

高度情報利用社会実現に向けた大規模環境予測シミュレーションと周辺技術の開発

課題責任者

佐々木 亘 海洋研究開発機構 地球情報基盤センター

著者

佐々木 亘^{*1}, 大西 領^{*1}, 後藤 浩二^{*2}, 川原 慎太郎^{*1}, 瀧上 弘光^{*3}

*1 海洋研究開発機構 地球情報基盤センター, *2 日本電気株式会社, *3 NEC ソリューションイノベータ株式会社

高度情報利用社会の実現に向けて、大規模数値シミュレーションにより環境予測情報を創出し、それをエンドユーザーに効率的に提供する方法に関する研究開発を行う。例えば、短時間強雨予測やロケット打上げ時の発雷リスク予測に対しては、乱流の影響を考慮した高度な雲微物理プロセスモデルや発雷プロセスモデルを用いた大規模予測シミュレーションを開発・実行し、得られる大規模データを効率的に情報財にまで加工し提供する技術を開発する。その過程では、従来の可視化にとどまらず、新たなデータの加工法を開発する。

また、人口が都市に集中し、かつ、巨大な臨海都市を複数有する日本において、生活に密着した気象・気候情報を得るためには、都市臨海と沿岸を高精度に表現することが求められる。得られるデータは、湾内の水産業だけでなく、臨海部の暑熱環境予測、また、再生可能エネルギーの一つである波力エネルギーの潜在量の推定などにも利用可能である。そこで、エンドユーザを意識した大規模大気海洋計算手法の開発と、データ提供法の開発も目的とする。

本年度は、大気と海洋の相互作用を考慮した MSSG (Multi-Scale Simulator for the Geoenvironment) を用いた大規模な環境予測シミュレーション、大規模気象計算結果の新たな簡易可視化法の開発を行った。

キーワード：マルチスケールシミュレーション, 台風, 波しぶき, 大気海洋結合, 暑熱環境

1. 大規模環境予測シミュレーション

1.1 高解像度大気・海洋結合モデルを用いてマッデン・ジュリアン振動を再現

マッデン・ジュリアン振動 (MJO) は、熱帯域に特徴的な現象であり、世界各地の天気や気候さらには社会・経済活動へも影響を及ぼすエルニーニョや台風の引き金となることが指摘されているため、その適切な予測が求められている。本年度は大気海洋結合モデル (MSSG) を用いた再現実験 (結合あり) と、その実験から得られた海面水温で駆動した MSSG 大気モデル実験 (結合なし) を比較した (図 1, 2)。その結果、短時間の大気海洋相互作用が MJO の大気下層の水蒸気収束や西風バーストに影響を及ぼすことを明らかにした。今回の成果は、大気と海洋の相互作用を考慮した大気海洋結合モデルにより予

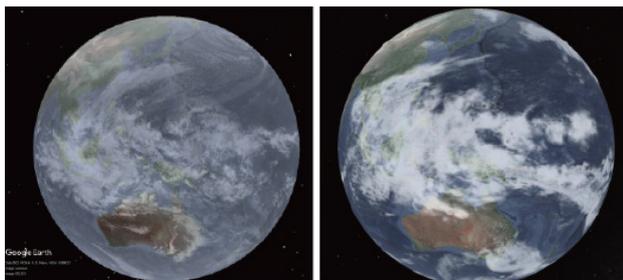


図 1 衛星観測による雲画像 (左) と、MSSG 大気海洋結合モデルで再現された外向き長波放射 (対流活動の強さを表す指標の一つ。白いほど発達した雲があることを示す。; 右)

