

第Ⅱ部門

気候変動による熱帯低気圧強度の長期将来変化評価

京都大学工学研究科

非会員 ○森 壮太郎

京都大学防災研究所

正会員 森 信人

1. はじめに

地球温暖化予測に基づき気温や海面上昇等に関する様々な影響評価がなされている。沿岸部においては、海面上昇は主に熱膨張による静的な沿岸環境の変化として重要であるのに対し、台風等の動的な極端な気候変化は、高潮に大きな影響を与えることが予想されている。一方で大きな高潮は、単に台風や強い低気圧来襲の条件だけでなく、対象とする湾に対する経路や速度も重要となり、台風に比べて発生確率が極端に低いため、その将来変化の定量的な評価が難しい。

本研究では、高潮の定量的な評価を最終目標として、まず全球の台風の将来変化についてその最大クラスの将来変化を行う。このため、統計的変動を除去するため、個々の気象擾乱から台風特性の将来変化を推定するのではなく、台風の最大潜在強度 (Maximum Potential Intensity; MPI) の理論に着目して、環境場から最大強度の推定を行う。

2. 台風可能最大発達強度 : MPI 理論

与えられた大気・海洋環境場での台風の最大発達限界を中心気圧の下限值として MPI で定義する。GCM 上での台風は、格子解像度や積雲対流スキームの制約から定量的な強度判定が難しいが、環境場から推定される MPI は安定量であり、影響評価として扱いやすい推定量となる。MPI の推定には、対流有効位置エネルギー (Convective Available Potential Energy: CAPE) をベースとする Emanuel のモデル¹⁾を用いた。MPI 理論では、SST、大気の温度および湿度の鉛直分布、海面更正気圧をもとに、可能最低気圧 P_m (MPI) および可能最大風速 V_m が計算される。Emanuel の定義の MPI は CAPE により記述されるため、一般に SST が高く、また上空の気温が低い場合に MPI の強度は強くなる。図 1 に大気再解析値 JRA-55 から計算した MPI の計算例を示す。以下では、MPI 理論を用いて、気象研究所等で実施された大規模アンサンブル気候実験 d4PDF および RCP シナリオランに適用し、台風強度の将来変化特性について解析する。

3. MPI と GCM 上の台風の比較

MPI が GCM で計算される台風との関係について検討した。d4PDF の MPI および台風データを用いて、MPI 及び台風の平均海面更正気圧 (SLP) 分布の将来変化の空間分布の比較を行った。まず、海域の台風月の平均 MPI と格子毎の台風データの上位 10%を平均した SLP 値を比較した。先行研究²⁾同様に、MPI 強度の 8 割に達する台風は、北大西洋でおよそ 20%程度であった。空間的な分布特性を比較するため、図 2 に全メンバの将来実験についての台風シーズン (7~10 月) の平均 MPI 変化、台風強度の上位 10%平均の将来変化分布を示す。これらの空間相関係数を求めると 0.50 と正の弱相関があった。また、図 2 に対して、二次元相互相関をとると、台風強度の分布を 3~4 度南に動かしたときにピークが表れ、経度方向には変化は見られなかった。これは、それぞれ、台風が MPI で示される環境に置かれてから発達するまでに時間差があること、台風の強度がある程度緯度に依存していることから説明できる。また、SST の水温空間分布毎に同じように相関を取ったところ、相関係数は 0.18~0.64 程度の正の相関がみられた。以上の結果、MPI はおおむね GCM 上の台風の特性を表していることがわかった。

4. 北西太平洋の MPI の緯度ごと将来変化

d4PDF の月平均 MPI について、北西太平洋の領域で緯度ごとに平均化し、その月別将来変化について調べた。緯度の範囲は、北緯 10~60 度である。図 3 に、d4PDF 将来気候 (+4K 上昇) の月別の MPI の将来変化を示す。南から北へ向かい、台風シーズン(7~10 月)の MPI 変化量が大きくなるが、北緯 40 度を超えると、将来変化が小さくなることがわかった。そこで、9 月及び年間の緯度間平均の将来変化について+2K, +4K 昇温パターンについてまとめたところ、9 月では北緯 30~40 度帯で変化量が最大になり、年間平均では北緯 20~30 度帯で最大となることが分かった。中緯度帯にピークがあらわれる原因としては、温暖化に伴い、熱帯大気では上部対流圏でより大きな昇温となり、水温上昇による強度増加が、上空のより大きな昇温によって抑制される²⁾が、中緯度では強度増加が強いことが推測される。

5. MPI の発生特性

MPI の将来変化を定量化するため、d4PDF の月平均 MPI について、海域毎の MPI の確率密度分布の将来変化について調べた。緯度による面積差についても考慮した。緯度の範囲は、台風の発生から発達をカバーできるよう、緯度 $10\sim 40^\circ$ の間を対象とした。図 4 に、現在気候実験(青)、+4K 将来気候実験(赤)、+2K 将来気候実験(緑)の MPI の確率密度分布の北西太平洋のケースを示す。確率分布のピークおよびテールが、MPI が低下(台風が強くなる)方向にシフトし、920hPa 以下の低い MPI の発生確率が増加している。また、確率密度分布をもとに非超過確率分布を作成したところ、900hPa 以下の非常に強い台風を意味する MPI の発生超過確率は、現在気候の 1%から、4 度上昇シナリオの 3%と、およそ 3 倍に増加していることが分かった。

