地域特性を考慮した建築物ストック崩壊量の推計モデ ルの提案と地域復興計画への応用—東日本大震災を教 訓として—

梶 友樹1・古市 徹2・翁 御棋3・石井 一英4・金 相烈5・

¹非会員 京都大学 公共政策大学院(〒606-8501京都市左京区吉田本町) E-mail: yu-ki.pc@frontier.hokudai.ac.jp

 ²正会員 北海道大学大学院工学院 教授(〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目) E-mail:t-furu@eng.hokudai.ac.jp
³正会員 北海道大学大学院工学院 助教(〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目) E-mail: weng@eng.hokudai.ac.jp
⁴正会員 北海道大学大学院工学院 准教授(〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)

E-mail: k-ishii@eng.hokudai.ac.jp

5非会員 北海道大学大学院工学院 特任助教 (〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)

E-mail:sykim@eng.hokudai.ac.jp

本研究では、大規模災害時に発生する災害廃棄物のうち建築物によるがれきの発生量を地域特性を考慮 して推計するモデルを提案した.東日本大震災の被災地である宮城県仙台市をケーススタディとして建築 物崩壊量の推計および建築物ストックの変動に影響を与える因子の抽出を行ったところ、仙台市全体で建 築物崩壊量は約 880 万トンと推計され、建築物ストックの変動への影響因子として世帯人数や仙台港にお けるコンテナ取扱量、運輸業の総生産などが選ばれた.各自治体において災害廃棄物の発生因子を分析し、 それらを踏まえて地域復興や防災・減災・耐災計画の作成を行っていくことが未来に起こりうる大規模災 害への備えや災害廃棄物発生量の低減につながると考えられる.

Key Words : disaster waste, the East Japan great earthquake, regional rehabilitation, natural disaster prevention/mitigation / resistance

1. はじめに

(1) 研究背景

2011年3月11日に発生した東日本大震災は各地に大 きな被害をもたらした、最大震度7の地震が観測され、そ れに伴って発生した大津波によって特に岩手県や宮城県、 福島県の各沿岸部の市区町村は壊滅的な被害を受けた. これらの被害は1995年に発生した阪神・淡路大震災を も超える戦後最大規模のものとなった.今回の震災によ り建築物の流失や崩壊が起こり大量のがれきが発生した. 被災した市町村における災害廃棄物排出量は通常時の廃 棄物排出量の数倍から数十倍にも上る.これら災害廃棄 物を震災発生直後、および復旧復興段階において迅速か つ円滑に収集運搬、処理(リサイクルなど)・処分する ため各自治体には様々な対応が求められる.まずがれき 等の廃棄物を撤去し、同時にそれらを一次処理するため の仮置場を選定しなければならない.仮置場が確保でき たら次に廃棄物を収集・運搬し、処理・処分を行ってい く必要がある.これらの対応を迅速に行うためには各自 治体があらかじめ災害廃棄物発生量を推計しておくこと が重要となる.推計した災害廃棄物発生量から仮置き場 の選定や確保、必要な運搬車両台数や処理施設能力の把 握および災害廃棄物処理計画の作成や震災時の対応に関 するマニュアルの作成を行うためである.

東日本大震災における被害規模は各自治体が想定して いたものをはるかに上回っていた.地震に伴って発生し た大津波はハザードマップによって想定されていた浸水 エリアを越え各地に大きな被害を与えるとともに大量の 津波堆積物をももたらした.こうした大規模な被害を受 け,各自治体ではこれまでの被害予測について改めて見 直し,予測される被害に応じた災害に強い都市づくりを 行っていくことが求められる.そのためには各地域の特 性を考慮したより精度の高い災害廃棄物発生量の予測を 行うことが必要となる.また災害廃棄物の発生に影響を 与える要因となるものは何かを分析しそれら影響要因を 考慮した上で都市づくりを行っていくことが重要となる. 東日本大震災による被害の把握を行い,地域に応じた災 害廃棄物の発生要因を分析することは今後の災害に対す る被害予測や,それに応じた都市づくりを行う上で有効 であると考えられる.

(2) 目的

そこで本研究では、①東日本大震災で発生した災害廃 棄物のうち特に量の多かった建築物によるがれきを対象 に、発生量の推計および発生に影響を与える要因を分析 するためのモデルを提案すること、②提案したモデルに よって東日本大震災の被災地である宮城県仙台市の各区 を対象に建築物崩壊量の推計およびその発生要因の分析 を行い、本モデルの地域復興計画への応用について検討 することを目的とする.

