



# 気象庁全球モデルを用いた 台風進路予測研究

京都大学防災研究所 榎本剛

第14回気象庁数値モデル研究会 「台風進路予測の改善に向けて」

2022年12月12日（月） 13:30～17:00

気象庁本庁舎11階会議室3（中）+オンライン

# 謝辞

- 気象庁GSM及び初期値は、気象庁情報基盤部と京都大学との共同研究「台風防災に資する気象庁全球スペクトルモデルGSMの改良に関する研究」の下、気象庁より提供を受けました。
- 気象庁 情報基盤部 数値予報課 数値予報モデル技術開発室の黒木志洸様、氏家将志様から必要なデータ提供を受け、両氏と気候情報課 竹村和人様GSMの実行方法についてのご教示をいただきました。
- 気象庁MSM・レーダーは京学生存圏研グローバル大気観測データベース、アンサンブル予報はTIGGEデータベース、GPM-GMI画像はJAXA/EORC台風データベース (Ver. 1.6)、MGDSSTはNEAR-GOOS地域リアルタイムデータベース、ひまわり8/9号グリッドデータは千葉大CEReSから入手しました。
- 本研究は科研費19H05698・22J21757の助成を受けました。
- 本研究は京都大学大学院理学研究科 地球惑星科学専攻 博士後期課程1年 中下早織との共同研究です。

# 本日の話題

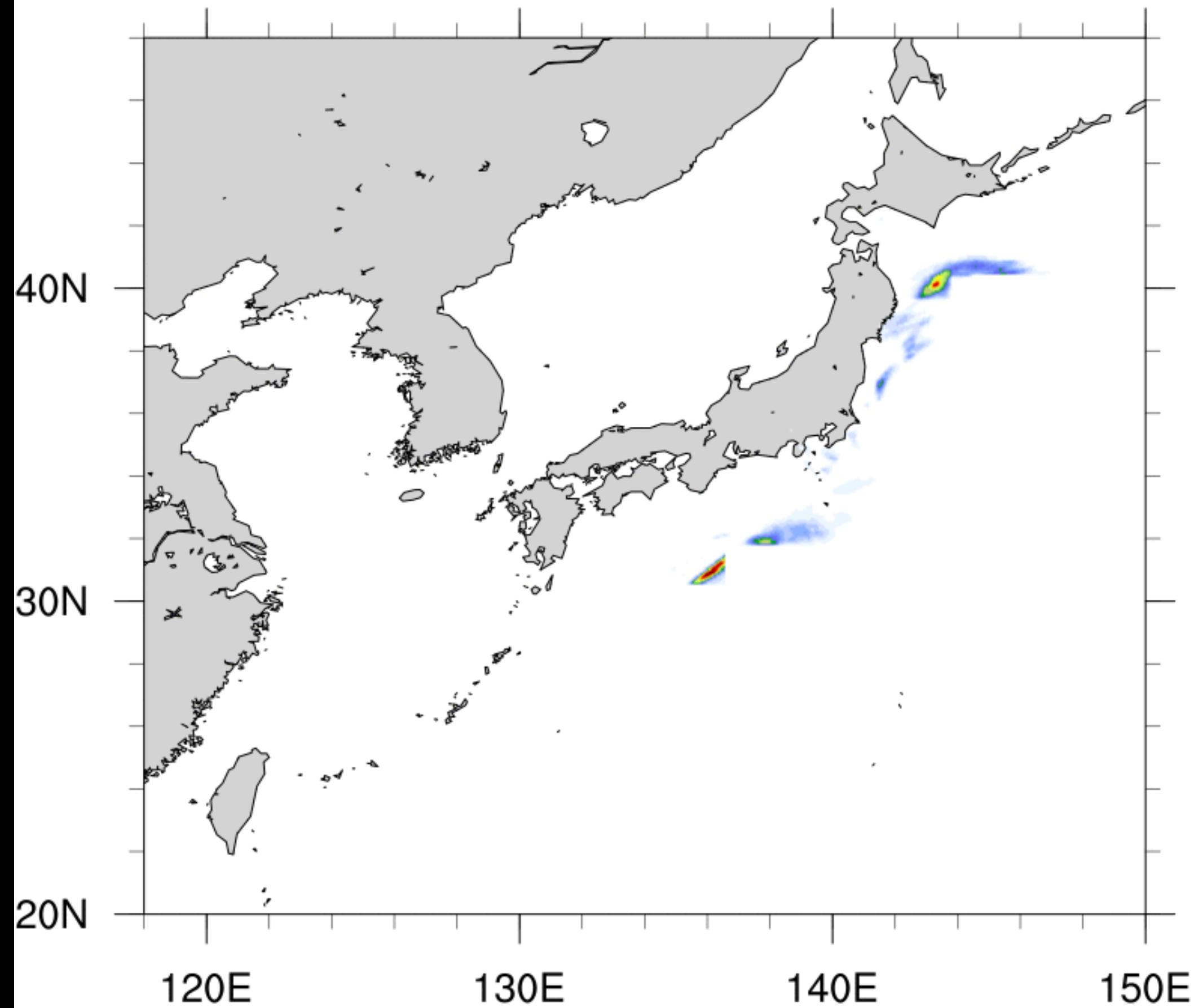
- 令和元年東日本台風（2019年台風第19号、Hagibis (2019)）についての予測可能性について検討する。
- アンサンブル予報を用いた感度解析により、位置の誤差が増加した要因を特定する。
- 摂動を加えた予報実験を行い、アンサンブル感度解析の結果を検証する。
- 海面水温に対する依存性について調べる。

# 2019年台風第19号

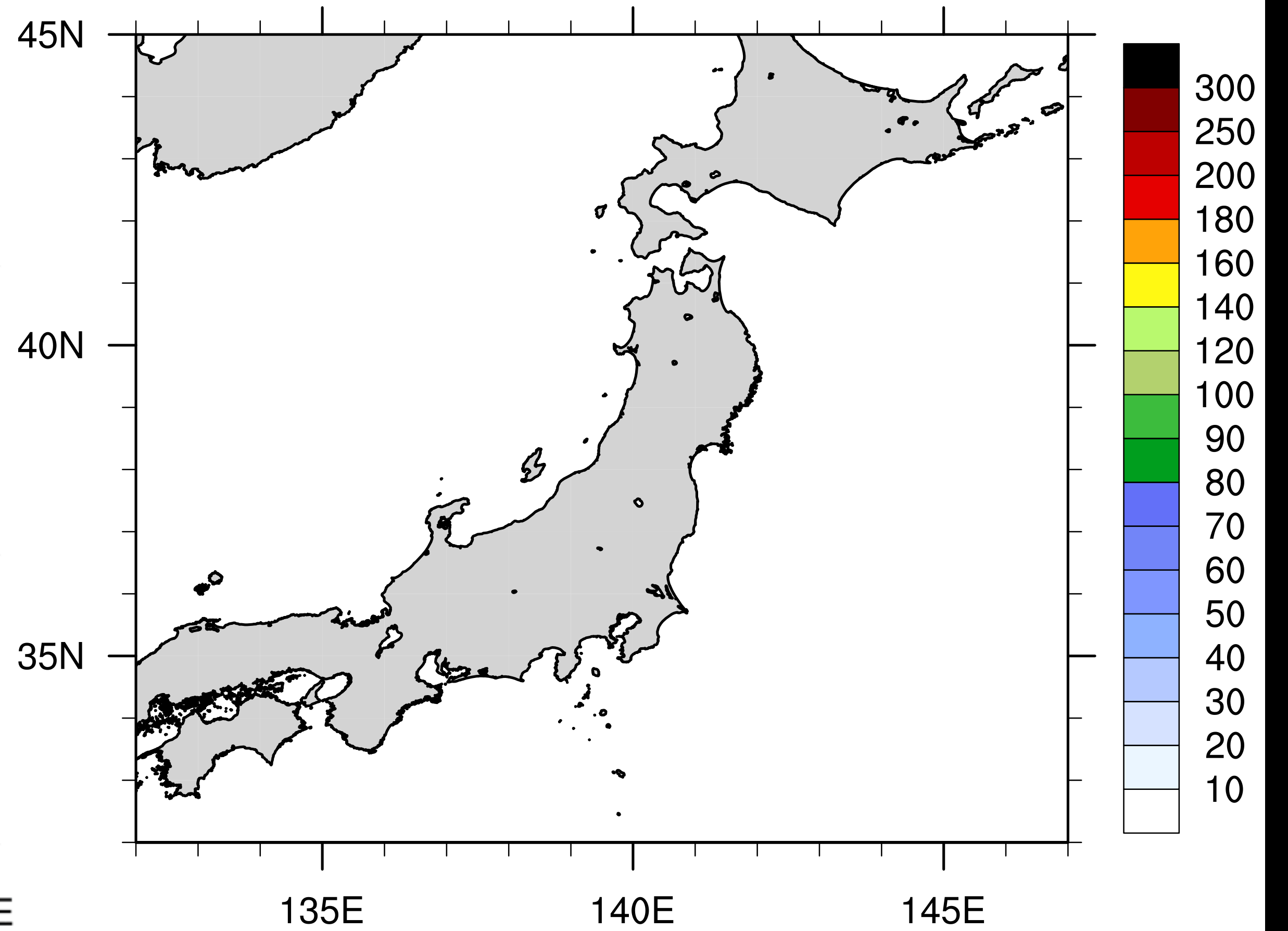
## JMA Radar

hourly prcp mm

2019101101



2019/10/12の日降水量





# 台風第19号による災害

- 令和元年東日本台風
- 伊豆半島付近に上陸時40 m/s, 955 hPa
- 箱根で1000 mm
- 死者98人, 237,000人避難
- 家屋損壊91,000棟
- ライフラインや交通の寸断
- 71河川の140 個所で決壊
- 被害額1.8兆円



宮城県丸森町の浸水被害の状況  
(山形県消防防災航空隊提供)



福島県須賀川市の浸水被害の状況  
(福島県消防防災航空隊提供)



長野県長野市の浸水被害の状況  
(埼玉県防災航空隊提供)

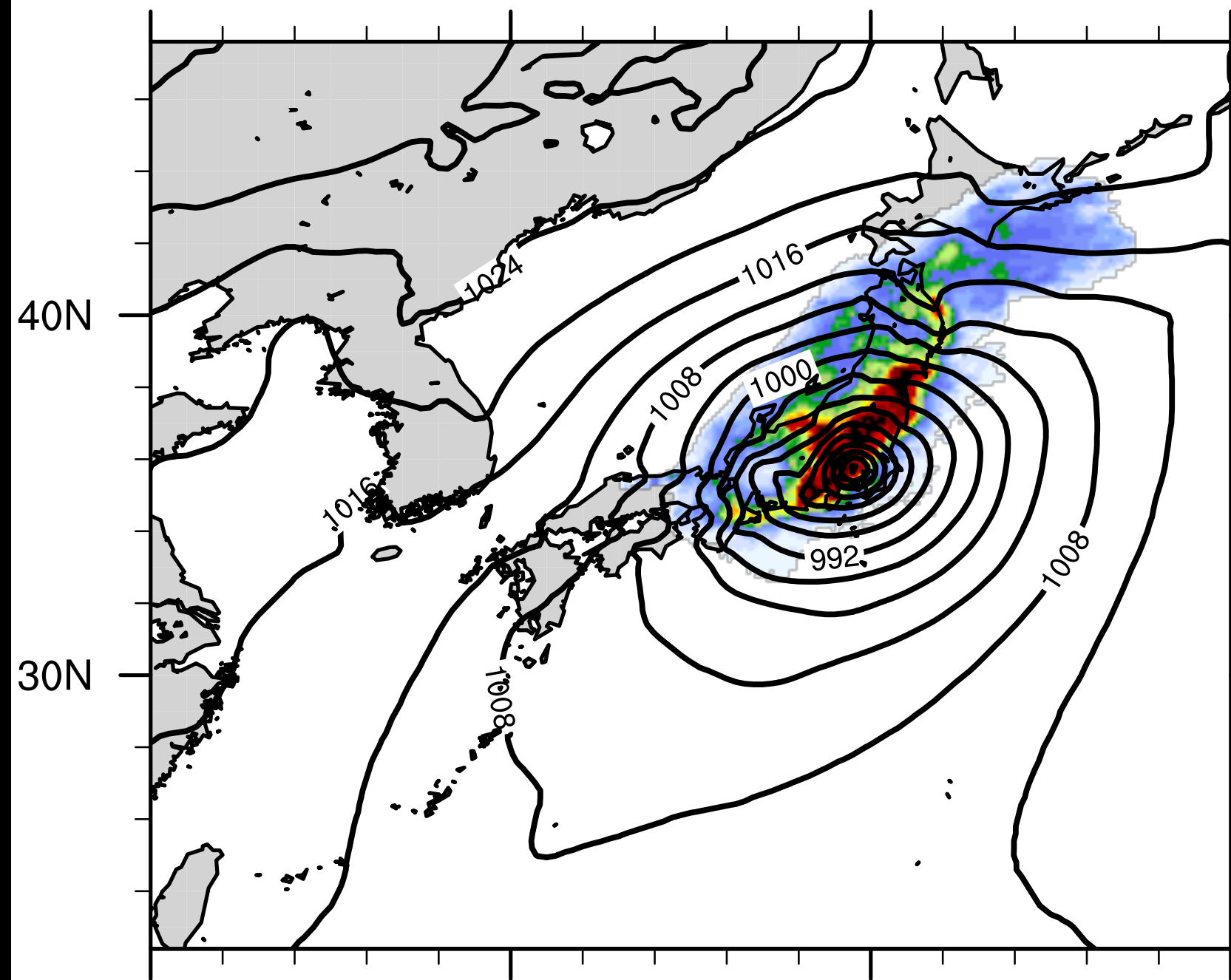


福島県郡山市内の浸水被害の状況  
(郡山市消防本部提供)

