



局地アンサンブル予報システム 開発の成果と課題

気象庁 情報基盤部 数値予報課
河野耕平

第16回気象庁数値モデル研究会 2025年12月12日 気象庁

はじめに

- 気象庁では、「2030年に向けた数値予報技術開発重点計画」で示した「豪雨防災」への貢献を目的とした数値予報システムの開発を進め、また、「線状降水帯予測スーパーコンピュータ」及び「富岳」も活用し技術開発を加速化。これらの取り組みの大きな節目として、令和7年度末には、局地アンサンブル予報システムの運用開始を計画。
- 局地モデル（LFM）では、線状降水帯の現実的表現がある程度可能。しかし、半日前からの時間と場所を絞った予測は困難、かつ不確実性も高い。
⇒ 線状降水帯予測の不確実性を捉えるアンサンブル予報システムの開発
 - LFMをベースとした、局地アンサンブル予報システム（LEPS）を開発する
 - **「対流許容」（Convection-permitting）なアンサンブルで、線状降水帯のようなメソ対流系の予測の不確実性を捉える**
 - そのための摂動のあり方（環境場の不確実性、対流発生位置の不確実性）
 - 「対流許容」モデルの予測能力、不確実性、限界
 - （多様な）線状降水帯の性質、予測可能性

内容

- 開発中の局地アンサンブル予報システム
 - 2026年3月運用開始を計画
- 2025年の線状降水帯事例についての調査（成果と課題）
（2025年出水期に実施した「富岳」におけるリアルタイム実験結果）
 - LEPSとMEPSとの比較
 - LEPSコントロールラン・LEPS確率予測の確認
 - 線状降水帯発生形態の分類を参考に
- 1kmLFMと2kmLEPS
- まとめ

局地アンサンブル予報システムの開発

「2030年の科学技術を見据えた気象業務のあり方」

(平成30年8月20日：交通政策審議会気象分科会提言)

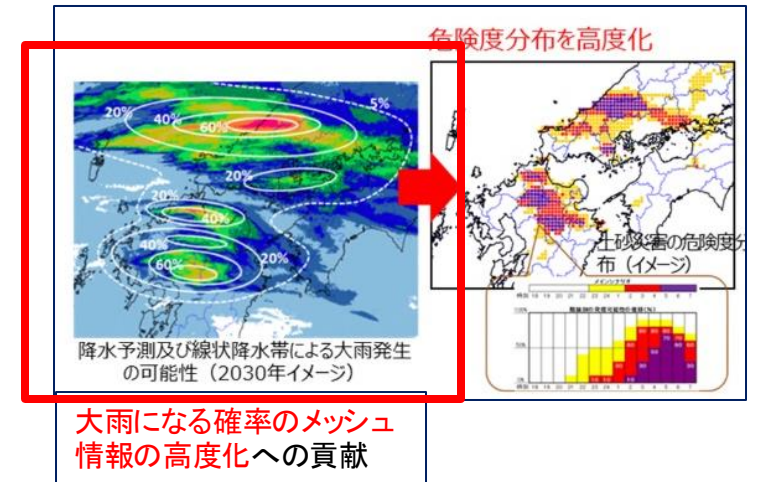
「半日前からの早め早めの防災対応等に直結する予測精度の向上」

- **2030年目標**：半日前程度から線状降水帯の発生・停滞等に伴う集中豪雨の可能性を確度高く把握し、これに伴う災害発生の危険度分布も提供

提言



局地EPS開発
により貢献



「2030年に向けた数値予報技術開発重点計画」

(平成30年10月：気象庁)

「豪雨防災」

- **目標**：線状降水帯の発生・停滞の予測精度向上により、集中豪雨の可能性を高い確度で予測する
特に、明るいうちからの避難など、早期の警戒と避難を可能にする
- **現状と課題**：局地モデル（LFM）では、**線状降水帯の現実的表現がある程度可能**
しかし、半日前からの時間と場所を絞った予測は困難、かつ不確実性も高い
- **開発の方向性**：**集中豪雨の可能性を捕捉可能なアンサンブル予報システム**
 - LFMをベースとした、**局地アンサンブル予報システム（LEPS）**を開発する

- 2025年度末の運用開始を目指して開発中

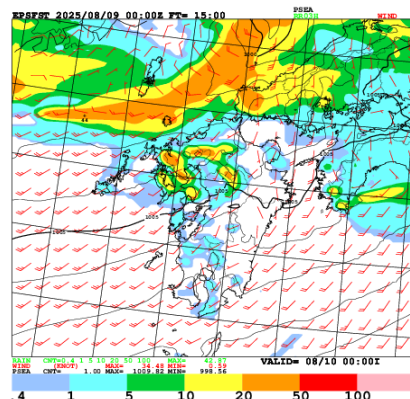
領域数値予報システム（2026年3月予定）



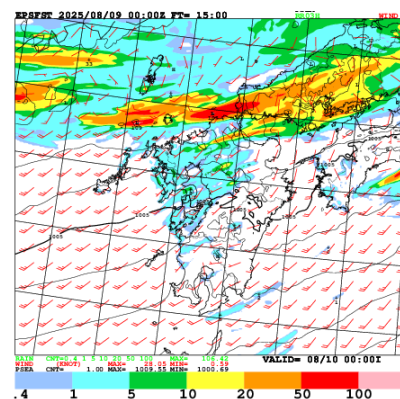
	メソモデル (MSM)	局地モデル (LFM)	メソアンサンブル 予報システム(MEPS)	局地アンサンブル 予報システム(LEPS)
水平格子間隔	5 km	1 km	5 km	2 km
鉛直層数	96層 / 37.5 km	76層 / 21.8 km	96層 / 37.5 km	76層 / 21.8 km
予報時間 (初期時刻)	78時間 (00, 12 UTC), 39時間 (03, 06, 09, 15, 18, 21 UTC)	18時間 (00, 03, 06, 09, 12, 15, 18, 21UTC) , 10時間 (上記以外)	39時間 (00, 06, 12, 18 UTC)	21時間 (00, 06, 12, 18UTC)
初期値 (作成手法)	メソ解析値 (4D-Var)	局地解析値 (Hybrid 3D- Var)	メソ解析値＋ アンサンブル摂動 (SV) メンバー数：21	局地解析値＋ アンサンブル摂動 (MEPS) メンバー数：21

局地モデルを用いたアンサンブル

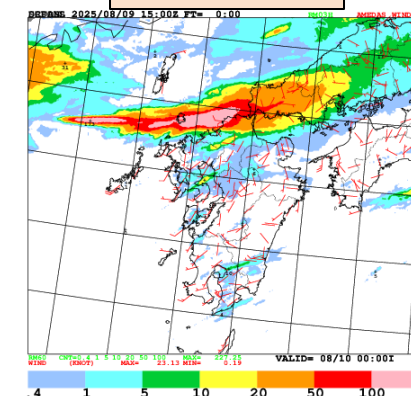
MSM



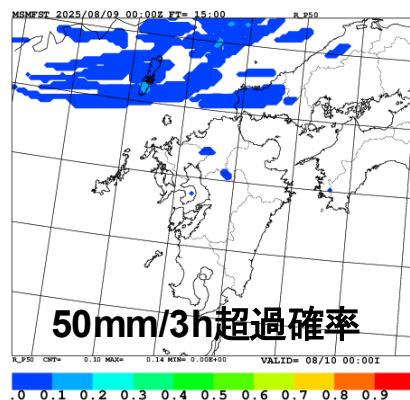
LFM



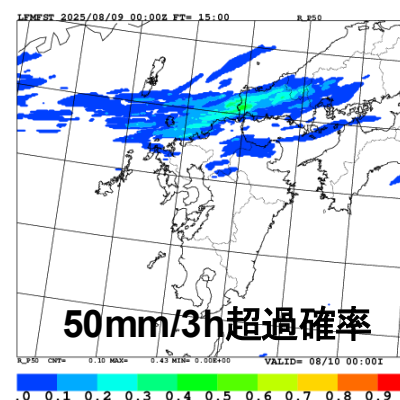
実況
前3時間降水量



MEPS: MSMを用いたアンサンブル



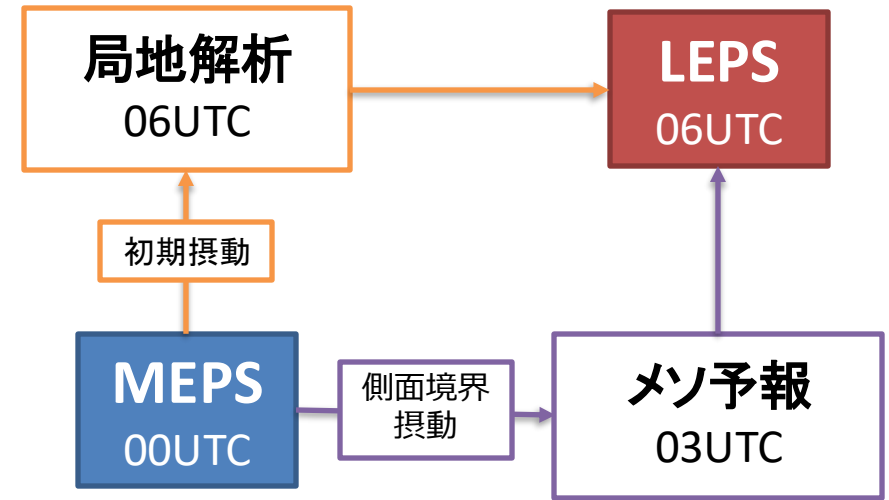
LEPS: LFMを用いたアンサンブル



- LFMが線状の強雨を表現しやすいことから、MSMをベースとするMEPSよりも高い確率で線状降水帯による大雨の可能性を捕捉できる。
- MSMの線状降水帯予測の表現能力の限界から、LEPSで一步前進。
 - LFMで解像・予測が難しい現象はLEPSにおいても同様。

LEPSの仕様

- **予報モデル：2kmLFM**
 - 初期値：局地解析
 - 側面境界値：メソ予報
- **予報時間：21時間（6時間毎実行）**
- **メンバー数：21メンバー（摂動20+コントロール1メンバー）**
- **初期摂動・側面境界摂動：MEPSの予報値から作成**
 - MEPSのFT=6以降の摂動成分を振幅調整して利用
 - 振幅調整：MEPS(FT=6)の5.5km高度の温位振幅を基準に決定：振幅0.4[K]
 - 局地解析のアンサンブル背景誤差の調整と同様の手法
 - 側面境界は初期時刻で決めた係数を利用



LEPSの狙い

MEPSの初期・境界摂動

GSV+MSVにより
メソβスケール(100km)
程度以上のスケール
の不確実性の表現を狙う

MEPSのSV 水平格子間隔
GSV : 270km
MSV : 80km + 40km

≡ダウンスケール

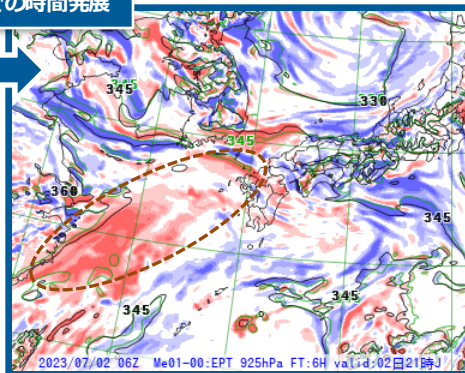
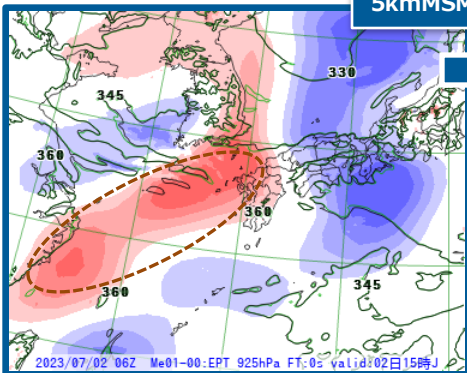
LEPSの初期摂動・境界摂動

100km 程度以上の水平スケールでの初期摂動・側面境界摂動を与え、その摂動を起因とする水平格子間隔2km のLFM の振る舞いの違い（ばらつき）により、主に発生環境場に起因する強雨予測の不確実性を捉える

MEPSの初期摂動

MEPS (FT=6)

