

地域の経済力を考慮した大規模災害時における 住宅単位のミクロな経済的被害評価手法の開発

古谷貴史*・秋山祐樹**・武田直弥***

Development of a Micro-Economic Damage Evaluation Method per Residential Building in a Large-Scale Disaster Considering the Economic Strength of the Region

Takafumi FURUYA, Yuki AKIYAMA and Naoya TAKEDA

Abstract: In Japan, the frequency of natural disasters is high, and therefore, physical damage evaluation methods for earthquakes and floods have been improved. On the other hand, economic damage evaluation methods have not yet been established for micro and wide areas. In this study, we developed a damage evaluation method that considers the economic strength of regions by estimating the amount of damage per residential building and the savings of each household in a large-scale disaster. As a result, we found that the amount of damage is less than 40% of the amount of savings per household in many areas of the Kanto region. And in the outskirts of the special wards of Tokyo, there were many areas where the amount of damage exceeded the amount of household savings.

Keywords: 大規模災害 (large scale disaster), 経済的被害 (economic damage), 損害額 (loss), 貯蓄高 (saving), 住宅単位 (per residential building)

1. はじめに

我が国では、自然災害の発災頻度が高いため、地震・水害等の物理的な被害評価方法の高度化が図られてきた。一方、自然災害による被害を考える際、物理的な被害のみならず、経済的被害を踏まえた災害リスク評価も重要である。例えば内閣府の防災対策推進検討会議（2013）によると、今後予測される首都直下型地震の被害想定では、直接被害額が47.4兆円に上ると試算されている。その中でも住宅用途の建物の被害額は23.8兆円と直接被害額の50%以上を占めている。このように、住宅は自然災害の経済的被害全体に占める割合が大きいため、住宅の経済的被害を広域かつ詳細に評価し、防災および減災の取り組みへ反映できる環境を整備することが重要である。

自然災害における経済的被害の既往研究に着目すると、稲積ほか（2019）は、構造物の地震リスクポテンシャルの評価のため、被害額を考慮した地震リスクカーブを作成し、都市部と地方の地震被害のリ

スクを評価し比較している。しかし、既往研究の課題として、被害額の推計に建物の用途および築年代等を考慮していない点や、地震リスクの評価が都道府県単位などマクロな単位でなされている点が挙げられる。また、上述の内閣府による首都直下型地震の直接被害額の推計方法も同様に、マクロスケールでの推計にとどまっている。そのため、住宅における被害額を広域かつ空間的に高い粒度で推計した事例は殆ど見られない状況である。さらに Nakashima et al. (2018) は、災害復旧における各世帯の負担の度合いは建物の被害額だけでは計れなく、年収や貯蓄等の世帯の経済的な要素によって格差が生じることを指摘している。

そこで本研究では、大規模災害時の住宅単位の損害額および世帯ごとの貯蓄現在高を推計することで、地域の経済力を考慮した住宅単位の経済的被害評価手法の開発を目的とする。この開発手法は、ほぼ日本全国にて適用できるため、広域を対象に詳細な被害評価を可能にする。

* 学生会員 東京都市大学大学院総合理工学研究科 (Tokyo City University)

〒158-0087 東京都世田谷区玉堤1丁目28-1 Tel : 03-5707-0104 E-mail : g2081624@tcu.ac.jp

** 正会員 東京都市大学建築都市デザイン学部都市工学科 (Tokyo City University)

*** 学生会員 東京都市大学工学部都市工学科 (Tokyo City University)

2. 研究方法

本研究では、首都直下型地震を想定し、住宅の中でも戸建て住宅を対象に、経済的被害評価を実施する。まず損害額の推計に必要な情報を推定していく。具体的には、建物1棟1棟の構造をXgboostによる機械学習を用いて推定し、さらに既存の統計資料を組み合わせ、築年代を推定する。次に、推定した建物構造および築年代に基づき住宅単位の損害額を推計する。さらに、既存の統計資料を組み合わせ、町丁字単位で世帯の貯蓄現在高を推計する。最後に、町丁字ごとに1世帯当たりの貯蓄に対する損害額の比を算出することで、経済的な負担の地域格差を定量的に明らかにする。

3. 損害額の推計

本研究では、デジタル住宅地図（Zmap TOWN II：2016年）をポイントデータに変換した建物ポイントデータに対して、損害額推計に必要な情報を推定し付与した結果に基づき、損害額を推計する。

