

# 修 士 論 文

高等学校物理関連分野の

教育内容改善のための実践的研究

—選択制の拡大とカリキュラム弾力化への対応—

岩手大学大学院教育学研究科修士課程

教科教育専攻 理科教育専修

高橋篤志

2000年3月

# 修士論文

高等学校物理関連分野の教育内容改善のための実践的研究

— 選択制の拡大とカリキュラム弾力化への対応 —

岩手大学大学院教育学研究科

修士課程教科教育専攻理科教育専修

高橋 篤志

2000年3月


## 目 次

ページ

0	Science Literacy の低下 ～理科教育の課題～	3
0.1	国際数学理科教育調査の問題点	
0.2	OECDからの警告	
0.3	学習指導要領の改訂	
0.4	新教育課程に対する数学・物理・化学系諸学会の見解	
0.5	本研究の目的	
I	理科離れの現状	7
I.1	高校生の現状	
I.1.1	理科嫌いの増加傾向	
I.1.2	理科的体験	
I.1.3	生徒の理科的興味	
I.2	大学生の現状	
I.3	一般市民の現状	
I.4	理科離れ・理科嫌いがすすむ日本の子どもの Science Literacy	
I.5	理科離れ・理科嫌いの原因分析	
II	新学習指導要領の理科に関する改訂の要点	15
II.1	改訂の基本方針	
II.2	目標の改善点	
II.3	科目の構成	
II.3.1	「理科基礎」の新設の意義についての検討	
II.3.2	「理科総合A」・「理科総合B」の新設の意義についての検討	
II.3.3	Iを付した科目の特徴と検討	
II.3.4	IIを付した科目の特徴と検討	
II.4	中学校からの移行科目	
II.5	「選択制の拡大」と「カリキュラム弾力化」が意味すること	
III	新学習指導要領に対応した理科の授業は	20
III.1	科学史に沿った授業内容の配列	
III.1.1	科学史を活用した授業内容	
III.1.2	科学史を活用した授業への生徒の反応	

III. 2	探究活動の重視	
III. 2. 1	授業での実験・観察	
III. 2. 2	授業によらない探究活動	
III. 3	各種試験の結果	
III. 3. 1	定期考査の結果から	
III. 3. 2	学力検査と比較して	
III. 3. 3	TIMSSを盛商生に行って	
IV	Science Literacy の向上と理科への興味・関心を高めるために	29
IV. 1	理科の総合的な学習のすすめ	
IV. 2	科学史を活用した授業のすすめ	
IV. 3	課題設定を生徒自身にまかせた探究活動のすすめ	
付録 A	化学 I A 授業計画	32
B	科学史を活用した授業参考資料 (原子の構造・気体の法則)	
C	中和滴定実験レポート (例) 1部	
D	探究活動レポート (例) 2部	
E	化学 I A 定期考査問題 (抜粋)	
F	平成 10 年度岩手県立高等学校入学者選抜学力検査問題理科	
G	TIMSS 問題 (抜粋)	
H	岩手山雲画像	
引用文献		61
参考文献		62
謝 辞		63

題 字

葉池翠苑 

## 0 Science Literacy の低下 ～理科教育の課題～

十数年ほど前から、理科的なことへ興味を持っていないことを表す「理科嫌い・理科離れ」という言葉がささやかれ始めていた。<sup>1)</sup> 90年代に入ると、1993年版科学技術白書で取り上げられるほど、この現象は社会的な問題になっている。これは、日本で顕著であるが、先進諸国においても由々しき事態として取り上げられている。<sup>2)</sup> 筆者も、16年の教職経験から、年を追うごとに高校生の理科に対する興味が失われていること、理科的素養・体験が減っていることを強く感じている。

### 0.1 国際数学理科教育調査の問題点

IEA (*The International Association for the Evaluation of the Educational Achievement*) は、1994・95年、子どもたちの自然科学の理解について第三回国際数学理科教育調査 (TIMSS: *IEA's The Third International Mathematics and Science Study*) を実施した。日本の子どもたちの成績は、中学1・2年生で、それぞれ、世界45カ国中第4位・3位であった (表1)。<sup>3)</sup>

表1 Achievement Differences in the Science  
(Eighth Grade and Seventh Grade)

AA : Average Achievement

Eighth Grade			Seventh Grade		
Ranking	Country	AA	Ranking	Country	AA
1	Singapore	607	1	Singapore	545
2	Czech Republic	574	2	Korea	535
3	Japan	571	3	Czech Republic	533
4	Korea	565	4	Japan	531
	Bulgaria	565		Bulgaria	531
10	England	552	11	England	512
17	USA	534	13	USA	508
18	Germany	531	15	Germany	499
28	France	498	29	France	451

文献3) のデータより作成

この結果から、理科嫌い・理科離れは「杞憂にすぎないのでは」との論もある。<sup>4)</sup> しかし、理科の本当の学力とは何かを考えると、この結果を、楽観視することはできない。問いに関する答えを記号で答えることや知識の豊富さを学力の一部と考えることはかまわない。しかし、それがすべてではない。実は、IEAの調査結果から、日本の子どもたちの論述式問題に対する正答率は決して高くはないことがわかる。これは、日本の子どもたちの自然に対する理解が十分かどうかを疑わせるものであり、択一式の問いに答える方式が多いIEAの調査結果をそのまま鵜呑みにすることはできない。<sup>1)</sup>

IEAは、生徒に対する試験と同時に、小中学校の教師へのアンケート調査も行っている。その結果、物理分野の指導に自信がないと答えた教師が、他の分野よりも多いという結果が出た。また、高校教員の理科の専門を調べると、年々物理教員の割合が減ってきている。この傾向は、東京都よりも新潟県、島根県（岩手県では、1992年から1999年の7年間で20%の減少）で著しい（図1、2、3）。<sup>5)</sup> これは、高校生の物理選択者が減少している結果である。物理担当者の減少は物理を選択する生徒の減少によるものであり、このことから理科離れ・理科嫌いは、物理で顕著であるといえる。

この理科離れ・理科嫌いという問題は、工業立国を目指す日本の将来に暗雲をもたらすのみならず、子どもたちの、思考力の低下や主体的な判断力の欠如を招くという子どもたちの人格形成に与える影響力が大きいと考えられる。<sup>6)</sup> したがって、この問題をあらためて考える意義は大きい。

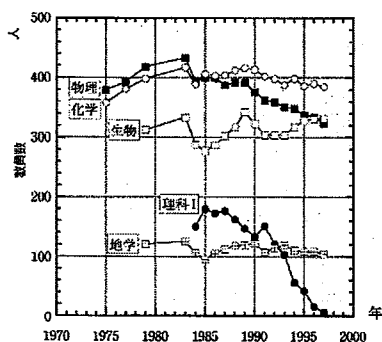


図1 都立高校における理科の各科目担当教員数の変遷

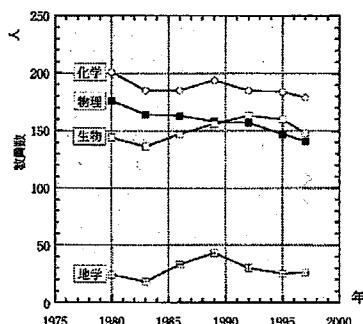


図2 新潟県立高校の理科各科目教員数の変遷

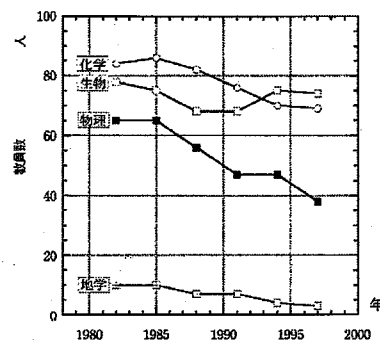


図3 島根公立高校の理科の各科目担当教員数の変遷

文献5)のデータより作成

## 0.2 OECDからの警告

1996年にOECD（経済協力開発機構：Organization for Economic Cooperation and Development）は、科学・技術に対する一般市民の理解に関する国際シンポジウムを開催した。そのなかで、John.D.Millerは、「科学技術に対して興味をもっている市民の割合」、「科学技術について知識をもっている市民の割合」、「科学的な新発見に対して興味をもっている市民の割合」に関する報告をしている。日本はいずれも、調査国14か国中最下位か最下位から2番目に意識が低いことを示していた。これは、調査した対象中の20歳代の関心の少なさによるとしている。<sup>7)</sup> しかし、調査標本総数に占める20歳代の比率（17.6%）から考えると、調査国中最下位であることから、30歳代以上でもほぼ同様の結果を示すのではないかと予想される。日本国民全体について、同様の現象を示すことが予想される。日本人全体について理科離れ・理科嫌いを言えるのであれば、原因は、戦後、ほとんど大きな改革もなく推移してきた日本の教育制度に起因するのだろうか。この報告に関連して、風間春子（1999年）は「TIMSSの理科の平均」と「Science Literacy（自

然科学に関する市民的教養)」との相関と、「理科は生活の中で大切と考える生徒の割合」と「科学を使う仕事につきたいと考える生徒の割合」についての相関を調査した。その結果に基づいて、日本人は成績が高いにもかかわらず、Science Literacy はいわゆる先進諸国の中で最も低いことを指摘している。また、この報告から、日本の子どもたちは科学には興味をほとんど示さず、科学を使う仕事にもつきたくないと考えていることが明らかになった。彼女は、この二つの結果から、日本の将来を憂慮している。<sup>8)</sup>

最近、理工系の大学関係者や学会が、子どもたちに理科実験をさせたりする理科教室などを催して、子どもたちに科学への興味・関心をもたせようとしている。しかし、日本の子どもの数に対する参加者の絶対数は少なく、あまり大きな効果はあらわれていない。また、OECDの調査で、日本の美術館等への入場者は大きく増加しているが、理科系博物館への入場者は、ほぼ変わらないといった結果もある。このことから考えても、日本人、とりわけ子どもたちが科学技術に対してもっと興味・関心を示すようにするための政策（教育の抜本的な改革など）が望まれる。

### 0.3 学習指導要領の改訂

改訂された高等学校学習指導要領は、1998年秋に試案が発表され、1999年3月に公布、2003年4月より学年進行で実施される。これは、国民が試案をよく考えてみたり、意見を述べたりする間もない速さである。今回の改訂で、学校週5日制実施に伴い、理科の標準単位数が削減された。この標準単位数の削減について、当時の文相の有馬前文部大臣が『今後週5日制の教育になると教える量がますます少なくなるとの批判があるが、先に述べた国際比較（TIMSS）のデータをみると、（中略）時間数によって成績がよくなるわけではなく、（中略）。したがって、学校を週5日制にしても大丈夫である。』と述べている。<sup>4)</sup>

TIMSSで高得点を取るためには、知識の量を増やしさえすれば、ある程度は可能である。しかし、時間数削減のもとでの理科的な見方や物の考え方を育成することは難しい。文相のこの考え方は、結果的に、知識偏重教育の容認につながりかねない。さらに『時間数が少ないと十分な実験を行うことは難しくなるので、地域社会で補う必要がある。』と述べている。責任の地域社会への転嫁ともとれる。<sup>4)</sup> このように、理科教育に対する方向性が、果たして、理科嫌い・理科離れに歯止めをかけられるのか疑問がある。

一方、アジア諸国は、過去の日本の理科教育を手本とし、理科重視のカリキュラムに移行してきている。また、米国は理科教育重視の政策を実施し特別予算をつけ、英国は、小・中学校理科の単位数を約2倍にした。アジア諸国の動きとあわせ、世界的に理科教育重視の方向に教育政策が変わっている。<sup>1)</sup> 日本だけが、学習指導要領の改訂とともに

に理科の教育内容を削減するのはなぜであろうか。また、改訂のたびに、全体の授業時数が減っていくばかりか、理科の全科目（物理、化学、生物、地学）を履修していた時代から、今や、たった2科目だけの選択になってきている。この時間数削減について、角谷重樹文部省教科調査官は「今、必要なのは、子どもたちを知識受動型から能動型へ変えていくことです。時間数は教師レベルの問題だと考えます」と話している。<sup>1)</sup> 本来、自然科学は、一部分だけの現象をみて、それを覚えるものではない。自然の事象を理解するためには、事象を多面的に見て、よく考えなければならない。したがって、理科は選択制にすべきではないと考える。理科の選択制が進むにつれて、子どもたちは、自然の事象を理解しないまま暗記を強いられることになる。結果的に、学習指導要領の改訂に伴う全体の時間数削減は、子どもたちの理科に対する興味を失わせることにつながり、理科離れ・理科嫌いをさらに増加させる危険性をもっている。

#### 0.4 新教育課程に対する数学・物理・化学系諸学会の見解

新学習指導要領が告示されるや否や、以下に見解の項目を示す理数系8学会から見解が出された。<sup>9)</sup>

理数系8学会	(社)応用物理学会	(社)日本数学会	(社)日本化学教育協議会
	(社)日本数学教育学会	(社)日本化学会	(社)日本物理学会
	日本物理教育学会	日本応用数理学会	

#### 新教育課程に対する数学・物理・化学系諸学会の見解

- 1 算数・数学、理科の時間削減は遺憾である。
- 2 個性を生かす教育のため、規制の緩和を望む。
- 3 「総合的な科目」は科学的視点を取り入れるべきである。
- 4 教科書検定は最低限にとどめることを望む。
- 5 十分な自然科学の素養、専門的知識を持つ教員の養成に力を入れるべきである。
- 6 生徒の個性に応じた教育を可能にするため、教育環境の速やかな充実を望む。
- 7 大学等の高等教育機関においても新教育課程への対応を準備すべきである。

この共同見解の骨子は、次のようになる。「ゆとり」と「特色」のある学校教育・「自ら考える力」の育成には賛成であるが、授業時数の削減のため、実際にその実現は不可能ということである。その理由の第1は、自ら考える力を育成するためには授業時間の確保が絶対条件であること、第2は、個性を生かす教育のための「選択制」で、授業時数削減により履修できない科目が生じ、自然現象を広い視点で考えることができなくなることである。その結果、さらに暗記に偏重した教育へと追いやられてしまう危険性がある。

公定カリキュラムとしての学習指導要領の強制のなかで、これらの問題を回避するた



めには、別に科学に関する時間の確保が必要である。そのために、「総合的な学習」の時間には、科学的な視点を取り入れることが望まれる。身の回りに関することを科学的な視点にたって学習することにより、縦割り式の在来教科で学んだ内容が、生きた知識となり、更なる学習意欲への動機付けや問題探究への興味・関心へとつながっていくことが期待される。

## 0.5 本研究の目的

本研究の目的は、理科、特に、物理嫌い・物理離れに歯止めをかけるためには、どのような方策が考えられるのかを考察してみることである。そのために、第Ⅰ章では、理科への興味が一般的な高校生と、理科を専攻する大学生の現状を把握する。さらに、一般市民の科学に関する興味などの現状と、日本の子どもたちの理科の学力は世界の中でどのような位置にあるかを把握する。第Ⅱ章では、新学習指導要領がどのように改訂されたのか、また、その特徴や問題点を検討する。第Ⅲ章では、その改訂のもとで、理科嫌い・理科離れを防ぐためには、どのような授業方法が考えられるのかを考察し、その方法を学校現場で実践的に検討する。この方法で授業をおこなった後、記述式の定期考査と実際にその生徒たちが受検した高校入試問題の再度の受験、TIMSSの記述式問題の受験、さらに、生徒の実験への取り組みの観察などを通して、理科への取り組みがどのように変わったのかを検証する。第Ⅳ章では、これらの検証に基づき、高校理科の科目構成・カリキュラムのあるべき姿を提案する。

Science Literacy : 理科に関する市民的教養

# I 理科離れの現状分析

## I.1 高校生の現状

筆者の勤務する岩手県立盛岡商業高等学校（「盛商」）で理科への興味・関心に関するアンケート調査を1999年4月に2学年生徒全員（316名）を対象に行った。その調査項目は①理科が好きか嫌いか（小学校、中学校時代）、②理科学的な体験の有無、③理科学的なことに関する興味の3点である。結果を以下に示す。

### I.1.1 理科嫌いの増加傾向

小学生および中学生時代に理科の授業をどのように思っていたのかを調査した。質問は「あなたは小学生・中学生時代に、理科が好きでしたか。また、高校で習う物理や化学にどんな印象をもっていますか」である。その結果、図4に示すように小学生時代に理科を大好きまたは好きと答えていた生徒が193人（61.1%）いたが、中学生時代になると97人（30.6%）に半

