

研究生活 42 年：メタロミクスへの道



原 口 紘 丞

2006 年 9 月大阪大学で開催された第 55 年会の折に「分析化学のあゆみ」欄への執筆を「ぶんせき」編集理事から依頼されたときは、筆者はまだ現役であるので、「まだ早すぎる!」とお断りした。しかし、その後考え直して、次のような理由から執筆させていただくこととした。一つ目は、「現役の先生にご執筆いただければ、多くの大先生に執筆を依頼できる」という編集理事の懇願にも一理あると思ったこと。二つ目は、本誌「ぶんせき」がそれまでの解説記事と論文の混載形式から分冊されたときの編集準備委員会〔委員長：荒木 峻（東京都立大学教授（当時））に委員の一人として参加させていただき、この「分析化学のあゆみ」欄を提案したのは筆者であったことである。三つ目は、筆者は 2007 年 3 月定年退職となる。ゆえに、整理の悪い筆者は、定年退職後はこのような記事を書くのは困難であるので、少々早いと思いながらも、研究生活 42 年間のあゆみをまとめてみることにした。そして、四つ目の理由は、筆者が提唱する表題の「メタロミクス」について、会員の皆様の御理解を得て、今後の発展に御支援をお願いしたいと考えたためである。

1 研究生活の始まり—NMR との出会い

1965 年、高校時代建築学科志望であった筆者は、ひょんなことから東京大学理学部化学科に進学し、4 年生の卒業研究で藤原鎮男先生御担当の「分析化学講座」を志望した。当時 ^1H （プロトン）-NMR の装置が市販装置として完成し、花形の先端分析機器として注目されていたが、筆者は大学院入試で有機化学の成績が悪かったために、藤原先生は有機化合物を主な研究対象とする ^1H -NMR は不向きと思われたらしく、筆者には「他核 NMR の研究をやって下さい」と予期せぬテーマをいただいた。他核というのはプロトン以外の核種で、当時は



著者近影

核スピンの $1/2$ の ^{13}C , ^{19}F , ^{31}P などの核種の測定もきわめて困難な時代であった。金属核種の場合、その多くは四重極モーメントを有するので線幅が非常に広がるために、測定はさらに困難であった。他核 NMR の研究は当時大学院学生であった山本毅雄先輩（図書館情報大）が一人でやっておられ、筆者は山本先輩に弟子入りすることになった。驚いたことに、装置は手作りの未成品で、全く思いどおりには動いてくれず、週に何度も秋葉原に電気回路の部品を探しに行くのが弟子の仕事であった。それでも修士課程の終り頃にはなんとか測定可能になり、 ^{27}Al , ^{63}Cu , ^{115}In などの金属核種について、金属錯体の溶液内構造に関する研究成果を得ることができた。この間、藤原先生のほか、長島弘三（東京教育大）、荒田洋治（東京大）、山崎 昶（電気通信大）の諸先生に御指導いただいた。

2 東京大学農学部時代—原子吸光分析装置との出会い

1969 年 6 月 30 日で大学院を中退して、7 月 1 日付けで不破敬一郎教授が担当される東京大学農学部農芸化学科分析化学講座の助手に採用していただいた。同年 1 月には東京大学安田講堂攻防戦とも呼ばれた事件があり、当時は長く続いた大学紛争の影響が色濃く残っていた。筆者が赴任した農学部には安田講堂攻防戦後全共闘グループが常駐していて、在籍した約 5 年間は彼らとの共生生活を余儀なくされた部分もあった。

不破教授は同年 6 月米国ハーバード大学医学部における 14 年間の研究生活を終えて、帰国されたばかりとのことであった。分析化学講座は、当時の大学理工系学科・講座増設計画によって 1968 年 4 月に新設されたとのことであったが、筆者が赴任したときは実験台があるだけで、ガラス器具等の実験器具も全くない状況であった。研究室スタッフは、不破教授のほか、戸田昭三助教

授（東京大）、土器屋由紀子助手（東京農工大）がおられ、翌年4月に山崎素直助手（東京大）が赴任された。学生は、大学院学生の岡本研作君（産業技術総合研究所）と、数名の4年生（卒業研究）が在籍していた。

不破教授の米国時代の研究は、「不破-Vallee 長光路吸収管原子吸光分析装置」の開発による超高感度金属分析の実現と、それを応用した金属酵素の発見が有名である。そこで、筆者が赴任した最初の研究室ゼミで、「皆さんは、“Metals in biology”をテーマに研究を進めて下さい。研究のやり方は皆さんの自主性にお任せします。ただし、お任せすることは、皆さんそれぞれに責任があることは自覚しておいて下さい。」とおっしゃられたことを憶えている。研究方針は示されたが、実験器具、実験装置もないので、ほこりが積った部屋と実験台の掃除と、思いつくまま実験器具の注文をする生活が続いた。11月末頃になって、やっと日立207型原子吸光分析装置が納入され、試運転を始めることができた。原子吸光分析装置との最初の出会いであった。それまで、他核NMRでM（モル）オーダーの溶液で実験していたので、ppb（ 10^{-9} g/ml）オーダーの分析ができることは新鮮な驚きであった。

