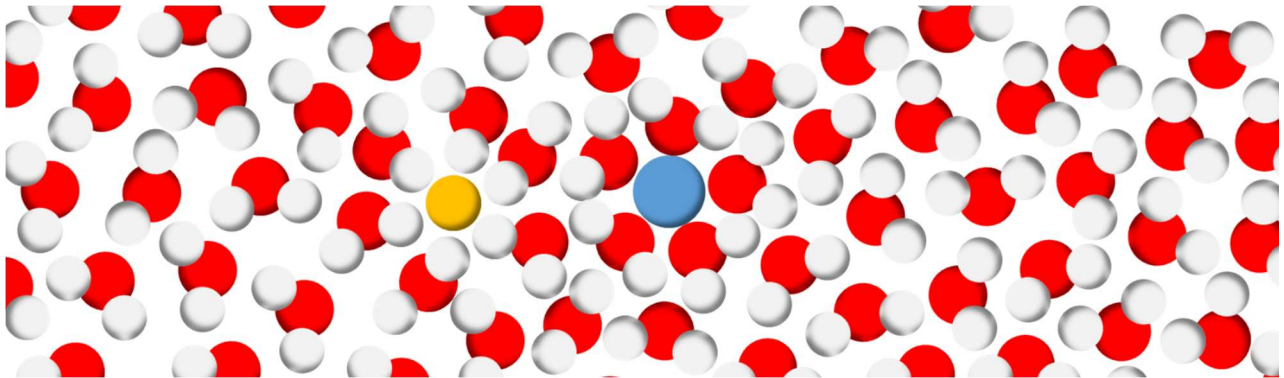


■ 「濃度」について



水分子とイオンの模式図（黄色、青：イオン、その他：水分子）

はじめに

濃度はその字の意味するとおり「濃さ」の度合いであり、目的に応じて幾つかの示し方があります。海水の塩分濃度は約 3.4 パーセントですが、この場合の濃度は一定重量に含まれる塩分の総重量をパーセント表示したものです。また、空気中に含まれる酸素の濃度も 21 パーセントなどとされていますが、これは空気の一部容積に占める酸素の容積をパーセント表示したものです。このように、物質の状態によって濃度は使い分けられています。今回は、いろいろな場面で用いられる濃度についてです。

濃度の考え方（食塩水を例に）

塩 10 グラムを水に溶かして 1 リットルとした溶液の濃度は何パーセントかという問題については、1 パーセント（ $10 \div 1000 \times 100$ ）と回答することになるかと思いますが、その場合は、重量／容量パーセントとなり、表記すると 1 w/v% となります（w：weight－重量、v：volume－容量）。また、水 1 リットルはほぼ 1000 グラムなので 1%（1w/w%）と回答することもできます。重量や容量を用いて濃度を表す場合は、一般的にその物質の状態と数値化する目的（その数値を何に使うのか）によってどのように表すのが妥当か考える必要があります。加えてどれくらいの濃度かによって表示の仕方も変わります。例えば、海水と同じ濃度の塩水を食塩で作る場合を考えてみます。調製に当たっての条件は、「海水と同じ濃度」ということと用いるのが「食塩」であるということで、海水の濃度が約 3.4% であることを確認して、34 グラムの食塩を計量し、それを 1 キログラムの水に加えてかき混ぜて溶かすことで調製しました（図 1）（実際は、34 グラムの食塩を 900 グラム程度の水に溶かし、食塩が溶解したのち水を加えて 1000 グラムとすることで 3.4%濃度の食塩水を調製するのが正しい方法です。）。この方法で調製された「食塩水」の濃度について考えてみます。

