



気象等の情報を扱う事業者等を対象とした講習会

# 局地モデル(LFM)の特性と 利用上の留意点について

気象庁 予報部 数値予報課

平成25年11月20日



# 内容

- 局地モデル運用の目的と仕様
- 局地モデルの特性
  - 高解像度化の効果
  - 高頻度予報の特徴
  - 積雲対流の扱いと課題
- 今夏の大雨の予測事例
- 局地モデルの特性と利用上の留意点のまとめ
- 今後の開発計画

# 局地モデル運用の目的と仕様

# 気象庁現業領域モデルと目的

- 主な目的
  - 防災気象情報作成支援
  - 航空予報支援
- ねらい
  - 顕著現象の発生可能性の把握
  - 飛行場周辺の天候の急変など、運行に影響を及ぼす気象状況の予測
- 特徴
  - 非静力学モデル(JMA-NHM)に基づくシステム
  - 高解像度 ⇒ より小規模な現象を表現
  - 高頻度 ⇒ より新しい観測データを反映した初期値による精度の良い情報を提供

|                      | 局地モデル(LFM)  | メソモデル(MSM)  |
|----------------------|---|---|
| 目的                   | 航空気象予報<br>防災気象情報  | 防災気象情報<br>航空気象予報  |
| 予報領域                 |  |  |
| 水平解像度                | 2 km  | 5 km  |
| 鉛直層数<br>(モデルトッ<br>プ) | 60<br>(20.2 km)   | 50<br>(21.8 km)   |
| 予報時間<br>(初期時刻)       | 9時間<br>(毎正時)  | 39時間<br>(00, 03, 06, 09, 12,<br>15, 18, 21 UTC)                                     |
| 初期条件                 | 局地解析(3次元変分法)  | メソ解析(4次元変分法)  |

(2013年11月20日現在)

# 局地モデル(LFM):本運用

- MSMの5kmより小さい水平格子間隔2kmで予報
- 東日本を覆う領域
- 1日8回、3時間毎実行
- 予報時間は9時間
- 航空予報業務への活用
- 防災気象情報への利用も

2012年8月30日、本運用開始。

航空ユーザー向けプロダクトの提供

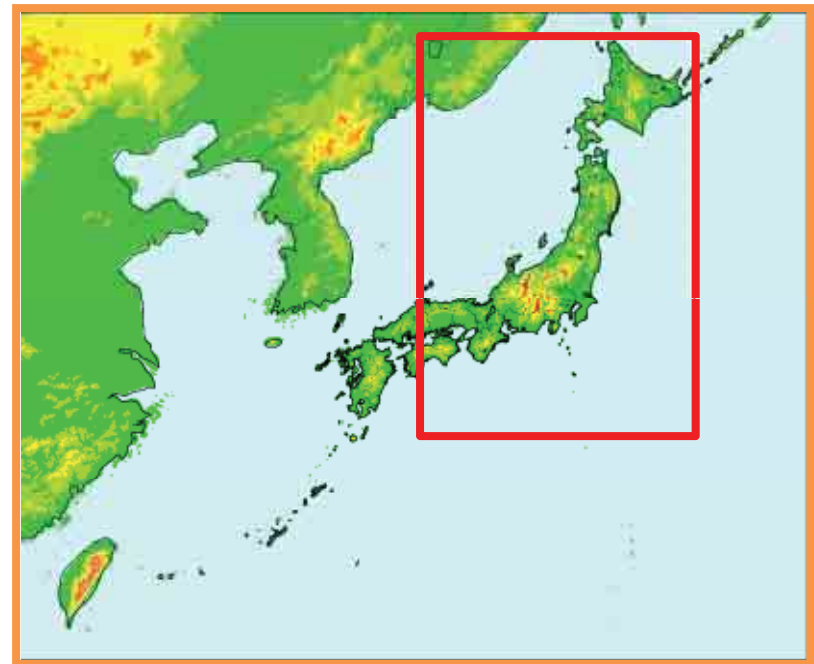


# 局地モデル(LFM):仕様拡張

- MSMの5kmより小さい水平格子間隔2kmで予報
- 日本全域を覆う領域
- 1日24回、毎時実行
- 予報時間は9時間
- 航空予報業務への活用
- 防災気象情報への利用も

2013年5月29日、現業化。

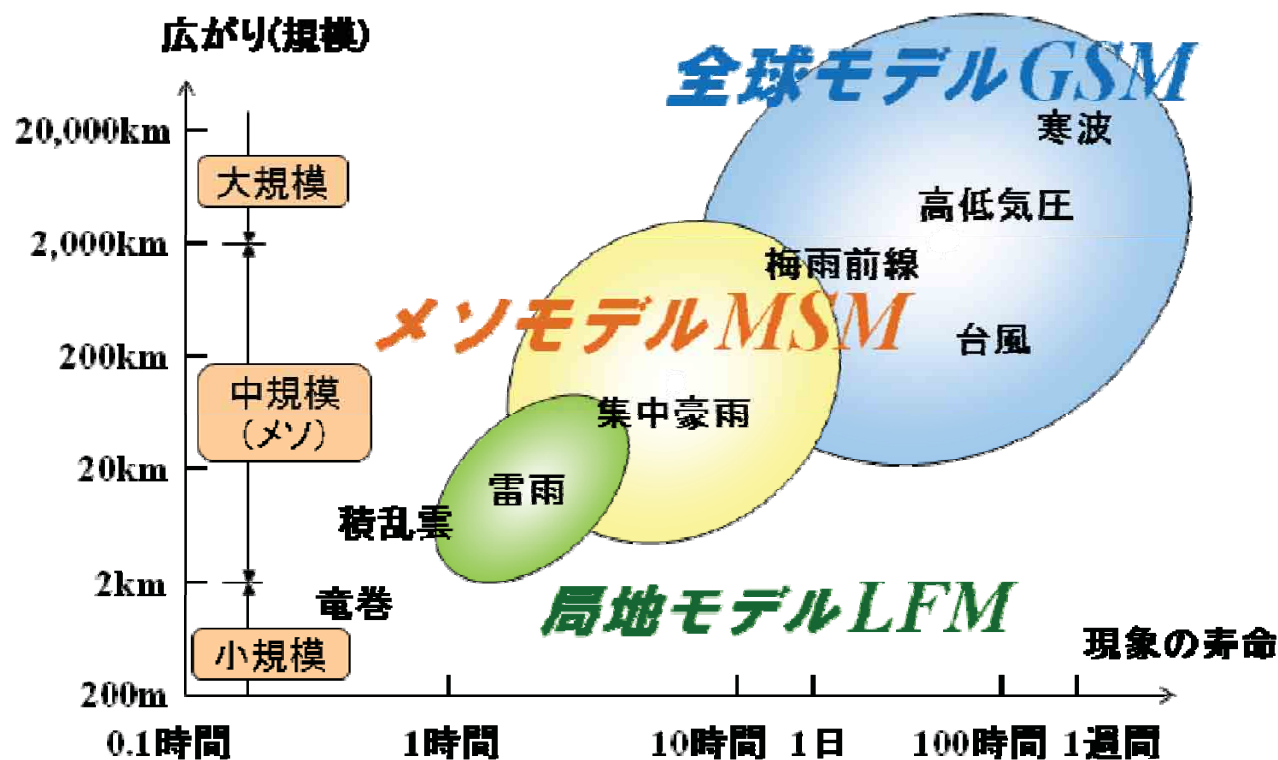
降水短時間予報への利用(10月29日利用開始)



LFMの格子数  
1581 x 1301 x 60(鉛直層)

# 局地モデルのねらい: 高解像度

- 水平格子間隔をMSMの5kmより小さい2kmとして、積乱雲などのより小さいスケールの現象を表現できる性能を持たせる

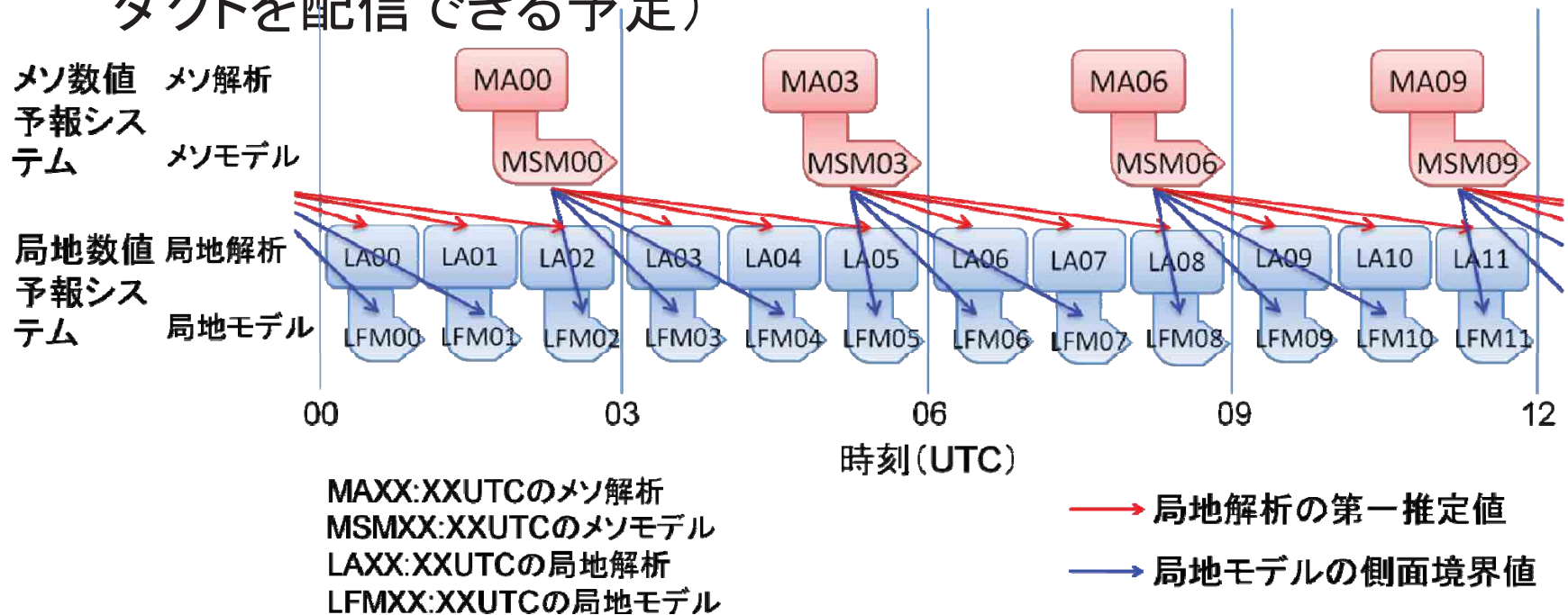


数値予報モデルは格子間隔の5~8倍のスケールの現象が表現可能とされている。

水平格子間隔2kmのLFMでは、水平スケール10km以上の積乱雲を表現可能

# 局地モデルのねらい: 高頻度予報

- 最新の観測をいち早く取り入れた初期値からの予報を、高頻度で更新していく。
- 速報性を重視(MSM(初期時刻から150分後)よりも早くプロダクトを配信できる予定)



