

**PALSARデータを用いた2008年岩手・宮城内陸地震による
地殻変動検出と断層モデル**

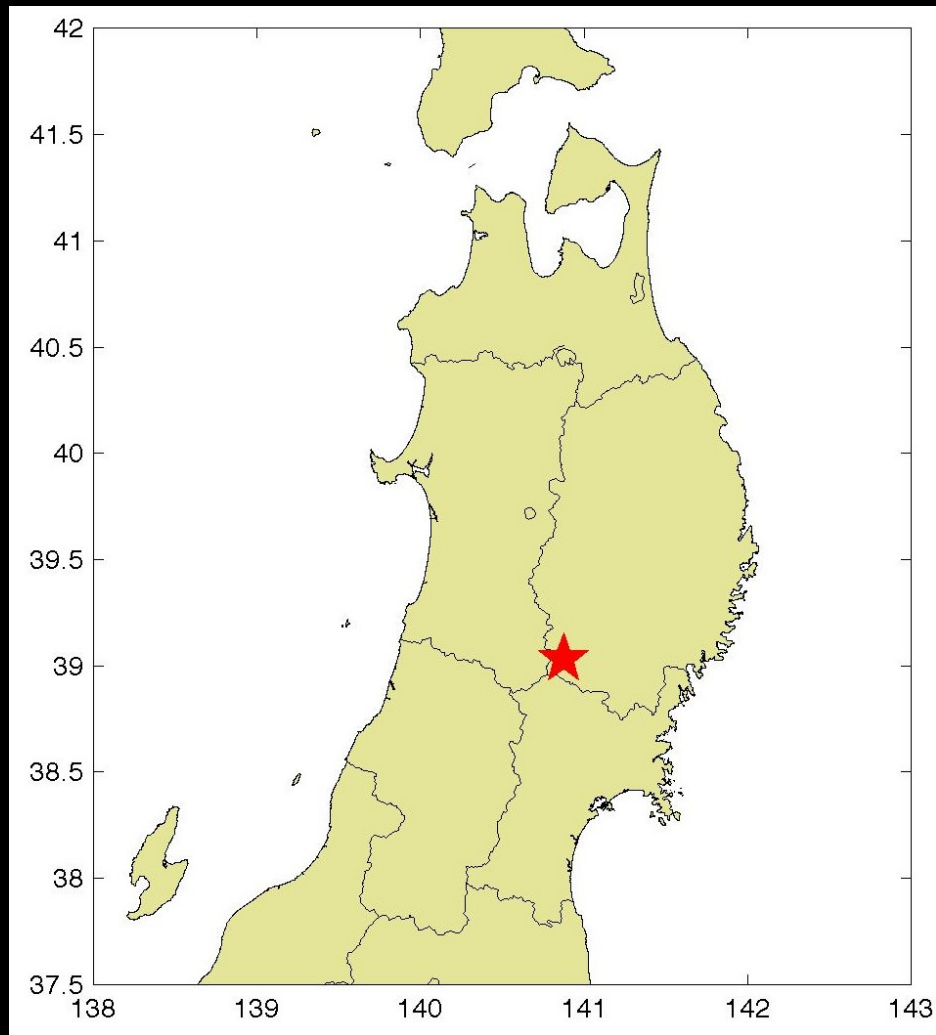
**Crustal displacements and fault model of the 2008 Iwate-
Miyagi Nairiku earthquake using PALSAR data**

- 福島 洋・深畑幸俊（京都大学防災研究所）
○Yo Fukushima, Yukitoshi Fukahata (DPRI, Kyoto Univ.)

謝辞

PALSARレベル1.0データは、PIXELおよびJAXAと国土地理院による衛星リモートセンシングによる防災検証実験研究(地震WG)の一環として提供されました。PALSARデータの所有権は経済産業省及びJAXAにあります。

岩手・宮城内陸地震



- 2008年6月14日
- Mj 7.2, Mw 6.8 ~ 7.0
- M7クラスの地震は想定外
- 西落ち低角逆断層
- ALOS運用開始後、初の陸域内陸地震

PALSARデータ

観測パス	震央付近の 入射角(°)	データ取得日	観測パス	震央付近の 入射角(°)	データ取得日
402 (Asc.)	38	07/09/21-08/06/23	54 (Desc.)	47	07/07/06-08/07/11
403 (Asc.)	40	07/07/08-08/07/10	57 (Desc.)	39	07/08/29-08/07/16
53 (Desc.)	48	06/08/04-08/06/24	61 (Desc.)	26	06/08/02-08/06/22

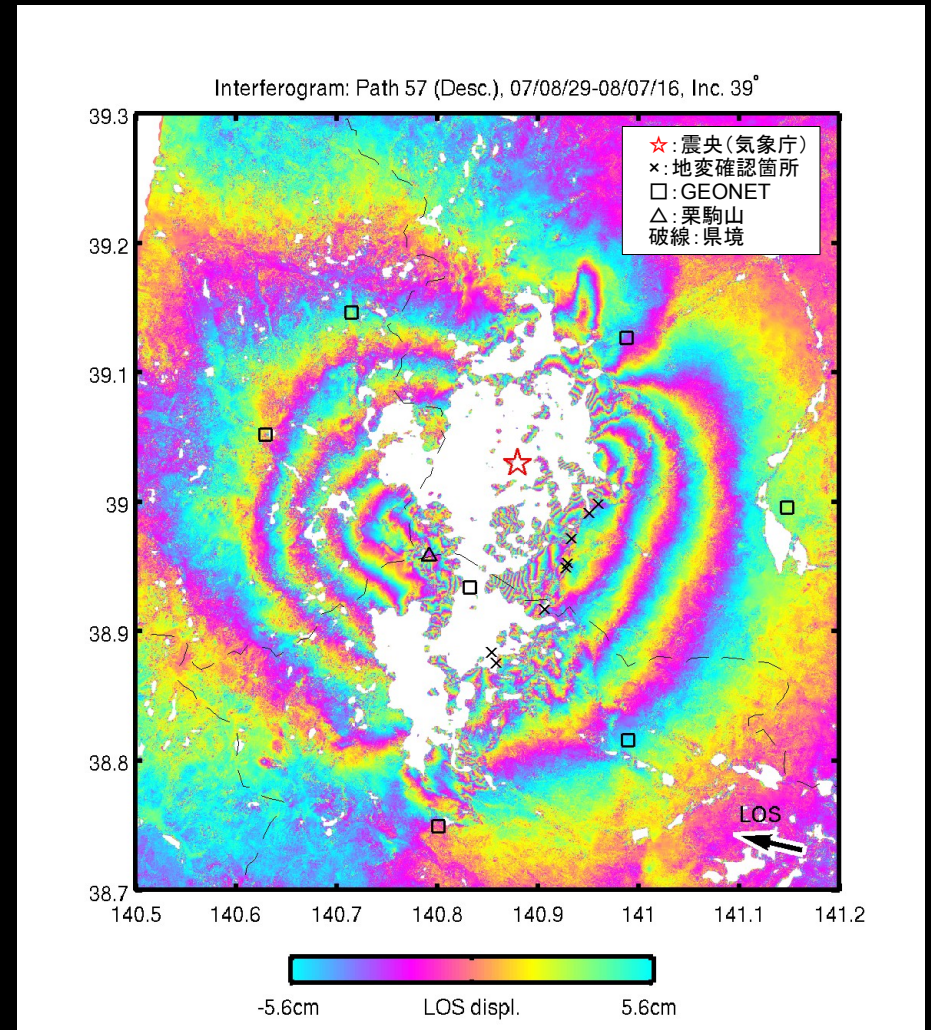
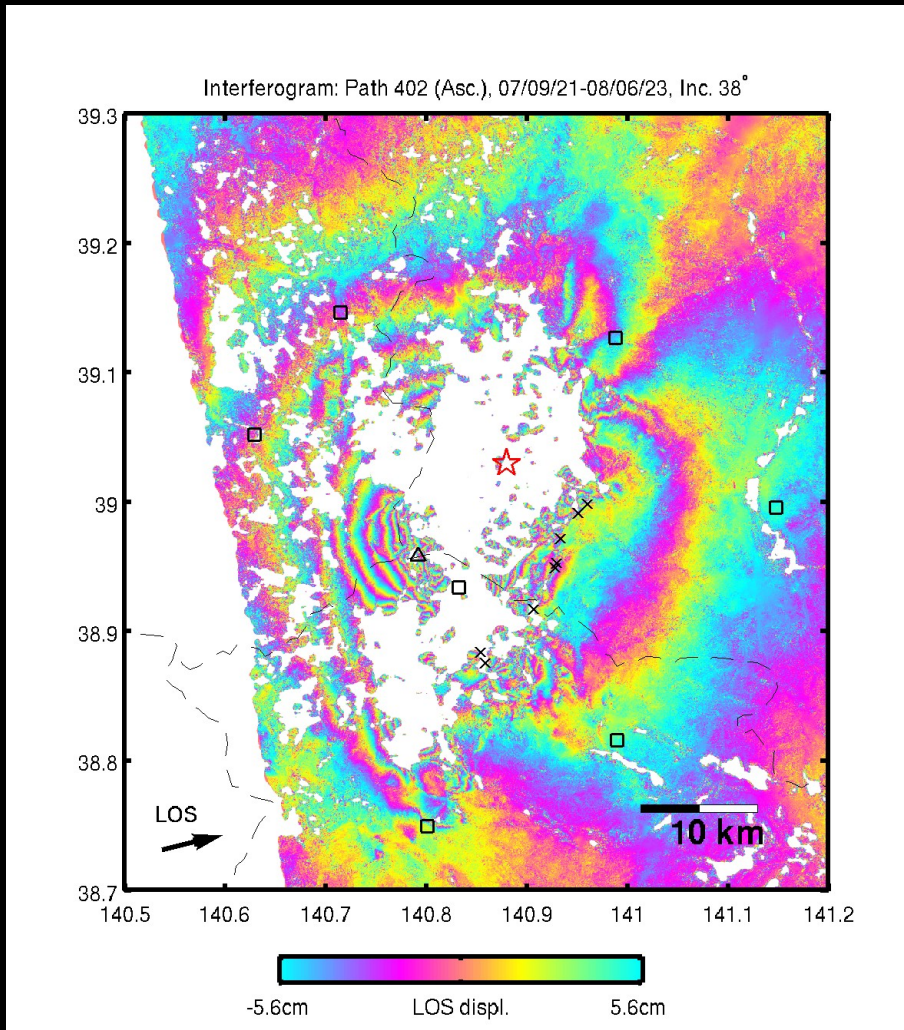
→良好なデータセットがそろっている。
これらを使って、我々はどこまで知ることができるか？

