

4.3 局地アンサンブル予報システムの運用開始に向けた開発

4.3.1 はじめに

線状降水帯に代表される集中豪雨等のメソスケール現象は、毎年のように豪雨災害をもたらしており、その予測精度の向上は防災上の重要な課題である。気象庁はメソモデル（MSM: Meso-Scale Model; 水平格子間隔 5 km）の予測精度向上、MSM をベースとするメソアンサンブル予報システム（MEPS）による確率予測精度向上のための開発を進めてきた。また、より局地的な現象を捉えるため、局地モデル（LFM: Local Forecast Model）の継続的な改良を進め、線状降水帯に伴う局地的な強雨の分布や降水量をある程度表現することが可能になってきている。それでも、これらのモデルが対象とするメソスケール現象の予測可能性は本質的に低く（Zhang et al. 2003 など）、局地的な強雨を時間と場所を特定して予測することは困難であり、依然として予測の不確実性が高い。

気象庁が平成 30 年に策定した「2030 年に向けた数値予報技術開発重点計画」では、豪雨防災の目標達成に向けた開発の方向性の一つとして、「キロメートル以下の高解像度局地モデル」の開発と「集中豪雨の予測が持つ不確実性を、適切に捕捉可能な局地アンサンブル予報システムの開発」を挙げ、決定論的予測の精度向上と、その予測不確実性を捉えるアンサンブル予報システムの開発を重要課題としている。気象庁では、これらの重要課題について、2025 年度末に、LFM の高解像度化（水平格子間隔を 2 km から 1 km）（4.2 節）及び LFM をベースとする局地アンサンブル予報システム（以下、LEPS とする）の運用開始を計画している。

LEPS は、線状降水帯予測スーパーコンピュータ及びスーパーコンピュータ「富岳」を活用して開発を進めてきた。気象庁（2024）では、2024 年時点で開発中の LEPS（初期摂動のみ）の強雨確率予測特性について事例調査結果を示した。その後の開発において、側面境界摂動を導入した性能評価試験を実施した後、本運用開始に向けた部内試験運用として、2025 年 6 月から 10 月に「富岳」において LEPS リアルタイムシミュレーション実験を実施した。

本節では、第 4.3.2 項で 2025 年度末に運用開始予定の LEPS の仕様を説明する。第 4.3.3 項では、まず摂動の時間発展の特性を概観し、次に LEPS の強雨確率予測特性について、側面境界摂動を導入した性能評価試験（2023 年の強雨事例を対象）の事例検証と統計検証を服部ほか（2025）に基づき報告する。側面境界摂動の効果及び影響範囲についても説明する。第 4.3.4 項では、「富岳」リアルタイムシミュレーション実験の結果を報告する。

4.3.2 運用開始予定の LEPS の仕様

運用開始予定の LEPS の仕様を説明する。本項の仕様により、第 4.3.3 項及び第 4.3.4 項の試験を実施した。

LEPS は、MEPS 摂動に由来する、主として 100 km 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水平格子間隔 2 km 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アンサンブル予報システムである。

LEPS の予報モデルは LFM（水平格子間隔 2 km; 以下、2kmLFM と呼ぶ）を用いて、各メンバーの予測における計算領域や水平格子間隔、鉛直層配置、物理過程を含む各種設定を全て 2kmLFM に揃える。予報時間は 21 時間とし、1 日 4 回（00,06,12,18UTC）実行する。メンバー数は 21（うち摂動を与えないコントロールラン 1）である。水平格子間隔 1 km に高解像度化する LFM（4.2 節）とは別に、2kmLFM を LEPS のコントロールランとして実行する。

摂動は初期摂動と側面境界摂動を与える。初期摂動は、6 時間前を初期値とする MEPS の 6 時間予報値とその時刻のアンサンブル平均の差から算出される摂動成分を用いて作成する。この摂動成分に、高度 5500 m の温位摂動の振幅が領域平均で基準値（0.4 K）になるよう算出した振幅調整係数（全予報変数に同一の係数を使用）を乗じた上で、初期値（局地解析）に加える。側面境界摂動は、MEPS の 6～27 時間予報値とその時刻のアンサンブル平均の差を摂動成分とし、初期摂動の振幅調整係数を乗じた上で、側面境界値（メソ予報値）に加える。MEPS の初期摂動は特異ベクトル（SV）法を用いており、総観規模、メソ α スケール、メソ β スケールの現象の予測の不確実性を捉えるため、全球 SV（水平格子間隔約 270 km）と 2 種類のメソ SV（水平格子間隔 80 km, 40 km）を組み合わせている（國井・小野 2020）。MEPS のメンバー数は LEPS と同じ 21 であるので、MEPS のあるメンバーから求めた摂動が LEPS のあるメンバーの摂動と対応する。この摂動の親子関係については第 4.3.3 項（1）で述べる。

4.3.3 2023 年梅雨期を対象とした性能評価試験

この項では、2023 年梅雨期の強雨事例を対象とした性能評価試験から、はじめに（1）で LEPS の摂動の時間発展を概観し、続いて（2）で事例検証、（3）で統計検証の結果を示す。（4）では、気象庁（2024）の報告以降に新たに導入した側面境界摂動の効果と影響範囲について述べる。実験期間は 2023 年 6 月 28 日～7 月 12 日（60 初期値）である。実験には、2024 年 4 月時点相当の現業数値予報システムの LFM、MEPS を利用した。

（1）MEPS と LEPS の摂動の親子関係

LEPS の摂動は、基本的には低解像度の親 EPS（MEPS）からのダウンスケーリングとなる。図 4.3.1 で、MEPS と LEPS 摂動の親子関係を、梅雨期のある初

