

## 環境分析における LC/MS と新技術\*

鈴木 茂\*\*

### 1. はじめに

日本の環境分析における LC/MS 分析技術の開発は、地方環境研究機関(地研)に負うところが大きい。平成8年度から始められた環境省環境安全課の LC/MS 分析法開発検討調査は、今日まで常に10機関以上の地研の研究者が参加し検討が続けられている。

初めの3年間は継続使用に耐えない一世代前の1, 2台の装置を共同で使用し、基礎的な検討を中心に進め、その成果の1つとして「LC/MSを用いた化学物質分析法開発マニュアル」<sup>1,2)</sup>を作成した。その後、いま普及している高感度で長時間の安定使用に耐える装置を用い、農薬、界面活性剤、可塑剤、いわゆる環境ホルモンなどを対象とした分析法が開発されてきた。現在は、参加機関の7割が LC/MS を所有している。

平成12年度からは環境の LC/MS の普及を目的として、これらの検討の成果を環境省の主催で公開の LC/MS の講演会を行い検討の成果を公表している<sup>1~30)</sup>。昨今、本検討調査以外に大学、地研等の公的機関、民間機関においても LC/MS 環境分析技術の開発が進められ、多くの成果をあげている<sup>31~52)</sup>。これは装置の進歩に加えて、環境ホルモン分析などを契機に環境、公衆衛生などの分野で LC/MS を必要とする検査項目が増え、技術開発の必要性が高まってきた結果と考える。

今日、LC/MS は環境分析の主要な方法の1つになっている。LC/MS 分析が必要とされる物質は、

- ① GC/MS では測れない難揮発性物質、熱不安定物質、
- ② GC/MS では誘導体化等の煩雑な試料処理を要する物質、
- ③ GC/MS に比べて高感度な物質、  
などである。

生体内蓄積量が急増している臭素系難燃剤、PFOS に代表される POPs に準ずる地球規模の汚染のある界面活性剤、撥水剤、ゴムの劣化防止剤などが最近取り上げられている。

他方、装置の普及については、水道、公衆衛生部門での導入に比べ、環境部門の導入は遅れている。いわゆる「公定法」があるか否かが分析技術と装置の普及を左右することは LC/MS においても同様であるが、上に記したように LC/MS 分析が必要とされる化学物質は急速に増加している。

一例であるが、本年 Boston で開催された Dioxin Conference では、臭素系難燃剤の1つである Hexabromocyclododecane (HBCD) の汚染が欧米を中心に広まり、その分析に LC/MS が必須であることが報告されている。 $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  異性体の生体での濃縮、代謝が異なると考えられ、高温分析を必要とする GC では異性体分離のできるカラムがないためである。

環境分析でも LC/MS 公定法が話題に上るようになり、地研における分析技術と装置の普及も加速するものと思われる。本稿は地研のとくに若手研究者を念頭に、LC/MS 分析の特徴と制約、筆者

\* Liquid Chromatography/Mass Spectrometry and Related New Technology for Environmental Analysis

\*\*Shigeru SUZUKI 国立環境研究所

らが開発した新イオン化法を題材に、LC/MS のキーアイテムであるイオン化を操ることについて記した。

## 2. LC/MS の主要なイオン化法とその特徴

LC/MS が GC/MS ともっとも大きく異なる点は、イオン化の方法である。LC/MS の主要なイオン化法である APCI (Atmospheric Pressure Chemical Ionization) と ESI (Electro Spray Ionization) の装置については前記マニュアル<sup>1,2)</sup>を含め数多くの文献があるのでここでは省略し、それぞれのイオン化の原理を簡単に説明する。

### 2.1 LC/MS に用いる主要な大気圧イオン化法の原理

LC/MS の主要なイオン化は下記の APCI, ESI で、これらが大気圧イオン化 (Atmospheric Pressure Ionization) という。

#### (1) APCI

APCI は、LC の溶出液を加熱しながら窒素、空気などで噴霧して気化させ、気化した溶出液の溶媒と対象物質の気体中でコロナ放電を発生させ、溶媒ガスのイオンを生成する。このときできる溶媒のイオンは、正イオンは  $S^+$ ,  $[S+H]^+$ ,  $nS^+$ ,  $[nS+H]^+$ , 負イオンは  $S^-$ ,  $[S-H]^-$ ,  $nS^-$ ,  $[nS-H]^-$  などである ( $S$ : 溶媒分子,  $n$ : 正整数)。試料分子  $M$  がこれらのいずれかの溶媒イオンから「気相で」電荷を受け取れる場合、 $M^+$ ,  $[M+H]^+$ ,  $M^-$ ,  $[M-H]^-$  などのイオンを生成する。

