

津波公害の被害予測に向けた沿岸海洋モデルの地球シミュレータでの利用性に関する評価

課題責任者

山中 亮一 徳島大学 大学院理工学研究部

著者

山中 亮一 徳島大学 大学院理工学研究部

中川 頌将 株式会社基礎建設コンサルタント

入江 政安 大阪大学 大学院工学研究科

中谷 祐介 大阪大学 大学院工学研究科

馬場 俊孝 徳島大学 大学院理工学研究部

南海トラフ巨大地震後の復旧・復興を妨げる“津波公害”の未然防止は、国民の生活の質の維持、産業振興の阻害要因解消に繋がるため重要である。本研究では、「発災前の環境対策」の実現に向けた被害予測を津波モデルと沿岸海洋モデルを組み合わせて実現することを目的に、徳島市を対象とした津波モデルの構築と、検討対象とした沿岸海洋モデルの地球シミュレータでの利用性について評価した。JAGRUSを用いた津波予測では、中央防災会議による最大津波浸水深の想定結果と良い一致が見られた。FVCOMとROMSはパブリックコードのままでは地球シミュレータでは動作せず、コードの修正が必要であった。とくにFVCOM3.7はFortranのバージョンの関係で地球シミュレータでは動作せず、地球シミュレータ側の対応が待たれる結果となった。また、FVCOMとROMSは並列化率とベクトル化率に改善の余地があり、この点も今後の課題と考えられた。今後はJAGRUSとFVCOM2.7のカップリングを進め、津波公害の被害予測を行い、有効な対策を見出したい。

キーワード：津波, JAGRUS, FVCOM, ROMS, 沿岸海洋モデル

1. 背景と目的

1.1 背景

東日本大震災では、津波による環境汚染が生じた(図1)。例えば、海底のヘドロが津波により陸域に持ち上げられ、含有する重金属類は土壤汚染を、細菌は健康被害を引き起こす原因となった。また、被災した化学工場から流出したPCB等の有害物質の流出による土壤汚染も一部みられた。同様のプロセスによる被害は、これからの南海トラフ巨大地震津波でも発生すると考えられる。また、将来被災地の多くが臨海部の工業地帯であるため、より大規模かつ深刻

な被害の発生が懸念される。そのためヘドロの浚渫などの「発災前の環境対策」が必要であるが、津波による化学物質の輸送過程を精度よく予測できなければ、有効な対策の立案は困難である。南海トラフ巨大地震後の復旧・復興を妨げる“津波公害”の未然防止は、国民の生活の質の維持、産業振興の阻害要因解消に繋がる。

