

大気伝搬遅延量による干渉 SAR 解析への影響検証

—北海道雌阿寒岳 2008 年小規模噴火に伴った地殻変動の例—

Validation of tropospheric influence on InSAR analysis

— In the case of 2008 small eruption at Hokkaido Meakandake Volcano —

河野裕希¹・小澤拓¹・高橋浩晃²・中尾茂³・岡崎紀俊⁴・一柳昌義²・及川太美⁵
(1.防災科研, 2. 北海道大学地震火山研究観測センター, 3. 鹿児島大学理学部, 4. 北海道立総合研究機構地質研究所, 5. 札幌管区気象台)

Y. Kohno¹, T. Ozawa¹, H. Takahashi², S. Nakao³, N. Okazaki⁴, M. Ichiyangi², T. Oikawa⁵
(1.NIED, 2.ISV, Hokkaido Univ., 3. Kagoshima Univ., 4.Geol. Surv. Hokkaido, 5.Sapporo Dist. Meteorol. Obs., JMA)

干渉 SAR 解析では水蒸気の影響を分離することが困難であるため, 水蒸気の影響で干渉縞を作る可能性があり, 干渉 SAR 解析における大気電波伝搬遅延量情報の重要性が指摘されてきた(例えば藤原他 1999). 本発表では北海道雌阿寒岳 2008 年噴火を挟んで検出された地殻変動の事例を挙げ, 大気伝搬遅延量による干渉 SAR 解析結果への影響を検証することを試みた.

2008 年 11 月 28 日に北海道雌阿寒岳では小規模噴火が発生した. 雌阿寒岳周辺には北海道大学・北海道立総合研究機構地質研究所・札幌管区気象台が合同で設置・データ解析をしている, 連続 GPS 観測点およびキャンペーン観測点がある. 使用しているアンテナは 1 点を除いて全て古野 1 周波アンテナ(MG2110)である. それら観測点で得られた 2008 年 6 月~2009 年 6 月の地殻変動は 2cm 程度の隆起および 2cm 程度の水平変動であった. 一方, 同時期に得られた SAR 画像のペアを用いて干渉 SAR 解析をおこなうと, 衛星視線方向に最大 6cm 程度短縮する結果となった. これは GPS で得られた変動量のじつに 3 倍程度の大きさになる. この双方の差異を水蒸気の影響であることを検証するために, 各 GPS 点の大気伝搬遅延量を推定し, 2008 年と 2009 年の遅延量を比較した.

雌阿寒岳 GPS 観測各点における大気伝搬遅延量を推定するために, まず周辺にある 2 周波 GPS 観測点 1 点と GNSS 連続観測システムの観測点 17 点の各点における大気伝搬遅延量を推定した. 解析ソフトウェアは BERNES ver.5.0 を使用した. 続いて 2 周波データで推定した大気伝搬遅延量を固定して, 1 周波受信機の各観測点における 1 時間ごとの天頂遅延量を推定した. 得られた天頂遅延量を西麓 7km 地点の観測点基準(右図中 0496)に変換し, 同時に GPS 解析から得られた上下変動量も同点基準に変換する. 両者足し合わせたものを SAR 衛星視線方向に焼き直すと, 図中紫色縦棒の変動量となり, 干渉 SAR 解析結果(図

中緑色縦棒)とほぼ一致する結果となった. 特に一番差が大きかった山頂部は最もよく改善された. 推定した天頂遅延量の信頼性を確認するために推定値から各点上空の可降水量を算出した. 計算式は大谷・内藤(1998)による. その際, 気温は観測網から 10km 離れたところにある阿寒湖畔アメダスの値から推定したものを, 気圧は北海道大学の連続水位観測井に設置された気圧計から推定したものを使用した. 各点における可降水量と気象庁が公表している気象グリッドデータによる可降水量と比較すると, 両者はおおよそ一致し, 本研究による天頂遅延推定量がある程度信頼できるものであることがわかった. GPS 連続観測による変動量や今回得られた結果から推察すると, 2008~2009 年にかけて干渉 SAR 解析で得られるような大きな地殻変動は実際にはなかったと考えられ, 本事例は大気電波伝搬遅延量の影響が干渉 SAR 解析の結果に現れた例であると言える.

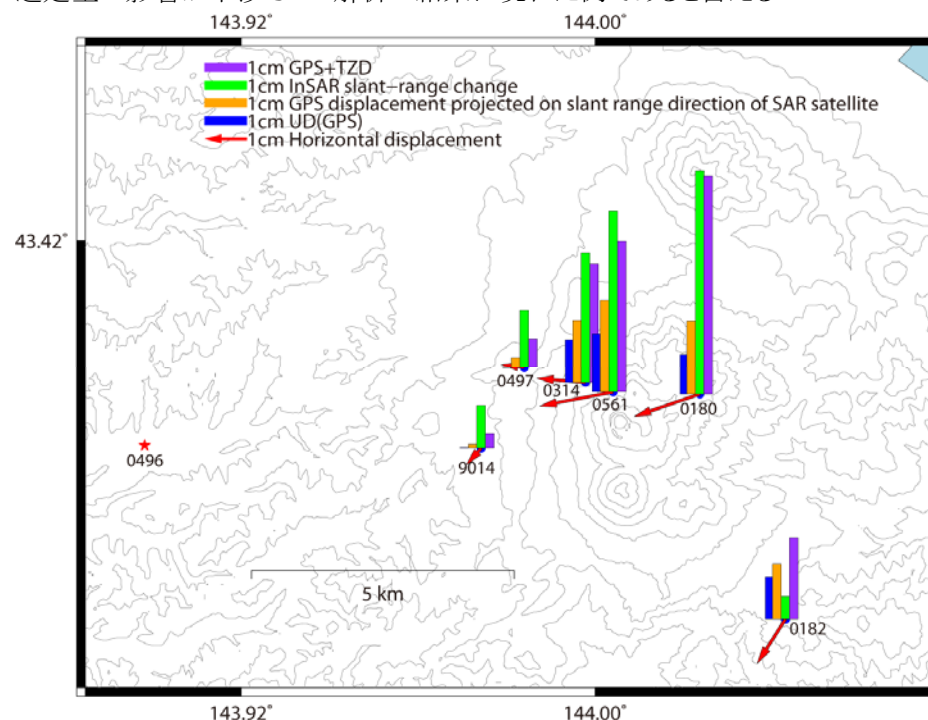


図. 0496 を基準とした雌阿寒岳周辺に展開された GPS 連続観測点における, 水平変動量(赤色矢印), 上下変動量(青色縦棒), GPS による SAR 衛星視線方向に変換した変動量(橙色縦棒), 干渉 SAR 解析による変動量(緑色縦棒), 天頂遅延量+GPS による変動量(紫色縦棒). 等高線は 100m 間隔.

