

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 1 日現在

機関番号：12501

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2009～2011

課題番号：21310119

研究課題名（和文） 人工衛星 SAR 画像と光学センサを用いた自然災害の早期把握

研究課題名（英文） Early damage detection of natural disasters using satellite SAR and optical sensors

研究代表者

山崎 文雄 (YAMAZAKI FUMIO)

千葉大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：50220322

## 研究成果の概要（和文）：

本研究では、高解像度光学センサ衛星とマイクロ波を用いる合成開口レーダー(SAR)を組み合わせた、被災地域の抽出手法を検討した。災害前には衛星光学センサ画像、衛星 SAR 画像、更には数値標高データ(DEM)が得られているものとし、災害後に衛星 SAR 画像が得られた場合、これらを全て用いて被災範囲と程度を抽出する。イタリア・ラクイラ地震、ハイチ地震、東日本大震災等の被災地域に対して実データに基づいて被害抽出を行い、現地調査データと比較して精度を検証した。

## 研究成果の概要（英文）：

In this research, the extraction of damaged areas using high-resolution optical satellite images and Synthetic Aperture Radar (SAR) data was investigated. Assuming the existence of optical and SAR images and a digital elevation model (DEM) in the pre-event stage, and that satellite SAR data is acquired in the post-event stage, the damages due to disasters are extracted for the 2009 L'Aquila, Italy earthquake, the 2010 Haiti earthquake, and the 2011 Tohoku, Japan earthquake. Comparing with ground truth data, the accuracy of damage extraction from the SAR data was examined.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	6,200,000	1,860,000	8,060,000
2010 年度	4,500,000	1,350,000	5,850,000
2011 年度	3,600,000	1,080,000	4,680,000
総計	14,300,000	4,290,000	18,590,000

研究分野：都市システム安全工学

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学 ・自然災害科学

キーワード：リモートセンシング、合成開口レーダー、地震、津波

## 1. 研究開始当初の背景

衛星リモートセンシングの防災分野への

応用は、近年、国内外で非常に盛んになっている。世界的には、とくに高解像度光学セン

サ衛星が、Ikonos, QuickBird など次々と稼働を始め、これらの後継機となる GeoEye-1 や WorldView-1 など最近、軌道に乗った。これらの衛星による画像は、大規模な自然災害が発生した直後より、次々と Web 上でもブラウザ画像が公開され、アクセスが困難な地域の被災状況の把握などに使われるようになった。とくに、各国の宇宙機関が大災害時の衛星画像の提供に関して結んだ協定”International Charter -Space and Major Disasters”によって、当事国の緊急対応や国際支援活動にも利用され始めた。また、Google Earth によって、衛星画像が平時の世界地図として、広く一般にも使われるようになった。このような光学センサ画像の最大の利点は、写真と同じように誰にでも分かりやすく、目視判読によって現地の状況が容易に把握できる点である。しかし、光学センサ画像の撮影は天候に左右され、災害発生後、雲の少ない画像が早期に得られないことが多い。

一方、合成開口レーダー(SAR)を用いたセンサは、マイクロ波を能動的に放射してその反射波を観測する機構であるため、雲などの気象条件や昼夜の時間帯などの影響を受けない特徴がある。これまで SAR は、主として人工衛星に搭載されて地形構造、海氷、土地利用状況、植生などの評価に使用されてきた。また、衛星 SAR 画像の災害への利用としては、マイクロ波の位相を用いた干渉 SAR (インターフェロメトリ)によって、地殻変動や地形変化を捉える研究が進められてきた。一方、研究代表者らのグループは、災害前後の SAR (後方散乱)強度画像を用いて、主として都市域の地震災害状況を把握する研究を従来から行ってきた。しかし、SAR 強度画像は単バンドであるため、市街地の現況などの付加情報がないと、それ単独での災害把握は容易ではなかった。

本研究では、このように各々弱点を有する衛星光学センサ画像と SAR 画像を併用することによって、その弱点を克服し、また斜面崩壊、水害、津波などの被害と関連の深い数値標高データ (DEM) も同時に利用して、災害発生後早期に被災地域の特定と被災程度の把握を行う手法を開発する。

## 2. 研究の目的

地震、津波、風水害、地盤災害などの自然災害が発生した場合、被害範囲と被害程度を早期に把握することは、救助救援などの緊急対応をとるために、極めて重要である。被災地域が広範囲にわたる場合や、地上からのアクセスや情報収集が困難な山間地域などに対する被害把握には、衛星リモートセンシングが力を発揮している。とくに最近、高解

