# 高校化学 L01 第 98 講 可逆反応と動的平衡

**対象：高 2 相当**

**この講でできるようになること**

- 可逆反応と正反応・逆反応の関係を説明できる。
- 動的平衡では反応が停止しているのではなく、正反応と逆反応が同じ速さで進んでいることを説明できる。
- 平衡状態で濃度が一定になる理由を粒子の変化から説明できる。

## 可逆反応

化学反応には、一方向だけでなく逆方向にも進むものがある。 例えば、仮想的な反応として、A⇄B を考える。 左から右へ進む反応を正反応、右から左へ進む反応を逆反応という。

この記号では、A から B への変化と、B から A への変化がどちらも起こり得ることを表している。A と B は同じ原子組成をもつ分子の種類を区別する模式記号であり、元素の種類が変化することを表しているわけではない。

## 動的平衡とは何か

可逆反応を閉じた系で一定温度・一定体積のまま十分な時間進めると、正反応と逆反応が等しい正の速度で同時に進み、巨視的な濃度が時間的に一定になる状態になる。 この状態を動的平衡という。正反応と逆反応が同時に進むだけでは、まだ動的平衡とはいえない。

平衡では、見かけ上の濃度は時間的に一定になる。 しかし、分子レベルでは正反応も逆反応も続いている。

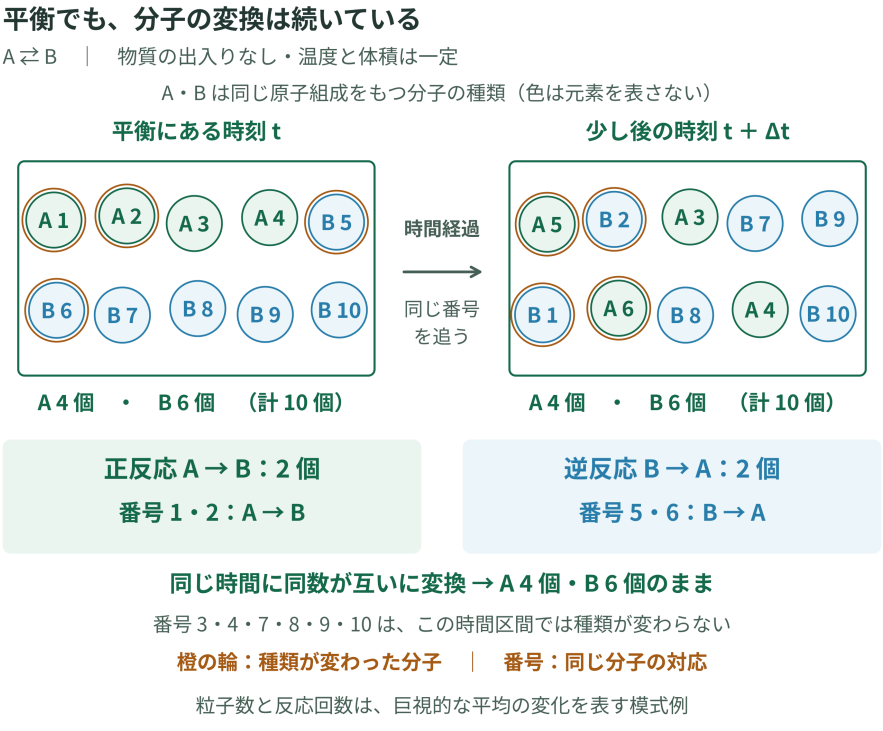


**図 1**　濃度が一定でも、分子の変換は続く。

©ミライコーチング

図では、平衡状態にある A⇄B の分子変化を模式的に示している。 時刻が変化しても A と B の数が同じに見える場合でも、分子そのものは A から B、B から A へ変換している。 粒子数と反応回数は、平均的な変化を表す模式例である。

## 正反応と逆反応の速度

A だけを最初に入れた時点では B=0 であるため、逆反応は起こらない。 その後、正反応によって B が生成されると、B から A へ変化する逆反応も進むようになる。 その後、B が増えるにつれて逆反応の機会が増える。

