

熱帯低気圧の温帯低気圧化の特徴と中緯度偏西風の変動との関係 Characteristics of the Extratropical Transition of Tropical Cyclones and the Relationship with Variations in Mid-Latitude Westerlies

高村奈央^{*1}, 和田章義^{*2}, 柳瀬亘^{*2}, 宮本佳明^{*3}

Nao TAKAMURA, Akiyoshi WADA, Wataru YANASE, Yoshiaki MIYAMOTO

This study investigated the characteristics of the extratropical transition (ET) of tropical cyclones (TCs) to understand the difference in the typhoon-caused disasters. ET cases in the western North Pacific from 2016 to 2020 were classified into large (LA) and small (SM) types based on the radii of storm and gale-force winds during life times of TCs. We compared the two types in terms of structural changes represented by cyclone phase space (CPS) and their relationship with synoptic environments. The CPS analysis revealed that TCs of the LA type tended to experience larger structural change, especially to asymmetric features, whereas TCs of the SM type tended to experience smaller structural change. The mid-latitude westerlies associated with the LA type were characterized by relatively large-amplitude north-south meanders. When a TC of the LA type approached a westerly jet stream, their interaction caused a further increase in the amplitudes of the north-south meanders of the jet, and the jet then enhanced the asymmetry of the TC. In addition, northward acceleration of the TC of the LA type by the jet induced the ET occurrence at higher latitude. In contrast, a TC of the SM type did not reach a westerly jet stream, the mid-latitude westerlies remained to be zonal with relatively small-amplitude of the north-south meanders. Because the TC hardly interacted with the jet, the asymmetry of the TC was only enhanced slightly. Therefore, it was suggested that the difference between the LA and SM types was related to the interaction of the TC and the westerly jet stream, which induced to the increased amplitudes of the north-south meanders of the jet and the large structural change of the TC.

1. はじめに

2019 年に類似した経路をとって日本に上陸し、日本の東で温帯低気圧化(温低化、以下、ET)した台風 Faxai (以下、T1915) 及び Hagibis (以下、T1919) は、日本に深刻な被害をもたらした。T1915 はサイズが小さく、対称構造を維持したまま上陸し強風をもたらした一方、T1919 はサイズが大きく、上陸前から非対称構造となり、大雨をもたらした。T1915 の強風は海水温が高いことによる潜熱フラックスにより生じた (Miyamoto et al. 2022, JMA, 2020)。また T1919 の大雨には湿潤絶対不安定が重要であり、台風上陸前から豊富な水蒸気の

日本への流入、前線及び地形効果による上昇流、台風通過時の台風本体の雨雲により生じたことが指摘されている (Takemi and Unuma 2020, JMA 2019)。Takamura and Wada (2020) は 2016 年 8 月の、高頻度の ET 及び ET における寒気核構造への不明瞭な構造変化という特異な特徴は、対流圏上層の中緯度ジェット気流の南北振幅の強まり、対流圏中層のトラフの強まり、対流圏下層の台風周辺の暖気といった総観場により説明されることを示した。熱帯低気圧と中緯度の流れの関係について、以下に記すように非断熱的な寄与と断熱的な寄与が指摘されている。非断熱的な寄与として、

*1 気象庁 大気海洋部 n_takamura@met.kishou.go.jp
Atmosphere and Ocean Department, Japan Meteorological Agency

*2 気象研究所 台風・災害気象研究部
Department of Typhoon and Severe Weather Research, Meteorological Research Institute

*3 慶応義塾大学環境情報学部
Faculty of Environment and Information Studies, Keio University

非断熱流出による渦位の水平傾度の強まり及び中緯度上層ジェット気流の加速、リッジトラフの形成、ETの下流での傾圧性の強まりによる中緯度低気圧の急発達が挙げられる (Riemer et al. 2008, Grams et al. 2013, Quinting and Jones 2016, Grams 2011)。断熱的な寄与として、中緯度トラフとの相互作用が降水に影響することが指摘されている (Riboldi et al. 2019, Atallah and Bosart 2003)。

Grams and Archambault (2016) では、中緯度の流れを大きく増幅する 3 つの気象システム、先行降水現象、熱帯低気圧-温帯の流れの相互作用、ウォームコンベアベルトが示されている。

台風はそのライフステージにより構造や強度変化といった特徴が異なることから、T1915 と T1919 に見られるような台風による災害の違いを理解するために、台風の特徴と環境場との関係を知ることは重要である。そこで本研究では、台風の ET に着目し、台風の大きさの観点で分類することで、台風の構造と総観場の特徴の関係性を示すことを目的とする。

