

# 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) 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

## (2) 予報の改善のために・・・

- ・ 新しい同化データ  
シーロメータ等 の検討

# 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

第4回研究会の  
岩崎先生の  
発表ファイルから

## 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  
(成育や病虫害発生の数値  
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

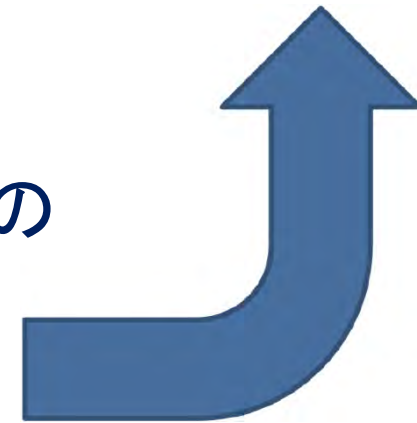
# 気になる問題(岩崎先生)

第4回研究会の  
岩崎先生の  
発表ファイルから

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間有効か?

## 瀬古の課題

1. 掩蔽データ、シーロメータ(ライダー)の観測データの確認、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



貢献したい

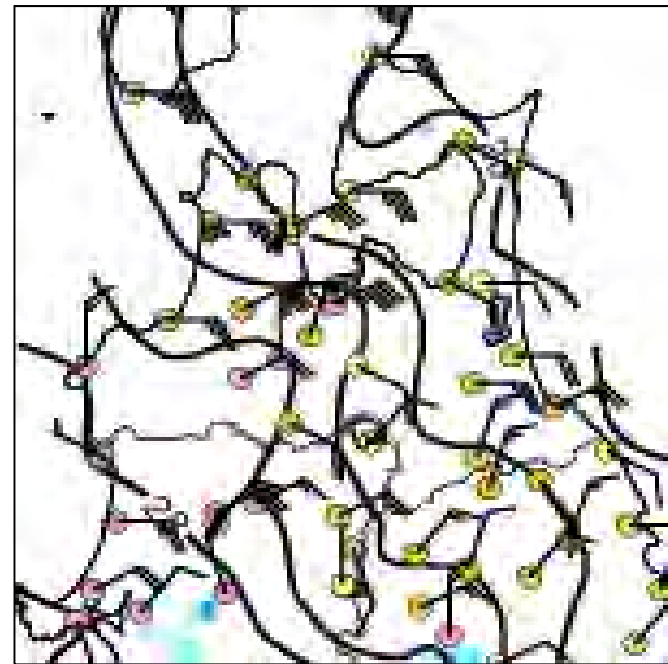
# 扱う事例

## 1. 2011年7月末のヤマセの事例

- ・LETKFネストシステムは、主に対流雲を扱ってきた。層状雲も扱えるかを見てみたい。
- ・児玉先生ほかによる特別観測のデータがあり、使用の許可を頂いた。

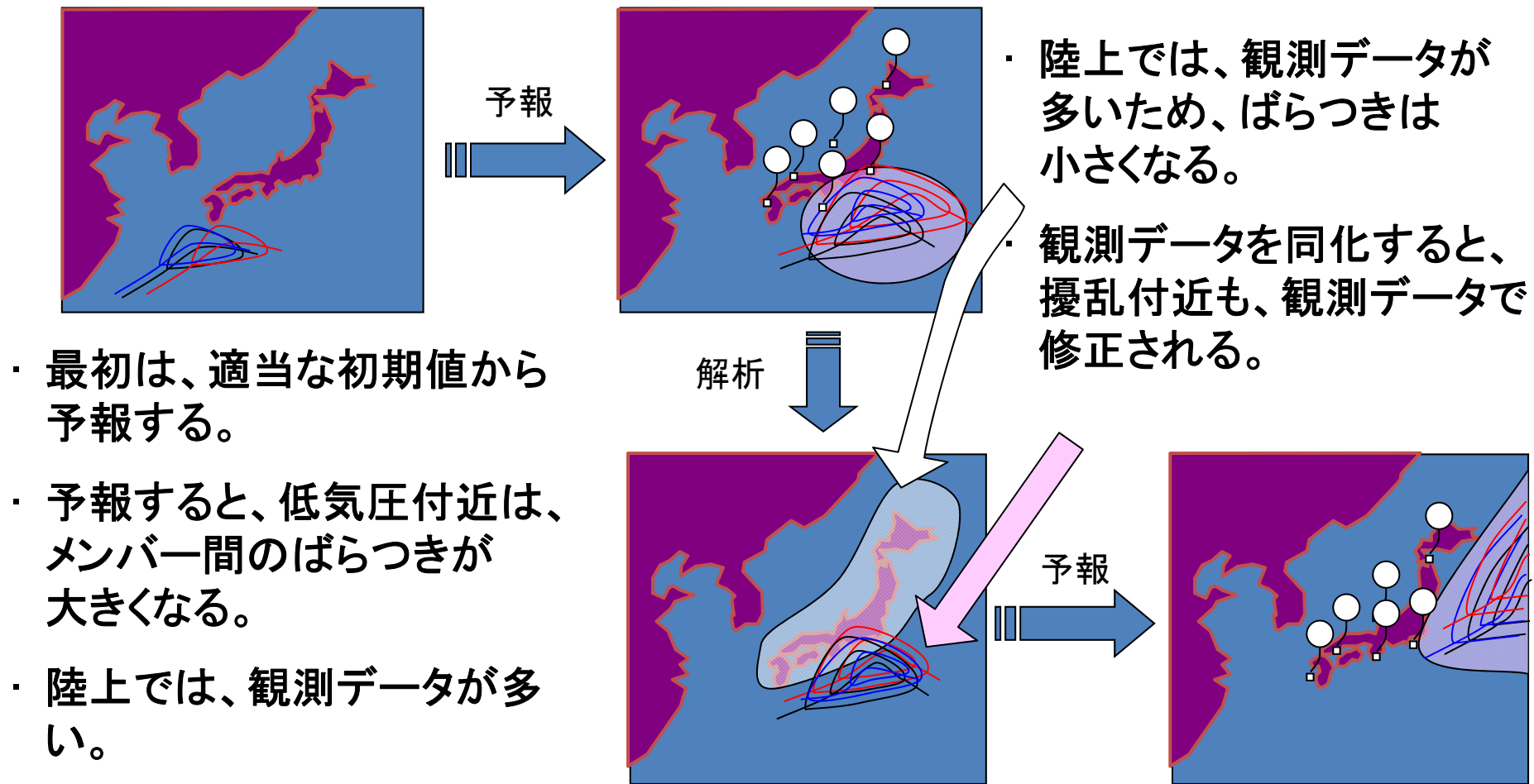
## 2. 2012年7月ヤマセの事例

- ・2011年と同じく特別観測のデータがある。  
(こちらは次回以降に発表)



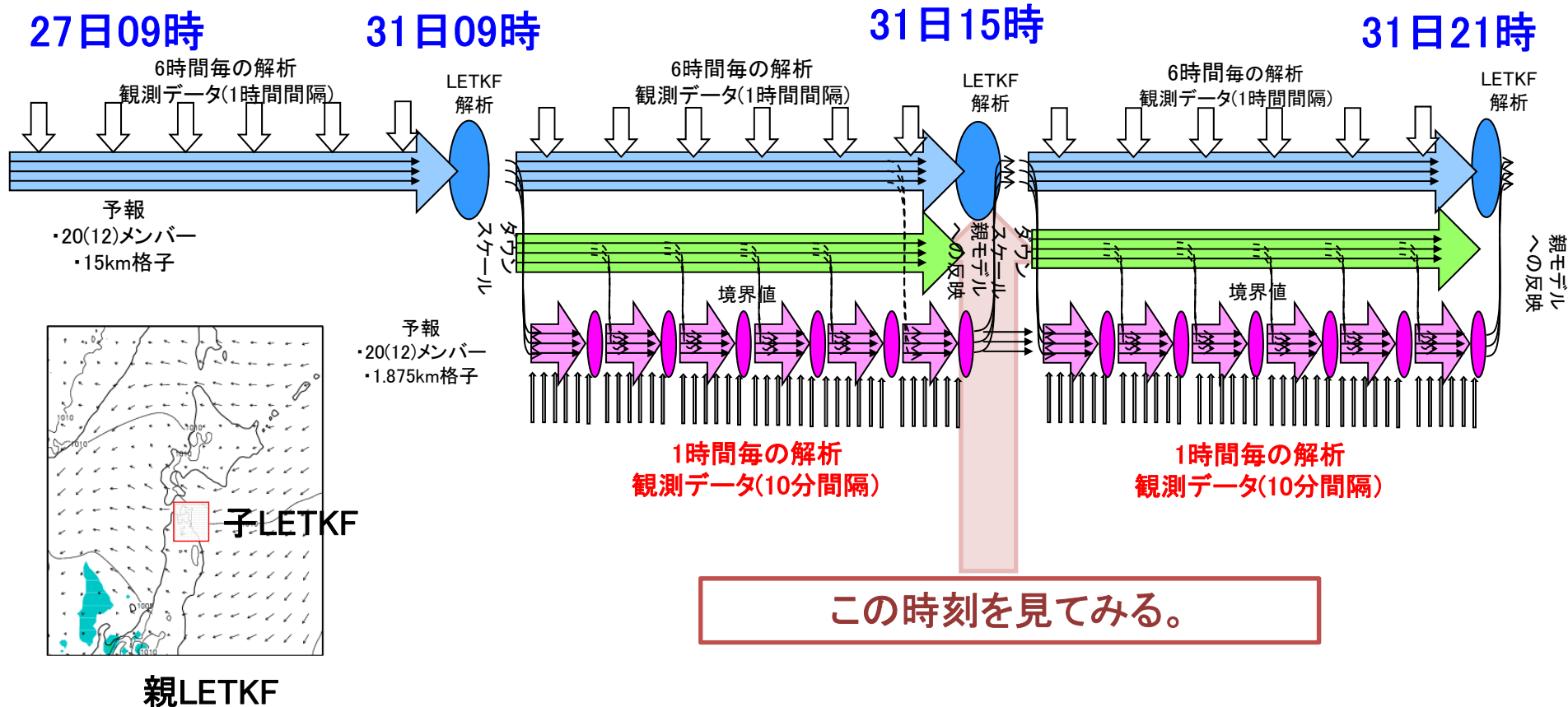
アメダス 2011年7月31日06UTC

# 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。

# ヤマセの事例にLETKFを適用した結果



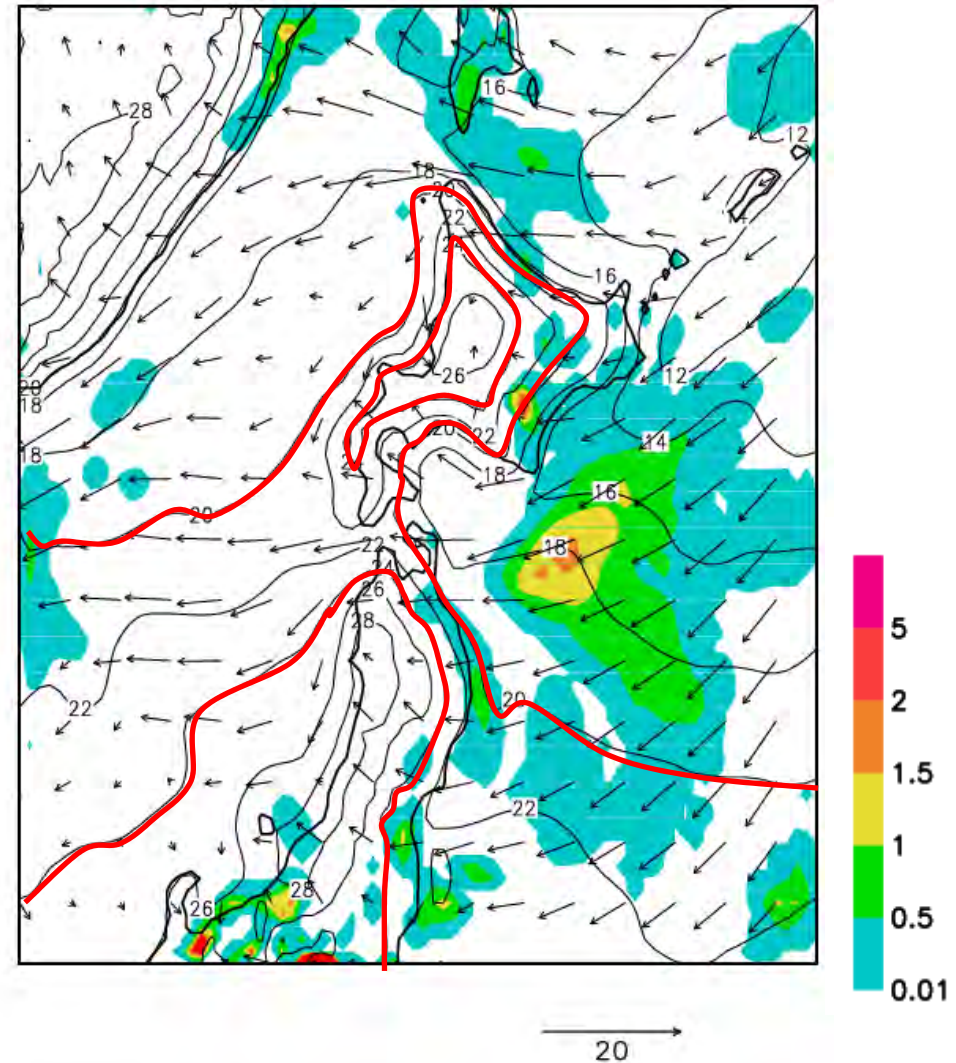
- ・親LETKFの格子15km、子LETKFの格子1.875km
- ・親LETKFは現業データ(COSMICデータ)を1時間毎に同化。子LETKFは10分ごとに同化。
- ・6時間毎に、子LETKFの結果を親LETKFに反映させる。

# アンサンブル平均 : 31日06UTC (COSMICなし、気象庁SST) (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

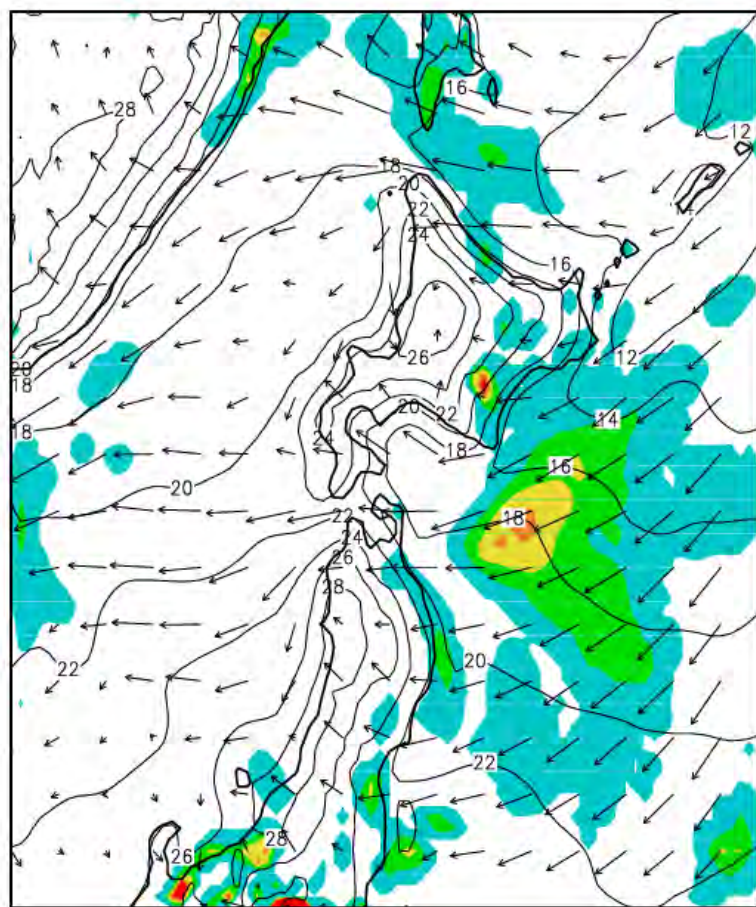




# アンサンブル平均

31日06UTC

(COSMICなし、気象庁SST使用。  
雲水量、高度20m気温)

