

# LETKFを用いた ネストアンサンブルシステムの 開発

瀬古弘・露木義・斉藤和雄(気象研究所)

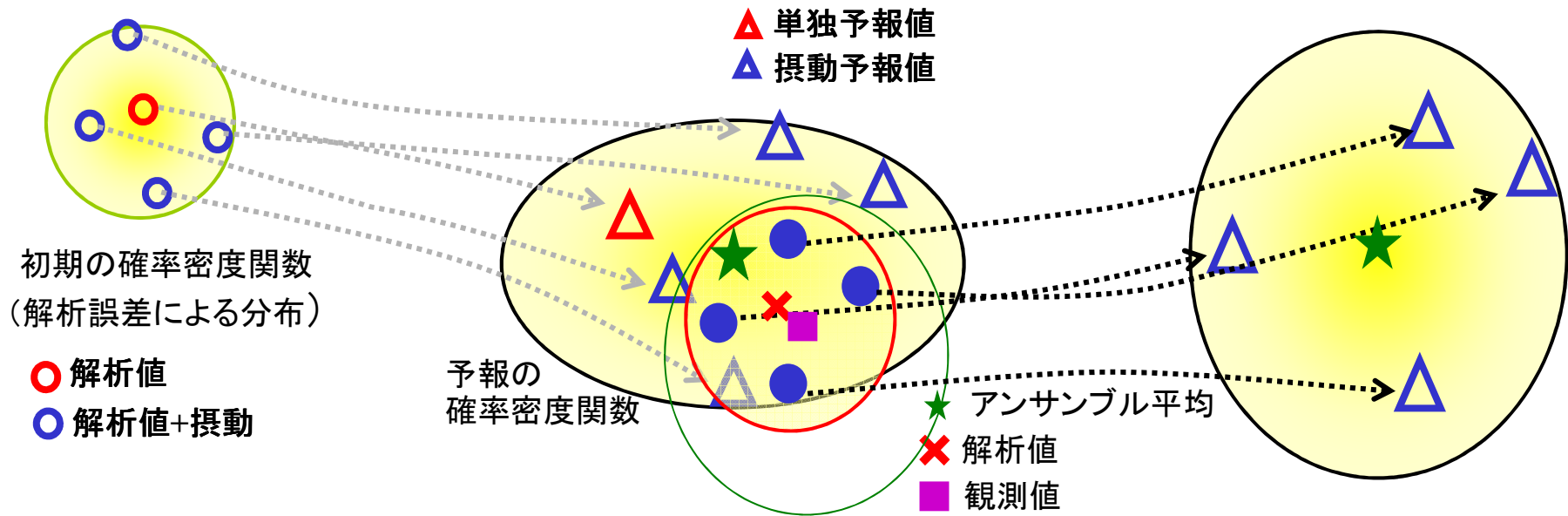
# 内容

1. アンサンブルカルマンフィルターでやっていることの紹介。
2. 2008年9月5日の雷雨の事例。
3. ネストした同化システムの状況。  
(簡易な手法による可降水量の同化)

# LETKFを用いたアンサンブル予報

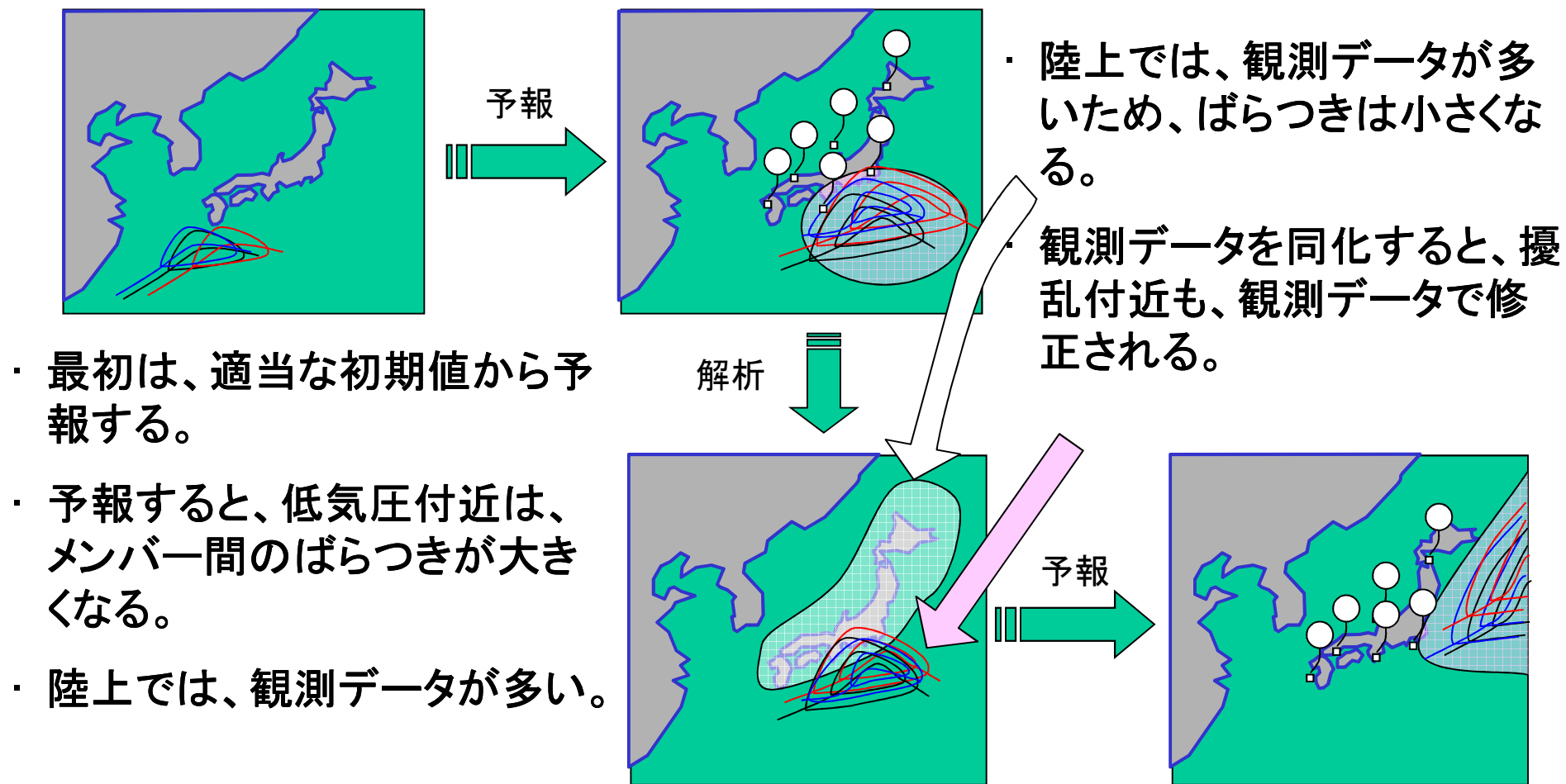
観測や解析に誤差はつきもの

大気の初期状態はある存在確率で把握する方が望ましい。



- ・ 単独予報よりアンサンブル平均の方が精度が良いことが多い。
- ・ 単独予報が悪くても、メンバーの予報が良いことがある(見逃しが少なくなる)。
- ・ アンサンブル予報の予報誤差を利用し、観測データを用いて、次のメンバーの摂動を作成。

# LETKFを用いたアンサンブル予報



この過程を繰り返すと、  
擾乱の位置や観測データを考慮した  
ばらつき(初期摂動)ができる。

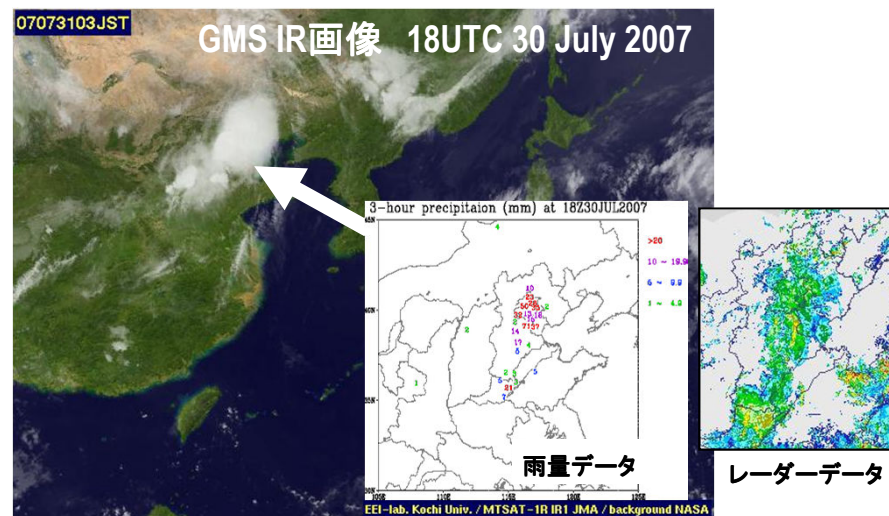
# ネストした同化システムの必要性

細かい格子のモデルで再現したい現象がある。

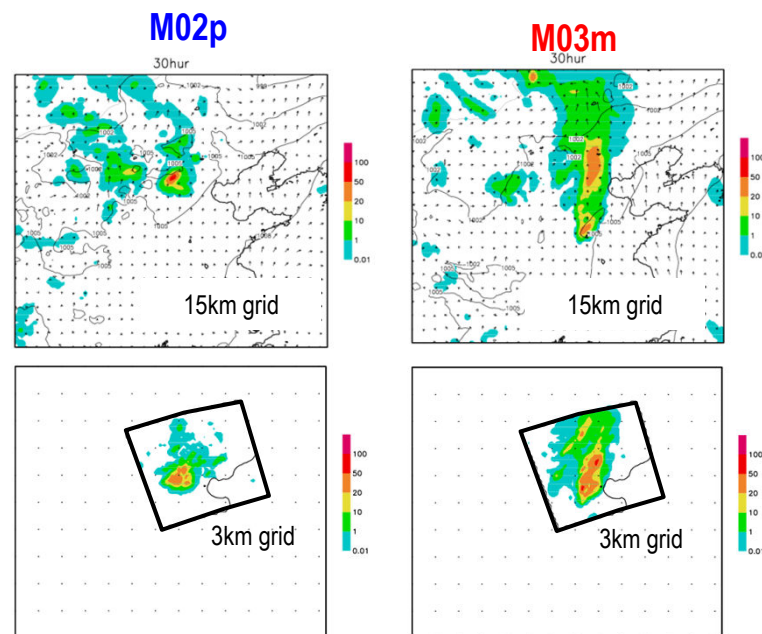
- 局地豪雨は対流まで表現する必要がある。
- ヤマセの層状雲の再現にも細かな格子のモデルが必要。
- 正確な降水量や層状雲の特徴は細かい格子でないと再現できない。

# 高解像度で数値実験を行なう必要性

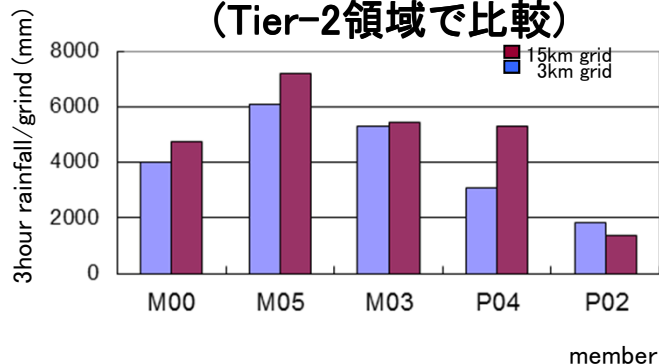
- ・「B08RDP Tier2」で取り上げられた2007年7月31日の雷雨に注目する。
- ・南北に伸びた降水系が北京を通過し、18UTCに3時間降水量70mmの降水が観測された。



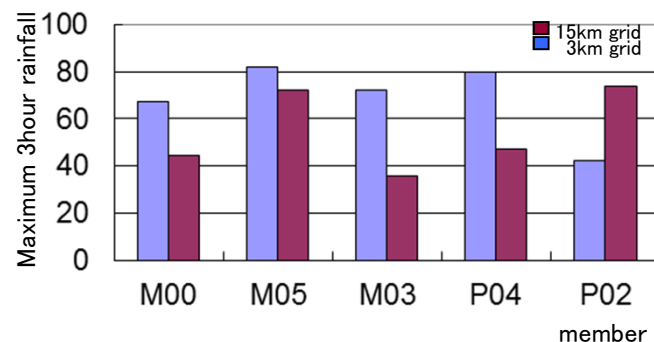
- ・Tier 1 ( $\Delta X=15\text{km}$ ) は、十分な予報なのだろうか？
- ・Tier-1からダウンスケール予報を行なって格子間隔2kmの予報(Tier-2)を得た。
- ・Tier-2の3時間降水量をTier-1の格子に置きなおし、降水量の総和や降水量の最大値、降水域の面積を比較する。



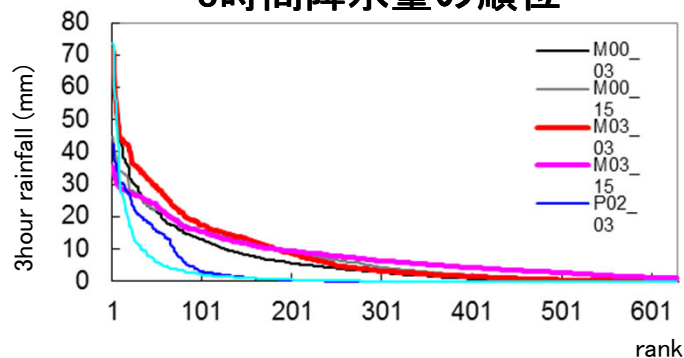
3時間降水量の総和  
(Tier-2領域で比較)



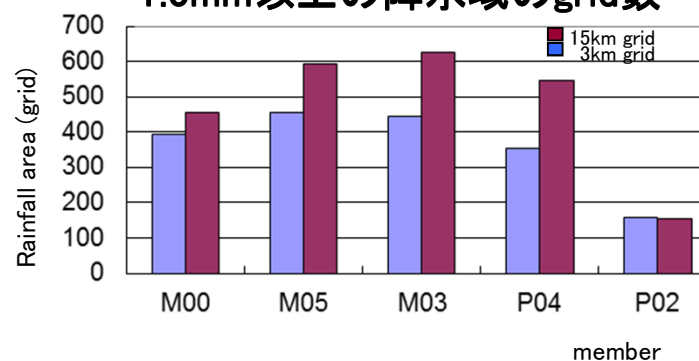
格子点内での最大降水量



3時間降水量の順位



1.0mm以上の降水域のgrid数



- ・P02 以外では、Tier-1 の降水量が Tier-2 よりも大きい。
- ・しかし、降水量の最大値はTier-2のほうが、Tier-1 よりも大きい。
- ・1.0mm 以上の降水域は、Tier-2 よりも、Tier-1 の方が広い。
- ・Tier-2 の方が降水が集中している。(降水のヒストグラムでも、確認できる。)

