

令和 6 年 6 月 18 日現在

機関番号：33801

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21H01579

研究課題名(和文) 機械学習に適した損傷分類ルールの構築と建物被災度評価の自動化手法の開発

研究課題名(英文) Development of damage classification rules suitable for machine learning and a method to automatically assess the degree of building damages

研究代表者

田中 聡 (TANAKA, Satoshi)

常葉大学・大学院・環境防災研究科・教授

研究者番号：90273523

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 8,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、これまで調査員の経験頼りであった建物被害調査に、深層学習の技術を導入し自動化するための基幹技術を開発した。具体的には、建物被害認定調査を事例に、調査員の目視による建物被害判断を、深層学習を用いた写真による判断に置き換えるため、様々な条件で学習モデルを検証し、最適なモデルを構築した。さらに完成したモデルを搭載したスマートフォン・アプリを開発し、自治体職員への実証実験を通して、その効果や使用性を検討した。検証の結果、従来の手法と比較して、調査時間、評価精度ともに大きく向上することが確認された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、これまで調査員の技量や経験に依存するため、評価のばらつきや迅速性に問題があった建物被害調査の実務に深層学習技術を適用し、人間による調査が機械に代替可能であることをあきらかにした。この仕組みを実用化すれば、建物被害調査における人間の作業は、損傷の発見、損傷場所の記録、損傷箇所の写真撮影の3つまで減らすことが可能になり、被災者という未開発の資源の活用や、災害時の希少資源である専門技術者の有効活用にもつながり、災害対応上その意義はきわめて大きい。

研究成果の概要(英文)：In this study, we developed a core technology to automate the building damage assessment by introducing deep learning technology, which until now has relied on the experience of inspectors. Specifically, using a building damage assessment for damage certification as an example, we verified learning models under various conditions and constructed an optimal model to replace the inspector's visual assessment of building damage with a photographic assessment using deep learning. We also developed a smartphone application that incorporates the completed model, and examined its effectiveness and usability through a demonstration experiment for municipal employees. As a result of the verification, it was confirmed that both the inspection time and evaluation accuracy were greatly improved compared to the conventional method.

研究分野：地震防災

キーワード：深層学習 建物被害 画像検出 インスタンス・セグメンテーション 建物被害判定 スマート・イン
スペクシオン 画像分類

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

本研究では、これまで開発してきた建物被害調査のデジタル化のしくみを発展させ、調査員の目視による建物被害評価に深層学習技術を取り入れ、自動化を実現しようとするものである。これまで深層学習による建物被害判別では、被害の有り・無しの二クラス分類であれば90%以上の高い判別率が得られているが、程度ⅠからⅤのような多クラス分類になると、その判別精度は60%から80%程度と大きく低下し、ばらつきも大きく、良好な判別精度が得られなかった。その上、被害写真を程度ⅠからⅤのように多クラスで分けると、それぞれのクラスに分類される写真枚数にも偏りが生じる。そのため、枚数の少ないクラスは、推論の判別精度も低くなる。被害写真枚数が一定であるとすれば、分類するクラス数と判別率の間にはトレードオフの関係が生じる。そこで、最適なクラス数をどのように決定するかという問題が重要な課題となる。

現行の損傷程度のカテゴリは、調査員が現場で目視調査をすることに最適化されている。しかし被害写真からの損傷評価を前提とするのであれば、活用できる写真の枚数や写っている損傷の特徴に合わせて、分類のクラス数や損傷程度の値（損傷値）を変化させる必要があるが、これまでほとんど議論されることはなかった。

2. 研究の目的

本研究では、建物の被害評価について、撮影された損傷部位の写真を深層学習によって学習されたモデルで自動認識させ、建物被害調査の自動化システムの構築を目的とする。特に本研究では、深層学習のモデル構築において、被害写真の枚数が限られていることを前提に、損傷程度のクラス数や解析モデルを、被害写真の枚数や特徴に合わせて変化させ、それぞれの状態に適したモデルでシステムを構築しようとする点である。さらに開発したシステムをこれまで構築してきた建物被害評価システムに統合し、自治体職員による実証実験をとおしてその実用可能性を検討することも目的とする。

