

# TerraSAR-X画像による津波被害把握手法の有効性と地域性に関する検証

東北大学  
東北大学災害科学国際研究所  
東京工業大学大学院

学生会員  
正 会 員  
非 会 員

○堺 友里  
越村 俊一  
松岡 昌志

## 1. 序論

2011年3月11日に東北地方太平洋沖地震 ( $M_w9.0$ ) が発生した. これにより発生した津波は, 広範囲に甚大な被害もたらし, 迅速かつ効果的な被災地支援が要求された. それを可能にするために重要なのが被害程度の把握である.

このような広域被害の把握には, リモートセンシング技術が有効である. 中でもマイクロ波を用いる合成開口レーダ (SAR) は, 昼夜・全天候型の観測が可能であり, 被害の全体像を把握する手段として注目されてきた.

既往研究ではSAR画像による建物被害程度把握が行われてきたが (堺ら, 2013), 同災害の複数地域での検証や手法の汎用性検討例は少なく, 解析手法も確立してない.

そこで本研究では, 東北地方太平洋沖地震津波の被災地である東松島市と仙台市蒲生地区において, 被災前後画像解析を行い, 得られた画像変化特性と建物被害程度, 地域特性の関連性を検証し, 本手法の有用性を検討する.

## 2. 2時期SAR画像による建物被害程度の把握手法

### (1) 使用データ

本研究では, 地震前後の2時期のTerraSAR-X強度画像 (ピクセル値: 後方散乱係数 (Sigma Nought [dB]), 解像度約3.3m, StripMapモード, HH偏波) を用い, 類似した地形特性と被害建物分布をもつことから, 解析対象地域には仙台市蒲生地区と東松島市を選んだ (図-1). SAR画像には3×3のEnhanced Leeノイズ低減フィルタを施した.

建物被害情報は, 家屋一棟毎の被害程度を7区分にした建物輪郭データ (国土交通省都市局) を, 2区分に編成したデータを利用した (表-1). データを編成したのは, 観測対象物の形状に強く反応するというSARの特性を考慮し, 物的被害が明瞭な区分を「被害程度大」, それ以外を「被害程度小」とするためである.

### (2) 建物被害程度把握手法の構築

建物輪郭データを被害建物モデルとして用い, そこから被害程度を判別するための判別関数を導出する.

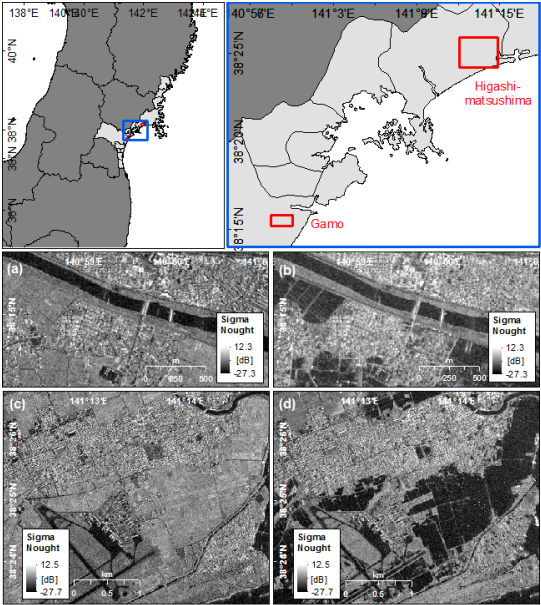


図-1 解析対象地域図(上段)とフィルタ処理後TerraSAR-X画像:蒲生(a)2010.10.20撮影(b)2011.3.12撮影, 東松島(c)2010.10.20撮影(d)2011.3.12撮影

