

福島第一原子力発電所から放出された放射性核種の 海洋中移行シミュレーション

川村, 英之
日本原子力研究開発機構

小林, 卓也
日本原子力研究開発機構

古野, 朗子
日本原子力研究開発機構

印, 貞治
日本海洋科学振興財団

他

<https://doi.org/10.15017/27145>

出版情報 : 九州大学応用力学研究所所報. 143, pp.111-117, 2012-09. Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University

バージョン :

権利関係 :



福島第一原子力発電所から放出された放射性核種の 海洋中移行シミュレーション

川村 英之*¹ 小林 卓也*¹ 古野 朗子*¹ 印 貞治*² 石川 洋一*³
中山 智治*² 島 茂樹*² 淡路 敏之*⁴

(2012年7月27日受理)

Numerical Experiments on Dispersion of Radionuclides in the Ocean Released from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant

Hideyuki KAWAMURA, Takuya KOBAYASHI, Akiko FURUNO, Teiji IN, Yoichi ISHIKAWA,
Tomoharu NAKAYAMA, Shigeki SHIMA and Toshiyuki AWAJI
E-mail of corresponding author: kawamura.hideyuki@jaea.go.jp

Abstract

Because of the Fukushima Daiichi nuclear power plant disaster resulted from the magnitude 9.0 earthquake on March 11, 2011, radionuclides were released into the ocean from the Fukushima Daiichi nuclear power plant. In response to this situation, numerical experiments were carried out at Japan Atomic Energy Agency using an oceanic dispersion model and an ocean general circulation model to estimate an effect of the radionuclides on marine environment. It was suggested that the radionuclides deposited from the atmosphere mainly in the middle of March after the disaster spread over a comparatively wide area of the Pacific Ocean east of Japan. On the other hand the radionuclides directly released into the ocean from the Fukushima Daiichi nuclear power plant were carried along the coast and then spread along the Kuroshio extension.

Key words : oceanic dispersion, Fukushima Daiichi nuclear power plant, ^{131}I , ^{137}Cs

1. 緒言

2011年3月11日に発生した東日本大震災に伴う福島第一原子力発電所(以下、福島第一原発)の事故により、周辺環境へ放射性核種が放出された。日本原子力研究開発機構では、日本海洋科学振興財団と京都大学の協力の下で、事故当時から福島第一原発起因の放射性ヨウ素(^{131}I)と放射性セシウム(^{137}Cs)に関して、海洋中移行シミュレーションを行い、海洋環境への影響を評価してきた。施設から放射性核種が海洋へ取り込まれる主なプロセスは、施設から直接海洋中へ放出されるものと、施設から大気中へ放出された放射性核種が降雨等により海表面に沈着するものがあると考えられる。施設から海洋・大気中へ放出された放射性核種の放出量を見積もることは、シミュレーションを行う上で最も大き

な問題となったが、海洋モニタリングデータや世界版緊急時環境線量情報予測システム(WSPREDI-II)を用いることにより、ある程度正確と考えられる放出量を見積もることができた。シミュレーションには日本原子力研究開発機構が開発した海洋中放射性核種移行モデル(SEA-GEARN)と京都大学が開発した海洋大循環モデルを使用し、高品質な海洋再解析データセットを作成するために先端的なデータ同化手法やネステイング手法を適用した。シミュレーションは2011年3月12日から4月30日まで行い、主に海水中放射性核種濃度について解析を行った。