最新の情報(第一推定値・観測)を反映させ、  
目先(短時間)の予報資料を充実



# 数値予報モデル

|                | 局地モデル (LFM)        | メソモデル (MSM)               |
|----------------|--------------------|---------------------------|
| 格子間隔           | 2km (1581 x 1301)  | 5km(817 x 661)            |
| 鉛直層            | 60層(地上～20.2km)     | 50層(地上～21.8km)            |
| 積分時間間隔         | 8秒                 | 20秒                       |
| 初期値            | 局地解析(LA)           | メソ解析(MA)                  |
| 側面境界値          | メソモデル(MSM)         | 全球モデル(GSM)                |
| 予報頻度・時間        | 1日24回・9時間予報        | 1日8回・39時間予報               |
| 雲物理過程          | 雲水・雨・雲氷・雪・霰の混合比を予報 | 雲水・雨・雲氷・雪・霰の混合比と雲氷の数濃度を予報 |
| 積雲対流パラメタリゼーション | 用いていない             | Kain-Fritschスキーム          |

※MSM・LFM共に、気象庁非静力学モデル(JMA-NHM)がベース

※表に無い項目はMSMとLFMは基本的には同じ

# データ同化システム(初期値を作成)

|          | 局地解析 (LA)       | メソ解析 (MA)       |
|----------|-----------------|-----------------|
| 格子間隔     | 5km (633 × 521) | 15km(273 × 221) |
| 鉛直層      | 50層(地上～21.8km)  | 40層(地上～22.1km)  |
| 観測打ち切り時刻 | 30分             | 50分             |
| 解析値推定法   | 3次元変分法          | 4次元変分法          |

同化している観測データも異なる

局地解析実行の流れ  
(03UTC初期時刻の例)

予測精度向上の工夫として、  
「解析と1時間予報の繰り返し」を導入している



- 高頻度の実行と速報性を重視して、計算負荷が小さい3次元変分法を採用
- 観測データ情報の十分な利用という面では、4次元変分法を採用しているMSMに及ばない



# 観測データ利用

| 観測種別                  | 同化要素            | LFM        | MSM  |
|-----------------------|-----------------|------------|------|
| <b>アメダス</b>           | <b>気温・風向・風速</b> | <b>導入済</b> | 検討中  |
| 航空機                   | 気温・風向・風速        | 導入済        | 導入済  |
| ウィンドプロファイラ            | 風向・風速           | 導入済        | 導入済  |
| ドップラーレーダー             | ドップラー速度         | 導入済        | 導入済  |
| 地上GNSS(全地球航法衛星システム)   | 可降水量            | 導入済        | 導入済  |
| 国内SYNOP(地上実況気象通報式)    | 気圧              | 導入済        | 導入済  |
| <b>国内SYNOP</b>        | <b>比湿</b>       | <b>導入済</b> | 導入予定 |
| <b>国内SYNOP</b>        | <b>気温・風向・風速</b> | <b>導入済</b> | 検討中  |
| 国内METAR(定時飛行場実況気象通報式) | 気温・風向・風速        | 検討中        | 検討中  |
| ラジオゾンデ                | 気温・相対湿度・風向・風速   | 導入済        | 導入済  |
| 海外SYNOP・船舶・ブイ         | 気圧              | 導入済        | 導入済  |
| 海外SYNOP・船舶・ブイ         | 気温・風向・風速        | 検討中        | 検討中  |
| 台風ボーガス                | 気圧・風向・風速        | 検討中        | 導入済  |
| 解析雨量                  | 地上降水量           | 予定なし       | 導入済  |
| レーダー反射強度              | 相対湿度            | 導入済        | 導入済  |
| 静止衛星:大気追跡風            | 風向・風速           | 導入予定       | 導入済  |
| 静止衛星:晴天域放射輝度          | 輝度温度            | 導入予定       | 導入済  |
| 低軌道衛星:マイクロ波サウンダ       | 輝度温度            | 導入予定       | 導入済  |
| 低軌道衛星:マイクロ波イメージャ      | 輝度温度            | 導入予定       | 導入済  |
| 低軌道衛星:マイクロ波イメージャ      | 地上降水量           | 予定なし       | 導入済  |
| 低軌道衛星:マイクロ波散乱計        | 風向・風速           | 導入予定       | 導入予定 |

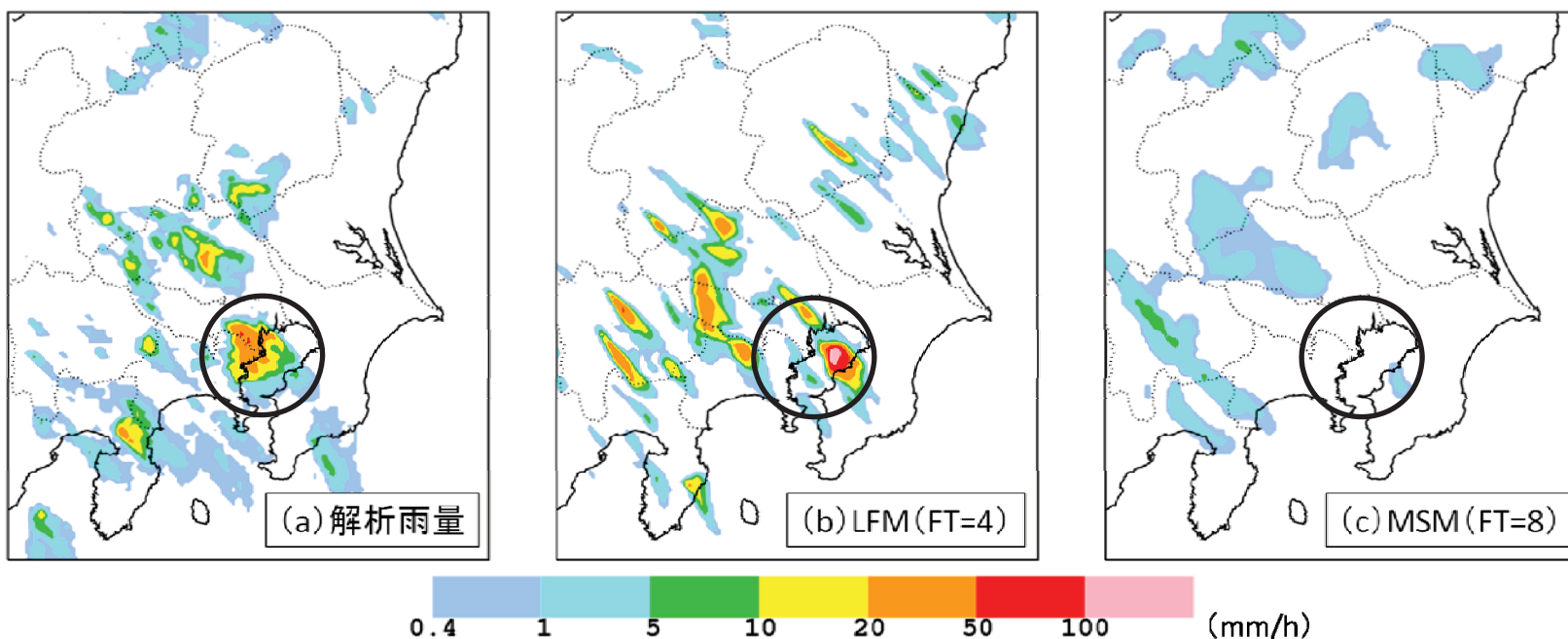
- **地上気温・風向・風速・比湿データを利用**(気象庁の現業数値予報システムとしては初めて)
- 衛星データの利用はこれから

