



台風防災における全球モデルの課題

気象庁数値予報開発センター 米原 仁
yonehara@met.kishou.go.jp

全球モデルの開発に求められるもの

• 3日先の台風の進路予測精度を改善

- 自治体等における大規模水害に備えたタイムライン等では3日程度前からの地域を絞り込んだ的確な広域避難等が必要
- 台風の3日先の進路予測誤差を100km程度に改善（現在200km強）
- 台風に伴う雨や高潮の予測は、進路予測が外れると価値を失うため、まずは進路予測の精度を改善することが最も重要

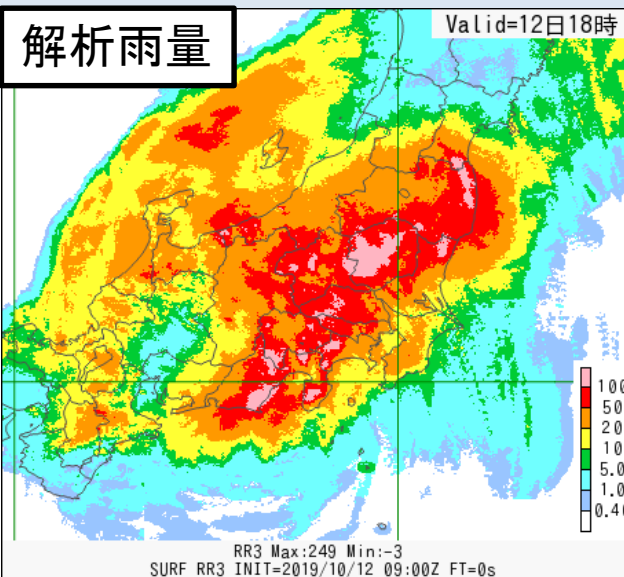
• メソモデルに「より適切な境界値」を提供する

- メソモデルの降水・風・地上気圧から作成した情報が、中心的に利用されると想定される
-
- 前提として、安定した運用の確保、適切な運用・開発のコスト、日々予測の信頼性

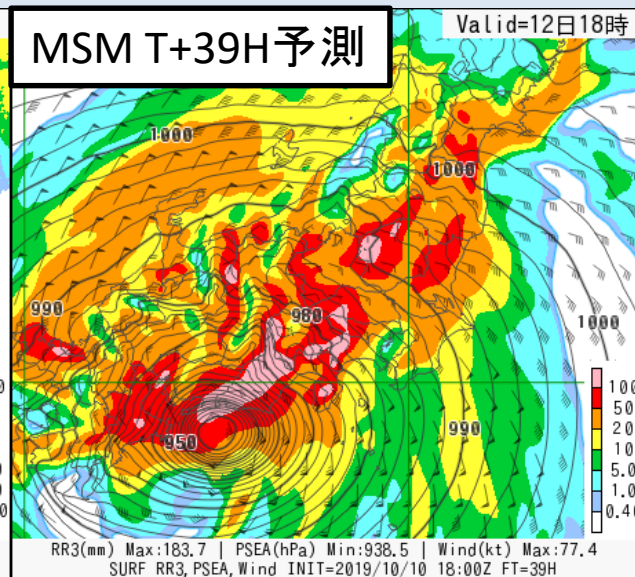
令和元年東日本台風(19号、ハギビス/Hagibis)

この事例では誤差約130km 目標はこれ以上の予測精度(を信用してもらうこと)