2. 災害廃棄物量の推計に関する既往研究と課題

(1) 災害廃棄物量の推計に関する既往研究

災害廃棄物量の推計に関する研究はこれまでにもな されている、高月ら ¹⁾は阪神・淡路大震災で被災した神 戸市や西宮市において家屋の解体に立ち合い,調査した 解体廃棄物のがれき発生原単位(t/m²)に神戸市の被災建 築物延床面積を乗じることによって災害廃棄物量を推計 した.河田ら²⁾は東南海・南海地震が発生した場合の津 波廃棄物発生量推定手法を示した. 船舶やコンテナ. 原木 や自動車、家屋がれき類についてそれぞれ海域への流出 条件を設定し、対象地域におけるこれらの分布と津波の 浸水深分布や最大流速分布を照らし合わせることにより 港湾海域に流出する津波廃棄物量を推計している. 東日 本大震災の災害廃棄物について、平山ら³は東日本大震 災における津波廃棄物発生量ついて、津波の浸水深図や 浸水範囲概況図. 平成 17 年度国勢調査地域メッシュ統計 の世帯数を用いて、これらを照らし合わせ、被災した住家 に発生原単位を乗じることによって災害廃棄物量を推計 している. また, 藤原ら⁴は岩手県の住宅地図を GIS で津 波の浸水・全壊エリアマップと重ねることにより、被災 した住宅を把握し、浸水エリアに存在した住宅を半壊、津 波による被害の大きなエリアに存在した住宅を全壊とし、 それぞれ原単位を乗じて廃棄物量を推計した.なお、谷川 ら 5は東日本大震災の被災地域に存在した建築物の量を 考慮し、建築物の形状をポリゴンデータとして保有する 住宅地図データベースを用いて建築物の階数や延床面積 を把握し、ぞれぞれの延床面積に原単位を乗じることで 建築物物質ストックを推計している.

(2) 災害廃棄物量の推計に関する課題

既往研究では建築物によるがれき量を,被災した家屋 などの建築物の延床面積にそれぞれがれき発生原単位を 乗じることにより推計している.しかし建築物ストック の変動および建築物崩壊量の発生に影響を与える要因に 関する検討,つまり地域特性の考慮はまだ十分にはなさ れていなかった.被災した各地域に応じた災害廃棄物発 生への影響要因を把握することは今後災害に強い都市づ くり・地域復興を行っていく上や防災・減災・耐災計画 作成していく上で有効であると考えられる.

3. 建築物崩壊量の推計

(1) 建築物崩壊量推計の流れ

既往研究でも示したように、建築物崩壊量は基本的に 対象地域における建築物ストックのうちどれだけの建築 物が被災したかを調べ、それらにがれき発生原単位を乗 じることにより推計する.本研究でも同様にまず対象地 域における建築物ストック(木造住宅・非木造住宅・木 造非住宅(住宅以外の建築物を非住宅とした)・非木造非 住宅それぞれの延床面積の推計を行う.次にそれら建築 物ストックのうちどれだけが被災したかを衛星写真や津 波浸水範囲図などを用いて把握し被災率を推計する.続 いて被災した建築物ストック lm²当たりからどれだけの 量の廃棄物が発生するかをがれき発生原単位 (t/m²)によ って設定し、これらを乗じることにより建築物崩壊量を 推計する.つまり本研究で建築物崩壊量を推計する際の 基本式は式(l)のようになる.

$$W = \sum (N_i \times D_i \times C_i) \tag{1}$$

Wは建築物崩壊量, Niは建築物ストック(延床面積), Diは 被災率, Ciはがれき発生原単位, i は各建築物のタイプ(木 造住宅, 非木造住宅, 木造非住宅, 非木造非住宅)

(2) 対象地域における建築物ストックの推計

建築物崩壊量を推計するためにまず対象地域における 建築物ストックの推計を行う.本研究では地域特性を考 慮して建築物ストックの推計を行うため,対象地域にお ける人口や世帯数,各種産業の総生産などといった社 会・経済変数のうち何が建築物ストックの変動と関係が あるかを調べ,抽出された社会・経済変数の動向から建 築物ストックを推計する.そのための手法として回帰分 析を用いる.回帰分析を用いることにより,被説明変数と なる建築物ストックについてその変動に関する影響要因 を把握できるとともに,それらの影響を考慮した建築物 ストックの将来推計を行うことが可能となる.

対象地域における過去の統計データを収集し,建築物 ストックを被説明変数,各種社会・経済変数を説明変数 として回帰分析を行い,式(2)のような回帰式を立てる. $N_i = f(x_1, x_2, \cdots, x_k) \tag{2}$

 N_i は建築物ストック,fは建築物ストック変換関数, x_i , ..., x_k は社会・経済変数,iは各建築物のタイプ

式(2)によって建築物ストックの社会・経済影響要因 とその影響の大きさを把握し、これら変数の動向を調べ ることにより東日本大震災発生時(平成23年)における各 建築物(木造住宅, 非木造住宅, 木造非住宅, 非木造非住宅) の延床面積を推計する.