大気伝搬遅延量による 干渉SAR解析への影響検証 —北海道雌阿寒岳2008年小規模噴火に 伴った地殻変動の例—

河野裕希¹・小澤拓¹・高橋浩晃²・中尾茂³・岡崎紀俊⁴・
—柳昌義²・及川太美夫⁵

1) 防災科学技術研究所

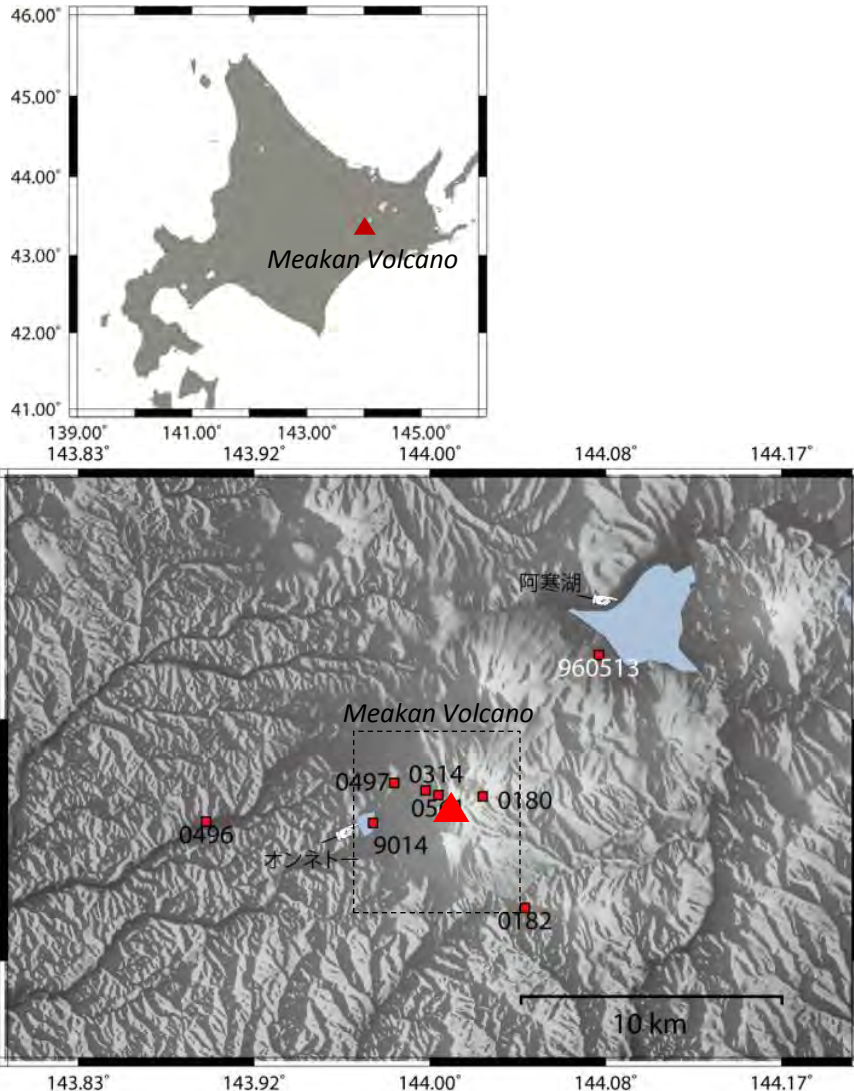
2) 北海道大学地震火山研究観測センター

3) 鹿児島大学理学部

4) 北海道立総合研究機構地質研究所

5) 札幌管区気象台

北海道雌阿寒岳



■は雌阿寒岳周辺にあるGPS観測点

2006年小規模噴火

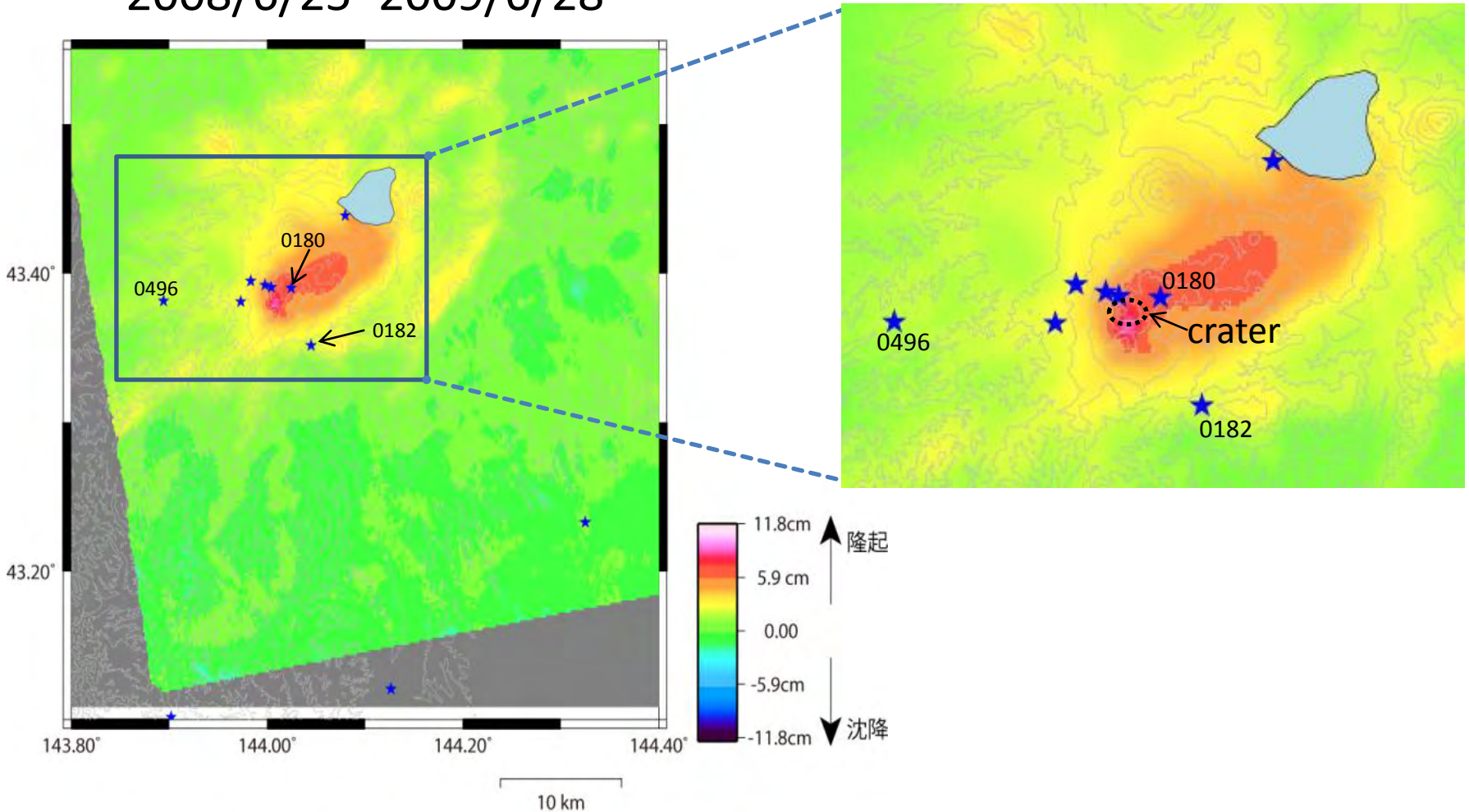
- 2006/3/21に浅部の活動による小規模な水蒸気爆発
- 北西斜面には噴気孔列及び赤沼火口に火口を形成(岡崎他, 2009)
