

令和 4 年 10 月 18 日現在

機関番号：12401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02741

研究課題名(和文) 気体及び超臨界流体を固定化した分離場を用いる高性能多機能型逆相HPLCの開発

研究課題名(英文) Development of high-performance multi-functional reversed-phase HPLC with the stationary phase containing gas and supercritical fluid

研究代表者

渋川 雅美 (Shibukawa, Masami)

埼玉大学・理工学研究科・名誉教授

研究者番号：60148088

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、異なる表面構造をもつ多孔質材料の細孔内に気体および超臨界流体を固定化し、これを分離場とする表面気泡変調液体クロマトグラフィーおよび超臨界流体固定化液体クロマトグラフィーシステムを構築して、疎水性ナノ空間における気体と超臨界流体の分離媒体としての機能を解明するとともに、従来にない分離技術を生み出すことを目的として行った。最初に疎水性物質表面に形成される界面液相の構造と疎水性物質表面の化学構造が分離選択性に与える影響の解明を行った。ついで、気液分離による前処理を必要としない水中の揮発性有機化合物の完全回収分析法と不活性ガス的高速分析法の開発を目的として研究を展開した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

逆相液体クロマトグラフィー(RPLC)は水溶液中の化合物の分離に最も広く利用されている分析法であるが、その分離機構の実験的解明は進んでいない。研究代表者はイオン分配法と表面気泡変調液体クロマトグラフィー(SBMLC)を創案して、この問題に取り組んできた。本研究では、疎水性物質が水溶液と接したときに物質表面に形成される界面液相の構造と表面の化学構造によってRPLCの物質分離選択性がどのように変化するかを明らかにすることに成功した。さらにSBMLCとRPLCを用いて、人体に有害な水溶液中の揮発性有機化合物の精密分析法と、従来法では分離が難しい不活性ガスの新しい分離分析法を開発した。

研究成果の概要(英文)：This study aims to investigate the function of the gas phase and the supercritical fluid incorporated in porous hydrophobic packing materials in the columns of surface bubble-modulated liquid chromatography and supercritical fluid stationary phase liquid chromatography and develop unprecedented separation technologies. The effects of the structure of the interfacial liquid layer formed on the surface of the hydrophobic packing materials and the chemical structure of the surface of the hydrophobic materials on the separation selectivity were clarified. We also carried out the research with the aim of developing a method for determining volatile organic compounds in an aqueous solution and a high-speed analysis method for inert gases that does not require pretreatment by gas-liquid separation.

研究分野：分析化学

キーワード：表面気泡変調液体クロマトグラフィー 超臨界流体固定化液体クロマトグラフィー 逆相液体クロマトグラフィー 界面液相 イオン分配法 ナノ気泡 VOC 疎水性ナノ細孔

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、水中に置かれた疎水性物質表面にナノメートルから数十ナノメートルサイズの気泡(ナノ気泡)が発生し、これが熱力学から予測される結果とは異なり、極めて安定に長時間存在することが明らかにされ、特に界面化学分野で大きな注目を集めている。一方これとは独立に、水を移動相とする逆相液体クロマトグラフィー(RPLC)の研究において、疎水性多孔質充填剤粒子の細孔内から水が抜け出す現象が観測されている。研究代表者は、疎水性ナノ空間に置かれた水に関する自身の研究結果の考察に基づいて、疎水性多孔質粒子内からの水の抜け出しは疎水性ナノ空間において液相水が気体に相変化し、ナノ気泡を形成することによるものであると推測し、この現象の解明に取り組んだ。その結果、疎水性ナノ空間に置かれた液相水は一定の圧力以下で水蒸気に相変化することを見出すとともに、この現象を利用して気体を固定相の一構成要素とする表面気泡変調液体クロマトグラフィー(surface-bubble-modulated liquid chromatography, SBMLC)を創出した。SBMLCは水溶液と疎水性材料の界面近傍における溶質分子の深さ方向の分布を知ることが可能にする、物理化学的に非常に有用な分析法であることが明らかになり、これによって、水/疎水性物質界面と疎水性物質内部は、互いに全く異なる溶質保持選択性を示すことがわかった。また、ナノ気泡の体積は圧力を用いて自在に変えることができるので、連動して水/疎水性材料界面の大きさを変えることが可能であり、分離選択性を圧力によって制御する分離システムを構築できることを示した。さらに、疎水性ナノ細孔内には気体だけではなく超臨界流体を固定できることも見出し、超臨界流体固定化液体クロマトグラフィー(supercritical fluid stationary phase liquid chromatography, SFS-LC)を開発した。SBMLCとSFS-LCは、疎水性材料自身および水/疎水性材料界面に加えて、気相または超臨界流体が新たな独立の分離媒体として加わった複合分離場をもつ全く新しいRPLCである。