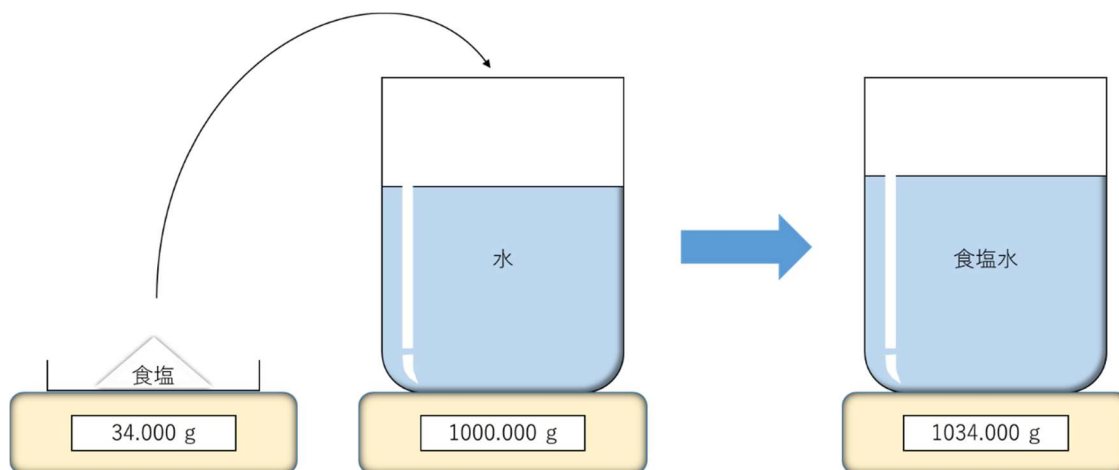


図1 今回の食塩水の調製法（容器等の重さは除く）

この溶液の食塩水の濃度を重量／重量パーセント（wt%）で小数点一桁まで表記する場合は、以下の方法で計算できます。この場合、食塩には水分が含まれていないことが前提です。

$$\text{食塩水の濃度} : 34.0 \div (1000.0 + 34.0) \times 100 = 3.3\% \quad (3.3\text{w/w}\%)$$

食塩 34 グラムが水 1000 グラムに追加されたため全重量は 1034 グラムとなりますので、その値で食塩の 34 グラムを割り 100 を掛けてパーセント表示します。次に、小数点 3 桁まで表記する場合を考えてみます。小数点 3 桁では小数点 4 桁までの計算が必要ですので、3.xxx% とするためには有効数字は 5 桁ということになります。従って、下の式で計算します。

$$\text{食塩水の濃度} : 34.000 \div (1000.0 + 34.0) \times 100 = 3.2882 = 3.288\text{w/w}\%$$

それでは、この食塩水の濃度を w/v%（重量／容量パーセント）で小数点 3 桁までの数値で表すにはどうすればいいでしょうか。今回のように水 1 キログラムに食塩 34 グラムを溶解した際の重量／容量で濃度を示す場合には、塩を加えることによる容量の変化があることを意識しておかなければなりません。塩の結晶の比重は 2.16 とされており、その数値を用いると 34 グラムの体積は 15.7 となりますので、1 リットルに食塩 34 グラムを加えると体積分である 15.7 ミリリットル増加すると思われませんが、ことはそう簡単ではありません。食塩の主成分は塩化ナトリウムなので、塩化ナトリウムが水に溶解することでナトリウムイオンと塩化物イオンとなり、それぞれが周りの水分子を引きよせることが予想されます。これは水和と呼ばれます。水和によってイオンを取り巻く水分子同士の距離が短くなりその分体積は減少すると考えられますが正しいでしょうか。水和による水分子の距離の変化と水和に関与する水分子の数が分かれば計算も可能かと思われませんが大変そうです。

