

**【1RF-1602】多チャンネル放射能深度分布測定器の実用化と In-situ 測定法の確立 (H28~H30)**  
研究代表者 井上 一雅 (首都大学東京)

## 1. 研究開発目的

福島第一原子力発電所事故による放射性セシウムの土壌汚染に対して、その動態調査および除染作業が行われている。放射性セシウムは、徐々に表層から下方に移動する傾向にあり、土壌の性質に依存してその沈降速度が異なることから深度分布調査の実施が必要である。また、農地土壌の放射性物質を除去する際にも、適用する除染方法の決定に必要不可欠である。これに加えて、事故後の福島第一原子力発電所およびその周辺では、地下水のモニタリング法や現場管理を行っている汚染土壌の動態調査方法の確立も急務となっている。放射性セシウム濃度の深度分布を調査する方法として、スクレーパープレートを用いて土壌を表層から 30 cm 程度の深さまで 1 cm 間隔で土壌を削り取り、その土壌を実験室に設置している高純度ゲルマニウム半導体検出器などで放射性セシウムの濃度 (Bq/kg) を測定する手法が一般的に用いられている。本手法は、高精度に評価できる反面、土壌採取から試料測定までに数日間を要するため経時的なモニタリングは不可能であり、調査可能な範囲に限界がある。調査範囲を拡大するにしても、人員確保や技術者教育に膨大な費用と時間を要する。また、土壌採取場所は平坦な場所に限られ、山岳部の急斜面、地盤の緩い農地、地下水、砂地、河川の底質、ため池底での調査は困難である。

申請者は、原発事故以降、CsI(Tl)シンチレーション検出器 (1 cm<sup>3</sup>) を 10 個装備した棒状の多チャンネル放射能深度分布測定器の試作を行ってきた。本測定器は、異なる深度に設置された 10 系統の検出器から独立したエネルギースペクトルの取得が可能であり、30 分程度で放射性セシウムの深度分布を計測することができる。本装置を実用化できれば、放射性セシウムの動態調査の作業効率が飛躍的に向上し、その結果として技術者の負担軽減と経費削減、除染作業の適正化につながる。また、スクレーパープレート法では困難であった山岳部、農地、ため池底などでの調査、降雨等による土壌中の放射性セシウムの経時的変化を調査することが可能となり、これまでに得ることが困難であった放射性セシウムの動態解明につながる。加えて、本試作器を動作させるための電源を継続的に確保できれば、福島第一原子力発電所周辺の地下水や現場管理されている汚染土壌のモニタリングシステムとして応用が期待できる。本委託研究では、上記の問題解決および行政ニーズに応えるために、申請者がこれまでに検討してきた多チャンネル放射能深度分布測定器を用いた簡易深度分布調査法とその実用化を目的とした。

## 2. 研究の進捗状況

平成 28 年度の受託研究では当初の計画に沿って、①多チャンネル放射能深度分布測定器の改良と福島県双葉町における放射性セシウム深度分布調査、②校正場の設置と検出効率分布の取得、③シミュレーション体系および深層学習ニューラルネットワークの学習体系の構築を行った。本報告書提出時点では、いずれの項目においても当初の計画に対して遅延なく進行している。①の研究では、多チャンネル放射能深度分布測定器の実用化に向けて検出器数を 20 個に増やし、地表面から 40 cm までの放射性セシウムの深度分布を 1 回の測定で計測可能とした。また、福島県双葉町において従来法であるスクレーパープレートを用いた方法と本検出器を用いて 3 回の調査を実施して比較データを収集した。②の研究では、測定器から得られる計数率を放射能に換算するための係数を取得するために必要な校正場の設置を行った。校正場は、土壌を充填したアクリル製トレイ (35 × 10 × 2 cm) を 20 段積層して、上方より本検出器を挿入可能な設計とし、実験室内で可能な限り現場環境を模擬したものとした。実験では、各層に 137Cs 点線源を配置して検出器以外の校正場を回転させながらデータ収集を行った。これにより円柱型の検出器側面方向から光子が均一に入射され検出効率分布の計測を可能とした。③の研究では、PHITS および深層学習法を用いたニューラルネットワークを組合せることにより、最終的に各検出器における放射能濃度を算出可能な計算および学習体系を構築した。PHITS

の計算体系は、測定器の図面から 3D CAD および MCAM を用いて構築し、さまざまな条件下（核種、線源の形状および配置）でシミュレーションを実施可能とした。さらに、4 層の深層学習ニューラルネットワーク法を用いた学習では、PHITS 計算で得られた入力データと出力データ（正解）をニューラルネットワーク与えて学習させ、構築した深層学習ニューラルネットワークにより学習が十分可能であることを示した。

上記の受託研究を遂行している過程において、今後の検討課題についても明確にした。多チャンネル放射能深度分布測定器の実用化が進んだ場合、測定場所が制限されないため種々の用途に利用可能となるが、測定器の利用方法を明確にしてそれに求められる性能を検討する必要があることを確認した。また、PHITS 計算の導入よりさまざまな条件下でシミュレーションを実施可能となったが、計算体系のパターン（土壌質の違い）をどの程度準備する必要があるか検討する必要があることを確認した。

### 3. 環境政策への貢献(研究代表者による記述)

本装置の実用化により、福島第一原子力発電所事故により放出された放射性セシウム等の人工放射性核種の深度分布調査を現場で完結させることが可能となる。これにより、除染作業で実施されている表土の剥ぎ取り厚の適切なコントロールが可能となり、過剰な剥ぎ取りや剥ぎ取り不足を抑止、除染の効率化、汚染土の減容化および除染費用の圧縮を図ることができる。また、調査土壌試料を実験室に運び計測する必要がなくなるため、放射線管理の側面からも有用な方法となる。加えて、農地土壌の放射性物質除去に向けた取組みの中で、汚染土壌の上下の入れ替えを実施した場所において適切に土壌の入れ替えが適切に実施できたか確認するための方法として活用ができ、農業再開を円滑に推進することができる。

本測定器はモニタリングシステムとしても活用も期待でき、特に福島第一原子力発電所周辺で現場管理されている汚染土や周辺地下水のモニタリングに有用な技術となる。深度分布調査が可能な場所については、スクレーパープレートを用いた従来法では調査地点が平坦な場所に限定されていたが、提案法は測定場所の制限がないためこれまで調査が困難であった地盤の緩い農地、急斜面山林、海浜等における放射性セシウムの移行状況を確認することができ、宅地以外の土地においても調査結果にもとづいた適切な除染計画を立てることができる。

### 4. 委員の指摘及び提言概要

順調に推移しているが、深度方向の一次元計測とディープラーニングの組み合わせで、線量の 3 次元空間分布を絶対値として導出し、その検証まで含めて 3 年間で達成できるかどうかは今後の進展にかかっている。土壌の汚染分布は一様でなく、含水率や土質によって測定時の汚染のかく乱もあるので注意が必要。若手枠であるが、簡易モニタリングはニーズが高いため、実用性のある成果を期待したい。

### 5. 評点

総合評点：A