

令和 5 年 6 月 13 日現在

機関番号：82109

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2022

課題番号：19K14797

研究課題名（和文）台風急発達が多様なプロセスの体系的理解と急発達前兆現象の解明

研究課題名（英文）A study on multiple pathways and precursors to tropical cyclone rapid intensification

研究代表者

嶋田 宇大（Shimada, Udai）

気象庁気象研究所・台風・災害気象研究部・主任研究官

研究者番号：60750651

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、急発達事例の多様性を示し、どのような特徴をなす対流活動が急発達に好都合か調べ、急発達予測につながる特徴（前兆現象）を見出すことを目的として実施した。具体的には、(1)急発達事例における環境場条件の多様性研究、(2)発達事例の対流活動と発達に関する研究、(3)観測と数値シミュレーションの比較調査、及び(4)合成開口レーダー衛星海上風とベストトラックの比較を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

未だに予測が困難な台風の急発達について十分な理解と予測改善につながる特徴を見出すことを目的として、本研究は急発達事例の多様性を軸に環境場条件や対流活動の特徴に関する研究を行った。この研究を通して、台風急発達の体系的理解が進むとともに、予測改善に資する特徴（前兆現象）の解明が進めば、社会的影響の大きな強い台風の強度予測精度が改善でき、早期かつ適切な防災対応の実現につながることを期待される。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study was to show the variability of rapidly intensifying tropical cyclones, to examine what characteristics of convection are favorable for rapid intensification, and to find features conducive to rapid intensification prediction. Specifically, the following four topics are conducted: (1) the variability of environmental conditions for tropical cyclone rapid intensification, (2) the relationship between convective activity and for intensifying storms, (3) a comparison between observations and numerical simulations, and (4) a comparison between ocean winds from synthetic aperture radar and best track data.

研究分野：気象学

キーワード：台風 急発達 最大風速 対流活動 衛星観測

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

災害をもたらす強い台風はほぼ急発達を経験する。急発達は活発な対流活動を伴う渦の強化であり、台風の最も本質的現象にもかかわらず、観測による解明が圧倒的に不足し、数値モデルによる予測は未だに困難を極める。既往研究では、急発達事例の合成図解析や理想化数値シミュレーションを通じ、急発達が起こる平均的な環境条件(弱い鉛直シア - や高い海面水温等)や内部構造(軸対称構造)及びその条件下での典型的な急発達プロセスが明らかにされてきた。また統計的研究から、深く強い対流活動(対流バースト)は急発達事例以外でも起きており、急発達の発生条件とならないとする研究結果もある。

一方最近の事例研究によれば、どの急発達事例にも共通する環境条件や構造的特徴があるわけではないこと、対流バーストが急発達に不可欠な現象として起きていることも示されてきた。これらの事実は、急発達条件やプロセスが何か一つの典型例で説明しえないこと、急発達には環境条件や雲システム、ライフサイクルに応じた多様なプロセスがあることを示唆する。このような急発達の多様性は、既往研究では見逃されてきた点である。

台風の急発達やそれに伴う対流活動の役割を十分に理解するには、単に急発達事例の平均的特徴や理想条件下での振る舞いを明らかにするだけでは不十分である。適切な分類に基づき、急発達が起こりうる多様な条件を明らかにする必要がある。

2. 研究の目的

本研究では、過去の台風急発達事例を客観分類することで、分類毎の環境条件やそれに応じた構造的特徴などを調査することで、急発達事例がどのような多様性と共通性を持つのかを明らかにする。また、航空機によるハリケーン内部の観測データを利用して、どのような対流活動が急発達(渦の強化)に好都合なのか、その対流活動と台風内部の発達プロセスの物理関係はどのようになっているか調査し、急発達予測につながる特徴(前兆現象)を見出す。さらに、急発達予測に向けて、数値シミュレーションやベストトラックデータが観測的に明らかになった特徴と整合的かどうか調査する。

3. 研究の方法

本研究では既往研究と同様に急発達の定義として、24時間に最大風速が30kt相当以上増加した場合とする。急発達事例は品質管理された気象衛星データが存在する1995年から2020年までとし、239事例を抽出した(Shimada et al. 2020)。事前調査の結果を踏まえ、本研究では急発達開始時の台風雲システムを客観分類(クラスター解析)し、それぞれのグループの特徴を調査する。本研究では既往研究のアプローチでは見逃されてきた、急発達事例間の差異に注目する。

