

モル計算と濃度計算

ほうじ茶

2025 年 11 月 9 日

概要

本稿では、モル計算と濃度計算を扱う。当然ながら、試薬の調整に必要な知識である。微生物を扱う上では、寒天培地をつくる際にどのくらいの寒天が必要なのか？、植物の成分抽出をする上では、エタノールの濃度はどのくらいが適切なのか？などを考える必要がある。これらの計算ができない限り、実験系を組むことができず実験のスタートラインに立てない。そのため、計算できるようになることを目的とする。

化学 Chemistry の基本的な考え方は、すべての物質は粒で構成されているということである。その粒の構造や運動を、帰納的かつ実験的に導かれていることを忘れないで欲しい。

目次

1	国際単位系 International System of units^[1]	2
1.1	基本単位 Basic units	2
1.2	物質質量 Amount of substance^[5]	2
1.3	接頭辞 Prefix	3
1.4	単位換算 Unit conversion	3
	参考文献	a
	付録 A 基本単位の定義^[1]	b

[青文字](#)をクリックすると、対応したページに遷移する。

本稿の著作権は、[CC BY-NC-SA 4.0](#) を適応する。

1 国際単位系 International System of units^[1]

科学 Science の世界では、測定や計算に**国際単位系**^{*1}という国際的に統一された単位系を使用する。この単位系を用いて**数値と単位の組**でデータを示す。この組のことを**物理量** Physical quantity という。7つの**基本単位**を組み合わせ**て組立単位**にすることで、さまざまな単位を作ることができる。組立単位を知ることによって、求めたい単位に変える**単位換算** Unit conversion を行うことができるようになる。

1.1 基本単位 Basic units

基本単位は次の7つである。

表 1: 基本単位

データの種類	英語	単位
時間	<i>time</i>	[s]
距離	<i>route</i>	[m]
電流	<i>Intensity of current</i>	[A]
質量	<i>mass</i>	[kg]
絶対温度	<i>Temperture</i>	[K]
物質質量	<i>number</i>	[mol]
光度	Luminous <i>I</i> ntensity	[cd]

モル計算や濃度計算においては、**質量** m [kg]、**物質質量** n [mol] のみ登場する。質量は、単に**重さ**という認識だと考えている人も多いが、**モル質量** [g/mol] の形で計算をする。モル質量とは、**1 [mol] あたりの質量** のことである。各原子ごとに一義の値が経験則から計算されているため、その値を使えばよい。

1.2 物質質量 Amount of substance^[5]

原子 1 粒同士を比較しても、非常に小さいため明確に重さの違いは分からない。しかし、何万、何億の粒を集めて比較すると、違いが分かるようになる。かつては、炭素原子を基準として 12 [g] になるために必要な数である **6.022×10^{23} 個 (アボカドロ数)** を 1 [mol] としていた。ただし、「炭素」依存での定義であり普遍性に欠ける。

ここでアボガドロ定数 N_A を $6.022, 140, 76 \times 10^{23}$ [/mol] と定義することで、単位の大きさを定めた。簡単に言えば、原子や分子の粒を N_A 個のことを 1 [mol] と置いた。この考えは、12 個を 1

*1 Si 単位系ともいう。

ダースと置くのと同じである。

また、物質質量以外が何を基準として定義されているのかは、[付録 A 節](#)に記載した。

1.3 接頭辞 Prefix

接頭辞とは、基本単位よりも**大きい・小さいことを表す指標**のことである。Si 接尾辞では $\times 10^{\pm 30}$ まで定まっているが、よく使われる $\times 10^{\pm 12}$ までを紹介する。

表 2: Si 接頭辞

(+) 接頭辞	英語	指数乗	(-) 接頭辞	英語	指数乗
T	Tera	$\times 10^{12}$	p	pico	$\times 10^{-12}$
G	Giga	$\times 10^9$	n	nano	$\times 10^{-9}$
M	Mega	$\times 10^6$	μ	micro	$\times 10^{-6}$
k	kilo	$\times 10^3$	m	milli	$\times 10^{-3}$
h	hecto	$\times 10^2$	c	centi	$\times 10^{-2}$
da	deca	$\times 10^1$	d	deci	$\times 10^{-1}$

