間交雑に関する研究 (I)

— キアゲハを母蝶とする交雑実験の結果と分析 —

青 山 慎 一

はじめに

Mayer (1969) は種を「同種は互いに交配可能な自然集団の群であり、異種とは生殖的に隔離されている」と定義したが、最近の自然分類に関する実験的手法は、この定義について様々な波紋を投げ掛けている。

種としての分化が完全であれば異種間の交雑は起こらないが、分化が不完全な近縁種が同一地域内に混棲している場合、分類上別種とされているものの間でも交雑が行われ、雑種が造られることもある。

具体例はいずれも稀ではあるが、こうした異種間交雑は多くの動植物において広く認められ、昆虫類では双シ目(ショウジョウバエ)、鞘シ目(オサムシ、カミキリムシ)、鱗シ目(チョウ、ガ)などについて自然状態における異種間交雑の例が報告されている。

筆者は本研究において、蝶類の類縁関係の解析と地理分布から、小進化(種分化)への教材化に注目したが、ここでは、誌面の都合から、蝶類に見られる自然交雑種と、キアゲハを母蝶とした人為交雑種について述べる。

1 蝶類における自然交雑種について

日本産の蝶について、分類上別種とされる近似種間の自然交雑種は、次の3組について知られている。

- (1) クモマツマキチョウ×ツマキチョウ
クモマツマキ *Anthocharis cardamines* は

本州中部の標高800～2000mの亜高山帯から高山帯にかけて生息する高山蝶であるが、800m前後の地域では、平地で発生するツマキチョウ *A. scolymus* との間で雑種を造ることがある。

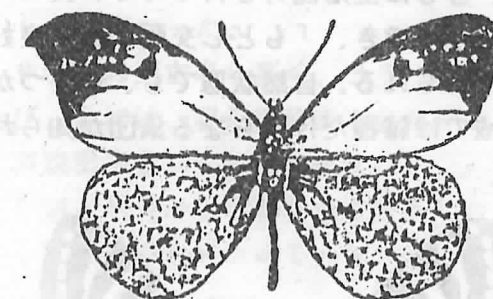


図1 ユキワリツマキチョウ(♂)
ツマキとクモマツマキの自然雑交種

これまで知られているものはわずか数個体で、いずれも♂である。この自然雑種はユキワリツマキチョウと呼ばれ、人為交雑(ハンドペアリング)では、どちらを♀にしても造ることができる。

蝶類は一般に♂の方が♀よりも数日早く羽化し、精子を成熟させて♀の羽化を待っている。この2種の混棲地ではクモマツマキの方が常に7～10日程早く発生するから、自然交雑はクモマツマキ♀とツマキ♂の間で行われているものと思われる。

「もどし交配」は行われていないが、雑種は♂しか出ないことから、すべて不稔であることが予想される。

* F₁(雑種第1代)は、本来、遺伝的に対立した形質をもつ同種間の交雑で得られた雑種に使われる記号であり、異種間の交雑種に使用するのは不適當であるが、ここでは便宜的に使用した。

(2) ギフチョウ × ヒメギフチョウ

ギフチョウ *Luehdorfia japonica* とヒメギフチョウ *L. puziloi* は *Luehdorfia* - Line と呼ばれる分布境界線によって棲み分けているが、境界線上では数箇所混雑地がある。

この両種は色彩や基本的斑紋が酷似しているため、雑交体の判別は困難であったが、人為交雑や詳細な斑紋解析が行われるようになってから、混雑地における雑種がしばしば発見されるようになった。

交雑実験では *F₁ は♂♀とも正常な比率で生じ、ともに生殖能力を持つので F₂、F₃ を造ることができ、「もどし交配」でも良好な結果が得られる。自然状態でも、いくつかの小地域では雑種だけからなる集団が知られている。

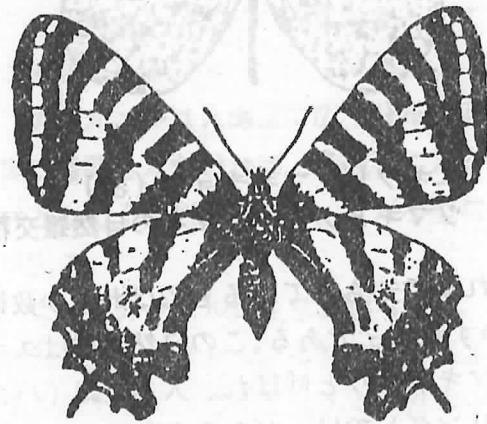


図2 ギフとヒメギフの自然雑交種
(ギフチョウに近いタイプ)

(3) ウスバシロ × ヒメウスバシロ

ウスバシロチョウ *Parnassius glacialis* は本州、四国、北海道の一部に分布するが、ヒメウスバシロチョウ *P. hoenei* は北海道の特産種であるため、この両種の雑種は北海道の混雑地でしか見られない。

この両種は交尾器、食草、分布、幼虫の形態などから明らかに別種であるが、ギフチョウとヒメギフチョウ以上に判別が難しく、雑種については人為的な交雑実験の結果、ようやくその存在が認められるようになった。

人為交雑実験は現在継続中であるが、これまでのところ F₁ では♂♀とも生じ、少なくとも♂には稔性が認められる。

穂別町栄の林道では自然雑種がかなりの頻度で見られ、F₁♂とウスバシロ♀及び F₁♂とヒメウスバ♀との交雑によって生じたと思われる個体も散見される。

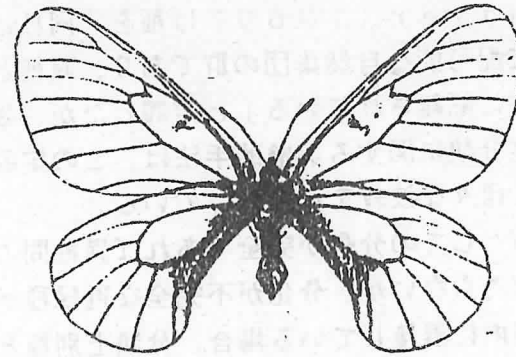


図3 ウスバとヒメウスバの自然雑交種
(ヒメウスバに近いタイプ)

2 ハンドペアリング法による交雑実験とその結果について。

筆者はこれまで数多くの蝶類を材料にして、近縁種間及び亜種間の交雑実験を行ってきた。

このうち、アゲハチョウ科 *Papilio* 属については下表のとおりである。

表1 交雑実験の実施状況

♀ \ ♂	アゲハ	キアゲハ	カラス	ミヤマ	オナガ
アゲハ(ナミアゲハ)	◎	×	◎	◎	
キアゲハ	◎	◎	◎	◎	×
カラスアゲハ	◎	◎	◎	◎	×
ミヤマカラスアゲハ	◎	◎	◎	◎	◎
オナガアゲハ	◎	×	×	◎	

◎ 交雑を実施したもの × 未実施

上記15組の実験例の中から、十分な資料の得られたキアゲハを母蝶とする2例についてその概要を紹介する。

(1) キアゲハ♀ × アゲハ♂

これまで、札幌市郊外で採集した母蝶から採卵・飼育したサナギなどを用い、春型及び夏型を合わせ、8例について交雑実験を行った。いずれも、比較的良好な結果が得られたが、下表は、最も良い成果の得られた1例について飼育の経緯を示したものである。

表2 雑種の飼育経過

	産卵数	受精卵	ふ化数	サナギ	羽化数
個体数	114	89	38	19	13♂
(率)		78%	33%	17%	11%
日数	4	9~12	5~15	8~14	

◆ 交尾

ハンドペアリングは比較的容易であるが、アゲハの♂は腹部が細いので、ペアリング前に十分吸蜜させて腹圧を高くしておくが良い。

交尾の所要時間は短くても60分、長いときには130分以上に及ぶこともある。

◆ 採卵と受精の判別

採卵には主として鉢植のイワミツバを用いた。キアゲハは普通200粒前後産卵するが、飼育能力の関係から80~100卵程度で採卵を中止した。

産卵直後の卵は全体が淡い黄色であるが、受精しているものは1日以内に茶色の受精マークが現れる。さらに卵内で発生が進むと、幼虫の頭部が卵殻から透けて、黒い点のように見える(この状態を発眼と呼ぶ)。

一方、未受精卵は産卵直後と変わらないから、受精卵と容易に区別できる。

◆ フ化と幼虫

フ化率は産卵数に対して25~30%、受精卵数に対しても40~50%程度である。(キアゲハどうしの交配ではそれぞれ80%以上、90%以上である)。受精卵の中には幼虫が卵殻の一部を食い破った状態で死んでいるものが多く、雑交体が虚弱であることを示している。

幼虫の死亡率は50%以上で、とくに若令

での死亡率が高い。

發育状態にはかなりの個体差があり、速いものでは20日でヨウ化(普通は約30日)遅いものでは45日を要した。

色彩、斑紋、形態は全ステージを通してキアゲハに近いが、大きさは両親のどちらよりも小さく、終令でも30mm前後(アゲハの2/3、キアゲハの1/2程度)であった。

◆ サナギ

終令幼虫と同じように全て小型で、形態はキアゲハに似る。色彩は淡黄色に黒い模様を持ち、かなり黒化したものも見られたが緑色のものは無かった。

サナギの死亡率も高く、35~40%にも及び、中には、羽化直前まで分化が進んでいて羽脱出来ないものもあった。

なお、飼育はすべて長日条件下で行ったので休眠状態のものは得ていない。

◆ 羽化と成虫

この組み合わせの交雑実験で34頭の成虫を得たが、すべて♂のみであった。

幼虫・サナギともキアゲハに似ていたにもかかわらず、成虫の形態及び基本的な斑紋はアゲハのものであった。ただ、色彩については全体に黄色味が強く、一部キアゲハの特徴も備えていることが分かる。