1.2 目的

本研究では、津波による化学物質汚染の発生・伝播の予測のため、津波モデルによる津波予測と沿岸海洋モデ

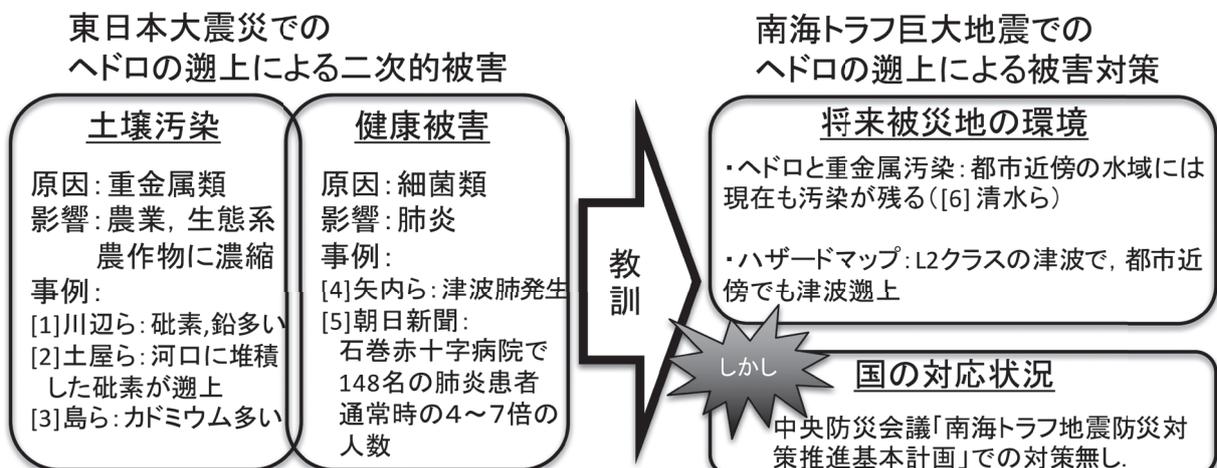


図1 研究の背景

表1 研究内容

A) 津波による化学物質輸送モデル構築		B) 数値解析による環境影響評価と対策検討	
課題	明らかにすること	課題	明らかにすること
①化学物質の空間分布	公開データを基に、GIS データ化	④津波解析の入力条件の整備	海岸堤防の地震と液状化による沈下量を考慮した地形作成
②化学物質の混濁過程	ヘドロ巻き上げ時の水質特性、巻き上がりのモデル化	⑤地球シミュレータによる数値解析：流動計算	流動予測の精度評価 (ES 利用)
③化学物質の堆積過程	巻き上がったヘドロの堆積過程とそのモデル化	⑥地球シミュレータによる数値解析：流動・水質モデル	影響範囲、対策シナリオの評価 (ES 利用)

ルの地球シミュレータでの利用性の評価を行った。本研究の科学的・技術的な意義としては、3次元沿岸環境モデルを適用することで、①潮汐や密度流の影響を考慮した現実に近い海象条件での津波解析が可能となること、②化学物質が引き波により海域に流出、3次元的な移流拡散し、その後押し波で再び遡上するような場合も評価が可能となることが挙げられる。また、遡上域における建物形状を入力することで、③建物間で生じる縮流などの流体現象を考慮することができ、より高精度な津波予測が可能となる。

2. 研究方法と研究計画

研究内容を表1に示す。H27年度は、課題①②③に関し文献調査並びに海底堆積物の現地調査、課題④に関し地盤沈下量地図の作成、課題⑤⑥に関しモデル適用性の検討を行った。課題⑤⑥では、解析対象とする空間スケールに合わせて数値モデルを one-way で連結して解析を実施することを想定し、数値モデルの適用性評価を進めた。検討対象としたモデルは津波の発生から沿岸海域までは2次元津波モデル JAGURS[7] を、3次元流動と物質輸送の予測は FVCOM[8] と ROMS[9] とした。

3. 現状と今後の課題

3.1 化学物質輸送に関する検討

課題①②③では、関連の文献を収集し、海底堆積物の再懸濁過程のモデル化について整理した。さらに、徳島市内河川の新町川での採泥を実施し化学分析に供した。

3.2 数値モデル評価に関する検討

課題⑤⑥は、境界条件の整備と、ES 上でのモデルの適

用性評価を行った。最新の地形情報を基に、空間分解能や精度の検討を行い、新たな地形メッシュを作成した。このメッシュを用い JAGURS による試算を試みた。L2 津波を想定した計算結果の一例を図2～4に示す。図3の最大津波浸水深の分布は中央防災会議による最大津波浸水深の想定結果と良い一致をみた。今後、この計算結

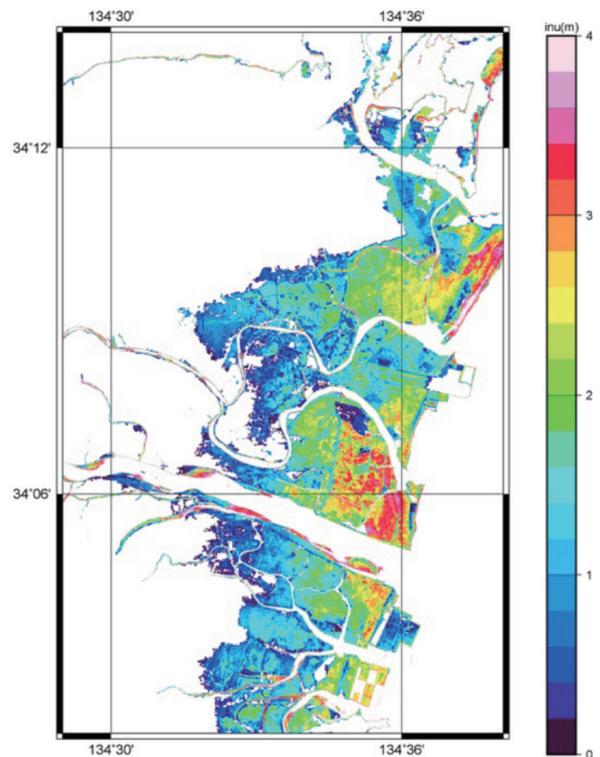
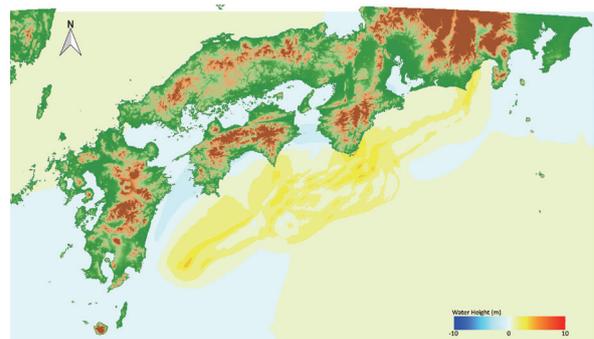


