

台風の遠隔影響と北半球夏季の熱帯季節内変動との関係

平田 英隆・川村 隆一（九大院・理）

1. はじめに

西部北太平洋の熱帯低気圧（便宜的に台風と呼ぶ）は、熱帯から中緯度へ向かう暖湿気流を強化することで東アジア周辺の天候に遠隔的、間接的に影響を与えることが知られている（e.g., Kawamura and Ogasawara 2006, Yamada and Kawamura 2007, Shibata et al. 2010）. 台風の遠隔影響は、日本（Murata 2009, Wang et al. 2009, Yoshida and Itoh 2012）や韓国（Byun and Lee 2012）における豪雨イベントの発生との関連が指摘されているため、そのプロセスの詳細な理解は災害予測、異常気象の理解のために重要である。

いくつかの先行研究は台風の遠隔影響のプロセスの一部として、台風による太平洋高気圧西端の局所的強化が重要な働きを示している。Kawamura and Ogasawara (2006), Yamada and Kawamura (2007) は台風が Pacific-Japan (PJ) パターン (Nitta, 1987) を励起することで太平洋高気圧の西端を局所的に強化することを示した。この結果、対流圏下層において、台風とこの誘起された高気圧偏差の間で東西気圧傾度が大きくなることで極向きの水蒸気輸送が増大し、日本周辺の停滞前線（梅雨前線、秋雨前線）の活動が活発化することを指摘した。Yoshida and Itoh (2012) は、台風が自身の東側に励起した負の渦移流によって、太平洋高気圧の西方への張り出しを強制することを示した。そして、PV-inversion を用いた解析から、この高気圧の強まりが熱帯からの水蒸気輸送の強化に寄与している事を明らかにし、この効果が九州地方における梅雨前線に伴う豪雨イベントの発生に貢献していることを示した。しかしながら、これらの研究は、PJパターン (Kawamura and Ogasawara 2006, Yamada and Kawamura 2007) や日本の九州地方の大雨 (Yoshida and Itoh 2012) に特化した研究にとどまっている。台風は西部北西太平洋の暖水域上を移動する過程で様々な経路をとるので、台風が東アジアの天候へ与える遠隔的な影響の仕方

は複雑かつ多様であるかもしれない。

そこで、本研究の目的は、台風の経路の差異によって台風が日本の天候へ与える遠隔影響の仕方に違いがあるのかを明らかにすることとした。また、さらに台風の経路の違いが生じる原因についても併せて調査した。特に、本研究は日本の梅雨期末期にあたる7月に注目して解析を行なった。

2. 使用データ及び解析手法

7月の台風を抽出するために RSMC Tokyo-Typhoon Center 提供のベストトラックデータを1979年-2011年の期間で使用した(図1a)。本研究では、この抽出された台風を7月の台風の経路頻度分布図(図1b)を参考にして、2つのカテゴリーに分類した。西進して中国の海南島へ向かうタイプ(便宜的に Hainan course ;HC と呼ぶ)と北進して日本の沖縄へ向かうタイプ(便宜的に Okinawa course ;OC と呼ぶ)である。HC (OC) の抽出条件は、 110° E , 15° N - 25° N (30° N , 120° E - 130° E) の領域を通過する事例とした。そ

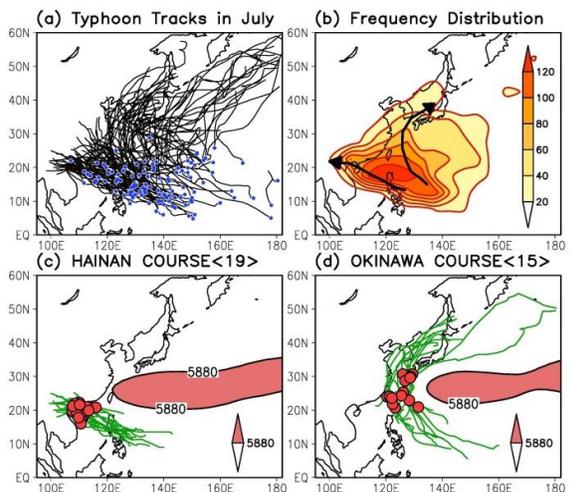


図1. (a) 1979年-2011年の間に7月に最大発達を迎えた台風の発生地点(青丸)、経路(黒線)。 (b) 台風の存在頻度分布図 ($5.0^{\circ} \times 5.0^{\circ}$)。 (c) Hainan Course (HC) の台風の最大発達地点 (赤丸) と経路 (緑線)。day -2 における 500-hPa ジオポテンシャル高度 (m) の背景場の値も併せて示している。 (d) (c) と同様。ただし Okinawa Course (OC) に対する図を示す。

