

# 東北地方を対象にした アンサンブル予報実験

気象研究所 瀬古弘

# 発表内容

(1) はじめに

(2) 2011年7月30-31日のヤマセの再現実験

- LETKFネストシステムの開発状況
- 再現実験の初期的な結果

# 東北地域のヤマセと冬季モンスーンの 先進的ダウンスケール研究

岩崎俊樹 東北大学

## 局地気候の研究

物理過程パラメータ化の改良  
下層雲、大気陸面相互作用  
大気海洋相互作用

ヤマセの気候形成研究  
(ダウンスケール温暖化予測  
の信頼性を高める研究)  
海上下層雲のデータ解析  
過去データ解析(北冷西暑)  
マルチ気候モデル解析

## 局地気象予測手法の研究

データ同化手法  
アンサンブル予測手法  
地上気温、下層風、下層雲

農業気象情報の高度化  
(成育や病害虫発生の数値  
モデルと気象情報の利用)  
利用者インターフェイス開発  
表示法、自動発信、双方向  
利用者との連携

## 気になる問題

1. 東北の太平洋沿岸の気温は上昇しないのは何故か？
2. SSTはヤマセにどのような影響を及ぼしているのだろうか？ 大気海洋相互作用は働いているか？
3. ダウンスケールモデルは何故雲の過小評価するか？
4. 費用対効果の高い解像度はどのくらいか？
5. アンサンブルダウンスケールの効果は何時有効か？

## 瀬古の課題

1. 掩蔽データ、シーロメータ(ライダー)、  
プロファイラーの同化法の開発
2. 海面水温の摂動の作成法の開発
3. ヤマセの下層雲や下層風等による評価

# ヤマセ予報の現状 (2009年の発表から) 古い情報です

== 仙台管区の予報課・気候調査課の方からのコメント ==

私は、実況と厳密に比較すると

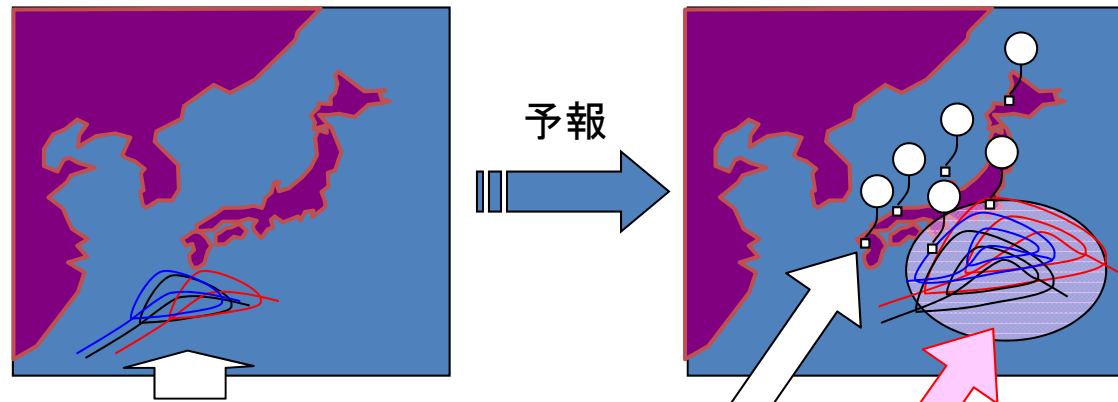
- ・NHMの方が、全般に雲量が少なめ。特に海上で。
- ・陸上では、シーリングが実況より高めになる。
- ・対応して、陸上のごく下層の湿度は低め。

と感じているものの、大きく見ると、モデルでも意外と良く”やませ”を表現しているなど、思っています。ただ、私は、調査用に限られて事例しか見ていません。

-----  
モデル計算結果の雲量は予報現場では見ていないのでなんともいえませんが、**湿りに関しては若干弱いと感じています。ヤマセに限らず、東風による曇り・霧雨の表現はモデルでは表現が弱いことが多いと思います。**

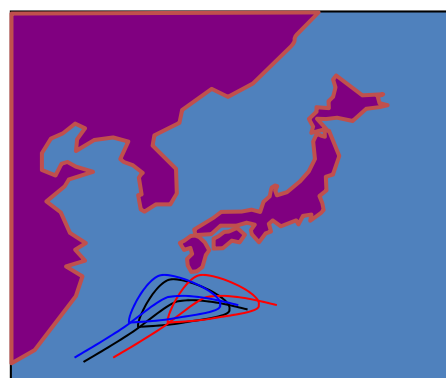
そういえば、JMANHMの計算結果を頂き、仙台の高層観測と比較したことがあります。**これを見ると、湿りの表現は良いものの、逆転層の予想が実況より弱いのが気になります。**この辺りがヤマセの際のモデル計算結果と実況の差の原因なのではないでしょうか？ちゃんと調査したわけではないので、はっきりとはいえませんが、**モデルでもヤマセは表現しているものの逆転層の表現が弱いため、ヤマセの表現は弱い、といった感じ**です。**太平洋海上は観測地点がほとんどないので、この辺りを修正するのはなかなか難しそうですね。**

# LETKFを用いたアンサンブル予報

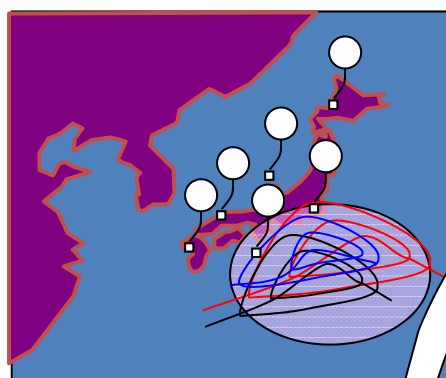


- ・ 最初は、適当な初期値から予報する。
- ・ 陸上では、観測データが多い。
- ・ 予報すると、低気圧付近は、メンバー間のばらつきが大きくなる。

# LETKFを用いたアンサンブル予報

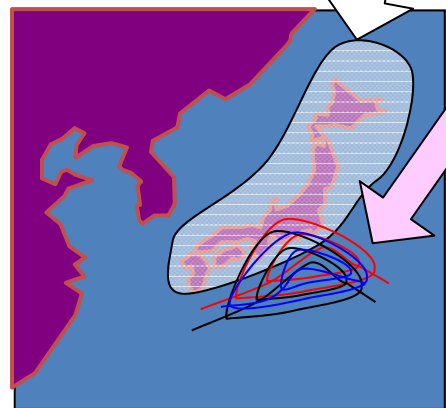


予報  
→

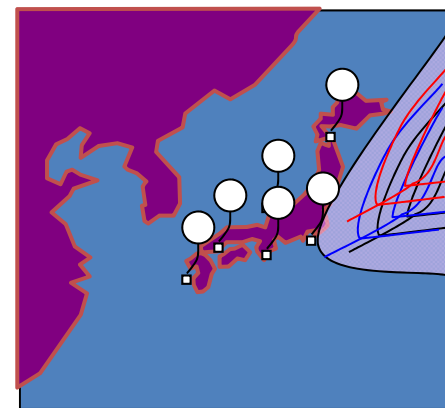


- ・ 陸上では、観測データが多いため、ばらつきは小さくなる。
- ・ 観測データを同化すると、擾乱付近も、観測データで修正される。

解析  
↓

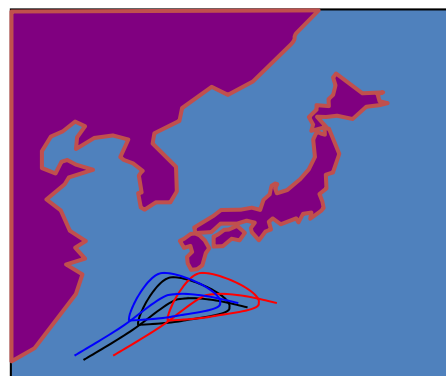


予報  
→

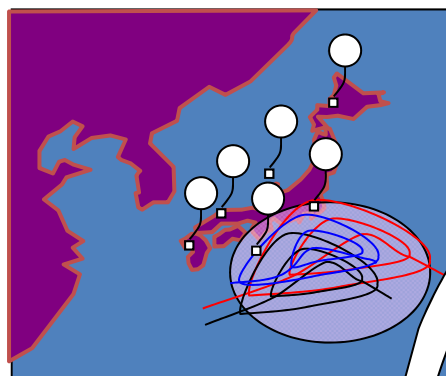


- ・ 最初は、適当な初期値から予報する。
- ・ 陸上では、観測データが多い。
- ・ 予報すると、低気圧付近は、メンバー間のばらつきが大きくなる。

# LETKFを用いたアンサンブル予報



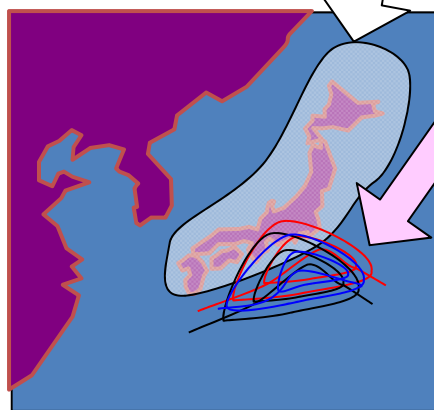
予報



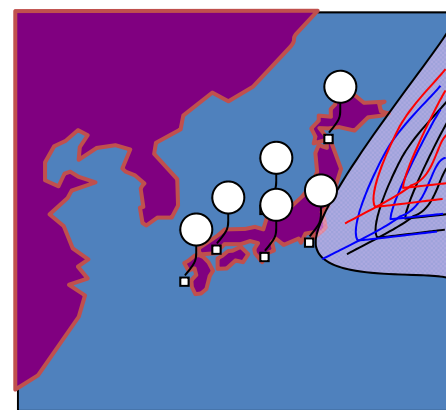
・ 陸上では、観測データが多いため、ばらつきは小さくなる。

・ 観測データを同化すると、擾乱付近も、観測データで修正される。

解析



予報

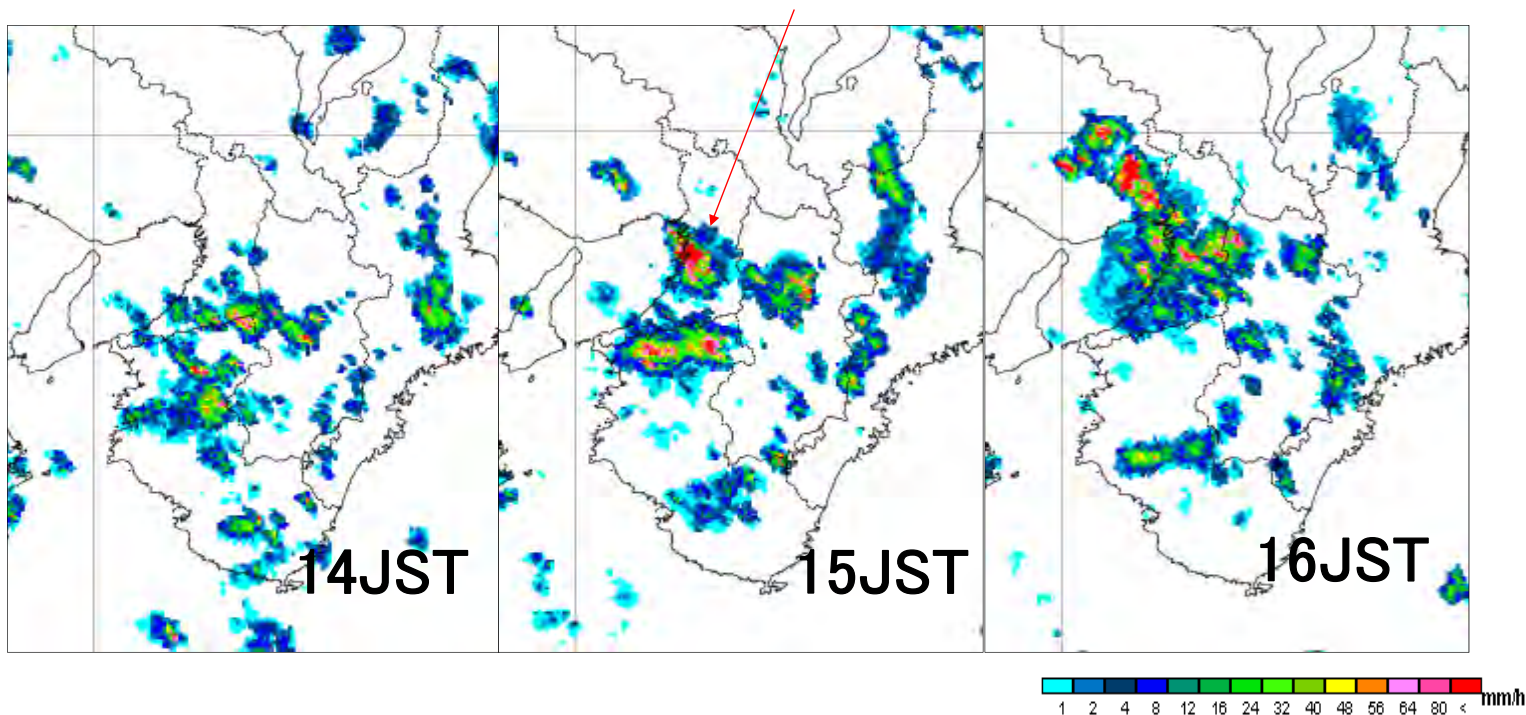


- ・ 最初は、適当な初期値から予報する。
- ・ 予報すると、低気圧付近は、メンバー間のばらつきが大きくなる。
- ・ 陸上では、観測データが多い。

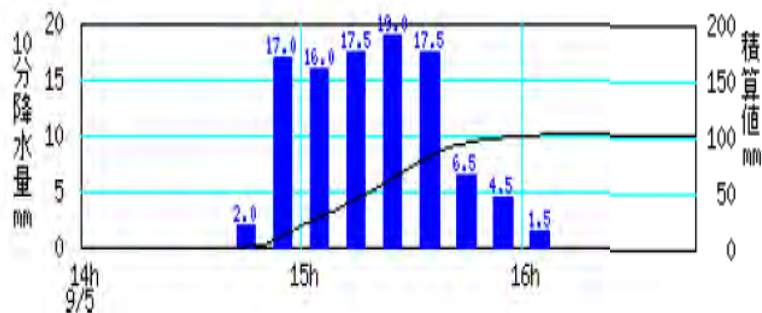
この過程を繰り返すと、  
擾乱の位置や観測データを考慮した  
ばらつき(初期摂動)ができる。



