高校化学 L01 第 94 講 反応速度の表し方

対象：高 2 相当

この講でできるようになること

- 反応の進行を物質の濃度や物質量の変化として表す方法を説明できる。
- 一定時間あたりの濃度変化から平均反応速度を求められる。
- 反応式の係数と反応物・生成物の量的関係を用いて、反応の進み方を比較できる。

反応速度とは何か

化学反応では、反応物が減少し、生成物が増加する。 例えば、物質 A が物質 B へ変化する反応では、時間が経過すると A の濃度は小さくなり、B の濃度は大きくなる。 反応の速さは、一定時間の間に物質がどれだけ変化したかで表す。

反応速度を考えるときは、指定された温度・一定体積の均一な溶液中で、外部との物質の出入りや副反応がない条件を扱う。

濃度の変化から平均反応速度を求める

反応物 A は反応によって消費されるため、濃度は減少する。 A の濃度変化量をそのまま表すと負の値になる。

$$\frac{\Delta[A]}{\Delta t}$$

は濃度そのものの変化率であり、反応物 A では負になる。 一方、反応物がどれだけ消費されたかを正の量で表す場合は、開始時の濃度から終了時の濃度を引く。

$$\text{A の平均消費速度} = \frac{[A]_{\text{開始}} - [A]_{\text{終了}}}{\Delta t}$$

生成物 B は濃度が増加するため、生成速度は終了時から開始時を引く。

$$\text{B の平均生成速度} = \frac{[B]_{\text{終了}} - [B]_{\text{開始}}}{\Delta t}$$

平均反応速度は、ある有限の時間区間での平均的な変化である。 そのため、区間を指定せず反応中ずっと同じ速さで進むと考えてはいけない。

©ミライコーチング

濃度変化をグラフで見る

次の図は、A が B へ変化する反応について、教材用に設定した濃度データを示したものである。

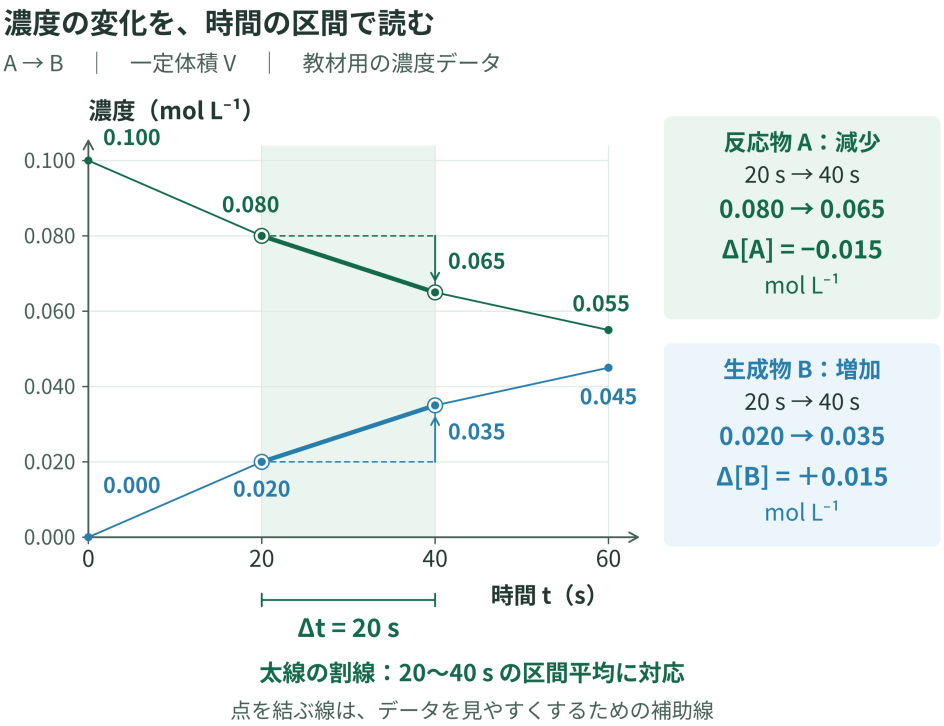

図 1　反応物と生成物の濃度の時間変化。

図では、時間が進むにつれて A の濃度が減少し、B の濃度が増加している。 20 秒から 40 秒の区間では、その 2 点間の変化量を使って平均速度を求める。 この 2 点を結ぶ線は区間平均の変化を表す補助であり、瞬間の速度を読み取るものではない。

