

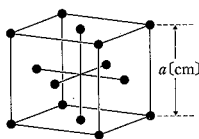
アボガドロ数の測定実験

仁川学院高等学校教諭 米沢剛至

1. はじめに

筆者は「化学と教育」誌において、アルキメデスの原理を用いた、アボガドロ数の測定実験を報告したり。原子の結晶構造は、高校化学の演習問題では難しい分野である。例にあげる問題は入試問題や模試で必ずどこかで出題される典型的なものであるが、最後まで解ける生徒がおらず苦勞している。

ある金属は、右の図に示したような結晶構造をしている。この単位格子の一片の長さを $a(\text{cm})$ とする。



(1) この単位格子中には何個の金属原子が含まれるか。
 (2) 1個の金属原子に隣接している他の金属原子は何個か。
 (3) この金属の密度が $d [\text{g}/\text{cm}^3]$ であったとする。この金属の原子量 M を a と d を使って表せ。必要ならアボガドロ定数を $N [\text{mol}]$ とせよ。 (96三重大改)

2004 化学IB・II重要問題集(数研出版)より

模型をつくらせて理解させようとしてきたが、それでもわからない生徒が多いので、実験を体験させてわからせようと考案したのがこの報告である。

本稿では、この方法を用いて、実際に授業で実施した模様を紹介する。

2. サンプル

実験操作そのものは簡単なので、こちらとしてはいろいろなサンプルを生徒に扱わせたい。アルミニウム、銅、食塩は試験問題でもよく扱われるので入れる。さらに、筆者が長年結晶づくりで取り組んでいるカリミヨウバンも加えたい。

1種類で1サンプルでは、質量にかかわらず密度は一定ということが実感しにくいだろうから、最低2サンプルは扱いたい。そういうところから、生徒用実験プリント(→本冊p.14で紹介)にもあるように、一班当たり アルミニウム1、銅1、食塩2、カリミヨウバン2 となった。食塩とカリミヨウバンは大きさの違うものを用意する。

アルミニウム、銅は2センチ角のブロックになったものが東急ハンズの素材コーナーで販売されてい

る。ほかのサイズ、形状のものもあるが、実験操作のやりやすさを考えてこれにした。1号の釣り糸でしばり、つるせるようにする(写真1)。

食塩は蒸発法で作成したものを使用する。

シャーレに飽和食塩水を入れ、種結晶を並べたものを35℃の定温乾燥機で育てている。きれいな単結晶に育てるのはノウハウがあるが、密度を測定するためだけであれば、コブがついているものでもさしつかえない(写真2)。自分でつくるのが面倒ならば、岩塩を輸入している業者から購入する手段がある。食塩についても釣り糸でつるせるようにしておく。

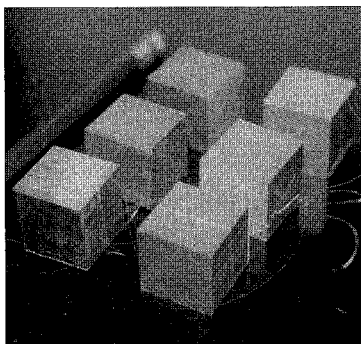


写真1 アルミ(右)、銅(左)のブロック

カリミヨウバンは、きれいな単結晶になることを目指してつくったときにできる、コブつきなどの失敗作を流用した。米沢宝石店としてはこれら

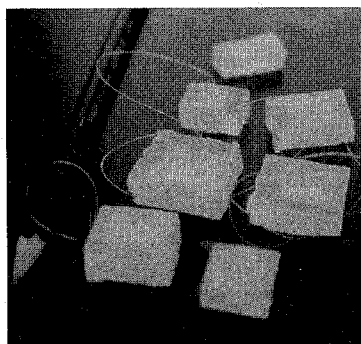


写真2 食塩結晶



写真3 カリミヨウバン結晶

ここで公開するのは恥ずかしいかぎりだが、これなら生徒にいくらさわらせても後悔しない例としてお見せ

する(写真3)。どんな失敗作でもいいというのではなく、カリミョウバンの単結晶の基本形(正八面体と立方体)がわかる程度のものにした。密度を測るためなら、容器の底に沈んだひらべったい結晶でもできるが、そこは長年、結晶づくりをしている者としてのこだわりである。

ミョウバン結晶のつくり方は実験集²⁾などに載っているのでそちらを参照していただければよいが、編集部から作成方法についての記述も求められているので、今回、筆者が行った条件を述べる。

飽和溶液は熱水にカリミョウバンを溶かし、一晩おいておき、底に結晶が沈んでいる状態の上澄み液とする。これも厳密には完全に結晶が析出しきっていないので過飽和溶液だが、それを承知で飽和とよぶことにする。ピーカーで飽和溶液2lにカリミョウバン250gを加え、加熱かくはんして溶解する。200ml ピーカー10個に分け、湯をはったクーラーボックスにつけてふたをする。湯の温度が50℃に下がったら割りばしにつるした種結晶を2個ずつ入れ、2日間静置する。種は5mm程度の大きさでコブのないものを用いる。こうして5~10gの結晶を得る。