しかし、疎水性ナノ空間に置かれた気体や超臨界流体の分離媒体としての機能は明らかになっていない。気体および超臨界流体を固定相とすることは、従来のクロマトグラフィー技術とは異なり、移動相よりも物質移動の大きな媒体を固定相とすることになり、これを利用することによって高速かつ高分離能の新しい分離技術を生み出すことができると期待される。

2. 研究の目的

本研究では、異なる表面構造をもつ多孔質材料の細孔内に気体および超臨界流体を固定化し、これを分離場とするSBMLCおよびSFS-LCシステムを構築して、疎水性ナノ空間における気体と超臨界流体の分離媒体としての機能を解明するとともに、圧力や温度によって分離選択性を変換できる、従来にない分離技術を生み出すことを目的とした。最初に疎水性物質表面に形成される界面液相の構造の解明を試み、ついで疎水性物質表面の化学構造が、分離選択性にどのような影響を与えるのかに着目して研究を展開した。さらに、高い移動相線速度で高分離能を発現するクロマトグラフィーシステムの設計と開発を目指した。ついで、現在のクロマトグラフィー技術では高い精度さでの分析が困難とされている、気液分離による前処理を必要としない水中の揮発性有機化合物(VOC)の完全回収分析法と不活性ガスの高速分析法の開発を目的とした。

3. 研究の方法

(1) 表面気泡変調液体クロマトグラフィー

SBMLCの分離機構の研究およびVOC分析法の開発については、島津製LC-30ADポンプ、SIL-30ACオートサンプラー、CTO-30Aカラムオープン、SPD-M20Aフォトダイオードアレイ検出器およびRID-10A示差屈折率検出器で構成したシステムを使用した。また、無機気体の高速分析法の開発は、日立高速液体クロマトグラフ(送液ポンプ5110、デガッサーH、オートサンプラー5280)を用いて行った。カラム充填剤としては、C₁₈結合型シリカのほか、フェニルヘキシル基結合型シリカを用いた。カラムをアセトンで満たし、ついでカラムの両端を開放して80に設定した乾燥機内で加熱乾燥し、質量測定により有機溶媒が完全に除去されたことを確認した後、移動相を通液して気相を多孔質充填剤内部に固定した。

(2) 超臨界流体固定化液体クロマトグラフィー

超臨界二酸化炭素を固定相とする液体クロマトグラフィーシステムは、日本分光製PU-2080 Plusポンプ、高耐圧セルを備えたUV-2075 Plus紫外可視吸光検出器、880-81またはBP-4340圧力調整器、Rheodyne製7725iマニユアルインジェクターおよび耐圧硝子製TSC-CO₂-002高圧容器を用いて構築した。高圧容器は日本分光製860-COカラムオープン、またカラムはCO-4060カラムオープンにより温度を制御した。

超臨界二酸化炭素は高圧容器にドライアイスを粉碎して充填した後、これに水をHPLCポンプで送液して臨界点以上の圧力とすることによって調製した。この高圧容器から送出される二酸化炭素飽和水溶液と他のHPLCポンプにより送液される水とをミキシングコイルで混合して移動相とし、これをカラムに通液した。

4. 研究成果

(1) 疎水性充填剤表面に形成する界面液相の構造と分離選択性の評価

RPLC は水溶液中の多様な化合物の分離に最も広く利用されている液体クロマトグラフィーである。しかし、その分離機構は 1970 年代から多くの研究者が HPLC や各種の分光法を用いて取り組んできたにもかかわらず、分子レベルでの解明には至らなかった。これは、水と疎水性材料との固液界面と、疎水性材料そのものが溶質分子に対して全く異なる親和性を示し、不均質な分離場を構成していること、および両者の物質分離への寄与を正しく分割して評価できる方法が存在しなかったこと、さらに固液界面における物質分布を明らかにする実験法が見出されていなかったことによる。研究代表者は無機イオンをプローブとするイオン分配法により、バルク液相と疎水性物質表面に形成される界面液相を区別し、それぞれの体積を測定できることを明らかにした。RPLC カラム内におけるバルク液相体積 V_{BL} は、それぞれ異なる電解質を含む 2 つの溶離液系で同じ電荷をもつ 2 種類の無機イオンの保持体積を測定することによって、下記の式により求められる。