# 2008年9月5日の堺市の雷雨の事例

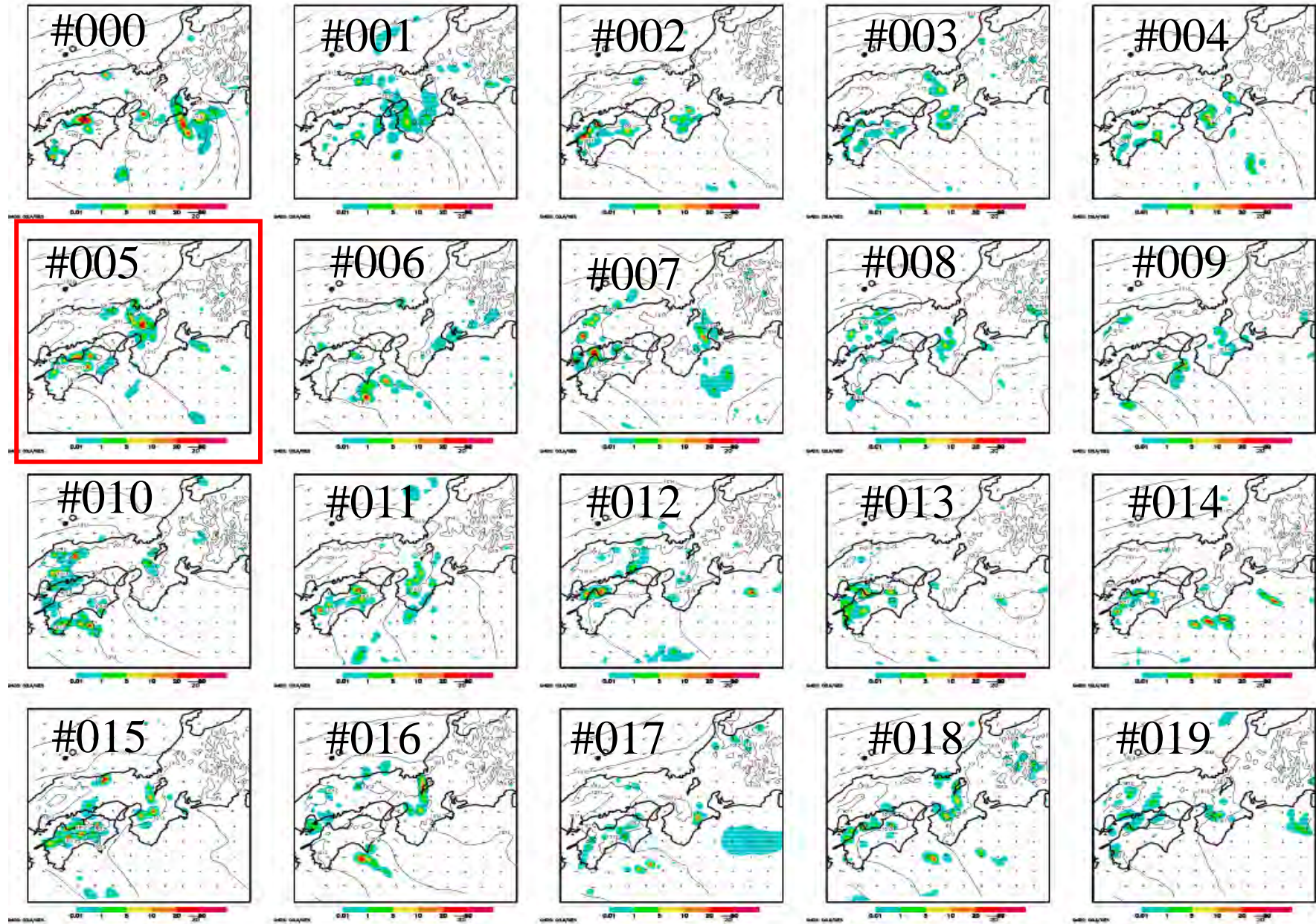


現業レーダで観測した2008年9月5日のエコー分布

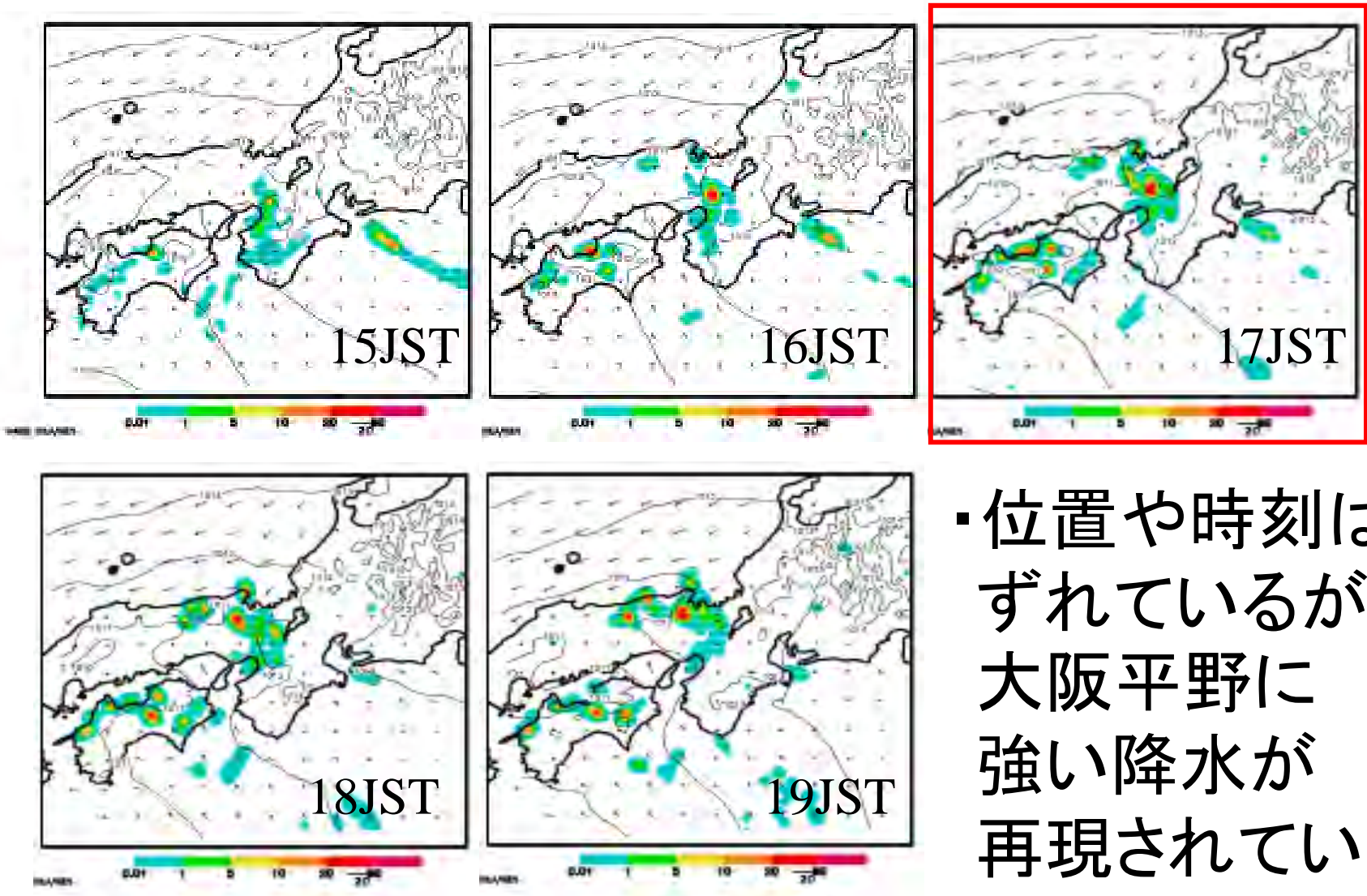


2008年9月5日14時から17時までの堺市のアメダスの10分間降水量

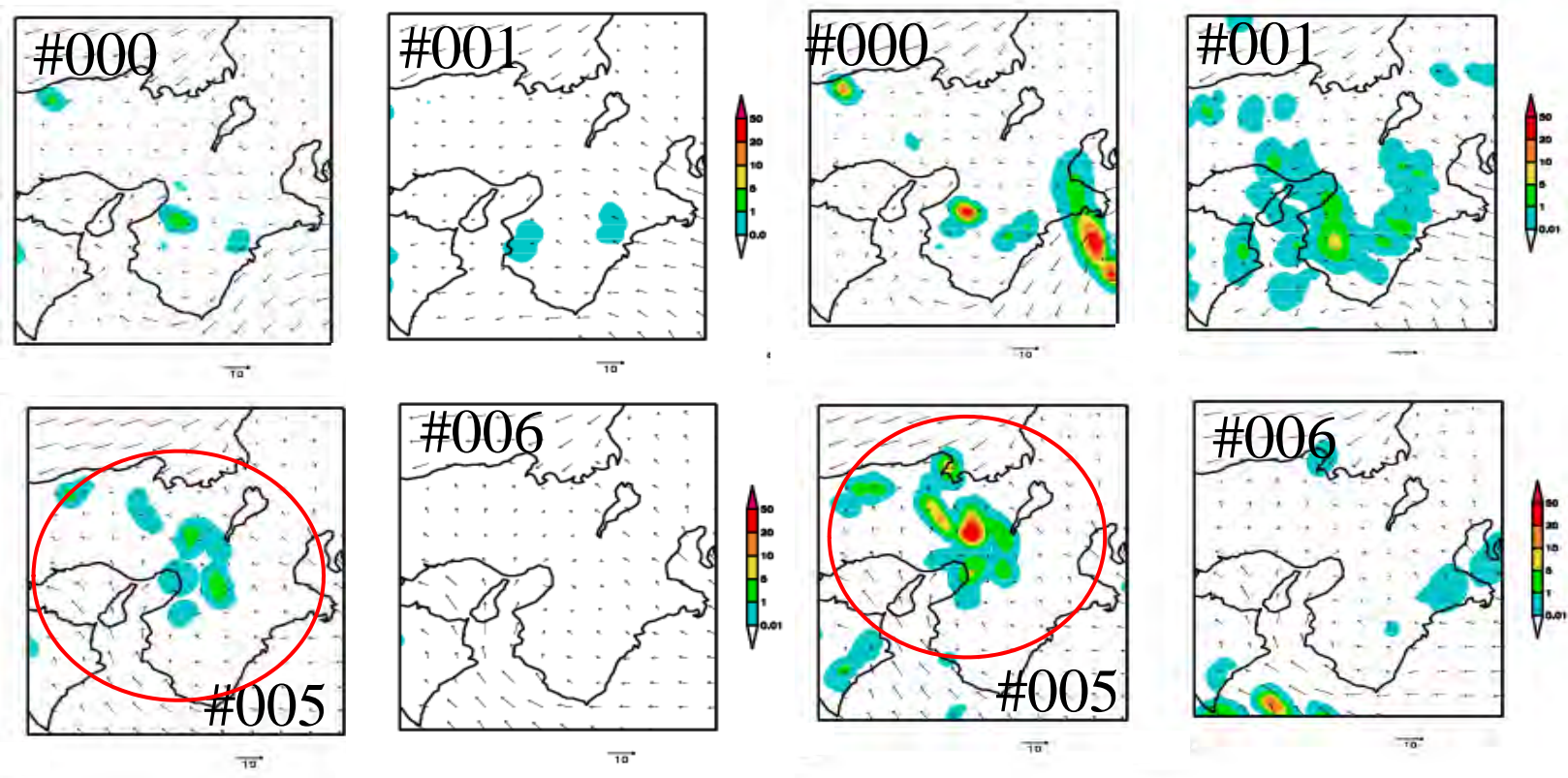
# LETKF(20km,09時) の摂動を加えた5km-NHMの予報



# 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。

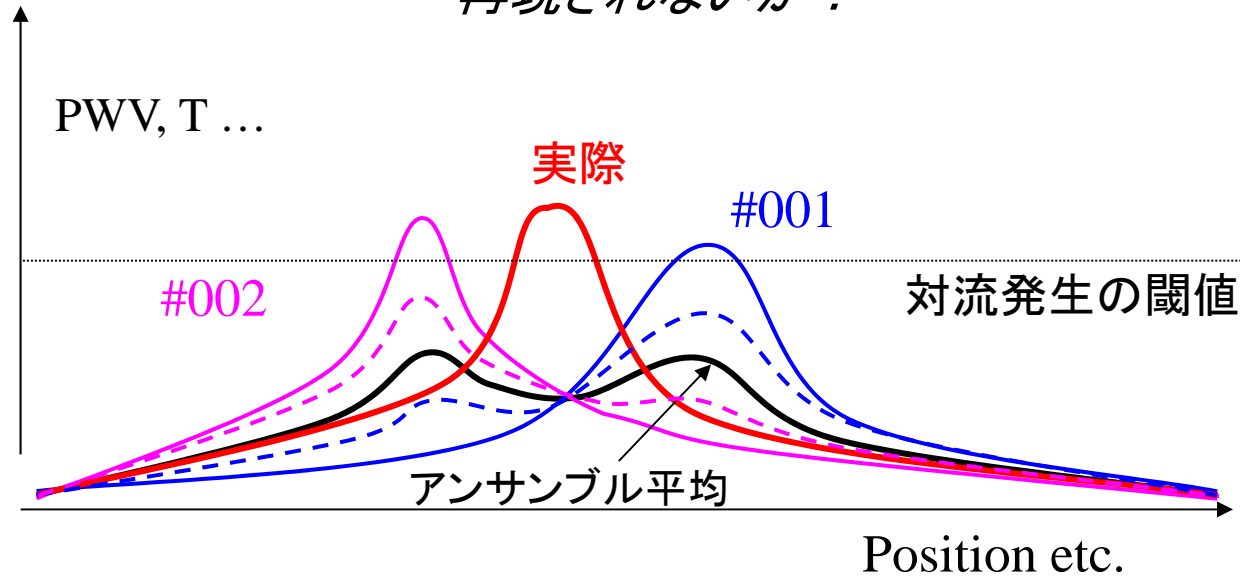


$RMS_{\max-T_{\text{surf}}}=7.4\text{K}\rightarrow 5\text{K}$

$RMS_{\max-T_{\text{surf}}}=7.4\text{K}\rightarrow 7.4\text{K}$

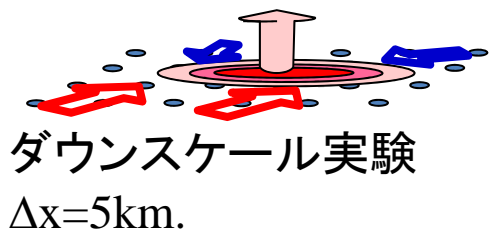
摂動の大きさを変えてみて、  
大阪平野に局地豪雨が再現できるかを調べると...

なぜ、降水域が観測された地域に  
再現されないか？

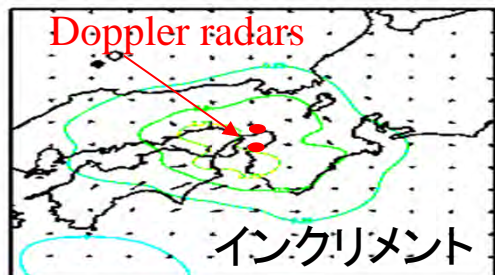


局地豪雨の場所は、摂動の大きさを変えても再現できない。つまり、同化が必要。

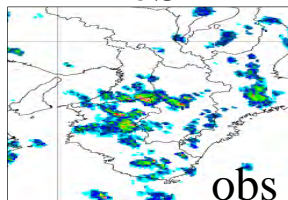
3DVarを用いた同化と  
対流スケールの  
水蒸気分布の導入



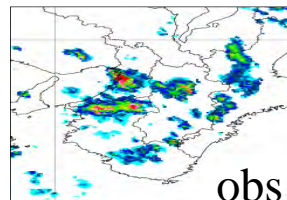
動径風の同化と対流  
スケールの水蒸気の導入



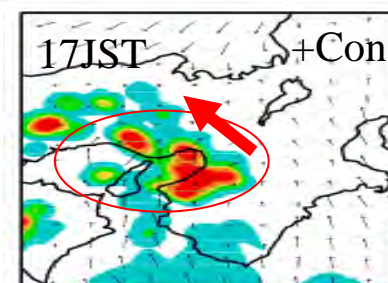
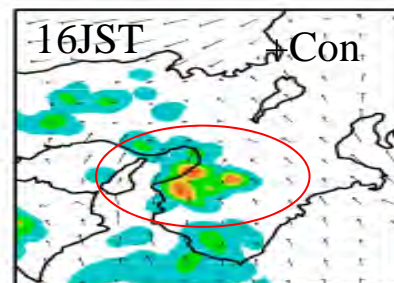
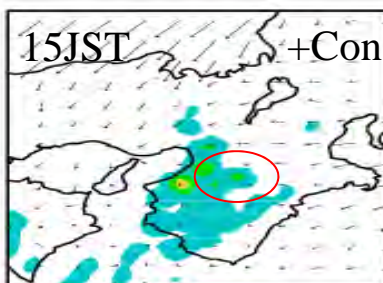
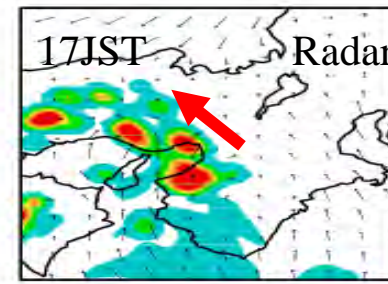
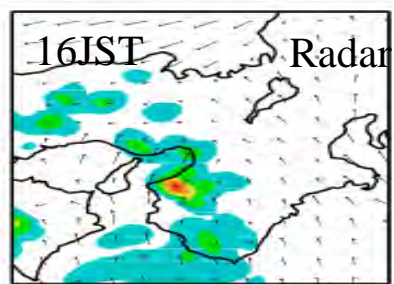
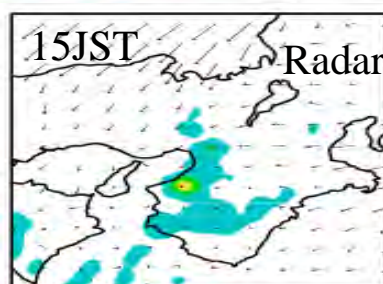
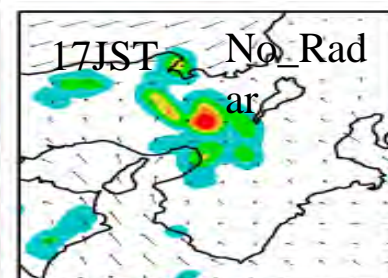
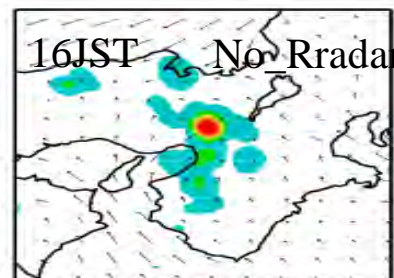
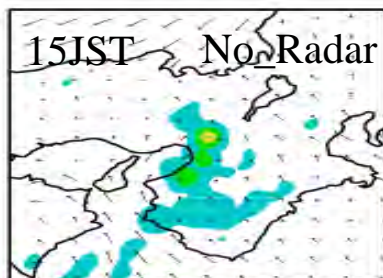
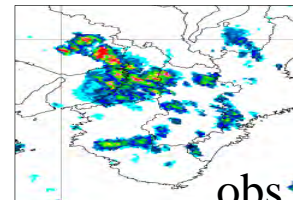
14JST



15JST

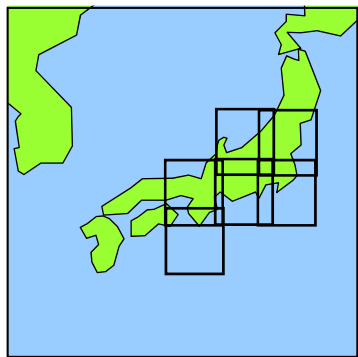
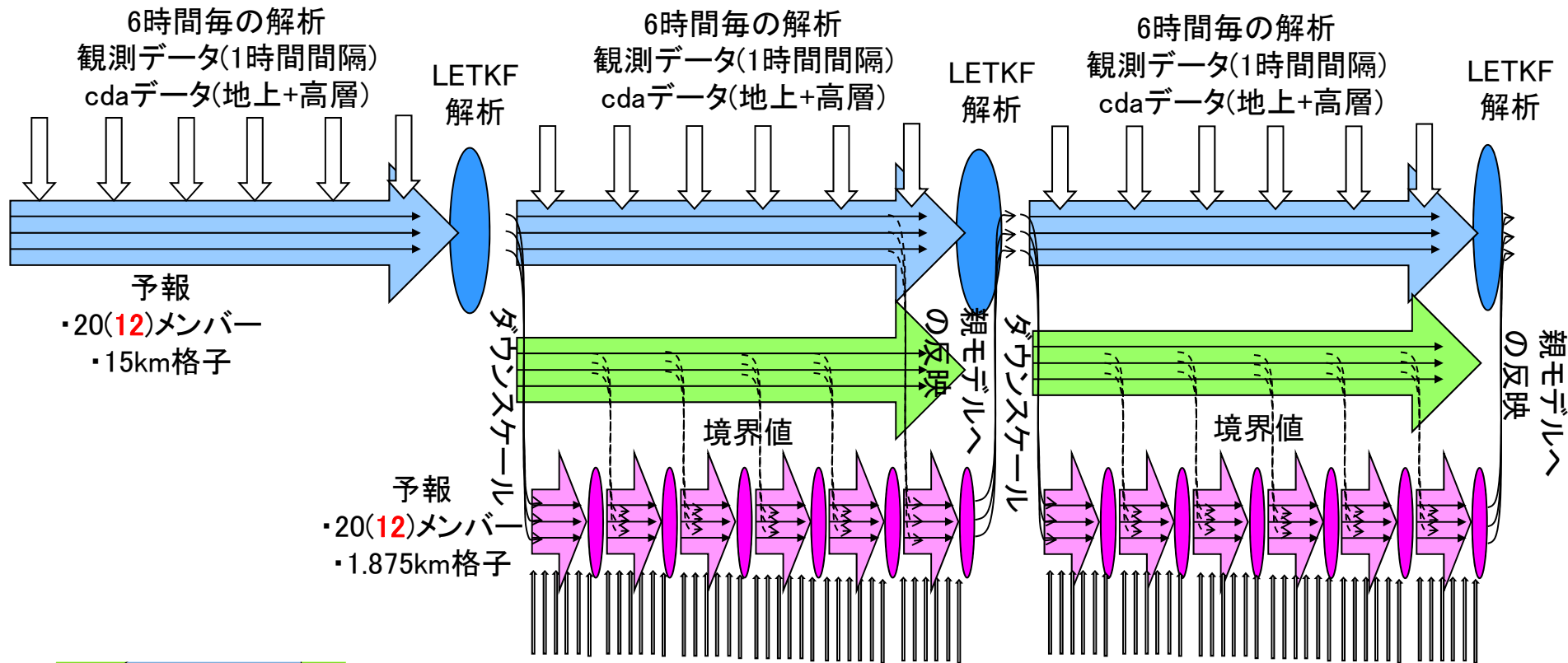


16JST



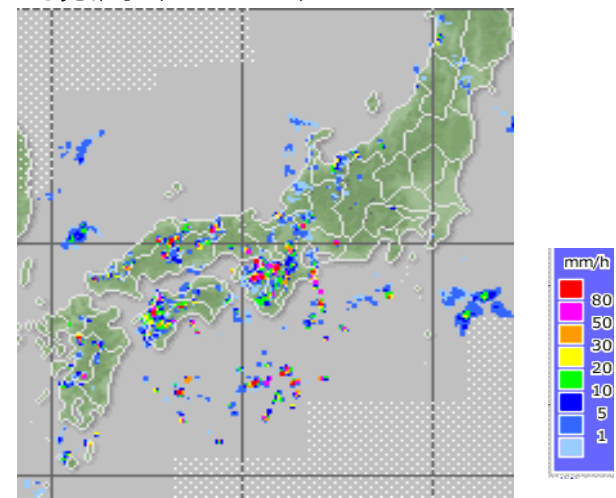
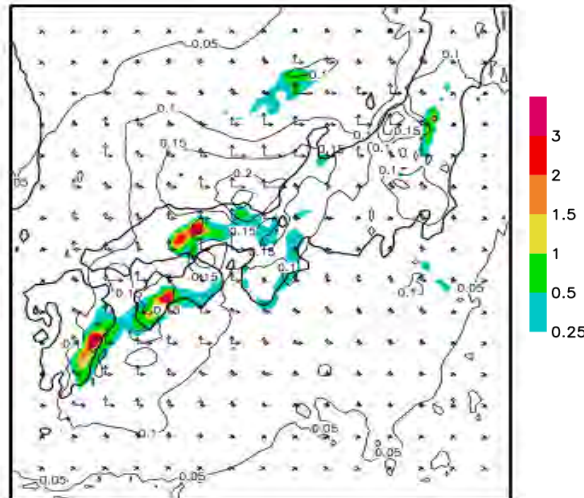
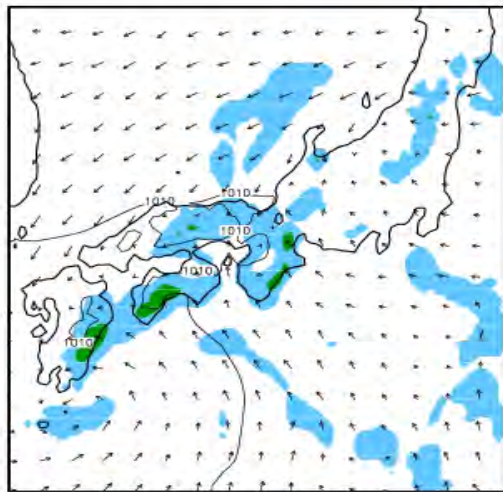
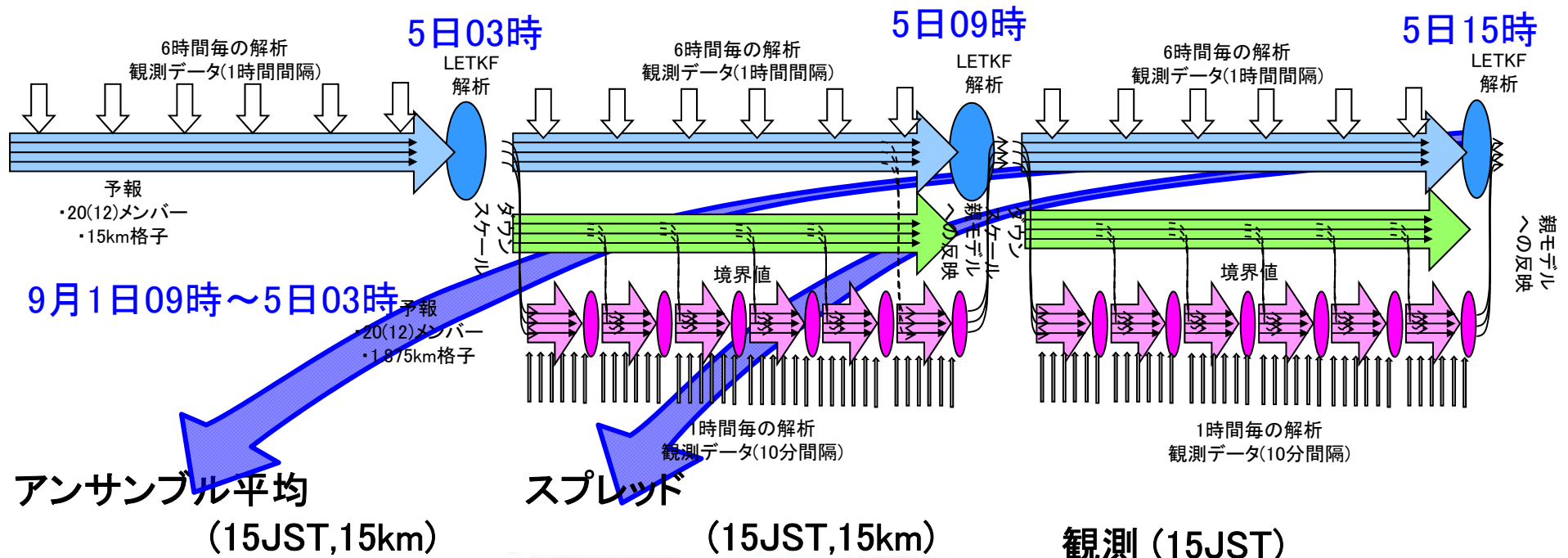
#005について、動径風を同化し、対流スケールの  
水蒸気分布を導入すると、再現できた。

# ネストした同化システムの流れ



- ・親LETKFの格子間隔は15km。子LETKFは2km。
- ・親LETKFは気象庁の現業データを同化、子LETKFは高解像データを同化する。
- ・6時間毎に子LETKFの結果を親LETKFに返す。

