



口頭発表に関する座長のセッション報告

セッション1 「除染技術1」

座長：原田 茂樹（宮城大学）

本セッションでは5件の発表が行われた。

秋田大学の村上氏らの発表では、pH3.5に調整したクエン酸等の有機酸水溶液に農地土壌を浸漬（以下、クエン酸処理とする）させることにより、セシウムをファイトレメディエーションを図った結果が報告された。2012年に一度行ったクエン酸処理により、無処理の場合よりも、約6倍の¹³⁷Csが土壌から稲に吸収された。また、①施肥の効果も考慮しなければいけないこと、②クエン酸処理の場合には収穫量も増加したこと、③土壌の均一化にも注意を払う必要があることなどが示された。クエン酸処理を行った場合、初期の土壌中セシウムの3,630 Bq/kgの10%程度が稲に移行した。米に移行するセシウムの濃度について質問があった。米の濃度が食品の基準値を超えないことを最重視した場合、無処理で米に移行するセシウムが少ない方が効果的である可能性について問うたものだが、上述した10%の移行率をさらに向上させ、土壌からの除去を進めることにより、結果として米のセシウム濃度が基準値を満たしていくことを目指していると回答があった。

長崎大学大学院の大嶺氏らの発表では、森林で採取した土壌について、微生物等を混合して溶出試験を行った結果が報告された。水溶性画分によるセシウムの溶出率はいずれの条件においても1%以下であったが、微生物添加によりセシウムの溶出をイオン交換態と同程度（2%強から3.5%弱）にまで高めることができた。これらの結果より、水だけでなく微生物とブルシアンプルーを組み合わせることにより、酢酸アンモニウムと同程度のセシウムを溶出させることが可能であると示唆された。この技術を実践する場のイメージについて質問があり、水田にて行いたいという回答があった。実験は森林で採取した土壌であるがその結果を応用していくことを目指すという説明であった。

茨城大学の熊沢氏らの発表では、森林・山林の落葉下の腐葉土層に蓄積されているセシウムの、ポリイオンコンプレックスコロイド（以下、PICとする）とベントナイトを利用した固定についての報告があった。森林・山林では空間線量率から見ると高い濃度の腐葉土層が形成されている事例から、一度除染した地域の再汚染を防ぐことを目指している。数m規模のパイロットスケール斜面を用いて実験を行っており、結果として下方への移動が抑制されること、PICとベントナイトを組み合わせる方が効果が高いことが示された。腐葉土層からの溶出の大きさについて質問があり、回答によると、一

題前で発表された森林土壌からの溶出率と比較すると非常に大きな溶出率が実験で示されており、2題合わせると土や腐葉土からの溶出についての検討の必要性が示唆された。

福島県環境創造センターの錦織氏&鈴木氏による発表では、河畔など、土壌が集積している場所での除染方法について検討した結果が報告された。通常の上層土をターゲットとした除染に対し、水によって運ばれてくる土壌とセシウムが河畔では深くまで堆積するため、深度方向でのセシウム分布を考えながら除染を行い、その効果と出水後の持続性について、阿武隈川の3次支流にあたる部分で検証している。高水敷の剥ぎ取り深度をセシウムの深度分布にしたがって15~35cmと変化させた結果、空間線量率は約50%減少した。除染から一年後の大規模出水においては、浸食と堆積が観測されたが、新規堆積物は砂礫等が中心であったため、空間線量率の増加はみられなかった。低水量と高水量時のセシウム濃度の比較により降水量時に濃度が低下していることについて、下流への影響を考えるならば流量の大きさを考慮した負荷量の考えの必要性について質問があり、負荷量についても検討していくとともに、河川近傍ということで濃度そのものにも重要性があるかと考えたと回答された。

香川大学の柴田氏らによる発表では、ストロンチウムにターゲットをあて、ヒドロキシアパタイト（以下、HApと書く）による吸着特性について検討した結果が報告された。最初に日本国内数地点でのストロンチウム濃度時間変化が示され、塩水中ストロンチウムの問題の重要性が示された。そのため、6種類のイオン組成の異なる溶液を用いてHApによる吸着効果が示された。その高低から吸着を阻害する要因についての考察も示された。今後、実際の海水に近づけた実験を行うという方向性と、実際の汚染水に近づけた実験を行うという方向性が示された。しかし後者については地下水に近づけることになり淡水であるので前者の方向性の目的が不明瞭になるのではないかと質問があり、それを踏まえた上で両方のケースについて検討していきたいと回答された。

セッション2 「陸域海域の汚染」

座長：鮑本 一裕（帝京大学）

大ホールにおける7月6日（水）午前後半のセッション（S2）が「陸域海域の汚染」に関するものである。報告は全4件で、内容は基礎的研究1件、河川関連が1件、河川とダム湖関連1件、そしてダム湖関連1件、と陸域が強調された陣容であった。

最初の講演は井上由樹氏等（東芝株式会社）による「土

壤中の放射性セシウム及びストロンチウムの挙動評価」であった。ここでいうストロンチウム、 ^{90}Sr は福島を中心として今なお大量に沈着しており、しかも半減期 29.1年と ^{137}Cs (同 30.1年)並みである。さらに、従来の研究は放射性セシウム中心だったため、補足の意味でも貴重な研究である。粒径 20、63、100、212、2,000 μm 未満の粒子からなる各土壌に放射性CsとSr溶液を添加した後、1か月静置し、水等の各種抽出液への抽出率を調べた。すると、各粒径において、Srの抽出率の総和がCsのそれの約2倍高まった。Srは水にも溶けやすいため、土壌深度分布を見ると、Csの約2倍の深さまで浸透した。

