



局地モデル高解像度化開発の成果と課題

気象庁情報基盤部数値予報課
沢田雅洋

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」も活用した技術開発を加速化。
- 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、局地モデル（LFM）の高解像度化（2km->1km）の運用開始を計画。
- LFMは「対流許容」（Convection permitting）と呼ばれる解像度。
 - 対流による鉛直輸送の一部を解像しつつもパラメタリゼーションで補う必要がある等、モデリング上の困難さ
 - 高解像度化すれば自動的に予測精度向上が得られるわけではない
 - 高解像度モデルに応じた物理過程の改良も必要

発表の概要

1. はじめに
2. 背景、線状降水帯予測改善に向けた開発計画
3. 高解像度化の効果
4. 開発進捗
5. 残された課題
6. まとめと今後の課題

背景

- 令和2年7月豪雨や令和3年8月大雨による大きな被害が発生するなど、**台風や線状降水帯**による被害は近年毎年のように発生しており、**その予測精度向上は喫緊の課題**。気象庁では、平成30年に**数値予報技術開発重点計画**を策定、**豪雨防災や台風防災**に重点的に取り組んでいる。
- 特に線状降水帯については、新たな水蒸気観測機器の整備や予測技術の開発等を早急に進め、防災気象情報の改善を順次進めることとしており、「富岳」を活用し、取組みの加速化を図っている。



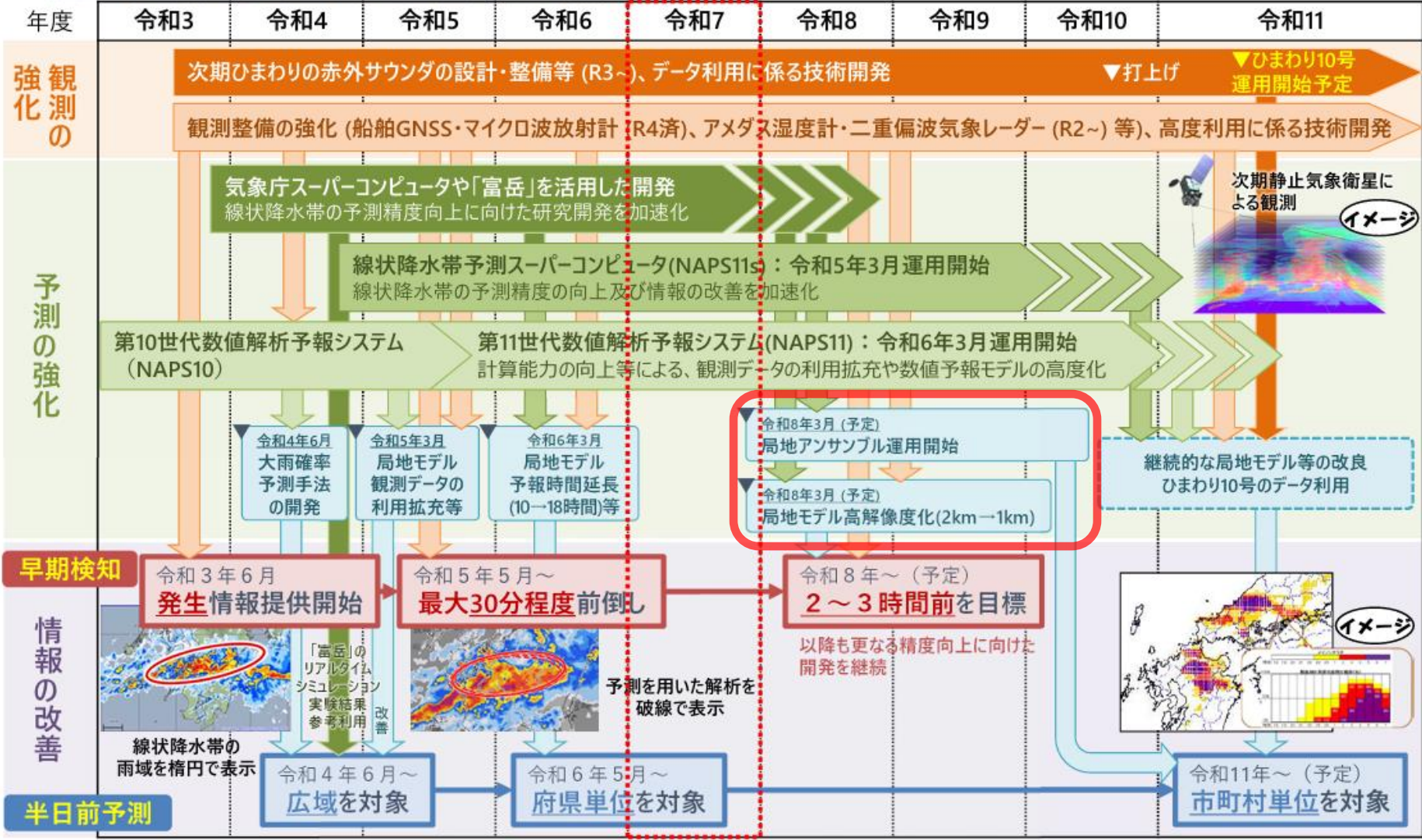
これら事例のほか、

- ・ **令和4年台風第14号、15号**
- ・ **令和5年6-7月的大雨**
- ・ **令和6年7月的大雨** など
- ・ **令和7年8月的大雨** など

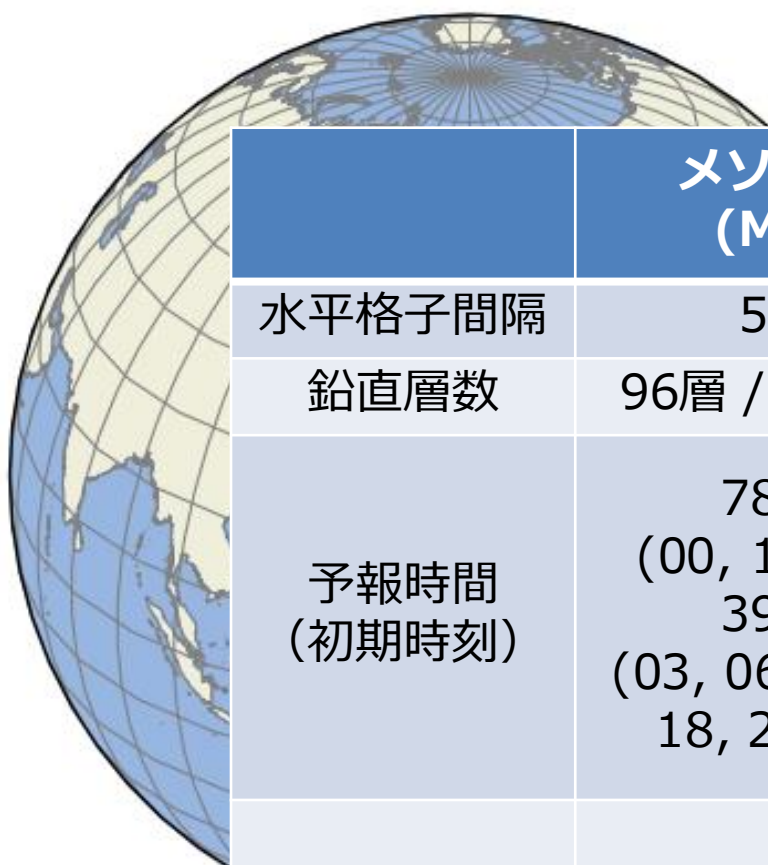
近年毎年のようにこのような災害が発生。

線状降水帯の予測精度向上に向けたロードマップ

観測能力を大幅に強化した次期静止気象衛星等による水蒸気観測等の強化とともに、強化した気象庁スーパーコンピュータやスーパーコンピュータ「富岳」を活用した予測技術の開発等により予測を強化し、防災気象情報を段階的に改善。



