

原子・分子の質量の表し方についての試案

A Proposal for Representing Masses of Atoms or Molecules in Molar Mass

大川 忠

1 はじめに

高等学校で化学を学習するようになって、生徒達がつまづく原因が種々議論されている。その中でも特に多くの先生から指摘されているのが、原子量・分子量とモルの概念についてであり、その指導方に工夫されているようである¹⁾。このテーマは、量的な取り扱いをする際には決して避けて通れない事項なのだが、それが化学を学びはじめてごく初めの時期に登場し、それが高校生には分かりにくいらしい。このテーマが分かりにくい原因は何なのだろうか。本誌の「お答えします」の欄に、原子量等とモル質量をどの程度区別して扱わなければならないのか、混用してもいいものなのか、という質問があったが²⁾、原子量等を相対質量で表す必然性が理解しにくいいためなのではないだろうか。

2 原子・分子の質量を相対質量で表す

2.1 原子・分子の質量を相対質量で表す理由

原子・分子の質量は、非常に小さい。したがって、原子・分子1個の質量を天秤を用いて測定することは、実際問題として不可能である。逆に数gの物質の中には膨大な数の原子・分子が含まれている。この事実から帰結される原子・分子の質量の測定方法は、その質量を天秤を用いて測定することを前提にすれば、「一定の個数の粒子集団の質量を測定しその質量を比較するのがよい」ではなかろうか。

現行の高校の化学の教科書では、原子・分子の質量は、非常に小さく“その数値を扱うのは不便である”ので、原子・分子1個の質量そのものではなく、基準に決めた原子の質量との比で表す、というように記載されている。この記述で高校生達は納得するのだろうか。単に原子・分子の絶対質量が非常に小さくその扱いが不便だルトという理由から、原子・分子の質量は相対質量で表すといわれても、そこには相対質量で表さなければならない必然性はない。原子・分子の絶対質量が非常に小さいという事実と、原子・分子の質量を相対質量で表すことの論理的なつながりはない。原子・分子の質量を非常に小さい絶対質量で表すことは何の問題もなく可能なのである。ただし、原子・分子の質量をそれらの一定個数の粒子集団の質量で表して扱いやすい数値にして扱うことには、全く異存はない。

2.2 ドルトン, カニツア口の原子量測定³⁾

はじめて原子量概念を導入したのがドルトンであることは、本誌の読者には周知の事実であろう。原子量概念を導入することによって、個々の原子には固有の質量があり、その質量を比較することによって原子を識別でき、原子という粒子が実体をともなった粒子であることが示されたのである。原子量を求める際に、ドルトンは2種の元素からなる化合物においては、その“元素組成が1:1や1:2のように簡単な個数比であると仮定”し、その質量比を求めた。その上で化合物の元素組成から、同じ個数ずつの原子の質量比を求めることができたのである。原子1個の質量の絶対値を求めるには、物質の質量とその物質を構成する原子の個数を知る必要がある。ドルトンは、物質の質量の測定は行ったが、その物質を構成する原子の個数は知り得なかったのも、もちろん原子1個の質量の絶対値を求めることはできなかった。しかし、化合物を構成する元素の原子数比は決まっているので、同数個ずつの原子の質量比、すなわち原子の相対質量ならば求めることができたのである。

もう少し改良された原子量の求め方としては、カニツア口の方法がある。この方法は、ある元素を含むできるだけ多くの気体化合物または気化しやすい化合物の分子量を気体密度から測定し、それらの化合物の元素分析のデータからその元素の含有率を求め、分子量と元素の含有率の積の値の最大公約数を原子量と考えるというものである。カニツア口の方法を用いると、同温・同圧で同体積を占める気体の中には同数(何個かは不明)の分子が含まれるとすれば、分子の相対質量すなわち分子量ならば求めることができ、原子量も相対質量として求めることができる。同数の粒子集団を得るのに気体という物質の状態を上手に応用したのである。気体として存在している分子の個数はわからなくとも、それが同数であることがいえれば、その質量比を正確に測定することができるのである。

