

3-9

気象モデルによる集中豪雨時の InSAR 伝搬遅延シミュレーション

InSAR propagation delay simulation during heavy rain by numerical weather model

木下陽平・古屋正人(北大)

Youhei Kinoshita, Masato Furuya (Hokkaido University)

要旨.

我々はこれまでに、SAR 干渉法 (InSAR) による集中豪雨期での局所的な水蒸気伝搬遅延シグナルの検出事例を 2 例報告してきた。しかし InSAR データのみからは、どのような気象条件でこのような局所的遅延シグナルが現れるのか説明することは難しく、また対流がこのような局所的遅延シグナルを本当に生成しうるのかについて調査した報告はこれまでにない。そこで我々は局所的遅延シグナルを引き起こす気象条件の解明を目指して、数値気象モデルを用いて積乱雲の再現実験を行い、InSAR における伝搬遅延シグナルのシミュレーションを行った。本発表では 2008 年 7 月 3 日に静岡で発生した降水イベントの事例についてのシミュレーション結果を報告する。

本研究では数値気象モデルは WRF-ARW Ver.3.4 を利用し、計 4 つの計算領域を設定、水平分解能はそれぞれ 9km, 3km, 1km, 333m とし、two-way ネスティングにより計算を行った。鉛直方向には全領域で 65 層に設定している。微物理過程には水・氷 6 種の水物質を表現する Morrison 2-moment スキームを用いた。初期値・境界値には NCEP/NCAR 再解析データを、地形データには GTOPO30 を用いた。InSAR データとの比較のために、slave 側の SAR データの観測日 (2009 年 10 月 6 日) についても同様の条件で数値気象モデルの計算を実行した。そして得られた計算結果から、波線追跡法により InSAR での伝搬遅延量をシミュレートした。屈折率の計算には降水粒子の影響も考慮している (Brenot et al., 2006)。比較に用いる InSAR データは、ALOS/PALSAR の ascending 軌道の level 1.0 の SAR データから得た。

WRF のシミュレーションの結果、静岡県富士市の位置で高度 6000m に達する対流を再現することができた。対流の位置では可降水量が約 60mm と局所的に高く (Fig 1)、対流の鉛直断面図 (Fig 2) から、対流内では空気は飽和していて相対湿度が 100% に達していることがわかる。この対流を中心とした 40km 四方の領域で伝搬遅

延量を計算した結果、対流の約 3km 東に伝搬遅延量の極大域が推定された (Fig 3)。この極大部の振幅は、より東側の比較的遅延量の小さい領域と比較すると、約 10cm 遅延量が多い。このシミュレーションの結果は、観測で得られた InSAR データの遅延シグナル (Fig 4) の振幅約 15cm に対し小さいものであった。これは WRF で再現した対流の到達高度が 6000m と浅く、対流圏界面に達するような深い対流とならなかったことが要因であろう。しかしながら、この程度の対流の場合でも InSAR において局所的に振幅の大きい遅延シグナルとして現れることが本研究により明らかになった。

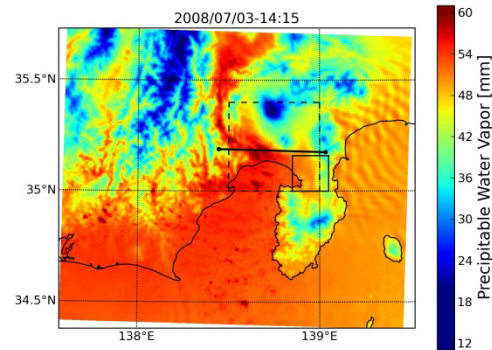


Fig 1: WRFで推定した可降水量分布。図中の実線は Fig 2 の断面図の位置。点線で囲んだ領域は Fig 3 の遅延量の計算領域で、実線で囲んだ領域は Fig 4 の InSAR 画像の領域。

