

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 15 日現在

機関番号：82706

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26400475

研究課題名(和文) 西太平洋における台風初期渦の実態と発達条件の明確化

研究課題名(英文) Study of the initial disturbance of tropical cyclone and its development over the Western Pacific

研究代表者

那須野 智江 (NASUNO, Tomoe)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・シームレス環境予測研究分野・主任研究員

研究者番号：20358766

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：西太平洋における台風の発達過程には、アジアモンスーンや季節内振動といった大規模な変動(数千km)から、台風の中心核を形成する目の壁雲(数十km)まで、様々な時空間スケールの変動現象が関与する。本研究では、2008年6月の台風事例を主な対象に、全球非静力学モデルを用いた高解像度の数値実験を行い、台風の発生過程における大規模場の変動の役割に注目した解析を行った。その結果、夏季西太平洋モンスーンと季節内振動の重なりに伴う大規模な下層の渦度が、潜熱放出を通して深まることが、台風初期渦の中心付近での組織的な潜熱放出を促進し、直立した深い中心核構造の形成をもたらしたことが分かった。

研究成果の概要(英文)：The genesis process of tropical cyclones (TCs) over the Western Pacific is related to a wide range of variabilities including large-scale (several thousands of kilometers) phenomena, such as Asian monsoon and intraseasonal oscillation, as well as the eye wall clouds (several tens of kilometers) that constitute the inner core of the TCs. In order to gain our understanding of the multiscale interactions in the TC formation, a series of high-resolution numerical experiments using a global nonhydrostatic model was conducted for a TC case of June 2008, and the roles of the large-scale variability was investigated. It was found that the deepening of the lower tropospheric large-scale vorticity associated with the boreal summer monsoon and the active phase of the intraseasonal oscillation through the latent heat release facilitated the successive formation of deep convection around the incipient vortex of the TC, and subsequent establishment of a deep upright TC inner core.

研究分野：気象学

キーワード：台風発生過程 西太平洋 アジアモンスーン 季節内振動 全球非静力学モデル

1. 研究開始当初の背景

西太平洋における台風の発生過程には、アジアモンスーンや季節内振動、総観規模擾乱といった大規模な変動(数千 km)から、台風を中心核を形成する目の壁雲(数十 km)まで、幅広い時空間スケールの変動現象が複雑に関与する。台風発生過程の理解のためには、台風を構成する雲の挙動と、大規模な変動との相互関係を明らかにすることが重要である。海盆規模の気候場を想定した台風発生環境場の指標は、西太平洋における個々の台風事例や季節内以下の変動の監視には必ずしも適さない。

台風発生に対する大規模場の影響に関して、従来の研究では、夏季西太平洋の基本場の特徴である対流圏下層の循環場の形態に着目した要因分析が進められてきた。しかし、熱力学的な要因や、現実事例において頻繁にみられる複数の要因の重なり合いは、重要であるにも拘わらず考慮されてこなかった。その主な理由として、大規模擾乱を含む広域において、潜熱放出を介した雲と循環場との非線型的な相互作用の直接観測や、数値モデルによる直接計算が困難であったことが挙げられる。この問題に対し、全球非静力学モデルを用いた高解像度数値計算は、近年利用可能となった有効な手段である。全球非静力学モデルにおいて数 km 以下の水平格子間隔を用いれば、台風中心付近の構造や力学過程までをほぼ解像することができる。全球高解像度数値計算によって、時空間スケールの大きい季節内振動の影響を正確に把握し、シミュレートすることができれば、台風発生予測の期間延長に繋がる。

2. 研究の目的

本研究では、大規模場の変動や総観規模擾乱等の要因が台風の初期渦の発達に影響するプロセスを明らかにすることにより、台風発生過程に関する理解を深めることを目的とした。特に、全球非静力学モデルを用いることで、従来の手法では追及の困難であった、雲と擾乱の結合関係や台風発達要因の重なりによる複合作用の明確化を目指した。

