

1. はじめに

気象庁は 1989 年 7 月から, Regional Specialized Meteorological Center Tokyo (以下, RSMC Tokyo)として, アジア各国の台風に関わる防災に貢献してきた. 過去 25 年間, 進路予報が改善されてきたことは周知の事実だが, 強度予報に関してはその実態が詳しく調べられているとは言い難い. 本研究では, データベースを構築することで, 台風強度予報誤差に関する基礎的な検証を行う. また, このデータベースをもとに, 強度予報誤差の長期変化傾向についても調査した.

一般に, 台風強度を数値計算で陽に再現するためには高解像度大気海洋結合モデルの利用が望ましいが(Ito et al. 2015), 現在, 気象庁では, 水平格子点間隔 20 km 相当の全球モデル GSM の結果を台風強度予報に用いており, 台風の内部コアダイナミクスを陽には表現できない. ただし, 環境場に対するバイアスの存在が分かれば, 統計的補正によって発表予報を改善することができる. 本研究では, このような前提を踏まえ, 過去の台風強度予報誤差がどのような変遷をたどってきたのかについても議論を行う.

2. 手法

本研究では, 紙媒体・デジタルデータとして公開されている RSMC Tokyo の年報 Annual Report on the Activities of RSMC Tokyo(1989 年版のみ Annual Activity Report; 以下, AR)を用いた. AR には, 最大風速・中心気圧の誤差の年間統計量(1989 年以降), 及び, 6 時間毎の個別の発表予報誤差(1992 年以降)が記録されている. 本研究ではこれを元にデータベースを構築した.

環境場の物理量に対する検証は 2008 年以降に対して行う. これは現在と同じ水平格子点間隔 20 km 相当の GSM が予報に用いられているよ

うになったのが, 2007 年 11 月以降だからである. GSM の出力結果は京都大学生存圏研究所のデータベースから取得し, 海洋内部のデータは海洋長期債解析データセット FORA-WNP30 の親モデル(水平格子点間隔 0.5 度; 3 次元変分法)の結果を利用している(Usui et al. 2016). 水平風の鉛直シアは Ueno and Kunii (2009)に基づき, 850 hPa と 200 hPa における水平風ベクトルの差を GSM に現れた台風中心から 300 km 以内で平均したものと定義する. 海面水温には MGSST, 海洋表層水温は Lin et al. (2013)と同様に台風通過 2 日前における海面から水深 100 m までの深さの平均水温(T100)で代表させる.PI としては Emanuel (1986)が提案し Bister and Emanuel (1998)によって補正されたもの(以後, E-MPI と呼ぶ)と, E-MPI における海面水温を T100 で置き換えた Lin et al. (2013)の OC_PI の 2 種類を PI として採用した. 最大風速と中心気圧に関する E-MPI は式で書くと, 下記のように表すことができる.

$$V_{\max}^2 = \frac{T_S - T_O}{T_O} \frac{C_k}{C_D} C_p T_S (\ln \theta_{e,S}^* - \ln \theta_{e,B}) \quad (1)$$

$$2C_p T_S \ln \frac{P_v}{P_c} = V_{\max}^2 \quad (2)$$

$$2C_p T_S \ln \frac{P_{env}}{P_v} = V_{\max}^2 + CAPE_B \quad (3)$$

ここでは $V_{\max}, T, C_k, C_D, C_p, \theta_e^*, \theta_e, P$ はそれぞれ, 最大風速・温度・海面熱交換係数・海面摩擦係数・定圧比熱・飽和相当温位・相当温位・気圧を表しており, その他の下付き文字の S, O, B, v, c, env

はそれぞれ、海面での値・上層外出流域での値・境界層での値・最大風速半径での値・中心での値・環境場での値であることを表している。

3. 強度予報誤差の傾向

図1に構築したデータベースに基づく、進路予報・中心気圧・最大風速の予報誤差の年平均値を示す。この図から、過去26年間にわたり、進路予報は改善傾向を示しているが、中心気圧と最大風速に代表される台風強度予測誤差は増加傾向の状態が続いていることがわかる。また、1992-2014年の個別データをもとに、評価時刻から24時間前までの中心気圧の変化で中心気圧の予報誤差を分類すると、急発達や急減衰が起こる場合には、現象の見逃しが起こり、強度予報誤差が大きくなる傾向にあることが分かった。2004年以降、急発達を起こす台風の割合は急激に増えており、台風強度予報誤差の増加は、これによってもたらされている可能性がある(次節参照)。