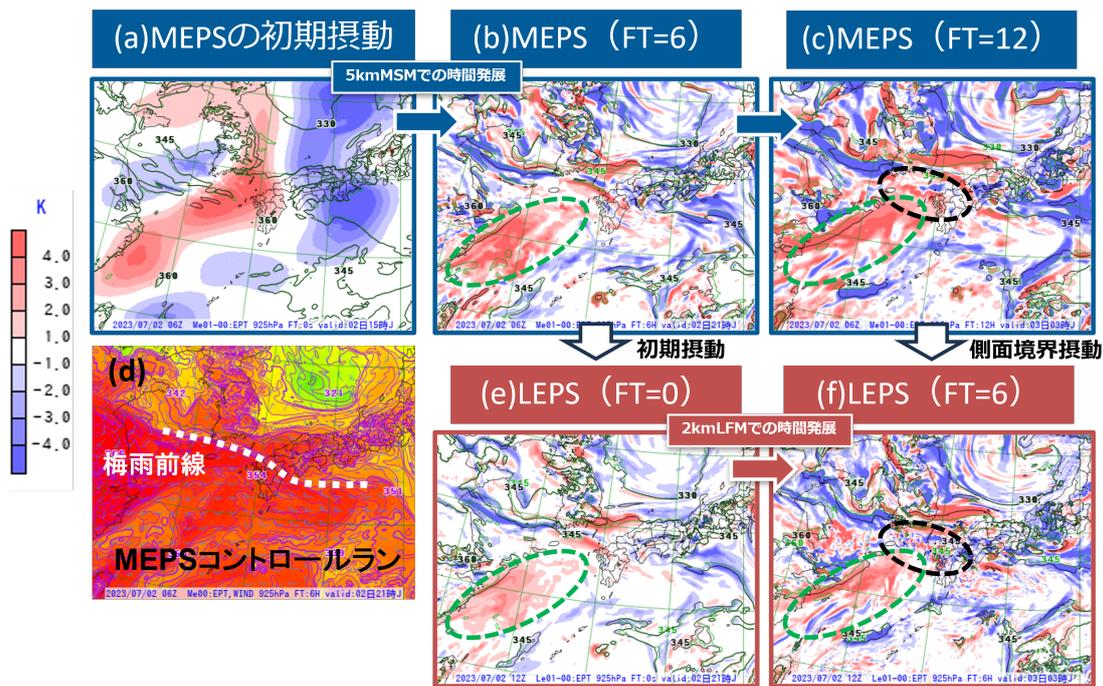


図 4.3.1 MEPS と LEPS の摂動の親子関係。上段 (a),(b),(c) の MEPS は 2023 年 7 月 2 日 06UTC 初期値、下段 (e),(f) の LEPS は 2023 年 7 月 2 日 12UTC 初期値。(b) と (e)、(c) と (f) の予報対象時刻はそれぞれ同じである (図の上下で予報対象時刻が同一になるように並べた)。いずれもメンバー 1 とコントロールランの 925 hPa 相当温度 [K] の差分を摂動例として示した。(d) は MEPS コントロールラン予測 (FT=6) の 925 hPa の相当温度・風。

期時刻の予測を用いて確認してみる。上段には親 EPS である MEPS、下段には、親子関係にあたる「MEPS 初期時刻から 6 時間後を初期時刻とする LEPS」を示している。MEPS のある 1 メンバーの初期摂動を (a) に示す。100 km 程度以上のスケールの空間構造を持った摂動が梅雨前線帯を中心に算出されている。この初期摂動は水平格子間隔 5 km の MSM によって 6 時間の時間発展をする中で、移流するとともに小さなスケールの摂動成分が増加していく (b)。この MEPS 摂動¹ を振幅調整した上で、LEPS の初期摂動とする (e)。この初期摂動は 2km LFM によって時間発展をする中で、移流するとともに小さなスケールの摂動成分が増加していく (f)。MEPS と LEPS での摂動の時間発展を比較すると、大きなスケールの摂動構造の時間発展 (たとえば緑点線の東シナ海の下層暖湿域内の正摂動の移流) は類似している。一方で、前線帯の対流活動域 (黒点線) での小さなスケールの摂動の時間発展の違いが大きい。環境場に与えた摂動に対する MSM と LFM の振る舞い (対流の空間スケール、発生のタイミング、発達の強さの表現等) の違いが現れている。

(2) 事例検証

実験期間中、梅雨前線帯に向かって流入する下層暖湿気の影響により、西日本を中心に線状降水帯が発生した。線状降水帯は、次々と発生した積乱雲が線状に

並び、ほぼ同じ場所に停滞することで線状の強雨域を形成する現象である。益子ほか (2024) は、個々の線状降水帯の発生機構や発生環境場がきわめて多様であることが明らかになってきたことを受けて、その体系的な理解につなげることを目的とし、線状降水帯の発生形態の分類を行った。その分類表では、A:「総観スケールの明瞭な前線本体に伴うもの」、B:「前線南側などの顕著な不安定場内」、といった環境場に着眼した大分類のもと、B-1:「広域の対流域の一部が局所的に強化」、B-2:「局所的な収束線が影響」、B-3:「トリガーは弱く、対流自身によって組織化したもの」、といった発生形態に基づいた分類となっている。また、数値予報モデル (水平解像度~1 km) による再現の相対的な難易度が「主観的」と注釈されつつ含まれており、各分類の難易度は A:「低」、B-1:「中」、B-2:「中」、B-3:「高」とされる。

以下では、益子ほか (2024) による線状降水帯の発生形態分類の着眼点とモデルによる再現の難易度を参考にしながら、実験期間中のうち 4 つの線状降水帯事例について、主観的な予測の難しさの順 (後ろほど難しい) に、①7月8日島根事例、②7月10日福岡・佐賀・大分事例、③7月3日熊本事例、④7月2日奄美事例における LEPS の予測結果を示す。

① 7月8日島根事例 (図 4.3.2)

中国地方に梅雨前線が停滞する中で (a)、島根県において前線帯の一部が強化され、線状の強雨が発生し

¹ 図 4.3.1 上段は MEPS のメンバー 1 とコントロールランの差分を示しているが、正確にはアンサンブル平均との差分を LEPS に与える摂動とする。

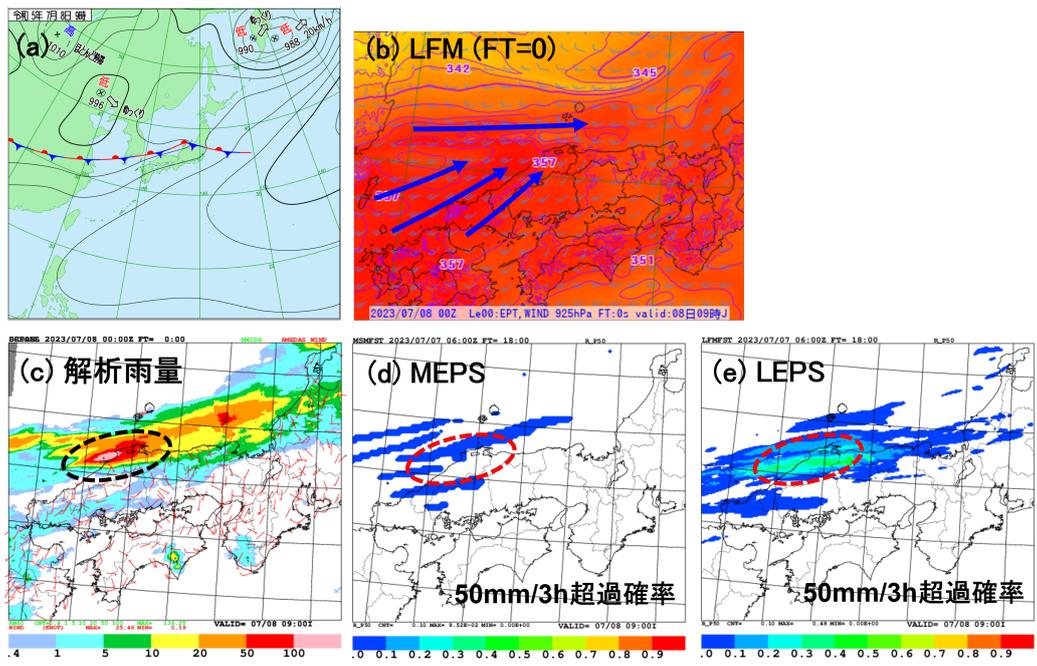


図 4.3.2 2023 年 7 月 8 日 09JST について、(a) 地上天気図、(b)925 hPa の相当温位・風 (LFM 初期値)、(c) 解析雨量 [mm/3h]、(d)MEPS による 50 mm/3h の超過確率予測、(e)LEPS による 50 mm/3h の超過確率予測。MEPS と LEPS 予測値は 2023 年 7 月 7 日 15JST 初期値の FT=18。

