

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 5 月 17 日現在

機関番号：12501

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K16305

研究課題名(和文) 衛星マルチセンサ画像と地理空間情報の融合による災害把握の高度化

研究課題名(英文) Damage assessment by combining satellite multi sensor images and geospatial information

研究代表者

劉 ウェン (Wen, Liu)

千葉大学・大学院工学研究院・助教

研究者番号：60733128

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、撮影条件が異なる光学センサ画像とSAR画像を地理空間情報として融合する手法を開発し、自然災害後に短期間で得られる多様な衛星画像を用いて被害を早期に検出することである。まず、SAR画像と光学センサ画像のそれぞれから都市における土地被覆、建物の輪郭と高さ情報を得ることで、GIS上において3D都市モデルを作成した。つぎに、建物と橋梁の3Dモデルより反射特性を分析し、1シーンのSAR画像を用いた被害検出手法を開発した。また、新たに発生した2015年9月関東・東北豪雨と2016年4月熊本地震に対して、浸水域の抽出、地殻変動の検出と建物被害の分類を行った。

研究成果の概要(英文)：In this study, the detection of geospatial information by combining optical and SAR images taken in different acquisition conditions were proposed. First, the backscatter characteristics of different land covers in SAR images were investigated by comparing to optical images. Then the heights of buildings were obtained from SAR images. According to a land cover map and height information, a 3D urban model is available. Then the damage assessment using the backscatter model and post-event SAR images were carried out to the 2015 Kanto and Tohoku torrential rain and the 2016 Kumamoto earthquake. The inundated regions due to the torrential rain in Joso city were extracted from multi-temporal ALOS-2 images. For the 2016 Kumamoto earthquake, the crustal movements due to the earthquake were estimated by the Lidar data taken before and after the mainshock. Landslides and collapsed buildings were also extracted using multi sensor data.

研究分野：工学

キーワード：自然災害 リモートセンシング

1. 研究開始当初の背景

近年、大規模な自然災害が世界の各地で多発している。被災地域が広範囲にわたる場合や、地上からのアクセスが困難な僻地・山間地域や、火山などの危険地域の被害把握には、衛星リモートセンシングが力を発揮している。一方、最近では解像度 1m 前後の高分解能衛星が多く稼働し、大規模な自然災害が発生した直後に複数の画像が得られ、アクセス困難地域の災害状況の把握などに使用されるようになった。光学センサ画像は分かりやすく、目視で現地状況が把握できるが、天候に左右され、災害直後に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(SAR)センサは、マイクロ波を能動的に放射する機構で、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。2007 年以降、高分解能の SAR 衛星が複数登場し、以前は解析が困難だった都市域に対しても、建物 1 棟単位での判別が可能になった。

これまで申請者は災害前後の SAR 画像を用いて、2011 年東北地方太平洋沖地震と 2013 年台風 Haiyan における建物被害の検出を行った。しかし、これらの手法はすべて撮影条件が一致する前後画像を要する。2011 年 5 月に機能停止した ALOS のように、センサの更新等により災害前のアーカイブ画像が存在するケースは限られている。

これらの背景を踏まえて、マルチセンサが異なる条件で撮影した衛星画像を融合した災害の早期把握手法を構築する必要があると考えた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、撮影条件が異なる光学センサ画像と SAR 画像を地理空間情報として融合する手法を開発し、自然災害後に短期間で得られる多様な衛星画像を用いて被害を早期に検出することである。具体的には、以下の成果が期待した。

- ・土地被覆、建物輪郭と高さ情報を含めた都市 3 次元データベースの作成

- ・都市モデルと災害後の衛星画像を用いた被害把握手法の開発

都市データベースを構築することは、異なるセンサで撮影された衛星 SAR 画像と光学センサ画像の融合を実現できる。構築される都市データベースは、今後の災害軽減や都市計画に役立つ。また、都市データベースと災害後の衛星画像を用いた被害検出は、自然災害発生時における緊急対応が可能な場所を増やし、衛星画像のアーカイブをより有効に活用することとなる。

3. 研究の方法

近年発生した実際の自然災害を事例とし、2 つのテーマに分けて研究を進んだ。1 つ目は光学センサ画像と SAR 画像を GIS データとして抽出し、異なる画像を融合できる都市モデルを構築する手法の開発であった。2 つ

