

面的水蒸気観測 SARへの期待

瀬古 弘(気象研究所/JAMSTEC)

小司 禎教・川畑 拓矢(気象研究所)

紹介する内容

(1) SARとのかかわり

(2) 水蒸気推定を行うGPS気象学

- ・GPS稠密観測とトモグラフィー
- ・練馬豪雨時の水蒸気変動
- ・小さいスケール水蒸気分布の効果
- ・可降水量等の同化実験結果

(3) SARへの期待

SARとのかかわり

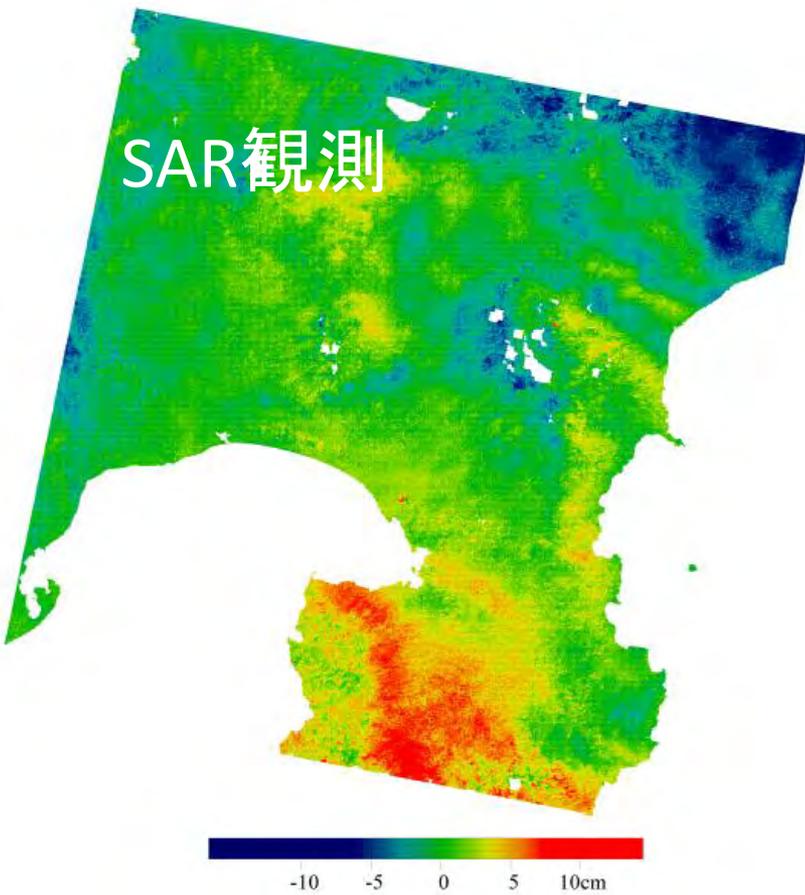
A wind-induced delay pattern in SAR interferometry and numerical simulation

干渉 SAR の風による遅延パターンと気象数値実験

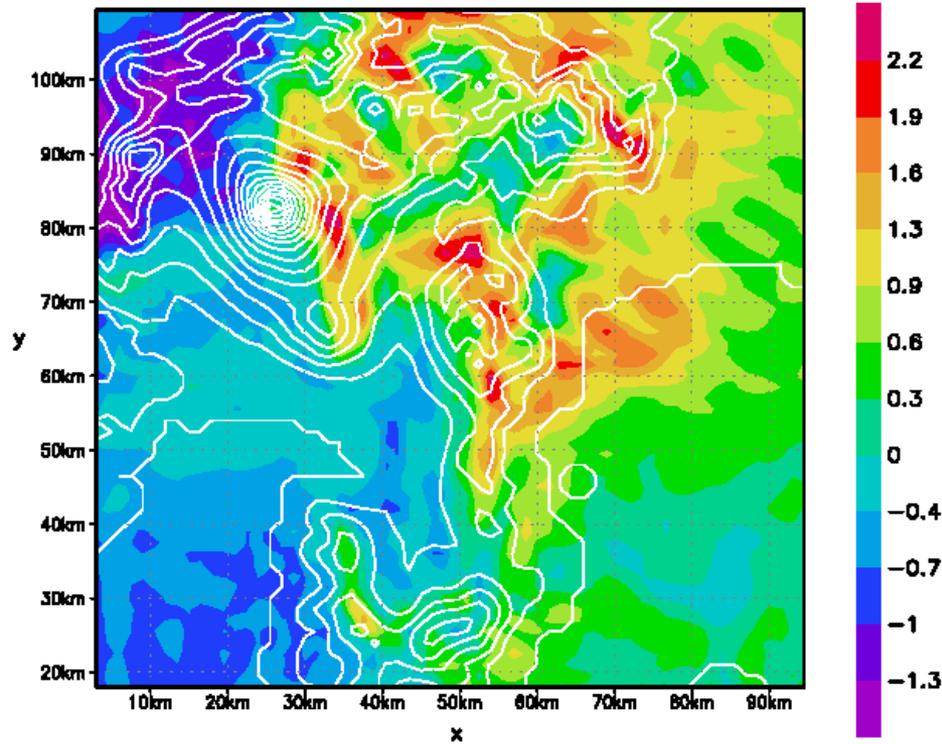
*Akira Otuka**, *Shigeki Kobayashi*** and *Hironmu Seko****

大塚 彰・小林 茂樹・瀬古 弘

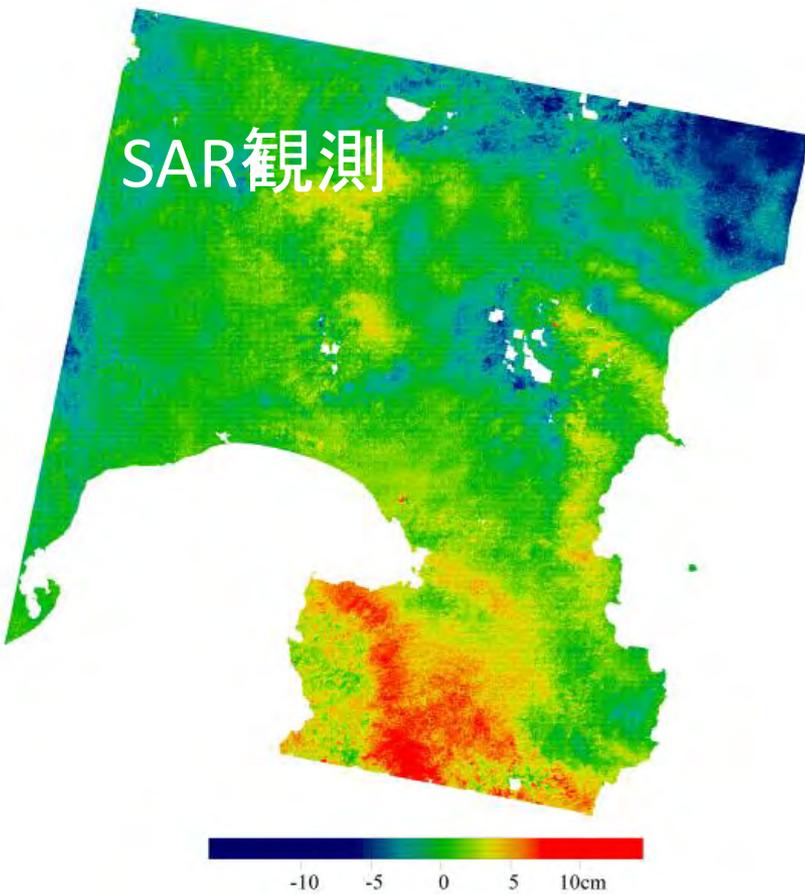
- ・上記論文は、GPS気象学で取り組まれたもの。
気象研からは、数値モデルの出力の提供、
表現されている気象現象の解説等をした。



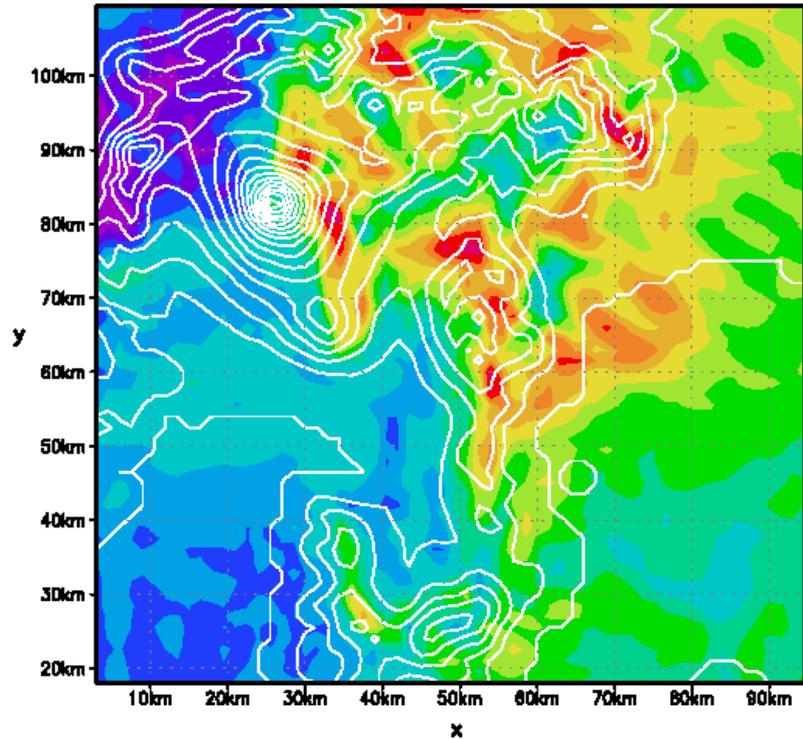
数値モデル



- SARの干渉図からこの地形相関の遅延を取り除くと、風によって生じた動的な遅延成分が残る。
- これを気象研究所の非静力学モデルMRI-NHMで評価すると、似たパターンと山岳波によって生じた波状パターンが生成され、それらの生成メカニズムが説明される。

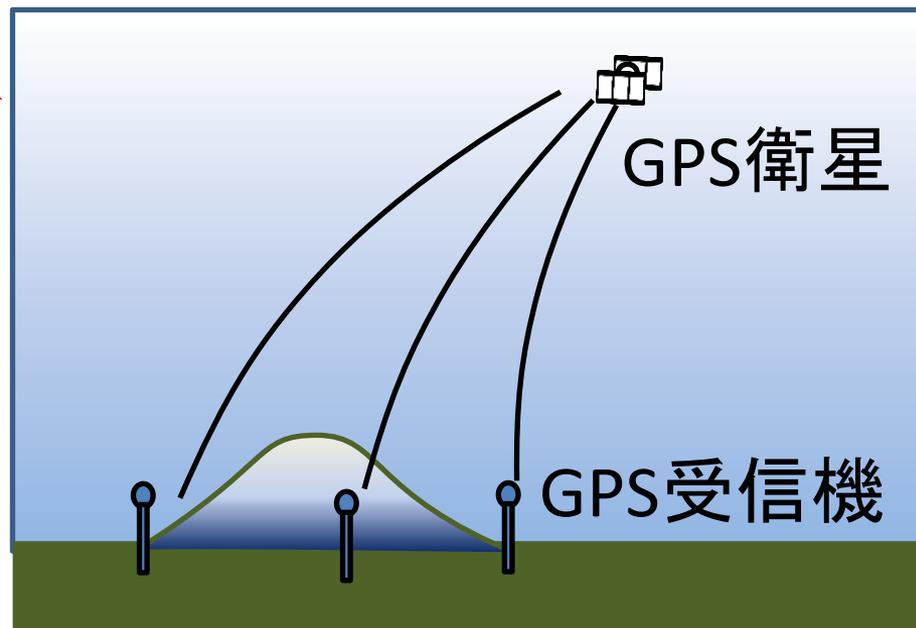
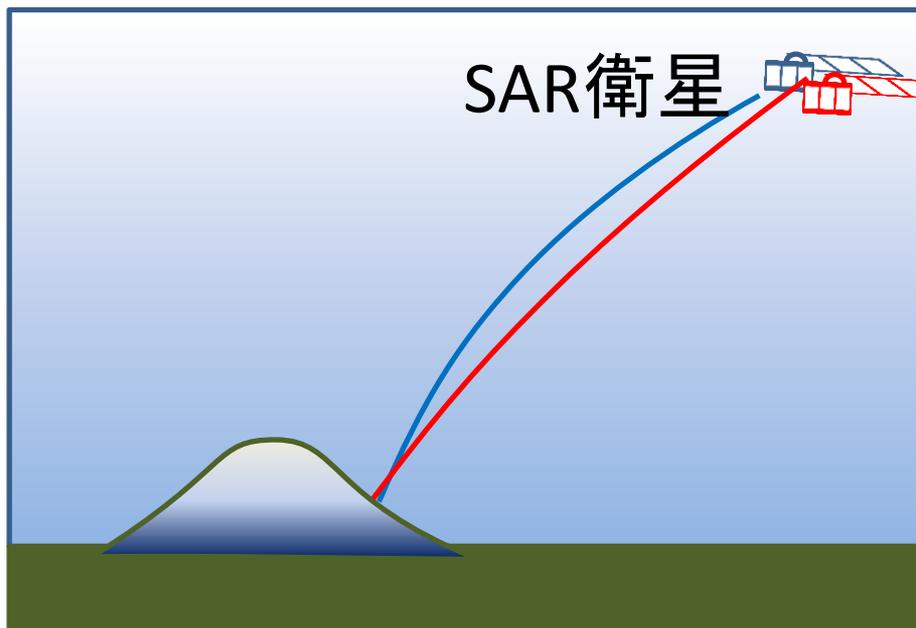


数値モデル



- SARの干渉図からこの地形相関の遅延を取り除くと、風によって生じた動的な遅延成分が残る。
- 大気による遅延量を議論する点はGPSと共通。遅延量を用いた解析は、参考になる点がありそう。GPS気象学について、紹介する。

SARによる水蒸気推定はGPSと似ている？



- 共に、衛星から距離を測る点は同じ。
- 距離の測定にとって、水蒸気等による遅延量が誤差源。
- SARは2つの観測の差を取って、水蒸気量を算出。
- GPSは、測位時に遅延量も一緒に推定する。