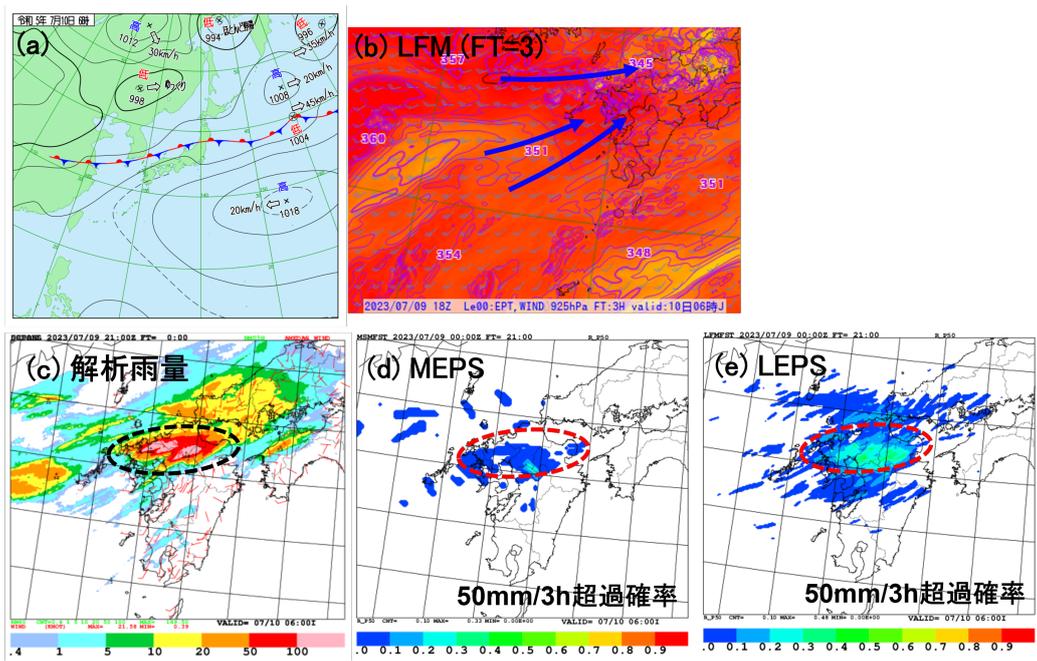


図 4.3.3 図 4.3.2 と同じ。ただし、2023 年 7 月 10 日 06JST について。また、初期時刻の関係で (b) は LFM の FT=3 を示す。MEPS と LEPS 予測値は 2023 年 7 月 9 日 09JST 初期値の FT=21。

た (c)。明瞭な前線本体に伴う大きなスケールの収束があり (b)、「分類 A」に相当する。現象のスケールが大きく、MEPS でもいくつかのメンバーで線状の強雨を予測した (d)。MEPS に比べて、LEPS は多くのメンバーで線状の強雨を予測し、50 mm/3h の超過確率で 30~40%程度の確率を示した (e)。

②7 月 10 日福岡・佐賀・大分事例 (図 4.3.3)

梅雨前線の南側で (a)、福岡・佐賀・大分県において線状の強雨が発生した (c)。太平洋高気圧の縁辺に沿った南西流と前線南側の西南西流との間で比較的大きなスケールの収束が存在した (b)。この収束域に沿った広域の対流域内で複数の降水システムが強化されており、「分類 B-1」に相当すると考える。収束域に対応し

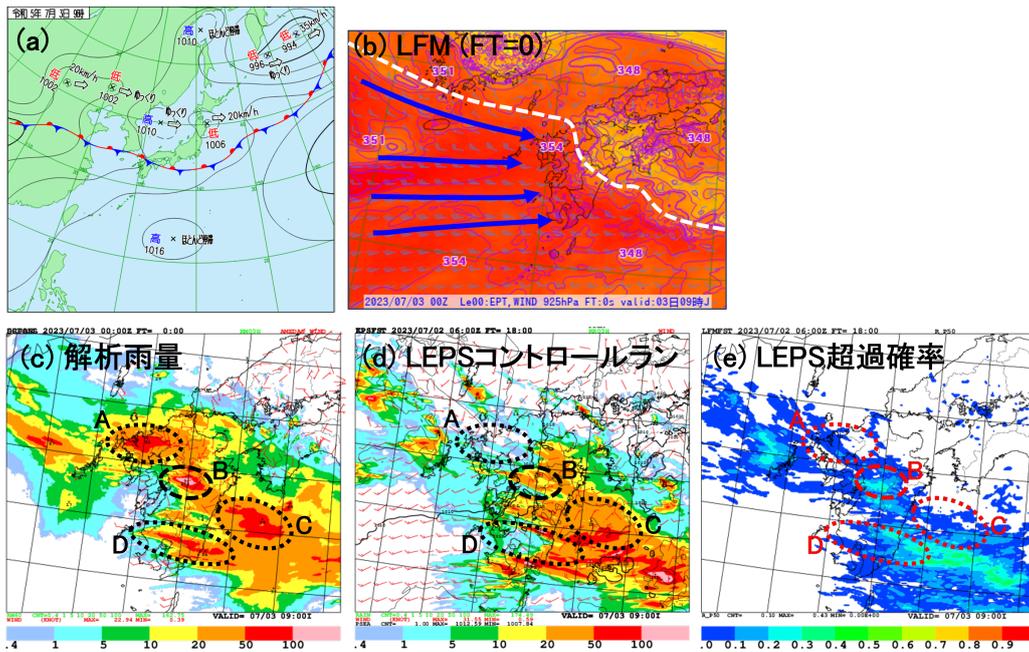


図 4.3.4 2023 年 7 月 3 日 09JST について、(a) 地上天気図、(b)925 hPa の相当温位・風 (LFM 初期値)、(c) 解析雨量 [mm/3h]、(d)LEPS コントロールラン予測の海面更正気圧・風・3 時間降水量、(e)LEPS による 50 mm/3h の超過確率予測。LEPS 予測値は 2023 年 7 月 2 日 15JST 初期値の FT=18。