$$V_{BL} = \frac{V_A^{YX}V_B^{WZ} - V_A^{WZ}V_B^{YX}}{V_A^{YX} + V_B^{WZ} - V_A^{WZ} - V_B^{YX}} \quad (1)$$

ここで、 V_i^{jk} は電解質 jk を含む溶離液系で測定したイオン i の保持体積を示す。本研究では、NaCl と NaClO₄ を溶離電解質、および Br⁻, NO₃⁻, I⁻, SCN⁻ をプローブイオンとして C₁₈ 結合型シリカカラム内のバルク液相体積を求めた。次いで、純水を溶離液としたときの重水の保持体積からカラム内の全液相体積 V_0 を求め、 V_0 から V_{BL} を差し引いて界面液相体積 V_{IL} を求めた。

V_{IL} は無機イオンが認識する界面液相の体積を示す。そこで、有機化合物も同じ界面液相を認識するかどうかを確かめることにした。親水性有機化合物は C₁₈ 結合相内部には分配せず、界面にのみ保持されることをすでに明らかにしている。したがって、RPLC における親水性化合物が界面液相を固定相として認識するならば、その保持は以下の式(2)によって表される分配係数によって決まることになる。

$$D_{IL} = \frac{V_R - V_{BL}}{V_{IL}} \quad (2)$$

ここで V_R は試料化合物の保持体積である。Fig. 1 に、細孔径が 120 Å の C₁₈ 結合型シリカカラムである Capcell Pak C18 UG120 と 300 Å の UG300 について、溶離液を 10%(v/v)アセトニトリル水溶液として測定した糖、*n*-アルコール、グリコールなどの親水性有機化合物のほか、無機陰イオンおよび重水の D 値を比較した結果を示す。Fig. 1 は 2 つのカラムにおける各試料化合物の $\log D_{IL}$ 値を比較したものであるが、すべてのプロットが傾き 1 で原点を通る直線上にのっていることがわかる。これは、保持体積には互いに大きな違いがあるにもかかわらず、式(2)に基づいて分配係数を求めると、全く同じ値になることを示している。

一方、仮に界面液相には水が含まれず、アセトニトリルの選択的吸着によって形成されると仮定すると、分配係数は以下の式(3)で与えられる。

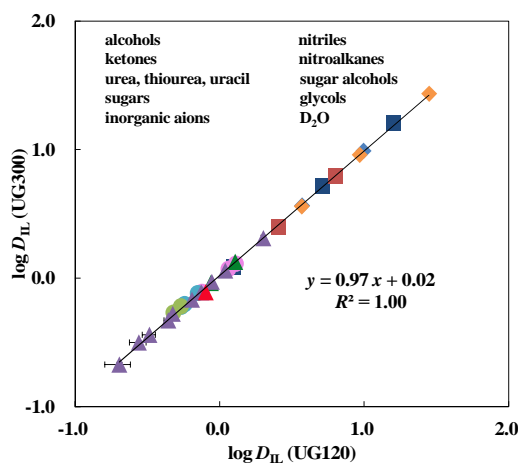


Fig. 1. Values of $\log D_{IL}$ for Capcell Pak C18 UG300 plotted against $\log D_{IL}$ for Capcell Pak C18 UG120. The D_{IL} values for organic compounds were determined with 10%(v/v) acetonitrile-water and those for inorganic anions were with 10%(v/v) acetonitrile-water containing 0.1 mol L⁻¹ NaCl and NaClO₄ aqueous solutions. Temperature: 25 °C.

