

WGNE 熱帯低気圧検証について

上田 学、佐藤 均、西本 秀祐、石田 純一(気象庁数値予報課)

1 はじめに

気象庁は、WGNE¹(Working Group on Numerical Experimentation; 数値実験作業部会)の枠組みの中で、現業数値予報センターが行ったモデルによる熱帯低気圧予測の国際相互比較検証(WGNE 熱帯低気圧検証)を1991年から実施している。検証の目的は熱帯低気圧予測の精度に関するデータの蓄積や多くのモデルに共通する系統的な誤差を把握することであり、現在では11の数値予報センター²が参加し、6の領域³で検証を行っている。また、毎年開催されるWGNE 会合の中で検証結果を報告し、各国センターに知見を共有している。本稿では、2016年を対象とした全球モデル検証の結果を示しながら、長年のWGNE 熱帯低気圧検証から判明している多くのモデルに共通する誤差特性を紹介するとともに、その誤差特性の要因や直近の気象庁全球モデル(GSM)更新における熱帯低気圧予測の改善について述べる。なお、過去のWGNE 熱帯低気圧検証の結果については、参考文献リストに挙げたものを参照されたい。

2 検証に用いるデータと熱帯低気圧追跡手法

熱帯低気圧トラックの真値として地区特別気象センター(RSMC)が作成したベストトラックデータを用いる。検証対象となる熱帯低気圧はベストトラックデータを利用して抽出する。TS(Tropical Storm; 最大風速34ノット以上)階級以上の熱帯低気圧を検証対象とし、そのTD(Tropical Depression)の期間も含む。検証期間は、北半球が対象年の1月1日から12月31日まで、南半球は対象前年の9月1日から対象年の8月31日までである。

表1に2016年を対象としたWGNE 熱帯低気圧検証に参加している数値予報センターと、その数値予報センターが検証のために提供している予測データの仕様を示す。各数値予報センターからは海面

更正気圧予測値の格子点データの提供を受けており、そのデータから検証対象である熱帯低気圧の進路予測(モデルトラック)を各センター分作成している。モデルトラックを作成するための熱帯低気圧の追跡手法としては、下記の方法を採用している。

- 初期時刻(FT=0h; FTは予報時間)の位置: ベストトラックの熱帯低気圧の中心位置を基準位置とする。基準位置から500km以内にある気圧極小点を探し、その中から最も基準位置に近い位置にある点をモデルトラックの熱帯低気圧の中心位置とする。なお、気圧極小点は気圧極小格子とその周囲4格子を用いて2次関数でフィッティングして求める。また、気圧極小点は背景場の気圧(基準位置の周囲1000kmで平均した海面更正気圧)より2hPa以上低い場合のみ採用する。
- 2番目(FT=6h)の位置: 基準位置を初期時刻のモデルトラックの位置とすることを除き、初期時刻の位置と同様の方法で追跡する。
- 3番目(FT=12h)以降: 基準位置を前2時刻の外挿点とすることを除き、初期時刻の位置と同様の方法で追跡する。
- 適当な気圧極小点が存在しない場合は追跡を終了する。

3 2016年対象検証結果

2016年の北西太平洋域を対象とした検証の結果を示す。なお、この年の北西太平洋域には検証対象となる熱帯低気圧が26個存在していた。

まず、図1に進路予測誤差を示す。ECMWFの誤差が最も小さく、JMAの精度は4~5番目である。具体的には、JMAの誤差の大きさは24時間予報で100km弱程度、72時間予報で250km程度である。図2は72時間予報の進路予測誤差の経年変化図である。各センターとも年々変動は大きいですが、長期的には誤差は減少傾向であることが見てとれる。図示しないが、北西太平洋域以外の領域でも同じく誤差は減少傾向であった。

次に、進路予測の誤差特性について示す。図3は72時間予報の進路予測誤差を熱帯低気圧の進行方向(AT: Along Track)とそれに直交する方向(CT: Cross Track)とに分け、それぞれの誤差傾向を示している。また、北半球において、低緯度で西進、途中で向きを変え、中高緯度を北東進するような典