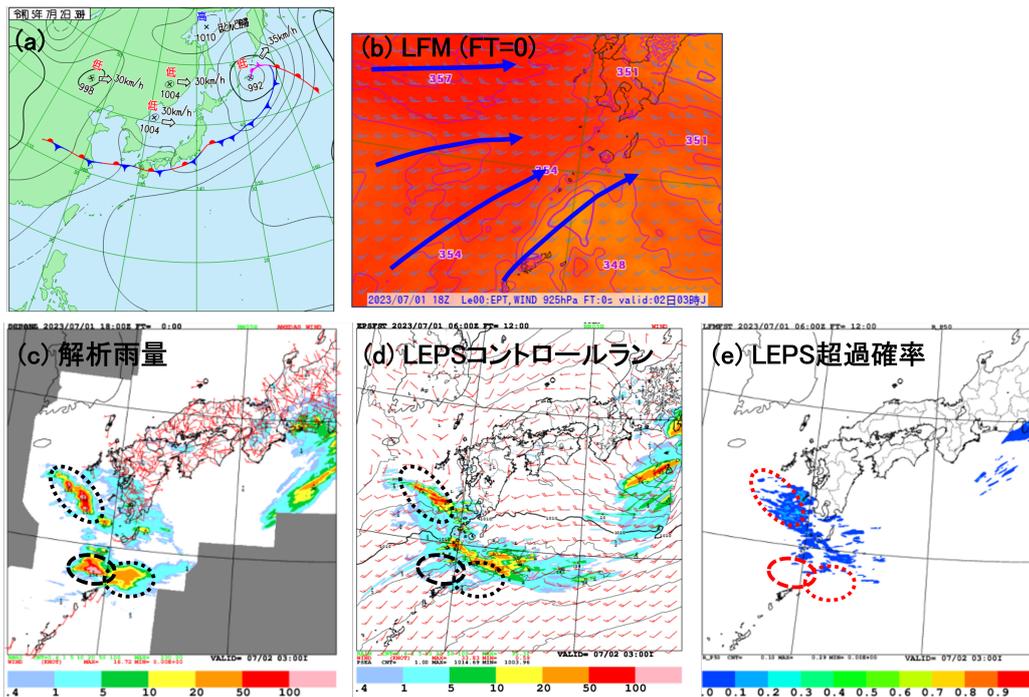


図 4.3.5 図 4.3.4 と同じ。ただし、2023 年 7 月 2 日 03JST について。LEPS 予測値は 2023 年 7 月 1 日 15JST 初期値の FT=12。

て MEPS でもいくつかのメンバーで強雨を予測したが、陸上では地形に沿った降水予測になる傾向(成田・森安 2010)も見られた(d)。MEPS に比べて、LEPS は多くのメンバーで実況に対応する線状の強雨を予測し、50 mm/3h の超過確率で 30~40%程度の確率を示した(e)。

③7 月 3 日熊本事例 (図 4.3.4)

梅雨前線の南側で(a)、複数の降水システム A, B, C, D が九州付近で発生し、熊本県付近の降水システム B が特に強雨となった(c)。降水システム C には相当温位の傾度が高い領域との対応が見られるが、降水システム A, B, D にはスケールの大きい明瞭な収束域は見られなかった。特に強雨となった降水システム B は

「分類 B-2」に相当すると考える（地形の影響もある可能性）。MEPS では各メンバーが九州の地形に沿った雨を表現し、個々の対流システムを MSM で表現するには限界があったと考えられる（図略）。LEPS コントロールランは、降水システム A を予測できず、B は強度が不足し、C、D は位置ずれが見られた (d)。LEPS の摂動メンバーに降水システム A、B、C、D を表現するメンバーが存在することにより、アンサンブル全体の超過確率として A、B、C、D の可能性を捕捉できた (e)。特に最も発達した降水システム B の可能性を捕捉できた。

④7月2日奄美事例（図 4.3.5）

梅雨前線の南側で (a)、複数の降水システムが九州海上で発生し、奄美大島の北に位置する降水システム（黒太点線）が特に強雨となった (c)。この奄美付近の降水システムは、太平洋高気圧の縁辺流と東シナ海の南西流が緩やかに合流する領域で発達した (b)。海上で収束も明瞭ではなく、トリガーが弱い中で対流が自己組織化した「分類 B-3」に相当し、予測が非常に難しかったと考えられる。LEPS コントロールラン、50 mm/3h の超過確率では、九州西海上の降水システムは捉えることができたが、奄美付近の二つの降水システムの発達、停滞は捉えられなかった (d,e)。実況よりも北東側に降水システムを予測するが、強度も不足していた。

ここで示した 4 事例に限らず、実験期間中の多くの事例において、①,②で見たように、LFM による強雨の表現能力により、LEPS は MEPS に比べ、局地的な強雨の可能性をよりの確に捕捉できることを確認した。また、③で見たように、アンサンブル予報を用いることで、コントロールラン単独では捉えきれなかった強雨の可能性が把握できることを多くの事例で確認した（少ないメンバーでの捕捉となるため超過確率は小さいことが多い）。

①-④のように益子ほか (2024) に基づく予測の難しさの順に見てみると、LEPS コントロールランで予測しやすい事例（スケールの大きい環境場の影響が大きい）では LEPS で高い超過確率を示し、LEPS コントロールランで予測が難しい事例（スケールが小さい、対流の発生に関する不確実性の影響が大きい等）では LEPS の示す超過確率は低い傾向があった。超過確率の大小と予測の難しさの高低が定性的には対応していると考えられる。

(3) 降水確率予測の統計検証

ここでは、降水の統計検証について MEPS と比較して評価する（各統計検証図の赤線：LEPS と青線：MEPS に着目）。

図 4.3.6 の閾値 50 mm/3h の降水予測の ROC 曲線では、MEPS に比べて高い捕捉率を示した。(2) の事例調査で見られた MEPS と比べた強雨の捕捉能力の高

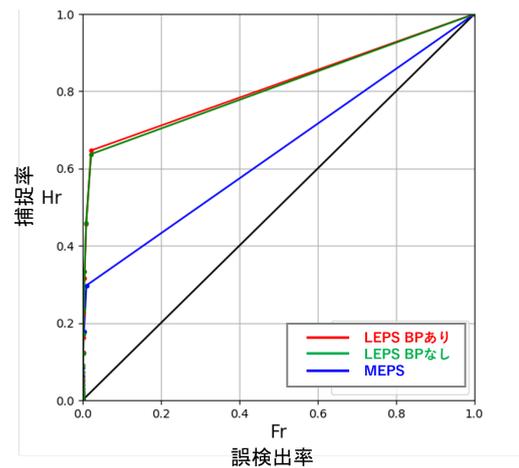


図 4.3.6 3 時間降水量について閾値 50 mm/3h に対する ROC 曲線（横軸が誤検出率 Fr、縦軸が捕捉率 Hr）。赤線が LEPS、青線が MEPS、緑線は LEPS 側面境界摂動なし（BP なし実験）。FT=3-21 の平均。

さが統計検証にも現れている。

図 4.3.7 (左) の降水予測の閾値別のブライアスキルスコア (BSS) では、LEPS (赤線) は閾値 30 mm/3h までは、気候値予測に比べて有効な予測であること、MEPS (青線) と比べて高いことを確認した。閾値 20 mm/3h の予報時間別の BSS (図 4.3.7 (右)) においても、どの予報時間でも MEPS に比べて LEPS が高い。これは、MSM の地形に沿った降水を過剰に予測する傾向が図 4.3.8 の信頼度曲線で見られる MEPS (青線) の高い確率予測での予測頻度過多につながっている一方、LFM に基づく LEPS (赤線) ではそのような傾向が見られないことによる。

MEPS の地形に沿った降水を過剰に予測する傾向など、MEPS と LEPS の超過確率の典型的な関係が現れた事例を図 4.3.9 に示す。MEPS は、10 mm/3h、20 mm/3h 程度の降水について地形に沿った降水を過剰に予測しがちなこと (b,c)、50 mm/3h の降水は LEPS に比べて表現しづらいこと (e)、一方で LEPS は線状の降水を予測しやすいこと (g-j)、50 mm/3h などの強雨を MEPS よりも表現できること (j)、といった典型的な両者の関係性が分かる。

(4) 側面境界摂動の効果

ここでは、第 4.3.2 項で説明した初期摂動・側面境界摂動を与えた LEPS を「BP あり」、そこから側面境界摂動を与えないようにした設定（初期摂動のみ）とした実験を「BP なし」と呼び、両者の比較により、側面境界摂動の効果と影響範囲を説明する。

