

高解像度 TerraSAR-X 画像を用いた羽田空港再拡張事業のモニタリング

Monitoring of Haneda Airport construction using high-resolution TerraSAR-X images

○リュウ ウェン¹・山崎 文雄²
Wen Liu and Fumio Yamazaki

Abstract : In this study, three temporal TerraSAR-X images are used to monitor urban changes. The difference and correlation coefficient between two images are calculated with a sliding spatial window. Then a new factor that composites the difference and correlation coefficient is proposed to detect the changes. The Haneda Airport expansion construction is used as a case study. The urban changes due to the progress of the construction are detected by the proposed approach. The results were compared with aerial photographs and several ground photos to verify the accuracy.

Keywords : TerraSAR-X, change detection, difference, correlation, Haneda Airport.

1. 研究の背景と目的

都市状況の観測は、従来からリモートセンシング分野における重要な課題の1つである。都市再開発やインフラ整備などの進展を把握することは、都市計画や環境マネジメントなどにおいて不可欠なものである。近年、センサ技術の発展により高解像度合成開口レーダ(SAR)が得られるようになった。天候によらず撮影できる SAR 画像は、都市変化の観測に有効である。既往の研究では ERS 画像を用いた干渉処理による土地被覆変化が主に行われてきた(Dong et al., 1997¹)。しかし、良い干渉結果を得るには用いる画像条件が厳しく、利用が限られる。一方、松岡・山崎²)は 1995 年兵庫県南部地震前後の ERS 強度画像から、差分と相関係数による被害地域の抽出に成功した。この手法は、画像条件に制限されず、干渉処理により利用範囲が広い。

本研究では、松岡・山崎の手法を修正し、常時における都市変化の抽出への応用を試みた。対象としたのは、再拡張事業が行われていた羽田空港である。3 時期の高解像度 TerraSAR-X 画像を用いて、建設中の D 滑走路と国際ターミナルビルの変化をモニタリングし、空中写真を用いてその結果を評価した。

2. 画像データと前処理

羽田空港は首都圏における重要な交通拠点であり、今後さらに航空需要の増大が見込まれているため、4 本目の滑走路を整備するとともに国際線地区等の整備が進められた(国土交通省関東地域整備局)。整備事業は 2007 年 3 月 30 日に着工された。

本研究では、2008 年と 2009 年中に撮影された 3 枚の TerraSAR-X 画像を用いた(Fig.1 (a-c))。1 枚目は 2008 年 5 月 23 日に撮影され、観測角度は 42.82 度である。2 枚目は 2008 年 10 月 10 日に撮影され、観測角度は 42.83 度である。3 枚目は 2009 年 11 月 23

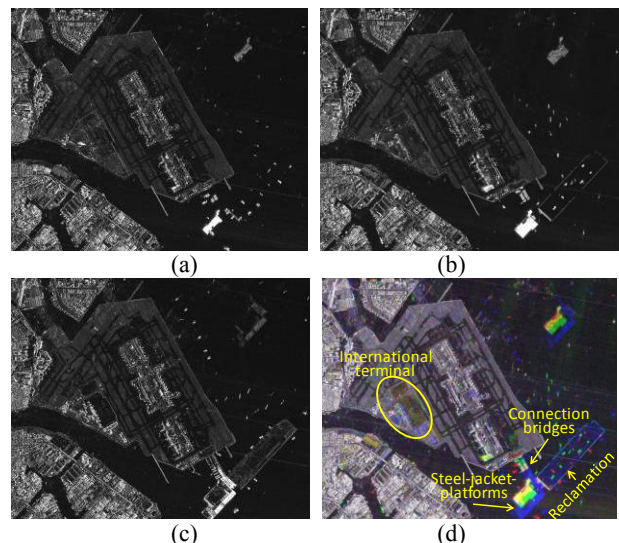


Fig.1 TerraSAR-X images taken on May 23th, 2008 (a), on Oct. 10th, 2008 (b), and on Nov. 23th, 2009 (c); (d) is the color composited image by (a-c) after image pre-processing as R: (a), G: (b), B: (c).

日に撮影され、観測角度は 42.81 度である。3 枚の画像ともに下降軌道から HH 偏波で観測された。撮影モードは StripMap であり、幾何補正(EEC)後 1.25 m/pixel の解像度にリサンプリングされた。

変化抽出する前に、放射輝度補正とノイズの除去を行う必要がある。放射輝度補正は、デジタルナンバー (DN) で表示した画像を式(1)により、単位面積における放射輝度を表す係数(σ^0)に変換する。

$$\sigma^0 = 10 \cdot \log_{10}(k_s \cdot |DN|^2) + 10 \cdot \log_{10}(\sin \theta_{loc}) \quad (1)$$

ここ、 k_s はヘッダファイルに記録される補正係数であり、 θ_{loc} は地表の起伏度を表す角度である。

オリジナルの SAR 画像には多くのスペックルノイズが含まれており、これを除去するために、 9×9 ピクセルの Lee フィルタを用いた。このサイズのフィルタを用いた場合、最もノイズを多く除去し、かつ建物の大きさを保てる結果が得られた。

前処理後の 3 時期の画像をそれぞれ R, G, B バン

¹学生会員 千葉大学大学院工学研究科

²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:043-290-3557, E-mail:nanahachimizu@yahoo.co.jp)