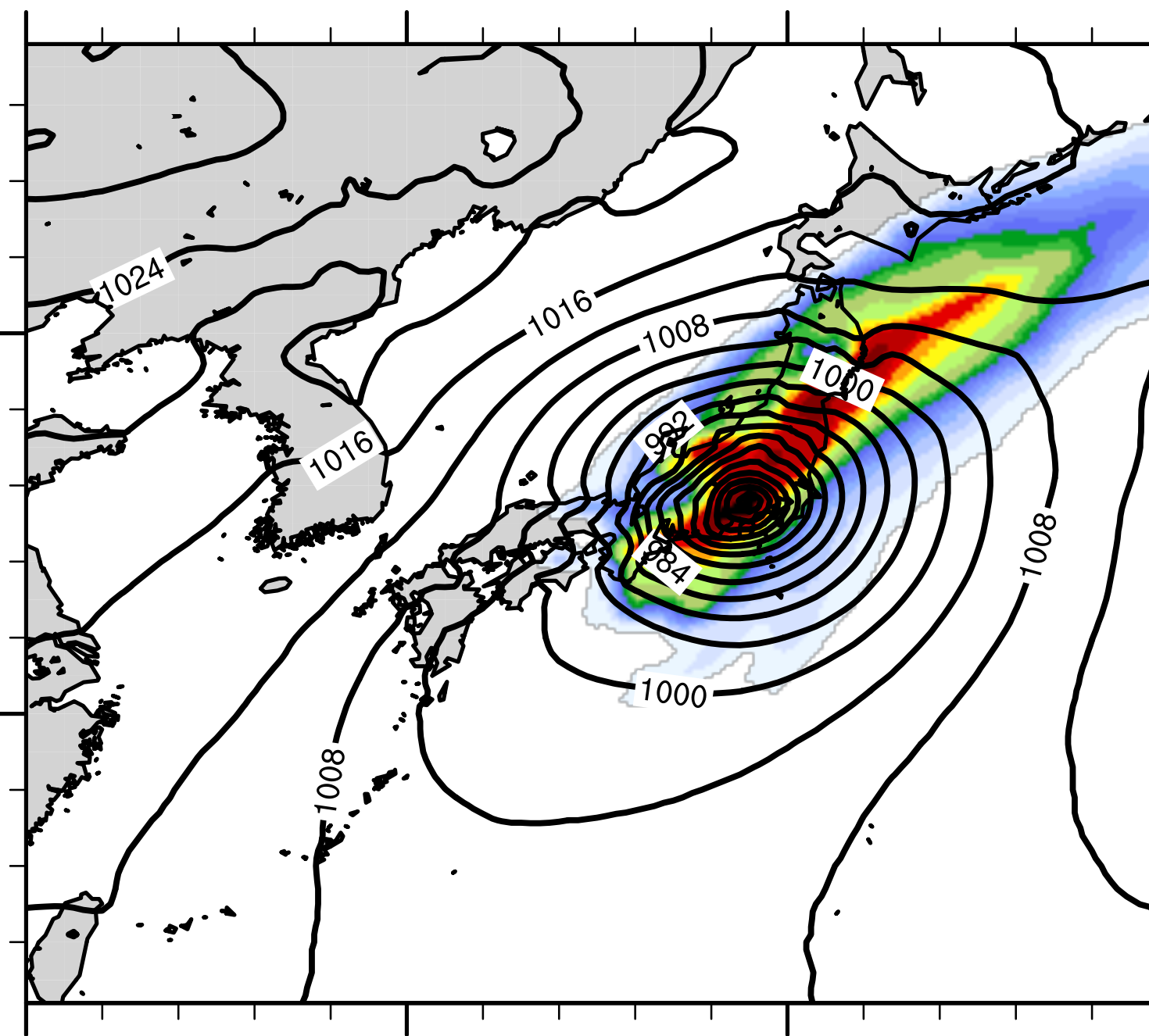


# 気象庁決定論的予報

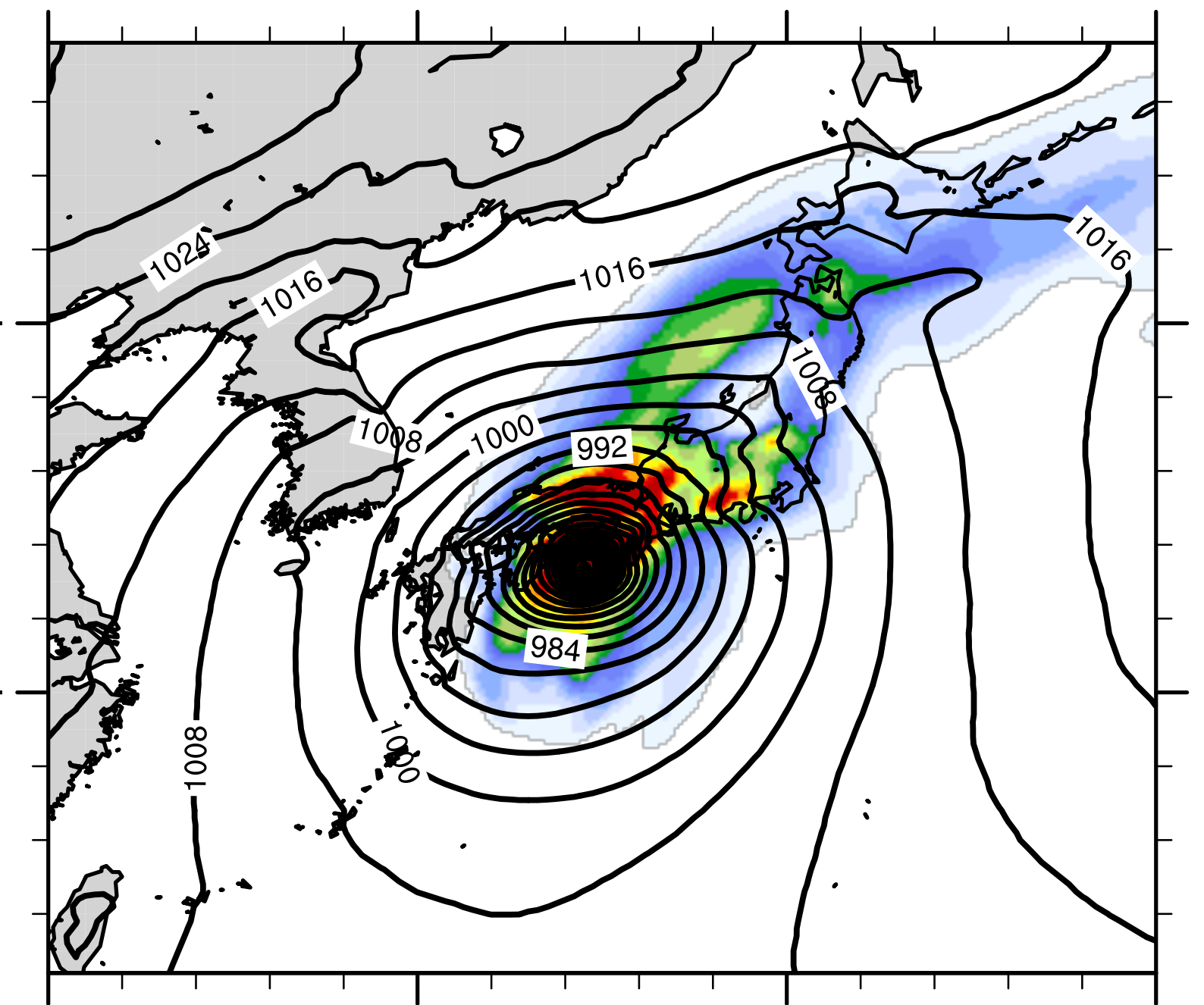
検証時刻 10/12



初期時刻 10/7



初期時刻 10/6



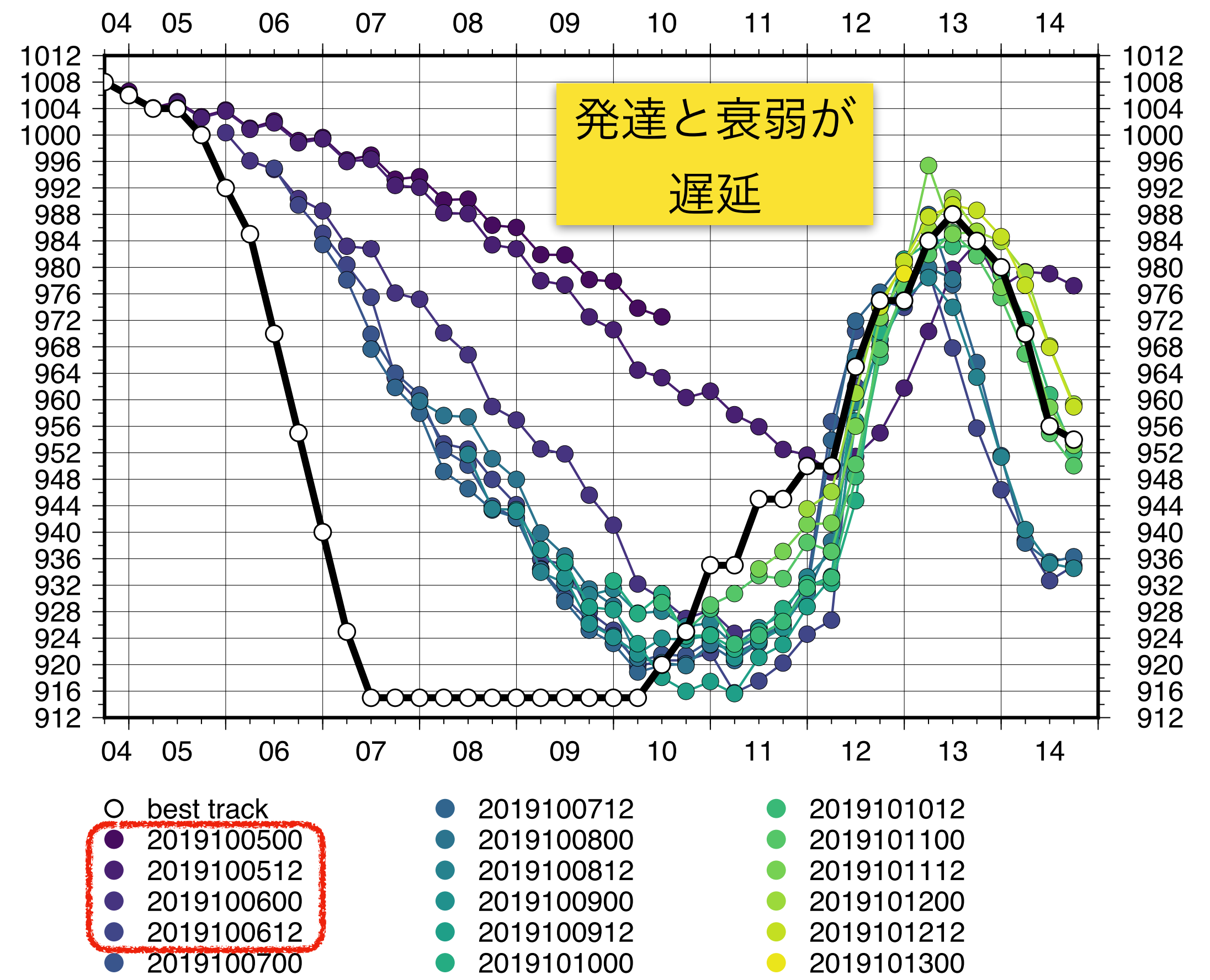
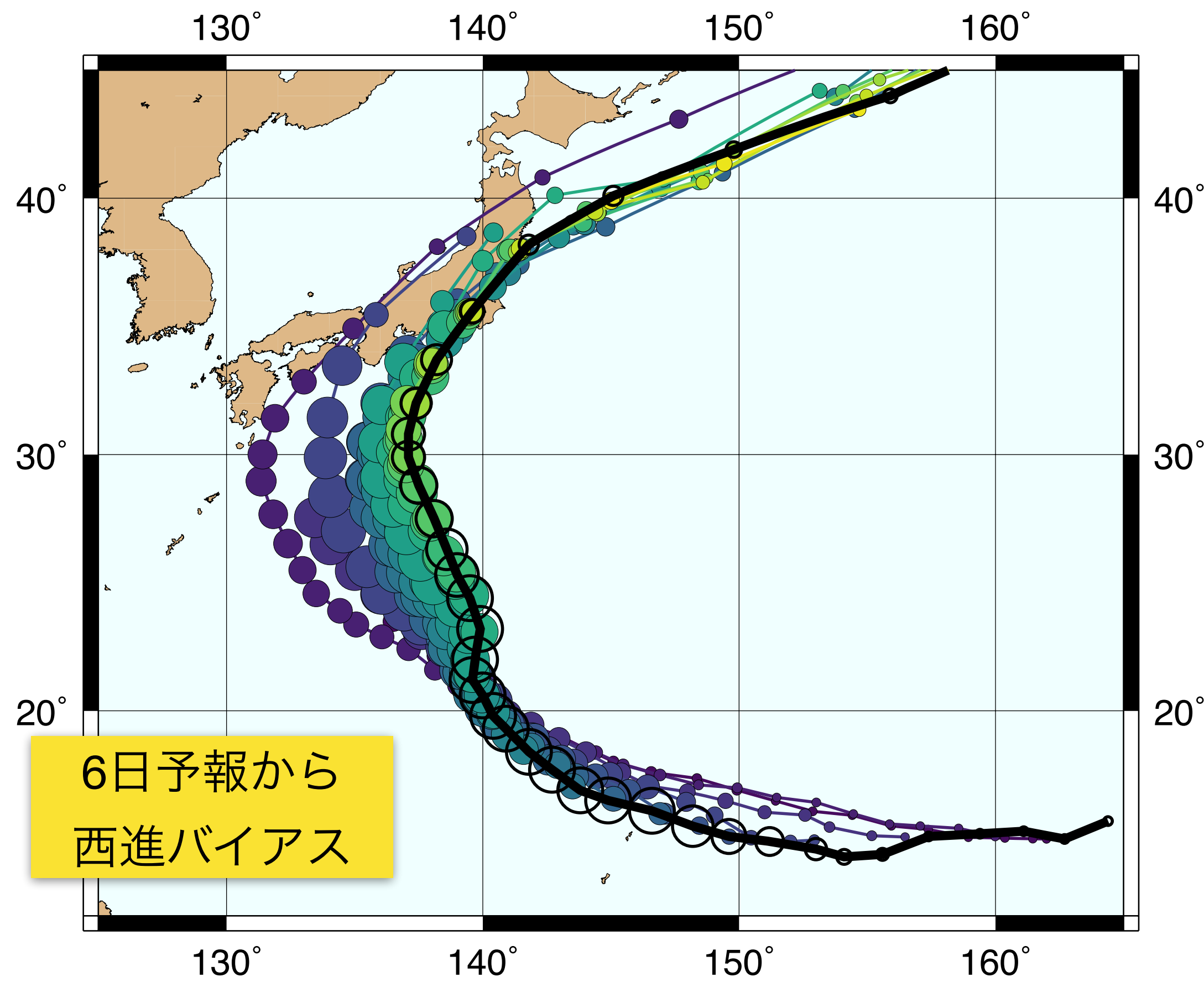
日降水量



10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 120 140 160 180 200 250 300

