

物理の基礎 2019

松本治彦

1. 【物体の運動】

スカラーとベクトル (図 1、2)

スカラー；大きさ →面積、体積、人数、温度など

ベクトル；大きさと方向→速度、力、位置の変化など

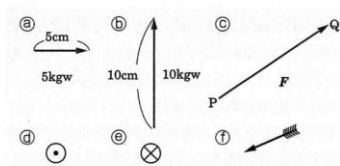


図1 ベクトルの表し方

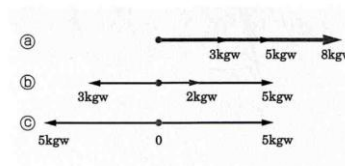


図2 同一直線上に働く力

加法の応用 (図 4)

60 度の方向で、約 1.7kgw の荷物を持つ上げる。45 度と 30 度では、同じ力を出しても、それぞれ合力は 1.4kgw、1kgw。

重いものを 2 人で持つ場合、ひもを短くして体を寄せ合うのは、持ち上げる角度を大きくするため、つまり大きな合力を得るため。

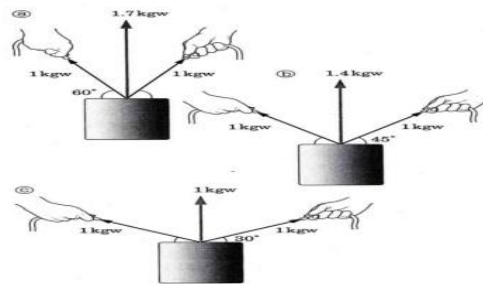


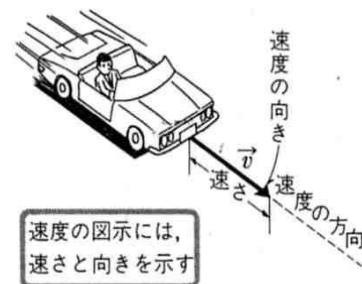
図4 加法の応用

【速度】

速さが時間とともに変わる場合には、平均の速さを考える。

時間 t (s) の間の移動距離が s (m) のときの平均の速さは

$$v = \text{移動距離} / \text{経過時間} = s / t$$



● 図6 速度の表し方

運動の様子は速さと向きを考えないと決まらない。そこで、速さと向きを合わせもつ量を考え、これを速度という。(図 6)

【加速度】

$$a = \text{速度の変化} / \text{経過時間} = (v - v_0) / t$$

t をきわめて短くすると、点 O を通るときの加速度 a

重力による運動(図 16)

【力の単位】

物体に働く重力の大きさ(物体の重さ)は、物体の質量に比例することが分かっている。

質量 1 kg や 1 g の物体に働く重力の大きさを 1 kgw (重量キログラム) や 1 gw (重量グラム) といい、力の単位として用いられる。

質量 1 kg の物体に働いて 1 m/s² の加速度を生じさせる力の大きさ(質量×加速度)を 1 ニュートン (N) とする。

また、質量 1 g の物体に働いて 1 cm/s² の加速度を生じさせる力の大きさを 1 ダイン (dyne) とする。

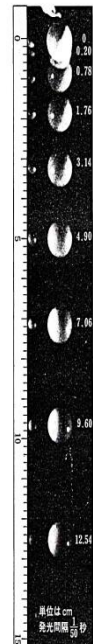


図 16 自由落下のストロボ写真

(問題) この単位を用いると、先ほどの

1 kgw はどうなるでしょう。

また、1 gw はどうなるでしょう。

答えは、

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

$$1 \text{ gw} = 1 \text{ g} \times 980 \text{ cm/s}^2 = 980 \text{ dyne}$$

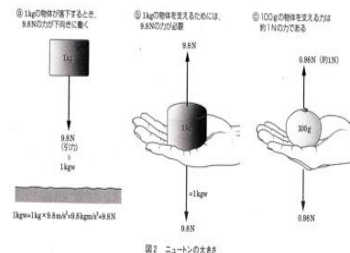


図 2 ニュートンの大きさ

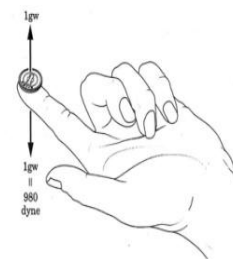


図 3 ダインの大きさ

【単位の接頭語】

表 2 単位の10の整数乗の接頭語

名称	記号	大きさ	名称	記号	大きさ
エクサ(exa)	E	10 ¹⁸	デシ(dec)	d	10 ⁻¹
ペタ(peta)	P	10 ¹⁵	センチ(cent)	c	10 ⁻²
テラ(tera)	T	10 ¹²	ミリ(milli)	m	10 ⁻³
ギガ(giga)	G	10 ⁹	マイクロ(micro)	μ	10 ⁻⁶
メガ(mega)	M	10 ⁶	ナノ(nano)	n	10 ⁻⁹
キロ(kilo)	k	10 ³	ピコ(pico)	p	10 ⁻¹²
ヘクト(hecto)	h	10 ²	フェムト(femto)	f	10 ⁻¹⁵
デカ(deca)	da	10	アト(atto)	a	10 ⁻¹⁸

【トルク（力のモーメント）】

回転効果のことを物理ではトルクといいます。

（トルクの大きさ）＝（腕の長さ）×（加えた力の腕に垂直な成分）

ここで、固定点と着力点を結ぶ線を腕といい、その2点間の距離を腕の長さという（図4）。

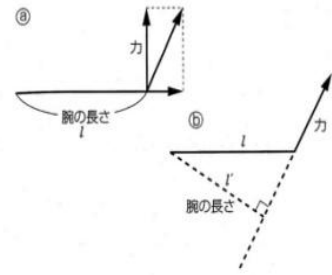


図4 力を分解する

例 1) ドアの場合、同じ力を加えるときにはドアを固定してある場所から遠いところに力を加えた方が大きく回転する。ノブが端についているのもこのため。また、加えた力の垂直な成分が大きいほどトルクが大きくなる。

