

# 多時期の TerraSAR-X 画像を用いた東北地方太平洋沖地震における地殻変動の検出

## Extraction of crustal movements due to the 2011 Tohoku, Japan Earthquake from multi-temporal TerraSAR-X images

○リュウ・ウェン<sup>1</sup>・山崎 文雄<sup>2</sup>  
Wen Liu and Fumio Yamazaki

**Abstract :** Extraction of crustal movements was carried out from one pre-event and three post-event TerraSAR-X intensity images. The images were divided into 5 km mesh, and the shifts of no-changed buildings between the pre- and post-event SAR images were detected. The average value of the buildings' shifts in one sub-area was considered as the crustal movement in the area. The obtained crustal movements in the three periods were compared with the records of GPS ground stations to verify the accuracy.

**Keywords :** SAR intensity image, the 2011 Tohoku earthquake, crustal movement, GPS ground station.

### 1. はじめ

2011年3月11日に発生した $M_w$ 9.0の東北地方太平洋沖地震とその余震により、東北地方を中心とした広域で大きな地殻変動が発生した。国土院が全国に設置した1,200箇所のGPS電子基準点は地殻変動を観測ができるが、GPS基準点間は約20km間隔と離れている。一方、面的に地殻変動を把握するのに有効な手法として、衛星画像がよく使用される。合成開口レーダ(SAR)画像を用いた差分干渉(InSAR)処理とpixel-offset法で地殻変動の検出する研究が多く見られる(Massonnet et. al<sup>1)</sup>, 飛田ら<sup>2)</sup>。しかし、本地震においては地殻変動が広域に渡り、かつ津波によって地表が激しく変化したため、いずれの手法でも地殻変動を正確に検出することが難しい。そこで、筆者らは地震前後のTerraSAR-X(TSX)強度画像を用いて無被害建物の移動距離から地殻変動を抽出する手法を提案した(リュウ・山崎<sup>3)</sup>。この手法を宮城県沿岸部の2時期の画像に適用し、5カ所における地殻変動を検出し、「矢本」と「名取」GPS基準点の記録と比較した。

本研究では、新たに地震後の2時期のTSX画像を追加し、画像全域における地殻変動の検出を試みた。画像範囲内に設置された4ヶ所のGPS基準点の記録と比較し、手法の精度検証を行った。

### 2. 画像データ

本研究では、Fig. 1(a)に示す仙台市を含む宮城県沿岸部を撮影した地震前後の4時期のTSX画像を用いた。地震前画像は2010年10月21日に、地震後画像は2011年3月13日、3月23日、4月4日に撮影されたものである。これらをFig. 1(b-e)に示す。4枚の画像はすべて下降軌道からHH偏波で観測された。観測角度は $37.3^\circ$ であり、StripMapモードで撮影された。画像はWGS84投影法のもとに地形補

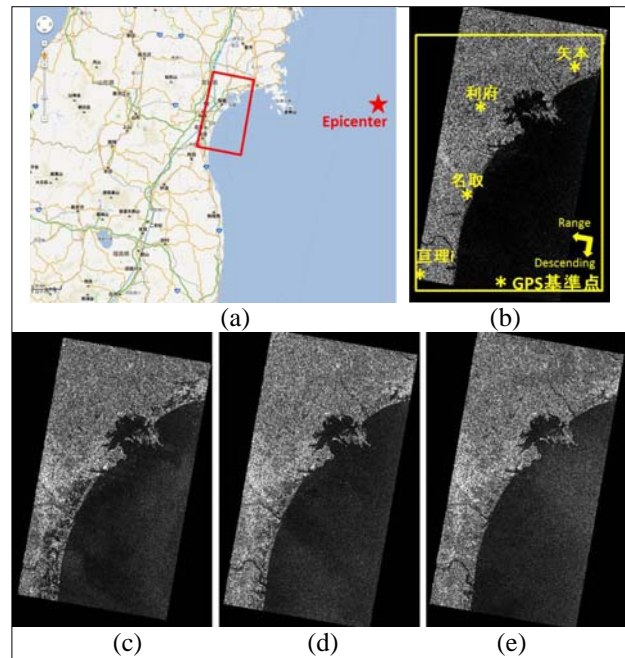


Fig. 1. Study area along the Pacific coast of Tohoku, Japan including four GPS ground stations (a); the pre-event TSX image taken on Oct. 21, 2010 (b); the post-event TSX images taken on March 13 (c), March 24 (d) and April 4 (e), 2011.