開張(羽を広げたときの大きさ)は非常に小さく、50~56mm(アゲハ夏型の約1/2)程度であった。一頭のみ、鱗粉の発達が悪く羽根全体が透き通った感じのものがあつたが、その他のものは形態・斑紋とも安定していた。

羽化した個体の約半数は羽根が伸びきらずに縮んだままのものであった。

なお、裏面の色彩・斑紋については表面の場合と全く同じ傾向が見られた。この実験のペアリングの様子、終令幼虫、及びF₁成虫を図4~図6に示した。

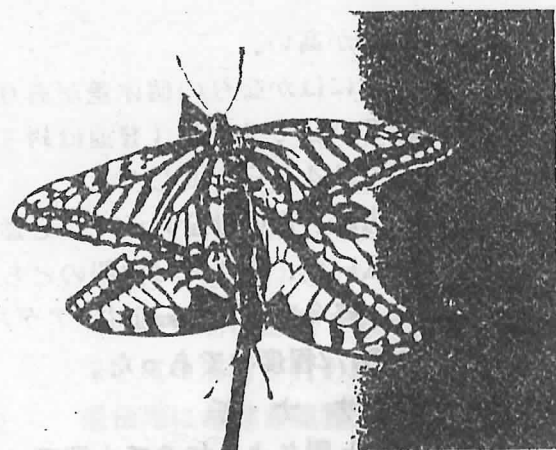


図4 キアゲハ♀とアゲハ♂の交尾
(ハンドペアリング法による)

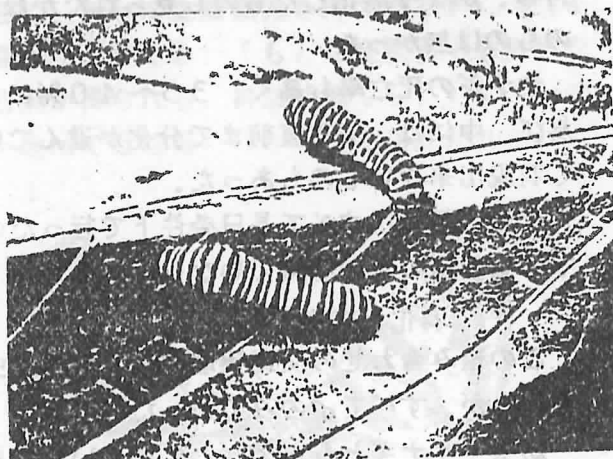


図5 キアゲハ♀×アゲハ♂の終令幼虫
(上方はキアゲハの4令幼虫)

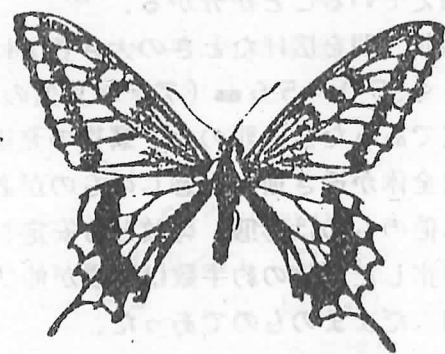


図6 キアゲハ♀×アゲハ♂のF₁

◆ 雑種の稔性

羽根の伸びきらなかった雑種を用いてアゲハ♀、キアゲハ♀との間でそれぞれ「もどし

交配」を試みた。雑種は小型であるうえ、交尾器のバルバ(把握器)の発達が悪く、キアゲハ♀とのペアリングはすべて失敗した。

アゲハ♀とのペアリングも困難であったが1例のみ成功した。サンショで採卵し31卵を得たが、全て未受精卵であった。実験例が少ないので断定は出来ないが、この雑種は生殖能力を持たないものと思う。

(2) キアゲハ♀×ミヤマカラスアゲハ♂

それぞれ札幌市郊外で得た母蝶より採卵し飼育した個体を用い、春型、夏型を合わせて13組について交雑実験を行った。

採卵にはイワミツバを用いたが、このうちの2例についてはペアリングの失敗から受精卵は得られなかった。成功例の中から、最も成績の良かった夏型どうしの交雑の経緯を下表に示す。

表3 雑種の飼育経過

	産卵数	受精卵	ふ化数	サナギ	羽化数
個体数	88	58	20	7	4♂
(率)	100	66%	23%	8%	4.7%
日数	3	8~10	6~8	6~16	10~20

◆ 交尾

ペアリングは同種どうしの場合と同じように、極めて容易である。交尾の所要時間は短いときで50分~60分、最も長いものでは120分を超えた。

◆ 採卵と受精の判別

採卵は鉢植えのイワミツバ及びセリで行い、80~100卵を得たところで中断した。

受精卵と未受精卵の区別は、(1)の場合と同じである。受精率は表2、表3の比較では数値が逆転しているが、実験例全体で比較すると、実験(1)での61.2%に対して実験(2)では69.8%となり、やや高い数値を示した。

なお、受精卵の得られなかった2例につい

ては、ペアリングそのものは成功しているのに、♂の精子が未成熟であったためと考えられる。

◆ フ化と幼虫

受精率に比べてフ化率は非常に低く、全体でも23.3%であった。実験(1)と同じように卵殻から脱出できずに死亡しているものも見られたが、大部分は発眼状態のまま発生が止まったもののようである。

幼虫は全ステージを通じて母蝶であるキアゲハの特徴を備え、父方の幼虫の特徴は全く現れない。しかし、色彩や斑紋には異常が見られ、正常なキアゲハの幼虫とは明らかに区別できる。終令幼虫は体長60mm程に成長するが、地色が黄色味を帯び、黒いストライプが細く、側面の赤紋も淡く小型化してしまうため、非常に脆弱な感じを受ける。

成長にはかなりの個体差があり、サナギになるまでの所要日数は、早いものでは20日(通常は30日前後)、最も遅いものでは2令~3令の期間が異常に長く、全体で42日を要した。

幼虫の死亡率は、特に1、2令の若令時で高く、フ化直後に摂食もせずに死亡するものが多かった。3令以降は比較的順調に发育するが、サナギへの変態に失敗するものがかなり出てくる。

なお、飼育の食草として、フ化直後は母蝶の産卵植物であるイワミツバ、またはセリを、それ以降は父方の食樹であるキハダを与えた。

◆ サナギ

この実験では、全部で23個のサナギを得たが、約半数はサナギへの変態に失敗した奇形のものであった。形態はキアゲハのものによく似ているが、腹部がやや膨らんでおり、全体として「ずんぐり」した感じを受ける。

色彩は淡黄色を基調とし、黒色の斑紋には多少のバリエーションが見られた。

また、幼虫期間の最も長かった個体からは黒色斑紋を持たない淡緑色のサナギが得られ

た。飼育はすべて長日条件下で行なったので、休眠状態のものは生じなかったが、上記の緑色のものは羽化までに20日を要した(通常は10日前後で羽化する)。

◆ 羽化と成虫

この交雑実験で13頭の成虫を得た。交尾器を見るかぎり全て♂のみであるが、ミヤマカラスアゲハ♂の前羽根の基部に見られる性標は全く見られなかった。

サナギの数に対して羽化率が悪いのは、上記のように変態に失敗した奇形のサナギがそのまま死亡してしまったためである。

幼虫・サナギとも母蝶のキアゲハに似ていたにもかかわらず、成虫では、羽根の形態・色調とも父方のミヤマカラスアゲハに近いものであった。表面は黒い基質に青白色の鱗粉で全体の模様が構成されているが、ミヤマカラスアゲハの持つ緑色鱗粉や青緑色鱗粉は全く見られない。その代わり、わずかな黄色鱗粉が前羽根全体に散布され、特に外縁に沿って帯状の紋様を形成している。

この黄色鱗粉による帯状紋は裏面では一層強く現れ、一部にキアゲハの形質が混ざっていることをうかがわせている。

上記の色彩及び斑紋は極めて安定しているが、緑色のサナギ(幼虫、サナギの期間が最も長かった個体)から羽化したものは、黄色鱗粉による帯状紋が表裏とも際立っていること、後羽根の外縁部に4個の赤紋列を持っている(他の個体では尾状突起基部に1個)などの違いが見られた。