#### (2) ESI

ESI は、LC の溶出液を噴霧するノズルに高電圧をかけ、沢山の電荷を持った微細液滴にする。この液滴は電場を飛行しながら溶媒が徐々に蒸発し、液滴表面に非常に多くの電荷が集まって電荷の反発力で砕け (クーロン爆発)、電荷が集まったナノ粒子となる。粒子が砕けるエネルギーが非常に大きくなると、砕ける前に電荷を持った分子が溶媒粒子から蒸発する (イオン蒸発)。このようにしてイオンが生成する分子は、溶媒粒子から「液相で」電荷を受け取り、気相で溶媒分子に電荷を奪われない (通常は奪われないと考えられる) 分子で、 $M^+$ ,  $[M+H]^+$ ,  $[M+Na]^+$ ,  $M^-$ ,  $[M-H]^-$ ,  $[M-Cl]^-$  などのイオンを生成する。

### 2.2 LC/MS に用いる主要な大気圧イオン化法のイオン化に影響する因子

#### (1) 大気圧イオン化法に共通するイオン化の特徴

大気圧イオン化では、生成したイオンは周囲の分子、イオンと多数回衝突するため、イオンとして検出されるにはこの多数回の衝突でイオンとして“生き残る”必要がある。LC/MS では移動相溶媒がイオン化時に共存するので、それよりイオン化しやすい物質が電荷を受け取って、あるいは保持してイオンとなる。したがって Proton 親和力が高いか Ionization Energy が低い場合は陽イオンを、Electron 親和力が高いか Acidity が高ければ陰イオンを生成する。

では、この Proton 親和力, Electron 親和力, Ionization Energy (Ionization Potential と呼ぶこともある), Acidity のデータ (正確には gas phase の値) をどのように入手するかというと、現在のところ限られた物質について NIST (The National Institute of Standards and Technology) の Chemistry WebBook (<http://webbook.nist.gov/chemistry/#Top>) に掲載されている程度である。したがって多くの場合、近い分子構造のデータを基に「物質 A と物質 B の間だからこれくらい」と推測するのが一般的である。また、イオン化するか否かは Proton 親和力, Electron 親和力, Ionization Energy, Acidity で推測できるが、感度となると他の因子も大いに影響する。

#### (2) APCI のイオン化に影響する因子

APCI では LC 溶出液を気化した後イオン化するので、影響するのは基本的には溶媒と対象物質に関する気相の Proton 親和力, Electron 親和力, Ionization Energy, Acidity と考えられる。陽イオンではアミン, アミド, イミン, アルコール, エステルなど Proton 親和力が高いか Ionization Energy が低い物質がイオン化し、陰イオンでは酸, ポリヒドロキシ化合物, ステロイドなど Electron 親和力が高いか Acidity が高い物質がイオン化する。基本的と記した理由は、APCI では試料の気化のために十分な加熱が行われるため、熱的に不安定な物質は熱分解を生じるからである。

#### (3) ESI のイオン化に影響する因子

ESI では APCI と同様気相の Proton 親和力, Electron 親和力, Ionization Energy, Acidity がイ

オン化に影響するが、他にも影響する因子が多い。ESI では溶液中での対象物質の電離に関する因子(試料の pKa, 溶媒の pH), 噴霧時とクーロン爆発時の微細粒子形成に関する因子(溶媒の表面張力と粘度), 溶媒の乾燥に影響する因子(乾燥ガス温度と流量, 溶媒の熱容量と蒸発エンタルピー), イオン蒸発に関する因子(イオンの溶解エネルギー)がイオン化効率に関係する。これらを定量的に把握するのは難しいが、影響する因子を知っておくことでイオン化効率の改善に何をしたらよいかのわかるのではないかと思う。

Proton 親和力, Electron 親和力, Ionization Energy, Acidity と APCI, ESI のイオン化効率の関係を示すデータは, Proton 親和力, Electron 親和力, Ionization Energy, Acidity の情報がきわめて少ないため示せない。図 1 は, 約60種類の廃棄物関連化学物質(リン酸トリエステル, ジエステル, 可塑剤, 臭素系難燃剤, 含窒素複素環化合物, PAHs, 芳香族ニトロ化合物, ニトロアニリン類, ニトロフェノール類, ハロゲン化フェノール類, ニトロ化芳香族アルデヒド, ニトロ化芳香族ケトン, ニトロ化芳香族カルボン酸)の APCI および ESI 感度(対数尺)を logP(水/オクタノール分配係数の対数)

別にグラフ化したものである。

LogP は大まかにみれば親水性, 疎水性の目安になるが, 7以上の物質をみると臭素化炭化水素より臭素化エーテルの値が非常に高いことから, この領域では主にオクタノールへの溶解度の違いを反映する, すなわち logP > 7 の物質はいずれも非常に疎水性であり, この領域では logP 値は疎水性の程度と無関係である。