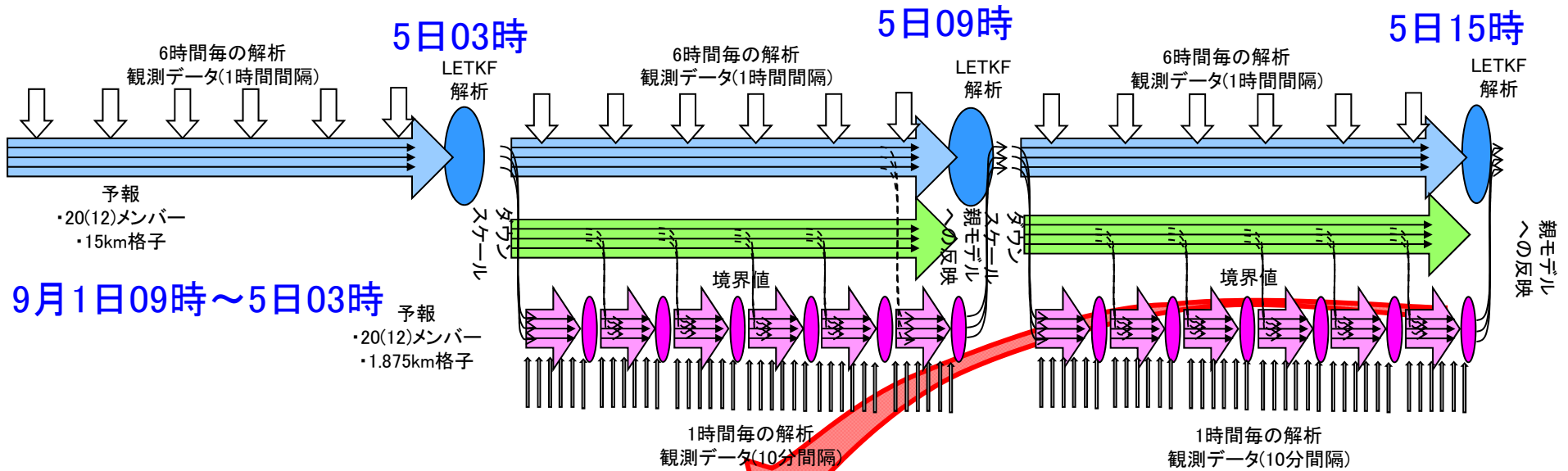
# ネストした同化システムの結果



分散した小さな降水域が、親LETKFでは弱い降水として表現されている。



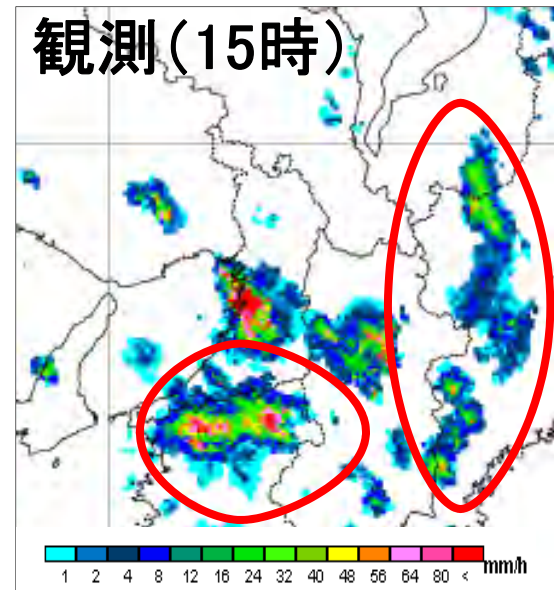
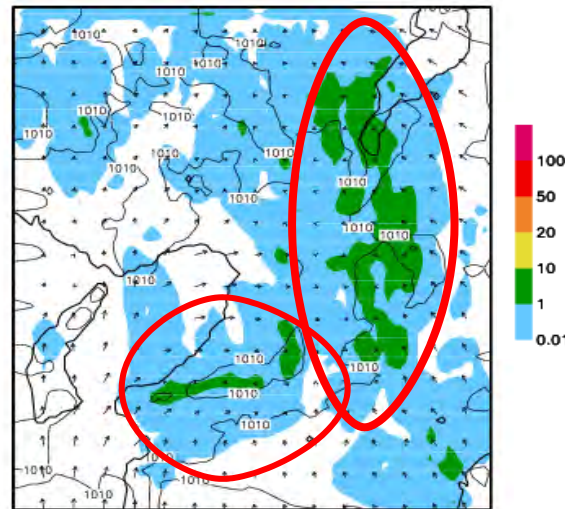
# ネストした同化システムの結果



9月1日09時～5日03時

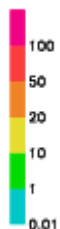
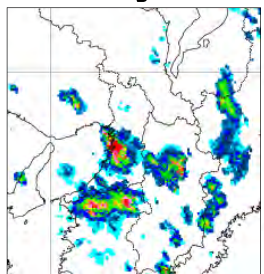
予報  
・20(12)メンバー  
・1.875km格子

アンサンブル平均  
(15JST, 2km)

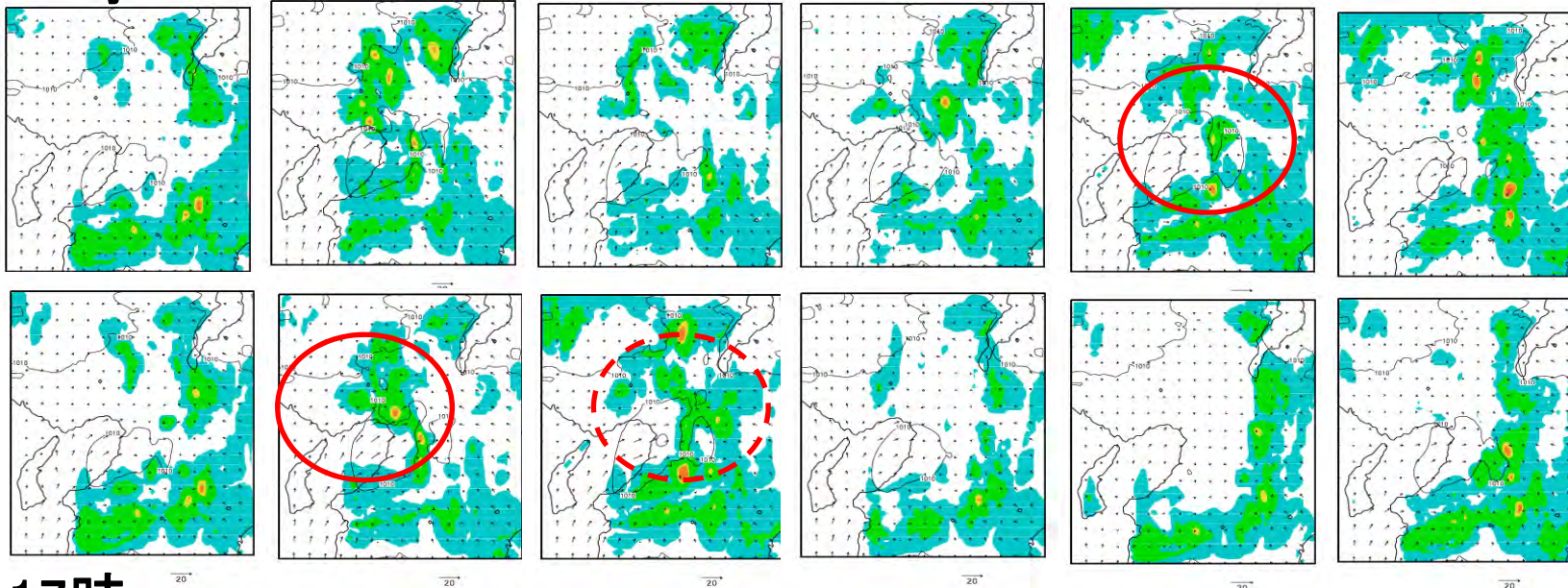


- ・子LETKFで、観測と似た地域に降水が発生している。  
(地形性の降水が見えている?)

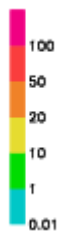
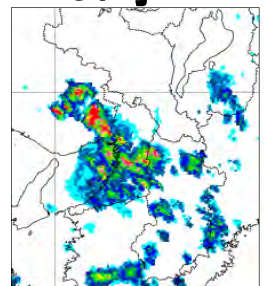
15時



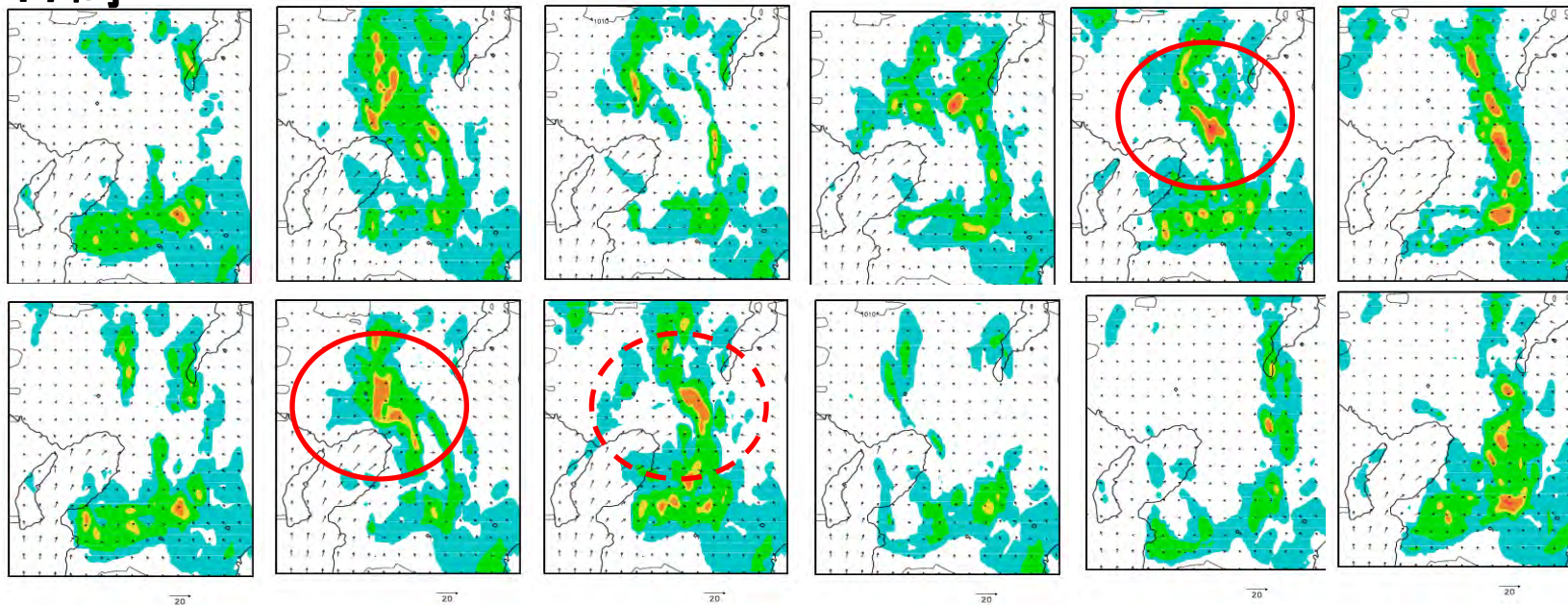
15時



16時



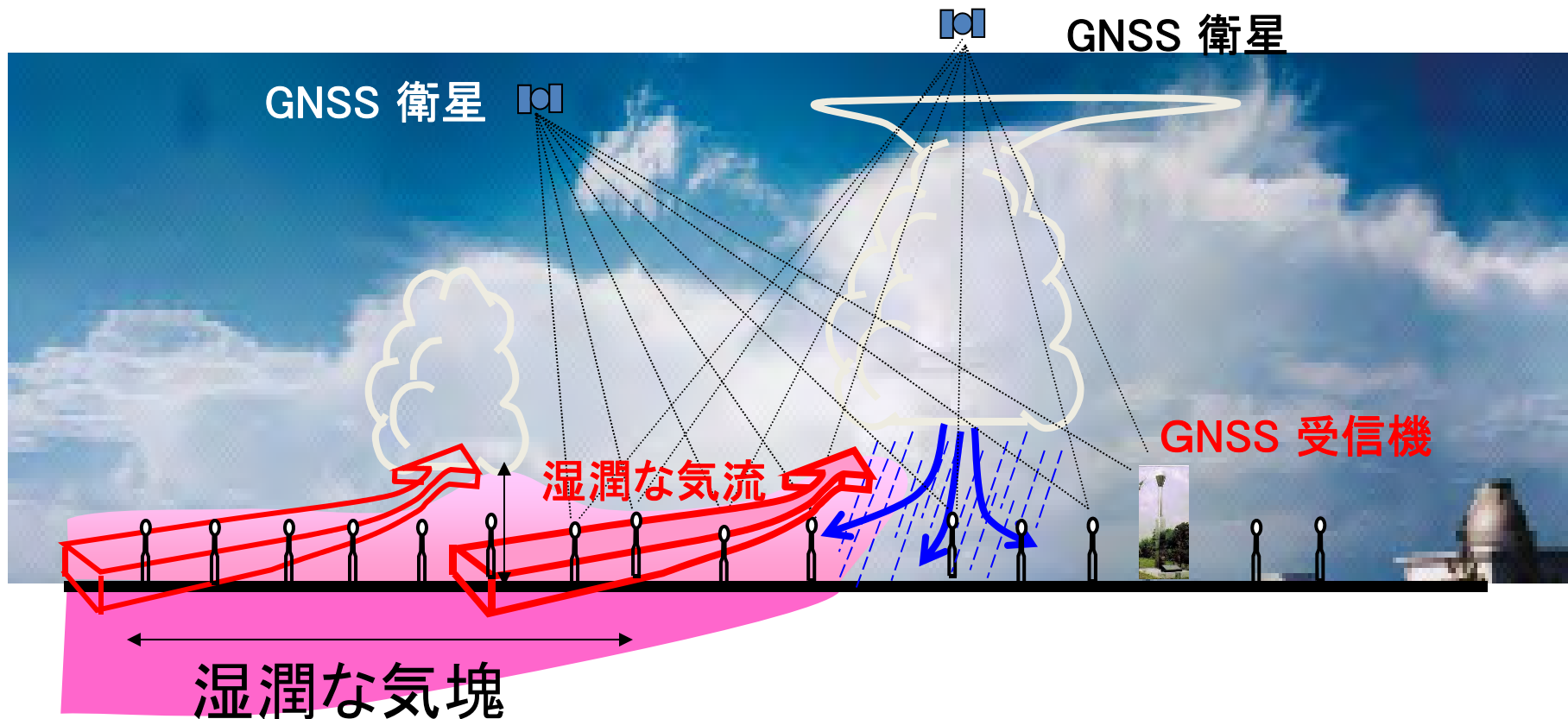
17時



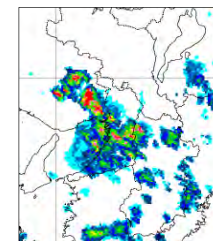
個々のメンバーを見てみると...

# 可降水量データ (PWV)

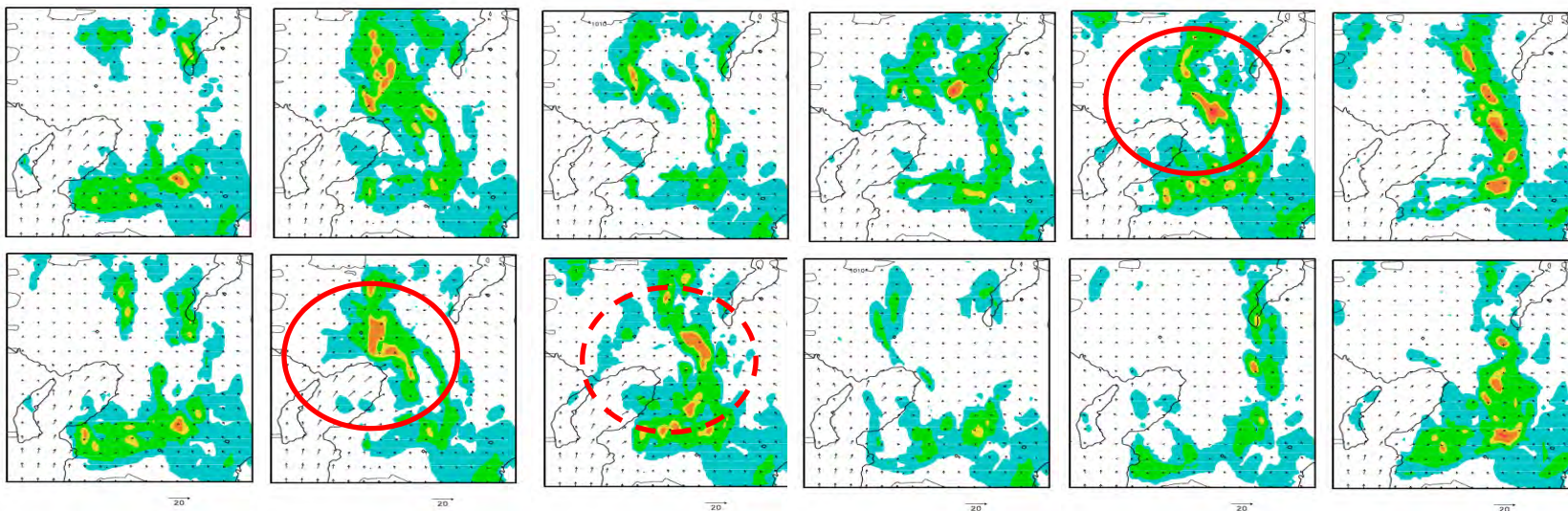
- ・水蒸気分布を改善するために、**可降水量データ (鉛直方向の水蒸気量の総和)**を同化する。
- ・可降水量は、GPS等のGNSSの電波の遅れから求めることができる。



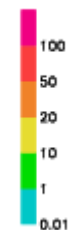
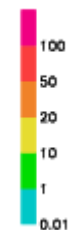
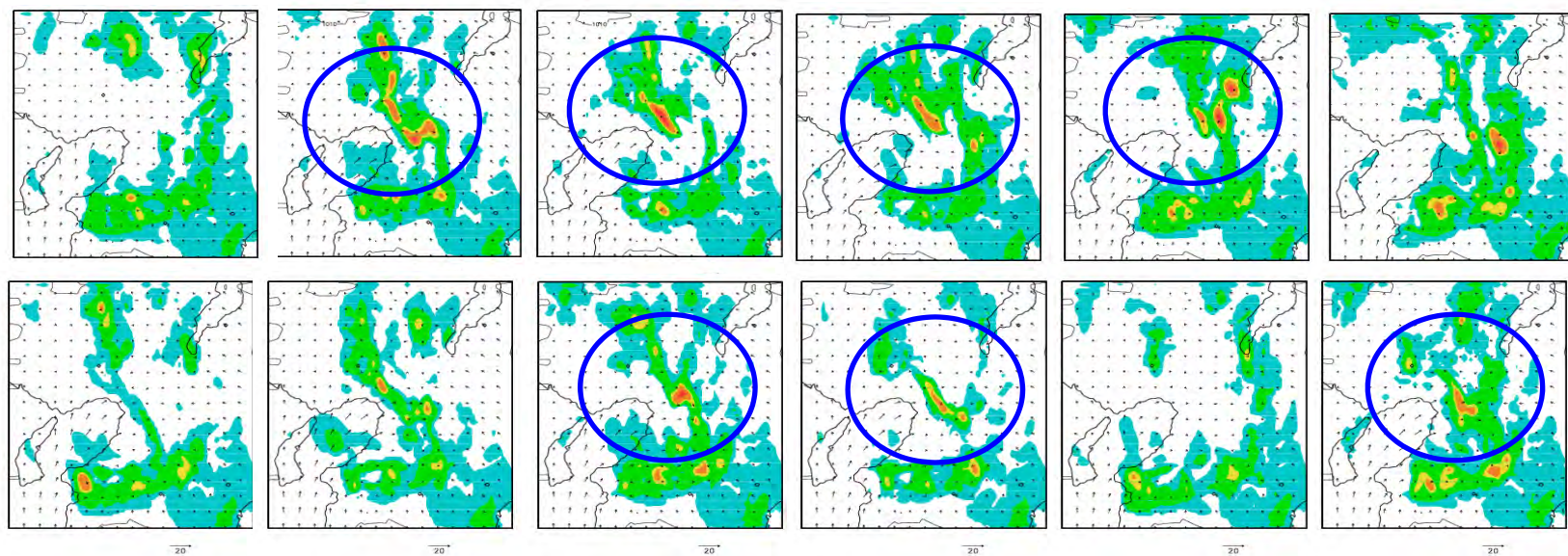
CNTLと比較すると、  
雷雨の再現が良くなっている。