2008年以降の海上のデータについて、水平風の鉛直シア、海面水温、海面表層水温、E-MPIO(海上のデータをE-MPIOと呼ぶ)、OC_PIの値ごとに最大風速の発表予報の平均バイアスを分類した結果を図2に示す。この図から、鉛直シアが8 m/sを超えた場合には、発表予報は台風強度を強く出し過ぎる傾向にあり、CAPEが低い(高い)値のときには強く(弱く)予報しすぎる傾向、表層海面水温が29度以上の場合には弱く出し過ぎる傾向にあることが分かる。発表予報に対するPIの偏差ごとに結果を並べると、きれいに右下がりの結果となっている。これは、理論的に台風が強く(弱く)なるポテンシャルを秘めているにも関わらず、発表予報が強く(弱く)ならないと予報した場合には、結局、台風は評価時刻において強く(弱く)なっていることを示している。これらの結果は、中心気圧についても基本的に同様であり、予報時刻が長くなるにしたがって平均バイアスは大きくなる傾向にあった。

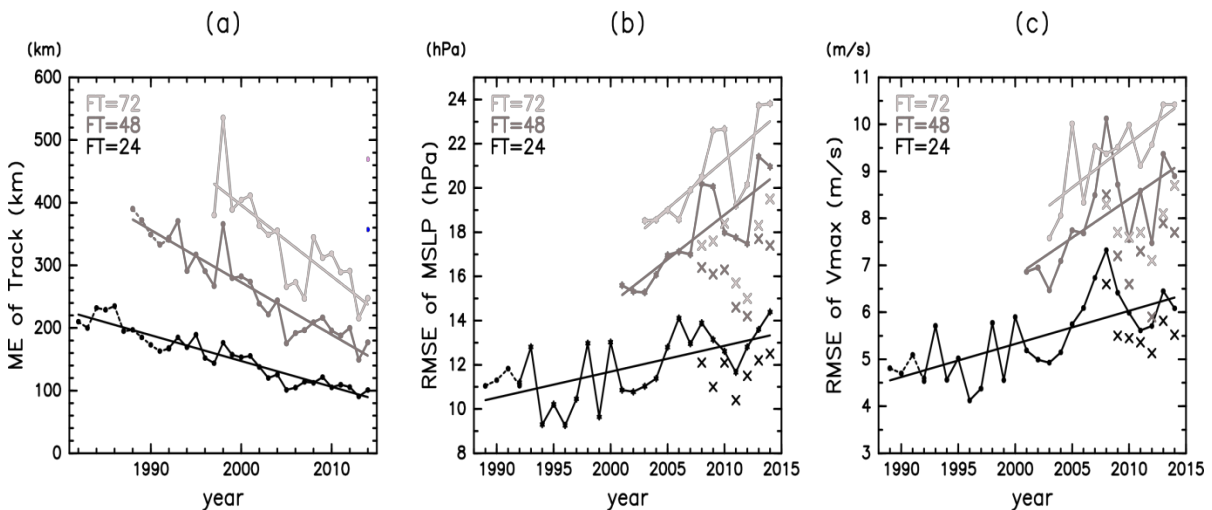


図1. RSMC Tokyoによる台風予報の誤差 (a)進路予報 (b) 中心気圧予報 (c) 最大風速予報. 1992年以降は6時間おきの個別データから年間統計量を作成したが、1989-1992年については、ARに記載されている年間統計量をそのまま点線で示した。FTは予報時間を表している。また、図には回帰直線及び環境場の物理量を用いて強度予報を補正した場合の結果についても重ね書きしている。

