

入門講座



高速向流クロマトグラフィー

北 爪 英 一

1 はじめに

向流クロマトグラフィー (counter current chromatography, CCC) という言葉はまだあまり一般になじみがないかも知れないが、一言でいえば、「細い中空のチューブをカラムとして用い、固定相として、多量の溶液を用いることができる高速液体クロマトグラフィー (HPLC)」と考えることができる。そのため、通常の CCC は HPLC にない、極めてユニークな特徴を持っている。すなわち溶液を固定相としているので、カラムを通ることによる溶質の変性や不可逆的な吸着、損失などがない。

また、通常のクロマトグラフィーと同様の使い方だけでなく、装置の使い方や溶媒系を工夫すれば、機器分析のための前処理装置や、濃縮装置、あるいはマイクロ抽出装置として使用できる。また、分配平衡などの界面での物質移動の基礎研究にも役立つと思われる。しかし、国内では装置が広く行きわたっていないこともあり、いまだこの方法について十分な理解が得られていない。文献を読んでいるとアルキメデスのスクリュウ効果 (Archimedian screw effect) などというあまり聞きなれない用語がよく登場する。また、高速型の CCC では、回転部にロータリーシールがいらない工夫がなされているが、その機構についても、

実物を見てみないとなかなか理解するのが難しい。

この講座では特に分析への応用範囲が広いと思われる高速型の CCC を中心として、細いチューブの中で一体何が起きているのか、また CCC は分析化学的にどのような応用が可能なのか、ということも含めて、できるだけ平易に解説を試みようと思う。そのため、数式などはできるだけ使わないで説明したい。なお、更に深く知りたいと思われる読者は、巻末に挙げた成書や、*J. Chromatogr.*, *J. Liq. Chromatogr.* 誌などにおける CCC の特集号を参照していただきたい (今年も *J. Liq. Chromatogr.* 誌 Vol. 21 で特集が組まれる予定)。

2 どんな方法なのか

2.1 Craig の装置と向流分配の原理

分液漏斗をたくさん直列に並べ、抽出操作を順次繰り返して連続多段抽出操作 (向流分配法) を行う Craig の装置が 1950 年代に開発された。この装置は文字どおり分液漏斗を多数横につなげて並べたような構造をしており、巨大なスペースと時間を消費するという問題点はあったものの、完全な自動化が可能であったので、大量の分離、精製を必要とする分野で一時期広く使用された。しかし各種クロマトグラフィー、特に分取型のカラムクロマトグラフィーが普及するに従ってしだいに第一線で使用されることが少なくなった。

しかし、CCC による分離を理解するためには

Craig の装置による向流分配の原理を理解することから始めたほうが良い。Craig の装置ではバッチ抽出を何回も繰り返すのに対して、CCC では常に相互の液相が接しているの、静置によって二相を分離するわけではない。しかし二つの方法の原理には本質的な相違はないと考えられる。

図 1 に Craig の装置の原理を示す。多数の分液漏斗が直列に接続され、上相のみが次の分液漏斗に移動できるようになっている。各分液漏斗に水相のみが入っているとしよう。溶質は最初に 1 番の分液漏斗に導入され、次いで水相と同量の有機相と十分に混合、かくはんされる。完全に二相間での平衡が達成されたあと、装置が止まり、二相が上下に分離される。次に 1 の分液漏斗の上相が取り出され、分液漏斗 2 に注がれる。そして分液漏斗 2 の混合が始まる。1 の分液漏斗には新しい上相が注がれると同時にまた混合、かくはんされる。この操作が順次繰り返される。

今、上相と下相の量は等しいとしよう。最初の溶質の量が 1 g で、この二相系で溶質が上相と下相に 1:1 に分配されると、分配比は 1 ということになる（分配比 = 上相中の溶質濃度 / 下相中の溶質濃度）。そこで、最初分液漏斗 1 に 100% 入っていた溶質は繰り返し 1 回ごとに 50%, 25%, 12.5%, 6.25%, ……、というように順次半分に減っていく。それと同時に、分液漏斗 2, 3, 4, …… に有機相に分配された分だけ少しずつ移っていくことになる。表 1 に各分液漏斗に移