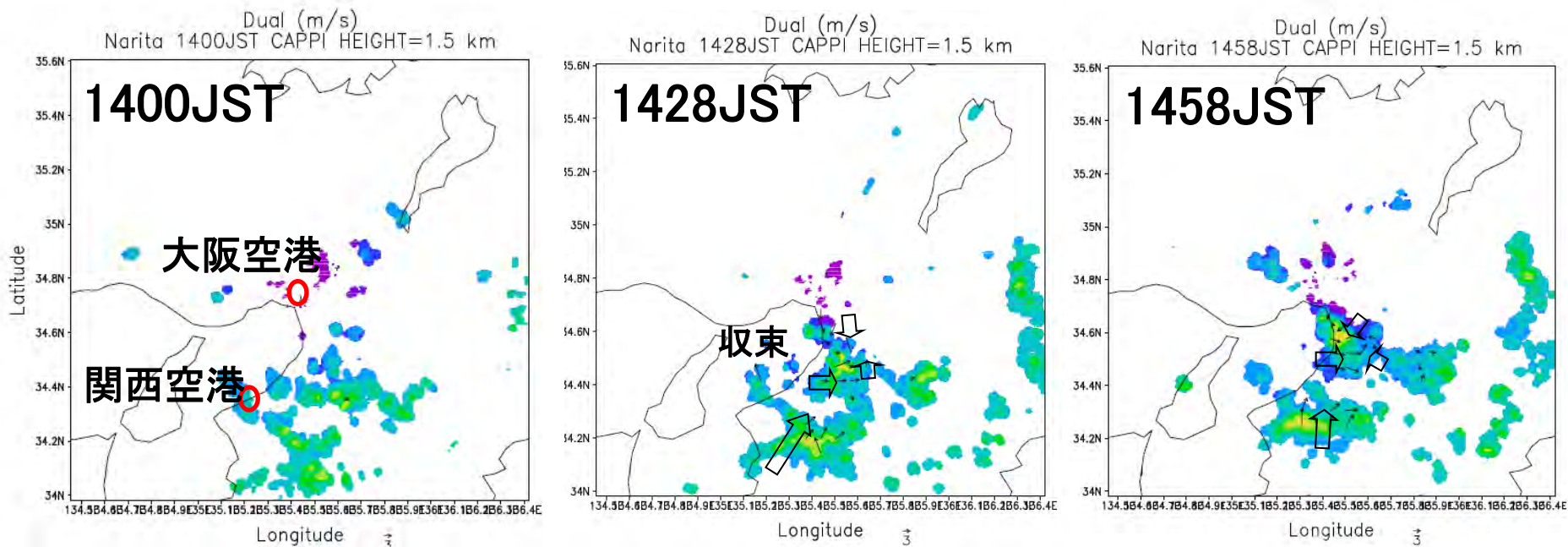
CNTL 17JST



GPS 17JST

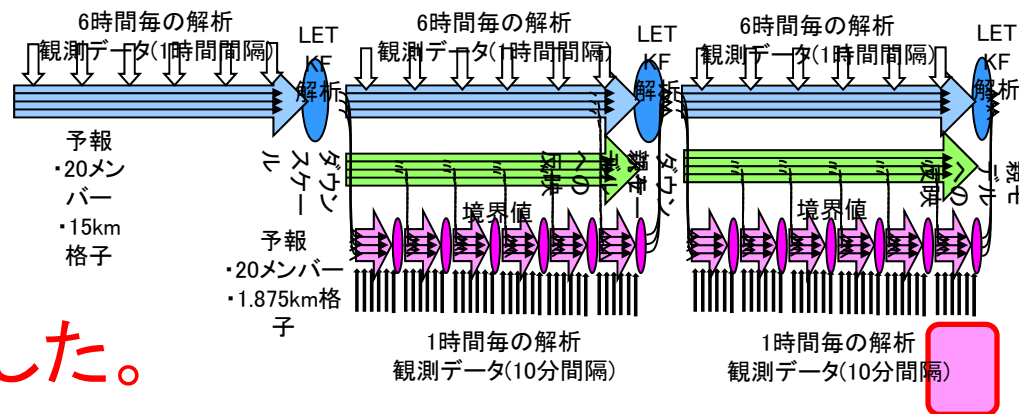


# 観測されたドップラーレーダーの水平風

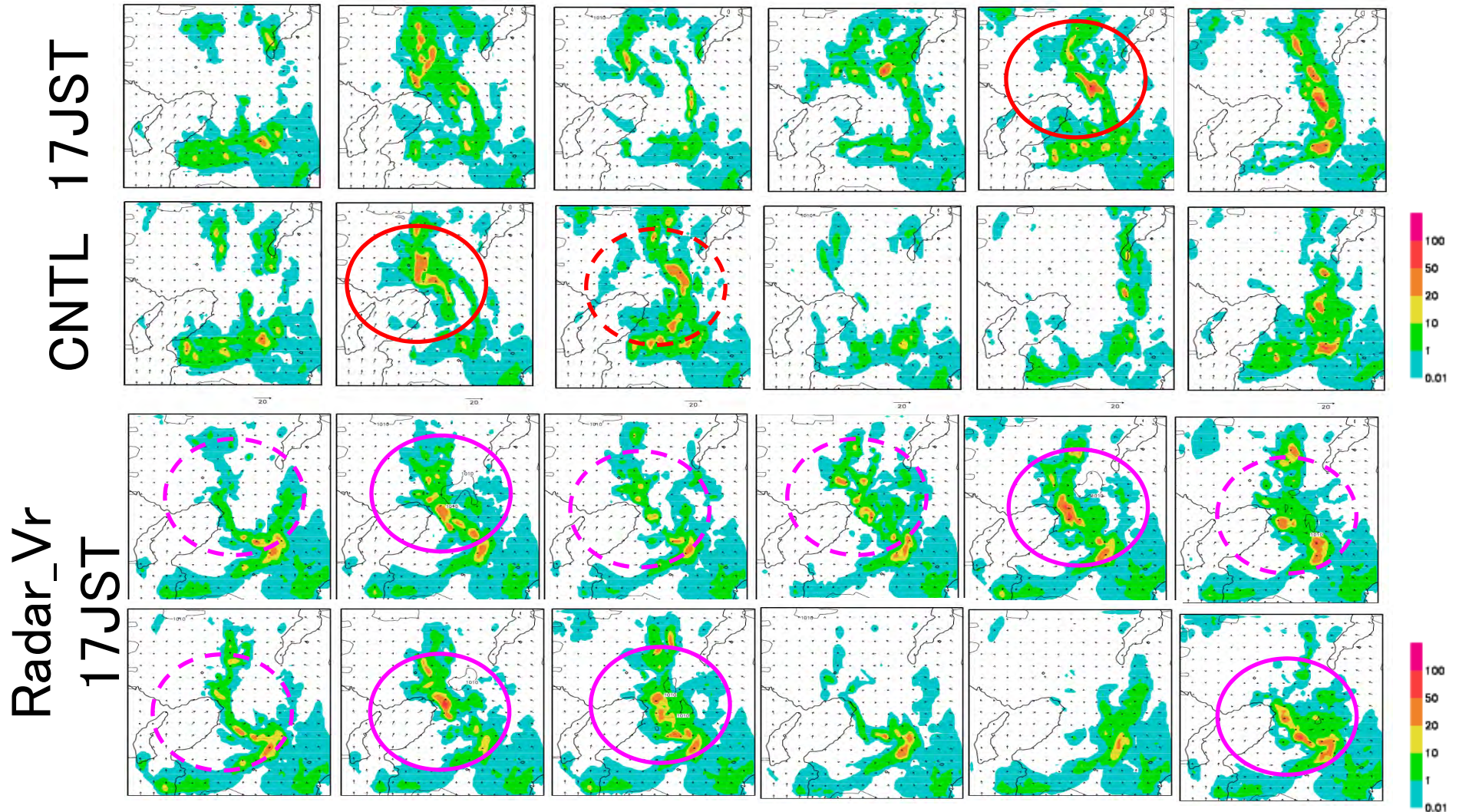
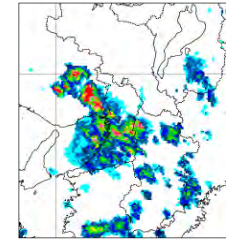


関西空港と大阪空港のドップラーレーダーの動径風から、draftを用いてdual解析を高度0.5kmから1km毎に行った。

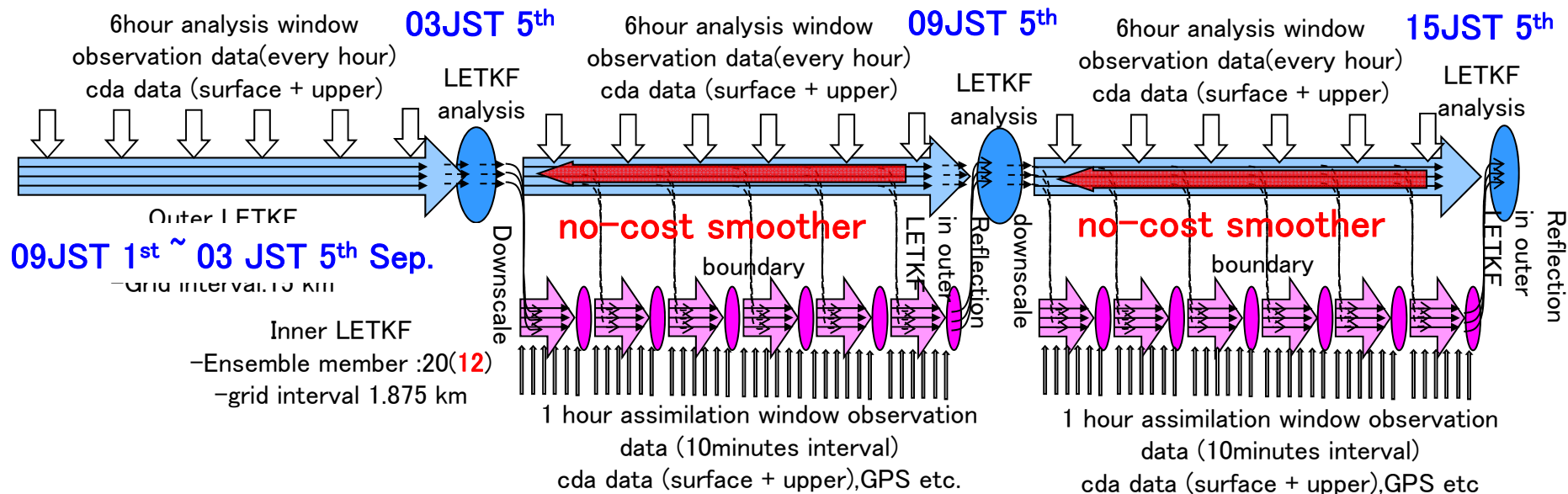
14-15時の高度3.5km以下の水平風を10分毎に同化した。



動径風を同化すると、位置が大きく改善される。  
水平風よりもインパクトは大きい。



# No-cost smootherの利用



CNTL

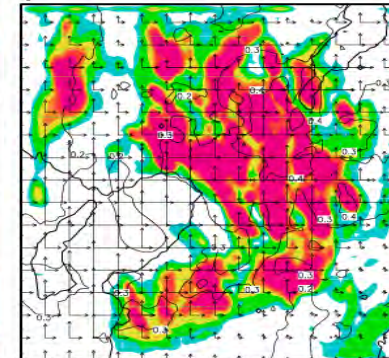
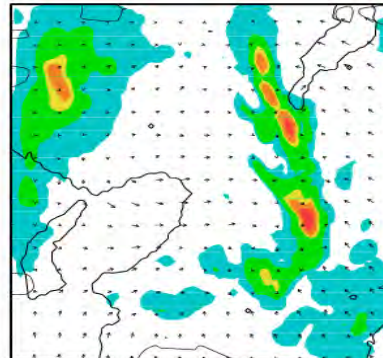
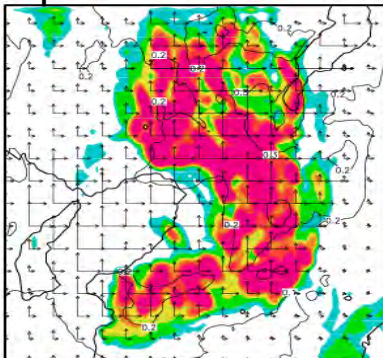
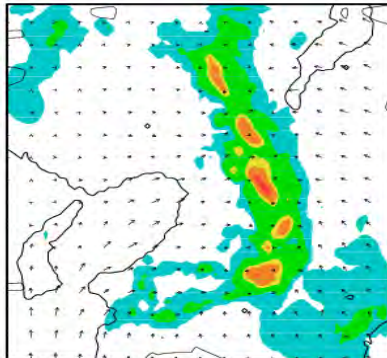
No-cost smoother

#005 17JST 2km

Spread 17JST 2km

#005 17JST 2km

Spread 17JST 2km

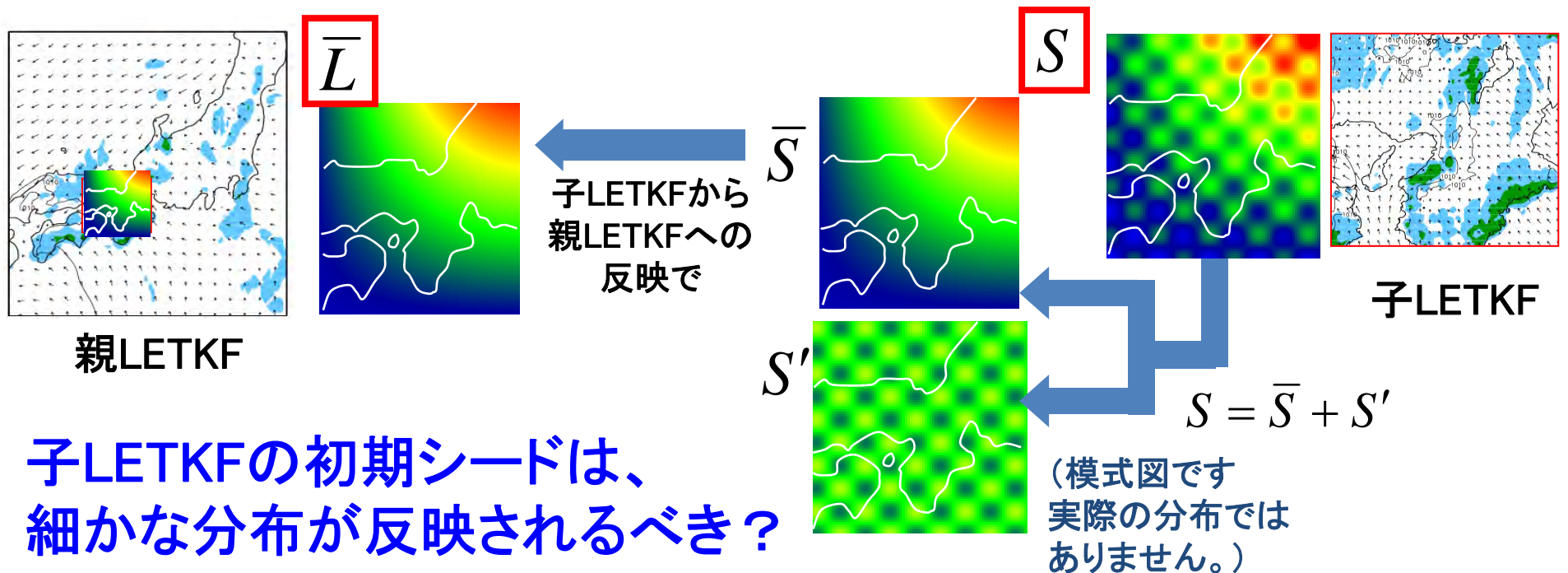
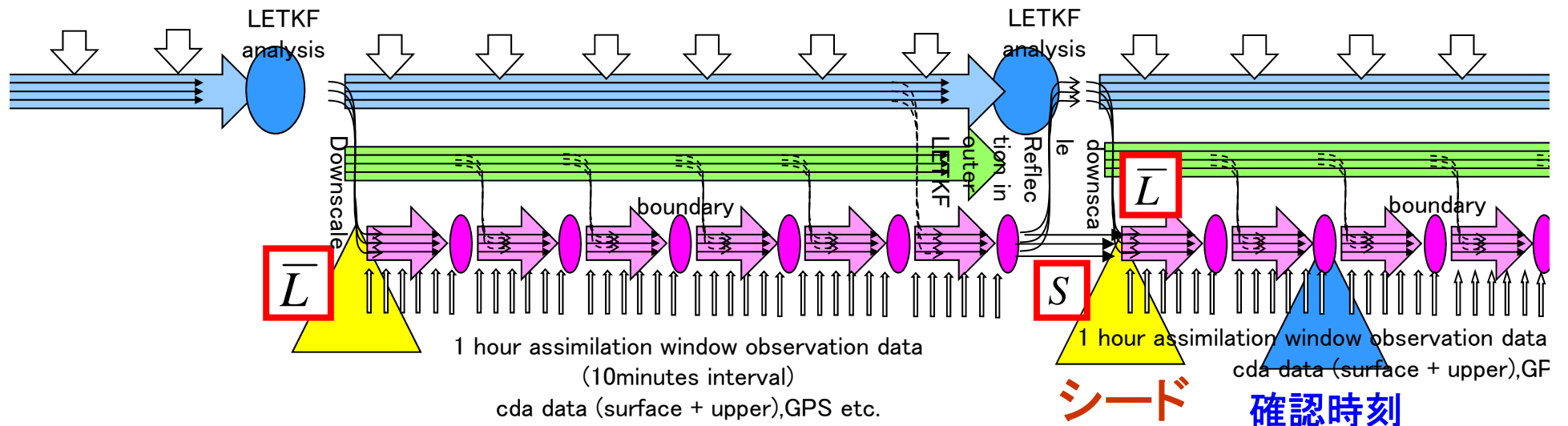


No-cost smoother を使うとスプレッドの大きな領域が広がった。親LETKFの同化の影響と考えられる。

# 子LETKFのシード摂動(対流スケールの摂動)

03JST 5<sup>th</sup>

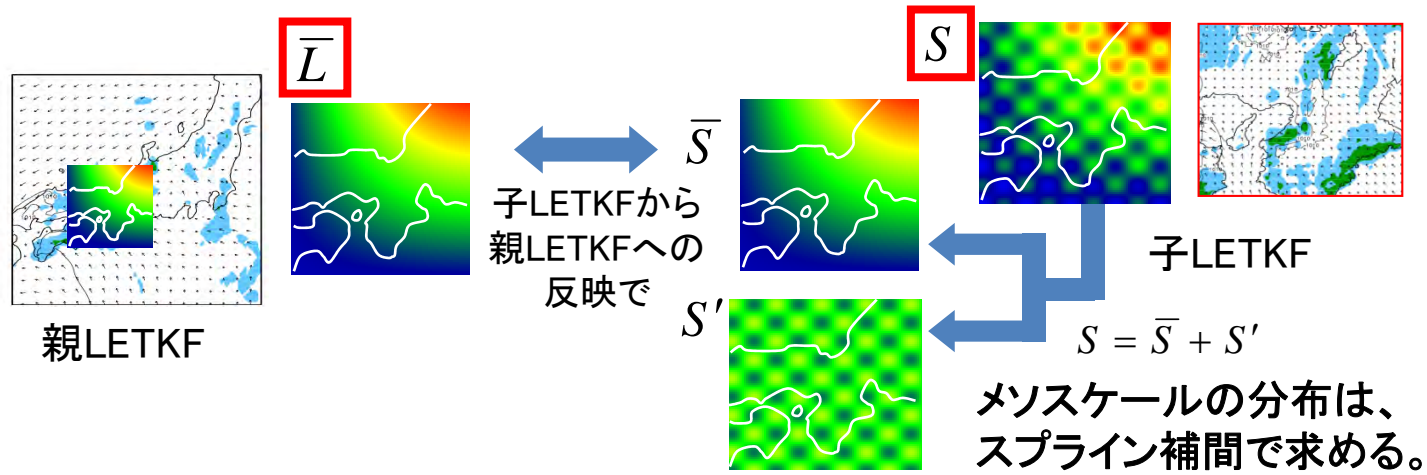
09JST 5<sup>th</sup>



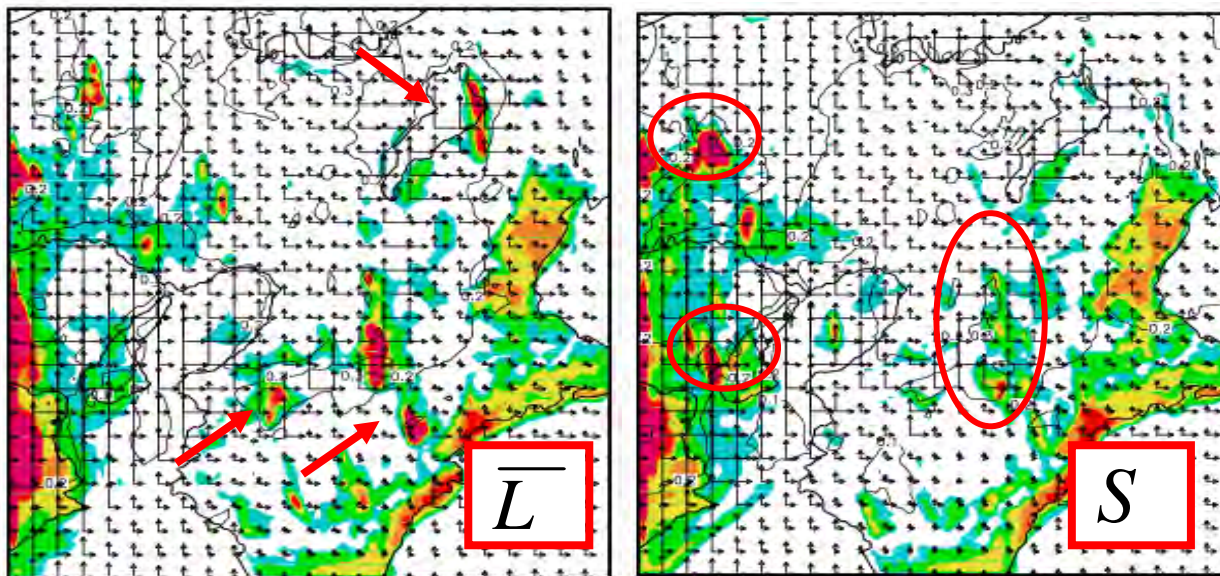
子LETKFの初期シードは、  
細かな分布が反映されるべき？



# 子LETKFのシード摂動(対流スケールの摂動)



## スプレッド 11JST (子LETKF (2km) の2サイクル目)



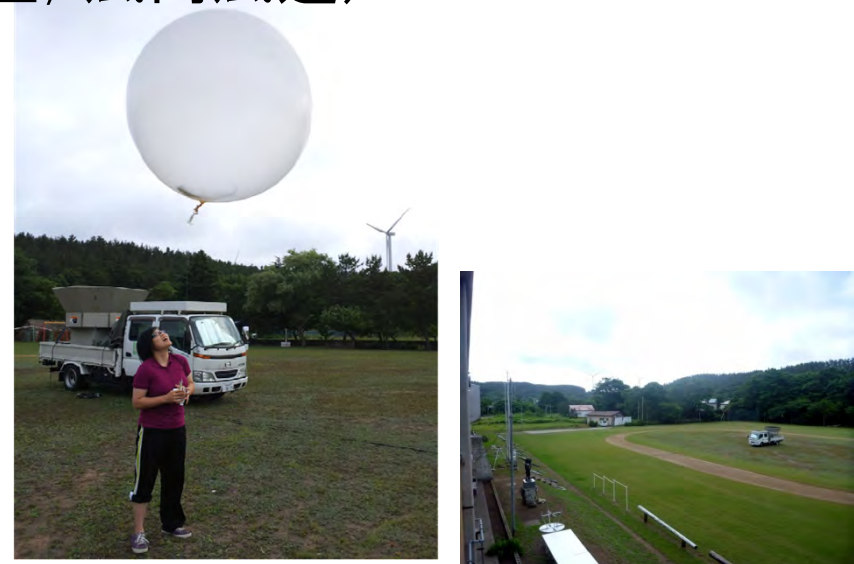
$\bar{L}$  と  $S$  では、  
スプレッド分布が  
異なっている。

子LETKFの初期  
シードも、細かな  
分布が反映され  
るべき。

大きなスプレッドの領域は地形によるものが多い。

# 2011年の観測

- GPSゾンデ 4週間週末のみ(7月16日~8月7日), 3時間毎放球(気温, 湿度, 気圧, 風向風速)
- ウインドプロファイラー観測(風向, 風速)(昨秋より)
- ラマンライダー(雲, 水蒸気)
- ソーダー(風向, 風速)
- 7月30~31日にヤマセの吹き出しを観測できた.

