

## 台風生涯最大強度の北偏化と地球温暖化の影響

山口江聖（九州大学大学院 総合理工学府）

森正人・時長宏樹（九州大学応用力学研究所）

### 1. はじめに

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) の第6次評価報告書 [AR6, 2021] によると、地球温暖化の進行に伴い、非常に強い熱帯低気圧の割合と最も強い熱帯低気圧のピーク時の風速は地球規模で増加すると予測されている。一方、過去から現在にかけて、北西太平洋において強い台風の発生数、発生割合共に有意な増加傾向は見られない（気候変動監視レポート 2020）。

しかし、熱帯低気圧生涯最大強度 (LMI) は全球的に高緯度側へシフトしていることが先行研究から報告されており (Kossin et al. 2014)、より強い熱帯低気圧が高緯度側で増加していることを示唆している。また、北西太平洋域でも台風存在頻度の北偏化が指摘されている (Kossin et al. 2016)。これらの現象を引き起こす要因として地球温暖化などの人為起源による外部放射強制の影響や海洋の数十年規模変動などの自然変動の影響が考えられる。しかし、観測データのみから人為起源の影響と自然変動の影響を切り分けることや、北偏化のメカニズムを解明することは困難である。そこで、本研究では大規模アンサンブルシミュレーションデータを解析し、台風の LMI 緯度の北偏化に対する自然変動と地球温暖化の寄与を評価することを目的とする。

### 2. データと手法

観測データは Regional Specialized Meteorological Center (RSMC) Tokyo のベス

トトラックデータを 1980 年から 2011 年まで解析した。また、モデルデータは database for Policy Decision making for Future climate change (d4PDF) を 1951 年から 2010 年までを解析した。d4PDF の全球モデル実験は、気象研究所大気大循環モデル MRI-AGCM3.2 (Mizuta et al. 2012) を用いている。モデルの水平解像度は約 60 km、鉛直層数は 64 層であり、最上層は 0.01hPa である。モデルの外部境界条件として海面水温 (SST)・海氷密接度・海氷厚・温室効果気体・オゾン・エアロゾル等を与え、過去実験 (ALL)、4K 上昇実験 (P4K)、非温暖化実験 (NAT) が行われている。いずれも実験期間は 60 年である。P4K 実験は、広く行われている排出シナリオにしたがった実験ではなく昇温幅を固定した実験がおこなわれている。ALL 実験の SST は COBE-SST2 (Hirahara et al. 2014) の 1951 年から 2010 年までのものが使用された。P4K 実験においては観測された SST からトレンド成分を除いたものに将来の海面水温変化パターンを加えている。NAT 実験においては P4K 実験のように、トレンドを除いた SST 時系列を使用した。

また、本研究では、Yoshida et al. (2017) で検出された熱帯低気圧のトラックデータを用い、熱帯低気圧強度の長期変動の解析に適した LMI を解析した。LMI とは各熱帯低気圧が達する最大強度であり、本研究では各熱帯低気圧の最低気圧で定義した。

#### 3-1. 熱帯低気圧の LMI 頻度分布

d4PDF で再現された熱帯低気圧の LMI 頻度分布に着目すると、北西太平洋において頻度の割合が大きく、他の地域と比較しても北西太平洋域で熱帯低気圧の活動が活発な様子がわかる (図 1).

次に、過去における地球温暖化の影響を調べるために、ALL 実験と NAT 実験の差を図 2a に示す。LMI に到達する頻度は、沖縄付近で増加、フィリピンの東側で減少していることから、LMI の位置が北偏化していることがわかる。同様に、将来の地球温暖化による変化を調べるため、P4K 実験と ALL 実験との差をとった。北西太平洋域に着目すると、高緯度側で増加、フィリピンを中心とした低緯度側で減少しており、LMI の位置が北偏化していることを示唆している (図 2b).