図 4.3.10 には実験期間の 925 hPa 相当温位のアンサンブル平均の二乗平均平方根誤差 (RMSE) とスプレッドの関係を示す。(a) の BP あり実験 (赤線) について、アンサンブル平均の RMSE がコントロールランの RMSE より小さいこと、スプレッドとアンサンブ

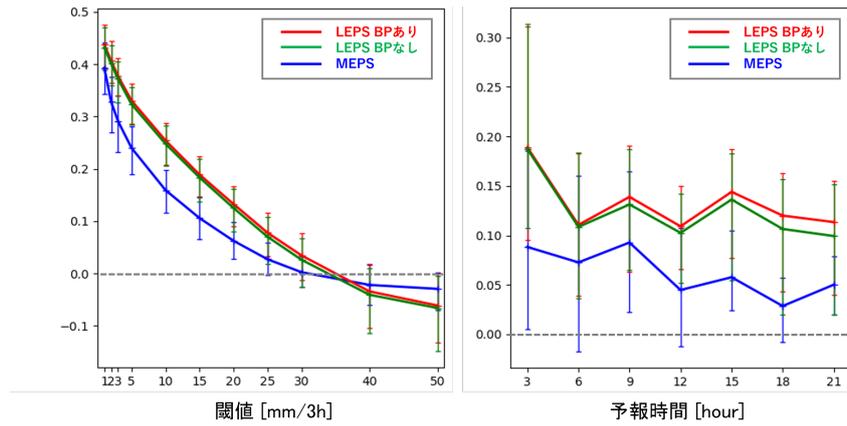


図 4.3.7 3 時間降水量のブライアスキルスコア。(左) 閾値別、(右) 20 mm/3h について予報時間別。赤線が LEPS、青線が MEPS、緑線は LEPS 側面境界摂動なし (BP なし) 実験。

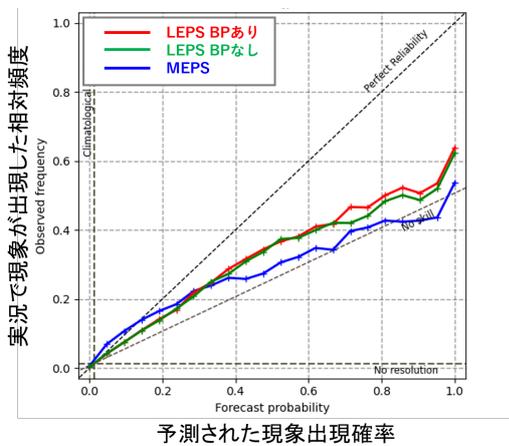


図 4.3.8 3 時間降水量 (20 mm/3h) の信頼度曲線。FT=3-21 の平均。赤線が LEPS、青線が MEPS、緑線は LEPS 側面境界摂動なし (BP なし) 実験。

ル平均の RMSE の大きさが近いこと (スプレッドスキルが 1 に近いこと) が確認できる。BP なし実験 (緑線) との比較から、側面境界摂動によりスプレッドが増加することでスプレッドスキルが 1 に近づき、アンサンブル平均の RMSE が予報後半に改善することが分かる。図 4.3.10(b)-(e) には、BP あり/BP なし実験について 925 hPa 相当温位のスプレッドとアンサンブル平均 RMSE の空間分布を示す。(b) と (d) の比較から、期間中の前線帯の位置に対応する領域でスプレッドとアンサンブル平均 RMSE が大きいことやその大きさに概ね対応が見られることが確認できる。(b) と (c) の比較から、側面緩和領域内や図中の白点線で示した西側側面境界から黄海付近の梅雨前線帯近傍でスプレッドが増加したことが分かる。(d) と (e) を比較すると、白点線の領域で RMSE の改善が大きかった (差分図略)。925 hPa 相当温位以外の要素・高度でも概ね同様の傾向が得られた。

側面境界摂動の降水確率予測への影響 (日本域の解析雨量で検証) について確認する。図 4.3.6 の ROC 曲線、

図 4.3.7 の BSS、図 4.3.8 の信頼度曲線には、BP なし実験を緑線で示している (各統計検証図の赤線:BP あり、緑線:BP なしに着目)。図 4.3.6 の ROC 曲線では、側面境界摂動導入による変化は小さかった。3 時間降水量の閾値別の BSS は閾値によらず改善し (図 4.3.7 (左))、予報後半ほど改善幅が大きい傾向があった (図 4.3.7 (右))。領域別では側面境界に近い北海道、南西諸島や九州で改善し、他の領域の変化は中立であった (図略)。事例での傾向としては、側面境界摂動の追加によって、強雨の超過確率がばらける方向 (雨域中心では低下、周囲は増加) であった (図略)。この傾向は、図 4.3.8 の信頼度曲線における BP あり (赤線) が BP なし (緑線) と比較して予測頻度の過多を緩和していることと整合する。

以上のことから、側面境界摂動には次のような効果があると考えられる。側面境界摂動は、境界から大気の流れによって徐々に拡がり、予報 21 時間のうちに影響しうる領域では期待通りスプレッドを適正化する。日本域の降水予測については、初期摂動の効果が支配的ではあるが、予報後半を中心に側面境界に近い領域で確率予測を改善 (より適切にばらつかせる) する。

4.3.4 2025 年出水期を対象とした「富岳」リアルタイムシミュレーション実験

2025 年 6 月から 10 月にかけて、部内試験運用として実施した「富岳」におけるリアルタイムシミュレーション実験の結果について報告する。実験の仕様は第 4.3.2 項で説明した運用開始予定の仕様に基づき、実行頻度が 1 日 2 回 (00,12UTC) である点だけが異なる。

「富岳」リアルタイムシミュレーションにより、第 4.3.3 項で把握した特性を 2025 年出水期の事例で確認することができ、統計検証では第 4.3.3 項 (3) と同様の結果を得た (図略)。以下では、実験期間中の 4 事例について第 4.3.3 項 (2) と同じ視点で、MEPS と比較した LEPS の強雨の可能性の捕捉能力を説明する。図 4.3.11 に、益子ほか (2024) を参考にしつつ予測の難し