(3) 被災率の推計

被災率とは対象地域における建築物ストックのうちど れだけの量が被災したかという割合を示している. 今回 の東日本大震災では大きく分けて地震による被災と津波 による被災が考えられる.

被災率の推計手法について、翌川三郎と藤本一雄 % と 越村ら⁷が地震と津波の強度による家屋の被害率関数を 試算したが、構築した被害率関数が各地域や建築物類型 ごとに適用する不確実性である.したがって、本研究では、 災害前後の衛星写真を用いて,実際に損害した建築物の 状況を把握する. 津波による被災率について本研究では 国土地理院および日本地理学会により公開されている浸 水範囲概況図 8と衛星写真 9,10を用いて浸水範囲や震災 前後における建築物の被害状況を把握する.しかし、衛星 写真から津波浸水範囲における建築物の棟数や流失の有 無はわかるが全壊や半壊などの具体的な被害の程度や木 造・非木造、住宅・非住宅といった構造や種類の違いを 把握することは困難である.また建物の被災が地震によ るものか津波によるものかを判別することも困難である. そこで本研究では震災前後の衛星写真を目視によって比 較し、浸水建物棟数および流失した建物棟数を調べた後、 国土交通省により報告されている東日本大震災における 木造建築物・非木造建築物、住宅・非住宅の被災割合。 を用いて被災率を推計する、また、津波浸水エリアによっ て発生した廃棄物をすべて津波によるもの、津波浸水範 囲外から発生した廃棄物をすべて地震によるものである と仮定して津波と地震それぞれによる建築物崩壊量を推 計する. 地震による建築物の被災率は対象地域における 罹災証明件数集計表から求めることとする、なお被災率 を求める式は式(3)のようになる.

$$D_i = N_{ai} / N_{bi} \tag{3}$$

Diは被災率, Naiは被災した i タイプの建築物棟数, Naiは震災前のi タイプの建築物棟数, iは各建築物のタイプ

(4) がれき発生原単位

次に各建築物のがれき発生原単位の設定を行う.がれ き発生原単位に関する研究ではこれまでにも行われてお り,高月ら¹¹⁾は兵庫県西宮市における倒壊家屋の解体作 業に立ち会い解体廃棄物の発生状況を調査した.一戸建 ての木造建築物4件と鉄筋コンクリートマンション1棟 を解体したところ,解体廃棄物のがれき発生原単位は木 造家屋で0.62~0.71 (t/m²),鉄筋コンクリートの建造物で 0.85 (t/m²)とされた.橋本ら¹²⁾は既存の原単位は数少ない 解体調査から推計されているため調査によってかなりば らつきがあることを指摘している.そのため既存のがれ き発生原単位についてその信頼性の分析および新たな現 場調査を行った.これらにより得られたがれき発生原単 位はそれぞれ木造建築物で0.491 (t/m²),鉄筒サーンクリ ートで2.024(t/m²)となった.

このようにがれき発生原単位は調査により設定の仕方 やその値が異なっている.本研究では橋本ら¹²の研究か ら住宅と非住宅の原単位をそれぞれ計算し,木造建築物 を 0.491 (t/m²),非木造住宅を 1.228 (t/m²),非木造の非住宅を 1.620 (t/m²)と設定した.

4. ケーススタディと考察建築物崩壊量の推計

(1) 対象地域の設定と概要

本研究では対象地域を、東日本大震災による津波の浸 水範囲が最も大きかった宮城県のうち、農業が盛んな地 区や港湾施設を有する地区など市内に様々な特性の地区 をもつ仙台市とする (図1). 青葉区は人口・面積とも市の 5区の中で最も大きい.近代的な都市機能を有し,都心部 では東北地方の中枢的な役割を担う行政機関・金融機 関・事務所・商店などが集中している. 泉区は都市化が 進行している地区である. 古くから住宅開発が進んでい る.また,区内に広い農業用地がある.太白区では,宅地化 が進む平野部や都市型農地を行う地域などを有している. 宮城野区は仙台市の北東部に位置し仙台港を有する. 国 際貿易港の整備とそれに連携した産業機能の集積、仙台 市の中枢業務機能の拡大に向けた都市づくりが行われて いる.また都市型農業も行われており.商・工・農業と住 環境のバランスのとれたまちづくりが進められている. 若林区は区域が市街地域,住宅地域,流通・工業地域,田 園・海浜地域に分けられる.