12 UTCの海面気圧 CONTOUR FROM 928 TO 1032 BY 4

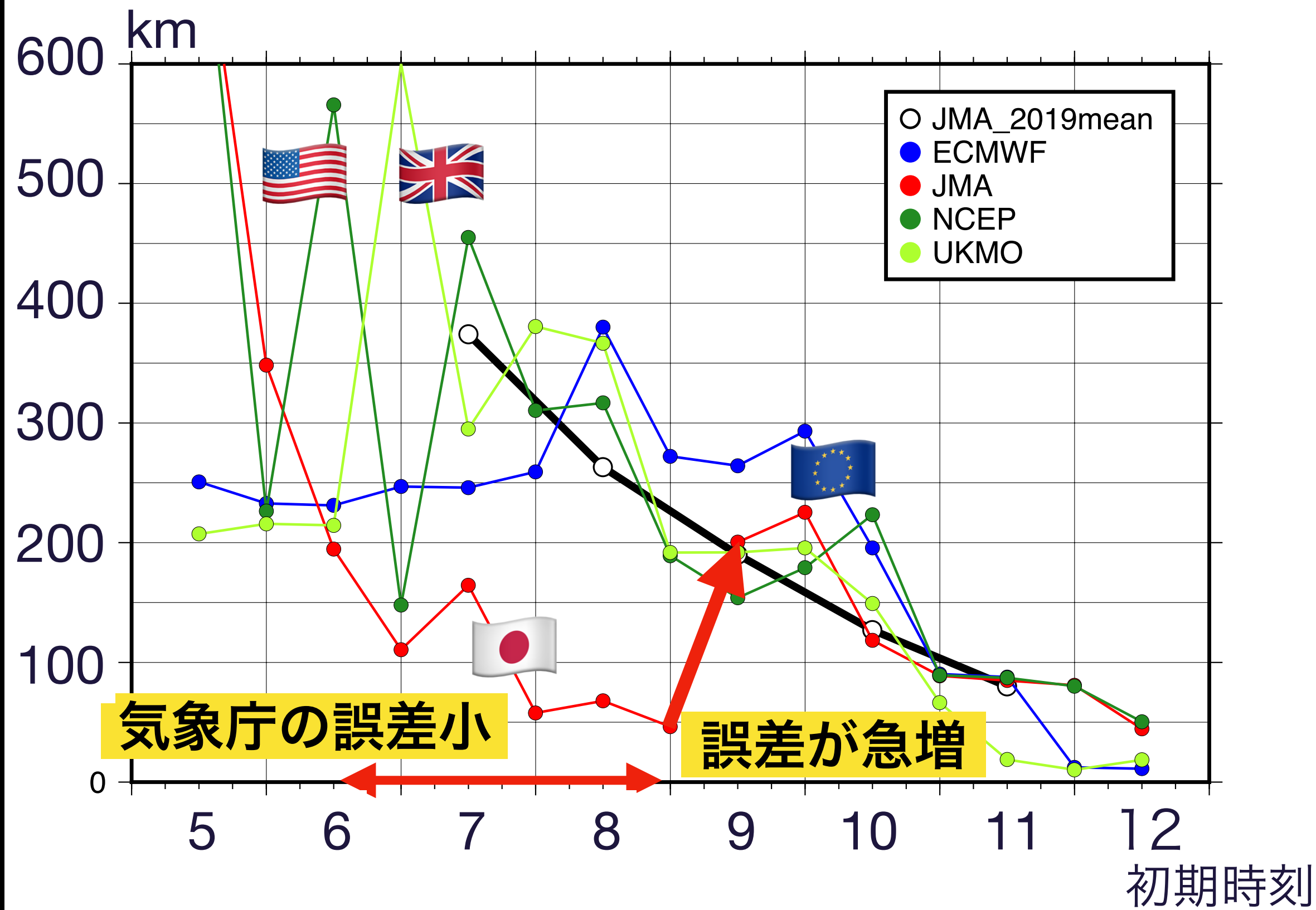
# 予報経路と中心気圧



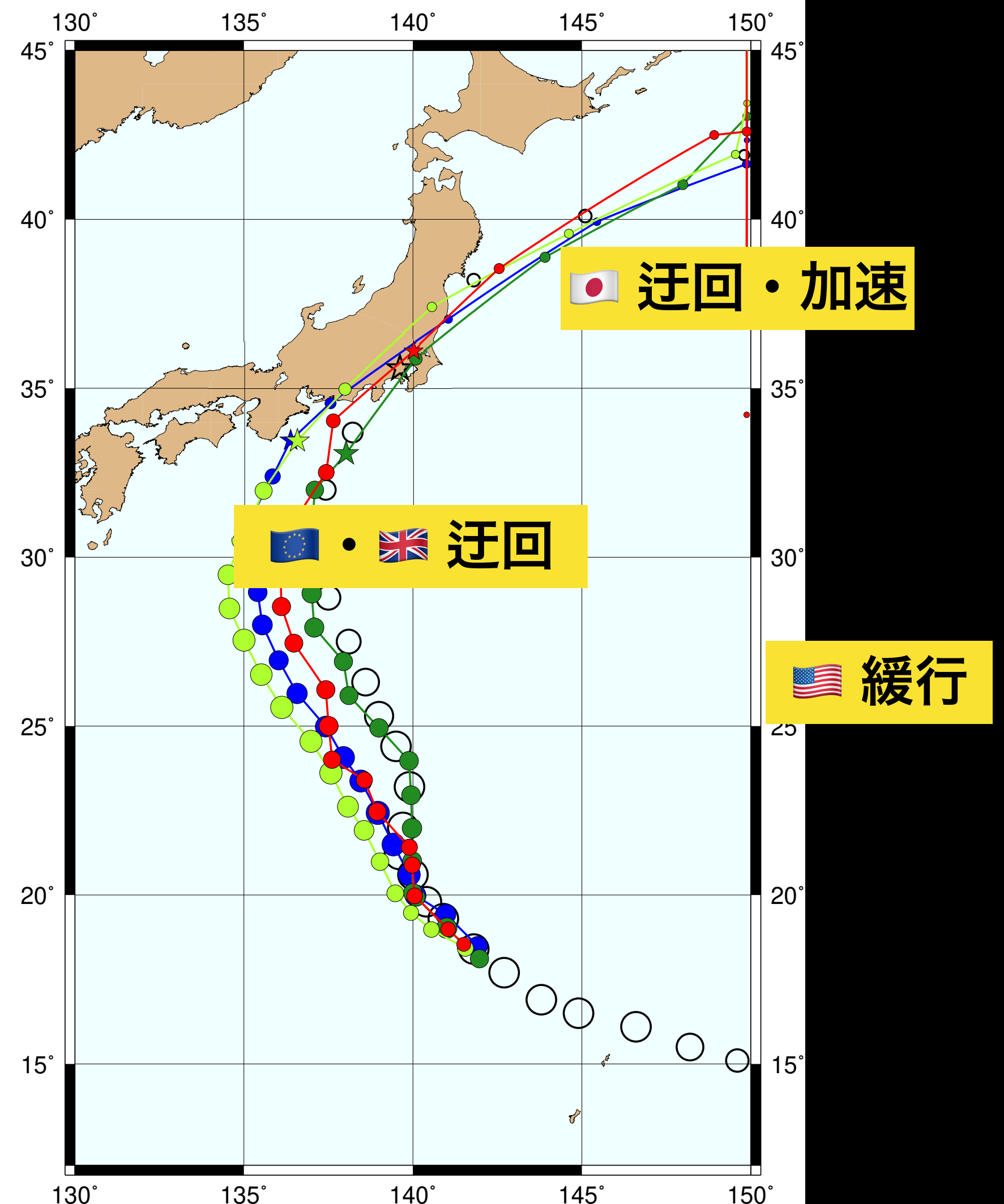


# 主要センター間比較

(a) 12日12 UTCにおける位置の誤差



(b) 8日12 UTCからの予報進路

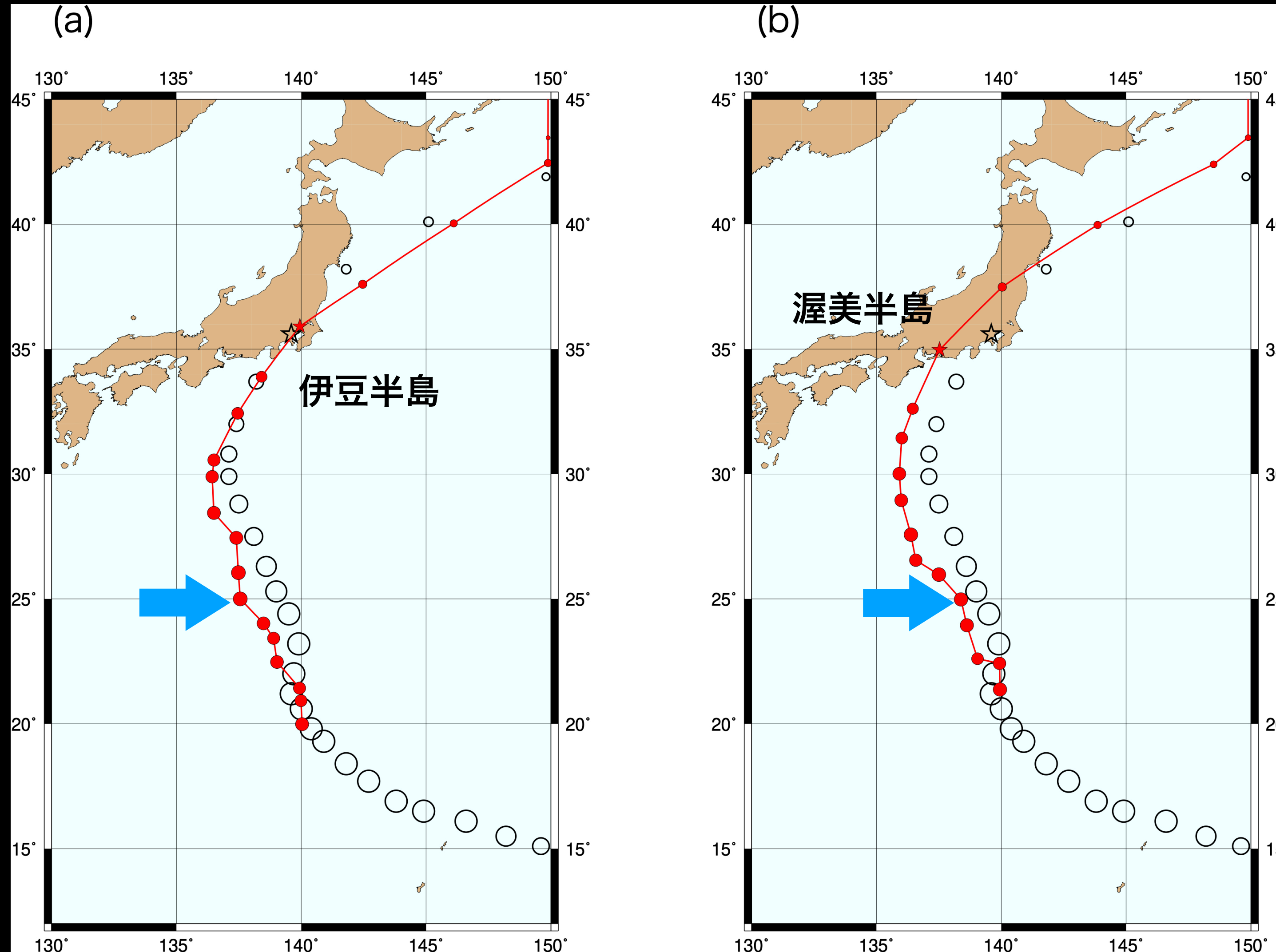


# 上陸位置の西偏

検証時刻10/12 UTC

初期時刻

10/9 0 UTC



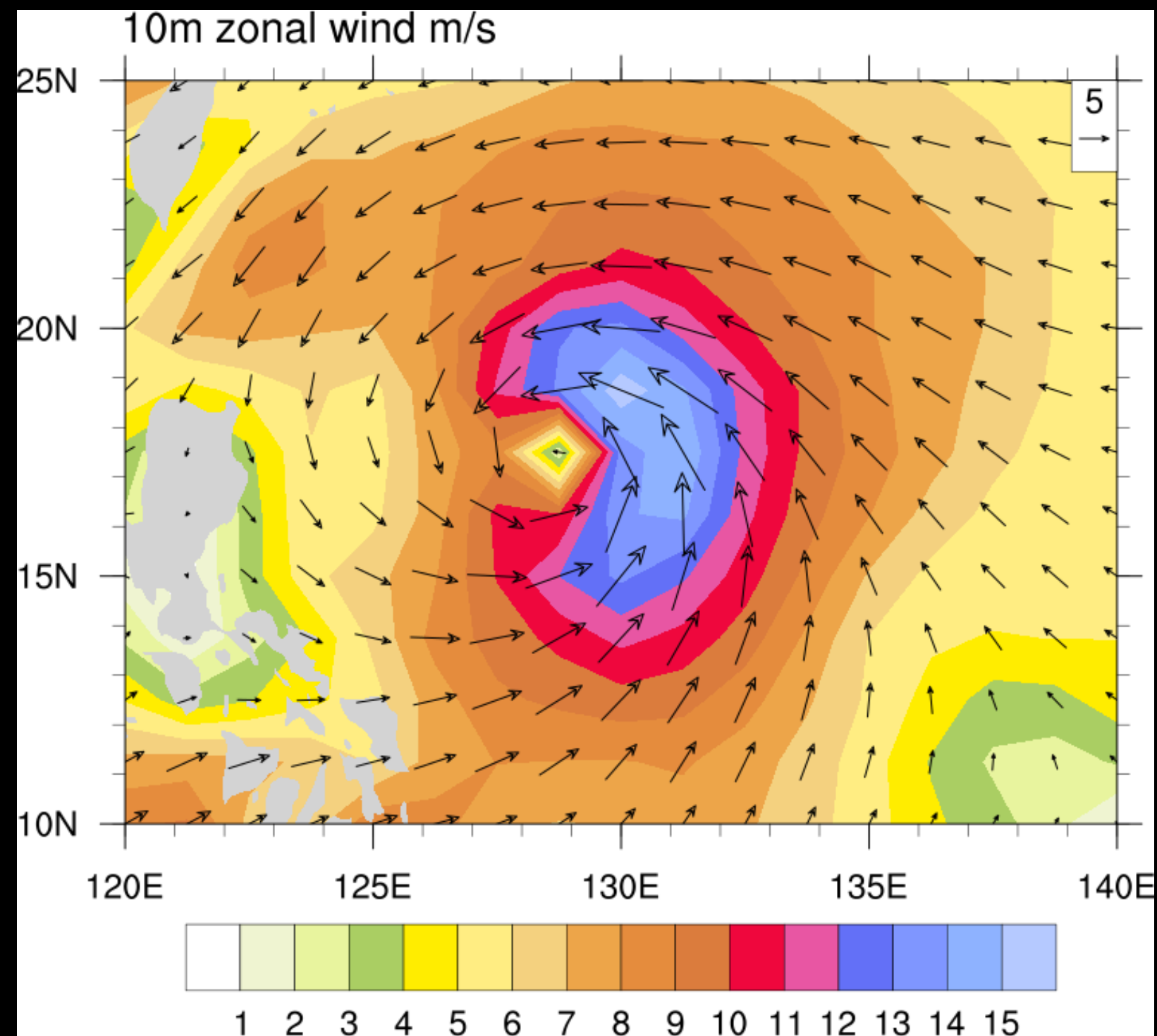
初期時刻

10/9 12 UTC

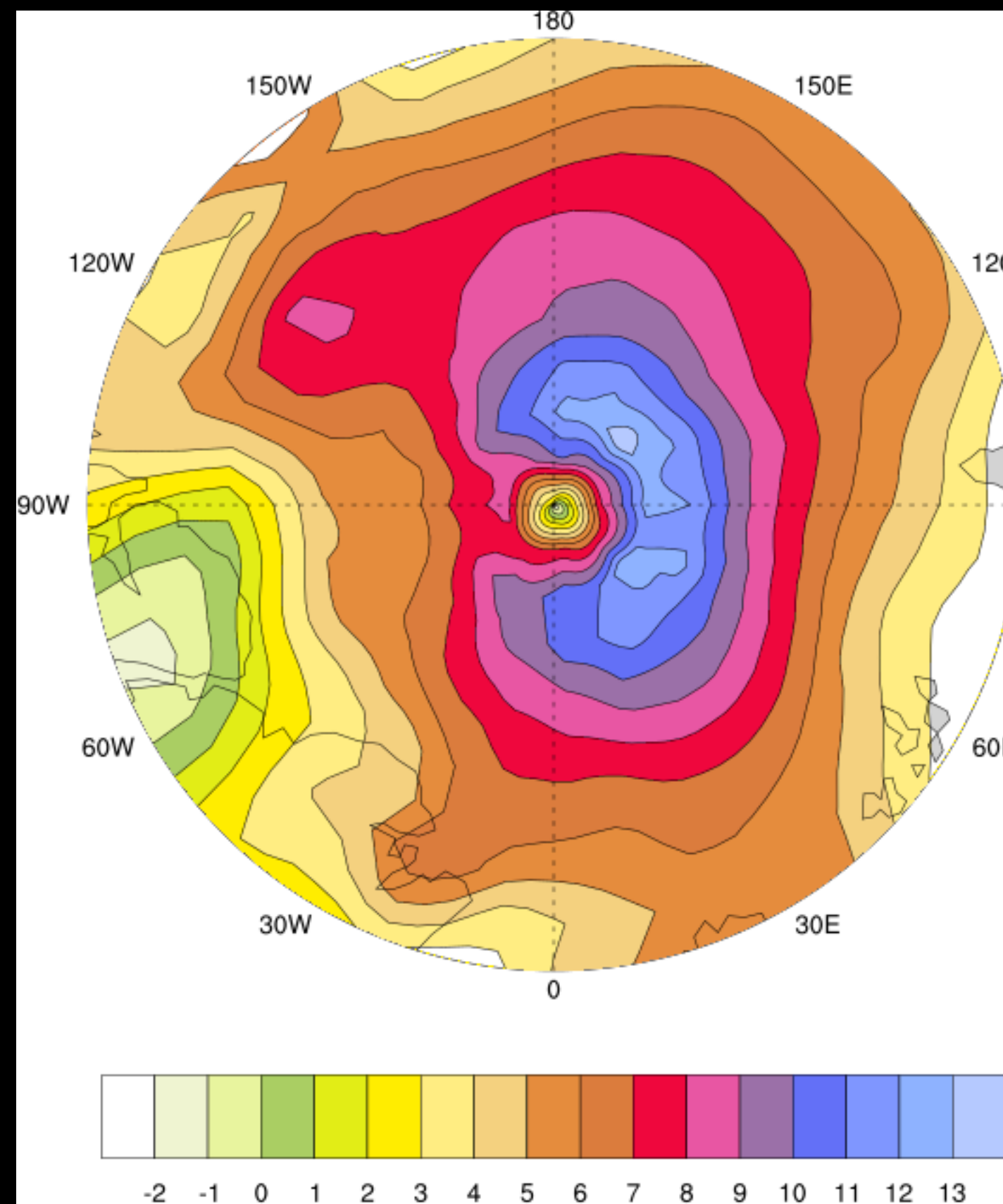
# 台風を極に置く

2012年9月14日 00 UTC 台風第16号

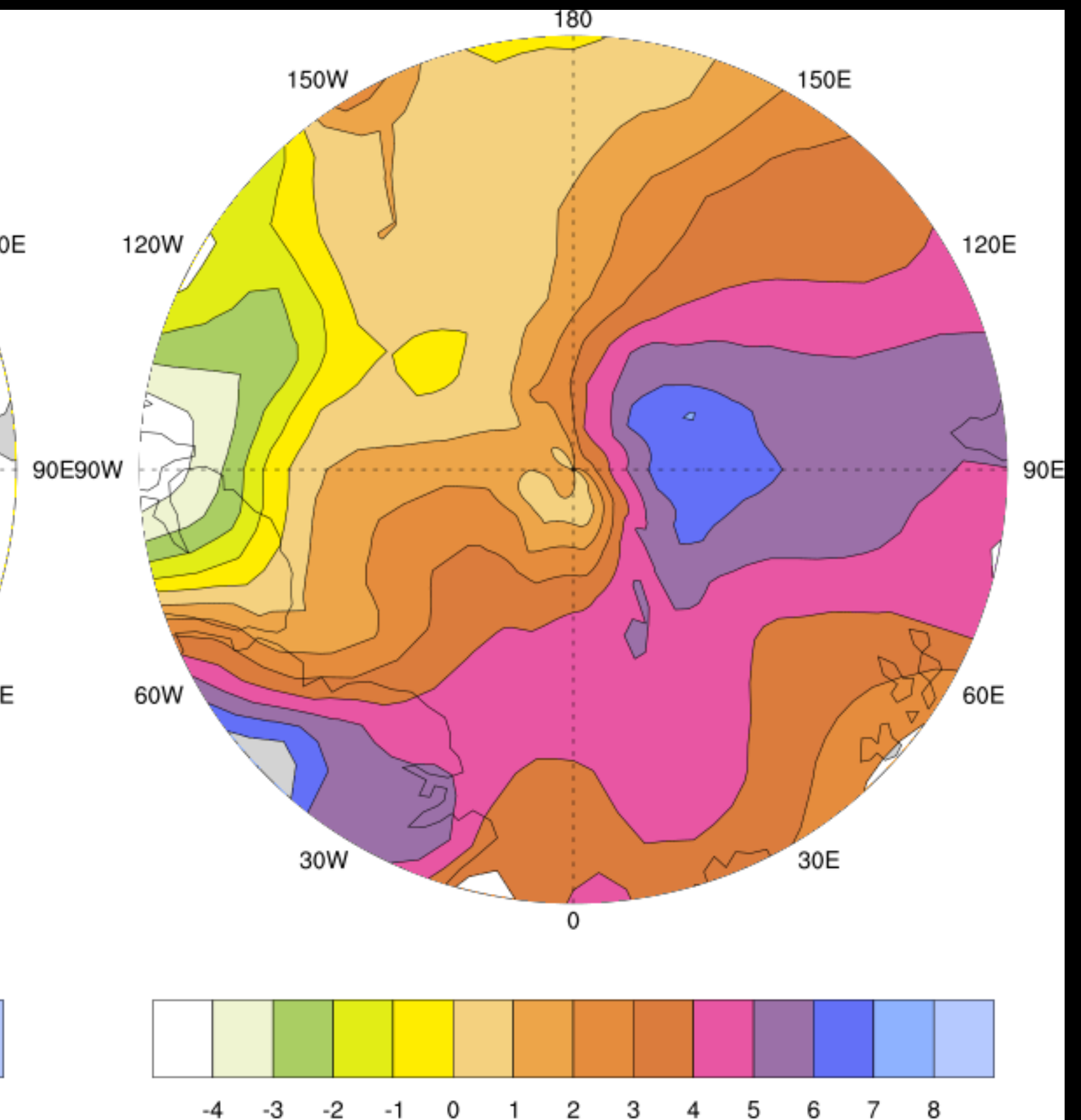
ALERA2 10 m風



東西風=接線風

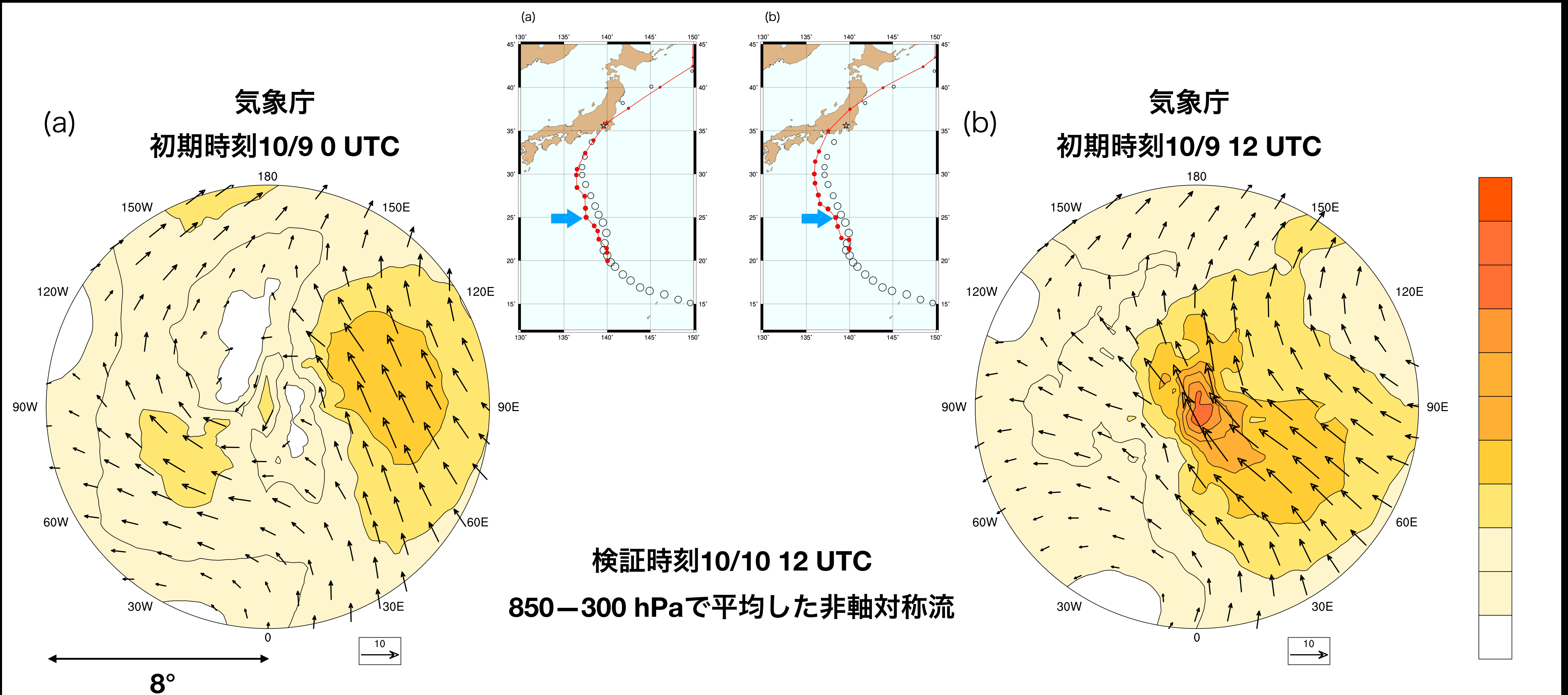


南北風=動径風

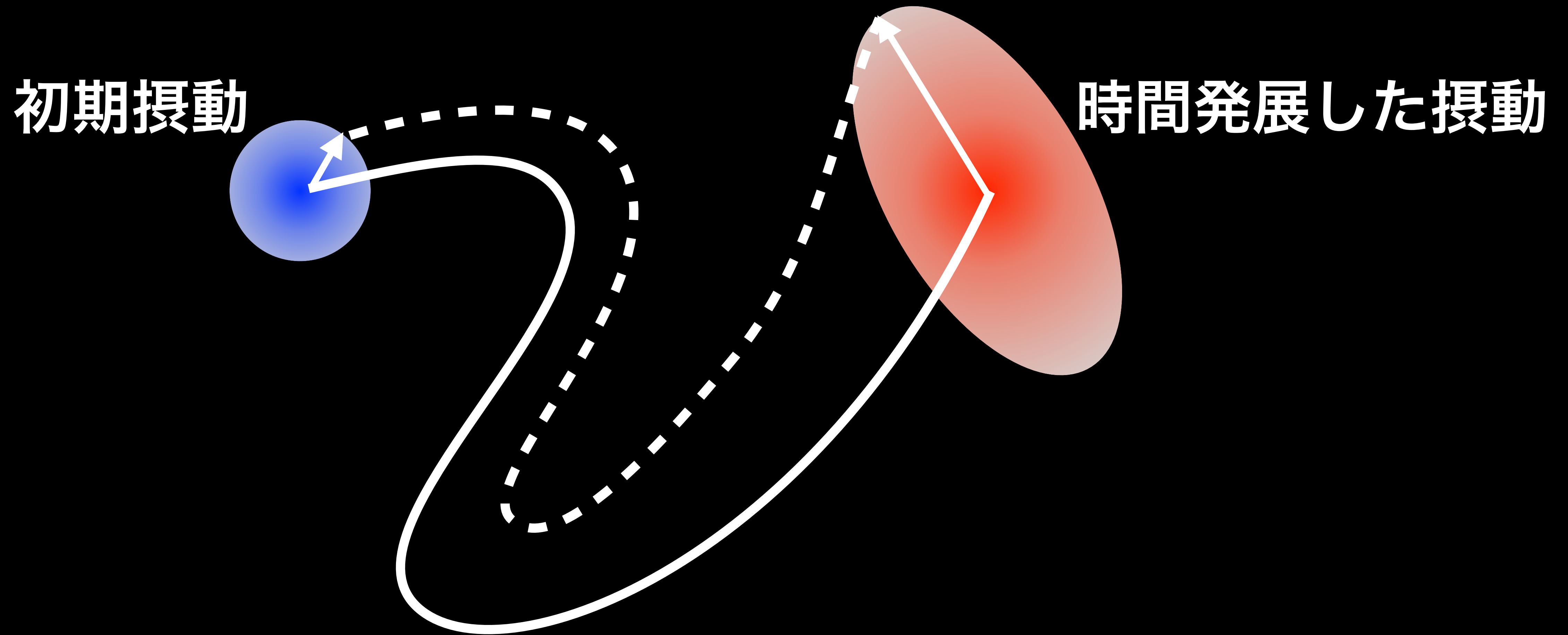




# 初期時刻敏感性

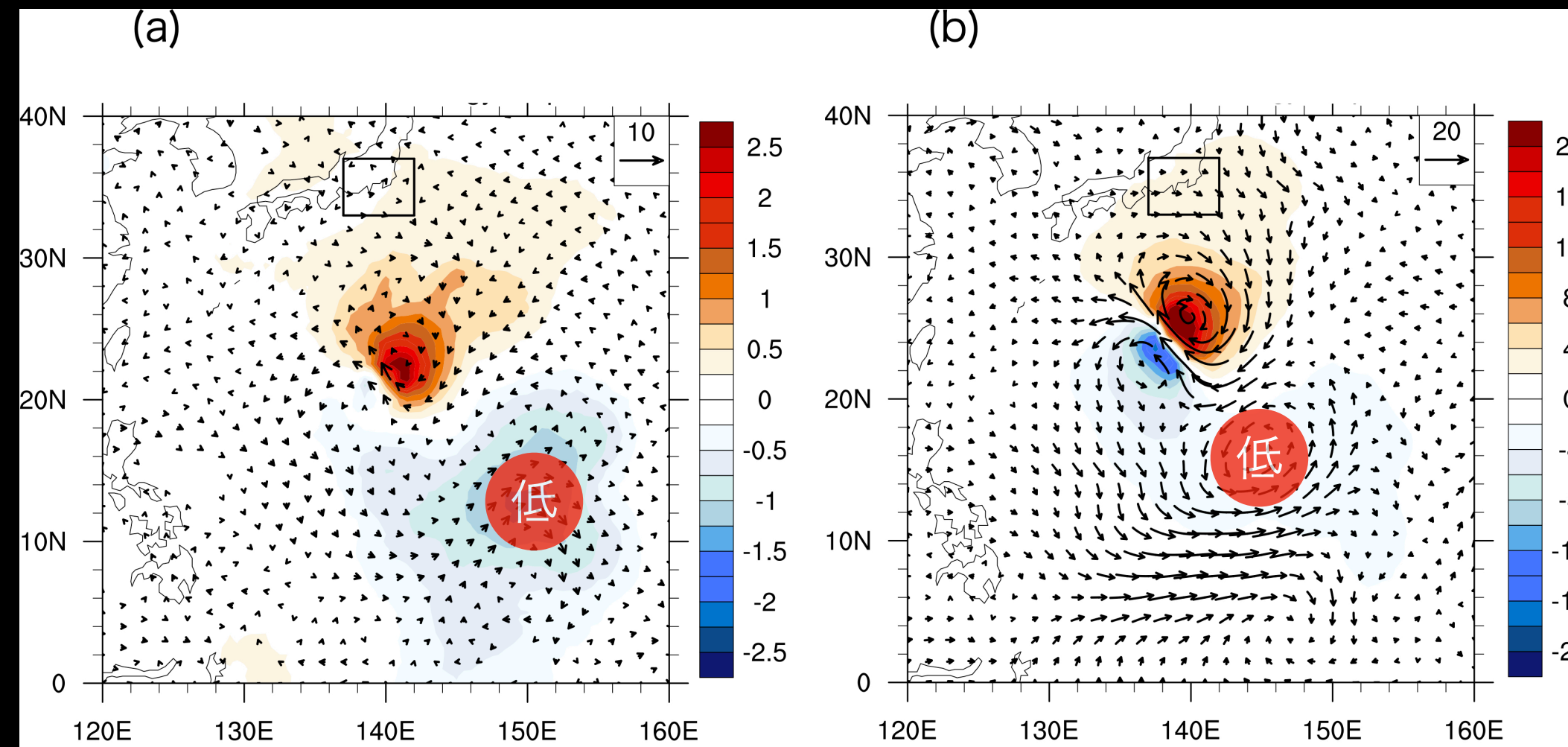


