

教科研究

スチロールボールで金属の結晶づくり

平林輝一

はじめに

化学の学習をしようとするとき、難しそう・自分には分からないからと、苦手意識が先行して、取り組む前から諦めてしまう者が多いように思えてならない。そこで、この単元の学習では実際に見て・触れて、自由に動かす事ができる立体模型を作ることによって、その過程から少しでも苦手意識を取り除き、理解を深められるようにしていきたい。

授業のねらい

金属は適当な力を加えれば自由に変形させることができる。折れたり割れたりすることはない。こうした金属を見ていると、とてもそれが結晶からできているとは思えない。しかし、金属も同形同大の原子が、規則正しく並んだ結晶構造を持っている。金属の結晶構造について、面心立方格子、体心立方格子の模型をつくることにより、とかくつかみにくい立体的な位置感覚を体得させるようにしていく。

授業の展開

- ・金属はどのような結晶構造を持つか予想する。
- ・2種類の結晶構造の模型を作る。
- ・2種類の結晶構造の違いを考察する。

金属がどのような結晶構造をつくっているか

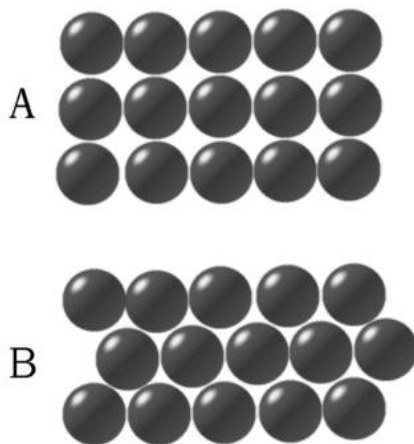
模型を作る前に、金属はどのような結晶構造を持つかを考えてみる。

金属はその可塑性により自由に形を変えることができる。金属には展性（二次元的に薄く箔状に広げられる性質）や、延性（一次的に細長く線

状に広げられる性質）がある。とくに金・銀・銅ではこの性質が大きい。（金は展性・延性が最大であり、 10^{-4} mmまで薄く、また金1gは3200mの線に引き延ばせる。）これは金属結合では原子相互の位置が多少ずれても、すぐに自由電子が移動して金属イオンを取り囲み、以前と同じ結合力を回復できるからである。

このような金属の性質はどのような結晶構造をとることによるのであろうか。

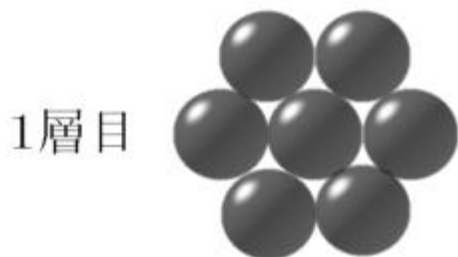
金属は単体なので、同種類の原子からできている。同形同大の原子が規則的に並んでいるのだが、どのように並んでいるだろうか。次に示したA、Bのどちらになるのかを予想してみよう。



同形同大の球を狭いところに並べると自然にBのように隙間が少なくなる。このような構造を最密充填構造という。金属の箔、例えばアルミホイルは薄いけれど、原子の層が一層ではなく、このように並んだ原子の層が何億層と積み重なっている。

それでは、Bの構造を立体的に並べてみるとどのように積み重なっていくのだろうか。

原子1個に何個の原子が接しているかを考えてみる。



一層めの原子1個に接している原子は6個になっている。



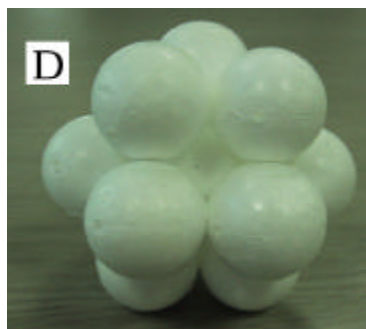
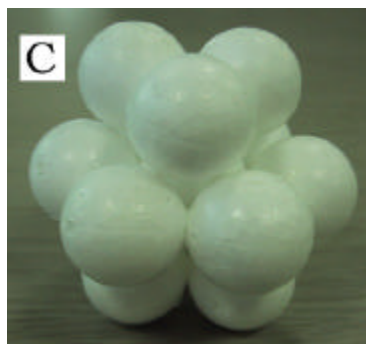
一層上にある原子は3個、下の層でも3個が接している。

