

台風 Faxai の上陸前の強度・構造変化

Intensity and Structural Changes of numerically simulated Typhoon Faxai (1915) before landfall

宮本佳明^{*1}, 筆保弘徳^{*2}, 和田章義^{*3}

Yoshiaki MIYAMOTO, Hironori FUDEYASU, Akiyoshi WADA

1:慶應義塾大学環境情報学部, 2:横浜国立大学教育学部, 3:気象研究所

A numerical simulation for Typhoon Faxai, which made landfall with the central pressure of 960 hPa in the Kanto region of Japan was conducted using a non-hydrostatic numerical model with a 1 km grid spacing. The simulation successfully simulated the realistic track and intensity of Faxai for 48 h around landfall. The simulated intensity was strong until the time of landfall and the spatial size of the vortex was small. The structure of the simulated Faxai, identified as having an axisymmetric flow field and eyewall, was similar to that of a well-developed tropical cyclone (TC) in the tropics. Around the TC center, the surface latent heat flux was over 300 W m⁻² until landfall, and the vertical wind shear was less than 9 m s⁻¹ between the 1.5 and 12.0 km altitudes, which is relatively weak at midlatitudes. The simulated and best track TC intensities exceeded the maximum potential intensity (MPI) for approximately 12 h before landfall. The present analyses suggest that the strong intensity of Faxai results from favorable environmental conditions and vortex structure.

1. はじめに

熱帯低気圧(Tropical Cyclone: TC)のエネルギー源は直下の海洋であるため、TC は海面温度(Sea Surface Temperature: SST)が高い地域を通過すると強化する。海洋からの潜熱エネルギーは、内部コアでの凝結を介して運動エネルギーに変換する。最大風速半径 (Radius of Maximum Wind: RMW)の内側に位置し、軸対称成分が大きい加熱ほど強化に有利に働く(Shapiro and Willoughby 1982; Schubert and Hack 1982; Nolan et al. 2007; Rogers et al. 2013; Shimada et al. 2017)。Emanuel (1986)は、軸対称、傾度風平衡、静力学平衡、および、湿潤斜交対流中立を仮定することで、与えられた環境で、最大で発達できる強度(Maximum Potential Intensity: MPI)を導出した。MPIは実際のTCの強度の上限を捉えることが示されている(DeMaria and Kaplan 1994; Emanuel 2000; Miyamoto et al. 2017)。構造や環境条件が好ましくない場合、TCは強化したり、強度を維持することができない。

台風の強度に影響を与える、背景の水平風の鉛

直シアー(Vertical Wind Shear: VWS)は、熱帯では弱い～中程度だが、中緯度で強い。VWSは一般に、渦構造を傾けたり、乾燥した空気がコア及び境界層に直接入り込むことで、TCの強度を低下させる(Jones 1995; DeMaria 1996; Jones 2000; Frank and Ritchie 2001; Tang and Emanuel 2010; Riemer et al. 2010)。TCが中緯度で弱まるもう1つの主な理由は、低いSSTである。海洋からのエネルギー量は、SSTが低い地域で減少するため、熱帯域に比べて中緯度ではTCが発達しにくい。

2019年、台風15号Faxaiは関東地方に上陸し、風により甚大な被害をもたらした。Faxaiは1991年以降に関東地方に上陸した台風の中で最も強い強度で上陸した(図1参照)。本研究は、Faxaiが強い強度で上陸した要因を、渦構造に焦点を当てて調べることを目的とする。

2. 実験設定と分析方法

2.1 実験設定

気象庁が開発した非静力学100モデル(Saito

*1 慶應義塾大学環境情報学部 ymiya@sfc.keio.ac.jp
Faculty of Environment and Information Studies, Keio University