地殻変動の詳細の検出→すべり分布インバージョン

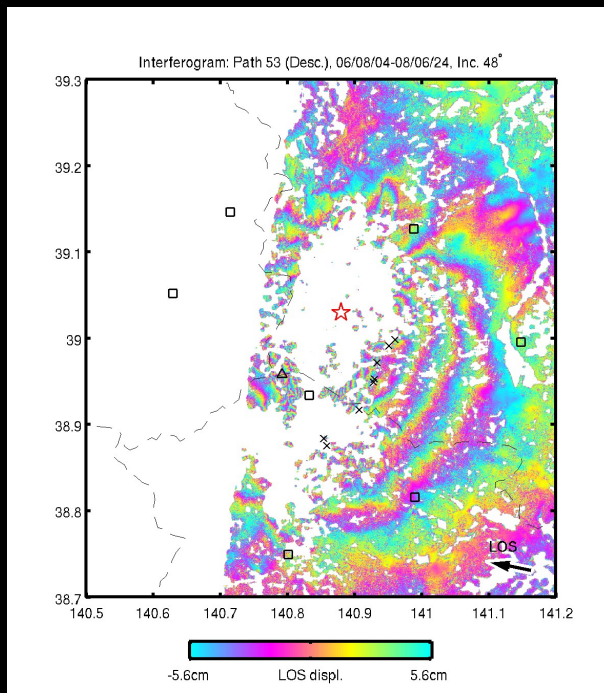
干涉画像

Ascending (402), 34.3, Bperp = - 619m

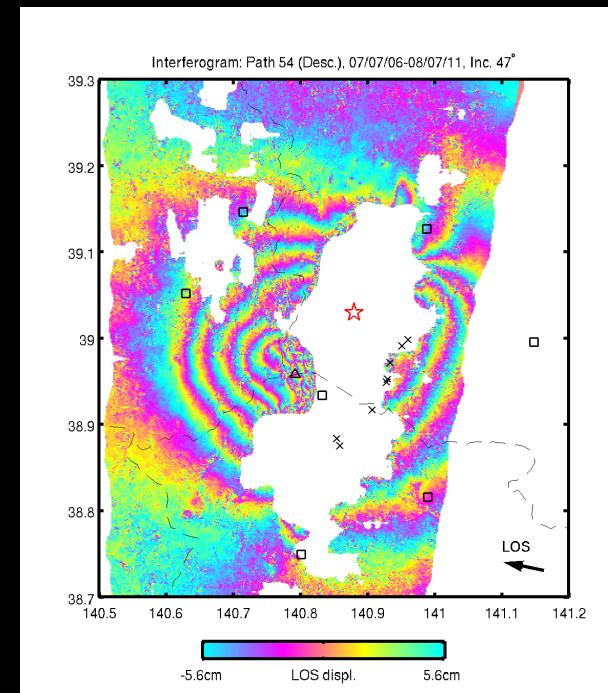
Descending (57), 34.3, Bperp = - 770m



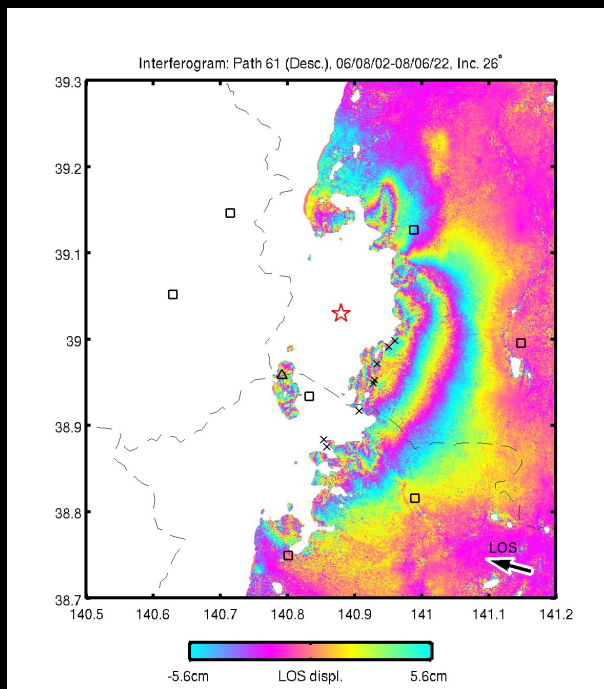
Desc. (53)
41.5



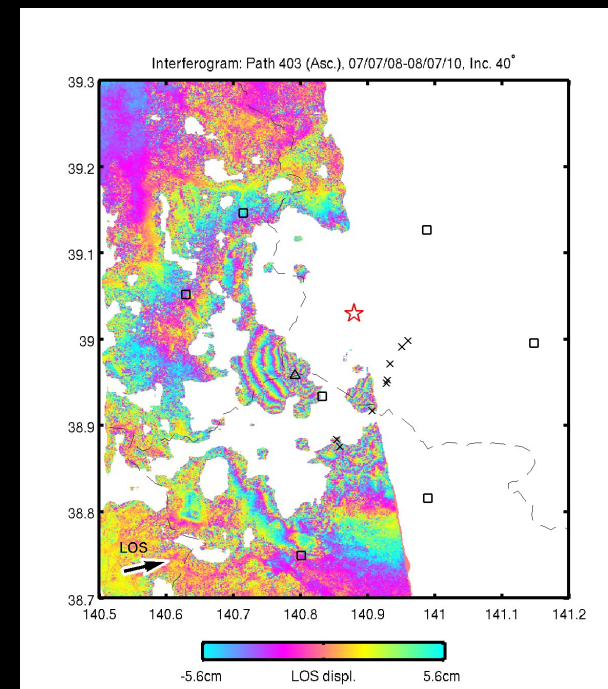
Desc. (54)
41.5



Desc. (61)
21.5

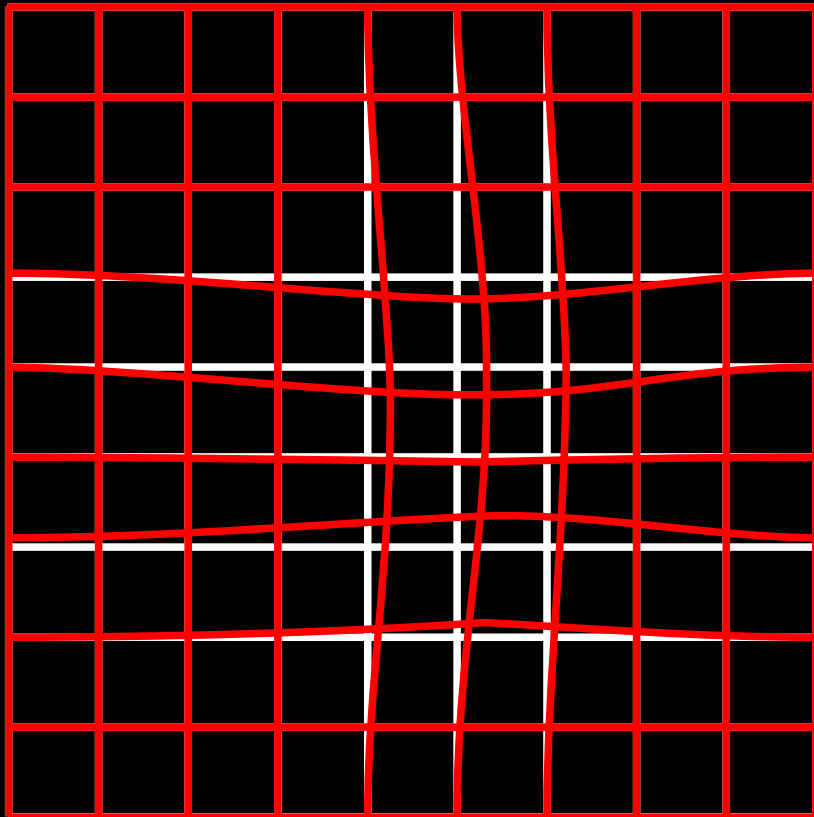


Asc. (403)
41.5



画像マッチングによる変動検出

マスター スレーブ



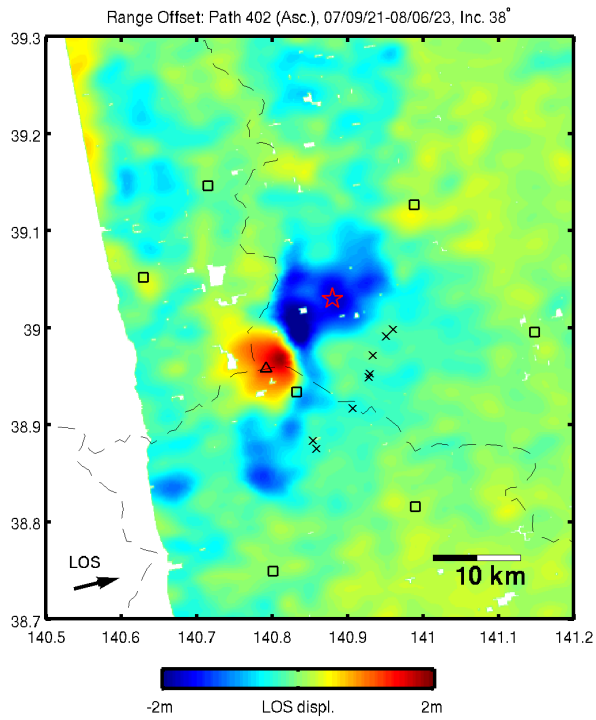
マスターとスレーブ画像において、大域的な位置あわせをおこなったあとに残る画像のオフセット(ゆがみ)が変動量に相当する。

レンジオフセット: レーダ視線方向
アジマスオフセット: 衛星進行方向

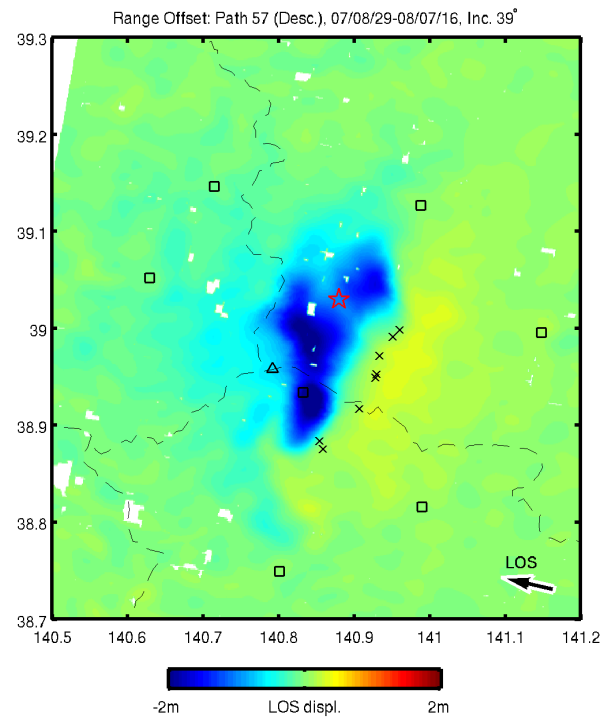
