

環境放射能研究を繋いで



廣瀬 勝己
Hirose Katsumi

1. はじめに

「私の RI 歴書」の執筆者には同位体研究や教育で多くの業績を残された先生方が多い中で、筆者のようなものが執筆に加わることで大変恐縮しています。とは言え、環境放射能研究の歴史を引き継ぎ次の世代に受け渡し、更に今後の発展を願う気持ちから 30 年以上在籍した気象研究所地球化学研究部の研究の歴史に沿って、筆者の RI に係る研究歴を紹介することにします。

筆者の研究生活は、RI とは無縁の名古屋大学理学部化学科の分析化学研究室から始まりました。分析化学とはいえ田中元治教授のもと、溶液化学や物理化学の基礎的研究に携わっていました。田中先生の基本的な方法論は熱力学に基礎を置いた平衡論と反応速度論の両面から溶液中で生成している分子の組成と反応過程を明らかにすることで、分析化学の基礎を確立することになりました。この考え方は、後に筆者自身の環境科学・地球化学に対する方法論のもとにもなりました。基本的に化学実験では実験条件を厳密に設定して、関係した一成分の条件を系統的に変えることにより生成した分子の組成を明らかにすることで、大部分は理論的に予測されたことが実験的に実現されます。思い返せば研究者として成長するために重要な点として先生との間で率直な議論ができたことをあげることができます。その中で研究のコンプライアンスについても教授されました。更に英文論文作成についてていねいに教えていただいたことが以降の研究に大きく役に立ったと思っています。特に論文については、常に書き続けることが研究を進めるうえで極めて重要であることが身につきました。

2. 高円寺時代

博士課程は修了しましたが、その当時も団塊の世代に属する筆者たちにはアカデミックなポストは狭き門でした。幸いにも公務員試験に合格して 1977 年に気象庁に採用され、気象研究所に配属することになりました。気象研究所の地球化学研究部は地球化学の分野で高名な三宅泰雄先生が立ち上げ、長く在籍した国の研究機関です。筆者が入所当時、三宅先生は既に退職されていましたが、研究部で行うセミナーには参加されていました。気象研究所では猿橋勝子先生のもとで環境放射能の研究に携わることになりました。ただし、当時気象研究所の地球化学研究部は部員 10 名で、研究所の大部分の構成員は気象学を中心にした地球物理の専門家で、化学を手法とする研究員は全体の 10% 以下でした。筆者自身は、大学では山寺秀雄先生や古川路明先生の放射化学の講義や学生実験は経験しましたが RI を専門には取り扱ってはいなかったため、入所後すぐに日本アイソトープ協会で放射性物質の取り扱いの研修を受けました。なお日本アイソトープ協会についてはその後も縁があり 2025 年の 3 月まで *RADIOISOTOPES* 誌の編集委員としてお世話になりました。

研究室に入って初めて海洋観測で気象庁の凌風丸に乗船しました。海洋観測についてはズブの素人でした。初めは先輩や海洋観測員の観測状況を眺め、手伝いをする程度であったので、個人的にも本当に戦力になるかどうか不安でした。加えて、船酔い等で海洋観測の厳しさを実感しました。研究室では三宅先生を迎え、ほぼ毎月セミナーが開催されていました。ときには昼食後短時間の研究会も開かれ、そのときの猿橋先生の厳しい質問をしている様子が思い起こされます。

地球化学研究部の放射能分析は三宅先生時代からの研究者間で分担されていました。例えば、 β 線 (^{90}Sr) 分析は葛城幸雄氏、 γ 線 (^{137}Cs) 分析は猿橋先生と金沢照子氏、及び α 線 (プルトニウム等) は杉村行勇博士でした。研究部に入った当初与えられた研究テーマは環境試料中のプルトニウム (Pu) やアメリシウム (Am) の分析でした。杉村博士の指導のもと環境試料から Pu や Am の分離・精製から仕事は始まりました。研究室員の中でも葛城氏は手順の多い ^{90}Sr 分析に試料の採取や前処理の段階から携わり分析データを着実に提供する様子は、筆者にとって国の研究機関での研究の進め方の 1 つのロールモデルになりました。

当時の地球化学研究部は三宅先生の遺風が残っていたと改めて感じています。気象業務に直結した研究機関であるにも関わらず、大気化学・海洋科学・地球化学等広い分野にわたって、自由に研究する余裕がありました。いずれも、今日の気候変動等の地球環境問題に直結する課題を含んでいます。特に、環境科学においては局地的な現象よりもグローバルの視点や長期にわたる現象の解明の重要性を学ぶことができました。このような場合、太平洋規模の広域の観測や数十年を超える長期にわたる連続定点観測が地球規模の現象をとらえる有力なツールとなることを知ることができました。

