

第2回環境放射能除染研究発表会の報告

平成25年6月5日(水)～7日(金)にタワーホール船堀(東京都江戸川区)で開催された第2回環境放射能除染研究発表会の様子を以下に報告する。1日目(6月5日)と2日目(6月6日)は国内研究者による発表が行われ、3日目(6月7日)は環境省との共催による「放射能除染のための国際シンポジウム」が行われた。1日目と2日目の発表内訳は86件の口頭発表と85件のポスター発表であった。また2日目には短時間であったが、67名の参加者で水分科会の特別セッションが行わ

れた。参加者は2日間を通して約600名であった。ポスター会場に併設された企業展示では参加者との活発な意見交換なども行われた。2日目夕方から懇親会が行われ、発表者や参加者らの間で交流が盛んに行われた。3日目の国際シンポジウムでは7件の招待講演(うち3件は海外の講演者によるもの)が行われ、参加者は約200名であった。研究発表会場の雰囲気を数枚の写真で紹介する。



不破敬一郎会長の開会挨拶



ポスター発表会場での風景



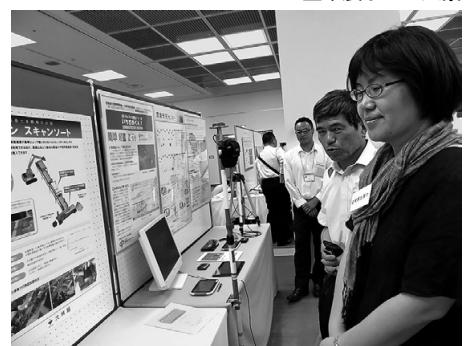
小ホール会場での発表風景



大ホール会場での発表風景



国際シンポジウムでの発表風景



企業展示での風景



水分科会「特別セッション」での風景

口頭発表と国際シンポジウムの内容を担当された座長による総括を以下に紹介する。ポスター発表についての総括は省略する。

(1) 口頭発表に関する座長報告

セッション1 「発生源と発生源対策」

座長：藤田 玲子（㈱東芝）

本セッションは招待講演1件で、東京電力の山下和彦氏から「東京電力の汚染水の発生源対策の地下水対策について」と題し、福島第一発電所における汚染水の課題について、現在、検討中や計画中の対策および既に実施している施策について詳細な報告があった。セシウムや塩分だけでなく、ストロンチウム等の多くの核種を取り除く多核種除去設備を今年3月から試運転中である。また、一日あたり約400m³流入する地下水や雨水の流入を防ぐために、地下水を山側で揚水

し、海へ導く「地下水バイパス」の計画を立てている。一方、海側に汚染水が漏れ出た際も海洋に放射性核種が流出するのを防ぐために、遮水壁の設置工事を進めている。さらに、今年5月現在で約29万m³（容量32万m³）貯留している汚染水の増加を防ぎつつ、さらに平成27年9月までに約70万m³の貯留タンクの増設を予定している。福島第一発電所でなされている広範な汚染水の処理の施策についての概要をまとめさせていただいた。一日も早く、汚染水の処理が安定になされることを望むばかりである。

セッション2 「除染計画と除染技術（1）」

座長：石田 順一郎 ((独)日本原子力研究開発機構)
鈴木 規之 ((独)国立環境研究所)

本セッションでは5件の招待講演が行われた。最初に、牧谷邦昭氏(環境省)が、放射性物質汚染対処特別措置法施行後一年半経過したことを踏まえ、除染の進捗状況、課題、見通しについて紹介するとともに、新たな技術の取り込みや分かりやすさ等の観点から除染関係ガイドラインを見直したこと、また、特に注目度の高い森林除染などを進めるに当たっての諸課題を紹介した。次に、大村卓氏(環境省)が避難指示区域における除染の計画、実施の進捗状況等に加え、避難指示区域の見直し・賠償・住民の帰還等への支援などの活動との関連やその現状及び課題を紹介するとともに、本年夏頃を目指して除染のスケジュールを見直すことや帰還困難区域における除染モデル事業の実施について紹介した。一方、鈴木規之氏((独)国立環境研)は研究者の視点から、空間線量の地点観測データを面的に捉えることにより、土地利用状況によって減少速度に違いがあったものの、地域全体の経時変化を捉えることが出来た旨、報告するとともに、面的な地点観測結果と除染作業の進捗については、今後とも、詳細に解析していく旨、述べられた。また、森口祐一氏(東京大学大学院)は、様々な環境媒体にまたがる放射性物質の総合的な把握が重要と指摘するとともに、被災地の復興にとって効果的な除染のあり方や除染の適正化について言及した。また、復興に向けた合意形成のプロセスにおいて行政や学界などの分野横断的な取組体制の重要性を強調された。最後に、石田順一郎氏((独)日本原子力研究開発機構)から、除染モデル実証試験等の経験を踏まえ、高い除染効果を示す除染技術について、効率、コスト、廃棄物発生量、再利用、貯蔵・処分等から更なる高度化を図り環境回復を効果的に進めるとともに、土地所有者や周辺住民への情報発信のあり方やコミュニケーションの重要性が力説された。

時間の制約のため、発表を踏まえて講演者と会場参加者との間で十分な議論をするまでには至らなかったが、今回、各講演者から紹介された要点を基に、今後の除染のあり方や進め方などについて継続して議論を展開していくことが重要と考える。

セッション3 「除染計画と除染技術（2）」

座長：青野 宏通 (愛媛大学)
西嶋 茂宏 (大阪大学)