3. 研究の方法

本研究では、研究者らが最も多くの建物被害写真を有しているり災証明書のための建物被害認定調査を事例とし、対象を木造・プレファブ構造の建物とする。また被災原因は地震による損傷とする。具体的な研究方法は、以下の通りである。

- (1) 被害写真の分類方法の検討
- (2) 各種解析モデルを用いた深層学習による判別精度の比較検証
- (3) 建物被害調査システムへの統合と自治体職員による実証実験

4. 研究成果

(1) 被害写真の分類方法の検討

建物被害認定調査では、損傷を程度Ⅰから程度Ⅴの5区分で分類されている。調査員による目視調査の最大の課題は、この損傷程度判断のばらつきであるが、このばらつきについて定量的に調査された事例はない。そこで本研究では、自治体職員約90名に各自100枚の建物被害写真を提示し、それぞれについて程度ⅠからⅤの損傷程度を判断してもらう調査を実施した。

その結果、損傷程度別の平均正解率は、Ⅰが67.5%、Ⅱが55.4%、Ⅲが53.0%であり、間違いの多くは、±1の隣接する損傷程度を回答していた。さらに繋がっている損傷をどの範囲で一つの損傷と判断するかという、損傷認識の単位が人によって異なることが明らかになった（図1）。この違いによっても正解率が低下することもあきらかになった。



図1 調査員による損傷認識の範囲の違い

そこで本研究では、使用する解析モデルの特徴によって、損傷範囲の大小を変更することとした。具体的には、分類モデルでは比較的広い範囲を設定し、検出モデルとセグメンテーションモ

デルでは、狭い範囲を単位として損傷を決定した。さらに隣接する損傷程度との判断が難しいことから、5区分のみならず3区分についても解析をおこなった。

(2) 各種解析モデルを用いた深層学習による判別精度の比較検証

①分類モデルによる解析

分類モデルによるシステム解析では、建物の損傷写真から損傷部分を切り出し、損傷程度5区分のタグ付けをおこない、教師データを作成した(図2)。一枚の写真に一つの損傷が存在するように切り出した。収集した損傷写真データは、対象とカメラとの距離が一定でなく、同じ損傷程度の写真であっても、近づいて画面いっぱい損傷がある写真と、ある程度距離をとった損傷写真がある。このようなデータをそのまま学習させると、機械学習では前者の方が損傷が大きいと判断されてしまう。そのため損傷写真の切り出しの際には、カメラと対象との距離感を一定にするように注意した。



図2 損傷写真の切り出し

分類モデルのCNNとして、Network in Network (NIN), AlexNet, GoogLeNet, ResNet34などの複数のモデルを比較した。その結果、最も判別精度(Accuracy)が高かったモデルはNINで55.2%であった。また各クラスの検出率(Recall)では「被害なし」が86.6%、「程度V」が73.9%と高い精度である一方、「程度I」, 「程度II」, 「程度III」, 「程度IV」については30~60%と低い精度であった。次に同じNINを用いて「被害なし」, 「程度I+程度II+程度III」, 「程度IV+程度V」の3区分で検討した結果、判別精度は86.4%となり大きく向上した。

このモデルの実用への展開を検討した場合、実際の災害現場での使用において、距離を一定にして撮影することは難しい。例えば対象から1mの距離で撮影することを求めても、現場の状況からその条件に従うことは困難である場合が多く、実用には適さないことが明らかになった。さらに繋がっている損傷をどこまで1枚の写真に取り込むのか、その定義が不安定で判断がばらつく結果となった。