解析雨量



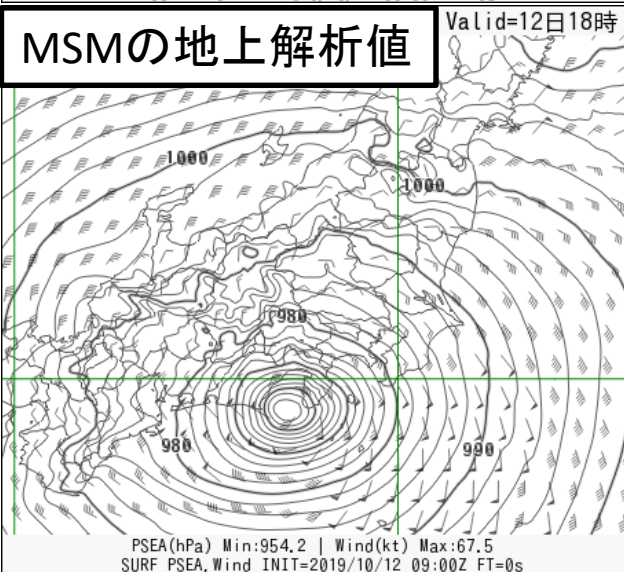
MSM T+39H予測



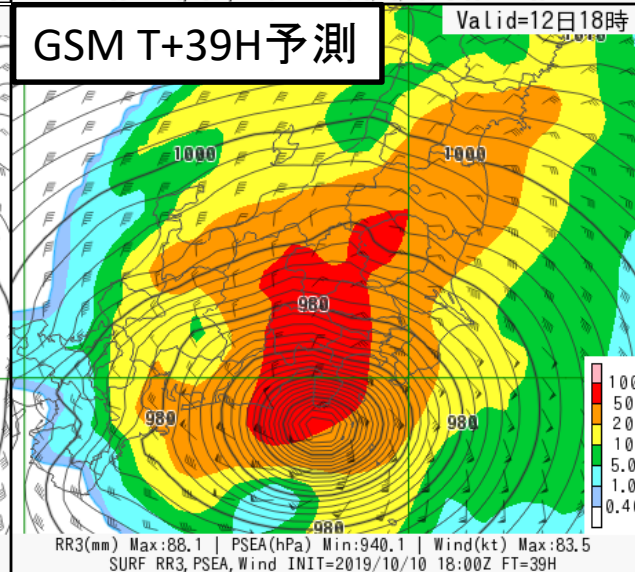
- ・広範囲の大雨、史上最多の13都県に大雨特別警報
- ・千曲川や阿武隈川の堤防決壊、多くの河川で氾濫、土砂災害や浸水害が発生

