

# 化学Ⅱ「生命と物質」の教材化

—核酸と医薬品を中心に—

おか      ひろ   あき  
岡      博   昭

## Subject-ization of the Life and Material:

OKA Hiroaki

抄録：化学Ⅱ「生命と物質」には、これまで化学の授業で扱わなかった核酸や医薬品が含まれている。これらの内容について、分子モデルや構造式、生徒実験などを組み合わせ、化学Ⅰの復習を兼ねた授業を計画し、実践した。

キーワード：化学教育、生命と物質、核酸、医薬品、授業

### I はじめに

現行の学習指導要領における化学Ⅱでは、「生活と物質」と「生命と物質」は選択になっている。

「生活と物質」では、日常生活と関係の深い食料や衣料、プラスチック、金属、セラミックスを観察、実験などを通して探求し、それらの性質や反応を理解させ、身の回りの物質について科学的な見方ができるようにしている。

その主な内容は「食品と衣料の化学」と「材料の化学」である。「食品と衣料の化学」では、食品中の主な成分の構造や性質、反応を扱うこと。代表的な天然繊維及び合成繊維の構造、性質、合成及び用途を扱うこと。染料や洗剤にも簡単に触れることとなっている。

「材料の化学」では、代表的なプラスチックの構造、性質、合成及び用途を扱い、燃焼にかかわる安全性にも触れること。金属については、腐食の難易やその防止にも触れることとなっている。

一方、「生命と物質」では、生命体を構成する物質、生命現象と関係する化学反応、医薬品や肥料を観察、実験などを通して探求し、それらの性質や利用について理解させ、化学の成果が日常生活に役立っていることを認識させるとなっている。

その主な内容は「生命の化学」と「薬品の化学」である。「生命の化学」では、生命体を構成する基本的な物質の構造と性質を扱うこと。生命体内に摂取された物質の分解や再合成、エネルギーを得る反応などを取り上げ、それらが化学反応であることを扱うこと。

その際、酵素については、化学反応に関与するタンパク質であることに触れる程度とし、羅列的な扱いはしないこととなっている。

「薬品の化学」では、薬理作用をもつ基本的な物質の性質や構造を扱うが、羅列的な扱いはしないこと。植物の成長に必要な元素の作用及び化学肥料の合成や性質を扱うこととなっている。

「生活と物質」の内容は、旧指導要領の化学ⅠBと化学Ⅱで扱っていた内容とそれほど差がない。しかし、「生命と物質」は主に生物で扱っていた核酸や、これまで体系的に扱ってこなかった医薬品や肥料などの内容が含まれている。

そこで、核酸と医薬品の教材化を検討し、その授業を実践したので報告する。

## Ⅱ 核酸

化学Ⅱ「生命と物質」の「生命の化学」では、アミノ酸とタンパク質、糖類、脂質、核酸、化学反応と酵素、物質の分解と合成などが扱われる。このうち、アミノ酸とタンパク質、糖類、脂質、酵素は「生活と物質」の「食品と衣料の化学」でも扱われているため、「生命と物質」の「生命の化学」では核酸を中心に扱うことにした。

### 1 基本的な考え方

核酸を教材化するための基本的な考え方は次の通りである。

- 科学史に重点を置く。特にエルヴィン・シュレーディンガーとロザリンド・フランクリンを取り上げる。
- スクレオシド、糖、塩基、ヌクレオチド、リン酸エステル、分子の極性と水素結合、DNAの二重らせん、RNA、ゲノムの順に展開する。
- Chemistry 4-D Draw で作成した構造式と富士通 WinMOPAC で作成した分子モデルを多用する。
- DNAによる人類の歴史、DNA鑑定、遺伝病の予防と治療について簡単に触れる。

#### (1) エルヴィン・シュレーディンガーとロザリンド・フランクリン

エルヴィン・シュレーディンガーは波動力学を打ち出し、量子力学に大きく貢献した物理学者である。

「私が遺伝学に夢中になったのは、シカゴ大学の3年生のときだった。それまでは、将来は博物学者になろうと思い、自分の育ったシカゴの下町、サウスサイドの喧騒とはまったく違った環境で研究するのを楽しみにしていた。そんな私が心変わりしたのは、忘れがたい教師がいたというわけではなく、1944年に出た『生命とは何か』という小さな本に感動したからだ。著者は、オーストリア生まれで、波動力学の父といわれているエルヴィン・シュレーディンガーである。その本は、彼が前年にダブリン高等研究所で行ったいくつかの講演をまとめたものだった。偉大な物理学者がわざわざ時間を割いて生物学の本を書いたということに、私は興味をひかれた。当時の私は、たいていの人がそうだったように、化学と物理学こそが「本物」の科学であり、理論物理学者は科学者の頂点に立てると考えていたのだ。

シュレーディンガーは、生命とは生物学的情報を蓄えたり、それを伝えたりするものと

して考えられると論じていた。その立場から見れば、染色体は情報の運び手にすぎない。ひとつひとつの細胞に詰め込まれた情報は膨大な量にのぼるはずだから、情報は染色体という分子の繊維に埋め込まれた、シュレーディンガー言うところの「遺伝暗号文」になっていなければならない。そうだとすれば、生命を理解するためには、染色体の分子を突き止め、暗号を解読する必要がある。彼はさらに、生命を理解することにより（そのためには遺伝子を発見することも必要だ）、当時理解されていた物理法則を超えることになるかもしれないとさえ考えていた。彼の本の影響力は絶大だった。フランシス・クリック（彼も元は物理学者だった）をはじめ、分子生物学という壮大なドラマを第一幕で重要な役を演じるようになった人々の多くは、私と同様、この『生命とは何か』を読んで感銘を受けていたのである。」

—ジェームス・D・ワトソン、アンドリュー・ペルー著「DNA」（講談社）より—

ロザリンド・フランクリンはX線回折を専門とする女性科学者である。彼女のB型DNAを捉えた写真51番を見て、ワトソンはこの分子がらせん構造であることを知ったといわれている。

「1953年2月28日、ついにDNAモデルの鍵となる特徴が明らかになった。2本の鍵を保持していたのは、アデニンとチミン、グアニンとシトシンという組み合わせによる強力な水素結合だった。前年、シャガフの研究にもとづいてクリックが推測したことは正しかったのだ。アデニンはチミンと、グアニンはシトシンと結合

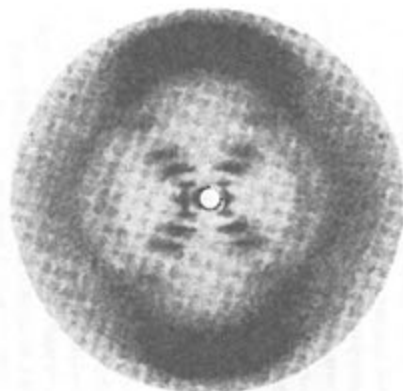


写真 51 番

する—しかしそれは分子の面が上下に重なるのではない。研究室にやってきたクリックはたちまちすべてを理解し、塩基を対にする私の案に同意した。彼はすぐに、二本の鎖が互いに逆方向に伸びていることに気がついた。

それは最高の瞬間だった。私たちはそれが正解だと確信した。これほど単純明快な構造は正解に決まっていた。いちばん興奮させられたのは、二本の鎖に沿って並ぶ塩基配列の相補性だった。一方の鎖の塩基配列がわかれば、自動的にもう一方の配列がわかる。細胞分裂に先だって起こる染色体の分裂の際、遺伝情報がなぜあれほど正確に複製されるのかが、これで明らかになったのだ。分子はファスナーを開くようにして二本の鎖に別れる。そしてそれぞれの鎖が、新しく作られる鎖を作るための鋳型となり、ひとつだった二重らせんがふたつになるのである。」

—ジェームス・D・ワトソン、アンドリュー・ペルー著「DNA」（講談社）より—

エルヴィン・シュレーディンガーとロザリンド・フランクリンの二人がいなければ、ワトソンとクリックの二重らせん構造はなかったかもしれない。

## (2) ヌクレオシドからヌクレオチドへ

化学Ⅱでは、単糖類としてグルコース、フルクトースなどの構造を扱う。フルクトース

の水溶液中の平衡において、 $\beta$ -フルクトフラノースの五員環構造が存在する。その復習をかねて、ペントースから入ることにした。

窒素を含む有機塩基は、化学Ⅰで扱う芳香族アミンから導入することにした。有機塩基とペントースが結合した化合物がヌクレオシドであるが、これは縮合によるものであることに触れることにした。

一方、リン酸とペントースの結合はエステルになっている。エステルについては、化学Ⅰでアルコールとカルボン酸によるエステル、化学Ⅱで硝酸エステルを学んでいる。この機会に、エステルの復習を兼ねることにした。

DNAのらせん構造において、またDNAのコピーにおいて重要なはたらきをしているのが水素結合である。水素結合は化学Ⅱで扱うことになっているが、本校では化学Ⅰで扱っている。まず電気陰性度から入る。マリケンの式とポーリングの式を紹介する。ノーベル賞の歴史の中で、単独で2回（化学賞と平和賞）受賞しているのはポーリングのみであることも触れる。次に分子の形と極性に展開する。ここで扱う分子は、直線形の塩化水素、折れ線形の水、三角錐形のアンモニア、正四面体形のメタンである。極性分子と無極性分子の判断は、電気陰性度の差と分子の形で決まることを理解させる。最後に、分子結晶と水素結合に展開する。ここでは、ファンデルワールス力と分子量の関係を理解させ、水、フッ化水素、アンモニアは例外であることに気づかせ、水素結合が関与していることを理解させる。

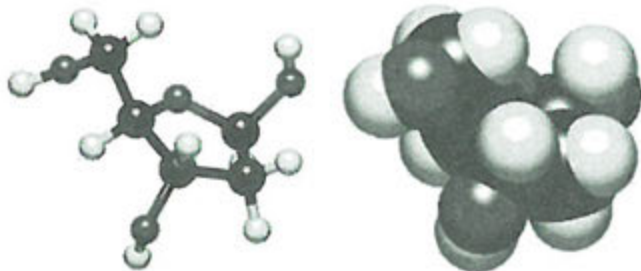
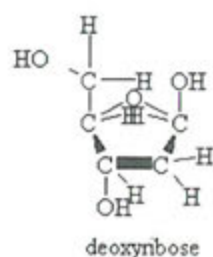
分子モデルを用いて、アデニンとチミンは2箇所、グアニンとシトシンは3箇所水素結合をつくっていることを示す。この水素結合が、選択的な塩基対を構成していることを理解させたい。

### (3) 構造式と分子モデル

ペントース、有機塩基、リン酸の構造は、それぞれChemistry 4D DrawやWinMOPACなどのソフトを使って作成したものを示した。

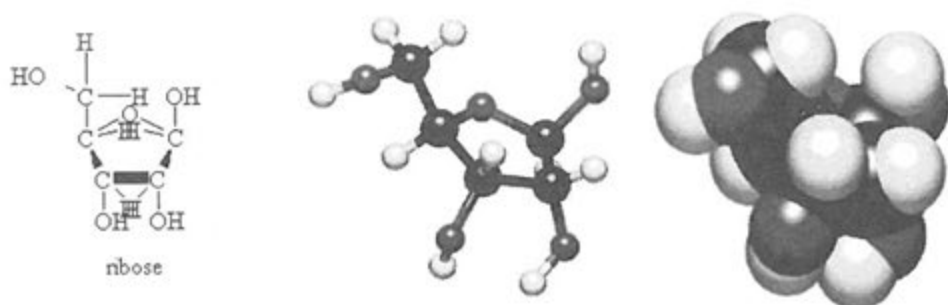
#### ① デオキシリボース

天然には、DNA中に $\beta$ -フラノース型でプリンおよびピリミジン塩基とN-グリコシド結合して存在し、これを加水分解することによって得られる。



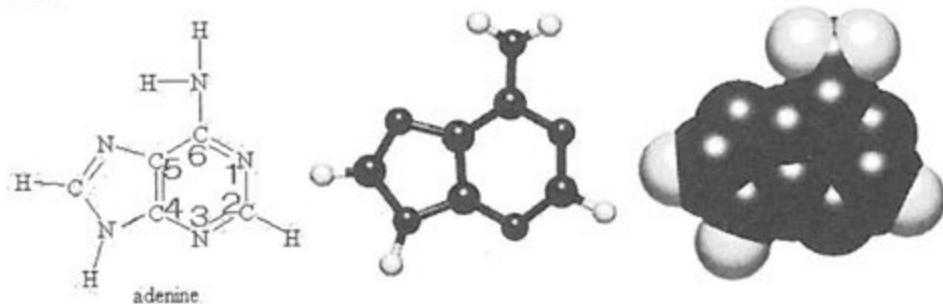
#### ② リボース

D-リボースは $\beta$ -フラノース型としてリボ核酸、リボヌクレオチド、種々の補酵素に含まれ、それらを加水分解することによって得られる。



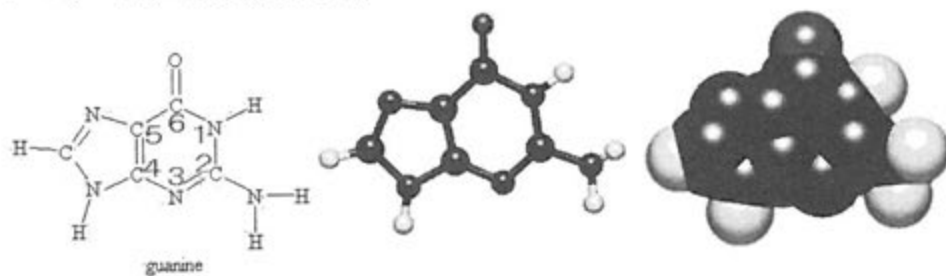
③ アデニン

6-アミノプリンにあたり、核酸を構成する塩基の1つであり、種々の補酵素中にもみられる。



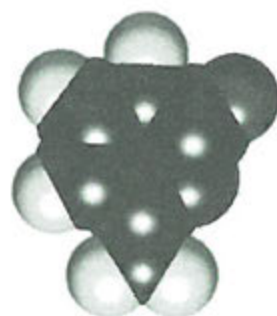
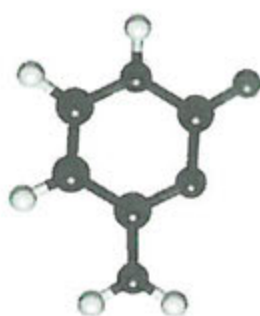
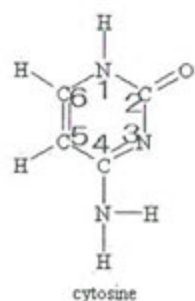
④ グアニン

2-アミノ-6-ヒドロキシプリンにあたり、核酸構成成分のプリン塩基の1つであり、ケト-エノール形の変異性を示す。



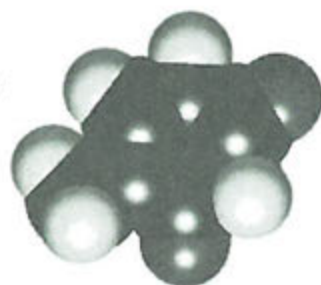
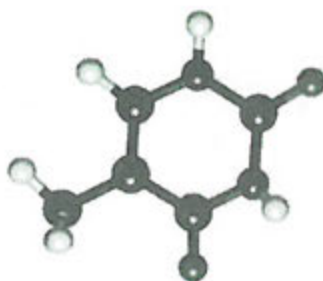
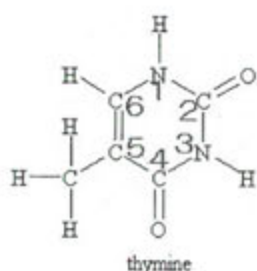
⑤ シトシン

2-ヒドロキシ-4-アミノピリミジンにあたり、核酸を構成するピリミジン塩基の1つであり、水溶液中ではほとんどケト形である。



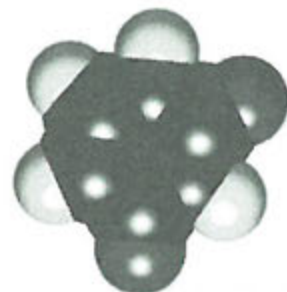
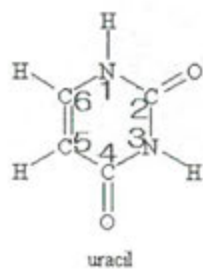
### ⑥ チミン

5-メチルウラシルにあたるピリミジン塩基の1つで、DNAを構成する塩基である。tRNA以外のリボ核酸には存在しない。



### ⑦ ウラシル

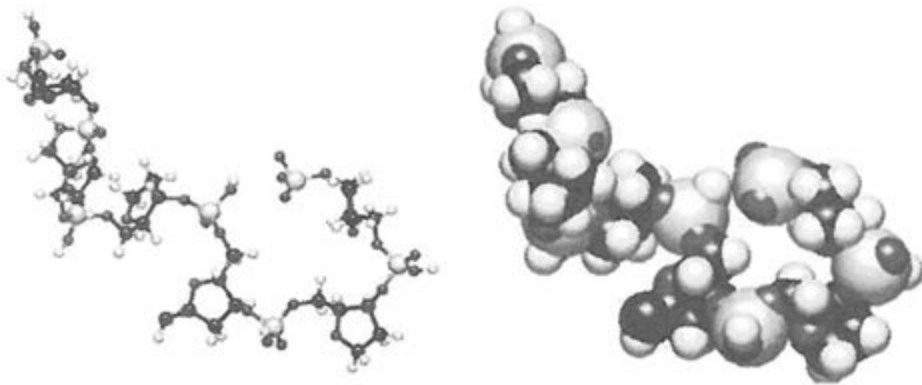
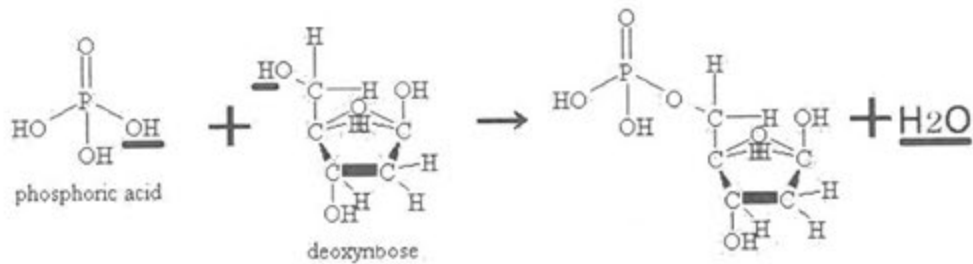
2,4-ジヒドロキシピリミジンにあたるピリミジン塩基の1つで、シトシンとともにRNAの成分をなす。水溶液中ではほとんどケト形である。



### ⑧ リン酸エステル

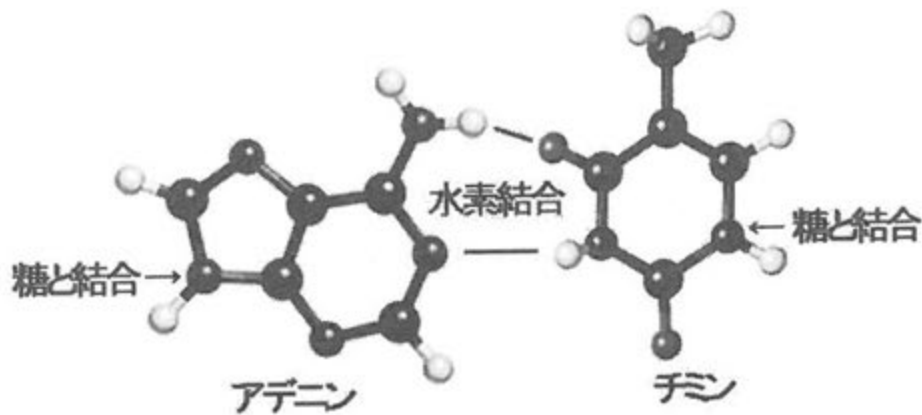
オルトリン酸の水素が炭化水素基Rで置換された化合物をいい、 $PO(OR)(OH)_2$ ,  $PO(OR)_2OH$ ,  $PO(OR)_3$ のいずれかの一般式で示される。最後の型のものとしてはリン酸トリフェニル、リン酸トリクレシルなどがよく知られている。また糖のオルトリン酸エステルには各種のヘキソースリン酸があり、さらに各種のヌクレオチドは塩基と結合している糖にリン酸がエステル結合をしたものである。これらはいずれも生化学上重要な役割をもっている。ポリリン酸エステルにはADP、ATPなどがあり、そのリン酸結合は生体の代謝過

程において高エネルギーを与える結合（高エネルギーリン酸結合）として重要なものである。

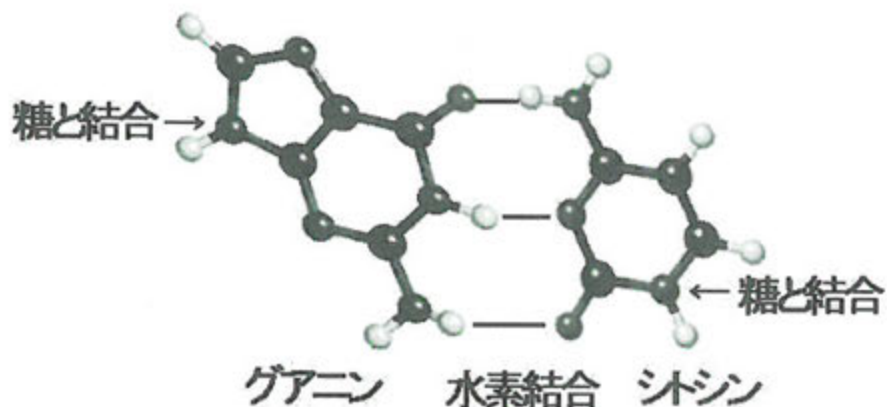


⑨ 塩基対の水素結合

アデニンとチミンでは、アデニンのアミノ基とチミンのカルボニル基、アデニンの1番窒素原子とチミンの3番窒素原子に結合している水素原子との間で水素結合をつくっている。すなわち、水素結合は2箇所をつくっている。



グアニンとシトシンでは、グアニンのカルボニル基とシトシンのアミノ基、グアニンのアミノ基とシトシンのカルボニル基、グアニンの1番窒素原子に結合している水素原子と3番窒素原子との間で水素結合をつくっている。すなわち、水素結合は3箇所で行われている。



## 2 学習指導案

日時 平成17年12月9日(金) 8時40分～10時30分

場所 大阪教育大学教育学部附属天王寺中・高等学校化学講義室(東館2階)

学級 大阪教育大学教育学部附属高等学校天王寺校舎 3年化学選択者

主題 生命と物質 (教科書: 高等学校化学II 啓林館)

### 目標

- (1) 生体物質とそのはたらきの原理が、化学によってどのように説明されるのかを理解させる。
- (2) 医薬品について、これまでに学習してきたことを基にして、構造や合成を理解させる。
- (3) 生体物質や医薬品と化学との関わりについて認識させ、化学の役割について考えさせる。

### 指導計画

区分	学習内容		配当時間	
第1次	核酸		2(本時)	
第2次	医薬品	医薬品 アセトアミノフェンの 合成	1 1	2



## 本時の学習指導

### (1) 題材 核酸

### (2) 目標

- ① DNAの二重らせん構造発見にかかわった科学者達のエピソードを紹介する。
- ② DNAを構成している糖や有機塩基の種類と構造を理解させる。
- ③ DNAの二重らせん構造に水素結合が関与していることを理解させる。
- ④ ヒトゲノムの解読が、われわれの生活にどのようにかわるかを考えさせる。

### (3) 準備物

教科書、「DNA」ジェームズ・D・ワトソン、アンドリュー・ペリー著（講談社），「ダークレディーと呼ばれて」ブレンダ・マドックス著（化学同人），「生命とは何かー物理的にみた生細胞ー」エルヴィン・シュレーディンガー（岩波新書），分子モデル

### (4) 指導課程

#### 1時間目

段階	学習事項	生徒の活動	指導者の活動・評価
導入 (5分)	・本時の学習目標	・本時は核酸について学習することを 知る。  ・シュレーディンガーを知 る。  ・deoxyribonucleic acidの 略がDNAであることを知る。	・「生命とは何か」，「DNA」， 「ダークレディーと呼ばれて」 の3冊の本を紹介し本時の学 習目標を説明する。  ・DNAの構造を研究するきっか けをつくったのはシュレーデ ィンガーであることを説明す る。  ・DNAは何の略かを説明する。
展開 (40分)	・DNAを構成 している分子  ・糖  ・有機塩基	・デオキシリボースは糖で あることを知る。  ・グルコースとフルクトー スの構造式を思い出す。  ・デオキシリボースとリボ ースの構造を知る。  ・芳香族アミンを思い出す。	・DNAを構成しているのはペン トースと有機塩基とリン酸で あることを説明する。  ・単糖類の種類と構造を想起 させ、不十分な場合追加指導 を行う。  ・デオキシリボースとリボ ースの構造を紹介する。その 際、デオキシの意味について 触れる。  ・今までに学習した有機塩基

	・リン酸エステル	<ul style="list-style-type: none"> <li>・有機塩基には、アデニン、グアニン、シトシン、チミンがあることを知る。</li> <li>・有機塩基の構造式を知る。</li> <li>・アルコールとカルボン酸の反応を思い出す。</li> <li>・綿火薬やコロジオンを思い出す。</li> <li>・リン酸エステルはDNAの主鎖になっていることに気づく。</li> </ul>	<p>を想起させ、不十分な場合追加指導を行う。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・DNAを構成する有機塩基を紹介する。</li> <li>・有機塩基の構造を説明する。</li> <li>・今までに学習したエステルを想起させ、不十分な場合追加指導を行う。</li> <li>・硝酸セルロースもエステルであることを想起させる。</li> <li>・リン酸とペントースからリン酸エステルができる反応を説明する。</li> </ul>
整理 (5分)	・本時のまとめ	・本時の学習内容を振り返る。	・ペントース、有機塩基、リン酸エステルについてまとめる。

## 2時間目

段階	学習事項	生徒の活動	指導者の活動・評価
導入 (5分)	・本時の学習目標	・DNAの遺伝情報に興味を持つ。	・DNAは遺伝情報をいかにして伝えるかについて考えることを知らせる。
展開 (35分)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・水素結合</li> <li>・水素結合と塩基対</li> <li>・二重らせん</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・電気陰性度、分子の形と極性の関係、分子間力と水素結合について思い出す。</li> <li>・アデニンとチミンがほぼ同量であり、グアニンとシトシンも同様であることを知る。</li> <li>・グアニンとチミンも水素結合により対になっていることに気づく。</li> <li>・ロザリンド・フランクリンの業績を知る。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・水素結合について理解の程度を知り、必要に応じて追加指導を行う。</li> <li>・シャガフの研究結果を紹介する。</li> <li>・アデニンとチミンが水素結合により対になっていることを示す。</li> <li>・フランクリンのX線回折写真51番を提示し、これのみて</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ DNAとRNA</li> <li>・ ヒトゲノム</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ DNAとRNAのはたらきを理解する。</li> <li>・ ゲノム中の塩基対の配列順序が遺伝情報に対応していることを知る。</li> <li>・ ヒトゲノムの扱いに慎重な判断が必要であることを知る。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ワトソンが二重らせんを確信したことを紹介する。</li> <li>・ DNAの複製，タンパク質合成のしくみを説明する。</li> <li>・ ヒトゲノム解読が2000年6月でほぼ完了したことを説明する。</li> <li>・ ヒトゲノムがもたらすものについて，経済，倫理，宗教などいろいろな問題が派生することを示す。</li> </ul>
整理 (5分)	・ 本時のまとめ	・ 本時の学習内容を振り返り，遺伝の本質について確認する。	・ DNAの二重らせん構造について整理し，その相補性が遺伝の本質であることを確認させる。

### 3 授業評価

この授業の難易度，興味，印象について，生徒を対象にアンケート調査を行った。

#### (1) 難易度

難易度についての調査結果は次の通りである。

よくわかった…33%
だいたいわかった…48%
どちらともいえない…15%
あまりわからなかった…2%
ほとんどわからなかった…2%

難易度については，81%の生徒がわかったと答えており，妥当であったと考えることができる。

#### (2) 興味

興味についての調査結果は次の通りである。

大変興味が持てた…25%
なかり興味が持てた…42%
どちらともいえない…23%
あまり興味が持てなかった…8%
ほとんど興味が持てなかった…2%

興味については、67%の生徒が興味を持てたと答えている。基本的には、授業の展開は評価されていると考えるが、2時間連続の講義では、生徒の興味がうすれる。何か適当な実験や実習、もしくは作業などが必要である。

### (3) 印象に残ったこと

印象に残ったことには、次のようなものがあった。

フランクリンのX線回折写真51番、二重らせん構造、生物で学んだことを化学的にみた、DNAの主鎖が糖でできていること、デオキシリボースやリボースの構造式、ヌクレオチド鎖の結合を化学的にみたこと、物理学者がDNA研究に関わったこと

概ね、核酸の授業の基本的な考え方が妥当であったと思われる。

## III 医薬品

化学Ⅱ「生命と物質」の「薬品の化学」では、医薬品と肥料が扱われる。医薬品を教材化した。

### 1 基本的な考え方

医薬品を教材化するための基本的な考え方は次の通りである。

- 薬の歴史についてアルカロイドを中心に簡単に触れる。
- アセトアニリド、アセチルサリチル酸、アセトアミノフェンを中心に扱う。その際、アニリンのアミノ基をアセチル化するとアセトアニリドができ、サリチル酸のヒドロキシ基をアセチル化するとアセチルサリチル酸ができることに注目させる。さらに、*p*-アミノフェノールからアセトアミノフェンを合成するためには、アミノ基だけを選択的にアセチル化する必要があることを理解させる。
- Chemistry 4-D Drawで作成した化学反応式を多用して、アセチル化を理解させる。
- 合成したアセトアミノフェンの構造決定の方法として、NMRスペクトルが有用であることを示す。

### (1) 薬の種類

化学Ⅱの教科書で紹介されている薬の種類を調べてみた。

#### ① 啓林館

モルヒネ、キニーネ（キニン）、アセトアニリド、アセチルサリチル酸、サルバンサン、ペニシリン、サルファ剤など

#### ② 三省堂

アセチルサリチル酸（アスピリン）、サルファ剤、ペニシリン、ストレプトマイシンなど

#### ③ 数研出版

アセチルサリチル酸、サリチル酸メチル、アセトアニリド、フェナセチン、スルファ剤、ペニシリン、ストレプトマイシンなど

④ 東京書籍

サルバンサン、アスピリン、サリチル酸メチル、サルファ剤、ペニシリンなど

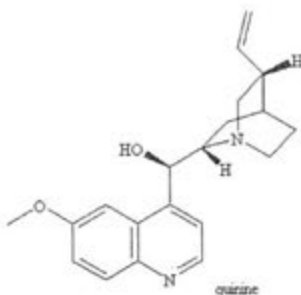
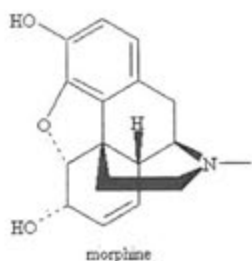
⑤ 第一学習社

アセチルサリチル酸、ニトログリセリン、サルファ剤、ペニシリン、サリチル酸メチル、アセトアニリド、アセトアミノフェン、フェナセチンなど

⑥ 実教出版

モルヒネ、ペンタゾシンサルファ剤、アセチルサリチル酸、アセトアミノフェン、ペニシリン、ストレプトマイシン、テトラサイクリンなど

アセトアニリドやアセチルサリチル酸は化学Iで学習している。また、アセトアミノフェンの構造や合成も高校生には理解できると考えた。そこで、歴史的にはモルヒネやキニーネなどの天然物を中心に扱うことにした。



(2) アセチル化

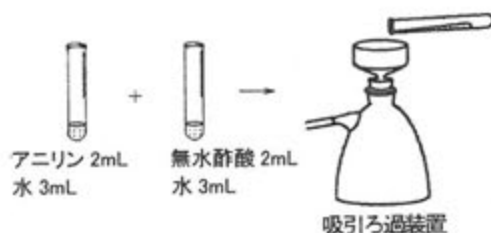
アセトアニリドやアセチルサリチル酸は、アセチル化によって合成できる。大阪府高等学校理化学教育研究会編化学I実験書における合成方法は次の通りである。

① アセトアニリドの合成

試験管に駒込ピペットを用いてアニリン2mLを取り、さらに蒸留水を3mL加える。別の試験管に無水酢酸を2mL取り、さらに蒸留水を3mL加える。

前の操作で調整した2つの溶液を混合し、ゴム栓をしてよく振る。

析出した結晶をろ過して取り出す。

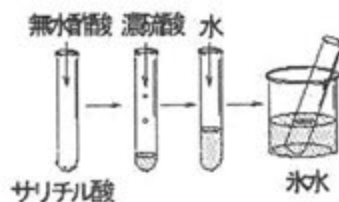


② アセチルサリチル酸の合成

乾いた試験管にサリチル酸を1gとり、無水酢酸を2mL加えて溶かす。

濃硫酸を5滴、よく振りながら加え、5分間よく振る。

試験管に蒸留水10mL加えた後、氷水につけて冷却し、結晶を析出させる。



試験管に析出させた結晶を少量とり、水を5mL加えて溶かした後、塩化鉄(Ⅲ)水溶液を1~2滴加える。

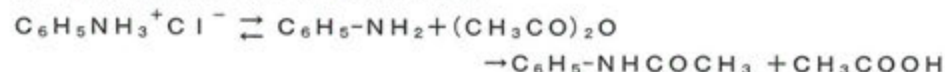
ところが、*p*-アミノフェノールを無水酢酸を用いて同様の方法でセチル化を試みたが、目的の物質を得ることはできなかった。アミノ基とヒドロキシ基の両方がアセチル化した可能性がある。アセトアニリドの合成には次のような別法があることを知った。

### ③ アセトアニリドの合成(別法)

アニリンを水に加える。当然、アニリンは水に溶けない。これに濃塩酸を加えると、アニリンは塩酸塩となって水に溶ける。



これに無水酢酸を加える。さらに、飽和酢酸ナトリウム水溶液を加えていくと、白濁し、ろ過によりアセトアニリドが得られる。



アニリンは、塩酸塩の状態では、非共有電子対をもっていないから、無水酢酸の電子不足のカルボニル基に求核攻撃することはできないと考えられる。しかし、アニリンよりも強塩基である酢酸ナトリウムを加えると、アニリンはフリーとなり、酢酸ナトリウムは酢酸に変化する。このようにしてできたアニリンのアミノ基が、無水酢酸のカルボニル基の炭素を攻撃して酢酸とアセトアニリドができると考えられる。

この方法を、アセトアミノフェンの合成に応用できないか検討した。

### ④ アセトアミノフェンの合成

三角フラスコに *p*-アミノフェノール5.0g を入れ、これに水100mLに加えてマグネチックスターラーで攪拌する。濃塩酸約3mL少しずつ加えると、*p*-アミノフェノールが塩酸塩となって、ほとんど溶けた。これに、無水酢酸を5mL少しずつ加えた。さらに、酢酸ナトリウム10gを水に溶かした飽和水溶液を少しずつ加えていくと、白濁し結晶が析出した。三角フラスコごと氷水につけ十分に冷やした。その後、この結晶を吸引ろ過すると、4.2gあった。この粗結晶がすべてアセトアミノフェンだとすると、収率は60%ということになる。

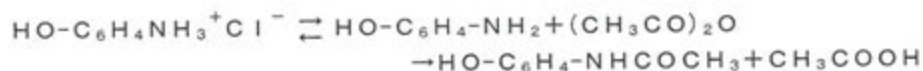
この結晶を水で再結晶して精製した。再結晶を2回繰り返して得られた結晶の融点は172°Cであった。メルクインデックスの融点169-170.5°Cより少し高いが、融点169-172°Cという文献もある。

塩化鉄(Ⅲ)反応を調べると、呈色した。ただし、この結晶は冷水に溶けにくいので、塩化鉄(Ⅲ)をエタノールに溶かして調べた。このことより、フェノール類であることが確認できた。

熱水に溶かしてさらし粉水溶液を加えてみたが、呈色しなかった。このことより、アミノ基がないことが確認できた。したがって、得られた結晶は、目的のアセトアミノフェンである可能性が十分高いと判断できる。

この反応は、次のように進んだと推測できる。





生徒実験向けに、次のように量関係などを変更した。

### ⑤ アセトアミノフェンの合成（生徒実験用）

三角フラスコに、*p*-アミノフェノールを0.5gとり、水10mLを加える。

前の操作の三角フラスコを、スターラーにのせ、濃塩酸を0.4mL加える。

スターラーで搅拌しながら、無水酢酸0.5mLを少しずつ加える。

試験管に酢酸ナトリウム1gを加え、1mLの水に溶かす。

前の操作でつくった水溶液を、少しずつ三角フラスコに加える。

三角フラスコを氷水で冷やし、得られた沈殿物をろ過する。

沈殿物を少量の水で再結晶する。

前の操作で出てきた結晶をろ過する。

*p*-アミノフェノールと前の操作で精製した結晶を、小さじ1杯ずつ2本の試験管にそれぞれ取り、少量の水を加えて加熱し結晶を溶かす。

一方の試験管に塩化鉄(III)水溶液を1～2滴加える。他方の試験管にはさらし粉の飽和水溶液を数滴加える。

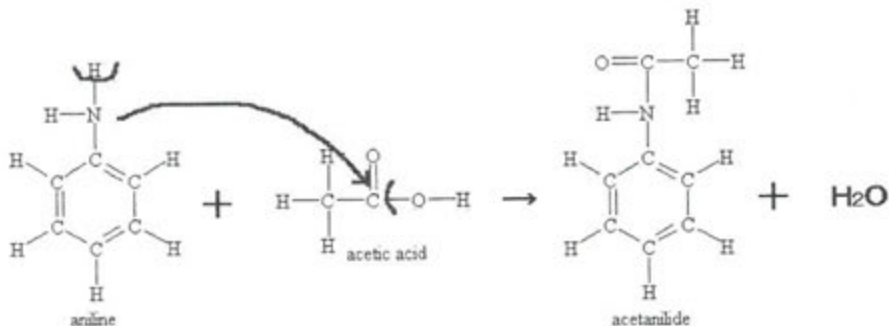


### (3) Chemistry 4-D Draw で作成した化学反応式

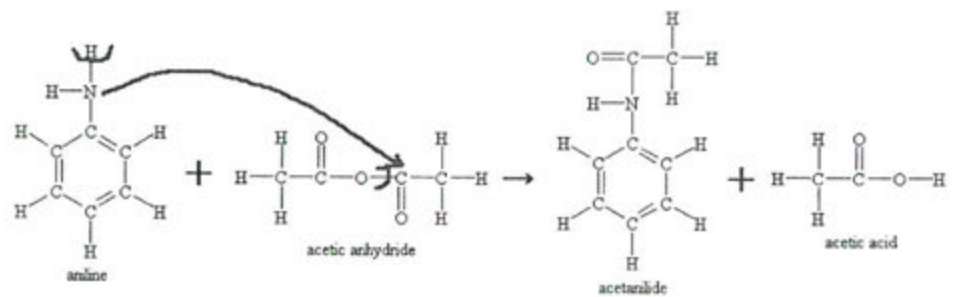
アセチル化は、アミノ基の窒素原子の非共有電子対やヒドロキシ基の酸素原子の非共有電子対が、カルボニル基の炭素原子に求核攻撃することではじまる。これを生徒に理解させるために、Chemistry 4-D Draw で作成した構造式を利用して説明することにした。

#### ① アセトアニリドの合成

大阪府高等学校理化学教育研究会編化学I実験書では無水酢酸を用いてアセチル化を行うが、啓林館の教科書では酢酸を用いてアセチル化を説明している。

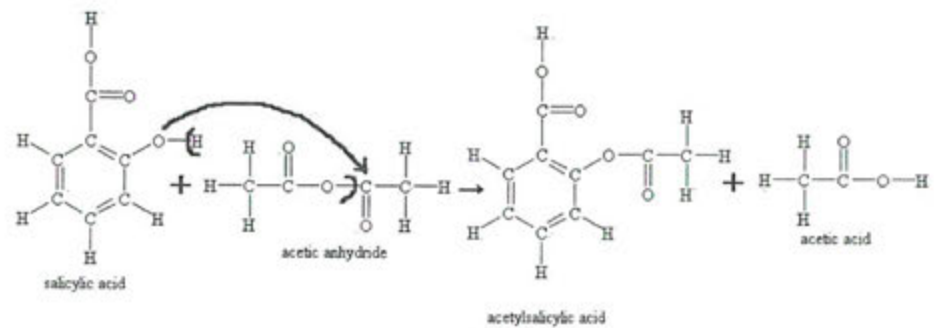


無水酢酸によるアセチル化を説明すると、次のようになる。



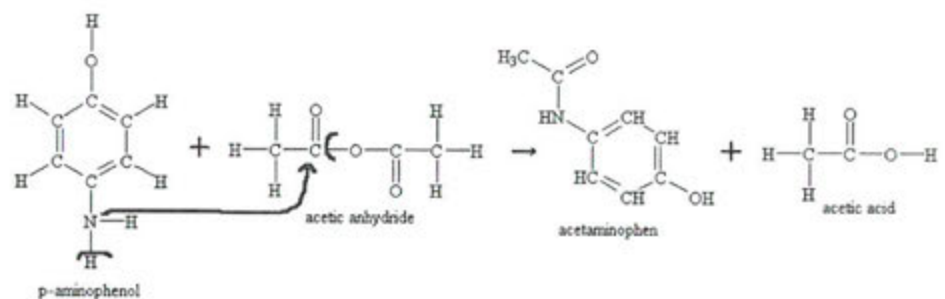
### ② アセチルサリチル酸の合成

啓林館の教科書も、無水酢酸でアセチル化を説明している。他の教科書も同様である。



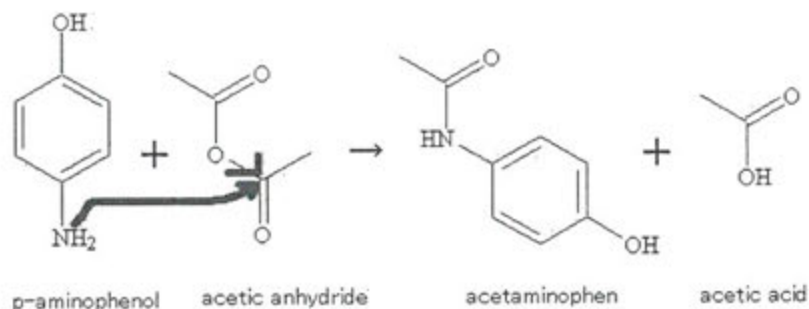
### ③ アセトアミノフェンの合成

実験では、*p*-アミノフェノールを塩酸塩にし、酢酸ナトリウムを加えながらアセトアミノフェンの合成を行うが、反応の本質は次のようになる。





以上は Kekule Style での表示であったが、Shorthand Style で表示すると、次のようになる。構造式に慣れてくると、こちらの表示の方がかえってわかりやすい。



