

分子・結晶模型の新しい作製方法

— 原子・分子概念の導入の具体案として —

福島 い ず み・芝 原 寛 泰

(京都教育大学理学科)

New Method for the Construction of Molecular and Crystal Structure Models as Teaching Material

Izumi FUKUSHIMA, Hiroyasu SHIBAHARA

1998年9月30日受理

抄録：折り紙を中心とした身近な材料による分子・結晶模型の簡便な作製方法を新しく考案した。原子・分子の概念を学校教育の早期に導入した場合の利点を考え、児童・生徒自身が身近に原子・分子に親しむ手段としてだけでなく、合理的かつ総合的な概念導入の手段として分子及び結晶模型の作製を取り上げた。小学校、中学校、高等学校の理科のカリキュラムにおいて、原子・分子概念の導入の必要性についても具体的に検討した。

キーワード：分子模型、結晶模型、折り紙、原子論

I はじめに

自然科学の発達の中で、原子・分子の存在が確認され、自然界の姿が明らかになってきた経過をたどることは、理科教育における原子・分子の科学的概念の導入を考える上で興味深い。19世紀以降の科学の発達の中でも特に、1895年のW.C.レントゲンによるX線の発見、また1897年のJ.J.トムスンによる電子の発見は、原子・分子の構造を明らかにする上で注目すべき出来事である。いずれも発見から100年を経過し、それらを記念して多彩な催しが開かれ^{1,2)}、発見の果たした役割の偉大さを再認識したことも記憶に新しい。さらに量子力学の誕生に支えられた、分光、結晶のX線回折、気体分子の電子回折、磁性を含む物性測定などの技術の発達により、原子・分子に関する情報はより正確になったことも見逃せない。また、ブラウン運動(R. ブラウン, 1827年)の発見と考察は、原子・分子の存在を認めさせるだけでなく、量子力学、統計力学の誕生と発展のきっかけになった^{3,4)}。ブラウン運動の原因究明の過程は、結果を教え、知識を問うことに偏りがちな現在の理科教育のあり方を見直す上で多くの示唆を与えてくれる。

現代の科学においては、物性研究、あるいは新しい材料を創製する際も原子・分子の種類、配列、結合状態にさかのぼって考えることが常識化している。このように原子・分子の存在を前提にして成立している現代の自然科学の体系の中では、理科教育においても身近な現象を、原子・分子の概念をもとに説明する方が合理的な場合が多い。われわれは、原子・分子の概念を学校教育において現行よりも早期に導入すべきであると考え、児童・生徒自身が身近に原子・

分子に親しむ手段としてだけでなく、合理的かつ総合的な概念導入の手段として分子及び結晶模型の作製を取り上げた。折り紙を中心とした身近な材料による簡便な作製方法を新しく考案したので報告する。

Ⅱ 学校教育における原子・分子の取扱い

現行の学習指導要領（平成元年6月）によれば、小学校においては原子・分子の科学的概念は扱われておらず、実際の教育現場でもほとんど導入されていない。しかし小学校において原子・分子の概念を導入して成果をあげているという報告もある^{5,6)}。われわれは小学校4年の段階で原子・分子の概念の導入を検討した。現行の小学校教科書⁷⁾では4年生で「重さ」の概念について学ぶが、このとき、物質はすべて原子・分子からなるとして、原子・分子模型を用いて原子・分子の概念を導入すれば理解が具体的になるだけでなく、中学校で学ぶ「浮力」についての理解にもつながる。また同じく4年生での「気体の膨張」、「温度と物の変化」では、物質はすべて粒でできているとして、粒子モデルでの扱いが考えられる。さらに、5年生、6年生でそれぞれ扱う「物の溶け方」、「物のもえ方と空気」の単元においても原子・分子の概念導入の効果が期待できる。

一般には原子・分子の扱いは、中学校の理科第1分野における「物質の性質」「物質とその変化」の学習（中学1年）まで待たなければならない。そこでは、物質が溶けるようす、状態変化あるいは気体の性質、化学変化の法則などの説明に原子・分子が粒的に取り扱われている⁸⁾。しかし、第1分野後半にある「化学変化と分子・原子」中の「物質のしくみ」での学習（中学3年）では、簡単な二酸化炭素、水などの分子の構造、結晶中の原子配列が紹介されている。つまり現行の教科書では、後半になって分子構造、結晶構造にふれている。このような具体的な分子構造・結晶構造についての学習を、もし先行すれば、第1分野前半で扱われている「物質の状態変化」、「化学反応での重量変化」の理解が極めて円滑になると思われる。本論文で紹介する折り紙などによる分子模型、結晶模型は「物質のしくみ」の学習を通じて初期の段階に利用すれば、原子・分子に対する興味を引き出させるだけでなく、物質のしくみを3次元的（立体的）に捉えるのに役立つ。このような原子・分子の概念が既知となれば、「身のまわりの現象」として扱われる「熱と温度」「力とそのはたらき」「圧力とそのはたらき」の学習で積極的な展開ができる。特に、熱、温度、圧力、エネルギーなどの説明における原子・分子の概念の導入は、後の中学校、高等学校におけるミクロな視点での学習につながっていく。また第1分野の「電流と電子」ではマクロな電気的性質を学んだ後、原子の構造を扱い、そこで初めて電子と電流の関係を結び付けている。しかし、第1分野の前半で原子・分子の概念と同時に原子の構造を学べば、電気的現象の電子の挙動にもとづいた直接的な理解ができる。

高等学校においては、原子・分子はかなり具体的なイメージで導入されている。化学では、電子の軌道の様子が前期量子力学のモデルにとどまっているため、例えば共有結合での電子のやりとりが構造式で説明され、同時に分子模型が提示されている⁹⁾。物理においては、力学の基礎を学ぶ際、物質は物体（または質点）として扱われ、原子・分子から成り立つこととは切り離されている¹⁰⁾。このため、抗力や張力はその原因にふれることなく、作用反作用の法則から演繹的に導き出されることとなり、実感の伴わないものとなっている。また、熱力学におい