表 1 各分液漏斗に移動した溶質量と上相の移し換えの回数との関係

移し換え回数	分液漏斗番号					
	1	2	3	4	5	...
0	1.0					
1	0.50	0.50				
2	0.25	0.50	0.25			
3	0.125	0.375	0.375	0.125		
4	0.0625	0.25	0.375	0.25	0.0625	
⋮						

動した溶質量と上相の移し換え数との関係を示した。

表から分かるように、最初分液漏斗 1 に 100% あった溶質は、濃度の絶対値は低くなるもの、だんだん番号の大きい右方向の分液漏斗に移動していく。また、移し換えの回数が大きくなるに従って、溶質の分布はガウス分布に近づいていくことが知られている。

一方、分配比が極めて大きく、ほとんど 100% 上相の有機相に抽出される溶質（分配比が ∞ ）が混ざっていた場合、その溶質は常に溶媒が初めて運ばれてきた一番先頭分液漏斗に存在する。また、全く抽出されない溶質（分配比が 0）の場合は、常に 1 番分液漏斗に溶質が存在している。このような極端な場合でなくとも分配比に差があれば、溶質の移動に差が生じることになる。そこでそれぞれの溶質の相互分離が可能となる。

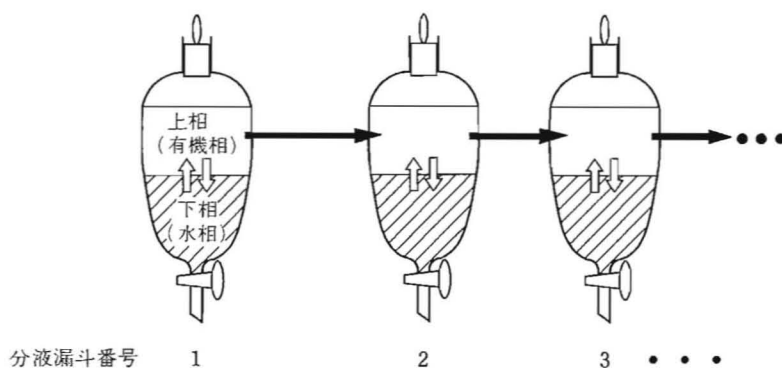


図 1 Craig の装置の基本原理解

2.2 向流クロマトグラフィーの特徴

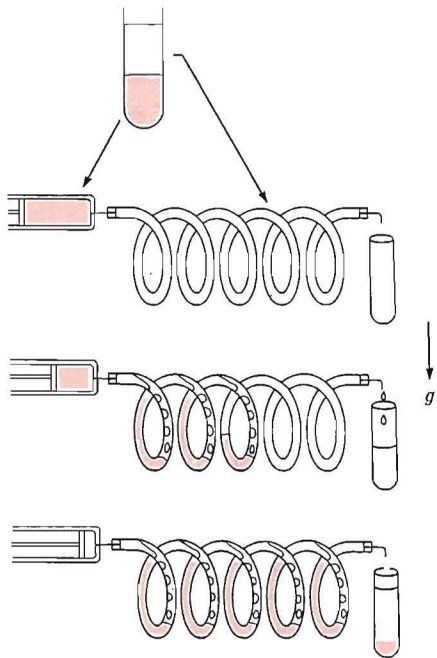
CCC と Craig の装置の一番大きな相違点は、CCC では移動相は止まることなく連続して流れている、ということである。そのために重要なことが二つ考えられる。一つはいかにして液体の固定相をカラムの内部に保持するかということであり、もう一つはいかにして分液漏斗で達成される以上の十分なかくはんを可能にするかである。高速 CCC では回転によって生じる強い“遠心力”と、らせん状のチューブが回転するとき生じる“アルキメデスのスクリュウ効果”と呼ばれる現象を効果的に利用している。

2.2.1 なぜカラム中に二相の一方が固定できるのか 図2は基本的な二つのモードによる CCC の原理を示している。左はコイルを固定している静置型の平衡系（流体静力学的平衡系）、右はコイルを回転する回転型の平衡系（流体動力学的平衡系）である。いずれの場合もお互いに混じり合うことが少ない、比重差のある二相の溶液系が用いられる。この場合、両モードとも図の上から下の方向に重力が働いていることに注意して