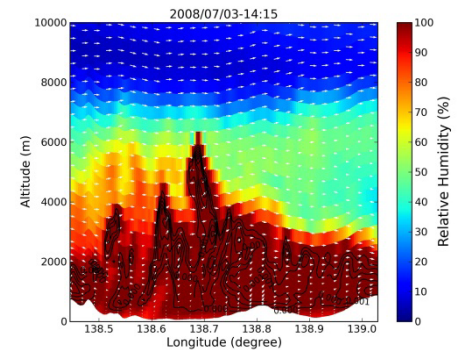


Fig 2: 相対湿度の断面図。黒線は雲水の混合比。白矢印は風分布を表す。

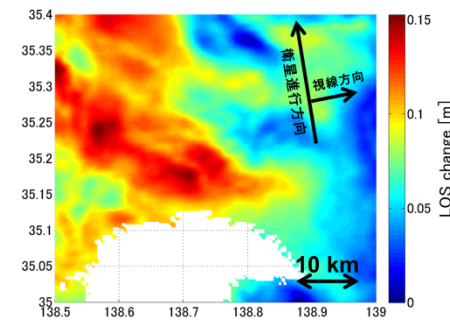


Fig 3: WRFで推定した伝搬遅延量分布。

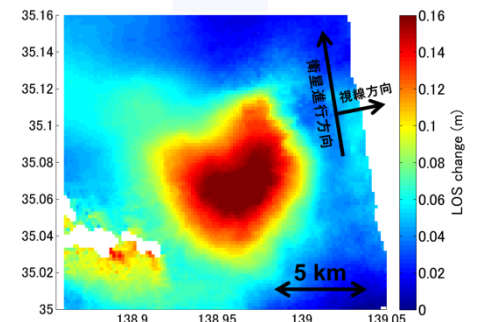


Fig 4: 観測で得られた InSAR 画像。

気象モデルによる集中豪雨時の InSAR伝搬遅延シミュレーション

InSAR propagation delay simulation during heavy rain
by numerical weather model

木下 陽平, 古屋 正人

北海道大学大学院理学院

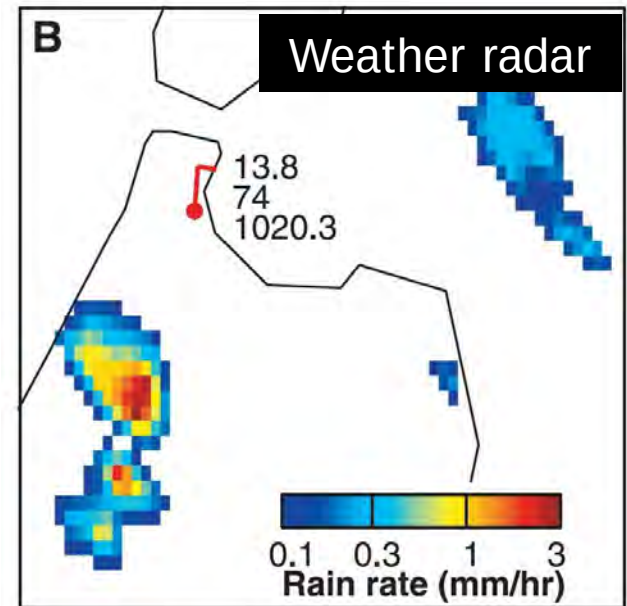
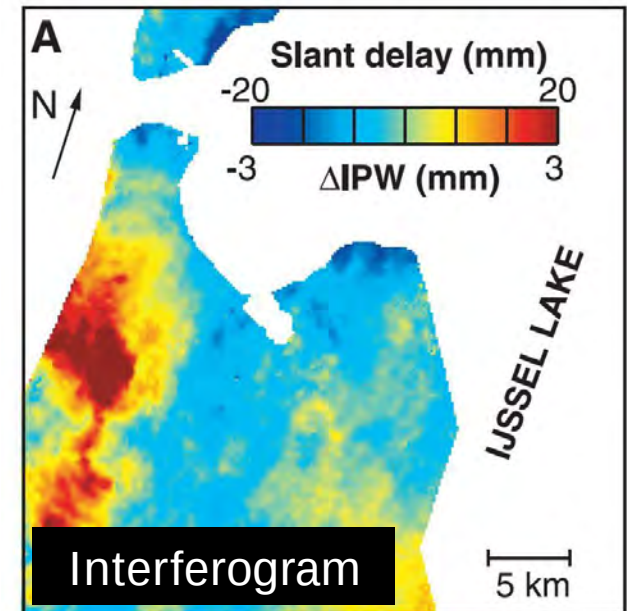
InSARで水蒸気を見る

InSAR

- 地上観測点の必要無し
- 高空間分解能(数十m)
- 大気水蒸気による電波伝搬遅延の影響を受ける

GPSと同様

水蒸気の空間分布を
詳細に見ることが可能



(Hanssen *et al.*, 1999, Science)

Introduction

- InSARは大気の伝搬遅延効果の影響を受ける。その原理はGPSと同じ。

集中豪雨時にはどのように見えるか?

- 集中豪雨時の水蒸気分布は?

InSARデータに基づく水蒸気分布の
モデリング

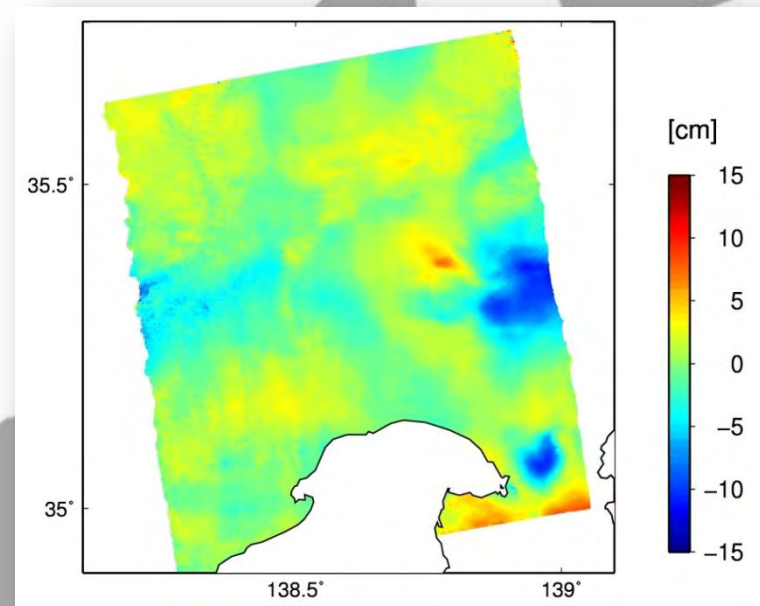
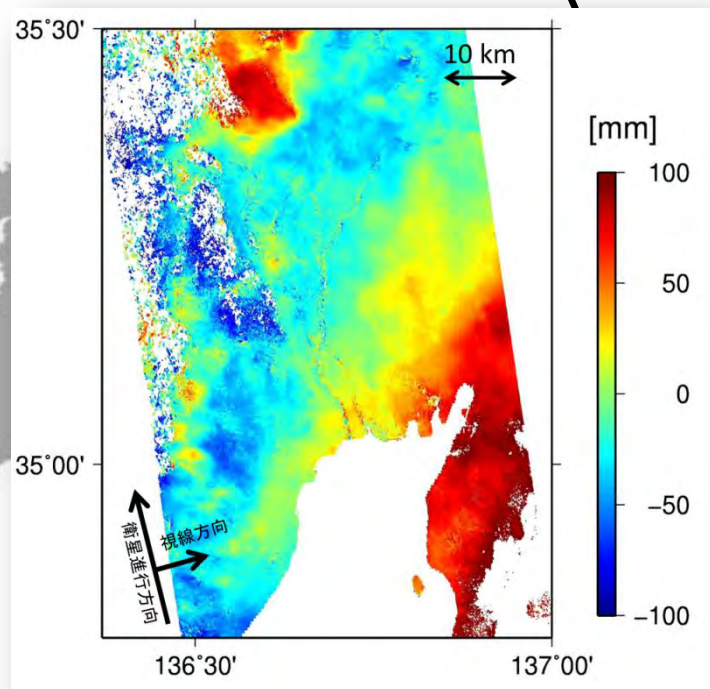
- 局所的シグナルを引き起こすような気象条件は?

