# 高校化学 L01 第 76 講 溶解度曲線と再結晶

**対象：高 2 相当**

**この講でできるようになること**

- 溶解度曲線から、指定した温度での溶解度を読み取れる。
- 水の質量を基準に、冷却によって析出する固体の質量を求められる。
- 水を蒸発させたときの水・溶質・析出固体の質量を区別して求められる。
- 温度による溶解度の差を利用する再結晶の考え方を説明できる。

## 1. 溶解度曲線を読む

### 横軸は温度、縦軸は水 100g あたりの溶解度

溶解度は温度によって変化するため、その関係をグラフに表すことができる。**溶解度曲線**では、横軸に温度、縦軸に水 100 g に溶けうる溶質の最大質量をとる。

次の曲線は、計算練習のために定めた仮想的な無水固体 X の値を表している。指定した点の間は直線で結んだ概念図であり、実在物質の測定値ではない。

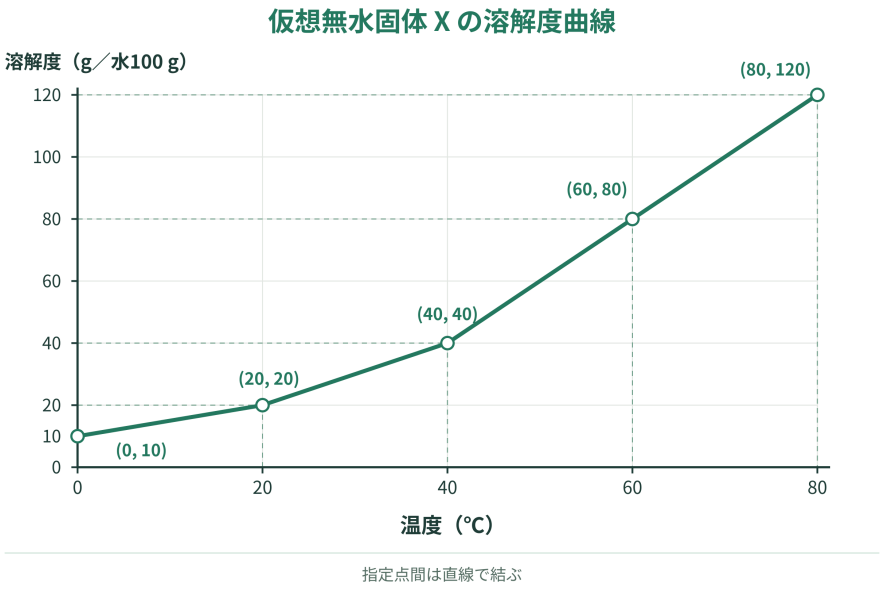



**図 1**　仮想固体 X の溶解度と温度の関係。

例えば、この曲線から 20 ℃では水 100 g に X が最大 20 g、60 ℃では最大 80 g 溶けると読み取れる。水の質量が 100 g でなければ、水の量に比例させて最大溶解量を求める。

**溶解度の基準は水の質量**

溶解度が 40 g というとき、その基準は「溶液 100 g」ではなく「水 100 g」である。したがって、水 50 g なら同じ温度で溶けうる最大量は 40 g の半分となる。

未溶解固体や析出した結晶は液相の溶液質量には含めない。

©ミライコーチング

## 2. 冷却すると析出する場合

### 冷却前後の最大溶解量を比べる

高い温度で溶けていた溶質も、冷却によって溶解度が小さくなると、すべてを溶液中に保てなくなる場合がある。このとき、冷却後の最大溶解量を超えた分が固体として析出する。

冷却だけで水の質量が変わらない場合、析出量は次の考え方で求める。

$$\text{析出量} = \text{冷却前に溶けていた量} - \text{冷却後に溶けうる最大量}$$

ただし、この差が 0 以下なら析出量は 0 である。温度を下げただけで必ず結晶が生じるわけではなく、初めにどれだけ溶質が溶けていたかも確認する。

## 3. 飽和溶液の質量から水と溶質を分ける

### 飽和溶液 m g を水と溶質へ分ける

ある温度での溶解度を $S$ g とすると、飽和溶液では水 100 g に溶質 $S$ g が溶けている。したがって、飽和溶液全体の質量は $100 + S$ g に対応する。

