

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 5 月 26 日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2016

課題番号：26750133

研究課題名(和文)津波浸水域の建物被災度判定の自動化に向けた被災度判定支援技術に関する研究

研究課題名(英文)Development of assistive technology to automate building damage assessment of tsunami flooded area

研究代表者

柴山 明寛 (Shibayama, Akihiro)

東北大学・災害科学国際研究所・准教授

研究者番号：80455451

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)：本研究では、車載型全周囲カメラで被災地を撮影し、その画像を基に被災地外の遠隔地での建物被災度判定の技術方法を明らかにする。そこで、被災度判定支援のために車載型全周囲カメラ画像による建物の被災度判定の自動化を行い、大まかな被災度分類を提示する方法を明らかにした。更に、自動判定精度を向上するために、目視で行った判定結果を機械学習の教師データとして用いる仕組みを構築し、簡易にWebで閲覧できる仕組みを構築した。

研究成果の概要(英文)：This research clarifies the technical method used outside the disaster area to confirm the building damage levels based on photographs of the tsunami disaster area taken using an in-vehicle all-around camera. To improve damage assessments, through making the evaluation of building damage level more automatic using the in-vehicle all-around camera, a method was clarified to present rough classifications of levels of disaster damage. Furthermore, in order to improve the accuracy of automatic evaluation, a mechanism was constructed that uses the visually observed evaluation results as training data of machine learning (Deep Learning), and a system was created to easily access this information on the web.

研究分野：地震工学

キーワード：津波被害 建物被災度判定 全周囲カメラ 機械学習

### 1. 研究開始当初の背景

大規模津波災害において津波浸水域の建物被災程度を詳細に把握することは、被災状況の全体詳細把握や復旧作業や予算の立案、作業人員配置の最適化、罹災証明の発行等に繋がる。早期被害把握のためには、多くの人員を配置することで実現することが可能ではあるが、東日本大震災での応急対応状況でわかるように人命に関わる救出や捜索、搬送、避難者・被災者支援が最も優先すべき事項である。そのため、津波域の被害把握までに人員を割くことは、被災直後から数週間は大変な状況である。また、震災直後には余震による津波発生も懸念されることから、警察、消防、自衛隊など様々な状況化で訓練がなされている人員以外は、二次災害に巻き込まれる可能性がある。

これからわかる通り、災害現場で限られた人的リソースで如何に効率的に津波浸水域の建物被災状況を詳細に把握するかである。これらの問題を解決する方法として、衛星画像や航空写真を用いたリモートセンシング技術による被害把握や津波被害関数による被害推定方法がある。近年の研究成果により、リモートセンシング技術による被害把握は格段に精度が上がっている。しかしながら、垂直画像からでは、津波による建物流出や建物崩壊などの判定は可能であるが、建物の一層部分のみの大規模損壊などの判定は困難である。また、斜め航空写真などによる判定方法もあるが、建物が密集している場合や大規模建築などで建物が陰になってしまう場合などでは、損傷部分までの判定は困難である。そして、地域を網羅的に撮影するためには、複数の箇所を撮影しなくてはならない問題がある。津波被害関数による被害推定方法に関しては、あくまで推定であるため、実際の被害とかけ離れている可能性がある。

申請者がこれまでの研究において、災害現場での構造物の被災状況を詳細かつ効率的に把握するために被害情報収集の方法や情報共有・提示方法を提案し、個別建物の実被害を正確かつ効率的に把握することを可能にした。しかし、本方法では、現場での調査人員を効率的に配置するまでに止まっており、現場での大幅な人的リソースの削減までには至っていない。

### 2. 研究の目的

本研究では、災害現場での調査人員を最小限にするために車載型全周囲カメラ画像で被災地を撮影し(図1の )、その画像を基に被災地外の遠隔地での建物被災度判定の技術方法(図1の )を明らかにする。ただし、全周囲カメラ画像から建物被災度を目視による判定するだけでは、人的リソースの削減に繋がらない。そこで、被災度判定支援のために車載型全周囲カメラ画像と空間情報の重合処理による被災度判定の自動化(図1の )を行い、大まかな被災度分類(無被害から

全壊、流出等)を提示する方法を明らかにする。更に、自動判定精度を向上するために、目視で行った判定結果を機械学習の教師データとして用いる仕組みを構築(図1の )する。判定した結果については、自治体等で簡易に閲覧できる仕組みを構築(図1の )する。最終的には、人手を介さずに津波浸水域の建物の被災度判定を自動化する技術方法を明らかにする。

