

モル計算と濃度計算

ほうじ茶

2025 年 11 月 10 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、まずは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、実験的に導かれ帰納的に体系化さ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	2
1.1	基本単位 Basic units	2
1.2	物質質量 Amount of substance	2
1.3	接頭辞 Prefix	3
1.4	単位換算 Unit conversion	3
2	組立単位とその意味	4
2.1	2 乗, 3 乗のイメージ	4
2.2	単位の構成	4
2.3	戸惑いやすいが換算できる単位	6
2.4	mol から換算できる単位	6
2.5	百分率は分母に 100 が隠れてる	6
	参考文献	a

[青文字](#)をクリックすると、対応したページに遷移する。

1 国際単位系 International System of units

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。それ以外は参考として載せておくので、眺めてみると良いだろう。

1.2 物質質量 Amount of substance

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 ^[5] 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 ダースと置くのと同じである。

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。

当然ながら接頭辞を付けたす場合は、その指数乗の符号を変えたものを掛ければよい。一例として、式 (1.2) の逆を考える。

$$1 [\text{L}] = 1 \times 10^{+3} [\text{mL}] = 1 [\text{mL}] \quad (1.3)$$

2 組立単位とその意味

国際単位系を乗除算して表現したい単位を新たに作り出すことができる。この単位のことを**組立単位**という。各論的に次に述べる。

2.1 2 乗, 3 乗のイメージ

乗算して作り出した単位としては, square meter $[m^2]$, cubic meter $[m^3]$ が挙げられる。meter $[m]$ は一次元でありただの**直線** (図 1) である。

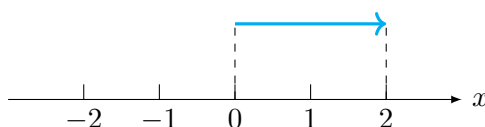


図 1: 一次元のイメージ

そこに $[m]$ を掛けると二次元となり**平面** (図 2) である。これは、**面積**と同じ意味を示している。

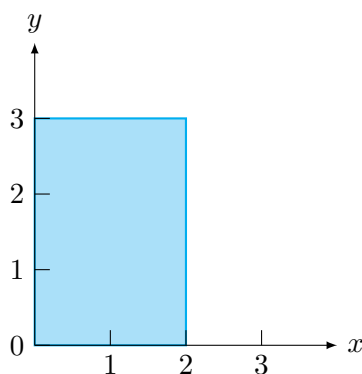


図 2: 二次元のイメージ

さらに $[m]$ を掛けると三次元となり**空間** (図 3) である。これは、**体積**と同じ意味を示している。

2.2 単位の構成

単位 $\ast\ast$ ^{*1}あたりの変化量は、分母に置くこと^{*2}で表現できる。そのため、一例として 1.4 節の式 (1.1) の単位は $[hr/day]$ と表記でき、 $[/day]$ は**1 日あたり**という意味となる。

質量は、化学の計算においては**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

*1 大きさを 1 に仕立てた $\ast\ast$ のこと。

*2 一般に $[/x]$ や $[x^{-1}]$ と表記されるが、本稿では分かりやすさより $\frac{1}{x}$ を用いる。

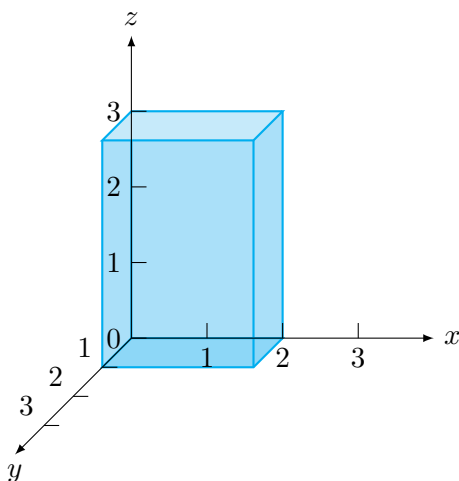


図 3: 三次元のイメージ

の値を使えばよい。基本的には周期表に記載されている。日本化学会が公開している周期表を図 4 に示した。

元素の周期表(2025)