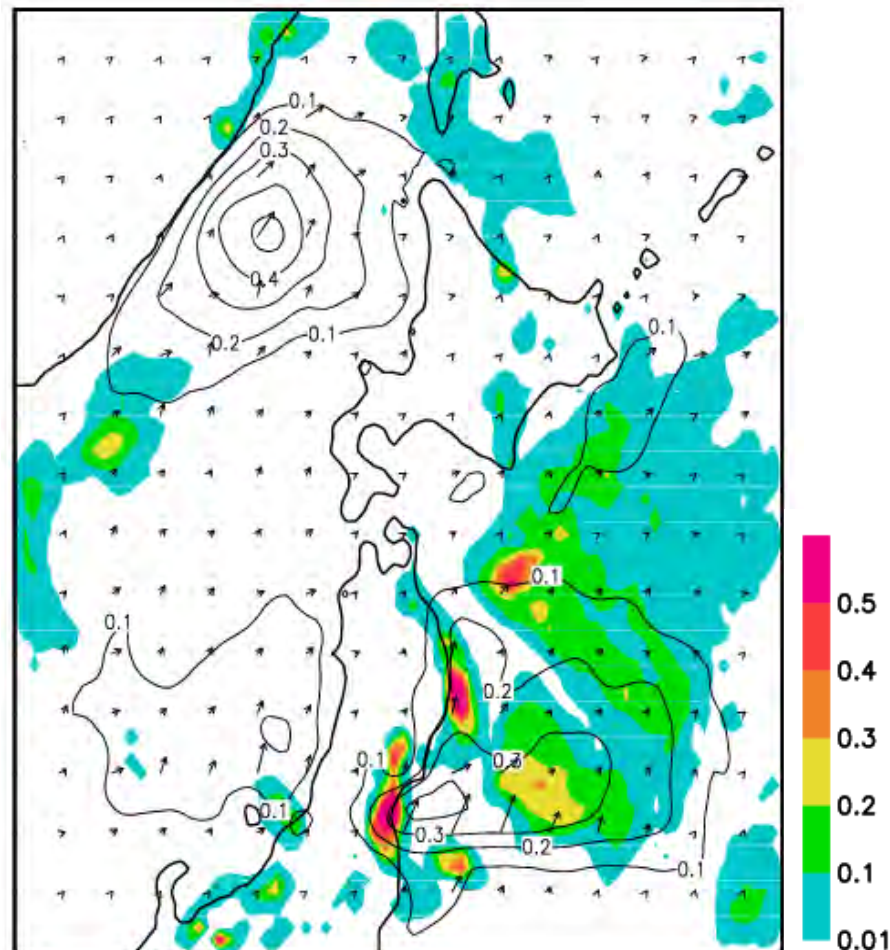


20 →

# 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)



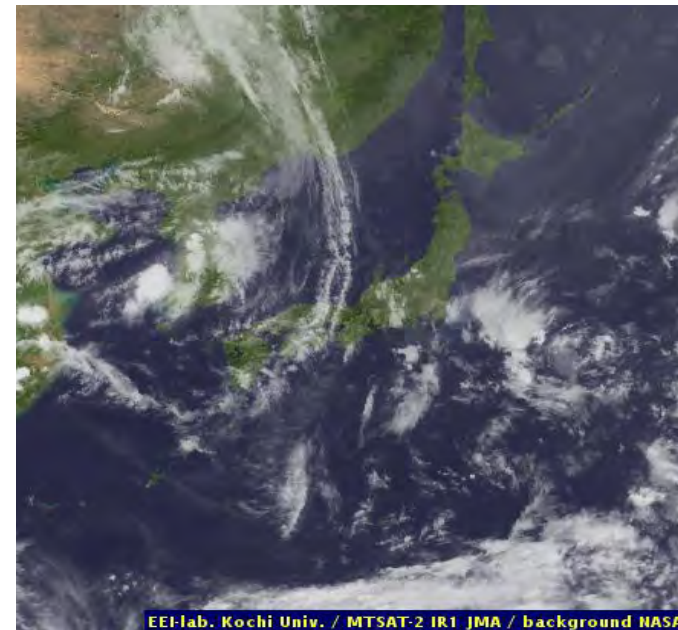
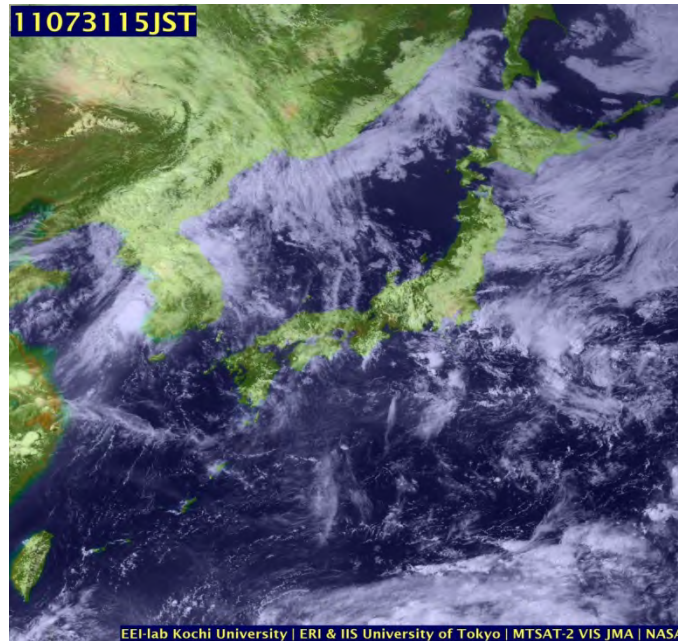
1 →

# 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)

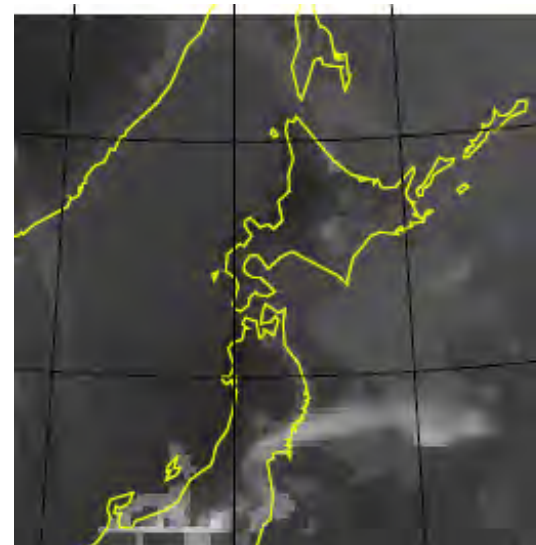
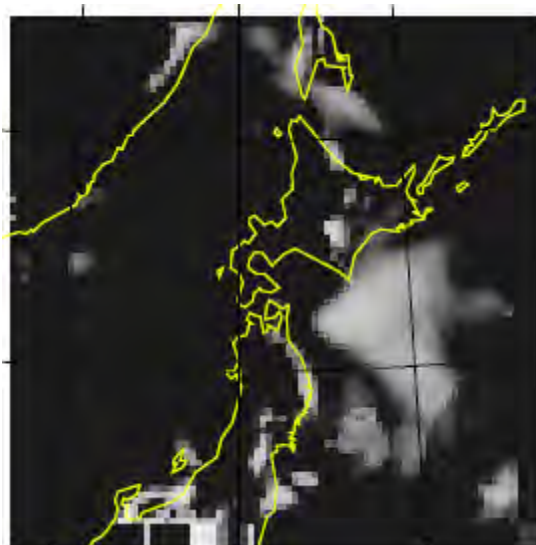
観測



親LETKF  
(15km)で  
東北地方の  
東側にある  
下層雲が  
表現できて  
いる。

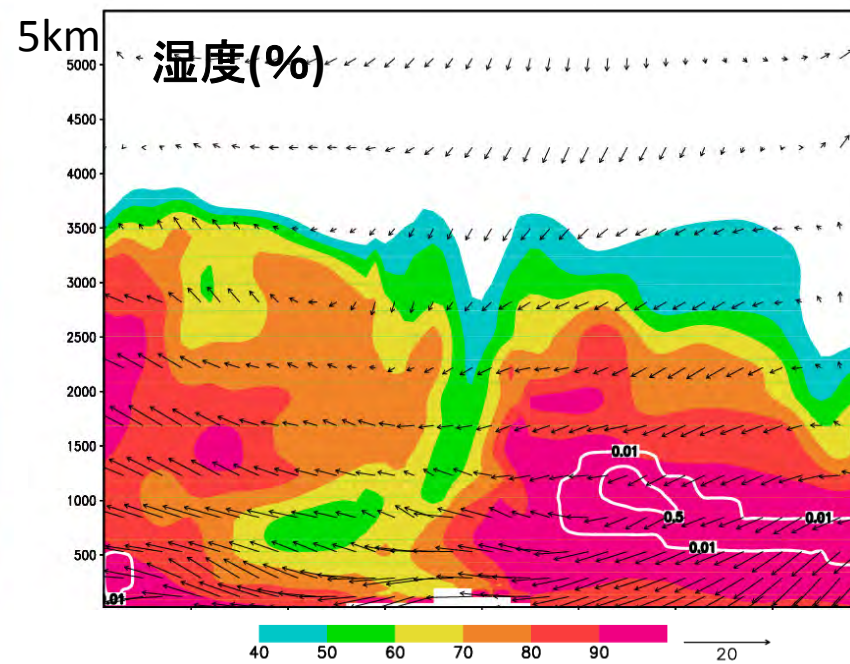
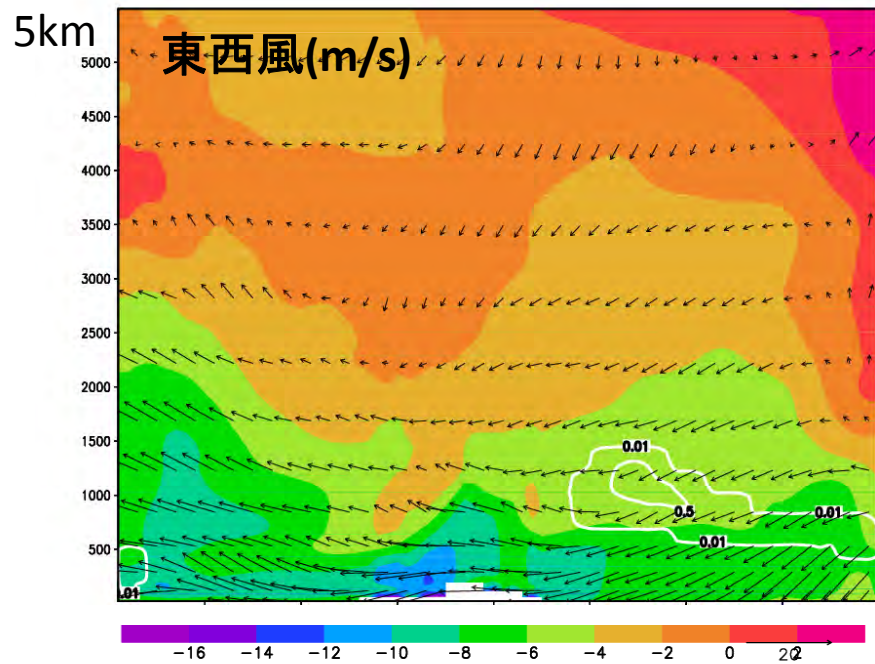
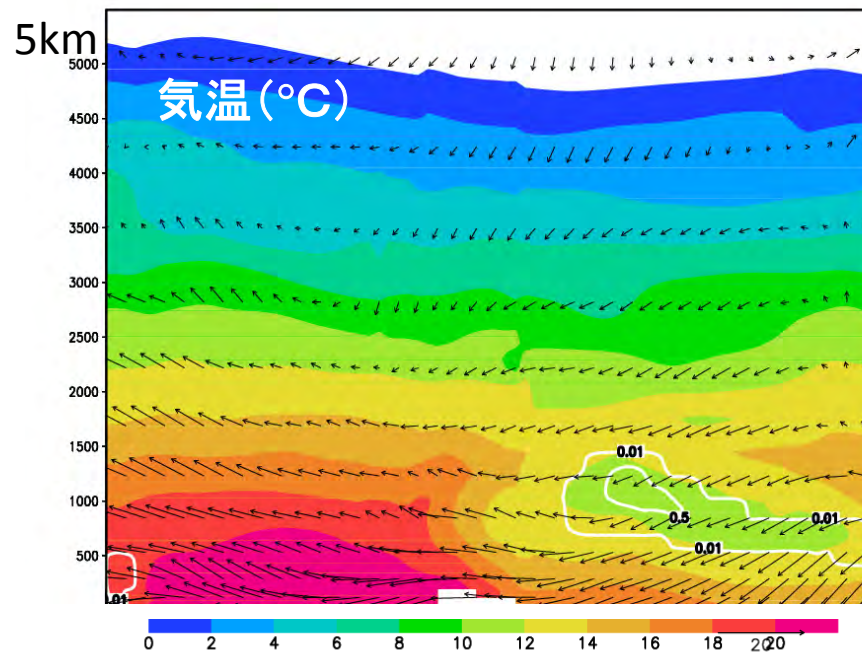
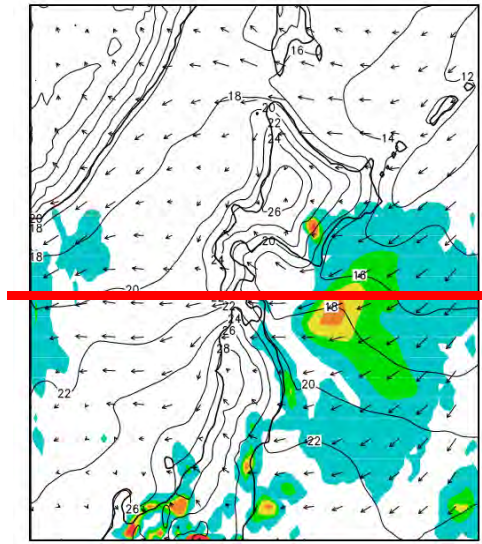
(高知大学・東京大学・  
気象庁提供)

数値  
モデル



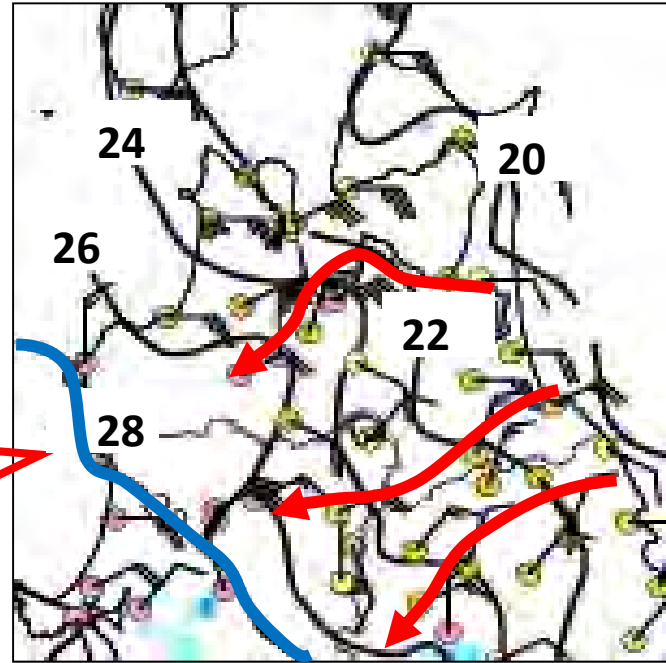
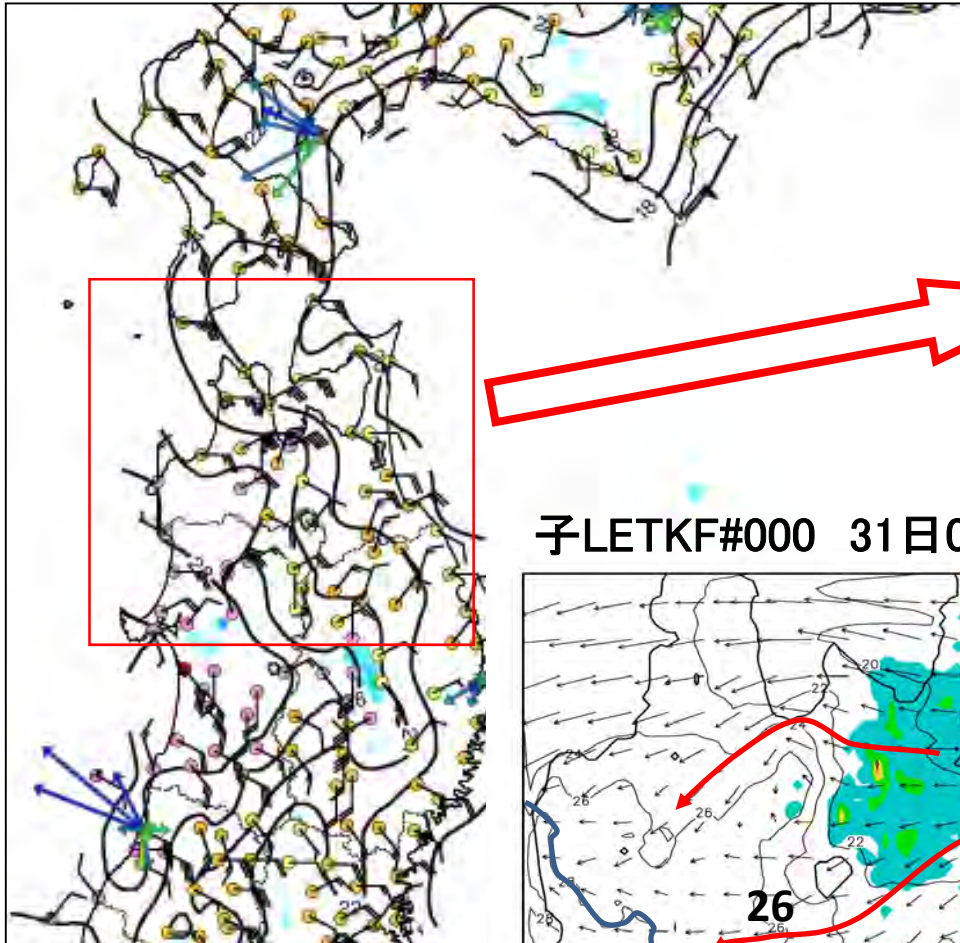
雲は、  
可視で明瞭で、  
赤外では薄暗い