それぞれの経路で多くの事例が類似の経路及び最大発達地点を示したので (図 1c, 1d), 各台風の最大発達日を 'day 0' (key day) としてコンポジット解析を行なった. ただし, 各経路で多数の事例よりも例外的に離れた地点で最大発達を迎えた事例は解析対象から除外した.

また, 大気循環場の解析には, 1979 年から 2004 年の期間は the Japanese long-term Re-Analysis project data (JRA-25) (Onogi et al., 2007) を, 2005 年から 2010 年の期間は Japan Meteorological Agency Climate Assimilation System (JCDAS) の日平均値を使用した. これに加えて, 熱帯対流活動の指標には, NOAA の Interpolated OLR を使用した. これらのデータには 3 日荷重平均 (二項フィルター) と 31 日移動平均を施した. 前者のフィルター値から後者のフィルター値を引くことで偏差場 (sub-monthly timescales) を定義した. 背景場として示すデータは 31 日移動平均を適用したデータである. さらに, 日本域の詳細な降水分布を調査するために, APHRO_JP V1207 日積算降水量データ (Kamiguchi et al., 2010) を使用した.

3. 台風の経路と台風の遠隔影響

図 2a は, カテゴリー HC の day 0 における 850-hPa ジオポテンシャル高度のコンポジット図である. 台風の存在位置も併せてプロットしている. 注目すべき特徴は東シナ海上に高気圧偏差が誘起されていることである. これは, 太平洋高気圧の西方への張り出しを導く. 図 2b は図 2a と同様であるが カテゴリー OC に対するコンポジット図である. OC においても同様に台風の北東において高気圧偏差が形成されている. 台風はこのような高気圧偏差を励起することが可能である (e. g., Kawamura and Ogasawara, 2006; Yoshida and Itoh, 2012). 本研究の渦度収支解析からも, 台風が励起する負の渦度移流がこの高気圧偏差の発生に大きく寄与していることが確認されている.

次に, 台風と台風が強化した高気圧偏差が日本付近の天候へ与える影響に注目する. 図 3 は, HC, OC それぞれの day -1 における 925-hPa の水蒸気フラックス偏差とその収束を示している. 背景場の水蒸気フラックスの収束も併せて示している. まず, 背景場の収束に注目すると, 両カテゴリーにおいて日本