#### (4) NMRスペクトル

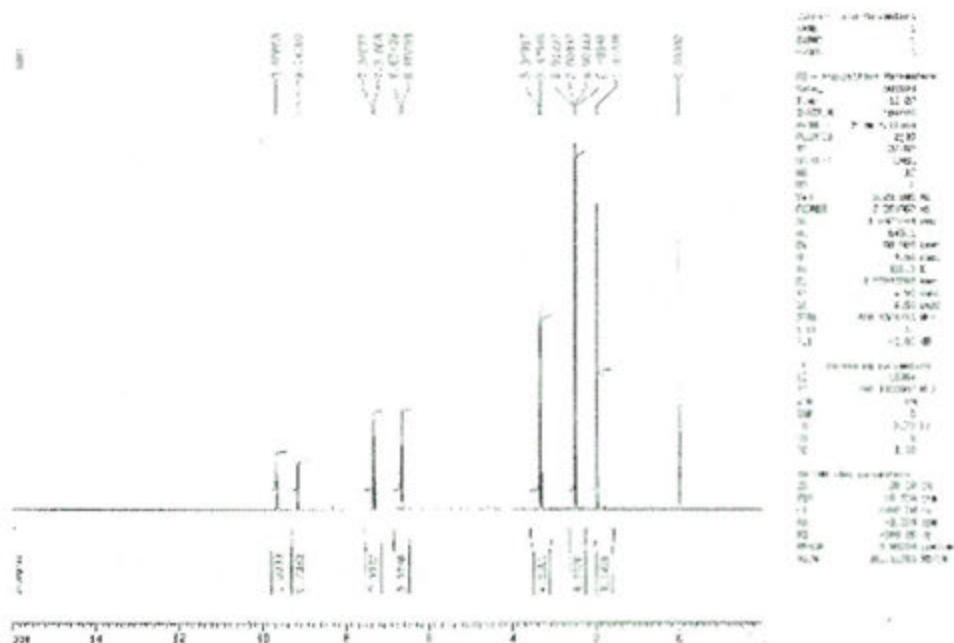
NMR（核磁気共鳴）とは、原子核のスピンによる磁気共鳴のことで、試料の状態に応じて核磁気誘導、スピンエコー、二重共鳴、分子線磁気共鳴、原子線磁気共鳴などの方法も用いられるが、共鳴に伴う電磁場の吸収、すなわち核磁気共鳴吸収法が最も一般的である。固体を対象とする広幅核磁気共鳴と、気体、液体、固体を対象とする高分解能核磁気共鳴がある。共鳴周波数は用いる磁場と核種によってほぼ決まるが、核周辺の電子密度の相違によって少しのずれが認められる。化学シフトやスピンスピン結合の観測から、物質中の原子配置、電子構造、分子の微細構造などに関する情報が得られる。H原子が最も測定容易で、有機化合物の分子構造の研究に広く用いられているが、近年パルス法によるフーリエ変換核磁気共鳴(F T NMR)や多次元NMRなどの技術の開発によって、磁気モーメントをもつほとんどすべての核種について測定が可能となった。C、N、F、Pなどはその代表例であり、なかでもCのF T NMRは広範囲に利用されている。なお、高分解能NMRでは超伝導磁石を用い、数百MHzにおいて測定を行なう。また、磁気緩和の測定からは原子、分子の拡散、分子回転、電子スピンの運動などの情報が得られる。医学、生物学の分野ではNMRイメージングの方法が多用され、とくに磁気共鳴画像(MR I)は診断に広く用いられている。

筆者が合成したアセトアミノフェンの構造を確認するため、大阪教育大学のNMRを使用した。そのスペクトルを示す。

左から-NH、-OH、ベンゼン環のH、H<sub>2</sub>O、DIMS O、-CH<sub>3</sub>のH原子を示しており、-NH、-OH、ベンゼン環のH、-CH<sub>3</sub>の積分値は、それぞれの水素原子の数の割合と一致している。

化学Iの有機化合物の構造式の決定では、ガスクロマトグラフや種々の分析機器、吸収スペクトルなどが教科書に紹介されている。また、核磁気共鳴吸収装置の写真に掲載している教科書もある。

そこで、アセトアミノフェンのNMRスペクトルを教材として授業で利用することにした。



## 2 学習指導案

日時 平成17年12月19日（月） 8時40分～10時30分

場所 大阪教育大学教育学部附属天王寺中・高等学校化学実験室（東館2階）

学級 大阪教育大学教育学部附属高等学校天王寺校舎 3年化学選択者

主題 生命と物質（教科書：高等学校化学Ⅱ 啓林館）

### 目標

- (1) 生体物質とそのはたらきの原理が、化学によってどのように説明されるのかを理解させる。
- (2) 医薬品について、これまでに学習してきたことを基にして理解させる。
- (3) 生体物質や医薬品と化学との関わりについて認識させ、化学の役割について考えさせる。

### 指導計画

区分	学習内容		配当時間	
第1次	核酸		2	
第2次	医薬品	医薬品	1	2（本時）
		アセトアミノフェンの合成	1	

### 本時の学習指導

- (1) 題材 医薬品
- (2) 目標

- ① 薬の歴史は、天然物にはじまることを理解させ、有用な成分を合成した化学の役割を認識させる。
- ② アセトアニリドやアセチルサリチル酸はアセチル化によって合成できることを想起させ、アセトアミノフェンの合成では、*p*-アミノフェノールのアミノ基だけを選択的にアセチル化する必要があることを理解させる。
- ③ アスピリンやパフファリンなど薬局で市販されている医薬品の合成方法や使用方法を理解し、医薬品を正しく使う大切さを認識させる。

### (3) 準備物

教科書、化学Ⅱ実験書（大阪府高等学校理化教育研究会編）、分子モデル、アスピリン、パフファリン、小児用パフファリン

試験管、三角フラスコ（100mL 2個）、駒込ビベット（1mL 3本）、薬さじ、スターラー、ろうと、ろ紙、アスピレーター、吸引瓶、ヌッチェ、*p*-アミノフェノール、濃塩酸、無水酢酸、酢酸ナトリウム、塩化鉄(Ⅲ)水溶液、エタノール、さらし粉水溶液、蒸留水

### (4) 指導課程

1時間目

段階	学習事項	生徒の活動	指導者の活動・評価
導入 (5分)	・薬の歴史	・医薬品の歴史を知る。  ・化学が生活に役立っていることを改めて認識する。	・古代から薬草など天然物を医薬品として利用してきたことを伝える。 ・有用な成分を合成した化学の役割を説明する。
展開 (40分)	・いろいろな医薬品 ・アセトアニリド  ・アセチルサリチル酸  ・アセトアミノフェン	・医薬品にはいろいろな種類があることを知る。 ・アニリンをアセチル化することを思い出す。  ・サリチル酸をアセチル化することを思い出す。  ・ <i>p</i> -アミノフェノールにはアミノ基とヒドロキシ基があることを確認し、アセチル化の問題点に気づく。	・特効薬、抗生物質、対処療法薬について簡単に触れる。 ・アセトアニリドの合成方法を想起させ、必要に応じて追加指導を行う。 ・アスピリンやパフファリンを提示して、アセチルサリチル酸の合成方法を想起させ、必要に応じて追加指導を行う。 ・アセトアミノフェンを合成するには、アミノ基だけをアセチル化する必要があることに注目させる。

		<ul style="list-style-type: none"> <li>・アミノ基だけが選択的にアセチル化される工夫が必要であることを知る。</li> <li>・アセトアミノフェンは塩化鉄(III)反応は示さないが、さらし粉水溶液を加えると赤紫色を呈することに気づく。</li> <li>・NMRを知る。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・アセトアミノフェンの合成方法を説明する。</li> <li>・ヒドロキシ基が残っているが、アミノ基はなくなっていることに注目させる。</li> <li>・NMRのチャートを示し、NMRが構造を知る上で有用であることを示す。</li> </ul>
整理 (5分)	・本時のまとめ	・医薬品を身近に感じる。	・薬局で売られているアスピリン、パッフアリン、小児用パッフアリンを提示しながら、アセチルサリチル酸とアセトアミノフェンについてまとめる。

## 2時間目

段階	学習事項	生徒の活動	指導者の活動・評価
導入 (5分)	・本時の学習目標の説明	・ <i>p</i> -アミノフェノールのアミノ基をアセチル化することを思い出す。	・アセトアミノフェンを合成することを伝える。
展開 (40分)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・実験方法の説明</li> <li>・アセトアミノフェンの合成</li> <li>・アセトアミノフェンの性質</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・実験方法の手順を確認する。</li> <li>・実験書の手順に従って、アセトアミノフェンを合成する。</li> <li>・未反応の<i>p</i>-アミノフェノールや他の物質を取り除く必要があることを理解する。</li> <li>・生成物にはヒドロキシ基が残っていることに気づく。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・実験方法を説明する。</li> <li>・濃塩酸の取り扱いに注意させ、保護眼鏡の着用を促す。</li> <li>・再結晶の意義を説明する。</li> <li>・<i>p</i>-アミノフェノール、アセトアミノフェンともに塩化鉄(III)反応が出ることを確認する。</li> </ul>

		・生成物にはアミノ基はないことに気づき、アセトアミノフェンが合成できたことを確認する。	・ <i>p</i> -アミノフェノールにさらし粉水溶液を加えると呈色するが、アセトアミノフェンでは呈色しないことを確認する。
整理 (5分)	・本時のまとめ	・市販の医薬品が合成できたことを実感する。	・医薬品を正しく使う大切さにふれる。

### 3 授業評価

この授業の難易度、興味、印象について、生徒を対象にアンケート調査を行った。

#### (1) 難易度

難易度についての調査結果は次の通りである。

よくわかった…39%
だいたいわかった…51%
どちらともいえない…6%
あまりわからなかった…4%
ほとんどわからなかった…0%

90%の生徒がわかったと答えている。この授業は、アミノ基とヒドロキシ基のアセチル化を中心に、化学 I の復習を兼ねたからであると考えられる。

#### (2) 興味

興味についての調査結果は次の通りである。

大変興味が持てた…42%
なかり興味が持てた…32%
どちらともいえない…20%
あまり興味が持てなかった…4%
ほとんど興味が持てなかった…2%

74%の支持があった。その理由は、2時間目実験を行い、市販されている医薬品を自分たちで合成した経験が大きかったと考える。その経験により、医薬品がより身近に感じられたに違いない。

#### (3) 印象に残ったこと

印象に残ったことには、次のようなものがあった。

アセトアミノフェンの合成方法、反応の様子、結晶の析出、アセトアミノフェンの再結晶、吸引ろ過、医薬品が自分たちでつくれたこと、医薬品の説明、アスピリン、植物から薬品を取り出す話、化学 I の復習
--------------------------------------------------------------------------------------------------

アセトアミノフェンの合成方法とは、*p*-アミノフェノールではアミノ基とヒドロキシ基の両方がアセチル化する可能性があり、アミノ基だけを選択的にアセチル化するための工夫が必要であることを意味している。反応の様子とは、先に講義で説明した内容が実際に観察されたことを意味している。結晶の析出とは、酢酸ナトリウム水溶液を加えてもアセトアミノフェンの結晶が析出しない班がいくつかあった。原因はよくわからないが、無水酢酸の純度か、酢酸ナトリウム水溶液の滴下速度が問題である可能性が高い。筆者がガラス棒で三角フラスコをこすることにより結晶を出してみせると、生徒は大変驚いていた。吸引ろ過とは、生徒達のはじめて体験する操作だからである。

この授業の基本的な考え方も、概ね妥当であったと思われる。

#### IV おわりに

新しい授業を創造することは楽しい。しかし、多くの時間と労力を要する。そして言うまでもないことであるが、自己満足で終わってはいけない。

核酸の授業では、「WinMOPACを用いた分子モデルの教材開発（第VI報）-DNAを中心に-」の研究をもとにし、さらに Chemistry 4-D Draw で作成した構造式を多用し、有機塩基、デオキシリボースなどの構造ができるだけ理解しやすいように配慮した。また、授業において丸善のHGS分子構造模型によるモデルも使用した。特に分子モデルは、平面ではなく、立体のモデルを使用する方がよい。

医薬品の授業では、「アセトアミノフェンの教材化-生徒実験の合成方法の開発-」の研究をもとにし、その合成方法の開発の内容を授業でも触れた。また、アセチル化を Chemistry 4-D Draw で作成した構造式を使って説明し、*p*-アミノフェノールのアセチル化の問題点を明らかにした。市販されている医薬品を自分たちで合成するという体験は、化学の学習だけでなく、医薬品を身近に感じるよい機会になった。また、その機会をきっかけにして、医薬品の成分表示を見る習慣や、正しく医薬品を使用する大切さを学んだのではないか。

核酸にしても、医薬品にしても、長く化学を担当してきた教員にとって多少は躊躇する分野である。しかし、学習指導要領で「生命体を構成する基本的な物質の構造と性質を扱うこと。」「薬理作用をもつ基本的な物質の性質や構造を扱うこと。」と定められている以上、避けることはできない。どうせ避けることはできないのだから、その新しい内容を楽しめるようになりたい。授業をする者が楽しくなくて、授業を聞く者が楽しいはずがない。そして、今まで通りの授業ではなく、新しい授業の創造を楽しみたい。

#### 参考文献

高等学校学習指導要領解説 理科編 理数編 平成11年12月 文部省

WinMOPACを用いた分子モデルの教材開発（第VI報）-DNAを中心に-

本校研究集録47集（2005年）p. 75～84

アセトアミノフェンの教材化-生徒実験の合成方法の開発-

本校研究集録45集（2003年）p. 77～82

生命とは何か-物理的にみた生細胞- エルヴィン・シュレーディンガー（岩波新書）

DNA ジェームズ・D・ワトソン, アンドリュー・ベリー著 (講談社)

ダークレディーと呼ばれて ブレンダ・マドックス著 (化学同人)

理化学事典第5版 (岩波書店)

高等学校化学Ⅱ (啓林館)

高等学校化学Ⅱ (三省堂)

高等学校化学Ⅱ (数研出版)

化学Ⅱ (東京書籍)

高等学校化学Ⅱ (第一学習社)

化学Ⅱ (実教出版)

**summary:**

Nuclear acid which wasn't handled in the chemical class so far, and medical supplies are contained in chemical II "life and material". A molecule model and a structural formula, a student experiment, and so on were combined, and the class which included the review of chemical I was planned and practiced about these contents.





# Crystal Studio を用いた結晶モデルの教材開発 (第 I 報)

— 単体を中心に —

おか ひろ あき  
岡 博 昭

## Crystal Studio:

OKA Hiroaki

抄録: Crystal Studio は、結晶学のためのウィンドウズ 9x/NT/2000/ME/XP ソフトウェアパッケージである。このソフトを使うと、高等学校化学Ⅱで扱う単体の結晶を比較的簡単に表示できることがわかった。このモデルによって、生徒の結晶に関する理解度の向上が期待できる。

キーワード: 化学教育, コンピュータ, クリスタルスタジオ, 結晶, 単体

### I はじめに

筆者は、富士通 WinMOPAC を使って、高等学校の化学の教科書に出てくる有機化合物の分子モデルを作成し、報告してきた。WinMOPAC を使うと、化学Ⅰで扱う有機化合物、化学Ⅱで扱う高分子化合物のほとんどすべての分子モデルを表示することができる。

WinMOPAC は、分子のモデリングから分子軌道計算・計算結果のグラフィカルな解析までを Windows 上でシームレスに実現することができるが、無機物質や結晶などのモデルを作成することは難しい。そこで、結晶モデルを作成する適当なソフトウェアを探していたところ、Crystal Studio というソフトがあることを知った。このソフトは、MS Windows 9x ならびに NT 系オペレーティングシステムで作動するマルチドキュメント&マルチビューのソフトウェアであり、最新のソフトウェアテクノロジーを採用したオブジェクト指向の結晶学パッケージである。今回購入したのは Crystal Studio Version 7.0 Professional で、オーストラリアの CrystalSoft Coro. (<http://www.crystalsoftcorp.com/index.html>) が開発・販売し、ヒューリンクス (<http://www.hulinks.co.jp/>) が代理店になっている。

Crystal Studio の主な機能は、次の通りである。

- ・自動認識のデータベースには構造の名称の一部を入力すれば、該当する構造を検索してそこからの新規ファイルも作成できる。
- ・空格子点や格子間原子も作成できる。格子間原子は、必要な場合は正多面体の全体に渡

って自動的に追加もできる。

- ・螺旋転位、および刃状転位も作成できる。
- ・新しい結晶の作成に際し、積層欠陥の作成や、または積層配列の明記が可能である。
- ・XRD パターンの検索/比較ができる。実験値からいくつかの主要なピークを入力するだけで、プログラムが本体内のデータベースから検索し、最終的には目的のモデルと XRD パターンを簡単に表示できる。
- ・標準的な結晶構造が 2000 種類 (Professional 版) または 3000 種類 (Enterprise 版) 収録されたデータベースをもち、簡単にアクセスして使用することができる。

標準的な結晶構造が Professional 版では 2000 種類あることから、化学 I、化学 II で扱う単体が、この中にすべて含まれている可能性があると考えた。このデータベースを活用して、単体のモデルについて検討したので、それについて報告する。

## II 高等学校化学で扱う結晶

結晶を扱うのは、主に化学 II である。学習指導要領では、次のように記載されている。「気体、液体、固体の性質を観察、実験などを通して探求し、化学結合の概念や物質の構造を理解させる。また、反応速度と化学平衡を観察、実験などを通して探求し、化学反応を平衡と関連づけて理解させる。」

解説には次のように記載されている。

「ここでは、物質の構造を理解するための基礎として、化学結合、気体の法則及び液体と固体を扱う。化学結合ではイオン結合、共有結合及び金属結合を、気体の法則では理想気体の性質や実在気体と理想気体の違いを理解させることがねらいである。」

化学 I の物質の構成では、同素体の例としてダイヤモンドと黒鉛が紹介されており、無機物質では、それらの構造と C<sub>60</sub> フラーレンの構造が紹介されている。また、化学 I の物質の構成では、塩化ナトリウムの結晶も紹介されている。

化学 II では、物質の構造でイオン結晶を扱い、その例として塩化ナトリウム型と塩化セシウム型が紹介されている。共有結合の結晶の例としてダイヤモンドと黒鉛及び二酸化ケイ素の結晶構造が紹介されている。また、分子結晶として二酸化炭素の結晶構造が紹介されている。さらに、氷の構造と水素結合についても触れられている。金属の結晶構造の例として面心立方格子、体心立方格子、六方最密構造が紹介されている。

本研究では、主に単体について扱うことにする。したがって、共有結合の結晶として炭素の同素体やケイ素、分子結晶の例として非金属元素の単体、金属の結晶として面心立方格子、体心立方格子、六方最密構造などについて検討することにした。

## III 基本操作

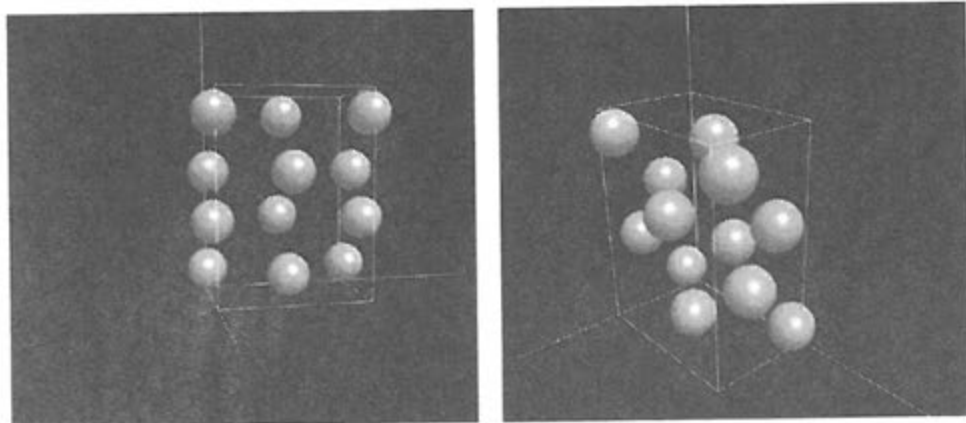
Crystal Studio の画面は、もちろんすべて英語である。また、詳しい日本語のマニュアルがない。外国で開発され、日本では一部の研究者の間でしか使われていないソフトだからである。そこで、基本的な使い方を、ヨウ素の結晶モデルを使って紹介する。

### 1 データベース

このソフトの使い方として、データベースを利用するのがもっとも簡単である。データ

ベースを利用するには、次のような操作をすればよい。

File → New → Crystal-Structure-Database → Crystal Structure cmcobox を下にスクロールして、結晶構造を選択する。たとえば  $I_2$  を選択して Select Crystal ボタンをクリックすると、次のような結晶が表示される。Toggle axis frame を on にしておくとマウスで結晶の向きを変え、Toggle move mode を on にしておくと結晶の位置を変えることができる。



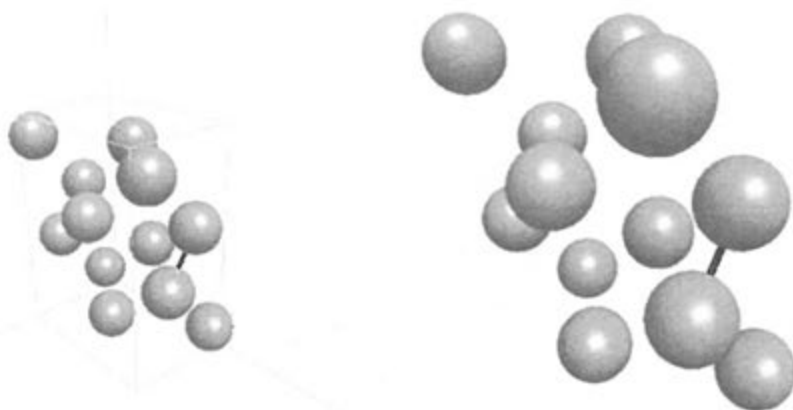
## 2 バックグラウンドの色と結晶の大きさ

バックグラウンドの色は、Default Color では黒色である。これを白色に変更するには、次のようにすればよい。

Model → 3D Crystal View → Property Sheet → Lighting/ Background → Background Color

また、結晶モデルの大きさは、次の手順で変更できる。

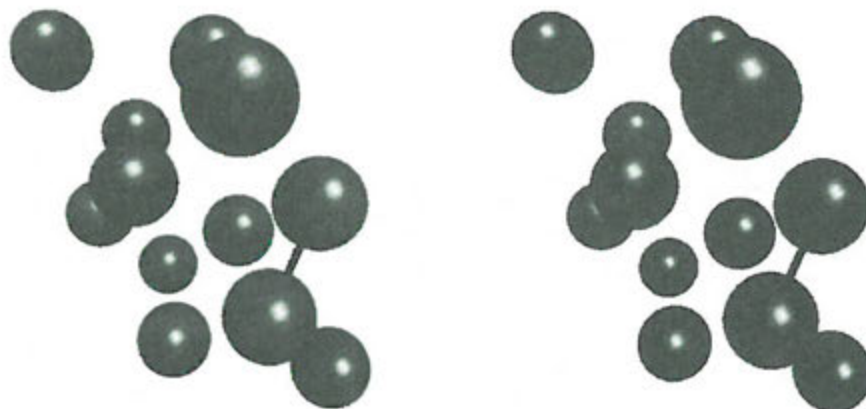
View → Zoom In (10%) で大きくなり、View → Zoom Out (10%) で小さくなる。



## 3 原子の色の変更

結晶モデルの原子の色を変えたいときは、次の手順で変更できる。

Model → Color Coalescence → Atom Color Coalescence → By Atom Types →  
Select Color



#### IV 非金属元素の単体

化学 I の無機物質でよく扱う非金属元素は、14 族の炭素とケイ素、15 族の窒素とリン、16 族の酸素と硫黄、17 族のハロゲン元素、18 族の希ガス元素などである。

Crystal Studio V7 Professional には、2000 種類の結晶構造データベース機能が標準で付いている。データベースには、次の非金属元素の単体があった。

13 族元素 ; Boron (B)

14 族元素 ; C,  $C_{60}$ , Carbon (C), Diamond (C), Graphite (C), Silicon (Si)

15 族元素 ; Nitrogen ( $N_2$ ), Phosphorus (P), Arsenic (As)

16 族元素 ; Oxygen ( $O_2$ ), Sulfur (S), Selenium (Se), Tellurium (Te)

17 族元素 ; Fluorine ( $F_2$ ), Chlorine ( $Cl_2$ ), Bromine ( $Br_2$ ), Iodine ( $I_2$ )

18 族元素 ; Helium (He), Neon (Ne), Argon (Ar), Krypton (Kr), Xenon (Xe)

(p. 190 資料 1 参照)

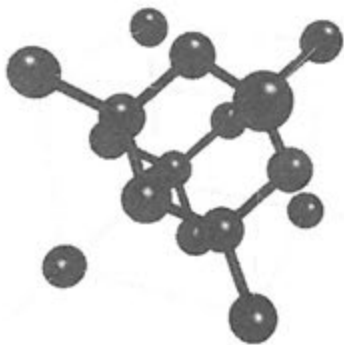
まず炭素の単体について調べた。

##### 1 炭素 Carbon

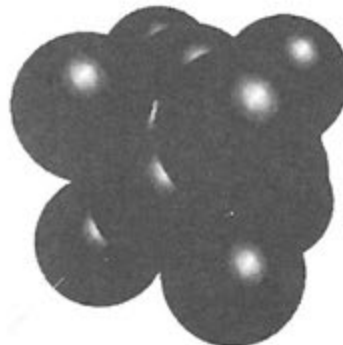
炭素の単体では、共有結合の結晶の例としておもにダイヤモンドと黒鉛が取り上げられる。ここでは、ダイヤモンドと黒鉛の物性の違いを結晶構造から理解させることが重要な目的である。すなわち、ダイヤモンドは炭素間の結合が  $sp^3$  であるため、C 原子 1 個が他の 4 個の C 原子と共有結合して 1 個の巨大分子となっており、そのためきわめて硬い。一方、黒鉛は炭素間の結合が  $sp^2$  であるため、C 原子 1 個が他の 3 個の C 原子と共有結合して巨大な平面上網目構造をつくり、その平面上網目構造の間には弱いファンデルワールス力がはたらいっているため平面どうしがはずれやすく、軟らかい。

##### (1) ダイヤモンド Diamond

ダイヤモンド構造は、一つの炭素が正四面体の中心にあるとすると、最近接の炭素原子はその四面体の頂点上に存在する。

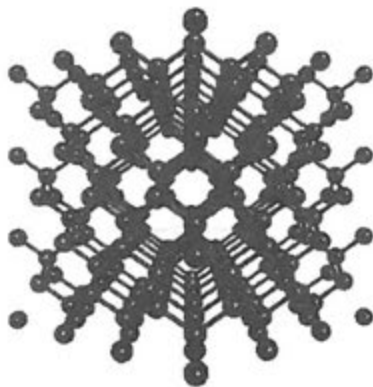


Diamond (Ball and Stick)

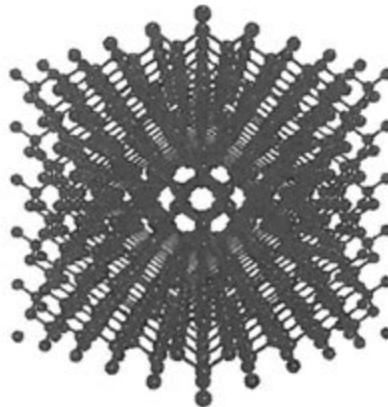


Diamond (Space Filling)

等価な多面体を追加したい場合には、多面体の上でダブルクリックして 3D Crystal View Property Sheet の Cell Style を開き、Cell Multiple をたとえば、3,3,3 に変更して OK をクリックすると、次のような画面になった。Cell Multiple を 5,5,5 に変更すると、画面の移動が極端に遅くなり、制御が困難になった。したがって、多面体を追加するときは、Cell Multiple を 3,3,3 に変更するのがコンピュータの性能から妥当であると考えられる。



Diamond (Cell Multiple 3,3,3)

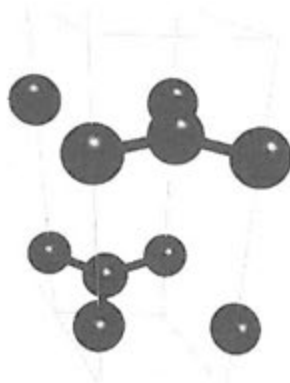


Diamond (Cell Multiple 5,5,5)

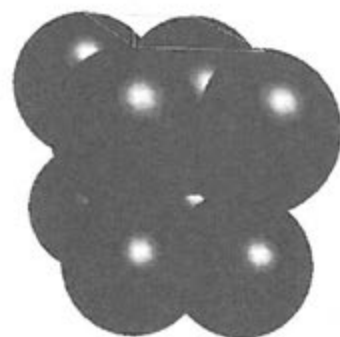
## (2) グラファイト Graphite

グラファイト（石墨、黒鉛）は、炭素からなる元素鉱物で、六方晶系六角板状結晶である。構造は、亀の甲状の層状物質で層毎の面内は、強い共有結合で炭素間が繋がっているが、層と層の間（面間）は、弱いファンデルワールス力で結合している。それゆえ層状にはがれる（へき開完全）。電子状態は、半金属的である。

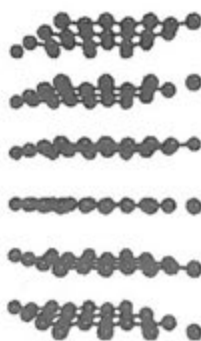
構造上 $\alpha$ 黒鉛と $\beta$ 黒鉛が存在し、両者の違いは黒鉛層構造の重なり具合の違いである。通常見られる黒鉛は殆どが $\alpha$ 黒鉛である。



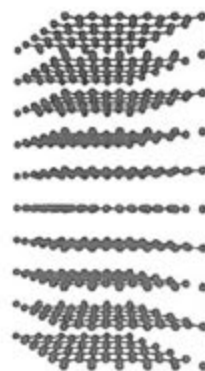
Graphite (Ball and Stick)



Graphite (Space Filling)



Graphite (Cell Multiple 3,3,3)



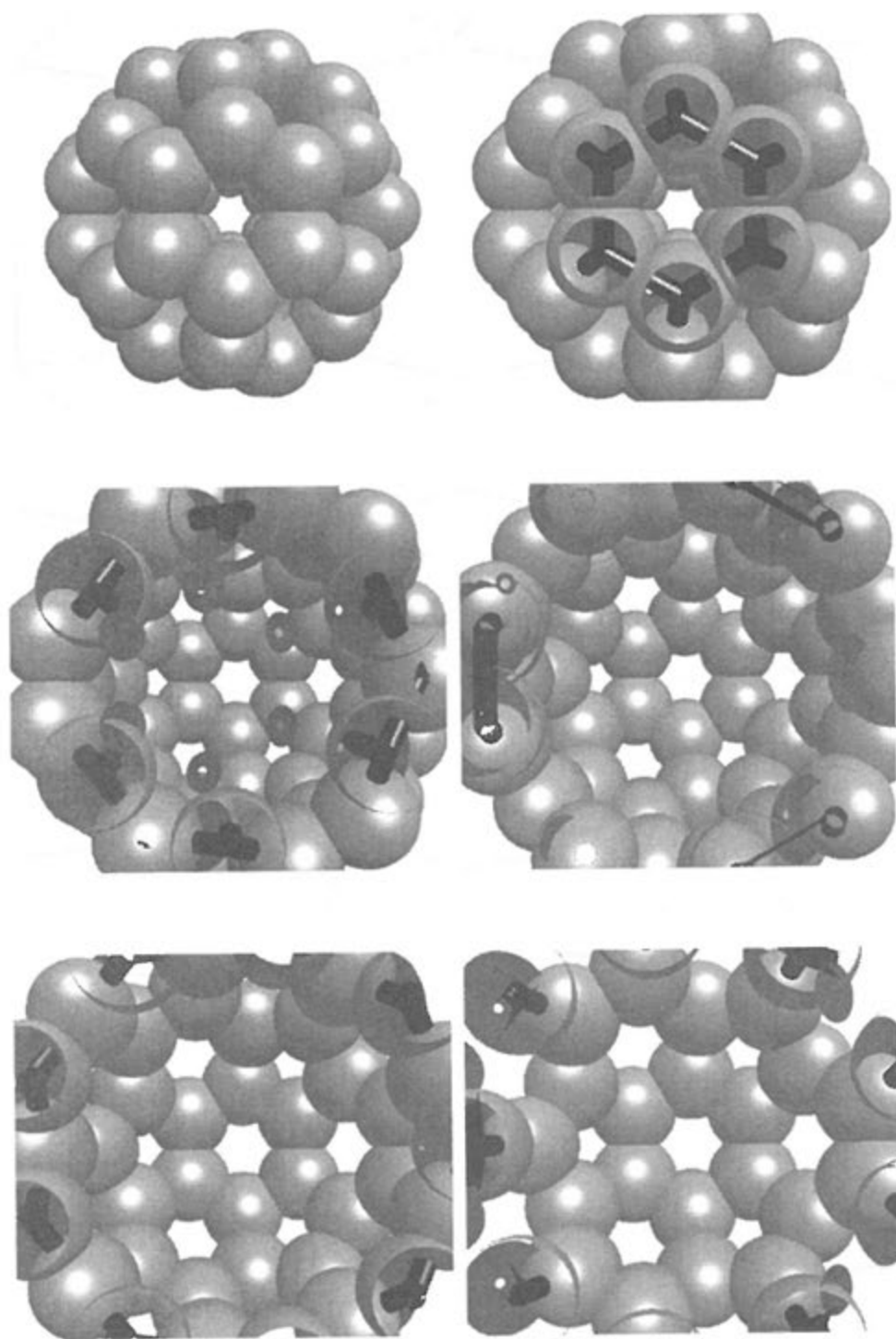
Graphite (Cell Multiple 5,5,5)

### (3) C<sub>60</sub> フラーレン Fullerene

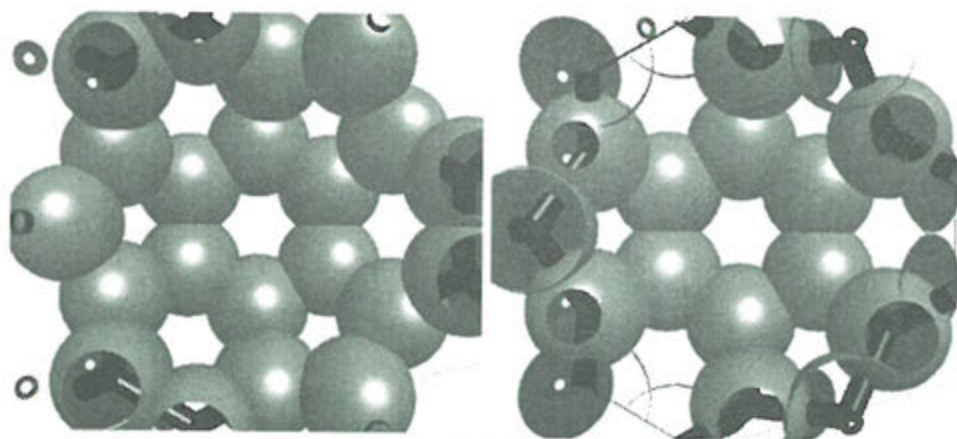
フルーレンは炭素クラスターの総称で、最初に発見されたのがカーボン 60 (C<sub>60</sub>) である。カーボン 60 は、炭素原子 60 個からなり、クラスターの形はサッカーボール状である。その他にも、炭素原子 70 個、84 個などでもクラスター構造を形成するが、存在比としてはカーボン 60 が最も大きい。

また、2つの C<sub>60</sub> が二重結合して出来たダイマーや、さらに密に結合した落花生型などの C<sub>120</sub>、3つが結合したトリマーの C<sub>180</sub> や n 個が結合したポリマーなども存在する。

データベースに C<sub>60</sub> があったので紹介する。Ball and Stick Model を表示させ、Zoom In (10%) を繰り返すと、モデルは次のように変化した。



Fullerene (Ball and Stick)

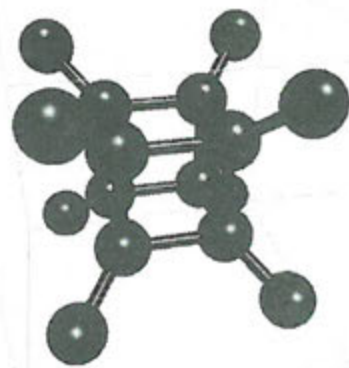


Fullerene (Ball and Stick)

まるで、フラーレンの中に入っていきそうな感じである。  
データベースには、炭素の同素体として、あとCとCarbon(C)がある。



C (Ball and Stick)



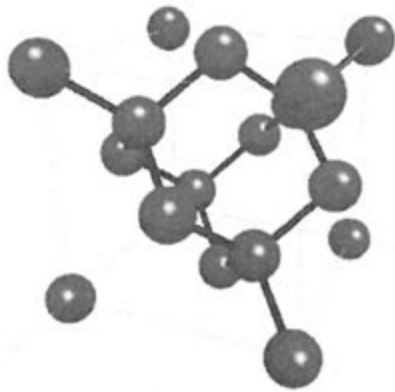
Carbon (Ball and Stick)

ともに立方(等軸)晶系である。Cはダイヤモンドと同じ結晶格子であるが、Carbonは異なる。Carbonは、a軸、b軸、c軸とも0.428nmで、 $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ とも $90^\circ$ になっている。このCarbonは、何の単位格子かわからない。

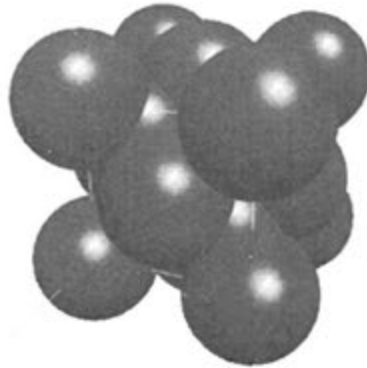
## 2 ケイ素 Silicon

灰色の金属光沢をもった共有結合の結晶であり、ダイヤモンド構造をしている。天然には遊離の状態では産出しないが、二酸化ケイ素(石英)、ケイ酸塩として地殻中に多量に存在する。1600~1800℃のアーク炉中で珪石(主成分 $\text{SiO}_2$ )をコークスで還元してつくる。得られた粗ケイ素をトリクロロシラン $\text{SiHCl}_3$ に変え蒸留精製し、これを水素で還元し、赤熱したケイ素棒上に析出させると多結晶ケイ素が得られる。さらに結晶引上げ法か帯域溶融法によって精製すると単結晶の高純度ケイ素となる。

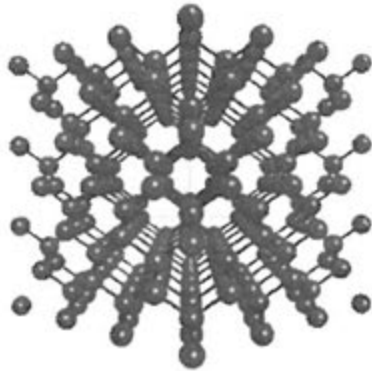




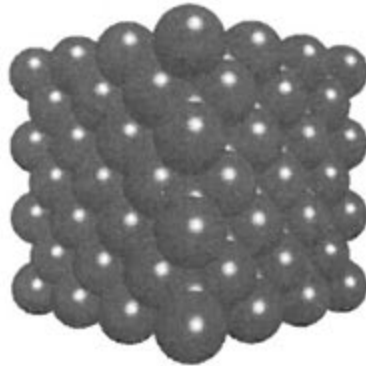
Silicon (Ball and Stick)



Silicon (Space Filling)



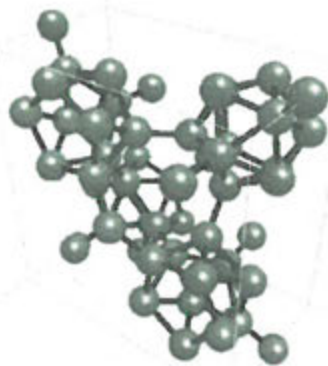
Silicon (Cell Multiple 3,3,3)



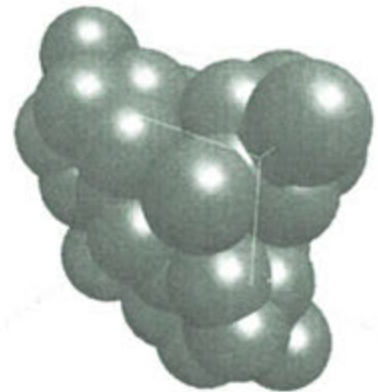
### 3 ホウ素 Boron

天然には遊離の状態では産出しない。主要鉱物は、ほう砂  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ 、カーン石  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 、コールマン石  $\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  などである。酸化ホウ素のマグネシウム、アルミニウムによる還元、テトラフルオロホウ酸塩の電解、ハロゲン化物の水素による還元または熱分解によって単体を得ることができる。高純度ホウ素棒上でヨウ化ホウ素を熱分解すると純度 99.999% のものが得られる。さらに精製するときは帯域溶融法による。黒色金属光沢をもった固体で、単位格子中に含まれるホウ素原子が 12 個 ( $\alpha$  斜方晶系)、50 個 ( $\alpha$  正方晶系)、105 個 ( $\beta$  斜方晶系) のものが区別される。

データベースのモデルは Tetragonal (正方晶系) であるから、単位格子中に含まれるホウ素原子が 50 個 ( $\alpha$  正方晶系) のものである。確かに、ホウ素原子が 50 個ある。



Boron (Ball and Stick)



Boron (Space Filling)

#### 4 リン Phosphorus

天然にはリン酸塩の形で産出する。主要鉱物はリン灰石  $\text{Ca}_5\text{F}(\text{PO}_4)_3$  などで、鉱石に珪砂とコークスを加え、電気炉中で  $1300\sim 1400^\circ\text{C}$  に加熱し、蒸気として留出させ、冷却すると黄リン（白リン）が得られる。これから帯域溶融法により純度 99.999% 以上のものが得られる。同素体に黄リン、紫リン、黒リンがあるほか、無定形の赤リン、紅リンが知られている。黄リンは白リンともよばれ、正四面体形  $\text{P}_4$  分子からなる。紫リンは  $\alpha$  金属リンともよばれ、暗赤紫色で、単斜晶系の層状構造である。黒リンは  $\beta$  金属リンともよばれ、最も安定な同素体であり、斜方晶系の層状構造である。赤リンは赤褐色、無臭の固体であり、無定形である。紫リンと黄リンの固溶体と考えられている。紅リンは黄リンを三臭化リンと煮沸したとき、深紅色の粉末として沈殿する。赤リンの微細なものといわれている。データベースのモデルは Orthorhomb (斜方晶系) の層状構造だから、黒リンである。



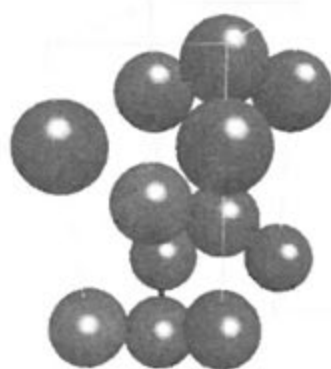
Phosphorus (Ball and Stick)