飽和溶液の質量が $m$ g なら、水と溶質の質量は次のように求められる。

$$\text{水の質量} = m \times \frac{100}{100 + S}$$

$$\text{溶質の質量} = m \times \frac{S}{100 + S}$$

冷却だけを行うなら水の質量は変化しないため、まずこの方法で水の質量を求め、その水に冷却後何 g まで溶けるかを計算する。

## 4. 水を蒸発させる場合

### 水と溶質を別々に追う

水だけを蒸発させる操作では、溶媒である水の質量が減る一方、この講で扱う固体 X は蒸発しないものとする。そのため、水の減少後に溶かしておける X の最大量を改めて求める必要がある。

最大溶解量を超えた X は固体として析出する。計算では「水」「液相中に溶けている X」「析出した X」を分けて質量収支を追う。

## 5. 再結晶

**再結晶**

温度による溶解度の違いを利用し、高温で溶かした物質を冷却して結晶として取り出す方法を**再結晶**という。

冷却後に生じた固体は、ろ過などによって液体から分けることができる。溶質の一部は冷却後の溶液にも残るため、すべてを 100% 結晶として回収できるとは限らない。



**図 2**　硝酸カリウム水溶液を冷却した後の結晶のイメージ。

### 再結晶と精製

再結晶は、目的物質と不純物の溶解度の違いなどを利用して精製に用いることができる。ただし、不純物の性質に応じた条件の選択が必要であり、冷却するだけで必ず完全に純粋になるわけではない。

この実験イメージは硝酸カリウムの結晶の姿を示すためのものであり、本講の計算に用いる仮想固体 X とは別の物質である。

## 例題

**例題 1**

共通の溶解度曲線で示した仮想固体 X を用いる。60 ℃の水 100 g に X 80 g が溶けた飽和溶液を、水を失わずに 20 ℃まで冷却した。

各操作後は十分に混ぜて時間を置き、指定温度に達しているものとする。X は無水固体で蒸発せず、飛散・漏れ・反応はなく、過飽和は考えない。

1. 20 ℃で溶液中に溶けたまま残る X の質量と、析出する X の質量を求めよ。
2. 20 ℃での液相の質量と、容器内にある物質全体の質量を求め、質量保存との関係を説明せよ。

**解答・解説**

**1.**
曲線から、20 ℃での X の溶解度は水 100 g あたり 20 g である。水は 100 g のままなので、20 ℃で溶けたまま存在できる X は 20 g である。

初めに 80 g 溶けていたため、析出量は $80 - 20 = 60\,\mathrm{g}$ となる。答えは**溶けたまま 20 g、析出 60 g** である。

**2.**
液相には水 100 g と溶けた X 20 g が含まれるため、液相の質量は $100 + 20 = 120\,\mathrm{g}$ である。析出した X 60 g は液相の質量には含めない。

水や X の損失はないため、容器内の全質量は $120+60=180\,\mathrm{g}$ で、冷却前の $100+80=180\,\mathrm{g}$ と一致する。答えは**液相 120 g、全体 180 g** である。

**例題 2**

共通の溶解度曲線で示した仮想固体 X について、60 ℃の飽和溶液 90.0 g を水の損失なしに 20 ℃まで冷却する。

X は無水固体で、蒸発・飛散・漏れ・反応はなく、各操作後に十分な時間を置くものとする。

1. 冷却前の飽和溶液 90.0 g に含まれる水と X の質量をそれぞれ求めよ。
2. 20 ℃まで冷却したときに析出する X の質量と、液相の質量を求めよ。

**解答・解説**

**1.**
60 ℃での溶解度は水 100 g あたり 80 g なので、水 100 g と X 80 g で飽和溶液 180 g になる。

90.0 g はその半分なので、水は $90.0\times\frac{100}{180}=50.0\,\mathrm{g}$、X は $90.0\times\frac{80}{180}=40.0\,\mathrm{g}$ である。答えは**水 50.0 g、X 40.0 g** であり、飽和溶液 90.0 g を水 90.0 g として扱ってはいけない。