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 |

目次

1. はじめに
2. 線状降水帯予測改善に向けた開発計画
3. 高解像度化の効果
4. 開発進捗
5. 残された課題
6. まとめと今後の課題

高解像度化の効果：LESとの比較

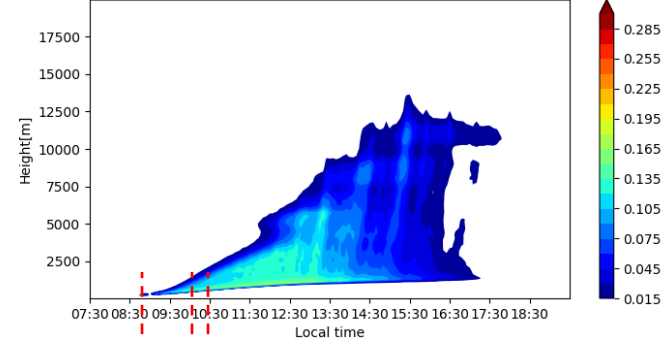
- TRMM-LBA(Grabowski et al. 2006)を用いて、水平高解像度化の対流表現へのインパクトを調査。50m
- 1, 2km共に対流の立ち上がりが遅く、浅い対流が少ない。いきなり深い対流になる。
- 2kmモデルに比べて1kmモデルの方が浅い対流の形成が早くなり、格子スケールの過剰な輸送が抑制されている。
- 結果として、過剰な降水が抑制されている。

※LESが正解ではない点には注意

2km

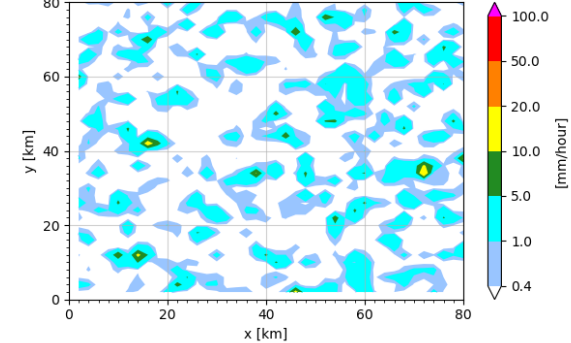
領域平均上昇流

Domain mean updraft (50_3d_les_m40)

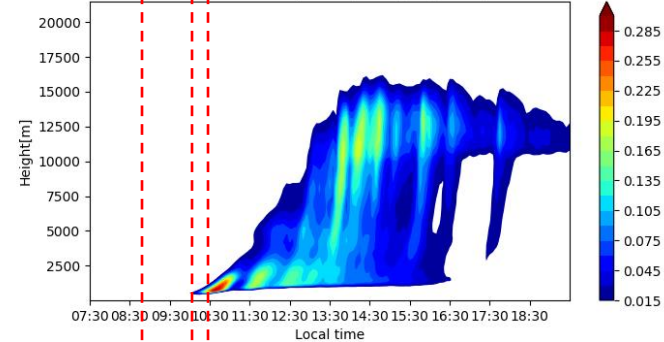


降水量(2km格子)

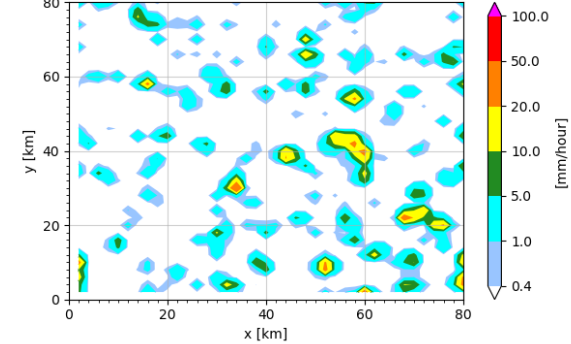
Precipitation (FT=360; dx=2000.0m)



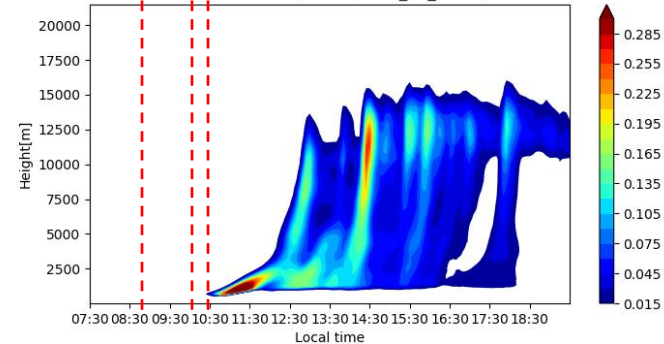
Domain mean updraft (1000_3d_nocnv)



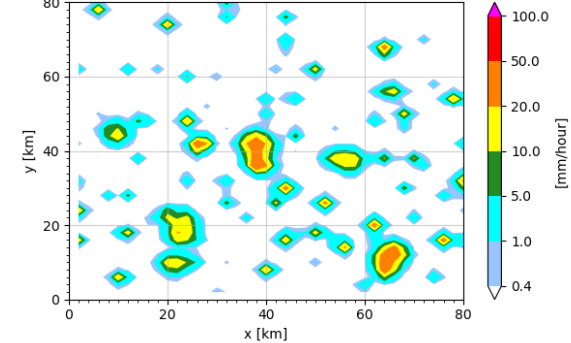
Precipitation (FT=360; dx=2000.0m)



Domain mean updraft (2000_3d_nocnv)



Precipitation (FT=360; dx=2000.0m)