紹介する内容

(1) SARとのかかわり

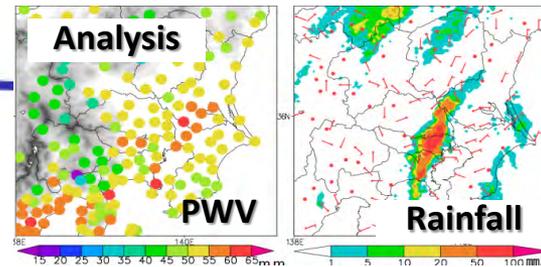
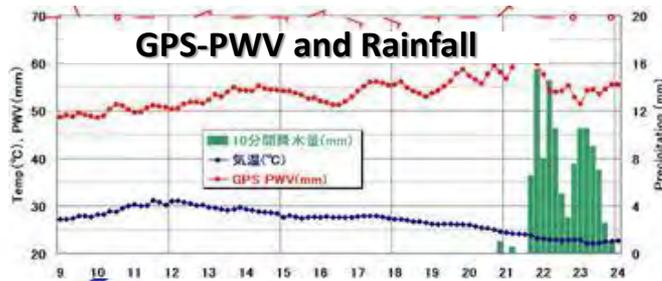
(2) 水蒸気推定を行うGPS気象学

- ・GPS稠密観測とトモグラフィ
- ・練馬豪雨時の水蒸気変動
- ・小さいスケール水蒸気分布の効果
- ・可降水量等の同化実験結果

(3) SARへの期待

GPS気象学

1996-2002年



GSI
GEONET
1,300 sites

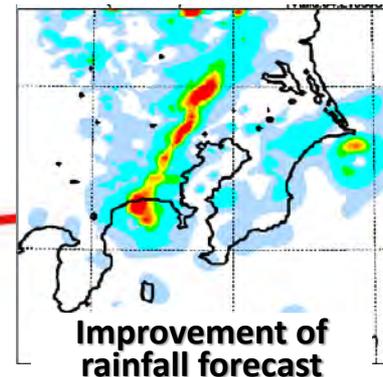
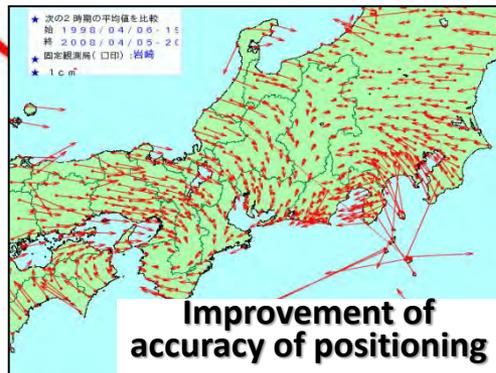
GPS PWV

water vapor

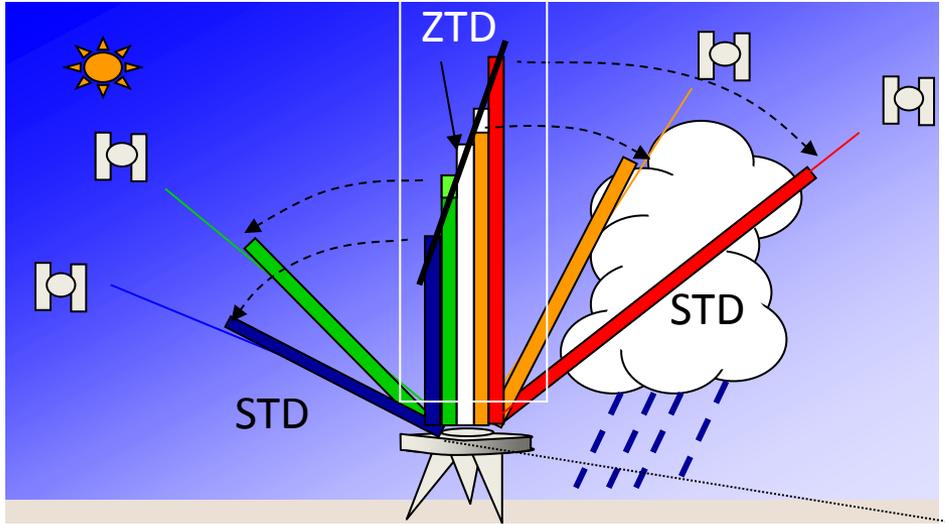
NWP data

JMA
NWP
4DVar DA

Data
assimilation

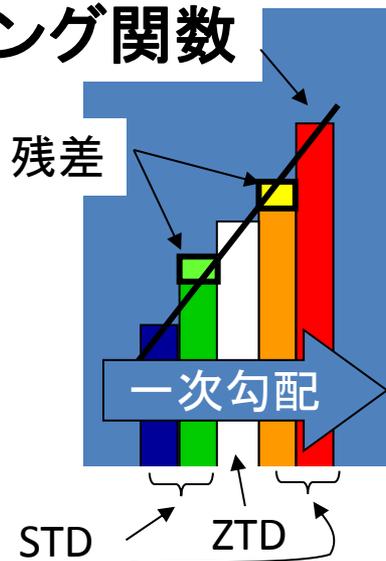


可降水量・視線水蒸気量の推定



- 天頂遅延量(ZTD)はGPS解析ソフトウェア(GIPSY)で求められる。
- マッピング関数, 残差, 一次勾配は、ZTDの推定時に得られる。
- 視線遅延量 (STD) は ZTD, マッピング関数、残差から再構成する。
- 可降水量 (PWV)・視線水蒸気量 (SWV)は、ZTD、STDと地上気圧、気温を使って換算する。

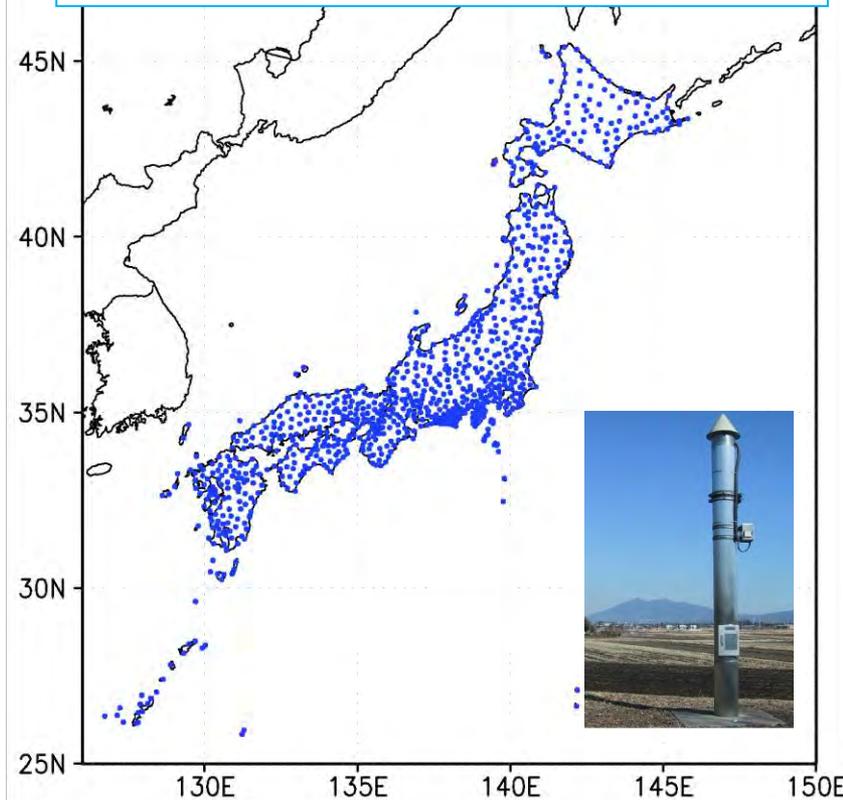
マッピング関数



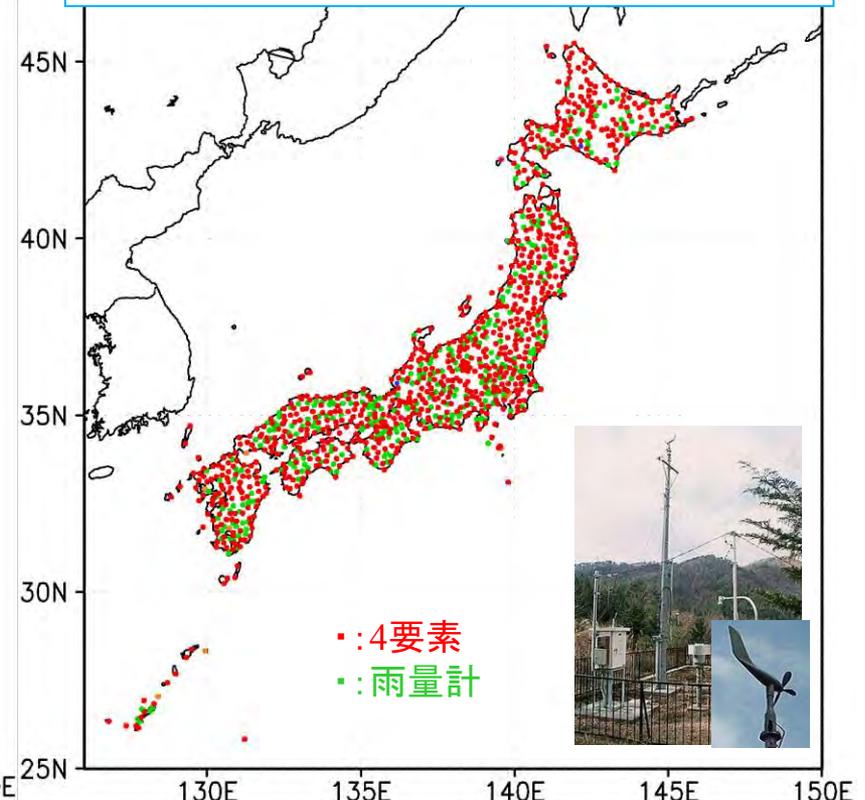
GEONET(国土地理院)による観測網

アメダスと同等の密度で水蒸気解析が可能。

国土地理院GPS観測網



気象庁AMeDAS観測網



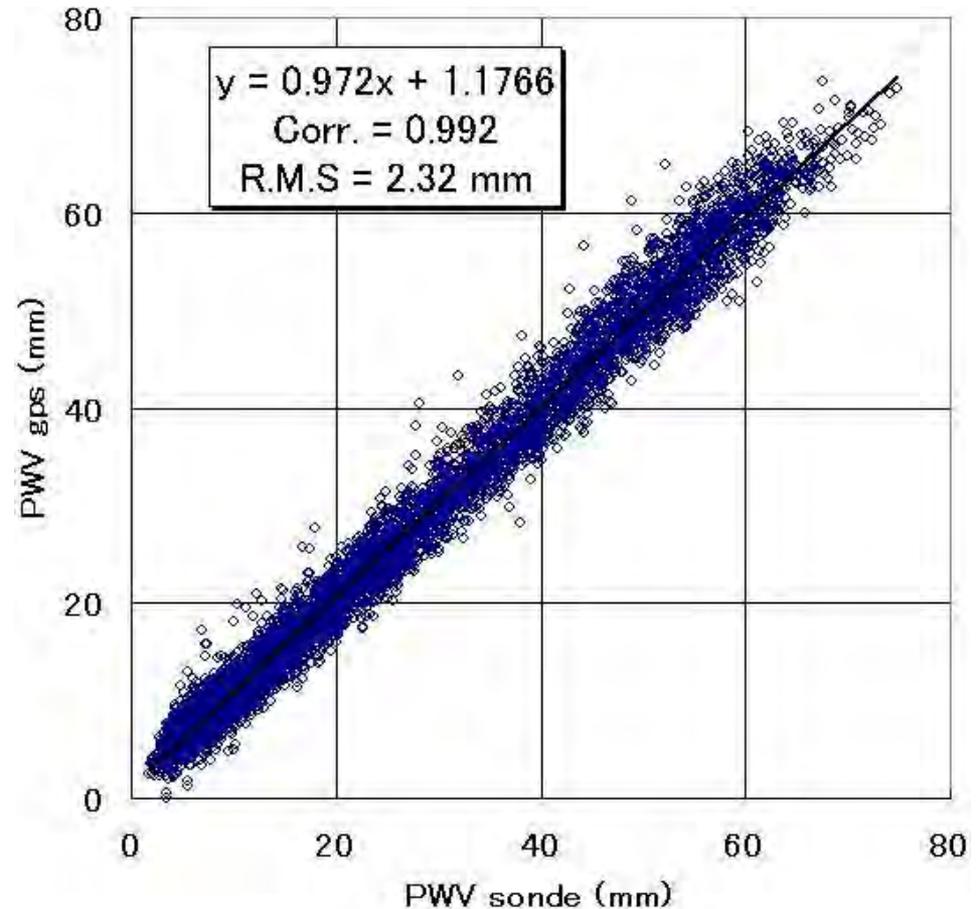
GPS可降水量の精度：ゾンデと同等

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/舘野	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)