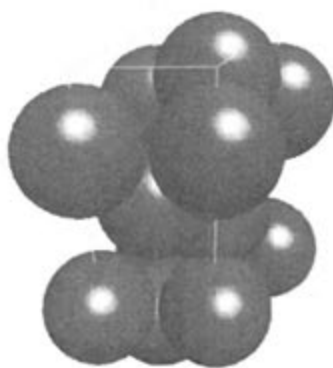
Phosphorus (Space Filling)

## 5 ヒ素 Arsenic

天然に遊離の状態で産出することもあるが、多くは硫化物である。主要鉱物は硫と鉄鉱  $\text{FeAsS}$ 、雄黄  $\text{As}_2\text{S}_3$ 、鶏冠石  $\text{As}_4\text{S}_4$  などである。酸化ヒ素(III)  $\text{As}_2\text{O}_3$  を炭素と還元蒸留すると純度 99.5~99.9%の灰色ヒ素となる。精製した酸化ヒ素(III)、塩化ヒ素(III)、ヒ化水素などの水素還元または熱分解、粗製の灰色ヒ素を帯域溶融法で精製することによって純度 99.9999%程度のものが得られる。灰色、黄色、黒色の3種の同素体がある。灰色ヒ素(金属ヒ素)は、金属光沢のある三方晶系結晶である。黄色ヒ素は、方晶系結晶であり、As 分子を含む。黒色ヒ素は、正四面体形である。データベースのモデルは Trigonal (三斜晶系) だから、灰色ヒ素である。



Arsenic (Ball and Stick)



Arsenic (Space Filling)

## 6 硫黄 Sulfur

岩石中には硫化物、単体、硫酸塩などとして、火山ガス中には硫化水素、二酸化硫黄として、海中には硫酸イオンとして含まれる。資源は、石油精製工程で生じる回収硫黄、硫化鉄製錬の廃ガスが主である。粗製硫黄の蒸気を  $112^\circ\text{C}$  以下で固化させると、主として斜方晶系硫黄からなる黄色の微粉末となる。同素体には  $\alpha$  硫黄(斜方晶系)、 $\beta$  硫黄、 $\gamma$  硫黄、 $\delta$  硫黄(いずれも単斜晶系)、無定形硫黄がある。 $\alpha$  硫黄は斜方晶系硫黄ともいい、最も安定で、王冠形  $\text{S}_8$  分子からなる。 $\beta$  硫黄は単斜晶系硫黄ともいい、針状晶で、 $\text{S}_8$  分子が基本構造になっている。液体には黄色、流動性の  $\lambda$  硫黄と褐色、粘性の  $\mu$  硫黄がある。 $\lambda$  硫黄は  $\text{S}_8$  分子からなるが、 $\mu$  硫黄はカテナ硫黄ともいい、環構造の切れた鎖状分子がつながったり、からまったりしている。この状態で急冷するとゴム状硫黄となる。気体は温度上昇とともに  $\text{S}_8$ 、 $\text{S}_6$ 、 $\text{S}_4$ 、 $\text{S}_2$  と原子数の少ない分子が相対的に多くなる。

データベースのモデルは Orthorhomb (斜方晶系) であるが、 $\text{S}_8$  分子になっていない。



Sulfur (Ball and Stick)



Sulfur (Space Filling)

なお、窒素、酸素、ハロゲン、希ガスのような常温で気体の物質は、結晶モデルを提示すると生徒が誤解をまねく恐れがあるので、ここでは検討しない。

## V 金属元素の単体

次に、金属元素の単体について調べてみた。データベースには、62種類の金属元素の単体があった。そのうち、面心立方格子 (Cubic Space Group. 225) が21種類、体心立方格子 (Cubic Space Group. 229) が12種類、六方最密構造 (Hexagonal Space Group. 194) が17種類であった。これら3種類の単位格子以外のものが12種類あった。

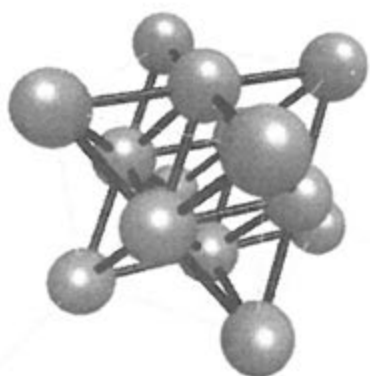
(p. 191~192 資料2~3参照)

### 1 面心立方格子

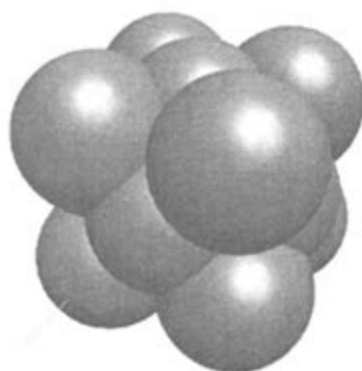
立方晶系に属し、原子位置が面心格子をつくる結晶構造である。fcc (face-centered cubic structure) と略する。最密構造の1つの型で、単体結晶に例が多い。なお、面心格子とは、空間格子の型のことであり、頂点のほか各面の中央にも格子点のある単位格子をもつものをいい、記号はFである。面心立方格子と面心斜方格子がある。

データベースで面心立方格子 (Cubic Space Group. 225) に分類されている金属は、次の通りである。

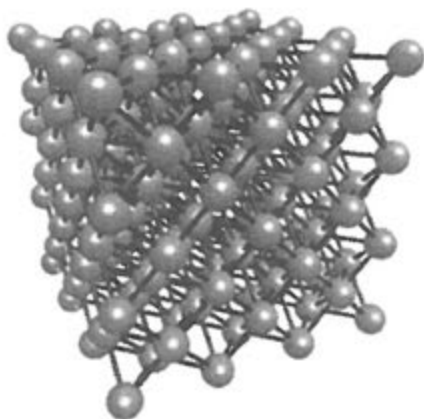
Lithium(Li), Aluminium(Al), Scandium(Sc), Chromium(Cr), Cobalt(Co),  
Nickel(Ni), Copper(Cu), Strontium(Sr), Rhodium(Rh), Palladium(Pd),  
Silver(Ag), Lanthanum(La), Cerium(Ce), Praseodymium(Pr), Ytterbium(Yb),  
Iridium(Ir), Platinum(Pt), Lead(Pb), Thorium(Th), Plutonium(Pu),  
Americium(Am)



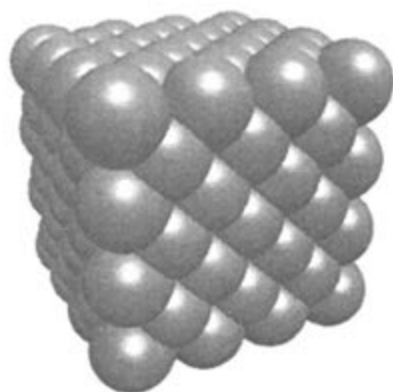
fcc (Ball and Stick)



fcc (Space Filling)

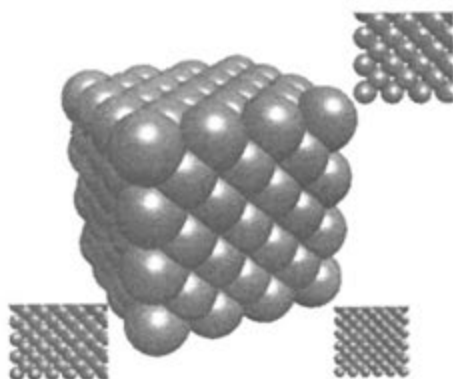


fcc (Cell Multiple 3,3,3)



各平面をプロットすることができる。ミラー指数で平面をプロットするには、ツールバーのミラー平面のプロット (Plot Miller Plane) ボタンをクリックしてミラー平面 (Miller Plane) ダイアログボックスを表示する。Plane1, Plane2, Plane3 チェックボックスをチェックし、プロットしたい平面のミラー指数を編集ボックスに入力し、平面の色と透明度の選択を行い、OK をクリックすると、右のような画面になった。

金属以外では、希ガスのネオン、アルゴン、クリプトン、キセノンも面心立方格子である。

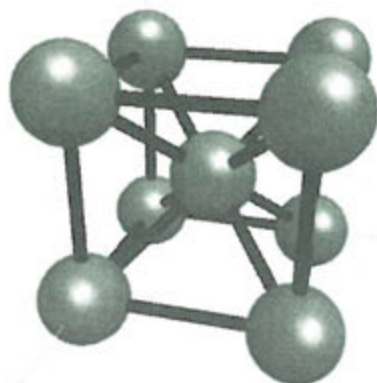


## 2 体心立方格子

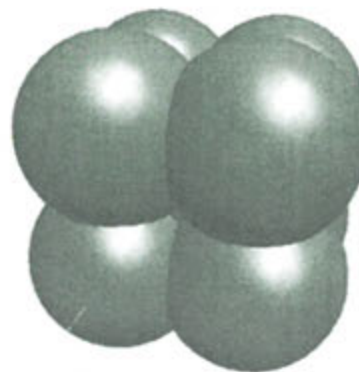
立方晶系に属し、原子位置が体心格子をつくる結晶構造のことである。bcc (body-centered cubic structure) と略す。なお、体心格子とは、空間格子の型であり、頂点のほか中心にも格子点のある単位格子をもつものをいう。記号はIである。体心立方格子、体心正方格子、体心斜方格子がある。

データベースで体心立方格子 (Cubic Space Group, 229) に分類されている金属は、次の通りである。

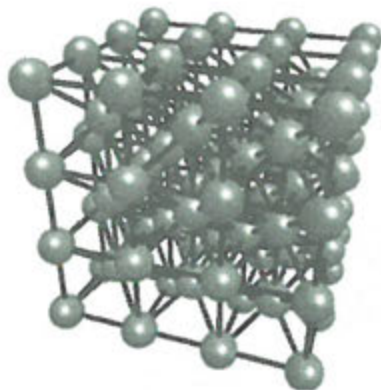
Sodium(Na), Potassium(K), Calcium(Ca), Vanadium(V), Iron(Fe), Niobium(Nb), Molybdenum(Mo), Cesium(Cs), Barium(Ba), Europium(Eu), Tungsten(W), Thallium(Tl)



bcc(Ball and Stick)



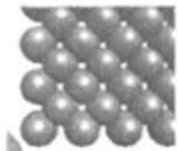
bcc(Space Filling)



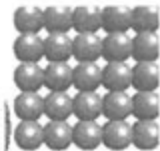
bcc (Cell Multiple 3, 3, 3)



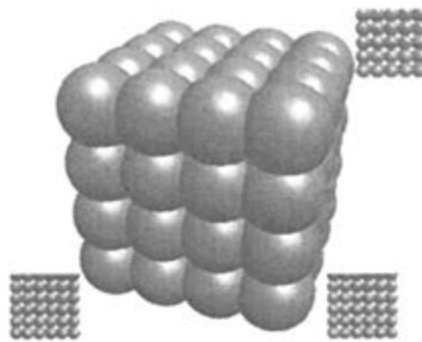
各平面をプロットすると、面心立方格子との違いがよくわかる。面心立方格子では、平面上で最も密に原子が並んでいる。



面心立方格子  
(fcc)



体心立方格子  
(bcc)



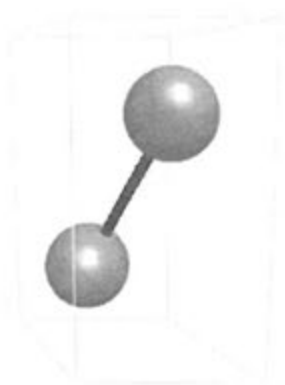
### 3 六方最密構造

hcp (hexagonal closest packed structure) と略す。六方最密充填構造は一般に正六角柱で表し、この正六角柱の上面および底面の各角および中心と、六角柱の内部で高さ  $1/2$  のところに3つの原子が存在する。底面の中心に位置する原子は、底面の角の6原子および上下の各3原子(計12原子)と接しており、最密充填構造となっている。また、原子の最稠密面を  $ABAB\cdots$  (A, Bは原子の位置の種類を示す) の順に重ねた構造と表現することもできる。

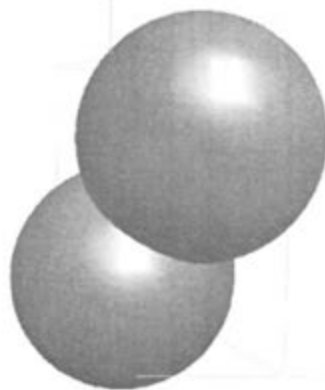
データベースで六方最密構造 (Hexagonal Space Group. 194) に分類されている金属は、次の通りである。

Beryllium(Be), Magnesium(Mg), Titanium(Ti), Zinc(Zn), Yttrium(Y),  
Zirconium(Zr), Ruthenium(Ru), Cadmium(Cd), Terbium(Tb), Dysprosium (Dy),  
Holmium(Ho), Erbium(Er), Lutetium(Lu), Hafnium(Hf), Rhenium(Re), Osmium(Os)

なお、Neodymium(Nd)も (Hexagonal Space Group. 194) になっているが、モデルが違っていた。これについては、後ほど検討する。

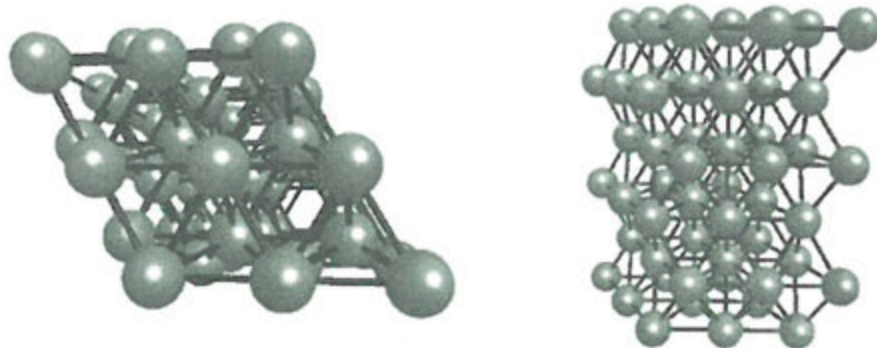


hcp (Ball and Stick)



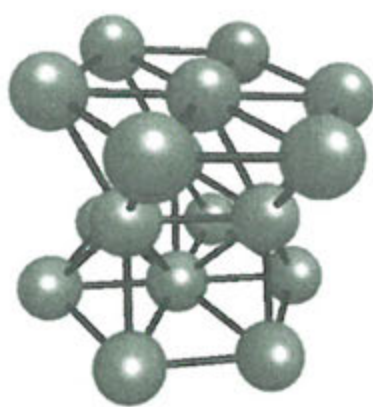
hcp (Space Filling)

六方最密構造の単位格子内には2個の原子が含まれる。したがって、このモデルでよいのだが、教科書では六角柱のモデルが紹介されている。そこで、等価な多面体を追加してみた。



hcp (Cell Multiple 3,3,3)

原子をカットすることにより、教科書などに掲載されている六角柱のモデルができた。



hcp (Ball and Stick)



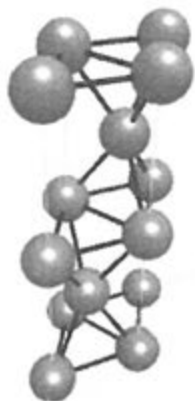
hcp (Space Filling)

この Crystal Studio では、希ガスのヘリウムは六方最密構造に分類されている。また、水素も六方最密構造である。分子結晶には、水素や希ガスのように最密構造になっているものが多い。ファンデルワールス力には方向性も飽和性もないからである。

#### 4 ネオジム Neodymium

希土類元素の1つで、モナズ石、バストネス石、ガドリニ石などに含まれる。銀白色で、常温では六方最密構造、868℃以上で立方最密構造をとる。



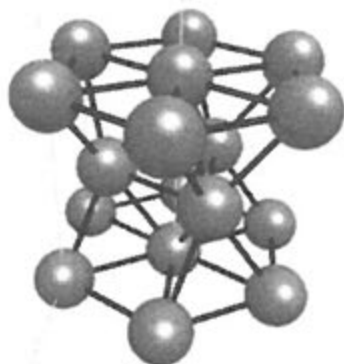


Neodymium (Ball and Stick)

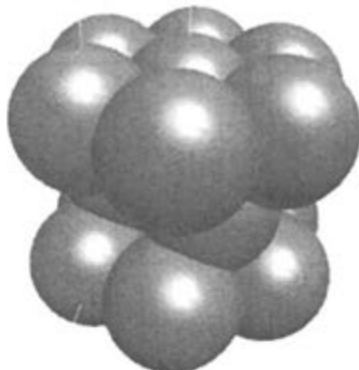


Neodymium (Space Filling)

等価な多面体を追加した後、原子をカットすると、先ほどと同じ六方最密構造のモデルになった。



Neodymium (Ball and Stick)

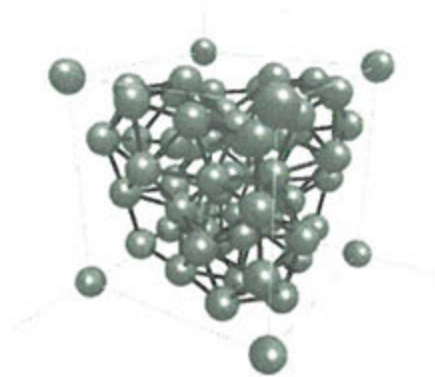


Neodymium (Space Filling)

## 5 他の金属結晶

### (1) マンガン Manganese

主要鉱物は、軟マンガン鉱  $\beta\text{-MnO}_2$ 、ハウスマン鉱  $\text{Mn}_3\text{O}_4$ 、菱マンガン鉱  $\text{MnCO}_3$ 、ばら輝石  $\text{CaMn}_4\text{Si}_5\text{O}_{15}$  などである。鉱石を還元焙焼し、マンガンを経可溶性に変えて硫酸で浸出する。溶液中の不純物を除き、電解するとマンガンが得られる。その純度は 99.97% である。銀白色の金属で、常温では  $\alpha$  型(立方晶系)が安定であるが、 $800^\circ\text{C}$  以上で  $\beta$  型(立方晶系)、 $1100^\circ\text{C}$  以上で  $\gamma$  型(立方最密構造)、 $1134^\circ\text{C}$  以上で  $\delta$  型(体心立方構造)に変化する。



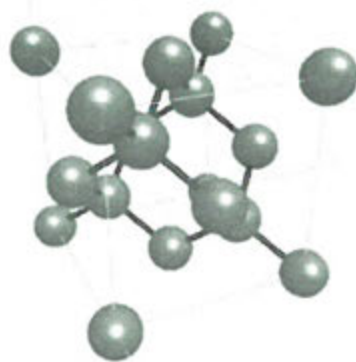
Manganese (Ball and Stick)



Manganese (Space Filling)

### (2) ゲルマニウム Germanium

ゲルマン鉱  $\text{Cu}_6\text{FeGeS}_8$ 、レニエ鉱  $\text{Cu}_3(\text{Fe, Ge})\text{S}_4$  などとしても産出する。硫化物鉱石や石炭中に濃縮している例もある。鉱石から四塩化物  $\text{GeCl}_4$  として取り出し、蒸留によって精製した後に加水分解し、生成した二酸化物  $\text{GeO}_2$  を水素で還元する。これを帯域溶融法によって精製すると、灰白色でダイヤモンド構造をとる高純度の単体が得られる。



Germanium (Ball and Stick)

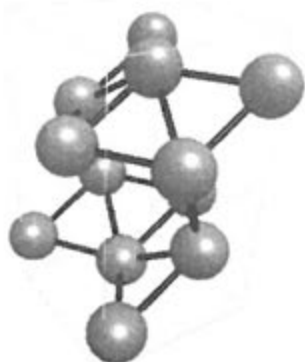


Germanium (Space Filling)

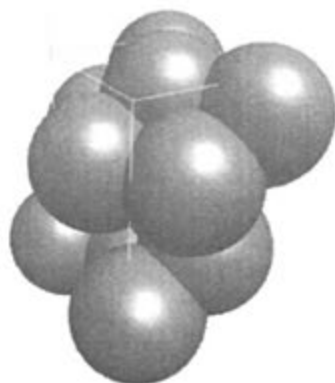
ゲルマニウムは 14 族で、同族の炭素やケイ素と同じダイヤモンド構造をとっている。金属とっていいのだろうか。

### (3) ガリウム Gallium

閃亜鉛鉱、アルミノケイ酸塩中に微量含まれている。塩化ガリウムまたはガリウム酸ナトリウム水溶液の電解、あるいは酸化ガリウムの水素還元によって金属が得られる。真空加熱、帯域溶融、単結晶化などの方法で精製したものは 99.9999% の純度をもつ。青味をおびた白色の金属で斜方晶系であり、 $\text{Ga}_2$  の分子格子とみなされる。



Gallium (Ball and Stick)

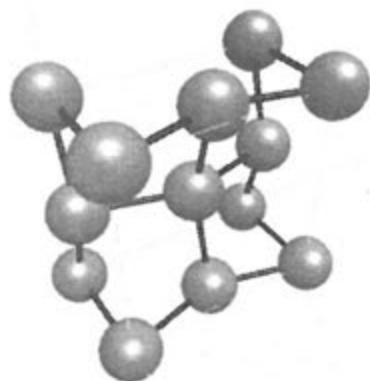


Gallium (Space Filling)

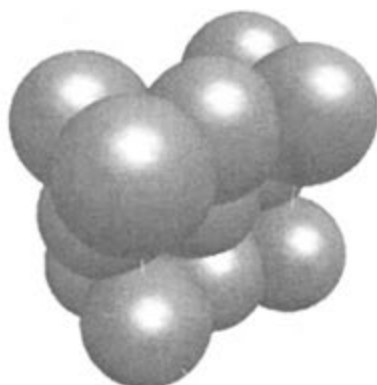
なお、斜方晶系の金属として、Uranium(U)、Neptunium(Np)がある。

#### (4) スズ Tin

主要鉱物はスズ石  $\text{SnO}_2$  で、鉱石をコークス、珪石、石灰石と加熱、融解して、粗スズを分離し、ヘキサフルオロケイ酸中で電解法によって精製する。純度 99.999%以上の金属が得られる。13.2℃以下で安定な $\alpha$ スズ(灰色、ダイヤモンド構造)とそれ以上の温度で安定な $\beta$ スズ(白色の金属、正方晶系)とがある。



Tin (Ball and Stick)



Tin (Space Filling)

このモデルは、正方晶系の $\beta$ スズである。やはりスズも 14 族であり、低温では炭素、ケイ素、ゲルマニウムと同様にダイヤモンド構造をとる。なお、正方晶系の金属として、Indium(In)、Protactinium (Pa) がある。

#### (5) アンチモン Antimony

主要鉱物は輝安鉱  $\text{Sb}_2\text{S}_3$  であり、硫化鉱を直接鉄で還元するか、これを焼いて酸化鉱とし、炭素で還元する。亜鉛製錬の副産物としても採取される。得られた粗アンチ

モンを電解精製すると純度 99.6~99.8%となる。帯域溶融法では 99.99%以上になる。銀白色の金属で、三方晶系アンチモン構造に属する。



Antimony (Ball and Stick)

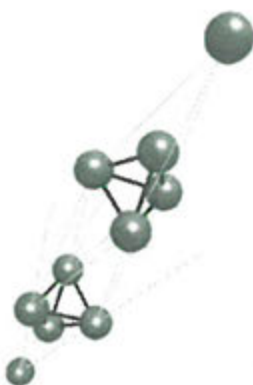


Antimony (Space Filling)

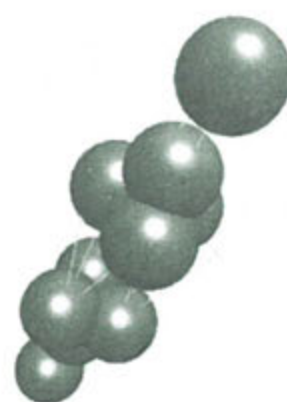
なお、三方晶系の金属として、Mercury(Hg)、Bismuth(Bi)がある。

#### (6) サマリウム Samarium

希土類元素の1つであり、モナズ石、ゼノタイム、バストネス石などに少量含まれる。灰白色の金属である。なお、理化学事典では三方晶系であると記載されている。



Samarium (Ball and Stick)



Samarium (Space Filling)

Crystal Studio では、Rhombohedral (菱面体, 斜方六面体) となっている。

## VI おわりに

Crystal Studio を使うと、高等学校の化学の教科書に掲載されている単体の結晶モデルのすべてを作成することができた。

非金属の単体では、おもに共有結合の結晶か分子結晶になる。共有結合の結晶では、ダ

ダイヤモンド型がもっとも密になるが、充填率はわずか 34%である。一方、分子結晶には最密充填形式をとるものが多いこともわかった。最密充填の充填率は 74%である。物質の新たな一面を見た思いである。

金属の単体では、面心立方格子と体心立方格子の違いを、各平面をプロットすることで示すことができた。さらに、面心立方格子、体心立方格子、六方最密構造以外に何種類かの結晶形があることがわかった。これらは、高等学校の化学の授業で直接扱うことはないにしても、教科書の「金属の単体の多くは、次に示す結晶構造のどれかをとる。」の意味がさらによくわかる。

本研究の主な目的は、結晶モデルの提示であるが、Crystal Studio の機能のほんの一部を使っているにすぎない。たとえば、Crystal Studio には Toggle Animation があり、結晶モデルを回転させて提示することも可能である。高等学校の化学の授業で使える機能が多く残っているに違いない。

#### 参考文献

- WinMOPAC を用いた分子モデルの教材開発 (第 1 報) -有機化合物の異性体を中心に-  
本校研究集録 44 集 (2002 年) p. 33~45
- WinMOPAC を用いた分子モデルの教材開発 (第 2 報) -糖類を中心に-  
本校研究集録 44 集 (2002 年) p. 47~57
- WinMOPAC を用いた分子モデルの教材開発 (第 3 報) -アミノ酸・ペプチドを中心に-  
本校研究集録 44 集 (2002 年) p. 59~70
- WinMOPAC を用いた分子モデルの教材開発 (第 4 報) -合成繊維を中心に-  
本校研究集録 45 集 (2003 年) p. 53~62
- WinMOPAC を用いた分子モデルの教材開発 (第 5 報) -合成樹脂を中心に-  
本校研究集録 45 集 (2003 年) p. 63~76
- MOPAC でつくる分子モデル-分子モデルのデータベース化-  
本校研究集録 46 集 (2004 年) p. 89~108
- WinMOPAC を用いた分子モデルの教材開発 (第 VI 報) -DNA をを中心に-  
本校研究集録 47 集 (2005 年) p. 75~84
- Crystal Studio 基本操作ガイド (ヒューリンクス)
- 理化学事典 (岩波書店) 第 5 版
- 高校化学とっておき勉強法 大川貴史 (講談社ブルーバックス)

資料 1 非金属元素の単体

Name	AtomID	AtomNo.	Crystal System	Space Group.	備考
Helium	He	2	Hexagonal	194	六方最密構造
Boron	B	5	Tetragonal	134	正方晶系
C	C	6	Cubic	227	ダイヤモンド型
C60	C	6	Cubic	Not Specifie	
Carbon	C	6	Cubic	204	立方晶系
Diamond	C	6	Cubic	227	ダイヤモンド型
Graphite	C	6	Hexagonal	194	六方最密構造
Nitrogen	N2	7	Cubic	205	立方晶系
Oxygen	O2	8	Cubic	205	立方晶系
Fluorine	F2	9	Monoclinic	12	単斜晶系
Neon	Ne	10	Cubic	225	面心立方格子
Cilicon	Si	14	Cubic	227	ダイヤモンド型
Phosphorus	P	15	Orthorhomb	64	斜方晶系
Sulfur	S	16	Orthorhomb	70	斜方晶系
Chlorine	Cl2	17	Orthorhomb	64	斜方晶系
Argon	Ar	18	Cubic	225	面心立方格子
Arsenic	As	33	Trigonal	166	三方晶系
Selenium	Se	34	Trigonal	154	三方晶系
Bromine	Br2	35	Orthorhomb	64	斜方晶系
Krypton	Kr	36	Cubic	225	面心立方格子
Tellurium	Te	52	Trigonal	154	三方晶系
Indine	I2	53	Orthorhomb	64	斜方晶系
Xenon	Xe	54	Cubic	225	面心立方格子

AtomID, Crystal System, Space Group. は, Crystal Studio の Structure Data である。

資料2 金属元素の単体(1)

Name	AtonID	AtomNo.	Crystal System	Space Group.	備考
Lithium	Li	3	Cubic	225	面心立方格子
Beryllium	Be	4	Hexagonal	194	六方最密構造
Sodium	Na	11	Cubic	229	体心立方格子
Magnesium	Mg	12	Hexagonal	194	六方最密構造
Aluminium	Al	13	Cubic	225	面心立方格子
Potassium	K	19	Cubic	229	体心立方格子
Calcium	Ca	20	Cubic	229	体心立方格子
Scandium	Sc	21	Cubic	225	面心立方格子
Titanium	Ti	22	Hexagonal	194	六方最密構造
Vanadium	V	23	Cubic	229	体心立方格子
Chromium	Cr	24	Cubic	225	面心立方格子
Manganese	Mn	25	Cubic	217	立方晶系
Iron	Fe	26	Cubic	229	体心立方格子
Cobalt	Co	27	Cubic	225	面心立方格子
Nickel	Ni	28	Cubic	225	面心立方格子
Copper	Cu	29	Cubic	225	面心立方格子
Zinc	Zn	30	Hexagonal	194	六方最密構造
Gallium	Ga	31	Orthorhomb	64	斜方晶系
Germanium	Ge	32	Cubic	227	立方晶系
	Rb	37			
Strontium	Sr	38	Cubic	225	面心立方格子
Yttrium	Y	39	Hexagonal	194	六方最密構造
Zirconium	Zr	40	Hexagonal	194	六方最密構造
Niobium	Nb	41	Cubic	229	体心立方格子
Molybdenum	Mo	42	Cubic	229	体心立方格子
	Tc	43			
Ruthenium	Ru	44	Hexagonal	194	六方最密構造
Rhodium	Rh	45	Cubic	225	面心立方格子
Palladium	Pd	46	Cubic	225	面心立方格子
Silver	Ag	47	Cubic	225	面心立方格子
Cadmium	Cd	48	Hexagonal	194	六方最密構造
Indium	In	49	Tetragonal	134	正方晶系
Tin	Sn	50	Tetragonal	141	正方晶系
Antimony	Sb	51	Trigonal	166	三方晶系
Cesium	Cs	55	Cubic	229	体心立方格子
Barium	Ba	56	Cubic	229	体心立方格子

空欄は、Crystal Studio の Structure Database になかった元素である。

資料3 金属元素の単体(2)

Name	AtomID	AtomNo.	Crystal System	Space Group.	備考
Lanthanum	La	57	Cubic	225	面心立方格子
Cerium	Ce	58	Cubic	225	面心立方格子
Praseodymium	Pr	59	Cubic	225	面心立方格子
Neodymium	Nd	60	Hexagonal	194	六方最密構造
	Pm	61			
Samarium	Sm	62	Rhombohedral	148	斜方六面体
Europium	Eu	63	Cubic	229	体心立方格子
	Gd	64			
Terbium	Tb	65	Hexagonal	194	六方最密構造
Dysprosium	Dy	66	Hexagonal	194	六方最密構造
Holmium	Ho	67	Hexagonal	194	六方最密構造
Erbium	Er	68	Hexagonal	194	六方最密構造
	Tm	69			
Ytterbium	Yb	70	Cubic	225	面心立方格子
Lutetium	Lu	71	Hexagonal	194	六方最密構造
Hafnium	Hf	72	Hexagonal	194	六方最密構造
	Ta	73			
Tungsten	W	74	Cubic	229	体心立方格子
Rhenium	Re	75	Hexagonal	194	六方最密構造
Osmium	Os	76	Hexagonal	194	六方最密構造
Iridium	Ir	77	Cubic	225	面心立方格子
Platinum	Pt	78	Cubic	225	面心立方格子
	Au	79			
Mercury	Hg	80	Trigonal	166	三方晶系
Thalium	Tl	81	Cubic	229	体心立方格子
Lead	Pb	82	Cubic	225	面心立方格子
Bismuth	Bi	83	Trigonal	166	三方晶系
	Po	84			
	Fr	87			
	Ra	88			
	Ac	89			
Thorium	Th	90	Cubic	225	面心立方格子
Protactinium	Pa	91	Tetragonal	134	正方晶系
Uranium	U	92	Orthorhomb	63	斜方晶系
Neptunium	Np	93	Orthorhomb	62	斜方晶系
Plutonium	Pu	94	Cubic	225	面心立方格子
Americium	Am	95	Cubic	225	面心立方格子



**summary:**

Crystal Studio is a Windows 9x/NT/2000/ME/XP software package for the crystallo-graphy. When this software was used, it found that the crystal of a simple substance to handle in high school chemical II could be indicated comparatively easily. Improvement in the intelligibility about the student's crystal can be expected by this model.



# Crystal Studio を用いた結晶モデルの教材開発 (第II報)

— 化合物を中心に —

おか      ひろ      あき  
岡      博      昭

## Crystal Studio:

OKA Hiroaki

抄録: Crystal Studio は、結晶学のためのウィンドウズ 9x/NT/2000/ME/XP ソフトウェアパッケージである。このソフトを使うと、高等学校化学IIで扱う無機化合物の結晶を比較的簡単に表示できることがわかった。このモデルによって、生徒の結晶に関する理解度の向上が期待できる。  
キーワード: 化学教育, コンピュータ, クリスタルスタジオ, 結晶, 化合物

### I はじめに

筆者は、富士通 WinMOPAC を使って、高等学校の化学の教科書に出てくる有機化合物の分子モデルを作成し、報告してきた。WinMOPAC を使うと、高等学校化学Iで扱う有機化合物、化学IIで扱う高分子化合物のほとんどすべての分子モデルを表示することができる。WinMOPAC は、分子のモデリングから分子軌道計算・計算結果のグラフィカルな解析までをWindows上でシームレスに実現することができるが、無機物質や結晶などのモデルを作成することはできない。そこで、適当なソフトウェアを探していたところ、Crystal Studio というソフトがあることを知った。このソフトを使うと、単体の結晶モデルが比較的簡単に作成できることを、「Crystal Studio を用いた結晶モデルの教材開発 (第I報)」で報告した。本報告では、化合物の結晶モデルについて述べる。

化合物は、イオン結晶もしくは共有結合の結晶が多い。イオン結晶は、化学IIでは塩化ナトリウム型と塩化セシウム型の2種類しか紹介されていない。しかし、組成比1:1のイオン結晶(MX型)には、上記2種類以外に閃亜鉛鉱(ZnS)型、ウルツ鉱(ZnS)型、ヒ化ニッケル(NiAs)型がある。塩化ナトリウム型と塩化セシウム型と閃亜鉛鉱型は立方晶系であり、ウルツ鉱型とヒ化ニッケル型は六方晶系に属する。多くのイオン結晶は、これらの5つの型のどれかに属する。

共有結合の結晶では、二酸化ケイ素が代表的である。二酸化ケイ素やケイ酸塩について検討する。

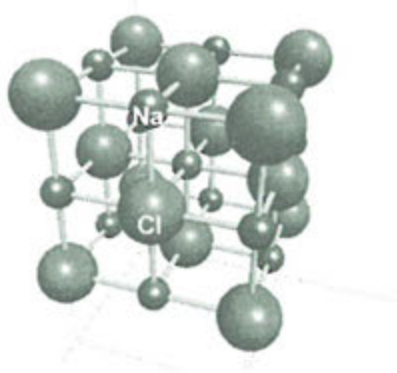
## II イオン結晶

組成比1:1のイオン結晶(MX型)には、塩化ナトリウム(NaCl)型、塩化セシウム(CsCl)型、閃亜鉛鉱(ZnS)型、ウルツ鉱(ZnS)型、ヒ化ニッケル(NiAs)型がある。

### 1 塩化ナトリウム Halite

天然に岩塩として、また海水(濃度平均 2.8%)、湧泉、地下水中に溶けて存在する。気体では孤立分子として存在し、固体は無色の立方晶系結晶で、この構造を岩塩構造とよぶ。岩塩構造では、立方体の各辺に  $\text{Na}^+$ (M)と  $\text{Cl}^-$ (X)が交互に並んでいる。すなわち、Xの面心立方格子の八面体型空隙のすべてをMが占有するということになる。Xは面心立方格子だから、単位格子内に4個存在し、Mも八面体空隙のすべてを占有するから4個存在する。また、MはXの八面体型空隙にあるのだから、6個のXで囲まれる。一方のXは、やはり6個のMに正八面体型に取り込まれる。したがって、Mの位置にXを、Xの位置にMを置いても同じ結晶になる。

教科書では、 $\text{Cl}^-$ が面心にくるモデルを掲載している。



Halite (Ball and Stick)



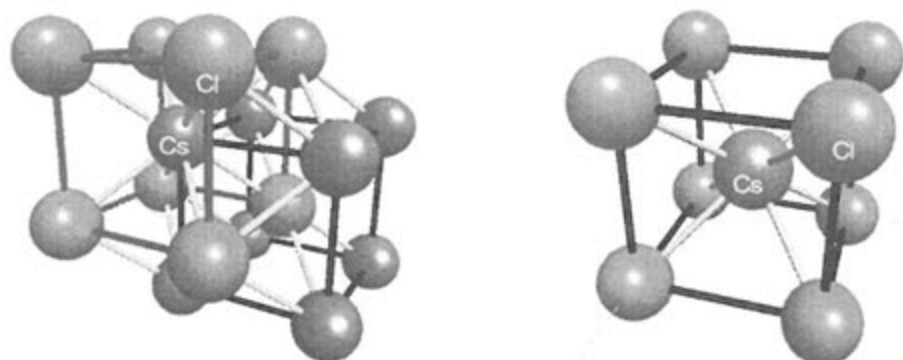
Halite (Space Filling)

### 2 塩化セシウム Caesium chloride

無色の立方晶系結晶で、塩化セシウム構造とよぶ。445℃で岩塩構造に転移する。塩化セシウム構造は、見た目は体心立方格子である。 $\text{Cl}^-$ (X)の体心立方格子の体心を  $\text{Cs}^+$ (M)で置換した形になっている。8隅のXを合わせて1個、体心のMは正味1個であるから、Mの周りにXが8個接していなければならない。

次にXに注目して格子を考えてみると、Mの立方体の体心にXがあることになる。すなわち、M、Xの位置は交換可能である。この形はM、Xそれぞれが単純立方格子をつくっていることになり、一方の単純立方格子の格子点他方の単純立方格子の体心にくるよう重ね合わせた形ともいえる。

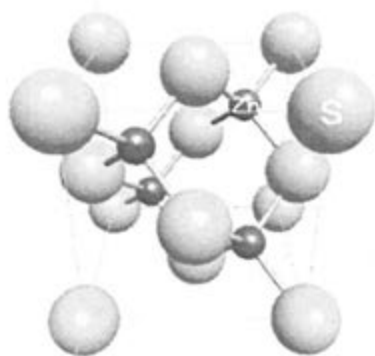
教科書では、 $\text{Cs}^+$ が体心にくるモデルを掲載している。



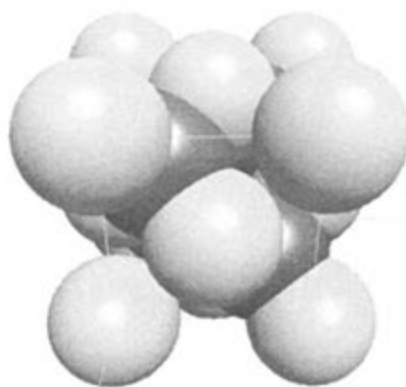
CsCl (Ball and Stick)

### 3 閃亜鉛鉱 Sphalerite

理想化学組成は  $ZnS$  で、 $Fe$  が  $Zn$  を置換する。閃亜鉛鉱構造の代表例であり、ウルツ鉱と多形をなす。立方晶系で、四面体や八面体晶がある。 $S^{2-}$  (X) に注目すると面心立方格子である。したがって、単位格子内に全部で4個存在する。 $Zn^{2+}$  (M) は、その四面体型空隅に入っている。しかし、組成比が1:1であるためにはMは4個でなければならない。したがって、四面体型空隅の半分を占有することになる。

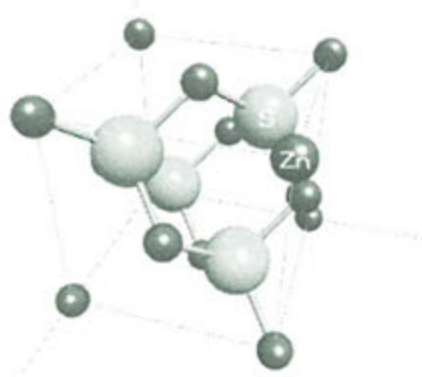


Sphalerite (Ball and Stick)



Sphalerite (Space Filling)

MとXの空間的位置関係は交換可能であるため、 $Zn^{2+}$  (M) で面心立方格子をつくり、その四面体型空隅に4個の  $S^{2-}$  (X) を入れることもできる。



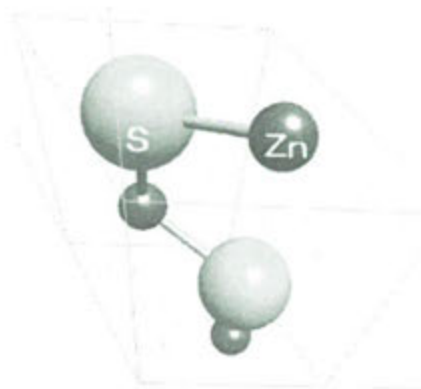
Sphalerite (Ball and Stick)



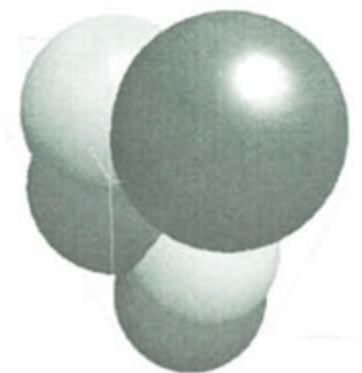
Sphalerite (Space Filling)

#### 4 ウルツ鉱 Wurzile

繊維亜鉛鉱ともいう。理想化学組成は  $\text{ZnS}$  で、六方晶系であり、ウルツ鉱構造の代表的な例をなす。閃亜鉛鉱の高温多形であるが、低温でも準安定相として残る。ウルツ鉱型は六方晶系であるため、閃亜鉛鉱の立方晶系を六方晶系に読み替えるだけでよいはずだが、データベースのモデルは、単位格子内に  $\text{S}^{2-}$  が 2 個しかない。



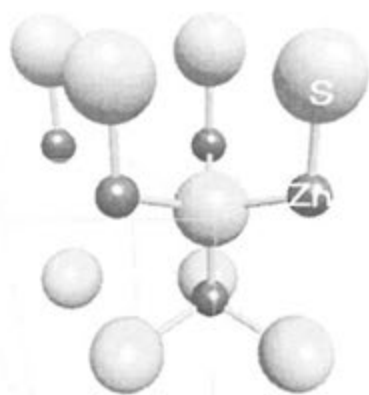
Wurzile (Ball and Stick)



