

＜特集＞一斉分析 ～一斉分析方法開発の振り返りと最近の動向・活用事例～

AIQS-GCの開発と地方自治体での活用

北九州市立大学名誉教授（元北九州市職員） 門上 希和夫

1. はじめに

本文ではGC-MS用自動同定定量データベースシステム（AIQS-GC）開発の歴史について記述するが、AIQS-GC開発の背景と目的を説明するために、私が北九州市役所に入職（1974年）してから北九州市立大学（2006年）に移るまでの環境分野での取り組みを併せて紹介する。現在とは環境問題の内容や社会状況が相当異なるが、環境問題への取り組みの原則は、今日でも同じであろう。AIQS開発の過程と背景などで参考になる点があれば、是非役立てていただきたい。また、最後に地方環境研究所（地環研）でのAIQSの活用と調査研究に取り組む必要性について私の考えを記述する。併せて参考になれば幸甚である。

2. AIQS-GC開発に至る背景と過程

私は1974年に北九州市役所に採用され、公害対策局規制部規制課で大気汚染防止法に係わる規制業務を担当した。当時は総量規制や環境アセス法などもなく、法律に基づく業務に加えて企業との協定や誓約書などを利用して大気を含む環境全般の改善を目指す業務も担当していた。公害問題が最も重要な施策の1つであった当時は、局全体に仕事をやらされているという受け身ではなく、「郷土である北九州市の環境は自分たちが守る」という前向きな気持ちで仕事に取り組んでいた。

1980年に北九州市環境衛生研究所の環境部門・水質係に異動となり、試験検査と調査研究をすることになった。当時の研究所には若い職員が多く、環境衛生研究所設立時に鹿児島大学から招聘された秋山高前所長の理念が残り、毎週のゼミ開催を含め精力的に調査研究が実施されて大学の様な雰囲気であった。環境行政を希望して北九州市に入った私は、その雰囲気や分析業務に慣れるのに1年程度かかったのを覚えている。異動直後に上司から調査研究業務もしっかりやれとの指示があり、どの様なテーマに取り組むか、時間を見つけては図書室で環境研究動向を情報収集し、微量化学物質問題に興味を持った。幸運なことに、研究所には地方自治体として全国初のGC-MSがあり、先輩達はGC-MSを用いた研究を精力的に実施して多数の論文を発表していた。また、環境庁の化学

物質環境実態調査（黒本調査）を受託し、環境調査や分析法開発をルーチンの1つとして実施していた。私は大学時代に分析化学を専攻していたが、吸光光度計しか使ったことがなく、試験検査で使用する原子吸光やGC、GC-MSなどは見るのも初めてで、全て原理から勉強しなければならなかった。試験法も公定法やJIS分析法に加えて、分析法の単位操作の基礎や操作手順などの勉強を一から始める必要があった。異動2年目から化学物質分析法開発の担当もすることとなり、参考文献や資料を収集・勉強し、同僚や先輩のOJTを受けながら開発を進めた。その中でGCなどの機器分析のノウハウを学び、化学物質分析の基礎について勉強を積んでいった。GC-MSに関しては、図書、論文、メーカーの技術資料などで得た情報と自分で行った実験や先輩の知識などを常に収集整理し、GC-MS情報集としてまとめていた。また、同僚と一緒にGC-MSトラブル事例集を作り、経験したトラブルとその対策を記録して職場で共有していた。その考えは大学に移ってからも同様で、開発AIQSや作成テキストなどは希望する方には原則無料で提供している。もう一つ研究所に異動して勉強したのは英語である。最初は英語の文献や分析法を読むため、1980年代後半からはJICA国際研修の講義と実習を行うため、テキスト作成と英会話が業務上必要になり勉強しなければならなかった。勉強はエンドレスで現在も続けているが、このようにして得た知識や技術が調査研究や学生教育など色々な所で随分と役立つ。

