

実験に基づいた海表面フラックスモデルを用いた海表面への介入効果の検証

課題責任者

高垣直尚 兵庫県立大学 工学研究科

著者

高垣直尚*¹, 松田景吾*², 後藤浩二*³, 大前友秀*¹, 西野 光*¹, 中谷温希*⁴

*¹ 兵庫県立大学 工学研究科, *² 海洋研究開発機構 付加価値情報創生部門地球情報科学技術センター,

*³ 日本電気株式会社 官公ソリューション事業部門, *⁴ 兵庫県立大学 工学部

キーワード：台風, フラックスモデル, シミュレーション, MSSG, Haiyan, Irma

1. 緒言

近年, 台風によって社会へ甚大な被害をもたらしている。そのため, 台風による被害を軽減するために, 台風予測・制御技術の開発は重要であるものの, 台風強度の数値予測の向上が重要な課題となっている[1]。台風の発達と減衰は海表面の摩擦と熱輸送に関与している。そこで, 本研究では, 台風の発達や減衰に関与する海表面の抗力と熱輸送を変化させることで台風がどのように変化するか調査した。具体的には, 台風シミュレーション水槽を用いた室内実験に基づく運動量フラックスおよび熱フラックスの実験式[2][3]を数値モデル Multi-Scale Simulator for the Geoenvironment (MSSG)に実装し, 台風強度の精度の検証を行った。さらに, 界面活性剤を海へ散布した場合を仮定したフラックスモデルとして Surfactant model を用意し, 数値モデルに実装することによって, 海表面に介入した場合の影響を調査した。

2. 計算手法

本研究の気象モデルには海洋研究開発機構が開発する MSSG[4]を用いた。MSSG は, 大気と海洋コンポーネントが結合されたマルチスケール大気海洋結合モデルであり, 全球から特定の領域, さらに都市までのスケールに対応している。本研究には大気コンポーネントのみを使用した。座標系には全球には Yin-Yang 格子が用いられている。支配方程式は非静力学方程式系に基づいている。次節に記述する以外の主要な計算設定は[1]と同様とした。

3. 計算条件

対象とした熱帯低気圧は台風 Haiyan とハリケーン Irma[5]である。Haiyan は 2013 年 11 月 4 日にトラック諸島近海で発生し, フィリピンに甚大な被害をもたらした。Irma は 2017 年 8 月 30 日に北大西洋で発生し, アメリカ本土を襲ったハリケーンである。積分時間は 66 時間とした。計算格子の解像度は Global scale においては 7 km とし, Meso scale においては 2.78km として格子を作成した。本計算では, 海面を通しての運動量フラックス τ および熱フラックス Q

$$\tau = \rho C_D U_{10}^2 \quad (1)$$

$$Q = \rho C_K U_{10} (k_i - k_{10}) \quad (2)$$

は, Komori et al. (2018)により提案された抗力係数 C_D およびエンタルピー輸送係数 C_K に関する実験式

$$\begin{aligned} C_D &= 1.0 \times 10^{-3} & (U_{10} < 5.2 \text{ m/s}) \\ &= 4.4 \times 10^{-4} U_{10}^{0.5} & (5.2 \leq U_{10} < 33.6 \text{ m/s}) \\ &= 2.55 \times 10^{-3} & (U_{10} \geq 33.6 \text{ m/s}) \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} C_K &= 1.39 \times 10^{-3} & (U_{10} < 33.6 \text{ m/s}) \\ &= 6.51 \times 10^{-5} U_{10} - 7.99 \times 10^{-4} & (U_{10} \geq 33.6 \text{ m/s}) \end{aligned} \quad (4)$$