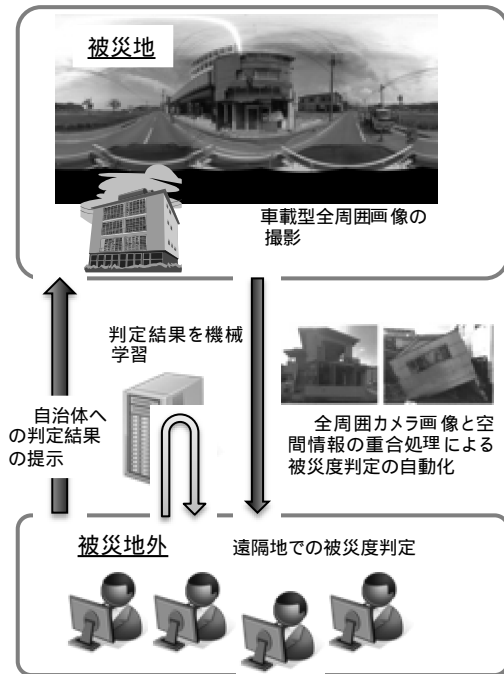


図1 本研究の流れ

### 3. 研究の方法

研究方法として(1)津波浸水域の被災建物の被災度判定基準、(2)被災地外の遠隔地での建物被災度判定の技術方法、(3)被災度判定支援のために車載型全周囲カメラ画像と空間情報の重合処理による被災度判定の自動化、(4)判定結果を自治体等で簡易に閲覧できる方法、以上の4つに分けて研究を実施した。詳細については、以下に示す。(1)津波浸水域の被災建物の被災度判定基準について

津波浸水域の建物被災度の判定基準は、既往の津波被災建物の判定基準の指針として、内閣府(防災担当)から平成25年6月「災害に係る住家の被害認定基準運用指針 第2編 水害による被害」がある。指針では、第1次調査で外観目視による判断と浸水深の判断の2つで半壊から大規模半壊、全壊の半壊がなされている。第2次調査では、外観及び傾斜、浸水深、部位の損傷度で判定がなされる。1次、2次調査は現地の調査を基本としており、人手の問題は解決できていない。

そこで、東日本大震災で撮影した全周囲カメラ画像から被災建物の被災パターンの洗い出し作業を行う。この作業は、被災建物の自動判定の基礎資料となり、教師データとしても参考にする。

(2)被災地外の遠隔地での建物被災度判定の技術方法について

被災地外の遠隔地で建物被災度判定を簡易に行うには、対象建物を複数の角度から撮影した写真記録が必要となる。しかし、人手により、建物を一棟一棟の撮影は困難を極める。そこで、車載型全周囲カメラ画像を用いて解決する。

車載型全周囲カメラ画像は、全周囲を一度に一枚の画像として撮影できる利点があるが、1枚の画像の中には複数の建物が存在することがある。また、時速30km走行しながら1秒間に15フレームから30フレームの撮影を行っているため、一つの建物に対して複数の方向からの複数枚の画像が存在する。これらの画像から対象建物の選別を判定員が一つ一つ分別するのは困難である。そこで、撮影画像とデジタル住宅地図を組み合わせ、対象建物だけの撮影画像だけを自動的にトリミング、整理する方法を明らかにする。

(3)被災度判定支援のために車載型全周囲カメラ画像と空間情報の重合処理による被災度判定の自動化

津波で被災した建物の被災度判定(無被害から全壊、流出等)の自動化による判定精度の向上を図る。事前研究では、機械学習の手法を用いて被災パターンの分類を試みたが判定精度は低かった。原因としては、教師データの不足が考えられ、機械学習の精度が上がらなかったと考えられる。そのため、東日本大震災の記録を基に教師データを拡充し、精度向上が図れるか検証を行う。

(4)判定結果を自治体等で簡易に閲覧できる方法について

建物を自動判定した結果は、判定精度の問題で間違った結果となる場合がある。そのため、自動判定精度を向上するために、目視で行った判定結果を機械学習の教師データとして用いる仕組みをWeb上で構築し、さらに、その結果を簡易に自治体等で閲覧できるWebシステムを構築する。