ドに入れ、作成されたカラー合成画像を Fig.1 (d)に示す。変化なしのエリアでは白黒になり、再拡張事業による変化した部分がカラーとなった。

3. 変化の抽出

3 時期の画像から変化エリアを自動的に抽出するために、2 枚画像間における差分と相関係数を算出した。この手法は松岡・山崎が地震災害における建物被害を抽出するために開発した手法である。本研究では、同じ手法を常時の都市変化に応用した。差分と相関係数は式(2)と式(3)より計算する。

$$d = \bar{I}b_i - \bar{I}a_i \quad (2)$$

$$r = \frac{N \sum_{i=1}^N I a_i I b_i - \sum_{i=1}^N I a_i \sum_{i=1}^N I b_i}{\sqrt{\left(N \sum_{i=1}^N I a_i^2 - \left(\sum_{i=1}^N I a_i \right)^2 \right) \left(N \sum_{i=1}^N I b_i^2 - \left(\sum_{i=1}^N I b_i \right)^2 \right)}} \quad (3)$$

ここ、 i はピクセル数であり、 $I a_i$ と $I b_i$ は 2 枚目と 1 枚目画像における放射輝度係数であり、 \bar{I} は N ($=k \times k$)ピクセルのウィンドウ内における放射輝度係数の平均値である。ウィンドウの大きさは Lee フィルタと同じく、 $k=9$ に設定した。

さらに、本研究では差分と相関係数を用いた総合的に変化を表せる係数 z を導入した。変化係数 z は式(4)から求める。

$$z = \frac{|d|}{\text{Max}(|d|)} - c \cdot r \quad (4)$$

ここ、 $\text{Max}(|d|)$ は差分画像における最大値であり、 c は差分と相関係数の重み付きである。 c は 0 から 1.0 までの数値に設定する。

相関係数は小さい変化にも敏感であるため、比較的安定した差分結果と 1 対 4 の重みで設定した。すなわち、 c が 0.25 となる。求められた変化係数を Fig. 2 に示す。また、変化係数と比較するために、2 枚画像によるカラー合成図を Fig. 3 に示す。Fig. 3 上にカラーとなる変化エリアと Fig. 2 における赤い変化エリアは、ほぼ一致していることが確認できる。

変化係数図から変化エリアを抽出するために、 z のヒストグラムにより平均値と標準偏差を求めた。 z が平均値プラス 2 倍の標準偏差以上であれば、変化エリアと見なす。抽出された変化エリアは差分画像と合成し、正值と負値の変化に分類する。2 枚目と 3 枚目の画像からも、同じアプローチにより変化抽出を行った。

3. 精度の確認

2009 年 5 月 20 日に撮影された空中写真と工事時の写真を用いて、D 滑走路部分における撮影期間中の変化を目視により抽出した。抽出した結果と

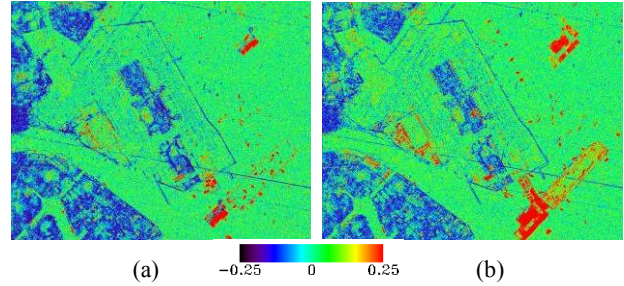


Fig. 2 The change factor image calculated from the first and second images (a), and the second and third images (b).

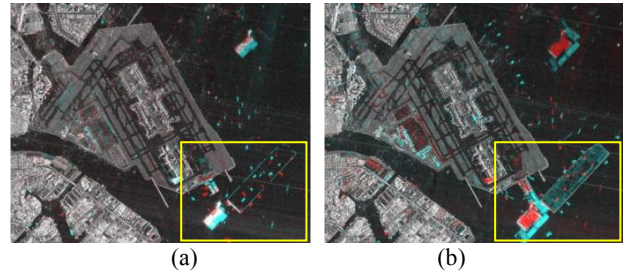


Fig. 3 The color composited image as R: the first image, G&B: the second image (a) ; R: the second image, G&B: the third image (b).

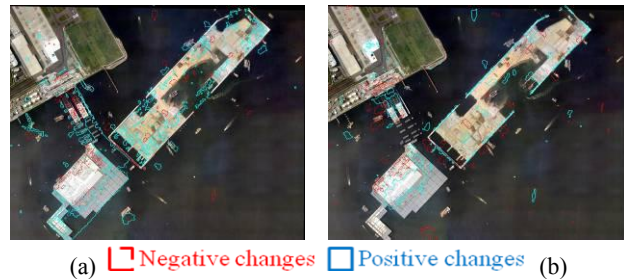


Fig. 4 The part of detected results overlapping on the aerial photograph taken on May 20th, 2009.

TerraSAR 画像から求められた変化エリアを比較する(Fig. 4) と、1 枚目と 2 枚目による overall 精度は 97% になり、2 枚目と 3 枚目による精度は 76% となった。2 枚目と 3 枚目における精度の低下は、基層となる鉄骨の上にパネルを張ったことでマイクロ波の反射が低くなり、SAR 画像上でネガティブな変化に抽出されたことによるものであった。

4. まとめ

本研究では羽田空港再拡張事業における変化を、3 時期の TerraSAR-X 画像を用いて抽出した。既往の研究における手法を改善し、高い精度で変化エリアの抽出を行うことができた。この手法は、長期間における都市のモニタリングに有効と考えられる。

謝辞：本研究で使用した TerraSAR-X データは SAR 技術応用研究会を通して(株)パスコより提供頂いた。記して謝辞を表す。
【参考文献】

- 1) Y. Dong, B. Forster, and C. Ticehurst, Radar backscatter analysis for urban environment, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 18, No. 6, pp. 135-1364, 1997.
- 2) M. Matsuoka, and F. Yamazaki, Use of satellite SAR intensity imagery for detecting building areas damaged due to earthquakes, *Earthquake Spectra*, Vol. 20, No. 3, pp. 975-994, 2004.