

航空機により観測された非常に強い台風の雲解像モデルを用いた高解像度シミュレーション

課題責任者

坪木 和久

名古屋大学 宇宙地球環境研究所

著者

坪木 和久^{*1}

^{*1} 名古屋大学 宇宙地球環境研究所

キーワード：雲解像モデル、台風強度、スーパー台風、航空機観測、高解像度シミュレーション

1. はじめに

台風、ハリケーン、サイクロンなどの熱帯低気圧は、地球上の最も激しい擾乱であり、しばしば暴風や豪雨により災害をもたらす。このためその高精度予測は台風防災の面から重要であるとともに、高精度シミュレーションは、台風に関する学術的理解の上でも重要である。近年、高解像度の非静力学モデルによるシミュレーションが可能となってきたが、その結果の検証のための観測データは限られている。特に中心気圧や最大地上風速などの強度データは少ないのが現状である。

そこで名古屋大学を中心とする研究グループは、台風の航空機観測プロジェクト T-PARCI (Tropical cyclone- Pacific Asian Research Campaign for Improvement of Intensity estimations/ forecasts)により、これまでスーパー台風などの非常に強い台風の航空機観測を実施してきており、台風の眼と内部コア周辺の観測データを取得してきた。

本研究では航空機観測により得られた台風の観測値と比較しつつ、雲解像モデル CReSS により再現された台風を検証する。さらに雲物理過程や放射過程などの物理過程についての感度実験を行うことで、台風強度の高精度シミュレーションと各物理過程の役割を調べることを目標とする。

昨年度までの研究では、2017 年 10 月のスーパー台風 Lan、2018 年 9 月の Trami、2022 年 9 月の Narmadol、さらに記録の残る 1951 年以降で最も低い中心気圧を記録したスーパー台風 Tip (1979) を対象として実験を実施してきた。本年度はこれらの実験をさらに進めると共に、雲物理過程や放射過程についての感度実験を行った。

2. 数値モデルと実験設定

本研究で用いた雲解像モデルは、Cloud Resolving Storm Simulator (CReSS3.4.3m; Tsuboki and Sakakibara 2002 [1], Tsuboki 2023 [2]) である。CReSS は 3 次元の領域非静力学モデルで、鉛直方向に地形に沿った座標系を用い、水平方向には緯度経度座標を用いている。雲に関わる物理量は雲物理のバルク法を用いており、積雲パラメタリゼーションは用いない。短波および長波による放射加熱・冷却は、Rapid Radiative Transfer Model (RRTM) によって計算される。

計算領域は、経度方向に約 40 度、緯度方向に約 35 度、高さは上部スポンジ層の下端が 24 km である。水平方向の格子間隔は、緯度経度ともに約 2.5 km である。鉛直格子はストレッチングにより下層が細かい格子となっており、最下層での格子間隔は 100 m、鉛直層は 80 層である。初期値・境界値には気象庁の全球客観解析、および JRA55 のデータを用いた。

観測された台風については、その進路の精度を上げるため進路については、スペクトルナudging (Tsuji and Tsuboki 2020 [3]) を用いている。

3. スーパー台風 Tip (1979)

昨年までのスーパー台風 Tip の実験で、10 月 9 日から 12 日にかけての急速な中心気圧の低下が、よく再現されていた。今年度はさらに初期値や計算パラメータを変更することで、ほぼベストトラックに合う気圧の変化を得ることができた (図 1)。この台風は米軍により、60 回の航空機観測が行われており、中心気圧のデータは精度が高く、それに合う結果を得られることは高い再現性を示すことになる。

この結果を用いて、台風の中心気圧の再現性に対する放射過程の効果を調べた。再現実験では雲と水蒸気についての放射過程が考慮されているが、短波・長波の両方の放射をオフにすると、図 1 に示すように生涯