3.1. 構造推定に用いる情報の付与

本研究では、建物の構造（木造および非木造）を機械学習により推定するため、推定に必要な特徴量を町丁字単位で推定し、建物1棟1棟に付与する。表1に推定した特徴量を示す。

年齢階級別人口割合は、国勢調査（2015年）の小地域集計に基づき、町丁字ごとに年少人口、生産年齢人口、老年人口の3区分で人口割合を算出し、

表1 建物データへ付与した特徴量

| 建物データへ付与する特徴量 | 特徴量作成の元となるデータ | 備考 |
|------------------|--------------------------------------|--------------|
| 年齢階級別人口割合(3区分) | 国勢調査小地域集計(2015年) | 町丁字単位で割合を算出 |
| 居住期間別世帯割合(6区分) | 国勢調査小地域集計(2015年) | 町丁字単位で割合を算出 |
| 世帯年収階級別世帯割合(9区分) | 国勢調査小地域集計(2015年) 住宅・土地統計調査(2018年) | 町丁字単位で割合を算出 |
| 建物階数別構造割合(2区分) | 国勢調査小地域集計(2015年) 住宅・土地統計調査(2018年) | 町丁字単位で割合を算出 |
| 用途地域(13区分) | 用途地域ポリゴン(国土数値情報) | 空間結合により属性を付与 |

建物に対してそれぞれ付与した。居住期間別の世帯割合についても同様の方法で、6区分の割合を算出し、建物に付与した。

世帯年収階級別世帯割合は、住宅・土地統計調査（2018年）にて市区町村単位で集計されている世帯年収階級別世帯数と、国勢調査（2015年）の小地域集計を組み合わせることで、町丁字単位で年収階級別の世帯数を推計した。次に、推計結果から年収階級別の世帯割合へ変換し、建物へ付与した。さらに、建物階数別構造割合についても同様に、住宅・土地統計調査（2018年）の建物階数別構造別の建物数と国勢調査（2015年）の小地域集計を元に町丁字単位で推計し、建物へ付与した。

最後に、国土数値情報にて公開されている用途地域ポリゴンと建物データを空間結合することで、用途地域の情報を付与した。これらの特徴量は、日本全国のはほぼ全ての地域を網羅しているため、様々な地域の建物構造の推定に活用することができる。

3.2. 構造の推定

機械学習により建物の構造を推定するには、建物1棟1棟に対して正確な構造の情報を与える必要がある。そこで本研究では、東京都世田谷区のホームページで公開されている「せたがやi map」内の建物現況調査（2016）を用いて、教師データを作成し推定モデルを構築した。具体的には、世田谷区内の戸建て住宅1,000件分をランダムに抽出し、それらに該当する3.1節で作成した構造推定に用いる情報が付与された建物ポイントデータに対して正確な構造の情報を付与した。

また本研究では、教師あり学習モデルとして、Xgboostを構造推定に用いた。説明変数に用いる建物へ付与した情報は、地域によっては欠損値が生じるため、欠損値が含まれるデータに対しても高精度な推定が可能なXgboostを選択した。また、1,000件の教師データのうち800件を訓練データとして学習し、残りの200件をテストデータとして検証に用いた。テストデータの推定結果を表2に、世田谷区における建物の構造を推定した結果を図1に示す。正解率は96%と高い精度であることが確認できた。木

造は 181 棟のうち 179 棟を木造と正しく推定した。一方、非木造は 19 棟のうち 13 棟を正しく非木造と推定しているものの、木造と比較するとやや精度が落ちる結果となった。誤推定が生じる原因として、推定に用いる説明変数の多くが町丁字単位で推定したものをを用いていることが考えられる。

3.3 築年代の付与

築年代は、住宅・土地統計調査（2018 年）と国勢調査（2015 年）の小地域集計を組み合わせ、市区町村単位で集計されている建物用途別・構造別・階数別の築年代ごとの建物数を町丁字単位で推定し、割合に変換した。次に、変換した割合に基づき、建物 1 棟 1 棟に対して確率的に築年代（～1970 年，1971～1980 年，1981～1990 年，1991～2000 年，2001 年～2010 年，2011 年～2015 年，2016 年～現在まで）の 7 区分を付与した。世田谷区における戸建て住宅の築年代推定結果と住宅・土地統計調査を比較した結果を表 3 に、推定した築年代を図 2 に示す。木造と非木造の建物を合算した際の築年代別割合は、住宅・土地統計調査の値と一致している築年代が多い。しかし、構造別の築年代については、木造および非木造どちらも誤差の大きい築年代が複数生じる結果となった。建物単位の築年代の推定精度の改善は今後の課題としたい。