2. シミュレーション手法

2.1 放出量の推定

福島第一原発から海洋中へ直接放出された ^{131}I と ^{137}Cs の放出量については、事故当時は公表された情

*1 日本原子力研究開発機構
*2 日本海洋科学振興財団
*3 海洋研究開発機構
*4 京都大学

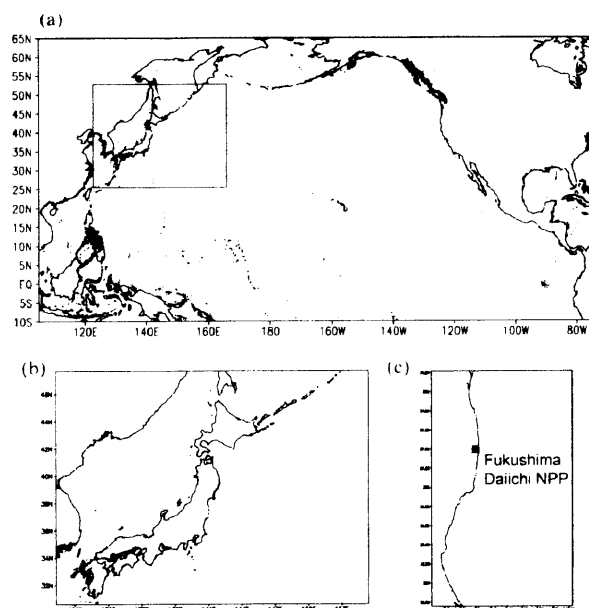


Fig. 1 Model domains in the system of prediction for oceanic dispersion of radionuclides in this study.

報がほとんどなかったため、以下のような仮定をして推定した。最初に、東京電力(株)が公表している福島第一原発の敷地内にある北放水口と南放水口付近で得られた海洋モニタリングデータを使用し、 ^{131}I と ^{137}Cs の海水中濃度の時系列を作成した。その後、東京電力(株)が公表した4月1日からの120時間における ^{131}I と ^{137}Cs の海洋中へ直接放出した量はそれぞれ2.8 PBq(1 PBq = 10^{15} Bq)と0.94 PBqであったという情報を基にして、同期間の総放出量が上記の値になるように、作成した海水中濃度の時系列にある定数を乗じることで、最終的な ^{131}I と ^{137}Cs の放出量を推定した¹⁾。

大気中から海表面へ沈着する量に関しては、日本原子力研究開発機構が開発した世界版緊急時環境線量情報予測システム(WSPEDI-II)で計算された値を用いた。WSPEDI-IIでは、大気中放射性核種移行モデル(GEARN)を使用して、大気中の放射性核種移行を計算し、湿性沈着や乾性沈着による海表面や地表面への沈着量を計算することができる。放射性核種の大気中移行シミュレーションに必要な施設から大気中へ放出された ^{131}I と ^{137}Cs の放出量については、茅野らにより推定された値を用いた²⁾。

2.2 海洋中放射性核種移行予測システム

シミュレーションに使用したシステムは、日本海洋科学振興財団、京都大学及び日本原子力研究開発機構が開発した海洋中放射性核種移行予測システムである。このシステムは、青森県六ヶ所村の使用済燃料再処理

施設から海洋へ放射性核種が放出された場合の海洋中移行を予測するシステムである。本研究では、このシステムを福島沖の海域に適用することにより、福島第一原発起因の ^{131}I と ^{137}Cs の海洋中移行シミュレーションを行った。

海洋中放射性核種移行予測システムは、京都大学が開発した海洋大循環モデルと日本原子力研究開発機構が開発したSEA-GEARNにより構成されている。福島沖等の沿岸域の海況場を予測するには数キロメートル程度の高い水平解像度で計算する必要があるため、ネスティング手法によるダウンスケーリングを行っている。最初に、Fig. 1(a)で示した北太平洋全域と南太平洋の一部を含む海域(105°E-75°W、10°S-65°N)を水平解像度東西1/6°、南北1/8°で計算を行った。次に、高品質な海洋再解析データを作成するため、高度なデータ同化手法である四次元変分法をFig. 1(a)の四角内で示した北西太平洋海域(122.7°E-166.0°E、25.50°N-52.75°N)に適用した³⁾。さらに、Fig. 1(b)で示した日本周辺海域(127.3°E-155.4°E、30.6°N-47.7°N)を水平解像度東西1/18°、南北1/24°で計算した(以下、日本近海モデル)。最後に、Fig. 1(c)で示した福島沖の海域(140.43°E-142.25°E、35.76°N-38.22°N)を水平解像度東西1/54°、南北1/72°で計算した(以下、福島沖モデル)。このように設定された日本近海モデルと福島沖モデルの結果をSEA-GEARNの入力データとすることで、それぞれの海域における ^{131}I と ^{137}Cs の海洋中移行シミュレーションを行った。