測の精度向上が可能であることを示したものであり、海洋状態の影響が顕れる 1 週間よりも長い期間を対象とした気象と海象の予測や、月間の平均気温や降水量などの

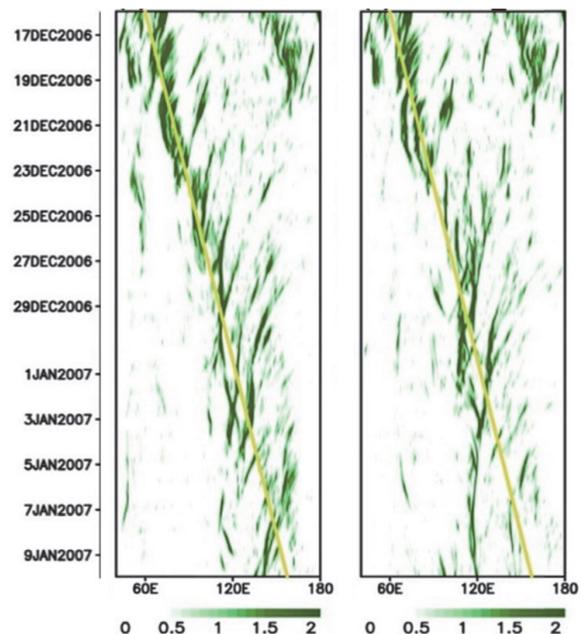


図 2 2006 年 12 月中旬にインド洋で発生したマッデン・ジュリアン振動 (MJO) に伴い降水域が東へ移動していく様子 (緑, mm/hour)。(左) MSSG、(右) MSSG で予測された 6 時間ごとの海面水温で駆動した大気単体モデル。西太平洋で降水量の違いが見られる。黄色の直線は典型的な MJO の移動速度 (5 m s^{-1})。

変化傾向予測の精度を高めた新たな季節予測を実現するための礎となりうる。成果は国際誌に掲載され[1]、かつ、プレスリリースされた（2016年10月11日、[2]）。

1.2 新しい海面物理モデルを用いてスーパー台風を再現

台風は豪雨や強風による自然災害を引き起こし、社会・経済活動に深刻な影響を与えたため、台風の進路、および、強度の予測精度向上による台風災害の軽減が必要とされている。本年度は、平成28年度地球シミュレータ公募課題「複数の次世代非静力学全球モデルを用いた高解像度台風予測実験」（代表：竹内義明、気象庁気象研究所）において、海面物理過程に関わるモデルの違いが台風の特性に及ぼす影響を評価するため、MSSG大気モデルを用いた実験を行なった。実験では、京都大学小森研究室において水槽実験の結果から導かれた海面物理過程モデルをMSSG大気モデルに導入し、平成25年台風30号（ハイエン）の再現実験を行なった。従来のモデルでは中心気圧が920hPaまで発達したが、観測値の890hPaには至らなかった。一方、新しい海面物理過程モデルを用いる

ことで、中心気圧は900hPa以下に発達した（図3）。また、台風の構造にも影響を及ぼすことを示した（図4）。つまり、高風速域の海面フラックスモデルの改良が台風予測シミュレーションの信頼性向上につながる可能性を示すことができた。

1.3 洋上風力・波力エネルギーの短期予測スキルに関するマルチモデル比較

地球温暖化緩和策の一つとして再生可能エネルギーの利用が挙げられている。本研究は、洋上風力・波力エネルギーの効率的な発電に必要とされる、短期予測の予測スキル向上を目指し、複数の現業気象予測データを用いて洋上風力と波力エネルギーの予測システムを構築し、予測スキルについて評価した。JMA, ECMWFなどの六つの現業気象予報機関が公開している気象予測データを用いて、9日先までの全球の洋上風力エネルギーと波力エネルギーの予測スキルについて評価した。その結果、中緯度よりも熱帯の予測のリードタイムが長く、予測バイアスが小さいことがわかった。また、予報機関のモデルの違いによって、予測バイアスやアノマリ相関が大きく異なり、モデルの違いによる予測のばらつきを明らかにした（図5）。再生可能エネルギーの一つとして期待されている洋上風力エネルギーと波力エネルギーについて、全

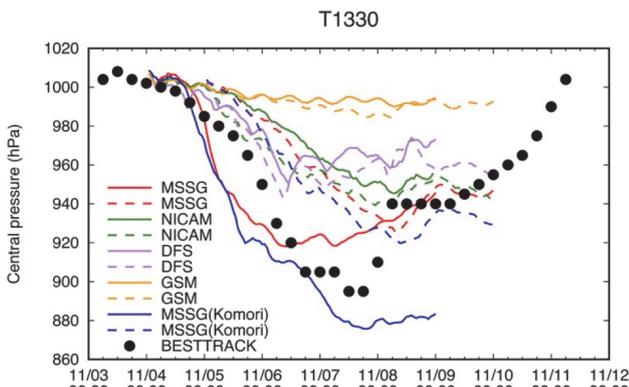


図3 台風の中心気圧の時間変化。黒点は観測値、実線と破線は初期値の異なるシミュレーション結果を表す。赤色は従来の海面物理過程モデル、青色は新たに導入したモデルを表す。新しいモデルによって、900hPaを超える強い台風が再現できた。