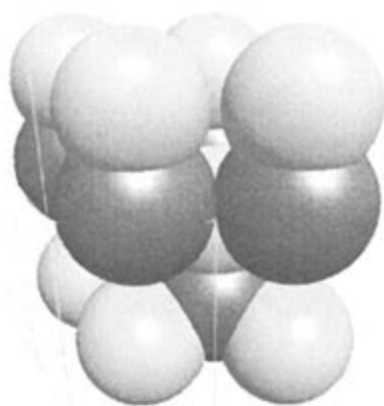
Wurzile (Space Filling)

$\text{S}^{2-}$  (X) の六方最密充填格子の四面体型空隙の半分を  $\text{Zn}^{2+}$  (M) が占有した形になるはずである。単位格子中にはともに 2 個ずつ存在し、4 : 4 配位となる。また、空間的位置関係は交換可能である。

そこで、Cell Multiple (3, 3, 3) を表示させ、イオンをカットする方法をとった。



Wurzile (Ball and Stick)

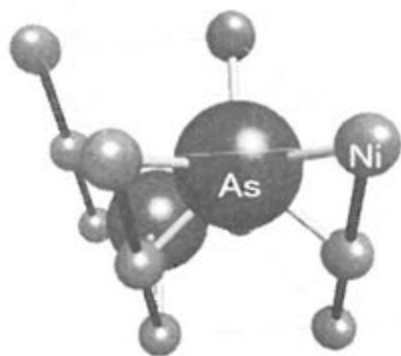


Wurzile (Space Filling)

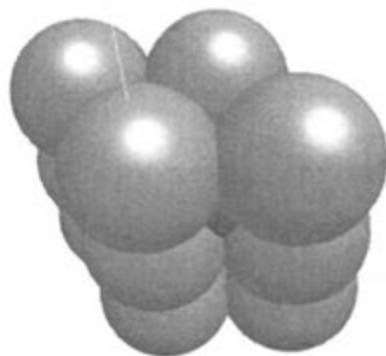
## 5 ヒ化ニッケル Nickeline

5種の化合物が報告されているが、代表的なものはNiAsである。天然には紅ニッケル鉱として産する。淡紅色の六方晶系結晶で、その構造は、ヒ化ニッケル構造とよばれる。

これは、立方晶系の塩化ナトリウム型と対をなすものであるが、 $\text{As}^-$  (X) の六方最密充填格子の八面体型空隙のすべてを  $\text{Ni}^+$  (M) が占有したものである。したがって、6 : 6配位であり、六方最密充填格子が基本だから、単位格子中に2個ずつ存在することになる。

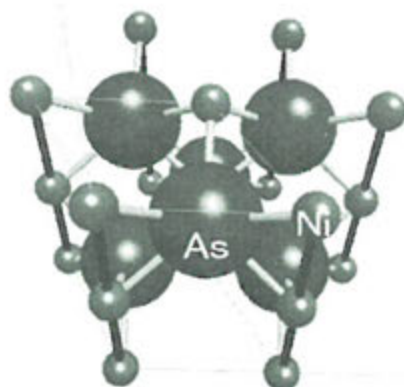


Nickeline (Ball and Stick)

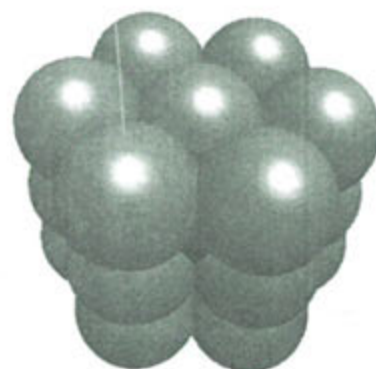


Nickeline (Space Filling)

Cell Multiple (3,3,3) を表示させ、イオンをカットする方法で単位格子3個を示すモデルをつくった。



Nickeline (Ball and Stick)



Nickeline (Space Filling)

Crystal Studio V7 Professional には、2000 種類の結晶構造データベース機能が標準で付いている。このデータベースにある MX 型のイオン結晶について検討した。データベースには、69 種類の MX 型のイオン結晶があった。

塩化ナトリウム型は、塩化ナトリウム (NaCl) 以外に次の 23 種類があった。

Alabandite (MnS), Altaite (PbTe), Bunsenite (NiO), Carlsbergite (CrN), Carobbiite (KF), Clausthalite (PbSe), Galena (PbS), Hongquiite (TiO), Lime (CaO), Manganosite (MnO), Monteponite (CdO), Oldhamite (CaS), Osbornite (TiN), Oxide\_Ba (BaO), Oxide\_Co (CoO), Oxide\_Sr (SrO), Periclase (MgO), Stistaite (SnSb), Sylvite (KCl), Villiaumite (NaF), Wustite (FeO), AgBr, ThN

塩化セシウム型は、塩化セシウム (CsCl) 以外にはなかった。

閃亜鉛鉱型は、閃亜鉛鉱 (ZnS) 以外に次の 7 種類があった。

Hawleyite (CdS), Metacinnabar (HgS), Miersite (AgI), Nantokite (CuCl), Stilleite (ZnSe), Tiemannite (HgSe), GaAs

ウルツ型は、ウルツ鉱 (ZnS) 以外に次の 3 種類があった。

Bromellite (BeO), Iodargyrite (AgI), Zincite (ZnO)

ヒ化ニッケル型は、ヒ化ニッケル (NiAs) 以外に、次の 4 種類があった。

Breithauptite (NiSb), Cadmoselite (CdSe), Greenockite (CdS), Niggliite (PtSn)

(p. 218~219 資料 2~3 参照)

## 6 その他の MX 型

以上の 5 種類の型にあてはまらない MX 型のイオン結晶について検討する。

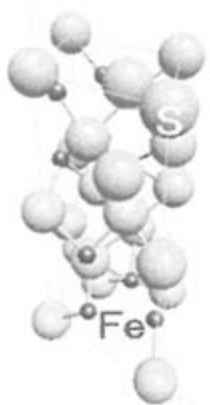
### (1) 臭化銅 (I) Copper bromide

理化学事典では、ほとんど無色の立方晶系結晶で閃亜鉛鉱構造をとる、となっているが、Crystal Studio では Hexagonal (六方晶系) に分類されている。



## (2) 硫化鉄(II) Troilite

磁硫鉄鉱(ピロータイト)などとして産する黒色の六方晶系結晶で、基本的にはヒ化ニッケル構造である。不定比性があり、Fe 欠損は約12%まで達する。欠損量に伴って、構造や物性はさまざまに変化する。定比のFeSは、室温ではヒ化ニッケル型の超格子構造で、130°C付近で完全なヒ化ニッケル構造となる。



Troilite (Ball and Stick)

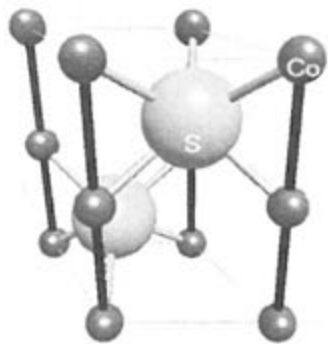


Troilite (Space Filling)

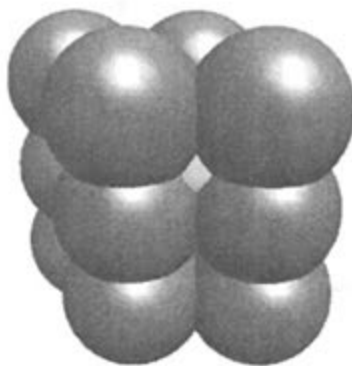
したがって、上記モデルもヒ化ニッケル型と考えるべきである。

## (3) 硫化コバルト(II) Jaipurite

灰色の結晶で、不定比性化合物でかつ多形がある。500°C以下では不安定で、 $\text{Co}_9\text{S}_8$ と $\text{CoS}_2$ に分離する傾向にある。六方晶系で、ヒ化ニッケル構造( $\beta$ 相)のものは5~14%のCo欠損がある。



Jaipurite (Ball and Stick)



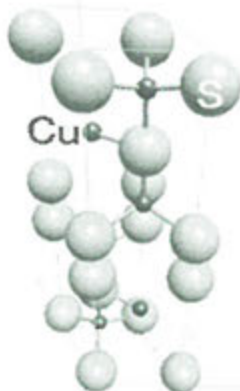
Jaipurite (Space Filling)

このモデルは、明らかにヒ化ニッケル型である。これと同じ単位格子のものは、次の通りである。

Freboldite( $\text{CoSe}$ ), Imgreite( $\text{NiTe}$ ), Kotulskite( $\text{PdTe}$ ), Langisite( $\text{CoAs}$ ), Sederholmite( $\text{NiSe}$ ), Sudburyite( $\text{PdSb}$ ), Yuanjiangite( $\text{AuSn}$ )

(4) 硫化銅(II) Covellite

天然にはコペリン(銅藍, 六方晶系)として産する。結晶構造は複雑であり,  $S_2$ 単位を含み,  $Cu^I_2Cu^II(S_2)_2S$  とかくべきものである。



Covellite (Ball and Stick)

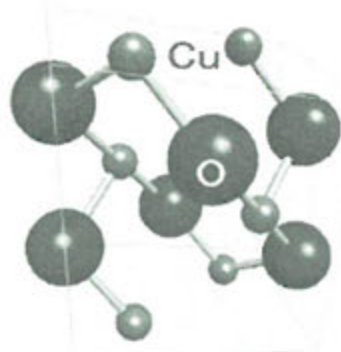


Covellite (Space Filling)

これと同じ単位格子のものは, Klockmannite ( $CuSe$ )である。

(5) 酸化銅(II) Tenorite

黒色の単斜晶系結晶で, 黒銅鉱として産出する。1100°C以上で  $Cu_2O$  と  $O_2$  とに分解する。



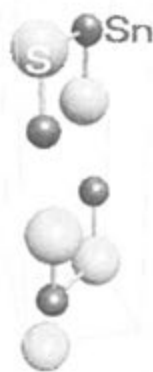
Tenorite (Ball and Stick)



Tenorite (Space Filling)

(6) 硫化スズ(II) Herzenbergite

灰黒色の斜方晶系結晶で, 黒リンと同じ層状構造をなす。Snは6個のSでひずんだ八面体状にかこまれているが, 1つの三角面を占める3個のSがSnに強く結合している。



Herzenbergite (Ball and Stick)



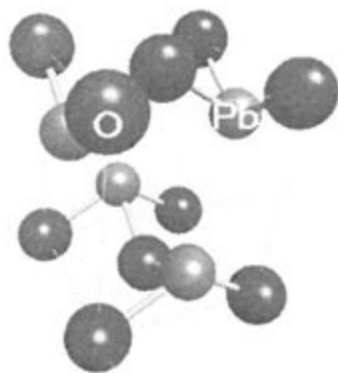
Herzenbergite (Space Filling)

Crystal Studio のモデルは、上記理化学事典の記述と異なっている。しかし、Orthorhomb (斜方晶系) であることは一致している。この Herzenbergite (SnS) 以外に斜方晶系であるものは、次の通りである。

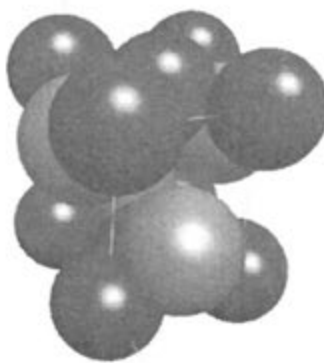
Manarsite (MnAs), Modderite (CoAs), Westerveldite (FeAs), FeB, CrB

#### (7) 酸化鉛(II) Litharge

一酸化鉛、密陀僧 Litharge, または金密陀 Massicot ともよばれる。α, βの2型があり、α型(Litharge)は、赤色の正方晶系結晶で、低温で安定であり、層状構造をもつ。β型(Massicot)は、α型から 587℃で転移する。黄色の斜方晶系結晶である。



Litharge (Ball and Stick)



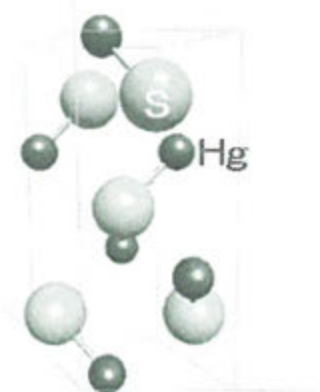
Litharge (Space Filling)

Crystal Studio のモデルは Litharge であるから、当然 Tetragonal (正方晶系) である。Litharge (PbO) 以外に正方晶系であるものは、次の通りである。

Vysotskite (PdS), Cooperite (PtS), Oxide\_Be (BeO)

### (8) 硫化水銀(Ⅱ) Cinnabar

黒色と赤色の2種がある。黒色硫化水銀(Ⅱ)は、水銀(Ⅱ)塩溶液に硫化水素を通ずると沈殿する立方晶系結晶であり、天然産のものは黒辰砂という。閃亜鉛鉱構造である。不安定で長時間硫化アルカリ溶液中に放置するか昇華させると、安定な赤色硫化水銀(Ⅱ)となる。ふつう辰砂とよばれるのはこの型であり、赤色の六方晶系結晶で、いちじるしくひずんだ岩塩構造をしている。



Cinnabar (Ball and Stick)



Cinnabar (Space Filling)

この Cinnabar(HgS)のモデルは、Trigonal(三方晶系)であり、閃亜鉛鉱型でも六方晶系でもない。これ以外に三方晶系のもは、次の通りである。

Montroydite(HgO), Makinenite(NiSe), Tsumoite(BiTe)

以上、MX型を中心に結晶構造をみてきたが、最密充填構造を基本にしているものがきわめて多い。これは、MX型以外でも同じようなことがいえる。たとえば、MX<sub>2</sub>型のCdI<sub>2</sub>、CdCl<sub>2</sub>はともにCd<sup>2+</sup>が八面体型空隙の1/2を占めるが、CdI<sub>2</sub>はI<sup>-</sup>が六方最密充填格子、CdCl<sub>2</sub>はCl<sup>-</sup>が面心立方格子をとることが知られている。

### III 共有結合の結晶

化学Ⅱでは、共有結合の結晶としてダイヤモンドや黒鉛、二酸化ケイ素やケイ酸塩が紹介されている。ダイヤモンドや黒鉛は、「Crystal Studioを用いた結晶モデルの教材開発(第Ⅰ報)」ですでに検討しているので、ここではケイ素化合物を中心に検討する。

#### 1 二酸化ケイ素

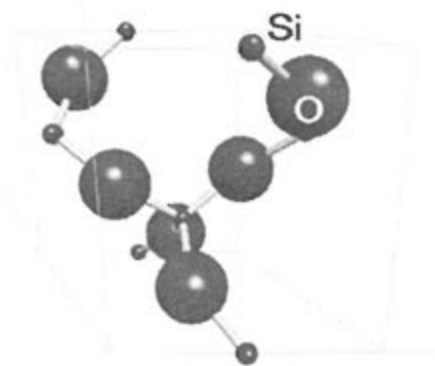
無水ケイ酸 Silicic(acid) anhydrideともいう。旧称はシリカ(Silica)である。多くの多形が見出されている。代表的なものは、低温型の石英(三方晶系)、高温型石英(六方晶系、いわゆる水晶)、トリディマイト(斜方晶系、六方晶系)、クリストバル石(正方晶系、立方晶系)のほか、高圧変態としてコーサイト(Coesite、単斜晶系)、ステイショフ石(正方晶系、ルチル構造)などがある。また非晶質の石英ガラスのほかコロイド状のシリカゲル、水

熱条件下でつくられるキタイト(シリカKともいう。正方晶系), SiO の酸化によるシロキサン鎖をもつ繊維状シリカWなどがある。これらはいずれも無色であるが, 不純物あるいは放射線照射により着色する。

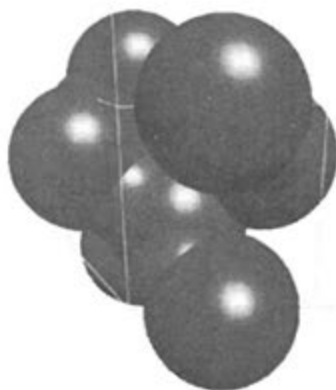
データベースには, SiO<sub>2</sub>, Silica(SiO<sub>2</sub>), Coesite(SiO<sub>2</sub>)の3種類があった。

(p. 217 資料1 参照)

(1) SiO<sub>2</sub>

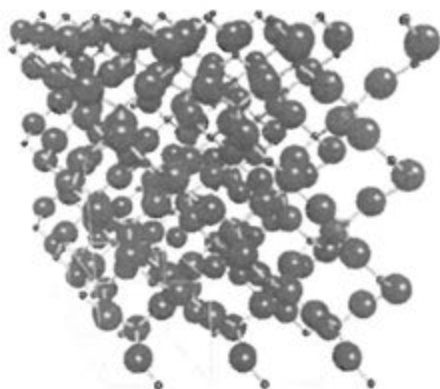


SiO<sub>2</sub> (Ball and Stick)



SiO<sub>2</sub> (Space Filling)

このモデルは Hexagonal (六方晶系) であるから, 石英 Quartz の可能性がある。石英は無色で, 硬度7, 比重2.7の鉱物である。



SiO<sub>2</sub> (Cell Multiple 3,3,3)

## (2) Silica

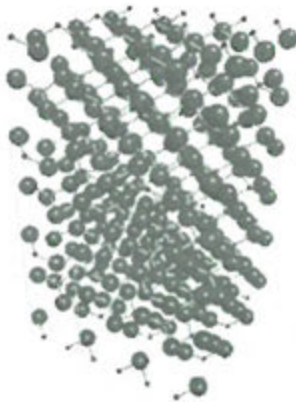


Silica (Ball and Stick)

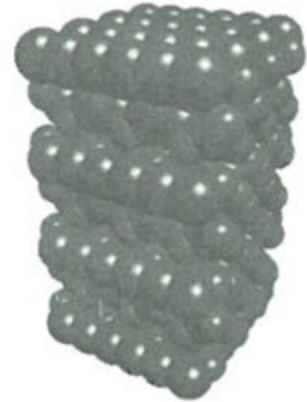


Silica (Space Filling)

このモデルは、Orthorhomb (斜方晶系) であるから、リンケイ石 Tridymite の可能性がある。リンケイ石は白色、硬度7、比重2.3の鉱物である。



Silica (Cell Multiple 3,3,3)

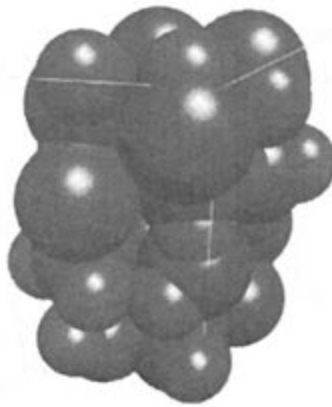


## (3) Coesite

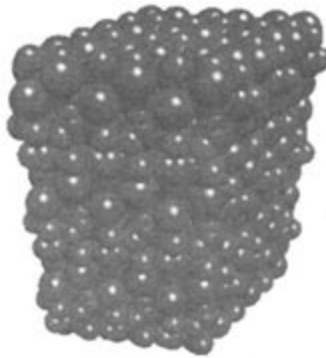
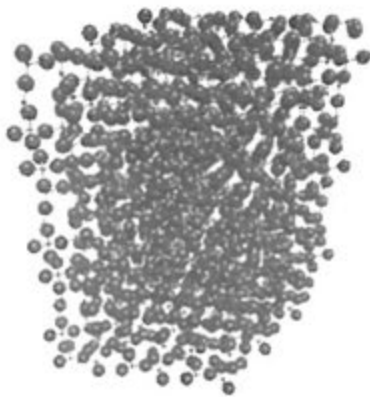
コース石 Coesite は単斜晶系であるが、データベースのモデルも Monoclinic (単斜晶系) である。コース石は白色、硬度7.5、比重3の鉱物である。コース石の形成には600℃で27kbar以上、すなわち下部地殻から上部マントルに相当する圧力が必要であると考えられている。1 bar =  $10^5$  Pa だから、27kbar は  $2.7 \times 10^9$  Pa となり、大気圧の約28000倍である。想像のできない圧力である。



Coesite (Ball and Stick)



Coesite (Space Filling)



Coesite (Cell Multiple 3,3,3)

## 2 ケイ酸塩

一般式  $x M^1_2O \cdot y SiO_2$  で表わされる化合物(酸化数が 2, 3 である  $M^2O, M^3_2O_3$  に相当するものもある)をケイ酸塩という。含水塩、複塩のほか、別の陰性原子団を含む形式のもの、たとえばアルミニウムを含むアルミノケイ酸塩、ホウ素を含むホウケイ酸塩などもある。天然に広く多量に存在し、造岩鉱物としてマントルおよび地殻の主成分であり、Mが Al, Fe, Ca, Mg, Na, K などの塩が最も多い。結晶構造は種類によって異なるが、基本的には 4 つの O が正四面体形 4 配位として Si に配位した  $SiO_4^{2-}$  またはそれらが O 共有で連なったポリ酸陰イオンが規則的に配列し、そのすきまに M のイオンが入ったイオン結晶である。 $SiO_4$  四面体が連なる方式によって、ネソケイ酸塩、ソロケイ酸塩、イノケイ酸塩、フィロケイ酸塩、テクトケイ酸塩の 5 種類に分類される。

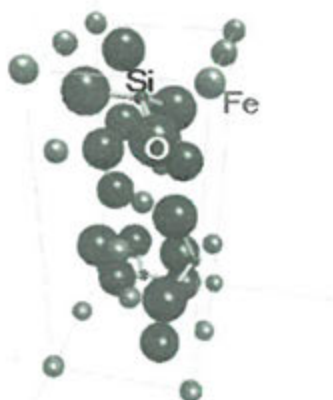
(p. 217 資料 1 参照)

(1) ネソケイ酸塩 Neso Silicate

孤立した  $\text{SiO}_4$  群を含むもので、カンラン石  $(\text{Mg, Fe})_2\text{SiO}_4$ 、ジルコン  $\text{ZrSiO}_4$ 、ザクロ石  $(\text{Mg, Fe})_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$ 、トパーズ  $(\text{AlF})_2\text{SiO}_4$  などがこれに属する。

① 鉄カンラン石 Fayalite

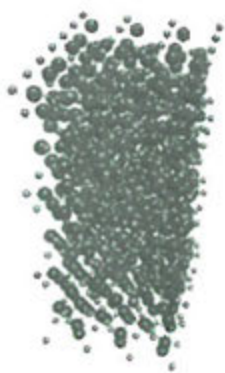
カンラン石には、淡緑色の苦土カンラン石  $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$  (硬度7, 比重3.3), 褐黄色の鉄カンラン石  $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$  (硬度6.5, 比重4.1), 灰褐色のマンガンカンラン石  $\text{Mn}_2\text{SiO}_4$  (硬度6, 比重4.1) などがあり、いずれも斜方晶系である。データベースには、鉄カンラン石 Fayalite があった。



Fayalite (Ball and Stick)



Fayalite (Space Filling)



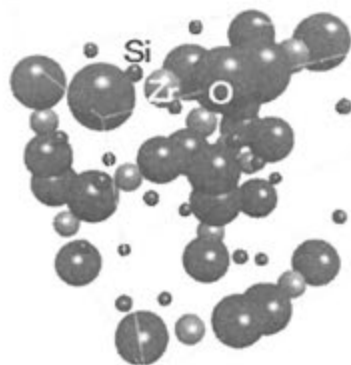
Fayalite (Cell Multiple 3,3,3)

② ジルコン Zircon

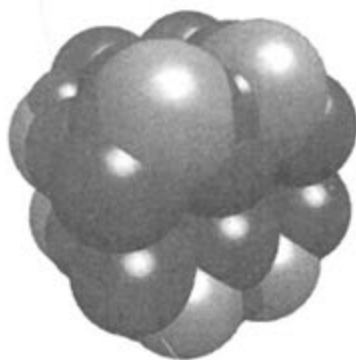
ジルコン  $\text{ZrSiO}_4$  は Tetragonal (正方晶系) であり、無色、硬度7.5, 比重4.7の鉱物である。長い間、ダイヤモンドの代用として使われてきた。そのことでもわかるように



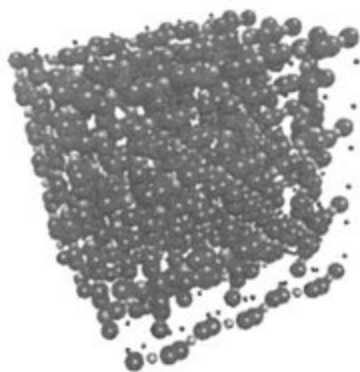
非常に高い屈折率を持ち、ブリリアントカットにするといわゆる金剛光沢を出して、一見ダイヤモンドのように美しく輝く。しかし、ジルコンは無色ばかりでない。日本名は風信子石であるが、これは赤褐色のジルコンの呼び名で、ヒヤシンスに漢字の風信子を当てたものといわれている。ジルコンはアラビア語で「朱色」ペルシア語で「金色」の意味に由来するという。古代から宝石として愛用されてきた石である。



Zircon (Ball and Stick)



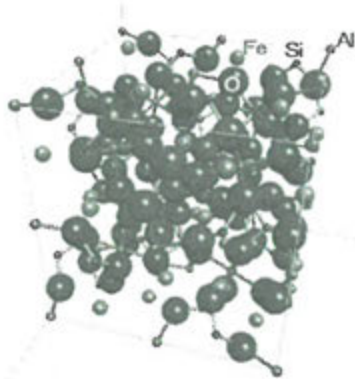
Zircon (Space Filling)



Zircon (Cell Multiple 3, 3, 3)

### ③ ザクロ石族アルマンディン Almandine

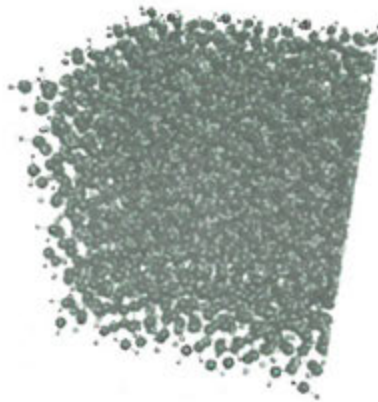
ザクロ石族には、パイロプ Pyrope  $Mg_2Al_2Si_3O_{12}$ 、アルマンディン Almandine  $Fe_3Al_2Si_3O_{12}$ 、スペッサルト石 Spessartine  $Mn_3Al_2Si_3O_{12}$ 、ウバロバイト  $Ca_3Cr_2Si_3O_{12}$ 、グロシュラ Grossular  $Ca_3Al_2Si_3O_{12}$ 、アンドラダイト Andradite  $Ca_3Fe_2Si_3O_{12}$ 、などがあり、すべて等軸(立方)晶系である。ザクロ石族の硬度は7~7.5、比重は3.4~4.2である。データベースには Almandine のモデルがあった。Almandine は暗赤色、硬度7、比重4の鉱物である。



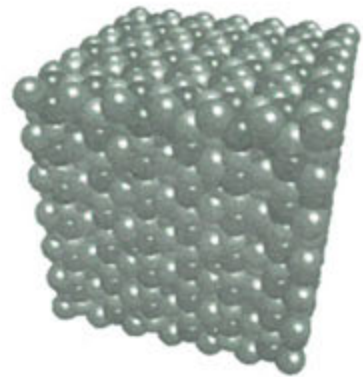
Almandine (Ball and Stick)



Almandine (Space Filling)



Almandine (Cell Multiple 3,3,3)



## (2) ソロケイ酸塩 Soro Silicate

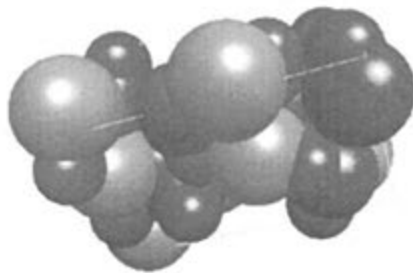
数個の  $\text{SiO}_4$  四面体が O 原子を共有して群をつくるもので、二ケイ酸イオン  $\text{Si}_2\text{O}_7^{6-}$  (例: トルトバイタイト  $(\text{Sc}, \text{Y})_2\text{Si}_2\text{O}_7$ , 異極鉱  $\text{Zn}_4(\text{Si}_2\text{O}_7)(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ), 三員環の  $\text{Si}_3\text{O}_9^{6-}$ , 四員環の  $\text{Si}_4\text{O}_{12}^{8-}$ , 六員環の  $\text{Si}_6\text{O}_{18}^{12-}$  (例: 緑柱石  $\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$ ) などがある。

### ① トルトバイタイト Thortveitite

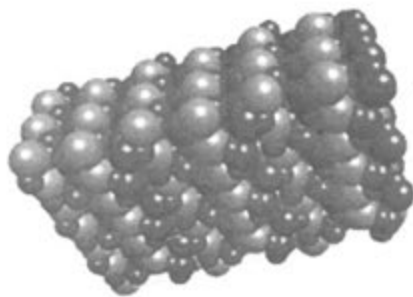
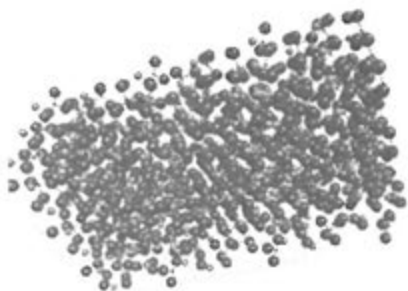
周期表 3 族のスカンジウム Sc, イットリウム Y は, トルトバイタイト鉱物から得られる。データベースの  $\text{Y}_2\text{Si}_2\text{O}_7$  のモデルは, Monoclinic (単斜晶系) である。



Thortveitite (Ball and Stick)



Thortveitite (Space Filling)



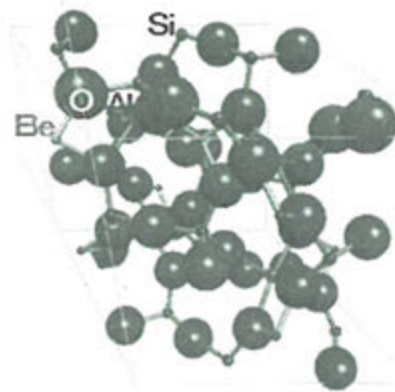
Thortveitite (Cell Multiple 3, 3, 3)

## ② 緑柱石 Beryl

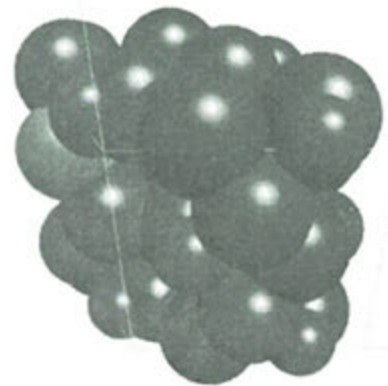
緑柱石  $\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$  は六方晶系で淡緑色，硬度 7.5，比重 2.7，六角柱状の鉱物である。金属元素のベリリウムの名前は，この中から発見されたことに由来する。透明で美しいものはカットされて宝石になる。

緑柱石の宝石名と色は次の通りである。

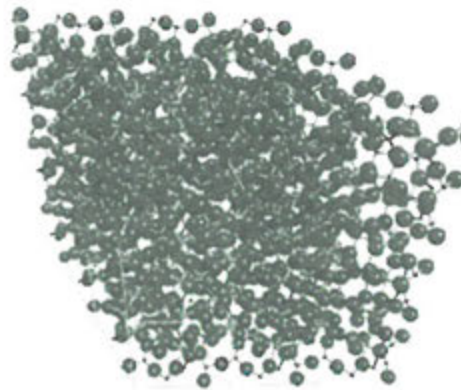
アクアマリン；淡青，エメラルド；緑，グリーンベリル；淡緑，  
ゴシェナイト；無色，ゴールデンベリル；黄色，マシシ；濃青，  
モルガナイト；淡赤，レッドベリル；赤



Beryl (Ball and Stick)



Beryl (Space Filling)



Beryl (Cell Multiple 3,3,3)

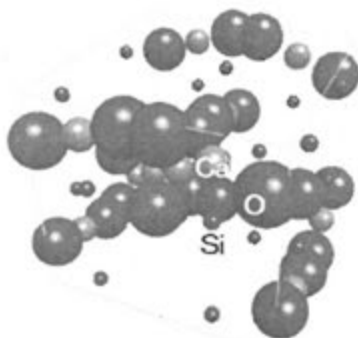
### (3) イノケイ酸塩 Ino Silicate

$\text{SiO}_4$ が2つのO原子を共有してできた巨大イオンで、透輝石  $\text{CaMg}(\text{SiO}_3)_2$ などの輝石類、ケイ灰石  $\text{CaSiO}_3$ 、また透閃石  $\text{Ca}_2\text{Mg}_5(\text{OH})_2(\text{Si}_4\text{O}_{11})_2$ などの角閃石類が例である。

#### ① ケイ灰石 Wollastonite

ケイ灰石は三斜晶系、白色、硬度 4.5、比重 2.8 の鉱物であるが、データベースのモデルは Tetragonal (正方晶系) であった。基本構造は無限のケイ素-酸素鎖 ( $\text{SiO}_3$ ) であり、カルシウムカチオン  $\text{Ca}^{2+}$  がこの無限の鎖を繋いでいる。

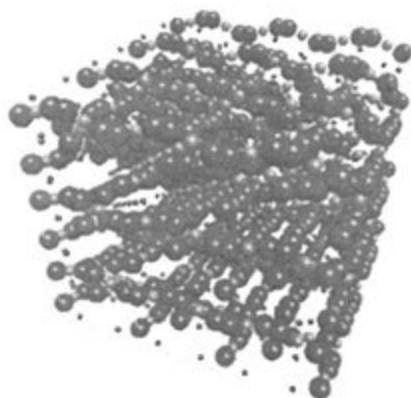
in vitro 試験によると、ワラストナイトにはこれまでに調べられた細胞系に対して比較的無毒であると言う報告がある。石綿の代替繊維として最も強い関心が寄せられ、摩擦材等に使用されている。原産国は米国、カナダ等である。



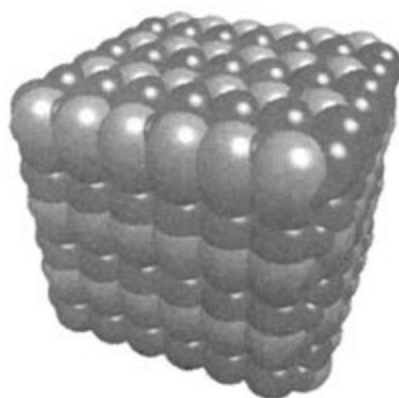
Wollastonite (Ball and Stick)



Wollastonite (Space Filling)



Wollastonite (Cell Multiple 3,3,3)



#### (4) フィロケイ酸塩 Philo Silicate

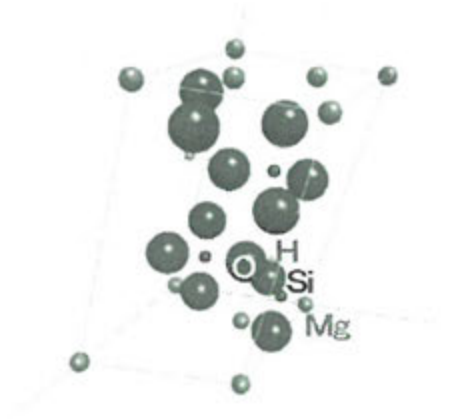
$\text{SiO}_4$ が3つのOを共有して2次元に無限に拡がった層状構造の巨大イオン（例：タルク  $\text{Mg}_3(\text{Si}_2\text{O}_5)_2(\text{OH})_2$ ）で、アルミノケイ酸塩にも同構造でいくつかのSiがAlで置換されたものがある（例：白雲母  $\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{AlO}_{10})(\text{OH})_2$ ）。いずれも薄板になりやすい。

##### ① 滑石 Talc

色は一般に白でろうそくの蠟や真珠のような光沢を持っているために、これを主成分とする岩石はろう石と呼ばれることもある。滑石は微細な薄片状の結晶が集合し、固まっている産状を呈することが多く、大きな単結晶状態で産出することはまれである。不純物により灰色や緑色をしたものもある。滑石はモース硬度1の基準となる標準物質で、鉱物の中で最もやわらかいもののひとつである。

ベビーパウダーをタルカムパウダーと呼ぶことがあるのは、滑石の英語名 talc に由来する。

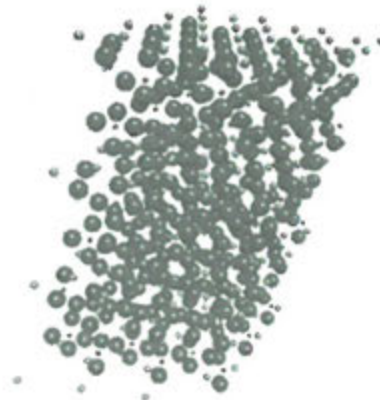
データベースのモデル Talc  $\langle \text{Mg}_3(\text{Si}_2\text{O}_5)_2(\text{OH})_2 \rangle$  は, Triclinic (三斜晶系) である。



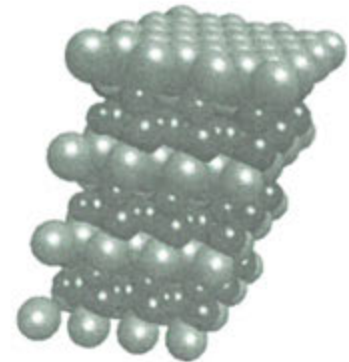
Talc (Ball and Stick)



Talc (Space Filling)



Talc (Cell Multiple 3.3.3)



#### (5) テクトケイ酸塩 Tecto Silicate

$\text{SiO}_4$ のOがすべて共有されて3次元網状構造をつくるもので、二酸化ケイ素の構造であり、ふつうのケイ酸塩には例がない。しかし、アルミノケイ酸塩、ホウケイ酸塩などではSiの一部をAl, Bなどに置換したイオンをもち、そのすきまに陽イオンが入って、正電荷を補う形のものがある(例: 正長石  $\text{K}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$ , 灰長石  $\text{Ca}(\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8)$  などの長石類など)。立体網状構造にかなり大きなすきまがあり、水などを含むこともある。

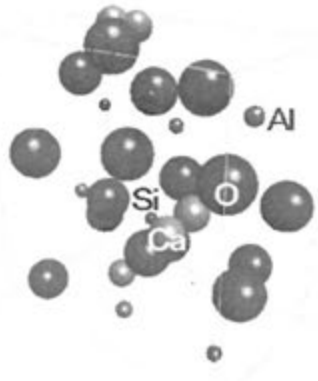
方沸石  $\text{Na}(\text{AlSi}_2\text{O}_6) \cdot \text{H}_2\text{O}$  などの沸石類がその例である。アルカリ融解などで骨格を小さいイオンに分解すれば水に溶けるようになる。ネソ、イノ、フィロ、テクトの順に化学反応性は減少する。

① 灰長石 Anorthite

長石は、正長石 - スローソン石を端点とする系列と、灰長石 - バナルサイトを端点とする系列の2つに分けられる。正長石を含む系列ではカリウムを含む鉱物が比較的一般的に産出し、これらをカリ長石という。灰長石を含む系列ではカルシウム、ナトリウムを含む鉱物が一般的に産出し、これらを斜長石と言う。

正長石はモース硬度6の指標鉱物である。固溶体では硬度が若干異なるため、厳密には端点成分の正長石が基準となっている。ただし、実用上のモース硬度6はカリ長石であるとして問題ない。

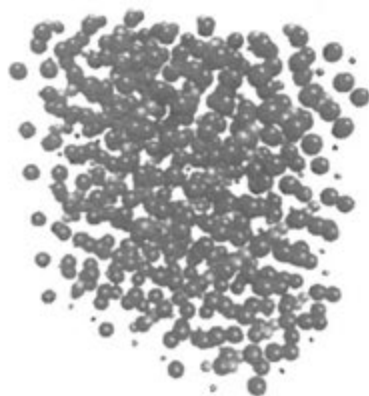
データベースには灰長石  $\text{Ca}(\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8)$  があった。灰長石は三斜晶系で、赤い色のサンストーン(Sun Stone)はこの種に属し、準貴石の扱いを受ける。サンストーンの発色は微量に含まれる銅によるものと考えられている。このモデルは Monoclinic (単斜晶系) である。



Anorthite (Ball and Stick)



Anorthite (Space Filling)

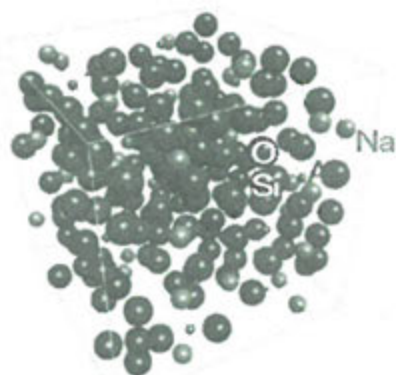


Anorthite (Cell Multiple 3,3,3)

## ② 方沸石 Analcime

ゼオライト Zeolite とは、結晶中に微細孔を持つアルミノケイ酸塩の総称である。日本名は沸石である。もとは天然に産出する鉱物であり、内部に水が含まれているため加熱すると沸騰しているように見えることから、ギリシャ語の zeo (沸騰する) と lithos (石) を合わせて zeolite と名付けられた。分子ふるい、イオン交換材、触媒、吸着材として利用されている。現在ではさまざまな性質を持つゼオライトが人工的に合成されており、工業的にも重要な物質となっている。

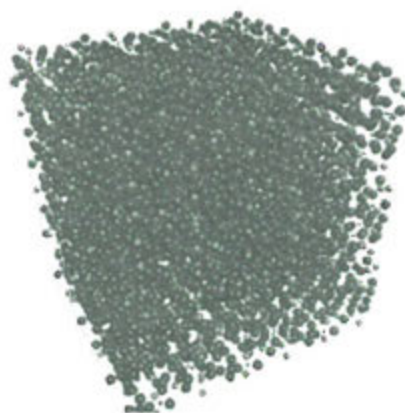
天然に産するゼオライトは溶岩と水の相互作用により生じ、主に温泉地帯から産出する。枕状溶岩や深海中、そして火山灰の地層と地下水との接触によっても生じる。沸石グループとしてまとめられており、これまでに 52 種(1996 年)が認定されている。データベースにあった方沸石  $\text{Na}(\text{AlSi}_2\text{O}_6) \cdot \text{H}_2\text{O}$  は、その 1 つである。



Analcime (Ball and Stick)



Analcime (Space Filling)



Analcime (Cell Multiple 3,3,3)



## V おわりに

Crystal Studio を使うと、高等学校の化学の教科書に掲載されている化合物の多くの結晶モデルを作成することができた。

組成比 1 : 1 のイオン結晶 (MX 型) には、塩化ナトリウム型 (NaCl)、塩化セシウム型 (CsCl)、閃亜鉛鉱 (ZnS) 型、ウルツ鉱 (ZnS) 型、ヒ化ニッケル (NiAs) 型があるが、それらすべてがデータベースにあった。多くのイオン結晶は、これらの 5 つの型のどれかに属することが確認できたが、属さないものもあった。

