高校化学 L01 第 47 講 水の電離と pH 条件

この講でできるようになること

- 水がごく一部電離して H_3O^+ と OH^- を生じることを説明できる。
- 同じ温度で水のイオン積 K_w が一定になる関係を使える。
- $[H^+]$ と $[OH^-]$ の大小から酸性・中性・塩基性を判断できる。
- 中性を表す pH が温度によって変わることを説明できる。

水もごく一部が電離する

水分子どうしで H^+ を受け渡す

純水の中でも、すべての水分子がそのまま存在しているわけではない。
ごく一部の水分子どうしで H^+ の授受が起こり、H_3O^+ と OH^- が生じる。

$$2H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + OH^-$$

このように、水自身からイオンが生じることを**水の自己電離**という。
水溶液中の H^+ は実際には H_3O^+ などとして存在するが、高校化学では簡略化して $H_2O \rightleftharpoons H^+ + OH^-$ と表すこともある。

$\rightleftharpoons$ は両方向の変化を表す

記号 $\rightleftharpoons$ は、反応が一方向だけでなく両方向に進むことを表す。
平衡状態では、H_3O^+ や OH^- が生じる変化と水へ戻る変化が続いていても、全体としてそれぞれの濃度は一定に保たれる。

水のイオン積

同じ温度では濃度の積が一定になる

希薄な水溶液について、濃度を用いて近似すると、同じ温度では水素イオン濃度と水酸化物イオン濃度の積は一定になる。
この値を**水のイオン積**といい、K_w で表す。

$$K_w = [H^+][OH^-]$$

$[H^+]$ と $[OH^-]$ の単位はどちらも $\mathrm{mol\,L^{-1}}$ なので、K_w の単位は $\mathrm{mol^2\,L^{-2}}$ である。

25℃での水のイオン積

25℃では、水のイオン積を $K_w = 1.0 \times 10^{-14}\ \ \mathrm{mol^2\,L^{-2}}$ として扱う。
この値は温度によって変化するため、どの温度でも常に 1.0×10^{-14} というわけではない。

一方の濃度からもう一方を求める

積が一定であることを使う

25℃では $[H^+][OH^-] = 1.0 \times 10^{-14}$ なので、一方の濃度が分かればもう一方を求められる。

$$[OH^-] = \frac{K_w}{[H^+]}$$

$$[H^+] = \frac{K_w}{[OH^-]}$$

©ミライコーチング

酸性の水溶液にも OH^-は存在し、塩基性の水溶液にも H^+は存在する。どちらか一方が 0 になるわけではない。

中性の本質は H^+と OH^-が等しいこと

酸性・中性・塩基性

水溶液の性質は、$[H^+]$と$[OH^-]$の大小で判断できる。

条件	水溶液の性質
$[H^+] > [OH^-]$	酸性
$[H^+] = [OH^-]$	中性
$[H^+] < [OH^-]$	塩基性

25℃の中性では両方が10^{-7}になる

25℃の中性水溶液では、$[H^+] = [OH^-]$である。
両者の積が1.0×10^{-14}なので、それぞれ$[H^+] = [OH^-] = 1.0 \times 10^{-7}\ \mathrm{mol\,L^{-1}}$となる。
このとき pH は 7.00 である。

温度が変わると中性の pH も変わる

中性は pH 7 そのものではなく等濃度で決まる

純水では、水の自己電離によって H_3O^+と OH^-が等しい量だけ生じる。
そのため、温度が変わってK_wが変化しても、純水では$[H^+] = [OH^-]$が保たれ、中性である。
ただし、それぞれの濃度の値は温度によって変わるので、中性を表す pH も温度によって変化する。

温度	K_w	純水の$[H^+]$	純水の$[OH^-]$	pH	性質
25℃	$1.0 \times 10^{-14}\ \mathrm{mol^2\,L^{-2}}$	$1.0 \times 10^{-7}\ \mathrm{mol\,L^{-1}}$	$1.0 \times 10^{-7}\ \mathrm{mol\,L^{-1}}$	7.00	中性
50℃	約$5.5 \times 10^{-14}\ \mathrm{mol^2\,L^{-2}}$	約$2.35 \times 10^{-7}\ \mathrm{mol\,L^{-1}}$	約$2.35 \times 10^{-7}\ \mathrm{mol\,L^{-1}}$	約 6.63	中性

pH が 7 未満でも中性の場合がある

50℃の純水では pH は約 6.63 であるが、$[H^+]$と$[OH^-]$は等しいため中性である。
したがって、「pH が 7 未満なら必ず酸性」と温度条件を無視して判断することはできない。