目は、災害後の衛星画像と構築された都市モデルを併用して被災状況を把握する画像解析手法の開発である。最後に、多様な自然災害に適用し、現地調査のデータを用いて精度を検証した。

4. 研究成果

1) 衛星マルチセンサ画像を用いた地理空間情報の抽出と都市モデルの構築

まず異なる波長の SAR 画像を用いて各土地被覆におけるマイクロ波の後方散乱係数の比較を行った。2011 年東北地方太平洋沖地震後、宮城県名取市と岩沼市を撮影した航空機センサ Pi-SAR-L2 (L-band) と Pi-SAR2 (X-band) の多偏波画像を用いて、土地被覆分類を行った。L-band と X-band の SAR 画像ともに、偏波とテクスチャ特徴を併用した方が高い精度の結果が得られた。しかし、1 シーンの SAR 画像を用いた土地被覆分類の精度が 54% であり、詳細な土地利用を把握することが難しい。(雑誌論文(2)、学会発表(3,4,5))

つぎに、SAR 画像を用いた建物高さの推定を行った。低層建物に対しては壁からの強い反射を利用し、1 シーンの強度画像から後方散乱係数の高いエリアを建物の倒れ込み範囲として抽出し、高さの推定ができる。サンフランシスコやペルーの沿岸部を撮影した TerraSAR-X (TSX) 画像に適用し、建物高さを高精度に推定することが確認できた。高層建物については壁の反射が弱いので、安定した干渉位相に注目し、隣接するピクセルの位相差と干渉縞の長さを用いて倒れ込み範囲の抽出を行った。2008 年と 2010 年に撮影された 4 枚の高解像度 TSX 画像に提案手法を適用し、東京臨海部にある 50m 以上の 42 棟の建物の高さを推定した。航空ステレオ測量で得られたデジタル表面モデルと航空レーザー測量で得られたデジタル標高モデルから正解とする建物高さを抽出し、提案手法の有効性と精度の検証を行った。入射角が大きい 2008 年の画像では、強度画像のみに基づく推定結果は、位相のみを用いた結果に比べ、多くの建物高さを推定することができた。強度と位相を組み合わせた結果では、64% の建物に対して誤差 20m 以内で推定することができた。一方、入射角が小さい 2010 年の画像では、強度のみを用いた場合、建物高さの推定がほとんどできなかった。強度と位相を組み合わせた結果では、31% の建物に対し誤差 20m 以内で推定ができ、RSME は 5m 程度に収まった。(学会発表(10))

土地被覆分類と建物高さの推定より、都市モデルの構築が可能となった。

2) 都市モデルと衛星画像を併用した被害検出手法の開発

建物の被害検出として、撮影時期と条件が異なる 5 時期の SAR 画像を用いて、2011 年東北地方太平洋沖地震で事故が発生した福島第一原子力発電所内の原子炉・タービン建

屋の被害と、その後の復旧状況を把握した。詳細な建物寸法と高さを用いて、後方散乱の反射モデルを作成して、入射方向と入射角度による違いを検討した。東方向から観測された2011年3月18日の画像では、原子炉建屋1号機の倒れ込み域内で、水素爆発により露出した鉄骨が鮮明に確認できた。また、同画像上における2号機の倒れ込み範囲と比べて、壁の損傷によりレーダの後方散乱強度が低下した。マイクロ波が鉄骨の間に透過したことで、1号機のレーダ影域は2号機に比べて明るくなった。西方向から観測した2011年3月31日では1号機が損傷して鉄骨の状態であるが、倒れ込み域が西側にある建物の反射と重なり、強度画像から確認できなかった。しかし、建屋カバーが作られた2013年9月7日の画像に比べて、後方散乱が弱いことから壁が損傷したことが分かる。また、レーダ影域ではカバーがマイクロ波を遮断したことで、タービン建屋からの反射がなくなり、1号機の復旧作業が進んでいることを確認できた。(雑誌論文(5), 学会発表(8))