# 局地モデルの特性 ～高解像度化の効果～

# 小規模な現象の表現性向上

- 利点

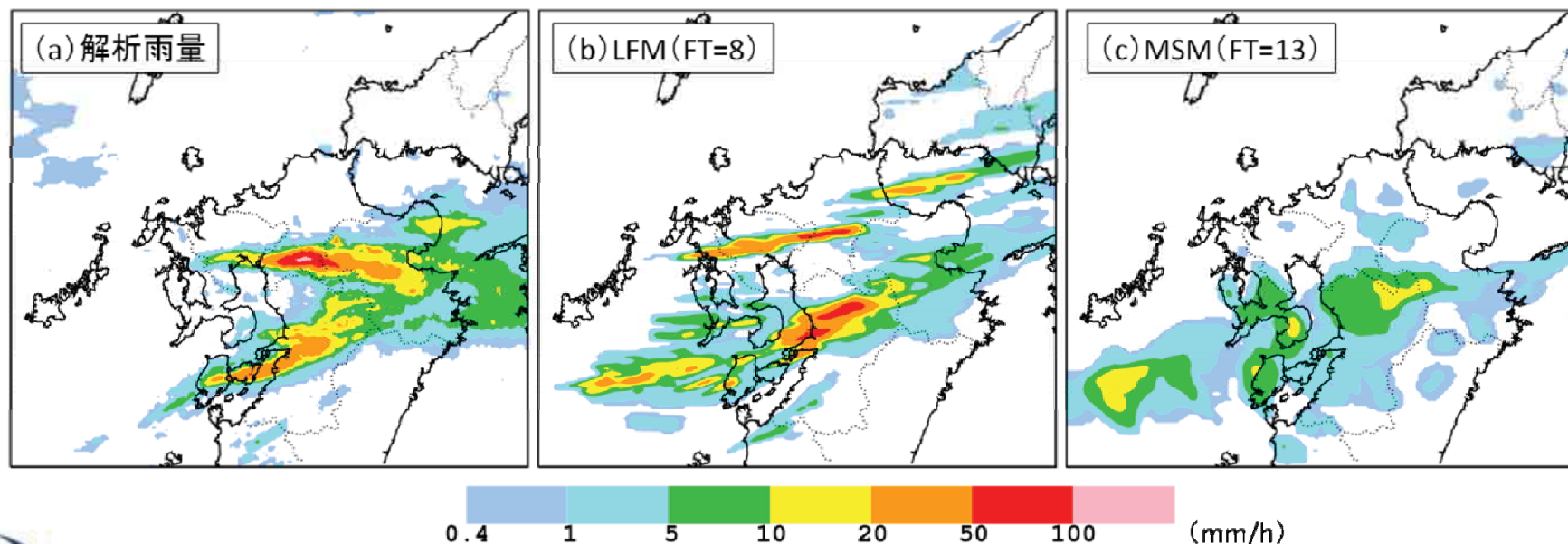
- LFMは、水平規模10km程度の積雲対流を大気の支配方程式の中の予報変数によって直接表現可能



# 小規模な現象の表現性向上

- 利点

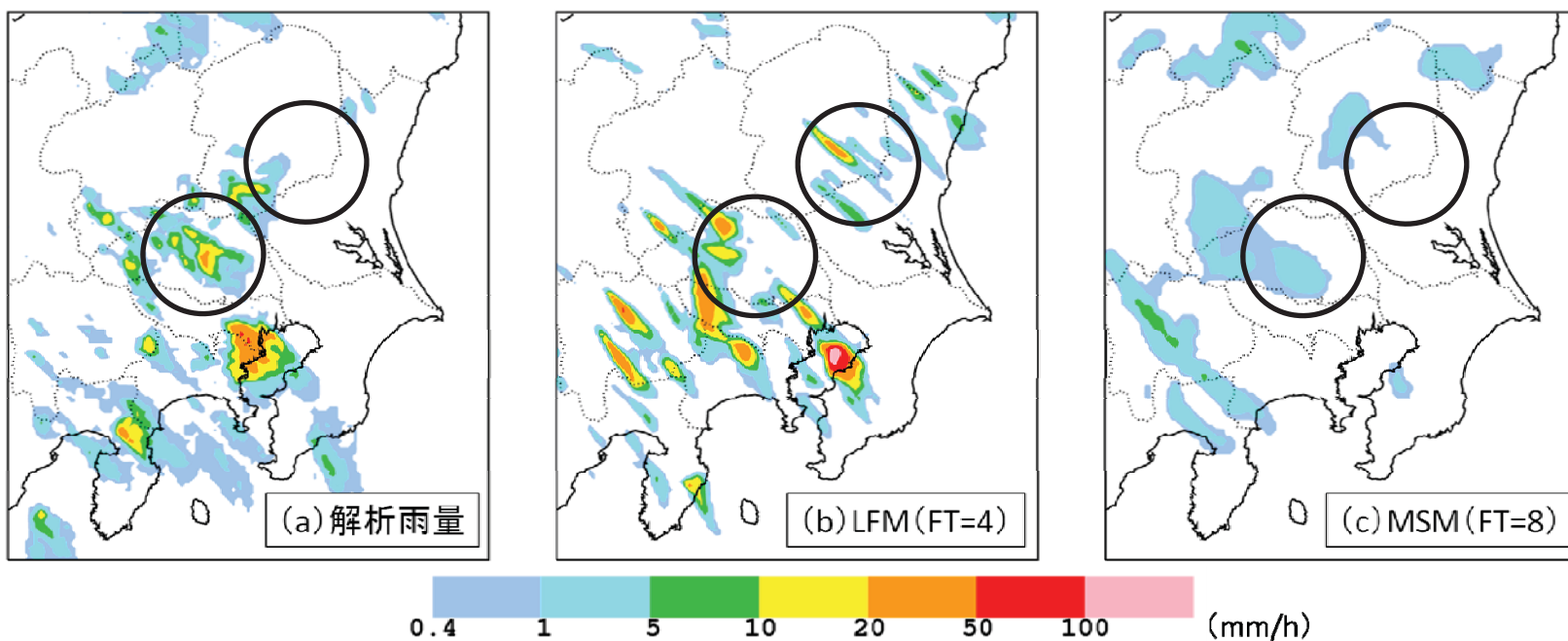
- 積雲対流による鉛直輸送を現実に近い形で表現することが可能となるため、対流性の降水は形状やピーク値において観測値に近いものを予想しえる



# 小規模な現象の表現性向上

- 注意点

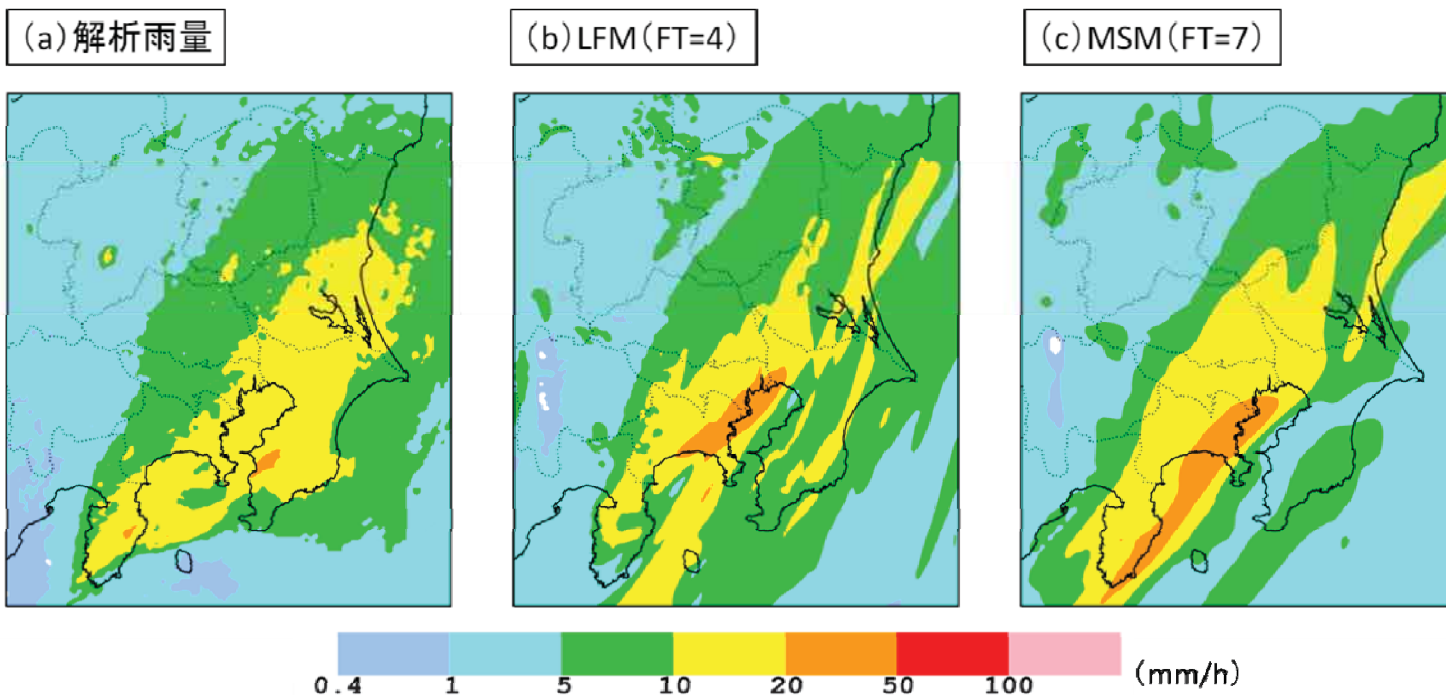
- 小規模な現象の表現性は向上するが、現象の特性上、ピンポイントの予測は難しい ⇒ 位置ずれ・時間ずれに注意が必要



# 小規模な現象の表現性向上

- 注意点

- 総観規模擾乱のような、より大きなスケールでの現象は、より水平格子間隔が大きいMSMと表現があまり変わらない



2012年12月30日19JSTの前1時間積算降水量



# 地形の表現性向上

- 利点

- 水平格子間隔が小さくなることで、地形も細かくなる
- 地形による強制上昇に伴う雲・降水や、地形の影響を直接受ける地上風は、地形がより現実に近くなることで表現がよくなることがある