# 東西に 横切った 鉛直 断面図 (31日15時)

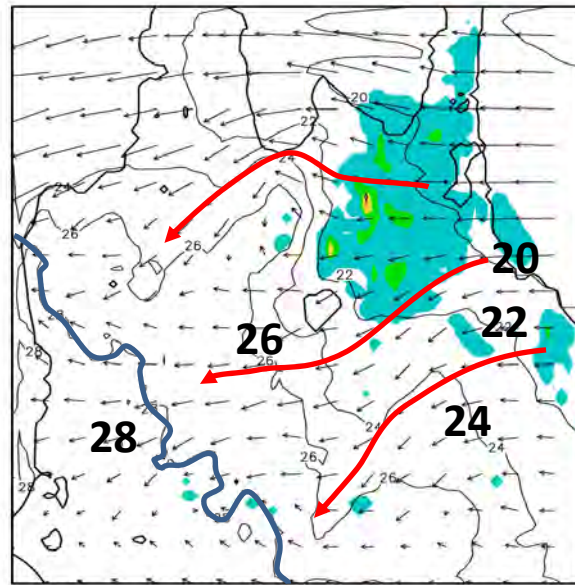


# 気温分布の比較

アメダス 31日06UTC

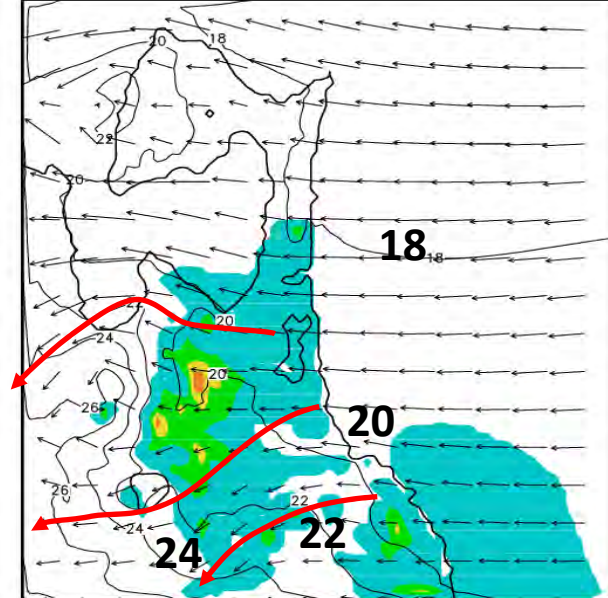


子LETKF#000 31日06UTC

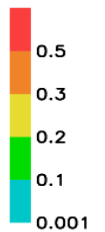


同化データ: 現業データのみ

子LETKF#000 31日06UTC



同化データ: 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。

# 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...

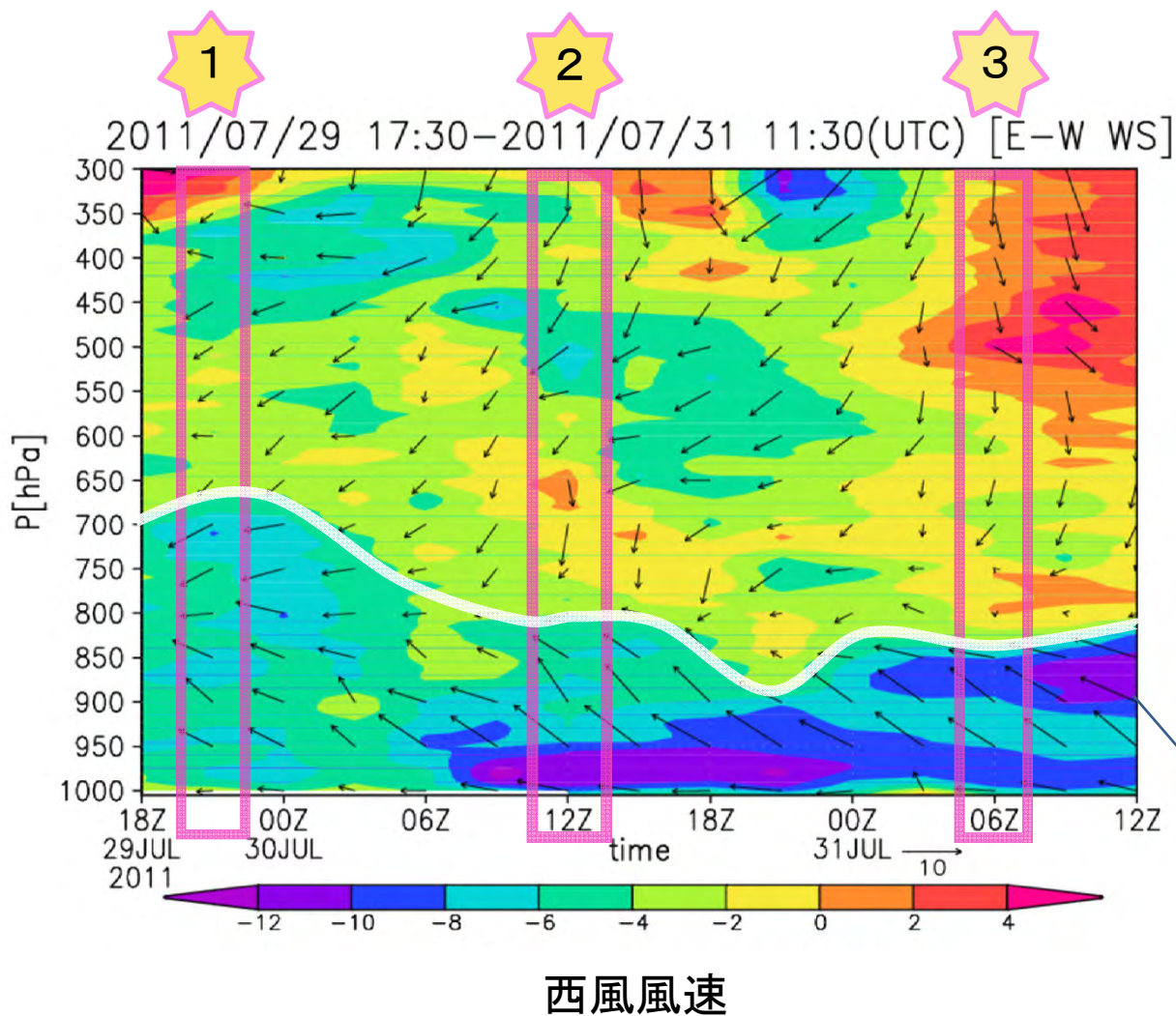
2011年にヤマセが発生。詳細な観測がある。

\*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

児玉先生作成



①層が厚い(21z29Jul)

②ヤマセの吹き始め  
(12z30Jul)

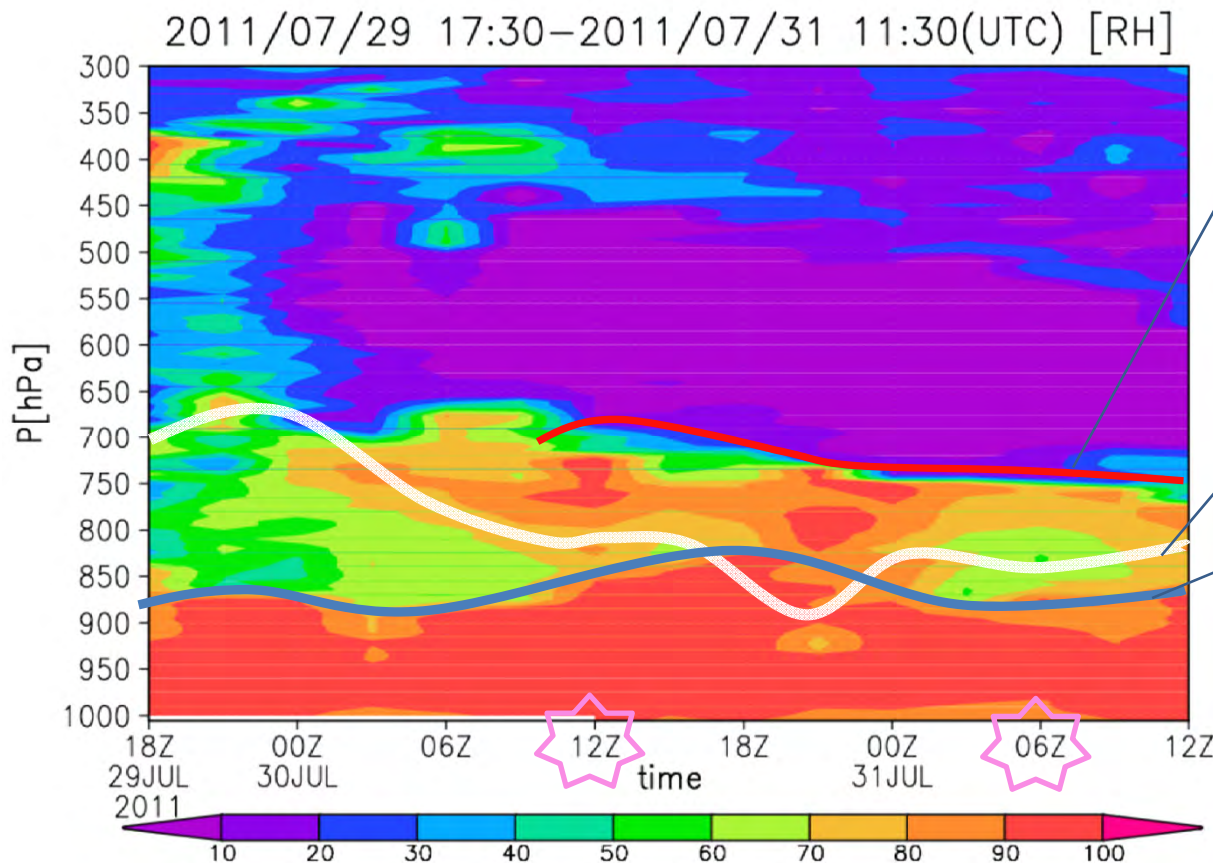
③ヤマセ継続中  
(06z31Jul)

東風(ヤマセ)層

# 結果

# 相対湿度

児玉先生作成



安定層(上)

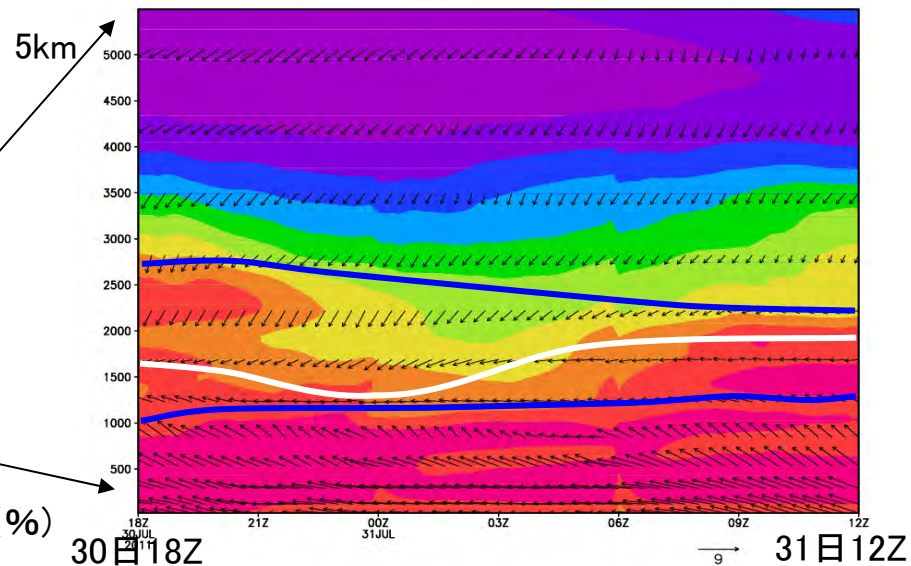
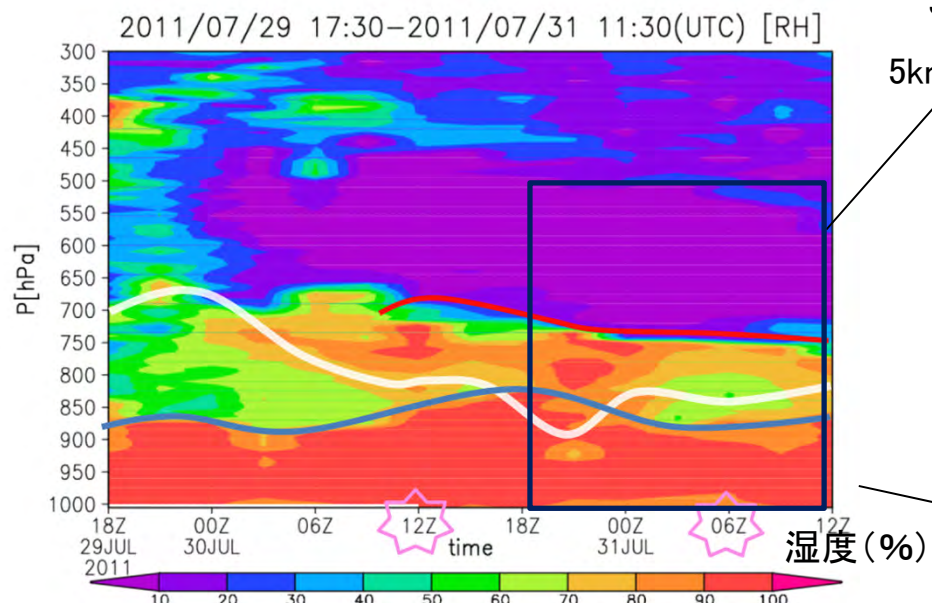
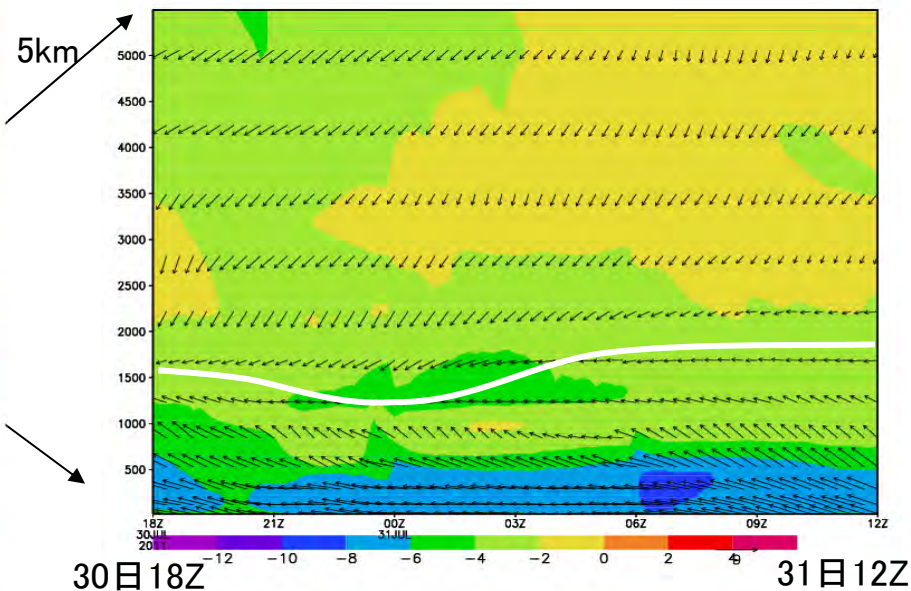
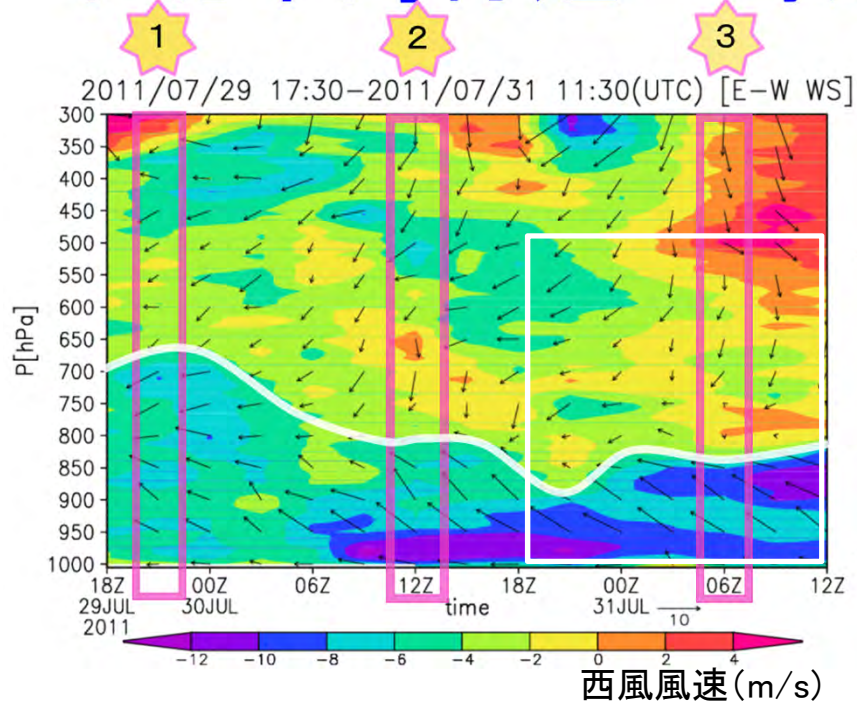
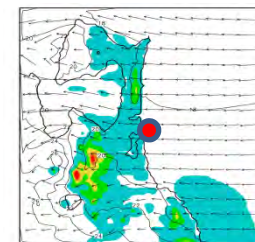
湿潤層(70%以上)と安定層(上) ほぼ一致

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

# 下北半島付近の時系列の比較





# 発表内容

## (1) 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

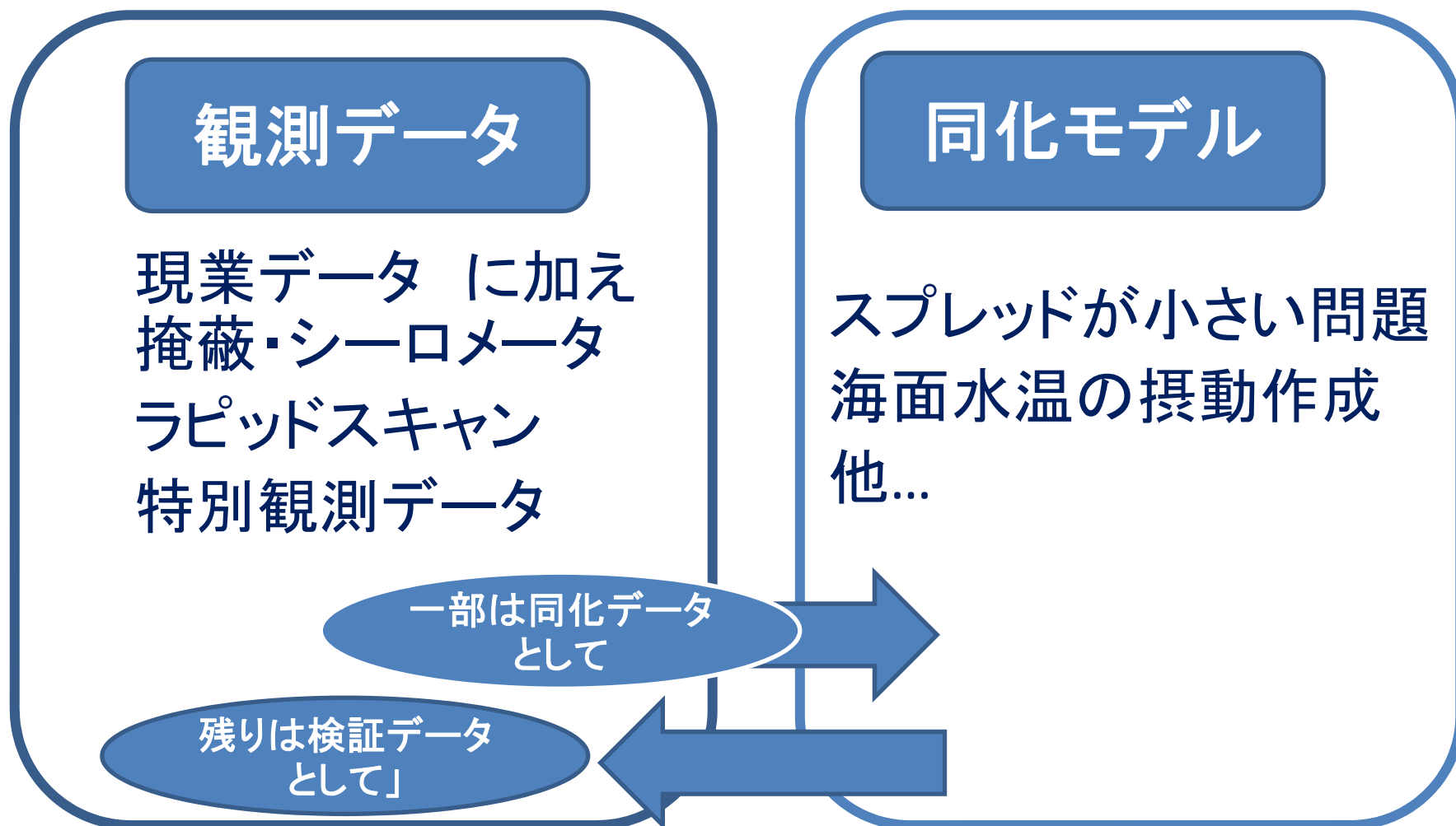
(解析データを、児玉先生にご提供しました。)

