

入門化学08 溶液の性質

筒木 潔

調査出発
前 (5:00)



コルリ

シジュウ
カラ



アオジ

帯広の森で鳥類調査 (2022年6月5日)

先週の講義の復習

- 温度一定の条件下では気体の体積と圧力は反比例する。（ボイルの法則）
- 圧力一定の条件下では気体の体積は絶対温度に比例する。（シャルルの法則）
- ボイルの法則とシャルルの法則をまとめたものが気体の状態方程式であり、
$$pv = nRT$$
で示される。
- p は圧力、 v は体積、 n は気体のモル数、 R は気体定数、 T は絶対温度である。

混合気体

- 温度と圧力が等しい状態で、体積 v_A の気体と体積 v_B の気体を混合すると、混合後の体積 v は、 $v = v_A + v_B$ となる。
- 体積 v の容器に気体Aのみを入れたときの圧力が p_A 、気体Bのみを入れたときの圧力が p_B ならば、同じ容器に両方の気体を入れたときの混合気体の圧力は $p = p_A + p_B$ となる。→分圧。
- 混合気体の各成分の体積の比率はモル数の比率と等しい。

気体定数 R の単位

計算するときは、**単位の種類を統一**することが大切です。

- 国際単位系(SI)で、圧力に Pa、体積に立法メートル(m^3)、温度に絶対温度(T)、物質量にはモル(mol)を使用すると、気体定数 **$8.31 \text{ Pa m}^3 / (\text{K mol})$** を使うことができます。
- 体積の単位にリットル(L)を使う場合は、気体定数 R を **$8.31 \times 10^3 \text{ Pa L} / (\text{K mol})$** に換算すると便利です。

気体定数 R の単位 (2)

圧力の単位に気圧 (atm)、体積の単位に L を用いた場合、 $1 \text{ Pa} = 0.987 \times 10^{-5} \text{ atm}$ 、 $1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ L}$ なので、

$$R = \frac{8.21 \times 10^{-5} \text{ atm} \cdot 1000 \text{ L}}{\text{K} \cdot \text{mol}} = \frac{0.0821 \text{ atm} \cdot \text{L}}{\text{K} \cdot \text{mol}}$$

6月3日課題 問1の説明

ある気体を容積1リットルの容器に入れて100°Cに保ち、
圧力を測ると2気圧 ($2.0 \times 10^5 \text{ Pa}$) であった。

(1) この容器に入っている気体分子の mol 数を求めよ。

気体の状態方程式 $pv = nRT$, $n = pv / (RT)$

$$R = 8.31 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / (\text{K} \cdot \text{mol})$$

$$p = 2.0 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$v = 1.0 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$T = 100 + 273 = 373 \text{ K}$ を代入すると、

$$n = \frac{2.0 \times 10^5 \times 1 \times 10^{-3}}{8.31 \times 373} = 0.0645 \text{ mol}$$

6月3日課題 問2の説明

温度を 200°C に上げると気体の圧力は何気圧(何 Pa)になるか?
→ 温度は絶対温度に変換する。

ボイル・シャルルの法則 $\frac{pv}{T} = \text{一定}$ により、
$$\frac{p_1 v_1}{T_1} = \frac{p_2 v_2}{T_2}$$

温度が 100°C の時、 $p_1 = 2.0 \times 10^5$ Pa、 $T_1 = 373$ K、

温度が 200°C の時、 $p_2 = \text{未知}$ 、 $T_2 = 473$ K、

$v_1 = v_2 = 1$ L を代入すると、

$$\frac{2.0 \times 10^5}{373} = \frac{p_2}{473}$$
$$p_2 = \frac{2.0 \times 10^5 \times 473}{373} = 2.54 \times 10^5 \text{ Pa}$$

問2 別の解き方

気体の状態方程式 $pv = nRT$ によって解く。

p 以外の変数は全てわかっているので代入する。

$$v = 1 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$n = 0.0645 \text{ mol}$$

$$R = 8.31 \text{ (Pa} \times \text{m}^3) / (\text{K} \times \text{mol})$$

$$T = 200 \text{ }^\circ\text{C} = 473 \text{ K}$$

$p = nRT/v$ だから、上記の値を代入すると、

$$p = 0.0645 \times 8.31 \times 473 / (1 \times 10^{-3})$$

$$= 2.54 \times 10^5 \text{ Pa}$$



第2章 物質の状態

3節 溶液

1. 溶解
2. 溶解度
3. 溶液の性質
4. コロイド溶液の性質 (来週)

第2章 3節 溶液

- 水の惑星地球においては、多くの物質は水に溶けた状態で存在し、移動し、反応している。
- 私たちも、溶けた状態の物質を利用することが多い。
- 生命活動も溶液状態の下で進行している。
- 物質が溶けるということと、溶かした溶液の性質について学習する。

溶解 p. 116

液体中に他の物質が溶けて均一に混じり合うことを**溶解**という。

液体が**溶媒**、溶け込んだ物質が**溶質**である。

塩化ナトリウム（固体：**溶質**） + 水（液体：**溶媒**）

溶解→ 塩化ナトリウム水溶液（液体：**溶液**）

二酸化炭素（気体：**溶質**） + 水（液体：**溶媒**）

溶解→ 炭酸水（液体：**溶液**）

硫酸銅が水に溶けるようす。

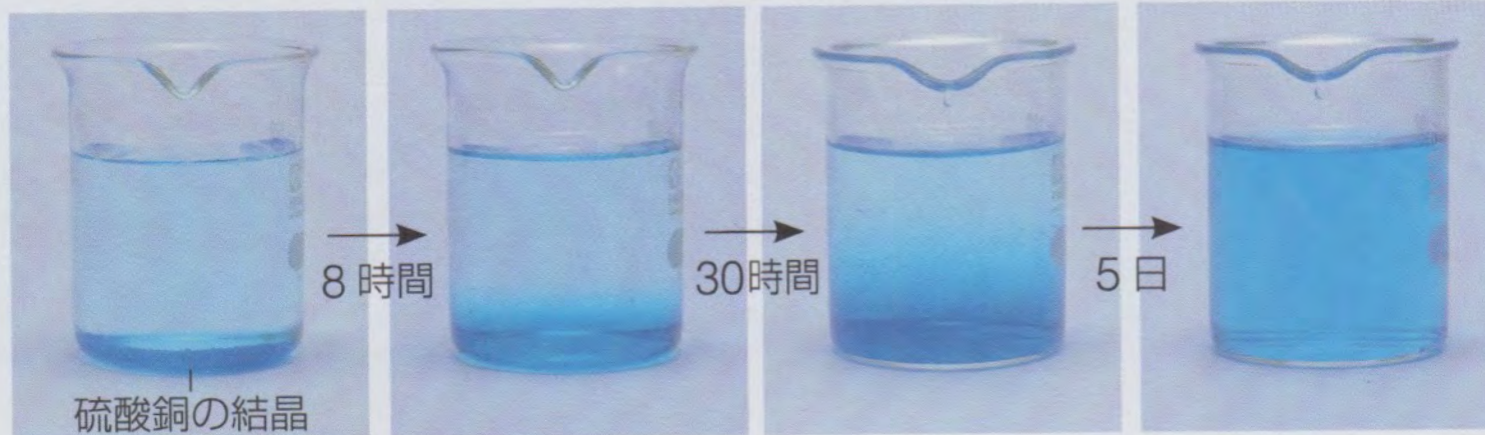
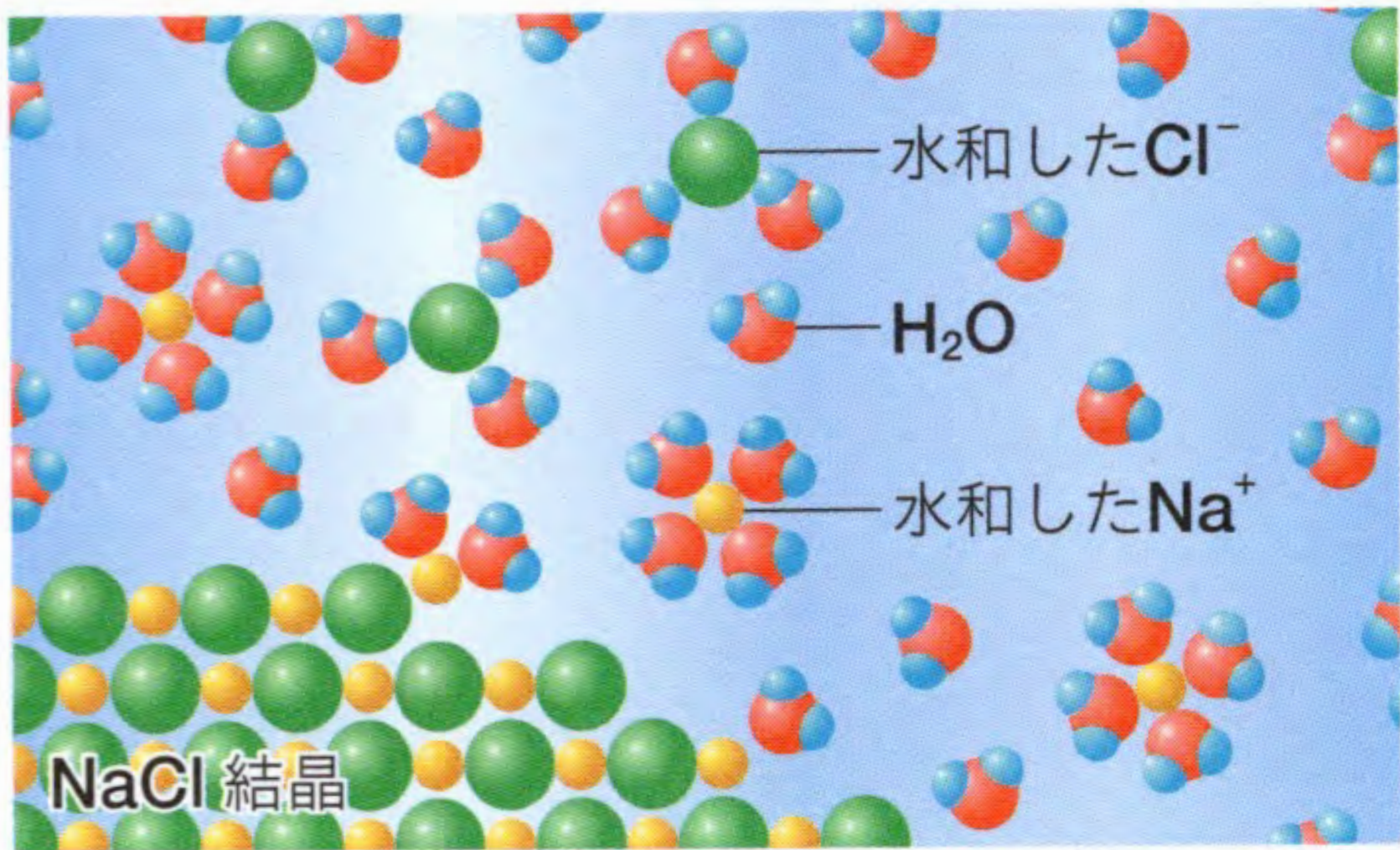