紹介する内容

(1) SARとのかかわり

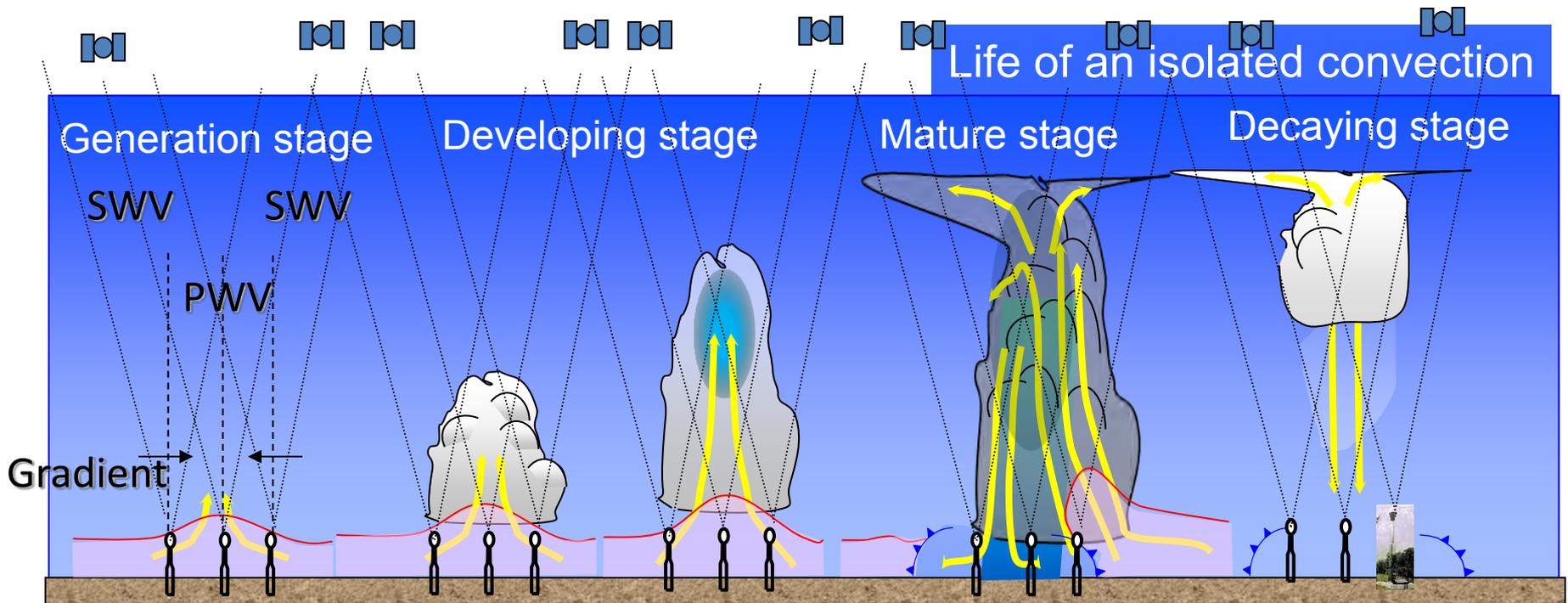
(2) 水蒸気推定を行うGPS気象学

- ・GPS稠密観測とトモグラフィ
- ・練馬豪雨時の水蒸気変動
- ・小さいスケール水蒸気分布の効果
- ・可降水量等の同化実験結果

(3) SARへの期待

局地的豪雨の模式図

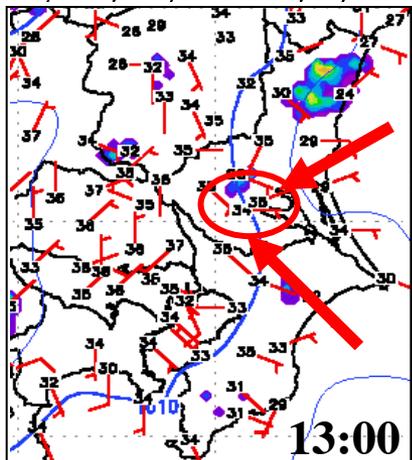
対流が発生する時には、
境界層が上昇流で持ち上げられて、厚くなる。



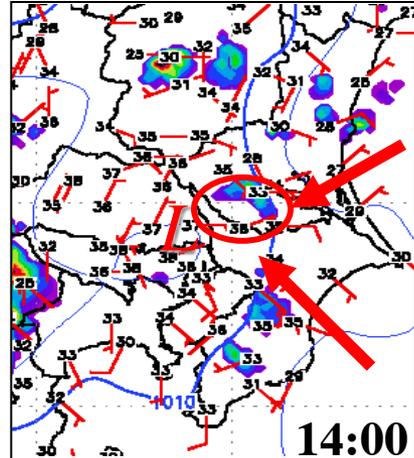
- GPS水蒸気データで、これらの境界層や水蒸気分布の特徴が見えるか？

2001年8月1日の降水域、地上風と可降水量

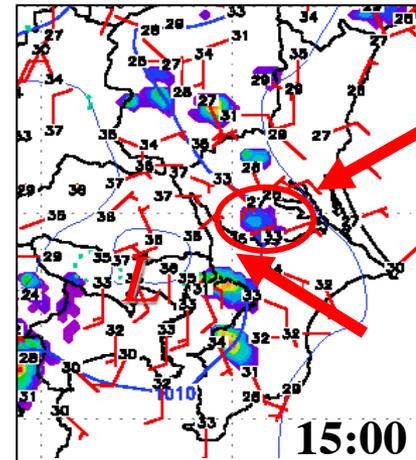
ECHO/Psea/Tsfc/Wsfc 2001/08/01 4(ut)



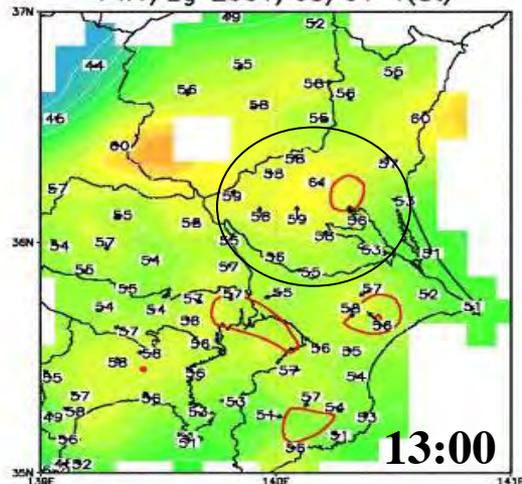
ECHO/Psea/Tsfc/Wsfc 2001/08/01 5(ut)



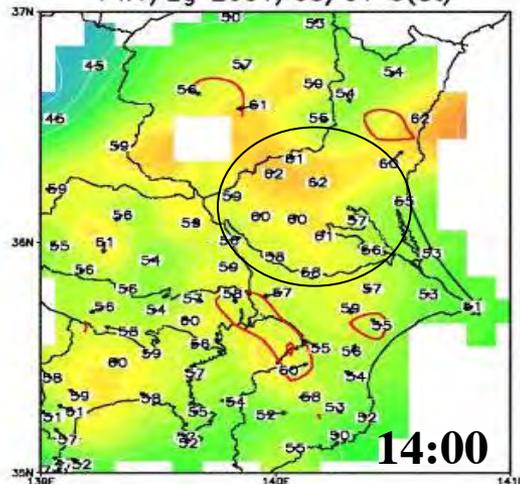
ECHO/Psea/Tsfc/Wsfc 2001/08/01 6(ut)



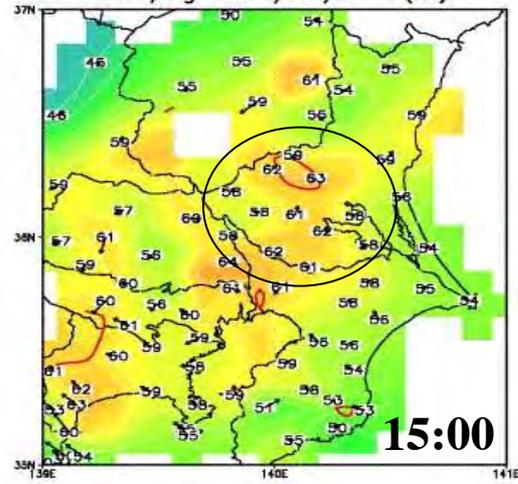
PWV/Lg 2001/08/01 4(ut)



PWV/Lg 2001/08/01 5(ut)



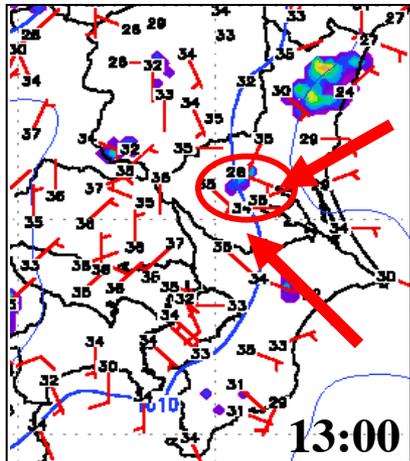
PWV/Lg 2001/08/01 6(ut)



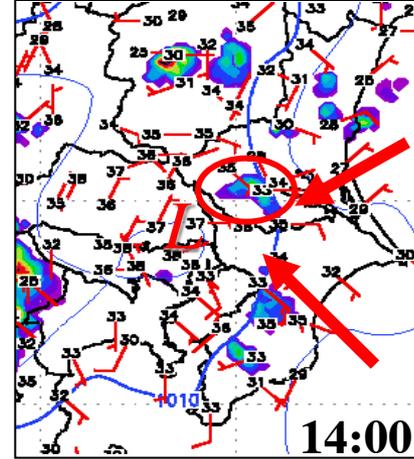
- ・水平風が東京付近の低気圧に収束している。
- ・収束域では、可降水量が増加し、対流が発生した。

2001年8月1日の降水域、地上風と可降水量

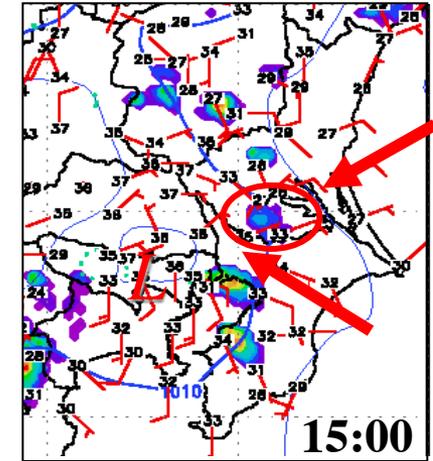
ECHO/Psea/Tsfc/Wsfc 2001/08/01 4(ut)



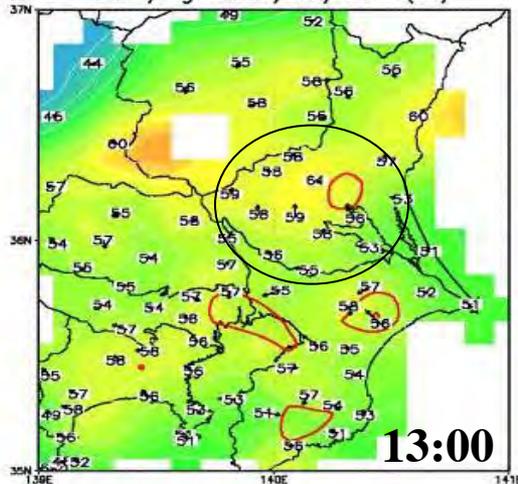
ECHO/Psea/Tsfc/Wsfc 2001/08/01 5(ut)



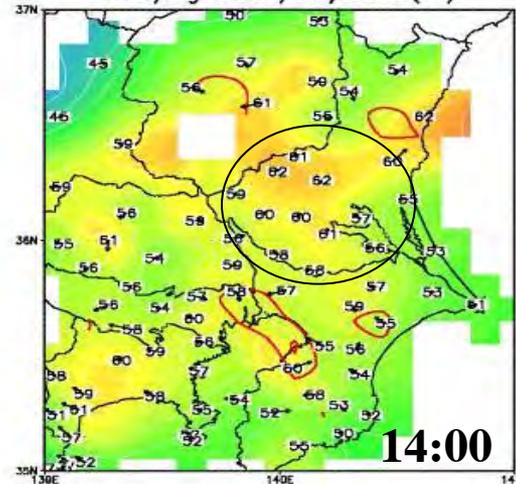
ECHO/Psea/Tsfc/Wsfc 2001/08/01 6(ut)



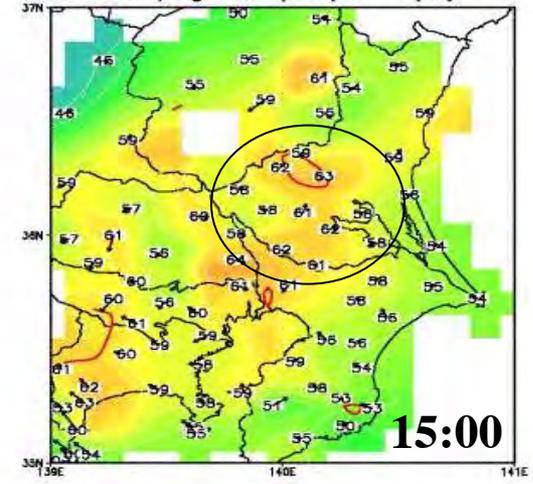
PWV/Lg 2001/08/01 4(ut)



PWV/Lg 2001/08/01 5(ut)



PWV/Lg 2001/08/01 6(ut)



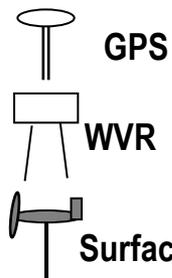
- ・GPS連続観測網の受信機の水平間隔は20km程度。
詳細な分布までは解像できない。

つくばGPS稠密観測

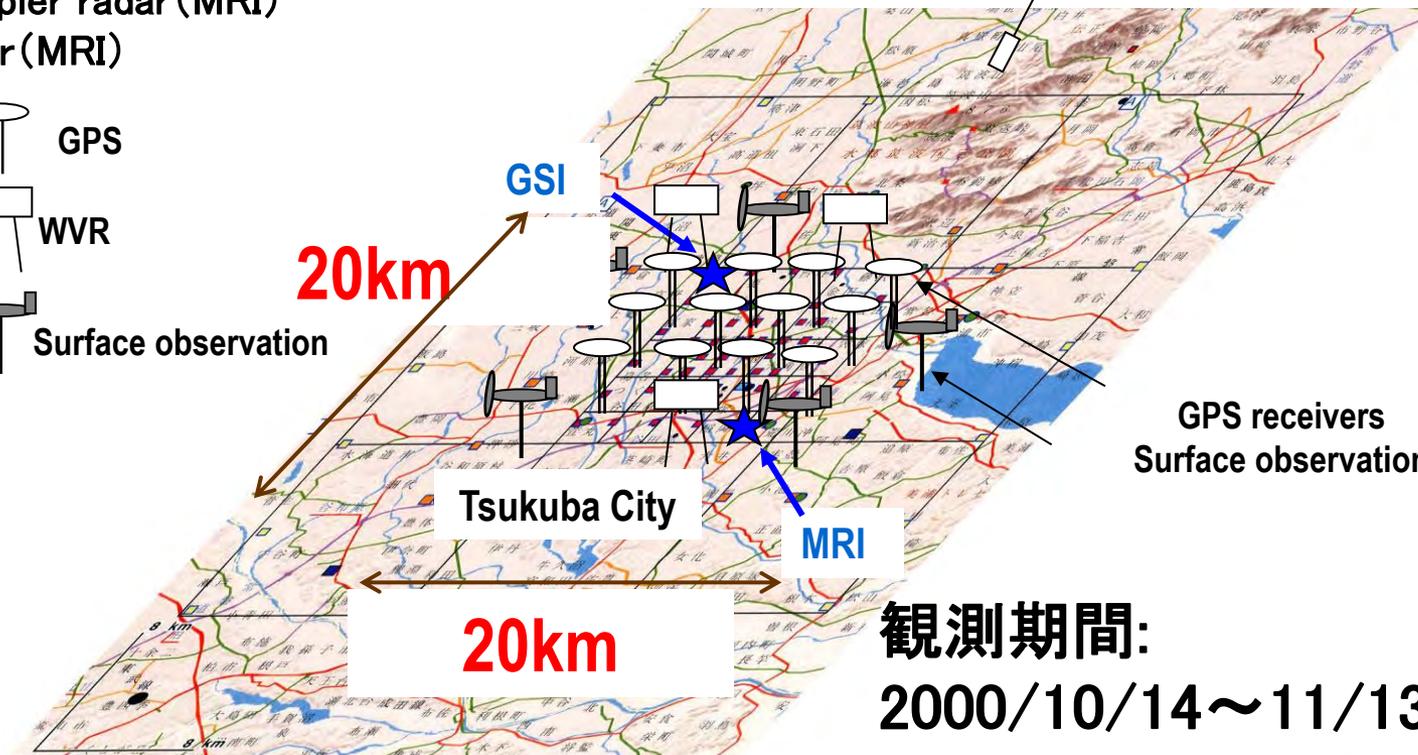
・GPS 受信機(75)