行政部門が長かったため、調査研究でも行政に役立つテーマに取り組もうと考え、当時北九州市に国内最初の洋上石油備蓄基地が建設されることが決まった事を受け、最初の研究テーマとして1983年からGC-MSを用いた油汚染の早期検出手法開発を目指し、水質試料中のn-アルカンの微量分析法開発に取り組むこととした。GC-MSの感度を考慮して試料量を10 Lとしたため、固相抽出をすることとし、XAD-2樹脂を用いた固相抽出装置を自作し、重水素ラベル化体をサロゲートとした同位体希釈法の分析法開発に取り組んだ。開発中に重水素ラベル化体にNative体のコンタミがあることに気づき、カナダの試薬会社に手紙を書き、コンタミの無い試薬を入手したことを覚えている。完成した分析法は、分析化学に人生最初の論文¹⁾

として掲載された。これ以降、税金を使い仕事として取り組んだ調査研究成果は、全て学術論文として公表する事を目標としている。学会発表止まりでは、研究成果はほぼ世の中に知られないからである。

試験検査は、ローテーションで毎年担当する分析項目が変わったが、何時頃か市民からの苦情の原因究明を私が担当することになった。当時苦情は年間20～30件ほどあり、その多くは油の流出と魚のへい死であった。油流出に関しては、市内で流通している燃料油と潤滑油の大半を入手し、それらが風化したものも含めGC-FID分析してn-アルカンのパターンや特徴的なピークなどをデータ化し、それをを用いて油種判定する手法を開発した。なお、当時のGCはパックドカラム、クロマトグラムはペンレコーダーで描き、MSは二重収束型でマニュアル制御、マススペクトル検索はマススペクトルデータ集を用いた手作業での検索であった。また、所内には1台の二重収束型GC-MSしかなく、予約しての使用であり、安定したデータを得るには電圧が安定する夜間に試料液を手打ちする必要がある。魚へい死の原因究明での農薬分析はパックドGC-FPDやGC-ECDで行うため、調べられる物質も少数で、河川試料では採水時に農薬が流れ去っていることが多く、原因究明に至った例は非常に限られていた。

1985年には、黒本調査でメラミンの分析法開発を担当し、キャピラリーGC、誘導体化などを勉強した。特に苦労したのは、水質試料からのメラミンの抽出である。当時考えられる抽出法は全て試したがどれも上手くいかず、夜も熟睡できないほどであった。意を決して国立環境研究所の森田昌敏先生に相談したところガスクロ工業（現ジーエルサイエンス）の活性炭ビーズを紹介された。活性炭ビーズを詰めた自作の固相抽出器具を作成して添加回収したところ定量的な回収ができて分析法開発に成功し、1986年に論文²⁾発表した。この活性炭ビーズを用いた固相抽出は、1989年に分析法開発を担当したp-ジオキサンの抽出にも使い、水溶性化学物質の一斉分析として英語論文³⁾として公表した。公表した英語論文は、読者や引用数が和文論文と比べものにならないほど多く、これ以降、論文発表は原則英文ですることになった。なお、私を知る限り、メラミンとp-ジオキサンの分析法が、活性炭を微量化学物質の分析に使用した最初である。この知見は、AIQS-GCの水質の固相抽出⁴⁾に活かされている。

3. 300物質の一斉分析法⁵⁾開発

1994年にGC-MSをリースできることになり、装置選定を開始した。選定にあたっては、ルーチン業務のゴルフ場農薬検査、魚へい死などの苦情処理、および調査研究業務に使用することを前提に短時間に数百物質を一斉分析できる装置を検討した。当時主流のGC-シングル四重極型

MSでは、高感度の選択イオン検出法（SIM）を用いて定量分析していたが、測定物質数に制限があり、数百物質の一斉分析は不可能であった。一方、イオントラップ型MSは、SIM並の感度でフルスペクトルが測定できるため、数百物質の一斉分析に最適なGC-MSであったことから、イオントラップGC-MSを導入することとした。

導入後、早速数百物質の一斉分析法の開発を開始した。開発にあたっては、それまで蓄積していた分析法とGC-MSに関する知識やノウハウの全てをつぎ込み、以下の6条件を満足する一斉分析法を開発することとした。(1) GC-MSの検量線作成では、全対象物質が入った混合標準液を調製する必要がある。その為、1000ppmの標準原液を用いる場合、全てを混合すると濃度希釈されるため、対象物質数は最大300物質程度となる。そこで、日本や米国の規制物質、黒本調査や北九州市内での検出物質から300物質を候補とし、液液抽出で定量的に抽出できる物質を対象物質とする。(2) 分析法検出限界はpptに近づける。(3) マススペクトルと保持時間で確実に同定する。(4) 検量線の更新をできるだけ避けるためGC-MS装置性能評価物質を用いた性能維持手法を確立する。(5) ルーチンでも使用できる正確さと精度を持つ分析法とする。(6) サロゲートを用いて個々の分析が問題なく行われていることを確認する。

