

有機相固化法を用いる溶媒抽出法

溶媒抽出法において、有機相と水相の相分離を簡便に行う目的で、有機相を固化させる試みが古くから行われてきた。現在でも、有機溶媒の凝固-融解の相転移現象を利用する手法を中心に、いろいろな相分離現象がこの目的に利用されている。本稿では、室温付近に融点を有する易固化性溶媒を使った溶媒抽出法を中心に、いくつかの抽出相固化法を利用した溶媒抽出法の特徴を紹介する。

藤 永 薫

1 はじめに

溶媒抽出法は、クロマトグラフィーや蒸留法などの他の分離法と比べると、選択できる分離条件の幅が広い、抽出の素過程を定量的に解析できる、といった優れた特徴を有しており、基礎科学的研究から工業的応用まで広範な領域で多用されている。このように溶媒抽出法は非常に魅力的な分離法ではあるが、もし強いて難点を探せば、抽出平衡到達後の相分離の操作が煩わしいことである。水相もしくは有機相を全量回収することは分液漏斗を用いても難しい。しかし、一相を固化できれば他相を傾斜法で除去できるので、分液漏斗を使わなくても遠沈管のような簡単な器具で、簡便に相分離操作が行える。この観点から、有機相を固化させる試みが古くから試みられてきた。

さて、冷却して有機相か水相のどちらか一方を凝固させて相分離することを考えたときに、どちらを凝固させるのがより簡便であろうか？ 大抵の場合、有機溶媒の熱容量よりも水のそのほうが大きく $\{1.00 \text{ cal K}^{-1} \text{ g}^{-1} (15^\circ\text{C})\}$ 、本来凝固し難い上に、イオン強度を一定に保つために塩類を加えたりすると、凝固点降下の影響も相まって水相はいよいよ固化しにくく、水相を固化させる試みは実際的でない。溶媒抽出法では、有機相が上層であれ下層であれ操作性に差はないとされているが、筆者は有機相が下層にあったほうが便利であると思う。しかし、重い溶媒の多くはクロロホルム等ハロゲン系溶媒であり、環境問題の高まりから使用が制限されるようになってきた。現在、はばかることなく使える溶媒はシクロヘキサン等の軽い溶媒に限られており、この傾向は今後も変わることはない。そうであるならば、冷却機器の性能が向上するにつれて、いずれは下層の水相を固化

させる試みも外的な選択ではなくなるかもしれない。しかし、ここでは易固化性溶媒を中心に、有機相の固化を利用した分相法を紹介する。

2 固体溶媒を用いる抽出法および溶融ナフタレン抽出法

上記の難点を克服する目的で、常温で固体の溶媒を有機相として用いる溶媒抽出法は古くから試みられてきた。Zolotov によれば、1959 年に Kuznetsov らが、パラフィンにケトンやエステル類を混ぜた混合溶媒を用いて金属の抽出を試みており、これが固体溶媒による抽出の最初の報告例とされている¹⁾。その後 Korenmann らは、 Zn^{2+} と Co^{2+} のジチザン抽出においてベンゾフェノン (m.p. 48°C) を有機相として 100°C で抽出操作を行っている²⁾。ベンゾフェノンは、リン酸態リンをリンモリブデン酸イエローとして 60°C で抽出する系でも使われている³⁾。このタイプの抽出系を最も徹底的に研究したのは、藤永-佐竹らのグループであろう。彼らは、ナフタレンを有機相に用い、融点 (80.2°C) 以上の温度で抽出平衡に到達せしめた後放冷して有機相を固化させる方法を用いて、種々の抽出光度法を開発した⁴⁾。

これらの方法は、高温で抽出操作を行う点と、相分離後の有機相が固体であるという二つの点に特徴がある。第一の特徴は、錯生成反応が吸熱的である系や、対象錯体の抽出溶媒への溶解度が加温によって向上する系においては、通常の溶媒抽出法と比べて本質的に優位であることを意味している。例えば、 Fe(III) を 0.2 M 塩酸酸性溶液中から 2-テノイルトリフルオロアセトン (TTA) のベンゼン溶液で抽出するには 12 時間以上かかるのに対し、佐竹らは、 90°C で 1 分以内の振り混ぜでナフタレン中に定量的に抽出している⁵⁾。さらに、 Zn(II) 、 Mg(II) 、 Cd(II) のオキシ錯体は水和錯体を形成するために室温下では通常の有機溶媒には抽出されないが、 80°C の高温下ではナフタレン中に容易に抽出されてい