肝心なのは失敗したときの手当てで、種が溶落していた場合は溶液がうすかったので、カリミョウバンを足して同じことをする。釣り糸いっぱい結晶がついている場合は溶液が濃すぎるので、釣り糸の結晶を除いて再び同じことをする。

結晶づくりの時期は夏休みがよい。溶液の温度降下が遅いから結晶もゆっくり育ち、単結晶になる率が高いからである。

3. 生徒実験

A. メタノールの密度を測定する。

50ml ピーカーをはかりに置き、表示を0にする。ホールピペットでメタノールを10ml吸い上げ、ピーカーに入れる。表示質量を10で除してメタノールの密度を求める。

B. サンプルの密度を測定する。

サンプルの質量をはかる(写真4)。50ml ピーカーにメタノールを約40ml入れ、はかりにおき、表示を0にする。サンプルには釣り糸がついているので、そのままメタノール中につける。このとき、サンプルが底につかないように注意する(写真5)。

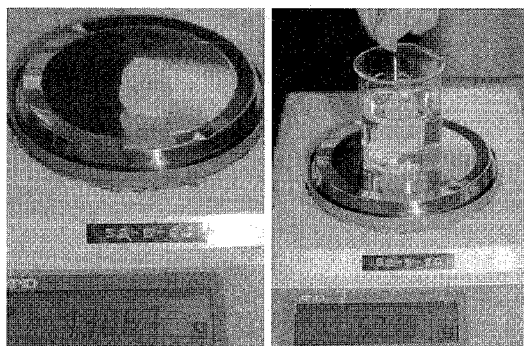


写真4 サンプルの質量の測定 写真5 サンプルの浮力の測定(メタノールに浸す)

はかりの表示質量を記録し、計算をする。

サンプルの体積 = 表示質量 ÷ メタノール密度

サンプル密度 = サンプル質量 ÷ サンプル体積

C. アボガドロ数 N の計算をする。

$$N = \text{原子量(式量)} \times \text{単位格子中の原子(イオン)の数} \div (\text{格子一辺の長さ})^3 \div \text{密度}$$

カリミョウバンはメタノールにつけてから引き上げると、表面が白くなっている。表面付近の結晶水がメタノール中にうばわれているらしいが、微量なので気にしない。

実験は3年生の理系(化学選択)クラスで行った。1年生の時にこの単元は終えているが、1年次ではこの計算は紹介するだけにとどめ、定期テストでも出題していなかった。入試で化学が必要とされるクラスなので、入試問題がわかりやすくなるようにとの期待を込めた実施であった。

次頁に生徒が提出したプリントの例をあげる。出している数値は、オレイン酸を使うこれまでのアボガドロ数の測定実験よりもよいものになっている。このプリントを書いた生徒は、クラスの中でもかなり優秀であったが、感想に「大変だった」と書いている。これは計算が大変だった、時間が足りなかった、という意味である。計算には電卓を使わせたが、成績のよい生徒でも大変がるのは、サンプル数が多いためだ。そのために、こちらの期待していた「よくわかった」という感想が出なかった。サンプルの出し方は今後の課題である。

実験プリントは毎回、実験中に仕上げさせて提出させている。宿題にすると、出さない生徒が現れ、それを指導する手間があるだろうというのと、実験回数が多いので、毎週宿題をもち帰らせるのも負担

となるためである。

考察を文章で書かせる指導も大事だといつも感じてはいるが、生徒もこちらも忙しくてさばっている。プリントにはひとことコメントをつけて返却している。

4. まとめ

アルキメデスの原理は中学校で教えておいてほしい。しかしながら、こちらの高校へ入学してくる生徒の状況を見ていると、アルキメデスの原理どころか、密度概念そのものがあやしい。水の密度が1というのは入試対策だからかよく知っているが、人間の密度はと聞かれると、返事ができない。この実験を行う前にアルキメデスの原理や密度を測定する実習を用意しなければならないのかも思った。

大阪府教育センターの山本勝博氏は別な方法でアボガドロ数を求める実習を発表している^{3,4)}。岩塩のかたまりを生徒に渡し、へき開を利用して直方体に仕上げ、ノギスで各辺の長さを測定し、体積を計算するやり方である。生徒はへき開に興味をもち、直方体に仕上げるのに熱心に取り組むようだ。これにはアルキメデスの原理は必要ではないが、へき開のないカリミョウバンの体積は測定できない。

自分のやり方と比べてどちらがいいというものではない。生徒の状況や実験材料の準備を見ながら選択すればよい。肝心なのは指導する教師の思い入れで、実験前の説明で「この実験をするのは、君たちが日本で最初の高校生だ。」と言ったときには、生徒たちは実にうれしそうなる顔をする。

なお、ダイヤモンドの密度は理科年表では3.5である。工業用の細かい砂粒状のダイヤモンドが教材カタログに載っており、値段も手ごろである。この砂粒状ダイヤモンド(0.2g程度)の密度は、本稿の方