本セッションでは6件の発表があり、1件はガンマカメラによる除染対象の可視化、5件は磁力による除染に関する発表であった。

君島ら(S3-1)は、ガンマ線による放射性物質の分布とカメラによる映像を重ね合わせることにより、見えない放射線を「見える化」し、さらには360度のパノラマ化により測定

地点の空間線量率に対する周囲からの寄与度を評価し、これを用いて除染計画を作成する手法を開発した。この実証試験は大熊町で実施される。青野ら(S3-2)は、Na-P1型人工ゼオライトとマグネタイトナノ微粒子との複合材料を作製し、汚染土壤の除染を試みている。その結果、5~10%の複合材料混合後、3回の磁選操作により平均で80%の放射能低減に成功している。また櫻木(S3-5)らの発表は、(S3-2)の発表で使用した磁選機の設計・作製に関するものであり、特に吸着部と回収部についての工夫や検討課題について述べている。関谷ら(S3-3)は、土壤に含まれる1:1粘土鉱物と2:1粘土鉱物の磁気的性質の違いに着目し、1:1粘土鉱物(カオリナイト)から2:1粘土鉱物(バーミキュライト)へCsが移行した後に、これを磁選で回収する基礎実験を行なった。さらに、同グループの野村ら(S3-6)は、実際に強力な磁場を用いることによる2:1粘土鉱物の分離について検討した。その結果、2:1粘土鉱物の濃縮が可能であることが確認されている。大西ら(S3-4)は、汚染水中で水溶性のフェロシアン化カリウムと塩化鉄水溶液を用いて磁性粒子を合成し、形成した放射性セシウムを含む磁性粒子を磁石で分離する技術を開発している。

セッション4 「除染計画と除染技術（3）」

座長：滝上 英孝 ((独)国立環境研究所)
日下 英史 (京都大学)

本セッションでは、企業から4件、産学連携共同研究3件、大学から1件、合計8件の一般研究発表が行われた。

S4-1では、蒸気除染処理と汚水回収の組み合わせにより、住宅、住宅まわり各所の放射性物質の遊離、吸引除去と排水量低減を達成すべくハンドリング性を高めた工法の提案と適用例が紹介された。また、S4-3やS4-5ではそれぞれ、汚染土壤及びその洗浄薬液からの放射性セシウムの効率的除去技術の検討成果が報告され、前者では超音波除染により除染時間の短縮化が可能で、細粒分の除染率を高められることが報告された。後者では土壤からのフッ化物溶離液からのセシウム除去に用いる吸着剤としてフェロシアン化物の高い性能が報告された。S4-7では森林からのセシウム流出成分(懸濁態成分)を捕捉、処理するために、湿式触媒酸化法とセラミックボールを用いた要素技術が提案され、実フィールドへのシステム的展開の試論がなされた。

S4-2では、ショウ酸による汚染土壤中のCs溶離率について、添加する酸とそのアンモニウム塩の濃度と比率により相違があることを見出し、溶離率改善に見通しを得るものである成果が報告された。S4-4においては、磁性鉄とナカルシウムを添加することにより乾式でCs汚染土を磁気選別により分級する技術とその操作因子最適化について紹介がなされた。また、過去に福島県双葉郡で実施したCs汚染土壤の除染・減容化事業に基づいて開発された簡易評価システムが

S4-6 で紹介され、除染システム評価が短時間でできるようになったことが報告された。さらに S4-8 では、粒度をそろえた Cs 汚染土の熱処理による Cs の分離特性について検討し、処理温度により残留放射能量が異なることから、加熱造粒による Cs 固定化の実現可能性について論じられた。

最後に、一連の研究発表に対しては熱心な多数の質疑・応答があり、参加者の活気にあふれたセッションであったこともあわせて報告する。

セッション 5 「計測技術と環境モニタリング（1）」

座長：廣瀬勝巳（埼玉大学）

河津賢澄（福島大学）

本セッションでは招待講演 4 件及び一般講演 3 件の発表が行われた。招待講演では、原子力規制庁の室石氏から国における環境放射線モニタリングについて講演が行われる予定であったが、演者が都合で参加できなくなり、座長がスライドでの紹介を行った。4 月からの改変により、基本的に文部科学省の環境放射線モニタリングに関する所管を規制庁が引き受けたという内容である。次いで、福島大学の河津氏より放射線計測技術の現状について、1. 食品中の放射性物質の測定、2. 土壌等の放射線モニタリング、3. アルファ線放出核種、ベータ線放出核種を重点に行政や現地のニーズが高い高度な技術・機器及び関連したシステムの開発の現状が報告された。3 番目の招待講演として、福島大学の高貝氏より、ICP-QMS による ⁹⁰Sr の分析法の開発及び応用に関する紹介があった。⁹⁰Sr 分析については、従来放射性核種分析の専門家の長時間の操作が必要であったが、ICP-QMS により短時間で自動分析が可能となった。最後の招待講演として日本原子力研究開発機構の斎藤氏より、福島周辺の放射性物質等の分布状況と経時変化についての紹介があった。一般講演では、国立環境研究所の土井氏から事故当初につくばで観測された大気中の放射性核種及び核種組成の変動について報告があった。高橋科学の高橋氏より特性 X 線測定を用いた放射性セシウムの表相放射能面密度測定の可能性についての報告があった。このセッションの最後に埼玉大学の廣瀬氏より、環境放射線の簡易測定結果の効率的な利用に関して、放射線線量率変動監視システムの開発に関する報告があった。このセッションは行政に関する事項から、環境の測定結果、さらに放射線計測の開発まで多様な発表が行われたが、環境放射能除染に関して、非常に効率的で信頼性が高い環境放射線モニタリングシステムの開発に関する高いニーズが感じられた。