開張は77~81mmと大きく、安定しており、実験(1)の雑種のように羽根の伸びきらないものもなく、ひ弱な感じは受けない。

◆ 雑種の稔性

「もどし交配」に使えるほどの個体を得られなかったので検証は出来なかった。

フ化率、幼虫の死亡率、♂しか生まれないことなどから推定して、生殖能力は持たないものと思う。

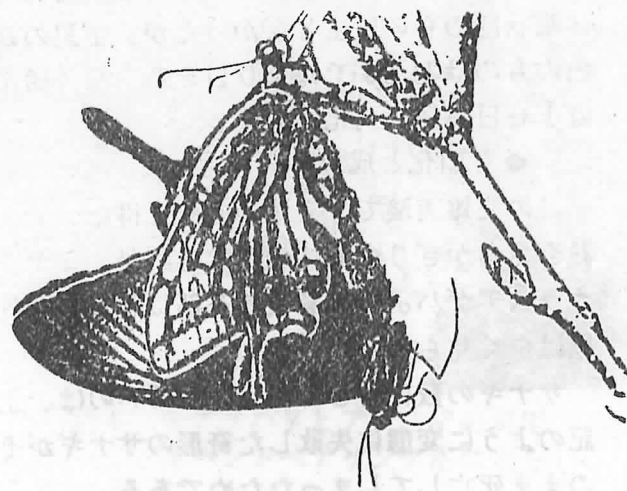


図7 キアゲハ♀とミヤマカラス♂の交尾
(ハンドペアリング法による)



図8 キアゲハ♀×ミヤマカラス♂
の終令幼虫

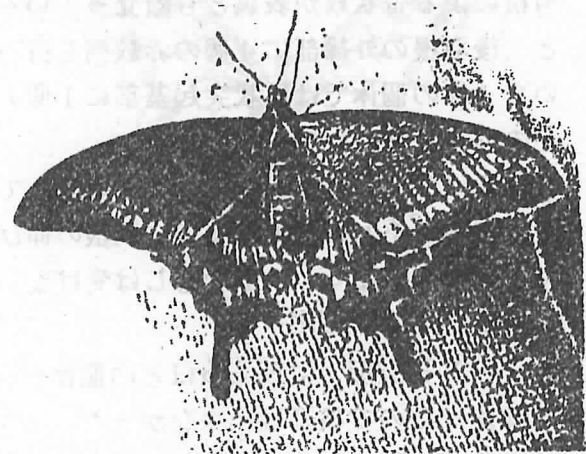


図9 キアゲハ♀×ミヤマカラス♂のF₁

3 考 察

(1) 雑種の形質発現機構について

実験(1)、(2)に用いた種及び雑種の染色体数は表4の通りである。

表4 実験種及び雑種の染色体数

種 名	染色体数	性
a キアゲハ	n=30~34	♂♀
b アゲハ	n=30	♂♀
c ミヤマカラス	n=30	♂♀
雑種 a×b	n=50~60	♂
雑種 a×c	?	♂

(斎藤 1988)をもとに作成

植物のプロトプラストを用いた異種間細胞融合(体細胞どうしの合体)では、どちらか一方の核が破壊され、細胞質内に散出した染色体またはDNAの一部が働いて、中間的な形質を発現するものとされている。

蝶類の異種間交雑(生殖細胞の合体)ではキアゲハ♀×アゲハ♂の雑種の染色体数が、n=50~60であることから、どちらかのまたは両方の染色体の一部に消失が見られるが、大部分は不整合のまま存在していることが分かる。

キアゲハ♀×ミヤマカラスアゲハ♂の雑種については染色体数が判明していないが、恐らく同様のことが起こっているものと思われる。こうした消失や不整合によって受精卵の染色体構成には様々なタイプのものが生ずるであろう。そして、それらが全て非致死性であれば、幼虫やサナギ、羽化した成虫にも様々なタイプのものが生ずるはずである。

しかし、既に述べたとおり、得られた成虫は、実験(1)(2)とも、基本的な色調や斑紋が全く同じパターンで、変異は見られなかった。

このことは、受精卵に生ずる様々な染色体構成のうち、ある特定の構成を持ったもののみが非致死性であったことを示唆している。

そして、実験(1)(2)に関する限り、その非致死性染色体構成は、幼生期においては主として母方の、成虫期においては主として父方の形質を現すものであった。

(2) 種分化の度合いについて

アゲハチョウ科 Papilio属の種分化の度合い(類縁関係)については、対象とする全ての種の組み合わせについて交雑を行い、十分な資料を得た上で論じなければならない。

ここで取り上げた3種についても、アゲハ×ミヤマカラスアゲハの交雑実験が欠落しているが、一応、キアゲハ：アゲハ、キアゲハ：ミヤマカラスアゲハの関係について述べると、2組とも、交雑実験の結果から、受精卵のフ化率が異常に低いこと、幼虫の死亡率が高いこと、羽化率が非常に低いこと、F₁には生殖能力を持たない♂しか生じないことなどが分かった。

また、ここでは触れられなかったが、実験(1)(2)の逆交配では、それぞれ受精卵は得られたが、いずれもフ化しなかった。

以上のことから、これらの種分化の程度はそれぞれ極めて高いものと言える。

4 おわりに

高等学校「生物」では、進化の学習において、集団遺伝学の考え方をもとに、地理的隔離による種分化(小進化)が取り上げられている。しかし、具体的な事例の提示はなく、イラスト化した架空の草花をモデルに説明しているに過ぎない。

本稿で紹介した人為的種間交雑による種間及び亜種間の類縁関係の検証によって、身近な素材である蝶類を用いた小進化の実例を示すことが出来るものと考えられる。

具体的には、Parnassius属の stubbendorffii(大陸)、hoenei(北海道)、glacialis(本州)、ssp.shikokuensis(四国)、更に Luedorfia属の sinensis(中国)、koreana

(朝鮮)、puziloi yessoensis(北海道)、p.inexpecta(本州北部)、japonica(本州中部)などについて、交雑実験の結果と、日本列島の成立過程及び日本の生物相の成立過程との関係について総合的に考察してみたいと考えている。

次報では、今回触れられなかった他の実験結果についてまとめ、更に上記の教材化に向けて研究を発展させて行きたい。

5 謝 辞

この研究を進めるにあたり、北海道昆虫同好会の本間定利、原 俊二の両氏には飼育材料のご提供をいただいた。当センター技師の水林則幸、岩淵幹学の両氏(いずれも北海道昆虫同好会会員)には、雑交体の採卵および飼育について多大なご協力をいただいた。

また、農林水産省森林総合研究所の北原曜氏からは、ウスバシロチョウとヒメウスバシロチョウの自然雑交体に関する貴重なご助言をいただいた。

さらに、北海道昆虫同好会副会長 川田光政氏からギフチョウ×ヒメギフチョウの雑交体標本を、日本鱗翅学会会員の根本富雄氏からはユキワリツマキチョウ(クモマツマキチョウ×ツマキチョウの雑交体)標本を、同じく山本泰三、中尾昭弘の両氏からは、カラスアゲハ×ミヤマカラスアゲハの雑交体標本をそれぞれご恵みいただいた。

ここに、記して厚くお礼申し上げる。

主な参考文献

- (1) Ae S. A. (1960): A study of hybrids between Papilio xuthus and P. polixenes-machaon group. J. Lepid. Soc.
- (2) 阿江 茂(1962): アゲハチョウ科の種間雑種の研究、蝶と蛾、Bull. Jap. Soc., 12: 65-89

エゾタンポポとセイヨウタンポポの 殖え方の比較

乳井 幸 教

はじめに

近年、特に目立つ植物群落のひとつとしてセイヨウタンポポがある。

北海道においても、都市化の進んだ市街地はもちろん、河川敷や農村の田畑のあぜやその周辺においてもかなり多く見られる。一方、在来種であるエゾタンポポはめっきりその姿を少なくし、相当山間部に入らないと見つけ出すことはできない。その原因は一体どこにあるのだろうか。日本に入ってきているセイヨウタンポポのほとんどが3倍体であり、無配生殖を行うといわれている。一方、在来種のエゾタンポポには、2倍体、4倍体などの有性生殖を行うものと3倍体の無配生殖を行うものがあるとの報告がなされている。特に、北海道のものはほとんどが4倍体であり、これに対し、本州東北部のものは、3倍体であることが調査、報告されている。

そこで、当理科教育センターに植えられている北海道在来種のエゾタンポポと観察圃場に自然侵入して生えているセイヨウタンポポを用い、その繁殖の仕方の違いについて、1「自家和合性か、自家不和合性か」、2「有性生殖を行うか、無配生殖を行うか」を調べるため、次のような実験を行った。なお、この実験は、当理科教育センターの実験圃場のタンポポばかりでなく、全道各地のエゾタンポポについても調査の予定であり、その結果によって2、4倍体の有性生殖を行うエゾタンポポと、3倍体の無配生殖を行うエゾタンポポの分布が明らかになるものと思われる。

1 エゾタンポポとセイヨウタンポポの自家和合性をみる実験

準備

硫酸紙で作った袋、セロテープ、ペトリ皿（直径10cm）、ガーゼ、エゾタンポポ、セイヨウタンポポ

方法

- (1) エゾタンポポの一株からつぼみをつけて伸ばしている花茎の3本を選び、そのつぼみの一つ一つに硫酸紙で作った袋をかぶせ、セロテープでとめる。セイヨウタンポポについても同様にする。