SEA-GEARNは、多数の粒子を海洋大循環モデルで計算された海況データを用いて移流・拡散させるラグランジュ型の粒子モデルである。SEA-GEARNの中では、放射性核種は溶存相・懸濁相・堆積物相の3つの相に存在すると定義することが可能であり、本研究では可溶性が高い ^{131}I については溶存相のみを考慮し、 ^{137}Cs については上記の3つの相を考慮した。また、両核種ともに、放射性崩壊(^{131}I と ^{137}Cs の半減期はそれぞれ約8日と約30日)による減衰を考慮している。SEA-GEARNの詳細については、小林らを参照して頂きたい⁴⁾。

3. シミュレーション結果

3.1 日本周辺海域の海流場

Fig. 2は2.2で説明した日本近海モデルで計算された2011年3月から4月の日本周辺海域における海表面の海流場を示したものである。四国沖を通過した黒潮は紀伊半島付近で一旦蛇行し、再び伊豆半島付近で沿岸に近づき、その後は黒潮続流となって中規模渦を伴いながら東に流れている。このような黒潮と黒潮続流

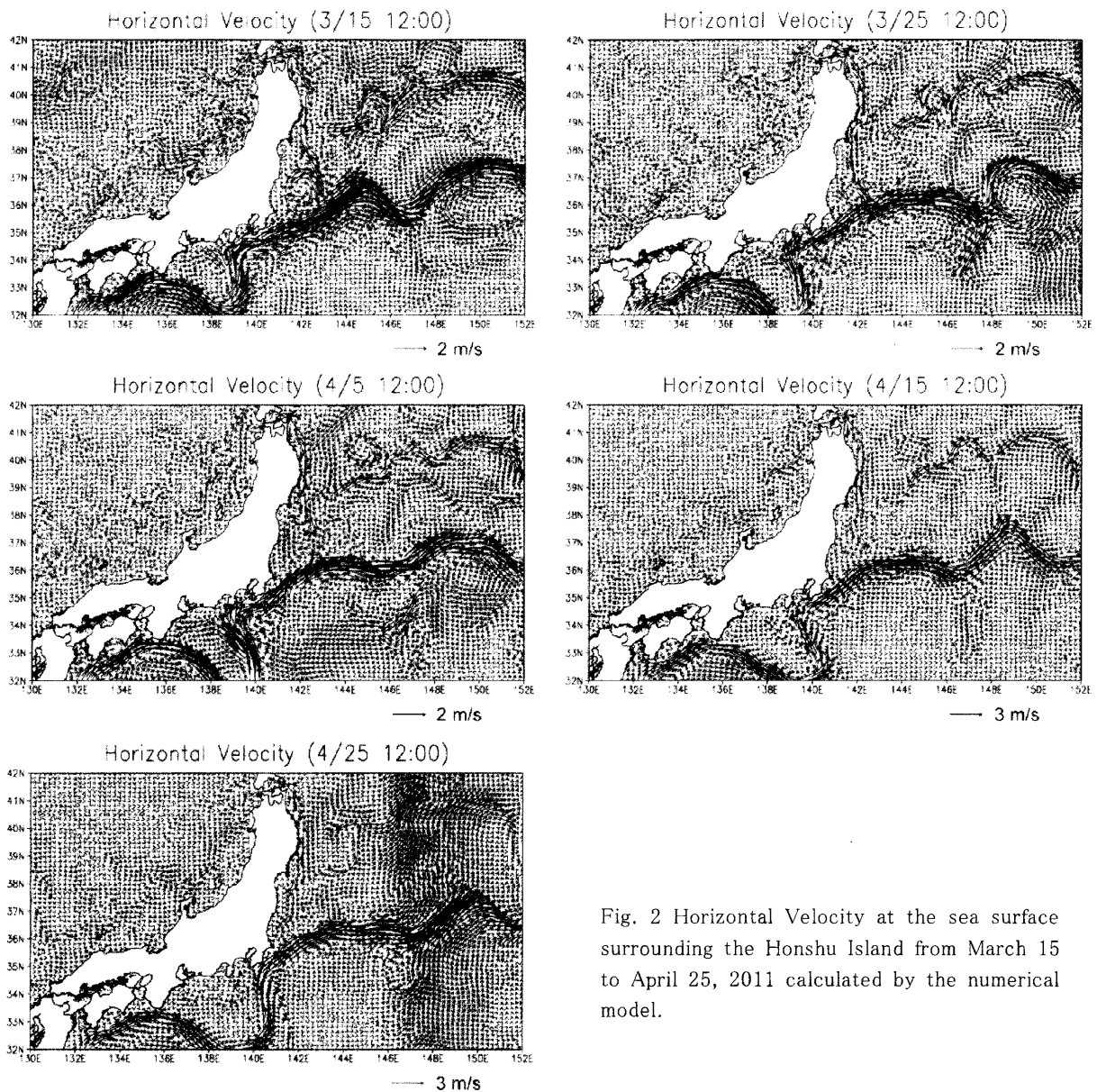


Fig. 2 Horizontal Velocity at the sea surface surrounding the Honshu Island from March 15 to April 25, 2011 calculated by the numerical model.