図1 硫酸銅が水に溶解するようす



▲図 1 イオン結晶の溶解

復習：電離と電解質 p. 54

- 溶解するときに溶質がイオンに分かれることを電離という。
- 水に溶解して電離する物質を電解質という。
- 一方、電離しない物質を非電解質という。

NaCl 溶解 \rightarrow $\text{Na}^+ + \text{Cl}^-$ 電解質

グルコース 溶解 \rightarrow グルコース 非電解質

強電解質と弱電解質 p. 94 下

NaCl は、水に溶けるときすべて Na^+ と Cl^- に電離する。このような物質を強電解質という。

溶解するとき、一部だけ電離する物質を弱電解質という。

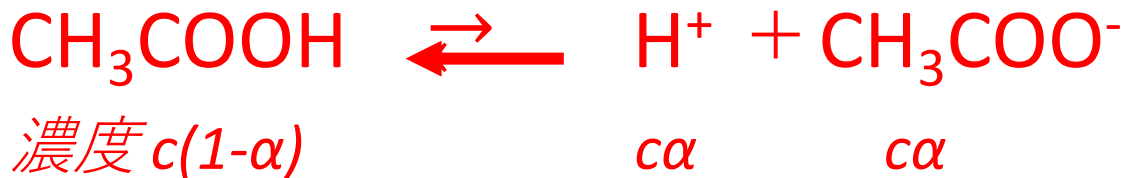
弱電解質の例：

酢酸 CH_3COOH の水溶液中では、酢酸の大部分は CH_3COOH として存在し、

一部が H^+ と CH_3COO^- に電離する。

したがって、酢酸は弱電解質→弱酸である。

酢酸の電離度 α

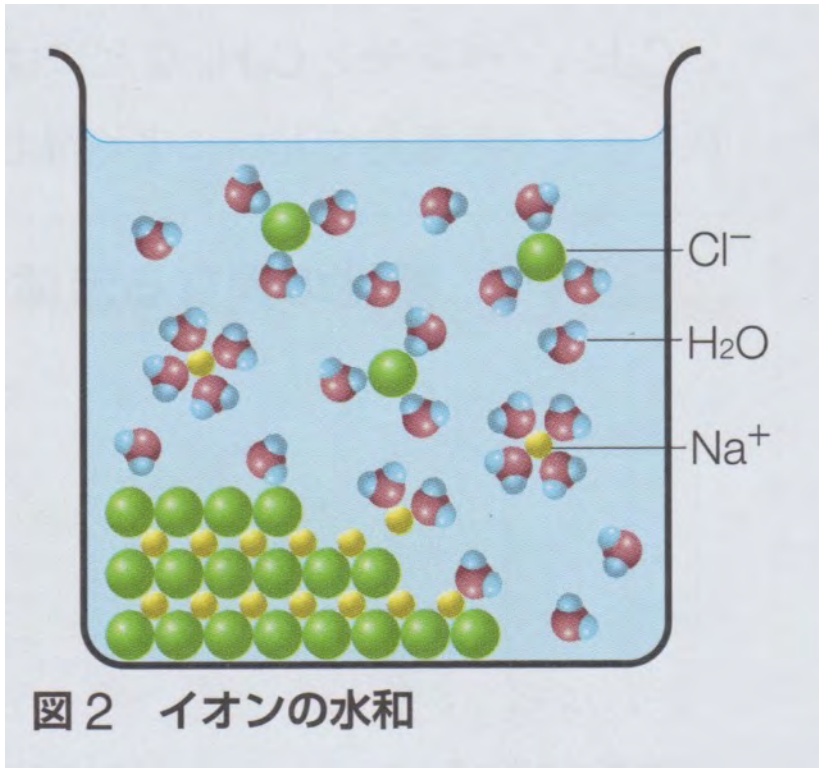


酢酸の濃度 (mol/L)	電離度 α	解離度 %
1	0.00523	0.523 %
0.1	0.016	1.6 %
0.01	0.051	5.1 %
0.001	0.152	15.2 %
0.000001	0.965	96.5 %

電解質の溶解のしくみ p. 116

- NaCl のような **イオン結晶** は静電的な力でイオンが結合してできた物質であり、一般に水に溶けやすい。
- 電解質の水溶液では、水が極性をもつため、イオンとの間に **静電的な引力** が働き、**イオンは水分子に囲まれて**、他のイオンと離れた状態で存在する。この現象を **水和** という。

電解質の溶解のしくみ



難溶性のイオン結晶 p. 116

イオン結晶でも、硫酸バリウム BaSO_4 、炭酸カルシウム CaCO_3 などのようにイオン結合の強さが大きい結晶は、水和しても結晶格子が崩れにくく、水に溶けにくい。

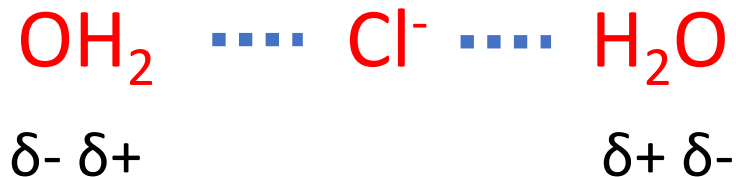
また、イオン結晶は、ベンゼンやヘキサンなどの無極性分子の溶媒には、イオンが溶媒分子と結びつきにくいので溶けにくい。

塩化水素の溶解 p. 116

塩化水素 HCl は共有結合している分子であるが、極性が強く (p.61)、水中で共有結合が切れて、次式のように電離して、水によく溶ける。



このとき Cl^- のまわりには水分子が水和している。



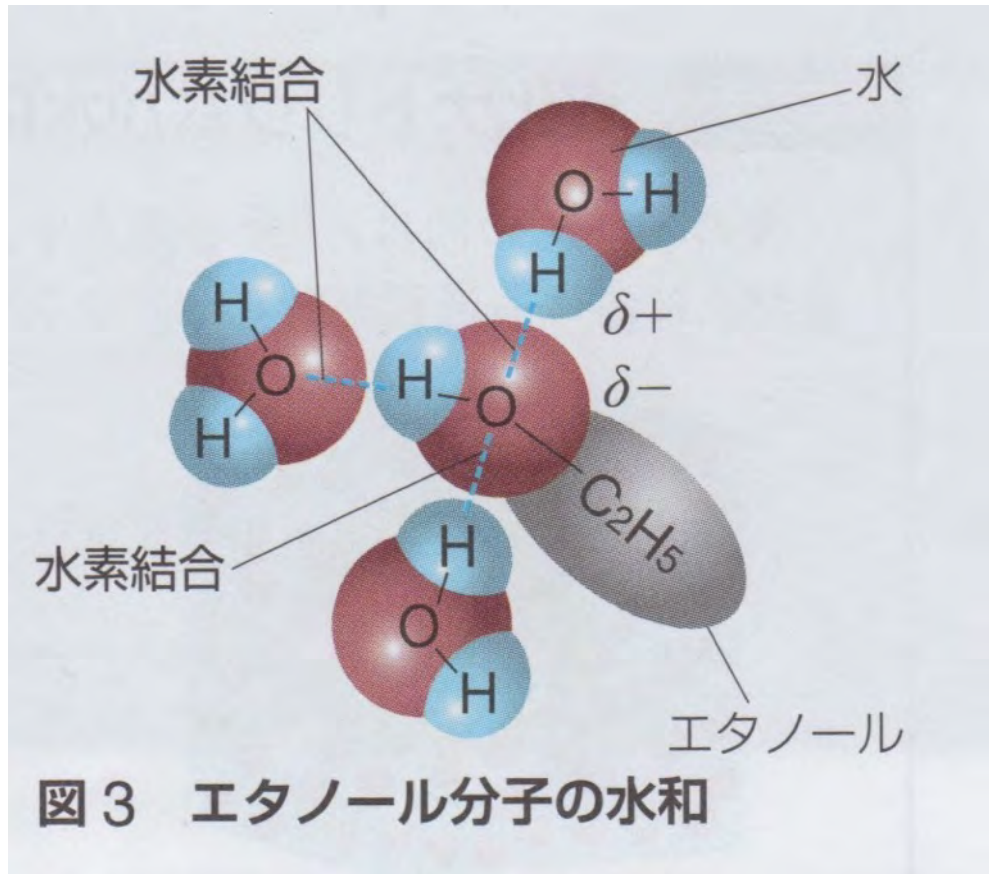
非電解質の溶解のしくみ p. 117

極性分子の水への溶解
親水基の水和による。

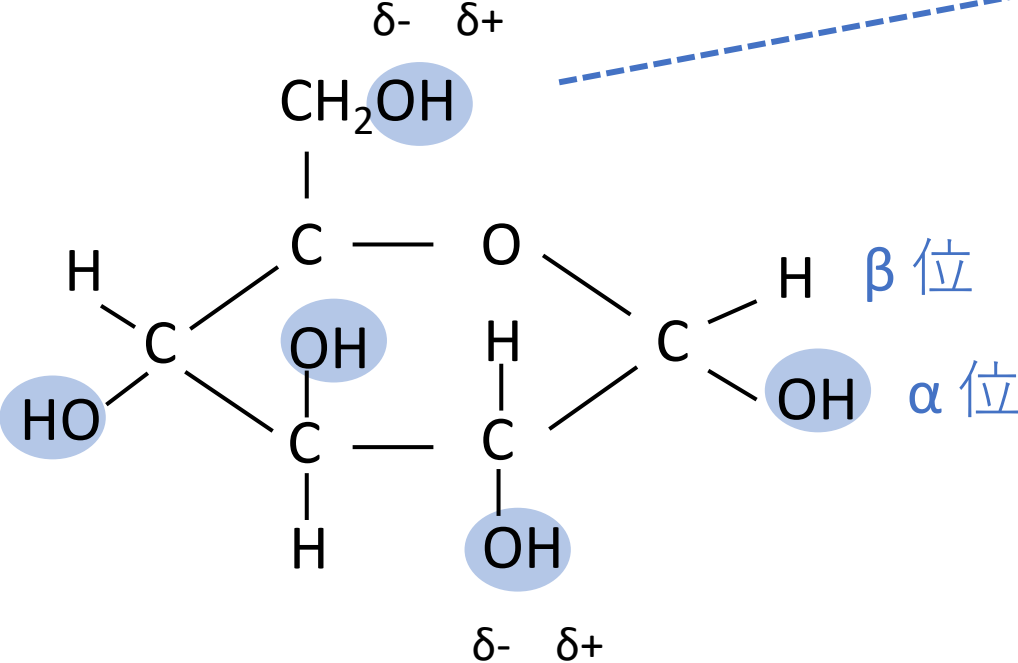
無極性分子の無極性溶媒への溶解

無極性分子どうしの熱運動により互いによく混じる。

エタノール分子の水和



極性分子の例

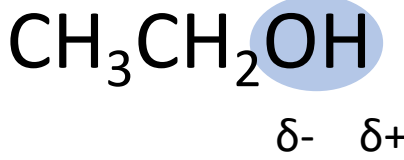


α -グルコース

水素結合



水素結合



エタノール

極性分子の水への溶解p. 117上

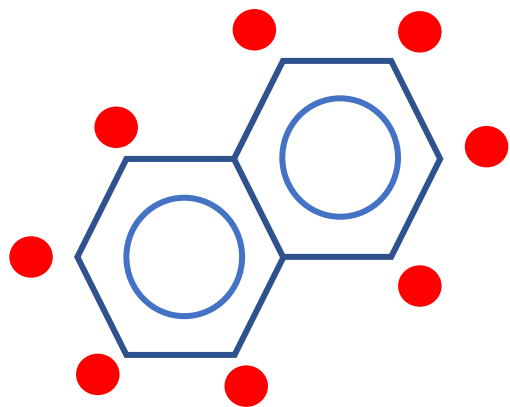
エタノール C_2H_5OH やグルコース $C_6H_7O(OH)_5$ など
は、極性をもつヒドロキシ基 $-OH$ をもつ。