共有結合の結晶では、データベースには、 $\text{SiO}_2$ 、Silica( $\text{SiO}_2$ )、Coesite( $\text{SiO}_2$ ) の 3 種類の二酸化ケイ素があった。同じ組成でも、結晶格子が異なることが確認できた。また、ケイ酸塩では、 $\text{SiO}_4$  四面体が連なる方式によって 5 つに分類されるが、データベースですべて確認することができた。

富士通 WinMOPAC と Crystal Studio の両方を使用すると、ほとんどすべての物質のモデルを表示できる。化学において実物に触れることは最優先される。しかし、その物質の構造を知るには各種モデルが有効であることも事実である。

## 参考文献

Crystal Studio 基本操作ガイド (ヒューリンクス)

理化学事典 (岩波書店) 第 5 版

高校化学とっておき勉強法 大川貴史 (講談社ブルーバックス)

## 資料 1 二酸化ケイ素とケイ酸塩

Name	Formula	Crystal System	Space Group.	備考
Silica	$\text{SiO}_2$	Hexagonal	180	六方晶系
	$\text{SiO}_2$	Orthorhomb	72	斜方晶系
	$\text{SiO}_2$	Monoclinic	14	単斜晶系
Fayalite	$\text{Fe}_2\text{SiO}_4$	Orthorhomb	62	斜方晶系 neso
Zircon	$\text{ZrSiO}_4$	Tetragonal	141	正方晶系 neso
Almandine	$\text{Fe}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$	Cubic	230	立方晶系 neso
Thortveitite	$\text{Y}_2\text{Si}_2\text{O}_7$	Monoclinic	14	単斜晶系 soro
Beryl	$\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$	Hexagonal	192	六方晶系 soro
Wollastonite	$\text{CaSiO}_3$	Monoclinic	14	単斜晶系 ino
Talc	$\text{Mg}_3(\text{Si}_2\text{O}_6)_2(\text{OH})_2$	Triclinic	2	三斜晶系 philo
Anorthite	$\text{Ca}(\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8)$	Triclinic	4	三斜晶系 tecto
Analcime	$\text{Na}(\text{AlSi}_2\text{O}_6) \cdot \text{H}_2\text{O}$	Monoclinic	15	単斜晶系 tecto

Crystal System, Space Group. は、Crystal Studio の Structure Data である。

資料2 MX型イオン結晶(1)

Name	Formula	Crystal System	Space Group.	備考
Halite	NaCl	Cubic	225	塩化ナトリウム型
Alabandite	MnS	Cubic	225	塩化ナトリウム型
Altaite	PbTe	Cubic	225	塩化ナトリウム型
Bunsenite	NiO	Cubic	225	塩化ナトリウム型
Carlsbergite	CrN	Cubic	225	塩化ナトリウム型
Carobbiite	KF	Cubic	225	塩化ナトリウム型
Clausthalite	PbSe	Cubic	225	塩化ナトリウム型
Galena	PbS	Cubic	225	塩化ナトリウム型
Hongquiiite	TiO	Cubic	225	塩化ナトリウム型
Lime	CaO	Cubic	225	塩化ナトリウム型
Manganosite	MnO	Cubic	225	塩化ナトリウム型
Monteponite	CdO	Cubic	225	塩化ナトリウム型
Oldhamite	CaS	Cubic	225	塩化ナトリウム型
Osbornite	TiN	Cubic	225	塩化ナトリウム型
Oxide_Ba	BaO	Cubic	225	塩化ナトリウム型
Oxide_Co	CoO	Cubic	225	塩化ナトリウム型
Oxide_Sr	SrO	Cubic	225	塩化ナトリウム型
Periclase	MgO	Cubic	225	塩化ナトリウム型
Stistaite	SnSb	Cubic	225	塩化ナトリウム型
Sylvite	KCl	Cubic	225	塩化ナトリウム型
Villiaumite	NaF	Cubic	225	塩化ナトリウム型
Wustite	FeO	Cubic	225	塩化ナトリウム型
	AgBr	Cubic	225	塩化ナトリウム型
	ThN	Cubic	225	塩化ナトリウム型
	CsCl	Cubic	221	塩化セシウム型
Sphalerite	ZnS	Cubic	216	閃亜鉛鉱型
Hawleyite	CdS	Cubic	216	閃亜鉛鉱型
Metacinnabar	HgS	Cubic	216	閃亜鉛鉱型
Miersite	AgI	Cubic	216	閃亜鉛鉱型
Nantokite	CuCl	Cubic	216	閃亜鉛鉱型
Stilleite	ZnSe	Cubic	216	閃亜鉛鉱型
Tiemannite	HgSe	Cubic	216	閃亜鉛鉱型
	GaAs	Cubic	216	閃亜鉛鉱型
ZnS-Wurzite	ZnS	Hexagonal	186	ウルツ型
Bromellite	BeO	Hexagonal	186	ウルツ型
Iodargyrite	AgI	Hexagonal	186	ウルツ型
Zincite	ZnO	Hexagonal	186	ウルツ型

## 資料3 MX型イオン結晶(2)

Name	Formula	Crystal System	Space Group.	備考
Nickeline	NiAs	Hexagonal	186	ヒ化ニッケル型
Breithauptite	NiSb	Hexagonal	186	ヒ化ニッケル型
Cadmoselite	CdSe	Hexagonal	186	ヒ化ニッケル型
Freboldite	CoSe	Hexagonal	194	ヒ化ニッケル型
Greenockite	CdS	Hexagonal	186	ヒ化ニッケル型
Imgreite	NiTe	Hexagonal	194	ヒ化ニッケル型
Jaipurite	CoS	Hexagonal	194	ヒ化ニッケル型
Kotulskite	PdTe	Hexagonal	194	ヒ化ニッケル型
Langisite	CoAs	Hexagonal	194	ヒ化ニッケル型
Niggliite	PtSn	Hexagonal	186	ヒ化ニッケル型
Sederholmite	NiSe	Hexagonal	194	ヒ化ニッケル型
Sudburyite	PdSb	Hexagonal	194	ヒ化ニッケル型
Troilite	FeS	Hexagonal	190	ヒ化ニッケル型
Yuanjiangite	AuSn	Hexagonal	194	ヒ化ニッケル型
Covellite	CuS	Hexagonal	194	六方晶系
Klockmannite	CuSe	Hexagonal	194	六方晶系
Tenorite	CuO	Monoclinic	15	単斜晶系
Herzenbergite	SnS	Orthorhomb	62	斜方晶系
Manarsite	MnAs	Orthorhomb	62	斜方晶系
Modderite	CoAs	Orthorhomb	62	斜方晶系
Westerveldite	FeAs	Orthorhomb	62	斜方晶系
	FeB	Orthorhomb	62	斜方晶系
	CrB	Orthorhomb	62	斜方晶系
Vysotskite	PdS	Tetragonal	84	正方晶系
Cooperite	PtS	Tetragonal	129	正方晶系
Litharge	PbO	Tetragonal	129	正方晶系
Oxide_Be	BeO	Tetragonal	136	正方晶系
Cinnabar	HgS	Trigonal	152	三方晶系
Montroydite	HgO	Trigonal	152	三方晶系
Makinenite	NiSe	Trigonal	160	三方晶系
Tsumoite	BiTe	Trigonal	164	三方晶系

## summary:

Crystal Studio is a Windows 9x/NT/2000/ME/XP software package for the crystal-lography. When this software was used, it found that the crystal of a compound to handle in high school chemical II could be indicated comparatively easily. Improvement in the intelligibility about the student's crystal can be expected by this model.



## 遺伝子工学実習の取り組み (IV)

— 高等学校における分子遺伝学分野での実習書の作成 —

実験とコンピュータを用いた実習の融合教材

もり なか とし ゆき  
森 中 敏 行

### Trial of a Laboratory Experiment on Gene Engineering for High School Students (IV)

MORINAKA Toshiyuki

抄録：分子遺伝学実習を高等学校で実施するには多くの問題点がある。しかし、これらの問題点はコンピュータやインターネットを活用することで、かなり克服が可能である。そこでデータベースやWEB上のソフト、WordやExcelの一般的なソフトを活用して、実験の理論を理解するための補助的な教材や、また分析的な教材の開発を試みた。とくに実験とコンピュータ教材が互いに融合され、学習効果が上がるように配慮した。

キーワード：生物教育、分子生物学、実習書、コンピュータの活用

#### 1. はじめに

近年、様々な実験キットが発売されてきてはいるが、高等学校における分子遺伝学実習はほとんど行われていないのが現状である。実施においては、設備面・費用面・技術面など多くの問題点が立ちはだかっている(2003 森中)。そこでこれらの問題点を少しでも克服し、高等学校での実践が可能となるよう教材研究を行ってきた。

最初に手掛けた実習は、電気泳動実習とその分析であった。電気泳動は分子生物学分野では最も基本的でかつ必要不可欠な技術である。また、この分野の他の実習と比較して、設備面でも費用面でもまた技術面でも取り組みやすい実習内容である。しかし、実習を行ってみて、原理を理解させるための補助的教材の必要性を感じた。

分子生物学分野の情報は、データベースが整備され、またそれらのデータを扱うソフトもインターネット上に公開されており、インターネットを介してデータ処理ができる体制が整っている。一方、高等学校では、情報科目が設置され、授業でインターネットが利用

できる環境が整備されてきた。

そこでデータベースをインターネットを活用することで、電気泳動の補助的教材の開発に取り組みはじめた。教材開発および授業実践を進める過程で、コンピュータが実習の補助的教材の道具として、また実習の分析の道具として十分に活用可能であること、さらにコンピュータを活用した教材が、学習にとっても有効であることがわかった。

本原稿は、現在本校で授業実践を行っている実験とコンピュータを用いた実習の融合教材を報告するものであり、直接的な利用が可能であるように、実習書の形式であらわした。

## 2. 授業実践のカリキュラム

現在本校で実践しているカリキュラムの概要は以下の通りである。詳細は（2004 森中）を参照。生物Ⅰの内容（メンデル遺伝～遺伝子の本体）に引き続いて生物Ⅱの内容（DNAの構造～分子遺伝学実習）を行なっている。

- (1) メンデルの法則
- (2) 組み換えと染色体地図
- (3) 伴性遺伝
- (4) 遺伝子の本体
- (5) DNA の構造
- (6) 複製
- (7) アミノ酸とタンパク質
- (8) 転写・翻訳
- (9) 原核生物と真核生物の比較
- (9) バイオテクノロジーの原理とその活用
- (10) 分子遺伝学実習
  - ① 大腸菌の培養と抗生物質
  - ② 大腸菌のコロニーと菌体の観察
  - ③ 大腸菌の形質転換実験
  - ④ 大腸菌から DNA の抽出実験
  - ⑤ プラスミドの制限酵素地図と電気泳動予想図（コンピュータ実習）  
実習 1・実習 2・実習 3
  - ⑥ プラスミドの制限酵素切断実験と電気泳動実験 実習 4
  - ⑦ 電気泳動実験の分析（コンピュータ実習） 実習 5・実習 6
  - ⑧ 遺伝子組み換え実習（コンピュータ実習） 実習 1・実習 3
  - ⑨ PCR 実験 2005 年度より実施
  - ⑩ PCR 実験の分析（コンピュータ実習）2005 年度より実施 実習 1・実習 6
  - ⑪ 探究的実習 サテライトコロニーの分析 2004 年度より実施  
実習 1・実習 3・実習 6

## 3. 実習書

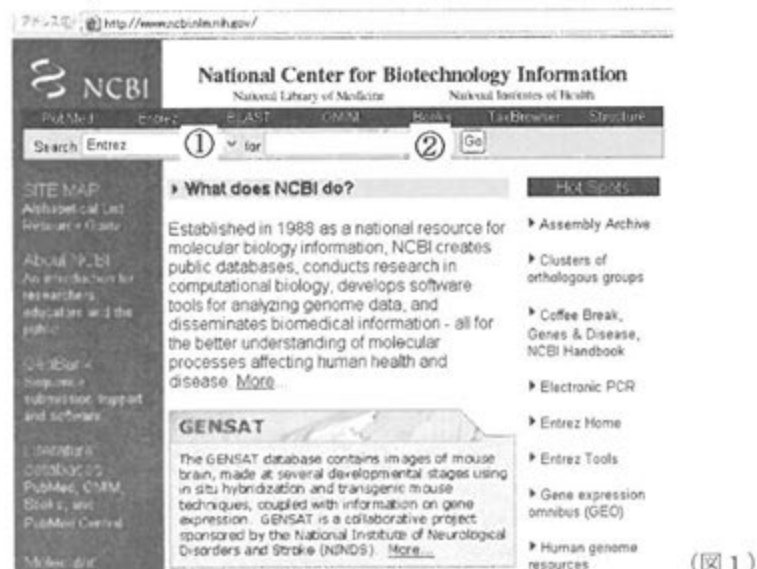
とくに実験と中心にコンピュータの活用の融合をめざして、6つの実習を組み立てた。それぞれの実習の活用は、2. 授業実践のカリキュラムで明記したとおりである。

以下に6つの実習を羅列する。

- 実習1 pUC19 (プラスミド) の塩基配列を GenBank (NCBI) から取得する。
- 実習2 実習1 で得られた pUC19 の塩基配列をワープロソフトの検索機能を利用して制限酵素地図および電気泳動予測図を作成する。
- 実習3 実習2 で作成した制限酵素地図および電気泳動予測図を NEBCutter を用いて検証する。
- 実習4 pUC19 (プラスミド) を *Hinf* I (制限酵素) で切断し、電気泳動を行う。
- 実習5 電気泳動の結果をコンピュータを用いて分析する。
- 実習6 KiloACE を用いてより簡易に電気泳動分析を行う。

実習1 pUC19 (プラスミド) の塩基配列を GenBank (NCBI) から取得する。

- (1) GenBank として NCBI を用いる。http://www.ncbi.nlm.nih.gov/ (NCBI: National Center Biological Information) を開く (図1)。



- ① Serch に nucleotide を選び,
- ② for に pUC19 の登録番号である L09137 を半角で入れて GO をクリックすると 図2 が現れる。



(2) もう一度、L09137 をクリックすると 図 3 が開く。

NCBI Nucleotide

Search Nucleotide for [ ] Go Clear

Display GenBank Send all to file

Range from begin to end Reverse complemented strand

1: L09137 Records Cloning vector pU. [gi20141090]

LOCUS SYNPU19CV 2686 bp DNA circular SYN 22-MAY-2002

DEFINITION Cloning vector pUC19c, complete sequence.

ACCESSION L09137 X02514

VERSION L09137.2 GI:20141090

KEYWORDS .

SOURCE Cloning vector pUC19c

ORGANISM Cloning\_vector\_pUC19c

other sequences; artificial sequences; vectors.

REFERENCE 1 (bases 1 to 2686)

AUTHORS Yanisch-Perron,C., Vieira,J. and Messing,J.

TITLE Improved M13 phage cloning vectors and host strains: nucleotide sequences of the M13mp18 and pUC19 vectors

JOURNAL Gene 33 (1), 103-119 (1985)

NEEDLINE 85180545

PUBMED 2985470

REFERENCE 2 (bases 1 to 2686)

AUTHORS Chambers,S.P., Prior,S.E., Barstov,D.A. and Minton,N.P.

(図 3)

(3) 図 3 を下に進むと、pUC19 に関する文献の情報や、存在している遺伝子についての情報が書かれている (図 4)。

アドレス <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/viewer.fcgi?db=nucleotide&val=L09137>

```

CROSSREFERENCE
#complement
VecBase(3):pUC19
#prerevised
GenBank(50):M11662, EMBL(11):ARFuc19
#parent
VecBase(3):pUC13, VecBase(3):M13mp19, VecSource(3):bGal19
PARENT
Features of pUC19c (2686 bp)
residue source
1- 137 2074-2210 pBR322
138- 237 2252-2351 pBR322
238- 395 1461-1304 (c) Lac-Operon
396- 452 57- 1 (c) polylinker of M13mp19
453- 602 1298-1071 (c) Lac-Operon
603-2686 2352-4355 pBR322
Conflict (cfl) and Mutations (mut):
pUC19c source
mut 1308 A G 2977 pBR322 linked to increased copy number
mut 1942 A G 3611 pBR322
mut 2243 T C 3912 pBR322
FEATURE
1629-2417 789-1 (c) Ap-R; b-lactamase
POLYLINKER HindIII-SphI-PstI-SalI-XbaI-BamHI-SmaI-KpnI-SacI-EcoRI
SELECTION
#resistance Ap
#indicator beta-galactosidase
SUMMARY pUC19c #length 2686 #checksum 4465.
FEATURES
Location/Qualifiers
source
1..2686
/organism="Cloning vector pUC19c"
/mol_type="genomic DNA"
/db_xref="taxon:174609"
ORIGIN
1 tegegcgttt cggtgatgac ggtgaaacc tetgacacat gaagtcocg gagagcgtca
61 cagcttgctc gtaagcggat gccgggagca gacaagcccg taaggcgcg taagcgggtg
121 ttggcgggtg tcgggctgg ctttaactatg cggcctcaga gaagattgta ctgagagtcg
181 accatagcgg gtgtgaaata ccgcacagat ggttaaggag aaataccgc atcaggccgc
241 atgacacat caagctacc aactattgaa aagaaataa atgacacac tctgacatc

```

(図 4)



たとえば、FEATURE をみると、1629 から 2417 の配列はアンピシリン耐性遺伝子 (Ap-R : amp<sup>r</sup>) であることがわかる。

また SELECTION には耐性について Ap(アンピシリン)、またマーカーとして beta-galactosidase ( $\beta$ -ガラクトシダーゼ) が存在していることなどが書かれている。

そして最後に、2686bp の全塩基配列が現れてくる。(図 5)

```
1 tcgocggtt cggatgatgac ggtgaaaacc tctgacacat gcagctcccg gagacgggtca
61 cagcttgtot gtaagcggat gccggggagca gacaagcccg tcaggggcgcg tcagcgggtg
121 ttggcgggtg tcggggctgg cttaaactatg cggcatcaga gcagattgta ctgagagtgc
181 accatatgcg gttgaaata ccgcaacagat gcgtaaggag aaaataaccg atcaggcgcc
241 attcgcatt caggctgcgc aactgttggg aaggcgatc ggtgcccggc tcttcgctat
301 tacgccagct ggcaaaagg ggtatgtgtg caaggcgatt aagtgggta acgccagggt
361 tttcccagtc acgacgttgt aaaacgacgg ccagtgaatt cgagctcggg acccggggat
421 cctctagagt cgacctgcag gcatgcaagc ttggcgtaat catggtcata gctgtttcct
481 gtgtgaaatt gttatccgct cacaattcca cacaacatac gagccggaag cataaagtgt
541 aaagcctggg gtcctaagt agtgagctaa ctcacattaa ttgctgtgcg ctactgccc
601 gctttocagt cgggaaacct gtcgtgccag ctgcattaa gaatcgcca acgcccggg
661 agaggcgtt tgcgtattgg gcgctcttcc gcttctcgc tactgactc gctgcgctcg
721 gtcgttcggc tcggcgagc ggtatcagct cactcaaagg cggtaatacg gttatccaca
781 gaatcagggg ataaccgagg aaagaacatg tgagcaaaag gccagcaaaa ggccaggaac
841 cgtaaaaagg ccgcttgcg ggcgttttc cataggtcc gcccccctga cgagcatcac
901 aaaaatcgac gctcaagtca gaggtggcga aaccggacag gactataaag ataccaggcg
961 tttcccctg gaagctccct cgtgcgctct cctgttccga ccctgccgct taccggatac
1021 ctgtccgctt ttctcccttc gggaaagcgtg gcgctttctc atagctcacg ctgtaggtat
1081 ctcagttcgg ttaggtcgt tcgctccaag ctgggctgtg tgcaagcaacc cccggttcag
1141 cccgaccgct gcgcttctc cgttaactat cgtttgagt ccaaccgggt aagacacgac
1201 ttatgccac tggcagcagc cactggtaac aggattagca gagcagagta ttaggcgggt
1261 gctacagagt tcttgaagt gtggcctaac tacggctaca ctagaagaac agtatttgg
1321 atctgcgctc tctgaagcc agttacctc gaaaaaagag ttgtagctc ttgatccggc
1381 aaaaaacca ccgctgtag cgggtgttt tttgtttgca agcagcagat tacgcgcaga
1441 aaaaaaggat ctcaagaaga tctttgatc tttctacgg ggtctgacgc tcagtggaac
1501 gaaaactcac gttaaaggat tttggtcatg agattatcaa aaaggatctt cacctagatc
1561 cttttaaatt aaaaatgaag tttaaatca atctaagta tatatgagta aacttggctt
1621 gacagttacc aatgcttaat cagtgggca cctatctcag cgtctgtct atttcttca
1681 tccatagttg cctgactccc cgtcgttag ataactacga tacgggaggg cttaccatct
1741 ggcccagtg ctgcaatgat accgcgagac ccacgctcac cggctccaga ttatcagca
1801 ataaaccagc cagccggaag ggccgagcgc agaagtgtc ctgcaacttt atccgctcc
1861 atccagtcta ttaattgtt cggggaagct agagtaagta gttcggcagt taatagttg
1921 cgcaacgtt ttgccattgc tacaggcacc gtggtgtcac gctcgtggt ttggtatggc
1981 tcattcagct ccggttccca acgatcaagg cgagttacat gatccccat gttgtgcaaa
2041 aaagcgttga gctccttogg tctctcagc gttgtcagaa gtaagtggc cgcagtgta
2101 tcaactatgg ttatggcagc actgcataat tctctactg tcatgccac cgtaagatgc
2161 tttctgtgta ctggtgagta ctcaaccaag tcattctgag aatagtgtat gggcgaccg
2221 agttgctctt gcccgcgctc aatacgggat aataccggc cacatagcag aactttaaaa
2281 gtgctcatca ttgaaaaac ttctcgggg cgaactct caaggatctt accgctgtt
2341 agatccagtt cagtgaacc cactcgtgca cccaactgat cttcagcacc tttactttc
2401 accagcgttt ctgggtgagc aaaaacagga agcgaactg ccgcaaaaaa ggaataaag
2461 gcgacacgga aatgttgaat actcactc ttccttttc aatattattg aagcatttat
2521 cagggttatt gctcagtag cggatacata tttgaatgta tttagaaaaa taacaaata
2581 ggggttccgc gcacattcc ccgaaaagt ccacctgacg tctaagaaac cattattatc
2641 atgacattaa cctataaaaa taggcgtatc acgaggccct ttctg
```

(図 5)

**実習2** 実習1で得られたpUC19の塩基配列をワープロソフトの検索機能を利用して制限酵素地図および電気泳動予測図を作成する。

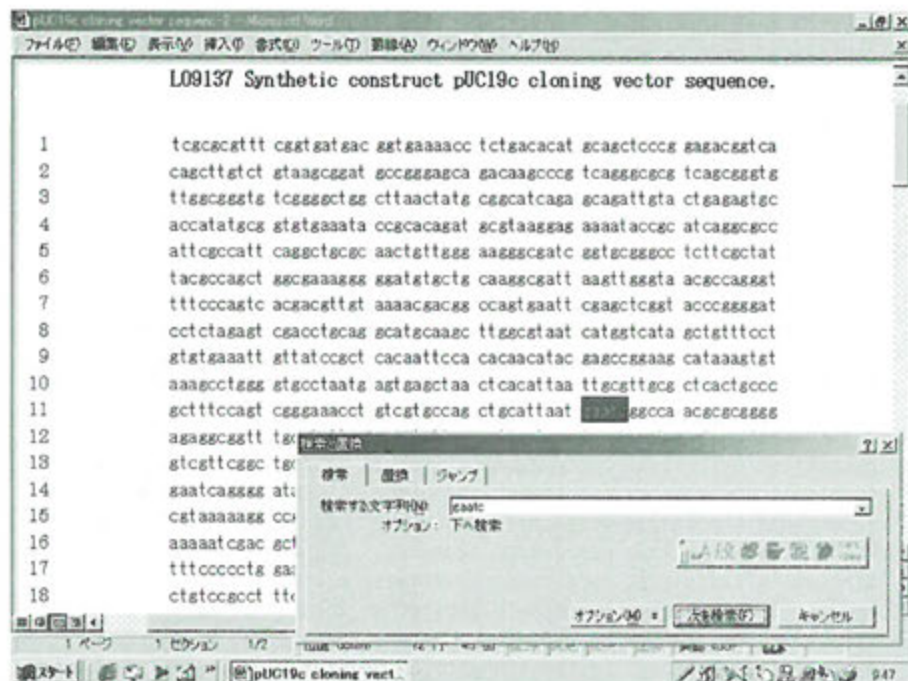
- (1) ワープロソフト (Word) の検索機能を利用して、制限酵素 *Hinf* I の認識配列を探す。
- ① 実際には塩基配列 (図5) をコピーするだけでは、Word の検索は行えない。一度、Word にコピーした後、各文末のリターンキーを解除する必要がある。実際には、ここからの操作では、事前に処理をしておいたフロッピーを用いて行なう。今回用いた制限酵素は *Hinf* I であり、その認識塩基配列は GATNC (N は AGCT のいずれでも可能) で、そのため、GAATC・GATTC・GACTC・GAGTC についてそれぞれ、検索を行う必要がある (図6)。
- ② 編集→検索から現れた画面の検索する文字列に gaatc を入れて検索を繰り返し、現れた場所を**実習1**の (図5) をプリントした図に印しておく。gagtc, gactc, gattc についても同様に検索する。

制限酵素 *Hinf* I の認識配列

GATNC

CTNAG

(N:A,G,C,Tのいずれでもよい。)

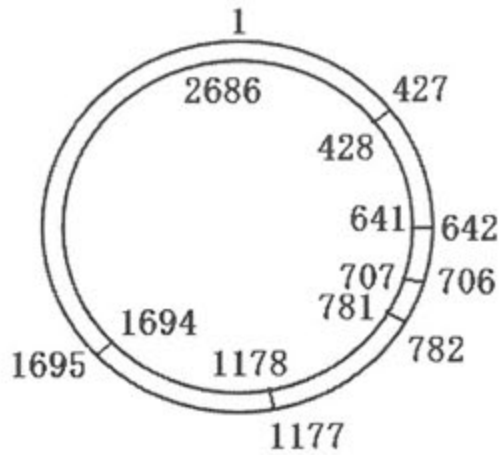


(図6)

- (2) 制限酵素地図を作成する。
- ① 印をつけた認識配列中の切断場所が、全配列の1番目の塩基(t)から何文字目と何文字目の間であるかを数え、**実習1**の (図5) に書き込み、制限酵素地図 (図7) を完成させる。pUC19は環状をしており、全塩基数は2686塩基対である。
- ② ①で作成した制限酵素地図 (図7) より、切断され生じたそれぞれのDNA断片の塩基数を数え、表1および図8を完成させる。

表 1

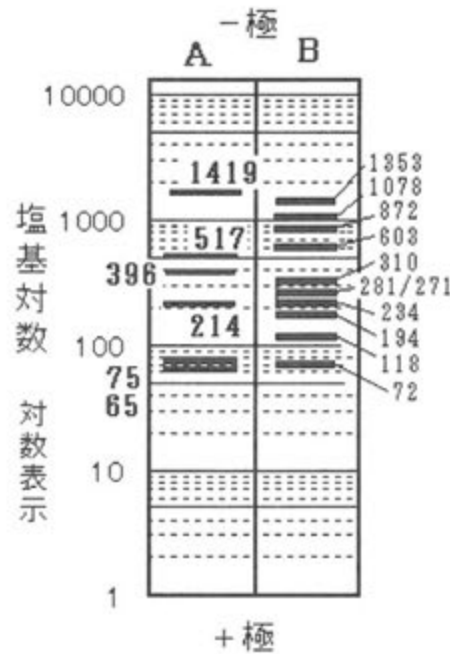
切断の位置	断片の塩基数
428-641	214
642-706	65
707-781	75
782-1177	396
1178-1694	517
1695-427	1419



(図 7)

(3) 電気泳動の予想図を作成する。

表 1 をもとに、電気泳動の予想図(図 8)を作成する。図 8 の電気泳動予測図の A のレーンに、切断されたそれぞれの DNA 断片が現れる場所を書き込む。B のレーンは、 $\Phi$ X174DNA を *Hae*III (制限酵素) で切断して生じた断片がかかっている。なお上が-極で、下が+極である。

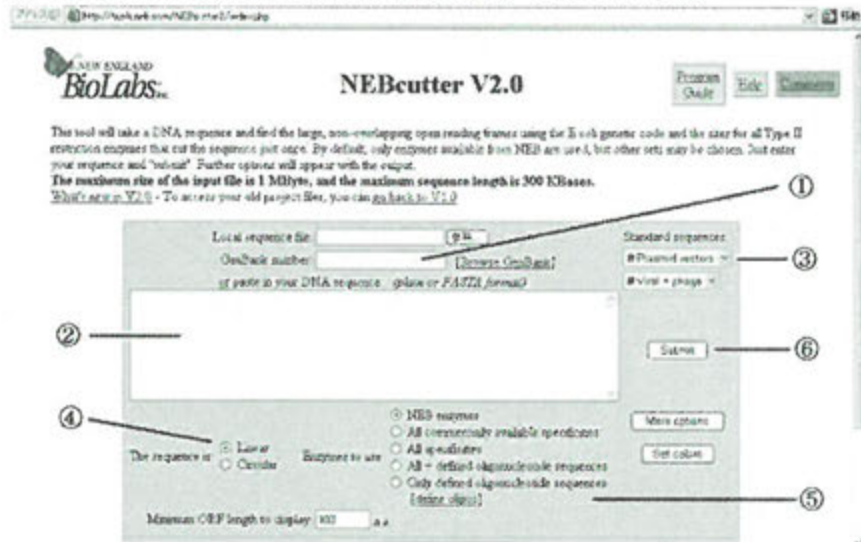


(図 8)

**実習3** **実習2**で作成した制限酵素地図および電気泳動予測図を NEBCutter を用いて検証する。

制限酵素によるプラスミド切断実習 (NEBcutter V2.0の利用)

(1) <http://tools.neb.com/NEBcutter2/index.php> を開く (図9)。



(図9)

いくつかの方法がある。

1) GenBank の登録番号から

①に pUC19 の GenBank の登録番号 L09137 を入れる。→④

2) 塩基配列から

②に pUC19 の塩基配列(塩基配列の探し方は**実習I**を参照)を貼り付ける。→④

3) 直接選ぶ(最も簡単)

③をクリックして目的のプラスミド(pUC19)を選ぶ。→④

④: Circular を選ぶ。(制限酵素地図が直線状か円状かを定める。ここでは円状)

⑤: NEB enzymes—NEB で取り扱っている制限酵素

All commercially available specificities—市販されている制限酵素

All specificities—すべての制限酵素

いずれでもよいが、実際に実験を行う場合には、一番目か二番目を選ぶ。

⑥: submit をクリックする。

(2) 1箇所では切断される制限酵素地図が現れる (図10)。

**Circular Sequence: pUC19**

Restriction Sites

Change site	Show new cut
1 1 16aa 16a 0A	Available from NEB
1 1 1' extension	For other species
1 1 2' extension	For compatibility analysis
1 1 2' extension	1) cleavage affected by 5' end, 2) cleavage affected by other sites, 3) cuts 1 strand

Map options

- New DNA
- Custom digest
- View sequence
- CRF summary
- Translate GB file
- Save project
- Print

Digest

- 0 cutters
- 1 cutters
- 2 cutters
- All sites
- Save all sites

(図 10)

- ①: それぞれの制限酵素の場所にマウスを持っていくと認識配列と切断場所が現れる。さらに詳しく知りたい場合には、その場所でクリックする。
- ②: 制限酵素の切断場所をリストでほしいときにクリックする。
- ③: 2箇所または3箇所切断する場合には、ここをクリックすると現れる。
- ④: 図10の④のCustom digest をクリックすると図11が現れる。

**Enzymes for Custom Digest**

pUC19

Pick the enzyme or enter a name in the box. Only the enzymes that cut the sequence and match your selection of availability (all commercial) are shown. Non-NEB non-commercial are not listed, but you can enter any enzyme name in the "Pick the enzyme" box and as long as it is selected.

[All enzymes] - [Species with compatible buffers] - [Enzyme excluding 16aa 16] - [Enzyme producing 2 overhangs] - [Enzyme producing 2 overhangs] - [Enzyme with a restriction site length] - [Enzyme cutting 1 strand] - [Non-substrate systems]

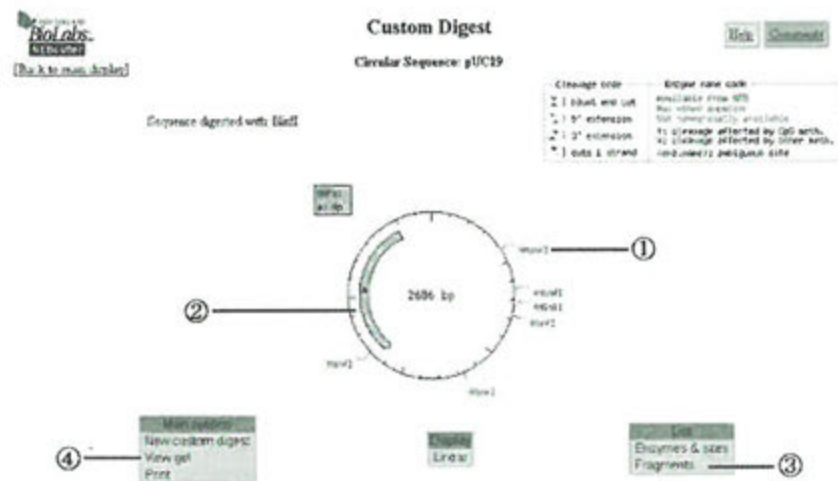
Pick all	Enzyme	Specificity	Cuts	1	2	3	4
<input type="checkbox"/>	Hinf I	GAATTC	1	0	20	30	100
<input type="checkbox"/>	AvaII	5'GTAC	1	10	75	100	95
<input type="checkbox"/>	AclI	AGTACAC	1	20	20	30	100
<input type="checkbox"/>	BclI	CTGAG	34	25	50	100	50
<input type="checkbox"/>	AclI	AGTACAC	2	18	10	8	100
<input type="checkbox"/>	AclI	GTGAAGCAGG	1	-	-	-	-
<input type="checkbox"/>	AclI	AACAGC	1	25	75	100	50
<input type="checkbox"/>	AclI	GACAGCAGG	1	25	75	8	100
<input type="checkbox"/>	AclI	AGTAC	15	100	100	70	100
<input type="checkbox"/>	AclI	AGTACAGC	10	50	100	30	100
<input type="checkbox"/>	AclI	GAGAGCAGC	1	50	50	50	100
<input type="checkbox"/>	AclI	GTACAGC	3	100	100	30	100
<input type="checkbox"/>	AclI	GTACAGC	12	-	-	-	-
<input type="checkbox"/>	AclI	GAATTC	1	10	75	100	75
<input type="checkbox"/>	AclI	AGTACAG	3	0	75	100	0

Pick the enzyme:

(図 11)

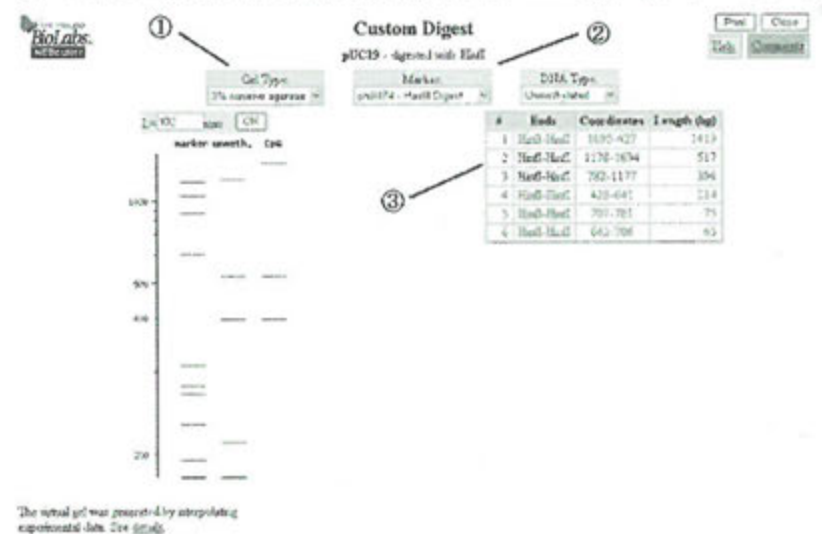
- ①: Enzymeの中から目的のHinf Iを選ぶ。
- ②: クリックしてチェックを付ける。
- ③: Digestをクリックすると

(4) 図 12 が現れる。



(図 12)

- ①: 切断箇所の Hinf I にマウスをあてると、切断箇所の位置が現れる。
- ②: 遺伝子が棒状に示されており、その場所にマウスをあてると、遺伝子についての説明が現れる。この場所は AP:アンピシリン耐性遺伝子であることがわかる。
- ③: Fragments を選ぶと、Hinf I の切断場所と切断された断片の塩基対数が現れる。
- ④: View gel を選ぶと、
- (5) これらの切断された断片を電気泳動したゲルの状態 (図 13) が現れる。



(図 13)

- ①: Gel Type は、適当なものでもいいが、ここでは 3% nuseive agarose を選ぶ。
- ②: Marker は、実際に泳動するとき用いる phiX174 - HaeIII Digest を選ぶ。
- ③: ゲルに現れる順 (断片の長いものから短いもの) に塩基対数と pUC19 での位置が表示されている。
- (6) **実習 2** で作成した制限酵素地図 (図 7) および電気泳動予測図 (図 8) と比較する。

**実習4** pUC19 (プラスミド) を *Hinf* I (制限酵素) で切断し、電気泳動を行う。

**試薬** プラスミド pUC19 (0.5  $\mu\text{g}/\mu\text{l}$ ) TaKaRa 製, 制限酵素 *Hinf* I,  $\Phi$ X174-HaeIII (DNA マーカ), アガロースゲル(3%)TaKaRa 製 NuSieve3:1, TAE buffer (電気泳動 buffer), H buffer (制限酵素用緩衝液), 滅菌水, 6 $\times$  Loading buffer (電気泳動用色素), ステインズオール溶液 (DNA 染色液)

**実験器具** 電気泳動装置 (Mupid), マイクロチューブ, マイクロピペット, 恒温水槽

**方法** (1) 制限酵素による DNA 切断: 2つのマイクロ

表 2

	a	b
滅菌水	14 $\mu\text{l}$	16 $\mu\text{l}$
pUC19	2 $\mu\text{l}$	2 $\mu\text{l}$
H buffer	2 $\mu\text{l}$	2 $\mu\text{l}$
<i>Hinf</i> I	2 $\mu\text{l}$	—
合計	20 $\mu\text{l}$	20 $\mu\text{l}$

チューブ(a・b)を用意し, 表2のように溶液を混合する。よく攪拌後, 37 $^{\circ}\text{C}$ の温水中に15分間浮かべる。

(2) それぞれのマイクロチューブに, 6 $\times$  Loading buffer を4 $\mu\text{l}$ ずつ加える。

(3) 電気泳動:TAE buffer を入れた電気泳動装置に, アガロースゲル(3%)をセットし, a, bのマイクロチューブから10 $\mu\text{l}$ ずつ, 各ウェルに注入する。また別のレーンにLoading bufferを加えた $\Phi$ X174-Hae IIIをマーカとして注入する。電極の方向に注意して電源を入れ電気泳動を行う (DNA は負に帯電しており, +極に移動)。

(4) Loading buffer の先行する色素が, アガロースゲルの70%程度移動したら電気泳動を終了する。

(5) アガロースゲルをステインズオール溶液に30分間浸して染色し, 一晩流水で脱色する。

**結果** 染色後のアガロースゲルを, ラップを貼ったカラーフィルムに載せて, デジタルカメラで撮影する (図9)。

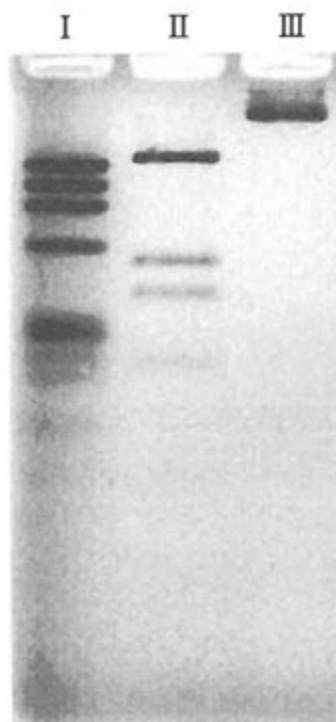
**考察** (1) 図9のI~IIIのレーンは, a・b・マーカのどれに対応しているか。実習2で作成した電気泳動予測図 (図8) と比較せよ。

(2) 各レーンのそれぞれのバンドの塩基対数を予測せよ。

① 作成した電気泳動予想図と比較すると, +極付近のバンドがみられない。その理由を考察せよ。-極に近いほどバンドが濃く現われている。

② Iレーンの+極側から5番目のバンドは, 他のものに比べて太く現われている。その理由を考察せよ。

③ IIIレーンでははっきりと染まったバンドが存在するが, その+極側にうっすらとバンドがみられる。その理由を考察せよ。



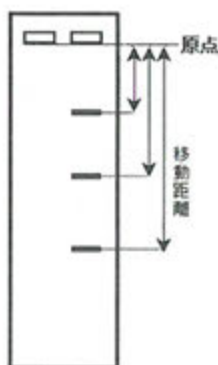
(図9)

- (3) **実習2**で作成した制限酵素地図(図8)および電気泳動予測図(図9)を参考に、IおよびIIレーンで現われている各バンドのDNA量(ng)を求めよ。

**実習5** 電気泳動の結果をコンピュータを用いて分析する。

- (1) マーカのレーンを用いて各バンドの移動距離を測定する。

**実習4** (図9)のマーカであるIレーンの各バンドの原点からの移動距離をものさしで測定する。測定方法は、下の(図10)を参照。測定した値は、表3の(あ)の欄に記入する。また(い)の欄には、**実習2**(図8)を参照。



(図10)

表3

バンドの 番号	(あ)	(い)
	移動距離 [mm]	予想塩基対数
1		1353
2		
3		
4		
5		
6		
7		

- (2) 表計算ソフト Excel を用いて、分析を行う。

- ① マーカのレーンを用いて移動距離と塩基対数のグラフを作成する。

- 1) フロッピーの“電気泳動データ処理”を開く。
- 2) コンピュータ画面の表1に表3の数値を打ち込む(半角英数)。(図11)
- 3) 画面上の表1のタイトルの行を除いて、表全体(B3~C13)までをドラッグする。  
→表全体の色が変わる(図11)。
- 4) 上の「挿入」をクリック→「グラフ」をクリックする。(図12)



(図11)



(図12)



- 5) グラフウィザード(1/4)が開く (図 13)。→標準の「散布図」をクリック  
 →下の「次へ」をクリック。  
 →グラフウィザード(2/4)が開く (図 14)。→下の「次へ」をクリック。

