



## 高分解能 SAR 画像による 2008 年岩手・宮城内陸地震での 斜面災害地域の抽出

翠川三郎<sup>1)</sup>、三浦弘之<sup>2)</sup>

1) 正会員 東京工業大学大学院総合理工学研究科人間環境システム専攻 教授 工博  
e-mail : smidorik@enveng.titech.ac.jp

2) 正会員 東京工業大学大学院総合理工学研究科人間環境システム専攻 助教 博士(工学)  
e-mail : hmiura@enveng.titech.ac.jp

### 要 約

SAR(合成開口レーダー)画像は天候によらず、また昼夜を問わず画像が得られることから、即時的に被害状況を把握する手段として有望と考えられる。本研究では、2008年岩手・宮城内陸地震の直後に得られた高分解能SAR画像を用いて、そのテクスチャー解析から、斜面災害地域の抽出を試みた。異なるサイズのウィンドウに対して画像強度の分散と歪度を計算した。その結果、100×100ピクセル強のウィンドウサイズでの分散の値から斜面災害地域をより精度よく抽出することができることを確認した。

キーワード：斜面災害、リモートセンシング、高分解能SAR画像、岩手・宮城内陸地震

### 1. はじめに

山間部に発生した2008年岩手・宮城内陸地震では、多数発生した斜面災害により、建物被害、人的被害、道路の遮断、河川の閉塞、など様々な被害が生じた。このような斜面災害の位置や規模を迅速に把握することは、地震後の直後対応や復旧活動を計画し実行する上で重要な情報となる。そのため、航空機による写真撮影などが行われるが、天候が不順な場合には飛行ができなかったり、雲がかかって鮮明な画像が得られないなどの問題がある。一方、人工衛星からレーダーを発射してその反射から得られるSAR(合成開口レーダー)画像は天候によらず、また昼夜を問わず画像が得られるという利点を持ち、データ処理が容易であることから、航空機による調査などを補完し、即時的に被害状況を把握する手段として有望視されている<sup>1)</sup>。

SAR画像による地震被害の把握としては、地震前後の画像の反射強度の変化<sup>2)</sup>や位相情報の変化<sup>3)</sup>を用いたものがある。しかし、用いられたデータの空間分解能が10~30mとやや粗いこともあって、被害地域の拡がりや大略的に把握することは可能であるが、詳細な被害把握にまでは至っていない。近年では、高分解能SAR画像が得られるようになり、高い被害抽出能力が期待される。しかしながら、ごく最近データの取得が開始されたことやデータ量が膨大であることから、高分解能画像データのアーカイブ化は現時点で十分ではない。今後、大都市域での画像はアーカイブ化が進むであろうが、山間部や地方都市等その他の地域では地震前の画像が入手できない可能性が少なくない。そこで、地震後の画像のみから被害を抽出する手法の検討も必要と考えられる。本研究では、2008年6月に発生した岩手・宮城内陸地震の直後に得られた高分解能SAR画像<sup>4)</sup>のみを用いて、斜面災害地域の抽出を試みる。なお、本論文でいう斜面災害地域とは地すべりや斜面崩壊、土石流の地域をさす。

## 2. 岩手・宮城内陸地震での被害と用いたSAR画像の概要

2008年6月14日の岩手・宮城内陸地震は逆断層により内陸に発生したM7.2の浅い地震である。図1に震度分布と断層面の位置を示す。断層面の直上やその周辺で震度6強が観測されている。このような強い揺れにより多数の地点で斜面災害が発生した。図2に地すべりや斜面崩壊が発生した地点の分布<sup>5)</sup>を示す。地すべりや大規模な斜面崩壊は断層面直上に集中している。最大の地すべりは荒砥沢ダム上流で生じた。長さ1.2km、幅0.8kmにわたって土塊が平均で約100mすべり落ちた(写真1参照)。また、駒の湯温泉では、上流で発生した斜面崩壊により150万<sup>3</sup>の土石流が生じ、7名が土砂に埋もれて亡くなった。

