

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}, 松田 景吾^{*1}, 佐々木 亘^{*1}, 洲上 弘光^{*2}, 後藤 浩二^{*3},
Li-Feng Lu^{*1}, 高橋 桂子^{*1}

*1 海洋研究開発機構 地球情報基盤センター

*2 NEC 情報システムズ

*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、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。近年では、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。

本年度は、極端現象として、台風と猛暑に着目した。ともに、持続的な安全・安心社会の構築のためにはなんらかの対処が求められる対象である。前者に対しては、高風速によって生成される波しぶきが台風予測計算に及ぼす影響を明らかにすること、また、高解像度予測計算に対する大気海洋結合の統計的な影響を明らかにすることを目的とした。後者に関しては、都心街区の夏期日中の暑熱環境を改善するためのドライミストや緑陰の効果を数値シミュレーションにより明らかにすることを目的とした。

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. マルチスケール台風予測計算

1.1 波しぶきの影響を考慮した高解像度台風計算

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。

本研究では、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]) に組み込んだ。つまり、波しぶきを水滴の集合と考え、雲微物理計算の範疇で考慮するという手法を開発した。まず、組み込んだ新たな物理モデルの検証のために、理想的な三次元領域に対して、波しぶきモデルの OFF/ON による影響を確認した (図2)。さらに、現実の台風において、波しぶきが台風の発達に与え

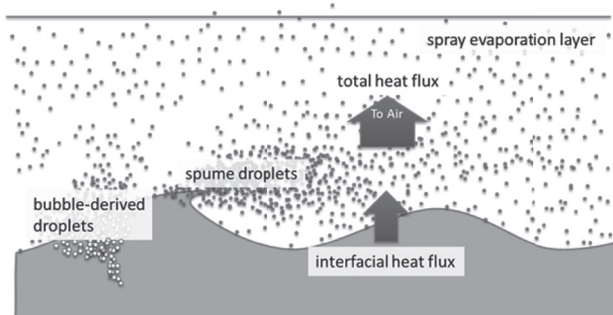


図1 蒸発層 (evaporation layer) の模式図。

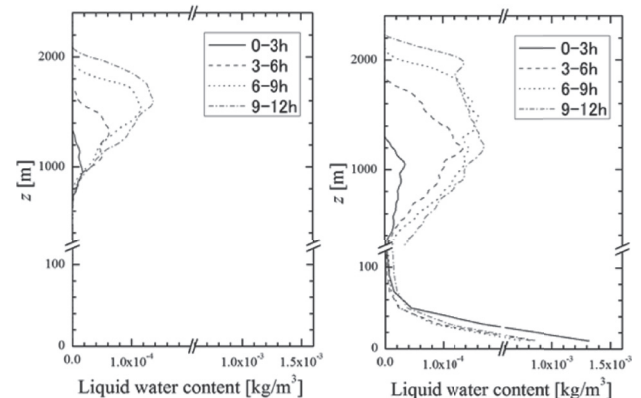


図2 液水混合比の鉛直分布。波しぶきを考慮した場合 (右) の場合には、高度100m程度まで蒸発層が形成されている。

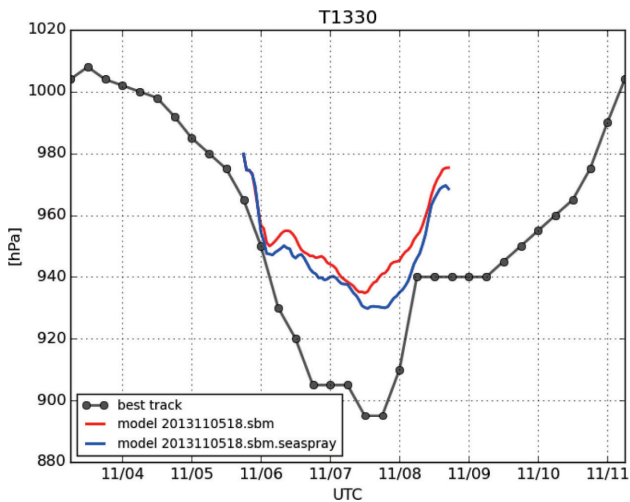


図3 2013年台風30号(ハイエン)に対する感度実験。波しぶきを考慮すると(青実線)、台風強度予測が約10hPa改善した。

る影響を調べた。対象としたのは2013年台風30号である。初期時刻を2013/11/05 18UTCに設定し、ハイブリッド-ビン法を用いた3日予測シミュレーションを行った。その結果、波しぶきを考慮することによって、台風強度予測が改善されることが示唆された(図3) [3]。