セッション 6 「計測技術と環境モニタリング（2）」

座長：眞田 幸尚（（独）日本原子力研究開発機構）

伊藤 光明（いであ（株））

本セッションでは、福島第一原子力発電所の周辺環境における放射線の計測技術について、一般講演 6 件が行われた。

環境中の除染作業を実施する上で、迅速かつ正確な環境モニタリング技術が求められている。また、放射線の飛程が短く測定が難しい水底のモニタリング方法や周辺の線量率と比較して、高い線量率となっているホットスポットの迅速な測定等、課題が多い。そのような機器での測定結果は、可視化され一般住民にわかりやすい形で公表されることが望ましい。

高濃度の濁水の放射性セシウムを測定する際に測定容器中で濁質が沈降することにより正確な測定値とならない可能性があり、濁質を試料中に均一に分散させるため、ポリアクリル酸ナトリウムを用いてゲル化する方法が有効であることが報告された（6-1）。ラジコンヘリを用いた放射線測定は人手による地上測定が困難な斜面や森林の面的な測定への活用が期待されており、コリメータの軽量化、データ処理ソフトの改良等の課題への取組状況が報告された（6-2）。低線量地域ではホットスポット対策が重要となってきているが、エヌエス環境㈱では高さ別の線量測定値からホットスポットを検出しその範囲（広さ）を推定して、効率的なホットスポット除染に役立てている。高さを 5 m にすれば広範囲な検出ができる有効な検出方法となると報告されている（6-3）。テクノヒル（株）の鈴木らは、大型のプラスチックシンチレーターを用いたゲートモニターや物品の汚染検査機器の開発状況について発表した（6-4）。また、アジア航測（株）の金らは、航空機での測量・航空写真データを元に、GIS データ化し、放射線測定結果をマッピングするシステムの提案を行った（6-5）。また、いであ（株）の大久保らは船舶で曳航することにより、水底の放射線を測定するシステムの開発及び実測結果を示した（6-6）。これら発表は、環境モニタリングの持つ冒頭で示した課題に対し、ソリューションの可能性を提供するものであったと考える。

セッション 7 「放射性セシウム及びその他核種の環境化学」

座長：五十嵐 康人（気象研究所）

田中 敏（（独）国立環境研究所）

本セッションでは、環境中での放射性物質の動態観測、ばく露解析、放射性セシウムの環境動態や結晶への結合に関する計算科学的アプローチなど、比較的幅広い分野の発表が行われた。以下、それぞれの内容について概観する。

ヒトばく露源解析（S7-A）では、土壤沈着量をもとに計算した外部・内部被ばくモデル計算と実測との比較が行われ、室内ダストに高濃度の放射性セシウムが存在することが示された。福島での長期動態研究（S7-B）では、森林から河川、ダム、河口域への動態や放射性 Cs の移動に伴う被ばく量変化を予想する F-TRACE プロジェクトの現状が紹介された。気象研が行っている放射性 Cs 及び放射性 Sr の長期観測データが示され（S7-C）、福島第一原発事故前後の降下量の比較・評価、大気拡散モデルによる解析結果が示された。植物リターに付着した土壤に含まれる放射性物質を含む粒子を、イメー

ジングプレートを用いて特定し、電顕・EDS で解析したところ、黒雲母が風化した鉱物であることが示唆された (S7-3)。放射性Csについての3題の計算科学的アプローチ(S7-1, S7-2, S7-4) が発表された。放射性 Cs の特異吸着点である粘土鉱物のほつれたエッジサイトの層間が開いた際に、セシウム吸着がエネルギー的に安定化されることが示された。さらに第一原理計算と分子動力学法を活用して、粘土鉱物へのセシウムなどの結合形態やエッジへの吸着過程を示した。地殻物質への放射性 Cs の吸着を解析することを目的に、分子軌道法により結合エネルギーを計算したところ、K₂O や CaO に対し CsCl や CsO₂ が強く結合する結果が得られた。原子転換により放射性物質を分解する発表 (S7-5) では実データが示されなかつた。

セッション8 「森林・農用地の問題」

座長：渡邊 功（愛媛大学）

本セッション前半では、主として放射性セシウムの農地除染および農作物への移行低減に関する招待講演4題が発表された。この分野の研究は、被災地の農業の復旧・復興に極めて重要であると考える。まず中西は、東京大学農学生命科学研究所における、土壤、畜産、水産などの分野グループを設けた放射能汚染研究の取組みおよびその成果を紹介した。多分野にわたる包括的放射能汚染研究は、放射能の環境および生体挙動を把握し、被災地での除染および被ばく低減の有効な対策を取る上で貴重な知見が蓄積されることを示した。根本は、その取り組みの一例を紹介し、玄米の規制値越えの原因を解明することを目的とし、福島県伊達市で水稻試験栽培を行い、放射性セシウムのイネへの移行実験の成果を報告した。ケイ酸カリの低減効果などに加え、交換性カリウムが比較的高濃度の水田でも基準値越えの玄米が収穫される、いわゆる「はずれ値」があることなど興味深い知見が発表された。農県機構の木村は、同機構における農地除染および放射性物質の作物への移行低減技術開発の取組みを紹介した。農地除染技術では、それらの成果が農林水産省の「農地土壤の放射性物質除去技術（除染技術）作業の手引き」に集約されている。また、農作物の放射性セシウムの移行低減については、水稻におけるカリ施用、茶葉の選定、草地・飼料作では草地更新とカリ施用等を述べた。同機構の小林は、農作物への移行低減の手段として、農地の除染に加え農作物への移行低減、特に生物学的除染技術、いわゆるファイトレメディエーションについて、同機構の取組みおよび成果を紹介した。植物による吸収では、全放射性セシウムを短期間で除去することは困難で、その能力は土壤特性に大きく依存するものの、前作で加給性の放射性セシウムを低減させ後作による吸収を抑制させる可能性を指摘した。