る⁶⁾。他にも高温下でのナフタレン抽出法の採用によって著しく抽出速度が改善された例として、Ni(II) と Pd(II) の 1,2-シクロヘキサジオキシム錯体^{7)~9)}、Bi(III) の 2-メルカプトベンゾチアゾール錯体¹⁰⁾¹¹⁾、Ni(II) の 1-(2-チアゾリルアゾ)-2-ナフトール (TAN) 錯体¹²⁾、Pd(II) のキナルジン酸錯体¹³⁾などは、いずれも室温下では通常の有機溶媒に抽出されないのに対し、熔融ナフタレン抽出法では多くの場合数秒の振り混ぜで有機相に抽出できると報告されている。一方で、Mo(VI) や V(V) のエチルキサントゲン酸錯体等熱的に不安定なために抽出できない錯体が一部にあるものの、1987 年の時点で 100 報以上の研究例が報告されている事実がこの抽出法の優位性を物語っている。ちなみに、熔融ナフタレン抽出法はキレート錯体の抽出のみならず、Fe(phen)₃・(TPB)₂¹⁴⁾¹⁵⁾ や Cu(tptz)₂TPB¹⁶⁾ (TPB: テトラフェニルホウ素イオン) といったイオン会合錯体の抽出吸光度定量にも適用されている。

ナフタレン以外の固体溶媒として、カフェインが用いられたこともある。カフェインの水への溶解度が温度によって大きく変化する (25°C: 2.2 mg/ml, 80°C: 180 mg/ml) ことを利用して、50°C に加温した均一溶液から 0°C に冷却して析出するカフェイン中に Cu²⁺ をオキシン錯体として抽出するなど、いくつかの金属の抽出光度法が提案されている¹⁷⁾。

ナフタレン抽出法で相分離後の有機相が固体であるという第二の特徴については、固体物質の分析法に直接供与できることを意味している。例えば、Ni²⁺ を TAN 錯体としてナフタレン中に抽出してそのまま蛍光 X 線分析法により定量した例が報告されている¹⁸⁾。蛍光 X 線分析法などの固体物質の分析法は最近進展が著しく、固体溶媒との組み合わせで多元素の同時定量が可能な新しい分析法の開発される余地が今なお残されている。

3 易固化性溶媒

有機相を固化することによって固液分離により相分離できることのもう一つの利点は、相分離が簡単正確に行えるので有機相対水相体積比を大きくとれることである。ナフタレン等の固体溶媒を用いる高温抽出法では、相分離は簡単であるものの、原子吸光法、ICP 発光分光法や吸光度法など液体試料の分析法により有機相中に抽出された化学種を定量するには有機相を他の溶媒に溶解しなければならず、濃縮比の点で不利である。これに対し、融点が室温付近にある易固化性溶媒を有機相に用いると、抽出平衡到達後冷却遠心分離により相分離を行った後、有機相は室温で暫時放置しておくだけで再び液化するので、多くの分析法に直接供与でき、操作性のみならず濃縮比の点でも有利である。冷却機能の付いた遠心分離器は、化学の実験室では馴染みの薄い機器かもしれないが、生物学系の研究室では化学における吸光光

表 1 易固化性溶媒の固化挙動と化学的性質

易固化性溶媒	融点 (°C)	比重 ¹⁾	水に対する溶解度 ²⁾	固化挙動 ³⁾
p-キシレン	13	0.861 (20)	不溶性	上層固化
ジフェニルメタン	26-27	1.006 (20)	不溶性	下層固化
シクロヘキサノール	25	0.968 (25)	3.6/20°C	—
フェノキシエタノール	14	1.102 (22)	2.0/25°C	—
1,3-ジメトキシベンゼン	23	1.081 (21)	難溶性	—
ジフェニルエーテル	27	1.148 (20)	難溶性	下層固化
アセトフェノン	20	1.024 (25)	微溶性	上層または下層固化
プロピオフェノン	21	1.013 (16)	不溶性	上層または下層固化
安息香酸ベンジル	19	1.112 (25)	不溶性	—
p-クロロトルエン	8	1.070 (20)	不溶性	—
1,2,4-トリクロロベンゼン	17-18	1.446 (26)	不溶性	下層固化