図3 最大津波浸水深の分布 (徳島市周辺)。
(中央防災会議による最大津波浸水深の想定結果とよく一致した。)



(a) 60 秒後



(b) 120 秒

図2 動的波源による津波発生状況 (中央防災会議による波源を適用)。

果は沿岸海洋モデルの開境界条件と計算結果の精度評価に用いる予定である。

ES 上での沿岸海洋モデルの適用性評価は、地球情報基盤センター情報システム部のサポートを受けて進めた。その結果、本研究で検討対象とした FVCOM と ROMS に

は ES での運用に関する幾つか課題が見つかり、解決策を検討した。詳細は表 2 に示した。

今後は、3 次元沿岸環境モデルの改良を行い、数値モデルの構築を進めていく。

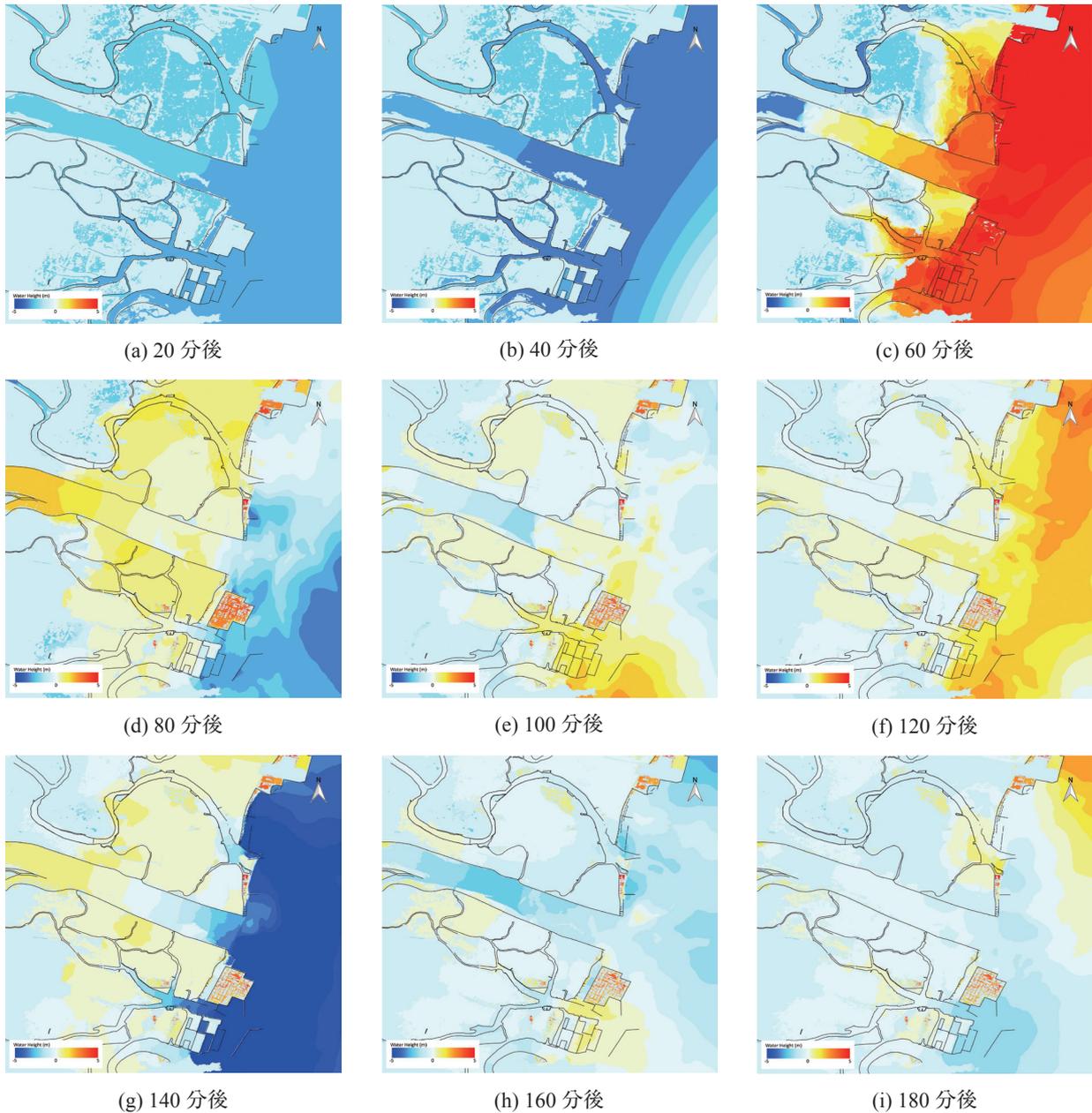


図 4 徳島市内の浸水状況

表 2 沿岸海洋モデルの評価結果

	FVCOM	ROMS
課題	<ul style="list-style-type: none"> バージョン 3.1: ES の Fortran2003 コンパイラに適合せず。また F2003 用の netCDF が必要であり動作せず。 バージョン 2.7.1: 並列化に関し提供コードに不具合があり修正が必要であった。 	バージョン 3.7: 提供コードの変数の受け渡し箇所に不具合があり、修正が必要であった。また、旧形式の C 記述に問題があり、修正が必要であった。
計算効率	並列化効率: 53% (1 ノード計算に対して 16 ノード計算の場合) ベクトル化率: 67 ~ 72%	並列化効率: 53% (1 ノード計算に対して 32 ノード計算の場合) ベクトル化率: 86%

謝辞

沿岸海洋モデルの評価に際し、海洋開発研究機構・今任嘉幸様に多大なご支援をいただいた。ここに謝意を表す。

文献

- [1] 川辺ら, “東日本大震災における津波堆積物中の重金属類とそのリスク”, 土木学会論文集 G (環境), Vol.68, No. 3, pp.195-202, 2012.
- [2] 土屋ら, “東北地方太平洋沖地震による岩手, 宮城, 福島県沿岸域の津波堆積物のヒ素に関するリスク評価” 会場, 地質学雑誌, Vol.118, No. 7, pp. 419-430, 2012.