・地上観測(20)

- ・WVR(4)
- ・Sonde(MRI, HAO)
- ・BLR(MRI)
- ・Doppler radar(MRI)
- ・Lidar(MRI)



Sonde



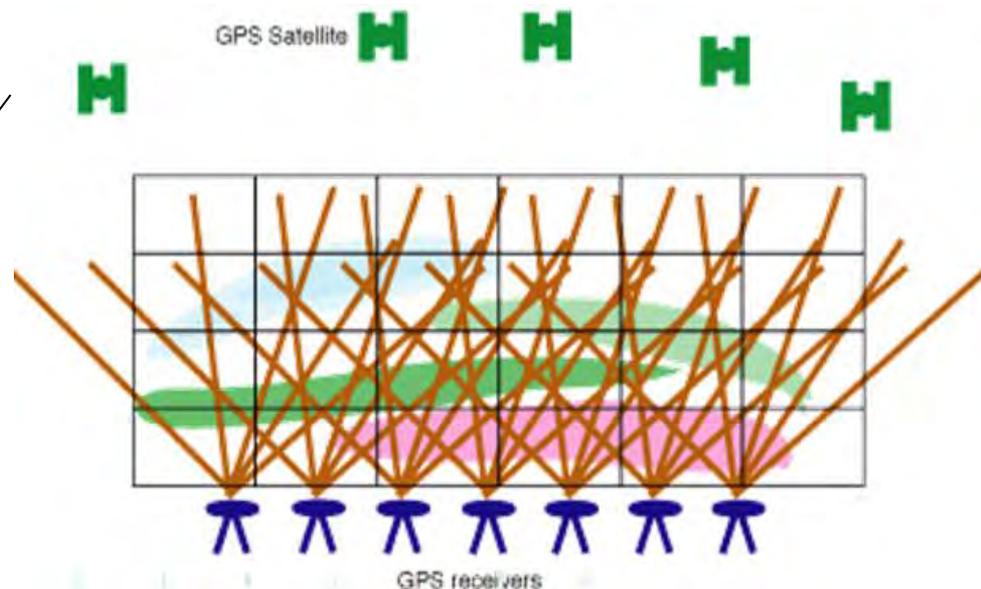
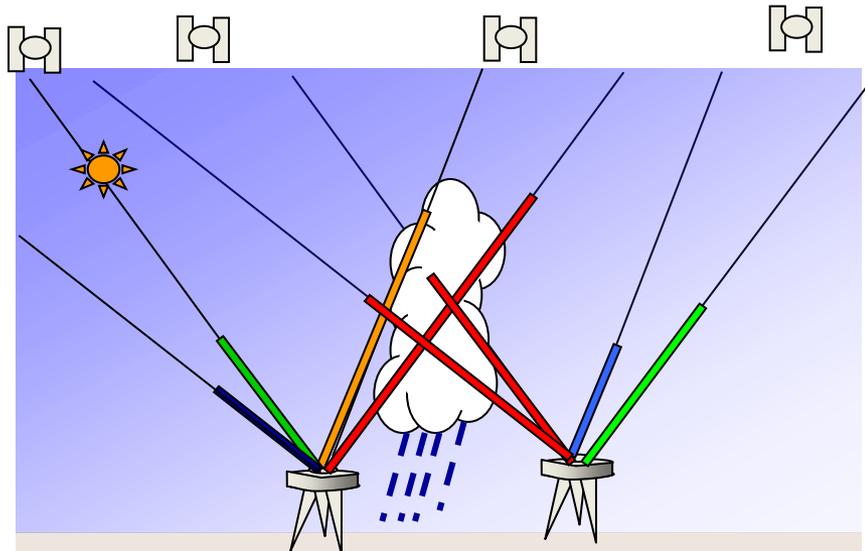
GPS receivers
Surface observation

観測期間:

2000/10/14~11/13 (30days)

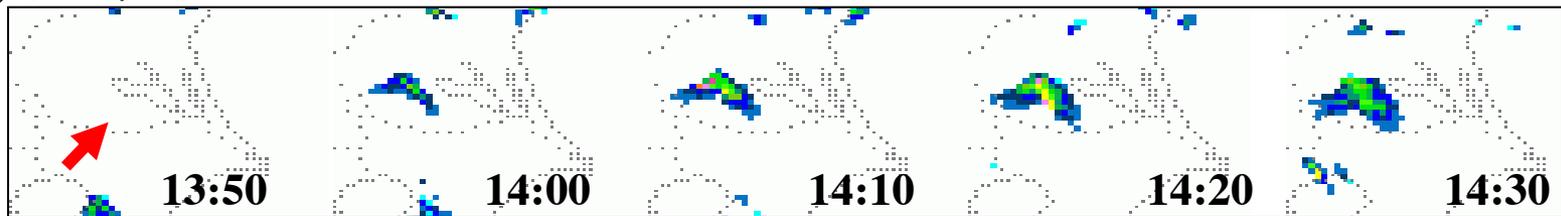
2001/7/14~9/2(51days)

トモグラフィー法

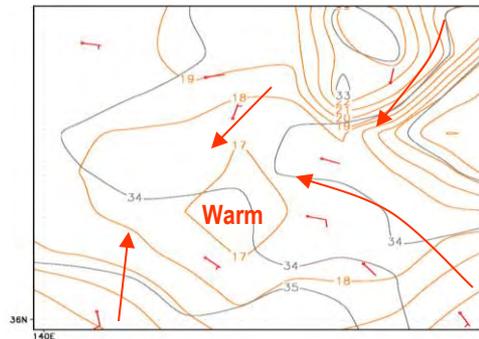


- ・湿った領域により、特定の仰角や方位角のSWVの値が大きくなる。
- ・多くのSWVの情報を同時に用いることで、水蒸気の3次元分布を推定する。

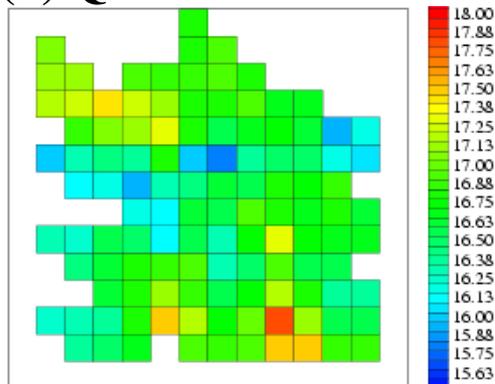
(a) レーダ



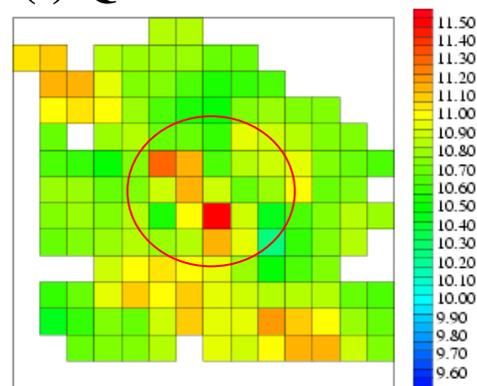
(b) T, Qv, Wind Surface



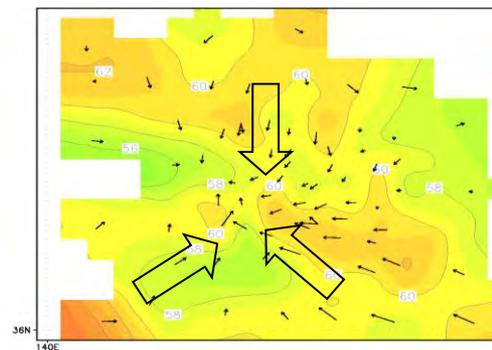
(d) Qv 0-1km



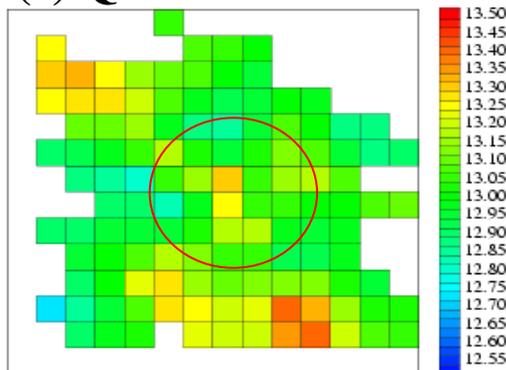
(f) Qv 2-3km



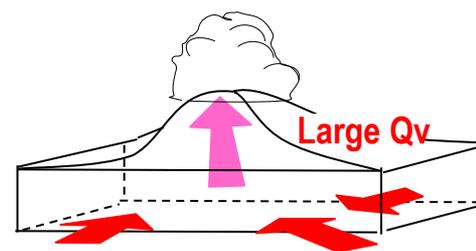
(c) PWV, 1次勾配



(e) Qv 1-2km



(g) 降水発生時の模式図

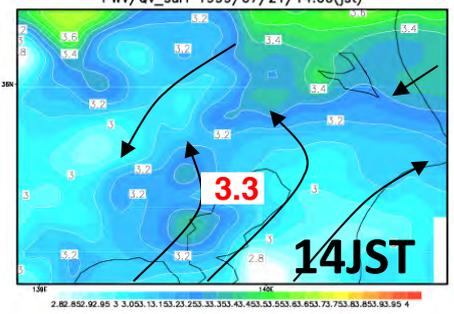
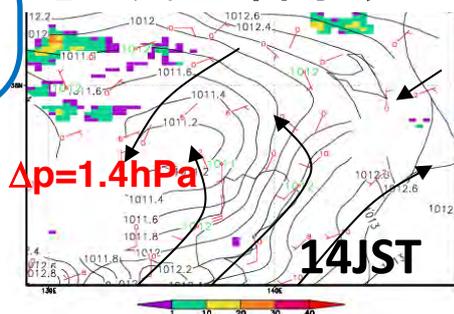


- ・エコー発生前の13時50分に、観測域中央に向かう収束が見られた。
- ・中央付近の高度2-3kmに、周囲よりも湿った領域があった。
(境界層のふくらみが見えた。降水現象より先行している)

練馬豪雨時のPWV

収束により水蒸気が蓄積。
降水より先行。

地上気圧・降水域 可降水量/地上水蒸気量

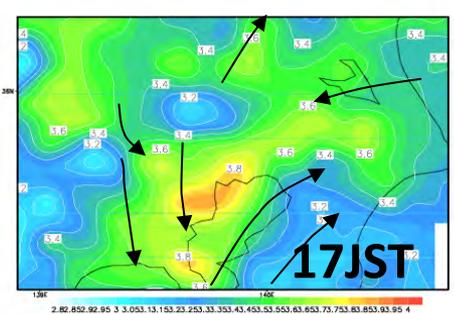
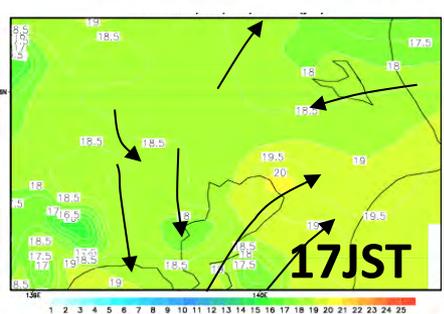
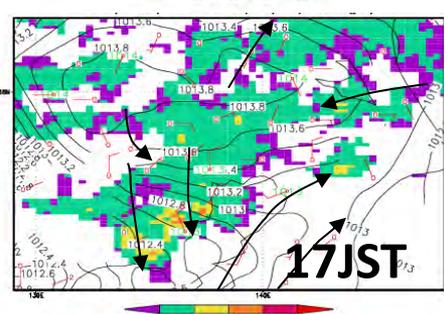
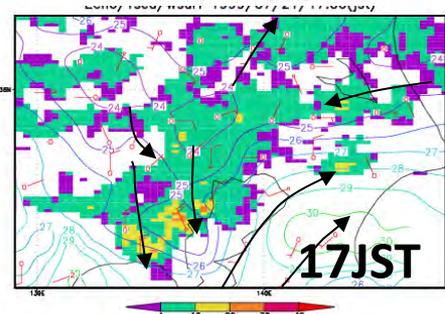
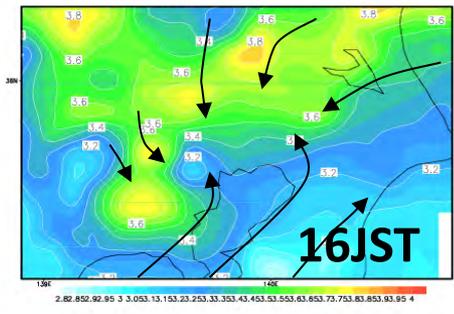
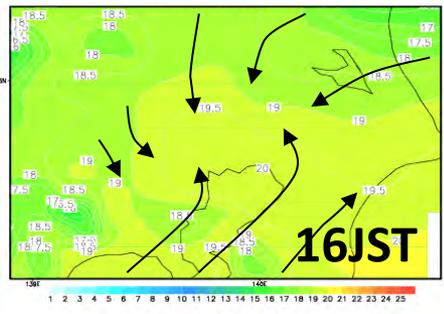
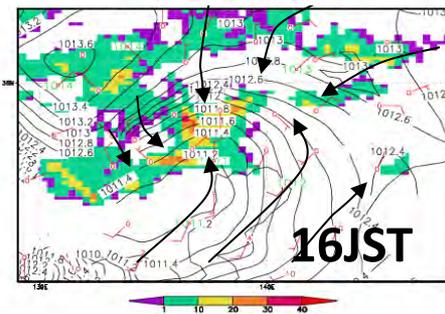
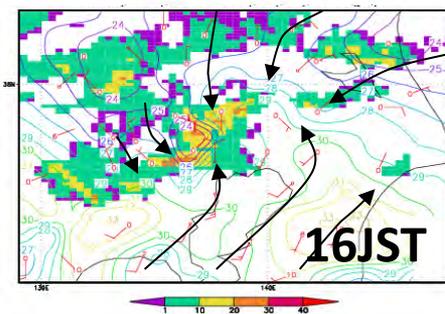
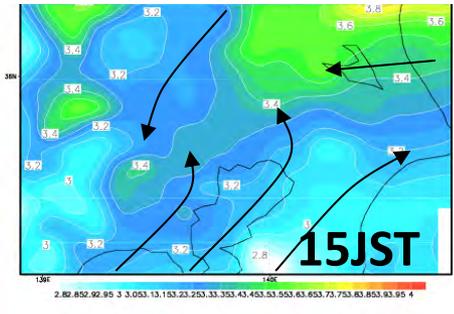
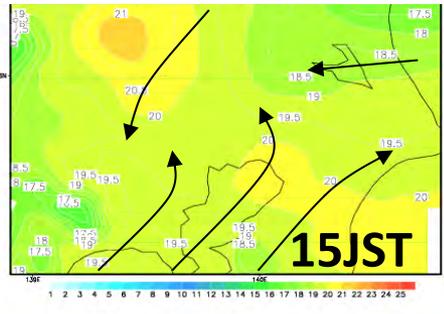
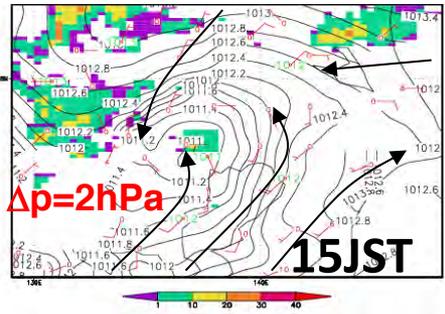
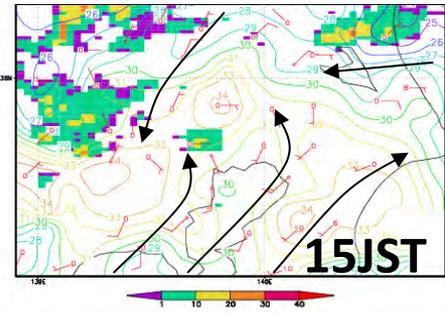