数値気象モデルによる伝搬遅延
シミュレーション

事例1：西濃豪雨

2008年9月2-3日

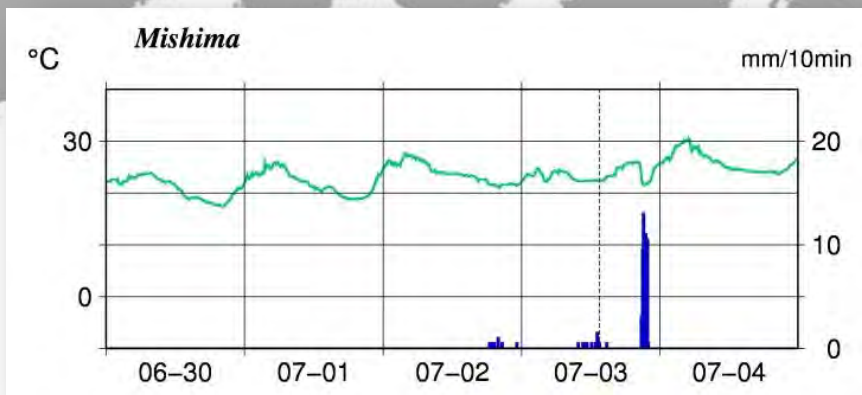
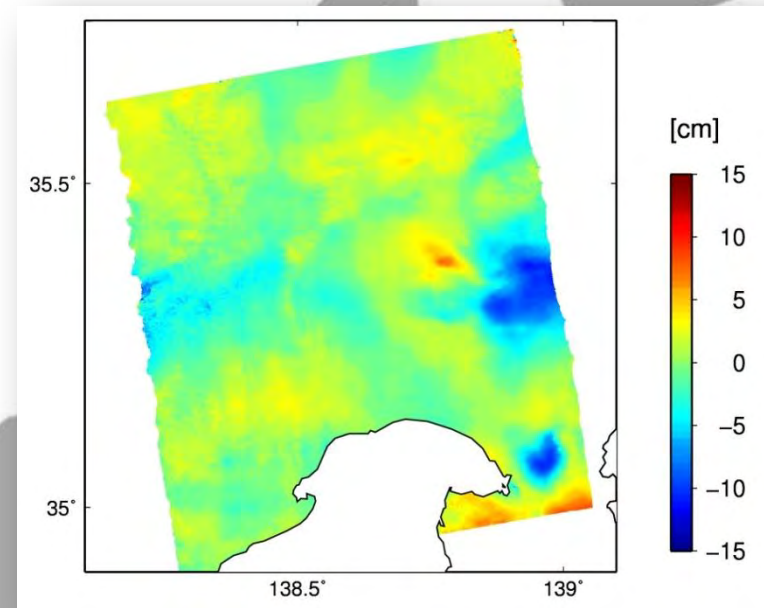
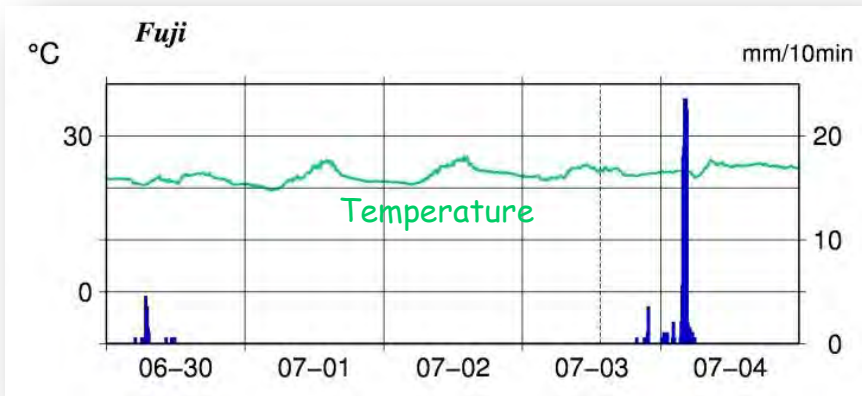
岐阜県揖斐川周辺で発生した
集中豪雨



事例2

2008年7月3日

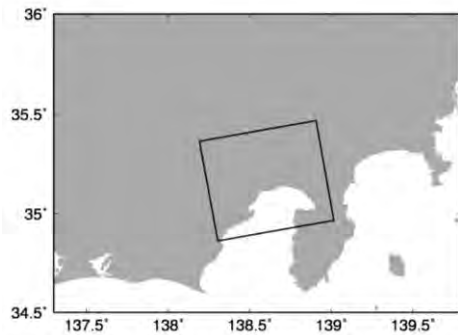
静岡県伊豆半島北部で
発生した局所的豪雨



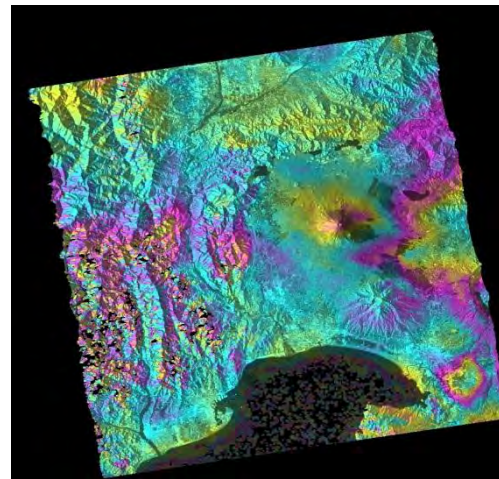
事例2

2008年7月3日
静岡県伊豆半島北部で
発生した局所的豪雨

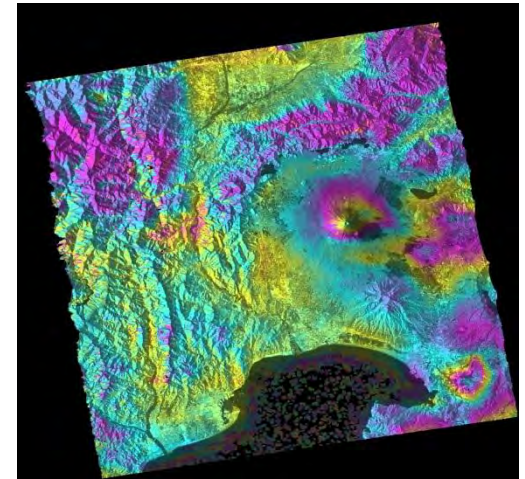
InSARデータ



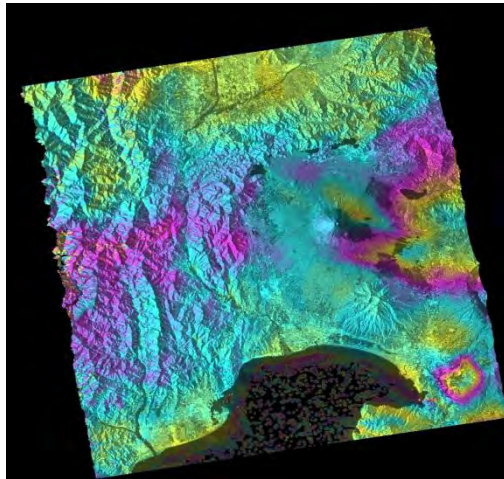
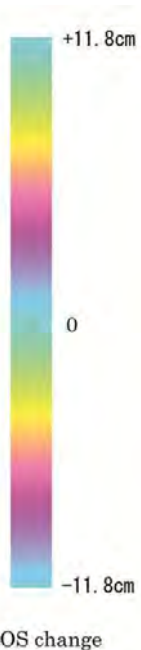
offnadir : **34.3°**
DEM : GSI10mDEM



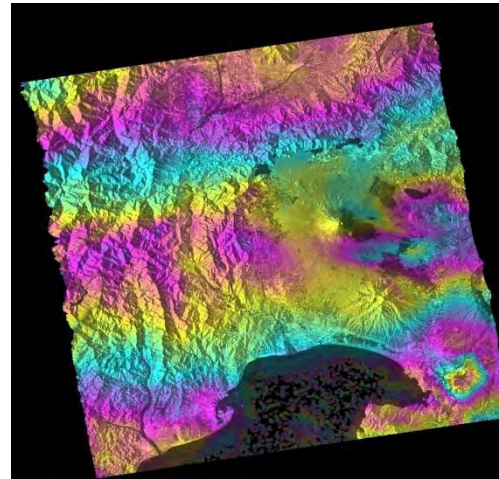
master : 2007/07/01
slave : **2008/07/03**
Bperp : **-1300.6 m**