つまり、1個の原子は、そのまわりに6個、上に3個、下の層に3個の原子に囲まれているので、計12個の原子に完全に包み込まれていることになる。このように1個の粒子をとり巻く最近接粒子の数を配位数という。上の場合、原子の配位数は12となる。

次に、12個の原子を含んだ構造にはどのようなものがあるのかを考えてみる。

下から順に3個、7個、3個と原子を積み上げた構造の模型を次に示した。

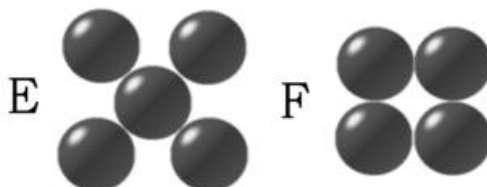
1個の原子が12個の原子で取り囲まれている構造CとDでは、どこが違うか。



2つの模型を比較してみると、上下にある3つの球がつくる三角形の向きが違っているのである。Cでは、上下で逆向き、Dでは上下とも同じ向きになっている。上下の重なり合う向きの違いで2通りの構造ができている。Cを立方最密充填構造、Dを六方最密充填構造という。Cは、次に示す面心立方格子と同じ構造になっている。

[面心立方格子の構造]

5つの球でEの形を、4つの球でFの形を用意し、E・F・Eの順に積み上げる。果たしてできた立方体とCの構造が同じになるのか。





E・F・E・Fの順に積み上げて、下のEを取り去る。これを横に傾けると、Cの構造と同じになる。
(下図の通り)



面心立方格子・体心立方格子の結晶構造の模型を作る

[必要なもの]

発泡スチロール球直径50mm 6個、クリアホルダA4版1枚、接着剤、セロテープ、カッター、着色用のボス力

- A - 簡易法

短時間で完成させるために、クリアホルダで作製するケース部分のサイズを示した。

面心立方格子の場合は、ケースの1辺が70mm、体心立方格子の場合は、57mmの正方形を6個作り、組み立てる。

[面心立方格子の模型づくり]

発泡スチロール球は、1/8の大きさのものを8個と1/2の大きさのものを6個切り分ける。

底面の4隅に1/8の大きさの球を並べる。その中心に1/2の大きさの球を置く。その上に1/2の大き

さの球を各面の中心にくるように4つ並べ、さらにその上に1/8の大きさの球を上面の4隅(各頂点)に置き、その中心に1/2の大きさの球をのせて、上蓋をつけて完成。

[体心立方格子の模型づくり]

発泡スチロール球を、1/8の大きさのものを8個に切り分け、1の大きさ(切り分けない)のものを1個用意する。

底面の4隅に1/8の大きさの球を並べる。

底面の上(立方体の中心)に1の大きさの球を置く。その上に1/8の大きさの球を4つ上面の4隅にくるようにのせて、上蓋を取り付けて完成。

- B - 動かせる立方格子模型製法

ケースサイズの計算を要するので、ある程度計算能力が必要。

面心立方格子、体心立方格子模型のそれぞれの大きさを計算する。

模型作りに必要な1辺の長さは、先に出てきた

- A - の方法で示した1辺の半分になる。

面心立方格子、体心立方格子について、立方体(1/8格子)の各面の正方形をそれぞれ48枚分切り分ける。1/8の大きさの発泡スチロール球を、面心立方格子を作る場合は32個、体心立方格子の場合は16個に切り分ける。

それぞれの立方体(1/8格子)の中に、面心立方格子は1/8の大きさの球を4個、体心立方格子は2個それぞれが立方体の反対側の頂点にくるように入れる。

それぞれの1/8格子を8個ずつ組み合わせて模型を完成させる。(生徒用プリントの図参照)