原子吸光分析法に関しては、その後大学院学生として参加された藤原祺多夫君（東京薬科大）と、フレーム内原子分布の精密測定を行い、原子化効率の向上と化学干渉機構の解明に関する研究を行った。そのうち、不破教授から1972年京都で開催される国際分析化学会議に発表したいので、フレーム内分子吸収を利用する非金属元素分析法を開発して欲しいとの要請があった。あまり前例のない研究であったので大変苦労したが、永田忠博君（食品総合研究所）とフレーム分子吸収スペクトル測定法を開発し、PO、InCl、AlFなどの二原子分子の吸収測定に成功した。その結果は、その後リンやフッ素の定量法の確立に役立った。また、フレーム分子吸収測定装置として、文部省科学研究費補助金試作研究費の援助を受けて「2フレームダブルビーム自記分光光度計」を第二精工舎（現SIIナノテクノロジー）と共同開発することができた。

当時の思い出として、公害が深刻な社会問題となっていたので、その問題解決と対策技術開発をめざして、特定研究「人間の生存にかかわる自然環境に関する基礎的研究」（代表者：佐々 学東京大学教授）が組織され、第1回の研究発表会が1974年3月25日～28日東京大学医科学研究所講堂で行われた。筆者は、「自然環境における重金属の分析化学的並びに生理学的評価」という演題で研究を紹介したが、出席の皆さんに高い評価を得たということを後で聞かされ、嬉しい経験であった。この特定研究の推進が、後に始まった文部省科学研究費環境科学特別研究の契機となったことを記しておく。

3 国立公害研究所時代一波長掃引方式 ICP-AES 装置の開発

1974年9月国立公害研究所に転出した。国立公害研究所は、当時開発が始まったばかりの筑波研究学園都市に新設されていた。実は、不破教授が同研究所の計測技術部長を兼任されることになり、筆者は志願して参加させていただいた。新しい研究学園都市の開発、そして研究所の将来的発展に大きな期待をして行ったのであるが、研究所は建設が始まったばかりで、研究員、事務職員もそれぞれ20名以下であり、何もかもこれからという状況であった。計測技術部も不破部長と、大学院を修了して採用された岡本研作君と筆者の3名であった。そこで、計測技術部の将来研究方針として、①多元素同時分析法の開発（無機分析関係）、②多成分同時分析法の開発（有機分析関係）、③環境標準物質の作製と頒布、をまとめた。その後いずれの課題も大きな発展を遂げ、環境分析の主流となり、また国家プロジェクトとなっているのを見ると、その後の研究および計測技術の大きな流れを作ることができ、嬉しい限りである。

1975年4月には古田直紀君（中央大）が研究員として参加され、一緒に研究を始めることができた。磁気テープデータ補正システムを用いたダブルビーム原子吸光分析装置によるフレーム分子吸収測定法、連続光源を用いる多元素原子吸光分析法などの開発研究を行った。また、この頃東京大学農学部からの受託研究学生として吉村悦郎君（東京大）にも実験の協力を得た。古田君とは、後述のフロリダ大学留学から帰国した後、コンピュータ制御高速波長掃引分光器と、それを用いる波長掃引方式 ICP-AES 分析装置、面検出器（SIT：silicon intensified target tube）を用いる多元素同時分析 ICP-AES 装置など多くの開発研究を行うことができた。この頃には、イギリスからポスドクとして来日した C. W. McLeod 氏（Sheffield 大）も客員研究員として、大きな貢献をしてくれた。

4 フロリダ大学留学—原子蛍光分析法との出会い

前述の国立公害研究所に移って1年後、初代所長であった大山義年先生の御配慮によって、2年間（1975年9月～1977年8月）米国フロリダ大学に留学することになった。フロリダ大学を選んだのは、化学教室の J. D. Winefordner 教授が多元素分析を志向した原子蛍光分析法に関する論文を当時極めて精力的に発表しておられたためである。Winefordner 教授は1964年、32歳の若さで原子蛍光分析法に関する論文を発表された創始者であった。原子吸光分析法が単元素分析法であることにまどろっこしさを感じていた筆者には、「多元素定量（multielement determination）」という用語がとても魅

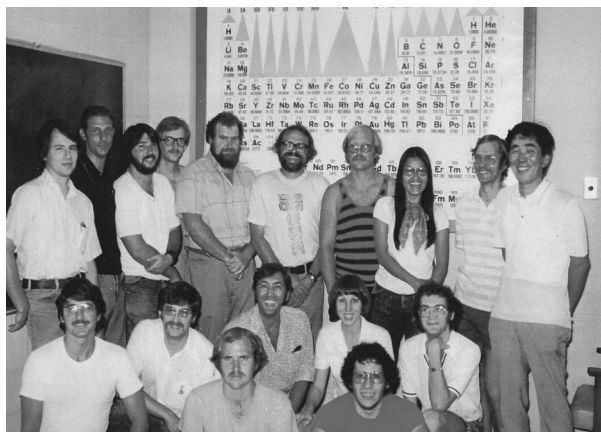


図1 フロリダ大学 Winefordner 教授研究室の皆さん (1977 年)