・「P02 以外は、Tier-1 の降水量は Tier-2 より多い」ことから、  
「現実に近いと考えられる高解像度の値は、粗い解像度の値からは単純には算出できない。統計でなく、計算で求める必要がある。」

# ネストした同化システムの必要性

細かい格子のモデルで再現したい現象がある

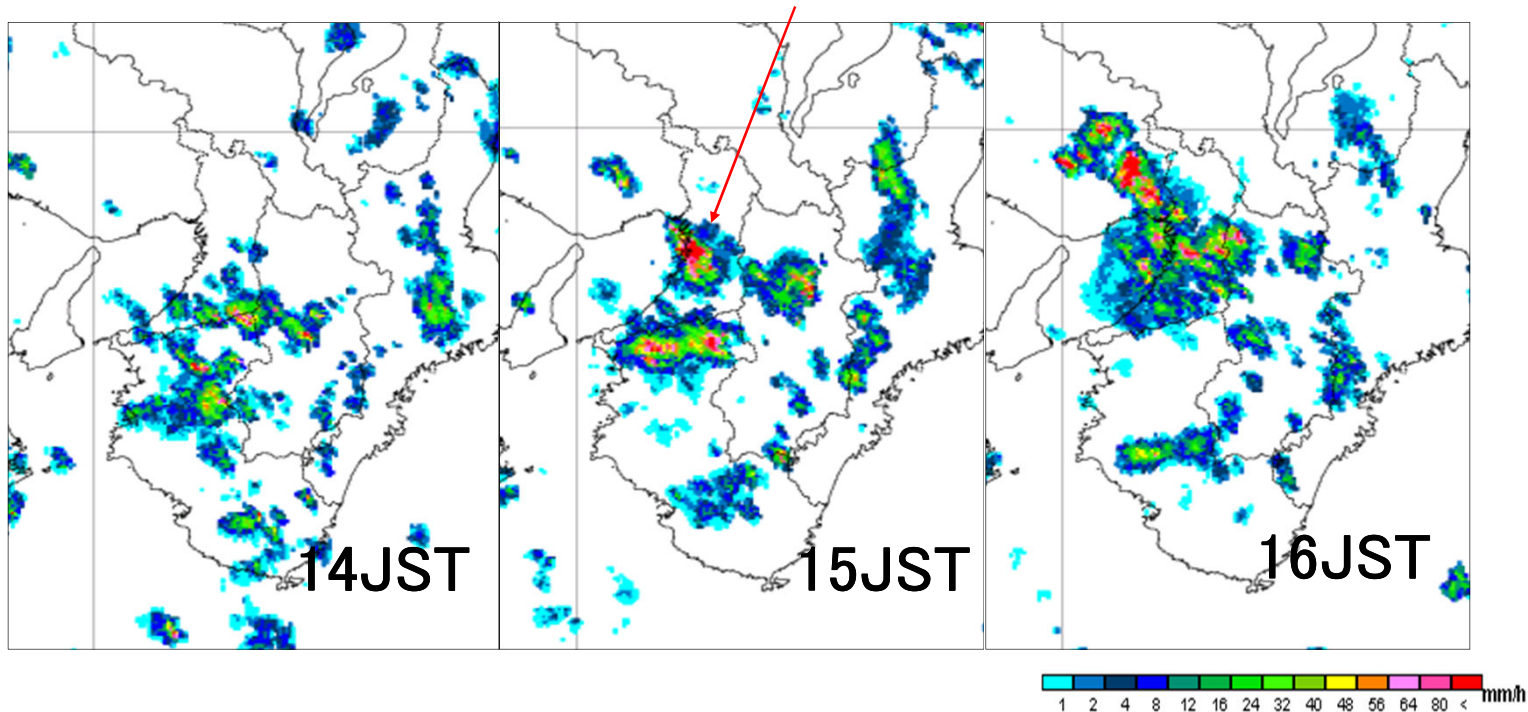
- ・局地豪雨は対流まで表現する必要がある。
- ・ヤマセの層状雲の再現にも細かな格子のモデルが必要。

これらの現象を再現するために、高分解能な観測データ(ドップラーレーダなど)を用いることができる。

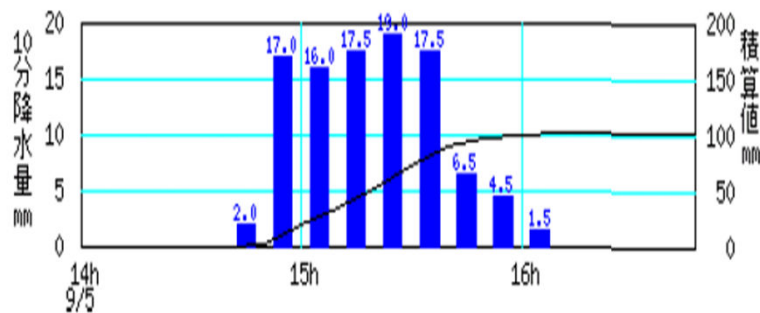
影響は小さい(?)が、できれば、細かい格子で再現した現象の影響を、親モデルに返してやりたい。  
(収束線の位置の修正など、影響はあると思う。)



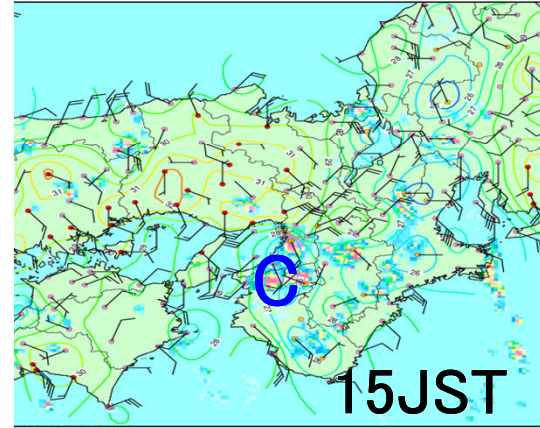
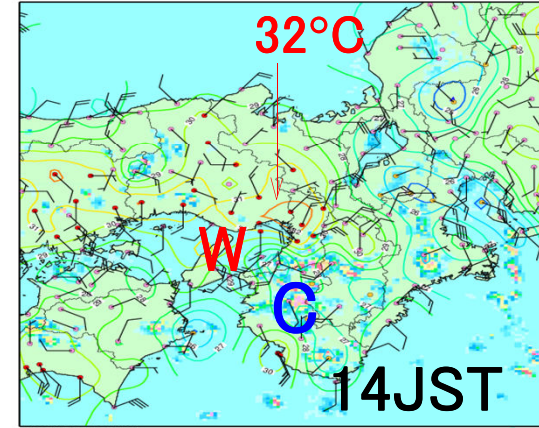
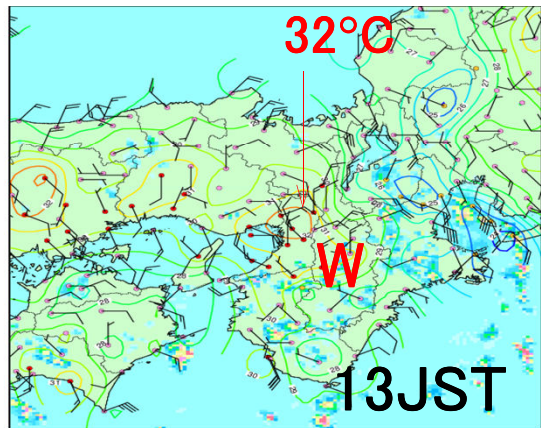
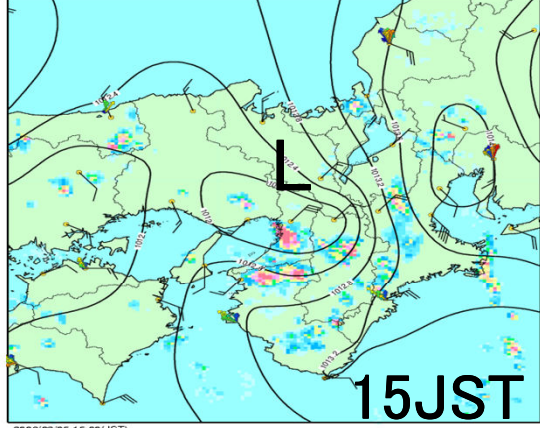
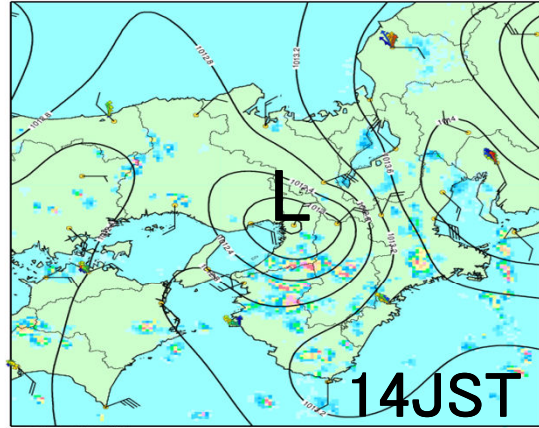
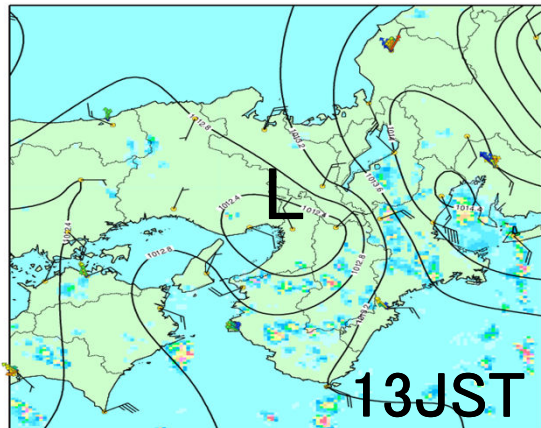
# 2008年9月5日の堺市の雷雨の事例



