

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 10 月 17 日現在

機関番号：82109

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25400461

研究課題名(和文) 台風強度に関わる外的要因の診断のための数値的研究

研究課題名(英文) Numerical study on diagnosis of environmental factor affecting tropical cyclone intensity

研究代表者

沢田 雅洋 (Sawada, Masahiro)

気象庁気象研究所・台風研究部・研究官

研究者番号：90466524

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：台風強度に対する環境場の要因を診断するため、簡易軸対称台風強度予報モデルCHIPSを用いて、約2800事例の台風強度予報実験を行った。環境場は気象庁全球モデルGSMの予報値から作成した。同事例において、統計モデルおよびGSMによる予報値と比較すると、CHIPSの誤差が最も小さく、中心気圧の変化傾向を最もよく捉えていた。つまり、環境要因で台風強度変化を説明できることを示唆する。また感度実験を通して、鉛直シアが最も大きな影響があり、海洋混合層深さは2番目であった。実用的な観点から、上記3つのモデルのコンセンサス予報を評価したところ、気象庁発表予報と同等かそれよりも誤差が小さかった。

研究成果の概要(英文)：To diagnose impacts of environmental factor on tropical cyclone (TC) intensity, forecast experiments for 2800 cases have been conducted using coupled hurricane intensity prediction system (CHIPS). Environmental parameter were generated from a forecast data by Japan meteorological agency (JMA) global spectral model (GSM). By comparing the forecast results, CHIPS is lowest errors among three models and the largest correlation coefficient of central pressure tendency. This indicates TC intensity is largely controlled by environmental factor. Through the sensitivity experiments, vertical shear is a largest impact on TC intensity forecast, second is ocean mixed layer depth in a framework of CHIPS. From a point of a practical view, we evaluate the intensity forecast skill of a consensus by above three models. The consensus has comparable or less forecast error than the JMA official forecast, which will contribute the improvement of intensity forecast.

研究分野：台風、数値シミュレーション

キーワード：台風 防災 予測可能性

1. 研究開始当初の背景

(1) 台風は地球上に生じる最も激しい大気擾乱であり、その強度がどういった物理過程で決まるのかというのは、自然災害学のみならず、地球科学上の主要な問題の一つである。現在では、台風強度が中心付近の複雑な対流活動・内部コア力学に依存していると考えられるため、これまでに様々な物理過程を含んだ高解像度の精緻な数値モデルの開発に多くの資源が費やされてきた。それにもかかわらず、精緻な3次元の数値モデルを用いた台風強度予報は必ずしも良い成績を残しているとは言えない。むしろ、大西洋域では環境場の外的要因を重視し、湿潤過程などを陽には解かない簡易な軸対称台風強度予報モデル CHIPSの方が再現性がよいとされる。

(2) しかし、まだ多くの点で議論の余地がある。例えば、上述の結果は主に大西洋域のハリケーンについて得られたものであり、環境場の異なる北西太平洋上の台風においても、外的要因に焦点を当てた台風モデルが最大風速をよく再現できるとは限らない。また、どの外的要因が強度予報とその不確実性にどれだけの寄与をしているについては、過去に調べられたことがない。

2. 研究の目的

(1) 北西太平洋域の過去数年間の全台風に対して CHIPS を適用し、外的要因で台風の最大風速・中心気圧がどの程度再現できるか検証する。

(2) 環境場に対する感度実験を通して、どの環境場による外的要因が台風強度に影響するかを調べる。

(3) アンサンブル手法によって、外的要因の重要性・不確実性への寄与を定量的に評価する。

(4) 実利用の観点から、CHIPSの台風強度予報結果の利用法について検討および実現可能性を調査する。

3. 研究の方法

(1) 気象庁全球予報モデル (GSM) の予報データから CHIPS に入力する環境場を作成し、過去数年分の CHIPS での台風強度の予報実験を行い、北西太平洋域の台風強度が外的要因で説明されるか検証する。