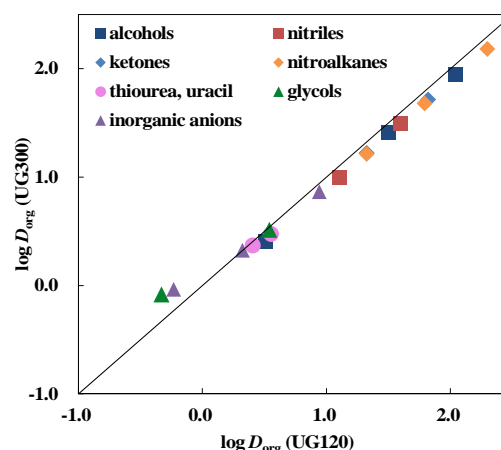


Fig. 2. Values of $\log D_{org}$ for Capcell Pak C18 UG300 plotted against $\log D_{org}$ for Capcell Pak C18 UG120. The D_{org} values for organic compounds were determined with 10%(v/v) acetonitrile-water and those for inorganic anions were with 10%(v/v) acetonitrile-water containing 0.1 mol L⁻¹ NaCl and NaClO₄ aqueous solutions. See Fig. 1 for other details.

$$D_{\text{org}} = \frac{V_{\text{R}} - V_{\text{D}_2\text{O}}}{V_{\text{org}}} = \frac{V_{\text{R}} - V_{\text{D}_2\text{O}}}{V_0 - V_{\text{D}_2\text{O}}} \quad (3)$$

ここで、 $V_{\text{D}_2\text{O}}$ は重水の保持体積であり、 V_{org} は C_{18} 結合相表面に吸着したアセトニトリルの体積である。式(3)によって得られた D_{org} について Fig. 1 と同様のプロットをとった結果を Fig. 2 に示す。Fig. 2 からプロットは明らかに直線からずれていることがわかる。また、尿素や多くの無機陰イオンは重水よりも保持体積が小さく、 D_{org} 値が負の値になった。2 つのカラムは細孔径が異なるだけで、表面化学構造は同一であるので、界面液相の構造には差がないと考えられる。したがって、これらの結果は無機イオンだけでなく有機分子も同じ界面液相を認識していること、および界面液相は溶離液中の有機溶媒分子の吸着のみによって形成されるのではなく、水分子も界面液相を構成する成分であることを示している。

界面液相の溶媒組成は次式によって計算できる。

$$\phi_i^{\text{IL}} = \phi_i^{\text{BL}} \frac{(V_{\text{R},i} - V_{\text{BL}})}{V_{\text{IL}}} \quad (4)$$

ここで ϕ_i^{IL} と ϕ_i^{BL} は、界面液相およびバルク液相における有機溶媒の体積分率であり、 $V_{\text{R},i}$ は同位体標識した有機溶媒の保持体積である。アセトニトリル/水およびメタノール/水系での ϕ_i^{BL} に対する ϕ_i^{IL} 依存性を Fig. 3 に示す。バルク液相中よりも界面液相中での有機溶媒濃度が高いこと、また溶媒組成は C_{18} 結合型シリカ充填剤の細孔径に依存しないことがわかる。

(2) フェニルヘキシルシリカとオクタデシルシリカが示す溶質分離選択性の差の要因

SBMLC の固定相を構成する疎水性結合層、疎水界面水、および気相は独立に溶質を保持するので、その保持体積 V_{R} は次式で与えられる。

$$V_{\text{R}}^{\text{S}} = V_{\text{BL}}^{\text{S}} + D_{\text{IL}} V_{\text{IL}}^{\text{S}} + D_{\text{C}}^{\text{cor}} S_{\text{C}}^{\text{S}} + D_{\text{G}} V_{\text{G}} + D_{\text{E}} S_{\text{E}} \quad (5)$$

ここで V_{G} は気相の体積、 S_{C} と S_{E} は疎水基の総分子表面積とエンドキャップしたシリカの表面積、そして $D_{\text{C}}^{\text{cor}}$ 、 D_{G} 、 D_{E} は、それぞれの固定相または表面とバルク液相間の溶質の分配係数である。上付きの S は SBMLC を示す。一方、RPLC 系における溶質の保持体積は式(6)で与えられる。

$$V_{\text{R}}^{\text{R}} = V_{\text{BL}}^{\text{R}} + D_{\text{IL}} V_{\text{IL}}^{\text{R}} + D_{\text{C}}^{\text{cor}} S_{\text{C}}^{\text{R}} + D_{\text{E}} S_{\text{E}} \quad (6)$$