● 生徒が提出したプリントの例 ●

化学実験
アボガドロ数の測定 ()月()日
()年()組()番 氏名()

【密度の測定】
『液体中では押しつけた液体の体積と同じ質量分の(①浮力)をうける』
これを(②)で割ると(③)の原理という。

1. メタノールの密度
50mlビーカーをかりに置き、表示を0にする。
ホールピペットでメタノールを10ml取り上げ、50mlビーカーに注ぎ、
メタノール10ml分の質量.....(④) (7.84g) g
メタノールの密度.....(⑤) (0.784g/cm³) g/cm³ (修正 10ml)

2. サンプルの密度
サンプルの質量を測る。(⑥) g表に記入
50mlビーカーにメタノールを約10ml入れ、はかりに置き、表示を0にする。
サンプルを赤で所し、メタノール中につける。
(注: サンプルが底につかないように、完全に液体中に沈み込んでいるようにする)
はかりの表示質量を記録する。(⑦) g表に記入
サンプルの体積を計算する。(⑧) cm³表に記入 小数第四位四捨五入

サンプルの密度を計算する。(⑨) g/cm³表に記入 小数第三位四捨五入

サンプル	質量⑥	アボガドロ数⑧	体積⑦	密度⑨
1) 金同	97.172	6.359	8.109	8.80
2) 2Li ₂ CO ₃	16.672	6.943	8.088	2.68
3) 炭塩	10.843	3.866	4.930	2.20
4) 炭塩	9.568	3.328	4.143	2.11
5) Al ₂ O ₃ ・2H ₂ O	12.667	5.724	7.376	1.72
6) Al ₂ SO ₄ ・3H ₂ O	5.622	3.589	3.149	1.12

⑤ = ④ / ⑧
⑨ = ⑥ / ⑧

【アボガドロ数の計算】
銅原子、アルミニウム原子は右の図のような結晶構造である。
結晶構造の名前(①)面心立方格子
単位格子中に入っている原子の数(②)個
単位格子一辺の長さは銅原子が3.62×10⁻⁸cm、アルミニウム原子が4.05×10⁻⁸cmである。
原子数の計算式
$$P_{Cu} = \frac{1}{8} \times 8 + \frac{1}{2} \times 6 = 4$$

これよりアボガドロ数を計算する
1式
$$\frac{6.253 \times 4}{(3.62 \times 10^{-8})^3 \times 8.90} = 6.09 \times 10^{23}$$

2式
$$\frac{12.24 \times 4}{(4.05 \times 10^{-8})^3 \times 2.70} = 6.06 \times 10^{23}$$

単位ナトリウムは右の図の結晶構造である。
単位格子中に入っている原子の数(③)個
単位格子一辺の長さは5.5×10⁻⁸cmである。
これよりアボガドロ数を計算する
3式
$$\frac{5.5 \times 4}{(5.5 \times 10^{-8})^3 \times 2.2} = 6.06 \times 10^{23}$$

4式
$$\frac{5.5 \times 4}{(5.5 \times 10^{-8})^3 \times 2.2} = 6.05 \times 10^{23}$$

カリミョウバンは右の図の結晶構造である。
単位格子中に入っている原子の数(④)個
単位格子一辺の長さは 5.5×10⁻⁸cmである。
これよりアボガドロ数を計算する
5式
$$\frac{4 \times 4}{(5.5 \times 10^{-8})^3 \times 1.72} = 6.1 \times 10^{23}$$

6式
$$\frac{4 \times 4}{(5.5 \times 10^{-8})^3 \times 1.72} = 5.8 \times 10^{23}$$

感想 大変楽しかったです。

法では測定できない。測定できるようになればこれもアボガドロ数の測定実験に使えるようになる、と夢もっている。読者諸賢で思いついた方があれば、ぜひ教えていただきたい。

最後に述べておく。
原子の結晶構造は旧課程化学IBの始めの方にあったのが、新課程の化学Iにはなく化学IIで扱うようになっている。これは、理論は難しいから理系選択の生徒だけに、という意図だと解釈される。これについて、ややこしいことをすべての生徒に教えなくてもよくなって楽になった、と喜ぶ教師はいない。難しいことを少しでもわかりやすくなるように、日々、あれこれと工夫やアイデアをしょり出しているのがわれわれの仕事である。筆者もかつて受験生だったころ、結晶構造の試験問題で苦しい思いをした。あのころこういう実験があればと思って、この生徒実験を開発した。それが少数の頭のいい生徒にだけ教えればよいと言われて、そうですかという気になるのだろうか。

参考文献

- 1) 米沢剛至 化学と教育, 51,77(2003)
- 2) おもしろ実験ものづくり完全マニュアル(東京書籍)など
- 3) 山本勝博 大阪と科学教育, 16,p.3~6 大阪府教育センター(2002)
- 4) 山本勝博 日本化学会 '04第84回 春季年会講演予稿集