¹ 世界気象機関(WMO)大気科学委員会(CAS)と世界気候研究計画(WCRP)合同科学委員会(JSC)の合同部会として設置されている専門部会

² BoM(オーストラリア), CMA(中国), CMC(カナダ), DWD(ドイツ), ECMWF(欧州), FRN(フランス), JMA(日本), KMA(韓国), NCEP(アメリカ), NRL(アメリカ), UKMO(イギリス)、過去にはCPTEC(ブラジル)も参加

³ 北西太平洋、北東太平洋(中部含む)、北大西洋、北インド洋、南インド洋、オーストラリア周辺

型的な熱帯低気圧を考え、進行ステージごとに転向前(赤)、転向中(緑)、転向後(青)⁴で色分けしてプロットしている。転向後のステージに着目すると、進行が遅い誤差傾向(スローバイアス)が比較的多くのモデルに共通して見られる。

熱帯低気圧の中心気圧予測についても誤差特性を調べている。図 4 に横軸にベストトラック、縦軸にモデルトラック(72 時間予報)をとった中心気圧予測の散布図を示す。この図から、多くのモデルにおいて中心気圧の低い熱帯低気圧の予測が浅い傾向が見られる。一方で、ベストトラックより深く予測する事例も存在し、特に NCEP では深めすぎる事例が見られる。また、中心気圧の低い熱帯低気圧において、モデルトラックの中心気圧が高い傾向は初期時刻(FT=0)から見られていた(図略)。

進路予測、中心気圧予測の誤差傾向を地図上に示したものが図 5 である。図 5 は進路予測、中心気圧予測について 72 時間予報の平均誤差を地図上に描画している。フィリピン の東～東シナ海や小笠原諸島付近など低緯度域で、多くのモデルに共通して中心気圧が高い平均誤差が見られ、中緯度や大陸で中心気圧が低い平均誤差が見られる。また、進路予測について、日本付近では南方向への平均誤差が多くモデルで見られ、これは、この領域での一般的な熱帯低気圧が北よりの進路をとることを考えると、進行が遅い誤差を意味する。

転向後のスローバイアスや中心気圧が低い熱帯低気圧を浅く予測するバイアスは WGNE 熱帯低気圧検証において継続して指摘されている誤差特性であり(例えば、小野田・小森 2009、梅津・森安 2013)、多くの数値予報センターで解決できていない課題であるといえる。

4 予測の誤差特性の要因と直近の GSM 更新における熱帯低気圧予測の改善

前述した転向後のスローバイアスに関して、台風 の進行が遅れた事例の予測について調べた。図 6 に 2016 年 9 月 17 日 12UTC 初期値の海面更正気圧と 500hPa 高度の予測値と解析値、台風第 16 号の予測進路を示す。この図から 18 日 12UTC の予測の時点で予測の台風の進行が遅れ、誤差が拡大していく様子が見て取れる。台風 の進行に影響を与える要因の一つとして総観場の違いを確認すると、太平洋高気圧や中緯度トプの予測誤差は小さく、進行

の遅れの原因として別の要因があると考えられる。なお、他の初期値についても確認したが、16 日 12UTC 初期値においてトプの予測が浅いことを除けば同様であった(図略)。これまでの調査では、転向後のスローバイアスについて、その明確な原因は判明していない。

次に、中心気圧が低い熱帯低気圧を浅く予測するバイアスであるが、その要因の一つとして、GSM の解像度(水平約 20km)が不足しており、中心付近で気圧傾度の大きい急峻な構造の熱帯低気圧を表現できないことが考えられる。この問題の改善のためには、GSM の高解像度化が必要になるが、その他にも各種物理過程の改良や海面水温の時間発展の考慮など課題は多く、長期的に取り組んでいく必要がある。また、進路予測の違いは熱帯低気圧の発達予測に影響を与え、予測による熱帯低気圧の構造の違いは進路予測に影響を与えることから、総合的な予測精度の向上に取り組んでいく必要がある。