- [3] 島ら, “東日本大震災による津波堆積物の化学的性質 (県北部)”, 宮城古川農試報, No.10, pp.33-42, 2012.
- [4] 矢内ら, “津波災害に関連した呼吸器疾患”, 日本内科学会雑誌, 第 101 卷, 第 6 号, pp.1727-1735, 2012.
- [5] 朝日新聞: 津波被災地で肺炎患者増加 海水や大気中の化学物質原因, 2011.4.7.
- [6] 清水ら, “主要湾域の海底堆積物中における有害汚染物質濃度の経年変化の傾向”, 海洋情報部研究報告, 第 44 号, pp.57-66, 2008.
- [7] Toshitaka Baba, Narumi Takahashi, Yoshiyuki Kaneda, Yasuyuki Inazawa, and Mariko Kikkojin “Tsunami Inundation Modeling of the 2011 Tohoku Earthquake Using Three-Dimensional Building Data for Sendai, Miyagi Prefecture, Japan”, Tsunami Events and Lessons Learned, Advances in Natural and Technological Hazards Research, Vol.35, pp.89-98, 2014.
- [8] Chen, C., H. Liu, and R. C. Beardsley, “An unstructured, finite-volume, three-dimensional, primitive equation ocean model: application to coastal ocean and estuaries”, J. Atm.&Oceanic Tech., 20, 159-186, 2003.
- [9] Shchepetkin AF and McWilliams JC, “A method for computing horizontal pressure-gradient force in an oceanic model with a non-aligned vertical coordinate”, J Geophys Res 108:1-34, 2003.