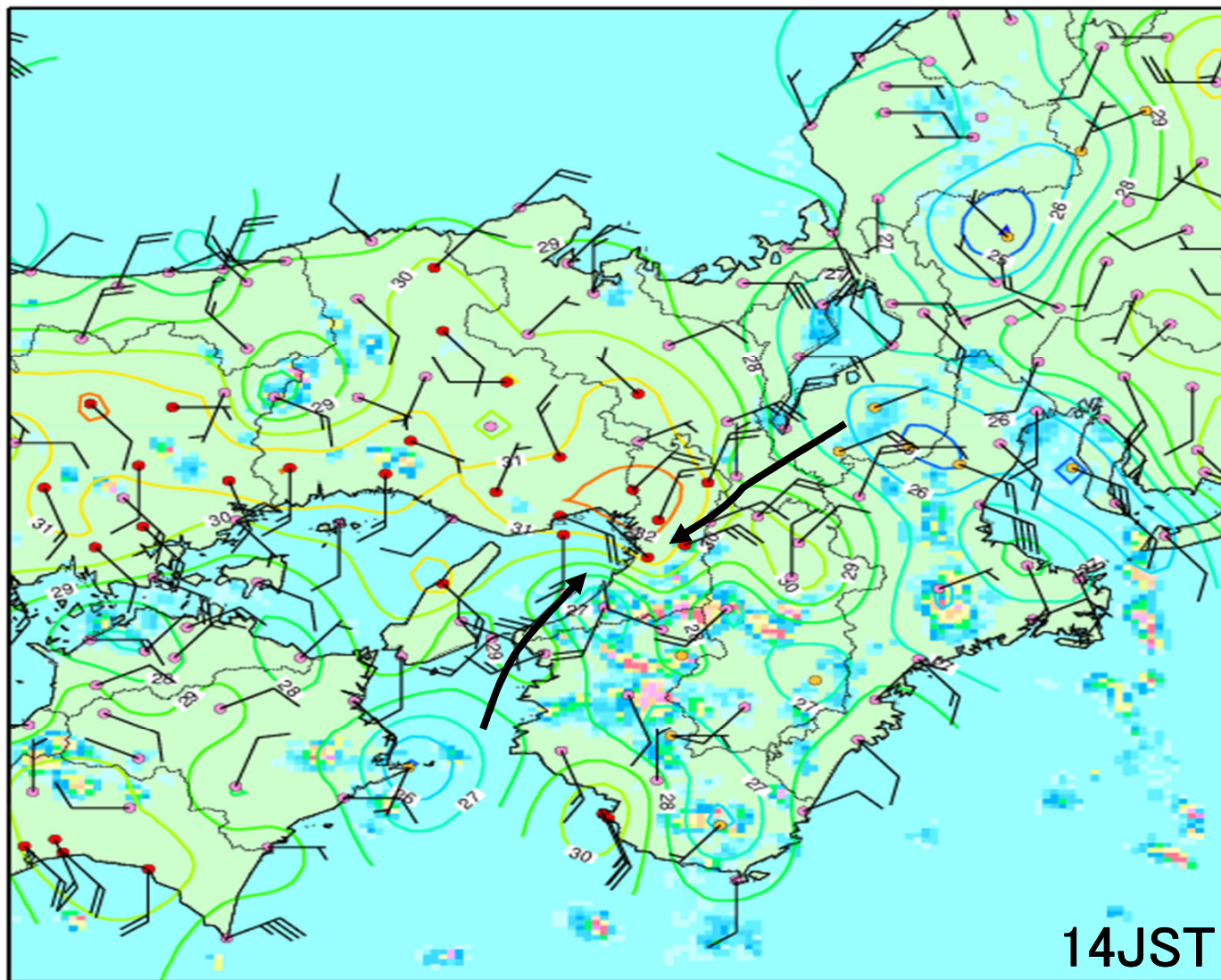
現業レーダで観測した2008年9月5日のエコー分布



2008年9月5日14時から17時までの堺市のアメダスの10分間降水量

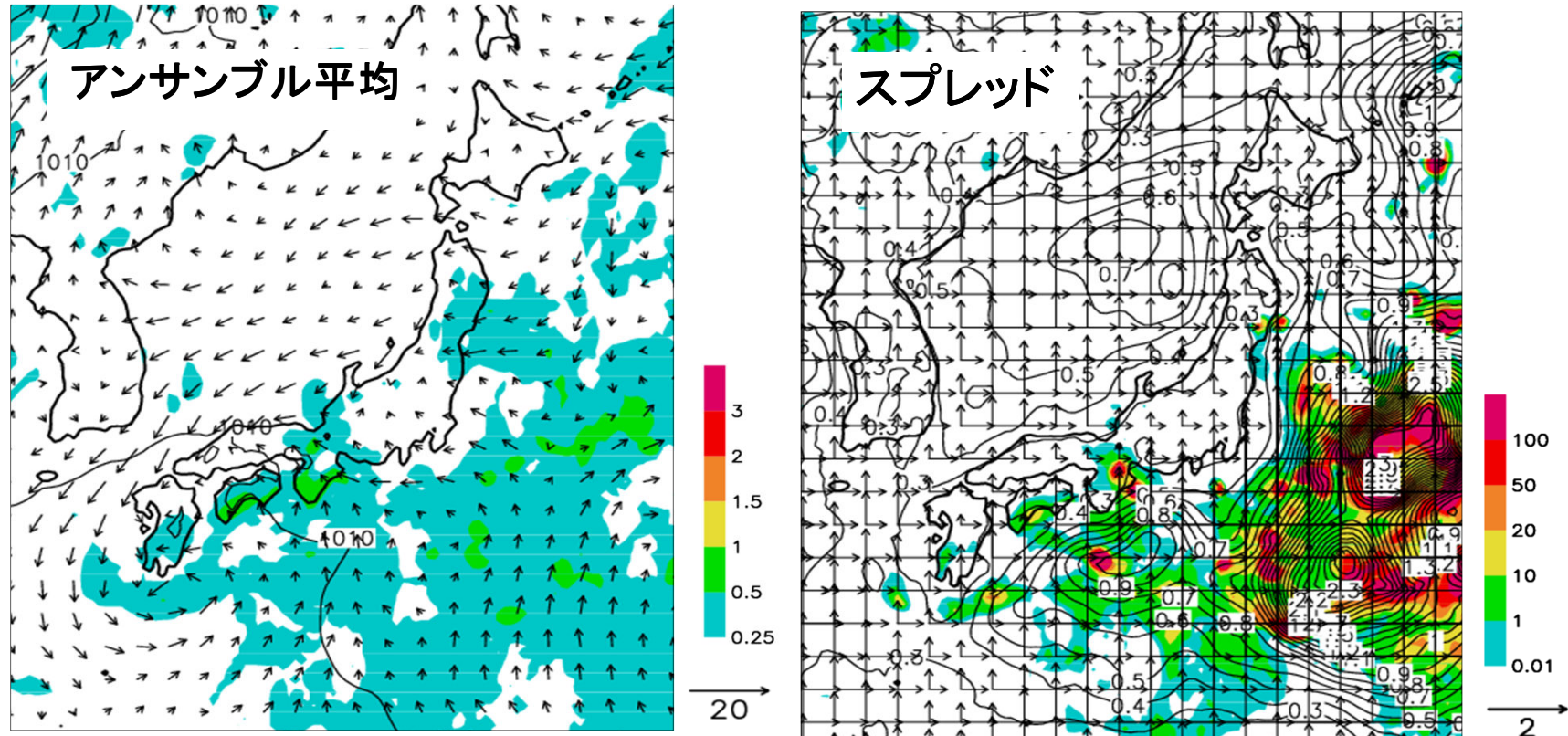


- ・大阪付近で気温が上昇し、
- ・熱的な低気圧が形成された。



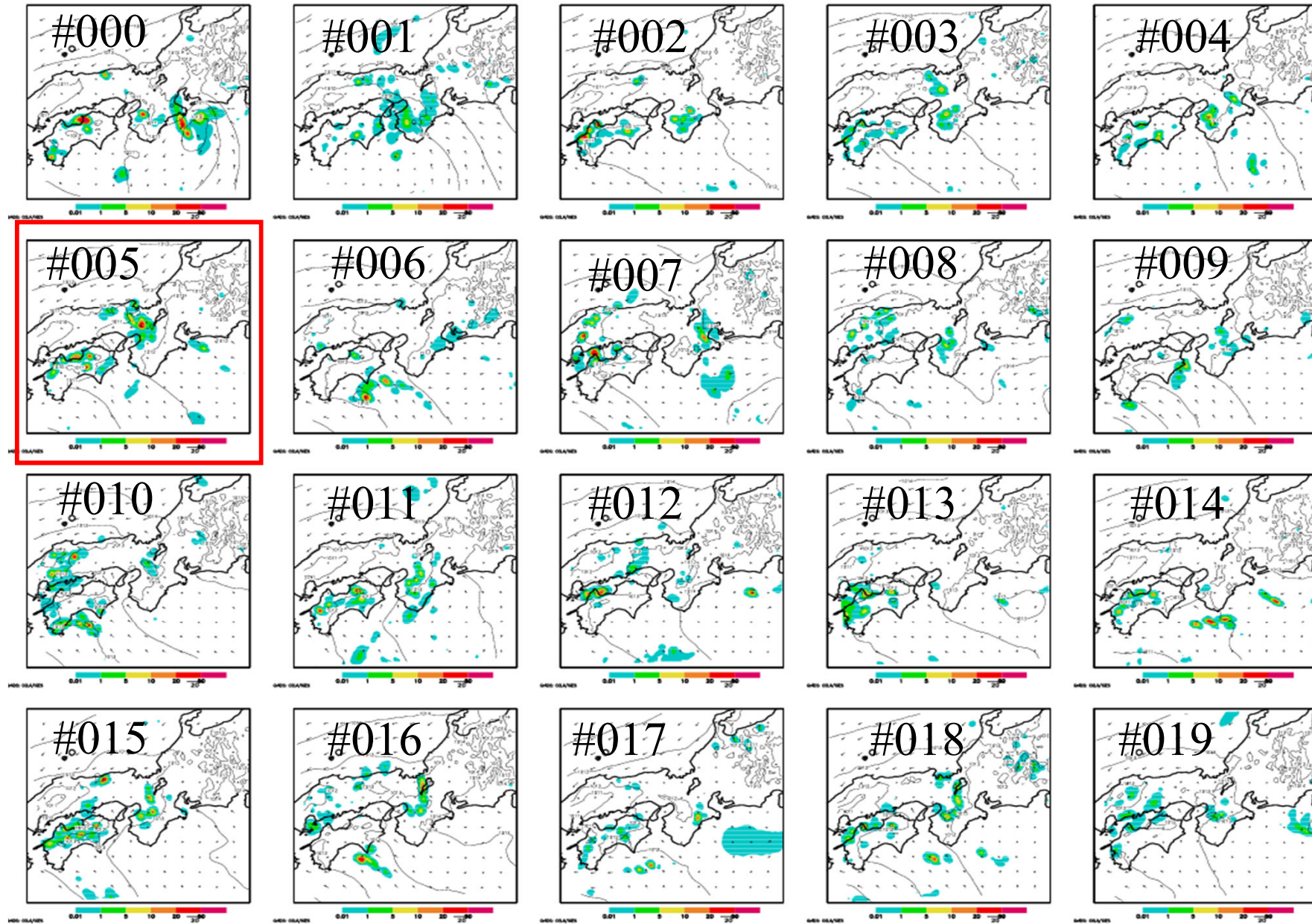
- ・紀伊半島の西部には、南風。伊勢湾からは南東風。
- ・大阪平野の熱的な低気圧に向かって地上風が収束している。

# 20km格子LETKFを用いた、ネストをしない実験

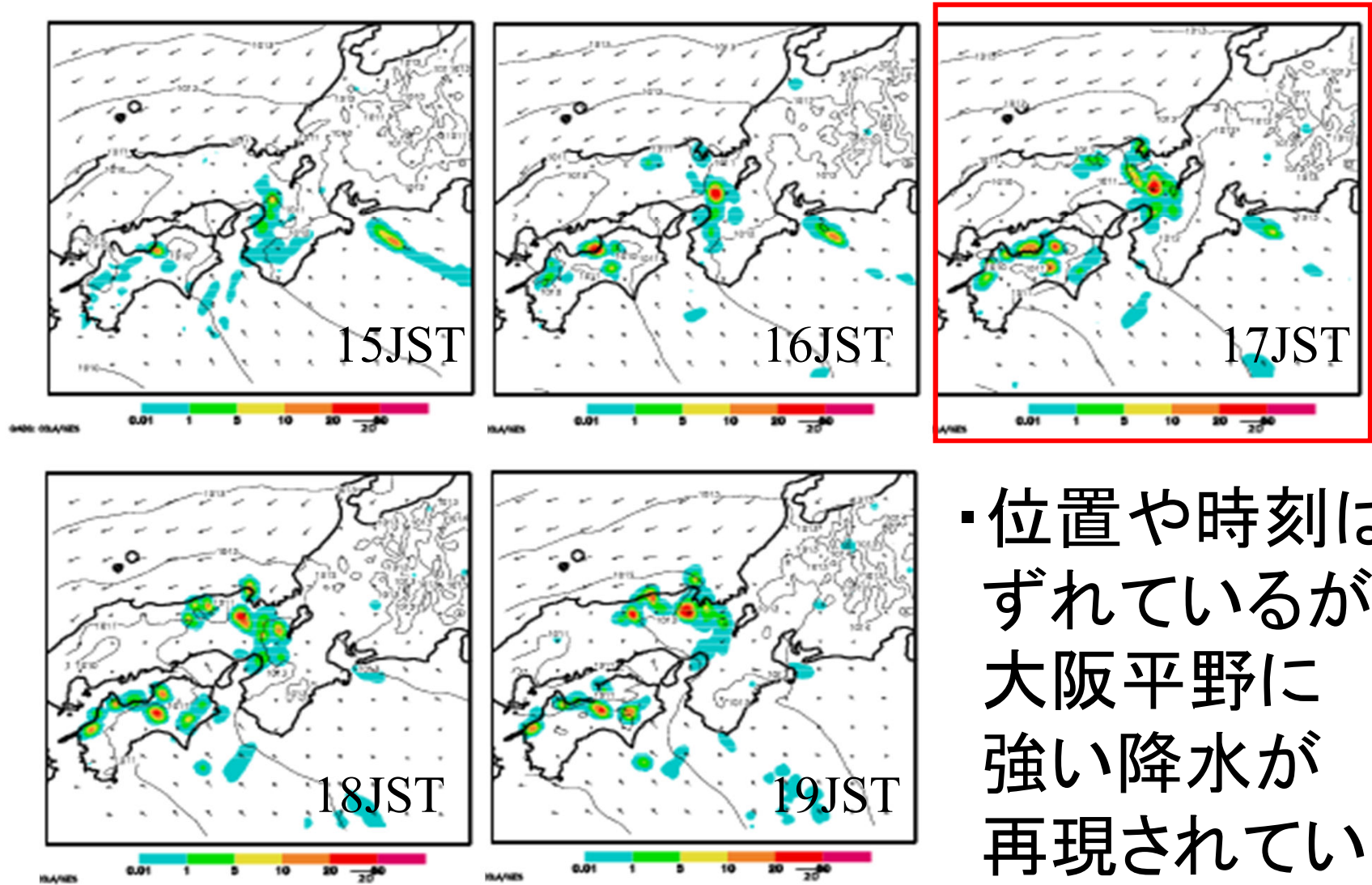


20km格子LETKFによる(左) アンサンブル平均と(右) スプレッド. 色域と等値線は、降水量と海面気圧を示す。ベクトルは水平風を示す。

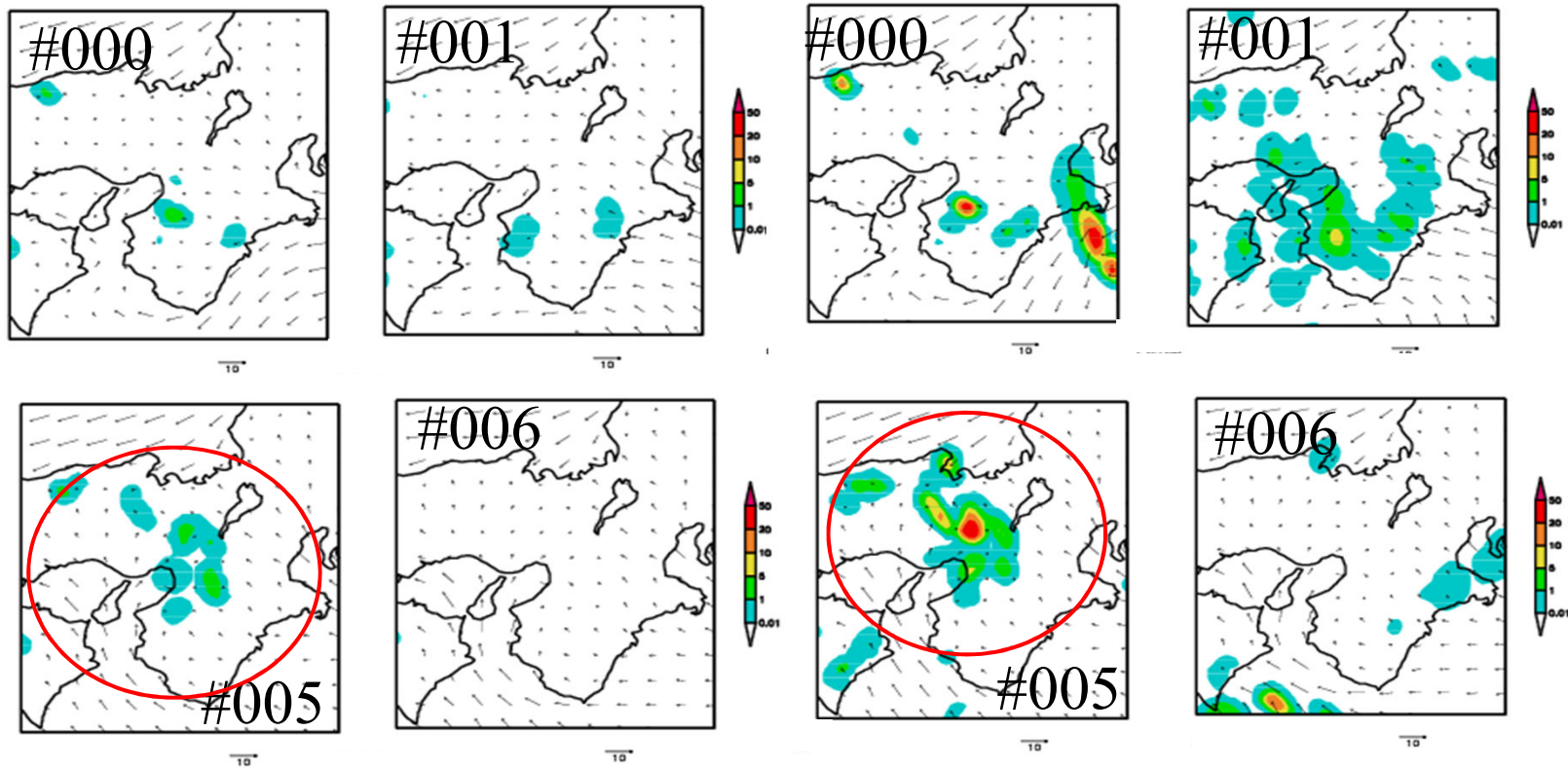
# 09時の摂動を加えた初期値からの予報 (5km-NHM)