ドルトンの原子量の求め方にしろカニツア口の方法にしろ、「原子や分子の質量の絶対値は求められないが、何らかの方法により同数の粒子集団を得て、その質量比を求めることならば可能である」という論理が重要である。この論理を伝えることなくして原子・分子の質量を相対質量で表すことの必然性は決してわかるはずがないのである。

3 モル質量

現在では、原子・分子の1個の質量の絶対値を質量分析器を用いて測定することができる。質量分析器という道具を持っている現在の化学者にとって、原子・分子の質量を相対質量で表す必然性は、極めて希薄である。もちろん、分析化学や無機化学の専門家にとっては、やはり相対質量で表さなければならぬ必然性があるのかもしれないが、少なくとも高校生には原子・分子の質量を相対質量で表す必然性は失われた、と云ってよいのではなかろうか。

現在の原子量基準は $^{12}\text{C} = 12$ である⁴⁾。原子量の基準はドルトンの $\text{H} = 1$ から始まって、ベルセリウスの $\text{O} = 100$ など何度も変更されてきたが、現在はこの原子量基準とモルの概念が密接に結び付いていて、モルが次のように定義されている。

「0.012 kg の ^{12}C に含まれる炭素原子と同数の構成単位を含む系の物質の量を 1 mol とする。」

このようにモルを定義することにより、原子量が A の原子 1 mol の質量は A g となり、相対質量として測定されてきた原子量がモルを介して最も使いやすくなるのである。

このように見てくると、化学史の立場からは原子・分子の質量を相対質量で表すという事は重要なことであるが、現在では原子・分子の質量の絶対値を測定できるので、それらを相対質量として表さなければならない必然性はほとんどなく、原子・分子の質量そのもので表して何ら差し支えない。ただし、それらの質量は極めて小さい値なので、一定の個数の粒子集団の質量で表すこととし、具体的にはモル質量、単位は g/mol を用いるようにすればよい。

4 モル質量を使う

高校生が原子量・分子量を使うのはどんなときであろうか。それは、物質の量が質量で与えられていて、それから物質量を求めるとき、およびその逆の、与えられた物質量から物質の質量を求めるときであろう。例えば、分子量が M の物質 w g の物質量を求めるときに、分子量が M の物質のモル質量は M g/mol なので、物質量 n mol は

$$n(\text{mol}) = \frac{m(\text{g})}{M(\text{g/mol})} = \frac{m}{M}(\text{mol})$$

として計算する。この作業の中で、分子量が M の物質のモル質量は M g/mol なので、と言い換えなければならない煩雑さは、すべて分子量が相対質量で定義されているからなのである。また、原子が対象の場合には、原子量を原子のモル質量に言い換えることになる。

日本化学会では、「物理・化学量および単位」に関する記号と術語の手引きを発行して、物理量の表し方として数値と単位の積で表すことを推奨している。そうすると、相対質量として表される原子量や分子量は、物理量ではないことになるが、やはり原子・分子の質量は原子・分子の性質を表す重要な物理量であることに異存はなからう。それならば、これらの物理量に適切な単位を与えるのが当然であり、どうしても原子量・分子量を相対質量として残すとすれば、その代わりに原子・分子のモル質量を用いることとし、その単位は g/mol とする以外にはない。もともとモルを使う場合の条件として、その構成単位を明確に規定することが要請されているので、モル質量で原子・分子の質量を表すことにすれば、原子量、分子量、式量といった区別も必要がなくなり都合である。

こうしてみると、少なくとも高校の化学の学習においては、相対質量で定義される原子量・分子量は不用であり、すべてモル質量で統一した方がよいと思われるが、どうであろうか。

参考文献

- 1) 渡辺範夫, 化学と教育, 42, 9(1994), 蓑手重國, *ibid*, 42, 14(1994)
- 2) 化学と教育, 42, 711(1994)
- 3) 井山弘幸, 化学史・常識を見直す, 日本化学会編, 3章(1988)講談社
小塩玄也, *ibid*, 6章(1988)講談社
- 4) 斎藤信房, 化学における精密測定, 日本化学会編, p 170(1976)東京大学出版会