文献などを調べて保持時間が重ならないように複数の1ppm混合標準液を調製し、GC-MSで測定して全ての物質の保持時間とマススペクトルを定量メソッドに登録した。次に、定量イオンの決定にあたっては、保持時間が近い物質では他物質から影響を受けないイオンを選び、登録した。定量メソッド完成後、検量線を作成するために全物質の混合標準液を調製して測定し、内標準検量線を作成した。

前処理法は、米国環境保護庁のEPA Methodなどを参考にジクロロメタン液液抽出法を採用することとした。EPA Methodでは水質試料のpHを変えて抽出をしているため、塩基性、中性、酸性の3条件で全物質の添加回収試験を実施して最適なpHと抽出順を決定した。また、濃縮法やコンタミしやすい物質などについても検討した。

開発で最も苦労したのは、標準液の調製であった。研究所には先輩達の精力的な化学物質研究の蓄積として数千種の化学物質があり、新規購入物質は少なかったものの、原体からの調製には同僚の力を借りてもかなりの時間を要した。試料測定時に混合標準液を測定して保持時間と検量線を確認する作業も時間を要し、保持時間を予測する手法の必要性を強く感じた。

イオントラップでの300物質の一斉分析を多数実施して得た知見は、(1) 検量線作成には全物質の混合液が必要であり、標準原液の濃度(1000ppm)から考えて一斉物質

ができる物質数は300物質程度が限界である。(2) 300物質の混合標準溶液の調製は非常に労力を要するが、装置を適切に維持すれば検量線の傾きの変化は小さく安定した定量値が得られる。(3) 装置性能を維持するためには、装置性能評価物質を用いた評価が有効である。(4) 保持時間はカラム切断や交換後に変化するため、測定時の保持時間を調べるために標準液を常に準備して測定する必要がある。以上から、1000物質以上の網羅分析をするには、次の2点が必要である事が分かった。(1) 全物質を混合した標準液を測定して検量線を作成するのではなく、検量線を追加していくデータベース(DB)を用いる手法が良い。(2) 標準液の測定に代わる保持時間予測手法が必要である。当時、アジレントには保持時間を固定する手法(リテンションタイムロック)があったが、ロックに用いる物質から保持時間が離れた物質の保持時間の再現性が低下する問題があった。そこで、n-アルカンを昇温保持指標とした保持時間予測を検討しようと考えた。

開発した300物質の一斉分析法を用いて様々な環境調査や国際環境協力を実施して多くの成果を得た。主要な成果を次に示す。(1) 阪神・淡路大震災時の神戸港海水調査において殺虫剤のビス(2-クロロイソプロピル)エーテルを国内で初めて検出した。この結果を受けて、環境庁の依頼により「緊急時における化学物質調査マニュアル⁶⁾」を作成した。(2) 魚へい死事件で多数回クロロピリホスを検出した。また、未使用農薬の投棄と思われる高濃度のクロルデン類を検出した。(3) 中国大連市との国際環境協力のためにGC-MSのテキスト「水和廃水監測分析方法指南(下冊)⁷⁾」を作成し、それを用いて大連市で開催された環境セミナーにおいて化学物質分析研修を実施した。また、大連湾で海水を採水して一斉分析し、ビス(2-クロロエチル)エーテルとビス(2-クロロイソプロピル)エーテルを検出した。(4) 北九州市周辺海域⁸⁾と閉鎖性海域の洞海湾⁹⁾の水質調査を行い、化学物質の存在実態と発生源および洞海湾内の化学物質の挙動を明らかにした。(5) 内分泌攪乱化学物質(EDC)問題が社会問題となった時期に北九州市の自然公園である山田緑地(旧山田弾薬庫跡地)で多数の過剰枝カエルが発見され、EDCとの関連で大きな問題となり、市を上げて原因究明を行った。戦前・戦中に緑地内で大量の爆薬のトリニトロトルエン(TNT)が飛散していたとの情報を得て、300物質一斉分析法を用いて園内の水質試料を測定した時の全イオンクロマトグラムを後日レトロスペクティブ分析し、TNTを検出した¹⁰⁾。

