

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 19 日現在

機関番号：12501

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2012～2015

課題番号：24241059

研究課題名(和文) 高分解能衛星SAR画像と地理空間情報の融合による災害把握技術の革新

研究課題名(英文) Advancement of post-disaster damage extraction technology using high-resolution SAR images and geospatial information

研究代表者

山崎 文雄 (YAMAZAKI, Fumio)

千葉大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：50220322

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 31,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、災害発生前に得られる光学センサ画像、数値標高データ、GISデータなどの空間基盤情報と、事前・事後に得られるSAR衛星画像を組み合わせた建物被害、浸水域、地殻変動などの抽出手法を開発した。震動による建物倒壊、津波や洪水による建物流出や浸水、地殻変動量の検出、液状化や盛土崩壊などの地盤災害等を対象とし、2011年東日本大震災、2015年口永良部島火山噴火、2015年ネパール・ゴルカ地震、2015年関東・東北豪雨災害などを事例として、画像解析により精度を検証した。

研究成果の概要(英文)：This research aims to develop a method to extract affected areas due to natural disasters based on multi-temporal satellite SAR (synthetic aperture radar) imagery data. As supplementary information, pre-event optical imagery data, digital elevation model (DEM), and GIS data are also employed. For several recent major disasters, such as the 2011 Tohoku, Japan earthquake and tsunami, 2015 Kuchino-erabu island's volcanic eruption, 2015 Gorkha, Nepal earthquake, and 2015 Kanto-Tohoku heavy rainfall, the collapse of buildings and infrastructures due to seismic motion, tsunami, flood, and volcanic activity were extracted and the results were compared with various truth data.

研究分野：都市システム安全工学

キーワード：リモートセンシング 高分解能SAR衛星 被害把握 津波 地震 建物 GIS 火山活動

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。様々な高解像度光学センサ衛星による画像は、大規模な自然災害が発生した直後より、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。また各国の宇宙機関が大災害時の衛星画像の提供に関する協定“International Charter –Space and Major Disasters”を締結し、2010 年ハイチ地震や 2011 年東日本大震災などの大災害では、当事国の緊急対応や国際支援活動にも広く利用された。

光学センサ画像の最大の利点は、写真と同じように分かりやすく、目視で現地の状況が容易に把握できる点である。しかし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も多い。これに対して合成開口レーダー(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を持ち、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 強度(後方散乱係数)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、市街地の密度や用途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。

このような背景より、研究代表者の山崎は、H21-23 年度の基盤研究 B として「人工衛星 SAR 画像と光学センサ画像を用いた自然災害の早期把握」を提案し、採択されて現在そのまとめ段階に入っている。この提案時の趣旨は、事前の光学画像から推定される土地被覆に応じた SAR 強度画像の災害時変化を求めて、それを我が国の ALOS/PALSAR(L バンド)画像から抽出することを考えていた。研究業績に示すように、広域の被害抽出に関しては成果を上げている。

その後、PALSAR を遥かに上回る高分解能(3m 以下)の X バンド SAR 衛星が複数登場し、高分解能化する ALOS-2 が 2014 年に打ち上げられた。また、2010 年ハイチ地震、2011 年クライストチャーチ地震などの市街地災害、2010 年チリ・マウレ地震、2011 年東北地方太平洋沖地震などの津波災害、さらに 2011 年は台風 12 号による紀伊半島豪雨やタイ洪水などが相次いで発生し、検討用の高分解能 SAR データが集積してきた。

以上の背景を踏まえて、国産の高分解能 SAR 衛星 ALOS-2 によるデータを利用した災

害早期把握技術を確立しておく必要があると考えた。本研究では、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、水害、津波、斜面崩壊などの被害と関連の深い数値標高データ(DEM)や、その他の数値地図(GIS)データも同時に利用して、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の開発と適用性の検証を進めることを目指した。

2. 研究の目的

地震、津波、風水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、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利点を有している。近年、SAR 衛星に関しても高分解能センサが登場し、市街地などの詳細な被害把握への利用が広がっている。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、事前に得られる光学センサ画像、数値標高(DEM)データ、GIS データなどの空間基盤情報と、事前・事後に得られる SAR 衛星画像を組み合わせた建物被害、浸水域、地殻変動などの抽出手法を開発し、事例解析によりその精度を検証することを目的としている。