3.4 地震による建物損壊程度の付与

首都直下型地震における建物の損壊程度を推定するため、G 空間情報センターにて公開されている内閣府の首都直下地震モデル検討会において検討された計測震度分布データを用いる。これは第 5 次メッシュ（250m 四方）単位で全 14 地点の想定震源地別

の計測震度が集計されたデータである。今回は 14 パターンのうち、想定震源地が都心直下南部となる

表 2 テストデータ 200 件の構造推定結果

| | | 推定値 | | 合計 |
|----|-----|-----|-----|-----|
| | | 木造 | 非木造 | |
| 真値 | 木造 | 13 | 6 | 19 |
| | 非木造 | 2 | 179 | 181 |

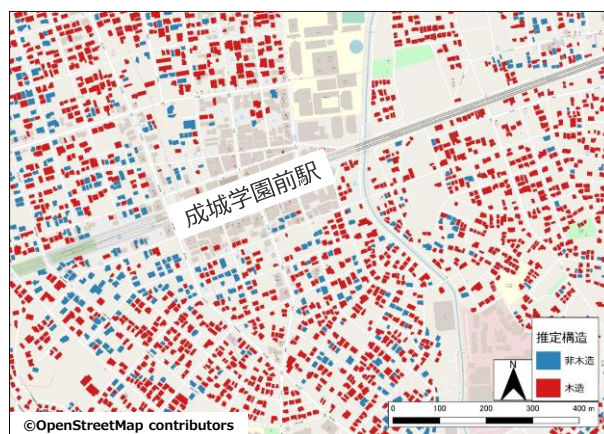


図 1 世田谷区における構造推定の結果
(小田急線成城学園前駅周辺の例)

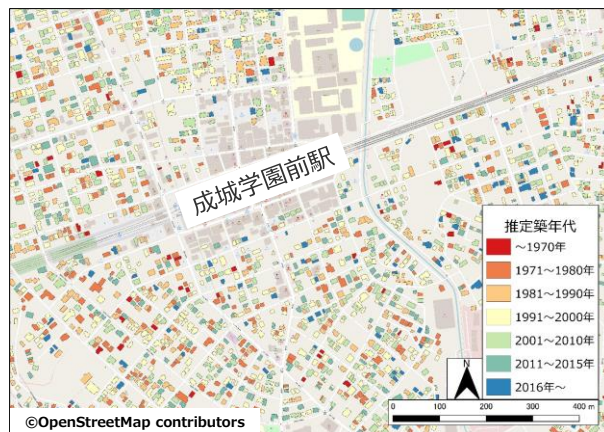


図 2 世田谷区における築年代推定の結果
(小田急線成城学園前駅周辺の例)

表 3 世田谷区の戸建て住宅における築年代の推定結果と住宅・土地統計調査の比較結果

| | | 建築の時期別・構造別の建物割合 (%) | | | | | | |
|-----|--------|---------------------|------------|------------|------------|------------|------------|----------|
| | | ～1970年 | 1971～1980年 | 1981～1990年 | 1991～2000年 | 2001～2010年 | 2011～2015年 | 2016年～現在 |
| 木造 | 住宅土地統計 | 10.7 | 13.4 | 16.6 | 20.6 | 21.6 | 11.8 | 5.35 |
| | 推定結果 | 3.08 | 7.92 | 16.7 | 27.3 | 29.7 | 9.2 | 5.89 |
| 非木造 | 住宅土地統計 | 3.73 | 7.46 | 15.9 | 27.5 | 29.6 | 9.13 | 6.67 |
| | 推定結果 | 4.51 | 13.1 | 26.0 | 23.0 | 18.7 | 11.7 | 2.85 |
| 合計 | 住宅土地統計 | 9.95 | 12.8 | 16.5 | 21.3 | 22.4 | 11.6 | 5.49 |
| | 推定結果 | 3.23 | 8.47 | 17.7 | 26.8 | 28.6 | 9.48 | 5.57 |