(2) 建築物ストック推計モデルの構築

次に対象地域における建築物ストックの推計を行う. 建築物ストックの変動に関する社会・経済変数を把握し 建築物ストックを推計するため回帰分析を行う. 仙台市 HP により公表されている仙台市統計書¹³および仙台市 へのヒアリングにより建築物棟数や建築物延床面積およ び人口や世帯数など建築物ストックに関する影響要因の 統計データを収集した.本研究では、各変数が現在利用で きる H14 年から H20 年までの統計データを用いること とする. 建築物ストックに関する社会・経済要因を考慮 し、R 2.14.1 を用いて回帰分析を行い、最も有意な説明変 数を選んだ. 表-1 には、各区のモデルにおける有意性であ る説明変数の被説明変数を示す.また、表-2 に回帰分析の 結果に関する統計診断結果を示す. これら回帰分析の結 果を、自由度調整済み決定係数, t 値、Durbin-Watson test, BP test によって診断し有意な結果を得た.

表-1 モデルの変数とその説明(市内総生産・所得は H12 年を 基準年とした)

| 変数 | 変数の説明 | 単位 | 変数 | 変数の説明 | 単位 |
|----------|---------------|-------------------|----------|-----------------|----------------|
| x_I | 仙台市の農用地面積 | ha | N_4 | 青葉区の非木造非住宅延床面積 | m ² |
| x_2 | 仙台市の住宅地面積 | ha | N_5 | 泉区の木造住宅延床面積 | m ² |
| x_3 | 仙台港コンテナ貨物取扱量 | t | N_6 | 泉区の非木造住宅延床面積 | m ² |
| X_4 | 仙台市の水産業総生産 | 百万円/年 | N_7 | 泉区の木造非住宅延床面積 | m ² |
| x_5 | 仙台市の金融・保険業総生産 | 百万円/年 | N_8 | 泉区の非木造非住宅延床面積 | m ² |
| x_6 | 仙台市の運輸・通信業総生産 | 百万円/年 | N_9 | 太白区の木造住宅延床面積 | m ² |
| x_7 | 仙台市の市民所得 | 百万円/年 | N_{10} | 太白区の非木造住宅延床面積 | m ² |
| x_8 | 青葉区の人口密度 | 人/km ² | N_{II} | 太白区の木造非住宅延床面積 | m ² |
| x_9 | 青葉区の世帯人数 | 人/世帯 | N_{12} | 太白区の非木造非住宅延床面積 | m ² |
| x_{10} | 泉区の人口密度 | 人/m ² | N_{I3} | 宮城野区の木造住宅延床面積 | m ² |
| x_{II} | 泉区の世帯数 | 世帯 | N_{14} | 宮城野区の非木造住宅延床面積 | m ² |
| x_{12} | 太白区の世帯人数 | 人/世帯 | N_{15} | 宮城野区の木造非住宅延床面積 | m ² |
| x_{13} | 宮城野区の世帯人数 | 人/世帯 | N_{16} | 宮城野区の非木造非住宅延床面積 | m ² |
| x_{14} | 若林区の世帯人数 | 人/世帯 | N_{17} | 若林区の木造住宅延床面積 | m ² |
| N_I | 青葉区の木造住宅延床面積 | m ² | N_{I8} | 若林区の非木造住宅延床面積 | m ² |
| N_2 | 青葉区の非木造住宅延床面積 | m ² | N_{19} | 若林区の非住宅延床面積 | m ² |
| N_3 | 青葉区の木造非住宅延床面積 | m ² | N_{20} | 若林区の非木造住宅延床面積 | m ² |