3. つくば移転

1980 年に気象研究所は高円寺から筑波研究学園都市に移転しました。移転に伴い、広い実験室や新しい放射能実験棟が整備され、環境放射能研究についても充実した研究環境になりました。質量分析計等新しい測器も整備され、研究室として大気中の二酸化炭素の挙動等新しい研究の可能性が広がりました。比較的自由な研究環境の中で、移転の前年に赴任した土器屋由紀子博士と共に、大気浮遊塵中の微量金属元素の動態や海水中の微量金属の化学形の研究等を進め論文にすることができました。しかし、研究の主要な課題は依然として大気降下物、大気浮遊塵、海水、河川水中の人工放射性核種の研究でした。月間降下物試料の採取に関しては、研究室員全員で採取することが移転以来の新しい慣習になりました。この年 10 月に最後の中国大気圏核実験が行

われ、日本全体で放射線モニタリングの強化が図られました。研究機関といえども、原子力緊急事態においては、国の放射線モニタリング体制に組み込まれることを初めて経験しました。この観測を通じて、大気圏で水爆が爆発すれば、生成した放射性物質の大部分は成層圏に打ち上げられ、約 1 年の大気中の滞留半減時間で放射性核種の降下量が減少することから水爆の放射能影響は年を超えて及ぶことを経験しました。三宅先生や葛城氏が過去の核実験で観測した結果とほぼ同じ傾向がみられたことから、自身の分析にも自信が持てるようになりました。

1986 年 4 月に旧ソ連でチヨルノービリ (チェルノブイリ) 原発事故が起きました。日本にも放射能の影響が及ぶことが懸念されたので、気象研究所でも観測体制の強化が図られました。特に、1984 年に研究部に赴任した故青山道夫氏 (1999 年金沢大学から博士号取得) の奮闘で多くの観測結果が得られました。その結果は、日本の大気への原発事故の影響として、1986 年の *Nature* に速報が掲載されました。日本はチヨルノービリ原発からおよそ 8000 km 離れていますが、その放射能の影響が事故後約 1 週間で現れ、更に翌年にも及ぶことや放射能をおびた粒子の粒径の大きさが大気中からの放射性物質の除去挙動に関係している等、興味深い知見が得られました。その後、これらの成果の論文としての取りまとめに約 10 年かかりました。チヨルノービリ事故の影響も低下した 1988 年以降は、研究部の研究の重点が気候変動関連に移行したことに加え、青山氏が転勤で研究所を離れる等環境放射能研究にとって困難な時代になりました。幸いにも 1991 年に放射線医学総合研究所から五十嵐康人博士を気象研究所に迎えることができ、大気圏の放射能の研究を分担していただくことができました。特に五十嵐博士は降下物中の ^{90}Sr や大気中の ^{85}Kr の分析に携わり、放射化学分析の質を高めることに貢献しました。

1980 年代の後半以降は、地球化学研究部でも地球環境問題が重要な研究課題となりました。当時の科学技術庁を中心に多くの国際プロジェクト研究が実施されました。海洋については World Ocean Circulation Experiment (WOCE) が実施され、それに気象庁も参加しました。その観測研究には海水中の無機炭酸に含まれる放射性炭素の精密観測が含まれていました。気象研究所ではベンゼン合成法によ

る ^{14}C の測定法は確立されていましたが、放射線測定の場合、1 検体に大量の海水試料が必要であることに加え多数の試料を処理する必要もあり、高感度の加速器質量分析装置が活用されるようになりました。それを実現するためにニュージーランドの研究機関に委託分析を実施したことが思い起こされます。

一方、大学時代の溶液化学の知識を利用して海水中の微量元素 (Cu, Zn, Fe, U, Th, Pu 等) の化学形を解明する研究も、個人レベルで続けていました。この研究は、海水中の微量元素イオンの化学反応性と深く関係しており、海洋微生物に対する微量元素の金属毒性等にも深く関わっています。ただし、地球物理の研究者には理解されにくい分野でした。取り上げた微量元素元素の中には、鉄のように生物の生長に必須な元素もありますが、銅のように濃度レベルによって毒性を示す金属イオンもあります。海水中の生物活性な微量元素元素は程度の差はありますが、海水中の溶存有機物や懸濁粒子が含まれる配位子と相互作用していることを解明することが出来ました。このような生物地球化学的研究を進めるうえで、田上英一郎博士との間で交わした議論が研究者として成長するうえで有意義であったと思っています。特に、天然に存在する放射性核種のウランやトリウム及びそれらの子孫核種は、海洋微生物起源の有機物との化学的相互作用が強いものも存在し、それらの放射性核種を利用して海洋における生物由来の物質循環のトレーサとして用いられています。中でもトリウムは天然の有機配位子と特異的に反応することが分かり、天然の有機配位子の定量に利用できることを明らかにすることができました。