地上気温・降水域

地上気圧・降水域

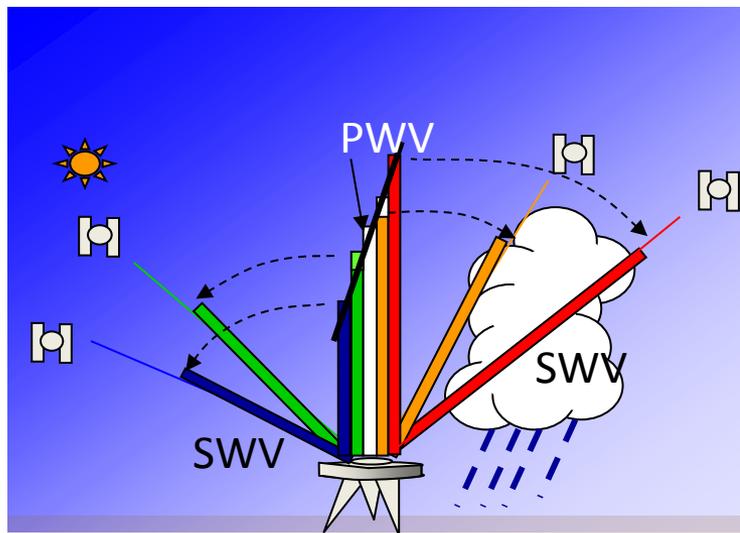
地上水蒸気量

可降水量/地上水蒸気量



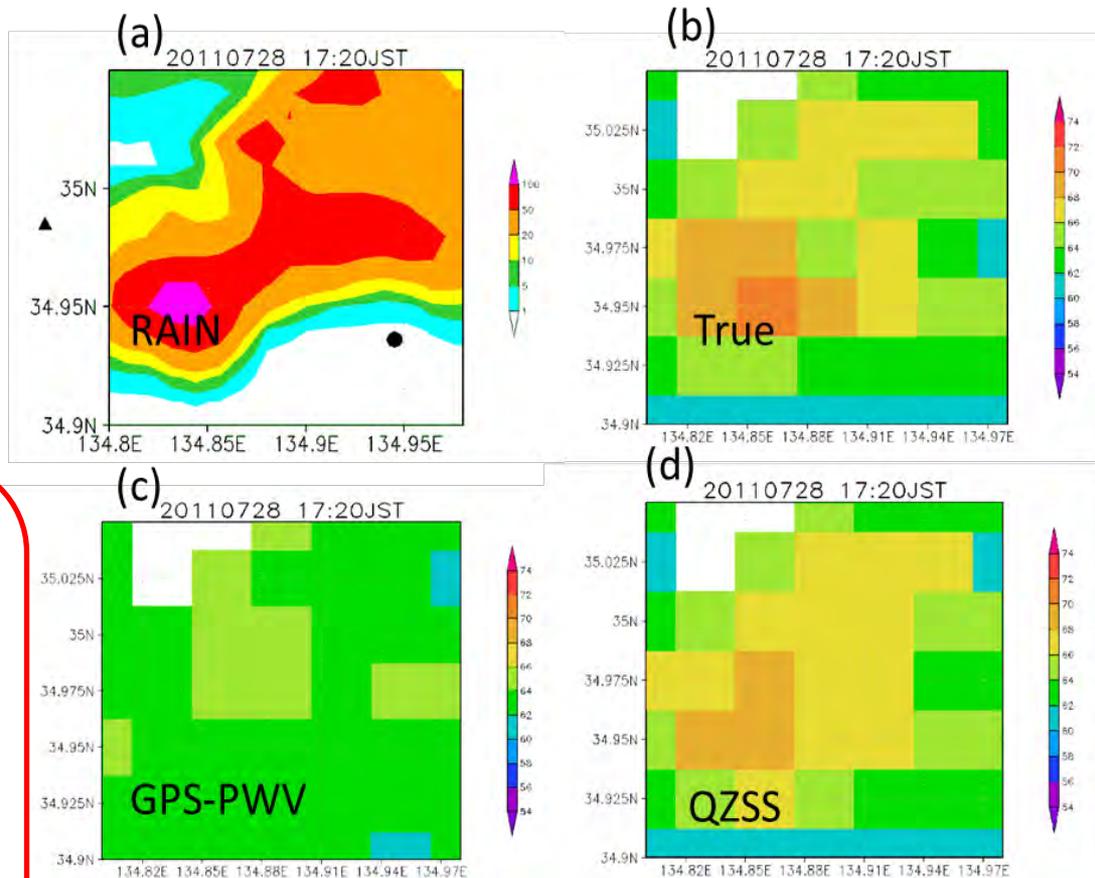
PWVは、小さいスケールの分布を表さない

M. Oiwaga et al(2013)



PWVは上の範囲内の平均。細かい分布は表現できない。

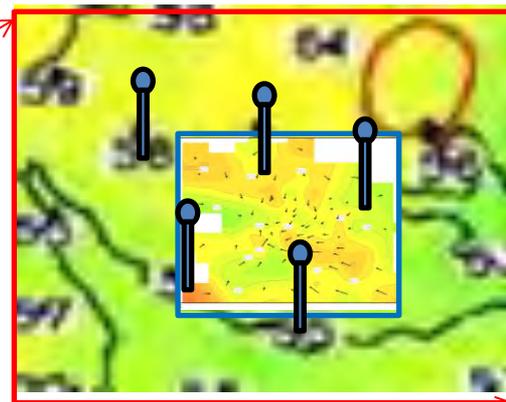
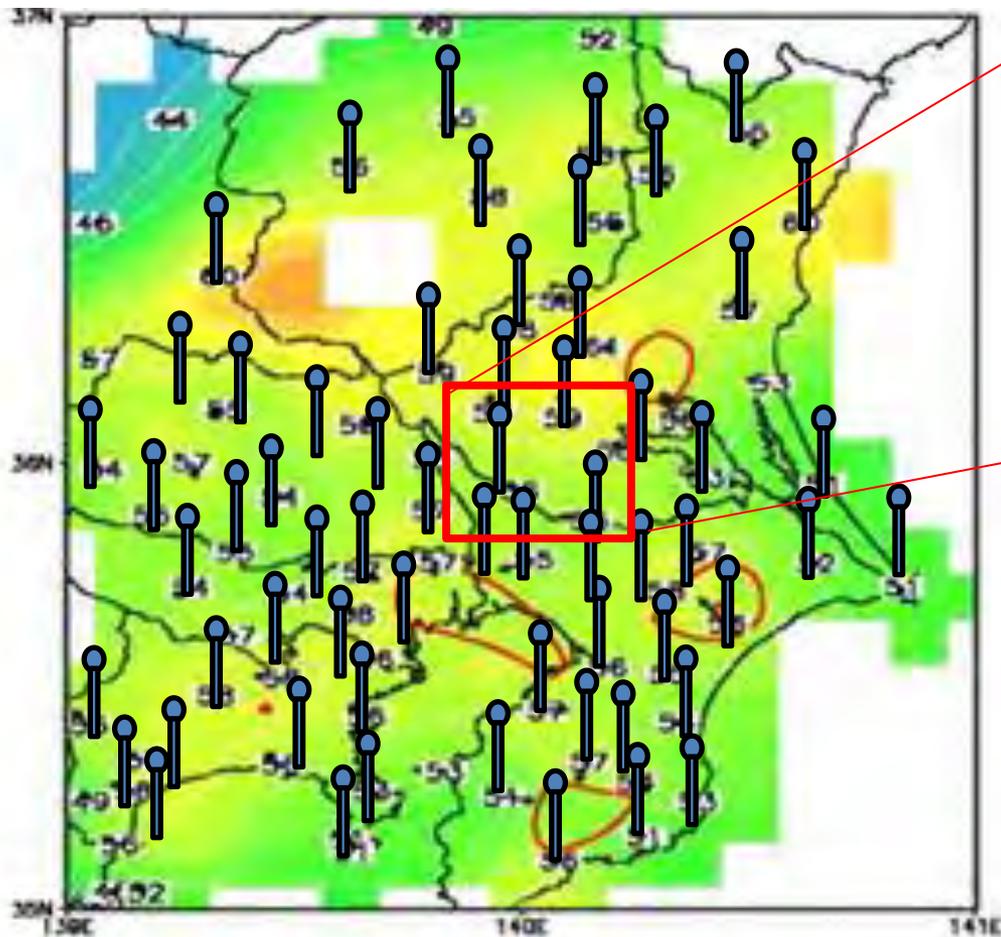
↓
視線を使う。



コーン内の平均

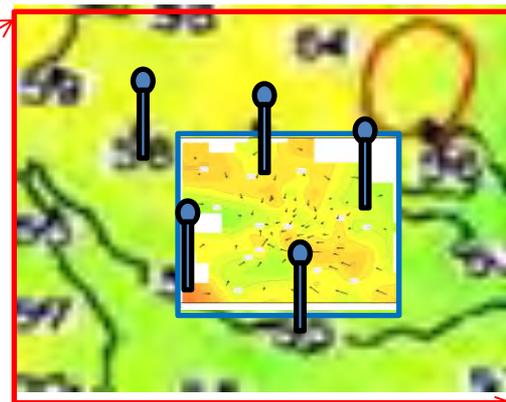
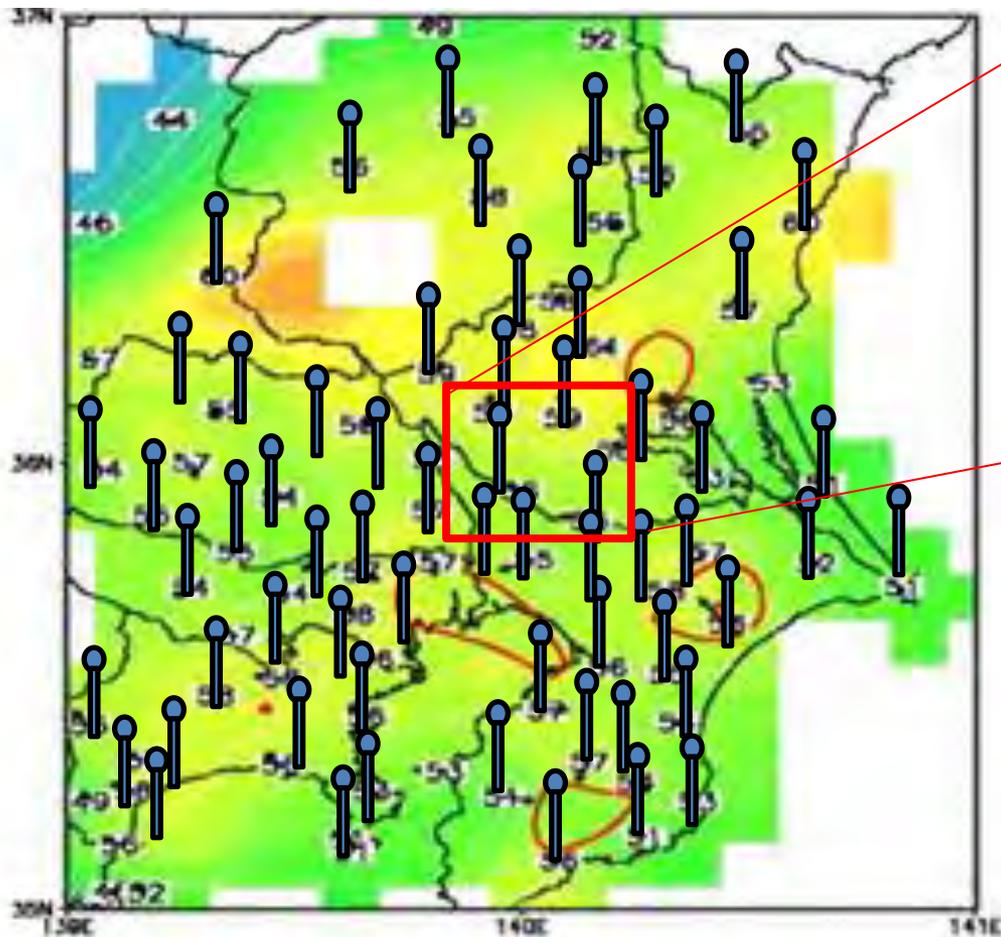
高い仰角を選ぶと

SARで観測できれば...