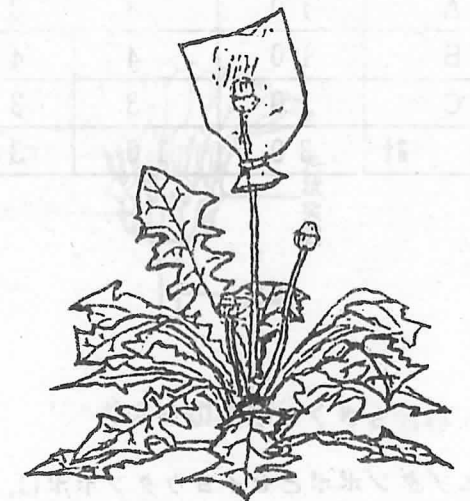


図1 硫酸紙で作った袋をかけたエゾタンポポのつぼみ

- (2) 硫酸紙の袋を通してつぼみの開花、結実のようすを観察する。
- (3) 果実が完熟したのを見定めて袋をはずし、それぞれの花茎にできている熟した種子を無作為に10個ずつ選び出す。
- (4) 6個のペトリ皿にガーゼを敷き、適当に湿らせた後、その上に(3)で選んだ種子を10個ずつ蒔く。
- (5) 室内の暗い所に置き、種子の発芽のようすを10日間観察する。

- (3) 石塚棋法(1980): Luehdorfia gro-up の roots に関する一考察(1)(2)、タカオ・ゼミナール10周年記念論文集、144-155
- (4) 阿江 茂(1986): アゲハチョウの生物学、たたら書房、京都
- (5) 北原 曜・川田光政(1987): ウスバシロチョウとヒメウスバシロチョウの人工交雑と混雑地における雑種蝶と蛾 38:4、259-268 日本鱗シ学会
- (6) 奥井一満(1975): 昆虫の性と性行動、一昆虫の配偶行動、遺伝 29-2:46-53、裳華房
- (7) 石崎宏矩(1978): 昆虫の変態機構、一変態ホルモン、遺伝 32-3:8-13、裳華房
- (8) 阿江 茂(1978): 昆虫の生態と小進化、一ナガサキアゲハ群を中心として、遺伝 32-10:42-50、裳華房
- (9) 大崎直大(1982): チョウたちの生存戦略、自然 82-6:26-38、中央公論社
- (10) 斎藤和夫(1988): 蝶類の染色体-1966年前後から1984年までの形態学的研究から、日本鱗シ学会特別報告 第6号:499-526、日本鱗シ学会

(あおやましんいち 生物研究室 研究員)

結果と考察

- (1) エゾタンポポもセイヨウタンポポもどちらも結実していた。しかし、種子の不稔性も考えられるので、発芽実験を行った訳であるが、結果は表1に示す通りである。
- (2) エゾタンポポもセイヨウタンポポも発芽の割合に違いはあるが、どちらも発芽

しており、自家和合性であることがわかる。

- (3) 種子の発芽率はこの条件では、セイヨウタンポポの発芽率は非常に高く100%を示した。一方、エゾタンポポでは33%と低く、セイヨウタンポポのそれに比べ、およそ3分の1であった。

表1 エゾタンポポとセイヨウタンポポの種子における発芽率の比較

エゾタンポポ				セイヨウタンポポ			
ペトリ皿	蒔いた数	発芽数	発芽率	ペトリ皿	蒔いた数	発芽数	発芽率
A	10	3	30%	a	10	10	100%
B	10	4	40%	b	10	10	100%
C	10	3	30%	c	10	10	100%
合計	30	10	33%	合計	30	30	100%

- 2 エゾタンポポとセイヨウタンポポは、有性生殖を行うか、無配生殖を行うかを調べる実験

準備

かみそりの刃、硫酸紙で作った袋、セロテープ、ペトリ皿(10cm)、ガーゼ、エゾタンポポ、セイヨウタンポポ

方法

- (1) エゾタンポポの一株から、つぼみをつけて伸ばしている花茎の3本を選び、そのつぼみの一つ一つを図2のように、めしべの子房の部分を残して切り取り、それに硫酸紙で作った袋をかぶせてセロテープでとめる。セイヨウタンポポについても同様にする。この時、子房まで、切ってしまうないように注意する(図3)。

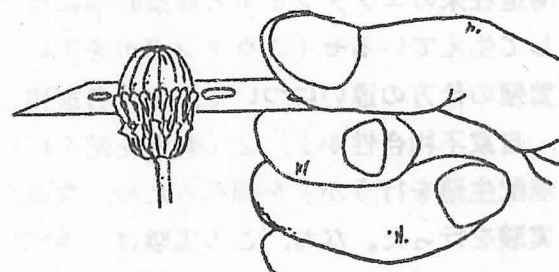


図2 柱頭切除のし方と切る位置

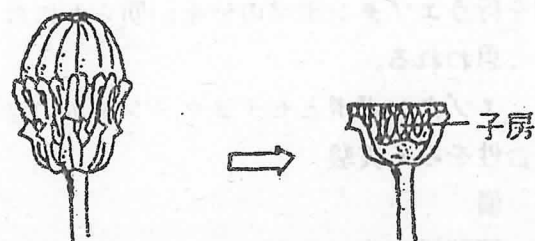


図3 切断後の縦断面

- (2) 硫酸紙の袋を通して、開花、結実のようすを観察する。
- (3) 果実が完熟したら、袋をはずし、それぞれの花茎にできている熟した種子を無作為にいくつか選び出す。
- (4) ペトリ皿にガーゼを敷き、適当に湿らせた後、その上に(3)で選んだ種子を蒔く。
- (5) 室内の暗い所に置き、種子の発芽のようすを観察する。

結果と考察

- (1) 方法(1)を行って3日目になると、エゾタンポポの切り口が茶色に変色しているのが観察された。一方、セイヨウタンポポでは、切り口に見えていた冠毛の部分が少し伸びているのが観察された。
- (2) 9日目になると、エゾタンポポの花の部分は枯れてしまったが、セイヨウタンポポの方は、子房の部分が熟し、冠毛のやや短い果実ができているのが観察された。
- (3) このセイヨウタンポポの種子の発芽の有無を確かめたところ、播種後、数日で発芽しているのを観察することができた。
- (4) 以上の結果から、セイヨウタンポポは、結実に花粉を必要としない無配生殖を行うが、当センターで栽培しているエゾタンポポは、無配生殖を行わないことが分かった。すなわち、エゾタンポポでは、生殖に関して、受粉によって種子がつくられるが、セイヨウタンポポでは、生殖に関して、まったく受粉の必要はなく、子房部分の発達による単為結果により、種子がつくることが分かった。

あとがき

結果は以上の通りであるが、これはあくまでも当理科教育センターの実験圃場に植えられているエゾタンポポについての結果であって、北海道の各地に生育しているエゾタンポ

ポのすべてが、このように有性生殖を行うとは言えない。特に、東北地方のエゾタンポポのほとんどが、3倍体であるという事実を考えれば、北海道に3倍体のエゾタンポポが生育していても、決して不思議なことではない。