でも、分子運動の激しさが温度であることをおさえないため、熱と温度の混同もおきている。このように各分野、単元での知識が分割され、合理的、総合的な理解が困難な状態にある。化学では、前述のように原子・分子の概念が既知として扱われているのであるから、物理においても原子・分子の概念に基づいて説明を行い、自然科学を総合的に扱うのがよい。一方、原子が規則的に配列した固体状態である結晶の扱いは、高等学校の生物・物理・化学・地学のすべての分野でみられる¹¹⁾。例えば、高等学校の物理、化学の教科書では、「原子と原子核」「物質の構成」の単元において、中学校の教科書でも「物質のしくみ」の単元などで、透過型電子顕微鏡の観察像が結晶中の原子・分子の配列を示すものとしてよく引用されている^{12, 8)}。研究室で撮影した観察像の例と対応する結晶モデルを図1a, bに示す。化学結合距離に相当する分解能(0.15~0.20nm)に達しているため、観察像から結晶中の原子列の周期的な配列が、具体的なイメージとして捉えられるようになっている。図1aは酸化物高温超伝導体の結晶構造像で、Gd, Ba, Cuの金属原子列は黒点で、酸素原子は白点で観察されている。教科書における電子顕微鏡像の扱いと問題点についてはすでに報告している¹³⁾。

以上より原子・分子の概念を現在のような断片的な取り扱いではなく、学校教育の早期から系統的に取り入れることが望ましい。

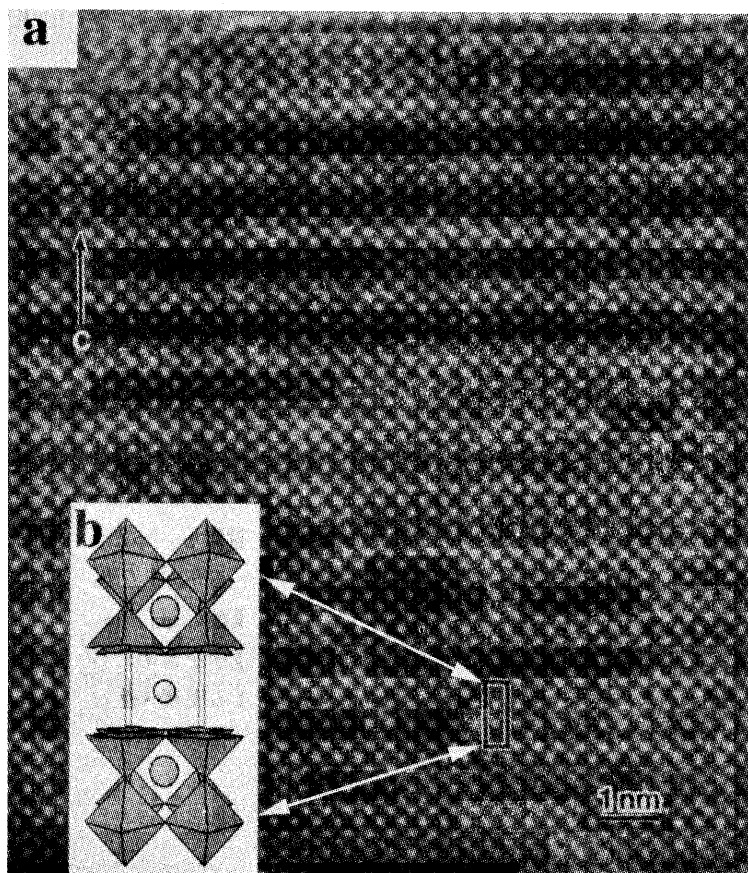


図1 酸化物高温超伝導体 ($\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$) の透過型電子顕微鏡像

Ⅲ 分子・結晶模型の必要性について

化学・物理学関係の専門分野においては構造解析・物性研究あるいは物質合成の際、モデルの妥当性を検討したり問題点をさぐる上で分子模型が必要かつ有用であることは言うまでもない。最近ではコンピュータによる分子模型の表示が多用されているが、これは研究対象とする分子構造が一般に複雑であること、また研究の効率を考えれば当然のことと言える。しかし、学校教育においては、コンピュータによる仮想的な分子・結晶模型を利用するよりも、児童・生徒ひとりひとりが模型を作製し、原子・分子について考える方が意義が深い。自ら作製した模型を眺めながら物質の不思議さに思いをめぐらせることは貴重な経験となる。科学史においても、いわゆる原子論者たちの描いた原子・分子の特徴を表わす簡単な模型が、多くの人達に想像力を与え、その後かなりの修正が必要であったとはいえ化学・物理学の発展に大きく貢献したことが指摘されている¹⁴⁾。学校教育においても、児童・生徒の発達程度に応じた原子・分子及び結晶の模型を導入すれば、興味と想像力を引き出せると思われる。その際、市販の高価な限られた数の模型を演示に使うのみではなく、安価で、入手しやすい材料を用いた生徒・児童の自作模型を使うことの重要性を強調したい。

Ⅳ 分子模型と結晶模型について

いくつかの原子が結合して分子が形成されるが、さらに固体状態になり原子・分子が規則的な配列をして結晶となる。結晶における格子点には、ひとつの原子が含まれる場合、あるいは分子が含まれる場合がある。本論文で紹介するのは、教材としても多く利用され、比較的単純な分子でみられる八面体、六面体、四面体で中心に原子が存在する分子、及び金属結晶でよくみられる体心立方格子の模型である。

