

日本に接近する台風の過去 40 年の変化と 移動速度の鈍化における太平洋十年規模振動の寄与

山口 宗彦(気象研)、前田 修平(高層気象台)

1. はじめに

台風は地球上で発生する最も激しい自然現象の一つで、大雨、強風などにより、さまざまな災害を引き起こす。2019 年台風第 19 号による広域の水害、台風第 15 号による千葉県を中心とする強風被害は記憶に新しい。これらの日本の大都市を襲った最近の台風から、「日本に影響を与える台風の数が最近増加しているか?」、また、「以前よりも強い状態で日本に接近するようになっているか?」、疑問が生じる。

気象庁は、日本や日本の各地方に接近する台風の数の統計調査を行っている。しかし、各地域における台風の防災・減災という観点からは、地点毎に（オイラー的視点で）調査することも重要である。また、接近時の台風の強さや、台風の発達に関する環境場（海面水温や風の鉛直シアなど）等に変化があるか調査することも重要である。

本研究では、①日本に接近する台風が増加しているか、また環境場や台風の移動速度に変化があるか、地点毎に調査した。次に、②移動速度の変化があった場合、地球温暖化の影響と気候の内部変動との影響をそれぞれ定量的に評価した。

2. 使用データ

使用データは、気象庁のベストトラックと気象庁長期再解析データである。検証期間は 1980 年から 2019 年の 40 年間である。1980 年以降とした理由は、1980 年以降は静止気象衛星ひまわりが運用されており、ベストトラックの均質性がより高いためである。②の調査では、d4PDF による過去実験、及び将来実験の結果を使用した (Mizuta et al., 2017)。

3. 結果

3-1. 日本に接近する台風の過去 40 年の変化 (Yamaguchi and Maeda, 2020a)

図 1 は、東京に接近した熱帯低気圧の数の経年変化である。本研究の「接近」の定義は、熱帯低気圧の中心と東京の距離が 300km 以内、かつ熱帯低気圧の中心の緯度が東京の緯度より南にあるときである。図 1 から、過去 40 年、接近数が増加していることがわかる。検証サンプルを台風強度に限定しても、距離の閾値を 300km から 200km にしても、緯度の制限を無くしても増加傾向は見られる。

図 2 は、熱帯低気圧が東京に接近するときの強度(中心気圧)の累積頻度分布である。前半の 20 年(1980-1999)を P1 期間、後半の 20 年(2000-2019)を P2 期間として、それぞれの期間で調査して、結果を比較した。図 2 から、台風が強い状態で東京に接近する頻度が増えていることがわかる。例えば、中心気圧が 980hPa より低い状態で接近する頻度は P1 期間に比べて P2 期間は 2.5 倍となっている。

表 1 は、7~10 月の間に台風が 980hPa 以下の中心気圧で東京に接近しているときの環境場と台風の移動速度を P1, P2 それぞれの期間で調査した結果である。表 1 から、P2 期間は P1 期間と比べて、「海面水温が高い」、「鉛直シアが小さい」、「大気中層の相対湿度が高い」と、台風の発達に都合の良い条件となっていることがわかる。また、台風の移動速度が遅くなっており(36%減)、これは台風による影響時間が長くなっていることを示している。図 1、2 に示したような変化は、静岡、名古屋、和歌山、高知など、東京以外の都市でも確認できた(図略)。

さらに、P1、P2 期間における接近数の変化を、緯度経度 0.5 度ごとの各地点で広く見てみると(図 3)、暖色系の点(20%以上接近数が増えている点)は本州の太平洋側や東シナ海に、また寒色系の点(接近数が

減っている点)はその南海上に多く出現している。

図4に示す太平洋高気圧(5880メートル高度の等値線)をP1期間、P2期間で比較すると(黒線がP1期間、赤線がP2期間)、日本の南海上で太平洋高気圧の西及び北への張り出しが強まっている。この張り出しの強化を念頭に図3を見ると、強まった太平洋高気圧の張り出しに対応して接近数が増加している傾向にあることがわかる。これはこれまでは日本の南海上で太平洋高気圧の縁辺に沿って移動していた台風が、太平洋高気圧の西及び北への張り出しによって、より日本の太平洋側の陸地に近いところを通るようになったためと考えられる。また、図4の陰影は500hPa高度における風速の変化、図5の陰影は200hPa高度における風速の変化をそれぞれ表している。偏西風が日本上空で弱まっており、これにより台風を移動させる風が弱くなり、台風の移動速度が鈍化したと考えられる。