5kmMSMでの時間発展



MEPSの時間発展により得られる小スケール摂動で十分かは不明

以下は現システムでは十分表現できない可能性（今後の課題）

- ・モデルの不確実性（モデル摂動）
- ・下部境界の不確実性（SST, 地表面摂動）
- ・小スケールの不確実性（?）

925hPa EPT

MEPSとLEPSの摂動の親子関係

MEPS
2023/7/2 06UTC Ini

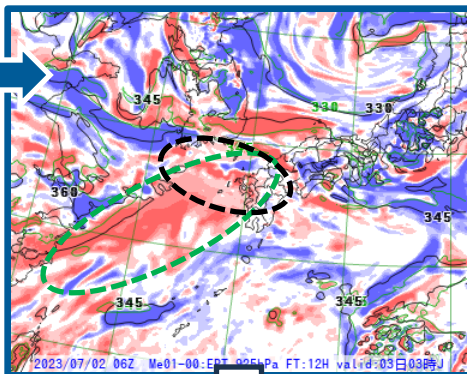
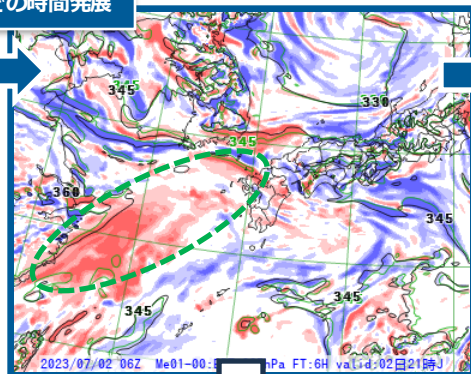
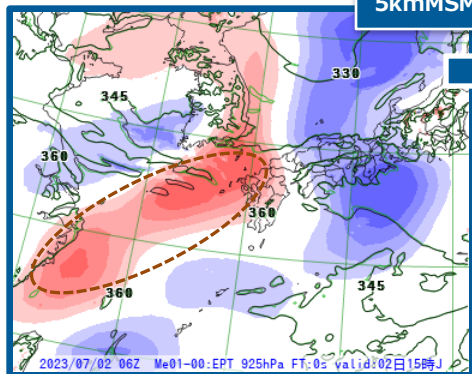
925hPa EPT コントロールランとの差分

MEPSの初期摂動

MEPS (FT=6)

MEPS (FT=12)

5kmMSMでの時間発展



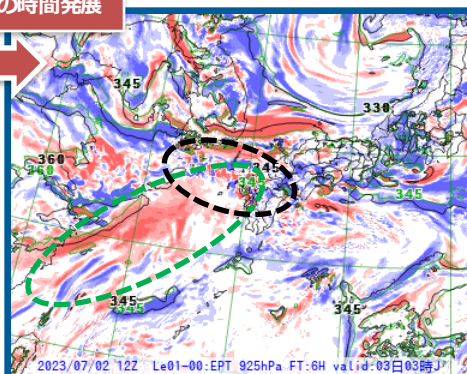
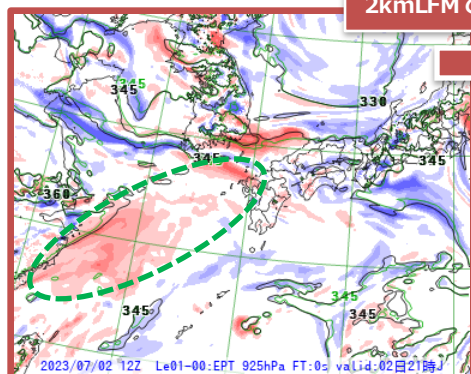
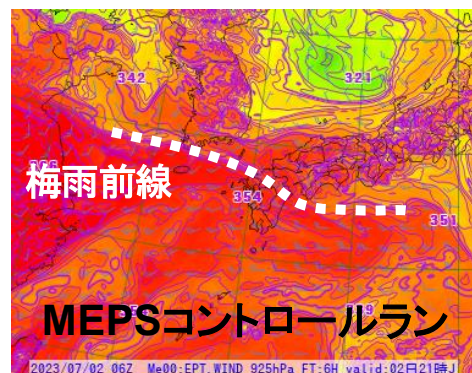
初期摂動

側面境界摂動

LEPS (FT=0)

LEPS (FT=6)

2kmLFMでの時間発展



LEPS
7/2 12UTC Ini

※MEPSとLEPSの初期値の違いもある



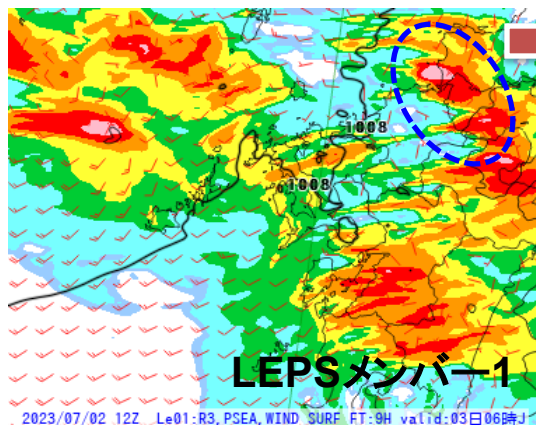
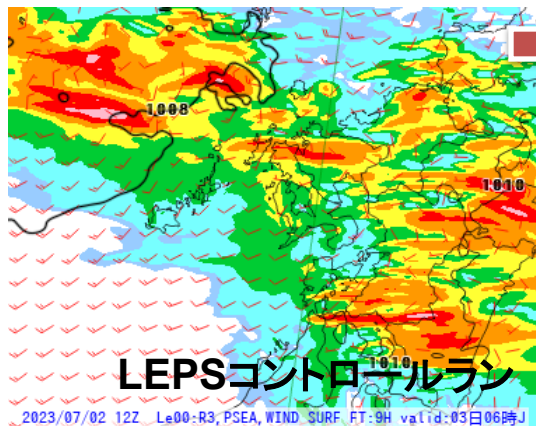
- MEPSとLEPSで大きなスケールの摂動の時間発展は類似
- 両者ともに時間発展で高波数成分の増加



- 両者の違いは、前線帯の南側の対流活動域で大きい
 - 環境場に与えた摂動に対する5kmMSM、2kmLFMの振る舞いの違い

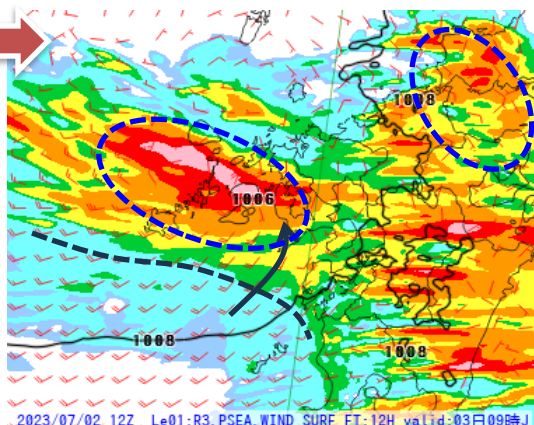
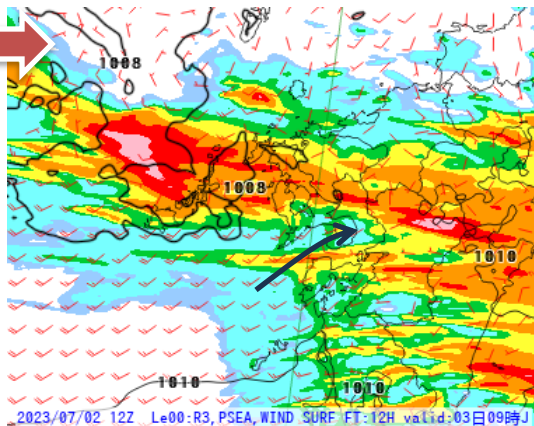
LEPS摂動の時間発展：メソスケール現象との相互作用

LEPS (FT=9)



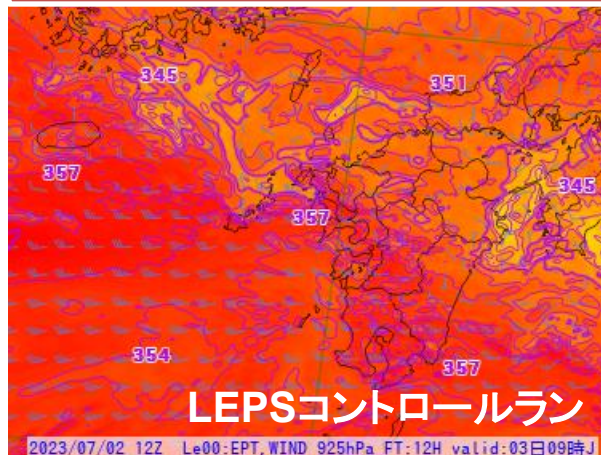
メンバー1（コントロールランとの違い）
・九州北部・山口での強雨表現

LEPS (FT=12)

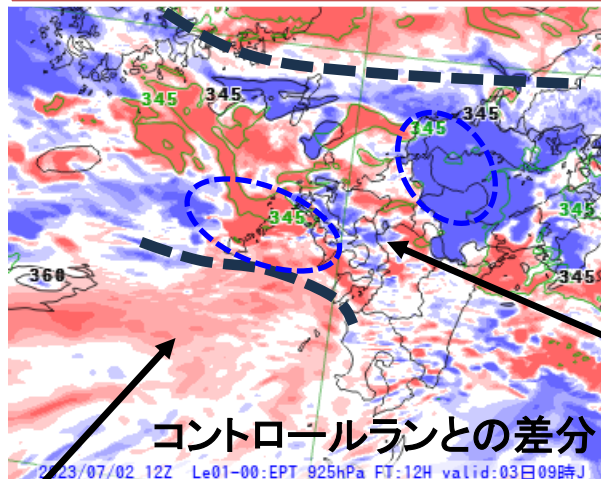


メンバー1（コントロールランとの違い）
・五島付近での降水システムの強化
・周辺の風系の変化

925EPT LEPS (FT=12)



925EPT 差分 (M01-コントロールラン)