Rule of thumbで、ピクセル間隔の1/10の精度でマッチングできる→精度は数10センチ程度。

マッチングにより検出された変動の例

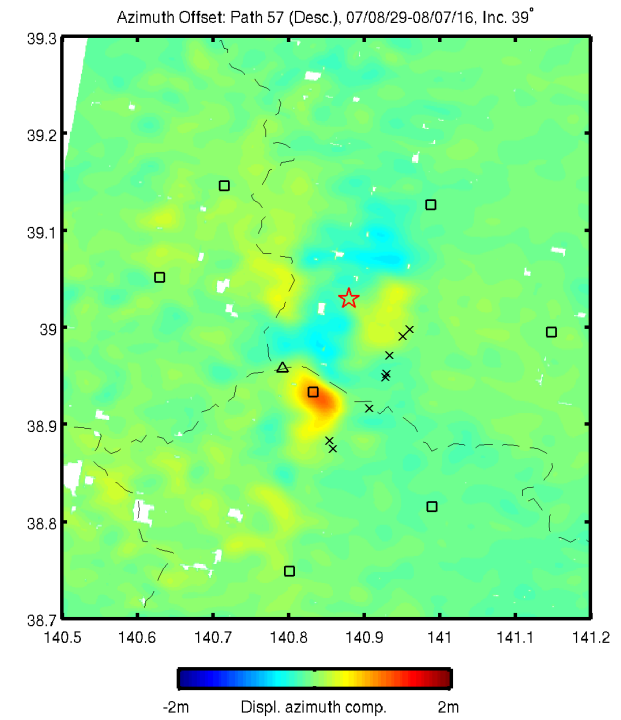
Path 402 (asc.) range offset



Path 057 (desc.) range offset



Path 057 (desc.) az. offset



三次元変位

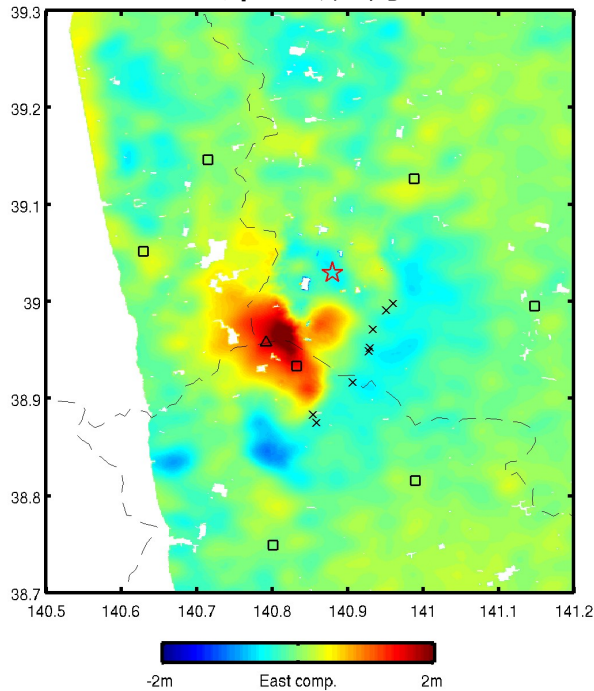
(Wright et al., 2004, GRL)

$$\hat{\mathbf{u}} = -[\mathbf{P}^T \Sigma_R^{-1} \mathbf{P}]^{-1} \mathbf{P}^T \Sigma_R^{-1} \mathbf{R}$$

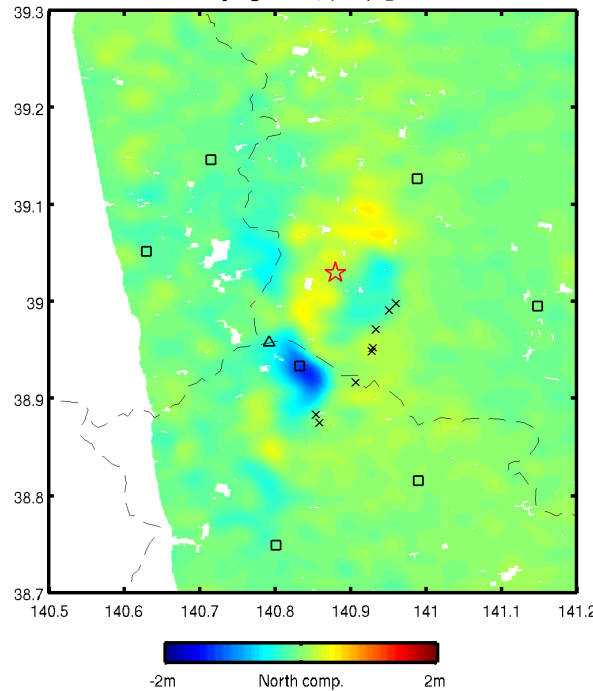
$$\Sigma_u = [\mathbf{P}^T \Sigma_R^{-1} \mathbf{P}]^{-1}$$

$$\mathbf{P} = \begin{pmatrix} \hat{p}_1 \\ \hat{p}_2 \\ \hat{p}_3 \\ \hat{p}_4 \end{pmatrix}$$