これらの変化になかでも、移動速度の鈍化に注目して、地球温暖化の影響を調査するために、d4PDFによるシミュレーション結果を解析する。

3-2. 移動速度の鈍化における太平洋十年規模振動の寄与 (Yamaguchi and Maeda, 2020b)

地球温暖化が台風に及ぼす影響に関して、これまでは主に、その強さや頻度の変化に注目が集まっていた。一方、移動速度の変化も重要である(例えば、Kossin 2018, Yamaguchi et al., 2019)。台風の移動速度が遅くなると、ある地点で見ると、台風の影響を受ける時間が長くなるためである。例えば、千葉県を中心として強風被害を起こした令和元年房総半島台風(2019年台風第15号)や、記録的な大雨により河川の氾濫等を引き起こした令和元年東日本台風(2019年台風第19号)は、ともに日本の太平洋側に接近したときの移動速度が平年値と比べて約40%も遅いという特徴があった。このことは、被害が拡大したことの要因の一つであった可能性がある。

過去40年の台風の移動速度の変化を、月ごと、地点毎に調査すると、9月の中緯度帯における移動速度の鈍化が顕著であった(図6)。東京地点では、前半の20年に比べ後半20年は約35%台風の移動速度が遅くなっていた。季節進行が遅れ、偏西風が日本上空で弱く、台風を移動させる風(指向流)が弱まっていたことが要因である(図略)。

図7は、9月における指向流(東経120度-140度、北緯25度-35度の500hPa高度における領域平均風速)と太平洋十年規模振動(PDO)指数の関係である。この図から、日本に接近する台風の指向流の強さは、PDOが正の位相では強く、逆に負の位相では弱くなり、PDOの影響を強く受けていることがわかる。

図7から、過去40年における台風の移動速度の鈍化に気候の内部変動が影響していたことがわかるが、これだけでは地球温暖化の影響を評価することはできない。そこで、d4PDFの過去実験における温暖化実験(過去の実際に温暖化した地球を再現する実験)と非温暖化実験(過去の温暖化がなかったと仮定した実験)の結果を解析した。温暖化実験、非温暖化実験において、指向流の強さをPDO正、PDO負の期間それぞれで算出し、変化量を求めた(図8)。PDOの影響で指向流が鈍化した(-0.60m/s)のと同じくらい、地球温暖化も移動速度の鈍化に寄与している(-0.41, -0.51m/s)ことがわかる。さらに、将来実験の結果を解析すると、-1.60m/sと、さらに指向流が弱まる。これらの結果は、過去40年における移動速度の鈍化は、地球温暖化と気候の内部変動がおおよそ1:1の割合で寄与していたものの、将来は地球温暖化の影響が勝ることを意味する。また、地球温暖化とPDO負の位相が重なると移動速度の鈍化が顕著になることを意味する。同様の結果は9月だけでなく10月にも見られ、地球温暖化により、将来秋台風の移動速度の鈍化がさらに進む可能性がある。

4. まとめ

①過去の観測データ等を用いて、日本に接近する台風の特徴の変化を詳細に調査し

た。その結果、過去 40 年で、東京など太平洋側の地域に接近する台風が増えていることがわかった。これらの接近する台風については、強度がより強くなっていること、及び、移動速度が遅くなっていることもわかった。これは、日本付近の気圧配置の変化や海面水温の上昇などが原因と考えられる。

②多くの気候予測モデルが、地球温暖化にともなって大気中の水蒸気量が増え、結果として熱帯低気圧に伴う雨が増大すると予測している。増大の幅に関しては、気候予測モデル間にばらつきはあるが、中央値として 14 %雨が増えると予測されている（世界の平均気温が、1986-2005 年の平均に対して 2 度上昇した場合。温暖化が最悪のシナリオで進行した場合の 2055 年ころの地球を想定、Knutson et al., 2020）。将来、降水の強化と移動速度の減速の相乗効果で、台風ともなう被害がさらに激化する可能性がある。また、温暖化と太平洋十年規模変動で、どちらも同じ符号で異常気象リスクが増す場合にはより注意が必要である。