熱帯低気圧をベストトラックより深く予測する事例が存在することは GSM にとって注意すべき点である。例えば、GSM で台風の発達が顕著な場合、モデルが異常終了するおそれがある。モデルの異常終了は、プロダクトが発信されなくなるおそれがあるため、現業モデルにおいて起こってはならないことであり、モデルの計算安定性の確保は非常に重要である。直近の事例としては、2016 年台風第 10 号において GSM が過剰な発達を予測し、一部の初期値では安全のためにタイムステップを短くしてモデルが実行されている。2017 年 5 月に更新された GSM では物理過程を中心に改良を行い、熱帯低気圧の過発達が発生しづらくなっている(米原 2017)。

5 まとめ

気象庁では、WGNE の枠組みの中で、熱帯低気圧予測の国際相互比較検証を 1991 年から行っている。長年の検証の蓄積で以下の知見が得られている。

- 進路予測誤差は、年々変動は大きいが長期的には減少傾向である。
- 多くのモデルに共通して転向後のスローバイアスが存在する。
- 多くのモデルに共通して中心気圧が低い熱帯低気圧を浅く予測するバイアスが存在する。

GSM について、転向後のスローバイアスの明確な原因は判明していない。中心気圧が低い熱帯低気圧を浅く予測するバイアスの要因の一つは、解像度の不足と考えられ、そのため GSM の高解像度化が必要になる。その他にも各種物理過程の改良や海

⁴ 北半球の場合、南向きを 0° として時計回りに、0° ~140° の方向へ進むときを転向前、140° ~190° を転向中、190° ~360° を転向後としている。

面の時間発展の考慮など課題は多く、長期的にバイアスの改善に取り組んでいく必要がある。GSM において台風の発達が顕著な場合、モデルが異常終了するおそれがある。直近の GSM の更新では物理過程を中心に改良を行い、熱帯低気圧の過発達が発生しづらくなっている。

参考文献

梅津浩典, 森安聡嗣, 2013: WGNE 熱帯低気圧検証。数値予報課報告・別冊第 59 号, 気象庁予報部, 98-111。
小野田浩克, 小森拓也, 2009: WGNE 熱帯低気圧検証。数値予報課報告・別冊第 55 号, 気象庁予報部, 167-169。
山口宗彦, 酒井亮太, 2004: 熱帯低気圧進路予測の国際比較。数値予報課報告・別冊第 50 号, 気象庁予報部, 39-42。
山口宗彦, 2005: 熱帯低気圧進路予測の国際比較。数値予報課報告・別冊第 51 号, 気象庁予報部, 27-31。
米原仁, 2017: 全球数値予報システムの特性の変化。平成 29 年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 8-30
Yamaguchi, M., J. Ishida, H. Sato, and M. Nakagawa, 2017: WGNE Intercomparison of tropical cyclone forecasts by operational NWP models: A quarter-century and beyond. Bull. Amer. Meteor. Soc., **98**, 2337-2349.