この地域の高分解能SAR画像は地震発生の日後の6月16日にTerraSAR-X衛星により撮影された<sup>4)</sup>。この衛星は2007年6月に打ち上げられたもので、同年12月より画像が提供されるようになった<sup>6)</sup>。撮影範囲は図2の実線で囲まれた約10km四方で、前述の荒砥沢ダムや駒の湯温泉が含まれている。図3に撮影された高分解能SAR画像を示す。画像は西南西の方向から約50度のオフナディア角で撮影され、空間分解能は1mである。画像の特性を表1に示す。用いた画像はSRTMのDEMによりオルソ補正がなされている。なお、地震前の画像は得られていない。

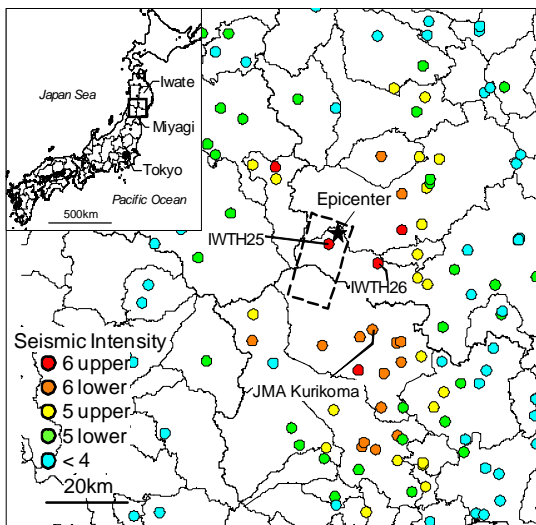


図1 震度分布と断層面の位置

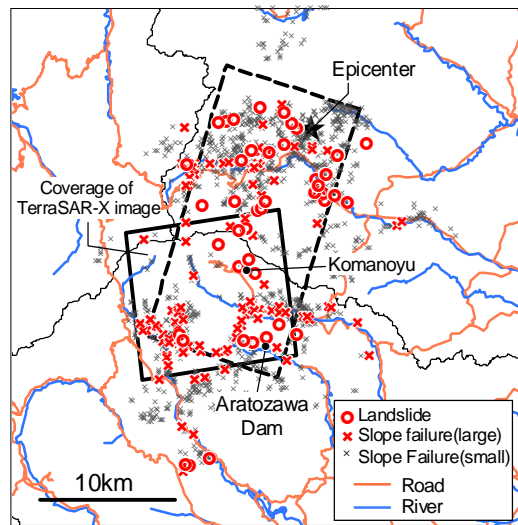


図2 斜面災害分布と断層面の位置、SAR画像の範囲



写真1 荒砥沢ダム上流の地すべり(朝日航洋提供)

表1 TerraSAR-X 画像の仕様

撮影モード	SpotLight モード
空間分解能	1m
オフナディア角	49.3 度
撮影軌道	アセンディング (上昇軌道)
偏波	単偏波 (HH)

