

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 3 月 12 日現在

機関番号：13201

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21350040

研究課題名（和文） モーメント理論に基づくクロマトグラフィー挙動解析基盤技術の確立

研究課題名（英文） Development of New Strategy for Analysis of Chromatographic Behavior on the Basis of Moment Theory

研究代表者

宮部 寛志（MIYABE KANJI）

富山大学・大学院理工学研究部・教授

研究者番号：10281015

研究成果の概要（和文）：最も優れた精密分離分析法の一つとして幅広く利用されている高速液体クロマトグラフィーの更なる高性能化や高速化を達成するため、現在様々な構造的特徴（形状や多孔性等）を有する各種新規分離剤（シリカモノリスやコアシェル型球状粒子等）が開発されている。その分離特性や機構を定量的かつ詳細に解析するため、「モーメント理論」を基盤とする解析技術体系（理論、実験法や解析手順）を構築した。既往の解析理論（速度論等）の限界を越える新たな解析基盤を確立した。

研究成果の概要（英文）：Now, various separation media having different structural characteristics of shapes and porosities, such as silica monoliths and core-shell spherical particles, are developed for improving the separation speed and efficiency of high performance liquid chromatography, which has widely been used as one of the most powerful methods for fine separation and chemical analysis. In this study, a new strategy (theory, experimental method, and data analysis procedure) was developed for quantitatively analyzing the separation properties and mechanisms of the different packing materials in detail. The strategy can provide new information about chromatographic behavior, which cannot be derived by conventional theories and models, such as the rate theory of chromatography.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	4,100,000	1,230,000	5,330,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
2011年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	5,400,000	1,620,000	7,020,000

研究分野：化学

科研費の分科・細目：複合化学・分析化学

キーワード：クロマトグラフィー・分離化学・モーメント理論

1. 研究開始当初の背景

高速液体クロマトグラフィー（HPLC）は最も有力な精密分離技術の一つとして、精密化学、生命科学や医学薬学等の様々な分野で幅広く利用されている。実験系の研究開発を進

める上で必要不可欠な技術の一つとして、その地位を既に確立している。しかし、現在でも更なる高性能化と高速化が要求されており、シリカモノリスやコアシェル型（外部表面多孔性）球状粒子等の様々な構造的特徴

(形状や多孔性等)を有する各種新規分離剤が開発されている。これらの適正な性能評価と更なる分離剤開発の効率化を図るため、多様な構造的特徴を有する分離剤の(特に高流速条件下における)クロマト分離挙動を速度論的観点から定量的に解析できる理論、モデルや実験手法の開発が求められている。

しかし、クロマトグラフィー分野では現在でも、従来からの「段理論」や「速度論」に基づきクロマトグラフィー挙動を解析する場合が多い。これらの理論・モデルにはクロマト分離の動特性解析に関する各々次のような問題点があるため、両理論ではカラム内における分離過程の特徴や機構を定量的かつ詳細に解析することができない。これに対して、「モーメント理論」を利用することにより、クロマトグラフィー挙動に関する速度情報を定量的に解析することができる。以下に各解析理論の特徴を示す。

(1) 段理論：カラム内における溶質分子の動きを全く考慮せず、固定相と移動相が接触して平衡状態になった時点での両相間における溶質分子の分配比率だけを数量的に取り扱う。ピーク形状としてはガウス曲線形状を仮定し、そのピーク幅を表現するため現実にはカラム中に存在しない理論段を想定して、その数(理論段数)を仮定する。