の流れの傾向は2ヶ月の間ほとんど変化していないが、黒潮や黒潮続流に伴う中規模渦や海上風の変動により形成される比較的短周期変動を持つ渦は、時間とともに変動していることが確認できる。特に、3月15日に福島県沖の海域(142.0°E、36.5°N)では時計回りの高気圧性渦が発達しており、これは人工衛星の海面水温データからも確認されている。この高気圧性渦は、3月25日の時点ではまだ存在しているものの、その勢力は弱まり、4月5日には消滅していることが分かる。このことから、このような中規模渦の変動スケールは数週間程度と考えられるが、事故後の放射性核種の外洋への移行プロセスを解明する上で、このような中規模渦を現実的に再現することは非常に重要なことである。

さらに、福島県沖の海域に影響を及ぼす要因として、津軽暖流起因の沿岸流が挙げられる。津軽海峡を通過

した津軽暖流は、この時期には沿岸モードと呼ばれる沿岸流となり、東北沿岸を南下する⁵⁾。この南下流は、3月15日には上述した福島県沖に発達する高気圧性渦に遮られるため、宮城県南部付近で離岸している。高気圧性渦が弱まるにつれて、津軽暖流起因の南下流は福島県沿岸まで到達し、そのため4月の福島県沿岸では南向きの流れが卓越していたことが示唆される。この南向きの流れは、後述する4月の放射性核種の濃度分布に大きな影響を与えていたと考えられる。