実際に食塩水を作ってみた

1 リットルのメスフラスコに水を標線まで入れ、それに 34 グラムの塩化ナトリウムを加えた際の増加分を図 2 で示します。

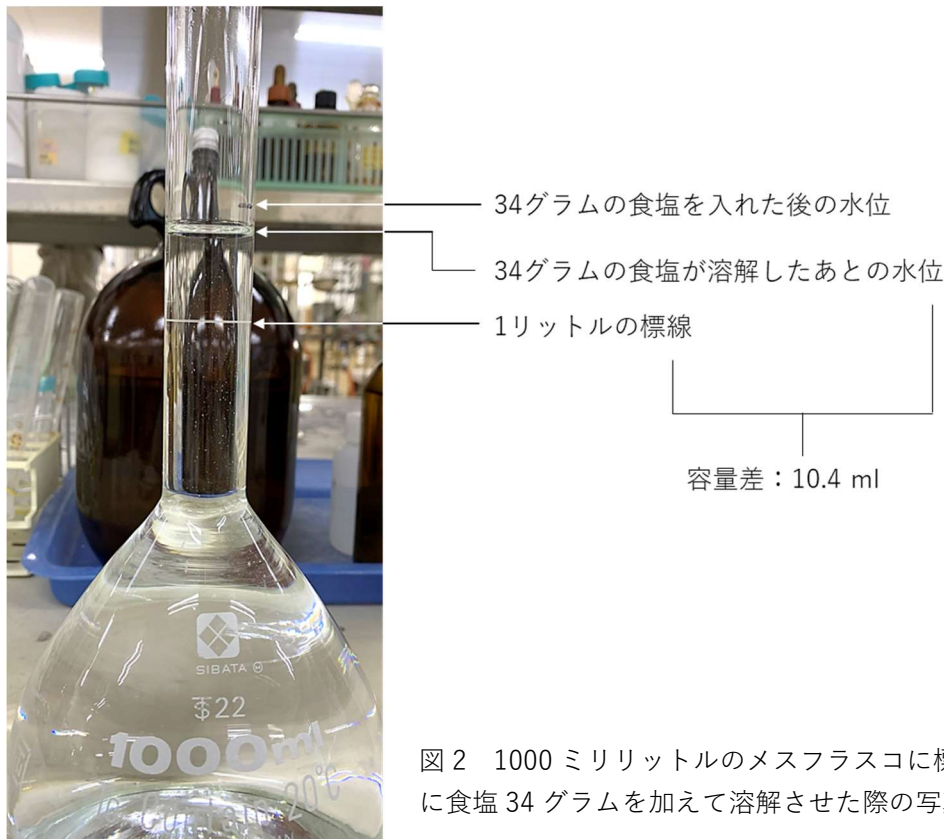


図2 1000 ミリリットルのメスフラスコに標線まで純水を入れ、それに食塩 34 グラムを加えて溶解させた際の写真

増加分をメスピペットで計量すると 10.4 ミリリットルとなりました。食塩の比重から計算した増加分である 15.7 ミリリットルよりも 5.3 ミリリットル少なく、予想通り減少したことになります。34 グラムの食塩を入れた後の水位は 5.3 ミリリットルよりも少ないですが、食塩が溶解することで液面が低下したことが分かります。従って、調製した食塩水の重量／容量濃度は、実験的に求めた液量の数値を用いて以下の式で計算できます。

食塩の濃度（測定温度：16°C）： $34 \div (1000.0 + 10.4) \times 100 = 3.3650 = 3.365w/v\%$

水に溶かした食塩の濃度を重量／重量パーセント、重量／容量パーセントで表記すると違いがあることが分かります。

モルによる濃度表記

前回、化学の単位でモルについて紹介しました。化学では濃度を重量や容量で示す場合も多々ありますが、分析や合成を行う際にはモルを使うケースが多く、モルの値で議論されます。モルは原子や分子の数を数値化したものなので、異なる分子同士を使って溶液を調製する際には、同数の分子あるいは二倍量の分子など、分子数で比較することになります。溶媒を計量する場合にはミリリットルやリットルで行われることがほとんどで、これは計測が容易でありどこでも測れることと容量でも実務上差し支えないことが理由と考えられます。食塩水の濃度をモルで表してみます。モルで表記するためには分子量が必要です。食塩の大部分は塩化ナトリウムで、その分子量は Na (22.990) + Cl

(35.453) = 58.443 となります。食塩の 100 パーセントが塩化ナトリウムとすると、以下の方法で 1 リットル当たりのモル量で計算できます。

塩化ナトリウムのモル濃度： $34.000 \div 58.443 \div (1000.00 + 10.400) \times 1000.00 = 0.576 \text{ mol/L}$

今回は塩化ナトリウム 100 パーセントと仮定しましたが、食塩の塩化ナトリウム含量はさまざまです。実際に計算する場合は、塩化ナトリウムの含量（重量／重量パーセント）を上記の数値に掛けることとなります。

おわりに

濃度の表記の仕方は重量、容量がベースになることが多く、濃度が低い場合は ppm（百万分の 1）、ppb（10 億分の 1）などの単位が使用されます。モル表示でも $\mu\text{mol/L}$ （百万分の 1 mol/L）や pmol/L（10 億分の 1 mol/L）などといった単位が使用されます。今回設定した食塩を水に溶かした溶液の濃度を正確に求めるには、食塩の量を正確に測ることと、含まれる水の量を確認すること、正確に水を計量することに加え、温度や気圧による補正も重要になってきます。次回はそれらについてご紹介します。