

卒業論文概要書

CD

2015年 1月提出

学籍番号 1Y11B010-2

所属学科	応用物理	氏名	岩本 康弘	指導員	片岡 淳 印
研究題目	散乱ガンマ線を用いた放射性物質の3次元深度分布推定法				

【はじめに】

福島第一原子力発電所事故の影響で種々の放射性物質が環境中に飛散した。とくに半減期が30年と長く、高エネルギー(662keV)のガンマ線を放出する¹³⁷Csは外部被曝の主な要因となる。そこで近年、除染作業効率化のため様々なガンマ線可視化技術(ガンマ線カメラ)が提案され、福島県の被災地や原子炉周辺におけるホットスポットの発見に大きく貢献している。しかしながら、ガンマ線カメラで得られる画像は通常の可視カメラと同様に2次元であり、線源までの距離情報、例えば土壌中や水中の深さ情報を得ることは困難である。

本研究では、物質中に分布する線源の深さ位置を3次元かつ非破壊的に計測する全く新しい測定手法を考案した【特願2015-12203】。これは、物質中に存在する線源の深さが増加するほど物質内でコンプトン散乱を起こすガンマ線(散乱線)の比率が増大することを利用したものであり、深度を反映する指標として、①散乱線発生位置の2次元的な広がり(手法1)と、②エネルギースペクトルにおける全吸収ピークに対する散乱線の比率(手法2)の2つに対してそれぞれ評価を行った(図1)。

本研究は、まず点線源など簡単な状況を想定し、様々な物質に対して手法1に関してはシミュレーション、手法2に関しては実測で線源の物質中深度を推定可能であることを示す。さらに、これらを踏まえた上で、12月に実施した福島県でのフィールド環境での実地調査結果についても報告する。

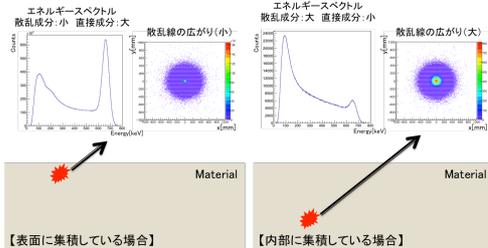


図1 線源の位置する深度の差異によるエネルギースペクトルと散乱線の発生位置の広がり(小)の違い

【エネルギースペクトルによる深度推定法(手法1)】

線源を¹³⁷Csとしたとき、散乱線のエネルギー領域を50~150keVとし、直接線は612~712keVとした。本手法は、直接線の計数に対する散乱線の計数の比率を求めることで深度を推定する。図2(左)はコンプトンカメラで得られた砂中の各深さのエネルギースペクトルを662keVの計数で規格化したものであり、直接線に対する相対的な散乱線の傾向を示している。コンプトンカメラによる実験で得られた砂中の深さと直接線に対する散乱線の比率を図2(右)に示す。図2(右)を用いて、深度が未知の線源につき推定実験を行ったところ、実験から求まる深さは 7.9 ± 0.2 cmとなり、真の線源深さ8.0cmに十分に近い値となった。

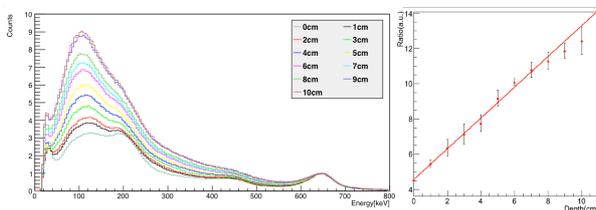


図2 (左)662keV計数で規格化したエネルギースペクトル (右)砂中の深さに対する直接線に対する散乱線の比率

【散乱線の発生位置による深度推定法(手法2)】

Geant4シミュレーションを用いて、¹³⁷Csの散乱線の可視化画像を模擬するために、ガンマ線が物質中で最後にコンプトン散乱した位置情報と方向ベクトルを取得し、物質表面での散乱線の広がりを評価した。代表的な散乱線の物質表面での広がりを図2に示す。広がり(図2をx軸に射影し、得られたヒストグラムのFWHM(半値全幅)と定義した。点線源を深度0cm~10cmまで変化させ、深度と散乱線の広がりの関係を求めた。深度と散乱線の広がり(図2)の間には相関がみられ、相関係数は0.989となった。このことから、散乱ガンマ線の可視化画像から線源の物質中の深度を推定することが可能であることが示唆された。

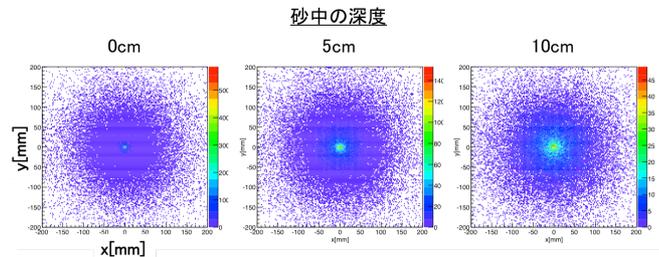


図2 100~200keVエネルギー帯の散乱線発生位置の広がりの例

【フィールド実験@福島県浪江町】

2014年12月、大河内研究室(創造理工学部)の協力のもと、福島県浪江町でエネルギースペクトルによる深度推定法の実地実験を行った。福島県における地中の放射性物質の分布状況は複雑で、深さ方向に指数分布することが知られている。このような状況でも、表面の放射性濃度が1/eになる深さ(緩和深度)を求めることで、測定地点の深度分布が推定できる。

Geant4シミュレーションを用いて福島県の環境を再現するため、線源を深さ方向に指数分布させ、2次元方向の広がりは一様と仮定した。結果としては、シミュレーションデータベースから緩和深度を推定することは概ね可能であると言える。改善の余地としては、土壌の組成、密度の再現や福島県の複雑な環境のより細かな再現などが挙げられる。

【まとめと今後】

Geant4によるシミュレーションで散乱線の発生位置の広がり(図2)と深さの間には相関関係があり、深度推定が可能であることが示唆された。また、エネルギースペクトルから直接線に対する散乱線の比率を求めることで、深度推定が可能であることが実証された。

今後の課題は、現在の散乱線のエネルギー領域は暫定的なものであるため、最適な領域を見出すことである。また、手法1の散乱線の発生位置の広がり(図2)と深さの間の相関関係が、実機実験でも再現可能であるか実験を行う。そして、福島県等の複雑な放射性物質の集積状況を想定した測定手法の確立を目指す。

本研究は様々な分野に応用可能であり、その一例としてSPECT(単一光子放射断層撮影)などの医療技術と組み合わせることで、医療用放射性核種の集積位置が3次元的に得られるため、より正確な診断が可能になることが期待される。