

災害被害削減・GHG 排出削減の 住宅ストック更新からの検討

永田 聡太¹・蛭田 有希²・白川 博章³・谷川 寛樹⁴

¹学生会員 名古屋大学 工学部環境土木建築学科 (〒464-8601 名古屋市千種区不老町)

E-mail: nagata.sota.k5@s.mail.nagoya-u.ac.jp

²正会員 名古屋大学大学院 環境学研究科 (〒464-8601 名古屋市千種区不老町)

³正会員 名古屋大学大学院 環境学研究科 (〒464-8601 名古屋市千種区不老町)

⁴正会員 名古屋大学大学院 環境学研究科 (〒464-8601 名古屋市千種区不老町)

気候変動問題に対し、緩和策・適応策双方からのアプローチが求められている。住居立地や住宅構造はエネルギーの消費構造や災害時のインパクトの双方と関連するため、緩和策と適応策の両観点から、防災と同時に GHG 排出削減につながるような良質な住宅ストックの形成を検討していく必要がある。本研究は、人口変化に伴う住宅ストックの更新が、水害に対する被害低減を目指す適応策としての都市の強靱化、緩和策としての家庭部門のエネルギー消費量削減の双方とどのように影響するかを明らかにすることを目的とし、名古屋市を対象として 2050 年までの浸水想定区域の人口変化と、家庭部門の CO₂ 排出量の変化を推計する。

Key Words: residential buildings, low carbonization, toughnessing, mitigation, adaptation

1. はじめに

気候変動への対策においては、GHG 排出量削減を目指す緩和策と、激甚化する自然災害の被害を減らす適応策の何れも疎かにできず、両観点において矛盾のない政策の実行が求められる。住居立地や住宅構造はエネルギーの消費構造や災害時のインパクトの双方と関連するため、防災と GHG 排出削減が両立するよう都市における住宅ストックの更新を進めていくことが必要である。

国土交通省は、新たな住生活基本計画¹⁾で、社会環境の変化、居住者・コミュニティ、住宅ストック・産業の3つの視点から、8つの目標を設定し、施策を総合的に推進していくとしている。ここで、安全な住宅・住宅地の形成について、豪雨災害等の危険性の高いエリアでの住宅立地の抑制や、既存住宅の移転を誘導としている。また、脱炭素社会に向けて、既存住宅流通を活性化させる住宅環境システムの構築と、世代をこえて活用できる良質な住宅ストックの形成を目標に掲げる。特にカーボンニュートラルの実現に向けて、長寿命でライフサイクル CO₂ 排出量が少ない長期優良住宅ストックや ZEH

ストックを拡充としている。

しかしながら、住宅ストックの更新を緩和策・適応策の双方から検討した例は少ない。

気候変動への適応について、国土強靱化計画では土地利用の見直しが指針のひとつとしてあげられている²⁾。

住宅ストックと浸水域について、秦 (2020)³⁾は、1995年から 2015 年までの日本全国の浸水区域の人口と世帯数の変化を調べている。水野ら (2015)⁴⁾は、神奈川県を対象に、住宅需要量の変化と住宅のライフサイクルの推計から、住宅建替の際に浸水区域から撤退することで軽減できる被害額を推計している。

一方、GHG 排出について、環境省によると、CO₂の部門別排出量で家庭部門は全体の約 16%を占める⁵⁾。小規模建築物では省エネルギー基準は努力義務となっていたが、2025年度より断熱性能などの基準が義務化される。また、ZEHについても、ハウスメーカーでは目標値新築住宅の 50%以上を達成している。しかし新規着工数は年間 100 万件程度、住宅総数の 2%程度であり、ストックの更新速度を踏まえて新規住宅と既存住宅それぞれで省エネを実施する必要がある⁶⁾。尾崎ら (2014)⁷⁾は、家

庭での機器利用のシミュレーションから建築仕様や世帯構成の異なる家庭のエネルギー消費原単位を算出して、秦野市を対象に、世帯構成、世帯数、建築仕様、住戸位置、住宅ストック数などの2030年までの推移を予測して、エネルギー消費量を推計している。また、建築物のGISデータを用いて床面積分布から家庭部門のエネルギー消費量分布を推計する試みが石河(2016)⁸⁾によって行われている。谷川ら(2010)⁹⁾は、集約と非集約、2つのシナリオについて名古屋市の建築物分布の変化をモデル化して、マテリアルフローとエネルギー利用の双方からの考察を行なっている。