谷口圭輔氏(福島県環境創造センター)等による、次の講演では「流域での除染が河川の放射性セシウム動態に与える影響」がテーマであった。福島県川俣町山木屋地区を流れる口太川と水堀川における懸濁体 ^{137}Cs の平成23年6月以降の経年変化を追跡したところ、初期の急速な濃度低下(実効半減期 0.2-0.6年)の後、平成25年にCs濃度は顕著に低下した。しかし、翌年、Cs濃度はさらに急激に低下した。そして、平成27年9月の集中豪雨時には口太川においてCs濃度の著しい減少が見られた。Cs濃度のこれらの急降下は、除染後の農地から流入する大量の土砂の影響として説明できる。

3番目の講演は森定真健氏(立命館大学大学院・理工学研究科)等による「福島県夏井川流域を対象とした水環境中における放射性セシウムの吸着・分配特性」であった。原発の南西 30 km 以遠を流れるいわき市の夏井川流域における ^{137}Cs の動態(吸着・分配特性)の研究を目的に、平成24年3月から河川やダム湖で計11回の現地調査を実施してきた。水環境中における懸濁 ^{137}Cs 濃度と懸濁物質(SS)の関係やダム湖水における懸濁・溶存 ^{137}Cs 濃度と ^{137}Cs 分配特性の関係を求めた。将来的に調査回数が増えるにつれて、益々貴重な成果があがることが予測される。

本セッション最後の講演は長林久夫氏(日本大学工学部)等による「湖沼底質の放射性セシウムの減衰特性に関する検討」であった。始めに、福島県内のモニタリングポストにおける線量率の経年変化が説明された。除染されていない大熊・双葉地区における放射性Csの過去5年間の実測半減期は2.4年であった。他方、理論半減期は3.4年であり、両者の差がウェザリングの寄与と理解できる。他方、本講演の主な研究対象は、三春町の三春ダムや浪江町・南相馬市の大柿ダムにおけるダム湖の湖底土壌の放射性Csである。湖底土壌は擾乱を受けないため、深度毎の放射性Cs濃度を調べることによって、Csの物理的(実測)半減期が求められる。測定位置によって若干異なることもあるが、両ダム湖における典型的な半減期は2年前後と測定された。

企画セッション 1 「放射性セシウムは、どこにうつっているの?」

座長: 釜谷美則(工学院大学)

この企画セッションは、放射性Csがどこにうつっているのか、特に吸着量が多いと指摘されている粘土物質を対象として、その粘土物質のどこにうつっているのか、という話題とこれまであまり情報量が少ない放射性Csがうつっている粘土物質以外の粒子について講演していただいた。予定は、演者の講演後に総合討論時間を設けてあったが、東大の小暮先生、学芸大学の佐藤先生が急用のため講演後に質疑応答を行った。また、このセッションは粘土物質が中心の話題になることから粘土学会の共催となった。以下は、議論の要旨である。

(1) 粘土物質のどこにうつっているの?

この問題については、フレイドエッジの部分や層間部分の議論があるが、最終的には田村氏が指摘するように粘土四面体シートの底面酸素六員環にはまって安定化しているようである。このCsの吸着は、小暮氏が指摘した福島で採取した風化黒雲母が他の粘土鉱物に比べて二桁以上のCsの吸着能があったが、なぜこのような現象が起きるのかを知る意味で興味深い内容であった。また、Csの吸着部分をイメージプレート法での説明があり説得性が高かった。一方、佐藤氏はフレイドエッジサイトの空洞部分についてポジトロニウムを用いて測定している。フレイドエッジサイトでは、層間にナノシートが1枚と2枚挿入した構造があり、この部分にCsがうつっている。これが時間とともに層間に1枚のナノシートが挿入されたものに徐々に変化していくとしている。このポジトロニウムの測定法は、Csの吸着部分の特定手法として有意義な手法になるかもしれない。

(2) 粒子状物質にうつっている Cs

山口氏は、原子炉内で生成したと考えられる放射性微粒子について報告した。これまであまり情報が少ない研究内容であり、放射性量全体の何パーセントを占めているのか、どの範囲までこの影響が広がっているのか、これらの問題を明らかにするための益々の研究を期待したい。一方、坂本氏は森林などで発生する粒子には、プラントオパールに取り込まれた放射性Csについての興味深い報告をした。 ^{137}Cs の測定には、工夫されたレーザー光で共鳴イオン化を行い質量分析計で測定している。以上、山口氏と坂本氏が述べている放射性微粒子のどちらが放射線量が多いのか、さらなる討論時間が欲しいところであった。最後の総合討論では、森田理事長にも参加していただき、討論時間の不足を感じつつ終了することになった。今後とも、除染作業に役立つようなテーマを絞り特別セッションが開催されることを期待したい。

セッション3 「減容技術1」

座長：竹下 健二（東京工業大学）

汚染土壌、焼却灰などの大量にある放射性Cs汚染物は、中間貯蔵・最終処分にむけて減容化が求められている。こうした実情から汚染物の減容化技術が盛んに研究されており、本セッション（減容技術1）では、乾式減容法として、廃棄物の溶融・Cs揮発による減容(S3-1～2)、金属廃棄物の溶融除染(S3-3)、アルカリ塩添加による低圧加熱処理技術(S3-4)が発表された。

S3-1(クボタ、国立環境研)では可燃系除染廃棄物の焼却処理により発生した焼却灰を対象に灰溶融によるCs揮発除去が検討された。1400°Cでの飛灰、主灰、混合灰、可燃混合灰のCs揮散率は薬剤無添加ではClを多く含む飛灰のみ80%以上の高い値を示したが、CaCl₂ 20% + Ca(OH)₂ 20%の薬剤添加により全ての灰でCs揮散率が99.6～99.9%に向上した。更に光学的塩基度の向上及び可燃物(おがくず)添加による酸素分圧の低下がCs揮散率の向上に有効であることが示された。

