

## 論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称	博 士 ( 理 学 )	氏名	難波江 靖
学位授与の要件	学位規則第 4 条第①・②項該当		
論文題目			
<p>Studies on Migration Pathway from the Japan Sea to the Sea of Okhotsk of Radioactive Cesium Derived from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant</p> <p>(福島第一原子力発電所に由来する放射性セシウムの日本海からオホーツク海への移行経路 に関する研究)</p>			
論文審査担当者			
主 査	教 授	中島 覚 (自然科学研究支援開発センター)	
審査委員	教 授	井上 克也	
審査委員	教 授	水田 勉	
審査委員	教 授	石坂 昌司	
〔論文審査の要旨〕			
<p>2011 年 3 月に発生した東京電力福島第一原子力発電所(FDNPP)の事故では、環境中に大量の放射性物質が放出された。この放射性物質は環境中を移行しながら生物にも取り込まれ、外部被ばく、内部被ばくの原因となる。この移行経路を明らかにすることは、放射線災害復興を推進するフェニックスリーダー育成プログラムにとって重要な研究課題であり、放射化学が貢献できるところである。</p> <p>海上保安庁の調査より、北海道石狩湾の海底土からは原子力発電所の事故に特有の <math>^{134}\text{Cs}</math> が検出された。東北地方や太平洋における放射性物質の拡散状況や移行経路については測定結果や研究などが多数報告されている。しかし、日本海やオホーツク海における放射性物質の移行経路についての研究は限定的である。なお、北海道庁農政部の調査より、北海道の農業試験場の土壌では <math>^{134}\text{Cs}</math> は不検出で、<math>^{137}\text{Cs}</math> は過去 3 年より低いことが分かっている。文部科学省の航空機モニタリングから北海道の放射能汚染は大変少ないことが分かっている。これらの調査より石狩湾海底土の <math>^{134}\text{Cs}</math> は大気経由とは考えにくい。また、海上保安庁の調査より、日本海で 2011 年の <math>^{137}\text{Cs}</math> 濃度が前年に比べて高く、2012 年には 2010 年の値に戻っていることが分かっている。そこで本研究は FDNPP に由来する放射性セシウムの福島から石狩湾までの移行経路及び石狩湾からその先の移行経路を明らかにすることを目的とした。</p> <p>放射性セシウムの移行経路を明らかにするため、直江津沖、加茂沖、酒田沖、宗谷海峡、野付水道で合計 43 点の海底土を採取した。海底土は乾燥後、2 mm のふるいを通したものを試料として Ge 半導体検出器を用いて放射能を測定した。測定時間は 8 万秒から 60 万秒で、試料は 100 又は 2000 <math>\text{cm}^3</math> を測定した。</p> <p>Ge 半導体検出器で測定した <math>\gamma</math> 線スペクトルより 605 keV 及び 662 keV のピークよりそれぞれ <math>^{134}\text{Cs}</math> と <math>^{137}\text{Cs}</math> の放射能を算出した。<math>^{134}\text{Cs}</math> と <math>^{137}\text{Cs}</math> の放射能濃度の関係を 2011 年 3 月 11 日に減衰補正してプロットした。FDNPP 事故時の <math>^{134}\text{Cs}</math> と <math>^{137}\text{Cs}</math> の放射能濃度比は 1 : 1 であることが分かっているため、<math>^{137}\text{Cs}</math> の放射能濃度をグローバルフォールアウト由来と</p>			

FDNPP 由来に分離することができた。

採取海域で一番  $^{134}\text{Cs}$  濃度が高い地点の値と移行距離との関係を調べた。移行距離が増加すると  $^{134}\text{Cs}$  の濃度は減少しており、移流・拡散に類似した現象が見られた。しかし、直江津沖の海底土からは  $^{134}\text{Cs}$  が検出されなかった。同様のプロットを  $^{137}\text{Cs}$  についても行い、 $^{134}\text{Cs}$  と類似の放射能濃度の移行距離に対する減少を確認した。これらの結果より、直江津沖には東方向へ流れる対馬暖流が存在していることから、放射性セシウムの日本海への流出源は直江津より東の地域であると限定された。

