

大気・海洋・波浪モデルを用いた近年の日本に上陸した顕著台風に対する沿岸災害ハザード影響評価

課題責任者

森 信人 京都大学・防災研究所

著者

後藤浩二*1、二宮順一*2、松本圭太*3、片海健亮*3、志村智也*4、撫佐昭裕*1,5、竹見哲也*4、森 信人*4

*1 日本電気株式会社, *2 金沢大学理工研究域, *3 NEC ソリューションイノベータ株式会社, *4 京都大学防災研究所, *5 東北大学サイバーサイエンスセンター

気候変動に伴う台風災害の激甚化と関連する沿岸部の災害の激甚化が懸念されている。地球温暖化時の台風による沿岸災害の定量的評価と気候変動適応・緩和に加え、沿岸における高波・高潮・防風に対する減災が期待されるマングローブ林の減災効果の定量的評価を目的に大気海洋波浪結合モデル(COAWST)を地球シミュレータ向けに開発してきた。これまでの COAWST では波浪モデルに浅海域をターゲットしたスペクトル型波浪モデル SWAN を使用していた。外洋での予測精度向上を目的に波浪モデルに WaveWatchIII を使用するため、新しい COAWST を地球シミュレータ (ES4) へ移植した。また、WaveWatchIII の ES4 での性能評価を行った。

キーワード : モデル高度化, HPC 技術, 大気海洋波浪結合モデル, 台風 Haiyan

1. はじめに

台風は、洪水、地滑り、高波、高潮の原因となる主要な気象災害の1つである。台風の大きさ、強度、経路によっては、熱帯・亜熱帯およびの中緯度の広い範囲に壊滅的な被害をもたらす。例えば、2013年にフィリピンへ上陸した台風 Haiyan によって、802 百万ドルの経済的な損失があっただけでなく、約 8,100 人の死者・行方不明者という非常に大きな人的被害があったことが報告されている[1]。さらに、気候変動に伴い、台風がより強力になり、災害の規模の拡大が懸念されている[2]。このような台風による災害を軽減および防止するためには、正確な数値予報モデルに基づくタイムリーかつ適切な警報、減災効果のあるインフラ(例えば、防波堤などのグリーンインフラやマングローブなどのグリーンインフラ)の設置などが必要である。

本課題の目的は、台風による沿岸災害を統合的に評価するため、高解像度の気候海洋波浪結合モデルを開発することである。

今年度は、昨年度まで開発してきた高解像度気候海洋波浪結合モデル[3][4][5]を新しい地球シミュレータ(以降、ES4 と呼ぶ)へ移植した。また、ES4 での計算性能改善に向けた性能評価・分析を行った。

2. 高解像度大気海洋波浪結合モデル

高解像度大気海洋波浪結合モデルは、USGS の COAWST モデルをベースとし、大気モデル(WRF[6])、海洋モデル(ROMS[7])、波浪モデル(SWAN[8])の各モデルコンポーネントとそれらを結合するツールキット(MCT[9])から構成されており、旧地球シミュレータ(ES3 と呼ぶ)では、VPU(Vector Processor Unit)[10]の利用効率改善のための最適化と計算負荷インバランスを改善するための各モ

デルコンポーネントへの計算機資源割り当ての調整を行うことにより、台風 Haiyan の5日間のシミュレーションを約 21.6 時間で実行できていた。新しい COAWST ([10], ver3.7)では、波浪モデルとして WaveWatchIII(WW3)が利用できるようになっている。

3. ES4 への移植と性能評価・分析

昨年度まで ES4 への移植・最適化を行った COAWST(ver3.4)と同様、新しい COAWST(ver3.7)を ES4 へ移植した。昨年度まで行った最適化については適用している。波浪モデルについては、まずは昨年度と同様、SWAN を用いて ES4 へ移植後の動作確認を行った。ES4 は計算機アーキテクチャの異なる3つの計算機から構成されたマルチアーキテクチャ型のスーパーコンピュータである[11]。昨年度の性能分析では、COAWST を構成する大気・波浪モデルについては ES4 の CPU ノード(ES4CPU)の方が ES4 の VE 搭載ノード(ES4VE)よりも適していた。海洋モデルについては ES4VE の方が適していたが、まずは全モデルを ES4CPU で実行し、新しい COAWST(ver3.7)の動作確認を行った。