一方、正反応は A が減少するため徐々に進みにくくなる。

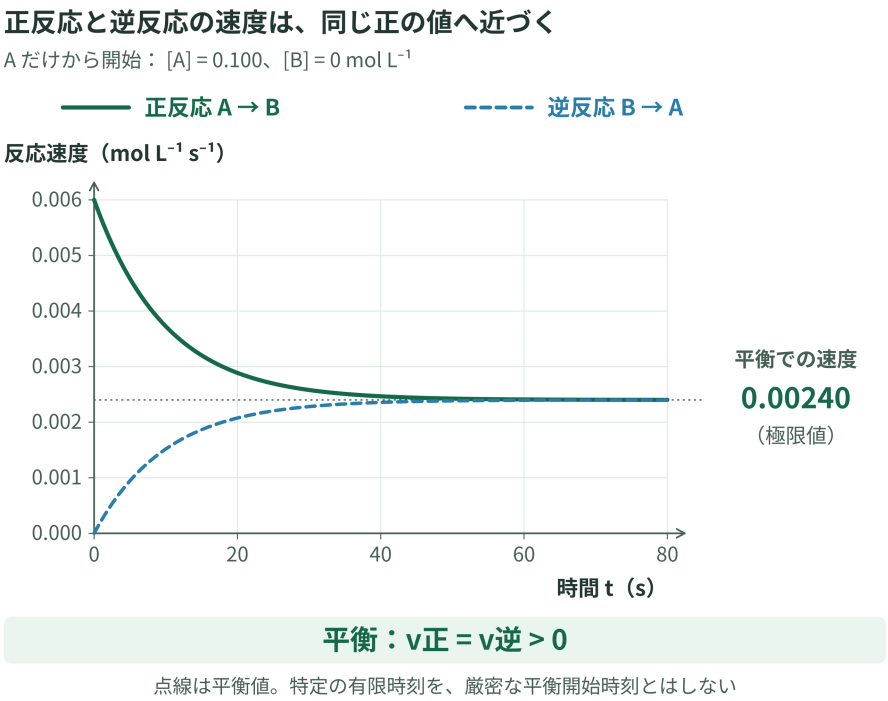


**図 2**　正反応と逆反応の速度が等しくなる。

図では、A だけを入れた場合の正反応速度と逆反応速度の変化を模式的に示している。 平衡では、$v_{\text{正}} = v_{\text{逆}} > 0$ となる。 これは正反応も逆反応も止まっているという意味ではない。

両方の速度が等しいため、全体として見た濃度変化が 0 になるという意味である。 本講の 1:1 の反応 A⇄B では、v 正と v 逆はそれぞれ各方向の単位時間・単位体積あたりの変化量であり、単位は $\text{mol}\,\text{L}^{-1}\,\text{s}^{-1}$である。正味の A 減少速度と B 増加速度は$v_{\text{正}} - v_{\text{逆}}$で表される。

## 濃度一定と反応停止の違い

平衡状態では、各物質の濃度は一定になる。 しかし、これは反応が完全に停止したことを意味しない。 例えば、A が減少すると同時に B から A が生成されているため、全体として A の濃度が変化しない。

濃度一定は、正反応と逆反応の変化がつり合った結果である。

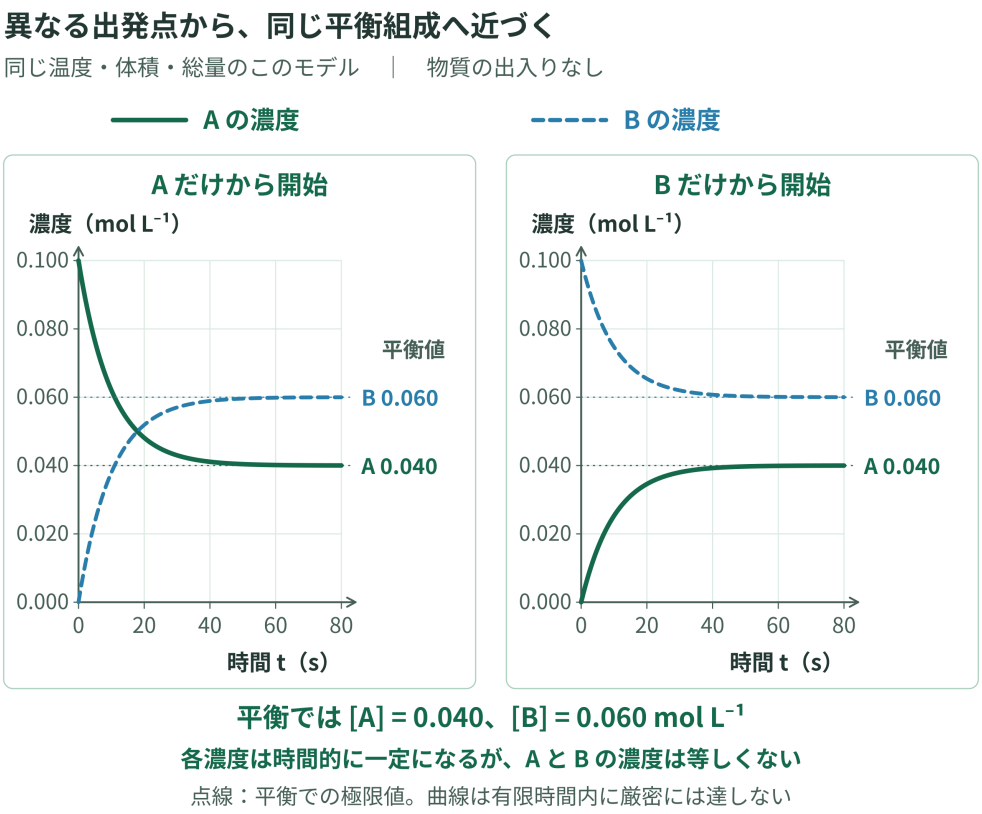


**図 3**　異なる出発点から同じ平衡組成へ近づく。

図では、同じ温度・体積・総物質量の A⇄B モデルで、異なる初期状態から平衡へ近づく様子を示している。 A だけから始めた場合も、B だけから始めた場合も、この条件では A と B の濃度は一定値へ近づく。 ただし、どのような初期条件でも必ず同じ濃度になるという意味ではない。