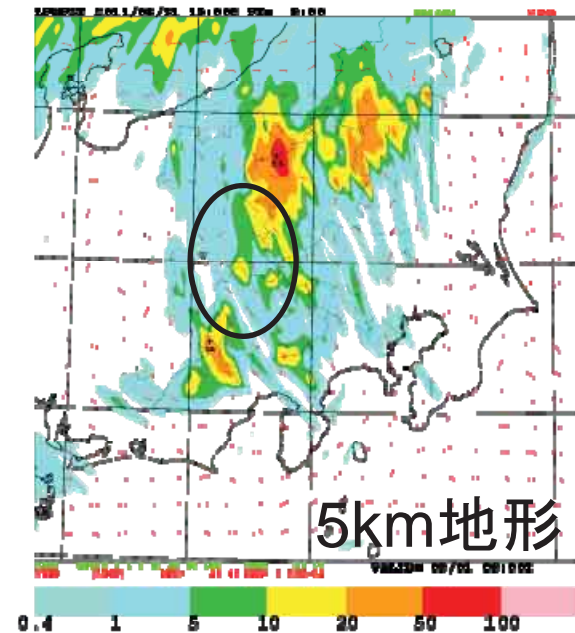
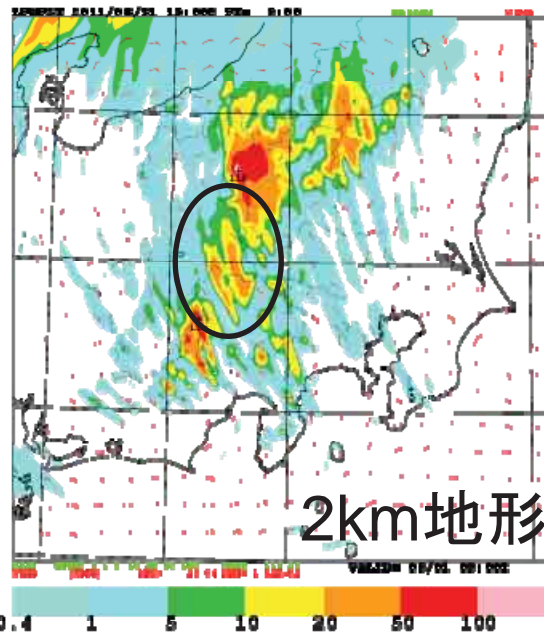
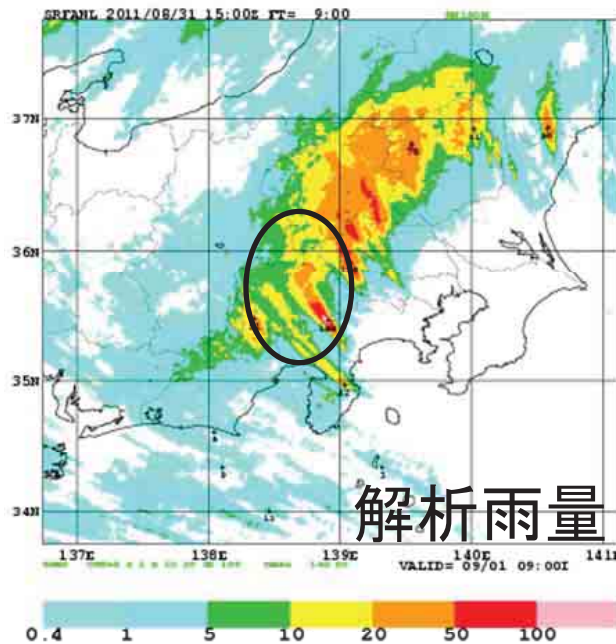
MSMとLFMの地形表現



# 地形性降水の表現性向上

- 利点

- 地形による強制上昇に伴う雲・降水の形成は、地形がより現実に近くなることで表現がよくなることがある



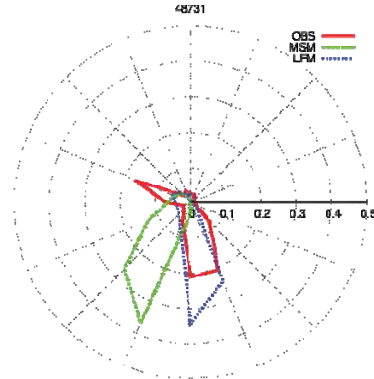
同じ2kmLFM予報で地形の解像度を変えた場合

# 地上風向の予測精度向上

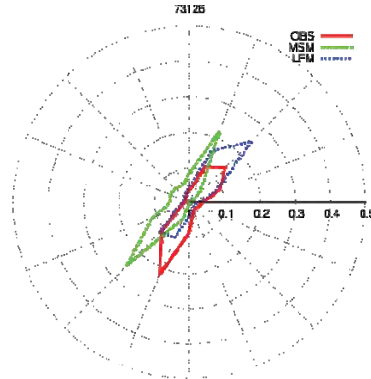
- 利点

- 地形がより現実に近くなることによって、その影響を直接受ける地上の風の予測精度が向上する。

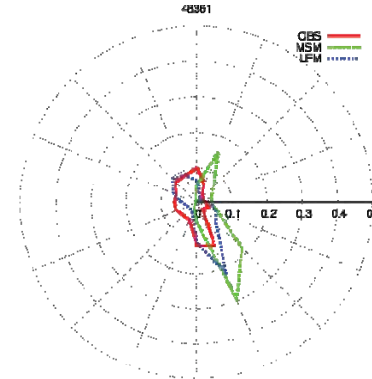
飯島（長野県）



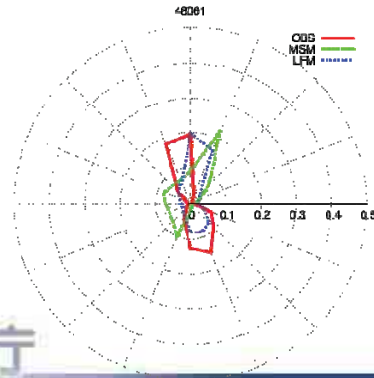
西条（愛媛県）



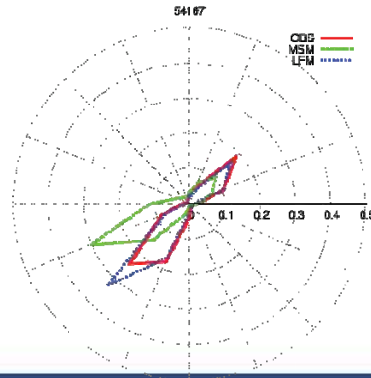
松本（長野県）



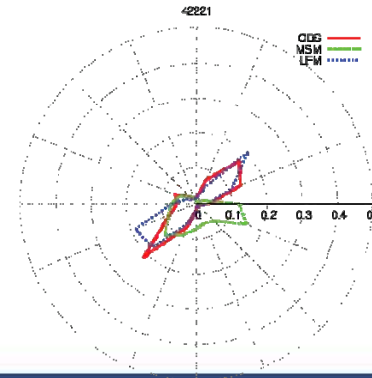
信濃町（長野県）



秋津（新潟県）



田代（群馬県）



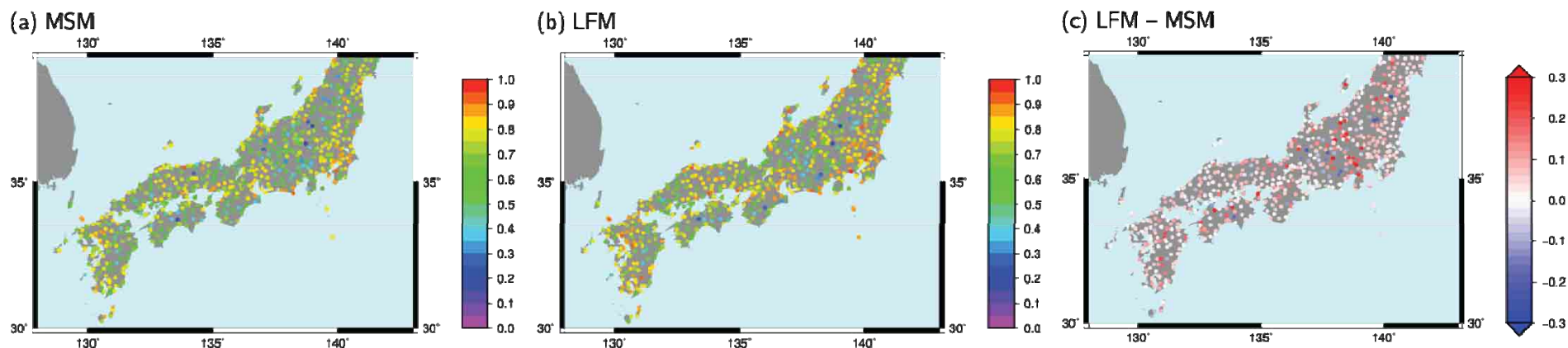
2010年6～8月の  
地上風配図

数値予報課

# 地形の表現性向上

- 注意点

- どの地形による効果がLFMでどのように改善しているかを把握するには地域によって特性が異なる ⇒ 地域毎に事例調査を積み重ねて特性の把握を進めているところ
- 地形表現の向上による全般的な地上風向予測の改善を確認。内陸部で特に効果が大きい。平野部・沿岸部ではもともと地形の影響は小さい。