1) 括弧内の温度における 4°C の水に対する値、2) 水 100 g に対する値。3) 「上層固化」、「下層固化」は有機相が上層であるいは下層で固化したことを表す。—は、実験条件下で固化しなかったことを表す。

度計のようなありふれた存在である。筆者も科研費が当たるまでは、隣接の生物学教室の装置を借用していた。

Lange のハンドブックには約 6500 の有機化合物についての物性が載っているが、そのうち融点が室温付近にある化合物の内、溶媒として使用するのがためらわれるような（主として入手の簡易さと価格の点で）特異なものを除くと、易固化性溶媒として使用しうる化合物は 11 あった¹⁹⁾。それらの溶媒について、融点等の物性値をまとめて表 1 に示す。表中、固化挙動とあるのは、1.0 v/v% の二硫化炭素 (CS₂) とピロリジンを含む混合溶媒を調製し、これと同体積の pH 4.0 または 9.0 に調整した 1.0 M 硝酸カリウム水溶液を 1 時間振り混ぜ、-5°C において 3000 回転で 30 分間遠心分離操作した後、有機相の様子を目視で観察した結果である。純溶媒を用いずに 1.0 v/v% の CS₂ とピロリジンを含む混合溶媒を用いた理由は、系中で (APDC の名前で衆知の) キレート試薬であるピロリジンジチオカルバミン酸を生成させるためである。固化しなかった溶媒については、水との相互溶解度が大きく水が溶け込んだためか、融点が低すぎて実験条件下で充分冷却されなかったため、と考えられる。この結果から、p-キシレン、ジフェニルメタン、ジフェニルエーテル、1,2,4-トリクロロベンゼンの四つが易固化性溶媒として使用可能であると判明した。

一般に溶媒抽出法では、キレート試薬濃度を上げれば上げるほど抽出率は向上するので、溶解能の高い溶媒が好まれる。そこで、CS₂ とピロリジンを各溶媒に加える

量を変えて、溶質の溶解能を調べた。 CS_2 とピロリジンとを混合すると、ピロリジンジチオカルバミン酸ピロリジニウムが生成するが、溶解能が小さいとこれの沈殿が析出する。この検査法によって、溶質の溶解能は、ジフェニルエーテル>1,2,4-トリクロロベンゼン>*p*-キシレン、ジフェニルメタンの順に高いことが分かった。ジフェニルメタンは溶質の溶解能が低い上に比重が1.006と水の比重に近く、水相の組成によって固化する位置が上層になったり下層になったりと不安定であることが予想されたので、ジフェニルエーテルと1,2,4-トリクロロベンゼン、*p*-キシレンの三つについて検討した。この三つの溶媒は、極性を E_T 値で比較してみると(表2)、*p*-キシレンはベンゼン、ジフェニルエーテルはベンゼンと1,4-ジオキサンとの中間、1,2,4-トリクロロベンゼンは1,4-ジオキサン程度のLewis酸性を有する、比較的低極性の溶媒であることが分かる。まず、*p*-キシレンを有機相に用いた溶媒抽出操作を図1により紹介する。*p*-キシレンは比重が小さく水に浮くので、図1のように遠心機のローターに50 ml ろうそく管を上下逆様にセットすることで、*p*-キシレン相を下層にする。 -3°C 、3000 rpmで30分間冷却遠心を行えば、*p*-キシレン溶液は固化した。この方法では、水相が10 mlのときは*p*-キシレンを1 ml、水相40 mlに対しては*p*-キシレンを2 ml用いれば、ろうそく管瓶を正置したときに固化した*p*-キシレンが水相を支えることができた。ちなみに、 CS_2 とピロリジンの*p*-キシレン溶液を用いて Co^{2+} 、 Ni^{2+} 、 Zn^{2+} 、 Cd^{2+} を抽出したところ、金属イオンはいずれも通常のAPDC抽出法で抽出した場合よりも酸性側から抽出された²⁰⁾²¹⁾。これは、APDCは酸によって分解される(0.8 M HClを用いたときの半減期は