# アンサンブルメンバー#005からの予報(5km-NHM)



・位置や時刻はずれているが、大阪平野に強い降水が再現されている。

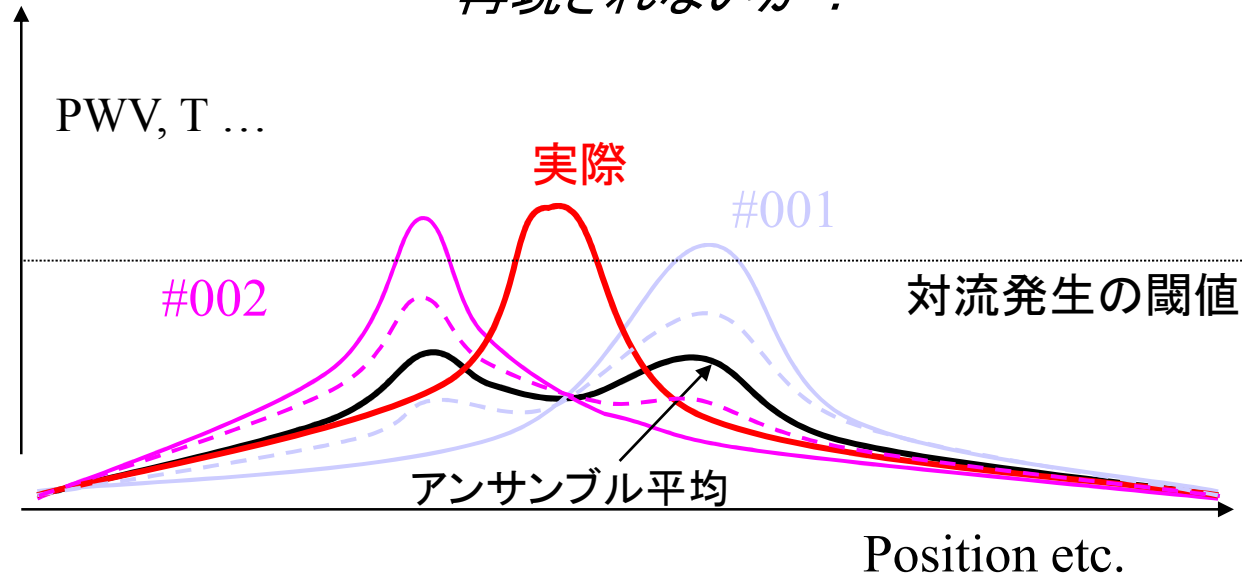


$\text{RMS}_{\max\_T_{\text{surf}}} = 7.4\text{K} \rightarrow 5\text{K}$

$\text{RMS}_{\max\_T_{\text{surf}}} = 7.4\text{K} \rightarrow 7.4\text{K}$

摂動の大きさを変えてみて、  
大阪平野に局地豪雨が再現できるかを調べると...

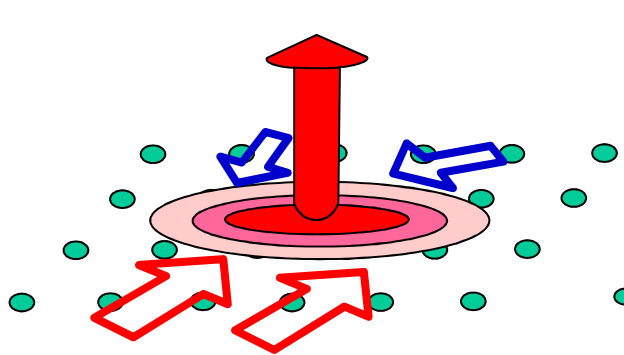
なぜ、降水域が観測された地域に  
再現されないか？



局地豪雨の場所は、摂動の大きさを変えても再現できない。つまり、同化が必要。



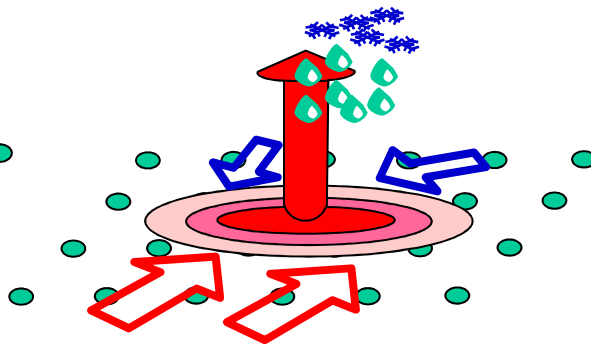
# 非静力学モデル用の3DVARを用いた動径風の同化 対流スケールの水蒸気分布の導入



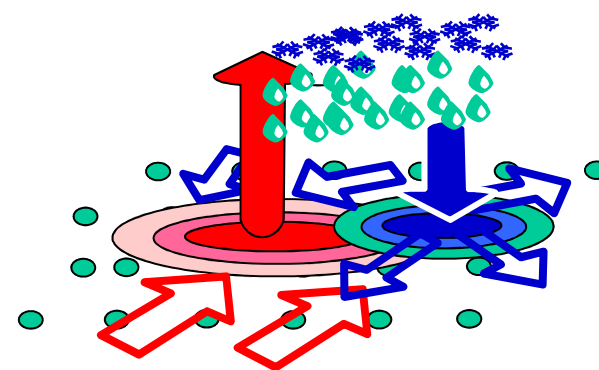
対流スケールの上昇流域  
JNoVA0には水蒸気と鉛直流  
の対応がない。下の関係で対  
流スケールの上昇流域を飽  
和させる。

## 降水域内の 上昇流と湿度の関係

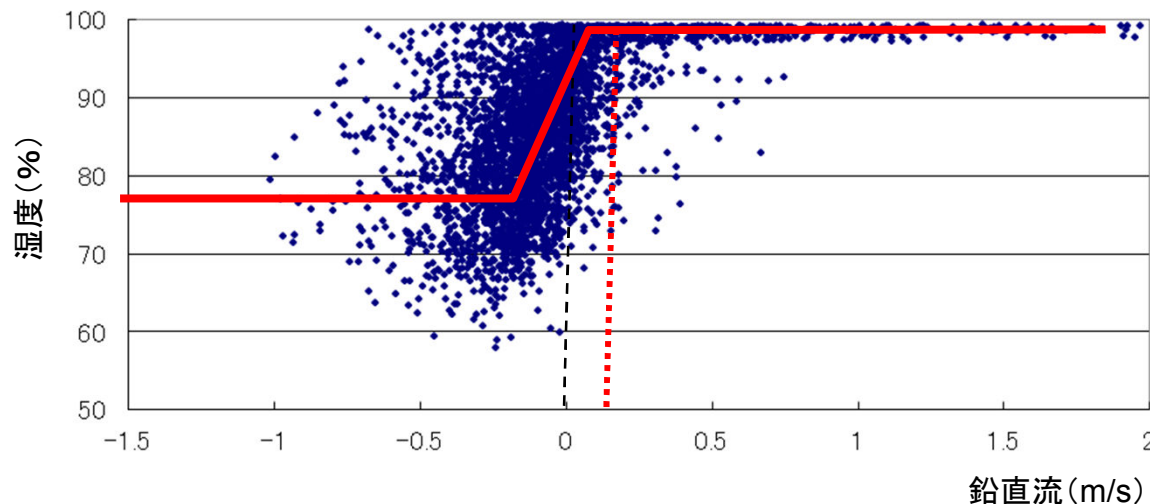
- ⇒ 直線が飽和以上になる  
上昇流域は、飽和させた。
- ⇒  $-0.2\text{m/s}$ 以上の下降流  
は、約77%にした。



降水を考慮  
降水によって弱められる  
上昇流も表現したい。  
(衰弱期などの降水系の  
ステージを表現)

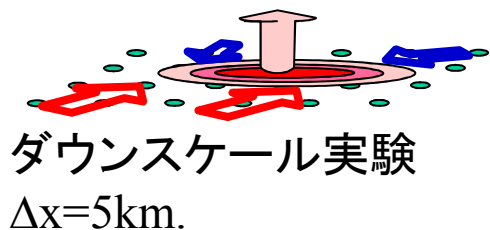


下降域を不飽和にする。  
下降域の雨水の蒸発を表現  
したい。

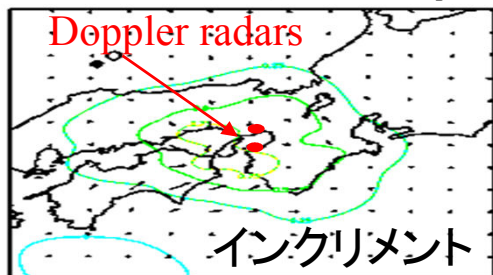


12時を初期値にした2-6時間予報値から作成

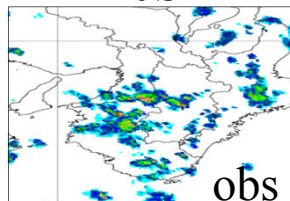
3DVarを用いた同化と  
対流スケールの  
水蒸気分布の導入



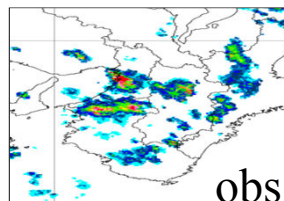
動径風の同化と対流  
スケールの水蒸気の導入



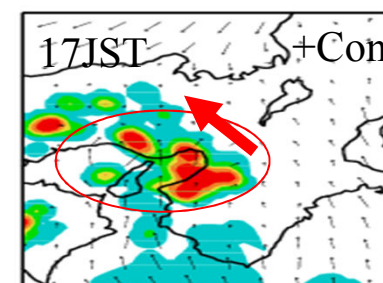
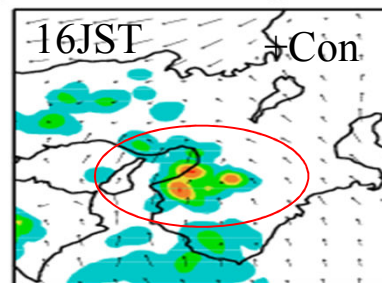
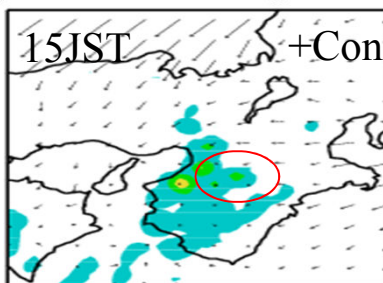
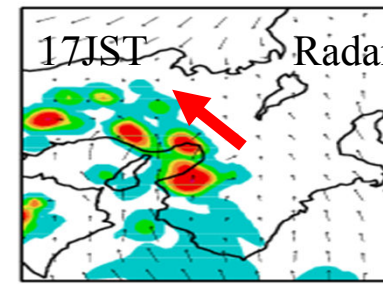
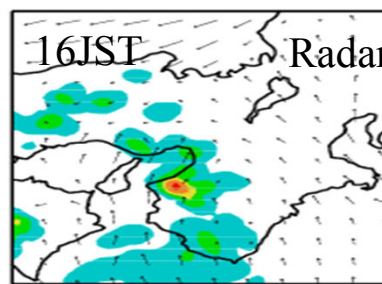
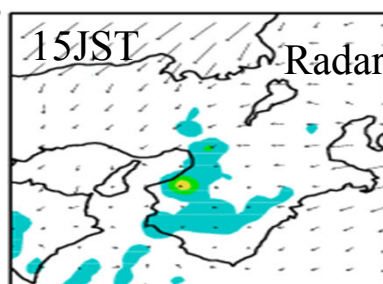
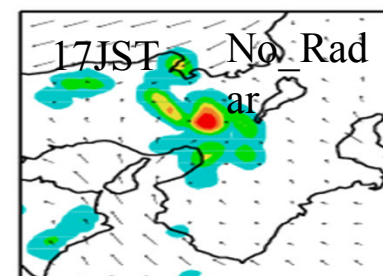
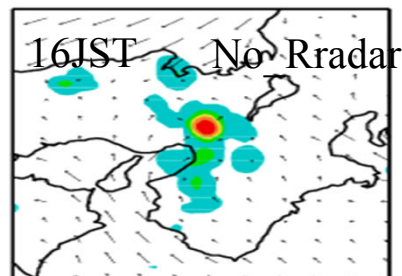
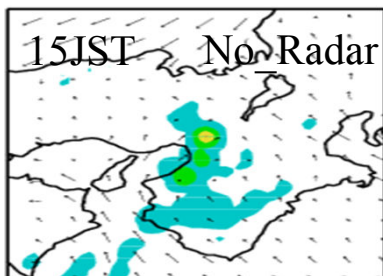
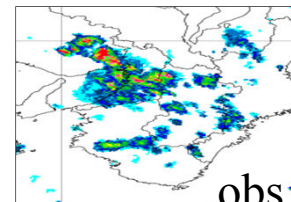
14JST