稠密観測と同様に
GEONETの受信機間
(局地的豪雨と
同じスケール)の
水蒸気分布が
見える。

SARで観測できれば...



局地的豪雨の発生を
理解するための
貴重なデータ。



小さいスケールの
水蒸気は重要か？

紹介する内容

(1) SARとのかかわり

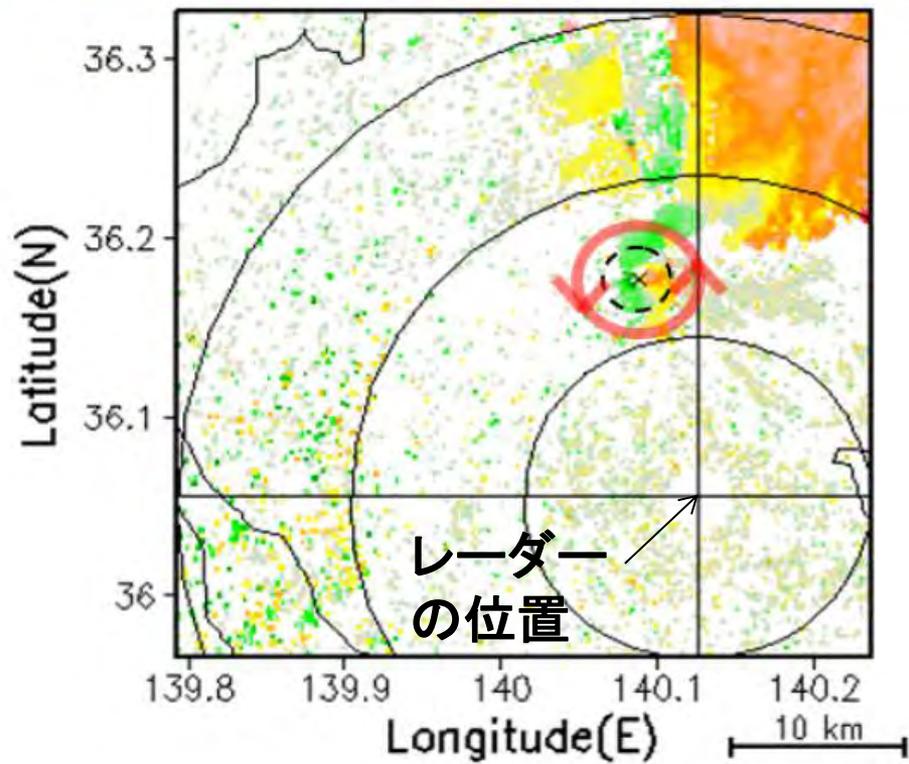
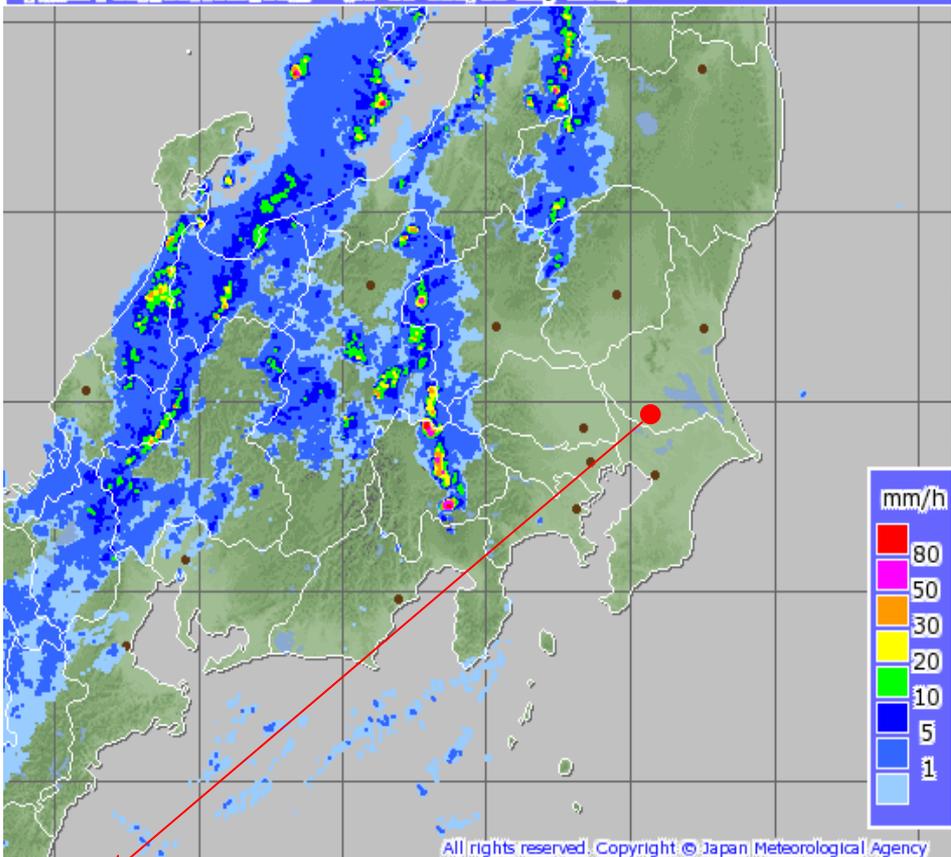
(2) 水蒸気推定を行うGPS気象学

- ・GPS稠密観測とトモグラフィ
- ・練馬豪雨時の水蒸気変動
- ・小さいスケール水蒸気分布の効果
- ・可降水量等の同化実験結果

(3) SARへの期待

2012年5月6日竜巻の事例

平成24年05月06日11時00分 (11:00 JST, 06 May 2012)



http://www.jma.go.jp/jma/press/1205/11c/120511tsukuba_tornado.pdf 山内 (2012)



気象研究所

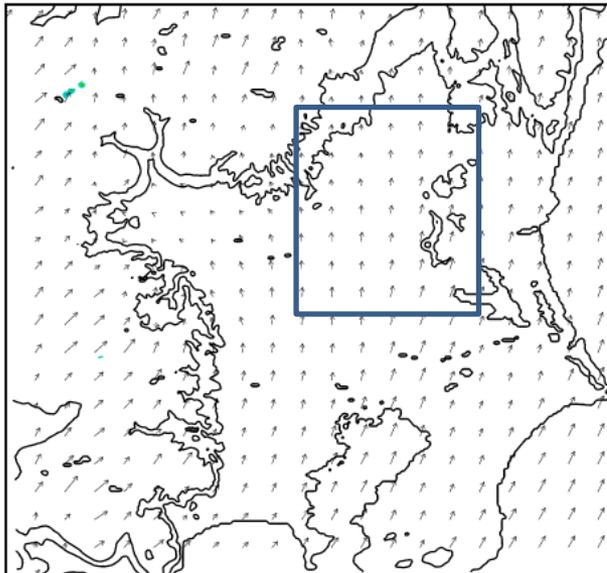
南端の降水域から、細い降水域が南に延び、そこに竜巻が発生。

格子間隔 350mの アンサンブル 予報

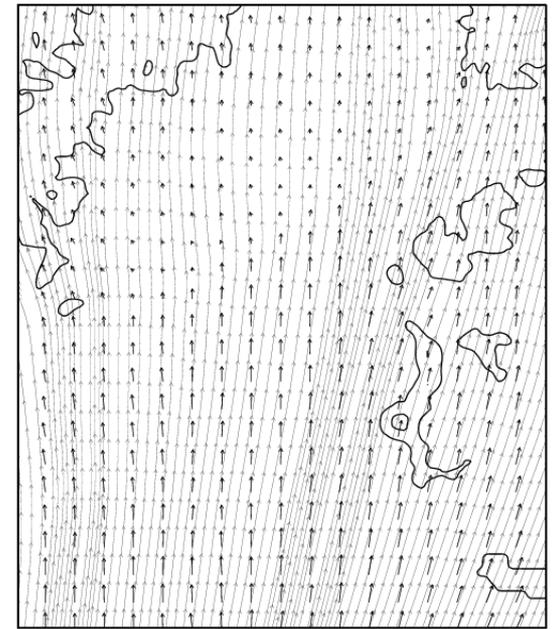
11時30分から
14時30分まで

#004:
強い渦が
再現されたもの
#007:
強い渦が再現
されなかったもの.

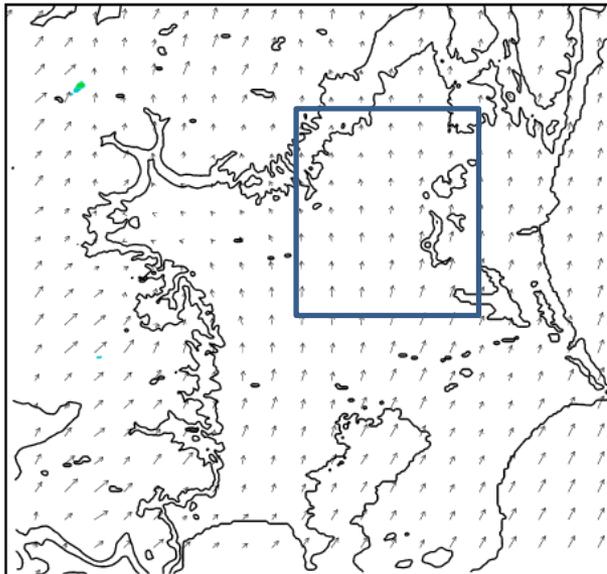
350 m #004 0min



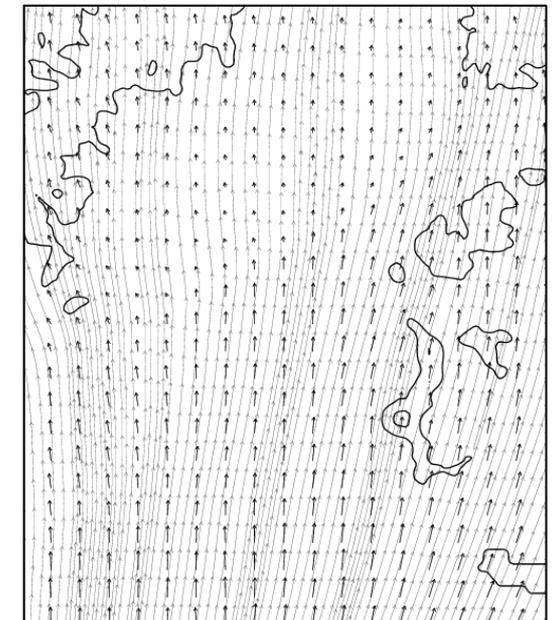
350 m #004 0min



350 m #007 0min



350 m #007 0min



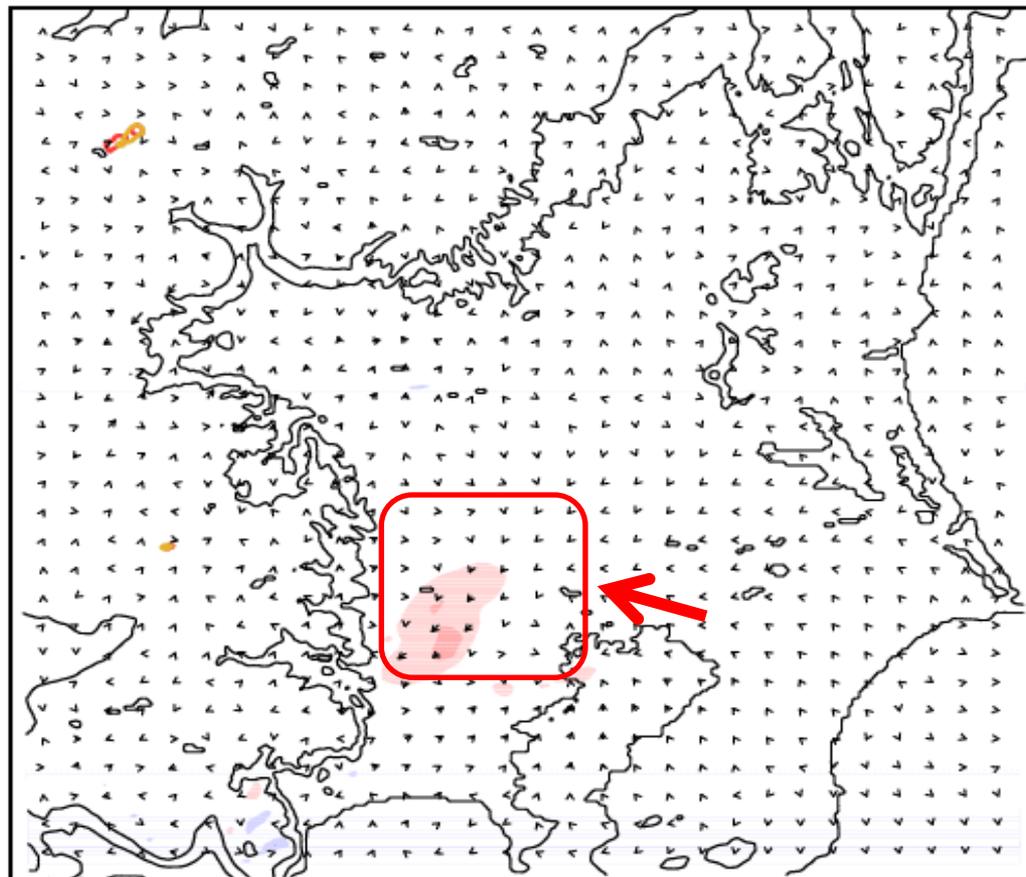
格子間隔350mのアンサンブル予報

#004-#007:

水平風・水蒸気量 高度600m

0min

11:30-14:30

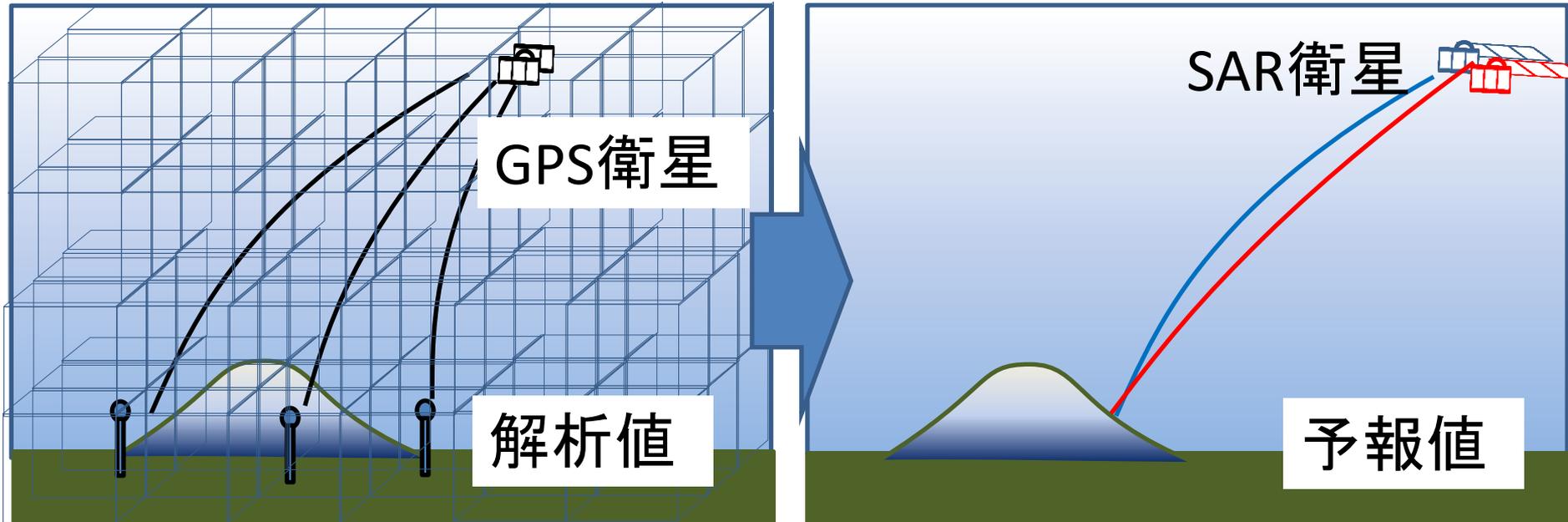


寿命が長い
#004では、
狭い範囲の
湿った気塊が、
竜巻を発生させた
降水帯に南から
供給されていた。
(初期時刻の赤い矢印)

**狭い領域でも、
効くことがある。**



数値モデルの遅延量を 距離推定時に利用できれば...

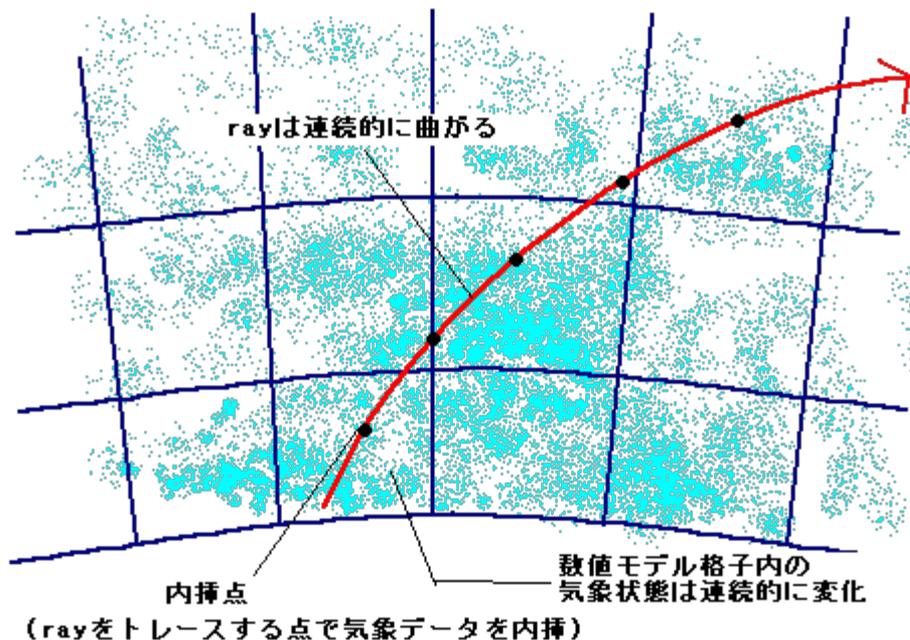


SARで距離の測定に、数値モデルで計算した遅延量分布はつかえないか？

最より現実に近い水蒸気場を、データ同化用いて数値モデルで作成する。最新の同化手法の結果を紹介する。

数値モデルの遅延量を 距離推定時に利用できれば...

例えば、Sekot et al.(2004)の方法



同化によって実況に近い
分布が得られれば、
レイトレースを用いて
より正確な補正が可能。

- ・原理式: eikonal方程式
- ・座標系 曲率を考慮し, 経度方向=X軸・緯度方向=Y軸・鉛直方向Z軸とした座標系に変換
- ・データの内挿:
データ配列作成段階) 鉛直方向100mごと
トレース段階) rayが100m進むごと
- ・トレース間隔: rayが100m進むごと
- ・トレース方法:

連続的な変化を考慮するため, 微分方程式を作成して解いている

- 1) 屈折率の変化によってrayがどれだけ曲がるかを計算。
- 2) rayが100m進むごとに, rayが曲がってどの位置になるかをトレースする。

- ・出力結果:
混合比, 大気密度, 屈折率の積算値

紹介する内容

(1) SARとのかかわり

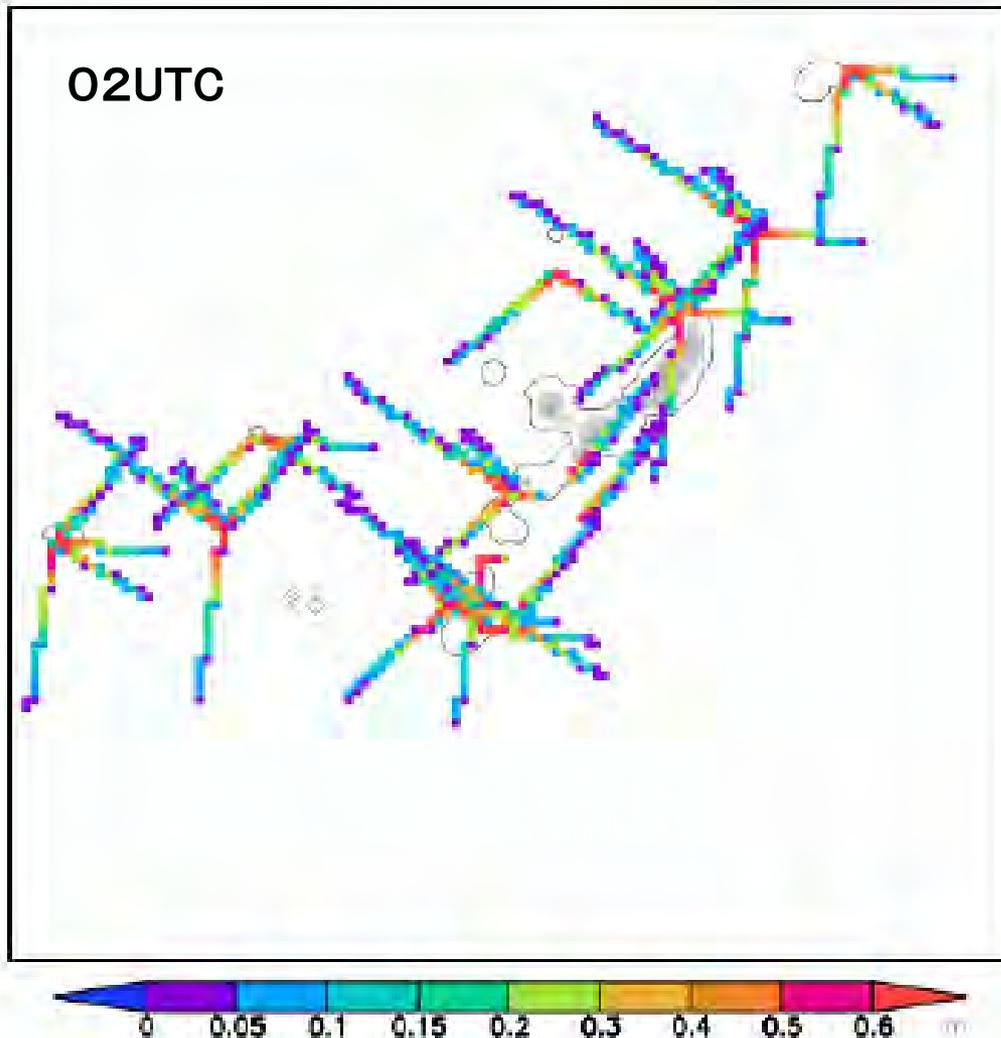
(2) 水蒸気推定を行うGPS気象学

- ・GPS稠密観測とトモグラフィ
- ・練馬豪雨時の水蒸気変動
- ・小さいスケール水蒸気分布の効果
- ・**可降水量等の同化実験結果**

(3) SARへの期待

ガーブ川の水難事故（2009年8月19日）

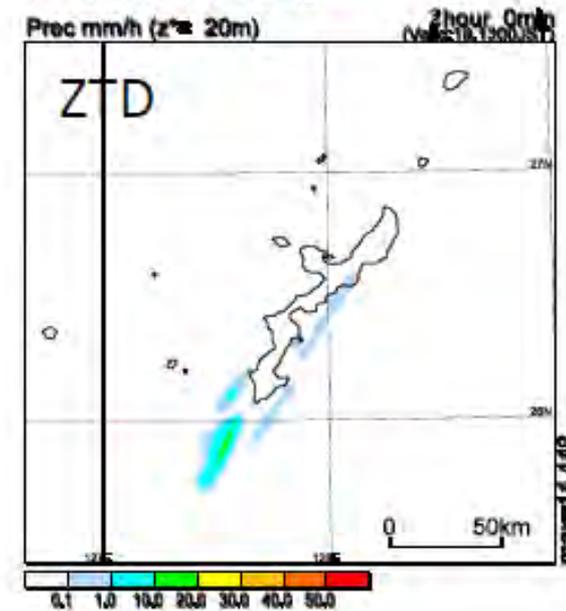
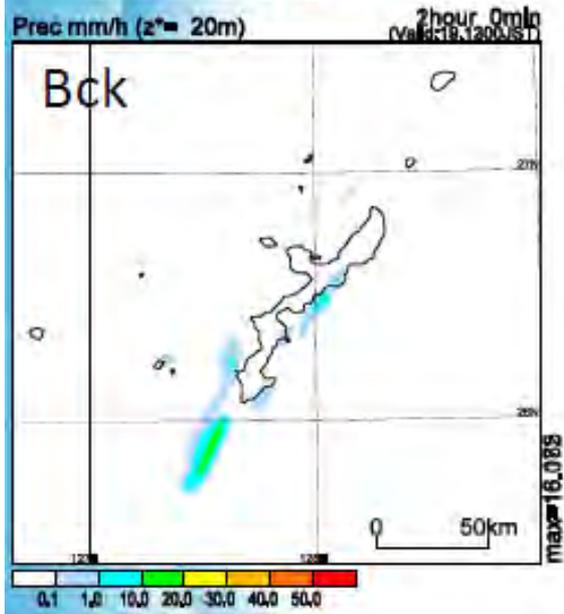
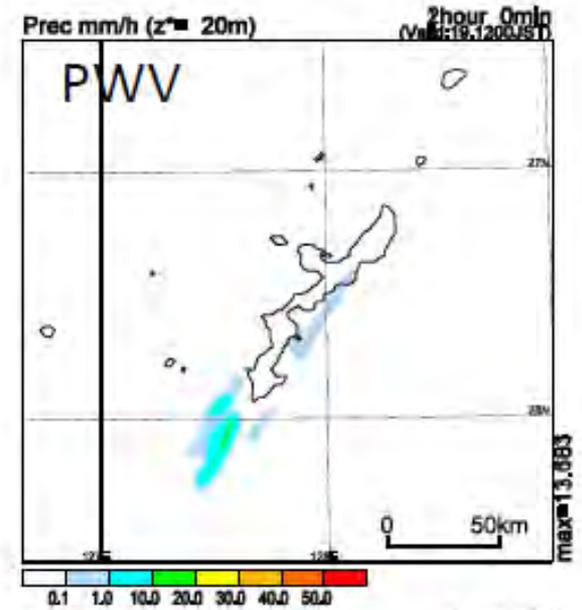
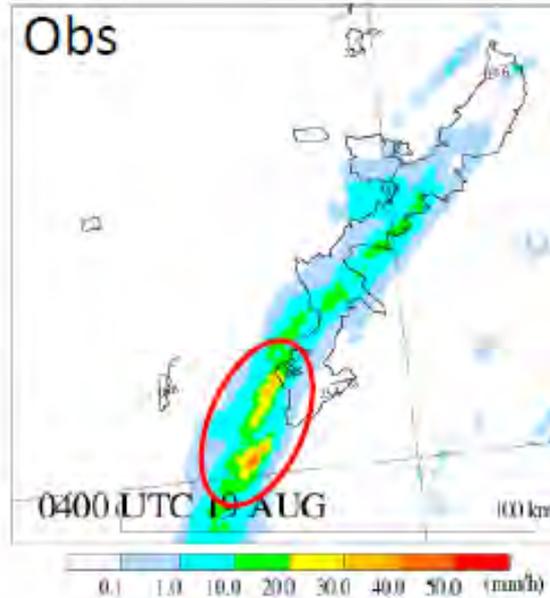
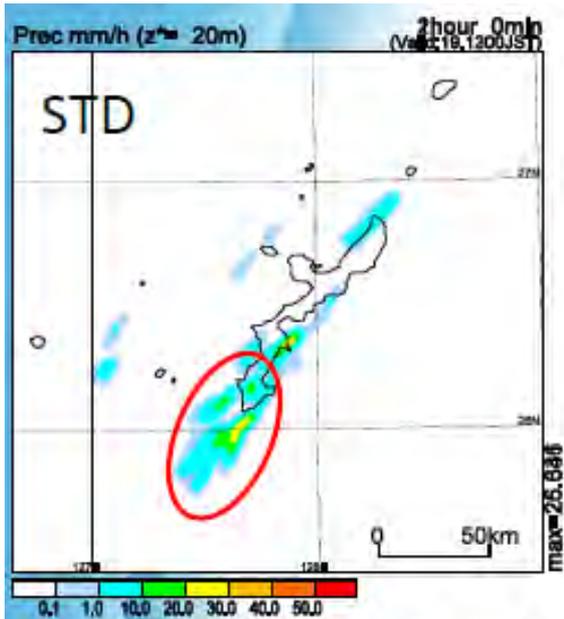
視線遅延量分布