表-2 回帰分析の結果と統計診断

| 区 | タイプ | 回帰モデル | 区 | タイプ | 回帰モデル |
|----------|-----|--|---|-----|--|
| 宮 | 木造 | $N_I = 6.064 \times 10^6 - 1.152 \times 10^6 \times x_{I3} + 0.125 \times x_6$ | 青 | 木造 | $N_{I3} = 1.475 \times 10^7 - 3.992 \times 10^6 \times x_8$ |
| 城 | 住宅 | (21.6) (-10.32) (1.22) | 葉 | 住宅 | (41.25) (-23.65) |
| 野 | | Adj R ² = 0.971, DW = 1.59, BP = 0.58 | 区 | | Adj R ² = 0.989, DW = 2.20, BP = 0.11 |
| 区 | 非木造 | $N_2 = e^{17.084} \times x_{12}^{-3.847} \times x_2^{0.087}$ | | 非木造 | $N_{14}=2.726\times10^7-1.066\times10^7\times x_8+1.483\times x_4$ |
| | 住宅 | (11.02) (-4.5) (0.97) | | 住宅 | (18.57) (18.57) (1.29) |
| | | Adj $R^2 = 0.989$, DW = 2.32, BP = 0.10 | | | Adj R ² =0.975, DW =2.15, BP = 1.27 |
| | 木造 | $N_3 = -1.485 \times 10^5 + 43.7 \times x_1 + 0.008 \times x_3$ | | 木造 | $N_{15} = 7.419 \times 10^5 - 653.2 \times x_7$ |
| | 非住宅 | (-1.43) (3.121) (1.93) | | 非住宅 | (5.38) (-4.17) |
| | | Adj R ² = 0.785, DW = 2.27, BP = 1.55 | | | Adj R ² = 0.732, DW = 1.52, BP = 0.46 |
| | 非木造 | $N_4 = 8.432 \times 10^6 - 622.7 \times x_I$ | | 非木造 | $N_{l6} = -7.044 \times 10^{6} + 14200 \times x_7 + 0.991 \times x_4$ |
| | 非住宅 | (16.14) (-8.13) | | 非住宅 | (-2.54) (1.07) (4.69) |
| | | Adj R ² = 0.916, DW = 2.17, BP = 0.01 | | | Adj R ² =0.773, DW =2.00, BP =0.56 |
| :11: | 木造 | $N_5 = 4.415 \times 10^6 - 6.700 \times 10^5 \times x_{I4}$ | 太 | 木造 | $N_{17} = 7.748 \times 10^{6} + 57.6 \times x_{2} - 1.311 \times 10^{6} \times x_{12}$ |
| 石井 | 住宅 | (81.78) (-28.78) | 白 | 住宅 | (6.90) (1.68) (-4.45) |
| 17 | | Adj $R^2 = 0.993$, DW = 2.26, BP = 0.50 | 区 | | Adj R ² = 0.987, DW = 1.47, BP = 3.28 |
| <u>6</u> | 非木造 | $N_6 = 7.022 \times 10^6 - 2.191 \times 10^6 \times x_{14}$ | | 非木造 | $N_{l8}=9.618\times10^{6}+87.3\times_{32}-3.254\times10^{6}\times_{32}$ |
| | 住宅 | (31.48) (-22.78) | | 住宅 | (5.34) (1.59) (-6.88) |
| | | Adj $R^2 = 0.989$, DW = 1.64, BP = 0.67 | | | Adj R ² = 0.993, DW = 1.77, BP = 3.38 |
| | 木造非 | $N_7 = 1.225 \times 10^5 + 25.32 \times x_4$ | | 木造 | $N_{19} = 1.175 \times 10^{5} - 0.008 \times x_{7}$ |
| | 住宅 | (38.84) (3.19) | | 非住宅 | (9.96) (2.14) |
| | | Adj $R^2 = 0.605$, DW = 1.21, BP = 0.03 | | | Adj R ² = 0.373, DW = 2.50, BP = 0.06 |
| | 非木造 | $N_8 = 2.356 \times 10^6 - 106.9 \times x_4 + 0.092 \times x_6$ | | 非木造 | $N_{20} = 4.136 \times 10^6 - 391 \times x_I$ |
| | 非住宅 | (51.52) (2.61) (1.17) | | 非住宅 | (6.02) (-3.88) |
| | | Adj $R^2 = 0.600$, DW = 2.87, BP = 4.05 | | | Adj $R^2 = 0.701$, DW = 1.27, BP = 0.29 |
| 良 | 木造 | $N_9 = 3.688 \times 10^3 + 64.54 \times x_{11}$ | 泉 | 木造 | $N_{II} = -21.13 \times x_I + 183.2 \times x_{I0}$ |
| 区 | 住宅 | (2.64) (36.49) | 区 | 非住宅 | (-5.31) (9.53) |
| p | | Adj $R^2 = 0.996$, DW = 1.74, BP = 0.73 | | | Adj R ² = 0.999, DW = 1.51, BP = 0.76 |
| | 非木造 | $N_{I0} = -2.087 \times 10^{\circ} + 360 \times x_2$ | | 非木造 | $N_{I2} = -418.1 \times x_I + 3282 \times x_{I0}$ |
| | 住宅 | (-3.87) (8.18) | | 非住宅 | (-6.54) (10.63) |
| | | Adj R ² = 0.917, DW = 1.74, BP = 0.09 | | | Adj R ² = 0.999, DW = 1.26, BP = 1.24 |

括弧内はt値

回帰分析の結果によると、宮城野区の建築物ストック の変動の影響要因として農用地、世帯人数、仙台港のコン テナ貨物取扱量などが選ばれ、仙台港を有し、農用地の減 少や、世帯人数の低下、および仙台港のコンテナ貨物取扱