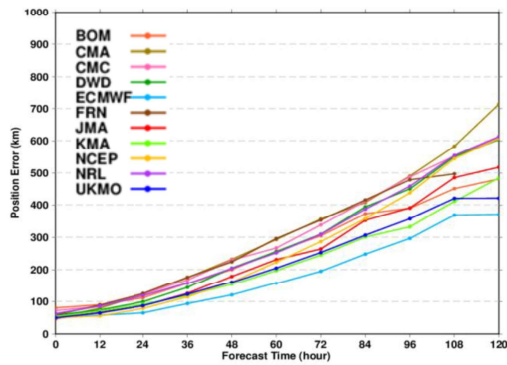


図1 北西太平洋域の進路予測誤差。数値予報センター別に色分けして示す。縦軸は進路予測誤差[km]、横軸は予報時間[時]。

センター名	データの水平格子間隔(°)	モデル分解能
BoM	0.5625 x 0.3750 (~Mar. 15) 0.3516 x 0.2344 (Mar. 16~)	40kmL70 (~Mar. 15) 25kmL70 (Mar. 16)
CMA	0.2813 x 0.2813	T ₁ 639L60 (約30km)
CMC	1.0 x 1.0	25km L80
DWD	0.25 x 0.25	13kmL90
ECMWF	0.125 x 0.125	T ₁ 1279L137 (~Mar. 7) (約16km) O1280L137 (Mar. 8~) (約9km)
FRN	0.5 x 0.5	T ₁ 1198C2.2L105 (7~33km)
JMA	0.25 x 0.25	T ₁ 959L100 (約20km)
KMA	0.3516 x 0.2344 (~Jun. 30) 0.2344 x 0.1563 (Jul. 1~)	25kmL70 (~Jun. 30) 17kmL70 (Jul. 1~)
NCEP	0.5 x 0.5	T1534L64 (約13km)
NRL	0.5 x 0.5	T425L60 (約31km)
UKMO	0.2344 x 0.1563	17kmL70

表1 2016 年を対象とした WGNE 熱帯低気圧検証に参加している数値予報センターと、その数値予報センターが検証のために提供している予測データの仕様。

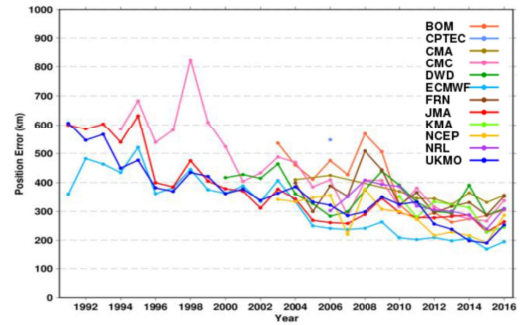


図2 北西太平洋域における 72 時間予報の進路予測誤差の経年変化図。数値予報センター別に色分けして示す。縦軸は進路予測誤差[km]、横軸は検証年。

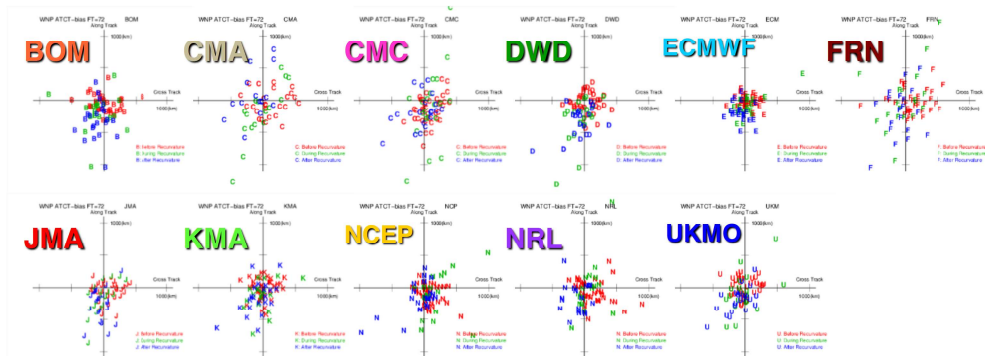


図3 各数値予報センターの北西太平洋域における 72 時間予報の進路予測誤差の分布図。赤色は転向前、緑色は転向中、青色は転向後の事例を表す。縦軸は進行方向の誤差[km]、横軸は進行方向に直交する方向の誤差[km]。