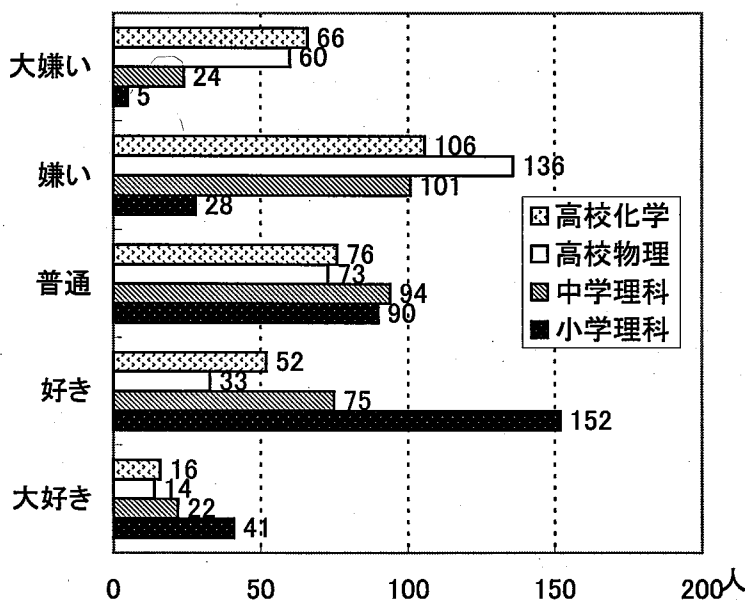


図4 盛商2年生(316名)の理科嫌いの増加傾向

減してしまっている。さらに高校で習う物理・化学が好き・大好きという生徒数は、物理が47人（14.9%）、化学が68人（21.5%）となり、いっそう理科嫌いに拍車がかかっている。この結果は、1989年から1994年に駒林邦男らが、岩手県大野村と胆沢町の小中学生を対象として行った調査結果と同様の傾向を示している。<sup>10)</sup>なお、盛商で調査した時点では、生徒はまだ高校で理科を履修していないため、生徒が高校理科の好き嫌いを先入観で答えている恐れがある。そのため、高校理科の好き嫌いを中学校時代までの印象や日頃の見聞に基づいて答えていると考えられる。

理科が好き理由は、実験・観察をするからというものがほとんどで、9割を占めている。一方、中学生になって理科が嫌いになったという生徒もいる。その理由

の多くは、原子の分野などに代表されるように実際に体感できない内容が増えて、頭の中でうまく考えられなくなったからと答えているもので、7割弱ほどであった。

### I.1.2 理科的体験

小学校の理科の体験、中学校の技術家庭科の授業での電気・電子機器の製作等の理科的体験を調査し、さらに、今までに体験した「遊び」の内容を調査した(図5)。

質問内容の一部(下線部で示す)は1997年に愛知県立半田工業高等学校で理科離れ・工業離れについての研究をした際に生徒にした質問と同じものである。<sup>11)</sup>「あなたは小学校理科の授業、中学校技術家庭科でどのようなことを経験しましたか。また、今までに遊びの中で次のどの遊び(図5に示す項目)を体験しましたか」である。その結果

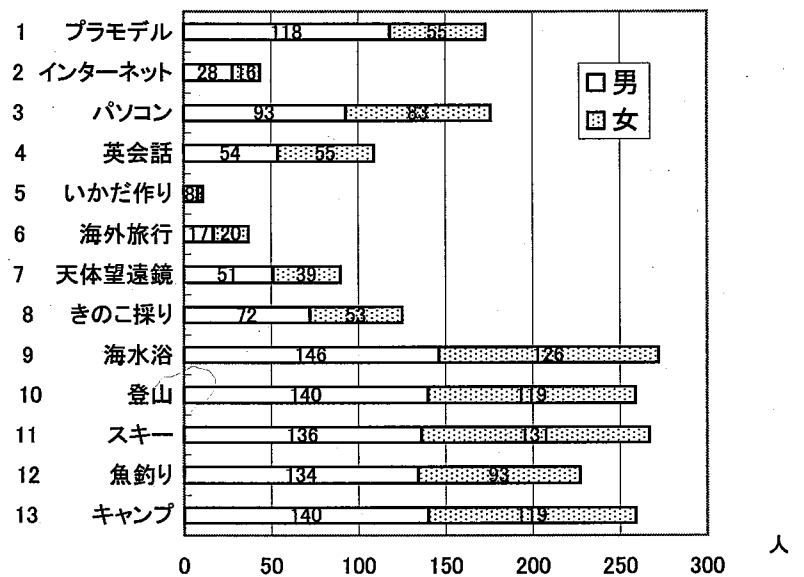


図5 盛商2年生(316名)の過去の遊び体験

から、以下のことがわかった。小学校でモータや電磁石などの製作をどの生徒もほぼ同じように経験していた。中学校では技術家庭科の一部領域が選択制であるため、出身中学校、性別によってわずかに違いが出てきた。最も多い授業での体験は本立てや本箱の製作で209人(66.1%)、次いで、半田ごとで113人(35.7%)、ラジオ75人(23.7%)、電気スタンド・懐中電灯45人(14.2%)の製作となっている。1977年版中学校学習指導要領で技術家庭科は一部が男女共修であったが、現行の指導要領ではすべて共修なので、授業内容による男女間の経験較差は1980年代よりは小さくなってきている。

また、小・中学生時代の遊び体験は半田工業高校での調査結果と同様に、男子特有のプラモデル作りを除いて男女間の遊びの違いがなくなっている傾向がある。これは、遊びが家の中でのものになり、屋外での行動的なものが減っているためと考えられる。屋外での遊びについて、子どもたち自身で考え工夫する、昔ながらの「いかだ作り」をたずねてみたが、経験したことのある生徒はごくわずかであった。

質問項目の9番から13番目の屋外での遊びはほとんどの生徒が経験しているが、これは親掛かりの遊びで、子どもたち主体的に工夫する遊びではない。

### I.1.3 生徒の理科的興味

生徒たちがどのようなことに理科的興味を感じるかを調査した。質問文は「あなたが理科的なこと（技術的、医学的なものなどでも可）について興味を持っていることをあげてください」である。男女とも1、2位はインターネット（32人/119人中）と宇宙（28人/119人中）についてであった。その他、機械いじり、ロボットなどが多かったが、生物分野について興味をもっている生徒はほとんどおらず、身の回りの自然に目を向ける生徒が少ないのが印象的である。

なお、今回調査した盛商は各学年とも男女ほぼ同数で、5つの学科（国際経済科3クラス、商業科4クラス、会計科6クラス、情報処理科6クラス、事務科6クラス1003名）をもっているため、生徒の興味も多岐にわたっている。また、岩手県公立高等学校入学者選抜の結果から、盛商の2年生は、中学校での成績が比較的上位の者から下位の者まで在籍しており、岩手県全体の学力検査度数分布と比較して、度数分布が同様の得点分布を示していることから、サンプル数は多くはないが母集団（岩手県公立高等学校入学者）の標本として適していると考えられる。

## I.2 理科専攻大学生の現状

将来の理科教員を目指す岩手大学教育学部中学校教員養成課程理科の学生と小学校教員養成課程の理科所属の学生の物理学実験Ⅰ・Ⅱ（特に、エレクトロニクスと液体の粘性との実験）での彼らの興味・関心を中心に観察した。この実験は、理科の2年生の必修科目である。実験内容は、エレクトロニクス（4テーマ）、熱電対・金属および半導体の電気抵抗、自由落下・単振り子、液体の粘性、電子の比電荷、天秤、光の屈折・干渉の10テーマで、装置の製作を含む基礎的な実験方法を学びながら物理法則を検証するものである。学生たちの様子を観察した結果、理科の学生とはいえ、実験への興味を感じられず、技術・体験なども筆者が期待していたほどではなかったと感じた。この実験の様子を観察して次のようなことに気がついた。

- ・ 実験のための予習がほとんどの生徒について不十分である。そのため、どのような方法や装置で実験するのかがわからず、実験開始までに1時間以上も時間が経過していることがある。また、何を調べるための実験なのかさえ、理解していない生徒もみられた。
- ・ 中学校技術家庭科（3年で学習）で学んだはずなのに、電気・電子回路図を読むこ

とができない。

- ・ 実験書に書き添えられている回路図を読むことができない。
- ・ トランジスタのE・C・Bがわからない。直流電源の極性を誤る学生がいる。デバイスが5～6個の回路を組み立てることができない。
- ・ 中学校技術家庭科（3年で学習）で学んだはずなのに、抵抗器のカラーコードを単なる模様としか考えていない。
- ・ 回路図に極性を記しているにもかかわらず、誤って取りつけている。
- ・ はんだ付けがうまくできない（はんだが団子状にもりあがっている）。
- ・ 導線をむやみに長くしている。また、導線の被覆を剥く際も同様である。
- ・ オシロスコープの使い方がわからない。倍率等を理解していない。
- ・ マイクロ、ピコ、デシのような副単位を覚えていない。
- ・ 物質量の概念がわからず、計算できない。
- ・ メスフラスコなどの実験器具名、使用法がわからず、標準溶液を調製できない。
- ・ 手巻式ストップウォッチのぜんまいを巻くことを知らない。

その他、当然大学入学以前に教科書で取り上げられている（経験している）はずのことが理解されていなかったり、未経験であったりする学生が半数をこえていた。これは、初等・中等教育における実験機会や模型造りなどの体験の減少に起因していると考えられる。

子どもたちの理科教育を担う教員になろうとする学生のこの体験の乏しさは、授業に関連したトピック的なことを話す内容持ち合わせていないために教師からの一方的な講義形式の授業に陥りやすく、また、子どもたちの実験にかかわる時間の減少も考えられるため、理科嫌いの拡大再生産になる一因であろうと考えられる。<sup>12)</sup>

小学校教員の物理嫌い・物理離れについては、日本物理教育学会年会（1999年8月）で、報告がなされている。<sup>13)</sup> 北海道内の小学校教員を対象として、理科の各科目についての好き嫌いの調査結果が報告された。それによると、物理を嫌いと言った教員が60%ほどもいた。また、1982年度以前の学習指導要領による高等学校教育で、物理・化学・生物の履修率はいずれも80%以上あったが、それ以降の高等学校教育では、物理の履修率は40%にも満たない状況になり、他の科目も軒並み下がっている。

### I.3 一般市民の現状

OECDは、日本人の科学技術に関する興味・関心について報告している（図6）。日本の一般市民のわずか20%ほどしか、科学技術に関心をもっていないと報告している。その理由は、科学技術は自分たちとかけ離れているとか、関心があっても新しい科学技

術について知るための情報源がないということであった。しかし、科学技術に関する記事が新聞記事の12%を占めていることを一般市民は、ほとんど知らない。それだけ、関心が低いと報告している。<sup>7)</sup> 日常生活でこれほど科学技術の恩恵を受けているにもかかわらず、その基礎となる科学の新しい発見には無関心であることがわかる。以前から日本では、女性が理数系を不得意なことは当然という意識を持っていたため、女性が理科的なことに関する関心は少なくなっていることは推察できる。しかし、戦後、技術大国としての日本の復興に貢献してきた年齢層の男性まで科学技術の関心が少なくなっていること考えられ、この原因は科学技術の発達と研究の細分化により、一般市民では新しく発見されたことがほとんど理解できなくなっていること、また、それを理解したところで一般市民の生活には何ら関わりのないという理由から自然科学に対する関心が低くなっているのであろう。OECDは、この現状を解決すべく政府や関係省庁が早急に何らかの方策を実施するべきであると警告している。

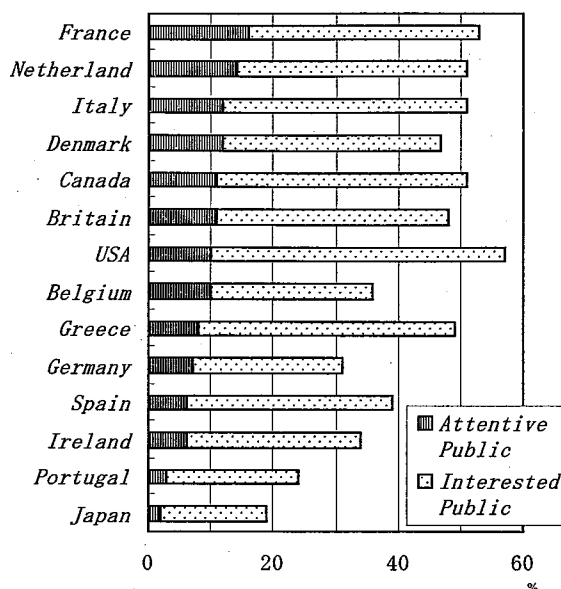


図6 Attentiveness to science and technology

Attentiveness: 行動を伴った強い興味  
Interested: 一般的な興味  
文献 7)より引用

#### I.4 理科嫌い・理科離れがすすむ日本の子どもの Science Literacy

IEAの第3回国際数学理科教育調査(1994-95年)において、日本では中学1・2年生(国際的学年で7年生と8年生)約1.1万人が標本とされた。理科は135題の問題(90分相当)と質問紙(一種のアンケートで20分相当)が課された。

この結果、日本の理科の水準は世界45か国中、中学1年生では第4位、中学2年生では第3位になった(表1)。

理科の全問題135題の分野別内訳は、地学の問題が16%、生物と物理がそれぞれ30%、化学が14%、環境・その他が10%となっている。また、それぞれの問題は選択肢形式(4肢選択または5肢選択)の問題102問(76%)と記述式問題33問(24%)に大別される(表2)。さらに、記述式問題は、答えだけを求める問題(求答形式の問題)と、理由や考え方を記述する問題(論述形式の問題)に分けられる。このように選択肢形式の問題が75%を超える問題では、生徒が考えて記述することなく、ただの丸暗記的知識でも高得点

が見込まれるため、生徒の理科の学力を正しく評価することはできないと考えられる。

表 2 Distribution of Science Items by Content Category

Content Category	Number of Items	Number of Multiple-Choice Items	Number of Free-Response Items
Earth Science	22(11)	17(6)	5(5)
Life Science	40(27)	31(18)	9(9)
Physics	40(25)	28(13)	12(12)
Chemistry	19(14)	15(10)	4(4)
Environmental Issues and the Nature Science	14(10)	11(7)	3(3)
Total	135(87)	102(54)	33(33)

表 2 において、( ) 内の数は、公開された問題の数を示す。  
(残りの問題は数年後に行われる再試験に使用されるために非公開)

文献 3) より引用

日本の教育は、一つの教室に生徒を 40 人も押し込んだマスプロ教育である。そのため、生徒が理解しているかを正確に把握できないまま、次の授業内容に進んでしまうという欠点をもっているため、極言すると、知識注入型教育と言える。この知識注入型教育は、頭の中に知識だけを詰め込んだデータベースしかつくりたくない。じっくりと生徒に考えさせ、生徒が理科に興味・関心を示す理科教育の実現にはかなりの工夫を要する。IEA の調査結果から、比較的成績が上位にランクされている国では、1 クラスあたりの生徒の定員が多いことがわかる。たとえば、韓国では、1 クラスあたりの生徒定員が 40 人を超えているクラスに属している生徒が 89% もいる (表 3)。このシンガポールと韓国の授業の様子は、戦後日本の学校の様子に似ているのではないかと。

表 3 Teachers' Reports on Average Size of Science Class

Upper Grade(Eighth Grade)

Country	Percent of Students	Upper Grade(Eighth Grade)			
		1-20 Students	21-30 Students	31-40 Students	41 or More Students
Singapore		0	9	72	19
Czech Republic		11	78	11	0
Japan		0	4	88	8
Korea		6	1	5	89

文献 3) より引用

たとえ、選択式問題で高得点を得たとしても、自分のことばで説明をすることができなければ、理科の理解が十分とはいえない。総合点では上位にランクされているが、記述式問題の正答率の低さから、日本の子どもたちの理科の理解度がデータベース型であること

がわかる。ここで、記述式の問題例<sup>14)</sup>と学年別正答率とをあげる(表4)。

表4 記述式問題例と学年別正答率と内容の履修学年

項目 番号	問 内 容	正答率(%)			内容の 履修学年
		中1	中2	学年差	
R5	二酸化炭素と消火	36.7	44.4	7.7	小6
K10	空気存在の確認法	24.6	28.1	3.5	小3
Z1a	塗装の必要性	24.7	33.0	8.3	中1技術

文献14)より作成

問 R5「二酸化炭素は火を消すのに有効なものである。二酸化炭素はどのようにして火を消すのか説明せよ」

問 K10「空気は無色、無味無臭である。空気の存在を示す方法をひとつ述べよ」

問 Z1a「なぜ橋には塗装が必要なのか述べよ」

問 R5 と K10 はいずれも小学校で履修しているにもかかわらず、正答者が半数にも満たない。このことから、小学校で習う基礎的事項が身につけていないことがよくわかる。また、問 Z1a は中学1年に技術で習っていることなのに正答率がたいへん低い。これは、理科で習ったこと(酸化(錆び))と技術(塗装)でならなかったことが結びついていないことであり、学習内容が整理され体系化された知識ではないためではないか。子どもたちに身に付けさせたいものは、理科で習ったことを応用して活用する力である。IEAの調査結果は、子どもたちの身につけた学力の一部分しか評価していないと考えられる。*Science Literacy*(自然科学に対する市民的教養)を世界的に比較するためには、論述形式をより多くした構成でなければならない。