3. 研究の方法

海洋研究開発機構(研究代表者らの所属機関)による現場観測の行われた台風発生事例(2008年台風6号、Fengshen)を主な対象として選択し、全球非静力学モデルによる数値実験および解析を行い、得られた知見を感度実験により確認した。当初計画では、複数事例を同等に扱う予定であったが、対象を絞って深く掘り下げる方が研究期間中により重要な成果が得られると判断した。選択した事例は、観測に基づくメソスケール過程の解析による先行研究もあり(Yamada et al. 2012)、また複数の大規模擾乱が重なった状況下での発生であったことから、本課題の目的に適している。(他の事例については、連携研究

者らによる成果等を後述する。)

数値実験には全球非静力学モデル Nonhydrostatic Icosahedral Atmospheric Model (NICAM; Satoh et al. 2014, PEPS)を用い、水平格子間隔 3.5 km を適用した。計算は全て海洋研究開発機構の地球シミュレータを用いて行った。台風発生前後の多重スケールのメカニズムを詳細に調べるため、台風発生約4日前を初期時刻として1週間程度の積分を行い、2次元変数を1時間間隔、3次元変数を3時間間隔で出力した。雲微物理過程の設定や、初期値に用いる客観解析データを変えて10例以上の計算を実施し、系統的な感度調査を行った。

解析手法に関しては、まず台風中心の追跡方法の検討を行った。これまでの研究では、下層の渦度の強さや温暖核構造を前提条件として、海面気圧の極小域を中心とする方法を用いてきたが(雑誌論文成果⑧)、渦の中心付近に強い対流が発生した場合、気圧の極小域が渦循環の中心からずれる場合があることが、問題として指摘されている。そこで、下層風に平滑化を施し、平滑化された風速場の渦度の最大域を台風中心とする方法を導入した(詳細は雑誌論文成果④に記載)。新しい方法では、従来の方法よりも渦循環の中心に近い点が検出でき、特に台風発生前の初期渦の追跡には妥当と考えられる。台風中心核の構造を精査するために、検出した渦中心を基点とする半径 200 km の円筒座標 3次元データを作成して解析に用いた。円筒座標への変換や軸対称・非軸対称成分の算出方法については、複数の全球高解像度モデルを用いた台風予測相互比較実験プロジェクト(TYMIP-G7)の下に、気象研究所台風研究部の山口宗彦研究官からツールの提供を受けた。本課題で構築した一連の解析手法は、高解像度(水平格子間隔数 km 以下)計算データを用いた台風初期渦の解析において必須となるものであり、今後の研究に応用することができる。

4. 研究成果

(1) 台風 Fengshen の発生に対する季節内振動の役割

台風 Fengshen は、2008年6月半ば西太平洋モンスーンの開始期に、季節内振動が活発化した状況下で発生した。図 1b に計算初期時刻(2008年6月15日)の西太平洋域の下層風速場(ECMWF YOTC 解析データ)を示す。モンスーン循環と季節内振動の重なりによる赤道域の西風の強化と、これに伴う大規模な低気圧性の渦の形成が確認できる。この大規模な下層渦の周辺は、季節内振動に伴う湿潤域に対応する。以後数日の間に、湿潤域での雲の形成(潜熱放出)により下層の渦度が上方に伸長し、台風の発生に好都合な環境場となった。図 1a に数値実験(ケース E)でシミュレートされた、対流圏中層の渦度(6月16, 17, 18日)と6/15-16日の潜熱放出率を

示す。北東から南西に伸びる中層の気圧の谷（正の渦度域）が、下層渦の上で強化されている。即ち、上空（対流圏中層）の擾乱の通過・発達も台風の発生に関与していたことが分かる。台風の初期擾乱はこの大規模な渦域の北東部に到達し、深い対流との相互作用により加速され、台風強度に至った。