## (2) 予報の改善のために・・・

- ・新しい同化データ  
シーロメータ等
- ・複数の海面温度を用いた再現実験

## (2) 予報の改善のために...

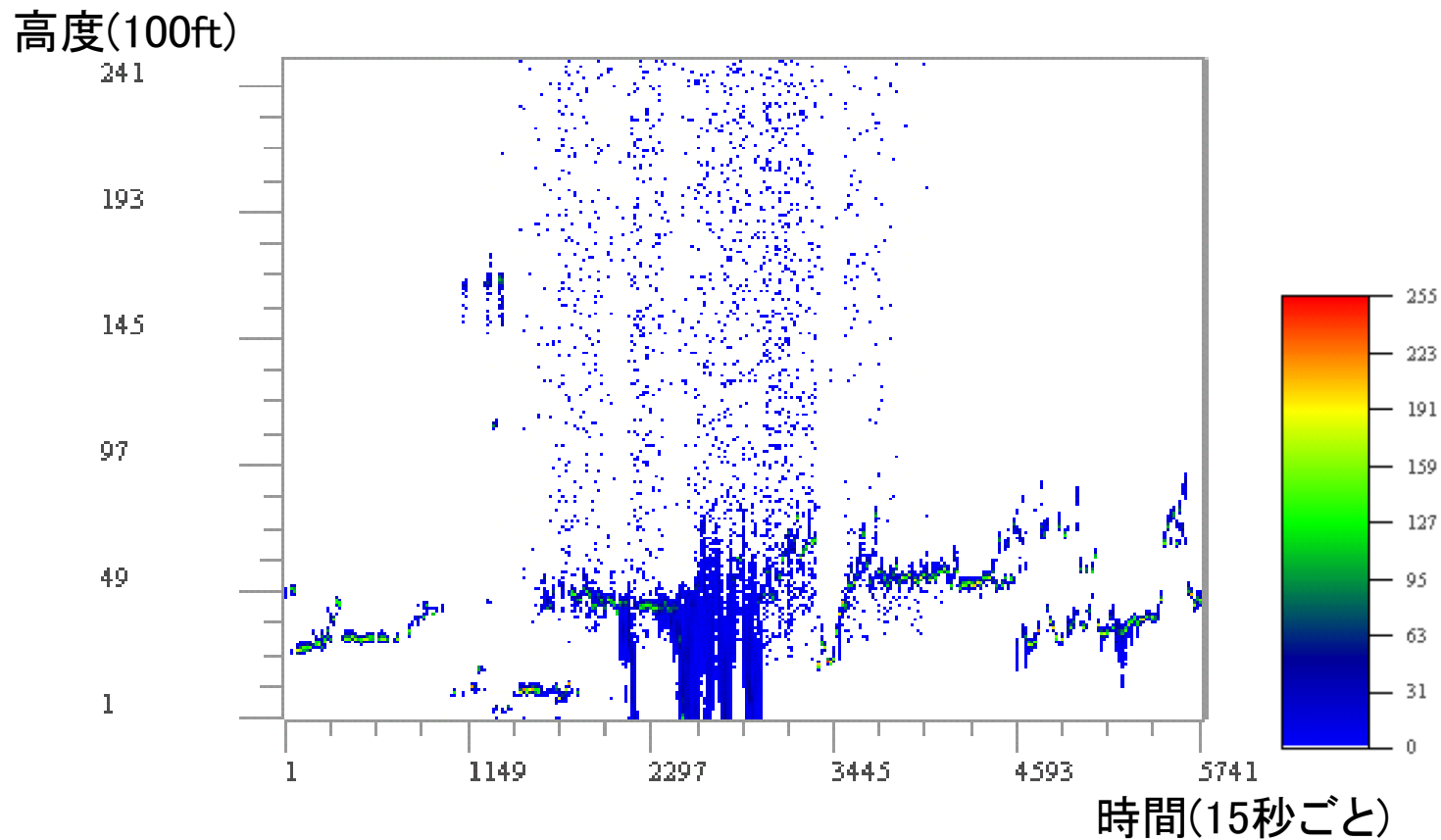
- ・アンサンブル予報をどう検証するか？
- ・アンサンブル予報の精度をどうあげるか？



# シーロメータの高度データを用いた 同化実験

- ・最初の取り組みとして、後方散乱のデータを使用。  
(シーロメータデータの同化技術の開発は、気象庁の業務の一環です。シーロメータの同化は、雲底高度等の予報精度向上が期待でき、航空機の安全運航に寄与します。)
- ・2011年7月のヤマセの事例の観測データ(7月28-31日)を利用する。  
(本プロジェクトでは、ヤマセの再現・理解を目指し、シーロメータの同化法をヤマセに適用します。)
- ・2011年7月-9月の、千葉県成田市の観測データを利用して、夏季の晴天時の境界層上端が見えるかどうかを確認する。

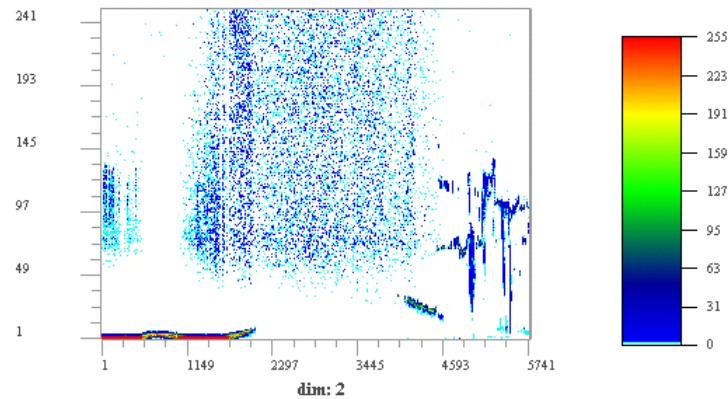
# ヤマセ時の後方散乱のデータの一例



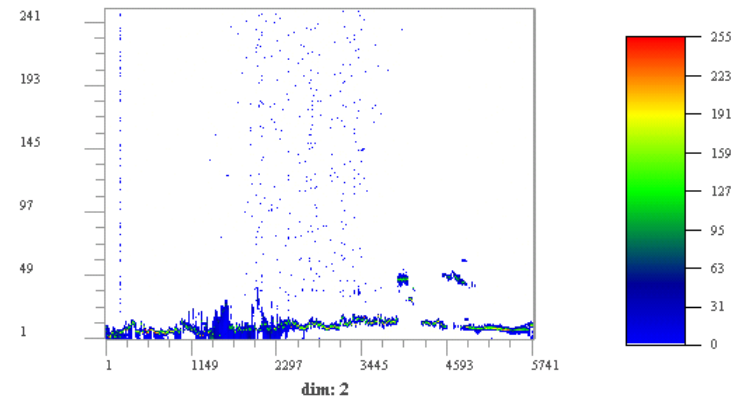
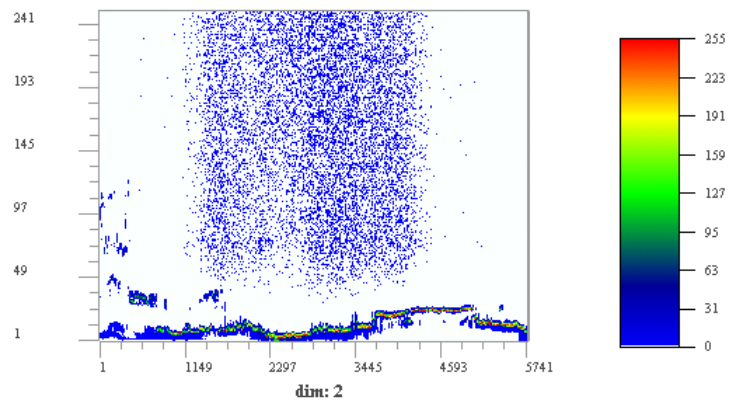
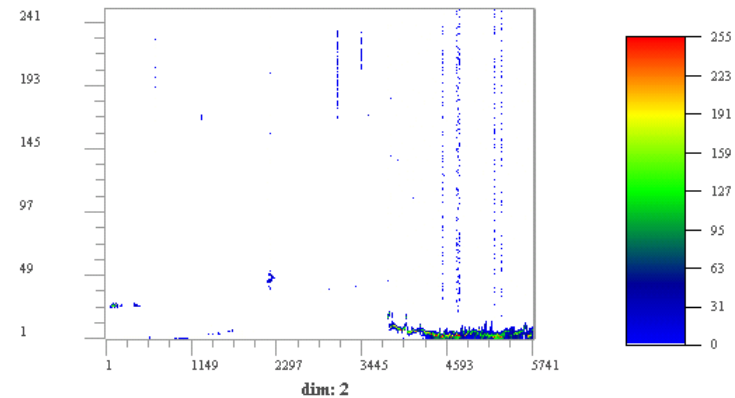
山形県東根市のシーロメータで観測された  
2011年7月30日の後方散乱の高度・時間分布。

**下層雲の雲底、そこからの降水が見える。**

RJCC-CLG\_BS\_20110729-01R



RJCM-CLG\_BS\_20110729-18\_agl



- ・ヤマセの事例では、ある高度で強いエコーのある雲底の高度が観測されていた。
- ・混合層の上端の高度は見えているかを、夏季のデータで確認したい。➡次ページから示す。

# シーロメータでわかるもの

雲底高度から: 湿度100% の高度を得ることができる  
後方散乱から: 境界層

Mixing height determination by ceilometer

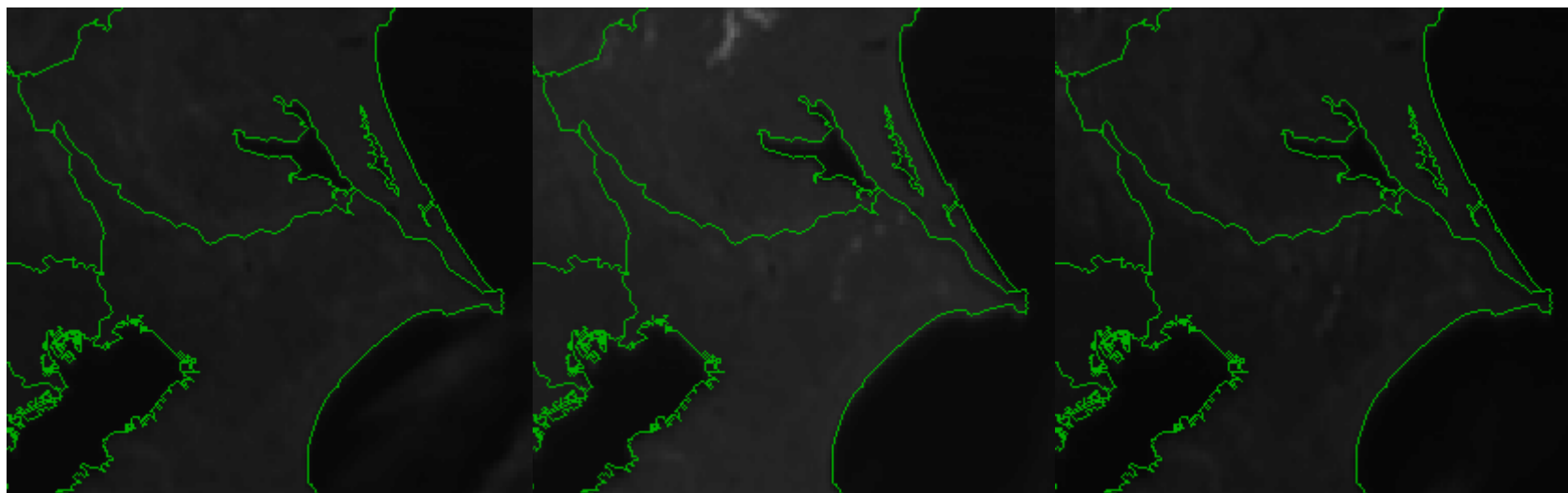
N. Eresmaa<sup>1</sup>, A. Karppinen<sup>1</sup>, S. M. Joffre<sup>1</sup>, J. Räsänen<sup>2</sup>, and H. Talvitie<sup>2</sup>

境界層の高度とラジオゾンデとの比較

Fig. 7 (Eresmaa et al)

Fig. 6 (Eresmaa et al)