場合のみを対象とする。

次に、3.3 節までに推定した建物の構造、築年代および計測震度を元に、建物被害関数を用いて全壊確率、大規模半壊以上確率、半壊以上確率の3種類の損壊確率を算出する。現在までの地震被害評価は、1995年兵庫県南部地震における実際の被害に基づき構築された建物被害関数が広く用いられてきた。しかし、20年以上前に発生した地震の被害データに基づき将来の地震被害の評価をすることは、正確な被害評価結果を得られない可能性も考えられる。そこで本研究では、須藤ほか(2019)による、2016年の熊本地震における益城町の罹災証明データに基づき構築された被害関数を用いることとした。式(1)に建物被害関数を示す。

$$P_R(I) = \Phi\left(\frac{(I-\lambda)}{\zeta}\right) \quad (1)$$

$P_R(I)$ は、計測震度 I における損壊程度 R 以上の被害が発生する確率とし、正規分布で表せると仮定している。回帰係数 λ および ζ は、それぞれ計測震度の平均値および標準偏差を示す。

以上の建物被害関数により算出した損壊程度別の確率に基づき、確率的に損壊程度を決定し建物1棟1棟に損壊程度を付与した。

3.5 建物単位の損害額の推計

建物損害額の推計は、半壊以上の被害を推計対象とし、関東地方の戸建て住宅約733万棟に対して1棟1棟の損害額を推計した。国税庁の被災した場合の住宅損失額計算書(2021)の計算式を参考に、式(2)および式(3)に基づき推計した。

$$M_i = (C_i \times A_i) \times 0.9 \times D_i \times Y_i \quad (2)$$

$$L_i = M_i \times P_i \quad (3)$$

M_i , C_i , A_i , D_i , Y_i はそれぞれ建物 i の被災直前の時価総額(円)、 1m^2 あたりの工事費用(円)、総床面積(m^2)、償却率、築年数を示す。また、 L_i と P_i はそれぞれ建物 i の損害額(円)と損害率を示す。

C_i , D_i については、国税庁の損失額計算書(2021)の値を用いた。これらの値は、推定した建物の構造および築年代に基づき建物ごとに決定するものである。損害率 P_i も同様の計算書に基づき、損壊程度が大規模半壊以上のものを1、半壊以上大規模半壊未満のものを0.5とした。

首都直下型地震にて半壊以上の被害を受ける建物のうち、1棟あたりの平均損害額を図3に示す。1棟あたりの平均損害額が1,000万円を超える町丁字は関東地方の広い範囲で存在し、特に東京23区および都心から概ね30~40km以遠の郊外に環状に分布することが確認できた。また、想定震源地が都心直下南部における住宅の損害額の総額は約20.4兆円であった。これは内閣府が試算している被害額(2013)である23.8兆円と概ね一致する結果となった。さらに、関東地方における半壊以上の被害を受ける建物のうち、1棟当たりの平均損害額は896万円となった。

4. 貯蓄現在高の推計

本研究では、地域の経済力を考慮した経済的被害評価をするため、世帯ごとの貯蓄現在高を推計する。貯蓄現在高とは、生命保険の払込総額、有価証券を含む金融機関への貯蓄および金融機関以外への貯蓄を合計したものとなる。

4.1 推計方法

町丁字単位の貯蓄現在高階級別世帯数を推計するため、3章の3.1節にて推計した町丁字単位の世帯

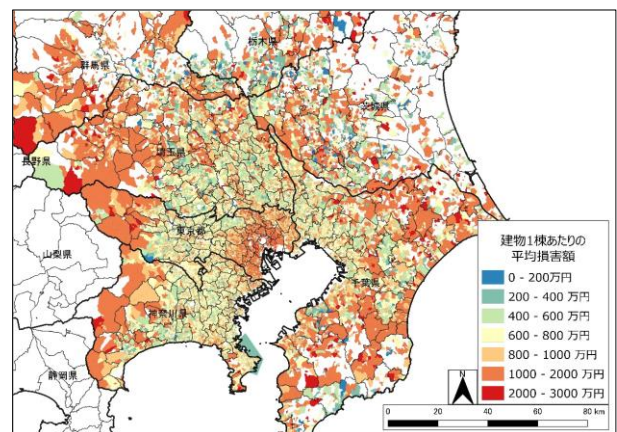


図3 被害建物1棟あたりの平均損害額

年収階級別世帯数と、家計調査（2019 年）における全国集計の世帯年収階級別・貯蓄現在高階級別世帯数を用いた。まず、家計調査の結果を年収階級別・貯蓄現在高階級別の世帯割合に変換した。続いて変換した割合を 3 章の 3.1 節にて推計した世帯年収階級別世帯数に乗じることで、町丁字単位の貯蓄現在高階級別（18 区分）の世帯数を推計した。