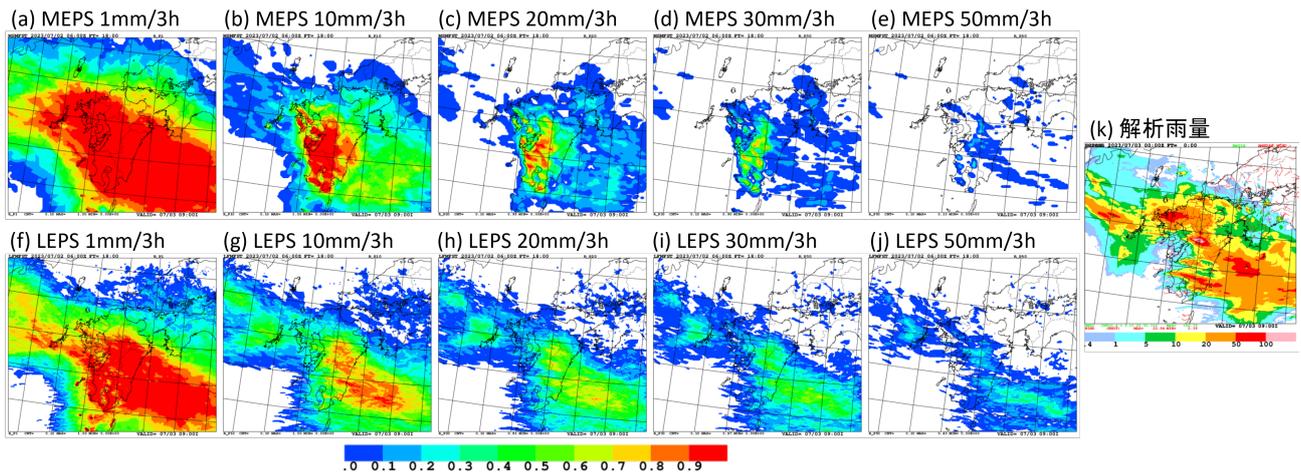


図 4.3.9 MEPS/LEPS の降水量閾値別の降水確率予測の特徴 (例: 2023 年 7 月 3 日 09JST)。上段 (a)-(e) に MEPS、下段 (f)-(j) に LEPS の各閾値 [mm/3h] の超過確率。2023 年 7 月 2 日 15JST 初期値の FT=18。(k) 解析雨量 [mm/3h]。

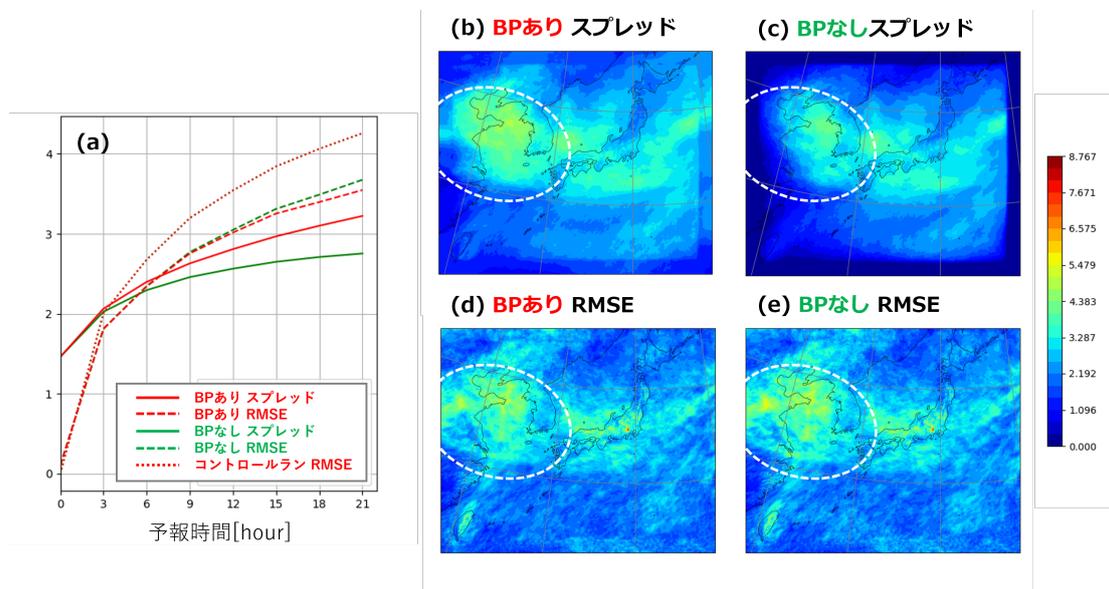


図 4.3.10 スプレッドおよびアンサンブル平均の RMSE(対局地解析)の実験期間平均。925 hPa の相当温位 [K]。(a) 時系列。横軸は予報時間 [h]、実線がスプレッド、点線がアンサンブル平均の RMSE、細点線はコントロールラン (BP あり/なし共通) の RMSE。赤線が BP あり、緑線は BP なし実験。(b) BP あり、スプレッド平面図 (FT=21)、(c)BP なし、スプレッド平面図 (FT=21)。(d)BP あり、アンサンブル平均の RMSE 平面図 (FT=21)、(e)BP なし、アンサンブル平均の RMSE 平面図 (FT=21)。

さの順 (後ろほど難しい、図では右列ほど難しい) に、
 ㉑ 8 月 9 日福岡事例、
 ㉒ 8 月 11 日熊本事例、
 ㉓ 8 月 8 日鹿児島事例、
 ㉔ 9 月 10 日長崎事例における LEPS と MEPS の予測結果 (50 mm/3h の超過確率) を示す。

㉑ 8 月 9 日福岡事例 (図 4.3.11 の 1 列目) は、九州北側の停滞前線 (a) において、広域な対流域の一部が福岡県付近で局所的に強化された (e)。「分類 A」に相当し、MEPS でもいくつかのメンバーで線状の強雨を表現するが、実況よりも北寄り (i) であった。MSM は山陰沖で小低気圧を発達させる予測 (この小低気圧は解析値では見られず、モデル予測の過発達と見られる)

となっており、その影響があったと見られる。MEPS に比べて、LEPS は多くのメンバーで線状の強雨を予測し、30~40%程度の比較的高い確率を示した (m)。

㉒ 8 月 11 日熊本事例 (図 4.3.11 の 2 列目) は地上天気図の停滞前線 (b) の南側で、長崎県から熊本県にかけて、特に熊本県を中心に線状の強雨が継続した (f)。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) に対応し、この収束域を総観スケールの前線と見做すと「分類 A」に相当する。南北に超過確率分布の幅はあり、また、地形に沿った降水表現は見られるが、

MEPS でもいくつかのメンバーで実況の強雨の可能性を捉えていた(j)。MEPS と同様に南北に超過確率分布の幅はあるが、MEPS に比べて、LEPS は多くのメンバーで線状の強雨を予測し、熊本県では 30~40%程度の比較的高い確率を示した(m)。

㉔8月8日鹿児島事例(図 4.3.11 の 3 列目)は、停滞前線(c)の南側で、比較的スケールの大きな収束域において対流の一部が強化され鹿児島県付近で線状の強雨となった(g)。「分類 B-1」に相当すると考える。MEPS でも一部のメンバーで対流域の強化を表現するが、強度が不足するメンバーが多かった(k)。MEPS に比べて、LEPS は多くのメンバーで線状の強雨を予測した。発生位置には南北の不確実性があることを表現しつつ、実況の強雨を少ないメンバーで捕捉した(o)。

㉕9月10日長崎事例(図 4.3.11 の 4 列目)は、九州の北側に位置する停滞前線(d)の南側の長崎県付近で、南西海上から暖湿気が流入する中で線状の強雨が発生した(h)。明瞭な下層の収束構造が見られず、トリガーが弱い中で対流自身によって組織化した「分類 B-3」に相当すると考えられる。MEPS では表現することが難しいスケールの現象であった(l)。LEPS では、やや西側に位置ずれがあるものの、一部のメンバーが長崎付近の強雨の可能性を示した(p)。対馬付近の停滞前線に対応する強雨域や、五島列島の西側海上に広がる雨域については、より高い確率を示していることから、これらに比べて、長崎付近の線状の強雨の予測が難しかったと考えられる。

