

物理の基礎 2015

松本治彦

なぜ、看護に物理が必要なのか

看護計算では、数値の計算だけでなく、単位 (mgや ml) の計算も必要です。実は、ここで看護計算には物理が必要となっています。

例えば、数学では1 プラス 1 は 2 です。1000 プラス 1 は 1001 です。しかし、物理学では、1g プラス 1mg は、単位を mg とすれば、1001mg、単位を g にすると 1.001g となります。つまり単位をそろえてはじめて数値計算ができるのです。

さらに、物理では同じ単位同士でないと足し算と引き算はできません。例えば、1mg プラス 1ml は計算不能です。1 気圧プラス 120mmHg はどうでしょうか。これは、「1 気圧 = 760mmHg」という基礎知識があれば、計算可能となります。掛け算と割り算については、同じ単位同士ではもちろん、可能ですが、異なった単位同士でも計算できる場合があります。それが国際単位系の組立単位です。

例えば、1 ニュートン (N) に 1 メートル (m) を掛けると、エネルギーの場合は 1 ジュール、力のモーメントの場合は $1\text{N}\cdot\text{m}$ になります。ジュールはカロリーに換算できるので、食事量を計算するときに必要になります。力のモーメントは、患者の体位変換 (看護ボディメカニクス) や患者をベッドからストレッチャーに移すときに必要な基礎知識です。

物理に関する国試の過去問をみると、圧力 (気圧、血圧、体圧、酸素ポンベの内圧、ドレナージをするときの吸引圧)、エネルギー (カロリー)、温度 (体温) に関する出題が多い。このように、看護の基本にも、物理の基礎知識は欠かせないこととなります。

なお、「物理の基礎」では、計算問題を中心に話を進めます。音と光、力のモーメント (これに関連した問題がよく看護の国家試験に出題されています)、電気 (看護の現場では、いろいろな医療機器があるので、電気の仕組みを知ることが重要です)、放射線 (医療者としておさえておきたい放射線の基礎知識) などは、後期に開講する「物理学」で説明します。必ず、受講してください。

単位・用語

国際基本単位

1960 年に開催された国際度量衡 (どりょうこう) 総会で、長さや重さなどを比較する場合の基準として 7 つの基本単位 (国際基本単位、英訳は International System of Units) で、その略は SI が採択されました。その他の度量衡は基本単位を組み立てて表すため、国際組立単位と呼ばれています。

7 つの基本単位は、長さ (m ; メートル)、質量 (kg ; キログラム)、時間 (s ; 秒)、電流 (A ; アンペア)、温度 (K ; ケルビン)、物質質量 (mol ; モル)、光度 (cd ; カンデラ) です。

リットル (L)、トン (t)、分 (min)、時 (h) などは、国際単位としては採択されていないのですが、国際単位に準じて使われています。

したがって、単位のない数量、つまり無名数は無次元数とも呼ばれています。

国際組立単位

力 (N ; ニュートン)、圧力 (Pa ; パスカル)、エネルギー、仕事、熱量 (J ; ジュール)、仕事率 (W ; ワット)、電荷、電気量 (C ; クーロン)、静電容量 (F ; ファラド)、電気抵抗 (Ω ; オーム)、コンダクタンス (S ; ジーメンズ)、磁束 (Wb ; ウェーバ)、磁束密度 (T ; テスラ)、インダクタンス (H ; ヘンリー)、セルシウム温度 ($^{\circ}\text{C}$; セルシウム度)、周波数 (Hz ; ヘルツ)。

なお、これ以外にも、たくさんの組立単位があります。

国際基本単位 (SI)

量	単位の名称	単位記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
温度	ケルビン	K
物質量	モル	mol
光度	カンデラ	cd

国際組立単位

量	単位の名称	単位記号	基本単位による表現
力	ニュートン	N	$\text{m} \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$
圧力	パスカル	Pa	$\text{m}^{-1} \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$
エネルギー、仕事、熱量	ジュール	J	$\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$
仕事率	ワット	W	$\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-3}$
電荷、電気量	クーロン	C	$\text{s} \cdot \text{A}$
電位差、電圧	ボルト	V	$\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-3} \cdot \text{A}$
静電容量	ファラド	F	$\text{m}^{-2} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^4 \cdot \text{A}^2$
電気抵抗	オーム	Ω	$\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-3} \cdot \text{A}^{-2}$
コンダクタンス	ジーメンズ	S	$\text{m}^{-2} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^3 \cdot \text{A}^2$
磁束	ウェーバ	Wb	$\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{A}^{-1}$
磁束密度	テスラ	T	$\text{kg} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{A}^{-1}$