15JST

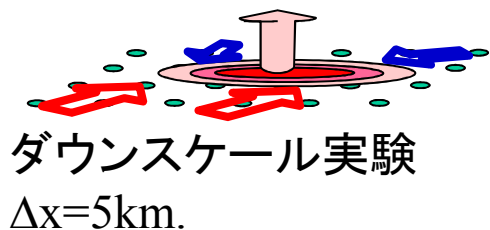


16JST

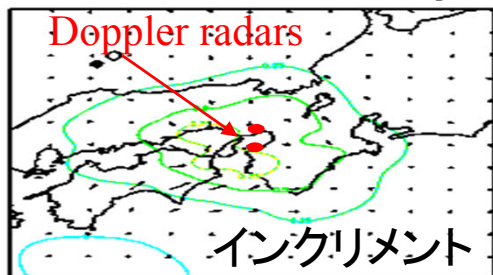


#005について、動径風を同化し、対流スケールの  
水蒸気分布を導入すると、再現できた。

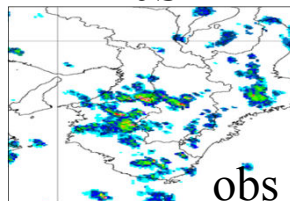
3DVarを用いた同化と  
対流スケールの  
水蒸気分布の導入



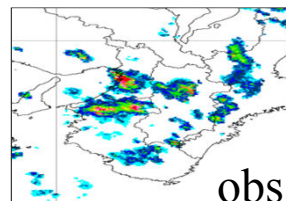
動径風の同化と対流  
スケールの水蒸気の導入



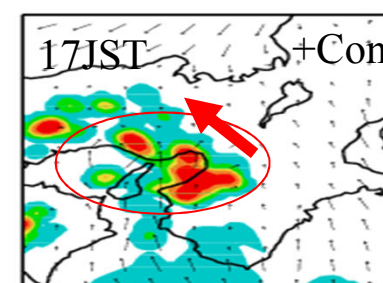
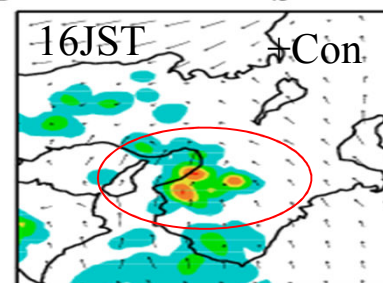
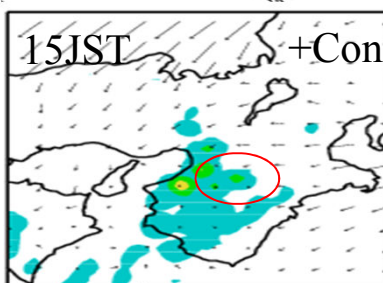
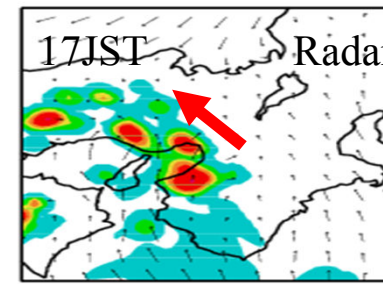
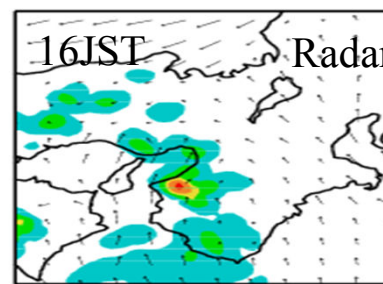
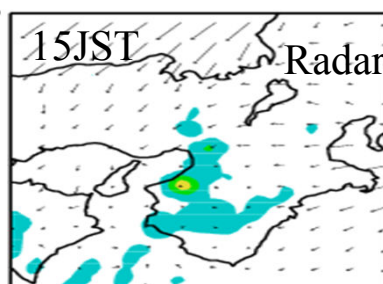
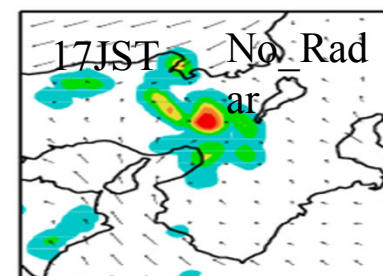
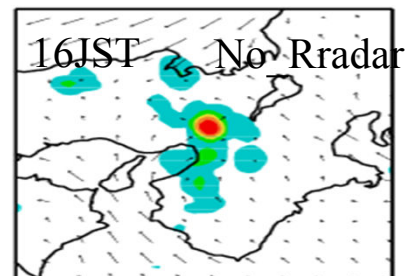
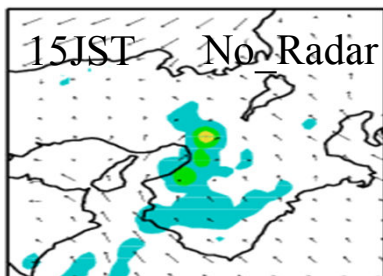
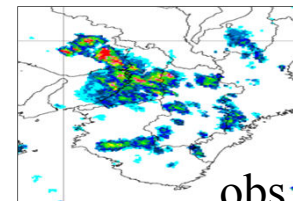
14JST



15JST

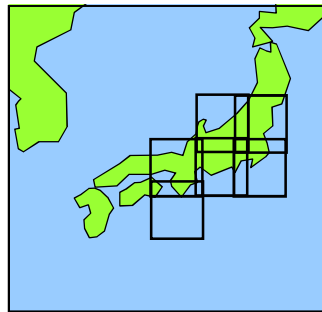
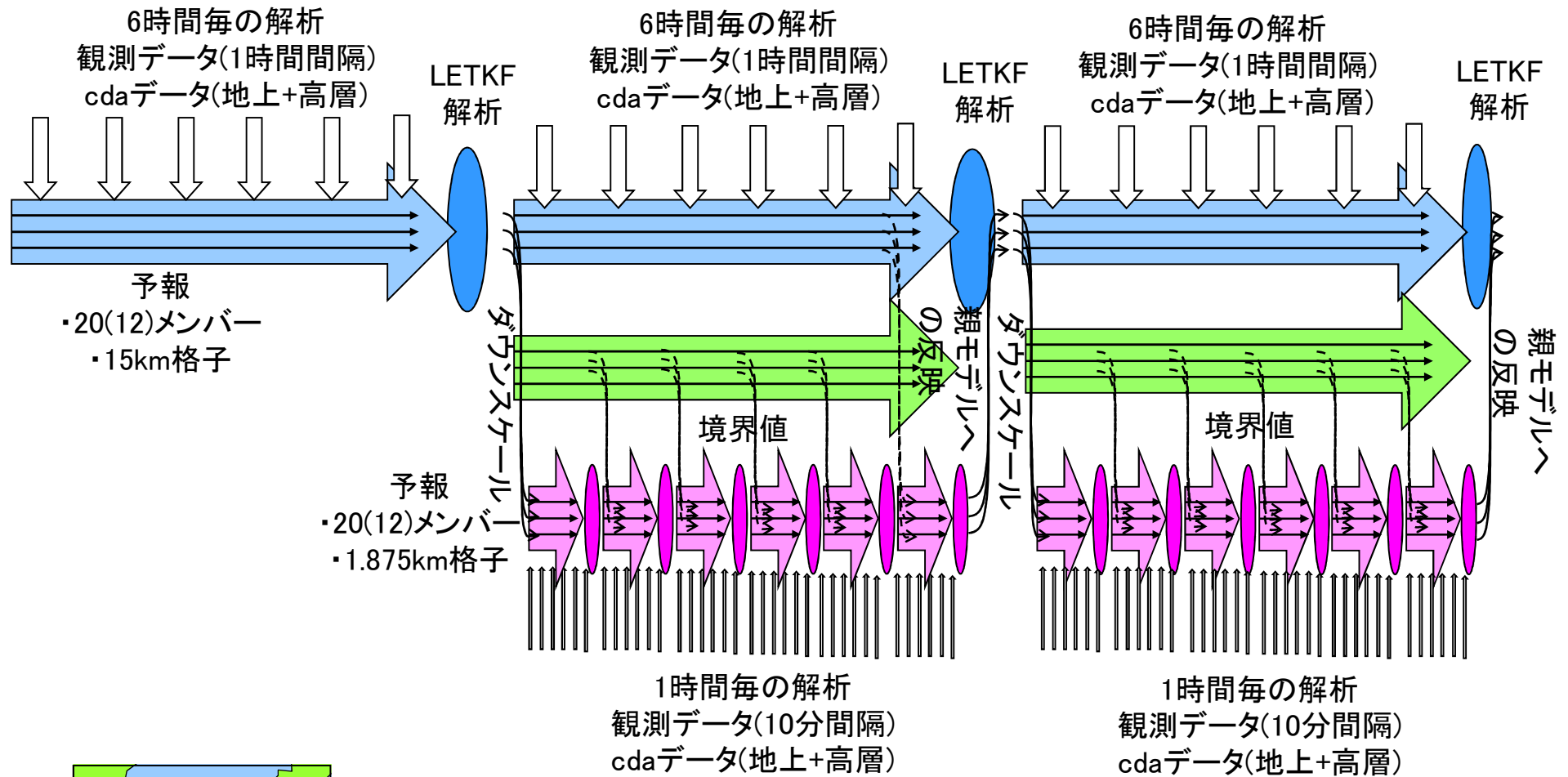


16JST



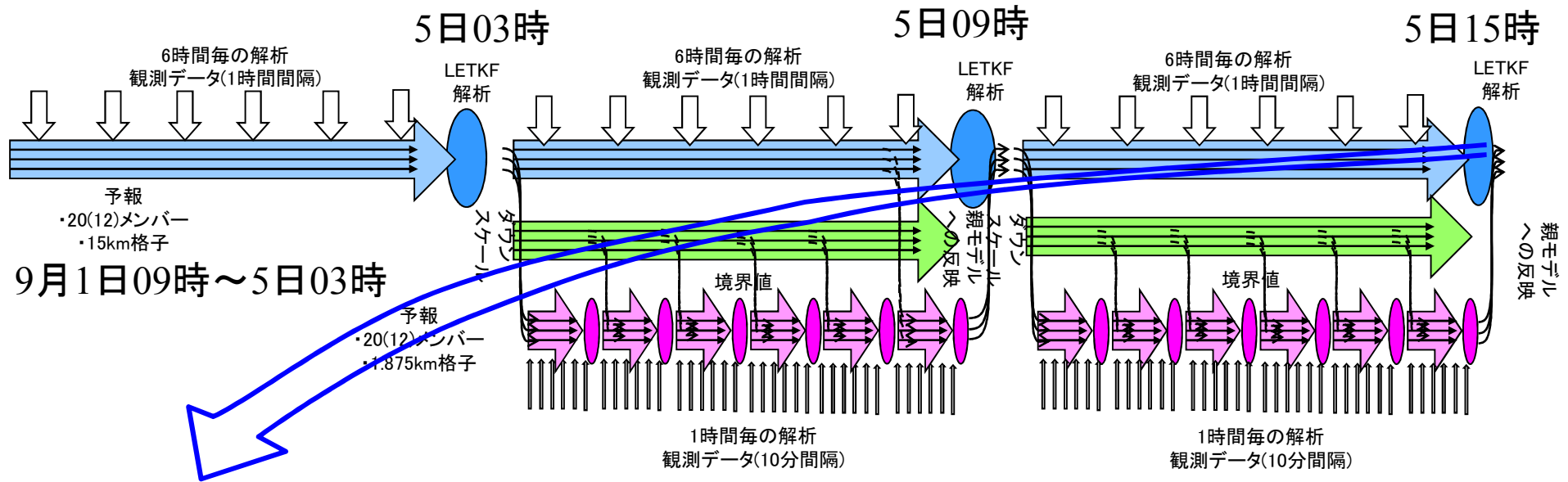
動径風の同化・対流スケールの水蒸気分布で、  
再現のポテンシャルを確認。

# ネストした同化システムの流れ

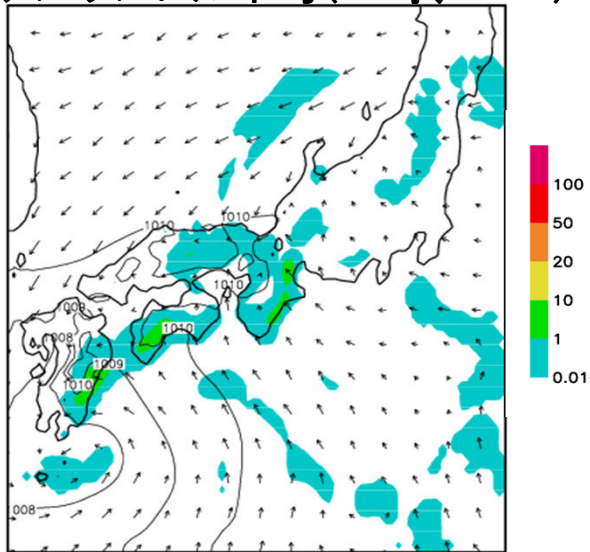


複数の子領域を、周辺を重なるようにして配置する。

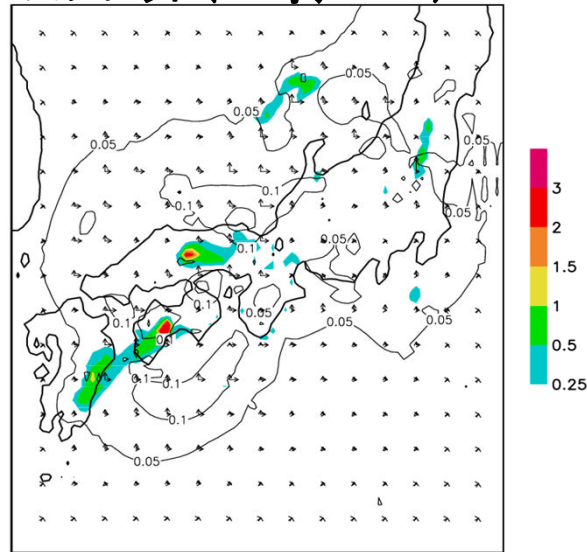
# ネストした同化システムの結果



アンサンブル平均 (15時、15km)

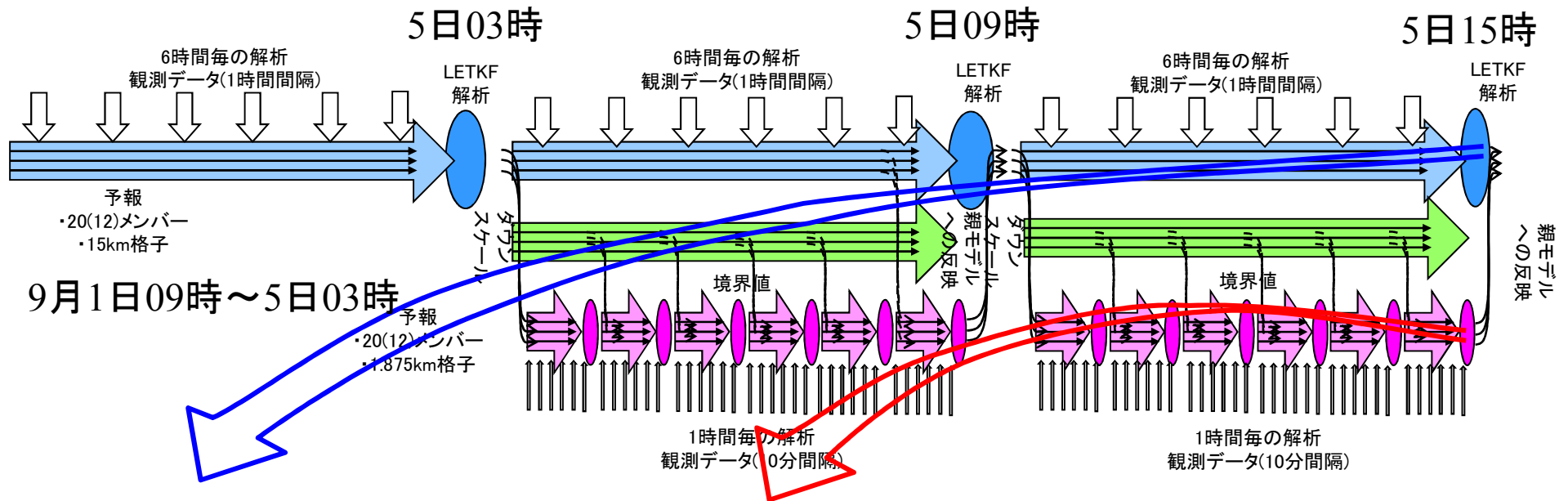


スプレッド (15時、15km)

