

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 11 日現在

機関番号：32686

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24550096

研究課題名(和文)クロマトグラフィーによる分子間相互作用の速度解析

研究課題名(英文)Kinetic study of intermolecular interaction by liquid chromatography

研究代表者

宮部 寛志 (Miyabe, Kanji)

立教大学・理学部・教授

研究者番号：10281015

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：クロマトグラフィーとモーメント理論を組合せ、分子間相互作用の平衡情報だけでなく、速度情報(結合速度定数と解離速度定数)をも測定できる解析法を開発した。分子間の相互作用速度がラングミュア型の速度式で表現される場合について、クロマト実験データから会合・解離速度定数を導出するためのモーメント式を開発した。

具体的実験系として光学異性体分離系を取り上げ、本解析法を適用して会合・解離速度定数を測定した。また、それらの温度依存性に基づき、分子間相互作用の熱力学的特性を解析した。クロマトグラフィーが物質分離や分子間相互作用の平衡論的解析だけでなく、その速度論的研究へも利用できることを実証した。

研究成果の概要(英文)：A chromatographic method based on the moment theory was developed for analyzing not only the equilibrium but also the reaction kinetics of intermolecular interaction. New moment equations were also developed by assuming that the reaction kinetics between solute molecules and functional ligands could be represented by the Langmuir-type rate equation. They are essential for determining the association and dissociation rate constants from chromatographic elution peak profiles experimentally measured.

As concrete examples, it was tried to determine the association and dissociation rate constants in two different chiral separation systems. Thermodynamic characteristics of the reaction kinetics relating to the intermolecular interaction were also determined by analyzing the temperature dependence of the rate constants. It was demonstrated that chromatography was effective for the kinetic study of intermolecular interaction, although it has widely been used as a separation method.

研究分野：分析化学、分離化学

キーワード：分子間相互作用 速度解析 会合・解離速度定数 クロマトグラフィー モーメント解析理論

## 1. 研究開始当初の背景

各種リガンドを表面修飾した機能性材料が分離分析や物質変換等の分野で幅広く使用されている。その機能や性能は、表面修飾リガンド - 基質分子間の相互作用の平衡特性（親和性や選択性等）および速度特性（表面反応速度や物質移動速度等）によって左右される。このため従来から、各種解析法を利用して分子間相互作用に関する研究が活発に行われ、多くの研究成果や学術情報が得られている。

一方、クロマトグラフィーは固定相リガンドと分離対象物質との間の分子間相互作用に基づく分離法であり、次のような特長を有する。

- ・固定相 - 試料分子間の相互作用の無数の繰り返しにより分離が達成されるため、分離系の化学特性の微小な変化、弱い分子間相互作用や相互作用の僅かな差異の解析に適する。

- ・化学特性解析の基本原則が分光法等とは異なるため分子間相互作用を異なる角度から解析できる。また、その平衡および速度論的情報を同時に測定できる。

クロマト溶出ピークの分散が分離系内の物質移動速度および固定相リガンド - 溶質分子間の反応（相互作用）速度に関連することは従来から知られていた。しかし、この速度情報の定量的な解析は十分に行われていなかった。そこで既往の研究では、流通式実験法（パルス応答法とピークパーキング法）およびモーメント解析理論を組み合わせ、液体クロマトグラフィー系における物質移動速度の定量的な解析法を構築した。その結果、クロマト溶出ピークの分散に対する物質移動抵抗の寄与を定量的に測定することが可能になった。このため、分散の全体値から物質移動速度の寄与を差し引くことにより、反応速度に関する情報を得ることも可能になった。

クロマト法は以前から分子間相互作用の平衡特性解析には頻りに利用されてきたが、その一方で速度解析にはほとんど利用されてこなかった。しかし、核磁気共鳴法の観測シグナル幅を解析する緩和過程の研究と同様、流通式実験系に加えた摂動（濃度パルス）に対する応答（溶出ピーク）の特徴（位置や分散）をモーメント解析することによって分子間相互作用の速度情報が導出できると考えられる。