1.2 大気海洋結合モデルによる高解像度全球台風予測計算

本研究グループは、大気単体モデル(MSSG-A)と大気海洋結合モデル(MSSG)を用いて、全球7km解像度で5日間台風予測を多数実施することにより、大気海洋結合過程が高解像度台風予測に及ぼす影響を調べた。なお、本研究は平成27年度ES特別推進課題「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」(課題責任者: 気象研・竹内義明)と並行して行ったものである。

図4に2013年台風25号の中心気圧のマルチモデル予測結果を示す。この図より、大気と海洋の結合計算により、強度予測が改善される可能性があることがわかった [4]。

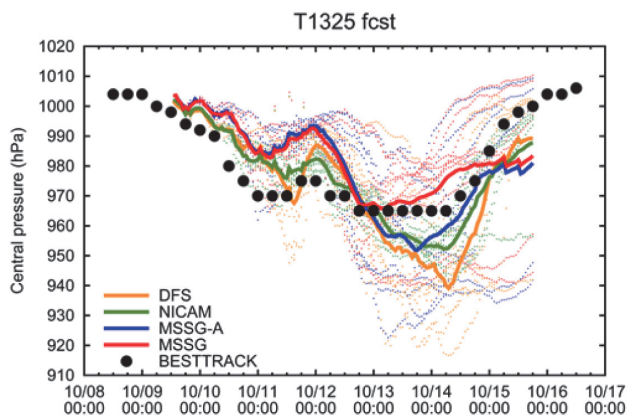


図4 2013年台風25号(ナーリー)の中心気圧のマルチモデル予測結果。大気のみの場合(MSSG-A、青実線)に比べ、大気海洋結合の場合(MSSG、赤実線)に強度予測が改善した。

2. 都心街区の夏季暑熱環境計算

都市の暑熱環境の緩和策として、樹陰やミスト(噴霧)の利用が注目されている。近年、本研究グループでは、樹冠が風の流れや放射熱フラックスに及ぼす影響を考慮することができる樹木モデルを開発し、MSSGモデルに実装した。今年度は、このモデルを用いて、東京丸の内地区の高層ビルに囲まれた中庭緑地を対象に高解像度シミュレーションを実施し、日中の熱環境に及ぼす樹木とミストの効果を明らかにした。対象の街区形状と樹冠の分布を最高解像度1mの精密な3次元データで再現し、さらに、樹冠が放射を3次的に透過・散乱する効果をも考慮した樹木モデルを用いて、観測と同時刻の風と熱環境の解析を行った。図5に、計算領域の様子および中庭の気温分布の計算結果例を示す [5]。図6に、冷却ミストを噴霧した場合の地上1.5mにおける気温分布を示す。冷却ミストの噴霧器付近で顕著な気温低下が見られるだけでなく、1℃以上気温が低下した領域が中庭の半分程度にまで広がることになった。