#### I.5 理科離れ・理科嫌いの原因分析

高校生へのアンケート結果、大学生の物理学実験を観察して、理科的体験の絶対量が不足していること、屋外で遊ぶことが少なくなっていることがわかった。その結果、身近な自然に目を向けることや子どもの時期に自分で工夫することが少なくなっている。そのため、学校で学ぶことと自分たちの体験とが遊離し、子どもたちの理科への興味を失わせていると考えられる。また、理科の授業は、効率を求めるあまり、教師主体の授業になり、生徒の理解度とは無関係に授業が進んでいる。このようなことが主要な要因となり、理科離れ・理科嫌いが進行していくものと考えられる。



## Ⅱ 新学習指導要領の理科に関する改訂の要点

日本の現行の教育制度のもとで、物理嫌い・物理離れを防ぐための授業はどのように行えばよいのか、また、現行の学習指導要領から新しく実施される学習指導要領に移行する際に、どの科目で実践すると有効なのかを考察するために、新学習指導要領について調べてみる。

### Ⅱ.1 改訂の基本方針

2003 年から実施される高等学校学習指導要領の理科の改訂の基本方針は、「探究的な活動をより一層重視し、覚える理科から自ら探究する理科への転換を図るとともに、生徒一人一人の能力、適性、興味・関心や進路希望に応じて豊かな科学的素養を養う科目を設ける」である。この方針の具体化は、自然に対する知的好奇心や探究心を高め、自ら学ぶ意欲や主体的に学ぶ力を身に付けさせるため、観察・実験をより一層重視したカリキュラムとなってあらわれている。また、観察・実験などを通して、科学の方法を習得させ、問題解決能力が育成されるよう、「探究活動」や「課題研究」をそれぞれの科目の内容の一部として位置付けていることにもあらわれている。

中学校学習指導要領は、2000 年から移行期になり、2002 年に完全実施となる。この新中学校指導要領のもとで中学校教育を受けた生徒たちが、新高等学校指導要領の適用を受ける。理科は、中学 1・2 年生で年間 105 時間（週 3 時間）の授業を実施し、中学 3 年生で年間 80 時間（週 2 時間 + 年間 10 時間）の授業となる。この「+ 年間 10 時間」は、カリキュラムの弾力化に伴って、中途半端な時間数になったものであり、削減された 25 時間は、「選択教科等に充てる授業時数」へと振りかえられる。この選択教科は、第 1 章総則に記されており、法令上は必ずしも履修の必要はないことになっている。したがって、選択教科が開講され、その選択教科が理科にならない限り、実質的な理科の授業時数の削減になる。さらに、高等学校においても同様のことが考えられるため、理科の時間数減はいっそう深刻な問題であり、それを解決するための策を講じる必要がある。

## Ⅱ.2 目標の改善点

「理科の目標」は、この基本方針を受けて、小学校・中学校理科の目標と関連を図りながら高等学校教育のねらいを述べたものである。この目標は、以下の4点に要約されるように改訂された(表5)。最も重要な変更は、自然の摂理を自ら希求しようとする態度の育成にある。

- (1) 目的意識を持って、観察、実験などを行うことにより、知的好奇心や探究心を喚起し、自ら学ぶ意欲を高め、自然を主体的に学習しようとする態度を育てること。
- (2) 観察、実験を通して探究活動を行い、科学的に自然を調べる方法を身に付けるなど、探究する能力と態度を育てるとともに、問題解決能力を養うこと。
- (3) 自然にかかわる基礎的・基本的な学習を通して、自然の事物・現象にみられる原理・法則等を理解し、自然の仕組みや働きについて分析的かつ総合的に考察する能力を養い、さらに進んで科学的な自然観を育成すること。
- (4) 多様な自然現象についての客観的な考察を通して合理的な思考を育成するとともに、自然と人間とのかかわり、科学技術と人間生活とのかかわりについて理解を深めること。

表5 現行および改訂後の高等学校理科の目標

現 行	改 訂
自然に対する <u>関心</u> を高め、観察、実験などを行い、科学的に探究する能力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。	自然に対する <u>関心や探究心</u> を高め、観察、実験などを行い、科学的に探究する能力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。

## Ⅱ.3 科目の構成

科目の構成を表6のように改めた。必修科目を「理科基礎」、「理科総合A」、「理科総合B」、「物理I」、「化学I」、「生物I」、「地学I」のうち2科目とする。より幅広く基礎的な能力が身につくように、さらに、その2科目の中に「理科基礎」、「理科総合A」、「理科総合B」のいずれか1科目以上を含めるものとしている。以下に、新設科目を含め各科目の特徴を述べる。

表6 現行および改訂後の科目構成および必修科目

現行は、△印のついたものから2科目以上履修する。ただし、△1から△5までの5区分中から2区分以上履修することとなっている。改訂後は、◎印または○印のついたものから2科目以上選択する。ただし、◎印のついた科目を最低1科目以上履修しなければならない。

現 行		改 訂	
科目名	標準 単位数	科目名	標準 単位数
理科総合	4 △1	理科基礎	2 ◎
物理ⅠA	2 △2	理科総合A	2 ◎
物理ⅠB	4 △2	理科総合B	2 ◎
物理Ⅱ	2	物理Ⅰ	3 ○
化学ⅠA	2 △3	物理Ⅱ	3
化学ⅠB	4 △3	化学Ⅰ	3 ○
化学Ⅱ	2	化学Ⅱ	3
生物ⅠA	2 △4	生物Ⅰ	3 ○
生物ⅠB	4 △4	生物Ⅱ	3
生物Ⅱ	2	地学Ⅰ	3 ○
地学ⅠA	4 △5	地学Ⅱ	3
地学ⅠB	2 △5		
地学Ⅱ	2		

### Ⅱ.3.1 「理科基礎」の新設の意義についての検討

この科目では、科学と人間生活とのかかわりを学ぶとともに、科学を発展させてきた物質の成り立ちの探究、細胞の発見や進化論、エネルギーの考え方の確立過程、地動説やプレートテクトニクスなど近代科学の中心命題を取り上げ、科学に対する興味・関心を高めることができるようにしている。

我々の生活と科学とのかかわりを学習することは重要なことである。しかし、近代科学の中心命題を、各科目の学習以前に学習しても、羅列的な知識に終わる可能性がある。そのため、理科基礎を必修にした意義から考えて、実際に履修させる場合は単位を増単する必要がある。

### Ⅱ.3.2 「理科総合A」・「理科総合B」の新設の意義についての検討

自然を総合的に見る見方を育成するため、「理科総合A」では、エネルギーと物質の成り立ちを中心として、自然の探究の仕方、資源・エネルギーと人間生活、物質と人間生活、科学技術の進歩と人間生活について、また、「理科総合B」では、生物とそれを取り巻く環境を中心として、自然の探究の仕方、生命と地球の移り変わり、多様な生物と自然界のつり合い、人間の活動と地球環境の変化について、それぞれ観察、実

験などを通して学習し、自然を総合的にみる見方を育成するとしている。

自然を総合的に見ることは、必要なことである。総合的に見るためには、理科総合 A・理科総合 B と二つの科目に区分する必要はないと考える。両方の科目を履修させて科目の枠を取り払い、履修させる方法が望ましいと考える。その上で、「理科基礎」と「理科総合」を、高校理科のイントロダクション的な性質をもつ科目として位置付け、どちらか一方を必修にすることを提案する。

### II.3.3 I を付した科目についての特徴と検討

I を付した科目は親しみやすく、基本的な内容で構成し、生徒が幅広く履修できるようにする。また、探究活動をその中に含むことによって、探究的学習の推進を図っていくとしている。

この科目は、基本的な内容ばかりで構成されているわけではなく、理科の 4 科目のそれぞれの領域について、単位数の関係から、「II を付した科目」と区別しただけのように感じられる。現行の「I を付した科目」の単位を減らしただけの科目であり、中学校から移行してきた項目が増えた上に、1 単位減ったことにより、さらに詰め込み教育に拍車がかかる可能性がある。

### II.3.4 II を付した科目についての特徴と検討

II を付した科目は、上記の科目を基礎として、より発展的な概念や探究の方法を学習する科目として設けた。そのため、従来からあった課題研究について、実験計画を生徒自身に任せるなどして、さらに生徒が主体的に行うものとして位置付け、生徒の問題解決能力の育成を図っている。この科目は、興味・関心に応じた学習とするために、項目選択も可能としている。

単位数が 1 単位増加したが、I を付した科目から移行した内容が増えた分、従来の II を付した科目と変化がない。ただし、3 単位になった分、実際には、授業を開講する学校が減ると考えられる。この科目は、課題研究に主眼を置いて開講されるべきであり、現行の II を付した科目に比べて履修項目が増えているため、実質的には変化がなく、課題研究に重点を置いた授業の実施は難しい。

## II.4 中学校からの移行項目

中学校から移行した項目は、表 7 に示すように、ほとんど「理科総合 A・B」および「I を付した科目」に位置付けられている。「I を付した科目」の内容の一部は「II を付した

科目」へ移し、「Ⅰを付した科目」における学習負担を軽減している。「Ⅱを付した科目」まで選択した場合の履修内容はほぼ維持するようにして内容を構成している。

現在高校進学率が95%を超えているが、現在中学校で履修している項目が高校へ移行しているので、高校に進学しなかった生徒、また、選択制が拡大し、その科目を履修しない生徒の理科の素養が減ることが心配される。

表7 中学校からの移行内容の位置付け

「理科総合 A」「物理Ⅰ」	仕事と仕事率、電力量、水の加熱と熱量
「理科総合 A」「化学Ⅰ」	電気分解とイオン
「理科総合 B」「生物Ⅰ」	遺伝の規則性
「理科総合 B」「地学Ⅰ」	地球上の生物の生存要因、地球の表面の様子、惑星の表面の様子、大地の変化の一部、日本の天気の特徴
「物理Ⅰ」	比熱、水圧、浮力、力とばねの伸び、質量と重さの違い、力の合成と分解、直流と交流、真空放電
「化学Ⅰ」	中和反応の量的関係、電池
「地学Ⅰ」	月の表面の様子、外惑星の視運動
「理科総合 B」「生物Ⅱ」	生物の進化、花の咲かない植物、無脊椎動物

## Ⅱ.5 「選択制の拡大」と「カリキュラム弾力化」が意味すること

新学習指導要領では、各教科の授業は、選択制が拡大し、カリキュラムが弾力化された。以前から、高等学校においては、授業の単位数は定められておらず、標準単位数という学校の裁量により単位数を増減できるものとなっていた。駒林のいう「学校知の制度化・公定化部分（法令で規定されている）」は、小・中学校よりも高等学校においては柔軟になっている。<sup>10)</sup> 今回の改訂で、卒業単位数が80単位から74単位へ引き下げられ、教育課程の編成や卒業に必要な単位数の引き下げからも、一層、弾力化が進んだものとなっている。

選択制を拡大した意味は二つある。一つは、生徒の個性を大切にしたい教育のためであり、もう一つは、社会の多様化のためである。しかし、この選択制を進めていくことによって、社会人として当然身につけておかなければならない Science Literacy が減ることが予想される。これは、科学技術に対してほとんど関心を示さない、ただそれを利用するだけの市民の増加につながるのではないかと。佐藤学は選択制を拡大していくことを「もはや、だれの力によっても制御できない多様化・専門化の運動」と皮肉をこめて表現している。<sup>15)</sup> 生徒の数ほど高等学校が存在し、高等学校で何を教えるべきかが曖昧になってしまう。公教育の場としての高校のあり方を再考する必要がある。

### Ⅲ 新学習指導要領に対応した理科の授業は

I E Aの調査結果で、日本の子どもたちの知識は世界でも上位であるが、Science Literacy は世界で上位と言うことはできない。知識偏重教育が一因となっている理科嫌い・理科離れに歯止めをかけるにはどのようにすればよいのか、新学習指導要領のもとでも活用できるのか、授業実践で検証してみる。

本研究では、以下の2点の改善を考慮した授業を実施した。その授業は、自然の事物・現象にみられる原理・法則等を総合的に考察できるように、内容の配列を工夫した授業である。その際、内容がそれぞれ脈絡のない項目ごとの配列にならないように、科学史に沿った配列にした。そして、問題解決能力を育成するために探究活動を重視した授業である。以下、これら2点の改善をした授業の実践例の概要と、生徒たちの反応、筆者の評価とを述べる。

#### Ⅲ.1 科学史に沿った授業内容の配列

科学史を授業に取り入れる意義を安孫子誠は以下のように述べている。トーマス・クーン（中山茂訳『科学革命の構造』（みすず書房））によれば、「通常の教科書はあるパラダイム（学説）を秩序立てたものであり、研究の専門家の養成に有用なものである。しかし、物理学自体は、一つの学説が崩れて、次の学説が出現するというように、動的に変転してゆくものであり、それこそが進歩である。」。通常の教科書では、このような物理学の動的な姿をうかがい知ることはできない。それ故、物理学の真の姿を人々に知らせることを目的とする一般教養の物理は、歴史的に教えることが妥当であろうということである。<sup>16)</sup> 世界の理科教育を見ても、科学史を活用したものが多い。たとえば、図7は1920年代のアメリカの教科書（技術者のための物理学）の導入部に掲載されたものをもとにしたもの<sup>17)</sup>だが、この教科書のように、科学を歴史と関連付けさせながら教えようとする考えも少なくない。従来の教育方法のように項目ごとに学習したとしても、物理学はどのような失敗をしながら、今に至ったかを知る

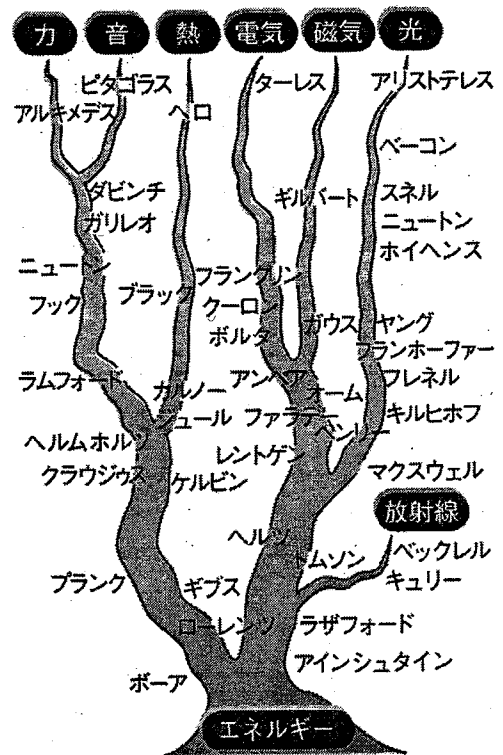


図7 物理学の見取り図

ことは無駄ではなく、このような歴史的な認識過程が重要である。さらに、筆者が科学史の活用を意図したのは、生徒が歴史的な発展過程を知ること、自然の事象がいかに多くの事柄に関連しているのかを知り、その関連のために無機的な暗記にならないためである。

新学習指導要領では「理科基礎」で科学史を取り扱っている。この「理科基礎」では、これまで科学が自然の謎の探究・解明にいかに関与し、文明の発展に寄与してきたかを知るとともに、過去の実験の再現や、課題を解決した過程や科学が直面している問題や科学と人間生活との関係について学び、科学的なものの見方や考え方を養うことをねらいとしている。そこで、この「理科基礎」でも実践できるような科学史を活用した授業を化学 I A の授業で行ってみた。

### III.1.1 科学史を活用した授業内容

理科の授業において科学史を活用する理由は、科学者たちの行った実験を考察しながら、いかにして次の発見へとつながっていったのかを学習し、履修項目がそれぞれ独立したものにならないようにするためのものである。この授業では物理分野と重複する項目を化学 I A の授業時において実践したため、対象となる項目は限られた。その内容は、原子論・原子の内部構造と気体の法則である（附録 A）。

古代の原子論を学習した後に原子論の学習を、17 世紀のドルトン (J. Dalton 英) の倍数比例の法則により、原子の考え方がもっとも強い説得力を示したことから始まって、原子の内部構造へと授業を進めていった。原子の内部構造をトムソン (J. J. Thomson 英) による電子の発見から、ラザフォード (E. Rutherford 英) による原子核の発見、チャドウィック (J. Chadwick 英) による中性子の発見までの項目を、史実を通して学習した。この単元では、ラザフォードの  $\alpha$  線散乱実験により原子は電子と原子核という内部構造をもったものであるということを学習させた。次に、この実験を継続する過程で発生する粒子に疑問をもち中性子を発見したことを学習させた。

