

海底土中の放射性核種の鉛直分布推定可能な海底 γ 線計測システムについての調査検討

(公財)日本海洋科学振興財団 むつ海洋研究所 分析部 研究員 小藤 久毅

2011年3月に発生した東京電力福島第一原発事故により大量の放射性核種が環境中に漏洩し、現在も広範囲が ^{134}Cs 、 ^{137}Cs で汚染されている。海洋環境においては、海水中の ^{134}Cs 、 ^{137}Cs は比較的速やかに濃度が低下し、現在では福島第一原発直近の海域以外では、事故前と同オーダーの濃度となっている。その一方、海底土中の濃度変化は緩やかであり、事故前より高い濃度が長期に渡り継続すると考えられる。底棲の魚類においては未だに食品基準値を超える放射性セシウム濃度が時折検出され、人間生活への影響が懸念される。この様に、原子力災害等により海洋環境の放射能汚染が発生した場合、海洋環境での放射性核種の移行過程を明らかにするための基礎データとして海底の放射能汚染分布情報は重要性を持つ。

海底の放射能汚染調査では、多くの場合、実際に汚染海域にて多数の点から海底土を採取し分析することで海域での水平分布及び海底土中の鉛直分布についてのデータを取得しており、広範囲の放射能汚染を把握するには多大な労力と時間を必要とする。In-situ γ 線スペクトロメトリーは海底での連続的なデータが取得できるため、海底の放射能汚染の水平分布把握に有効な手法である。しかしながら、現状では海底土を採取して分析することで得られる放射性核種濃度データの補間的調査として利用されているに過ぎない。In-situ γ 線データから海底土中の放射性核種の鉛直分布についての情報を得られるなら、試料を採取することなく海底土中の放射性核種の水平分布と鉛直分布を同時に求めることができることとなる。

γ 線は海水や海底土によって吸収・散乱されるため、吸収・散乱の状況から放射性物質までの距離についての情報が得られる。更に、海底と検出器の位置関係を把握した上で海底土による吸収・散乱の影響を計算することで、海底土中の放射性核種の鉛直分布についての情報が得られる可能性がある。本調査研究では、この原理を用いて、in-situ γ 線データから堆積物中の ^{137}Cs の鉛直分布を推定する手法について、コンピュータシミュレーション及び実海域での試験により検討し、データ解析法及び計測システムについて取りまとめた。

モンテカルロシミュレーションによる検討

コンピュータシミュレーションによる検討では、EGS5 コードを用いたモンテカルロシミュレーションを実施し、堆積物中の ^{137}Cs 分布層厚と検出器・堆積物の位置関係、更には検出器の形状による γ 線データの変化を試算した。計算により、 ^{137}Cs 分布層厚の増加に伴い662keV γ 線の全吸収ピークカウント/トータルカウント比が減少するとともに、堆積物

との位置関係が異なる 2 台の γ 線検出器及び堆積物に対する指向性が異なる 2 台の検出器でも、2 台での全吸収ピークの面積の比が減少することが確認された。この関係を利用して、 ^{137}Cs 分布層厚について、ピークカウント/トータルカウント比から推定する方法、2 台の検出器での全吸収ピーク面積の比から推定する方法について提示し、さらに、それぞれの手法を実施する場合に必要なとされる検出器性能及び測定条件について整理した。

海上試験

考案した手法のうち、in-situ γ 線計測システムで広く普及している NaI(Tl) 検出器で実施が可能な、海底との距離を変えて設置した 2 台の検出器でのピーク面積比を用いる手法について確認するため、2014 年 7 月 29 日及び 30 日に、福島第一原発事故由来の ^{134}Cs 及び ^{137}Cs が海底土中で検出される宮城県仙台湾にて海上試験を実施した。試験では、3" ϕ 球形 NaI(Tl) 検出器、CTD センサ、水中ビデオカメラ等を搭載した in-situ γ 線計測システムを使用し、水深 36~40m の海底を曳航して γ 線データを取得した。また、in-situ γ 線データとの比較用に、曳航コース上の 3 地点で堆積物試料の採取を行った。採取試料は実験室に持ち帰り、湿潤密度、含水率、 ^{134}Cs 及び ^{137}Cs 濃度等を測定した。試料中の ^{134}Cs 及び ^{137}Cs 濃度は、それぞれ $\text{ND}(<1.0)$ ~ 27.4 ± 0.8 及び 2.4 ± 0.4 ~ $82.5 \pm 1.2 \text{Bq/kg-dry}$ であった。

In-situ γ 線計測システムでの海底曳航で得られた γ 線スペクトルでは堆積物に存在する ^{134}Cs 及び ^{137}Cs の γ 線ピークが確認され、更に海底との距離を変えて設置した 2 台の NaI(Tl) 検出器での 662keV ピーク面積の比から ^{137}Cs の分布層厚を推定した。堆積物中の ^{137}Cs 濃度が低いこと及び検出器~堆積物の距離の把握がカメラ映像によるもので不確かさが大きかったため、 ^{137}Cs 分布層厚は 3~10cm 程度と非常に広い幅でしか推定できなかったが、採取堆積物の分析結果と矛盾はしないものであった。堆積物中の ^{137}Cs 濃度が 10~20 倍程度あればピーク面積比の計数誤差が 1/4 程度になり、より具体的な分布層厚が推定できるものと考えられた。

海底土中の放射性核種の鉛直分布推定手法及びシステム

上記の結果を元に検討した、海底土中の放射性核種の鉛直分布情報推定のための適切なデータ解析法及び in-situ γ 線計測システムをより高性能化する方法について取りまとめた。

・データ解析方法

対象海域の堆積物の大よその密度を仮定し、モンテカルロシミュレーションにより、検出器~堆積物距離及び ^{137}Cs 分布層厚と γ 線の計数効率の関係を算出しておき、これと海域での in-situ γ 線計測データから ^{137}Cs 分布層厚を推定するとともに、体積あたりの ^{137}Cs 濃度 (Bq/cm^3) を算出する。密度及び含水率データは曳航調査時に同時に何点かで採泥を実施して取得し、これを用いて重量あたりの濃度 (Bq/kg-wet または Bq/kg-dry) に換算する。

・ In-situ γ 線計測システムの高性能化

海底との距離を変えて 2 台の NaI(Tl) 検出器を設置する方法は、安定な曳航データ取得の点で問題があるため、指向性の異なる 2 台の検出器を使用して曳航体下部への突き出しを無くすることで、より良好な in-situ γ 線計測が実施できると考えられる。また、LaBr₃ シンチレーション検出器のような、NaI(Tl) 検出器よりもエネルギー分解能に優れた検出器を使用することでピーク/トータル比が比較的正確に計測でき、1 台の検出器のデータから ¹³⁷Cs 分布層厚が推定できると考えられる。これによりシステムがコンパクト化できる。