3. 研究の方法

本研究では、最近発生した世界各地における実際の自然災害を例題として、災害前の光学センサ画像と数値標高モデル(DEM)や GIS データ、さらに災害前後の SAR 強度画像を用いて、被災状況を把握する画像解析手法を開発し、災害後の光学センサ画像等を用いてその精度を検証する。SAR 画像としては、X バンドの高分解能 SAR 衛星 TerraSAR-X (TSX) や COSMO-SkyMed (CSM)を主として用い、その災害検出性能を明らかにするとともに、L バンドの PALSAR、PALSAR-2 画像と比較して、解像度やマイクロ波周波数の影響を調べる。また、SAR 画像の偏波による違いや、空間解像度の影響を把握するために、航空機 SAR で得られた画像も一部利用する。

対象とする被害モードとしては、震動による建物倒壊、津波や洪水による建物流出や浸水、地殻変動量の検出、液状化や盛土崩壊などの地盤災害である。検討対象とした自然災害は、2011 年東日本大震災、2015 年口永良部島火山噴火、2015 年ネパール・ゴルカ地震、

2015 年関東・東北豪雨災害などである。

4. 研究成果

(1) 2011 年東日本大震災

高解像度 SAR 衛星で得られた強度画像を用い、画像上の建物の倒れ込み領域とレーダー影領域の後方散乱係数の変化から、構造物の形状変化を抽出し被害を把握することを試みた。本手法を検証するため、2011 年東北地方太平洋沖地震により津波被害を受けた仙台塩釜港に位置する建物と、建屋の爆発事故のあった福島第一原子力発電所に対し本手法を用いて有用性の検討を行った。

まず、仙台塩釜港の周辺地域より、光学センサ画像と現地写真に基づいて、側面に被害を受けた建物 13 棟と無被害の建物 13 棟を抽出し、被害の有無による SAR 画像上の後方散乱係数の変化を検証した。その結果、建物の倒れ込み範囲内の後方散乱係数の平均値の 2 時期の差分を求めることで、建物側面における被害の有無を検出できる可能性が示された。この結果から、仙台塩釜港に立地する計 101 棟の建物について、倒れ込み範囲内の後方散乱係数の 2 時期差分と現地調査結果とを比較し、本手法の適用性の精度検証を行った。後方散乱係数が低減した場合は被害ありと判定し、エラーマトリックスを用いて精度を求めた結果、総合精度が 66.3%とやや課題が残るものの、直下視の光学画像からでは確認することができない建物側面の被害把握が可能であることを示した。

福島第一原子力発電所では、2 時期の TSX 画像を用いて、倒れ込み範囲とレーダー影範囲の後方散乱係数の平均値の変化から、爆発事故による原子炉建屋の損傷把握を行った。その結果、倒れ込み範囲では配管や復旧機材等の影響で変化が出にくかったものの、レーダー影範囲内の後方散乱係数の 2 時期差分を求めることで、爆発事故による建屋の損壊によるレーダー影の縮小を把握することができた。

これらの例題はいずれも比較的広い場所に立地する大きな建物を対象としているが、建物密集地域にある小さな建物については、マイクロ波の反射が複雑になるとともに、画像の解像度の制約もあって本手法の適用に限界があると考えられる。今後は、倒れ込み範囲やレーダー影範囲の後方散乱係数を画像解析で自動的に求めることにより、作業時間の短縮を図るとともに、検討対象とする建物数を増やすことで、実用性と精度の向上を図っていきたい。また、倒れ込み範囲を用いた手法では、瓦礫や車などの障害物により誤判定が発生することが明らかとなったため、建物の周辺環境に応じた評価法の導入も考えられ、今後より汎用性の高い手法の確立を目指していきたい。