18±5分と報告されている)が、本法では CS_2 とピロリジンが反応してピロリジンジチオカルバミン酸ピロリジニウムが有機相中に生成し、それが水相に分配して金属イオンと錯体を形成するため、キレート試薬のピロリジンジチオカルバミン酸の分解を防ぐことができるからである。これが、試薬のAPDCを使わずに混合溶媒を用いて抽出(*in situ*抽出剤生成法)したときの利点の一つである。

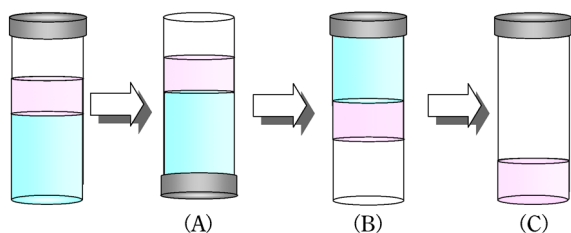
このように、*p*-キシレンは体積比で最大20倍の濃縮が達成でき、3溶媒のうち最も一般的な溶媒であり、入手のしやすさの点で優れている。しかし、有機相対水相体積比をこれ以上に上げると、冷却遠心分離後に遠沈管を取り出して正置したとき、固化した*p*-キシレン相が水相の重みで粉碎されて水相中に懸濁し、相分離が簡便にできなくなる問題があった。このような問題を避けるには、有機相を下層で固化させることが望ましい。

次に、1,2,4-トリクロロベンゼンを用いた抽出の例を紹介しよう。1,2,4-トリクロロベンゼンは、インドチモールを抽出するアンモニアの抽出光度法に用いられた。ここでは、対カチオンとしてカプリコートを1,2,4-トリクロロベンゼンに溶解して有機相として用いたのであるが、1,2,4-トリクロロベンゼンは比重が1よりも大きく下層で固化するため、丸底の50 ml 遠沈管を使用した。水相40 mlに対して1,2,4-トリクロロベンゼン1 mlで抽出・冷却遠心分離・相分離を行った後、再液化した1,2,4-トリクロロベンゼンの吸光度を1 cm マイクロセルで測定したところ、0.25~6.25 ppbの範囲の NH_4^+ に対して直線性のよい検量線が得られた²²⁾。ただし、分液操作の点では、管瓶のネックのくびれ部分での液切れが悪く、ろうそく管瓶と遠沈管で簡便性に違いは見られなかった。有機相の液量を少なくするにつれて、このロスが無視できなくなってきた。

そこで、図2に示したような50 ml 遠沈管に適合する溶媒捕集用内キャップを作製し、これを用いて図3の操作で固化した溶媒を捕集することとした。この内キャップに作られた凹み部分の体積は、約1.6 cm³であ

表2 易固化性溶媒の E_T 値

溶 媒	λ_{max} (nm) (文献値 ²⁹⁾)	E_T 値 (文献値 ²⁹⁾)
ベンゼン	831 (833.5)	34.4 (34.3)
アセトン	689 (677.5)	41.5 (42.2)
テトラヒドロフラン	758 (764.4)	37.7 (37.4)
1,2,4-トリクロロベンゼン	789.5	36.2
<i>p</i> -キシレン	856.4	33.4
ジフェニルエーテル	804.0	35.6 (35.3)