今後、全道各地のタンポポに興味や関心のある方々が調査に加わって、多くの情報を提供して下さることを願っている。

参考

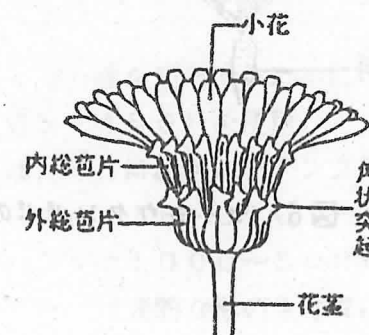


図4 タンポポの頭花のつくりと名称



図5 エゾタンポポとセイヨウタンポポの花の形態比較

植物化石のクリーニング法の一工夫

— 神戸層群産植物化石を例にして —

那賀島 彰一

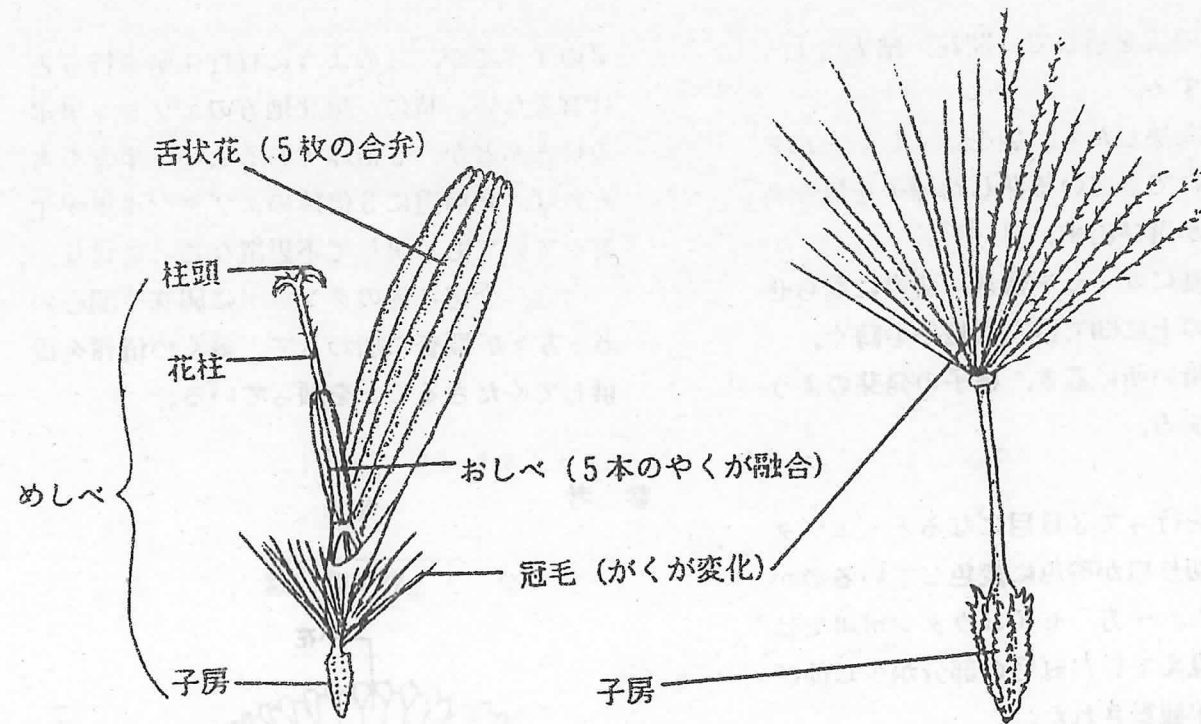


図6 セイヨウタンポポの小花のつくりと完熟した果実のつくり

参考文献

- 1) 山田 卓三 「タンポポの観察実験」
ニューサイエンス社(1986 年)
- 2) 森田 竜義 「わが国在来種の新しい分類」
アニマ 第 109号(1976 年)
- 3) 森田 竜義 「タンポポ教材化の可能性」
採集と飼育 7月号(1976 年)
- 4) 小川 潔 「タンポポの開花・結実」
採集と飼育 7月号(1976 年)
- 5) 内藤 俊彦 「エゾタンポポとセイヨウタンポポとの混播実験」
採集と飼育12月号(1976 年)
- 6) 山田 卓三 「身近な植物の教材化」
採集と飼育 9月号(1978 年)
- 7) 山口 聡 「タンポポの交配と繁殖様式」
採集と飼育 9月号(1978 年)
- 8) 原沢伊世夫・山田 卓三
「学校教育におけるタンポポの研究および教材化に関する諸問題」
生物教育 第28巻 1号
- 9) 内藤 俊彦 「タンポポの分布と
その環境」
採集と飼育 3月号(1983 年)
- 10) 原沢伊世夫 「タンポポの分類を考える」
採集と飼育 3月号(1983 年)
- 11) 牧野富太郎 「牧野新日本植物図鑑」
北隆館 (1961 年)
- 12) 北村 四郎他共著「原色日本植物図鑑」
保育社 (1957 年)
- 13) 長田 武正 「日本帰化植物図鑑」
北隆館 (1972 年)
- 14) 佐竹 義輔他共著 「日本の野生植物」
平凡社 (1981 年)
- 15) 北村 四郎他共著 朝日百科世界の植物
朝日新聞社 (1980 年)

(ちちい ゆきのり 研究員)

はじめに

神戸層群の植物化石を含む凝灰岩は、吸湿性と剥離性に富むため、湿式の岩石カッターによる母岩の切断や一般に行われているカナヅチとタガネを使用しているクリーニング法では化石の割出が非常に困難である。そこで、筆者は今まで行っていたクリーニング法ではなくて、まず最初に含化石層の岩石の鉱物成分を明らかにした後、それに対応したクリーニング法を開発し効率化を図ることが必要であると考えた。しかし、限られた予算の中で、デンタルマシンやサンドブラスター等の高価な機器をそろえることは不可能であるため、代用機器と廃品の利用により化石のクリーニング機器を系統的に組み立て成果をあげることを試みた。また、植物化石の葉は曲がりくねったものが多くスケッチをするのに困難がともなう。そこで植物化石の拓本方式を取り入れてみた。この方式を利用したスケッチにより葉形の特徴をより正確にとらえることができたので紹介する次第である。

1 化石を含む凝灰岩の鉱物学的性質について
兵庫県東播地域北東部の東条湖付近に分布する化石を含む凝灰岩層(神戸層群有野累層)から試料を採取してX線回折および電子顕微鏡による検討を行った。

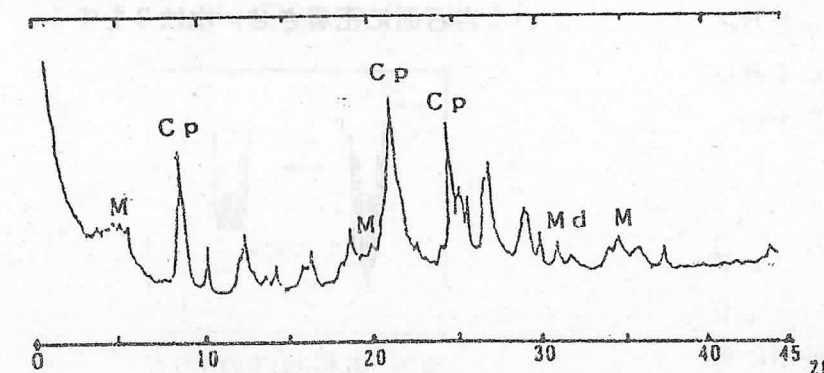


図1 凝灰岩試料のX線粉末回折図

X線回折にあたっては、凝灰岩を鉄製乳鉢で砕いた後メノウ乳鉢で粉末にし、アルミ板につめてX線にかけた。10個の試料についてX線粉末法によって実験を行ったところ全ての試料が強度の差はあるものの沸石の回折ピークを示し、その他に石英、蛋白石、粘土鉱物であるモンモリロナイトの回折ピークが認められた(図1)。

鉱物等の形態を観察するために走査電子顕微鏡(日立S-450)を使用した。試料のコーティングは、SEM試料コーティング用の小型装置(Gi-ko, IB-310N-COATER)で行った。主に1000~5000Xの実倍率で観察を行い代表的なものを写真に撮影した。

2 代用機器と廃品利用によるクリーニングの効率化をめざして

(1) 化石についている母岩を切断するために
モンモリロナイトを多量に共存する含沸石凝灰岩の切断は、湿式の Cutter を使用すると水分を含み膨潤するためうまくいかない。そこで乾式の石材用Cutterにベンチスタンドを取り付け、化石用切断機を製作した。切断にあたって粉塵が飛散するので、自作の亚克力板折り曲げ器により亚克力板で防塵カバーを作製し、岩石カッターの台の上部に

Cp…斜方晶沸石
Md…モルデン沸石
M…モンモリロナイト

取り付けた。

(2) よけいな母岩の削除法

①「両頭グラインダー」の利用

農機具の刃の目立て、のこの目立て等刃物研ぎに使用する両頭グラインダーを活用する。最初に両頭グラインダーについている金属用の砥石を取りはずし、岩石用の荒砥および仕上げ砥を取り付ける。次にこの両頭グラインダーには、台がついていないので作業のしやすいようにフロアスタンドあるいは廃品の椅子を取り付けて一定の高さにする。室内で作業を行う場合は、岩石の粉末が飛散するので前述の化石用カッターの場合と同様にアクリル板で防塵カバーを作製し使用するとよい。

②「電気ドリル&サンフレックス」の利用

化石を埋めている不必要な母岩を削り落とすために電気ドリルの先端にサンフレックスを取り付け、その先に「先端工具」を付けて使用するとデンタルマシンの代用となる。使用する先端工具として、回転ヤスリ6mmセット、回転ヤスリ3mm セット電気ドリル用軸付き砥石6mmセット（非鉄用）、電気ドリル用軸付き砥石3mm セット（非鉄用）、岩石用ドリルの刃を用意しておけば十分である。

③振動を与えて不必要な母岩を削除する

ための「バイブレベン」の利用

振動を与えて化石を埋めている不必要な母岩を取り除くものとしてビブログレーバー、ビブロツールなどが市販されているが高価である。筆者は、ビブロツールを購入するよりもずっと安価（約1/6）なバイブレベンで化石のクリーニングをした結果、上記のものとはほぼ同様の結果を得た。

・バイブレベン S-2型

・バイブレベン D-1型

の2種があり、細かい部分のクリーニングにはS-2型を使用するとよい。D-1型の方がS-2型より強力である。使用にあ

たっては、岩石の破片が飛散して目に入ることがあるので目を保護するために防塵用眼鏡をかけるとよい。

3 植物化石の拓本方式について

筆者が研究をしている神戸層群産の植物化石は葉の曲がりくねったものが多く、鑑定のためのスケッチをするのに困難がともなう。そこで葉形を拓本にとり（湿拓法）それをもとにスケッチを行い葉形の特徴をとらえ鑑定を行った。この方法により正確さを期すことが出来ると考えられる。