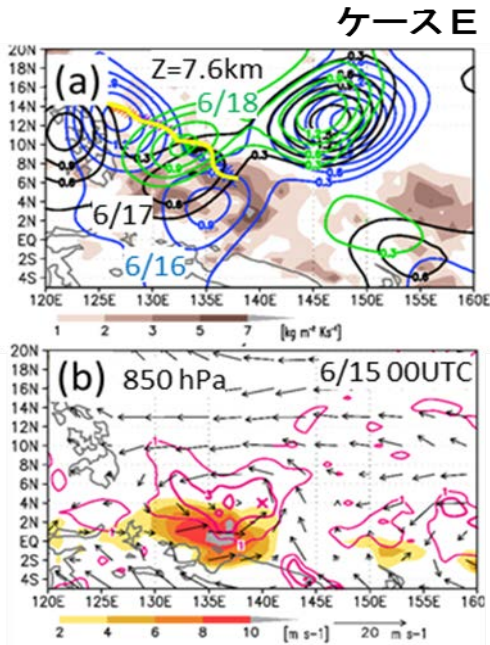


図 1 (a) 全球 3.5 km 格子数値実験 (ケース E) における対流圏中層の渦度 (等値線、日平均値) と潜熱放出率 (陰影)。黄線：台風中心位置。(b) 初期場の下層東西風 (色) と渦度 (赤線)。Nasuno et al. (2016, 雑誌論文成果④) Fig. 3c, Fig. 1a に加筆、引用。

(2) 台風 Fengshen の中心核の形成

図 2 に台風 Fengshen の初期擾乱の中心付近を拡大した中層と下層の渦度場を示す。6月 17 日には下層の渦中心と中層の中心が離れ、渦の鉛直軸が傾いているが (図 2a, b)、渦中心の近傍で連続的に深い対流が発生して潜熱が放出されることにより、6月 18 日には上下の渦中心が一致して、直立した台風の中心核構造が確立している (図 2c, d)。

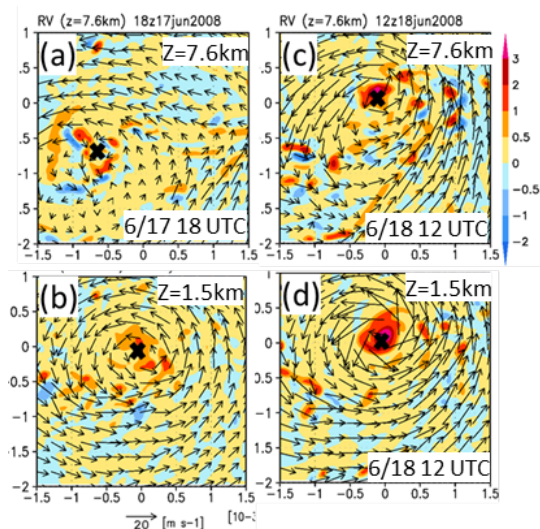


図 2 台風中心付近の渦度 (色) と風ベクトル。(a) (b) 6/17 18UTC, (c) (d) 6/18 12 UTC。(a) (c) 対流圏中層 ($z = 7.6$ km) および (b) (d) 下層 ($z = 1.5$ km)。x は渦中心位置。Nasuno et al. (2016, 雑誌論文成果④) Fig. 6 に加筆、引用。

同様の発達過程は、雲物理過程の設定を変えた他の複数の計算でも共通して見られた。

(3) 感度実験

大規模擾乱の役割を確認するため、異なる初期状態 (客観解析データ) からの感度実験も行った。図 3 に ECMWF YOTC 解析データと NCEP final 解析データにおける初期時刻の鉛直積分水蒸気量 (可降水量) を示す。前者 (図 3c) では下層の大規模な渦と湿潤域がよく一致するが、後者 (図 3b) では湿潤域がより低緯度側に集中して下層渦との対応が弱い。NCEP final 解析データを初期値とした感度計算 (ケース N) では、雲の形成による潜熱放出が下層の大規模な渦域と離れているため、中層の気圧の谷が深まらず (図 3a)、台風も発生しなかった。この結果から、大規模な循環場が水蒸気の凝結 (雲の組織化) を介して強化され、台風の発達に好都合な条件を整える役割を果たしたことが確認された。