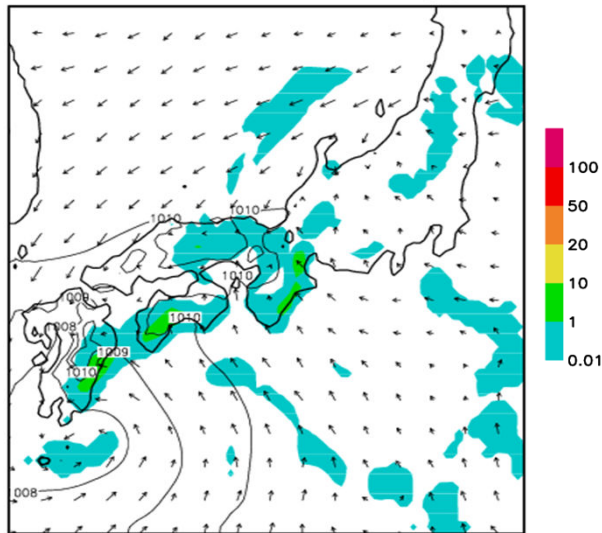


・テスト用のシステムで  
15km降水のモデル  
の領域が狭く、  
スプレッドが小さいが、  
関西は使えそう？

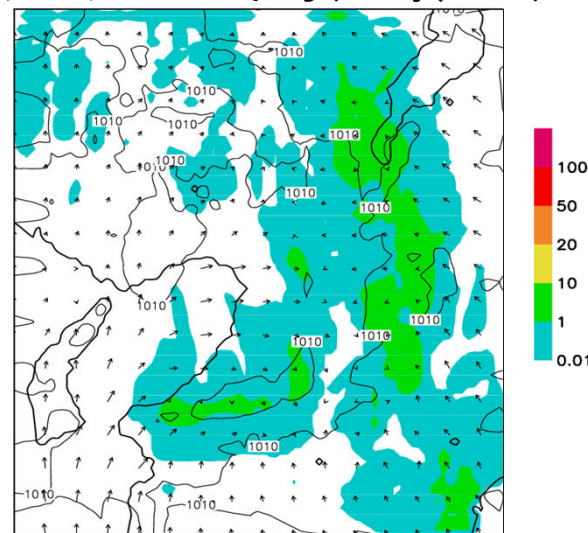
# ネストした同化システムの結果



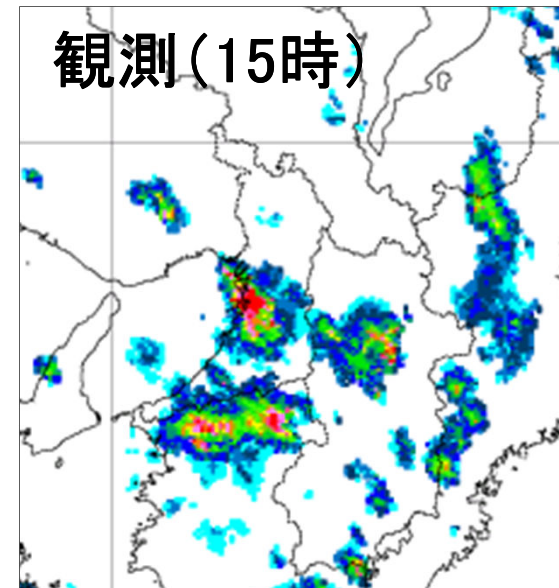
アンサンブル平均(15時、15km)



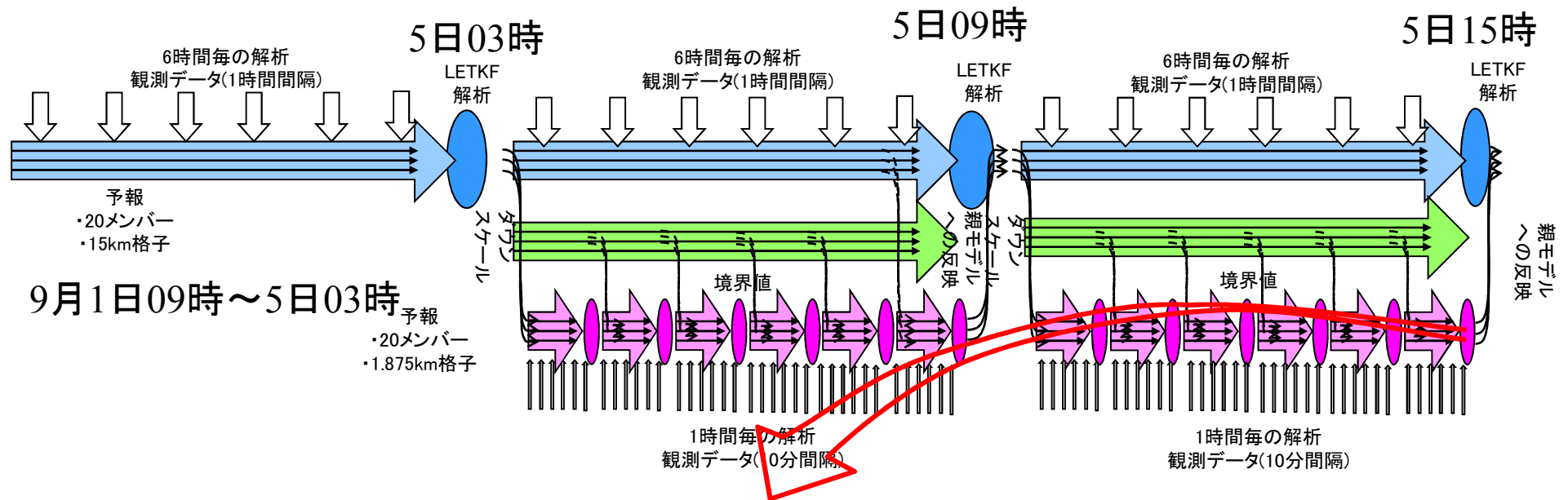
アンサンブル平均(15時、2km)



観測(15時)

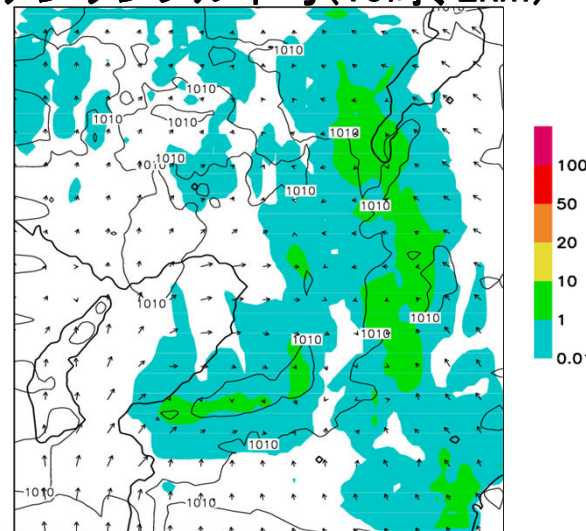


# ネストした同化システムの結果

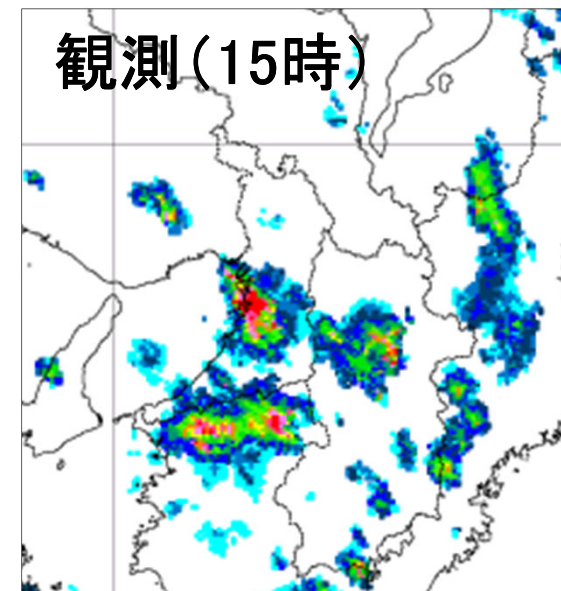


- ・より細かな降水分布を表現している。
- ・似た地域に降水が発生しているが、降水量は小さい。

アンサンブル平均(15時、2km)



観測(15時)

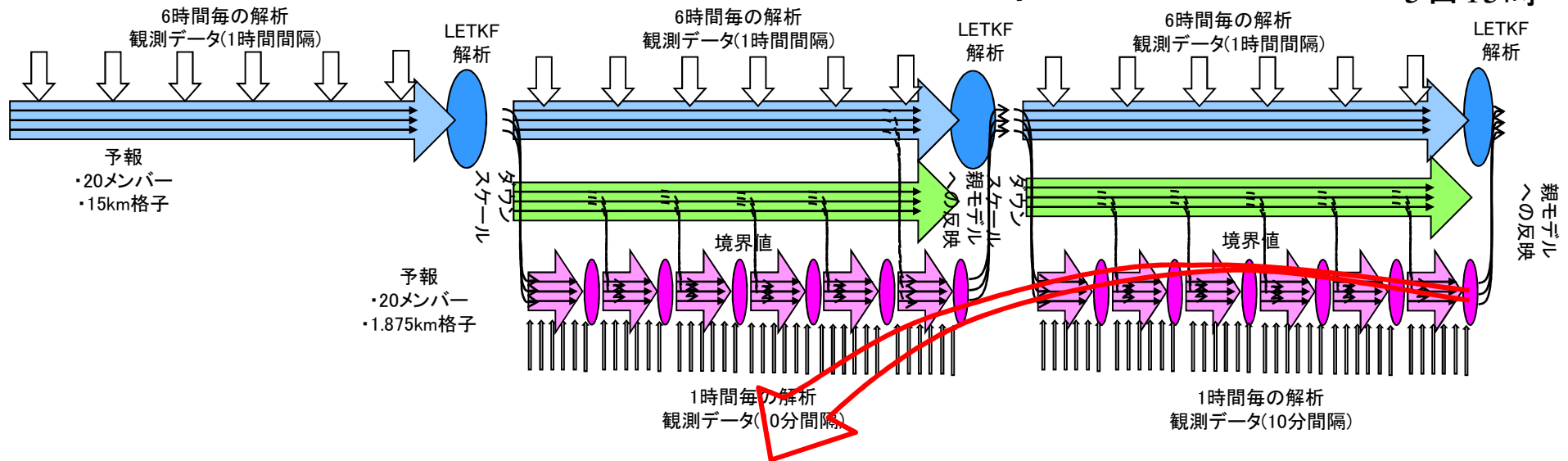


# ネストした同化システムの結果

9月1日09時～5日03時

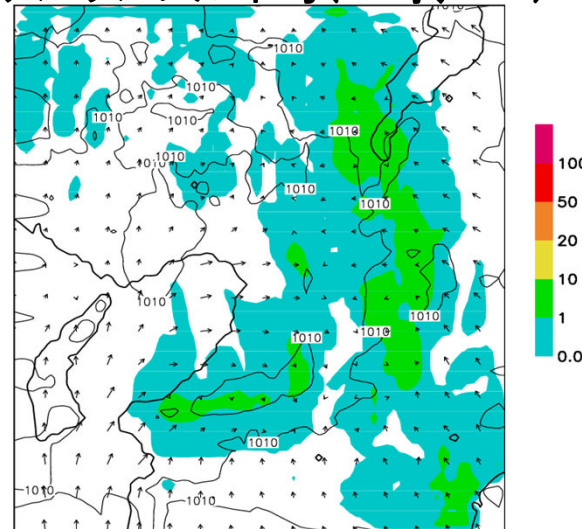
5日09時

5日15時

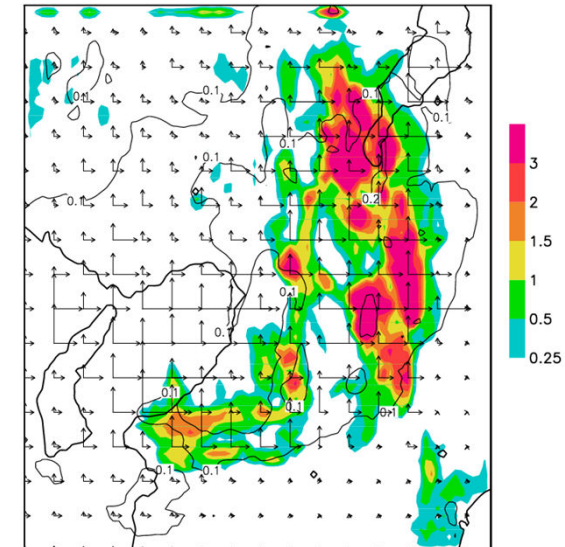


- ・降水域や大阪湾でスプレッドが大きい。
- ・境界のスプレッドは親モデルを反映。でも、子モデルで作られるものより、小さいかもしれない。

アンサンブル平均(15時、2km)



スプレッド(15時、2km)