上付きの R は RPLC を示す。したがって、一つの化合物の保持体積を、同じカラムでそれぞれ SBMLC と RPLC により測定し、さらにカラム内の各相の体積と表面積を測定することによって、各分配係数を得ることができる。純水を溶離液としたときのフェニルヘキシルシリカ (L-column2 C6-Phenyl) における D_{IL} 値 ($D_{\text{IL}(\text{PH})}$) の対数を C_{18} シリカカラム (L-column2 ODS) における D_{IL} 値 ($D_{\text{IL}(\text{C}_{18})}$) に対してとったプロットを Fig. 4 に示す。測定したすべての化合物について、 $D_{\text{IL}(\text{PH})}$ 値は $D_{\text{IL}(\text{C}_{18})}$ 値に比べて小さいことがわかる。これはフェニル基の水との界面張力がアルキル基の値よりも小さいことに起因しているとともに、フェニルヘキシル基の末端フェニル基が水と接するように配向していることを示している。一方、これに対して、 $D_{\text{C}}^{\text{cor}}$ 値はフェニルヘキシルシリカのほうが C_{18} シリカよりも大きいことがわかった。これはフェニル基との相互作用によるものであることが明らかになった。

(3) SBMLC および SFS-LC のカラム効率の向上

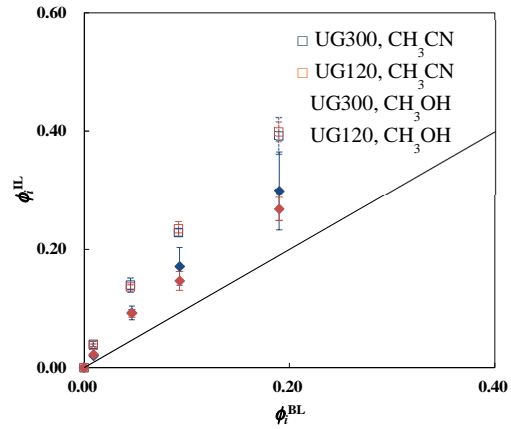


Fig. 3. Dependence of ϕ_i^{IL} on ϕ_i^{BL} in acetonitrile-water and methanol-water eluent systems.

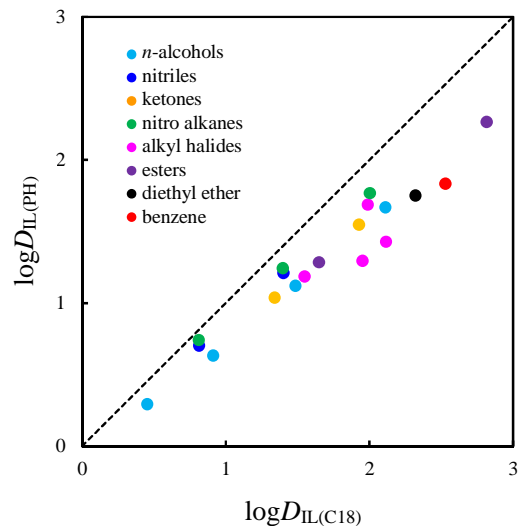


Fig. 4. Values of $\log D_{\text{IL}(\text{PH})}$ plotted against $\log D_{\text{IL}(\text{C}_{18})}$. Temperature: 25 °C.

SBMLC および SFS-LC は、RPLC に比べて特に低流速で試料バンドが広がり、理論段数が小さくなるという欠点がある。これは移動相である液体よりも粘度が小さく拡散係数の大きい気体および超臨界流体が粒子細孔内に存在し、これが粒子間の接触によって連続体となっていることが原因ではないかと推測した。そこで、非多孔質の C₁₈ シリカ (Presto FF-C18) を多孔質 C₁₈ シリカ (L-column2 ODS) と混合比を変えて充填したカラムについて理論段高さ H を測定した。SBMLC 系において、ベンゼンについて理論段高さを移動相の線流速 u に対してプロットした van Deemter プロットを Fig. 5 に示す。非多孔質粒子の混合比が大きくなるほど理論段高さが小さくなり、カラム効率が向上することがわかる。同様の結果は SFS-LC においても観測された。この結果は、気体あるいは超臨界流体固定相が非多孔質粒子によって分断され、固定相内の通常拡散の効果が抑制されることを示している。

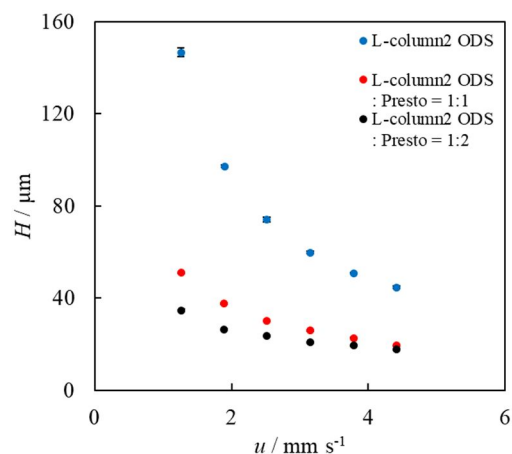


Fig. 5. Van Deemter plots for benzene on SBMLC columns packed with porous and nonporous C₁₈ silica particles (2 μm). Temperature: 40°C. Eluent: water.