そこで本研究では、クロマトグラフィーを化学情報の積分型増幅検出法と見なし、分子間相互作用の特に速度解析へと展開するための理論体系や解析手順を構築した。具体的な実験系として光学異性体分離系を取り上げ、本解析法を適用して速度パラメータを導出してその有用性を実証した。

## 2. 研究の目的

流通式実験法（パルス応答法とピークパーキング法）およびモーメント解析理論を組み

合わせ、分子間相互作用の平衡論的情報（親和定数）だけでなく、速度論的情報（結合速度定数や解離速度定数）をも測定できる解析法を開発する。

さらに、具体的実験系として光学異性体分離系を取り上げ、本法を適用して速度解析を行う。クロマトグラフィーが物質分離や分子間相互作用の平衡論的解析だけでなく、その速度論的研究へも利用できることを実証する。

各検討課題の内容や要点について、以下に説明する。

### (1)新規モーメント式の開発

固定相リガンド - 溶質分子間の相互作用速度をラングミュア型の反応速度式で表わす場合の新規モーメント式を開発する。モーメント式は実測クロマト溶出ピークから会合・解離速度定数を定量的に導出する際に必要な解析基盤である。

### (2)関連速度パラメータ測定法の開発

主にピークパーキング法を利用して、固定相リガンド - 溶質分子間の相互作用の速度情報を解析する上で必要な各種の関連速度パラメータ（分子拡散係数、液境膜物質移動係数、細孔拡散係数や表面拡散係数等）の測定法を開発する。

### (3)光学活性リガンド - キラル分子間相互作用の速度解析

流通式実験法（パルス応答法）によりクロマトデータを測定し、それをモーメント理論に基づき解析する。その際には、上記の各種関連速度パラメータの測定値に基づき、クロマト分離系におけるピーク分散の全体値に対する各速度過程の寄与を差し引く。

本法により機能性リガンド - キラル分子間相互作用の平衡情報（親和定数）および速度情報（結合速度定数や解離速度定数）が得られることを実証する。複数の光学異性体分離系に対して本法を適用し、本法の有用性を実証する。

### (4)光学異性体分離系の熱力学的特性解析

温度条件を変化させて光学異性体分離系の相互作用挙動を解析する。本法により、光学異性体分離の熱力学的特性に関する情報が得られることを実証する。

## 3. 研究の方法

本研究では、流通式実験法とモーメント解析法を組み合わせ、機能性リガンド - 溶質分子間の分子間相互作用を平衡論だけでなく、速度論的観点からも解析できる動特性解析法を開発する。

研究計画の概要を図1に示す。まず実験データの解析に必要な新規モーメント式を導出し、解析法の理論基盤を構築する。次に、具体的実験系として光学異性体分離系を取り上げ、流通式実験法（パルス応答（PR）法

やピークパーキング (PP) 法) を駆使して実験データを測定する。それをモーメント理論により解析し、キラル分離の速度情報を得る。さらに、温度条件を変化させて光学異性体分離挙動を解析する。光学異性体分離系の分離挙動や特性解析を行い、本解析法の有用性を実証する。

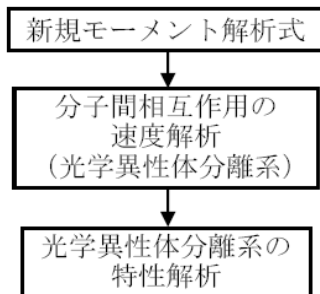


図1 流通式実験-モーメント解析による分子間相互作用の速度論的解析法の開発

各検討課題の内容や要点について、以下に説明する。

#### (1) 新規モーメント解析式の導出

クロマト実験において測定する溶出ピーク形状から求める一次および二次モーメント値を解析するために必要な新規モーメント式を導出する。クロマト挙動を解析するモーメント理論の枠組みは既に構築されているが、固定相表面リガンド-試料分子間の化学反応速度をラングミュア型速度式(結合速度定数( $k_a$ )と解離速度定数( $k_d$ )を含む)を用いて表す。