(2) 速度論：速度論として分類される様々なモデルが従来考案され、各々に対応する各種の速度式が提案されている。その多くは、カラム内における溶質分子の動きを、①多流路拡散(渦巻拡散やエディ拡散とも呼ぶ)、②分子拡散、及び③物質移動過程(固定相中と移動相中での溶質分子の動き)の3つの過程で表現する。クロマトピーク幅がこれらの寄与によって広がり、ピークの分散の二乗がその和で表わされると仮定する。上記3つの各速度過程の移動相流速依存性の差を利用して理論段高(H)と移動相線流速(u)の関係を解析し、各々の寄与を分割して評価する。各速度式の他に、上記の流速依存性に基づき次のように簡略化された式も頻繁に利用される。

$$H = A + B/u + Cu$$

右辺第一項、第二項、及び第三項が各々上記の①多流路拡散、②分子拡散、及び③物質移動過程に対応し、各々A項、B項、及びC項と呼ばれる。

しかし、速度論で使用する速度式中には、物理的定義が不明確な経験パラメータが含まれている。このため、 $H-u$ プロットを実験的にいかに正確に測定しても、カラム内での溶質分子の動きを表わす拡散係数や物質移動係数等の速度パラメータを、具体的な数値として定量的に求めることができない。また、 $H-u$ プロットを上記の簡略化式で表現(フィッティング)してA、B、及びCの値を求め、

その値からカラム内における分離剤の充填状況や物質移動速度等を議論する場合もあるが、このような議論には学術的な意義はほとんどない。

(3) モーメント理論：クロマトグラフィーのGeneral rate modelに基づく。その基礎式から数学的に誘導されるモーメント解析式に含まれる全てのパラメータは、物理的意味が明確に定義されている。実験的に求めた $H-u$ プロットを解析するという点では速度論に基づく解析と同様であるが、理論段高に対する各速度過程、すなわち①軸方向混合拡散(分子拡散とエディ拡散)、②液境膜物質移動、③固定相内拡散(細孔拡散と表面拡散)、及び④反応速度過程(吸脱着や化学的相互作用等)の寄与を分離して各々評価し、カラム内の物質移動現象及び化学的相互作用に関する速度パラメータ(拡散係数、物質移動係数や反応速度定数等)の値を求めて、クロマトグラフィー挙動を速度論的観点から定量的に議論することができる。

上記のように、「段理論」ではカラム内における溶質分子の動きを全く考慮しないためこのような速度解析は全く行えない。また「速度論」でも、定量的かつ詳細な速度情報は得られない。それに対して、モーメント理論により得られる情報は、特に速度解析情報の種類や定量性の点において既往の「段理論」や「速度論」に基づく解析から得られる結果に比べて格段に優れており、分離系の化学的特性や分離機構を多角的かつ定量的に議論し、クロマト分離機構の本質を探究する上で極めて優位である。

しかし、クロマトグラフィー挙動の動特性解析法として優れた特徴を有するモーメント解析法にも、より正確な解析を行う上で次のような検討課題が残されている。

①パルス応答法により測定した実験データをモーメント理論に基づき解析する際に、関連速度パラメータ(分子拡散係数や物質移動速度係数等)の値が必要である。しかし、これらの値を正確かつ簡便に測定する方法がない。一方、それらの推算値を使用してモーメント解析を行う場合には、その推算誤差がモーメント解析結果の正確さに影響を及ぼす。

②正確なモーメント解析結果を得るためには、実測溶出ピークの正確な(一次及び二次)モーメント値が必要である。このため、溶出ピークの保持時間や分散の測定に対するカラム外配管の寄与及び、非対称性ピーク形状の影響を補正しなければならない。また、カラム性能が高くなる程分離挙動の解析結果がこれらの影響をより大きく受けるため、高性能カラム(微粒子充填カラム等)のクロマト分離挙動解析へのモーメント解析法の適用が困難である。

2. 研究の目的

そこで本研究では、モーメント解析法の現状の課題を解決し、クロマト分離挙動の定量的な速度論的情報をより正確かつ簡便に取得できる解析基盤を確立する。既往の「段理論」や「速度論」による解析の限界を越える「モーメント理論」を基礎とする新たなクロマトグラフィー挙動の解析技術体系（理論、実験法や解析手順）を構築する。