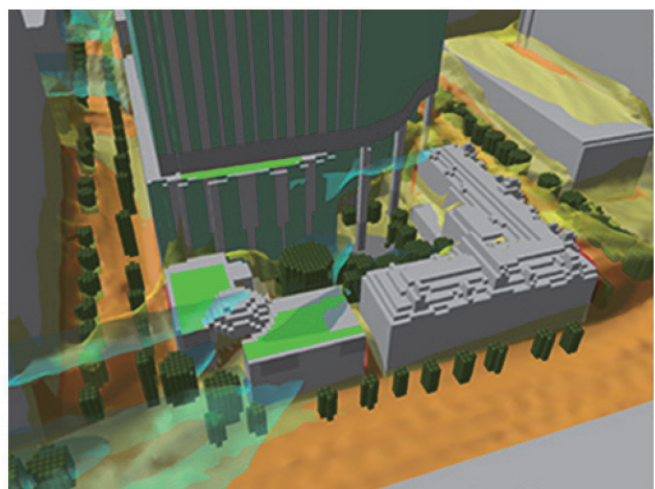
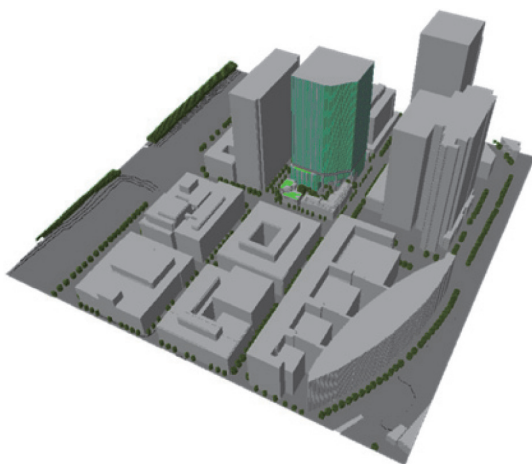


図5 丸の内パークビル中庭周辺を対象とした計算対象領域のうち1m解像度計算の対象領域(左図)、および樹冠分布と気温分布の数値シミュレーション結果。等値面を半透明曲面(青、黄、赤の順に気温が高くなる)で3次元表示している。建物表面の緑色は、屋上緑化と、ガラス面を表す。

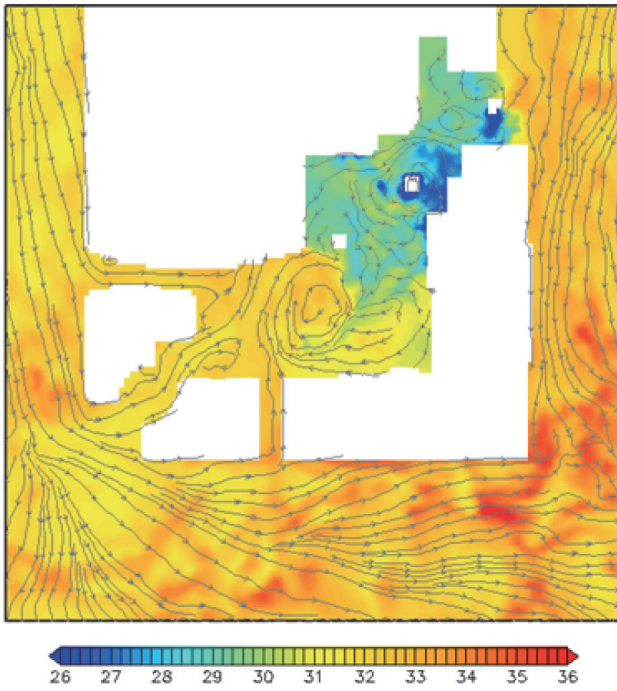


図6 冷却ミストを噴霧した場合の地上1.5mにおける気温分布(°C)。冷却ミストの噴霧器付近で顕著な気温低下が見られる。

文献

- [1] D. Zhao, Y. Toba, K. Sugioka, 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 and K. Takahashi, “Detailed Cloud Microphysics Simulation for Investigation into the Impact of Sea Spray on Air-Sea Heat Flux”, *Turbulence, Heat and Mass Transfer*, 8, 703-710 (2015).
- [4] W. Sasaki, R. Onishi, and H. Fuchigami, “Impact ocean coupling on typhoon prediction in high-resolution nonhydrostatic global model”, *Japan Geoscience Union Meeting, Makuhari, Japan* (2016).
- [5] プレスリリース, 「高層ビルに囲まれたオアシス緑地の低温化現象と樹木の効果—3次元連続観測と街区解像シミュレーションにより解明—」, 2015/3/19, http://www.jamstec.go.jp/j/about/press_release/20150319/.