図 4.3.11 では、第 4.3.3 項(2)と同様に、LEPS は MEPS に比べて局地的な強雨の可能性をよりの確に捕捉できること、LEPS の超過確率の大小と個々の事例の予測の難しさの高低が定性的に対応していること、が確認できた。次に、㉖8月11日熊本事例を例に、LEPS コントロールラン単独では捉えきれなかった強雨の可能性を LEPS 全体で捉えられていることを説明する。

図 4.3.12 には、㉖について 8 月 10 日 21JST から 11 日 06JST までの時間変化を示した。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スケールの大きな収束域に伴う線状の強雨域が、10 日 21JST から 11 日 00JST にかけて一部強化しながら南下、06JST にかけて熊本県付近にはほぼ停滞した。LEPS コントロールランは、10 日 21JST では実況より北寄り、03JST にかけて強雨域を南下させ過ぎ、06JST では雨域はばらけて弱まった。LEPS による 50 mm/3h の超過確率ではコントロールランの上記の傾向を、それぞれの時間帯で補うメンバーが存在し、アンサンブル全体として、10 日 21JST から 11 日 06JST にかけての強雨の確率が継続して高いことを予測できている。たとえばメンバー 14 は 10 日 21JST の実況の強雨域を捉え、03JST では実況よりもやや南寄りであるが、06JST にかけて強雨の継続を比較的良好に捉えた。また、メンバー 07 は 11 日 06JST ではコント

ロールラン同様に雨域がばらけて弱まるが、それ以前の 03JST までは実況と対応する領域に強雨の継続を予測できた。個々のメンバーでは実況の 12 時間以上にわたる強雨を捉え続けることが難しい事例において、アンサンブル全体で強雨の可能性を確率的に捉えることの有用性が見えた事例と考えられる。

4.3.5 まとめと今後の課題

LEPS は 2025 年度末の運用開始を計画している。運用開始予定の LEPS は、水平解像度 2 km の LFM の 21 メンバーで構成し、21 時間予報を 1 日 4 回(00,06,12,18UTC)実行する。主として 100 km 程度以上の水平スケールの初期摂動・側面境界摂動(MEPS 摂動をダウンスケール)を与え、その摂動を起因とする 2km 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不確実性を捉えることを狙ったシステムである。

2023 年梅雨期を対象とした性能評価試験と 2025 年出水期を対象とした「富岳」リアルタイムシミュレーションによる部内試験運用を実施した。その結果から、LFM の線状の強雨を表現できる能力により、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ことを多くの事例で確認できた。この点は、LEPS と MEPS の各メンバーの強雨表現の違いから期待される結果であり、その有効性が改めて確認された。

LEPS は、LFM の予測に対して、ばらつきを持った複数の予測を計算し、信頼度・不確実性等の情報を提供できる。LEPS コントロールラン(2km LFM)だけでは捉えきれない大雨の可能性を LEPS により捕捉できることも多くの事例で確認できた。実験対象期間の多数の顕著事例において LEPS により強雨の可能性を捕捉できたことを把握した。また、LFM で予測しやすい事例(スケールの大きい環境場の影響が大きい等)では高い超過確率、予測が難しい事例(スケールが小さい、対流の発生に関する不確実性の影響が大きい等)では低い超過確率を示す傾向があり、個々の事例の予測の難しさと LEPS の超過確率の高低には定性的な対応が見られた。

最後に今後の課題を述べる。運用開始予定の LEPS では初期値・側面境界値の不確実性のみを考慮するが、今後はそれ以外の要素に起因する不確実性も考慮することにより、多様な線状降水帯の予測の不確実性を捉えていくことを検討していく。第 4.3.3 項(2)や第 4.3.4 項の事例で見えたような、小さなスケールの対流の発生予測の不確実性を捉えるには、対流発生に関する予報モデルの不確実性を表現する摂動が有効な可能性もある。LFM で解像・予測が難しい現象でもあり、予測の限界と不確実性の関係を見極めながら、この摂動の導入を検討する必要がある。これらの検討において、水平解像度 1 km の LFM(4.2 節)と 2 km の LFM(LEPS コントロールラン)の表現の違いは、今後の局

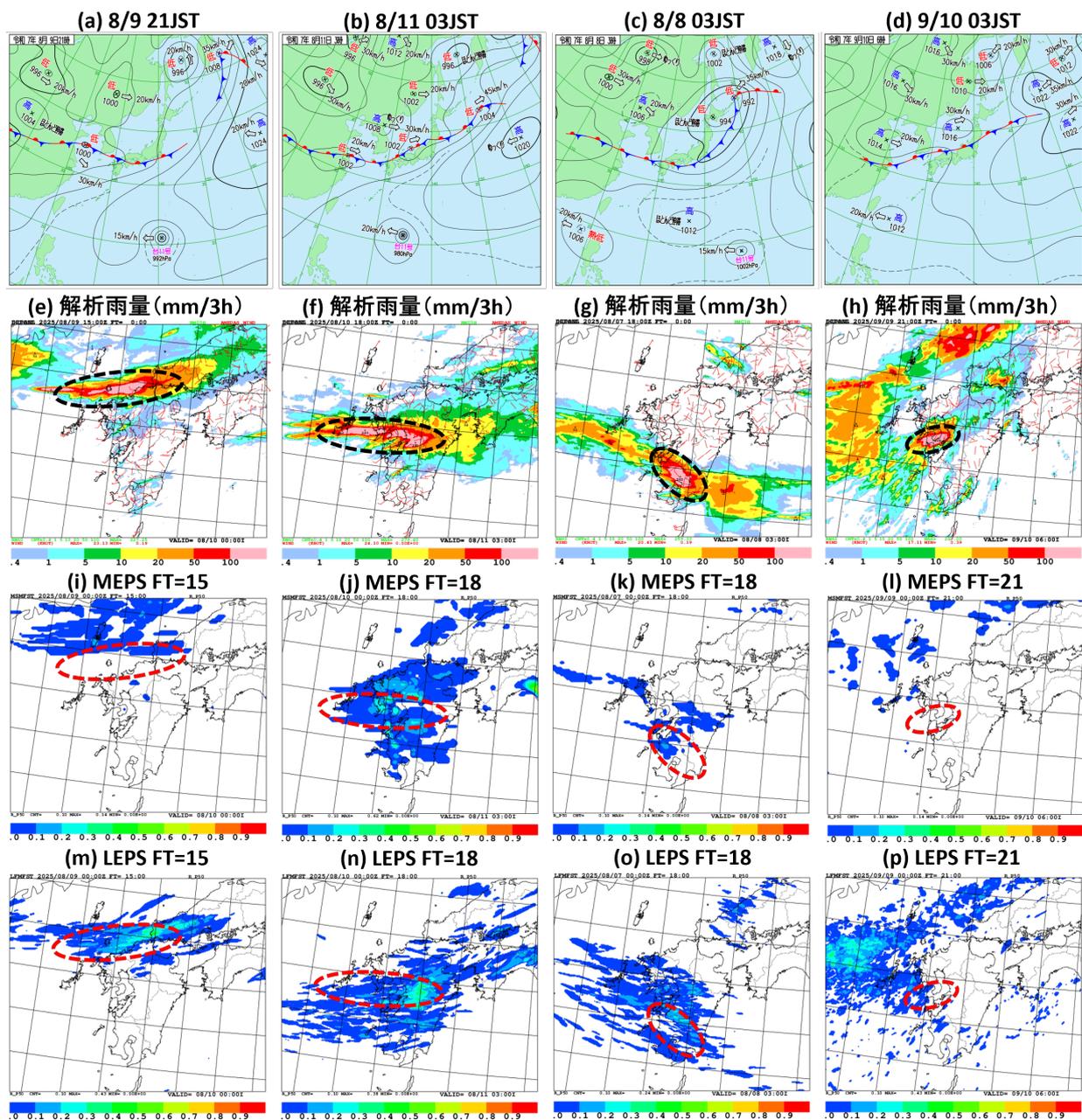


図 4.3.11 2025 年出水期の線状降水帯の例。左から①8 月 9 日福岡事例、②8 月 11 日熊本事例、③8 月 8 日鹿児島事例、④9 月 10 日長崎事例。上段から地上天気図、解析雨量 [mm/3h]、MEPS による 50 mm/3h の超過確率予測、LEPS による 50 mm/3h の超過確率予測。MEPS と LEPS の予測値は FT=15~21 を示す (事例ごとに異なる。(i)-(p) 図上部の説明を参照のこと。)