2. 使用データ・解析手法

台風に関する情報は Regional Specialized Meteorological Center (RSMC) best track data (<http://www.jma.go.jp/jma/eng/jma-center/rsmc-hp-pub-eg/besttrack.html>) を使用した。ET の判定は、パラメータ B , $-V_T^L$, $-V_T^U$ で構成される低気圧位相空間 (cyclone phase space CPS; Hart 2003) により行った。ここで、パラメータ B は低気圧の対称性、パラメータ $-V_T^L$ ($-V_T^U$) は低気圧が対流圏下層 (上層) で暖気核をもつか、寒気核をもつかを示す。これらのパラメータについて、温低化開始 (以下、TB) を $B > 10$ 、温低化完了 (以下、TE) を $-V_T^L < 0$ として ET を判定した (Evans and Hart, 2003, Takamura and Wada 2020)。パラメータの計算には JRA-55 の等圧面高度データ (水平解像度 $1.25^\circ \times 1.25^\circ$; Kobayashi et al. 2015) を $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ に線形内挿して使用した。総観場の解析は、JRA-55 の等圧面高度データ (水平解像度 $1.25^\circ \times 1.25^\circ$) を用いて行った。

本研究の対象事例は 2016-2020 年の RSMC Best Track Data に記載された北西太平洋の台風である。本研究では台風の大きさに注目し、ライフタイムの中での暴風域 (以下、Max_radius_storm) 及び強風域 (以下、Max_radius_gale) の最大半径を、台風の大きさと定義した。各事例について、

Max_radius_storm 及び Max_radius_gale を選択し、以下の定義に従って大きい台風 (以下、LA (large) 型) と小さい台風 (以下、SM (small) 型) に分類した。

- LA 型: Max_radius_storm ≥ 120 nm (≈ 220 km) and Max_radius_gale ≥ 350 nm (≈ 650 km)

- SM 型: Max_radius_storm < 70 nm (≈ 130 km) and Max_radius_gale < 200 nm (≈ 370 km)

なお、LA 型及び SM 型いずれの基準も満たさない事例 (MID 型) は解析から除外した。

3. 結果

3-1 LA 型と SM 型の特徴の比較

2016-2020 年の ET 事例 (48 事例) のうち、LA 型が 10 事例、SM 型が 11 事例抽出され、それぞれ ET 事例の約 2 割を占めている。月別に見ると、LA 型は 7~10 月に起こりやすいが、SM 型は 1 年を通して生じている。LA 型はフィリピンの東で発生し、日本の南で転向後 TB し、日本に接近上陸し、TE する (図 1 上段)。SM 型は東西方向のばらつきが大きく、転向せずに西進するものと、転向し日本の南で TE するものがあるが、日本への上陸は少ない (図 1 下段)。LA 型は SM 型に比

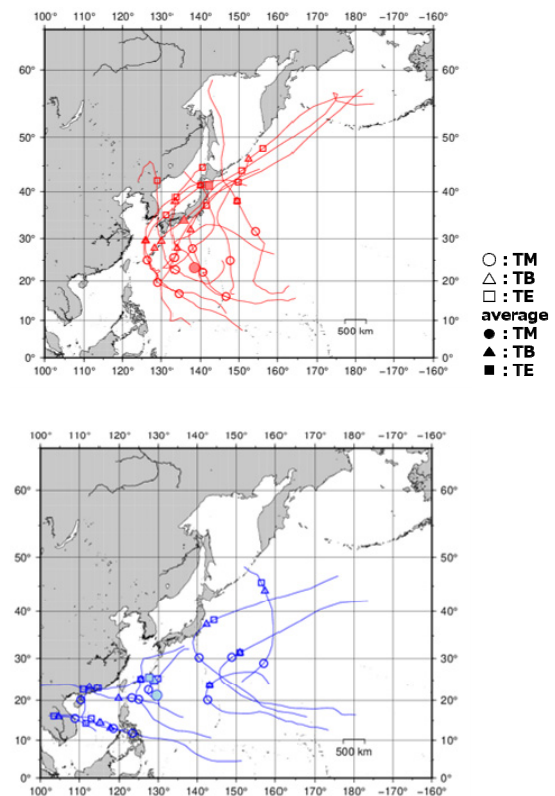


図 1: 各事例の TM (最大強度: TB 前に中心気圧が最も低くなった時刻)、TB 及び TE の位置及び経路図。塗りつぶしは各タイプの平均を示す。上段: LA 型、下段: SM 型