これらの分子が電離しなくても水によく溶ける
のは、この $-OH$ 部分が水分子と水素結合して、
水和した状態になるためである。

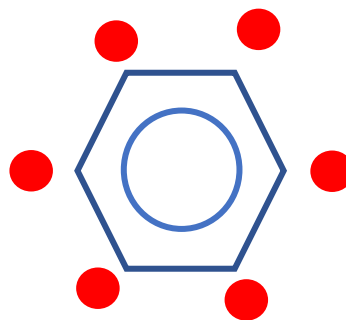
ヒドロキシ基 $-OH$ のように、水和しやすい基を
親水基という。

$-C_2H_5$ の部分は水和されにくく、**疎水基**と呼ばれ
る。

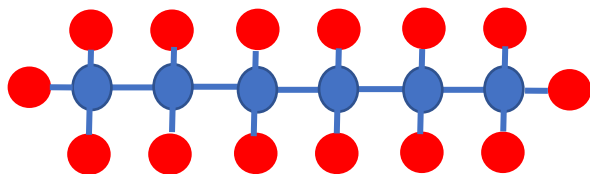
無極性分子の構造式



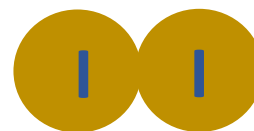
ナフタレン



ベンゼン



ヘキサン



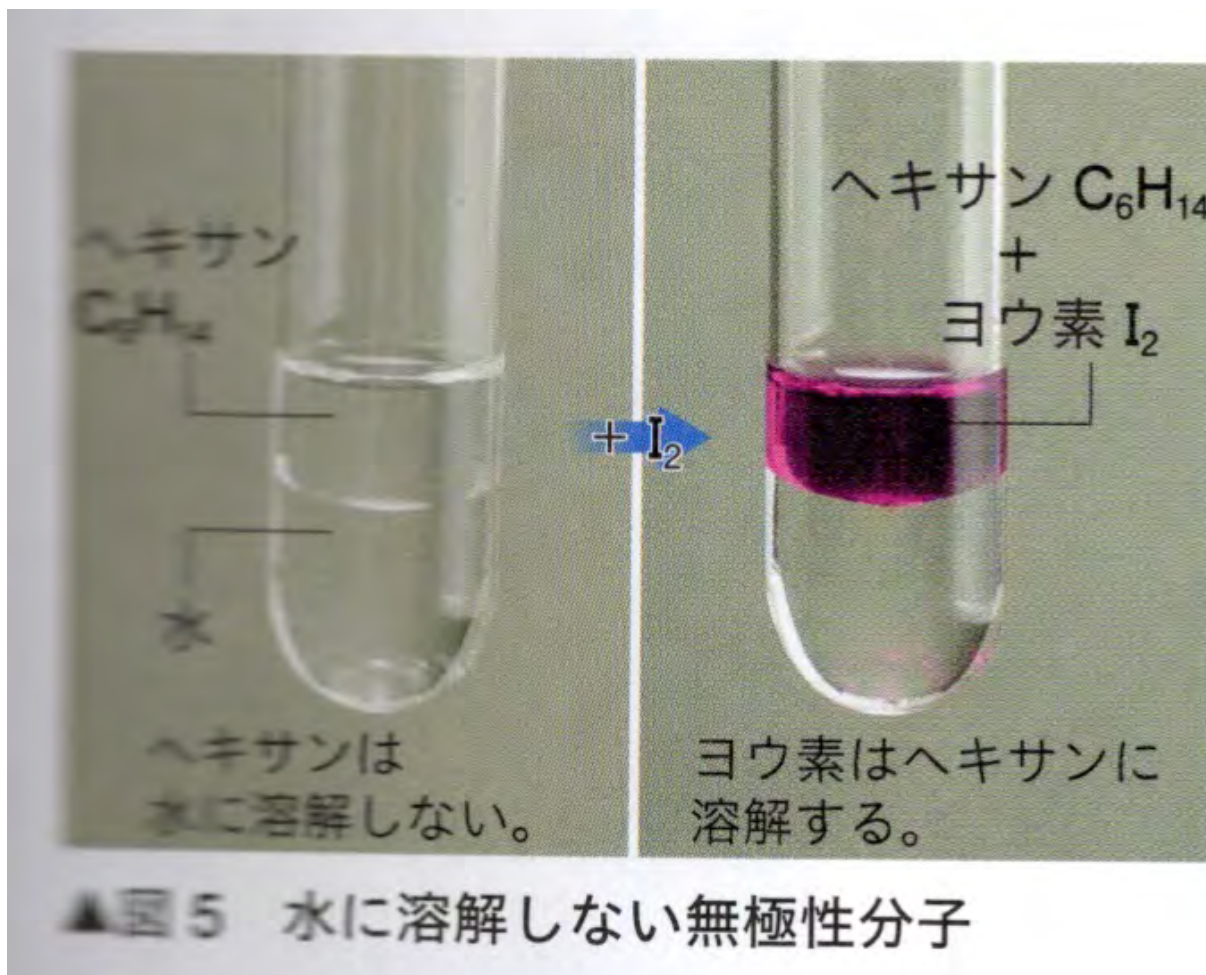
ヨウ素

無極性分子の無極性溶媒への溶解

p. 117中

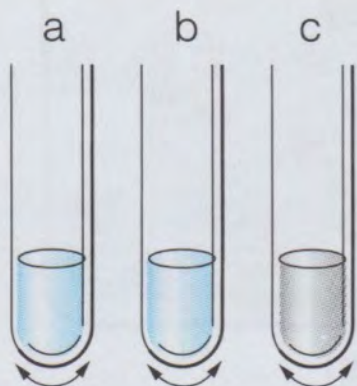
- 無極性分子としては、ヨウ素 I_2 、ナフタレン $C_{10}H_8$ などがある。
- これらは親水基もなく、電離もしないので、極性のある水には溶けない。
- しかし、同じ無極性分子の溶媒のヘキサン C_6H_{14} 、ベンゼン C_6H_6 などには、分子間の引力は同じ程度に弱いので、分子の熱運動で互いによく混じる。

ヘキサンは水に溶解しない。
ヨウ素はヘキサンに溶解するが水には溶解しない。

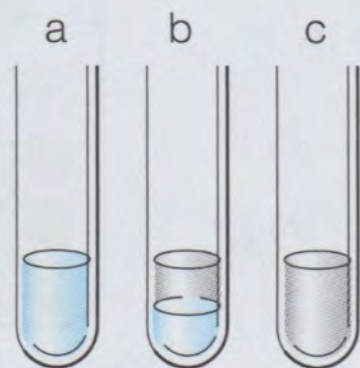


極性の異なる液体の溶解 p.118

実験 2 | 極性の異なる液体の溶解



2種類の液体を入れてよく振り混ぜる



しばらく静置して液体のようすを観察する

液体の組み合わせ

a	水 (極性分子)	+	エタノール (極性分子)
b	水 (極性分子)	+	ヘキサン (無極性分子)
c	ベンゼン (無極性分子)	+	ヘキサン (無極性分子)

極性の異なる液体を混合して、混じり方を比べてみよう。

溶解しやすさの一般的傾向 p.117

溶解しやすい組み合わせ

極性の大きい溶媒と溶質 (例：水とショ糖)

極性の小さい溶媒と溶質 (例：ヘキサンとナフタレン)