いただきたい。

(I) 静置型（流体静力学的平衡系）：静置型の場合、最初にコイル内は軽い液体（固定相の役目をする）で満たされている。ここでポンプで重い液体（移動相の役目をする）を左側からゆっくり流すと、コイルの1ターン（1巻き）の手前側では図にあるように重い液体は液滴となって軽い液体中を降下する。これは、試験管の上部から重い液体を少しずつ注いだ場合を考えると分かりやすい。コイルの下部までくると、重い液滴は一塊となって、軽い液体を押し上げて行く。つまり紙面奥側のコイル1巻きの半分は重い液体で満たされていく。これは試験管の下部から重い液体を導入している場合に相当する。コイルの各ターン全部についてこのような二相の平衡が達成されるまで上相（固定相）が出口から排出される（左図中央）。やがて全部のコイルで平衡が達成されると今度は下相（移動相）が出口から流れ始める。液滴が非常に小さければコイルの1巻きで二相の十分なかくはんと分離が起こる。その場合、これは Craig の装置の1個の分液漏斗にコイルの1

静置型(流体静力学平衡系)



回転型(流体動力学平衡系)

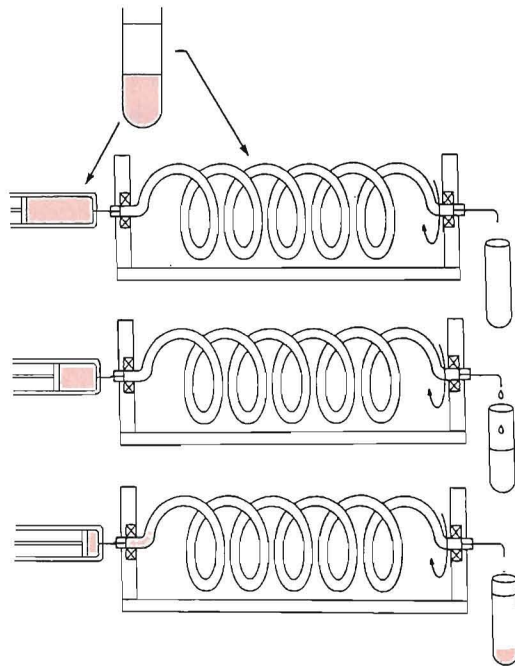


図2 CCC の基本的な二つのモード

巻きが相当すると考えることができる。一方、液体は連続的に流れるので、現象的には HPLC の場合と同様にコイル全体を 1 本のカラムと考えることができる。先端部から 2 種類以上の溶質を含む試料を導入すれば、それらの分配比に応じて移動速度が異なるので、相互分離が達成されることになる。コイルの巻き数が多くなれば、理論段数が増加するので、分離がよくなることは容易に想像がつく。この静置型の原理を通常の 1 g の重力下で利用したものに、液滴 CCC (droplet-CCC, DCCC) やロキユラー型 CCC (locular-CCC, LCCC) がある。また回転による強い遠心力場を利用したものにトロイダルコイル型 CCC (toroidal coil CCC) や遠心 CCC (centrifugal CCC, 又は centrifugal partition chromatography, CPC) があるがここでは詳細は省略する(参考文献 2)を参照}。

(II) 回転型 (流体動力学的平衡系) : それでは、コイルを 20~30 rpm の比較的ゆっくりした回転数で自転させるとどうということが起こるだろうか。自転による遠心力の加速度はコイルの半径を約 10 cm とした場合、約 0.1 g となり、重力加速度に比べてかなり小さい。図 2 の右側を見ていただきたい。最初にコイル内を軽い液体(上相)で満たした後、ポンプで重い液体を左側からゆっくり流してやる(右図中央)。すると左図の場合と異なりコイルが回っているのので、内部には複雑な力が働くことになる。この場合コイルの中に働く力は三つある。一つは重力であり(重力加速度 1 g)、これは左図の場合と同じである。後の二つは回転による遠心力、それと次節で述べるアルキメデスのスクリュウ効果による力である。これら三つの力の相互作用を受けるので、コイルの回転数によって二相溶媒は混合、分離されるとともに、カラム内の両相の存在比が変化する。ゆっくり回した場合、通常は図に示されるように相互によく混ざり、動的平衡状態が達成される。その場合、二相の比率はほとんど 1 : 1 (カラム内で約 50%) となる。平衡状態が末端まで進むと一番下の図のようになる。このようになると、コイル内を流れているのはポンプで押し出している移動相のみであり、約 50% の上相を固定相として