例 2) ピンセットの場合、人間の加える力よりピンセットの先に生じる力は小さくなる。ピンセットで物を挟んで持ち上げようとしたとき、落としてしまうのはそれが理由。しかし、ピンセットの場合、この方が好都合な場合が多い。なぜなら、手元で大きな力を加えても先端では小さな力しか生じないので、ピンセットの先で手術部位を傷つけることも少ないし、細かい物をつまむことも容易。

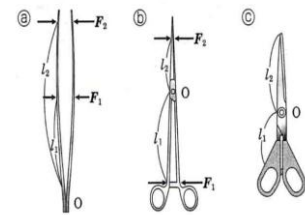
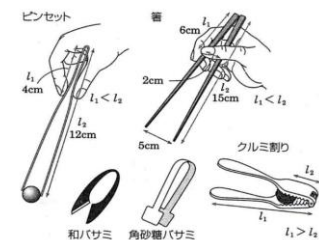


図3 ピンセット、鉗子、西洋バサミにおける「てこ」の原理



【運動の法則】

1) 慣性の法則：外部から力が働かない、あるいはいくつかの力が働いてもそれらが釣り合っていれば、静止している物体はいつまでも静止を続け、運動している物体はいつまでも等速直線運動を続ける性質のこと。

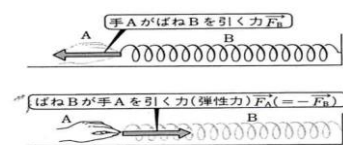
2) 運動の法則：物体にいくつかの力が働くとき、物体にはそれらの合力 **F** の向きに加速度 **a** が生じ、その加速度の大きさは力の大きさに比例、物体の質量に反比例。これが運動の法則。

$$a = kF/m \quad (k \text{ は比例定数})$$

この式より、質量が大きいほど速度の変化が小さく、したがって速度を保とうとする性質が強い。すなわち、質量が大きいほど、物体の慣性が大きい。

3) 作用・反作用の法則

物体 A が物体 B に力を働かせると、物体 B から物体 A に同じ作用線上で大きさが等しく、向きが反対の力が働く。これが作用・反作用の法則。



●図27 作用・反作用

慣性の法則を運動の第1法則、運動の法則を運動の第2法則、作用・反作用の法則を運動の第3法則という。これらの法則はニュートンの運動の3

法則といわれる。

4) 運動方程式：質量 1 kg の物体に働いて 1 m/s² の加速度を生じさせる力の大きさを 1 ニュートン (N) とする。このように定めると、次のような運動方程式となる。

$$m a = F$$

質量と重さ：重力による小球の運動では、小球の質量 m (kg) に関係なく、鉛直下向きの一定の加速度 g ($\approx 9.8\text{m/s}^2$) の運動をするから、小球に働く重力の大きさ (重さ) W (N) とすると、

$$a = g, F = W \text{ とすると、}$$

$$W = mg$$

【運動量と力積の関係】

例えば、ボールをグラブで受けて止めるとき、ボールの質量が大きいほど、ボールの速度が大きいほど、手の受ける衝撃は大きい。

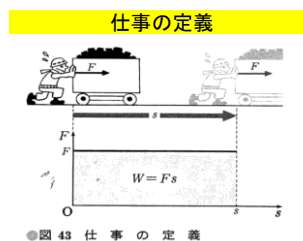
物体の質量 m とその速度 v との積 mv を、運動している物体の運動の激しさ程度を示す目安で、運動量。運動量は速度と同じ向きをもつベクトル

力積は、力が物体に与えた時間的な効果を表す量。力積は力と同じ向きをもつベクトル。

$$mv' - mv = F\Delta t$$

【運動量の保存】

いくつかの物体が互いに力を及ぼしあうだけで、それら以外の物体から力を受けないとき、全体の運動量は変化しない。これを、運動量保存の法則という。



◎図 43 仕事の定義

【仕事】

物を運ぶ時、大きな力を必要とするほど、運ぶ距離が長いほど疲労が大きい。

物体に一定の大きさの力 F を働かせ、その力の向きに距離 s だけ動かすとき、 $W = Fs$ をその力 (または力を加えたもの) が物体にした仕事。

1N の力を物体に働かせて、その向きに 1m 動かす時の仕事を 1 ジュール (J) という。

$$\underline{(\text{力の大きさ}) \times (\text{移動距離}) = \text{仕事}}$$

【重力に逆らってする仕事】

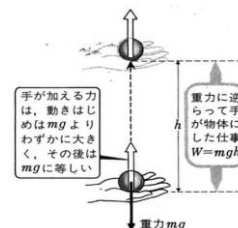
質量 m (kg) の物体を支えている手の力を物体に働く重力 mg (N) よりもわずかに大きくすると、物体は手とともに上方に静かに動き出す。

