

持続的な安全社会の構築に資する先端的マルチスケール環境予測シミュレーション

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}, 舘上 弘光^{*2}, 後藤 浩二^{*3}, 松田 景吾^{*1}, 佐々木 亘^{*1}

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

海洋研究開発機構で開発されてきた大気・海洋結合モデル MSSG (Multi-Scale Simulator for the Geoenvironment; メッセージと呼ぶ)は、全球から領域さらには都市街区域のいずれをも対象とすることが可能であるだけでなく、異なるスケールの現象をシームレスにつなげたシミュレーションを可能とする非常に応用範囲の広いシミュレーションコードである。豪雨予測シミュレーションだけでなく、都市街区の熱・風シミュレーションが実街区の暑熱環境評価に応用されることが期待されている。本課題では、防災・減災対策だけでなく温暖化適応策、再開発計画などの施策の評価に応用可能なシミュレーション技術の開発を目的としている。たとえば、気候変動により台風や集中豪雨、猛暑などの極端現象がどのような影響を受けるかという、社会的関心が高い予測シミュレーションを可能とする。これは、気候変動適応策やその定量的評価、またより具体的かつ能動的なアクションを示唆することができる予測シミュレーションの新しい価値を広く社会に拓くものである。

昨年度までに、高風速下で発生する波しぶきの影響を考慮した大気・波浪結合シミュレーション法を開発した。本年度はそれを台風計算に応用し、台風の発達に及ぼす波しぶきの効果を明らかにした。また、激しい上昇気流により発生する雲乱流を解像する気象モデルの開発のために、乱流による衝突促進効果を考慮した雲微物理モデルを開発し、それを MSSG に実装した。さらに、都市スケールの熱環境予測シミュレーション手法の構築も継続した。本年度は、3 世代目となる地球シミュレータの性能を活かして、東京湾を含む広範な都市域に対する暑熱環境シミュレーションを実施し、東京オリンピックを想定した暑熱環境評価を行った。

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, 乱流雲微物理プロセス, 暑熱環境

1. マルチスケール台風予測計算

1.1 波浪・波しぶきプロセスモデルの開発と台風計算への応用

台風に伴う強風域では、海面は大きく乱され、波しぶきが多量に発生する。それら波しぶきは蒸発層と呼ばれる層を形成し(図1)、大気と海洋間の運動量、熱の交換を促進すると考えられている。

昨年度までに、Zhao et al. (2006)[1]による波しぶき生成関数(Sea Spray Generation Function, SSGF)を、MSSG に実装されているハイブリッド・ビン法雲微物理モデル(Onishi & Takahashi, 2012[2])に組み込むことにより、波

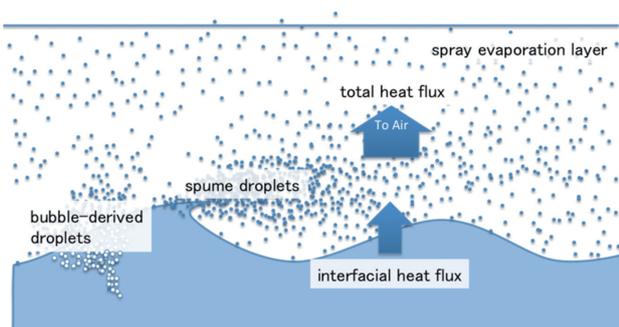


図1 波しぶき蒸発層

しぶきプロセスを直接考慮できるビン法雲微物理・大気モデルを開発した[3]。そして、飛散した波しぶきによって形成される蒸発層を再現した上で、波しぶきによって潜熱移動係数が増大されることを理想実験によって確認した。今年度は、この波しぶきプロセスモデルと波浪プロセスモデルの結合シミュレーションを実台風事象に適用し、波しぶきプロセスの感度を明らかにした。具体的には、2013年にフィリピンに大きな被害を与えた台風ハイヤンの再現シミュレーションを実施した。波しぶき蒸発層を解像した計算と解像しない計算の結果を比較した結果、波しぶきによる大気海洋間の潜熱移動促進効果が、大型台風の予測シミュレーションに大きな影響を及ぼしうることを明らかにした(図2)。つまり、強風下における波しぶきプロセス(発生、輸送、蒸発プロセス)が台風予測において非常に重要であることがわかった。本研究で得られた知見は、本プロセスに関する観測、室内実験、数値実験を活発化させると期待される。