チューブの中に保持することができるようになる。一番下の図の場合で、急に回転を止めたとすると、コイルの各ターンで上相と下相が半分ずつ別れることになる。左の静置型の場合はコイル 1 巻きの約半分は固定相で満たされており、この部分は分離に寄与しないデッドスペースとなるが、右の回転型の場合はカラム全体にわたって上相と下相がよく混合されるので、カラム内のデッドスペースが少ない。その上、微小な液滴が形成されるので、効率の良い分離が可能となる。しかし、静置型の場合と異なり、出口で移動相にわずかに固定相が混入してくるのは避けられない。これは、溶質を吸光度検出する場合など、検出法によっては問題となる場合がある。このタイプに更に強い遠心力場を提供するために、自転させつつ更に公転を加える、いわゆるコイルプラネット方式が考案され、大幅な分離効率の向上と分離時間の短縮が可能になった。

2.2.2 アルキメデスのスクリュウ効果とは何か 図 3 は今から 2000 年以上前にアルキメデスが考案した、農業用揚水ポンプ(アルキメデスのスクリュウ)である。このポンプは、ねじの溝を非常に深くしたような構造を考えると分かりやすい。らせんの向きは、この場合右ねじの方向になっている。図の右上方から見てハンドルを右回りに回したとき、非常に軽い力で液体をくみ上げることができる。今、らせんの溝に沿って両端が開いている細いチューブを巻き付けたとしてみよう。多少流量は落ちるかもしれないが、全く同じ原理で水が右上方へくみ上げられる。この水がく

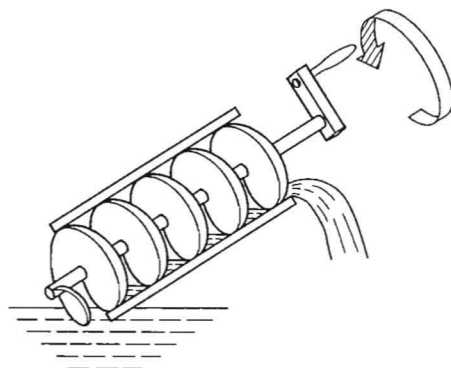


図 3 アルキメデスのスクリュウ

み上げられる効果が、いわゆるアルキメデスのスクリュウ効果である。この働きは回転型の CCC、特にコイルプラネットタイプの CCC に極めて重大な作用を及ぼす。ここで大事なことは、①らせんの回転、②重力の存在の 2 点である。アルキメデスのスクリュウ効果を実現するためには重力と、それに対して回転軸が一定の角度を持った回転の存在が必要である。ここでは重力加速度は $1g$ である。ゆっくり回すと、らせんの場合でもチューブの場合でも水はゆっくりと登っていく。らせんとチューブの大きな違いは、らせんの場合は回転の速度を上げていくとそれに応じて水揚げ量が増して行くのに対して、チューブの場合はチューブ内で遠心力が働くので、ある回転数以上、この場合は重力加速度に拮抗^{きっこう}するような加速度を与える回転数以上になると、水は遠心力でチューブ外壁に固定されてしまい、ポンプとしての役目を果たさなくなる。しかし、そのような場合を除いてはどちらの場合でも水は確実に移動していく。

2・2・3 カラムの方向はどのようにして決まるか 図 2 の回転型の場合、チューブ内の二相にアルキメデスのスクリュウ効果が働いている。コイルのらせんの向きに注意していただきたい。図のらせんの向きをねじの溝に対応して考えた場合、これは右ねじの溝にチューブを巻き付けた向きに相当するひねり方である。これは図 3 からも明らかのように、右回りに回すと中の物質（図では水）が右側に進んでいく。図 2 では左回りに回しているので、この場合は中に入っている物質は左方向に進んでいくことが分かる。つまり、コイルの回転に従ってチューブ内の物質はすべて左側に移動しようとする力を受けることになる。コイル下部に例えばパチンコ玉のような金属製の小さい球が入っていたとすると、回転に応じてそれは左に進んでいくことになる。コイル上部にわずかに気泡が入っていたとき、それはやはり左方向に進んでいく。この向きが移動相を導入する向きを考える場合に重要となる。図では左の方向から移動相を流している。ここで物質の移動する方向の末端（図では左側の端）をヘッド、逆の入り口をテールと呼んでいる。回転型の CCC におい