気体の法則の学習は、以下の歴史的順序で行った。トリチェリ (E. Torricelli 伊)、パスカル (B. Pascal 仏)、ゲーリケ (Otto von Guericke 独) による実験から、真空と気体の圧力の概念などを学習させた後に、ボイル (R. Boyle 英) の実験による気体の圧力と体積との関係、シャルル (J. A. C. Charles 仏) による実験から気体の体積と温度との関係、さらに、温度には下限があること (絶対零度) を学習させた。さらに、気体の温度、圧力、体積について発展させ、気体分子運動論までを学習させた。

この授業で配慮したことは、単なる歴史の羅列にならないように、1 つの項目について十分な時間をかけ、科学者たちがどのように考えて実験を行ったのかを生徒たち

自身が答えを導き出せるようにしたことである。当初、生徒に接して間もなかったために生徒たちの発言が少なく、活発な意見交換にはならなかったが、指名することにより1つの考えに対する反対意見も出され、講義を受けるだけの授業ではなかったことがよかった。

### Ⅲ.1.2 科学史を活用した授業への生徒の反応

科学史を活用した授業への生徒の反応は、多種多様であったが、従来の授業でよいと答えた生徒が52%あった。科学史を活用した授業のほうがよいと答えた生徒は、科学者たちがどのようなことを考えて、実験を進めていったのかがよくわかり、ただの暗記とは違って面白かったと答えた。また、従来の授業方法がよいと答えた生徒の1/3は、歴史が嫌いという理由で、2/3は教科書がないため勉強しにくいという理由を挙げた。歴史を教えたつもりはないのだが、歴史は暗記というアレルギーを持っているのであろう。これは、授業者が、生徒に歴史を学んでいるという意識を与えないように十分に配慮して授業しなければならないということを示唆している。従来の授業方法がよいと答えた生徒の中で、実験をするからという理由をあげた生徒が30%いた。今回、科学史を活用して授業を行った際に、実験はまったく含めなかった。したがって、科学史を活用した授業に実験を加えることで、生徒の理科に対する興味をひく効果が期待される。また、授業資料（プリント・附録B）の充実も科学史を活用する授業をするための必要条件になる。

### Ⅲ.2 探究活動の重視

探究活動は、授業にとどまらず、それ以外の場面であっても行うことができる。探究活動は、すなわち、理科実験・観察と解釈されがちであるが、もっと広い実践も含めるべきであると考えた。実験・観察には、現象から本質へと入っていく認識論的方法と、仮説を検証する方法とがある。しかし、実際の教育現場での実験は、教科書に記されている内容を実際に確かめてみるという作業にすぎない。これでは、生徒が実験・観察を楽しんでいるはずはない。実験・観察を好きと答える生徒は、実験・観察が何らかの作業を伴っているため、座席に座ったままの授業より苦痛が少ないと感じているにすぎない。そのため、探究活動の方法を検討し、自らの認識の妥当性を検証するという実験本来の役割を実現できる実験・観察を目指した。その際、探究活動の方法に、授業での実験・観察と、授業によらない探究活動とを考えた。

実際の授業は、1999年4月から、原子の内部構造、原子の励起状態、そして、原子固



有のスペクトルについて学習し、炎色反応の実験（2時間）を行った。6月からは、科学史を活用した授業展開との比較のため、従来のやり方の教科書に沿った授業方法で、物質量、モル濃度、酸・塩基、有機化合物などの授業を行い、実験もその章立てにしたかった。実際に、実験・観察を行う際には、一方的に実験方法を説明したのでは、生徒が何を調べるための実験であるのかも理解せずに実験・観察を行うことになりかねない。したがって、教師側から一方的に実験方法を説明するのではなく、実験テーマを提示して、それを検証する具体的な方法を考えさせることにした。

### Ⅲ.2.1 授業での実験・観察

始めに行った実験は炎色反応に関する実験である。この実験は、通常、化学ⅠAの成分元素の検出という単元で行われる。しかし、今回は、原子の構造を学習した後、原子の基底状態と励起状態について学ばせ、原子固有のスペクトルの項で扱った。先に成分元素の検出の項を履修してしまうと、ただ単に元素と色との対応を暗記することになりがちで探究活動まで到らない。そこで、筆者は、原子固有のスペクトルを印象付けてから、成分元素の検出を履修させることにした。実験・観察の最低限の目標は、現象を直接体験することであった。中学時代にレポートの作成を経験したことのない生徒のために、実験の前時にレポート作成法（レポートの様式）を講義し、レポートという形で実験したことを自分で整理することについて教えた。

実験前の授業で、原子の構成要素、電子の殻構造（K殻、L殻、M殻、…）、さらに、原子の励起について学習させている。原子の励起から、発光のメカニズムを考えさせ、光を出させるにはどうしたらよいかを推論させた。果たして、生徒たちは金属イオンを含んだ溶液が光を出すために、熱を加えるという答えを出してきた。そこで、熱を加えるために金属イオン溶液（10ml）にメタノール（10ml）を加えて点火させることにした（この方法は教科書には載っていない。金属イオンを含んだ水溶液を白金線につけてバーナにかざす方法が一般的である）。しかし、今回の方法は、数十秒間継続して観察（分光器を使用）できるため、一般的方法に比べて観察しやすかった。また、生徒の一部は実験後、手近にあった金属片をやすりで削り、炎の中に入れて観察するなど、生徒たちの好奇心も触発できた。

2回めに行った実験は、中和滴定実験である。この実験の目標は、実験器具の操作、データ処理の学習である。この実験については、1回目の実験よりも、実験を行うための方法が複雑であるが、その方法を考えさせることが重要であった。酸・塩基反応を一通り学習した後、実験を行った。試料に市販の食酢を用いた。食酢中に含まれる酸はすべて酢酸であると仮定して、食酢中に含まれる酢酸のモル濃度を調べさせた。この実験では、酸の水素イオンと塩基の水酸化物イオンが等量ずつ容器内に存在すれ

ば、指示薬（フェノールフタレイン）の色の変化により、中性になったことが確認できる。すなわち、酸（食酢）が塩基によってちょうど中和されたことがわかる。この理論を理解させることができれば、実験方法・実験器具を説明させることは簡単であった。なお、通常この実験は、化学ⅠAでは扱わない。この実験は定量実験のため、操作を慎重にする必要があり、生徒が提出したレポートの感想には、化学実験の難しさとともにわずかの量で溶液が赤変してしまう不思議さについて書いてあるものが多かった。また、用いた指示薬の変色域の特性や、化学ⅠAでは履修しないが、塩の加水分解の項などについて詳細に調べたものなど、生徒が苦勞して作成したものであることを感じさせるものもあった（附録C）。

3回目の実験は、エステル合成の実験である。この実験の目標は、有機化合物の種類と特徴を学習した後に、エステルの合成を実際に体験してみることである。何を合成するか各クラス・班に選択させたところ、一様に、果実の香りのもとになっているエステルの合成になった。この実験は教科書の探究欄に載っていたものである。この実験は生徒実験3回目であるため、生徒が準備段階から実験まで主体的に行うことを目標にした。各班ごとに実験計画書を提出させ、筆者がチェックした後に、実験させた。ただし、この実験は、触媒として濃硫酸を使用するため、この操作だけは十分に注意させた。合成されたものは必ずしも果実の香りがしなかったが、提出されたレポートには、香りがしなかった原因が考察されており、前回提出されたものよりも考察が充実しているものが多かった。

今回実践した授業は年間70時間の授業であるため、実験に多くの時間をさくことはできない（年間5回の実験を計画）が、この3回の実験を通して、生徒は定性実験と定量実験、化学物質の合成を経験した。実験・観察をする場合には、教師側がすべて計画・準備をするのではなく、生徒も含めて計画・準備することが重要であると感じた。

### Ⅲ.2.2 授業によらない探究活動

生徒が、疑問に思ったこと・不思議に思ったことは授業の中だけにとどまらない。そのような日常的に感じている疑問が解決したとき生徒は自然の不思議さ・面白さを感じ、それが理科の授業と結びつけば、理科の授業にも興味を持ち、さらに詳しく学んでみたいと考えることであろう。しかし、ほとんどの生徒は、ふだんそのようなことを探究しようなどとは思わない。その理由は、物理的に時間がないという場合もあるが、概して、今の生徒はすべてに対して受動的であり、すすんで何かを調べてみようという気持ちが欠如しているためであろう。そのため、探究活動を始めるきっかけとわずかな時間とを与えた。筆者の与えたきっかけは、授業の中に位置付けて計画までの助言をすること、そして、第3期末の評価の一部として入れることである。探究

活動のために授業時間は2時間しか与えることができなかった。その時間は、資料調査が可能なように授業を図書室で行った。なお、これを行ったクラスは、2学年8クラス中6クラス(239名)であり、生徒が探究活動をしたいと希望したクラスである。

この探究活動は、ふだん生徒が興味を持っていることや、疑問に思っていることを、実際に自分で計画して調べさせた。この探究活動の目的は、生徒が主体的に行うことにより、自然科学に目を向けさせることと、探究する方法を学ばせること、そして、探究の喜びを感じさせることである。

提出されたレポートの課題は多岐にわたり、資料を探して調べたものから、自宅で簡易に実験をしたものもあった。その題目を数点紹介する。

#### <実験を伴うレポート>

- ・生活用品と酸・塩基(附録D1)
- ・紙の折り方による強さの違い(附録D2)
- ・果物で作る電池
- ・ナプキンの吸収率\*感想1
- ・洗濯を科学する\*感想2

#### <資料調査によるレポート>

- ・虹と雷について
- ・花火と金属
- ・花時計
- ・空気中の水と雲
- ・エネルギー問題から見た環境問題

この活動を通して、生徒たちの自主性と発想の豊かさを垣間見た。実際に実験をした生徒はわずか10人(4.3%)であったが、家庭で実験できる素材はもっとたくさんあるとレポートに書かれていた。感想は、「自分でやってみなければ、わからないことがある。実際にやってみてよかった。(感想1)」、「次回は、洗剤の違いについても調べて見たい。(感想2)」等があった。この感想は、自分で何らかの実験をしてみても楽しかったということである。理科の単位数がもっと多く確保できれば、さらにユニークな発想の実験などがなされたと考えられる。時間とわずかなきっかけを与えられれば、生徒たちはもっと、身の回りのことに目を向けるのではないか。まだまだ、子どもたちには「科学する心」が残っている。問題は如何にして生徒の心に火をつけるかである。新学習指導要領での時間数削減についての問題は、新設された「総合的な学習の時間」に自由研究を行わせることによって、解決できると考えられる。特に、盛商のようにもともと理科の単位数を多く確保できない高等学校では絶好の時間であると言える。

### Ⅲ.3 各種試験の結果

#### Ⅲ.3.1 定期考査の結果から

現在（2000年1月）までに、定期考査を3回行った。考査問題の特徴は、記述式の問題を多くしたことである。IEAの行った試験は記述式の問題が少なく、本当に子どもたちに Science Literacy があるのかという疑問があったためである。それは、選択式の問題は、生徒の正答を求めるプロセスを知りえないだけでなく、偶然に正答してしまうという可能性のためである。第1回目の考査は、すべて記述式とした。しかし、50分という試験時間では、後半の問題に手をつけられない生徒が多くいた。そのため、第2・3回目の考査は記述式の問題を50%とした。第2回目の考査問題（附録E）の一部の正答率を表8に示す。問題1は中和滴定実験について、(1)水酸化ナトリウムの潮解性、(2)中和点と指示薬、(3)実験器具、に関する問題である。問題2は、(1)トリチェリの実験、(2)パスカルの実験、(3)前問(1)、(2)の実験結果から推測されること、に関する問題である。問題1・2とも、記述式であるが、問題1は、基礎的な知識を問う問題である。この実験は、実際に行ったため、実験方法は十分に理解していると考えられるが、試薬の特性を十分に理解させるにはいたらなかった。一方、問題2は文章で書く論述式問題である。特に、(3)の問題は生徒が科学史を活用した授業で習ったことを自分のものとしているのかを問う問題となっている。この問題2(3)は、応用問題でもあり、ほかの問題より正答率が低かった。科学史を活用して授業において、筆者が生徒に期待したものは、ある一つの事からどのようなことが合理的に予測されるかを判断する力を高めることである。そのため、このような論述式の問題になれていなかった生徒たちの正答率が約60%であったことは、筆者が期待していた正答率(50%)を超えていた。また、自分で答えを表現する能力を育てるという点からも、科学史を活用する授業は評価できる授業方法であったと考える。

表8 第2期末定期考査結果（正答率）

単位：%

	問題1			問題2		
	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)
男	—	—	—	70.0	82.1	50.8
女	—	—	—	96.7	78.1	68.9
平均	28.6	77.7	86.8	82.7	76.1	59.4

### Ⅲ.3.2 学力検査と比較して

調査対象とした盛商の生徒が入学時に受検した理科の問題（平成 10 年度岩手県立高等学校入学者選抜学力検査問題・附録 F）を、再度解かせてみた。その結果、表 9 に示すように、入学時に比べて理科の総合得点は 25%ほど得点が下がったが、化学分野の得点は下がっておらず、実際に受検した時の水準をほぼ維持していると考えられる。公立高等学校の学力検査は、中学校学習指導要領の目標に沿った学力を問うこととされている。盛商の生徒の成績が下がった理由は、単純に忘却したということも考えられる。その他に、1年でまったく理科を履修せず、2年で初めて週 2 単位の化学 I A を履修するカリキュラムであるからという理由も考えられる。盛商の生徒は、3年で生物 I A を履修し、卒業までに理科を 4 単位履修する。これは職業高校の特殊性で、高校で履修しなかった物理・地学分野は、中学生までの知識しか持ち合わせていないまま卒業することになる。授業時数削減の新課程のもとでは普通高校でも同様のことが言える。

学力検査問題は、60 点満点中 31 点分が、4 者択一問題である。その他、語句を問う問題が 6 点、計算問題が 8 点、記述式問題が 15 点である。そのため、この試験の多くは、「知識の量」を問う型の問題であって「理解の程度」を問う型の問題とは言えない。これでは、中学校での理科教育も暗記中心の授業に傾くのはしかたない。選択肢問題ではなく、生徒がどの程度理解しているのかを判断できる試験問題への改善が望まれる（実際には、採点の客観性が最重要であるため、しかたないことである）。

この学力検査問題を盛商の 2 年生に再度解かせてみたところ、記述式の問題（附録 F、問題 10(2)）に対する正答率は 13.5%であった。この問題はカリキュラム上、物理分野であるため、生徒たちは未履修であるが、全クラスで科学史を活用した授業を行い、その際にエネルギー保存則を簡単に扱っている。そのため、受検時の岩手県全体平均の正答率 8%を超えていた。したがって、理科は項目ごとに学習する縦割り（物化生地）の教科方式でなく、ある一つの事柄に関連することを（科学史などで関連付けさせて）複数の領域にまたがって学習していくようにすると、既習事項の復習にもなる効果があると考えられる。このことから、総合的な授業を目指すことが望まれる。

表 9 学力検査結果と学力検査の再試行結果との比較

	岩手県の中中学生		盛岡商業高校の高校生		
	受検時（1998 年）		受検時 （1998 年）	再試験時（1999 年）	
	理科	化学領域	理科	理科	化学領域
男	35.5	—	37.2	27.9	5.87
女	34.5	—	35.9	26.9	5.95
平均	35.0	5.17	36.4	27.4	6.01

### Ⅲ.3.3 TIMSSを盛商生に行って

TIMSSの論述式問題の一部を、盛商の生徒（4クラス）に受験させた。論述式の問題は、生きた知識として獲得しているかを推し量る指標になるからである。問題は、物理・化学・生物・地学・その他の自然科学から出題し、20分間で10問出題した（附録G）。

結果は、表10に示すように、問題Q18（物理領域）、問題R5（化学領域）を除いて、世界平均、日本平均を上まわった。<sup>14)</sup> TIMSSの結果に比べて、無回答がきわめて少なく、文章で答える問題に、ほとんど抵抗がないと思われる。試験終了後に具体例（木の年輪のでき方など）を示しながら解説したが、「このような（ことを教える）理科（の授業）だと面白いけどな…」というつぶやきが印象的であった。

なお、問題Q18の誤答例は、「水の状態変化にともなって体積変化が起こり、質量が変化する」（58%）、「水になると、蒸発しやすいから」（27%）がほとんどである。これは、化学IAで履修した部分を、不完全に記憶していたからと考えられる。また、問題R5の誤答例は、「二酸化炭素が噴出する勢いで消す」（64%）、「還元する」（23%）、「二酸化炭素が噴出するとき、体積膨張して、周りの熱を奪うから」（20%）などである。この問題で、「体積膨張のため、周りの熱を奪う」は誤答であるが、化学IAで学んだボイル・シャルルの法則を理解していたためであると思う。