*2 横浜国立大学教育学部
Faculty of Education, Yokohama National University

*3 気象研究所
Meteorological Research Institute

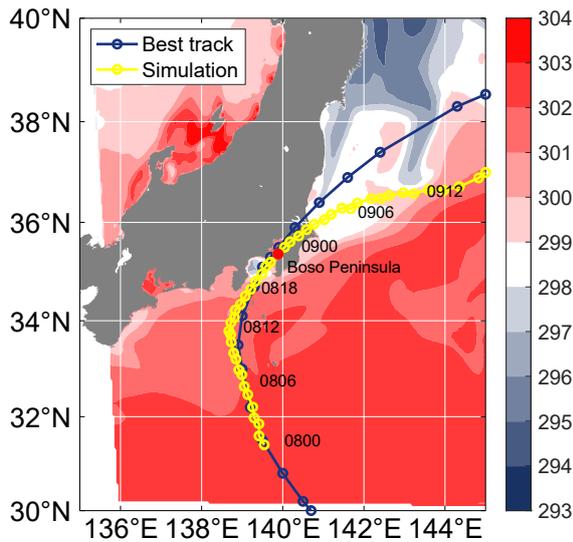


図1：観測された Faxai と計算結果の経路。

et al. 2006, NHM) を使用して、Faxai の数値シミュレーションを実施した。計算期間は、2019 年 9 月 8 日 00UTC から 9 月 10 日 00UTC までの 48 時間で、台風が沿岸に接近して上陸した期間とした。計算領域は 格子間隔 1 km で 960 x 1260 km とし、高度は約 27 km まで 55 層とした。気象庁 (JMA) の水平解像度 5 km のメソスケール客観解析を使用して、大気の初期・境界条件を作成した。Microwave Optimally Interpolated SST 日次プロダクトのデータを使用した。雲物理過程には氷のバルク法 (Ikawa and Saito 1991; Lin et al. 1983) を用いた。海面上の運動量とエンタルピーフラックスは、バルク式を用いた (Kondo 1975)。サブグリッドスケールの乱流と短波放射と長波放射は、それぞれ乱流モデル (Klemp and Wilhelmson 1978; Deardorff 1980) と放射スキーム (Sugi et al. 1990) で解いた。実験の詳細については、Wada (2020) を参照されたい。

3. 結果

図1にシミュレーションで計算された TC と現実の Faxai の経路を示す。上陸後以降は観測された経路からそれてしまったものの、本研究で特に注目する上陸までに関しては、現実と近い結果が得られた (図1)。また、強度に関しても、最大風速と中心気圧は上陸までベストトラックデータと近い時間変化を再現することができた。上陸前まで、海面水温が 300 K を超える高い領域を通っていたことが分かる。

図3に、台風の中心から半径 200 km から 500 km の間で平均した水平風の鉛直シア (高度 1.5

km と 12 km の風速の差)、中心から半径 100 km で平均した海面の潜熱・顕熱フラックス、相対湿度の鉛直成分と凝結物混合比を用いた軸対称度パラメータ (Miyamoto and Takemi 2013) の時系列図を示す。ここでフラックスの平均範囲は、先行研究により強度に感度が高い範囲を選択した (Miyamoto and Takemi 2010)。軸対称度パラメータは、高度 1.5 km から 10 km まで、中心から最大風速半径までで体積平均した値である。台風が上陸する数時間前まで、鉛直シアが 10 m/s 未満で、海面の潜熱フラックスが約 400 W/m²、軸対象度パラメータが大きい状態であった。鉛直シアは、熱帯の値からするとやや大きいものの、一般的な中緯度の値と比較して非常に小さく、台風にとって好ましい条件であることが示唆される。また、海面フラックスも同様に、熱帯と比較すると小さいものの、中緯度としては比較的大きい。これは沿岸付近まで海面水温が高かったことが要因と考えられる。さらに、軸対称度が高いことから、軸対称的な渦構造であったことも示唆される。一方で、上陸直前から、海面フラックスが減少しており、軸対称度パラメータも減少している。

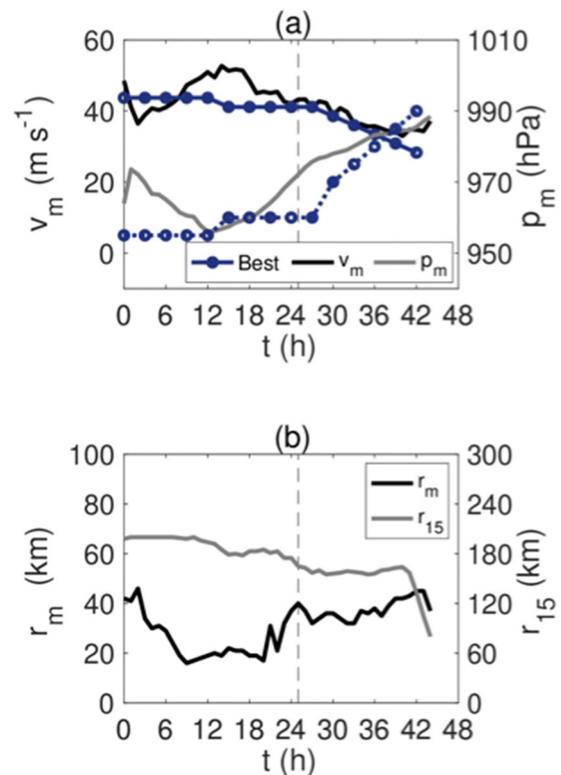


図2：計算された(a)最大風速 (黒)・中心気圧 (灰)、及び、ベストトラックデータ (青) の時間変化と、(b)最大風速半径 (黒)・15 m/s 風速半径 (灰) の時間変化図。

