高校化学 L01 第 7 講 クロマトグラフィーによる分離

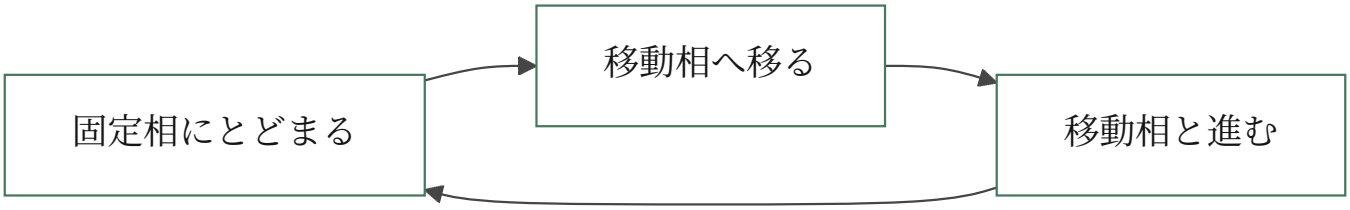
この講でできるようになること

- 固定相と移動相の役割を区別し、クロマトグラフィーで混合物が分離する理由を説明できる。
- 成分ごとの移動距離の違いを、固定相へのとどまりやすさと移動相への移りやすさから説明できる。
- 原点・成分スポットの中心・溶媒先端の位置から Rf を求め、その意味を説明できる。

クロマトグラフィーではなぜ成分が分かれるのか

同じ溶媒と一緒に進むのに、なぜ別々の位置へ分かれるのか

混合物を溶媒で運ぶと、すべての成分が同じ速さで進むとは限らない。各成分は、移動する途中で「その場にとどまりやすい状態」と「溶媒とともに移動しやすい状態」の間を行き来する。
クロマトグラフィーでは、成分をその場にとどめる側を**固定相**、成分を運ぶ側を**移動相**という。



ある成分が固定相に強くとどまりやすければ、移動相と一緒に進む時間が短くなり、移動距離は小さくなりやすい。反対に、固定相にとどまりにくく移動相へ移りやすい成分は、移動相と一緒に進む時間が長くなり、移動距離は大きくなりやすい。
したがって、分離の中心は**成分ごとに固定相と移動相への関わり方が異なること**である。「軽い成分ほど速く進む」「色によって進む順番が決まる」という仕組みではない。また、溶媒への溶けやすさだけで移動距離がすべて決まるわけでもなく、固定相へのとどまりやすさとの両方が関係する。

固定相と移動相

固定相は、成分をその場にとどめる側としてはたらく相である。
移動相は、固定相に対して移動しながら成分を運ぶ相である。
紙クロマトグラフィーでは、紙側で成分を保持する部分が固定相としてはたらき、紙を上昇する展開溶媒が移動相となる。

紙クロマトグラフィーの展開

展開前と展開後を見る

紙クロマトグラフィーでは、紙に試料を付けた位置を**原点**という。紙の下端を展開溶媒に接触させると、溶媒が紙を上昇し、試料に含まれる成分も移動する。
このとき、原点は溶媒の液面より上に置く。原点が液面につかると、試料が展開前に溶媒中へ流れ出してしまうからである。
展開後には、混合物中の成分が異なる高さの**スポット**として分かれて見えることがある。また、展開溶媒が到達した最も先の位置を**溶媒先端**という。

©ミライコーチング

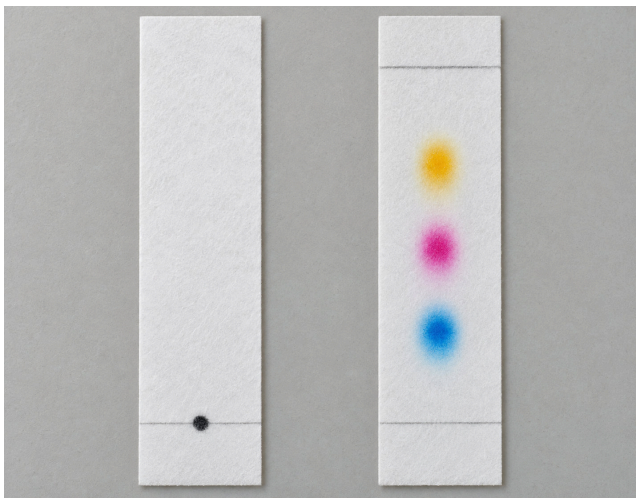


図 2　紙クロマトグラフィーの展開前後のイメージ

左は展開前で、原点に試料が付いている。右は展開後で、成分ごとの移動しやすさの違いによってスポットが異なる高さに分かれている。右の紙の下側の線が原点線、上側の線が溶媒先端を記録した線である。
原点を示す線には鉛筆を用いる。インクで線を引くと、インクの成分が展開溶媒に溶けて移動し、試料の結果に混ざるおそれがあるためである。展開を終えたら、溶媒先端は溶媒が乾いて位置が分からなくなる前に記録する。