てはカラム（CCC ではチューブをカラムと呼ぶことが多い）内の固定相の保持が重要になる。それには 50% ずつ別れる二相のうち、一方が偏って移動してくれば好都合である。自転の回転数と二相との割合を調べた結果では、特定の回転数で、二相溶媒の種類によってはほとんど 100% の偏り（遠心分離のように一方のみヘッドに集まる）が生じることが見いだされた。回転数や溶液の密度差、粘度など種々の条件により、ヘッドに集まる相が逆転する場合もあるが、いずれにしろヘッドに集まる相（通常は上相）の中を通してテールに集まる相（通常は下相）をヘッド方向から流せば、固定相の保持が容易となる（ヘッドテールモード）。また、反対にテールの方からヘッドに集まる相を流してやることもできる（テールヘッドモード）。ここではより一般的なヘッドテールモードを考えることにする。

2・3 ロータリーシールフリー高速向流クロマトグラフ

回転型の CCC の場合、回転数が高くなるほど遠心力によるかくはんの効果が増すので分離の面で有利となる。また、アルキメデスのスクリュウ効果に関しても、回転数が増すほど大きくなるので、固定相の保持に有利と考えられる。しかし、ただ回転していただければ重力加速度が $1g$ で常に一定なので、外周方向の遠心力の影響が極めて大きくなった場合、遠心力のみが優先され、その効果に限界があると考えられる。強いアルキメデスのスクリュウ効果を得るためには、回転軸と直交する向きに強い g を必要とする。この問題を解決するためにコイル自体の回転（自転）だけでなく、コイル全体があたかも惑星運動のように公転を行うコイルプラネット型 CCC（高速 CCC）が開発された。

2・3・1 基本構造 図 4 に高速 CCC の最も基本的なタイプである J 型のカラム部分の模式図を示した。内径が mm オーダーの細いテフロンチューブが半径 r のドラムに巻かれている。ドラムの軸にはプラネタリーギアが取り付けられている。このギアは中心の固定軸に取り付けられた固定ギアとかみ合っており、ギアの比率は 1 : 1 に

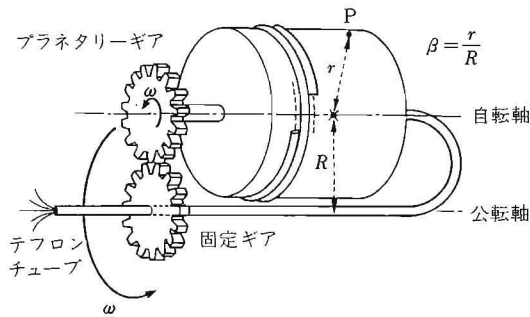
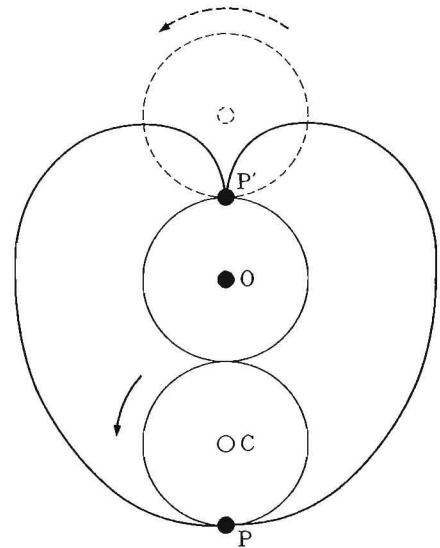


図4 高速CCC (J型) の原理

なっている。このように配置することにより、ドラムに回転を与えれば、ドラムは公転軸の回りを自転しつつ公転することになる。回転の角速度は自転、公転共に等しい (ω)。また、このように配置すると、都合の良いことにチューブがねじれないので回転シールがいなくなる (チューブのねじれについては後述する)。ここでドラムの自転半径 r とドラム自体の公転半径 R の比 r/R の値を β とする。 β は CCC の性能 (カラム内の固定相保持量) に大きな影響を与えることが知られている。なお、このほかにも J 型から発展した自転軸と公転軸が互いに直交している交軸型 CCC (X 型, XL 型) など、いろいろなタイプが考案されている。

