

令和 5 年 6 月 22 日現在

機関番号：13501

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2022

課題番号：18K13966

研究課題名（和文）様々な情報源から得られるヘテロデータのマルチモーダル学習による地震被害分布の推定

研究課題名（英文）Estimation of earthquake damage distribution by multimodal learning of heterogeneous data from various information sources

研究代表者

宮本 崇 (Miyamoto, Takashi)

山梨大学・大学院総合研究部・准教授

研究者番号：30637989

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：大地震の発生時において、適切な災害対応のために重要となる住宅構造物の被害情報をリアルタイムに推定するために、多様な情報源から得られる地震被害分布推定に資するデータを統合的に分析する機械学習手法を構築した。構造物の形式・年代からなる事前情報と衛星撮影画像からなる観測情報を分析するマルチモーダル深層学習モデルの開発、ならびに深層学習モデルの被害推定結果と物理シミュレーションによる被害推定結果を統合するベイズ的フレームワークを開発し、その有効性を検証した。またこれらの研究を通して、機械学習手法と物理的解析手法の混成・統合に関する新たな学術的動向を論じた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究により、90%超という従来の技術水準を超える高い精度での住宅の倒壊有無の検知に成功する手法が開発され、発災直後の初期期の対応の変革に繋がりうる技術の確立に寄与する成果が得られた。また、本研究を通じて得られた、機械学習技術と物理的な解析技術の統合手法に関する知見は、地震被害推定に留まらない重要な学術的動向を指摘するものである。

研究成果の概要（英文）：In order to estimate damage information on residential structures in real-time, which is important for appropriate disaster response in the event of a major earthquake, machine learning methods have been developed to analyze data contributing to the estimation of earthquake damage distribution from various information sources in an integrated manner. A multimodal deep learning model was developed to analyze the prior information from the structure type and age and the observation information from satellite images, and a Bayesian framework was developed to integrate the damage estimation results of the deep learning model with those from physical simulations, and its effectiveness was verified. Simultaneously, through these studies, new academic trends in the hybridization and integration of machine learning methods and physical analysis methods are discussed.

研究分野：応用情報学，防災工学，構造工学

キーワード：リアルタイム地震被害推定 深層学習 マルチモーダル学習 機械学習と物理の統合

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

地震災害時において、被害量を軽減するための応急対応を公的機関が取るうえでは、第一に被害情報が迅速に収集される必要がある。中でも、住宅建造物の被害分布を把握することは人的被害の軽減という観点から極めて重要となり、従来この情報は地方公共団体や防災機関によって人的に収集・統合されている。しかし、災害直後の混乱や人手の不足、情報の重複・錯綜といった問題により、包括的な災害情報が得られるまでには時間を要しており、災害直後の情報空白と混乱は避けられない状況にある。

このような背景の下、災害情報を即座に得る手段として大きく以下の2種類の方向性を持った技術検討が進められている。一つは、航空機や衛星から撮影される被害地域の画像を元に被害の有無を直接的に把握しようとする手法であり、関連した観測技術・データ分析技術の革新が進んでいる。もう一つは、地域の地盤構造や建造物の分布状況・観測地震動を元に、被害の大きな地域を間接的に推定しようとする手法であり、各種データと被害量の統計分析に基づく推定精度の向上が図られている他、近年では都市モデルの地震応答シミュレーションから被害分布を推定する技術も開発が進んでいる。

これらの手法を個別に用いるだけでなく、被害推定手法に用いられる事前情報や観測情報、および手法の適用から得られる推定結果の情報を統合的に処理することは、多角的な視点に基づく判断につながり、地震被害分布の推定精度を更に高めることが期待される。このような、物理的意味合いの異なる多様なデータ群からある結果を判別するタスクの処理には、従来から多変量解析や機械学習の手法がこれまでに多く適用されており、またごく近年においては深層学習に基づく人工知能モデルを用いた判別手法の適用が既往手法の精度を超えた大きな成功を収めている。多様なデータから地震被害の判別を行おうとする上記の問題においてもこうした手法を適用することにより、個別のデータから独立的に被害判別を行う場合に比較して更なる精度向上が達成されることが期待される。

2. 研究の目的

そこで本研究は、建造物の形式・年代からなる事前情報、震災直後の衛星撮影画像からなる観測情報、地震被害推定シミュレーションによる解析情報から構成される、物理的な意味合いや形式の異なる多様な(=ヘテロな)データに基づいて、建造物1棟毎の倒壊判定を統合的に分析・判断する手法を確立することによって、住宅建造物の地震被害分布をリアルタイムで高精度に推定する技術を開発する。これにより、多様なデータベースや観測ネットワーク・解析技術が長年にわたって整備されてきた日本において、それらの科学的技術の蓄積から得られたデータに先進的な処理手法を適用することにより、利用可能な資源・情報を最大限に活用した地震被害分布推定の実現を目指すことを目的とする。

