

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 15 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25282117

研究課題名(和文) 広域被災地の早期把握を目的としたマルチセンサ画像処理技術の高度化

研究課題名(英文) Multi-sensor based image analysis for early and wide damage detection

研究代表者

松岡 昌志 (Matsuoka, Masashi)

東京工業大学・総合理工学研究科・准教授

研究者番号：80242311

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、東日本大震災等および諸外国での被害地震・津波を観測した画像を用いて、既往の被害抽出精度の向上を目的とした新たな画像処理手法の開発を進めると共に、災害対応期における大量かつ複数のセンサから得られる被害抽出手法の統合処理モデルを提案することを目的として、主な成果として、光学画像とSAR画像を統合した津波や洪水の浸水域の抽出手法の構築、複数の航空写真による対象地域の3次元モデルの復元と被害抽出手法を提案した。

研究成果の概要(英文)：We developed an estimation model for calculating the water occupancy based on satellite SAR observation, comparing backscattering coefficients of the ALOS PALSAR image and the water fraction information derived from SMA method, which is applied to the Landsat-7 ETM+ reflectance image observing the 2011 Bangkok flood and the 2011 Tohoku earthquake tsunami.

We performed the three-dimensional building damage models, created by applying the SfM-MVS technology to images taken by the aerial photographs of the site of the Hiroshima heavy rain disaster in 2014, a three-dimensional model was generated and we clarified the relationship between the spatial resolution and the accuracy of the aerial photographs by comparison with the LiDAR data. Furthermore, a three-dimensional model was created from the images taken before and after the Great Hanshin-Awaji earthquake, and the building damage was extracted from the altitude differences in the buildings measured in these two different periods.

研究分野：防災リモートセンシング

キーワード：防災 リモートセンシング 自然災害 画像

1. 研究開始当初の背景

我が国においては、1995年の阪神淡路大震災における被害情報収集の遅れに対する反省として、現地に行かずとも面的な情報が取得できるリモートセンシング技術が注目され、被災地を観測した航空写真や人工衛星画像と実際の被害状況との比較が様々な研究者により精力的に実施された。観測時の気象条件の影響を受けずに広域を観測できる合成開口レーダ (SAR) に着目し、建物被害の定量的な把握を目的とした画像処理手法や2011年東日本大震災での浸水域の推定が試みられている。地震による被害は国や地域によって様相が異なるが、迅速な被害抽出のためにはできるだけ汎用的かつ簡便な手法が望まれるものの、これらの既往研究や成果は、限られたデータセットに基づいているため、近年の多種多様なリモートセンシングセンサや観測条件、複数の観測時期、より広域範囲を観測した画像への適用について、実現可能性については実証できていない。

2. 研究の目的

巨大地震・津波災害の応急対応や効果的な復旧活動には、被災地を観測した膨大なデータを処理して、被害域をタイムリーに抽出し、意志決定に適した定量的な被害情報に変換した上でステークホルダーに提供する必要がある。本課題は、人工衛星や無人機 (UAV) などのプラットフォームに搭載された高解像度光学センサや合成開口レーダ (SAR) からの被害抽出に最適な画像処理技術の提案と開発を行う。具体的には、東日本大震災および諸外国での被害地震・津波を観測した画像を用いて、既往の被害抽出精度の向上を目的とした新たな画像処理手法の開発を進めると共に、即時性を重視した手法の簡便化と定量化を行う。そして、災害対応期における大量かつ異種データを効率良く利用する枠組みとして、複数のセンサから得られる被害抽出結果の標準化に基づく統合処理モデルを提案する。

3. 研究の方法

(1) SAR 画像からの建物被害検出

2010年ハイチ地震を対象に、地震前後 SAR 画像のみからの被害検出を行う。その際に建物密集度やマイクロ波照射方向と被害検出精度の関係を明らかにする。

(2) マルチセンサ統合処理による浸水域の定量評価

2011年東日本大震災、2013年フィリピン台風、2011年タイ洪水を対象に、光学センサ画像による Spectral Mixture Analysis (SMA) を用いた水占有率の推定、さらに、SAR 画像の後方散乱係数との水占有率の関係式の構築と、両センサの統合処理を行う。