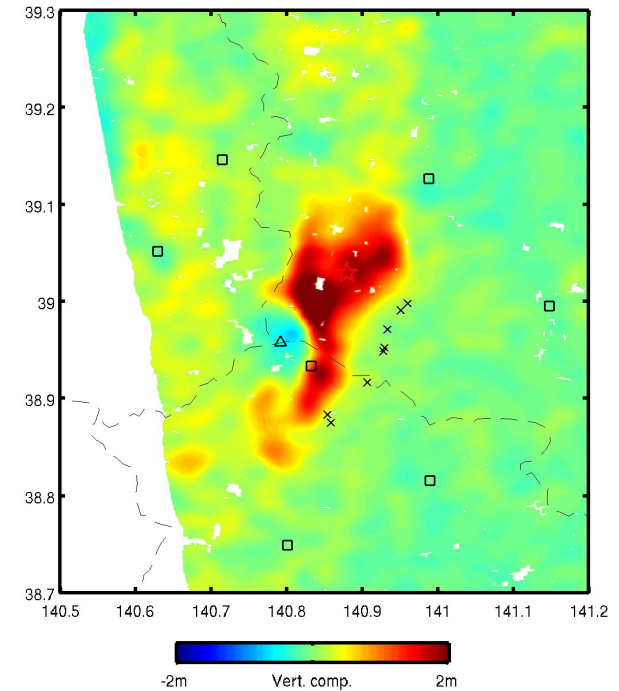
東西成分



南北成分



上下成分



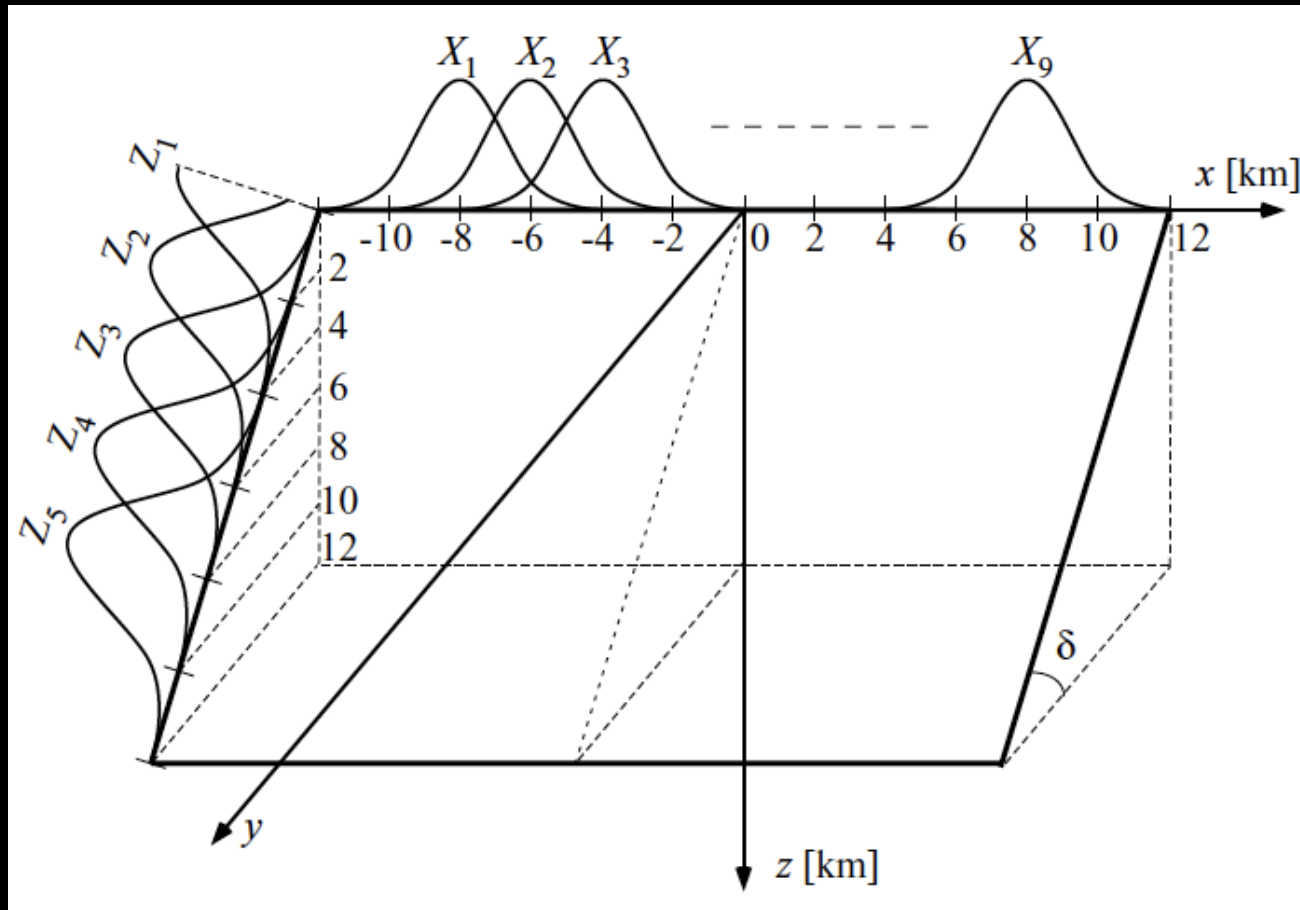
栗駒山はほぼ東方向のみ。震央周辺は、ほぼ上方向のみ。数10cmという誤差の範囲では、得られているGPS等のデータに調和的。

すべり分布インバージョン

仮定：平面断層（一枚）・半無限弾性体・余効変動無視。

データ：アセンディング（402）とディセンディング（57）の干渉画像およびディセンディング（57）のレンジ／アジマスオフセット（断層近傍の大変位領域のみ）

手法：ABICを用いて線形・非線形の混合問題を解く
Fukahata and Wright (2008) に準拠。



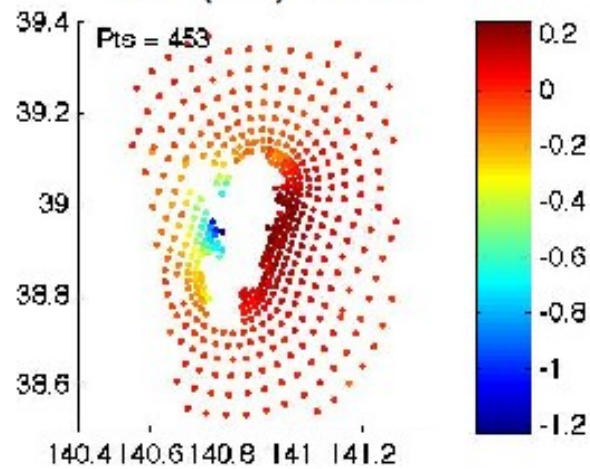
Fukahata and Wright (2008, GJI)

断層の走向、傾斜角、位置については系統的に変化させ
 (グリッドサーチ)、各々の場合ですべり分布推定(線形イン
 バージョン)。ABICで最適モデルを決定。

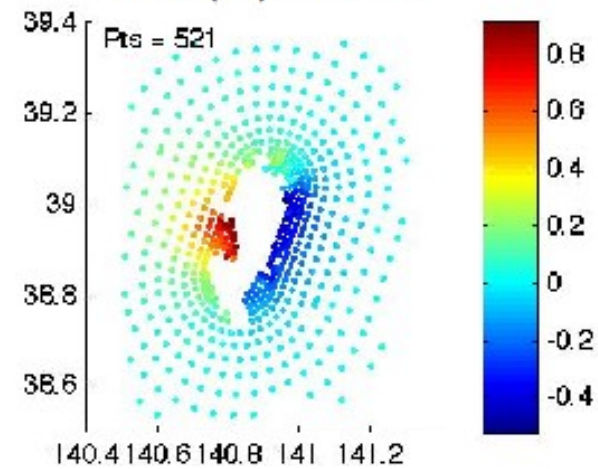
※本発表の結果は、ABIC最小を満たしていない

インバージョンに用いたデータ

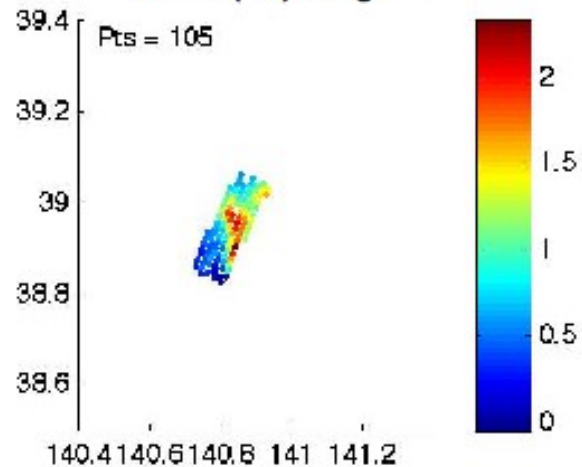
Asc. (402) interfero.



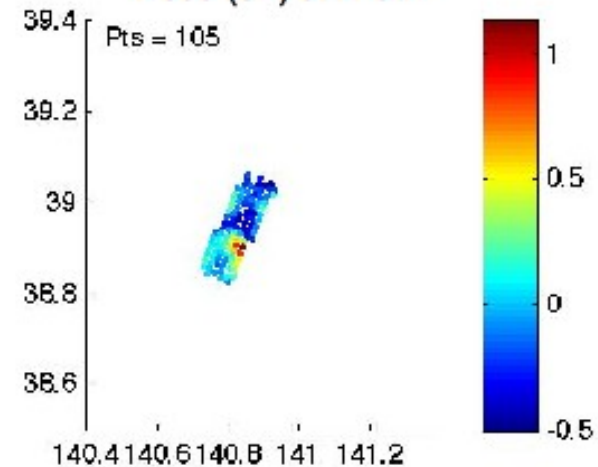
Desc (57) interfero.