1.2 雲乱流による雲粒の衝突合体成長促進モデルの実装と応用

これまでに、超並列大規模計算により構築した乱流衝突統計量データベースをもとに、高レイノルズ数にも適

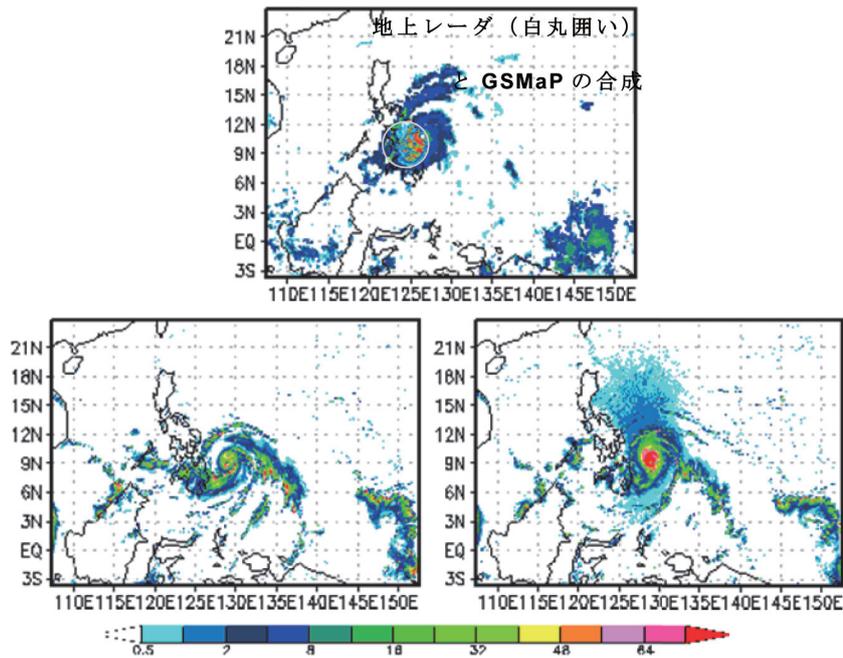


図2 (台風 Haiyan) 2013年11月7日18:00UTC (予測計算開始2日後)における降水量分布。上：観測、左下：波しぶきモデル無し、右下：波しぶきモデル有り

用可能な乱流衝突モデルを開発した [4]。さらに、開発した乱流衝突モデルを元に、乱流による衝突促進効果を考慮したバルク雲微物理パラメタリゼーションを構築した [5]。このバルクパラメタリゼーションを用いれば、雲内乱流によって雲粒子の衝突成長が促進される効果を考慮した気象シミュレーションを、大幅に計算コストを増大させることなく、実施することができる。今年度はこのバルクパラメタリゼーションを上述の MSSG に実装した。このバルクパラメタリゼーションを用いて、積雲に対する3次元高解像度気象シミュレーションを多数実施することによって、雲乱流による衝突促進効果が雲の発達や降水量に与える影響を定量的に明らかにした (図3)。

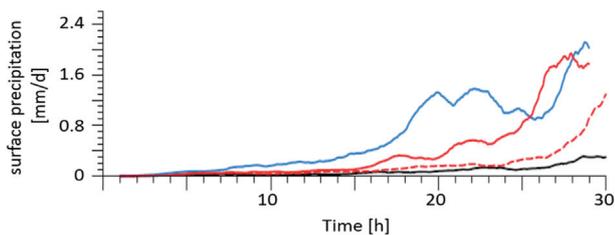


図3 地上降水量の時間変化。乱流衝突効果を考慮した場合 (赤実線)、考慮しない場合 (黒実線) に比べ、降水量が有意に増大される。

2. 街区解像暑熱環境シミュレーション

2.1 東京湾臨海部の夏季暑熱環境計算

これまでに都市建物を解像した上で、3次元放射物理過程、樹木モデルを組み込んだ都市街区解像モデルを開発してきた。第3世代の地球シミュレータの高い計算パワーを活かして、環境省及び文部科学省からの協力要請に基づき、2020年東京大会において複数の競技が開催される予定の東京湾臨海部を対象に、超高解像度の熱環境