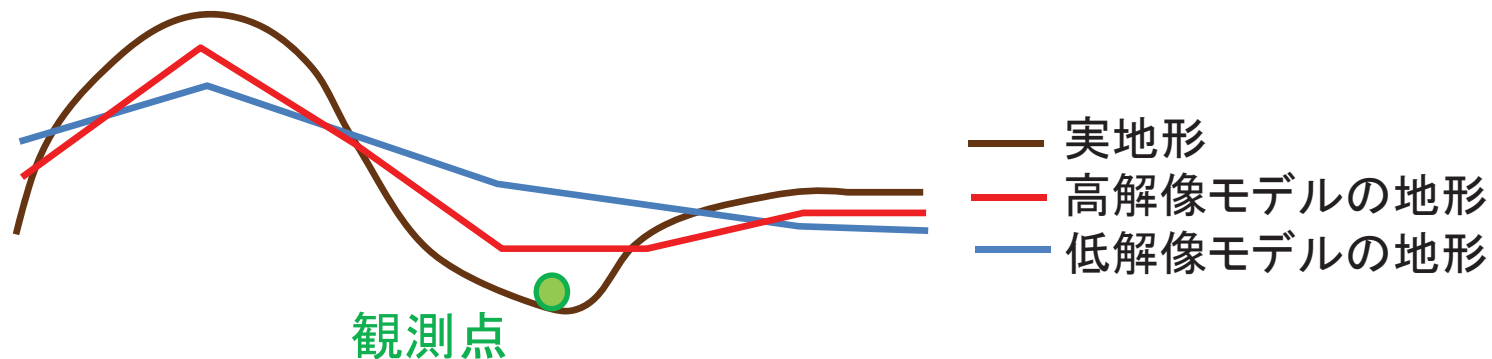


2010年6月～8月の地上風向の出現頻度についての  
観測とMSM・LFM予測の一致率

# 地上観測データの同化

- 利点

- より実際に近い地形を表現することで、地上観測のような局地性が強い観測データを同化できる

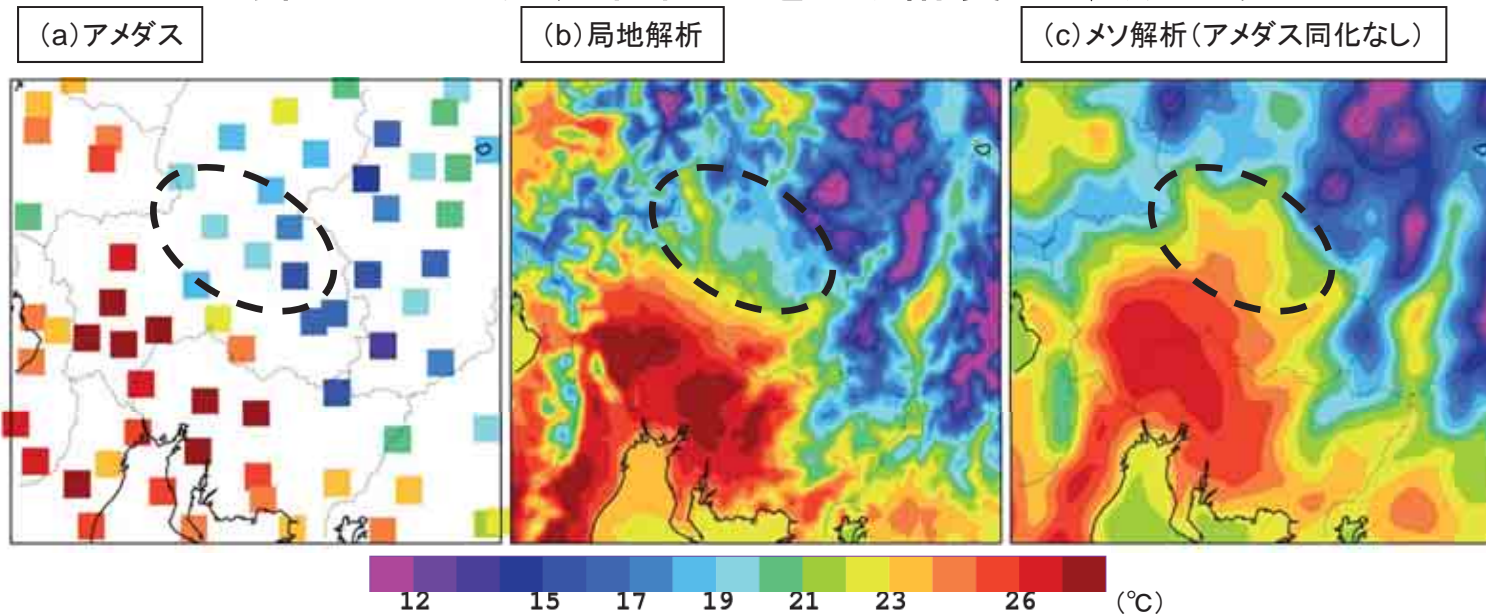


局地解析の水平格子間隔: 5km  
メソ解析の水平格子間隔: 15km  
全球解析の水平格子間隔: 約55km

# 地上観測データの同化

## ● 利点

- 局地解析では、アメダスの風と気温、およびSYNOP比湿を同化して予報の初期値に反映
  - 地上付近の風速シアや気温などが初期値で修正される
  - 予報における風速シアやそれに伴う降水などの現象、下層気温の上昇による不安定性降水をより精度よく表現しうる



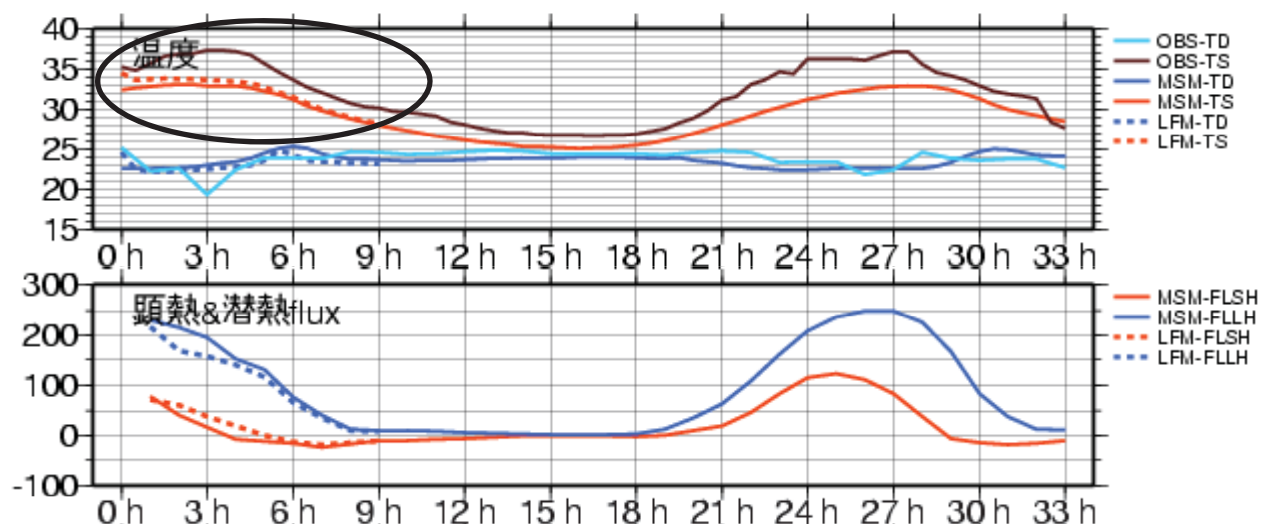
# 地上観測データの同化

- 注意点

- アメダスデータの同化による初期値改善の効果が持続しない場合も見られる

- 同化手法(3次元変分法)に起因する限界
- 精緻化されたとはいえ、依然残る実際の地形との差
- モデルの物理過程の課題

熊谷 (43056) 36.15N 139.38E



- LFMでは、アメダスの地上気温を同化しているため、初期値ではMSMよりも実況に近い
- しかしその後、気温は上昇せず、MSMと同じ傾向となった

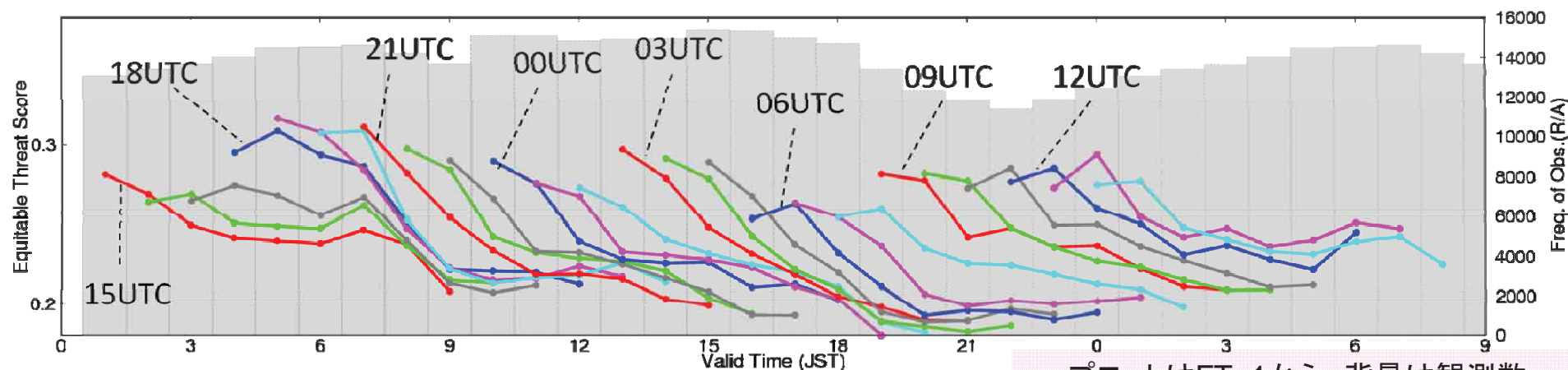
# 局地モデルの特性 ～高頻度予報の特徴～



# 高頻度予報の特徴

- 利点と注意点

- LFMは、その目的と仕様の通り、統計的には新しい初期時刻の予報精度が高くなっている。
- ただし現状では、スピニアップの問題があるために1時間予報値の予報精度は悪くなることがある(実際の配信は、初期時刻から1時間以上後となるので、利用上はあまり問題となることはないと考えている)。



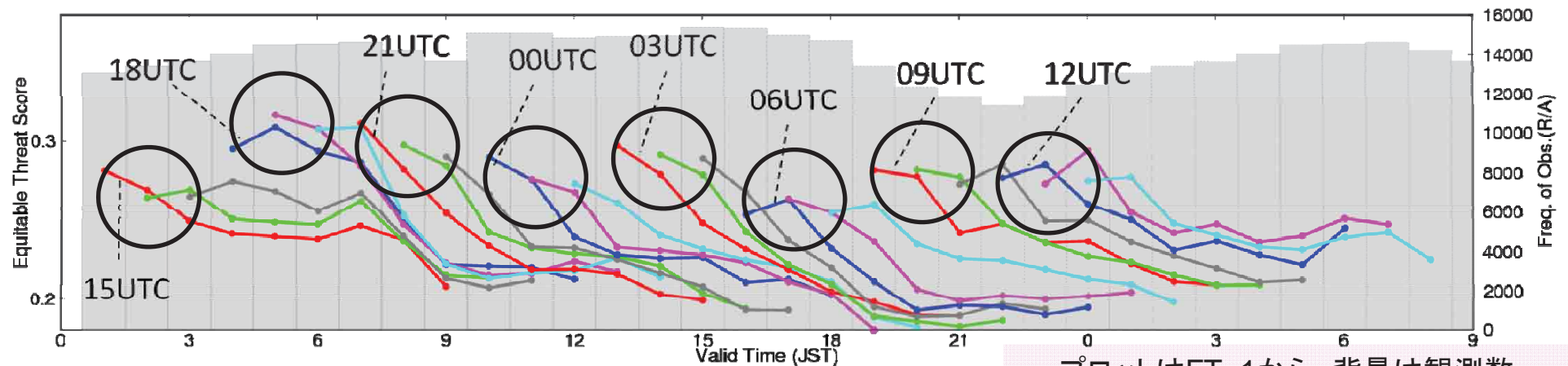
LFMの対解析雨量のエクイタブルスレットスコア

(10km格子内平均、1 mm/h 以上)