対流活動と台風内部の発達プロセスの物理関係の調査については、米国でハリケーンを対象に実施されている航空機搭載レーダー観測データを用いて行う。当初の研究計画では数値シミュレーションを用いて物理関係の調査を行う計画だった。しかしながら、航空機観測データの詳細な解析に基づき、急発達に重要と考えられる物理プロセスの仮説を提唱できたこと、さらに以降に述べる通り、対流活動や眼の壁雲構造の観測事実と整合する数値シミュレーションが得られなかったことから、本報告で述べる通りに変更した。

数値シミュレーションの観測との整合性調査には、観測と同じ大西洋のハリケーンを対象としたネイチャーランデータ(Nolan et al. 2013)を使用する。このデータは6分毎に出力された水平解像度1kmのデータで、個々の対流システムの生成、発達、衰弱が追跡可能であり、観測との比較及び対流活動と発達プロセスの物理関係の解明研究に最適である。

急発達事例の抽出と予測の前提として、現業機関で発表される強度情報(最大風速)がどの程度観測と整合的か把握しておく必要がある。特に航空機観測がない北西太平洋ではベストトラックの不確実性について認識を深めておく必要がある。本研究では、近年入手可能になった合成開口レーダー(SAR)による海上風プロダクトを用いて調査を行う。

4. 研究成果

本研究では、(1)急発達事例における環境条件の多様性、(2)発達事例の対流活動と発達の関係、(3)数値シミュレーションの観測との整合性調査、及び(4)SAR衛星海上風とベストトラックの比較を行った。

(1)の研究では、急発達環境場の多様性ととも、環境条件に含まれる発達に不都合な負の条件がどんなファクターによって打ち消され、結果的に

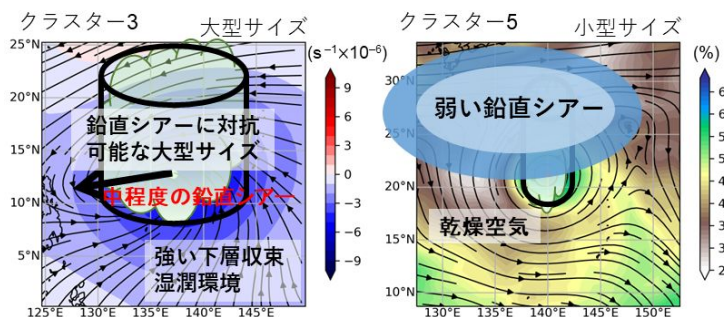


図1: 代表的な2つのクラスターの特徴。クラスター3は中程度の鉛直シアがあり、大型サイズかつ湿潤環境が特徴。クラスター5は周囲が乾燥空気に囲まれ、小型サイズと弱い鉛直シアが特徴。

急発達できたのかに着目した。急発達 239 事例を雲画像のクラスター解析によって 6 つに分類し、それらの環境場条件を調査した。その結果、それぞれのクラスターで環境場の諸条件の組合せが大きく異なっていた。特に顕著な特徴を持つ組合せとして、比較的鉛直シアアが大きい事例のクラスターでは(図 1 のクラスター3)、大型サイズ及び湿潤な環境場が鉛直シアアに対抗できる潜在条件と考えられた。一方、乾燥空気に囲まれた事例のクラスターは(図 1 のクラスター5) 弱い鉛直シアアと小型サイズで特徴づけられ、それらは周囲の乾燥空気や海洋の冷却効果を受けにくい条件となっていた。これらの結果は、台風のサイズ(小型、大型)に応じて、負条件があればそれを打ち消せる正条件が存在すること、台風急発達到最適環境場の条件にはいくつかの組合せがあることを示唆する。この研究成果を Shimada (2022)に執筆した。