なお, 図中の略称は次のとおりである。TBBPA: Tetrabromobisphenol-A, PBT: pentabromotoluene, HBCCD: Hexabromocyclododecane, DBP-TBBPA: TBBPAbis-dibromopropyl ether, DBDPO: Decabromodiphenyloxide 別名 Decabromodiphenylether。

本来, logP と APCI および ESI 感度は無関係であるが, 図からいくつかの傾向が読みとれる。logP > 7 の物質はすべて臭素系難燃剤でフェノール性 OH を持つ TBBPA は ESI 感度が高いが他は臭素化炭化水素または臭素化エーテルできわめて感度が低い。これらの感度の説明を上記のイオン化に影響する因子から考えてみる。

TBBPA の場合, ESI ではフェノール性 OH のプロトンに溶媒イオンに与えた  $[M-H]^-$  が高感度で検出される。APCI でも  $[M-H]^-$  が生成する

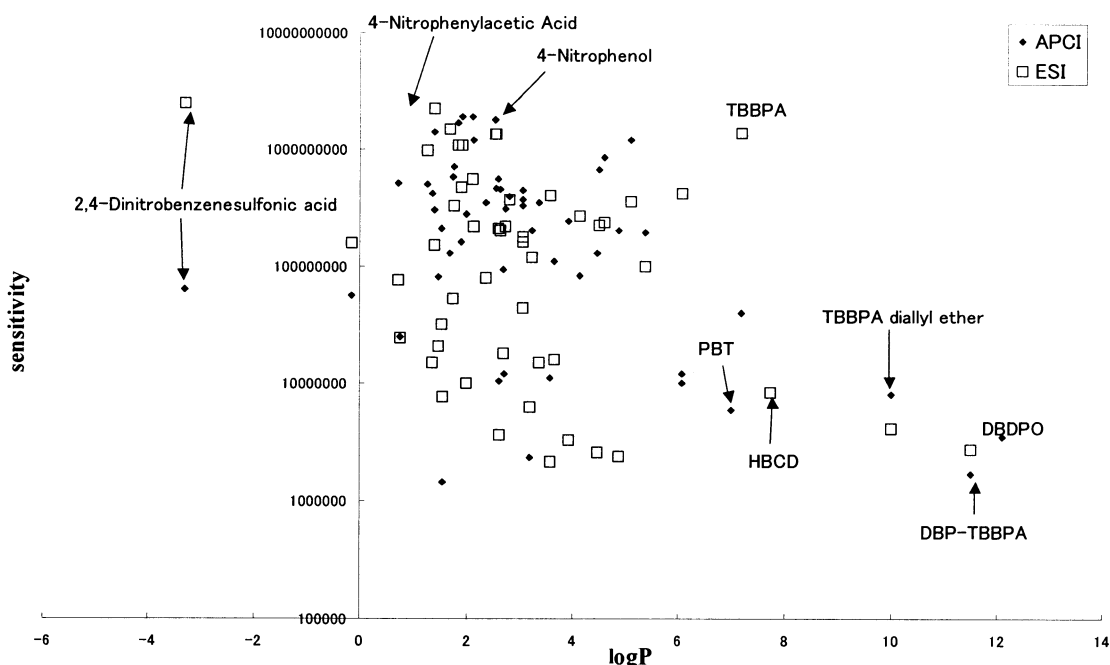


図 1 廃棄物関連化学物質の APCI, ESI における感度と logP

が感度が低い、MS スペクトルが  $[M-H]^-$  であることから分解ではなく、TBBPA が水素結合しやすいため、気化してからイオン化する APCI より液滴中でイオン化してイオン蒸発する ESI の方がイオン化効率が高いことによると考えられる。その他の臭素系難燃剤は APCI, ESI いずれのイオン化法でも感度が低い。

TBBPA-diallyl ether を除く臭素系難燃剤は陰イオンを生成する。したがって Electron 親和力が高ければ溶媒イオンから電子を受け取って  $M^-$  ができ、Acidity が高ければプロトンを溶媒イオンに渡して  $[M-H]^-$  ができる。実際これらからできたイオンは TBBPA が  $[M-H]^-$  であった他は、 $[M-H]^-$  も  $M^-$  も生成せず、分解生成物の  $Br_2^-$ ,  $[M+O-Br]^-$  が生成する。TBBPA-diallyl ether は陽イオンを生成するが、APCI で  $M^+$  に水が付加したイオンができ ESI では分解物のイオン  $[M-2OC_3H_5-3Br]^+$  ができる。

臭素系難燃剤のほかにも多環芳香族炭化水素 (PAH) は Proton 親和力が低く Ionization Energy が高い、芳香族ニトロ化合物やそのハロゲン化合物などは Electron 親和力が低く Acidity も低い