本セッション後半ではその他の森林・農用地問題に関する招待講演2題と一般講演3題が発表された。赤間ら（独）森

林総研）は関東森林管理局の協力を得て福島県内24か所の森林で樹木とその土壤の空間線量率を測定し、2011年の結果と2012年の結果を比較した結果を発表した。放射性セシウムが落葉によって樹木から土壤に移行することが示された。佐藤（福島県相双農林事務所）は福島県双葉郡の避難指示区域等において雑草等の繁茂による農地の荒廃、長年にわたって維持されてきた景観の消失が農民の故郷への帰還と復興への意欲に大きな影響を及ぼしている現状を報告した。岩田ら（前田建設工業株）と辻田（フジミ工研株）は農業用水に含まれる低濃度の放射性セシウムが農作物中に蓄積されるリスクを低減するために、水田水口にゼオライトブロックを設置して、水中の放射性セシウムを低減させる実証実験の結果を報告した。ブロックによる吸着と枠による懸濁物の沈降により、流入水中の放射性セシウムが40～80%低減した。上田ら（愛媛大学）は孟宗竹における放射性セシウムの分布と挙動に関する研究成果を報告した。二年竹以上のものは当歳竹に比べて高い放射性セシウム濃度を示したが、根からの吸収に加えて事故時に飛散した大気粉じん等に含まれる放射性セシウムが竹の枝等の表面に付着して吸収されたためと推測している。また、竹中の放射性セシウムはイオン態で存在しているために、比較的容易に除去できることも示された。長谷川ら（東北大学）は水稻水耕栽培において、放射性セシウムの玄米への移行を低減するためにカリウムとナトリウムの濃度がどのように影響するかを報告した。水稻はカリウムとセシウムを積極的に吸収するのに対して、ナトリウムはカリウムやセシウム存在下では吸収されにくく、根圏でのカリウム濃度がゼロになるとセシウムの吸収が一桁多くなることが報告された。

セッション9 「復旧・復興プログラム」

座長：大原 利真（独）国立環境研究所

佐藤 理夫（福島大学）

福島の現状を参加者が理解するために設けられたセッション9では、放射能汚染された地域の復旧・復興に係る招待講演2件と一般講演1件の発表があった。佐藤（福島大学）による招待講演「福島の再生可能エネルギーを福島県民のために」では、放射能の被害や影響には敢えて触れずに、再生可能エネルギーを復興に活かそうとする取り組みが紹介された。最初に、福島県が震災後に作成した再生可能エネルギー推進ビジョンでは、2020年にエネルギー必要量の40%、2040年頃に100%の再生可能エネルギー活用を目指していることを示した上で、地域分散型のエネルギー活用ビジョンの例として、南相馬市（再生可能エネルギー発電計画）、川俣町（スマートコミュニティ構想、バイオマス熱を利用した農業復興）、土湯温泉（源泉を利用したバイナリー発電事業）が具体的に紹介された。また、農業復興のための太陽光発電などの活用、豊富な森林資源の活用などに関する提案及び課題が示された。本講演を通して、福島県において再生可能エネルギー利用が

今後大きく進む可能性があることを確信するとともに、講演者が示したコンセプト「福島におけるエネルギー自立型社会（スマートコミュニティ）の構築」は福島の復興にとって重要なことは勿論のこと、我が国において持続可能社会を実現するために必要な先駆的な取組みであることが述べられた。うつくしまNPOネットワーク・鈴木は、市民団体を支援してきた視点から福島の現状を伝えた。環境放射線量の測定値が毎日何度も放送される現状だけでも異常であるが、住民（特に避難を余儀なくされている方々）の現実は数値だけでは表せられない。あたりまえの生活に戻りたいだけであるが、道のりは長く、見通しは暗い。静まり返った会場は、避難者15万人余の持つ意味を噛みしめていた。福島大学・川崎は、除染について県内の市町村からヒアリングした結果を紹介した。前例もなく手法も確立していない除染事業を、自らも被害者である自治体職員が苦労しながら実施している現状と、制度や運用面での課題が浮き彫りになった。

政策決定、技術開発とともに都会生活者の目線で行われることが多く、原発事故前から過疎化と高齢化という課題を抱えていた地域に、その政策や技術が適しているのか、今一度考える必要がある。

セッション10 「除染計画と除染技術（4）」

座長：大迫 政浩（（独）国立環境研究所）

（独）国立環境研究所の山田らは、「実コンクリートの事故由来の放射性Csの浸透状況」と題して、汚染コンクリートの表面放射能濃度及びβ線ラジオグラフィによる深さ方向の浸透状況の観察等を行った。沈着Cs濃度が増えると表面汚染濃度も高まるが、浸透深さの増加は限定的であり、汚染が表面のみにとどまっており、除染時の目安を示した。

鹿島建設（株）の菊池らは、「道路の除染を効率的に行うことができる「道路高圧除染車」の開発」と題して、除染効率が得られにくい排水性舗装の高圧洗浄除染において、洗浄部に旋回ノズルを採用する等の改善を施し、高い低減率（90%）と施工能力を達成した。

大成建設（株）の長峰らは、「ドライアイスblastを用いた舗装道路の除染技術の開発」と題して、廃棄物発生量が通常多いとされるblast工法にドライアイスをblastとして使うことで、除染廃棄物量の大規模な低減を実現するとともに、効果的な除染効果も達成したことを報告した（放射線計数率で平均60%低減）。