①環境場としての働き
（メンバー1では暖湿な摂動の流入 ※下層相当温位場で見た場合）

初期場に与えた摂動の働き

① 対流を発生させる環境場
（の摂動）としての働き

➢ 親MEPS摂動の時間発展と大きな
スケールでは類似

② 形成された降水システムが、
その後の時間発展に影響する
効果（メソスケール現象
との相互作用）

②降水システムなどの
メソスケール現象との相互作用

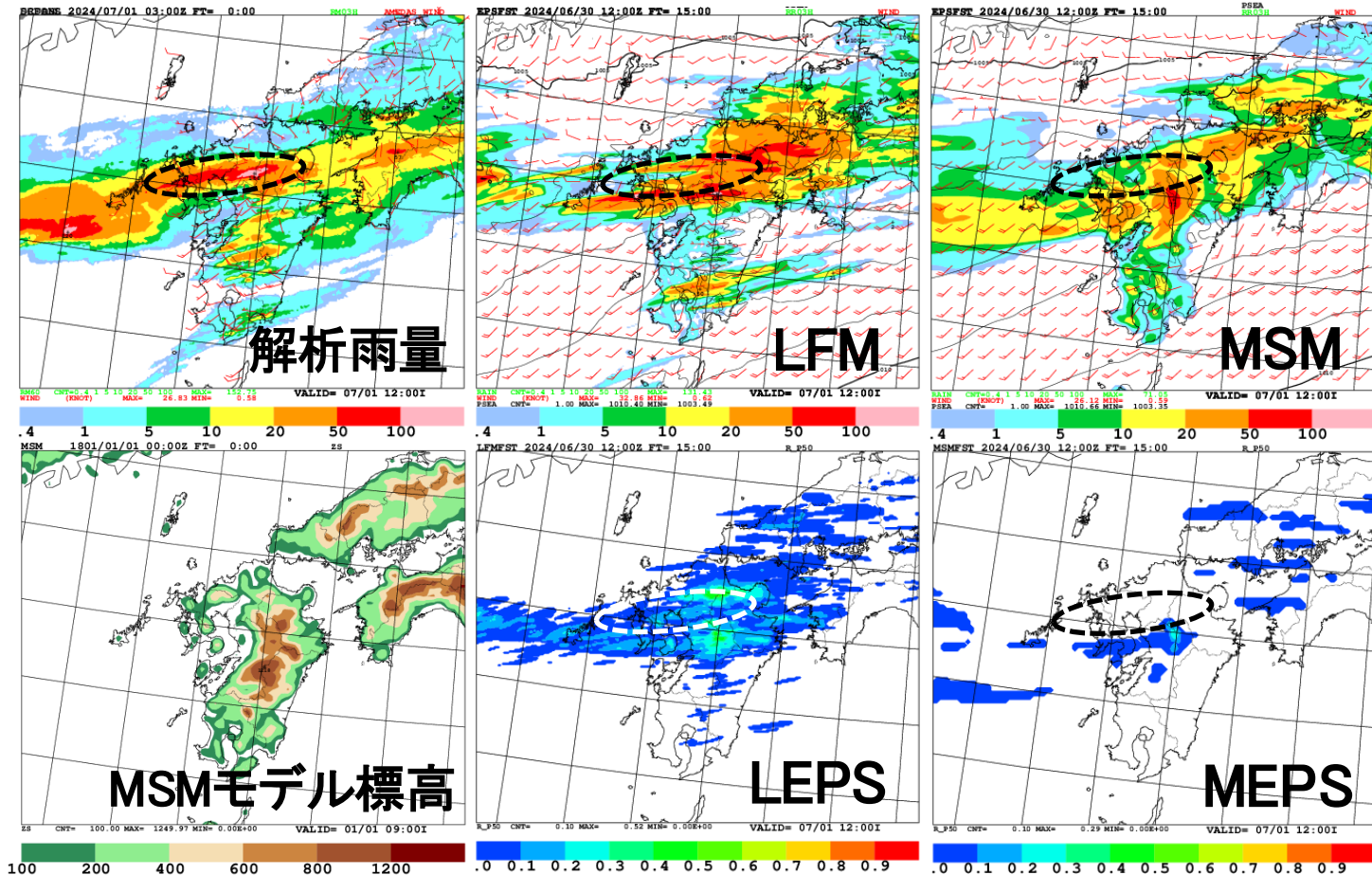
LEPS
7/2 12UTC Ini

MEPSと比較した強雨の可能性の捕捉能力

「LFMとMSMの強雨予測の関係」と「LEPSとMEPSの強雨の確率予測の関係」が典型的な事例

2024/7/1 12JST

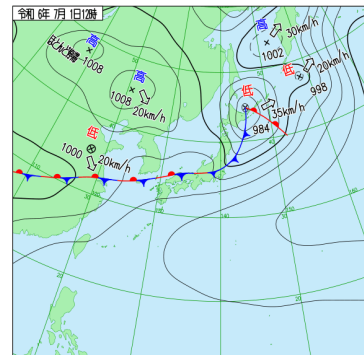
3時間降水量 [mm/3h]



50mm/3h 超過確率

予測値はいずれも2024/6/30 12UTC初期値のFT=15

- ✓ 梅雨前線は九州の北側
- ✓ 九州へ下層暖湿気が流入



- 2km LFM:
 - 線状の強雨を表現
 - 位置ずれはある
- 5km MSM:
 - 地形に沿った降水予測（MSMの積雲対流スキーム起因の特性）
 - LFMに比べると強雨のピーク値が小さい（解像度の違い）
- LEPSはMEPSに比べ、線状の強雨を表現でき、より局地的な強雨の可能性を捕捉できる
 - LEPSとMEPSの各メンバーの強雨表現の違いから期待される関係

内容

- 開発中の局地アンサンブル予報システム
 - 2026年3月運用開始を計画
- 2025年の線状降水帯事例についての調査（成果と課題）
（2025年出水期に実施した「富岳」におけるリアルタイム実験結果）
 - LEPSとMEPSとの比較
 - LEPSコントロールラン・LEPS確率予測の確認
 - 線状降水帯発生形態の分類を参考に
- 1kmLFMと2kmLEPS
- まとめ

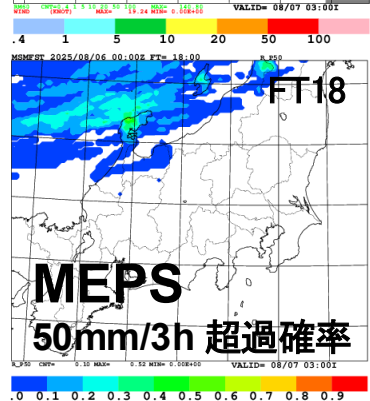
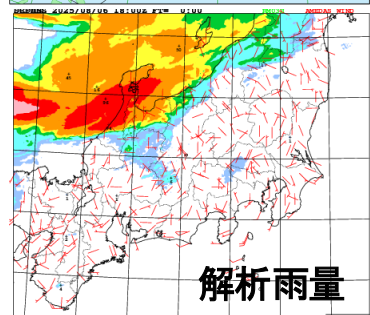
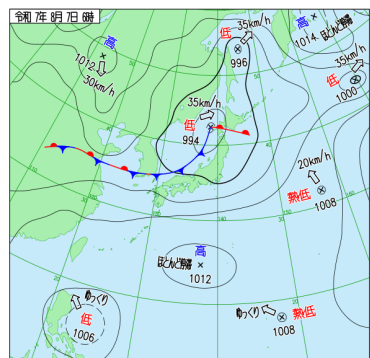
線状降水帯の発生形態の分類・予測の難しさ

2024年秋気象学会 予稿 益子ほか 線状降水帯の発生形態の体系的な分類

線状降水帯の発生形態の分類		近年の主な事例	発生環境場の着目点	発達・維持機構や内部構造	数値モデル (~1km)による再現の難易度
A. 総観スケールの前線本体に伴う現象	1. 総観スケールの前線に伴う力学的な影響のもと、広域の対流域の一部が局所的に強化	・ H30年7月豪雨（福岡県など） ・ R3年8月九州北部	・ MAULの存在 ・ 中・下層の水蒸気フラックス収束大 ・ 前線上の小低気圧	・ 複数の線状メソ対流系による場合が多い	低
B. 前線南側などの顕著な不安定場内の現象	1. 広域の対流域の一部が局所的に強化	・ R5年7月九州北部	・ 多量の下層水蒸気フラックス ・ 前線上の小低気圧	・ 複数の線状メソ対流系による場合が多い ・ 雨滴粒径の増大が雨量増大に寄与	中
	2. 局地的な収束線が影響（小低が影響した事例が多）	・ R2年7月豪雨（球磨川） ・ R4年8月山形・新潟 ・ H23年7月新潟・福島豪雨 ・ H29年7月九州北部豪雨	・ 前線上の小低気圧の循環に伴う局地的な収束線 ・ 海陸分布や地形などの影響を受けた局地的な収束線	・ 1つの停滞性の線状メソ対流系による場合が多い	中
	3. トリガーは弱く、対流自身によって組織化したもの	・ R3年7月九州南部	・ 大きな不安定度	・ 1つの停滞性の線状メソ対流系による場合が多い ・ 鉛直シアとコールドプールのバランス関係	高
	4. 地形の影響が大	・ H25年8月東北 ・ H26年8月豪雨（広島市）	・ 大気の成層状態や風、山岳の形状など	・ 山岳風下域に形成される収束線など	中
C. 台風の影響を強く受けたもの（発達した低気圧を含む）	1. 台風遠隔（多量の水蒸気フラックスと地形や前線の影響など）	・ H25年10月伊豆大島 ・ R4年7月四国 ・ R5年6月四国・東海 ・ H29年10月紀伊半島	・ 多量の水蒸気フラックスと地形の影響 ・ 台風北東側を中心とした総観スケールの前線強化	・ 地形性上昇流やシーダー・フィーダー効果 ・ 前線強化過程 ・ アウターレインバンド	中
	2. 台風コア域	・ R元年9月伊豆半島	・ 台風の遅い移動速度	・ 台風の壁雲やインナーバンドなど	低

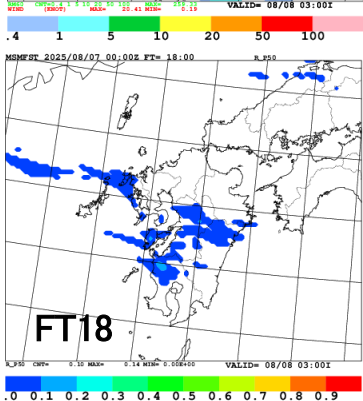
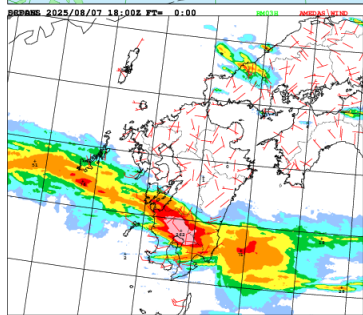
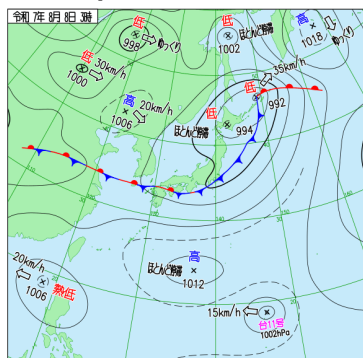
2025年 線状降水帯事例 (一部)

8/7 石川



A.前線本体に伴う

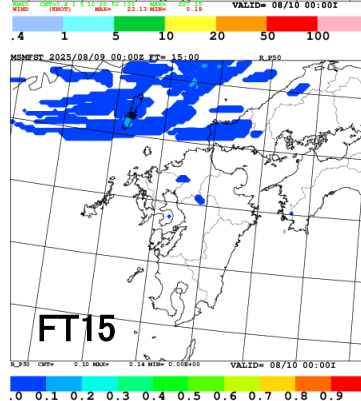
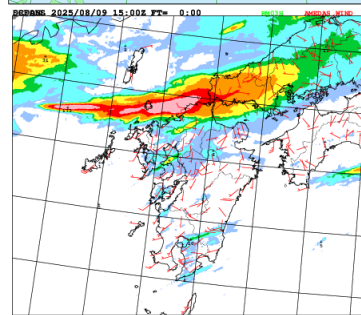
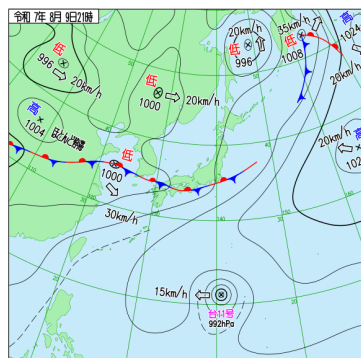
8/8 鹿児島



FT18

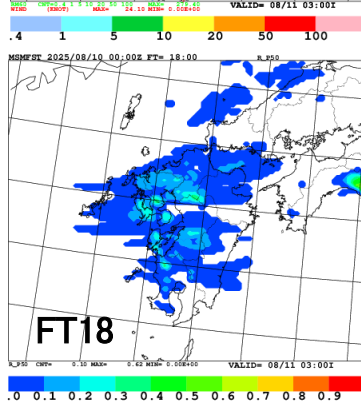
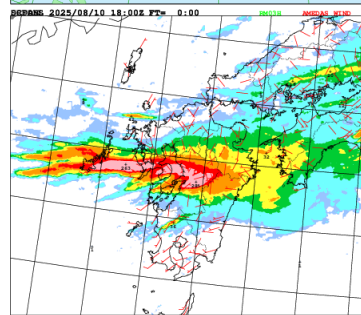
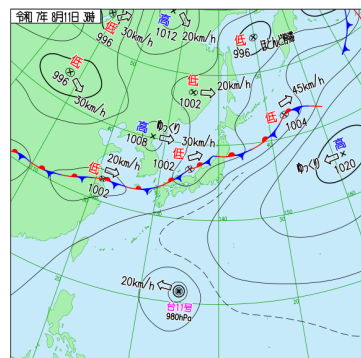
B1.前線南側
対流域の一部強化

8/10 福岡



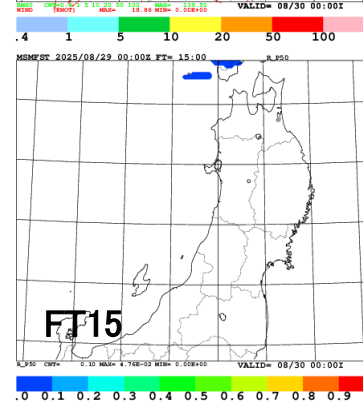
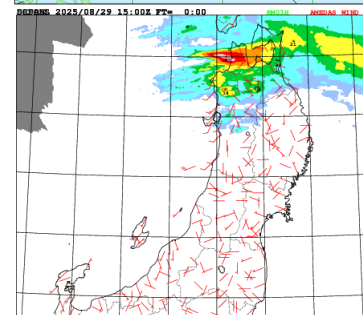
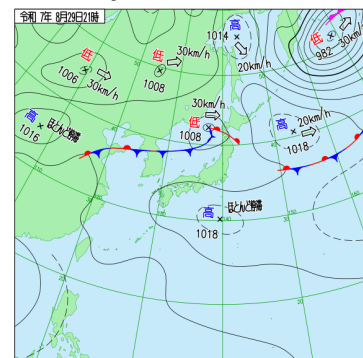
A.前線本体に伴う