ため、APCI, ESI いずれでも感度が低い。それらの高感度検出のため、新しいイオン化法を開発した。

### 3. LC/MS の新技術 In-spray Glow Discharge Ionization (SGDI) 法

Proton 親和力が低く Ionization Energy が高い物質をイオン化するには、より低い Proton 親和力の化学種のプロトン化イオン、より高い Ionization Energy の化学種のカチオンを用いる方法のほか、第3の方法として高 Energy を持つ励起原子などの準安定物質を用いる方法がある。この方法は励起原子を試料分子と接触させ、空位になっている基底準位に試料分子の電子を取り込んで、試料分子イオンを生成する方法で、Penning イオン化と呼ばれる。筆者が開発した SGDI 法は、これら3種類のイオン化が並行する方法である。

図2は4-Nitrobenzyl Chloride を APCI と SGDI で測定したときの mass chromatogram の比較である。移動相など LC 条件はすべて同じで100倍以上のイオン強度が、5倍強の S/N (検出系の改良でイオン強度に近い値が期待できる) 得られる。イオン化法の概要は以下のとおりである。

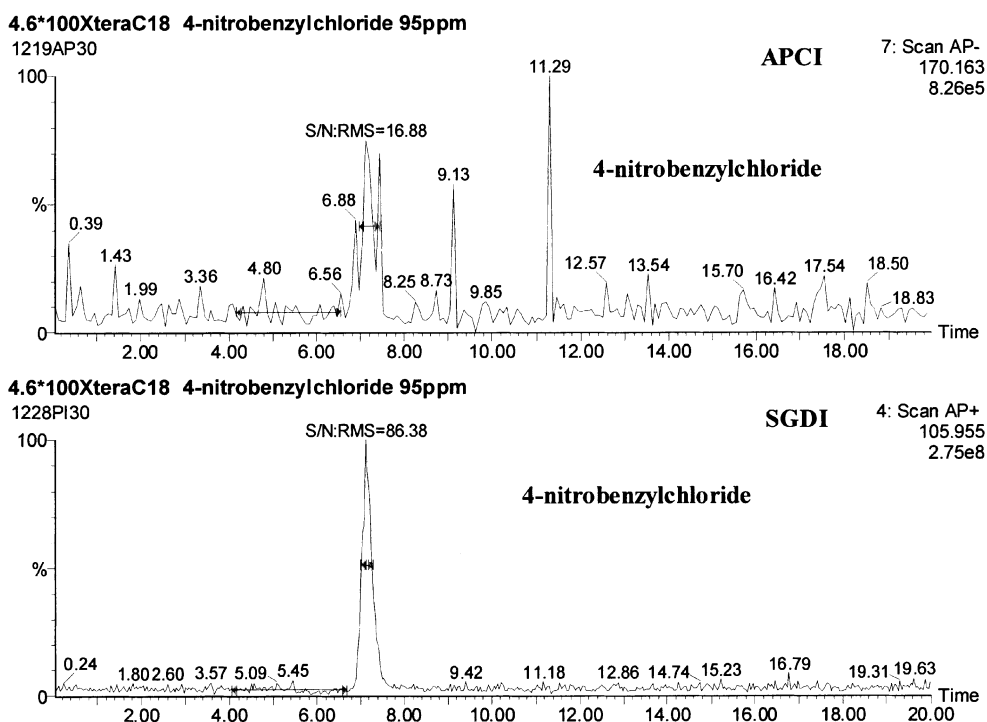


図2 SGDI と APCI の感度比較

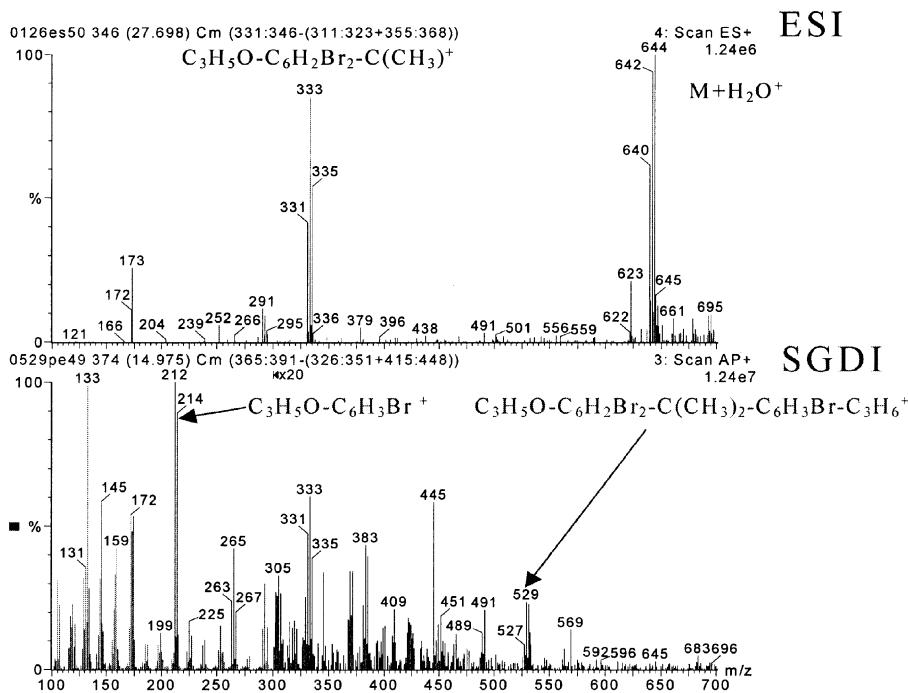
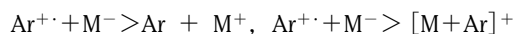
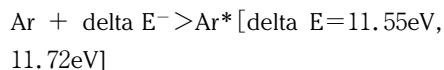
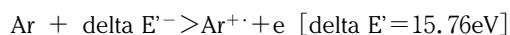


