

13. 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濃度の沿岸域における再構築

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

福島第一原子力発電所事故によって放射性セシウム（ここでは¹³⁷Csを対象）が海洋に放出され、4年以上経過したが、漏洩はまだ継続している。大気からの降下と直接漏洩に加え、河川からの供給を考慮した領域海洋シミュレーションを行い、3年9ヶ月間の各期間において支配的な供給過程を明らかにし、海洋中の¹³⁷Cs濃度分布の変化を再構築した。

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3年9ヶ月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) にトレーサ計算機能を組み込み (坪野ら, 2010)、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1000m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., 2008)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2014年12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(津旨ら, 2011; Tsumune et al., 2012)。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 (速水ら, 2012) および北太平洋モデルの結果(Tsubono et al., submitted)より設定した。河川流量モデル(HYDREEMS, 豊田ら, 2009)による河川流量に河川の¹³⁷Cs濃度をかけることによって、河川からのフラックスを与えた。

3. 結果

2011年3月26日から直接漏洩が開始したと推定されている(Tsumune et al., 2012)。それ以前は、大気からの降下と河川や排水路を通じた流入があったと考えられる。大気モデルによる降下量を用いた福島沖の¹³⁷Cs濃度評価結果は過小評価となっており (Tsumune et al., 2013)、大気からの降下量の再現性には改良の余地がある。初期において河川からの¹³⁷Csフラックス計算を実施したところ、海洋へ与える影響は小さいことが分かった。2011年3月26日から4月20日までは、直接漏洩の影響が支配的であるため再現性は高い(Tsumune et al., 2012)。2011年4月21日から2012年12月末までは、直接漏洩率が減少し続け、かつ広範囲に大気から降下した¹³⁷Csが領域海洋モデルの計算範囲の境界から流入しており、複雑な状況となっている。福島第一原子力発電所の近傍の観測結果とはよい一致を示すが、約10km南の福島第二原子力発電所の近傍

の観測結果を過小評価しており、大気からの降下の再現性に改良の余地がある。2013年1月1日以降は、直接漏洩率は 10^{10} Bq/day程度とほぼ一定となり、境界からの流入量は無視できる程度まで減少した。直接漏洩のみを考慮した2013年1月から2014年12月までのシミュレーション結果は、観測結果とよい一致を示した。2013年と2014年の年間平均 ^{137}Cs 濃度分布のシミュレーション結果はほぼ同様であり、年々変動が小さいことが示唆された。また、冬季よりも夏季のほうが ^{137}Cs の拡散範囲は大きくなっており、夏季の成層化によって水平拡散が強化されていることも示唆された。2013年1月以降は、海洋への ^{137}Cs の供給過程が単純なため、拡散現象の把握には有利な状況であった。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ている(Misumi et al., 2014)。

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。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の可能性が指摘される。2011年3月21以前の初期の海水の観測データが存在しないため再構築の検証のためには、海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 ^{137}Cs 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 ^{137}Cs 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.
- Tsubono, T., Misumi, K., Tsumune, D., Bryan, F. O., Hirose, K., Aoyama, M. : Evaluation of radioactive cesium Impact from Atmospheric Deposition and Direct Release Fluxes into the North Pacific from Fukushima Daiichi Nuclear Power Plants, Submitted to Deep Sea Research.
- Tsumune, D., Tsubono, T., Aoyama, M., and Hirose, K. (2012) : Distribution of oceanic ^{137}Cs 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., T. Tsubono, M. Aoyama, M. Uematsu, K. Misumi, Y. Maeda, Y. Yoshida, and H. Hayami (2013) : One-year, regional-scale simulation of ^{137}Cs radioactivity in the ocean following the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident, *Biogeosciences*, 10, 5601–5617, doi:10.5194/bg-10-5601-2013.