①8/11 熊本



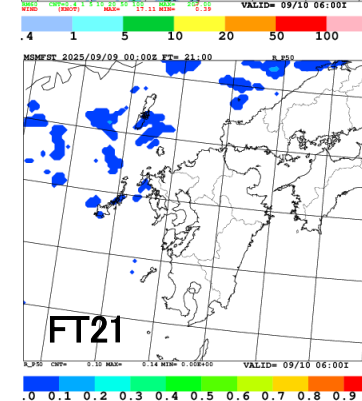
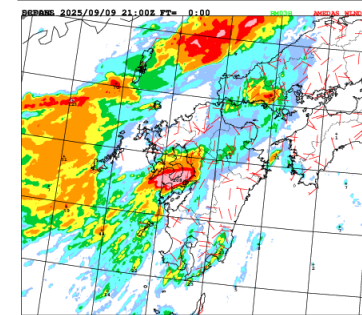
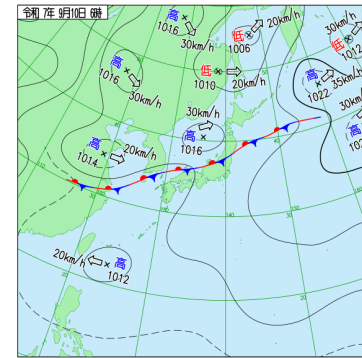
A.前線本体に伴う

8/29 青森



A.前線本体に伴う

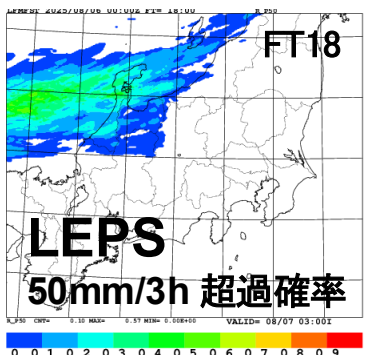
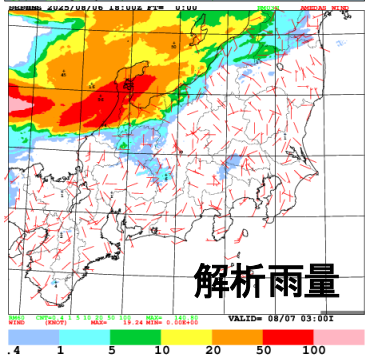
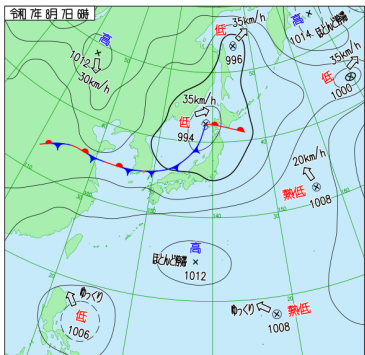
②9/10 長崎



B3.前線南側
対流自身によって組織化

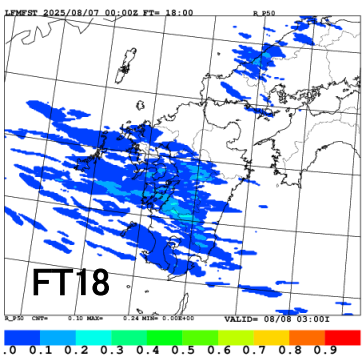
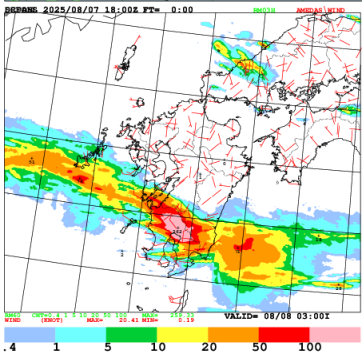
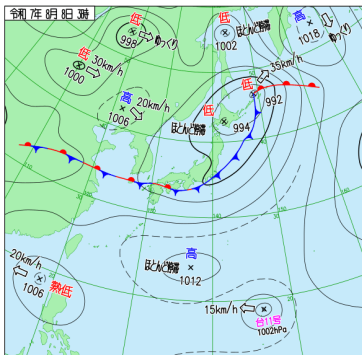
2025年 線状降水帯事例 (一部)

8/7 石川



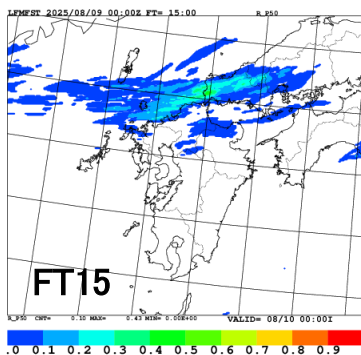
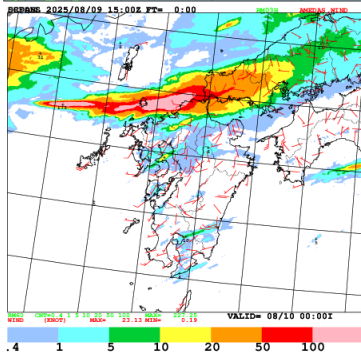
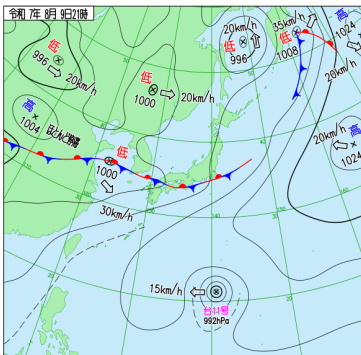
A.前線本体に伴う

8/8 鹿児島



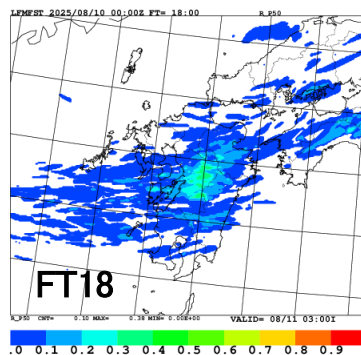
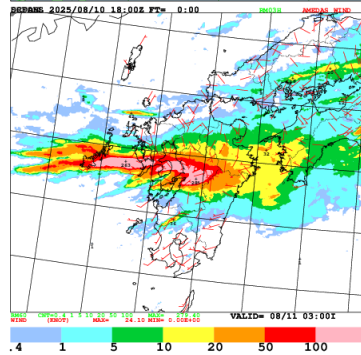
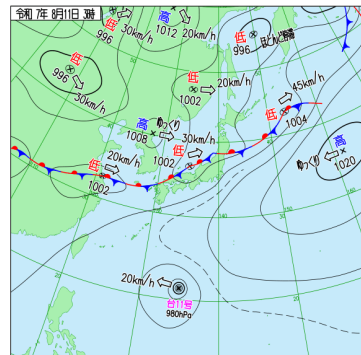
B1.前線南側
対流域の一部強化

8/10 福岡



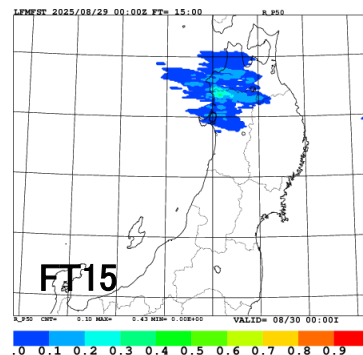
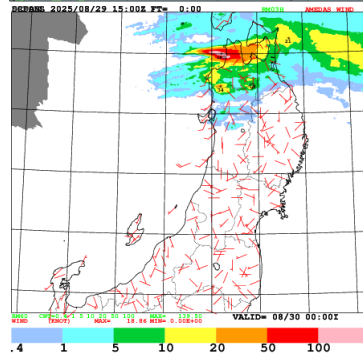
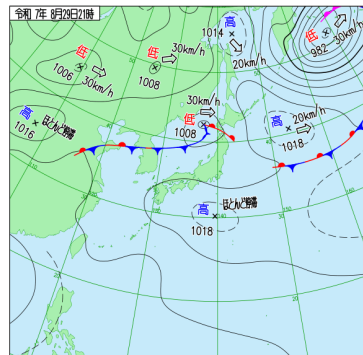
A.前線本体に伴う

①8/11 熊本



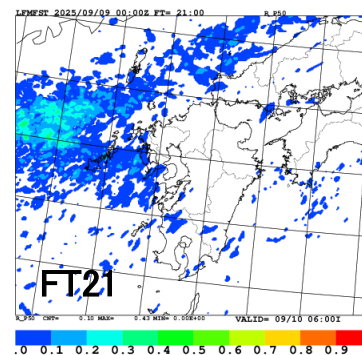
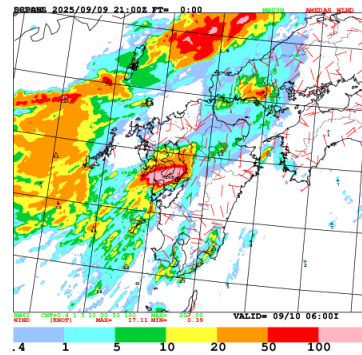
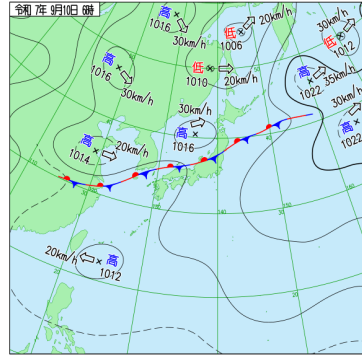
A.前線本体に伴う

8/29 青森



A.前線本体に伴う

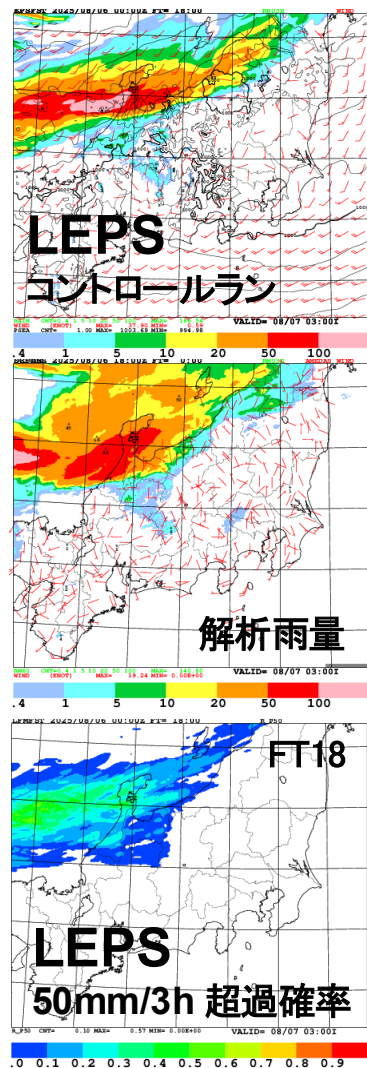
②9/10 長崎



B3.前線南側
対流自身によって組織化

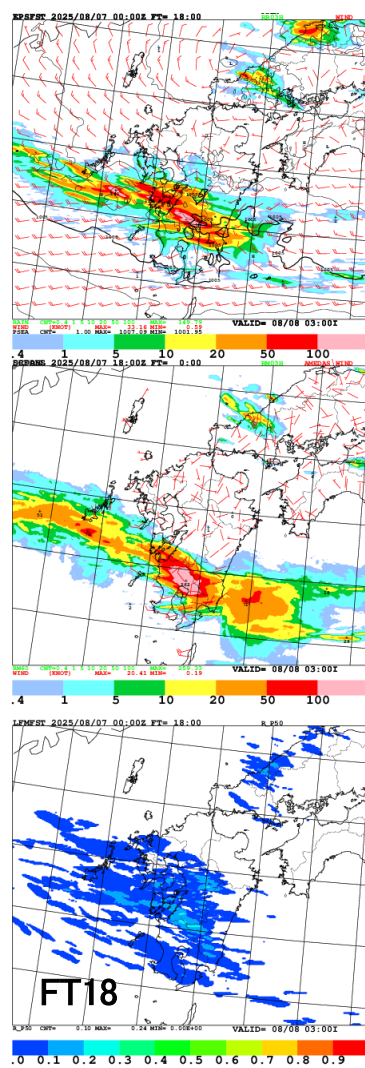
2025年 線状降水帯事例 (一部)