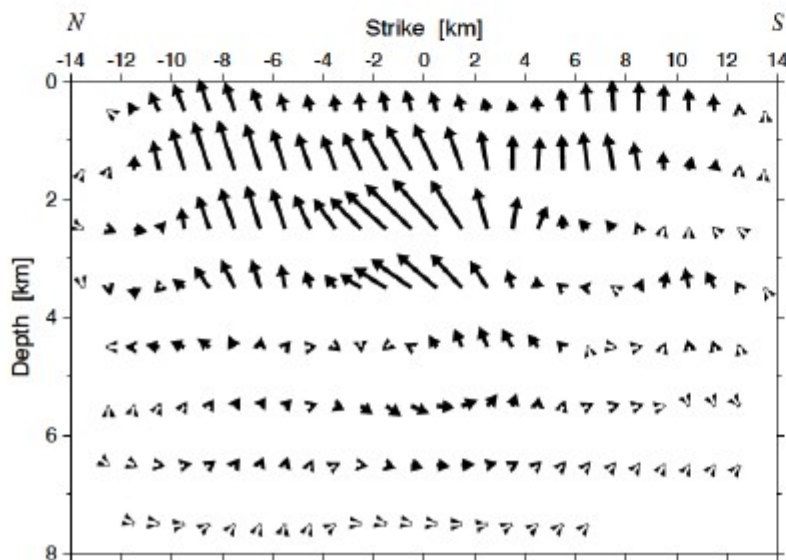
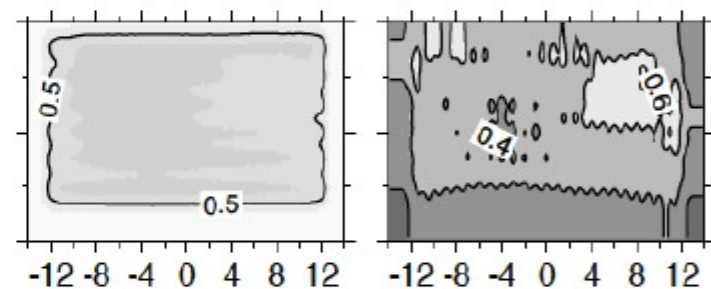
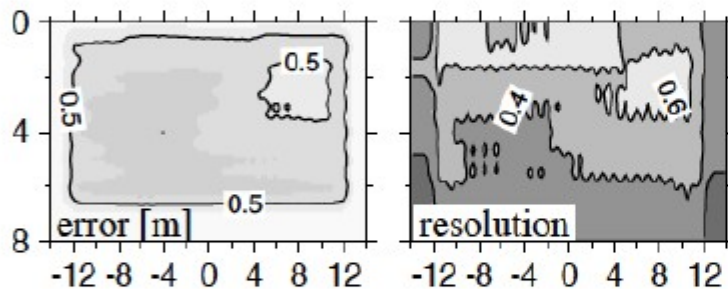
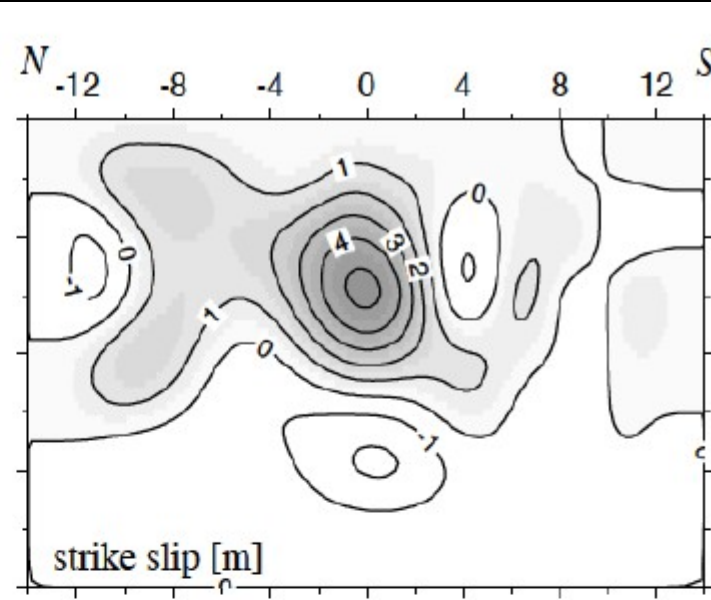
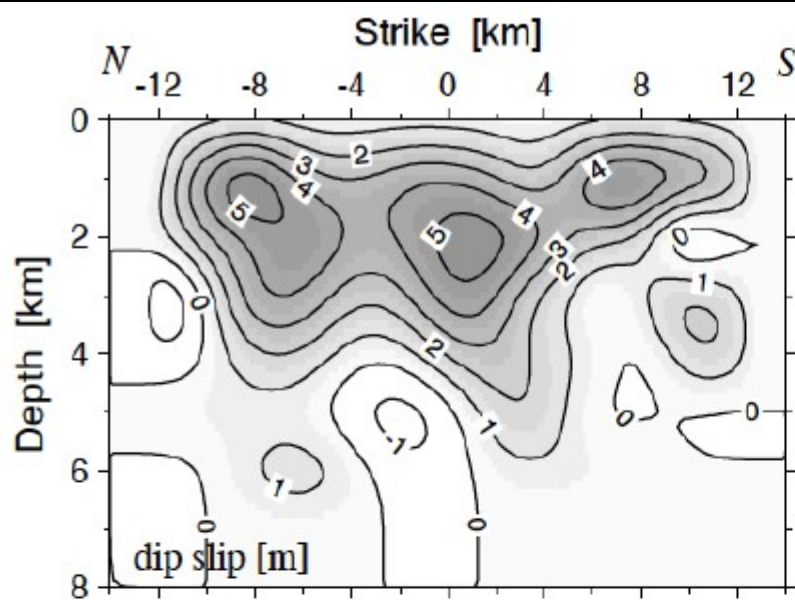


Desc (57) range



Desc (57) azimuth





走向 203° 、傾斜 26° 、地表における断層面の中心 (140.90E , 38.97N)