3. 研究の方法

本研究では、当初の目的である地震被害のリアルタイム推定を達成するための手法として

- (1) 震災前後の衛星画像と建造物情報を統合的に開発するマルチモーダル深層学習モデル
- (2) 衛星画像解析と物理シミュレーションを統合するベイズ的フレームワーク

の2種の手法の開発を行った。前者は事前情報である建造物属性と観測情報である震災前後の衛星撮影画像群から地震被害を推定する機械学習モデルであり、衛星画像の時系列的変化を詳細に検出する3次元畳み込み構造や、画像と建造物属性という2種の異なるモーダリティ情報を解析するマルチモーダル構造を導入している点に特徴を有している。また後者の手法は、AIを用いた衛星画像の解析結果と物理シミュレーションによる被害予測結果をベイズ的に統合する手法であり、AI解析とシミュレーションの統合という着想や衛星画像解析に関するこれまでの研究成果に基づいている点に独自性を有している。

上記のモデルの精度を、2016年熊本地震時における建造物被害の現地調査結果を用いて検証することにより、その有効性を検証した。

4. 研究成果

衛星画像と建造物情報を処理するマルチモーダル深層学習モデルからは、90%超という従来の技術水準を超える高い精度での住宅の倒壊有無の検知に成功する結果を得ることができ、震災直後の初動期には有益な情報源となり得ることを示した(図1)。一方で、判別を誤った10%に対する詳細な分析からは、誤判別結果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ものであり、衛星による直上撮影からは建造物の部分的な被害の検知が原理的に困難であることも確認された。

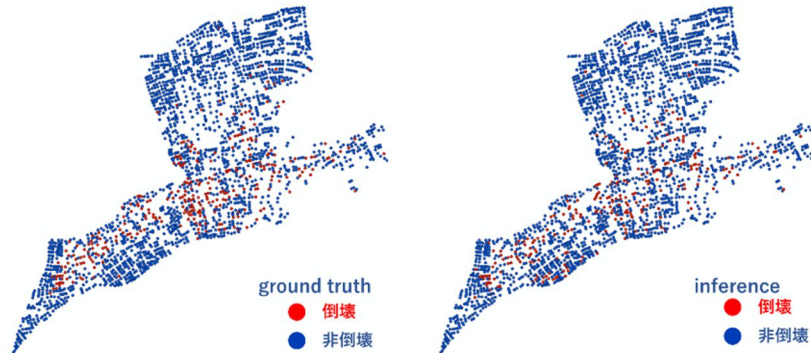
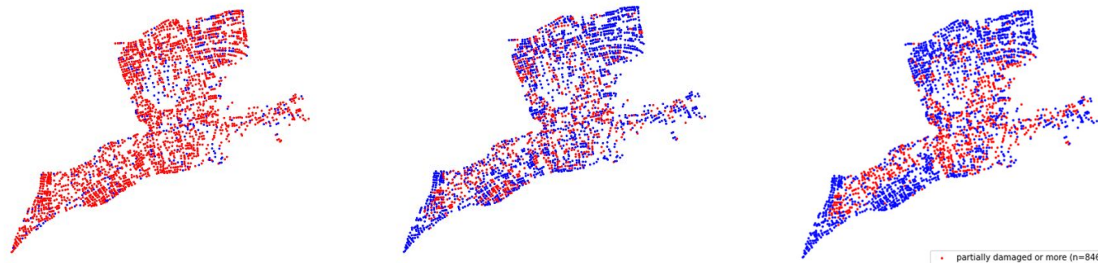


図1 現地調査に基づく実際の被害分布（左）と開発手法による被害推定結果（右）

これに対し、物理シミュレーションから推定される被害情報を追加的な情報源に用いることで、そのような半壊などの被害推定精度を高めようとする意図の下で開発を行った、衛星画像解析と物理シミュレーションのベイズ的統合手法では、被害率曲線に基づくシミュレーション結果と前述のマルチモーダル深層学習手法による推定結果を統合することにより、両手法を単体で用いた場合よりも推定精度が高くなる結果を得ることができた（図2）ことから、本結果を基礎検討としてベイズ的フレームワークに基づくAIと物理モデルの同化手法に関する研究の着想を得た。



(a) 物理解析による半壊判定 (正解率 46.6%) (b) AI との統合による半壊判定 (正解率 71.7%) (c) 実被害分布

図2 物理シミュレーションとAI推論の統合による地震被害判定

また、上記の研究を実施する中で、深層学習に代表される機械学習技術と物理的な解析技術の統合手法に関するより一般的な学術動向に関する調査を行い、その成果をレビューとして取りまとめた。さらに、そのような統合手法の具体的なものの1つであるクーブマンモード分解を新たに降雨予測の分野へ展開することにより、短期的な降雨予測において従来法の精度を超える新たな手法を確立した（図3）。