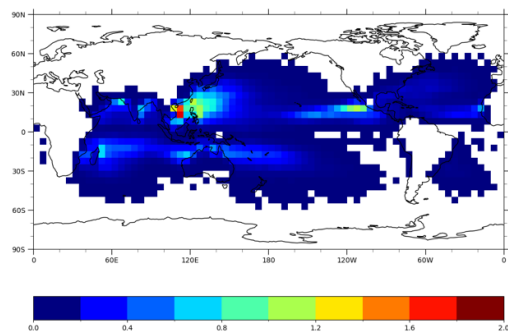


図 1. d4PDF の ALL 実験から得られた 1951 年から 2010 年で平均した LMI 頻度分布 (単位: %, 格子間隔:  $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ )

地球温暖化による LMI 位置の北偏化の要因を調べるため、台風の発達に影響を及ぼし得る環境場の 1 つである SST の差に着目した。ALL 実験と NAT 実験における SST の差をみると、LMI 頻度が増加している東シナ海から日本海にかけて SST が大きく昇温しており、LMI 頻度が減少しているフィリピンの東側では、SST の昇温が相対的に小さいことがわかった (図 3a)。また、P4K 実験と ALL 実験におけ

る SST の差を見ると、ALL 実験と NAT 実験における差ほどの対応は見ることができないものの、太平洋全体で見れば高緯度側で大きく昇温し、低緯度側で昇温が小さいことが共通している (図 3b)。

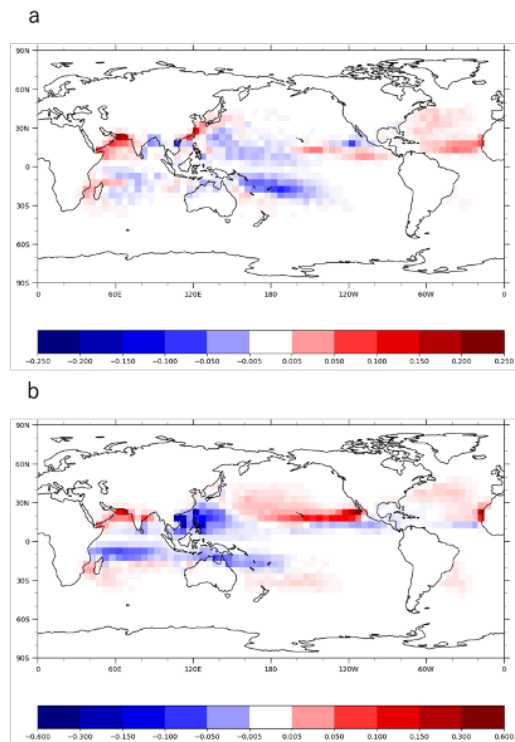


図 2. 1951 年から 2010 年の LMI 頻度分布の差。(a) ALL 実験 - NAT 実験のアンサンブル平均。(b) P4K 実験 - ALL 実験のアンサンブル平均 (どちらも単位は %, 格子間隔:  $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ )

### 3-2. 過去における台風 LMI 緯度の時間変動

d4PDF による台風 LMI 緯度時系列のアンサンブル平均を図 4 に示す。LMI 緯度は ALL 実験、NAT 実験共に 1980 年以前は南偏化しており、1980 年以降は ALL 実験において LMI 緯度がやや北偏化していることが確認できる。また、ALL 実験と NAT 実験でよく似た変動を示していることから (相関係数 0.96)、LMI 緯度の変動は SST の変動と密接に関連していることを示唆している。