溶解しにくい組み合わせ

極性の大きい溶媒と極性の小さい溶質

極性の小さい溶媒と極性の大きい溶質

溶解度 p. 119

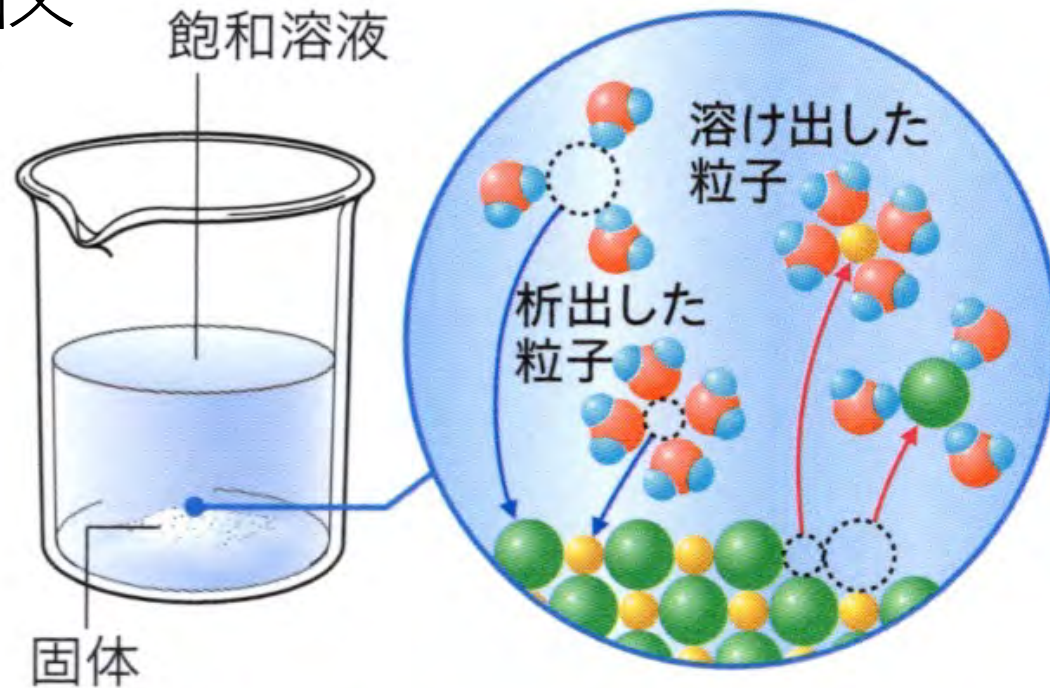
ある温度で一定量の溶媒に溶けることのできる溶質の最大量を溶解度という。

固体の溶解度 p. 119

単位時間に固体から溶け出す粒子数と、溶液中から析出する粒子数が同じになった状態を、**溶解平衡**という。

その溶液を**飽和溶液**という。

飽和溶液



単位時間に

溶け出す粒子数 = 析出する粒子数

一定温度では、飽和溶液の濃度は一定である。

▲図7 飽和溶液

固体の溶解度（続き） p. 119

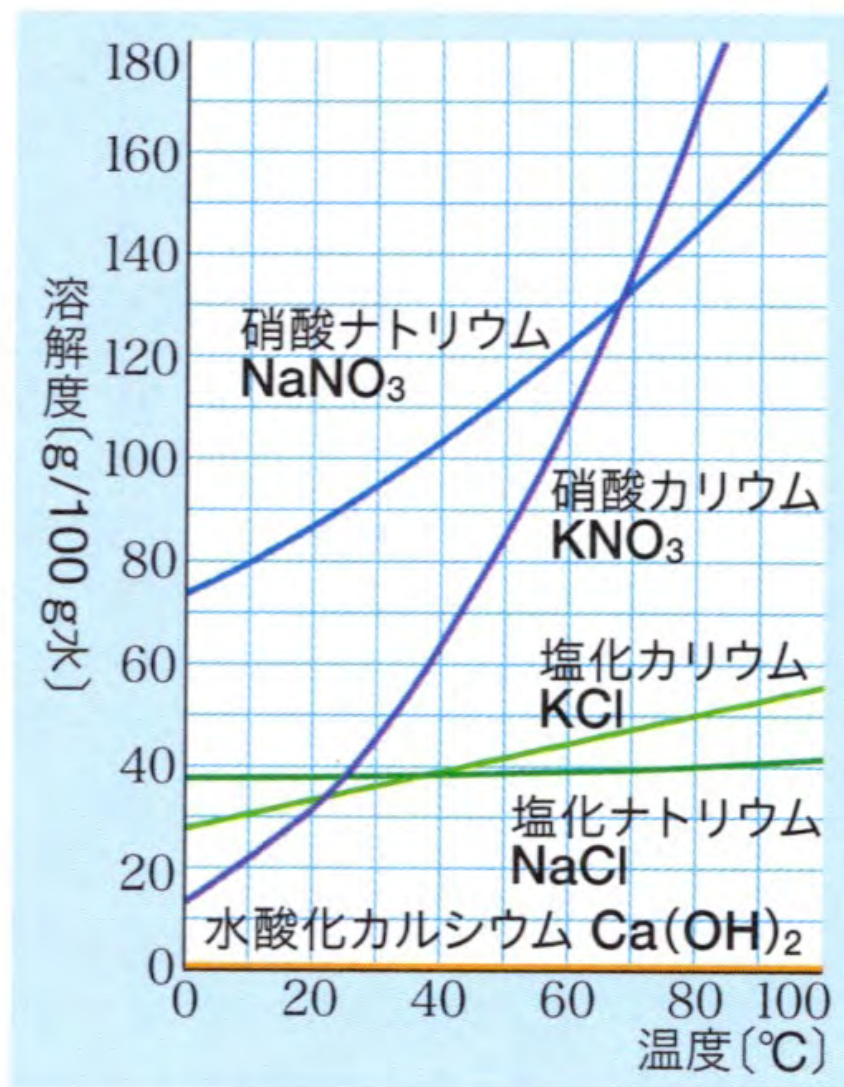
溶媒 **100 g** に溶かすことができる溶質の**g** 単位の質量の数値を、**固体の溶解度**という。

温度と溶解度の関係を示す曲線を、**溶解度曲線（図 8）**という。

固体の溶解度は**温度が高くなるほど大きくなる**ものが多い。

例外： 塩化ナトリウム、水酸化カルシウム
（ほとんど一定）

溶解度曲線



▲図 8 溶解度曲線 (理化学辞典より作成)

水和物の溶解度 p. 119下

- 硫酸銅の結晶は、 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ のように水和した水分子を含み、水和物と呼ばれる。
- 硫酸銅結晶の青い色は、水和物に限られる。
- このような水分子を結晶水（水和水）という。
- 水和物の溶解度は、飽和溶液中の水100 g に溶けている無水塩の g 単位の質量の数値で示される。

気体の溶解度 p. 120

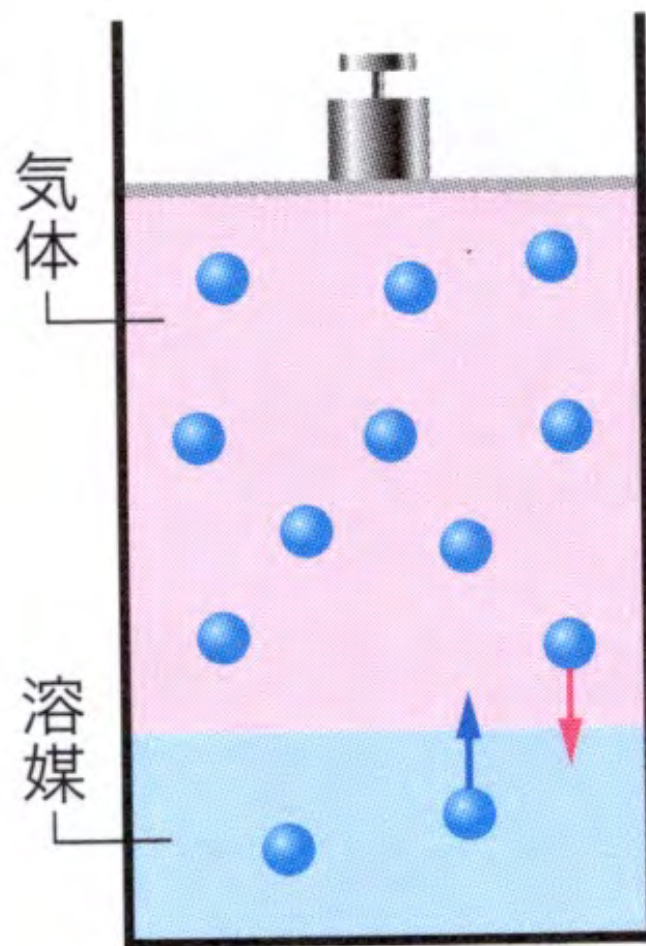
気体の溶解度は、圧力 $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ の気体が溶媒 1 L に溶けるときの体積 [L] を、標準状態 (0 °C、1 気圧) の体積に換算した値で示すことが多い。

この値を 22.4 L/mol で割ると、溶解している気体の物質量を求めることができる。

気体の水への溶解度は、一定の圧力の下では、温度上昇とともに減少する。

気体の溶解平衡

気体の水への溶解度は、一定の圧力の下では、温度上昇とともに減少する。
一定温度の下ではその気体の圧力に依存する。



▲図 9 気体の溶解平衡

液体への気体の溶解 CO_2 の例

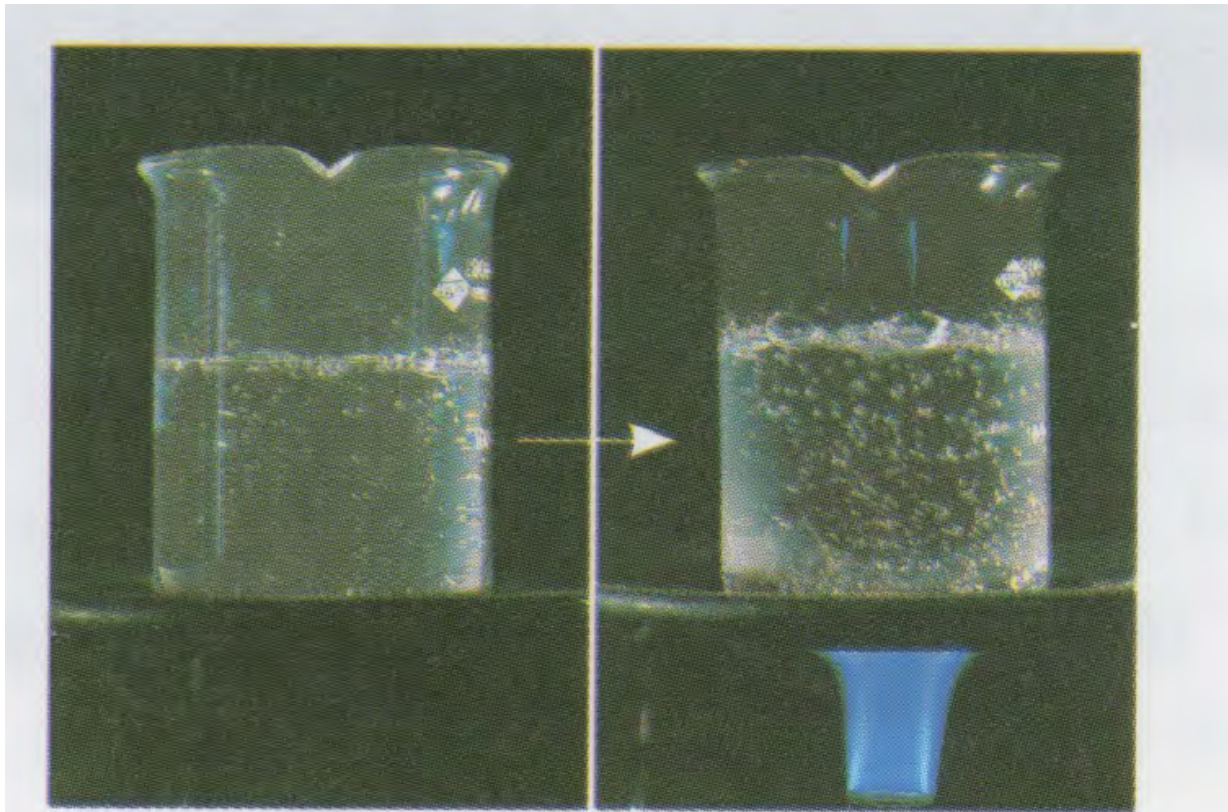


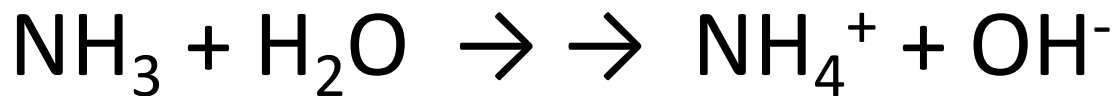
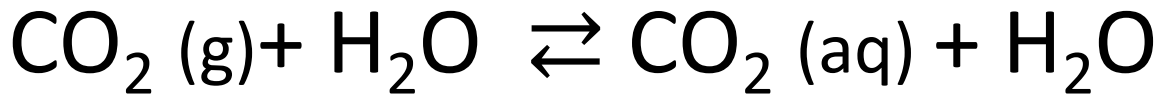
図10 温めたサイダー

水 1 L に対する気体の溶解度 (p.120 表 1 の抜粋)

温度 [°C]	酸素 O ₂ (L)	二酸化炭素 CO ₂ (L)	アンモニア NH ₃ (L)
0	0.049	1.72	477
20	0.031	0.87	319
40	0.023	0.53	206
60	0.020	0.37	130
80	0.018	0.28	81.6
100	0.017		