2.3.2 カラムの軌跡 CCC が回転しているとき、ドラム上の点 P の軌跡を図5に示す。O は公転中心軸、C は自転の軸である。ここでは径の同じドラムが互いに接していて、中心軸 O のドラムは固定され、その周りを回転しながら自転軸 C のドラムが回転していくとしよう。その場合、図4で定義した β 値は 0.5 となる。いま一番下にある点 P は、ドラムが回転するにつれてハート型のような軌跡を描き、一番上では点 P' に重なる。P から P' に移動するまでに、ドラムは紙面上では 1 回転しているが、回転面上で観察した場合は半回転していることになる (ドラムを遊園地のコーヒーカップとして、床に対しての回転を考えると分かりやすい)。いずれにしても外部から観察する場合は、ドラム上の点 P の速度は図の一番下で最大で、P' では 0 であることから、ドラムが 1 周する間に点 P にはかなりの

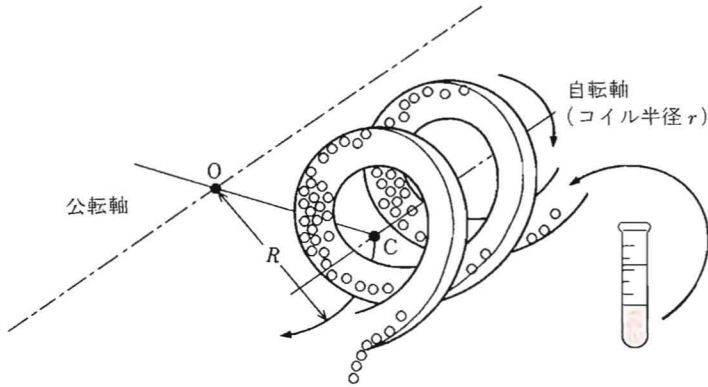


$\beta=0.5$, P: カラム上の1点, P': カラムが最上部にきたときに点Pが重なる位置, O: 公転中心軸

図5 カラム上の点Pにおける軌跡

加速度が働くことが分かる。分液漏斗をもしこのような軌跡で振ることができたとしたら、二相はものすごくよく混ざるものと思われる。遠心力は公転軸 O より一番離れた点で常に最大、一番近い点で最小となる。図の軌跡の場合は点 P で下向きに最大、点 P' で 0 となる。

2.3.3 カラム内部では何が起きているのか 図6に自転及び公転を同時に行っている高速型 CCC のカラム内部の様子を模式的に示した。遠心力の弱い公転軸側にコイルが向いたとき、二相は激しくかくはんされている。一方、遠心力の最も強い外周側では二相は下相を外側、上相を内側に向けてきれいに分離されている。コイルの内側約 1/4 周の範囲が特によくかくはんされている。図では右側がヘッド、左側がテールとなっており、ヘッドから下相が注入されている様子を示す。図6のように内部が動的平衡状態になっているとき、内部の様子は図2の右の回転型に似ている。但し、この場合は図2の重力に相当する遠心力の方位は常に一定ではなく、外周部ではコイルの外側方向を向いているが、強さとともに方位も場所によって変化している (図6の場合は高速で回転しているので重力の影響は無視す



R: 公転半径, C: 自転軸上の1点, O: 公転中心軸

図6 コイル内の二相の様子

る)。しかし、図2と図6のいずれの場合でも、加速度が働いている中でコイルの自転運動が行われていることには変わりがない。図6の場合は公転面で観察していると、公転1周に対して1回の自転が行われていることが分かる。そこで、コイルが公転軸の周りを1周してきたとき、かくはんされている部分と二相に別れている部分はコイルの1周期(1巻き)だけヘッドに向かって進むことになる。それに伴い、コイル上の1点では混合、分離のプロセスが1回繰り返される。例えば内側のかくはんされている任意の1点は、公転1回転でかくはん-分離-かくはんのプロセスが1回繰り返されることになる。高速型CCCでは、装置は通常数百rpm以上の回転数で回転しているので、激しくこのプロセスが繰り返されることになる。例えば800rpmの場合、カラムのどこでも1秒間に約13回かくはんと静置が繰り返される。このように二相が十分にかくはんされている状態で、移動相のみが流れている状態を作り出すことができるので、効率の良い分離や濃縮が可能となる。

