

令和 2 年 6 月 19 日現在

機関番号： 11301
研究種目： 国際共同研究加速基金（国際共同研究強化）
研究期間： 2016～2019
課題番号： 15KK0226
研究課題名（和文）リモートセンシングとソーシャルセンシングの融合による被災地支援策の刷新（国際共同研究強化）
研究課題名（英文）Enhancing Post-disaster Recovery by Fusion of Sensing and Simulation(Fostering Joint International Research)
研究代表者
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
交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 10,900,000円
渡航期間： 7ヶ月

研究成果の概要（和文）：国連宇宙局およびドイツ航空宇宙センターとの共同研究として、津波災害対応の高度化のためのシミュレーションとリモートセンシングの統合技術の実証と国際展開に向けた研究を実施した。

津波の広域被害把握のためのリモートセンシングの活用について、浸水域・遡上特性の把握、建物被害の抽出、瓦礫の把握、被災者の探索という課題に着目して、研究の現状と展望を整理し、レビュー論文としてまとめることができた。多様なプラットフォームの利用、センサ性能と分解能の向上、情報通信技術の発展、機械学習・深層学習による画像認識のAI化により、今後の飛躍的な発展が期待できることがわかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

2015年国連防災世界会議において発足したGlobal Partnership on Space Technology Applications for Disaster Risk Reduction(GP-STAR)への参画と標準技術の提案、World Bosai Forumでは仙台防災枠組の目標達成の評価に寄与するかについて、6つの視点：(1)定量的な被害の把握手法の確立、(2)観測の迅速性向上、(3)有用な地図プロダクトの開示、(4)クラウドソーシングの推進、(5)衛星コンステレーションの改善、(6)多様なセンサ・プラットフォームの活用についての課題・展望を明らかにすることができた。

研究成果の概要（英文）：As a joint research with the United Nations Office for Outer Space Affairs and the German Aerospace Center, the study was conducted to demonstrate and deploy an integrated simulation and remote sensing technology for advanced tsunami disaster response.

One of the research outcome summarizes the current status and prospects of the research on the use of remote sensing for tsunami damage assessment in a wide area, focusing on the following issues; assessment of the inundation area, extraction of building damage, debris, and search for victims. Also, the use of various platforms, the improvement of sensor performance and resolution, enhancing communication technology, and the use of AI for image recognition are expected to enhance the technology dramatically in the future.

研究分野：津波防災工学

キーワード：リモートセンシング 津波 広域被害把握

様式 F-19-2

1. 研究開始当初の背景

(1) 巨大災害後の対応や被災地での救援活動において最も重要なことの一つは被害の全容把握である。地震や津波といった巨大災害の発生直後は、激甚な被害を受けた地域からの情報が断片的となり、被害の全容把握が極めて困難になるとともに、被災地での救援活動や復旧活動も難航する。

(2) 2011年東北地方太平洋沖地震津波の被災地は広大で、発災直後に激甚な被災地がどこにあるかを把握することが不可能であった。現地での被害把握に関する対応は、調査期間や人的資源の制約により限界があるため、被災地外からの情報収集が必要である。

2. 研究の目的

(1) 巨大災害に見舞われた被災地は、被害状況や必要とされる支援に関する情報を発信することができない。本研究は、上記問題意識に立脚し、被災地外からの広域被害把握と支援ニーズの把握を、リモートセンシングにより実現することを目的とする。

(2) 上記目的に対し、衛星リモートセンシングによる津波被災地の広域被害把握、広域被害情報からの被災地支援ニーズの推定、災害対応における地球観測技術の国際標準化と国際協力枠組みへの実装という3つのテーマに取り組んだ。

3. 研究の方法

(1) 津波の広域被害把握について、特に津波浸水域と建物被害・瓦礫の空間的分布およびその規模の把握方法についてその利点・課題等をまとめた。表1に広域被害把握に用いられるセンサ・プラットフォーム、および解析手法についてまとめた。

(2) 災害リモートセンシングに利用されるプラットフォームは、現在では人工衛星から航空機、無人機など、幅広い選択肢がある。センサについては、主に可視光・近赤外を捉える光学センサ、合成開口レーダ、LiDAR (Light Detection and Ranging) が用いられる。把握したい項目や用途、把握したい時期、空間スケールに応じて適切なセンサ、プラットフォームを検討し、その性能を評価した。また、国際的な枠組みでの解析技術標準化や観測体制のあり方についても検討した。