これらの研究では、具体的な地域を対象に浸水被害やエネルギー消費と住宅ストックの関係について検討しているが、どちらか一方についての考察にとどまっている。住居立地や住宅構造がエネルギー消費や災害時のインパクトの双方と関連することが明らかにされているが、緩和策と適応策の二つの視点から定量的な研究をおこなった例は少ない。白井ら(2014)¹⁰⁾は、緩和策と適応策の理論的關係を整理している。また、朴ら(2018)¹¹⁾は人口や建物・インフラの変化を推計し、環境・社会・経済の各側面での長期的持続可能性と巨大災害に対するレジリエンスを同時に評価するシステムを構築している。しかし住宅ストックの更新に関する考察は部分的にしかおこなわれていない。

これらの背景を踏まえると、地域での人口変化に伴う住宅ニーズの変化を考慮し、住宅ストックの更新と既存住宅の活用によって災害時のインパクトとGHG排出量がどのように変化するかモデルを作成し、どのように住宅ストックを形成していくことが緩和策・適応策双方から有効かを検討することが重要である。本研究は人口変化に伴う住宅ストックの更新が、水害に対する被害低減を目指す適応策としての都市の強靱化、緩和策としての家庭部門のエネルギー消費削減の双方とどのように影響するかを明らかにすることを目的とする。

2. 研究方法

本研究では、まず名古屋市のハザードエリア内の人口と建築物をGISデータを用いて調べた。そして、国交省の2050年までの人口分布予測データから、浸水想定区域の人口変化を推計した。次に、エネルギー利用に関して、部門各種エネルギー消費量の分布データを500mメッシュで整備し、構造物分布とエネルギー消費量の関係を検討した。その後、国交省の2050年までの人口分布予測データからエネルギー消費量の変化を推計した。図-1に研究フローを示す。以下、各過程の詳細を記述する。

(1) 浸水想定区域の住宅ストックと人口の推計

まず、浸水想定区域のGISデータと、名古屋市の建築物のGISデータから、2006年、2011年、2016年について浸水深別で建物棟数、床面積の変化を調べた。名古屋市の建物情報は、住宅について、戸建て・集合・その他(店舗併用)、木造・非木造に分類されている。浸水想定区域のGISデータは矢田川と庄内川のものを利用した。

次に、2015年までの国勢調査にもとづく500mメッシュの人口分布データと、国交省の2050年までの人口分布推計(500mメッシュ)から、名古屋市の浸水想定区域の人口変化を浸水深別で推計した。浸水深はランク1(0m以上0.5m未満)、ランク2(0.5m以上3.0m未満)、浸水ランク3(3.0m以上5.0m未満)、浸水ランク4(5.0m以上10.0m未満)にわかれている。浸水想定区域はポリゴンデータ、人口分布推計は500mメッシュなので、メッシュに占める浸水区域面積の割合から浸水想定区域人口を求めた。

(2) 家庭部門エネルギー消費量の推計

家庭でのエネルギー消費については、まず500mメッシュのエネルギー消費量分布を、エネルギー種別(灯油、プロパンガス、電気、都市ガス)で求めた。式(1)のよ

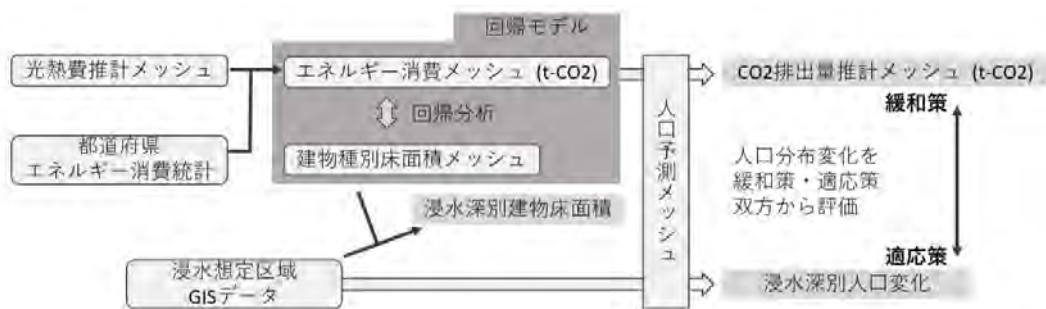


図-1 研究フロー

うに、家庭部門の各エネルギーの県 CO₂ 排出量を、メッシュごとの消費支出額推計で按分して各メッシュの CO₂ 排出量を求めた。分析に用いたデータは、消費支出額は株式会社ゼンリンが提供する各種エネルギーの消費支出推計データ 2019（全国、500m メッシュ）を用い、県 CO₂ 排出量は経産省の 2019 年度都道府県別エネルギー消費統計を用いた。図-2 に求めた分布を示す。

