

研 究 報 告 書

「衛星リモートセンシングから得られる時空間ビッグデータの機械学習による地震被害の判別」

研究期間： 2019 年 4 月～2021 年 3 月

研究者番号： 50228

研 究 者: 宮本 崇

1. 研究のねらい

大地震が生じた際の人命救助などの初動対応を円滑に行う上で、建物の倒壊状況などの被害情報の収集は重要となる。被害情報は現状では人的に収集されているが、近年は人工衛星画像の分析が被害情報の把握手段として注目を受けている。衛星画像は高速に広範囲を撮影する一方で、その解像度の限界から住宅 1 棟単位の被害判別が困難とされており、重要な研究課題とされてきた。そこで本研究では、近年に発展の著しい深層学習をはじめとした機械学習手法を用いることによって、衛星画像からの住宅 1 棟単位での地震被害判別を高精度することを目的とする。

被害判別の高精度化を達成するにあたり、本研究では以下の 2 つのアイデアを導入する。

1 点目は、地震後に撮影された画像だけでなく、平常時から撮影・ストックされている衛星画像を入力データとして用いることにより、時系列での画像の変化を捉えて建物の被害判別に利用する点である。2 点目は、衛星画像に加えて建物築年代などの被害有無と関連の高い情報を補助的に用いることにより、被害判別の確度を高めようとする点である。

上記のような考えを反映させた被害判別のシステムを実現することにより、今後もハードウェア開発の継続が期待される人工衛星によって周期的に撮影・蓄積される、大規模な撮影画像群を災害時に効果的に利用するデータ処理プログラムを構築する。衛星から得られる災害情報は、都市内の監視カメラや UAV・SNS などから得られる情報などと併せて多角的に分析されることにより、災害直後の混乱期において客観的に高精度な被害情報を得る手段として活用されることが期待される。本研究提案では、そのような次世代の防災体制構築のための基幹的な要素技術の一つを開発することを狙いとする。

2. 研究成果

(1) 概要

多時期に渡る衛星画像の系列データを元に、地震によって異常が生じた箇所を検出する手法として、時系列異常検知の手法と 3 次元畳み込みニューラルネットワークの比較を行い、後者の有効性を確認した。また、衛星画像と構造物情報という異なるモードの情報を統合して被害有無を判断する手法として、マルチモーダルニューラルネットワークモデルを設計し、衛星画像単体による被害有無の判断よりも精度が大きく向上する結果を得た。

上記の 2 つの構造を統合した深層学習モデルによって、住宅の倒壊・非倒壊の判別精度を約 90%まで向上させる結果が得られた。判別に失敗した 10%のデータの分析からは、住宅の傾きや 1 階部分のみの破壊など、直上からの撮影では把握の困難な破壊形態が半数

以上を占めていることが分かった。このことから、本研究で開発したモデルは上空からの衛星画像から判別可能な住宅の倒壊を十分に把握する性能を有していると結論付けた。

開発した技術について都道府県庁や内閣府へとヒアリングを行い、初動対応や激甚災害の指定といった場面における開発技術の適用性を確認するとともに、ヒアリング先の協力の下で今後は実証実験を行うこととなった。

また、本研究を通して得られた、防災上の問題に対する機械学習手法の応用に関する知見を体系的に整理し、国内外の事例に関するレビューを行いながら論文として公表を行った。同論文では、本研究のような被災状況の把握や災害事象の予測といった課題において、データの不均衡性、機械学習モデルの説明性、データのない領域での外挿的予測性能の向上、の 3 点の克服が重要であることを指摘し、これら 3 点に対応する情報学的手法の整理を行うと共に、今後の見通しについて論述した。

(2) 詳細

研究テーマ A「衛星画像の系列データからの地震被害判別手法の検討」

平常時から撮影・保存されている衛星画像群と地震後に緊急撮影された衛星画像の比較から、地震によって異常のあった住宅を同定・検出する手法の検討を行った。大きく、

①平常時の撮影画像を正常データとして学習し、地震後の画像が正常データの範囲を外れたかどうかを判断する異常検知モデル

②地震前・地震後の画像ペアから画像特徴の時系列的変化を抽出し、被害有無を判別する時系列畳み込みニューラルネットワークモデル

の 2 種の機械学習モデルを比較検討した結果、後者の方が優位であることが分かった(図 1)。



図 1 衛星画像の系列データからの地震被害判別モデル

研究テーマ B「衛星画像を補完するデータを活用したマルチモーダル機械学習による被害判別モデルの検討」

地震直後から被害判別のために活用可能なデータとして、住宅の築年代と構造種別の 2 種のデータに着目し、これらのデータと衛星画像から統合的に地震被害の有無を判別するマルチモーダルニューラルネットワークを設計した(図 2)。