(3) 複数写真からの 3次元モデル作成と被害把握への応用

2014年広島豪雨災害により被害を受けた

被災地を撮影した写真群に対して、SfM-MVS (Structure from Motion / Multi-View Stereo) 技術を適用して3次元モデルを作成し、高さ精度について検証を行う。また、1995年の阪神・淡路大震災を対象に、被災地を撮影した地震前後の写真群に SfM-MVS を適用して、3次元モデルからの建物被害の抽出を行う。

4. 研究成果

(1) SAR 画像からの建物被害検出

高分解能 SAR 画像による建物被害の検出精度の向上を目指して、2010年ハイチ地震の被災地を対象として、撮影方向が異なる2ペアの地震前後の SAR 画像を用いて、個々の建物の倒壊の有無を判別する解析を行った。まず、撮影方向がほぼ同一の1ペアの画像と建物フットプリントデータを用いて、地震前後の強度差分値と相関係数に基づく線形判別解析から、それぞれの検出精度を比較したところ、画像の撮影方向と建物の立地方向の関係によって精度が変化することを明らかにした。さらに、2ペアの画像を用いた判別解析を行い、1ペアの画像解析に比べて検出精度がやや向上することを示した。また、建物密集度との関係では、建物規模が大きく密集度が低い建物の検出精度は比較的高いが、小規模で密集度が高い建物の検出はやや困難であることを、建物面積との関連から定量的に明らかにした (図-1)。

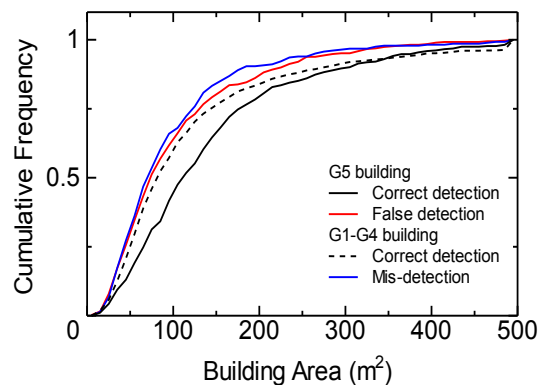


図-1 被害検出における建物面積の累積頻度 (未検出・誤検出の建物は 70m²以下が約 50%, 検出成功の G5 被害建物の約 75%は 70m²以上)

(2) マルチセンサ統合処理による浸水域の定量評価

洪水や津波による浸水域を把握するために光学衛星データによる混合スペクトル解析、Spectral Mixture Analysis(SMA)により水占有率を算出し、浸水域を定量的に評価した。さらに SMA による水占有率と合成開口レーダの後方散乱係数の関係から換算モデルを構築し、光学衛星データの欠点を補間するために SAR 画像と組み合わせて浸水域の定量的な抽出を行った。はじめに、2011年タイ・

バンコクの洪水被害を対象に、Landsat-7 ETM+反射率画像に対して SMA により水占有率を算出し、IKONOS 衛星の高解像度画像を用いて精度検証を行った (図-2)。同様に、東北地方太平洋沖地震後の Landsat-7 ETM+画像に SMA を適用して水占有率を求め、ALOS PALSAR 画像との比較に基づき、後方散乱係数から水占有率を推定する回帰式を求め、光学センサと PALSAR 画像の統合により、広域かつ欠損のない浸水域把握が可能になった (図-3)。また、構築した手法により、浸水被害の広域把握が可能なることを 2015 年の関東・東北豪雨災害の被災地に適用し、関係各機関に情報を提供した。

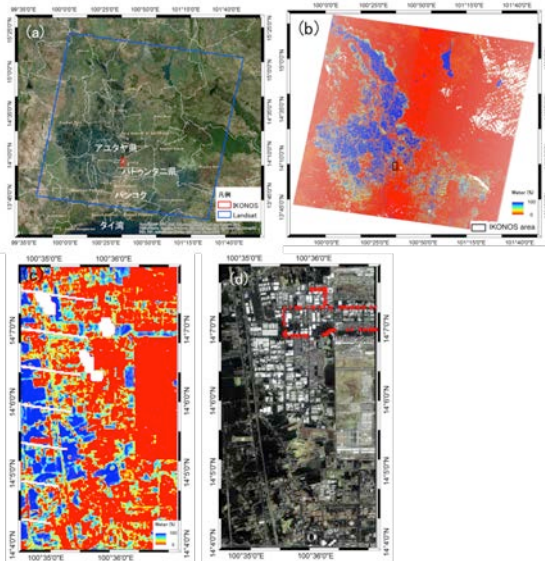


図-2 (a) Landsat-7 ETM+及び IKONOS 画像の範囲、(b) Landsat-7 ETM+画像の全域に SMA を適用して得られた水占有率画像、(c) 図 2 (b)を IKONOS と同じ範囲に切り出した水占有率画像、(d) IKONOS 画像と現地写真の撮影地点 (赤印)