インダクタンス	ヘンリー	H	$\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{A}^{-2}$
セルシウム温度	セルシウス度	°C	K
周波数	ヘルツ	Hz	s^{-1}

物理に必要な基本単位・用語

質量（しつりょう） 単位はkg	物体のもつ物質の量です。質量は、物体をつくる原子や分子の種類や数でまります。
密度（みつど） kg/m^3	単位体積当たりの質量です。密度＝質量/体積
重力加速度 値は $9.8\text{m}/\text{s}^2$	落下の加速度のこと。質量には関係なくすべての物体に等しく作用します。重力加速度を記号で表すときは g を使います。
ニュートン (N) $\text{N}=\text{kg} \cdot \text{m}/\text{s}^2$	力の単位です。質量 1 kg の物体に $1 \text{ m}/\text{s}^2$ の加速度を生じる力が 1N です。
力のモーメント 力 (N) × 距離 (m)	物体に加わった力が物体を回転させる働きをするときの、動きの大きさのことです。トルクと呼ばれることもあります。
パスカル (Pa) $\text{Pa}=\text{N}/\text{m}^2$	圧力の単位です。物体の表面の 1m^2 当たりの何 N の力が働くかということを表します。
ジュール (J) ; $\text{J}=\text{Nm}$	仕事の単位です。
ワット (W) ; $\text{W}=\text{J}/\text{s}$	仕事率の単位です。
アボガドロ数 $6.022 \times 10^{23} \quad 1/\text{mol}$	気体分子の数のことです。1 モルとは、 6.022×10^{23} 個分、原子や分子の数が集まったという意味です。
熱の仕事当量 (J/cal) $4.18605\text{J}/\text{cal}$	4.19 J の値は、 1cal の熱量に相当する仕事の量、すなわち、熱の仕事当量といいます。仕事と熱には常に比例関係があります。

大きな数と小さな数

長さの国際基本単位は m (メートル) ですが、日常生活では km (キロメートル) や mm (ミリメートル) などを使う場面がしばしばあります。メートルの前につけるキロやミリなどを接頭語といいます。キロよりも大きな数にはアルファベットの大文字、小さな数には小文字を当てる約束です。接頭語は 1,000 倍 (=10 の 3 乗倍) 毎、あるいは 1000 分の 1 (=10 の -3 乗倍) 毎に変わります。これに関する例外は、センチ (100 分の 1、10 の -2 乗) とデシ (10 分の 1、10 の -1 乗)。ヘクタール (面積) やヘクトパスカル (気圧) に使われるヘクト (100 倍) も例外の 1 つです。

長さ、面積、体積 (容積)

長さ；基本単位はメートル (m)

長さの国際基本単位は、メートル (m) です。通勤・通学距離を測る場合には、メートル (m) やキロメートル (km)、鉛筆の芯の大きさや長さを測る場合にはミリメートル (mm)

やセンチメートル (cm) を使います。

しかし、注射針の大きさではどうでしょうか。今ではミクロン (マイクロメートル、 μm) 使った方が便利なほど細い注射針が製造されています。今流行のナノテクノロジーのナノは、ナノメートル (nm) という意味です。

面積；基本単位は平方メートル (m^2)

面積は、平方メートル (m^2)、基本単位のメートル (m) の 2 乗を使います。これは組立単位の 1 つです。

ヘクタール

さて、農場や牧場の広さを測る時に使うヘクタール (ha) と平方メートル (m^2) の関係は、1ha は 1 つの辺が 100m の正方形の面積を意味しています。したがって、

$1\text{ha} = 100\text{m} \times 100\text{m} = 10000\text{m}^2 = 10^4\text{m}^2$ 。ちなみに、1 つの辺が 10m の正方形の面積 (100m^2) が 1 アール (a) です。

日本独特の単位系では、

1 町 (ちょう) $\doteq 99.17\text{a}$ (ほぼ $1\text{ha} = 100\text{m} \times 100\text{m}$)

1 反 (たん) $\doteq 991.7\text{m}^2$ (ほぼ 10a)