セッション11 「放射性廃棄物の分離・保管とその技術、水処理技術（1）」

座長：二見 賢一（水ing（株））

招待講演1題、一般講演3題の計4題が報告された。焼却過程での放射性Csの挙動、実環境水での放射性Csの挙動、水中イオン性放射性物質の処理技術、放射能含有飛灰の処理

システムに関する内容であった。いずれの報告も放射能汚染に関する有用な知見を含んでおり、これらの知見は今後の除染活動の推進に寄与することが期待される。

S11-A 廃棄物処理における放射性セシウムの制御手法/大迫（（独）国立環境研究所）ら： 焼却過程での放射性Cs挙動を検討し、焼却灰の種類により水への溶出率の異なること、溶出特性を踏まえた灰の処理の実施が重要であること、耐火レンガ内部への放射性Csの浸透・蓄積に留意する必要のあること等が報告された。

S11-1 環境水・廃液からの放射性セシウム除去技術の開発/関根（荏原工業洗浄（株））ら： 福島第一原発20km圏内にある環境水（屋外開放貯水槽）についてSS粒径と放射能濃度の関係を調査した。 $>10\mu\text{m}$ 約50%、 $0.05\sim0.45\mu\text{m}$ 約40%、 $<0.05\mu\text{m}$ 約10%であった。1μmのろ液について紺青成型粒状吸着剤でほぼ100%除去可能であった。

S11-2 フローテーション法による放射性廃液処理/古屋伸（NPO除染技術研究開発）ら： 多核種含有の模擬廃水において、核種に応じた共沈剤（フェロシアン化物塩や水酸化物）と界面活性剤を添加して浮上処理することで、数分の処理時間で放射線強度は90-99%減少した。

S11-3 汚染飛灰からの放射性セシウム除染技術の開発/高倉（株東芝）ら： 飛灰の放射性Csを水洗により液相へ移行させ、ろ過機でろ過してろ液は吸着塔で処理するシステムを検討している。水洗によるろ液への放射性Csの移行は飛灰の種類や飛灰と水の液固比が影響する。移行率は焼却飛灰で85%程度、溶融飛灰で80-95%程度であった。

セッション12 「放射性廃棄物の分離・保管とその技術、水処理技術（2）」

座長：川本 徹（（独）産業技術総合研究所）

佐藤 理夫（福島大学）

本セッションでは、主に放射性セシウムの挙動について理論的・実験的な報告があった。

（株）タクマから焼却飛灰中の放射性セシウムを効率的に分離・除去し、かつ放射性物質を含む最終排出物を大幅に減容化できる処理システム開発の報告がされた。実機規模での検証も終わり、現在は実用化を進めていることであった。

（株）クボタからは、焼却灰を溶融する際にセシウムなどのアルカリ金属の揮発を促進させる手法の提案があり、主灰のセシウム濃度を低減させる技術として期待できる。

新潟大、飛島建設、日本原電からは、キャピラリーバリアシステムを用いた中間貯蔵施設の提案がなされた。廃棄物の上部、下部に、礫層と砂層を設けた土層システムを設けることにより、廃棄物への水の浸出を避けることが目的のことである。報告によると、野外条件下において、安定した水分遮断機能を確認できたとのことである。

（独）国立環境研究所からは、焼却後に放射性セシウムが

どのような形態で焼却灰に含有されるかを、熱力学平衡計算で予測するシミュレーションについて報告があった。結果によると、放射性セシウムは塩化セシウム、アルミニノシリケートに含有され、その比率は焼却物の組成に依存することであった。都市ゴミ、下水汚泥をそれぞれ焼却した場合、都市ゴミでは大半が塩化セシウムとなり、下水汚泥の場合は大半がアルミニノシリケートになり、この結果は実際の灰のセシウム溶出特性と矛盾ないことが示された。

JFE エンジニアリング㈱からは、稻わらを焼却した際の、放射性セシウムの主灰中残留率が報告された。セシウムは温度が高いほど蒸発する傾向がみられるが、ベントナイトを添加することにより、残留率が増加することが示された。この結果により、焼却時の添加により、主灰中のセシウム残留率の制御が可能であると考えられる。

セッション13 「流域動態と流域管理、海洋汚染」

座長：平田 健正（和歌山大学）

福島 武彦（筑波大学）

本セッションでは流域動態と流域管理、海洋汚染というテーマで招待講演 5 題と一般講演 1 題の合計 6 件の発表が行われた。福島・荒居（筑波大学）は、湖沼底質での放射性セシウム鉛直分布の測定方法を示すとともに、底質中の放射性セシウム濃度、インベントリーをもとに流域沈着量変化や魚濃度との関係を統計解析した結果を紹介した。平田（和歌山大学）は、有機ヒ素化合物や有機塩素化合物による地下水汚染事例を参考に、その原因解明、将来予測、浄化などの技術を紹介し、一度汚染された地下水の修復は極めて難しいことを示した。今泉他（（独）国立環境研究所）は、有機汚染物質を対象に構築した G-CIEMS を基礎として、放射性物質の動態予測を行い、阿武隈川水系など 15 水系を対象にシミュレーションを行った結果を紹介した。金子（東京大学）は海水魚へのセシウムやカリウムの取り込み・排泄メカニズムを紹介し、陸水魚との差を説明し、このようなメカニズムの理解が魚からの除染効率を高める技術開発につながることを示した。石丸（東京海洋大学）は、海洋生物から検出された放射性セシウムの濃度分布を紹介するとともに、魚への濃縮機構をもとに、今後の濃度変化傾向を推測した。大野他（国立保健医療科学院）はダムを最下流とする小流域を対象に、放射性セシウムの流出現象を数値シミュレーションした結果を紹介し、水中濃度に大きな影響を及ぼすパラメータを議論した。