S3-2(神鋼環境ソリューション、国立環境研)では除染土壌からのCs揮発機構について検討が行われた。南アフリカ産のパーミキュライトにCsを吸着させ、そこにNaClとCaCO₃を添加して1200°Cまで昇温し、XRDによるパーミキュライトの結晶構造変化とTG-DSCによる熱重量変化が測定された。NaClとCaCO₃の両添加剤を加えて、1000°Cまで昇温するとMica groupの結晶ピークが消失し、Cs揮散率が95%以上に増加した。この温度域では、NaClが溶融し、溶融塩と共にCsが揮発していることが示唆された。

S3-3(三菱マテリアル)では放射性Csで汚染された金属廃棄物をクリアランスレベル以下まで除染する「溶融除染技術」が検討された。炭素鋼、ステンレス鋼、鋳鉄に安定Cs及び放射性Csを付着させ、スラグ材を0～3 wt%添加した。高周波誘導炉を用いて溶融させると、金属中のCsはスラグ材に移動し、いずれの金属材料に対しても除染係数は10000以上の高い値であった。また金属廃棄物に汚染土壌が付着している場合も検討されたが、土壌が付着しても金属除染への影響は見られなかった。金属廃棄物の高度除染法として「溶融除染技術」の有効性が明らかになった。

S3-4(JAEA、東大院理)ではCsを吸着した風化黒雲母(WB)にNaCl-CaCl₂混合塩を添加した場合の14 Pa(低圧)、400～700°C(低温)でのCs除去機構が検討された。塩を無添加の場合、400～700°CではWBの結晶構造に大きな変化がなかったが、塩添加によって500°Cでは方解石、600°Cでは赤鉄鉱が形成され、700°CではWBの結晶ピークが消失し、普通輝石とワダライトが形成された。この温度で粘土鉱物をアルカリ塩と反応させると、結晶構造はCsのような大きなアルカリイオンを含まない普通輝石に変換でき、

Cs除去が可能になる。これらの結果は、「鉱物変換を利用したCsフリー鉱化法」が低圧かつ比較的低温で汚染土壌からCsを除去できる有効な手法であることを示唆している。

セッション4 「減容技術2」

座長：下山 巖（日本原子力研究開発機構）

本セッションでは4件の口頭発表が行われた。S4-1は、セッション3に引き続き加熱処理によるCs除染についての研究発表であり、S4-2～S4-4の講演は東工大と三菱化学エンジニアリングの「高効率・高減容セシウム回収システムの構築(Cs吸着濃縮回収からCs単体ガラス固化体まで)」プロジェクトの昨年からのシリーズ発表(7)～(9)として行われた。

物材機構の原田幸明氏による「溶融塩法による土壌からのセシウム取り出し」(S4-1)ではNaCl-CaCl₂混合塩添加と加熱処理による汚染土壌からのCs除去を実施。水洗浄により塩中に溶出したCsを除去すると800°Cで土壌中のCsは0%近い残存率を示した。さらに、水溶液中の放射性CsはCs-HOM吸着材により選択的に除去できることを示した。同様の手法と比較し、Csの昇華により除染を行う乾式法と塩中に溶出したCs成分の除去を行う湿式法を組み合わせることで1000°C以下の温度領域における土壌除染の可能性を示した点に意義がある。非放射性Csによる試験ではなく、実際の汚染土壌の放射能レベルの減少を示した点も重要な部分である。しかし、単塩添加との比較が十分ではなく、混合塩による融点低下の効果に関しては議論が明確ではなかった。また、HOM吸着材による選択分離に関してはPBNなどの材料との比較が必要と考えられる。

東工大の竹下健二氏による「亜臨界水洗浄法による粘土鉱物に吸着したCsの高速イオン交換」(S4-2)では亜臨界水中での水熱反応によるイオン交換を利用して250°Cでパーミキュライト中のCsを100%近く除去することに成功した。通常の水溶液を用いた場合に比べて高いCs除去率が得られることが特徴であり、特にMg²⁺イオンが溶存した場合にCs除去効率が向上することを見いだした点に意義がある。粘土鉱物の構造を保持したまま高いCs除去率が得られた点も他の加熱処理にない特徴だろう。今後は南アフリカ産のパーミキュライトだけでなく、Cs除去がより困難とされる福島風化黒雲母などの粘土鉱物についても有効性を確かめる必要があると考えられる。

エンバイロテック開発の宗澤潤一氏による「Cs吸着物燃焼酸化処理における、Cs高溶出回収(99.9%)のための燃焼方法改良と燃焼残渣Cs残量の最小化」(S4-4)では、Cs吸着後のプルシアンブルーナノ粒子の燃焼酸化処理を改良し、燃焼酸化残渣中の残Cs量を5%から0.1%程度まで減少させることに成功した。Csの大部分はCsNO₃に変化

するが、一部が燃焼生成物の Fe_2O_3 に固定される。焼成酸化処理過程を改良することで固定されるCsの低減化手法を開発した点に意義があるが、複雑な処理工程における反応の詳細を明らかにすることで各工程の位置づけがより明確になれば、この改良法の意義をより高めることが期待できる。

東工大の高橋秀治氏による「各種フェロシアン化物によるCs吸着、熱分解、Cs溶出」(S4-4)では高アルカリ環境下で不安定であったプルシアンブルーに対してNi, Cu, Zn, Mn, Fe, Coの金属を置換した類似化合物を形成し、ニッケル置換体が高アルカリ環境下で優れたCs吸着特性を示すことを見いだした。また、同材料の熱分解後の残渣から効率的にCsを除去することができることも示した。Cs吸着材料であるプルシアンブルーに対して、ニッケル置換体がアルカリ環境下で優れた安定性とCs吸着特性を持つことを見いだした点に意義がある。今後吸着イオン選択性に関する挙動を明らかにすることが必要であると考えられる。