物質量で表す速度と濃度で表す速度

反応速度は、物質量の変化でも表せる。 生成物 B の平均生成速度を物質量で表す場合、増加した物質量を用いる。

$$\text{B の平均生成速度} = \frac{\Delta n}{\Delta t} = \frac{n_{\text{終了}} - n_{\text{開始}}}{\Delta t}$$

反応物 A の消費速度を物質量で表す場合は、減少した物質量を用いる。

$$\text{A の平均消費速度} = \frac{n_{\text{開始}} - n_{\text{終了}}}{\Delta t}$$

この単位は $\mathrm{mol\,s^{-1}}$ となる。 一方、溶液中の濃度変化で表す場合は、一定体積 V で物質量を体積で割る。

$$\text{濃度基準の平均速度} = \frac{\text{物質量基準の平均速度}}{V}$$

単位は $\mathrm{mol\,L^{-1}\,s^{-1}}$ である。

体積が一定でない場合は、物質量の変化を単純に体積で割って濃度変化へ変換することはできない。

反応式の係数と速度の関係

反応式の係数は、反応する物質量の比を表す。 例えば、 $2A \to B$ という反応では、A が 2 の割合で減少すると B が 1 の割合で増加する。 このとき、A の消費速度は B の生成速度の 2 倍になる。

$$\text{A 消費速度} = 2 \times \text{B 生成速度}$$

測る物質によって値が異なるため、係数で割って反応全体の進み方を比較することがある。

$$v = \frac{1}{2} \times \text{A 消費速度} = \text{B 生成速度}$$

ここでの v は係数によって量の関係をそろえた平均速度であり、反応式における物質量の関係を比較するための量である。 これは速度の濃度依存性を決める式ではなく、速度式や反応次数を表すものではない。 平均速度の値だけから反応機構や速度式を決定することはできない。

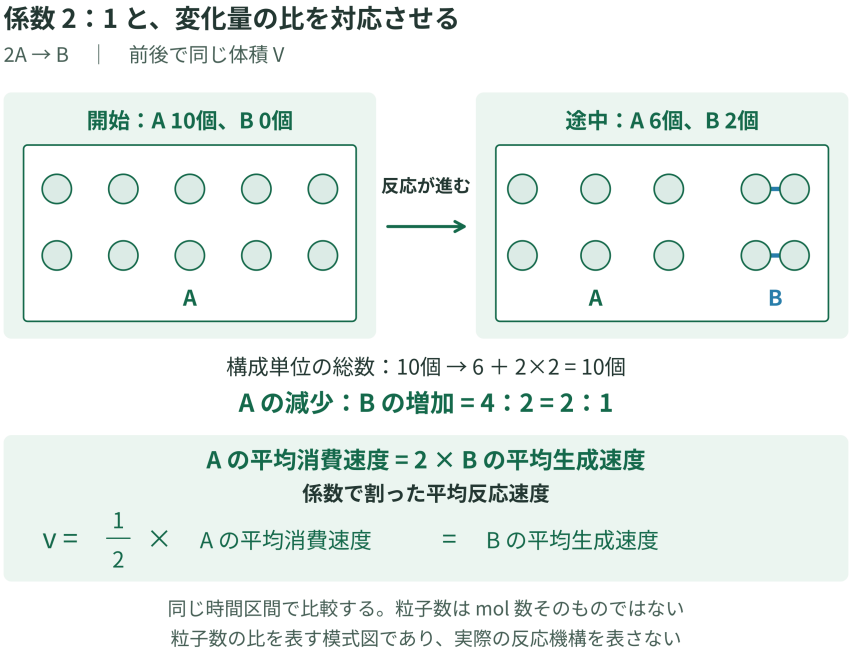

図 2　係数と反応物・生成物の変化量の対応。

図では、2A→B の反応で A の減少量と B の増加量が 2 対 1 になる関係を模式的に示している。 粒子数は量的関係を理解するための模式であり、実際の反応機構を表したものではない。