地数値予報システム・局地アンサンブル予報システムの利用や開発において注意深く確認を継続すべき点になる。また、下部境界の不確実性を表現することが重要となる事例もあり得る (川田ほか 2024)。多くの事例について、その予測可能性、メカニズム、誤差要因を把握しながら、より適切な摂動を検討していく。

参考文献

服部宏紀, 川田英幸, 欠畑賢之, 松葉史剛, 河野耕平, 2025: 開発中の気象庁局地アンサンブル予報システムの検証と評価. 2025 年度春季大会講演予稿集, 127,

B202.

川田英幸, 服部宏紀, 欠畑賢之, 松葉史剛, 河野耕平, 2024: 局地アンサンブル予報システムにおける SST 摂動の開発. 第 26 回非静力学モデルに関するワークショップ予稿集.

気象庁, 2024: 開発中の局地アンサンブル予報システムの強雨確率予測特性についての事例調査. 数値予報開発センター年報 (令和 6 年), 気象庁 数値予報開発センター, 76-80.

國井勝, 小野耕介, 2020: メソアンサンブル予報シス

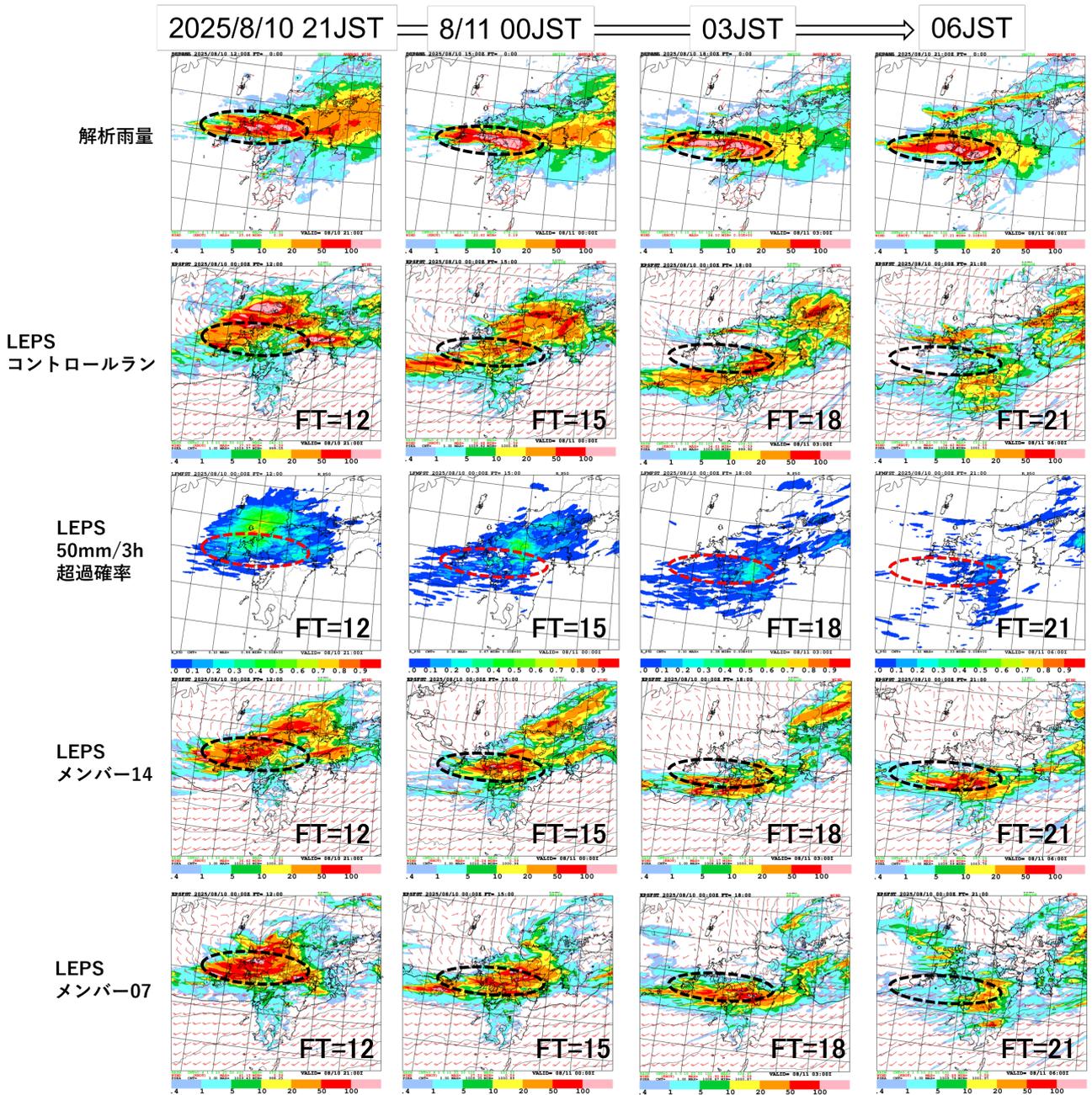


図 4.3.12 ⑥8月11日熊本事例の2025年8月10日21JSTから11日06JSTの時間推移について、上段から解析雨量 [mm/3h]、LEPS コントロールラン予測、LEPS による 50 mm/3h の超過確率予測、LEPS メンバー 14 の予測、LEPS メンバー 07 の予測。左から、8月10日21JST、11日00JST、11日03JST、11日06JST。LEPS 予測値は2025年8月10日09JST期値のFT=12,15,18,21。

テム. 数値予報課報告・別冊第66号, 気象庁予報部, 85-115.

益子涉, 永戸久喜, 加藤輝之, 廣川康隆, 枋本英伍, 藤田匡, 新野宏, 竹見哲也, 佐藤正樹, 2024: 線状降水帯の発生形態の体系的な分類. 2024年度秋季大会講演予稿集, **126**, A367.

成田正巳, 森安聡嗣, 2010: メソモデルの対流スキームの変更. 平成22年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 53-61.

Zhang, F., C. Snyder, and R. Rotunno, 2003: Effects of Moist Convection on Mesoscale Predictability. *J. Atmos. Sci.*, **60**, 1173-1185, doi:10.1175/1520-0469(2003)060<1173:EOMCOM>2.0.CO;2.