セッション14 「除染計画と除染技術(5)：除染事例」

座長：三苦 好治（広島県立大学）

倉石 政彦（群馬県立県民健康科学大学）

本セッションでは一般講演 3 題の発表が行われた。群馬県立県民健康科学大学の倉石らの研究チームによる「土壤粒子径と放射能比に関する基礎的考察」と題した発表は、低濃度

放射能汚染土壤について分級技術による除染の有効性をまとめた内容であり、今後、中間貯蔵施設で管理する処理土壤量等を正確に試算する上で非常に価値ある報告であった。次に、株式会社エンジニアリングを中心とする除染チームにより、下仁多町除染計画の立案から実施までの詳細が発表された。比較的早期に、かつ、効果的に除染に取り組めた背景が紹介された。

最後の発表は福島県相馬市における除染事例の報告であった。報告者は、福島県相馬市の玉野地区 147 戸の除染の実施者で、家屋の屋根、雨樋、壁などの表面汚染に対する除染技術に関して報告された。除染のガイドラインでは、屋根等の除染は、除染に伴う飛散、流出等の汚染の拡大を防ぐための措置の後、堆積物の除去、洗浄（ブラシ洗浄→高圧洗浄）、更に必要に応じて削り取り、の順で行うこととされている。除染の効果については、屋根 34%、雨樋 53%、壁・塀 43%

（表面計測値：cpm 単位）の減少率を目安としている（福島県除染廃棄物対策会議）。除染の経験者は、この数値が容易に達成できる数値目標でないことをよく知っているが、拭取りやブラシ洗浄で効果が得られない場合に高圧洗浄を用いることの無意味さも十分に経験している。報告者らは、屋根等の除染に過酸化水素水を用いることについて検討した。希釈率を変えて検討した結果、3 % の過酸化水素水により、屋根表面において 80 % 程度の放射線量率の低減となることが認められた。これにより、屋内の空間線量率に 40 % 程度の低減がもたらされ、生活者の被ばく線量低減に大きく寄与する方法であるとの報告であった。過酸化水素水による除染のメカニズム、科学的根拠は今後の課題となるが、現場で除染されている方々による実証結果であり、他の地域においても試行する意義はあるものと考えられる。この種の報告が除染実施地域から発信され、多種多様な除染技術の中から優れた技術が見出されることを期待したい。

いずれの発表においても、会場からの質問は主に土壤種類（結晶構造と化学組成）と除染効率の関係について集中していた。この点については、除染を行う際に非常に重要なポイントであるにも拘らず、定量的かつ総合的な除染評価法が規格化されていない。他の汚染物質に目を向ければ、重金属類の標準土壤等が日本分析化学会から発布され、規格化が進んでいる。今後、このような標準土壤を利用する各技術の除染効率の客観的評価方法が早く確立することが望まれる。

セッション15 「計測技術と環境モニタリング（3）」

座長：倉石 正彦（群馬県立県民健康科学大学）

松井 康人（京都大学）

本セッションでは、放射能汚染された地域の除染現場において汚染状況や放射性核種の分析を簡易的に行う方法、医療用 CR (Computed Radiography) の汚染状況等の評価への利用、低濃度放射性セシウムの測定技術、除染現場における

るサーベイメータ用コリメータについて報告された。

15-1 の発表は、土壤に浸透した放射性セシウムの深さ方向の分布を除染（表土剥離、天地返し、除去）に先立つて知ることにより、除染作業の効率化を図ろうとするものである。土壤をサンプルしてスペクトロメータにかけて、という方法ではなく、除染を行おうとする現場でサーベイメータを使って簡易的に迅速に分布を知ることができれば、時間効率も作業効率も格段に向上することになる。本報告では、ホールカッターにより穴を開け、採取した土壤試料の放射能濃度（Ge半導体による測定）とコリメータにより指向性を持たせたサーベイメータで測定した地中内線量率との間に一定程度の相関関係が示され、このような方法による汚染状況の評価が可能であることが示された。

15-2 の発表は、携帯型のシンチレーションスペクトロメータを利用して、除染現場で放射性核種を分析し、除染方法等の検討に役立てようとするものであり、第1回環境放射能除染研究発表会で報告した方法の改良に関する続報である。除染の現場は、試料測定を行う放射線測定室とはバックグラウンドが桁違いに異なるため、携帯型のスペクトロメータによる核種分析の精度を保つことは困難であるが、報告者らは現地で鉛ブロックを積み上げ、測定系を遮へいすることにより、この困難性を回避した。福島県内の高線量率地域におけるバックグラウンドは、厚さ 50 mm の鉛ブロックを使用することにより、 $1.2 \mu\text{Sv}/\text{h}$ から $0.008 \mu\text{Sv}/\text{h}$ に、 $2.8 \mu\text{Sv}/\text{h}$ から $0.013 \mu\text{Sv}/\text{h}$ にまで減弱させることができ、この結果、最低検出濃度を 5 分計測で 170 Bq/kg ($2.8 \mu\text{Sv}/\text{h}$ の地域) に抑えることができたとの報告である。

両報告とも、除染の現場で除染方法等をリアルタイムで検討することに有益な情報を提供するための実際的な研究であり、除染作業を実施する方々にとって意義あるものと考えられる。除染作業は、その効果も重要であるが、同時に生活者の安心を可及的速やか提供するため、時間の要素も重視されなければならない。調査結果に基づく判断を必要とする事柄についても、必要な精度を保ちながら可能な限り現場で実施できれば、除染作業は加速度的に進行するが期待される。