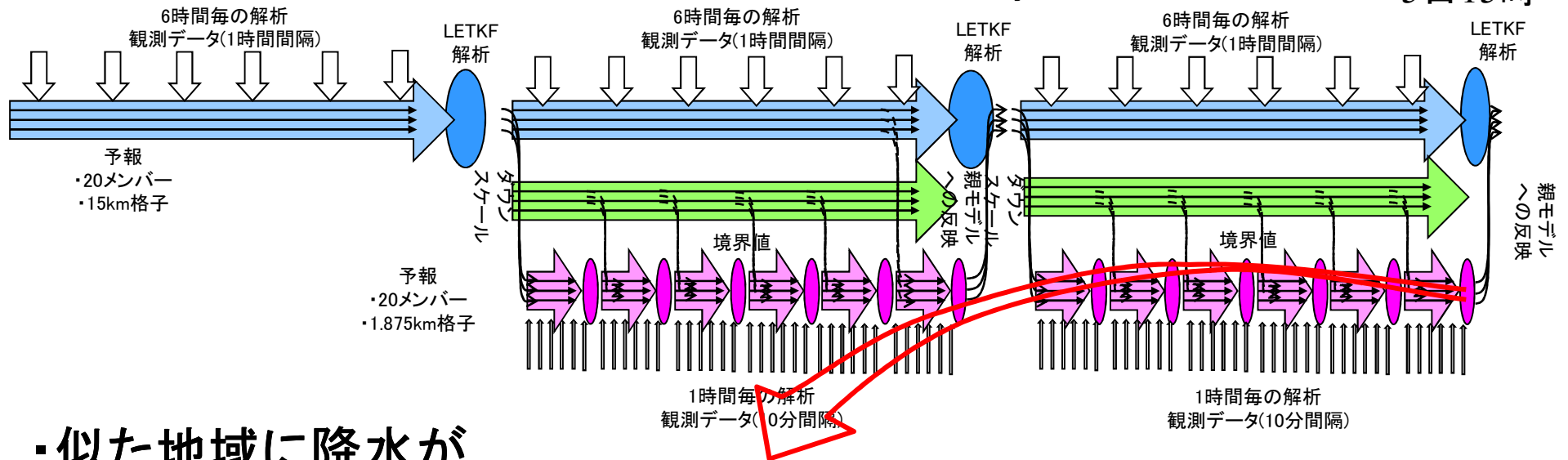


# ネストした同化システムの結果

9月1日09時～5日03時

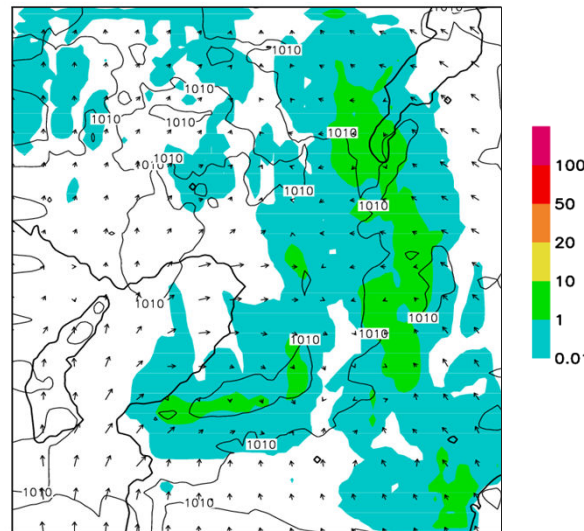
5日09時

5日15時

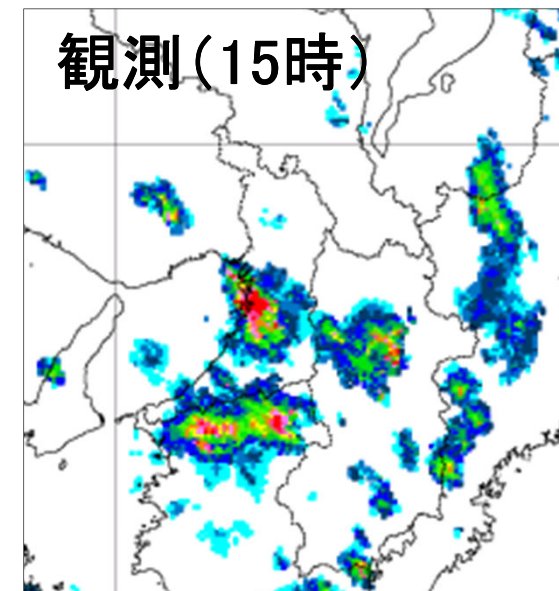


- ・似た地域に降水が発生しているが、降水量は小さい。
- ・再現には、GPS可降水量や、ドップラレーダ等の高分解能な観測データの同化が必要。

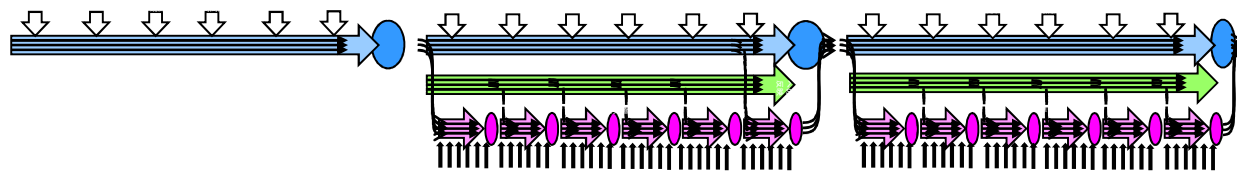
アンサンブル平均(15時、2km)



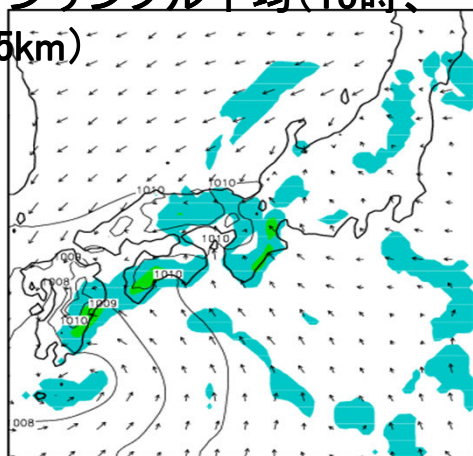
観測(15時)



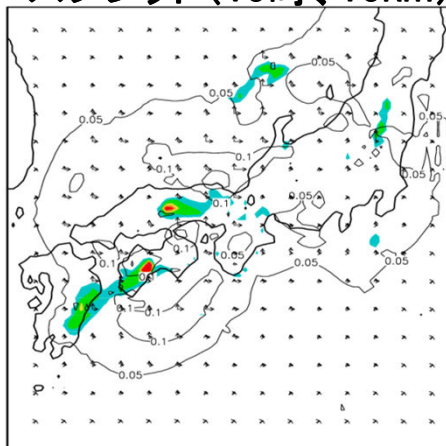
# ネストあり



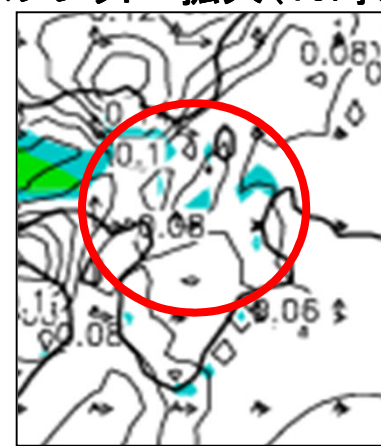
アンサンブル平均(15時、15km)



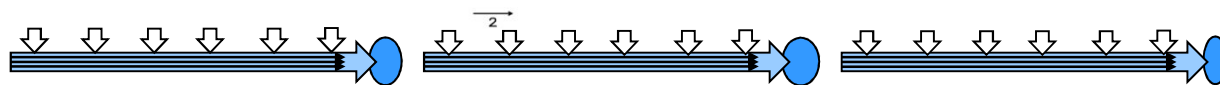
スプレッド(15時、15km)



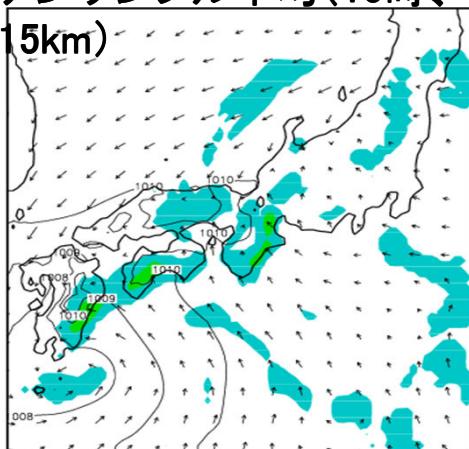
スプレッド 拡大(15時、15km)



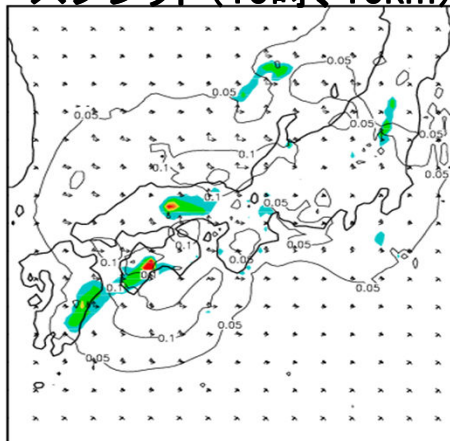
# ネストなし



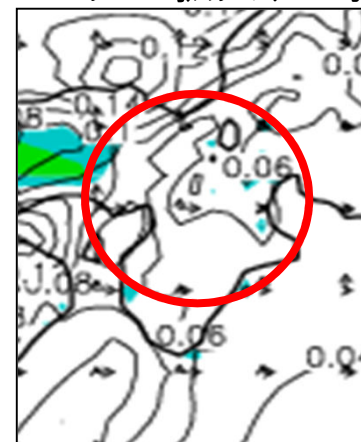
アンサンブル平均(15時、15km)



スプレッド(15時、15km)

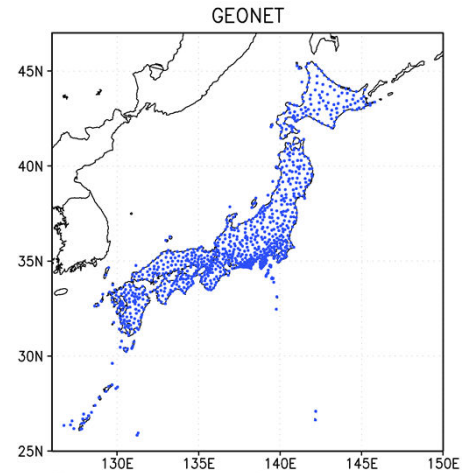


スプレッド 拡大(15時、15km)



ネストにより、スプレッドがわずかに増加した。

# GPS可降水量の精度： ゾンデと同等

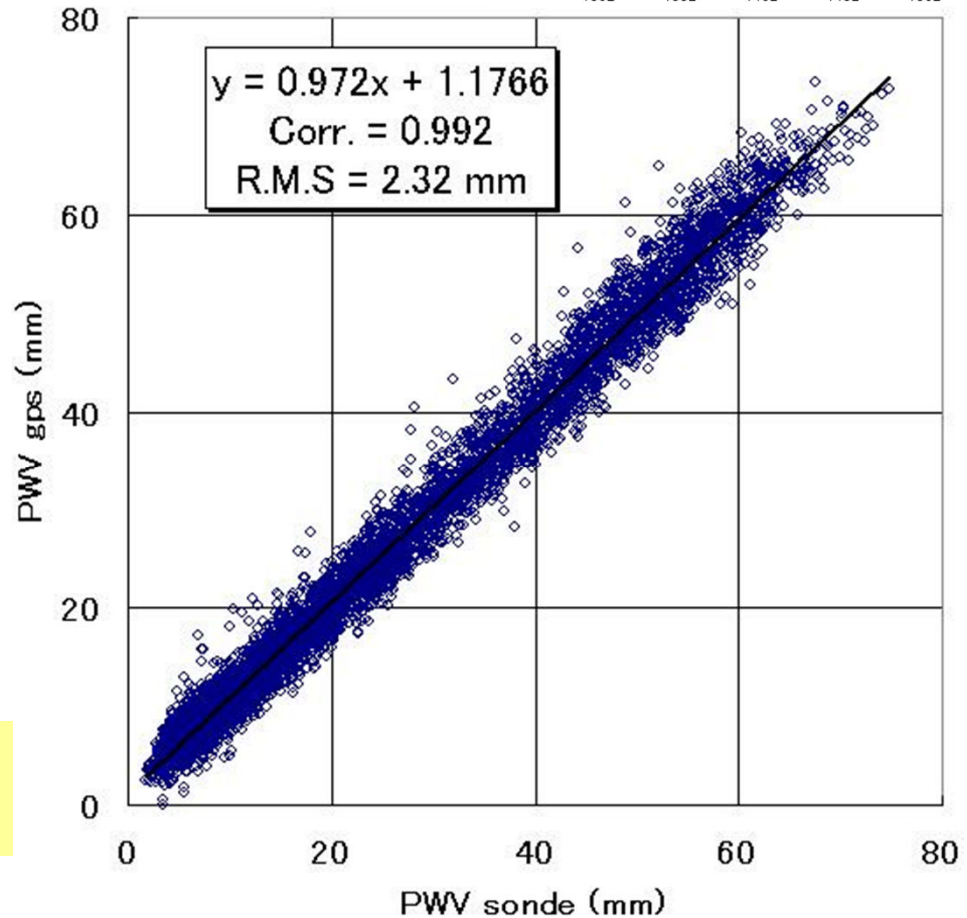


高層ゾンデで観測されたPWVとGPS解析によるPWVとの比較(1999年6月～2000年5月)。ゾンデの観測点とGPSが水平距離10km未満、高度差20m未満の下表の点で比較を行った。

高層観測点	GPS点	水平距離 (km)	高度差 (m)
47420/根室	0006	7.5	-6.0
47580/三沢	0539	2.7	11.3
47590/仙台	0037	7.3	-11.3
47600/輪島	0053	1.0	0.1
47646/館野	0584	6.6	0.0
47681/浜松	3050	9.8	-6.8
47744/米子	0654	1.0	3.9
47918/石垣島	0750	0.9	12.5
47945/南大東島	0497	0.6	1.2

\*高度差=GPS点標高-高層観測点標高

ゾンデとの比較で2.3mm(ただし、精密暦を用いた事後解析であることに注意)