©ミライコーチング

例題

例題 1

25℃で、水のイオン積を$K_{\mathrm{w}} = 1.0 \times 10^{-14}\ \ \mathrm{mol^2\,L^{-2}}$とする。
水溶液 A では$[\mathrm{H^+}] = 1.0 \times 10^{-3}\ \ \mathrm{mol\,L^{-1}}$、水溶液 B では$[\mathrm{OH^-}] = 1.0 \times 10^{-4}\ \ \mathrm{mol\,L^{-1}}$である。
1. A の$[\mathrm{OH^-}]$と、B の$[\mathrm{H^+}]$をそれぞれ求めよ。
2. A、B をそれぞれ酸性・中性・塩基性のどれに分類するか、濃度の大小から説明せよ。

解答・解説

1.
A では、$[\mathrm{OH^-}] = \frac{1.0\times10^{-14}}{1.0\times10^{-3}} = 1.0 \times 10^{-11}\ \ \mathrm{mol\,L^{-1}}$である。
B では、$[\mathrm{H^+}] = \frac{1.0\times10^{-14}}{1.0\times10^{-4}} = 1.0 \times 10^{-10}\ \ \mathrm{mol\,L^{-1}}$である。
したがって、A の$[\mathrm{OH^-}]$は$\mathbf{1.0 \times 10^{-11}\ \ mol\,L^{-1}}$、B の$[\mathrm{H^+}]$は$\mathbf{1.0 \times 10^{-10}\ \ mol\,L^{-1}}$である。
2.
A では$1.0 \times 10^{-3} > 1.0 \times 10^{-11}$なので、$[\mathrm{H^+}] > [\mathrm{OH^-}]$であり**酸性**である。
B では$1.0 \times 10^{-10} < 1.0 \times 10^{-4}$なので、$[\mathrm{H^+}] < [\mathrm{OH^-}]$であり**塩基性**である。

例題 2

50℃の純水では、$[\mathrm{H^+}] = [\mathrm{OH^-}] \simeq 2.35 \times 10^{-7}\ \ \mathrm{mol\,L^{-1}}$とする。また、$\log_{10} 2.35 = 0.37$としてよい。
1. 50℃の純水の pH を求めよ。
2. 求めた pH が 7 未満であっても、この純水が中性である理由を説明せよ。

解答・解説

1.
$[\mathrm{H^+}] = 2.35 \times 10^{-7}\ \ \mathrm{mol\,L^{-1}}$なので、$\log_{10}(2.35 \times 10^{-7}) = 0.37 - 7 = -6.63$である。
したがって、$\mathrm{pH} = -(-6.63) = 6.63$より、pH は**約 6.63** である。
2.
中性かどうかは、pH が 7 であるかではなく、$[\mathrm{H^+}]$と$[\mathrm{OH^-}]$が等しいかで判断する。
50℃の純水では両者がともに約$2.35 \times 10^{-7}\ \ \mathrm{mol\,L^{-1}}$で等しいため、pH が約 6.63 でも**中性**である。
温度が変わるとK_{w}が変化し、中性時の水素イオン濃度と pH も変化する。

演習問題

演習 1

25℃で、水のイオン積を$K_{\mathrm{w}} = 1.0 \times 10^{-14}\ \ \mathrm{mol^2\,L^{-2}}$とする。
1. $[\mathrm{H^+}] = 1.0 \times 10^{-5}\ \ \mathrm{mol\,L^{-1}}$のとき、$[\mathrm{OH^-}]$を求めよ。
2. $[\mathrm{OH^-}] = 1.0 \times 10^{-2}\ \ \mathrm{mol\,L^{-1}}$のとき、$[\mathrm{H^+}]$を求めよ。

©ミライコーチング

演習 2

25℃で、次の 3 つの水溶液 A、B、C について考える。
- A：$[\mathrm{H^+}] = 1.0 \times 10^{-7}\ \ \mathrm{mol\,L^{-1}}$、$[\mathrm{OH^-}] = 1.0 \times 10^{-7}\ \ \mathrm{mol\,L^{-1}}$
- B：$[\mathrm{H^+}] = 1.0 \times 10^{-4}\ \ \mathrm{mol\,L^{-1}}$、$[\mathrm{OH^-}] = 1.0 \times 10^{-10}\ \ \mathrm{mol\,L^{-1}}$
- C：$[\mathrm{H^+}] = 1.0 \times 10^{-9}\ \ \mathrm{mol\,L^{-1}}$、$[\mathrm{OH^-}] = 1.0 \times 10^{-5}\ \ \mathrm{mol\,L^{-1}}$

1. A、B、C をそれぞれ中性・酸性・塩基性のどれに分類するか答えよ。
2. B は酸性であるが $\mathrm{OH^-}$ も存在する。与えられた数値を使って、このことを説明せよ。

演習 3

純水について、次の資料が与えられている。
- 25℃：$[\mathrm{H^+}] = [\mathrm{OH^-}] = 1.0 \times 10^{-7}\ \ \mathrm{mol\,L^{-1}}$、pH 7.00
- 50℃：$[\mathrm{H^+}] = [\mathrm{OH^-}] \simeq 2.35 \times 10^{-7}\ \ \mathrm{mol\,L^{-1}}$、pH 約 6.63
- 計算補助：$2.35^2 = 5.5225$