(A) 冷却遠心分離, (B) 正置して分層, (C) 室温下で放置。

図1 *p*-キシレンを用いた抽出操作

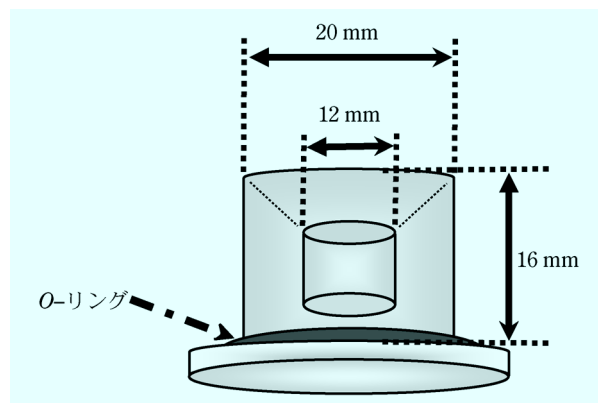
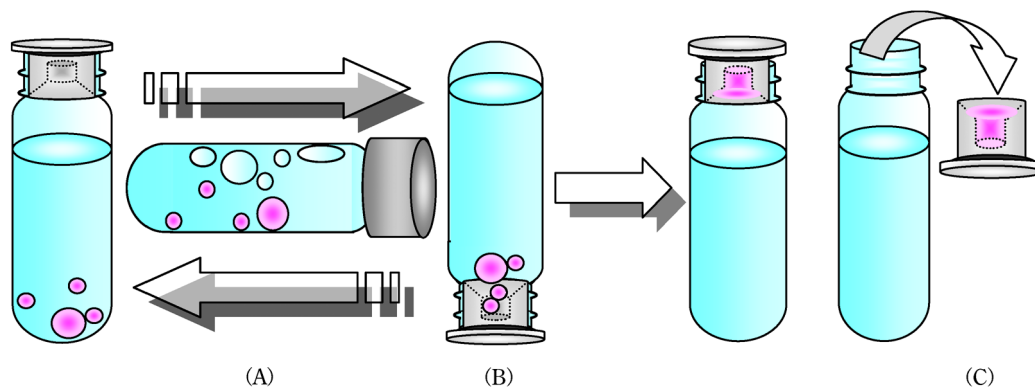


図2 溶媒捕集用内キャップ



(A) 室温下で振とう, (B) -5°C で冷却遠心, (C) 室温で放置

図3 冷却遠心分離操作

る。この自製内キャップを用いて、 Cu^{2+} と Co^{2+} , Ni^{2+} の抽出黒鉛炉原子吸光光度定量 (GFAAS) を行った例を紹介する。 CS_2 とピロリジンのジフェニルエーテル溶液 1 ml を金属イオン溶液 50 ml と振り混ぜて {操作 (A)}, -5°C , 3000 rpm で 30 分間遠心分離 {操作 (B)} した後、溶媒捕集用内キャップを外して室温下で机上に暫時放置 {操作 (C)} して、再びジフェニルエーテルを液化させた。そのジフェニルエーテルをそのまま GFAAS に供する。この方法によれば、 Cu^{2+} と Ni^{2+} は 0.15~0.75 ppb で、 Co^{2+} は 0.2~0.75 ppb の範囲で直線性の良い検量線が得られた²³⁾。

以上紹介した 3 溶媒は、*p*-キシレンは主として入手のしやすさの点で、ジフェニルエーテルは溶質の溶解能の点で、また 1,2,4-トリクロロベンゼンは融点が理想的で冷却遠心分離時に固化しやすく室温放置で再融解しやすいので操作性の点で、それぞれ優れた特徴を備えた易固化性溶媒である。しかし、いずれも芳香族化合物であり環境への影響を考慮すると、大量に使用することはばかられる。

最近、環境調和型溶媒としてイオン液体が注目されている。イオン液体は、最も普遍的なアルキルジアゾニウム塩を筆頭に、最近ではいろいろなタイプのものが開発されている。イオン液体はすでに溶媒抽出法へ適用されており、それらについてはすでにいくつかの優れた総説にまとめられている²⁴⁾。関東化学の試薬カタログには現在 175 種類のイオン液体が記載されており、それによると常温付近に融点を有する疎水性のイオン液体はいくつかあるものの、高価であるため易固化性溶媒として使用できるか否かはいまだ十分検討されていない。今後イオン液体が一般に流通するようになるに連れて、1,2,4-トリクロロベンゼンに匹敵する新しい易固化性溶媒の見いだされる可能性がある。

