高校化学 L01 第 100 講 平衡濃度の計算

対象：高 2 相当

この講でできるようになること

- 初期濃度と反応による変化量から平衡濃度を求められる。
- 係数比を利用して変化量を整理し、平衡定数 Kc を計算できる。
- 物質量とモル濃度を区別し、平衡式へ正しく代入できる。

平衡濃度を求める考え方

平衡定数を求めるには、平衡状態での濃度を用いる。 初期濃度をそのまま Kc へ代入してはいけない。各系は閉じた一定温度・一定体積で、指定した可逆反応のみが起こり、十分な時間をおいて平衡に達するものとして考える。

反応が進んだ後の平衡濃度を求めるために、初期・変化・平衡を分けて考える。各図・例題・演習は独立した仮想系であり、温度が同じと指定されない別の設問の Kc は比較しない。 例えば、$A(g) \rightleftarrows B(g)$ では、右向きに正味反応が進む場合、A は減少し、B は増加する。

一定体積では、濃度変化は $\Delta c = \frac{\Delta n}{V}$ で表す。 共通の一定体積で割るため、変化量の絶対値の比は物質量と濃度で同じになる。物質量 n は mol、体積 V は L で表し、濃度はすべて$\mathrm{mol\,L^{-1}}$にそろえる。

角括弧[X]はその時点のモル濃度を表し、Kc へ代入するのは平衡値である。初期値は平衡状態であると確認できる場合を除き、そのまま代入しない。本講では濃度で表す Kc の単位判定は扱わない。

以下の濃度変化量表の全数値と x の単位は$\mathrm{mol\,L^{-1}}$であり、Kc はこの単位で表した濃度の数値から求める。



図 1　初期濃度と正味の変化を分けて、平衡濃度を求める。

図では、初期濃度、正味の変化、平衡濃度を分けて考える手順を示している。 粒子の変化は模式例であり、平衡では反応が止まっているという意味ではない。 平衡濃度を求める流れは、 初期 → 係数比に基づく正味変化 → 平衡 → Kc へ代入 である。

係数比と変化量

反応式の係数は、反応による正味変化量の絶対値の比を表す。 ただし、係数比は初期濃度や平衡濃度の比ではない。 例えば、 $2A(g) \rightleftarrows B(g)$ では、B が x だけ増加すると、A は 2x だけ減少する。

