

水溶液の濃度計算法を攻略する

医療に関係する仕事をして行くうえで、水溶液の調製は避けて通ることのできない操作の一つである。「粉末試薬を水に溶かして、必要濃度の水溶液を必要な量だけつくる」とか、「濃縮保存液が何種類かあって、それらを適量ずつ取ってブレンドし、必要濃度の水溶液を必要な量だけつくる」という操作ができないと、お手上げになってしまう検査や実験もある。だから後になって困った事態に陥らないよう、比較的ヒマな1年生のうちに、濃度計算方法を習得してしまおう。

水溶液を調製する際には、その水溶液の中に「何 g の溶質が溶けているか」を考える場合と、「何 mol の溶質が溶けているか」を考える場合とがある。

「何 g 溶けているか」を表す方法が「**質量パーセント濃度**」であり、「何 mol 溶けているか」を表す方法が「**モル濃度**」である。

「質量パーセント濃度」は小学校の算数で習うものなので、多くの学生は計算方法を理解しているが、高校化学で登場する「モル濃度」になると、高校化学履修者であっても苦手意識を持っていることが多い。しかし、「質量パーセント濃度」も「モル濃度」も、「一定の体積の溶液中に、どれだけの溶質が溶けているのか」を表す方法であることに変わりはない。「モル濃度」が理解困難であると主張する者の多くは、単に「モル」と付く物事が難しいと思っただけである。そのような無意味な思い込みをリセットしようではないか。

I. 質量パーセント濃度, %(w/w)

**食塩水 100 g 中に 1 g の食塩が溶けているとき、
食塩の濃度は 1 %(w/w)である。**

ここで w/w は質量/質量の意味である(weight/weight)。なお、今回は有効数字については考えないことにする。また、温度と気圧は、常温・常圧(25 °C, 1013 hPa)を想定する。

この定義に基づいて、以下(1)から(4)の計算を試みよう。

- (1) 塩化ナトリウム 2 g を水に溶かして 100 g にした。この食塩水の塩化ナトリウムの濃度は何%(w/w)か計算せよ。
- (2) 質量パーセント濃度が 3%(w/w)の塩化ナトリウム水溶液 500 g を調製するために必要な塩化ナトリウムの質量は何 g か計算せよ。
- (3) 10 %(w/w)の塩化ナトリウム水溶液を水で希釈して、2 %(w/w)の塩化ナトリウム水溶液 500 g を調製したい。このとき必要となる 10 %(w/w)塩化ナトリウム水溶液は何 g か計算せよ。
- (4) 10 %(w/w)の塩化ナトリウム水溶液と、10 %(w/w)クエン酸水溶液を水で希釈して、「塩化ナトリウムを 2 %(w/w)、クエン酸を 5 %(w/w)含む混合水溶液」を 500 g 調製したい。10 %(w/w)の塩化ナトリウム水溶液と、10 %(w/w)クエン酸水溶液はそれぞれ何 g 必要か計算せよ。

II. 質量/体積パーセント濃度, %(w/v)

食塩水 100 mL 中に 1 g の食塩が溶けているとき、
食塩の濃度は 1 %(w/v)である。

液体の量を計る際には、質量で考えるよりも体積で考えた方が便利な場合が多い。だから%(w/w)ではなく、%(w/v)で考えた方が便利な場合も多い。w/vは質量/体積である(weight/volume)。希薄水溶液においては密度を 1 g mL^{-1} とみなしても構わないので、

$$1 \text{ \%}(w/v) \cong 1 \text{ \%}(w/w)$$

としても構わない。

それでは、以下の(5)から(8)を計算してみよう。

- (5) 塩化ナトリウム 2 g を水に溶かして 100 mL にした。この食塩水の塩化ナトリウム濃度は何%(w/v)か。
- (6) 3%(w/v)の塩化ナトリウム水溶液 500 mL を調製するために必要な塩化ナトリウムの質量は何 g か計算せよ。
- (7) 10 %(w/v)の塩化ナトリウム水溶液を水で希釈して、2 %(w/v)の塩化ナトリウム水溶液 500 mL を調製したい。このとき必要となる 10 %(w/v)塩化ナトリウム水溶液は何 mL か計算せよ。
- (8) 10 %(w/v)の塩化ナトリウム水溶液と、10 %(w/v)クエン酸水溶液を水で希釈して、「塩化ナトリウムを 2 %(w/v)、クエン酸を 5 %(w/v)含む混合水溶液」を 500 mL 調製したい。10 %(w/v)の塩化ナトリウム水溶液と、10 %(w/v)クエン酸水溶液はそれぞれ何 mL 必要か計算せよ。