すぐに、手の力を mg (N) に等しくすると、物体は一定の速さで上昇。 h (m) の高さに持ち上げた時に手がした仕事 W (J) は

$$W = mgh$$

【仕事率】

同じ仕事にどれだけ時間がかかるか、仕事の能率が問題。



◎図 45 重力に逆らってする仕事

t (s) 間に W (J) の仕事をするとき、1 秒間の仕事の割合 $P = W/t$ を考え、これを仕事率と定める。

仕事率の単位は、1 秒間に 1 J の仕事をする割合で、1 ワット (W)。1000W は 1 キロワット (kW)。

逆に、1kW の仕事率で 1 時間に行う仕事が 1 キロワット時 (kWh)。

$$1\text{kWh} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$$

【運動エネルギー】

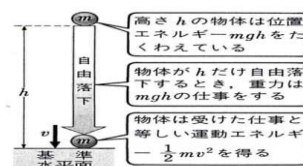
物体が仕事をする能力を持っているとき、物体はエネルギーを持つ。

速さ v (m/s) の運動をしている質量 m (kg) の物体は、静止するまでに $(1/2)mv^2$ (J) の仕事をする能力を持っている。

この意味で $K = (1/2)mv^2$ を運動エネルギーという。

基準とする水平面よりも h (m) だけ高いところにある質量 m (kg) の物体は、基準水平面に達すると、mgh (J) と等しい運動エネルギーを持つ。

これは物体が高所にあるためであるから、 $U = mgh$ を重力による位置エネルギーという。



● 図 50 重力による位置エネルギー

2. 【熱と気体の運動】

各物質の比熱

固体・液体・気体

1 気圧下での水の変化

出入りする総熱量 Q は、

$$Q = \text{比熱 } c \times \text{質量 } m \times \text{温度変化 } \Delta t$$

表 1 各物質の比熱

状態	物質名	比熱 (cal/g°C)
固 体	鉄	0.15
	銅	0.09
	ガラス	0.16
	氷	約 0.49
	コンクリート	約 0.20
液 体	砂	0.19
	水	1.00
	エチルアルコール	0.57
	水銀	0.03
	海水	0.94
気 体	ナフタレン油	0.49
	水素	3.38*
	酸素	0.22
	空気	0.24

*水素は他の気体に比べてとても軽いため、1g 当たりの熱量の値が非常に大きくなる

【比熱の計算 (1)】

1) 冷凍庫から出した直後の氷は、 -20°C 、氷の比熱は $0.5\text{cal/g}^\circ\text{C}$ とすると、100g の氷が溶け始める寸前の状態になるまでに、何 cal の熱を氷は外からもらう必要があるのか。また、200g の魚がこの氷でくるまれているとしたら、はじめ 10°C だった魚は何度まで下がる? (簡単のため、水分の多い魚の比熱を $1\text{cal/g}^\circ\text{C}$ とする)。

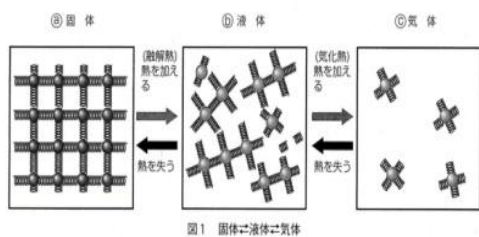


図 1 固体・液体・気体

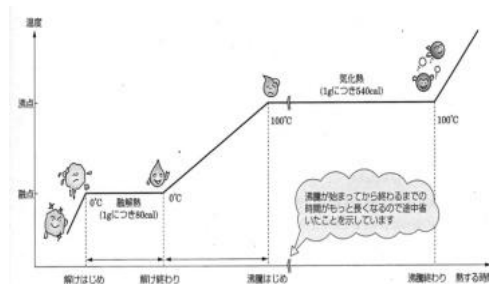


図 2 1 気圧下での水の変化

【比熱の計算（2）】

- 1) 0℃の水と 0℃の氷：いま、冷凍庫から 1g の氷を取り出したとする。この氷は -20℃、この氷は 0℃の水にするには、どれだけの熱が必要？
- 2) 氷枕：フレーク状の氷 500g (-5℃) に 18℃の水 100ml を加えて氷枕を患者に用意。その後、氷が溶け 15℃の水に。この間に患者からどれだけの熱を奪ったのか？

- 3) 100℃の湯と 100℃の蒸気：同じグラム数の 100℃の蒸気と 100℃のお湯を身体に浴びた場合。たとえば、100℃の湯が体で冷やされて、80℃に下がったとすると、熱湯 1g につき 20cal の熱を皮膚に与えたことになり、やけどの原因となる。このとき、100℃の蒸気を浴びたらどうなるのか。サウナでやけどをしない理由は？

熱移動

(1) 伝導による移動

接触している物体間で、高温側から低温側への熱の移動を、熱伝導という。金属製のスプーンで熱いお湯をかき混ぜると、スプーンがすぐに熱くなって手で持てない。木のしゃもじなら平気である。これは、どうしてか？

(2) 対流による移動

液体や気体のことを流体というが、固体物質と違って、流体では流体自体の運動で熱が運ばれる。このような熱の移動を対流という。水の温まり方、部屋の空気の温まり方。

(3) 放射による移動

ストーブに手をかざすと暖かいし、熱いアイロンのそばに手を持ってきても暖かく感じる。これは、高温のアイロンからエネルギー、つまり電磁波のエネルギーが放射されているから。

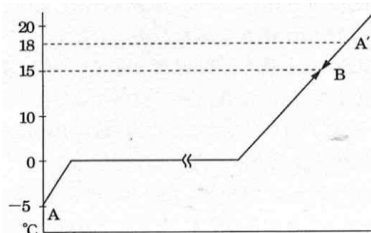
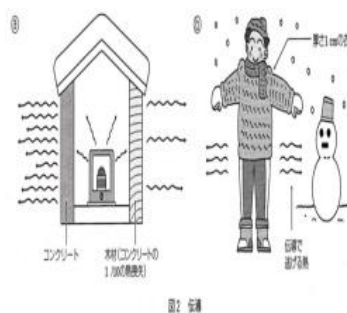