- 山頂付近における水平地殻変動は最大で3~4cm程度
- 降灰量は9,000トン(廣瀬他, 2007)

2008年小規模噴火(今回はコチラについて)

- 2008/11/18, 2008/11/28に小規模な水蒸気爆発
- 傾斜変動はごく浅部の活動によることを示した(青山・大島, 2009)
- 降灰量は12,000トンで2006年噴火時と同規模(石丸他, 2009)

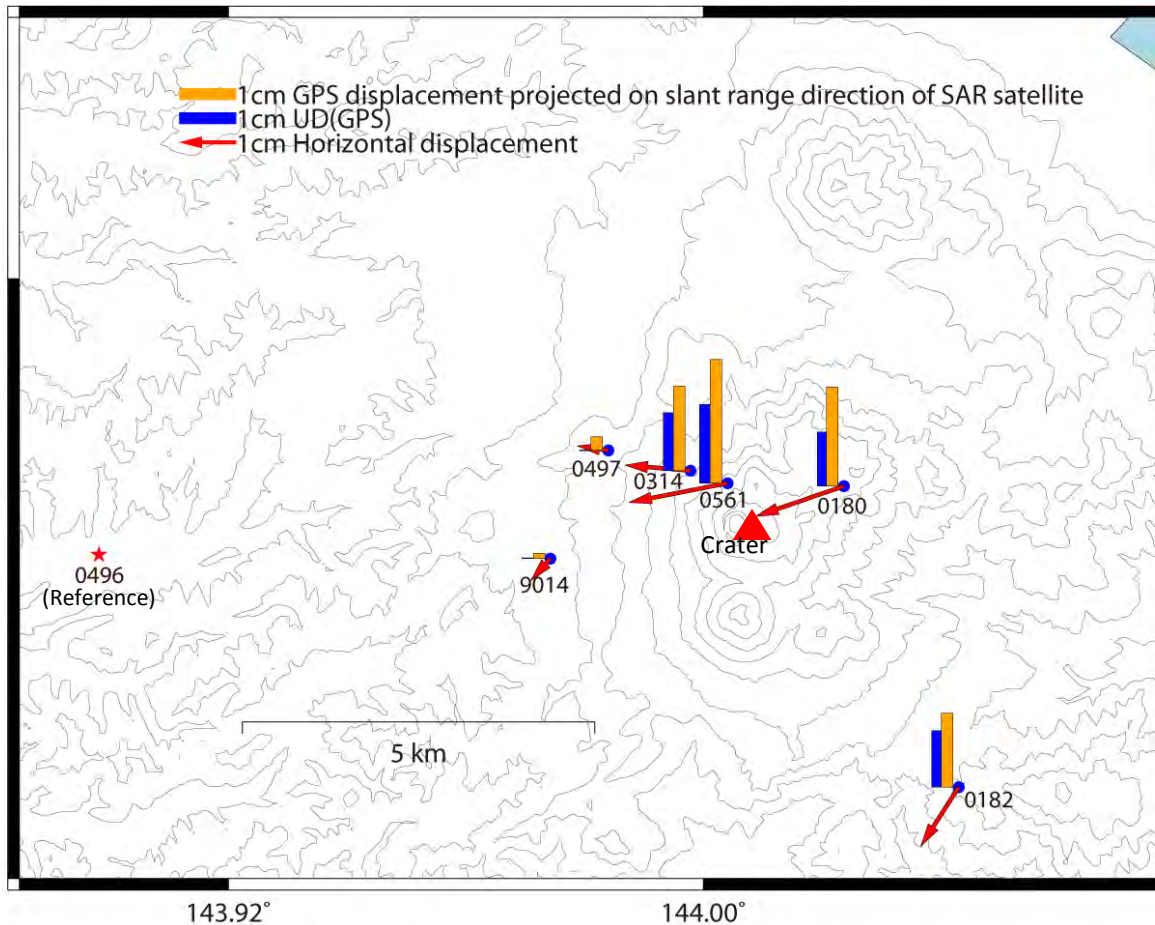
干渉SAR

2008/6/25~2009/6/28



- 2008年6月25日と2009年6月28日に北行軌道で観測→日本時間22:30頃撮像
- 山頂部から阿寒湖にかけての領域で変動が目立つ
- 6~8cm程度のスラントレンジ方向の短縮を検出(火口付近ではそれ以上?)