Evaluation of the Applicability of Coastal Ocean Models in the Earth Simulator towards the Disaster Prediction of Tsunami on Water Quality

Project Representative

Ryoichi Yamanaka Graduate School of Science and Technology, Tokushima University

Authors

Ryoichi Yamanaka Graduate School of Science and Technology, Tokushima University

Nobumasa Nakagawa Kiso Kensetsu Consultant, co.,ltd.

Masayasu Irie Graduate School of Engineering, Osaka University

Yusuke Nakatani Graduate School of Engineering, Osaka University

Toshitaka Baba Graduate School of Science and Technology, Tokushima University

Tsunami induced water pollution due to sediment resuspension. Suspended sludge in urban river was carried by Tsunami to urban area and induced a health problem at the Great East Japan Earthquake of 2011. In this study, we conducted Tsunami simulation using JAGURS to make a boundary condition for coastal ocean model. Also, we evaluated an applicability of coastal ocean models (FVCOM and ROMS) in the Earth Simulator. As a result, the results of the maximum tsunami inundation depth by JAGRUS was good match with the result of simulation by Central Disaster Management Council of the Japanese government. Original codes of FVCOM and ROMS did not work in the Earth Simulator and were necessary to correct the code. In particular, FVCOM3.7 did not work in the Earth Simulator due to a mismatch of the version of the Fortran and netCDF library. In addition, FVCOM and ROMS has room for improvement in the parallel rate and vector rate.

Keywords: Tsunami, JAGURS, FVCOM, ROMS, Coastal Ocean Model

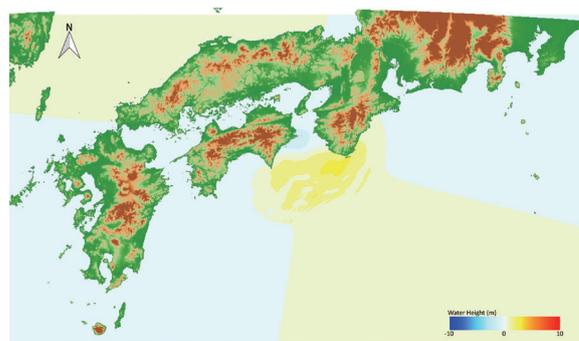
1. Background and objectives

The Great East Japan Earthquake of 2011 is not only issued a large number of the dead, but also caused environmental damages. For example, sludge on the sea bottom was carried by Tsunami to the land, and ground and dust pollution caused serious health problem. We are worried about similar pollution will be occurred by the next Nankai megathrust earthquakes. To prevent the occurrence of the environmental problem by Tsunami, proactive management is very important, and high-resolution Tsunami and water quality model were required for proactive management. In this study, we applied latest Tsunami code named JAGRUS[1] to make a boundary condition for coastal ocean model. We also evaluated an applicability of coastal ocean models (FVCOM[2] and ROMS[3]) in the Earth Simulator.

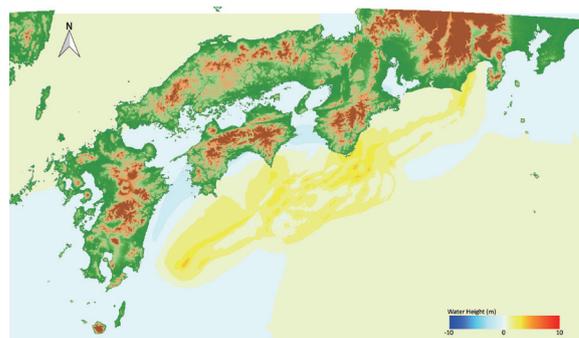
2. Method

2.1 Tsunami simulation

Topographical mesh was made by latest terrain database obtained by The Geospatial Information Authority of Japan. Dynamic wave source obtained by Central Disaster Management Council of the Japanese government. The computational domain and example of the result were shown in Fig. 1. Moreover, we focused on Tsunami inundation area and depth around Tokushima City, Japan.