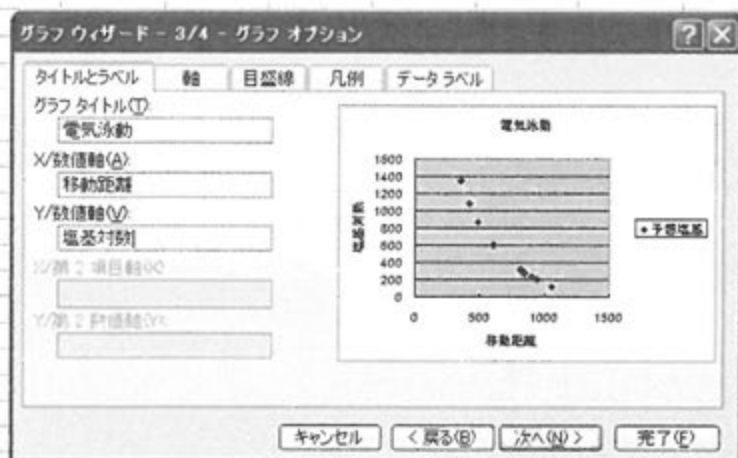


(図 13)

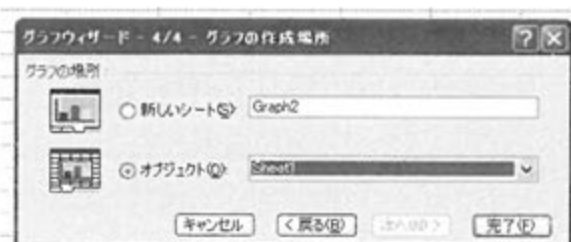


(図 14)

- 6) グラフウィザード(3/4)が開く。グラフタイトルに「電気泳動」、X/数値軸に「移動距離」、Y/数値軸に「塩基対数」を入れて (図 15) 下の「次へ」をクリック。  
 →オブジェクトにチェックをつける (図 16)。



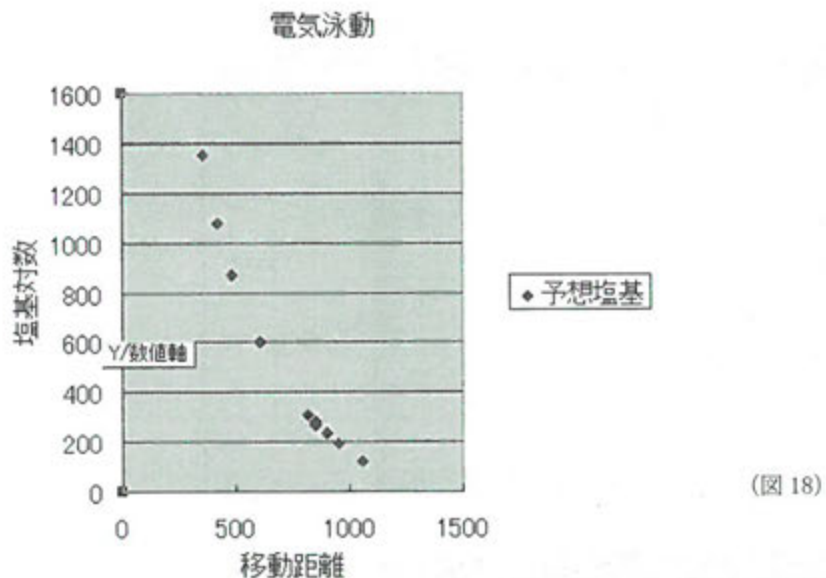
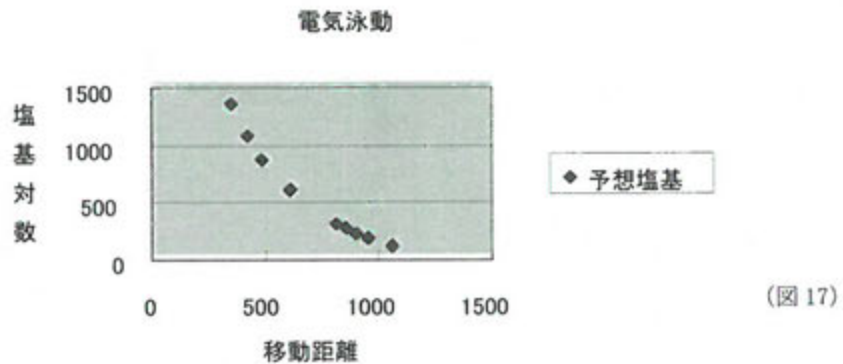
(図 15)



(図 16)

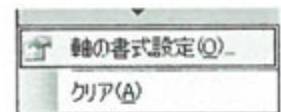
7) 「完了」をクリック。→グラフが現れる (図 17)。

現れたグラフの右上の空欄をクリック→グラフの淵に黒四角 (■) が現れる。上中央の■にカーソルをもっていくと上下の矢印に変わる。そのまま上に動かすと、下のよう  
にグラフが上下に伸びる (図 18)。これでグラフが完成したが、このグラフでは、  
曲線であるため、移動距離から正確に塩基対数を求めることができない。  
そこで縦軸 (Y 軸) を対数に変形させる。



8) グラフの Y 軸上にカーソルをもっていくと、「Y/数値軸」  
が現れる。→右クリック

→図 19 が現れると、「軸の書式設定」をクリック。



(図 19)

9) 「軸の書式設定」(図 20) が現れる。→上の「目盛」をクリック。

10) 現われた図 21 の「対数目盛を表示する」をチェックする→「OK」をクリック。

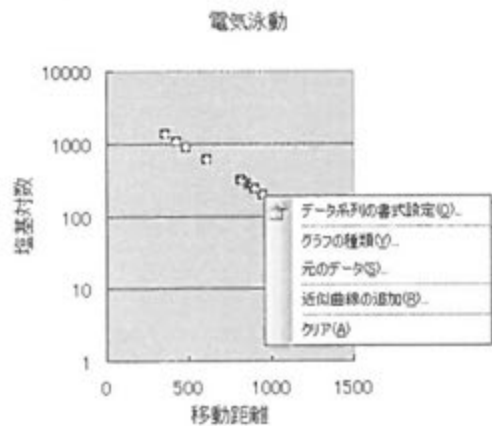


(図 20)



(図 21)

- 11) グラフの Y 軸が対数に変換される。→グラフ上のどこかのスポットにカーソルを合わせ、右クリックすると、データ系列の書式設定が現れる (図 22)。→「近似曲線の追加」をクリック。
- 12) 「指数近似」をクリック (図 23)。→「オプション」をクリック。



(図 22)

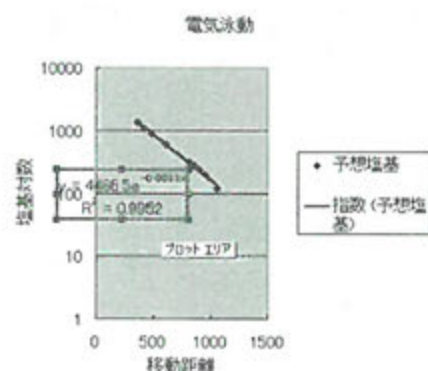


(図 23)

- 13) 下の「グラフに数式を表示」、「グラフに R-2 乗値を表示する」をチェック (図 24)。→「OK」



(図 24)



(図 25)

- 14) 数式の部分をクリックして (図 25), 見えやすいようにドラッグして, グラフの横に引っ張り出す。
- 15) 数式を正確にプリントに写す。
- 16)  $R^2$  の値は, 描いた直線との相関を表し, この値が 1 に近いほど, 直線に沿っていることを示している。

② Excel の関数処理を用いて移動距離から塩基対数を求める。

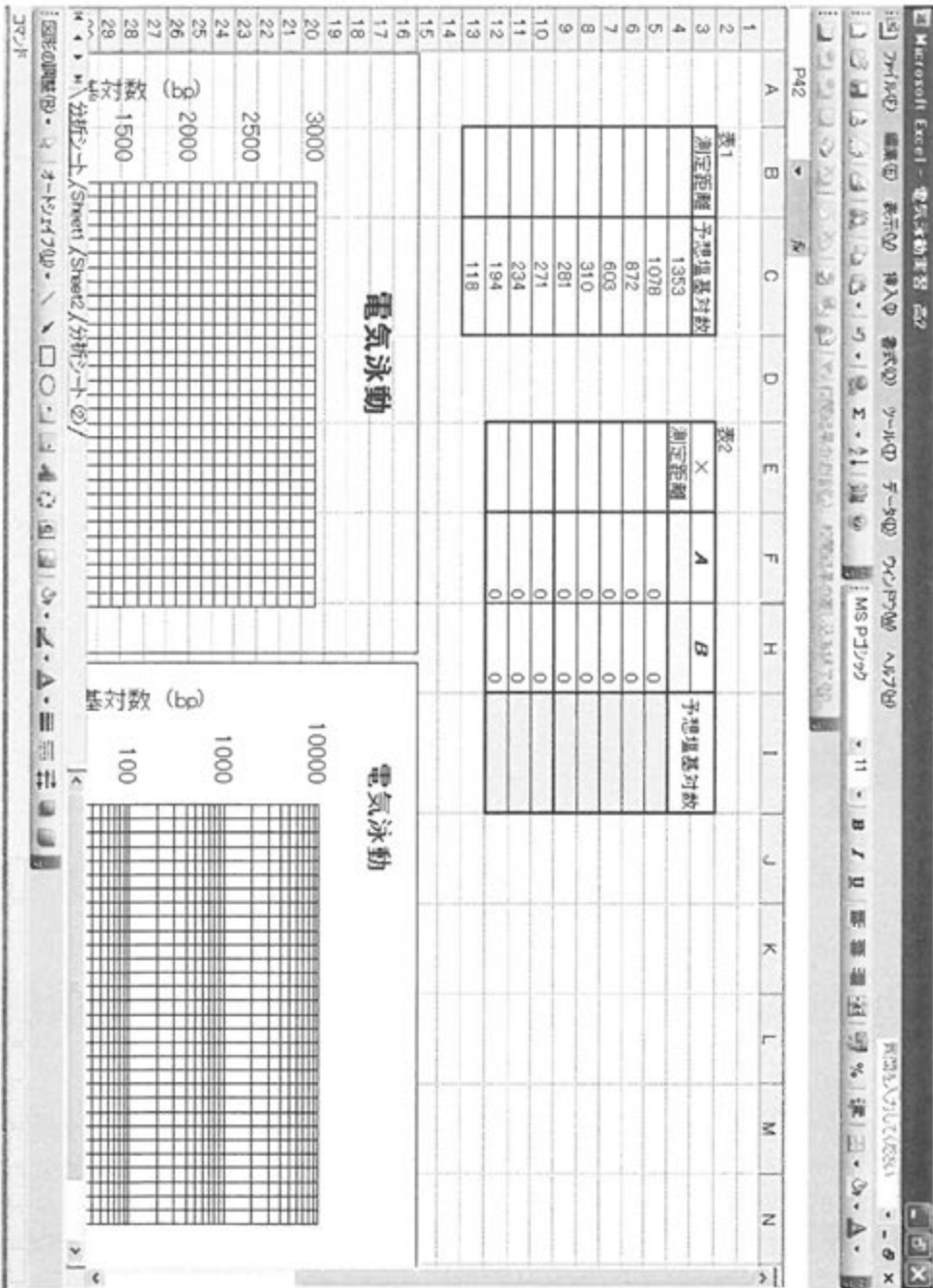
描いたグラフから得られた近似曲線をもとに, 現れたバンドの塩基対数を求め, 理論値と比較する。

①で求められた近似式が

$$y = B \times e^{-Ax} \quad \text{であるとする} \quad (B, A \text{ は係数})$$

- 1) 図 26 の表 2 の A の下の欄 (F4) に式の A の値を, B の下の欄 (H4) に式の B の値を入れる (直接半角入力)。
- 2) **実習 4** (図 1) の II レーン (pUC19 を *Hinf* I で切断) の各バンドの移動距離を測定し, 表 2 の X (測定距離) の列に順に値を入れる。  
 → 近似式から求めた予想塩基対数が B の列に現れてくる。  
 → 理論値の列には, **実習 2** の (図 8) を参照して値を入力して, B 列の予想塩基対数と比較する。
- 3) 2) と同様に, **実習 4** (図 1) の III レーン (*Hinf* I を加えていない) のバンドの移動距離も測定し, 値を入力して算出する。

**考察** **実習 4** (図 1) の II レーン (pUC19 を *Hinf* I で切断) は算出した予想塩基対数と理論値がほぼ一致しているが, III レーン (*Hinf* I を加えていない) は大きな隔たりがある。その理由を考察せよ。



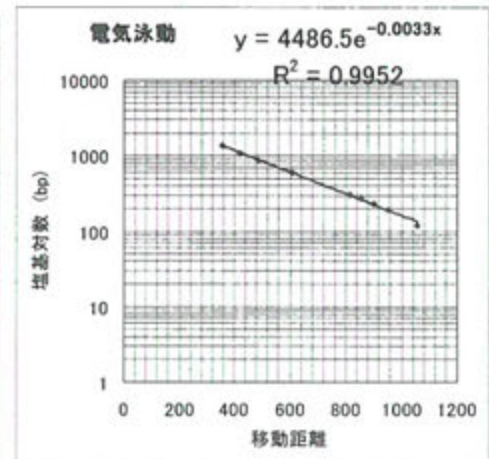
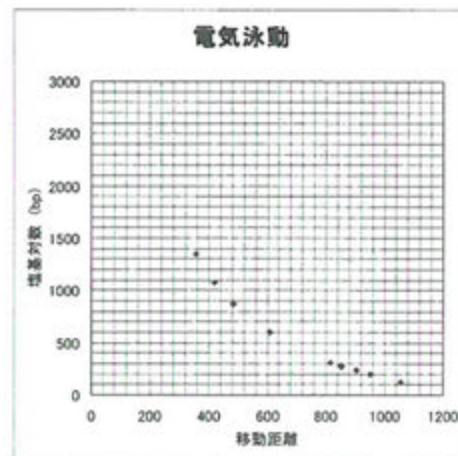
(26)

表1

測定距離	予想塩基対数
357	1353
420	1078
485	872
610	603
815	310
853	281
853	271
902	234
950	194
1055	118

表2

X	A	B	予想塩基対数
測定距離	0.0033	4486.5	
350	-1.155	1414	1419
653	-2.1549	520	517
738	-2.4354	393	392
917	-3.0261	218	217
	0	4487	
175	-0.5775	2518	2686
	0	4487	
	0	4487	



ワークシートの作成 以上の分析においては、事前に Excel のワークシート（図 26）を作成したものをフロッピーに入れて配布して用いている。以下のその詳細を述べる。

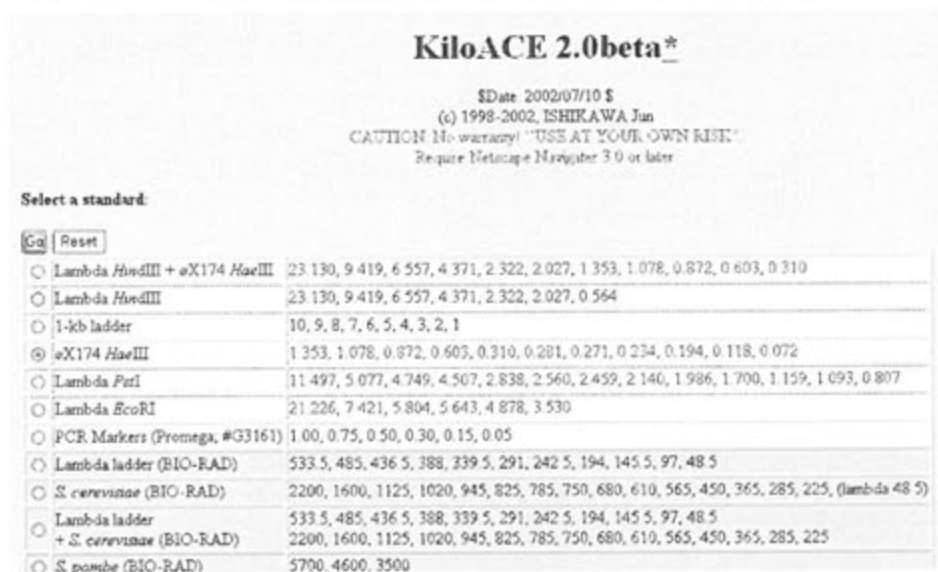
- 表2 1) F5 のセルを右クリックする。その後、上の  $\Delta$  の欄に直接半角入力で  $+(E5 * \$F\$4) * -1$  と入力し、リターンキーを押す。F5 を左クリックし、さらに右クリックでコピーを選ぶ。F6 から下にドラッグして、右クリックで貼り付ける。
- 2) G5 のセルを右クリックする。その後、上の  $\Delta$  の欄に直接半角入力で  $=EXP(F5)$  と入力し、リターンキーを押す。G5 を左クリックし、さらに右クリックでコピーを選ぶ。G6 から下にドラッグして、右クリックで貼り付ける。
- 3) H5 のセルを右クリックする。その後、上の  $\Delta$  の欄に直接半角入力で  $+(G5 * \$H\$4)$  と入力し、リターンキーを押す。G5 を左クリックし、さらに右クリックでコピーを選ぶ。G6 から下にドラッグして、右クリックで貼り付ける。
- 4) 最上部の G を左クリックしてからさらに右クリックで表示しないを選択。
- また、同じワークシート上にグラフを表示させておくと、考察に便利である。グラフも図 26 のように 2 つ並べておくと、方対数を用いる意義がよく理解できる。

**実習 6** KiloACE を用いてより簡易に電気泳動分析を行う。

KiloACE は ISHIKAWA Jun さんによって開発され、WEB 上で使用可能なソフトである。

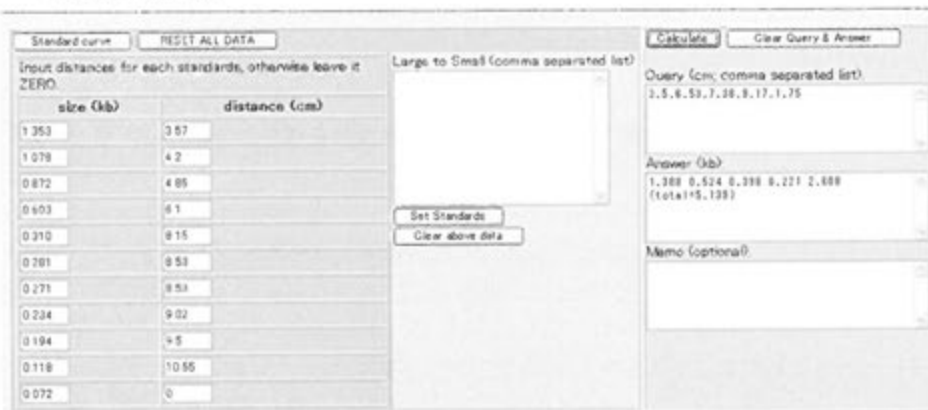
**実習 5** で行なった内容が、瞬時に処理される。

<http://www.nih.go.jp/%7Ejun/cgi-bin/kiloace.pl> を開くと図 27 が現れる。



(図 27)

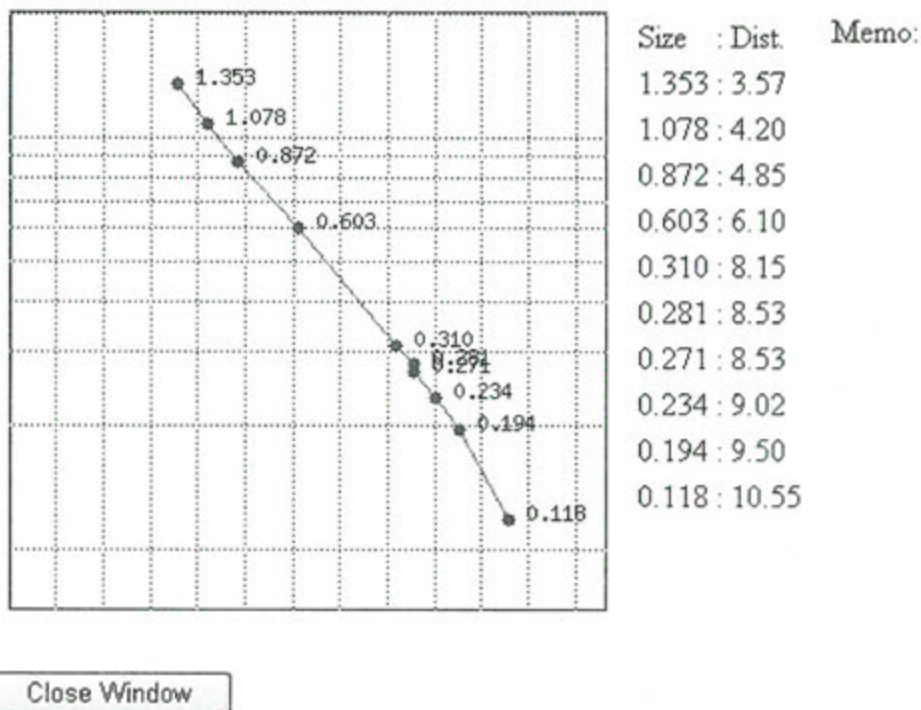
- 1) まずマーカーを選択する。ここでは  $\phi$  X174 *Hae*III にチェックして GO をクリックすると、図 28 が現れる。



(図 28)

- 2) distance に各バンドの移動距離を入れる。  
Query に塩基対数を求めたいバンドの移動距離 (3.5, 6.53, 7.38, 9.17, 1.75) を打ち込み Calculate をクリックする。
- 3) Answer にそれぞれのバンドの塩基対数が計算されて表示される。
- 4) また、2) で distance に各バンドの移動距離を入れた後に、その上部にある Standard

Curve をクリックすると、移動距離と塩基対数の関係を表した方対数グラフが現れる (図 29)。



(図 29)

#### 4. おわりに

コンピュータを用いることで、ブラックボックス化することについては、どの部分をブラックボックス化するのが問題であり、学習すべき原理を理解しておれば、他の計算やグラフ化などはブラックボックス化されていても全く問題ではない。たとえば、制限酵素の切断場所においては、数十塩基対のサンプルを用いて肉眼で探させた後、コンピュータの検索を用いればよいし、塩基数と移動距離の片対数グラフも時間が許せば一度かかせるというが、必ずしも必要不可欠であるとは思わない。数学においては、対数計算やその意味するところは十分に扱うべきものであるが、ここにおいてはブラックボックス化して、コンピュータに処理をさせても何ら問題ではないと考える。

コンピュータを用いることで多くの教育的効果が上がる。最も顕著なことは、操作時間の短縮である。膨大な塩基配列から該当する配列を見つけ出すことなどである。単にそれだけではなく、たとえば、**実習 5** の図 26 のように、2つのグラフを比較することができる。さらにこのグラフにおいては、バンドの分析をグラフの動きから行なうことができる。具体的には、(図 9) の I レーンの上から 5 本目のバンドは、2つのバンドが重なっているのであるが、これを 1 つのバンドとしてグラフをえがくと、 $R^2$  の値は下がってしまう。コンピュータ処理であれば、図 26 の表のデータを変更すると瞬時にグラフがえがき直され、



R<sup>2</sup>の値が求まる。これらの操作を通して、2つのバンドが重なっていることに気づくことができる。加えて、これらの[実習1]～[実習6]を用いることで、時間や設備面からとても実施できない遺伝子組み換えが、コンピュータ上ではあるが可能となる。

ここに挙げた[実習1]～[実習6]は、分子生物学実習の基本的な原理を理解するための補助的あるいは分析に必要な道具である。またPCRについての原理やプライマー設計など、さらに、バイオインフォマティックの基本的な操作である相同性検索やマルチプルアライメントの作成なども実習に加えたい。

しかし、技術的な手法の習得に終始するのではなく、これらの実習を道具として、探究的な活動を実施したく考えている。たとえば、サテライトコロニーをテーマとした探究(2005 森中)などに、生徒が必要に応じて利用できるものとして、より発展させていきたいと考えている。

## 5. 参考文献

### 遺伝子工学実習に関する取り組み

- 2002 森中敏行 遺伝子工学実習の取り組み  
大阪教育大学附属天王寺中高等学校研究集録 第44集 pp.87-102
- 2004 森中敏行 遺伝子工学実習の取り組み(Ⅱ)  
スーパーサタデー「分子生物学への誘い」  
大阪教育大学附属天王寺中高等学校研究集録 第46集 pp.73-87
- 2005 森中敏行 遺伝子工学実習の取り組み(Ⅲ)  
バイオテクノロジーを手法に生命現象を解明する探究活動の教材開発  
大阪教育大学附属天王寺中高等学校研究集録 第47集 pp.101-125

なお本論文は、武田科学振興財団「高等学校理科教育振興奨励」の助成を受けて実施した研究の一部を報告するものである。

### summary:

There are many problems in carrying out molecular genetics training in high schools. However, these problems are utilizing a computer and the Internet and can be conquered considerably. Then, development of the auxiliary teaching materials analytic again for understanding the theory of an experiment which utilized a database, the software on WEB, and the common softwares (Word and Excel) was tried. Especially, teaching materials by computer of each other were united with the experiment, and it considered so that the study effect might go up.



定期テストの余白エッセイ  
「試験に出ない地学 Series」 中間総括'2005'  
(本編)

おかもと よしお  
岡本 義雄

Essays on the blank of geoscience exams named  
“Shiken ni Denai Chigaku series” 2005

Yoshio OKAMOTO

抄録：教員になった1970年代末以降、地学の定期テストの余白に書き続けた生徒用のエッセイ「試験に出ない地学 Series」を紹介する。最初は生徒に地学への動機付けを考え書き始めたが、現在では自分のライフワークとして書くのが楽しみとなっている。内容は天文学から地質学と幅広く地球科学に関係する分野を扱う。エッセイが扱うのは地学現象に関する興味ある見方、発見の秘話、研究者の人となりなどである。この文章の目的はまず生徒に地学を学ぶための動機付けのため、次に理系の生徒には、文学や歴史の重要性も考えてもらうこと、文系の生徒にはその逆を考えてもらうことである。そして最後はこれが重要であるが、学校での勉強は決してテストで点を取るだけでなく、科学や人間を取り巻く様々な物事を考えていくことであるという私のメッセージを伝えるためである。エッセイ全文はこの小論の最後に添付している。

キーワード：地学、定期テスト、エッセイ、試験に出ない

## 1. はじめに

1970年代の末、大阪府立高校の地学の正式採用教員になってしばらくした頃から、学期ごとの定期テストの余白にときどき、地学に関係したコラムかエッセイのようなものを書き始めた。授業や勉強になかなか興味を持ってない生徒にも何とか地学の面白さと伝えたいという些細な気持ちでスタートした。当時受験問題集のベストセラーに「試験に出る〇〇シリーズ」というのがあって、何となくその功利思考を毛嫌いしていたのだが、これをもじって私のエッセイのシリーズにはわざと「試験に出ない地学 Series」と名前を付けた。最初は本当に文章の訓練程度で始めたが、段々と気持ちが入ってきて、転動や他の科目を

担当した際も脈々と続けてきた。例えば化学を担当した年は「試験に出ない化学」というように。

特に現在の勤務校に転勤してきた2000年以降、定期テストの余白は欠かさず埋めてきている。最近ではむしろこのエッセイを書くために、用紙の余白を作るのにまで気を遣うようになってしまった。またテスト作成時間に匹敵するくらいネタ探しや文章校正を行うまでになってきた。本稿では現在までに書きためた2006年1月現在の筆者の手元に記録がある全作品の内容を簡単に紹介し、後の方に資料として全作品を添付することにする。

## 2. 作品の背景とねらい

コラムの内容は地学に関係する範囲なら何でも扱うが、初期の頃は地学現象のちょっと一般に知られていない興味ある見方などが中心であった。それが最近では、地学関係のニューや研究者の人となりなどを扱うことが増えてきた。それは地球科学分野には科学者の伝記や発見物語の一般向けの解説が極端に少なかったという事情がある。筆者はこの原因として、他の科学の分野では優れた業績に与えられるノーベル賞がなぜか地球科学分野だけはないということも大きく影響しているようにも思える。

さて、作品を書き続けているポリシーとしては

1. とかく物理、化学と比べて扱いが地味な地球科学の分野にも、もっと焦点をあてた話題提供や話題発掘がしたかったこと。
2. 自然科学に興味を持つ理系の生徒には逆に、研究者の人間くささや運命のいたずら、さらに文学作品の面白さにも興味を持ってほしかったこと。
3. 逆に自然科学が嫌いな文系の生徒には、人間のエピソードや秘話から科学そのものにも興味を發展させてほしかったこと。
4. さらに「試験を受けて良い点を取ることだけが高校の勉強ではないよ」という私の信念を伝えたかったこと

などが挙げられる。

## 3. 内容の紹介

エッセイは定期テスト（年5回）の余白に、各回読みきりで何かのテーマの紹介と私の意見を数行から数十行書く。最初は形式は決まっていなかったが、その頃読んでいたものや、かつて心に残った文学作品などの気の利いた一節を引用して終わるというフォーマットに次第に収斂してきた。題は今にいたるも特に設けていない。また図もごく初期の例外を除くと添付していない。文章のみで勝負という形である。なお過去に書いたものの一部はすでに資料が散逸していて再構成できていない。ここではあくまで筆者が現時点で保存しているもののみを紹介する。

全作品の内容と年次を時代順、引用文学作品を表にすると以下のようになる。

番号	主な題材	年次	引用文学作品等
1	地震の震源距離に関する大森公式	1978	小松左京「復活の日」

2	山陰と山陽の風景の違いを地質の違いから分析	1979	志賀直哉「城崎にて」
3	雷雲により髪の毛が立つ体験とセントエルモの火	1979	ゲーテ「ファウスト第1部」
4	ニュータウンで見た二重の虹	1979	ダンテ「新曲（第2曲）」
5	晴雨計と毛髪湿度計	1980	Genesis, vii.12
6	1年間地学を担当した生徒へのはなむけの自作の詩	1980	
7	1年間地学を担当した生徒へのはなむけの自作の詩	1981	
8	アトランティス伝説とサントリン島の噴火	1981	光瀬 龍「百億の昼と千億の夜」
9	緯度と太陽高度をレッドゼブリンの曲の歌詞との関連で記す	1983	
10	富士山の頂上の角度と太宰治	1987	太宰治「走れメロス」
11	番外編 長渕剛の唄「乾杯」と教え子の結婚式	1988	
12	番外編 フォーククルセダーズ「青年は荒野をめざす」	1989 ?	
13	松尾芭蕉が象潟で読んだ句と地震時の地殻変動	1989	
14	火山と温泉の関係と近畿地方の例外について	1990	宮沢賢治「グスコブドリの伝記」
15	ブリューゲルの絵と小氷期など名画と地学現象の関係	1990	野間宏「暗い絵」
16	筆者のトパーズなど鉱物採集の体験談	1993	池澤夏樹「真昼のプリニウス」
17	慶長の伏見大地震と加藤清正	1993	斎藤茂吉の句
18	火山噴火後の異常な夕焼けと筆者の彗星探索用望遠鏡製作記	1992	村上春樹「ノルウェイの森」
19	高速増殖炉「もんじゅ」の事故	1995	Led Zeppelin "Stairway to Heaven"
20	富士の頂角再考と太宰の「富嶽百景」	2000	石川桂郎「俳句歳時記（夏の

			部)』
21	「黒潮古陸」説と地質学者	2000	辺見 庸「もの食う人々」
22	ムンクとゴーギャンの絵で緯度の違いを考える	2000	マイケル・クライトン「ジュラシックパーク」
23	旧石器遺跡捏造事件と火星の運河伝説	2000	光瀬 龍「東キャナル文書」
24	地動説の誕生前後とフィリピンの友人からのメール	2001	松本 隆「微熱少年」
25	三宅島火山からの火山ガス放出	2001	丸山健二「千日の瑠璃」
26	松尾芭蕉の句と地学	2001	F. フォーサイス「戦争の犬たち」
27	キング牧師の有名な演説における地学的内容	2001	楡 周平「クーデター」
28	賈蘭坡による北京原人発掘秘話とその後の展開	2001	開高 健「輝ける闇」
29	アルバレッツ親子によるK/T境界隕石衝突説	2002	福永武彦「死の島」
30	世界最大ダイヤモンド発見秘話とダイヤモンドを巡るエピソード	2002	和辻哲郎「風土」
31	小さな町工場と日本人2人のノーベル賞	2002	N.Oreskes 編集 「Plate Tectonics 第4章」
32	ノルマンディ上陸作戦と潮汐の話	2002	村田信一「戦争の裏側」
33	20世紀初頭の天文学者の人となりの紹介	2003	佐藤賢一「傭兵ピエール」
34	9/11の悲劇などを記録した地震観測網	2003	田村隆一「インド酔夢行」
35	昭和新山の誕生と三松正夫	2003	新田次郎「火の島」
36	人工生命の大家クリスラングトンのやり直し人生	2003	福井晴敏「亡国のイージス」
37	隕石衝突と彗星捜索に賭けたシューメーカーの一生	2003	島尾敏雄「出発は遂に訪れず」
38	常温核融合騒ぎあれこれ	2004	綿矢りさ「蹴りたい背中」
39	織田信長と望遠鏡の発明の時代考証	2004	マルコポーロ「東方見聞録1」
40	岩塩鉱山とナチスドイツの隠し資産絵画	2004	旧約聖書「創世記」

41	地震予知を巡る「椋平虹」とトリック	2004	新田次郎「虹の人」
42	始祖鳥発見秘話と進化論	2004	手塚治虫「火の鳥4, 鳳凰編」
43	木村栄のz項とチャンドラー極運動	2005	宮沢賢治「風野又三郎」
44	スポーツシューズの漂着と海流	2005	トム・克蘭シー「レッド・オクトーバーを追い」
45	ニューファンドランド沖の乱泥流発見の話	2005	小松左京「日本沈没」
46	バージェス頁岩発見物語とグルードの考え方	2005	浅田 彰「ヘルメスの音楽」
47	ホフマンの全地球凍結仮説	2005	春江一也「ブラハの春」

参考までに上記内容を下記のジャンルと題材として採用した主な内容で分類すると以下のようなになる。

分野	総数
天文分野	10
気象海洋分野	6
固体地球分野	23
その他	8

題材	総数
人物	18
自然現象	12
実験・観察・器械	8
その他	9

筆者の専門が地球物理なのでどうしても固体地球科学の内容が多くなっている。また、文学好きな人なら、引用文学作品から私のお気に入りの読書傾向やその変化も読み取れると思う。

#### 4. 生徒の感想

筆者の定期テストには、解答欄の最後に必ず感想欄をつけて、生徒のそのときどきの授業やテストなどに対する感想を聞いてもらってきた。これは私がこのエッセイとともに教員になってから、欠かさず行っている事である。感想を書いてくれる生徒は必ずしも多くない。というより毎回問題数が多いのか、感想を書く時間がないといつもしかられている。それでもこのコラムに関する好意的な感想を書いてくれる生徒も増えてきた。毎回このコラムを楽しみにしていると書いてくれる生徒も少なからずいる。また、生徒の方からみれば必修の1年間、あるいは地学を選択する生徒でも最大で3年分しか目にしないわけなので、最近は筆者の個人サイトで過去の文章を生徒向けに公開している。

#### 5. おわりに

こうしてまとめてみると、そのエッセイを書いた当時の学校の雰囲気や生徒の顔が次々と浮かんできた。あまり仕事上のメモや日記を残さなかった筆者としては、教員生活の大

部分で当時を振り返る資料はそれほどない。このエッセイのまとめはそういう意味で私の教員としての仕事のある面での中間総括となったことが嬉しい。また生徒相手にスタートしたシリーズがいつのまにか、試験監督に入る先生にも読んでもらって、いろいろ感想をもらうようにもなってきた。そしてこの頃は自分自身が地球科学のさらなる勉強をするつもりで、原稿を書き続けているといっても過言ではない。ネタ探しにおいても最初の頃はちょっとしたテーマでも、関連資料を探すのには図書館を往復するなど大変苦労した。しかし現在ではインターネットとロボット検索システム google という世界最強の私的図書館が存在する。また昔は手に入りにくかった専門分野の洋書も amazon.com で簡単に手に入れることができるようになった。それでも引用する文学作品だけはやはり自分で探して苦労して地道に読まなければいけない。そういう意味でネットはまだ読書体験を乗り越えてはいない。定年を迎えたときにこの続編つまり最終総括を書けることを熱望して、ひとまずペンを置くことにする。

## 6. 謝辞

本稿の資料作成及び、まとめにあたって、平成 17 年度科研費補助金奨励研究 No.17914008 の一部を使用しました。また本校英語科教諭東元邦夫氏には英文 summary について有益な助言をいただきました。記して感謝します。

## 7. 引用参考文献

あまりに数が多いので省略します。添付資料中の記述をごらんください。

### Summary :

My essays on geosciences for high school students named "Shiken ni Denai Chigaku Series" are introduced in this paper. The title means "Some interesting stories about geosciences without test score". In spite of some lacks, it has lasted since late 1970's when I became a high school teacher of geoscience. The essays are written at the end of terminal exams of my geoscience classes. At first, these essays were written to motivate students' curiosity toward geoscience, but now, I am enjoying my writings as a life work. The categories of stories are varied from astronomy to geology. Most of them treat episodes of discovery, critical views about geoscience topics, curious researchers' characters or even my interesting experiences. The essays consist of short stories and a few lines quoted from my favorite novels. The purpose of my essays is as follows; first the stories would fascinate students and make them motivate studying geoscience. Second, the science-oriented students would learn the importance of literary or historical view about science through these essays and literary-oriented students the importance of scientific view. Finally, I strongly want to convey my belief to my students that the importance of studying natural science is not for their test score only, but their careful consideration about the relationship among nature and human beings. All stories are attached in the end of this paper.



定期テストの余白エッセイ  
「試験に出ない地学 Series」 中間総括'2005'  
(資料編 その1)

おか もと よし お  
岡 本 義 雄

Essays on the blank of geoscience exams named  
“Shiken ni Denai Chigaku series” 2005

Yoshio OKAMOTO

<添付資料> エッセイ全文

(筆者の個人Webサイト：[http://www.eonet.ne.jp/~seagull/essay\\_1.html](http://www.eonet.ne.jp/~seagull/essay_1.html)より採ったもので、実際にはカラーフォントやハイパーリンクが張られるなどhtml形式となっています)、当時の文章の記述やフォーマットを尊重していますが、Webサイトに格納するにあたって、近年加筆した部分があります。

\*\*\* 試験に出ない地学 series \*\*\* last update 2005.12/07

試験に出ない地学 Series 2005 年暖秋号 New!