力的であった。

Winefordner 教授は、学生にも秘書の女性にも“Jim!”と呼ばれる、とても気さくな研究者であったが、機関銃のように早口で話されるので、英会話がほとんどできない筆者にとって最初の1年間は地獄のような苦しみであった。が、学生諸君と一緒に実験をやりながら英語にも少しずつ慣れて、2年間で10報の論文を書くことができた。その中で、レーザー励起原子蛍光分析法の高感度化に関する研究によって、多くの元素に対して“ppt 分析”の幕開けとなる、ppt (10^{-12} g/ml) レベルの検出限界を得ることができた。また、二波長原子蛍光法によるフレーム局所温度測定法の開発を行うこともできた。Winefordner 教授には、研究方針、研究方法、装置化、そして研究に対する姿勢など多くのことを学ばせていただき、その後の筆者の研究生活に大きな影響を受けた。図1には、滞在中最後のゼミの後で撮った集合写真を掲載した。ヒゲのおじさんが Winefordner 教授である。

5 東京大学理学部時代—高感度・多元素同時分析への挑戦

1977年8月アメリカから帰国し、翌年3月までは国立公害研究所に在籍した。実は、筆者の留学中に不破教授が東京大学理学部化学教室の無機化学講座担当教授として移られていた。そして、フロリダまでお越しいただき、筆者に理学部に戻るようにとの要請を受けた。できれば米国に10年くらい残りたいと心密かに考えていたので少々戸惑ったが、ありがたいお話であるのでお受けすることにした。ということで、1978年4月東京大学に助教授として移ることになった。国立公害研究所が発足して4年で初めての転出者となったことで、多少気が引ける思いであった。研究室には、前出の藤原祺多夫君と松本和子さん（早稲田大）が助手でおられ、理学部不破研第1期生の三馬鹿トリオと称する大学院博士課程1年生の高橋純一君（横河アナリティカルシステムズ）、田辺 潔君（国立環境研究所）、角田欣一君（群馬

大）、修士課程2年生の小林憲正君（横浜国立大）、修士課程1年生の千葉光一君（産業技術総合研究所）など、10名を超える学生が在籍していた。不破教授は国立公害研究所の部長兼任、藤原助手は米国留学2年間で、松本助手は御出産等が続き、研究室の整備と学生指導に追われる日々であった。

農学部助手時代にはそれほど考えなかったのであるが、国立公害研究所で億円単位の研究費を動かした後大学に戻ってみると、百万円単位の研究費で10~20人の学生と研究をやることは大変なことであった。幸いにして、その頃前述の環境科学特別研究が始まっていた、不破教授が環境動態班の班長であったので、そこに入ってくる研究費の一部をうまく利用させていただいた。また、1978年12月、当時環境科学特別研究の代表者であった国立公害研究所所長の佐々 学先生が、大学では研究費に苦勞するだろうと言って、1978年度研究費の追加配分として特別研究に配分された5,000万円をそっくり使ってよいと移管して下さった。筆者にとっては大変幸運なクリスマスプレゼントであった。その研究費で、40元素同時分析用 ICP-AES 装置 (Jarell Ash Plasma AtomComp MkII) が納入されたのは1979年3月であった。その装置はその後名古屋大学に移して、現在でも現役として稼働している。世界中で最も多くの数の元素を測定し、最も長く働いてくれた装置であると自負している¹⁾。

ただし、上記の装置は自分達だけが勝手に使うのではなく、環境科学特別研究全体の全国共同利用機器として活用し、要望があれば班員の研究に協力すること、および環境科学の発展並びに装置の普及に貢献することなどの条件で、研究室で預かった装置であった。それでも毎年300万円ほどの維持費もいただいたので、サービスもやりながら学生諸君と目一杯有効に利用させていただいた。お蔭様で、この装置を利用して多くの学生諸君が学位（博士号）を取得することができた。その中に長谷川哲也君（東京大）、赤木 右君（九州大）、豊田和弘君（北海道大）などがいた。それぞれ、材料科学、海洋化学、地球化学の分野で活躍されている。

この東京大学理学部には10年間ほどいたが、多くのスタッフ、学生諸君と、ICP-AESを中心とする多くの研究を行うことができた。詳細は長くなるので省略させていただくが、その研究成果のまとめとして出版したのが、1986年に刊行した著書「ICP 発光分析の基礎と応用」である²⁾。本書は、現在でもプラズマ分光分析法の入門書、専門書として多くの方々に愛読されているようである。

ここで、理学部時代の思い出について記述しておきたい。1979年文部省の東南アジア学術交流事業が始まったが、筆者はその国際共同研究に参加することになり、第一陣としてタイに派遣されることになった。そのとき

の研究テーマは「水田における窒素循環」（代表者：高井康雄東京大学教授）と題する食糧増産を目標とするものであった。それ以来5年ごとに、「都市廃棄物の農業利用に関する研究」、「東南アジア地域の陸域生態系における温室効果ガスの動態」とテーマを変えて、東南アジア行脚を続けることになった。研究内容の詳細については省略させていただくが、東南アジア学術交流の始まりから15年間も東南アジアにおける共同研究に参加できたことも、今となっては思い出深いものである。