表1 津波の広域被害把握のためのセンサ・プラットフォーム

抽出内容	センサ・プラットフォーム	解析手法
浸水域	航空写真, 無人機, 衛星センサ (光学), 合成開口レーダ	目視, 画像フィルタ, 変化抽出
建物被害	航空写真, 無人機, 合成開口レーダ	目視, 変化抽出, 機械学習, 深層学習
瓦礫量	航空写真, 衛星センサ (光学), 合成開口レーダ, LiDAR	機械学習, 3次元計測

4. 研究成果

(1) 広域被害把握という観点では、津波浸水域および陸上の津波の振る舞い（遡上特性）をどのようにして把握するかが最初の課題である。2011年東北地方太平洋沖地震発生直後には、複数の機関による緊急観測が実施された。例えば JAXA は 2011 年当時、陸域観測技術衛星「だいち」を運用しており、標高などの地表の地形状況を把握するパンクロマチック立体視センサ (PRISM)、土地被覆や土地利用状況の把握のための可視近赤外放射計 2 型 (AVNIR-2)、および昼夜を問わず陸域観測が可能な L バンド合成開口レーダ (PALSAR) の 3 つの地球観測センサを搭載していた。AVNIR-2 センサは、可視光の 3 バンドに加え、近赤外のセンサもあり、地上分解能は直下視で 10m である。図 1 に、2011 年 3 月 14 日に撮影された ALOS AVNIR-2 の画像を用いて作成した浸水域図を示す。津波の浸水域の抽出に、水の分光特性に着目した指標を用いて、現地調査結果を用いてキャリブレーションした。

一方、昼夜を問わず観測が可能な合成開口レーダ (SAR) による浸水域抽出技術にも期待が高い。マイクロ波の散乱強度を計測する場合、浸水域はマイクロ波の鏡面反射により、後方散乱強度は低下する。その特性を利用して、被災前後の水域変化の抽出をうまく捉えることで浸水域の抽出が可能になる。図 2 に示すのは、ドイツの X バンド合成開口レーダ TerraSAR-X の被災前後の画像を用いて、浸水域の自動抽出を行った結果である。

(2) 建物被害把握手法には多くの研究の蓄積がある。対象となる領域のスケール、得られるデータやセンサの特性に応じて使い分けることが可能になっている。例えば、発災直後に取得が可能になりつつある航空機・無人機による写真は、目視での解釈・判読が可能である。我々は震災当時、国土地理院が撮影した宮城県の被災地の航空写真を用いて、県内 16 万棟の建物被害を目視判読により抽出した。人の目で解釈・判読するので時間がかかるのが難点であるが、近年急速に発展している機械学習・深層学習の応用で、容易に自動化が進みつつあるので、問題はすぐに解消されるだろう。

昼夜・天候を問わず観測が可能な合成開口レーダを利用して、建物被害の量的な把握を可能とする手法も整備されてきた。最も知見の蓄積が進んでいるのが変化抽出法である。被災前後に撮像された画像データセットの変化（画素値の差分や相関係数）と建物被害程度を関連づけ、変化量に対する閾値の決定や分類器を構築するのが一般的である。図 3 に示すのは、2 時期の TerraSAR-X 画像から建物域をまず抽出し、Decision Tree 法に基づく分類器 (Classifier) を構築して津波被災地の建物被害抽出に適用した例である。流出建物抽出に関して 80%の正解率で把握が可能であることが実証されている。ただし、この変化抽出法が優れた結果を示せるのは、被災前後のデータが同じ撮像条件で得られた場合に限られる。被災後の画像しか得られていない場合に適用できないのが難点である。

(3) この欠点を克服し得るのが、機械学習、深層学習である。事前に建物被害の学習データを整備するか、被災直後の限られた被害データを用いて学習し、被災後のデータからのみから建物被害を抽出する手法開発が進められており、一定の成果が得られている。例えば、図 4 に示すのは、SqueezeNet という DNN (Deep Neural Network) を用いて建物域を抽出した後に wide residual networks (Wide ResNet) という畳み込みニューラルネットワークのアーキテクチャを用いて被害を分類した結果である。変化抽出法と遜色ない結果（総合精度約 75%）を得ており、適切な学習データを整備することで正確・詳細かつ迅速な被害把握が可能となる。