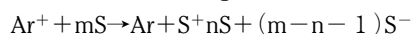
図3 TBA-bis-allylether のSGDI と ESI のスペクトルの比較

① 噴霧ガスとして Ar を使い、この霧の中で Glow 放電を起こし  $Ar^+$ ,  $Ar^*$  を生成する。

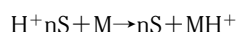
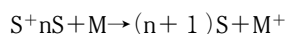
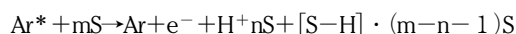
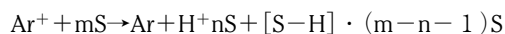
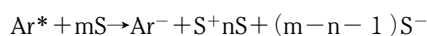
② 生成した  $Ar^+$ ,  $Ar^*$  は溶媒イオンより大きい Energy を持ち、従来イオン化し難い物質を以下の反応によってイオン化する。



(この反応が Penning Ionization)



(S: 溶媒)



③ この反応は陽イオンを生成する反応で、芳香族ニトロ化合物など APCI, ESI で陰イオンを生成する化合物でも陽イオンとして検出する。

④ このイオン化法により nitrofluorene, nitro naphthalene, nitrobiphenyl などの多環芳香族

モノニトロ化合物, nitrophenol, dinitrotoluene, nitrobenzylchloride, nitrobenzylbromide などのニトロベンゼン誘導体, acenaphthene, phenanthrene, pyrene など比較的環の数の少ない PAH で、従来のイオン化法に比べ数倍から数百倍の感度が得られた。

⑤ このイオン化法では APCI, ESI に比べ Ionization Energy が高いため、生成するイオンはしばしばフラグメントイオンを伴っている。図3に ESI と SGDI による TBA-bis-allylether ( $C_3H_5O-C_6H_2Br_2-C(CH_3)_2-C_6H_2Br_2-OC_3H_5$ ) のスペクトルを示す。Proton 親和力が低い物質であるため proton の付加は起こらない。ESI では  $M^+$  に  $H_2O$  が付加したと考えられるピーク, propane と dibromophenyl 間で開裂したピークが観測される。他方 SGDI では、大きな energy が与えられるため  $M^+$  などの分子関連イオンは認められないがたくさんのフラグメントイオンが観測される。これらのイオンはソフトなイオン化では得られない分子構造情報を反映するため、構造解析に活用できる可能性がある。

⑥ このイオン化装置は市販の装置の APCI インターフェースに電極, アース, 放電電源を付加

することで製作できる。また、既存の装置と簡単に切り替えて使用できる。

#### 4. おわりに

冒頭に記したように、LC/MS 分析技術の開発は地研に負うところが大きい。地研が新たな分析技術開発をリードするという意味では、約30年前に地研の研究者が「GC/MS 研究会」を組織して研究交流を図りながら GC/MS による環境化学物質の分析技術の開発を進めたときと似ている。

しかし、全体的には状況は当時とは異なる部分が多い。環境化学物質がほとんど未規制であった当時と比べると、今日は有害大気汚染物質、水質要監視あるいは要調査項目、環境ホルモン、ダイオキシン類など規制、監視すべき化学物質がかなりあり、PRTR に基づく報告と環境の実態を評価するための分析も求められつつある。他方、国研、地研、民間機関を問わずベテランの研究者の世代交代が進む一方、若手研究者の育成が遅れ、多くの研究機関で大きな悩みごとの1つとなっている。環境化学物質の LC/MS 技術は、新たな分析法開発が続いているもっともホットな技術の1つであり、若手研究者にその開発の一端を担っていただきたいと常々考えている。