カラム内と固定相内部における試料分子の物質収支、物質移動速度およびリガンド-試料分子間相互作用の反応速度を表す基礎式を General rate model に基づき表す。この基礎式をラプラス変換し、溶出ピークの全体像を表現する解析解をラプラス域で求める。さらにこの解析解から、実時間域における溶出ピークの一次、二次モーメント値を表すモーメント解析式を誘導する。

多孔性球状粒子充填カラムを用いるクロマトグラフィーを解析対象とする場合、一次絶対モーメント( $\mu_1$ )および二次中央モーメント( $\mu_2'$ )に対するモーメント式の基本形は、各々以下のように表わされる。前者は溶出ピークの保持時間に対応し、また後者は分散の二乗である。

$$\mu_1 = (L/u_0)\delta_0 \quad \text{----- (1)}$$

$$\mu_2' = (2L/u_0)(\delta_{ax} + \delta_f + \delta_d + \delta_{int}) \quad \text{----- (2)}$$

$$\delta_0 = \varepsilon_c + (1 - \varepsilon_c)[\varepsilon_i + (1 - \varepsilon_i)K_A] \quad \text{----- (3)}$$

ここで式中の  $L$  はカラム長、 $u_0$  は移動相の空塔線流速、 $\varepsilon_c$  はカラム空隙率、 $\varepsilon_i$  は充填剤細孔率、 $K_A$  は会合平衡定数および  $\delta_{ax}$ 、 $\delta_f$ 、 $\delta_d$  と  $\delta_{int}$  は  $\mu_2'$  に対する図2の各物質移動過程の寄与である。下付きの添字  $ax$ 、 $f$ 、 $d$  および  $int$  は各々、軸方向混合拡散、液境膜物質移動、粒子内拡散およびリガンド-試料分子間相互作用を表す。

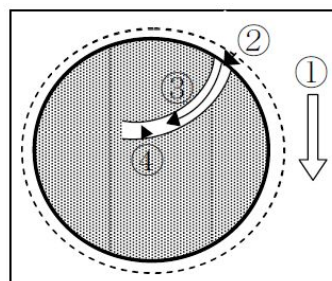


図2 粒子周辺の物質移動過程

#### (2) 速度解析に関連する各種パラメータの測定

モーメント解析法により分子間相互作用に関連する  $K_A$ 、 $k_a$ 、 $k_d$  および解離定数 ( $K_D = 1/K_A$ ) を求める場合、 $\varepsilon_c$ 、 $\varepsilon_i$ 、 $k_f$ 、 $D_p$  および  $D_s$  の値が必要である。これらを以下のように求める。

カラム空隙率 ( $\varepsilon_c$ ) と充填剤細孔率 ( $\varepsilon_i$ )

非保持条件下で高分子(ポリスチレン)および小分子量プローブ(ベンゼン等)を用いる逆サイズ排除クロマト法により  $\varepsilon_c$  と全空隙率 ( $\varepsilon_t$ ) を求め、両者の値から  $\varepsilon_i$  を求める。この測定が難しい場合には、非保持条件下でのドナン排除効果を利用する PR 法により  $\varepsilon_c$  と  $\varepsilon_i$  を求める。

細孔拡散係数 ( $D_p$ ) と表面拡散係数 ( $D_s$ )

保持条件下での PP 法により、 $D_p$  と  $D_s$  を測定する。PP 法では PR 法と同様に試料溶液を注入し、それがカラム中央付近に到達したところ(図3中央部分の帯)で移動相の送液を一定時間停止する。その間に試料分子(黒丸)は図3に示すように、分離剤粒子(白丸)の内部および粒子間空隙の移動相中を通過してカラム軸方向(上下対称)に拡散する。PP 法では、プローブ分子が分離剤粒子内部と粒子間空隙部分の移動相中の両方を通過できる条件および、移動相中のみを通過する条件を各々設定して拡散現象を観測する。これらの実験データから  $D_p$  と  $D_s$  を求め、両者の値から図2の(粒子内拡散)に関連する速度パラメータである粒子内有効拡散係数 ( $D_e$ ) を求める。この測定が難しい場合には、PR 法により H-u プロットを測定し、それをモーメント解析して  $D_p$  と  $D_s$  を求める。