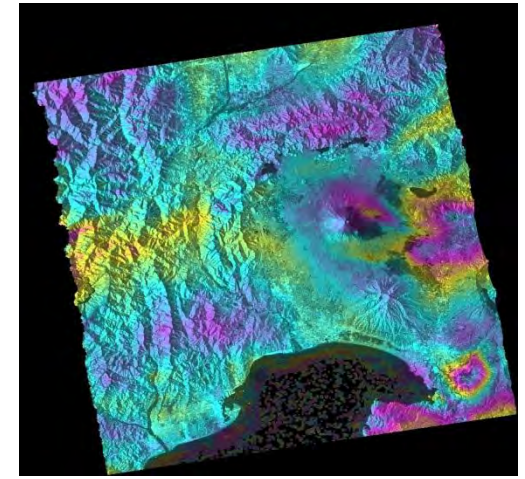
master : **2008/07/03**
slave : 2008/10/03
Bperp : **1594.8 m**



master : 2007/10/01
slave : **2008/07/03**
Bperp : **-833.5 m**



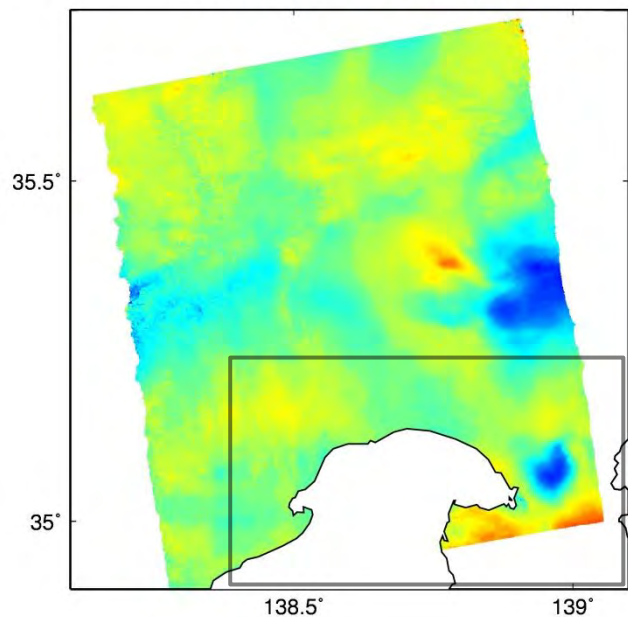
master : **2008/07/03**
slave : 2009/08/21
Bperp : **186.3 m**



master : **2008/07/03**
slave : 2009/10/06
Bperp : **601.2 m**

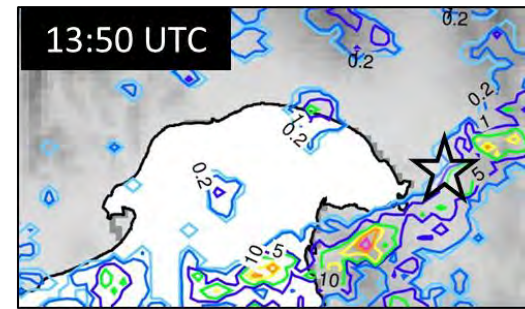
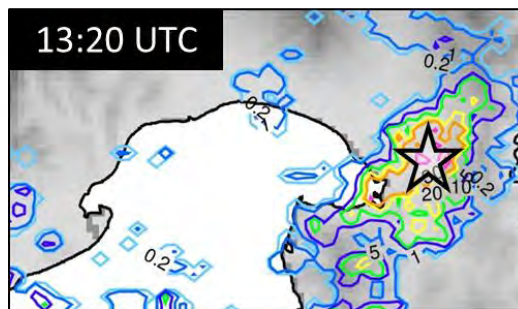
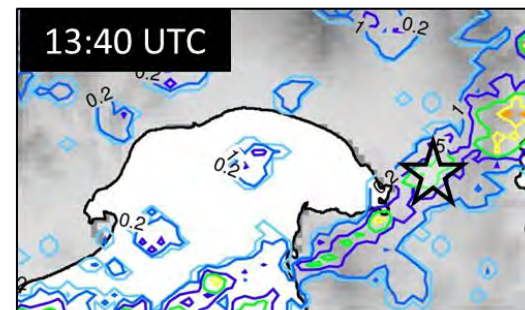
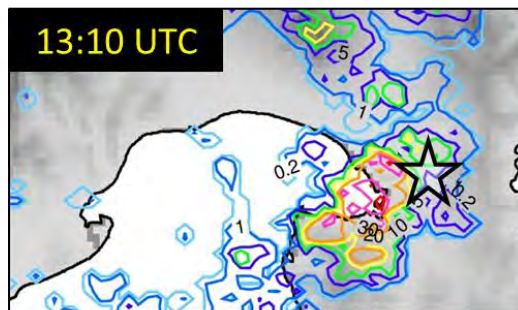
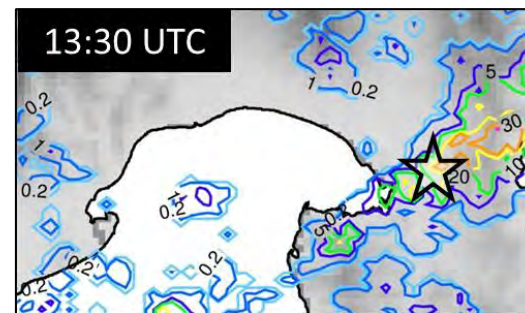
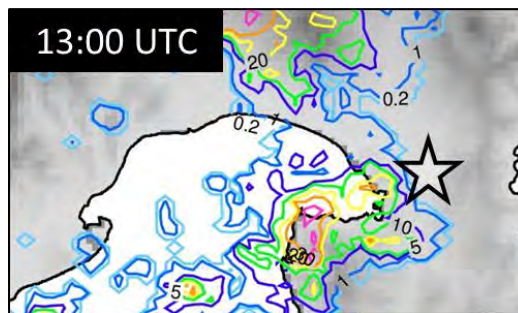
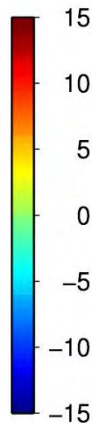
気象レーダーとの比較

Interferogram
2008/07/03 – 2009/10/06



Observation time : 13:10 UTC

[cm]



波線追跡法によるモデル計算

- 3次元水蒸気分布の推定 -

波線追跡法

(Ichikawa *et al.* (1995), Hobiger *et al.* (2008))

- ・伝搬遅延量のシミュレーション
- ・2次元伝搬モデル (Thayer, 1967)
- ・下層ほど密になるように各層の高度を設定

Refractivity

$$N_0 = \rho_d \left(q_1 + \frac{q_2}{T} \right) + \rho_v \left(q_3 + \frac{q_4}{T} \right)$$