つぎに、橋梁の反射モデルを構築し、2011年東北地方太平洋沖地震における橋梁被害の検出を行った。過去の研究¹⁾によると、水面を横過する大規模な橋梁は、橋軸とマイクロ波の照射方向(レンジ方向)のなす鋭角が90°のとき、倒れこみ、2回反射と3回反射の影響により3本の縞状に投影される。この反射モデルを踏まえ、東京ゲートブリッジ、レインポブリッジ、鶴見つばさ橋、横浜ベイブリッジの4本の大規模橋梁と、隅田川とその派川を横過する12本の小規模な橋梁の投影特性を検討した。平時における桁橋では照射角が0°に近づくほど表面散乱の割合が高くなり、90°に近づくほど2回反射散乱の割合が高くなることがわかった。さらに、災害後1時期の航空機SAR画像から橋梁津波被害の把握を試みた。2011年東北地方太平洋沖地震による津波によって被害を受けた地域から、国総研資料をもとに、津波による被害を受けた15橋梁を選定した。国土地理院が公開した道路と水域のデータから、橋梁の輪郭を抽出し、反射モデルを作成した。全偏波航空機SAR画像を4成分散乱電力分解し、散乱電力のカラー合成画像から橋梁の津波被害を目視判読と反射強度を用いた検出を行った。津波被害を受けた代表的な3橋梁を図-1に示す。(雑誌論文(1, 4), 学会発表(1, 2))

Bridge No.	Post-event TSX	Post-event Pi-SAR-X2	Pre-event optical image (Google Earth)	Post-event optical image (GSI aerial photo)
61				
96				
101				

図-1 代表的な被害橋梁の地震後 SAR 画像と地震前後の光学画像

3) 災害の緊急対応と被害検出

2015年9月関東・東北豪雨において、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、茨城県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。鏡面反射によって、SAR画像における水域は、他の土地被覆より低い後方散乱係数を示す特徴がある。そのため、閾値より容易に抽出できる。豪雨通過前の8月13日の画像を用いて、河川内の後方散乱係数を分析し、水域抽出の閾値を設定した。豪雨発生後の画像から、閾値より後方散乱係数の低い部分を浸水域としてそれぞれ抽出した。しかし、Lバンドでは波長が長いので、道路や農地でも低い後方散乱係数を示す部分があり、水域として誤抽出されることが多かった。これらの誤抽出を減すため、国土地理院の基盤地図情報より、5mのデジタル標高モデルを使用した。9月10日12時に三坂町での堤防決壊より、9月11日の夜に撮影された画像では広域の浸水が見られた。図-2に示す国土地理院が公開した空中写真による目視推定範囲と比較し、概ね一致した結果が得られた。(学会発表(9))

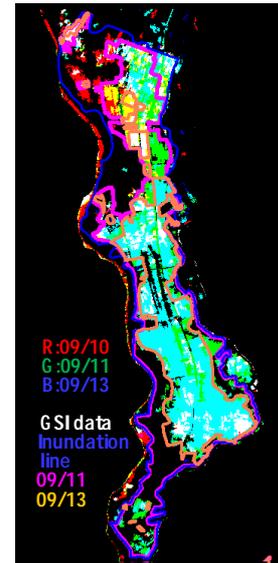


図-2 常総市における浸水域のモニタリング

2016年熊本地震では、航空機レーザーデータを用いて、断層周辺の地殻変動を検出し、益城町における斜面崩壊域の抽出と建物の被害判読を行った。本震前後に撮影されたレーザーデータを100mメッシュに分割し、各メッシュにおけるサブピクセル単位のマッチングを行った。メッシュ内の平均移動量を地殻変動とみなす。布田川断層付近で右ズレが検出できた。20kmごとに設置している国土地理院の電子基準点の観測データと概ね一致した結果が得られた。つぎに、得られた地殻変動量を本震後のレーザーデータから除き、本震前のデータとの差分を算出し、斜面崩壊箇所と倒壊建物の抽出を行った。益城町堂園・西原村に発生した斜面崩壊のうち、5箇所の大規模崩壊を特定できた。また、補正後のレーザー差分より、建物高さの減少と被害ランクの関係を明らかにした。また、地震前後に撮影されたALOS-2 PALSAR-2画像を用いて、強度相関とコヒーレンスによる建物の被害検出を行った。現地調査の結果と比較して、コヒーレンスの方が精度のよい結果が得られた。(雑誌論文(3))

<参考文献>

1) U. Soergel, H. Gross, A. Thiele, U. Thoennessen: Extraction of bridges over water in multi-aspect high-resolution InSAR data, International Archives of The Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XXXVI(3), 185-190, 2006.