2.3.4 なぜロータリーシールがいらないのか
高速CCCでは内径が0.数mmから数mm前後の細いテフロンチューブをカラムとして使用することが多いが、そのチューブは入り口から出口までつながった、単純な1本のチューブである。高速で全体が回転しているにもかかわらず、回転部にロータリーシールなどは一切使っていない。

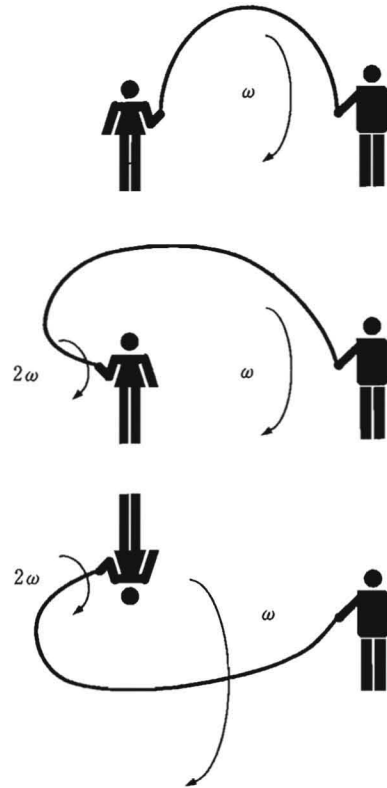


図7 「なわ」のねじれ

い。それではどうしてそのようなことが可能なのだろうか。図7は縄跳びの図である。上の図では二人が向き合って水道用のビニールホースを回しているとしよう。この場合はホースはねじれることはない。一方、真ん中の図のように、一人が向きを変えてホースを回したらどうなるだろう

か。左の人は自分の周りを回るホースの回転数に比べて2倍の回転数で、同方向にホースを忙しく回してやらないと、ねじれてしまうことに気付くであろう。実際に、柔らかいシリコンチューブなどで試してみたい。もし左の人をCCCのドラムにたとえるならば、ホースが自分の周りを1回転することに2回転自転をすればホースはねじれないことになる。今度は一番下の図のように、実際に行うのは難しいが、右の人は縄を止めておいて、左の人はホースを自分の回りを回さないで、自分が縄の周りを回ったとするとどうだろうか。ねじれの位置関係は同じであるので、やはり自分（ドラム）がホースの周りを1周（公転）するごとに2回転（自転）すれば、ねじれないことになる。このような関係を利用すれば、ホースはいくら高速で回してもねじれないことになる。実際の装置では、図4にあるように歯車で回転数を調整している。また、ドラムに巻き付けられたテフロンチューブ（カラム）は固定ギアの中心を通っているホースの内部に挿入されて装置の外へ導かれる。

3 装置構成について

HPLCと対比した場合、HPLCのカラムに当たる部分がCCCの装置本体部分に当たる。そこで、全体のシステムとしては、ポンプ、サンプルインジェクターなどが必要になる。また、溶質の検出に適した検出器が必要になる。ポンプの圧力はテフロンチューブをカラムとして使用しているので、20~30 kgf/cm² くらいかけられれば十分と言える。しかし、チューブの保護のために、圧力上限値を設定できるポンプを使用したほうが良い。金属の分離、濃縮のために、酸などを溶離液として使用する場合は、テフロンやポリエーテルエーテルケトン（PEEK）仕様のポンプが必要になる。

4 どんな応用が可能なのか

CCCの応用例は、従来からの天然物をはじめとする有機物の分離や濃縮だけにとどまらず、金属などの無機物質も対象となり始めている。ここで詳細に述べることはできないが、溶媒抽出に関

する過去の膨大なデータが利用できることで、分離や濃縮が必要な分析の多くの分野で応用が可能である。なかでも、ごく最近開発された方法で、CCCの優れた特徴を最大限に生かした方法であると思われる、pHゾーンリファイニング法について以下に説明しよう。

