

科学研究費助成事業（基盤研究（S））公表用資料
〔令和5（2023）年度 中間評価用〕

令和5年3月31日現在

研究期間	2021～2025
課題番号	21H04992
研究課題名	航空機観測によるスーパー台風の力学的・熱力学的構造と強化プロセスの解明
研究代表者氏名（ローマ字）	坪木 和久 (TSUBOKI Kazuhisa)
所属研究機関・部局・職	名古屋大学・宇宙地球環境研究所・教授
研究者番号	90222140

研究の概要：

本研究は日本を含む東アジア地域における災害の最大要因である台風のうち、最強カテゴリーであるスーパー台風について、「急速強化」がどのように起こるのか、「二重壁雲」はどのような構造かを明らかにすることを目的として、航空機観測、地上観測、および多様な数値シミュレーションによりこの問題にアプローチする。これにより台風強度の真値を知るとともに予測誤差を低減し、台風防災に貢献する。

研究分野：気象学、台風

キーワード：スーパー台風、急速強化過程、二重壁雲構造、航空機観測、ドロップゾンデ

1. 研究開始当初の背景

スーパー台風は最強カテゴリーの台風で、その暴風と大雨により甚大な被害をもたらす危険な台風で、地球温暖化に伴い日本本土への上陸も懸念されている。しかし特に強い台風について強度推定値と強度予測には大きな誤差があることが問題となっている。その最大要因は台風の急激な発達である急速強化と二重壁雲構造で、これらに関わる台風中心の暖気核の力学的・熱力学的構造が未解明だからである。これらはスーパー台風の形成時に見られ、スーパー台風などの強い台風についての最も大きな課題である。私たちの研究チームは日本で初めて航空機でスーパー台風の眼に入って、高度14kmからドロップゾンデ観測を行う実績を有している。これを発展させ上記の問題に取り組むことが可能となった。

2. 研究の目的

本研究では上記の課題を解決するために、次の3点を主要な目的として設定した。

- 二重壁雲の暖気核構造の解明：二重壁雲のスーパー台風について、暖気核が内側壁雲内に集中しているのか、それとも外側壁雲まで広がっているのかを航空機で直接観測する。
- 急速強化プロセスの解明：航空機観測により台風の中心気圧と最大風速の直接測定を行い、精度の高い測定値、すなわち台風強度の真値を取得し、そのデータを高解像度の数値モデルに取り込み（データ同化）、観測されたスーパー台風を再現する。その結果に基づき、眼の暖気核などの力学的・熱力学的構造と急速強化のプロセスをあきらかにする。
- 台風強度と進路予測の高精度化：航空機観測によるスーパー台風周辺の多点におけるデータを、台風の予報モデルに取り込み、台風の進路と強度の予測を高精度化できることを示す。

3. 研究の方法

発達した台風では中心に「眼」とそれを取り巻く「眼の壁雲」と、眼の内部には周囲より高温の領域、「暖気核」が形成される。急速強化が起きているとき、あるいは二重壁雲構造のとき、この暖気核はどのような構造でどれだけ発達しているのかをあきらかにするため、図1に示すように、台風の周辺と眼内部を航空機で飛行し、ドロップゾンデとよばれる観測装置を投下する。これにより温度、湿度、気圧、風向・風速のデータを台風の上端から海面までの全層について観測し、台風の力学的・熱力学的構造を調べる。航空機観測とともに、与那国島、南大東島において、レーダや気象気球を用いた観測を行い、台風的环境場と雲や降水の構造を調べる。航空機により観測されたドロップゾンデのデータは、リアルタイムで気象庁に送信され、台風の現業予報に利用される。また、詳細なデータは、データ同化という方法で数値シミュレーション研究に利用される。ここでは名大で開発された数値モデルだけでなく、気象庁や米国の数値モデルなど多様な数値モデル群により高解像度の数値シミュレーションを行い、スーパー台風の形成における急速強化と二重壁雲構造をあきらかにする。

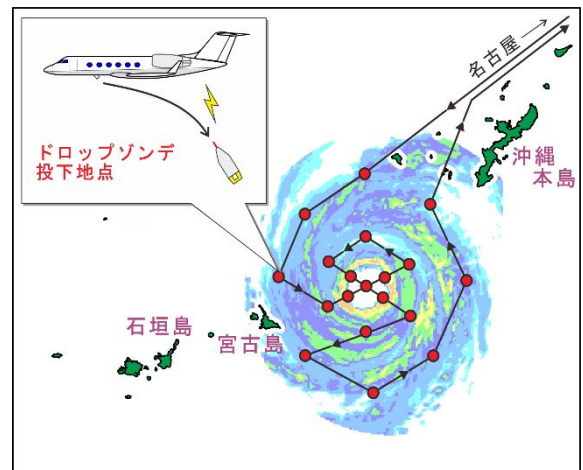


図1：台風の航空機観測の模式図。実線は飛行経路、赤丸印はドロップゾンデ投下地点。

4. これまでの成果

1. 航空機観測システムの整備

航空機観測の準備として、新しいジェット機ガルフストリーム IV にドロップゾンデ観測システム、ドロップゾンデ観測データの航空機からのリアルタイムデータ送信システム、フライトレベルの温度等のデータ取得システムを整備した。