# 感度解析



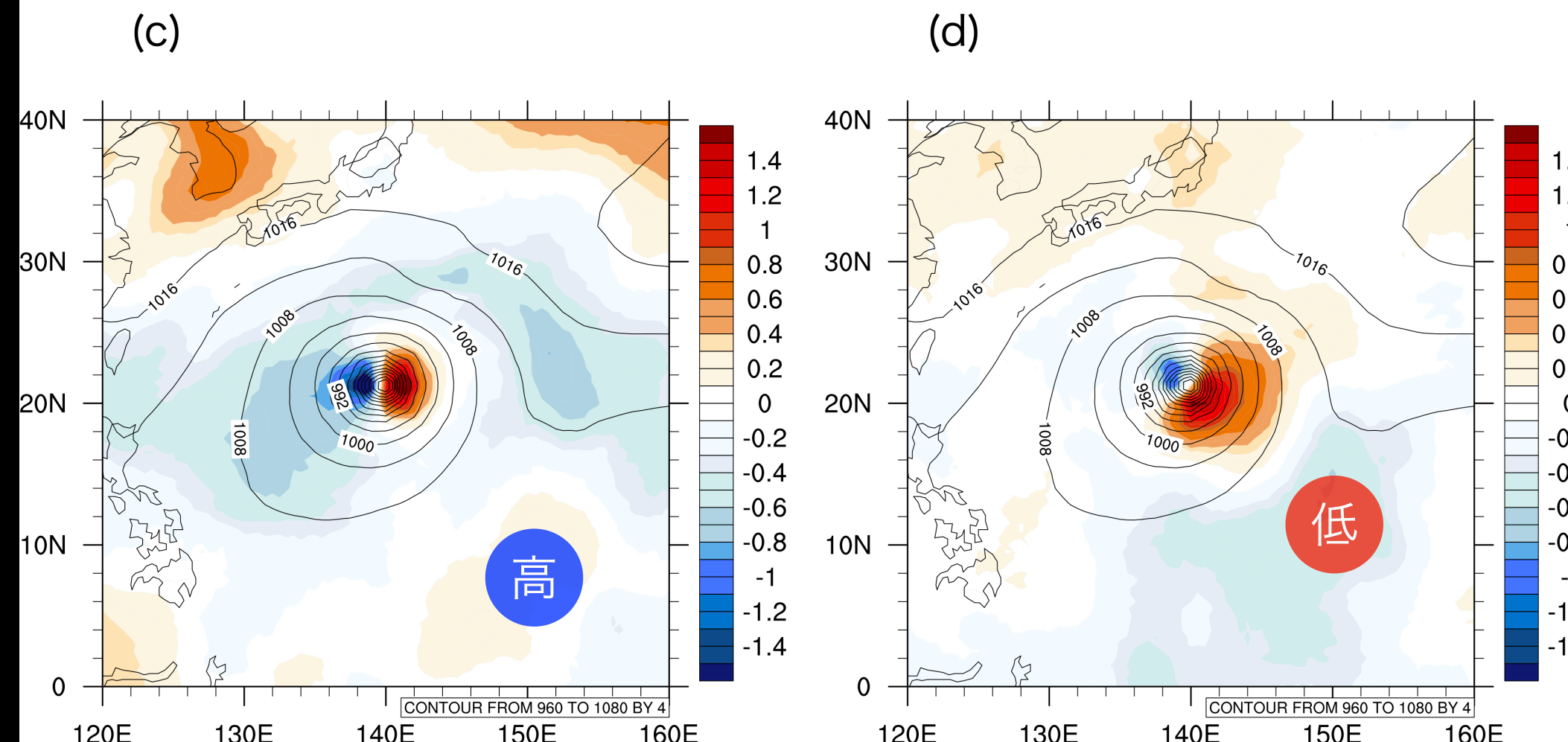
# アンサンブル感度解析

悪化させる  
初期擾乱



24時間後

誤差最小  
メンバー



誤差最大  
メンバー



# 全エネルギー擾動の時間発展

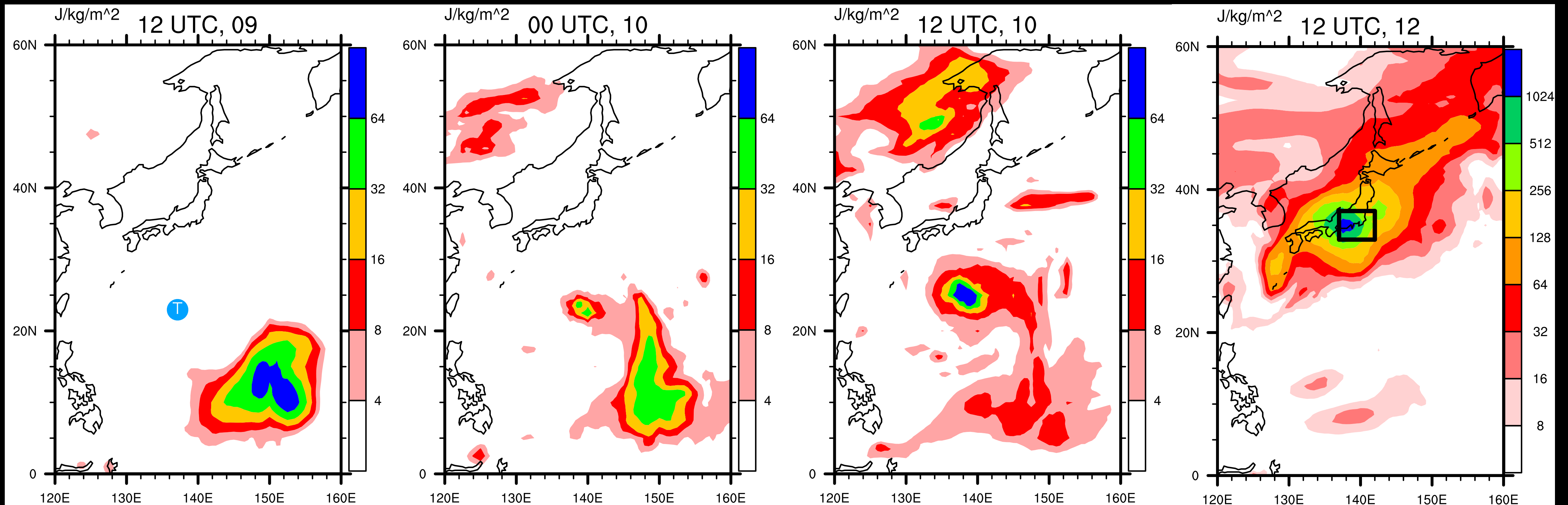
鉛直に積算した湿潤全エネルギー擾動

初期時刻 10/9 12 UTC

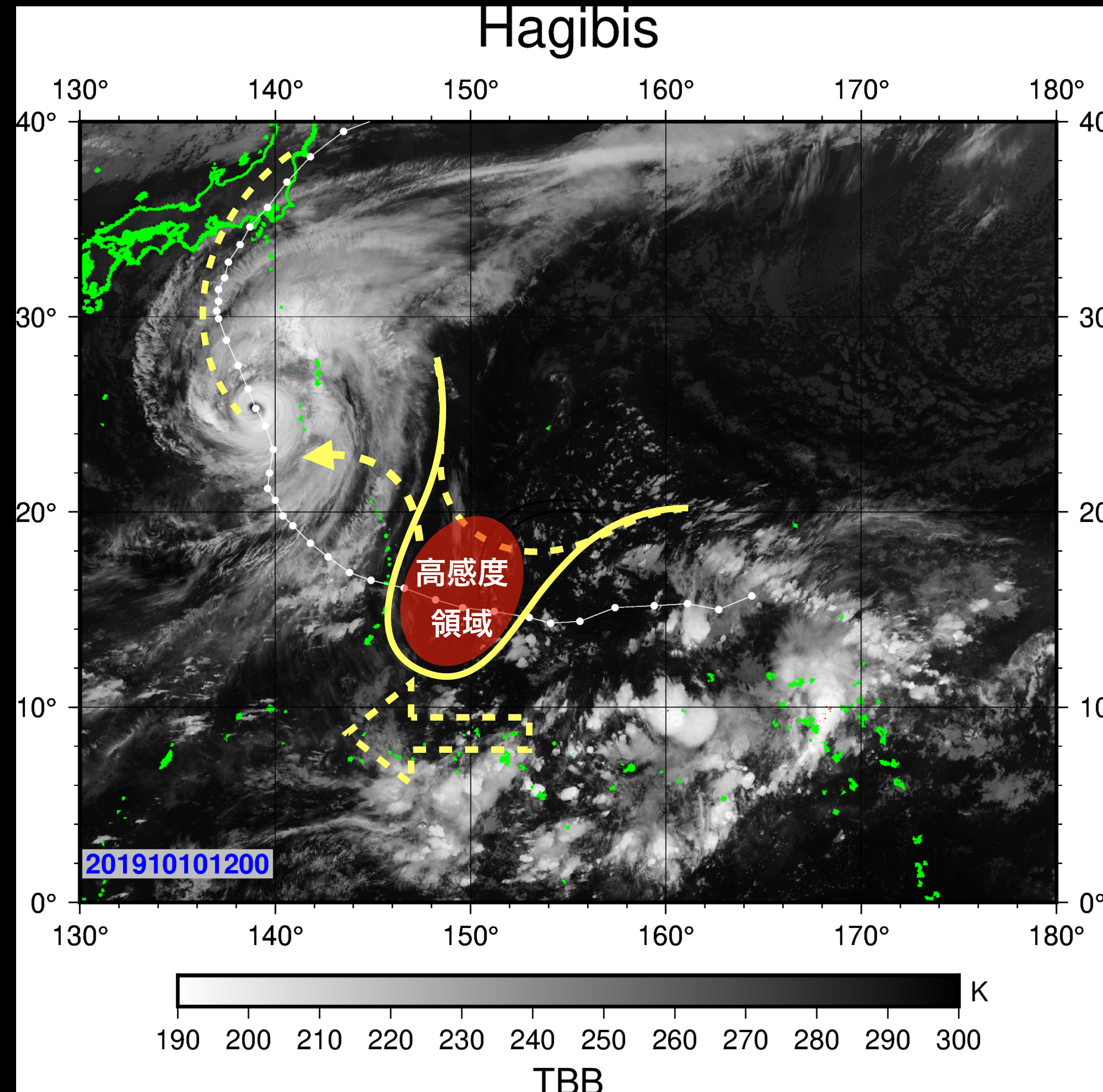
半日予報 10/10 0 UTC

1日予報 10/10 12 UTC

3日予報 10/12 12 UTC



# 気圧の峰に高感度





企業・研究者の方

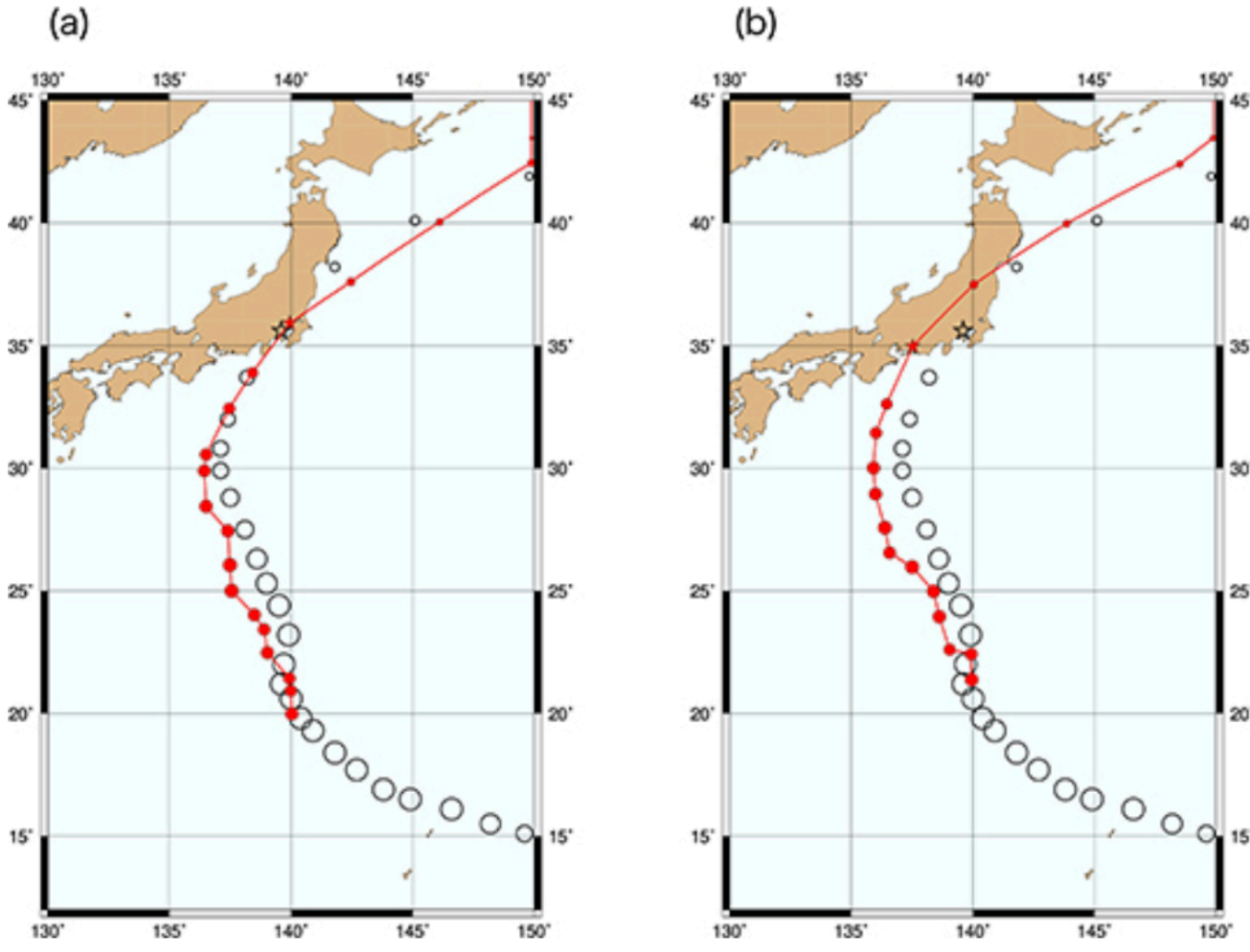
公開日：2021年04月20日

中下早織 理学研究科修士課程学生、榎本剛 防災研究所教授は、令和元年東日本台風（台風第19号）に関する気象庁を含む主要な4つの機関による予報を比較検証しました。

台風第19号は東日本を中心に甚大な風水害をもたらしました。台風第19号は10月6日に南鳥島付近で発生後、大型で猛烈な台風に発達し、大型で強い勢力を維持したまま12日19時（日本時）頃伊豆半島付近に上陸しました。台風第19号の進路予報を検証することは、今後同様な台風が接近・上陸が予想された場合の対応を検討する上で参考になります。