4. AIQS-GC開発^{11), 12)}

前述のようにイオントラップGC-MSを用いて測定する

中で、定量値の変化が非常に小さいことに気づき、保持時間の予測が出来れば標準物質不要の測定が可能ではないかと考えていた。2002年のイオントラップGC-MSのリース終了後、新GC-MSの導入が認められた。装置の進歩で四重極型GC-MSの全イオンモニタリング(TIM)でもイオントラップと同等の感度が得られることを装置メーカーの営業から聞き、四重極型GC-MSをリースすることにした。そこでイオントラップと同等以上のTIM感度のGC-MSを販売し、DBと保持時間予測を行うソフトを開発してくれそうな装置メーカーとしてアジレントと島津製作所を候補とし、2社にソフト開発への協力をお願いした。その結果、アジレントは米国本社の承諾が得られず、島津製作所がDBソフトの開発を承諾したため、島津のGC-MSをリースすることとした。また、アジレントGC-MS向けのDBソフトはアジレントの代理店である西川計測が開発することとなり、共同研究で開発を進めることになった。

AIQS-GCの開発では、300物質の一斉分析で得た知識と経験が非常に役立ち、スムーズにDB構築が進んだ。標準液調製では、極力市販の混合標準液を使うこととし、農薬などは食品部門が調製した混合標準液を分けてもらうなどして、1年で約900物質をDBに登録した。また、DB登録作業に併せて、AIQSの性能を評価するために必要なデータ、例えば保持時間の予測精度、定量値の再現性、装置性能評価物質などのデータを様々な条件で測定・収集した。このように検討内容を事前に充分に考えて決めておき、検量線作成時に併せて検討内容に係わる測定もすることで、DB構築とAIQS性能評価を同時に進めることが出来た。DB構築中に最も嬉しかったのは、ある程度の数の物質をDBに登録後、保持時間予測をして予測と実保持時間が非常に良く一致した時である。これでAIQSが間違いなく上手くいくと確信してその後の作業に一層力が入ることとなった。なお、DB登録はほぼ私一人で行った。この時期は、管理職としての業務、九州工業大学との連携講座の教授として授業と学生の指導、その他依頼業務もあり、土日もない人生で最も多忙な時期であったが、充実した時間でもあった。

開発AIQS-GCと2種の試料の前処理法を組み合わせ、水質(液液抽出、固相抽出)と底質分析法を開発し、国内外の様々な地域の環境調査を行った。その中の幾つかの報告を紹介する。(1) 2005年の農繁期に全国11河川水の882物質を調査した結果、中央値で15物質、3.1 ppbを検出した¹³⁾。また、対象物質を用途などで25分類し、分類別の濃度プロファイルを描いた結果、河川流域の下水

道の有無や産業活動の違いを明らかにできた。(2) 中国の長江、黄河¹⁴⁾とベトナム都市河川¹⁵⁾を調査して日、中、

越3カ国の検出濃度を比較した結果、ベトナム>>中国=日本であった。下水道普及率と河川流量が濃度差の原因と考えられる。また、検出物質を比較すると中国では工業由来物質の種類と濃度が高く、工場廃水処理が不十分と推測された。(3) 2007年に北九州市の洞海湾底質の888化学物質と重金属、および底生生物の生息状況を調査した¹⁶⁾。その結果、湾奥において多環芳香族炭化水素や重金属の濃度が底質ガイドラインを超過し、検出濃度が高いほど底生生物の個体数とバイオマスが少なく、一部の物質が底生生物に悪影響を与えている可能性が示唆された。(4) オーストラリアとの共同研究で2014年～2016年にオーストラリアの南極基地に設置する高度廃水処理施設の処理工程毎の化学物質分析とバイオアッセイを行い、最終処理水の安全性を評価した¹⁷⁾。その結果、最終処理水が飲用可能までに浄化されていることが確認された。