©ミライコーチング

物質量の変化を濃度変化へ変換する

一定体積の溶液では、物質量の変化と濃度の変化を結び付けられる。

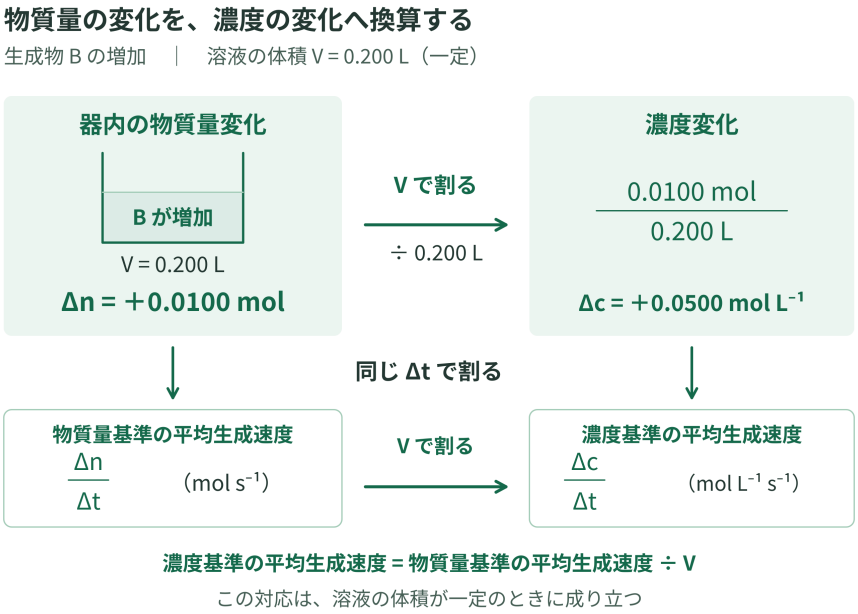

図 3　物質量の変化と濃度の変化を一定体積で結ぶ。

一定体積 0.200 L の溶液では、0.0100 mol の増加は濃度$0.0500\ \mathrm{mol\,L^{-1}}$の増加に対応する。 このように、物質量の変化を体積で割ることで濃度変化へ変換できる。 ただし、この関係は一定体積という条件がある場合に成立する。

例題 1

反応 $A \to B$ について、一定体積の溶液中で教材用に設定した次の濃度変化を考える。

時間 s	0	20	40	60
$[A]$ $\mathrm{mol\,L^{-1}}$	0.100	0.080	0.065	0.055
$[B]$ $\mathrm{mol\,L^{-1}}$	0	0.020	0.035	0.045

1. 20 秒から 40 秒までの A の平均消費速度を求めよ。
2. 20 秒から 40 秒までの B の平均生成速度を求めよ。

解答・解説

1.
A の平均消費速度は、

$$\frac{[A]_{20\mathrm{s}} - [A]_{40\mathrm{s}}}{40 - 20}$$

で求める。

$$= \frac{0.080 - 0.065}{20} = \frac{0.015}{20} = 7.5 \times 10^{-4}\,\mathrm{mol\,L^{-1}\,s^{-1}}$$

したがって、A の平均消費速度は $7.5 \times 10^{-4}\,\mathrm{mol\,L^{-1}\,s^{-1}}$ である。

2.
B の平均生成速度は、

$$\frac{[B]_{40\mathrm{s}} - [B]_{20\mathrm{s}}}{40 - 20}$$

で求める。

$$= \frac{0.035 - 0.020}{20} = 7.5 \times 10^{-4}\,\mathrm{mol\,L^{-1}\,s^{-1}}$$