を用いて計算された。ここで, 熱フラックス Q は潜熱と顕熱を考慮したエンタルピー輸送量である。なお, 本研究では, このフラックスモデルを用いたケースを Komori2018 と呼ぶ。さらに, 台風経路上の中央部分の領域にのみ, 界面活性剤を散布した場合を想定したフラックスモデルを用いたケースを Surfactant model と呼ぶ。図 1 に Komori2018(赤線)および Surfactant model(青線)に関する, 高さ 10m 風速 U_{10} に対する運動量フラックス C_D および熱フラックス C_K の分布を示す。図 2 に Irma におけるベストトラック(黒曲線)および介入領域(青枠)を示す。初期時刻は 2017 年 09 月 04 日 00:00 UTC とした。

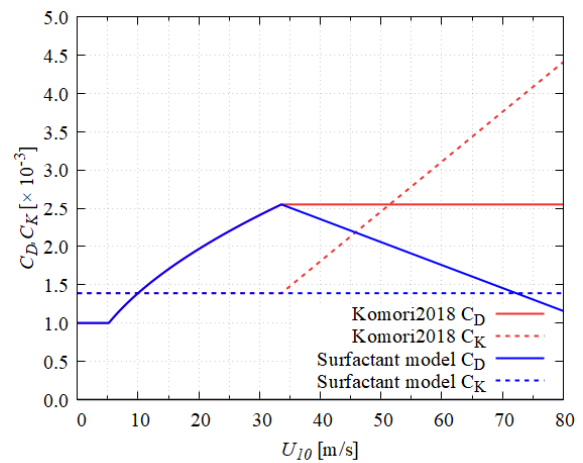


図 1. Komori2018(赤線)および Surfactant model(青線)に関する運動量フラックス C_D (実線)および熱フラックス C_K (破線)のモデル曲線

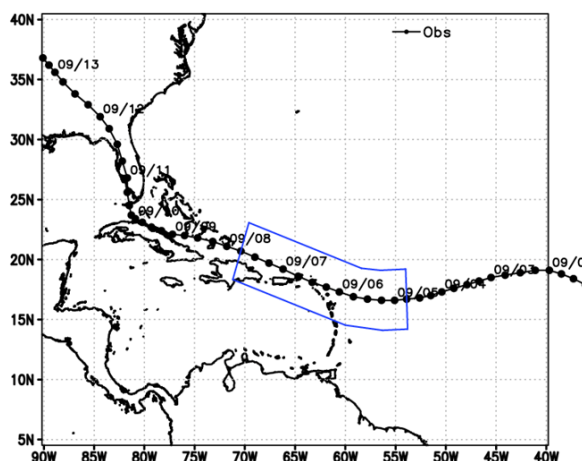


図 2. Irma におけるベストトラック(黒曲線)および介入領域(青枠)

4. 計算結果

Irma を対象とした計算結果[6]を以下に示す。図 3 に最低気圧の時間変化を示す。ここでは、Komori2018 および Surfactant model の場合の結果を比較して示す。また、図中には観測値を再解析し最も確からしいデータとして定義されたベストトラックデータも掲載している。図より、Surfactant model の最低気圧は Komori2018 と比較して明らかに増加していることが確認できる。図 4 に最大風速の時間変化を示す。ここでも、Komori2018 および Surfactant model の場合の結果にベストトラックデータを併せて示す。図より、Surfactant model の最大風速は Komori2018 と比較して僅かに増加していることが確認できる。

Haiyan に関しても Irma と同様の計算を行った。Haiyan の場合においても、Surfactant model の最低気圧は Komori2018 と比較して明らかに増加し、最大風速は僅かに増加していることが確認でき、Irma の計算結果と同様の傾向が確認できた。以上の結果から、Surfactant model における台風は Komori2018 と比較して弱化的な傾向が確認でき、海面状態へ介入することによって台風を制御できる可能性があることが示された。

現在の計算設定では介入領域は約 $500\text{km} \times 1500\text{km}$ の広さがあるが、この広さの海面状態を短時間で変化させることは現実的に困難である。今後、介入領域をより狭くした場合の介入の効果等について検証を行う予定である。