変化量については、 $A : -2x,\quad B : +x$ となる。

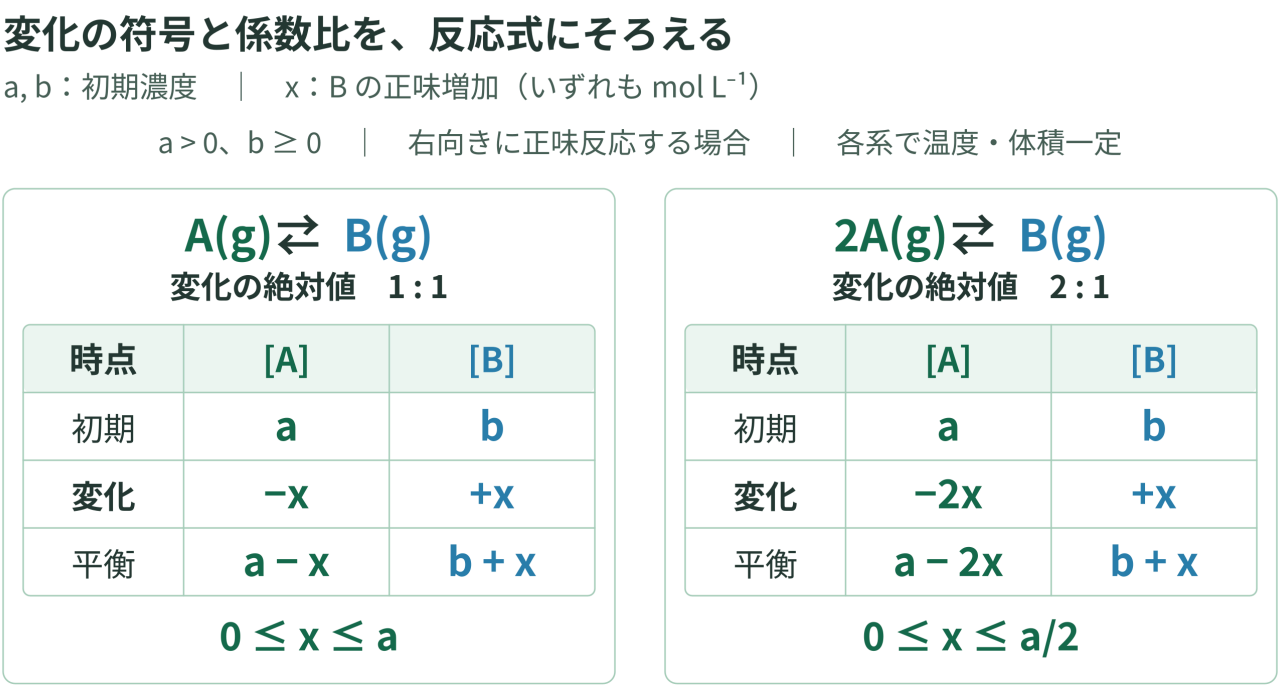

図 2　変化量の符号と係数比を、反応式に対応させる。

図では、1:1 反応と 2:1 反応で変化量の比が異なることを示している。 x はmol L^{-1}で表した変化量であり、平衡濃度は初期値と変化量から求める。 平衡濃度どうしの比が反応式の係数比になるとは限らない。

物質量から濃度へ変換する

平衡式 Kc へ代入するには、濃度をそろえる必要がある。 物質量 n と濃度 c の関係は、 $c = \frac{n}{V}$ である。

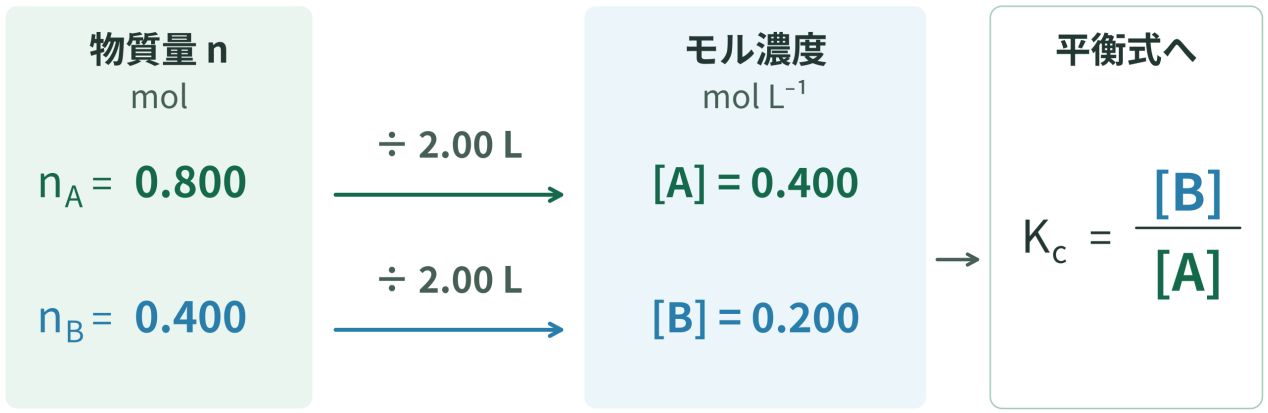

図 3　物質量を体積で割り、濃度にそろえてから平衡式へ進む。

図では、2.00 L の容器中の物質量を濃度へ変換する流れを示している。 物質量をそのまま平衡式へ代入せず、まず濃度へ変換する。 本例では係数和が等しいため物質量比と濃度比がたまたま対応するが、一般の平衡式では体積因子を無視できない。

例題 1

反応

$A(g) \rightleftarrows B(g)$ について、一定温度・一定体積で平衡に達した。 初期濃度は、$[A] = 0.800\,\mathrm{mol\,L^{-1}}$, $[B] = 0$ であり、平衡時には A が $0.300\,\mathrm{mol\,L^{-1}}$減少した。

