

放射性核種の海域移行解析のための河口・沿岸域土砂輸送モデルの開発 A sediment transport model for analyzing the environmental dynamics of radionuclides in estuarine and coastal oceans

内山 雄介^{1*}; 山西 琢文¹; 津旨 大輔²; 宮澤 泰正³

UCHIYAMA, Yusuke^{1*}; YAMANISHI, Takafumi¹; TSUMUNE, Daisuke²; MIYAZAWA, Yasumasa³

¹ 神戸大学, ² 電力中央研究所, ³ 海洋研究開発機構

¹Kobe University, ²Central Research Institute of Electric Power Industry (CRIEPI), ³Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC)

福島第一原発（以下 1F と呼称）から漏洩した溶存態の放射性核種に対して、これまで国内外の研究機関等によって多くの海洋分散再解析が行われてきた。著者らのグループも多段ネスティングによる水平解像度 1 km の領域海洋モデルにより、2011 年 3 月 24 日に生じた 1F からの海洋への直接漏洩事故の再解析を行っている（内山ら, 2013, 土木学会論文集; 以下前報）。その結果、2011 年春期の福島県沖陸棚域における流速変動には海上風が大きく関わり、¹³⁷Cs の漏洩開始から 5 月下旬まで陸棚波の影響を強く受けた南北方向の沿岸ジェットが形成され、放射性核種の初期分散パターンに対して強い影響を及ぼしていたことなどを明らかにした。海洋での放射性核種の分散は 1F からの直接漏洩に加えて大気からの降下や河川からの出水などの影響も受けるが、特に後者については懸濁態での移行過程に関する知見が不十分であり、その定量的な予測手法の確立が急務である。大気を経由して陸域に降下した放射性核種の多くは主に土壌表層の粘土画分の粒子に吸着し、降雨等に伴う水文過程によって懸濁態として河川から流出して沿岸域に堆積する。放射性核種は海底においても土粒子に吸着することが知られており、沈降速度のため溶存態と比較して浅海域に滞留しやすく、長期間にわたって沿岸に存在し続け、海洋生態系に対してより大きな影響を与えることが危惧される。したがって、放射性核種の沿岸域での拡散予測やインベントリ解析をより高精度で行うためには、陸域から河口へ至った土砂がどのように沿岸に堆積し、輸送および再懸濁・再輸送されるかを精緻に予測する技術が必要となる。

本研究では、前報で開発した福島沿岸の領域海洋モデルに対して Euler 型の土砂輸送モデルおよび海底堆積モデル (Blaas *et al.*, 2007) を組み込み、さらに多粒径土砂へと拡張することにより、細砂、シルト、泥の 3 成分から構成される土砂の輸送、再懸濁、沈降過程を予測するモデルを開発し、福島沿岸域に適用した結果について報告する。具体的には、前報の東北・北関東沿岸モデルからさらにもう一段階のネスティングを行い宮城・福島・茨城沿岸域モデルを構築し、2011 年 3 月から 8 月を対象とした再解析を行った。すなわち、JCOPE2 (水平解像度 1/12 度) を最外側境界条件とし、領域海洋循環モデル ROMS を用いた 3 段階ネスティングにより、JCOPE2 → ROMS-L1 (水平解像度約 3 km) → ROMS-L2 (同 1 km) → ROMS-L3 (同 250 m) へと順次ダウンスケーリングを行った。ROMS-L3 では active トレーサとしての土砂 3 成分を考慮し、海底からの再懸濁フラックスに関連する底面せん断応力の推定に対しては底層流れに加えて波浪の影響を考慮した。海底地形は内閣府中央防災会議による解像度 50 m の地形データを、波浪場は気象庁 GPV-CWM 再解析値にネスティングさせたスペクトル波浪推算モデル SWAN による 3 時間平均推算値 (水平解像度約 1 km) を、海上風には気象庁 GPV-MSM 再解析値を用いた。海底土砂の初期粒径組成には、宮城県水産試験場および福島県水産試験場による報告値 (1991 および 2013) を用い、最適内挿法で空間補間を行った。L3 領域内に存在する 6 本の一級河川、14 本の二級河川の河口における流量は、電中研 HYDREEMS による日平均推定値を与え、流入土砂フラックスは全国平均 $L'-Q'$ 式 (武川ら, 2013) および浮遊土砂量と流量の相関式 (武田, 2001) から土砂の平均断面濃度を求め、流量を乗じた。流砂組成比には JAEA (2013) による USLE 準拠モデルを用いた河口部流砂量の結果をもとに与えた。その他の各種外力・初期・境界条件等に関しては前報と同様のものを使用した。放射性核種としては溶存態放射性セシウム ¹³⁷Cs (半減期約 30 年) のみを考慮し、土砂への吸脱着等 (すなわち懸濁態 ¹³⁷Cs) は一切考慮していない。