4. 国際共同研究

1993 年ロシア政府から旧ソ連時代の日本海等への放射性廃棄物の海洋投棄の実態が公表されました。日本海は重要な漁場であるため海洋環境の放射能汚染が懸念されました。日本海等の放射能汚染の海洋環境影響評価のため、海洋放射能調査が必要とされました。多くの投棄海域はロシアの排他的経済水域 (EEZ) に属するため、日韓露共同海洋放射能調査が実施されました。この観測には第三者機関として国際原子力機関 (IAEA) の研究者も参加しま

した。全日本体制 (海上保安庁、水産庁、日本原子力研究所、日本分析センター等) で臨んだこの国際放射能調査には、筆者も研究者の 1 人として参画し、2 回の調査航海に乗船しました。この調査航海で、韓国の海洋開発研究所 (KORDI) の G.H.Hong 博士や核科学研究所 (KINS) の C.K.Kim 博士と知遇を得ることができました。海洋放射能調査結果は IAEA モナコ海洋環境研究所 (MEL) で取りまとめが行われ、筆者も参画しました。当時、MEL の室長の P.P.Povinec 教授が取りまとめを主導しました。観測結果は、論文として公表され、筆者は主著者として役割を果たすことができました。また、IAEA-MEL では世界の海洋の放射能汚染の実態を明らかにする国際共同研究を立ち上げ、筆者はそれにも参画しました。これらの共同研究を実施する中で Povinec 教授の知遇を得ることができました。以降、Povinec 教授とは多くの研究で共著の論文を書くことになりました。

既に、1950 年代や 1960 年代に行われた大気圏核実験により世界の海洋は程度の差はあれ放射能に汚染されています。したがって、ロシアの放射性廃棄物の日本海への投棄のような特定の海域の放射能汚染の実態を解明するためには、世界の海洋の放射能汚染の現状把握が不可欠です。この目的を達成するために、IAEA は公表されてきた海洋放射能汚染に係る論文の収集とそこに掲載されているデータを利用したデータベースの構築、更に特定の汚染海域の海洋放射能調査観測からなるプロジェクトを実施しました。一方、1995 年に気象研究所に復帰した青山氏を中心に気象研究所独自の海洋放射能データベースを構築しました。なお、当時気象研究所ではマンパワーの関係もあり海水中の ^{137}Cs の分析に問題が発生していました。その問題を解決すると共に、高感度化の研究を青山氏に依頼しました。青山氏の努力により安定した高回収率の濃縮・精製手法の確立と、金沢大学低レベル放射能実験施設の故小村和久教授が構築した極低レベルバックグラウンド環境下での低レベル γ 線の計測技術の協力を得て、従来の海水試料量の 10 分の 1 以下の量で ^{137}Cs の測定が可能となり、海洋の ^{137}Cs の精密鉛直断面分布が描けるようになりました。後に、この γ 線測定システムは福島第一原子力発電所事故に伴う広域の海洋放射能汚染実態把握のために役に立つことになりました。

1997年には東海大学の望星丸を用船してIAEAが主導する北太平洋の海洋放射能観測が行われました。主任研究者はPovinec教授であり、MEL、ドイツ、韓国の研究者に加え、日本では原子力研究所の研究者と共に筆者も参加しました。この観測結果は2003年の*Deep-Sea Research* 誌の特別号に掲載されています。

2003年には日本海洋技術開発機構（JAMSTEC）が主導する大規模な海洋観測（南半球中緯度域横断観測）が実施されました。この観測では環境放射能（ ^{137}Cs 、Pu 同位体等）も主要な調査項目に加えることができました。Pu 同位体の分析にはKINSの研究者の協力を得ました。この観測結果は2011年の*Progress of Oceanography* 誌の特別号に掲載されています。

5. 気象研究所を退職して

2009年3月に気象研究所を定年退職しました。退職したら、研究は後輩に譲り、新しい環境で研究を続けようと考えていましたが、思ったとおりの職を見つけることはできませんでした。しかし、在職中からの研究の取りまとめ作業はかなり残っていて、自宅で論文執筆の仕事を進めました。在職中から協力関係にあった上智大学の木川田喜一先生と新たな領域の研究をすることになりました。また、原子力安全委員会の技術参与であった樋口英雄博士から話があり、2011年から技術参与として気象関連の安全審査マニュアルの改訂の仕事をする予定でした。実際には3月の福島第一原子力発電所事故により採用も1か月程度遅延したことに加え、主な業務も事故に関係した緊急時放射線モニタリングに関係した事項や緊急時放射線モニタリング指針の改定に変わりました。そのため、科学研究費等で立ち上げた大学等の研究者による原子炉事故対応のプロジェクトには参加しませんでした。一方、環境放射能の国際誌 *Journal of Environmental Radioactivity* (JER) の co-editor の久松俊一博士の依頼で、福島第一原子力発電所事故に関連して JER の特別号に論文を寄稿することになりました。筆者は地方自治体の調査機関が測定した月間大気降下物中の福島事故由来の放射性 Cs の時間的・空間的変動の実態を論文として取りまとめました。福島原発事故に伴う日本の