III. モル濃度, mol L^{-1}

食塩水 1 L 中に 1 mol の食塩が溶けているとき、
食塩の濃度は 1 mol L^{-1} である。

いよいよモル濃度である。化学反応は溶液中に溶けている溶質の質量ではなく、分子数で決まる。だから分子数についての濃度を用いる必要がある。分子の数を数える際に用いる単位がモルである。だからモルで濃度をあらわす方法が必要となる。それがモル濃度である。

質量パーセント濃度%(w/w)や、質量/体積パーセント濃度%(w/v)では 100 g とか 100 mL とかを基準に考えるが、モル濃度では 1 L (1000 mL) を基準に考える。

それでは以下の(9)を計算してみよう。

(9) 塩化ナトリウム 2 mol を水に溶かして 1 L にした。この食塩水の塩化ナトリウム濃度は何 mol L^{-1} か。

「食塩を 2 mol はかりとる」と言われても何だかイメージできない。現実世界においては質量とか体積といった物理量でものを「はかる」からである。天秤にもメスシリンダーにも「モル」目盛りは付いていない。だから mol で計算した後は、その量を質量とか体積とかに変換しなければならない。

それでは以下の(10)から(12)を計算してみよう。

(10) 3 mol L^{-1} の塩化ナトリウム水溶液 500 mL を調製するために必要な塩化ナトリウムは何 mol か計算せよ。それは何 g か計算せよ。NaCl=58.5 とせよ。

(11) 2 mol L^{-1} の塩化ナトリウム水溶液を水で希釈して、 0.5 mol L^{-1} の塩化ナトリウム水溶液 500 mL を調製したい。このとき必要となる 2 mol L^{-1} 塩化ナトリウム水溶液は何 mL か計算せよ。

(12) 2 mol L^{-1} の塩化ナトリウム水溶液と、 0.1 mol L^{-1} クエン酸水溶液を水で希釈して、「塩化ナトリウムを 0.5 mol L^{-1} 、クエン酸を 0.05 mol L^{-1} 含む混合水溶液」を 500 mL 調製したい。 2 mol L^{-1} の塩化ナトリウム水溶液と、 0.1 mol L^{-1} クエン酸水溶液はそれぞれ何 mL 必要か計算せよ。クエン酸の分子量を 192 として計算せよ。

解答と解法

(1) $(2 \text{ g})/(100 \text{ g})=0.02=\underline{2\%(\text{w/w})}$

(2) 必要量を x とする。 $x/500 \text{ g}=0.03$, $x=(0.03)(500 \text{ g})=\underline{15 \text{ g}}$

(3) 必要量を x とする。

$$(0.10)(x)=(0.02)(500 \text{ g}), \quad x=(0.02)(500 \text{ g})/(0.10)=\underline{100 \text{ g}}$$

(4) 塩化ナトリウムの必要量を x 、クエン酸の必要量を y とする。

$$(0.10)(x)=(0.02)(500 \text{ g}), \quad x=(0.02)(500 \text{ g})/(0.10)=\underline{100 \text{ g}}$$

$$(0.10)(y)=(0.05)(500 \text{ g}), \quad y=(0.05)(500 \text{ g})/(0.10)=\underline{250 \text{ g}}$$

(5) $(2 \text{ g})/(100 \text{ mL})=0.02 \text{ g mL}^{-1}=0.02 \text{ (w/v)}=\underline{2\%(\text{w/v})}$

(6) $3\%(\text{w/v})$ の食塩水は $3\%(\text{w/w})$ の食塩水とみなすことができる。

したがって、必要量を x とすると、

$$x/500 \text{ g}=0.03, \quad x=(0.03)(500 \text{ g})=\underline{15 \text{ g}}$$

(7) 必要量を x とする。

$$(0.10)(x)=(0.02)(500 \text{ mL}), \quad x=(0.02)(500 \text{ mL})/(0.10)=\underline{100 \text{ mL}}$$

(8) 塩化ナトリウムの必要量を x 、クエン酸の必要量を y とする。

$$(0.10)(x)=(0.02)(500 \text{ mL}), \quad x=(0.02)(500 \text{ mL})/(0.10)=\underline{100 \text{ mL}}$$

$$(0.10)(y)=(0.05)(500 \text{ mL}), \quad y=(0.05)(500 \text{ mL})/(0.10)=\underline{250 \text{ mL}}$$