目次

1. はじめに
2. 線状降水帯予測改善に向けた開発計画
3. 高解像度化の効果
4. 開発進捗
5. 残された課題
6. まとめと今後の課題

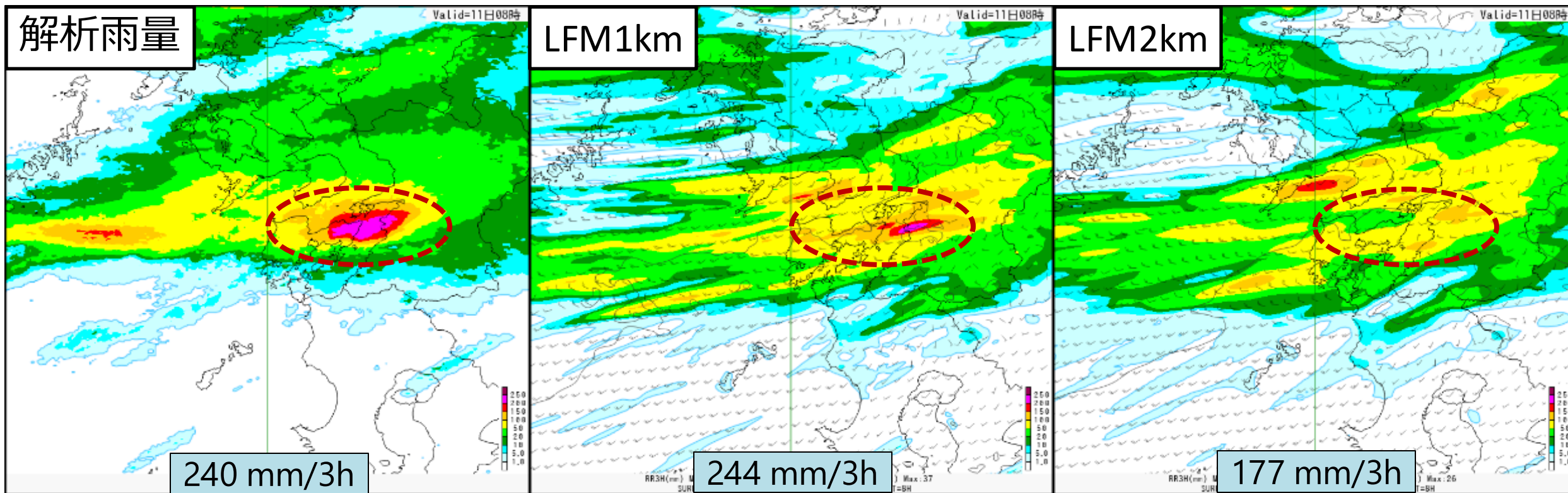
2026年3月LFM更新概要

- 水平高解像度化（2km → 1km）
- 地形作成方法やパラメータを最適化。
- モデル標高作成における斜度制限を緩和。
- TOFDパラメータの調整。
- 高速化を目的としたパラメータ＆コード最適化。
- 時間積分間隔の調整。
- 物理過程コードのリファクタリングやIO関連の機能拡張など。
- 側面境界緩和領域の調整。
- Leonard Termの計算安定性向上。