# Rapid scanの晴天例 1



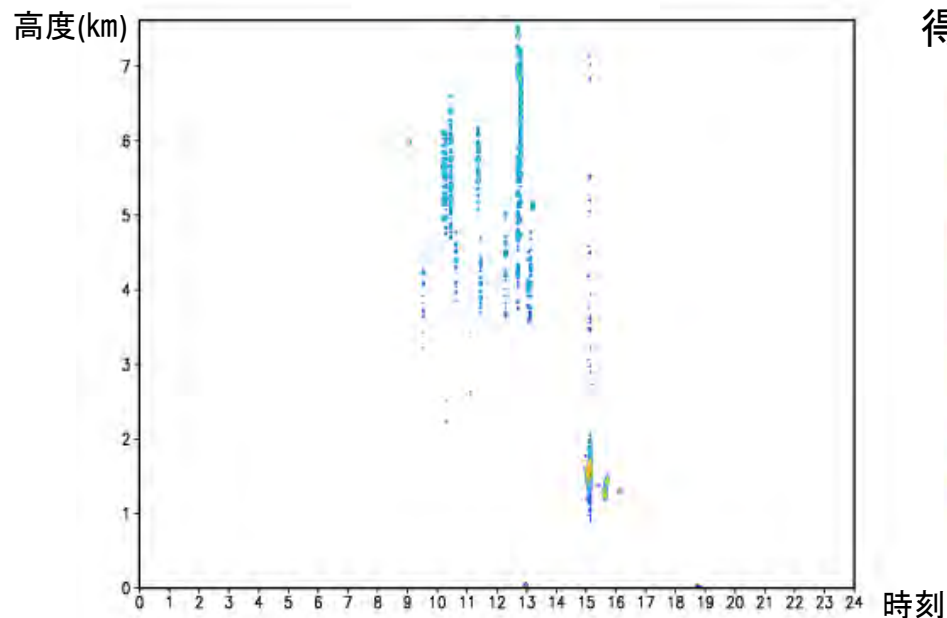
2011/07/10 08:56 rapid可視光

2011/07/10 12:00 rapid可視光

2011/07/10 14:56 rapid可視光

成田市 7月10日

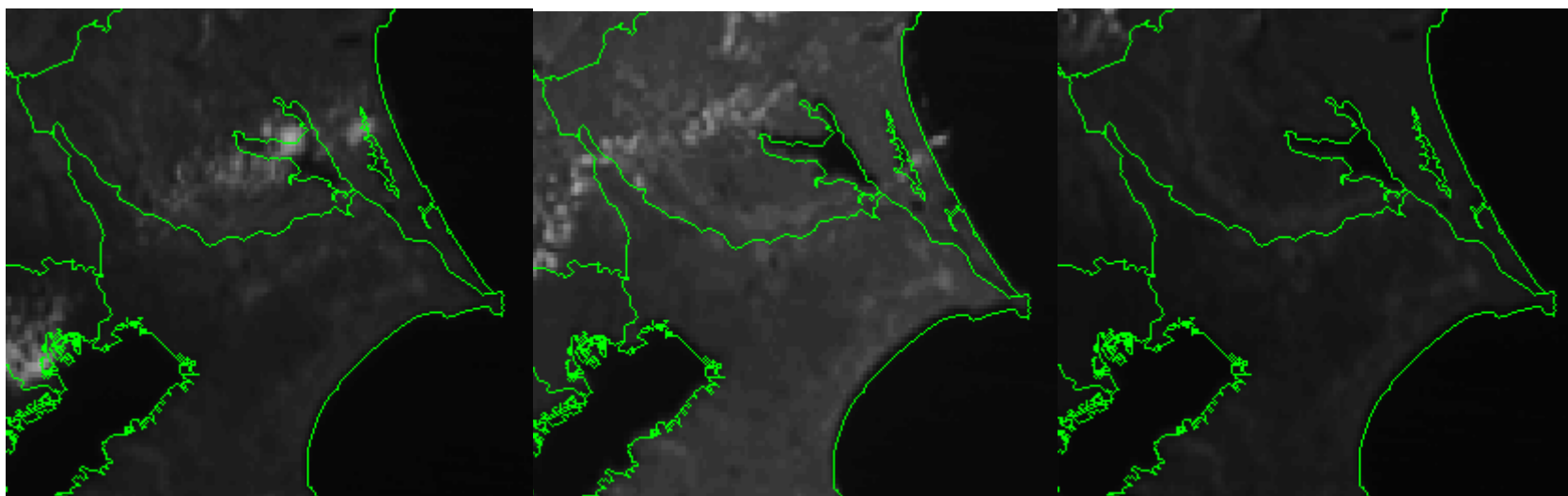
「この画像は航空ユーザーの安全の為の観測から得られたものです。」



## 2011年7月10日

- ・Rapid scanで雲域は見られない
- ・Eresmaaが示したような分布は見られな

# Rapid scanの晴天例 2

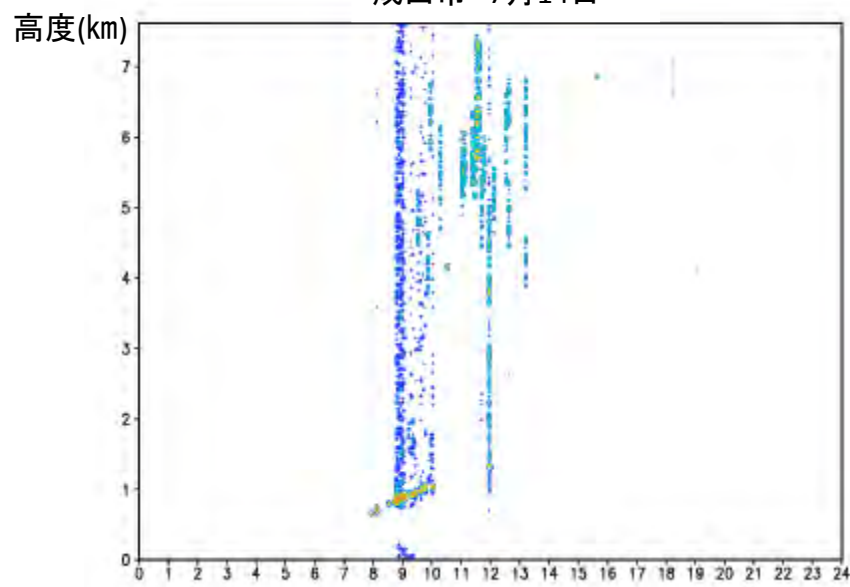


2011/07/14 08:56 rapid可視光

2011/07/14 12:00 rapid可視光

2011/07/14 14:56 rapid可視光

成田市 7月14日

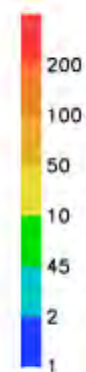


時刻

「この画像は航空ユーザーの安全の為に観測から得られたものです。」

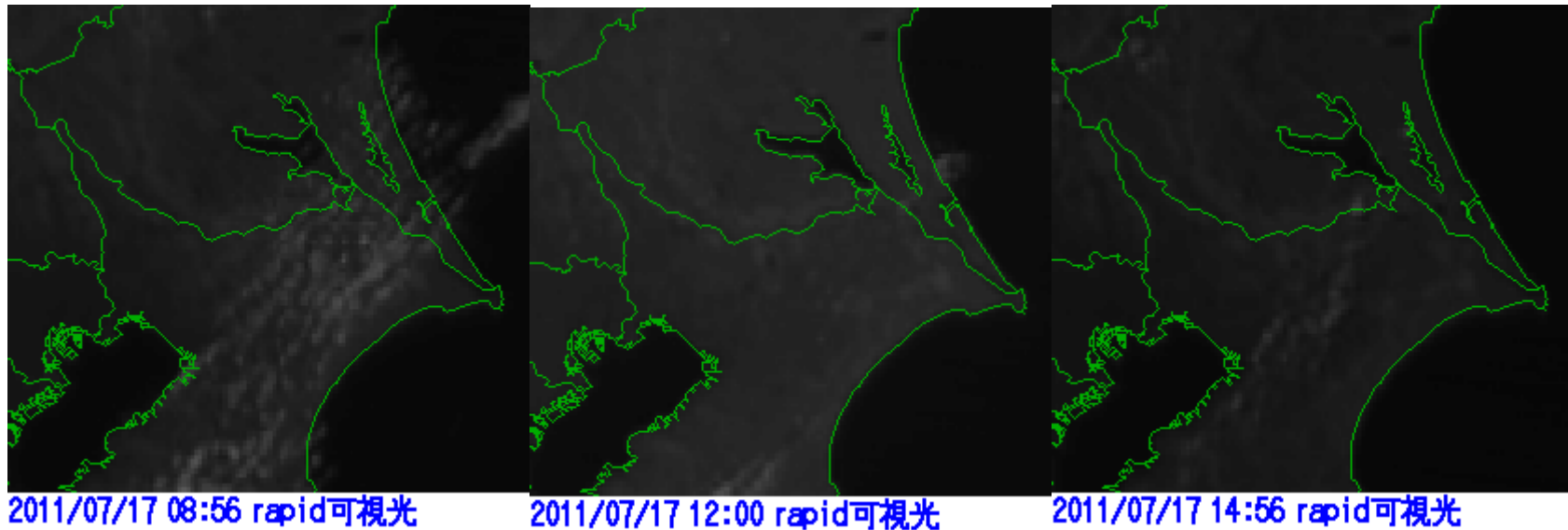
## 2011年7月14日

- ・Rapid scanの画像は、のコントラストを変えると、雲域が見える。
- ・シーロメータでは、薄い雲でも見えている。

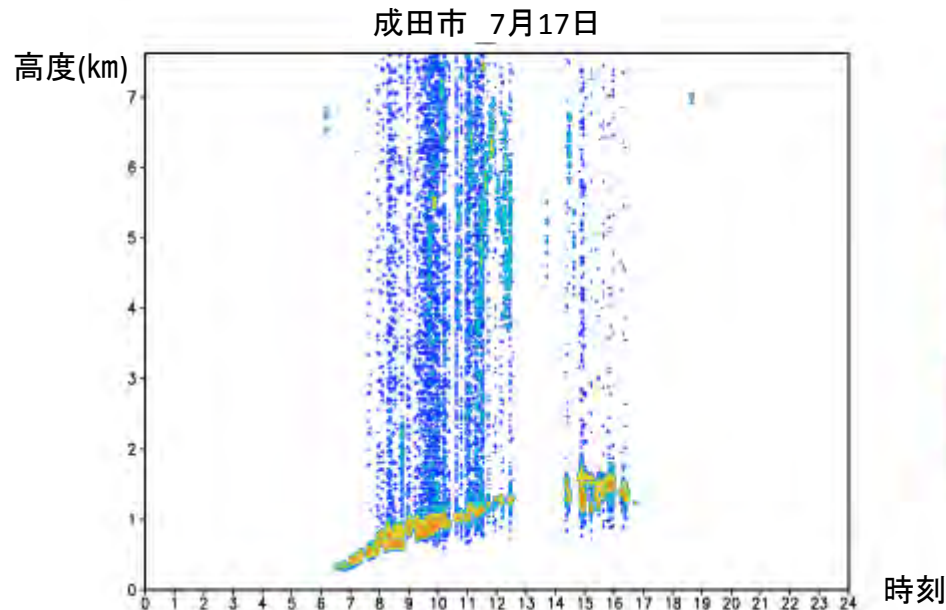




# Rapid scanの雲天例



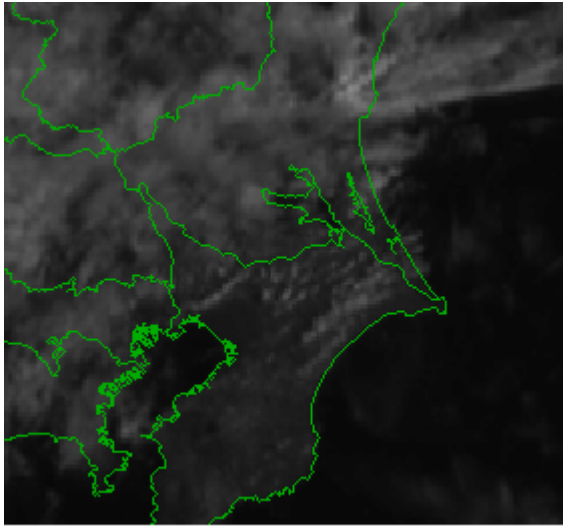
「この画像は航空ユーザーの安全の為に観測から得られたものです。」



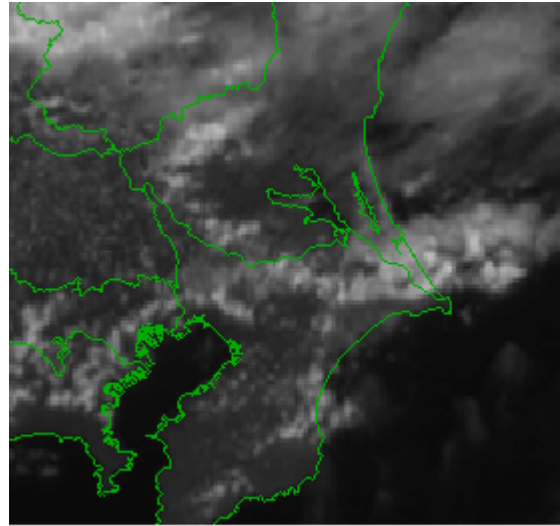
## 2011年7月17日

- ・Rapid scanの画像で、雲域が見える。
- ・シーロメータでは、雲底の時間変化が見える。

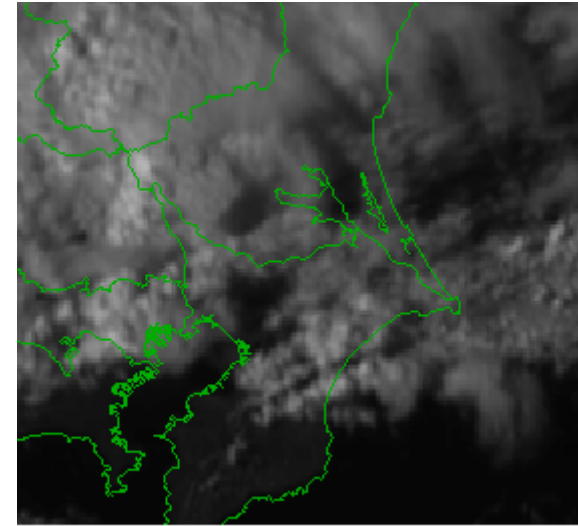
# Rapid scanの大雨の事例



2011/08/26 08:56 rapid可視光

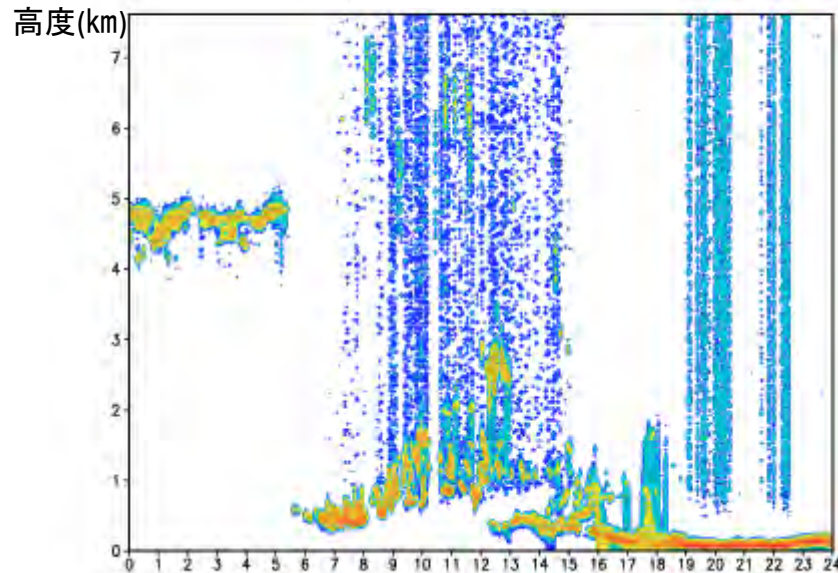


2011/08/26 12:00 rapid可視光



2011/08/26 14:56 rapid可視光

成田市 8月26日



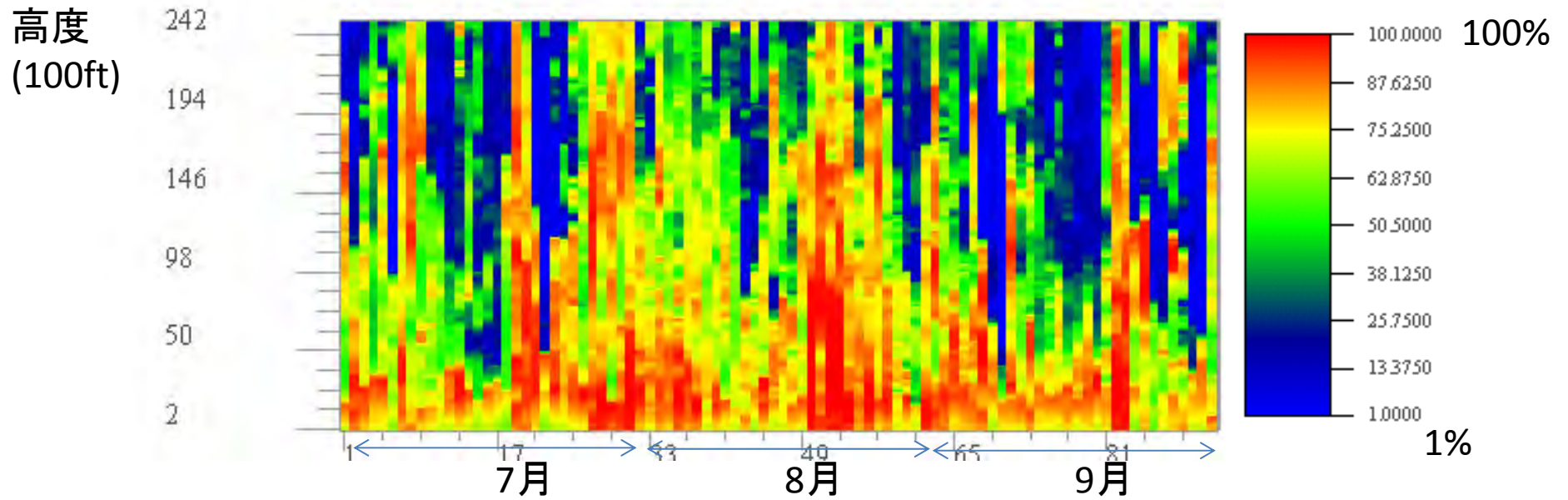
時刻

「この画像は航空ユーザーの安全の為の観測から得られたものです。」

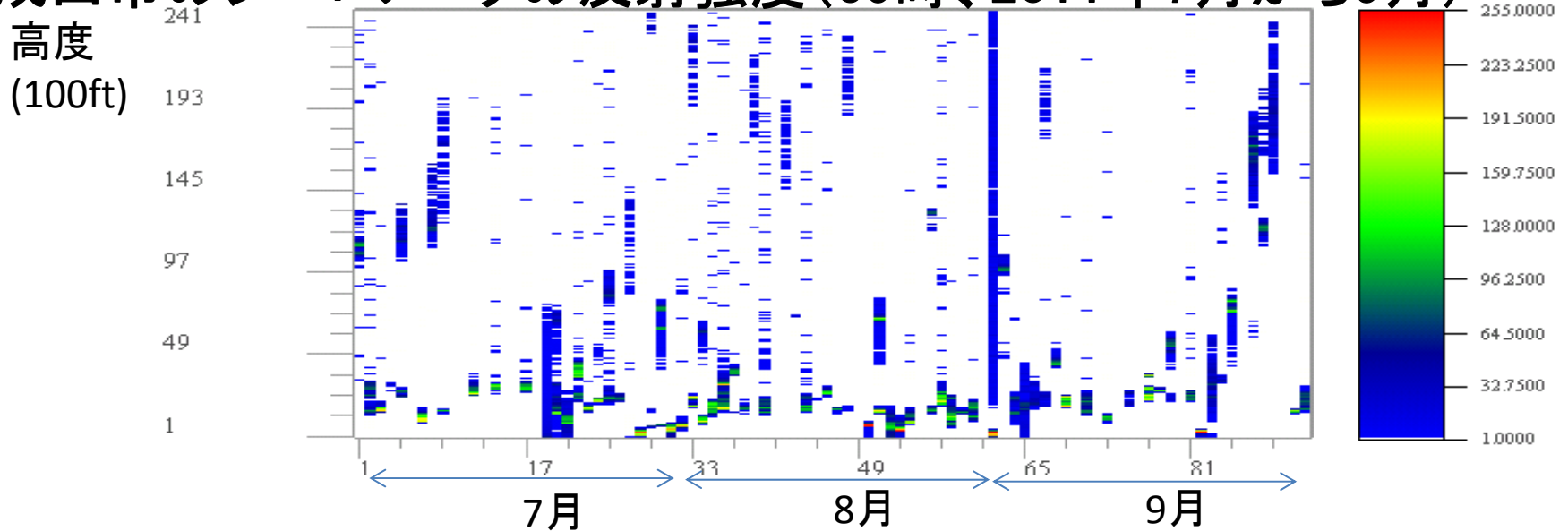
## 2011年8月26日

- ・鹿島灘からの北東風に伴う雲列の通過
- ・シーロメータでは、通過に伴い、雲底高度に大きな変化。

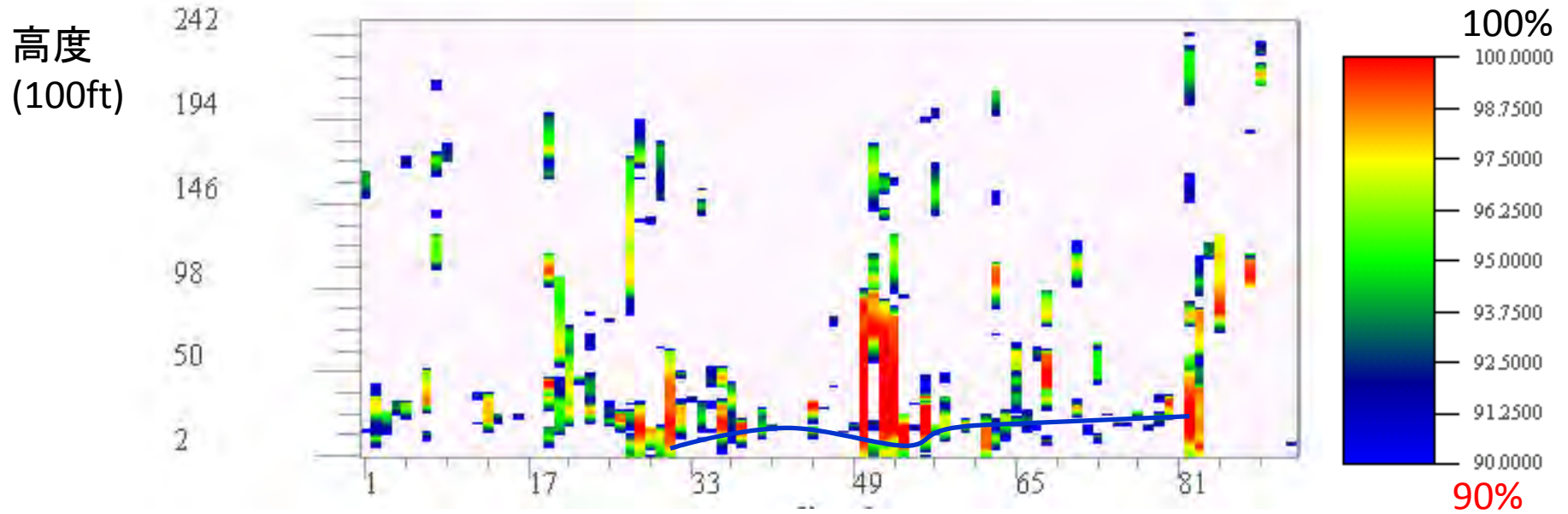
# 館野のゾンデ09時の湿度分布(2011年7月から9月)