GPS連続観測



•札幌管区気象台・北海道大学・北海道立総合研究機構地質研究所が合同で実施

•9014を除いて古野電気1周波アンテナ(MG2110)を使用

•9014は2周波アンテナを使用

•山頂部を中心とした変動が目立つ

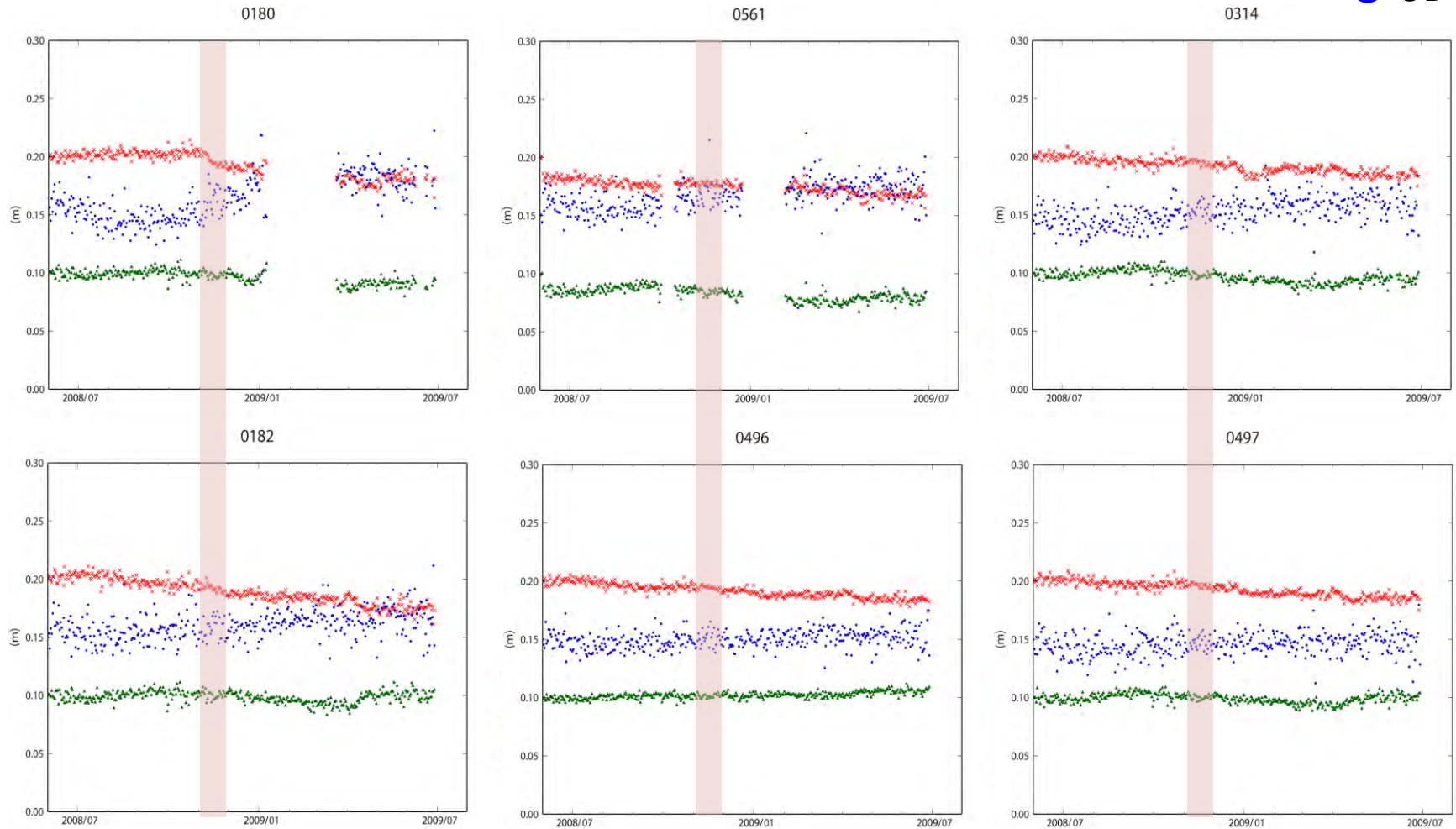
•最大で水平変動1.5cm程度, 上下変動1cm程度の地殻変動を検出

•SAR衛星視線方向の変動に変換すると、最大で2cmの変動になる

GPS連続観測

2008/6/25~2009/6/28の日々の座標値

× NS
▲ EW
● UD



2008/6/25~2009/6/28の地殻変動

干渉SAR 対 GPS

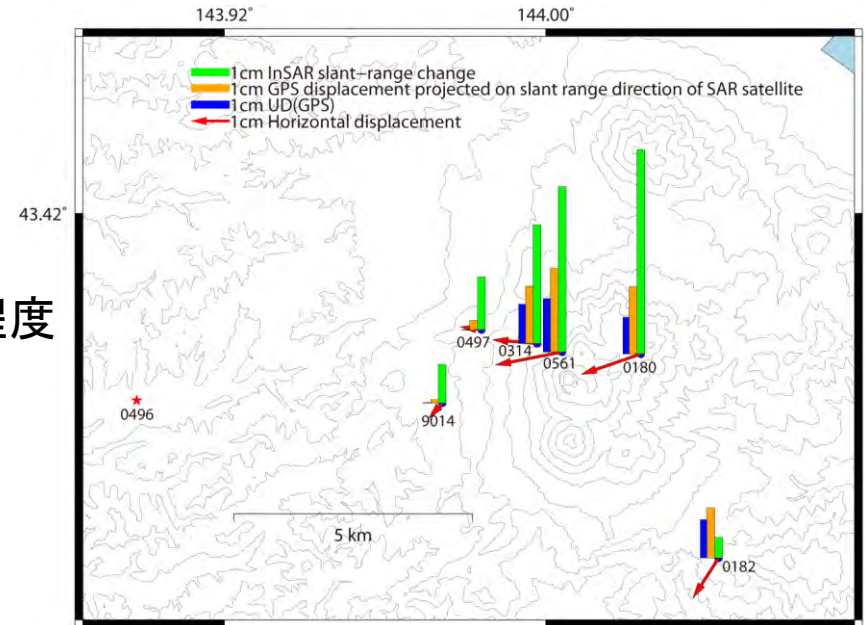
干渉SAR(黄緑色バー)

山頂部から北東部分にかけて最大6cm程度

GPS(黄色バー)

SAR衛星視線方向に変換しても最大で2cm程度

変動規模が最大3倍異なる



- GPS連続観測のデータを見る限り, 干渉SAR解析で得られたような大きな変動は無い.