放射性セシウムは海中を移動しても海底土の種類により吸着されない可能性があるので、海底土の粒度分析を行った。すでに 95%以上の分級が可能な条件が分かっているため、同様の条件でふるいを使用し、Coarse sand, Medium sand, Fine sand, Clay-Silt に分級してその割合を求めた。直江津沖以外の海底土では、 $^{134}\text{Cs}$  が検出された海底土と検出されなかった海底土があった。 $^{134}\text{Cs}$  が検出された海底土では Clay-Silt, Fine sand の割合が高いことが分かった。それに比べて  $^{134}\text{Cs}$  が検出されなかった海底土では Clay-Silt, Fine sand の割合が低いことが分かった。一方、直江津沖では全ての海底土から  $^{134}\text{Cs}$  が検出されなかった。直江津沖の海底土を分級したが、Clay-Silt の割合が高い地点でも  $^{134}\text{Cs}$  が検出されなかった。これは、 $^{134}\text{Cs}$  を含んだ水塊が直江津沖に移行したにも関わらず吸着可能な Clay-Silt が存在しなかったためではなく、 $^{134}\text{Cs}$  を含んだ水塊が直江津沖に移行しなかったためであると考えられた。

距離が近い酒田沖と加茂沖の Clay-Silt の割合と  $^{134}\text{Cs}$  及び  $^{137}\text{Cs}$  の濃度をプロットした。同じ Clay-Silt の割合の点で、 $^{137}\text{Cs}$  の濃度が  $^{134}\text{Cs}$  の濃度より高く観測された。これは、グローバルフォールアウトのためである。そして、最も粒径が細かい Clay-Silt の割合が増加すると放射性セシウムの濃度が増加するという相関関係が見られた。これは一般にセシウムが Clay-Silt に吸着されやすい性質と一致し、海底土においても Clay-Silt が放射性セシウムを多く吸着していることを示唆している。

放射性セシウムが海流により移行し拡散していることを確認するため、移流拡散方程式を使用して海底土における  $^{134}\text{Cs}$  の濃度についてシミュレーションを行った。海流の流速などはすでに分かっている値を用いた。海流が流れる方向のみを考慮すると、加茂沖から石狩湾まで測定値とシミュレーション値とは同様の減少傾向が見られた。これはシミュレーションに使用した海流が  $^{134}\text{Cs}$  を含む水塊を移行し拡散したことを示唆している。なお、宗谷海峡以降でシミュレーションに比べて実測値が低かったが、対馬暖流の一部が宗谷暖流になること、そして東樺太海流が流れ込むためであると考えられる。また、阿賀野川沖の値を再現できなかったが、これは海流だけでなく阿賀野川からの流れ等を考慮する必要があるためであると推測された。

本研究は、福島第一原子力発電所の事故により環境中に拡散した放射性セシウムの一部は、直江津より東の地域から日本海へ流出し、海流によって野付水道へ運ばれたとことを示す結果である。また、加茂沖、酒田沖での FDNPP 由来の  $^{137}\text{Cs}$  の濃度はグローバルフォールアウト由来のものと同程度であることを示すものである。

以上、審査の結果、本論文の著者は博士（理学）の学位を授与される十分な資格があるものと認める。

公表論文

1. Observation of radiocesium in seabed soil at the Notsuke Strait of the southern Sea of Okhotsk derived from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant.

Y. Nabae, S. Miyashita, and S. Nakashima

*Radiation Safety Management*, **15**, 9-15 (2016).

2. Observation of radioactive cesium in seabed soil at the Soya Strait derived from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant.

Y. Nabae, S. Miyashita, and S. Nakashima

*Radiation Safety Management*, **16**, 8-12 (2016).