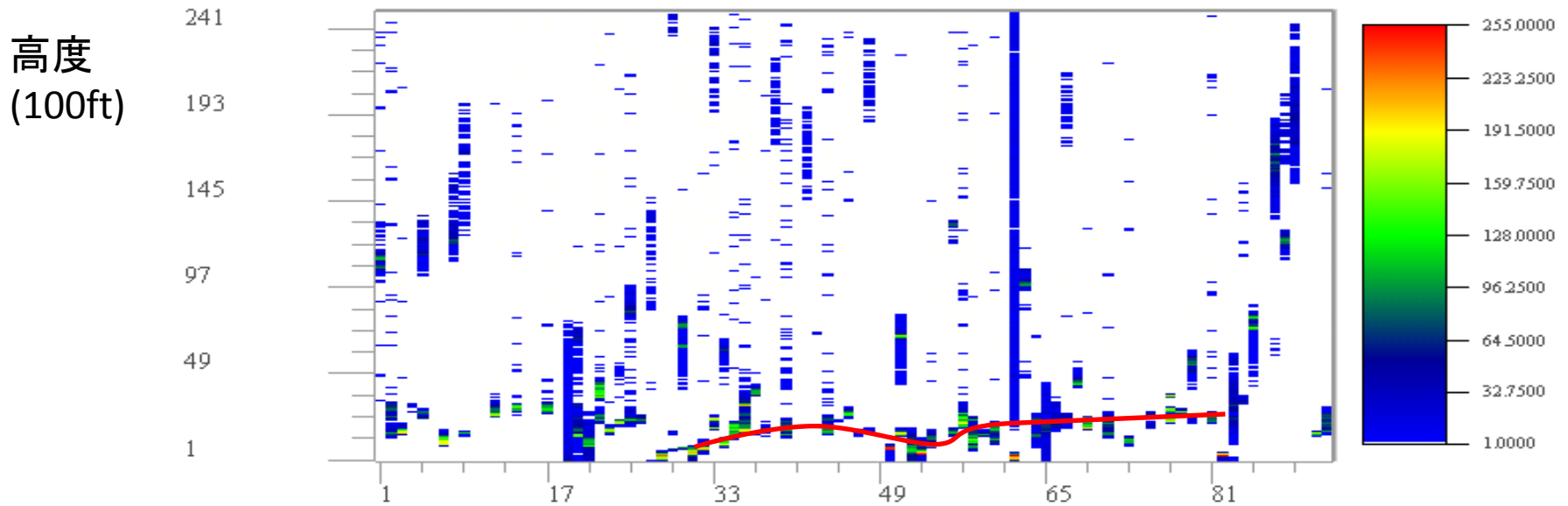
# 成田市のシーロメータの反射強度(09時、2011年7月から9月)



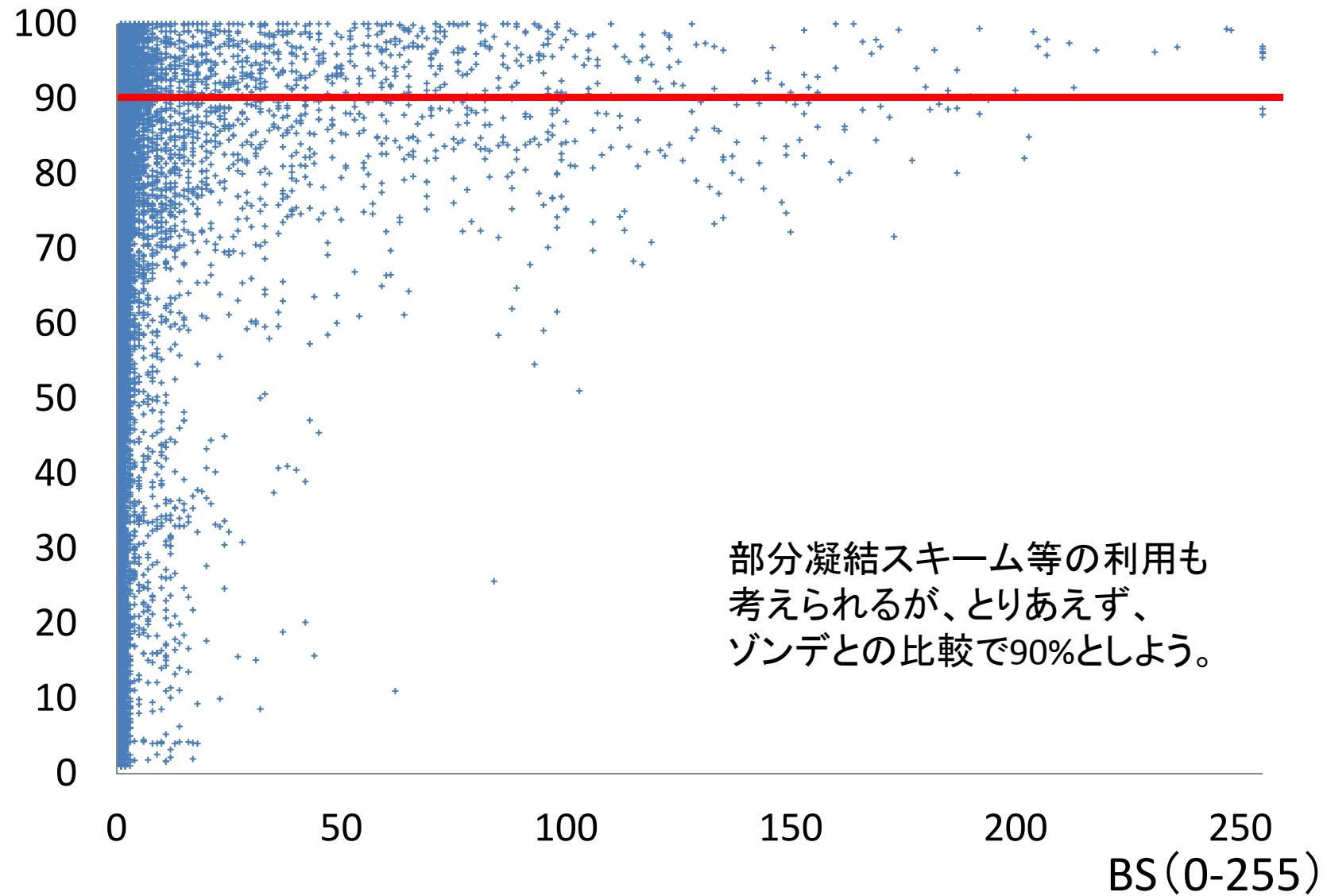
# 館野のゾンデ09時の湿度(90%以上)の分布 (2011年7月から9月)



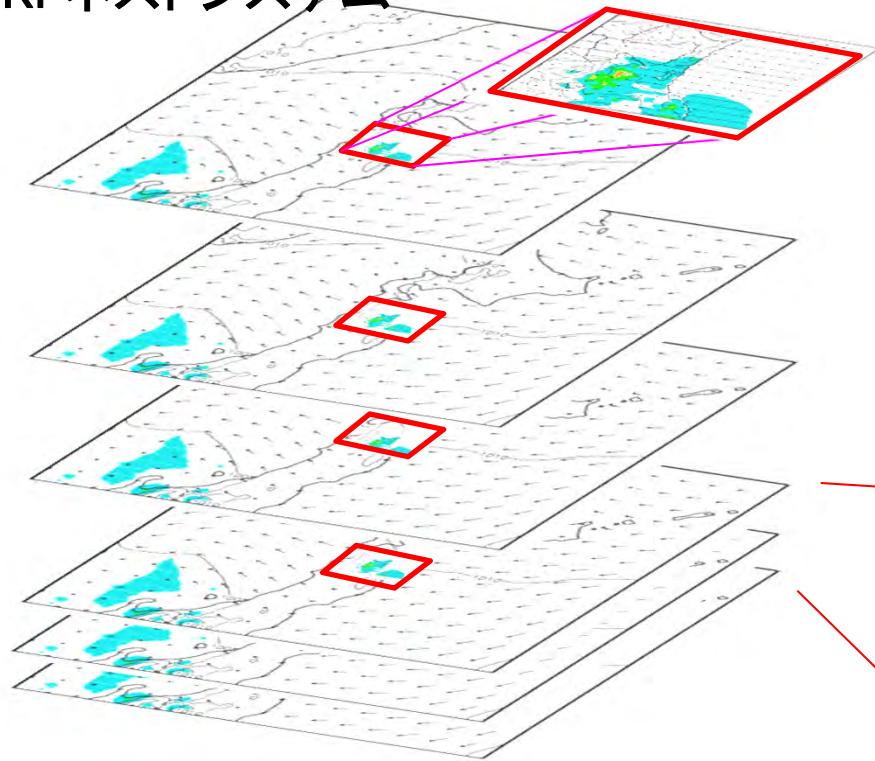
# 成田市のシーロメータの反射強度(09時、2011年7月から9月)



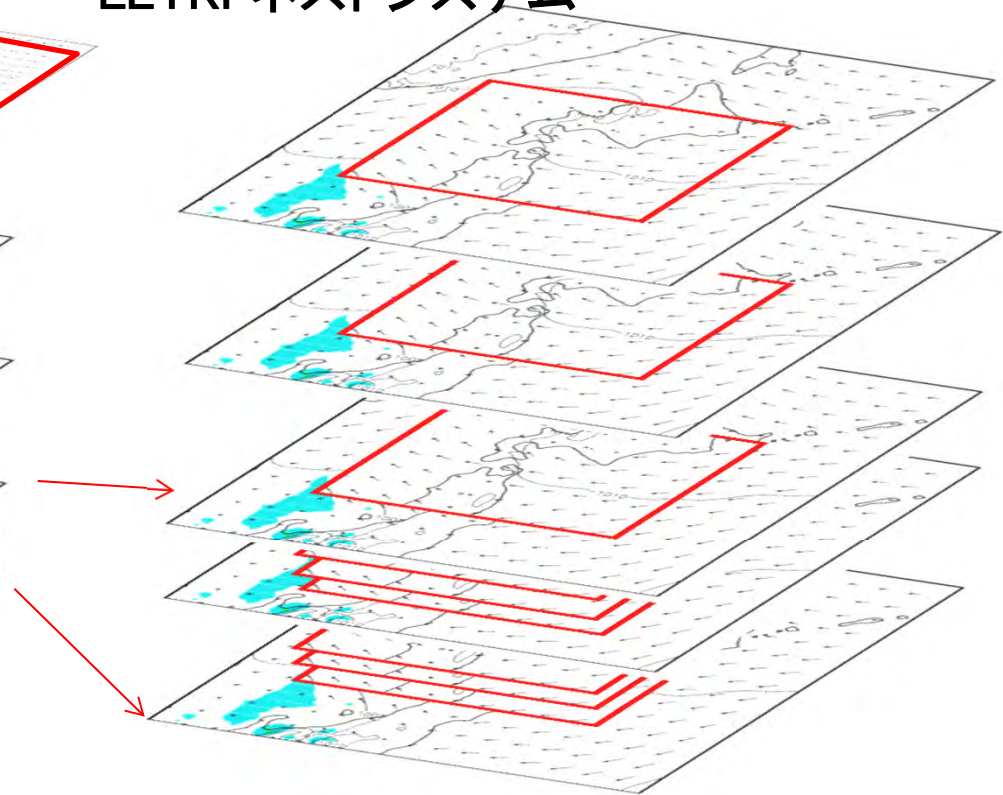
# 湿度 (%)



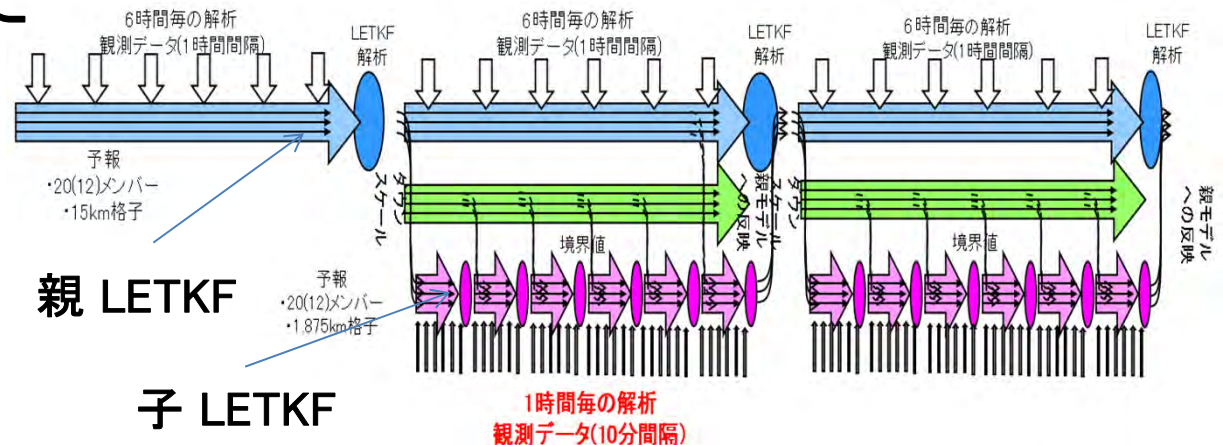
## 通常のダウンスケールする LETKFネストシステム



## 鉛直高分解能の LETKFネストシステム

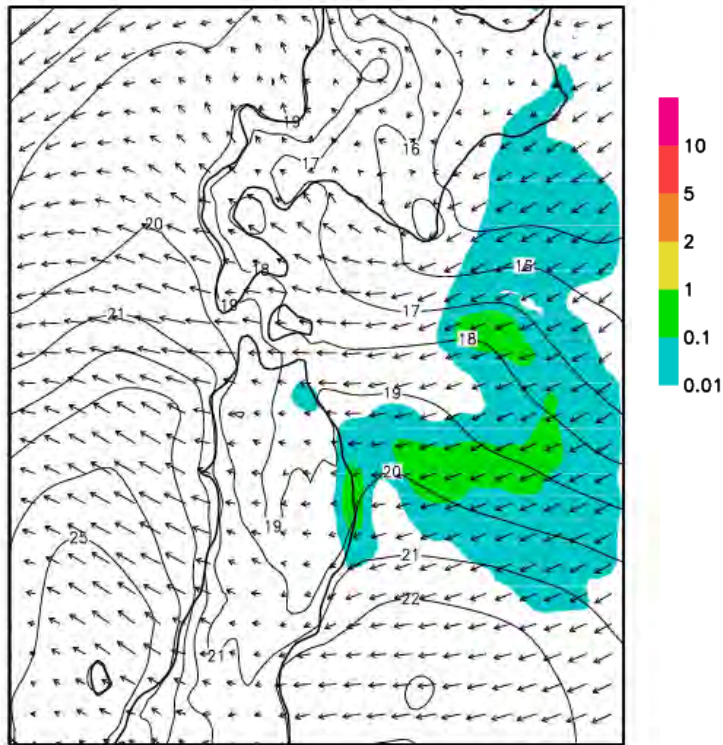


- 水平方向に高分解能にする代わりに、鉛直方向に高分解能にする (50層から150層、今回は82層)。
- 子LETKFの解析値は、期間中、保持する。

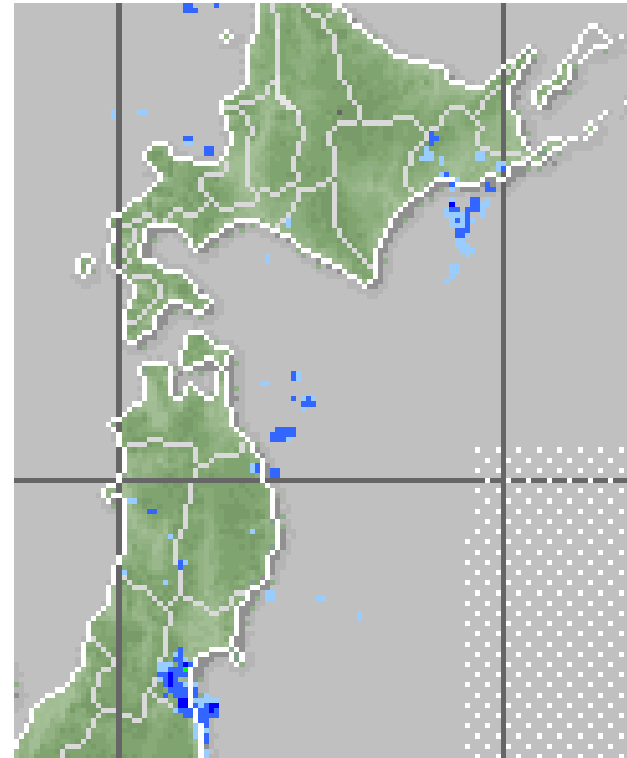


# 31日03時の後方散乱データデータを同化

高度1kmの雲水量と水平風  
31日3時



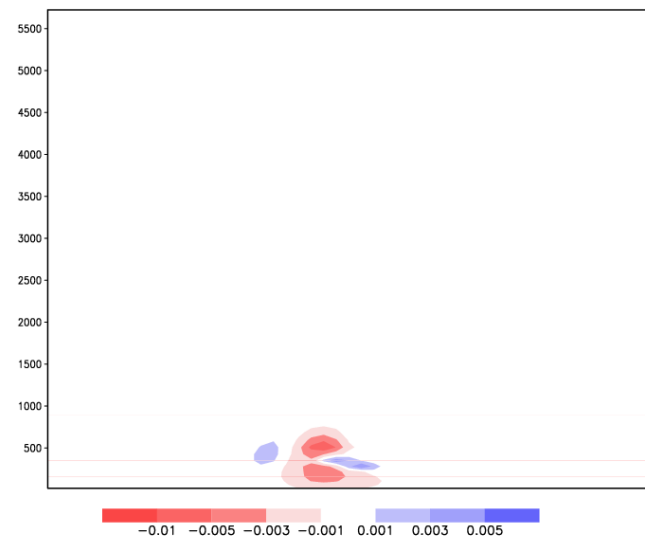
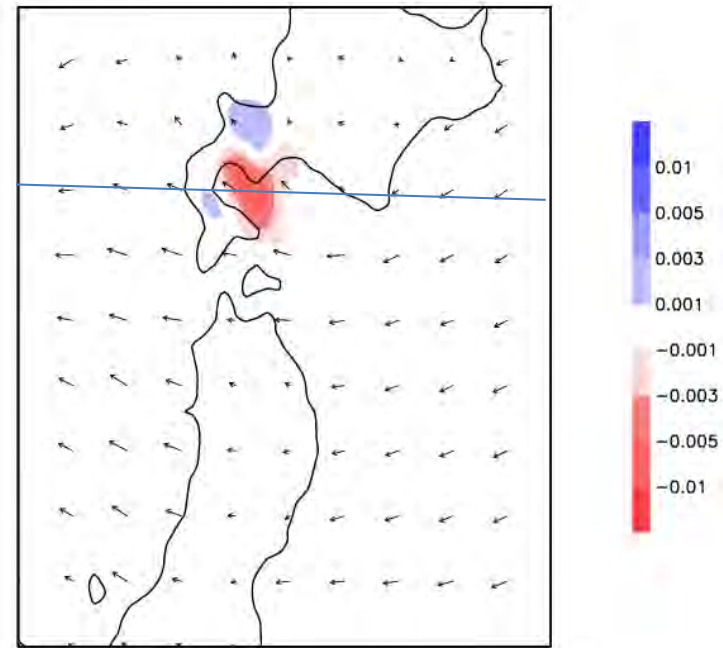
降水分布  
31日03時



- 東北地方とその東側に低温なヤマセの東風が卓越。
- 降水はほとんどないが、東北地方の東側に下層雲。

# 雲底高度として同化

- 後方散乱の強い高度を、雲底の高度として同化する。
- 下層から見ていき、相対湿度が90%以上になった高度(層の高度)とした。
- 下層がわずかに水蒸気量が増加した。
- 高度データも同化できることを示した。推定法を改善を続ける。



(上)解析値のシーロメータを同化しないものとの差。(下) 実線に沿う断面図。



# GPS掩蔽観測のコンセプト

1. 低軌道衛星で受信したGPSの電波を用いる。
2. GPS衛星が、地平線から上昇・下降する間、GPS衛星～低軌道衛星の電波は、大気を連続的にスキャンする。
3. 電波は、大気によって曲がる（屈折角）。
4. 屈折率の鉛直プロファイル屈折角から推定する。

GPS衛星からの電波の遅延

低軌道衛星の軌道の決定

電波のパスの屈折角

タンジェント点の屈折率のプロファイル

$$n = 1 + 77.6 \times 10^{-6} \frac{P}{T} + 0.373 \frac{e}{T^2}$$

屈折率は、湿度道関数であり同化により、予報精度の向上が期待できる。

低軌道衛星  
CHAMP,  
COSMIC etc.