マイナス乗は、プラス乗にすると**逆数**になる。例えば、 10^{-6} は $\frac{1}{10^6}$ である。また、 10^{-6} は μ と置き換えられる。この考え方ができるようになると、単位換算が容易になる。

1.4 単位換算 Unit conversion

単位は、**定義に基づいて組み立てることで新しい単位ができる**。基本的には、**同じ意味を持つもの同士を分母と分子に置き、約分**することで求めたい単位へと変える。式 (1.1) は、「1 日は何秒か？」を求めたものである。恐らく、一度は計算したことがあるだろう。

$$1 [\text{day}] = 1 [\text{day}] \times \frac{24 [\text{hr}]}{1 [\text{day}]} \times \frac{60 [\text{min}]}{1 [\text{hr}]} \times \frac{60 [\text{sec}]}{1 [\text{min}]} = 86,400 [\text{sec}] \quad (1.1)$$

単位換算を行う上で押さえるポイントは、最初の単位と**求めたい単位に注目し定義としてどの物理量同士が等しいか**を考え約分する必要がある。今回の場合、1 [day] と 24 [hr] は定義より等しいので、分母と分子に置くことで理論上約分でき 1 と同じ意味となる。

次に、[1.3 節](#)の接頭辞を用いた単位換算を扱う。一例として、[mL] を [L] に変える場合を考える。

$$1,000 [\text{mL}] = 1,000 \times 10^{-3} [\text{L}] = 1 [\text{L}] \quad (1.2)$$

[mL] の m は、表 2 を参照すると指数乗は 10^{-3} である。そのため、まず**接頭辞を指数乗に変える**。そのあと、指数乗を掛けることで単位を換算できる。

その他，戸惑いやすいが変換できるものを紹介する．

表 3: 単位変換

体積と質量	$1 \text{ [cc]} = 1 \text{ [mL]} = 1 \text{ [g]}$
体積と密度	$1 \text{ [L]} := 1 \text{ [dm}^3\text{]} = 0.001 \text{ [m}^3\text{]}$
モル濃度	$1 \text{ [M]} := 1 \text{ [mol/L]}$

参考文献

- [1] 産総研 計量標準総合センター. 国際単位系 (si). <https://unit.aist.go.jp/nmij/library/si-units>.
- [2] 科学技術振興機構 香取創造時空間プロジェクト. 世界を変える 1 秒の誕生. <https://www.jst.go.jp/erato/katori/feature>.
- [3] 中野 享 山田 善郎. 熱力学温度の単位「ケルビン」の定義改定. https://unit.aist.go.jp/nmij/public/report/si-brochure/pdf/5_SI_%E3%82%B1%E3%83%AB%E3%83%93%E3%83%B3.pdf.
- [4] 森北出版. 「アンペア」の定義のこれまでといま. <https://note.com/morikita/n/n0d9537d45ce1>.
- [5] 倉本直樹. 物質量の単位「モル」の基礎解説とアボガドロ定数にもとづく新たな定義を導いた計測技術. https://unit.aist.go.jp/nmij/public/report/si-brochure/pdf/6_SI_%E3%83%A2%E3%83%AB.pdf.
- [6] 藤井賢一. プランク定数にもとづくキログラムの新しい定義. https://www.jstage.jst.go.jp/article/jaesjb/61/10/61_716/_pdf/-char/en.