上陸の6～4日前からの気象庁の予報は群を抜いて精度が高く、3日半前の予報では伊豆半島付近への上陸を正確に予報していました。ところが、3日前からの予報では上陸位置が西にずれ渥美半島付近に変わりました。誤差急増の要因を特定するため、榎本教授らが考案したアンサンブル感度解析手法を用いて調べたところ、進路は9日に台風の南東に位置していた熱帯擾乱に敏感であることを突き止めました。熱帯擾乱が速く発達すると、台風の進路を西にずらすことがわかりました。

本研究成果は、2021年4月20日に、国際学術誌「SOLA」に掲載されました。



図：気象庁の予報における台風第19号の中心位置（●）と観測から推定された中心位置（○）。





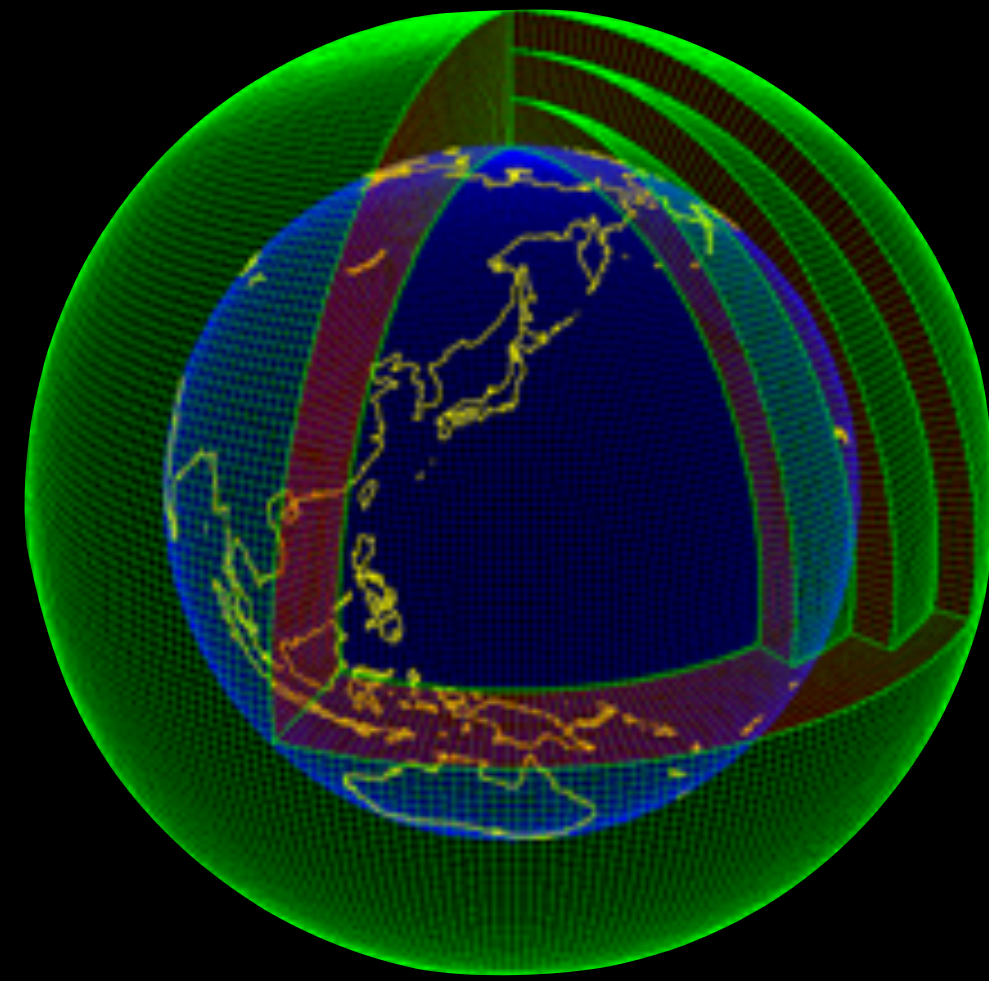
# センター間比較及び感度解析

- 2019年台風第19号の進路の予測可能性をアンサンブル予報を用いて調べた。
- 気象庁の上陸位置の予報精度は、2019年の平均や他センターと比較して上陸3日前まで非常に高かった。
  - 気象庁以外のセンターでは進行速度を過小評価する傾向が見られた。
- 気象庁の予報は上陸3日前に精度が急激に悪化し、上陸位置が西にずれた。この要因をアンサンブル感度解析によって調べ、台風南東のリッジが進路に影響を与えたことを特定した。

# GSMによる感度解析の検証実験

# モデルの設定

気象庁GSM (全球スペクトルモデル)

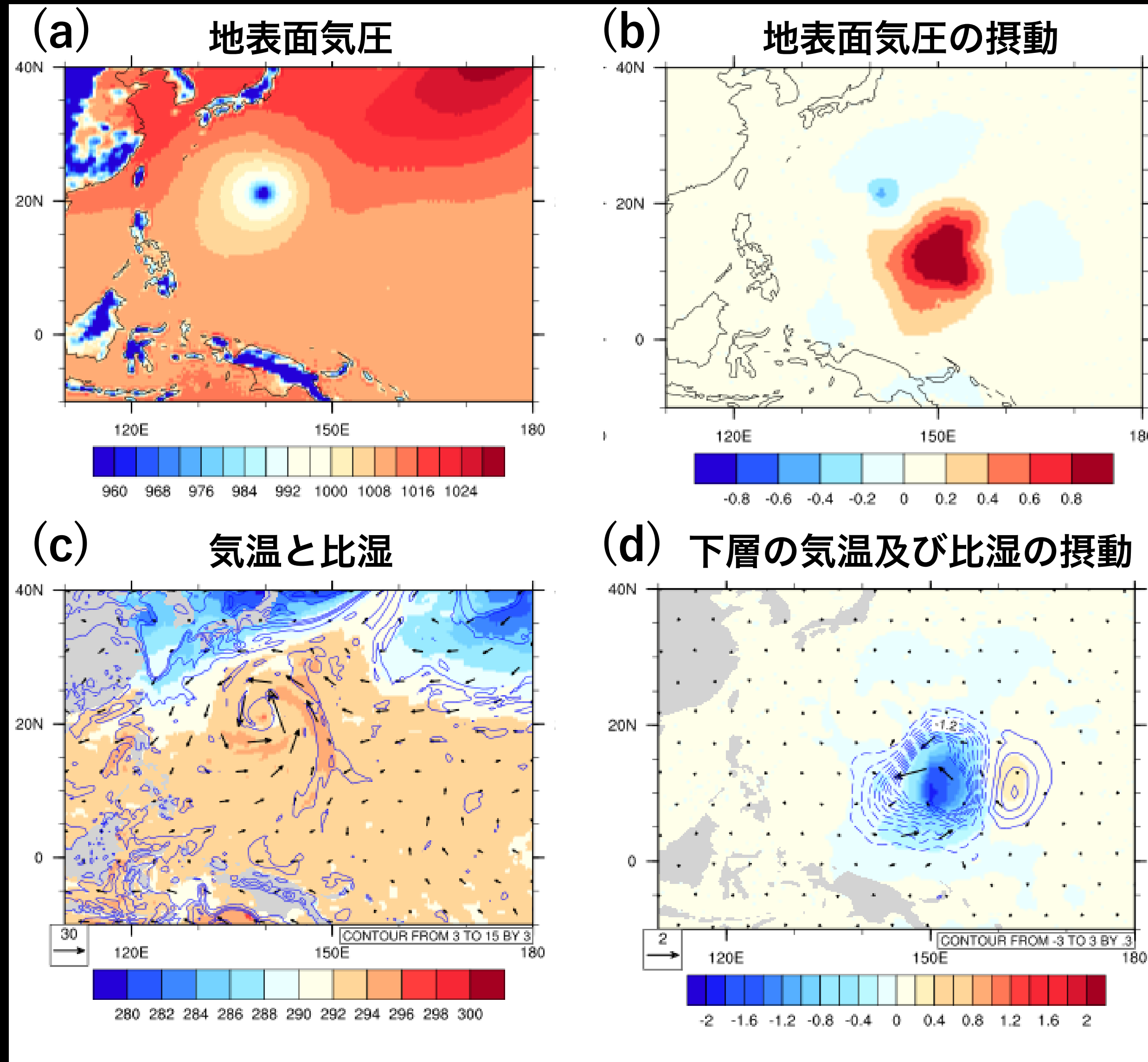


京都大学スーパーコンピュータシステム

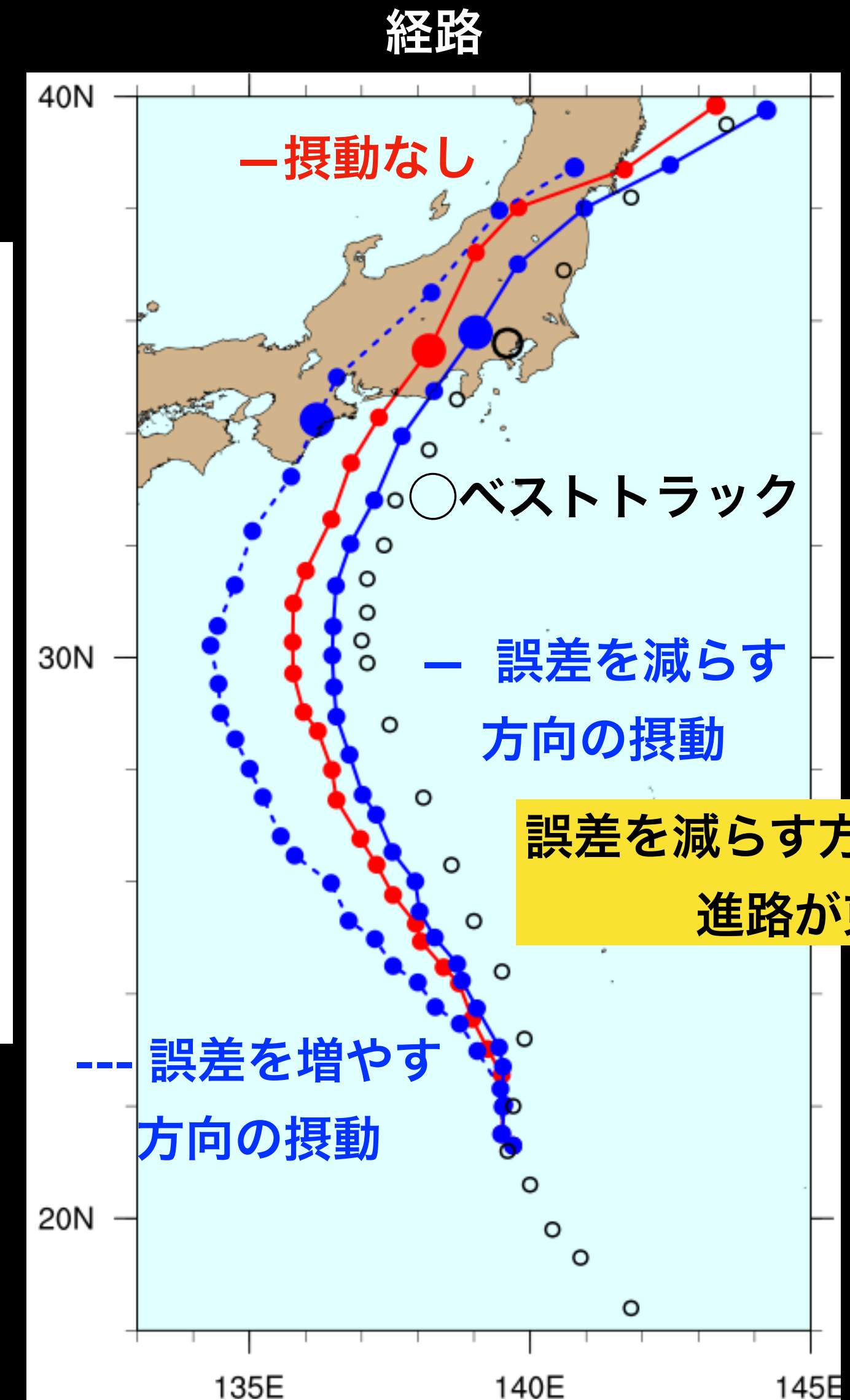
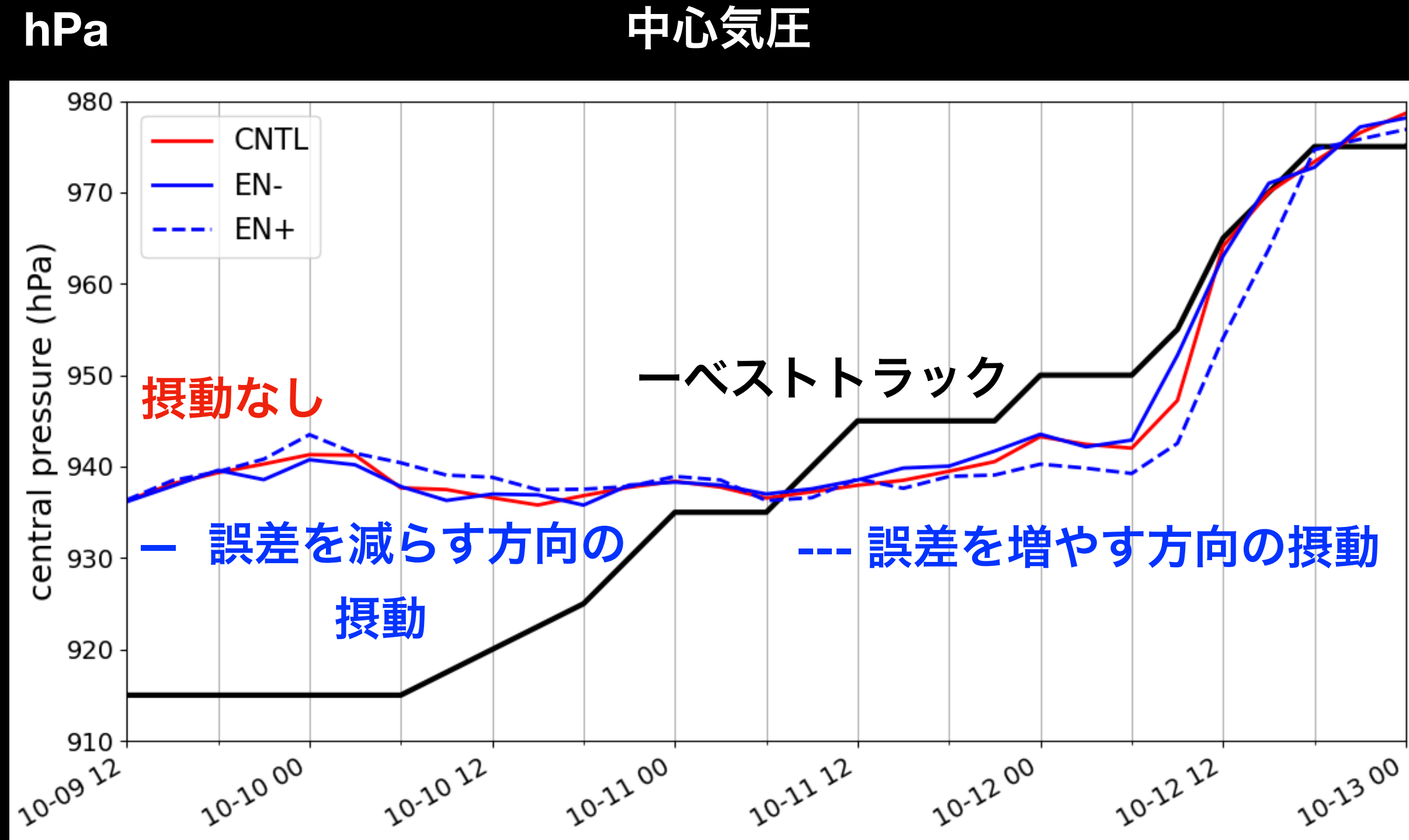


- モデル: GSM1705 2019年10月当時現業
- 解像度: TL479L100, 水平 $0.4^\circ$ 100層
- 現業海面水温・海氷分布
- 初期時刻: 2019年10月9日12 UTC