拓本のとり方には乾拓法と湿拓法の二つがあるが、湿拓法は水によって紙を化石のついてい

(1) 拓本方式に使用する用具

筆、筆洗、用紙（画仙紙）、墨、タンポ、セロテープ、ハサミ、ドライヤー

(2) 植物化石の拓本のとり方

植物化石の拓本をとるにあたってどのような方法をとったかを順に説明する。

① 拓本をとりたい植物化石の表面が汚れていたらブラシで軽くはき落した後、画仙紙を植物化石のついてい

る岩石面にのせて、端をセロテープでとめる。

③ 水のついた筆で画仙紙がやぶれない程度にやわらかく押えつけ、化石のついてい

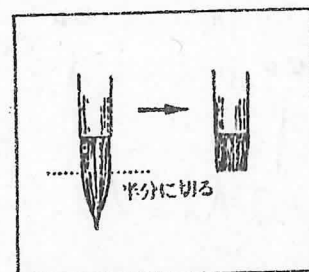


図2 拓本用の筆の作り方

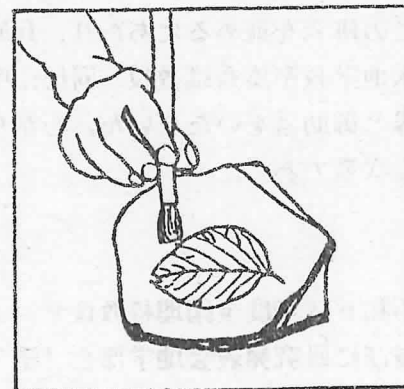


図3 水はり（筆で画仙紙と岩石面を密着させる）

紙にしわが寄らないように、化石と紙の間に気泡を入れないように気を付ける。

④ 自然乾燥またはドライヤーを使用し画仙紙を乾燥させる。少し湿気がある程度のほうが良い。

⑤ 化石の大きさにより大・中・小のタンポを使い分け、墨拓の墨をたたいて墨をつける。2個のタンポを用意し、一方のタンポに墨をつけ他方のタンポをこれにこすりあわせて打つとよい。

⑥ 打墨の終わった拓本は注意して静かにはぎ取る。はぎ取った拓本は自然に乾燥させる。

⑦ 拓本と植物化石の実物と比較しながら葉形、葉先、葉脚、葉縁、葉脈、葉柄等を確認し青ボールペンで記入する。

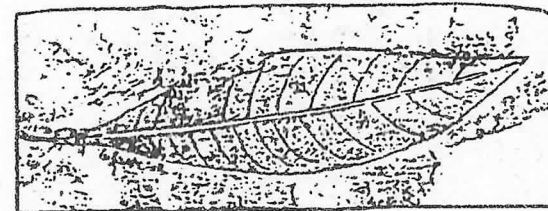


図4 完成した拓本

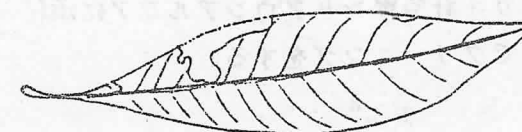


図5 拓本をもとにスケッチしたもの

⑧ 拓本をもとにスケッチした後、植物化石の鑑定をする。

4 神戸層群産植物化石クリーニングの最良の方法を求めて

化石を産する地層は新第三紀中新世の時代のもので神戸層群の最上部に相当する。この地層から *Lithocarpus* sp. (ブナ科マテバシイ属)、*Actinodaphne* sp. (クスノキ科バリバリ属)、*Korthalsella* sp. nov. (ヤドリギ科ヒノキバヤドリギ属) 等の植物化石が産出する。この化石を採集し、北海道の同時代のものと比較し、古気候を推定するために昭和56年度以来採集を続け、最良のクリーニング法をめざして改善を加えてきた。その結果、次に示すようなステップで化石のクリーニングを行い、ベストの状態を得ることができた。

《神戸層群産植物化石クリーニングのベストステップ》

◎化石用カッター（乾式）で標本箱に入る大きさに化石を含む母岩を切断する。

↓

◎化石用グラインダーで化石を埋めている不必要な母岩を削り落とす（荒削り）。

↓

◎化石用「電気ドリル&サンフレックス」により化石の縁辺部の不必要な母岩を削り落とす。

↓

◎バイブレベンにより細部のクリーニングをする（小さいタガネとカナヅチも併用）。

↓

コリオリの力を理解するための工夫

高橋 文明

●葉の先端や葉縁の細かい部分は超硬チップ
付ケガキ針やボンドアロンアルファに添付
の針でクリーニングをする。

↓

●カナダバルサムをキシロールに溶かした液
を化石の表面に塗布する。

↓

●拓本方式によりスケッチをする。

おわりに

これまで一般的に行われてきたカナヅチとタ
ガネを使用した植物化石のクリーニング法から
脱皮して、まず初めに含化石層の岩石の鉱物成
分を明らかにし、それに対応したクリーニング
法を開発し効率を上げる一つの試みとして、代
用機器と廃品利用による化石のクリーニング法
と拓本方式について述べた。

中学・高校における課題研究などで、大型植
物化石を調べる際に、代用機器と廃品利用によ
り化石のクリーニング機器を系統的に組み立て
工夫することで、今までの失敗も少なくなり良
い成果を上げることが出来ると思う。

最後に、この研究を進めるにあたり、兵庫教
育大学自然系地学教室湊秀雄教授、同徳山明教
授には御指導と御助言をいただいた。心から感
謝申し上げる次第である。

附 記

本稿は、昭和63年度全国理科教育センター
研究協議会並びに研究発表会地学部会（第26
回）で口頭発表した内容に、加筆・訂正を加え
てまとめたものである。

参考文献

- 1) 大森昌衛 (1972): 地学野外調査の方法, 築地
書館
- 2) 化石研究会 (1977): 化石の研究法, 共立出版
- 3) 篠崎四郎 (1981): 図録拓本の基礎知識, 柏書
房
- 4) 湊秀雄・那賀島彰一 (1983): 天然ゼオライト
の産状と生成条件, 昭和57
年度科学研究費補助金 (総
合研究A) 研究成果報告書

(なかしま しょういち 地学研究室室長)

はじめに

コリオリの力は、大気や海水の運動を扱うと
きに、必ず考慮しなければならない重要な力で
ある。この力は、回転体の表面で生じる見かけ
の力であるため、その説明を平面上で行おうと
するとなかなか難しい。そのために、地球儀を
利用した説明器具など、様々な工夫がなされて
いる。ここでは、工作用紙を用いた立体模型作
成の作業を通して、生徒一人一人に、コリオリ
の力を理解させるための方法を述べる。

方 法

1 図1のような回転台を用いて、単振子が
慣性の力によって常に同じ方向に振れるこ
とを強く印象づけておく。

2 設計図の、各緯度に
相当する帯は、時間の
経過を示すものであり、
その上に印されている
矢印は、振子が常に同
じ方向に振れているこ
とを示しているもので
あることを生徒に確認
しておく。

3 図3の各
緯度に相当
する帯と、
北極の部分
を切抜き、
スタート時
間を合わせ
て、図2の
ように組み
立てる。

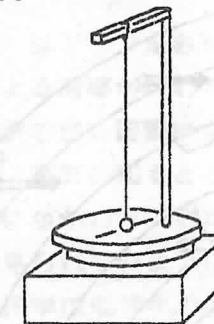


図1

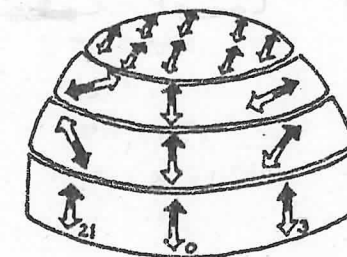


図2

参 考

・ 各緯度の部分を設計するにあたって、生
徒の手間を考慮して、赤道部分の帯、北緯3
0°（または60°）の部分の帯、自分の
位置する緯度の帯、北極の部分の合計4部
分とした。

・ 出来上がった半球の半径を r とすると、
緯度 ψ の位置で、周の長さは

$$A = 2\pi r \cos \psi \quad \text{.....①} \quad \text{となる。}$$

一方、一時間あたりの回転角を θ 、緯度 ψ
の地点の帯の半径を r' とすると、帯の長
さは

$$B = \frac{2\pi r' \theta}{360^\circ} \quad \text{である。}$$

ただし $\theta = 15^\circ \sin \psi$ なので

$$B = \frac{\pi r' \sin \psi}{6} \quad \text{.....②} \quad \text{となる。}$$

①=②により

$$r' = 12 \frac{\cos \psi}{\sin \psi} r \quad \text{となる。}$$

したがって、例えば半径が5cmの半球を、
札幌を基準にして作る場合、下表のようなサ
イズになる。

	B (帯の長さ)	r' (帯の半径)	中 心 角
0°	31.4 cm	—	—
30°	27.2 cm	8.7 cm	180°
43°	23.0 cm	5.4 cm	246°
90°	—	—	—

※帯の幅の合計は $2\pi r / 4 = 7.85 \text{ cm}$ にする

留意事項

・ 出来上がった半球は、地球儀のような空
間を表現するものではなく、同一の地点に
おける振子の振動面が、時間とともに変化
していく様子を示すものである。

(たかはし ふみあき 地学研究室 研究員)

大韓民国の低学年自然科学教育について

仙石利彦

表1 統合教科等の関連

※ () 内の数字は 週単位の時数

	1 学 年	2 学 年	3 学 年
わたしたちは 一学年	正しい生活 (11)	正しい生活 (11)	道 徳 国 語 社 会
	知恵ある生活 (6)	算 数 (4) 自 然 (2)	算 数 自 然
	楽しい生活 (6)	楽しい生活 (6)	体 育 音 楽 美 術

その後、道徳・国語・社会を統合した「正しい生活」、算数と自然を統合した「知恵ある生活」、体育・音楽・美術を統合した「楽しい生活」の3教科で指導している。

2学年の場合は、「正しい生活」と「楽しい生活」については1学年同様統合教科で指導するが、「知恵ある生活」は「算数科」と「自然科学科」に分科される。

現行の国民学校教育課程は、1979年に文教部（我が国の文部省に当たる）が基本計画を立てて3年間の研究開発の後、1981年に改訂された。国民学校の教科書は、文教部の委嘱によって韓国教育開発院が開発したものである。

