

8. 福島第一原子力発電所事故によって放出された放射性セシウムの沿岸域における長期挙動

津旨 大輔^{1*}・坪野 考樹¹・三角 和弘¹・
立田 穰¹・速水 洋¹・豊田 康嗣²・青山 道夫³

¹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電力中央研究所 地球工学研究所 (〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子1646)

³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: tsumune@criepi.denken.or.jp

東日本大震災と津波による東京電力福島第一原子力発電所の事故により、海洋へ放射性物質が漏洩した。海水濃度モデルの再現性の向上および検証を目的とし、海洋への供給経路として、大気からの降下、直接漏洩、計算領域外への降下分の流入を考慮し、福島沖合の領域海洋モデルによって、2年半のシミュレーションを実施し、それぞれの寄与率を見積もった。複数の観測データとの比較から、直接漏洩の再現性は妥当であることを示した。一方、大気からの降下量に関しては、海上観測データとの比較検証を行い、陸上データを基にした放出シナリオでは過小評価となることを示した。さらには、海上観測データを用い、放出シナリオの改良を試みた。

Key Words : Fukushima nuclear accident, Ocean model, ¹³⁷Cs, Direct release, Atmospheric deposition

1. はじめに

東日本大震災と津波による東京電力福島第一原子力発電所の事故により、海洋へ放射性物質が漏洩した。海洋における放射性物質濃度のモニタリングは継続され、海水の濃度低下が確認されているが、事故前の濃度までは低下していない。大気からの降下、計算領域外への降下分の流入、直接漏洩を考慮し、福島沖合の領域海洋モデルによって、事故後2年半のシミュレーションを実施し、それぞれの寄与率を見積もった。

2. 方法

沿岸海洋モデル (ROMS; Shchepetkin and McWilliams, 2005; 坪野ら, 2010.) を用い、福島沖合海域(35° 54' N- 40° 00' N, 139° 54' E- 147° 00' E)を対象に、水平解像度は1km、鉛直方向はσ座標系で30層とし、水深1000 m以深は計算対象外とした。駆動力として、気象庁のGSMを気象モデル(wrf; Skamarock et al., 2009)で5kmメッシュに内挿するシステム(NuWFAS; 橋本ら, 2010)の結果を利用した。外洋域の流出入境界条件として、JCOPE2

(Miyazawa et al., 2009)による再解析データを用いた。さらに福島沖合の複雑な流況を再現するため、JCOPE2の再解析データに対してNudgingを行った。計算対象核種は¹³⁷Csとした。計算期間は2011年3月から2013年9月末とした。

直接漏洩率(Bq/day)は、ある一定期間に対し、単位量漏洩を想定したシミュレーション結果の濃度値((Bq/m³)/(Bq/day))と観測結果(Bq/m³)の比をとることによって求めた。また、漏洩率の変化と濃度は比例関係にあるとした。大気からの降下と流入分は、大気モデルおよび北太平洋モデルの結果より設定した。

3. 結果

直接漏洩量は、2011年3月26日から2013年9月末までで3.6±0.7 PBqと推定した(Tsumune et al., 2013)。また直接漏洩率は、3月26日から4月6日までは2.0×10¹⁴ Bq/day (津旨ら, 2011; Tsumune et al., 2012)、その後指数関数的に減少し、2013年1月移行は3.0×10¹⁰ Bq/dayと推定した。¹³⁷Cs濃度の再現結果は、福島第一原子力発電所、および福島第二原子力発電所における時系列の観測データとよく一致した。

また沿岸の広域においても、2011年6月のKOK航海の結果の直接漏洩分ともよい一致を示した。他の推定結果との比較からも、直接漏洩の推定は妥当であると考えられる。一方、大気からの降下(Hayami et al., 2012)影響による¹³⁷Cs濃度のシミュレーション結果は過小評価となった。大気から海洋への降下についての見積もりにはデータの少なさから不確実性が大きい。年スケールの沿岸域における再現計算においては、広域への大気からの降下の流入の影響の考慮が必要であることが確認された。流入の影響は時間がたつにつれて、支配的となり、2012年1月以降は99%以上を占めていた。その後、流入の影響も小さくなり、2013年1月以降は、継続している直接漏洩の影響が沿岸域に見られるのみでとなった。沿岸域における濃度も、福島第一原子力発電所のごく近傍域を除いて大気圏核実験における1960年代の濃度レベルまで低下していることを確認した。