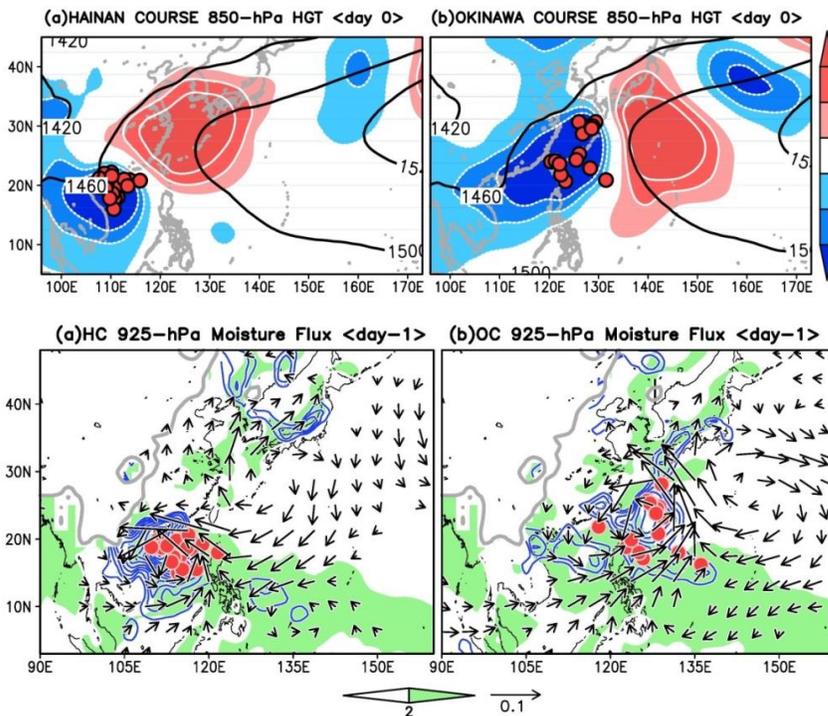


図 2. (a) カテゴリー HC の day 0 における 850-hPa ジオポテンシャル高度偏差 (陰影; m) と背景場 (等値線; m) のコンポジット図. 台風の存在位置および経路も併せて示している. (b) (a) と同様. ただし, カテゴリー OC に対する図を示す.

図 3. (a) カテゴリー HC の day -1 における 925-hPa 水蒸気フラックス偏差 (ベクトル; $\text{kg kg}^{-1} \text{m s}^{-1}$) とその収束 (等値線; $\times 10^{-8} \text{kg kg}^{-1} \text{s}^{-1}$) を示す. 陰影は背景場の水蒸気フラックス収束 ($\times 10^{-8} \text{kg kg}^{-1} \text{s}^{-1}$) を示している. 台風の存在位置 (赤丸) も併せて示している. (b) (a) と同様. ただし, カテゴリー OC に対する図を示す.

付近で水蒸気収束域が東西に伸びている。これは梅雨前線帯に対応している。HCにおいては、台風によって強化された高気圧性循環偏差の西縁に沿って東シナ海から日本海を通過して梅雨前線帯へ水蒸気が流入している。そして、中部日本の日本海側でこの水蒸気は収束しており、この領域で降水活動も強まっている(図略)。それ故、HCの台風は遠隔的に中部日本の日本海側付近の梅雨前線帯を活発化させるポテンシャルがある。OCにおいては、台風と高気圧性循環偏差の間で北向きの水蒸気フラックスが強まり、西日本の梅雨前線帯へ多量の水蒸気が輸送されている。この影響により、西日本の太平洋沿岸の降水が強まっている(図略)。OCの遠隔影響の特徴は先行研究(e.g., Yamada and Kawamura, 2007; Yoshida and Itoh, 2012)と一致した結果である。一方で、日本に接近しないHCの台風が、高気圧偏差の励起を介して水蒸気の長距離輸送を強めることで、中部日本の日本海側の梅雨前線活動と関連していることは本研究の興味深い結果の一つである。

4. 台風の経路と熱帯季節内振動

前節では、台風の遠隔影響の特徴は、台風の経路によって大きく異なることを示した。本節では、本研究が着目している2つの台風の経路の違いがどのような現象と関連しているのか調査する。多くの先行研究で、台風の経路は太平洋高気圧の勢力と関係していることが指摘されているので(e.g., Nakazawa and Rajendran 2007), まず両カテゴリーの背景場の太平洋高気圧の勢力について比較する。図1c, dは、抽出された台風の経路と500-hPaの背景場のジオポテンシャル高度の5,880 m等値線(太平洋高気圧の縁の目安)を示している。5,880 m等値線は、OCに比べてHCの方が西方へと張り出している。どちらの経路でも、台風は初期の発達段階において太平洋高気圧の縁に沿って移動している。これは、背景場の太平洋高気圧の勢力が台風の経路に大きく影響を与えていることを示唆している。

それでは、この背景場の変動はどのような現象と関係しているのだろうか。背景場の変

動は熱帯対流活動と関連しているかもしれない。そこで、両者の関係について調べるために、850-hPa 流線関数及び OLR の長周期変動成分のコンポジット図を作成した。長周期変動成分は31日移動平均を施したデータからそのデータの気候値を差し引くことで定義した。図4は、HCカテゴリーからOCカテゴリーの長周期変動成分の差をとった値を示している。HC(OC)では、西部北太平洋域で対流不活発(対流活発)領域を伴った高気圧(低気圧)偏差が卓越している。それぞれカテゴリーの循環偏差は図1c, dで見た太平洋高気圧の勢力の違いに対応している。また、インド亜大陸から海洋大陸付近へ延びるモンスーン地域にもHCとOCでは対称性がある。二つのカテゴリー間のOLRおよび流線関数偏差の差は統計的に有意である。これらの結果から、二つのカテゴリー間で見られた太平洋高気圧の勢力の違いは熱帯対流活動の変動と関係していると考えられる。