②検出モデルおよびセグメンテーションモデルによる解析

分類モデルのデータ作成上の課題を解決するために、現場で撮影可能な対象とカメラの距離が一定である損傷写真として、写真の上下が建物の階高と同じになっている写真を選定した。このような写真では、一枚の被害写真に複数の損傷が存在することになるとともに、樹木や外構など建物以外のオブジェクトが映り込んでいるため、解析技術を画像分類ではなく画像検出およびインスタンス・セグメンテーションとした。画像検出モデルでは、損傷箇所を矩形の枠(Bounding Box)で囲み、セグメンテーションモデルでは、損傷部分の形状をこまかく囲んだマスク画像を作成し、教師データとした。1枚の損傷写真の複数の損傷箇所それぞれに損傷程度の情報を付与した(図3)。この際、損傷範囲は最小の“傷”単位とした。使用した写真データは、学習データ1198枚、検証データ193枚である。程度ごとの内訳は表1の通りである。セグメンテーションデータから検出データへ変換可能であるため、両モデルで同じ写真を使用して比較した。解析モデルはYolo v8を使用した。



図3 検出モデルとセグメンテーションモデルの例

表1 損傷程度のラベル数

Label counts	
Degree I	2187
Degree II	866
Degree III	467
Degree IV	546
Degree V	256

学習では、IoUを0.1から0.6の範囲で調整し、さらにパラメータをチューニングした。精度検証の結果を表2に示す。

表2 画像検出（左）およびセグメンテーション（右）による判別精度の結果

	Precision	Recall	mAP		Precision	Recall	mAP
All	0.676	0.390	0.530	All	0.638	0.407	0.522
Degree I	0.619	0.250	0.418	Degree I	0.513	0.247	0.362
Degree II	0.526	0.224	0.370	Degree II	0.510	0.224	0.345
Degree III	0.617	0.330	0.486	Degree III	0.576	0.339	0.494
Degree IV	0.819	0.531	0.694	Degree IV	0.802	0.570	0.713
Degree V	0.800	0.615	0.684	Degree V	0.791	0.654	0.695

いずれのモデルにおいても損傷程度 I から III の検出率 (Recall) が低い結果となった。これは写真の解像度にもよるが、対象からある程度引いた写真では、細かな損傷が見えにくくなることを意味する。これは対象に近寄って損傷を撮影した分類モデルでの写真と、対象から引いて撮影した検出モデルでの写真の違いであり、両者はトレードオフの関係にある。

一方、建物の被害の評価の実務では、損傷の評価は細かな損傷ごとではなく、いくつかの損傷を統合した比較的広い枠で評価される。

そこでこのモデルの実用への展開を検討するため、画像検出モデルのデータにおいて、複数の損傷枠を一つにまとめるアルゴリズムを作成し、再度解析した。その結果は図4に示すとおり、詳細な損傷枠で解析した場合と、判別精度、検出率ともあまり変化がないことが確認され、このようにいくつかの細かな損傷を統合した損傷枠でデータを作成することの妥当性が示された。



図4 損傷枠統合前（左）と統合後（右）の検出結果、およびその精度

(3) 建物被害調査システムへの統合と自治体職員による実証実験

本研究で開発したモデルのうち、検出モデルをこれまで開発してきた建物被害調査システムであるスマート・インスペクションシステムへ搭載するとともに、自治体職員による実証実験を実施し、その実用可能性を検討した。