1979年10月、当時分析機器展と併設で開催されていた第15回応用スペクトロメトリー東京討論会の帰りに、佐藤公隆氏（新日鉄）、斎藤行宜氏（安部商事）、吹野博志氏（第二精工舎）と相談会をもった。その頃はICP-AES装置が普及し始めていたことから、研究会を創設して啓蒙活動を行ってはどうかという相談であった。その意を受けて、不破教授および関係者と相談して、1980年1月「プラズマ分光分析研究会」を創設して、不破教授が会長、遠山健次郎氏（島津製作所）と保田和雄氏（日立製作所）が副会長、筆者が事務局長を務めることにして活動を開始した。この研究会では、研究者、ユーザー、メーカーの三身一体による運営とすること、講演会やセミナーにメーカーの皆さんにも企画段階から積極的に参加していただくことを活動方針とした。現在の「産官学連携」の先取りである。このプラズマ分光分析研究会は、その後筆者、中原武利先生（大阪府立大）が会長を務めた後、現在では古田直紀教授（中央大）が会長として活発な活動を続けられている。我が国のプラズマ分光装置が世界に普及していることの基盤になったとすれば幸いである。なお、プラズマ分光分析研究会の設立は、後述の第22回CSI（国際分光学会議）を支援する準備組織とする意図もあったことを記しておく。上記のプラズマ分光分析研究会の第1回講演会における筆者の講演の中で「理想的な分光化学分析法に求められる条件」として、将来の研究目標に掲げた項目を表1に示す。その後の目標達成度の評価は皆様をお願いしたい。

1981年、日本分析化学会創立30周年記念事業として第22回CSIと第9回原子スペクトル分析国際会議（ICAS）が、鎌田 仁先生（東京大学教授）を組織委員長、不破先生を秘書長として、上智大学で開催された。外国から多くの研究者が参加され、会議は成功裡に終わったが、筆者にとってさらに大きく、衝撃的な思い出は、その2年前に英国ケンブリッジ大学で開催された第21回CSIである。この時は、2年後の第22回CSIを東京で開催すべく、本会から多くの先生方が参加されていた。筆者も山田科学財団の外国派遣旅費の援助を受けて参加させていただいた。この会議中、本来第22回CSIの組織委員長に予定されていた武内次夫先生（名古屋大学教授）が講演直後倒れられ、亡くなったのであ

表1 理想的な分光化学分析法に要求される条件（1980）

1. すべての元素の分析ができること
2. 同一条件で、常量（major）、少量（minor）、微量（trace）、超微量（ultratrace）濃度レベル元素の多元素分析ができること
3. 元素間の干渉効果がないこと
4. μL または mg オーダーの微量試料の分析に応用できること
5. 最小限の試料処理によって、固体、溶液、気体試料の分析ができること
6. 迅速分析ができること（*e.g.*, 工程管理への応用）
7. 正確かつ精度のよい分析ができること
8. 非破壊分析法であること
9. 装置ができるだけ小型であること
10. 価格が適当な市販の装置が供給できること

る。その日は、武内先生と筆者が講演することになっていて、組織委員長招待昼食会に御一緒させていただいた。昼食後、会場が別であったのでお別れしたのであるが、別れ際に「これからは日本も若い人が頑張らないといけませんね!」とおっしゃったのが最後のお言葉となった。悲しい思い出であるが、10年後武内先生が担当しておられた名古屋大学の工業分析化学講座の教授に招聘されることになるとは思いませんでした。先生との御縁と、今でも先生のお声が聞こえることがある。

6 名古屋大学工学部に転出—拡張元素普存説の提唱³⁾

1988年12月1日付けで名古屋大学工学部応用化学科に臨時増募教官籍教授として、柘植 新先生（名古屋大）のお世話で転出することになった。そこでは、2000年3月退官予定であった石井大道先生の後任人事であるとして、石井先生の研究室で見習い教授として研究、ゼミ等御一緒させていただいた。石井先生はクロマトグラフィーの大家であり、とくにキャピラリークロマトグラフィーで顕著な研究業績を挙げておられた。それまでクロマトグラフィーとはまったく無縁であった筆者にとっては、本当にありがたい経験をさせていただき、その後の化学形態別分析法の開拓的研究の基礎となったことは、心から感謝申し上げる次第である。

当時石井先生は名古屋大学省資源エネルギー研究センターの技術研究部長を併任しておられ、研究室、研究センターには後藤正志先生（岐阜薬科大）が助教授、竹内豊英氏（岐阜大）と広瀬昭夫氏（長野県看護大）が助手としておられた。ここも学生が多く、卒研（4年生）を含めると15名を超える数であった。石井先生の退官後は、筆者が省資源エネルギー研究センターの技術研究部長併任となったので、竹内氏が研究センター助教授に昇任され、研究室には東京大学工学部から寺前紀夫氏（東北大）に助教授、東京大学理学部から猿渡英之氏（宮城教育大）に助手として参加していただいた。