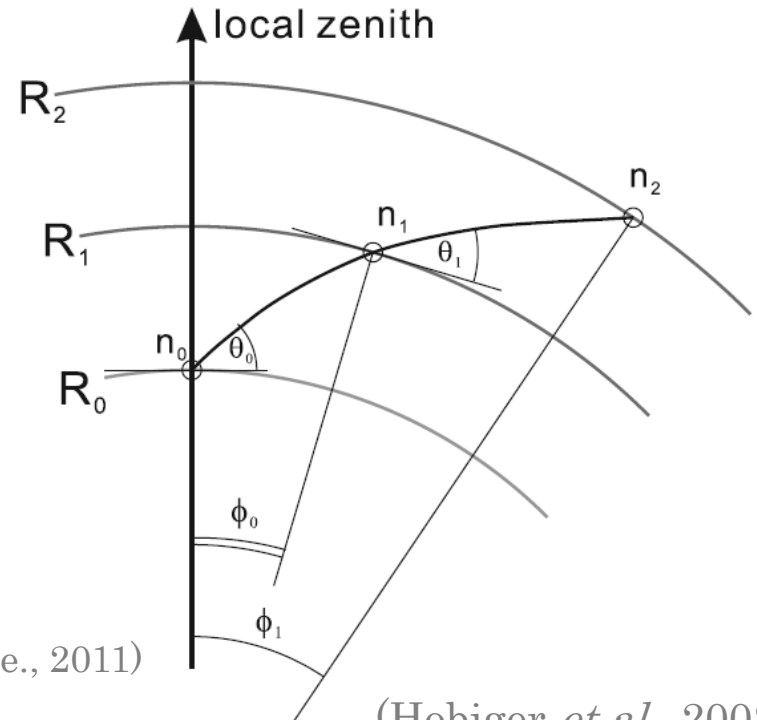
$$N \approx N_0 \left(1 + \frac{1}{6} 10^{-6} N_0 \right) \quad (\text{Aparicio and Laroche., 2011})$$

遅延量：気圧、気温、水蒸気量で決まる

MSMデータを
そのまま利用

MSMデータを元に
試行錯誤的に決定

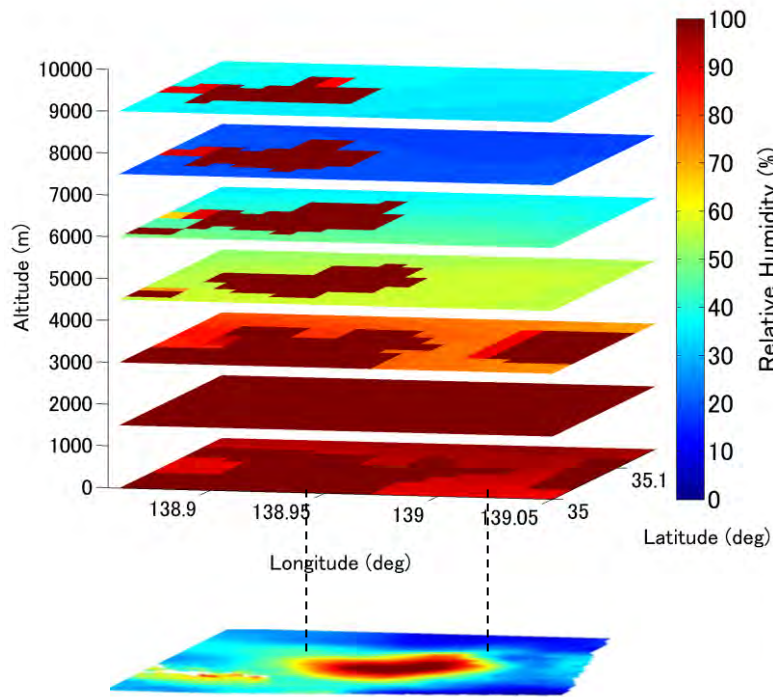
Thayer approach



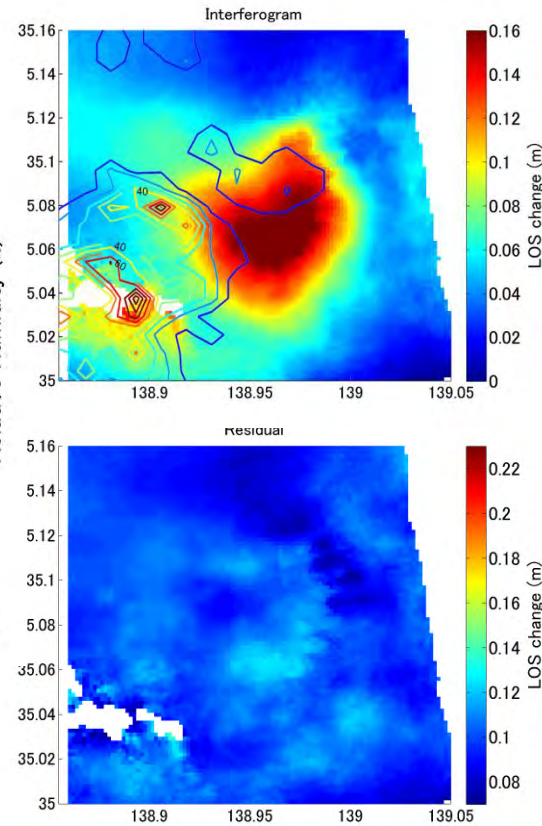
(Hobiger *et al.*, 2008)