実験上の注意

クロマトグラフィーで用いる溶媒には取り扱いに注意が必要なものがある。実験は学校などの適切な設備で指示に従って行い、未知のインクや有機溶媒を用いた家庭での実験は行わない。

移動距離から分離を考える

移動距離の違いが何を表すか

同じ紙、同じ展開溶媒、同じ温度などの条件で比較すると、より遠くまで移動した成分は、その条件では固定相にとどまる割合が小さく、移動相とともに進みやすかったと考えられる。
逆に、原点の近くに残った成分は、その条件では固定相にとどまりやすかったと考えられる。
ただし、移動距離は物質だけで一意に決まる値ではない。展開溶媒、固定相、温度などの条件が変われば、同じ物質でも移動のしかたが変わることがある。

例題 1

同じ条件で紙クロマトグラフィーを行ったところ、混合物中の成分 X は原点の近くに、成分 Y はそれより高い位置にスポットをつくった。
成分 X と成分 Y の移動距離に差が生じた理由を、固定相と移動相という語を用いて説明せよ。

解答・解説

成分 X と成分 Y では、固定相へのとどまりやすさと移動相への移りやすさが異なるためである。
成分 X は成分 Y より固定相にとどまりやすく、移動相とともに進む時間が短かったため、移動距離が小さくなったと考えられる。一方、成分 Y は固定相にとどまりにくく、移動相とともに進みやすかったため、より遠くまで移動したと考えられる。

©ミライコーチング

この結果だけから「X の方が重い」「Y の方が軽い」と判断することはできない。また、スポットの色だけから一般的な移動順序を決めることもできない。

Rf で移動の程度を表す

Rf

Rf は、ある成分が溶媒先端に対してどの程度移動したかを表す比である。
Rf は次のように求める。

$$Rf = \frac{\text{原点から成分スポットの中心までの距離}}{\text{原点から溶媒先端までの距離}}$$

分子と分母は、どちらも**同じ原点から測る**。距離には同じ単位を用いるため、Rf には単位がない。
通常の展開では、成分スポットは原点と溶媒先端の間にあるため、Rf は 0 から 1 の範囲になる。

例題 2

ある紙クロマトグラフィーについて、原点から溶媒先端までの距離が 6.0 cm、原点から成分 A のスポットの中心までの距離が 3.0 cm であった。
成分 A の Rf を求めよ。また、Rf を求めるときの距離の測り方を説明せよ。



図 3　原点からの移動距離（cm）

O は原点、A は成分スポットの中心、F は溶媒先端を表す。

解答・解説

Rf は
$Rf = \frac{3.0}{6.0} = 0.50$
となる。
したがって、成分 A の Rf は **0.50** である。
Rf の分子には原点から成分スポットの**中心**までの距離、分母には同じ原点から溶媒先端までの距離を用いる。

Rf を使った比較

Rf が同じなら同じ物質か

Rf を用いると、移動距離そのものではなく、溶媒先端に対する移動の割合を比較できる。同じ条件で既知の標準試料と未知試料を展開し、Rf が近ければ、未知試料を考える手掛かりになる。

©ミライコーチング

Rf は展開溶媒、固定相、温度などで変化するため、これらの条件をそろえて比較する。
異なる物質でも同じ Rf を示すことがあるため、同一物質かどうかの確認には別の情報も必要である。また、1 つのスポットに複数の成分が重なっていることもある。

演習問題

演習 1

次の問いに答えよ。
(1) クロマトグラフィーにおいて、成分をその場にとどめる側の相を何というか。また、成分を運ぶ側の相を何というか。
(2) 紙クロマトグラフィーで、展開溶媒が果たす役割を説明せよ。