## 平衡に必要な条件

動的平衡が成立するには、物質の出入りがない閉じた系である必要がある。 また、温度や体積など外部条件が一定で、十分な時間が経過している必要がある。 単に密閉しただけで、すぐに平衡になるわけではない。

外部から物質を補給したり排出したりして濃度が一定に見えても、それだけでは動的平衡とは判断できない。

©ミライコーチング

**例題 1**

仮想反応

A⇄B について、閉じた系で一定温度・一定体積、A⇄B のみが進む同一実験の各時点を考える。正反応速度と逆反応速度を比較する教材用に設定した数値データを示す。

| 時点 | 正反応速度 $\mathrm{mol\,L^{-1}\,s^{-1}}$ | 逆反応速度 $\mathrm{mol\,L^{-1}\,s^{-1}}$ |
|---|---|---|
| I | 0.00400 | 0.00100 |
| II | 0.00240 | 0.00240 |

1. I での正味 A 減少速度と B 増加速度を求めよ。
2. II が動的平衡であるか判断し、反応停止かどうか説明せよ。

### 解答・解説

**1.**
正味の変化速度は、 $v_{\text{正}} - v_{\text{逆}}$ で求める。 $0.00400 - 0.00100 = 0.00300$ したがって、正味 A 減少速度と B 増加速度はともに、 $0.00300\,\mathrm{mol\,L^{-1}\,s^{-1}}$ である。

**2.**
動的平衡である。 正反応速度と逆反応速度が等しく、どちらも 0 ではないためである。 反応は停止していない。

正反応と逆反応は同時に続いている。

**例題 2**

A⇄B の反応について、閉じた一定温度・一定体積の容器で A だけを入れて反応を進めた。この系では A⇄B のみが起こり、正反応と逆反応はいずれも進んでいる。

十分時間が経過した後、濃度は $[A] = 0.040\,\mathrm{mol\,L^{-1}}$ $[B] = 0.060\,\mathrm{mol\,L^{-1}}$ で一定になった。

1. 濃度が一定になった理由を説明せよ。
2. A と B の濃度が等しいことが平衡条件になるか説明せよ。

### 解答・解説

**1.**
正反応と逆反応が同じ速度で進むようになったため、全体として濃度変化がなくなった。

**2.**
ならない。 平衡では正反応速度と逆反応速度が等しいことが条件であり、A と B の濃度が等しいとは限らない。

## 演習問題

**演習 1**

温度・体積が一定の閉じた系で、反応

A⇄B のみが進む場合について考える。

1. 動的平衡での正反応速度と逆反応速度の関係を、0 との比較も含めて説明せよ。
2.「平衡では A と B の濃度は等しい」という主張は正しいか。理由とともに説明せよ。

**演習 2**

図「濃度が一定でも、分子の変換は続く。」を参照する。

閉じた一定温度・一定体積の A⇄B について、図の二時刻を比較する。

1. 図から各時刻の A と B の数を読み取り、それぞれの増減を答えよ。
2. 図の両方向の変換数を用いて、個数が一定でも反応停止とはいえない理由を説明せよ。

**演習 3**

閉じた一定温度・一定体積の系で、最初 A だけを入れ、A⇄B のみが進む反応を考える。

図「正反応と逆反応の速度が等しくなる。」を参照する。

1. 平衡に近づくと正反応速度が変化する理由を説明せよ。
2. 逆反応速度が増加する理由を説明せよ。

**演習 4**

**1.**

次の文を訂正せよ。

「平衡では濃度が一定なので、反応は完全に止まっている。」

## 演習問題の解答・解説

### 解答 1

**1.**
動的平衡では、$v_{\text{正}} = v_{\text{逆}} > 0$ である。 正反応速度と逆反応速度は等しいが、0 ではないため反応は続いている。

**2.**
誤りである。 平衡では各濃度が時間的に一定になるが、A と B の濃度が互いに等しい必要はない。等しいのは正反応速度と逆反応速度である。

### 解答 2

**1.**
両時刻とも A は 4 個、B は 6 個であり、それぞれの増減は 0 である。

**2.**
A から B への変換が 2 個、B から A への変換が 2 個起こるため、全体の個数は変化しない。 しかし、分子の変換は続いており、反応が停止しているわけではない。 図は平均的な変化を表す模式例である。

### 解答 3

**1.**
A が減少すると、正反応に使われる A が少なくなるため、正反応速度は小さくなる。

**2.**
B が生成されることで、B から A へ変化する逆反応の機会が増えるためである。

©ミライコーチング

## 解答 4

**1.**
誤りである。 平衡では濃度が一定になるが、正反応と逆反応はともに進んでいる。 濃度変化が 0 なのは、正反応と逆反応の速度が等しくつり合っているためである。

©ミライコーチング