セッション5 「食の安全・野生生物」

座長：井倉 将人（農業環境技術研究所）

本セッションでは、食の安全・野生生物に関する以下の4件の発表が行われた。

森林総研の清野氏からは「野生ゼンマイ131個体の葉の放射性セシウム濃度」と題し、2015年に福島県郡山市内で野生ゼンマイを採取し、葉の放射性セシウム濃度のバラツキおよびバラツキに影響する条件について検証した結果が報告された。野生ゼンマイの採取地点において、空間線量と土壤中放射性セシウム濃度に良好な相関がみられたが、ゼンマイ葉の放射性セシウム濃度は落葉層の放射性セシウム濃度と良好な相関がみられた。また、野生山菜の種類ごとに可食部の放射性セシウム濃度に違いがみられ、放射性セシウム濃度の経年トレンド等を把握することで出荷制限解除に資する情報が得られるとしている。今後も食の安全を確保するために、放射性セシウム吸収要因の更なる究明が望まれる。

東北大学の田久氏からは「非伐採式シイタケ原木放射能汚染測定機の開発」と題し、シイタケ原木に用いる樹木の放射性セシウム濃度を立木の状態で測定する方法を報告された。樹木の四側面に検出器を配置し、検出器および地面から検出器までを鉛で覆うことで、森林内でバックグラウンドの放射線を遮蔽しつつ放射能分析を実施した。用いた検出器の測定値とゲルマニウム半導体検出器の測定値から換算係数を求めておくことで、森林内でも十分な精度をもって放射能分析が可能であるとしている。また、各パーツが分解可能で可搬であることから森林内での原木選抜において更なる利用が期待された。

福島県環境創造センターの根本氏からは「避難指示区域内外におけるイノシシの行動圏の違い」と題し、福島県内において捕獲したイノシシについてGPSから取得した位置および時期（冬季および繁殖期）情報から、避難指示区域内外におけるイノシシの行動圏と土地利用の関係について報告された。イノシシの行動圏は避難指示区域内で大きくなる傾向にあり、特に冬季で顕著であるとした。避難指示区域内は人の活動が制限されているためイノシシの行動範囲における農地の割合が大きくなり、イノシシの掘り返しによる表層攪乱も問題視される。また、繁殖期は繁殖相手を探すため避難指示区域外でも農地に現れる割合が増加する傾向にあるとしている。避難指示区域内におけるイノシシの行動圏と表層攪乱状況の把握は今後の除染および土地管理において重要な情報となると考えられた。

福島県環境創造センターの斎藤氏からは「福島県に生息する鳥類の放射性セシウム濃度について」と題し、福島県内における野鳥への放射性セシウム濃度の蓄積状況について報告された。キジ類のうち、里地に生息するキジと比較して里山に生育するヤマドリは筋肉中の放射性セシウム濃度が顕著に高い傾向にあるとした。また、平野部に生息するマガモやカルガモについてはキジとの有意差が見られず、経年により筋肉中の放射性セシウム濃度は減少傾向にあった。山林内は里地と比べて放射性セシウム濃度が比較的高い傾向にあり、ヤマドリへの蓄積は生息域の違いやエサ資源の違いが影響している可能性があるとしている。鳥類の体内蓄積における雌雄の違いなど更なる蓄積状況の解明が期待された。

セッション6 「リスクコミュニケーション等」

座長：河津 賢澄（福島大学）

本セッションでは、リスクコミュニケーションに関係する6件の発表が行われた。

最初に、福島大学の川崎氏から「福島県内の市町村の除染に関する問題意識—過去4年間の比較分析—」と題した発表があり、平成24年から平成27年までの4年間にわたり、福島県内で除染を実施している市町村に、除染に関する現状や課題についてのアンケート調査を行い、その結果について報告があった。除染の進展状況や時間の経過とともに、「仮置き場の確保」から「仮置き場の維持管理」などへの課題の変化や「再除染の必要性」など新たな課題が生じていることなどが示された。次に、福島大学の金澤氏から「環境に存在する放射性セシウムの化学的性質」と題した発表があり、汚染土壌から放射性セシウムの溶出がほとんどないことが示され、併せて震災当時の福島県内の調査の様子なども紹介された。次にパシフィックコンサルタンツ株式会社の古松氏から「自動車走行サーベイによるリスク

コミュニケーションの提案」と題した発表があり、自動車に2インチφ×2インチNaI(Tl)シンチレーションサーベイメータ、GPS、全周囲画像を撮影する6台のカメラを搭載し、走行サーベイを行い、その結果を示しながら、今後のリスクコミュニケーションツールとしての提案があった。次に東京電力ホールディングス株式会社の石井氏らから「個人線量計測データ活用手法の検討」と題した発表があり、個人線量計とGPSを組み合わせ、その滞在場所や滞在時間から行動パターンに応じた被ばく線量を地図上にプロットするなど、被ばく線量を総合的に把握するシステムの開発が報告された。次に公益社団法人福島原発行動隊の伊藤氏から「福島第一原発事故に因る家屋内放射線量の測定例」と題した発表があり、被災住民の要望を受け、被災家屋の室内、室外の放射線量を測定し、JAEAのシミュレーション結果と相違がないことなどが示された。セッション最後には、公益財団法人放射線影響協会の小川氏らから「除染等業務従事者等被ばく線量登録管理制度の運用について」と題した発表があり、同協会放射線従事者中央登録センターに登録している除染等業務従事者の被ばく線量の現状について報告があり、平成24年から27年の従事者の年間被ばく平均線量は、0.5～0.7 mSvで推移していることが示された。また、これらの制度は、除染従事者の線量被ばく管理上、重要な制度であることから、除染作業の元請事業者を含めた関係者へ更なる制度の理解を求めた。