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}, Koji Goto^{*3}, Li-Feng Lu^{*1} and Keiko Takahashi^{*1}

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

*2 NECInformatec Systems LTD

*3 NEC Corporation

Typhoons and heat-related illness are the major risk for Japanese society. We have conducted multi-scale simulations for future realization of sustainable and safe society. An original typhoon simulation method has been developed. In that method, the sea spray is calculated within the framework of hybrid-bin cloud microphysics scheme. The influence of the coupling process between atmosphere and ocean on the typhoon predictions is also investigated. For the investigation of urban heat island mitigation, meter-order grid resolution simulations have been conducted to investigate the cooling effect of tree crowns and spray mist on urban heat environment.

Keywords: multi-scale simulation, typhoon simulation, sea spray, atmosphere-ocean coupling, heat island

1. Multi-scale simulations for extreme weather events

1.1 High-resolution cloud simulation coupled 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).

Here we report on the development of 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

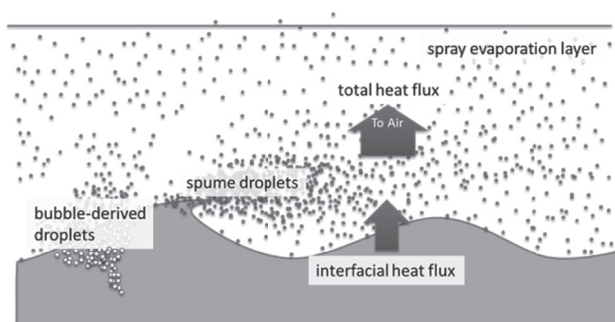


Fig. 1 Schematic diagram of the evaporation layer.

implemented the sea spray generation function model by Zhao et al. (2006) [1] in the hybrid spectral-bin cloud microphysics model (Onishi and Takahashi, 2012 [2]). The developed model is here called 'SPRAY-bin' model [3]. Firstly we conducted an idealized three-dimensional simulation in order to confirm the evaporation layer is indeed formed with the SPRAY-bin model under high-speed wind conditions. Figure 2 shows the time evolution of the vertical profile of liquid water content. The result confirms the formation of the evaporation layer. Secondly we conducted a sensitivity test of the sea spray on a typhoon simulation in order to see whether the sea spray is

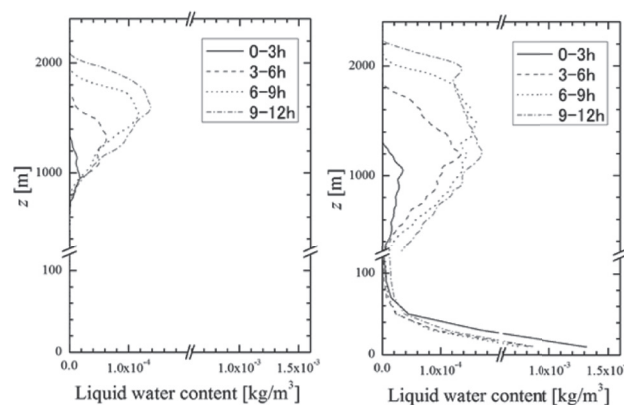


Fig.2 Time evolution of the vertical profile of liquid water content in (left) the bin simulation without sea spray and (right) the BIN-spray simulation.

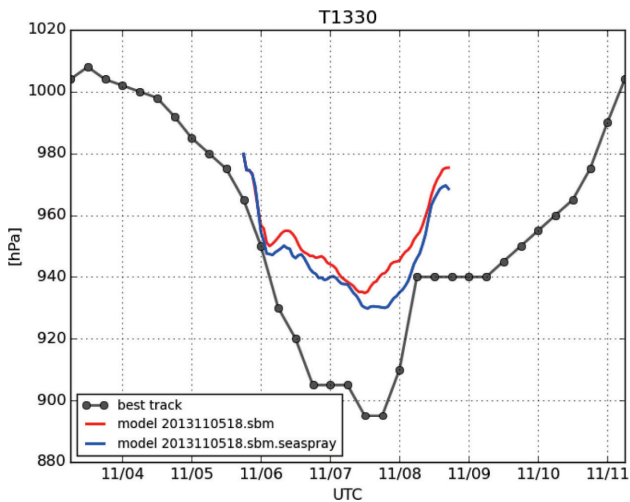


Fig. 3 Central pressure of simulated Typhoon Haiyan in 2013. The BIN-spray simulation (blue) shows better prediction regarding the central pressure by about 10 hPa.