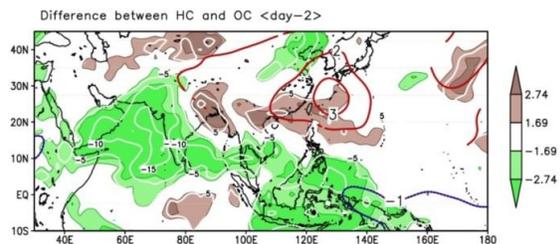


図4. Day -2におけるHCとOCのコンポジット値の差を示す。白等値線はOLR ($W m^{-2}$), カラー等値線は850-hPa 流線関数 ($\times 10^6 m^2 s^{-1}$)の長周期変動成分を示す。陰影はOLR偏差の差が統計的に有意(危険率1%または10%以下)な領域を示す。流線関数偏差は統計的に有意な領域(危険率10%以下)のみ示している。

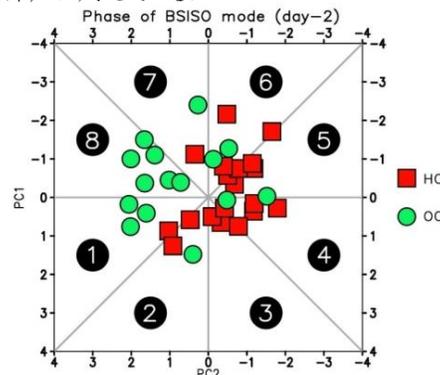


図5. BSISOモードの位相空間図。縦(横)軸は、BSISOモードの PC_1 と PC_2 を表す。赤四角, 緑丸はそれぞれHCとOCのday -2におけるBSISOモードの位相と振幅を示す。位相空間は8つの位相に分類されている。

図4の対流活動分布及び対流圏下層の循環場のパターンは、北半球夏季の熱帯季節内変動(BSISOモード, Kikuchi et al. 2012, Lee et al. 2013)のパターンと類似している。2つのカテゴリーの太平洋高気圧の勢力の違いにはBSISOモードの位相の変化が関係しているかもしれない。この関係性を検証するために、解析対象の各台風のBSISOモードの位相について調査した(図5)。BSISOモードの位相はKikuchi et al. (2012)の特定方法を用いた。北西太平洋で対流活動が不活発な位相(フェーズ2, 3, 4, 5)に多くのHC事例が分類され、逆に対流活動が活発な位相(フェーズ1, 6, 7, 8)に多くのOC事例が分類されている。これは、2つのカテゴリー間で見られた太平洋高気圧の勢力の違いに熱帯季節内変動が大きく影響を与えていることを支持する結果である。

5. まとめ

本研究は、梅雨末期(7月)において台風の経路によって台風が梅雨前線活動に与える遠隔影響の特徴が異なるのかどうか、及びこの台風の経路の違いがどのような現象と関係しているのかについてJRA-25/JCDAS, NOAA OLR, APHRO_JPを用いて調査した。まず、台風の経路頻度分布図を用いて、7月の台風を二つの主経路(Hainan course ;HCとOkinawa course ;OC)に分類した。各カテゴリーにおいて多くの台風が似たような経路及び最大発達地点を示したので、各台風の最大発達日をkey dayとしてコンポジット解析を行なった。

台風は負の渦度移流の誘起を通して太平洋高気圧の西端を局所的に強化する。この台風によって強化された高気圧偏差と台風に伴う循環の複合効果は、北西太平洋低緯度域から日本付近の梅雨前線帯へ向かう水蒸気供給を増加させる。カテゴリーHCでは、水蒸気が高気圧循環偏差の西縁に沿って中部日本の梅雨前線帯付近に流入し、その地域の降水活動と関係している。OCの台風は遠隔的に西日本付近の梅雨前線帯を活発化させ、西日本太平洋沿岸の大雨の発生に寄与している。二つの主経路の違いは背景場の太平洋高気圧の勢力の