**2.**
20 ℃では水 100 g に X 20 g まで溶けるので、水 50.0 g には $20\times\frac{50.0}{100}=10.0\,\mathrm{g}$ まで溶ける。

初めに X は 40.0 g あるため、析出量は $40.0-10.0=30.0\,\mathrm{g}$ である。液相は水 50.0 g と溶けた X 10.0 g からなり、答えは**析出 30.0 g、液相 60.0 g** である。

**例題 3**

共通の溶解度曲線で示した仮想固体 X について、40 ℃の飽和溶液 140 g を考える。この飽和溶液には水 100 g と X 40 g が含まれている。

40 ℃を保ったまま水だけを 25.0 g 蒸発させ、その後十分に時間を置く。X は蒸発せず、飛散・漏れ・反応はないものとする。

1. 水を蒸発させた後の水の質量と、40 ℃で液相中に溶けていられる X の質量を求めよ。
2. 析出する X の質量と、最終的な液相の質量を求めよ。

**解答・解説**

**1.**
水 100 g から 25.0 g を蒸発させるので、残る水は $100-25.0=75.0\,\mathrm{g}$ である。 40 ℃の溶解度は水 100 g あたり 40 g なので、水 75.0 g には $40\times\frac{75.0}{100}=30.0\,\mathrm{g}$ の X まで溶けていられる。答えは**水 75.0 g、溶けた X 30.0 g** である。

**2.**
X は初め 40 g あり、蒸発しない。液相中に 30.0 g までしか溶けていられないため、析出量は $40.0-30.0=10.0\,\mathrm{g}$ である。

液相は水 75.0 g と溶けた X 30.0 g からなるので、質量は $75.0+30.0=105\,\mathrm{g}$ である。答えは**析出 10.0 g、液相 105 g** となる。

©ミライコーチング

**例題 4**

共通の溶解度曲線で示した仮想固体 X について、60 ℃の飽和溶液 180 g を用いる。初めの飽和溶液には水 100 g と X 80 g が含まれている。

次の二段階の操作を行う。

- 第一段階：60 ℃を保ったまま、水 20.0 g だけを蒸発させて十分に時間を置く。
- 第二段階：第一段階で生じた固体を取り除かず、追加の水損失なしに 20 ℃まで冷却して十分に時間を置く。




**図 3**　水の蒸発後に冷却する二段階の操作。

1. 第一段階で析出する X の質量と、そのときの液相の質量を求めよ。液相中の水と X の質量も示せ。
2. 第二段階で新たに析出する X の質量、最終的な結晶の総質量、最終液相の質量を求めよ。

## 解答・解説

**1.**

水 100 g から 20.0 g が蒸発するので、水は 80.0 g 残る。60 ℃の溶解度は水 100 g あたり 80 g なので、水 80.0 g には $80 \times \frac{80.0}{100} = 64.0\,\mathrm{g}$ の X まで溶ける。

初めの X は 80 g なので、第一段階の析出量は $80.0 - 64.0 = 16.0\,\mathrm{g}$ である。液相は水 80.0 g と X 64.0 g からなり、答えは**析出 16.0 g、液相 144 g（水 80.0 g、X 64.0 g）**である。

**2.**

20 ℃では水 80.0 g に X が $20 \times \frac{80.0}{100} = 16.0\,\mathrm{g}$ まで溶ける。第一段階の液相には 64.0 g の X が溶けているため、冷却によって新たに析出する量は $64.0 - 16.0 = 48.0\,\mathrm{g}$ である。

第一段階の結晶 16.0 g も残っているので、最終的な結晶の総質量は $16.0 + 48.0 = 64.0\,\mathrm{g}$ となる。最終液相は水 80.0 g と X 16.0 g からなり **96.0 g** で、全体は $64.0 + 96.0 = 160\,\mathrm{g}$ と初めの 180 g から蒸発した水 20.0 g を引いた値に一致する。