influential to typhoon predictions. Figure 3 shows the central pressure of simulated Typhoon Haiyan in 2013. It clearly shows a significant influence of the sea spray, indicating the present SPRAY-bin model is a promising tool for better typhoon predictions.

1.2 Typhoon simulation in a high resolution global atmosphere-ocean coupled model

We assessed the impact of atmosphere-ocean coupling on typhoon prediction by conducting a number of 5-day forecast experiments with a standalone global atmosphere model (MSSG-A) and global atmosphere-ocean coupled model (MSSG) configured with a 7-km horizontal resolution mesh. The experiments were conducted in conjunction with the FY27 JAMSTEC Earth Simulator Strategic Project with Special Support, “High Resolution Typhoon Prediction Experiments using Multiple Next-generation Nonhydrostatic Global Models (PI: Dr. Yoshiaki Takeuchi, Meteorological Research Institute)”.

Figure 4 compares an observed and predicted central pressure

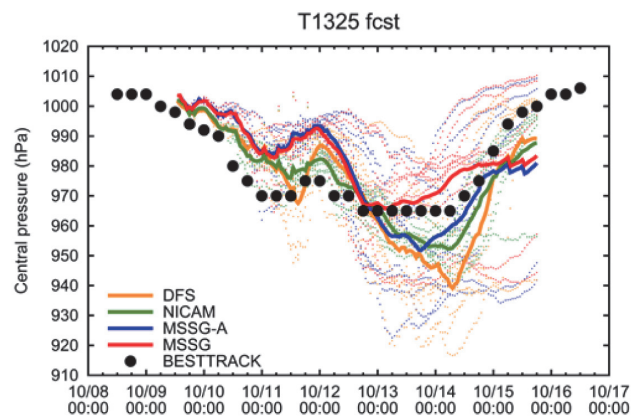


Fig. 4 Observed and predicted central pressure of Typhoon NARI (TY1325). The predicted typhoon intensity in MSSG (red) is close to the observed (dot) when compared to MSSG-A (blue).

of Typhoon NARI (TY1325), showing that the atmosphere-ocean coupling can improve the prediction skill of typhoon intensity [4].

2. Summer-time thermal environment in an urban city block

Increasing greenery and spraying mist are possible mitigation strategies to relax the urban heat island phenomena. Recently, our research group developed a tree-crown-resolving model for taking account of the influence of tree crowns on wind and radiation flux, and implemented it in the MSSG. By using this model, we have conducted a high-resolution simulation for the courtyard green space surrounded by skyscrapers in central Tokyo, and clarified the influence of trees and sprays on the day-time thermal environment [5]. Figure 5 shows the bird’s-eye view of the 1-m resolution computational domain and the sample temperature distribution focusing on the Marunouchi-Park Building site. Figure 6 shows the air temperature distribution at 1.5 m above the ground for the case of spraying mist. Cooled air is generated in the sprayed area around the building columns, which are indicated by white squares. The