一般に分子の構造を表現する場合、①原子を球で表し、球を接合させたモデル、②多面体の面を外形とするモデル、③骨格（スケルトン）モデルがある。①では、球は原子の大きさに比例し、結合は球の重なりとして球を一部削って表わしている。分子の大きさ、形は表現しやすいが結合距離、結合角はつかみにくい。この点を改良するため、結合を棒で表わした模型が多く用いられ市販（例えばHGS模型）もされている。②と③は結合距離、結合角（原子の位置）が正確に表せるが、原子そのものを表せない。②は多面体の中心に原子がある場合表現できないが、③は多面体の中心にある原子の位置が表現できる、という特徴がある。いろいろな材料を使って分子模型の作製が試みられている。①として、発泡スチロールを使った分子模型は加工が容易なため多く利用されている¹⁵⁾。②の例として、封筒を使った分子模型は、身近な材料を使った非常に特徴的な作製方法であり高く評価されている¹⁶⁾。また折り紙による多面体¹⁷⁾の作製も試みられている。③としては、折り紙による分子模型の報告¹⁸⁾もあるが、種類が少なく折り方が初心者には難しい。またスケルトン模型で中心原子を含めた作製はあまり例を見ない。そこで4種類のスケルトン模型について折り紙などによる児童・生徒も簡単に取り組める作製法を考案した。一般にスケルトン模型の利点として多面体の中心にある原子・分子を表示するだけでなく、多面体での各頂点を結ぶ稜線（化学結合に由来する）を明瞭にできることがあげられる。しかし、骨格を示すだけでなくスケルトン模型の各頂点及び中心に、原子の模型（発泡スチロール球など）を適切な大きさに配置すれば構造がさらに明瞭になる。表したい分子の形や学習の目的に応じ、適切な模型を使うのが望ましい。

V 作製方法

1 折り紙による作製

折り紙は、「角と角」「点と点」「線と線」または「線と角(点)」を合わせたり、結んだりして折ることによって、①角の二等分 ②対角線 ③線分の二等分 ④コンパスの役割(線分の長さを移す)というような幾何学的作図が簡単にできるという特徴がある。これらの性質とピタゴラスの定理などを利用して、求める図形を折り出していくのである。

以下に、簡単なものから正八面体スケルトン、立方体スケルトン、正四面体スケルトン、三方両錘体スケルトンの順で折り方を説明する。正四面体スケルトンではユニットの組み合わせによるものと一枚で折るものの2種類を紹介する。

(1) 正八面体スケルトン模型

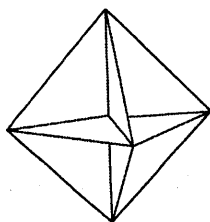
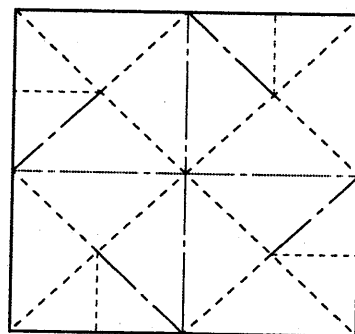


図2 正八面体スケルトン完成図

完成図を図2に示す。
この形は全ての構成面が $1:1:\sqrt{2}$ の直角二等辺三角形である。
実際の分子では、中心に硫黄(S)、6個の頂点にフッ素(F)のSF₆や、酸化物高温超伝導体に現れる配位多面体CuO₆その他の金属

錯体などでこの形がよくみられる。用紙は正方形を2枚使用する。図3の展開図のように山折り線、谷折り線をつけ、図4①～⑤に示す手順で折る。

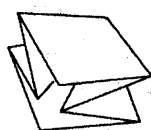


----- 山折り線
----- 谷折り線
———— 切り取り線

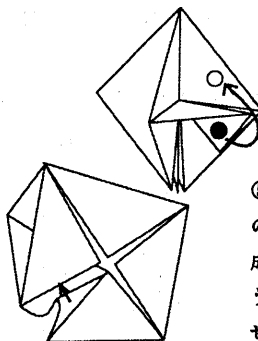
図3 正八面体スケルトン展開図

図4 正八面体スケルトンの折り方

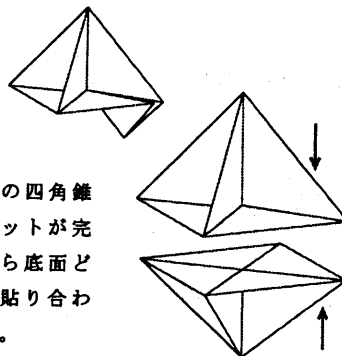
- ①折り鶴の基本形の途中の形に折る。 ②●印部分を○印の中に折り込む。 ③他の面も②と同様に折り込む。



- ④最後の部分を折り込む時は、逆さまにして全体を広げるようにして差し込む。



- ⑤2つの四角錐のユニットが完成したら底面どうしを貼り合わせ完成。



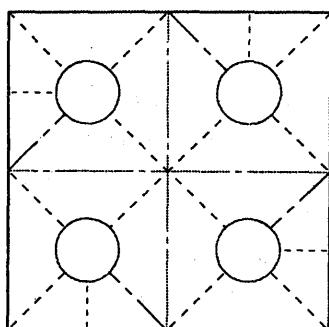


図5 中心に球を入れる場合の
正八面体スケルトン展開図

⑥図5のように
穴をあけてから
①～④の様に折
ると中心に発泡
スチロール球な
どをいれられる。
図6参照

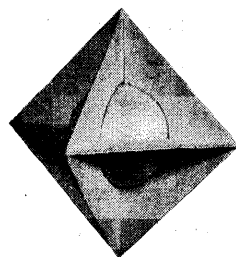
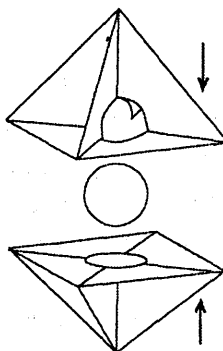


図6 完成模型
中心に球を入れた
正八面体スケルトン

(2) 立方体スケルトン模型 (体心立方格子)