- 干渉SAR解析では水蒸気の影響を分離することが困難であるため, 水蒸気の影響で干渉縞を作る可能性があり, 従来から水蒸気の重要性が指摘されている(例えばZebker and Hensley, 1997; Delacourt *et al.*, 1998; 藤原他1999 など).



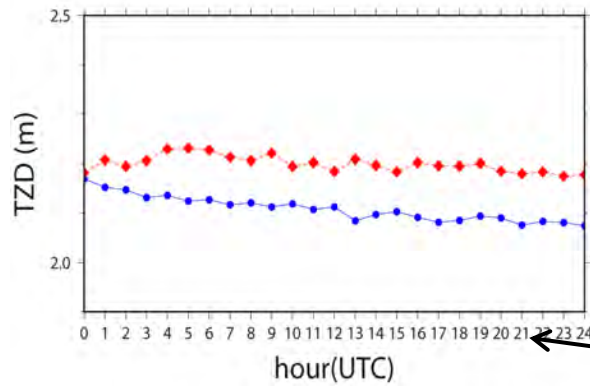
SAR観測日における水蒸気影響を検証するため
GPS解析により大気伝搬遅延量を推定

大気伝搬遅延量の推定

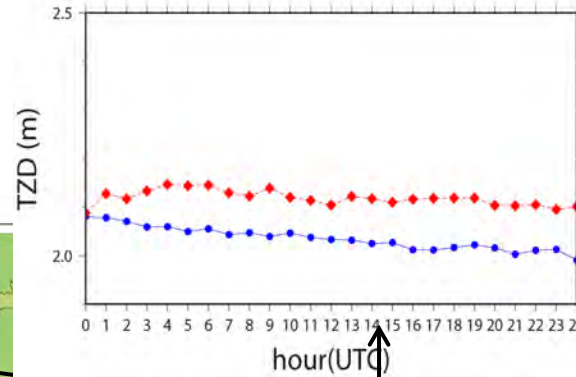
- 解析ソフトウェアはBERNESE ver 5.0
- 衛星軌道情報はIGS精密暦を使用
- 電離層遅延値はBERNESEのプログラムIONESTを用いて周辺の2周波データから推定
- 雌阿寒岳周辺の2周波アンテナ観測点における大気遅延量を推定
- 2周波データで求めた大気伝搬遅延量を既知パラメタとして1周波アンテナ観測網解析に加え, 1時間ごとに雌阿寒岳観測点の天頂遅延量を推定

各観測点での天頂遅延量

0314



0561

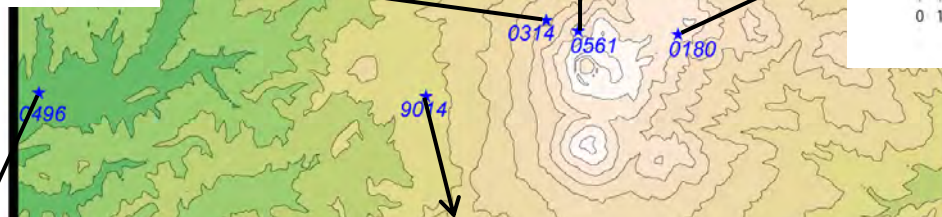
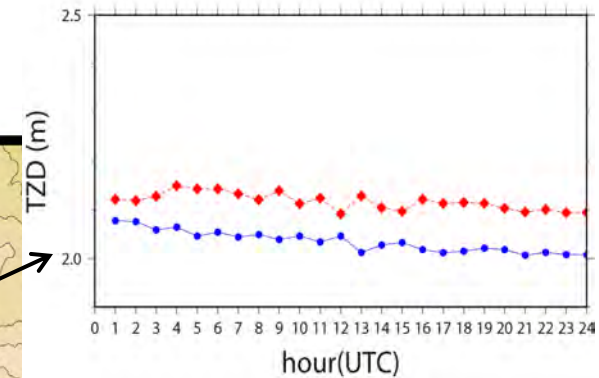