プロットはFT=1から、背景は観測数

# MSM予報値の利用による影響

- 第一推定値・側面境界値としてMSM予報値を利用
  - 観測データが少ない場所では、第一推定値は修正されずらく、第一推定値のMSM予報値がそのまま初期値となる
  - 予報後半では、側面境界値として流入するMSM予報値の影響を受けやすい ⇒ 現状では予報時間が9時間と短いため、第一推定値としての影響が大きい面がある

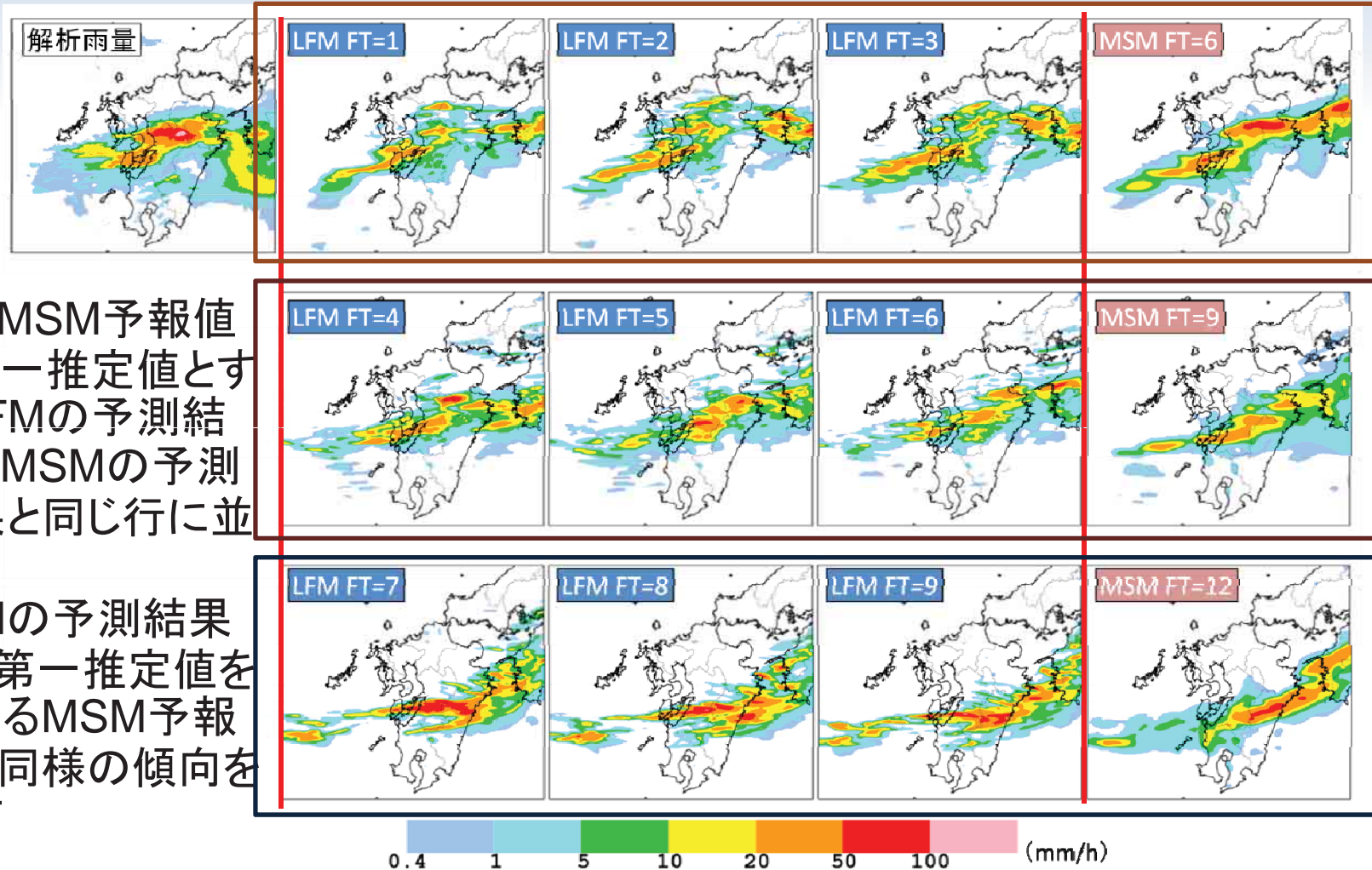


LFMの対解析雨量のエクイタブルスレットスコア

（10km格子内平均、1 mm/h 以上）

プロットはFT=1から、背景は観測数

# MSM予報値の利用による影響



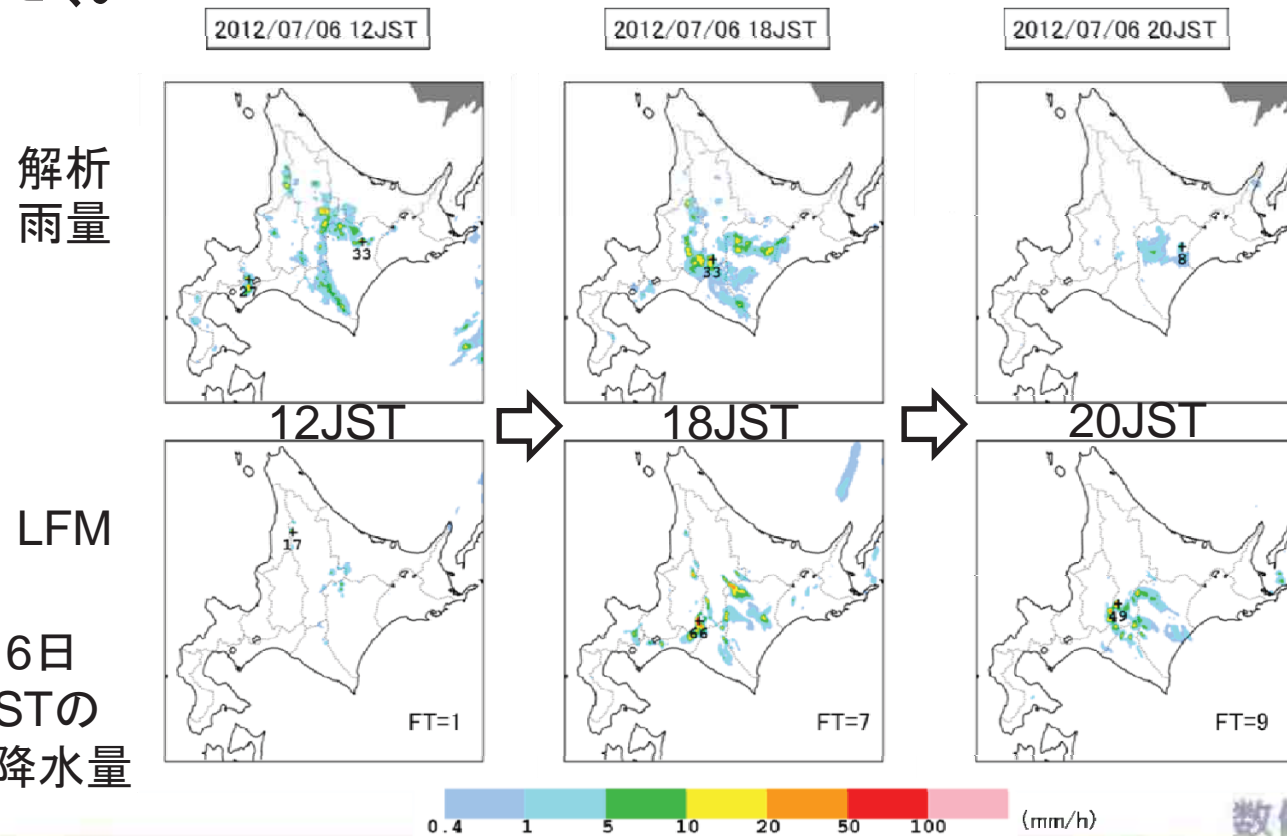
- 同じMSM予報値を第一推定値とするLFMの予測結果をMSMの予測結果と同じ行に並べた
- LFMの予測結果は、第一推定値を与えるMSM予報値と同様の傾向を示す

2012年7月12日06JSTの前1時間積算降水量

# 局地モデルの特性 ～積雲対流の扱いと課題～

# 積雲対流の予測に関する課題

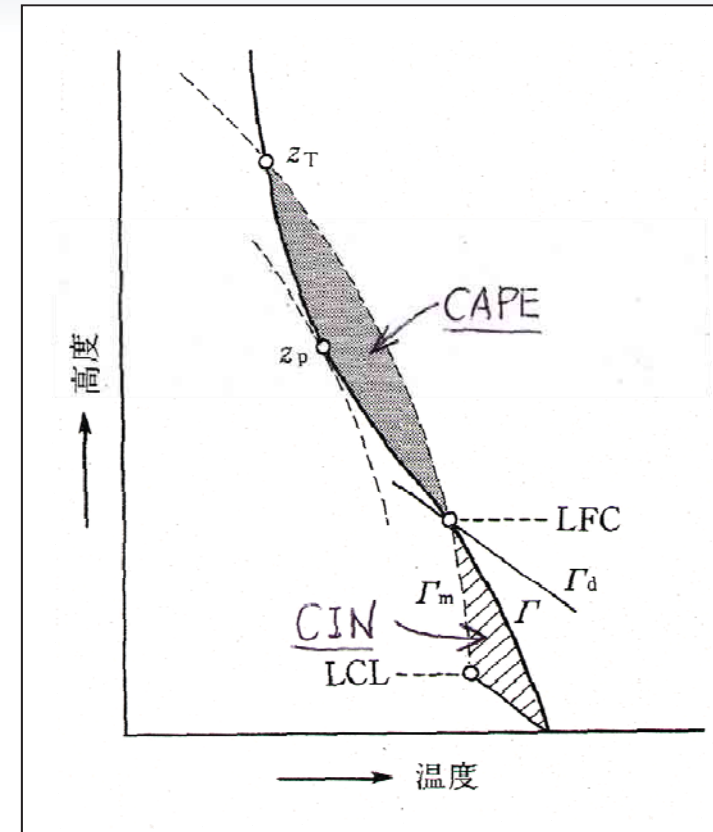
- 積雲対流発生が遅れる
- 積雲対流発生が遅れで蓄積されたエネルギーが一気に解放されることで、対流活動・降水が過大となり、弱い降水が表現されにくい