(2)の研究では、米国の航空機観測データ等を用いて、発達事例の対流活動の特徴及び対流活動と発達プロセスの関係を調査した(図 2)。その結果、ハリケーンの発達事例は、定常事例と比べ、アップシアア左象限(USL)の上層に有意に強い上昇流があることを確認した。この特徴が一連のハリケーン発達プロセスとどのように物理的に関連しているかさらに調査した。その結果、USL での強い上層上昇流は、ダウンシアア側での深い対流活動と同期していた。発達事例では眼領域からダウンシアア側の対流域へ下層アウトフローが存在し、眼領域にある湿潤な空気を対流域に供給可能な気流構造になっていた。対流域では外側からのインフローと眼領域からのアウトフローが収束し、強い上昇流となっていた。そして、そこで発生した対流システムが、強い接線風でアップシアア側に移動しながら、深い対流及び層状性降水システムに発達・変化することで、USL 上層での強い上昇流につながっていたと考えられる。このような対流活動が存在すると、眼の壁雲領域の全方位角で積算した鉛直マスフラックスは、下層から高度 4 km付近まで漸次増大し、高度 10 km付近までほぼ一定となっていた。このプロファイル構造は、境界層で摩擦収束した空気塊を十分に上方に運ぶとともに自由大気下層でも角運動量を内側に運ぶことで、ハリケーン渦の下層スピナップにつながっていると解釈可能である。また、発達事例での強い USL 上昇流は、衛星の赤外輝度温度分布からも確認できた。これらのことから、強い USL 上昇流の存在は急発達のシグナルとして診断的に利用できる可能性がある。

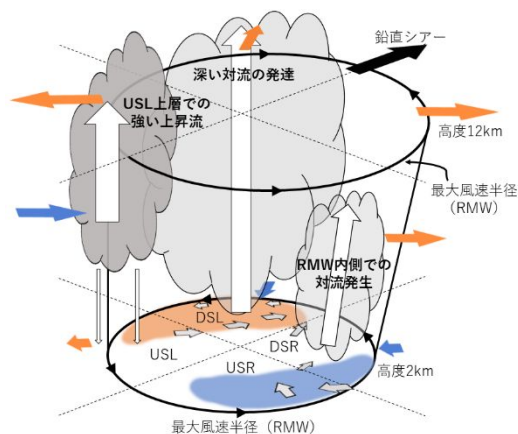


図 2: ハリケーンの発達事例で観測された、鉛直シアアに相対的な非対称構造の特徴。DSR はダウンシアア右象限、DSL はダウンシアア左象限、USL はアップシアア左象限、USR はアップシアア右象限を示す。詳細は本文参照。

(3)の研究では、眼の壁雲構造に関して(2)の研究成果と比較した。観測とよく対応する強度変化の期間(発達及び定常期間)で眼の壁雲を解析した結果、シミュレーションでは、発達・定常に関係なく、眼の壁雲の傾きが観測より非常に大きく、時間平均的な鉛直速度の分布が観測と大きく異なり、上層アウトフローのピーク高度が観測より低いなど、大きな差異が存在した。(2)の観測データでは対流活動を引き起こす熱力学条件などは見出せない。一方、シミュレーションの方では、観測と整合的な対流分布が再現されていなかった。近年数値シミュレーションの再現性は向上しているものの、対流など詳細な現象の再現は未だに困難なことがわかった。

(4)の研究では、近年入手可能になった合成開口レーダー(SAR)による海上風データを用いて発達台風の強度と構造を解析した。解析の結果、発達台風は約 7 割の事例で最大風速半径 25 km 以下の小さな眼を持ち、実際にはベストトラック強度より強い風が観測されていたことがわかった。つまり発達事例のベストトラック強度は負バイアスを持つことが示唆された。この結果は、航空機による直接観測のない海域において、数値シミュレーションとベストトラック強度を突き合わせて現象を解釈する際に注意が必要なることを意味する。

< 引用文献 >

Nolan, D. S., R. Atlas, K. T. Bhatia, and L. R. Bucci, 2013: Development and validation of a hurricane nature run using the joint OSSE nature run and the WRF Model. *J. Adv. Model. Earth Syst.*, **5**, 382-405, doi:10.1002/jame.20031.

Shimada, U., M. Yamaguchi, and S. Nishimura, 2020: Is the number of tropical cyclone rapid intensification events in the western North Pacific increasing? *SOLA*, **16**, 1-5, https://doi.org/10.2151/sola.2020-001.