部内試験
設定

LFM2km vs LFM1km 降水分布の比較

令和7年8月11日8時 九州北部地方 8h先の3h降水量予測

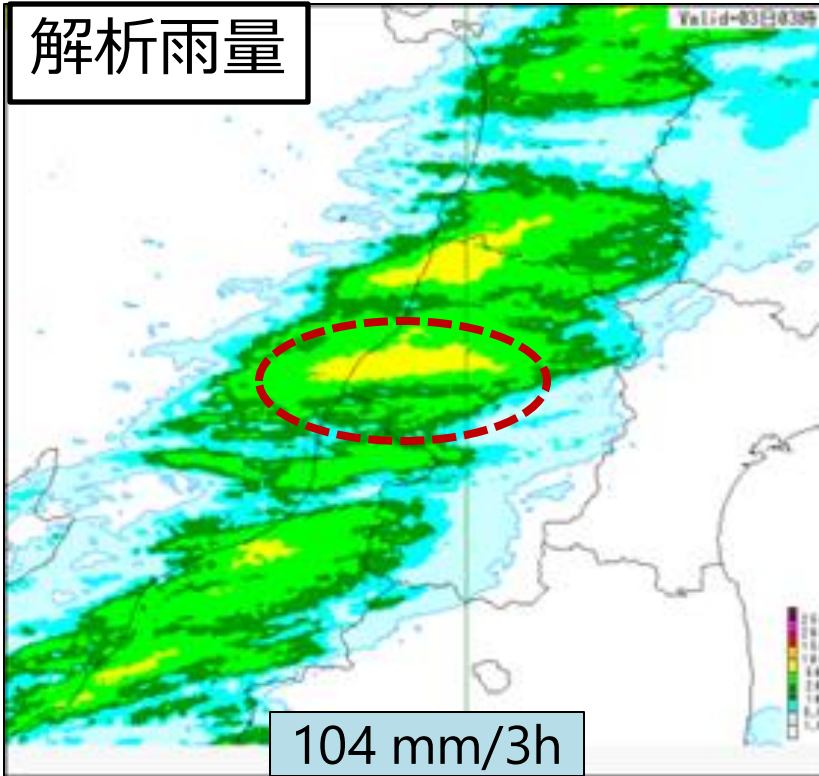


- LFM1kmは実況に近いピーク降水量および位置を捉えている
- LFM2kmはピーク位置のずれ、最大降水量は過少

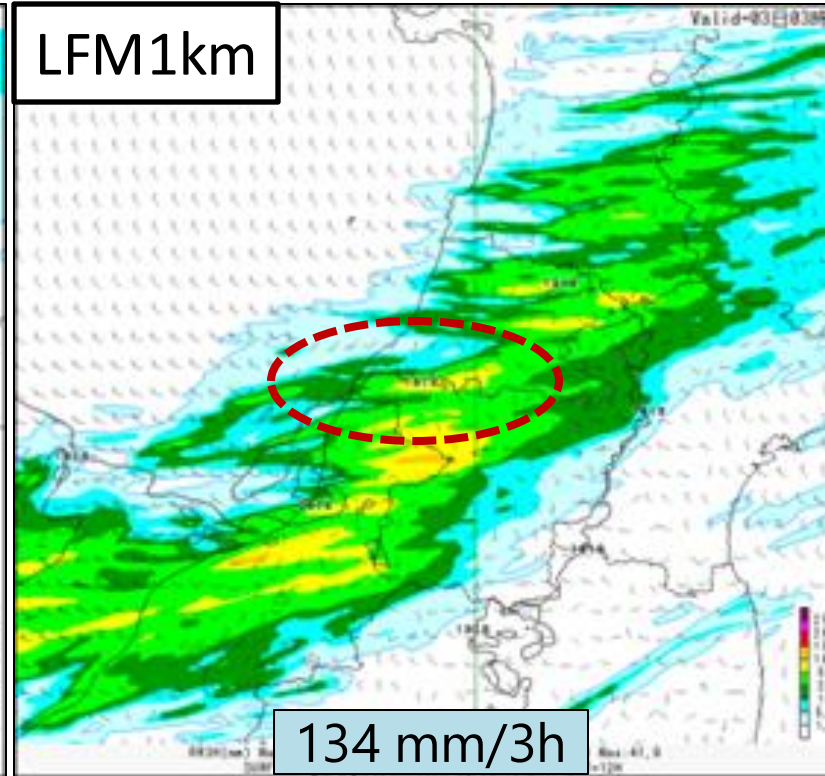
LFM2km vs LFM1km 降水分布の比較

令和7年9月3日3時 東北地方 12h先の3h降水量予測

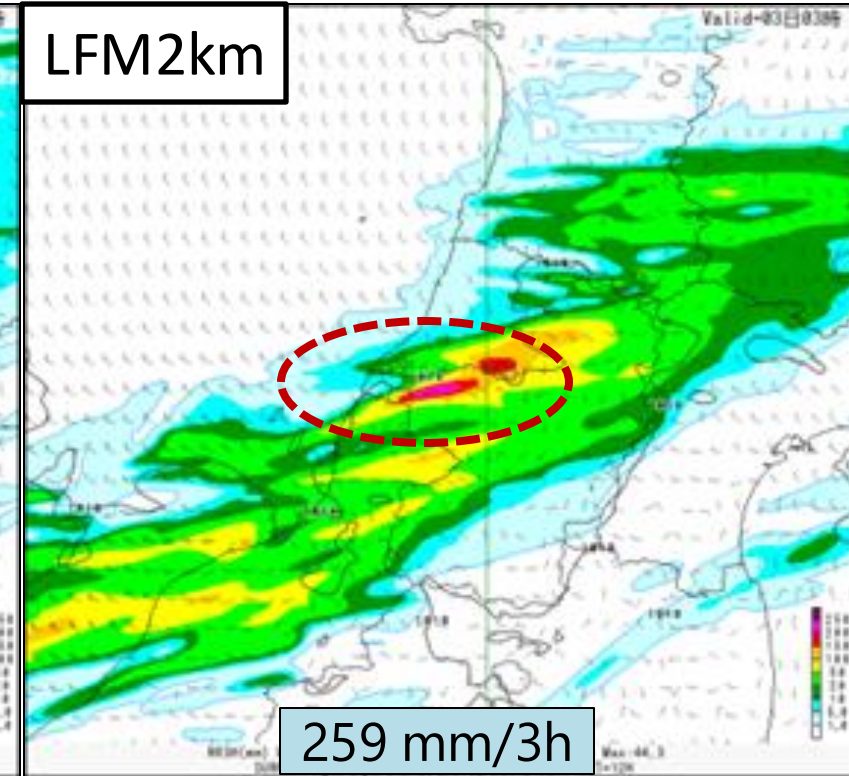
解析雨量



LFM1km



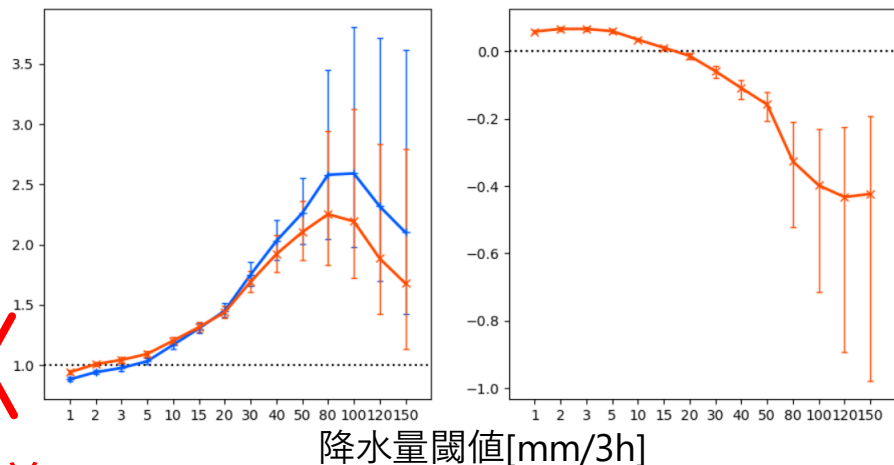
LFM2km



- 線状降水帯半日前予測ありだったが、発生はしなかった
- LFM1km・2kmともに位置は実況に近い
- 実況に比べてLFM2kmは降水量過剰、LFM1kmもやや過剰だが緩和