(a) 60 sec.



(b) 120 sec.

Fig. 1 Computational domain and example of wave source.

2.2 Evaluation of Coastal Ocean Models

FVCOM2.7.1, FVCOM3.1 and ROMS3.7 were tested in the Earth Simulator. The evaluation was conducted with JAMSTEC because we faced some problems on compiling and executing the original code obtained from official user community of these numerical models. We also evaluated parallel efficiency rate and vector rate of the models.

3. Results and discussion

Maximum Tsunami inundation area and depth around Tokushima City was shown in Fig. 2. The result was good match with the result of simulation by Central Disaster Management Council of the Japanese government and we decide to apply SSH date of the result to coastal ocean model.

The result of evaluation of Coastal Ocean Models were summarized to Table 1. Original FVCOM and ROMS code did not work in the Earth Simulator and were necessary to correct the code. In particular, FVCOM 3.7 did not work in the Earth Simulator due to a mismatch of the version of the Fortran and netCDF library. In addition, FVCOM and ROMS has room for improvement in the parallel efficiency rate and vector rate.

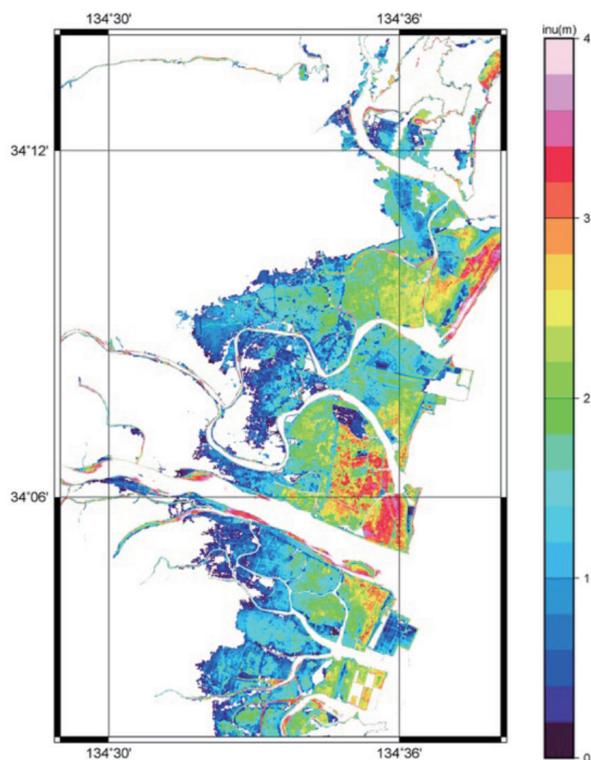


Fig. 2 Maximum Tsunami inundation depth by JAGRUS.

Acknowledgement

We are grateful to Dr. Yoshiyuki Imato of JAMSTEC for helpful advice of code analysis.

References

- [1] Toshitaka Baba, Narumi Takahashi, Yoshiyuki Kaneda, Yasuyuki Inazawa, and Mariko Kikkojin “Tsunami Inundation Modeling of the 2011 Tohoku Earthquake Using Three-Dimensional Building Data for Sendai, Miyagi Prefecture, Japan”, Tsunami Events and Lessons Learned, Advances in Natural and Technological Hazards Research, Vol.35, pp.89-98, 2014.
- [2] Chen, C., H. Liu, and R. C. Beardsley, “An unstructured, finite-volume, three-dimensional, primitive equation ocean model: application to coastal ocean and estuaries”, J. Atm.&Oceanic Tech., 20, 159-186, 2003.
- [3] Shchepetkin AF and McWilliams JC, “A method for computing horizontal pressure-gradient force in an oceanic model with a non-aligned vertical coordinate”, J Geophys Res 108:1-34, 2003.

Table 1 Result of code analysis

	FVCOM	ROMS
in the ES	v.3.1 did not work in the ES because mismatch of version of Fortran compiler and netCDF library. v.2.7.1 work with correction of code. Error is present on parallel processing.	v.3.7 work with correction of code. Error is present on exchange a variable.
parallel rate and vector rate	Parallelization efficiency rate: 53% Percent vectorization: 67~72%	Parallelization efficiency rate: 53% Percent vectorization: 86%