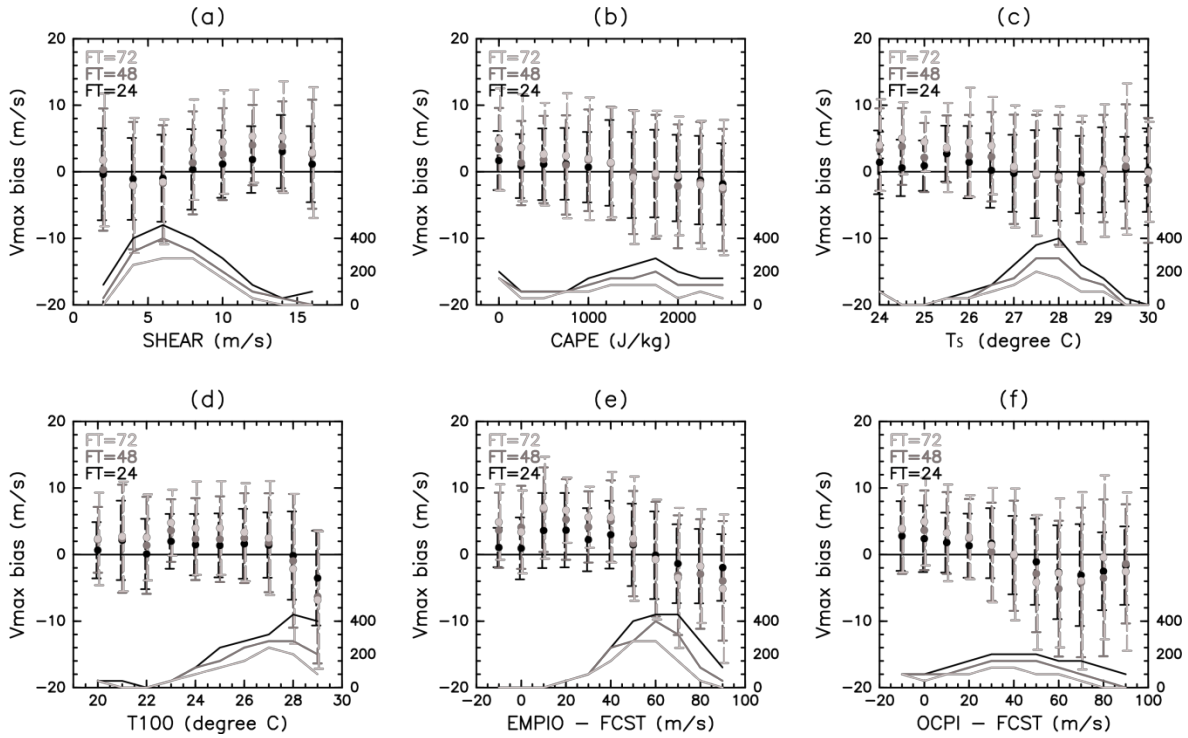


図 2. 環境場の物理量で分類した場合の最大風速予報におけるバイアス (丸印; 左軸) と標準偏差 (鉛直のバー) (a) 水平風の鉛直シア (b) CAPE (c) 海面水温 (d) 海洋表層水温 (e) E-MPI (f) OC_PI. ここでは、海上のデータセットについてのみ示している. 各ケースの事例数を実線で表している (右軸).

4. 強度予報誤差増加の原因

図1に示したように2000年代中盤以降台風強度予報誤差は増大傾向にある. この理由として、まず考えられるのは数値モデルの更新である. RSMC Tokyo では2007年11月に台風強度予報誤差に用いるベースモデルを台風モデル(TYM)から全球モデル(GSM)へと変更している. これにより、モデルが出力する台風強度の予測誤差は増加した. しかし、注意深く見てみると、台風強度予報の誤差はそれより少し前の2005年ごろから増加が始まっているため、このことだけが予報誤差増加の原因であるとは考えにくい(図は省略). 別の理由として考えられるのは、台風の急発達事例の増加である. 図3はRSMC Tokyo ベストトラックデータに基づく台風急発達イベント(ここでは、24時間で15m/s以上の台風の最大風速強化と定義する; 評価は6時間おきに繰り返す)の発生率が、この30年で大幅に増加していることを示している. 台風の急成達は予報が難しいため、誤差を増大させる一因となっ

ていると考えられる. このような2000年代中盤における台風急発達イベントの増大はJTWCのベストトラックデータにも見受けられる(Wang et al. 2015).