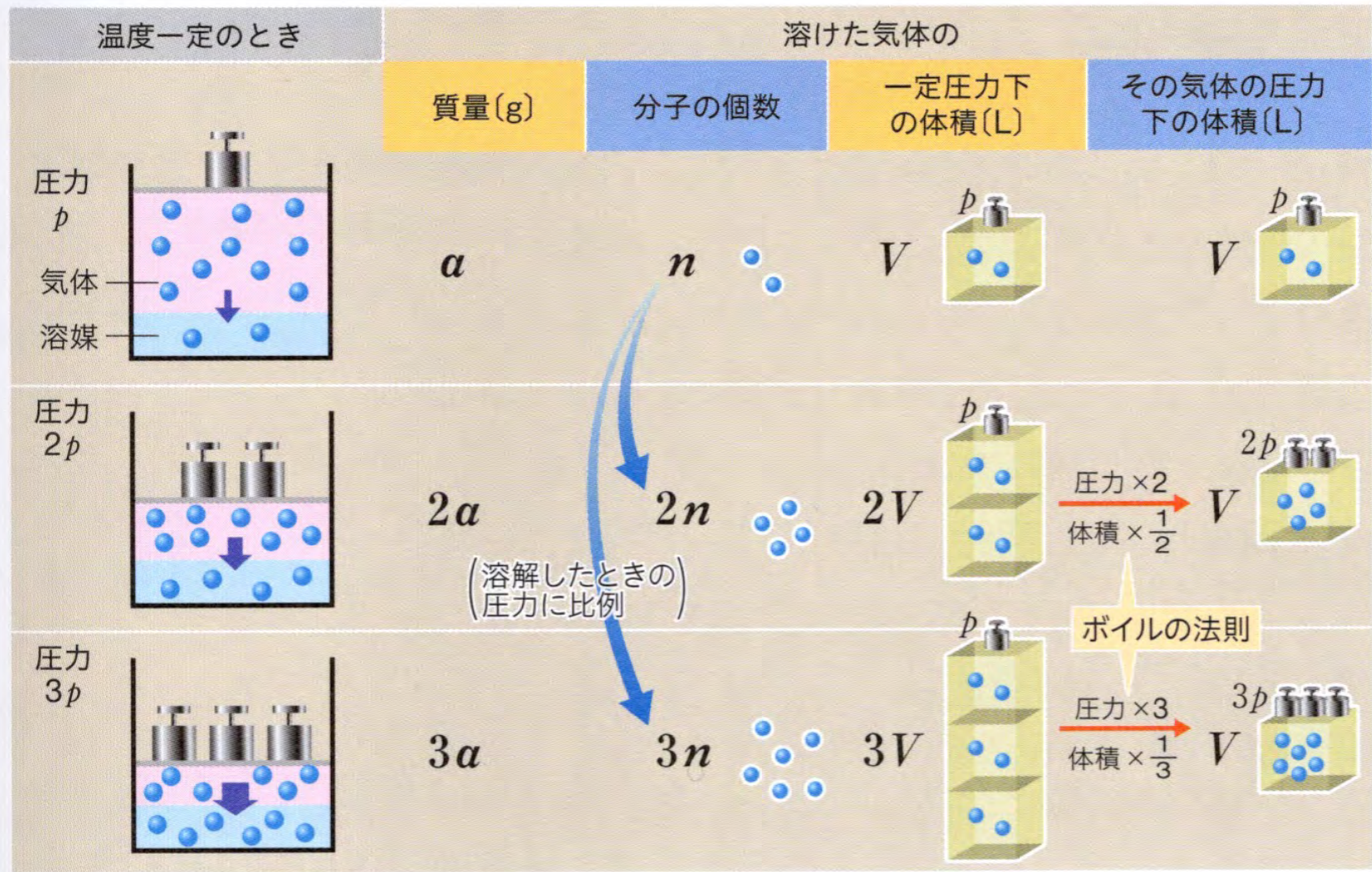
0 °C、1 気圧のときの体積に換算した値 [L]

二酸化炭素、アンモニアの溶解度が大きい理由 (補足説明)



ヘンリーの法則 p. 121

- 一般に、一定量の溶媒に溶け込む気体の質量および物質量 (mol) は、一定温度のもとでは、その気体の圧力（混合気体の場合には分圧）に比例する。
- ヘンリーの法則は、溶解度が小さい窒素、酸素、二酸化炭素などの気体ではあてはまるが、塩化水素やアンモニアなどの水への溶解度の大きい気体ではあてはまらない。



▲図11 ヘンリーの法則

ヘンリーの法則と溶解する気体の体積

p. 121 図11

- 気体の質量および物質量 (mol) としては、圧力に比例して溶解量は増えている。
- 一定温度のもとで一定量の溶媒に溶け込む気体の体積は、その時点の気体の圧力下ではかると一定である。
- 気体の体積は圧力に反比例するので（ボイルの法則）、圧力によらず一定の体積が溶解することになる。

復習：溶液の濃度の表し方① p. 48

質量パーセント濃度

溶液の質量に対する溶質の質量の割合を百分率で表す。

$$\frac{\text{溶質の質量 [g]}}{\text{溶液の質量 [g]}} \times 100\%$$

日常生活ではよく用いられる濃度だが、質量で表されているため、他の物質との当量関係を把握するためには不便。

炭酸飲料糖分濃度 8-13%,

日本酒アルコール濃度 15-16 % 糖分 4.5%

復習：溶液の濃度の表し方② p. 48

モル濃度（体積モル濃度）

溶液 1 L あたりに溶けている溶質の量を物質質量 [mol] で表す。

$$\frac{\text{溶質の物質質量 [mol]}}{\text{溶液の体積 [L]}}$$

化学反応は分子やイオン単位で起きているので、量的関係を理解するのに便利。また、メスフラスコなどの測容器を使って、目的の濃度の溶液を容易に調製できるので、化学実験では最もよく用いられている。

溶液の濃度の表し方③ p. 122

質量モル濃度

溶媒 1 kg あたりに溶けている溶質の量を物質量 [mol] で表す。

$$\frac{\text{溶質の物質量 [mol]}}{\text{溶媒の質量 [kg]}}$$

温度変化によって溶液の体積が変化しても、質量で定義されているので、モル濃度のように変化しない。したがって、温度変化のある沸点上昇や凝固点降下などの場合に用いられることが多い。

溶液の性質

A 沸点上昇 p.122

蒸気圧降下

沸点上昇

ラウールの法則

B 凝固点降下 p.124

冷却曲線

C 浸透圧 p.127

D 電解質溶液の性質 p.128

蒸気圧降下 p. 122

塩化ナトリウムやスクロースのように揮発しにくい物質が溶けている溶液では、同じ温度の純粋な溶媒に比べて蒸発する溶媒分子の数が減る。そのため、同じ温度の純粋な溶媒の蒸気圧に比べて溶液の蒸気圧が低くなる。

この現象を蒸気圧降下という。

蒸気圧降下

蒸発しにくい物質

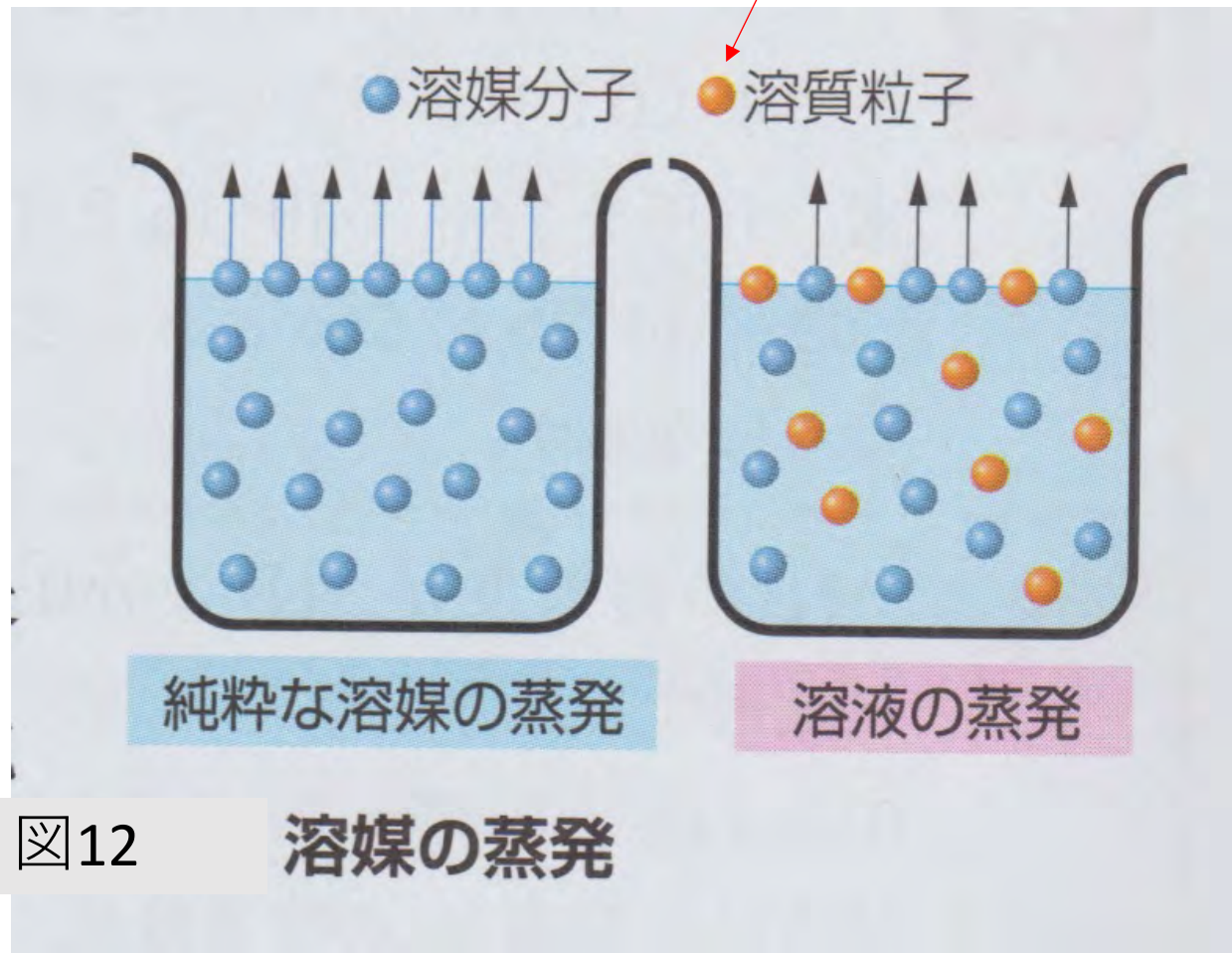


図12

溶媒の蒸発

沸点上昇 p. 122

- 溶液の蒸気圧は純粋な溶媒の蒸気圧よりも低いので、溶液の蒸気圧が $1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$ になる温度は、純粋な溶媒の沸点よりも高くなる。
- 溶液の沸点が純粋な溶媒の沸点よりも高くなる現象を沸点上昇という。
- 溶液と純粋な溶媒のそれぞれの沸点の差 Δt [K] を、沸点上昇度とう。
- 単位は $\text{K} \cdot \text{kg} / \text{mol}$ となる。