8/7 石川

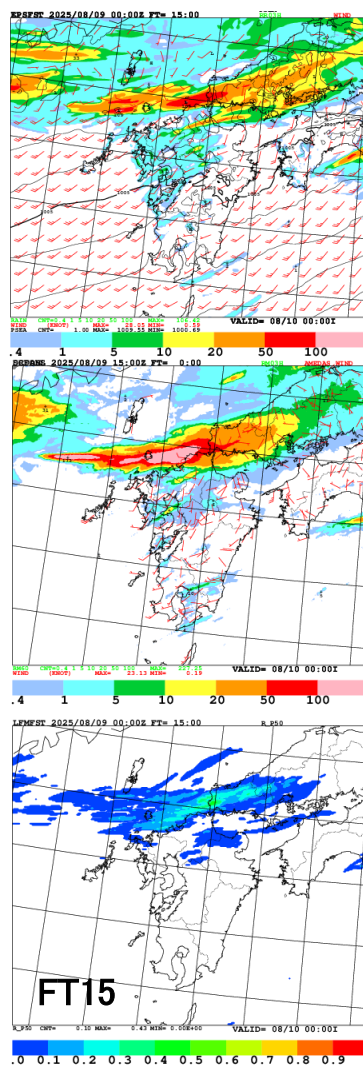


A.前線本体に伴う

8/8 鹿児島

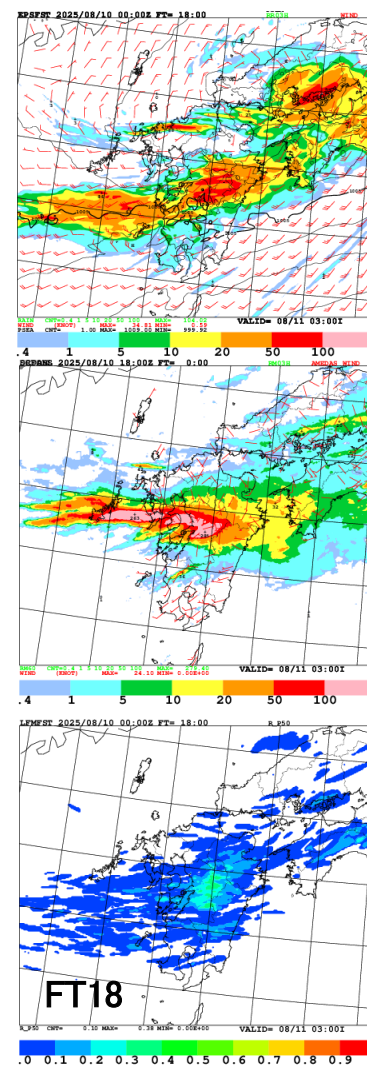
B1.前線南側
対流域の一部強化

8/10 福岡



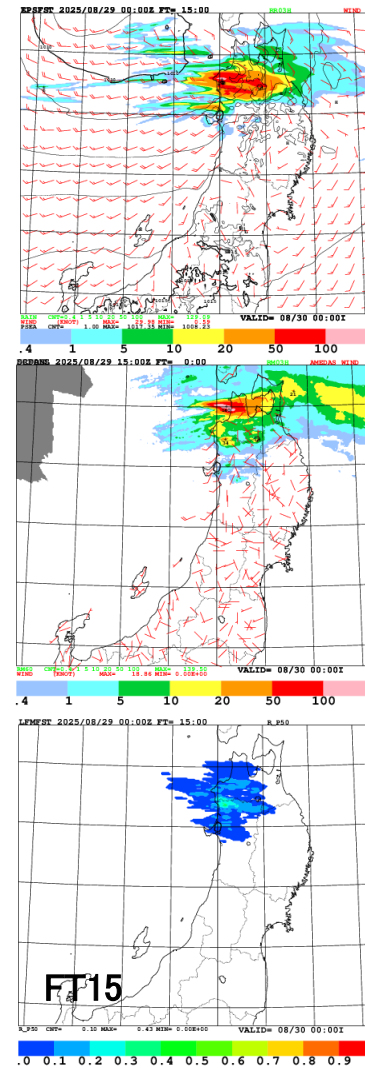
A.前線本体に伴う

①8/11 熊本



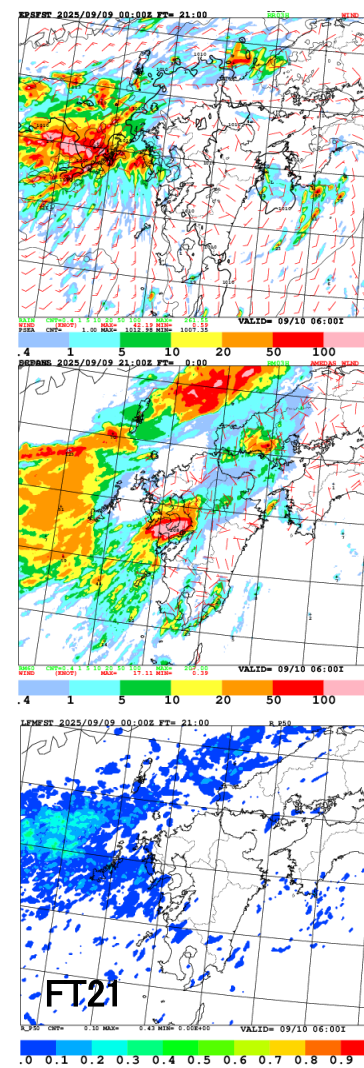
A.前線本体に伴う

8/29 青森

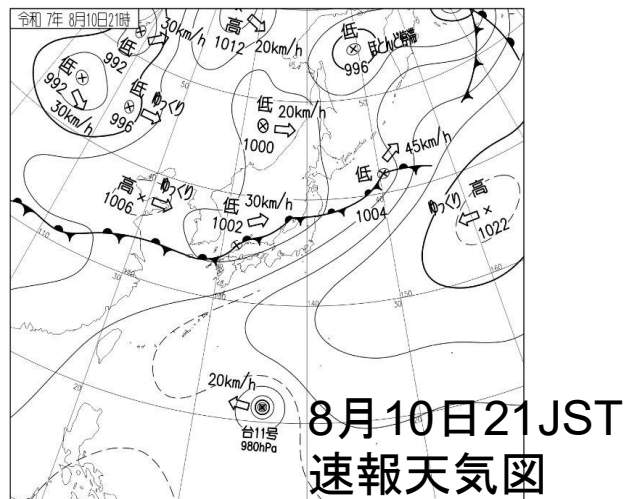


A.前線本体に伴う

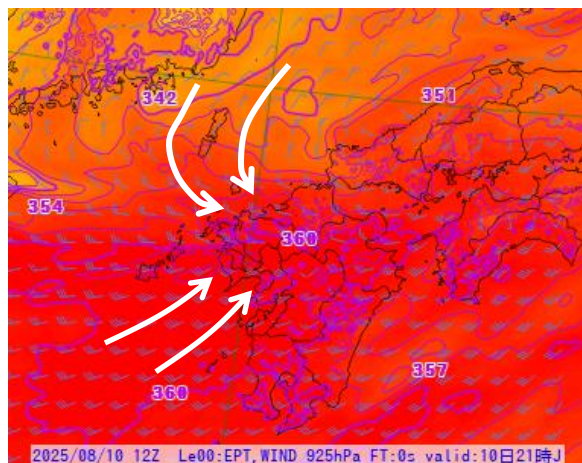
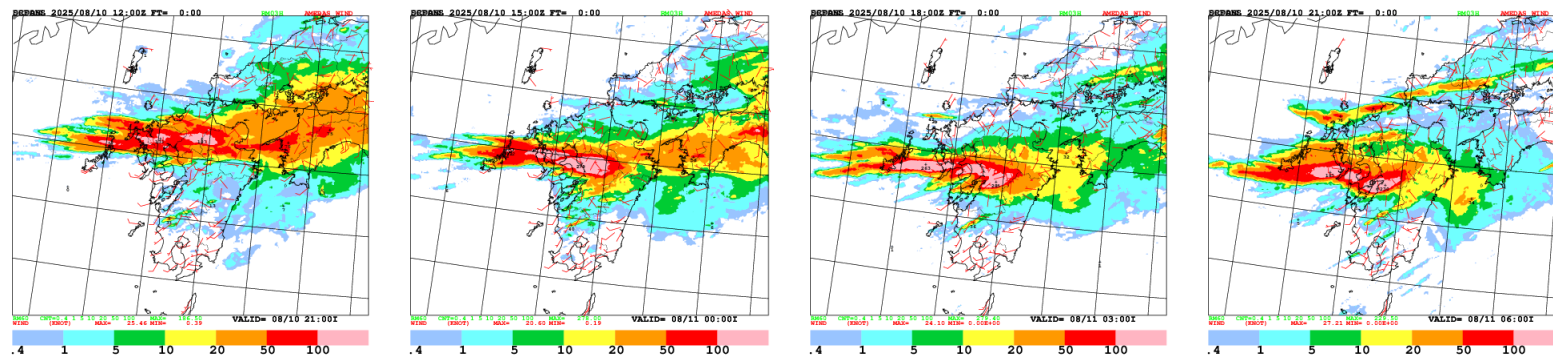
②9/10 長崎

B3.前線南側
対流自身によって組織化

①8/11 熊本（概況）



2025/8/10 21JST = 8/11 00JST ———→ 03JST ———→ 06JST



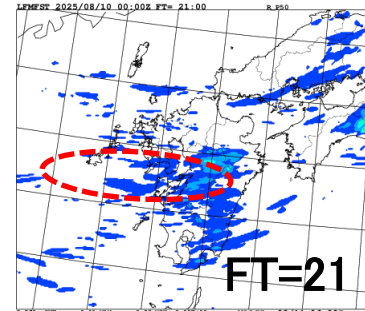
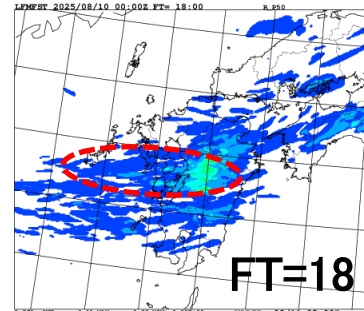
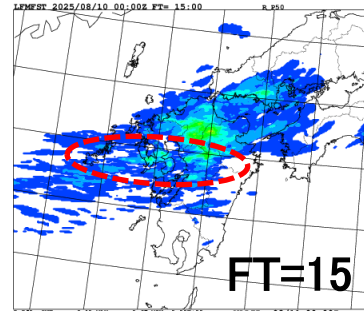
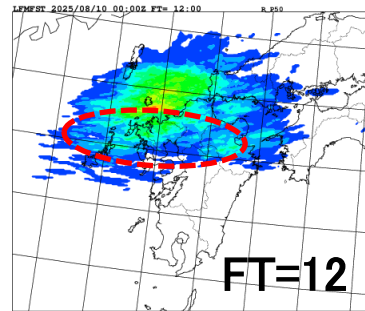
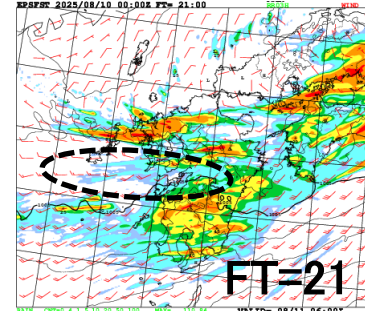
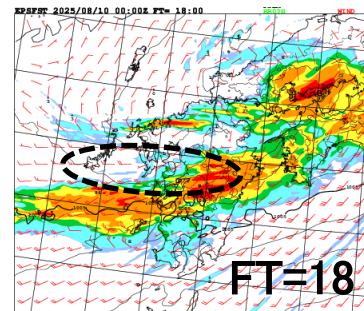
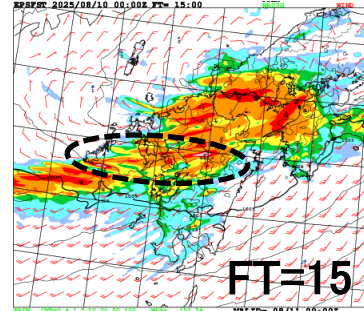
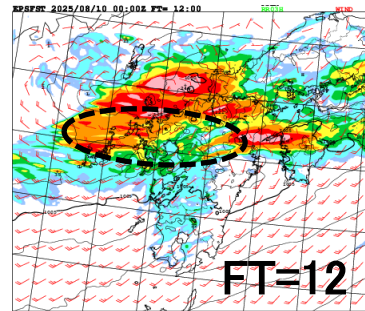
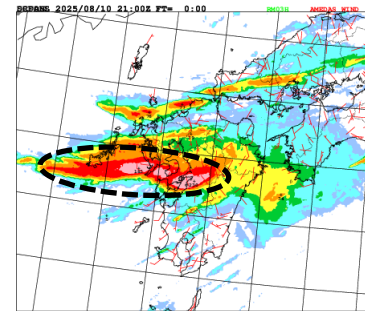
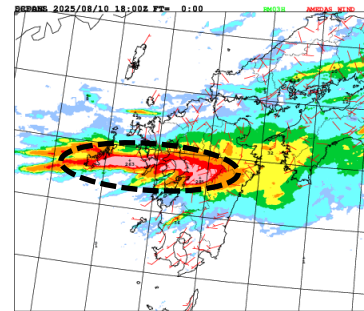
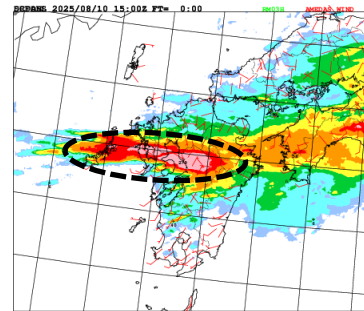
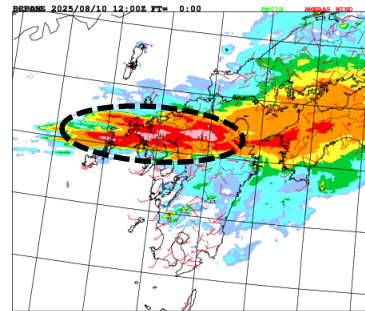
- ✓ 停滞前線の暖域側において、8月10日深夜～11日朝にかけて熊本県を中心に線状の強雨が継続
- ✓ 停滞前線上の低気圧後面からの北西風と太平洋高気圧縁辺からの南西風との収束域（比較的スケールが大きい）。
 - ✓ 大きなスケールの雨域が南下・一部強化しながら継続
 - ✓ 00JSTから06JSTは南下速度がゆっくりで熊本付近にほぼ停滞
- ✓ 南西海上から下層暖湿気が供給される

