

戦略的国際科学技術協力推進事業
国際緊急共同研究・調査支援プログラム (J-RAPID)

1. 研究・調査課題名：「東北地方太平洋沖地震津波による津波災害と福島第一原子力発電所からの放射能汚染水の沿岸影響に関する非構造格子海洋流動モデルを用いたアセスメント」
2. 研究・調査期間：平成 23 年 9 月～平成 25 年 3 月
3. 支援額： 総額 4,708,000 円
4. 主な参加研究者名：

日本側（研究代表者を含め 6 名までを記載）

	氏名	所属	役職
研究代表者	佐々木 淳	横浜国立大学	教授
研究者	鈴木 崇之	横浜国立大学	准教授
研究者	Retno Utami Agung Wiyono	横浜国立大学大学院	博士課程後期2年
研究者	Amunugama, A. A. W . R. R. M. K.	横浜国立大学大学院	博士課程後期2年
研究者	本間 真平	横浜国立大学大学院	博士課程前期1年
研究者	山本 修司	横浜国立大学	学部 4 年
参加研究者 のべ 11名			

相手側（研究代表者を含め 6 名までを記載）

	氏名	所属	役職
研究代表者	Changsheng Chen	University of Massachusetts-Dartmouth	Professor
研究者	Robert C Beardsley	Woods Hole Oceanographic Institution	Scientist Emeritus
研究者	Rubao Ji	Woods Hole Oceanographic Institution	Associate Scientist
研究者	Jian Lin	Woods Hole Oceanographic Institution	Senior Scientist
研究者			
研究者			
参加研究者 のべ 4名			

5. 研究・調査の目的

本研究は非構造格子有限体積法海洋流動モデル FVCOM ベースの予測システムを構築し、東北地方太平洋沖地震津波と福島第一原子力発電所の放射能汚染水による沿岸影響を緊急に評価し、再度の災害に備えたシステムの実用化を目指す。具体的には、日本側は地理空間、津波高さ、原発汚染水等に関するデータの収集整理や、本システムを用いたローカルアセスメントを分担し、米国側チームは本システムの確立と東北地域全体の津波の伝播・浸水・遡上および放射能汚染水の影響予測を分担する。両国のチームが相互補完的に取り組むことで、津波および放射能汚染水拡散に関するグローバルからローカルレベルまでを統合した、高精度かつ高効率な実用システムが確立され、我が国における防災・減災ツールの一つとして広く利用されるようになることが期待される。

6. 研究・調査の成果

6-1 研究・調査の成果

本研究では水平面に三角形格子を用いる非構造格子の海洋流動モデル FVCOM をベースとした津波および放射能汚染水の移流拡散を精密に再現可能な計算システムの開発と津波および放射能汚染水のアセスメントを行った。非構造格子を採用することで、1つの格子システムにおいて空間的な格子の細かさ（格子解像度）を自由に設定することができる。これにより、広大な太平洋全体を計算領域に含みながら、焦点を当てる沿岸域および陸上で格子を小さくすることにより、複雑な海岸線、港や建物の形状を精密に再現したシミュレーションが可能となる。具体的には全球の計算を可能とする Global-FVCOM によって沿岸で 2km、外洋で 50km の格子による計算を可能とし、さらに注目する日本沿岸域を最小 5m 格子で解像する Japan Coastal FVCOM (JC-FVCOM) を構築した。Global-FVCOM の計算結果から得られた情報を JC-FVCOM の境界条件として与えるネスティング計算により、コストパフォーマンスの高い効率的な計算が可能となっている。JC-FVCOM の開境界格子は Global-FVCOM の格子と完全に一致していることから、非常に簡単かつフレキシブルにネスティング計算が可能となっている。

本研究の立ち上げに至った背景としては日本側チームが東日本大震災の 2 年前よりオリジナルの FVCOM を初めて津波に適用できるよう改良したことで、東日本大震災の発災を受け FVCOM の開発グループである米国チームとの共同研究に発展したものである。FVCOM はすでに海洋物理学や海洋生態学の分野で優れたオープンソースの汎用流動モデルとしての地位を築いており、今後のさらなる普及が期待されるものであった。本共同研究により津波や放射能汚染水の拡散計算においても優れた性能を示すシステムの構築に成功し、工学的、実務的応用への展開を示せた点で意義が大きい。