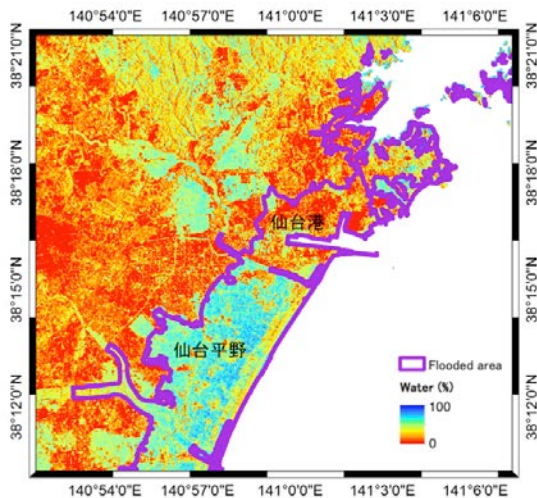


図-3 ALOS PALSAR の後方散乱係数画像から回帰式を用いて算出した仙台平野における水占有率マップ

(3) 複数写真からの 3 次元モデル作成と被害把握への応用

地震等により生じる建物被害は甚大な人的被害や経済損失をもたらす、その範囲は広域に及ぶことがあげられる。災害時には航空機等により被災地観測が行われ、その多くは広域撮影を目的とした直下視に近い方向で撮影された写真である。しかし、層崩壊のような形態の建物被害は、直下視写真から判読することは難しく、建物高さの推定のためには空中三角測量が必要であった。一方、コンピュータビジョン分野において近年発展してきた SfM-MVS (Structure from Motion / Multi-View Stereo) は、対象物を様々な角度から撮影した多数の写真から簡便かつ高精度に 3 次元モデルを生成する技術であり、被災地観測の観点では直下視写真だけでなく斜め写真も活用することができることから、高さ変化を伴う建物被害を効率よく抽出できる可能性がある。そこで、本研究では、異なる観測条件にて被災地を撮影した複数枚の空撮写真に SfM-MVS 技術を適用して 3 次元モデルを作成し、被災前後の 3 次元モデルから建物被害の抽出を試みた。

まず、2014 年広島豪雨災害の被災地を撮影したヘリコプターからの写真を用いて作成した 3 次元モデルの高さ方向精度を検証した。具体的には、建物部分における高さの復元精度は現地調査で得た実測値と比較し、土砂流出部分を含む約 48,000m² の範囲では LiDAR データの実測値と比較した。その結果、急な高さ変化が生じる瓦礫や建物外周において 3 次元モデルと実測値には差が生じたものの、土砂流出域では約 0.2m、検証範囲全体では約 1.6m の精度で高さ復元が可能であった (図-4)。次に、写真の空間解像度を変化させて作成した 3 次元モデルについて同様の比較を行い、写真の空間解像度と高さ精度の関係を明らかにした。

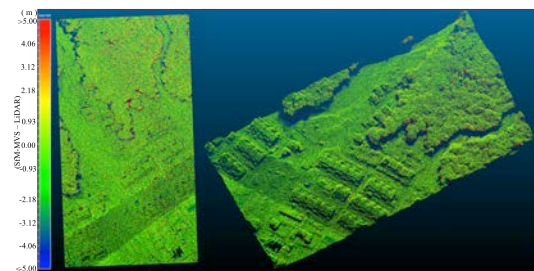


図-4 SfM-MVS にて作成した 3 次元モデルと LiDAR の差分値

次に、1995 年阪神・淡路大震災の前後に被災地を撮影した直下視の空撮写真に SfM-MVS 技術を適用することで震災前後の 3 次元モデルを作成し (図-5)、両モデルの点群から高さの差分を算出した。そして、上述した広島豪雨災害の精度検証結果に基づき空間解像度と高さの誤差の関係を直線回帰により求め、空間解像度が劣る震災前の写真