表10 TIMSS理科論述式問題正答率比較（世界平均・日本平均・盛商平均）  
単位：%

問題番号 領 域		Q18 物理	K10 物理	R5 化学	Z1a 化学	J9 生物	R3 生物	O14 地学	R4 地学	O16 生物	K19 他
世界	8年生	29	34	50	63	74	13	57	53	61	74
	7年生	24	34	42	57	72	9	51	43	54	68
日本	中2生	55.4	28.1	44.4	60.5	88.5	63.1	86.8	58.4	87.5	74.2
	中1生	54.5	24.6	36.7	47.1	88.1	56.8	81.7	43.8	80.2	70.3
盛商	正答率	51.0	72.5	39.2	85.0	95.4	64.1	94.1	90.8	94.8	97.4
	誤答率	43.1	21.6	36.6	10.5	2.6	28.8	3.3	7.2	3.9	0.0
	未答率	5.9	5.9	24.1	4.6	2.0	7.2	2.6	2.0	1.3	2.6
履修	学年	中1	小3	小6	—	中1	中3	小5	—	中2	—

## IV Science Literacy の向上と理科への興味・関心を高めるために

OECD の調査結果より、子どもたちはもとより、日本国民全体の理科離れ・理科嫌いがかなり進んでいることが明らかになった。<sup>7)</sup> この理科嫌い・理科離れを食い止めるには、政府が率先して行動を起こす必要がある。しかし、その中心であるはずの文部省は学習指導要領の改訂を、時間数の削減という疑問のある方向（少なくとも理科に関して）に進めて対処しようとしている。そのような中で、この進んでいく理科離れ・理科嫌いを、我々教育関係者が、日々の実践で食い止めていかなければならない。そのために、学校教育活動の中でという限られた範囲であるが、この問題に歯止めをかけるために、以下のような改善が必要であろう。

### IV.1 科学史を活用した授業のすすめ

本来、授業は教師あるいは学校独自の教育計画に従って進められる。しかし、授業は、使用している教科書の配列にしたがって進められ、同じ教科書を使用している学校は、同じ時期にほぼ同じ部分を学習している。このことから、大方の学校では、「教科書を教えている」のであり、「教科書を使って教える」いることではないことがわかる。物理の教科書は、一般に、力学から始まって、波動、電磁気、原子という章立てになっている。これは、歴史的観点からみると、人間がその順に目を向けてきた大雑把な歴史でもあるが、項目があまりにもこま切れであり、章ごとのつながりがまったくない。したがって、授業で習ったものがばらばらの知識になり、この断片化された知識（履修項目がそれぞれ無関係に独立した知識）は「剥落」してしまう。<sup>10)</sup>

それを防ぐためには、それぞれの内容を相互に結びつける必要がある。筆者は、原子に関する科学的発見の歴史にそった授業実践を通して、原子の姿についての授業をすると同時に、エネルギー保存の法則、静電気力、光についての授業も行った。あまり、多くの項目を一度に学習すると、本筋がぼやけてしまう恐れがあったが、関連した項目には深入りしないように留意することで、それは防ぐことができたと考える。科学史を活用した授業の方法がよいという生徒とそうでない生徒との比率は 48 : 52 であったが、積極的にこの授業を否定する生徒がなく、学力検査（Ⅲ. 3. 2 エネルギー保存則 参照）の結果からも、この授業方法は、理科に対して取り掛かりやすいという生徒が多く、効果的である。なお、この授業の配列を組み立てるにあたって、物理学史についてのデータベースを作成し、活用した。

## IV.2 理科の総合的な学習のすすめ

自然現象は一部分だけを拡大してみると、物理・化学・生物・地学の4領域に分けられる。しかし、その4分野に分けて履修すると、大局的に自然現象を捉えることができず、自然事象はまったくあじけないものとなってしまふ。

総合的な学習については二通りの方法が考えられる。一つは、筆者が科学史の授業でもおこなったように、一つの事がらを発見するためにいろいろな方向（現象）からわかったことを理解させ、それらの法則等を学ばせる方法である。例えば、原子核を発見するために、ラザフォードが静電気力、力学法則、放射線に関する知識などを要したことから、それらを関連付けて学ばせる方法である。もう一つは題材を先に決めて、それについて、多面的に見ていく方法（岩手大学教育学部における科学セミナーで実施）である。例えば、「雲」について学習することにする。新学習指導要領において、雲についての学習は地学で履修し、その現象のみをとらえ、ある一面だけの授業になりがちである。さらに、地学を履修する生徒の比率は、岩手県を始めとして全国的に最も少ないため、ほとんどの生徒は、学習する機会がない。中学校で雲の「知識」を学習しているが、高校入学後、その知識は剥落している。そのため、高校理科の授業が選択制をとることで、身の回りの自然現象を理解できない国民を育成することになる。

そこで、筆者は、時間的制約のある学校教育の中で総合的な学習の推進を提案する。例えば、後者の「雲」を題材とした際、地学分野で学習する項目以外に、物理分野では気体の膨張・収縮に関する項目、化学分野では物質の三態と飽和水蒸気量を学習させることができる。具体的には、岩手山頂のVTRまたは写真を見せながら、「岩手山の頂上付近には、一見、雲が動かずに浮かんだまま（のように見える）なのに、周りの雲はなぜ流れていくのか（附録H）」などということに授業を発展させていくことができる。このように一つの題材から、多くのことをそれぞれ関連付けながら学習する方法が、生徒の興味を喚起し、理科離れ・理科嫌いに歯止めをかけると考える。また、この学習方法は、複数の項目が関連付いているため、体系化された知識<sup>10)</sup>となり、知識の剥落を起こしにくいという効果も期待できる。

## IV.3 課題設定を生徒自身にまかせた探究活動のすすめ

探究活動は、「Iを付した科目」・「IIを付した科目」で必修とされているが、カリキュラムの過密さなどで、省略されることや、教師側が準備した（指示した）実験で実施したことにすることが多い。これでは、生徒の科学する心を育てるところか、ますます理科離れ・理科嫌いに拍車をかけることになる。

盛商では、わずか週2単位時間、年間70時間の授業ではあるが、探究活動の時間を設



定した。課題はすべて生徒自身にまかせたが、その結果、生徒のレポートの感想には、「自分で実験（調査）してみて楽しかった。機会があったら、また実験（調査）してみたい」という感想がきわめて多く、理科の楽しさを体験させるのに有効であると、再認識させられた。今回、この探究活動は、授業と家庭での活動であったが、新学習指導要領で新設された総合的な学習の時間を活用して行うことが、実質的に理科の授業時数削減に対する対抗策であろう。直接授業で習っていない項目であっても、自分で実験・観察・調査を行い、楽しさや難しさを知ることは、自然科学に目を向け、興味をもつことの第一歩になると考える。

附録A 化学I A 授業計画表

時	授 業 内 容	時	授 業 内 容
1	科学の勉強の仕方 (衛星写真から)	36	身の回りの燃料
2	理科に関するアンケート①	37	熱化学方程式
3	地球 (物質) の成り立ち	38	有機化合物の構造① (炭素の結合)
4	古代の原子観①	39	有機化合物の構造② (官能基)
5	古代の原子観②	40	有機化合物の種類① (アルコール、ケトン)
6	原子の内部構造① (電子の発見)	41	有機化合物の種類② (カルボン酸、アミド)
7	原子の内部構造② (原子核の発見)	42	アルカンの種類と性質
8	原子の内部構造③ (陽子、中性子の発見)	43	アルケンの種類と性質
9	原子の励起	44	アルキンの種類と性質
10	発光の原理	45	ベンゼンとその仲間
11	光の歴史	46	第3期末考査
12	原子固有のスペクトル	47	食品の化学
13	炎色反応の実験方法	48	炭水化物
14	炎色反応の実験	49	タンパク質
15	物質の三態	50	脂肪
16	極性分子・無極性分子	51	探究活動①
17	物質質量	52	探究活動②
18	モル濃度	53	理科に関するアンケート②
19	第1期末考査	54	平成10年度学力検査再検査
20	酸	55	エステル合成実験準備
21	塩基	56	エステル合成実験
22	酸・塩基の価数	57	エステル合成実験まとめ
23	中和、指示薬	58	セッケンと合成洗剤
24	中和滴定実験準備	59	TIMSS試験
25	中和滴定実験	60	洗浄とセッケンの合成実験準備
26	中和滴定実験まとめ	61	セッケンの合成実験
27	真空について (古代から17世紀まで)	62	セッケンの合成実験まとめ
28	気体の法則① (ボイルの法則)	63	天然繊維
29	気体の法則② (シャルルの法則)	64	合成繊維
30	気体の法則③ (ボイル・シャルルの法則)	65	学年末考査
31	気体の法則④ (気体の状態方程式)	66	ナイロン66の合成実験準備
32	気体の法則⑤ (理想気体・実在気体)	67	ナイロン66の合成実験
33	第2期末考査	68	ナイロン66の合成実験まとめ
34	気体分子運動論①	69	プラスチックとポリエチレン
35	気体分子運動論②	70	環境の保全とエネルギー

附録B 科学史を活用した授業参考資料（例）

C.1.1 導入（2時間） 古代から近代までの原子論

古代ギリシャの原子観

古代、自然現象の説明は、神話や呪術に基づくのが通常であったが、ミレトス（ギリシャとオリエントとの地域的交差点）では、違った考えをするようになってきた。タレス（Thales B.C.7c 希（ギリシャ））は『万物の根源は水である』と述べた。この考えはミレトス地方の温暖多雨の気候から考えると自然な発想であったと考えられる。また、その弟子アナクシマン드로ス（Anaximandros B.C.7c 希）は自然界が乾・湿のような競い合う対立からなることに注目した。しかし、彼はもし水が根源ならば、湿は乾を圧倒してしまうに違いないと考え、根源はもっと根本的なものとし、それを「無限なもの（アペイロン）」と名づけ、万物はそれから生成され、消滅してそれへ戻ると考えた。

ミレトスの対岸、サモス島生まれのピュタゴラス（Pythagoras B.C.6c 希）は、弦楽器の調弦の際、長さが整数比をなす弦の音がよく調和することに着目し、宇宙は数を中心とした調和の上に成り立つと考えた。これは自然現象を数学と結びつけたという点で着目すべきことである。

以上の両者の考え（対立と根源的なものへの変化、調和）を受け継いで、新しい考えを抱いた人物として、ヘラクレイトス（Herakleitos B.C.6 希）があげられる。彼は、“万物は流転する”と述べ、“火”を根源とした。燃焼が絶えざる変化であるにもかかわらず、常に一定量の油が消費され、一定の明るさ、一定量の煤がたまる。また同様に、火は無始無終の循環の中で濃縮して水となり、さらに土となり、土は希薄化して水となり火に戻る。これらは、火を万物の交換物と捉えたものである。この考えに、異を唱え、真っ向から対立したのはエレア学派の創始者パルメニデス（Parmenides B.C.5c 希）である。彼は我々が見ている変化や多様性は幻であると言及している。このエレア学派の徹底した論理の追及が原子論につながっていった。

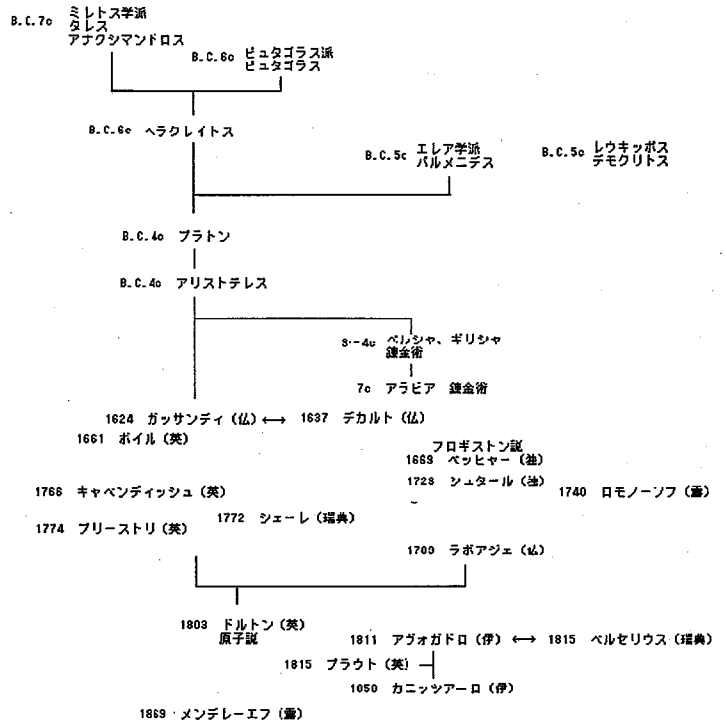


図8 古代から近代の原子論の系譜

パルメニデスは無いものは考えることができないため、真空では空間を充満させることができないとして、真空（空虚な空間）を否定した。一方、レウキッポス（Leukippos B.C.5c 希）やデモクリトス（Demokritos B.C.5c 希）は、すべての物質は原子（ $\alpha\tau\omicron\mu$   $\omicron\omicron$ アトモス）と真空（ケノン）からなり、原子は不生不滅、不可視、不分割なる微粒子で、素粒子は無数にあり、相互変換不能で、大きさ、重さ、形を異にする。そして、原子がその位置と組み合わせを変えることによって万物が生成するとした。原子が、空間を埋め尽くしているとその位置と組み合わせを変えることは不可能であるため、必ず、真空が必要であるとした。原子論の登場は、エレア学派の論理と日常経験からの帰結であった。

ピュタゴラス派の影響をうけ、意識的に観念論の体系をつくったプラトン（Platon B.C.5c 希）は、宇宙形成者（神）が混沌とした素材から火・土・空気・水をつくり、これを4元素とすると述べた。その弟子のアリストテレス（Aristoteles B.C.4c 希）は、多様な経験の世界の中に普遍的な真理が内在しているとして、自然の事物の研究を重視し、プラトンとイオニアの思想家たちの自然学を一つに統合させようとした。彼が導入した素材（質料）と形相という対概念は重要である。この二つの関係は、「紙は作られる本に対しては質料であるが、木材に対しては形相である」というような関係である。彼は、イオニアの思想家達の物質的原因を質料という形で取り入れた目的論的宇宙論をつくった。彼は、運動を二種に分け、限界のある直線運動と限界のない円運動とした。天界の世界には原動者としての神があり、そこでの運動は円運動であり、一方、月より下の世界では神的ではなく、上下的直線運動とし、そこでは天界を構成する不滅の第5元素（エーテル）と異なる4元素から成っているととした。この考えは、日常の経験事実の総合・理論化であり、“神ありき”というキリスト教の教義と結合したこともあって、17世紀にいたるまで支配的であった。

### ルネッサンスの原子観

古代ギリシャの原子観はヘレニズム文化へと継承されていった。この時代には、職人による化学的技術とアリストテレス派の元素転化の考えが結びつき、卑金属から貴金属をつくろうとする錬金術が生まれた。3～4世紀、キリスト教の支配の強化とともに、錬金術の秘儀的技術を守る人々はペルシャやシリアへのがれた。それは7世紀になって、古代ギリシャの思想・文化とともにアラビア人へと受け継がれていった。アラビアの錬金術では、金属はすべて水銀と硫黄とからなるとされた。このイスラムの世界では、実験的・技術的な側面でも独自のものを発展させていったことは特筆すべきことである。

ルネッサンスの時代、日常的に観察される事実と宗教的権威に支えられたアリストテレスの目的論的自然観が、錬金術への関心の高まりのために崩壊していく過程で、古

代ギリシャの原子論が復活した。17世紀前半にガッサンディ (Pierre Gassendi 仏) は、古代ギリシャの原子論を復活し、近代科学の成立へ向かう過渡期にあつて、原子論的な世界解釈と神の摂理との調和をはかった。デカルト (René Descartes 仏) は、具体的かつ複雑なものの理性による分析から明確な認識に到達し、これから逆に演繹的に自然を再構成しようという合理論を展開し、独自の自然像 (空間はすべて物質で満たされており、物質の個々の部分の運動は衝突によってのみ引き起こされる) を宇宙進化の観点も含めて提出した。デカルトの展開した一種の粒子論 (エーテル中に粒子が存在) は、ガッサンディの見解 (真空中に粒子が存在) とは対立するものであったが、自然の機械論的 (慣性の法則、運動量保存の法則) な理解にとどまっていた段階で、自然研究者に受け入れられた。17世紀後半は、未だに原子論の十分な展開は見られず、理論的には停滞期であった。しかし、この時期はボイル (Robert Boyle 英) がデカルトやガッサンディの影響下で一種の粒子論を展開した時期であった。