福島第一原発事故に伴う放射能汚染水の海洋拡散はその予測評価が緊急かつ重要な課題である。本システムの特性を生かし、防波堤の形状を水平 5m 格子で精密に表現し、同時に日本の太平洋沿岸を 1つのメッシュシステムとして解く JC-FVCOM によって、より高精度な拡散再現・予測が可能となった。他の研究における放射能汚染水の拡散計算では福島第一原発周辺でも 0.6km から 2km 程度の粗い格子で解像したものしかなく、その再現性に疑問があった。本研究では原発周辺を 2km 格子と 5m 格子でそれぞれ解像した計算の比較を行ったところ、2km 格子では福島近海での放射能を過小評価し、より拡散性が強くなる結果となっていた。本研究の高解像度計算では実測された水中および底質中の Cs137 濃度と整合性が高く、非構造格子を用いる本研究の有効性と必要性を示すことができた。放射能汚染水の拡散シミュレーションの第 1 報は緊急性を考慮して RAPID 研究代表の所属するマサチューセッツ大学ダートマス校の web に 2011 年度中に公開し、その後日本側チームの収集整理した観測データを用いた検証と修正を経て、原著論文にまとめている。

日本側チームは時間と共に急速に失われていく津波痕跡等の情報収集のため、東北沿岸のほぼ全地域の踏査を行い、他の研究チームによる調査との重複を避けながら津波の遡上高、浸水高等に関する調査を実施した。さらに現地踏査との対応を取りながら、浸水域境界線のベクトルデータの構築を行った。これらの成果は本研究の数値シミュレーションの検証に用いられ、津波および放射能汚染水の再現精度を担保する上でも有用な成果となったと同時に、調査結果は日本側チームが属している学会合同津波調査グループによるデータとして直ちに一般公開している。これらのデータは行政、民間、および研究者によって活用され、喫緊の課題である災害からの復旧復興検討に用いられている。

また、日本側チームは FVCOM を用いた数値シミュレーションを行う上でボトルネックとなる非構造格子の生成法に関して検討し、まず、やや粗い解像度で全体の格子を用意し、部分的に空間解像度を上げた格子を新規に作成し、両者を合成する手法を構築している。本手法はプロトタイプマニュアルとしてまとめてあり、これを公開することで FVCOM ベースの予測システムの普及を図っていく予定である。メッシュ生成法については引き続き検

討を行い、より使いやすい手法の開発を進めていく予定である。

本研究で開発した流動予測システムは津波や放射能汚染水の拡散問題の他にも油の流出予測等の空間スケールの異なる現象を内包する空間多重スケール問題に広く適用可能なものである。また、MPI 並列計算コードが実装されており、現在主流のクラスター計算機で非常に効率的な計算が可能となっている。今後さらなる計算機の発達を想定すると、非構造格子モデルは MPI 並列計算との親和性が高く、将来的には構造格子モデルよりもフレキシブルで計算効率の高いものとなる可能性を秘めている。従って、コンサルタント等の業務においても将来的には取り入れられる可能性を持っていると期待され、そのような方向を後押しするような研究を日米両チームで協力して進めていく予定である。

7. 主な論文発表・特許等（5件以内）

相手側との共著論文については、その旨を備考欄にご記載ください。

論文 or 特許	・論文の場合： 著者名、タイトル、掲載誌名、巻、号、ページ、発行年 ・特許の場合： 知的財産権の種類、発明等の名称、出願国、出願日、 出願番号、出願人、発明者等	備考
論文	Lai, Z., Chen, C., Beardsley, R., Lin, H., Ji, R., Sasaki, J., and Lin, J.: Initial spread of 137Cs over the shelf of Japan: a study using the high-resolution global-coastal nesting ocean model, Biogeosciences Discuss., 10, 1929–1955, DOI:10.5194/bgd-10-1929-2013, 2013.	相手側と共著
論文	Wiyono, R.U.A., Sasaki, J. and Suzuki, T.: Numerical assessment of the 2011 Tohoku Earthquake Tsunami in Ports of Tokyo Bay with the Effectiveness of Floodgates, J. Coastal Res., SI65, 844–849, DOI: 10.2112/SI65-143.1, 2013.	
論文	Sasaki, J., Ito, K., Suzuki, T., Wiyono, R.U.A., Oda, Y., Takayama, Y., Yokota, K., Furuta, A. and Takagi, H. Behavior of the 2011 Tohoku earthquake tsunami and resultant damage in Tokyo Bay. Coastal Eng. J., 54(1), 1250012, 26pp., DOI: 10.1142/S057856341250012X, 2012.	
論文	佐々木 淳・伊藤一教・鈴木崇之・Retno Utami Agung WIYONO・織田幸伸・高山百合子・羽角華奈子・古田敦史・高木泰士. 2011年東北津波の東京湾内での伝播特性と被害状況. 土木学会論文集B2, 68(2), I_261-I_265, 2012.	
論文	鈴木崇之・佐々木 淳・田島芳満・早野公敏. 2011年東北地方太平洋沖地震津波の岩手県南部における被災調査. 土木学会論文集B3, 68(2), I_25-I_30, 2012.	