付録 A 基本単位の定義 ^[1]

基本単位には、一義性^{*2}と普遍性^{*3}を持った基準が必要であり世界共通のものである。その厳密な定義を紹介する。

時間の定義 ^[2]

原子や分子には、固有の振動数の光や電波を吸収し放射する性質がある。その性質を利用して、セシウム原子のマイクロ波の振動 $\Delta\nu_{\text{Cs}}$ を、9,192,631,770 回数えたときを 1 秒と定義した。[Hz]^{*4} は単位時間あたりの振動数のことであり、[s] と同じ意味である。

距離の定義

真空中の光の速さ c を 299,792,458 [m/s] と定めることによって定義した。

電流の定義 ^[4]

かつては、真空中に 1 [m] 間隔で平行に置いた無限に長い 2 本の導体それぞれが流れ、これらの導体の長さ 1 [m] につき 2×10^{-7} [N] の力を及ぼし合う一定の電流を 1 [A] としていた。ただし、電流の単位を力として定義している。これは**電流は素粒子の流れ**であるという本質が分かっていたいなかったためである。そのため、2019 年に改定された。

新たに電気素量 e ^{*5} を $1.602,176,634 \times 10^{-19}$ [C] と定めることによって定義した。[C] は単位時間あたりの電気量のことであり、[A · s] と同じ意味である。

質量の定義 ^[6]

かつては、国際キログラム原器（白金とイリジウムの合金で出来た円柱）の質量を 1 [kg] としていた。ただし、経年劣化により一義性に欠けるため、電流と同様に 2019 年に改定された。

物体の静止質量を m 、光子の周波数を ν 、プランク定数を h とすると、アインシュタインの相対性理論と量子仮説によれば式 (付録 A.1) である。

$$E = mc^2 = h\nu \quad (\text{付録 A.1})$$

*2 ただ 1 つに定まる性質のこと。

*3 広く全ての場合に当てはめることができる性質のこと。

*4 ヘルツは、回数を示す単位である。

*5 ファラデー定数（電子 1 [mol] が持つ電気量の値のこと）を F 、アボガドロ定数を N_A とすると、 $e = \frac{F}{N_A}$ でも求められる。

ここでプランク定数 h を $6.626, 070, 15 \times 10^{-34}$ [J・s] と定義することで、周波数 ν [Hz] の光子のエネルギー E と等価な質量が m [kg] である。

絶対温度の定義^[3]

かつては、氷と水、水蒸気が共存する温度 0.01°C の約 273 分の 1 を 1 [K] としていた。ただし、「水」という物質に依存しており、かつ三重点の実現可能性が低いため電流と同様に 2019 年に改定された。

理想気体の場合、個々の分子は他の分子と衝突するとき以外は自由に動く。1 個の単原子の平均の運動エネルギーは、質量を m 、2 乗平均速度を $\overline{v^2}$ 、ボルツマン定数 k 、絶対温度 T とすると式 (付録 A.2a) である。

$$\frac{1}{2}m\overline{v^2} = \frac{3}{2}kT \quad (\text{付録 A.2a})$$

一方で、理想気体の分子 nN_A 個^{*6}を体積 V の容器に入れた場合、その圧力 p は、質量 m と 2 乗平均速度 $\overline{v^2}$ とすると式 (付録 A.2b) である。

$$p = \frac{1}{3} \frac{nN_A m \overline{v^2}}{V} \quad (\text{付録 A.2b})$$

式 (付録 A.2a) と (付録 A.2b) より、式 (付録 A.2c) の理想気体の状態方程式が得られる。

$$p(T)V = nN_A kT \quad (\text{付録 A.2c})$$

エネルギーは [J] = [kg・m²/s²] で表される。ここでボルツマン定数 k を $1.380, 649 \times 10^{-23}$ [J/K] と定義することで、単位の大きさを定めることと同じになる。

光度の定義

特定の周波数 540×10^{12} [Hz] の緑色の光を出す特定の方向に、放射強度 K_{cd} が 683 [lm/W] である点光源の光度を、1 [cd] と定義した。

^{*6} N_A はアボガドロ定数であり、ボルツマン定数 k と乗算することで気体定数 R となる。