領域海洋モデルで得られた北太平洋における ¹³⁷Csの現況

坪野 考樹^{1*}・三角 和弘¹・津旨 大輔¹・青山 道夫²

¹一般財団法人電力中央研究所 環境科学研究所 (〒270-1194千葉県我孫子市我孫子1646) ²福島大学 環境放射能研究所 (〒960-1296 福島県福島市金谷川1番地)

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

大気圏核実験・福島第一発電所事故(F1NPP)等で北太平洋に流入した¹³⁷Csの海域の拡散形態を把握するために、領域モデルである領域海洋モデルROMSを用いて、1945年から2020年までの北太平洋における¹³⁷Csの計算を実施した.2017年9月の北太平洋の表層における¹³⁷Csはごく一部の海域を除いて、約1~1.5 Bq m⁻³の間で広く分布し、事故前と同程度の濃度となった.F1NPP事故前後の¹³⁷Cs濃度の低減について半減期を検討した結果、事故により一時的に表層で総量が増えたが、表層では中層と比べて総量の低減が大きく、表層から中層への移行する様子が分かった.

Key Words: ¹⁷⁴Cs Activity, North Pacific Ocean, Regional Ocean Modeling Systems

1.はじめに

2011年3月11日に発生した津波により,福島第一原子 力発電所(以降,FINPPと記述)において事故が発生し, ¹³⁷Cs,¹³⁴Csなどの放射性物質が放出され,そのほとんど が北太平洋に拡散した.海域に拡散した放射性物質の経 路は,水素爆発により大気から海面に降下した経路と, 発電所からの汚染水が港内取水口近傍から直接漏えいし た経路である^{21,31,45}.

坪野ら¹は,北太平洋に放出された¹³⁴Csの総量を,大 気からの降下した時系列^{3,3}と直接漏えいの時系列⁴の推 定結果を用いて,北太平洋を対象としたモデルによる拡 散計算を実施し,観測された¹³⁴Cs⁵と比較してこれら総 量の合計を推定した.この結果,F1NPPの事故で北太平 洋に増加した¹³⁷Cs,¹³⁴Csはそれぞれ16PBqであった.

¹³⁷Csの半減期は、約30年と長く、北太平洋の¹³⁷Csは、 過去に実施された大気圏核実験により降下した影響が 2011年においても観測されている^{2) 3, 4, 5}. 大気圏核実験 は1960年代に盛んに実施され、事故前に観測される¹³⁷Cs は、ほぼこの年代に降下した¹³⁷Csの影響がほとんどを占 める⁹.

事故から6年目になる現状の北太平洋ので¹³⁷Csの濃 度・総量については、事故直後の¹³⁷Csに比べて、低減し ていることが予想される.そして、事故前の大気圏核実 験による¹³⁷Csの低減と事故後6年間の低減の仕方を比較 することは、今後の低減について考える上で有用な情報 となると考えられる.そこで本研究では、現状の表層におけるで¹³Csと低減について検討を実施した.

2. 数値モデルの概要

数値モデルとして、地域海洋モデルであるROMを用 い、Csの拡散挙動を計算した.計算領域を20°S - 65°N、 109°E - 75°Wの北太平洋領域とし、日本周辺を1/12°、そ の他領域を1/4°の可変メッシュのグリッドを採用した. 境界条件に気候値を用いて、北太平洋の気候的な状態を 再現した.また、海氷モデルの代わりに、海氷の発達す る領域を観測値に同化する手法を用いた.

大気圏核実験やチェルノブイリ事故で大気から北太平 洋に降下した¹³⁷Csフラックスについては、Tsumuneら[®]が 設定したフラックスと同様に、降雨と¹³⁷Csの降下濃度か ら設定した.また、FINPPの事故による¹³⁷Csのフラック スは坪野ら¹⁰の大気からの降下と直接漏洩の量を設定し た.

¹³⁷Cs の計算は坪野ら¹⁰の計算と同様に30年のスピンア ップした結果を初期値として、1945から2010年にかけて、 大気圏核実験による影響による北太平洋の¹³⁷Csについて 計算を実施した.そしてFINPP事故の影響の計算を2011 年から2020年まで計算した.ただし、駆動力について気 候値を用いていることから、¹³⁷Csの拡散開始時期を1年 ずつ分岐させてた5ケースのアンサンブル計算を実施し た.以降の計算結果の評価については、5メンバーの平 均値を用いた.

3. 計算結果

(1) 表層における¹³⁷Csの比較(2011年9月と2017年9月の 結果)

図-1に2011年9月と2017年9月の表層における¹³⁷Csの結 果を示す.2011年9月の北太平洋の表層では、比較的高 濃度の¹³⁷Csのプルームが北太平洋の西側に存在し、約 40°Nに沿って東側に拡散している.2017年9月での北太 平洋の表層では、比較的高濃度の¹³⁷Csは福島沿岸のみで 存在するが、北太平洋全体で¹³⁷Csは、濃度が全体的に低 減し、濃度勾配は小さいながらも東高西低となった. 2017年9月における¹³⁷Csの分布の濃度は1から2Bq m³とな り、事故前の濃度と同程度であった³⁾.唯一、20°N、 135°E周辺に比較的高い濃度を示す領域があるが、¹³⁷Cs は約5Bq m³であり、過去の大気圏核実験の影響と比較す るると、高い濃度ではない.

