

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

北太平洋西部で発生する台風は日本及び東アジア諸国における自然災害の最大要因で、その構造や強度変化のメカニズムを解明することは、台風の理解において不可欠であり、強度予測の高精度化による防災への貢献は社会的に重要である。特に進路予測は年々改善されているが、強度予測は過去数 10 年にわたって、ほとんど改善されていないという問題がある。この問題の解決には、台風を構成する眼の壁雲や降雨帯などの雲を解像しつつ台風全体をシミュレーションすることが不可欠である。

本研究の目的は、雲解像モデル CReSS を用いた台風のシミュレーションを行い、台風の構造と強化プロセスを解明することである。航空機により観測された台風を主な事例として、これらの再現実験を行い、進路・強度について再現性を航空機観測のデータを用いて検証する。これまでの実験から分かってきた雲物理過程を改良することで、その強度予測へのインパクトをあきらかにする。そのために理想化した台風の実験を行い、雲物理過程の様々な実験を行う。

2. 数値モデルと実験設定

前年度までの研究と同様に、本研究で用いた雲解像モデルは、地球シミュレータで開発された 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ていない。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。

3. スーパー台風 Nanmadol (2022) の再現性

まず、スーパー台風 Nanmadol 概要をまとめる。この台風は 2022 年 9 月 13 日 18UTC に小笠原諸島近くで発生し、北西進しつつ 16 日 18UTC に大型で猛烈な強さに発達した。18 日 10UTC ごろ、大型で非常に強い勢力で鹿児島県に上陸し、19 日にかけて九州を縦断し、福岡県付近から東向きに進み中国地方を縦断した。九州、四

国では総降水量が 500mm をこえ、死者 5 名に達した。鹿児島県に上陸した台風としては過去 4 番目に低気圧で上陸し、社会的影響の大きな台風である。

前年度に引き続いて、スーパー台風 Nanmadol の再現性を高めるための、様々なパラメータに対する感度を調べ、強度変化と進路の両方が改善されるように多数の実験を実施した。前年度の実験から JRA55 では全く発達しないことが示されていたので、初期値・境界値として気象庁全球解析を用い、いくつかの初期について、強度変化の感度を調べた。その結果として、2022 年 9 月 15 日 06UTC を初期値とするのが、強度変化について最も再現性が高いことが分かった。

昨年度の実験では、Nanmadol の上陸後の進路がベストトラックと大きく異なることが問題であった。その改善のためにスペクトルナッジングを導入した。しかしながら、これによって台風の強化が抑制されるという副作用がみられた。そこで Nanmadol のシミュレーション実験では、上陸前までの発達期では、それをオ

表 1：スーパー台風 Nanmadol のシミュレーション実験の主要な設定パラメータ。

格子数	1731 (東西) × 1539 (南北) × 83 (鉛直)
計算領域	東西約 34.2 度、南北約 27.8 度
水平格子系	緯度経度座標系
水平格子間隔	0.0198 度 (経度)、0.0181 度 (緯度) (約 2km に相当)
鉛直格子系	地形に沿う座標と等高度座標のハイブリッド (η 系)
鉛直格子間隔	最下層 100m、平均 350m のストレッチ座標。
初期時刻	2022 年 9 月 15 日 06:00UTC
積分時間	4.75 日 (114 時間=410,400 秒)
放射	短波・長波 (Rapid Radiative Transfer Model (RRTM)) : 600 秒ごと
海洋・陸地	鉛直 1 次元 : 61 層

フとし、最大強度に達した後、衰退期に入るところでオンとすることで、その問題を解決した。また、鉛直格子数を 63 から 83 にすることで、最大強度の再現性を高めた。表 1 に Nannmadol のシミュレーション実験の主要な設定パラメータをまとめた。

図 1 に気象庁ベストトラックの中心気圧と最大地上風速、およびシミュレーション実験で得られたそれらの時間変化を比較した。最大地上風速は 9 月 19 日 00UTC より前では、ほぼベストトラックのそれと一致している。中心気圧についても低下が少し遅れるが、気圧の低下率と 910hPa の最低中心気圧にほぼ同じとなっている。これらの結果から、台風の強度の時間変化の再現性は十分といえる。