表-1 各地域において使用した建物輪郭データ

| 区分名   | 編成前  |               |       |               | 編成後   |      |      |
|-------|------|---------------|-------|---------------|-------|------|------|
|       | 蒲生棟数 | 全棟数に対する占有率(%) | 東松島棟数 | 全棟数に対する占有率(%) | 区分名   | 蒲生   | 東松島  |
| 流失    | 346  | 15.5          | 1863  | 16.9          | 被害程度大 | 690  | 2303 |
| 全壊1   | 344  | 15.4          | 440   | 4.0           |       |      |      |
| 全壊2   | 123  | 5.5           | 169   | 1.5           |       |      |      |
| 大規模半壊 | 309  | 13.8          | 3102  | 28.2          | 被害程度小 | 1542 | 8692 |
| 半壊    | 761  | 34.1          | 3759  | 34.1          |       |      |      |
| 一部損壊  | 185  | 8.3           | 888   | 8.1           |       |      |      |
| 被災なし  | 164  | 7.3           | 774   | 7.0           |       |      |      |

### a) 後方散乱係数の差分値dと相関係数rの算出

蒲生と東松島における被災前後画像から後方散乱係数の差分値dと相関係数r, 2つの特性値を式 (1), (2) により計算する. (Matsuoka et al., 2010) このとき, 建物輪郭データ内ピクセル値の平均値を各建物の代表値とする. 差分値は3×3ピクセルウィンドウ内の後方散乱係数の平均値について被災後の値から被災前の値を引くことで求める. 相関係数も同じウィンドウサイズから算出する.

$$d = \bar{I}a_i - \bar{I}b_i \tag{1}$$

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

表-2 建物被害情報による評価精度結果 (単位: %)

|                |       | 蒲生   |      |      |      | 東松島  |      |      |      |
|----------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                |       | Z値   | P.A. | U.A. | 総合精度 | Z値   | P.A. | U.A. | 総合精度 |
| Z <sub>1</sub> | 被害程度大 | 0.55 | 70.3 | 76.5 | 74.3 | 0.55 | 87.1 | 88.1 | 87.7 |
|                | 被害程度小 |      | 78.4 | 72.5 |      |      | 88.3 | 87.2 |      |
| Z <sub>2</sub> | 被害程度大 | 0.60 | 67.4 | 75.2 | 72.6 | 0.55 | 86.8 | 88.1 | 87.5 |
|                | 被害程度小 |      | 77.8 | 70.5 |      |      | 88.2 | 87   |      |
| Z <sub>3</sub> | 被害程度大 | 0.65 | 75.9 | 72.0 | 73.3 | 0.60 | 88.1 | 83.8 | 87.5 |
|                | 被害程度小 |      | 70.6 | 74.6 |      |      | 87.0 | 89.7 |      |

ここで、 $d$ は差分値[dB]、 $r$ は相関係数、 $N$ は計算ウィンドウ内のピクセル数を表す。 $Ia_i, Ib_i$ は被災前、後のそれぞれの画像の $i$ 番目のピクセル値、 $\bar{Ia}_i, \bar{Ib}_i$ は $i$ 番目のピクセルの周囲3×3ピクセルの平均値である。

## b) 判別関数Zの導出

表-1に示した各地域に含まれる建物数から、同サンプル数になるよう690棟をランダムに選定し、トレーニングサンプルを作成した。これらの $d, r$ 値に判別分析を適用し、区分判別のための判別関数 $Z$ を算出した。

## 3. 結果と検証

### (1) 判別関数Zと地域性の検討

得られた判別関数 $Z$ は次式の通りである。

$$Z_1 = 0.0240d + 0.935r \quad (3)$$

$$Z_2 = 0.0764d + 0.892r \quad (4)$$

$$Z_3 = 0.0556d + 0.938r \quad (5)$$

$Z_1$ は蒲生から、 $Z_2$ は東松島、 $Z_3$ は蒲生と東松島のデータを統合して扱って得られた式である。蒲生と東松島は、地形特性や被害建物分布、各被災区分建物数の割合において、類似した特徴をもつ地域であり、判別関数と地域性の関連を考察するのに適すると考え選定した。その結果、 $d, r$ の係数から、 $Z_1$ から $Z_3$ の全式が差分値に比べ相関係数に大きく依存することがわかった。しかし $Z_1$ と $Z_2$ では、 $d$ の係数に大きな差が生じた。これは蒲生の差分値頻度分布において、各区分の分布特性の違いが不明瞭であったことによると考えられる (図-2)。