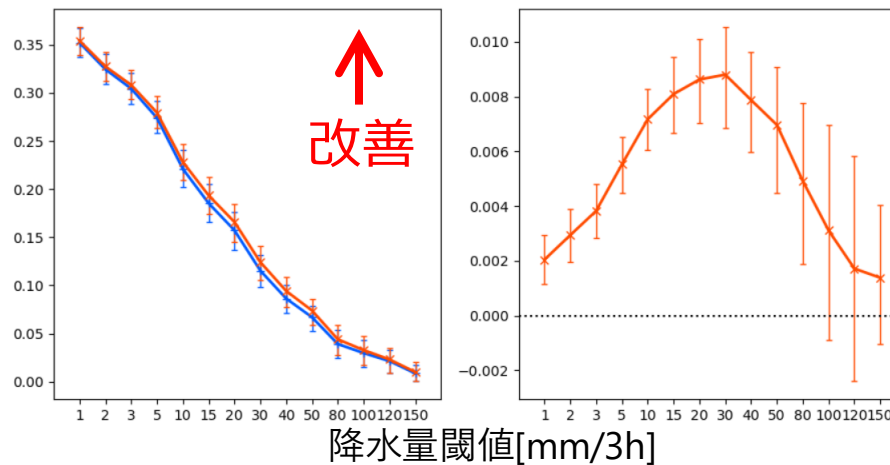
降水予測特性の変化

バイアスコア



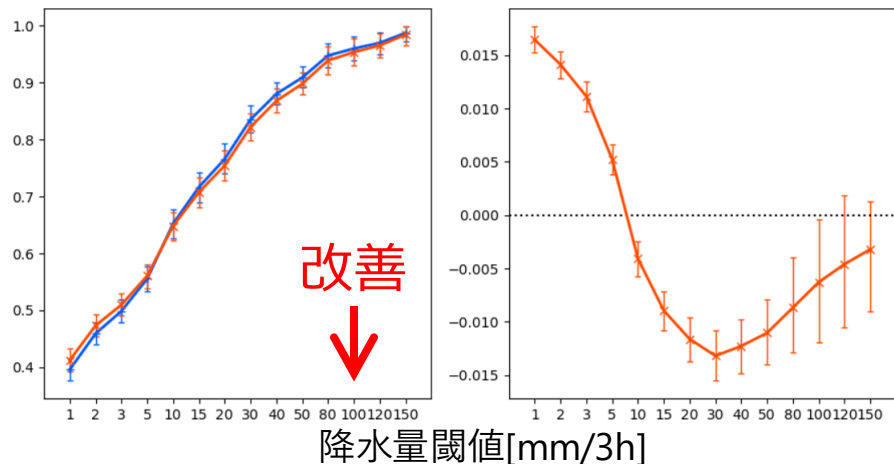
改善

ETS : エクイタブルスレットスコア

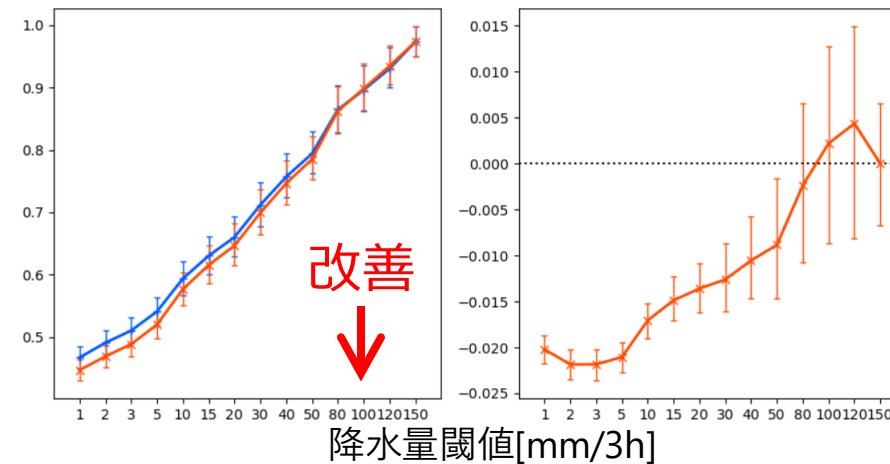


— 1 km : 高解像度化
— 2 km : 運用中
各スコアの右図は差分：
1km - 2km

空振り率



見逃し率 = 1 - 捕捉率



約4か月間（6/5～9/30）の降水量閾値別の統計検証

- バイアスコアの適正化：弱雨過少および強雨過多を改善
- 50mm/3h以下で見逃し率の減少、ETSはほぼ全閾値で改善傾向

目次

1. はじめに
2. 線状降水帯予測改善に向けた開発計画
3. 高解像度化の効果
4. 開発進捗
5. 残された課題
6. まとめと今後の課題

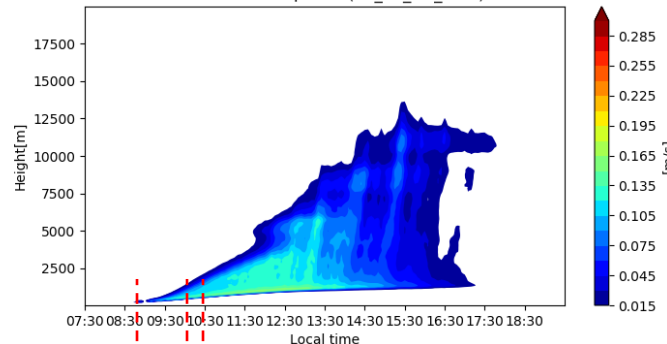
高解像度化の効果：LESとの比較（再掲）

- 1kmの改善点：2kmとの比較
 - 対流立ち上がりは早い。
 - 過剰な降水がやや緩和。
- 共通課題：LESとの比較
 - 対流の立ち上がりが遅い。
 - 深い対流が急激に立ち上がる。
 - 解消しきれていない不安定が一気に解消される。
 - 過剰な降水が生じる。
- 格子以下のスケール（サブグリッドスケール）での鉛直輸送が不足しているのでは？

50m

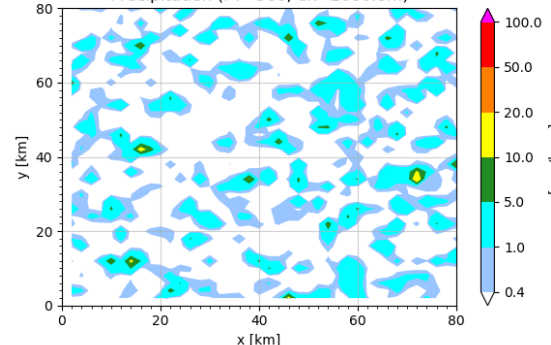
領域平均上昇流

Domain mean updraft (50_3d_les_m40)



降水量(2km格子)

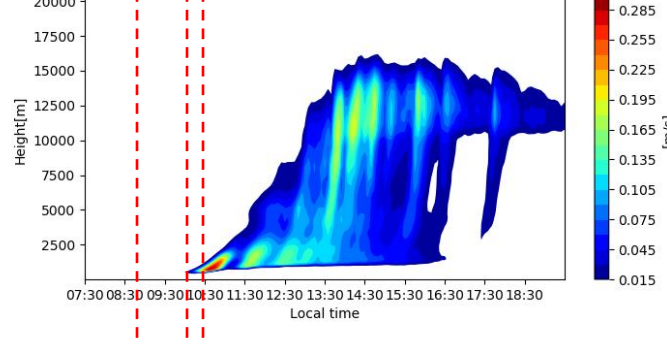
Precipitation (FT=360; dx=2000.0m)



1km

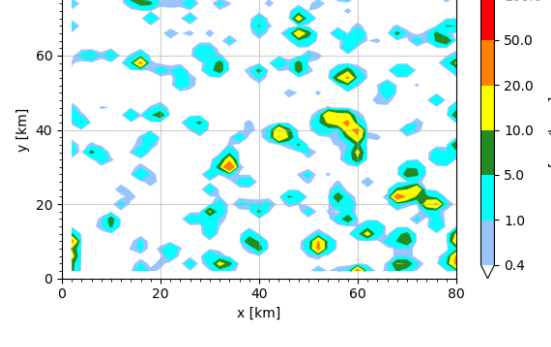
領域平均上昇流

Domain mean updraft (1000_3d_nocnv)



降水量(2km格子)

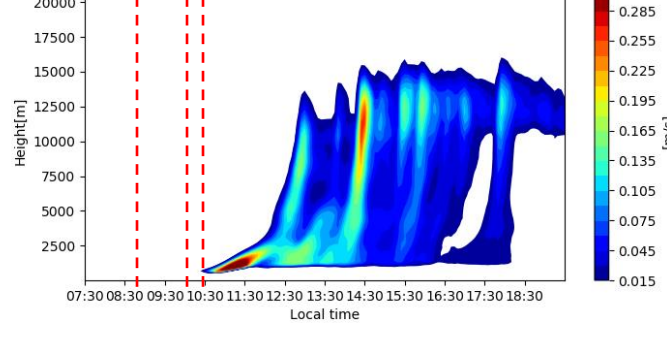
Precipitation (FT=360; dx=2000.0m)



2km

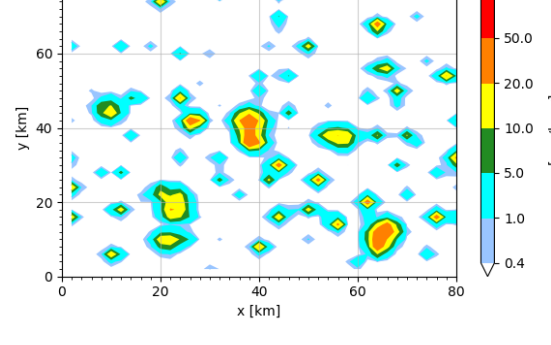
領域平均上昇流

Domain mean updraft (2000_3d_nocnv)