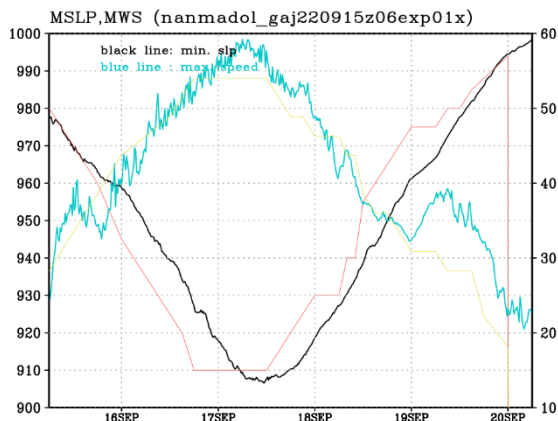


図 1：2022 年 9 月 15 日 06:00UTC の気象庁全球客観解析を初期値・境界値としたスーパー台風 Nannmadol のシミュレーションの中心気圧（黒実線；左軸）と最大地上風速（水色線；右軸）の時間変化。気象庁ベストトラックの中心気圧（赤線）とその最大風速（黄線）。

図 2 に 9 月 17 日 1200UTC の再現された台風の地上降水強度、地上気圧、地上風速を示した。これより明瞭な目の壁雲構造が形成されていること

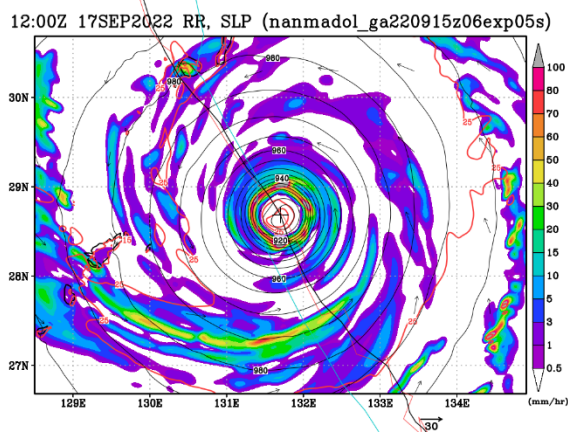


図 2：初期値から 54 時間の 2022 年 9 月 17 日 12:00UTC の地上降水強度（カラスケール）、地上気圧（黒実線）、25m/s の地上風速線（赤実線）、および地上風（矢印）。十字は中心位置。

が分かる。ただ、実線に観測された台風の目は、これより小さく、その点で課題が残された。また、黒線で示したモデル台風の進路と水色線のベストトラックはよく一致しており、進路についての再現性も高いことが分かる。

4. 雲物理過程についての感度実験

再現されたスーパー台風 Nannmadol の実験について、雲物理過程として、非均質核形成についての台風の感度を調べた。これについては初期の結果が得られた段階であるが、台風の強度は雲水の非均質核形成に対して大きな感度があることが示された。

図 3 は Nannmadol の実験において、その初期の 6~12 時間の 6 時間にわたって、非均質核形成を強制的に起こした場合とコントロール実験（非均質核形成なし）との最大地上風速と中心気圧の時間変化である。図から分かるように凍結プロセスの終了後では、違いは非常に小さいが、時間とともに違い大きくなり、中心気圧は最大で 23hPa も差が発生した。この場合、凍結を強制的に起こした方が強化した。この大きな差をもたらすメカニズムについては、今後検討する。

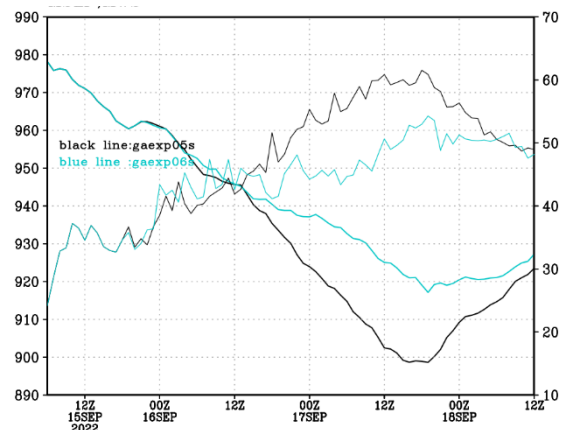


図 3：スーパー台風 Nannmadol のコントロール実験（黒実線）と氷点下の気温領域における雲水の非均質核形成の強制に対する感度実験（水色線）の中心気圧と最大地上風速の時間変化。

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