波線追跡法によるモデル計算

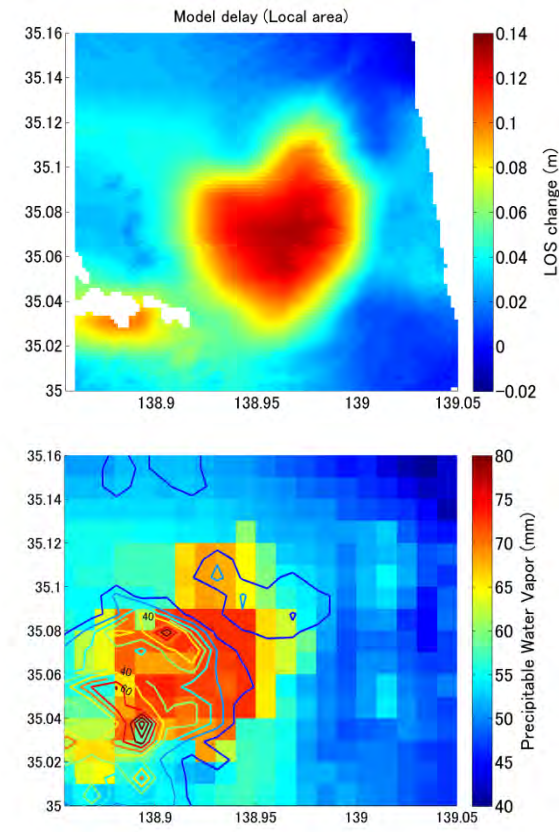
Relative Humidity at 2008/07/03



Interferogram



Model Delay



Residual

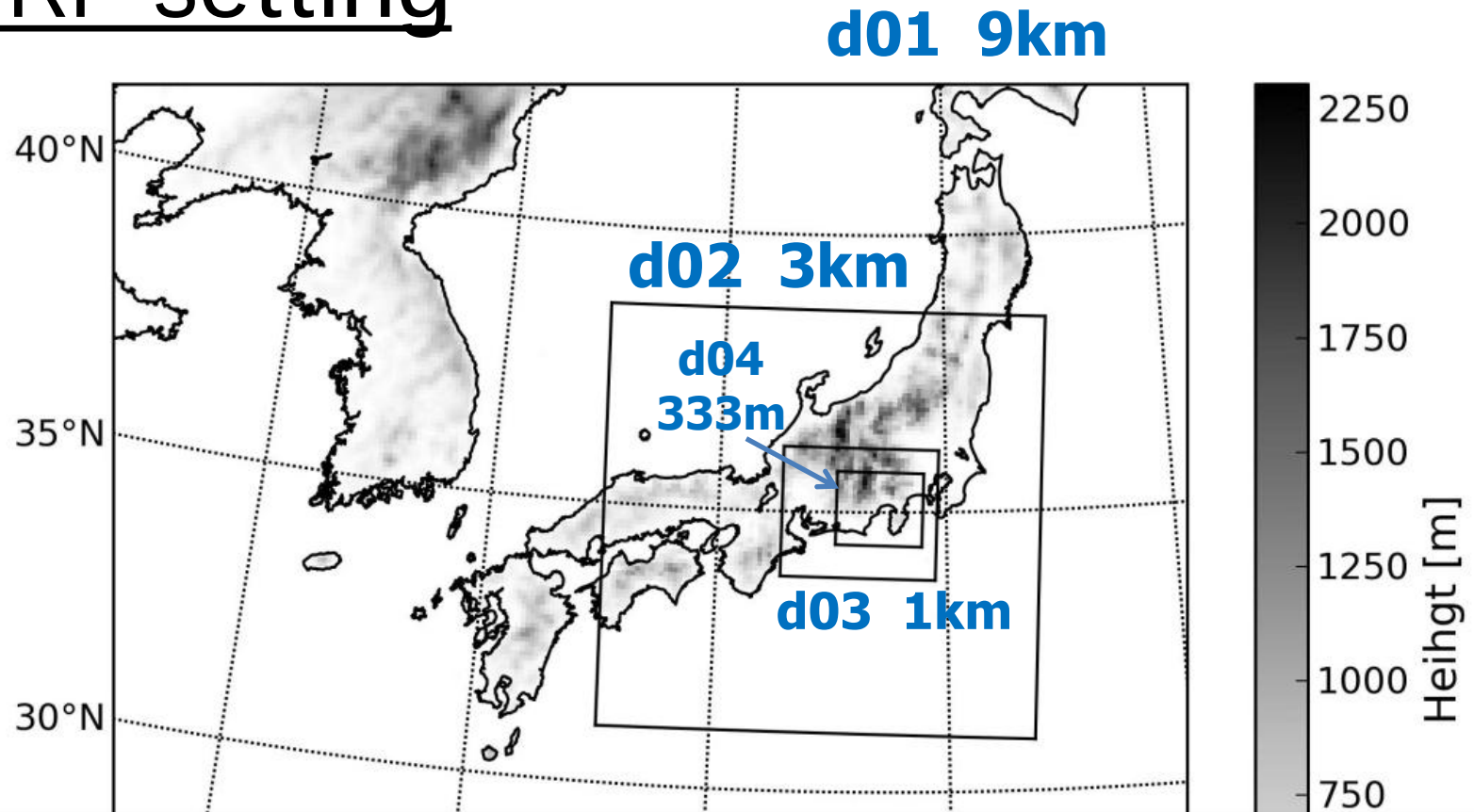
Estimated zenith PWV
+ WR Echo Contour

このようなシグナルは本当に起こり得るのか？

数値気象モデルによる
伝搬遅延シミュレーション

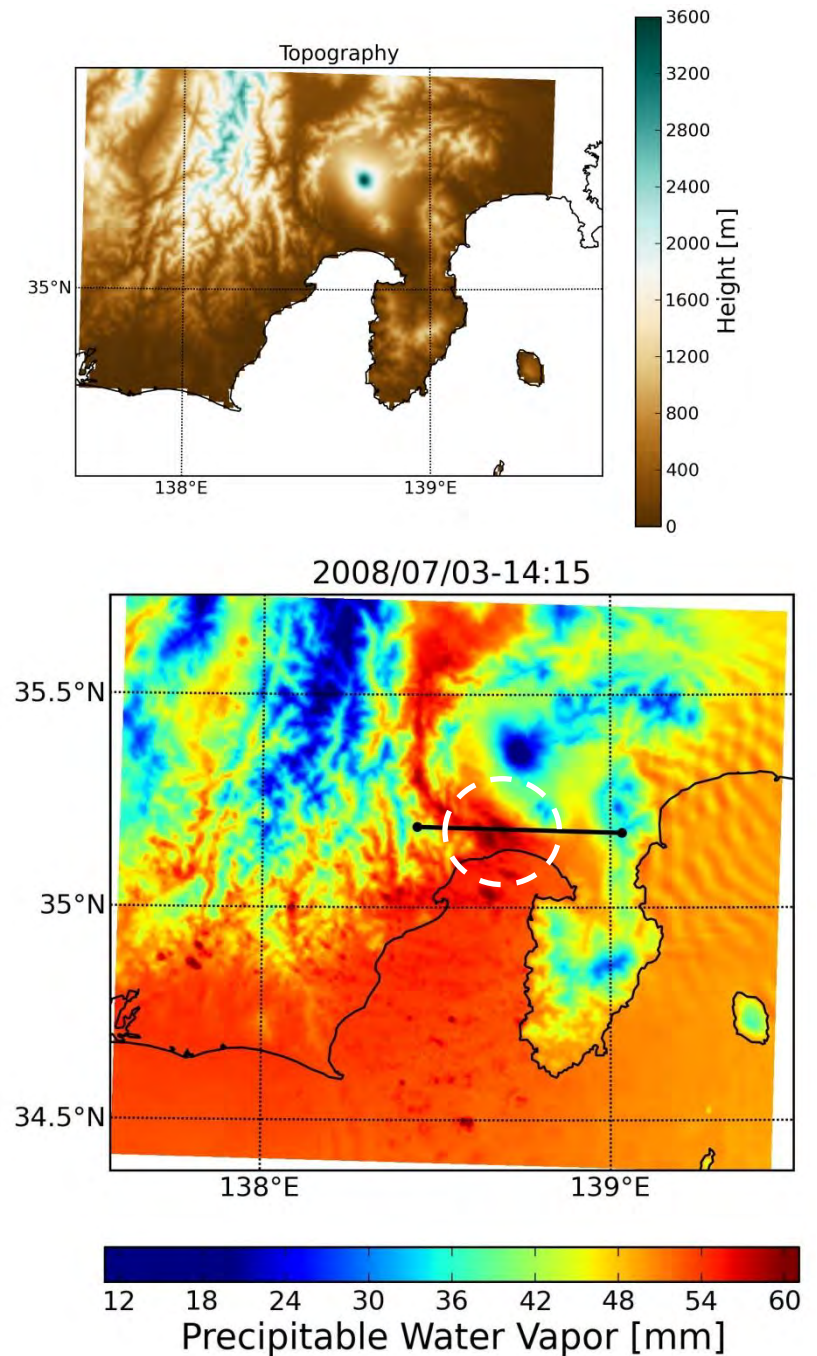