(4) SBMLC を用いた VOC の捕集分離を用いた VOC 定量法の開発

SBMLC カラム内では移動相である水溶液と疎水性充填剤との界面の面積が極めて小さいので、親水性官能基を持つ化合物はほとんど保持されないのに対して、気相を通して疎水性材料内部に分配する高揮発性の疎水性化合物の保持は非常に大きい。そこで、この特徴を利用して、水試料中の VOC を SBMLC により選択的に捕集濃縮し、ついでこれを RPLC により分離定量する方法を考案した。

pH 7.2 の 10 mM リン酸緩衝液で試料水を SBMLC カラム (Cadenza 5CD-C18 (3.0 mm i. d. × 30 mm)) に導入してベンゼン、トルエン、およびキシレン (BTX) の捕集濃縮を行い、ついで 6 方バルブにより移動相をアセトニトリルとリン酸緩衝液の混合溶媒 (4:6) に切り替え、捕集した BTX を分析カラム (L-column2 ODS (4.6 mm i. d. × 150 mm)) に導いた。検出は 190-210 nm の紫外吸収を用いて行った。0.5-20 ppb の BTX と、その 100 倍以上の濃度のアルコール、エステル、アミノ酸、カルボン酸、界面活性剤及び無機塩を含む水溶液を SBMLC カラムに注入したところ、注入体積が 5 mL までは BTX を他の親水性共存物質から完全に分離して捕集できることがわかった。そこで、井戸水と水道水に BTX を添加した模擬試料について測定を行ったところ、定量限界が 1 μg/L またはそれ以下で精確に定量できることが明らかになった。本法は、ヘッドスペースガスクロマトグラフィーなどのように VOC を気相中に分離する前処理操作が不要で、水試料を直接注入することができる精確さに優れた分析法である。

(5) SBMLC による無機気体の分析法の開発

SBMLC はガスクロマトグラフィーとは異なる分離機構を持つ気体の高速分離法となりうると思われる。そこで、数種の無機ガスとメタンをモデル試料気体として SBMLC における気体の分離機構の解明を試みるとともに、SBMLC を用いた混合気体の分離の最適化に関する検討を行った。

C₁₈ シリカカラムを用いて RPLC と SBMLC における気体試料の保持挙動を比較したところ、RPLC ではほとんどカラムに保持されることなく溶出されるのに対して、SBMLC では多くの気体について保持体積が大きく増加し、いくつかの気体の相互分離が観測された。無機ガスの保持体積の大きさの順は水 / 気相間の分配係数から予想される順と一致したことから、カラム内に固定された気相と移動相との間の気液分配が分離に大きく寄与していることが明らかになった。一方、メタンは気液分配から予想されるよりも大きな保持体積を示した。これは、メタンが C₁₈ 結合層にも分配することによるものと推測される。