福島県の避難区域では、段階的に避難解除が行われ、避難住民の帰還が進められている。一方、放射線に関する不安から、帰還に躊躇している住民も多い。除染による放射線量の低減化を図ることは勿論のこと、放射線に関する最新の情報や様々なツールを活用し、帰還に向けて、被災住民や関係者のリスクコミュニケーションがさらに進展することを期待したい。

セッション7 「効果や影響の評価」

座長：小林 剛（横浜国立大学）

本セッションでは、除染時や廃棄物処理時の効果や影響に関して4件の発表が行われた。

最初に、森芳友氏ら（京都大学）から、「1 cm空間線量率及び表面汚染密度の測定による放射性Csの表面残存状況の評価」と題して、NaIシンチレーションサーベイメータとGMサーベイメータとの測定値の違いから、放射性Csの土壤等の表面への残存状況や、どの程度深度方向に浸透しているかを評価する手法について報告された。舗装道路と森林とでは、大きく表面への汚染の残存割合が異なることも示された。このような知見の蓄積により、現場で簡易に深さ方向の汚染状況を評価できることは有用と思われる。

2件目は、野村直希氏ら（福島県環境創造センター）から、「仮置場に起因する周辺への放射線影響評価」と題して、福島県内11箇所の除染土壤等の仮置場について、平常時だけでなく事故時も考慮して、多様なシナリオを設定して周辺住民らの安全性の評価結果が報告された。健康影響は十分に低いレベルであることが示唆されており、暴露経路毎の詳細なリスクの内訳も示しながら、住民らとリスクコミュニケーションを推進することが重要であることも示唆された。

3件目は、水原詞治氏ら（龍谷大学）から、「仮設焼却施設における耐火物への放射性Cs蓄積挙動」と題して、焼却処理により耐火物の内部まで放射性Csが浸透、蓄積すること、特にCl濃度が高いとCsClガスが生成して、耐火物の更に深くまでCsが浸透することが報告された。施設のメンテナンスや解体時の健康影響防止のためにも、更なる実態の把握や対応の検討が重要と考えられる。

4件目は、南條忠文氏ら（佐藤工業株式会社）から、「放射能に汚染された路面清掃土砂の分級洗浄による減容化処理」と題して、路面清掃土砂を同社の「渦崩壊洗浄装置」によって分級洗浄した時の処理効果を評価して、Csの75.2%が脱水ケーキ（75 μm未満）に分離濃縮されること、汚染土壌重量も75.7%に削減できることが報告された。粘性土への対応や測定効率等、スケールアップのための課題も示された。

本セッションでは、汚染状況の調査から、除染物の仮置き、除染廃棄物の処理まで、多様な場面での効果・影響について報告された。効率的に除染を進めるためには、除染効果の最大化と健康影響の最小化を目指して、最適な処理システムを構築する必要がある。個別には多くの知見が集積されてきているが、地域や土地利用、除染対象や汚染レベルに配慮して、調査から最終処分までの最適な除染システムを選定できるような取り組みにも期待したい。

セッション8 「廃棄物対策」

座長：保高 徹生（産業技術総合研究所）

本セッションでは、廃棄物対策に関する以下の4件の発表が行われた。

太平洋セメントの森氏らの発表では、汚染廃棄物保管用のコンクリート容器の耐久性に関する実証試験に関する研究発表がなされた。普通コンクリートと対策コンクリートを用いて、加水した焼却飛灰を使用して約1年間の屋外暴露試験を実施した結果、普通コンクリートでは飛灰接触部に劣化が見られたのに対し、対策コンクリートでは劣化の兆候は見られず、Cl浸透深さも浅かったことが確認された。質疑では、実際には償却費倍はフレコンバックに入っており飛灰とコンクリートが直接接触することはないのでは、との質問に対して、

本試験条件自体が実際の保管状態と比較して過酷である条件であり、通常条件であれば普通コンクリートでも対応ができるのでは、との回答がなされた。

京都大学の米田氏らからは、焼却灰および飛灰への土壌の混合による放射性Cs溶出抑制の可能性についての研究発表がなされた。この研究では、セシウム溶出率が高い飛灰と溶出率が低い土壌を混合することで飛灰からのセシウム溶出率を低減させることを目的としている。室内試験試験の結果、土壌混合率を上げるとセシウム溶出率が低減することが示された。さらに、フレッドエッジサイトを考慮した競争吸着型のLangmuir式を用いた解析も実施されており、共存イオン濃度も含めた解析により理論的にもセシウム溶出率の低減が示された。

国立環境研究所の藤原氏らからは、除染廃棄物の焼却減容化施設における放射性セシウムの挙動調査と題した発表があった。実際の除染廃棄物を焼却した際の主灰、飛灰中の放射性セシウム濃度およびセシウムの存在形態について評価を行った。その結果、都市ゴミでは飛灰濃度は主灰濃度の6倍程度あるのに対し、除染廃棄物の焼却では飛灰濃度/主灰濃度比は1.3倍とほぼ同レベルの濃度であることが確認された。また、除染廃棄物の飛灰の逐次抽出試験の結果、80%以上が残さ残留画分であることが確認され、主灰の存在形態と類似していることが確認されるなど、今後の保管・管理に向けた貴重な知見が報告された。

最後に福島高専の内田氏らからは、放射性物質含有下水道焼却灰の減容化技術として、水熱法の適用による放射性セシウムの除去及びリンの回収技術について報告があった。水熱の温度は120°Cが放射性セシウムの除去及びリンの回収の観点から最適なこと、120°Cを超えるとセシウムの除去率が低下することが示された。セシウムの除去だけでなく、リン資源の回収という新たな視点を加えて発表であった。