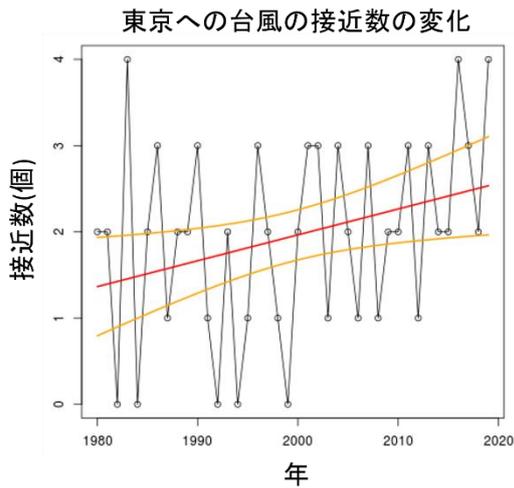


図 1. 東京に接近した台風の数を経年変化。横軸は年、縦軸は各年の接近数。赤線は回帰直線、橙線は 95%信頼区間を表している。

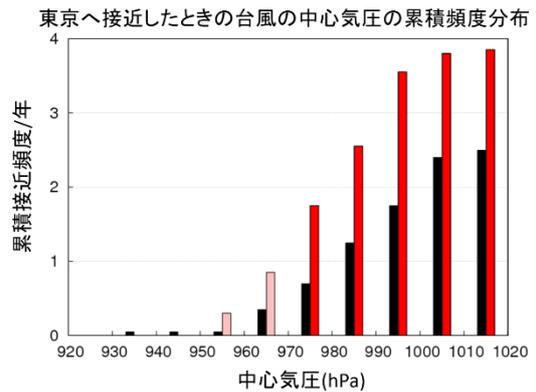


図 2. 台風が東京に接近した時の中心気圧の累積頻度分布。P1 期間(1980-1999 年)が黒、P2 期間(2000-2019 年)が赤またはピンク。赤は P1 期間と P2 期間の差が有意水準 5%で有意であることを示す。

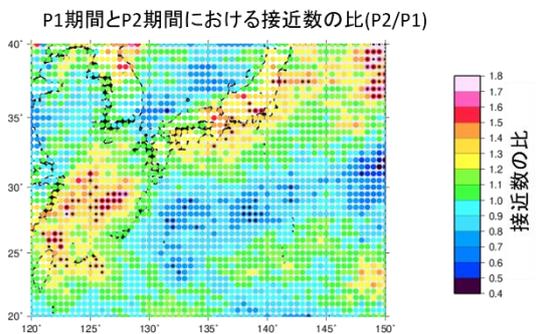


図 3. 各点における、P1 期間(1980-1999 年)、及び、P2 期間(2000-2019 年)における台風接近数の比 (P2/P1)。

500hPa 高度における太平洋高気圧の変化と風速の変化

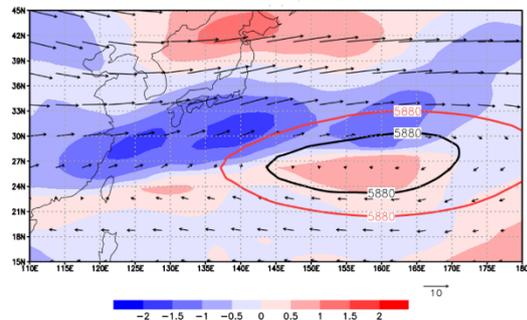


図 4. 7~10 月平均の 500hPa 高度における、P1 期間 (1980-1999 年) の太平洋高気圧 (500hPa 高度における 5880 メートル高度、黒線) と P2 期間(2000-2019 年)の太平洋高気圧 (赤線)。日本の南海上において、黒線

と比較して赤線はより西及び北へ伸びており、これは太平洋高気圧の張り出しが強まっていることを意味している。矢印はP1期間における平均風速(メートル毎秒)、陰影はP1期間と比較したP2期間の平均風速の変化(メートル毎秒)。

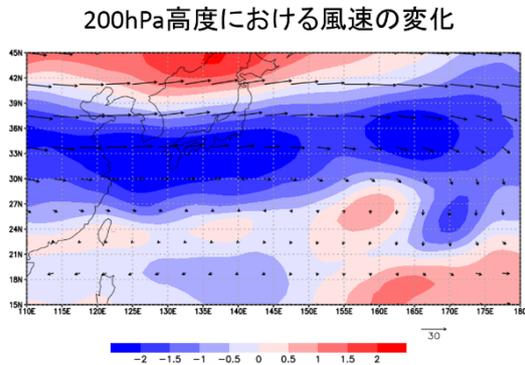


図5. 7~10月平均の200hPa高度における平均風速の変化。矢印はP1期間(1980-1999年)における平均風速(メートル毎秒)、陰影はP1期間と比較したP2期間(2000-2019年)の平均風速の変化(メートル毎秒)。P2期間はP1期間よりも偏西風が極側に移動しており、日本の太平洋側を中心に偏西風が弱まっている。このような変化は、200hPa高度(対流圏上層)だけでなく、図4に示した通り台風の移動に重要な役割を果たす500hPa高度(対流圏中層)においても同様に見られる。