3. 研究の方法

本研究では、次の2つの観点からクロマトグラフィー挙動のモーメント解析理論及び実験体系の拡充を図る。

- ・様々な構造的特徴（形状や多孔性）を有する各種分離剤に対応するモーメント解析式を開発し、モーメント解析法の理論的基盤を系統的に体系化する。
- ・モーメント解析に関連する実験手法（関連速度パラメータ測定法や非対称ピーク形状補正法等）を開発し、より正確な解析情報を得るための方法論を確立する。

上記に関連して、以下の各項目について研究を行う。

(1) 新規モーメント式の開発

HPLC 用固定相として現在使用されている主な分離剤に対するモーメント式を全て取り揃える。これまでに既に検討済みの解析式についても、内容の再確認を行う。

(2) 各種速度パラメータの実験的測定法の開発

クロマトグラフィー挙動のモーメント解析に関連する速度パラメータ（分子拡散係数、液境膜物質移動係数、細孔拡散係数、及び表面拡散係数）の値を正確かつ簡便に実測できる測定法を開発する。例えば、溶出クロマトグラフィーの実験操作中に一定時間移動相の送液を停止し、その間のカラム軸方向への拡散に伴う試料バンド幅の広がりを解析するピークパーキング (PP) 法を適用して、分子拡散係数や細孔拡散係数の実測法を開発する。また、液境膜物質移動係数については、パルス応答法と PP 法の組み合わせによる測定法を開発する。各速度パラメータの測定法を開発し、モーメント解析理論を支援する実験的技術基盤を確立する。

(3) 分子拡散係数の推算法の開発

液相系における分子拡散係数の推算式として多くの式が提案されている。その中でも低分子量物質の液相系拡散係数を推算する場合に最も一般的に利用されている推算式は Winkle-Chang 式である。しかし、この式に含まれる会合係数の具体的な数値は、水、メタノール、エタノール、及び非会合性溶媒（ベンゼンや n-ヘキサン等）に対してのみ提案さ

れている（各々、2.6、1.9、1.5、及び1.0）。例えば、HPLC でよく使用されるアセトニトリル等の上記以外の溶媒については、会合係数の具体的な数値が提案されていない。そこで、溶媒の会合係数を推定する方法を開発し、任意の溶媒中における分子拡散係数の推算法を確立する。

(4) 非対称性ピーク形状解析法の開発

モーメント理論を適用して正確な解析結果を得るためには、溶出ピークの一次及び二次モーメントの値自体を正確に求める必要がある。しかしクロマトグラフィーでは、非対称ピーク（主にテーリング）が頻繁に観測される。この場合には、ガウス分布曲線を仮定して保持時間と半値幅から各々一次及び二次モーメント値を計算しても当然のことながら正確なモーメント値は得られず、モーメント解析結果も不正確になる。そこで本研究では、数値解析法を利用して実測ピークの非対称性ピーク形状から正確な一次及び二次モーメント値を求める解析理論と解析手順を開発する。それを実測テーリングピークの解析に適用し、その妥当性を定量的に実証する。

(5) モーメント解析手法の優位性の実証

本研究で開発するモーメント解析法（解析理論と実験法）及び既往のクロマト解析法（速度論）を用いて実測クロマトデータを解析し、その解析結果を比較する。後者では得られないクロマト分離の動特性に関する速度情報がモーメント解析法により定量的に得られることを示し、モーメント解析法の優位性を実証する。

4. 研究成果

(1) 新規モーメント式の開発

現在、モノリス材料とコアシェル型球状粒子が高性能高速分離用材料として特に注目されている。これらの構造的特徴（形状や多孔性）は全多孔性球状粒子分離剤のそれとは大幅に異なる。しかし、既往の段理論や速度論ではこの点を全く考慮していないため、その分離挙動に関する詳細かつ定量的な解析は行えない。

一方、モーメント解析式は分離剤の構造的特徴を考慮して導出することができる。そこでこれまでに、分離剤の構造的特徴を形状（球状、円柱状及び平板状）と多孔性（全多孔性、シェル型及び非多孔性）の観点から系統的に分類し、これら各種分離剤を充填したカラムのクロマトグラフィー挙動を平衡論的及び速度論的に解析するためのモーメント式を導出した。