蒸気圧降下と沸点上昇

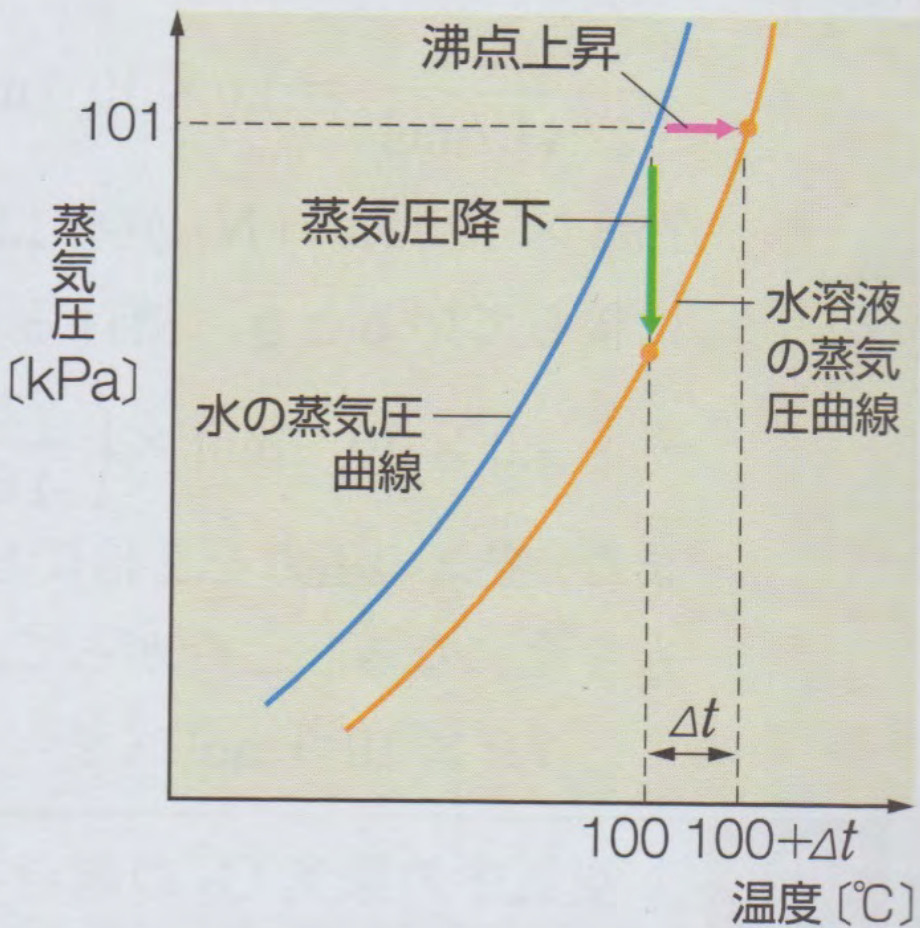


図13

蒸気圧降下と沸点上昇

モル沸点上昇 K_b p. 122下

- 沸点上昇度は、濃度の小さい溶液では、溶液の質量モル濃度に比例する。
- その比例定数は、溶質の種類に関係なく、溶媒の種類によって決まる。
- 濃度 1 mol/kg の溶液の沸点上昇度をモル沸点上昇 K_b という。
- 水の K_b は 0.52 なので、濃度 0.1 mol/kg の非電解質の不揮発性物質の水溶液では、沸点は 0.05 K 上昇して、 $100.05 \text{ }^\circ\text{C}$ となる。

ラウールの法則 p. 123上 (1880 フランス)

溶液上の溶媒の蒸気圧 p は次の式で表される。

$$p = x p_0$$

p_0 : 純溶媒の蒸気圧

$$x : \frac{\text{溶媒の物質質量 [mol]}}{\text{溶媒の物質質量 [mol] + 溶質の物質質量 [mol]}}$$

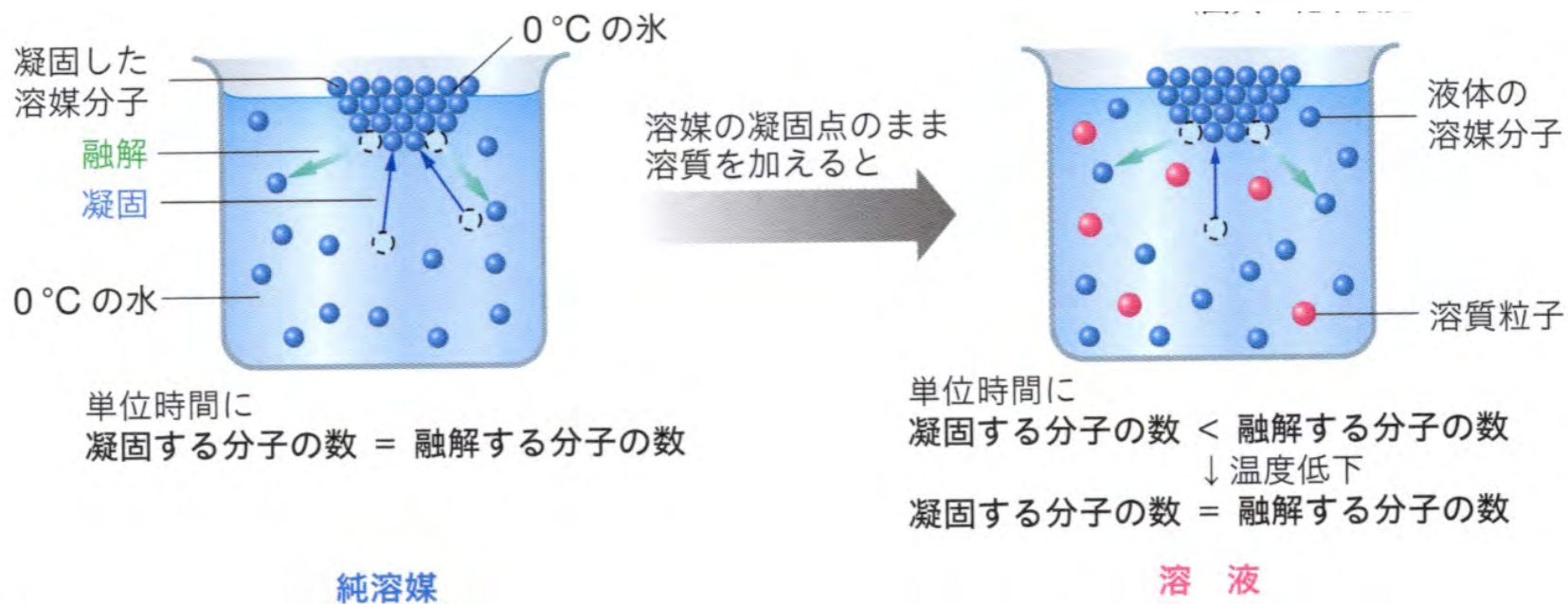
($0 \leq x \leq 1$, $x \cong 1$)

上記 x のような濃度の表し方をモル分率という。

凝固点降下 p. 124上

- 溶液の凝固点が純粋な溶媒の凝固点よりも低くなる現象を凝固点降下という。
- 溶液と純粋な溶媒のそれぞれの凝固点の差 $\Delta t [K]$ を、凝固点降下度とう。
- 単位は $K \cdot kg/mol$ となる。

凝固点降下が起こるしくみ（水の場合）

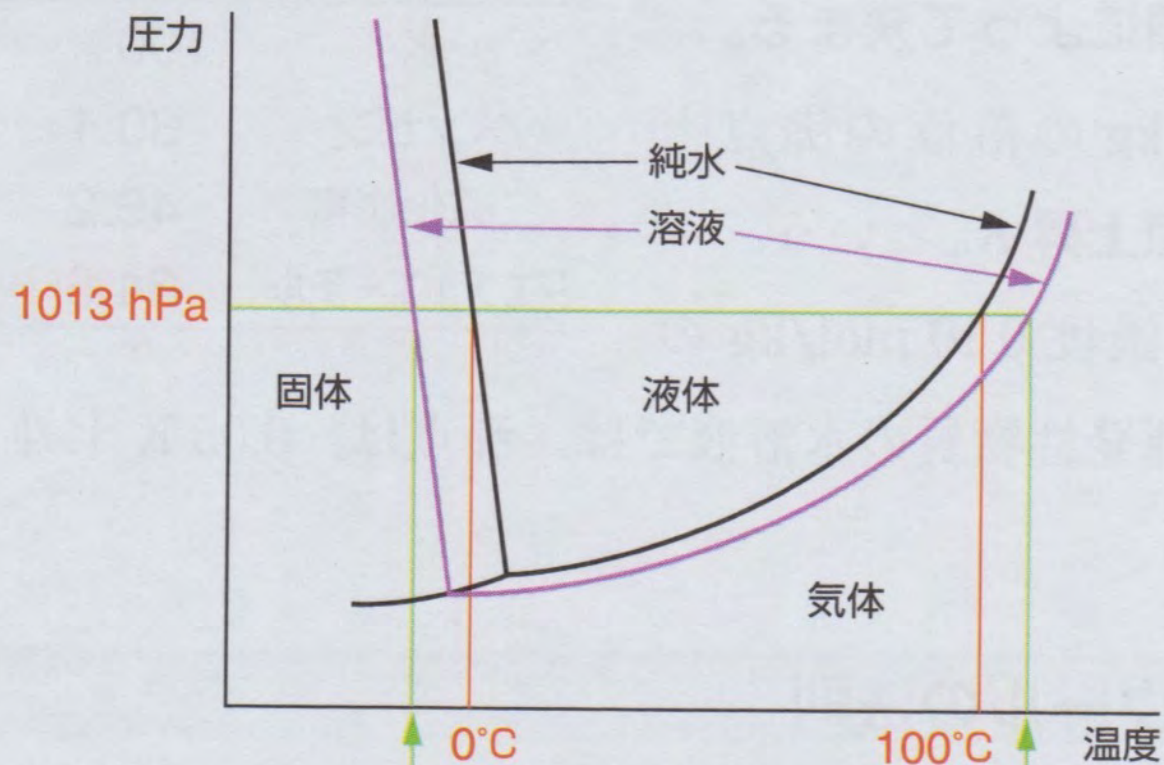


凝固点降下（続き） p. 124中

- 凝固点降下度は、濃度の小さい溶液では、溶液の質量モル濃度に比例する。
- その比例定数は、溶質の種類に関係なく、溶媒の種類によって決まる。
- 濃度 1 mol/kg の溶液の凝固点降下度をモル凝固点降下 K_i という。
- 水のモル凝固点降下 K_i は、 $1.85 \text{ K} \cdot \text{kg/mol}$ である。