LC/MS の GC/MS と本質的に異なる点はイオン化であることから、本編はそれを理解し目的に応じてイオン化を操るための情報と位置づけて記した。とくに若手研究者において、環境化学物質の LC/MS に関心を持っていただければ、筆者のこの上ない喜びである。

#### —参考文献—

- 1) LC/MS を用いた化学物質分析法開発マニュアル，環境庁，1999
- 2) LC/MS の環境化学分析への応用，LC/MS 研究会，全国公害研会誌，76，2，2000
- 3) 第18回環境科学セミナー（LC/MS 講演会・一般講演会）プログラム・講演要旨集，環境省環境保健部環境安全課，東京，2001
- 4) 第19回環境科学セミナー（LC/MS 講演会・一般講演会）プログラム・講演要旨集，環境省環境保健部環境安全課，東京，2002
- 5) 第20回環境科学セミナー（LC/MS 講演会・一般講演会）プログラム・講演要旨集，環境省環境保健部環境安全課，東京，2003
- 6) H. MORIWAKI, K. FUNASAKA, and M. UEBORI, *Analytical Sciences*, 16, 1247, 2000
- 7) Yoshifumi HANADA, Tiezi TANIZAKI, Minoru KOGA, Hiroaki SHIRAISHI, and Mitsuyuki SOMA, *Analytical Sciences*, 18, 441, 2002
- 8) Yoshifumi HANADA, Teizi TANIZAKI, Minoru KOGA, Hiroaki SHIRAISHI, Mitsuyuki SOMA, *Analytical Sciences*, 18, 445, 2002
- 9) 鈴木茂，安原昭夫，環境化学，12，45，2002
- 10) 長谷川敦子，分析化学，52，pp. 15-20，2003
- 11) 上堀美知子，環境化学，13，445，2003
- 12) 近藤秀治，福山龍次，川井治，環境化学，13，467，2003
- 13) 鈴木茂，大嶋道孝，LC/MS による化学物質分析法の基礎的検討（3），第7回環境化学討論会（日本環境化学会），京都市，1998
- 14) 森脇洋，山口之彦，福島実，LC/MS による化学物質分析法の基礎的検討（4），第7回環境化学討論会（日本環境化学会），京都市，1998
- 15) 鈴木茂，大嶋道孝，LC/MS による大気中農薬および環境ホルモンの分析，第8回環境化学討論会（日本環境化学会），北九州市，1999
- 16) 上堀美知子，今村清，奥村為男，LC/MS によるアルデヒド類の分析法，第8回環境化学討論会（日本環境化学会），北九州市，1999
- 17) 長谷川敦子，小沢秀明，薩摩林光，寺沢潤一，野溝春子，茨木剛，小熊千佳子，川田邦明，上堀美知子，今村清，奥村為男，古武家善成，中野武，梶持堅志，吉岡敏行，鈴木茂，森脇洋，山口之彦，花田喜文，陣矢大助，LC/MS による化学物質分析法の基礎的検討（5），第8回環境化学討論会（日本環境化学会），北九州市，1999
- 18) 長谷川敦子，小沢秀明，薩摩林光，寺沢潤一，野溝春子，川田邦明，田辺顕子，上堀美知子，今村清，奥村為男，古武家善成，中野武，梶持堅志，鈴木茂，森脇洋，山口之彦，福島実，張野宏也，先山孝則，花田喜文，陣矢大助，近藤秀治，LC/MS による化学物質分析法の基礎的検討（6），第9回環境化学討論会（日本環境化学会），北海道札幌市，2000
- 19) 長谷川敦子，小沢秀明，薩摩林光，寺沢潤一，野溝春子，川田邦明，田辺顕子，上堀美知子，今村清，奥村為男，古武家善成，中野武，梶持堅志，鈴木茂，森脇洋，山口之彦，福島実，張野宏也，先山孝則，花田喜文，陣矢大助，近藤秀治，LC/MS による化学物質分析法の基礎的検討（7），第9回環境化学討論会（日本環境化学会），北海道札幌市，2000
- 20) 長谷川敦子，小沢秀明，薩摩林光，寺沢潤一，野溝春子，川田邦明，田辺顕子，上堀美知子，今村清，奥村為男，古武家善成，中野武，梶持堅志，鈴木茂，森脇洋，山口之彦，福島実，張野宏也，先山孝則，花田喜文，陣矢大助，近藤秀治，LC/MS による化学物質分析法の基礎的検討（8），第9回環境化学討論会（日本環境化学会），北海道札幌市，2000
- 21) 長谷川敦子，小沢秀明，薩摩林光，寺沢潤一，野溝春子，川田邦明，田辺顕子，上堀美知子，今村清，奥村為男，古武家善成，中野武，梶持堅志，鈴木茂，森脇洋，山口之彦，福島実，張野宏也，先山孝則，花田喜文，陣矢大助，近藤秀治，LC/MS による化学物質分析法の基礎的検討（9），第10回環境化学討論会（日本環境化学会），愛媛県松山市，2001
- 22) 長谷川敦子，小沢秀明，薩摩林光，寺沢潤一，野溝春子，川田邦明，田辺顕子，上堀美知子，今村清，奥村為男，古武家善成，中野武，梶持堅志，浦木陽子，森脇洋，山口之彦，福島実，張野宏也，先山孝則，花田喜文，谷崎