15-3 の発表（大阪大学：中島）では、イメージングプレートを用いた植物や動物中の放射線量を、最新のイメージング技術で計測して得られた、組織や器官ごとの放射性物質の分布データが紹介された。被災直後と数年後の植物の葉におけるセシウムの沈着や土壤からの移行量が、この手法では明確に異なっていることが示された。

15-4 の発表（（独）産業技術総合研究所：川本）では、環境中の低濃度セシウムの計測方法と得られたデータが紹介された。ブルシアンブルーを担持した不織布を使用した、独自に開発した計測ユニットを水田や河川に浮遊させることで、セシウムをモニタリングできる。環境水は環境の変化に応じて濁度が大きく変動することから、正確な濃度を測定するこ

とは困難であるが、本発表では二種類のユニットが紹介され、環境水に応じたモニタリングが可能であることが示された。

15-5 の発表（東京電力（株）除染推進室：田中）では、ガンマ線サーベイメータは周囲のすべてのガンマ線を検出してしまったため、除染効果を正確に評価するためにもコリメータの役割が重要であり、実際の現場で活用するための重量にも配慮したコリメータのサイズや高さを検討したデータが示された。

セッション 16 「リスクアセスメントと費用効果」

座長：酒井 一夫（（独）放射線医学総合研究所）

本セッションでは招待講演1題と一般講演2題が発表された。

米田稔（京都大学）「汚染土壤のリスクと今後の変遷について」： 空間線量率に基づいて土地の汚染濃度を求め、さらに吸入摂取量を推定するモデルを構築し、評価した。健康リスクにおける内部被ばくの寄与は外部被ばくに比べて小さいと見積もられた。今後の放射性核種の環境中挙動に関する情報と組み合わせて、将来の線量を予測し、これに基づいた除染計画策定にも役立つものと期待される。

鈴木規之ら（（独）国立環境研究所）「事故以前の被ばく線量分布に基づくリスク管理目標値に関する考察」： 事故以前の自然放射線による平均被ばく線量の分布に関する考察に基づき、事故による過剰年線量がおよそ 3.3 mSv よりも小さな場合には、事故以前の平均線量（ 2.4 mSv ）よりも有意に高いことを統計学的に示すことができないことを指摘した。リスク管理の観点から線量目標値を設定するにあたり、目標値の設定とこれをいかに担保するかに関する重要な問題提起がなされたものと考える。

保高徹生、内藤航（（独）産業技術総合研究所）「GIS を用いた除染特別地域内の除染に伴う費用と効果の推定」： 「除染特別地域」（国が除染の計画を策定し、除染事業を進める地域）を対象として、除染費用と効果に関する解析結果が報告された。除去した汚染土壤の保管等に要する費用が大きな割合を占めることが示された。一方、フロアからは除染後の土地の価値（例えば農耕地としての有用性）の低下などもコストに含めるべきではないかとの指摘があった。費用に加えて除染の有効性を議論する上で重要な意見交換ができたものと考える。

除染作業が進み一定の効果が得られつつある現在、今後の除染を考える上では除染の有効性に加えて、健康リスク低減への貢献やコスト等についても配慮する必要がある。これらの検討の際に必要となる情報を共有できたセッションであつた。

セッション 17 「放射能防護・食品放射能」

座長：米田 稔（京都大学）

本セッションでは4件の招待講演が行われた。

国立医薬品食品衛生研究所の松田りえ子氏からは「食品中

の放射性セシウム濃度と調理による影響」と題してこの2年間での流通品と非流通品の放射性セシウムの検出状況の変化や、各種調理法での放射性セシウム除去率についての解説が行われた。これは今後の内部被曝量管理において、重要な知見になると考えられる。

東海大学の山本茂貴氏からは「食品中の放射性物質の基準値の設定について」と題して、平成24年4月1日から施行された食品中基準値の介入線量レベル、規制対象核種、食品区分ごとの基準値の考え方についての解説が行われた。

厚労省の安井省侍郎氏からは「事故由来廃棄物などの処分業務に従事する労働者の放射線障害防止のための省令の公布とガイドライン策定～電離放射線障害防止規則を一部改正

し7月1日から施行～」と題して、平成25年7月1日から施行された電離則改正のポイントと、同時に策定されたガイドラインな内容についての解説が行われた。処分の業務に従事する労働者に対する特別教育用のテキストをホームページで公開していることも紹介し、除染に関する各事業場で適切な措置がなされるために周知していくとしている。

最後に女子栄養大学の香川靖雄氏からは「放射能の体内除染・防護修復能の向上」と題して、放射線防護食の有用性や、除染と健康管理の費用対効果などについての解説が行われた。これは今後の除染労働者や一般市民の健康管理において、重要な知見になるとと考えられる。

(2) 国際シンポジウムの総括

国際シンポジウムでは下記の7題の講演が行われた。

1. 日本における環境中の除染の取り組み (Progress on off-site cleanup efforts in Japan) ……森谷 賢
2. 放射能の環境動態 (Behaviour of radionuclides in the environment) ……大原利真
3. チェルノブイリ事故による立入制限地域における浄化試験：浄化の効率およびその長期安定性について（仮訳）
(Decontamination tests in the recreational areas affected by the Chernobyl accident: efficiency of decontamination and long-term stability of the effects) …… Valerii Ramzaev
4. 放射性セシウムによる森林汚染・チェルノブイリ事故からの教訓（仮訳）(Contamination of forests with radiocesium – lessons from the Chernobyl accident) …… George Shaw
5. セシウムの環境放射化学：同位体特性、底質との分配と環境中の循環（仮訳）(Cesium environmental radiochemistry: Isotopic signatures, sediment partitioning, and environmental cycling) …… Darin Snyder
6. セシウムの環境中における動態および福島における除染作業後のその長期影響評価（仮訳）(Cs migration behavior in the environment and its long-term assessment after decontamination work in Fukushima)…油井三和
7. 福島第一原子力発電所事故による放射性セシウムの海洋への輸送・拡散…本多牧生