(2) 上記で作成した環境場の1つだけ時間変化を考慮しその他は固定値で与えた場合での台風強度予報実験を行い、台風強度に対する感度を調べる。

(3) 複数の海外の予報センター (気象庁、欧州中期予報センター、米国環境予測センター) の予報値から環境場を作成し、それらの違いが台風強度に対する感度を調べる。

(4) 気象庁で用いられている台風強度予報の参考資料である統計モデルや GSM による予報値と比較し、CHIPS の特性を調べる。また、これらの組み合わせでより良い台風強度を診断できるか調査する。

4. 研究成果

(1) CHIPS を用いて、過去5年分の北西太平洋で発生した台風について84時間(12UTCのみ132時間)予報実験を行った。予報実験の事例数は約2800個となる。入力値となる環境場(具体的には、200hPaと850hPaの風の鉛直シア、中層相対湿度、対流圏界面温度など)はGSMの予報値から作成した。同事例において、統計モデルおよび精緻な3次元モデルであるGSMによる予報値と比較した。気象庁ベストトラックを真値としてそれぞれの予報結果を検証した。図1は中心気圧のバイアス(図1上)と平方根平均二乗誤差(RMSE、図1下)を示す。CHIPSのバイアスはどの予報時間においてもほぼゼロであるが、GSMは正のバイアス(弱い傾向)、統計モデルは負のバイアス(強い傾向)がある。RMSEを見ると、予報時間48時間まではCHIPS、統計モデル、GSMの差は顕著ではないが、48時間以降ではCHIPSが小さかった。大西洋域での先行研究と同様に、北西太平洋の台風に対しても簡易なモデルであるCHIPSが精緻な数値モデルより台風強度変化を捉えていることがわかった。これは長い時間スケールにおいて台風強度が主に環境場の外的要因によってコントロールされていることを示唆する。図は示さないが、最大風速についても中心気圧とほぼ同様な結果が得られた。ただし、CHIPSで予報される最大風速は地上風速ではないため、気象庁ベストトラックと比較する際は注意が必要である。また、計画当初は均質な環境場データと考えられる再解析データを使った十数年の予報実験を行うことを想定していた。しかし、気象庁の精緻な予報モデル(GSM)などと比較することで外的要因の寄与を評価できると再考した。そこで、環境場の品質が比較的均質と考えられる過去5年分に絞って解析を行うこととした。

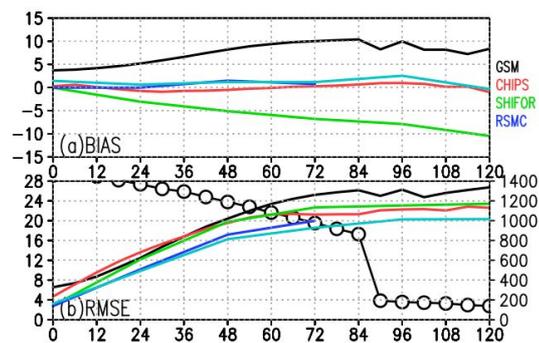


図1 各モデルの中心気圧のバイアス(上図)、予報誤差(下図)。横軸は予報時間(時間)、縦軸がバイアスの大きさ(上図:hPa)、予報誤差の大きさ(下図:hPa)、丸付きの線は各予報時間におけるサンプル数(右軸)を示す。黒線:GSM、赤線:CHIPS、緑線:統計モデル、青線:気象庁発表予報、水色線:3つのモデルの単純平均。

(2) CHIPS の特性をより詳細に調べるため、ベストトラックと各モデル (GSM、CHIPS、統計モデル) の中心気圧の変化傾向の散布図を示す (図 2)。GSM と統計モデルは台風の発達率が大きい場合はほとんど表現できず、例えば 1 日に 40hPa 下がるような事例はない。予報時間が長い場合でも台風の深まりは頭打ちであった。一方、CHIPS は 40hPa/日の事例も再現され、予報時間が長い場合はさらに深まる台風も表現し、台風の急激な発達をよく捉えることが明らかになった。これは解像度の粗い GSM では十分解像できない台風内部構造を、台風中心付近で高解像度の CHIPS ではある程度表現できることに起因する。個々の事例を見ると、陸域が影響する事例は CHIPS よりも GSM の方が良く再現する傾向が確認された。軸対称モデルである CHIPS では複雑な地形の影響を表現できないためと考えられる。定量的な違いを調べるため、ベストトラックと各モデルとの中心気圧の変化傾向に対する相関係数を表 1 に示す。予報時間 24、48、72 時間において、CHIPS の相関係数が大きく、中心気圧の変化傾向をよく捉えている。CHIPS の相関係数は予報時間が長いほど大きくなっており、長い時間スケールほど環境場の外的要因で台風強度変化を説明できることを示しており、図 1 と整合的な結果である。