- ・MSMは地形性降水を精度良く表現
- ・中心位置はGSMが良い

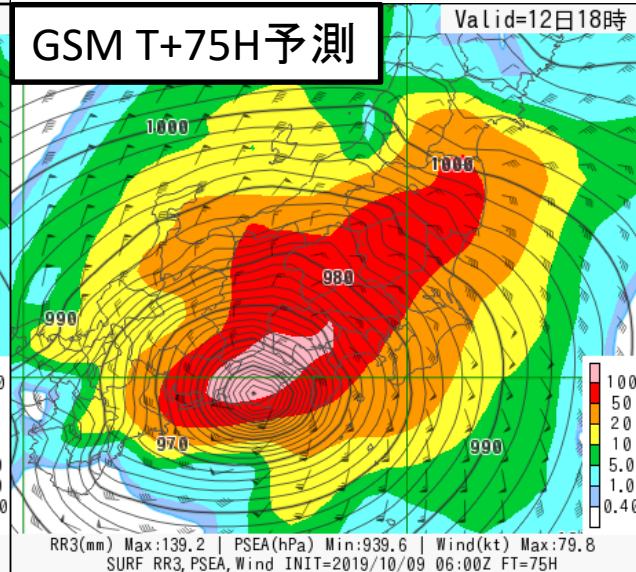
MSMの地上解析値



GSM T+39H予測

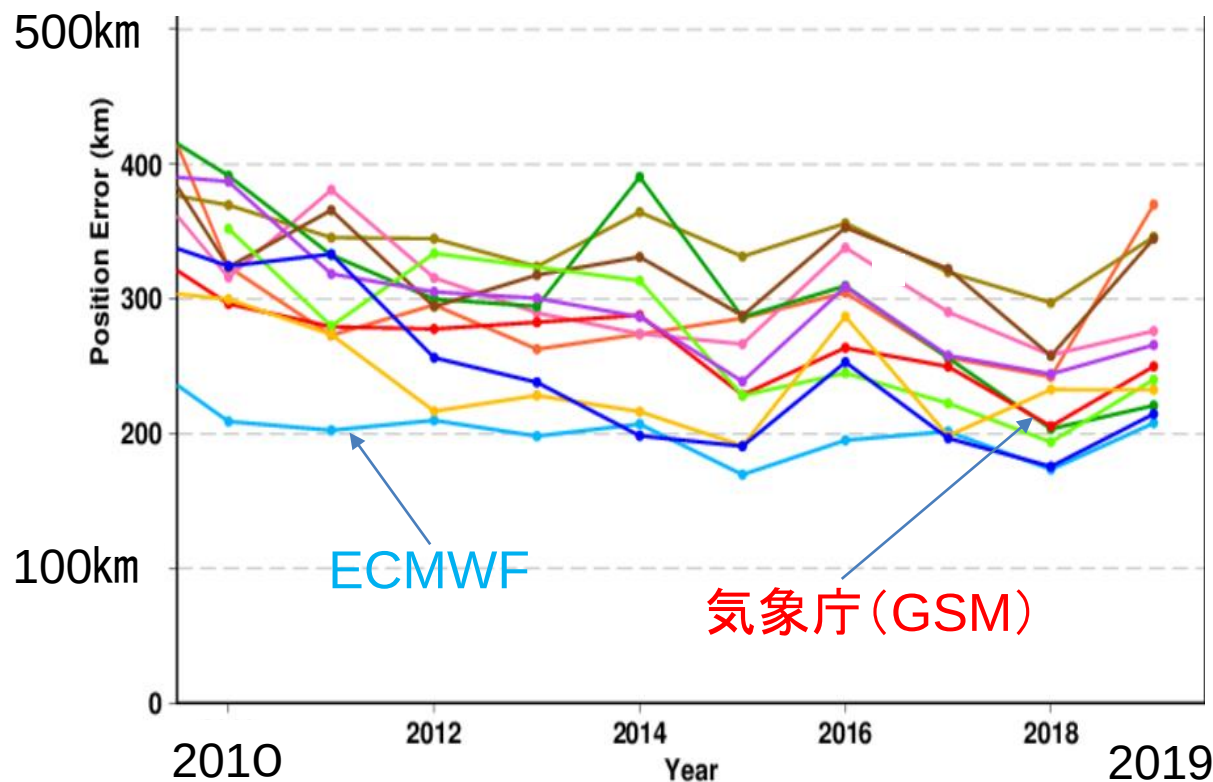


GSM T+75H予測



この10年の台風進路予測の精度の変遷 (国際比較)

- 各国の数値予報センターによる台風の進路予測精度は向上を続けている(Yamaguchi 2017)、一方で**近年の改善傾向は鈍化**。
- トップセンターの精度はこの10年停滞、**ブレークスルーが求められてる**



BOM
CPTEC
CMA
CMC
DWD
ECMWF
FRN
JMA
KMA
NCEP
NRL
UKMO

北西太平洋領域
72時間予報
非共通サンプル

(図は気象庁で行ったWGNE
熱帯低気圧検証より)

予報モデル開発の‘Key Issues’

- パラメタリゼーションの改良
 - 各種先行研究でも影響が大きいことが示唆されている
 - 観測データのポテンシャルをさらに引き出す第一推定値(現象の表現性能)
 - 高解像度化により起こる諸問題(グレーゾーン問題)への取組み
- 高解像度化
 - TYMIP (Nakano et al., 2017, GMD)は高解像度化(7km)の効果を示唆
 - 2030年までに水平格子間隔を10km以下に
 - 13km→9km程度(予定)→場合によってはその先も
- 評価検証手法、誤差発生メカニズムの理解の進展など
 - 台風構造や台風を流す海上の風の検証手法確立
 - 進路予測誤差の原因分析
 - 予測可能性研究(決定論的予測の限界が分かれば確率予測へシフト)

積雲過程の効果 (過程w/o実験)