シミュレーションを実施した。計算領域を東京ベイゾーンを含む領域 (図4の赤枠、12.5km × 14.0km) に設定し、解像度5mでの大規模数値シミュレーションを行った。計算初期値および境界値には、2007年8月11日の12:00 ~ 13:10における気象庁メソ数値予報モデル (MSM) のデータを用いた。対象日時は、関東地方におけるヒートアイランド現象の特徴的な分布 (気象庁「ヒートアイランド監視報告 (平成19年冬・夏 - 関東・近畿地方)」 (2008) [6]) が見られた事象から選んだ。なお、当該日時において、東京では最高気温36.4°Cを観測した。同一の初期値・境界値を用いた上で、緑地や土地・建物の条件を変えた以下の3ケースを対象とした実験を実施した。



図4 12.5km × 14.0kmの計算領域

【Case1】 現況（2011年の東京都都市計画 GIS データ）

【Case2】 2020年までに計画されている緑地等を整備した場合

【Case3】 臨海部の既存緑地がない場合

「地球シミュレータ」1400ノードを使用してシミュレーションを実行した結果、南東から吹く海風が臨海部で徐々に暖められながら都心まで流入する様子が明確に確認された（図5）。さらに、競技会場へのアクセスルート（東京都オリンピック・パラリンピック準備局、「初期段階環境影響評価書」（平成25年2月）、5-31公共交通へのアクセシビリティ；平成27年11月時点の会場計画に沿って取捨選択）上における地上気温と暑さ指数についてCase1～Case3の比較を行った。既存緑地の効果（Case3とCase1との比較）によって、アクセスルート上の平均で0.54°Cの低下がみられた。また、2020年までの緑地等の整備効果（Case1とCase2との比較）によって、アクセスルート上の平均でさらに0.05°C低下する結果が得られた（図6）。

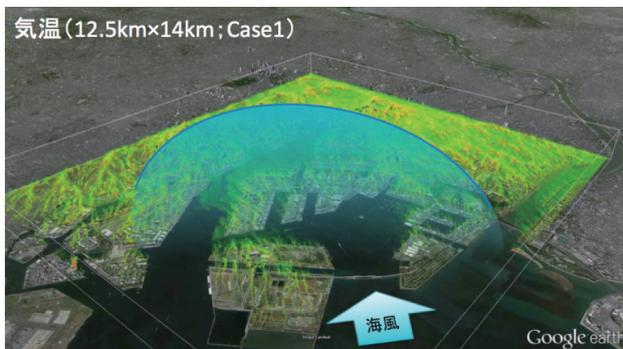
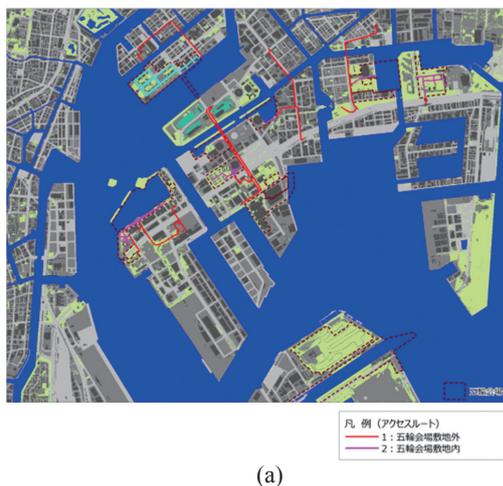


図5 1.5m高さにおける気温の可視化

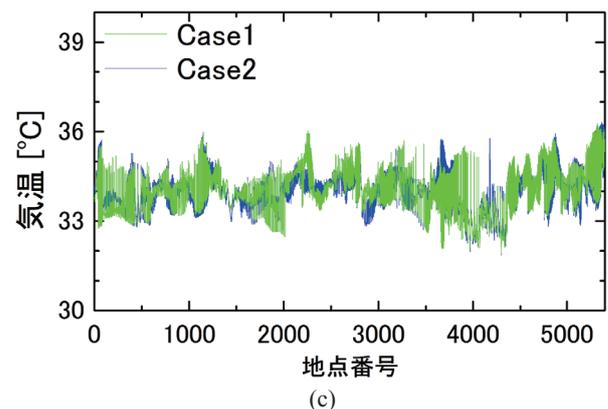
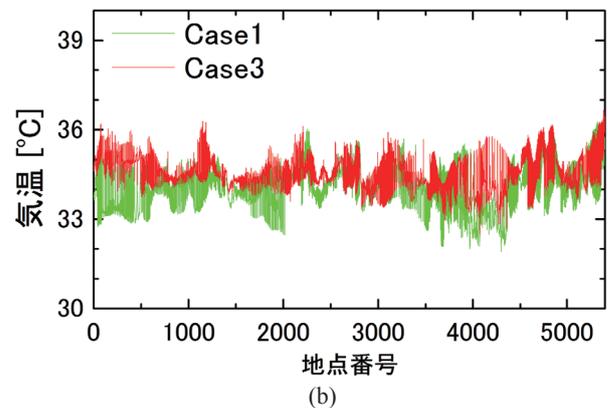