違いに影響を受けている。この背景場の変動には、北半球夏季の熱帯季節内変動の位相変化が大きく寄与している。

本研究は、熱帯の季節内変動が、熱帯低気圧活動(台風の経路)を変調させることで、間接的・遠隔的に日本付近の梅雨前線活動に影響を与えている可能性を示した。このような力学的なスケール間相互作用の適切な理解は台風の移動や発達理解のみならず梅雨期の日本の大雨の発生メカニズムの理解にも繋がる可能性があり、更なる研究が望まれる。

謝辞

本研究集会において貴重な質問、コメントを下された皆様に感謝致します。本研究は文部科学省科学研究費補助金新学術領域研究(課題番号22106005)の援助を受けて行われた。

参考文献

- Byun, K.-Y., and T.-Y. Lee, 2012: Remote effects of tropical cyclones on heavy rainfall over the Korean peninsula - statistical and composite analysis. *Tellus*, **64A**, 14983, doi: 10.3402/tellusa.v64i0.14983.
- Kamiguchi, K., O. Arakawa, A. Kitoh, A. Yatagai, A. Hamada, and N. Yasutomi, 2010: Development of APHRO_JP, the first Japanese high-resolution daily precipitation product for more than 100 years. *Hydrol. Res. Lett.*, **4**, 60-64.
- Kawamura, R., and T. Ogasawara, 2006: On the role of typhoons in generating PJ teleconnection patterns over the western North Pacific in late summer. *SOLA*, **2**, 37-40.
- Kikuchi, K., B. Wang, and Y. Kajikawa, 2012: Bimodal representation of the tropical intraseasonal oscillation. *Climate Dyn.*, **38**, 1989-2000, doi:10.1007/s00382-011-1159-1.
- Lee, J.-Y., B. Wang, M. C. Wheeler, X. Fu, D. E. Waliser, and I.-S. Kang, 2013: Real-time multivariate indices for the

- boreal summer intraseasonal oscillation over the Asian summer monsoon region. *Climate Dyn.*, **40**, 493-509, doi:10.1007/s00382-012-1544-4.
- Murata, A., 2009: A mechanism heavy precipitation over the Kii Peninsula accompanying Typhoon Meari (2004). *J. Meteor. Soc. Japan*, **87**, 101-117.
- Nakazawa, T., and K. Rajendran, 2007: Relationship between tropospheric circulation over the western North Pacific and tropical cyclone approach/landfall on Japan. *J. Meteor. Soc. Japan*, **85**, 101-114.
- Nitta, T., 1987: Convective activities in the tropical western Pacific and their impact on the Northern Hemisphere summer circulation. *J. Meteor. Soc. Japan*, **65**, 373-390.
- Onogi, K., et al., 2007: The JRA-25 reanalysis. *J. Meteor. Soc. Japan*, **85**, 369-432.
- Shibata, Y., R. Kawamura, and H. Hatsushika, 2010: Role of large-scale circulation in triggering foehns in the Hokuriku district of Japan during midsummer. *J. Meteor. Soc. Japan*, **88**, 313-324, doi:10.2151/jmsj.2010-304.
- Wang, Y., Y. Wang, and H. Fudeyasu, 2009: The role of Typhoon Songda (2004) in producing distantly located heavy rainfall in Japan. *Mon. Wea. Rev.*, **137**, 3699-3716.
- Yamada, K., and R. Kawamura, 2007: Dynamical link between typhoon activity and the PJ teleconnection pattern from early summer to autumn as revealed by the JRA-25 reanalysis. *SOLA*, **3**, 65-68.
- Yoshida, K., and H. Itoh, 2012: Indirect Effects of Tropical Cyclones on Heavy Rainfall Events in Kyushu, Japan, During the Baiu Season. *J. Meteor. Soc. Japan*, **90**, 377-401, doi:10.2151/jmsj.2012-303.