凝固点降下と沸点上昇

物質の溶解により状態図が変化する。



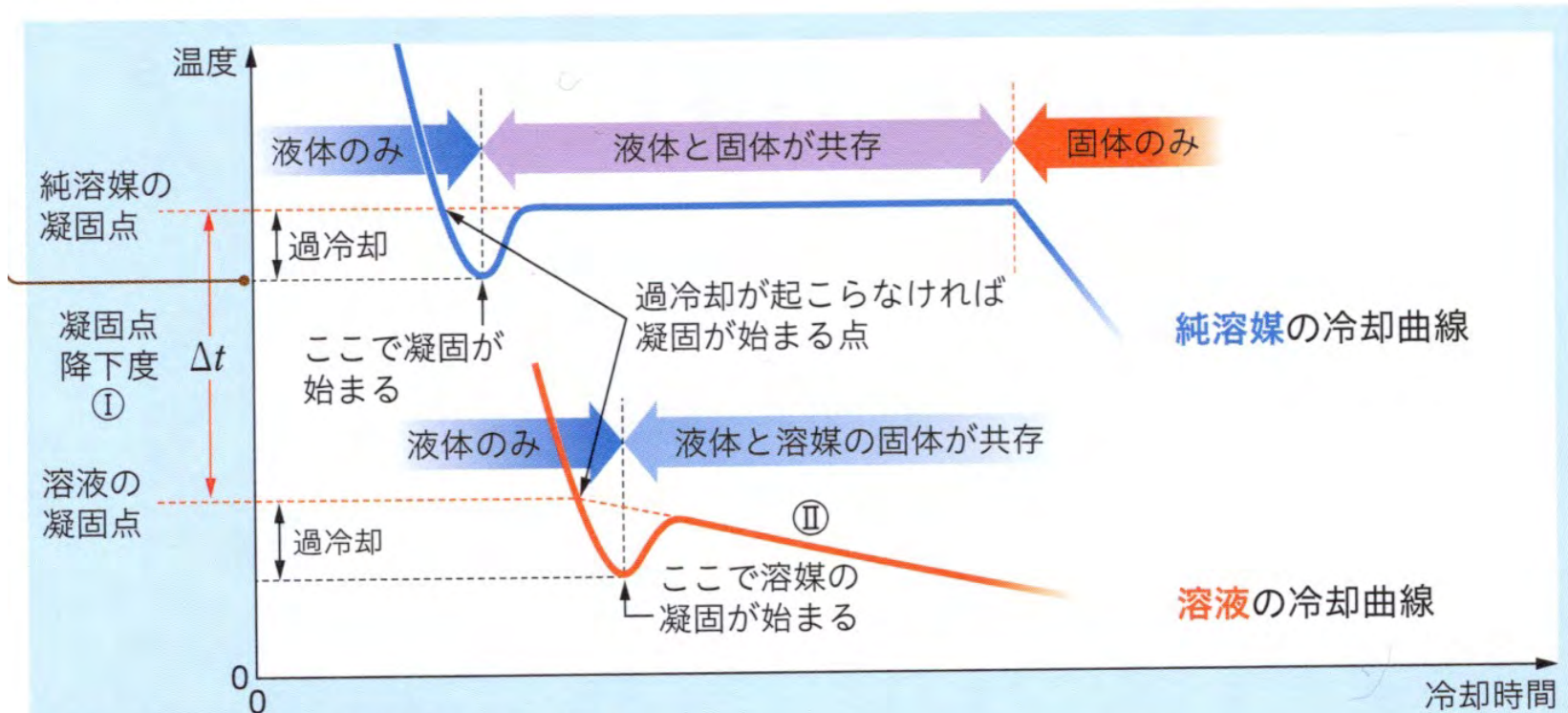
凝固点は0°Cより低くなる

沸点は100°Cより高くなる

図(旧版)

凝固点降下と沸点上昇

図18 冷却曲線



① 凝固定点が純粋な溶媒よりも低くなる

② 溶媒が凝固するにしたがって溶液の濃度が大きくなるため、凝固が進む間でも曲線が右下がりになる

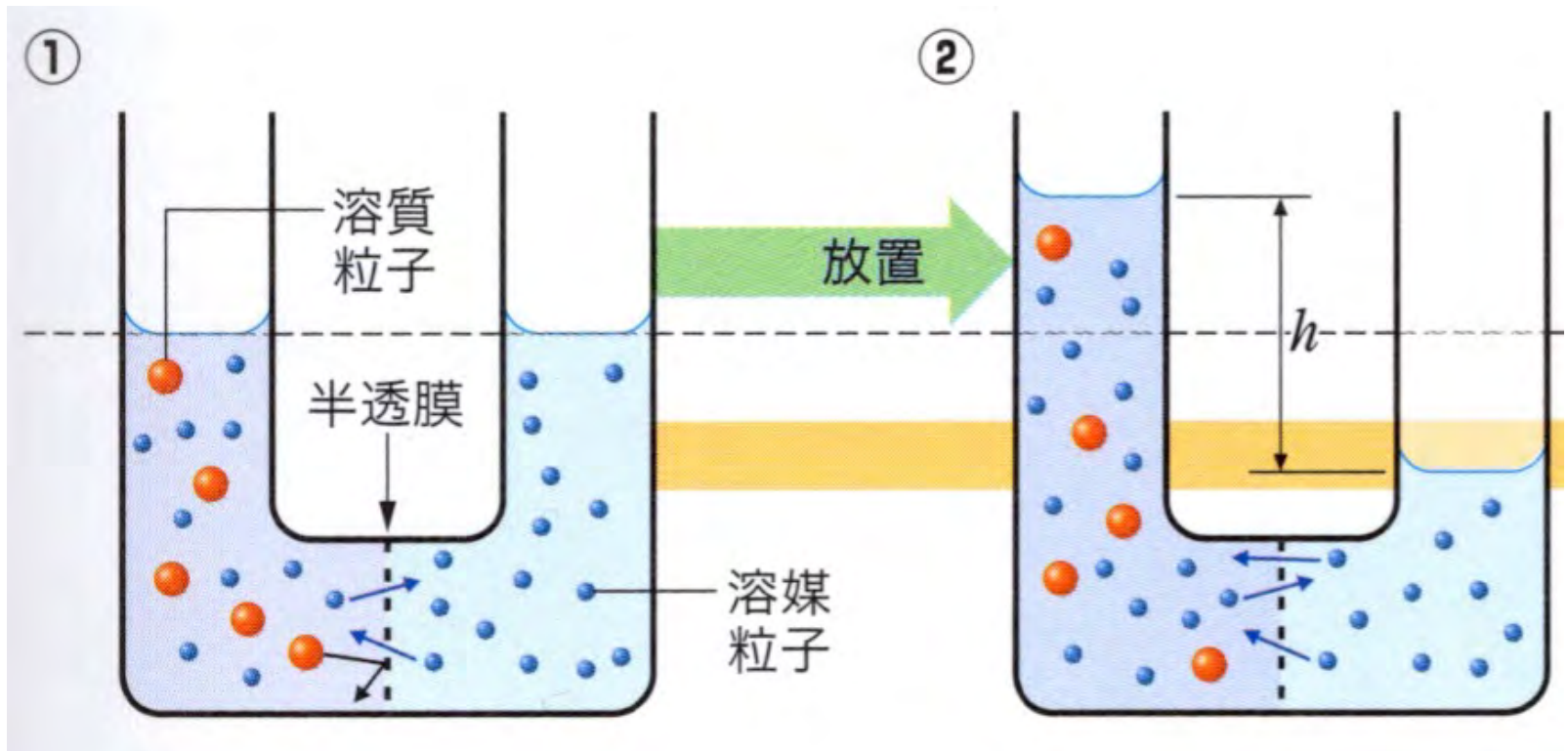
沸点上昇度や凝固点降下度の測定により分子量が求められる。 p. 126上

溶液の質量モル濃度を m [mol /kg] とすると、
溶液の沸点上昇度や凝固点降下度 Δt [K] は、

$$\Delta t = K m$$

(K は比例定数で溶媒の種類によって決まる)

浸透压 図19左



半透膜 p. 127

溶媒分子は通すが、溶質分子は通さない性質をもつ膜のことを半透膜という。

例：

ゲル状のセロファン（セルロースアセテート）

コロジオン膜

などと

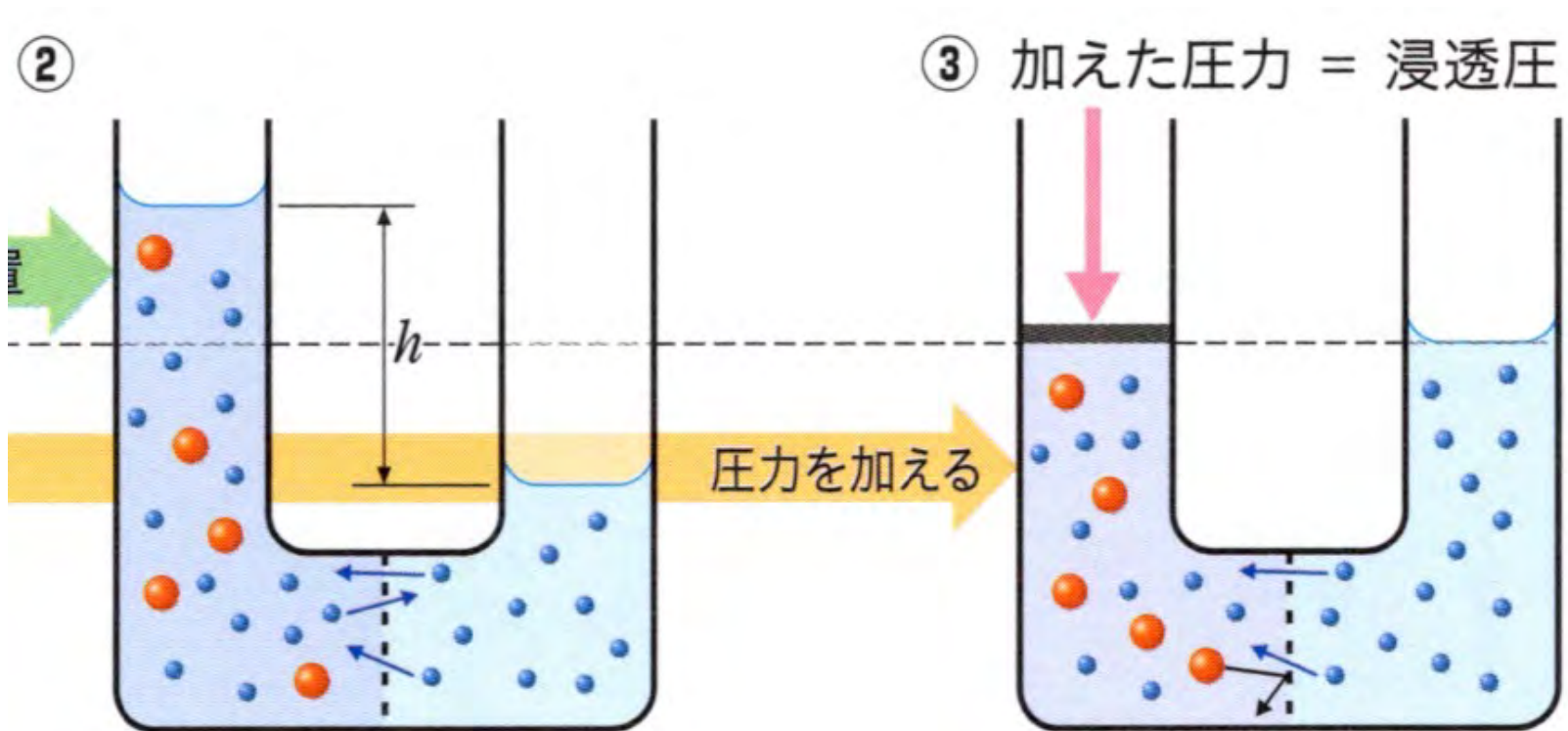
透析膜として利用されている合成高分子膜

浸透 p. 127上

半透膜を隔てて、濃度が異なる二つの溶液を置くと、**全体の濃度が均一になる方向へ**、溶媒が膜を通過して移動する。

溶媒が膜を通過して移動する現象を、**浸透**という。

浸透圧 図19右



浸透圧 p. 127中

- 半透膜の両側の液面を等しくするために加える圧力を浸透圧という。
- 浸透圧は、両液が半透膜を押し出す圧力の差に等しい。
- 濃度の小さい希薄溶液では、**浸透圧はモル濃度と絶対温度に比例する。**
- 私も大学院時代に、土壌中の高分子成分、腐植酸（フミン酸）の分子量を、浸透圧によって測定したことがあります。