図3 氷枕使用時の熱の奪い方

伝導による熱の移動は、1秒当たり

$$\text{熱伝導度} \times \text{接触面積} \times \text{単位厚さ当たりの温度差} \text{ ①}$$

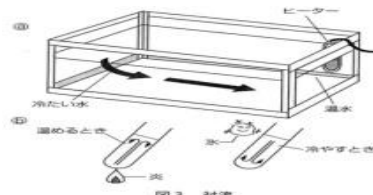
という式で求められます。



対流による熱の移動は、1秒当たり

$$\text{対流熱伝導度} \times \text{表面積} \times \text{温度差} \text{ ②}$$

この式の対流熱伝導度というのは、対流による熱の伝え方の度合いをいいます。



放射による熱の移動は、1秒当たり

$$\sigma \times \text{表面積} \times (\text{絶対温度})^4 \text{ ③}$$

この σ は 1.36×10^{-11} (kcal/sm²K⁴) という定数で「シュテファン・ボルツマン定数」といいます。

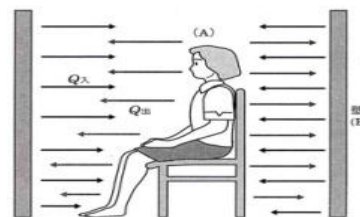


図4 放射

体熱

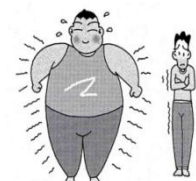
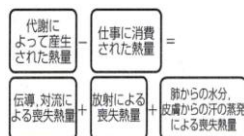


図5 体熱の産生は体積に、喪失は表面積に比例する

3. 【 圧力、表面張力、密度、比重】

看護に圧力の知識を必要とするケースが非常に多い。

どのくらいの大さの圧力がどこに作用するのか、圧力を減じるということはどういう現象を生むのか、などを知らなかったために、取り返しのつかない事態をまねくことも珍しくない。

【圧力の基礎知識】

圧力の強さと全圧力：重さ 500gw のレンガをゴムの上に置いたときの圧力の強さは、

圧力の強さ（単に圧力ともいう）＝力/（圧力の働いている）面積。つまり、単位面積当たりの力を、圧力の強さと定義、同じ力でも狭い面積に集中すると圧力は大きくなる。また、全圧力とは面全体を押している力のこと。

ところで、堅い木のベッドよりも柔らかい布団のほうが楽なのは、どうしてですか？

圧力による U 字管の水面の違い

同じ高さ⇔同じ圧力：

(a) の U 字管に水を入れて平らな場所に置いたとき、A と B の水面が同じ高さになっています。

その理由は、両方の水面に働いている圧力（大気の圧力＝ P_0 ）がともに等しいからで「同じ大きさの圧力が働くと同じ高さになる」「同じ高さであるとき同じ圧力が働いている」ことを示している。

(b) のように左側におもりを載せて水面の高さが違うとき、A の水面における圧力は同じ高さの B。すなわち、

A の圧力 (P_0 + おもりの圧力) = B の圧力 (P_0 + 高さ h の水の圧力)

(c) では左側におもりを載せていないのに、水面の高さに違いがある。

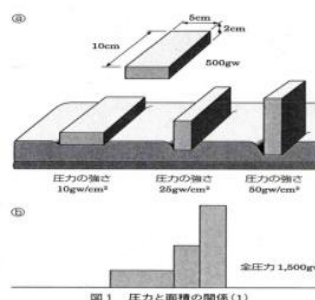


図1 圧力と面積の関係(1)

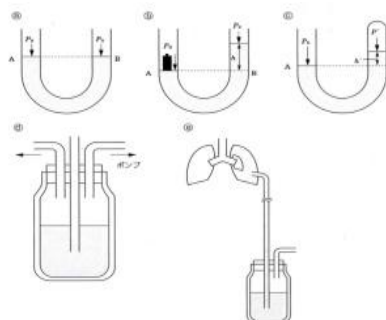


図2 圧力によるU字管の水面の違い

【圧力の単位】

圧力を表すのに kg/cm^2 (正式には kgw/cm^2) という単位をよく使う。ところが、**血圧測定に用いる mmHg** は圧力の強さを水銀柱の高さだけで表し、**胸腔ドレナージで扱う cmH_2O** は水柱だけの高さで表し、面積の単位を含んでいない。これは、どうして?。答えは、**圧力の強さは柱の底面積の大きさにはよらないから**です。

「圧力の強さ」は同じ面積で考えると、重さだけ(高さだけ)

の問題となる)

【水銀と水の関係】

水銀も水も液体、水銀は金属(常温では液体)なので重く、水の13.6倍の重さ。

密度が水 = 1g/cm^3 、水銀 = 13.6g/cm^3

1cmの水銀柱が及ぼす圧力を水で考えると、13.6cmの水柱が必要

水は水銀の(1/13.6)倍の重さ、おなじ圧力を生じさせるには、高さを13.6倍にしなければならない。

水銀柱と水柱

したがって、 $1\text{mmHg} = 13.6\text{mmH}_2\text{O} = 1.36\text{cmH}_2\text{O}$ 。もしも血圧を水銀を用いず、水で測定したとしたら?

この場合、2m ぐらいのガラス管が必要になり、実用的ではない。

体圧の表示

体圧を表すとき、**mmHg** で表示したり、 **g/cm^2** で表示したりする。今、底面積 1cm^2 、高さ 1cm の水銀柱を考えると、体積が 1cm^3 なので 13.6g の水銀を含んでいます。つまり、圧力は 13.6g/cm^2 。また、 $1\text{cmH}_2\text{O} = 1\text{g/cm}^2$ 。

【全ての基本は空気の圧力】

気圧の大きさ：地球上を空気が覆い、その圧力が気圧

我々は普段、身体に何の負担も感じていないで、そんなに大きい圧力だとは想像はできない。

しかし、縦、横、高さともに 1m の箱の中の空気だけでも、 0°C のとき、約 1.3kgw もある。

地球を覆っている空気は地上 1000km 以上もの高さまであり、我々はその底に住んでいるので、かなりの圧力があっても不思議ではない。

【トリチェリーの実験】

初めて地上の気圧を具体的に測ったのは 1643 年、イタリア人のトリチェリー

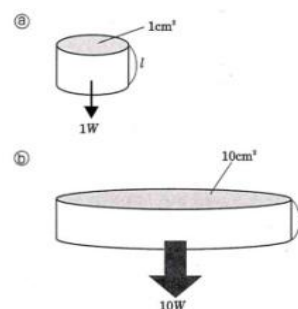


図3 圧力と面積の関係(2)