#### 4. 研究成果

(1)津波浸水域の被災建物の被災度判定基準について

研究方法で示した通り、全周囲カメラ画像からの建物の被災パターンの洗い出しを行った。本研究で用いたデータは、宮城県沿岸部を全周囲カメラで撮影した2011年3月27日、4月13日~15日、6月15日~18日の記録である。本データは、アジア航測株式会社にご協力をいただいた。

本データから被災建物を1,000棟程度の抽出を行い、建物被災のパターン分類を行った。以下に、木造1階建て建物と木造2階建て建物を合わせた被災パターンを6つに分類したものを示す。

パターン1: 無被害もしくは軽微

パターン2: 1階部分の壁面損傷及び脱落

パターン3: 1階部分の壁面流失

パターン4: 1階部分の壁面流失、及び一部の柱流失

パターン5: 崩壊(傾斜)

パターン6: 全体流失

これらの被災パターンは、1階に被害が集中し、2階が浸水深の高さによって被害の有り無しという傾向であった。上記の6つのパターンで大枠の分類が可能と考えている。ただし、数はほとんどないものの特殊なパターンも見られた(写真1)。例としては、2階建て建物で2階のみに壁面の大規模損傷が見られ、1階部分は壁面の剥落程度での損傷度の建物である。これは、浸水深が2階まで来ており、瓦礫の衝突で損傷したものと思われる。今回の調査データでは、数棟が該当するものがあつたが、全体的に見た場合、少ないパターンであることがわかつた。



写真1 2階のみに大規模損壊

(2)被災地外の遠隔地での建物被災度判定の技術方法について

研究方法で示した通り、全周囲カメラ画像から対象建物のみをトリミングすることは難しい。そこで、撮影時に同時に記録した撮影場所の緯度経度と住宅地図を用いて、対象建物がどの方向でかつ、どの範囲で撮影されているかを割り出す技術の開発を行った。

全周囲画像から方位を導く方法

撮影時に同時に記録した緯度経度の情報は、撮影したフレーム毎に存在し、1秒間に15フレームの場合については、15地点の緯度経度情報がある。東日本大震災で撮影した全周囲カメラ画像には、緯度経度の情報がなく、基準となる方位の情報が存在しない。そのため、全周囲カメラ画像のどの方向が北になるかを求める必要がある。方法としては、撮影位置と次の撮影位置の2つの緯度経度情報を用いて、撮影進行方向の方位角を求める。これにより、正面がどの方向を向いているかがわかる(例、図2)。



図2 全周囲画像から方位を導き出した例

### 全周囲画像から建物の撮影範囲の特定

全周囲画像から建物の撮影方向及び全景範囲の特定するためには、地理情報システム（以下、GIS）とベクタデータの住宅地図、撮影位置情報の3つを用いて行う。

手順1として、撮影位置を中心にした円弧を発生させて、撮影位置から近い建物を割り出す。次に、その建物の重心位置から円弧を発生させ、建物が写っていると思われる複数の撮影位置を特定する。これにより、膨大にある全周囲画像から該当する画像を絞り込む。

手順2として、撮影位置から建物形状（ポリゴンデータ）を形成する複数の点の方位角を個別に求める。さらに、撮影位置と建物の重心位置の方位角を求める。撮影位置と建物の重心位置の方位角を中心として、各点の方位角の時計回りの最大と反時計回りの最大を求める。これにより、全周囲画像のどの位置に建物が写っているのかわかる。ただし、他の建物が有り、見通しがきかない場合があるため、上記の手順からさらに対象建物と撮影位置の間にある他の建物形状に交わらないかを確認する。これらを該当する撮影地点で同様に行い、方位角度が最大になるところが、最も対象建物の全景を捉えることができることとなる。

上記の手順により、全周囲カメラ画像から対象建物のみをトリミングが可能になる。しかしながら、ブロック塀や樹木、その他の障害物などにより、困難な場合も数多くある。また、住宅地図の精度及び撮影位置情報の精度に左右されることが多く、更なる研究を進める必要性がある。