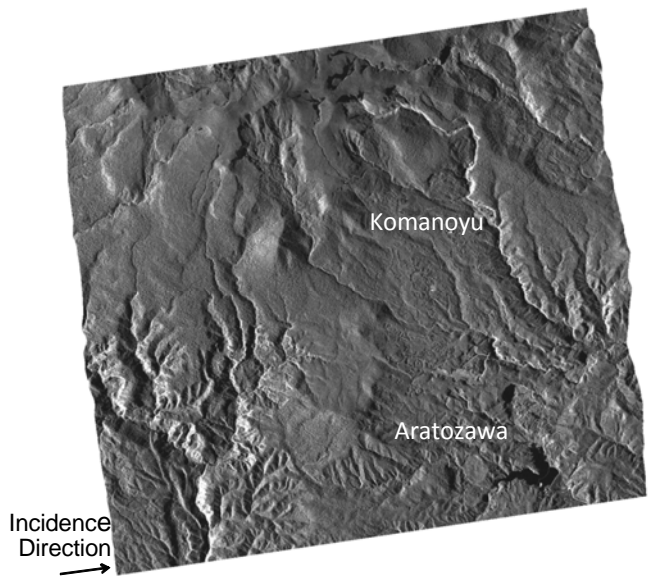
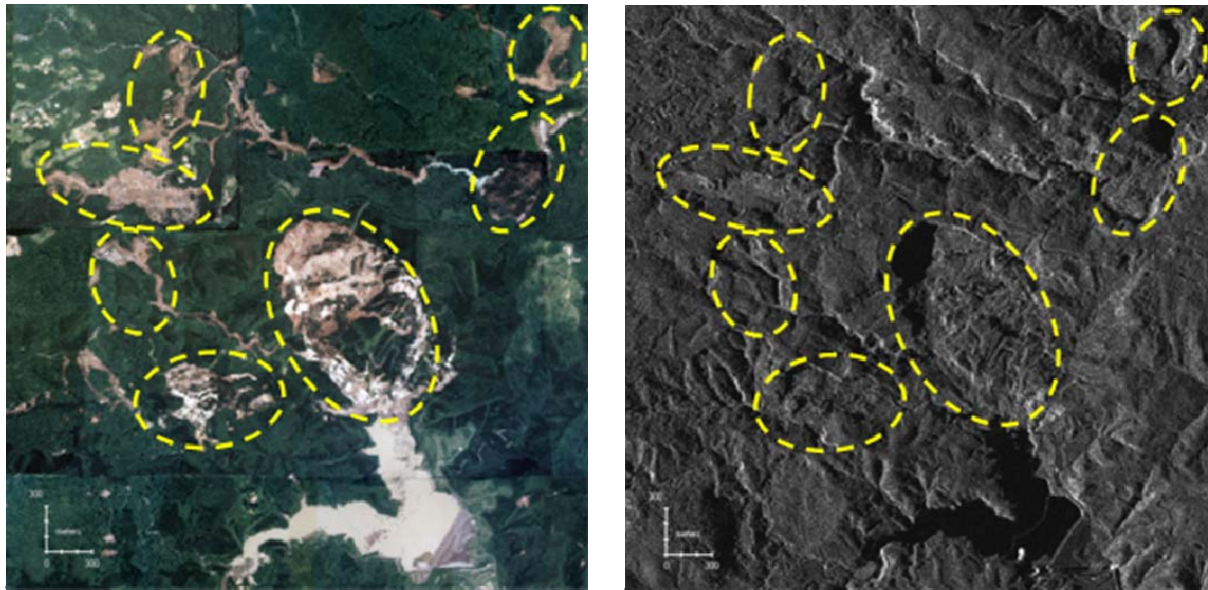


図3 高分解能TerraSAR-X画像



(a) 航空写真<sup>5)</sup>

(b) 高分解能 SAR 画像

図4 荒砥沢ダム上流での地すべり地域での航空写真と SAR 画像の比較

図4に、荒砥沢ダム上流の地すべり地域でのSAR画像と航空写真を比較して示す。点線で示した斜面災害地域では、地表の形状がくずれて周辺の地表に比べテクスチャーが粗くなっているように見える。そこで、斜面災害地域を抽出するために次章でSAR画像のテクスチャー解析を行う。

### 3. SAR画像のテクスチャー解析

テクスチャー解析において、濃淡のヒストグラムからスカラー量を求め、これがテクスチャーの特徴として利用される。このスカラー量としては、分散、歪度、尖度、エネルギー、エントロピーがあげられる<sup>7)</sup>。これらのうち、分散と尖度、エネルギー、エントロピーは同様の性格を持つ<sup>7)</sup>ことから、分散SDと歪度Skを計算することとした。

$$M = \frac{\sum x_{ij}}{n} \quad \dots (1)$$

$$SD = \sqrt{\frac{\sum (x_{ij} - M)^2}{n}} \quad \dots (2)$$

$$Sk = \frac{\sum (x_{ij} - M)^3}{n SD^3} \quad \dots (3)$$

ここで、 $x_{ij}$  はピクセル $ij$ での画像強度のピクセル値、 $n$ はウインドウ当たりのデータ数である。

解析の際に、まず、Leeフィルター<sup>8)</sup>を用いて、データに含まれるspeckleノイズを低減した。フィルターのウインドウサイズを $3 \times 3$ ピクセルから $15 \times 15$ ピクセルで変化させて画像を確認したところ、ウインドウサイズをあまり大きくすると画像がぼやけた印象となることから、 $7 \times 7$ ピクセルとした。フィルター後の画像強度を用いて、分散と歪度を計算した。