2012年7月6日  
12, 18, 20JSTの  
前1時間積算降水量

# 積雲対流に関連するプロセス

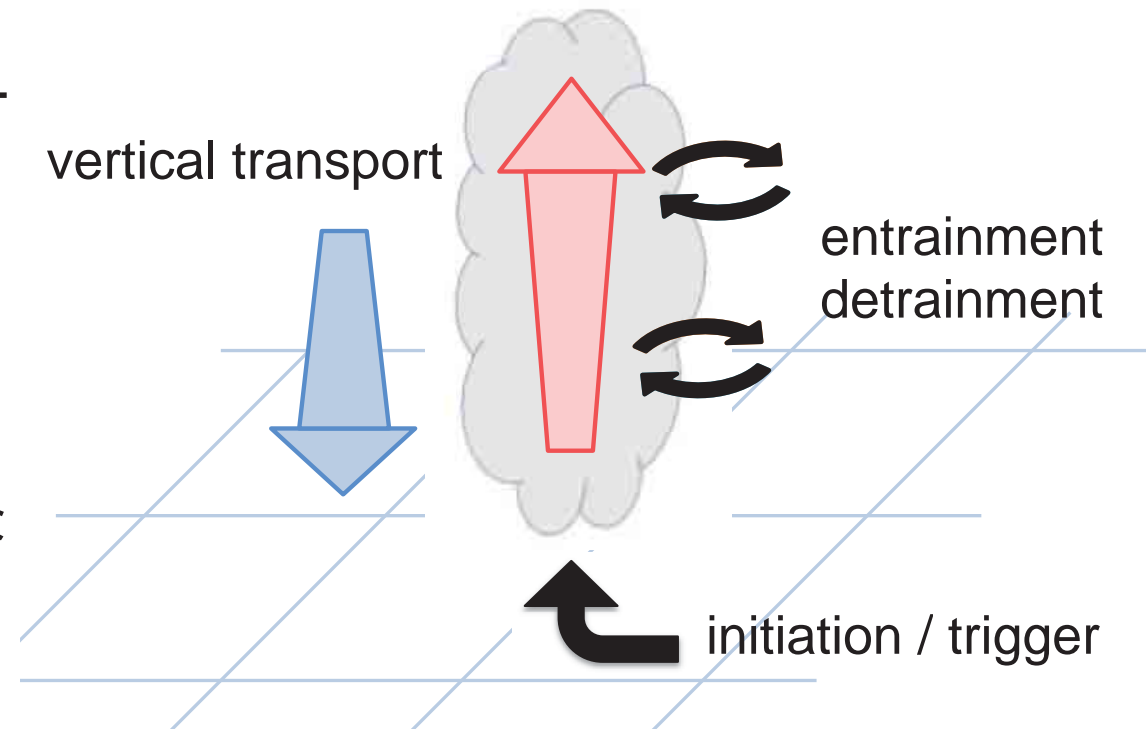
- 潜在不安定(条件付不安定)な成層
  - LFC(自由対流高度)とその上空に正のCAPE(対流有効位置エネルギー)の領域が存在
- トリガーとなる強制上昇
  - CIN(対流抑制)を打ち破って空気塊をLFCまで持ち上げることで、CAPEを運動エネルギーに変換可能な状態にする
- 凝結による潜熱解放
  - CAPEを運動エネルギーに変換する
- エントレインメントとデトレインメント
  - 積雲と周辺の大気との混合により、積雲対流を抑制



加藤(2011)

# LFMにおける積雲対流

- LFMでは積雲対流パラメタリゼーションを用いていない
  - 積雲対流に関連するプロセスを格子平均値で表現する必要がある
  - 積雲対流に伴う鉛直輸送については、格子平均値で表現可能
- エントレインメントとトリガーとなる強制上昇は格子平均では表現できない
  - エントレインメントは積雲の壁付近のスケールの小さい乱流によって引き起こされる
  - 対流の発生のトリガーとなる強制上昇には、細かな地形やスケールの小さい収束が寄与



- 格子平均で飽和に達しない時の凝結(部分凝結)は扱っていない

# 積雲対流の予測に関する課題と要因

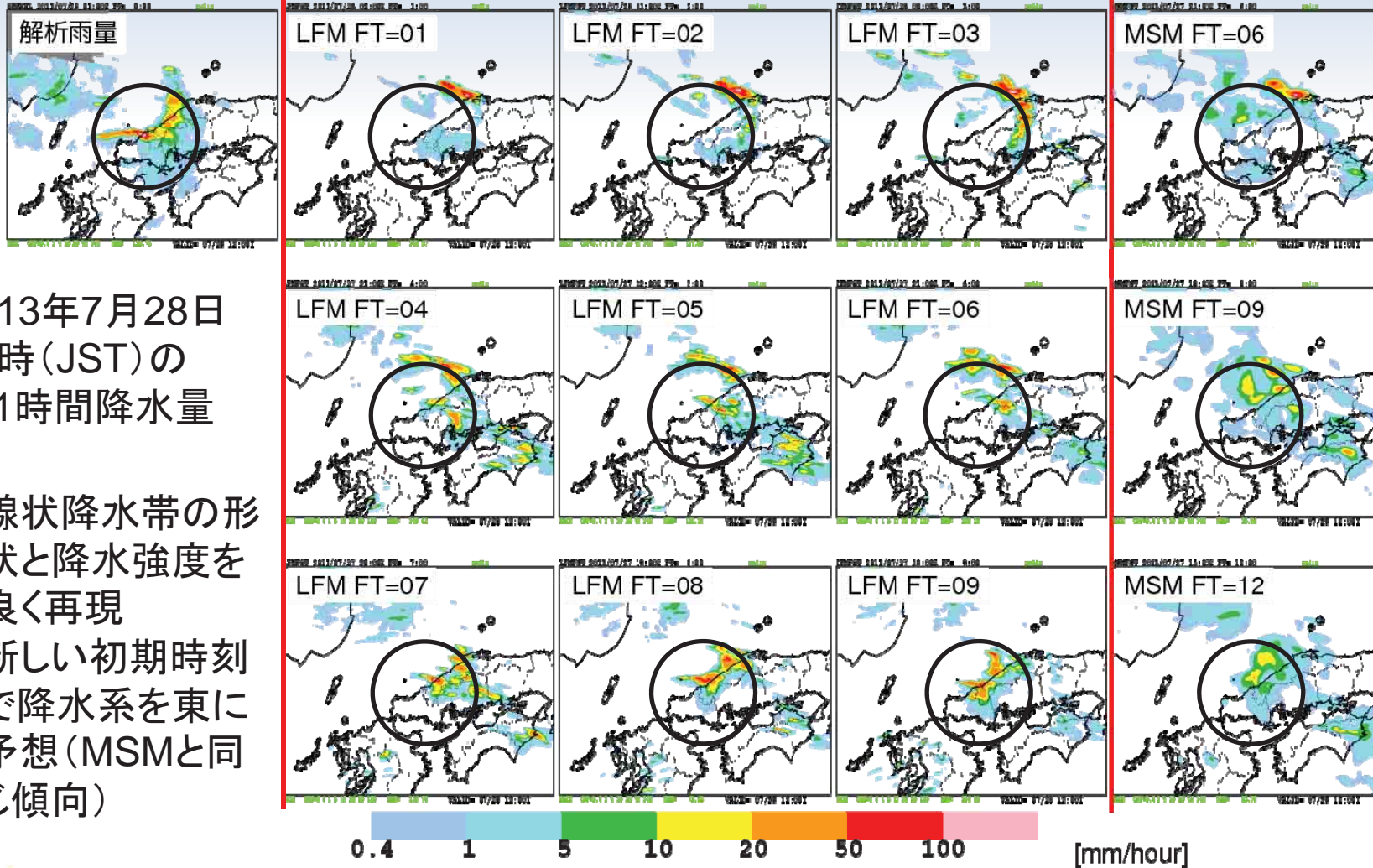
- 積雲対流発生が遅れ
  - 発生のトリガーとなる強制上昇の表現が十分ではない。
  - 部分凝結を扱っていないことによる凝結の遅れ。
- 過大な対流活動・降水、過少な弱い降水
  - 乾燥空気を取り込むエントレインメントの表現の不足。
  - 対流の発生が遅れるため、CAPEは解放されずに蓄積。それが短時間に運動エネルギーに変換。
  - 本来はもっとゆっくり不安定が解消され、その過程で弱い降水が生じるが、急速に解消されるため、弱い降水が少なくなる。