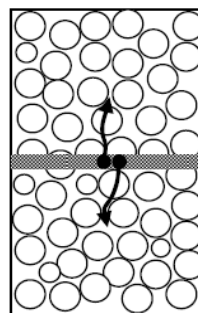


図3 PP実験における軸方向物質移動

液境膜物質移動係数 ( $k_f$ )

分離剤の形状が球状粒子の場合には、Wilson-Geankoplis式を利用して $k_f$ の値を推算する。

#### (3)モーメント解析手順

PR法による実験データのモーメント解析は以下の手順で行う。まず式(1)と(3)において、会合平衡定数 ( $K_A$ ) 以外は全て実験パラメータであるため、 $\mu_1$ より分子間相互作用の平衡論的情報として $K_A$ を求める。ただしこの際、 $\varepsilon_e$ と $\varepsilon_i$ の値が必要である。

次に、 $\mu_2'$ を解析して速度情報を得る。式(2)に示すように、 $\mu_2'$ は図2の4つの速度過程(軸方向混合拡散、液境膜物質移動、粒子内拡散およびリガンド-溶質分子間の反応速度)の寄与の和として表わされる。ここで図2の破線は液境膜を表わす。

まず、液境膜物質移動係数 ( $k_f$ ) を推算し、PR法により測定した $\mu_2'$ に対する $\mu_2$ の寄与 ( $\delta_f$ ) を差し引く。次に、細孔拡散係数 ( $D_p$ ) と表面拡散係数 ( $D_s$ ) をPP法により実測し、両者の値から $\mu_2$  (粒子内拡散) に関連する速度パラメータである $D_e$ を求める。 $\mu_2'$ に対する $\mu_2$ の寄与 ( $\delta_d$ ) を差し引き、 $\delta_{ax}$ と $\delta_{ads}$ の和を求める。ここで、 $\delta_{ax}$ と $\delta_{ads}$ の移動相流速依存性が大きく異なることから、その差異を利用して $\mu_2'$ に対する $\mu_2$ の寄与 ( $\delta_{ax}$ ) と $\mu_2$ の寄与 ( $\delta_{int}$ ) を分割する。このようにして求めた $\delta_{int}$ 値から会合速度定数 ( $k_a$ ) を求める。さらに、上記の $\mu_1$ 解析により求まる $K_A$ は $k_a/k_d$ に等しいため、 $k_a$ と同時に解離速度定数 ( $k_d$ ) を求める。

#### (4)分子間相互作用の解析

具体的実験系として次の二つのクロマト分離系を取り上げ、各溶質のクロマトグラフィー挙動を解析する。

実験系-1:  $\beta$ -臭素化シクロデキストリン結合シリカゲル粒子充填カラムとアセトニトリル/バッファー水溶液を用いる光学異性体分離系における2-フェノキシプロピオン酸のクロマトグラフィー挙動

実験系-2: 多糖(アミロース)誘導体コーティング型キラルカラムと $n$ -ヘキサン/エタノール混合溶媒を用いる光学異性体分離系における2-ナフチルアミン(R体)のクロマトグラフィー挙動

実験的には、移動相流速 ( $u_0$ ) を変化させ、理論段高 ( $H$ ) の流速依存性を調べる。上記(2)に示すように解析に必要な関連パラメータを求め、それを用いて上記(3)に示す手順で解析を行う。 $H-u_0$ プロットをモーメント解析し、光学活性リガンド-キラル分子間の相互作用に関する平衡および速度パラメータ ( $K_A$ ,  $K_D$ ,  $k_a$  および  $k_d$ ) を求める。