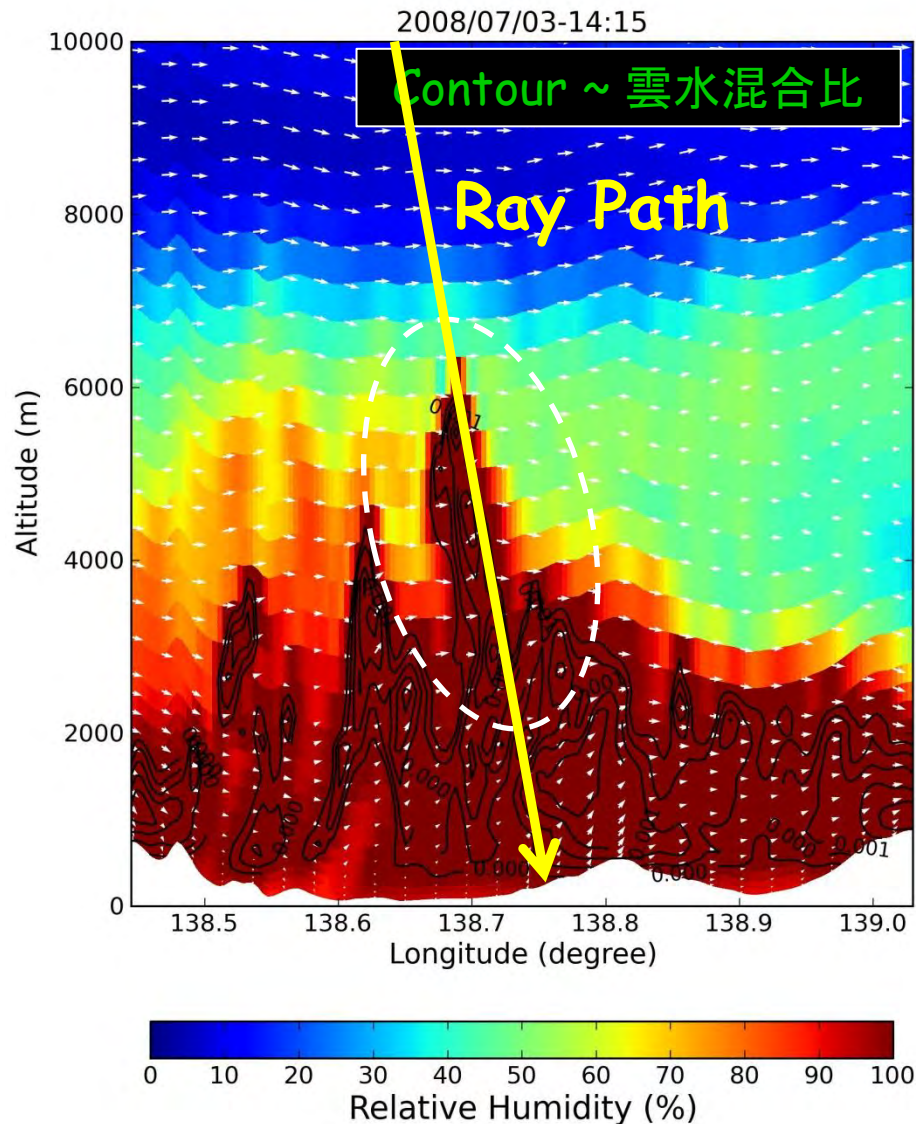
Propagation delay simulation by numerical weather model

WRF setting

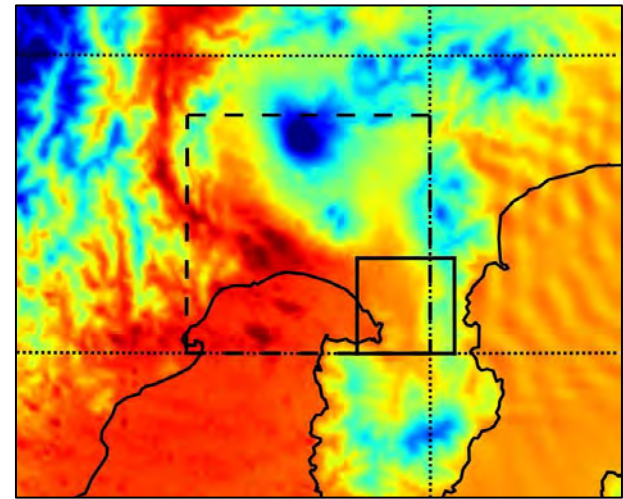


- WRF-ARW ver3.4
- 4 domains, 2-way nesting
- 初期値・境界値 ~ NCEP/NCAR再解析データ
- 微物理過程 ~ Morrison 2-moment (6種の水物質)