本研究では、最近特に注目されているコアシェル型粒子充填カラムのクロマトグラフィー挙動を解析するために以前開発したモーメント式についてより詳細な検討を行い、

ラプラス変換法を用いて、実時間域における溶出曲線の一次、二次モーメントを表わす解析式を誘導した。それをペプチド分離挙動の解析に適用し、分離性能に対するシェル層厚さの影響を定量的に評価した。モーメント式が分離挙動の詳細な定量的解析だけではなく、分離剤設計の予備的検討手法としても有用であることを実証した。

(2) 各種速度パラメータの実験的測定法の開発

モーメント解析に関連する速度パラメータ（分子拡散係数、液境膜物質移動係数、細孔拡散係数、及び表面拡散係数）の値を正確かつ簡便に測定できる測定法を開発した。

実験手法としては、通常のパルス応答法の他、溶出クロマトグラフィーの操作中に一定時間移動相の送液を停止し、その間のカラム軸方向への拡散に伴う試料バンド幅の広がり解析するピークパーキング (PP) 法を開発した。パルス応答実験では、移動相の高流速条件下における固定相-移動相間の試料分子分布の非平衡状態を意図的に設定する。パルス応答法は、この非平衡状態に由来する溶出ピーク幅の広がり解析して固定相内物質移動速度に関する情報を得る「動的」方法である。一方ピークパーキング実験では、流通式カラム実験の途中で移動相の送液を一定時間停止し、この間に試料バンドをカラム軸方向に拡散させる。ピークパーキング法は、固定相-移動相間における試料分子分布の平衡状態での試料バンドの広がり解析する「静的」方法である。

分子移動ダイナミックスの解析に関する両法の基本的概念は全く正反対であるため、速度パラメータ測定法としての両法の特徴もまた極めて対照的であり、両法は各々の短所を各々の長所でカバーする相互補完的な関係にある。両法を組み合わせることによって、様々な液相吸着実験系における各種速度パラメータの新規測定技術を開発した。

本研究により、流通式速度解析（流通式カラム実験-モーメント解析）に関わる各速度パラメータの測定法を開発し、モーメント解析理論に基づく分離挙動の速度論的解析を支援する実験的技術基盤の枠組みを構築した。

(3) 分子拡散係数の推算法の開発

速度パラメータの中で最も重要な基本物性の一つである分子拡散係数の推算法について研究を行った。各種の推算式の中で、低分子量物質の液相系拡散係数の推算式として最も一般的に利用されている Wikle-Chang 式を取り上げ、次の2つの観点から、その適用範囲の拡大と推算値の正確さの改善について研究した。

任意の物質の会合係数の推定：物質のマクロ的な物性値はその分子の会合状態を反映

している。そこで本研究では、蒸発エン트로ピー、 E_f 値、及び溶解パラメータを取り上げ、既往の会合係数の具体的数値（水 2.6、メタノール 1.9、エタノール 1.5、及び非会合性溶媒 1.0）との相関関係を調べた。その結果、各物質の溶解パラメータに基づき任意の物質の会合係数を適切に推定することができるようになった。

会合性を有する溶質の分子拡散係数の推算：従来 Wikle-Chang 式により分子拡散係数を推算する場合には、溶媒成分の会合現象のみを考慮していた。しかし本研究では、溶媒成分だけではなく溶質成分の会合現象をも考慮した修正 Wikle-Chang 式により分子拡散係数を推算して実測値と比較した。その結果、71 個の実測データに対して平均相対誤差 19% 以下の正確さで分子拡散係数を推算することが可能になった。