(2) 2015 年口永良部島火山噴火

鹿児島県口永良部島において、2015 年 5 月

29 日午前 9 時 59 分に新岳で爆発的噴火が発生した。本研究では、PALSAR-2 による観測データを用いて、噴火前後における地殻変動や噴出物の分布の様子を調査した。差分などの基礎的検討からは、異なる軌道からのデータでは厳密には変動の値や異なるものの、地殻変動の起きている範囲について確認することができた。また、干渉解析を 3 ペアに対し行ったところ、噴火前と直前のペアからは今回噴火した新岳周辺での著しい地殻変動が確認できた。しかし、噴火後を含むペアでは噴火した火口付近で非干渉となったことから、その周辺での斜面傾斜の変化や一様でない表面状態の変化があったと推測されるような地殻変動があったことが確認できた。基礎的な比較・検討の段階であるため、今後、複数の軌道から得られた結果を合わせて用いるなど、今後より詳細な検討を進める予定である。

(3) 2015 年ネパール・ゴルカ地震

2015 年ネパール地震前後にカトマンズ市街地を撮影した TerraSAR-X 強度画像を用いて、倒壊と非倒壊建物を検出し、その精度評価を行った。被害抽出は、倒れ込みを考慮した建物頂部の投影範囲内の後方散乱係数を計算し、それらの地震前後の相関、差分、 z ファクターによって定量的に評価した。非倒壊建物では、相関係数が高く、差分値が 0 付近に集中し、 z ファクターが高くなる様子が観察された。一方倒壊建物では、この範囲で低い相関を示すことがわかった。これにより設定した相関係数の閾値を用いて、ダルバール広場の建物を検証データとして、建物単位の被害抽出の精度評価を行った。この結果、総合精度 84.2%と高い値が得られた。しかし、大被害区分でも被害抽出ができなかった建物もあり、市街地状況やマイクロ波照射方向、それに被災部位などによって、把握が困難な場合も想定される。SAR の斜め観測の特徴を考慮すると、直下視の光学画像では確認することができない建物側面の被害も把握できる場合もある。今後とも解析事例を増やすとともに、より密度の高い市街地への適用についても検討する必要がある。

(4) 2015 年関東・東北豪雨災害

2015 年 9 月 9 日から 11 日にかけて、関東地方北部から東北地方南部を中心とした豪雨により、計 85 の河川で堤防の決壊・欠損、越水や漏水などの大きな被害が発生した。茨城県常総市付近では 10 日早朝から鬼怒川の数か所まで越水と漏水が発生し、12 時 50 分に三坂町で堤防が決壊し、常総市の広範囲が水没した。天候に影響されずに昼夜撮影できる合成開口レーダ(SAR)は、大規模災害の把握に有効である。とくに、台風や豪雨など光学センサが撮影できない場合でも、早期に被害地域の観測が可能である。本研究では、豪雨発生前に撮影された 1 シーンと豪雨通過後の

4 シーンの ALOS-2 PALSAR-2 強度画像を用いて、常総市付近における浸水域変化のモニタリングを行った。浸水域の抽出結果を国土地理院が公開した空中写真からの判読結果と比較したところ、概ね一致した結果が得られた。

今後の課題としては、密集した市街地においては、マイクロ波が建物から反射するため地面に到達せず、水面による鏡面反射を検知することができないことが挙げられる。このような際には、数値標高データや GIS データを組み合わせ、もし建物周囲が水域に接していたら、その建物範囲は浸水しているとみなすような処理を取り入れる必要がある。

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 18 件)

光学衛星画像を用いた混合スペクトル解析に基づく浸水度の定量推定と SAR 画像を組み合わせた東北地方太平洋沖地震津波への適用、篠原崇之、松岡昌志、リュウ・ウェン、山崎文雄、査読有、日本地震工学会論文集, Vol. 16, No. 3 (特集号), pp. 157-168, 2016.3

Monitoring of the recovery process of the Fukushima Daiichi nuclear power plant from VHR SAR images, W. Liu, F. Yamazaki, T. Sasagawa, 査読有, Journal of Disaster Research, Vol. 11, No. 2, pp. 236-245, 2016.3

衛星画像を用いたペルー・タクナ市における地震被害想定のための建物インベントリデータ構築に向けた試み、鈴木賢太郎、リュウ・ウェン、松岡昌志、山崎文雄、査読有、日本地震工学会論文集, Vol. 16, No. 3 (特集号), pp. 137-146, 2016.2