謝 辞

本研究は、科研費 18H05872, 19H05696, 19H01973, 19K04849, and 19K24677、慶應義塾大学 SFC スタートアップ研究費の支援を受けました。

参 考 文 献

- Deardorff, J. W., 1980: Stratocumulus-capped mixed layers derived from a three-dimensional model. *Bound.-Layer Meteor.*, 18, 495–527.
- DeMaria, M., 1996: The effect of vertical shear on tropical cyclone intensity change. *J. Atmos. Sci.*, 53, 2076–2088.
- DeMaria, M., and J. Kaplan, 1994: A statistical hurricane intensity prediction scheme (SHIPS) for the Atlantic basin. *Wea. Forecasting*, 9, 209–220.
- Donelan, M. A., B. K. Haus, N. Reul, W. J. Plant, M. Stiassnie, H. C. Graber, O. B. Brown, and E. S. Saltzman, 2004: On the limiting aerodynamic roughness of the ocean in very strong winds. *Geophys. Res. Lett.*, 31, L18306, doi:10.1029/2004GL019460.
- Emanuel, K. A., 1986: An air–sea interaction theory for tropical cyclones. Part I: Steady-state maintenance. *J. Atmos. Sci.*, 43, 585–604.
- Emanuel, K. A., 2000: A statistical analysis of tropical cyclone intensity. *Mon. Wea. Rev.*, 128, 1139–1152.
- Frank, W. M., and E. A. Ritchie, 2001: Effects of vertical wind shear on the intensity and structure of numerically simulated hurricanes. *Mon. Wea. Rev.*, 129, 2249–2269.
- Ikawa, M., and K. Saito, 1991: Description of a nonhydrostatic model developed at the forecast research department of the MRI. *Tech. Rep. of the MRI*, 28, 238pp.
- Jones, S. C., 1995: The evolution of vortices in vertical shear. I: Initially barotropic vortices. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 121, 821–851.
- Jones, S. C., 2000: The evolution of vortices in vertical shear. III: Baroclinic vortices. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 126, 3161–3185.
- Klemp, J. B., and R. B. Wilhelmson, 1978: The simulation of three-dimensional convection storm dynamics. *J. Atmos. Sci.*, 35, 1070–1096.
- Kondo, J., 1975: Air-sea bulk transfer coefficients in diabatic conditions. *Bound.-Layer Meteor.*, 9, 91–112.

4. まとめ

台風 Faxai (2019)が過去稀に見る強い強度で関東地方に上陸した理由を明らかにするべく、高解像度の数値シミュレーション結果を解析した。一連の結果から、Faxai が上陸する数時間前まで、背景風の鉛直シアが弱く、海面の潜熱フラックスが大きく、軸対称度パラメータが高かった。つまり、Faxai の環境場と内部構造が発達に好ましかったことが、発達した要因と考えられる。