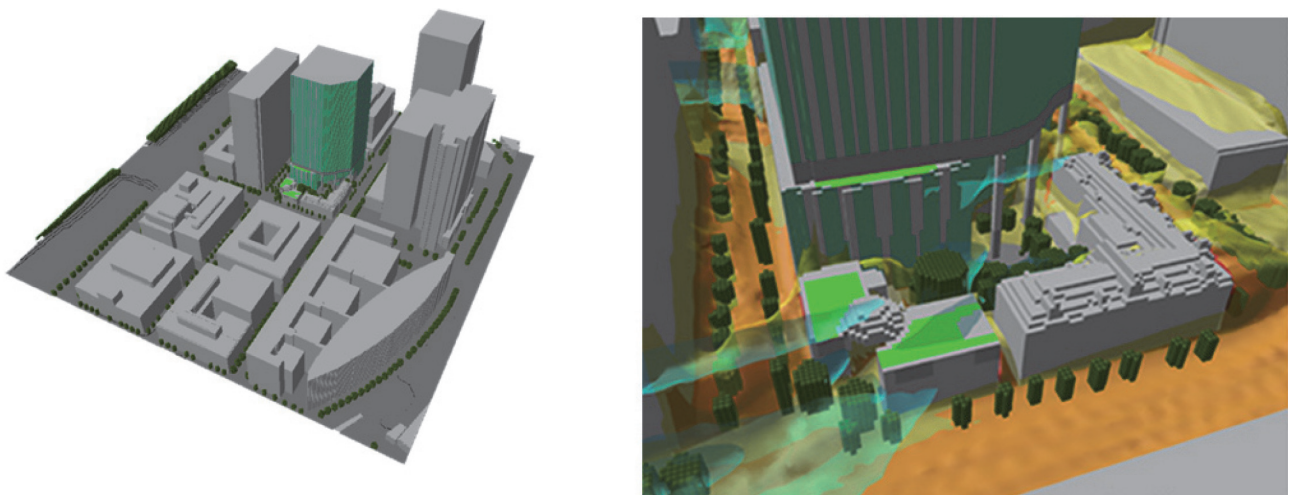


Fig. 5 Bird’s-eye view of the 1-m resolution computational domain (left) and the sample temperature distribution focusing on the Marunouchi-Park Building site (right).

cooled region covers nearly half of the courtyard. These results agree with the observation for the corresponding period.

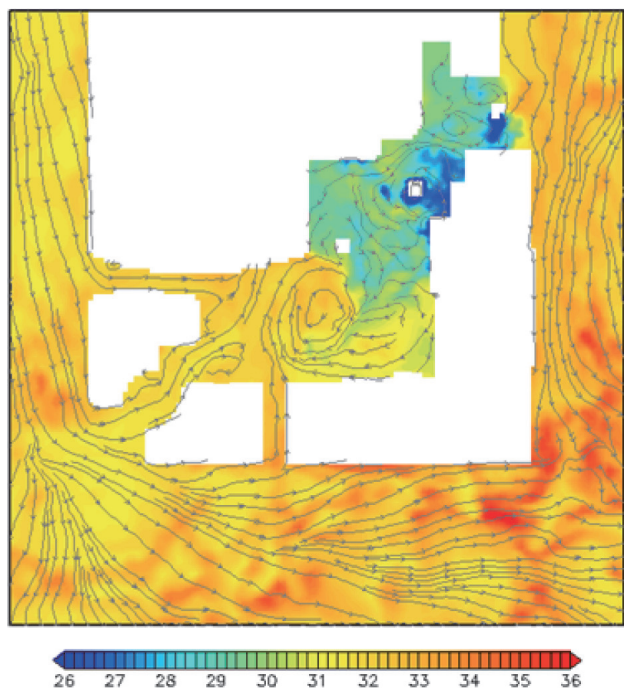


Fig. 6 Air temperature distribution (°C) at 1.5 m above the ground for the case of spraying mist. Significant temperature drop is observed near the spray location.

References

- [1] D. Zhao, Y. Toba, K. Sugioka, 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 and K. Takahashi, “Detailed Cloud Microphysics Simulation for Investigation into the Impact of Sea Spray on Air-Sea Heat Flux”, *Turbulence, Heat and Mass Transfer*, 8, 703-710 (2015).
- [4] W. Sasaki, R. Onishi, and H. Fuchigami, “Impact ocean coupling on typhoon prediction in high-resolution nonhydrostatic global model”, *Japan Geoscience Union Meeting*, Makuhari, Japan (2016).
- [5] Press release, “Cooling Effect of Urban Green Oasis -Elucidated with 3D Observations and High-Resolution Simulations-”, 2015/3/19, http://www.jamstec.go.jp/e/about/press_release/20150319/.