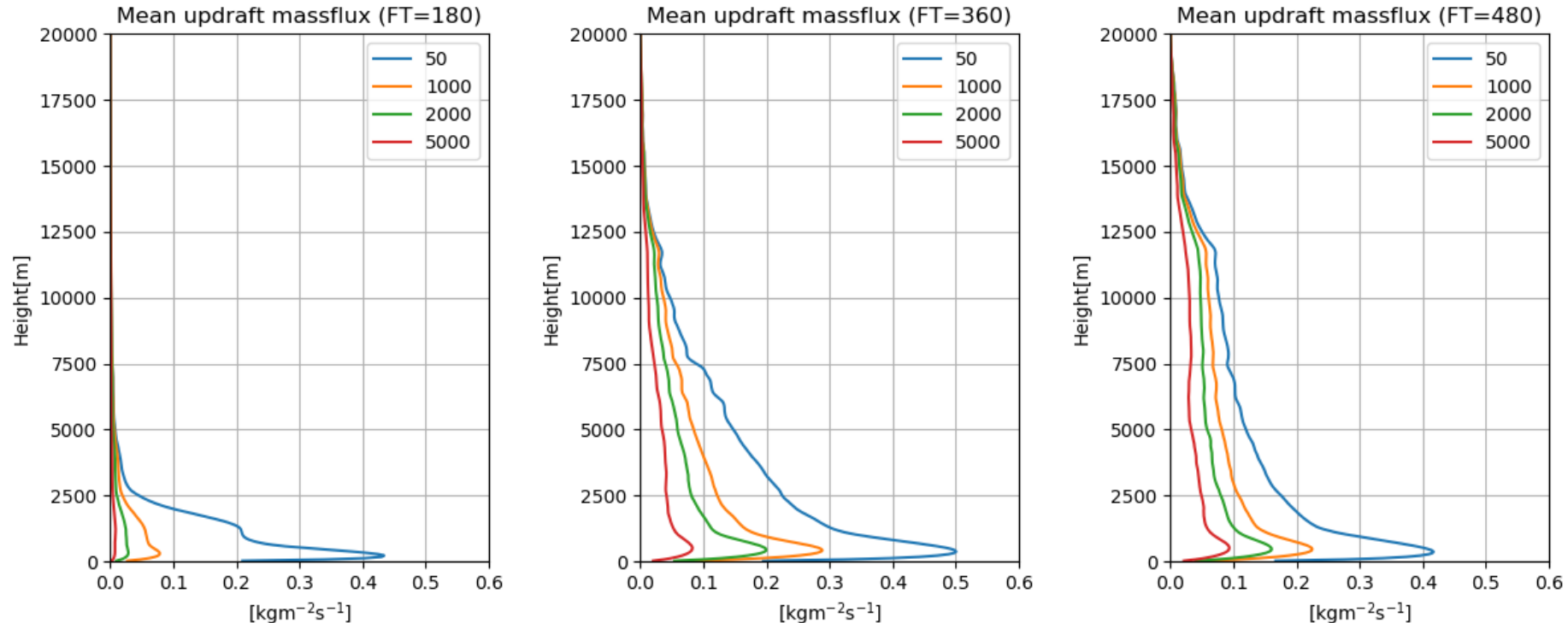
降水量(2km格子)

Precipitation (FT=360; dx=2000.0m)



サブグリッドスケールの鉛直輸送の寄与は？

領域平均した解像された対流性上向き鉛直輸送

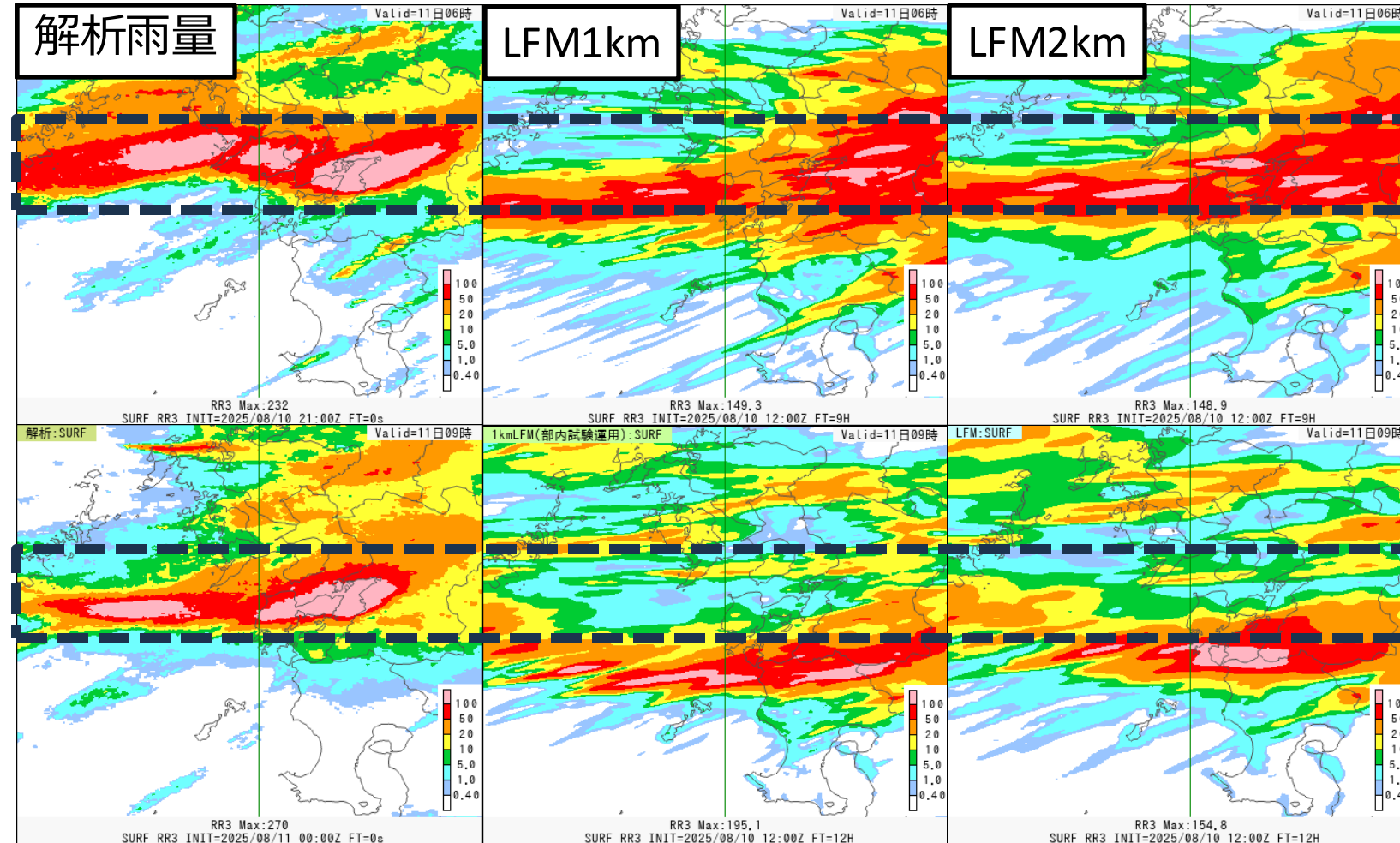


- 各線は、リファレンス(LES)と、LESから診断した1km, 2km, 5kmのグリッドスケールの上向き鉛直輸送。
- 浅い対流ほど水平スケールが小さい
- 深い対流であっても1km解像度では半分程度しか解像できない
- ただし、実効解像度はモデル解像度より低い($\sim 6\Delta x$; Bryan et al. 2003)ので、これよりさらに解像可能なグリッドスケール対流の寄与は小さくなる。

線状降水帯に伴う豪雨による大雨特別警報事例

(2025年8月10日)