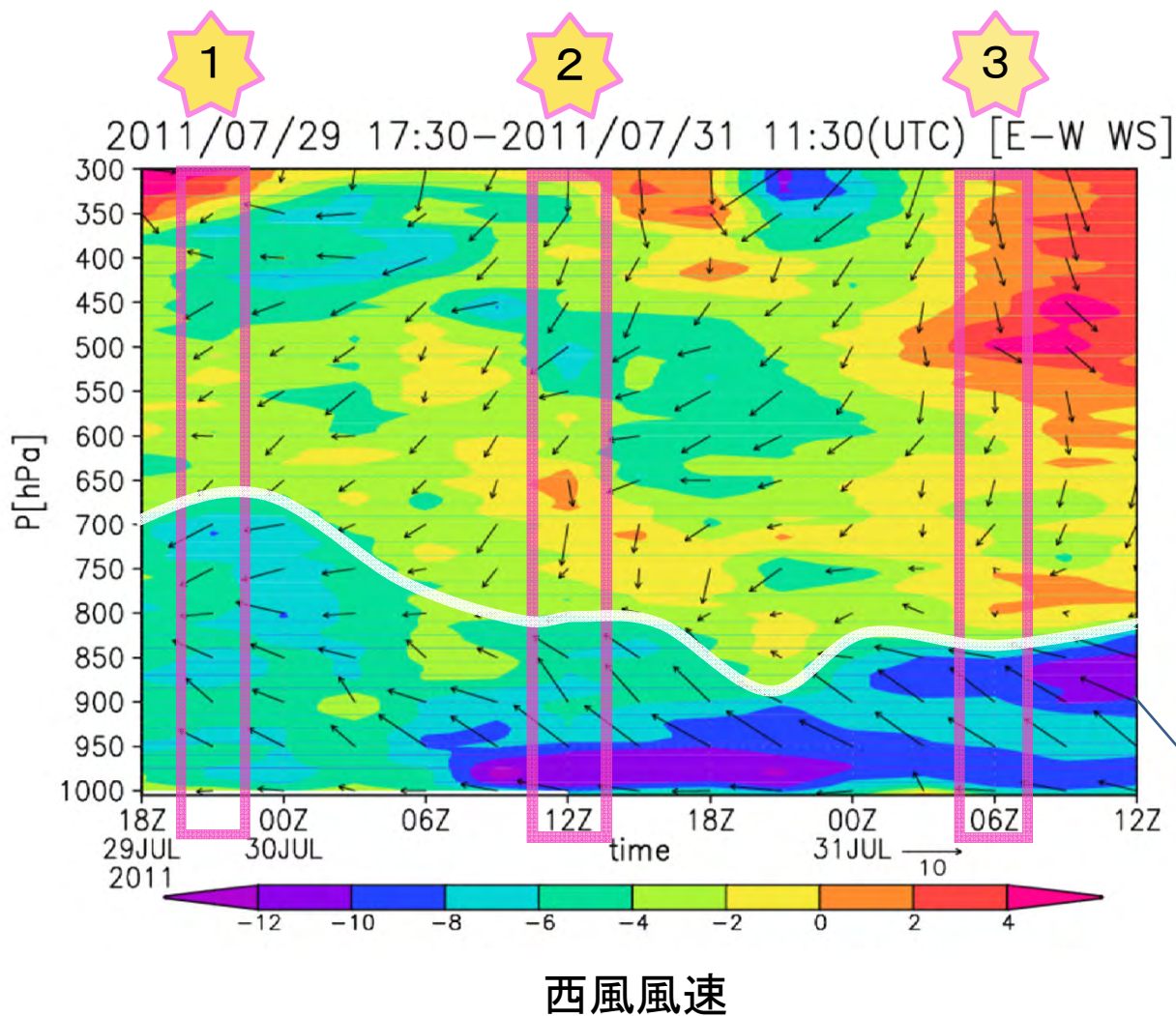


児玉先生(弘前大)他のご発表\*から・・・  
2011年にヤマセが発生。詳細な観測がある。

\*2011年六ヶ所村ヤマセキャンペーン観測の報告(○児玉安正・黒瀧あゆみ・佐々木美紀・佐藤希・横須賀美香(弘前大理工)・橋口浩之・古本淳一・矢吹正教・津田敏隆(京大生存研))

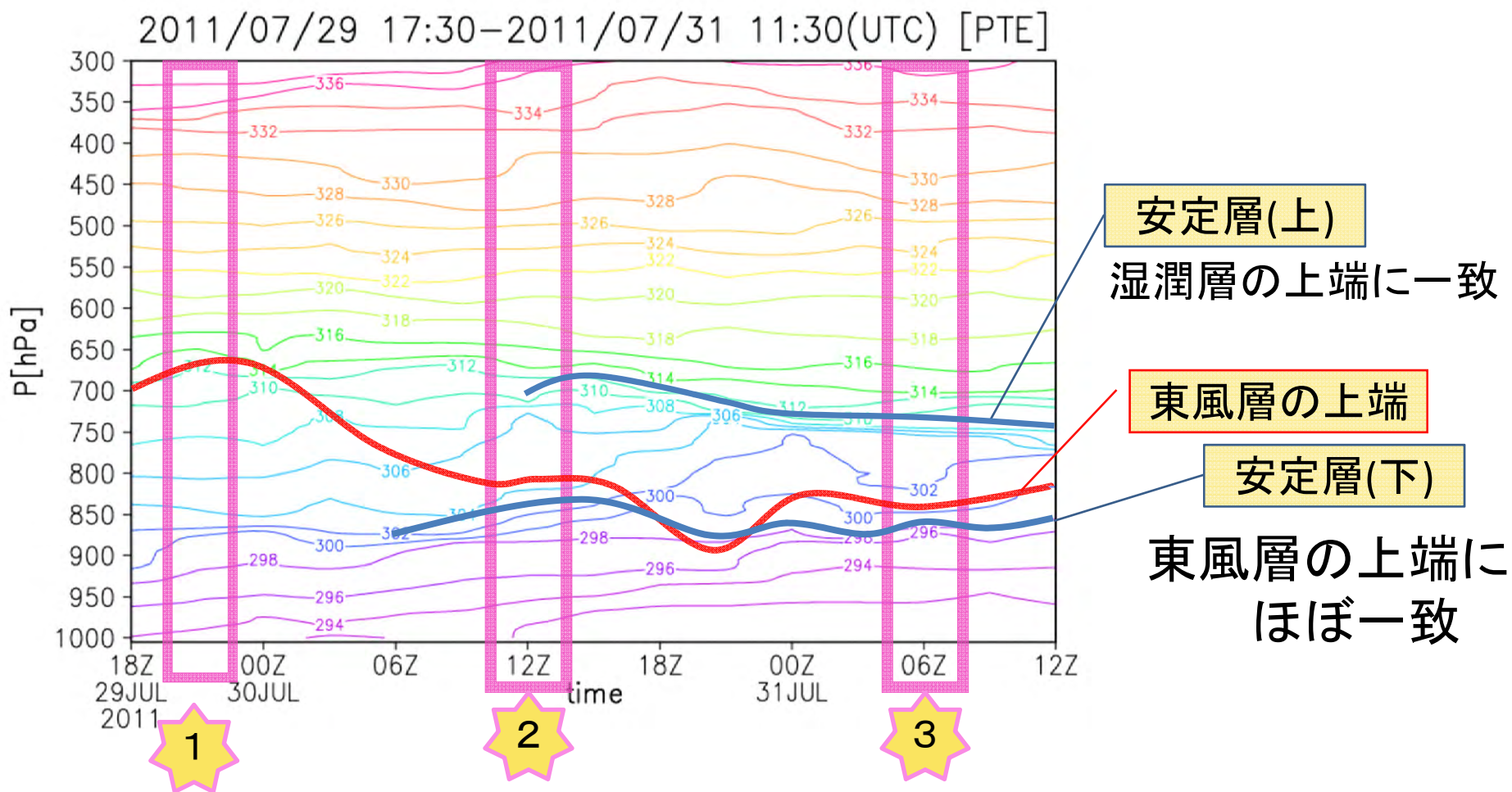
# 結果

# 風向・風速の時系列



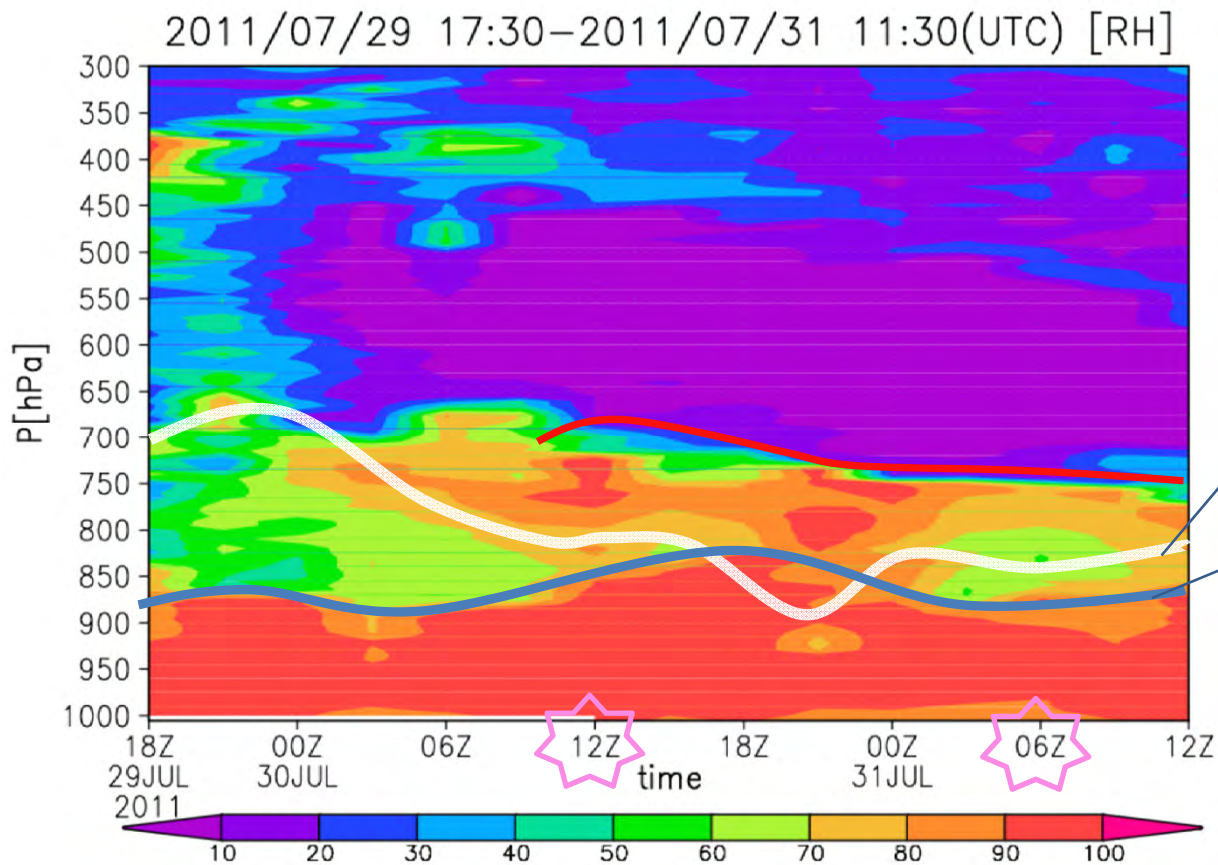
# 結果

# 温位



# 結果

# 相対湿度



安定層(上)

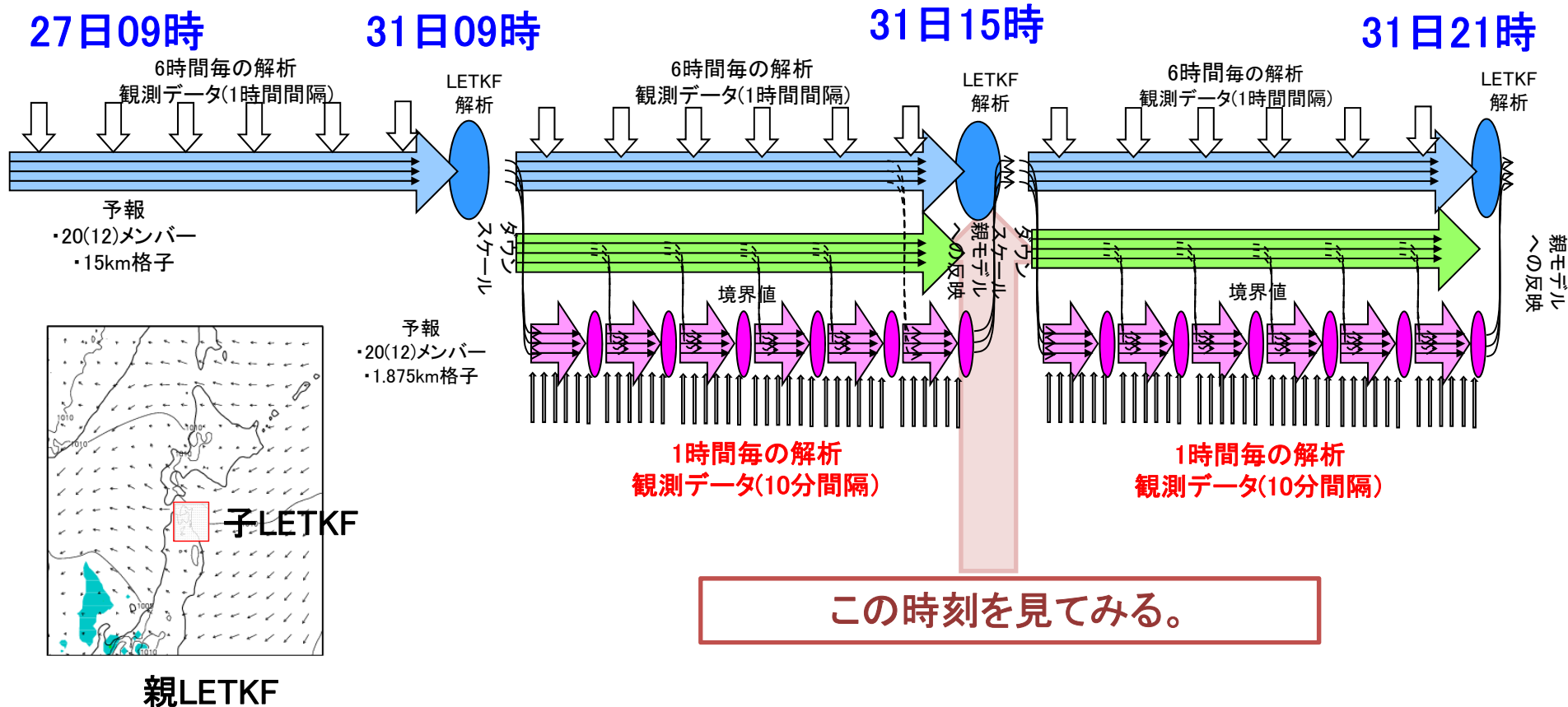
湿潤層(70%以上)と安定層(上) ほぼ一致

東風(ヤマセ)層

霧や雲の層(90%以上)

霧や雲の層と東風層は  
ある程度一致

# ヤマセの事例にLETKFを適用した結果

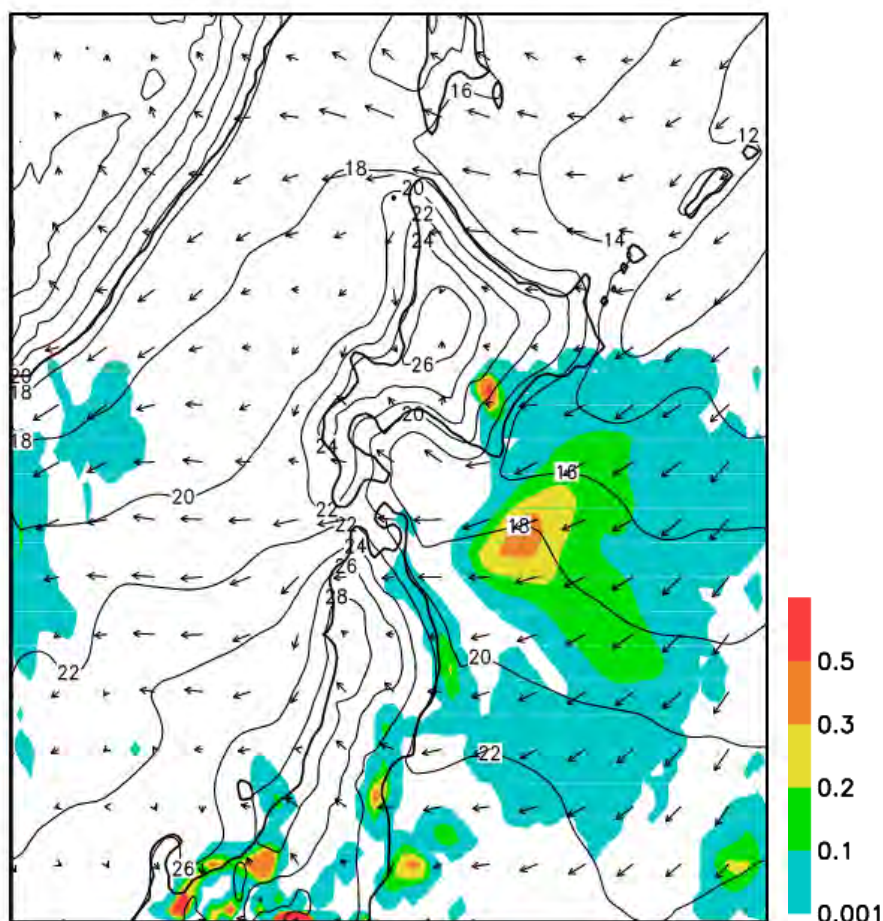


- ・親LETKFの格子15km、子LETKFの格子1.875km
- ・親LETKFは現業データ(COSMICデータ)を1時間毎に同化。子LETKFは10分ごとに同化。
- ・6時間毎に、子LETKFの結果を親LETKFに反映させる。

# アンサンブル平均

## 31日06UTC

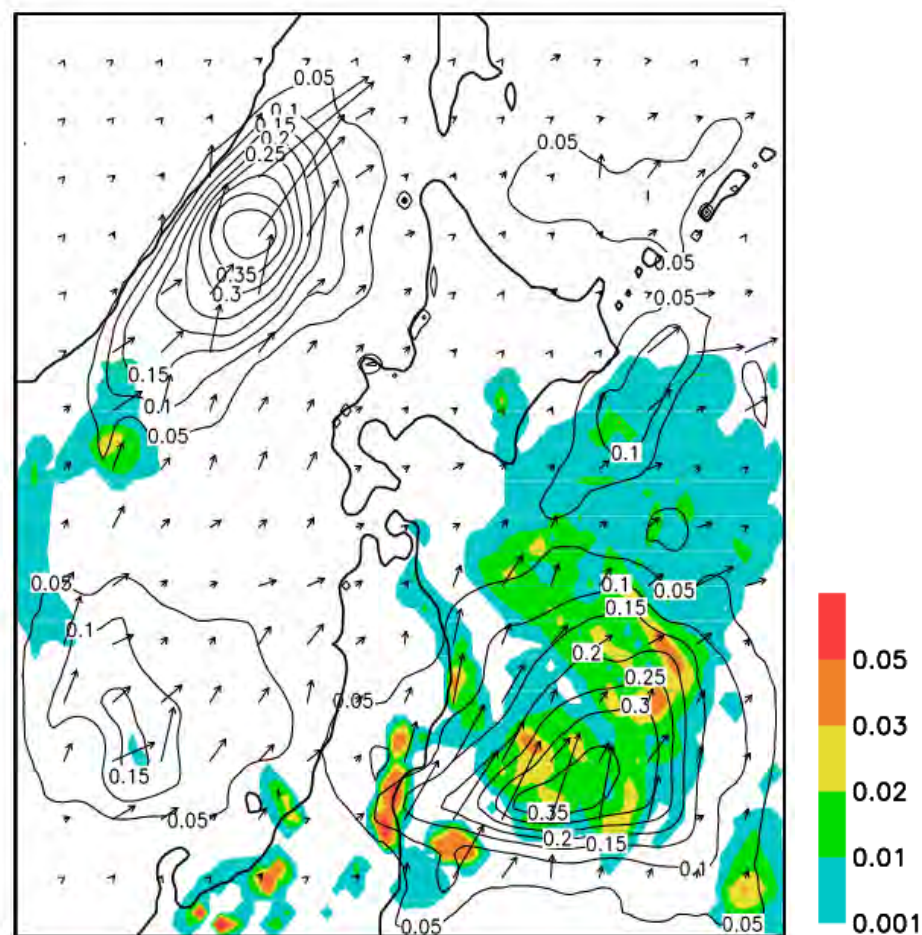
(COSMICなし、気象庁SST使用。  
雲水量、高度20m気温)



# スプレッド

## 31日06UTC

(COSMICなし、気象庁SST使用。  
雲水量、高度20m気温)



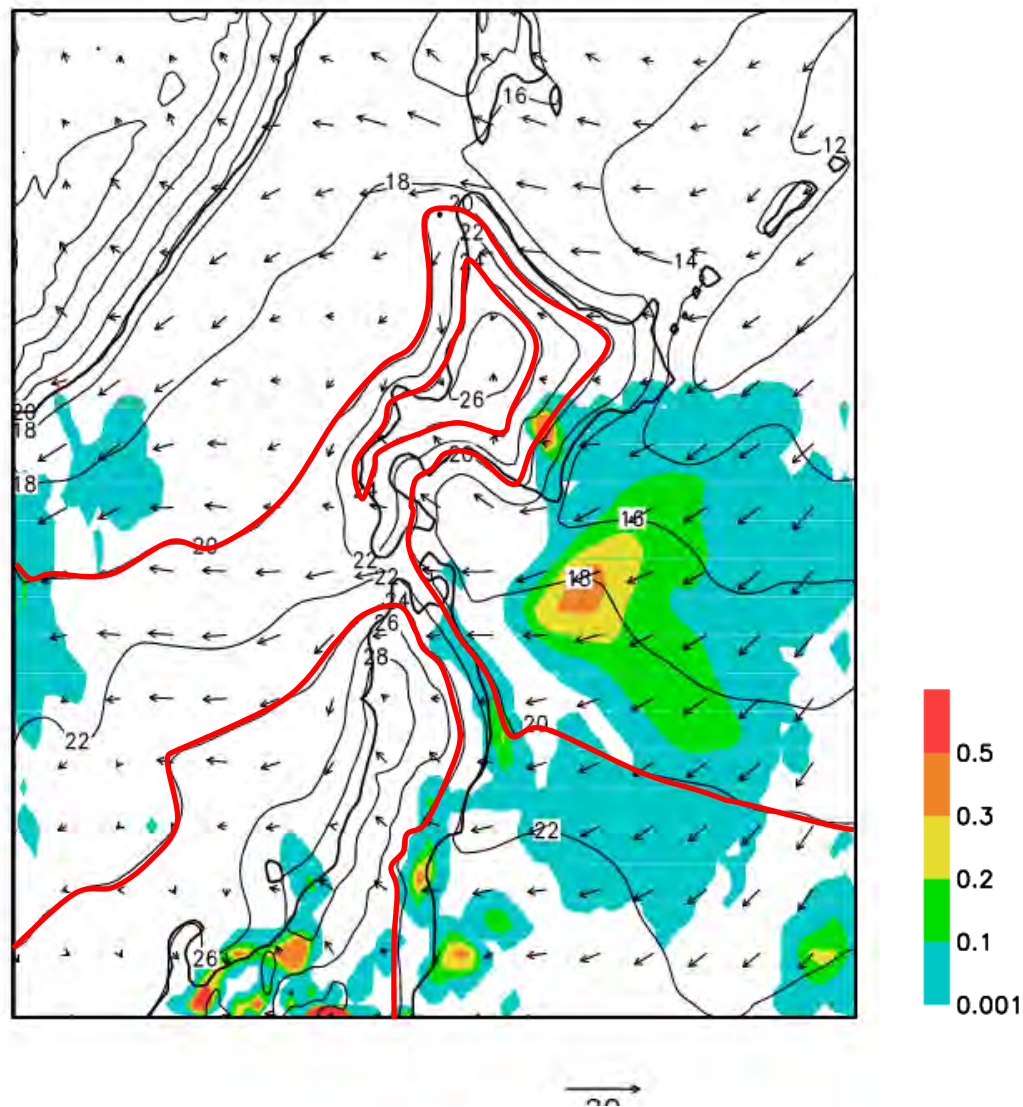
高度補正した気温分布が  
ほぼ、あっている。

内挿の仕方、地形に違い高度補正  
の影響で、違って見えている可能性  
もある。

アメダス 31日06UTC



アンサンブル平均 : 31日06UTC  
(COSMICなし、気象庁SST)  
(雲水量、高度20m気温)



