

氏名	内藤 昌平		
学位の種類	博士(工学)		
学位記番号	博甲第9275号		
学位授与年月日	令和元年9月25日		
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当		
審査研究科	システム情報工学研究科		
学位論文題目	画像認識・機械学習手法を用いた建物のリアルタイム地震被害推定手法に関する研究		
主査	筑波大学 准教授	博士(工学)	庄司 学
副査	筑波大学 教授	工学博士	境 有紀
副査	筑波大学 教授	博士(工学)	松島 亘志
副査	筑波大学 教授	博士(工学)	遠藤 靖典
副査	筑波大学 准教授	博士(工学)	北原 格

## 論文の要旨

本論文では、主に航空写真のリモートセンシング画像に対して画像認識・機械学習手法を適用することで、地震による建物の被災程度を自動判別する汎用性の高いモデルを構築している。また、リアルタイム地震被害推定システムに本モデルを組み込んで、ベイズ理論の考え方を応用し、より高精度な地震被害推定情報を提供する手法を提案している。

第1章では、研究の背景と目的について論述した後、本学術分野に関わる研究レビューが示され、本論文の対象範囲と独自性が明確にされている。この中では、特に、地震発生後、1日から3日間程度で取得される解像度の高い航空写真等のリモートセンシング画像を適用した建物のリアルタイム地震被害推定システムの高精度化の要請とシステム要件が示されている。これらを受け、第2章では、2016年熊本地震前震・本震、1995年兵庫県南部地震、及び、2011年東北地方太平洋沖地震の各地震直後に垂直方向から撮影された航空写真を適用し、目視判読に基づく建物地震被害に関する教師データの構築を試みている。第3章では、これらを用いて建物1棟ごとのパッチ画像を取得し、畳み込みニューラルネットワーク(CNN)を用いた深層学習、及び、SIFT(Scale-Invariant Feature Transform)特徴量とサポートベクターマシン(SVM)を組み合わせる方法の2通りの建物被害自動判別モデルを構築している。その上で、各モデルに対して熊本地震本震後の画像を用いて精度検証を行ない、CNNによる深層学習を用いたモデルの優位性と高い汎化性能を示している。第4章では、以上のモデルによって得られた建物単位の被害判別結果を250mメッシュ単位の被害判別結果に集計しなおした上で、リアルタイム地震被害推定システムの結果をベイズ更新する手法が提案されている。併せて、これらの手法を熊本地震本震後の建物被害推定に適用した有用な事例が示されている。以上、第5章では、第1章から第4章において得られた知見をまとめ、今後の課題が示されている。

## 審査の要旨

### 【批評】

本研究の目的は、1) 地震による建物の被災程度を自動判別する高精度なモデルを構築し（2章と3章）、2) 筆者の所属機関である防災科学技術研究所が開発を進めるリアルタイム地震被害推定システムに本モデルを組み込んでより確実性を高めた地震被害推定情報を提供すること（4章）である。

1 番目の研究内容については、地震発生後、1日から3日間程度で取得される解像度の高い航空写真等のリモートセンシング画像を対象として、畳み込みニューラルネットワーク（CNN）を用いた深層学習による識別子、及び、SIFT（Scale-Invariant Feature Transform）特徴量とサポートベクターマシン（SVM）を組み合わせた識別子の2通りの建物被害自動判別モデルが構築されている。特に、2016年熊本地震前震・本震、1995年兵庫県南部地震、及び、2011年東北地方太平洋沖地震の各地震直後に垂直方向から撮影された航空写真を適用し、目視判読によって建物地震被害に関する85,797に及ぶ教師データの構築が試みられている点において、大きな学術的優位性が認められる。この結果、建物1棟ごとの学習用パッチ画像は277,325画像となり良質で膨大な学習用のビックデータが構築されていることから、CNNを用いた深層学習による識別子に基づいた建物被害自動判別の精度は熊本地震本震後の画像のみを用いた交差検証によれば、4段階の建物被害区分に対していずれも80.9%から92.4%の極めて高い再現率が示されている。これより、独自性並びに新規性の高い建物被害自動判別モデルが構築されていると言える。さらに、本モデルの汎化性能向上を目的として、上記3地震の学習用データを適用した交差検証が試みられており、同様に4段階の建物被害区分に対して70.1%から83.4%の再現率が担保されていることから、本モデルの汎化性能に関する信頼性は高いと判断できる。

2 番目の研究内容については、構築された建物被害自動判別モデルに基づく建物単位の被害判別結果を250mメッシュ単位の被害判別結果に集計しなおした上で、前記のリアルタイム地震被害推定システムによる結果をベイズ更新する一連の枠組みが提案されている。その中で、熊本地震本震後の推定全壊棟数の空間分布に対する更新結果が試算されており、これらは熊本県の被害認定調査による市町村単位の全壊棟数（公表値）にほぼ近い数値となっているため、本枠組みには一定レベル以上の有用性が認められる。一方で、250mメッシュ単位の被害判別結果の観点からは、更新結果においても過大あるいは過少な評価となっているメッシュが生じているので、他の地震に対する再検証を試みる等、本枠組みの一層の精度向上をはかるアルゴリズムを検討していく必要がある。

### 【最終試験の結果】

令和元年7月24日、システム情報工学研究科において、学位論文審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。その結果、学位論文審査委員全員によって、合格と判定された。

### 【結論】

上記の学位論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。