べて北上し、高緯度で温低化する。移動速度については、TB 前は両方のタイプで大きい差はないが、TB 後は LA 型で大きく増加し、LA 型の方が SM 型より大きくなる。これらのことから LA 型はジェットに達し加速するが、SM 型はジェットまで達せず、移動速度が変化しないことが推測される。構造変化を調べるため CPS を作成した。LA 型が SM 型より、TB 前のパラメータ $-V_T^U$ (図 2 上段) 及び $-V_T^L$ (図 2 中段) とともに値が大きく、暖気核が強く深い。このことから LA 型は台風の構造が明瞭である。また LA 型が SM 型よりパラメータの変化が大きく、特に LA 型では TB 後、パラメータ B が大きくなるが、SM 型ではパラメータ B はあまり変化しない (図 2 下段)。これらのことから LA 型は構造変化が大きく、特に非対称性を強める一方、SM 型は構造変化が小さいと考えられる。強度について中心気圧から比較すると、LA 型が SM 型より中心気圧が低く強いと言える。

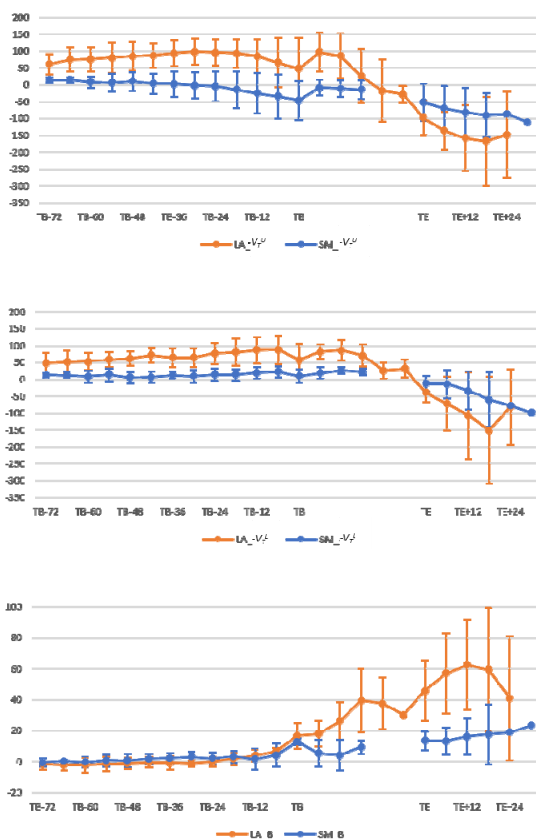


図 2 : TB-72~TE+24 におけるタイプごとにコンポジットしたパラメータ $-V_T^U$ (上段)、 $-V_T^L$ (中段) 及び B (下段) の時間変化。橙色が LA 型、青色が SM 型の結果を示す。エラーバー：標準偏差。

3-2 LA 型と SM 型の総観場の比較

LA 型と SM 型で見られた特徴の違いをより詳

しく調べるため、ET における総観場について比較を行った。上層ジェット気流との関係を、300hPa での東西風を用いて調べた。LA 型 (図 3 上段) では、ジェットは南北に振幅をもち、台風の接近に伴い、下流でリッジが強まり、ジェットの南北振幅が大きくなる。ジェットの風速も強まる。台風は TE ではジェットの中に位置する。一方 SM 型 (図 3 下段) では、ジェットはほぼ東西流で強く、南北の振幅は小さい。台風下流のリッジは弱いままで、ジェット振幅や風速はあまり変化しない。台風は TE でもジェットの南に位置している。

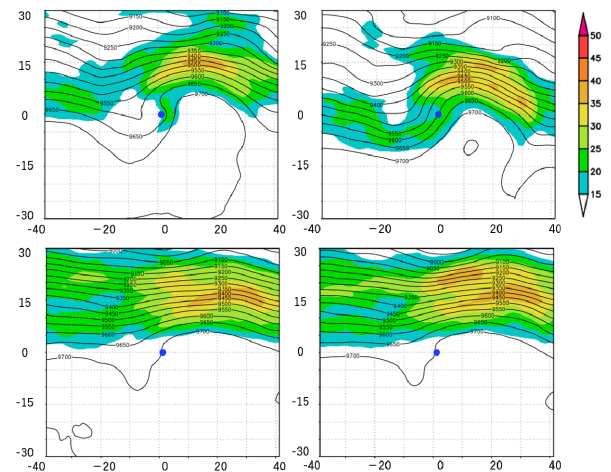


図 3 : 台風中心に緯度方向 30° 、経度方向 40° の範囲でコンポジットした 300hPa での水平風 (陰影; $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) 及び高度 (等値線; m)。青丸：領域 (台風) 中心、左：TB、右：TE、上段：LA 型、下段：SM 型

4. 考察

前節までの結果から、LA 型と SM 型の違いには台風と上層ジェット気流の相互作用が関係していることが推測される。台風と偏西風ジェット気流の関係について考察する。