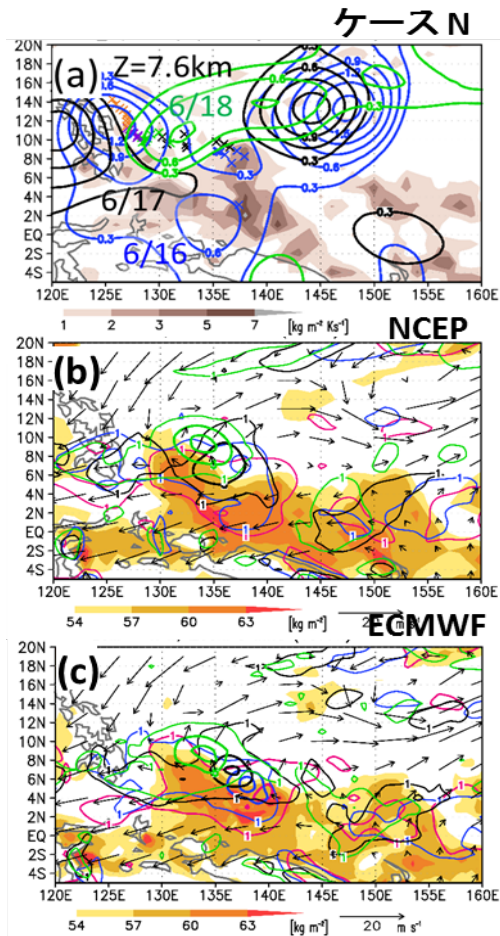


図 3 (a) 感度実験 (ケース N) における対流圏中層の渦度 (等値線) と潜熱放出率 (陰影)。(b) 感度実験、(c) 標準実験における初期場の

可降水量（色）とシミュレートされた下層渦度（等値線、色は図1と同じ）。Nasuno et al. (2016, 雑誌論文成果④) Fig. 3f, Fig. 1c, 1dに加筆、引用。

(4) 台風 Fengshen の経路

台風 Fengshen は、現業予報の進路誤差が大きかった事例として知られる。当初予期していなかった新たな知見として、高解像度計算では、台風中心付近の構造を正確に表現することにより、進路が改善される場合があることも分かった。図 4a に台風進路を示す。現業予報では進路の北進傾向が顕著である（図 4a 青線）が、全球 3.5km 格子数値実験では、この誤差が大幅に軽減されている（図 4a 赤線）。誤差改善の原因を、渦度収支解析により調べた。その結果、台風中心核を構成する鉛直流の分布（半径 100km 以内）の表現が重要であることが分かった。即ち、全球 3.5 km 格子モデルでは、台風中心の西側に上昇流域が形成され、これに伴う渦度の生成が継続的に見られたが（図 4b）、解像度の粗い気象庁全球予報モデルでは、台風中心域の風速分布が十分に解像されず鉛直速度が弱くなるため、西側での渦度の生成が小さかった（図 4c）。このため、現業予報では西向き成分が過小評価され、一般風による北向きの移動成分が卓越して、北進誤差をもたらしたと解釈される（雑誌論文成果⑤）。興味深いことに、高解像度モデルによる進路誤差の改善傾向は、複数の全球高解像度モデルを用いた台風予測相互比較実験でも共通して見られた（雑誌論文成果②）。

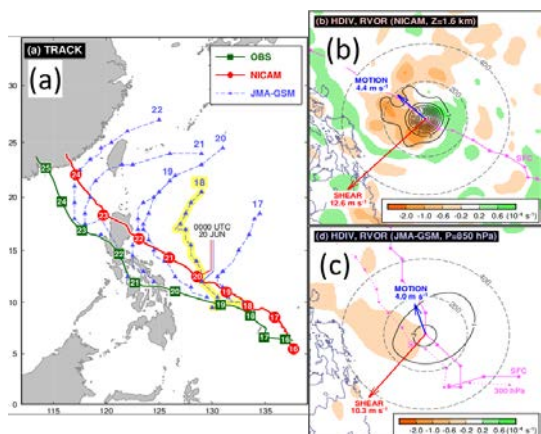


図 4 (a)台風進路。観測（緑）、全球 3.5 km 格子モデル（赤）、気象庁全球モデル（青）。(b)全球 3.5km 格子モデルおよび(c)気象庁全球モデルにおける対流圏下層の鉛直速度（色）と渦度（等値線）。青矢印：台風の移動ベクトル。Yamada et al. (2016, 雑誌論文成果⑤) Fig. 1a, Fig. 2b, 2d を引用。

(5) まとめと今後の展望

西太平洋における台風発生過程に関する理解を深めることを目的に、現場観測の行われた台風発生事例（2008 年台風 6 号、Fengshen）を主な対象として、大規模場（モ