2. スーパー台風の航空機観測

上記の航空機により 2021 年にスーパー台風 Mindulle と 2022 年にスーパー台風 Nanmadol の航空機観測に成功した。Mindulle は観測時にはスーパー台風の強度を下回っていたが、3 回の眼内部への貫入観測を実施し、ドロップゾンデによる中心気圧と最大地上風速の直接観測データを取得した。

台風 Nanmadol は 16 日から 17 日にかけて急速強化を起こしスーパー台風となった。さらにこのとき二重壁雲構造をしていた。航空機観測はまさにこれらの起こった 16 日から 17 日に実施され、両日とも眼内部への貫入観測に成功した。これによりスーパー台風になる前後の眼内部の暖気核の熱力学的構造を観測するとともに、二重壁雲の力学的・熱力学的構造を観測することができた。この観測データはリアルタイムで航空機から気象庁および世界中の気象予報機関に送信され、Nanmadol の数値予報に利用された。

3. 地上観測と航空機観測の同期観測

台風 Mindulle (2021) と Nanmadol (2022) の航空機観測実施時に、南大東島で気球を用いた高層気象観測を実施し、航空機 G-IV が上空を飛行するときに同期観測を実施した。これによりドロップゾンデ観測データの検証を行った。

4. 国際共同観測としての与那国島地上観測

2022 年 5～8 月に、米国・台湾・日本の国際共同観測を航空機観測と連携して実施した。与那国島では、気球による高層気象観測、特殊ゾンデ観測、レーダ観測を実施し、暖候期の大気環境場データを取得した。

5. 衛星データ同化実験

台風 Mindulle (2021) および台風 Nanmadol (2022) について、ひまわり 8 号の全天候赤外輝度温度観測を用いたデータ同化を実施した。また、それらからの数値予測を実施し、台風の急速強化過程を現実的に再現できることを確認した。

6. ドロップゾンデ観測データの雲解像モデル CReSS への同化

ドロップゾンデ観測データの雲解像モデル CReSS へのデータ同化を行うため、3 次元変分法 (3DVAR) を用いた CReSS-3DVAR の改修を行った。

5. 今後の計画

2023、2024 年には 8～9 月により広範囲な領域でのスーパー台風の航空機観測を実施する。これまでと同様にスーパー台風を対象として、眼内部への貫入観測を行い、高度約 14km から海面までの暖気核の全層観測を実施する。また台風周辺の多点にドロップゾンデを投下し、台風の構造と環境場の両方を観測する。観測データは気象庁での台風予報に利用されるとともに、気象庁と協力して世界の気象予報機関に送信する。航空機と同期して南大東島で高層気象観測を実施し、ドロップゾンデ観測データの検証を継続する。また、雲粒子を撮像する特殊ゾンデ観測を実施し、台風周辺に広がる上層の雲の雲物理学特性をあきらかにする。台風予測の高精度化の目的を達成するため、スーパー台風周辺のドロップゾンデ観測データを、台風の予報モデルに取り込み、台風の進路と強度の予測を高精度化できることを示す。多様な数値モデルを用いて、観測データを同化し、観測された台風の再現実験を行い、急速強化プロセスと二重壁雲の暖気核の力学的・熱力学的構造を解明する。

6. これまでの発表論文等（受賞等も含む）

査読付き論文：

Chang, K.-F., C.-C. Wu, and K. Ito, 2023: On the rapid weakening of typhoon Trami (2018): Strong sea surface temperature cooling associated with slow translation speed, *Mon. Wea. Rev.*, **151** (1), 227-251,

Hirano, S., K. Ito, H. Yamada, S. Tsujino, K. Tsuboki, and C.-C. Wu, 2022: Deep eye clouds observed in Tropical Cyclone Trami (2018) during T-PARCII dropsonde observations. *J. Atmos. Sci.*, **79**, 683-703

Kuo, H.-C., S. Tsujino, T.-Y. Hsu, M. S. Peng, and S.-H. Su, 2022: Scaling law for boundary layer inner eyewall pumping in concentric eyewalls. *J. Geophys. Res.: Atmos.*, **127**, e2021JD035518.

Ito, K., and R. Yamamoto, 2022: Thermodynamic and kinematic structure of tropical cyclones in the western North Pacific based on ACARS/AMDAR, *Front. Earth Sci. Sec. Atmospheric Science*, **10**.

Wang, C.-C., T.-C. Lin, K. Tsuboki, Y.-M. Tsai, and D.-I. Lee, 2021: A modeling study of rainbands upstream from western Japan during the approach of Typhoon Tokage (2004). *Atmosphere*, **12**, 1242.

受賞：坪木和久，2022：航空機観測と数値モデルによる台風強度の研究，令和 4 年度科学技術分野の文部科学大臣表彰，科学技術賞

7. ホームページ等

研究プロジェクト T-PARCII のホームページ：

日本語： http://rain.hyarc.nagoya-u.ac.jp/~tsuboki/kibanS2/index_kibanS_jpn.html

英語： http://rain.hyarc.nagoya-u.ac.jp/~tsuboki/kibanS2/index_kibanS_eng.html