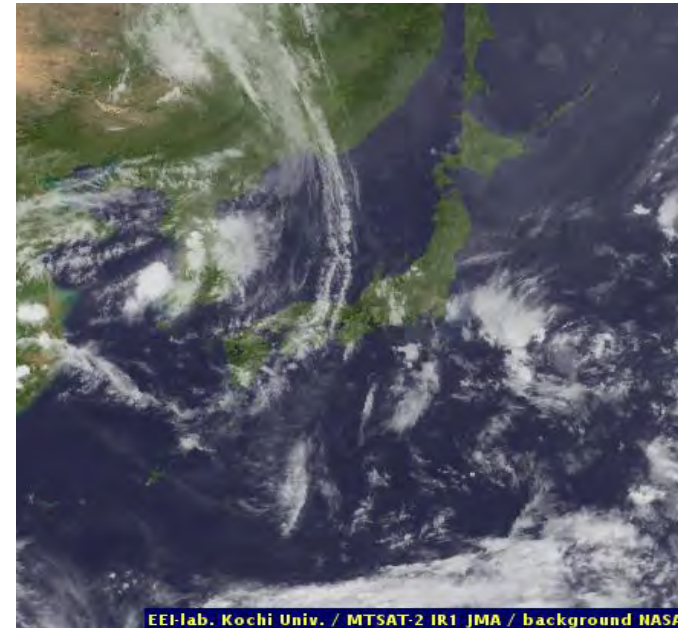
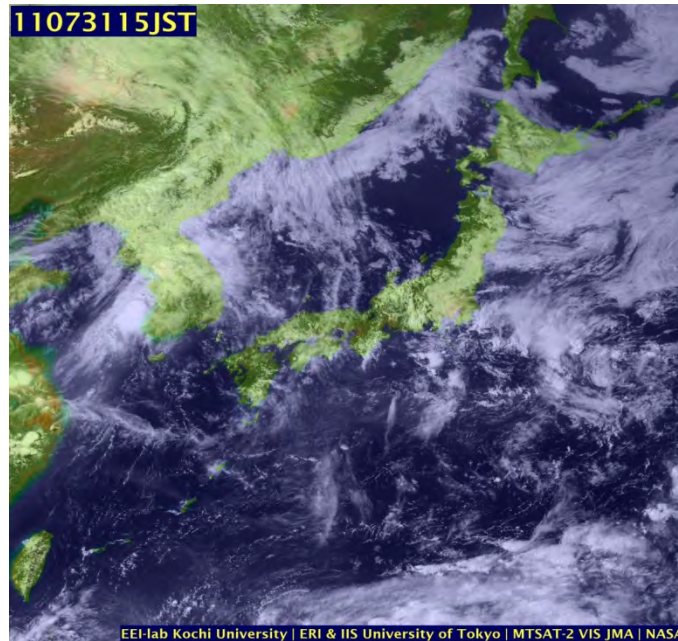


# ヤマセの事例にLETKFを適用した結果

31日15時(可視)

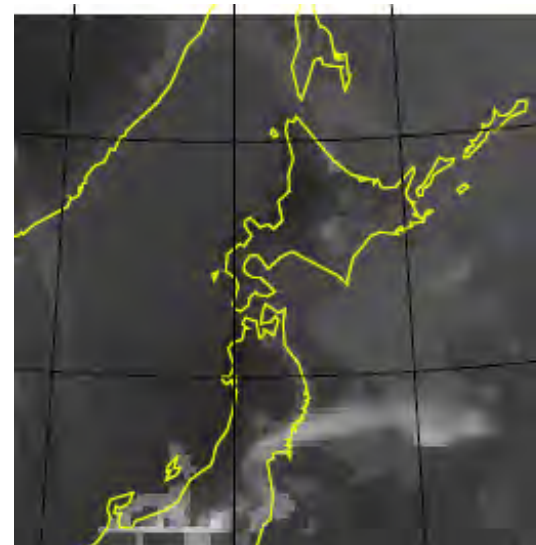
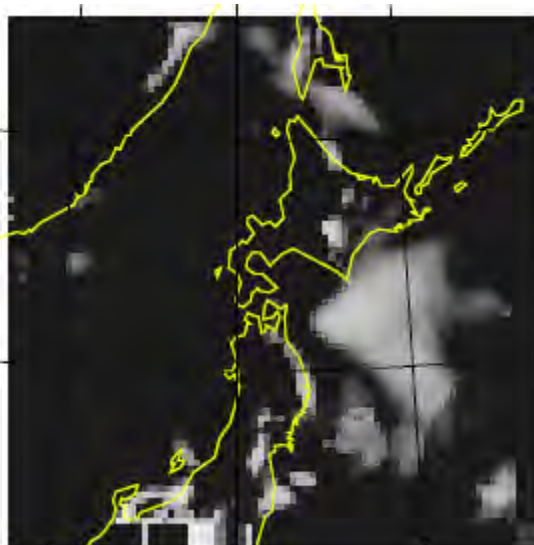
31日15時(赤外)

観測



親LETKF  
(15km)で  
東北北部の  
東側にある  
下層雲が  
表現できて  
いる。

数値  
モデル  
(#000)

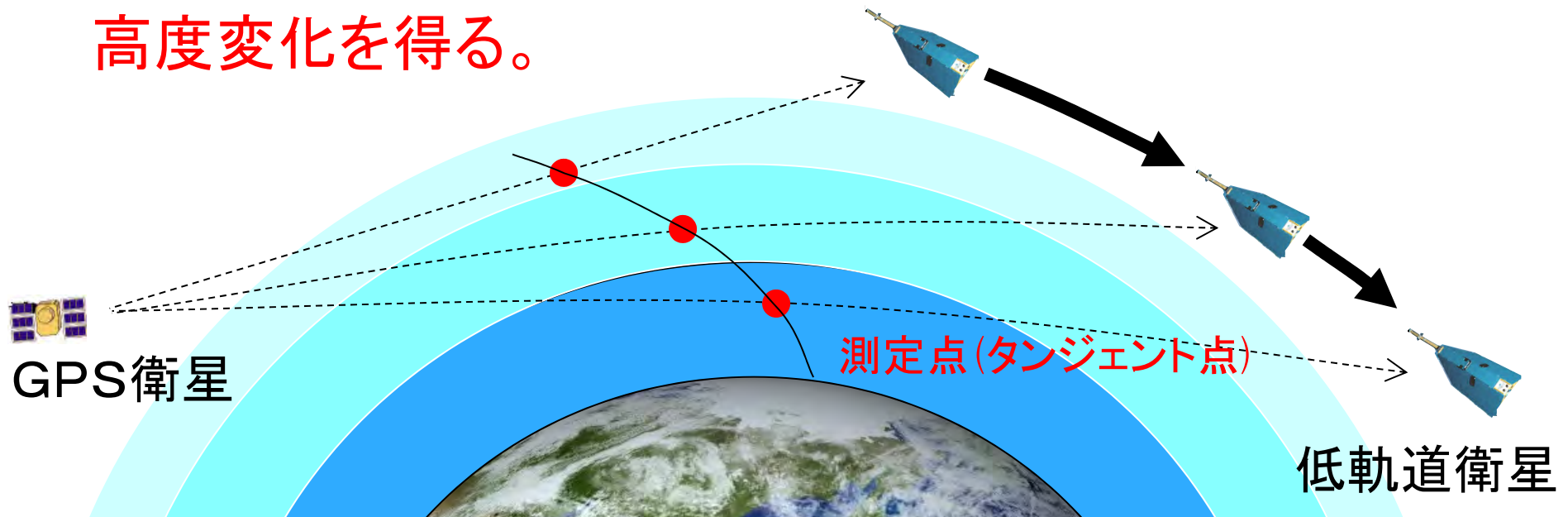


雲は、  
可視で明瞭で、  
赤外では薄暗い

# GPS掩蔽観測データ

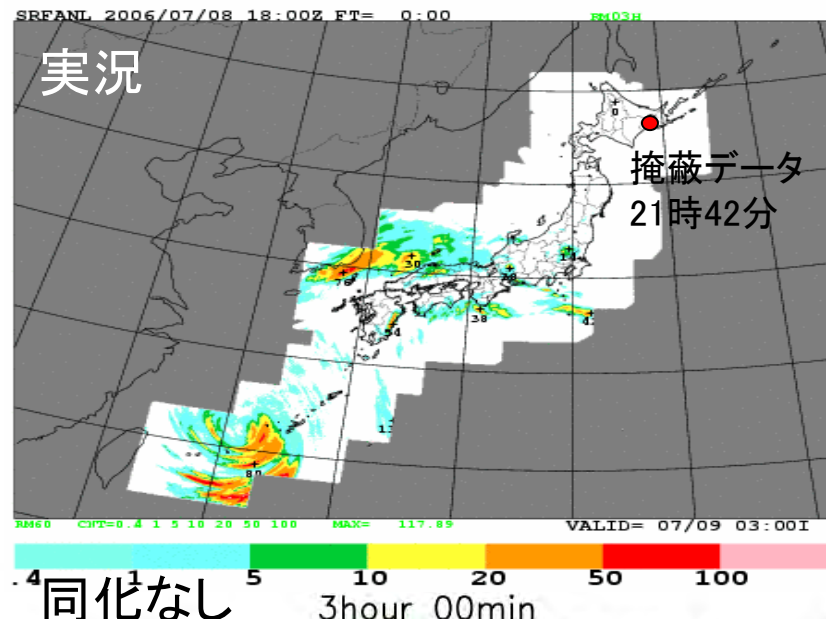
GPS掩蔽観測では、

- ・低軌道(LEO)衛星でGPS電波を受信し、GPS衛星が地平線に没したり、上昇する際に、大気をスライスして伝播してくる電波の情報を利用して大気の屈折率(気温・水蒸気量)の高度変化を得る。

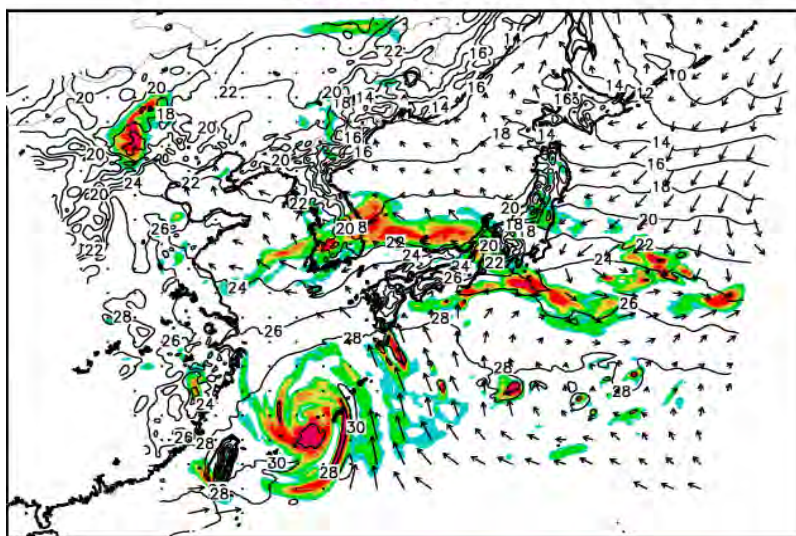


# メソ4DVarを用いた GPS掩蔽実験

- ・同化期間: 2006, 7/8 21-24時
- ・同化データ: 帯広沖

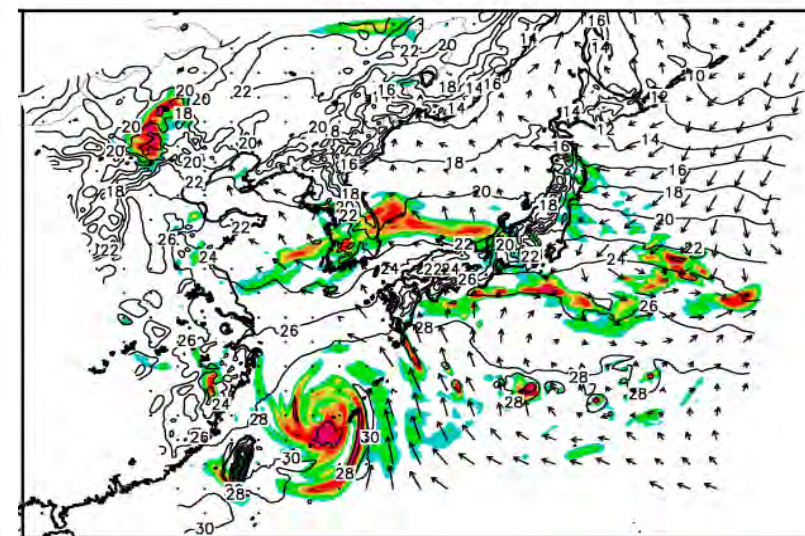


同化あり 3hour 00min



COLA/IGES

2008-11-17-18:5 COLA/IGES

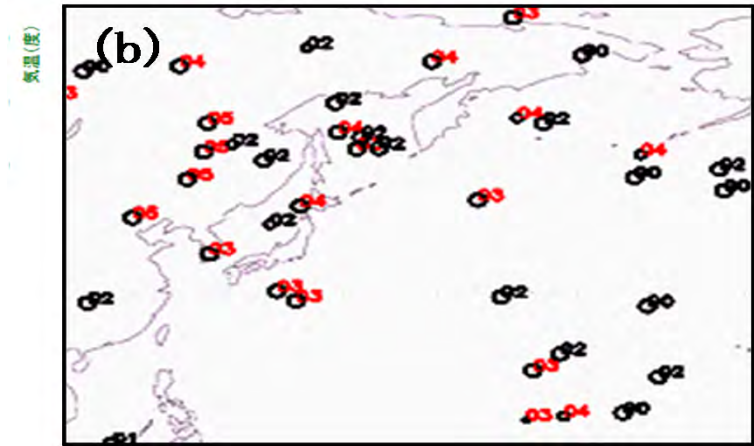


2008-11-17-18:5

COSMICを同化すると、三陸沖の降水域が減少。実況でも観測され  
ておらず、COSMICの同化がいいインパクトを与えている。

# メソ4DVarを用いた GPS掩蔽実験

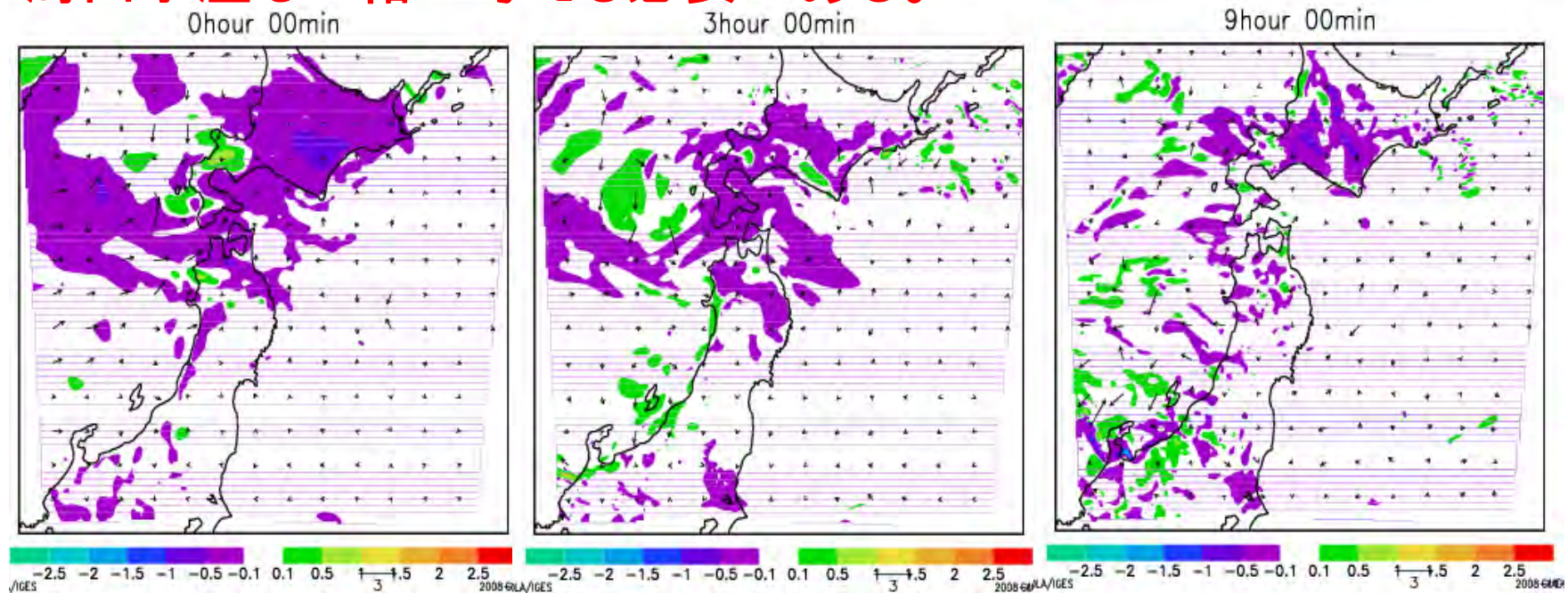
(2007年7月10日9-15時)



問題点:

時間とともに、同化しないものとの差が小さくなる。

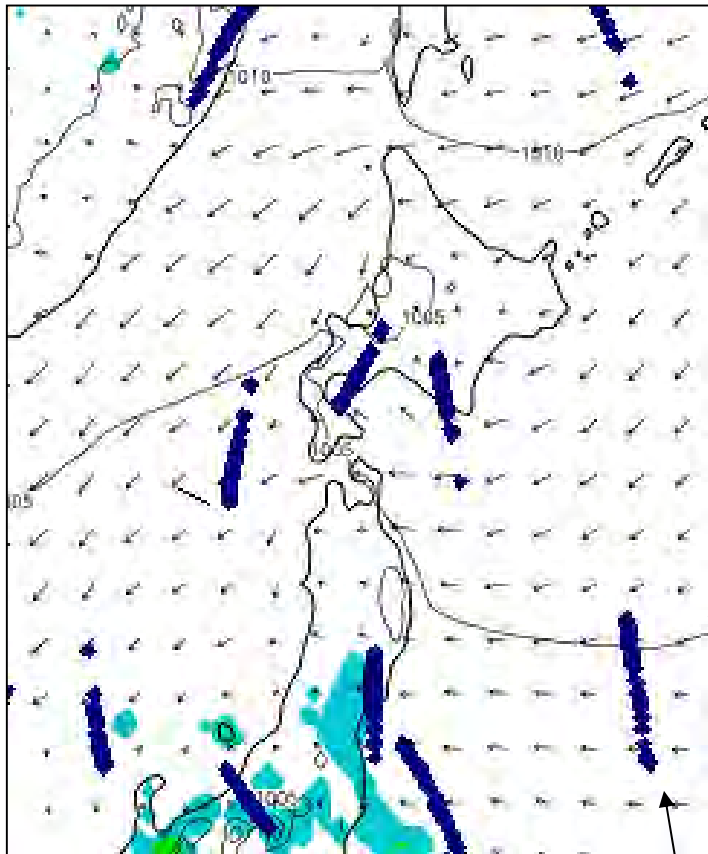
海面水温も一緒に考える必要がある。



COSMICを同化した場合と同化しない場合の地上気温の差。

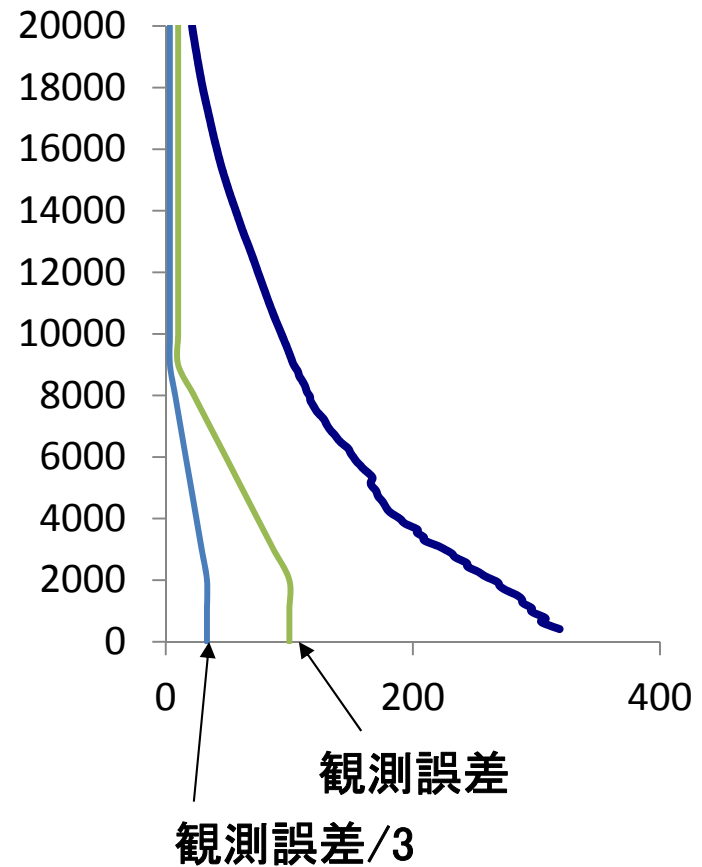
# COSMICの観測データ例

28日00時-31日00時までに  
観測されたデータ



28日12-18時に  
観測されている  
掩蔽データ

仙台の東海上で観測された  
屈折指数の鉛直プロファイル

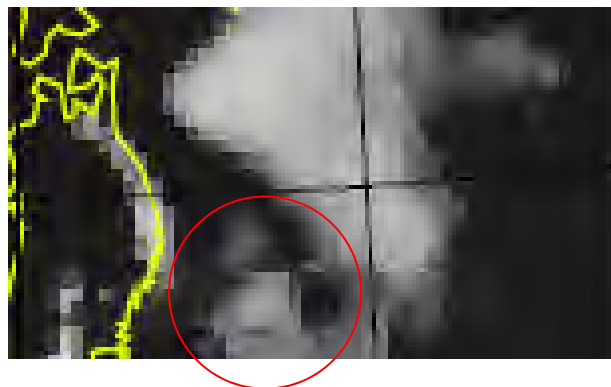


# ヤマセの事例にLETKFを適用した結果

可視画像

#000

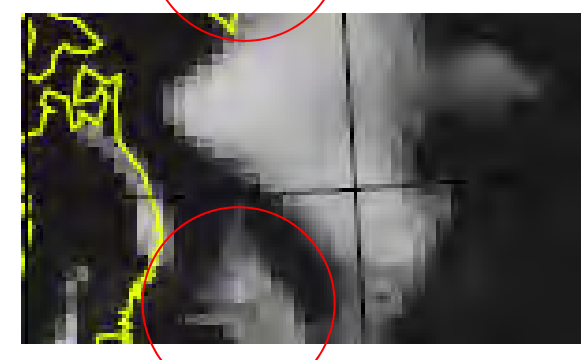
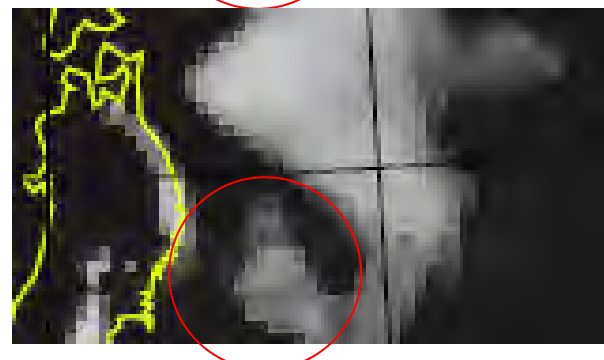
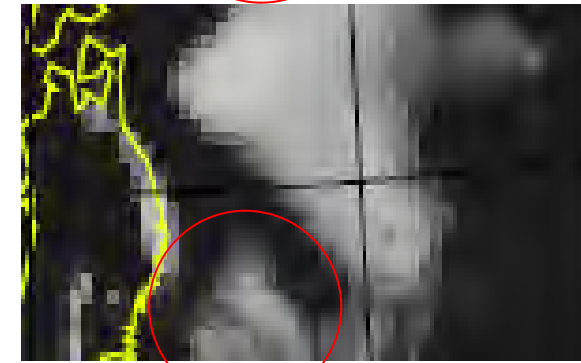
#001



上段：現業データのみ

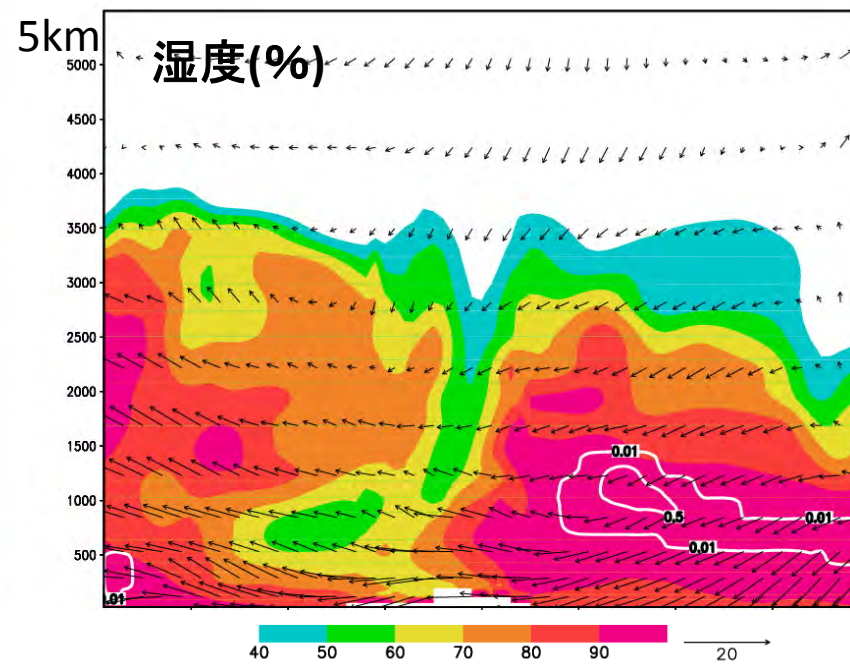
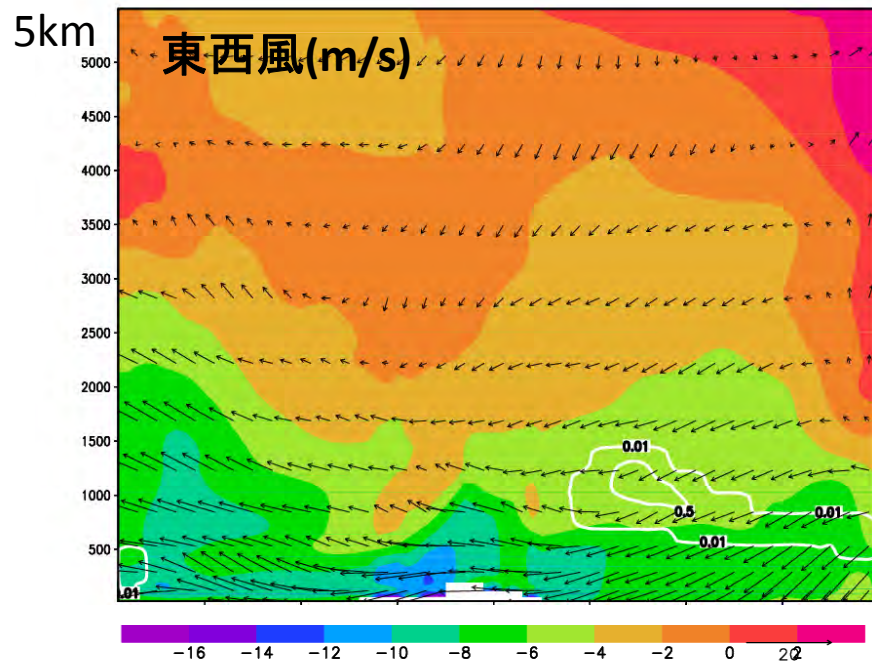
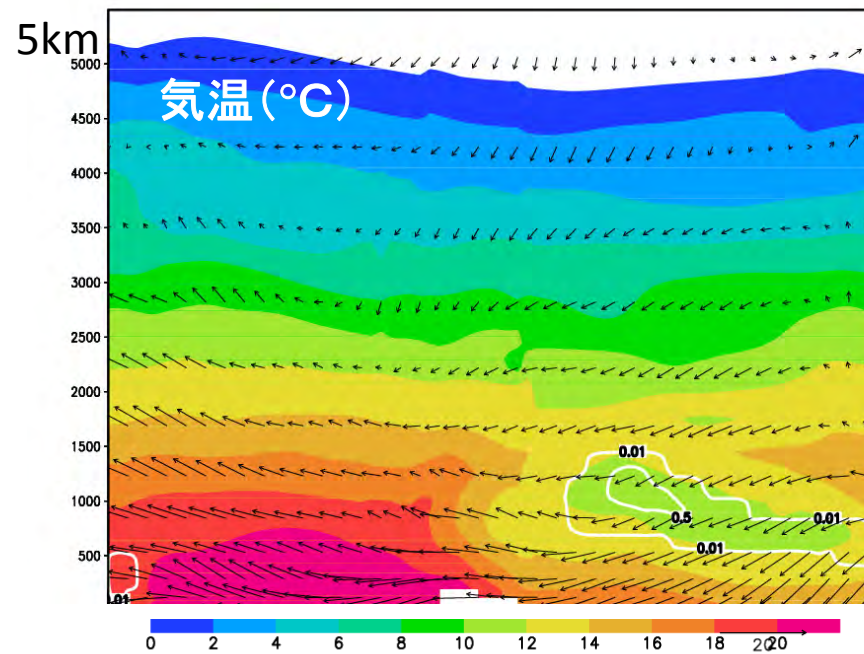
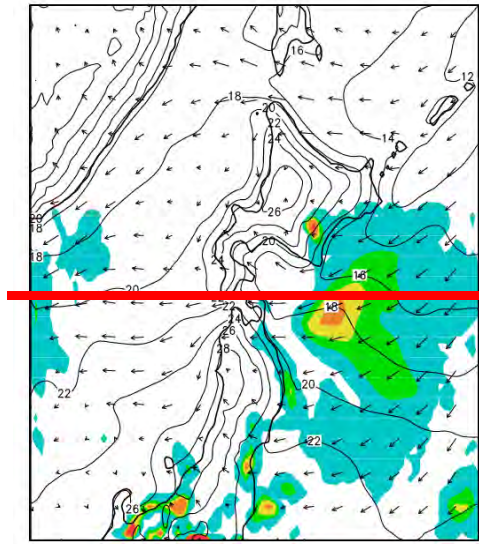
中・下段：COSMICを  
同化(1倍、0.3倍)

- ・雲域が、メンバー間で  
少しずつ違っている。
- ・COSMICの同化に  
よる違いも見える。



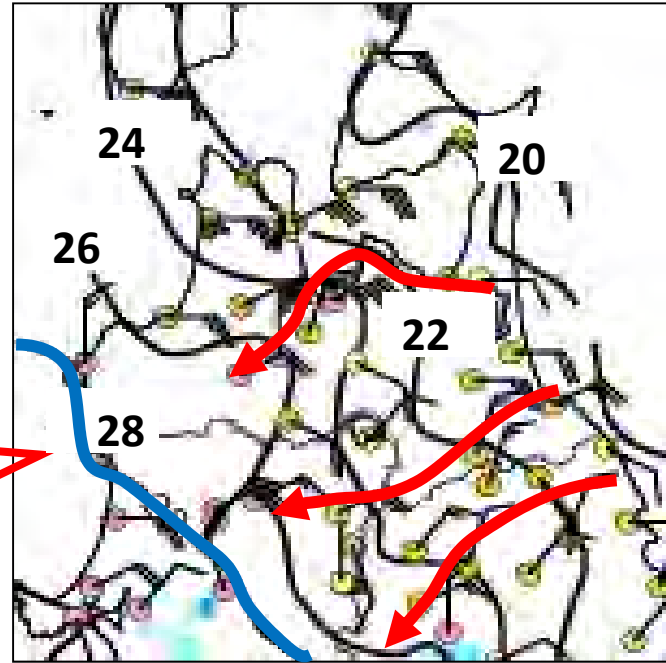
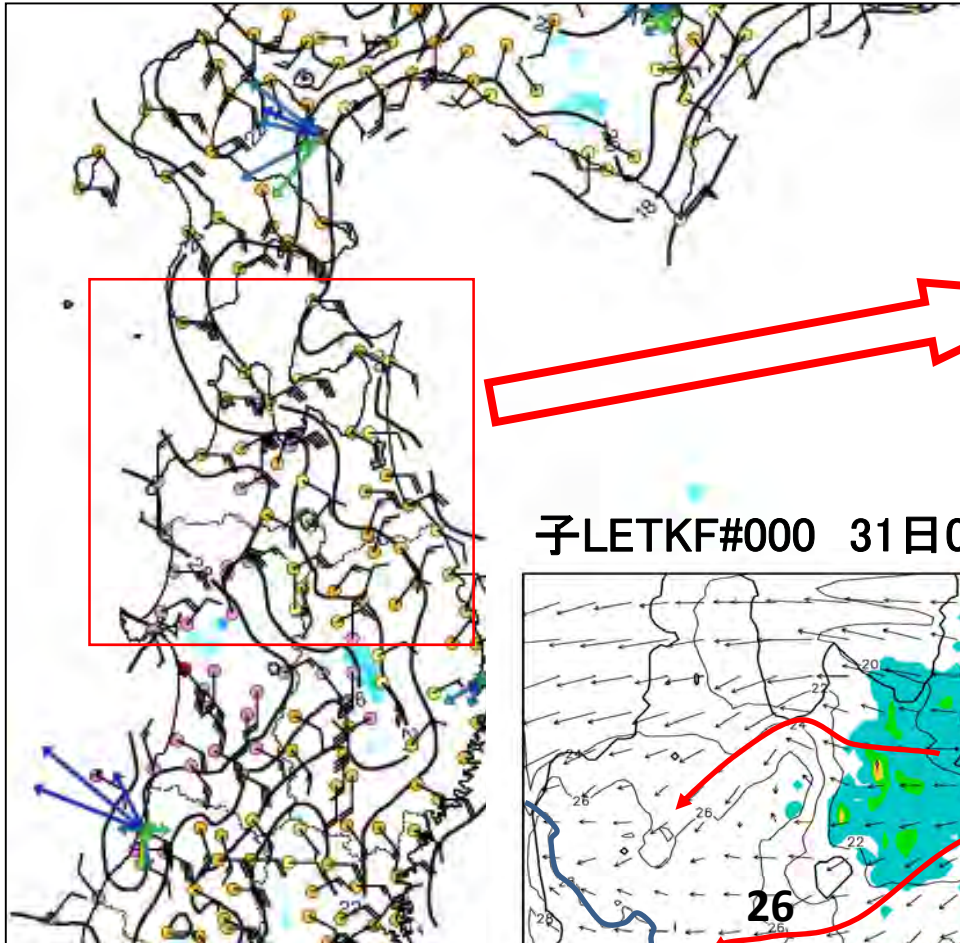
現在、気象庁と川村先生の海面水温を利用した実験を実施中。

# 東西に 横切った 鉛直 断面図 (31日15時)

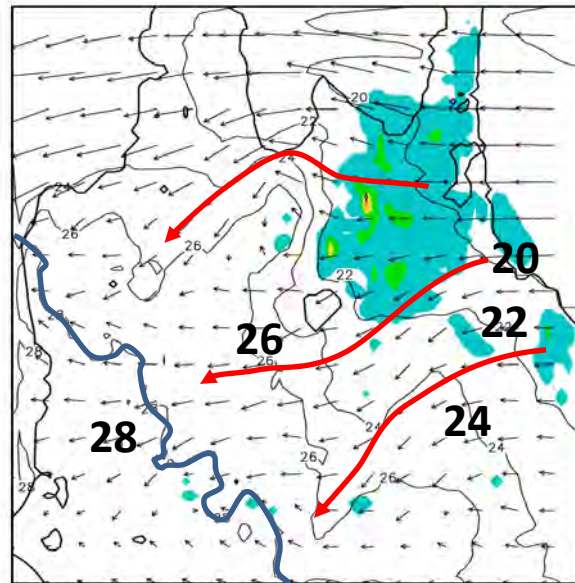


# 気温分布の比較

アメダス 31日06UTC

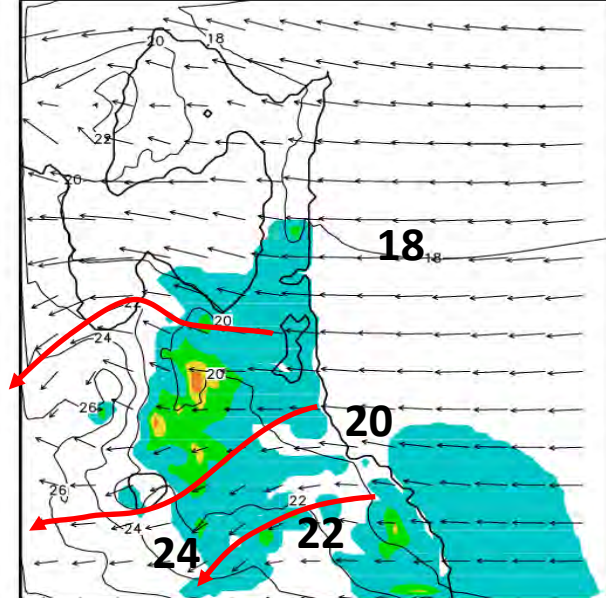


子LETKF#000 31日06UTC



20  
→  
現業データのみ

子LETKF#000 31日06UTC



20  
→  
現業データのみ

再現した分布の方が  
やや低いものの、  
温度の等温線は、  
おおよそあっている。



# 雲域の比較

AQUA 31日04UTCと比較すると・・・

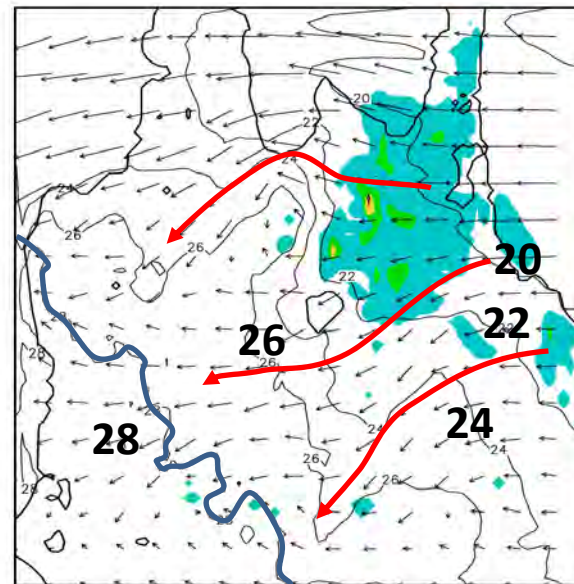
山地の東側の雲域はあっているが、  
詳細まではあっていない。

110731 0412 AQUA:

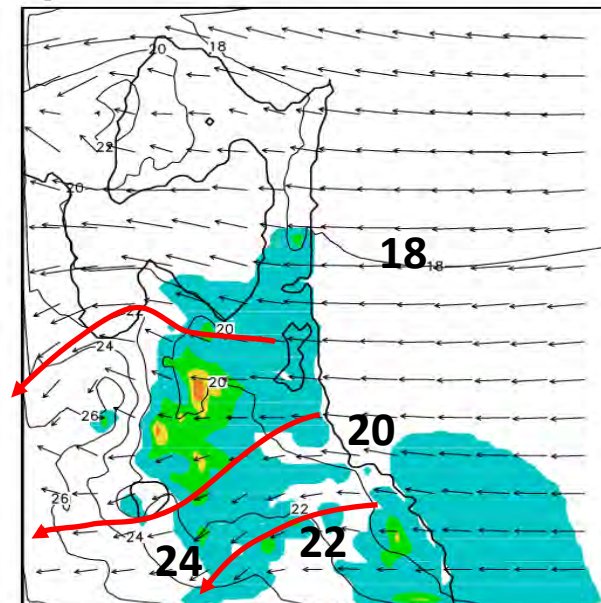
[http://www.eorc.jaxa.jp/cgi-bin/adeos/modis\\_frame.cgi?year=2008&month=8&prov=eoc&type=250m](http://www.eorc.jaxa.jp/cgi-bin/adeos/modis_frame.cgi?year=2008&month=8&prov=eoc&type=250m)