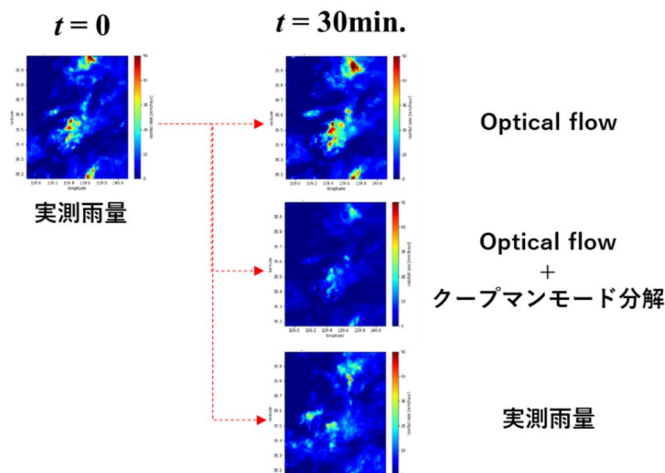


図3 クーブマンモード分解を用いた短期降雨予測手法：従来法の1つであるOptical flowと組み合わせることにより、実測雨量のより高精度な再現に成功

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 9件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 8件）

1. 著者名 Takashi Miyamoto	4. 巻 -
2. 論文標題 Integrating Physical Prediction Methods and AI-based Satellite Data Analysis Methods, in Earthquake Damage Estimation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of Eighth International Symposium On Reliability Engineering And Risk Management	6. 最初と最後の頁 318 ~ 322
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3850/978-981-18-5184-1_MS-11-142-cd	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 Zheng Shitao, Miyamoto Takashi, Shimizu Shingo, Kato Ryohei, Iwanami Koyuru	4. 巻 -
2. 論文標題 Physics-Informed Data-Driven Model for Short-Term Precipitation Prediction Using Radar-Observed Big Data	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of 2022 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium	6. 最初と最後の頁 4623 ~ 4626
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/IGARSS46834.2022.9883040	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 Zheng Shitao, Miyamoto Takashi, Iwanami Koyuru, Shimizu Shingo, Kato Ryohei, University of Yamanashi 4-3-11 Takeda, Kofu, Yamanashi 400-8511, Japan, German Research Center for Artificial Intelligence, Kaiserslautern, Germany, National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience (NIED), Tsukuba, Japan	4. 巻 17
2. 論文標題 Hybrid Scheme of Kinematic Analysis and Lagrangian Koopman Operator Analysis for Short-Term Precipitation Forecasting	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Disaster Research	6. 最初と最後の頁 1140 ~ 1149
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20965/jdr.2022.p1140	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 Miyamoto Takashi, Yamamoto Yudai	4. 巻 14
2. 論文標題 Using 3-D Convolution and Multimodal Architecture for Earthquake Damage Detection Based on Satellite Imagery and Digital Urban Data	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing	6. 最初と最後の頁 8606 ~ 8613
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/JSTARS.2021.3102701	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 宮本 崇	4. 巻 2
2. 論文標題 物理的方法論とデータ科学の統合による科学パラダイムの深化	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 AI・データサイエンス論文集	6. 最初と最後の頁 140～151
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11532/jsceiii.2.J2_140	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 宮本 崇、西尾 真由子、全 邦釘	4. 巻 2
2. 論文標題 Physics-Informed Neural Networksによる1次元連続体の動的解析	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 AI・データサイエンス論文集	6. 最初と最後の頁 152～156
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11532/jsceiii.2.J2_152	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 T. Miyamoto and Y. Yamamoto	4. 巻 -
2. 論文標題 Using multimodal learning model for earthquake damage detection based on optical satellite imagery and structural attributes	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of 2020 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium	6. 最初と最後の頁 p.6623-6626
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/IGARSS39084.2020.9324464	査読の有無 無
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 宮本 崇、浅川 匡、久保 久彦、野村 泰稔、宮森 保紀	4. 巻 1巻 J1号
2. 論文標題 防災応用の観点からの機械学習の研究動向	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 AI・データサイエンス論文集	6. 最初と最後の頁 p. 242-251
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11532/jsceiii.1.J1_242	査読の有無 無
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 宮本 崇	4. 巻 1 巻 J1 号
2. 論文標題 パターン認識と法則発見のデータサイエンス	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 AI・データサイエンス論文集	6. 最初と最後の頁 p. 270-277
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11532/jsceiii.1.J1_270	査読の有無 無
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 宮本崇	4. 巻 9
2. 論文標題 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	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 JCOSAR2019論文集B	6. 最初と最後の頁 298-299
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Takashi Miyamoto and Yudai Yamamoto	4. 巻 -
2. 論文標題 Using multimodal learning model for earthquake damage detection based on optical satellite imagery and structural attributes	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of 2020 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium	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) なし	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 宮本崇	4. 巻 67
2. 論文標題 地盤工学における機械学習技術の応用研究事例について	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 地盤工学会誌	6. 最初と最後の頁 16-19
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 -