# GPS可降水量の同化(手法1)

## 観測データ:GPS可降水量

- ・モデルと観測点の標高差が50m以下を使用

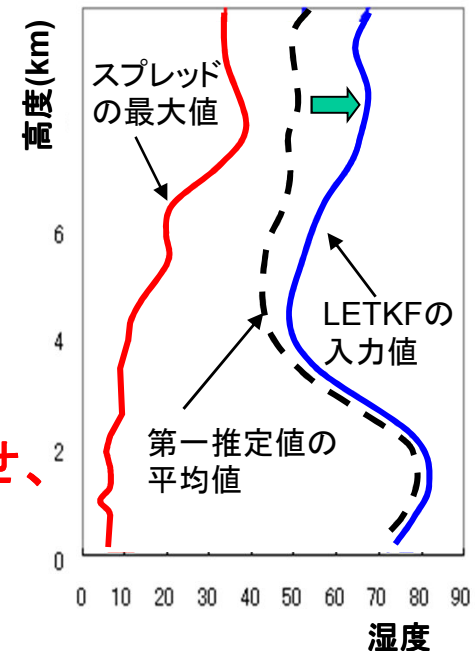
## NHM-LETKFで得た 第一推定値と統計値

- ・各観測点で±100km内の格子の気温・湿度や湿度のスプレッドのプロファイル

## LETKFの入力データ: 湿度プロファイル

- ・観測誤差の鉛直相関を考え、40層のデータを鉛直方向に300hPaまで3層ごとに間引いて与えた。

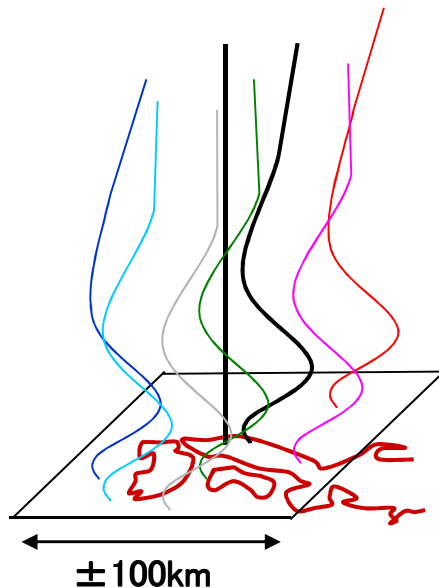
入力データの模式図



現象の位置ずれを考え、受信機から±100km内の湿度の平均とスプレッドの最大値を得る。

仮定: 予報誤差が大きいほど、解析値と第一推定値の差が大きい。

予報誤差に応じて、第一推定値を増減させ、LETKFの入力値を求めた。



# GPS可降水量の同化(手法2)

## 観測データ:GPS可降水量

- ・モデルと観測点の標高差が50m以下を使用

## NHM-LETKFで得た 第一推定値と統計値

- ・各観測点で±100km内の格子の気温・湿度や湿度のスプレッドのプロファイル

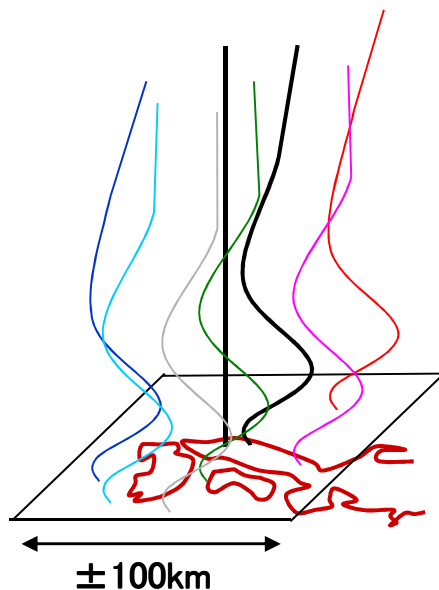
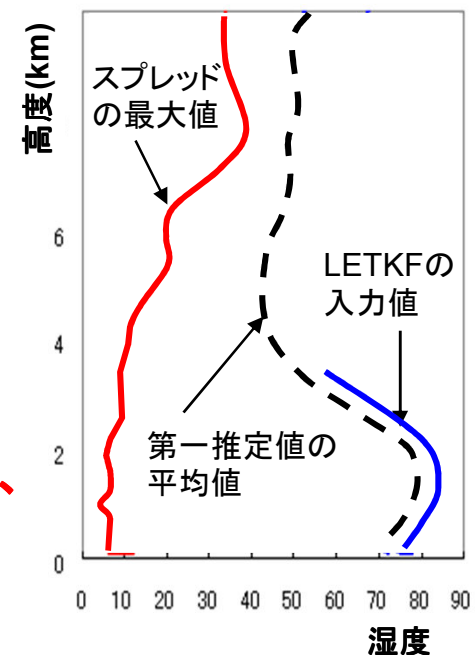
## LETKFの入力データ: 湿度プロファイル

- ・観測誤差の鉛直相関を考え、40層のデータを鉛直方向に300hPaまで3層ごとに間引いて与えた。

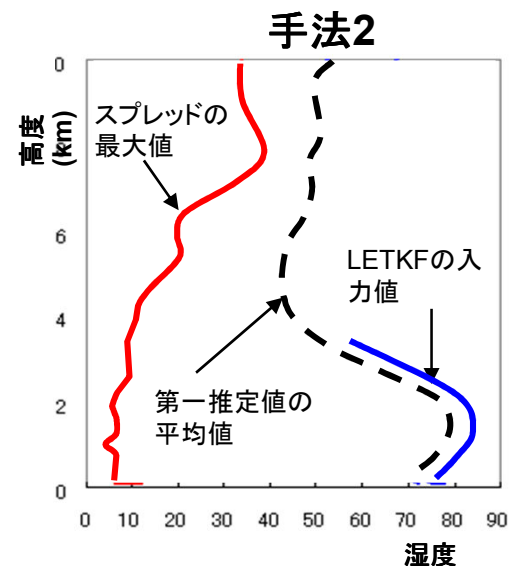
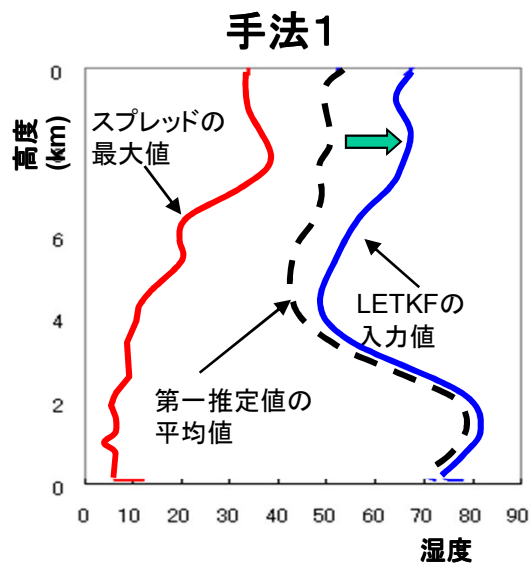
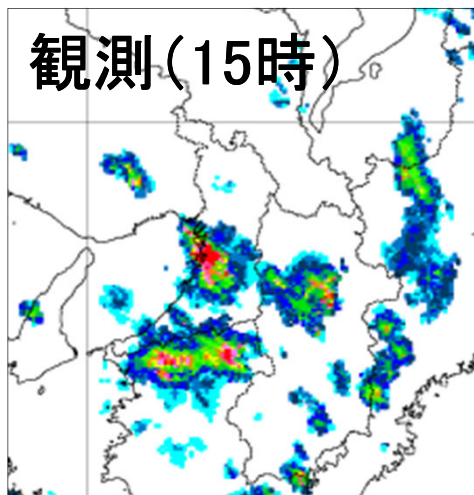
現象の位置ずれを考え、受信機から±100km内の湿度の平均とスプレッドの最大値を得る。

仮定: 予報誤差が大きいほど、解析値と第一推定値の差が大きい。

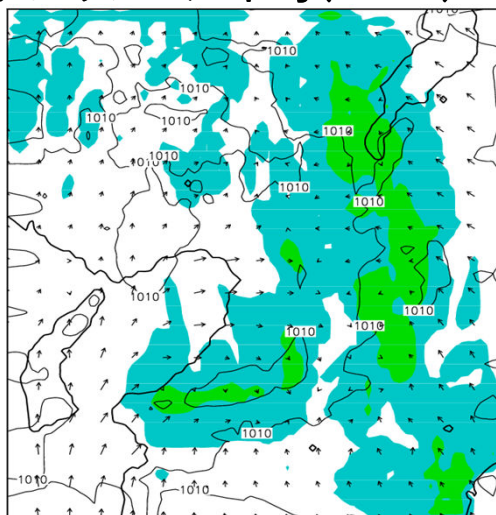
可降水量と各層の水蒸気量の相関を取り、その絶対値が大きな層だけ変更させてLETKFの入力値を求めた。



# 可降水量の同化の結果

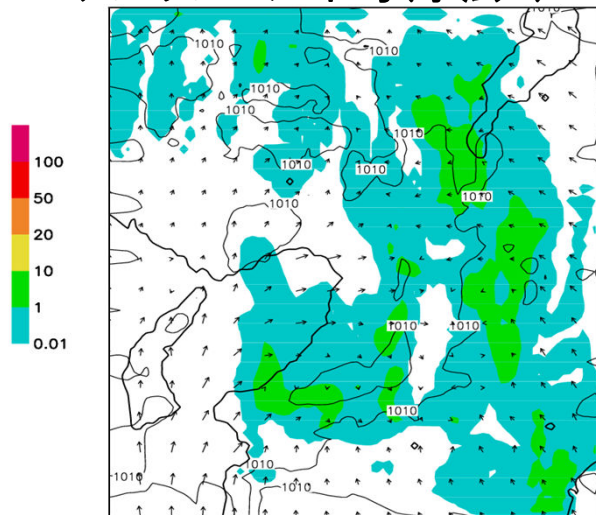


アンサンブル平均(CNTL)



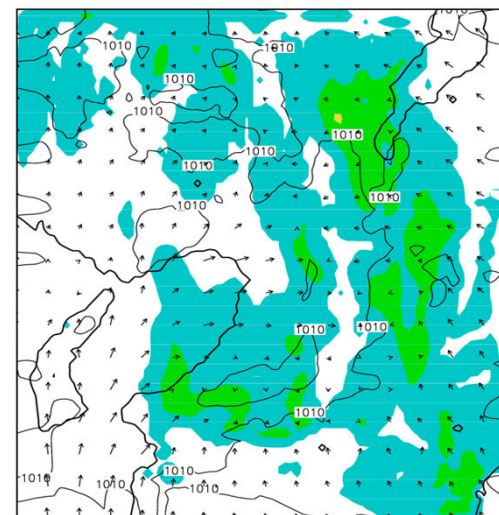
20

アンサンブル平均(手法1)



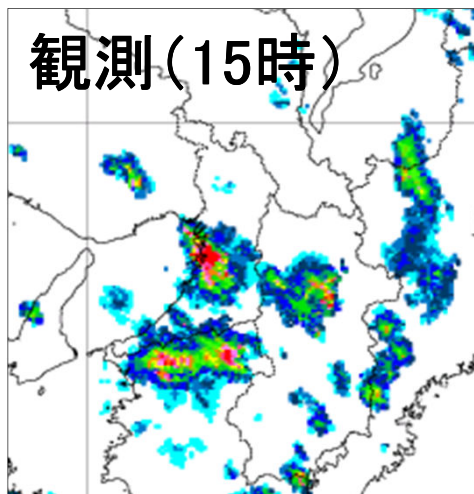
20

アンサンブル平均(手法2)



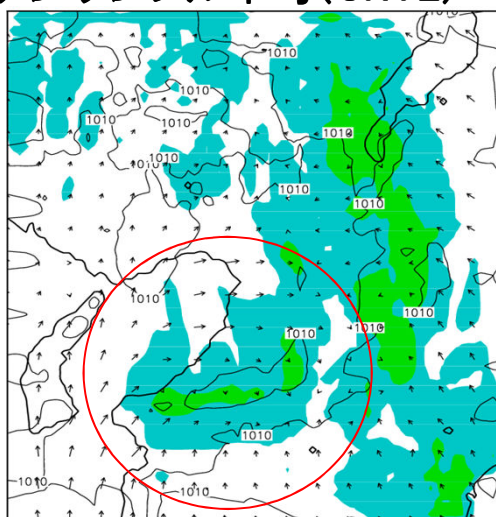
20

# 可降水量の同化の結果



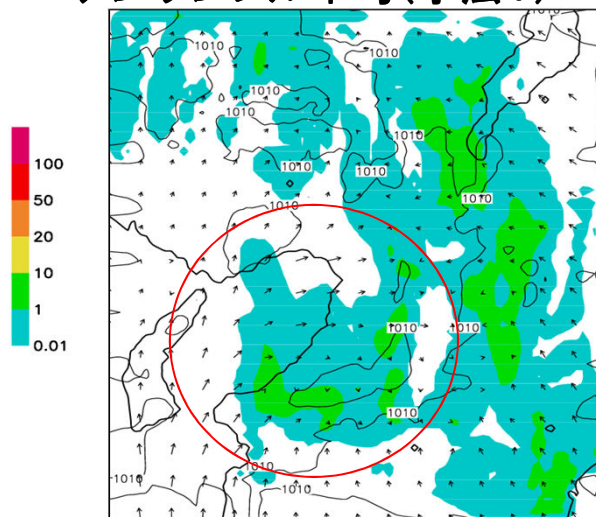
- GPSを同化すると、顕著ではないが、和歌山県北部の降水域が、広がり、強められた。
- 本事例では、手法1と2の差は、大きくなかった。

アンサンブル平均(CNTL)



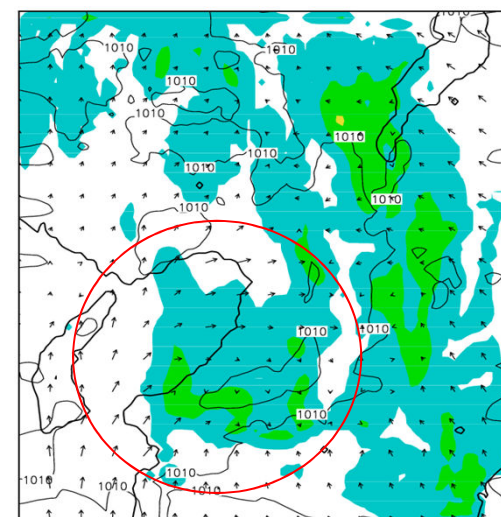
20

アンサンブル平均(手法1)



20

アンサンブル平均(手法2)



20

# まとめと今後

1. LETKFをネストさせて、対流スケールの同化を試みた。
2. 2008年9月5日の大阪の雷雨の事例では、ネストにより、詳細な降水分布が再現できた。
3. しかし、降水量が小さく、簡易な方法の可降水量のみの同化では、再現には不十分であった。
4. 今後、ネスト法や可降水量の同化法の改善を行うと共に、ドップラーレーダ等の同化も行う。
5. 本課題で使えるように、掩蔽データの同化を粗い格子の同化システムに組み込む。