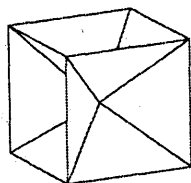


図7 立方体スケルトン完成図

完成図を図7に示す。この形は全ての構成面が $2:\sqrt{3}:\sqrt{3}$ の二等辺三角形であるので、縦：横 $= 1:\sqrt{2}$ の長方形紙 (A4, B4 など) を使用する。この縦横比をもつ紙は長い方の辺を2等分したとき、もとの形と相似形になるという特徴がある。(これゆえ $\sqrt{5}-1:2$ の黄金矩形に対してシルバー矩形とよばれ、ノートやコピー用紙など日常生活になじみ深い長方形である。) ここではその対角線の長さが $\sqrt{3}$ になることを利用する。

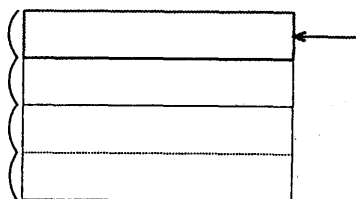


図8 用紙の形 (A4の $1/4$)

実際の結晶では、ナトリウム (Na), カリウム (K) のようなアルカリ金属, 鉄 (Fe) やマンガン (Mn), タングステン (W) などがこの構造をとる。

用紙は図8に示すように $1:\sqrt{2}$ の長方形紙 (A4, B4 など) の縦を $1/4$ にした細長い紙を2枚使う。

図9の展開図のように山折り谷折り線をつけ、図10①～⑧の手順にしたがって、頂点と1斜面を共有した四角錐の双体形のユニット (図11) を2つ作り、両方の頂点を合わせ、貼り合わせて完成させる。

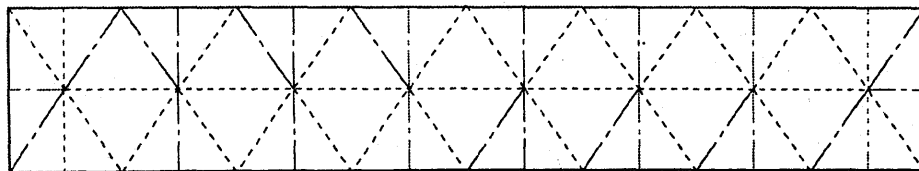


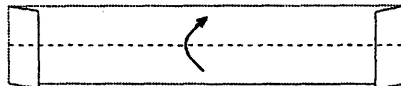
図9 立方体スケルトンユニットの展開図

図10 立方体スケルトンの折り方

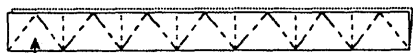
①両端の谷折りをする。



②半分に折る。

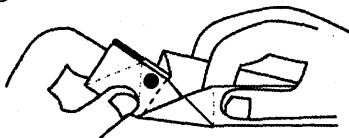


③

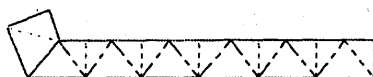


ここを左手指ではさみ、④のように右手人差し指を中に入れて、●印の部分を表裏両面から挟むように折り込む。

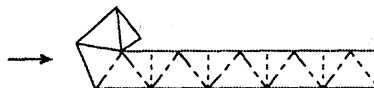
④



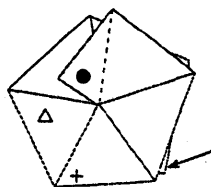
⑤



⑥同様に順次折り込む。



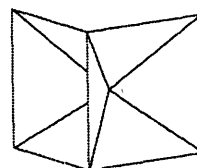
⑦五角形が2つ重なったような形になる。しかし、角と角は合わないのが正しい。



左の●印の部分にΔ印のポケットに差し込むと立体になる。

この部分を+印の裏のポケットに差し込めばできあがる。

図11 ユニット完成図



⑧2つのユニットが完成したら右図のように●印の面と○印の裏面と、▲の面と△の裏面とを貼り合わせて完成させる。

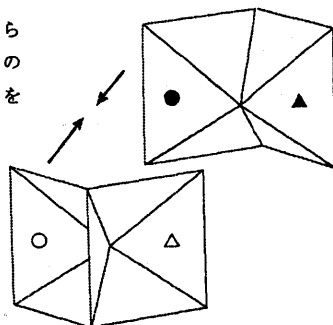
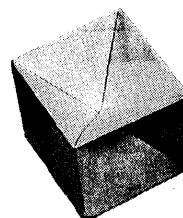


図12 立方体スケルトン完成模型



(3) 正四面体スケルトン模型

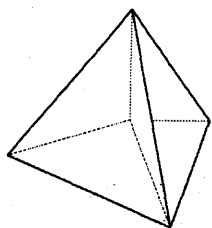


図13 正四面体スケルトン完成図

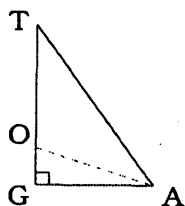


図14

図13に完成図を示す。全ての面は頂角が約 109.48° の二等辺三角形で構成され、正方形の折り紙では作りにくい。縦：横 $=1:\sqrt{2}$ の長方形紙を使うと、折り紙による作図（前述）で正確にこの角度を折り出すことができる。すなわち、図14のように、正四面体の底面の重心Gと1つの稜（斜辺）がつくる直角三角形TGAを考える。稜（TA）の長さを1とすると、Gは正三角形の重心だから、GAは $1/\sqrt{3}$ 、TGは高さなので $\sqrt{2}/\sqrt{3}$ となる。故にGA: TG $=1:\sqrt{2}$ の紙を使えば、その対角線と長辺のなす角度が求める