#### 科学的原子論の形成

錬金術から脱却するために、ボイルによる真理の探究からラヴォアジエ (Antoine Laurent Lavoisier 仏) によるフロギストン説を否定した燃焼の正しい理解と単体概念から導いた質量保存の法則の確立にいたるまで約1世紀を要した。この間、ドイツ人のベッヘル (Johann Joachim Becher 独) とその弟子シュタール (Georg Ernst Stahl 独) は、古い元素観を受け継いだ。それはフロギストン (*phlogiston*: 燃素) と呼ばれ、燃焼時に物体から何か外へ出て行くという物質の存在であった。しかし、モスクワ大学のロモノーソフ (Mikhail Wasiliewich Lomonosov 露) は、質量保存則を認め、すでに1740年代に金属灰の重量増に気づいた。彼はそれを金属が空気中からある物質を奪ったためと考え、フロギストンを認めなかった。

18世紀後期になると、キャベンディッシュ (Henry Cavendish 英) は1766年に水素を発見した。シェーレ (Karl Wilhelm Scheele 瑞典 (スウェーデン)) とプリーストリ (Joseph Priestley 英) は1770年代にそれぞれ独自に酸素を発見したが、両者ともフロギストン論者であったため、酸素をそれぞれ、火空気、脱フロギストン空気と呼んだ。ラヴォアジエは燃焼に関する一連の実験を行って、単体である酸素ガスと物質との結合による酸化過程として燃焼をとらえる新しい理論を確立した。彼は、ブラック (Joseph Black 英) のように天秤を用いた精密実験を行い、後に質量保存の法則と呼ばれるものを暗に前提にして考察し、金属を金属灰とフロギストンの化合物とすることが誤りであることを証明し、彼の著『化学要綱(1775)』において33個の物質を単体とした。この証明方法は、密閉した容器中で錫と鉛の灰化実験をして、灰化の前後で総重量が不変であることを確かめたものである。

ドルトン (John Dalton 英) は、これ以上分割不可能な究極の粒子という古代ギリシャの原子概念に、ラヴォアジエによって確立された単体 (元素) 概念を結合し、単体の究極粒子としての原子を導入した。

プラウト (Prout 英) は 1815 年頃、ほとんどのガスの原子量が水素の原子量の整数倍に近いことから、水素原子が基本要素となって、他の原子が複合系として構成されているという仮説を提唱した。アヴォガドロ (Amedeo Avogadro 伊) は、単体気体が分子として存在することを主張していたが一般には認められていなかった。そのため、プラウトはその主張を採用せずに、水素、酸素、窒素等を 1 原子分子とみなし、誤った原子量を与えていた。

ゲイ・リュサック (Joseph Louis Gay-Lussac 仏) は、一定気圧下での気体体積の温度変化を各種の気体について研究 (1802) し、通常 “シャルルの法則 (1787)” と呼ばれている法則を完全なもの (気体の膨張係数は種類によらず一定) にした。この理論を始めに発見したのはシャルルであったが、世間に発表していなかったため、ゲイ・リュサックの法則とも呼ばれている。また、ゲイ・リュサックは窒素酸化物の結合比について、窒素の体積を 1 とすると酸素の体積が 0.495、1.089、2.047 というように結合しているという実験結果から、実験誤差を考え、それを 0.5、1.0、2.0 とし、気体は簡単な整数比で結合するとした。これを気体反応の法則 (1808) として発表した。ドルトンは彼の実験誤差とする解釈を認めず、彼の法則は推論によるものとみなしていた。しかし、ドルトンは、原子には単一原子と複合原子 (化合物の分子) が存在し、同種の元素からなる分子の存在は考えていなかったため、 $N_2 + 3H_2 \rightarrow 2NH_3$  ような反応において体積比が実験値と理論値とが一致しなかった。

1811 年、アヴォガドロは気体が単体でも分子として存在し、2 原子以上の結合系であるという単体分子仮説を示すことによって、ドルトン理論の困難を解決した。ベルセリウス (Jöns Jacob Berzelius 瑞典 (スウェーデン)) は “気体状の単体について、同温・同圧下では同体積中に同数の原子を含む” と仮定し、分子は原子より大きいはずであるから、より少ない数しかその体積中に含まれないとしてアヴォガドロの仮説に反対した。

アヴォガドロの仮説は約 50 年もの間、認められはしなかったが、カニッツァーロ (Stanislao Cannizzaro 伊) は、アヴォガドロの仮説にしたがって、実験データから種々の単体および化合物の比重を比べることにより、理論値と実験値との一致から単体分子が存在することを 1858 年に説明した。これは、カニッツァーロの著書『化学哲学概論』で、以下のように記述している。「もっとも軽い気体の水素の蒸気密度を基準とし、気化する単体や化合物の化学式量をきめた。また、デュマ (Jean Baptiste André Dumas 仏) により考案された蒸気密度法 (試料を加熱して蒸気とし、密度を測定する実験法) では、ある種の分子は 2 個以上の数の原子からできていると考えればアヴォガドロの述べた分

子説の証明になる」。

1860年ケクレ (Friedrich August Kekulé von Stradonitz 独) が呼びかけて国際会議がカールスルーエ (独) で開かれたが、その席上でアヴォガドロの仮説が復活し、単体分子概念と原子量・分子量が基本的に確定した。その後、メンデレーエフ (Dmitri Ivanovitch Mendeleev 露) は、元素を原子量の増す順 (現在は原子番号 (=陽子数) の順) に並べた時に見出される元素の諸性質の周期性に気づき、現在の周期表の原型 (1869) をつくった。

19世紀始めに、水素を構成要素として、すべての単体原子をつくろうとしたプラウトの発想に始まり、数多くの元素の相関関係を調べ、その背後に潜むものを探ろうという試みは、周期律の確立によって、一応の決着をみた。しかしその後、原子と原子核の構造、および、それらにはたらく新しい力学法則 (量子力学) についての認識が、エネルギー保存則との不一致などの理由により、必要となっていく。

### C.1.2 本論 (3時間) 原子の姿 (量子論以前)

#### 電子の発見

琥珀を毛皮でこすると、髪の毛などをひきつける性質は昔から知られていた。プラトンは対話編『ティマイオス』の中で、この琥珀の作用についてふれている。その後、ガラス、硫黄なども同じような作用を持つことが、ギルバート (William Gilbert 英) によって発見された。現在、電子を意味する「エレクトロン」は、ギリシャ語の「琥珀」にちなんだ語であり、彼によって命名された。

ファラデー (Michael Faraday 英) は、ガラス管の両端に電極を封入し、真空ポンプで内部の空気を抜いてから放電させたところ、管内が紫色に輝くのを観察した (1836年)。プリュッカー (Julius Plücker 独) は、さらに、真空度を高めて実験し、放電管のガラス管の一部が緑色の蛍光を発するのを観察した (1858年)。このガラス管に磁石を近づけると、蛍光の位置が移動した。その弟子のヒットルフ (Johann Wilhelm Hittorf 独) は、ガラス管の蛍光部と陰極の中間に衝立を置くと、ガラス壁に影が映ることを見出し、陰極から何かが放出されていることを確かめた (1869年)。ゴルトシュタイン (Eugen Goldstein 独) は、この陰極からでるものを陰極線と名づけた (1876年)。

陰極線の正体は何か考えられていたが、ファラデーは、1874年にイオンの帯電量から、電気量には最小の量 (電気素量) があると主張した。そこで、イギリスの科学者たちは、陰極線を荷電粒子の流れであるとした。一方、ヘルツ (Heinrich Rudolph Hertz 独) は、陰極線は電磁波の一種であるとしたが、トムソンの陰極線が進む速度の研究の結果 (光速度の  $1/2000$ ) から否定された。しかし、レントゲン (Wilhelm Konrad Röntgen 独) は、ヘルツの研究を続け、放電管を黒い紙で包んで放電させた。その結果、付近にあっ

た蛍光スクリーン（シアン化白金バリウム）が発光するのに気づいた。放電のとき透過力の強い未知の放射能が出ることを発見し、これをX線と名づけた（1895年）。X線は、透過力が強く磁石で曲げられないことから、陰極線とは別なものであることは明らかであった。

トムソンは、X線が気体を電気伝導性にすることを発見した（1896年）。これは、X線が気体分子をイオンに解離させたためとし、気体の電離作用と呼んだ。また、ガラス管中の電離作用は水溶液中のイオンと同様に考えて、放電管中にイオンが発生していると考えた。そのため、もっと真空度を大きくし、静電場をさえぎるイオンを発生しないようにした。その結果、陰極線が静電場で曲げられるのを発見した（1897年）。さらに、トムソンは実験を重ね、電場と磁場による偏向から比電荷（電荷／質量）を求めた。この値は、水素イオンの比電荷の約1800倍であり、水素イオンと電荷が同じならば、原子よりずっと小さいという予想に一致する。この陰極線の正体（電子）は、どの原子からも飛び出してくることから、原子を構成する最小の粒子であることがわかった。

#### 原子核の発見

トムソンの弟子のラザフォード（Ernest Rutherford 英）は、放射線のアルミ箔に対する透過力を調べ、 $\alpha$ 線と $\beta$ 線とを分離した。中性の原子は、 $\beta$ 線を放出すると、正に帯電するが、放射線を発した別の原子の中には、負に帯電したものも見られた。このことから、ラザフォードは $\alpha$ 粒子が正に帯電していると推論した。始め、 $\alpha$ 線は磁場中で進路を曲げられなかったが、磁場を強くすると、わずかに曲げられるのを観測した。このことから、 $\alpha$ 粒子の重さは原子と同じ桁くらいの重さであることが考えられ、後に、 $\alpha$ 粒子はヘリウムの原子核であることを発見した。

ラザフォードは、 $\alpha$ 粒子が空気分子で散乱されることを気づき、ガイガー（Hans Geiger 独）等とともに、雲母、Al、Auなどの薄膜による $\alpha$ 線の散乱を調べているとき、 $90^\circ$ 以上も散乱される $\alpha$ 粒子を発見した。これは、 $\alpha$ 粒子に大きな力が働いたことによるもので、原子の中心部に $\alpha$ 粒子の持つ電荷と同じ正電荷をもつ部分が存在するためと考えられた。ファン・デン・ブレーク（A. van den Broek 丁抹（デンマーク））は、原子番号が原子量のほぼ半分に等しいことに注目し、原子内には原子番号に等しい数の電子があるとした（1913年）。

#### 中性子の発見

1920年、ラザフォードは、どの原子の原子核も水素の原子核が数個集まってできているとした。しかし、ヘリウムの原子核の質量は水素の4倍であるが、その電荷は水素原子の2倍しかないことを説明できないでいた。その結果、ラザフォードは原子の中心部



(原子核)に電荷をもたず、正電荷を持った粒子(陽子)とほぼ同程度の質量をもった中性子の存在を予言した。ラザフォードのもとで、 $\alpha$ 粒子をAl、P、Fなどに当てる実験をしていたチャドウィック (James Chadwick 英) は、発生する中性粒子が、この中性子ではないかと考えた。エネルギーと運動量の保存則を仮定すると、この粒子の質量は陽子の質量にほぼ等しいことがわかった。中性子の発見である (1932年)。

中性子が発表されると、ハイゼンベルク (Werner Karl Heisenberg 独) は、陽子と中性子は1つの同じ粒子(核子)の状態の違ったもので、核子が中性子の状態から陽子の状態に変わると、電子が放出される ( $\beta$ 崩壊) と発表した。

こうして、古代から考えられていた物体を構成している究極の粒子が、19世紀から20世紀前半までに、次々と姿をあらわしていった。しかし、現在の原子の姿は、測定機器・機械や測定技術の進歩によって、さらに奥深いところまで調べられてきた。また、それと同時に、原子の本当の姿を探ろうとすると、いかなる方法でも探ることができない壁があることもわかってきている。

### C.2.1 真空について

物質の定量的な取り扱いが 17 世紀初めにファン・ヘルモント (Jan Baptista van Helmont 白(ベルギー)) の実験に始まった。彼はヤナギの苗に雨水だけを与えることによって成長させ、その苗の質量を計測した。生物体を成長させる元は水とその水に溶けた空気中の微粒子 (ガス・シルヴェストル = 二酸化炭素のこと) であると考えた。彼の研究は後にボイル等の気体化学研究のはじまりに大きな影響を与えたといわれている。

気体 (空気) に関しては、アリストテレス (Aristoteles B.C 4c 希) が “自然は真空を嫌う” と述べた。ポンプで水を汲み上げることができるのは、ポンプによって水や空気が追い出されてできた隙間に水が入り込むためとした。この考えは、17c 初めまで続いた。ガリレオ・ガリレイ (Galileo Galilei 伊) は、どんなにポンプを働かせても水は 10m ほどしか汲み上げることができないことを知り、その弟子のトリチェリ (Evangelista Torricelli 伊) は 1647 年に水を水銀に代えて実験してみた。トリチェリは一端を閉じた長さ約 1 m のガラス管を水銀中に沈め、閉じた方だけを持ち上げてみたところ、ガラス管中の水銀面は液面から 760mm 程までしか上がらなかった。さらに、水銀を入れた容器に水を入れ、ガラス管の開いた一端を水の上がった部分まで上げてみたところ、ガラス管の水銀が入っていない部分に勢いよく水が上がっていった。このことから、ガラス管の 760mm 以上の部分は真空 (トリチェリの真空) であることがわかった。しかし、この理由はまだわかっていなかった。この理由については 1647 年にパスカル (Blaise Pascal 仏) がフランス南部にあるピュイ・ド・ドーム山 (標高 1000m) の麓、中腹、山頂の 3ヶ所でトリチェリと同様の実験をしたところ、山頂では麓よりガラス管の液面の高さが約 8.5cm 低く、中腹では麓と山頂とのちょうど半分ほどの高さだった。このことから、トリチェリは、水銀を押し上げる力は、その場所における空気の圧力 (上空にある空気の重さ) によるものであることを発見した。

マグデブルグ市の市長であったゲーリケ (Otto von Guericke 独) は、1654 年に気圧に関する公開実験を行った。それは、両側から 2 つの銅製の半球 (半径 40cm) を合わせて、自作の真空ポンプで中の空気を抜くと、外面にはたらく大気圧のため、2 つの半球はしっかりとくっついて離れず、それを離すために 16 頭の馬が必要だったという実験であった。この実験により、市民たちに真空を実感させた。

問い 「この半球を引き離すにはどのくらいの力 (N) が必要か。1 気圧を  $1.0135 \times 10^5 \text{N/m}^2$  として計算せよ」

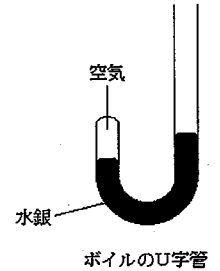
### C.2.2 気体の法則

ボイル (Sir Robert Boyle 英) は、フック (Robert Hooke 英) とともにゲーリケの真空ポンプを改良し、空気に重さがあることや、真空中では燃焼が起こらないこと、鳥が生きていられないこと、光や磁気は影響を受けないことなどを示した。さらに、空気

を抜く際の苦勞は、ボイルに圧縮と膨張に関する研究をさせることになった。彼は水銀を用いて、一定量の空気をU字管の短いほうに閉じ込め、口の開いた長いほうから水銀を注ぎ込んだ。加えた水銀量が増えるにつれて、閉じ込められた気体の体積は減少していった (Table.1)。

Table.1 空気の圧力-体積 についてのボイルのデータ

(1): V 空気円柱の長さ (任意の単位)	(2) 水銀面の高さ の差(インチ)	(3): P (2) + 大気圧 (29+1/8)	(4) 気体の示すべ き圧力	(5) (1)と(3)との 積
12	0	29+2/16	29+2/16	349
10	6+3/16	35+5/16	35	353
8	15+1/16	44+3/16	43+11/16	353
6	29+11/16	58+13/16	58+4/16	353
4	58+2/16	87+14/16	87+6/16	349
3	88+7/16	117+9/16	116+8/16	353



ボイルの実験結果から、 $P \times V = Const.$  となっているのがわかる (1660年)。なお、このボイルの法則は、1676年にマリオット (E. Mariotte 仏) によって研究、再発見されたためマリオットの法則ともよばれている。