2種類の結晶構造の違いを考察する。

それぞれの結晶格子をつくっている原子数を求める。

[体心立方格子]

立方体の頂点 8個に $1/8 \times 8$ 個、中心に 1 個なので、合計 2 個の原子からできている。

体心立方格子

各頂点	$1/8 \times 8 = 1$ 個
中心	$1 = 1$ 個
計	2 個



[面心立方格子]

立方体の各頂点に $1/8 \times 8$ 個、各面に $1/2 \times 6$ 個なので、合計 4 個の原子からできている。

面心立方格子

各頂点	$1/8 \times 8 = 1$ 個
各面	$1/2 \times 6 = 3$ 個
計	4 個



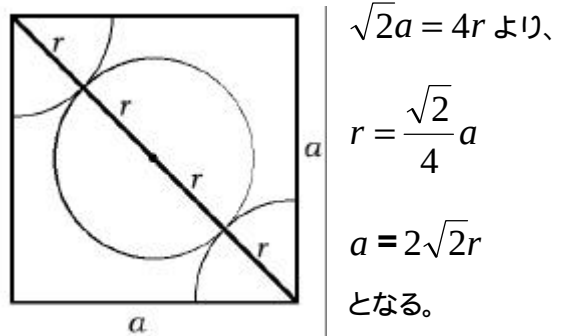
立体模型で実際に手に取って確認してみることができる。模型の各球に色がついているとさらにわかりやすい。

結晶格子の大きさ（格子定数）と原子半径の関係を調べる。

[面心立方格子]

面心立方格子は、図のように、立方体の各面の対角線上で各原子（球）が接している。原子半径を r 、格子定数を a とすると、三平方の定理より、

$$a^2 + a^2 = (4r)^2$$



今回使用した発泡スチロール球の半径が 2.5 mm なので、単位格子の一辺の大きさが約 7.1 mm になる。

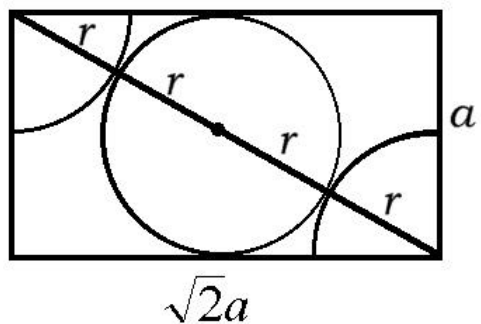
[体心立方格子]

図のように、立方体を対角線で切り取った面を考える。立方体の対角線上で各原子（球）が接している。原子半径を r 、格子定数を a とすると、三平方の定理より、

$$a^2 + (\sqrt{2}a)^2 = (4r)^2$$

$$\sqrt{3}a = 4r \text{ より、 } r = \frac{\sqrt{3}}{4}a$$

$$a = \frac{4\sqrt{3}}{3}r \text{ となる。}$$



発泡スチロール球の半径が2.5 mmなので、単位格子の1辺の大きさが約5.8 mmになる。

それぞれの結晶格子の充填率(%)を求める。

$$\text{充填率(\%)} = \frac{\text{球の占める体積}}{\text{単位格子の体積}} \times 100$$

[面心立方格子]

面心立方格子では、単位格子中に4個の原子を含むから充填率は次のようになる。

$$\begin{aligned}\text{充填率} &= \frac{\frac{4}{3}\pi r^3 \times 4}{a^3} \times 100 \\ &= \frac{\frac{4}{3}\pi \left(\frac{\sqrt{2}}{4}a\right)^3 \times 4}{a^3} \times 100 \\ &= \frac{\sqrt{2}\pi}{6} \times 100 \\ &74(\%)\end{aligned}$$

[体心立方格子]