ものであり、 $\angle TAO$ をこれに等しくとれば点Oは正四面体の中心である。実際にはメタン分子（ CH_4 ）などがある。

1) ユニットによる折り方

用紙は $1:\sqrt{2}$ の長方形紙（A4、B4など）の縦を $1/4$ にした紙を3枚

使う（図15）。一枚で1つのユニットを折り、3つのユニットを組み合わせてつくる。図16にユニットの展開図、図17にその折り方を示す。

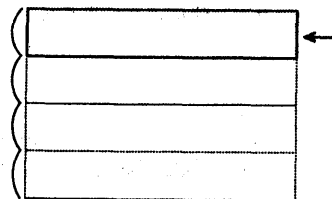


図15 用紙の形（A4）

図16 正四面体スケルトンユニットの展開図

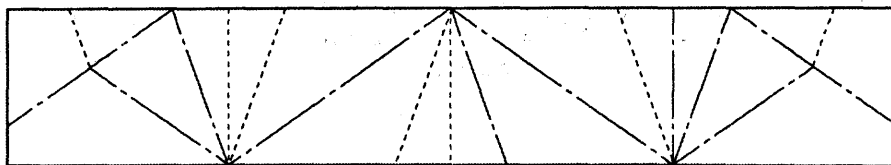
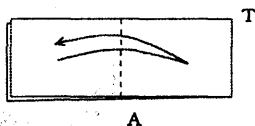
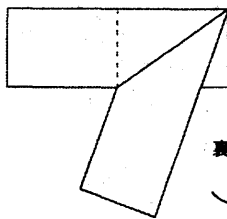


図17 正四面体スケルトンユニットの折り方

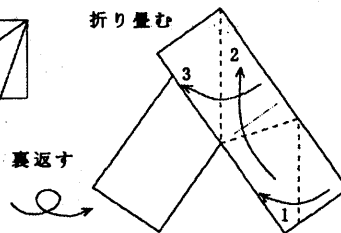
① 中表にして横半分におり、もう一度横半分折って開く



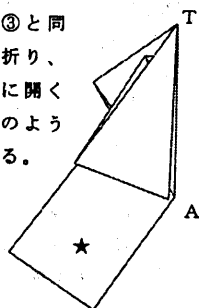
② 対角線ATで折り返す。



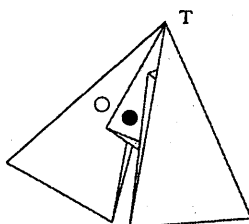
③ 裏返して1.2.3の順に折り畳む



④★印の部分も③と同様に折り、両側に開くと⑤のようになる。

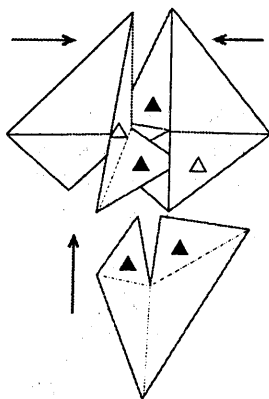
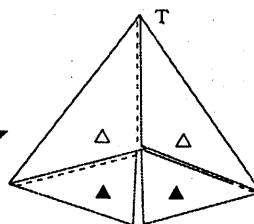


⑤●印の部分をも○印の中に入れる。



裏返す

⑥折り線を付けたらユニットの完成。



⑦3つのユニットができれば左図のように組み合わせて完成させる。
▲部分は差込み（接ぎ手）で、△部分は表に出る面である。

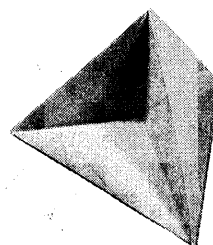


図18 正四面体スケルトン完成模型

2) 一枚の紙による作り方

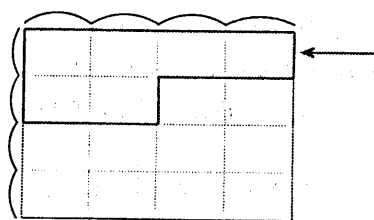


図19 用紙の形 (A4)

用紙は、 $1:\sqrt{2}$ の長方形紙 (A4, B4 など) を図19に示すように切ったものを1枚使う。

図20に示す展開図のように山折り、谷折り線をつけ、GA' に切り込みを入れる。点Tが正四面体の山の頂点になるように、また点A, B, Cが正四面体の底の3つの頂点になるように折っていく。折り方を図21に示す。

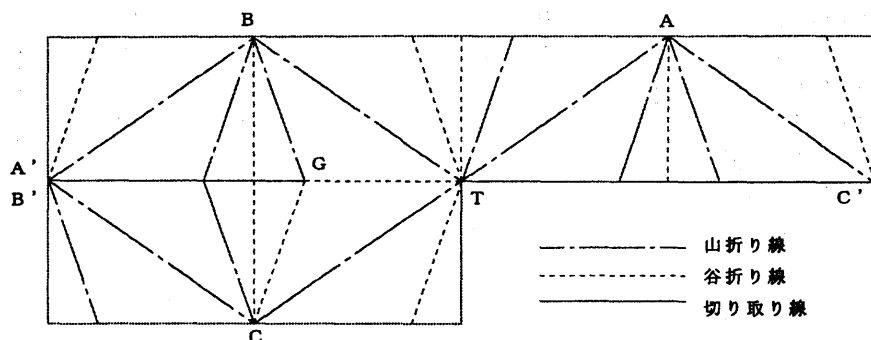
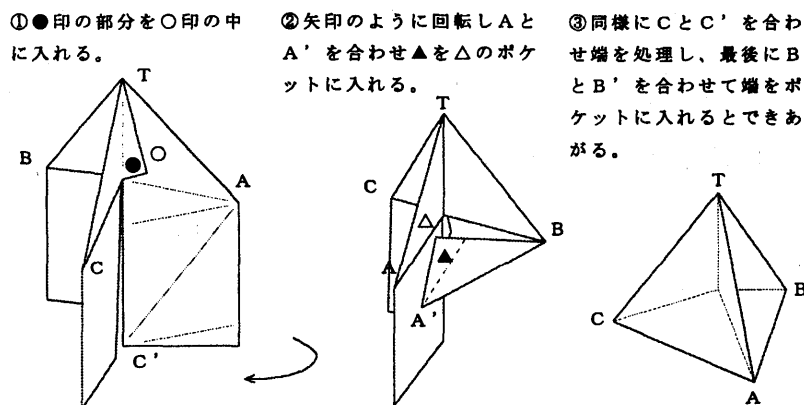


