

研究背景と目的

- ✓ 福島第一原子力発電所事故による被災地では、事故由来の土壌汚染に配慮しながら農地等を利用するために、高い放射線量の原因となっている土壌中の放射性セシウム(Cs)濃度の鉛直方向分布を住民自身が調査する必要がある。
- ✓ スクレーパープレート法による測定は膨大な工数を要しかつ調査可能範囲が平地に限られるため、可搬型放射能深度分布スペクトロメータ(DDS: Depth Distribution Spectrometer) [1]を開発した(図1)。
- ✓ DDSで測定した放射線エネルギースペクトルから土壌中の放射性核種(RI: Radioisotope)の鉛直方向位置及び放射能濃度(Bq/kg)を推定する問題は、光子飛跡の非直進性等から確率的非線形逆問題となる(図2)。その求解のために、粒子輸送数値シミュレータ(PHITS: Particle and Heavy Ion Transport code System) [2]とニューラルネットワークを用いた放射能深度分布推定システムを構築した。
- ✓ その推定精度向上のためには、学習データ(DDSの実測データに酷似したPHITSデータ)を大量に作成する必要がある。現在、敵対的生成ネットワークによるPHITSデータの拡張をするなどして対応を検討しているものの[3], 未だ解決の目処は立っていない。

[1] M. Sakama, et. al., *Radiation Protection Dosimetry*, 2019.

[2] T. Sato, et. al., *J. Nucl. Sci. Technol.*, 2024.

[3] M. Azam, et. al., *J. Signal Processing*, 2023.



図1: 放射能深度分布測定

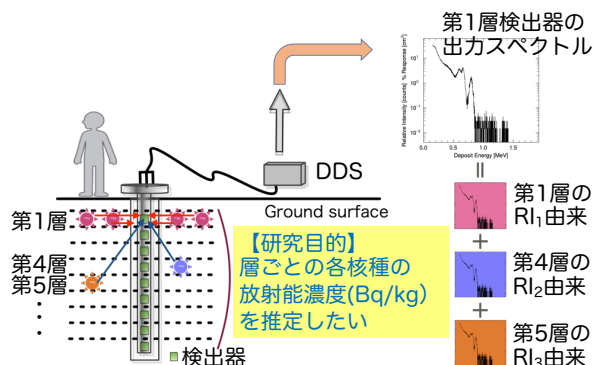


図2: 放射能深度分布推定問題

複数核種からなる放射能深度分布推定問題の定式化

- ✓ 機械学習システムに頼らない放射能深度分布推定法を提案する。
- ✓ 福島原発被災地の土壌には、事故由来のCs-134, Cs-137のほか、ヨウ素やカリウムなど複数種類のRIが含まれる。
- ✓ いま、 C 個のチャネルを持つ N 個の放射線検出器からなるDDSを土壌内に埋め込み、土壌中の N 層に分布する K 種類のRIから放出される放射線(光子)のエネルギースペクトルの測定値 X から各層におけるRIの真の濃度分布 S を推定する問題を考える(図3)。土壌内のRIから放出される光子の観測過程を行列 A で表現すれば、 $X = AS$ から S の近似 R を求める逆問題(最適化問題)として定式化できる[4]。なお A の要素値は、PHITSを用いて事前に計算しておくことができる。

[4] K. Nokubo, et. al., *NOLTA2024*, Vietnam, Dec. 2024.

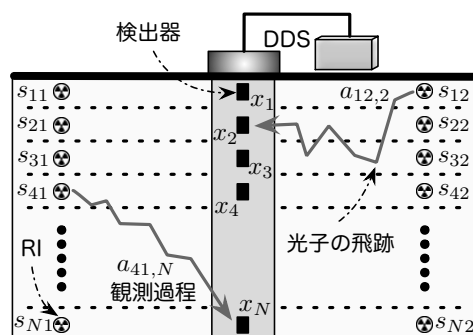


図3: 放射能深度分布推定問題の定式化

離散時間力学系を用いた求解(分布推定)法と実験結果

- ✓ 逆問題における真の解 S を離散時間力学系の固定点に対応させ、近似解 R の求解問題を下記の離散時間力学系の初期値問題に帰着させる。なお、この離散時間力学系の元となる連続時間力学系[5]は、非負の初期値を与えれば必ず非負の近似解を求められる。ここで h は、連続時間力学系[5]をオイラー法で離散化した際のステップ幅である。

$$R_{k+1} = R_k - h \text{diag}(R_k) A^T (AR_k - X) \quad (1)$$

- ✓ Cs-134及びCs-137が20層の土壌中に分布している状況を想定した例題を作成し、式(1)の離散時間力学系を用いて各RIの放射能深度分布を推定したところ、図4に示すとおり良好な結果が得られた。

[5] K. Fujimoto, et. al., *Commun. Nonlinear Sci. Numer.*, 2010.

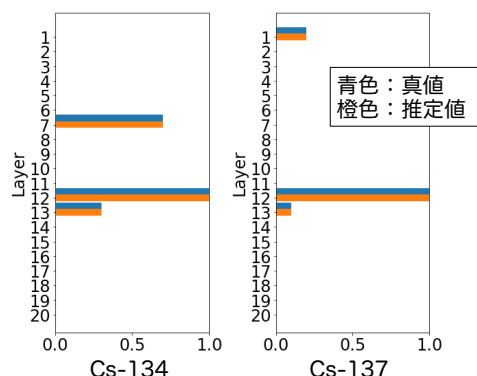


図4: 離散時間力学系による放射能深度分布推定結果