屈折角

屈折率の  
プロファイル

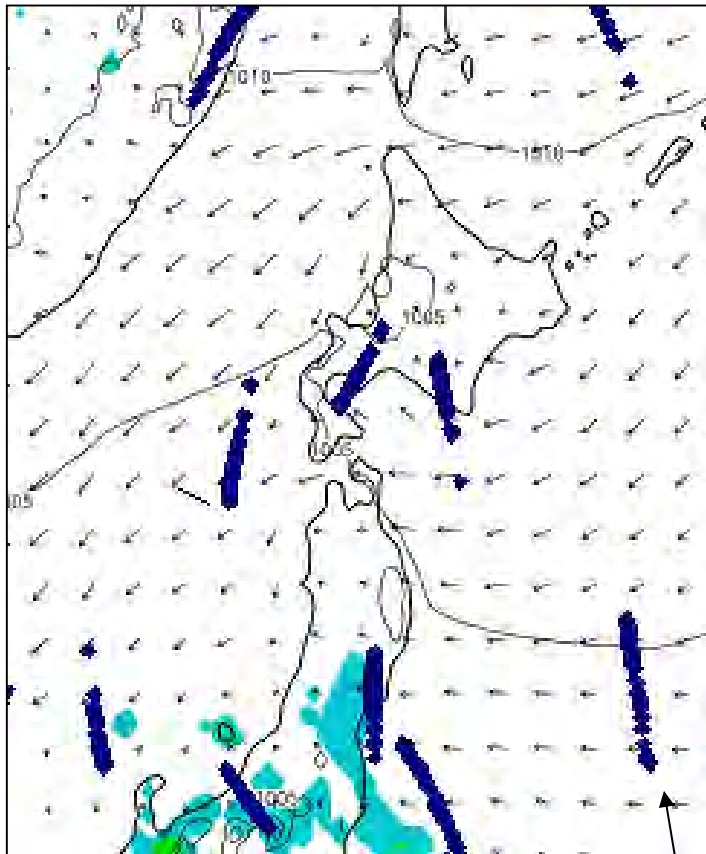
タンジェント点

GPS 衛星

COSMICデータは京都大から提供を受けました。

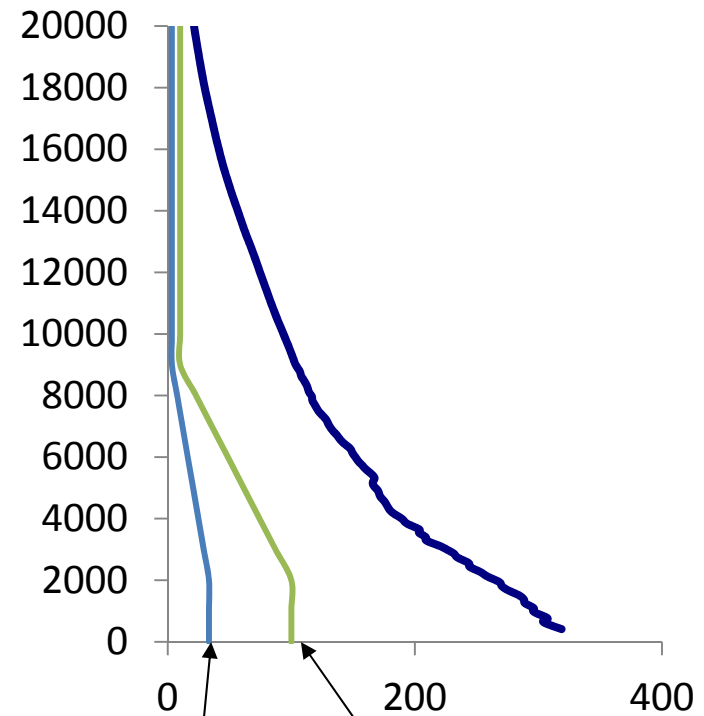
# COSMICの観測データ例

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



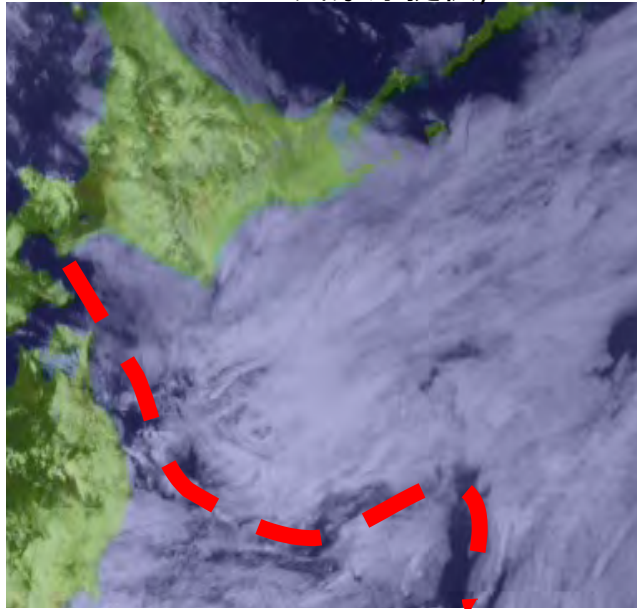
観測誤差

観測誤差/3

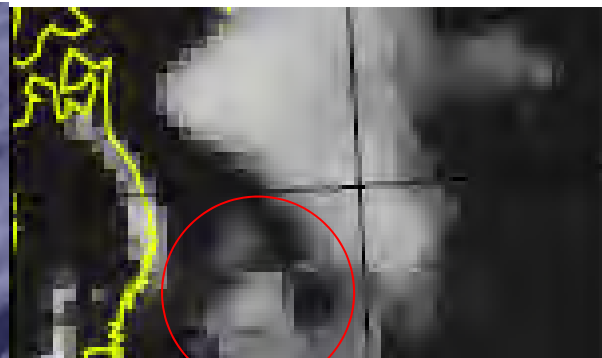
COSMICデータは京都大から提供を  
受けました。

# ヤマセの事例にLETKFを適用した結果

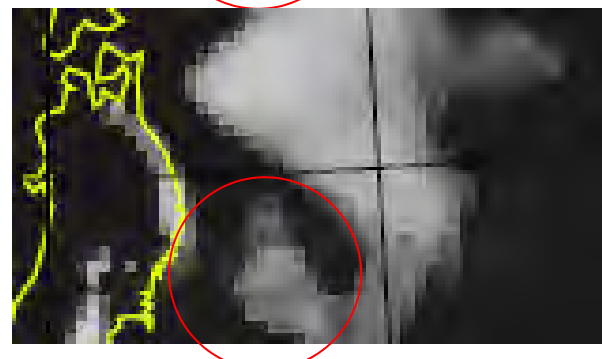
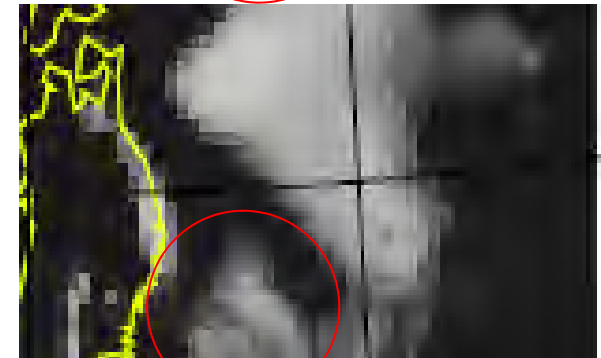
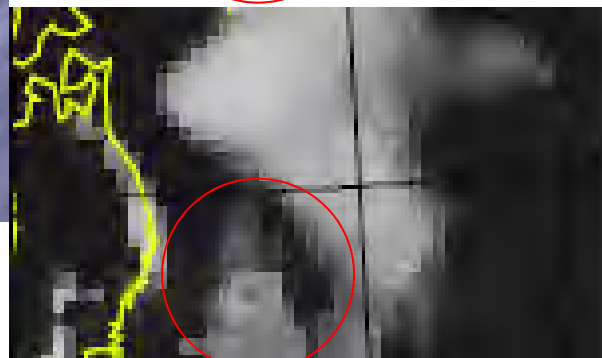
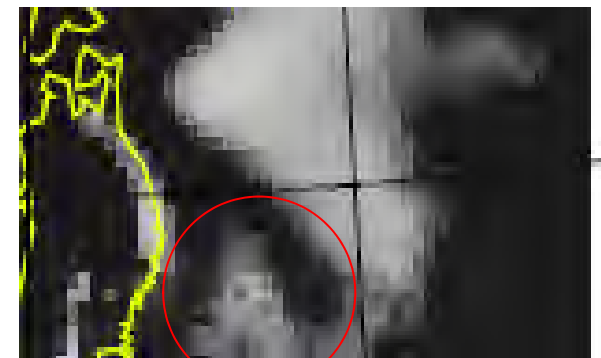
可視画像 (高知大学・東京大学・  
気象庁提供)



#000



#001



上段: 現業データのみ

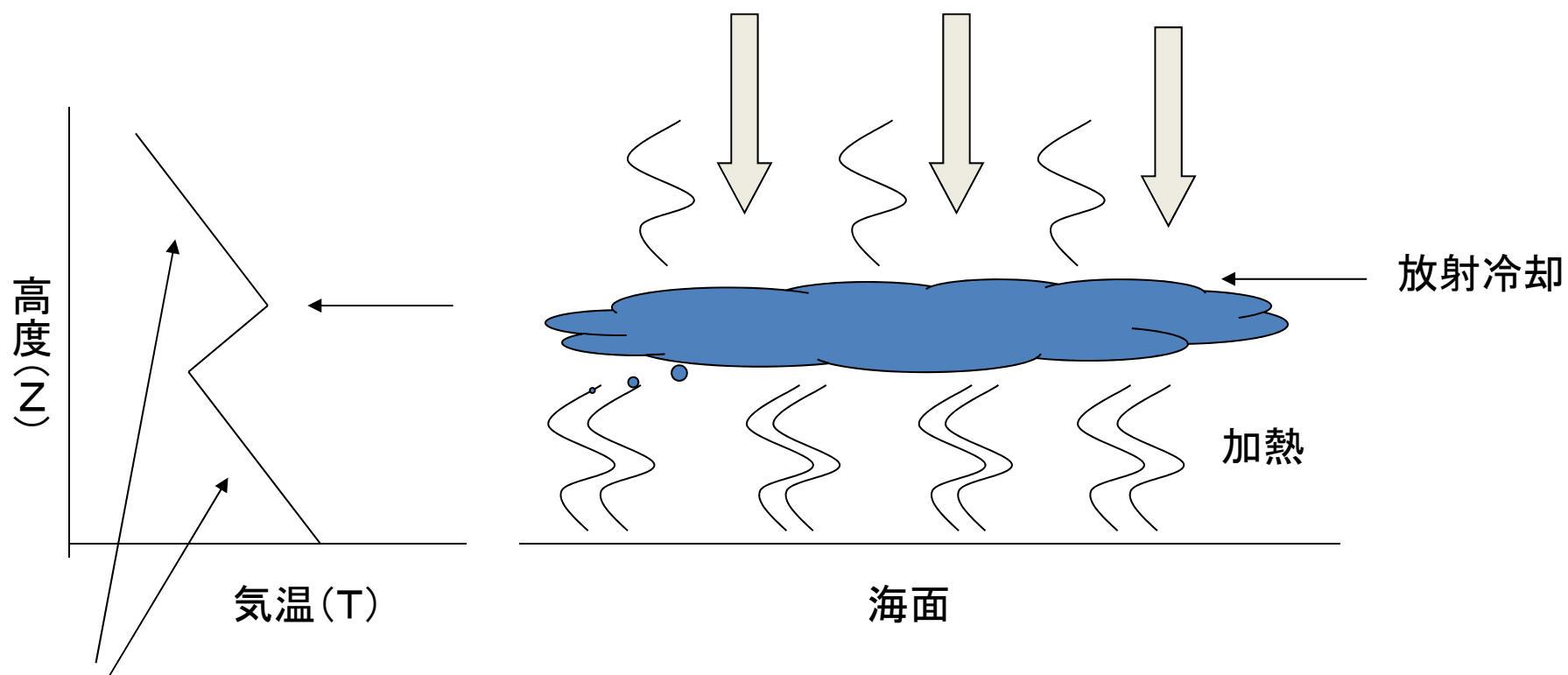
中・下段: COSMICを  
同化(1倍、0.3倍)

- ・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。

COSMICデータは京都大から提供を受けまし

# ヤマセと上方逆転層

下降流による断熱昇温



乾燥断熱減率

児玉先生作成

# Observing the moist troposphere with radio occultation signals from COSMIC

S. V. Sokolovskiy,<sup>1</sup> C. Rocken,<sup>1</sup> D. H. Lenschow,<sup>2</sup> Y.-H. Kuo,<sup>1,2</sup> R. A. Anthes,<sup>1</sup>  
W. S. Schreiner,<sup>1</sup> and D. C. Hunt<sup>1</sup>

Fig. 1 (Sokolovskiy et al.)

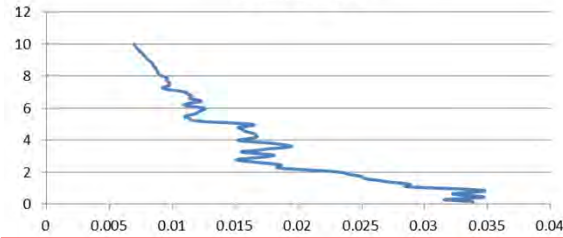
**COSMICが  
観測した  
屈折角から  
求められる  
逆転層の上端も  
同化できる。**

# 7月28日

COSMICデータは京都大から提供を受けました。

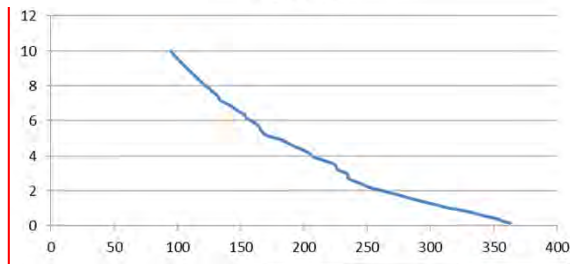
### 屈折角

2011 7 28 1  
Lat=37.70382 Lon=136.926  
AZ=-145.782



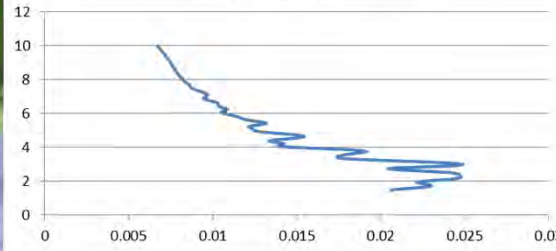
### 屈折指数

2011 7 28 1  
at=37.70382 Lon=136.926  
AZ=-145.782



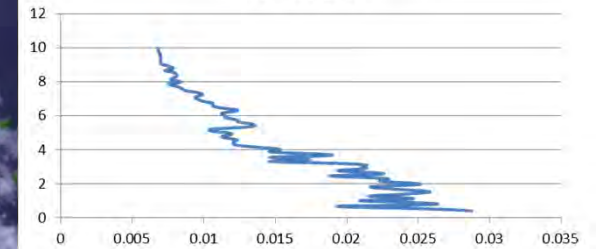
### 屈折角

2011 7 28 6  
Lat=42.22594 Lon=142.3783  
AZ=-158.5361



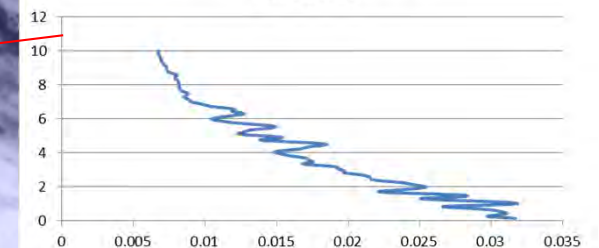
### 屈折角

2011 7 28 1  
Lat=38.49908 Lon=148.0006  
AZ=-29.51116



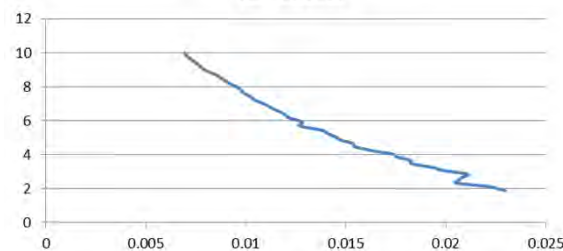
### 屈折角

2011 7 28 2  
Lat=36.79562 Lon=143.8956  
AZ=30.11063



### 屈折角

2011 7 28 1  
Lat=36.90955 Lon=139.9009  
AZ=165.2969



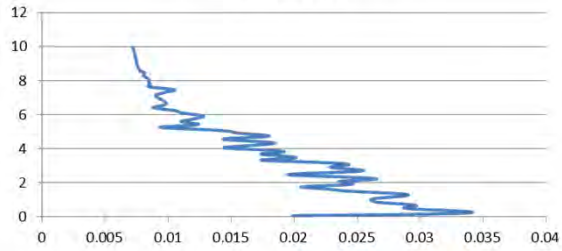
# 0728

(高知大学・東京大学・気象庁提供)