4.2 貯蓄現在高の地域格差の調整

本来、貯蓄現在高は地域格差が大きいものである。しかし、4.1 節の推計方法は全国集計の結果における年収階級別・貯蓄現在高階級別の世帯割合に基づき貯蓄現在高を推計するため、推計結果に地域格差が表れにくく、実態と乖離した結果となり得る。そこで、全国消費実態調査（2014 年）における都道府県別の 15 万人以上の市町村および経済圏の貯蓄現在高階級別世帯数を用いてより実態に近くよう調整した。具体的には全国消費実態調査の対象となる市区町村および経済圏ごとに、4.1 節で推計した貯蓄現在高階級別世帯数との誤差が大きい階級同士で世帯を入れ替えることで誤差の最小化を図った。

4.3 推計結果と信頼性検証

全国の 15 万人以上の市町村および経済圏単位で貯蓄現在高階級別世帯割合を集計し、推計値と全国消費実態調査（2014 年）でどの程度一致するか検証した。検証結果を図 4 に示す。決定係数は 0.87 となり、概ね統計値と一致していることが確認できた。また、図 5 に貯蓄現在高 4000 万円以上の世帯割合を示す。この推計データは日本全国ほぼ全ての地域をカバーしている。ただし一部山間地域等の人口が極めて少ない地域は、未推計となっている。これは、貯蓄現在高の推計に用いた世帯年収階級別世帯数推計の元となる住宅・土地統計調査において、人口 1 万 5 千人未満の市区町村の集計結果が掲載されていないためである。これらの地域の貯蓄現在高の推計は今後の課題としたい。

5. 地域の経済力を考慮した被害評価

経済的な負担の地域格差を定量的に示すため、町

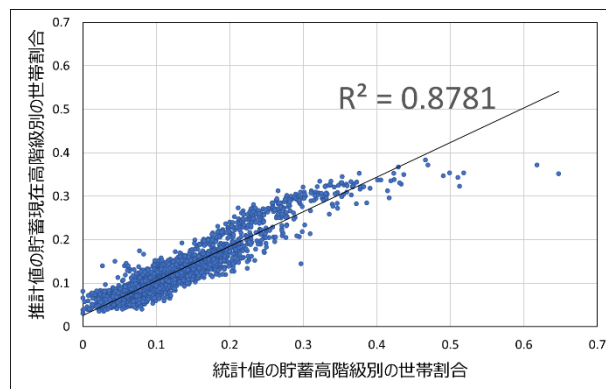


図 4 貯蓄現在高推計の信頼性検証の結果

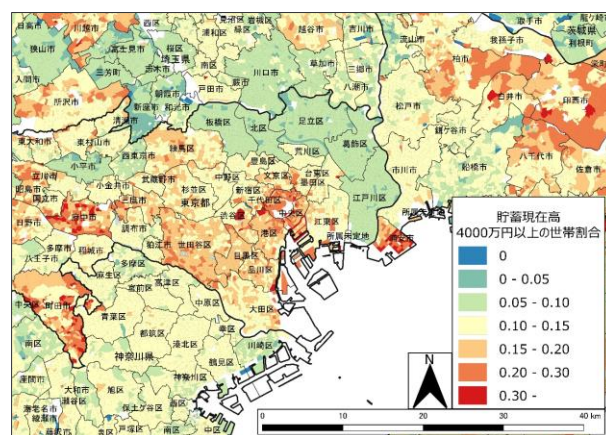


図 5 貯蓄現在高 4000 万円以上の世帯割合

丁字ごとに 1 世帯当たりの貯蓄に対する損害額の比を算出した。なお今後、この値を 1 世帯あたりの貯蓄に対する損害額の負担度と定義し経済的被害を評価する。図 6 にその結果を示す。多くの地域は負担度が 0~0.4 となっており、地震による損害額が 1 世帯当たりの貯蓄高に占める割合は 4 割未満となることが分かる。一方、東京 23 区近郊は負担度が大きい地域が多くみられ、特に負担度が 1 を超える地域が集中している。これは 1 世帯あたりの貯蓄高を超える損害額が出る地域を示しており、こういった地域には発災前に予め災害危険度の小さい地域への居住誘導を促したり、火災保険の加入を勧めたりするなどの事前の防災・減災対策を優先的に講じる必要があることを示唆している。