4.1 pHゾーンリファイニング法とは何か

これは移動相と固定相にあらかじめ酸又はアルカリを溶かして両者の液性を逆にしておき、移動相を流して中和反応を行いながら分離や濃縮を行うユニークな方法である。カラムの中で中和反応が行われる結果、溶離液のpHはちょうど中和滴定の場合に見られるようなpH変化を示す。有機酸などの混合物試料の場合、試料の pK_a 及び分配比に従って順番に溶出させることができる。また、これまで難しかったCCCでのgオーダーの試料の分離が可能である。

一方、カラムの中でpHが急激に変化する部分が移動していくので、そのpHの境界に特定の化合物を封じ込め、数十倍以上の大きな濃縮率で濃縮できる利点がある。この場合、通常のクロマトグラフィーに見られるような試料の拡散がなく、極めて微小な体積中に化合物が濃縮できる。そこで従来の溶媒抽出法に代わって、微量金属不純物などの効率的な濃縮法として非常に期待されている。フローインジェクション的な手法と組み合わせ、試料の分解も含めた、汚染やロスのない、理想的な試料前処理システムを構築するのにも夢ではないと思われる。実際試料の分析においてマトリックスの分離でお困りの方や、感度を更に向上させたいと考えている方にはぜひ検討していただきたい（詳しくは参考文献1）を参照。

5 CCC装置の取り扱いについて

高速CCCはCCCの特徴をそのまま受け継ぎ、更に高効率、高速の分離や濃縮を可能としているが、装置的に特異な面を持つ装置であるので、取り扱いの際は幾つかの注意が必要である。それらを列挙してみよう。

(1) 装置的な面

高速CCCでは強い遠心力を利用しているの

で、かなり高速で回転する部分がある。そのため、機械的な部分やチューブ回転部分についてのメンテナンスが重要となる。

(2) 溶媒系の選択

溶媒が二相に分離することが CCC の必須条件なので、溶媒系の選択が特に重要である。二相を試験管などの容器中でかくはん後、静置して分離するまでの時間が短いほど溶媒系として適している。高速 CCC の場合、容量約 5 ml の試験管中に 2 ml ずつ上相と下相を入れて振った後に、30 秒以内で分離することが大体の目安となる。

(3) カラムの方向

CCC のカラムは方向性のない、ただのチューブであるが、本稿で述べてきたように、入り口（ヘッド）と出口（テール）は厳密に区別する必要がある。順序を逆にすると固定相が保持されず、全く機能しないことになる。

6 装置は市販されているか

欧米では既に幾つかのメーカーから装置が市販されている。国内にも輸入されているようではあるが、機械的なメンテナンスなどの問題もあってそれほど普及していない。また、装置を自作して使用している研究者もいる。しかし、国内においてもあるメーカーが高速 CCC の製造、販売を近近開始することなので、装置の安定的な運転に欠かせないメンテナンスも容易となり、また入手もしやすくなると思われる。

7 終わりに

分かりやすく説明しようとするあまり、厳密さ

を欠く記述になってしまったのではないかと危惧している。CCC の更に詳しい原理や具体的な応用例などについては巻末に挙げた成書を参照していただきたい。

最後に、高速 CCC の発明者である NIH の伊東洋一郎博士には本稿のために多くの図面をご提供いただいた。ここに深く謝意を表します。

参考文献

- 1) Y. Ito, W. D. Conway: "High-Speed Countercurrent Chromatography", (1995), (John Wiley & Sons, Inc., Chichester).
- 2) N. Mandava, Y. Ito: "Countercurrent Chromatography, Theory and Practice", (1988), (Marcel Dekker, New York).
- 3) W. D. Conway: "Countercurrent Chromatography, Apparatus, Theory and Applications", (1990), (VCH, New York).
- 4) 小村 啓, 橋 和男訳: "分取クロマトグラフィーの実際", (1990), (東京化学同人); (K. Hostettmann, M. Hostettmann, A. Marston: "Preparative Chromatography Techniques", (1986), (Springer-Verlag, Berlin)).



北爪英一 (Eiichi KITAZUME)

岩手大学人文社会科学部 (〒020 岩手県盛岡市上田 3-18-34)。東北大学理学部化学科卒。工学博士。<現在の研究テーマ>高速向流クロマトグラフィーによる分離・濃縮法の研究。<主な著書>"High-Speed Countercurrent Chromatography" (分担執筆) (John Wiley & Sons, Inc.)。<趣味>スキー、模型作り。