ンスーン循環、季節内振動）や総観規模場（対流圏中層の気圧の谷）およびメソスケールの過程を理解するための数値実験を行った。その結果、夏季西太平洋モンスーンと季節内振動に伴う大規模な下層の渦度が、潜熱放出を通して深まることが、台風初期渦の中心付近での組織的な潜熱放出を促進し、直立した深い中心核構造の形成をもたらしたことが分かった。さらに大規模な循環場と水蒸気場の関係に関する感度実験を行い、一連の過程における、大規模な擾乱に伴う潜熱放出の役割の重要性を確認した。また、予想していなかった成果として、全球高解像度モデルでは、台風中心付近の鉛直流の分布をより現実的に表現することで、現業モデルに現れる系統的な進路誤差を改善できる場合があることが分かった。

現在、世界的に全球モデルの高解像度化が推進されているが、水平格子間隔 5 km 以下のモデルはその殆どが試験的な利用段階にあり、現象のメカニズムに関する研究例は未だ極めて少ない。本課題において、台風の発生事例における季節内振動の役割や、モデルの高解像度化による進路予測改善の原因を明らかにしたことは、今後の展開の重要な足掛かりとなる。本課題では台風 Fengshen の事例を重点的に扱ったが、近年（2013-2015 年）の夏季西太平洋域の台風事例を対象とする台風予測相互比較実験プロジェクト TYMIP-G7（雑誌論文成果②）への参画や、西太平洋における台風と発生環境場（モンスーン）の経年変動に関する解析も並行して進めた。今後、これらの研究を更に発展させ、本課題において得られた知見を検証し、より体系的な理解を獲得して、台風発生時の延長予測に繋げることを計画している。

引用文献：

① Yamada H, T. Nasuno, W. Yanase, R. Shiroyaka, and M. Satoh, 2012: Genesis of Typhoon Fengshen (2008) from Vortex Superposition: PALAU Field Experiment and a Global Cloud-Resolving Simulation, Abstracts of the 30th conference on Hurricane and Tropical Meteorology, 15-20 April 2012, Ponte Vedra Beach, the USA.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計 8 件）

① Nakano, M., H. Kubota, T. Miyakawa, T. Nasuno, and M. Satoh, 2017: Genesis of Super Cyclone Pam (2015): Modulation of Low-Frequency Large-Scale Circulations and the Madden-Julian Oscillation by Sea Surface Temperature Anomalies, Mon. Wea. Rev., doi:10.1175/MWR-D-16-0208.1. 査読有（印刷中）

② Nakano, M., A. Wada, M. Sawada, H. Yoshimura, R. Onishi, S. Kawahara, W.

Sasaki, T. Nasuno, M. Yamaguchi, T. Iriguchi, M. Sugi, and Y. Takeuchi, 2017: Global 7-km mesh nonhydrostatic Model Intercomparison Project for improving TYphoon forecast (TYMIP-G7): Experimental design and preliminary results, *Geosci. Model Dev.* 10, 1363-1381, doi:10.5194/gmd-2016-184, 2016. 査読有

③ Roh, W., M. Satoh, T. Nasuno, 2017: Improvement of a cloud microphysics scheme for a global nonhydrostatic model using TRMM and a satellite simulator. *J. Atmos. Sci.*, 74, 167-184, doi:10.1175/JAS-D-16-0027. 査読有

④ Nasuno, T., H. Yamada, M. Nakano, H. Kubota, M. Sawada, and R. Yoshida, 2016: Global cloud-permitting simulations of Typhoon Fengshen (2008), *Geoscience Letters*, 3, 32, doi: 10.1186/s40562-016-0064-1. 査読有

⑤ Yamada, H., T. Nasuno, W. Yanase, and M. Satoh, 2016: Role of the vertical structure of a simulated tropical cyclone in its motion: A case study of Typhoon Fengshen (2008). *SOLA*, 12, 203-208, doi:10.2151/sola.2016-041. 査読有

⑥ Kikuchi, K., C. Kodama, T. Nasuno, M. Nakano, H. Miura, M. Satoh, A. T. Noda, Y. Yamada, 2016: Tropical intraseasonal oscillation simulated in an AMIP-type experiment by NICAM. *Climate Dyn.*, 48, 2507-2528, doi:10.1007/s00382-016-3219-z. 査読有