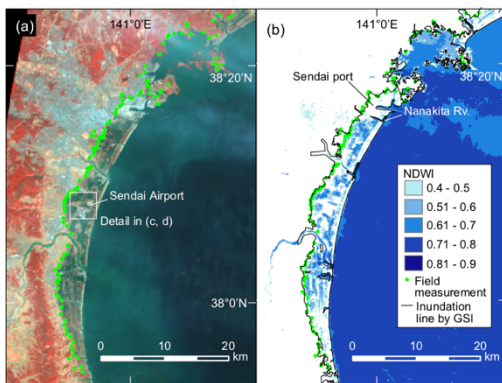


図 1 ALOS AVNIR-2 の画像から推定した津波浸水域

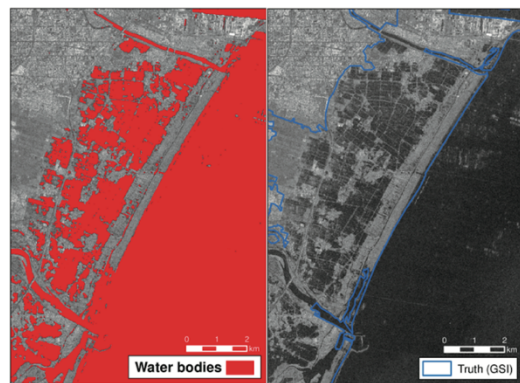


図 2 TerraSAR-X 画像を用いた仙台市の津波浸水域の自動抽出結果。左：抽出した浸水域，右：調査結果。

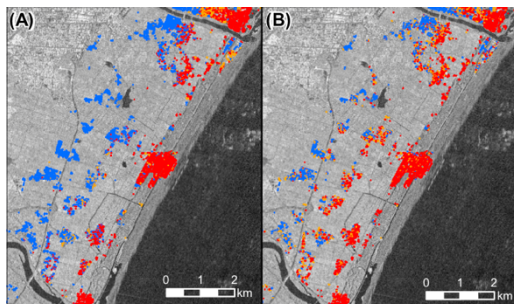


図 3 仙台市における津波による建物被害の抽出結果。(A)が TerraSAR-X 画像からの被害抽出結果，(B)が調査結果である。

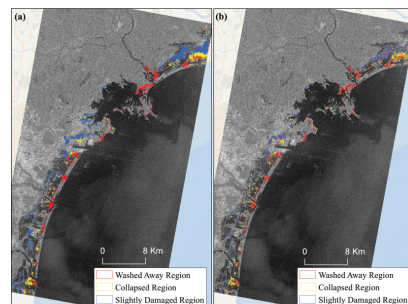


図 4 深層学習により、被災後の TerraSAR-X データのみから得られた建物被害抽出結果 7)。(a)建物被害調査結果，(b)深層学習による被害抽出結果

<引用文献>

①Koshimura, S., L. Moya, E. Mas, Y. Bai, Tsunami Damage Detection with Remote Sensing: A Review, *Geosciences*, 10(5), 2020. doi:10.3390/geosciences10050177
 ②Gokon, H., S. Koshimura, K. Meguro, Verification of a Method for Estimating Building Damage in Extensive Tsunami Affected Areas Using L-Band SAR Data, *Journal of Disaster Research*, 12(2), 251-258, 2017. doi:10.20965/jdr.2017.p0251
 ③Bai, Y., C. Gao, S. Singh, M. Koch, B. Adriano, E. Mas, S. Koshimura, A Framework of Rapid Regional Tsunami Damage Recognition from Post-event TerraSAR-X Imagery Using Deep Neural Networks, *IEEE Geoscience and Remote Sensing letters*, 2017. doi:10.1109/LGRS.2017.2772349