### (3) 被災度判定支援のために車載型全周囲カメラ画像と空間情報の重合処理による被災度判定の自動化

研究方法で示した通り、事前研究において、機械学習方法による建物被災度の自動判定を試みた。しかしながら、教師データの不足等の問題があった。そこで、前述で示した宮城県沿岸部を全周囲カメラで撮影した2011年3月27日、4月13日～15日、6月15日～18日の記録から被災建物画像の抽出を行った。抽出は、精度を高めるために、手作業で行い、目視で顕著な被害が見られない軽微な被害を「被害無し」とし、被害が目視で判断が可能なものを「被害有り」とした。ただし、被害有りの中に流失建物は含めていない。その結果、被害無しは、1,764棟、被害有りは、1,718棟、合計で3,482棟の抽出することができた。しかしながら、上述で明らかにした被災パターン分類を試みたが抽出棟数が少なくなり、教師データ分のデータの確保が難しいと判断し、今回は、機械学習については、被害有り無しで行うこととした。

本研究で使用した機械学習ツールとしては、Google社が開発し、オープンソースとして公開しているTensorFlow1.0を用いること

とした。

本研究で用いた教師データとテストデータを表1に示す。教師データは、木造建物と非木造建物を用意し、被害の有無で更に分けた。テストデータについては、木造、非木造を分けていないデータとした。写真枚数と建物棟数が合っていない理由は、一つの建物に対して複数の角度から撮影したデータを用いているからである。これらの教師データを用いて8,000回の学習を行ったが、6,000回以上から学習効果は見られなかった。

表2にテストデータを用いて建物被害の有無の自動判定の検証結果を示す。木造建物については、8割弱の判定精度があったものの、非木造については、教師データが少なかつたこともあり、被害無しの場合に悪い結果となった。今回、テストデータは、木造、非木造と分けていなくても7割を超える判定精度があることがわかった。表には示していないが、テストデータを木造のみにし、木造建物の教師データを使用した際には、8割の正解の推定結果となり、構造種別が判別できれば更に高い精度となることがわかった。しかしながら、外観目視だけで木造、非木造を人間の目で判定することは難しいことから実用性があるとは言えない。

表1 教師データとテストデータ

	被害有無	写真枚数	棟数
木造 (教師データ)	無	3267	1467
	有	3265	1327
非木造 (教師データ)	無	347	114
	有	646	212
テストデータ	無	401	183
	有	447	179

表2 被災度の自動判定結果

	被害無し 推定結果	被害有り 推定結果	全体推定 結果
木造	310/401 (77.3%)	348/447 (77.9%)	658/848 (77.6%)
非木造	138/401 (65.5%)	352/447 (78.7%)	615/848 (72.5%)

上記の計算は、正解数/総数である。

### (4) 判定結果を自治体等で簡易に閲覧できる方法について

研究方法で示した通り、自動判定精度を向上するために、目視で行った判定結果を機械学習の教師データとして用いる仕組みをWeb上で構築し、さらに、その結果を簡易に自治体等で閲覧できるWebシステムを構築した。

構築したWebシステムを図3～5に示す。構築したWebシステムは、建物被災度の自動判定結果の閲覧や、建物の位置関係が地図上で閲覧することができるなどの機能を有している。さらに、建物の被災度の自動判定結果が異なっている場合は、判定結果を修正することが可能である。また、修正した被災度

判定は、教師データとして用いて、機械学習精度を向上させる仕組みを設けた。

構築したWebシステムの有用性を確認するために、東日本大震災で被災した自治体職員に対してヒアリングを実施した。その結果、大まかでも建物被災度が閲覧できることは、その後の現地の被災度調査の参考になるなどの意見をいただいた。

(1) 研究代表者

柴山 明寛 (AKIHIRO SHIBAYAMA)

東北大学・災害科学国際研究所・准教授

研究者番号：80455451



図3 Webシステムのトップ画面

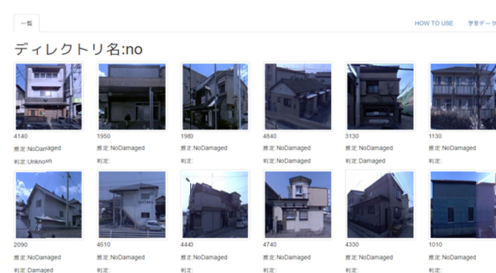


図4 被災度判定結果の一覧表示



図5 個別建物情報表示と判定結果の修正画面

(5) まとめ

本研究課題では、人手を介さずに津波浸水域の建物の被災度判定を自動化する技術方法を明らかにした。しかしながら、被災度の自動判定については、被災パターンまで分類するためには、更なる被災建物データが必要となり、今後の課題となった。本研究は、今後も研究を継続させ、更なる精度向上を図るとともに、論文等で本研究成果を公表する予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計0件)

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

6. 研究組織