沸点上昇度や凝固点降下度の測定により
分子量が求められる。（補足説明）

溶質の質量を w [g]、溶媒の質量を W [kg] とする
と、分子量 M [g/mol] は、下記のように求めら
れる。溶液の質量モル濃度 m [mol/kg] は、

$$m = \frac{\frac{w}{M} \text{ (mol)}}{W \text{ (kg)}} = \frac{w}{M \times W} = \frac{\Delta t}{K} \quad \text{だから、}$$

$$\text{分子量 } M = \frac{Kw}{W\Delta t}$$

浸透圧と分子量 p. 128

浸透圧から分子量を求められます。気体の状態方程式とよく似ている。

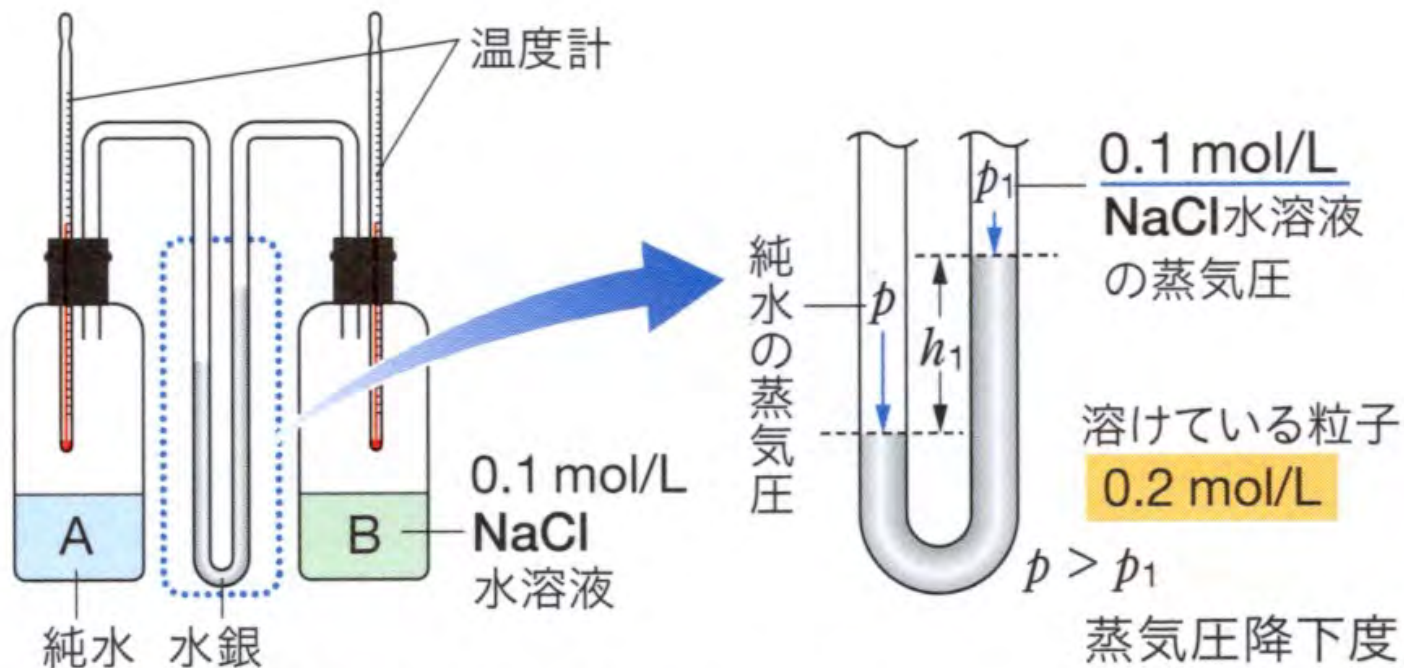
$$M = \frac{wRT}{\pi v}, \quad \pi v = \frac{wRT}{M}$$

w : 溶けている溶質（非電解質）の質量、

M : モル質量、 v : 溶液の体積、 π : 浸透圧 (Pa)

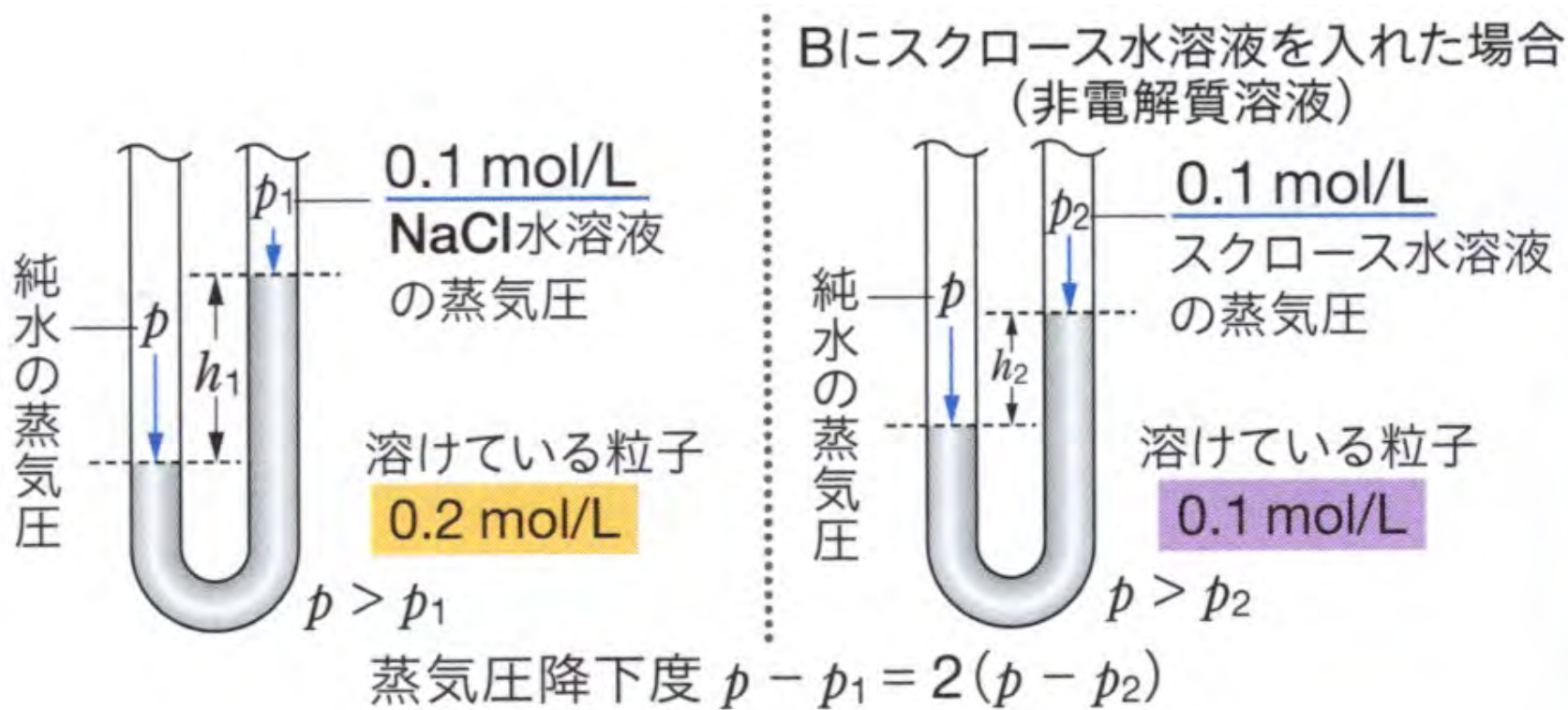
R : 気体定数、 T : 絶対温度

電解質溶液の性質



▲図20 電解質溶液と蒸気圧降下度

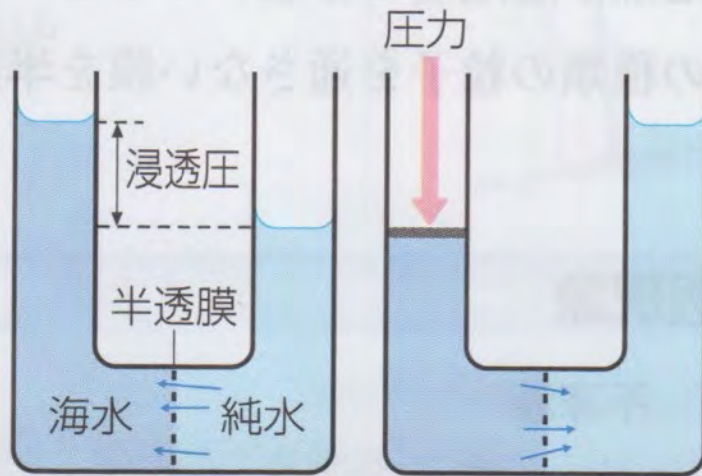
電解質溶液と非電解質溶液における蒸気圧降下度の違い



浸透圧の応用

海水の淡水化

純水と海水とを半透膜でしきると、浸透圧が生じる。そこで海水に大気圧のほかに、浸透圧以上の圧力を加えると溶媒である水が海水から純水の側に移動するので、海水から純粋な水を取り出すことができる。このような方法で海水を淡水化する方法を逆浸透法という。



逆浸透式淡水化装置

出席確認メールのお願い

出席確認のため、**授業終了後、当日中に**筒木宛にメールを送ってください。送り先は；

kiyosi.tutuki@icloud.com

メールのタイトルは、「**入門化学出席確認、学籍番号、氏名**」としてください。

メールの本文には、簡単で良いので**授業の感想**などを書いてください。

別途、**課題**を出すことがあります。その際は、**別のメール**で送ってください。課題の締め切りは概ね1週間程度とします。

6月5日課題

問題1 硝酸カリウムは水 100g に100°Cで 245g、20°Cで 32g 溶解する。100°Cの飽和溶液 100gを20°Cに冷却すると、何 g の硝酸カリウムが析出するか？

問題2 空気中には体積比で、窒素 78.1%、酸素 21.0%、アルゴン0.93%、二酸化炭素 0.04%が含まれている。0°C、1気圧、22.4 L 中の空気中に含まれるそれぞれの気体成分の体積 (L) と mol 数 および質量 (g) を求めよ。

メールで kiyosi.tutuki@icloud.com に送ってください。締め切り 6月10日 (月)

6月上旬に帯広の森の遊歩道沿いで見た花

バイケイ
ソウ



ヒレハリ
ソウ (外
来種)



ルピナス
(外来種)



ニセアカ
シア (外
来種)



外来種は人が持ち込んだもの。繁殖力が強いので在来種を脅かす。