4 その他の有機相固化法

有機相を固化させるのに、溶媒の凝固-融解の相転移

以外の現象を利用する方法もいくつかある。例えば、オイルゲル化剤を添加し有機相をゲル化させて固化する方法と有機相をチキソトロピー流体化する方法がある。前者は、天ぷら廃油のゲル化剤として市販されている 12-ヒドロキシステアリン酸がよく知られている。溶媒抽出の操作に適合する条件として、少量の添加で溶媒をゲル化できることと加熱・冷却によって可逆的にゾル・ゲル化することが求められる。現在、有機溶媒をゲル化できる能力を持つ低分子化合物は 20 種類ほど知られているが²⁵⁾、この固化法を利用した抽出系は、寡聞にして知らない。後者のチキソトロピー流体とは、温度一定下でも振動や攪拌^{かくはん}によって粘度やせん断応力が低下してゾル化するが、放置しておく^{かくはん}とゲル化する性質を示す流体のことで、身近な物ではケチャップがこれにあたる。ゲル化剤のうち、*N*-ラウロイル-L-グルタミン酸- α,γ -ジブチルアミドは非極性溶媒とチキソトロピー流体を形成し、振とうによって可逆的にゾル・ゲル化する。これを利用して環境水中の Cu^{2+} の目視定量が提案されている²⁶⁾。

最後に、下限臨界共溶温度 (LCST) を有する NIP-AM (*N*-isopropyl-acrylamide) のコポリマーを用いる抽出法を簡単に紹介したい。NIPAM のホモポリマー (Poly-NIPAM) は、 31°C 付近に LCST を有しており、 31°C 以下では水溶性であるが、 31°C 以上では不溶性となって白濁する。この変移は可逆的であるので、温水から析出した Poly-NIPAM は理屈の上では冷水に再溶解するはずであるが、実際には再溶解しにくい。Poly-NIPAM を使った濃縮法はいくつか報告されている²⁷⁾が、いずれにおいても相分離後の Poly-NIPAM を他の有機溶媒に溶解して分析に用いている。筆者は、この NIPAM と配位座を有するモノマーと共重合させたコポリマーを合成することで (図 4)、先の再溶解の問題を解決して、かつ抽出試薬と溶媒を使わずに、 Nd^{3+} と Dy^{3+} を多量希薄溶液から少量の水溶液へそれぞれ 3.6 倍、2.7 倍濃縮することができた²⁸⁾。

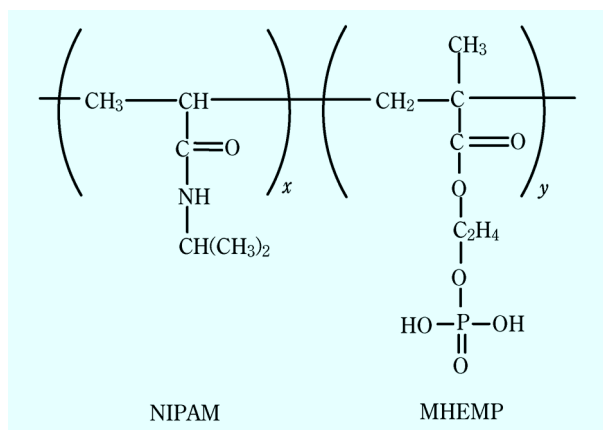


図4 コポリマーの構造式

5 おわりに

これまで見てきたように、抽出相を固化させる手法はいろいろあり、それぞれに異なる特徴がある。しかも、抽出相を固化させることで、操作が簡便簡略になったということにとどまらず、熔融ナフタレン法に見られるように、選定した固化条件が抽出系本来の抽出能を大きく変える、ということが起こりうる。抽出相を固化させる方法は、ここでは紙面の都合で紹介しなかったが、他にも例えば、生体高分子化合物であるアルギン酸がある条件下でゲル化することを利用した抽出法もいくつか提案されている。

今後、新しい抽出相固化法が開発され、それが新しい抽出系を作り出す契機となることを大いに期待している。

文 献

- 1) Yu. A. Zoltov 著, 田中元治, 中須賀徳行, 小島 功, 舟橋重信共訳: “キレート化合物の抽出”, p. 74 (1972), (培風館).
- 2) I. M. Korenman, F. R. Sheyanova, M. I. Savel'eva: *Tr., Po Khim., i Khim., Teknol. (Gor'kii)*, **1**, 66 (1959).
- 3) 一瀬典男: 医学と生物学, **97**, (1), 5 (1978).
- 4) 例えば, 藤永太郎, 桑元 融, 中山英一郎, 佐竹正忠: 分析化学, **18**, 398 (1969). 彼らの一連の研究は, Puri らの総説にまとめられている. B. K. Puri, K. W. Jackson, M. Katyl: *Microchem. J.*, **36**, 135 (1987).
- 5) M. Satake and M. Shimizu: *Mem. Fac. Eng. Fukui Univ.*, **25**, 147 (1977).
- 6) 藤永太郎, 佐竹正忠, 清水正明: 分析化学, **25**, 313 (1976).
- 7) M. Satake: *Anal. Chim. Acta*, **92**, 423 (1977).