- 定二, 近藤秀治, 鈴木茂, LC/MS による化学物質分析法の基礎的検討 (10), 第10回環境化学討論会 (日本環境化学会), 愛媛県松山市, 2001
- 23) 長谷川敦子, 小沢秀明, 薩摩林光, 寺沢潤一, 野溝春子, 川田邦明, 田辺顕子, 上堀美知子, 今村清, 奥村為男, 古武家善成, 中野武, 剣持堅志, 浦木陽子, 森脇洋, 山口之彦, 福島実, 張野宏也, 先山孝則, 花田喜文, 陣矢大助, 近藤秀治, 鈴木茂, LC/MS による化学物質分析法の基礎的検討 (11), 第10回環境化学討論会 (日本環境化学会), 愛媛県松山市, 2001
- 24) 佐々木和明, 齋藤憲光, 近藤秀治, 田原るり子, 長谷川敦子, 川田邦明, 田辺顕子, 家合浩明, 上堀美智子, 今村清, 奥村為男, 古武家善成, 中野武, 剣持堅志, 浦木陽子, 森脇洋, 山口之彦, 福島実, 張野宏也, 先山孝則, 花田喜文, 谷崎定二, 鈴木茂, LC/MS による化学物質分析法の基礎的検討 (12), 第11回環境化学討論会 (日本環境化学会), 箱根市, 2002年6月
- 25) 古武家善成, 中野武, 近藤秀治, 田原るり子, 佐々木和明, 齋藤憲光, 長谷川敦子, 川田邦明, 田辺顕子, 家合浩明, 上堀美智子, 今村清, 奥村為男, 剣持堅志, 浦木陽子, 森脇洋, 山口之彦, 福島実, 張野宏也, 先山孝則, 花田喜文, 谷崎定二, 鈴木茂, LC/MS による化学物質分析法の基礎的検討 (13), 第11回環境化学討論会 (日本環境化学会), 箱根市, 2002年6月
- 26) 浦木陽子, 近藤秀治, 田原るり子, 佐々木和明, 齋藤憲光, 長谷川敦子, 川田邦明, 田辺顕子, 家合浩明, 上堀美智子, 今村清, 奥村為男, 古武家善成, 中野武, 剣持堅志, 森脇洋, 山口之彦, 福島実, 張野宏也, 先山孝則, 花田喜文, 谷崎定二, 鈴木茂, LC/MS による化学物質分析法の基礎的検討 (14), 第11回環境化学討論会 (日本環境化学会), 箱根市, 2002年6月
- 27) 鈴木茂, 安原昭夫, 日本分析化学会環境分析研究懇談会講演会, 千葉市, 2002年9月
- 28) 森脇洋, 山口之彦, 福島実, 張野宏也, 先山孝則, 田原るり子, 近藤秀治, 佐々木和明, 齋藤憲光, 長谷川敦子, 田辺顕子, 川田邦明, 上堀美知子, 今村清, 奥村為男, 古武家善成, 中野武, 剣持堅志, 浦木陽子, 花田喜文, 樋口雅之, 谷崎定二, 鈴木茂, LC/MS による化学物質分析法の基礎的検討 (15), 第12回環境化学討論会 (日本環境化学会), 新潟市, 2003年6月
- 29) 田辺顕子, 川田邦明, 田原るり子, 近藤秀治, 佐々木和明, 齋藤憲光, 長谷川敦子, 上堀美知子, 今村清, 奥村為男, 古武家善成, 中野武, 剣持堅志, 浦木陽子, 森脇洋, 山口之彦, 福島実, 張野宏也, 先山孝則, 花田喜文, 樋口雅之, 谷崎定二, 鈴木茂, LC/MS による化学物質分析法の基礎的検討 (16), 第12回環境化学討論会 (日本環境化学会), 新潟市, 2003年6月
- 30) 長谷川敦子, 田原るり子, 近藤秀治, 佐々木和明, 齋藤憲光, 田辺顕子, 川田邦明, 上堀美知子, 今村清, 奥村為男, 古武家善成, 中野武, 剣持堅志, 浦木陽子, 森脇洋, 山口之彦, 福島実, 張野宏也, 先山孝則, 花田喜文, 樋口雅之, 谷崎定二, 鈴木茂, LC/MS による化学物質分析法の基礎的検討 (17), 第12回環境化学討論会 (日本環境化学会), 新潟市, 2003年6月
- 31) M. TAKINO, S. DAISHIMA, and K. YAMAGUCHI, *Analytical Sciences*, 16, 707 2000
- 32) 石井善昭, 沖田智, 鳥貝真, 尹順子, 分析化学, 49, 753, 2000