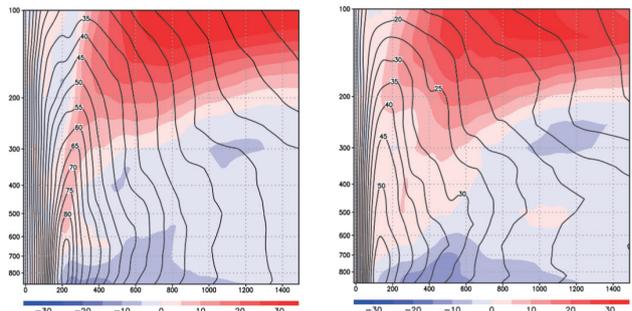


図4 台風の接線風速（実線；m/s）と動径風速（陰影；m/s）。小森モデルを導入した場合（左）としない場合（右）。高度900-650hPaで接線風速が55m/sから85m/sに増加した。また、最大風速半径が増大した。

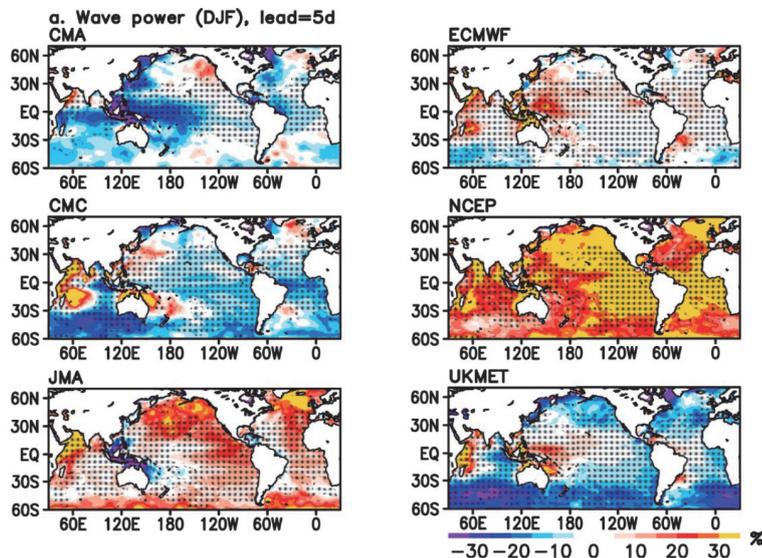


図5 六つの現業気象予報機関による気象予測データを用いた波力エネルギー予測のスキル（5日予測）。色は予測バイアスを表す。暖（寒）色は正（負）のバイアスを表す。点はアノマリ相関が0.7以上の海域を表す。予報機関によって予測バイアスが大きく異なることがわかる。

球スケールであるが、短期予測ができたことで、今後、地域スケールの予測への発展が期待できる。本成果は国際誌に掲載された [3]。

2. マルチスケール大気シミュレーションによる雲のシームレスな写実表現

MSSG モデルを用いた大気のネスト計算結果を効果的な表現で発信することを目的とし、MSSG で出力された各ネストレベルのデータから、ネスト化された可視化結果の Google Earth 用データ形式での出力までを自動的に行うスクリプトおよび関連プログラムを作成した。可視化ソフトウェアには CEIST で開発した VDVGE を用い、各ネストレベルを可視化する際に生じる重畳領域のみを非表示にする可視化アルゴリズムを新たに開発した [4] (図 6)。実際、MSSG モデルによる大規模計算結果の可視化に適用し、モデルのネスト構造に影響されないシームレスな雲の写実表現に成功した (図 7)。

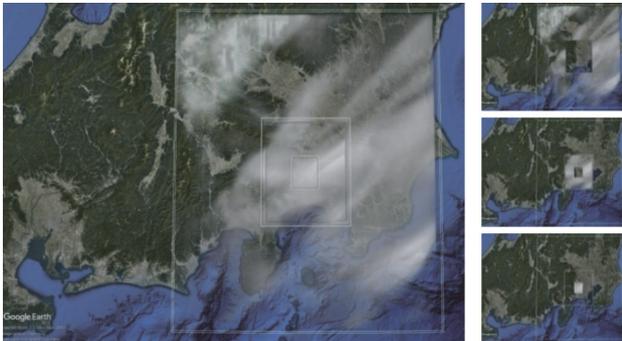


図 6 MSSG で出力された各ネストレベルのデータに対応した可視化結果の同時表示。ネストレベル別の可視化結果において、内側のネストデータにより重畳表示される領域を非表示した (右図)。