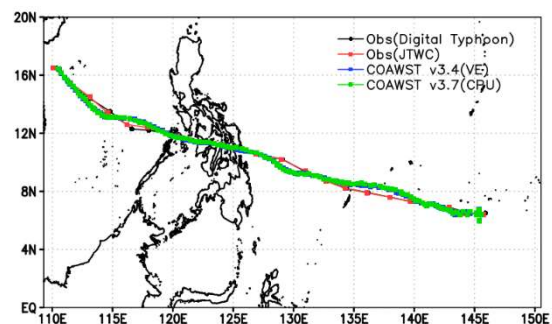


図 1 台風 Haiyan の経路

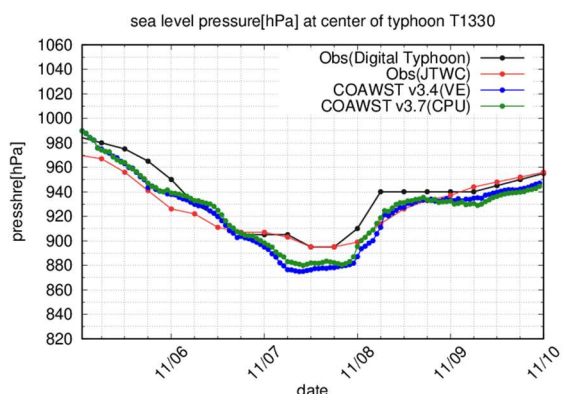


図2 台風 Haiyan の最低中心気圧の時系列

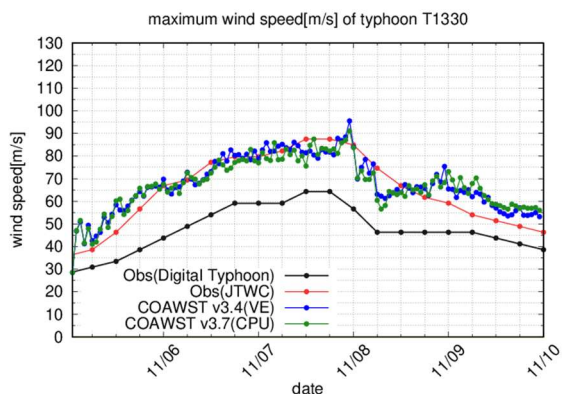


図3 台風 Haiyan の最大風速の時系列

台風 Haiyan のシミュレーションに使用した結合モデルのパラメータを表 2 に示す。ES4CPU の 1256 コアを使用した 5 日積分の実行時間は、約 20.6 時間と、COAWST ver3.4 と同等の実行時間であることを確認した。また、COAWST ver3.7 の ES4CPU での計算結果の確認として、台風の経路、最低気圧及び最大風速を図 1、図 2 及び図 3 に示す。図 1、図 2 及び図 3 には比較用にデジタル台風[12]と合同台風警報センター[13]で公開されているベストトラックも表示した。ES4CPU で実行した COAWST ver3.7 の結果は、ES4VE で実行した COAWST ver3.4 の結果とほぼ同様となっていることを確認した。

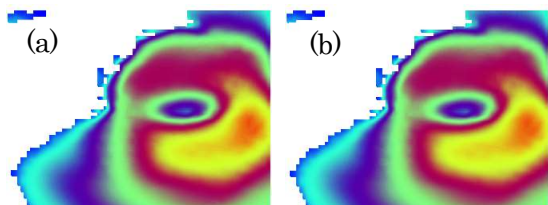


図 4 WW3 でのハリケーン Sandy おける有義波高の最大値。(a) ES4CPU での結果、(b) ES4VE での結果

COAWST に付属のハリケーン Sandy の入力データを使用して、WW3 の ES4 での動作確認と性能評価を行った。モデ

ルの格子点数は 84x64、経度方向の解像度は 22km、緯度方向の解像度は 26km となっている。ES4CPU では 12 コア、ES4VE では 8 コアで 2 日積分を実行した。WW3 の計算結果(波高)を図 4 に示す。また実行時間を表 1 に示す。ES4 CPU と ES4VE ではほぼ同様の結果が得られている。ただし、実行時間は ES4CPU の方が ES4VE よりも約 8.5 倍高速であった。

表 1 WW3 の Sandy ケースの実行時間

実行環境	プロセス数	実行時間[秒]
ES4CPU	12	75
ES4VE	8	635

4. まとめと今後の予定

COAWST ver3.7 を ES4CPU へ移植し、以前の ver3.4 と同等の実行時間で計算できることを確認した。また計算結果についても、妥当な結果が得られることを確認した。さらに、波浪モデルとして WW3 を ES4VE と ES4CPU へ移植し、実行時間を評価した。WW3 については、ES4CPU で実行した方が ES4VE よりも約 8.5 倍高速であった。

今後は、COAWST ver3.7 とこれまで開発してきた疑似温暖化実験の手法を、過去の日本に襲来した顕著な台風事例等に適用し、気候変動に伴う台風強度の長期評価手法の検証を進める予定である。

謝辞

本研究の一部は、(独)環境再生保全機構の環境研究総合推進費 S-18 サブテーマ 3-2 および科学研究費補助金により実施された。

文献

[1] Mori, N., Kato, M., Kim, S., Mase, H., Shibutani, Y., Takemi, T., Tsuboki, K., and Yasuda, T., “Local amplification of storm surge by Super Typhoon Haiyan in Leyte Gulf,” *Geophys. Res. Lett.*, 41, 5106-5113, (2014).
<https://doi.org/10.1002/2014GL060689>.