3.2 放射性核種の海水中濃度分布

日本近海モデルと福島沖モデルで計算された海況データをSEA-GEARNの入力データとして、福島第一原発起因の放射性核種の海洋中移行シミュレーション

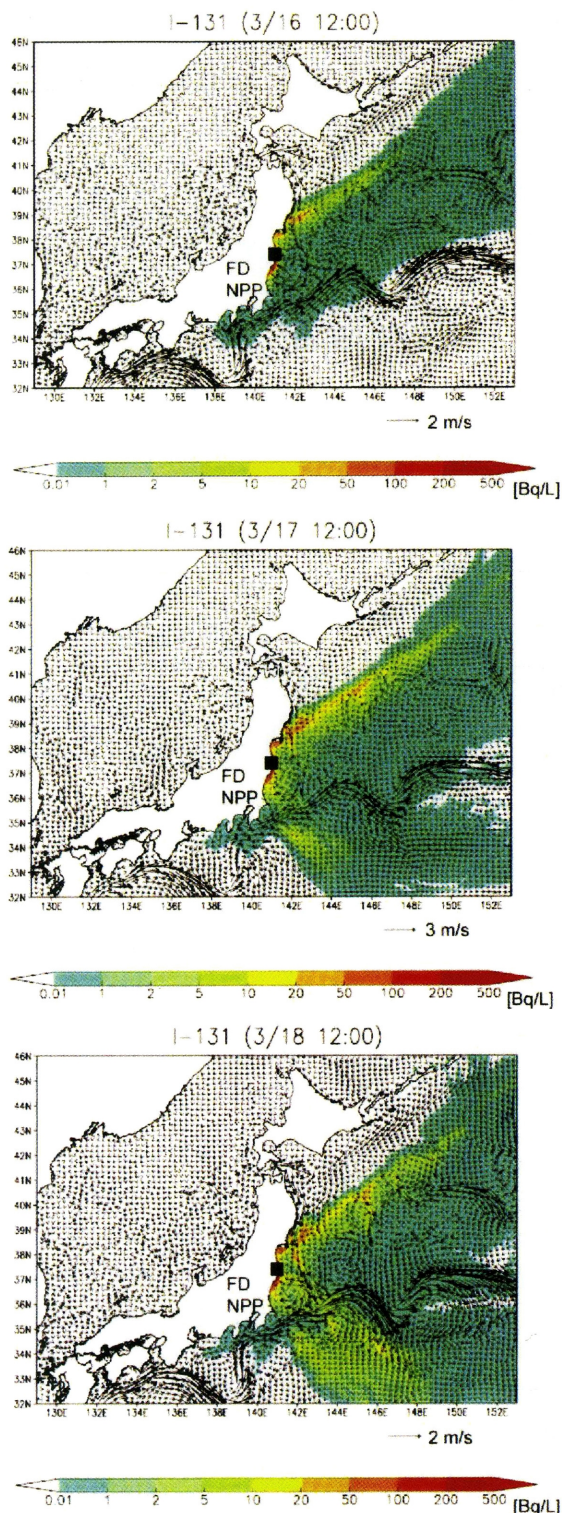


Fig. 3 Distribution of ^{131}I concentration at the sea surface from March 16 to March 18, 2011.

を行った。

福島第一原発から大気中に放出された ^{131}I は、風向きにより内陸や海上へ運ばれたが、3月16日には北東向きの風により、施設近辺だけでなく、海上へ広く分布

していたことが示唆される (Fig. 3)。翌日の3月17日には、福島県から北東方向の海域だけでなく、南東方向の海域にも ^{131}I が沈着していたことが確認できる。施設から大気中に ^{131}I が放出されたのは主に事故後の3月中旬であるため、この北東方向と南東方向への ^{131}I の輸送がその後の海水中濃度の分布を大きく決定づけたと考えられる。3月18日の海水中濃度分布から、北東方向と南東方向の海域に沈着した ^{131}I は、3.1で述べた黒潮続流・福島県沖の高気圧性渦・津軽暖流起因の南下流等により運ばれている様子が確認できる。施設から海洋中へ直接放射性核種が放出されたのは3月後半からと推定できるため、この時点での ^{131}I はすべて大気中から海表面に沈着したものである。施設から直接海洋中へ放出された放射性核種については、高分解能な福島沖モデルで詳細を述べる。また、日本近海域における ^{137}Cs の海洋中移行については、海水中濃度値は異なるものの、その分布状況は ^{131}I とほとんど同様であった。

