

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

大西 領 海洋研究開発機構 地球情報基盤センター

著者

大西 領^{*1}, 佐々木 亘^{*1}, 後藤 浩二^{*1}, Li-Feng Lu^{*1}, 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 情報システムズ

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知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浪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、河川流入を考慮した湾スケールの高精度な海洋シミュレーション法の開発と実行、高度な雲微物理モデルと雷モデルの MSSG (Multi-Scale Simulator for the Geoenvironment) への実装と検証実行、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 河川流入を考慮した高解像度海洋シミュレーション

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、都市臨海を高精度に表現することが求められる。そこで、MSSG-O (MSSG モデルの海洋コンポーネント、[1]) に河川流入モデルを実装し、湾スケールの高解像度海洋シミュレーションを可能とした。図 1 に、2011 年 7 月 6 日の水平 200m 解像度で東京湾のシミュレーションを行った結果を示す。観測では南北方向に大きな塩分濃度勾配がある。MSSG-O を用いて、河川流入を考慮しない場合にはその勾配が再現されない。一方、河川流入を考慮した場合には、塩分濃度分布をよく再現できた。

1.2 雷モデルの開発と MSSG への実装

雷は雲粒子同士の衝突により、電荷が偏ることにより発生する。その電荷の偏りを正確に予測するためには、雲粒子の大きさを正確に予測する必要がある。そこで、フル-ビン法雲微物理モデルを MSSG に実装した [2]。さらに、2次元軸対象雷モデルを3次元化し、これも MSSG に実装した。その上で、地球シミュレータ向けに大規模並列化とチューニングを行った。実装したフル-ビン法の

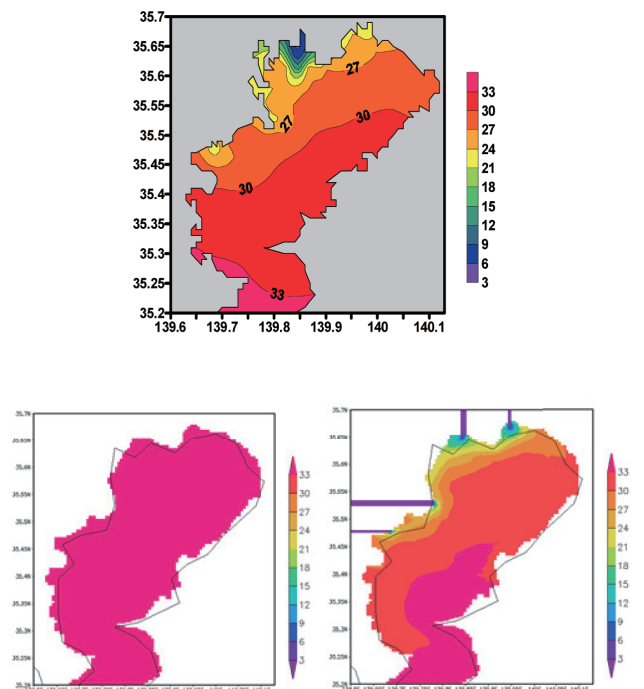


図 1 2011 年 7 月 6 日から 7 日にかけての東京湾の海水面塩分濃度 (PSU)。観測 (上) では南北方向に大きな濃度勾配がある。河川流入を考慮しない場合 (左下) にはその勾配が再現されない。一方、河川流入を考慮した場合 (右下) には、塩分濃度分布をよく再現できた。