(4) 非対称性ピーク形状解析法の開発

クロマトグラフィーを用いてより正確な解析結果を得るため、非対称性ピークのピーク形状解析法を開発した。充填層を用いるパルス応答法は触媒や分離剤の性能評価等の様々な場面で利用されている。一般的には溶出ピーク形状がガウス分布曲線に近似できると仮定してデータ解析を行うが、カラム内部の充填層構造がカラム内壁の影響（壁効果）を受けて半径方向に不均一な場合には、非対称性（主にテーリング）の溶出ピークが観測される場合が多い。この非対称性ピークの形状を通常通りガウス分布曲線を仮定して解析しても、正確な解析結果は得られない。触媒や分離剤の真の性能や特性を適正に評価するためには、非対称性ピーク形状を的確に解析する必要がある。

そこで本研究では、実測ピーク形状に対するカラム壁効果の影響を数値解析的に取り除き、その影響を受けない理想的な充填層のみの部分（カラム断面中央部）から溶出するピークの特徴を予測する数値解析法を開発した。まず、充填層構造のカラム半径方向不均一性の影響による非対称性ピークの発現機構を解明した。次にその結果に基づき、実測ピーク形状の特徴（非対称性等）を解析して壁効果の影響を受けない条件下での溶出ピークの形状を予測する数値解析手順を確立した。この解析法を用いて実測ピークのテーリングピーク形状を解析し、その妥当性を実証した。

パルス応答法は高い汎用性を有する実験法であるため、この解析法は様々な方面に適用できる。本研究の成果は極めて有用であると考えられる。

(5) モーメント解析手法の優位性の実証

代表的な高速液体クロマトグラフィー用分離剤として、シリカモノリス、コアシェル型球状粒子、及び非多孔性球状粒子を取り上

げ、それらのクロマトグラフィー挙動を全多孔性球状粒子のそれと比較した。

上記のように、「段理論」では分離系内における分子の動特性に関する情報が全く得られないため、本研究では「速度論」を適用して理論段高の移動相流速依存性を解析し、上記4種類の分離剤のクロマトグラフィー挙動を解析した。一方、本研究で開発したモーメント解析法(理論、実験法や解析手順)を利用して同じ実験データを解析し、両理論に基づく解析結果を比較した。

その結果、「モーメント理論」を利用することにより既往の「速度論」では得られないクロマトグラフィー挙動の動特性に関する速度情報が定量的に得られることを示した。本研究で開発したモーメント解析法の優位性を実証した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計15件)

- ① Miyabe, K.; Noiri, K.; Kobayashi, K., Moment Analysis of Chromatographic Behavior of Superficially Porous Particles, *Anal. Sci.* (査読有) **2011**, *27*, 1097-1105.
- ② Miyabe, K., Moment Equations for Chromatography Using Superficially Porous Spherical Particles, *Anal. Sci.* (査読有) **2011**, *27*, 1007-1017.
- ③ Miyabe, K., Estimation of Molecular Diffusivity in Aqueous Solution of Acetonitrile by the Wilke-Chang Equation, *J. Sep. Sci.* (査読有) **2011**, *34*, 2674-2679.
- ④ Miyabe, K.; Isogai, R., Estimation of Molecular Diffusivity in Liquid Phase Systems by the Wilke-Chang Equation, *J. Chromatogr. A* (査読有) **2011**, *1218*, 6639-6645.
- ⑤ Miyabe, K.; Matsushima, A., Extrathermodynamic Study of Retention Equilibrium in RP-LC Using a C₁₈-Silica Monolithic Stationary Phase, *Chromatographia* (査読有) **2011**, *74*, 179-187.
- ⑥ Miyazaki, S.; Takahashi, M.; Ohira, M.; Terashima, H.; Morisato, K.; Nakanishi, K.; Ikegami, T.; Miyabe, K.; Tanaka, N., Monolithic Silica Rod Columns for High-Efficiency Reversed-Phase Liquid Chromatography, *J. Chromatogr. A* (査読有) **2011**, *1218*, 1988-1994.
- ⑦ Miyabe, K.; Guiochon, G., Numerical Method for the Estimation of Column Radial Heterogeneity and of the Actual Column

Efficiency from Tailing Peak Profiles, *Anal. Chem.* (査読有) **2011**, *83*, 182-192.