謝辞

本研究は、JST【ムーンショット型研究開発事業】【JPMJMS2285】の支援を受けたものです。

参考文献

- [1] Nakano, M., Wada, A., Sawada, M., Yoshimura, H., Onishi, R., Kawahara, S., Sasaki, W., Nasuno, T., Yamaguchi, M., Iriguchi, T., Sugi, M., and Takeuchi, Y., “Global 7km mesh nonhydrostatic Model Intercomparison Project for improving TYphoon forecast (TYMIP-G7): experimental

design and preliminary results”, *Geosci. Model Dev.*, 10, 1363-1381, 2017.

- [2] Komori, S., Iwano, K., Takagaki, N., Onishi, R., Kurose, R., Takahashi, K., and Suzuki, N., “Laboratory Measurements of Heat Transfer and Drag Coefficients at Extremely High Wind Speeds”, *Journal of Physical Oceanography*, vol.48, pp.959-974, 2018.
- [3] Takagaki, N., Komori, S., Suzuki, N., Iwano, K., Kuramoto, T., Shimada, S., Kurose, R., and Takahashi, K., “Strong correlation between the drag coefficient and the shape of the wind sea spectrum over a broad range of wind speeds”, *Geophysical research letters*, Vol.39, L23604, 2012.
- [4] Takahashi, K., Onishi, R., Baba, Y., Kida, S., Matsuda, K., Goto, K., and Fuchigami, H., “Challenge toward the prediction of typhoon of behaviour and down pour”, *Journal of Physics*, Conf. Ser. 454 012072, 2013.
- [5] John P. Cangialosi, Andrew S. Latta, and Robbie Berg, “HURRICANE IRMA (AL112017)”, *National Hurricane Center Tropical Cyclone Report*, 2021
- [6] 大前友秀, 松田景吾, 高垣直尚, 西野光, 「実験に基づいた海面フラックスモデルを用いた台風予測の検証及び海面状態への介入効果の検証」, 日本流体力学学会 年会 2024, フォレスト仙台, 2024 年 9 月

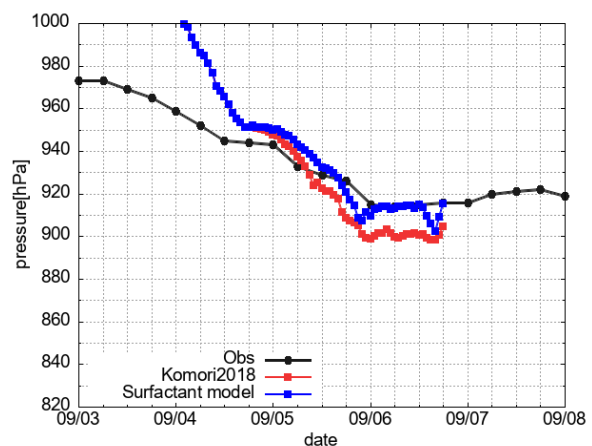


図 3. 最低気圧の時間変化

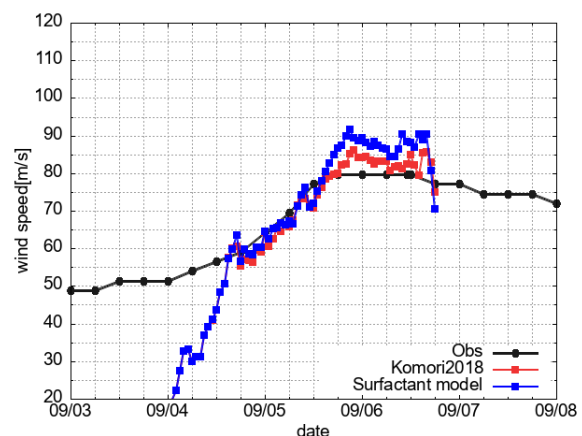


図 4. 最大風速の時間変化