セッション9 「除染・減容技術等」

座長：米田 稔（京都大学）

セッション9では4件の発表が行われた。京都大学の日下氏らからは「マイクロバブルフローテーション法による水中の放射性コロイド粒子の回収」と題し、Csを吸着させたフェロシアン化金属塩超微粒子や、難溶性SrCO₃超微粒子を、マイクロバブルフローテーション法(MBF)で浮上回収した場合、フェロシアン化金属塩はKCl 0.5 mol/Lの高い塩濃度条件下においても広いpH領域においてほぼ完全に回収できること、SrCO₃も広いpH領域で90%以上の回収率が得られることが示され、MBFによる除染副産物(放射性超微粒子)の浮上分離の有効性が示された。今後、実用プラントへの適用が期待される。

チームRAINBOWの藤本氏らからは「モルトロンオゾン

分子水による新型除染法」と題し、高濃度オゾン水を硬質コンクリート、銅板屋根、アスファルト道路からのセシウム除染に使用した場合に、高圧水洗浄除染に比べてはるかに高い除染率が得られたことが報告された。この発表に対して会場から、土壌粒子からの除去メカニズムや最終的に含まれていたオゾンはどうなるのか、といった質問があったが、まだ不明な点も多く、今後さらに詳しいデータを取得し、よりマスのバランスの取れた説明を行うことで、より有効性、信頼性の高い除染法として、実用化されていく可能性を有している。

量研機構の秦野氏らからは「排水全量の放射能モニタリング装置の実用化開発(I)」と題して、1日に最大数百トン規模の排水を原位置で全量モニタリングする装置の構造と有効性についての発表が行なわれた。角型水槽内に二重円筒を備える構造であり、排水は内筒に設置したNaI (TI) センサで計測するようになっている。除染作業で発生した排水から模擬水を作成して実験を行うことで、5インチセンサは最小検出感度0.37 Bq/L(10分計測)、2インチセンサは1.9 Bq/L(10分計測)を達成し、両センサとも濃度と計数率との線形性の対応を確認したと報告している。構造も比較的単純であり、今後の実用化が期待できる。

株式会社東芝の下田氏らからは「除去土壌を処分の固化材料とした際のCs溶出特性」と題して、SiやAlを豊富に含む土壌を、フェロシアン化物吸着剤の固化材料として用い高温処理した場合、固化材料Si/Al比に対する固化体からのCs溶出特性を評価した結果が報告された。フェロシアン化物系吸着剤の模擬として、関東化学製のMCビーズを供試し、0.3 g-Cs/g-吸着剤となるようCsを吸着・乾燥後、粉末状に粉碎したものをを用い、固化材料には粘土鉱物(バーミキュライト)や土壌(粒径20 μm以下)に非結晶SiO₂やAl(OH)₃を添加しSi/Al比をパラメータとして試験を実施している。その結果、Si/Al比は土壌そのものの値に近い、2以上にすることでポルサイト量が増加しCs閉じ込め性能の高い固化体となると考えられることが報告されている。今後、より実用性の高い、システムの開発が期待される。

セッション10 「減容技術3」

座長：西嶋 茂宏（大阪大学）

セッション10は減容化技術3と題したセッションで4件の報告があった。

まず、福島大学理工の佐藤は「溶融カリウム塩を用いた農地土壌からの放射性セシウム除去」の報告を行った。対象は農地土壌であるため、主成分は粘土であると思われるが、有機成分のため団粒構造を取っており、大きな粒径の成分も存在する。このため、粒度を90 μm以下、90～300、300～1,000、1,000 μm以上の4つのグループに分け、そのセ

シウムの除去率について検討した。セシウム除去の方法は、リン酸二水素一カリウムと硝酸を利用し加熱処理した。処理後の土壌は白色粉末となっていた。処理前の放射能強度は、16,000～26,000 Bq/kgであったが、処理後は、粒径の大きい分画で90%を超えたが、90 μm以下の分画では30%程度に留まった。この理由は、粒径の小さな成分では有機成分が多く、この分解に硝酸が消費されたことが理由でCsの土壌からの遊離に使われる硝酸が少なくなったことが推定されるとしている。

次に、長岡技科大と福島高専の共同研究で、小林が「水熱抽出法による放射性セシウム焼却灰の除染及びその減容化・安定化実証」という報告を行った。除染廃棄物の焼却灰の量が155万m³と推定されているのに鑑み、中間貯蔵施設から最終処分場への移設を考えると、その減容化技術が重要となるのが背景である。処理方法は100～180℃での水熱処理を実施する。そのCsを含んだ抽出水は吸着カラムで分離し、抽出後の使用水は、新規の抽出用の水とともに改めて水熱抽出に用いられる。抽出効果は、焼却灰の種類によって異なり、52～95%となった。抽出率の低い焼却灰は仮設焼却炉灰であり、リグニンの残存量が多いことが理由としている。抽出水処理のための吸着材はゼオライト複合繊維吸着材であり、pHが14の環境で十分な特性を示した。吸着処理後、加圧加熱加工でペレットとして減容化する(1/6の体積にできる)。一方、水熱抽出された処理灰に関しては、放射能強度の測定と溶出試験を実施している(本報告の範疇外)。結果、焼却灰の減容化率は最大98%になると結論付けている。

宮城大学の原田は、「森林バイオマスの湿式酸化による減容化・低濃度化と成分変化について」についての報告を行った。森林からのバイオマス流出による下流域水系の汚染の懸念を払しょくすることが目的である。森林エッジにある堰に滞留する落葉のセシウム濃度を経時で追跡した結果、滞留落葉入れ替えがあっても減衰せず、上流に高濃度の落葉が残存することが原因と推定された。この機構に従うと、バイオマス流出の影響は長時間続くものと考えられる。このため、エッジにある落葉からのセシウムの抽出および、抽出後のバイオマスの再利用が重要と考えられる。この考えのもと、70℃において次亜塩素酸ナトリウムでの処理を実施した。処理後、落葉中のセシウム量は15%程度まで減少出来た。また残りのセシウムは上澄み液へ移行する。この処理により、落葉中のリグニンも除去できることが明らかになり、残存成分の再利用が期待できるとしている。