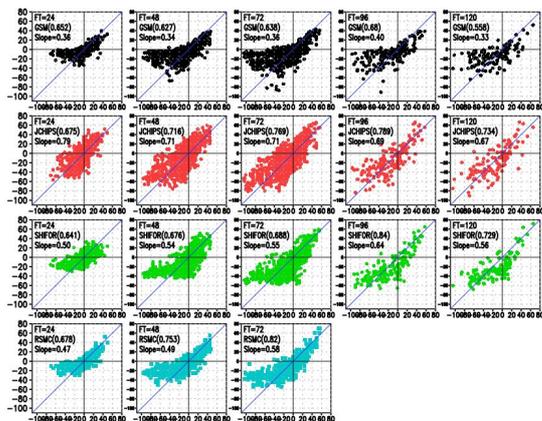


図 2 ベストトラックによる中心気圧変化傾向 (横軸:hPa) と各モデルで予報された中心気圧変化傾向 (縦軸:hPa) の散布図。上から GSM、CHIPS、統計モデル、気象庁発表予報。左から予報時間 24、48、72、96、120 時間の結果。

表 1 中心気圧変化傾向の相関係数。

	24h	48h	72h
GSM	0.65	0.63	0.64
CHIPS	0.68	0.72	0.77
統計モデル	0.64	0.68	0.69

(3) CHIPS をコントロールしている外的要因である環境場パラメータのうち、何が台風強度に影響しているかを調べるため、環境場パラメータの 1 つのみ時間変化を考慮し、その他を初期値で固定して感度実験を行った。感

度を調べたパラメータは、鉛直シア、中層相対湿度、海面水温、海洋混合層深さ (海洋の熱容量に相当) の 4 つである。図 3 はそれぞれの感度実験で得られた中心気圧のランダム誤差 (RMSE からバイアスを除いたもの) を示す。環境場を初期値に固定した場合、予報誤差が最も大きく、環境場の時間変化を考慮することが台風強度変化を診断するのに重要であることが確認できる。予報開始から 12 時間まで差は小さいが、それ以降差が徐々に拡大し、外的要因の寄与が大きくなっていく時間スケールであることを示唆する。環境場を固定した実験に対して予報誤差が改善した順から、鉛直シア、海洋混合層深さ、中層相対湿度、海面水温となった。つまり、鉛直シアが外的要因として最も大きな影響を及ぼすと考えられ、外的要因の時間変化を考慮しない場合に対して、30% の誤差減少であった。先行研究では、海面水温は台風が達することのできる最大強度に大きく影響することが知られているが、現実の台風強度変化には他の要因 (鉛直シア、海洋混合層深さ、中層相対湿度) がより大きく効くのは興味深い。また、CHIPS における枠組みでは予報後半では海洋混合層深さが海面水温より強度変化に寄与することがわかった。台風下の海洋中では、鉛直方向に混合されるため、台風強度変化を表現するには海洋表面のみを考慮するだけでは不十分で混合層深さを適切に与えること・診断することが重要である。海洋混合の強さは台風の移動速度にも依存するため、移動速度の影響も無視できない。上記 4 つの環境場パラメータ以外には、下層相対湿度、圏界面温度、海面気圧がある。CHIPS では、台風の強化・衰弱に対する下層相対湿度の影響は顕著であったが、全球モデルの予報値から作成した環境場の下層相対湿度は変動が大きく、適切に与えるのは難しいので、本実験では固定値 (75%) を用いた。圏界面温度は熱効率を介して、台風の発達率に効くが、時間変化考慮の有無で大きな差は見られなかった。海面気圧についても大きな影響がなかったことを述べておく。