(a)

図6 アクセスルートの配置(a)と、地形に沿った地上2.5mの気温12:50～13:00の10分平均値。(b) Case1とcase2、(c)はcase1とcase2での気温を示す。アクセスルート情報には東京都オリンピック・パラリンピック準備局、「初期段階環境影響評価書」の情報を用いた（平成25年2月）

文献

- [1] D. Zhao, Y. Toba, K. Sugioka, and S. Komori, “New sea spray generation function for spume droplets”, *Journal of Geophysical Research*, 111:C02,007 (2006).
- [2] R. Onishi and K. Takahashi, “A Warm-Bin-Cold-Bulk Hybrid Cloud Microphysical Model”, *Journal of the Atmospheric Sciences*, 69, 1474-1497 (2012).
- [3] R. Onishi, H. Fuchigami, K. Matsuda, and K. Takahashi, “Detailed Cloud Microphysics Simulation for Investigation into the Impact of Sea Spray on Air-Sea Heat Flux”, *Flow Turbulence and Combustion*, 97, 1111-1125 (2016).
- [4] R. Onishi and A. Seifert, “Reynolds-number dependence of turbulence enhancement on collision growth”, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 16, 12441-12455 (2016).
- [5] A. Seifert and R. Onishi, “Turbulence effects on warm-rain formation in precipitating shallow convection revisited”, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 16, 12127-12141 (2016).
- [6] 気象庁「ヒートアイランド監視報告（平成19年冬・夏－関東・近畿地方）」（2008）環境省評価報告書。



Multi-Scale Environmental Simulations for Sustainable and Safe Living

Project Representative

Ryo Onishi

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

Authors

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

^{*1} Center for Earth Information Science and Technology, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, ^{*2} NEC Solution Innovators, Ltd., ^{*3} NEC Corporation

We have performed multi-scale simulations for future realization of sustainable and safe society. This year, we applied our original typhoon simulation method, where sea spray is calculated within the framework of hybrid-bin cloud microphysics scheme, to a real typhoon event and investigated the impact of the sea-spray process on typhoon development. We have also applied the new bulk cloud microphysics that considers the turbulence enhancement of collision growth of cloud droplets to a three-dimensional cumulus-cloud simulation. The results showed a significant impact of the turbulence enhancement in the cloud development.

Keywords: multi-scale simulation, typhoon simulation, sea spray, turbulent cloud microphysics

1. High-resolution atmosphere-wave coupled typhoon simulation with a sea-spray model

Sea spray is composed of liquid droplets ejected from the sea surface, generally due to wave breaking, which are transported and dispersed into the atmospheric boundary layer where they exchange momentum as well as latent and sensible heat with the ambient air. Sea spray forms the so-called spray evaporation layer, in which sensible and latent heat is released from droplets into the atmosphere (see Fig. 1). We developed a numerical weather simulation model combined with a detailed spectral-bin cloud microphysics model that can explicitly consider the droplet motion and droplet-atmosphere interactions of sea spray. We implemented the sea spray generation function model by Zhao et al. (2006) [1] in the hybrid spectral-bin cloud microphysics model [2]. This year, we applied the developed model [3] to a real typhoon event, the Typhoon Haiyan in 2013, and investigated the impact of the sea-spray process on typhoon development. Figure 2 shows the surface precipitation after 2 days of simulation. The results clearly show a significant influence of the sea spray, indicating the present model that can consider the seaspray dispersion is a promising tool for better typhoon predictions.