# 初期場及び初期摂動



# 擾動実験

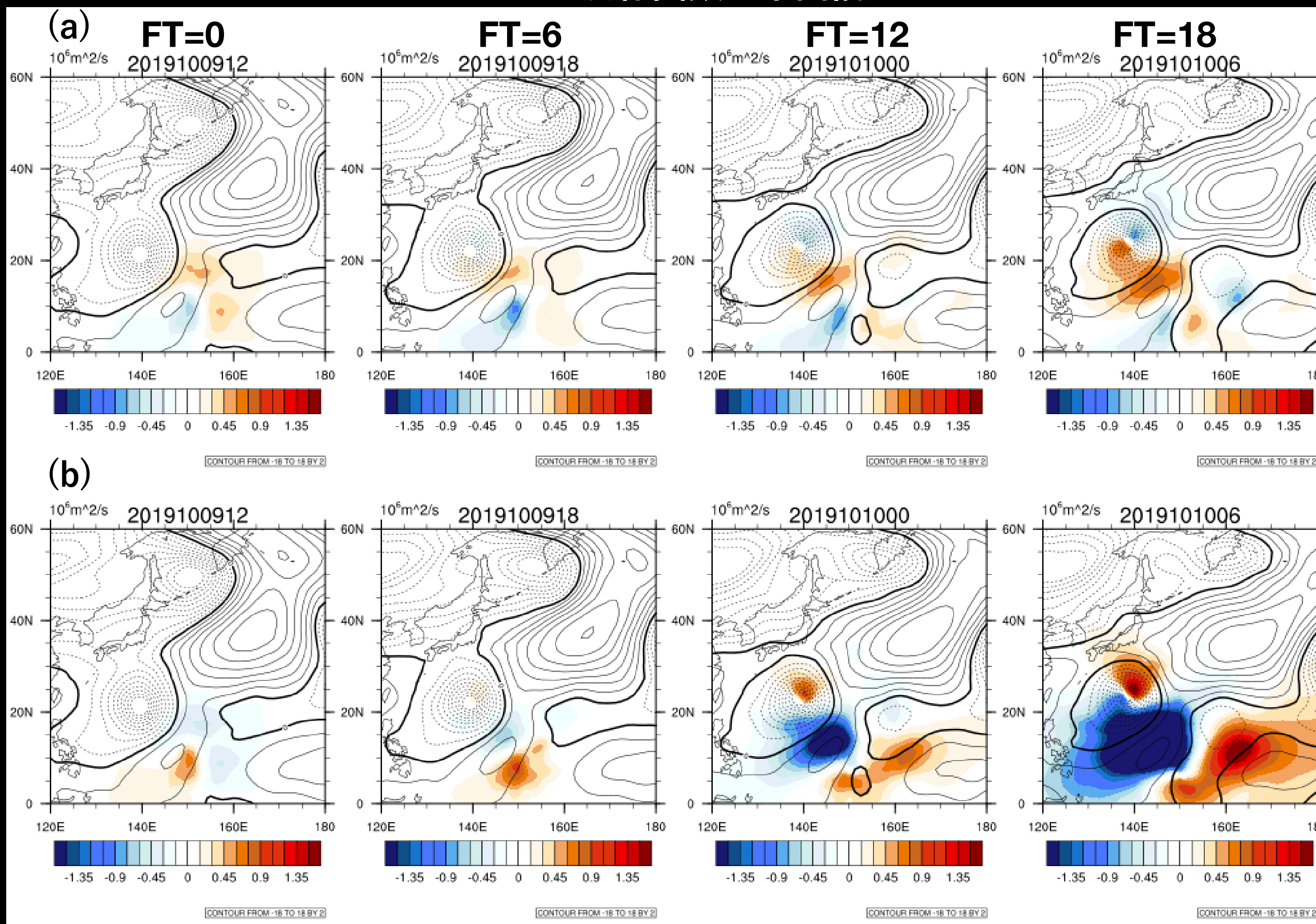




# 擾動の時間発展

500 hPa 流線函数の東西偏差

誤差を減らす  
方向の擾動



台風の南東の峰を強化し  
低気圧性偏差の  
発達と西進を抑制

誤差を増やす  
方向の擾動

低気圧性偏差が発達し  
台風を西に流す。



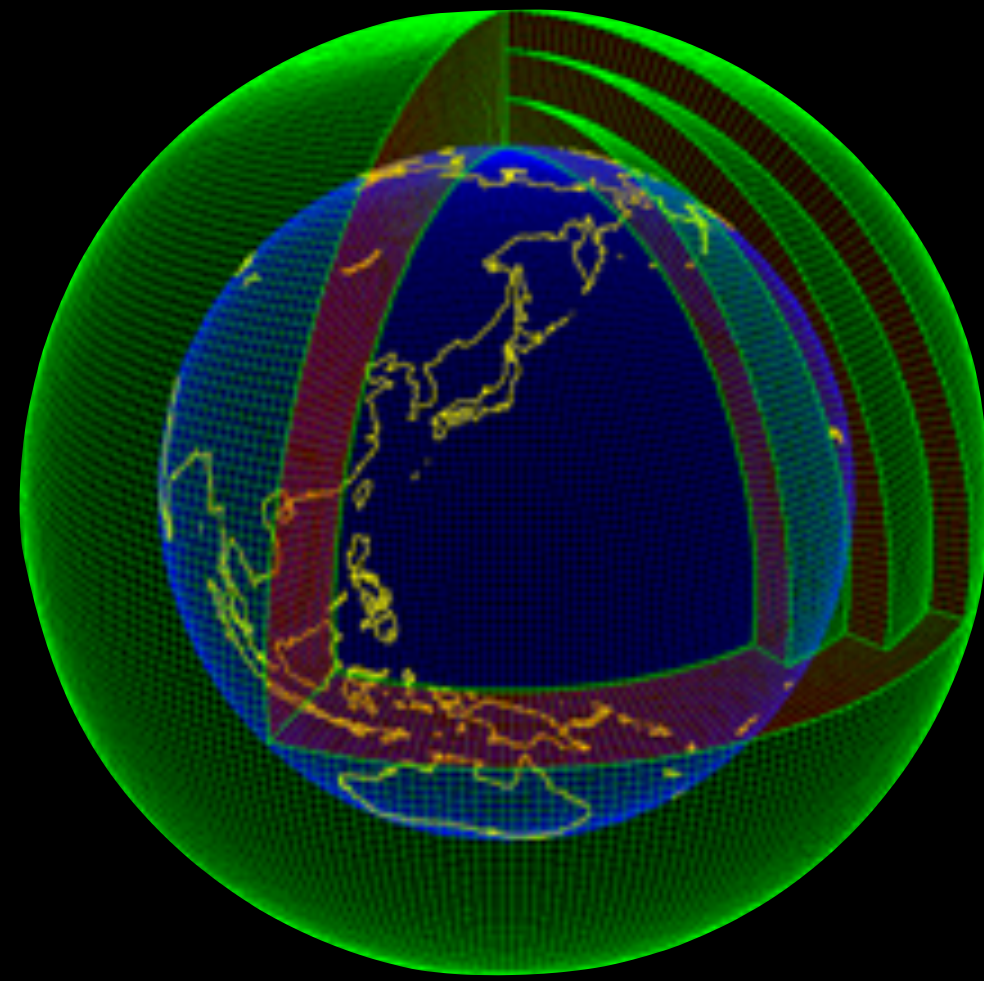
# 感度解析の検証

- GSMを用いてアンサンブル感度解析により得られた摂動を加えた実験を行ない、感度解析の検証を行った。
- 感度が高い台風南東の峰を強化し、下層を乾燥寒冷化される摂動を加えると、進路はベストトラックに近づいた。これと符号を逆転させた摂動を加えると、低気圧性偏差が発達・西進するため、台風が西に流され、位置の誤差が増大した。
- 前者の誤差の減少と後者の誤差の増大では後者が大きく、摂動の時間発展からも非線型性があることが示唆された。
- アンサンブル感度解析で特定した高感度領域は適切であり、台風のような非線型性が高い現象においても、アンサンブル感度解析が有用であることが示された。

# 海面水温に対する感度実験

# モデルの設定

気象庁GSM (全球スペクトルモデル)



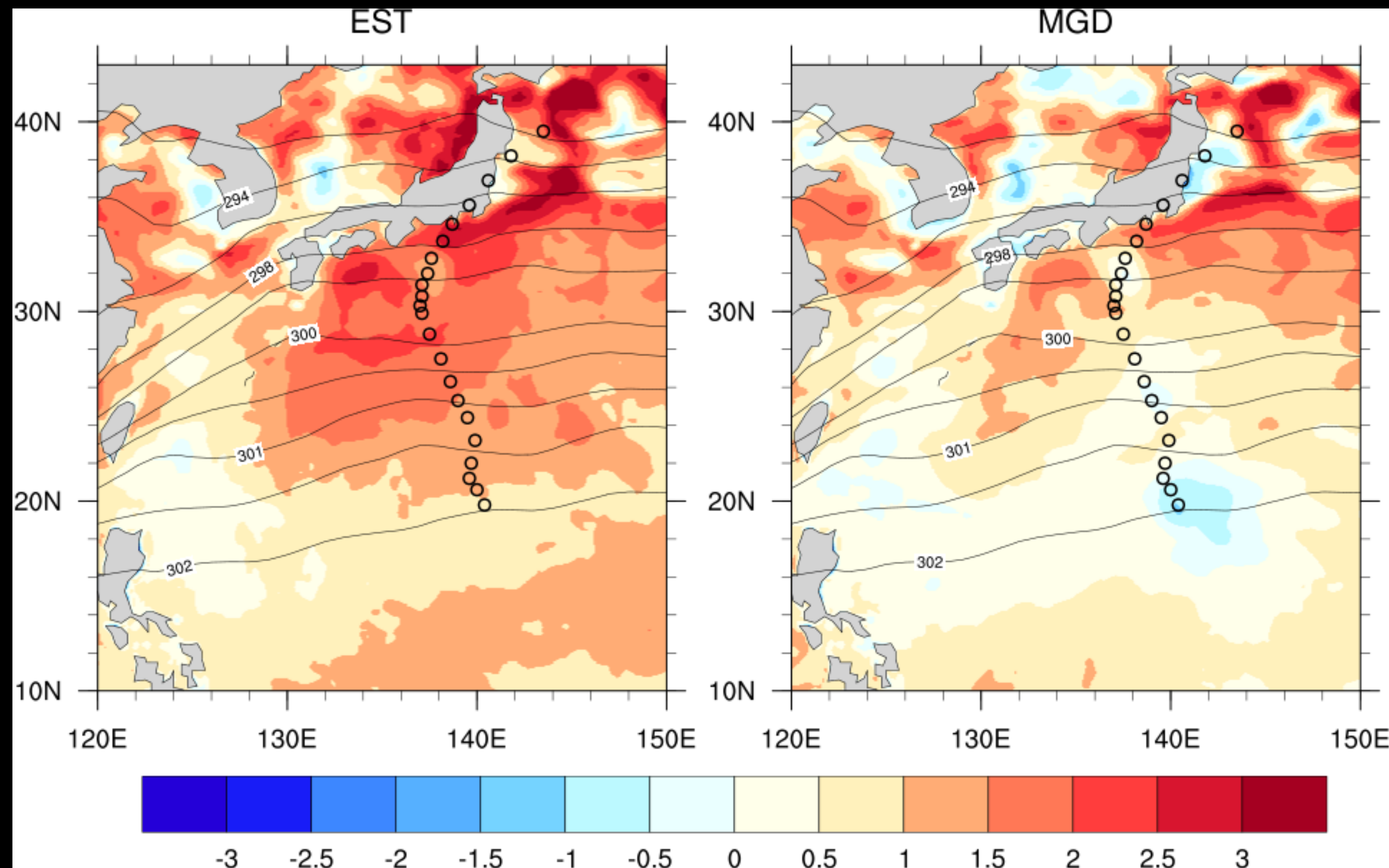
京都大学スーパーコンピュータシステム



- モデル: GSM1705 2019年10月当時現業
- 解像度: TL959L100, 水平 $0.2^\circ$ 100層
- 海面水温・海氷分布
- 現業、解析、気候値
- 初期時刻: 2019年10月9日00 UTC

# 海面水温感度実験の設定

2019年10月9—12日平均の気候値偏差



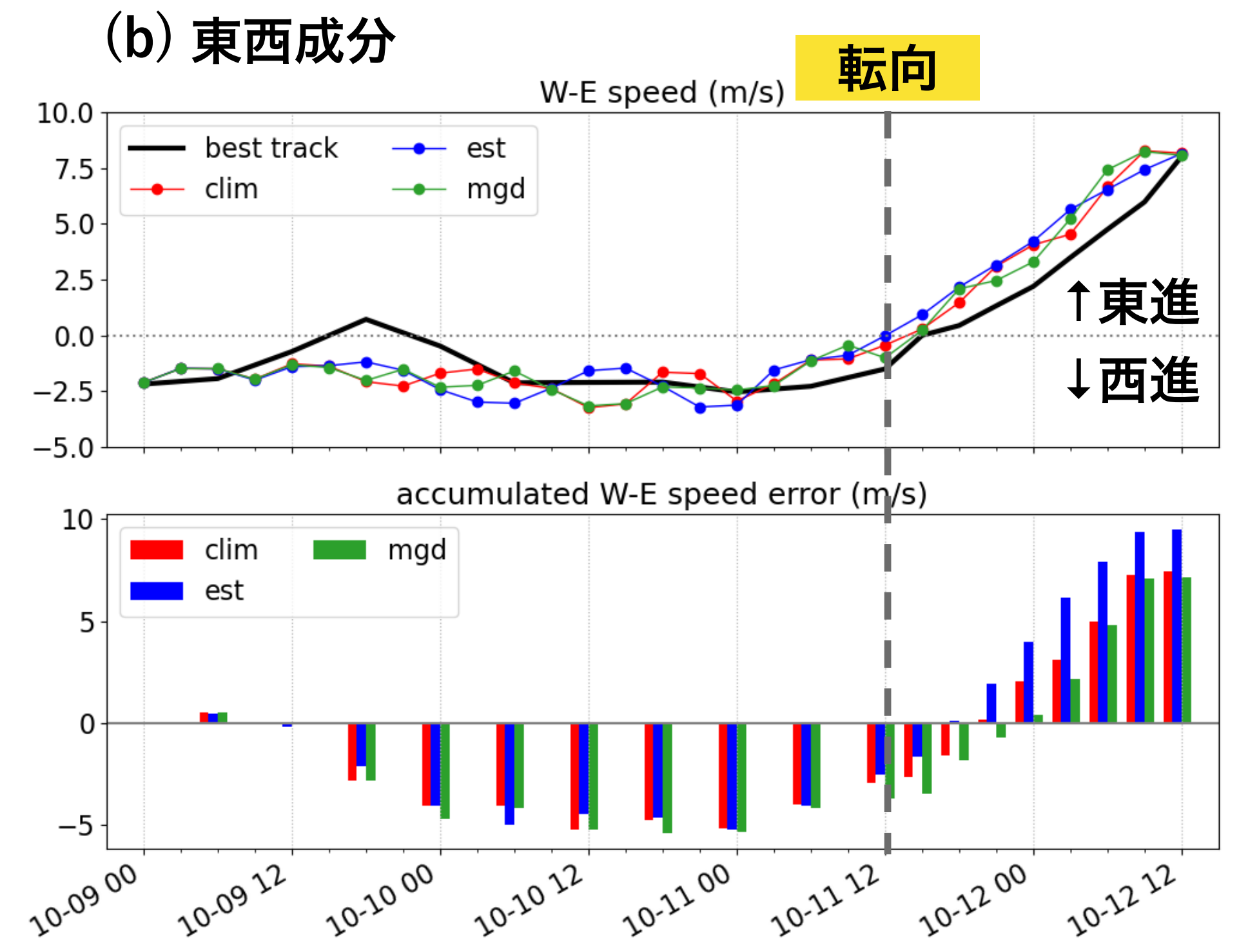
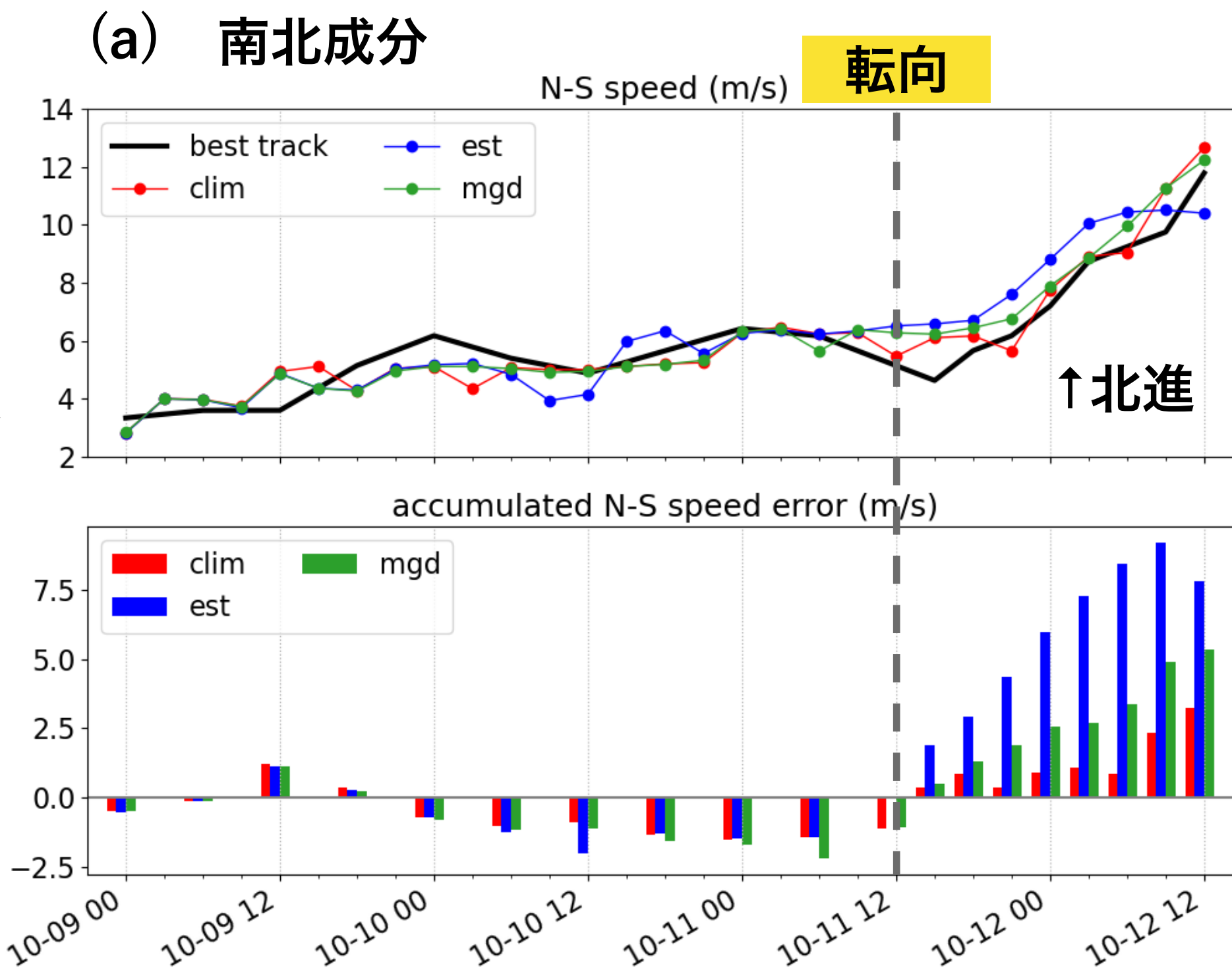
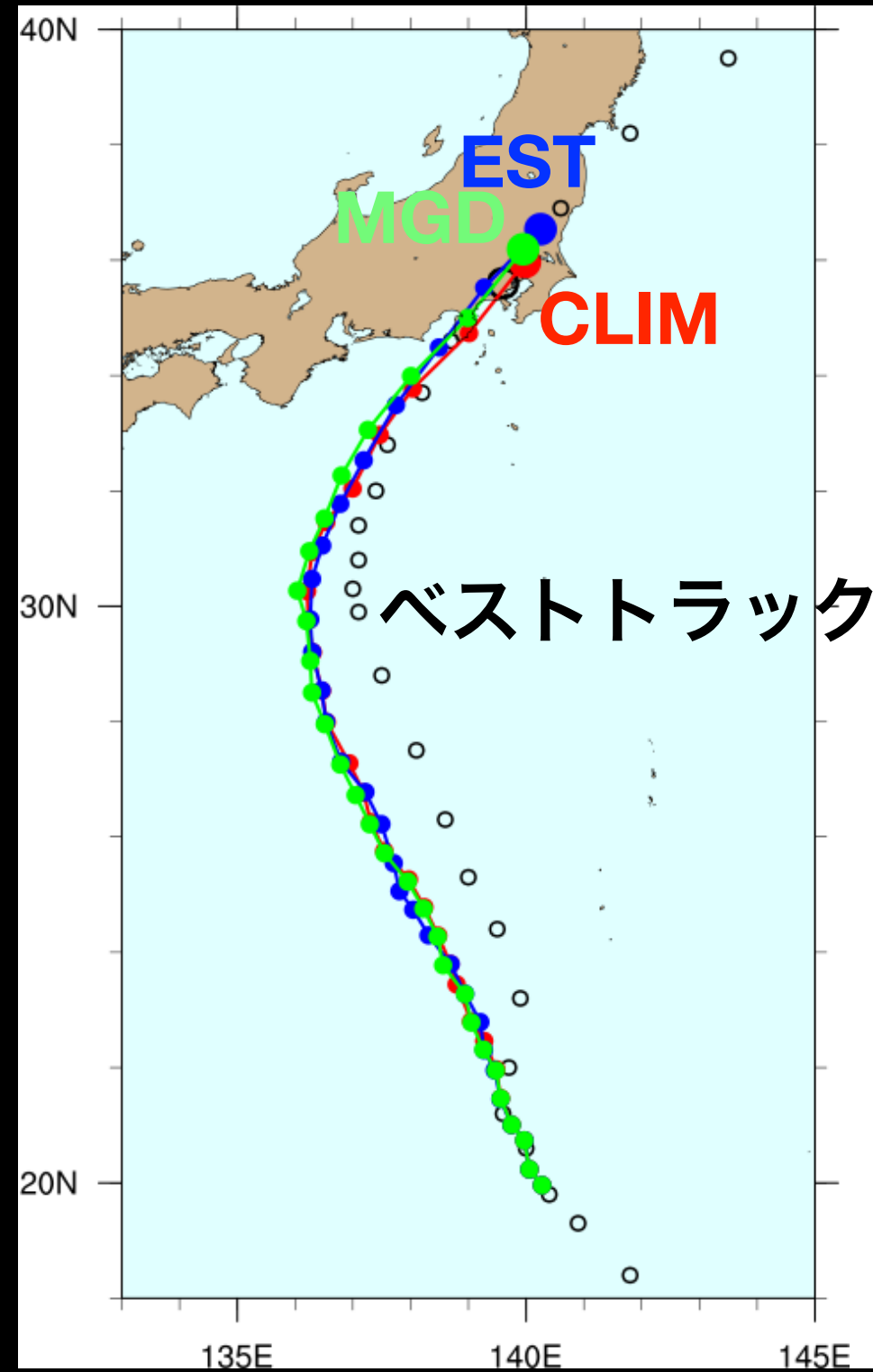
- 現業推定値 (EST):  
全球速報解析値の平年偏差と気候値の日変動から推定
- 解析値 (MGD):  
MGDSST (遅延) を使用
- 気候値 (CLIM):  
1981-2010年の30年間平均の月別気候値を予報時刻の日付に内挿