Multi-Temporal Correlation Method for Damage Assessment of Buildings from High-Resolution SAR Images in the 2013 Typhoon Haiyan, P. Nakmuenwai, F. Yamazaki, W. Liu, 査読有, Journal of Disaster Research, Vol. 11, No. 6, pp. 1059-1068, 2016.2

Object-Based Method for Estimating Tsunami-Induced Damage Using TerraSAR-X Data, H. Gokon, S. Koshimura, and M. Matsuoka, 査読有, Journal of Disaster Research, Vol.11 No.2, pp.225-235, 2016.2

Building Damage Assessment Using High-Resolution Satellite SAR Images of the 2010 Haiti Earthquake, H. Miura, S. Midorikawa, M. Matsuoka, 査読有, Earthquake Spectra, Vol.32, No.1, pp.591-610, 2016.2

L-バンド合成開口レーダによる津波被災地の建物被害推計手法の開発、郷右近英臣、越村 俊二、査読有、土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol. 71, No. 2, I_1723-I_1728, 2015

撮影方向の異なる高分解能 SAR 画像を用いた建物被害の検出精度の向上に関する研究、三浦弘之、翠川三郎、松岡昌志、査読有、日本地震工学会論文集, Vol.15, No.7, pp.390-403, 2015.12

Estimation of three-dimensional crustal movements in the 2011Tohoku-Oki, Japan, earthquake from TerraSAR-X intensity images, W. Liu, F. Yamazaki, M. Matsuoka, T. Nonaka, T. Sasagawa, 査読有, Natural Hazards and Earth System Sciences, European Geosciences Union, 15, 637–645, 2015.3 DOI:10.5194/nhess-15-637-2015

Development of building height data in Peru from high-resolution SAR imagery, W. Liu, F. Yamazaki, B. Adriano, E. Mas, S. Koshimura, 査読有, Journal of Disaster Research, Vol. 9, No. 6, pp. 1042-1049, 2014.12

TerraSAR-X 強度画像を用いた 2011 年東北地方太平洋沖地震における 3 次元地殻変動の検出、リュウ・ウェン、山崎文雄、松岡昌志、野中崇志、笹川正、査読有、日本リモートセンシング学会誌, Vol. 34, No. 3, pp. 166-176, 2014.7, DOI: 10.11440/rssj.34.166

高解像度衛星 SAR 画像を用いた建物側面の被害把握、岩崎洋志、山崎文雄、リュウ・ウェン、野中崇志、笹川正、査読有、日本地震工学会論文集, Vol. 13, No. 5, pp. 18-32, 2013.11

Damage Detection using High-Resolution SAR Imagery in the 2009 L'Aquila, Italy, Earthquake, P. Upreti, F. Yamazaki, F. Dell'Acqua, Earthquake Spectra, Vol. 29, No. 4, pp.1521-1535, 2013. 11, 査読有。

Extraction of Tsunami-Flooded Areas and

Damaged Buildings in the 2011 Tohoku-Oki Earthquake from TerraSAR-X Intensity Images, W. Liu, F. Yamazaki, H. Gokon, S. Koshimura, Earthquake Spectra, EERI, Vol. 29, No. S1, S183-S200, 2013.3, 査読有

Detection of Crustal Movement from TerraSAR-X intensity images for the 2011 Tohoku, Japan Earthquake, W. Liu, F. Yamazaki, Geoscience and Remote Sensing Letters, DOI: 10.1109/LGRS.2012.2199076, Vol. 10, No. 1, pp. 199-203, 2013.1, 査読有

Detection of Building Damage in the 2010 Haiti Earthquake using High-Resolution SAR Intensity Images, P. Uprety, F. Yamazaki, Journal of Japan Association for Earthquake Engineering, Vol. 12, No. 6 (Special Issue), pp.21-35, 2012. 11, 査読有

高解像度 SAR 画像を用いた東北地方太平洋沖地震における津波湛水域と建物被害の抽出, リュウ・ウェン, 山崎文雄, 郷右近英臣, 越村俊一, 日本地震工学会論文集, Vol. 12, No. 6(特集号), pp. 73-85, 2012.11, 査読有