(9) $(2 \text{ mol})/(1 \text{ L})=\underline{2 \text{ mol L}^{-1}}$

(10) 必要量を x とする.

$$(x)/(0.5 \text{ L})=3 \text{ mol L}^{-1}, \quad x=(3 \text{ mol L}^{-1})(0.5 \text{ L})=\underline{1.5 \text{ mol}}$$
$$(1.5 \text{ mol})(58.5 \text{ g mol}^{-1})=\underline{87.75 \text{ g}}$$

(11) 必要量を x とする.

$$(x)(2 \text{ mol L}^{-1})=(0.5 \text{ mol L}^{-1})(0.5 \text{ L})$$
$$x=(0.5 \text{ mol L}^{-1})(0.5 \text{ L})/(2 \text{ mol L}^{-1})=0.125 \text{ L}=\underline{125 \text{ mL}}$$

(12) 塩化ナトリウム水溶液の必要量を x , クエン酸水溶液の必要量を y とする.

$$(x)(2 \text{ mol L}^{-1})=(0.5 \text{ mol L}^{-1})(0.5 \text{ L})$$
$$x=(0.5 \text{ mol L}^{-1})(0.5 \text{ L})/(2 \text{ mol L}^{-1})=0.125 \text{ L}=\underline{125 \text{ mL}}$$
$$(y)(0.1 \text{ mol L}^{-1})=(0.05 \text{ mol L}^{-1})(0.5 \text{ L})$$
$$y=(0.05 \text{ mol L}^{-1})(0.5 \text{ L})/(0.1 \text{ mol L}^{-1})=0.25 \text{ L}=\underline{250 \text{ mL}}$$

ここまでマスターすれば、以下に挙げる教科書の問題が解けるはずだ. 分子量および式量は記しておいた. 解いてみよう.

p284 練習問題 11-1-1(a), $\text{Na}_2\text{CO}_3=106$

p284 練習問題 11-1-1(b), $\text{H}_3\text{PO}_4=98$

p284 練習問題 11-1-1(c), $\text{KMnO}_4=158$

p285 練習問題 11-1-3, 1 dL は 0.1 L

p303 復習問題 3, $\text{H}_2\text{SO}_4=98$

p303 復習問題 7(a), $\text{NaOH}=40$

p303 復習問題 7(b), $\text{Na}_2\text{SO}_4=142$

p303 復習問題 7 (d), $\text{NH}_4\text{Cl}=53.5$

p303 復習問題 7 (g), $\text{HCl}=36.5$

p303 復習問題 7 (h), $\text{K}_2\text{HPO}_4=174$

p303 復習問題 7 (i), $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4=132$

p304 復習問題 15(b)

解答と解法

p284 練習問題 11-1-1(a)

モルで考える. 必要量は $(0.200 \text{ mol L}^{-1})(0.250 \text{ L})=0.0500 \text{ mol}$

この質量は $(0.0500 \text{ mol})(106 \text{ g mol}^{-1})=5.30 \text{ g}$

5.30 g の Na_2CO_3 を水に溶かして 250 mL にすればよい.

p284 練習問題 11-1-1(b)

モルで考える. 必要量は $(0.75 \text{ mol L}^{-1})(1.5 \text{ L})=1.125 \text{ mol}$

この質量は $(1.125 \text{ mol})(98 \text{ g mol}^{-1})=110 \text{ g}$
110 g の H_3PO_4 を水に溶かして 1.5 L にすればよい.

p284 練習問題 11-1-1(c)

モルで考える. 必要量は $(0.600 \text{ mol L}^{-1})(0.150 \text{ L})=0.0900 \text{ mol}$

この質量は $(0.0900 \text{ mol})(158 \text{ g mol}^{-1})=14.2 \text{ g}$

14.2 g の KMnO_4 を水に溶かして 150 mL にすればよい.

p285 練習問題 11-1-3

標準的な単位になおして考える. 1 dL 中に 320 mg \rightarrow 0.1 L 中に 0.32 g

モルで考える. $(0.32 \text{ g})/(23 \text{ g mol}^{-1})=13.9 \times 10^{-3} \text{ mol}$

濃度を求める. $13.9 \times 10^{-3} \text{ mol}/0.1 \text{ L}=139 \times 10^{-3} \text{ mol/L}=\underline{139 \text{ mmol}} : \text{正常}$

p303 復習問題 3

$(4.9 \text{ g})/(98 \text{ g mol}^{-1})=0.050 \text{ mol}$, $(0.050 \text{ mol})/(0.250 \text{ L})=\underline{0.20 \text{ mol L}^{-1}}$

p303 復習問題 7(a)