研究室の整備として、当時普及し始めていた ICP-MS 装置をセイコー電子工業（現 SII ナノテクノロジー）から借用して、前述の ICP-AES 装置と併用しながら、「地球システムの全元素分析への挑戦」というテーマで、岩石、土壌、海水、植物、生体試料など、あらゆる試料の多元素分析に着手した。その結果、1994 年頃に「拡張元素普存説」を提唱した。1930 年代 Noddack によって提唱された「元素普存説」は、岩石、鉱物の中にはすべての元素が存在すると考える仮説であった。その後 60 年が経過して、高感度・多元素同時分析法である ICP-AES, ICP-MS が発展し、元素普存説はほぼ証明できるようになった。そして、筆者の研究室で植物や動物試料の多元素分析を行うにつれて、筆者の頭の中には、「生物中にもすべての元素が存在する」という考えが浮んできた。そこで、「岩石、鉱物だけでなく、ヒトを含むすべての生物中にもすべての元素が存在する」という「拡張元素普存説」を提唱したのである³⁾。拡張元素普存説の証明の一つとして推進したのが、ヒト血清中にすべての希土類元素が存在することを実証することであった。この研究には、当時大学院学生であった稲垣和三君（産業技術総合研究所）が協力してくれて、血清試料中有機物の完全分解とキレート樹脂濃縮を併用して、ICP-MS による定量に成功した。驚くことに、ヒト血清中にはランダムに希土類元素が存在しているのではなく、かつヒト血清の希土パターンは海水の希土パターンと極めて類似していた³⁾。このことは、38 億年前海洋で誕生した生命は、体内のホメオスタシスの機構によって誕生当時の海水中元素濃度分布の情報を維持していると考えることができ、生命海洋誕生説の証拠の一つと考えられる。

石井先生から大学院学生として引き継いだ外国人留学生の中に、Edison Munaf（インドネシア Andalas 大学副学長）、古月文志（北海道大）、金 継業（信州大）の諸君がいた。彼らは大変優秀な学生で、名古屋大学における筆者の研究の先鞭をつけてくれた。その中で、古月君が始めてくれた CHAPS（胆汁酸誘導体の一つである両性イオン界面活性剤）被覆 ODS（オクタデシルシリカ）カラムを用いるイオンクロマトグラフィーは陽イオン、陰イオンの同時分析が可能であり、大変興味深いものであった。そこで、この方法を“Electrostatic Ion Chromatography（静電イオンクロマトグラフィー）”と命名し、Analytical Chemistry 誌に投稿し、その後高い評価を得て科学用語となっている。この CHAPS 被覆 ODS カラムを用いた仕事は梅村知也君（名古屋大）、長谷川拓也君（名古屋大）らが引き継いでくれたが、その後思わぬ展開となった。その頃、一方で SEC（サイズ排除クロマトグラフィー）と ICP-AES, ICP-MS を結合した複合分析システムによる化学形態別分析に関する開拓的研究を、伊藤彰英君（琉球大）が精力的に行って

くれていた。この CHAPS 被覆 ODS カラムは高分子態（タンパク質など）と低分子態（イオン、低分子化合物）の同時分離が可能であることが分かり、タンパク質結合と非結合金属イオンの分離・検出に応用することができた。名古屋大学発化学形態別分析法となった。

また、長い研究生活では教授の思いつきで、迷惑を受ける学生が必ずいる。2000 年頃大学院生であった松浦博孝君（熊本大）はその一人で、筆者の提唱する「細胞小宇宙説」（後述）の研究のため、イクラ（^{さいけ}鮭の卵）の全元素分析を始めることになった⁴⁾⁵⁾。しかし、そのお蔭でイクラの研究は現在筆者の研究室のメインテーマとなり、メタロミクス研究を展開するための貴重な生物試料となっている。

このほか、名古屋大学時代には、「バイカル湖湖底堆積物コア試料の地球化学的研究（文部省国際学術研究）」、「東南アジア地域の陸域生態系における温室効果ガスの動態（文部省科学研究費創成的基礎研究）」、「中国南部における石炭エネルギーを基軸とした環境共生型都市システム構築に関する技術開発研究」（日本学術振興会未来開拓学術研究）などの国際共同研究にも参加させていただき、多くの方にお世話になったことも思い出である。また、研究外のことであるが、前出の省資源エネルギー研究センターの後継組織として 1996 年に設置された「名古屋大学廃棄物処理施設」の施設長として、実験廃液処理だけでなく、「名古屋大学ごみ減量化宣言」を策定して、一般廃棄物（ごみ）の全学一元化分別回収システムを構築した。その中で、古紙・紙ごみ回収・資源化計画として、「名古屋大学トイレトーパー」を製造することとした。現在でも、全学で利用に供されているのは愉快的な思い出である。このような計画の実施には、千葉光一君、藤森英治君（名古屋大）が大いに協力してくれた。この学内事業に対して、廃棄物処理施設に総長感謝状をいただいた。