図5にウインドウサイズを $51 \times 51$ ピクセルから $151 \times 151$ ピクセルの場合の分散の値の分布を示す。赤が分散が大きいことを、青が小さいことを示し、斜面災害がみられた地域を実線で示す。同様に歪度の

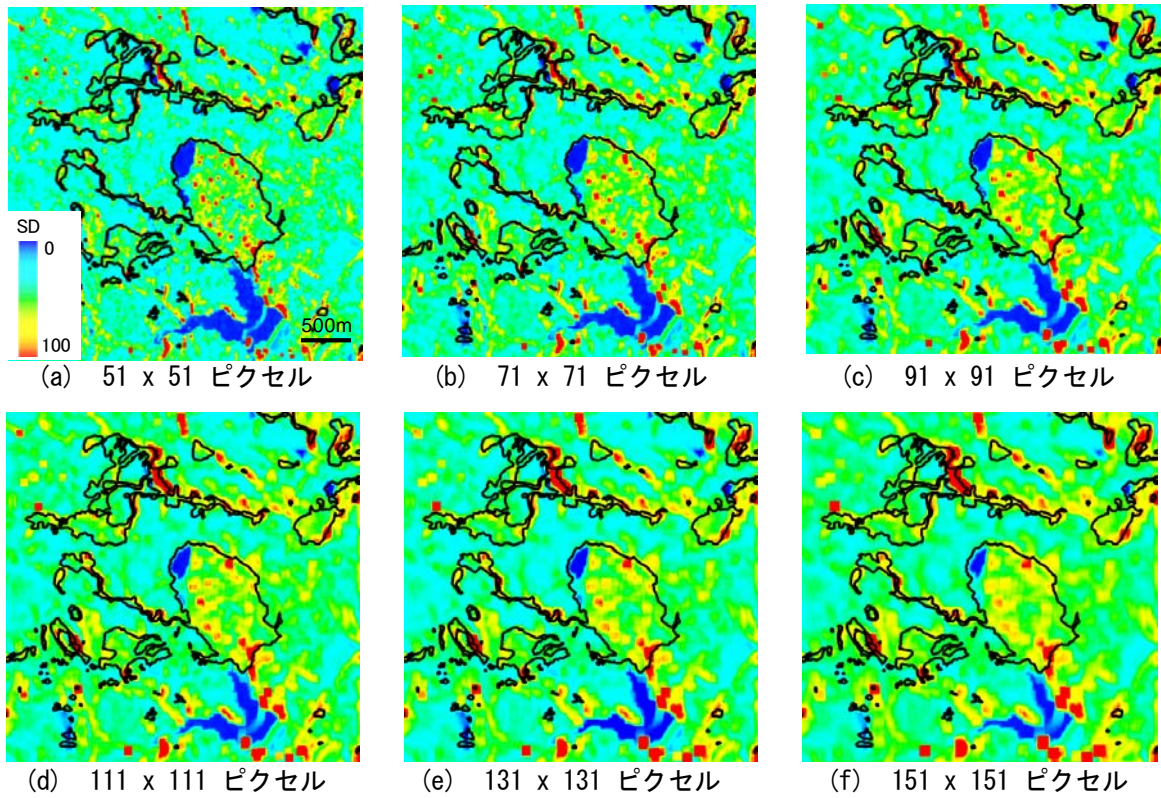


図5 分散の値の分布と斜面崩壊地域との比較

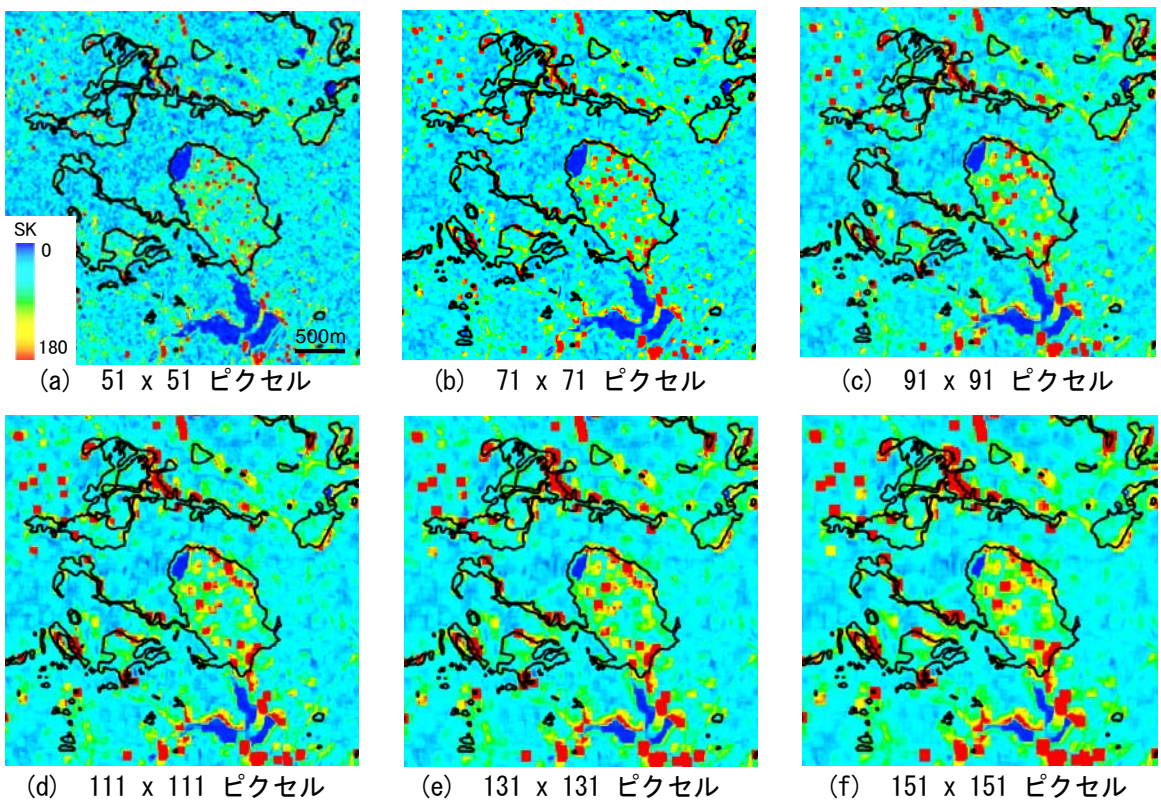


図6 歪度の値の分布と斜面崩壊地域との比較

分布を図6に示す。なお、斜面災害がみられた地域は航空写真から目視で判読した。図より、ウインドウサイズが大きくなるほど値の大きな部分と斜面崩壊地域との対応がよくなるように見え、また、図5と6を比べると、歪度に比べて分散の値の分布の方が斜面崩壊地域と対応がよいように見える。このことを定量的に検討するためにROC解析<sup>9)</sup>を行った。

ROC解析とは、判別子の判別能力を定量化してグラフ表現するものである<sup>9)</sup>。具体的には、表2に示すように、ある閾値に対して、真の事実に対して陽と推定する割合を真陽性率TPR(True Positive Rate)および偽の事実に対して陽と推定する割合を偽陽性率FPR(False Positive Rate)を計算し、前者をY軸の値、後者をX軸の値として点をプロットする。