

ディビジョン番号	10
ディビジョン名	分析化学

大項目	1. 分析化学
中項目	1-8. クロマトグラフィー・分離科学
小項目	1-8-4. 微小作用力を利用する新規な分離法

概要（200字以内）			
<p>分離は、分離対象の移動距離の差により達成される。目的の分子や微粒子に選択的に作用する力として化学的力の他に物理的力が利用されている。すなわち、電場、磁場、光、音、熱などの勾配がそれぞれ関連する物性に応じた分離力を発生する。化学結合力は約50 pN以上であるのに対し、移動に要する力は1 pN以下であるため、多様な物理力が利用できる。このような微小な作用力を利用して、これまでの化学的分離力に物理力を加えた種々の新しい泳動分析法の開発が行われている。</p>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"> 分離 = 移動 → 移動の力が必要 </div> <div style="background-color: #0000FF; color: white; padding: 10px;"> <p style="font-size: 1.2em; margin: 0;">分離力 = 化学力 + 物理力</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin: 5px 0;"> <tr> <td style="padding: 5px;">化学結合、 静電的相互 作用</td> <td style="padding: 5px;">電場、磁場、光、 音、熱、重力、流 れ、壁面</td> </tr> </table> <div style="border: 1px solid white; border-radius: 50%; padding: 10px; margin: 10px auto; width: 80%; text-align: center;"> <p style="font-size: 0.9em; margin: 0;">電気泳動、誘電泳動、磁気泳動、電 磁泳動、光泳動、熱泳動、音波泳動、 遠心分離、粘性力、壁面斥力</p> </div> </div>	化学結合、 静電的相互 作用	電場、磁場、光、 音、熱、重力、流 れ、壁面
化学結合、 静電的相互 作用	電場、磁場、光、 音、熱、重力、流 れ、壁面		
現状と最前線			
<p>外場の微小作用力を用いる分離法として、沈降分離と電気泳動は古くから利用され、また電気泳動は、キャピラリー電気泳動の進歩と普及によりその地位を確立している。しかし、他の外場を利用する方法については、なお様々な試みが続いている状況である。この分野の研究の展開に、Field-Flow Fractionation (FFF) を創案した J. C. Giddings の功績は大きい。彼の多くの予言が、ナノテクノロジーやマイクロチップの概念が普及しつつある現代において、新たな形の研究、つまり分子レベルでの分離科学の研究として花を開きつつあると思われる。現在、科学の個別分野を超えた共通課題として、「分子から構造体への形成過程の解明」がある。すなわち、分子の集合体やナノ・マイクロ微粒子が、新たな分析対象となってきた。FFF の先見性は、微粒子の分離分析法を目指した点にあると言ってよい。しかし、今日、FFF は市販品も製造されているが、より微細な外場の設計とマイクロスケール化が求められている。以下に、幾つかの方法の現状と展望を記す。1) 誘電泳動法：電極のマイクロ化が容易なため、技術の進歩とともに細胞レベルの微粒子の分離分析に有望である。最近、イオン電流密度の勾配による誘電力も利用できることが報告された。媒体と試料の複素誘電率の差のみを利用するので、選択性の向上には他の力の併用も必要と思われる。すでに市販のチップも登場している。2) 電磁泳動法：応用面の開発はこれからであるが、壁面からの細胞の脱着力の測定が可能であり、10-400 pN 程度の単一化学結合力の測定が可能である。また、吸脱着</p>			

クロマトグラフィーの提案もなされている。これは、吸着しやすいものは脱着しにくいという化学平衡の制約を打ち破るため、脱着は物理力で制御する。長さ1mmのキャピラリーでも微粒子の分離が可能である。3) 磁気泳動法：基本的に磁気勾配の設計がポイントである。キャピラリーの外から磁気勾配を印加することで、微粒子の泳動速度やトラップ位置の解析から、磁化率が決定できる。磁化率は物質のスピン状態を反映し、物質に固有の値であるため、今後分離パラメーターとして利用できると思われる。これまで、血球細胞の磁化率の差を利用して、相互の分離などが行われている。マイクロ粒子の場合、磁気泳動速度のサイズ依存性を調べると、界面の磁化率も得られる。今後、ナノ粒子に適用できる合理的な磁気クロマトグラフィーが開発される日も間近であろう。大気中で磁気泳動を行うと、単一微粒子の磁化率だけでなく、質量も測定できる。これは、新しい磁気質量分析法として発展する可能性がある。磁場を用いる分析法には、超伝導磁石の利用が有効であるが、未だ使い易いものとは言えない。4) レーザー光泳動法：レーザー光の輻射圧（散乱力）を利用する泳動法で、複素屈折率の差により分離ができる。光吸収性の微粒子は、泳動効率が大きいので、波長により泳動速度を制御できる点が大きな特徴である。光吸収を伴う場合、光熱変換も同時に起こるので、発生する熱による相分離や反応制御など、付加的現象を利用することも可能である。5) 音波泳動法：超音波の節が、液体中に数cm以下の周期的な圧力の定在波を発生することを利用した泳動法である。圧力の周期構造を進行させることにより、クロマトグラフ的な分離も期待できる。6) 熱泳動：比較的古くから研究され、工業的な利用も行われている。熱勾配は、様々なプラントの中で発生するため、企業の関心が高い。しかし、マイクロ分離分析への利用は今後の課題である。以上のような状況において、液体中での小分子やイオンの分離分析には、やはり静電力を利用する電気泳動が最も有効であるが、ナノ・マイクロ粒子の分析には、誘電力、磁気力、電磁力、散乱力などを利用する方法が有望である。これらの発展には、小型の超強力磁石や小さな多色レーザーの開発が鍵である。たかだか10pNの微小作用力により分離を行うには、100 μ m程度の移動距離における分離能や移動速度を解析する必要があり、それを可能とする検出法の高感度化と高解像度化が重要である。また、気相における泳動分析では、最近、イオンモビリティースペクトロメーターの企業開発が盛んであるが、磁気力を利用する方法も有望視される。

将来予測と方向性

- ・ 5年後までに解決・実現が望まれる課題：1) これまでに開発された泳動原理の広範な応用例による評価、2) 小型バルク超伝導磁石の普及や小型超強力永久磁石の開発、3) 分析化学が主導する、大型プロジェクトによる集中的研究開発が望まれる。
- ・ 10年後までに解決・実現が望まれる課題：1) 多次元微小作用力と高感度検出法を融合した分子・微粒子の新規泳動分析法の装置開発、2) 多次元微小作用場設計と分離分析シミュレーションプログラムの開発と普及

キーワード

電気泳動、磁気泳動、誘電泳動、電磁泳動、光泳動

(執筆：渡會 仁)