北大と国環研が共同で実施した「指定廃棄物消滅処理用耐アルカリ性セシウム得意吸着剤としての界面合成フェロシアン化ニッケル」の研究を、市川が報告した。対象は指定廃棄物であり、その内訳は、土壌、焼却灰等である。分離促進剤を加え、高温処理すると、塩化セシウム及び塩化カリウ

ム等のアルカリ金属の塩化物として還流除去される。残存物は非放射性の固化物として処理されるが、放射性のアルカリ金属の処理を対象とした研究である。このアルカリ金属から効果的にセシウムを除去するための吸着体の開発であるが、吸着後はセメント固化することを想定している。そのため、セメント固化にも耐えうる、高アルカリ雰囲気でも分解しない、大量のカリウムイオンの存在下でもCsを吸着できることが求められる。そこで、新たに界面合成法を開発し、要求性能を満たすフェロシアン化ニッケルを開発した。この手法は、フェロシアン化カリウムの濃厚水溶液とニッケル塩濃厚水溶液が、2液の接触分離した2層状態を作ることにより、界面にフィルム状のフェロシアン化ニッケルを合成するものである。

セッション 11 「減容技術 4」

座長：佐藤 理夫（福島大学）

焼却灰や土壌中からの放射性セシウム除去を目的とした、実用性に優れた技術についての報告があった。JFEエンジニアリングの多田氏は、焼却灰を溶融し比重分離して得られるメタルにはセシウムがほとんど含まれないことを、モデル計算および増埒での実験で明らかにした。稼働中の灰溶融炉で排出された溶融メタルには非鉄金属が含まれないデータも示された。灰溶融炉を併設することにより、除染廃棄物の焼却施設から発生するセシウム含有の廃棄物量を削減し、メタルのリサイクルも可能となることを示唆する報告であった。県立広島大学の三苦氏は、マグネタイト微粒子を汚染土壌と混合し、磁力分離により土壌中の微粒子を分離する手法を報告した。混合したマグネタイトの量は土壌の1%程度とわずかである。簡易な乾式処理により土壌微粒子が分離できており、磁選機による連続的な分級にも成功している。分級による土壌減容化を高速化・高度化する技術として期待できる。大阪大学の行松氏および堀江氏は、湿式分級処理に磁気分離を組み合わせることによる汚染土壌分級の高度化について報告した。粘土鉱物の構造の差が磁性に現れることを利用し、強磁場を用いてセシウムを強く吸着する鉱物を分離する手法である。常温での処理で、薬品添加を必要としない、低環境負荷の手法である。医療用検査機器に用いられる磁石を用いたスケールアップの構想が示され、連続的に処理するアイデアも披露された。

粒度分布・鉱物組成分布・有機物含有量も、放射性セシウムによる汚染度合いも様々な除染土壌を処理するためには、多様な技術が必要となることが予想される。対象となる土壌の量は膨大であるので、大規模化・高速化も求められる。減容化技術の更なる発展に期待したい。

セッション 12 「水域底質の除染・計測」

座長：渡邊 泉（東京農工大学）

大会 2 日目の午前に行われたセッション 12「水域底質の除染・計測」では、4 題の口頭発表が行われた。1 題目は一般社団法人 水底質浄化技術協会の江原仁氏による『放射性物質による汚染底質の対策技術ガイドブック（暫定版）の作成について』で、同協会の技術委員会が 2015 年 3 月に発行したガイドブックの内容紹介が行われた。目次に沿って各編（全 3 編）の要点を簡潔にまとめ、最後に今後の課題として「底質の除去の考え方、たとえば除去基準や処分場所などが明確でない」点をあげ、各現場の状況に応じた対策技術の適用の必要性が指摘された。

2 題目は産総研と東京パワーテクノロジー株式会社の共同研究による『溜め池底質の放射能鉛直分布測定システムの開発（発表は産総研の小川浩氏）』で、現在すすめられている溜め池底質の放射性セシウム除去に必須となる鉛直分布情報を、より安価かつ短時間で測定できる γ 線センサーを複数個用いた簡易システム開発を行った結果が報告された。つまり、異なる分布を有する模擬土壌を作成し、開発されたシステムにより測定・推定された分布と照会し、良好な一致を得たことが発表された。

3 題目は株式会社環境総合テクノスの生野元昭氏による『水底放射能測定装置「みなそこ」を用いたため池等における底質土壌の放射性セシウム濃度オンサイト測定』で、耐圧容器と NaI(Tl) シンチレーション検出器、PC（制御装置）を組み合わせたシステムを開発し、実際の溜め池で行った測定結果を、同時に採取した底質のゲルマニウム半導体検出器による放射性セシウム分析結果と比較し、良好な一致を得たことが報告された。コンパクトかつ軽量で、様々な水域でもオンサイトで概算濃度を算出できる本システムの特長が紹介された。

本セッションの最後となる口頭発表はソイルアンドロックエンジニアリング株式会社の後藤政昭氏による『自重貫入型 RI コーンプローブを用いた底質土放射能濃度測定』で、水上に船を浮かべ手軽に底質の放射能濃度が測定できる RI コーンによる測定例が紹介され、過去に測定された自然放射線量 (BG) 分布の結果から放射能濃度が求められる結果が発表された。本法を応用することで湖、河川、そして海の沿岸部において原位置で迅速な評価がなされる可能性が示され、今後は底質表面にコーンを接触させながら牽引し測定する方法への期待も語られた。

除染の遅れている溜め池や湖底、海洋底質における放射性セシウム濃度の高精度な分布把握は、社会的にも求められている課題であり、今後のさらなる手法開発が不可欠となる。とくに強度に汚染され、現在も汚染水の負荷が続いている福島第一原子力発電所沿岸や、他の原発周辺沿岸での