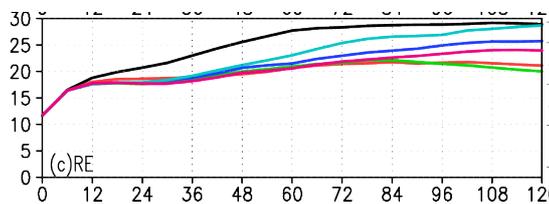


図 3 環境場の感度実験結果。中心気圧のランダム誤差の時間変化を示す。黒線: 時間変化考慮無、赤線: すべての環境場の時間変化考慮、緑線: 鉛直シアの時間変化のみ考慮、青線: 中層相対湿度の時間変化のみ考慮、水色線: 海面水温の時間変化のみ考慮、桃色線: 海洋混合層深さの時間変化のみ考慮。

(4) 3 つの予報センター (気象庁、欧州中期予報センター、米国環境予測センター) の全

球アンサンブル予報モデルのコントロール予報の結果からそれぞれCHIPSの環境場を取り出し、外的要因の不確定性(ばらつき度合)が強度予報に与える影響を調べた(図4)。予報時間24時間まではほとんど差が見られなかった。24時間以降でセンター間の違いが生じ、予報時間24-48時間では気象庁、48-72時間では欧州中期予報センターの環境場を用いた予報誤差が小さかった。ばらつきの大きさは3つのセンターを平均した予報誤差に対して10%程度の大きさであった。環境場の時間変化考慮の有無による予報誤差の改善率は約30%であり、環境場の不確定性がもたらす台風強度の予報誤差は相対的に小さい。しかし、無視できるほど小さいわけではない。3つのセンターを用いた予報の有効利用として、それらのアンサンブル平均を1つの予報値として用いる方法がある。アンサンブル予報の誤差は各センターの予報誤差より小さかった。しかし、全事例について平均すると、アンサンブル平均の改善率は小さく、改善する事例は環境場のばらつきが大きい事例に限られることが示唆された。

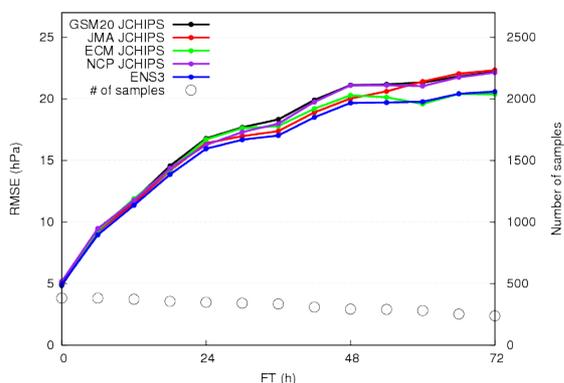


図4 各センターから作成された環境場を用いて予報された中心気圧のRMSE。GSMを用いたCHIPS(黒線)、気象庁(赤線)、欧州中期予報センター(緑線)、米国環境予測センター(紫線)のアンサンブル予報のコントロール予報の結果を用いたCHIPS、3つのセンターの単純平均(青線)を表す。

(5) 複数のモデルの結果を平均することで互いのバイアスを打ち消すことなどで、個々のモデルの結果より良くなるのが先行研究から示されている。そこで実利用の観点から、CHIPS、統計モデル、GSMの3つの強度予報結果を単純平均し(AVE)予報誤差を調べた(図1)。3つの個々の予報誤差に比べてAVEはどの予報時間においても小さくなり、先行研究と整合する。予報誤差が減少した要因を調べるため、各モデルに対して環境場(鉛直シアと中層相対湿度)に応じた中心気圧のバイアス(24時間予報)を計算した結果を図5に示す。バイアスの分布は各モデルで顕著に異なることが分かった。GSMは鉛直シアが小さい時に負バイアスが大きく(弱い傾向)