これを様々な閾値に対して行うことで、曲線が得られ、これをROC曲線と呼ぶ。図7にROC曲線を示す。真陽性率TPRが100%、偽陽性率FPRが0%に近ければ、曲線は図の左上に近づき、用いた判別子が良好であることがわかる。

分散と歪度のROC曲線を比べると、分散の方が図の左上に近く、より適切な判別子であることを示している。ウインドウサイズによる曲線の変化をみると、ウインドウサイズが大きいほど図の左上に近づき、より良好な結果を示している。しかし、ウインドウサイズが100×100ピクセルを越えると変化は小さくなり、ウインドウサイズの影響はあまりみられなくなる。ウインドウサイズを大きくしすぎると範囲の規模が小さなテクスチャーの変化を見落とす恐れも予想されることから、ここでは、131×131ピクセルのウインドウサイズの結果、すなわち、図7(a)の131×131ピクセルのウインドウサイズの線上で、最も図の左上に近い点を与える閾値での結果を採用することとした。この場合、真陽性率TPRは75%、偽陽性率FPRは25%となった。斜面崩壊と判別された地域を図8の赤の塗りつぶしで示す。図の青線が実際の斜面崩壊地域である。図をみると実際の斜面崩壊地域以外も斜面崩壊と誤検出されている地域が少なくない。