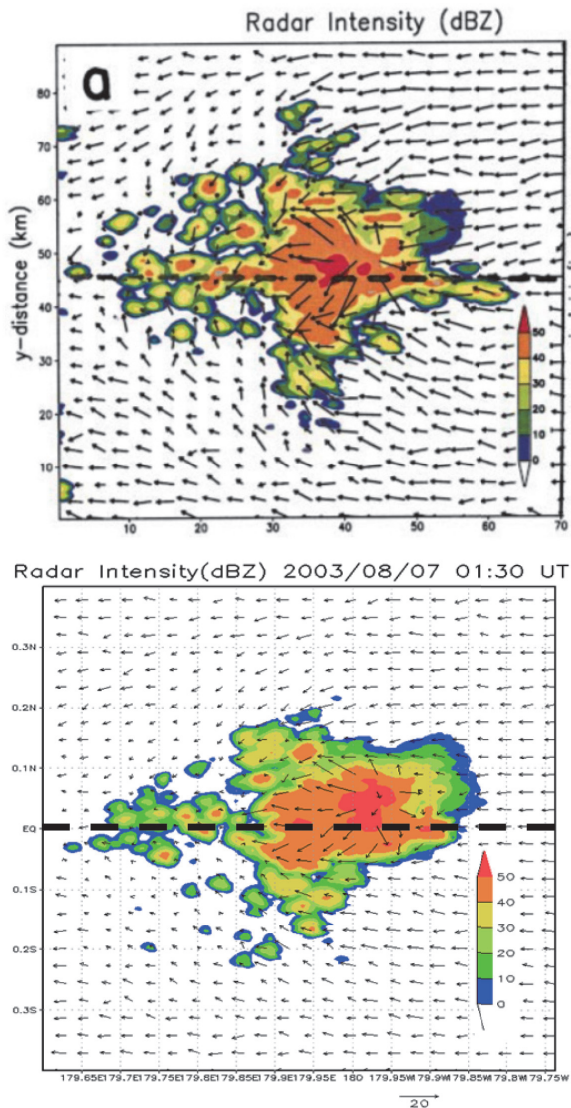


図2 海洋上の冷たい雲を想定した数値実験から得られたレーダー反射強度の水平分布。MSSGフル-ビン法計算（下）とTakahashi & Shimura (2004)の図5a（上）の結果は定性的にも定量的にもよく一致する。

検証として、Takahashi & Shimura(2004)[3]との比較を行った。図2に、海洋上で発達した冷たい雲に対する数値実験から得られたレーダー反射強度の水平分布の結果を示す。想定通りの結果が得られただけでなく、大規模並列計算法の検証に成功した。

2. 雲の簡易リアリスティック可視化

現実世界に近い表現で、眼前に広がる雲の様子を提示することができれば、例えば豪雨をもたらす雲からの回避行動の促進に繋がる。そこで、MSSGの出力として得られた下向き短波放射量データと雲分布データ（ここでは雲水量と雲水量の合算とした）から雲を描画する画素の色および不透明度をそれぞれ独立に算出する簡易的な手法を開発した[4]。これにより、大規模計算結果から、高速に、雲の写実的描画図を得ることが可能になった。図3に、雲の色と不透明度の両者を雲分布データのみから決定する従来法による描画結果と、本手法による描画結果の比較を示す。

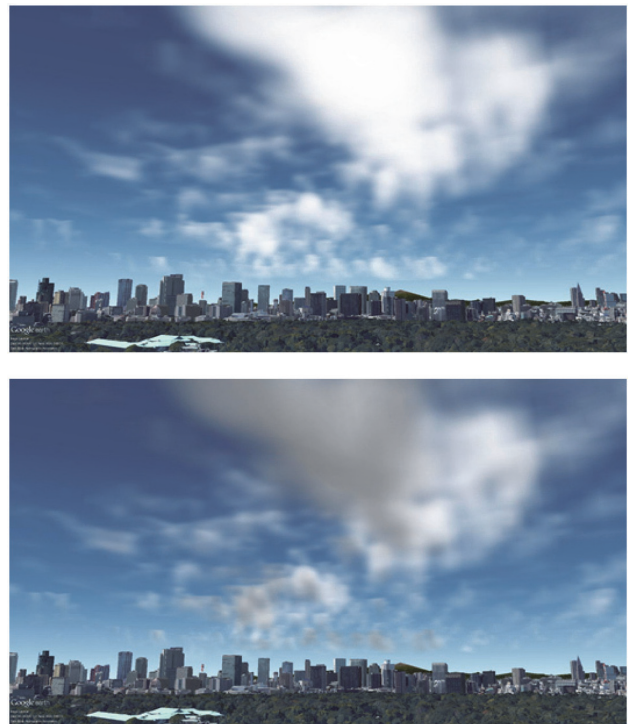


図3 本手法による、Google Earth上での雲の写実表現（下）と、雲分布データのみを用いる従来の描画法による表現（上）の比較。本手法により、雲の陰影が再現され、雲が写実的に表現される。

文献

- [1] L.-F. Lu, R. Onishi and K. Takahashi, "The effect of wind on long-term summer water temperature trends in Tokyo Bay, Japan", *Ocean Dynamics*, 65, 919-930 (2015).
- [2] Takahashi, Tsutomu. "Hail in an axisymmetric cloud model." *Journal of the Atmospheric Sciences*, 33, 1579-1601 (1976).
- [3] Takahashi, Tsutomu, and Kazunori Shimura. "Tropical rain characteristics and microphysics in a three-dimensional cloud model." *Journal of the atmospheric sciences* 61, 2817-2845 (2004).
- [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

Ryo Onishi Center for Earth Information Science and Technology, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