(2) 北太平洋における¹³⁷Csの総量

図-2に北太平洋における¹³⁷Csの総量と各層の比を示す. ここにSurf, Centr, Intermは表層, 中層, それ以下の層 (Surf: 0-200m, Centr: 200-600m, Interm: 600-1500m) であ る.

大気圏核実験でフォールアウトした¹³⁷Csにより,北太 平洋の¹³⁷Csの総量は、1945年から増え続け、1966年にピ ークとなり、その値は290PBqとなる.その後,総量は フラックスが小さくなるため、半減期および開境界から の流出により低下する.そして2011年のF1NPPの事故に より、総量は62PBqから一時的に16PBq増えるが、その 後、しだいに低下し、計算の最終年である2020年12月で は、総量が56PBとなった.

事故前では,総量62PB (Surf: 21PB, Centr: 30PBq, Interm: 11PBq) であったが,事故後では総量78PB (Surf: 34PB, Centr: 31PBq, Interm: 11PBq) となる. そして, 2020年12月では総量56PB (Surf: 19PB, Centr: 27PBq, Interm: 10PBq) となった.

2011年の事故後のSurfとCentrの総量の低減が異なるが、 これは、開境界からの流出の違いだけでなく、Surfから Centrに¹³⁷Csが供給されたために、このような結果となっ たことが考えられる.

これら各層における¹³⁷Csの低減を見る場合,低減に寄 与する開境界からの流出および実際の半減期は,両者と もに濃度の時間微分が濃度に比例することから,濃度の 低減は対数的に低下することが予想される.そこで,事 故前後の半減期を調べると,事故前では(総量,Surf, Centr)が19年,14年,19年であった.事故後では(総量,



Surf, Centr) が21年,12.5年,33年となった.このことから、事故後の総量、表層は実際の¹³⁷Csの半減期よりも短いことが分かる.特に表層における¹³⁷Csの半減期は実際の半減期よりも半分以下とかなり小さい値となった.一方で、中層では実際の半減期よりも得られた半減期は長くなっていた.事故前の中層の半減期は、実際の半減期よりも短いことから、事故前後の表層・中層の半減期の違いは、事故後では¹⁵⁷Csが一時的に表層に供給された後、表層から中層に移行したためと考えられる.

4. まとめ

北太平洋を領域とする数値モデルを用いて.大気圏核 実験,チェルノブイリ事故および福島第一原子力発電所 事故により,北太平洋に流入した¹³⁷Csの拡散について, 1945年から2020年まで計算を実施した.本研究では, 2017年9月の表層の¹³⁷Csについて検討を実施した.

その結果,2017年9月の表層の¹³⁷Csは,約1から2Bq m³となり,事故前の濃度と同程度となっていた.また FINPP事故前後の濃度の低減について検討した結果,事 故により一時的に表層で総量が増えたが,表層から中層 への移行する様子が示された.¹³⁷Csは半減期が30年と比 較的長いことから,中層に移行した¹³⁷Csを追跡すること により北太平洋の中層域の水塊移動について検討が可能 になると考えられる. direct releawse fluxes into the North Pacivif from the Fukushima Daiichi nuclear power plant, Deep Sea Research Part I, 115, 10-21, 2016 2) Terada, H., G. Katata, M. Chino, and H. Nagai: Atmospheric discharge and dispersion of radionuclides during the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident. Part II: 25 verification of the source term and analysis of regional-scale atmospheric dispersion, Journal of Environmental Radioactivity, 112, 141-154, 2012. 3) Aoyama, M., M. Uematsu and Y. Hamajima: Surface pathway of radioactive plume of TEPCO Fukushima NPP1 released 134Cs and 137Cs. Biogeosciences, 10, 5601–5617., 2013 4) Tsumune, D., T. Tsubono, M. Aoyama, M. Uematsu, K. Misumi, Y. Maeda, Y. Yoshidaand H. Hayami: One-year, regionalscalesimulation of 137Cs radioactivity in theocean following the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident. Biogeosciences, 10, 5601-5617., 2013 5) Aoyama, M., Kajino, M., Tanaka, T. Y., Thomas, T., Sekiyama, T. T., Tsumune, D., Tsubono, T., Hamajima, Y., Inomata, Y., Gamo, T., 2015b. ¹³⁴Cs and ¹³⁷Cs in the North Pacific Ocean derived from the TEPCO Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident, Japan in March 2011: Part Two -Estimation of ¹³⁴Cs and ¹³⁷Cs inventories in the North Pacific Ocean. J. Oceanogr., doi: 10.1007/s10872-015-0332-2 6) Tsumune, D., Aoyama, M., Hirose, K., Maruyama, K., Nakashiki,

N., 2001. Calculation of fallout in the ocean by the ocean general circulation model. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry 248, 777–783.

(2017, 7/18受付)

参考文献

Tsubono, T., Misumi, K., Tsumune, D., Bryan, O. F., Hirose, K., Aoyama,
M.: Evaluaiton of radioactive cesium impact form atmospheric deposition and