©ミライコーチング

# 演習問題

以下の演習では、すべて本文の共通の溶解度曲線で示した仮想的な無水固体 X を用いる。X は蒸発せず、飛散・漏れ・反応はなく、各操作後に十分に混ぜて時間を置き、過飽和は考えない。水の蒸発を指定していない操作では水の質量は変化しないものとする。

**演習 1**

60 ℃で、水 50.0 g に X 40.0 g が溶けた飽和溶液を、水を失わず 40 ℃まで冷却する。

1. 40 ℃で溶けたまま残る X の質量と、析出する X の質量を求めよ。
2. 冷却後の液相の質量を求めよ。また、計算で溶解度の基準として用いるのが溶液の質量ではなく水の質量である理由を説明せよ。

**演習 2**

40 ℃の X の飽和溶液 70.0 g を、水の損失なしに 20 ℃まで冷却する。

1. 冷却前の飽和溶液に含まれる水と X の質量をそれぞれ求めよ。
2. 20 ℃まで冷却したときの X の析出量と、液相の質量を求めよ。

**演習 3**

20 ℃の X の飽和溶液 120 g から、温度を 20 ℃に保ったまま水だけを 20.0 g 蒸発させる。

1. 蒸発後に残る水の質量と、その水に 20 ℃で溶けていられる X の最大質量を求めよ。
2. 析出する X の質量と、最終的な液相の質量を求めよ。

**演習 4**

60 ℃の水 100 g に X 15.0 g を加えると、すべて溶けて不飽和溶液となった。この溶液を水の損失なしに 20 ℃まで冷却する。

1. 冷却によって析出する X の質量と、20 ℃での溶液の状態を答えよ。
2. 20 ℃で、この溶液に X をあと何 g 加えるとちょうど飽和するか求めよ。また、「溶液を冷却すれば必ず固体が析出する」という説明の誤りを述べよ。

**演習 5**

80 ℃の X の飽和溶液 110 g を、水の損失なしに 40 ℃まで冷却する。

1. 冷却前の飽和溶液に含まれる水と X の質量をそれぞれ求めよ。
2. 40 ℃まで冷却したときに生じる結晶の質量と、液相の質量を求めよ。また、X をすべて結晶として回収できない理由を説明せよ。

©ミライコーチング

**演習 6**

60 ℃の X の飽和溶液 90.0 g について、次の操作を行う。

- 60 ℃を保ったまま水 10.0 g だけを蒸発させ、十分に時間を置く。
- 析出した固体を取り除かず、追加の水損失なしに 20 ℃まで冷却し、十分に時間を置く。

1. 初めの飽和溶液 90.0 g に含まれる水と X の質量を求めよ。
2. 水を 10.0 g 蒸発させた段階で析出する X の質量と、液相の質量を求めよ。液相中の水と X の質量も示せ。
3. その後 20 ℃まで冷却したとき、新たに析出する X の質量、最終的な結晶の総質量、最終液相の質量を求めよ。

## 演習問題の解答・解説

### 解答 1

**1.**

40 ℃での溶解度は水 100 g あたり 40 g なので、水 50.0 g には $40 \times \frac{50.0}{100} = 20.0\,\mathrm{g}$ の X まで溶ける。初めに 40.0 g 溶けているため、$40.0 - 20.0 = 20.0\,\mathrm{g}$ が析出する。答えは**溶けたまま 20.0 g、析出 20.0 g** である。

**2.**

液相には水 50.0 g と溶けた X 20.0 g が含まれるため、その質量は $50.0 + 20.0 = 70.0\,\mathrm{g}$ である。

溶解度は水 100 g に対する最大溶解量として定義されているため、計算の基準には水の質量 50.0 g を用いる。溶液全体の質量を水の質量として扱ってはいけない。

### 解答 2

**1.**

40 ℃の溶解度は水 100 g あたり 40 g なので、飽和溶液は水 100 g と X 40 g の合計 140 g に対応する。 70.0 g はその半分なので、水は **50.0 g**、X は **20.0 g** である。