8/10 21JST(12UTC)初期値
925hPa EPT/WIND FT=0

①8/11 熊本（LEPS予測）

2025/8/10 21JST = 8/11 00JST → 03JST → 06JST

解析雨量



LEPS
コントロールラン
8/10 00UTC初期値

LEPS
50mm/3h
超過確率
8/10 00UTC初期値

実況

8月10日深夜～11日朝にかけて
熊本県を中心に線状の強雨が継続

コントロールラン

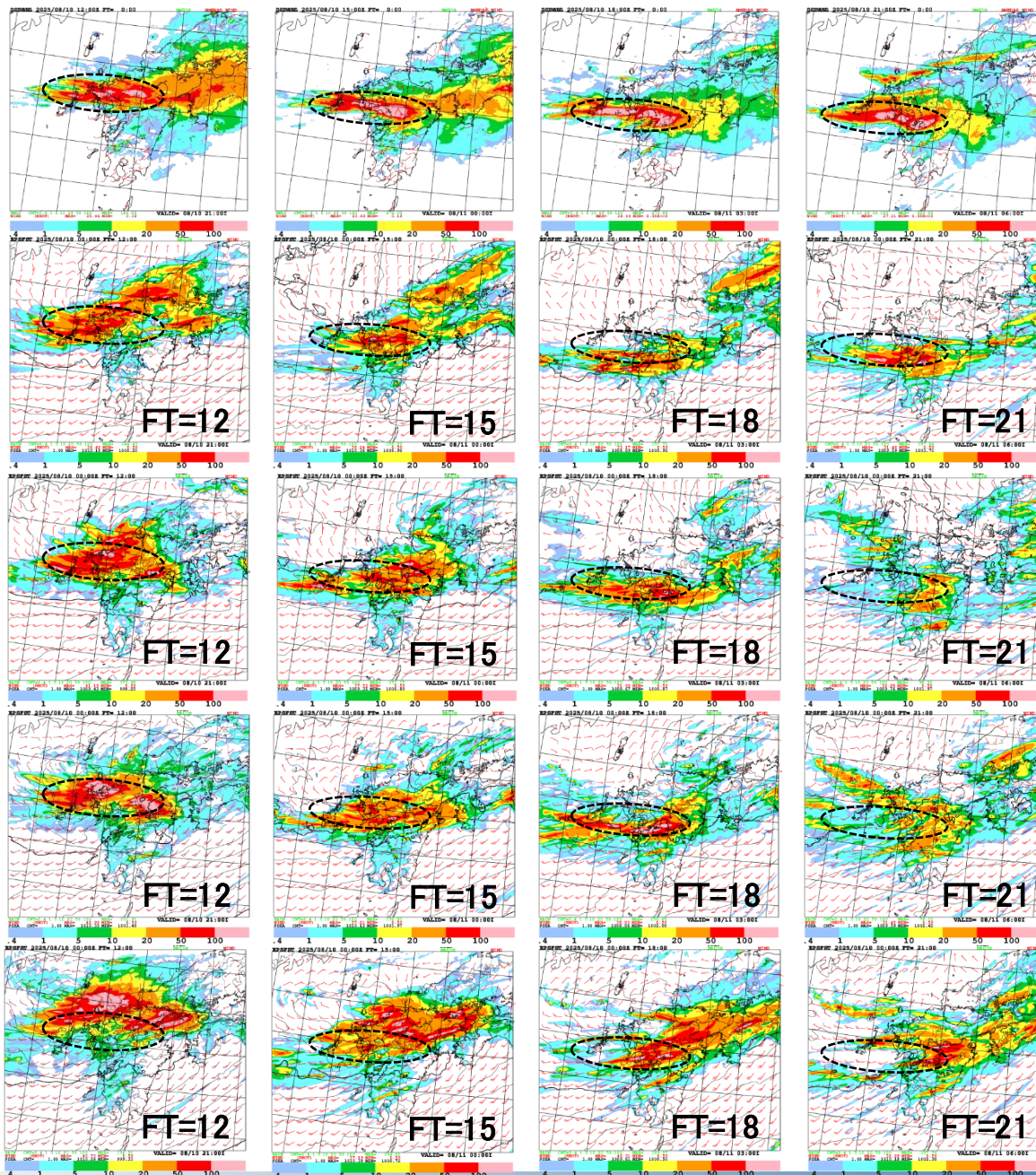
FT=12は実況よりも北寄り、
FT=18にかけて強雨域を南下、
FT=21では雨域はばらけて弱い。

50mm/3h超過確率

アンサンブルメンバー全体で、
持続・停滞する実況の位置にポ
テンシャルを表現。

ただし、個々のメンバーが実況
の強雨の持続・停滞を継続的に
捉えたわけではない。

解析雨量

LEPS
メンバー14
8/10 00UTC初期値LEPS
メンバー07
8/10 00UTC初期値LEPS
メンバー09
8/10 00UTC初期値LEPS
メンバー06
8/10 00UTC初期値

個々のメンバーが実況の強雨の持続・停滞を継続的に捉えたわけではない。

○特徴的なメンバーの例 メンバー14

線状の強雨の～FT=21までの継続を比較的良好に表現。FT=18では実況よりも南寄り。

メンバー7

線状の強雨の～FT=18までの継続を比較的良好に表現。FT=21では雨域はばらけて弱まる。

メンバー9

FT=12の福岡・大分付近の強雨を表現。線状の強雨の～FT=18までの継続を比較的良好に表現。FT=21では雨域はばらけて弱まる。

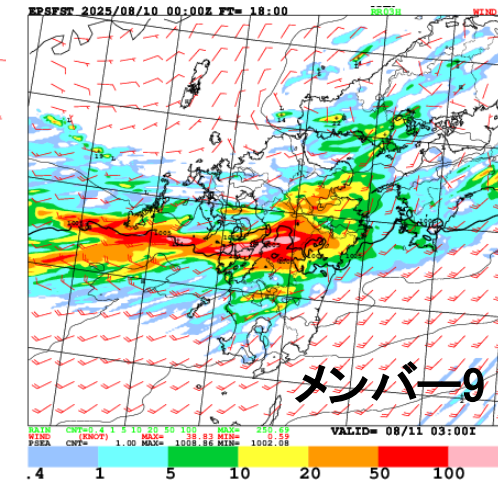
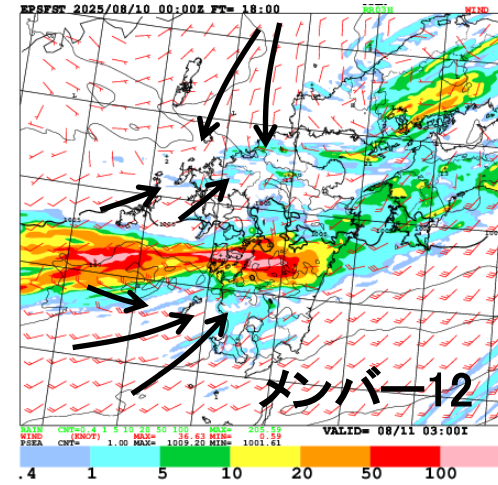
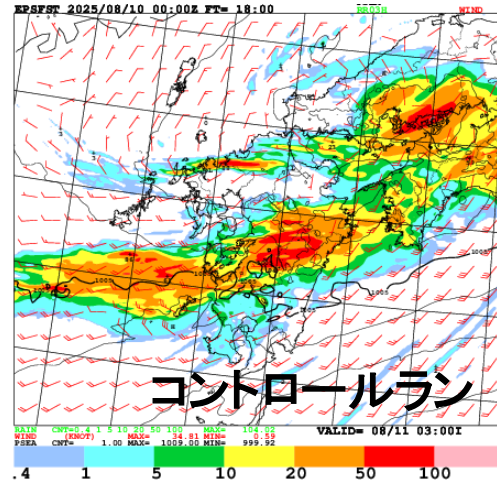
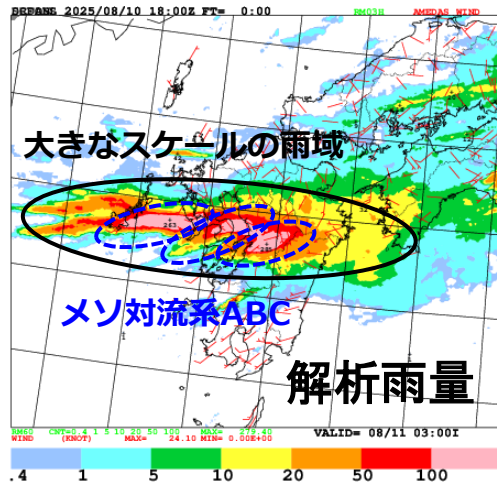
メンバー6

FT=12～15は実況に比べて北寄り。FT=18～21では実況の一部を捉えるが、強雨域の大きなスケールでの走向は実況とは異なる。

①8/11 熊本 (LEPS予測)

個々のメンバーが、実況の大きなスケールでの雨域の走向や、雨域内での複数のメソ対流系を全体的確に捉えたわけではない。

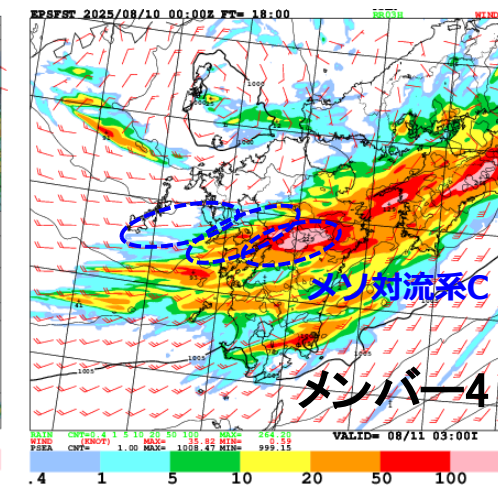
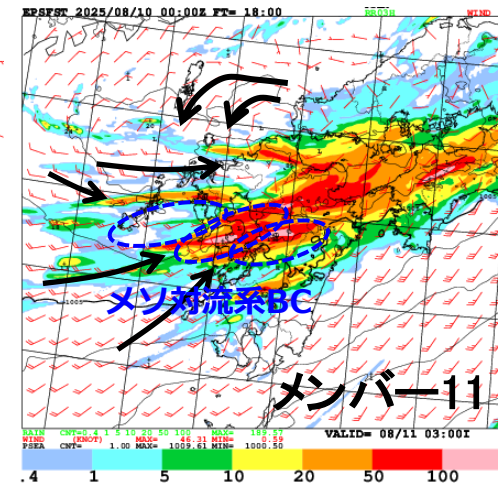
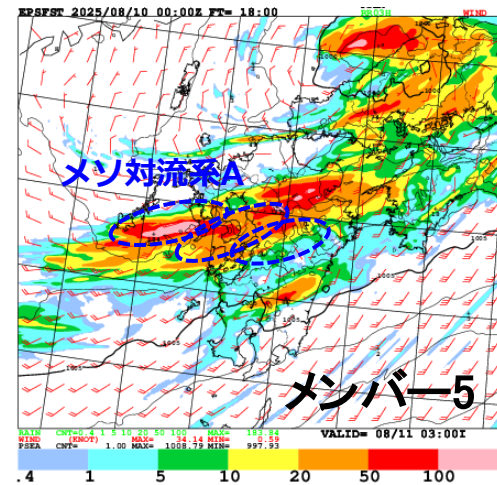
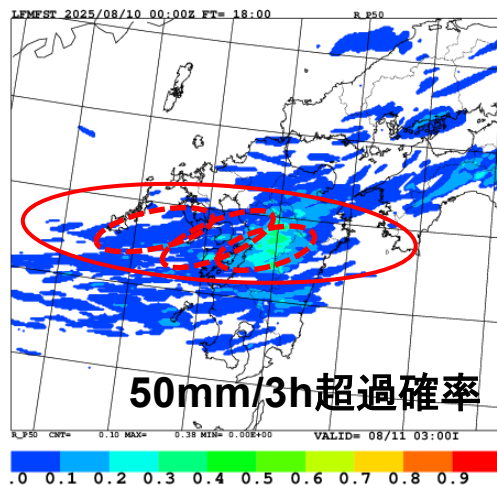
2025/8/11 03JST