環境放射能モニタリングの結果を世界に発信できたものと思っています。更に、Povinec 教授の提案で、青山氏も含め環境放射能から見た福島原発事故の実態に関する包括的な書籍 (Fukushima Accident: Radioactivity Impact on the Environment) を出版することになりました。この本は2013年に ELSEVIER から出版されました。なお、2014年にアメリカ科学出版協会から PROSE Award が授与されました。加えて、2021年にはその本の第2版として、著者に立田穰博士を加え海洋生物への放射能の影響も含め福島原発事故の環境影響に関する包括的な書籍 (Fukushima Accident: 10 Years After) を ELSEVIER から出版することができました。

同時期に、埼玉大学の渡邊邦夫教授との共同研究も進めました。福島原発事故に伴いボランティアベースでも環境放射線測定が行われていました。得られた多量の時系列データを活用するため、初期の AI 技術を利用して解析しようとしたのですが、残念ながら渡邊教授の逝去もあり十分な研究成果を出すに至りませんでした。

上智大学の木川田研究室では、安定 Cs を ICP-MS で測定することができたので ^{137}Cs の土壌粒子への吸着挙動に関連して、土壌に存在する安定 Cs を同時測定することにより ^{137}Cs の化学的挙動の理解を深めることができました。更に、福島事故起源の放射性 Cs を利用して火山のクレーター湖の水の循環を明らかにすることができました。

6. おわりに

環境放射能研究を中心に研究歴を紹介してきましたが、20世紀中頃に確立した放射線計測は当時の元素分析と比較して安価でしかも圧倒的高感度分析を実現した計測法です。この成果として、初めて人類起源の汚染物（放射能）の地球規模の広がりを解明することができるようになりました。換言すれば、人工放射性核種は地球上の物質循環を追跡することができる有力なトレーサになります。同時に、筆者が研究に携わっていた20世紀の後半は、加速器質量分析計や ICP-MS 等の質量分析計の進歩が進み、放射性核種によっては放射線測定を超える感度を実現しています。しかし、依然として放射線計測の重要性は失われていないと思っています。

約 50 年近い研究生活の中で、主著者の英文論文等で 100 本を超えることができました。この間、2006 年に海洋化学で石橋賞を、2009 年にアクチノイドの大気海洋での挙動の研究で地球化学研究協会三宅賞を受賞しました。また、2023 年には第 1 回の ENVIRA SCIENCE AWARD を受賞しました。これらは筆者個人よりむしろ研究環境を与えてくれた旧地球化学研究部の同僚及び世界的にも貴重な時系列データを長期にわたって測定した先輩諸氏、更に環境放射能モニタリングに係る研究・調査機関の皆さまのお陰と思っています。

環境放射能研究の基本は、可能な限り定点で長期にわたる連続測定を行うことが重要です。観測データは唯一無二であり、そのものに価値があります。そのデータの価値を高めるのは、データの信頼性であり、それは分析法の精度管理・品質管理に依拠しています。品質管理に関する手法自体は 1990 年代から急速に発展しました。放射能汚染や温室効果気体の増大による気候変動等の地球環境問題の理解を進め、この問題を解決するためには、世界規模で比較可能なデータの収集が求められた結果、分析法の品質管理が必要となりました。これらの観測値はデータベースに収納され、地球環境の変動等の解析

に用いられています。環境試料である限り、厳密には全く同じ観測値はあり得ません。ただし、サンプリング等の方法を統一化する等の努力をすれば、ある一定の不確かさを考慮すれば同じとみなせる値が得られると信じています。その点ではデータは蓄積されて意味があります。気象研究所では 1957 年より降下物中の ^{90}Sr と ^{137}Cs の分析が始まりました。残念ながら 2023 年に終了しましたが、60 年以上にわたる連続データは世界で唯一と考えられます。なお Pu 降下量については残念ながら約 50 年で終了しました。幸いにも筆者の RI 研究人生はこれらの連続記録の半分程度に貢献することができました。

その場その場で可能な研究を行ってきたため、十分に深め切れていない研究課題も多く残してきました。個人的には面白いと思う論文でも、ほとんど引用されないものもあります。筆者が出会った三宅先生や田中先生は 80 歳台になっても論文を書いておられました。残りの人生は環境放射能の持続的な発展のために微力ですが少しでもお役に立てれば幸いです。

(元気象研究所)