$1\text{町} = 10\text{反}$ 、 $1\text{反} = 300\text{坪}$ 、 $1\text{坪} = 6\text{尺四方} = \frac{400}{121}\text{m}^2 \doteq 3.3\text{m}^2$ 、 $1\text{ha} = 100\text{a}$ 、 $1\text{a} = 100\text{m}^2$

$1\text{尺} = 10\text{寸} = \frac{10}{33}\text{m}$

体積 (容積)；基本単位は立方メートル (m^3)

体積 (容積) の単位は立方メートル (m^3) です。実用的にはリットル (L)、デシリットル (dL)、ミリリットル (mL)、あるいはマイクロリットル (μL) のほうがポピュラー。ちなみに、1L とは、辺の長さが 0.1m の立方体の体積 (容積) に等しいので、 $1\text{L} = (0.1\text{m})^3 = 0.001\text{m}^3 = 10^{-3}\text{m}^3$ 、という等式が成り立つ。同様に、1mL とは辺の長さが 1cm の立方体の体積 (容積) に等しいので、 $1\text{mL} = 1\text{cm}^3$ 。そして、 cm^3 は英語で cc (cubic centimeter) と表記するので、 $1\text{mL} = 1\text{cc}$ の関係が成り立つ。

球の体積 (容積)

必要な基本知識は円周率 (π 、パイ)。小数点第 2 位までの 3.14 を覚えていれば計算できる。半径 r の球の体積 (容積) $= \frac{4}{3} \times \pi r^3$ です。

速度、加速度、力

速度；基本単位はメートル/秒 (m/s)

速度は、単位時間 (1 秒間) に移動した距離 (メートル) なので、その国際組立単位は

メートル/秒 (m/s) です。

加速度；基本単位は速度/秒² (m/s²)

加速度は単位時間 (1 秒間) に変化した速度、つまり速度/秒を意味するので、その国際基本単位はm/s²と表す。

力；基本単位はニュートン (N)

力の国際単位はニュートン (N) ですが、力は質量と加速度の積 (質量×加速度) で表されるので、 $N = \text{kg} \cdot \text{m}/\text{s}^2$ という関係が成立します。重力加速度は $9.8\text{m}/\text{s}^2$ なので、質量 1 kg の物質に働く力は $9.8 \text{ kg} \cdot \text{m}/\text{s}^2 = 9.8\text{N}$ ということになります。

この 9.8N を、我々は「重さ 1 キログラム」と呼んでいるのです。重量キログラム (じゅうりょうキログラム) は MKS 重力単位系における重さおよび力の単位です。キログラム重とも言います。表記法は 1 kg 重、1 kgw、1kgf、1kp です。kgw は kilogram - weight、kgf は kilogram - force、kp はドイツ語の Kilopond の略です。

重量キログラムは、1kg の質量が標準重力加速度のもとで受ける重力の大きさと定義されています。標準重力加速度とは、地球の北緯 45 度の平均海面上の平均重力と定義されています。重力は、質量×重力加速度なので、通常は 1901 年に国際度量衡委員会が採択した約束値 $9.80665\text{m}/\text{s}^2$ を使い、 $1\text{kgf} = 9.80665\text{N}$ で SI 単位系に換算します。この単位は、物体の質量とそれにかかる重力が同じ値になり感覚的に捉えやすいので、以前の日本では中学校までの理科教育でキログラム重が用いられていました。しかし、国際単位系 (SI) を導入するため、現在の日本の中学校では質量約 100 グラムの物体にはたらく重力を 1 ニュートンと定義して教えています。

1992 年に、計量法の改正が行われ、物理量の計測について順次 SI 単位へ移行することが決定されました。例えば、mb (ミリバール) から hPa (ヘクトパスカル)、cal (カロリー) から J (ジュール) などです。SI 単位はメートル系のうち MKS (メートル、キログラム、秒) に電流 (アンペア)、温度 (ケルビン)、物理量 (モル) および光度 (カンデラ) の単位を加えたもので、現在の学術および産業界の諸分野で必要とされる単位を広く包括しています。

工学単位系

工学単位系とはメートル、キログラム、秒を基本単位とする単位系で、単位質量に働く力 (重力) を基本量とするため重力単位系とも呼ばれています。力の単位としてキログラムを用いるため SI 単位系の質量を表すキログラムと紛らわしいので、区別するために、工学系単位では力は kgf (キログラム重) と明記することになっています。工学単位では、基本量の 1 つが力であり、質量を基本量とし、これから力を誘導する SI 単位とは概念的に異なっている。なお、医学の世界では、kgf で表すべきことを、しばしば kg で略して表示していることがあります。注意が必要です。