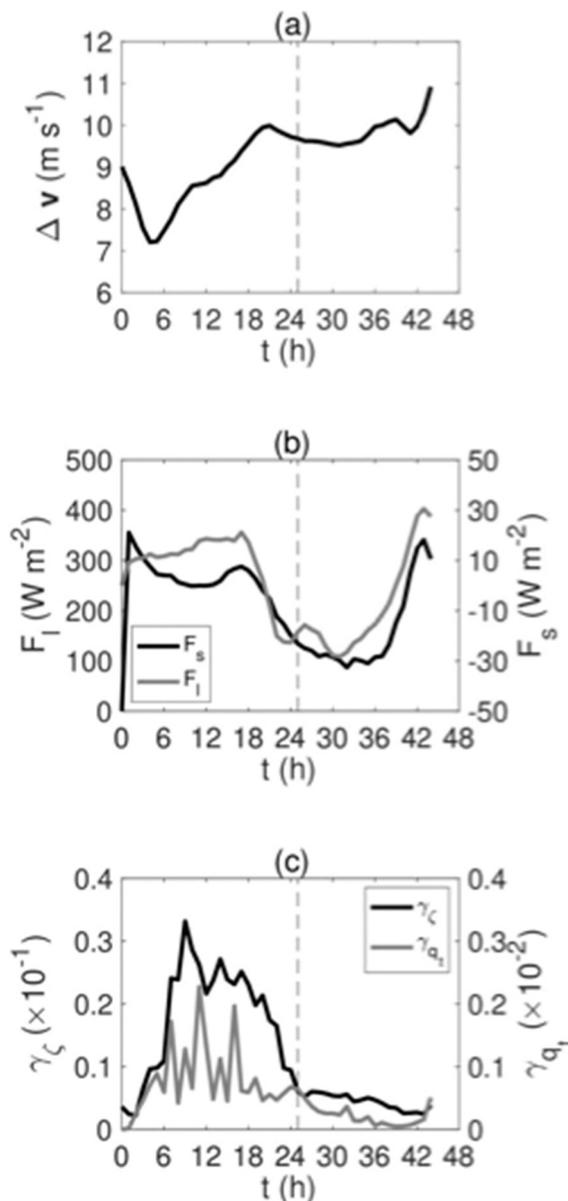


図 3：計算された(a)最大風速（黒）・中心気圧（灰）、及び、ベストトラックデータ（青）の時間変化と、(b)最大風速半径（黒）・15 m/s 風速半径（灰）の時間変化図。

- Lin, Y. L., R. D. Farley, and H. D. Orville, 1983: Bulk parameterization of the snow field in a cloud model. *Mon. Wea. Rev.*, 22, 1065–1092.
- Miyamoto, Y., G. H. Bryan, and R. Rotunno, 2017: An analytical model of maximum potential intensity for tropical cyclones incorporating the effect of ocean mixing. *Geophys. Res. Lett.*, 44, 5826–5835.
- Miyamoto, Y., and T. Takemi, 2010: An effective radius of the sea surface enthalpy flux for the maintenance of a tropical cyclone. *Atmos. Sci. Lett.*, 11, 278–282.
- Miyamoto, Y., and T. Takemi, 2013: A transition mechanism for the axisymmetric spontaneous intensification of tropical cyclones. *J. Atmos. Sci.*, 70, 112–129.
- Nolan, D. S., Y. Moon, and D. P. Stern, 2007: Tropical cyclone intensification from asymmetric convection: Energetics and efficiency. *J. Atmos. Sci.*, 64, 3377–3405.
- Riemer, M., M. T. Montgomery, and M. E. Nicholls, 2010: A new paradigm for intensity modification of tropical cyclones: thermodynamic impact of vertical wind shear on the inflow layer. *Atmos. Chem. Phys.*, 10, 3163–3188.
- Rogers, R. F., P. Reasor, and S. Lorsolo, 2013: Airborne Doppler observations of the inner-core structural differences between intensifying and steady-state tropical cyclones. *Mon. Wea. Rev.*, 141, 2970–2991.
- Saito, K., T. Fujita, Y. Yamada, and J. Ishida, 2006: The operational JMA nonhydrostatic mesoscale model. *Mon. Wea. Rev.*, 134, 1266–1298.
- Schubert, W. H., and J. J. Hack, 1982: Inertial stability and tropical cyclone development. *J. Atmos. Sci.*, 39, 1687–1697.
- Shapiro, L. J., and H. E. Willoughby, 1982: The response of balanced hurricanes to local sources of heat and momentum. *J. Atmos. Sci.*, 39, 378–394.
- Shimada, U., K. Aonashi, and Y. Miyamoto, 2017: Tropical cyclone intensity change and axisymmetry deduced from GSMaP. *Mon. Wea. Rev.*, 145, 1003–1017.
- Sugi, M., K. Kuma, K. Tada, K. Tamiya, N. Hasegawa, T. Iwasaki, S. Yamada, and T. Kitade, 1990: Description and performance of the JMA operational global spectral model (JMA-GSM88). *Geophys. Mag.*, 43, 105–130.
- Tang, B., and K. Emanuel, 2010: Midlevel ventilation constraint on tropical cyclone intensity. *J. Atmos. Sci.*, 67, 1817–1830.
- Wada, A., 2020: Sensitivity experiments on axisymmetrization of Typhoon Faxai (2019) just before landfalling in Japan simulated by atmosphere-ocean coupled model. *Research Activities in Earth System Modelling*, 50, 9–13.