正を行ったEECプロダクトであり、1.25 m/pixelの解像度にリサンプリングされたものを使用した。地殻変動を検出する前に、デジタルナンバー(DN)からSigma Naughtに変化し、Enhanced Leeフィルタを用いてスペックルノイズを除去した。画像の撮影範囲内には「矢本」、「利府」、「名取」、「亘理」の4つのGPS電子基準点がある。

### 3. 地殻変動の検出と結果

4枚のTSX画像から無被害建物データの充分でない領域を除き、Fig. 1(b)に示す枠内のエリアを4000×4000ピクセル(5×5 km<sup>2</sup>)のメッシュに分割した。各メッシュ内における建物の移動量を提案した手法で計算し、その平均値を地殻変動量と見なす。データなしと海のメッシュを除き、全39メッシュか

<sup>1</sup>学生会員 千葉大学大学院工学研究科; 日本学術振興会特別研究員JD2

<sup>2</sup>正会員 千葉大学大学院工学研究科

(所在地 〒263-8522 千葉県千葉市稲毛区弥生町 1-33)

(連絡先 Tel:043-290-3528E-mail wen\_liu@graduate.chiba-u.jp)

ら地殻変動量を検出することができた。その3時期での移動ベクトル図を Fig. 2(a)に示す。

検出された変動量を大きさで色付けした結果を Fig. 2(b-d)に示す。検出された変動量は、2.5 m から4m の範囲内にあった。地震の震源地に近い北東側で検出された変動量が最も大きく、内陸に行くほど小さくなる。また、南に行くほど変動量が小さくなる傾向が見られる。Fig. 2(a)に示す変動ベクトルの方向を比較すると、北東側では東南東へ移動したが、南に行くほど移動方向が東に近づく。これらの傾向は、国土地理院が公開した GPS 電子基準点で観測結果と一致する。4つの GPS 電子基準点周辺のメッシュで検出された変動を Table. I に示す。

#### 4. 検出精度の評価

提案した検出手法の有効性を検証するために、国土地理院が東北地方に設置した GPS 電子基準点の記録を用いた。既往の研究から、3次元の地殻変動  $D$  と TSX 強度画像における2次元の変動量  $M$  の関係は式(1)で表わされる。

$$\begin{pmatrix} M_E \\ M_N \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & \cos \alpha / \tan \theta \\ 0 & 1 & \sin \alpha / \tan \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} D_E \\ D_N \\ D_z \end{pmatrix} \quad (1)$$

ここで、 $\alpha$ は衛星の進行角度(北から時計周り)であり、 $\theta$ は観測角度である。

画像範囲内の4つの基準点の記録を変換した観測データを Table I に示す。「名取」基準点は津波の影響を受け、地震直後の3月13日から4月1日まで停止したため、地殻変動量の観測ができなかった。こういった非常事態において、本研究で提案した手法は地上観測より優れていると考えられる。

Table I に示すように、本研究の手法による地殻変動量と GPS 基準点の観測記録は、大変よく近似した結果になった。10時点の GPS 観測記録と TSX 画像から検出された変動量の平均誤差は、東西方向に0.38m、南北方向に0.02mであり、最大誤差は0.50m以下であった。

#### 5. まとめ

本研究では、地震前後の4時期の TSX 強度画像を用いて、無被害建物の2時期の空間相関に基づいて、画像範囲内における5 km メッシュの地殻変動を検出した。提案した手法の精度は、TSX 画像の位置精度に依存するものである。しかし、検出された地殻変動と GPS 基準点の記録を比較すると、サブピクセル(0.5 m)単位で変動を検出することができた。今後は上昇軌道の TSX 画像と組み合わせることによって、3次元の地殻変動の検出を行いたい。