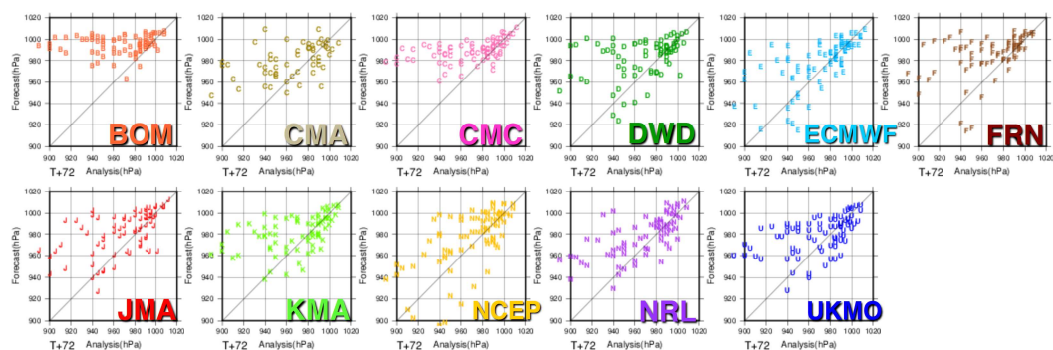


図 4 縦軸に 72 時間予報の中心気圧[hPa]、横軸にベストトラックの中心気圧[hPa]を描いた散佈図。各数値予報センターについて北西太平洋域のものを示す。

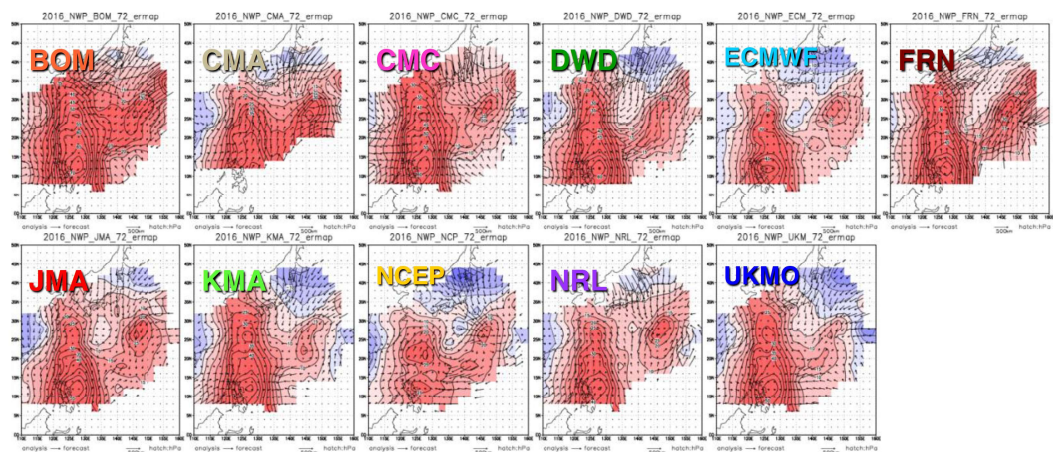


図 5 各数値予報センターの北西太平洋域における 72 時間予報の進路予測、中心気圧予測に対するエラーマップ。カラーは中心気圧予測の平均誤差[hPa]で、赤(青)色は予測の中心気圧がベストトラックより高いことを表す。矢印は進路予測の平均誤差[km]。

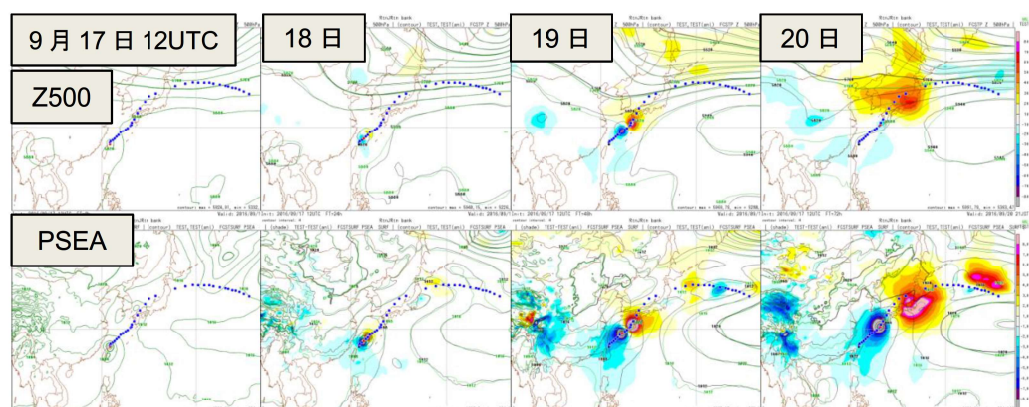


図 6 2016 年 9 月 17 日 12UTC から 20 日 12UTC における 500hPa 高度[m](上)、海面更正気圧[hPa](下)と台風第 16 号の予測進路(共通)。黒線は 17 日 12UTC 初期値での予測値、緑線は解析値、カラーは予測値からの解析値の差分(赤色が正)、ドットは予測進路を表す。