#### (5)分子間相互作用の熱力学的特性の解析

上記(4)の実験系の温度条件を変化させ、 $K_A$ ,  $K_D$ ,  $k_a$  および  $k_d$  を求める。各々の温度依

存性を van't Hoff および Eyring 式を用いて解析し、分子間相互作用の平衡および速度論的特性に関する熱力学的情報を得る。

#### 4. 研究成果

##### (1)新規モーメント解析式の開発

クロマト溶出ピークの一次および二次モーメント値を解析するために必要な新規モーメント式を導出した。その際、固定相表面の光学活性リガンドとキラル分子との間の化学反応速度をラングミュア型速度式を用いて表わした。まず、カラム内のクロマトグラフィー挙動を General rate model に基づき表わし、この基礎式の解析解をラプラス域で求めた。次に、この解析解から実時間域における溶出ピークの一次、二次モーメント値を表わすモーメント解析式を誘導した。

##### (2)速度解析に関連する各種パラメータの測定

カラム空隙率 ( $\varepsilon_e$ ) と充填剤細孔率 ( $\varepsilon_i$ ) 移動相としてテトラヒドロフランを用いる非保持条件下での逆サイズ排除クロマト法により、高分子(ポリスチレン)および小分子量プローブ(ベンゼン等)を用いて空隙率に関するパラメータ値を測定した。

##### 細孔拡散係数 ( $D_p$ )

非多孔性シリカゲルカラムを用いるピークパーキング法により、移動相溶媒中における試料物質の分子拡散係数を実験的に測定した。

また、液相系における分子拡散係数の推算法についても検討した。絶対反応速度論に基づき、溶媒分子間の会合だけではなく溶質分子間の会合をも考慮した分子拡散係数の推算法を開発した。その際には、分子の会合度を表わすため、溶解度パラメータに基づく会合係数の推算法も開発した。様々な溶質と溶媒の組み合わせについて分子拡散係数の推算値と既往の実測値を比較した結果、両者は相対誤差約14%(平均値)で一致した。

##### 表面拡散係数 ( $D_s$ )

実験系-1では、まず試料物質としてベンゼンを光学異性体分離カラムに注入するピークパーキング法により、カラム内移動相部分における軸方向拡散に関する障害因子を求めた。次に、2-フェノキシプロピオン酸のピークパーキング実験データを測定し、上記の障害因子を補正して固定相表面における2-フェノキシプロピオン酸の表面拡散係数を求めた。

また実験系-2でも同様に、まず試料物質としてトルエンを用いて光学異性体分離カラム内の移動相部分における軸方向拡散に関する障害因子を求めた。次に、2-ナフチルアミンを用いてピークパーキング実験を行った。これらの結果から、2-ナフチルアミンの表面拡散係数を求めた。

### 飽和吸着量

移動相溶媒に試料物質を溶解して各種濃度の試料溶液を調製し、それを各々光学異性体分離カラムに連続的に注入した。測定した破過曲線を解析して吸着等温線を求めた。

### (3)分子間相互作用の解析

#### 実験系-1

2-フェノキシプロピオン酸(R体とS体)のクロマトグラフィー挙動を解析した。先ず、理論段高の移動相流速依存性を調べた。次に、解析に必要な関連パラメータ(カラム空隙率、分離剤細孔率、液境膜物質移動係数、細孔拡散係数および表面拡散係数)を上記のように逆サイズ排除クロマトグラフィーやピークパーキング法等により求めた。それらの情報に基づいて理論段高の移動相流速依存性をモーメント解析し、 $\beta$ -臭素化シクロデキストリンと2-フェノキシプロピオン酸との間の相互作用に関する平衡パラメータ(会合平衡定数)および速度パラメータ(結合速度定数と解離速度定数)を求めた。