5. 地方自治体におけるAIQSの活用

現在の環境問題は、私が北九州市役所に入職した1970年当時から大きく変化している。1970年前後は、日本の環境問題はローカルな問題であり、環境汚染(産業公害)が主であった。その後、ローカルな汚染問題はほぼ解決し、都市生活型公害を経て、現在最も重要な問題は気候変動や種の多様性保全(生物絶滅)などの地球環境問題である。また、化学物質も地球環境問題の1つである。豊かで快適な生活を求めてプラスチックを含めて多種多様な化学物質・化学製品が使用量を急激に伸ばしており、化学物質によるヒト健康や生態系に対する影響に懸念が増している。現在日本で社会問題となっているPFASは20年以上前からその環境汚染が知られていたが、数年前から急に大きな問題になってきた。日本では過去に水俣病に代表される重篤な環境汚染を経験し、その経験から環境汚染の未然防止が人的被害や経済的損失を小さくする最善の対策と言うことを学んだ。我々は現在多種多様な化学物質のカクテルの中で生活している。個々の物質の濃度は低くても、長期複合暴露の影響がどの様に出るか現在の科学では解明できていない。環境中の化学物質をモニタリングし、検出濃度をリスク評価して問題が生じそうな物質があれば、被害が顕在化する前に適切な対策や規制を講じる必要がある。また、日本では、これまで主にヒト健康が注目されてきたが、水生生物などの生態系にも今まで以上に注目する必要がある。

未然防止のために、環境省は1974年から黒本調査を実施しているが、急増する物質に対応できなくなっている。また、水質の要調査項目のモニタリングも調査が追いつかない状況である。地方レベルの状況は、国以上に深刻で常時監視項目以外のモニタリングが出来ない自治

体も出てきている。しかし、地方には地域ごとに異なる産業活動や環境条件があり、それに伴い化学物質の種類や濃度も異なる。例えば、以前の北九州市は、重化学工業由来の工業薬品や副生成物などによる化学物質汚染が深刻だった。私が黒本調査の分析法開発で開発したp-ジオキサン分析法を用いて北九州市周辺海域を調査し、その結果を論文発表¹⁸⁾したところ、発表から1年以内にp-ジオキサン濃度が大幅に低下した。恐らく、排出企業が対策を講じたためと推測される。このように地域により化学物質汚染の状況は異なることから、その実態を把握するための地方自治体によるモニタリングが重要である。地元でのモニタリングにより、p-ジオキサンのような地域特有の問題を早期に発見し、迅速な対応を講じることができる。また、地方自治体は地域の特性に詳しく、具体的なリスクを把握しやすい。

平時にAIQSなどの網羅分析法を用いて地域の化学物質の実態を把握し、通常時の状態や経時変化を把握しておけば、異常の検出や濃度上昇物質などを明らかに出来る。また、汚染事故や災害などの緊急時にモニタリングすることで迅速な原因物質特定や安全性評価が可能である。

最後に、これらの結果は透明性確保のために全て公表し、化学物質の監視とリスク評価の重要性を地域住民に周知する。それにより、地域住民に安全安心を提供し、自治体への信頼を高め、環境保全への協力に繋げて行ければ申し分ない。

6. 調査研究に取り組む必要性

現在多くの地環研では、人手不足のため試験検査に追われて調査研究まで手が回らないと聞いている。しかし、地環研と職員両方のレベルアップのためにも、地環研は何らかの調査研究に取り組む必要があると考える。理由としては、試験検査などの分析業務で信頼される結果を得るには、試験検査に必要な知識や技術を超える知識・技術・経験が必要である。調査研究では、アウトカムだけでなくその過程を通して高度な知識・技術・経験を習得できる。特に、地環研の分析者は、民間分析機関の分析担当者以上の実力を持つことが望ましく、試験検査を行うだけでは難しい。調査研究課題として、現時点での行政ニーズに対応するだけでなく、将来問題となりそうな新しい課題に取り組むことで、環境汚染の未然防止に貢献し、新たな問題が生じたときにも迅速に対応することが出来る。我が国が水俣病に代表される公害問題から学んだことは、環境汚染の未然防止の重要性である。環境汚染によってヒトの健康や生態系への悪影響が顕在化する前に問題を発見して、必要な対策を講じることで被害防止だけでなく、コストも大幅に少なくすることが出来る。法で規制された物質は、常時監視などで監視で