1. 平衡時の[A]と[B]を求めよ。
2. Kc を求めよ。

解答・解説

1.
変化量を表にする。

時点	[A]	[B]
初期	0.800	0
変化	-0.300	+0.300
平衡	0.500	0.300

したがって、$[A] = 0.500\,\mathrm{mol\,L^{-1}}$ $[B] = 0.300\,\mathrm{mol\,L^{-1}}$ である。

2.
平衡式は、$K_c = \frac{[B]}{[A]}$ である。 $K_c = \frac{0.300}{0.500} = 0.600$ となる。

例題 2

反応

$2A(g) \rightleftarrows B(g)$ について、一定温度・一定体積で平衡に達した。 初期濃度は、 $[A] = 0.500\,\mathrm{mol\,L^{-1}}$, $[B] = 0.100\,\mathrm{mol\,L^{-1}}$ で、B が $0.100\ \mathrm{mol\,L^{-1}}$増加した。

1. 平衡時の濃度を求めよ。
2. Kc を求めよ。

解答・解説

1.
B の増加量を x とすると、 $x = 0.100$ である。 係数比より A は 2 倍減少する。

時点	[A]	[B]
初期	0.500	0.100
変化	-0.200	+0.100
平衡	0.300	0.200

したがって、 $[A] = 0.300\,\mathrm{mol\,L^{-1}}$ $[B] = 0.200\,\mathrm{mol\,L^{-1}}$ である。

2.
$K_c = \frac{[B]}{[A]^2}$ より、 $K_c = \frac{0.200}{(0.300)^2} = 2.22$ である。

例題 3

反応

$2A(g) \rightleftarrows B(g)$ について、一定温度・一定体積の 2.00 L 容器で平衡状態にある。 平衡時の物質量は、 $n_A = 0.400\,\mathrm{mol}$ $n_B = 0.200\,\mathrm{mol}$ である。

1. 平衡濃度[A]、[B]を求めよ。
2. Kc を求めよ。

解答・解説

1.
濃度は、 $c = \frac{n}{V}$ で求める。 $[A] = \frac{0.400}{2.00} = 0.200\,\mathrm{mol\,L^{-1}}$ $[B] = \frac{0.200}{2.00} = 0.100\,\mathrm{mol\,L^{-1}}$ である。

2.
$K_c = \frac{[B]}{[A]^2}$ より、 $K_c = \frac{0.100}{(0.200)^2} = 2.50$ である。

例題 4

反応

$A(g) \rightleftarrows B(g)$ について、平衡定数が、 $K_c = 2.00$ である。 初期濃度は、 $[A] = 0.300\,\mathrm{mol\,L^{-1}}$ $[B] = 0$ である。 A の正味減少濃度を x $\mathrm{mol\,L^{-1}}$として、平衡になった。

1. x を求めよ。
2. 平衡濃度を求め、Kc で確認せよ。

解答・解説

1.
変化量を表にする。

時点	[A]	[B]
初期	0.300	0
変化	-x	+x
平衡	0.300-x	x

平衡濃度は、 $[A] = 0.300 - x$ $[B] = x$ である。 平衡濃度は非負であり、有限の Kc の分母[A]は 0 ではないため、 $0 \leq x < 0.300$ である。 Kc より、 $2.00 = \frac{x}{0.300-x}$ 両辺を整理すると、 $0.600 - 2x = x$ $x = 0.200\,\mathrm{mol\,L^{-1}}$ となる。

2.
したがって、 $[A] = 0.100\,\mathrm{mol\,L^{-1}}$ $[B] = 0.200\,\mathrm{mol\,L^{-1}}$ であり、平衡濃度はいずれも非負である。 確認すると、 $K_c = \frac{0.200}{0.100} = 2.00$ となり一致する。

演習問題

演習 1

反応

$A(g) \rightleftarrows B(g)$ で初期濃度が、 $[A] = 0.500,\quad [B] = 0$ である。 A が $0.200\ \mathrm{mol\,L^{-1}}$減少して平衡になった。