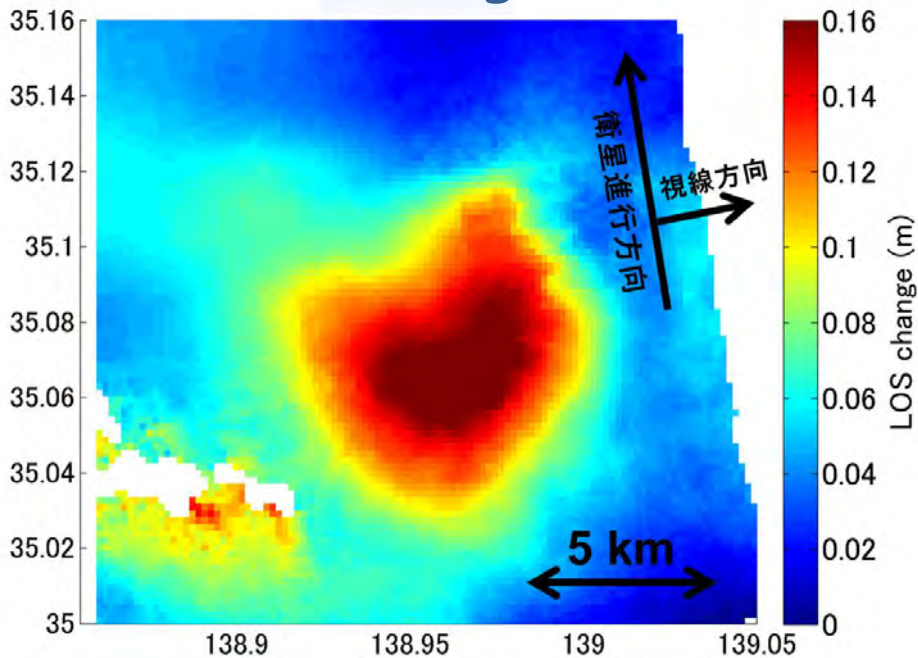
Simulation Results



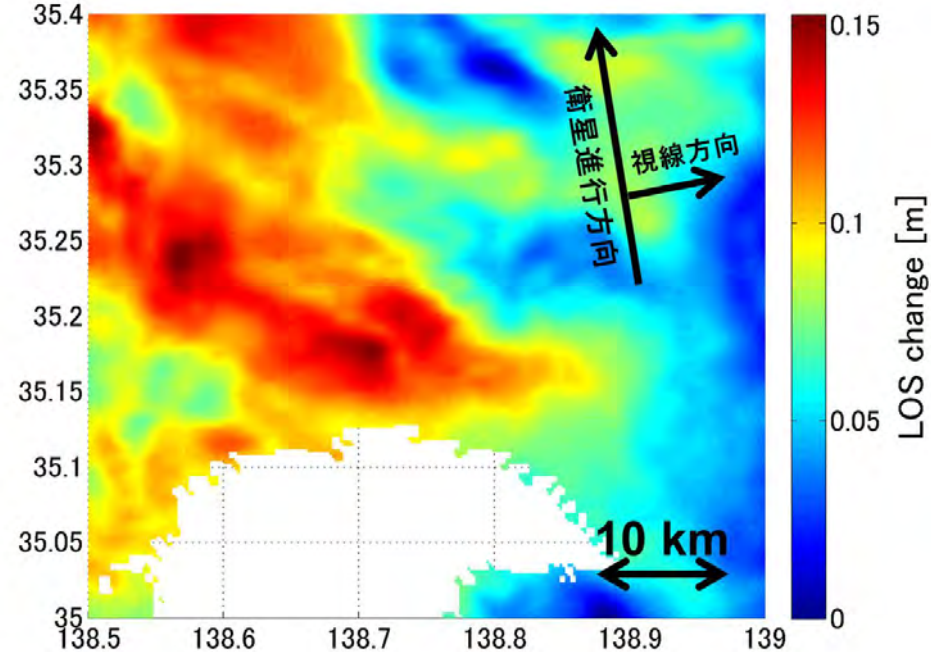
Delay Estimation



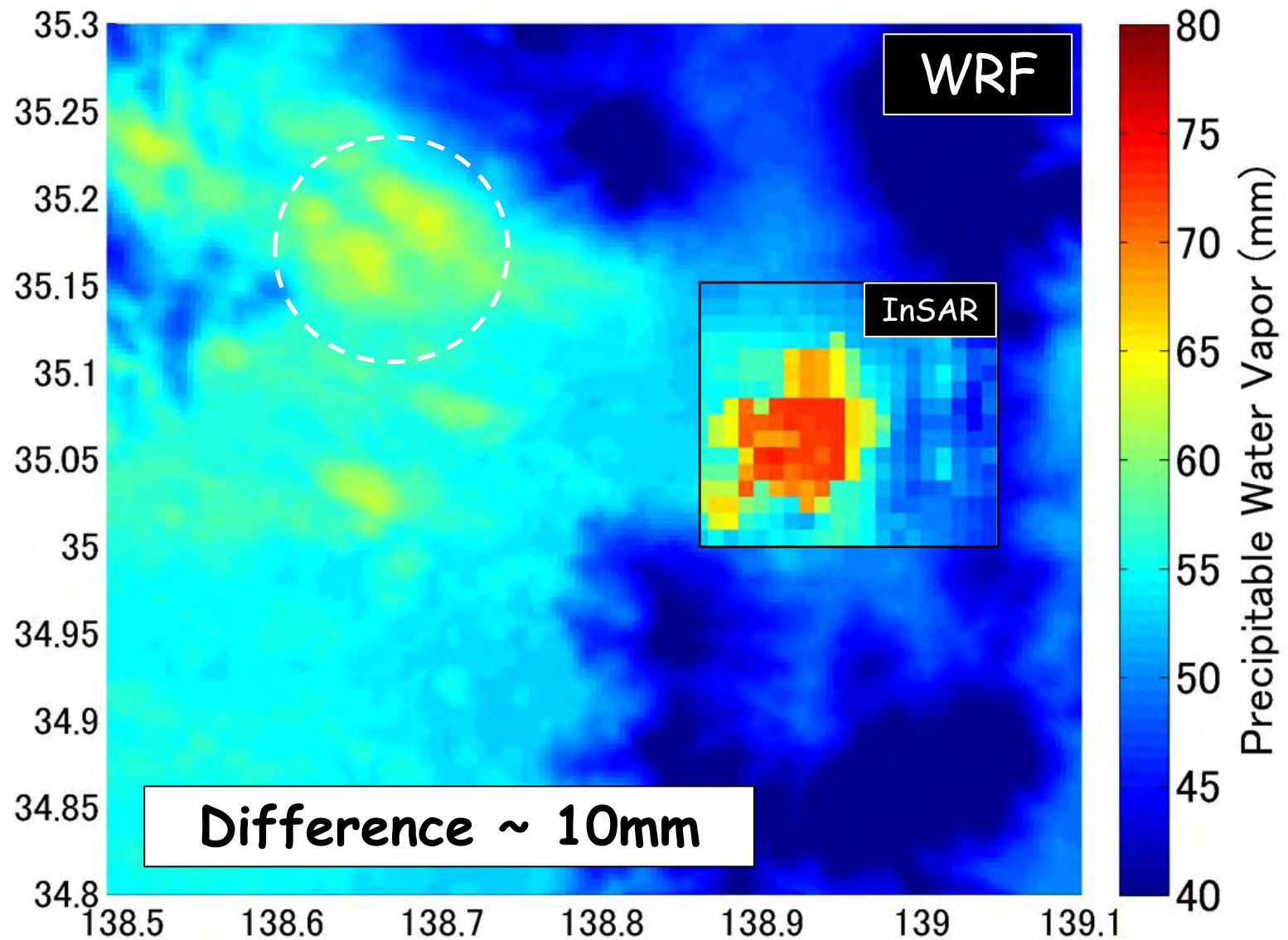
Interferogram



WRF simulation



PWV Comparison



まとめ

- ・ InSARデータで、集中豪雨起源の局所的な水蒸気シグナルを捉えた。シグナルは約8km四方で15cmのLOS変化。
- ・ 波線追跡法を用いて3次元水蒸気分布を推定。高度10000mに達する相対湿度100%の領域を推定した。
- ・ WRFを用いて対流を再現、InSAR伝搬遅延量のシミュレーションを行い、対流現象が局所的シグナルを引き起こすことを示した。

謝辞

本研究で用いたPALSARデータはPIXEL (PALSAR Interferometry Consortium to Study our Evolving Land surface)において共有しているものであり、宇宙航空研究開発機構(JAXA)と東京大学地震研究所との共同研究契約によりJAXAから提供されたものです。PALSARデータの所有権は経済産業省およびJAXAにあります。解析には国土地理院による10mメッシュ数値標高データを用いました。MSMデータ、気象レーダーデータは京都大学生存圏研究所がアーカイブしているデータを利用しました (<http://database.rish.kyoto-u.ac.jp/arch/jmadata/>)。