# 進路予報への影響

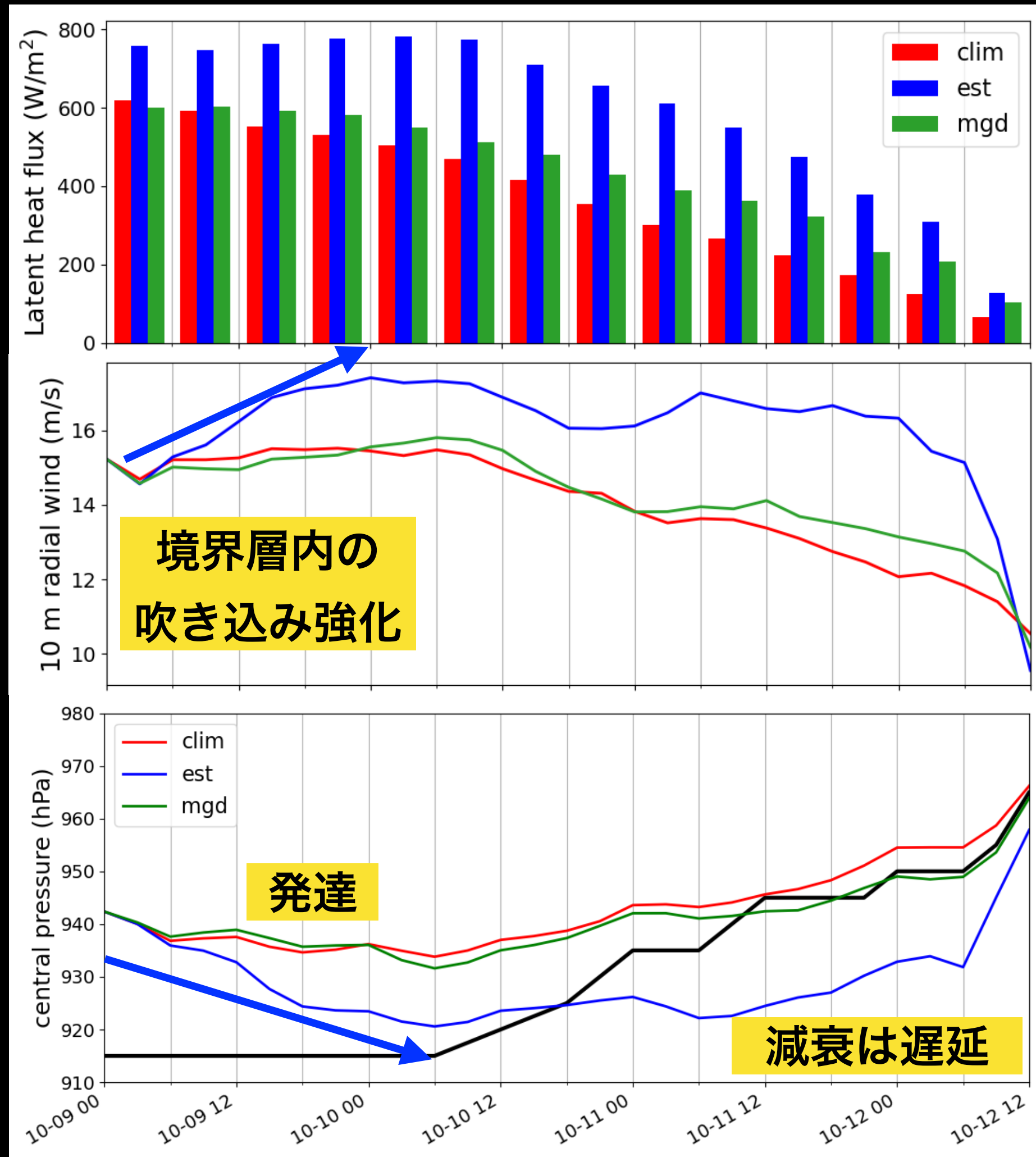
北東に転向後加速  
SSTが高いほど速く誤差大  
(Ito and Ichikawa 2021)

進路変わらず



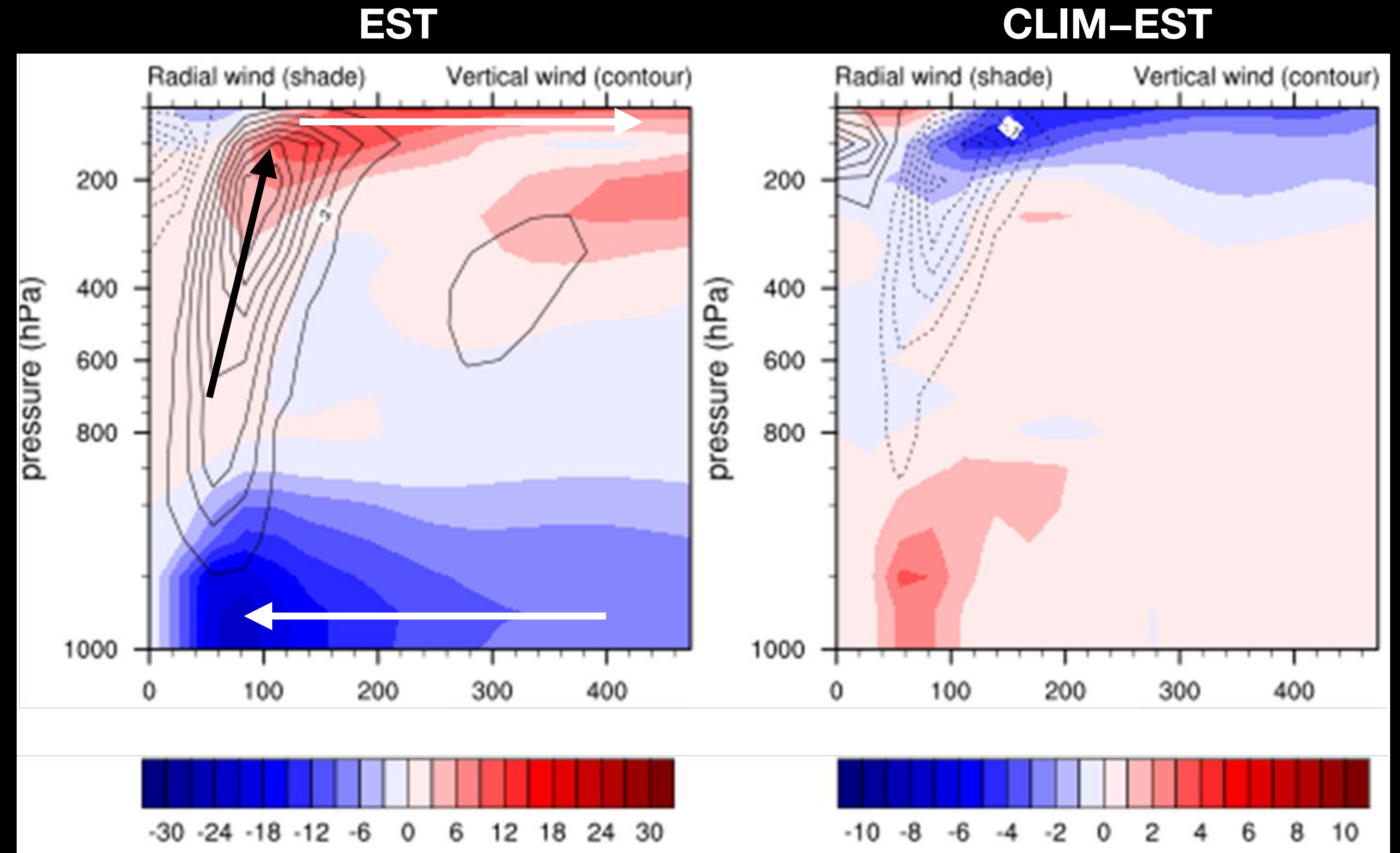
# 強度予報に対する影響

## 潜熱フラックスの増加



海面からの潜熱フラックス供給が持続し、  
2次循環が強化され、台風の発達が持続

2019/10/9 12 UTC

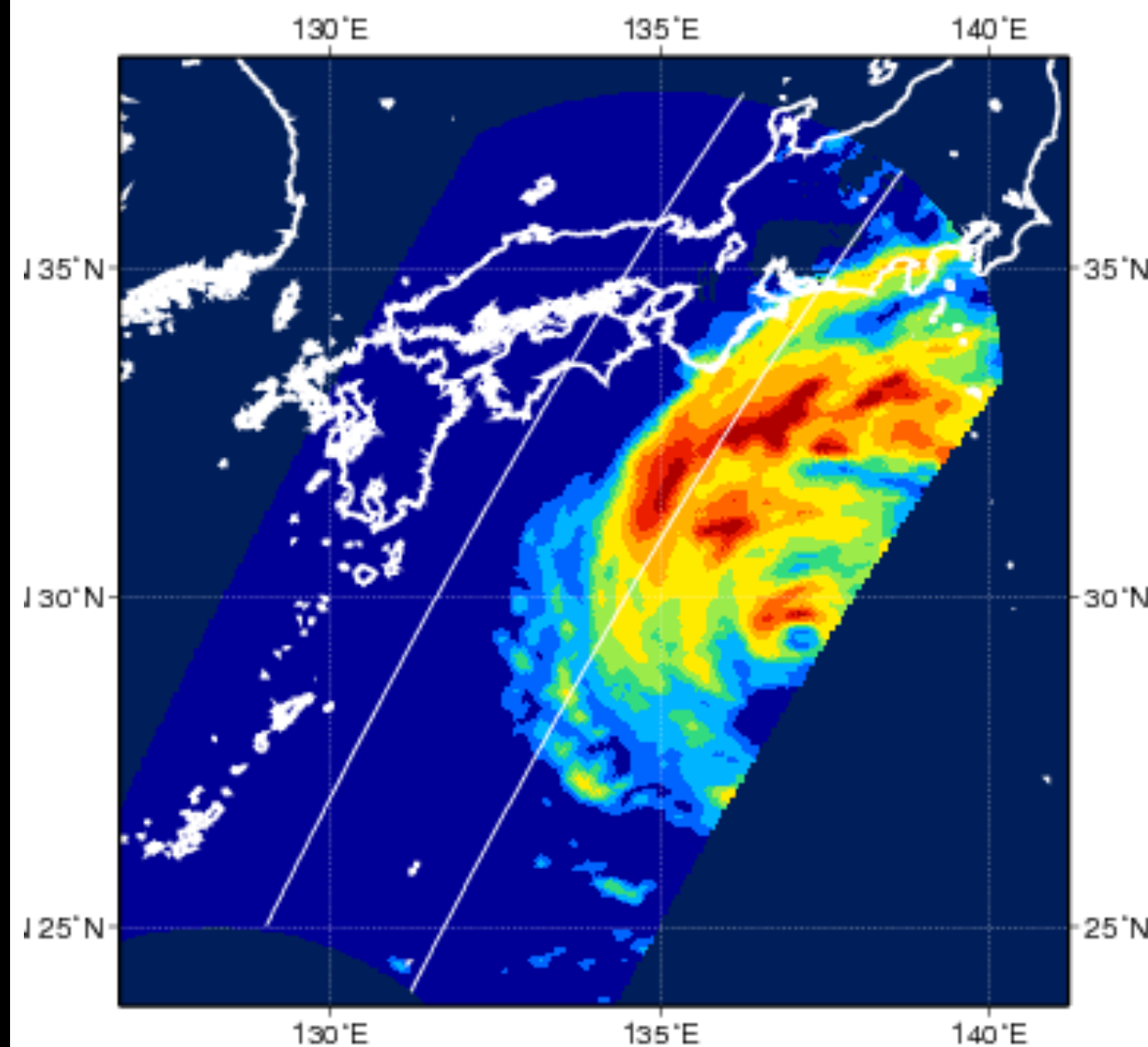




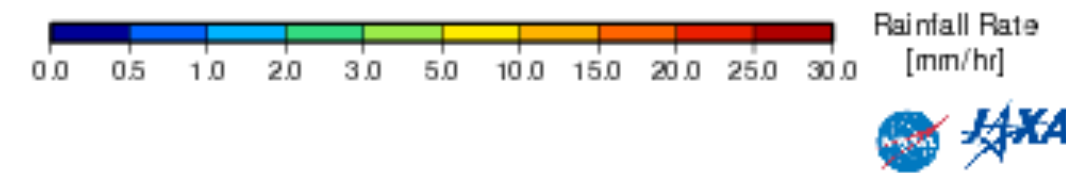
# 降水予報への影響

GPM-GMIによる観測

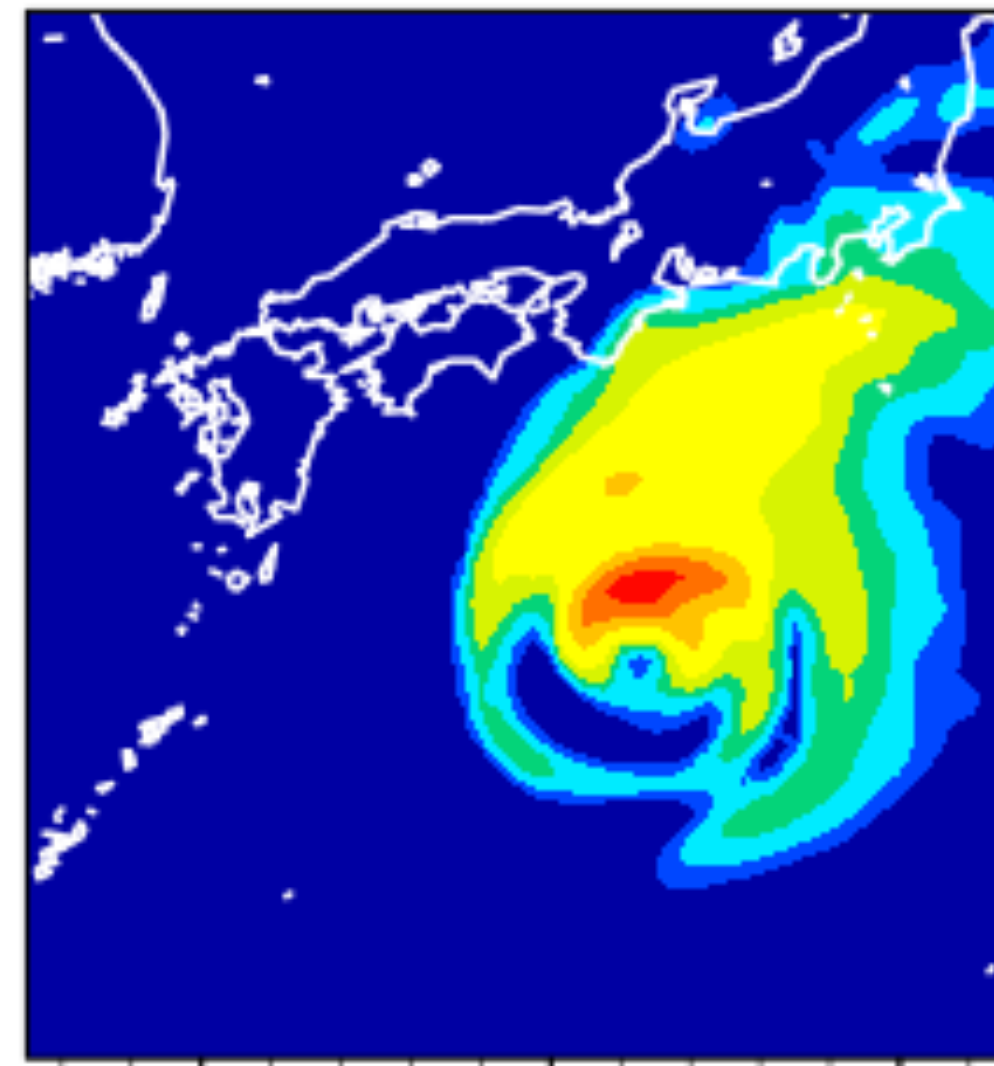
11日09-10 UTCの降水強度



**HAGIBIS (20W)** Rainfall Rate by GMI  
2019-10-11 09:38 (UTC) Orbit Number 031918  
2AGMI.20191011.031918.05B.20W.HAGIBIS.h5 (Ver.05B)