その他、廃棄物関係では、1992 年我が国の国立大学の廃棄物処理施設の関係者を主要メンバーとする大学等廃棄物処理施設協議会（現大学等環境安全協議会）の創立 10 周年国際シンポジウムを組織委員長として開催した。また、その折に設立された「大学等廃棄物管理アジア地域協議会」の会長を 12 年間務め、2 年ごとにアジア各国で持ち回りの国際シンポジウムを開催するお世話をしてきた。この活動については、上記協議会から第 1 回協議会賞を受賞した。先の総長感謝状と合わせて、大学人として、学内の環境安全・化学物質管理に努力してきたことに対するご褒美であり、ありがたいことであった。

7 メタロミクスの提唱⁴⁾

さて、皆様には聞き慣れない用語である「メタロミクス（metallomics）」を筆者が最初に提唱したのは、2002

年6月の徳島化学工学研究会であった。この研究会は、徳島地域で産官学連携として活発に活動しておられる化学関係の研究会で、本仲純子教授(徳島大学工学部)のお世話で、筆者に講演をする機会を与えていただいた。そのときの演題は、「ピコテクノロジーとメタロミクス：微量元素化学の新展開」であったと記憶している。現在ナノテクノロジーが材料科学の先端研究分野として世界的に展開されているのは御承知のとおりであるが、上記研究会の講演で「ピコテクノロジー」という用語を用いたのは、分析化学の先端研究では「ピコ(10^{-15} g=pg または 10^{-15} m=pm)」の極限分析が進歩しており、その恩恵で「ナノテクノロジー」研究が可能であると主張したかったためである。また、「メタロミクス」という用語は、この時世界で初めて用いたことになるのである。これも御承知のように、当時(そして現在でも)遺伝子科学であるゲノミクス(genomics)、そしてタンパク質科学であるプロテオミクス(proteomics)が先端の生物科学研究領域として世界的に注目を集めていたが、これまで紹介させていただいた筆者の経歴と経験から、①生体中にはほとんどの元素が含まれている(拡張元素普存説)、②もしかすると、生物細胞1個にもすべての元素が含まれている(細胞小宇宙説)、③遺伝子(DNA, RNA)の合成には亜鉛酵素が関与している、④生体物質の合成、代謝、機能発現には多くの場合金属酵素が関与している、などを考えると、生体(生物)を統一的に理解するには、ゲノミクスとプロテオミクスだけでは不十分であり、生体金属総合科学または生体金属支援機能科学の体系化が必要であると考えていたので、この科学分野を「メタロミクス」と表現した次第である。

徳島から名古屋に戻った直後、理化学研究所の榎本秀一博士から電話をいただいた。用件は、「10月末に“International Symposium on Bio-trace Elements 2002 (BITREL 2002)”を開催する準備をしているので、講演をお願いしたい」とのことであった。「演題はどうしましょう?」と聞かれて、筆者は「“Chemical Speciation for Metallomics”でいかがでしょう。」と咄嗟に答え、それに対して、榎本博士が「“metallomics”は面白いですね。私もそのうち使わせていただきます。」と話されたのを記憶している。

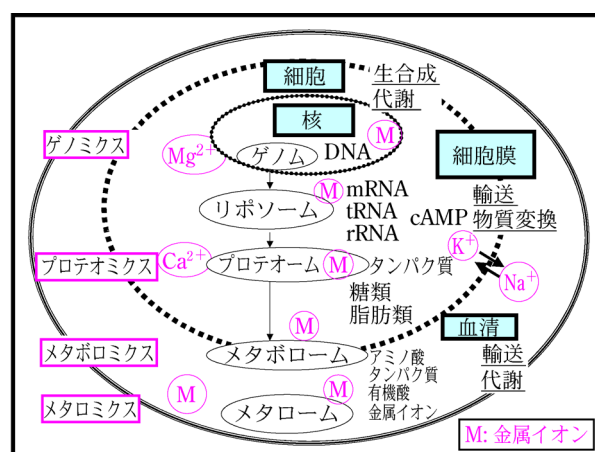
そして、10月28日～31日、理化学研究所でBITREL 2002が開催された。多数の外国人研究者が参加しておられたが、その中でR. Lobinski教授(フランス国立研究所)とB. Sarkar教授(トロント大)から、「metallomics」という研究分野の提案は面白いのでぜひ推進するようにと激励された。そして、Lobinski教授は英国王立化学会刊行の「Journal of Analytical Atomic Spectrometry」誌に“Metallobiomolecules”の特集号を企画しているので、「metallomics」についてぜひ論文

を書いて欲しい」との要請を受けた。このLobinski教授の勧めで書いたのが、“Metallomics as integrated biometal science” [J. Anal. At. Spectrom., 19, 5-14 (2002)]である⁴⁾。“metallomics”が学術用語として初めて用いられた論文となった。メタロミクスの定義と内容については、筆者の論文の要旨の書き出しを紹介しておく⁵⁾。

『この論文では、「メタロミクス」を生体金属に関連した研究分野の総合化をはかるための新しい科学領域として提唱します。メタロミクスは、ゲノミクスおよびプロテオミクスと共生する科学でなければなりません。なぜならば、種々の金属イオンと金属酵素の支援なくしては、遺伝子(DNA, RNA)の合成も、タンパク質の代謝機能発現もできないからです。メタロミクスでは、ゲノミクスにおけるゲノム、プロテオミクスにおけるプロテオームと同様に、金属タンパク質、金属酵素、そしてその他の金属結合生体物質を「メタローム」と定義します。』(和訳)