交点がGPS受信機の位置
視線の先にGPS衛星

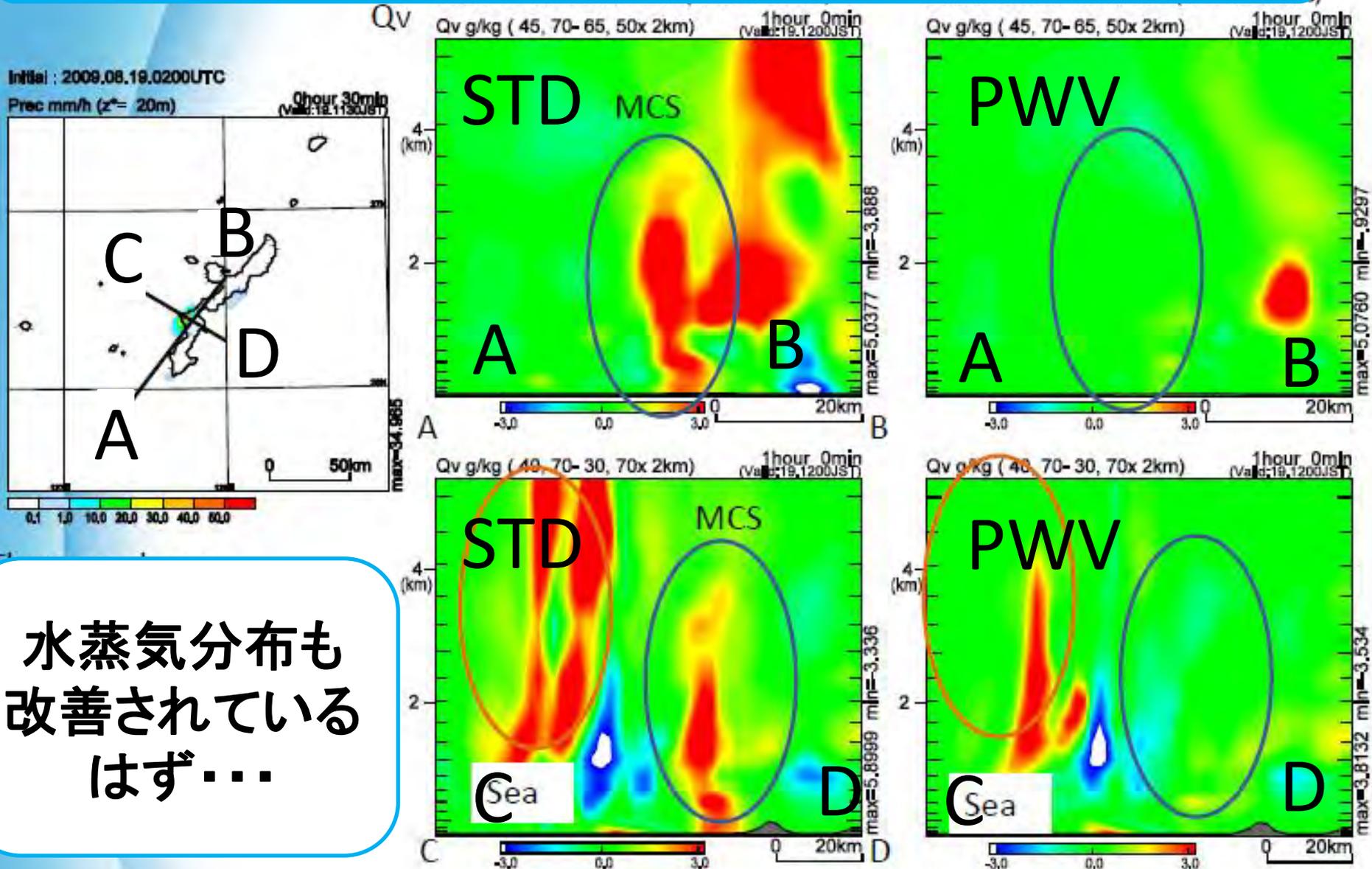
- ・ **赤い色**：大きな遅延量
湿っていて、気圧が高い。下層に分布。
- ・ **青い色**：小さな遅延量
乾いていて、気圧が小さい。上層に分布。

結果



STDが
もっとも
よく再現

STDとPWV同化時の水蒸気の変化量



紹介する内容

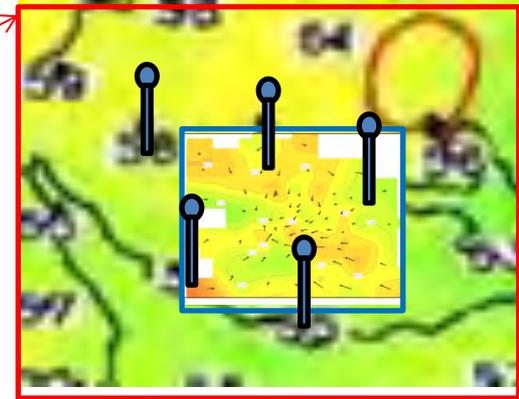
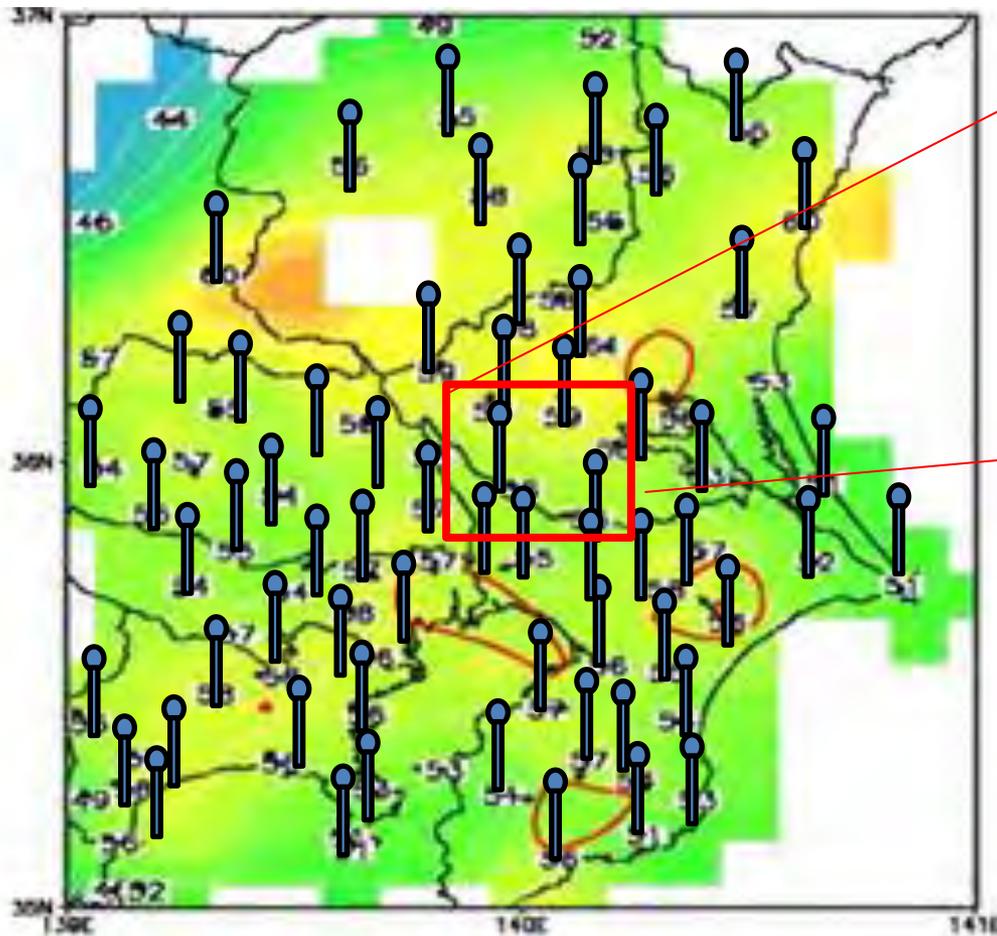
(1) SARとのかかわり

(2) 水蒸気推定を行うGPS気象学

- ・GPS稠密観測とトモグラフィ
- ・練馬豪雨時の水蒸気変動
- ・小さいスケール水蒸気分布の効果
- ・可降水量等の同化実験結果

(3) SARへの期待

SARとGPSと一緒に用いて 水蒸気分布を算出すると...

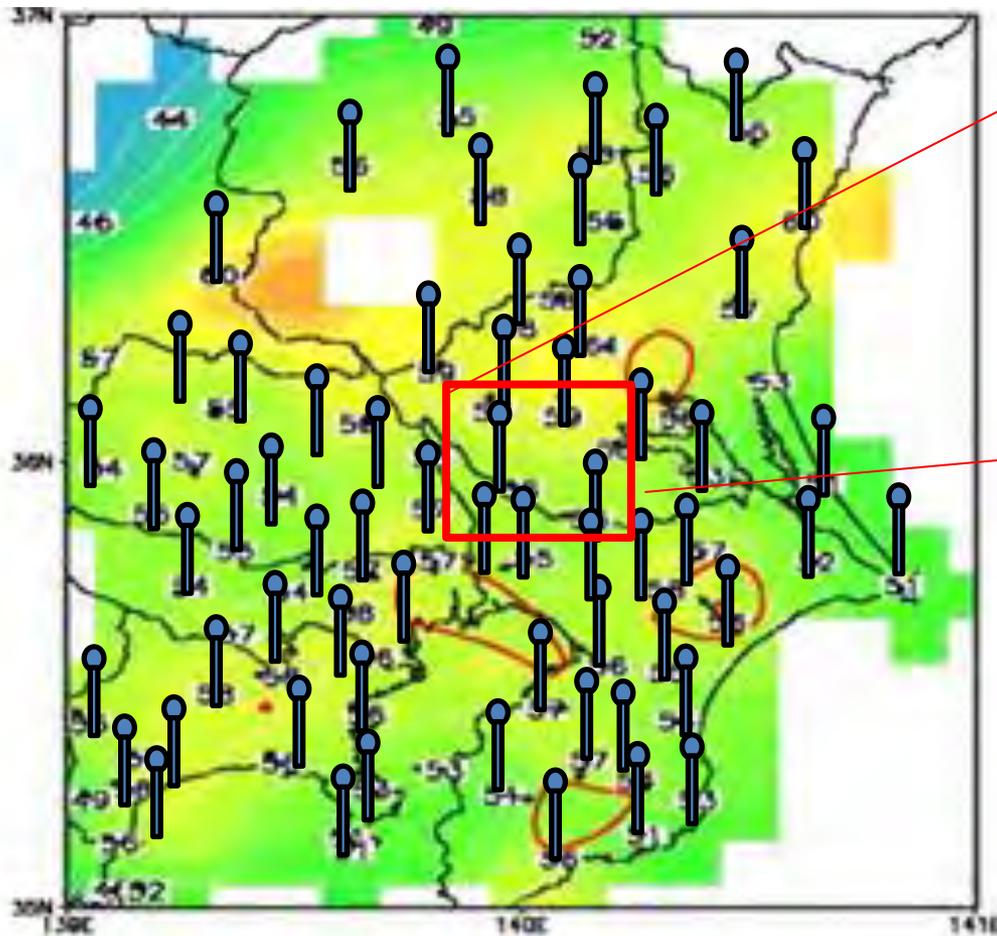


SARの遅延量の
絶対値の推定に、
PWVが使えるのでは？



局地的豪雨のスケール
の水蒸気分布

SARとGPSと一緒に用いて 水蒸気分布を算出すると...

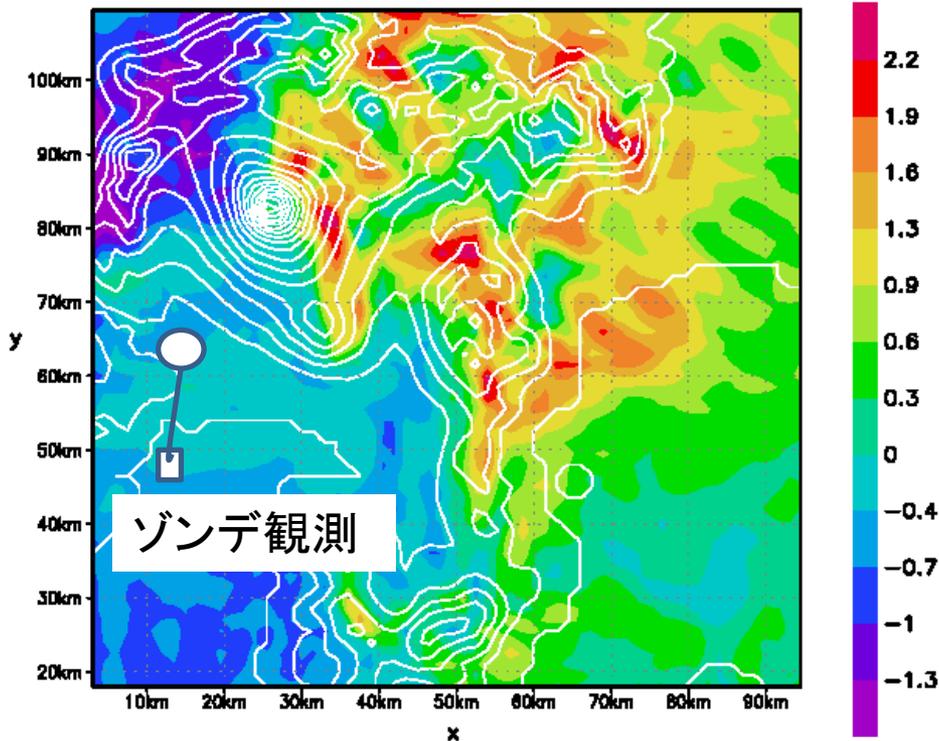


局地的豪雨の
スケールの
水蒸気分布が得られる。

局地的豪雨の
解析(同化)に使えると
期待している。

SARの解析に 数値モデルの出力を用いる。

数値モデル



ゾンデ観測を同化して
得た初期値で実験

まず、対流のない事例
がいいのでは？

山地の風下山岳波など、
定常なものが、
取り組みやすい。

地形の分解能が
効くものは、
格子間隔50mの実験も
可能。

Thank you for your attention



謝辞

GEONETのGPSデータは国土地理院より
ご提供いただきました。感謝いたします。