2011 年東北地方太平洋沖地震前後の TerraSAR-X 強度画像を用いた地殻変動の検出, リュウ・ウェン, 山崎文雄, 日本地震工学会論文集, Vol. 12, No. 4(特集号), pp. 3-13, 2012.9, 査読有

[学会発表](計 10 件)

Developing a method for urban damage mapping using radar signatures of building footprint in SAR imagery: A case study after the 2013 Super Typhoon Haiyan, Bruno Adriano, Erik Mas, Shunichi Koshimura, Hideomi Gokon, Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), Milan (Italy), DOI: 10.1109/IGARSS.2015.7326595, 2015.7.26-31

Surface displacement due to the 2014 north Nagano, Japan earthquake estimated from differential interferometry technique with ALOS-2 PALSAR-2 data, F. Ogushi, T. Shinohara, M. Matsuoka, Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), Milan, (Italy), pp.3532-3535, 2015.7.26-31, DOI: 10.1109/IGARSS.2015.7326583

TerraSAR-X 干渉画像を用いた高層建物の高さ抽出, リュウ ウェン, 鈴木賢太郎, 山崎文雄, 笹川正, 第 58 回学術講演会論文集, 日本リモートセンシング学会,

pp.77-78, 2015.6.2-3, 千葉大学(千葉県・千葉市)

Height Estimation for High-rise Buildings based on InSAR Analysis, W. Liu, F. Yamazaki, Proceedings of 2015 Joint Urban Remote Sensing Event, IEEE, Lausanne (Switzerland), CD-ROM, 4p, DOI:10.1109/JURSE.2015.7120530, 2015.3.31-4.1

Pi-SAR-L2 多偏波画像による土地被覆に関する基礎的検討, 佐無田夏希, リュウ・ウェン, 山崎文雄, 第 57 回学術講演会論文集, 日本リモートセンシング学会, pp.21-22, 2014.11.6-7, 京都大学宇治おうばくプラザ(京都府宇治市)

Damage investigation for the 2013 Typhoon Haiyan in the Philippines using multi-temporal COSMO-SkyMed images, P. Nakmuenwai, F. Yamazaki, Proceedings of the IEEE 2014 International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Quebec (Canada), 2261-2264, 2014.7.13-18

Estimation of three-dimensional crustal movements from mutli-temporal TerraSAR-X intensity images, W. Liu, F. Yamazaki, T. Nonaka, T. Sasagawa, Proceedings of the IEEE 2013 International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Melbourne,(Australia), CD-ROM, 680-683, 2013.7.21-26

Building height detection from high-resolution TerraSAR-X imagery and GIS data, W. Liu, F. Yamazaki, Proceedings of 2013 Joint Urban Remote Sensing Event, IEEE, Sao Paulo(Brazil), CD-ROM, 33-36, 2013.4.21-23

TerraSAR-X 強度画像を用いた東北地方太平洋沖地震における 3 次元地殻変動の検出, リュウ・ウェン, 山崎文雄, 野中崇志, 笹川正, 第 53 回学術講演会論文集, 日本リモートセンシング学会, 広島大学(広島県東広島市) pp.127-128, 2012.11.19-20

Extraction of flooded areas and damaged buildings due to the tsunami of Japan 2011 Tohoku earthquake, W. Liu, F. Yamazaki, H. Gokon, S. Koshimura, Proceedings of the IEEE 2012 International Geoscience and Remote Sensing Symposium, IEEE, Munich (Germany), CD-ROM, 4038-4041,

2012.7.22-27

〔図書〕(計1件)

広域災害把握(東日本大震災),山崎文雄,
森林リモートセンシング-基礎から応用
まで- 第4版,加藤正人編著,日本林業
調査会, pp302-305(総ページ:429), 2014.4

〔その他〕

ホームページ等

<http://ares.tu.chiba-u.jp/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)
東京工業大学・大学院総合理工学研究科・
准教授
研究者番号: 80242311

越村 俊一 (KOSHIMURA, Shunichi)
東北大学・災害科学国際研究所・教授
研究者番号: 50360847

三浦 弘之 (MIURA, Hiroyuki)
広島大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号: 30418678

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