スマート・インスペクションシステムにおいて、損傷箇所の写真撮影後、クラウドに送信し、判定するシステムを構築した（図5）

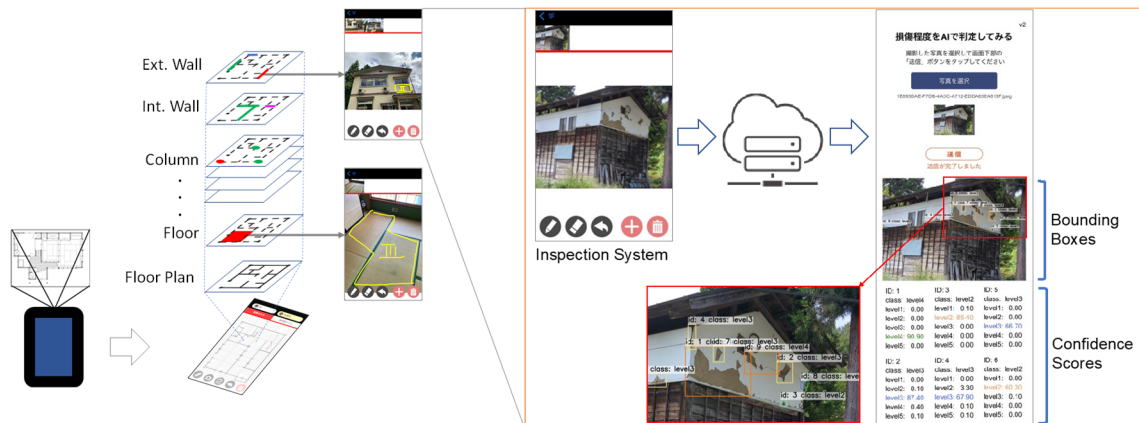


図5 スマート・インスペクションシステムへの検出モデルの搭載

このシステムを使用して、新潟県小千谷市に存在する建物を利用して、自治体職員にシステムを利用してもらい、その効果を検証した（図6）。学習モデルがクラウド上にあるため、通信環境によっては、判別結果を得るまでに20-30秒かかることもあるが、使用感はおおむね良好であった。

実験では、従来の紙ベースの調査方法とシステムを使った調査方法の両方を試し、効率とばらつきを比較した。調査効率については、システムを使った調査方法の方が、調査・評価にかかる時間が約1/3となる結果を得た。また、システムによる検査結果は自動計算されるため、計算ミスがない。

損傷の検出については、壁ボードの継ぎ目や窓と壁の隙間について、写真上の損傷と形状が似ているため、モデルが程度Ⅰまたは程度Ⅱの損傷と誤検出することがあった。しかし、これらが損傷か否かの判断は、調査員が現場で確認できるため、実用上は大きな問題ではない。基礎のコンクリートのひび割れも正しく判定された。



図6 実建物を利用した実証実験の様子（左）とシステムの判別結果（右）

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 5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 S.Tanaka, Y.Ueoka, K.Shigekawa, T.Nishino	4. 巻 -
2. 論文標題 IMPLEMENTATION OF A BUILDING DAMAGE INSPECTION SYSTEM USING DEEP LEARNING	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Proceedings of 18th World Conference on Earthquake Engineering	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 Y.Ueoka, S.Tanaka	4. 巻 -
2. 論文標題 DEVELOPMENT OF A DAMAGE DETECTION METHOD FOR WOODEN BUILDINGS BY DEEP LEARNING	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Proceedings of 18th World Conference on Earthquake Engineering	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 Kai WU, Masashi MATSUOKA, Haruki OSHIO	4. 巻 -
2. 論文標題 Earthquake Damage Detection and Level Classification Method for Wooden Houses Based on Convolutional Neural Networks and Onsite Photos	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering	6. 最初と最後の頁 1-21
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1111/mice.13224	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 辻 翔平, 小泉 沙樹, 林 海希, 田中 聡	4. 巻 54
2. 論文標題 建物被害認定調査における調査員の損傷程度の判断に関する考察	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 地域安全学会梗概集	6. 最初と最後の頁 179-182
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 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 上岡 洋平, 田中 聡	4. 巻 52
2. 論文標題 深層学習を用いた建物被害認定調査への適用	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 地域安全学会梗概集	6. 最初と最後の頁 31-34
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 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 辻 翔平, 田中 聡	4. 巻 52
2. 論文標題 建物被害認定調査における被災地外からの支援の試み: 2022年福島県沖地震における南相馬市の事例	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 地域安全学会梗概集	6. 最初と最後の頁 13-16
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 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 高山 裕希, 長澤 舞, 伊藤 綺夏, 牧 紀男, 田中 聡	4. 巻 52
2. 論文標題 建物被害認定調査のためのVR研修システムの試作	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 地域安全学会梗概集	6. 最初と最後の頁 35-38
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 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 辻翔平, 田中聡	4. 巻 No.50
2. 論文標題 自治体職員を対象とした研修結果から見た建物被害認定調査における課題: 北九州市における事例から	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 地域安全学会梗概集	6. 最初と最後の頁 207-210
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 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 Xiu Haoyi, Liu Xin, Wang Weimin, Kim Kyoung-Sook, Shinohara Takayuki, Chang Qiong, Matsuoka Masashi	4. 巻 116
2. 論文標題 DS-Net: A dedicated approach for collapsed building detection from post-event airborne point clouds	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation	6. 最初と最後の頁 103150 ~ 103150
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jag.2022.103150	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 Kazuaki TORISAWA, Masashi MATSUOKA, Kei HORIE, Munenari INOBUCHI, Fumio YAMAZAKI	4. 巻 17
2. 論文標題 Development of Fragility Curves for Japanese Buildings Based on Integrated Damage Data from the 2016 Kumamoto Earthquake	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Disaster Research	6. 最初と最後の頁 464 ~ 474
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20965/jdr.2022.p0464	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 -