### (2) 判別関数Zと汎用性の検討

導出された判別関数 $Z$ を用い、領域内の建物被害分類に適用する。本手法と各判別関数 $Z_1, Z_2, Z_3$ の汎用性を検討するため、各判別関数を蒲生と東松島の両地域に適用し、検出精度を算出した。ただし、判別関数 $Z$ の導出時点では、直線の傾きしか決まっておらず、被災区分の判別線を構築するには $Z$ を固定する必要がある。ここでは、最も検出精度の高かった $Z$ を採用し (図-2(e), (f))、各建物を2区分にした。そのときの各 $Z$ 値と精度を表-2に示す。

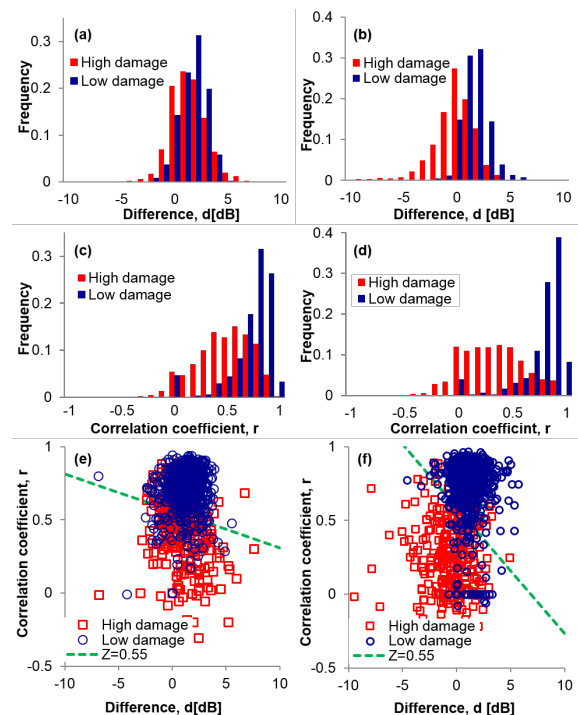


図-2 各地域における頻度分布図[差分値:(a)蒲生(c)東松島、相関係数:(b)蒲生(d)東松島]と被災区分別 $d, r$ の散布図及び判別関数 $Z$ [(e)蒲生( $Z_1=0.55$ ), (f)東松島( $Z_2=0.55$ )]

式(3)~(5)を適用した場合の総合精度は、蒲生では72.6-74.3%、東松島で87.5-87.7%となり、いずれの式を用いても約1.7%以内の誤差で、 $Z$ 値も両地域で0.60前後となった。しかし、全式で東松島が87.5%と高精度であるのに対し、蒲生は約73%とであった。この原因の一つに、物的被害が最も明瞭な「流失」区分建物を東松島がかなり多く含むことなどが考えられるが、さらなる考察を要する。

## 4. 結論

本研究では、東北地方太平洋沖地震の被災地である蒲生と東松島において、被災前後の2時期のTerraSAR-X画像から差分値 $d$ と相関係数 $r$ を求め、各地域から異なる判別関数 $Z$ を導出した。そして判別関数とその地域性、さらに各判別関数を各地域に適用してその汎用性について検討した結果、本手法が判別関数導出地域のみならず、他地域にも有効であることがわかった。今後は、本研究の評価をもとに判別手法の改善を行うと同時に、建物被害把握手法の構築を確立する予定である。

## 参考文献

- 堺 友里, 越村 俊一, 松岡 昌志 (2013) : TerraSAR-X強度画像の変化に着目した津波被災地の建物被害程度の把握, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol. 69 (2013) No. 2.
- Matsuoka, M. and N. Nojima (2010) : Building Damage Estimation by Integration of Seismic Intensity Information and Satellite L-band SAR Imagery, Remote Sensing 2 (9), pp.2111-2126.