量の増加やそれに伴う運輸業の発展により建築物が増加 していることを説明している. 若林区では, 影響要因とし て世帯人数や水産業の総生産,運輸・通信業の総生産が 選ばれた. 若林区は鮮度の良い水産物を扱う中央卸売市 場や運輸が集積している地区がある.回帰分析の結果で は仙台市における水産業および運輸業が栄えることによ りそれに関わる建築物が増加することを説明していると 考えられる.泉区では影響要因として農用地面積,住宅地 面積、世帯数、人口密度が選ばれた.泉区は古くから住宅 開発が進み.人口が大きく増加しておりそれに伴って建 築物が増加していることを回帰式では説明できていると 考えられる. 青葉区では世帯人数. 人口密度, 金融・保険 業の総生産が選ばれた.青葉区の都心部では東北地方の 中枢的な役割を担う機関が集中しており人口密度の増加 や金融機関の増加などに伴う建築物の変動を説明できて いると考えられる.太白区では農用地面積,住宅地面積, 世帯人数,市民所得が選ばれた.これにより宅地化が進ん でいること、都市化による農用地の減少していることに 伴って建築物が変動していることを説明していると考え られる.なお、選ばれた各変数と相関のある変数もまた建 築物への影響が大きいと考えられる. これらの結果を踏 まえ,説明変数として選ばれた各変数の動向を外挿によ って推計し、仙台市各区における東日本大震災発生時 (H23年)の建築物延床面積を推計した(図-2).





(3) 被災率の推計

次に東日本大震災による仙台市各区の被災状況を把握 し被災率を求める.本研究では,津波による被災状況を把 握するため浸水範囲図および震災前後の衛星写真を用い て津波浸水範囲における建築物の棟数とそのうちの流失 した棟数,残存した棟数を調べた.震災前後の衛星写真を 比較したところ,宮城野区では浸水域に存在した建物棟 数は約4,590棟でそのうち約1,249棟が流失し,約3,341棟 が残存していた.同様に若林区では浸水域に存在してい た建物棟数は約3,673棟でそのうち約1,931棟が流失,約 1,742棟が残存していた.比較的津波被害の少なかった太 白区では浸水域に建築物が約15棟存在し,うち約4棟が 流失,約9棟が残存していた.ただし棟数の把握を目視で 行っていること,津波浸水範囲が完全に把握されていな いことから誤差が生じる可能性がある.

次に地震による被害の把握を行った. これらは衛星写

真からその被害状況を把握することが困難であることか ら、仙台市の罹災証明件数集計表から把握した(仙台市よ りヒアリング). 仙台市によると H24 年 7 月 15 日時点に おける被害状況は表-3 の通りであった. 把握した被災棟 数から被災率を計算するためには H23 年における建築 物棟数を求める必要がある. そこで H14 年から H20 年ま での仙台市各区における建築物棟数と建築物延床面積の 関係を調べ, H23 年の建築物延床面積から建築物棟数を 推計した. その結果を表-4 に示す.

表-3 仙台市の罹災証明件数集計表(棟)(H24年7月15日時点)

| 損害状況 | 青葉区 | 泉区 | 太白区 | 宫城野区 | 若林区 |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 全壊 | 2,606 | 5,602 | 4,503 | 9,687 | 7,476 |
| 大規模半壊 | 4,454 | 3,909 | 5,578 | 4,863 | 7,951 |
| 半壊 | 19,877 | 14,232 | 16,587 | 12,810 | 16,077 |

表-4 H23年における仙台市各区の建築物棟数推計値(棟)

| 建築物タイプ | 青葉区 | 泉区 | 太白区 | 宫城野区 | 若林区 |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 木造住宅 | 60,749 | 50,508 | 52,697 | 34,279 | 28,121 |
| 非木造住宅 | 12,520 | 11,398 | 9,200 | 6,444 | 4,978 |
| 木造非住宅 | 3,552 | 1,358 | 1,635 | 2,068 | 1,614 |
| 非木造非住宅 | 10,766 | 5,771 | 6,307 | 8,292 | 5,571 |

国土交通省が調査した東日本大震災における被災建築物の住宅・非住宅、木造建築物・非木造建築物の被災割 合推計値¹⁴⁾を用いて、本研究では、被災建築物のうち住宅の割合を77.6%、非住宅の割合を22.4%、被災した住宅・ 非住宅のうち木造住宅の割合を79.9%、非木造住宅の割 合を20.1%とした.なお、津波によって流失した建築物を 全壊、津波浸水域に残存した建築物を大規模半壊とし、表 -3からそれらの棟数を除いた上で被災率を把握した。