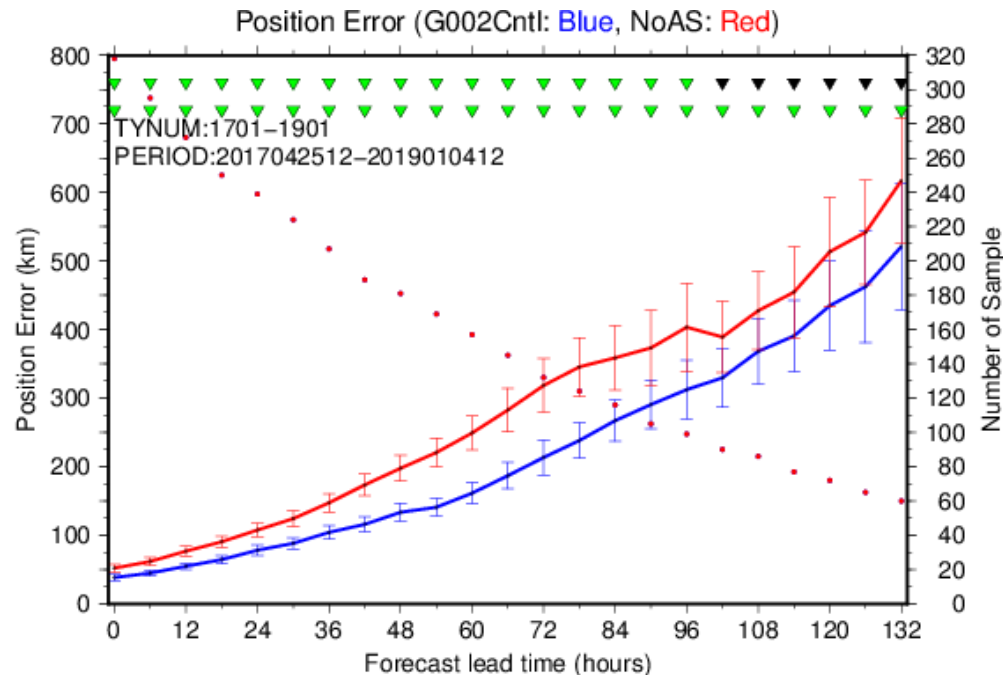
Q) 積雲過程の台風進路精度への寄与は？

A) とても大きい！(FT=72で100km)@GSM

CNTL: 青

w/o積雲過程: 赤

進路予測誤差



(積雲ありの状況で開発されているモデルなのでアンフェアではあるが)

パラメタリゼーションの課題

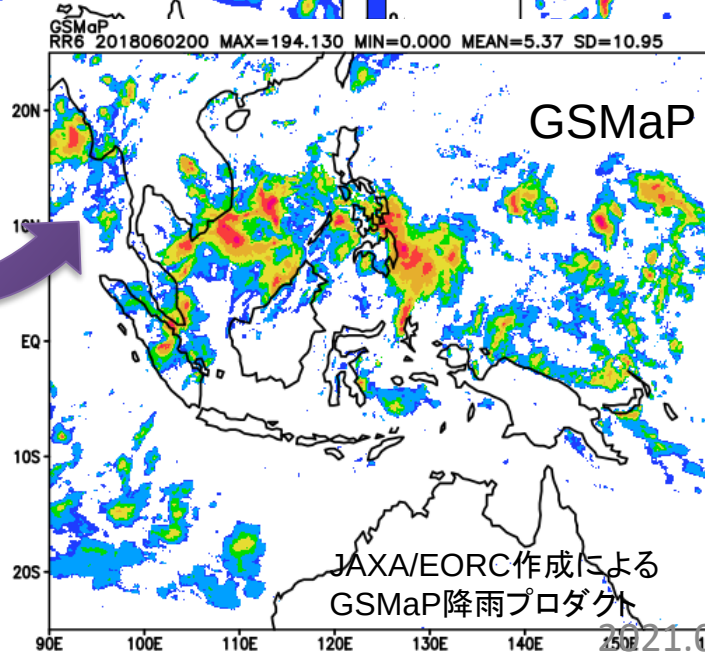
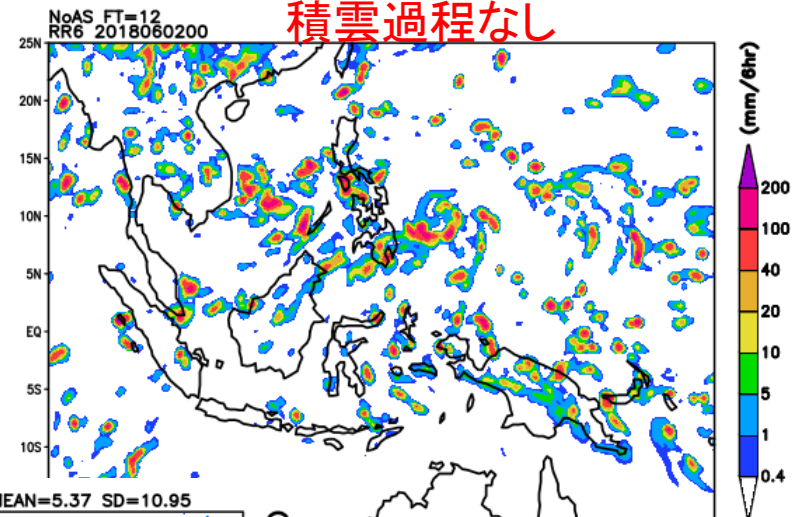
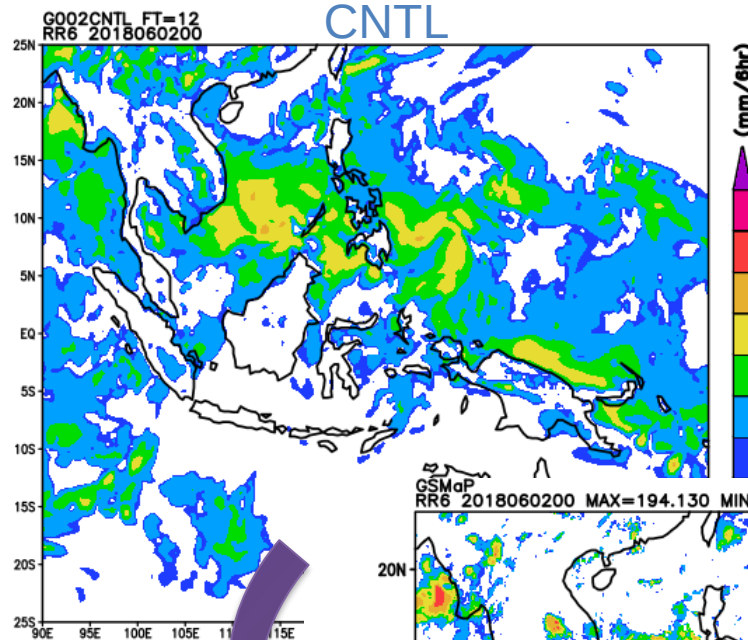
- 各国の数値予報センターを中心に、物理過程（積雲対流、雲物理、境界層等）の改良により進路予測の精度が改善したことが複数報告されている
 - Hogan and Pauley 2007; Fiorino 2008; Han and Pan 2011; Torn and Davis 2012; Walters et al. 2017など。
- 雲・降水域でモデルにバイアスがあると観測の情報が適切に同化できない
 - GSMにおける全天マイクロ波輝度温度同化で問題となった雲・降水域のバイアス
 - 熱帯の積乱雲 deep convection領域の雲頂が低い、広がりすぎている
 - 層積雲の日変化が表現できない、など
- OLRのバイアスを改善すると解析精度が悪化する等、競合バイアスの改善
- 現在進めている開発（先行研究の成果を取り込むべく進めている）
 - 湿りプロファイルへの感度（積雲）、Tiedke雲スキームの導入、EDMF型境界層スキームの導入など