表2 判別マトリックス

		事実	
		真	偽
推定	陽	真陽性率	偽陽性率
	陰	偽陰性率	真陰性率

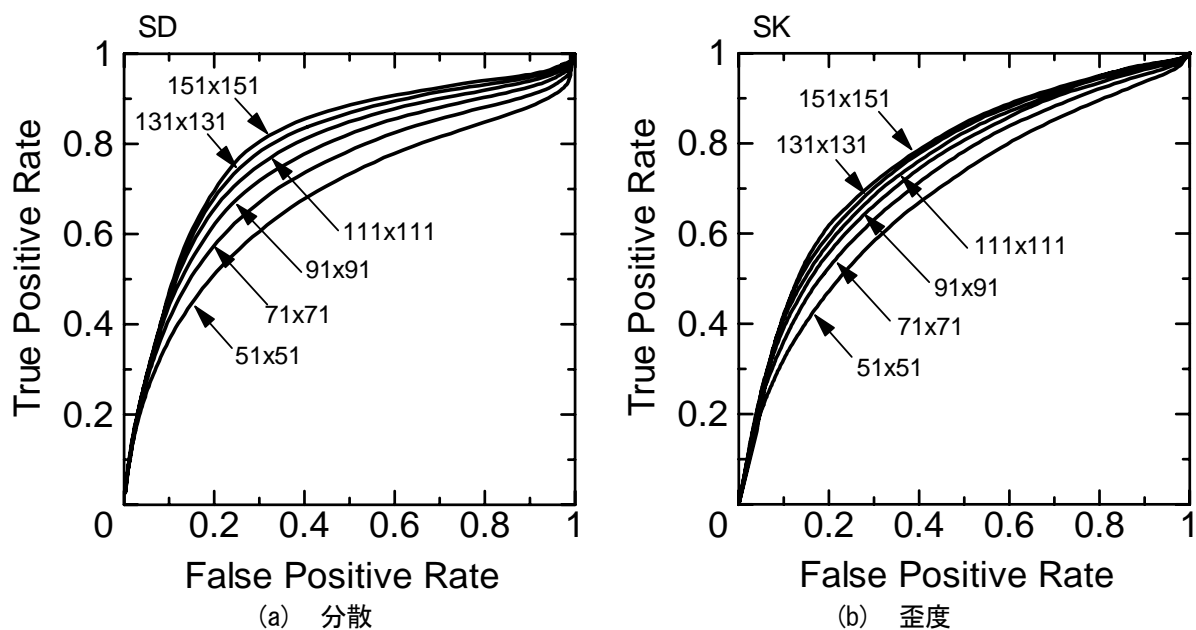


図7 ROC曲線

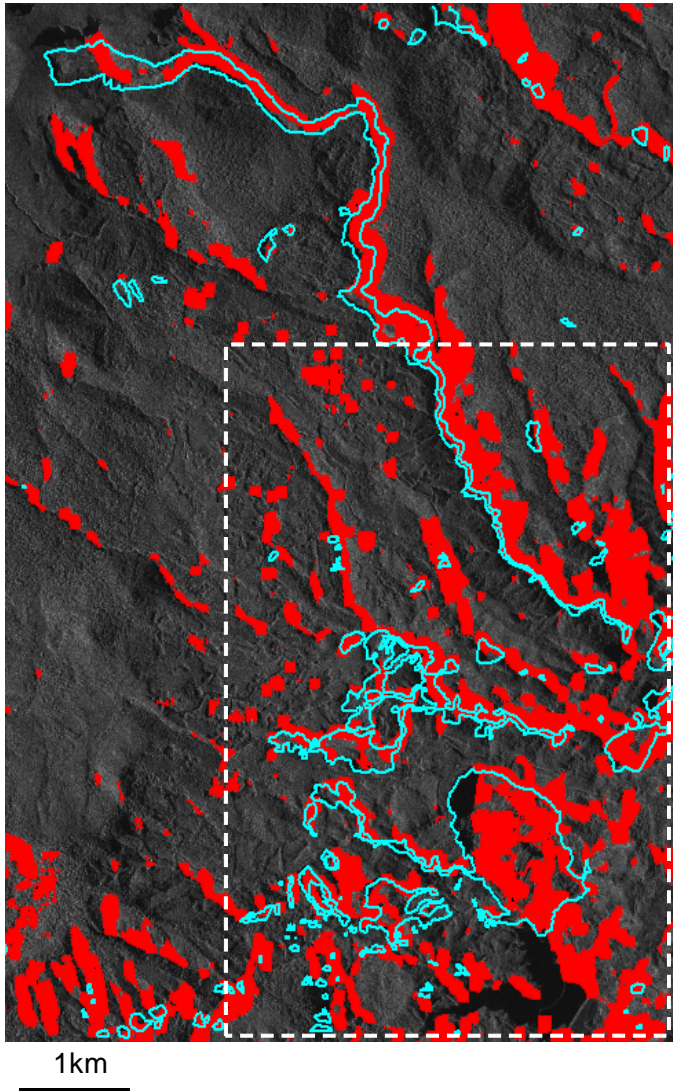


図8 斜面崩壊地域(青)と判別結果(赤)との比較

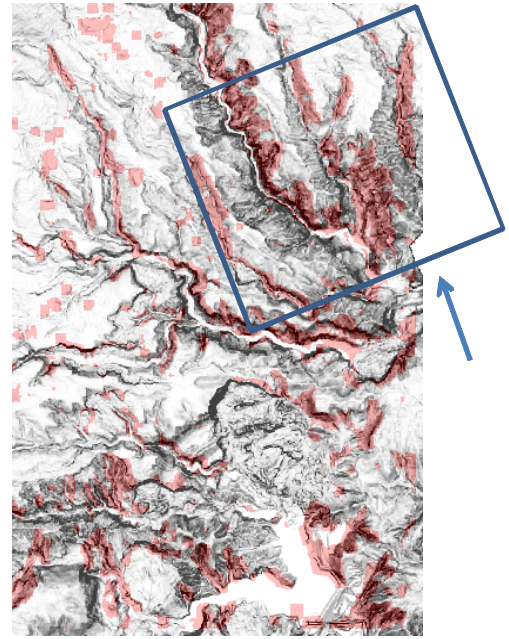


図9 誤検出地域の分布(薄赤部)

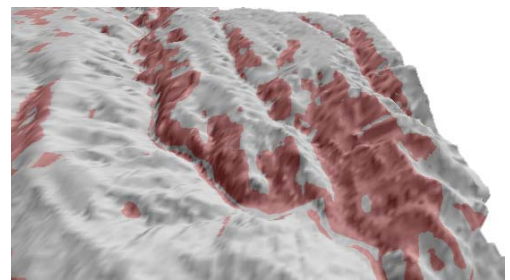


図10 誤検出地域(薄赤部)の鳥瞰図

図9は図8の点線の部分の標高陰影図に誤検出の地域を重ねて示したものである。誤検出の地域が谷の東側に沿って多く分布していることがわかる。このような場合の例として、図9の青線の部分を青矢印の方向から鳥瞰した図を図10に示す。マイクロ波の入射方向(西南西から約50度のオフナディア角)とほぼ直交する斜面で、地形に凹凸がある部分で誤検出となっているように見える。SAR画像の強度分布に対する地形の影響については今後の課題ではあるが、この場合の地形の凹凸の波長は50~200m程度で、このような地形の凹凸の影響で強度分布の分散が大きくなった可能性がある。この他に、誤検出は、集落があり建物等の影響でテクスチャーが粗くなっている地域でもみられる。