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) Wen Liu, Fumio Yamazaki: Extraction of collapsed bridges due to the 2011 Tohoku-oki earthquake from post-event SAR images, Journal of Disaster Research, Vol. 13, No. 2, 2018, pp. 281-290.
DOI: 10.20965/jdr.2018.p0281 (査読あり)

(2) Homa Zakeri, Fumio Yamazaki, Wen Liu: Texture analysis and land cover classification of Tehran using Polarimetric Synthetic Aperture Radar imagery, Applied Sciences. Vol. 7, No. 5, 2017, 452.
DOI: 10.3390/app7050452 (査読あり)

(3) Wen Liu, Fumio Yamazaki: Extraction of collapsed buildings due to the 2016 Kumamoto earthquake based on multi-temporal PALSAR-2 data, Journal of Disaster Research, Vol.12, No.2, 2017, pp. 241-250.
DOI: 10.20965/jdr.2017.p0241 (査読あり)

(4) 井上和樹, リュウ・ウェン, 山崎文雄: 高分解能衛星 SAR 画像の変化抽出に基づく津波による橋梁被害把握, 日本地震工学会論文集, Vol. 17, No. 5, 2017, pp.48-59.
DOI: 10.5610/jae.17.5_48 (査読あり)

(5) Wen Liu, Fumio Yamazaki, Tadashi Sasagawa: Monitoring of the recovery process of the Fukushima Daiichi nuclear power plant from VHR SAR images, Journal of Disaster Research, Vol. 11, No. 2, 2016, 236-245.
DOI: 10.20965/jdr.2016.p0236 (査読あり)

[学会発表](計 23 件)

(1) リュウ・ウェン, 澤可那子, 山崎文雄: 高分解能 SAR 画像における橋梁の反射特性に関する基礎的検討, 土木学会第 72 回年次学術講演会講演概要集, IV-139, pp.277-278, 2017.

(2) Wen Liu, Kanako Sawa, Fumio Yamazaki: Backscattering characteristics of bridges from high-resolution X-band SAR imagery,

Proc. the International Symposium on Remote Sensing 2017, pp. 324-327, 2017.

(3) Fumio Yamazaki, Natsuki Samuta, Wen Liu: Land-cover classification of suburban areas based on multi-polarized airborne SAR data using texture measures, Proc. Electromagnetics Research Symposium 2017, pp. 2772-2778, 2017.

(4) 佐無田夏希, リュウ・ウェン, 山崎文雄: 多偏波 SAR 画像によるテクスチャを用いた土地被覆分類の基礎的検討, 日本リモートセンシング学会第 61 回学術講演会論文集, pp.91-94, 2016.

(5) Homa Zakeri, Wen Liu, Fumio Yamazaki: Land-cover classification of Tehran using L- and C-band Synthetic Aperture Radar imagery, Proc. 37th Asian Conference on Remote Sensing, pp.619-628, 2016.

(6) Wen Liu, Fumio Yamazaki: Damage detection in the 2015 Nepal earthquake using ALOS-2 satellite SAR imagery, Proc. 10th Pacific Conference on Earthquake Engineering, ID-205, 2015.

(7) Wen Liu, Fumio Yamazaki: Detection of landslides due to the 2013 Typhoon Wipha from high-resolution airborne SAR images, 2015 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, pp. 4244-4247, 2015

(8) リュウ・ウェン, 水野真靖, 山崎文雄, 野中崇志, 笹川正: 高分解能 SAR 画像を用いた福島第一原子力発電所の状況把握, 土木学会第 70 回年次学術講演会講演, pp.125-126, 2015.

(9) リュウ・ウェン, 山崎文雄: ALOS-2 画像を用いた 2015 年 9 月関東・東北豪雨による浸水域把握, 日本リモートセンシング学会第 59 回学術講演会論文集, pp. 103-104, 2015.

(10) リュウ・ウェン, 鈴木賢太郎, 山崎文雄, 笹川正: TerraSAR-X 干渉画像を用いた高層建物の高さ抽出, 日本リモートセンシング学会第 58 回学術講演会論文集, pp. 77-78, 2015.

[その他]

ホームページ等
<http://ares.tu.chiba-u.jp>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

劉 ウェン (LIU, Wen)

千葉大学・大学院工学研究院・助教

研究者番号: 60733128