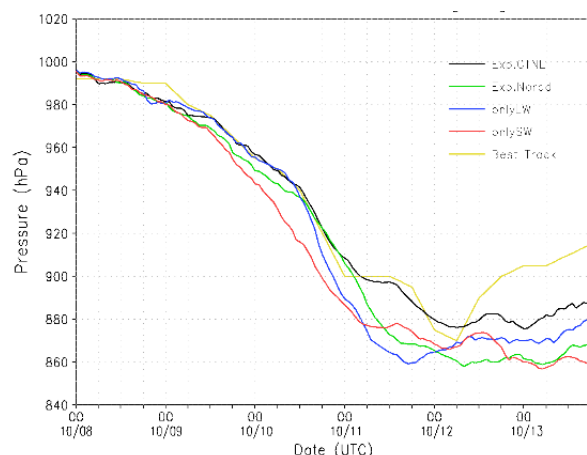


図 1：スーパー台風 Tip(1979)の中心気圧の時間変化。シミュレーション（黒線）、放射なし（緑線）、長波放射のみ（青線）、短波放射のみ（赤線）と気象庁の台風ベストトラックデータ。

最低中心気圧は 17hPa も低下した。短波または長波のどちらかをオフにするだけでも、再現実験より強度が大きくなる。このことから台風強度に対して放射過程は、強度を弱める方向に働くことが示される。ただし、放射過程による非断熱加熱が直接台風強度を変えるのではなく、海面や雲過程などの複雑なプロセスを通して、台風強度が決まる。

同様に雲物理過程についての感度実験として、均質核形成の温度に対する、台風強度の感度を調べた。雲解像モデル CReSS では、通常 -40°C で雲水はすべて凍結する。これは多くの観測から得られた結果であるが、より高い気温で活性化する氷晶核が含まれていて、ある温度でそれがはたらいで氷晶化が起こる場合を想定する。ここでは -30°C で氷晶化が起こる場合を想定する。図2は中心気圧と最大地上風速の時間変化を比較したものである。最初の1日半ほどはほとんど違いがないが、それ以降になると、中心気圧で最大15hPa、最大地上風速で10m/s程度 -30°C で氷晶化が起こる方が弱くなる。この実験を氷晶化の起こる温度を様々に変えて行った結果、多くの場合、 -40°C の均質核形成より台風は弱くなったが、そうでない場合もあり、均質核形成の温度に対する台風強度の応答は線形ではなく、複雑なプロセスを通して決まることが分かる。

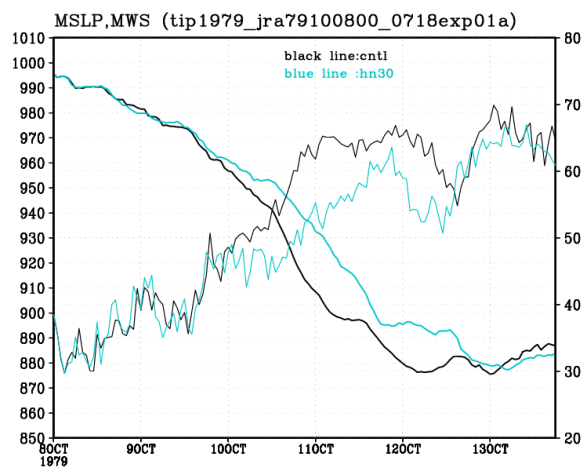


図2：スーパー台風 Tip(1979)の)の実験で、雲水を -30°C で凍結した場合（青線）と再現実験（ -40°C ）（黒線）の中心気圧と最大地上風速の比較。

4. スーパー台風 Nanmadol (2022)

台風 Nanmadol は 2022 年 9 月 13 日に北緯 21 度という高緯度で発達し、二重壁雲構造を形成するとともに、北緯 24 度付近で 9 月 16 日から同月 17 日にかけて北西進しながら急発達をした。その後、北向きに移動方向が変わり、9 月 18 日に鹿児島県に上陸し、九州に大雨と強風による災害をもたらした。急発達では 24 時間で 50hPa の中心気圧低下が起こっている。このとき T-PARCCII プロジェクトでは航空機観測を実施している。

Nanmadol について、9 月 15 日 06UTC を初期とする 5 日間のシミュレーション実験を実施した。中心気圧の時間変化からやや過発達となったが、中心気圧の低下