ALL 実験、NAT 実験それぞれの LMI 緯度

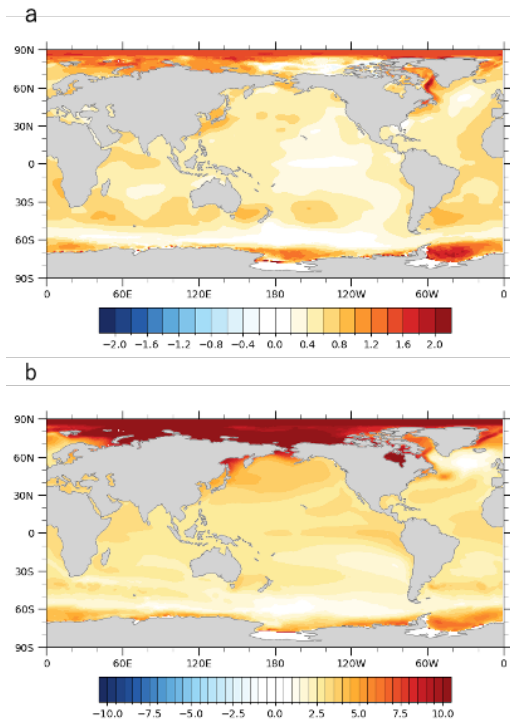


図3. 1951年から2010年のSSTの差 (a) ALL実験 - NAT実験のアンサンブル平均, (b) P4K実験 - ALL実験のアンサンブル平均. (単位: K)

と SST 偏差との回帰係数分布図を図5に示す. ALL 実験, NAT 実験共に北太平洋では太平洋十年規模振動の負位相, 赤道太平洋では La Niña パターンが確認できる. つまり, 日本付近で SST が上昇, 熱帯で低下するときに LMI の緯度が北偏する傾向があることがわかった.

次に, 過去における LMI 緯度の北偏化に対する地球温暖化の寄与を調べるために, 1980年以降の ALL 実験, NAT 実験, 観測の LMI 緯度変化を比較した (図6). 観測と比較すると, ALL 実験, NAT 実験共にアンサンブル平均の北偏化が非常に小さく, SST の効果だけでは観測された北偏化を説明できていない. また, ALL 実験と NAT 実験におけるアンサンブル平均の差が小さいことから, 地球温暖化の影

響は僅かに北偏化に寄与するものの, 観測された北偏化の大きさを十分に説明できない. 一方, 観測データの LMI 緯度が ALL 実験のアンサンブル領域の中に存在することから, 観測された北偏化は大気の内変動の影響を強く受けている可能性がある.

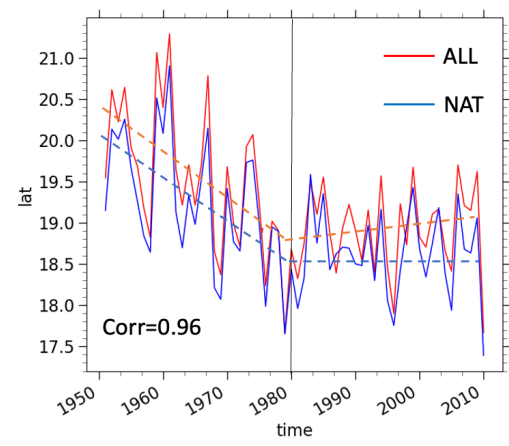


図4. ALL 実験と NAT 実験の台風 LMI 緯度の時系列. (単位: 個/年, 赤い実線が ALL 実験, 青い実線が NAT 実験, 点線が線形トレンドを示す.)

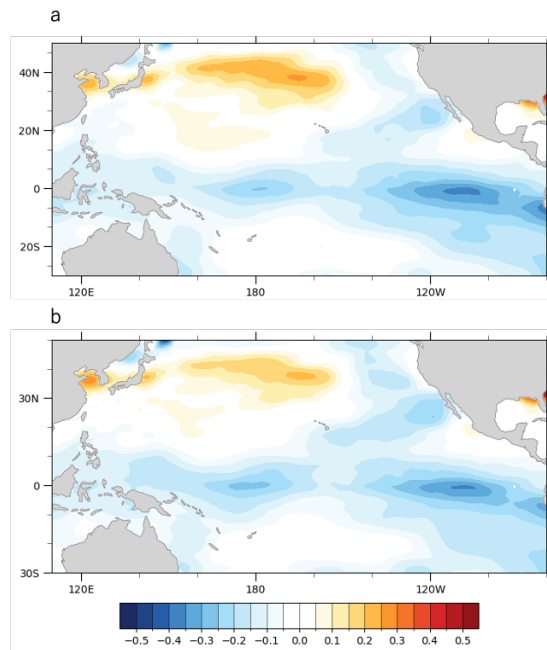


図5. LMI 緯度と SST 偏差との回帰係数分布図. (a) ALL 実験, (b) NAT 実験. (単位: K/緯度)