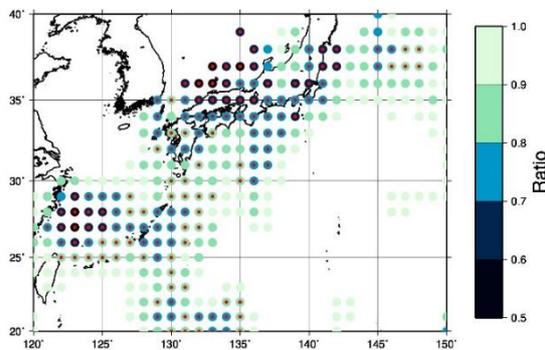


図6. 9月に台風の移動速度が低下した地点。1980年~1999年と2000年~2019年の各格子点における台風の平均移動速度の比率を示す(後半20年/前半20年)。

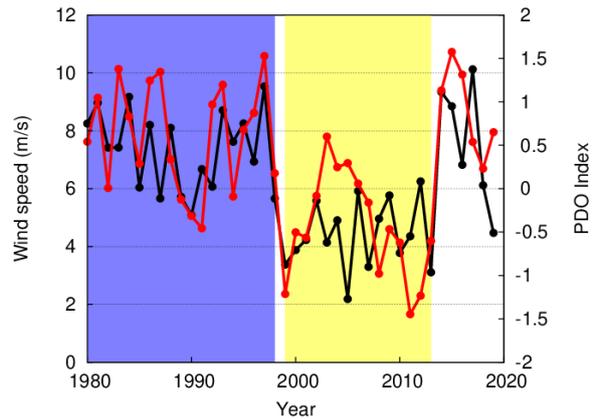


図7. 9月の指向流(黒)とPDO指数(赤)との関係。青、黄色の網掛けはPDO正、負の位相をそれぞれ示している。

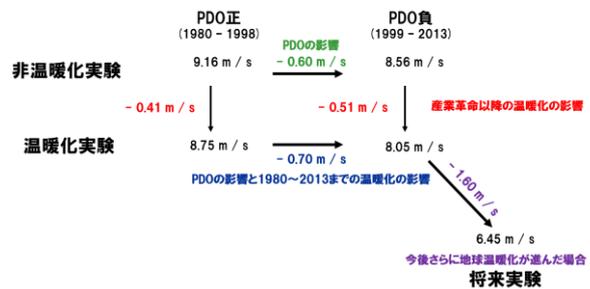


図8. 過去実験における温暖化実験、非温暖化実験、および将来実験における指向流の強さの比較。9月の結果。

参考文献

Knutson, T., S. J. Camargo, J. C. L. Chan, K. Emanuel, C.-H. Ho, J. Kossin, M. Mohapatra, M. Satoh, M. Sugi, K. Walsh, and L. Wu, 2020: Tropical cyclones and climate change assessment: Part II: Projected response to anthropogenic warming. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **101**, E303-E322

Kossin, J. P., 2018: A global slowdown of tropical-cyclone translation speed. *Nature*, **558**, 104-107.

Mizuta, R., A. Murata, M. Ishii, H. Shiogama, K. Hibino, N. Mori, O. Arakawa, Y. Imada, K. Yoshida, T. Aoyagi, H. Kawase, M. Mori, Y. Okada, T. Shimura, T. Nagatomo, M. Ikeda, H. Endo, M. Nosaka, M. Arai, C. Takahashi, K.

Tanaka, T. Takemi, Y. Tachikawa, K. Temur, Y. Kamae, M. Watanabe, H. Sasaki, A. Kitoh, I. Takayabu, E. Nakakita, and M. Kimoto, 2017: Over 5,000 years of ensemble future climate simulations by 60 km global and 20 km regional atmospheric models. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **98**, 1383-1398.

Yamaguchi, M., J. C. L. Chan, I.-J. Moon, K. Yoshida, and R. Mizuta, 2020: Global warming changes tropical cyclone translation speed, *Nature Communications*, **11**, 47.

Yamaguchi, M., and S. Maeda, 2020a: Increase in the Number of Tropical Cyclones Approaching Tokyo Since 1980, *J. Meteor. Soc. Japan*, **98**, 775-786.

Yamaguchi, M., and S. Maeda, 2020b: Slowdown of typhoon translation speeds in mid-latitudes in September influenced by the Pacific Decadal Oscillation and global warming, *J. Meteor. Soc. Japan*, **98**, 1321-1334.