メンバー12,9

大きなスケールの雨域の走向は実況に近い。全体的な位置ずれ（実況に比べて南寄り）。

メソ対流系ABCに対応するような雨域内での一部の強化。周辺の地上風系にも影響すると見られる。



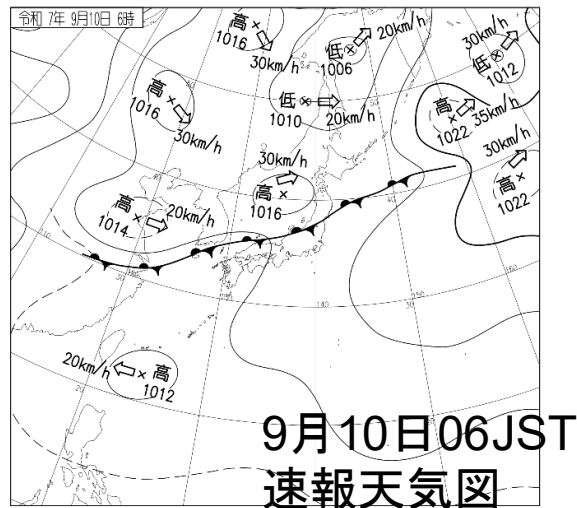
メンバー5,11,4

メソ対流系ABCと位置的に対応した強雨を表現するメンバー。

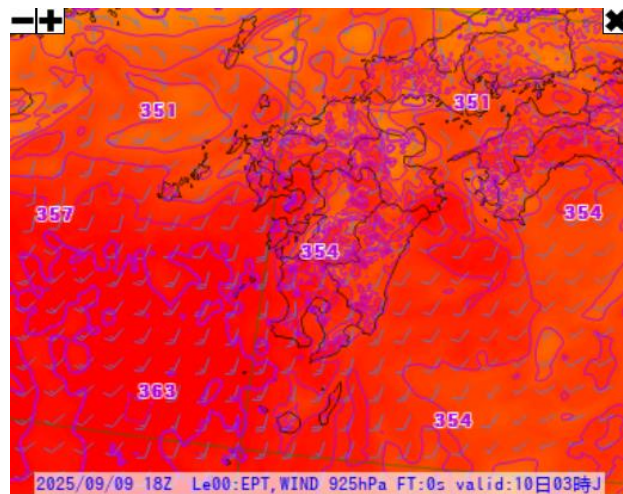
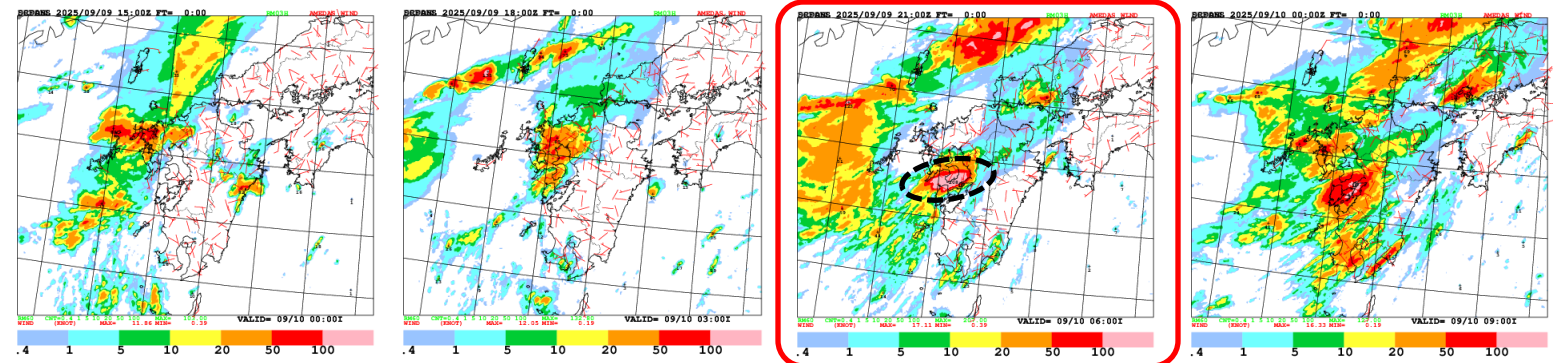
アンサンブルメンバー全体で、実況の位置にポテンシャルを表現

予測値はいずれも2025/8/11 00UTC初期値のFT=18

②9/10 長崎（概況）



2025/9/10 00JST == 03JST == 06JST ==> 09JST

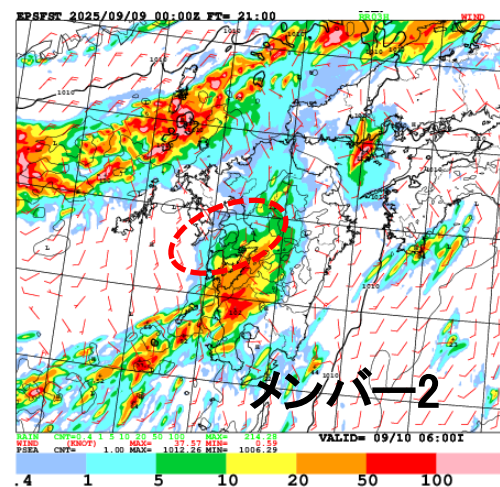
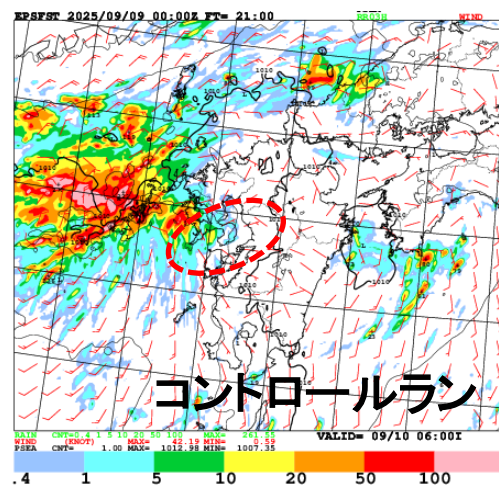
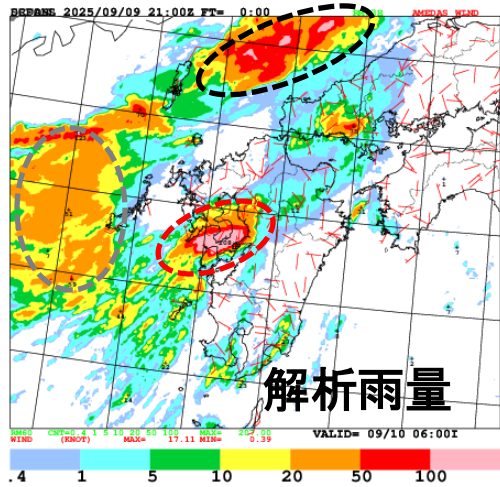


- ✓ 停滞前線の暖域内事例
- ✓ 現象に直接対応する総観スケールの現象なし
- ✓ 明瞭な下層の収束構造も見られない
- ✓ 南海上から暖湿気が継続して流入

9/10 03JST (9/9 18UTC) 初期値
925hPa EPT/WIND FT=0

②9/10 長崎 (LEPS予測)

2025/9/10 06JST



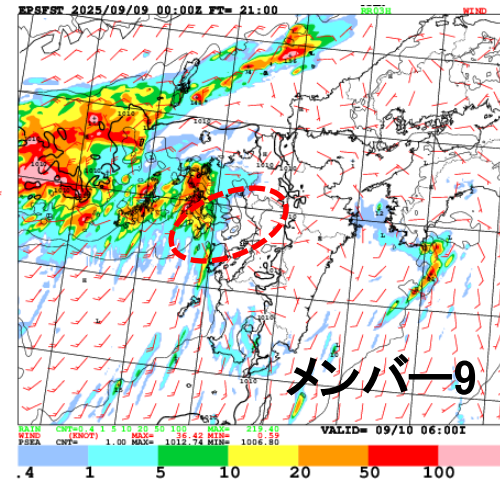
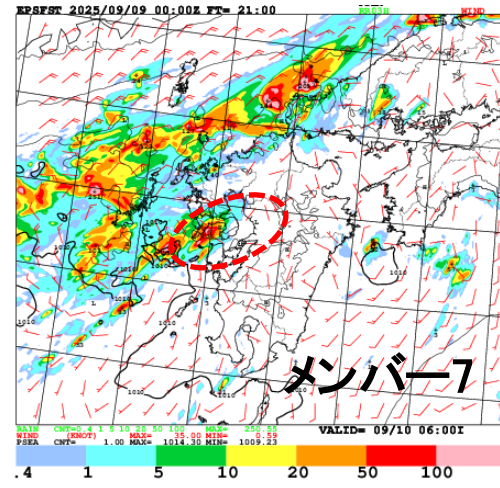
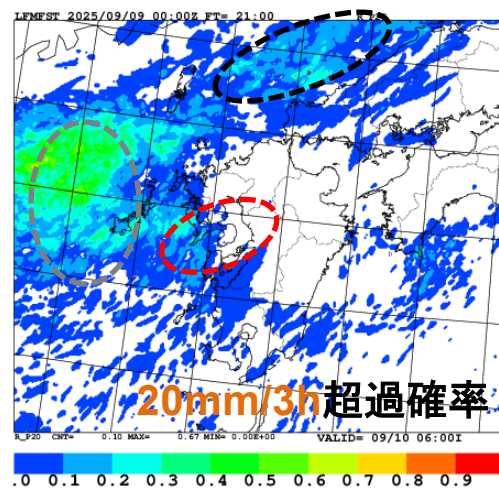
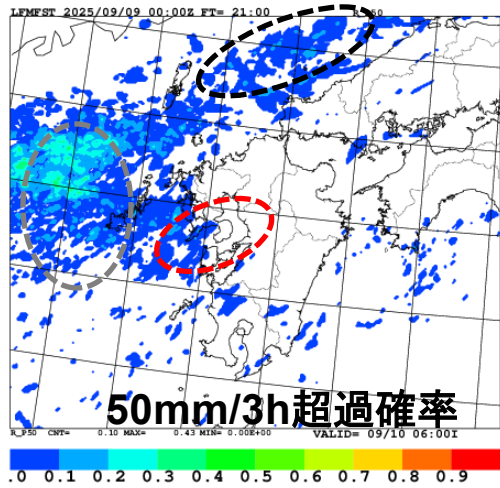
コントロールラン