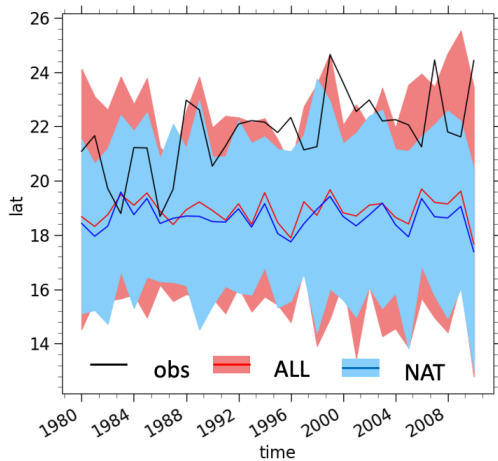


図6. 観測データ（黒）の時系列とALL実験（赤）、NAT実験（青）のアンサンブル平均の時系列. 太線はアンサンブル平均を表す（ALL実験、NAT実験共に100メンバー）を表し、網掛けはアンサンブルメンバー間の最小値と最大値の範囲を示す.

#### 4. まとめ

本研究では、大規模アンサンブルシミュレーションデータ d4PDF を解析し、台風北偏化に対する自然変動と地球温暖化の寄与を評価した。その結果、北西太平洋において地球温暖化による LMI 緯度の北偏化を過去、将来共に確認することができた。さらに、SST の差をとることで LMI 緯度の北偏化と SST が関係している可能性が示された。

過去の LMI 緯度の変動と SST 変動の関係を調べた結果、ALL 実験、NAT 実験共に太平洋十年規模振動と El Niño/La Niña 変動と関連していることが分かった。これらの SST 変動は、日本付近で SST が上昇（低下）、赤道太平洋で低下（上昇）するときに LMI 緯度が北偏（南偏）する傾向があることを意味している。

さらに、d4PDF の解析により、地球温暖化によって台風の LMI 緯度が北偏化することがわかった。しかし、1980 年代以降に観測された台風の北偏化を説明できるほど大きくはな

かった。観測された LMI 緯度の北偏化が ALL 実験のアンサンブル領域の中に存在することから、1980 年以降の LMI 緯度の北偏化は、大気の内変動による可能性が大きいと考えられる。

#### 謝辞

本研究で使用する d4PDF のベストトラックデータは気象研究所の吉田康平氏から提供して頂きました。

#### 参考文献

- Bourke, R. H., and R. P. Garrett, 1987: Sea ice thickness distribution in the Arctic Ocean. *Cold Regions Science and Technology*, **13**, 259–280,
- Hirahara, S., M. Ishii, and Y. Fukuda, 2014: Centennial-Scale Sea Surface Temperature Analysis and Its Uncertainty. *Journal of Climate*, **27**, 57–75,
- Intergovernmental Panel on Climate Change: Anthropogenic and natural radiative forcing. [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGII\\_SummaryForPolicymakers.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC_AR6_WGII_SummaryForPolicymakers.pdf)
- Kossin, J. P., K. A. Emanuel, and G. A. Vecchi, 2014: The poleward migration of the location of tropical cyclone maximum intensity. *Nature*, **509**, 349–352,
- , ——, and S. J. Camargo, 2016: Past and Projected Changes in Western North Pacific Tropical Cyclone Exposure. *Journal of Climate*, **29**, 5725–5739,

Mizuta, R., and Coauthors, 2012: Climate Simulations Using MRI-AGCM3.2 with 20-km Grid. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, **90A**, 233–258,

Yoshida, K., Sugi, M., Mizuta, R., Murakami, H. & Ishii, M, 2017: Future changes in tropical cyclone activity in high-resolution large-ensemble simulations. *Geophys. Res. Lett.* 44, 9910-9917.

気象庁: 気候変動監視レポート 2020. 気象庁ホームページ. 2020-04,  
[https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/monitor/2020/pdf/ccmr2020\\_all.pdf](https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/monitor/2020/pdf/ccmr2020_all.pdf)