誤検出を低減させるために、地震前後のSAR画像の差分からテクスチャーの変化を抽出することが理想的ではあるが、前述したように、今後すべての地域で地震前の画像がアーカイブ化されるとは限らない。そこで、次善の策として、アーカイブ化がより進んでいる光学センサー画像や今後全国的にデータの整備が進むであろう高分解能DEMなどを用いて、テクスチャーの粗い地域をあらかじめ推定し、これを除外して地震後の画像を解析することもひとつの方法として考えられる。なお、ここでは131×131ピクセルのウィンドウサイズを採用したが、これが斜面災害地域を抽出のために一般的に適切なサイズであるかどうかについても今後、事例解析を通じて検討する必要がある。

#### 4. 結論

天候や昼夜を問わず画像が得られるSAR画像を利用して地震被害を把握することを目的として、2008年6月に発生した岩手・宮城内陸地震の直後に得られた高分解能SAR画像のテクスチャー解析から、斜面災害地域の抽出を試みた。異なるサイズのウィンドウに対して分散と歪度を計算した。その結果、100×100ピクセル強のウィンドウサイズに対する画像強度の分散の値から斜面災害地域をより精度よく抽出することができ、その際の真陽性率TPRは75%、偽陽性率FPRは25%となった。

#### 謝 辞

TerraSAR-X画像は(株)パスコより提供していただいた。本研究の一部は、文部科学省グローバルCOEプログラム「震災メガリスク軽減の都市地震工学国際拠点」(代表者:東工大時松孝次教授)によっている。震度分布の作成には、気象庁、自治体、独立行政法人防災科学技術研究所、国土交通省、のデータを利用させていただいた。記して謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 松岡昌志・山崎文雄：人工衛星SAR強度画像を用いた被害地域検出手法の最近の地震への適用とその妥当性、日本建築学会構造系論文集、No.558、pp.139-147、2002.
- 2) 松岡昌志・山崎文雄：人工衛星SAR強度画像による建物被害地域の検出手法、日本建築学会構造系論文集、No.551、pp.53-60、2002.
- 3) 伊藤陽介・細川直史：干渉SARデータを用いた地震被害度推定モデル、電気学会論文誌C、Vol.122-C、No.4、pp.617-623、2002.
- 4) (株)パスコ：平成 20 年(2008 年)岩手・宮城内陸地震 TerraSAR-X 画像、[http://www.pasco.co.jp/disaster\\_info/080614/index.html](http://www.pasco.co.jp/disaster_info/080614/index.html)、2008.
- 5) 国土地理院：平成 20 年(2008 年)岩手・宮城内陸地震 情報集約マップ、<http://zgate.gsi.go.jp/iwate2008/index.htm>、2008.
- 6) Infoterra: <http://www.infoterra.de/terrasar-x/terrasar-x-satellite-mission.html>, 2009.
- 7) 下田陽久(編)：画像処理標準テキストブック、画像情報教育振興協会、361pp.、1997.
- 8) Lee, J. S.: Speckle Suppression and Analysis for Synthetic Aperture Radar, *Optical Engineering*, Vol.25, No.5, pp.636-643, 1986.
- 9) Fawcett, T.: An Introduction of ROC Analysis, *Pattern Recognition Letters*, Vol.27, No.8, pp.861-874, 2006.

(受理：2009年 7月 31日)

(掲載決定：2010年 1月 21日)

# **Extraction of Landslide Areas due to the 2008 Iwate-Miyagi-Nairiku, Japan Earthquake from High-Resolution SAR Image**

MIDORIKAWA Saburoh <sup>1)</sup>, MIURA Hiroyuki <sup>2)</sup>

1) Member, Professor, Department of Built Environment, Interdisciplinary Graduate School of Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.

2) Member, Assistant Professor, Department of Built Environment, Interdisciplinary Graduate School of Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.

## **ABSTRACT**

In this study, the texture analysis of the high-resolution SAR image is conducted in order to extract areas of landslides produced by the 2008 Iwate-Miyagi-Nairiku, Japan earthquake. The variance and skewness of the data for different window sizes are calculated. The result shows that the area with the higher variance for the window size of 100 x 100 pixels or more shows better correlation with the landslide area.

*Key Words: Landslide, Remote Sensing, High-Resolution SAR Image, the 2008 Iwate-Miyagi-Nairiku Earthquake*