$(0.20 \text{ mol L}^{-1})(0.050 \text{ L})=0.01 \text{ mol}$, $(0.01 \text{ mol})(40 \text{ g mol}^{-1})=0.40 \text{ g}$

0.40 g の NaOH を水に溶かして 50 mL にする.

p303 復習問題 7(b)

$(0.11 \text{ mol L}^{-1})(0.250 \text{ L})=0.0275 \text{ mol}$, $(0.0275 \text{ mol})(142 \text{ g mol}^{-1})=3.9 \text{ g}$

3.9 g の Na_2SO_4 を水に溶かして 250 mL にする.

p303 復習問題 7(d)

$(0.50 \text{ mol L}^{-1})(0.10 \text{ L})=0.050 \text{ mol}$, $(0.050 \text{ mol})(53.5 \text{ g mol}^{-1})=2.675 \text{ g}$

2.7 g の NH_4Cl を水に溶かして 100 mL にする.

p303 復習問題 7(g)

$(6.0 \text{ mol L}^{-1})(0.055 \text{ mL})=0.33 \text{ mol}$, $(0.33 \text{ mol})(36.5 \text{ g mol}^{-1})=12.045 \text{ g}$

12 g の HCl を水に溶かして 55 mL にすればよい.

[注] これでも計算問題の解答としては OK だが, 12 g の HCl (塩化水素ガス)をはかりとって水に溶かすという操作が行われることは珍しい. ガスの重さをきっちりと量る操作は難しいからだ. やるとしたら, 天秤の上に適当な量の水が入ったフラスコなりビーカーなりを乗せて, ここに塩化水素ガスボンベからチューブをひっぱってきてブクブクさせて, 天秤の読み値を眺めながら, 水の重さが 12 g だけ増えるのを待つ. 塩化水素は水によく溶けるのでこういう操作ができる. 現実には濃塩酸(12 mol L^{-1})を水で薄めて 6 mol L^{-1} にすることが一般的である. 市販の濃塩酸は 12 mol L^{-1} で

ある(これは知っていれば便利だが, 化学を専攻するのでなければ別に知らなくてもよい).

別の答え→濃塩酸(12 mol L⁻¹) 27.5 mL を水で薄めて 55 mL にする.

p303 復習問題 7(h)

$(0.20 \text{ mol L}^{-1})(0.010 \text{ L})=0.002 \text{ mol}$, $(0.002 \text{ mol})(174 \text{ g mol}^{-1})=0.348 \text{ g}$
0.35 g の K₂HPO₄ を水に溶かして 10 mL にする.

p303 復習問題 7(i)

$(0.010 \text{ mol L}^{-1})(0.25 \text{ L})=0.0025 \text{ mol}$
 $(0.0025 \text{ mol})(132 \text{ g mol}^{-1})=0.33 \text{ g}$
0.33 g の (NH₄)₂SO₄ を水に溶かして 0.25 L にする.

[注] (NH₄)₂SO₄ は硫酸アンモニウム, 略して「硫安」と呼ばれる物質で, 窒素肥料のひとつである. 蛋白質の水溶液に硫安を加えて行くと, 蛋白質が沈殿する. この方法を用いて蛋白質サンプルを精製する方法は「硫安沈殿」と呼ばれ, 生化学の研究室で日常的に行われている操作の一つである. ここで硫安を加える量を間違えると蛋白質サンプルを失ったり, 精製できなかったりする. 濃度の正しい理解は, 研究でも検査でも重要なのだ.

p304 復習問題 15(b)

ほしい NaOH のモルを求める.

$(0.030 \text{ mol L}^{-1})(0.150 \text{ L})=0.0045 \text{ mol}$

これと同じ量を 0.10 mol L⁻¹ の溶液からとってくると考え, その体積を x とすると, $(0.10 \text{ mol L}^{-1})(x)=0.0045 \text{ mol}$

$x=0.045 \text{ L}=\underline{45 \text{ mL}}$

これを水で希釈して 150 mL にすればよい.

以上の問題が解ければ, **今後の人生において**, 成分が 3 種類であろうが 4 種類であろうが (体積オーバーしないかぎり), どのような組成の水溶液でも, 試薬棚や冷蔵庫内の濃縮保存液をブレンドして自分で調製できる (混ぜると沈殿するとか反応するとかいう場合は除く).