このようにして作成された新教科書は、1年間の実験的な使用期間を経て、1982年2月に文教部から新教科書として発行され、1982年3月の新学期から、第1学年、第2学年、第3学年が使用している。

2 低学年自然科学関連の教科書の内容

前述のように、2教科である。B5版で、各2冊に分かれている。以下、内容を中心に示す。

はじめに

我が国では、平成元年（1989年）3月に改訂学習指導要領が告示され、小学校低学年から社会科とともに理科が廃止されることになる。

低学年理科で指導してきた自然の事物・現象に関する内容は、1部が新教科「生活科」の中で、観点を改めて取り扱われることになるが、比較理科教育の立場からもこのような改訂は注目されるものである。

筆者は、長い間理科教育に携わってきて、各国の小学校教育の中で、理科教育がどのように扱われているか等について関心をもつものである。

さて、隣国の大韓民国（以下 韓国という）では、国民学校（小学校）の低学年で全教科等について、合科・統合による指導が行われている。1国の教育課程の改訂が、国際的な関連をもつといわれながら、筆者の知るところでは、韓国の低学年教育にかかわって教科書等の翻訳や紹介があまり見られないように思う。本論では、韓国の国民学校低学年の教育課程や教科書の1部分を紹介して、考察を行い今後の研究の予稿としたい。

1 低学年の教科等・授業時数及び特徴

韓国の国民学校低学年の特徴は、教科等が統合されていることである。

表1は、低学年（1学年・2学年）の統合教科と学年が進むにつれて、単独の教科に変わっていく教育課程の特徴を示したものである。

国民学校の新入生は「わたしたちは1学年」という教科書で、入学後約3箇月間全教科等を統合した指導を受ける。内容は、学校生活への適応、健康安全、基礎的な学習技能の習得などで構成されている。

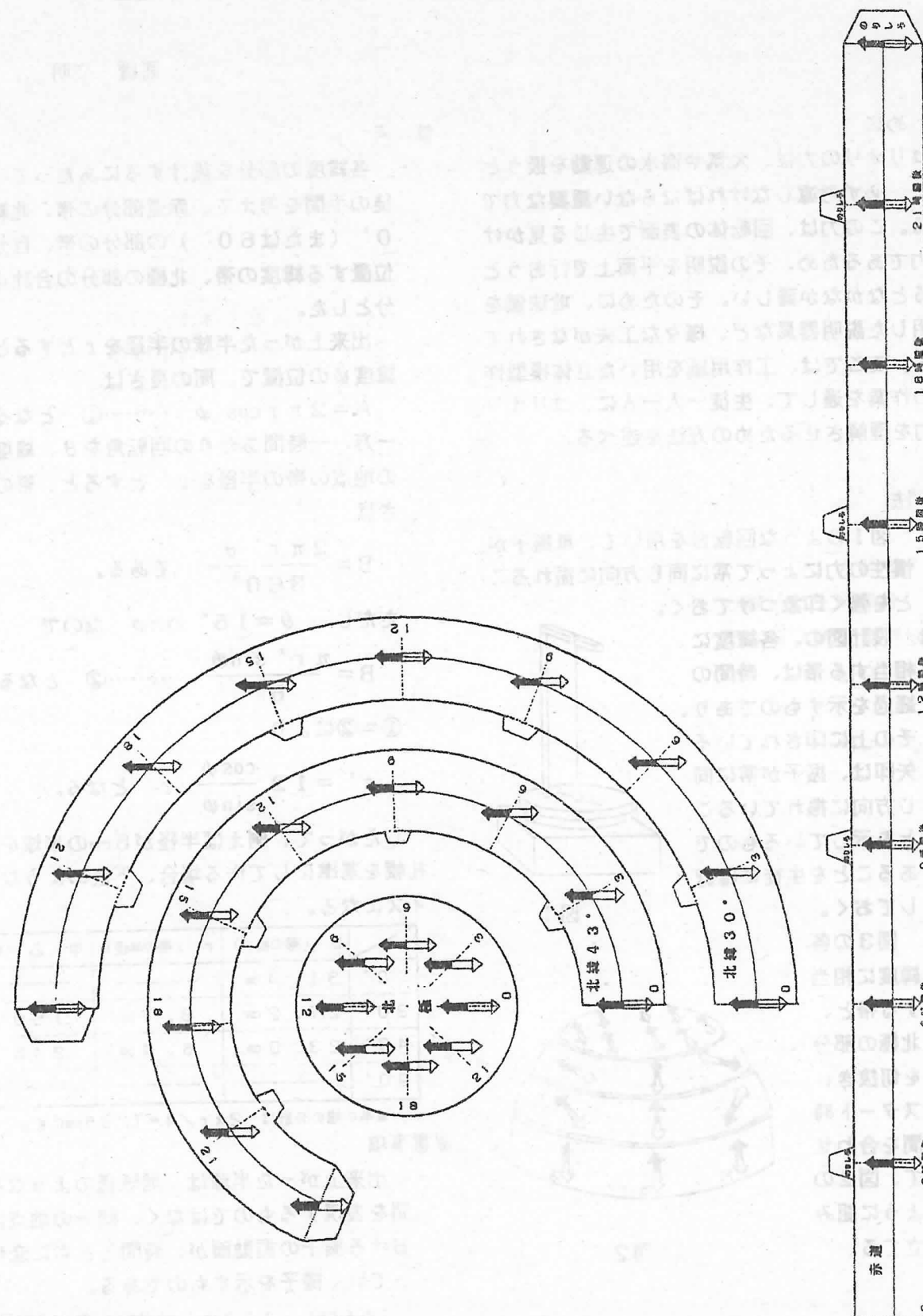


図3 工作図

次に「知恵ある生活」(1-1) の表紙と目次



を示す。表紙と目次の訳は、下記のとおりである。

ちえある せいかつ 1-1

차 례

1. 우리 교실	4
2. 단추놀이	10
3. 꽃밭	14
4. 사육장	18
5. 산과 들	24
6. 볼 소꿉	32
7. 여러 가지 동물	37
8. 어미와 새끼	44
9. 순서정하기	49
10. 여러 가지 식물	57
11. 소리	66
12. 쌓기놀이	72
13. 연못	78
14. 시냇가	83
15. 날씨	90
16. 바다	92
17. 세어보기	98

もくじ

1. わたしたちの きょうしつ	
2. ぼたんあそび	
3. はなばたけ	
4. しいくじょう	
5. 山と のはら	
6. はるの えんそく	
7. いろいろな どうぶつ	
8. おやと 子	
9. じゅんじょを きめる	
10. いろいろな しょくぶつ	
11. おと	
12. つみ木あそび	
13. いけ	
14. 小川の きしべ	
15. 天気	
16. うみ	
17. かぞえてみる	

次に「知恵ある生活」(1-2) の表紙と目次

を示す。表紙と目次の訳は、下記のとおりである。



ちえある せいかつ 1-2

차 례

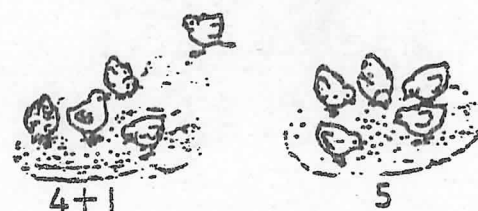
1. 모양관놀이	4
2. 여러 가지 벌레	10
3. 찰흙놀이	16
4. 물에 띄우기	22
5. 고무 찰흙 배	28
6. 열매와 씨	34
7. 동물의 먹이	42
8. 나뭇잎	50
9. 가을 등산	58
10. 곡식과 채소	68
11. 밤 하늘	74
12. 나의 하루	80
13. 수수장놀이	84
14. 봄·여름·가을·겨울	90
15. 자석놀이	98
16. 묶어세기	106

もくじ

1. もようばん あそび	
2. いろいろな 虫	
3. ねん土あそび	
4. 水に うかべる	
5. こむねん土の ふね	
6. みと たね	
7. どうぶつの えさ	
8. 木の は	
9. あきの 山	
10. こくもつと やさい	
11. よるの 空	
12. わたしの 一日	
13. きびがら あそび	
14. はる・なつ・あき・ふゆ	
15. じしゃく あそび	
16. たばねて かぞえる	

次に「知恵ある生活」の中から、1部分を示す。
(1-1)

8. 어미와 새끼



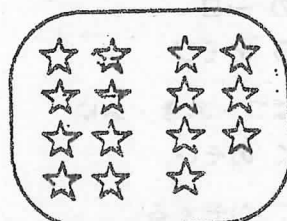
4+1

$$4+1=5$$

(4 더하기 1은 5와 같습니다.)

(1-2) 「よるの空」より

밤 하늘에는 무엇이 보입니까?