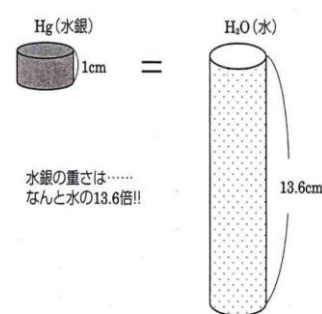


図4 水銀柱と水柱の関係

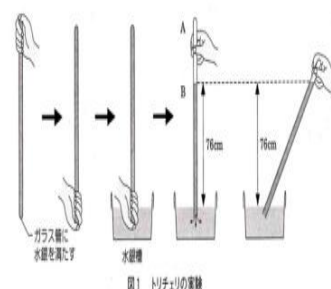


図1 トリチェリーの実験

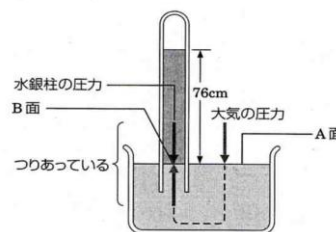


図2 トリチェリーの実験の説明

図1のように一方の端を閉じたガラス管に水銀を満たし、それを水銀槽の中に逆さまに立てると、管内の水銀は、水銀槽の中に広がり出て、水銀面から垂直に測って約76cmの高さまで下がって止まった。

なぜそれ以上水銀が管を下がらなかったのか？

それは図2のように水銀面に働いている大気の圧力が、管内の水銀を上へ押し上げているから

大気の圧力、つまり気圧が水銀柱の押す圧力と釣り合っているから。

「気圧=76cmの水銀柱の圧力」が1気圧。管の上部の空間には何も入っていないので、B面を押す圧力は76cmの水銀柱のみ。

また、A面を押す力は気圧である。同じ高さ⇔同じ圧力より「76cmの水銀柱の圧力=気圧」と考えてよい。

水銀柱の高さは、大気の状態により少し低いこともある。高いこともある。

そこで、ちょうど76cmの高さになった時の気圧を1気圧とし、圧力の大きさを表す単位として用いられている。

気圧を表す atmosphere の頭文字をとって atm (アトム) とも書き、次の関係式となる。

$$1 \text{ 気圧 (atm)} = 76 \text{ cmHg (760 mmHg)}$$

1気圧と圧力の色々な単位

1cm²の上に76cmの水銀が立っていることを考えると、底面積1cm²、高さが76cmの水銀となるので、水銀1cm³が13.6gであることから、 $76 \times 13.6 = 1033.6 \text{ g} \approx 1 \text{ kg}$ 、つまり、1cm²当たり約1kgの重りを載せたものも1気圧に等しいことがわかる。

$$760 \text{ mmHg} = 760 \text{ Torr (トル)} = 1 \text{ 気圧} \approx 1 \text{ kg/cm}^2$$

【大気の流れ】

富士山頂の気圧が0.7気圧の場合、532mmHgとなる。また、1気圧より圧力が大きい場合、単位として、mmHgではなく、kg/cm²を用います。本当は1kgw/cm²とすべきですが、1kg/cm²とします。kgは質量の単位なのでkgw(重力)で表さないと、圧力=力/面積に矛盾します。しかし、習慣上、kg/cm²としています。

$$1 \text{ cmHg} = 13.6 \text{ cmH}_2\text{O} \text{ なので、} 76 \text{ cm} \times 13.6 = 1033.6 \text{ cm} \approx 10 \text{ m} \text{ となる。}$$

パスカルはニュートン (N) という力の単位を使って、圧力を表したものの。

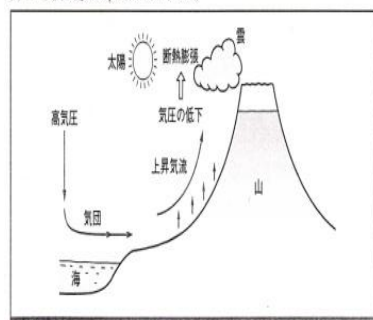
$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2 \quad 1 \text{ hPa} = 100 \text{ Pa} = 100 \text{ N/m}^2 = 100 \text{ N/10000 cm}^2 = 0.01 \text{ N/cm}^2 \approx 1 \text{ gw/cm}^2 = 1 \text{ cmH}_2\text{O}$$

【問題】

1気圧=1013 hPaになるのですが、これを導いてみてください。

「私たちの身体が1気圧の圧力をもつ空気と接している」ことは「私たちの身体の1cm²ごとに1kgwのおもりが載せられている」ことを意味する。

図 88 大気の流れ(断熱膨張による雲の発生)



人間の表面積を考えると、全体で非常に大きな重りを私たちは背負っている。

しかし、日常生活に何の不便も感じないのは、私たちは外からかかってくる 1 気圧と同じ圧力を身体は外へ向けて持っているから。

気圧は大きい圧力を持っている

1 気圧とは
液体の及ぼす圧力

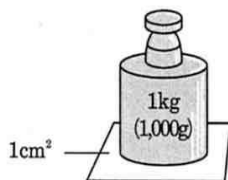


図4 1気圧とは

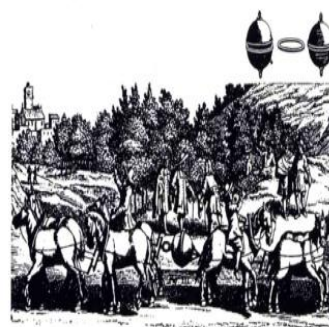
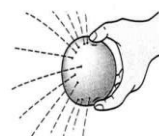