気球の研究をしていたシャルル (Jacques Alexandre César Charles 仏) は、1787年に、酸素、窒素、水素、二酸化炭素、空気は  $0^{\circ}\text{C}$  と  $80^{\circ}\text{C}$  の間で、同じ割合で膨張することを発見した。しかし、このことを論文としては発表していない。この気体の体積と温度との関係を示す法則を始めて発表したのは、ゲイ・リュサック (Joseph Louis Gay-Lussac 仏) であった (1801年)。彼は、 $0^{\circ}\text{C}$  から  $100^{\circ}\text{C}$  に気体の温度が上昇すると、もとの体積の 1.375 倍に膨張するという結果を得た。しかし、この測定は正確ではなく、後に、リュードベリ (Johannes Robert Rydberg 瑞典 (スウェーデン)) によって、1.365 (現在は 1.366) と測定された。これが意味することは、 $1^{\circ}\text{C}$  の温度上昇によって、気体の体積が、0.00366 だけ増加するということである。すなわち、気体のもとの体積を  $V_0$ 、温度変化後の体積を  $V$ 、温度変化を  $t$  [ $^{\circ}\text{C}$ ] とすると、

$$V = V_0 \left( 1 + \frac{t}{273} \right) \quad \dots (1)$$

という形になることを示している。低温に限りがあることは、既にドルトンによって考えられていたが、上記の式において、体積  $V = 0$  とおくと、 $t = -273^{\circ}\text{C}$  となる。これから、温度の下限は  $-273^{\circ}\text{C}$  と考えられた。ケルビン卿 (Kelvin of Largs (William Thomson) 英) は、 $-273^{\circ}\text{C}$  を 0 とし、摂氏目盛を用いたケルビン温度目盛を考案した。この  $-273^{\circ}\text{C}$

を0ケルビン (K) とした。この絶対温度をT、気体の体積をVとすると、シャルルの法則 (ゲイ・リュサックの法則) は、

$$\frac{V}{T} = \text{Const.} \quad \dots (2)$$

であることを示している。また、この法則と、ボイルの法則 (マリオットの法則) とをあわせると、

$$\frac{PV}{T} = \text{Const.} \quad \dots (3)$$

が得られる。この二つの法則をまとめたものは、一般に、ボイルーシャルルの法則とよばれている。(3)式に、標準状態の1モルの気体が占める体積の値を代入し、気体定数Rとすると、 $R = 0.082 \text{ (atm}\cdot\text{l/mol}\cdot\text{K)}$ を得る。これを用いて、ボイルーシャルルの法則を書き直すと、

$$PV = RT \quad \dots (4)$$

となる。また、n molの気体については

$$PV = nRT \quad \dots (5)$$

となる。これは、ファン・ホッフ (Jacobus Henricus van't Hoff 蘭 (オランダ)) のアイディアである。

マーグヌス (G. Magnus 独) は、気体の膨張係数を厳密に測定したが、実際の気体は、ボイルーシャルルの法則にしたがわないことを発見した。そこで、彼は、ボイルーシャルルの法則にしたがう気体を理想気体、したがわない気体を実在気体とよんだ。1873年、ファン・デル・ワールス (Johannes Diderik van der Waals 蘭 (オランダ)) は、実在気体のボイルーシャルルの法則とのずれを補正したファン・デル・ワールスの方程式 (実在気体の状態方程式) を提案した。

$$\left( P + \frac{a}{V^2} \right) (V - nb) = nRT \quad \dots (6)$$

ファン・デル・ワールスの方程式の定数

	$a$ ( $\text{atm}\cdot\text{l}^2/\text{mol}^2$ )	$b$ ( $\text{l/mol}$ )
He	0.034	0.0237
O <sub>2</sub>	1.36	0.0318
CO <sub>2</sub>	3.59	0.0427

### C.2.3 気体分子運動論

ある容器に気体を入れて、それをへこますには力が必要である。これは、19世紀半ば頃まで、気体の分子どうしが反発しあうものであるためと考えられていた。しかし、ベルヌーイ (Daniel Bernoulli 瑞西 (スイス)) は、気体分子が互いに無関係に運動し、壁

やお互いに衝突を繰り返しているためであると考えた。

クラジウス (Rudolf Julius Emanuel Clausius 独)、クレーニヒ (Krönig 露(ロシア))、マクスウェル (James Clerk Maxwell 英)、ボルツマン (Ludwig Boltzmann 奥太利(オーストリア)) 等は、ベルヌーイの考えをおしすすめて、数学的理論の気体分子運動論をつくった。それは、「気体の圧力は、容器の壁と気体分子との衝突に基づくものであり、気体分子が壁の単位面積に衝突する単位時間あたりの力積の平均値がその圧力である」である。一般に気体の状態は、各点における気体分子の速度分布によって表されるが、平衡状態の分子数や、速度分布はマクスウェル-ボルツマンの分布則によってあらわされる。

1. 実験題目；中和滴定

2. 日時；1999年6月29日 火曜日, 1, 2 授業時

天候；曇り

場所；岩手県立盛岡商業高等学校 本校舎 1階 化学室

3. 共同実験者；西村 彰太, 富山 修司, 吉田 武史

4. 実験目的；中和滴定を利用して, 市販食酢中の酢酸の濃度を調べる。

5. 実験理論；中和公式  $n(\text{価数}) \times M(\text{当量}) \times V(\text{L}) = n' \times M' \times V'$  において

このように濃度を調べたい(この場合左を酸, 右を塩基に統一

する) この中和公式の  $n$  (価数) とは 酸の分子式中の  $H^+$  イオンの数

を表わし,  $n'$  は塩基の組成式中  $OH^-$  イオンの数を表わしている。

酸、塩基の価数は下の図のように分類されている。

酸		塩 基	
価数	例	価数	例
1	$CH_3COOH, HCl, HNO_3$	1	$NaOH, KOH, NH_3$
2	$H_2SO_4, (COOH)_2$	2	$Ca(OH)_2, Ba(OH)_2$
3	$H_3PO_4$	3	$Fe(OH)_3$

中和公式に適用させるために指示薬としてフェノールフタレインを使用

して, ちょうど中性になるのを確かめる。また, 調べたいのは

食酢中の酢酸 ( $CH_3COOH$ ) の濃度で, これは酢酸なので中和公式

にあてはめるには, 塩基の正確なモル濃度と正確な体積の容液

を用意しなくてはならない。塩基の容液として水酸化ナトリウムの

容液を使用したのだが水酸化ナトリウムは潮解性をもち、

ラブリ空気中の水と反応しやすいので、正確なモル濃度の容液

(標準容液)をつくるのが難しい、そこで、水酸化ナトリウム容液

( $NaOH$  の正確なモル濃度がわかるため、それと中和公式に適用

させるために、酸の性質をもったシナ酸 ( $COOH$ ) $_2 \cdot 2H_2O$  を使って

滴定し、中和に必要な量(正確な体積)と正確な濃度を求める。

正確な濃度は、シナ酸 ( $COOH$ ) $_2 \cdot 2H_2O$  の分子量をだし、質量

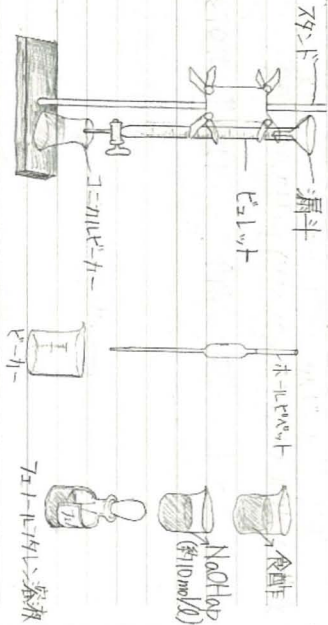
(6.3g) 分の分量とてです。その実験で得た  $NaOH$  の正確な

モル濃度と知れれば、あとは酢酸 ( $CH_3COOH$ ) に  $NaOH$  の正確な

中和に必要な量(正確な体積)を求めれば実験で得た  $NaOH$  の中和公式に

すべてあてはまり、食酢中の酢酸 ( $CH_3COOH$ ) の濃度がわかる。

### 5. 実験方法



6. 実験方法: 実験1 市販食酢中の酢酸は木酸化ナトリウム溶液を測定して

- ① 食酢を10倍に希釈(1:10)で、市販の食酢をホムレペペットで10.00mlとリ、XYZZZZに入水、蒸留水を加えて(90.00ml)、中和を全体が100.00mlになるようにする。このXYZZZZから10.00mlをホムレペペットでとる。
- ② 中性に近づけたら指示薬を(7, コニルベーカー)に7.15mlの溶液を1~2滴いれる
- ③ ペレットの上の先端に溶液を滴して、ペレットNaOHap(約0.10mol/L)を入れ、実験の準備は済ませる。
- ④ ペレットの下にコニルベーカーを置いて、ペレットの溶液を注ぎながら開始し、コニルベーカーを軽く振って液を混ぜ合わせる。中和直前に一滴ずつ加え、最後に加えた一滴は液が淡紫色になり、消えないようにしたところを中和点と見て、滴下を止め、加えたNaOHapの体積をペレットの目盛りで読む。初め全員が測定をしてその平均値を求めて測定の値とする。

\* ホムレペペットの使い方は、ホムレペペットの先端に口をくわえて、溶液を吸い上げて、標線の少し上まで吸い上げ、標線にあるように先端部分を指で動かして、正確に読み取り、標線は正確にする。

7. 実験結果;

	1回目値	2回目値	3回目値	4回目値	平均
直液の目盛	7.38	7.15	7.10	7.10	7.116
直液前の目盛	0	0	0	0	0
中和に要した量	7.38	7.15	7.10	7.10	7.116

8. 実験方法; 実験2 木酸化ナトリウム溶液(NaOHap)の正確なモル濃度を求めるため、

酢酸(COOH)と、 $2H_2O$ を便して、(COOH) $\cdot 2H_2O$ の正確なモル濃度を求め、 $2H_2O$ を木酸化ナトリウム溶液を測定して、 $2H_2O$ を5mlの体積で中和したかを求める実験の場合。

\* この中和滴定の実験を始める前に、酢酸(COOH) $\cdot 2H_2O$ の正確なモル濃度を求める必要がある。モル濃度Lmol/L = 質量mol / 溶液Lに求められるとすれば、溶液Lと質量molは、質量 / 分子量で、質量は酢酸6.39gとわかれば、分子量は酢酸(COOH) $\cdot 2H_2O$  = 120.07、 $C=12, O=16, H=1$

$$r = (12 + 16 + 16 + 1) \times 2 + 2 \times (1 + 16 + 16) = 126 \text{ と分かる}$$

$$6.39g = 0.05100 \text{ (mol)} \times \dots \text{ 溶液 L mol/L}$$

溶液Lは11.11mlだから、酢酸の6.39gに水(蒸留水)を加えて全体系100mlとすれば、溶液は11.11ml、 $0.05 \text{ mol/L} / 11.11$ , つまり、酢酸(COOH) $\cdot 2H_2O$ の濃度は、 $0.05 \text{ mol/L}$ とわかる。

- ① 酢酸6.39gを量りとり、水(蒸留水)を加えて全体系100mlとすれば、酢酸(COOH) $\cdot 2H_2O$ をホムレペペットで10ml量りとり、コニルベーカーに入水。
- ② ~ ④は 実験1 と同じ方法でやる。

7. 実験結果;

	1回目値	2回目値	3回目値	4回目値	平均
直液の目盛	10.20	10.20	10.30	10.15	10.175
直液前の目盛	0	0	0	0	0
中和に要した量	10.20	10.20	10.30	10.15	10.175

8. 考察; (具体的計算)

① NaOH ap の正確なモル濃度

$$n \times M \times V = n' \times M' \times V'$$

$$M' = \frac{1}{10.175} = 0.09828 \text{ mol/L}$$

正確なモル濃度は0.098mol/Lと出た。これは、本当は発生が飛散した木酸化ナトリウム溶液の濃度は0.10mol/Lだ、とわかった。この正確な濃度は、実験している時に、空気中の水にとれたのだと想像。その正確な濃度は、梅雨の時期に、湿度が高いから、たいてい木酸化ナトリウム溶液の水とけるのを促進させたのだと推測される。

② 酢酸の正確なモル濃度

$$M = 0.0697368 \text{ mol/L}$$

$$10M = 0.697368$$

酢酸10倍に近づけたら、本来の酢酸の濃度は、 $2M = 1.3947368$ とわかる。







②. コンディミヨナー : 塩化アルキルトリメチルアンモニウム  
 ナトリウムアルコール, パラベン  
 酸性界面活性剤, コロイド, ナトリウム硫酸塩  
 香料  
 (両性)

③. トリートメント : 塩化アルキルトリメチルアンモニウム  
 ナトリウムアルコール, パラベン, 香料  
 界面活性剤, コロイド  
 (両性)

④. 洗髪剤フォーム : セトール, パラベン, 香料  
 (アルカリ性)

⑤. ボンディング : エチル硫酸塩, オキシベンザン  
 シンチルヒドロキシルエーテル硫酸塩  
 ホイテニング剤, 香料  
 (アルカリ性)

⑥. モイスクューイング剤 : 塩化ナトリウムトリメチルアンモニウム  
 シンチルヒドロキシルエーテル  
 パラベン, 香料  
 (アルカリ性)

⑦. スリートヘアフォーム : ラウリル硫酸塩, トリエタノールアミン  
 塩化ナトリウムトリメチルアンモニウム  
 セトール, ナリウム硫酸塩, パラベン  
 ミルクタン酸イソプロピル  
 ナトリウムアルコール, 香料  
 シンチルヒドロキシルエーテル  
 (両性)

⑧. 肌水 : パラベン, 香料  
 (両性)

⑨. ローション乳液 : エチル硫酸塩, パラベン  
 (両性)

⑩. 頭皮用育毛剤 : ニコチン酸ベンジル, β-グリセリル脂肪酸エステル  
 パントトニールエチルエーテル  
 ビタミンE誘導体, アルニカ抽出液  
 (両性)

～分かつたこと～

⑨ シンチルヒドロキシルエーテル, パラベン (100%オキシベンザン, 香酸エ  
 ナトリウム), 成分の酸化防止剤, 防腐剤として使われたい。20  
 ㎖程度, 長期に渡って使用させるものには, 必ず使用させて  
 いる。また, 酸化防止剤, 防腐剤, 皮膚を刺激して皮膚障害  
 の原因にすることがあるため, 酸化防止剤が添加されている。

⑩ 化粧水の成分は, 主に, 水とエタノールを溶かし合わせたものである。  
 エタノールはアルカリ性で, 蒸発していきるときに消毒感を与え,  
 殺菌効果もある。今回実験したものは, ほぼ「⑨」の成  
 分の他にも, 「アクリル」のようなものが, ある。これは, 皮膚の  
 柔軟剤, 保湿剤 (空気中の水分を吸い, 皮膚をしっかりと保湿)  
 として使われる。

⑪ 髪の毛は, 弱酸性性で, 髪に付着するものは, 弱酸性のものが  
 好ましい。この実験の成分は, 弱アルカリ性で, ボンディン  
 グ-70+は, アルカリ性だった。

8. 反省

①. 手順を正確に読んでおき, 手順が来たら水を入れておまじ  
 した。でも, 洗剤が水の量を測ってやる気がなくて, 洗剤が下  
 へ落ちた。水の量は, リットルを測っておいた。5.0mlを計り  
 入れて, 水を入れた。洗剤は, 5.0mlを計り入れた。洗剤を  
 入れるときは, 成分を見ながら入れた。洗剤の量を測り  
 入れて, 洗剤成分が水の中に入らないうちに, 洗剤を入れた。  
 洗剤成分も入れたので, 洗剤成分が水の中に入らないうちに  
 入れた。

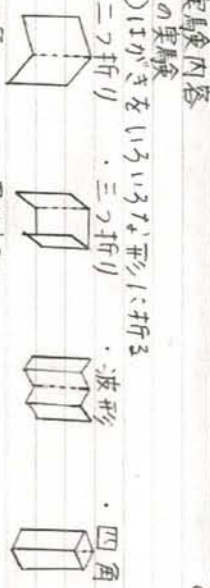
紙の折り方と強さ

1. 理由：普段、何気なく使っている紙に、最近興味がありました。ちやと本を見ていたら、この実験のやり方が書いてあったので、いろいろ紙系を使ってやってみました。

2. 目的：Iはがきの折り方を工夫して、どの折り方がいちばん強いかに比べる。

3. 日時：11月9日 午後8時～10時30分  
 4. 場所：自分の部屋

5. 実験内容  
 Iの実験  
 ①Iはがきをいろいろな形に折る



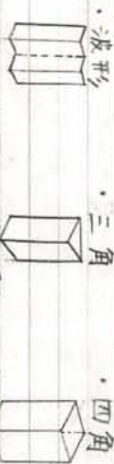
②Iで折ったIはがきの上に本を重ねる(順番に)  
 ③Iはがきがつぶれたときの本の重さをそれぞれ調べて、どの折り方がいちばん強いかなる。