一方、現状グレーゾーン問題や次世代のサブグリッドパラメタリゼーションには十分に組み合わせていない。何をリファレンスとして開発を進めるかも課題。

降水予測の比較 T+12h(熱帯)

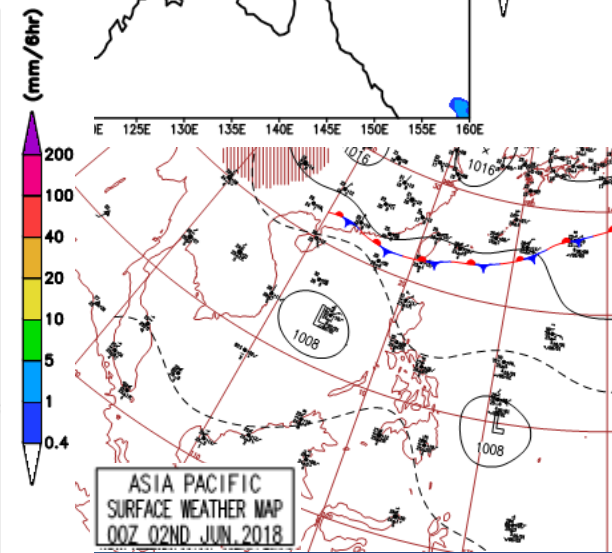
CNTL : 広がりすぎ、強い降水が不足。

積雲なし: 擾乱に伴う組織化が弱い。降水が集中。



どうすれば近づくか？

グリットポイントストーム、
擾乱過発達 は 現業モデル
には 厳しい

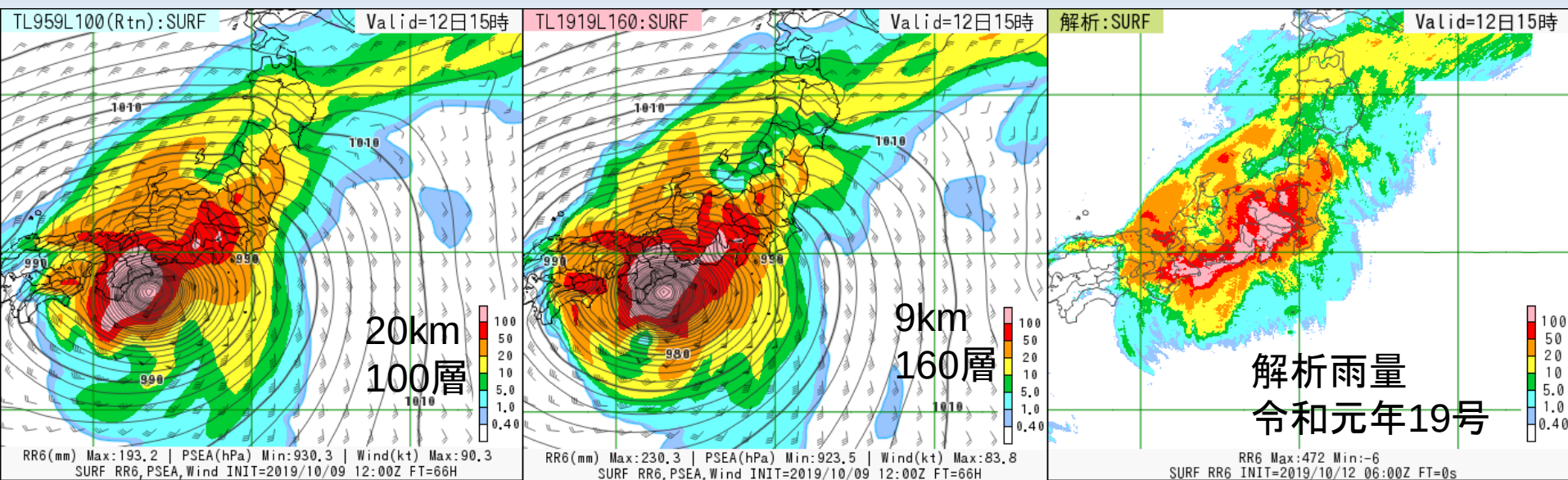


高解像度化の課題

- 高解像度化に向けた開発の現状
 - 13kmGSMの開発は現在山場（2022年に導入予定）
 - 9kmGSM（予定）の開発を開始
 - 分割手法やルジャンドル陪関数のon the fly計算、ルジャンドル変換の高速ライブラリ利用、重い部分の単精度化なども検討予定
- その先を見据えて、力学コアについて最適な格子系・計算手法の検討・開発が必要
 - 格子空間での微分演算子の導入等、格子空間での処理を増やす方向性
 - ローカルな保存性の向上、物理力学カップリングなど
 - 連携の推進には基礎実験環境の共有なども有効か？

高解像度GSM(水平9km鉛直160層)

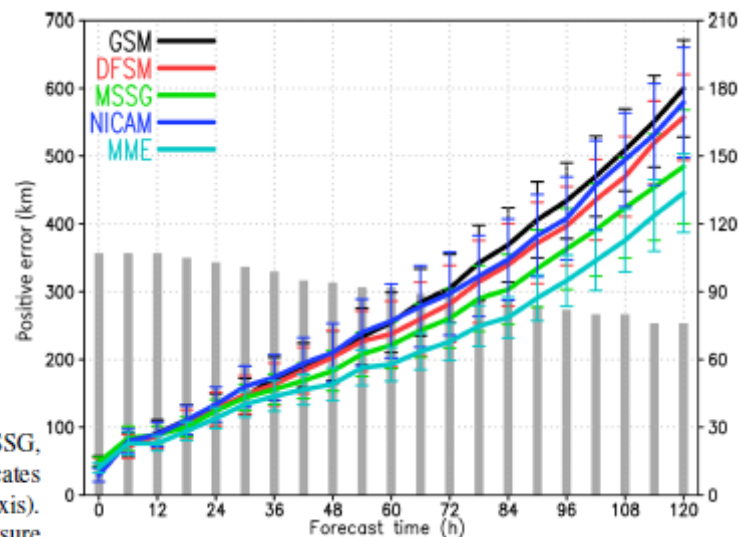
高解像度GSMのフィジビリティスタディ(同一初期値からの予測結果)