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 5件/うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 Bai Yanbing, Mas Erick, Koshimura Shunichi	4. 巻 10
2. 論文標題 Towards Operational Satellite-Based Damage-Mapping Using U-Net Convolutional Network: A Case Study of 2011 Tohoku Earthquake-Tsunami	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Remote Sensing	6. 最初と最後の頁 1626 ~ 1626
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/rs10101626	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Yanbing Bai, Chang Gao, Sameer Singh, Magaly Koch, Bruno Adriano, Erick Mas, Shunichi Koshimura	4. 巻 55
2. 論文標題 A Framework of Rapid Regional Tsunami Damage Recognition from Post-event TerraSAR-X Imagery Using Deep Neural Networks	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/LGRS.2017.2772349	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Yanbing Bai, Bruno Adriano, Erick Mas, Shunichi Koshimura	4. 巻 12
2. 論文標題 Machine Learning Based Building Damage Mapping from the ALOS-2/PALSAR-2 SAR Imagery: Case Study of 2016 Kumamoto Earthquake	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Disaster Research	6. 最初と最後の頁 646-655
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20965/jdr.2017.p0646	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Hideomi Gokon, Shunichi Koshimura, and Kimiro Meguro	4. 巻 12
2. 論文標題 Verification of a Method for Estimating Building Damage in Extensive Tsunami Affected Areas Using L-Band SAR Data	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Disaster Research	6. 最初と最後の頁 251-258
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20965/jdr.2017.p0251	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Yanbing Bai, Bruno Adriano, Erick Mas, Hideomi Gokon, and Shunichi Koshimura	4. 巻 12
2. 論文標題 Object-Based Building Damage Assessment Methodology Using Only Post Event ALOS-2/PALSAR-2 Dual Polarimetric SAR Intensity Images	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Disaster Research	6. 最初と最後の頁 259-271
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20965/jdr.2017.p0259	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Bruno Adriano, Junshi Xia, Gerald. Baier, Naoto Yokoya, Shunichi Koshimura	4. 巻 11
2. 論文標題 Multi-Source Data Fusion Based on Ensemble Learning for Rapid Building Damage Mapping during the 2018 Sulawesi Earthquake and Tsunami in Palu, Indonesia	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Remote Sensing	6. 最初と最後の頁 1-18
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/rs11070886	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Luis Moya, Yukio Endo, Genki Okada, Shunichi Koshimura, Erick Mas	4. 巻 11
2. 論文標題 Drawback in the Change Detection Approach: False Detection during the 2018 Western Japan Floods	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Remote Sensing	6. 最初と最後の頁 1-19
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/rs11192320	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Luis Moya, Abdul Muhari, Bruno Adriano, Shunichi Koshimura, Erick Mas, Luis R. Marval-Perez, Naoto Yokoya	4. 巻 242
2. 論文標題 Detecting urban changes using phase correlation and l1-based sparse model for early disaster response: A case study of the 2018 Sulawesi Indonesia earthquake-tsunami	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Remote Sensing of Environment	6. 最初と最後の頁 1-15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.rse.2020.111743	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 3件 / うち国際学会 5件）

1. 発表者名 Shunichi Koshimura and Takumi Fukuoka
2. 発表標題 Three-Dimensional Mapping of Tsunami Debris using Optical Sensor and LiDAR Data
3. 学会等名 EGU General Assembly 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shunichi Koshimura
2. 発表標題 Enhancement of Earth Observation and Modeling for Enhancing Tsunami Disaster Resilience
3. 学会等名 11th Aceh International Workshop and Expo on Sustainable Tsunami Disaster Recovery (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shunichi Koshimura, Joachim Post
2. 発表標題 Enhancing Earth Observation and Modeling for Tsunami Disaster Response and Management
3. 学会等名 EGU General Assembly 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Shunichi Koshimura
2. 発表標題 Integrating real-time simulation, earth observation, and geo-informatics for assessing tsunami impact
3. 学会等名 27th IUGG General Assembly (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shunichi Koshimura
2. 発表標題 How Modeling and Simulation Can Help Improve Coastal Communities' Preparation, Defense, and Recovery from Disaster: Insights from Japan's Experiences
3. 学会等名 US - Japan Relationship Conference Series (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

GP-STAR http://www.un-spider.org/network/post2015_drr
--

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
主たる渡航先の主たる海外共同研究者	ポスト ヨアヒム (Post Joachim)	国連宇宙局・UN-SPIDER Bonn Office・主任研究員	
主たる渡航先の主たる海外共同研究者	ポスト ヨアヒム (Post Joachim)	ドイツ航空宇宙センター・German Aerospace Center・マネージャ	2017年より国連宇宙局より異動