〔学会発表〕 計21件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 7件）

1. 発表者名 宮本崇
2. 発表標題 物理知見を事前情報とした災害事象のデータ駆動モデリング
3. 学会等名 統計数理研究所研究集会「諸科学における統計思考」（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山本裕大
2. 発表標題 衛星画像のAI解析と物理シミュレーションの統合による地震被害検知に関する研究
3. 学会等名 土木学会第77回年次学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 テイセイトウ
2. 発表標題 クーブマン作用素解析に基づく短期降雨のデータ駆動型予測
3. 学会等名 土木学会第77回年次学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 三浦奈都
2. 発表標題 物理モデルとAIのハイブリッドによるダム流入量予測の高精度化
3. 学会等名 土木学会第77回年次学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takashi Miyamoto
2. 発表標題 Multimodal Deep Learning for Earthquake Damage Detection
3. 学会等名 13th International Conference on Structural Safety & Reliability (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takashi Miyamoto
2. 発表標題 Integrating Physical Prediction Methods and AI-based Satellite Data Analysis Methods in Earthquake Damage Estimation
3. 学会等名 Eighth International Symposium On Reliability Engineering And Risk Management (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Shitao Zheng
2. 発表標題 Physics-informed data-driven model for short-term precipitation prediction using radar-observed big data
3. 学会等名 2022 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山本裕大
2. 発表標題 衛星画像と都市データを用いた機械学習による地震被害の即時判別に関する研究
3. 学会等名 土木学会第76回年次学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 宮本崇
2. 発表標題 物理的方法論とデータ科学の統合による科学パラダイムの深化
3. 学会等名 第2回AI・データサイエンスシンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 宮本崇
2. 発表標題 Physics-Informed Neural Networksによる1次元連続体の動的解析
3. 学会等名 第2回AI・データサイエンスシンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takashi Miyamoto
2. 発表標題 Monitoring earthquake damage of housing structures based on multimodal machine learning model learning
3. 学会等名 10th International Conference on Structural Health Monitoring of Intelligent Infrastructure (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takashi Miyamoto
2. 発表標題 Machine Learning Approach for Earthquake Damage Detection from Spatio-Temporal Remote Sensing Data
3. 学会等名 17th World Conference on Earthquake Engineering (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takashi Miyamoto
2. 発表標題 sing multimodal learning model for earthquake damage detection based on optical satellite imagery and structural attributes
3. 学会等名 2020 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 宮本崇
2. 発表標題 防災応用の観点からの機械学習の研究動向
3. 学会等名 第1回AI・データサイエンスシンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 宮本崇
2. 発表標題 土木工学分野におけるデータ科学手法への期待と応用事例
3. 学会等名 第23回情報論的学習理論ワークショップ(招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 宮本崇
2. 発表標題 不均衡データからの分類タスクに対するrankSVMの性能検証と地震被害検知への応用
3. 学会等名 第21回応用力学シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宮本崇
2. 発表標題 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
3. 学会等名 第9回構造物の安全性・信頼性に関する国内シンポジウム (JCOSAR2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宮本崇
2. 発表標題 光学衛星画像の時空間畳み込みニューラルネットワークによる地震被害の判別
3. 学会等名 日本リモートセンシング学会第64回学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 宮本崇
2. 発表標題 時空間畳み込みニューラルネットワークによる衛星画像からの地震時構造物被害の検出
3. 学会等名 土木学会第73回年次学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 宮本崇
2. 発表標題 震災前後の衛星撮影画像を入力とした深層学習モデルによる地震被害の判別
3. 学会等名 第9回インフラ・ライフライン減災対策シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takashi MIYAMOTO
2. 発表標題 Earthquake Building Damage Detection Using 3D Spatio-Temporal Convolutional Neural Network and Multi-Temporal Satellite Imagery
3. 学会等名 AAAI 2019 Artificial Intelligence for Natural Disasters Workshop (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 古田 均、北原 武嗣、野村 泰稔、宮本 崇、一言 正之、伊藤 真一、広兼 道幸、高橋 亨輔	4. 発行年 2022年
2. 出版社 電気書院	5. 総ページ数 209
3. 書名 AI × 防災	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>研究者個人による研究内容紹介のwebページ http://www.ccn.yamanashi.ac.jp/~tmiyamoto/research.html</p>

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

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------

ドイツ	ドイツ人工知能研究センター			
-----	---------------	--	--	--