

5. 海洋における福島第一原子力発電所事故由来 放射性物質の長期動態

津旨 大輔^{1*}・坪野 考樹¹・三角 和弘¹・三浦 輝¹・立田 穰¹・豊田 康嗣¹

¹電力中央研究所（〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子1646）

* E-mail: tsumune@criepi.denken.or.jp

福島第一原子力発電所事故によって、放射性物質が海洋に放出された。主要な放出経路として大気からの降下と原子力発電所福島第一原発敷地からの直接漏洩がある。それぞれの放出率の推定が行われると共に、沿岸域および北太平洋スケールの環境動態解析が行われた。また、海底堆積物および海生生物への移行過程の解析が行われ、その際の高線量粒子の役割についての検討も開始されている。これまでの研究成果をまとめ、将来予測も含めた今後の展望を述べた。

Key Words : Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident, Radioactive material, Ocean, Environmental dynamics, Model

1. はじめに

東日本大震災に伴う福島第一原子力発電所事故（以下、福島第一原発事故）によって海洋にも放射性物質が放出された。放射性物質による海洋汚染によって、漁業自粛や出荷制限などの影響が生じた。事故から8年経過したが、海洋汚染の収束には至っていない。事故当初、海洋への放射性物質の放出事故に対するモニタリング体制は構築されていなかったが、事故から9日後の2011年3月21日から海洋モニタリングが開始され、その後、時間頻度および空間密度が増加した。しかし海洋モニタリングは、船舶による採水が必要であることなどから、動態解明に十分なデータは得られたとは言えない。限られたモニタリングデータを補うための研究観測や海洋モデルとの組み合わせなど、動態解明に対する取り組みが行われているが、まだ未解明な点が残されている。ここでは放出量が多い¹³⁷Csを対象とし、動態解明の現状と残された課題を述べる。

2. 海洋への供給過程

福島第一原発から大気を経由せず海洋へ直接漏洩した¹³⁷Cs量については、2011年3月21日から福島第

一原発近傍海域において連続した観測が行われていることから、比較的精度の高い推定が出来ている。初期の推定値にはばらつきが大きかったが、現状では3-6PBqと推定値の幅は狭まっている。また現在において漏洩率は大幅に減少したものの継続しており、今後のモニタリングも重要である。一方、大気へ放出後に海洋へ降下した¹³⁷Csについては、陸地への降下量が航空機モニタリングなどで明らかとなったこととは違い、未解明な点が多い。大気拡散モデルによる海洋への降下過程の再現が行われているが、観測データの不足のため推定結果のばらつきが大きい。大気から海洋への降下過程の把握は、海洋中の¹³⁷Cs動態を把握する上でも重要であるため、限られたデータを組み合わせ、事故初期まで遡った検討が必要となる。また陸域に降下した¹³⁷Csは河川を通じて海洋へ供給される。これまでは継続している直接漏洩の影響と比べ、河川供給の影響は小さかった。河川影響のほうが長期化する傾向があるため、今後は河川供給過程を評価する必要があると考えられる。

3. 沿岸域での動態

沿岸域における動態では、福島県のみならず茨城県と宮城県、沖合方向へも数100km程度の海域がモ

ニタリングの対象となった。放出された ^{137}Cs は南流と北流が卓越する沿岸流によって、沿岸に沿って南北に拡がる。また親潮によって南下した ^{137}Cs は黒潮に沿って東方向に運ばれた。沖合いにおいては中規模渦による濃度のばらつきが大きく、黒潮水の濃度は非常に低かった。高感度トレーサである ^{137}Cs を対象とするために、これまで評価対象とならなかった沿岸と外洋の中間規模の数100kmの海域スケールを対象とし、沿岸過程と黒潮や中規模渦を同時に再現するモデル化への取り組みが行われた。複数モデルの比較プロジェクトが行われたが、供給シナリオは統一されておらず、モデルパフォーマンスの比較には至っていない。そのため、将来の過酷事故を想定したモデルの利用のあり方においても検討の余地が残されている。

4. 北太平洋での動態

北太平洋スケールにおいては、2011年4月から北米経路のタンカーなどの篤志船を用いた ^{137}Cs の観測など、研究観測が実施された。北太平洋における ^{137}Cs は海流によって東に運ばれ、低濃度であるが一部はアメリカ沿岸に到着した。さらに一部は中層水として取り込まれ、中層水形成のトレーサとしても利用されている。濃度は低下し続けているが、今後も継続的な追跡が可能である。 ^{137}Cs は海洋学的トレーサとして有効であると考えられており、IAEAの国際共同研究も進行中である。大気圏核実験による北太平洋の ^{137}Cs の存在量は、1960年代前半には270PBqと推定されている。事故直前の2010年には、核種の崩壊と他の海洋への流出によって60PBqまで減少していた。その後、福島第一原発事故による大気からの降下によって12-15PBq、直接漏洩によって3-6PBq、併せて15-21PBq増加したと推定されている。

5. 海底堆積物への移行

海洋に供給された放射性物質の一部は海底堆積物に移行する。海底堆積物中の放射性物質濃度の低減

率は、海水中の濃度よりも遅い。海底堆積物中の放射性物質は、底生生物の汚染経路となる可能性があるとともに、再懸濁、生物的擾乱、および間隙水からの溶出を通じて、海洋への長期的な発生源となり得る。事故以降、主に海底コアサンプルの採取や表層堆積物の採取によって、海底堆積物中の ^{137}Cs の観測が行われてきた。海底堆積物中の ^{137}Cs の存在量は、海洋へ放出された ^{137}Cs の1%以下であった。しかし海底堆積物が、数十年から数十年間、長期にわたる重要な ^{137}Cs の発生源であり続ける可能性は否定できないため、継続的な観測が必要である。

6. 高線量粒子

福島原発事故においては、大気エアロゾルや陸上において、 ^{137}Cs を多く含む不溶性の高線量粒子が観測された。海洋においても高線量粒子の検出が報告され始めている。陸上に比べて採取が困難であるが、堆積物および懸濁物に対する存在割合、生物への影響、河川からの供給過程など、動態解明において、その役割を把握しておく必要がある。また海域のみに存在する高線量粒子の発見に繋がる可能性も期待出来る。

7. 海生生物への移行

海洋生物への移行は、海水から海洋生物の体内へ直接移行する経路と、餌である他の海洋生物を摂食することで移行する経路の2つがある。事故初期の高セシウム濃度海水からの移行により、食品の基準値(100Bq/kg)を大きく越える濃度の海生生物が採取され、漁業の自粛、出荷制限に繋がった。現在は、基準値を超える濃度の海生生物はほとんど見られなくなった。しかし移行過程には未解明な点が多く、従来の濃縮係数による整理ではなく、海生生物種毎の海水と餌からの取り込みおよび排出の動的な解析が、今後とも必要となる。また、事故直後のプランクトンも含めた海洋生物への移行過程の理解が鍵となると考えられ、事故初期のデータの再解析も重要である。