結果	Iはがきの折り方	重さ	順位
	ニツ折り	210g	6
	三ツ折り	325g	5
	波形	530g	4
	四角	780g	2

上の表から、三角の折り方がいちばん強いとわかった。

IIの実験

①新聞紙、習字用半紙、画用紙、Iはがきを、Iはがきの大きさに合わせて同じ折り方のものを調べる



②Iで折った紙の上に本を重ねる(順番に)  
 ③紙がつぶれたときの本の重さをそれぞれ調べて、どの紙のどの折り方がいちばん強いのかを調べる

結果	紙の種類	重さ	順位
波形	新聞紙	100g	3
	習字用半紙	545g	3
	画用紙	530g	1
三角	新聞紙	100g	3
	習字用半紙	810g	3
	画用紙	790g	1

結果	紙の種類	重さ	順位
三角	新聞紙	100g	3
	習字用半紙	810g	3
	画用紙	790g	1

結果	紙の種類	重さ	順位
四角	新聞紙	100g	2
	習字用半紙	780g	2
	画用紙	780g	1

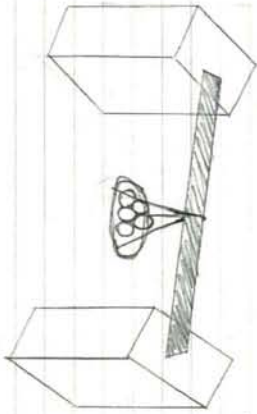
前ページの正の表全部から、画用紙の三角の折り方がいちばん強いとわかった。

Ⅲの実験

①画用紙をいろいろな形に折って、台と台の上にかたす。  
折り方は、  
・山形                      ・三角                      ・四角                      ・まるめる



- ②紙の中央部分に紙の皿をのけて、糸をかける。
- ③紙の中央部分が折れ曲がって皿が下に落ちていきのねん土の重さをばかして記録をし、どれがいちばん曲がりにくいかみる。



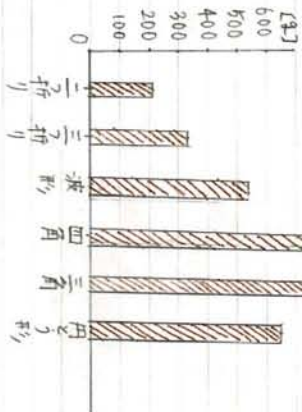
結果

紙の折り方	重さ	川原値
山形	300g	4
三角	695g	2
四角	710g	1
まるめる	350g	3

上の表から、四角折りがいちばん強いとわかった。

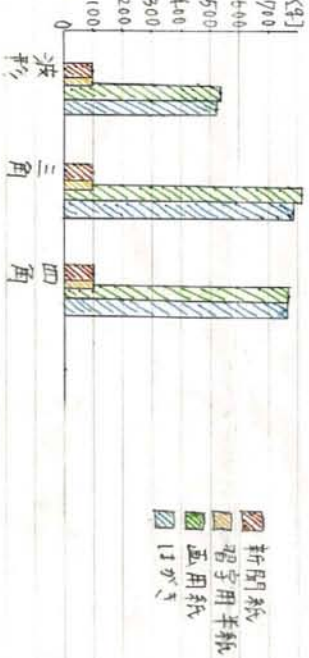
Ⅰ、Ⅱ、Ⅲの実験結果を棒グラフで示してみました。

Ⅰの結果

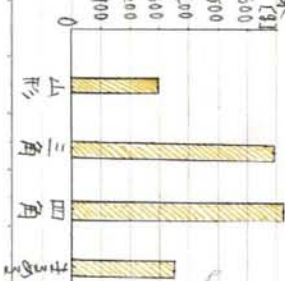


この実験は正しくなると、  
工程がわかるように基本実験で、  
正確な測定結果を記録する。

Ⅱの結果



Ⅲの結果



8、感想  
身近な材料で手軽にできるものを選びました。実験をしてみると、  
簡単に「けいぞう」が遊びた。たぐった人集まることと、  
「けいぞう」が遊びた。この折り紙が「強」いかわかったのでも、  
活する上で何の役立っていた。でも、これには紙について調べてみ  
たいです。

附録 E 化学 I A 定期考査問題 (抜粋)

<第 1 期末考査>

- 2 ラザフォードが行った  $\alpha$  線散乱実験とはどのような実験であったか説明しなさい。
- 3 2 の実験から、どのようなことがわかったか。
- 4 下の表を見て、ラザフォードとチャドウィックは、原子の構造についてあることを考えた (予想した)。それはどのようなことか、表を参考にして説明しなさい。

	H	He	Li	Be	B
原子番号	1	2	3	4	5
正電荷の数	1	2	3	4	5
電子の数	1	2	3	4	5
質量数	1	4	7	9	11

- 6 一般家庭では家庭用燃料として、プロパンガス ( $C_3H_8$ ) や都市ガス ( $CH_4$  が主成分) が用いられている。安全のため、ガス警報機の設置が義務付けられているが、それぞれ、台所のどのような位置に設置すればよいか。分子量を計算し、説明しなさい。ただし、空気の組成は、おおよそ  $N_2$  と  $O_2$  が 4 : 1 であると考え、原子量は  $H=1$ 、 $C=12$ 、 $N=14$ 、 $O=16$  とする。
- 9 氷をビーカーに入れ、バーナで温め、一定の時間間隔で温度を測定していく。そのグラフを描くと  $0^\circ C$  と  $100^\circ C$  付近で、熱しつつけているにもかかわらず、温度が上昇しない部分が測定される。その時のバーナからの熱エネルギーはどうなっているのか説明しなさい。

<第 2 期末考査>

- 1 市販の食酢中に含まれる酢酸  $CH_3COOH$  のモル濃度を調べるために中和滴定実験をした。まず始めに食酢を 10 倍に希釈し、約  $0.100 mol/l$  の  $NaOH$  aq で滴定したところ、 $10.0 ml$  の食酢を中和するのに平均して  $7.682 ml$  要した。次に、 $NaOH$  aq の正確なモル濃度を求めるため、シュウ酸  $(COOH)_2 \cdot 2H_2O$  水溶液  $10.0 ml$  で滴定した。中和するのに平均して  $10.741 ml$  要した。シュウ酸の水溶液はシュウ酸の結晶  $6.30 g$  を純水に溶かして  $1.00 l$  にしたものを用いた。シュウ酸の分子量を 126 とし、次の各問いに答えなさい。

- (1) この実験の目的からすれば、食酢と水酸化ナトリウムの中和滴定実験だけでよいはずであるが、なぜ、さらにシュウ酸で滴定したのか。水酸化ナトリウムの性質から説明しなさい。
- (2) この実験ではコニカルビーカーに食酢またはシュウ酸水溶液を入れておき、少しずつ水酸化ナトリウム水溶液を滴定していった。このとき、ちょうど中和したかどうか調べるために用いた指示薬の種類、そして、その指示薬がどのようになれ

ばちょうど中和したと判断するかを説明しなさい。

- 2 ガリレオ(1564-1642)はどんなにポンプを働かせても、水を約 10m 以上吸い上げられないことを知った。ガリレオの弟子のトリチェリ(1608-1647)は、水のかわりに水銀を用いて実験した。また、その結果を知ったパスカル(1623-1662)は同様の実験をピュイ・ド・ドーム山の山頂、中腹、麓で行った。この二人の実験の概略とその結果わかったことを書きなさい。

附録 F 平成 10 年度岩手県公立高等学校入学学力検査問題（理科）







## 附録 G TIMSS 問題 (抜粋)

### F. 1 生徒に対して行った試験 (論述式)

- Q 1 8 氷のかたまりが入ったコップ一杯の水の重さを測ったら、300g でした。氷が溶けてしまった直後には、重さはどうなるでしょうか。その答えと理由を書きなさい。
- K 1 0 空気は無色、無臭、無味です。空気があることを示す方法を一つ書きなさい。
- R 5 二酸化炭素は、ある種類の消火器に使用されている物質です。二酸化炭素はどのようにして火を消すのか説明しなさい。
- Z 1 a 鉄橋には、塗装がしてあります。塗装はなぜ必要なのか書きなさい。
- J 9 木を切ったとき、その木の年齢を調べる方法を説明しなさい。
- R 3 ある地域に、新しい種類の生物を持ち込んだとき起こる好ましくない結果には、どのようなことがありますか。例を一つあげなさい。
- O 1 4 太陽は月より大きいですが、地球から見ると同じくらいの大きさに見えます。その理由を書きなさい。
- R 4 地球上のあらゆる生物にとって、オゾン層が重要である理由を一つ書きなさい。
- O 1 6 暑い日には、のどがかわいて、たくさん水を飲む必要があるのはなぜですか。
- K 1 9 コンピュータは人々の仕事にどのように役立ちますか。例を一つあげなさい。

### F. 2 選択式問題例

<正答率が 50%以上のもの>

- I 1 6 金属のスプーンと木のスプーンとプラスチックのスプーンが熱いお湯の中に入っています。15 秒後、どのスプーンがもっとも熱いと感じますか。
- 1 金属のスプーン    2 木のスプーン    3 プラスチックのスプーン  
4 三つのスプーンとも同じ
- Q 1 4 粉末の鉄と、硫黄の混合物を熱すると、何ができますか。
- 1 1 種類の元素    2 2 種類の別の元素    3 溶液  
4 合金    5 化合物
- K 1 8 植物細胞における葉緑体の主な働きは何ですか。
- 1 光エネルギーを吸収し、養分を作る  
2 積極的に排泄物を取り去る働きをする  
3 養分から化学エネルギーを作り出す  
4 細胞の形を決める
- K 1 5 化石燃料は何から作られますか。
- 1 ウラン    2 海水    3 砂や砂利    4 植物や動物の死がい

- N 5 酸性雨の主な原因の1つは、次のどれですか。
- 1 化学工場から川に流され廃棄した酸
  - 2 化学実験室から大気中に蒸発した酸
  - 3 石炭や石油の燃焼からできる大気中の水に溶ける気体
  - 4 冷暖房器具や冷蔵庫から大気中に逃げる気体

<正答率が50%未満のもの>

- Y 1 電気エネルギーは電灯をつけるのに用いられています。電灯から出た光エネルギーの量は、電灯で使われた電気エネルギーの量よりも多いですか、少ないですか。

多い 少ない 同じ (どれか1つに○をつけなさい)

そう答えた理由を答えなさい

- O 1 5 中性の原子が電子1個失うと、何になりますか。

1 気体 2 イオン 3 酸 4 分子

- P 4 動物が冬眠するとき、その動物には何が起こっていますか。

- 1 その動物の体内ではどの部分も、生きていない。
- 2 その動物は、呼吸を止めている。
- 3 その動物の体温は、活動しているときより高い。
- 4 その動物は、活発な生活にもどるときに使うエネルギーを取り込んでいる。
- 5 その動物は、活動している期間より少ないエネルギーしか使わない。

- Q 1 5 太陽以外の、最も近い恒星から地球へ光が届くのには、どのくらいかかりますか。

1 1秒以下 2 1時間くらい 3 ひと月くらい 4 4年くらい

- N 3 二つの同じようなコップの一方には水を、もう一方にはガソリンを、それぞれいっぱいに入れて、暑い晴れた日に窓ぎわのテーブルの上に置いておきました。2, 3時間後に見ると、両方のコップともに中の液体は減っていましたが、ガソリンのほうが水よりも、よけいに減っていました。この実験は、次のうちのどのことを示していますか。

- 1 どんな液体でも蒸発する。
- 2 ガソリンは水よりも熱くなる。
- 3 ある液体はほかの液体よりも早く蒸発する。
- 4 液体は日光があたらないと蒸発しない。
- 5 水はガソリンより熱くなる。

附録 G 岩手山雲画像

Fig.1(2000.1.18 14:40)



Fig.2(2000.1.18 14:41)



Fig.3(2000.1.18 14:42)



Fig.4(2000.1.18 14:43)



Fig.5(2000.1.18 14:44)



Fig.6(2000.1.18 14:45)



Fig.7(2000.1.18 14:46)



Fig.8(2000.1.18 14:47)



Fig.9(2000.1.18 14:48)



Fig.10 (2000.1.18 14:49)



Fig.11 (2000.1.18 14:50)



Fig.12 (2000.1.18 14:51)



Fig.13 (2000.1.18 14:52)



Fig.14 (2000.1.18 14:53)



Fig.15 (2000.1.18 14:54)



## 引用文献

- 1) 産経新聞社会部編：『理工教育を問う』、(新潮文庫、1998)。
- 2) 稲生勝：『欧米でも進む「理科離れ」』、日本科学者、**30** (1998) pp.193-197
- 3) I E A : "Middle School Year : I E A's Third International Mathematics and Science Study", November, 1996.  
<http://www.csteep.bc.edu/TIMSS1/TIMSSPDF/BSciAll.pdf>
- 4) 後藤俊夫：「理科教育と科学技術（有馬朗人先生ご講演要旨）」、  
応用物理、**67** (1998) pp.384-387.
- 5) 増子寛、風間重雄：「高等学校における理科教育・物理教育」、  
応用物理、**68** (1999) pp.244-248.
- 6) 山田善春：「なぜ科学を学びまたどのように科学を学か」、  
「よみがえれ理科教育」、(東京書籍、1999)。
- 7) O E C D : "PROMOTING PUBLIC UNDERSTANDING OF SCIENCE AND TECHNOLOGY", 1997.  
[http://www.oecd.org/dsti/sti/s\\_t/prod/e\\_97-52.pdf](http://www.oecd.org/dsti/sti/s_t/prod/e_97-52.pdf)  
O E C D : "SCIENCE AND TECHNOLOGY IN THE PUBLIC EYE", 1997.  
[http://www.oecd.org/dsti/s\\_t/prod/s&tpub.pdf](http://www.oecd.org/dsti/s_t/prod/s&tpub.pdf)
- 8) 風間春子：『国際比較から見た日本の「知の営み」の危機』、  
大学の物理教育、(日本物理学会、1998)
- 9) 「新教育課程に対する数学・物理・化学系諸学会の見解」、  
応用物理、**68** (1999) pp.718-719.
- 10) 駒林邦男：『改訂版 現代社会の学力』、(放送大学教育振興会、1999)。
- 11) 愛知県立半田工業高等学校：『理科離れ・工業離れに関する調査』、1997年7月。
- 12) 重松公司、駒林邦男：『拡大再生産される「理科離れ」』、  
「科学朝日」、1994年11月号。
- 13) 永田敏夫・大久保政俊・村上俊一：「小学校教員の高校理科履修科目と理科指導」、  
日本物理教育学会第16回物理教育研究大会資料、(1999) pp36-37.
- 14) 国立教育研究所編：『小・中学生の算数・数学、理科の成績』、(東洋館出版、1996)。
- 15) 佐藤学：『教育時評 1997→1999』、(世織書房、1999)。
- 16) 安孫子誠也：『歴史をたどる物理学』、(東京教学社、1986)。
- 17) 佐藤文隆：『物理学の世紀』、(集英社、1999)。

(原図は A.W.Duff, College Physics, 1920 による)

## 参考文献

- ・ 大野陽朗監修、高村泰雄、藤井寛治、須藤喜久雄：  
『近代科学の源流－物理学篇 I』、(北海道大学図書刊行会、1974).
- ・ 竹内敬人：『化学の基本 7 法則』、(岩波ジュニア新書、1998).
- ・ 小野周：『自然科学概論』、(朝倉書店、1988).
- ・ 猿橋勝子監修、池田長生：『化学小事典』、(三省堂、1999).
- ・ 宮島龍興監修：『物理小事典』、(三省堂、1989).
- ・ J. D. Bernal (鎮目恭夫訳)：『歴史における科学』、(みすず書房、1976).
- ・ W. Wilson (矢島祐利、大森実 訳)：『近代物理学史』、(講談社、1973).
- ・ S. Weinberg (本間三郎訳)：『電子と原子核の発見』、(日経サイエンス社、1986).
- ・ 文部省「平成 11 年度高等学校新教育課程説明会資料 (理科部会)」、1999.
- ・ T. S. Kuhn (中山茂訳)：『科学革命の構造』、(みすず書房、1971).
- ・ 井上尚之：『科学技術の発達と環境問題』、(東京書籍、1998).

## 謝 辞

本稿を執筆するにあたって、理科教育学教室の井上雅夫教授、石川雄一郎助教授には終始ご指導をいただいた。駒林邦男名誉教授には、講義を通して我が国の教育の現状についての問題意識を大きく触発していただき、物理学教室の重松公司助教授には、本稿の草稿から、たいへん有益な議論をいただくとともにご指導いただいた。深く感謝申し上げます。

また、岩手大学大学院で学ぶにあたって、派遣していただいた岩手県教育委員会事務局、研究生生活を強く勧めていただいた千厩東高等学校長鈴木白氏、前千厩高等学校長佐野弘一氏、そして、研究生生活と勤務の両立に深いご理解をいただいた盛岡商業高等学校長村田勲氏に厚く御礼申し上げます。