A の減少量と B の増加量が同じため、この反応では両者の平均速度が等しい。

例題 2

反応 $2A \to B$ が一定体積の溶液中で進む。

0 秒から 50 秒で、$[A] : 0.200 \to 0.120\,\mathrm{mol\,L^{-1}}$ となった。 初期の B の濃度は 0 である。

1. A の平均消費速度を求めよ。
2. B の平均生成速度と、係数でそろえた平均速度 v を求めよ。

解答・解説

1.
A の減少量は、

$$0.200 - 0.120 = 0.080$$

である。 したがって、

$$\frac{0.080}{50} = 1.6 \times 10^{-3}$$

よって、$1.6 \times 10^{-3}\,\mathrm{mol\,L^{-1}\,s^{-1}}$ である。

2.
反応式より、$2A \to B$ なので B の増加量は A の減少量の半分である。

$$[B] = \frac{0.080}{2} = 0.040$$

したがって、

$$\frac{0.040}{50} = 8.0 \times 10^{-4}$$

B の平均生成速度は、$8.0 \times 10^{-4}\,\mathrm{mol\,L^{-1}\,s^{-1}}$ である。 係数で割った平均速度は、

$$v = \frac{1}{2} \times 1.6 \times 10^{-3} = 8.0 \times 10^{-4}\,\mathrm{mol\,L^{-1}\,s^{-1}}$$

となる。

例題 3

一定体積 0.200 L の溶液中で、生成物 B の物質量が 0 秒から 40.0 秒の間に 0.0120 mol 増加した。

1. 物質量基準の平均生成速度を求めよ。
2. 濃度基準の平均生成速度を求めよ。

解答・解説

1.
物質量基準の平均速度は、

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} = \frac{0.0120}{40.0} = 3.00 \times 10^{-4}\,\mathrm{mol\,s^{-1}}$$

である。

2.
濃度基準では一定体積であるため、

$$\frac{3.00 \times 10^{-4}}{0.200}$$

を計算する。

$$= 1.50 \times 10^{-3}\,\mathrm{mol\,L^{-1}\,s^{-1}}$$

となる。

演習問題

演習 1

反応 $A \to B$ について、一定体積の溶液中で 0 秒から 30.0 秒の間に、

$[A]: 0.1500 \to 0.0900\,\mathrm{mol\,L^{-1}}$

となった。

1. A の平均消費速度を求めよ。
2. $\frac{\Delta[A]}{\Delta t}$ の値と符号を示し、平均消費速度との違いを説明せよ。

演習 2

図「反応物と生成物の濃度の時間変化」と同じ条件を考える。

時間 s	0	20	40	60
$[A]\ \mathrm{mol\,L^{-1}}$	0.100	0.080	0.065	0.055

1. 0〜20 秒と 40〜60 秒の A 平均消費速度をそれぞれ求め、比較せよ。
2. 0〜60 秒の平均消費速度を求め、区間によって値が異なる理由を説明せよ。

©ミライコーチング

演習 3

反応 $2A \to B$ について、一定体積の溶液中で 30.0 秒の間に、

$[B]: 0.0200 \to 0.0500\,\mathrm{mol\,L^{-1}}$

となった。

1. B の平均生成速度を求めよ。
2. A の平均消費速度を求めよ。

演習 4

一定体積 0.500 L の溶液中で、生成物 B が 60.0 秒の間に 0.0150 mol 増加した。

1. 物質量基準の平均生成速度を求めよ。
2. 濃度基準の平均生成速度を求めよ。

演習 5

次の文章を訂正し、理由を説明せよ。

1.「反応物の濃度変化率が負なら、消費速度も負である。」
2.「2A→B では A 消費速度と B 生成速度は必ず等しい。」

演習問題の解答・解説

解答 1

1.