onh=8&prov=eoc&type=250m

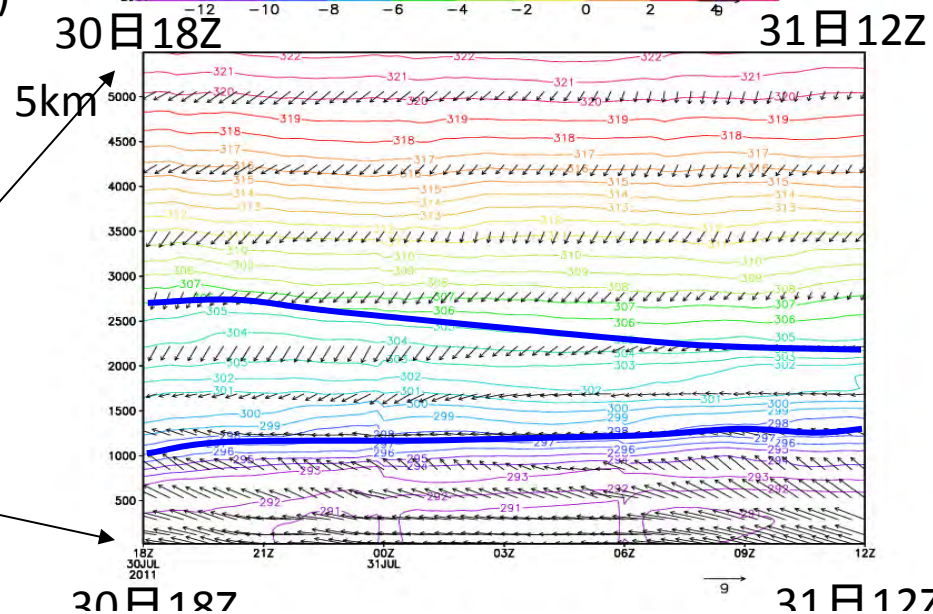
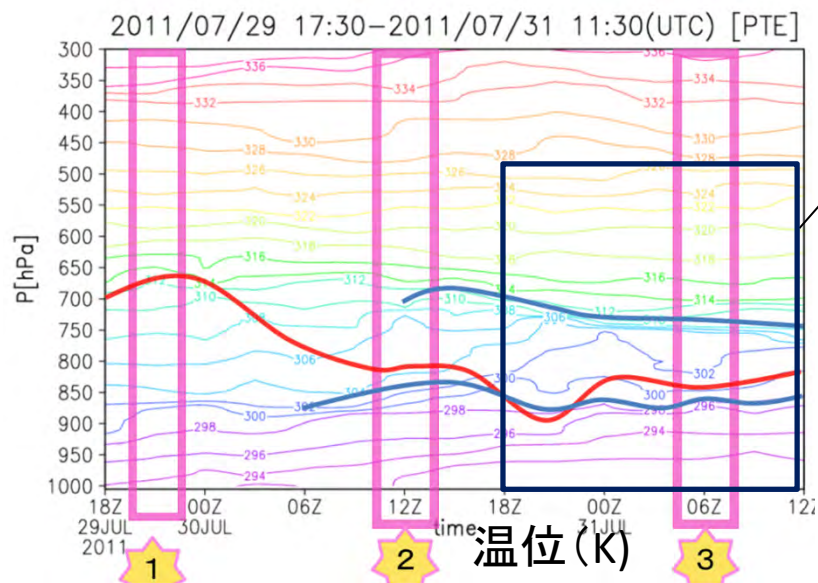
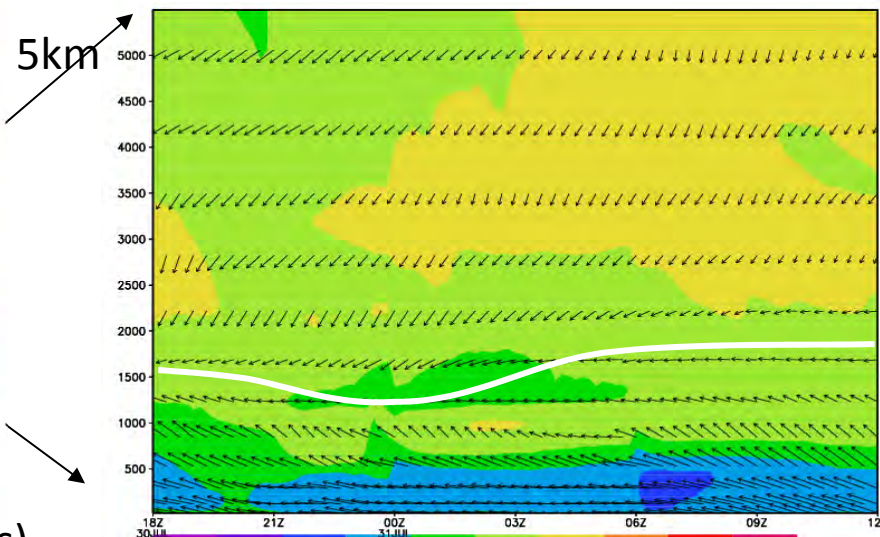
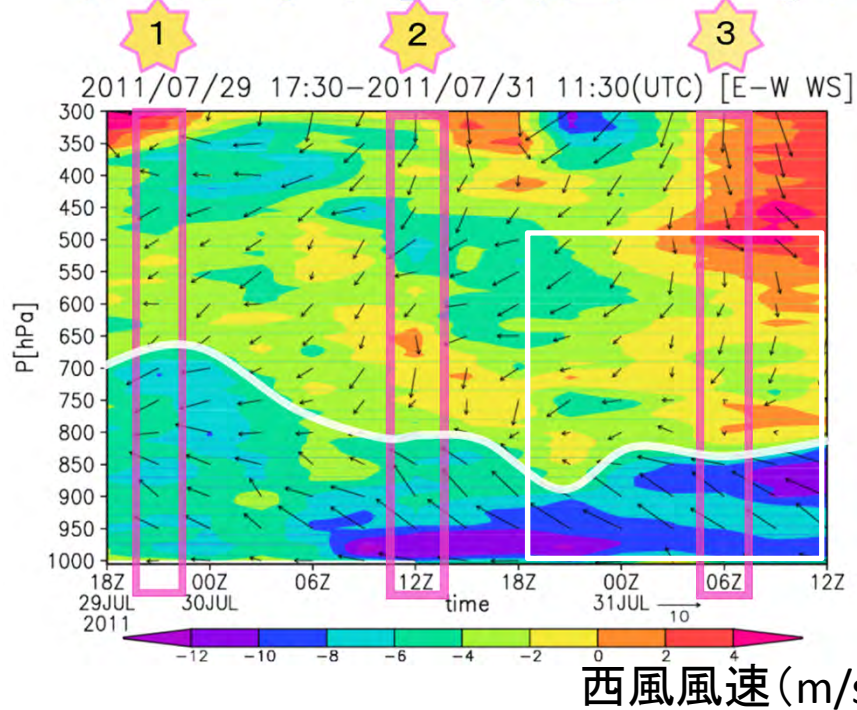
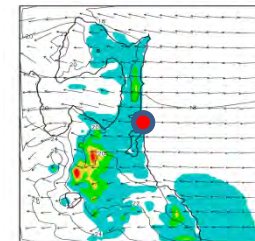
子LETKF#000 31日06UTC



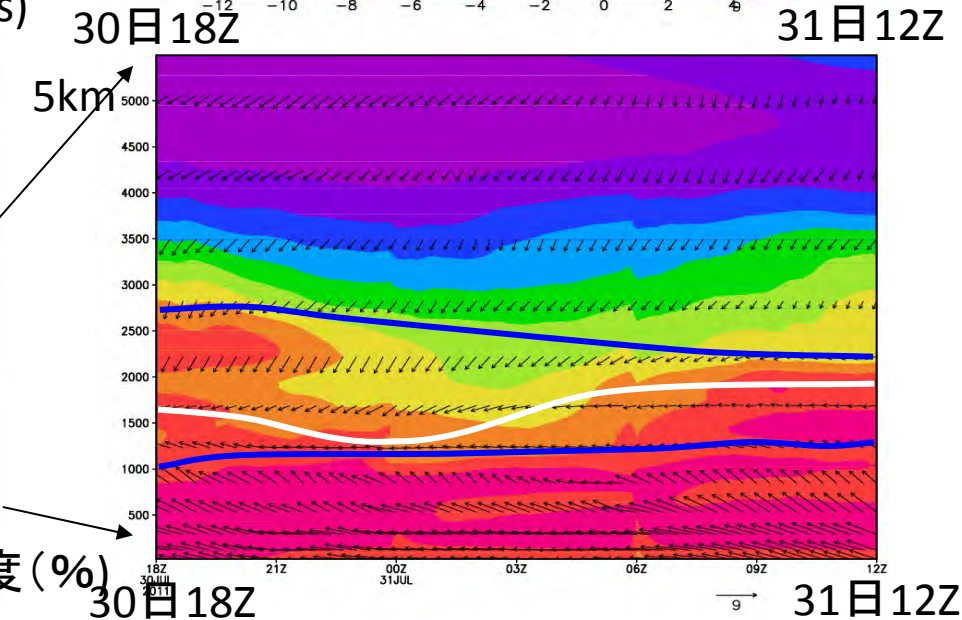
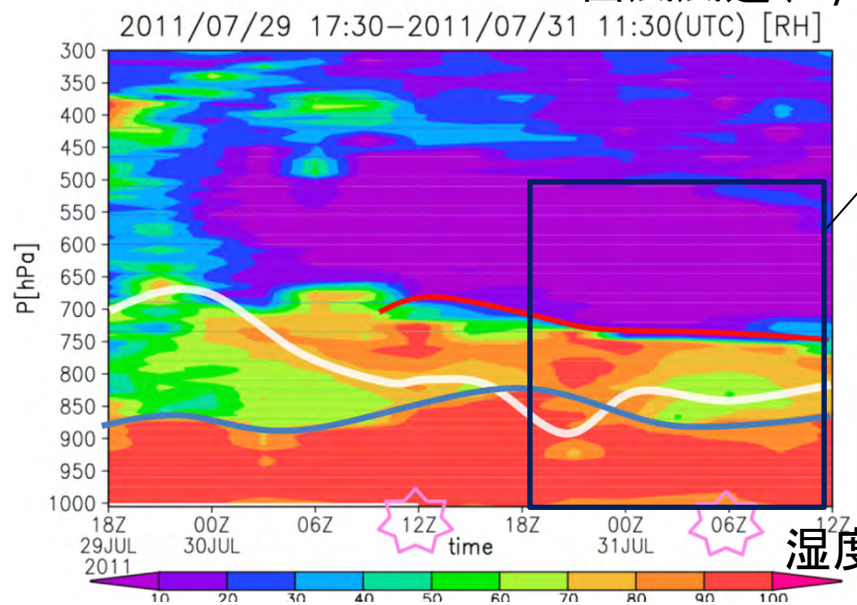
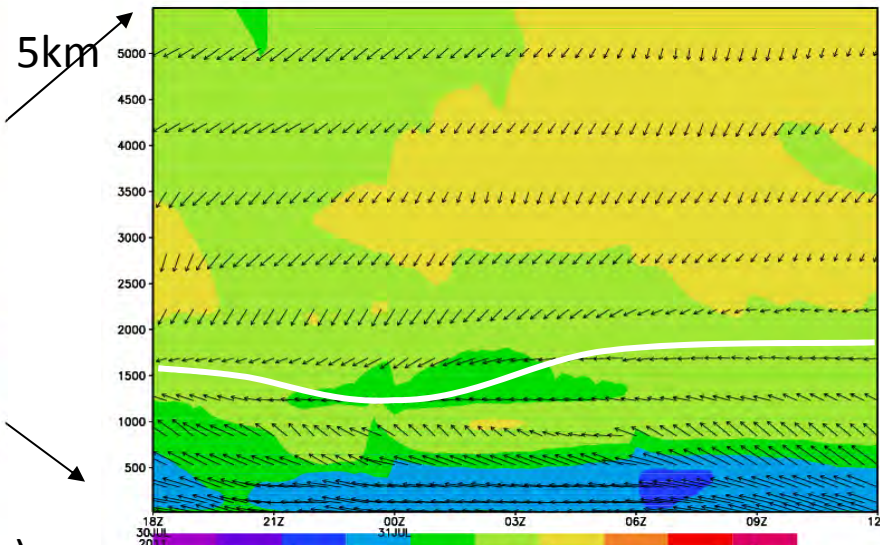
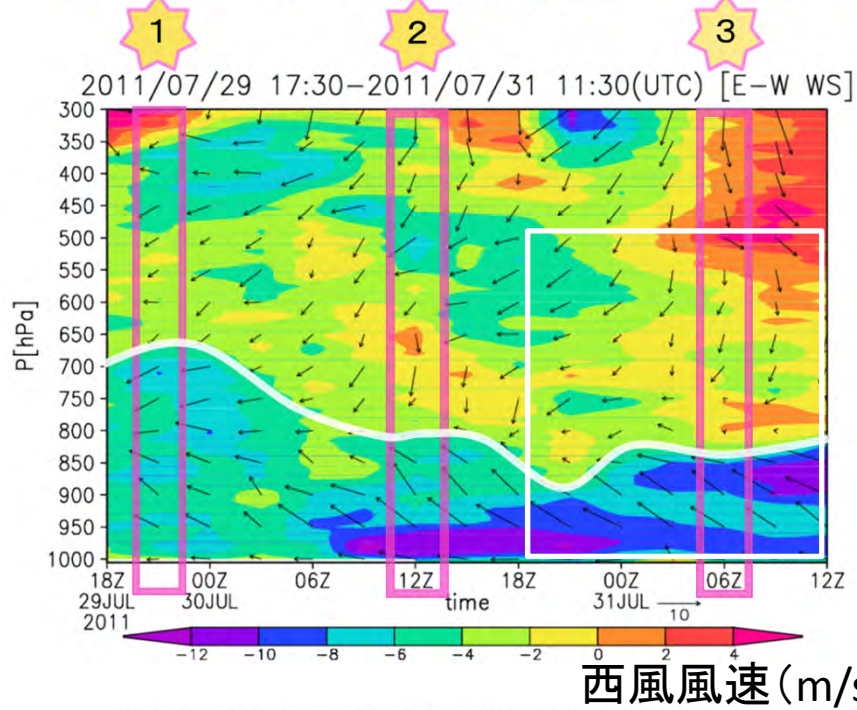
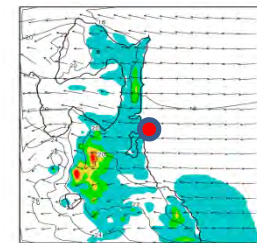
子LETKF#000 31日06UTC



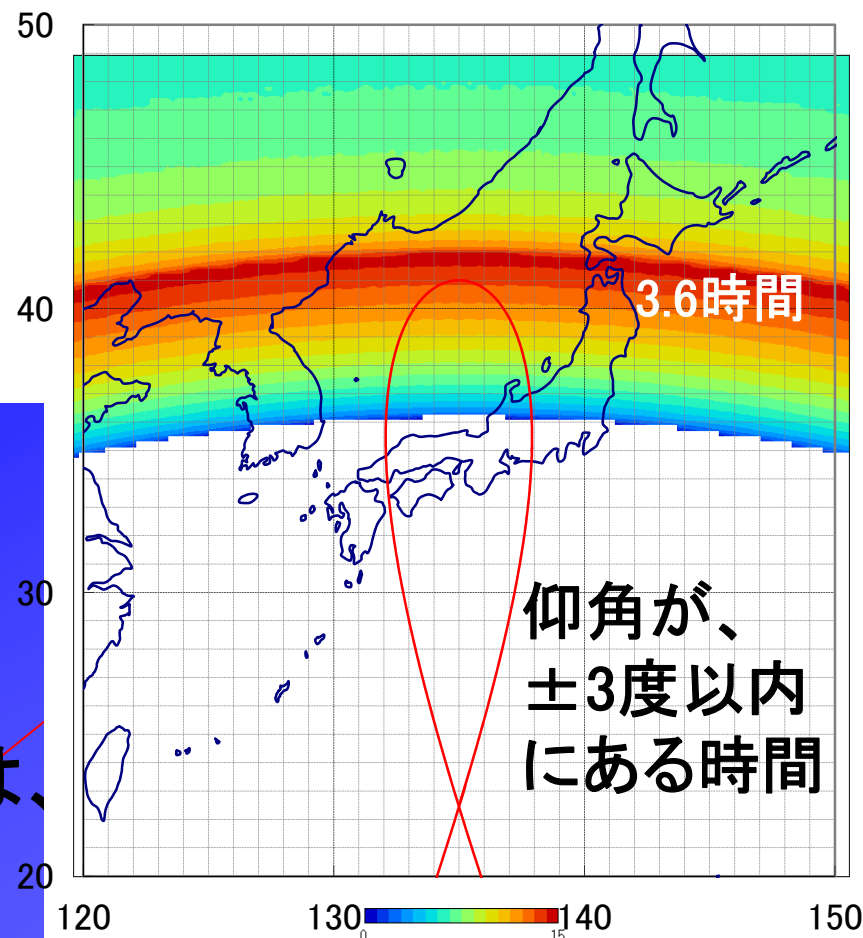
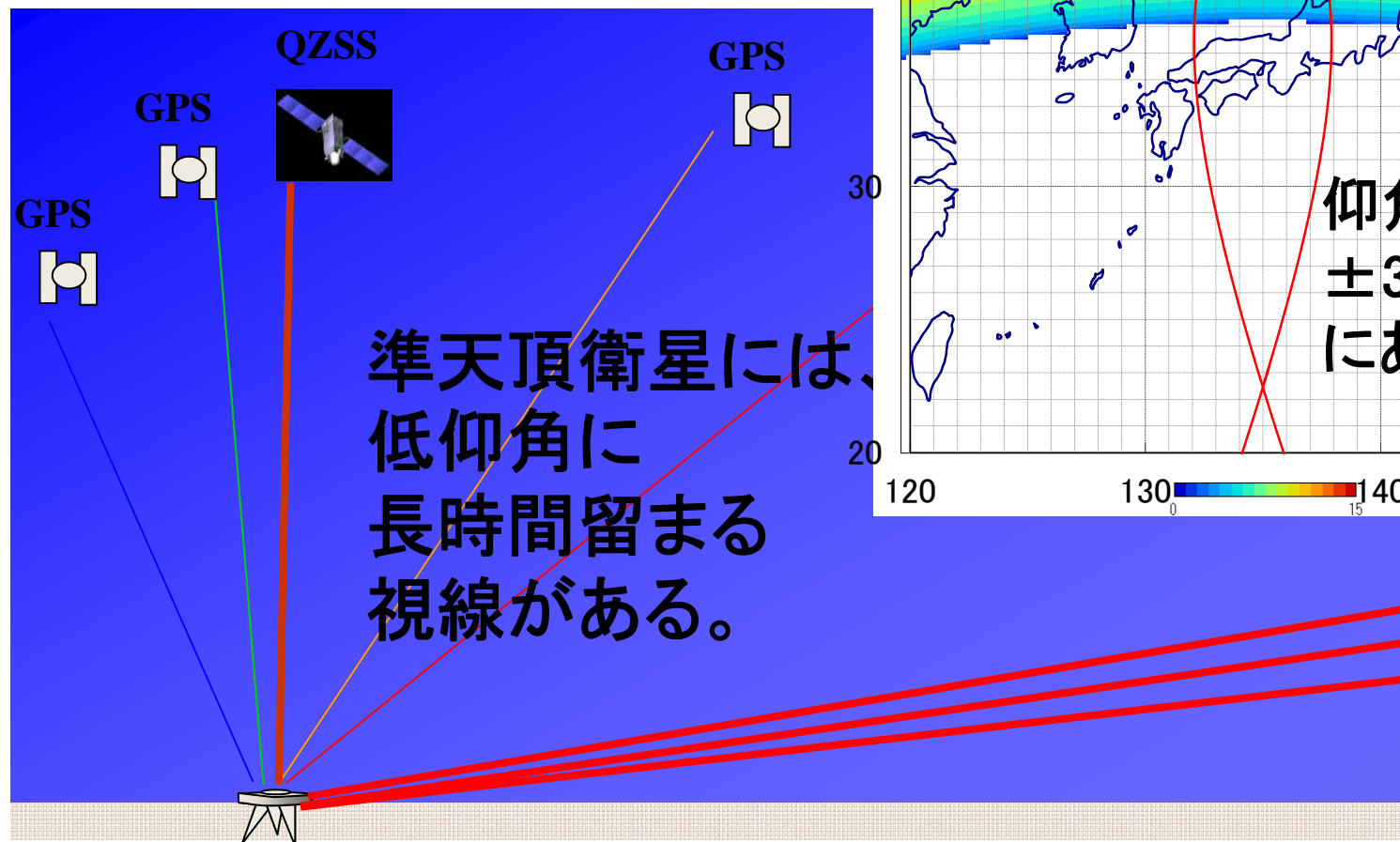
# 下北半島付近の時系列の比較



# 下北半島付近の時系列の比較

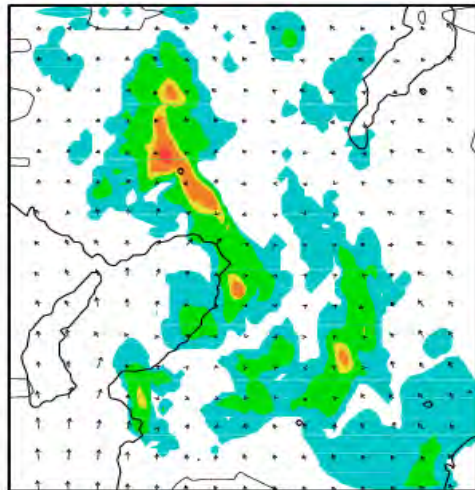


# 準天頂衛星の 低仰角データの 利用

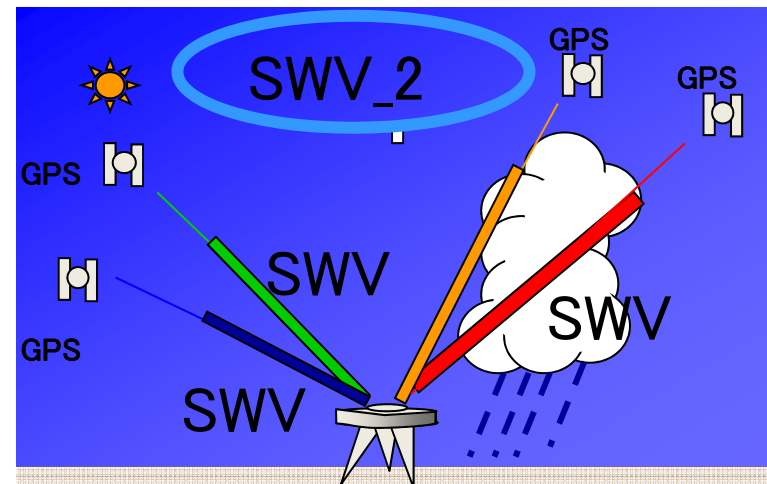
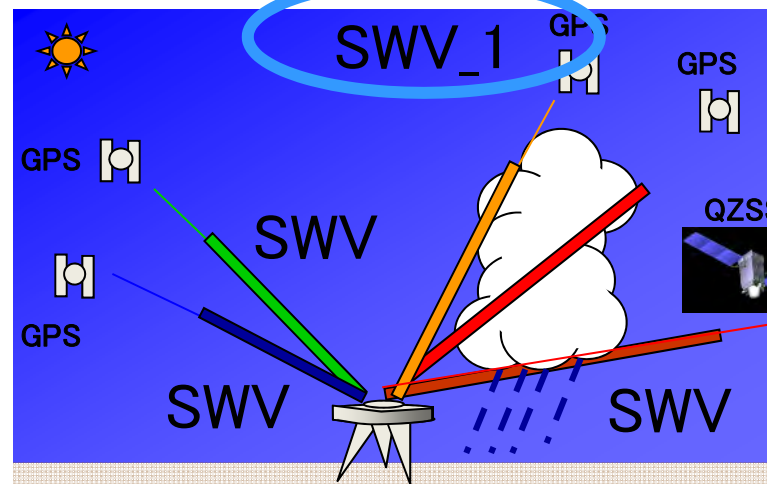


# 観測システムシミュレーション実験

真値



(Step 1) もっとも最もよく再現できたメンバーの09-15時の予報値を真値とする。



(Step 3) GPSと準天頂衛星のSWVを使用する。

(Step 3) GPSのSWVの使用する。

(Step 2) 視線水蒸気量 (SWV, GPS衛星-受信間の視線に沿った水蒸気量の総和)を、GPSや準天頂衛星の仰角・方位角の情報を用いて、真値から求める。

# まとめと今後

1. LETKFをネストさせたシステムを開発し、ヤマセの実験を開始した。
2. LETKFネストシステムで再現した雲域の特徴は、衛星で観測されたものに似ていた。今後、ゾンデ等の比較など詳細に解析する。
3. COSMICで観測されたタンジェント点の屈折率を同化すると、雲域がやや変化した。今後、シーロメータ等の他の観測データも含め、同化法の改良・開発を進める。
4. 半数のメンバーの海面水温を入れ替えて、スプレッドを大きくする試みを実施中。