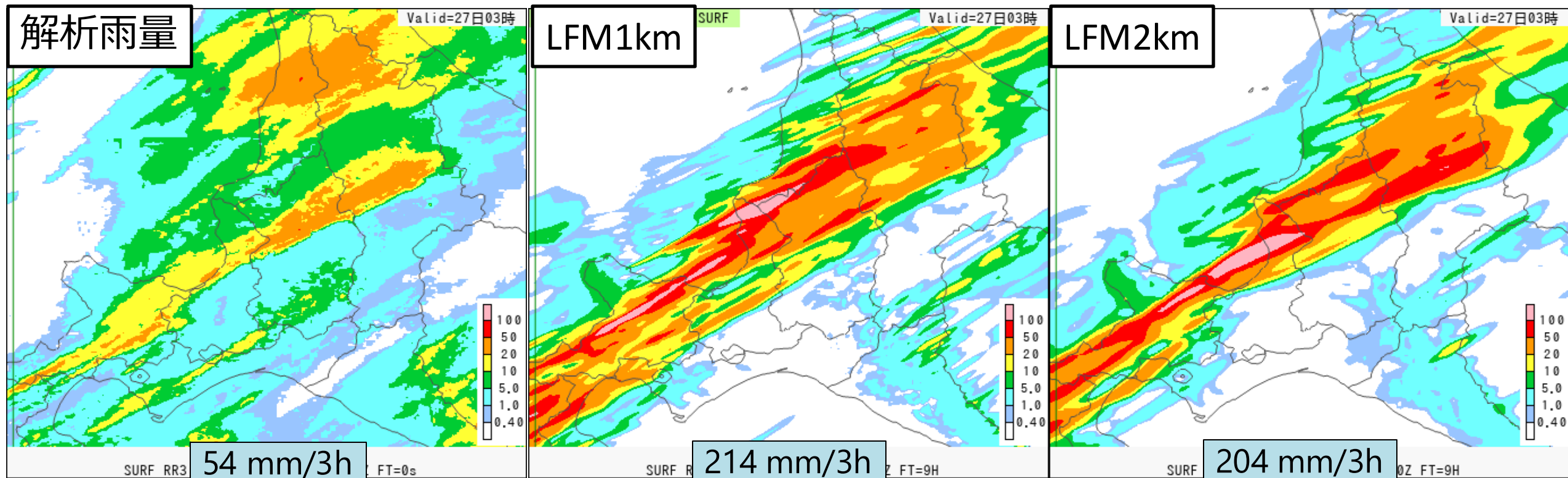
8/10:12UTC
Z初期値



- 2kmと1kmで似たような表現。予報が進むと実況のような停滞が表現できず南下
- 強雨域が停滞しないという特性→対流の継続的な発生を表現できていない

半日前予測空振り事例

令和7年8月27日3時 北海道地方 9h先の3h降水量予測



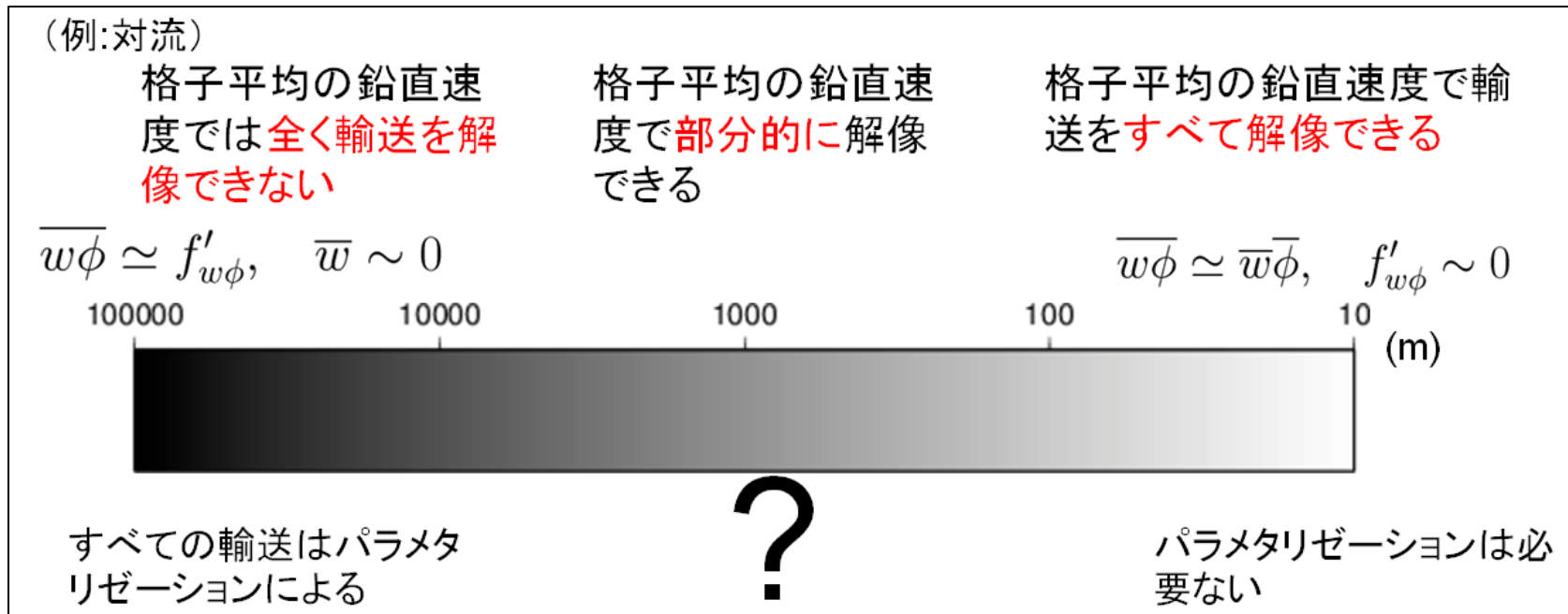
- 解析雨量に比べて2kmと1kmでどちらも強雨を過剰に表現。
- 解消しきれない不安定を一気に解消→対流の成長過程を表現できていない

残された課題とそれに向けた開発は？

- 理想化実験で見られた課題（一様な対流活動）
 - 急激な不安定の解消に伴う極端な降水
 - 対流立ち上がりの遅れ
- 予測実験で見られた課題（組織化したメソ降水帯）
 - 対流の継続的な発生（強雨域の停滞）を表現できていない
 - 急激な不安定の解消に伴う極端な降水（強雨頻度過多）
- 物理過程によるサブグリッドスケールの鉛直輸送の表現に改善余地があるのでは？
- →グレーゾーン問題

様々なグレーゾーン問題

- Turbulent gray zone (Wyngaard, 2004)
- Deep convective gray zone (Tomassini et al., 2023)
- Shallow convective gray zone (Thuburn et al., 2018)
- Building gray zone (Barlow et al., 2017; Lean et al., 2019)