A の平均消費速度は、

$$\frac{0.1500 - 0.0900}{30.0} = 2.00 \times 10^{-3}$$

したがって、 $2.00 \times 10^{-3}\,\mathrm{mol\,L^{-1}\,s^{-1}}$ である。

2.

濃度変化率は、

$$\frac{\Delta[A]}{\Delta t} = \frac{0.0900 - 0.1500}{30.0} = -2.00 \times 10^{-3}\,\mathrm{mol\,L^{-1}\,s^{-1}}$$

である。

消費速度は正の量として表すため、符号が逆になる。

解答 2

1.

0〜20 秒では、

$$\frac{0.100-0.080}{20}=1.0\times10^{-3}\,\mathrm{mol\,L^{-1}\,s^{-1}}$$

40〜60 秒では、

$$\frac{0.065-0.055}{20}=5.0\times10^{-4}\,\mathrm{mol\,L^{-1}\,s^{-1}}$$

である。 後半の方が平均消費速度は小さい。

2.

0〜60 秒では、

$$\frac{0.100-0.055}{60}=7.5\times10^{-4}\,\mathrm{mol\,L^{-1}\,s^{-1}}$$

平均速度は指定した区間全体での平均であり、区間によって変化量が異なるため値も異なる。

解答 3

1.

B の平均生成速度は、

$$\frac{0.0500-0.0200}{30.0}=1.00\times10^{-3}\,\mathrm{mol\,L^{-1}\,s^{-1}}$$

である。

2.

反応式は、 $2A\rightarrow B$ なので、A の消費速度は B 生成速度の 2 倍である。

$2.00\times10^{-3}\,\mathrm{mol\,L^{-1}\,s^{-1}}$

である。 係数でそろえた平均速度は、

$$v=\frac{1}{2}\times2.00\times10^{-3}=1.00\times10^{-3}\,\mathrm{mol\,L^{-1}\,s^{-1}}$$

となる。 A の消費速度と B の生成速度は、そのままでは等しくない。

反応式の係数が 2 対 1 であるため、係数で割ってそろえた平均速度を比較する必要がある。

解答 4

1.

物質量基準の平均生成速度は、増加した物質量を時間で割る。

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} = \frac{0.0150}{60.0} = 2.50 \times 10^{-4}\,\mathrm{mol\,s^{-1}}$$

したがって、物質量基準の平均生成速度は、$2.50 \times 10^{-4}\,\mathrm{mol\,s^{-1}}$ である。

2.

一定体積 0.500 L であるため、濃度基準の平均生成速度は物質量基準の速度を体積で割る。

$$\frac{2.50 \times 10^{-4}}{0.500} = 5.00 \times 10^{-4}\,\mathrm{mol\,L^{-1}\,s^{-1}}$$

したがって、濃度基準の平均生成速度は、$5.00 \times 10^{-4}\,\mathrm{mol\,L^{-1}\,s^{-1}}$ である。

物質量基準では溶液全体でどれだけ増えたかを表し、濃度基準では一定体積あたりの変化として表している。

解答 5

1.

誤りである。 反応物の濃度変化率

$$\frac{\Delta[A]}{\Delta t}$$

は、濃度そのものの変化を表すため負になる。 一方、消費速度は減少量を正の値で表すため、

$$\frac{[A]_{\text{開始}} - [A]_{\text{終了}}}{\Delta t}$$

で求める。 したがって、濃度変化率と消費速度は符号が逆になる。

2.

誤りである。 反応 $2A \rightarrow B$ では、A は 2 の割合で消費され、B は 1 の割合で生成される。 そのため、

$$\text{A 消費速度} = 2 \times \text{B 生成速度}$$

となり、一般には等しくない。 ただし、係数で割った平均速度を用いると、

$$v = \frac{1}{2} \times \text{A 消費速度} = \text{B 生成速度}$$

となり、同じ反応の進み方として比較できる。