Fig. 4とFig. 5は福島沖モデルで計算された海況データを使用した海水中放射性核種濃度の時系列である。3月15日には福島第一原発の極近傍の海域で大気中から沈着した ^{131}I と ^{137}Cs が施設から北東方向と南方向に流れる局所的な海流場により輸送され、局所的な高濃度域を形成していたと示唆される。この時点では大気中からの沈着により福島沖の海域に全体的に両核種が分布しているが、ほとんどの海域でその濃度は1(Bq/L)以下となっている。しかしながら、3月下旬から放射性核種が海洋中へ直接放出されたため、4月5日の時点では比較的高濃度の海域が広がっているのが分かる。前述した通り、4月上旬には福島県沖の高気圧性渦はほとんど消滅して津軽暖流起因の南下流が支配的になるため、主に3月下旬から4月上旬にかけて海洋中へ直接放出された放射性核種は福島県沖の海域を主に南に運ばれていたと考えられる。南に輸送された放射性核種は、そのまま沿岸に沿って南下するものと離岸して南東方向に向かう2つの輸送経路があったことが示唆される。その後は、4月15日と4月25日の海水中濃度分布に見られるように、海洋中へ直接放出された放射性核種は施設から沿岸に沿って南下する傾向が強くなり、沿岸を離岸した後は黒潮続流により東に流されたと考えられる。

4. まとめと今後の予定

福島第一原発から放出された ^{131}I と ^{137}Cs の海洋環境への影響を評価するため、数値モデルを使用して海洋中移行シミュレーションを行った。本研究で行ったシミュレーション結果は、海洋モニタリングで得られた ^{131}I と