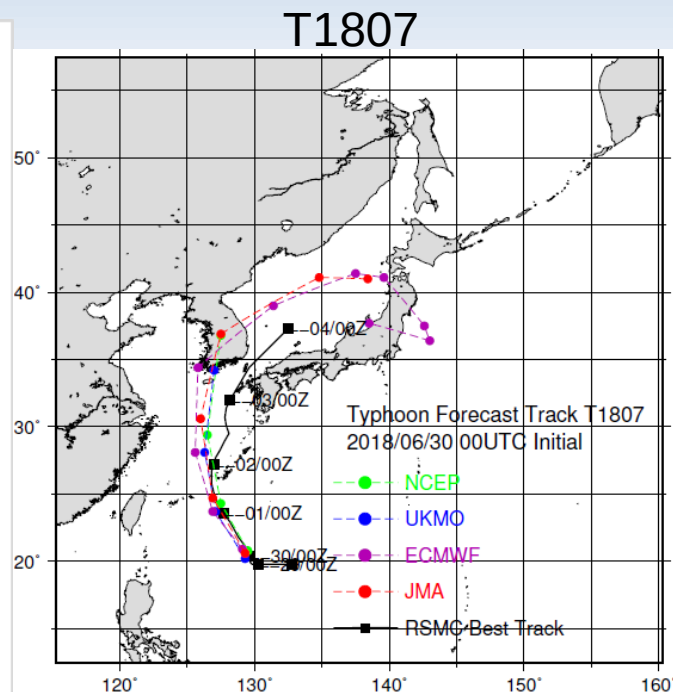
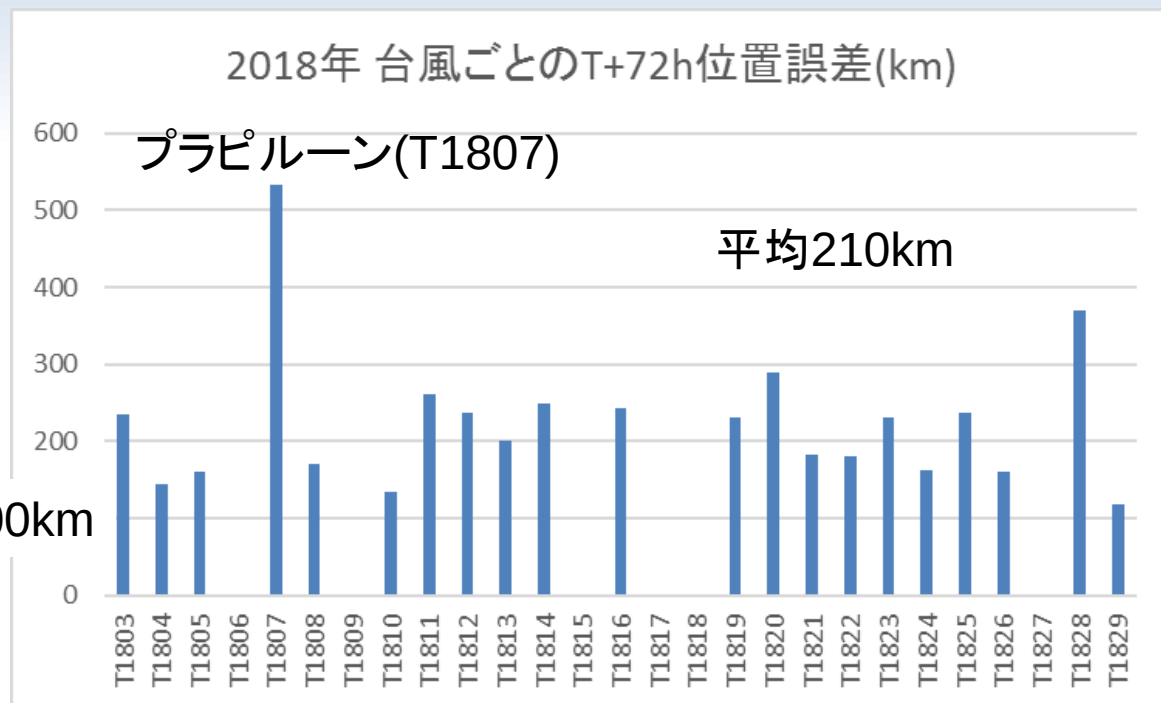
- ・地形性降水の改善、進路予測は微改善。
- ・強度はより発達する傾向。ただし、何が寄与しているかの切り分けはできていない。
- ・今後事例を増やしてTYMIP(Nakano et al. 2017)と同様の改善が見込めるかの確認を進めたい。

高解像度化のポテンシャルを引き出すには？

Figure 3. Errors in the track prediction for GSM, DFSM, MSSG, NICAM and MME (in the second stage). Each grey bar indicates the number of samples at each forecast time (right-vertical axis). Error bars indicate 95 % confidence levels of the central pressure difference between the prediction and the RSMC Tokyo best-track data.