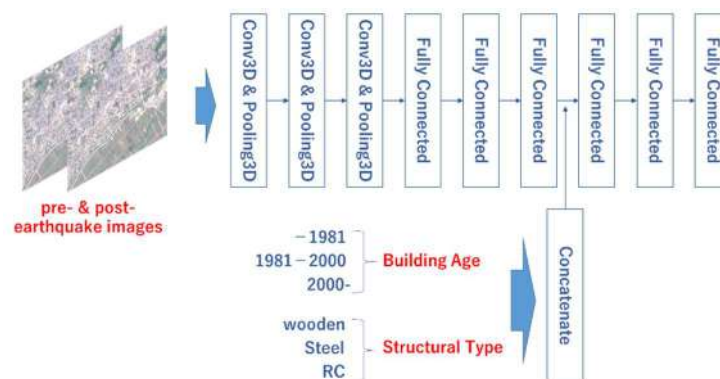


図 2 マルチモーダルニューラルネットワークによる被害判別モデル

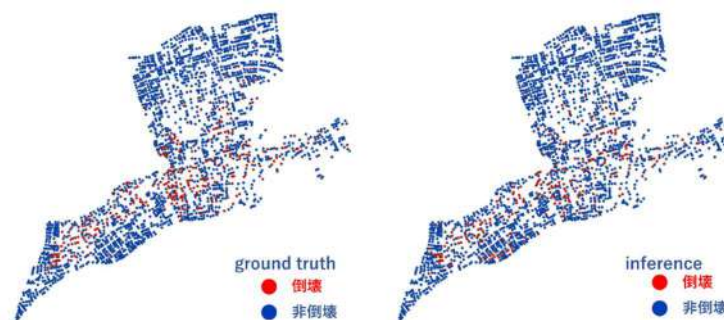


図 3 実際の被害分布(左)と提案手法による被害推定結果(右):
2016 年熊本地震における被災地域を分析

検討手法によって、約 90%の精度で倒壊住宅を検出可能であることが確認された(図 3, および研究成果リスト:論文 1)。また、判別を誤った 10%について詳細に分析を行った結果、その半数以上は住宅の傾きや 1 階部分のみの倒壊といった、直上撮影からは原理的に判別の難しい倒壊形態であることが分かった。そのため、本研究で開発したモデルは、上空からの衛星画像から判別可能な住宅の倒壊を十分に把握する性能を有していると考えられる。

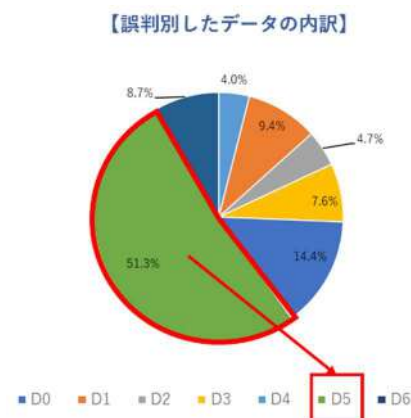


図 3 誤判別したデータの内訳: 半数以上は D5(部分的な倒壊や傾き)に属している

研究テーマ C「防災上の課題に対する機械学習手法応用のレビューと体系化」

本研究を通して得られた、防災上の問題に対する機械学習手法の応用に関する知見を体系的に整理した。本研究のような被災状況の把握や災害事象の予測といった課題において、データの不均衡性、機械学習モデルの説明性、データのない領域での外挿的予測性能の向上、の 3 点の克服が重要であることを指摘し、これら 3 点に対応する情報学的手法の整理を行うと共に、今後の見通しについて論述した(研究成果リスト:論文 2,3)。