きるが、環境汚染事故などの緊急時では未規制物質による健康被害も考えられる。また、近年は有機フッ素化合物や医薬品など新規に使用されるようになった物質や使用量が増加してきた物質などが新興化学物質として全世界で注目され、その汚染状況などが未然防止を目的として調査研究されている。それらの全てを地環研で対応することは難しいが、その一部を対象として調査研究することで、職員と地環研の能力・実力が向上して未然防止に貢献し、いざという時の迅速な対応が可能となる。

また、調査研究を実施することで、個人として以下の能力を育成できる。優秀な人材は、組織の宝である。調査研究業務を通して人材育成が出来れば、一石二鳥である。(1) 批判的思考力：調査研究では、仮説の立案、データ分析、既存の理論や知見の評価が求められる。これにより、物事を深く考え、疑問を持ち、複数の視点から問題を検討する批判的思考が培われる。(2) 問題解決能力：多くの調査研究は、未知の問題に挑むことが中心である。課題に対して新しいアプローチを考え出し、実験や理論を使って解決するプロセスを繰り返すことで、創造的かつ論理的な問題解決スキルが育成される。(3) 分析力：研究では大量のデータを扱うことが多く、それを正確に解釈し、有意義な結論を導くためのデータ分析力が不可欠である。統計手法やプログラミング技術など、定量的な分析スキルが高まる。(4) 論理的思考力：調査研究では、因果関係や仮説の論理構造を緻密に検討する必要がある。これにより、段階的に考え、結論を導き出すための論理的な思考が鍛えられる。(5) コミュニケーション力：研究結果を他の研究者や社会に発信する際、分かりやすく伝える能力が必要である。論文や学会発表などを通して、論理的に整理された情報を効果的に伝えるスキルが向上する。(6) 実験計画・実行能力：研究の一環として、適切な実験を計画し、実行する能力が求められる。どのような手順が最も効率的であるか、どの変数をコントロールすべきかなど、プロジェクト管理能力や計画力が向上する。(7) 協働・チームワーク：調査研究は多くの場合、他の研究者や専門家との共同作業である。異なる分野やバックグラウンドを持つ人々と協力し、相互の知識を補完し合うことで、チームとしての成功に貢献する能力が育まれる。(8) 継続的学習：科学の世界は常に進化しており、新しい技術や知識が次々に登場する。研究を行うことで、最新の情報を自発的に学ぶ習慣や、自己学習能力が向上する。(9) 忍耐力と柔軟性：研究には失敗や予想外の結果がつきものである。これに耐え、試行錯誤を繰り返しながら進めていく中で、忍耐力や困難な状況に適應する柔軟性が身につく。(10) 倫理的判断力：研究には、倫理的な側面も重要である。データの誠実な報告や、社会に与える影響を考える責任感が

養われる。以上の能力は、公務員を含む色々な職業や人生の様々な場面でも大いに役立つ。この様に、科学的な思考とスキルは、現代社会における問題解決や技術革新の重要な基盤であり、本文を読まれた皆様が調査研究にチャレンジして能力アップと地域の環境保全・改善に貢献することを期待する。

7. 最後に

現在までにAIQS-GCとLCの2種類のAIQSを開発している。2つのAIQSを活用すれば環境中化学物質の大半をスクリーニング可能である。また、試料の前処理法は、GCが水質、土壌・底質、大気中の浮遊粒子状物質、LCが水質試料を開発済みである。DBであるAIQSには、容易に対象物質を追加できる。1つの機関で追加した物質は、他の機関でも使用できるため、低コスト・短時間で数千物質のモニタリングが可能である。このAIQSの能力を活用して、ヒトの健康と生態系への悪影響を未然防止し、住民に安全安心を提供していただきたい。また、全ての結果を住民に公表し、地環研が今まで以上に信頼される組織として、地域住民の協力を得ながら環境保全に取り組んでいくことを期待する。