- 8) M. Satake: *Mem. Fac. Eng. Fukui Univ.*, **25**, 101 (1977).
- 9) M. Satake: *Mem. Fac. Eng. Fukui Univ.*, **25**, 113 (1977).
- 10) M. Satake T. Yamauchi. *Mem. Fac. Eng. Fukui Univ.*, **25**, 107 (1977).
- 11) M. Satake: *Mem. Fac. Eng. Fukui Univ.*, **25**, 127 (1977).
- 12) J. Miura, M. Satake: *Mem. Fac. Eng. Fukui Univ.*, **26**, 259 (1978).
- 13) M. Endo, M. Satake, M. Katyal, B. Puri: *K. Zh. Anal. Khim.*, **41**, 2041 (1986).
- 14) L. F. Cheng, M. Satake, T. Kumamoto, B. K. Puri: *Mikrochem. J.*, **33**, 46 (1986).
- 15) M. Satake, T. Nagahiro, B. K. Puri: *Analyst*, **109**, 31 (1984).
- 16) B. K. Puri, M. C. Mehra, M. Satake: *Chem. Anal. (Warsaw)*, **31**, 185 (1986).
- 17) Y. Takagi, M. Ohkura, R. Nakata: *Anal. Sci.*, **12**, 789 (1996).
- 18) T. Fujinaga, M. Satake, J. Miura: *Talanta*, **26**, 964 (1979).
- 19) N. A. Lange: “*Lange's Handbook of Chemistry*”, 12th Edition, Edited by J. A. Dean, (McGraw-Hill book Company, New York). pp. 7-54 (1979).
- 20) K. Fujinaga, M. Fukai, Y. Seike, M. Okumura: *Anal. Sci.*, **15**, 333 (1999).
- 21) K. Fujinaga, Y. Seike, M. Okumura: *Proc. ISEC '99*, Volume 1, edited by M. Cox, *et. al.*, pp. 341 (2001), (Society of Chemical Industry).
- 22) K. Fujinaga, F. Kawanishi, Y. Seike, M. Okumura: *Mem. Fac. Sci. Eng. Shimane Univ.*, **36**, 1 (2003).
- 23) K. Fujinaga, M. Sato, Y. Seike, M. Okumura: *Proc. ISEC '05*, pp. 900 (2005).
- 24) 例えば, 平山直紀, ぶんせき, 2006, 519.
- 25) 長岡義仁, 梶原莞爾編集: “ゲルハンドブック”, pp. 237 (1997), (エヌ・ティ・エス).
- 26) 斎藤 貴, 資源環境対策, **40**, 64 (2004).
- 27) 例えば, T. Saitoh, T. Ohyama, T. Sakurai, T. Kaise, K. Takamura, Y. Suzuki, C. Matsubara: *Talanta*, **46**, 541 (1998).
- 28) K. Fujinaga, M. Kanazawa, Y. Seike, M. Okumura: *J. Ion Exchange*, **14** (Supplement), 405 (2003).
- 29) K. Dimroth, C. Reichardt, T. Siepmann, F. Bohlmann: *Ann. Chem.*, **661**, 1 (1963).



藤永 薫 (Kaoru FUJINAGA)

金沢工業大学環境・建築学部 (〒921-8501 石川県石川郡野々市町扇ヶ丘7-1)。同志社大学大学院工学研究科博士課程後期修了。博士 (工学)。《現在の研究テーマ》溶媒抽出を中心とした新しい分離濃縮法の開発。《主な著書》“水圏環境化学” (共訳) (有限会社ワーズ)。《趣味》読書 (乱読), 散歩。

E-mail : fujinaga@neptune.kanagawa-it.ac.jp