深さ4km以浅にすべりが集中。断層面の中央付近で5m強のdip方向およびstrike方向のすべり。

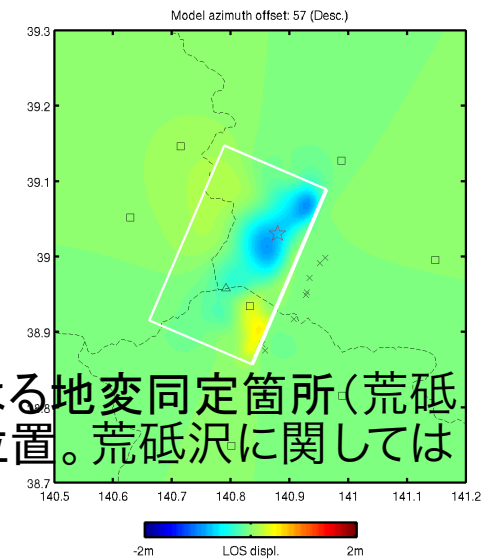
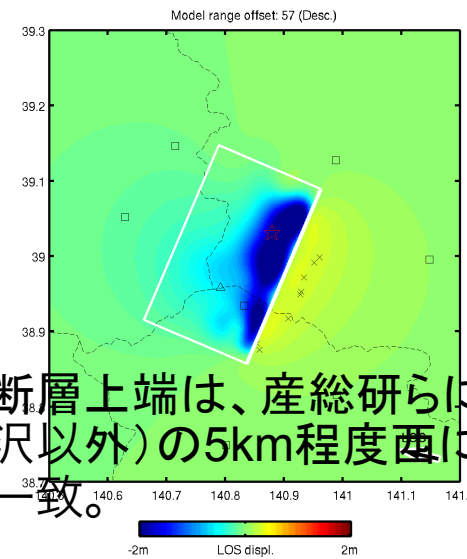
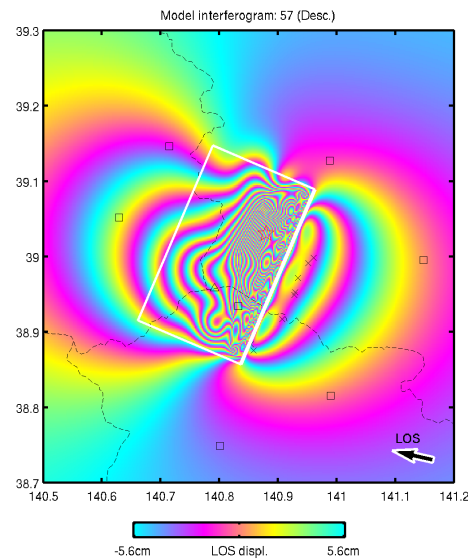
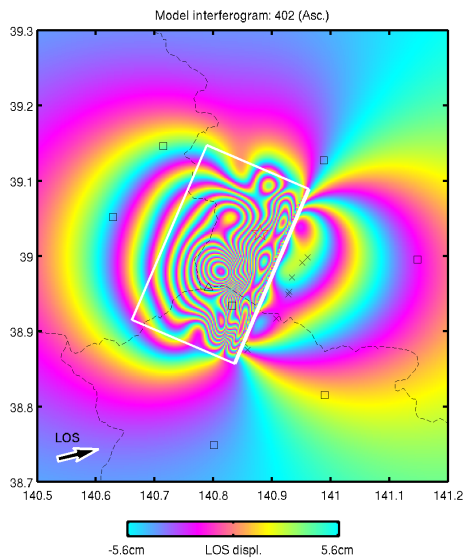
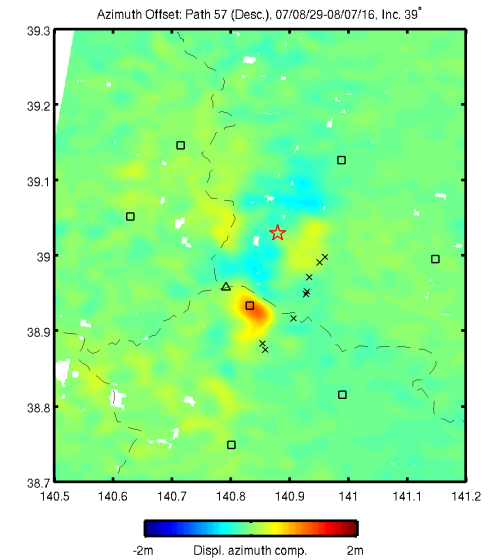
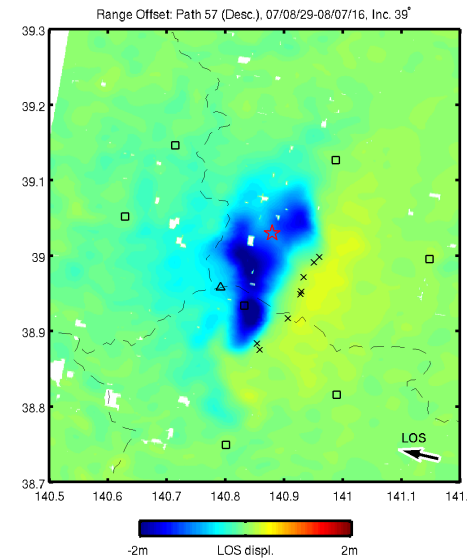
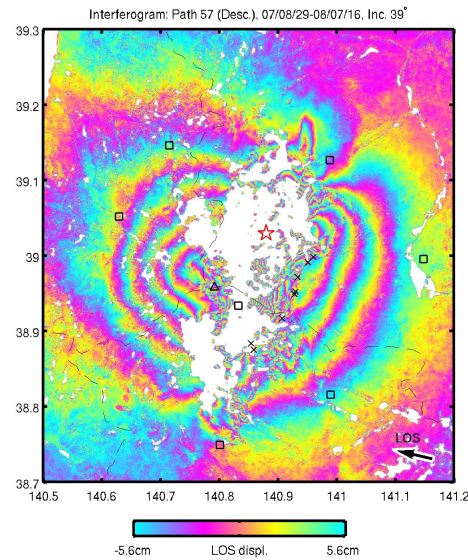
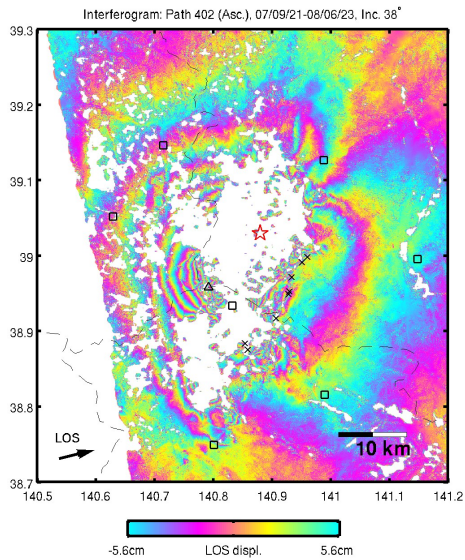
結果：観測（上段）vsモデル（下段）

Asc (402) interfero.

Desc (57) interfero.

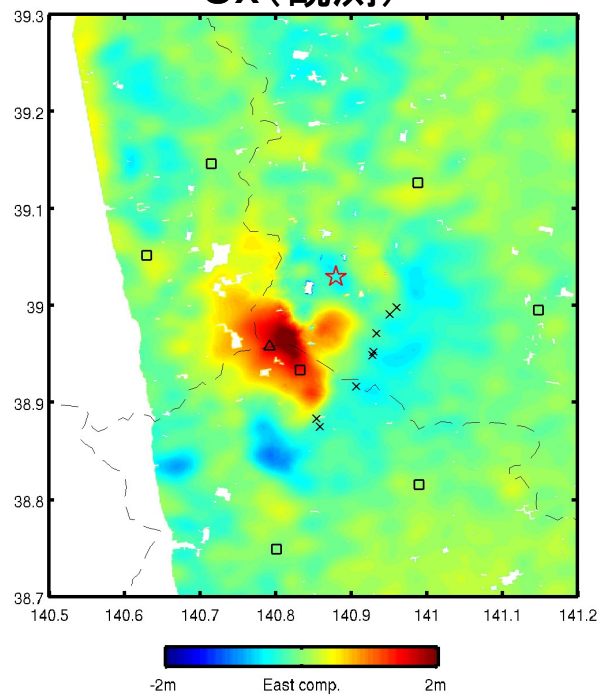
Desc (57) range offs.

Desc (57) azimuth offs

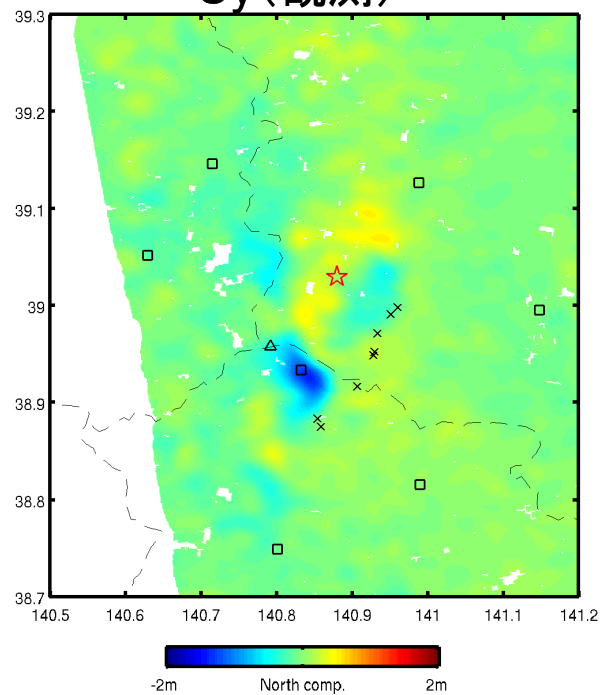


断層上端は、産総研らによる地変同定箇所（荒砥沢以外）の5km程度西に位置。荒砥沢に関しては一致。

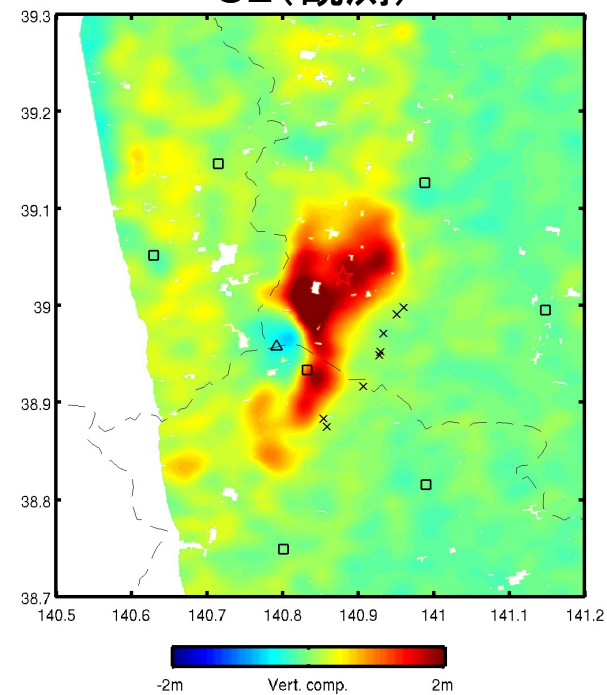
Ux(観測)