なお、力の単位には N のほかに dyne (ダイン) があります。 $1\text{dyne} = 1\text{g} \times 1\text{cm}/\text{s}^2$ です。

したがって、 $1\text{gw} = 1\text{g} \times 980\text{cm/s}^2 = 980\text{dyne} \doteq 10^3\text{dyne} = 0.01\text{N}$ となります。なぜならば、 $1\text{N} = 1000\text{g} \times 100\text{cm/s}^2 = 10^5\text{dyne}$ だからです。

圧力；基本単位はパスカル (Pa)

圧力の国際基本単位はパスカル (Pa) です。天気予報では hPa (ヘクトパスカル) として使用されています。ところで、圧力というのは、単位面積に加わる力という意味です。その国際組立単位は N/m^2 です、実はこれがパスカルなのです。つまり、1 平方メートル (m^2) 当たり 1 ニュートン (N) の力が加わるときの圧力が 1 パスカルなのです。

日本の医療現場では、まだまだ水銀柱ミリメートル (mmHg) がポピュラーですが、徐々にパスカルが主流になってくるでしょう。酸素ボンベは、平成 9 年 (1997 年) から高压ガス保全法が施行され、医療用酸素ガスの圧力は、メガパスカル (MPa) に統一されています。なお、古い酸素ボンベの圧力の単位は、 kg/cm^2 、 kgf/cm^2 、 kgw/cm^2 、と書かれています。上記したように、医学の世界では、 kgf 、 kgw で表すべきことを、しばしば kg で略して表示していることがあります。注意が必要です。パスカルと気圧の関係は、

$1\text{MPa} = 10\text{ kgf/cm}^2 = 10\text{ kgw/cm}^2 \doteq 10$ 気圧となります。また、水銀柱とパスカルとの関係は、 1 気圧 $= 760\text{mmHg} = 1013\text{hPa}$ となります。

1 気圧 (atm ; atmosphere アトム) $= 76\text{ cm Hg}$ (760 mm Hg)

水銀 1cm^3 は 13.6gw です。 $76\text{ cm} \times 13.6\text{gw/cm}^3 \doteq 1\text{ kg w/cm}^2$ 、つまり、 1 cm^2 当たり約 1 kg w の重りをのせたものが 1 気圧に等しいこととなります。

また、 $760\text{ mm Hg} = 760\text{Torr} = 1$ 気圧 $\doteq 1\text{ kg w/cm}^2$ 、さらに、

$1\text{ cm Hg} = 13.6\text{ cm H}_2\text{O} \rightarrow 76\text{ cm} \times 13.6 = 1033.6\text{ cm H}_2\text{O} = 1$ 気圧 $\doteq 10\text{m H}_2\text{O}$

水深 10m の深さで、水圧は気圧換算で 1 気圧となります (つまり、大気圧と合計すると、水深 10m で 2 気圧の圧力がかかります)。ここで、Torr (トル) は、トリチェリ (Torricelli) の名前からとったものです。

天気予報で、気圧の単位は mb から hPa に変わりました。 $1\text{Pa} = 1\text{N/m}^2$

$1\text{hPa} = 100\text{Pa} = 100\text{ N/m}^2 = 100\text{N}/10000\text{ cm}^2 = 0.01\text{N/cm}^2$

$1\text{N} = 1\text{ kg} \times 1\text{m/s}^2$ 、 $1\text{kgw} = 1\text{kg} \times 9.8\text{m/s}^2 = 9.8\text{N}$

ここで、 1 気圧 $= 1013\text{hPa}$ を導いてみます。

まず、水銀柱の圧力を復習します。 1 気圧 $= 76\text{ cm Hg}$ 、水銀 1cm^3 は 13.6gw 。 $76\text{ cm} \times 13.6\text{gw/cm}^3 \doteq 1\text{ kg w/cm}^2$ 、つまり、 1 cm^2 当たり約 1 kg w の重りをのせたものが 1 気圧に等しい。このことから、 $76\text{ cm} \times 13.6\text{gw/cm}^3 = 1033.6\text{ gw/cm}^2 = 1.0336\text{k gw/cm}^2$ となる。 $1\text{kgw} = 1\text{kg} \times 9.8\text{m/s}^2$ から $1.0336\text{k gw/cm}^2 = 1.0336\text{ kg/cm}^2 \times 9.8\text{m/s}^2 = 10.13\text{kgm/s}^2\text{ cm}^2$ 、 $1\text{N} = 1\text{ kg} \times 1\text{m/s}^2$ より $10.13\text{kgm/s}^2\text{ cm}^2 = 10.13\text{ N/cm}^2 = 10.13\text{ N}/0.0001\text{m}^2 = 101300\text{ N/m}^2 = 101300\text{Pa} = 1013\text{hPa}$ となります。