1. 平衡濃度を求めよ。
2. Kc を求めよ。

演習 2

反応

$2A(g) \rightleftarrows B(g)$ で、初期濃度は[A]=0.400、[B]=0.100 である。 B が$0.0500\,\mathrm{mol\,L^{-1}}$増加して平衡に達した。

1. 平衡濃度を求めよ。
2. Kc を求めよ。

演習 3

反応

$A(g) \rightleftarrows B(g)$ について考える。

1. 右向きに正味反応する場合と、左向きに正味反応する場合のそれぞれについて、A と B の濃度変化量の符号を答えよ。
2. 反応式の係数比が平衡濃度比を表すという説明を訂正せよ。
3. 初期濃度をそのまま Kc へ代入してよいか説明せよ。

演習 4

2.00 L 容器中の平衡状態で、

$n_A = 0.600\,\mathrm{mol}$, $n_B = 0.300\,\mathrm{mol}$ である。 反応は、 $A(g) \rightleftarrows B(g)$ である。

1. 平衡濃度を求めよ。
2. Kc を求めよ。

演習 5

仮想反応

$A(g) \rightleftarrows B(g)$ について、閉じた一定温度・一定体積の系で A⇄B のみが進み、同温度での Kc は 4.00 である。 初期濃度は、 $[A] = 0.400\,\mathrm{mol\,L^{-1}}$, $[B] = 0.100\,\mathrm{mol\,L^{-1}}$ である。A が x $\mathrm{mol\,L^{-1}}$正味減少して平衡になった。

1. 濃度変化量表を作り、x を求めよ。
2. 平衡濃度と Kc 代入による検算を求めよ。

演習問題の解答・解説

解答 1

1.
変化量は、

時点	[A]	[B]
初期	0.500	0
変化	-0.200	+0.200
平衡	0.300	0.200

したがって、 $[A] = 0.300$, $[B] = 0.200$ である。

2.
$K_c = \frac{0.200}{0.300} = 0.667$ である。

解答 2

1.
B が 0.0500 増加すると A は 0.100 減少する。 平衡濃度は、 $[A] = 0.300$, $[B] = 0.150$ である。

2.
$K_c = \frac{0.150}{(0.300)^2} = 1.67$ である。

©ミライコーチング

解答 3

1.
右向きに正味反応する場合、A は減少するため負、B は増加するため正になる。 左向きに正味反応する場合、A は増加するため正、B は減少するため負になる。

2.
誤りである。 係数比は正味変化量の絶対値の比を表し、平衡濃度の比を表すものではない。

3.
そのまま代入できない。 Kc には平衡濃度を用い、初期値は平衡値であると確認できる場合を除いて直接代入しない。

解答 4

1.
$[A] = \frac{0.600}{2.00} = 0.300\,\mathrm{mol\,L^{-1}}$ $[B] = \frac{0.300}{2.00} = 0.150\,\mathrm{mol\,L^{-1}}$ である。

2.
$K_c = \frac{0.150}{0.300} = 0.500$ である。

解答 5

1.
変化量を表にする。

時点	[A]	[B]
初期	0.400	0.100
変化	-x	+x
平衡	0.400-x	0.100+x

平衡式より、 $4.00 = \frac{0.100+x}{0.400-x}$ である。 整理すると、

$$1.600 - 4x = 0.100 + x$$

$$1.500 = 5x$$

$$x = 0.300\,\mathrm{mol\,L^{-1}}$$

となる。 条件より、 $0 \leq x < 0.400$ であり、範囲内である。

2.
平衡濃度は、 $[A] = 0.400 - 0.300 = 0.100\,\mathrm{mol\,L^{-1}}$ $[B] = 0.100 + 0.300 = 0.400\,\mathrm{mol\,L^{-1}}$ である。 検算すると、 $K_c = \frac{0.400}{0.100} = 4.00$ となり一致する。 A の残量も非負であり、条件を満たす。

©ミライコーチング