鉛直シアが大きい時は正バイアスとなる(過発達傾向)。一方、CHIPSでは逆に鉛直シアが小さい時は負バイアス、大きい時は正バイアスとなる。GSMとCHIPSでは鉛直シアに対して反対のバイアスを持つことから、3つのモデルを平均した時には、誤差が打ち消しあうことで予報が改善したと考えられる。CHIPSの環境場はGSMから作成されたが、外的要因となる環境場に対する応答をどのように取り扱うかによって、これだけ特性が異なるという点は注目に値する。次に、気象庁発表予報と比較すると、AVEの予報誤差は予報時間0-48時間ではほぼ同等の誤差となり、予報時間48-72時間では誤差が小さくなる事が確認された。このことから、本研究で得られた知見は気象庁の台風強度予報の改善に資すると期待される。

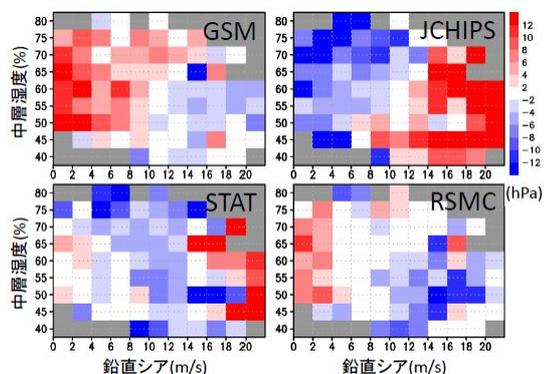


図5 各モデルの中心気圧バイアス特性。横軸に鉛直シア、縦軸に中層相対湿度として、各ビンに対するバイアスを示す。左上:GSM、右上:CHIPS、左下:統計モデル、右下:気象庁発表予報。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 0件)

〔学会発表〕(計 6件)

- Yamaguchi, M., M. Sawada, U. Shimada, H. Ohwada, R. Oyama, K. Aonashi, K. Okamoto, T. Igarashi, N. Koide, M. Yoshimatsu, K. Ito, Y. Miyamoto, Tropical cyclone research-to-operation activities at MRI/JMA, Typhoon seminar 2015, 2016年1月6日, 気象庁(東京)
- 沢田雅洋, 伊藤耕介, 山口宗彦, 宮本佳明, 簡易軸対称台風モデルCHIPSの台風強度予報誤差とその利用法, 2015年度気象学会秋季大会, 2015年10月28日, 京都テルサ(京都)
- 伊藤耕介, 仲田真理子, 宮里結衣, 宮本育利, 善村夏実: RSMC Tokyo 台風強度予報誤差データベースの構築とMPIを用いた補正, 2015年度気象学会秋季大会, 京

都, 2015年10月28日, 京都テルサ(京都)

- Sawada, M., Influence of horizontal resolution on tropical cyclone intensity using ensemble downscaling simulations, AOGS2015, 2015年8月7日, サンテックコンベンションセンター(シンガポール)
- 沢田雅洋, アンサンブル実験を用いた台風強度の水平解像度依存性の調査, 2015年度気象学会春季大会, 2015年5月24日, つくば国際会議場(つくば)
- 沢田雅洋, 伊藤耕介, 宮本佳明, 山口宗彦, 軸対称台風モデル JCHIPS を用いた台風の強度予報実験, 日本気象学会2014年度秋季大会, 2014年10月21日, 福岡国際会議場(福岡)

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

取得状況(計 0件)

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

沢田 雅洋 (SAWADA, Masahiro)
気象庁気象研究所・台風研究部・研究官
研究者番号: 90466524

(2) 研究分担者

山口宗彦 (Yamaguchi, Munehiko)
気象庁気象研究所・台風研究部・研究官
研究者番号: 80595405

(3) 研究分担者

伊藤耕介 (Ito, Kosuke)
琉球大学・理学部・助教
研究者番号: 10634123

(4) 研究分担者

宮本佳明 (Miyamoto, Yoshiaki)
独立行政法人理化学研究所・計算科学研究
機構・基礎科学特別研究員
研究者番号: 90612185