6. 月平均 MPI の長期変化

上記の検討は、+2 および+4K の定常な気候条件についての解析であった。月変化 MPI の現在から将来変化について、MRI-AGCM-3.2H を使用した 150 年気候実験 [RCP8.5]を対象に解析を行った。まず、150 年気候実験を用いて各海域について将来変化傾向を調べた。図 5 に、それぞれ現在までの平均値を 0 とした JRA55 (青)と 150 年気候実験 (赤)の台風シーズン(7-10 月)平均 MPI の将来変化量の北西太平洋のケースを示す。縦線は現在気候と将来気候の境界を示しており、MPI は、東経 100° から 180° 、北緯 10° から 60° の範囲で面積平均を行った。図より、北西太平洋の MPI の平均値は将来 100 年で $5\sim 10$ [hPa]下がり、分散が大きくなっていることが分かる。

7. 結論

本研究では、MPI 理論に基づいたマクロ指標にもとづき評価熱帯低気圧強度の長期的な将来変化について 3 種類の GCM を用いた解析を行った。幾つかの最近の気候予測実験から計算した月平均 MPI の評価では、将来の北西太平洋の 7-10 月の MPI が減少傾向(強い台風が増加傾向)にあることが示された。

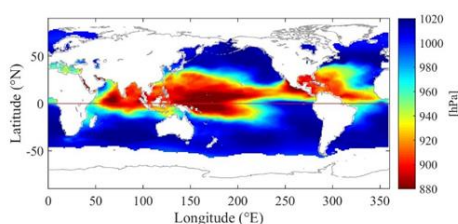


図 1 MPI の計算例 (JRA-55 再解析, 2018 年 9 月平均)

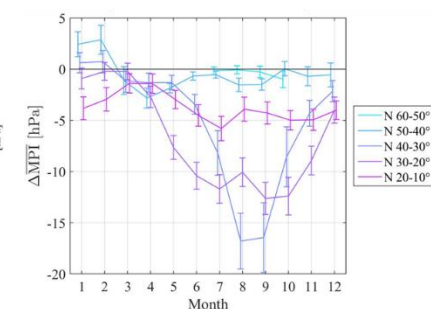


図 3 月別緯度間平均 MPI 将来変化 (4 度昇温, 北西太平洋の場合)

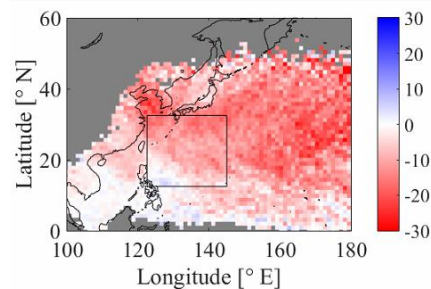
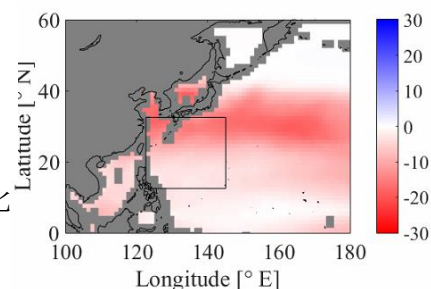


図 2 台風月 MPI の平均 MPI 変化(上), 台風強度の平均変化(下)

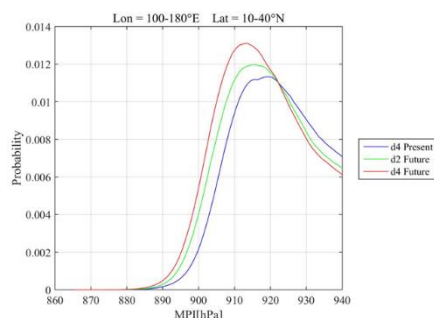


図 4 MPI 確率密度分布 (d4PDF, 北西太平洋の場合)

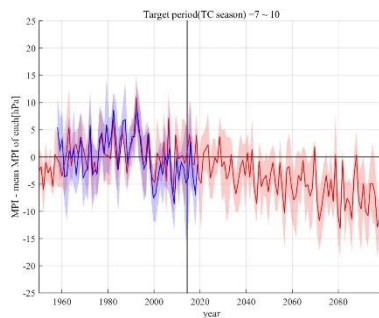


図 5 台風月平均年次 MPI の推移 (青:JRA, 赤: 150 年気候実験)

参考文献

- 1) Emanuel, K. A.: The theory of hurricanes, Annu. Rev. Fluid Mech., 23, pp.179-196, 1991.
- 2) 筒井純一:海水温の上昇と台風強化の可能性,水工学シリーズ 08-B-2, 土木学会 水工学委員会・海岸工学委員会, 2008.