**2.**

20 ℃では水 50.0 g に $20 \times \frac{50.0}{100} = 10.0\,\mathrm{g}$ の X まで溶ける。 したがって、析出量は $20.0 - 10.0 = 10.0\,\mathrm{g}$ である。液相は水 50.0 g と X 10.0 g からなるため、答えは**析出 10.0 g、液相 60.0 g** である。

## 解答 3

### 1.

20 ℃の溶解度は水 100 g あたり 20 g なので、初めの飽和溶液 120 g は水 100 g と X 20 g からなる。水だけを 20.0 g 蒸発させると、残る水は $100-20.0=80.0\,\mathrm{g}$ である。20 ℃では水 80.0 g に $20\times\frac{80.0}{100}=16.0\,\mathrm{g}$ の X まで溶けていられる。

### 2.

初めの X は 20.0 g で蒸発しないため、析出量は $20.0-16.0=4.0\,\mathrm{g}$ である。 最終液相には水 80.0 g と X 16.0 g が含まれるので、その質量は $80.0+16.0=96.0\,\mathrm{g}$ となる。答えは**析出 4.0 g、液相 96.0 g** である。

## 解答 4

### 1.

20 ℃では水 100 g に X が最大 20 g まで溶ける。初めに溶けている X は 15.0 g なので、冷却後もすべて溶けたままであり、析出量は **0 g** である。

15.0 g は最大溶解量 20.0 g より少ないため、20 ℃でも**不飽和溶液**である。

### 2.

20 ℃でさらに溶かせる X は $20.0-15.0=5.0\,\mathrm{g}$ なので、答えは **5.0 g** である。

冷却によって溶解度が小さくなっても、初めに溶けている量が冷却後の最大溶解量以下なら析出は起こらない。したがって、冷却しただけで必ず固体が析出するわけではない。

## 解答 5

### 1.

80 ℃の溶解度は水 100 g あたり 120 g なので、飽和溶液は水 100 g と X 120 g の合計 220 g に対応する。 110 g はその半分なので、初めの飽和溶液には**水 50.0 g、X 60.0 g** が含まれる。

### 2.

40 ℃では水 50.0 g に $40\times\frac{50.0}{100}=20.0\,\mathrm{g}$ の X まで溶けるため、析出する結晶は $60.0-20.0=40.0\,\mathrm{g}$ である。

液相には水 50.0 g と X 20.0 g が含まれるので、その質量は 70.0 g となる。冷却後も 20.0 g の X が溶液中に残るため、答えは**結晶 40.0 g、液相 70.0 g** であり、X をすべて結晶として回収できるわけではない。

©ミライコーチング

## 解答 6

### 1.

60 ℃の溶解度は水 100 g あたり 80 g なので、飽和溶液は水 100 g と X 80 g の合計 180 g に対応する。 90.0 g はその半分なので、初めの飽和溶液には**水 50.0 g、X 40.0 g** が含まれる。

### 2.

水 10.0 g を蒸発させると、残る水は $50.0 - 10.0 = 40.0\,\mathrm{g}$ である。60 ℃では水 40.0 g に $80 \times \frac{40.0}{100} = 32.0\,\mathrm{g}$ の X まで溶ける。

初めの X は 40.0 g なので、析出量は $40.0 - 32.0 = 8.0\,\mathrm{g}$ である。液相は水 40.0 g と X 32.0 g からなり、答えは**析出 8.0 g、液相 72.0 g（水 40.0 g、X 32.0 g）**である。

### 3.

20 ℃では水 40.0 g に $20 \times \frac{40.0}{100} = 8.0\,\mathrm{g}$ の X まで溶ける。蒸発段階の液相には X 32.0 g が溶けているため、冷却によって新たに析出する量は $32.0 - 8.0 = 24.0\,\mathrm{g}$ である。

蒸発段階で生じた 8.0 g も残っているので、最終的な結晶の総質量は $8.0 + 24.0 = 32.0\,\mathrm{g}$ となる。最終液相は水 40.0 g と X 8.0 g からなる **48.0 g** で、全体は $32.0 + 48.0 = 80.0\,\mathrm{g}$ と初めの 90.0 g から蒸発した水 10.0 g を引いた値に一致する。