格子平均で表現できない、トリガー・エントレインメント・部分凝結の効果を何らかの形で扱う必要がある



# 今夏の大雨についての予測事例

# 山陰での大雨



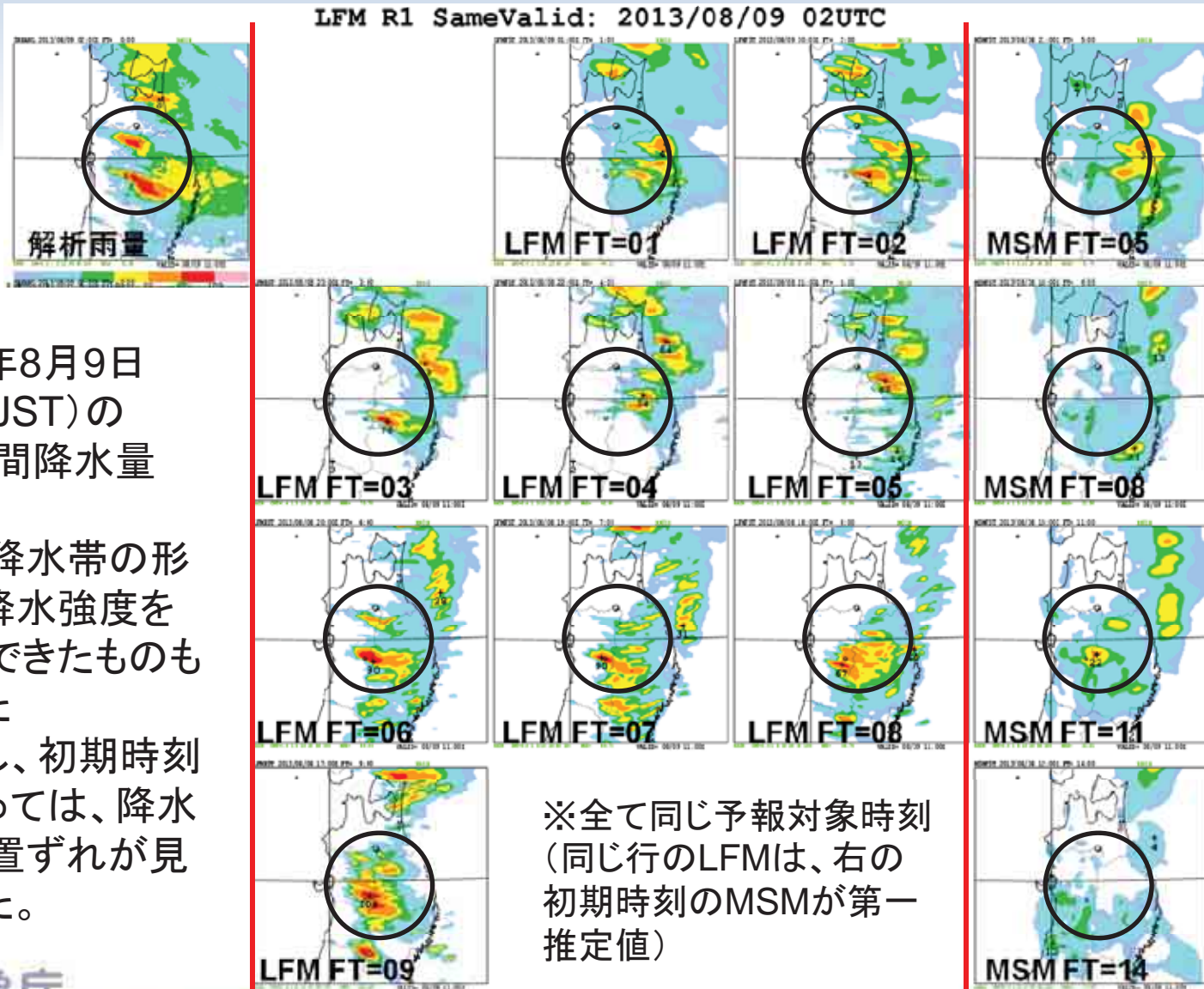
2013年7月28日  
12時(JST)の  
前1時間降水量

- 線状降水帯の形状と降水強度を良く再現
- 新しい初期時刻で降水系を東に予想(MSMと同じ傾向)

※全て同じ予報対象時刻(並んだ3つのLFMは、右の初期時刻のMSMが第一推定値)

# 東北での大雨

LFM R1 SameValid: 2013/08/09 02UTC

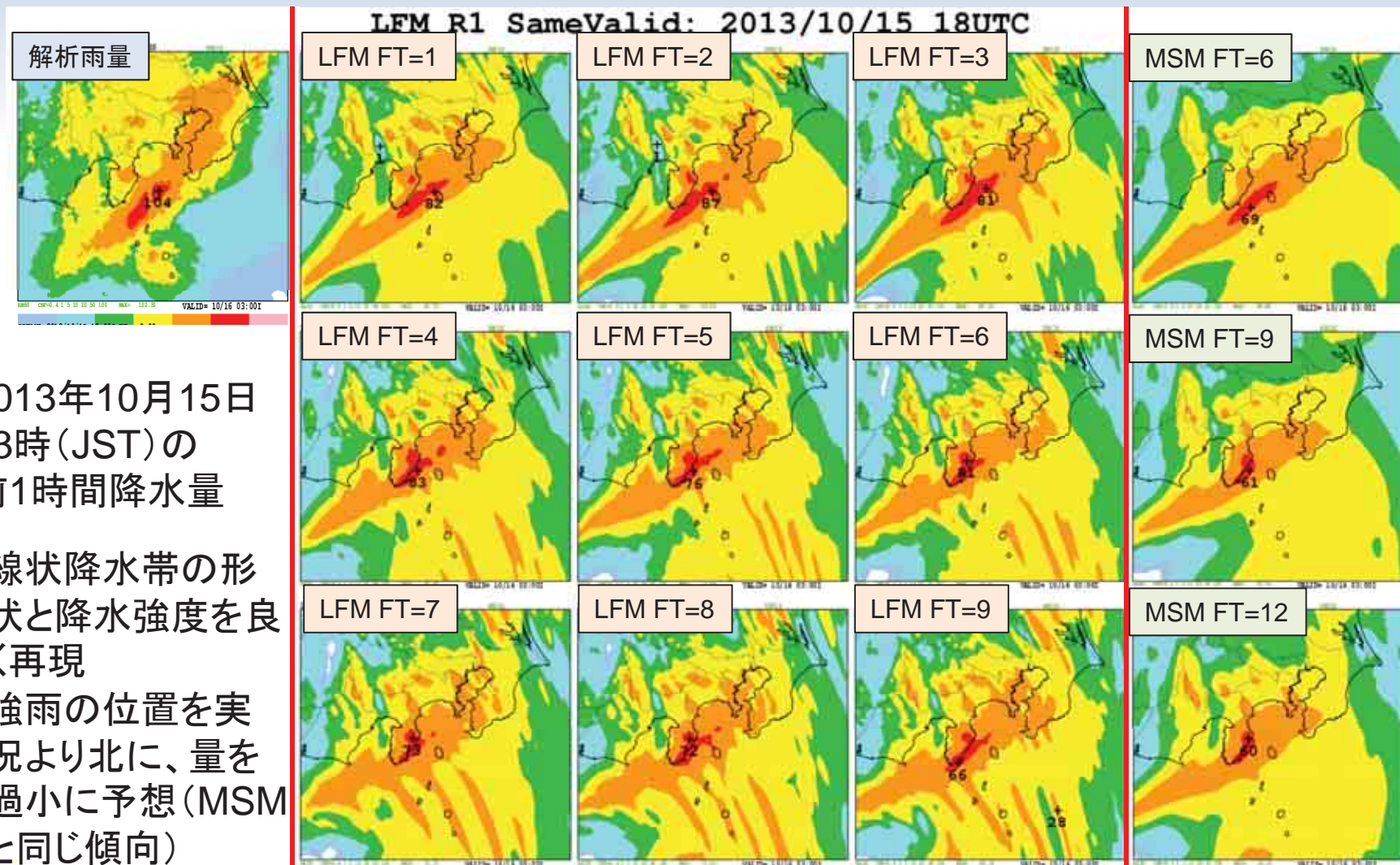


2013年8月9日  
11時(JST)の  
前1時間降水量

- 線状降水帯の形状と降水強度を表現できたものもあった
- ただし、初期時刻によっては、降水の位置ずれが見られた。

※全て同じ予報対象時刻  
(同じ行のLFMは、右の  
初期時刻のMSMが第一  
推定値)

# 台風第26号に伴う伊豆大島での大雨



2013年10月15日  
03時(JST)の  
前1時間降水量

- 線状降水帯の形状と降水強度を良く再現
- 強雨の位置を実況より北に、量を過小に予想(MSMと同じ傾向)

※全て同じ予報対象時刻(並んだ3つのLFMは、右の初期時刻のMSMが第一推定値)

# 今夏の大雨の予報事例のまとめ

- LFMの特徴はよく表れていた
  - 高解像度の効果による小規模な降水系の表現性向上
  - より実況に近い降水のピーク値を表現
- 一方で、現在把握されている課題も表れていた
  - 第一推定値・側面境界値として利用するMSMの影響を強く受ける
  - 降水系の位置ずれ、対流発生が遅れ、過剰な降水表現

# LFMの特性と利用上の留意点 についてのまとめ

- (MSMと比較して)LFMの優位性が示されている点
  - 対流性降水の表現性向上(現実に近い形状やピーク値)
  - 地上気温・風の予測精度向上(高解像度化、地上観測同化、物理過程改良などによる効果)
  - 高頻度(1日24回)・速報性(MSMよりも早いプロダクト配信を予定)
- 解析システムと現状の観測データ量に起因する限界
  - MSMと比べて利用観測データが少ない(解析雨量・衛星データなど)
  - 第一推定値・境界値として利用しているMSMの影響を受けやすい
- 現在把握されている課題
  - 積雲対流の発生・発達・衰弱に関する時間・位置・強度の予測が実況からずれることがある
  - スピンアップにより予報初期の降水頻度が低い

# 今後の開発計画

- モデルの鉛直層配置の見直し
  - 下層の高解像度化
- 物理過程改良
  - 積雲対流の表現手法の改善
- 観測データ利用の拡充
  - 衛星データ(大気追跡風、輝度温度)の利用
- プロダクト、予報作業への利用検討
- 次世代モデルの開発・導入