

# 気体の分子量測定法の検討

- 状態方程式法と相対質量法 -

東京都立戸山高等学校 岸田 功

1, はじめに

我々は、「分子量測定 = 気体の状態方程式」と刷り込まれているが、山本は状態方程式を用いない相対質量による分子量測定法を次々と発表している<sup>1, 2)</sup>。2003年度からの新学習指導要領で、気体の状態方程式を含む「物質の状態」の項が化学に移されたので、分子量測定実験を経験しない生徒が増加することを懸念したからだという。

状態方程式を用いる方法と山本の相対質量法とを比較し、その長短を検討した。

2, 状態方程式を用いる方法

気体の状態方程式から分子量を求める方法は、図1～5のようにいろいろあるが、いずれも気体の質量、体積、温度、圧力の測定値を式  $M = mRT/pv$  に代入して求めることは言うまでもない。

図1の四塩化炭素の分子量測定における井上のアルミ箔の穴の大きさ、加熱時間、冷却方法等についての詳細な研究<sup>3)</sup>に対する岸田らの反論<sup>4)</sup>のように、揮発性物質の分子量測定(デュマ法)はいろいろと問題が多い。

これほどではないとしても、水上置換で捕集された気体には水蒸気が本当に飽和しているのか等他の実験でも考えることはある。

いずれにしても測定対象が多い気体の状態方程式による分子量測定は、基本的に面倒であるだけでなく、誤差の要因も多い。たとえば、温度を正

確に測るのは結構難しいものである<sup>4, 5)</sup>。

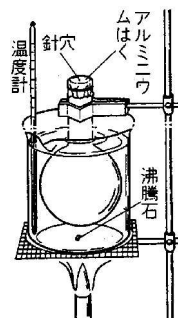


図1 揮発性物質の分子量測定(デュマ法)

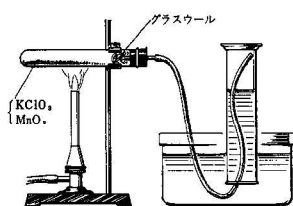


図2 酸素の分子量測定

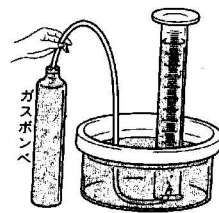


図3 ボンベガスの分子量測定

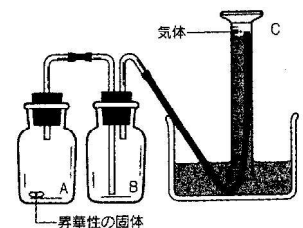


図4 ドライアイスの分子量測定

3, 山本の相対質量法

気体の状態方程式を用いない山本の方法(以下Y法という)は、いずれも操作が極めて単純で、誤差がでにくいのが特徴である。代表例2つを図5, 6に示す。

図以外のものを含めて、Y法はいずれも、同温、同圧、同体積の気体中には同数の分子があるから(アボガドロの法則)、同体積の気体の質量比は分子量比と同じであるという関係を基本に据えた相対質量法である。

このとき、一方の気体に空気を用いれば、次式により試料気体の分子量が求められる。

$$\frac{\text{試料気体の質量}}{\text{同体積の空気(同温・同圧)の質量}} = \frac{\text{試料の分子量}}{\text{空気の平均分子量}}$$

Y法が簡単なのは、空気の質量を求めるのに空気の浮力を活用している点にある。たとえば、図5のペットボトル入り炭酸飲料を利用した二酸化炭素の分子量測定では、試料気体の質量は  $(m_1 - m_3)$ 、同体積の空気の質量は  $(m_1 - m_2)$  で求めている。

測定するのは質量だけであるから、誤差がでる余地はほとんどない。ポリ袋に空気が混入していても構わないから、誤差の原因は、ポリ袋から気体を捨てるときにこぼす液体以外は、天秤の精度と質量を測るときの風の影響など天秤の扱いに関わる問題くらいである。



図5 ペットボトル入り炭酸飲料の分子量測定



図6 揮発性物質の分子量測定

#### 4, 両法の比較

気体の状態方程式はアボガドロの法則とボイル・シャルルの法則が結合したものであるから、これを使った分子量測定は両法則の上に成り立っている。これに対して相対質量法は、アボガドロの法則だけを利用しているので、状態方程式を利用する方法よりも、ずっと単純である。

気体定数は  $R = pvM/mT$  で求めるから、何かの気体の分子量が分かっているなければ、状態方程式から分子量を求めることはできない。これに対して相対質量法では、空気平均分子量が分からなくても分子間の相対質量は分かるから、空気の分子量を勝手に「1」とか「100」のように定めてもいい。原子量や分子量の「基準」の意味を考えさせるきっかけにもなる。

山本の相対質量法の問題点は、空気の浮力の扱い方だろうか。空気の浮力は難しいから、状態方程式を用いる図1～4は、気体の質量を間接的に求めている。しかし、そのため測定値が捕集気体の質量だと、解りやすくなっているわけでもない。真の理解には、浮力を避けることは出来ないのである。

ならば、いっそ浮力を積極的に生かし、空気の質量をわかりやすくする工夫をしよう。次の考察で、生徒の理解が増えたように思う。

内容物の総量に違いはないのに、 $m_1$ と $m_2$ とはなぜ同じでないのだろうか。パックが膨れることで何が減ったのか。  
(ヒント：図の点線の容器があったと考えよう)

#### 5, 終わりに

状態方程式を使う分子量測定は、気体の質量、温度、圧力、体積と測定するものが多く、それだけ複雑にならざるを得ない。単純で、より本質的な「気体の分子量 = 同体積の気体の相対質量」と刷り込みなおしたい。

図7の注射器を使った方法はおもしろい<sup>6,7)</sup>。真空が簡単にできるのは、素材の進歩のおかげである。

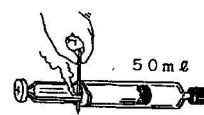


図7 注射器利用の分子量測定 (真空が簡単にできる)

ピストンにあけた穴の位置がずれても、同じ注射器なら常に一定量の気体が捕集できる点では、相対質量を求めるのにより適している。

図6は揮発性物質の分子量測定でデュマ法を超える。蒸発した試料が意外に容器の外に逃げていかないことに驚かされ、目から鱗が落ちる。

ところで、気体粒子の相対質量は、気体反応の法則から「同体積中の気体粒子数は気体の種類にかかわらず一定」というゲーリュサックの概念だけで求められることを、もっと実感したいと思うのだが・・・。

文献：

- 1) 山本進一, "状態方程式を用いない気体の分子量測定", 化学と教育, 48, 760(2000)
- 2) 山本進一, "空気中での浮力を利用した気体の分子量測定", 東レ理科教育賞受賞作品集, 31, 13(1999)
- 3) 井上友昭, "理想気体の状態方程式による $CCl_4$ の分子量測定方法の改善", 化学と教育, 34, 335(1986)
- 4) 岸田 功, "四塩化炭素の分子量測定法の再検討", 化学と教育, 34, 345(1986)
- 5) 岸田 功, "ナフタレンの融点についての疑問", 都理化研発表収録, 17, 34(1977)
- 6) 盛口 襄編著, "いきいき化学明日を拓く夢実験" 新生出版, 40(1994)
- 7) Shakhshiri (池本訳), "教師のためのケミカルデモンストレーション3", 丸善, 41(1997)