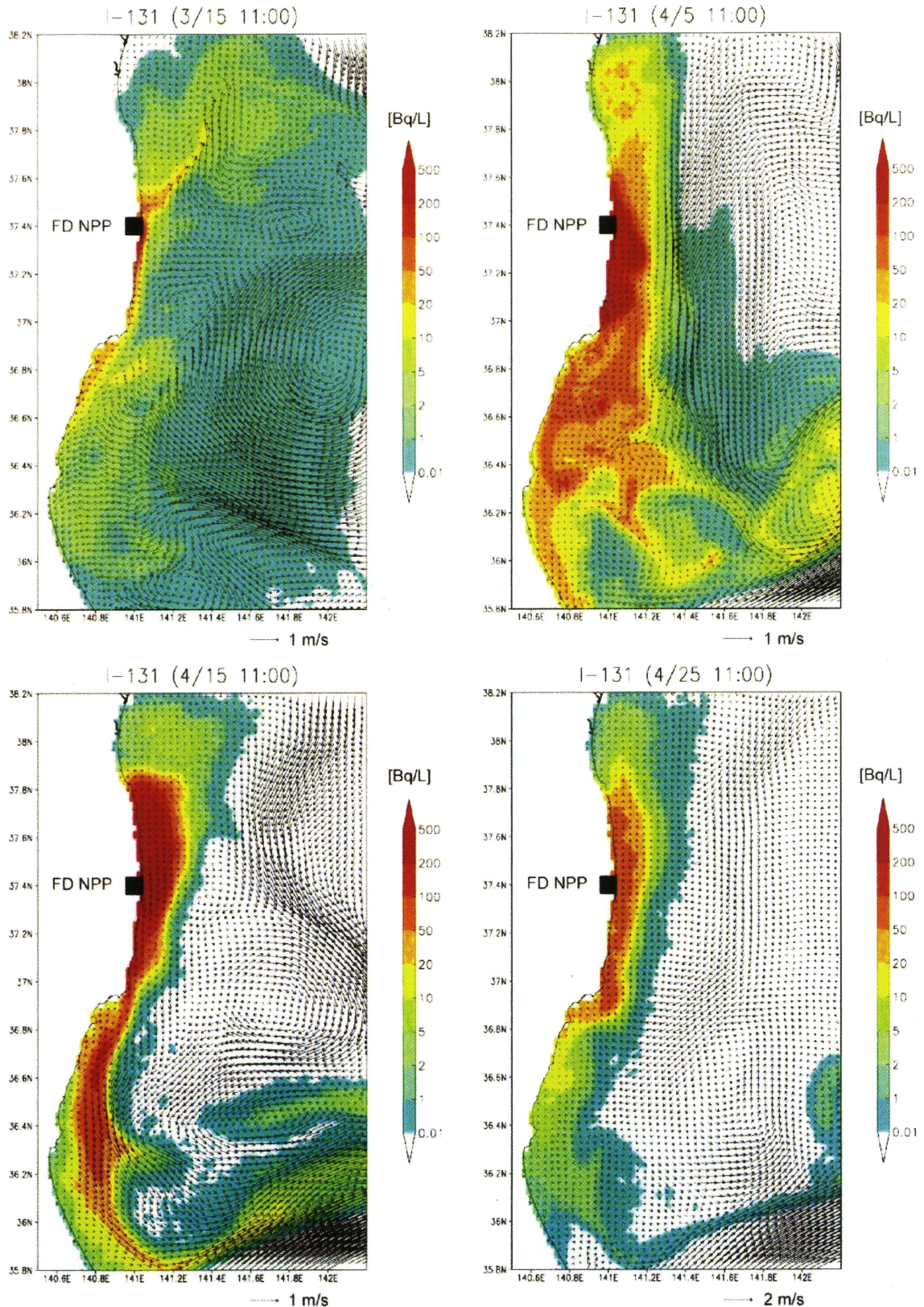


Fig. 4 Distribution of $I-131$ concentration at the sea surface from March 15 to April 25, 2011.

^{137}Cs の海水中濃度データとも比較的良く一致しており、シミュレーション結果はある程度妥当であることを確認している¹⁾。ここでは、福島第一原発事故後の初期におけ