- 33) 田嶋晴彦, 辻村和也, 山口政俊, 分析化学, 49, 843, 2000
- 34) 川中洋平, 鳥貝真, 尹順子, 環境化学, 10, 607, 2000
- 35) 滝埜昌彦, 代島茂樹, 中原武利, 環境化学, 11, 211, 2001
- 36) 上堀美知子, 鈴木茂, 廃棄物埋立浸出水中の水溶性化合物の分析 (1), 第12回環境化学討論会 (日本環境化学会), 新潟市, 2003年6月
- 37) 長谷川敦子, 鈴木茂, LC/MS を用いた臭素化難燃剤の分析と環境調査, 第12回環境化学討論会 (日本環境化学会), 新潟市, 2003年6月
- 38) 浦木陽子, 古塩英世, 鈴木茂, LC/MS による環境大気中アルキルフェノール類の分析, 第12回環境化学討論会 (日本環境化学会), 新潟市, 2003年6月
- 39) 伊藤安紀, 石井義昭, 吉田寧子, 鈴木茂, 安原昭夫, 廃棄物試料中の揮発性有機物の分画及び LC/MS 分析法の検討, 第12回環境化学討論会 (日本環境化学会), 新潟市, 2003年6月
- 40) 米久保淳, 佐々木秀輝, 鈴木茂, LC/MS による環境汚染物質の検討 (4), 第12回環境化学討論会 (日本環境化学会), 新潟市, 2003年6月
- 41) 高松公子, 山内正信, 吉留竜仁, 脇本忠明, 固相抽出-LC/MS/MS によるビスフェノール類の分析, 第12回環境化学討論会 (日本環境化学会), 新潟市, 2003年6月
- 42) 佐々木和明, 齋藤憲光, 金一和, 原田浩二, 小泉昭夫, 環境試料中の PFOS の分析, 第12回環境化学討論会 (日本環境化学会), 新潟市, 2003年6月
- 43) 斉藤茂雄, LC/MS による農薬及びその代謝物のスクリーニング法の開発, 第12回環境化学討論会 (日本環境化学会), 新潟市, 2003年6月
- 44) 鎌田素之, 相沢貴子, 島崎大, 伊藤誠治, 内田秀明, 水道水源を対象とした LC/MS によるパラコートとジクワットの分析法, 第12回環境化学討論会 (日本環境化学会), 新潟市, 2003年6月
- 45) 石井義昭, 王寧, 尹順子, LC/MS/MS を用いた環境水中医薬品の分析について, 第12回環境化学討論会 (日本環境化学会), 新潟市, 2003年6月
- 46) 吉田寧子, 村上雅志, 伊藤あづさ, 杉原輝一, 藤本英治, 13 C 標識体を用いた環境試料中のノニルフェノールエトキシレート定量法, 第12回環境化学討論会 (日本環境化学会), 新潟市, 2003年6月
- 47) 四ノ宮美保, 牧野和夫, テトラクロロビスフェノール A 及びテトラプロモビスフェノール A の LC/MS による分析と光分解特性, 第12回環境化学討論会 (日本環境化学会), 新潟市, 2003年6月
- 48) 磯部友彦, 白石寛明, 森田昌敏, LC/MS/MS を用いた堆積物中エストロジオールおよび包合体の分析, 第12回環境化学討論会 (日本環境化学会), 新潟市, 2003年6月
- 49) 高柳学, 重黒木明, 白石寛明, 芹沢滋子, 磯部友彦, オンライン自動固相抽出-LC/MS/MS 法によるエストロジオール類の分析法の開発, 第12回環境化学討論会 (日本環境化学会), 新潟市, 2003年6月
- 50) 小池順一, 千田千代子, 千室麻由子, 浦木陽子, GC/MS 及び LC/MS によるアルキルフェノールの分析について, 第12回環境化学討論会 (日本環境化学会), 新潟市, 2003年6月
- 51) 荒川清美, 村田英明, 村北宏之, 今中努志, 古庄義明, 重黒木明, オンライン固相抽出 LC/MS による水中農薬測定条件の検討, 第12回環境化学討論会 (日本環境化学会), 新潟市, 2003年6月
- 52) 鈴木茂, 安原昭夫, 酒井伸一, 廃棄物を起源とする化学物質の LC/MS 法の検討, 第12回環境化学討論会 (日本環境化学会), 新潟市, 2003年6月