図20 一枚折り正四面体スケルトンの展開図

図21 一枚折り正四面体スケルトンの折り方



(4) 三方両錐体スケルトン模型

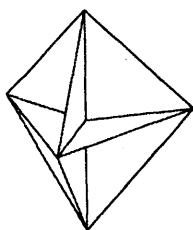
図22 三方両錐体
スケルトン完成図

図22に完成図を示す。2つの三角錐を合わせた形で、中心から5つの頂点までの距離が等しいものである。したがって、 $1:1:\sqrt{2}$ の直角二等辺三角形と頂角 120° で $1:1:\sqrt{3}$ の二等辺三角形とから構成されている。

実際の分子では、中心にリン(P)、5つの頂点にフッ素(F)がくる PF_5 や、塩素(Cl)がくる PCl_5 などがこの構造をとる。

用紙は正方形を2枚使う。

図23に展開図、図24に折り方を示す。

展開図の点P, Q, R, Sは、各辺を $\sqrt{3}:1$ に内分する点である。この点を求めるため、折り紙のコンパスの機能を使い、図24①～③のように折ると③のAPが求める長さとなる。

このときできる $\triangle APN$ は正三角形となり、NはPSの中点、 $\triangle ANS$ は求める二等辺三角形である。図24①～⑤は点P, Q, R, Sを正確に求めるための手順であるから児童生徒の発達に応じて、折り線を印刷したものから始めてもよい。その場合は図24⑥～⑪を行えばよい。

図23 三方両錘体の展開図

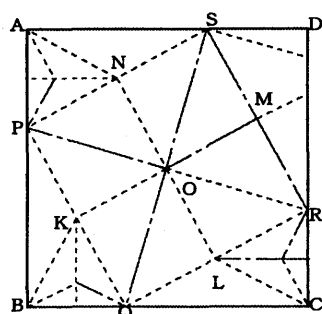
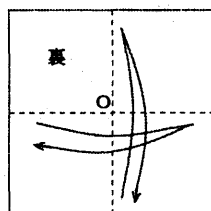
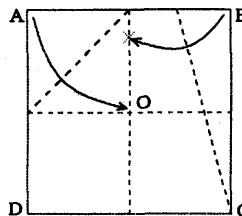


図24 方両錘体の折り方

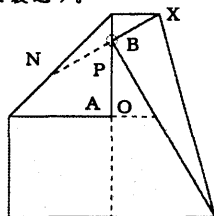
①紙を裏向けにし、折り線を付ける



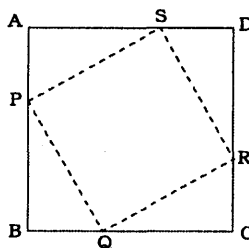
②図示の位置に合わせて折る。



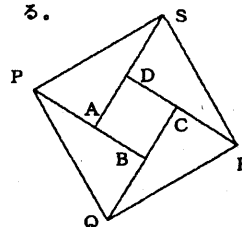
③XBを通るように谷折りしPNに折り線を付けたら開いて裏返す。



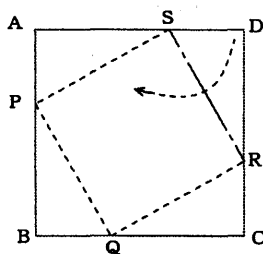
④同様にしてQ, R, Sを求め下のように折る。



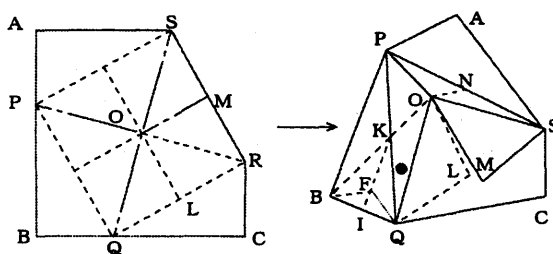
⑤このとき真ん中に正方形ができていないか確かめる。



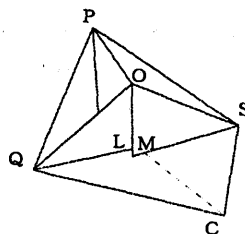
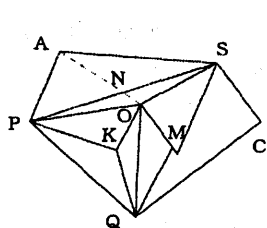
⑥紙の表を向け展開図の折り線を入れ、Dを裏に折り返す。



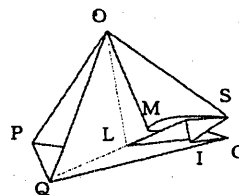
⑦Oが山の頂点になるように、SとRを合わせ、MをLに重ねると3回対称の立体になる。



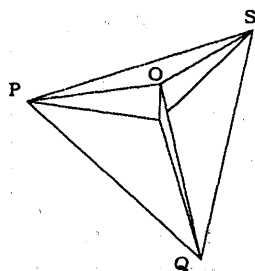
⑧ $\triangle BKQ$ の処理は OK をくぼませながら、 B を Q に合わせて KI を谷折りし BF を折ってから、 F を ● 印の中に折り込む。 $\triangle ANP$ も同様に処理する。