⑦ Hashino, T., M. Satoh, Y. Hagihara, S. Kato, T. Kubota, T. Matsui, T. Nasuno, H. Okamoto, and M. Sekiguchi, 2016: Evaluating Cloud Radiative Effects simulated by NICAM with A-train. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 121, 7041-7063, doi:10.1002/2016JD024775. 査読有

⑧ Nakano, M., M. Sawada, T. Nasuno, and M. Satoh, 2015: Intraseasonal variability and tropical cyclogenesis in the western North Pacific simulated by a global nonhydrostatic atmospheric model. *Geophys. Res. Lett.*, 42, 565-571, doi:10.1002/2014GL062479. 査読有

[学会発表] (計 36件)

① Nasuno, T., H. Yamada, M. Nakano, H. Kubota, M. Sawada, and R. Yoshida, Global cloud-permitting simulations of Typhoon Fengshen (2008), Asia Oceania Geoscience Society (AOGS) 14th annual meeting,

2017/08/09, Singapore.

② Nakano, M., A. Wada, M. Sawada, H. Yoshimura, R. Onishi, S. Kawahara, W. Sasaki, T. Nasuno, M. Yamaguchi, T. Iriguchi, M. Sugi, and Y. Takeuchi, Global 7-km mesh nonhydrostatic Model Intercomparison Project for improving TYphoon forecast (TYMIP-G7), Asia Oceania Geoscience Society (AOGS) 14th annual meeting, 2017/08/09, Singapore.

③ Nasuno, T., H. Yamada, M. Nakano, H. Kubota, M. Sawada, and R. Yoshida, Global cloud-permitting simulations of Typhoon Fengshen (2008), Japan Geoscience Union (JpGU) Annual Meeting 2017, 2017/05/20, 幕張メッセ (千葉県千葉市).

④ Nasuno, T., H. Yamada, M. Nakano, H. Kubota, M. Sawada, and R. Yoshida, Global cloud-permitting simulations of Typhoon Fengshen (2008), 4th International Workshop on Nonhydrostatic Numerical Models (NHM2016), 2016/12/01, ザ・プリンス箱根芦ノ湖 (神奈川県足柄郡).

⑤ Sawada, M., H. Kawai, H. Yoshimura, A. Wada, M. Nakano, R. Onishi, S. Kawahara, E. Shindo, T. Iriguchi, M. Yamaguchi, M. Sugi, T. Nasuno, W. Sasaki, H. Fuchigami, and Y. Takeuchi, Characteristics of tropical rainfall and diabatic heating in Global 7-km mesh nonhydrostatic Model Intercomparison Project for improving TYphoon forecast (TYMIP-G7), Workshop on Global Precipitation System 2016, 2016/11/29, 海洋研究開発機構横浜研究所 (神奈川県横浜市).

⑥ Nasuno, T., H. Yamada, M. Nakano, H. Kubota, M. Sawada, and R. Yoshida, Global cloud-permitting simulations of Typhoon Fengshen (2008), 2016/11/28, Workshop on Global Precipitation System 2016, 海洋研究開発機構横浜研究所 (神奈川県横浜市).

⑦ Nakano, M., A. Wada, M. Sawada, H. Yoshimura, R. Onishi, S. Kawahara, W. Sasaki, T. Nasuno, M. Yamaguchi, T. Iriguchi, M. Sugi, and Y. Takeuchi, Global 7-km mesh nonhydrostatic Model Intercomparison Project for improving TYphoon forecast (TYMIP-G7), Workshop on Global Precipitation System 2016, 2016/11/28, 海洋研究開発機構横浜研究所 (神奈川県横浜市).

⑧ Nasuno, T., Y. Yamada, Y. Kajikawa, H. Kubota, M. Nakano, C. Kodama, A. Noda, and

M. Satoh, Inter-annual variability of East Asian monsoon and tropical cyclone activity in a NICAM AMIP-type simulation, Asia Oceania Geoscience Society (AOGS) 13th annual meeting, 2016/08/02, Beijing, China.