- ⑧ Miyabe, K.; Ando, N.; Nakamura, T.; Guiochon, G., External Mass Transfer in Silica Monolithic Stationary Phases, *Chem. Eng. Sci.* (査読有) **2010**, *65*, 5950-5960.
- ⑨ Miyabe, K.; Nagai, J.-i.; Guiochon, G., Peak Parking - Moment Analysis: A Strategy for the Measurement of Molecular Diffusivity in Liquid Phase, *Chem. Eng. Sci.* (査読有) **2010**, *65*, 3859-3864.
- ⑩ Miyabe, K.; Kawaguchi, Y.; Guiochon, G., Kinetic Study on External Mass Transfer in High Performance Liquid Chromatography System, *J. Chromatogr. A* (査読有) **2010**, *1217*, 3053-3062.
- ⑪ Miyabe, K.; Matsumoto, Y.; Niwa, Y.; Ando, N.; Guiochon, G., An Estimation of the Column Efficiency Made by Analyzing Tailing Peak Profile, *J. Chromatogr. A* (査読有) **2009**, *1216*, 8319-8330.
- ⑫ Miyabe, K., Surface Diffusion in C₁₈-Silica Monolithic Stationary Phase, *J. Chromatogr. Sci.* (査読有) **2009**, *47*, 452-458.
- ⑬ Miyabe, K.; Ando, N.; Guiochon, G., Peak Parking Method for Measurement of Molecular Diffusivity in Liquid Phase Systems, *J. Chromatogr. A* (査読有) **2009**, *1216*, 4377-4382.
- ⑭ Miyabe, K., Thermodynamic Interpretation of Retention Equilibrium in Reversed-Phase Liquid Chromatography, *Anal. Sci.* (査読有) **2009**, *25*, 219-227.
- ⑮ Miyabe, K.; Matsumoto, Y.; Ando, N., Peak Parking - Moment Analysis Method for the Measurement of Surface Diffusion Coefficient, *Anal. Sci.* (査読有) **2009**, *25*, 211-218.

[学会発表] (計18件)

- ① 宮部寛志, G. Guiochon, テーリングピーク形状から物質移動速度を正確にモーメント解析する方法, 第22回クロマトグラフィー科学会議, 2011年10月21日, 仙台.
- ② 宮部寛志, モーメント理論に基づく高性能高速液体クロマトグラフィー用分離剤の分離挙動の解析, 日本分析化学会第60年会, 2011年9月15日, 名古屋.
- ③ Miyabe, K., Moment Equations for Chromatography Using Superficially Porous Spherical Particles, 36th International Symposium on High Performance Liquid Phase Separations and Related Techniques (HPLC 2011), 2011年6月22日, Budapest.
- ④ 宮部寛志, シェル型粒子を用いるクロマトグラフィーに対する新規モーメント解析

式の開発, 第 18 回クロマトグラフィーシンポジウム, 2011 年 6 月 3 日, 福岡.

⑤ Miyabe, K., Measurement of Molecular Diffusivity in Liquid Phase Systems, International Congress on Analytical Sciences 2011 (ICAS2011), 2011 年 5 月 25 日, Kyoto.

⑥ Miyabe, K., Molecular Migration on Stationary Phase Surface in Reversed-Phase Liquid Chromatography 【依頼講演】, The 2010 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacifichem 2010), 2010 年 12 月 15 日, Honolulu.

⑦ 宮部寛志, G. Guiochon, クロマトグラフィー系におけるテーリングピークの数値解析法, 第 21 回クロマトグラフィー科学会議, 2010 年 10 月 22 日, 西宮.

⑧ Miyabe, K.; Guiochon, G., Kinetic Study on External Mass Transfer in RPLC System, 35th International Symposium on High Performance Liquid Phase Separations and Related Techniques (HPLC 2010), 2010 年 6 月 21 日, Boston.