4. おわりに

直接漏洩の推定結果と観測結果との比較・検証を行い、妥当性を確認した。一方で、大気から海洋への降下量が過小評価であることを示した。この理由として、大気への放出率の過小評価、初期の河川からの供給量の可能性が指摘される。一方、全体の収支において、海底堆積物はシンクとして重要ではないことも別途シミュレーションで確認した(Misumi et al., in press)。沿岸海域における海水濃度の時空間変化の再構築を行うため、河川シミュレーション(HYDREEMS, 豊田ら, 2009)による河川からの供給量の検討を行っている。再構築の検証のためには、海洋生物シミュレーション(Tateda et al., 2013)を用いた、海洋モニタリングが開始される前の海水濃度情報の再現も重要となる。

謝辞：数値シミュレーションにおいて、(株)電力計算センターの田口富貴子氏、丹羽亮介氏の協力を得た。

参考文献

- 坪野 考樹、津旨 大輔、三角 和弘、吉田 義勝 (2010) : 地域海洋モデル ROMS を用いた物質拡散の計算法、電力中央研究所報告書、V09040。
- 津旨 大輔、坪野 考樹、青山 道夫、廣瀬 勝巳 (2011) : 福島第一原子力発電所から漏洩した ¹³⁷Cs の海洋拡散シミュレーション、電力中央研究所報告書、V11002。
- 豊田 康嗣、平口 博丸、杉本 聡一郎、橋本 篤(2009) : 気象予測モデルと連携した出水予測手法の開発

—九州地方に襲来する台風事例—、電力中央研究所報告書、N08058。

橋本 篤、平口 博丸、豊田 康嗣、中屋 耕 (2010) : 温暖化に伴う日本の気候変化予測 (その 1) -気象予測・解析システム NuWFAS の長期気候予測への適用-、電力中央研究所報告書、N10044。

速水 洋、佐藤 歩、津崎 昌東、嶋寺 光 (2012) : 福島第一原子力発電所から放出された放射性物質の大気中輸送・沈着計算、電力中央研究所報告書、V11054。

Misumi, K., Tsumune, D., Tsubono, T., Tateda, Y., Aoyama, M., Kobayashi T. and Hirose, K. (2014) : Factors controlling the spatiotemporal variation of ¹³⁷Cs in seabed sediment off the Fukushima coast: Implications from numerical simulations, *Journal of Environmental Radioactivity*, in press

Miyazawa, Y., Zhang, R., Guo, X., Tamura, H., Ambe, D., Lee, J-S., Okuno, A., Yoshinari, H., Setou, T., Komatsu, K. (2009) : Water mass variability in the western North Pacific detected in a 15-year eddy resolving ocean reanalysis, *Journal of Oceanography*, 65, 737–756.

Skamarock, W. C., Klemp, J. B., Dudhia, J., Gill, D. O., Barker, D. M., Duda, M., Huang, H., Wang, W., Powers, J. G. (2008) : A description of the advanced research WRF version 3. NCAR Tech. Note NCAR/TN-475+STR, 113pp.

Shchepetkin, A. F. and McWilliams, J. C. (2005) : The Regional Ocean Modeling System (ROMS): a split-explicit, free-surface, topography following coordinates oceanic model, *Ocean Modelling*, 9, 347–404. <https://www.myroms.org/>

Tateda, Y., Tsumune, D., and Tsubono, T. (2013) : Simulation of radioactive Cs transfer in the southern Fukushima coastal biota by dynamic food chain transfer model, *Journal of Environmental Radioactivity*, 124, 1–12, 10.1016/j.jenvrad.2013.03.007.

Tsumune, D., Tsubono, T., Aoyama, M., and Hirose, K. (2012) : Distribution of oceanic ¹³⁷Cs from the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant simulated numerically by a regional ocean model, *Journal of Environmental Radioactivity*, 111, 100–108, 10.1016/j.jenvrad.2011.10.007.

Tsumune, D., Tsubono, T., Aoyama, M., Uematsu, K., Misumi, Y., Maeda, Y., Yoshida, and H. Hayami (2013) : One-year, regional-scale simulation of ¹³⁷Cs radioactivity in the ocean following the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident, *Biogeosciences*, 10, 5601–5617, doi:10.5194/bg-10-5601-2013.