[2] Murakami, H., Mizuta, R., and Shindo, E., “Future changes in tropical cyclone activity projected by multi-physics and multi-SST ensemble experiments using the 60 km-mesh MRI-AGCM,” *Climate Dynamics*, 39, 2569-2584, 2016.

[3] Mori, N., Taira, Y., Takemi, T., Ninomiya, J., Sakakura, K., Musa, A., Watanabe, O., Goto, K., and Shimura, T., “Optimization of Atmosphere-Ocean-Wave Coupled Model Using HPC Technique,” *Annual Report of the Earth Simulator*, April 2017-March 2018, 69-70, 2019.

[4] Singh, K. S., Sakakura, K., Saha, S. Mathur, R., Sharma, C., Goto, K., Watanabe, O., and Musa, A., “Optimizations of COAWST for a Large Simulation on the Earth Simulator,” 2018 IEEE International Conference on Cluster Computing (CLUSTER), Belfast, 629-636, 2018.

[5] Sakakura, K., Ninomiya, J., Goto, K., Taira, Y., Shimura, T., Musa, A., Takemi, T., and Mori, N., “Optimization of Coupled

Atmosphere-Ocean-Wave Model – Test Simulation of Typhoon Haiyan –,” Annual Report of the Earth Simulator, April 2019–March 2020, I-6-5 – I-6-7, 2020.

[6] Skamarock, W. C., Klemp, J. B., Dudhia, J., Gill, D. O., Barker, D., M., Duda, M. G., Huang, X.-Y., Wang, W., and Powers, J. G., “A Description of the Advanced Research WRF Version 3,” NCAR Tech. Note NCAR/TN-475+STR, (2008). <http://dx.doi.org/10.5065/D68S4MVH>

[7] Shchepetkin, A. F. and McWilliams, J. C., “The regional oceanic modeling system (ROMS): a split-explicit, free-surface, topography-following-coordinate oceanic model,” Ocean Modelling, 9(4), 347–404, (2005).

[8] Booij, N., Holthuijsen, L. H. and Ris, R. C., “The SWAN wave model for shallow water. In: Proceedings of 24th International Conference on Coastal Engineering,” 1, 668–676, (1996).

[9] Larson, J., Jacob, R., & Ong, E., “The Model Coupling

Toolkit: A New Fortran90 Toolkit for Building Multiphysics Parallel Coupled Models,” The International Journal of High Performance Computing Applications, 19(3), 277–292, (2005).

<https://doi.org/10.1177/1094342005056115>

[10] COAWST git repository

<https://code.usgs.gov/coawstmodel/COAWST.git>

[11] Ryusuke Egawa, Kazuhiko Komatsu, Shintaro Momose, Yoko Isobe, Akihiro Musa, Hiroyuki Takizawa, and Hiroaki Kobayashi., “Potential of a modern vector supercomputer for practical applications: performance evaluation of SX-ACE,” The Journal of Supercomputing, 73(9), 3948–3976, (2017). <https://doi.org/10.1007/s11227-017-1993-y>

[12] <http://agora.ex.nii.ac.jp/digital-typhoon/summary/wnp/1/201330.html>

[13] <https://www.metoc.navy.mil/jtwc/jtwc.html?western-pacific>

表2 モデルパラメタ

大気モデル (WRF)			
項目名	値	項目名	値
水平解像度	領域 1:3km 領域 2:1km	地表面フラックス (sf_sfclay_physics)	Monin-Obukhov (Janjic) scheme
水平格子数	領域 1: 1334x667 領域 2: 2001x705	大気境界層 (bl_pbl_physics)	Mellor-Yamada-Janjic TKE scheme
鉛直層数	55 層	陸面 (sf_surface_physics)	thermal diffusion scheme
雲微物理 (mp_physics)	Lin et al. scheme	初期値・境界値データ	NCEP FNL + pseudo global warming (C0, C1, C2, and C3)
短波放射 (ra_sw_physics)	Dudhia scheme	地形データ	GTOPO30
長波放射 (ra_lw_physics)	RRTM scheme		
海洋モデル (ROMS)			
項目名	値	項目名	値
水平解像度	領域 1:3km	初期値・境界値 データ	SODA3.4.2/4deg 5day + pseudo global warming (C0, C1, C2, and C3)
水平格子数	領域 1:1334x667	海底地形データ	GEBCO
鉛直層数	40 層		
波浪モデル (SWAN)			
項目名	値	項目名	値
水平解像度	領域 1: 3km	初期値・境界値データ	初期値: computed from local wind, 境界値: NOAA WWIII Global 30 min.
水平格子数	領域 1: 1334x667	海底地形データ	GEBCO
方位分割数 x 周波 数分割数	36x24		