⑨ Tanaka, N.; Miyazaki, S.; Takahashi, M.; Ohira, M.; Terashima, H.; Morisato, K.; Nakanishi, K.; Miwa, S.; Ikegami, T.; Hosoya, K.; Miyabe, K., Monolithic Silica Columns for High-Speed and High-Efficiency HPLC Separations, 35th International Symposium on High Performance Liquid Phase Separations and Related Techniques (HPLC 2010), 2010 年 6 月 21 日, Boston.

⑩ 宮部寛志, 安藤元喜, 安藤伸歩, 逆相液体クロマトグラフィー系における液境膜物質移動係数の測定, 第 17 回クロマトグラフィーシンポジウム, 2010 年 6 月 4 日, 広島.

⑪ Miyabe, K.; Guiochon, G., Surface Diffusion in Reversed-Phase Liquid Chromatography, 10th International Conference on Fundamentals of Adsorption (FOA10), 2010 年 5 月 24 日, Awaji.

⑫ Miyabe, K., Peak Parking Method for Measurement of Molecular Diffusivity in Liquid Phase Systems, 23rd International Symposium, Exhibit & Workshops on Preparative/Process Chromatography (PREP 2010), 2010 年 5 月 12 日, Philadelphia.

⑬ 宮部寛志, モーメント理論に基づくクロマトグラフィー挙動解析法の開発【招待講演, 平成 21 年度クロマトグラフィー科学学会賞受賞】, 第 20 回クロマトグラフィー科学会議, 2009 年 11 月 12 日, 東京.

⑭ 宮部寛志, G. Guiochon, テーリングピーク形状の数値解析によるカラム性能評価, 第 20 回クロマトグラフィー科学会議, 2009

年 11 月 11 日, 東京.

⑮ 宮部寛志, クロマトグラフィー系における非対称性ピーク形状の数値解析法, 日本分析化学会第 58 年会, 2009 年 9 月 24 日, 札幌.

⑯ Miyabe, K., Estimation of Column Efficiency by Analyzing Tailing Peak Profiles, 22nd International Symposium, Exhibit & Workshops on Preparative/Process Chromatography (PREP 2009), 2009 年 7 月 20 日, Philadelphia.

⑰ Miyabe, K.; Guiochon, G., A Numerical Method for Analysis of Tailing Peak Profiles【招待講演】, 34th International Symposium on High Performance Liquid Phase Separation and Related Techniques (HPLC 2009), 2009 年 6 月 29 日, Dresden.

⑱ 宮部寛志, 安藤伸歩, G. Guiochon, ピークパーキング法による液相系分子拡散係数の測定, 第 16 回クロマトグラフィーシンポジウム, 2009 年 5 月 29 日, 長崎.

〔図書〕(計 1 件)

① 宮部寛志, 分析化学用語辞典 (社団法人日本分析化学会編), (分担執筆, 46 項目執筆), オーム社 (東京), 2011.

〔その他〕

総説

① Miyabe, K.; Guiochon, G., Surface Diffusion in Reversed-Phase Liquid Chromatography, *J. Chromatogr. A* (査読有) **2010**, *1217*, 1713-1734.

② Miyabe, K., Development of New Strategy for Analysis of Chromatographic Behavior on the Basis of Moment Theory, *CHROMATOGRAPHY* (査読有) **2010**, *31*, 1-15.

③ Miyabe, K., Moment Analysis of Chromatographic Behavior in Reversed-Phase Liquid Chromatography, *J. Sep. Sci.* (査読有) **2009**, *32*, 757-770.

解説

① 宮部寛志, 外表面多孔性球状粒子分離剤を用いる高性能高速液体クロマトグラフィー, *ぶんせき* (日本分析化学会) **2009**, No. 1, 30-31.

② 宮部寛志, クロマトグラフィー技術開発の二面性, LC talk (株式会社 島津製作所) **2009**, *72*, 2.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

宮部 寛志 (MIYABE KANJI)

富山大学・大学院理工学研究部・教授

研究者番号: 10281015