体心立方格子では、単位格子中に2個の原子を含むから充填率は次のようになる。

$$\begin{aligned}\text{充填率} &= \frac{\frac{4}{3}\pi r^3 \times 2}{a^3} \times 100 \\ &= \frac{\frac{4}{3}\pi \left(\frac{\sqrt{3}}{4}a\right)^3 \times 2}{a^3} \times 100 \\ &= \frac{\sqrt{3}\pi}{8} \times 100 \\ &68(\%)\end{aligned}$$

それぞれの結晶格子をつくるものには、どのような金属元素があるか。

面心立方格子をとる金属元素

Au, Ag, Al, Cu, Pt, Niなど。

体心立方格子をとる金属元素

Li, Na, K, Ba, Feなど。

六方最密充填構造をとる金属元素

Mg, Zn, Cd, Coなど。

授業の考察

化学が分からないという生徒を前にしてどのような手順で授業を展開していけばよいかという問題点と不安を持ちながらの授業であった。というのが正直なところではあるが、目の前にある立体的な模型を前にしてさまざまな角度から模型を眺めているうちに、金属結晶の構造を体感させることができたのではないかと考える。

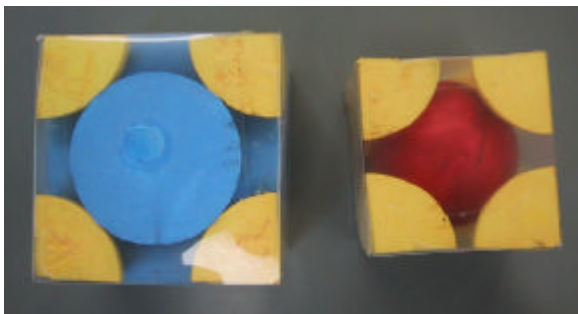
今回の模型づくりの実験では、授業時間だけでは足りずに、体心立方格子・面心立方格子の2つの模型を製作するために - A - 簡易法で1~3時間位、 - B - 動かせる立方格子模型製法では2時間~1週間という製作時間を要した生徒がいた。また、 - A - ・ - B - のどちらか一方で模型を完成させればよいという実験だったが、両方の模型を作りたいという生徒が少なからずいた。これらのことから、生徒の興味・関心を引き付ける動機付けとしても立体的な模型作りを取り入れた今回の実験は意義深いと考える。

おわりに

今回の実験では、とくにつかみにくい立体的な位置感覚を立体視することによって体感させることができたのではないかと考える。また、数式が多く、やはり化学は難しい。と諦めてしまう生徒がいることも否めないが、実験・観察を行うことによって物質の本質に触れるという化学本来の目的を果たせたのではないだろうか。

生徒の作品の一部と授業で用いた生徒用プリントを掲載させて頂きたい。

生徒の作品 1



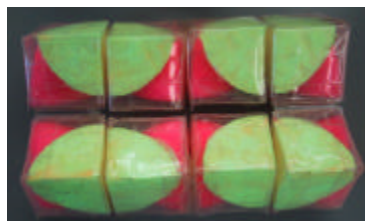
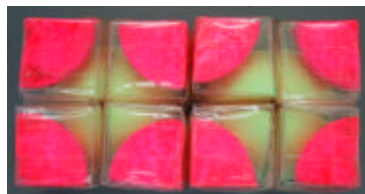
生徒の作品 2（面心立方格子）



生徒の作品 3（体心立方格子）



動かせる結晶格子模型



化学実験 B

【実験題目】金属の結晶格子づくり

【実験日】 年 月 日 曜日 校時

【実験者氏名】 年 組 番 () ()

【協同実験者】 () () () ()

【目的】立体模型をつくり金属の結晶格子について理解を深める。

【準備】発泡スチロール球 (直径 50mm) 6、クリアホルダー 1、

カッター、ボスカ、発泡スチロール用接着剤、はさみ、セロテープ or ビニールテープ

【方法】A、B のどちらか一方の方法をとる。

A

クリアホルダーで、右図のケースをつくる。

(面心、体心ともサイズに注意)。

発泡スチロール球を必要な大きさに切り

分ける。(体心 1/8 8個、1 1個)