2. Bulk cloud microphysics that considers turbulence enhancement of collision growth of cloud droplets

We performed massively parallel simulations to obtain a database for turbulent collision statistics of small inertial particles, e.g., cloud droplets, and developed a turbulent collision kernel model based on the database [4]. This year, a bulk cloud

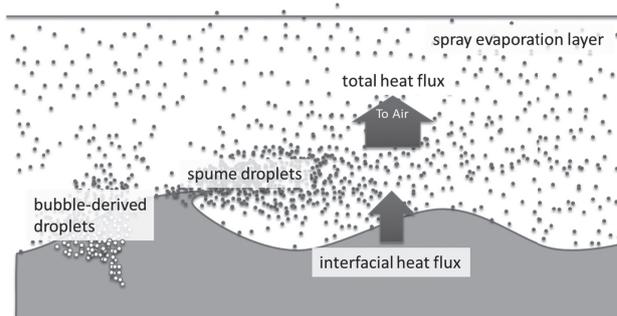


Fig. 1 Schematic diagram of the spray evaporation layer

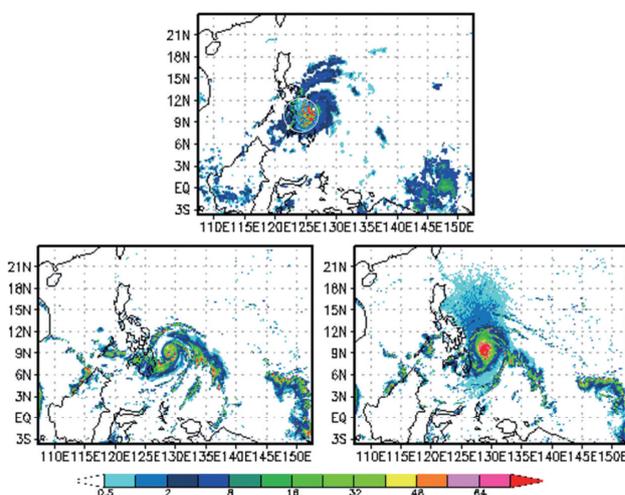


Fig. 2 Surface precipitation at 18:00UTC on 7 November 2013 (2 days after the simulation started). (Upper) observation, (lower left) MSSG without seaspray model and (lower right) MSSG with seaspray model.

microphysics model has been developed using the turbulent collision kernel model [5]. By performing three-dimensional simulations for cumulus clouds, we have investigated the impact of the turbulent collisions on cloud development. Figure 3 shows the time series of the surface precipitations for different bulk cloud microphysics models. The results confirm the significant impact of turbulent collision processes in cloud development.

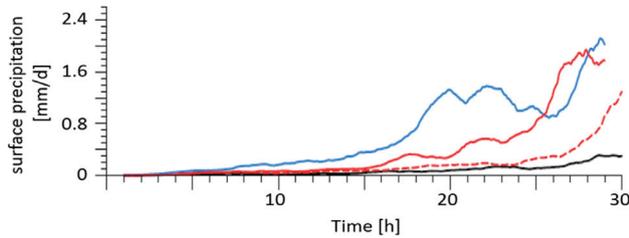


Fig. 3 Time series of the surface precipitations for different simulations, (red) the new bulk model with turbulence collision enhancement considered and (black) conventional bulk model.

References

- [1] D. Zhao, Y. Toba, K. Sugioka, and S. Komori, “New sea spray generation function for spume droplets”, *Journal of Geophysical Research*, 111:C02,007 (2006).
- [2] R. Onishi and K. Takahashi, “A Warm-Bin-Cold-Bulk Hybrid Cloud Microphysical Model”, *Journal of the Atmospheric Sciences*, 69, 1474-1497 (2012).
- [3] R. Onishi, H. Fuchigami, K. Matsuda, and K. Takahashi, “Detailed Cloud Microphysics Simulation for Investigation into the Impact of Sea Spray on Air-Sea Heat Flux”, *Flow Turbulence and Combustion*, 97, 1111-1125 (2016).
- [4] R. Onishi and A. Seifert, “Reynolds-number dependence of turbulence enhancement on collision growth”, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 16, 12441-12455 (2016).
- [5] A. Seifert and R. Onishi, “Turbulence effects on warm-rain formation in precipitating shallow convection revisited”, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 16, 12127-12141 (2016).