Authors

Ryo Onishi^{*1}, Wataru Sasaki^{*1}, Koji Goto^{*2}, Li-Feng Lu^{*1}, 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 NECInformatc Systems 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 implemented a river discharge model in the ocean component of MSSG for better representation of coastal ocean. A detailed cloud microphysical model has been implemented in the atmosphere component for the investigation of thunderstorm development. 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 simulation, river discharge, spectral-bin cloud microphysics, realistic visualization

1. Multi-scale simulations for ocean-earth information

1.1 High-resolution ocean simulation with river discharge

Most of the major metropolitan cities are located in coastal areas. Better representation of coastal ocean is essential for better forecast information for society. The coastal ocean can be influenced by the river discharge, which is sensitive to the rainfall. This year we implemented a river discharge model in MSSG-O, the ocean component of MSSG [1], and performed a high-resolution ocean simulation for Tokyo Bay. The horizontal resolution was 200 m. Figure 1 shows horizontal distributions of surface salinity in the Tokyo Bay. The observed distribution (top) shows a large latitudinal gradient, which is not reproduced by the ocean simulation without river discharge (bottom left) while well reproduced by that with river discharge (bottom right). This confirms the river discharge is influential in the bay-scale ocean modeling.

1.2 Thunderstorm model development

Numerical weather prediction model can be a powerful tool with which to predict thunderstorm electrification. Riming electrification is the major source of the charge generation and precipitation particles carry the electrical charge. As particle

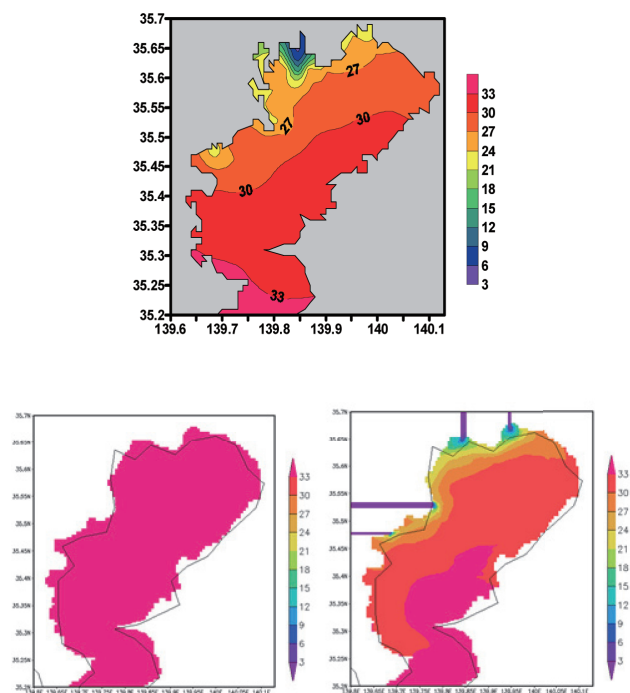


Fig. 1 Horizontal distribution of surface salinity (PSU) in Tokyo Bay. The observed distribution (top) shows a large latitudinal gradient, which is not reproduced by the ocean simulation without river discharge (bottom left) while well-reproduced by that with river discharge (bottom right).

sizes are relevant for those charge processes, the spectral-bin cloud microphysics model that explicitly calculates the particle sizes can be a promising tool for the investigation of thunderstorm development. The full spectral-bin model developed in Takahashi (1976)[2] has been implemented in the MSSG. The model has been tuned for the new Earth Simulator system. As an validation of the presently integrated model, we performed a high-resolution three-dimensional cloud simulation for comparison with the numerical results in Takahashi & Shimura(2004)[3], in which tropical rain characteristics and microphysics in a three-dimensional detail cloud model was discussed. Figure 2 shows the surface radar echo intensity and flow velocities from Fig. 5a in Takahashi & Shimura (2004)[3] and from the present MSSG simulation. Both results agree well each other, indicating the reliability of the presently integrated MSSG model.