図2には、上記のゲノミクス、プロテオミクス、メタロミクスの関係を細胞レベルで理解するために、筆者の論文で用いた「金属イオンが関与する単純生物モデル」を示す。詳細を説明する余裕はないが、筆者の意図するところを御理解賜れば幸いである⁶⁾。

その後、“metallomics”は正式な科学用語となり、キーワードとして文献検索が可能になっている(GoogleやYahooでも検索用語となり、多数の検索項目が掲載されているので、ぜひ検索を試みていただきたい)。metallomicsは、その後外国では国際会議などのシンポジウム課題として盛んに使われるようになり、中国でも“metallomics”を「金属組学」と訳して、重要研究課題として検討されている。また、IUPAC(国際純正応用



DNA:デオキシリボ核酸, RNA:リボ核酸, mRNA:メッセンジャー RNA, tRNA:トランスファー RNA, rRNA:リボソーム RNA, cAMP:サイクリックアデノシン-リン酸。
図では、外側の実線は組織または身体全体、内側の点線は細胞を示す。

図2 金属イオンが関与する単純生物モデル

化学連合)では、メタロミクス及び関連用語の定義に関する検討が始められている。

メタロミクスについては、国内ではまだあまり知られていないが、筆者は平成16年度文部科学省科学研究費特別推進研究に、『新学問領域「メタロミクス (Metallo-mics)」の創成』という研究課題で申請して、3年間の計画研究として採択された。採択されるまで3年目の挑戦で、1年目は「地球システムの全元素化学の構築」、2年目は「拡張元素普存説の提唱と全元素化学の構築」という課題で申請したが、「このように大きな内容の研究を一研究室でやるのは無理である」などの理由で残念ながら不採択であった。読者の参考のためにここで記しておくが、特別推進研究と特定領域研究という二つの大型研究は文部科学省の学術審議会理工系小委員会で審議される。理工系小委員会は、物理、化学、工学の3領域からなっている。筆者は最初の2年は化学領域に申請し不採択であったが、3年目は手違いで工学領域に申請してしまった。ところがこの手違いが幸いして採択されることになったのである。採択後1年目の中間評価(現地査察)でも工学系委員(情報系)の先生方に変な興味をもっていただき、日本発の新学問領域の創成としてぜひ頑張ってくださいと、大変高い評価をいただいた。科学研究費の配分は、「応募件数比例配分を原則とする」という不文律があり、この原則は理工系小委員会でも同じである。ゆえに、採択件数は、物理系3~5件、化学系3~4件、工学系10~15件(競争率10~20倍)が一般的である。筆者の経験からすると、分析化学を主体とする研究課題の場合、分析・計測技術を強調して工学系に申請されることをお勧めする。

提唱から2年、メタロミクスの概念と用語が徐々にではあるが世界的に浸透しつつあることは、研究者として望外の喜びである。筆者は、メタロミクスは「生体金属支援金属科学」または「生体金属総合科学」として発展すべきであると考え、表2のような重点的研究分野の展開を提案している⁴⁾⁵⁾。なお、表2には各研究分野で今後発展されるべき、または開発されるべき分析法についてもまとめてある。

これまで紹介させていただいたように、筆者の“metallomics”の提唱は、高感度分析、多元素分析、全元素分析、化学形態別分析を実現するための機器分析法の開発研究を基盤としたものであり、分析化学者だから到達できた概念である。生物化学者は微量金属分析は苦手であるので、個別的な金属に関する研究はできても、元素全体を対象とする統一的研究概念を提唱することは無理であったと思われる。先端分析技術・計測機器の開発に携わる分析化学者は、新物質や新現象を発見できる機会も多いので、新技術を基盤とする新学問領域の開拓も視野に入れておくべきであろう。現在の分析化学の研究では、技術論偏重となっている気がするの残念なこ

表2 メタロミクスにおける研究分野と必要とされる分析・計測技術

メタロミクスの研究分野	必要な分析・計測技術 ^{a)}
1. 生体中元素の分布測定	高感度分析, 全元素分析, 1原子・分子検出
2. 生体中微量元素の化学形態別分析	LC/ICP-MS, MALDI-MS/ICP-MS, 複合分析
3. メタロームの構造解析	X線回折, EXAFS
4. モデル金属錯体による金属酵素の機能発現機構の解明	NMR, X線光電子分光, 高分解能電子顕微鏡, レーザラマン分光
5. 金属タンパク質・金属酵素の検索	LC-MS, MALDI-MS, CE, 酵素分析
6. DNA・タンパク質等生体関連物質の生成機構	DNAシーケンサ, タンパク質シーケンサ, 時間・空間分解蛍光検出法
7. 金属含有生体関連物質の代謝機構	無侵襲生体計測, LC-MS, イメージング技術, バイオセンサー
8. 無機医薬品・化学療法の開発	LC-MS, 安定同位体トレーサー
9. 病態解析・医学診断	臨床分析, 自動分析, 免疫分析, CT (X線, MRI)
10. 金属関連学問分野(健康化学, 環境科学, 毒性学, 栄養学, 農学, 獣医学, 食品化学など)	LC-MS, バイオセンサー, 現場分析, 簡易測定法, 食品試験法,