講演では 250 m 解像度における溶存態 ¹³⁷Cs 分布特性、各河川からの土砂の輸送範囲、荒天時における再懸濁による土砂輸送の発生範囲などに関する解析結果を示し、海況との比較を行うとともに、吸脱着を考慮した場合の懸濁態・溶存態 ¹³⁷Cs の分布特性に関する考察などを行う予定である。

キーワード: 粒径別土砂輸送モデル, 放射性セシウム 137, 多段ネスティング, ROMS

Keywords: multi-class sediment transport model, radioactive cesium 137, multiple nesting approach, ROMS (Regional Oceanic Modeling System)

A sediment transport model for analyzing the environmental dynamics of radionuclides in estuarine and coastal oceans

UCHIYAMA, Yusuke^{1*} ; YAMANISHI, Takafumi¹ ; TSUMUNE, Daisuke² ; MIYAZAWA, Yasumasa³

¹Kobe University ; ²Central Research Institute of Electric Power Industry (CRIEPI) ; ³Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC)

Several oceanic dispersal modeling have been conducted by multiple institutions on dissolved radionuclides leaked at the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant (FNPP). Among others, we developed a multi-nesting oceanic model at the lateral grid resolution down to 1 km and performed the comprehensive dispersal reanalysis of the direct release of ¹³⁷Cs from FNPP occurred in March and April 2011 (Uchiyama *et al.*, 2013, *J. JSCE*). The model reveals that the current field on the continental shelf off Fukushima varied with surface wind stress and largely confined in the narrow coastal strip by about 30 km offshore. The spectral coherence analysis suggests that predominant alongshore transport of nuclides is caused by coastal jets on the shelf, presumably as forced shelf waves associated with the alongshore component of the wind stress. The coastal dispersal of the radionuclides is affected not only by direct release but also by atmospheric fallout (deposition) and discharge from the rivers. The last process introduces a time lag behind the direct release with hydrological process because the nuclides mostly attach to suspended particles (sediments) that are transported quite differently to the dissolved matter in the ocean.

In the present study, an Eulerian sediment transport model as an active tracer conservation equation with a prescribed settling velocity added to the vertical advection term, a wave-enhanced bed boundary layer model and a simple stratigraphy model proposed by Blaas *et al.* (2007) are implemented into ROMS (Shchepetkin and McWilliams, 2005, 2008). Three classes of sediments, viz., fine sand, silt and clay fractions, are considered here. The modeling procedure is approximately the same as Uchiyama *et al.* (2013), whereas the third embedding is done at the horizontal resolution dx of 250 m within the existing 1-km domain to develop the triple nested configuration forced by the assimilative JCOPE2 reanalysis (Miyazawa *et al.*, 2009) as the outer-most boundary conditions. Thus the grid refinement occurs from JCOPE2 (dx ~ 10 km) to ROMS-L1 (dx = 3 km), to ROMS-L2 (dx = 1 km), and finally to ROMS-L3 (dx = 250 m). Sediments are taken into account in ROMS-L3 model carried out for March through August 2011. The bed skin stress is evaluated by a combined wave-current stress model of Soulsby (1995) with the wave field computed by a SWAN spectral wave modeling at dx = 1 km embedded in the JMA GVP-CWM spectral wave reanalysis. The bathymetry is provided by the 50-m resolution dataset compiled by Japan's Cabinet Office. The initial distributions of fractions of the marine bed sediment classes are estimated with an optimally interpolated field of the observations reported by Miyagi and Fukushima Prefectures (1991, 2013). Daily discharges of 6 major rivers and 14 minor rivers in the L3 domain are provided from the hydrological surface water model HYDREEMS conducted in CRIEPI. An empirical, mean relation between river discharge and sediment flux based on Takekawa *et al.* (2013) is employed for estimating the section-averaged sediment flux at each river mouth. Fraction of sediment classes in the river water is estimated from a USLE based river model conducted by JAEA (2013). The passive tracer is additionally considered to track dissolved ¹³⁷Cs released from FNPP as the direct release, whereas its absorption and desorption to the sediments (i.e., suspended ¹³⁷Cs) are not considered yet.

We intend to talk at the conference on initial dispersal of dissolved ¹³⁷Cs at dx = 250 m, extent of the land-derived sediments from each river mouth, resuspension and recirculation of the deposited bed sediments during storm conditions, in conjunction with corresponding oceanic states. We will further touch on potential distribution of suspended and dissolved ¹³⁷Cs if absorption and desorption occur.

Keywords: multi-class sediment transport model, radioactive cesium 137, multiple nesting approach, ROMS (Regional Oceanic Modeling System)