上述したように、非多孔質粒子を通常の多孔性 C₁₈ シリカ粒子と混合してカラムに充填することによってカラム効率が向上するが、粒子径が 2 μm を超える非多孔質シリカ粒子の合成は難しく、粒子径が小さいとカラムに加わる圧力が大きくなり、気体固定相の体積が小さくなるという問題が生じる。そこで非多孔質 C₁₈ シリカ粒子の代わりに、気体を保持しないシリカ粒子 (粒子径はいずれも 5 μm) を混合充填したカラムについてカラム効率の検討を行った。その結果、シリカ粒子を混合充填したカラムでも理論段高さが小さくなるとともに、粒子径が大きい長いカラムでも高流速で溶離液を送液することが可能で、3000 段以上の理論段数を得ることができた。また、気液分配係数は温度に大きく依存して変化するので、これを利用して温度によって分離選択性を制御できることがわかった。ガスクロマトグラフィーでは分離が困難な酸素とアルゴンの分離が可能であることも明らかになり、従来法にない気体の分離分析法になりうることが示された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Keisuke Nakamura, Shingo Saito, Masami Shibukawa	4. 巻 1628
2. 論文標題 Intrinsic Difference between Phenyl Hexyl- and Octadecyl-Bonded Silicas in the Solute Retention Selectivity in Reversed-Phase Liquid Chromatography with Aqueous Mobile Phase	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Chromatography A	6. 最初と最後の頁 461450
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.chroma.2020.461450	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 渋川雅美	4. 巻 76
2. 論文標題 水/疎水性物質界面近傍における物質分布 - 液体クロマトグラフィーと分子動力学計算で探る	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 化学	6. 最初と最後の頁 70-71
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Makoto Harada, Tetsuo Okada, Keisuke Nakamura, Shingo Saito, Masami Shibukawa	4. 巻 4
2. 論文標題 Facilitated Dehydration of Rb ⁺ in Cation-Exchange Resin When Surrounded by Cs ⁺ , Particularly in Superheated Water	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ChemistrySelect	6. 最初と最後の頁 4718-4725
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/slct.201900388	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Masami Shibukawa, Hiroki Okutsu, Shingo Saito	4. 巻 7
2. 論文標題 Characterization of the Interfacial Liquid Layer Formed on Hydrophobic Packing Material Surfaces by Liquid Chromatographic Analysis of the Distribution of Ions and Molecules	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ACS Omega	6. 最初と最後の頁 15158-15166
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1021/acsomega.2c01184	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 渋川雅美, 小野山洋輔, 半田友衣子, 齋藤伸吾
2. 発表標題 親水性高分子ゲルカラムを用いる多段階pHピークフォーカシング液体クロマトグラフィーによる希土類金属の分離
3. 学会等名 第80回分析化学討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中野陽介, 水野恒, 半田友衣子, 齋藤伸吾, 渋川雅美
2. 発表標題 表面気泡変調液体クロマトグラフィーによる気体の分離分析
3. 学会等名 日本分析化学会第69年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 渋川雅美
2. 発表標題 液体クロマトグラフィー
3. 学会等名 第50回湘南ハイテクセミナー（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中村圭介, 生形竜介, 水野恒, 齋藤伸吾, 渋川雅美
2. 発表標題 表面気泡変調液体クロマトグラフィーによるアセトニトリル水溶液 / C18 シリカ界面における物質分離機構の解析 - 界面における物質分布におよぼす溶媒組成の影響の解明 -
3. 学会等名 第79回分析化学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 水野 恒, 半田友衣子, 齋藤 伸吾, 渋川 雅美
2. 発表標題 二酸化炭素水溶液を移動相とする逆相液体クロマトグラフィー
3. 学会等名 日本分析化学会第68年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 槇原弘人, 半田友衣子, 齋藤 伸吾, 渋川 雅美
2. 発表標題 水系分配クロマトグラフィーを利用した電解質精製法の開発
3. 学会等名 日本分析化学会第68年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 渋川雅美, 中野裕太, 齋藤伸吾
2. 発表標題 表面気泡変調液体クロマトグラフィーによる気体の分離分析 - C18シリカおよびシリカ粒子の混合充填カラムによるカラム効率の改善 -
3. 学会等名 日本分析化学会年会第70年会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計2件

産業財産権の名称 揮発性有機化合物の分析方法及び分析システム	発明者 渋川雅美, 中野裕太, 緒方伸也	権利者 埼玉大学, 一般財団法人化学物質評価研究機構
産業財産権の種類、番号 特許、2021-130900	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 液体クロマトグラフ用カラム, 気体分析方法, 及び気体分析システム	発明者 渋川雅美, 中野裕太	権利者 埼玉大学, 一般財団法人化学物質評価研究機構
産業財産権の種類、番号 特許、2022-128012	出願年 2022年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

埼玉大学 理工学研究科 渋川・齋藤研究室（分析化学）
<http://www.apc.saitama-u.ac.jp/sibukawa/Accomplishments.html>
埼玉大学 理工学研究科 渋川・齋藤研究室（分析化学）
<http://www.apc.saitama-u.ac.jp/bunseki/index.html>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	半田 友衣子 (Handa Yuiko) (20586599)	埼玉大学・理工学研究科・助教 (12401)	
研究 分担者	齋藤 伸吾 (Saito Shingo) (60343018)	埼玉大学・理工学研究科・教授 (12401)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------