ここで問題です。台風の中心気圧が 960hPa では、ふだん (1000hPa) より約 60hPa の気圧が低くなります。このとき、海水はどれだけ持ち上がりますか？

$$1\text{gw}=0.001\text{kg}\times 9.8\text{m/s}^2\approx 0.01\text{N},$$

$1\text{hPa}=100\text{Pa}=100\text{N/m}^2=100\text{N}/10000\text{cm}^2=0.01\text{N/cm}^2\approx 1\text{gw/cm}^2=1\text{cmH}_2\text{O}$ となります。すなわち、 1hPa は 1cm の水柱の圧力とほぼ等しいことがわかります。したがって、ふだんより 60hPa 気圧が低いと、その場所では海水が約 60cm も持ち上がることになります。

なお、「私たちの身体が 1 気圧の圧力と接している」とは、「身体 1cm^2 ごとに 1kgw の重りがのせられている」ことを意味しています。

ここで、 $1\text{気圧}=76\text{cm}\times 13.6\text{gw/cm}^3\approx 1\text{kgw/cm}^2$ を利用すると以下の関係を導くことができます。 $1\text{ポンド}\approx 0.454\text{kgw}$ 、 $1\text{インチ}\approx 2.54\text{cm}$ 、 $15\text{pound/inch}^2=15\text{psi}\approx 6.81\text{kgw}/6.45\text{cm}^2\approx 1.06\text{kgw/cm}^2\approx 1\text{気圧}$ となる。なお、 psi (プシー) は、 $\text{pound per square inch}$ の略です。

温度；基本単位は、ケルビン (K)

温度の国際基本単位はケルビン (K) です。私たちが日常生活で使う摂氏温度 ($^{\circ}\text{C}$) との間には次のような等式が成り立ちます。

$$\text{摂氏温度 } (^{\circ}\text{C}) = \text{ケルビン温度 } (\text{K}) - 273.15$$

したがって、 -273.15°C のときにケルビン温度が 0 になります。これを絶対 0 度と言います。 -273.15°C とは、いかなる処置を加えてもこれ以下に下がることはないと理論的に予測される値です。(2013年1月4日付「Science」にマックス・プランク研究所とルートヴィヒ・マクシミリアン大学ミュンヘンの研究チームが、絶対零度を下回る温度(マイナスのケルビン温度)を持つ原子ガスを作製したと報告しています。近い将来、温度の概念にも変更が起こるかもしれません)

アメリカでは華氏温度が使われていますが、摂氏温度との間の関係は次の式です。

$$\text{華氏温度} = \frac{9}{5} \times \text{摂氏温度} + 32, \quad \text{摂氏温度} = \frac{5}{9} \times (\text{華氏温度} - 32)$$

近似的には、華氏温度から 30 を引いた値の半分を摂氏温度 (摂氏温度に 30 を足した値の倍を華氏温度) とすると便利です。

温度とはいったい何なのか？

ある空間に粒子が漂っているとします。粒子は「粒の子」という名前の通り、子どもみたいなもので、じっとしてられないのです。動き回っているのです。それぞれ速度を持っています。速度は、それぞれの粒子によって違います。すごく元気に走り回っている子どももいれば、ややぐったりしている子どももいるように、個人差があります。その個人差を全部均した平均値、これが温度です (つまり、分子、原子などの運動エネルギーの平均値の大小を示すものが温度なのです)。もし、粒子からエネルギーを奪ってやれば、子どもを小突いて、体力を消耗させると、だんだん動きにくくなっていきます。すると温度は下

がります。これが「冷やす」という行為なのです。

水を例にとると、水蒸気は温度が高くて飛び回っている状態。ところが、よく冬の窓に水滴がつきます。あれは室内の水蒸気が、冷たい窓に触れて、冷えて、固まった状態。水蒸気のエネルギーが奪われて、ぐったりしている状態が結露（水）なのです。