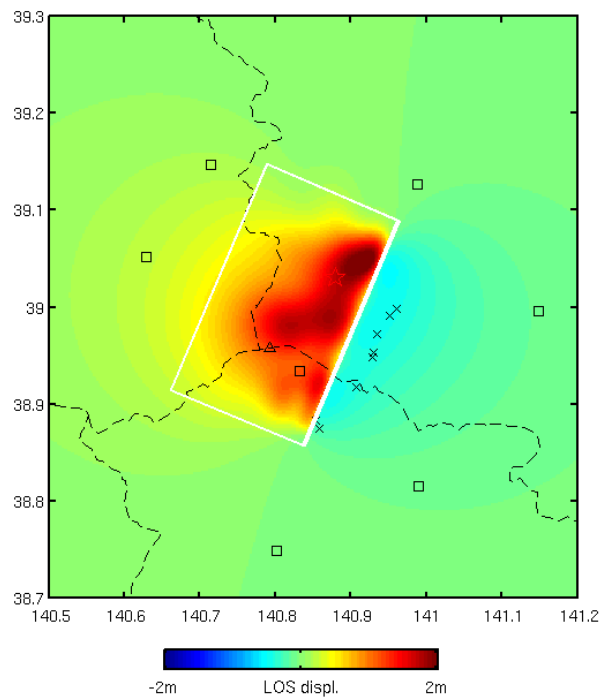
Uy(観測)



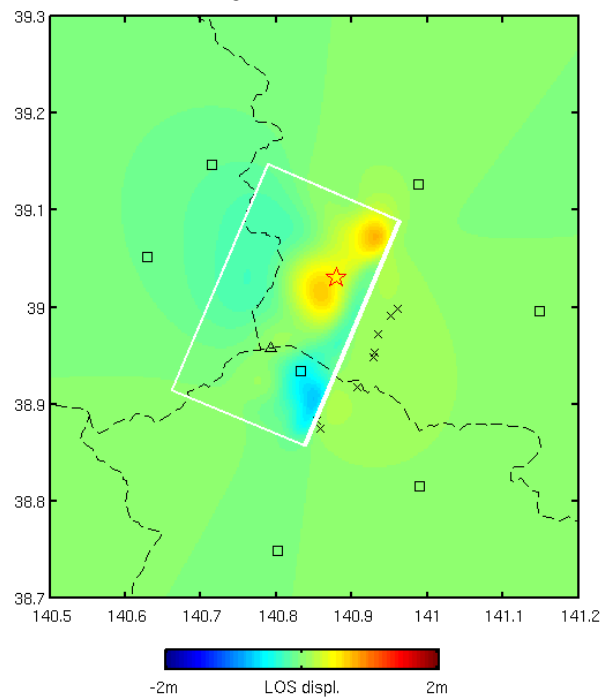
Uz(観測)



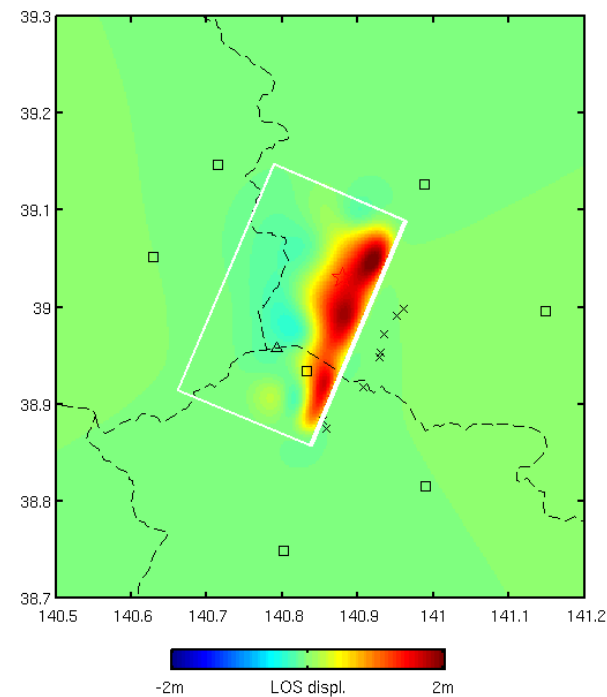
Ux(モデル)



Uy(モデル)



Uz(モデル)



まとめ

- PALSARデータを用い、2008年岩手・宮城内陸地震に伴う地表変位をSAR干渉法および画像マッチング法により検出した。
- ふたつのレンジオフセット、ひとつのアジマスオフセットデータから、三次元変位場を計算した。栗駒山で2mを超える東方向の変位、震央近傍で2mを超える隆起を検出した。
- すべり分布インバージョンをおこなった。最適モデルは、低角(26°)で4km以浅にすべりが集中(最大7m近くのすべり量)。

おまけ: オフセットトラッキングについて

- パッチのウィンドウサイズ？

→256x256 px が安定した推定をおこなうという観点からは適当。

- フォアショートニングの効果？

→考慮したうえで位置あわせをおこなうべき。

- 多項式フィッティングの影響？

→画像の端近くにターゲット領域がある場合、推定が不正確になる危険性あり。

- 振幅のみを使う？それとも位相も使う？

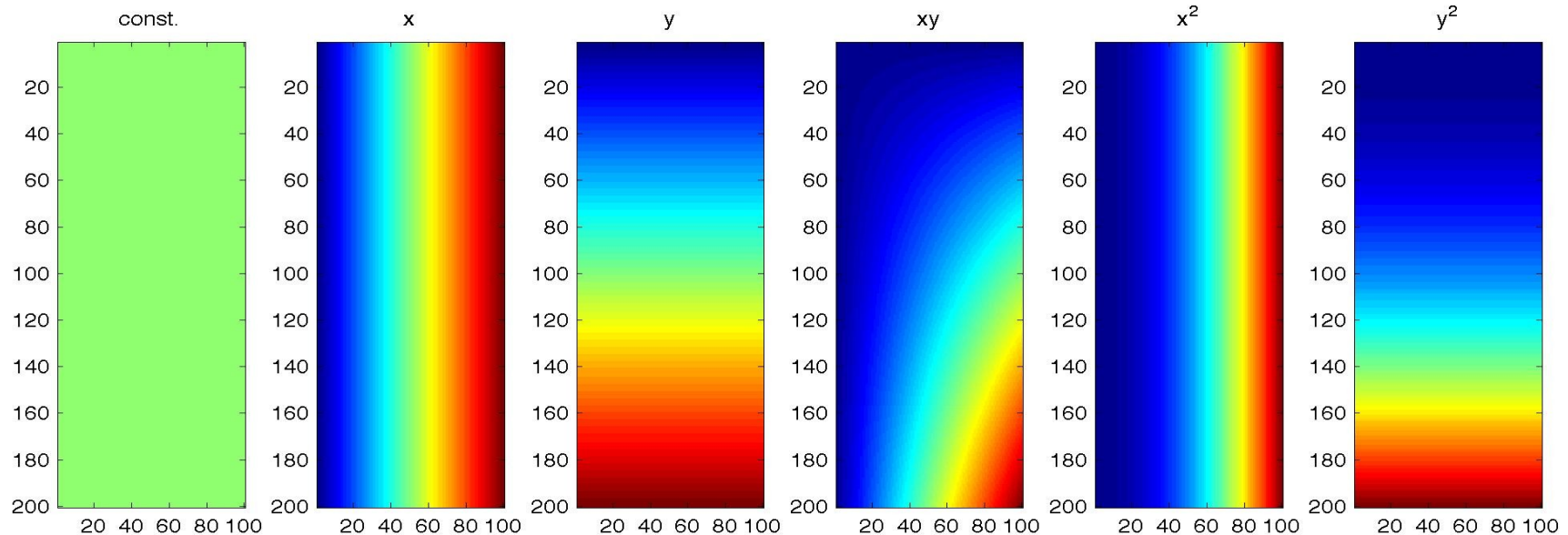
→コヒーレンスがある程度あるところ(干渉するところ)は、位相も使った方が正確でしょう。ただし、安定性には欠けるかもしれません。コヒーレンスが低いところは、振幅のみが適切でしょう。