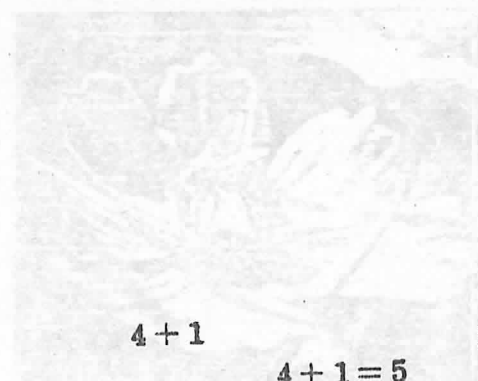


$$8+7=15$$

$$15-7=8$$

す。文の訳は、下記のとおりである。

8. おやと子



4+1

$$4+1=5$$

5

(4たす1は 5と同じです。)

よるの 空には なにが 見えますか?

$$8+7=15$$

$$15-7=8$$

次に「自然」(2-1) の表紙と目次を示す。



表紙と目次の訳は、下記のとおりである。

自 然

2-1



차 례

1. 여러 가지 물질

- (1) 물체와 물질.....4
- (2) 고체와 액체.....15

2. 빛과 그림자

- (1) 햇빛20
- (2) 그림자26

3. 색깔의 한살이

- (1) 색뜨기40
- (2) 색깔의 자람54
- (3) 열매맺기59

4. 공 기

- (1) 공기64
- (2) 증기와 물.....70

も く じ

1. いろいろな ぶつしつ

- (1) ぶつ体と ぶつしつ
- (2) こ体と えき体

2. 光と かげ

- (1) 日光
- (2) かげ

3. しょくぶつの一生

- (1) めばえ
- (2) しょくぶつの そだち方
- (3) みが なる

4. 空 気

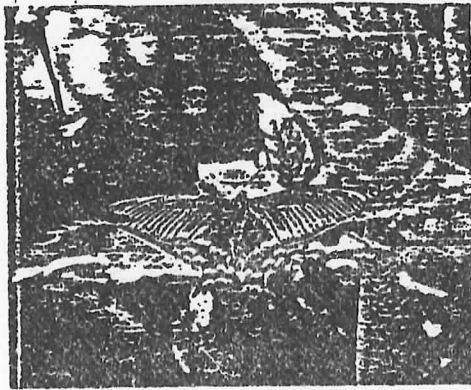
- (1) 空気
- (2) 空気と 水

次に「自然」(2-2) の表紙と目次を示す。

表紙と目次の訳は、下記のとおりである。

자 연

2-2



차 례

1. 여러 가지 곤충

- (1) 풀밭에 사는 동물4
- (2) 곤충의 생활12

2. 소 리

- (1) 소리내기20
- (2) 악기만들기23
- (3) 실전화31

3. 낮과 밤

- (1) 낮40
- (2) 밤49

4. 자 석

- (1) 같은 극과 다른 극56
- (2) 자석놀이61
- (3) 자석 주위의 철가루67
- (4) 바늘 자석 만들기70

自 然

2-2

も く じ

1. いろいろな こんちゅう

- (1) 草地に すんでいる どうぶつ
- (2) こんちゅうの 生かた

2. 音

- (1) 音を 出す
- (2) 楽器作り
- (3) 糸電話

3. 昼と 夜

- (1) 昼
- (2) 夜

4. じしゃく

- (1) 同じきょくと ちがうきょく
- (2) じしゃくあそび
- (3) じしゃくの まわりの てっぷん
- (4) はりじしゃく作り

次に「自然」の中から、1部分を示す。

(2-1)

(3) 열매 맺기

장남콩의 꽃을 살펴봅시다.

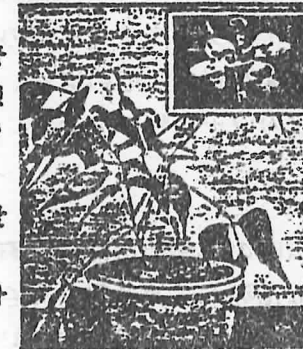
장남콩은 씨를 심은 날부터 며칠 만에 꽃이 피었습니까?

꽃은 어디에 붙어 있습니까?

꽃의 색깔은 어떠합니까?

일의 수와 꽃의 수는 어느 것이 더 많습니까?

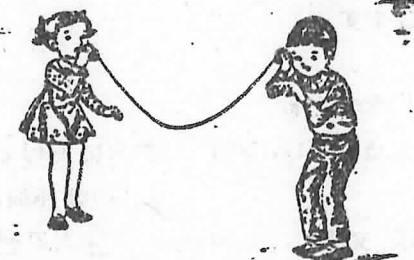
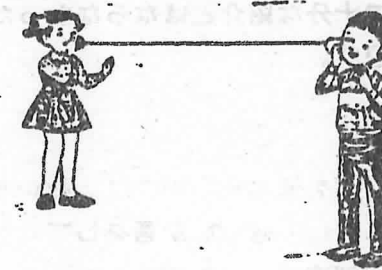
꽃의 모양도 살펴봅시다.
꽃잎은 몇 장입니까?



(2-2) 「糸電話」より

실을 팽팽하게 하고, 다른 쪽에서 말하는 소리를 들어 봅시다.

실을 느슨하게 하기도 들어 봅시다.



어떻게 하였을 때에 소리가 잘 들립니까?

文の訳は、下記のとおりである。

(3)みがなる

インゲンマメの 花を よく見ましょう。

インゲンマメは たねを うえた日から 何日で 花が さきましたか?

花は どこに ついて いますか?

花の 色は どうですか?

はの 数と 花の 数は どちらが より多いですか?

花の 形も よく 見ましょう。

花びらは 何まい ですか?

糸を ぴーんと させて, あい手が お話をする 声を 聞いて みましょう。

糸を ゆるく しても 聞いて みましょう。

どのように したときに 声が よく 聞こえますか?

3 考 察

(1) 1学年「知恵ある生活」について

児童が使用する「ちえある せいかつ」は、自然科と算数科との合科された教科書であるとともに、算数科の内容が多いために一見したところ算数の教科書のようなものである。

しかし、注意深く見ると児童が学習するときの手がかりを、2教科が相互に補い合うように構成されており、算数科と自然科の基礎的な概念が学びやすくなっている。

例えば、本稿で示した「8.おやと子」では、身近に見られる家畜などの小動物について、自然科的な観点で学習しながら、これらを算数科の学習資料として活用し、算数科のねらいとしての対応関係、大小の比較、集合概念などの導入を無理なくできるようになっている。

韓国は、2学期制であり、この教科書も2冊に分かれている。

また、指導時数は、各単元(題材)を2教科統合して指導するために、合計5～7時間で調整することとしている。この中で、数概念や数理化の学習活動に4～5時間、自然事物の観察に1～2時間を当てて構成し、調整することを原則としている。

(2) 2学年「自然」について

1学年の「ちえある せいかつ」で、自然に関する基礎的な学習をしてきた児童は、2学年になって独立教科としての自然科を学習する。

教科書「自然」は、2-1、2-2の2冊に分かれ、全部で8単元(題材)からなっている。

内容は、目次にも示したように物質、日光と影、植物の一生、空気、昆虫、音、昼と夜、磁石などに関するものである。

これらの内容は、自然科に分科した初年度の学習として、特に考慮されたものである。その中で、物質に関する学習は、我が国の低学年では扱わない内容なので、教科書の展開に合わせて概要を示したい。

まず、身近な物質(割りばし、消しゴム、

ゼムクリップなど)や日用品、各種の金属片などの形状や日用品を調べ、その学習の後に固体や液体について扱っている。

全般に、身近な素材で学習できるように配慮されているが、科学用語は国民学校から大学まで統一されており、義務教育が6年間(実質的にはほとんど全員が中学校に進学するという)という制度のためか、扱う内容や程度は、我が国よりやや高いように思われる。

更に例を示すと、「植物の一生」の内容では、インゲンマメの発芽の様子を観察する場合に常温時の状態のほか、温度条件を変えて発芽の様子を調べている。

おわりに

韓国の低学年自然科教育は、入学時の導入的な指導から算数科との合科的な扱いをした後、2学年で「自然」を単独の教科として扱う体系となっている。韓国の自然科は、我が国の理科に当たるものであるが、前述のように韓国独自の理念で構成されていることが分かる。なお、教科書は、カラーで示された写真や図、絵などが豊富に用いられている。

本稿では、コピーで縮小して示したために、この面で十分な紹介とはならなかったことを残念に思う。

謝 辞

この研究を進めるに当たり、教科書の紹介や引用について適切な助言をしてくださった大韓民国領事館(在札幌市)に、深く感謝いたします。

参考文献

金 範基(1987年):韓国における低学年理科,初等理科教育,3
韓国 文教部(1986年):슬기로운 생활
자 연 各1~2

(せんごく としひこ 初等理科研究室長)

—— 投 稿 規 定 ——

〈原稿の内容〉

理科教育及び理科の専門領域に関する調査・研究とする。

〈投 稿 者〉

投稿者は、原則として北海道立理科教育センター事業課職員とする。

〈執筆要領〉

執筆要領の詳細については編集委員会が別に定める。

投稿予定者はその年の8月末までに編集委員会に連絡をとるものとする。

〈投稿及び連絡先〉

〒064 札幌市中央区宮の森4条7丁目

北海道立理科教育センター 研究紀要編集委員会

☎(011) 631-4406

北海道立理科教育センター

研 究 紀 要

第1号

発行日 平成元年3月31日

発行所 北海道立理科教育センター

〒064 札幌市中央区宮の森4条7丁目

☎(011) 631-4406