したがって、絶対零度とはすべての分子、原子などが静止し、運動エネルギーがゼロになった時のことを指しています。

物質質量；基本単位はモル (mol)

物質質量の国際基本単位はモル (mol) です。一般的に、物質を構成する粒子（原子、分子、イオンなど）の数をアボガドロ数（ $=6.02 \times 10^{23}$ ）で割った数値をモル数と呼びます。アボガドロ数個分の粒子群を1モルの物質として取り扱うこととなります。

濃度の表し方と物質の溶け方

溶液、溶質、溶媒：

食塩液は食塩が水に溶けているのだから「溶質（溶けている物質）は食塩、溶媒（溶かしている物質）は水、溶液（物質の溶けている液全体）は食塩水」という。しかし、溶液の中の溶質は固体でなく、液体でも気体でもよい。均一に混ぜてさえいればいい。水とエタノールは両方とも液体であるが、均一に混ぜた液も、溶液といい、水の方がエタノールの量よりも多ければ、水を溶媒、エタノールを溶質という。量が逆なら、水が溶質、エタノールが溶媒となる。食塩液のように、溶媒が水の場合を水溶液といい、溶媒がアルコールならアルコール溶液という。

重量パーセント：

$$\text{重量パーセント (w/w\%)} = \{ \text{溶質の重量 (g)} / \text{溶液の重量 (g)} \} \times 100$$

wは weight（ウエイト、重量）を意味し、分母も分子も重量で表すので、w/w と書く（本来は gw であるが、習慣で g とする）。

w/v%の場合、分母に容量（volume）を用いる。

問1) 25%食塩水 100g に水 25g を加えると、濃度はどうなりますか。

問2) 25%食塩水 100g を 10%に薄めるために加える水の量は？

容量パーセント：

$$\text{容量パーセント (v/v\%)} = \{ \text{溶質 (mL)} / (\text{溶媒 (mL)} + \text{溶質 (mL)}) \} \times 100 \quad \text{①}$$

$$\text{容量パーセント (v/v\%)} = \{\text{溶質 (mL)} / \text{溶液の容量 (mL)}\} \times 100 \quad \textcircled{2}$$

vは volume (ボリューム、容量、体積) を意味し、分母も分子も容量で表すので v/v と書く。このことを vol% と書いたりもする。水 100g とアルコール 20g の和は 120g であるが、水 100mL とアルコール 20mL の和は 120mL ではなく、それよりもやや少ない量である。塩酸と水酸化ナトリウムの混合液は少し増加する。このように容量に加法性が成り立たない。そこで、v/v% は①を用いる。

溶解度：固体の液体への溶解

ある温度で一定の溶媒に溶けうる溶質の限度は、溶媒、溶質の種類によって異なる。通常、100g の溶媒に溶けることのできる溶質の最大の g 数を、その溶質のその溶媒に対する溶解度という。20°C の水に対する砂糖の溶解度は 204g、100°C では 487g である。「20°C における砂糖の飽和溶液の濃度は」について考えると、20°C の水 100g に 204g の砂糖が限度だから、このとき

$$204 / (100 + 204) \times 100 = 67\% \text{ の濃度になる。}$$

気体の液体への溶解

気体は高温になると運動が活発になって空気中へ飛び出し、液体内にとどまる割合が少なくなるので、気体の溶解度は固体とは逆に低温の方が大きい。気体の溶解度には圧力が高いほど融け易いという特徴がある。これは「一定の温度で、一定量の液体に溶ける気体の質量は気体の圧力に比例する」という「ヘンリーの法則」である。例えば、冷たいサイダーの蓋を取り、室温で放置しておく、清涼感のないまずい飲み物になってしまう。これは、蓋を取ったため圧力が低下および、温度上昇で二酸化炭素の溶解度が小さくなったため、サイダーから炭酸が出て行ったことが原因。

SI システム (単位の国際制度) によると、物質の濃度を表すのに mol/L の単位が用いられている。また、臨床では「結合当量」という概念から濃度を論じるときには Eq/L を用いる。浸透圧では Osm/L、Osm/kg という単位もしばしば見られる。実際には mmol/L、mEq/L、mOsm/L、mOsm/kg というように、どれも一番前に m の文字は入っているが、これはミリ (1/1000) を表しているので、mol (モル)、Eq (equivalent : イクイバレントの略で当量を意味する)、Osm (osmol ; オスマルの略) がわかればよい。