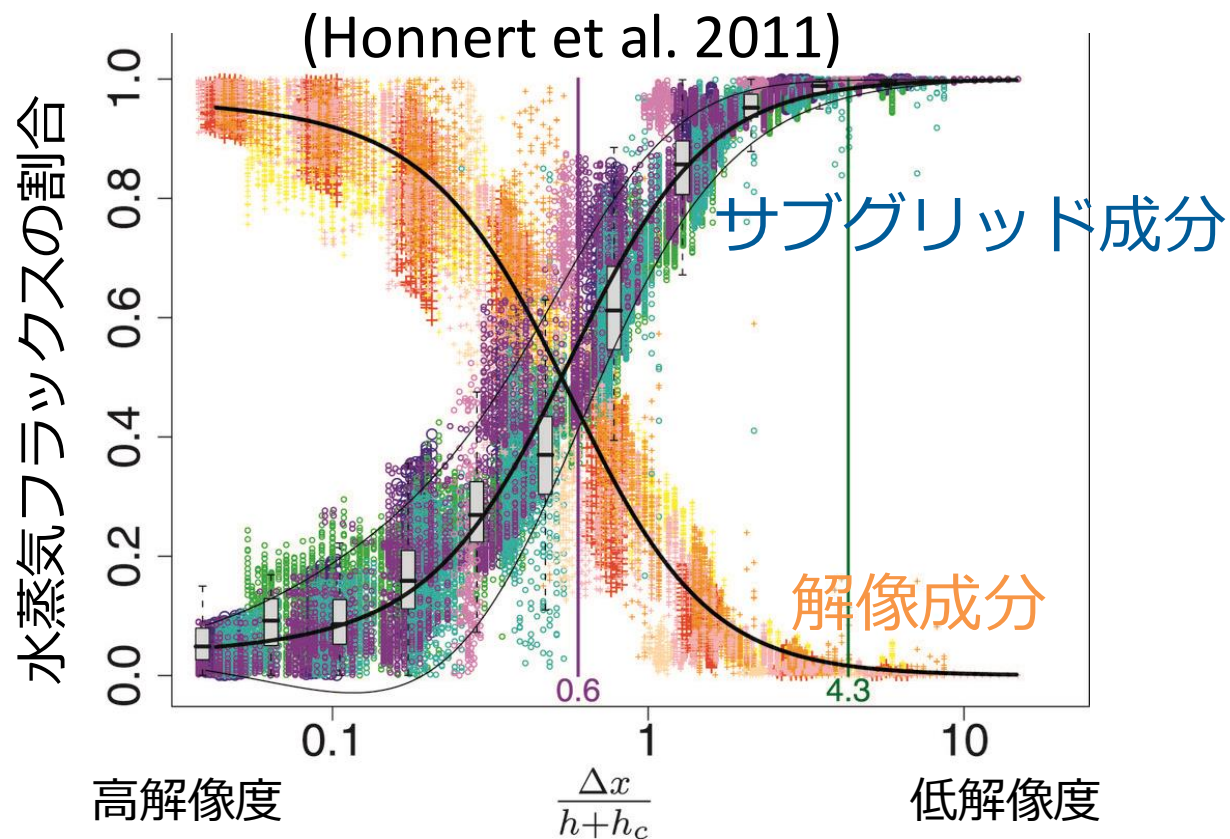


グレーゾーンへの対応

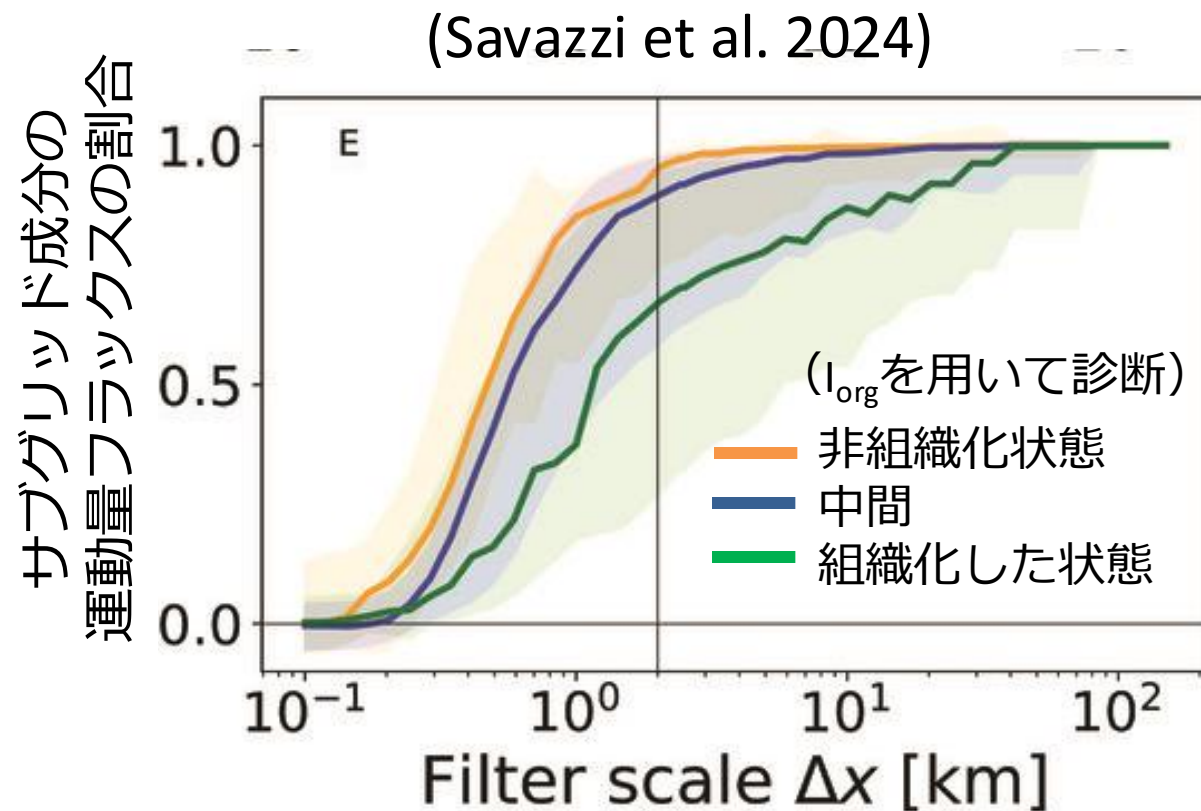
- Scale-aware, Multi-scale, Unified parameterization…
いろいろなコンセプトが考えられている
→正解があるわけではない
- 何を、どこまで物理過程が表現する必要があるのかが良く分かっていない
 - 現象依存、環境場依存
 - 各過程の役割の重複 (double count)
 - 考慮されていない現象 (missing physics)→最先端の研究課題

解像・非解像成分の割合：浅い対流の例

物理過程改良のヒント？



境界層の特徴的スケールに対する格子サイズ



- 境界層高さが良い指標とは限らない
- 組織化度合いでサブグリッド成分の寄与が変わる

目次

1. はじめに
2. 線状降水帯予測改善に向けた開発計画
3. 高解像度化の効果
4. 開発進捗
5. 残された課題
6. まとめと今後の課題

まとめ

- 2030年数値予報技術開発重点計画に沿って、線状降水帯予測の改善に向けた局地モデルの高解像度化開発を進め、2026年3月に現業利用開始の予定である。
- LFM2kmと比べてLFM1kmの改善を確認
 - 対流の立ち上がり遅れが改善した事例
 - 極端な強雨が緩和した事例
- 半年間の試験運用および富岳での長期間（1日4回18時間予報10か月分）で安定動作することを確認

今後の課題

- 残された課題
 - 対流の継続的な形成が表現できていない → 降水域が停滞しない
 - 解消しきれない不安定が一気に解消 → 強雨過多（空振り）
- 対流許容モデルに適した物理過程開発、特に雲・降水の表現向上に向けたサブグリッド鉛直輸送の改良を進める
 - 水平解像度1kmでは対流による鉛直輸送を十分に表現できない
 - 昨今の計算機事情を鑑みると、更なる高解像度化は非常に困難
 - 1km解像度に適した物理過程の改良をすることで、1kmモデルの性能を最大限発揮する開発が必要
 - 特定の物理過程のみを精緻化するのではなく、物理過程間の整合性を考慮した開発が必要