# 7月29日

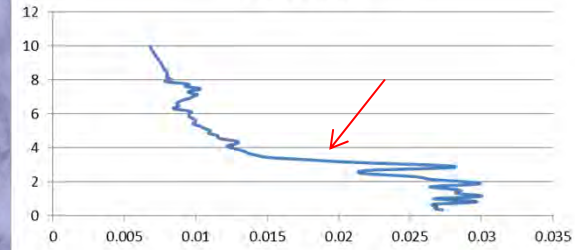
## 屈折角

2011 7 29 1  
Lat=37.51726 Lon=134.5132  
AZ=-159.0151



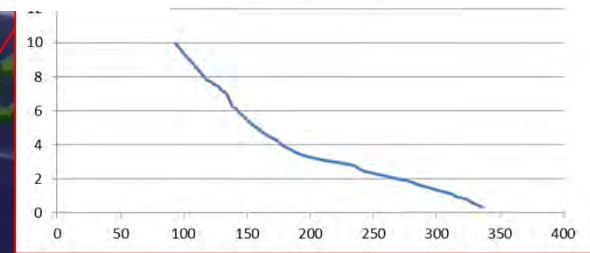
## 屈折角

2011 7 29 2  
Lat=41.77407 Lon=144.125  
AZ=-28.47356



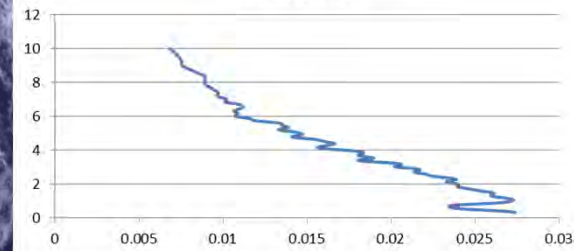
## 屈折指数

2011 7 29 2  
Lat=41.77407 Lon=144.125  
AZ=-28.47356



## 屈折角

2011 7 29 1  
Lat=37.95774 Lon=142.6468  
AZ=-49.16881



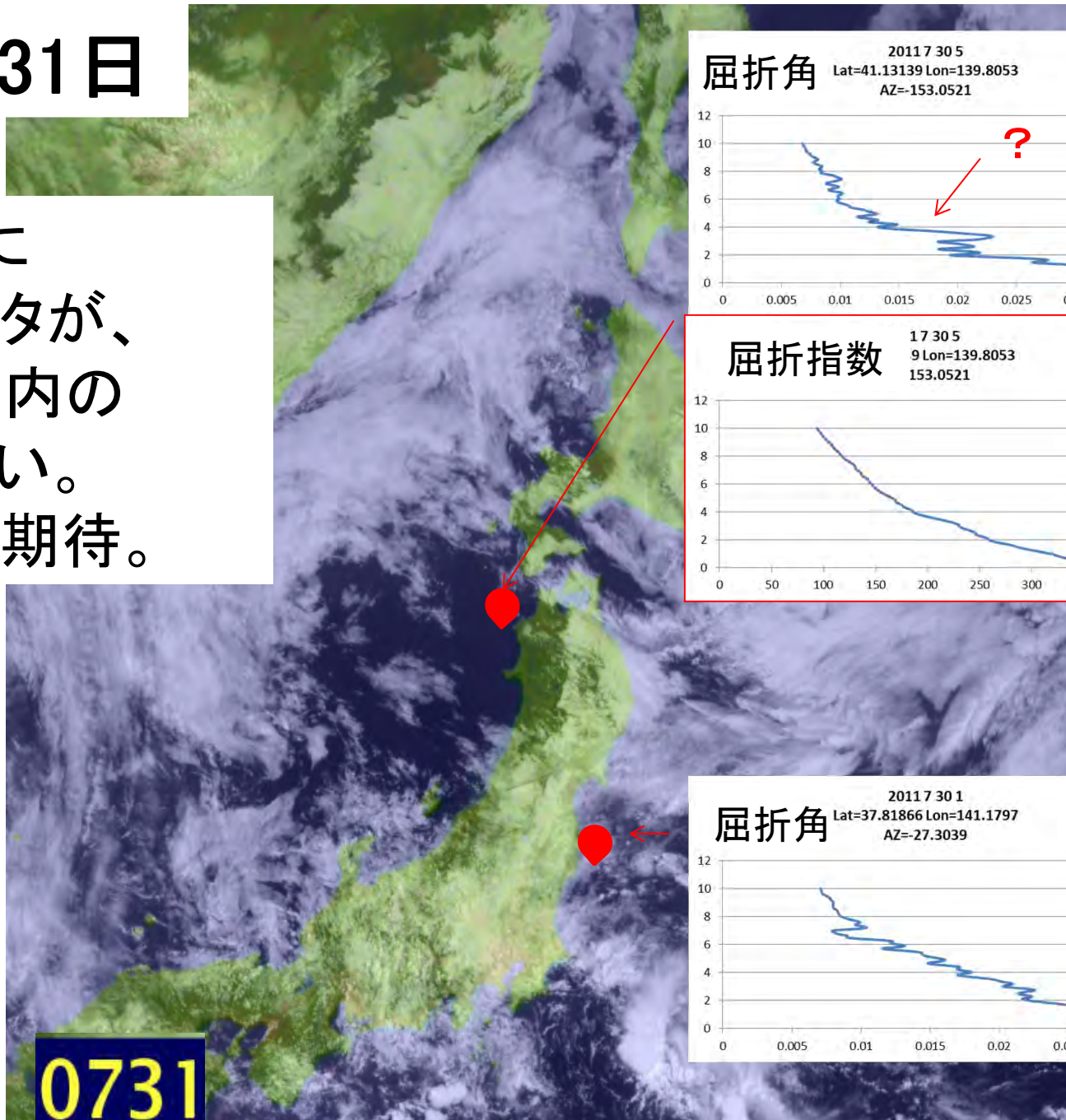
# 0729

COSMICデータは京都大から提供を受けました。

(高知大学・東京大学・気象庁提供)

# 7月30-31日

30-31日に  
掩蔽データが、  
北東風域内の  
上流にない。  
2012年に期待。



COSMICデータは京都大から提供を受けました。

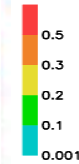
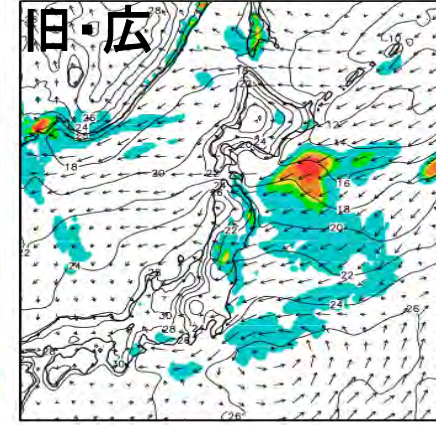
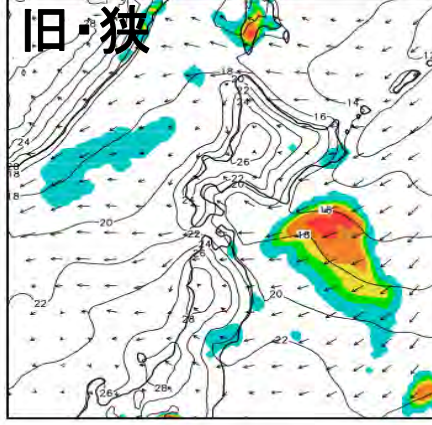
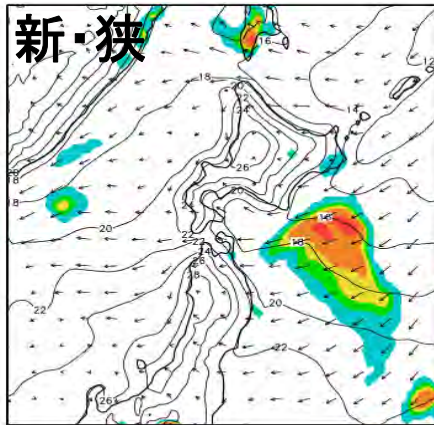
(高知大学・東京大学・気象庁提供)



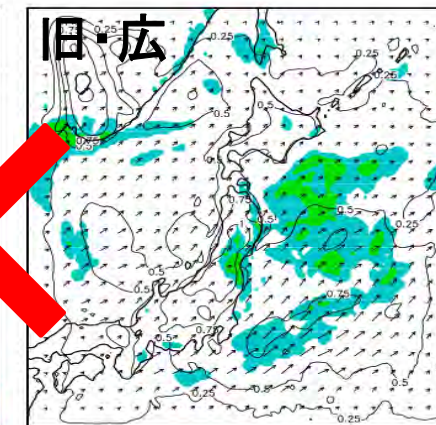
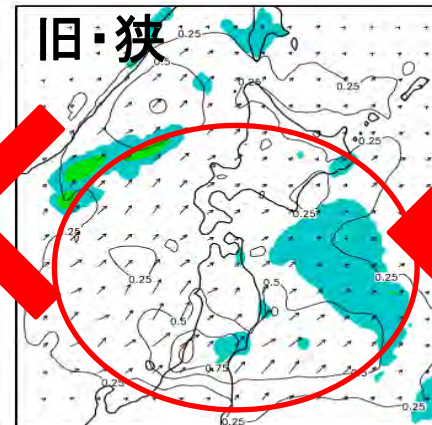
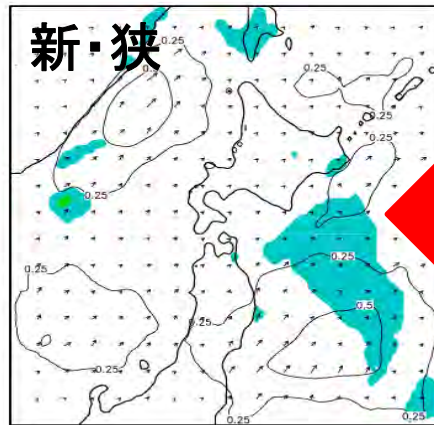
# スプレッドが小さい問題

高度844m 雲水量、水平風、気温

アンサンブル平均  
31日06UTC



スプレッド  
31日06UTC



1m/s

1m/s

2m/s

- ・新バージョンを用いると、スプレッドが小さい。調整する必要があるが、とりあえず旧バージョンを使用する。
- ・計算領域が狭いので広げる(境界の摂動がないため)。

# スプレッドが小さい問題

UNESCO United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization  
IOC Sub-Commission for the Western Pacific (WESTPAC)

JAXA 外洋域新世代海面水温 Ver.1.0  
リアルタイム公開  
[English]  
038829

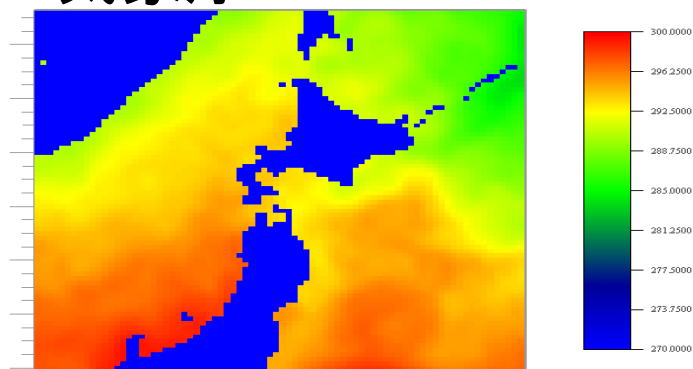
GHRSSST-PP

新世代海面水温開発グループ(代表 川村宏)では、2000年以来、新しい衛星・現場観測システムの利点を十分に活用し、従来の海面水温プロダクトの欠点を克服した外洋域新世代海面水温の開発を行ってきました(文献、データ)。この度、新海面水温プロダクトのリアルタイム作成・配信を開始致しました。以下のサイトで、毎日更新し、公開しています。

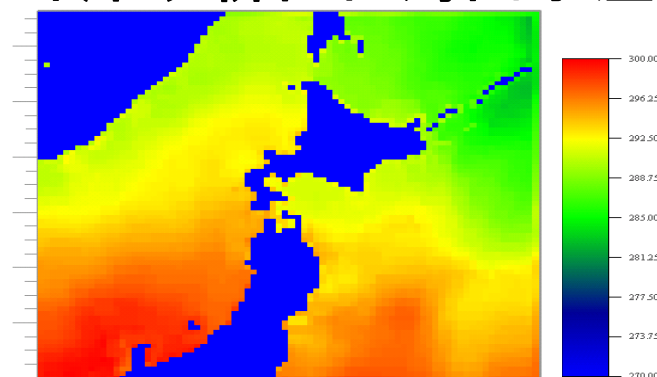
AMSR-E、MODISのデータは、JAXAから毎日リアルタイムで提供されています。AVHRR、GOESのデータは東北大学に置ける直接受信によって得られます。

この海面水温データの公開は、GODAE High Resolution Sea Surface Temperature Pilot Project (GHRSSST-PP)の一環として行われています。新世代海面水温開発グループは、引き続き、文部科学省科学技術振興調整費「東アジア海洋環境と新世代海面水温」の支援を受け、ユネスコ政府間海洋学委員会WESTPACの科学プログラム Ocean Remote Sensing Programmeと連携し、近い将来の公開を目指して沿岸域新世代海面水温(1km格子、1日4回)の開発を進めています。

気象庁



外洋域新世代海面水温



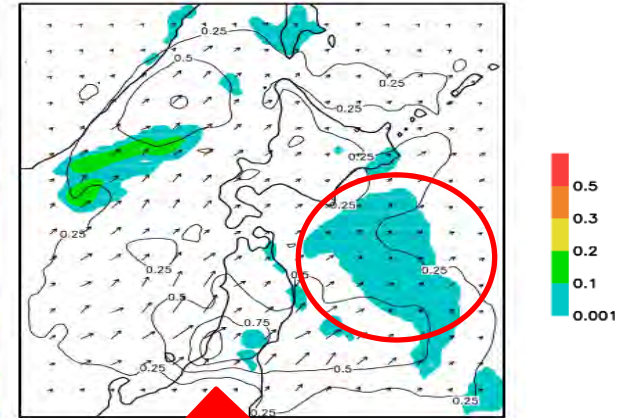
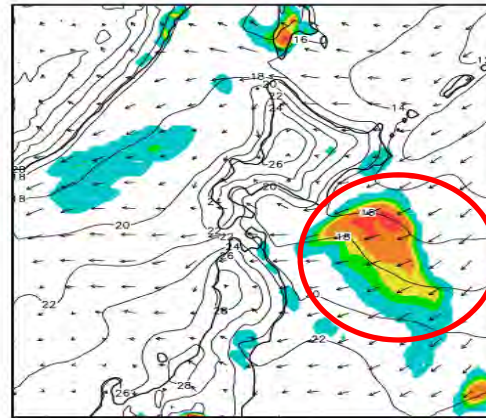
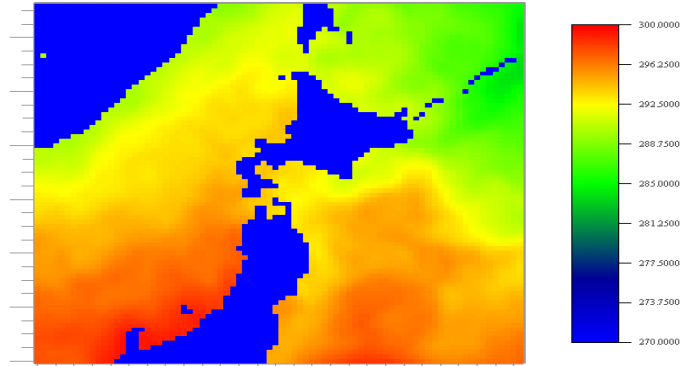
複数の海面水温を用いたインパクトを見たい

- ・海面温度に摂動がないことも原因。
- ・半数を東北大学の川村先生のデータにして、実験する。  
(外洋域新世代海面水温データを海面温度解析値として利用しました。ここに記して感謝します。)

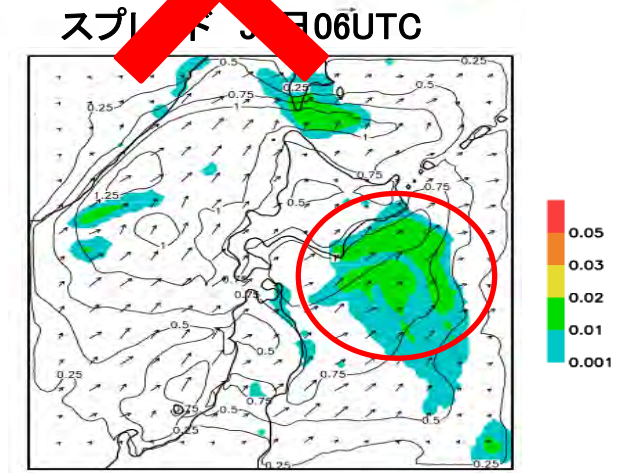
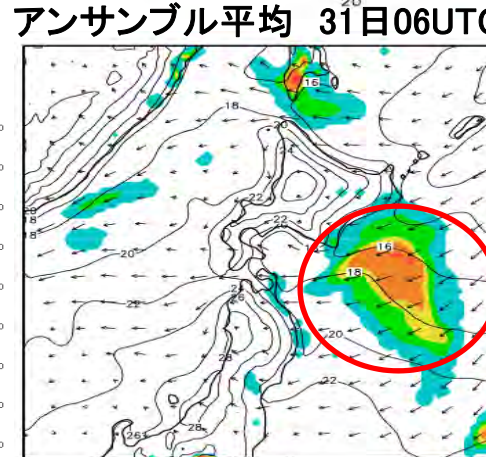
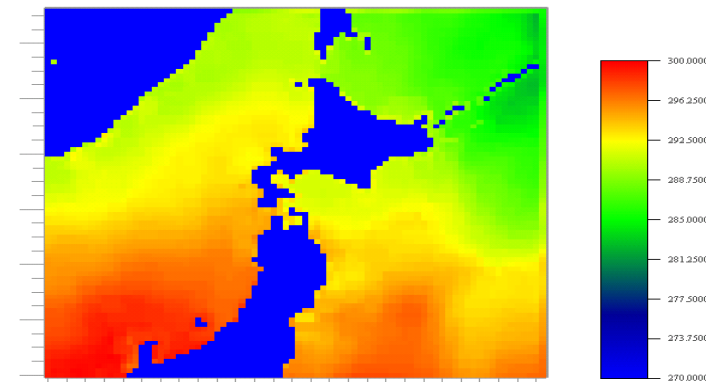
# スプレッドが小さい問題

高度844m 雲水量、水平風、気温  
アンサンブル平均 31日06UTC      スプレッド 31日06UTC

## 全部: 気象庁の解析



## 半分: 東北大の解析



- ・海面温度に摂動がないことも原因。
- ・半数を東北大の川村先生のデータにすると、スプレッドが大きくなる。アンサンブル平均で再現された東北地方の東側の雲域は、やや広がり、値が小さくなった(ばらついた)。

# 同化実験の今後

スプレッドが適正になるように、

- ・新バージョンLETKFの修正を行う。
- ・領域を広げる。
- ・複数の海面温度の解析値を用いる。  
海面水温の摂動を考える。

新しい同化・評価データを開発する。

- ・シーロメータ等の雲底高度
- ・掩蔽データの屈折率、逆転層高度
- ・プロファイラの屈折率の鉛直勾配
- ・その他、ドップラーレーダの屈折率

# まとめ

1. LETKFをネストさせたシステムを開発し、ヤマセ等の実験を開始した。
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。
3. 同化・評価データとして、シーロメータ等の他の観測データを見るとともに、同化法のプロトタイプを開始した。今後、改良を続ける。
4. 海面温度は重要。複数の海面温度の解析値を用いたい。海面温度の摂動を作成手法を考える。