

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}, 西野 光^{*1}, 中谷温希^{*1}, 淵上 翼^{*3}

^{*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 地球情報科学センター, ^{*3} 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

近年激甚化しつつある自然災害による人的被害を大幅に減らし、極端風水害の脅威から解放された安全な社会の実現のため、台風による被害の抑制が社会的な課題になっている[1]. 先行研究[2], [3]では、仮に界面活性剤を台風下の海水面に散布すると海洋波の波高が抑制され、台風強度に顕著な影響を及ぼしうることが示された. しかし、昨年度までの研究[4]では、介入領域は約 500km×1500km と非常に広域に設定しており、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という問題点があった. そこで、今年度は、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った.

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[5]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 [6]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. 計算格子の解像度は全球スケールにおいては 7km とし、メソスケールにおいては 2.78km とし格子を作成した. 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) [2] 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

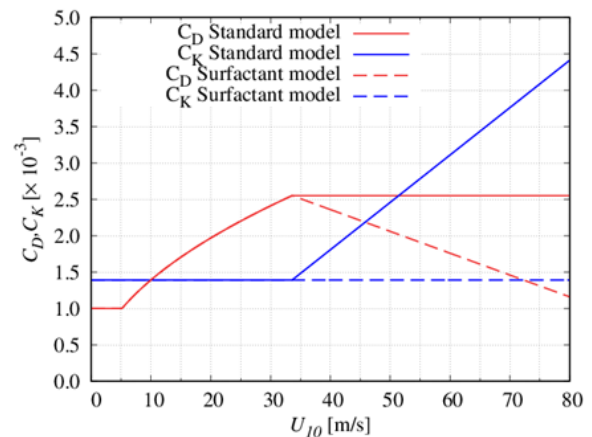


図 1. Standard model (実線)および Surfactant model (破線)に関する運動量フラックス C_D (赤線)および熱フラックス C_K (青線)のモデル曲線

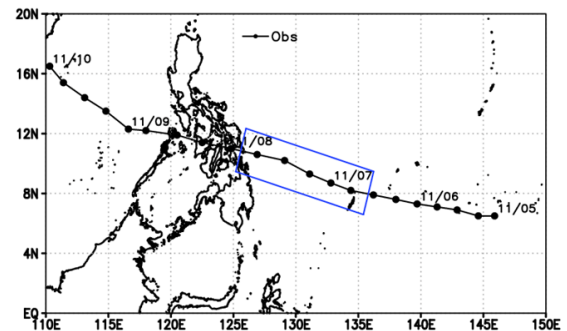


図 2. Haiyan におけるベストトラック (黒曲線) および介入領域 (青枠)

用いたケースを Surfactant model と呼ぶ。図 1 に Standard model(実線)および Surfactant model(破線)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 Haiyan におけるベストトラック(黒曲線)および介入領域(青枠)の一例を示し、介入領域の大きさは $300\text{km} \times 750\text{km}$ である。台風進行方向を介入領域の長さ、それに対して鉛直方向を幅と呼ぶ。介入領域の大きさを変更した計算を複数行い、長さ方向を 1500km と固定して幅方向に変更した計算を 6 ケース、幅方向を 300km と固定して、長さ方向を変更した計算を 9 ケース行った。計算時間は 2013 年 11 月 05 日 18:00:00 UTC - 2013 年 11 月 8 日 12:00:00 UTC とした。

4. 計算結果

Haiyan を対象とした計算結果を以下に示す。図 3 に介入領域が $300\text{km} \times 750\text{km}$ の場合の最低気圧の時刻変化を示す。黄色ハイライトは、台風中心が介入領域内の時間帯を示す。ここでは、No surfactant および Surfactant の場合の結果を比較して示す。また、図中には観測値の解析から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 の最低気圧は No surfactant と比較して介入領域内で明らかに増加していることが確認でき、介入領域外に出てからも台風強度に影響が残る可能性が確認できる。図 4 に介入領域が $300\text{km} \times 750\text{km}$ の場合の介入が最低気圧に及ぼす影響の時刻変化を示す。図中の赤線は 5 時間移動平均の結果を、黄色ハイライトは台風中心が介入領域内の時間帯を示す。最低気圧に及ぼす影響 P' は次式により標準化した。

$$P' = \frac{P_{\min|\text{surfactant}} - P_{\min|\text{no surfactant}}}{P_{\min|\text{no surfactant}} - P_0} \quad (5)$$

ここで、 P_0 は標準大気圧である。図より、介入により 15% 程度台風弱化的影響があることが確認できる。

同様の標準化の解析を他の介入領域に関しても行い、介入領域 $300\text{km} \times 200\text{km}$ において当初目標にしていた 5% 以上の台風弱化的影響が確認できた。以上の結果から、Surfactant における台風は No surfactant と比較して弱化的影響が確認でき、海面状態を変化させることによって台風を制御できる可能性が定量的に示された。また、昨年度の計算設定の介入領域 $500\text{km} \times 1500\text{km}$ から介入領域 $300\text{km} \times 200\text{km}$ に、約 12 分の 1 に変更しても台風強度に影響を及ぼすことが示された。

謝辞

本研究は、兵庫県立大学令和 7 年度 特別研究プロジェクト推進事業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] 高垣直尚, 松田景吾, 後藤浩二, 大前友秀, 西野光, 中谷温希, 「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」, ES 年間報告書, 2024 年 12 月.
- [5] Takahashi, K., Onishi, R., Baba, Y., Kida, S., Matsuda, K., Goto, K., and Fuchigami, H., “Challenge toward the prediction of typhoon behaviour and down pour”, Journal of Physics., Conf. Ser. 454 012072, 2013.
- [6] John P. Cangialosi, Andrew S. Latta, and Robbie Berg, “HURRICANE IRMA (AL112017)”, National Hurricane Center Tropical Cyclone Report, 2021.

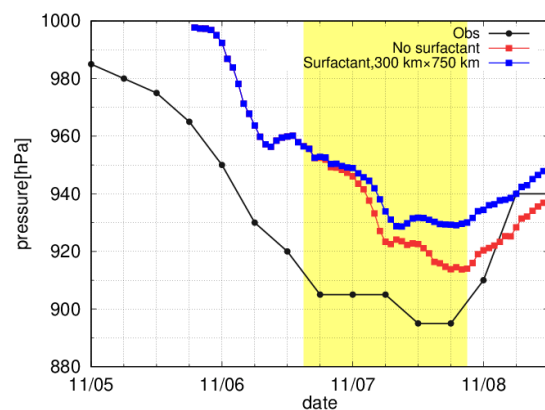


図 3. 最低気圧の時刻変化

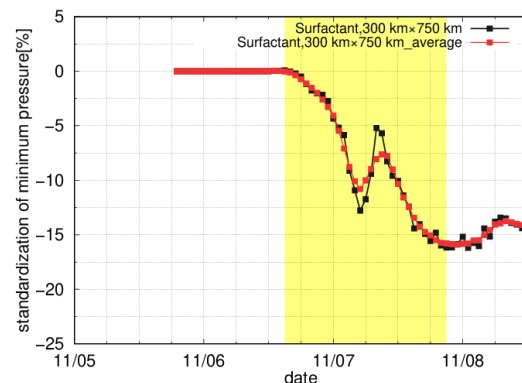


図 4. 介入が最低気圧に及ぼす影響の時刻変化