⑨ Nasuno, T., M. Nakano, and M. Sawada, Month-long forecasts using a global non-hydrostatic model in boreal summer season, Japan Geoscience Union (JpGU) Annual Meeting 2016, 2016/05/23, 幕張メッセ (千葉県千葉市) .

⑩ Nasuno, T., H. Yamada, M. Nakano, H. Kubota, M. Sawada, and R. Yoshida, Deepening process of an incipient vortex of tropical cyclone simulated in a global nonhydrostatic model, 32nd Conference on Hurricane and Tropical Meteorology, 2016/04/21, Puerto Rico, the USA.

⑪ 那須野 智江, 山田 広幸, 中野 満寿男, 久保田 尚之, 沢田 雅洋, 吉田 龍二, 夏季西太平洋における台風発生事例の要因分析, 台風セミナー, 2015/12/16, 海洋研究開発機構東京事務所 (東京都千代田区) .

⑫ 那須野 智江, 山田 広幸, 中野 満寿男, 久保田 尚之, 沢田 雅洋, 吉田 龍二, 夏季全球非静力学数値実験における台風の中心気圧低下の開始過程, 日本気象学会 2015 年秋季大会, 2015/10/28-30, 京都テルサ (京都府京都市) .

⑬ Nasuno, T., Y. Kajikawa, C. Kodama, H. Kubota, Y. Yamada, A. Noda, M. Satoh, Interannual Variability of the East Asian Monsoon in June, July, and August in Objective Analysis and Global Nonhydrostatic Simulations, Asian Conference on Meteorology 2015, 2015/10/27, 京都大学 (京都府京都市) .

⑭ Nasuno, T., H. Yamada, M. Nakano, H. Kubota, M. Sawada, and R. Yoshida, Controlling Factors of the Tropical Cyclone Genesis over the Western North Pacific: A Case Study (TY0806) using a Global Nonhydrostatic Model, Asia Oceania Geoscience Society (AOGS) 12th Annual Meeting, 2015/8/5, Singapore.

⑮ 那須野 智江, 山田 広幸, 中野 満寿男, 久保田 尚之, 沢田 雅洋, 吉田 龍二, 夏季西太平洋における台風発生事例の要因分析 (第2報), 日本気象学会 2015 年春季大会, 2015/5/21-24, つくば国際会議場 (茨城県つくば市) .

⑯ 藤間 弘敬, 山田 広幸, 篠田 太郎, 上田 博, 勝俣 昌己, 那須野 智江, 城岡 竜一, 2015: 2013 年台風 6 号の発生前における下層渦と上層渦の関係, 日本気象学会 2015 年春季大会, 2015/05/24, つくば国際会議場 (茨城県つくば市) .

⑰ 那須野 智江, 山田 広幸, 中野 満寿男, 久保田 尚之, 沢田 雅洋, 吉田 龍二, 夏季西太平洋における台風発生事例の要因分析, 日本気象学会 2014 年秋季大会, 2014/10/21-23, 福岡国際会議場 (福岡県福岡市) .

[その他]

ホームページ (JAMSTEC 研究者総覧、本課題による成果を含む論文リストを掲載)

http://www.jamstec.go.jp/souran/html/Tomoe_Nasuno001634-e.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

那須野 智江 (NASUNO, Tomoe)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・シームレス環境予測研究分野・主任研究員

研究者番号: 20358766

(2) 連携研究者

山田 広幸 (YAMADA, Hiroyuki)

琉球大学・理学部・准教授

研究者番号: 30421879

沢田 雅洋 (SAWADA, Masahiro)

気象庁気象研究所・台風研究部・研究官

研究者番号: 90466524

久保田 尚之 (KUBOTA, Hisayuki)

東京大学・大気海洋研究所・特任研究員

研究者番号: 40359211

中野 満寿男 (NAKANO, Masuo)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・ビッグデータ活用予測プロジェクトチーム・特任技術研究員

研究者番号: 40713954

(3) 研究協力者

菊地 一佳 (KIKUCHI, Kazuyoshi)

国際太平洋研究センター・Assistant Researcher

Li Tim (LI, Tim)

ハワイ大学/国際太平洋研究センター・教授

Wang Yuqing (WANG, Yuqing)

ハワイ大学/国際太平洋研究センター・教授