原子量とモル：

物質はいろいろな原子から成り立っている、各原子の質量は互いに異なる。しかし、どの原子も 1 個の質量は大変小さい。そこで、炭素原子 (C) の質量を「12」と決めて、他の原子の「相対的な質量を表す」ことにしている。この値を「原子量」と呼んでいる。水素 H、酸素 O の原子量は 1、16 なので水素原子は炭素原子の 1/12、酸素原子は炭素原子の約 1.3 倍の重さがあることを意味する。「もし各原子が 6×10^{23} 個だけ集まると、その集団は H なら 1g、C なら 12g、O なら 16g (つまり原子量に g をつけた分だけの質量)」とい

うことである。この 6×10^{23} 個をアボガドロ数といい、この数だけ集まった集団を 1 モルという。分子でも同じで、水分子 H_2O は H が 2 個、O が 1 個から水分子 1 個ができていますので、2 モルの H と 1 モルの O から H_2O が 1 モルできる。H が 2 モルで 2g、O が 1 モルで 16g、したがって H_2O 1 モルは 18g である。したがって、コップ一杯の水 (180g とする) を飲んだら、10 モルの水、つまり 6×10^{24} 個もの水分子が胃の中に入ったことになる。

分子量とモル：

原子量に g をつけた値がその原子 1 モル (6×10^{23} 個の原子の集まり) に相当するが、分子も分子量に g をつければ、その分子 1 モル (6×10^{23} 個の分子の集まり) 分の質量になる。二酸化炭素は CO_2 で $12 + (16 \times 2) = 44$ 、食塩 NaCl は $23 + 35.5 = 58.5\text{g}$ が 1 モルである。

もし、1 日に 6g の食塩を摂取したとすると、約 0.1 モルつまり 6×10^{22} 個の NaCl 分子を体内に取り入れたことになる。

溶液 1L 中に何モル溶けているかをモル濃度といい、mol/L という単位で表す。海水 (1L 中に約 30g の NaCl が溶けている) では、約 0.5mol/L の濃度であることがわかる。

問) ブドウ糖 (1 モルは 180g) 9g をお湯に溶かし、ブドウ糖液 100mL をつくったとき、モル濃度はいくらになりますか？

モルと当量の関係：

医療では体液を問題にすることがしばしばあります。体液には電解質が溶けています。水に溶けてプラスやマイナスの電気を帯びたもの (イオン) に分かれる (電離する) 物質を電解質といいます。例を上げると、食塩は陽イオンの Na^+ と陰イオン Cl^- に電離する。また、ブドウ糖や尿素のようにイオンに分かれないものを非電解質という。溶けている電解質の濃度を論じるとき、mol/L の代わりに Eq/L を用いることがある。

Na、Ca (カルシウム) の原子量はそれぞれ 23,40 なので Na の 1 モルは 23g、Ca の 1 モルは 40g、ところが、Na、Ca は電離するとそれぞれ Na^+ 、 Ca^{2+} の陽イオンになる。イオン電荷の数 (プラス、マイナスにかかわらない) を原子価という。 Na^+ なら 1、 Ca^{2+} なら 2、 Cl^- なら 1。原子量に g をつけたものが 1 モル、それを原子価で割った値 (原子量 (g) / 原子価) を Eq (当量) という。 Na^+ の 1 モルは 23g、 $1\text{Eq} = 23/1\text{g} = 23\text{g}$ で 1 モルと 1 当量は等しい。 Ca^{2+} の 1 モル 40g、原子価が 2 なので $1\text{Eq} = 40/2\text{g} = 20\text{g}$ 、1 モル = 2Eq となり、モルの値と Eq の値は等しくない。原子価が 1 なら $1\text{mol} = 1\text{Eq}$ 、原子価が 2 なら $1\text{mol} = 2\text{Eq}$ 、原子価が 3 なら $1\text{mol} = 3\text{Eq}$ という相互関係がある。また、mol で表された濃度を Eq 濃度にする、mol 濃度 \times 原子価 = Eq 濃度となる。例えば、血漿の Cl^- の濃度は 100mmol/L であるが、これは 100mEq/L になり、 Ca^{2+} の濃度 2.5mmol/L は 5mEq/L となる。

モル (mol) とオスモル (osmol) の関係:

液に濃度の差があると薄いほうから濃い方へ、まるで水が引き込まれるように移動する(浸透圧)現象がある。そこでは、Osm/L という単位を使う。Osm (osmol ; オスモル) は溶質の個数に関係した量であるから Eq とは異なり、非電解質にも用いられる。非電解質のオスモルは mol 濃度と同じ。非電解質 (A とする) はイオンに分かれていないので、水の中でも (A のままで) 個数は変わらない。一方、食塩は Na⁺ と Cl⁻ の 2 つに分かれるので個数は 2 倍となり 1mol は 2Osm となる。硫酸ナトリウムは Na⁺、Na⁺、SO₄²⁻ の 3 つに分かれるので 1mol は 3Osm となる。したがって、mol 数×分離する数=Osm 数となる。なお、これは 100%完全に分離する場合で、現実にはもう少し少なめとなる。

大きな数と小さな数の接頭語

乗数	接頭語	記号
10 ²⁴	ヨタ	Y
10 ²¹	ゼタ	Z
10 ¹⁸	エクサ	E
10 ¹⁵	ペタ	P
10 ¹²	テラ	T
10 ⁹	ギガ	G
10 ⁶	メガ	M

乗数	接頭語	記号
10 ³	キロ	k
10 ²	ヘクト	h
10 ¹	デカ	da
10 ⁻¹	デシ	d
10 ⁻²	センチ	c
10 ⁻³	ミリ	m
10 ⁻⁶	マイクロ	μ

乗数	接頭語	記号
10 ⁻⁹	ナノ	n
10 ⁻¹²	ピコ	p
10 ⁻¹⁵	フェムト	f
10 ⁻¹⁸	アト	a
10 ⁻²¹	セプト	z
10 ⁻²⁴	ヨクト	y

医療安全

注射・点滴薬剤の計算

液状注射薬から指示量 (X mg) を取り出そう。

小児用量 (X mg) を取り出そう。

粉状注射薬から指示量 (X mg) を取り出そう。

点滴の滴下計算

1 時間当たり、Xml で点滴しよう。

総量 Xml を Y 時間で点滴しよう。

持続点滴 Xml/分の流入速度を求めよう。

酸素ポンベの計算

酸素ポンベの残量を把握しよう。

酸素ボンベの使用可能時間を把握しよう。

溶液希釈の計算

X%の消毒液を Y%に薄めよう。

問題 1. ラベルに 250 mg/5ml と表示されている液状注射薬を 200 mg 与薬するには、何 ml 取り出せばよいですか？ (2007 年)

問題 2. 抗生剤を小児用量 20mg で、点滴内へ混注するように指示を受けた。ラベルには 1 アンプル 200mg/1ml とある。どのように取り出せばよいか？

問題 3. 「抗生剤 400 mg 点滴内へ混注」の指示を受けた。抗生剤は粉末で 1 バイアルが 2g。どのように取り出せばよいか？

問題 4. 流量 90ml/時間で点滴を注入するように指示を受けた。

- ① 微量用輸液セット (60 滴 = 1ml) では何滴/分で落とせばよいか？
- ② 一般用輸液セット (20 滴 = 1ml) では何滴/分で落とせばよいか？

問題 5. 500ml を 2 時間で点滴するように指示を受けた。それぞれの輸液セット (60 滴 = 1ml、20 滴 = 1ml) で点滴すると、滴下数/分はいくらになるか？

問題 6. 「10%塩酸リドカイン液 10ml をブドウ糖液と混合し、500ml にして 2 mg/分で点滴静脈内注射」が処方された。流入速度は何 ml/分にすればよいか？

問題 7. 5000l の酸素ボンベ (14.7MPa 充填) の残圧が 3MPa のときの酸素残量はいくらになるか？

問題 8. 「酸素を 20/分」吸入中の呼吸不全の患者を、酸素ボンベ (5000・14.7MPa 充填) を用いて検査室に移送することになった。ボンベの内圧計は 9MPa を示していた。このボンベでの吸入可能時間はいくら？

問題 9. 5%のヒビテン (グルコン酸クロルヘキシジン) 液に水を加え、0.2%の消毒液を 1000ml 作りたい。必要な薬液量・水量は、それぞれ何 ml か？

問題 10. 身長 160 cm、体重 85kg の人の BMI (体格指数) を求めよ。なお、小数点第 2 位を四捨五入すること。