多項式フィッティングの影響

x:レンジ、y: アジマス

このへんは気をつける必要あり？

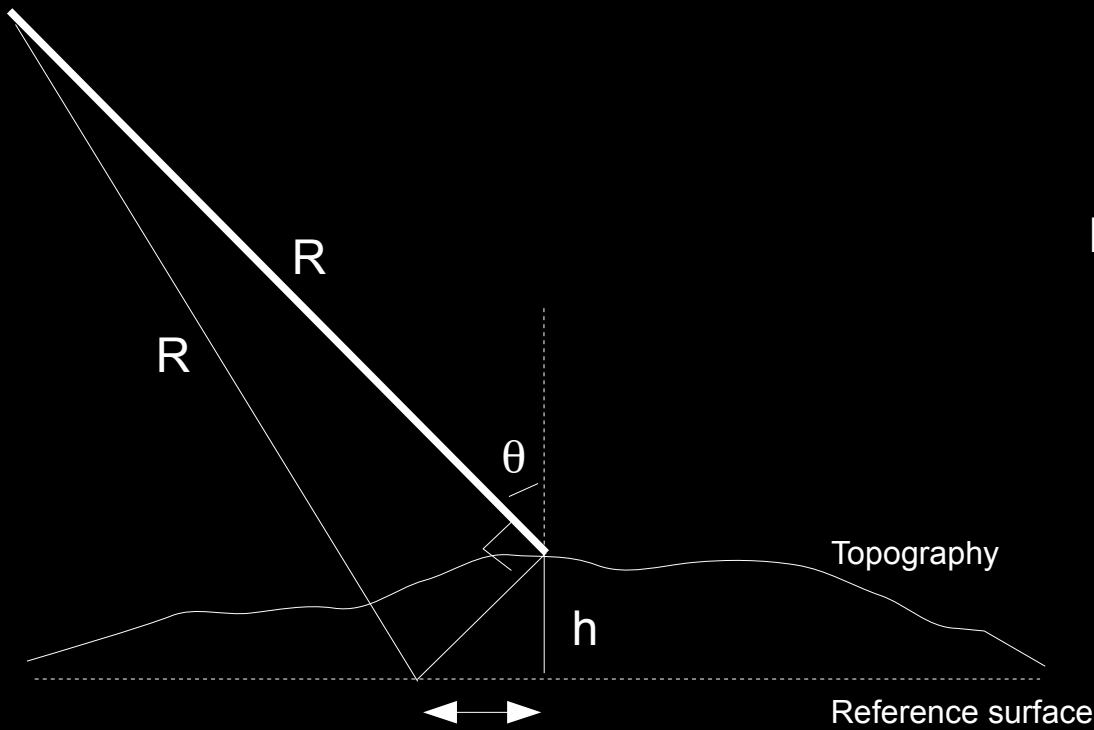
$$\begin{aligned} rgo &= a_0 + a_1*x + a_2*y + a_3*xy + a_4*x^2 + a_5*y^2 \\ azo &= b_0 + b_1*x + b_2*y + b_3*xy + b_4*x^2 + b_5*y^2 \end{aligned}$$



万全を期すなら、変動があった領域を位置あわせに使ってはいけない！（干渉処理のためには使うべき）

フォアショートニングの効果

- マスターとスレーブでは、微妙にフォアショートニングの量が異なる→このことに起因するオフセットが生じる
- 本発表で示した干渉画像やオフセットデータは、フォアショートニング量の違いに起因するオフセットを補正した上でリサンプリングされたスレーブ画像を用いている



Foreshortening

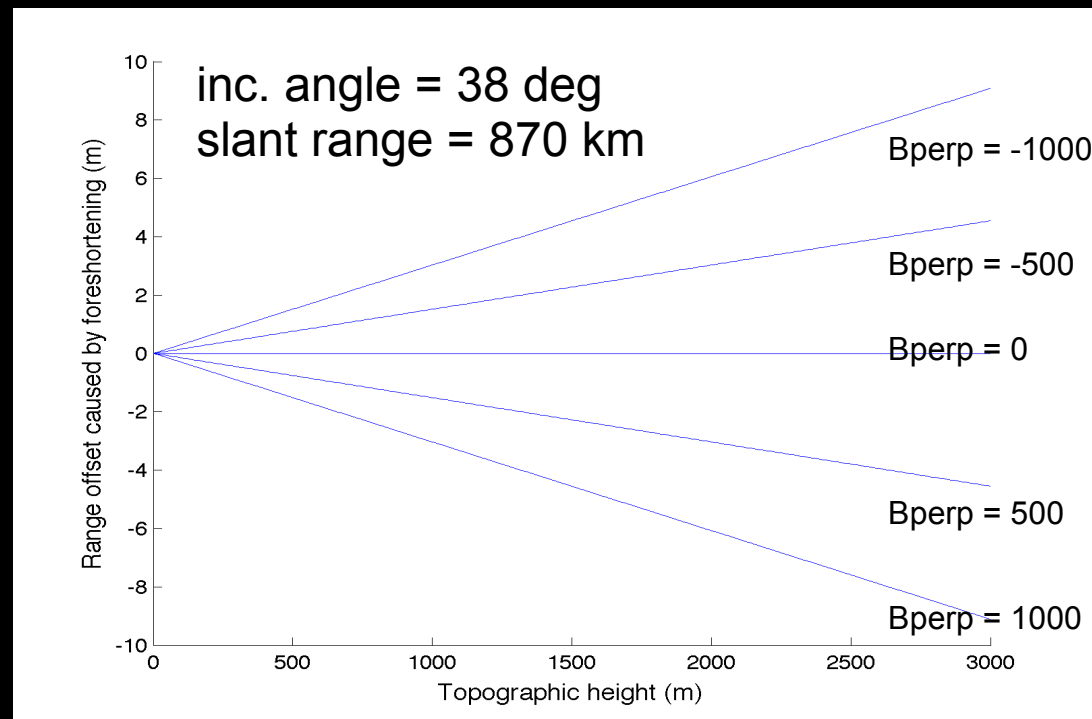
$$l = \frac{h}{\tan\theta}$$

Difference in foreshortening

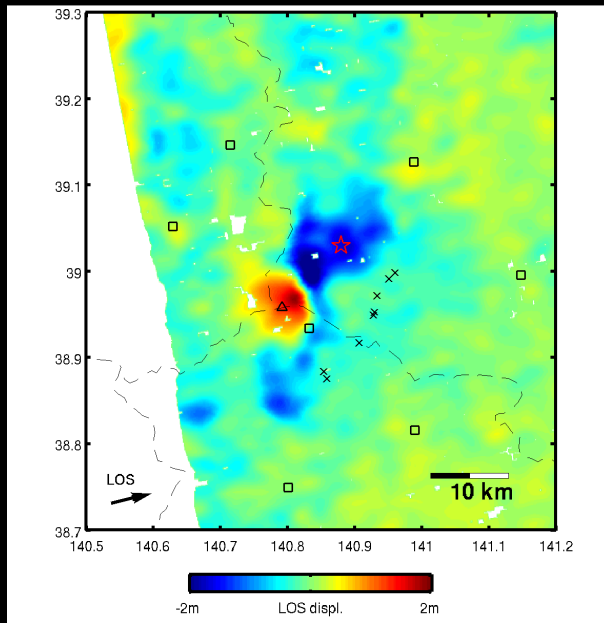
$$\Delta l = h \left(\frac{1}{\tan\theta_m} - \frac{1}{\tan\theta_s} \right)$$

$$= h \left(\frac{1}{\tan\theta_m} - \frac{1}{\tan\left(\theta_m - \frac{B_{\text{perp}}}{R}\right)} \right)$$

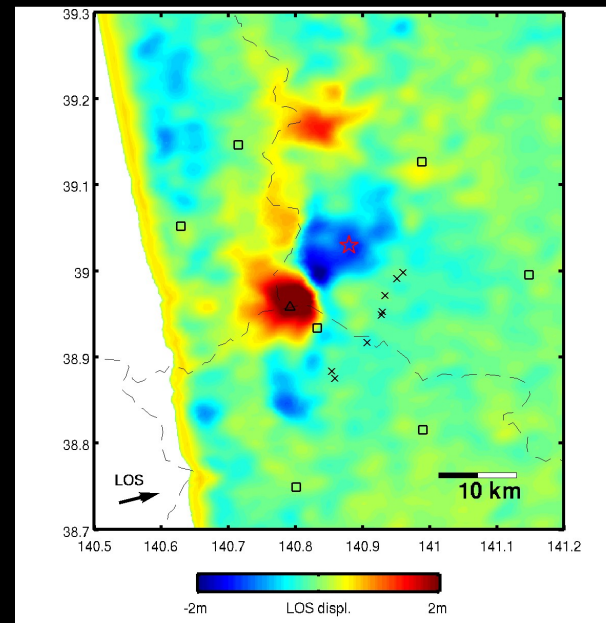
($B_{\text{perp}} = R(\theta_m - \theta_s)$)



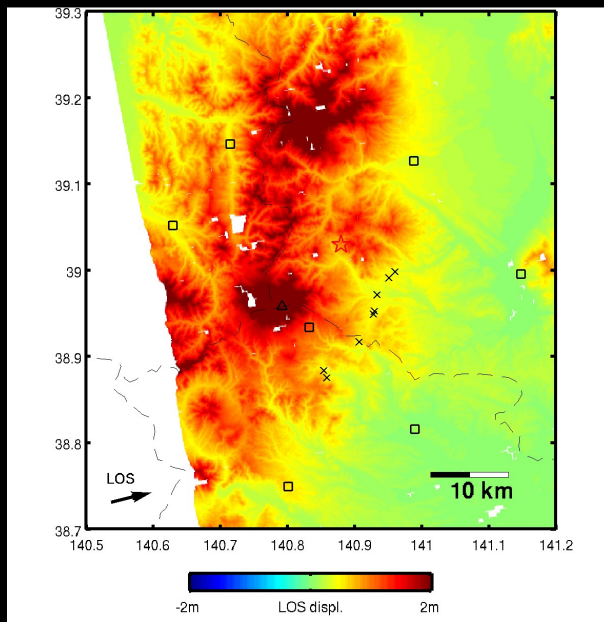
a) FS起因のオフセットを除去してから
オフセットトラッキングを実施



b) FS起因のオフセットを除去せず
オフセットトラッキングを実施



c) FS起因のオフセット量
(マスターに対するスレーブのFS量の差)



d) b-c(オフセットトラッキング後に
FS起因のオフセット量を引いたもの)