図3 マグデブルクの半球の実験



穴のあいたボールに水を入れ、一部を押すと水は四方に飛び出す

図7 液体の及ぼす圧力の実験

【動圧・静圧、表面張力、界面活性剤】

動圧と静圧

ホース、注射器：ホースで水をまくとき、ホースの先端を手で押さえて出口を細くすると、水の流れるが急に速くなり、そのため水が遠くまで届く。注射器の内筒をゆっくりと押し続けているにもかかわらず、針先の狭い穴からはかなり速く液体が飛び出す。「狭い部分は流れが速い」

ホースの出口を押さえ、流れを速くした水に手を当てると手が痛い。流れが遅い水に手を当てても痛く感じない。この現象を科学的に言うと「流れの速い部分は流れの持つ圧力（動いているために生じる圧力で動圧という）が大きく、流れが遅いと動圧が小さい」となる。「管の太い部分よりも細い部分の方が流れが速い。流れが速い部分は動圧が大きく、遅い部分は動圧が小さい」

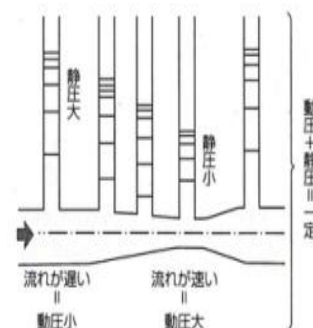


図1 ベルヌーイの定理(1)

【ベルヌーイの定理】

(動圧と静圧の合計は常に一定である)

太い部分と細い部分をもった太さが一様でない管を水平に置き、水を流し、その時、管の上部に穴をあけ、垂直な方向に管をつけておくと、一部の水が管を上昇してくる。これは、水が大気の圧力に抵抗しつつ、側面に対して垂直にたてた管を上昇していく現象で、管の太い部分では側面を押す圧力が大きい（水が高く上昇する）。

側面を押す圧力は側圧、動圧に対して静圧ともいう。「太い管では静圧が大きく、細い管では静圧が小さい」ホースの話と合わせると、ネブライザの原理となる「太い管は静圧が大きい代わりに動圧が小さい、細い管は静圧が小さい代わりに動圧が大きい」「(動圧) + (静圧) = (全圧) は管の太い、細いによらずどこでも同じ値となる。これをベルヌーイの定理という」

【表面張力】

乾湿球湿度計で湿球につけたガーゼに水が上がるのは、毛管現象である。

「液体中に細い管を立てると管内の液面の高さが管外の液面の高さとは異ってくるが、その差は管が細いほど大きいので、毛細管現象と呼ばれる。

しかし、いつも液が細い管を上がっていくばかりとは限らない。

水銀中に細いガラス管を入れると、管内の水銀は下がる。常温なら半径 1mm のガラス管を、水なら約 1.5cm 上がり、水銀なら約 0.5cm 下がる。液が上がるか下がるかは、液体と管の材質の組み合わせによるだけで、本質的な問題ではない。毛管現象の原因は表面張力であるが、表面張力とは一体、どんな力なのか。

図5は液体が空気と接している図。Aの液体分子はまわりの分子から一様に引っばられている。結局、力を受けていないのと同じ状態。Bの分子は液表面上にあるため外側の空气中からは引っばられず、内側の隣接分子によって内側の方向のみ引っばれる。

その結果、液体には表面積をできるだけ小さくしよう（表面が縮まろう、縮まろう）とする傾向が生じ、その度合いを示す量が表面張力。

物体が体積一定のまま表面積が一番小さい形状は球状。液体にはこのような表面張力が働く結果、外力の影響を無視できる時球形になり、例えば雨だれが球形になって落ちてくる。

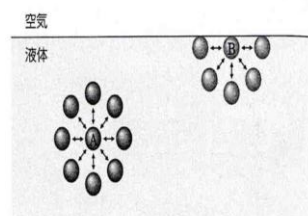


図5 表面張力の原因

【表面張力の原因】

芋の葉に宿る露、注射器の針先の液が球形。図5は液体と接している面が空気だった（自由表面）場合で、図6の場合は、液体が接する相手（ガラス）に対する表面張力を考えることが必要。

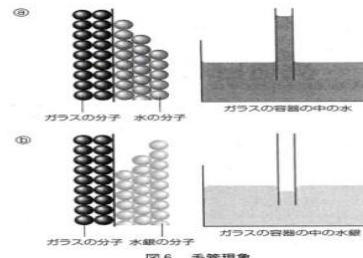


図6 毛管現象

水の分子はガラスの分子を好み、仲間の分子を避けたがるので、aのようになる。一方、水銀はガラスの分子を避けたがるのでbのようになる。このことは液体と容器の組み合わせによるだけで、例えば、水銀を銅の容器入れると、aのようになる。

【毛管現象】

【界面活性剤】

毛管現象の原因となる表面張力は様々な場面で顔を出す。この表面張力を小さくするのが、洗剤などの界面活性剤。

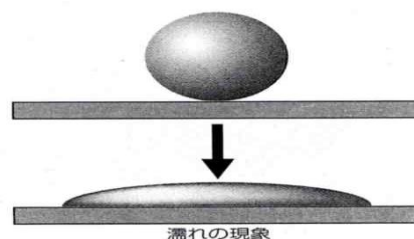


図7 表面張力が低下したら……

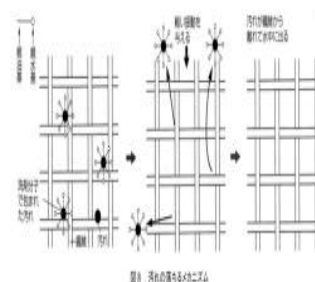
表面張力が大きいと液体は球形になるので、表面張力が低下すると、球形からべたっとした平らな形となる（図7）。