る放射性核種の海洋中移行を海流場と関連付けて、その移行過程を解析した。

本研究では福島第一原発事故後の約 2 ヶ月間のシ

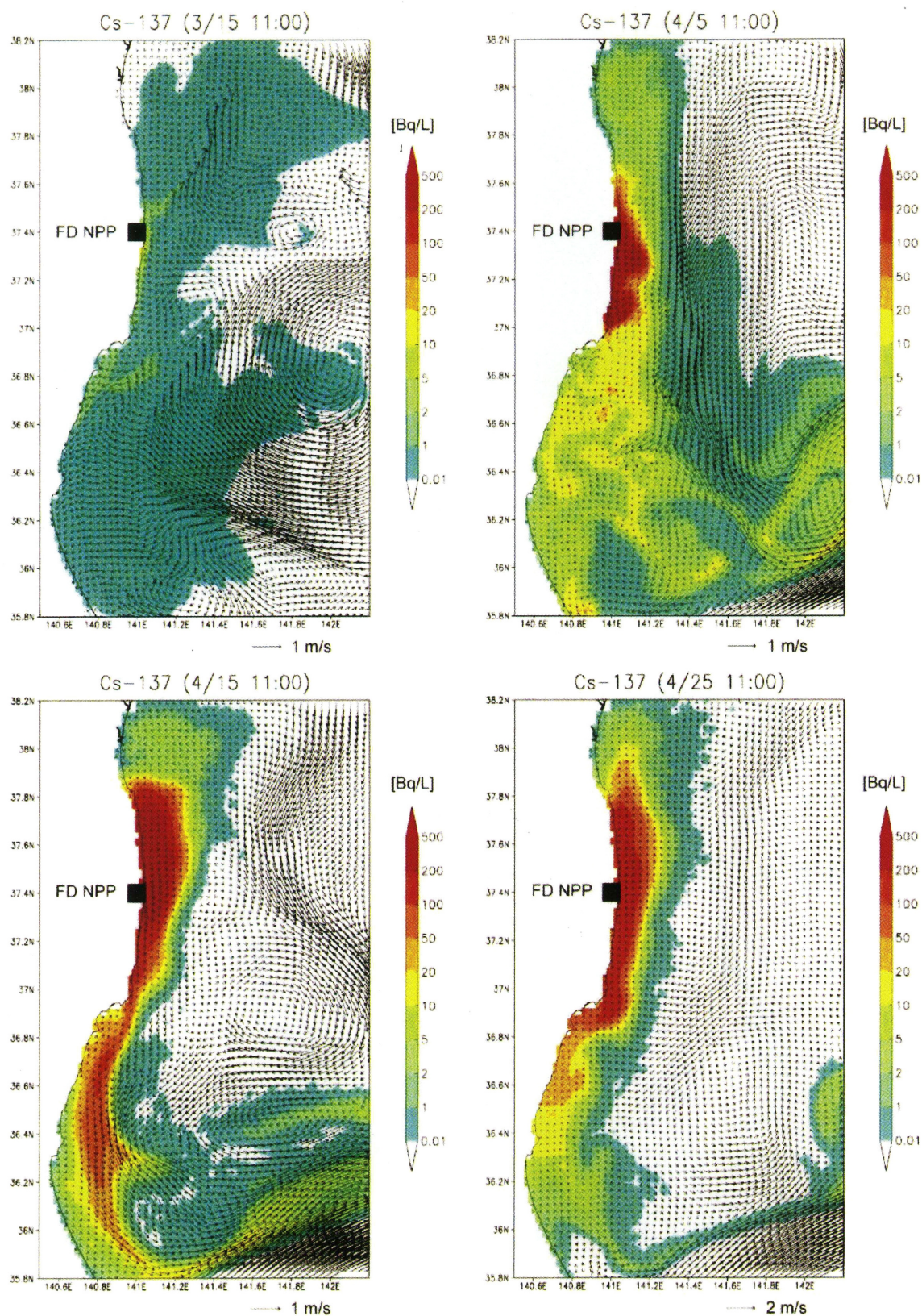


Fig. 5 Same as Fig. 4 except for ^{137}Cs concentration.

シミュレーションを行ったが、海洋中へ移行した放射性核種は、特に半減期が長い ^{137}Cs の場合、長期間海水や海底土中に存在するため、数年あるいは数十年といっ

た長期間の影響評価が今後必要となる。また、放射性核種の海洋中移行シミュレーションは使用する海況データに大きく依存するため、独立した数種類の海況デー

タによるシミュレーションも必要とされる。そのため、今後は数種類の海況データを使用して、より広範囲な北太平洋における長期の影響評価を行う予定である。

参考文献

- 1) H. Kawamura, T. Kobayashi, A. Furuno, T. In, Y. Ishikawa, T. Nakayama, S. Shima and T. Awaji, Preliminary Numerical Experiments on Oceanic Dispersion of ^{131}I and ^{137}Cs Discharged into the Ocean Because of the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Disaster, J. Nucl. Sci. Technol., 48[11], (2011) 1349-1356
- 2) M. Chino, H. Nakayama, H. Nagai, H. Terada, G. Katata and H. Yamazawa, Preliminary Estimation of Release Amounts of ^{131}I and ^{137}Cs Accidentally Discharged from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant into the Atmosphere, J. Nucl. Sci. Technol., 48[7], (2011) 1129-1134
- 3) Y. Ishikawa, T. Awaji, T. Toyoda, T. In, K. Nishina, T. Nakayama, S. Shima and S. Masuda, High-resolution Synthetic Monitoring by a 4-dimensional Variational Data Assimilation System in the Northwestern North Pacific, J. Mar. Syst., 78, (2009) 237-248
- 4) T. Kobayashi, S. Otsuka, O. Togawa and K. Hayashi, Development of a Non-conservative Radionuclides Dispersion Model in the Ocean and its Application to Surface Cesium-137 Dispersion in the Irish Sea, J. Nucl. Sci. Technol., 44[2], (2007) 238-247
- 5) D. M. Conlon, On the Outflow Modes of the Tsugaru Warm Current, La Mer., 20, (1982) 60-64