#### 謝辞

本研究で用いた TerraSAR-X 画像は、SAR 技術応用研究会の H23 年度研究課題として、株式会社パスコから提供されたものである。

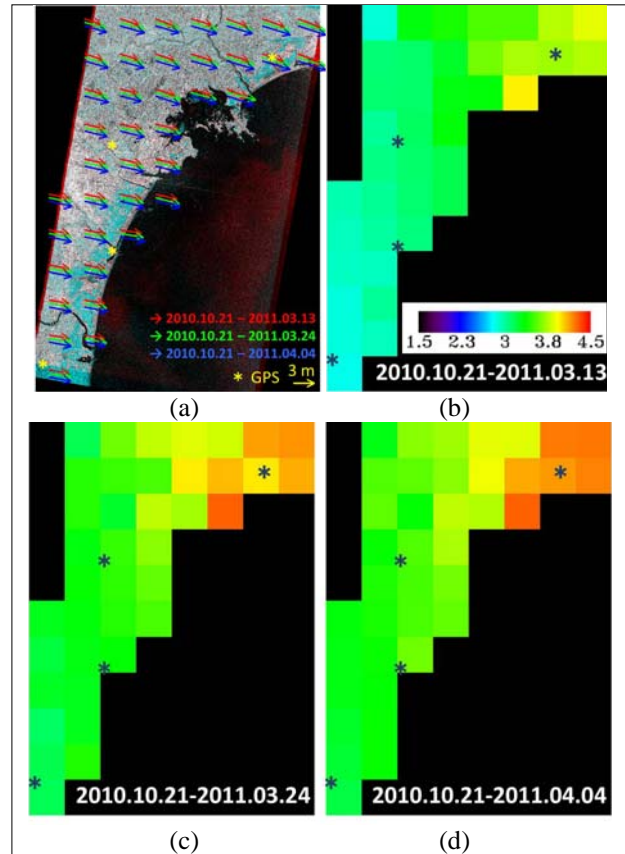


Fig. 2. Detected displacement vectors in each sub-area in the periods: Oct. 21, 2010 to March 13, to March 24 and to April 4, 2011, overlapping on the color composite of the TSX intensity images (a); and the displacement amplitude values in the three periods shown in rainbow color (b-d).

Table I. Detected crustal movements in four sub-areas surrounding the GPS stations over three time periods (m)

Period	Method	Yamato		Rifu		Natori		Watari	
		E	S	E	S	E	S	E	S
2010/10/21 to 2011/03/13	TSX	3.52	1.07	3.03	0.72	3.01	0.49	2.77	0.42
	GPS data	3.24	1.06	2.77	0.73	2.73	0.61	2.45	0.42
2010/10/21 to 2011/03/24	TSX	3.77	1.12	3.35	0.79	3.22	0.59	3.11	0.49
	GPS data	3.42	1.12	2.91	0.77	-	-	2.61	0.46
2010/10/21 to 2011/03/24	TSX	3.93	1.21	3.41	0.85	3.49	0.68	3.11	0.58
	GPS data	3.50	1.14	2.97	0.79	-	-	2.67	0.48

#### 【参考文献】

- 1) Massonnet, D., M. Rossi, C. Carmona, F. Adragna, G. Peltzer, K. Fiegl, and T. Rabaute: The displacement field of the Landers earthquake mapped by radar interferometry, "Nature", No. 364, pp. 138-142, 1993.
- 2) 飛田幹男, 藤原智, 村上亮, 中川弘之, 矢来博司: SAR 画像のマッチングによる有珠山周辺の面的な三次元地殻変動, 変動速度, 体積変化, 国土地理院時報, No.95, 2001.
- 3) リュウ・ウエン, 山崎文雄: TerraSAR-X 強度画像を用いた東北地方太平洋沖地震における地殻変動の検出, 第 51 回リモートセンシング学会学術講演会論文集, pp. 7-10, 2011.