カラム温度 303 K における各パラメータの測定値は次の通りであった。2-フェノキシプロピオン酸の R 体については、会合平衡定数:  $93 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1}$ 、会合速度定数:  $2.7 \times 10^3 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} \text{ s}^{-1}$ 、解離速度定数:  $30 \text{ s}^{-1}$  であった。一方 S 体については、会合平衡定数:  $1.1 \times 10^2 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1}$ 、会合速度定数:  $3.6 \times 10^3 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} \text{ s}^{-1}$ 、解離速度定数:  $33 \text{ s}^{-1}$  であった。

#### 実験系-2

パルス応答実験により、試料物質の理論段高の移動相流速依存性を調べた。先に求めた関連速度パラメータの情報を利用して理論段高の移動相流速依存性をモーメント解析し、アミロース誘導体と2-ナフチルアミン(R体)との間の相互作用に関する平衡パラメータ(会合平衡定数)および速度パラメータ(会合速度定数と解離速度定数)を定量的に求めた。

カラム温度 298 K におけるアミロース誘導体-2-ナフチルアミン(R体)間の分子間相互作用について、会合平衡定数:  $10 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1}$ 、会合速度定数:  $8.1 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} \text{ s}^{-1}$ 、解離速度定数:  $0.79 \text{ s}^{-1}$  であった。

### (4)分子間相互作用の熱力学的特性の解析

カラム温度条件を 278 ~ 308 K の範囲で変化させ、実験系-2 における 2-ナフチルアミン(R体)のクロマトグラフィー挙動を解析した。モーメント理論に基づきアミロース誘導体-2-ナフチルアミン(R体)間の分子間相互作用を解析し、各温度における会合平衡定数、会合速度定数および解離速度定数を求めた。各々の温度依存性を van't Hoff 式および Eyring 式を用いて解析し、分子間相互作用の平衡および速度論的特性に関する熱力学的情報を得た。

上記の温度範囲において会合平衡定数は  $9.4 \sim 13.1 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1}$  の値であった。van't Hoff プロットの傾きから会合エンタルピーは  $7.6 \text{ kJ mol}^{-1}$  と求めた。また会合速度定数は  $7.7 \sim 8.4 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} \text{ s}^{-1}$  であり、カラム温度の上昇と共にその値は僅かに増加した。しかし、Eyring プロットからは明確な熱力学的情報は得られなかった。一方、解離速度定数は  $0.58 \sim 0.90 \text{ s}^{-1}$  であり、カラム温度の上昇と共にその値は増加した。Eyring プロットの傾きおよび切片から、解離反応の活性化エンタルピーは  $7.3 \text{ kJ mol}^{-1}$ 、活性化エントロピーは  $-0.22 \text{ kJ mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$  と求めた。

上記のように、会合速度定数が顕著な温度依存性を示さないことはアミロース誘導体-2-ナフチルアミン(R体)間の分子間相互作用の特徴であると推察されるが、最終的な結論を得るためには実験結果の集積が必要である。

### (5)まとめ

本研究では、クロマトグラフィー実験データをモーメント理論に基づき解析する分子間相互作用の速度解析法を開発した。また、本法が機能性リガンド-分離対象成分間の分子間相互作用を定量的に解析する上で有用であることを実験データに基づき実証した。本解析法により化学反応の速度定数や熱力学的情報を実験的に測定することができる。このため、本法は化学反応の特徴や機構を研究する上で有効な解析手法であると共に、分離剤の機能表面を設計する上でも有用な情報を与えるものと考えられる。

### 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6件)

Miyabe, K., Kamiya, S., Kinetic Study of Intermolecular Interaction between 2-Phenoxypropionic Acid and  $\beta$ -Bromo-cyclodextrin Affixed on Stationary Phase by Liquid Chromatography, Anal. Sci., 査読有、2015、In press

Miyabe, K., Moment equations for chromatography based on Langmuir type reaction kinetics, J. Chromatogr. A, 査読有、Vol. 1356, 2014, pp. 171-179  
DOI: 10.1016/j.chroma.2014.06.052

Miyabe, K., Murata, Y., Moment Analysis of Chromatographic Behavior of Separation Media for Fast HPLC, Anal. Sci., 査読有、Vol. 30, 2014, pp. 277-283.  
DOI: 10.2116/analsci.30.277