2008年6月25日

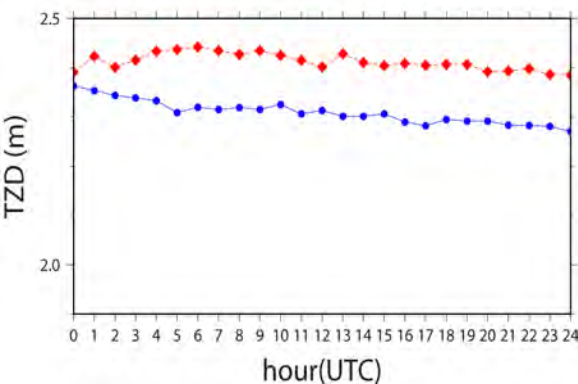


2009年6月28日

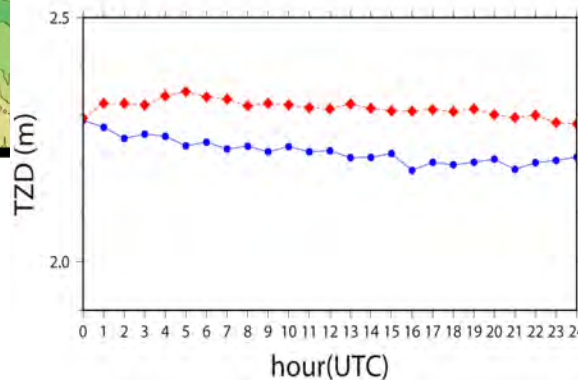
0180



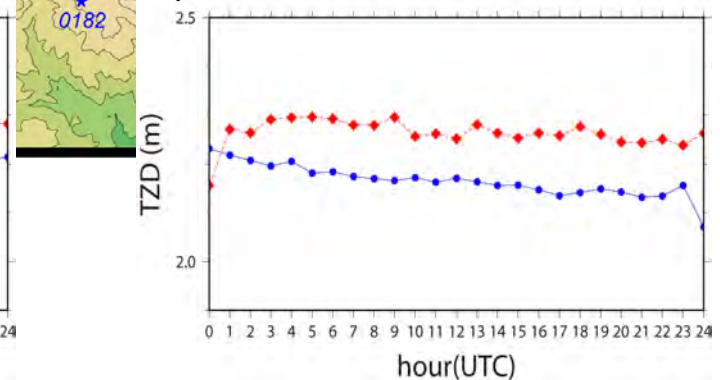
0496



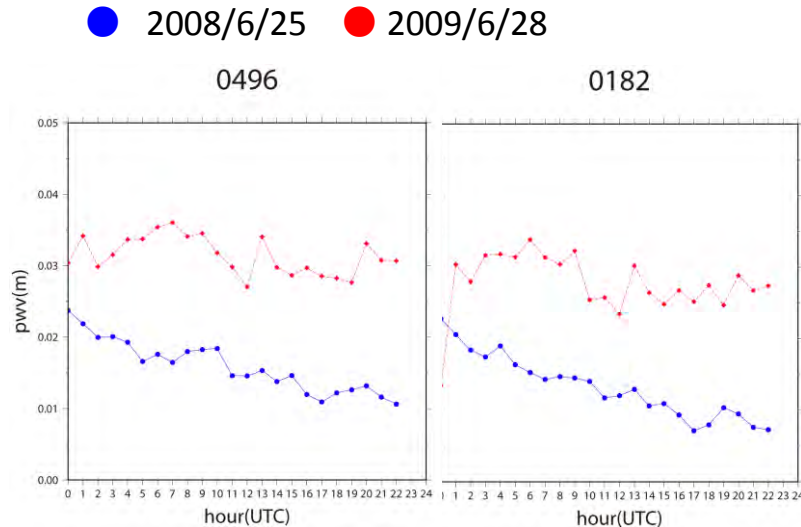
9014



0182



推定した天頂遅延量の信頼性



[GPS]

- 可降水量への変換式は(大谷・内藤, 1998 気象研究ノート)による

- GPS観測点における天頂遅延量

$$\left[\begin{array}{l} \text{天頂静水圧遅延量} \\ \text{(気圧値で決まる量)} \end{array} + \begin{array}{l} \text{天頂湿潤遅延量} \\ \text{(水蒸気量と気温で決まる)} \end{array} \right]$$

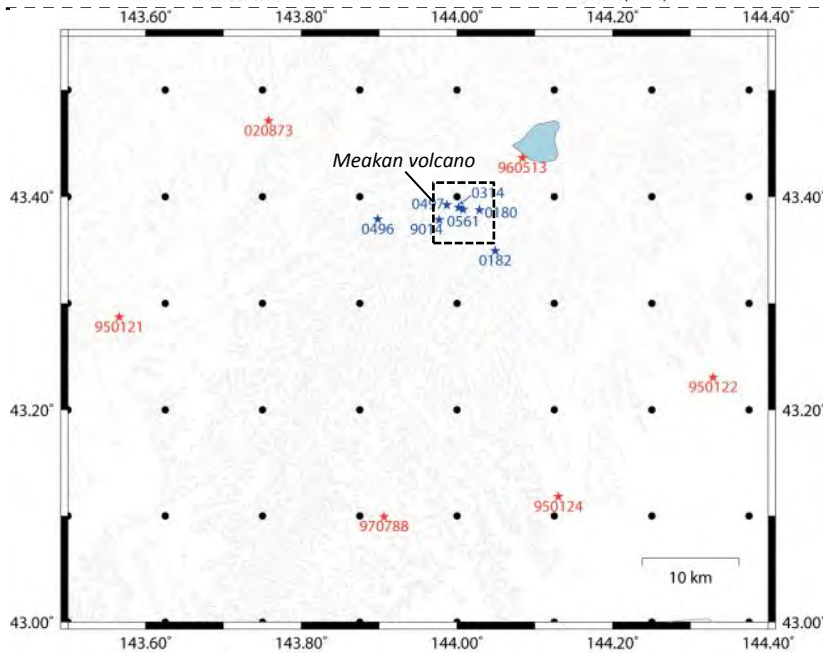
- 阿寒湖畔アメダスの温度記録
→各観測点での温度を計算

- 北海道大学による阿寒湖畔気圧計の記録
→各観測点における気圧値を計算

[数値予報モデル]