演習 2

紙クロマトグラフィーの操作について、次の問いに答えよ。
(1) 原点を展開溶媒の液面より上に置く理由を説明せよ。
(2) 原点線を鉛筆で記し、展開後に溶媒先端を乾く前に記録する理由を、それぞれ説明せよ。

演習 3

同じ紙、同じ展開溶媒、同じ温度で、混合物中の成分 P と Q を展開した。成分 P のスポットは原点に近く、成分 Q のスポットは溶媒先端に近い位置に現れた。
(1) 成分 P と Q のうち、この条件で移動相とともに進みやすかった成分を答えよ。
(2) 「成分 Q が成分 P より遠くまで移動したのは、Q の方が軽い物質だからである」という説明が適切でない理由を説明せよ。

演習 4

次の数値は、ある紙クロマトグラフィーについて設定した問題条件である。
原点から溶媒先端までの距離を 8.0 cm とする。
(1) 原点から成分 B のスポットの中心までの距離が 2.0 cm であった。成分 B の Rf を求めよ。
(2) 原点から成分 C のスポットの中心までの距離が 6.0 cm であった。成分 C の Rf を求め、B と C のどちらがこの条件で移動相とともに進みやすかったと考えられるか答えよ。

演習 5

同じ固定相、同じ展開溶媒、同じ温度で、標準試料 S と未知試料 U を展開した。次の数値は問題条件として与えたものである。
標準試料 S の Rf は 0.62、未知試料 U の Rf は 0.62 であった。
(1) この結果から、未知試料 U についてどのようなことがいえるか説明せよ。
(2) 未知試料 U についてスポットが 1 つだけ観察された。これだけを根拠に「U は必ず純物質である」と断定してよいか答え、理由を説明せよ。

©ミライコーチング

演習問題の解答・解説

解答 1

(1) 成分をその場にとどめる側は**固定相**、成分を運ぶ側は**移動相**である。
(2) 紙クロマトグラフィーでは、展開溶媒が紙を移動しながら試料中の成分を運ぶ。したがって、展開溶媒は移動相としてはたらく。
成分ごとに固定相へのとどまりやすさと移動相への移りやすさが異なるため、同じ展開溶媒で運ばれていても移動距離に差が生じる。

解答 2

(1) 原点が液面につかると、試料が展開前に溶媒中へ直接溶け出し、紙の上で適切に分離できなくなるおそれがあるためである。
(2) 原点線を鉛筆で記すのは、インクで記すとインク中の成分が展開溶媒に溶けて移動し、試料のスポットに混ざるおそれがあるためである。
溶媒先端を乾く前に記録するのは、展開溶媒が蒸発すると先端の位置が分からなくなり、原点から溶媒先端までの距離を正しく確認できなくなるためである。

解答 3

(1) **成分 Q** である。
Q は P より遠くまで移動しているため、この条件では P より固定相にとどまりにくく、移動相とともに進みやすかったと考えられる。
(2) クロマトグラフィーでの移動距離は、単純に物質の重さや分子の質量だけで決まるものではないためである。
成分ごとの移動距離の違いは、固定相へのとどまりやすさと移動相への移りやすさの違いによって生じる。したがって、移動距離だけから「遠くまで進んだ物質ほど軽い」と判断することはできない。

解答 4

(1) 成分 B について、
$Rf = \frac{2.0}{8.0} = 0.25$
したがって、Rf は **0.25** である。
(2) 成分 C について、
$Rf = \frac{6.0}{8.0} = 0.75$
したがって、Rf は **0.75** である。
同じ条件では、C の方が B より大きい Rf を示しているため、C の方が固定相にとどまりにくく、移動相とともに進みやすかったと考えられる。

©ミライコーチング

解答 5

(1) 標準試料 S と未知試料 U は同じ条件で Rf がともに 0.62 であるため、未知試料 U が標準試料 S と同じ物質である可能性を考える手掛かりになる。
ただし、Rf が一致したことだけで、U と S が同一物質であると断定することはできない。異なる物質が同じ条件で近い Rf を示す場合があるためである。
(2) **断定してはいけない**。
スポットが 1 つだけ観察されたことは、その条件では複数の成分を別々のスポットとして確認できなかったことを示すにすぎない。複数の成分が同じ位置付近まで移動して重なっている可能性などもあるため、1 つのスポットだけを根拠に必ず純物質であるとはいえない。

©ミライコーチング