1964年ボストン。丘の上のスタート地点で P.F.Hoffman は顔にかかる冷たい風に初めてのフルマラソンの緊張を感じていた。結果はビギナーズラックともいえる9位入賞で、ホフマンの気持ちは揺らいだ。これから4年後のメキシコ五輪に向けてマラソンランナーとして鍛えるか。その当時在籍した大学の地質学で身を立てるか。悩んだあげく彼はマラソンを捨てる。それが地球科学に幸いした。地質学者となった彼はカナダ地質調査所の所員として極北のカナダの地質調査に邁進する。白熊と亜寒帯特有のしつこい蚊の攻撃に息を潜めながら彼の孤独な研究は続いた。しかし、奔放に学問に邁進する彼と、官僚的な色彩濃い上司との間が決裂するのは目に見えていた。ついに上司と衝突した彼は退職願を書き、運良く拾ってくれた大学の教員に納まる。慣れ親しんだカナダを捨てて、次のフィールドを探す彼に、願ってもない話しが舞い込んだ。それは長く続いた内戦がようやく終結したアフリカのナミビアの地質調査であった。

ここで彼はマラソンの金メダル以上の貴重な発見を手にする。砂漠の切れた岩山に残された、どうみても熱帯の海に溜まった泥岩に、氷山が落とした巨大なドロップストーンが挟まれている重要な露頭である。そしてその奇妙な地層は、これまた説明困難な分厚い石灰岩層に挟まれていた。

この地層を解釈するのにホフマンは10年近く前に Caltech (カリフォルニア工科大学) のある風変わりな地磁気の研究者が唱えていた "Snow Ball Earth" という概念に着目する。7億年前に地球は熱帯まで全面的に凍結した! この途方もないストーリーを緻密な調査結果から粘り強く書き上げ、1998年雑誌「サイエンス」に発表。地質学に衝撃を与えた。

現在ではこの凍結時代こそ、その後の生物の発展に大きく寄与したと考える人が多い。苦難の歴史が人々を鍛えるという聖書的な歴史観とどこか似ているのが興味ある。ともあれ2度あることは3度ある。この全球凍結がたった一度の稀有な地球史上の特異な現象なのか。それとも条件さえ整えば明日にでもまた坂を転げ落ちるように気候は激変するのか。私たちの未来を予測する科学はまだその長い道のりのほんのスタートラインに立ったばかりである。――。(この稿、Gabrielle Walker 著の Snowball Earth を参考にした。)

- アマゾンの女王ペンテジレーアが白馬を走らせていた。恋しいアキレスに会うために。
- 春江一也「ブラハの春」より。

#### 試験に出ない地学 Series 2005 年中秋号

1909年の夏、あたりで多産する三葉虫の化石の箱と、妻を載せた馬が降り出した雪のために足を滑らせ、偶然、その山道の傍らに奇妙な軟体部を持つ化石が発見される。C・D・ウォルコットによるバージェス動物群の最初の発見はそう語られている。しかし、米国を代表する古生物学者で「ワンダフルライフ」によりこの奇妙な生物群を世界に知らしめた、S・J・グールドはその本のなかで、ウォルコットの当時の日記を引きながら、この逸話が嘘であると語っている。また辛辣な言葉で何度もウォルコットの研究姿勢や分類の仕方をこっぴどく批判している。発見の真相は知るべくもないが、その後、ウォルコットは家族を動員してこの化石を一心に発掘する。やがて7万点にのぼる化石を発掘、最後の人生をその分類と保管に費やす。しかし彼の死後、奇妙なことに彼の膨大なコレクションは60年間もスミソニアン博物館の倉庫の引き出しのなかに封印されたかのように忘れ去られる――。

1970年代に至って、この封印を最初に解いたのはケンブリッジ大学の三葉虫の専門家H・ウィッチントンと彼の研究室に配属されたばかりの若い2人の大学院生、コンウェイ・モリスとデレク・ブリッグス。彼らはフィールドというより、むしろ博物館の引き出しにしまわれたウォルコットの化石に再び光を当て、歯医者用のドリルを駆使して精緻な再研究を開始する。そしてこのおそるべき「カンブリア爆発」の証拠を次々と論証していく。5つの眼を持つオパビニア、エビとクラゲの2種類の動物とされていたアノマロカリスなどおなじみの顔ぶれが復元されるのにそんなに時間はかからなかった。――映画「ワンダフルライフ」は他人思いの主人公が最後は人に騙されて商売に失敗し、絶望の中で町外れの橋から身を投げようとする。それをまだ見習いの二級天使が助ける。「自分の人生なんて

何の価値もないのだ」と嘆く主人公に、それでは君のいなかった町を見せてあげようと、天使は別のおぞましい町の風景を見せる。君のおかげでこんなに町は賑わってきた、君の人生がどんなに人に役だったのかを分かってほしいと――。

グールドは、人知れず滅んで行ったバージェスの動物たちに、おまえたちはこんなに現在の私たちに役だったのだと、彼独特の進化の見方から語りかけている。しかし、今これを書いていて、グールドが映画「ワンダフルライフ」の主人公と重ねたのは、ひょっとすると彼が著書でこっぴどく批判したウォルコット自身ではないかという気がしてきた。齢60を越えて発掘に着手し、さらに発掘途中で妻と息子2人をそれぞれ事故や病氣、戦争で失うという悲劇にさいなまれてもなお、情熱はその後もとどまることなく、人生の最後のページをバージェスの化石に賭けたウォルコットの人生こそ「ワンダフルライフ」だったと書きたかったのかも知れないと初めて感じた――。

— 真にエスニックなものは驚くほどコスモポリタンだ。— 「ヘルメスの音楽」 浅田 彰より

#### 試験に出ない地学 Series. 2005 年空梅雨編

1929年、大恐慌の年の11月半ば、北米ニューファンドランド沖でM7.2というこのあたりとしては珍しく大きな地震が発生し、あたりに時ならぬ津波の被害を与えた。しかもその直後、奇妙なことが起こる。北米とヨーロッパを結ぶ海底ケーブルが次々と不通になった。しかもその不通になる時間は少しずつずれていて、あたかも海底ケーブルが時間差で深い方に向かって何者かに切断されて行ったような形跡があった。その速度は簡単な計算から約65km/時と結論づけられた。その25年後、震源域の海底の巨大なエリアに真新しい砂岩層と地すべりのあとが発見された。ケーブルを切断したのが地震に誘発された、海底の地すべりで、その結果砂岩層が堆積されたと結論付けられた。これが世界で最初の海底「混濁流（乱泥流）」の発見であった。

それから時は流れて、1973年オイルショックに明け暮れた日本では、小松左京というSF作家が「日本沈没」という作品を出版し、映画にもなった。日本列島が火山噴火と巨大地震の連鎖のなかで、中央構造線を境に海底下に沈没し壊滅するという当時のプレートテクトニクスの最先端の知識をモチーフにした壮大な物語である。その冒頭で、地学的事件の最初を飾る現象として、主人公は深海調査船で日本海溝の奥深く、もくもくと盛り上がり下降するこの乱泥流を目撃する――。

さらに時は流れて、昨年12月、スマトラ島からアングマン諸島にかけてを震源とする、M9.3という地震学者の想像を越えた巨大な地震が発生した。かつて「日本沈没」を読んだとき、まさかこんなM9から10（小説の中では確かそうになっていた）なんていう巨大地震は日本では現実には起こらないと高をくくっていた私であるが、このスマトラ地震の震源域を日本列島に重ねて驚いた。この現実の地震の震源域ははるかに三陸沖から九州南部に達する長さを持つていた。

「日本沈没」ではその後、日本にすむ人々が沈んだ日本列島を離れ、流浪の民と なってヨーロッパに向かうところで終わる。小松左京はその続編を書くとき当時インタビューで答

えていたが、その後の物語はまだ書かれていない。乱泥流をからめたテスト問題を考えていてふとそんなことを思い出した——。

(この稿, [http://earthnet.bio.ns.ca/communities/earthquake\\_e.php](http://earthnet.bio.ns.ca/communities/earthquake_e.php) の記事を参考にした)

「— だから負の重力異常帯に沿って、大冷水塊が出現し、そいつに黒潮がぶつかって濃霧を発生しているのだ —」 小松左京「日本沈没」より。

※ 最近のニュースに映画「日本沈没」のリメイクの話。製作費 20 億で来夏公開とか。主演は SMAP 草なぎ剛と柴咲コウとか。ちょっと楽しみ！

#### 試験に出ない地学 Series 2005 年初夏号

「名も知らぬ遠き島より流れよる椰子の実ひとつ」——海は時として驚くようなものを運んでくるが、1990 年秋から翌年の春にかけて北米の西海岸を中心に、浜辺に新品の Nike (ナイキ) のスポーツシューズが次々と漂着した。実はその半年前の 1990 年 5 月 27 日、韓国の工場から米国に向かっていたコンテナ船がアリューシャン列島の南で嵐に遭遇。甲板上の大量の靴を積めたコンテナが割れて荒れる海へ落ちそこからこぼれたものだった。その後も漂着は続き総数は 1600 足に達した。積荷の書類から 60000 個を超える靴が海に投げ出されたことがわかった。事件は繰り返す。その 2 年後、今度はさらに西方海域で、香港から米国に向かっていた同様のコンテナ船から、子供が風呂に浮かべて遊ぶプラスチックのあひるやかめやいるかのおもちゃがまたまた大量に海に流された。これらのおもちゃもまたまたカナダ西部の海岸に次々と漂着する。海洋学者は早速、ちゃっかりこの靴やあひるの漂着ルートを推定し、太平洋の北部の海流や風の研究に役立っているという。

海流は熱帯で生成された暖かい海水と北極で冷やされた冷たい海水の境を海面の等高線に沿って渦を作りながら流れる。海水とそれに接する大気のコラボレーションのメカニズムは地球温暖化など長期の気候に与える影響が大きく、21 世紀になってようやく最新のスーパーコンピュータによって解析が実用化され始めた。横浜にある世界最速を誇った JAMSTEC (海洋開発機構) のスパコン「地球シミュレータ」でコンピュータメモリ上に再現された海流には本州の南岸を洗う、見事な黒潮とそれが作る細かい渦構造まで現れていて驚かされた。

ハイテクの最先端で計算された数値モデルの海流と、実際の海流のすり合せは今後ますます重要になるが、その解明に嵐で流されたナイキのスポーツシューズやおもちゃのあひるが役に立っているというのはなかなか興味深い。島崎藤村の冒頭の詩は、実は民俗学者柳田国男が伊良湖に 1 カ月余り滞在した時の体験を藤村が聞いて唄にしたといわれる。それから 100 年の時を経て現代の合成樹脂の椰子の実たちは今も黙々と海を漂い続ける——。

(この稿 [http://www.agu.org/sci\\_soc/ducks.html](http://www.agu.org/sci_soc/ducks.html) や

[http://www.msc.ucla.edu/oceanglobe/pdf/nike\\_invest.pdf](http://www.msc.ucla.edu/oceanglobe/pdf/nike_invest.pdf) などを参考にした)

—— それでその潜水艦はひどく雑音 (ノイズ) を立てていたので、コップをガラスの船体にくっつけるだけでも聞き取れた。——「レッド・オクトーバーを追い」トム・克蘭シ

#### 試験に出ない地学 Series 2005 年早春号

地球の自転は日々の時計の基準ともなり、一見盤石かつ正確に見えるが実は様々なゆらぎを含むことがわかってきた。19世紀の終わりアメリカの Chandler, Seth C. はチャンドラー極運動と名付けられる奇妙な地球の極の首振りを見つけた。これを精密に観測するため、当時世界を巡って北緯39度8分の線上に6か所、緯度を精密に測定する観測所を作ることになった。そこで白羽の矢を立てられたのが東北地方の寒村水沢であった。以来ここに築かれた緯度観測所は天頂を過ぎる恒星の精密な位置観測に邁進する。初代所長であった木村栄（ひさし）は観測データのゆらぎを従来の式にZ項という新たな項を付け加えることで解決した。この発見は文明開花以来、日本が最初に自然科学でなし得た世界的業績となった。木村はこの功績により、日本で最初の学士院恩賜賞、文化勲章を受賞する。それまで欧米の後追いであった地球と宇宙に関する学問が日本に根ついた瞬間であった。木村は物理学、天文学に秀でたほか、この時代の天才、寺田寅彦などがそうであったように、テニスや謡曲、書などにも造形が深かったという教養人でもあった。以来すでに1世紀がすぎた。星の精密位置測定技術は飛躍的に進み、地球内部の核やマンツルの状態までが、チャンドラー極運動などの精密解析から推定されるようになった。昨年末のスマトラ島沖地震では、自転軸が約2.5cmずれ、また自転周期が2.68マイクロ秒短くなったことまで観測された。しかしそれだけ観測技術がすすんでなお、この地震を予測した人は世界に誰もいない。また依然としてチャンドラー極運動のメカニズムも完全には解けていない。観測ですぐに解ることと困難なことの区別がようやく解ってきたというだけでも学問は進歩したといえるかも知れない。地球の謎はまだ深く遠い。

—— その前の日はあの水沢の臨時緯度観測所も通った。—— 見ると木村博士と気象の方の技手とがラケットをさげて出て来ていたんだ。木村博士は痩せて眼のキョロキョロした人だけれども僕はまあ好きだねえ、それに非常にテニスがうまいんだよ。—— 宮沢賢治「風野又三郎」より

#### 試験に出ない地学 Series 2004 年木枯らし号

ドイツ南部の丘陵地がアルプスに向かってゆるやかに標高を高める場所に位置するゾルンホーヘンは、良質の板状石灰岩を産することで有名だった。古くローマ時代はこれをローマに通じる道路の敷石や建物の建材として用いた。ルネサンス以後、そのガラスのように緻密な表面は石版印刷用の石板として重宝された。またその石灰質の堆積物は、遠くジュラ紀の暖かい沼沢地（ラグーン）に堆積したと考えられ、古代より保存のよい化石を産することでも有名であった。その石切場の一角で1861年始祖鳥は発見された。C. Darwin が論争を巻き起こした「種の起源」の出版のわずか2年後である。早速 Darwin の番犬と称された T. Huxley がこの化石の意義に気づく。この化石こそ進化論の証拠となるべき重要な化石であると。その後、現在に至るまで確認された始祖鳥の化石は羽毛の印象のみのも

のを含めて8体ある。有名なのは発掘順で2つ目の London 標本と3つ目の Berlin 標本である。特に後者は完全な頭骨を保存し、羽毛の跡が信じられないくらいきれいに残っていた。最初の標本を London に買い取られてしまったドイツは威信を賭けて、当時の金で20000 ドイツマルクを持ち主の研究者に支払い、博物館に買い取ったという。現在、この化石を発見当時の F.Foyle (天文学者、定常宇宙論で有名) の疑念のように、Fake (贋物) だという研究者はほとんどいない。しかし今も、頑強に進化論を否定する創造論者 (聖書に描かれた天地創造が真実だと主張する人たち) には、この化石を贋物だと論評する人が後をたない。それほどこの化石の発見が進化論のその後の論議に与えた影響が大きかったということか。ともあれ日本では想像つかないが、米国の科学教育の議論ではこの進化論者 (Evolutionalism) と創造論者 (Creationism) がしばしば対立する場面が見られる。米国の宗教観の特異な一端がここに覗いている。

(この稿 <http://homepage1.nifty.com/archaeo/dinobird/shisochou.html>

<http://www.talkorigins.org/faqs/archaeopteryx/info.html> などを参考にした。05Dec.2004)

--- その鳥は夜も光かがやき、この地上のすべてのことを知っている神の使いだという ---  
手塚治虫「火の鳥4、鳳凰編」より

#### 試験に出ない地学 Series2004 年紅葉号

昭和5年11月25日昼、京都帝国大学理学部長石野又吉教授は天橋立郵便局発の見知らぬ差出人から届いた1通の電報に驚く。「アスアサ、ヨジ、イズニテ、ジシンアリ」ムクヒラ。その予言どおり、翌11月26日午前4時すぎ、北伊豆地震が発生、死者223名の惨事となる。当時の新聞はこれを大々的に取り上げ、電報の差出人だった椋平廣平氏は一躍、時の人となった。その後も彼は故郷、天の橋立近傍で観測した特殊な小さな弧 (アーク) のような虹を用いて次々と地震の予知を的中させたという。気象庁の予報官と直木賞作家という2足のわらじを履いていた新田次郎 (本名藤原寛人) は短編小説「虹の人」(新田次郎全集10「火の島・火山群」新潮社に所収) という彼をモデルにした作品のなかで、知らぬ男からの突然の地震予知電報に運命を翻弄され、やがてその虹で地震を予知した男と対決を決意する若い地震研究者を描いている。この椋平虹は、当時すでに大学者であった寺田寅彦、藤原咲平 (後の気象庁長官で新田次郎の叔父にあたる)、三木晴男 (京都大学教授) といった専門家の注目を浴びた。しかし確固とした専門家の支持は、結局得られず世間の評判も次第に芳しくなくなった。彼は自分で考案したセルロイドの分度器を用いた虹の観測と熱心な日常の気象観測に戻っていった。戦後も知人相手に地震の予知を続けていた彼であったが、昭和51年9月26日毎日新聞が突如、鉛筆書きのはがきの消印を用いた彼のトリックを暴露する記事を載せた。記者が密かに彼の不可解な行動を逐一監視していたのだ。以後彼は一切を沈黙したままやがて天の橋立に近い故郷で静かに生涯を閉じる。この模様はTVの人気番組「驚きもの木20世紀」でドキュメンタリーとなったので思い出す人もいると思う。しかし彼の初期の予知は電報でなされたため、消印のトリックは不可能である。その後も、彼が観測したという虹を科学的に確認したという話はついぞ聞かない。彼が死んだ今となっては生涯をかけた彼の観測の全貌は、まるで彼の虹と同じように歴史

の闇の彼方に薄らいで消えてしまった――。

“君の考えは常に出発点で彷徨している。多分、君は走るだろうが、決して飛ぶことは出来ない人だ。”――新田次郎「虹の人」より

#### 試験に出ない地学 Series 2004 年梅雨明け号

1945年5月8日、降伏したドイツの隠し資産を調査していた米軍はオーストリア、ザルツブルグ近郊のAlt Aussee 岩塩鉱山を捜索し、坑の奥深くに隠されていた7000点に及ぶ膨大な絵画コレクションを発見する。もともとヒトラーは部下に命じて占領地から膨大な絵画の買取りや略奪を行った。彼が嫌った前衛芸術家やユダヤ人の作品は英米のコレクターや美術館に売却し戦費の調達に使われ、残りは彼や部下の個人的コレクションとされた。しかし、戦争が終わりに近づき、空襲下の都市では保管できなくなったこれらの収奪物の隠匿場所として、爆撃の影響を受けず、また成分のNaClが吸湿性に富み、乾燥して低温の岩塩坑内は最適であった。絵画がユダヤ人達にわたる位ならいっそ爆破しようと、この責任者は計画したらしいが、ドイツ軍内部の通報者が知らせて間一髪助かったとも伝えられる。見つかった絵画の中には今年秋に日本に来るフェルメールの「画家のアトリエ」や15世紀最高の宗教画と言われるベルギーの「ゲントの祭壇画」などが含まれる。略奪された美術品はこれに留まらず、旧ソ連の占領下を中心に数多くの絵画が今も持ち去られたままとされる。それらの絵画を元の持ち主に返還させる運動が今ごろになって各所で起きている。

所変わって、最近では原子力発電所の放射性廃棄物を岩塩鉱山に封じ込める研究もさかんに行われている。地下の圧力で自在に変形し、物質を閉じ込めやすい岩塩はその目的に最適なのだとも聞く。また砂漠地域で石油を胚胎する地層の構造は岩塩ドームの浮上のできることも多く、石油を探す時に負の重力異常を示す（岩石に比べて密度が軽い）岩塩はよい目印だと学生時代に聞いた。

あるときは不正に入手した資産の隠し場所になり、またあるときはエネルギー資源探査の目印として使われ、最後にとうとうその資源浪費のつけの格納所にされるようでは、幾千の星霜を経て作られた美しい岩塩のピンクの結晶が少々気の毒に思えてきた。――。

――日が昇ろうとする頃、ロトがゾアルに着くと、突如として主はソドムとゴモラの上に、主から出る硫黄と火の雨を降らせた。――振り向いたサライは塩の柱になった。――旧約聖書「創世記」

#### 試験に出ない地学 Series 2004 年初夏号

戦国映画で織田信長が、新装なった安土城の天守閣から望遠鏡を片手に「蘭丸！これが南蛮渡来の遠眼鏡じゃ！都が見えるぞ！」と景色を覗くシーンが出てくるがあれは時代考証が合わない。

望遠鏡の発明は1600年代の初頭、オランダの眼鏡屋、H.リッパルハイが店の老眼鏡（凸

レンズ)と近眼鏡(凹レンズ)を組み合わせてみたのが最初で、1608年特許として出願されたとされる。従って織田信長の1580年頃には望遠鏡はそもそも存在しないはず——。ともあれ、その発明を伝え聞いたガリレオ・ガリレイはすぐさま同じレンズの組み合わせで有効口径わずか26mm倍率14倍という望遠鏡を製作したと言われる。このあと彼は同様のものを改良を重ね10数台製作し、金星の満ち欠けや木星の衛星などの有名な発見をものにする。しかし、彼の知り合いであったある聖職者は「これを覗けば君も地動説を実感できる」と誘われても頑として固辞したとも伝えられる——。もし信長が本能寺で生き延びて、望遠鏡で木星を見ていたら——。歴史のifのタネは尽きない。

——「彼ら(占星術者)は独自の天体観象儀を持っていて、それには1年中の惑星の記号、時刻、位置が記載されている」——マルコポーロ「東方見聞録1」クビライ・ハーンのモンゴルを旅した記録より。

---

#### 試験に出ない地学 Series 2004年春待ち号

1989年3月23日英国の経済誌「フィナンシャルタイムズ」が衝撃的なニュースを伝えた。英国サウサンプトン大学のMartin Fleischmannと米国ユタ大学のStanley Ponsが机上実験で核融合反応を確認したと、——これが世にいう常温核融合騒ぎ(Cold Fusion Fever)の始まりであった。彼らは室温で容器に入れた重水(水素の代わりにそれより重い重水素を含む水)にパラジウムと白金を電極として、電流を流す電気分解の実験を行った。ところが電極に予想外の熱が発生し重水は蒸発、電極も一部溶けたという。さらにバックグラウンド量より明らかに多いガンマ線と中性子を検出したと報告したのだ。新たなエネルギー源として世紀の大発見になる!そう思って化学者が追実験を試みた。各国の政府も予算で研究を後押しした。世界中が蜂の巣をつついた騒ぎになった。しかしそれから10年あまり、もうこの常温核融合を口にする研究者は少なくなった。米国や日本の研究予算もすでに閉ざされた。実験の再現性の悪さや彼らの最初の実験をめぐる様々な憶測などから、この実験への期待は急速にしぶんでいったという。私も彼らの最初の論文を取り寄せてみた。実験装置の図もない奇妙な感じのする短い論文にはガンマ線量のグラフだけが見事なピークを描いていた。フィーバーが過ぎ去った今こそ、冷静になってもう一度この騒ぎの本質を調べてみたいと思っている。

——人にしてほしいことばかりなんだ。人にやってあげたいことなんか、何一つ思い浮かばないくせに。——綿矢りさ「蹴りたい背中」より

---

#### 試験に出ない地学 Series 2003年初冬号

1908年シベリアのツングースカ上空で何かが爆発し、半径20キロの木を焦がして円形になぎ倒されるという事件が起きる。しかしそれが何か地球外からやってきた天体の衝突だと信じる人はいなかった。それから60年あまり、友人の地質学者の月着陸を自宅で寂しく見守る男がいた。ジーン・シューメイカー。彼は地質学者として最初の月探検に出かけ



るはずだった。しかし出発前の腎臓の検査で病気が見つかり、この半生を賭けたチャンスを棒に振る。気を落としながらも彼はその後、夫人と共に天文台に通い、地球に衝突しようとする小惑星や彗星の捜索に情熱を傾けた。惑星に天体が衝突してクレータができるのは現在でもありふれた現象であるという若い頃からの彼の主張を支持する人はまだほとんどいなかった。それを隕石や小惑星の軌道から証明しようと思ったからである。その思いがようやく天に通じる時が来る。1993年3月パロマー山天文台で彼らが発見したシューメイカー・レビー第9彗星は翌94年7月、21個の分裂核に別れて木星の引力圏に捕らえられ、次々と木星表面に衝突、その模様は世界中に中継され大きな注目を浴びた。この日、人生最良の日を妻と共に過ごした彼は、しかし3年後の1997年7月、オーストラリアの隕石クレータの調査中に交通事故にあいあけなく69歳の生涯を閉じる。――その2年後「月に行けなかったことが人生最大の心残り」と言っていた彼の願いを叶えようと同僚や教え子達は月探査機ルナプロスペクターに彼の遺灰30gを詰め、月に送り届けた。あれ程行きなかった月にやっと到着した彼は今頃、地球をどんな思いで見ているのだろうか？（この稿以下のサイトを参考にした。

<http://homepage3.nifty.com/iromono/kougi/ningen/node75.html>

<http://www.mainichi.co.jp/eye/feature/details/science/Space/199908/03.html>

――異常な完結的な予定の行動が延期されると、日常のすべてのいとなみが氣息を吹きかえず。―― 島尾敏雄「出発は遂に訪れず」より

#### 試験に出ない地学 Series. 2003年秋深し号

計算機の中の「人工生命」の創始者で、「複雑系」の大家として今や世界をリードするクリス・ラングトンの半生はしかし、数少ない「遅咲きの天才」としての波乱に満ちたものだった。――

“High school is a disaster for me.” という高校をドロップアウトし、ベトナム反戦運動やヒッピームーブメントに身を投じていた頃、良心的徴兵忌避のため病院で夜勤を命じられる。ある深夜、計算機室でコードのデバッグに飽きた彼は、机上の旧型ミニコン DEC PDP-9の画面にライフゲームを走らせた。そのときふと誰もいないはずの部屋に人の気配を感じる。“I realize that it must have been the Game of Life. There was something alive on that screen.” 彼はこうしてハードウェア上に生きる意識を実感する。しかしそれもつかの間、興味の赴くままに彼はその後、ハンググライダーに夢中になる。すでに全米選手権は目前に迫っていた。その日の最後の練習フライトでデッドエア―につかまり50フィートの高さから樹木ごしに落下した。全身35ヶ所の骨折を負いながらも奇跡的に命を取り留めた彼はやがて担ぎ込まれた病院のベッドで意識を回復する。“I could feel different levels of my operating system building up――” 自分の意識の覚醒と計算機の立ち上げ時の操作の類似に気づいた彼は今度こそ、自分のやりたい学問が見えてきた。28才になっていた彼はもう一度、大学2年生としてアリゾナ大学のキャンパスに戻ってきた。そして30才を過ぎて大学院に進学した彼は、なけなしのバイト料で手に入れたApple IIを相手に「自己増殖するセルオートマトン」すなわち計算機上の「人工生命」のプログラム開発に衝かれたように

熱中する。やがてその成果は複雑系の総本山「サンタフェ研究所」のワークショップで世界の注目を浴びる。彼が研究所のスタッフに残るために PhD（博士号）を得たのは 40 才をはるかに過ぎたときだった。（この稿 M.Waldrop 著 “Complexity” に拠る。2003.10.25）

———忘れてたり、紛らわせたりするために描くんじゃ絵は描けない。そんな絵は人の胸を打つことはできない、——。「亡国のイージス」福井晴敏より

---

#### 試験に出ない地学 Series 2003 年夏待ち号

戦争の敗色も濃くなった 1944 年 6 月、半年前より地変の続いていた北海道社警町の麦畑の中で突然、水蒸気が吹き出した。その後 1 年続く昭和新山誕生の瞬間である。三松正夫はその風景を自身が局長を勤める郵便局から見ていた。若いころ地震学者大森房吉の火山観測に随行したことのある彼は、すぐに事の重要さを認識し、この地変の観測を開始する。といっても戦争中の物資のない時代、火山性の地震の回数は豆を皿に 1 回 1 回移すことでカウントしたり、2本の棒の間に水平に張ったテグス（釣り糸）と自分の顎を固定する台を自作して、精密な地面の隆起の測量をしたりとその観測は辛酸を極めた。しかし、その甲斐あって、彼の残した火山の成長を刻んだ精密な輪郭のスケッチは、田中館秀三によって 1948 年オスロで開かれた国際火山学会で「ミマツダイアグラム」として紹介され、世界の火山学者から絶賛される。同時に彼は硫黄堀の心無い人々によって山が荒らされるのを嫌い、1946 年私財を投げ売ってこの山の土地を買い取る。1977 年には 3 度目の有珠の噴火を体験。その年の冬、89 才で静かに世を去る。以来数 10 年、山のふもとに立つ彼の銅像は半生、彼とともにあった昭和新山を今も静かに水準器の彼方に見つめている。（この稿、<http://volcanicrider.tripod.co.jp/travelbook/usu.html> を参考にした。）

—火山性微動というのは、岩漿（マグマ）が地球外に脱出しようとして、その逃げ口を探しまわっている、いわばその手ざわりの音を拡大したようなものです—— 新田次郎全集「火の島」より。

---

#### 試験に出ない地学 Series 2003 年初夏号

2001. 9/11 の朝、北米微小地震観測網は 2 つの奇妙な小規模の地震（M2.1 と M2.3）とそれに前駆する 2 つのまたそれぞれ極めて微小な地震（M0.9 と M0.7）を記録した。いうまでもなく、後者は乗っ取られた 2 機の飛行機が NY の WTC ビルに突入した衝撃が引き起こした地震であり、前者はそれによりダメージを受けた 2 つのビルがそれぞれ崩壊する衝撃が引き起こした地震である。また、その 1 年あまり前の 2000 年 8 月 12 日、北欧の微小地震観測網はロシア、フィンランド国境のコラ半島に近いバレンツ海のあたりを震源とする奇妙な地震を連続して 2 つ記録した。2 つ目は結構大きく、M4 弱とあまり地震がないこのあたりとしては異例の大きさであった。しかもこれも自然の地震とは異なり、何か海中から発せられた衝撃が引き起こしたものと分かる。ロシア海軍が沈黙を破って原潜の爆発沈没事故が報じたのはその直後であった。

このように、地震観測網が捕らえるのは自然の地震ばかりとは限らない、というよりそもそも世界標準地震観測網 (WWSSN) が 1950 年代にアメリカの同盟国によって世界中に展開された最大の理由は、当時ひどい放射能汚染を伴った空中核実験が禁止され、地下に移行した敵国の核実験探査が目的だったというのは良く知られた話である。地下核実験による地震波は特徴があり、明瞭に自然の地震と区別できる。パキスタンの地下核実験の正確な位置と大きさを探知したのもごく最近の出来事である。

ともあれ、地震計の耳は欺けない、いつまで人類は自らの英知を集めたはずの地震観測網で、自らの愚かな行いを備忘録のようにていねいに記録し続けようとするのか、――。

――さあ、出発だ、BC にむかって。紀元前 3 世紀の世界へ――田村隆一「インド酔夢行」より

---

#### 試験に出ない地学 Series 2003 年初春号

天文学という一見、浮世離れた研究をするというのはどういった人達なのか？銀河系の形を最初に考えた Harlow Shapley は中学を卒業し、ジャーナリストを目指すが一転、大学に入学を決意。そこでたまたま講義リストの一番上にあつた Astronomy (A から始まるリストの一番！) を受講して、以来この道に進んだという変わり者。銀河の後退則を発見した Edwin Hubble は大学時代はプロ顔負けのボクシング選手、一旦弁護士になるが、再入学して天文学を専攻。しかし第 1 次大戦で負傷して帰る、それからやると年齢 30 歳にして研究の道に入る。たまたまその当時バブル景気に沸くアメリカで巨大望遠鏡の建設ラッシュに出会えたのは幸運だったと言える。その他、天文学には意外に女性の活躍が眼につく。星の吸収線の同定という大変根気のいる作業は、当時の多くの無名のコンピューター達(計算機ではなくこの作業をする女性達をそう呼んだ)に支えられた。そしてその研究をまとめ上げた Annie J Cannon 女史は現在のスペクトル分類を作り上げた。しかし彼女らの地位はその活躍にもかかわらず大変低かったと言われる。女性であるだけで研究職につけなかったり、ノーベル賞をもらえなかったという例もあったと言われる。その他、学問を巡る戦いで互いに口をきかないほど仲の悪かった Elizabeth Zwicky と Allan Sandage など、変わり者のねたも尽きない。星という何か遠い夢のような学問を考えるにはあまりに人間的なその研究史には驚かされるばかりである。(この稿、野本陽代著「宇宙の果てにせまる」岩波新書を参考にした)

――トゥールレル砦が落ちた。オルレアン橋は再びオルレアンのものになった。――佐藤賢一「傭兵ビエール」より

---

#### 試験に出ない地学 Series 2002 年初冬号

「秋の日のヴィオロンのためいきの、身にしみてひたぶるにうら悲し――」、1944 年 6 月 6 日未明、BBC のラジオニュースが秘かにフランスのレジスタンスに向けて上陸作戦実行の暗号として、有名なベルレーヌの詩を流した。当時ヨーロッパはナチスドイツの占領

下にあり、英米を主軸とする連合軍は上陸作戦の場所と時間を綿密に練っていた。選ばれたのは世界でも潮位の差が激しいので有名なノルマンディ半島。月のない早朝でしかも大潮の干潮になるこの日を選んで上陸作戦は敢行される。この数日間ドーバー海峡はしけて大荒れ、ヒトラーもロンメルも上陸はしばらくしないと油断した隙をついての大きな賭けであった。連合軍は波の研究者を総動員して、上陸地の波の高さを推定したり、正確な天気予報を予想しようとした。結果として、彼ら連合軍は大きな犠牲を払いながらもヨーロッパ最初の橋頭堡を確保、以後戦況は逆転、やがてドイツ敗北への道につながる――。

ともあれ、カナダのファンディ湾（潮位差最大 12.9m）、イギリスのセバーン湾（同 8.5m）などと並んで、ノルマンディに程近いランスも潮位差 8.5m と干満差が非常に大きく潮汐発電所が作られている。干潮時には陸繋島となる有名なモンサンミッシェル寺院があるのもこの近く。ちなみに日本で潮位差の一番大きいところは、九州有明海奥の住ノ江でわずかに 4.9m ほど。潮汐発電の計画も練られてはみたものの、環境や経済性の問題などで実現には至っていないという。

このノルマンディ上陸作戦は「史上最大の作戦」「プライベートライアン」などで何度も映画化された。しかしその描き方は両者でまったく異なる。その変遷に私は、ベトナム戦争の敗戦を経験した米国の苦悩を見る思いがした。かつては水際が血で赤く染まったというこのノルマンディの海岸をいつかは訪ねてみたいと思っている。

――空から見下ろすソマリアの大地は相変わらず赤茶けて不毛に見えた。「戦争の裏側」  
村田信一より

#### 試験に出ない地学 Series 2002 年秋号

学生の頃、作っていた電子回路に Cds フォトセルという光の強弱を電流の強弱に替えるパーツが必要となった。日本橋の電子パーツ屋を探したあげく、国内で唯一、浜松の小さな町工場が作ったそのパーツを手に入れた。その後 10 数年、奈良県の山奥にある天体観測施設での夜、あいにくの曇天でロビーに居たとき、偶然カミオカンデの観測をしている大学の研究者と隣合った。朝まで観測器材の話聞いた。タンクに注ぐ純水を得る苦労や弱いチェレンコフ放射光をとらえる光電管の歩留まり（テストに合格する率）に苦労する話だった。ほんのわずかのイオンが溶け込むだけで、たちまち巨大な水槽は光のノイズまみれになる。そんな話を聞いた。直径 50cm の巨大な光電管を作ったメーカーがくだんの浜松のメーカーだと聞かされた。世界でこの会社でしか作れない光電管だと聞いた。

しばしの時が流れてその頃のカミオカンデの研究が先週、ノーベル物理学賞を取った。小柴さんは記者に「これが何に役立つのですか？」と聞かれ「何にも役立ちませんよ」と答えた。その翌日 2 人目のノーベル賞は京都のやはり小さな町工場から立ち上がった企業の研究室から生まれた。小さな町工場が育てたハイテクが基本研究を支える。そして何にも役立たないように見える基本研究が、実はその国の産業の先端技術を鍛えていく。たしか私が会った研究者はそう教えてくれた。しかし今、そうした優れた技術を持つ町工場が次々とつぶれている。優れた技術やノウハウが職人の頭と身体に染みついたままどこにもデータ化されずに消えていく。替わって、「設計図さえあれば安い海外の工場や、生産ロボ

ットで簡単に物は作れる」――、一度も本気で物を作ってみたことのない幸せな人々が唱えるこんな神話が幅を効かせ始める。「産業の空洞化」と共に「知の空洞化」がそうして始まると私は思う――。

-----I was like finding the key piece to an enormous jigsaw puzzle that made everything fit together.-----

N.Oreskes 編集の Plate Tectonics 第4章, The Zebra Pattern, L.W.Morley より(彼は Vine & Mathew,1963 の論文にタッチの差で敗れ、海洋底拡大説の先駆者としての名を歴史に刻めなかった)

---

#### 試験に出ない地学 Series. 2002 年夏号

1905 年南アフリカ、プレミア鉱山。仕事を終えて帰ろうとした、鉱山の管理人が道端で光るものが埋もれているのに気付いた。いつものガラスを埋めた誰かのいたずらだろうとナイフの先でそれを掘り出した。世界最大のダイヤモンド、カリナンの発見の瞬間だった。重さ 3106 カラット (621 g)、5×6×10cm のその巨大な原石はやがてイギリス王室の手に渡り、オランダの加工会社の手を経て、イギリス王室の王笏、王冠を飾ることになる。最初のカットを担当したアッシャーはのみを入れて原石を割ろうとする瞬間、あまりの緊張で倒れてしまったと伝えられる。

古来、ダイヤモンドは悲劇と喜劇の間をわたり歩いた。1666 年インドのあるお寺の像の眼に嵌められていたブルーに光る妖しいダイヤモンドはフランスの貿易商人に盗まれ、やがてルイ 14 世の手からマリ・アントワネットに渡る。しかし、貿易商人は野犬の群れに食われた変死体で発見。ルイ王朝はマリーともどもフランス革命でギロチン台の露と消える。その後もこのダイヤを手にした宝石商の親子、実業家達は次々と非業の死を遂げたり、家業が傾いたり悲劇にみまわれ続ける。最後にスミソニアン博物館の展示品として安住の地を得たこのブルーダイヤ“ホープ”はその後悲劇を起こすことはなかった。

冷戦が終わった今も、アフリカでは様々な民族紛争や内戦が絶えない。そのいくつかはダイヤモンドの鉱床を巡る利権が関係するという。ダイヤモンドは際立つその高い屈折率のきらめきの底に、世紀を越えてなお人々の心の貧しさを映し続けている――。

(この稿 <http://www.royalgrace.co.jp/home/gems/story/story.html> と <http://tanakanews.com/A0203diamond.htm> を参考にしました。)

――歴史は高原において始まり、平野において普遍的なるものへの反省に醒ざめ、海岸においてこの反省を発展せしめる。-----和辻哲郎「風土」(ヘーゲルの世界史論についての記述) より

---

#### 試験にでない地学 Series 2002 年春待ち号

1945 年 8 月 6 日早朝、広島へ向かうエノラゲイに伴走する飛行機に、後にノーベル賞に輝くことになる若き原子物理学者 Luis Alvarez はデータ収集のために搭乗していた。ミッションが終わって基地に帰りつくなり彼は、まだ幼い彼の 4 才の息子に大きくなれば読む

ようにと手紙を書いた。What regrets I have about being a party to killing and maiming thousands of Japanese civilians this morning ——。

この35年後の1980年、地質学者となった息子 Walter は父とともに雑誌「Science」に長文の論文を投稿する。イタリアのK-T境界（白亜紀と第三紀の境界）の泥岩層に濃集するイリジウム（Ir）の成因を巨大隕石の落下による地球規模の災いによるものと推測したものであった。恐竜やアンモナイトの絶滅を巡って古来数多くの説が展開されてきたが、Alvarez親子の論文は大きな衝撃を与えた。以来彼らの説を巡る争いは学会を巻き込む壮絶なバトルへと展開する。伝統的な地質学者達は Hutton や Lyell が唱えた「斉一説」（つまり地学現象は身近に見られるようなゆっくりとした現象が積み重なって大きな変化をもたらす）を信奉していたが、彼らの説はそれへのいわば宣戦布告だったからである。ともあれ、1990年にメキシコ沖で発見された巨大クレーター（Chicxulub）の痕跡は彼らの説の勝利を裏付けた。“Giant Impact” —— 巨大隕石の落下により逃げ惑う恐竜たちのカタストロフを老 Alvarez は、若い頃目に焼き付いたヒロシマの上空に炸裂した閃光と屹立するきのこ雲から連想したのだろうか？（Night Comes to the Cretaceous / J.L.Powel の記述を参考にした）

——それは初めから知っていたのだ。すべて火と燃えるものは遂には燃え尽きて、黒々とした夜しかあとには残らないことを。「死の島」福永武彦より。

#### 試験にでない地学 Series 2001年初冬の号

1908年11月25日中国の河北省の農村の貧しい家に生まれた賈蘭坡は成績は優秀だったが、高校を出るとすぐに働かなければならなかった。その後の彼は図書館に通い独学を志す。やがて、中国地質調査所の試験に合格した後、地質調査の下働きをしながらさらに考古学や古生物学を苦学した。1936年北京近郊周口店で幸運はやってきた。発掘団に加わっていた彼は偶然化石人骨を発見した。北京原人のほぼ完全な頭骨発見の瞬間である。打製石器を造り、蕪や果実を採集し、火を利用する彼らの姿がやがて明らかになっていく——。

そもそも周口店のような石灰岩地帯の洞窟はこのような化石人骨の保存に適していると言われる。石灰岩の風化土壌に含まれる豊富なカルシウム分が土中の化石の成分を置換し、補強するからだと言われる。日本でもかつて三ケ日人、葛生人など石灰岩洞窟にまつわる化石人骨がとりざたされたことがあった。さて、くだんの北京原人の化石は不完全な1個をのぞいて現存していない。戦乱を恐れた中国当局が米國に移送する途中で、紛失したとされ、当時の日本軍の関与も疑われている。そしていまだに20世紀のミステリーの1つに数えられている。そういえば、日本の原人の方も例の旧石器捏造事件以来、信用度が低下してしまった。葛生原人は動物の骨と15世紀の人骨、三ケ日人は縄文人の疑いが強いと最近の新聞は伝えている。

さて大学者となった賈蘭坡は90才を過ぎて亡くなるまで、消えた「国宝」である北京原人の骨の行方を探し続けた。北京原人に一生を捧げた彼の遺骨の一部は生家のそばに、そして残りは北京原人の故郷、周口店の竜骨山に埋められたという。

（この稿 <http://peopleschina.com/maindoc/html/200111/zhuanyen-3.htm>）

<http://www.mainichi.co.jp/news/selection/archive/199912/02/1202e008-400.html> などの記述を参考にした)

—どれほど変形した死者も眼さえ開いていなければ私をおびやかさない。—「輝ける闇」  
開高健より

---

#### 試験にでない地学 Series 2001 年秋の号

もう 30 年以上前に、若干 39 才の若さで凶弾に倒れた、アメリカの公民権運動活動家であり、また敬虔なバプティストの牧師であった故 Dr. Martin Luther King Jr. はその有名なリンカーン祈念堂での「I have a dream」という演説で次のように語るくだりがある。

—I have a dream today! I have a dream that one day "every valley shall be exalted, every hills and mountains shall be made low, the rough places will be made plain, and the crooked places will be made straight, and the glory of the Lord shall be revealed, and all flesh shall see it together." とイザヤ書 40:4-5)より引用して、さらに続ける。

This is our hope. This is the faith that I go back to the South with. With this faith that we will be able to hew out of the mountain of despair a stone of hope.