率はほぼ観測と対応しており、急発達は再現された。図 3 に 905hPa に達したときのシミュレーション結果を示す。Nanmadol の特徴である、小さな眼が再現されており、二重壁雲構造に似た構造がみられる。今後、初期値・境界値データやパラメータを変更した実験を行い、再現性を高めたうえで、観測と比較すると共に暖気核などの構造を調べる。

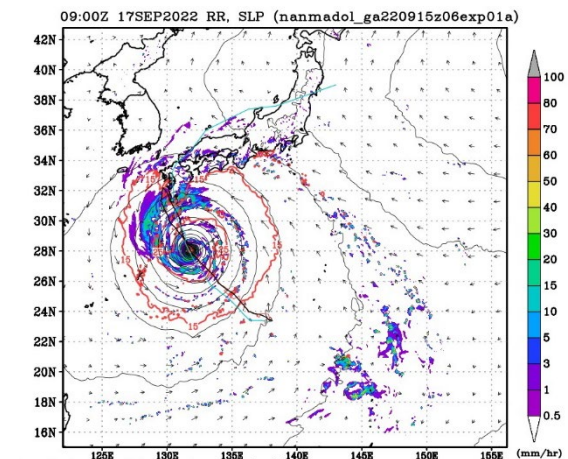


図3：スーパー台風 Nanmadol (2022)のシミュレーション実験の 2022 年 9 月 17 日 0900UTC の結果の水平表示。カラーは地上降水、矢印は地上風、黒等値線は地上気圧、赤等値線は地上風速で 15、25m/s。黒実線は中心の経路、青実線は気象庁の台風ベストトラックデータの経路。

5. まとめと今後の展望

前節までに示した台風の他に、航空機観測を行った台風 Lan(2017)、Trami(2018)、Mindulle (2021)、1951 年以降で最も急速発達した台風 Ida(1958) (狩野川台風)、日本に大きな災害をもたらした台風 Jebi(2018)、Faxai(2019)、Hagibis (2019) についても再現実験を行った。これらについていくつかは再現性や物理過程についての検討を行った。一方で初期的な結果の段階のものもある。今後、これらの台風について、次のような点についてさらに研究を進める。

まずは再現性をさらに高めるとともに、再現実験の結果を観測データと比較しつつ検証を行う。特に台風の強度について、観測値に合うようにパラメータの最適値を選定する。また、航空機観測が行われた台風については、眼内部や周辺部における力学的、熱力学的構造を観測と比較し、その再現性を検証する。本研究では台風の強度を重要な要素と考えているので、眼内部の暖気核の強度と構造の再現性が重要である。

次に放射過程や雲物理過程についての感度実験をさらに進めて、強度をコントロールする物理過程の改良と、物理過程を変えることで強度が変わるメカニズムをあきらかにする。出力結果を詳細に解析し、原因となる物理過程の変化がどのように強度に影響するのかを調べることで、因果関係をあきらかにする。

上記のように、今後はシミュレーションおよび感度

実験を行うとともに、プロセス研究を並行して行うことで、台風の強度を決定する物理過程をあきらかにしていく予定である。

参考文献

- [1] Tsuboki, K., and A. Sakakibara, “Large-scale parallel computing of Cloud Resolving Storm Simulator”, *High Performance Computing*, edited by H. P. Zima, K. Joe, M. Sato, Y. Seo, and M. Shimasaki, 243-259, Springer, New York, (2002)
- [2] Tsuboki, K., 2023: High-Resolution Simulations of Tropical Cyclones and Mesoscale Convective Systems Using the CReSS Model. Park, S.K. (eds) *Numerical Weather Prediction: East Asian Perspectives*. Springer Atmospheric Sciences. Springer, Cham. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-031-40567-9_19
- [3] Tsujino, S. and K. Tsuboki, 2020: Intensity change of Typhoon Nancy (1961) during landfall in a moist environment over Japan: A numerical simulation with spectral nudging. *J. Atmos. Sci.*, **77**, 1429-1454, doi:10.1175/JAS-D-19-0119