表面張力の低下

このことを「濡れの現象」という。洗剤の溶けた液は表面張力が低下するので「濡れ」

を起こし、繊維にしみ込んで、しみ込んだ洗剤の分子が汚れを包み、軽い振動が与えられることによって、布から汚れとともに離れていく。

【汚れの落ちるメカニズム】



4. 【比重計、水銀体温計、濃度の表し方と物質の溶け方】

【比重計】

密度と比重：体積 1cm^3 当たり、鉄は 7.86g 、氷は 0.92g の質量。この単位体積 (1cm^3) 当たりの質量 (g) を物質の密度。鉄の密度は $7.86\text{g}/\text{cm}^3$ 、氷の密度は $0.92\text{g}/\text{cm}^3$ となる。密度は物質の持つ特性の1つ、物質の密度を測定すれば、その物質が何であるかを確認する有力な手段となる。しかし、密度に体積が関係し、体積は温度によって変化するので注意が必要。

固体の温度による体積変化は大きくないので、あまり影響はないが、液体や気体では影響が大きく、温度に注意が必要。

例えば、血液の密度は 20°C で $1.060\text{g}/\text{cm}^3$ 、 37°C で $1.056\text{g}/\text{cm}^3$ とかなり変化。気体は温度だけでなく圧力による体積変化が大きいので、温度は 0°C 、圧力は 1 気圧のときの体積を基準、および密度を g/cm^3 で表すと大変小さな値になるので、1L 当たりで表す場合が多い。

比重は「物質の密度と水の密度との比」である。ここで、水の密度 $= 1\text{g}/\text{cm}^3$ を頭に入れておく。そうすると、鉄の比重は 7.86、ダイヤモンドは密度が $3.51\text{g}/\text{cm}^3$ だから比重は 3.51。比重は密度から単位を除いた値。

【物質の密度】

アルキメデスの原理

「アルキメデスの原理」は「流体（液体や気体）の中の物体は、物体が押しのけた流体（つまり流体中にある物体と同体積の流体）の重さだけ軽くなる」。 10cm^3 、 80gw （比重 8）の塊を水に入れたとき、鉄の押しのけた液体（水 10cm^3 ）の重さ 1cm^3 当たり 1gw なので、この場合に 10gw だけ軽くなるので、 70gw になる。液体の比重が物体の比重よりも大きくなれば、物体は浮き上がり、一部だけが液中につかる。

一方、物体が底に沈めば液体より物体の比重が大きいことが分かる。

そして、両者の比重が等しいとき、物体は液面に浮き上がりもせず底に沈みもせず、液中に浮遊する。

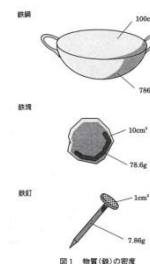


図1 物質(鉄)の密度

このように、液体の比重が分かっているならば、その中で物体の浮遊状態をつくることにより、物体の比重を知ることができる。

液体の比重と浮力

【水中にある物体に働く浮力】

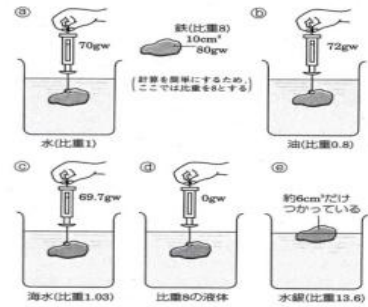


図2 液体の比重と浮力

【体温計】

1) 水銀体温計：「温めるとなぜ膨張するのだろうか」「水銀を包んでいるまわりのガラスも膨張しているはずなのに、なぜ水銀だけが上昇するのだろうか」。物質はすべて原子から構成されているが、水銀も小さな水銀原子の粒の集まり。それらの原子はいつも手をつなぎあっている。

【水銀原子の集まり】

ところが、熱を与えると熱エネルギーをもらった原子は運動が活発になり、つなぎあっている手が伸びる。これが膨張現象。ガラスも膨張するが、水銀のほうがずっと膨張の割合が大きい。

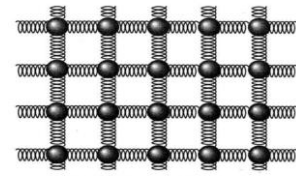


図1 水銀原子の粒の集まり

2) 破損した体温計の水銀：水銀を集めた後、放置しておく、水銀の有毒な蒸気が空気中にでる。そこで、亜鉛の粉をこぼれた水銀の上からまき、混ぜてやると、水銀は固体状の粒を作る。こうすると、簡単につまめる。

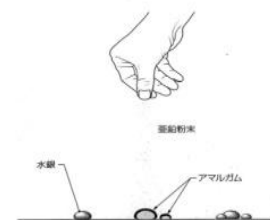


図6 床にこぼした水銀の処理法

【水銀の処理方法】

3) 電子体温計：電子体温計はサーミスタを利用したもの。

金属は熱すると電気抵抗が大きくなって電流の流れを邪魔し、電流が流れなくなる。

ところが、半導体は温度が上がると逆に抵抗が小さくなり電流が流れやすくなる。

体温で熱せられた半導体は電気抵抗が小さくなって電流が増加する。

体温のように測定温度範囲が狭い場合、直線的に変化するように回路を組むことができるので、それを読み取っているのが電子体温計である。

また、測定時間が短いのは、体温を予測する方式だから。

初期に見られる温度変化から最終到達温度を予測するのが電子体温計の原理。

【目盛り】

摂氏目盛りとは、1気圧のもとで氷の溶ける温度を0℃、水の沸騰する温度を100℃と決め、その間を100等分し、この目盛りを0℃以下、100℃以上にも広げたもの。

華氏目盛りは、0℃を32Fとし、100℃を212Fとし、その間を180等分して目盛りを決めた。1F=5/9℃、C=5/9(F-32)で求められる。絶対温度の0Kは-273℃(正確には-273.15℃)であり、目盛りの間隔は摂氏と同じ。

【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：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？