すべての谷は隆起し、山は低められそこに平野ができる。入り組んだ道はまっすぐに直される。そして絶望の山からも希望の石を切り出す。と語る彼のこの演説は世界の多くの人々に、数え切れない感動と勇気を与えると同時に、その後の世界の在りようを変えた。残忍な暴力とそれに対する過剰な報復でしか解決しようとしないうちの世界を見るにつけ、Web ページから流れる彼の演説を今一度かみしめてみたい。

——人は人を幸福にすることには長けていないが、不幸にするには長けている。——「クエーター」 榎 周平著の主人公のセリフより要約

---

#### 試験にでない地学 Series 2001 梅雨の巻

松尾芭蕉がニュートンやハレーと同時代と聞いて少し驚いた。彼の「奥の細道」から少し、地学に関係深そうなものを集めてみた。

〓 五月雨をあつめて早し最上川

は旧暦 5 月 29 日に原型が詠まれたとされるが、これは現在の新暦では 7 月 15 日に相当する。「五月雨」は実際には 5 月の雨ではなく梅雨の雨、それもこの場合梅雨末期の集中豪雨が予想される。五月晴れは従って梅雨の合間の晴れた空というのが本当ということになる。また、その 1 か月後、越後では佐渡を望んで

〓 荒海や佐渡によこたふ天河

と詠んでいる。これは旧暦 7 月 7 日（七夕）に詠まれたとされるが、これも新暦では 8 月の下旬になる。もう 10 数年前、とあるアマチュア天文家が、プラネタリウムソフトを用いて、この日、佐渡の方向（北の方角）に天の川が横たわるかを検証した人がいたと聞く。結果は否。また、奥の細道を随行した弟子の曾良によれば、この数日は雨模様だったとさ

れ、芭蕉が本当に景色を見ながら詠んだかどうか疑わしいとされる。前後して、象潟では  
「汐越や鶴はぎぬれて海涼し

と詠んでいる。ここは文化元年(1804)6月の出羽大地震で隆起が起り現在、田んぼが続く  
平野となっているが、当時は東の松島とならぶ、小島が湾に浮かぶ海の景勝であったことが  
窺える。

芭蕉の句にも意外な地学的自然像が隠されているのは大変興味深い。弟子の曾良は幕府  
の隠密といわれたり、彼の生涯には謎が多いが、

「旅に病で夢は枯野をかけ廻る  
という辞世とはうらはらに、現在でも彼の句は生きて科学のメスが入るのを待ち望んでい  
るようにも思える。

――からみあう葛葛の下に、幅が約半インチの乳白色の石英の帯が、岩石の表層に埋め  
込まれて這っているのが見えた。目につくあらゆるものが、「錫」の存在を示していた。――  
――F. フォーサイス「戦争の犬たち」篠原 慎訳より

#### 試験にでない地学 Series 2001 初夏の巻

昨年の10/8、研究体験旅行から帰着した翌日、自宅で早朝、庭で硫黄の匂いがすると家  
人が述べた。そのころ、知人から同様のニュースを聞いていた。すぐに三宅島の火山ガス  
だと直感した。SO<sub>2</sub>とH<sub>2</sub>Sは半年以上経った現在も大量に三宅島から放出されている。東  
海～関東にかけての地域ではすでに環境基準を超えるSO<sub>2</sub>(二酸化硫黄)濃度が何度も観  
測されているほどだが、大阪ではほとんどニュースに取り上げられない。火山ガスと言え  
ば1度だけ火口間近でのどがいたくなるのを経験したことがある。数年前、阿蘇山頂火口  
のシェルターに観測機器を据え付けていたときだが、せき込む私に火山観測のベテランは  
笑ってこう言い放った。「臭いがするうちは大丈夫。臭いがなくなると脳がやられだして  
いるから気をつけろ！」――私たちの据えた銅製のむきだしのパイプ(圧力センサーの一  
部)は翌朝すでにガスで真っ黒に変色していた。――

さて、昨年、地学の授業で、三宅島のような玄武岩質の火山は真っ赤な溶岩を流すが活  
動はおとなしく短期間で収まると強調した。ところが昨夏にはじまった活動はことごとく  
予想を裏切った、地下のマグマの側方移動→島から離れた群発地震→地下のマグマ喪失に  
よる？カルデラの拡大(崩壊)→小爆発と低温ながら玄武岩火山としては極めて稀な火砕  
流の発生、そして現在まで島民を避難させることになった火山ガスの大量発生と行き着く  
暇もなく、火山学の常識を覆す活動が続いている。住民の帰島をめどもまったく経って  
いない。しかし、地球の長い歴史を考えるとこのような活動は珍しくないのかも知れない。  
地球の大気組成は火山ガスの寄与が大きいし、原始生命も中央海嶺で吹き出す大量の熱水  
と火山ガスを元に形成されたと信じられている。茫漠と続く地球の歴史と時間的にほんの  
一瞬にすぎない私達の生活の間で地学現象はまったく違った顔を見せてしまう。――拙作  
の資料を参考に自作の地震計を作られた三宅島の中学の理科のY先生とは噴火の後、一度  
電話で話した。「噴火の地震の記録がきれいにとれました」と語っておられたが、東京に避  
難されて以後連絡は取れていない。かつて私達が阿蘇に据えたノートパソコンなどの観測



機器は小屋の中でポリエチレンの袋とケースに守られ数年間動き続けたと聞くが、彼の手作りの地震計は三宅島の濃い火山ガスに耐え、いまだ島で噴火の記録をとり続けてくれているのだろうか？――

――私は地震だ。うたかた湖の地下数十キロメートルの深さで起きた、誰も迷惑を被ることがない、軽い地震だ。――丸山健二「千日の瑠璃」より

---

#### 試験に出ない地学 Series 2001 早春号

16世紀から17世紀にかけての世紀の変わり目は天文学の歴史にとって、重要なエポックであった。中世を支配したスコラとしての天動説が劇的に打ち倒される過程は小説のように面白い。しかし、この時代を現在のようない情報社会としてみることはできない。南から北上するイタリアルネッサンスの波と北から南下する宗教改革のうねりはそこかしこに渦を巻き、地域ごとに異なった形態を取った。異端狩り、魔女狩り、宗教戦争などヨーロッパ史上まれにみる残酷な世紀が始まろうとしていた。その中で母親を魔女裁判で半殺しにされながら地動説の礎となったケプラー、アジテータとして全ヨーロッパ指名手配の末、権力に屈服せず火あぶりに殉じたブルーノ、裁判で謝り死刑は免れたが太陽観測で盲目となり失意のうちに果てたガリレオ、地動説への賛意を秘めたまま野垂れ死にした根性なしのデカルト。生きているうちに偉くなったと自覚できた唯一の幸せ者ニュートンという私の見解は単に1つの歴史の解釈にすぎない。時代はまだ錬金術の世紀を超えてはいなかった。

先日、フィリピン人の友人の恐竜の研究者から、興奮した書き方で長文のe-mailが飛び込んできた。Manila市中でのEstrada退陣を叫ぶ群衆の中にいたという彼は「I was there」というタイトルのメールの最後を「I was part of history.」と結んでいた。現在は歴史の大きな変わり目すら、瞬時にネットを駆け巡る。時間差のない政変を告げるTVニュースと彼の姿をだぶらせながら、ちよっぴり彼がうらやましかった。(1/26記す。文章のモチーフは山本義隆著「重力と力学的世界」/現代数学社に負うところが大きい)

ースペルはNOWHEREだろう。WとHの間にハイフンを入れてみな。――「微熱少年」松本隆より

---

#### 試験に出ない地学 Series Millennium 冬号

先頃、前期旧石器時代の遺跡発掘にまつわる”捏造”が話題となったが、地学でも化石にまつわるこの種の話は珍しくない。古くはピルトダウン人(1912年に英国で発見された化石人骨が実は人間の頭骨と類人猿のあごの骨を組み合わせたものであることが1953年に判明。コナン・ドイルなどの著名人も疑われたが最近の科学雑誌『ネイチャー』によれば博物館職員のしわざと断定)が有名であるが、ごく最近の報道でも、中国で昨年発見されたとされる始祖鳥の1種アーカエオラプトルが実は作り物であったことが確認されたという。

しかし、そういったいわば”捏造”とまではいなくても、科学者が信じた観測や実験

が実は幻であったという例は多い。火星の有名な“運河”も人工衛星が表面写真を撮る現在では幻影であったとされる。スキヤバレリ、アントニアジ、ローエルといった当時を代表する天文学者がそろいもそろって幻を見ていたというのはにわかには信じがたいが、人間の願望（この場合、火星にいて欲しい！という願い）は時として、科学に幻影を持ち込むのだろうか？最近でも話題をにぎわした“常温核融合”など、その種の系譜は今も跡を絶たないようだ。筆者は神戸の地震の後、ある席で日本の地震予知を批判する急先鋒のアメリカ人の研究者から、「日本人は願望と科学を混同しがちだ。地震の前兆という幻を信じているにすぎない」という意味の事を指摘され「そうかな」と考え込んでしまったことがある。そういえば、火星の運河を熱心にスケッチし、火星の存在を最後まで信じ続けたというアメリカの天文学者パーシバル・ローエルが明治期の日本を何度も訪れ、ラフカディオ・ハーンとも交友があり、詳しい日本滞在記「Occult Japan」（神秘の日本）まで書いていたというのはちょっと意外であった。（<http://www.geocities.co.jp/CollegeLife-Labo/6989/PercivalLowell.htm> による）こののち、米国に帰ったローエルは火星の研究に没頭し始める。“Occult Japan”が彼に何らかの神秘のモチベーションを与えたのだろうか？

-----<火星>よ。火星に帰ったらこんどこそ仲間を皆、呼びさまして、太古のようなく火星のイグルーをたてるがいい。----- 光瀬 龍「東キャナル文書」より

---

#### 試験に出ない地学 Series Millennium 秋号

研究体験旅行の付き添いで、バリ島に渡った夜、ビーチの西空に沈む三日月は、皿に置かれた食べ残しのスイカのように水平に浮かんでいた。明るく日、昼食時、レストランの外で、太陽はほぼ真上にあつた。木々や自分の影が真下に小さく落ちた。南緯8度のバリ島はほぼ赤道直下であることが実感できた。一方、私の家の自室に、若いときに美術教師の同僚にもらった、ムンクの「叫び」の模写が飾ってある。ムンクはノルウェーの海岸で踊りに興じる男女をよく描くが、絵の中の満月は、いつも直下の海面にT字型の光の柱を落としている。けれどある時、これは沈む月ではなく、高緯度ゆえにいつも南の水平線に近く見えるためかも知れないと気づいた。月や太陽の動きには緯度の影響が顕著にでる。-----ムンクが高緯度のノルウェーで自らの「叫び」をキャンバスにぶつけていたころ、赤道直下ではフランス出身のゴーギャンが文明に背を向けて、タヒチの素朴な風景を書き留めていた。奇しくも2人は同時代の世紀末を緯度の両サイドから、異なった角度で見つめていた。私も蒸し暑いバリ島での夜、鬼気迫るレゴンダンスの踊り手の身振りに圧倒されながら、赤道の緯度の側に立って、文明の意味を考え直そうとしている自分に気づいた。

——「これを一名、“バタフライ効果”という。北京で蝶々がはばたけば、ニューヨークの天気が変わるといふやつだ」 <ジュラシック・パーク> マイケル・クライトン、酒井昭伸訳より（2000.10/19 記）

---

#### 試験に出ない地学 Series ミレニアム夏の号

もう20数年前になるが、地質学の分野で「黒潮古陸」という壮大な仮説が提唱されたこ

とがあった。今から 5000 万年位前の古第三紀という時代に、紀伊半島の南の太平洋に大きな大陸が存在したという考えである。筆者はその頃、出身高校の生徒達とともに、この説の提唱者の 1 人、和歌山大学の原田哲朗先生に紀伊半島の地層を案内してもらったことがある。真夏の暑い昼下がりに、釣り船で渡してもらった横島という小さな島の露頭の前で、先生は礫岩の礫にオーソコーツアイトという砂漠の砂でできた特殊な岩石が含まれること。そして、その岩石でできた山は紀伊半島以北では見つからないこと。さらに地層の中の古流系（地層から読み取れる昔の水流の方向）は南の方向からの堆積物の供給を示し、どうしても古第三紀には紀伊半島の南に砂漠を持つような大陸があったと考えないと、その島の地層を説明できないこと。を事細かに力説しておられた。

小さな礫岩を片手に汗を拭きながら、高校生達に古代の大陸のロマンを語る氏の姿がいまでも目に浮かぶ。私にとって地質学者というのは大いなるロマンチストだとその時感じた。あれからかなりの年月が経ったが、この説の決着はまだついていない。そして原田先生はその決着を見ずに、昨年急逝されたと聞いた。釣り師しか渡らない横島の露頭は多分、今もひっそりと残っているに違いない。そして、いつの日か、その大いなるロマンに決着をつける若い人が登場することを静かにしかし、気長に待ちわびていると私は思う。

――バナナの葉という葉に、発光虫みたいに星がとまっているように見えた。遠くの星が一つ、また一つ斜めに線を引いてバナナ畑に流れ落ちた。―― 辺見 庸「もの食う人々」より ---2000.07/02



定期テストの余白エッセイ  
「試験に出ない地学 Series」 中間総括'2005'  
(資料編 その2)

おか もと よし お  
岡 本 義 雄

Essays on the blank of geoscience exams named  
“Shiken ni Denai Chigaku series” 2005

Yoshio OKAMOTO

---

試験に出ない地学 Series ミレニアム番外編 <富士の頂角>

「富士の頂角、廣重の富士は八十五度、文兆の富士も八十四度くらゐ」の書き出しではじまる「富嶽百景」は心中、自殺未遂と悩み続けた太宰治が一時、健やかな時を過ごしたかにみえる、富士山麓での滞在中の出来事をみずみずしく描く佳品である。地学の授業で火山の単元の始めにまず、生徒にノートに富士山の絵を書いてごらんと言ったあと、かならず紹介するフレーズである。実際の富士の頂角は、この文章の後に太宰自身が陸測図から測定してくれているように、東西 124 度、南北 117 度の鈍角な成層火山でしかない。人間は自分の目でみた像と異なるイメージを頭の中に描くことがよくあるが、火山や山岳は人々にとってやはり見上げるべきもの、畏れる対象として険しくデフォルメされるのかも知れない。

「富嶽百景」の別のページには、若い文学志望の青年達に先生と呼ばれて、太宰が自分には誇るべきものは何もないが、唯一苦悩だけは人に先生と呼ばれてもよいだけ経験したと、「藁一すぢの自負」と記すシーンがある。私も「先生」と呼ばれる職業について久しいが、いつもこの「藁一すぢの自負」について自問している。

黒々と人は雨具を桜桃忌 石川桂郎 ---「俳句歳時記(夏の部)」より---

---

試験に出ない地学 Series 95 年冬の巻

授業で核分裂の話をしたところに、高速増殖炉「もんじゅ」の事故のニュースが飛び込

んできた。エネルギー問題の難しさをまた実感してしまった。しかし、夜空の星はそれを笑うかのように今日も穏やかな光を投げかける。

“There are two paths you can go by but in the long long run” ---Led Zeppelin “Stairway to Heaven”---

---

#### 試験に出ない地学 Series 92 年秋号

昨年のピナツボ火山の噴火の影響で、今になっても異常な赤い夕焼けがよくみられる。その夕焼けが消えた頃、スィフト・タートルという彗星がころうじて双眼鏡の視野に見えている。その西空を見ながらふと高校生の頃を思い出した。新彗星の発見を夢見て、望遠鏡の反射鏡を自作するために、毎日、厚いガラス板を研磨していた――。あれから 20 数年、Okamoto 彗星はどうも夢に終わりそうであるが、未知の星へのあこがれは当時と少しも変わっていないように思う。

「――その小さな光はいつも僕の指のほんの少し先にあった。」 村上春樹”ノルウェイの森”より

---

#### 試験に出ない地学 Series93 年夏号

1596 年（慶長元年）京都及び畿内に M7 クラスの地震が起こり、当時秀吉のいた伏見城では天守閣が大破、500 名以上が圧死した。このとき秀吉の逆鱗に触れ謹慎を命じられていた加藤清正はただちに伏見城に駆けつけ、秀吉のごきげんをうかがい激賞されたという。人は彼のことを”地震加藤”と影でうわさしたと伝えられる。その清正も 4 年後の関ヶ原の戦いでは福島正則などと共に東軍に走り、その後長く続く徳川政権誕生の礎となった。――以来 400 年、近畿地方には大地震が起こっていない、関東に比べ近畿が地震に対して安全だとは決して言えないわけである。

吾もまた目覚めむとせし暁の山に地震（なみ）ふりて雉子けたたまし ---茂吉---  
※注 この文章は神戸の地震の直前、1993 年に書いていることに注意

---

#### 試験に出ない地学 Series93 年秋号

日本の山野、それも都会に近い山の尾根や沢で、宝石の原石が採れるということを知る人は少ない。

17~8 年前、私はアマチュアの鉱物収集家 Y 氏の案内で琵琶湖の南の山中をよく歩いた。小さな沢の花崗岩の砂や礫を丹念にザルにいれて探していると、ふいにキラッと太陽の光を反射した 1 cm にも満たない結晶が転がり落ちた。見事な”トパーズ”の結晶だった。“Beginner’s luck!” 私はその後何度もその山に足を運んだ。

ある尾根で白いペグマタイト脈をドライバーの先でこじているとき、土に汚れた少し緑がかかった細長い結晶が出てきた。急いで Y 氏を呼ぶと「珍しい！アクアマリンじゃないか！」――

というわけでこの2つの結晶は今でも私の宝物である。さて、当時石だけが恋人のようだったY氏に昨年偶然10数年ぶりに石の展示会でお会いした。家中、鉱物やら化石やらの標本箱で一杯だったこの道の先輩に「もう結婚されたのでしょうか？」とはやっぱり聞けなかった。――

――”それと同時に頼子は、フランス革命の遠因が天命3年の浅間の噴火にあるという説を思い出した。――「真昼のプリニウス」池澤夏樹より  
2003.06/28 補記：このときのトパーズとアクアマリンのサンプル写真はここにあります。

---

#### 試験に出ない地学 Series'90 神無月

記録的に暑かった今年の夏、サウナのような京都の街をさまよっていたある午後、ふとポスターにひかれて、美術館を訪ねていた。学生時代に読んだことのある暗い小説のどこかのページに書かれていた画家の名前を眼にしたからである。

ピーター・ブリューゲル(1528-69)はネーデルランド(現在のオランダ)の片田舎に農民の子として生まれ、農村の生活を画き、ヨーロッパ中世の最後を飾る画家と言われている。しかし、彼の絵には学生時代読んだ小説の暗いイメージは殆どなかった。私は20年近く彼の絵をまちがった方向に想像していたのだろうか。美術館から出て、再びサウナのような京都の景色を見ながら、20年前にもし、この絵をに見ていたら、私の人生も変わっていたかも知れないと、ふと夢のようなことを考えていた。

さて、このブリューゲルの絵には有名な雪の絵が何点かある。彼の生きた16世紀から17世紀は小氷期と呼ばれ、地球全体が寒い時期にあたっていた。ヨーロッパでは雪の肌寒い冬が続き、アルプスの氷河も現在より、ずっとふもとまで伸びていたと言われる。一方、19世紀のイギリスの風景画家ターナーの画く空の色は奇妙にオレンジで暗い。これが有史以来最大の噴火といわれる1815年タンボラ火山(インドネシア)の噴火による火山灰が成層圏を汚したときの空の色だという説を最近聞いたことがある。名画の中にも案外、地球の歴史を解く鍵が隠されているかも知れない。――

「友人達は若く、すべて偏狭であったが、その偏狭によって皆は美しい精神を保持し、互いに切磋した――」 ― 野間 宏 “暗い絵”より―

---

#### 試験に出ない地学 Series'90-5月

温泉というと、よく火山地帯につきもので箱根や雲仙などは火山と温泉のセットとして有名である。しかし、近畿地方の温泉(ex.有馬、白浜、城崎など)は、その元となるべき火山を持たない。これは昔からさまざまな説があり、マグマの力が弱く火山を作るに至っていない。温泉はマグマの活動の最終段階なので、かつてあった火山活動の名残りである等の説明がなされている。大阪府下には冷泉(一般の地下水並みの温度しかないもの)を暖めて“温泉”と称しているものがほとんどであるが、学校の近くでも河内長野周辺などは炭酸の溶けた地下水(冷泉)をくみ上げ“ミネラルウォーター”や“炭酸水”として売

りに出している。最近和歌山市周辺の群発地震について、地下のマグマの活動に起因する説が出され、地下のマグマの活動がまったくないわけではないらしい。

—先生、気層のなかに炭酸ガスが増えてくれば暖くなるのですか？— 宮沢賢治「グスコブドリの伝記」より——

---

#### 試験に出ない地学 Series89 年神無月

1689年（元禄2年）6月16日（旧暦）松尾芭蕉は、秋田県南部の“象潟”（きさがた）で次の句を詠んだ。

“汐越（しおごし）や鶴はぎ濡れて海涼し”

当時“象潟”は水深2mの海に繋がる潟湖。波間に浮かぶ島々（九十九島とよばれた）が東の松島と並んで東北の2大名勝であった。しかし、現在その面影は全くない。当時の潟はすべて水田となり、島々は小さな丘となって、海を見つめている。1804年の地震がこのあたりを隆起させ、かつての名勝を見事に干上がらせた結果である。

---

#### 試験に出ない地学 Series'89 春？ 番外編

私が高校を卒業する頃、「青年は荒野をめざす」（フォーク・クルセダーズ）という唄がはりました。

—— 一人で行くんだ。幸せに背を向けて —— という歌詞でした。

あれから20年近く月日が流れたけれども、私が18才の時に決意した生き方だけは今も間違っていなかった！と自信を持って言えます。皆さんは今、どんな決意を胸に秘めて卒業しようとしているのでしょうか？！

---

#### 試験に出ない地学 Series '88 春 番外編

先日、10年前に私が初めて本校で担任を持ったクラスのクラスメイト同士の結婚式に招待されたときのことである。かけつけたなつかしいかつての生徒達の祝辞が続く中で、かつてのサッカー部のキャプテンでもあったM君は唄の途中で胸が詰まり、絶句してしまった。すぐに何人かが飛び入りで助けに出た。僕も知らない間に席を飛び出していた。この日みんなで肩を組んで唄った「乾杯」は良かった。

その日、家に帰った私は一目散に久しくほこりをかぶっていたギターを取りだして、たどたどしくもう一度唄った。妻や子はあきれていたが、あれから私はこの「乾杯」という唄を秘かに練習している。———PS.1年間みんなどうもありがとう！

---

#### 試験に出ない地学 Series '87 2月

作家、太宰治は“書き出し”の作家だと言われる。たとえば

「恋をしたのだ。———」（ダス・ゲマイネ）

「死なうと思ってみた。———」（晩年） など感動的だが



「富士の頂角、広重の富士は八十五度———」（富嶽百景）というもなかなか秀逸であり、彼の自然観の一端を垣間見れるように思う。世界のコニーデ型の独立峰としては、富士山の頂角はむしろ鈍重な方であり（117-124度と太宰は見積もっている）、これを世界の“フジヤマ”として印象づけたのは他ならぬ広重や北斎の才能であった（北斎に至っては頂角は30度！）と太宰は言いたいように思える。

その富士山にも近年、再噴火のうわさがたえない。この作品から10年を経ずして玉川上水に自死した太宰 治———。「いや俺の苦悩の頂きは、もっとより高く、より鋭かったのだ。———」と彼は言い残したかったのだろうか———。

「私は、なんだかもっと恐ろしく大きなものの為に走ってゐるのだ。ついて来い！フィロストラトス！」（走れメロス）より 87.12/7

---

#### 試験に出ない地学 Series 83' 春号

Our shadows taller than our soul. 我が影は我が魂よりも長く——— Led Zeppelin “Stair Way to Heaven”

とかつてイギリスのロックグループは唄ったが、高緯度のイギリスでは日本よりも一般に太陽高度が低く、人々の影が長く伸びる。日本でも夏より冬、影が長く伸びるのと同じだ。さて、春の到来！風が光る春の陽だまりへ向けて会心のスクラムトライをあげよう！

---

#### 試験に出ない地学 Series 81' 冬号

「記録の語るところによれば、君たちの国（ギリシャ）はその昔、外の方、アトランティス洋（大西洋）から同時に全エウロパとアジアとを不遜に侵寇するいかに強大な勢力を阻止したことか。実は当時、あその大洋は航行できた。というのも、君たちはヘラクレスの柱とっているそうだが、あの海峡の彼方に島があった」———前6世紀頃、プラトンはこうクリティアスに語らせている。———これが世に言うアトランティス伝説の発端である。———以来数多くの人々が大西洋の底を探ったがめぼしい発見はなかった。近年この伝説はエーゲ海の火山島、サントリン島の噴火をモデルにしたものではないかという考えが出されている。前1400年頃のこの島の噴火がミノア文明を滅ぼし、後世の人々の胸の奥に伝説として語り継がれたのだという。———

———真紅のほのほはあとからあとから寄せる波のように彼の立っている高みへ向かって押し寄せてきた。はげしい風が吹いているとみえ、ほのほの無数の切れ端が火の鳥のように舞い狂っていた。それが落ちた所からまた新しい火の手が上がった———  
光瀬 龍『百億の昼と千億の夜』より

---

#### 試験に出ない地学 Series 81' 番外編

光より速い矢をつがえることは不可能だ。と今世紀初頭アインシュタインは告げたが———

僕の心の中の非行少年が僕に告げる。

「偉そうな事を言っても、お前の背中への矢はすでに尽きてしまっているではないか！」

答えて僕が返す。

「しかし、お前の背中への矢は、放たれるまでに朽ちてしまっている。――」

さて、朽ちた矢を背負った少年と、矢がすでに尽きた後、なおも、幻想の矢を射ち続ける  
しかない僕との闘いはまだ始まったばかりだ。

――新たな時代に向けて、光よりも速い矢を最初にいるのは  
少年か、それとも僕か！――

PS. 1年間みんなどうも有難う――

81' 2月27日 AM11h30m

---

#### 試験に出ない地学 Series 80年冬号

乾いた冬のアドレスがしだいかすかになる――  
見知らぬ蒼い星雲が大きく息をつく夜  
僕は失くした青春の分だけ わずかに  
無口になった日記を綴る  
少し他人になったような表情で  
教科書をしまう君に心のなかで挨拶を送るために――  
それは  
1つのトーテムを通過する季節であった――

PS. 1年間みんなどうも有難う

---

#### 試験に出ない地学 Series 80' 初夏

5月も下旬になると梅雨のはしりが現れ、うっとおしい空模様の日が増えてくる。こんな時期は天気予報がはずれやすく、予報官泣かせだと聞く。さて、昔夜店で買ってくるおもちに”晴雨計”というのがあった。原理的には湿度計とおなじで藁葺き屋根の小屋の中から、雨の日（湿度が高い）には藁笠つけた田植え姿の翁が、また晴れの日（湿度が低い）には頭にかごを載せた大原女の人形が交互に顔を出すといった他愛もないものだったが、小学校の頃、これは実によくあたった。

セロファンや毛髪などは湿度に敏感でこれを用いて簡単に湿度計を作ることができる。現在でもラジオゾンデ用の湿度計には人間の毛髪を用いている。ふしぎと西欧の若い女性の金髪の特徴が良いそうである。新田次郎は小説「毛髪湿度計」（「火の島・火山群」所収）の中で戦争中、自分の恋人の髪の毛で作った「毛髪湿度計」を抱いて死ぬ悲しい気象台員の物語を書いている。さて”晴雨計”は英語で barometer. これは日本語（バロメーター）にもなっている。

二、三、雨に関する日英の記述の比較を

土砂降り（日本では「車軸を流す」などと言うが） It rains cats and dogs.

もっと凄い表現では cloud burst (雲の爆発) となったりする。

——And the rain was upon the earth forty days and forty nights ——Genesis, vii.12——

注:現在ラジオゾンデ用湿度計はカーボン紙の含有水量を電氣的に測定しているとのこと。

---

#### 試験に出ない地学 Series 79'秋

虹が実は一重ではないということを知る人は少ない。条件の良いときには虹の上方に、同心円状に色の順が逆になったうすい虹をみることがある。私は3年前の夏の夕方、泉北ニュータウンでこの虹を写真におさめたことがある。また或る本では4重にまでなった虹の写真を見たことがある。虹の他に、似たものとして、暈(太陽や月の周りの輪)、彩雲(雲の一部が7色に輝く)幻日(太陽のそばに別の光の点が寄り添う)、蜃気楼、不知火など大気中の光の屈折、分散の織りなす美しい現象は枚挙にいとまがない。

虹と言えば、私の高校時代、「虹と共に消えた恋」というフォークソングが流行った。まだ海の向こうのベトナムでの悲惨な戦争の記事が新聞の紙面を埋めていた頃である。

——日は今、子午線のそのいと高きところをもてイエルサレムを蔽う天涯にあらはれ、これと相対ひてめぐる夜は、天秤をもちてガンジェを去れり——ダンテ「神曲」第2曲より——

---

#### 試験に出ない地学 Series No.2 79年夏号

その日、私と私の高校の後輩達が、その島で岩石を採集していて、にわかには暗雲が立ち込め、雷のゴロゴロという音が急に大きくなったときだった。急に女生徒達の髪の毛が一斉に風になびくように立ち昇り始めたのは、——

騒ぎ出す彼女たちと裏腹に、私は肝をつぶす思いであった。——

孤島や高山のような場所では、雷が近づくと尖った所に電荷が集中し、よく髪の毛が立ったり、金属棒がうなりだしたりする。高山ではビッケルがうなったり、アルプスの頂上にある十字架やマリア像は蜂の羽音のように唄うといわれる。

また、闇夜の場合、尖ったものの尖端(船のマストや教会の塔や時には人間の頭や指先からも)から、青いコロナ放電が出ることがある。これは「セントエルモの火」と呼ばれ、昔から航海する船乗りたちをよく驚かせた。

ともあれ、雷はあの光と音以外にも色々不思議な現象を伴うものである。しかし、その日私はただ、ひたすら雷が落ちないように内心びくびくして伏せていた。頭に手を当てて喜んでいた彼女たちの方がよほど度胸があったのを思い出す。

アナクサゴラス:燃えるガスがあったればこそ、その岩も出来上がったのだ

タレス:生物は湿気の中で生じたのだ

——ゲーテ「ファウスト第二部」

### 試験に出ない地学 Series No. 1 79年初夏号

山陰を旅するとき、その車窓の風景がどこか僕たちの見慣れた景色と違っているのに気づく。そこである夏僕はふと2つの原因を思いついたことがある。

#### 1. 日射の方向の違い

日本海側では太陽は海に向かって背後から照らす。このため日本海の色は色が淡く、そこまで澄んで見える。それに対して、太平洋側では太陽は海の方から照らし、そのため、海の色は黒く見える。

#### 2. 海岸の岩石の違い

瀬戸内には花崗岩が多く、砂は白いが日本海側は玄武岩が多く色が黒い。さて今年の夏もし、旅行することがあれば、本当かどうか確かめて欲しいのだけれど――

”鼠はどこかへ逃げ込むことができれば助かると思っっているように長い串を刺されたまま、また川の真ん中の方へ泳ぎ出た。子供や車夫はますますおもしろがって石を投げた――”  
「城の崎にて」志賀直哉

---

### 試験に出ない地学 Series 78'準備編 New! (2004年加筆)

地震の距離と初期微動継続時間の関係を示す大森公式は中学校の教科書でおなじみだが、これが小説の中にでてくるのは筆者が知る限り次のものだけだ。

――その時、吉住は足もとに再び今度こそはっきりとかすかな震動を感じた。地下深くつきささった鉄とコンクリートの塊の中である。吉住は必死になって頭の中で計算した。――今来たのが本当にP波か？それとも――

震央部に近い所でも、地震の最大振幅は初期微動のあと数分後に来る。――アラスカの無人基地が完全破壊されるのはその時だ。そして、アラスカからワシントンではP波で6分かかる。すると今から6分前にアラスカで初動が起こり――数分後に大震動がきて基地が破壊され、ARSはその瞬間から6分間時を刻み――

小松左京『復活の日』 p.358 より

---

Copyright (c) 2000-2005 Y.Okamoto, all rights reserved.

# パラグラフ散歩

## — 英語の特色 —

い ばた きみ お  
井 畑 公 男

### A promenade in paragraphs

IBATA Kimio

抄録：時間をかければ学習効果が挙がるというのは一面の真理かもしれない。しかし英語学習に方略などという言葉を使うのであれば、相手を知ることが不可欠であろう。ただ闇雲に進んでも風車に激突するかも知れないのである。問題は日本人の立場で英語の特徴を捉え、効果的に学ぶことであろう。難しいのは、対象にかかわることなしに認識は得られないというところにあるに違いない。

キーワード：英語教育、パラグラフ、主語、二項対立

#### I. はじめに

この一年ほど、次の二つの言葉を反芻していた。いずれも筆者が愛読する哲学者、批評家の言葉である。

- ① 他人の知恵は、われわれ自身の血で書き直さないかぎり、退屈きわまるものである。われわれは、もともと世界から切りはなされた存在である。それは、食いつき、引っかき、ありとあらゆる手段をつくしてはじめて自分のものとなる。(E. ホッファー『情熱的な精神状態』188)
- ② どのみち人の一生は長くない。学ぶべきことは多すぎたし、そのためにあたえられている時間は短すぎる。私はいわなければならぬことを何もいえぬままに終わるかも知れない。(江藤淳『全文芸時評』上241)

いずれも、筆者が二十代前半に出会った文で、その後三十年以上時間が経過している。最初に読んだときは「なるほど、そうかもしれない」、「何も、そう急がなくてもよいのじゃないか。」と思ったぐらいで江藤のことばなどこの批評家の性急な言い方で一種の修辞にすぎないと考え、それほど気に留めなかった。しかし三十年ほどの間、かなり条件のいい環境の教育の場で過ごしてみると、これら二つの言葉の真実性を無視できなくなってきたのである。それどころではない。もう壮年は確実に過ぎていく筆者にしてみれば徒労感、

敗北感に苛まれていなくもないのである。

二つの言葉は短いもので現実には、意味を持たせるには補助となる条件、思考が必要と思われる。特に筆者が担当する英語の基礎を教えるということを念頭に置きながら、①の具体的な勉強の仕方というものをみてみたい。特に技芸的な能力を求められ英語という教科であればなおさらである。

## II. さまざまなパラグラフ

この一年の間で、英語 I の教科書および副教材などで出会った興味深い文を見ることから「他人の知恵」というものを選びたい。英語 I の教科書で楽しめたものは少なくとも二つあって、いずれも課外の Reading 2,3 であった。10 あるレッスンは正直言って「退屈」なものばかりであった。勿論、多少、退屈、人工的であっても自然さだけを求めるとまた別の退屈な面がでてきたり、結構、難しい教材になったりするので、内容以外の面から学習しやすい刺激、反復練習など考える必要がある。ここでは言葉の学習はイメージが大切という面から「忘れがたい文」を強調したい。その 1 節を引きたい。

Freddie landed on a little hill of snow. It felt soft and even warm. He was more comfortable than he had ever been. He closed his eyes and fell asleep. He did not know that Spring would follow Winter and that the snow would melt into water. He did not know that what looked like his useless dried self would join with the water and serve to make the tree stronger. Most of all, he did not know that there, asleep in the tree and the ground, were already plans for new leaves in the Spring.

(Leo Buscaglia *The Fall of Freddie the Leaf* )

(試訳：フレディは雪の小さな山に舞い降りました。雪はやわらかく、暖かくもあったのです。こんなに気持ちがいいことはありませんでした。目を閉じ、眠ったのです。フレディは冬の後に春がめぐり、雪が融けること知らないのです。また役に立たない乾いた葉の自分が水と一緒に木木の栄養分になることも知りません。とりわけ、木と地中に眠っている、春になると新芽を迎える準備があるなど知らないのです。)

鋭いとげのある木の葉フレディが春に新芽から育ち、周囲の仲間の葉っぱと春、夏と一緒に自然を楽しみ、賢者のダニエルに自分のこと、世界、そしてその摂理などを教えてもらい、それに戸惑いながらも、自分たちを包む生命を教え諭され、秋になり紅葉すると仲間が枝から落ち始め、最後に自分が落ちていくという童話のような好短編。あくまで木の葉フレディの視点から世界が描かれ、かつ大きな自然、生命に貫かれているという哲学、宗教を感じさせる話の最後のパラグラフである。

この数年、中学 3 年、高校 1、2 年また高校 3 年も含めてテキストが与えられるとパラグラフという単位を留意させて、その日本語による要約をさせることに徹してきた。それは、まず、どんな場合にも最初に求められる作業だからである。このときに考えるのは英語のパラグラフ単位の特徴ということがまず挙げられる。それは一つ、一つの文の特徴もその中に、当然のこと含まれる。

さて、具体的にパラグラフの特徴を見てみると、冒頭の文の主語 Freddie が示されると次の文の主語を別にすれば全部 He(or he=Freddie)というわけでパラグラフ全体に安定感と統一を与えていて問題はその動作(動詞)ということになり快適に読み進められる。唯一

二番目の文の主語は It は直前の語 snow を受けているわけで、二番目、三番目の文は冒頭の文に組み込まれていると言える。四番目の文の動詞 closed, fell と続くことで自然と死を迎える様子が受け入れられる。その後の同じ文の出だし He did not know は彼が大きな自然、循環する大きな生命に包まれていることを暗示していて誠に印象的な結尾である。一行あけて The Beginning. (新しい始まり) は深い余韻を残す。

このパラグラフを含む第三章は一年生の葉の落葉を叙述する部分で四つあるパラグラフの文の主語を見ていくと、主人公の Freddie と彼を取り巻く自然 snow, sun, wind しかなくことがわかる。つまり Freddie vs nature という構図が見て取れる。話が主人公 Freddie の死といことだから描写が静的なものになるので自ずと同じ表現の繰り返し、収束になるのかもしれない。もう一つの印象的なパラグラフ、ボブ・グリーンの日記、それもクリスマス・イヴのものを取り上げたい。

DECEMBER 24

I put my letter jacket on and went out to our garage, and we each picked up one end of it (= a ping-pong table) and carried it to his house. It made me feel like a grown-up; now, instead of waiting on Christmas Eve for someone to bring me a surprise, I was bringing some little kids a surprise. I don't know exactly why, but I liked it.

(試訳：校名入りのジャケットを羽織るとガレージに行った。ケインズ氏と私は卓球台を持ち上げ、氏の家運んだ。そうすることで大人になったような気がした。今、イヴに誰かがプレゼントを持ってきてくれるのを待つのではなく、誰か他の子供にプレゼントを運んでいる。正確になぜだかわからないが、そうすることが気に入った。)

高校生ぐらいになったグリーンが近所に住むケインズ氏がやってきて、手を貸してくれという。二人の息子にクリスマス・プレゼントの卓球台を運ぶのだという。

この日の日記は二つのパラグラフから成り、引用は二つ目のパラグラフ。最初のパラグラフの文は三文から成り、うち二つの文の主語が Keynes, He で残るひとつが it で時を表わし、後半の部分(重文)の主語が he なので全文同じ主語が使われていると言っていい。そして二つ目の引用のパラグラフの主語が I で同じように一部を除き統一されている。二番目の文の主語 It は前の文の後半、すなわち we 以下を指すわけで、そこに I が含まれていると言え、一種拡張されていることになる。

パラグラフの内容は日記の書き手グリーンが頼まれたことを実際に行動に移す部分だが冒頭の文の動詞が快適な推移を示し、それについての書き手の感想が続き、少し冗長に流れるかに見えて but 以下のところで明快な表現がきて誠に心地よい。高校生になり大人に頼まれ、よくわからないまま成長を確認するあたり、ほほえましい。

以上パラグラフの特徴として単一主語の固定、繰り返し表現の多用、明快な動詞の使用などが指摘できそうだが、何分、幻想的な掌編の主人公の死の場面、日記体の文というわけで一般的に断定できるかどうかは、もう少し多様な内容の文に接してからのことであろう。三つ目に副教材として使ったラフカディオ・ハーンの「耳なし芳一」の一節を検討したい。話は数百年前、赤間ヶ関(下関)に住む目の見えぬ名聞の聞こえた琵琶法師芳一が武者と思しきものに連れられ、ある豪壮な邸宅で琵琶の朗誦させられるところから展開し始める。平家物語、壇ノ浦の合戦のくだりが語られる。

Then Hoichi lifted up his voice, and chanted the chant of the fight on the bitter sea, --

wonderfully making his biwa to sound like straining of oars and the rushing of ships, the whirr and the hissing of arrows, the shouting and trampling of men, the crashing of steel upon helmets, the plunging of slain in the flood.

(試訳:すると芳一は声の調子を上げ、海の激しい合戦のくだりを朗誦し始めたのです。琵琶を巧くかき鳴らし、櫓がきしみ、船が急ぎ迫り、矢がひゅーと空を切り裂き飛び、武者たちが雄叫び、足を踏み鳴らす、鋼が冑にぶち当たる、船から武者がざぶんと落ちる様を髣髴とさせた。)

引用はこの部分を含むパラグラフの三分の一である。このパラグラフの主語を見てみると Hoichi を別にすれば芳一の朗誦に感動する聴衆の反応を表す名詞が主語になっているだけである。引用の部分でも動詞は的確な動きを示し無駄がない。注目すべきは芳一が描く合戦の描写である。現在分詞の羅列が絵巻物の動的な部分を示し、櫓、船、矢、武者、兜、海面などが色鮮やかに浮かぶようである。さらに忘れてはならないのが合戦の場における様々な音の描写である。ここで思い出されるのが片方の目が見えないハーンの耳が鋭いということである。分詞はどれも音を伴っているのである。この部分は文学の最大の魅力を期せずして雄弁に語っていると言って差し支えないであろう。

### Ⅲ. 一つの目標

パラグラフは英語による書物を読んでいくうえで内容理解の上で最も重要と考えられる。語、文と小さな単位から大きなものへレベルを上げる場合、読者の視点として光景がみえてくるからである。そして、文の内容からして英語が使われている社会における比較的安定したものが理解の対象となるであろう。高校レベルで初学の段階だとすれば流布の広い新聞、書物などが挙げられる。勿論、本格的にはなく、量も限られたもので、時間を掛けて学習するのである。そのような例として冒頭に引用したホフターの断章の原文をパラグラフの素として検討してみたい。ほぼ以上で指摘したことが言えると考えられる。

The wisdom of others remains dull till it is writ over with our own blood. We are essentially apart from the world; it bursts into our consciousness only when it sinks its teeth and nails into us. (*The Passionate State of Mind* 188)

全体は二文だが二つ目の文の後半の主語は冒頭の文のそれと同じものである。The wisdom of others は the world であり我々の血を代償として初めて意識に上るのである。We vs the world という図式あるいは二項対立があり、一方の働きかけがない限り、繋がりは生まれえないといえるのである。叡智の歯、爪を我々の体に食い込ませ、血を流さないかぎり、それと対峙できないのである。言い換え、類語の多用が見られ、ここにもパラグラフの特色が覗える。

**参考書目** Eric Hoffer *The Passionate State of Mind* 1955 Harper & Row, Publishers  
*Polestar English Course I* 2002 SUKEN SHUPPAN

#### Summary:

It is effective for beginners of English to repeat words or sentences. But it will be more effective to know what English words, sentences or especially paragraphs in passages are like.

**Key word:** teaching English, paragraph, subject, dichotomy



国語科 「読み」の再構築		理科 中高一貫実習書の作成	
浅野緑子	新古今和歌集, 主要歌人, 精読	井上広文	データ処理に重点をおいた演示実験の教材研究
浜口修司	てきばき「現代文」-速読・多読-	岡博昭	化学教材のデジタル化
琢磨昌一	現代文を利用した, 古典の読み深め	岡本義雄	地球史の最近の発見と論争に関する教材開発 (本年度科研費テーマ)
谷周平	読書の「質」を高める指導	筒井和幸	大阪市立科学館の展示物解説を通じた, 参加・体験型理科教育の試み
平田達彦	「読む」活動を問い直してみよう	西庸扶	顕微鏡実習での生徒の生物認識に関する研究
藤本一栄	作品の読みを深め, 背景へと思いを広げる	廣瀬明浩	現象の定量化に重点をおいた“総合的な”理科の授業
社会科	中高連携の上に立った6年間カリキュラムの開発	三木康宏	化学実験・実習の教材開発とデジタル化
生川年雄	歴史認識を深める史料の活用	森中敏行	分子生物学分野の実験・実習教材の開発
桑名智寛	地域での生活と気候との関わり	音楽科	合唱と創作の指導
甲山和美	時事問題で学ぶ「地球的規模の課題」と国際協力	諸石孝文	創作領域でのコンピュータの活用
笹川裕史	教科通信の作成とその有効活用	美術科	集団制作における個人の高揚
出原真哉	授業の活性化を促す歴史の実物教材について研究し広く, 公開する	廣森眞一	作陶による集団制作のあり様
堀一人	生徒の生命観を育てる教育実践 -方法と教材の開発-	英語科	中高一貫教材の研究
松尾裕文	生徒の興味・関心を高める視聴覚教材の効果的活用法	伊藤洋一	読解力の育成
山田時比古	GISを利用した地域教材の作成	井畑公男	英語観察法
数学科	教材の精選	金井友厚	WritingとSpeakingの統合的な活動 -より充実したproduction activityを探る-
岩瀬謙一	結び目の数学	楠井啓之	Public Speechの指導 -SpeakerとListenerのCollaborationをめざして-
大石明德	指導法に関する研究	徳永京子	英語学習初心者へのフォニックス指導
澤田耕治	指導法に関する研究	富田大介	国際理解教育
芝本裕司	結び目の数学	東元邦夫	文法と音読
瀬尾祐貴	結び目の数学	日根野敬也	ディクテーションによる定着の促進
藤田幸久	指導法に関する研究	養護	中高6年一貫における生徒の健康教育
溝内浩三	指導法に関する研究	岸弘野	心と体の発達の変化について
吉村昇	指導法に関する研究	林照子	生徒に対する健康相談活動

## 研究集録 第48集

平成18年3月23日印刷

平成18年3月27日発行

編集発行者 大阪市天王寺区南河堀町4-88  
大阪教育大学附属天王寺中学校  
大阪教育大学附属高等学校天王寺校舎  
代表者 鈴木正彦

印刷所 株式会社 ヒカリプランニング