GSMの台風ごとの進路予測誤差(2018年)



(この事例ではどのセンターでも誤差は大きめ)

位置誤差が100kmを切っている事例はない。
⇒そもそも全体的に精度を向上することが必須。
⇒特に誤差の大きい事例にも対処していくことも必要。

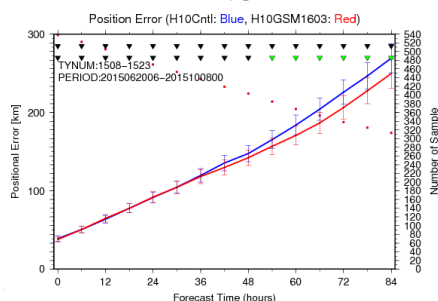
全体的に精度を向上するには総合的な改良が必要だろう。
誤差の大きい事例の原因分析はどう進めるべきか？ 予測可能性の限界はあるか？

評価・検証の手法の課題

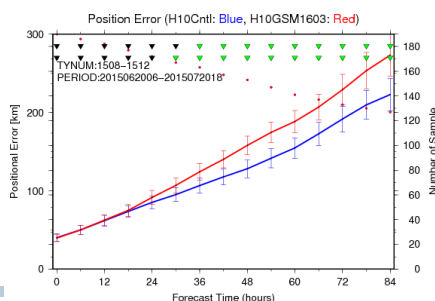
- 誤差の原因となっている問題の切り分け
 - 比較実験、たすき掛け実験、アンサンブル感度解析等の実施
 - 進路予測誤差は何が決めているのか？ 改善すべき問題点はなにか？
- 進路誤差のメカニズムの理解
 - 科研費基盤(B) (2018-2022年度)台風進路に関わる『藤原効果』の再考
 - 開発の経験的にも、台風が同時に複数存在する場合、モデル変更の効果を見極めるのが難しい。何をどう分析し改良につなげればよいか？

改良に際し、3つ連なったT1509～T1511でのみ大きな悪化がみられた例

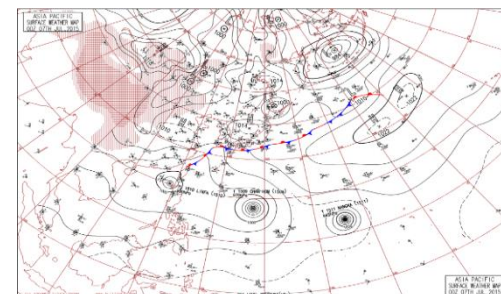
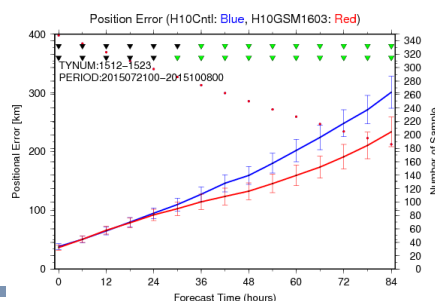
全期間



6,7月



8,9月



まとめ

- 台風防災の重点目標達成に向けて求められるもの
 - ⇒挑戦的・先進的研究による進路予測のブレークスルー
 - トップセンターの精度もこの10年停滞傾向
 - そもそも、3日先の誤差が100kmを切っている事例は少ない
- 予報モデル開発の‘Key Issues’
 - パラメタリゼーション改良
 - 高解像度化
 - 評価・検証の手法、誤差メカニズムの理解の進展など
- 開発項目はより細かくなっていくため、誤差原因の分析、改善を確認するメトリック、開発項目の優先順位がより重要に

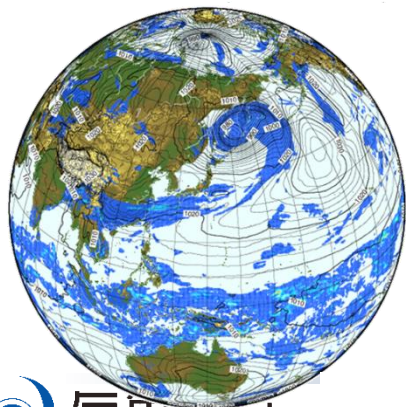
気象庁全球モデル・全球解析の概要

GSM: Global Spectral Model(全球モデル)

解像度: TL959(20km) / 100層(モデルトップ0.01hPa)
132時間予報(06, 18UTC初期値)、 264時間予報(00, 12UTC初期値)

GA: Global Analysis (全球解析、4D-Var/LETKFハイブリッド)

水平解像度: アウターモデル: TL959(20km)、インナーモデル: TL319(約55km)
LETKFの予報・解析解像度もTL319(約55km)
同化ウィンドウ: -3時間～+3時間



詳細は数値予報課報告 別冊第65号や62号等に記載があります。
<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/nwpreport/nwpreport.html>