像度光学センサ衛星が、非常に詳細な被災地の画像を早期に提供する場合がある。一方、このような光学センサは天候に左右され、2008 年ミャンマー・サイクロンや中国・四川地震など、災害発生後、数週間にわたって雲の少ない画像が得られないことも多い。一方、マイクロ波を用いる合成開口レーダー(SAR)は全天候型の能動的センサで、天候に左右されず、また夜間でも被災地域の画像を得ることができる。しかし、単偏波の SAR 強度画像の場合、単バンド(白黒)であるため情報量が少なく、これだけでは被災地の状況が、詳細には把握できない恐れがある。

本研究では、両者の衛星センサの強みを組み合わせ、被災地域の抽出手法を開発することを目的としている。具体的には、災害前には衛星光学センサ画像、衛星 SAR 画像、更には数値標高データ(DEM)が得られているものとし、災害後に衛星 SAR 画像が得られた場合、これらを全て用いて被災範囲と程度を抽出する方法を提案する。事前の土地被覆分類や標高データも合わせて利用することにより、マイクロ波の後方散乱強度の変化だけからでは分からない地表の災害後の状況を、精度よく推定することが可能になると期待される。

## 3. 研究の方法

本研究では、高解像度光学センサ衛星とマイクロ波を用いる合成開口レーダー(SAR)の強みを組み合わせ、被災地域の抽出手法を開発することを目的としている。具体的には、災害前には衛星光学センサ画像、衛星 SAR 画像、更には数値標高データ(DEM)が得られているものとし、災害後に衛星 SAR 画像が得られた場合、これらを全て用いて被災範囲と程度を抽出する方法を提案する。事前の土地被覆分類や標高データも合わせて利用することにより、マイクロ波の後方散乱強度の変化だけからでは分からない地表の災害後の状況を、精度よく推定する。

## 4. 研究成果

### (1) 2009 年度

ALOS/PALSAR 画像を用いた 2008 年中国・四川地震と 2008 年岩手・宮城内陸地震による地盤災害把握を行うとともに、高解像度 SAR の TerraSAR-X 画像を用いた 2009 年イタリア・ラクイラ地震による建物被害把握などを実施した。前者では、地震前後の SAR 強度画像の比較により、斜面崩壊、堰止め湖、道路閉塞などの地盤災害分布を把握した。また、光学センサによる災害前の土地被覆分類と災害前の数値標高モデル(DEM)を用いて、SAR 強度画像の変化と災害発生状況の定量的な関係づけを行った。建物被害に関しても、

倒壊などの大被害は、地震前後の SAR 強度画像において変化が見られることを確認することができた。しかし、高分解能の SAR 画像では、位置合わせが難しいこと、またスペクトルノイズ低減のためには適切な空間フィルタが必要なことなどが分かった。

(2) 2010 年度

多時期の TerraSAR-X 画像を用いて、東京臨海部における都市構造の変化を把握した。この結果、新たに建設された建物や撤去された建物、羽田空港の埋め立てなどの進行を把握することができた。2009 年イタリア・ラクイラ地震による建物被害把握も実施し、現地調査データなどとの比較を行った。この結果、倒壊などの大被害は、地震前後の SAR 強度画像において変化が見られることを確認することができたが、X バンドの場合、植生の季節変動などの影響を受けるため、光学センサ画像を用いた植生領域の除去なども必要なことが分かった。

(3) 2011 年度

前年度に引き続き多時期の高分解能 TerraSAR-X による強度画像を用いて、東京都心部における都市構造の変化を把握した。この結果、新たに建設された建物や撤去された建物の状況、羽田空港の埋め立て・拡張事業や、東京スカイツリー建設の進行を定量的に把握することができた。また、2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震（東日本大震災）に関して、宮城県仙台周辺地域の地震前後の TerraSAR-X 強度画像を入手し、無被害建物の地震前後の相関に基づく、時系列の地殻変動量の抽出を行い、国土地理院の GPS 観測データと比較し精度を検証した。また、津波浸水域の把握と建物流出の個別把握等を行い、航空写真による目視判読結果との比較を行い、被害把握の精度を検証した。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 12 件)

- ① 山崎文雄, リモートセンシングによる広域災害の把握, 予防時報, No.248, 2012, pp. 12-18.
- ② A. Meslem, F. Yamazaki, Y. Maruyama, Accurate evaluation of building damage in the 2003 Boumerdes, Algeria earthquake from QuickBird satellite images, Journal of Earthquake and Tsunami, 査読有, Vol. 5, No. 1, 2011, pp. 1-18.
- ③ F. Yamazaki, H. Inoue, W. Liu, Characteristics of SAR Backscattered Intensity and Its Application to

Earthquake Damage Detection, Computational Stochastic Mechanics, Edited by G. Deodatis and P. D. Spanos, Research Publishing, 査読有, 2011, pp. 602-606.