6. おわりに

本研究では、大規模災害時の住宅単位の損害額および世帯ごとの貯蓄現在高を推計することで、地域の経済力を考慮した住宅単位の経済的被害評価手法

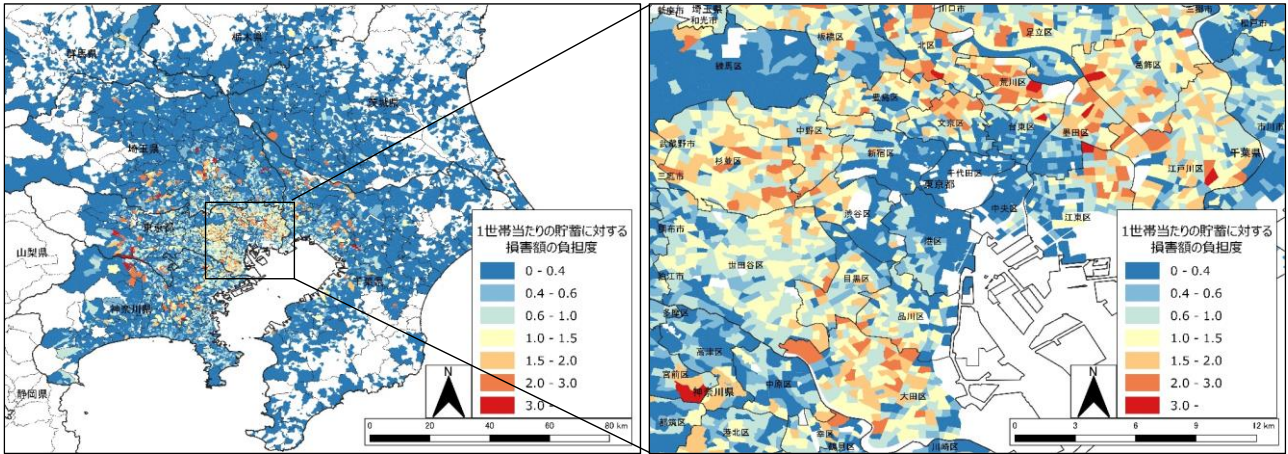


図6 1世帯あたりの貯蓄現在高に対する損害額の負担度

を開発した。開発手法により首都直下型地震を対象に経済的被害評価を実施した。その結果、関東地方の多くの地域において、1世帯あたりの貯蓄高に対して約4割未満の損害額が出る事が分かった。

開発手法の課題としては、より正確な被害評価を実現するため、建物の構造および築年代等の建物属性の推定精度を向上させることが挙げられる。また今回は、建て替えにかかる費用を損害額として推計したものの、実際の被災においては建物を一部修繕することも多い。今後は修繕等の可能性を考慮した経済的被害評価の手法の体系化にも取り組みたい。

謝辞

本研究は東大 CSIS 共同研究 No.1049 による成果の一部です（利用データ：Zmap TOWN II (2016年)）。ここに記して謝意を表します。

参考文献

稲積真哉・境田彰芳・納庄一希 (2019), 各地域の地震リスク性状に基づく構造物の地震リスクポテンシャルの評価. 「材料」, Vol.68, No.3, pp.222-227.

国税庁 (2021), 被災した住宅、家財等の損失額の計算書, <https://www.nta.go.jp/taxes/shiraberu/saigai/h30/0018008-045/pdf/10_03.pdf>. (最終閲覧日 2021年8月30日)

須藤巧哉・山崎文雄・松岡昌志・井ノ口宗城・堀江啓・劉ウェン (2019), 益城町の罹災証明データ

に基づき2016年熊本地震に対する建物被害関数の構築, 日本地震工学論文集, 第19巻, 第4号, pp.13-31.

世田谷区 (2016), せたがやiマップ建物構造現況図, <https://www.sonicweb-asp.jp/setagaya/map?theme=th_22>. (最終閲覧日 2021年8月30日)

内閣府 (2013), 首都直下型地震の被害想定と対策について最終報告書, <http://www.bousai.go.jp/jishin/syuto/taisaku_wg/pdf/syuto_wg_siryu03.pdf>. (最終閲覧日 2021年8月30日)

Nakashima, T., Okada, S., (2018) Financial Imbalances in Regional Disaster Recovery Following Earthquakes - Case Study Concerning Housing - Cost Expenditures in Japan, *Sustainability*, 10(9), 3225, 1-23.