期数\族	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	注\備考																		
1	1 H 水素 1.00784- 1.00811	<div> <div>原子番号 名称記号</div> <div>元素名</div> <div>原子量(2025)*†</div> </div> <div> <input type="checkbox"/> 2つ以上の主要な同位体を持つ元素。このような元素の原子量と同位体存在度は地球上の物質の場で変動する。IUPACでは原子量の下限と上限を許している。変動範囲として示している。 <input checked="" type="checkbox"/> 2つ以上の主要な同位体を持つ元素。このような元素の原子量と同位体存在度は地球上の物質の場で変動するが、IUPACでまだ原子量の下限と上限を許していない。あるいは、変動が小さすぎて原子量の値に影響しないもの。 <input type="checkbox"/> 主要な同位体が放射性で主要な同位体がないため、原子量が与えられていない元素。 <input type="checkbox"/> すべての同位体が放射性で主要な同位体がないため、原子量が与えられていない元素。 </div>																2 He ヘリウム 4.002602	1																		
2	3 Li リチウム 6.938- 6.997	4 Be ベリリウム 9.0121831																	5 B 硼 10.811	6 C 炭素 12.0096- 12.0116	7 N 窒素 14.00643- 14.00728	8 O 酸素 15.99903- 15.99977	9 F フッ素 18.998403163	10 Ne ネオン 20.1797	2												
3	11 Na ナトリウム 22.98976928	12 Mg マグネシウム 24.304- 24.307	13 Al アルミニウム 26.9815386	14 Si ケイ素 28.0855- 28.0868	15 P リン 30.973761998	16 S 硫黄 32.059- 32.076	17 Cl 塩素 35.446- 35.457	18 Ar アールゴン 39.948- 39.963											19 K カリウム 39.0983	20 Ca カルシウム 40.078	21 Sc スカンジウム 44.955912	22 Ti チタン 47.867	23 V バナジウム 50.9415	24 Cr クロム 51.9961	25 Mn マンガン 54.938043	26 Fe 鉄 55.845	27 Co コバルト 58.933194	28 Ni ニッケル 58.6934	29 Cu 銅 63.546	30 Zn 亜鉛 65.38	31 Ga ガリウム 69.723	32 Ge ゲルマニウム 72.630	33 As ヒ素 74.921595	34 Se セレン 78.9718	35 Br 臭素 79.904- 79.907	36 Kr クリプトン 83.798	3
4	19 K カリウム 39.0983	20 Ca カルシウム 40.078	21 Sc スカンジウム 44.955912	22 Ti チタン 47.867	23 V バナジウム 50.9415	24 Cr クロム 51.9961	25 Mn マンガン 54.938043	26 Fe 鉄 55.845	27 Co コバルト 58.933194	28 Ni ニッケル 58.6934	29 Cu 銅 63.546	30 Zn 亜鉛 65.38	31 Ga ガリウム 69.723	32 Ge ゲルマニウム 72.630	33 As ヒ素 74.921595	34 Se セレン 78.9718	35 Br 臭素 79.904- 79.907	36 Kr クリプトン 83.798	4																		
5	37 Rb ルビウム 85.4678	38 Sr ストロンチウム 87.62	39 Y イットリウム 88.905858	40 Zr ジルコニウム 91.224	41 Nb ニオブ 92.90637	42 Mo モリブデン 95.95	43 Tc テクネチウム (99)	44 Ru ロジウム 101.07	45 Rh パラジウム 106.42	46 Ag 銀 107.8682	47 Cd カドミウム 112.414	48 In インジウム 114.818	49 Sn スズ 118.710	50 Sb アンチモン 121.760	51 Te テルル 127.60	52 I ヨウ素 126.90447	53 Xe キセノン 131.293	5																			
6	55 Cs セシウム 132.90545196	56 Ba バリウム 137.327	57-71 ランタノイド	72 Hf ハフニウム 178.49	73 Ta タンタル 180.94788	74 W タングステン 183.84	75 Re レニウム 186.207	76 Os オスマニウム 190.23	77 Ir イリジウム 192.221	78 Pt 白金 195.084	79 Au 金 196.966570	80 Hg 水銀 200.592	81 Tl タリウム 204.383- 204.385	82 Pb 鉛 206.14- 206.94	83 Bi ビスмут 208.98040	84 Po ポロニウム (210)	85 At アスタット (210)	86 Rn ラドン (222)	6																		
7	87 Fr フランシウム (223)	88 Ra ラザフォード (226)	89-103 アクтиноイド	104 Rf ローレンツィウム (261)	105 Db ドブニウム (268)	106 Sg シーボグム (271)	107 Bh ボーリウム (272)	108 Hs ハーシュフェルト (277)	109 Mt ミーテネウム (278)	110 Ds ダースレーン (281)	111 Rg ローゲンティウム (286)	112 Cn フルンツウィグ (289)	113 Nh ニホニウム (294)	114 Fl フルゴウィウム (289)</td>																							

注1：元素記号の右肩の*はその元素には安定同位体が存在しないことを示す。そのような元素については放射性同位体の質量数の一例()内に示した。ただし、Bi、Th、Po、Frについては天然で特定の同位体組成を有するで原子量が与えられる。
 注2：この周期表には標準の原子量（原子量(2025)）が与えられている。原子量は第一の数字あるいは変動範囲で示されている。原子量が範囲で示されている14元素には標準の安定同位体が存在し、その組成が天然において大きく変動するため第一の数字で原子量が与えられている。原子量が範囲で示されている14元素は天然の放射性核種である。なお、原子量は主要な同位体から計算されるが、これは安定同位体および半減期が1億年以上の放射性同位体が含まれる。ただし、²¹⁰Pbと²¹⁰Biは²¹⁰Pbの崩壊生成物として常に自然界に存在するための主要な同位体として与えられている。