1. 25℃と 50℃の純水がどちらも中性である理由を説明せよ。
2.「水のイオン積はどの温度でも$1.0 \times 10^{-14}\ \ \mathrm{mol^2\,L^{-2}}$である」という説明が正しいか。50℃の値を計算して説明せよ。

演習 4

25℃で、水のイオン積を$K_\mathrm{w} = 1.0 \times 10^{-14}\ \ \mathrm{mol^2\,L^{-2}}$とする。ある希薄水溶液の$[\mathrm{H^+}]$が$1.0 \times 10^{-4}\ \ \mathrm{mol\,L^{-1}}$から$1.0 \times 10^{-3}\ \ \mathrm{mol\,L^{-1}}$へ変化した。

1. 変化前後の$[\mathrm{OH^-}]$をそれぞれ求め、変化後は変化前の何倍になったか答えよ。
2. このとき一定に保たれるのは$[\mathrm{H^+}]$と$[\mathrm{OH^-}]$の和と積のどちらか。変化前後の具体的な値を使って説明せよ。

演習問題の解答・解説

解答 1

1.

$[\mathrm{OH^-}] = \frac{K_\mathrm{w}}{[\mathrm{H^+}]}$を用いる。
$[\mathrm{OH^-}] = \frac{1.0\times10^{-14}}{1.0\times10^{-5}} = 1.0 \times 10^{-9}\ \ \mathrm{mol\,L^{-1}}$である。
したがって、$[\mathrm{OH^-}]$は$\mathbf{1.0 \times 10^{-9}\ \ mol\,L^{-1}}$である。

2.

$[\mathrm{H^+}] = \frac{K_\mathrm{w}}{[\mathrm{OH^-}]}$を用いる。
$[\mathrm{H^+}] = \frac{1.0\times10^{-14}}{1.0\times10^{-2}} = 1.0 \times 10^{-12}\ \ \mathrm{mol\,L^{-1}}$である。
したがって、$[\mathrm{H^+}]$は$\mathbf{1.0 \times 10^{-12}\ \ mol\,L^{-1}}$である。

解答 2

1.

A では$[H^+] = [OH^-]$なので、**中性**である。
B では$[H^+] > [OH^-]$なので、**酸性**である。
C では$[H^+] < [OH^-]$なので、**塩基性**である。

2.

B では$[H^+] = 1.0 \times 10^{-4}\ \ \mathrm{mol\,L^{-1}}$である一方、$[OH^-] = 1.0 \times 10^{-10}\ \ \mathrm{mol\,L^{-1}}$である。
OH^-は 0 ではなく実際に存在しているが、H^+の濃度の方が大きいため酸性である。
酸性とはOH^-が存在しない状態ではなく、$[H^+] > [OH^-]$の状態である。

解答 3

1.

25℃では$[H^+] = [OH^-] = 1.0 \times 10^{-7}\ \ \mathrm{mol\,L^{-1}}$である。
50℃でも$[H^+] = [OH^-] \simeq 2.35 \times 10^{-7}\ \ \mathrm{mol\,L^{-1}}$である。
中性の本質は$[H^+]$と$[OH^-]$が等しいことなので、pH の値が異なっていても両方とも中性である。

2.

正しくない。
50℃では、
$K_{\mathrm{w}} \simeq (2.35 \times 10^{-7})(2.35 \times 10^{-7}) = 2.35^2 \times 10^{-14} = 5.5225 \times 10^{-14}\ \ \mathrm{mol^2\,L^{-2}}$である。
したがって、約$\mathbf{5.5 \times 10^{-14}\ \ mol^2\,L^{-2}}$となり、25℃の$1.0 \times 10^{-14}\ \ \mathrm{mol^2\,L^{-2}}$とは異なる。
水のイオン積は温度によって変化する。

解答 4

1.

変化前では、$[OH^-] = \frac{1.0\times10^{-14}}{1.0\times10^{-4}} = 1.0 \times 10^{-10}\ \ \mathrm{mol\,L^{-1}}$である。
変化後では、$[OH^-] = \frac{1.0\times10^{-14}}{1.0\times10^{-3}} = 1.0 \times 10^{-11}\ \ \mathrm{mol\,L^{-1}}$である。
したがって、$[OH^-]$は1.0×10^{-10}から$1.0 \times 10^{-11}\ \ \mathrm{mol\,L^{-1}}$へ変化し、**元の$\frac{1}{10}$**になった。

2.

一定に保たれるのは**積**である。
変化前は$(1.0 \times 10^{-4})(1.0 \times 10^{-10}) = 1.0 \times 10^{-14}$、変化後も$(1.0 \times 10^{-3})(1.0 \times 10^{-11}) = 1.0 \times 10^{-14}$である。
したがって、25℃では$[H^+]$と$[OH^-]$の積が一定に保たれる。
一方、両者の和は変化するため、一定ではない。