^{a)} LC: 液体クロマトグラフィー, ICP-MS: 誘導結合プラズマ質量分析法, MALDI-MS: マトリックス支援レーザー脱離イオン化質量分析法, EXAFS: X線吸収端微細構造解析法, CE: キャピラリー電気泳動法, CT: コンピュータ断層撮影法

とである。表2のメタロミクスに関係する重点研究分野でも分析化学が主導できる分野が多いので、皆様の御理解、御支援をいただき、この分野の発展に御協力いただければ幸いである。

今後の展開として、来年、次の国内および国際シンポジウムを企画、準備している。多数の皆様の御参加をお願いしたい。

1) 日本分析化学会第56年会(徳島大学): 2007年9月19日~21日

特別シンポジウム: 「メタロミクス: 生体金属科学の新展開」

2) International Symposium on Metallomics 2007 (ISM 2007)(名古屋国際会議場): 2007年11月28日(水)~12月1日(土)

Website: <http://www.ism2007.org>

最後に自己宣伝になるが、現在、筆者は放送大学客員教授(2005~2008年)として、ラジオ講座「生命と金属の世界」を担当している⁷⁾。毎年前後期400名を越える学生さんに全国から受講していただいている。放送大

学FM放送で流れているので、機会があれば耳を傾けていただければ幸いです。

8 おわりに

化学にそれほど興味のなかった若者が迷い込んで、藤原研究室の門を叩いて42年が経過した。この間、本稿ではお名前を挙げるができなかった多くの先生方、先輩、同僚、後輩の指導を受けて、そして多数の学生諸君に研究協力してもらい、さらには秘書の方々、事務の方々にも助けられて、分析化学の道を歩いてきた。本稿は、お世話になった皆様に感謝の念をこめた筆者の回想録である。

高校時代、「お医者さんとお坊さんは苦手だ!」と言っていた筆者が最後に医学、生物学とも大きな関連をもつ「メタロミクス」という学問領域の提唱に至りついたのは人生の皮肉かもしれない。しかし、若い頃の人生は未知であり、大いなる挑戦の可能性がある。そして、歩んできた人生の中では、お会いした方々に大きな影響を受ける。筆者はこの間、理学部を出発点に農学部、国立研究所、理学部、工学部と異分野を渡り歩んできたが、この異分野それぞれで見聞し、経験したことが最後に至りついた「メタロミクス」である。筆者の研究人生は間も

なく幕を閉じるが、次世代を担う若い研究者の皆さんが、日本発の学問領域として「メタロミクス」を育て、世界に発信して下さることを願い、御活躍を見守らせていただきたいと思っている。

(付記：本文中で記した方々の所属は、現役当時または現在の主な所属機関である。)

文 献

- 1) 竹内豊英：ぶんせき，**2006**，223.
- 2) 原口紘丞著：“ICP 発光分析の基礎と応用”，(1986)，(講談社)。
- 3) H. Haraguchi : *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **72**, 1163 (1999).
- 4) H. Haraguchi : *J. Anal. At. Spectrom.*, **19**, 5 (2004).
- 5) 原口紘丞，松浦博孝：ぶんせき，**2004**，664.
- 6) 原口紘丞：現代化学，**2006** (7)，16.
- 7) 原口紘丞：“生命と金属の世界”，(2005)，(放送大学教育振興会)。

原口紘丞 (Hiroki HARAGUCHI)

名古屋大学大学院工学研究科化学・生物工学専攻 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町)。東京大学大学院理学系研究科博士課程中途退学。理学博士。《現在の研究テーマ》生体金属科学 (Metalloids) の体系化と細胞小宇宙説の証明。《主な著書》“ICP 発光分析の基礎と応用”，(講談社)。

E-mail : haraguch@apchem.nagoya-u.ac.jp

原 稿 募 集

ロータリー欄の原稿を募集しています

内 容

談話室：分析化学，分析方法・技術，本会事業（会誌，各種会合など）に関する提案，意見，質問などを自由な立場で記述したもの。

インホメーション：支部関係行事，研究懇談会，国際会議，分析化学に関連する各種会合の報告，分析化学に関するニュースなどを簡潔にまとめたもの。

掲示板：分析化学に関連する他学協会，国公立機関の主催する講習会，シンポジウムなどの予告・お知らせを要約したもの。

執筆上の注意

- 1) 原稿量は1200～2400字（但し，掲示板は

400字）とします。2) 図・文献は，原則として使用しないでください。3) 表は，必要最小限にとどめてください。4) インホメーションは要点のみを記述してください。5) 談話室は，自由投稿欄ですので，積極的発言を大いに歓迎します。

◇採用の可否は編集委員会にご一任ください。原稿の送付先，その他の問い合わせは下記にてお願いします。

〒141-0031 東京都品川区西五反田1-26-2
五反田サンハイツ 304号

(社)日本分析化学会「ぶんせき」編集委員会

〔電話：03-3490-3537〕