©2025 日本化学会 原子番号専門委員会

图 4: 周期表^[7]

2.3 戸惑いやすいが換算できる単位

ここから先の内容は、知っているか知らないかの 0 と 1 である。そのため、簡単に表にまとめる程度にする。まずは、一見では換算できなさそうだけど定義上同じものである^{*3}。

表 3: 戸惑いやすいが換算できる単位

体積と質量	1 [cc]	=	1 [mL]	=	1 [g] ^{*4}
体積と密度	1 [L]	:=	1 [dm ³]	=	0.001 [m ³]
モル濃度	1 [M]	:=	1 [mol/L]		

2.4 mol から換算できる単位

mol を含んだ組立単位を表 4 に示す。

表 4: mol から換算できる単位

物質量とアボガドロ定数	1 [mol]	:=	6.022 × 10 ²³ [個/mol] ^{*5}
物質量と気体の体積	1 [mol]	:=	22.4 [L/mol]
物質量と液体の体積	1 [mol]	:=	$\frac{nm}{\rho}$ [mL/mol] ^{*6}
物質量と固体の体積	1 [mol]	:=	$\frac{nm}{\rho}$ [cm ³ /mol]

モル質量は大きく 3 つある。原子量、分子量、式量である。ただし、この 3 つは無単位量^{*7}として扱われているが、相対質量がモル質量と一致するので単位としては [g/mol] で良い。

表 5: 原子量、分子量、式量

Weight	略称	対象
原子量 Atomic Weight	A.W.	単一原子
分子量 Molecular Weight	M.W.	共有結合の分子
式量 Formula Weight	F.W.	イオン・塩などの化学式

2.5 百分率は分母に 100 が隠れてる

^{*3} 通常の = は同じことを示しているが、:= は左辺を右辺と定義するという意味である。

^{*4} 4°C の水基準である。それ以外では、値が前後することがあるので正確に量り取る時には適さない。

^{*5} アボガドロ定数の単位は、一般には「個」を省略して [/mol] を用いる。

^{*6} n を物質量、 m をモル質量、 ρ を密度とする。

^{*7} これらは、相対質量として定められている。¹²C = 12 を基準として、比の形で他の原子量を表現する。そのため、単位が約分され無単位量として扱われる。

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.
- [7] 日本化学会. 原子量表／化学で使われる量・単位・記号. <https://www.chemistry.or.jp/know/atom-unit>.

付録 A 基本単位の定義

基本単位には、一義性^{*8}と普遍性^{*9}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^[1]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。 $[\text{Hz}]$ ^{*10}は単位時間あたりの振動数のことであり、 $[\text{/s}]$ 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 $[\text{m/s}]$ 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 $[\text{m}]$ 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 $[\text{m}]$ につき $2 \times 10^{-7} [\text{N}]$ の力を及ぼし合う一定の電流を 1 $[\text{A}]$ 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 ^{*11} を $1.602,176,634 \times 10^{-19} [\text{C}]$ と定めることによって定義した。 $[\text{C}]$ は単位時間あたりの電気量のことであり、 $[\text{A} \cdot \text{s}]$ 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 $[\text{kg}]$ 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光子量子仮説によれば式（付録 A.1）である。

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

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

*8 ただ 1 つに定まる性質のこと。

*9 広く全ての場合に当てはめることができる性質のこと。

*10 ヘルツは、回数を示す単位である。

*11 ファラデー定数（電子 1 $[\text{mol}]$ 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。

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 m 、2 乗平均速度 $\overline{v^2}$ 、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^{*12}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 $[J] = [\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2]$ 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。

^{*12} 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。

付録 B 単位まとめ

付録 C ギリシャ文字 Greek alphabet

よく数式の記号でギリシャ文字が用いられるので，知っているとな役に立つだろう．

表 6: ギリシャ文字

読み方		大文字	小文字	読み方		大文字	小文字
alpha	アルファ	A	α	beta	ベータ	B	β
gamma	ガンマ	Γ	γ	delta	デルタ	Δ	δ
epsilon	イプシロン	E	ε, ϵ	zeta	ゼータ	Z	ζ
eta	イータ	H	η	theta	シータ	Θ	θ, ϑ
iota	イオタ	I	ι	kappa	カッパ	K	κ
lambda	ラムダ	Λ	λ	mu	ミュー	M	μ
nu	ニュー	N	ν	omicron	オミクロン	O	o
xi	クシー, クザイ	Ξ	ξ	pi	パイ	Π	π, ϖ
pho	ロー	P	ρ, ϱ	sigma	シグマ	Σ	σ, ς
tau	タウ	T	τ	upsilon	ウプシロン	Υ	υ
phi	ファイ	Φ	ϕ, φ	chi	カイ	X	χ
psi	プサイ	Ψ	ψ	omega	オメガ	Ω	ω