- 3時間ごとの各気圧面における気温, 相対湿度を内挿補間したのちに1時間ごとの可降水量を計算

- グリッドは10km間隔

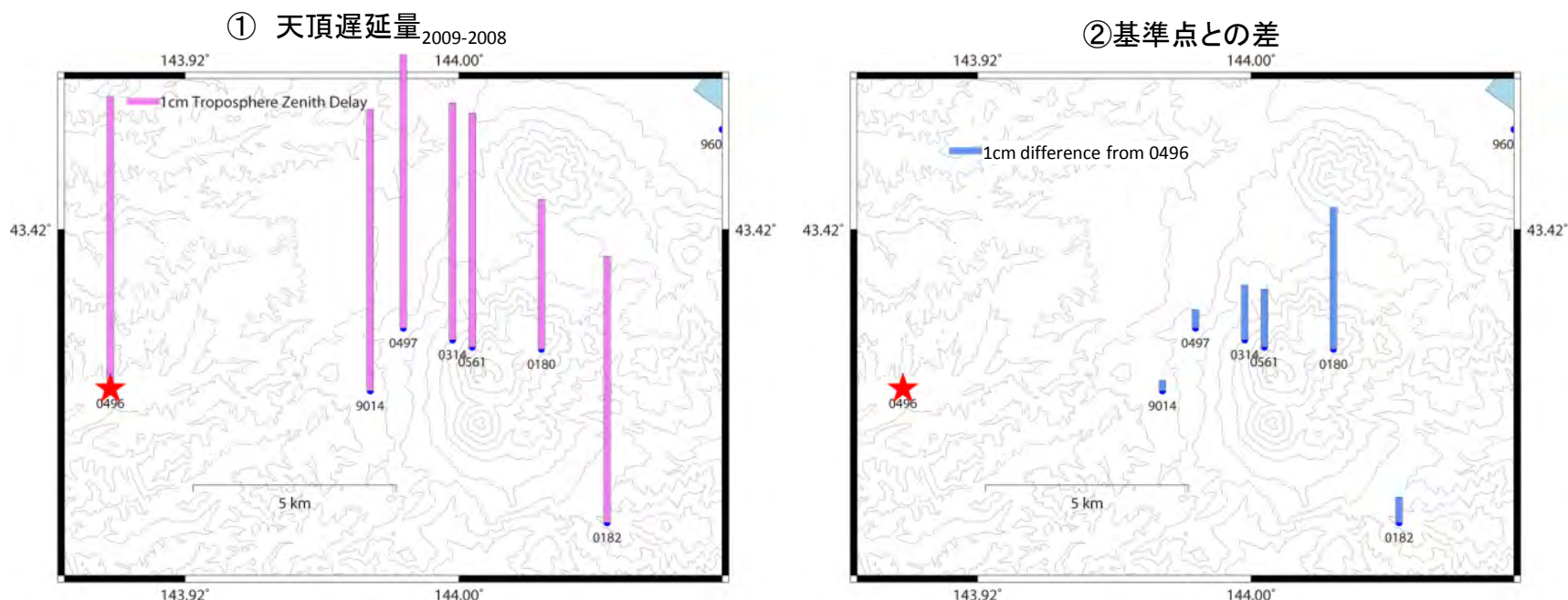


2008/6/25と2009/6/28のSAR観測時間はいずれも日本時間22:30頃(UTCで12時半頃)