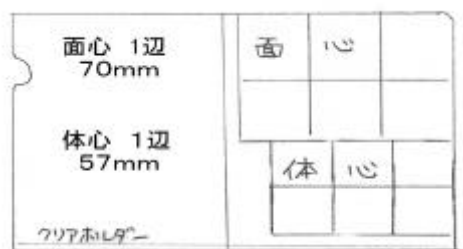
(面心 1/8 8個、1/2 6個)

それぞれの球に色をつける。(ボスカ、水性絵の具等を利用する。木工用ボンドに水性絵の具を混ぜたもので色付けすると光沢がでてきれいである。)

体心 下の面に 1/8 球 4つを置く。その上に球 1つのせる。さらにその上に 1/8 球 4つをのせて体心立方格子をつくる。

面心 下の面の頂点に 1/8 球 4つを置き、中心に 1/2 球を置く。

縦の面 4つの中心にも 1/2 球を置く。上の面の中心に 1/2 球を、各頂点に 1/8 の球を置く。位置が決まったら発泡スチロール用接着剤で各球とクリアホルダーを接着する。



B

面心立方格子・体心立方格子それぞれについて、その格子の大きさを計算する。

計算した 1/8 格子の立方体の各面の正方形を切り分ける。面心 48枚分。体心 48枚分。

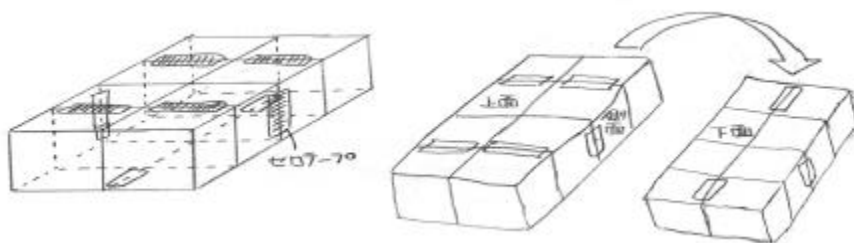
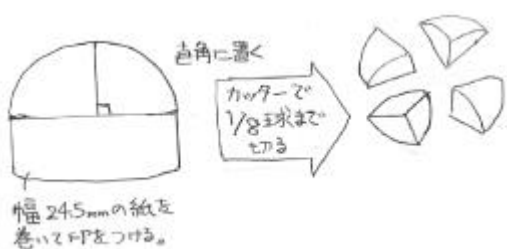
発泡スチロール球を、面心 1/8 球を 32個 体心 1/8 球を 16個 を切り分ける。

発泡スチロール球にそれぞれ色をつける。

それぞれの 1/8 格子の立方体の中に、面心 1/8 球を 4個、体心 1/8 球を 2個入れる。

それぞれの 1/8 格子を 8個ずつ組み合わせて、面心立方格子、体心立方格子の模型を完成させる。

【補足】1/8 個の球を切り出すのはかなり大変なので、厚紙を幅 24.5mm、球の直径分の長さに切り、ガイドとして用いるとよい。



【結果】

結晶格子の立体模型に要した時間

面心立方格子

体心立方格子

【考察】 1個の面心立方格子中には何個の原子が含まれるか。

結晶が面心立方格子をとる金属をあげる。

1個の体心立方格子中には何個の原子が含まれるか。

結晶が体心立方格子をとる金属をあげる。

結晶が六方最密構造をとる金属をあげる。

【感想】

【実験で疑問に思ったこと】

参考文献

- ・理系大学受験 化学 B・ の新研究

著者 ト部吉庸

株式会社三省堂発行

- ・たのしくわかる化学100時間(上)

編者 盛口 襄・野曾原友行

株式会社あゆみ出版発行

- ・たのしくわかる化学実験事典

編著者 左巻健男

東京書籍株式会社発行

- ・いまずぐできるわくわく化学実験

著者 鬼塚 公志

鬼塚 公志発行