Shimada, U., 2022: Variability of Environmental Conditions for Tropical Cyclone Rapid Intensification in the Western North Pacific. *J. Climate.*, **35**, 4437-4454, https://doi.org/10.1175/JCLI-D-21-0751.1.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Udai Shimada	4. 巻 35
2. 論文標題 Variability of Environmental Conditions for Tropical Cyclone Rapid Intensification in the Western North Pacific.	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Monthly Weather Review	6. 最初と最後の頁 4437 - 4454
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1175/JCLI-D-21-0751.1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Shimada Udai, Yamaguchi Munehiko, Nishimura Shuuji	4. 巻 16
2. 論文標題 Is the Number of Tropical Cyclone Rapid Intensification Events in the Western North Pacific Increasing?	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 SOLA (Scientific Online Letters on the Atmosphere)	6. 最初と最後の頁 1~5
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2151/sola.2020-001	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計16件（うち招待講演 2件/うち国際学会 5件）

1. 発表者名 嶋田宇大
2. 発表標題 静止気象衛星搭載雷センサで観測された熱帯低気圧の雷活動と強度変化の関係
3. 学会等名 日本気象学会2021年度春季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Udai Shimada
2. 発表標題 Different Environmental Conditions of Tropical Cyclone Rapid Intensification in the Western North Pacific
3. 学会等名 34th Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 嶋田宇大
2. 発表標題 台風急発達環境場の多様性
3. 学会等名 台風研究会2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 嶋田宇大, 林昌宏, 山口宗彦, 柳瀬巨, 田殿武雄, 大木真人, 磯口治
2. 発表標題 台風における風観測の重要性とSARによる台風の風観測の取組み
3. 学会等名 日本気象学会2021年度秋季大会(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 嶋田宇大, Paul Reasor, Robert Rogers, Michael Fischer, Frank Marks, Jonathan Zawislak, and Jun Zhang
2. 発表標題 発達ハリケーンの上層アップシア-左象限で観測される強い上昇流について
3. 学会等名 熱帯気象研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Udai Shimada, Paul Reasor, Robert Rogers, Michael Fischer, Jonathan Zawislak, Jun Zhang, and Frank Marks
2. 発表標題 Preference for upshear-left convection at upper levels for intensifying hurricane-strength storms
3. 学会等名 AMS 101st Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 嶋田宇大
2. 発表標題 台風強度予報の改善に向けて取り組むべき研究課題
3. 学会等名 第51回メソ気象研究会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 嶋田宇大, 山口宗彦, 西村修司
2. 発表標題 台風の急発達事例は“気候学的に”増加しているか？
3. 学会等名 日本気象学会2019年度春季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 嶋田宇大
2. 発表標題 台風急発達の環境条件と多様性
3. 学会等名 日本気象学会2019年度春季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shimada, U., R. Oyama, and S. Shimizu
2. 発表標題 Dramatic changes in the inner-core structure of Typhoon Jebi (2018)at landfall and relationship between a mesovortex and strong wind gusts
3. 学会等名 JpGU meeting 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shimada, U., R. Oyama, and S. Shimizu
2. 発表標題 Dramatic changes in the inner-core structure of Typhoon Jebi (2018) at landfall and relationship between a mesovortex, heavy rainfall, and strong wind gusts
3. 学会等名 39th International Conference on Radar Meteorology (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 嶋田宇大, 梅原章仁, 小山亮, 清水慎吾
2. 発表標題 2018年台風第21号による記録的暴風と短時間強雨のメカニズム
3. 学会等名 日本気象学会2019年度秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 嶋田宇大, Paul D. Reasor, Robert F. Rogers, Michael S. Fischer, Frank D. Marks, Jonathan A. Zawislak, and Jun A. Zhang
2. 発表標題 発達ハリケーンの上層アップシア-左象限で観測される強い上昇流について
3. 学会等名 日本気象学会2022年度春季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 嶋田宇大, 林昌宏
2. 発表標題 A comparison between SAR wind data and best track tropical cyclone data
3. 学会等名 JpGU meeting 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 嶋田宇大, 林昌宏
2. 発表標題 台風の面的暴風分布推定に向けて
3. 学会等名 第4回 高・低気圧ワークショップ
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 嶋田宇大, 林昌宏
2. 発表標題 台風ベストトラックとSAR海上風の比較
3. 学会等名 日本気象学会2022年秋季大会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関