地殻変動データと同様な処理をし、遅延量を変動量として見る

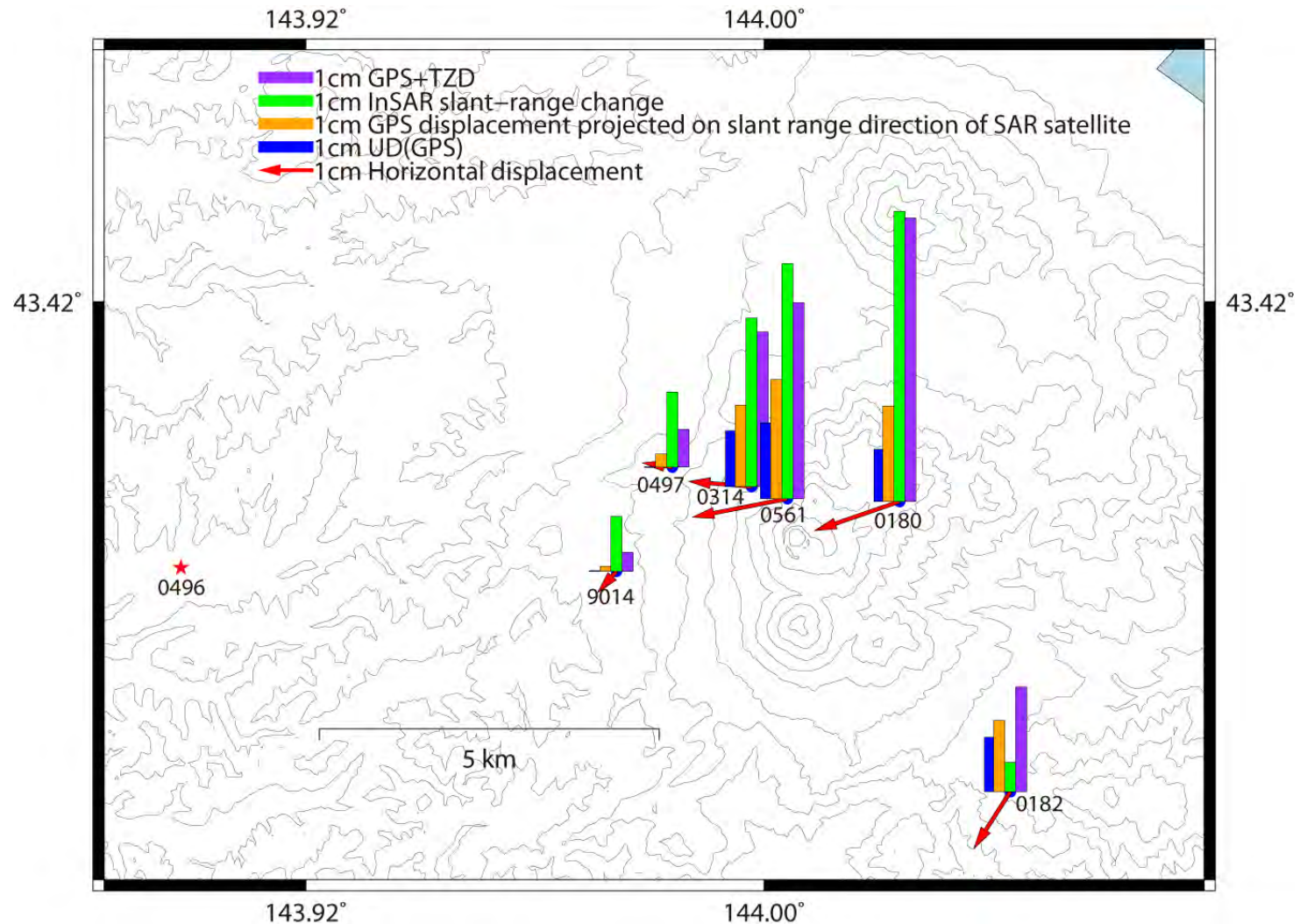
GPSで求めた両日22時の天頂遅延量の

- ① 2008年と2009年の差を求める
- ② さらに基準点0496(★)との差を求める



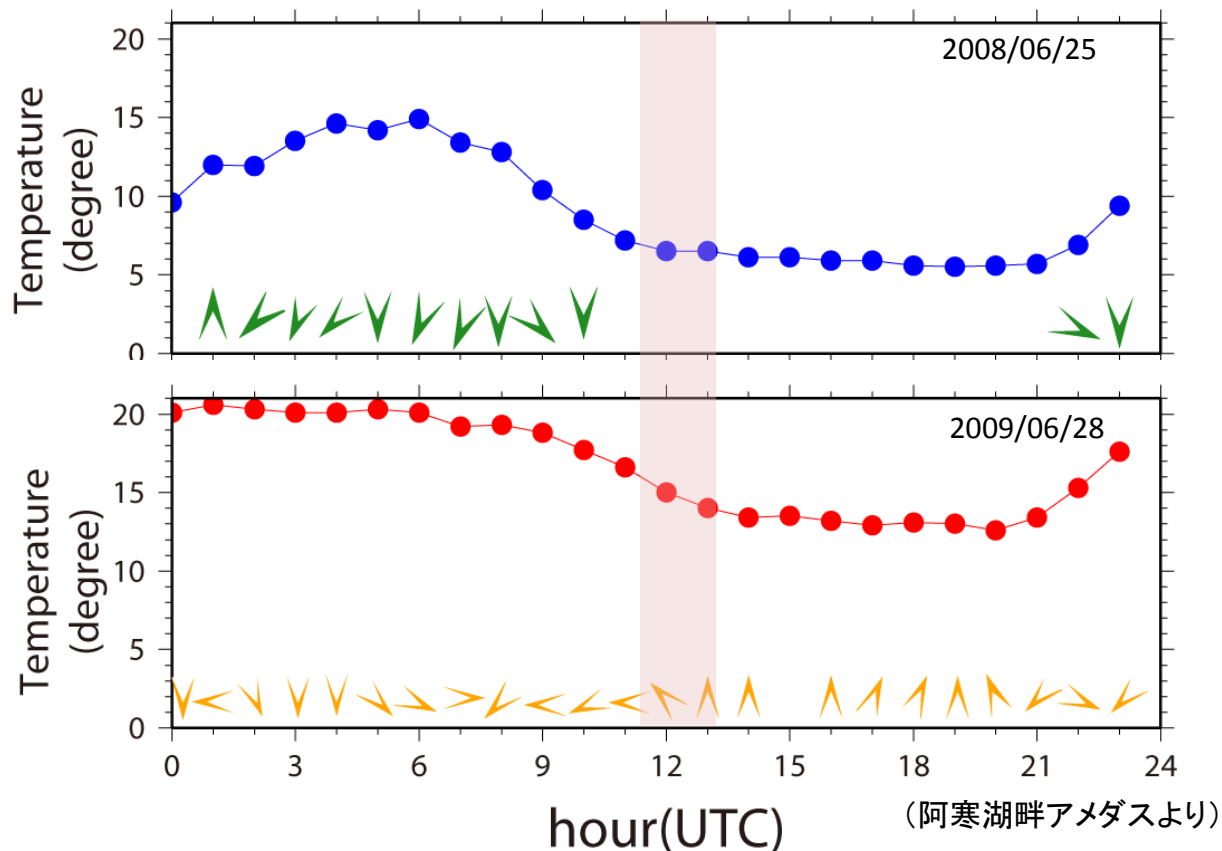
①の遅延量が2008年と2009年で等しい, つまり赤色棒グラフができない場合は水蒸気による干渉縞は出現しない. さらに, ①の棒グラフがどの観測点でも同じ量であった場合, つまり②の青色棒グラフができない場合も干渉縞は出現しない.

天頂遅延量をGPS変位に足すと・・・



両日の気象条件

- 2009年は2008年に比べて気温がだいぶ高く、1日を通して5度以上異なり、UTCの12時頃で7度異なる。
- さらに2009年には南風がよく吹いていた



まとめ

- 2008年11月18日に発生した雌阿寒岳小規模噴火をはさんだ期間で観測されたGPSと干渉SARによる地殻変動解析結果が大きく異なり、その原因を水蒸気分布の偏りによる影響だと考え、検証した。
- 雌阿寒岳周辺に設置されたGPS連続観測点における天頂遅延量を求めた。推定された遅延量は気象庁による客観解析データとも整合しており、信頼できるものであった。
- 時間的かつ空間的に水蒸気分布に偏りがあった。
- 推定した大気伝搬遅延誤差をGPS変位に加えたところ、山頂部ほど差が大きく改善された。よって、干渉SAR解析で得られたほどの大きな地殻変動は実際にはなかったと考えられる。

謝辞

本研究では国土地理院GNSS連続観測システム、International GNSS Serviceのデータを使わせていただきました。気象庁の気象数値予報モデルおよびアメダスのデータを使用させていただきました。本研究で用いたSARデータは地震・地盤変動データ流通及び解析ワーキンググループおよびPIXEL共有データを通じて提供を受けました。PALSARデータの所有権は経済産業省および宇宙航空研究開発機構(JAXA)にあります。また雌阿寒岳GPS観測の保守・データ回収に関わるすべての皆様のおかげで解析を行うことができました。ここに記して感謝いたします。