低気圧循環に雨域を集中。南西風との収束域に強雨を表現。

メンバー2

停滞前線に対応する雨域を表現。

前線暖域側の南西風とのシア上で強雨を表現し、この強雨が強化・持続しながら九州南部へ。



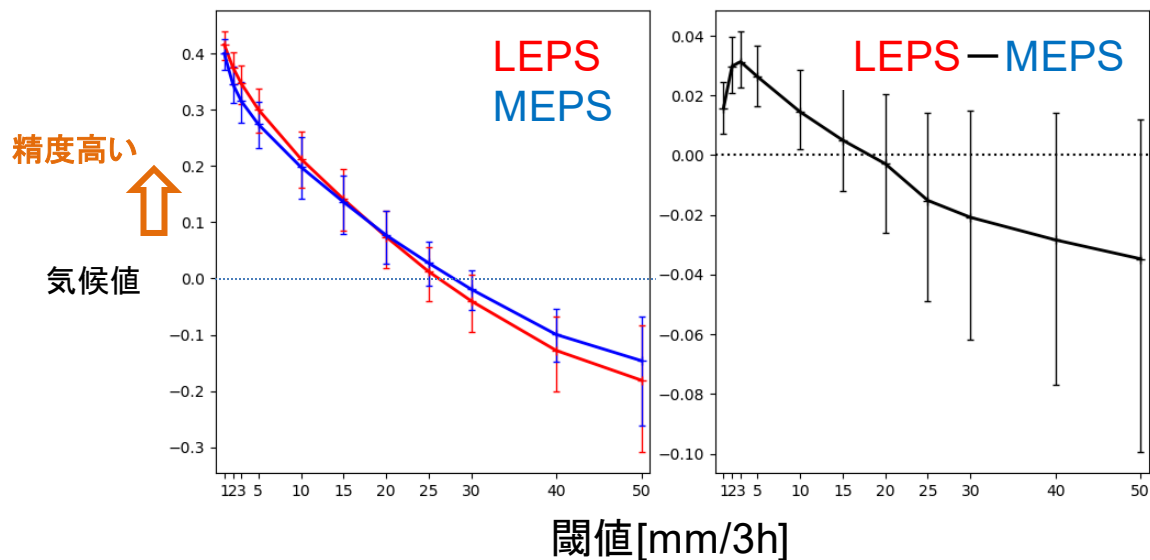
メンバー7,9

低気圧循環と南西風との収束域に強雨を表現。収束域上にいくつかのメソ対流系を表現するが、実況ほどの強化は見られない。

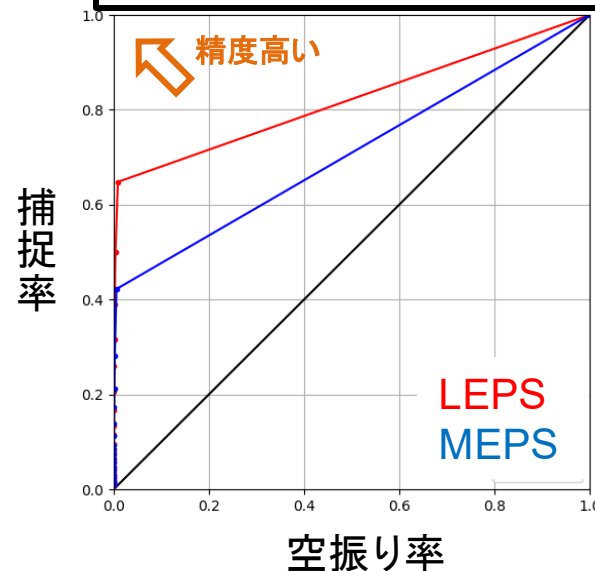
予測値はいずれも2025/9/9 00UTC初期値のFT=21

期間統計：MEPSと比較した降水検証

閾値別BSS



ROC曲線 50mm/3h



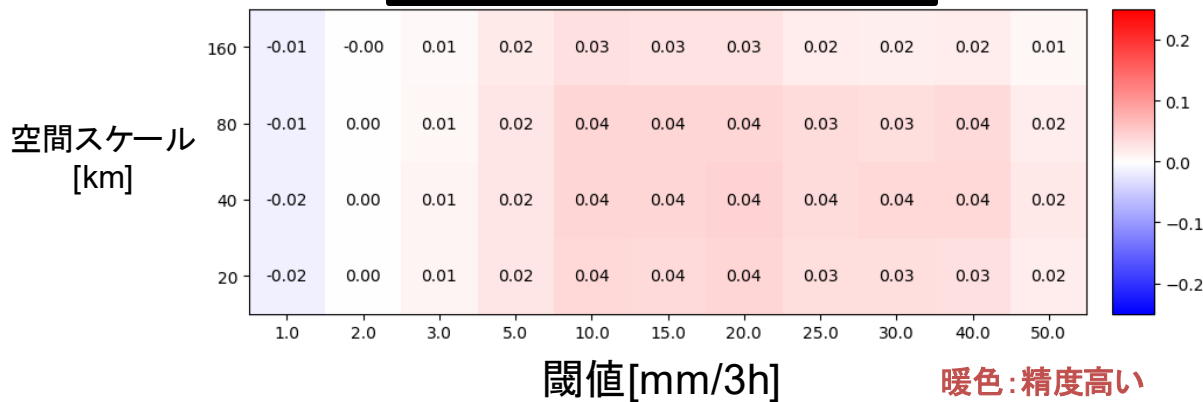
検証期間

- 2025/06/02 00UTC ~ 10/31 12UTC
- 初期時刻：00, 12UTC

設定

- 要素：20km検証格子内平均降水量
- 降水積算時間：3時間
 - 予報時間：3~21時間(3時間毎)

FSS差分(LEPS-MEPS) (10km格子)



LEPSはMEPSに対して、強雨の捕捉率が高く、BSSや位置ずれを考慮した検証(FSS)は改善の傾向

- BSSは、気候値よりスキルのある閾値ではLEPSの方がスコアが良い
- 強雨の捕捉率はLEPSの方が高い傾向
- FSSは、大きい降水量閾値でLEPSの方が良い傾向

内容

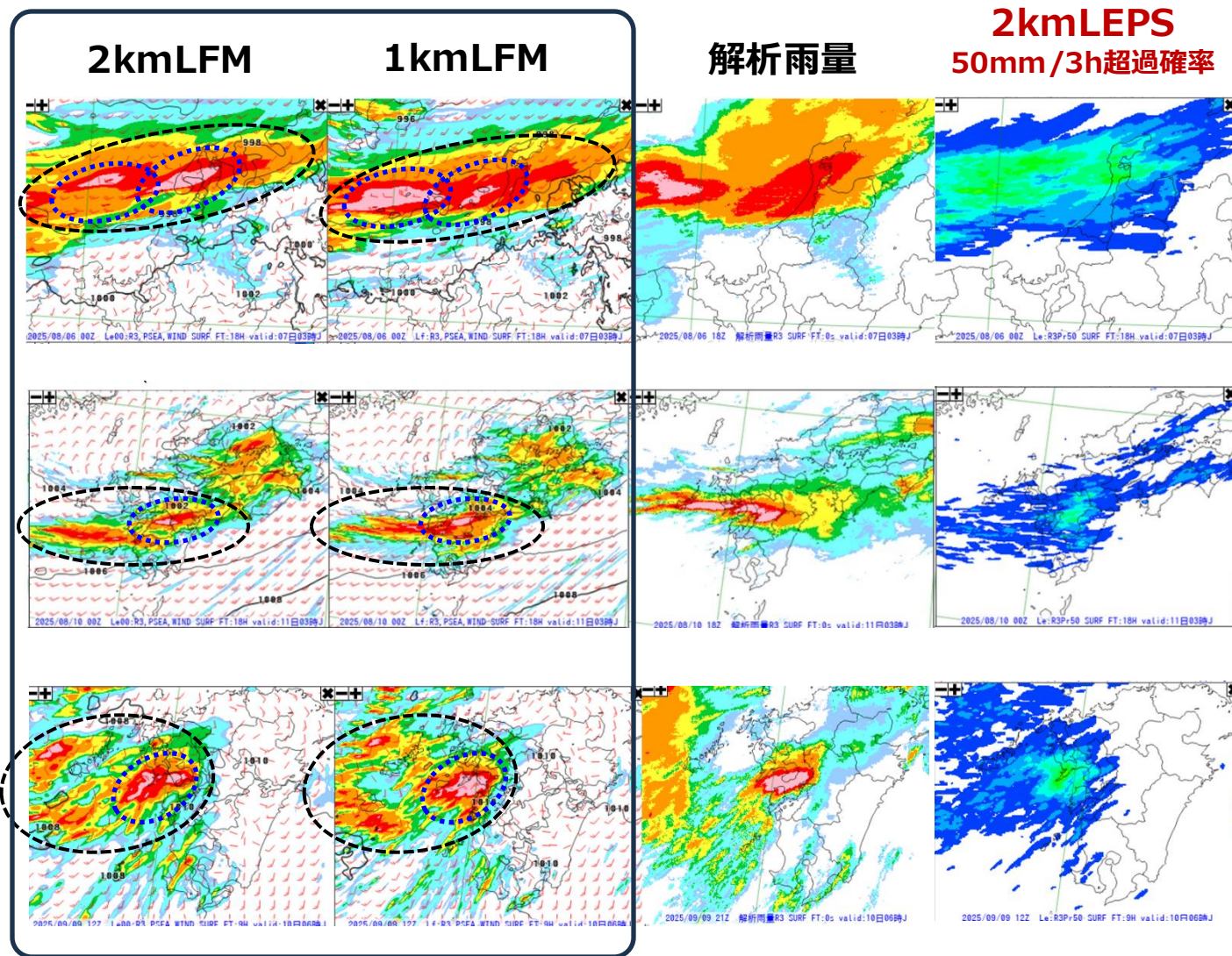
- 開発中の局地アンサンブル予報システム
 - 2026年3月運用開始を計画
- 2025年の線状降水帯事例についての調査（成果と課題）
（2025年出水期に実施した「富岳」におけるリアルタイム実験結果）
 - LEPSとMEPSとの比較
 - LEPSコントロールラン・LEPS確率予測の確認
 - 線状降水帯発生形態の分類を参考に
- 1kmLFMと2kmLEPS
- まとめ

1km/2km LFM と 2kmLEPS

2025/8/7 石川
8/6 00UTC初期値
FT=18

①8/11熊本
8/10 00UTC初期値
FT=18

②9/10 長崎
9/9 12UTC初期値
FT=9



1km/2km LFMの表現の差異

同じ発生環境場（初期値・境界値）
におけるモデルの振る舞いの違い

- 前線など、大きなスケールの雨域は一致
- 小スケールの対流システムの表現には差異

2kmLEPSとの関係

- アンサンブルメンバーは、大きなスケールの前線の位置ズレ等（環境場の不確実性）も表現する。
- アンサンブルメンバー間の違い（超過確率）の中に
1km/2kmLFMの差異（対流発生位置の不確実性）は含まれる

発生環境場の不確実性 > 対流発生位置の不確実性のスケール

まとめ

- 2030年数値予報技術開発重点計画に沿って、線状降水帯予測の不確実性を捉えるべく局地アンサンブル予報システム（LEPS）の開発を進め、2026年3月に運用開始の予定である。
- LEPSは、100km程度以上の水平スケールの初期摂動・側面境界摂動を与え、その摂動を起因とする 2kmLFM の振る舞いの違い（ばらつき）により、主に発生環境場に起因する強雨予測の不確実性を捉える
- 「富岳」リアルタイム実験等により、多くの線状降水帯事例で以下を確認
 - LFMに基づくアンサンブルにより、メソアンサンブル（MEPS）よりも大雨の可能性を捕捉
 - コントロールラン（LFM）だけでは捉えきれない大雨の可能性をLEPSにより捕捉線状降水帯「発生形態分類表」を参考に事例調査
 - 予測の難しさとLEPSの強雨確率には定性的な対応が見られる
 - LFMで予測しやすい事例（スケールの大きい環境場の影響大）は、LEPSで高い超過確率を示す傾向
 - LFMの予測精度が低い事例（スケールが小さい、対流の発生に関する不確実性の影響大など）では、LEPSの示す超過確率は低い傾向。一方、多くのケースでいずれかのアンサンブルメンバーが強雨の可能性は捕捉。
 - ただし、個々のメンバーが実況の強雨の持続・停滞を継続的に捉えたわけではない（アンサンブル全体で捉えたもの）

今後の課題

- 現状、考慮できていない不確実性の表現
 - モデルの不確実性：モデル摂動、下部境界の不確実性：SST摂動など
 - （多様な）線状降水帯の予測の不確実性の源を考慮する必要がある。要因の程度に応じた摂動間のバランスも考慮する。
- 環境場の不確実性に加えて、対流の発生・発達・停滞の不確実性を捉える
 - LFMと共通する対流の継続的な形成（降水域の停滞）・強雨過多（空振り）の誤差
 - 対流許容モデルに適した物理過程開発と協働した摂動開発
- 線状降水帯等のメソスケール現象は本質的な予測可能性（intrinsic predictability）が低い
 - （多様な）線状降水帯の予測可能性、機構、誤差要因の把握が重要
 - 少ないメンバー数での効率的な不確実性捕捉（というチャレンジ）
 - 昨今の計算機事情を鑑みると、更なる高解像度化・メンバー数増強は非常に困難
 - 実用的な予測可能性（practical predictability; 初期値や数値予報モデルの精度向上により高めることが可能）を高めていくことは引き続き重要



おわり