8. 引用文献

- 1) 門上希和夫, 篠原亮太: 重水素化物を内標準とするガスクロマトグラフ質量分析法による海水中の微量n-アルカンの定量. 分析化学, **34**, 114-118, 1985
- 2) 門上希和夫, 篠原亮太: 活性炭抽出法を用いたガスクロマトグラフ質量分析法による環境水中の微量2,4,6-トリアミノトリアジンの定量. 分析化学, **35**, 875-879, 1986
- 3) K. Kadokami, M. Koga, A. Otsuki: Gas Chromatography/Mass Spectrometric Determination of Traces of Hydrophilic and Volatile Organic Compounds in Water after Preconcentration with Activated Carbon. *Analytical Sciences*, **6**, 843-849, 1990
- 4) 陣矢大助, 岩村幸美, 門上希和夫, 楠田哲也: 固相抽出法とGC-MS自動同定定量データベース法による水試料中半揮発性化学物質の包括分析法の開発. 環境化学, **21**, 35-48, 2011
- 5) K. Kadokami, K. Sato, Y. Hanada, R. Shinohara, M. Koga, H. Shiraishi: Simultaneous Determination of 266 Chemicals in Water at ppt Levels by GC-Ion Trap MS. *Analytical Sciences*, **11**, 375-384, 1995
- 6) 緊急時における化学物質調査マニュアル(平成9年度環境庁公害調査委託事業), 共著, (財)日本食品分析センター, 1998

- 7) 水和廃水監視分析方法指南（下冊），共著，中国環境科学出版社，1995
- 8) 門上希和夫，陣矢大助，岩村幸美，谷崎定二：固北九州市沿岸海域の化学物質汚染とその由来. 環境化学, **8**, 435-453, 1998
- 9) 陣矢大助，門上希和夫，岩村幸美，濱田建一郎，山田真知子，柳哲雄：閉鎖性内湾－洞海湾における化学物質の分布と挙動. 水環境学会誌, **24**, 441-446, 2001
- 10) 北九州市における外因性内分泌攪乱化学物質の野生生物に与える影響に関する検討委員会 最終報告書，共著，北九州市，2003
- 11) 門上希和夫，棚田京子，種田克行，中川勝博：有害化学物質一斉分析用ガスクロマトグラフィー/質量分析法データベースの開発. 分析化学, **53**, 581-588, 2004
- 12) Kiwao Kadokami, Kyoko Tanada, Katsuyuki Taneda, Katsuhiro Nakagawa : Novel gas chromatography-mass spectrometry database for automatic identification and quantification of micropollutants. *Journal of Chromatography A*, **1089**, 219-226, 2005
- 13) Kiwao Kadokami, Daisuke Jinya, and Tomomi Iwamura : Survey on 882 Organic Micro-Pollutants in Rivers throughout Japan by Automated Identification and Quantification System with a Gas Chromatography – Mass Spectrometry Database. *Journal of environmental chemistry*, **351**, 351-360, 2009
- 14) LI Wei-mei, LI Xue-hua, CAI Xi-yun, CHEN Jing-wen, QIAO Xian-liang, Kiwao Kadokami, Daisuke Jinya, Toyomi Iwamura : Application of Automated Identification and Quantification System with a Database (AIQS-DB) to Screen Organic Pollutants in Surface Waters from Yellow River and Yangtze River. *Environmental Science*, **31**, (11), 2627-2632, 2010
- 15) H. T. C. Chau, K. Kadokami, H. T. Duong, L. Kong, T. T. Nguyen, T. Q. Nguyen and Y. Ito : Occurrence of 1153 organic micropollutants in the aquatic environment of Vietnam. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-10, 2015
- 16) Kiwao Kadokami, Xuehua Li, Shuangye Pan, Naoko Ueda, Kenichiro Hamada, Daisuke Jinya, Tomomi Iwamura : Screening analysis of hundreds of sediment pollutants and evaluation of their effects on benthic organisms in Dokai bay, Japan. *Chemosphere*, **90**, pp721-728, 2013.
- 17) M. Allinson, K. Kadokami, F. Shiraishi, D. Nakajima, J. Zhang, A. Knight, S. R. Gray, P. J. Scales, G. Allinson : Wastewater recycling in Antarctica: Performance assessment of an advanced water treatment plant in removing trace organic chemicals. *Journal of Environmental Management*, **224**, (15), 122-129, 2018
- 18) 門上希和夫，佐藤健司，古賀実：14種の水溶性化学物質による北九州地方の水環境汚染. 環境科学, **3**, 15-23, 1993