⑨ $\triangle CMS$ の処理は MS のポケットに折り込む。



⑩ ユニットの完成形



⑪ 完成した2つのユニットの底面どうしを貼り合わせる。

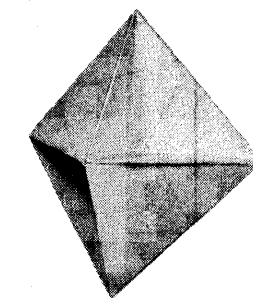
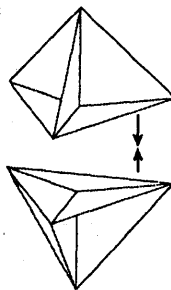


図25 三方両錐体スケルトン完成模型

2 プラスチック板による作製

小学生児童のあいだでは、プラスチック板はいろいろな工作の材料として使われており、身近なものとなっている。このプラスチック板を使って、正四面体分子模型を作製した例を図27に示す。児童の発達段階などにより、折り紙で正確に折ることが困難な模型の場合、教師があらかじめ、プラスチック板を作りたい分子模型の構成三角形の形に切っておき、これを児童

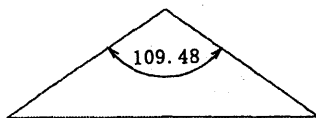


図26 正四面体スケルトンの構成二等辺三角形

がセロハンテープなどで貼り合わせて作製すると、より簡便である。例えば、正四面体スケルトンの場合、図26に示す二等辺三角形が6個必要である。

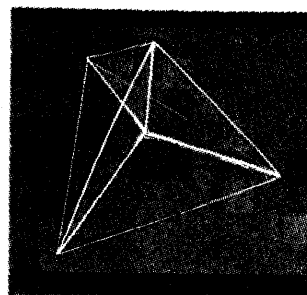


図27 プラスチック板による正四面体スケルトン完成模型

VI 小学校中学校現職教諭の感想

以上示したいいくつかの分子模型のうち、八面体スケルトン模型(図2)について、現職の小・中学校教諭に作製を通して、授業への導入についての感想を聞く機会があった。寄せられた感想を以下に紹介する。

〈感想文〉「文章や絵など視覚による学習よりも実際に作業を通して分子モデルを作製したことにより、わかりやすく自分のイメージ構成がより定着した。言葉では言い表わせない何かが身につくように思う。」「小学校中学年以上であれば十分に作業が可能だ。立体を面で捉えるだけでなく、スケルトンで捉えることも重要だ。」「自分の目で分子の様子をじっくり眺めることができ理解がすすむと思う。」「体験にもとづく授業の大切さが言われているが、具体物をつくって、そこからいろんなことを考えていく点でわかりやすい。」「目に見えない分子を自分の手で作っていく作業で、気持ちも分子に近づいていく体験ができました。自分で作り出す意味は大きいと思います。」「授業の際、分子模型作製のような作業をいれることは、意欲向上につながる。」「分子のようにイメージしにくいものは、実際の作業を通して作製することにより身近に感じ、自然の不思議さ(神秘)なんかも感じる。」「小学校の高学年では分子を取り入れるほうがいいと思った。4年生の物質の3態についての学習では水の分子模型を使ってみたい。」「正方形の紙2枚から、山折り、谷折りだけで立体的な八面体分子ができた時は感動した。難しいことでも作業を通して、学習をやり遂げた喜びや感動を味わえるような実践をしていきたい。」「小さいときから原子分子の概念をもって、ものごとをとらえられる子供に育って欲しく興味、関心を引く授業を考えたい。」「分子を立体的に体感できることはすばらしいが、どこに目的をもっていか難しい。作業する過程で苦手意識がでないよう、楽しく作製できる工夫が必要である。」「身近な材料を使ってできるので良い。折り方がすこしややこしい。」「分子模型を分子のはなしの中で、どのように使っていくか考えたい。小学校では算数の図形(多面体)のところで、興味付けに使えそうだ。」「分子構造を学んだ上で作らなければ、単なる工作になる恐れがある。」「模型の頂点に原子があるというような構造を、感覚的に生徒(中学校)がとらえられるかどうか。」

以上より、折り紙による分子・結晶模型は、授業で利用する機会、方法を十分に検討すれば、学校現場において積極的に導入する教材であることがうかがえる。

VII まとめ

近々行われる学習指導要領の改訂では、小・中学校の理科において約30%の内容が削減される。抽象的な内容が特に削減の対象になっているが、生活に身近で重要な概念も削られており、具体性をもたせた授業の工夫の余地がある内容も対象になっている。例えば、中学校理科で扱う、電流・磁界・力の関係についても、原子論的な立場から電流と電子の流れ、電子の起源に結び付ければ抽象性はかなり回避できる。小学校の早期の段階で原子・分子の概念を導入できれば、自然現象の体系的な捉えかた、探究方法をさぐるきっかけになり、さらに後の中学校、高等学校での学習につながりを見い出せる。本論文での分子模型及び結晶模型の作製は、以上のような、原子・分子概念の導入の際の補助的手段としての利用を期待している。すなわち、発泡スチロール球などを使用して具体的な分子構造、結晶構造を含む形で、原子・分子概

念の導入を試みる際に、原子の位置を示すことができる模型として折り紙やプラスチック板を補助的に使うとよい。原子・分子概念の導入により、自然科学の統一的理解を促すとともに、身近な材料による模型工作を通して自然の姿への興味を喚起したい。

なお、最後に、実際に作製し検討して戴くため、折り紙による正八面体スケルトン模型と三方両錘体スケルトン模型の展開図を添付した。(この用紙の大きさと模型を作製すると、実際の分子の1～2億倍になる。)