調査へ発展させることは、この分野に求められている課題であろう。

セッション 13 「計測技術 1」

座長：田中 敦（国立環境研究所）

本セッションでは、地表等に沈着した放射性セシウムから放出されるガンマ線を可視化したり、指向性を持たせて測定するような計測技術の開発と応用に関する 4 題の発表が行われた。

最初に、ガンマ線可視化カメラについて、原理の異なる 3 つの方式による特徴をレビューした発表があった。ピンホール型単眼カメラでは測定時間や遮へい重量の問題、特性 X 線カメラは軽量ではあるが、地中にしみこんだ放射性セシウムを検知できない欠点があることを指摘した。それを改良した複眼ガンマカメラについて言及した。コンプトンカメラは軽量だが、積分時間を必要とする点が指摘された。ガンマ線可視化カメラは、除染やリスクコミュニケーション用途に限らず、テロ対策や医療などへの発展も見込まれる。

つづいて、コリメータとサーベイメータの組み合わせにより、150 $\mu\text{Sv/h}$ を超えるような高線量地点においても、指向性モニタリングが可能であることを示す発表があった。福島第一原発の建屋方向の観測では、法面によって建屋を見通さないケースでも、上空方向のスカイシャインの効果が明瞭に現れていた。なお、方向分画した放射線量を表記する場合の単位に留意するべきとの指摘があった。高線量地点で長時間測定することによる被ばくを避けるため、測定を自動化する試みが付言された。

電子飛跡検出型コンプトンカメラを活用し、視野角あたりの線量率を測定した例が報告された。実験室での放射性セシウム線源を用いた観測では、線源強度と比例した線量やサーベイメータと比肩できる値を得ることができた。一方、得られた結果を放射性セシウムの濃度や密度に変換する手順や、観測された場での空間線量率へ変換する方法などについては、今後の課題となる。

球殻状の遮へい体に開けた多数の穴からガンマ線を取り入れるマルチコリメータ方式のガンマカメラをドローンに積載して、上空からの放射性物質の分布を観測した報告があった。高度 10 m から下方 100 m^2 の観測を繰り返すことで、地上からサーベイメータを使って描いたものと類似した線量分布マップが得られるとともに、地上サーベイでは見逃してしまうようなホットスポット的汚染を見つけることに成功した。

セッション 14 「計測技術 2」

座長：豊田 亘博（豊田放射線研究所）

最後のセッション 14 計測技術 2 では 5 つの発表があった。谷垣（京大原子炉）らによる S14-1 「徒歩型 KURAMA-II による土壤汚染密度推定技術の開発」は前のセッション計測技術 1 で発表された 4 つの演題と密接に結び付いた汚染分布のマッピングである。原発事故後、活躍している走行サーベイ KURAMA-II を徒歩型に改良した。地表の ^{137}Cs が出す放射線を指向性検出器で測定し、もう一つの指向性のない検出器で測定して周囲からの寄与を差し引くことで土壤中の ^{137}Cs を測定している。実際に土壤を採取した試料と比較した値と良く一致しているので今後の実用化が期待される。

続く S14-2 から S14-4 までの三つの発表は汚染除去土壤が封入されたフレキシブルコンテナバッグ（大型土嚢袋）の外側から表面線量率を測定し中身の放射能濃度を推定する手法である。羽根（鹿島建設）らによる S14-2 「フレコン土壤中に含まれる放射性セシウム濃度の推定」では解析コードとしてモンテカルロシミュレーション計算コード PHITS version 2.64 を用いている。CsI(Tl) シンチレーション検出器で測定した濃度推定の結果と実際に Ge 検出器で分析したフレコンバッグ内の土壤の濃度分布を比較して、現地測定による簡便な放射能濃度の判別方法を提案している。

続く手塚（東京電力ホールディング）らによる S14-3 「不均一な放射性物質を有する除去土壤収集運搬容器に関する放射線場シミュレーション」は同じ解析コード PHITS の

version 2.52 を用いてさらに理論的な計算をおこないフレコンバッグ周りの ^{137}Cs の濃度分布を図示した。NaI シンチレーションサーベイメータを用いて簡単に推定する方法に結び付けることを目指しており今後の研究に期待する。

鈴木（キャンベラジャパン）らによる S14-4 「キャンベラ ISOCS 技術等を用いたフレコンバッグ除染廃棄物の放射能精密定量～散乱γ線等価モデル法の適用～」は同社が持っている効率校正ソフトウェアの ISOCS 技術をフレコンに適用し、Ge 半導体検出器で周囲から測定した。さらに JAEA と共同開発した散乱γ線等価モデル法も併用して今後は測定・評価・検討を重ねる予定を立てている。

以上は ^{137}Cs が崩壊して生じた $^{137\text{m}}\text{Ba}$ の放出するガンマ線を測定する工夫をした研究である。それにしても、わずかに握りに過ぎない ^{137}Cs がひとたび飛散すればそれを再び集めて管理することがいかに難しいことかを痛感させられる。

伊藤（千葉大学）らによる S14-5 「リアルタイムストロンチウム 90 カウンター」は陸上の農・畜産物と異なり海産物では ^{137}Cs の濃度から ^{90}Sr の濃度を類推することができない点に注目した。 ^{90}Sr と放射平衡にある娘核種の ^{90}Y が放つβ線をシリカエアロゲルに通すことによりチェレンコフ光を計測する工夫をした。その結果、従来の煩雑な手順と長い時間、費用をかけることなく ^{90}Sr の測定が可能になったと報告し、福島県で水揚げされる魚のえらやひれなどを試料として直接に測定することを提案している。今後、製品化するには ^{90}Y の出すβ線の自己遮蔽について考慮することが必要であるが沿岸漁業の復活にかける意欲に敬意を払いたい。