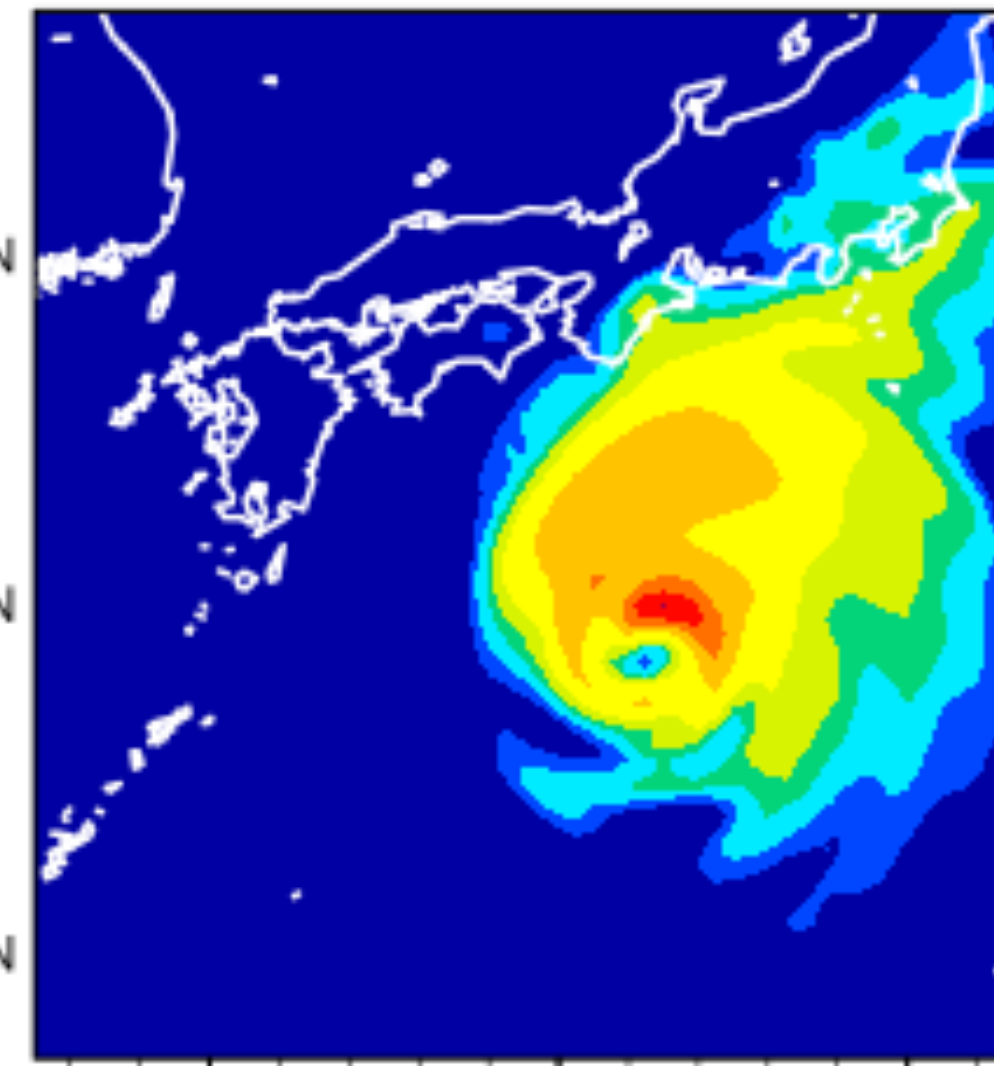
CLIM



130E 135E 140E

0.5 1

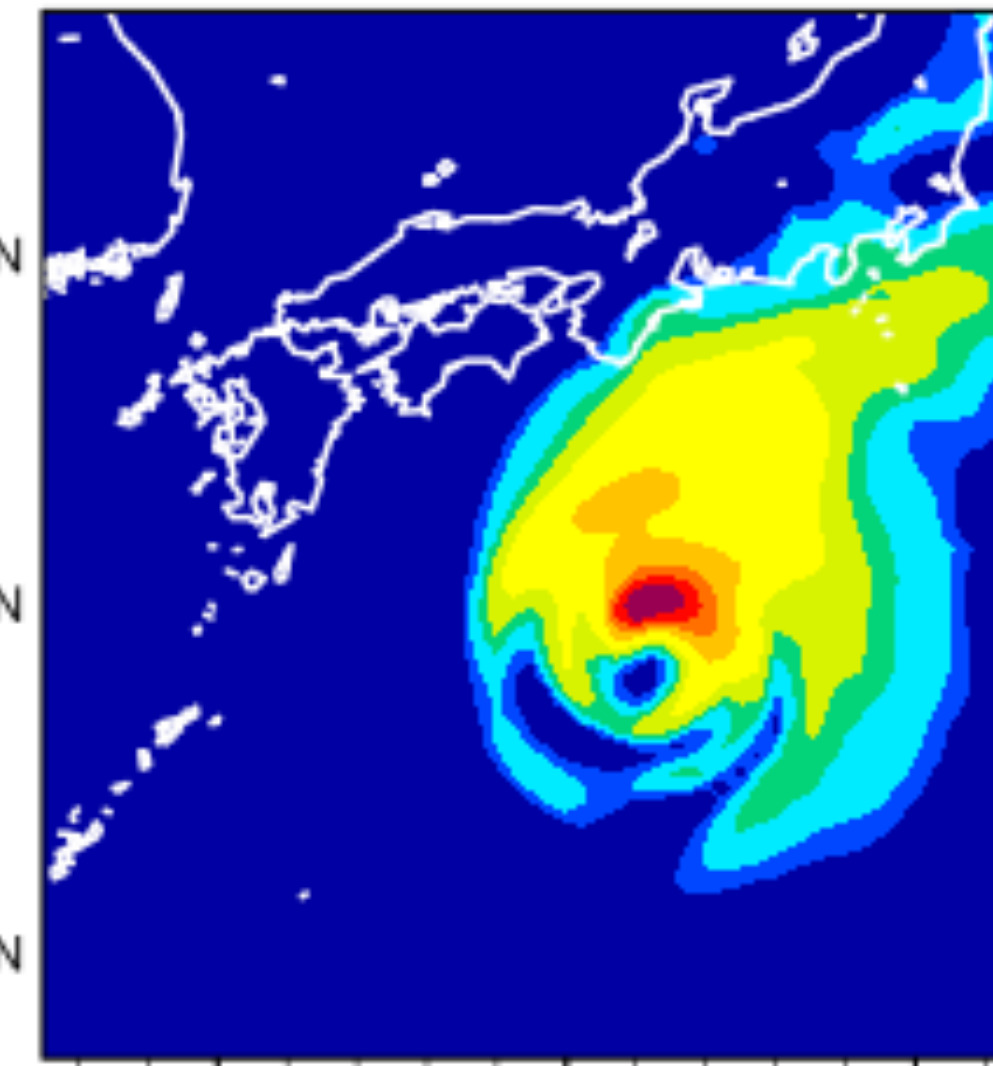
EST



130E 135E 140E

5 10

MGD



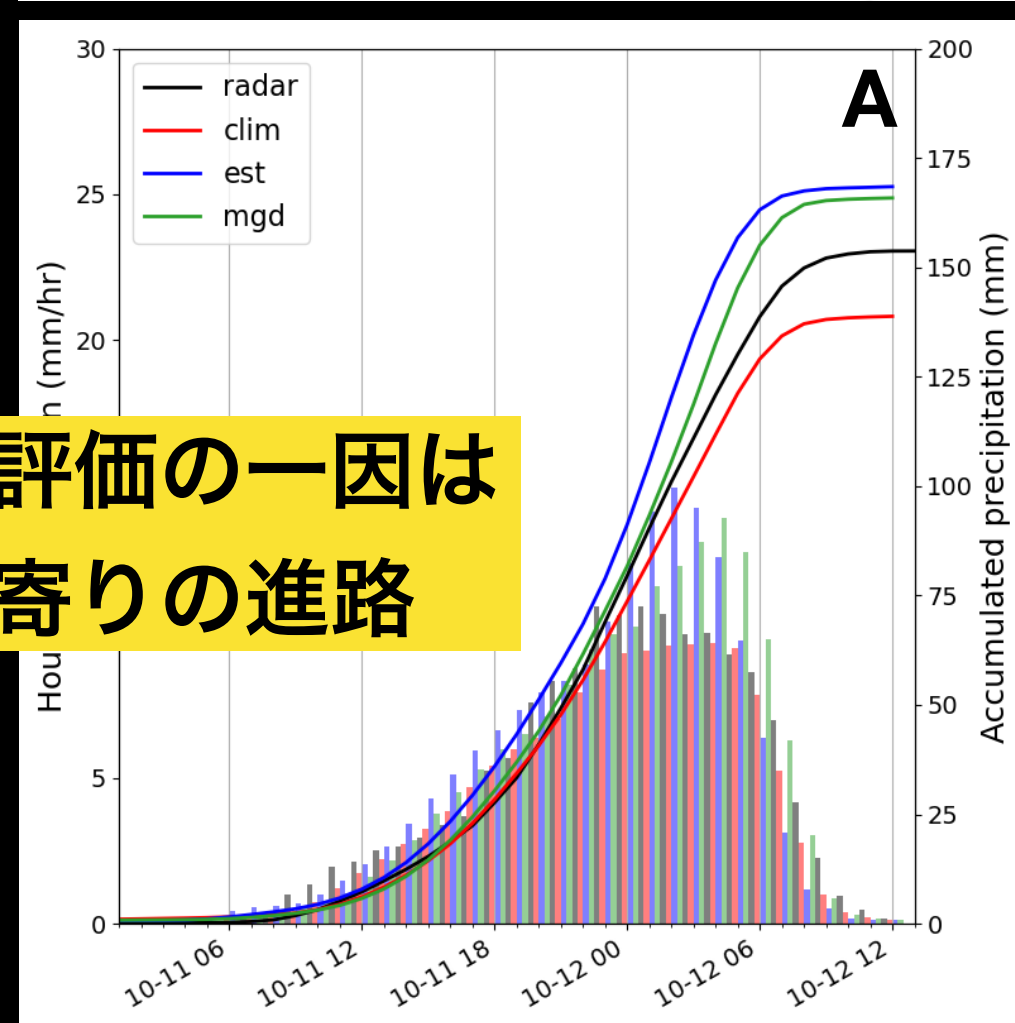
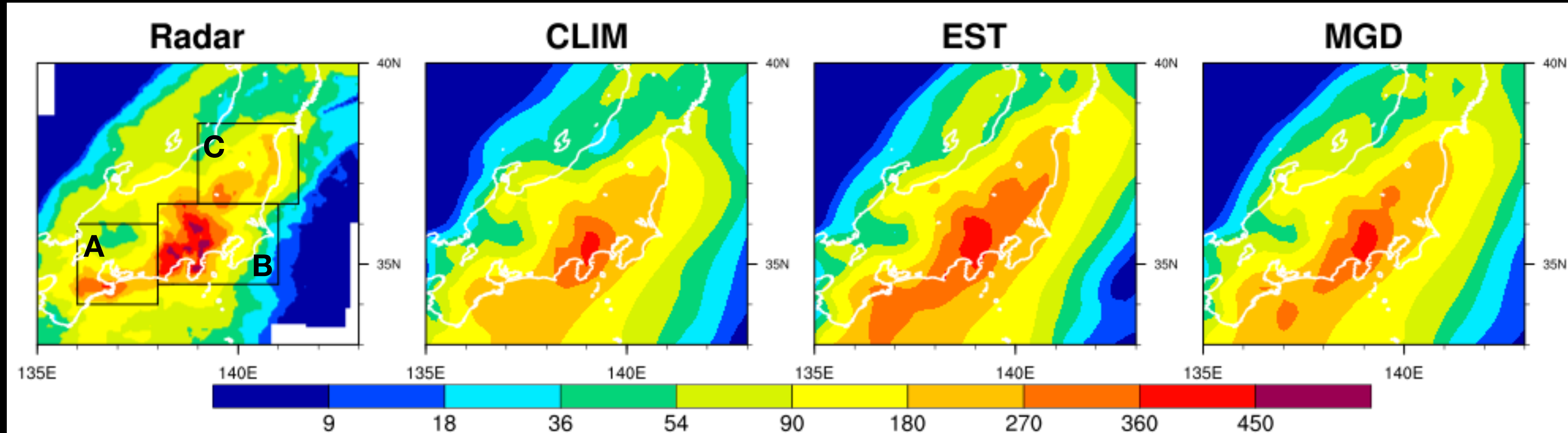
130E 135E 140E

15 20 25

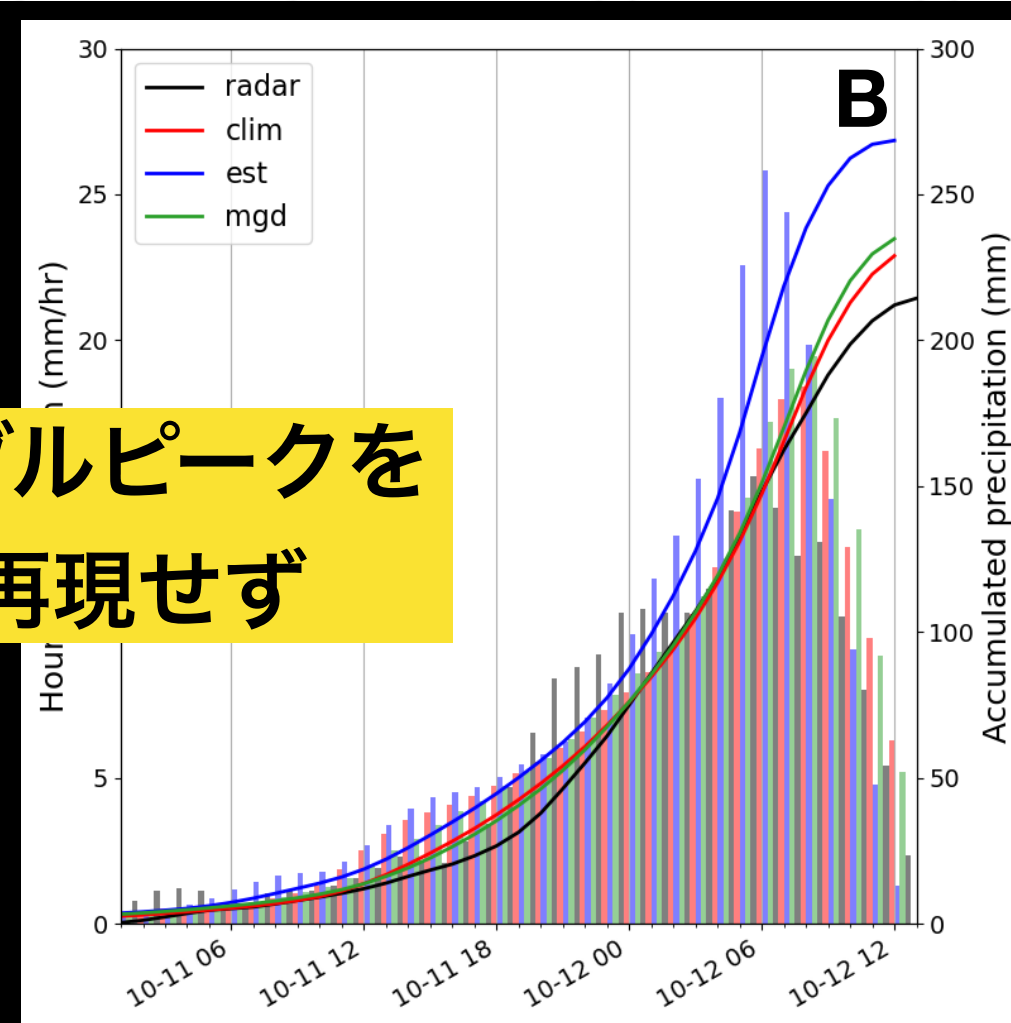
降水域の分布は再現  
降水帯で強度はやや過小評価

# 降水量の比較

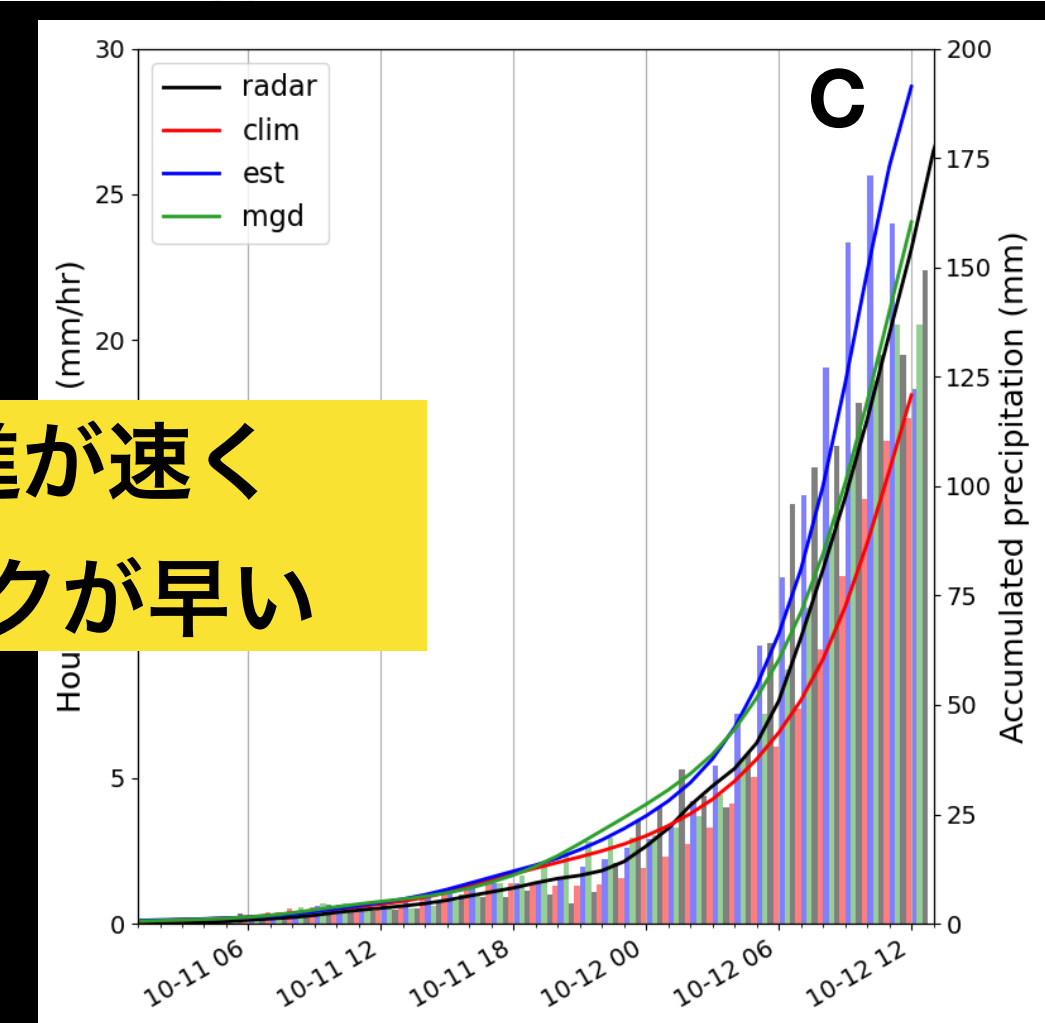
11日00UTC-12日12UTCの総降水量 (mm)



過大評価の一因は  
西寄りの進路



ダブルピークを  
再現せず



東進が速く  
ピークが早い

# 海面水温の影響

- 海面水温の進路に対する影響は限定的であった。
- 海面水温が高いほど転向後の進行速度が速い傾向が見られた。
- 現業の海面水温では、大きな潜熱フラックスが持続し2次循環が強化されたため、台風の発達が持続した。
- 予報は降水分布をおおよそ正確に捉えていたが、現業の海面水温ではダブルピークが再現されず、レーダーよりも過大であった。



# まとめ

- Hagibis (2019)の予報は、2030年の目標を先取りした上陸位置の誤差であった。ただし、誤差が小さかった要因には、台風の予報進路は大回りし転向後加速したことが含まれる。
- 台風南東の峰の予報精度に与える影響が感度解析及び摂動付与実験で確認された。台風だけでなく環境場の予報の重要性が示唆される。
- 海面水温の影響は進路よりも強度に大きく影響したが、転向後の進行速度には影響が見られた。海面水温には大きな不確実性が残っている。

詳しくは以下をご参照ください。

- Nakashita, S., and T. Enomoto, 2021: Factors for an Abrupt Increase in Track Forecast Error of Typhoon Hagibis (2019). *SOLA*, 17A, 33–37, [doi:10.2151/sola.17A-006](https://doi.org/10.2151/sola.17A-006).
- 中下早織・榎本剛・黒木志洸・氏家将志・竹村和人, 2022: 2019年台風第19号の予報進路に対する海面水温と初期擾乱の影響, 京都大学防災研究所年報, 65B, 241–253.