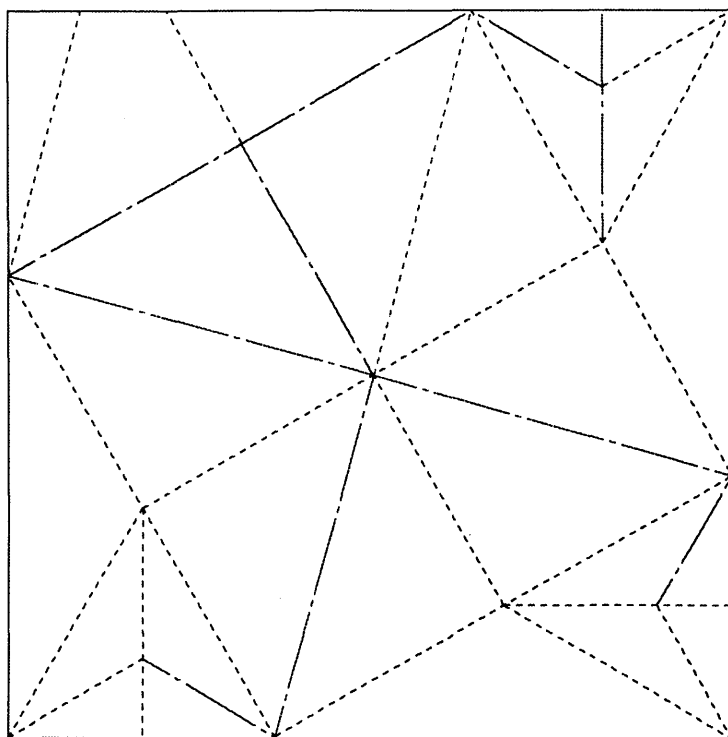
参考文献

- 1) 「レントゲン発見100年記念シンポジウム」日本物理学会第50回年会(神奈川大学)でのX線粒子線・物理学史合同シンポジウム(1995)
- 2) 「電子発見100年記念国際シンポジウム」(Cambridge大学, Churchill college)(1997)
- 3) 江沢 洋, 「だれが原子をみたか」(岩波科学の本, 17巻)岩波書店(1976)
- 4) 米沢登美子, 「ブラウン運動」(物理学One Point 27)共立出版(1986)
- 5) 仮説実験授業研究, 第Ⅲ期, 第6集—低学年における原子論の教育の可能性— 仮説社(1995)
- 6) 伊藤 恵, 「ちいさな原子論者たち」(やまねこ文庫)仮説社(1998)
- 7) 小学校理科3年, 4年(上, 下), 5年(上, 下), 6年(上, 下)啓林館(1991)
- 8) 新版中学校理科 1分野(上, 下)大日本図書(1998)
- 9) 高等学校新編化学ⅡB, 新編化学Ⅱ 数研出版(1994)
- 10) 高等学校物理ⅠB 第一学習社(1998)
- 11) 村瀬養治, 京都教育大学大学院理科教育専修 修士論文(1993)
- 12) 高等学校物理Ⅱ 第一学習社(1998)
- 13) 瀬尾晋子, 京都教育大学大学院理科教育専修 修士論文(1992)
- 14) 竹内敬人, 「分子の形とはたらき」(岩波科学の本, 22巻)岩波書店(1978)
- 15) 平尾二三夫, 板倉聖宣, 「分子模型をつくろう」仮説社(1992)
- 16) 山名修吉, 化学, 41巻, 7号, 437—441(1986)
- 17) 川村みゆき, 「多面体の折紙」日本評論社(1995)
- 18) 星野直美, 化学と教育, 35巻, 6号, 46—50(1987)

その他の参考文献

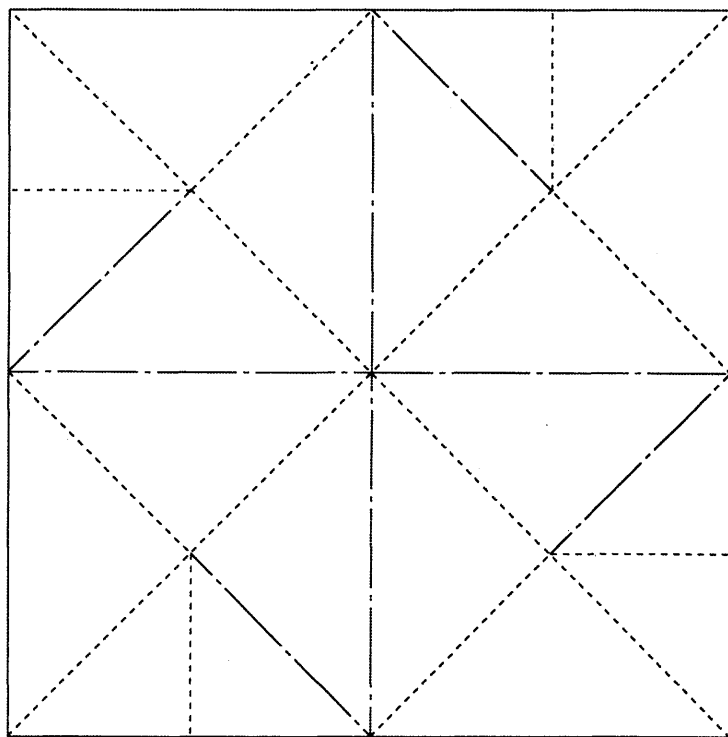
- ・古川千代男, 「物質の原子論」(プロジェクトサイエンスシリーズ5)コロナ社(1989)
- ・板倉聖宣編, 「原子・分子の発明発見物語」(発明発見物語全集4)国土社(1983)
- ・有光敏彦, 「エネルギーと熱」(初等物理シリーズ3)培風館(1989)
- ・小野 周, 「温度とは何か」(岩波科学の本, 10巻)岩波書店(1974)
- ・ライナス・ポーリング他著, 木村健二郎他訳, 「分子の造形」丸善(1967)
- ・福島いずみ, 芝原寛泰「理科教育における原子・分子概念の早期導入の試み——ブラウン運動の観察を通して——」日本理科教育学会 近畿支部大会(1999)発表要旨集p48

三方面錐体スケルトン模型作製用紙



—— 山折り線
 - - - 谷折り線
 ——— 切り取り線

正八面体スケルトン模型作製用紙



(折り方は本文参照)