〔学会発表〕 計8件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 Kai WU, Masashi MATSUOKA, Haruki OSHIO
2. 発表標題 Earthquake Damage Detection and Level Classification Method based on Convolutional Neural Network Using Onsite Photographs of the Kumamoto Earthquake
3. 学会等名 第16回日本地震工学シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kai WU, Masashi MATSUOKA, Haruki OSHIO
2. 発表標題 Damage Level Classification Method for Buildings Based on Convolutional Neural Network Using Onsite Photographs of the Kumamoto Earthquake
3. 学会等名 日本リモートセンシング学会第75回学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 鱈沢 曜, 田中 聡, 水越 薫, 中嶋 洋介, 久田 嘉章, 宮村 正光, 諏訪 仁
2. 発表標題 非建築専門家による地震後の建物被害調査手法に関する研究
3. 学会等名 第16回日本地震工学シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 辻 翔平, 小泉 沙樹, 林 海希, 田中 聡
2. 発表標題 建物被害認定調査における調査員の損傷程度の判断に関する考察
3. 学会等名 第54回(2024年度)地域安全学会研究発表会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 辻 翔平
2. 発表標題 自治体職員を対象とした研修結果から見た建物被害認定調査における課題: 北九州市役所における事例から
3. 学会等名 第52回(2023年度)地域安全学会研究発表会(春季)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 上岡 洋平
2. 発表標題 深層学習を用いた建物被害認定調査への適用
3. 学会等名 第52回(2023年度)地域安全学会研究発表会(春季)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 高山 裕希
2. 発表標題 建物被害認定調査のためのVR研修システムの試作
3. 学会等名 第52回(2023年度)地域安全学会研究発表会(春季)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 辻翔平
2. 発表標題 自治体職員を対象とした研修結果から見た建物被害認定調査における課題：北九州市における事例から
3. 学会等名 第50回(2022年度)地域安全学会研究発表会(春季)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
研究分担者	重川 希志依 (SHIGEKAWA Kishie) (10329576)	常葉大学・社会環境学部・名誉教授 (33801)	
研究分担者	松岡 昌志 (MATSUOKA Masashi) (80242311)	東京工業大学・環境・社会理工学院・教授 (12608)	
研究分担者	鱒沢 曜 (MASUZAWA Yoe) (90533141)	明星大学・建築学部・准教授 (32685)	

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
---------	---------