3. 今後の展開

本研究を通して開発した地震被害把握の技術は、我が国における衛星ビッグデータや構造物データといった情報資産を最大限に活用しながら、地震直後の災害対応の円滑化を行うものであり、1 応歳の実務上大きな意義を有するものである。また学術的な観点からは、先端的なセンシング手法や機械学習技術を防災学上の課題に適用している点において、日本の目指す超スマート社会の将来像に沿った防災の在り方の実現に資するものと考えられる。

今後は、大きく以下の2点の方向性において、研究の展開が考えられる。1 点目は、衛星画像は直上撮影という手法を採るために、住宅内部の破壊やわずかな傾きといった破壊形態を原理的に検知することが難しい。そのため、他のセンシング手法との相補的な運用による、より詳細な被害把握手法の確立が望まれる。2 点目は、国際社会に目を向けた際に、日本のように各構造物の詳細なデータといった情報資産が豊富な国は多くない。したがって、全球的にデータ取得可能な衛星画像のみから、地震による被災地域の被害判別を行う精度を向上させることは、国際的な防災力の向上に必要と考えられる。

4. 自己評価

衛星データからの住宅1棟単位での被害判別という当初に掲げた研究目的について、具体的な判別モデルの提案、衛星データから判別可能な被害形態の限界に関する検証と考察、という2点を達成することができた他、今後の方針として、上記の今後の展開に述べたように他のセンシング手法との相補的な運用などの発展的な研究課題が明らかになった。また、本研究課題を通して得られた知見を元に、防災学と情報学の接点に関するレビューを行い、論文やパネルディスカッション、学会誌への寄稿といった様々な形で広く本取り組みを周知することができた。こうしたことから、当初の目的については十分に達成することができたと考えている。

本研究は、ACT-I 研究プログラムにおける領域会議やサイトビジット等の行事をマイルストーンとして計画的に行うことができた。最終年度にはコロナ禍の影響を受け、特に一部物品費や旅費の執行、および研究の実施に困難が生じたが、研究期間を延長することによって、上記の今後の展開に述べた一部の発展的研究課題について取り組む機会とする計画である。

地震をはじめとする様々な自然社会に度々見舞われる我が国において、先端的なセンシング手法やデータ分析技術を活用することにより、災害対応をより円滑にすることは学術・実務の両面から大きく重要視されている。本研究は、そうした潮流の下での先駆的な研究成果と位置付けられる。

これまでに、衛星データから地震被害を分析しようとする研究は多くあった中で、震災前後の衛星画像を時空間データとして捉え3次元畳み込み構造を適用する着想、および多数のデータから被害判別を行うマルチモーダル学習を適用する着想はいずれも本研究が独自に提案・検証したものであり、研究の独自性は高いものである。

5. 主な研究成果リスト

(1) 論文(原著論文)発表

- | |
|--|
| 1. Takashi Miyamoto and Yudai Yamamoto: Using multimodal learning model for earthquake damage detection based on optical satellite imagery and structural attributes, Proceedings of 2020 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2020, in press |
| 2. 宮本崇, 浅川匡, 久保久彦, 野村泰稔, 宮森保紀: 防災応用の観点からの機械学習の研究動向, AI・データサイエンスシンポジウム論文集, 2020, Vol.1, No.J1, pp.242-251. |
| 3. 宮本崇: パターン認識と法則発見のデータサイエンス, AI・データサイエンスシンポジウム論文集, 2020, Vol.1, No.J1, pp.270-277. |
| 4. 宮本崇: 人工衛星撮影データの時系列性と不均衡性を考慮した機械学習モデルによる地震被害判別, 構造物の安全性・信頼性 Vol. 9 JCROSSAR2019 論文集 B, 2019, pp.298-299. |

(2) 特許出願

ありません.

(3) その他の成果(主要な学会発表、受賞、著作物、プレスリリース等)

1. 受賞: 2020 AI・データサイエンス論文賞
2. 受賞: 2020 応用力学シンポジウム講演賞
3. 学会発表: Takashi Miyamoto and Yudai Yamamoto: Using multimodal learning model for earthquake damage detection based on optical satellite imagery and structural attributes, 2020 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Online, September 2020.
4. 学会発表: Takashi Miyamoto: Earthquake Building Damage Detection Using 3D Spatio-Temporal Convolutional Neural Network and Multi-Temporal Satellite Imagery, AAAI 2019 Artificial Intelligence for Natural Disasters Workshop, Hawaii(USA), January 2019.