の解像度を参考にして3次元モデルの推定誤差を算出した。その誤差を閾値として、建物点群全体に対して、震災前後の高さの差分が閾値を超える点群の割合が20%以上の建物を被害ありとして抽出し(図-6)、建物被災度調査および空撮写真の目視判読から作成した被害データと比較した。その結果、目視判読にて高さ変化が確認できた建物において、約80%の精度で被害抽出が可能であった。また、直下視写真からは被害が確認できない層崩壊建物においても3次元モデルから被害が抽出できることを示し、震災後の斜め写真群から作成した3次元モデルからは層崩壊被害の詳細情報が得られることを示した。



図-5 (a) 直下視の被災前モデル, (b) 直下視の被災後モデル, (c) 直下視と斜め写真を統合したモデル



図-6 建物被害の抽出結果

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9件)

- ① Hideomi GOKON, Shunichi KOSHIMURA, Masashi MATSUOKA: Object-based Method for Estimating

Tsunami-induced Damage Using TerraSAR-X data, *Journal of Disaster Research*, 査読有り, Vol.11, No.2, pp.225-235, 2016.3. [doi: 10.20965/jdr.2016.p0225]

- ② 郷右近英臣, 越村俊一, 松岡昌志: TerraSAR-X 画像の建物一棟ベース・解析区画ベース解析の融合による津波被災地の建物流出被害の把握, *日本地震工学会論文集*, 査読有り, Vol.16, No.3 (特集号), pp.147-156, 2016.3. [doi: 10.5610/jaee.16.3_147]
- ③ 篠原崇之, 松岡昌志, リュウ・ウエン, 山崎文雄: 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, *日本地震工学会論文集*, Vol.16, No.3 (特集号), 査読有り, pp.157-168, 2016.3. [doi: 10.5610/jaee.16.3_157]
- ④ Hiroyuki MIURA, Saburoh MIDORIKAWA, Masashi MATSUOKA: Building Damage Assessment Using High-Resolution Satellite SAR Images of the 2010 Haiti Earthquake, *Earthquake Spectra*, 査読有り, Vol.32, No.1, pp.591-610, 2016.2. [doi:10.1193/033014EQS042M]
- ⑤ 三浦弘之, 翠川三郎, 松岡昌志: 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, *日本地震工学会論文集*, 査読有り, Vol.15, No.7 (特集号), pp.390-403, 2015.12. [doi: 10.5610/jaee.15.7_390]
- ⑥ Wen LIU, Fumio YAMAZAKI, Masashi MATSUOKA, Takashi NONAKA, Tadashi SASAGAWA: Estimation of three-dimensional crustal movements in the 2011 Tohoku-Oki, Japan, earthquake from TerraSAR-X intensity images, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 査読有り, No.15, pp.637-645, 2015.3. [doi:10.5194/nhess-15-637-2015]
- ⑦ 郷右近英臣, 越村俊一, 松岡昌志: 合成開口レーダー画像による津波浸水ラインの半自動抽出ツールの開発, *土木学会論文集 B2 (海岸工学)*, 査読有り, Vol. 70, No. 2, pp.I_1486-I_1490, 2014.11. [doi:10.2208/kaigan.70.I_1486]
- ⑧ 郷右近英臣, 越村俊一, 松岡昌志: TerraSAR-X 画像のオブジェクトベース解析による建物被害推計技術の開発, *土木学会論文集 B2 (海岸工学)*, 査読

有り, Vol. 70, No. 2, pp.I_1481-I_1485, 2014.11. [doi:10.2208/kaigan.70.I_1481]

- ⑨ 堺友里, 越村俊一, 松岡昌志: 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), 査読有り, Vol.69, No. 2, pp.I_1456-I_1460, 2013.11. [doi:10.2208/kaigan.69.I_1456]

[学会発表] (計 18 件)