一方で、台風急発達事例が増加している理由は依然として明らかではない. 海洋貯熱量が台風の急成達の多い地域で増加しているという観測的事実はあるものの(Pun et al. 2013)、ベストトラック作成のポリシーも長期的に変質してきていると考えられるからである.

5. まとめ

RSMC Tokyo が発表している台風強度予報誤差に関するデータベースを構築し、長期的には改善傾向にないこと、発達時や減衰時に強度予報誤差が大きいことを明らかにした. また、水平風の鉛直シア、CAPE、海洋表層水温、PIといった台風強度に重要と考えられる物理量に対して、予報のバイアスが存在していることが分かった.

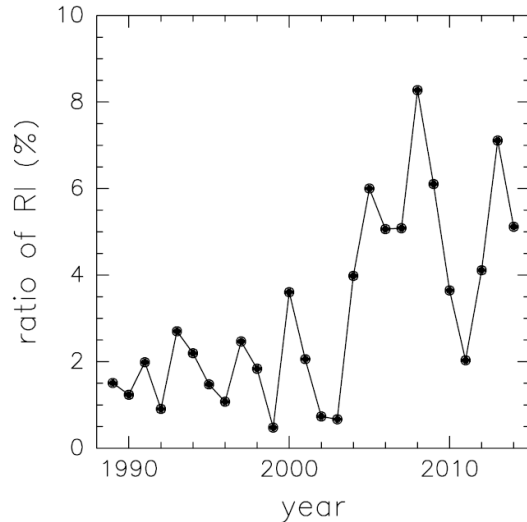


図3 急発達イベントの発生率

台風強度予報誤差の増加については、予測の難しい台風急発達イベントが近年増加傾向にあることと整合的であった。台風急発達事例が増加傾向にある理由は明らかではないが、気候変動に伴い、台風の急発達が起こる地域で海洋貯熱量が増大していることが影響している可能性がある。

謝 辞

本研究は、科研費基盤C「台風強度にかかわる外的要因の診断のための数値的研究」(課題番号:25400461)及び「階層的なモデルの比較を通じた台風強度の理解」(課題番号:16K0556)の助成を受けて実施されたものです。データ整備に当たっては、仲田真理子さん、宮里結衣さん、宮本育利さん、神田昇汰さん、善村夏実さんの協力を得ました。

参 考 文 献

Bister, M., and K. A. Emanuel, 1998: Dissipative heating and hurricane intensity. *Meteor. Atmos. Phys.*, 65, 233-240.

Emanuel, K. A., 1986: An air-sea interaction theory for tropical cyclones. Part I: Steady-state maintenance. *J. Atmos. Sci.*, 43, 585-605.

Ito, K., 2016: Errors in Tropical Cyclone Intensity Forecast by RSMC Tokyo and Statistical Correction Using Environmental

Parameters. *SOLA*, 12, 247-252.

Ito, K., T. Kuroda, K. Saito, and A. Wada, 2015: Forecasting a large number of tropical cyclone intensities around Japan using a high-resolution atmosphere-ocean coupled model. *Wea. Fore.*, 30(3), 793-808.

Lin, I. I., and Coauthors, 2013: An ocean coupling potential intensity index for tropical cyclones. *Geophys. Res. Lett.*, 40, 1878-1882.

Pun, I. F., I. I. Lin, and M. H. Lo, 2013: Recent increase in high tropical cyclone heat potential area in the Western North Pacific Ocean. *Geophys. Res. Lett.*, 40, 4680-4684.

Ueno, M., and M. Kunii, 2009: Some aspects of azimuthal wavenumber-one structure of typhoons represented in the JMA operational mesoscale analyses. *J. Meteor. Soc. Jap.*, 87, 615-633.

Usui, N. and co-authors, 2016: Four-dimensional variational ocean reanalysis: a 30-year high-resolution dataset in the western North Pacific (FORA-WNP30). *J. Oceanogr.* in print.

Wang, X., C. Wang, L. Zhang, and X. Wang, 2015: Multidecadal variability of tropical cyclone rapid intensification in the western North Pacific. *J. Climate*, 28, 3806-3820.