#### 宮部寛志

クロマトグラフィー分離機構のモーメン

ト解析理論、ぶんせき、査読有、No.11、  
2014、pp. 604-611

Miyabe, K.、 Isogai, R.、 Estimation of  
Molecular Diffusivity in Liquid Phase Systems  
on the Basis of the Absolute Rate Theory, Anal.  
Sci.、 査読有、 Vol. 29、 2013、 pp. 467-472  
DOI: 10.2116/analsci.29.467

Miyabe, K.、 Matsumoto, Y.、 Ando, N.、 Teratani  
Y.、 Measurement of Pore Diffusivity in  
Separation Media for High Performance  
Liquid Chromatography, Anal. Sci.、 査読有、  
Vol. 29、 2013、 pp. 315-323  
DOI: 10.2116/analsci.29.315

〔学会発表〕(計 10 件)

Miyabe, K.、 Kamiya, S.、 Analysis of  
Equilibrium and Kinetic Characteristics of  
Intermolecular Interaction between  
 $\beta$ -Bromo-cyclodextrin and  
2-Phenoxypropionic Acid by Liquid  
Chromatography, Pittsburgh Conference 2015、  
2015 年 3 月 11 日、 New Orleans (USA)

Shimazaki, Y.、 Tsuzuki, S.、 Mochizuki, Y.、  
Miyabe, K.、 Chromatographic Behavior in  
Reversed-Phase Liquid Chromatography  
Using Water as the Mobile Phase Solvent、  
Pittsburgh Conference 2015、 2015 年 3 月 8  
日、 New Orleans (USA)

宮部寛志、神谷諭司、固定相リガンド-試料  
分子間相互作用のモーメント解析、日本分  
析化学会第 63 年会、2014 年 9 月 18 日、広  
島大学(広島県・東広島市)

島崎裕紀、豊島輝、甲原翔太、都築誠二、  
望月祐志、宮部寛志、逆相液体クロマトグ  
ラフィー系における保持挙動の計算化学  
的研究、日本分析化学会第 63 年会、2014  
年 9 月 18 日、広島大学(広島県・東広島  
市)

Miyabe, K.、 Development of New Moment  
Equations for Chromatography Based on  
Langmuir Type Reaction Kinetics、 20th  
International Symposium on Separation  
Sciences, ISSS 2014、 2014 年 8 月 31 日、  
Prague (Czech Republic)

宮部寛志、HPLC を用いる分子間相互作用  
のモーメント解析法の開発、第 27 回バイ  
オメディカル分析科学シンポジウム、2014  
年 8 月 20 日、帝京大学(東京都・板橋区)

宮部寛志、固定相リガンド-溶質分子間相互  
作用のモーメント解析法の開発、第 74 回  
分析化学討論会、2014 年 5 月 24 日、日本  
大学(福島県・郡山市)

島崎裕紀、甲原翔太、宮部寛志、水を移動  
相として使用する逆相液体クロマトグラ  
フィー系の分離挙動のモーメント解析、第  
74 回分析化学討論会、2014 年 5 月 24 日、  
日本大学(福島県・郡山市)

宮部寛志、カラム充填層構造の半径方向不  
均一性解析法の開発、第 28 回日本イオン  
交換研究発表会、2012 年 10 月 18 日、東京  
工業大学(東京都・目黒区)

⑩宮部寛志、丹羽裕輔、大野恭介、クロマト  
ピーク形状の解析に影響を及ぼすテーリ  
ング特性の補正、日本分析化学会第 61 年  
会、2012 年 9 月 21 日、金沢大学(石川県・  
金沢市)

〔図書〕(計 0 件)

〔その他〕  
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

宮部 寛志 (Miyabe, Kanji)  
立教大学・理学部・教授  
研究者番号：10281015

(2) 研究分担者

( )

研究者番号：

(3) 連携研究者

( )

研究者番号：