図 7 地上付近の視点からの可視化結果。各ネストレベルの可視化結果を同時表示した。

文献

- [1] Wataru Sasaki, Ryo Onishi, Hiromitsu Fuchigami, Koji Goto, Shiro Nishikawa, Yoichi Ishikawa, and Keiko Takahashi, “MJO simulation in a cloud-system-resolving ocean-atmosphere coupled model”, *Geophysical Research Letters*, 43, 9352-9360 (2016).
- [2] Press release, http://www.jamstec.go.jp/j/about/press_release/20161011/
- [3] Wataru Sasaki, “Predictability of global offshore wind and wave power”, *International Journal of Marine Energy*, 17, 98-109 (2016).
- [4] S. Kawahara, R. Onishi, K. Goto, K. Takahashi. “Realistic Representation of Clouds in Google Earth”, *Symposium on Visualization in High Performance Computing in SIGGRAPH ASIA 2015*, (2015), doi: 10.1145/2818517.2818541.

Research and Development of High-Performance Computing Technologies for Future Information-Aided Society

Project Representative

Wataru Sasaki Center for Earth Information Science and Technology, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

Authors

Wataru Sasaki^{*1}, Ryo Onishi^{*1}, Koji Goto^{*2}, Shintaro Kawahara^{*1} and Hiromitsu Fuchigami^{*3}

^{*1} Center for Earth Information Science and Technology, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, ^{*2} NEC Corporation,

^{*3} NEC Solution Innovators, Ltd.

Future information-aided society would largely rely on high-performance computing technologies. We have been developing a powerful multiscale weather and climate model named the multi-scale simulator for the geoenvironment (MSSG), which can provide high-resolution information for local society. This year we have performed global ocean-atmosphere coupled simulations using the MSSG, aimed at the better representation of the weather and climatic events. The visualization technology that converts the simulation results into useful information for local society is also a key for the information-aided society. An efficient visualization method for handling large-sized data generated by high-resolution simulations has been also developed for better use of the simulation information.

Keywords: multi-scale atmosphere-ocean coupled simulation, photo-realistic visualization

1. Multi-scale simulations for ocean-earth information

1.1 High-resolution atmosphere-ocean coupled simulation for an MJO event

The Madden-Julian Oscillation (MJO) is a dominant mode of tropospheric variability in the tropics, which is known as a trigger of a typhoon and El Nino, often exerts a large impact on the global socioeconomic activities. Thus, accurate prediction of the MJO is expected to enhance our prediction skill on a global weather and climate variability. We performed a hindcast experiment with MSSG in which ocean-atmosphere interaction is enabled (MSSG run), and another hindcast experiment with an atmospheric component of MSSG forced by the sea surface temperature predicted by the MSSG run (i.e. ocean-atmosphere interaction is disabled) (Fig. 1). We compared the results of the two hindcasts, and found that the ocean-atmosphere coupling has significant impacts on the representation of the MJO: e.g. the low-level moisture convergence and westerly wind bursts associated with the MJO. The outcome was published in a journal [1] and also in a press release on 11th October 2016 [2].

1.2 Multi-model intercomparison for the short-term prediction of available wind- and wave-energy in the ocean

Renewable energy is expected to offer viable alternatives to fossil fuels in the future. We developed an offshore wind and wave power forecast system with a state-of-the-art wave

model and a six-member multi-model ensemble of operational numerical weather forecasts to assess the forecast skill of available global offshore wind and wave power for lead times of up to 9 days (Fig. 2). We found that wind and wave power can be predicted in advance with less forecast bias in the tropical