(4) 被災率の推計

以上を踏まえ,建築物ストックや被災率,および3.(4)で 設定したがれき発生原単位を用いて建築物崩壊量の推計 を行う.罹災証明書における各損壊の定義は建築物の損 壊割合が50%以上の場合を全壊,40%~49%の場合を大規 模半壊,20~39%の場合を半壊,19%以下の場合を一部損 壊となっている.そこでこれらの被害程度の違いを考慮 して,本研究では建築物崩壊量を推計する際のがれき発 生原単位の乗じ方を式(4)のように設定した.なお,一部損 壊についてはその定義が不明確なため本研究では半壊以 上のものを扱うこととした.

(建築物崩壊量)

=(全壊建物の延床面積)×0.75×(がれき発生原単位)+(大規模半 壊建物の延床面積)×0.45×(がれき発生原単位)+(半壊建物の延 床面積)×0.3×(がれき発生原単位) (4)

式(1)と式(4)により仙台市各区の地震による建築物崩 壊量を推計したところ結果は図3のようになり, 青葉区で は約1654万トン, 泉区では約117.3万トン, 太白区では約 136.1万トン, 宮城野区では約188.1万トン, 若林区では約 183.4万トン, 市全体で約790.3万トンとされた.

津波による建築物の推計について,がれき発生原単位

を乗じる際は流失による全壊建築物の係数を 1,大規模 半壊建築物の係数を 0.45 とし、式(5)のように計算した.





(建築物崩壊量)

=(流失全壊建物の延床面積)×1×(がれき発生原単位)+(大規模 半壊建物の延床面積)×045×(がれき発生原単位) (5)

式(1)と式(5)より,津波による建築物崩壊量の推計結果 は図-4のとおりとなった.各区における津波による建築 物崩壊量はそれぞれ宮城野区で約47.7万トン,若林区で 約425万トン,太白区で約1,009トンと推計され,市全体 では約90.3万トンとなった.太白区では津波浸水域にお ける建築物棟数が比較的に少なかったため建築物崩壊量 も少なくなっている.一方,沿岸部に集落を構える宮城野 区,若林区では多くの建築物が被災し大量の建築物がれ きが発生した.仙台市全体における地震及び津波による 建築物崩壊量は合計で約880.6万トンと推計された.



(5) 考察

これらの結果を踏まえ、災害時における建築物のがれ きを減らすためには本手法において建築物崩壊量を推計 する際の各項目についてその値を小さくすることを目指 す必要がある.つまり、防災・減災・耐災の視点で、より 強い建築物ストックづくりを目指す.具体的には建築物 ストックの影響要因を解析し、それらの要因を抑制また は促進して建築物ストックを調整することが考えられる. 例えば、防災・減災のために、沿岸部などの被災率が高か った地域において建築物をなるべく建設しないことが考 えられる.減災・耐災のため、建設する際には、がれき発 生原単位が小さくかつ災害に強い構造のものにすること が考えられる.また、沿岸部にある住居は高地に移転し、 沿岸部に残らざるを得ない港湾施設や農地とのアクセス を便利にしていくことが重要であると考えられる.

本研究で示したように建築物ストックの変動の影響要 因を分析すること、およびそれら地域特性を考慮した上 で災害時における建築物崩壊量を推計することによって、 未来に起こりうる震災に対する防災・減災を含めた地域 復興が行えると考える.東日本大震災のような大規模な 災害を想定し、被災率が大きいとされるエリアに建築物 を建てないようにするにはどうするべきか、建築物スト ックをどう調節していけばよいかを考えていかなければ ならない.また、本研究の推計手法では、海洋への流出量 については考慮できておらず、理論的な陸域のがれきの 発生量を推計し、陸域に残存している災害廃棄物量を表 すものではないといえる.

各自治体が各地域の特性を考慮して災害廃棄物発生量 を推計するとともに、その精度をより大きくするため港 湾施設や工場、ホテルや病院などといった建築物ごとの 詳細な廃棄物発生原単位の調査・研究を行っていく必要 がある.本研究では建築物崩壊量のみ推計を行なったが、 自動車や船舶、家電などについても地域特性を考慮して 推計を行い、事前に災害廃棄物発生量を推計することに 基づき、未来の災害に備えていくことを目指す.