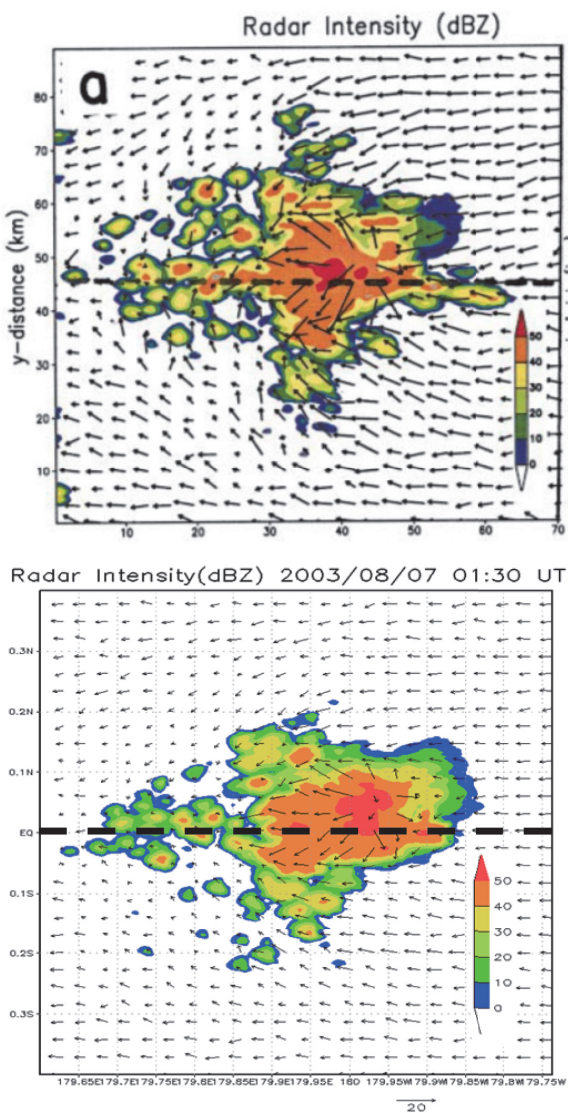


Fig. 2 Surface radar echo intensity and flow velocities from (top) Fig. 5a in Takahashi & Shimura (2004)[3] and (bottom) present MSSG simulation.

2. Realistic representation of numerical atmospheric clouds

Realistic visualization can often be useful for evacuation decision making. For example, people may easily decide to make an evacuation action if a realistic visualization of predicted thunderstorm clouds is provided. Here, we propose a visualization method for realistically visualizing atmospheric clouds simulated in high-resolution cloud simulations[4]. The method simply determines the color and the opacity of clouds independently from only two physical quantities; the downward shortwave radiation and the cloud content. This simple method enables us to obtain realistic visualizations of clouds from three-dimensional large-sized data from high-resolution weather simulations within a short time on a consumer computer. Figure 3 shows visualized clouds with a primitive method and the present method. The present method provides shades on clouds. The shades give us the information concerning the cloud depth, leading to realistic representation of clouds.

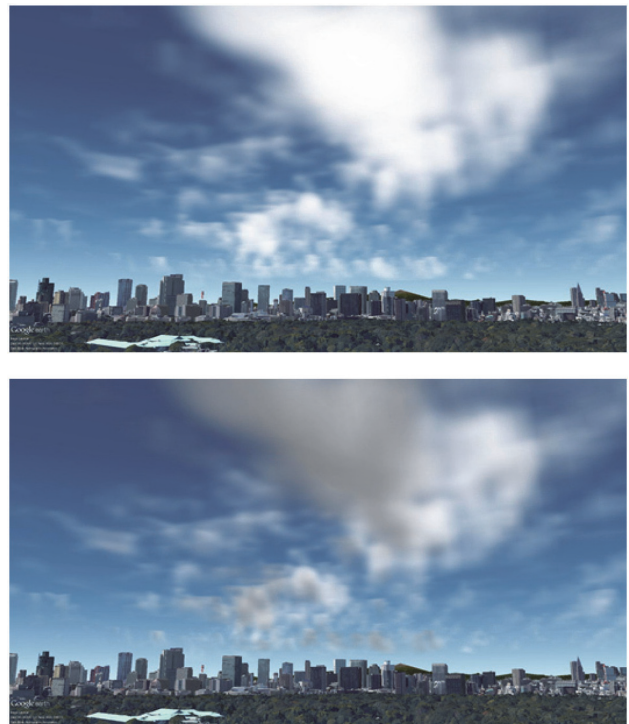


Fig. 3 Visualized clouds with a primitive method (upper image) and the present method (lower image). The present method provides shades on clouds and the shades give us the information concerning the cloud depth, leading to realistic representation of clouds.

References

- [1] L.-F. Lu, R. Onishi and K. Takahashi, “The effect of wind on long-term summer water temperature trends in Tokyo Bay, Japan”, *Ocean Dynamics*, 65, 919-930 (2015).
- [2] Takahashi, Tsutomu. "Hail in an axisymmetric cloud model." *Journal of the Atmospheric Sciences*, 33, 1579-1601 (1976).
- [3] Takahashi, Tsutomu, and Kazunori Shimura. "Tropical rain characteristics and microphysics in a three-dimensional cloud model." *Journal of the atmospheric sciences* 61, 2817-2845 (2004).
- [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.