「放射能除染のための国際シンポジウム」座長報告

6月7日の1日をかけて環境省との共催で開催された国際シンポジウムでは、森田昌敏理事長による開会挨拶、富永健東京大学名誉教授からの来賓挨拶に続いて、まず森谷賢氏（前環境省福島除染チーム長）から Progress on Off-site Cleanup Efforts in Japan と題して、除染特別地域および除染実施区域における除染の進行状況について解説された。最新の情報を知るには環境省の除染情報サイト (<http://josen.env.go.jp/>) を訪れることが有効とのことである。また、中間貯蔵所設置の状況も報告され、除染に関する現在の課題も示された。

二番目の講演者、大原利真氏((独)国立環境研究所地域環境研究センター長)から Behaviour of radionuclides in the environment と題して国立環境研における環境中での

放射性物質の挙動に関する研究プロジェクトの内容が紹介された。このプロジェクトでは Cs-137 などの環境中での動態をマルチメディアモデルを用いて再現しており、福島第一原発事故で放出された放射性物質の陸圏および水圏における今後の動態推定、さらに市民からの曝露量評価、DNA ダメージによる野生生物への影響評価、放射性物質のモニタリング手法開発などの研究が進められていることが、現時点での成果とともに紹介された。最後に国立環境研究所としての福島県環境創造センター（仮称）における研究計画についても紹介された。

三番目の講演者 Dr. Valerii Ramzaev (露国 サンクトペテルブルク放射線医学研究所)から Decontamination tests in the recreational areas affected by the Chernobyl accident : efficiency of decontamination and

long-term stability of the effects と題して、チェルノブイリ事故による立入制限地域において 1995 年と 1997 年に実施された浄化試験での効果、およびその後 2012 年までの長期モニタリングにより観測された浄化効果の安定性について紹介された。平屋建て、および二階建ての木造家屋とその周辺の除染方法、および除染係数と線量減衰係数で表現した除染効果が報告された。その結果、手道具や簡単な機械を用いた除染でもその効果は除染後 10 年を経過しても有効であること、除染後の土地に生えた草やキノコの放射能濃度は非除染地に生えたものより 1~2 オーダー低いこと、除染後 15~17 年経過しても、はつきりした再汚染は観測されなかつたこと、このような除染方法は森と牧草に囲まれた福島のリクリエーション地や健康リゾート、個人農場などにも有効と考えられることなどが報告された。

昼食を挟んで、四番目の講演者 Dr. George Shaw (英国ノッティンガム大学) から **Contamination of forests with radiocesium - lessons from the Chernobyl accident** と題してチェルノブイリ事故による放射性セシウムによる森林汚染の状況と除染対策の経済効果などが報告された。結果として、大気中の粒子状放射性物質は主に林冠部に補足されること、季節条件・気象条件・森林内での位置などによって、放射性セシウムの沈積量は異なること、森林内での再循環のために放射性セシウムは森林内に長く留まること、その長期間に渡る再循環を理解することが管理と除染のためには必須であること、包括的な費用-便益分析によると、単純な管理方針が被曝管理という点からも経済的観点からも有効であること、管理方針の決定には、地域特異的な費用-便益分析や意志決定分析が必要であること、森林や木材製品の長期間のモニタリングが必要であることなどが報告された。

五番目の講演者 Dr. Darin Snyder (米国 アイダホ国立研究所) からは **Cesium Environmental Radiochemistry: Isotopic Signatures, Sediment Partitioning, &**

Environmental Cycling と題して、セシウムの環境放射化学、つまりその同位体特性、底質との分配と環境中での循環などについて実データに基づいた解説が行われた。過去の核分裂生成セシウムなどと今回の福島第一原発事故で放出されたセシウムなどを Cs-135 と Cs-137 の同位体比によって分離同定可能であること、放出された Cs-137 のほとんどは土壤や底質に分配し、湖では季節変動による湖水の循環に応じて、Cs-137 の水中濃度が変化することなどが報告された。

六番目の講演者、油井三和氏(日本原子力研究開発機構 JAEA)からは **Cs Migration Behavior in the Environment and Its Long-term Assessment after Decontamination Work in Fukushima** と題して、セシウムの環境中動態および福島における除染作業後の長期影響評価についての報告が行われた。まず、各種土壤の粘土鉱物へのセシウムの吸着モデルが紹介され、分配係数の濃度依存性がモデル計算である程度再現できること、土壤中有機物がセシウムの吸着を阻害することなどが報告された。次に放射性セシウムの森林、土壤、人工物、川や海などの水圈などでの動態を評価し、同時に人々の被曝量を評価することで、セシウムの移動を制限する対策を提案する福島長期環境動態研究(F-TRACE)プロジェクトの内容と、現在得られている各種実データの内容などが紹介された。

最後の七番目の講演者、本多牧生氏(海洋研究開発機構 JAMSTEC)海洋物質循環研究チームリーダー) からは **Transport and dispersion of radiocesium from Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident in the ocean** と題して、福島第一原発事故による放射性セシウムの海洋への輸送・拡散の様子が報告された。これまでの観測態勢と観測データが報告され、結果として海底の底質中の放射性セシウム濃度は不安定であること、また、その分布は不均一であることが報告された。

文責：米田 稔