- ④ M. Matsuoka, N. Nojima, Building Damage Estimation by Integration of Seismic Intensity Information and Satellite L-band SAR Imagery, MDPI Remote Sensing, 査読有, Vol.2, No.9, 2010, pp. 2111-2126
- ⑤ M. Matsuoka, F. Yamazaki, Comparative Analysis for Detecting Areas with Building Damage from Several Destructive Earthquakes Using Satellite Synthetic Aperture Radar Images, Journal of Applied Remote Sensing, SPIE, 査読有, Vol.4, 2010, pp1-14.
- ⑥ 石出貴大, 山崎文雄, ALOS/AVNIR-2 画像を用いた 2008 年岩手・宮城内陸地震における斜面崩壊の検出, 日本地震工学会論文集, 査読有, Vol. 10, No. 3, 2010, pp. 12-24.
- ⑦ 加藤圭太, 山崎文雄, ALOS/PALSAR 画像を用いた 2008 年岩手・宮城内陸地震による水域の変化抽出, 日本地震工学会論文集, 査読有, Vol.10, No.3, 2010, pp. 1-11.

[学会発表] (計 12 件)

- ① W. Liu, F. Yamazaki, Crustal movement detection for the 2011 Tohoku, Japan Earthquake from multi-temporal TerraSAR-X intensity images, 9th International Conference on Urban Earthquake Engineering & 4th Asia Conference on Earthquake Engineering, Tokyo Institute of Technology, Tokyo, Japan, 2012, pp. 423-427.
- ② P. Uprety, F. Yamazaki, Characterization of SAR images in the 2010 Haiti earthquake, 9th International Conference on Urban Earthquake Engineering & 4th Asia Conference on Earthquake Engineering, Tokyo Institute of Technology, Tokyo, Japan, 2012, pp. 429-434.
- 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 回学術講演会論文集, 日本リモートセンシング学会, 2011.
- ④ W. Liu, F. Yamazaki, Characterization of flooded areas due to the 2011 Tohoku,

- Japan earthquake from SAR intensity images, Proc. 32nd Asian Conference on Remote Sensing, Taipei, Taiwan, 2011.
- ⑤ W. Liu, F. Yamazaki, Urban monitoring and change detection of central Tokyo using high-resolution X-band SAR images, Proceedings of the IEEE 2011 International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Vancouver, Canada, 2011.
- ⑥ Y. Maruyama, F. Yamazaki, S. Matsuzaki, H. Miura, M. Estrada, Building Damage and Tsunami Inundation GIS Datasets after the 2010 Chile Earthquake: 8th International Conference on Urban Earthquake Engineering, Tokyo Institute of Technology, Tokyo, Japan, 2011, pp.103-108..
- ⑦ P. Uprety, F. Yamazaki, Characterization of SAR images in the 2009 L'Aquila Italy earthquake, The 3rd Asia Conference on Earthquake Engineering, Bangkok, Thailand, 2010.
- ⑧ リュウ・ウエン, 山崎文雄, 2 時期の TerraSAR-X 画像を用いた都市変化の抽出, 平成 22 年度秋季学術高演会発表論文集, 日本写真測量学会 2010, pp.139-140.
- ⑨ F. Yamazaki, T. Ishide, Detection of Slope Failures due to the Iwate-Miyagi, Japan Earthquake using Satellite Images, the 14th European Conference on Earthquake Engineering, Ohrid, Macedonia, paper No. 767, 2010.
- ⑩ F. Yamazaki, H. Inoue, W. Liu, Characterization of affected areas of the 2008 Iwate-Miyagi, Japan, earthquake using SAR intensity images, Proceedings of the IEEE 2010 International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Honolulu, Hawaii, USA, 2010.
- ⑪ M. Matsuoka, N. Nojima, Building Damage Estimation Using Seismic Intensity and Satellite L-band SAR Imagery, Proc. 7th International Conference on Urban Earthquake Engineering, 2010.
- ⑫ F. Yamazaki, T. Ishide, Y. Maruyama, Detection of Slope Failures due to The 2008 Iwate-Miyagi Earthquake using ALOS/AVNIR-2 Images, 7th International Workshop for Remote Sensing and Disaster Response, Austin, Texas, USA, 2009.

[その他]  
ホームページ等  
<http://ares.tu.chiba-u.jp/~papers/index.htm>

6. 研究組織
- (1) 研究代表者  
山崎 文雄 (YAMAZAKI FUMIO)  
千葉大学・大学院工学研究科・教授  
研究者番号：50220322
- (2) 研究分担者  
松岡 昌志 (MATSUOKA MASASHI)  
産業技術総合研究所・主任研究員  
研究者番号：80242311
- 丸山 喜久 (MARUYAMA YOSHIHISA)  
千葉大学・大学院工学研究科・准教授  
研究者番号：70397024
- (3) 連携研究者 なし