500ppm、次亜塩素酸ナトリウム溶液を 1 リットル作成したい。1.1w/v %次亜塩素酸ナトリウム（ミルトン）は何 ml 必要ですか？

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

$$\boxed{\text{新しい溶液の濃度}} = \boxed{\frac{A(=B \times C)}{B+D} \times 100(\%)}$$

- A: 溶質の重量
- B: はじめの溶液の重量
- C: はじめの濃度
- D: 追加した溶媒の重量

重量パーセント(w/w%)

$$= \frac{\text{溶質の重量 (g)}}{\text{溶液の重量 (g)}} \times 100$$

$$= \frac{\text{溶質 (g)}}{\text{溶媒 (g) + 溶質 (g)}} \times 100$$

容量パーセント(v/v%)

$$= \frac{\text{溶質 (mL)}}{\text{溶媒 (mL) + 溶質 (mL)}} \times 100 \quad \textcircled{1}$$

$$= \frac{\text{溶質 (mL)}}{\text{溶液の容量 (mL)}} \times 100 \quad \textcircled{2}$$

する溶解度という。20℃の水に対する砂糖の溶解度は204g、100℃では487gである。「20℃における砂糖の飽和溶液の濃度は」について考えると、20℃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変わってしまいます。

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 の文字が入っているが、これはミリ (1/1000) を表している。mol (モル)、Eq (equivalent: イクイバレントの略で当量を意味する)、Osm (osmol; オスモルの略) がわかればよい。

【溶解度曲線】

【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。

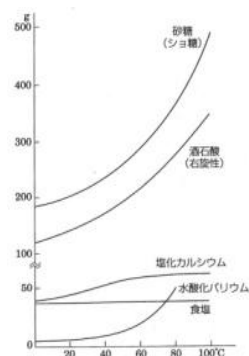


図2 溶解度曲線(水100gに溶ける溶質のg数)

2モルのHと1モルのOからH₂O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H₂O1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6×10²⁴個もの水分子が胃の中に入ったことになる。

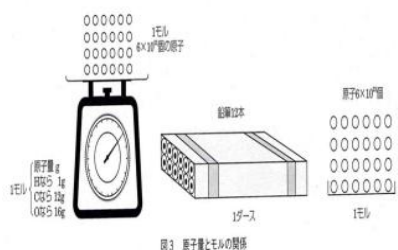


図3 原子量とモルの関係

【原子量とモル】

【分子量とモル】

原子量にgをつけた値がその原子1モル(6×10²³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(6×10²³個の分子の集まり)分の質量になる。



図4 水の分子とモル

二酸化炭素はCO₂で12+(16×2)=44。食塩NaClは23+35.5=58.5g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6×10²²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⁺、Ca²⁺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ず)を原子価という。Na⁺なら1、Ca²⁺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、1Eq=23/1g=23gで1モルと1当量は等しい。

Ca²⁺の1モル40g、原子価が2なので1Eq=40/2g=20g、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 濃度にするると、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、Ca²⁺ 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 \times 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。

【イオン化する物質】

$$\boxed{\text{mol数}} \times \boxed{\text{分離する数}} = \boxed{\text{Osm数}} \text{④}$$

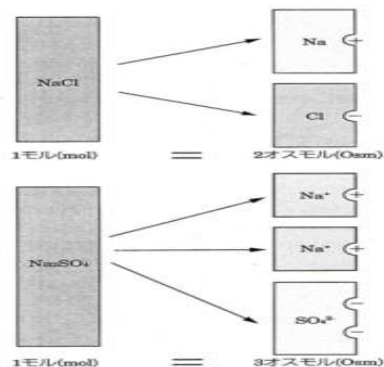


図6 イオン化する物質

5. 【音波】

音波 ; 音の源は振動し、その振動が空気を伝わって聞こえる。音は波の一種で、一般には音波と呼ばれる。

音波は、音源から空気分子の疎と密になる部分が発生し、空気中を伝わる。真空中では音は存在しない。

ここでの音は、人間が聞くことのできる周波数の範囲 (20~20000Hz) で可聴域。これ以上は超音波と呼ばれる。

【音の3要素】

音を区別する重要な要素として、音の高さ、強さ、音色の3つがある。

音の高さ ; 振動数の違いは音の高さの違い。2つの音の高さの比が音程、1オクターブ高い音は振動数が2倍。振動数は1秒間に空気が振動する回数で単位はヘルツ (Hz)。

音の強さ ; 和太鼓を強くたたくと、窓ガラスが振動するが、これは音波でエネルギーが

運ばれたことを示す。単位はデシベル (dB)。

音色；波形の違いで生じる。

疎密波

音の高さ

【心拍数と救急車のサイレン】

ドップラー効果とは：音源や観測者の位置が近づいたり遠ざかったりすることによって生じる音の高さの変化を言います。

これは音が波であるから生じる現象です。

波の速度は「速度＝振動数×波長」です。音速を V 、振動数を f 、波長を λ で表すと「 $V = f \times \lambda$ 」です。我々が音を聞くとき、まず音の高低と強弱を意識するが、音の高低は振動数 f で決まり、 f が大きいほど高い音、小さいほど低い音に感じる。

音の強弱は振幅の大小で決まる。しかし、音の強弱はドップラー効果には関係ない。

ところで、音の速度が一定なら波長が短いほど高く聞こえることが速度の関係式からわかります。図

1、図2

波形

波長と振動数の関係

音源が近づくと

今、救急車がサイレンを鳴らしながら我々のほうへ近づいてくる場面を想像します。

もし、救急車が止まっているのなら、サイレンは四方八方へ同じ波長（同じ振動数）の音波として伝わる。

しかし、救急車が観測者の方へ近づいてくると、車と観測者の距離が短くなるので、その間隔に同じ個数の波を収めるには、波長が短くなるしかないのです。

したがって、振動数が大きくなり、音が高く聞こえます。逆に、音源が遠ざかっていくと、振動数が小さくなるので、音が低く聞こえるのです。図3

観測者が音源に近づくと

音源に観測者が近づく場合も同じように振動数が大きくなり、音が高く聞こえます。