5. 結論

本研究では、地域の社会経済特性を踏まえて、重回帰 分析と衛星画像の判別と自治体へのヒアリング調査を行 って、建築物崩壊量推計モデルの提案を行った.ケース スタディとして、宮城県仙台市における建築物崩壊量の 推計およびその発生の影響要因に関する分析を行った. 防災・減災・耐災を含む地域復興に関する提言を行った. 今後は、震度と津波の強さによる被災率関数の構築する こと、建築物の種類ごとの廃棄物発生原単位を調査・研 究すること、建築物以外の都市ストックについても同様 に地域特性を考慮してその量を推計することによってよ り精度の高い災害廃棄物発生量推計モデルを構築するこ とが課題となる.

謝辞:仙台市と石巻市には,現地調査とデータの収集な どにご協力いただいたことに深く御礼申し上げます.本 研究の一部が H24 年度電気学会情報システム研究会に 発表した.

参考文献

- 高月紘、酒井伸一、水谷聡、浦野真弥、小林純一郎、伊藤宏:震災により生じる廃棄物の性状と発生量に関する検討、災害廃棄物フォーラム、pp.19-29,1996.
- 2)河田恵昭,小鯛航太,鈴木進吾,平山修久:東南海・南海地震発生時の津 波廃棄物発生量の推定手法に関する研究,第18回廃棄物学会研究発表 会講演論文集,pp.73-74,2007.
- 3) 平山修久,奥村与志弘,河田恵昭:2011年東日本大震災における津波廃 棄物発生量の推定,第22回廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集, pp. 155-156,2011.
- 4) 藤原健史、濱田智史、中村彰太:画像をベースにした東日本大震災の廃 棄物発生量の推計、第22回、廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集、 pp. 137-138, 2011.
- 5) 谷川寛樹,平川隆之,韓驥,鬼頭祐介,田中健介,黒岩史,奥岡桂次郎:東日 本大震災の被災地域に存在した建築物・インフラストラクチャーの物 質ストックの推計,第39回環境システム研究論文発表会講演集, pp. 401-406, 2011.
- 6) 翠川三郎,藤本一雄:計測震度と住家被害率の関係一罹災調査結果を用いた検討一,日本地震工学会論文集, Vol. 2, No. 2, pp. 15-22, 2002.
- 7) 越村俊一:防災・減災における津波数値シミュレーションの活用,静電 気学会誌, Vol. 36, No. 2, pp. 78-83, 2012.
- 8) 国土地理院: 浸水範囲概況図,平成 23 年東北地方太平洋沖地震に関する 情報提供, http://www.gsi.go.jp/kikaku/kikaku/40014.html (参照 2011-11-25)
- 国土地理院:被災地域の空中写真,平成23年東北地方太平洋沖地震に関する情報提供,http://portal.cyberjapan.jp/denshi/index3_tohoku.html(参照2011-11-20)
- 10) 日本地理学会:津波被災マップ, http://map311.ecomplat.jp/map/map?mid=40&cid=3&gid=0 (参照2011-11-25)
- 11)高月紘酒井伸一,水谷聡:災害と廃棄物性状--災害廃棄物の発生原単位と一般廃棄物組成の変化--,廃棄物学会誌, Vol. 6, No. 5, pp.351-359, 1995
- 12) 橋本征二, 寺島泰: 建築物解体廃棄物の原単位設定, 廃棄物学会, Vol. 10, No. 1, pp.35-44, 1999.
- 13) 仙台市 HP: 仙台市統計書,2012 http://www.city.sendai.jp/kikaku/seisaku/toukei/toukeisyo.html (参照 2012-1-15)
- 14) 国土交通省:東日本大震災の津波被災現況調査結果(第2次報告), www.mlit.go.jp/common000168249.pdf (参照2011-11-20)

(2012.7.18 受付)

Proposal of Estimation Model for the Destruction Quantity of the Building Stock Considering the Regional Characteristics and its Application to the Regional Rehabilitation Plan -Learned from the Lesson of the Great East Japan Earthquake-

Yuki KAJI, Toru FURUITHI, Yu-Chi WENG, Kazuei ISHII, Sang-Yul KIM

This study made an attempt to establish an estimation model for the destruction quantity of the building stock that is an important source of disaster waste. As a case study, we estimated the amount of generated construction debris of disaster waste and clarified the factors affecting the changes of building stocks in Sendai city which suffered from the disaster of the East Japan great earthquake. Consequently, the amount of generated disaster wastes in Sendai city was estimated around 8,806,301 tonnes. Besides, several socio-economic characteristics, such as the household size, the amount of containers handled in the Sendai Harbor and the gross product of transportation sector, were identidied as influencing factors on the changes of the building stocks. The outcomes could be utilized in support of the preparation of disaster mitigation plans of large-scale disasters and the reduction of potential disaster waste generation. Further, the disaster mitigation and regional rehabilitation plans could be proposed considering the influencing factors identified in this study with regard to disaster waste generation.