- ① Hiroyuki KAWANO, Masashi MATSUOKA, Toshiaki SATOH, Hideo SUZUKI, Isao SATO, and Jun MIURA: 3D Model Generation Using Aerial Image Observing the 2014 Hiroshima Debris Flow and Comparison with LiDAR Data, Proc. 36th Asian Conference on Remote Sensing, 6p., 2015.10.19-23 フィリピン・マニラ
- ② Fumitaka OGUSHI, Takayuki SHINOHARA, Masashi MATSUOKA: Surface Displacement due to the 2014 North Nagano, Japan Earthquake Estimated from Differential Interferometry Technique with ALOS-2 PALSAR-2 Data, Proc. International Geoscience and Remote Sensing Symposium 2015, IEEE, pp.3532-3535, 2015.7.26-31 イタリア・ミラノ
- ③ Bruno ADRIANO, Erick MAS, Shunichi KOSHIMURA, Hideomi GOKON, Wen LIU, Masashi MATSUOKA: 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, Proc. International Geoscience and Remote Sensing Symposium 2015, IEEE, pp.3579-3582, 2015.7.26-31 イタリア・ミラノ
- ④ 佐藤俊明, 松岡昌志: 異なる計測機器による同時期の大学キャンパス計測とその3次元モデル化, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 情報システム技術, pp.39-40, 2015.9.4-6 東海大学
- ⑤ 篠原崇之, 松岡昌志, リュウ ウェン, 山崎文雄: 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, 第 14 回日本地震工学シンポジウム論文集, pp.2503-2512, 2014.12.4-6 幕張メッセ
- ⑥ 三浦弘之, 翠川三郎, 松岡昌志: 高分解能 SAR 画像による建物被害検出に及ぼ

す撮影方向の影響に関する基礎的検討, 第 14 回日本地震工学シンポジウム論文集, pp.2518-2527, 2014.12.4-6 幕張メッセ

- ⑦ 河野洋行, 篠原崇之, 松岡昌志: 2014 年広島土砂災害における空撮写真を用いた地形モデルの作成と LiDAR データとの比較, 地域安全学会梗概集, No.35, pp.69-70, 2014.11.7-8 静岡県地震防災センター
- ⑧ 篠原崇之, 松岡昌志, リュウ ウェン: 2011 年東北地方太平洋沖地震の津波被災域における水占有率と後方散乱係数の関係, 地域安全学会梗概集, No.35, pp.29-30, 2014.11.7-8 静岡地震防災センター
- ⑨ 佐藤俊明, 橘菊生, 松岡昌志: 高感度カメラを用いた暗所における SfM の試み, 日本写真測量学会平成 26 年度秋季学術講演会発表論文, pp.101-102, 2014.11.7-9 福井国際交流会館
- ⑩ Wen LIU, Masashi MATSUOKA, Bruno ADRIANO, Erick MAS, Shunichi KOSHIMURA: Damage Detection due to the Typhoon Haiyan from High-resolution SAR Images, Proc. International Geoscience and Remote Sensing Symposium, IEEE, pp.4828-4831, 2014.7.13-17 カナダ・ケベック
- ⑪ Bruno ADRIANO, Hideomi GOKON, Erick MAS, Shunichi KOSHIMURA, Wen LIU, Masashi MATSUOKA: Extraction of Damaged Areas due to the 2013 Haiyan Typhoon using ASTER Data, Proc. International Geoscience and Remote Sensing Symposium, IEEE, pp.2154-2157, 2014.7.13-17 カナダ・ケベック
- ⑫ Takayuki SHINOHARA, Wen LIU, Masashi MATSUOKA: Spectral Mixture Analysis for Typhoon-Induced Inundation Mapping in Negros and Cebu Islands, the Philippines, Proceedings of International Symposium on Remote Sensing 2014, B08-3, 4p., 2014.4.16-18 韓国・釜山
- ⑬ 松岡昌志: 2011 年東北地方太平洋沖地震津波の被災地を観測した TerraSAR-X 画像による建物流出率推定モデルの構築, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 II, pp.1149-1150, 2013.8.30-9.1 北海道大

[図書] (計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）

○取得状況（計 0 件）

〔その他〕

ホームページ等

画像処理による被害把握の実践と成果

<https://sites.google.com/site/matsuokamtokyotec/h/research/response>

6. 研究組織

(1)研究代表者

松岡 昌志 (MATSUOKA, Masashi)

東京工業大学・総合理工学研究科・准教授

研究者番号：80242311

(2)研究分担者

三浦 弘之 (MIURA, Hiroyuki)

広島大学・工学研究科・准教授

研究者番号：30418678

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

佐藤 俊明 (SATO, Toshiaki)

東京工業大学・総合理工学研究科・連携准教授

研究者番号：50567146

(平成 25 年度は研究協力者)