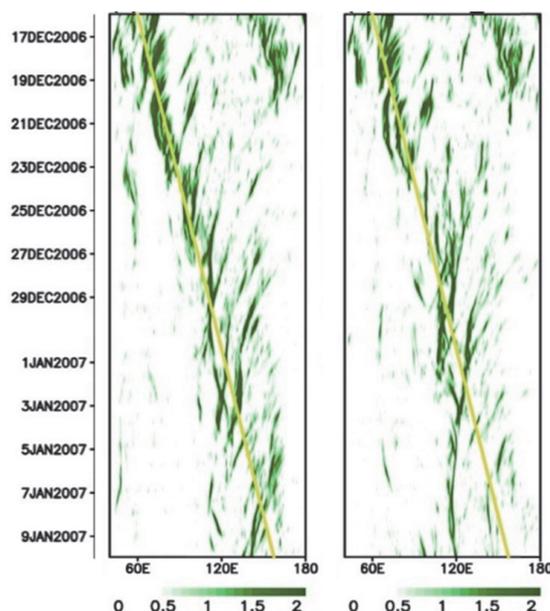


Fig. 1 Time-longitude section of precipitation rate (mm h^{-1} ; green colors) along the equator (15°S – 5°N average) from the MSSG (left) with ocean-atmosphere interaction, and that (right) without ocean-atmosphere interaction. The yellow solid line indicates the typical phase speed of MJO (5ms^{-1}).

ocean when compared to the mid-latitude ocean. We also found that there are uncertainties in the forecast skill due to the use of different atmospheric models in the forecasts. This assessment of the forecast skill of the global offshore wind and wave power may offer useful information to guide regional wind and wave power forecasts, as large-scale wind and wave information can serve as boundary conditions to predict regional wind and wave power. Our results were published as a research article in the *International Journal of Marine Energy* [3].

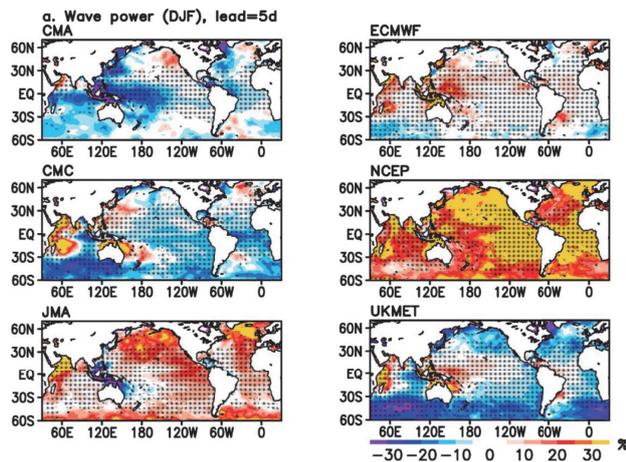


Fig. 2 Mean prediction error and anomaly correlation coefficient (ACC) of wave power at a lead time of 5 days for each member of the ensemble. Dots indicate where the ACC exceeds 0.7. Red (blue) shading shows that the bias is greater (less) than 10 (-10)%. The forecast biases are different among the operational meteorological centers.

2. Seamless photo-realistic representation of atmospheric clouds computed by MSSG

In order to visualize the results of the atmospheric simulation computed by the MSSG model performed on the edge server in an effective expression, we developed shell scripts and related programs for automatically outputting visualization result in data format for Google Earth from the nested data computed by MSSG. In the script, VDVGE, which is a visualization software developed in CEIST, is applied to visualize data of

each nesting level and export them as content data for Google Earth. Additionally, we have newly developed a visualization algorithm that hides only the overlapping region that occurs when data of each nesting level are visualized [4]. As a result of applying this technique to the visualization using two physical quantities, which are the downward shortwave radiation and the cloud content, computed by MSSG, we succeeded in seamless photo-realistic representation of atmospheric clouds which does not influence by the nested structure of data (Fig.3).



Fig. 3 Visualization result from the viewpoint near the ground. Three levels of nested data are displayed at the same time.

References

- [1] Wataru Sasaki, Ryo Onishi, Hiromitsu Fuchigami, Koji Goto, Shiro Nishikawa, Yoichi Ishikawa, and Keiko Takahashi, “MJO simulation in a cloud-system-resolving ocean-atmosphere coupled model”, *Geophysical Research Letters*, 43, 9352-9360 (2016).
- [2] Press release, http://www.jamstec.go.jp/j/about/press_release/20161011/
- [3] Wataru Sasaki, “Predictability of global offshore wind and wave power”, *International Journal of Marine Energy*, 17, 98-109 (2016).
- [4] S. Kawahara, R. Onishi, K. Goto, and K. Takahashi. “Realistic Representation of Clouds in Google Earth”, *Symposium on Visualization in High Performance Computing in SIGGRAPH ASIA 2015*, (2015), doi: 10.1145/2818517.2818541.