LA 型の台風は偏西風ジェット気流に達する (図 3 上段) 一方、SM 型の台風は達しない (図 3 下段)。このことから、LA 型と SM 型の違いには台風がジェットに達するかどうかに関係していることが推測される。また、サイズの大きい LA 型の台風は、小さい SM 型の台風に比べて非断熱加熱が大きいと考えられる。それにより偏西風ジェット気流の南北振幅が強まり (図 3 上段)、台風の構造変化が大きい (図 2 橙色) 一方、SM 型ではジェットの南北振幅 (図 3 下段) 及び台風の構造変化が小さい (図 2 青色)。このことから台風とジェットの相互作用が重要であると推測される。

以上のことから、LA 型と SM 型の違いには、台風が偏西風ジェット気流に達し、「台風の構造変化

の強まり」と「偏西風ジェット気流の南北振幅の強まり」という相互作用の有無が関係していることが示唆される。

5. まとめ

本研究では、台風の大きさから、大きい台風（LA型）と小さい台風（SM型）に分類し、それらの特徴の違いを調べた。

LA型の大きい台風はSM型の小さい台風に比べて、台風の強度が強く、強度を維持して北上し、偏西風ジェット気流に達して加速する（高緯度で温低化）。また大きい台風は非断熱加熱が大きく、北東側のリッジ形成が明瞭である（ジェットの南北振幅の強まり）。それにより、台風が北に流される（高緯度で温低化）。これらにより、台風は傾圧性の大きい領域に入り非対称化する（大きい構造変化）。以上のことから、大きい台風がジェットの南北振幅を強め、南北振幅の強まったジェットにより台風の構造変化が強まるといった、台風と偏西風ジェット気流との相互作用が重要である。したがって、LA型とSM型の違いは、大きいまたは小さい台風と偏西風ジェット気流との相互作用に関係していることが示唆される。

謝 辞

本研究は文部科学省科研費 19H01973 及び JP19H05696 の支援を受けて進められた。

参 考 文 献

Atallah, E. H., and L. F. Bosart, 2003: The extratropical transition and precipitation distribution of Hurricane Floyd (1999). *Mon. Wea. Rev.*, 131, 1063–1081.

Evans, J. L., and R. E. Hart, 2003: Objective indicators of the life cycle evolution of extratropical transition for Atlantic tropical cyclones. *Mon. Wea. Rev.*, 131, 909–925.

Grams, C. M., 2011: Quantification of the downstream impact of extratropical transition for Typhoon Jangmi and other case studies. Ph.D. dissertation, Karlsruhe Institute of Technology, 334 pp.

Grams, C.M. and Archambault, H.M. 2016: The key role of diabatic outflow in amplifying the midlatitude flow: a representative case study of weather systems surrounding Western North Pacific extratropical transition. *Mon. Wea. Rev.*, 144,

3847–3869.

Grams, C. M., S. C. Jones, C. A. Davis, P. A. Harr, and M. Weissmann, 2013: The impact of Typhoon Jangmi (2008) on the midlatitude flow. Part I: Upper-level ridge building and modification of the jet. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 139, 2148–2164.

JMA, 2019: A preliminary report on heavy rainfalls and strong winds by Typhoon Hagibis (2019). [Available at: https://www.jma.go.jp/jma/press/1910/24a/20191024_mechanism.html.]

JMA, 2020: Meteorological yearbook 2020 edition. Japan Meteorological Business Support Center, 3-29 (in Japanese).

Kobayashi, S., Y. Ota, Y. Harada, A. Ebata, M. Moriya, H. Onoda, K. Onogi, H. Kamahori, C. Kobayashi, H. Endo, K. Miyaoka, and K. Takahashi, 2015: The JRA-55 Reanalysis: General specifications and basic characteristics. *J. Meteor. Soc. Japan*, 93, 5-48.

Miyamoto, Y., H. Fudeyasu, and A. Wada, 2022: Intensity and structural changes of numerically simulated Typhoon Faxai (1915) before landfall. *J. Meteor. Soc. Japan*, 100 (Early Online Release).

Quinting, J. F., and S. C. Jones, 2016: On the impact of tropical cyclones on Rossby wave packets: A climatological perspective. *Mon. Wea. Rev.*, 144, 2021–2048.

Riboldi, C. M. Grams, M. Riemer, and H. M. Archambault, 2019: A phase locking perspective on Rossby wave amplification and atmospheric blocking downstream of recurving western North Pacific tropical cyclones. *Mon. Wea. Rev.*, 147, 567–589.

Riemer, M., S.C. Jones, and C. A. Davis, 2008: The impact of extratropical transition on the downstream flow: An idealized modelling study with a straight jet. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 134, 69–91.

Takamura, N., A. Wada, 2020: Unusual Characteristics of Extratropical Transition of Typhoons in August 2016. *J. Meteor. Soc. Japan*, 98, 691–706.

Takemi, T. and T. Unuma, 2020: Environmental Factors for Heavy Rainfall during Typhoon Hagibis (2019). *SOLA*, 16, 30–36.