次に、建物種類や構造と CO₂ 排出量との関係を検討した。各メッシュをサンプルとして、CO₂ 排出量を、各メッシュの建物種別床面積を用いて説明する重回帰分析をおこなった。式(2)に回帰式を示す。また、図-3 に説明変数として用いた建物種別床面積のデータを示す。対象地域はデータを入手できた名古屋市とした。

$$g_{ij} = \frac{c_{ij}}{C_j} \times G_j \quad (1)$$

$$g_{ij} = \alpha_{j0} + \sum_k \alpha_{jk} A_{ik} \quad (2)$$

i: メッシュ番号

j: エネルギー種別

k: 建物種別

g_{ij} : メッシュ i のエネルギー j の CO₂ 排出量 (t-CO₂)

c_{ij} : メッシュ i のエネルギー j の消費額

C_j : エネルギー j の消費額の県合計値

G_j : エネルギー j の県 CO₂ 排出量

A_{ik} : メッシュ i の建物種別 k の床面積

α_{jk} : 偏回帰係数



図-2 家庭部門 CO₂ 排出量分布

最後に、国交省の 2050 年までの人口分布予測データからエネルギー消費量の変化を推計した。式(3)に示すように、各メッシュで人口の増減率に応じて建物床面積が増減すると仮定して、先ほどの回帰モデルを用いて CO₂ 排出量の変化を推計した。また、式(4)を用いて市の家庭部門 CO₂ の排出量の総和を求めた。

$$g_{ij(20xx)} = \alpha_{j0} + \frac{N_{i(20xx)}}{N_{i(2020)}} \times \sum_k \alpha_{jk} A_{ik} \quad (3)$$

$$G_{(20xx)} = \sum_j \sum_i g_{ij(20xx)} \quad (4)$$

$N_{i(20xx)}$: メッシュ i の 20xx 年人口

$G_{(20xx)}$: 20xx 年市家庭部門 CO₂ 排出量総計

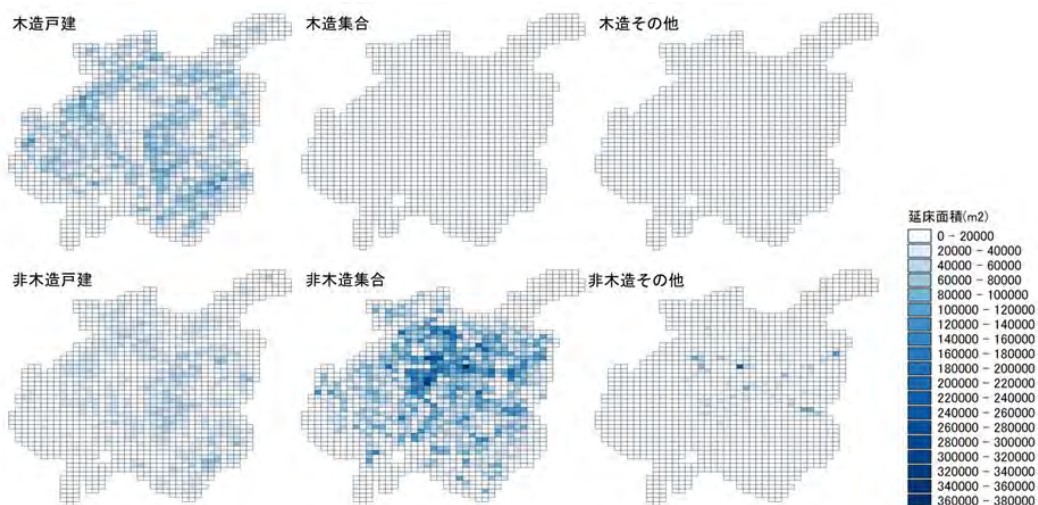


図-3 説明変数に用いた建物種別床面積の分布

3. 結果と考察

(1) 浸水想定区域の住宅ストックと人口の推計

建物種別・浸水深別の浸水エリアの建物床面積の変化を図4に示す。木造戸建住宅と非木造共同住宅の割合が高いことがわかる。非木造の住宅は戸建て・集合ともに、2006年から2016年で増加傾向にある。これは名古屋市全体での傾向と一致する。一方、木造住宅は、名古屋市全体ではやや増加傾向にあるのに対し、ランク1, 2, 4ではわずかに減少している。ランク3では増加傾向となった。

2000年から2050年までの、浸水深別人口変化を図5に示す。また、図6に人口変化の浸水深別年齢別の詳細を示す。2020年より、人口は増加から減少へと転向する。市の人口が244万人から225万人へと減少するのに対し、浸水地域の人口は63万人から55万人へと減少する。人口の減少にともないハザードエリアの人口が減少し、洪水のインパクトはやや小さくなるといえる。人口は、ランク2の範囲で43~49万人と最も多いが、より危険なランク3にも約5.5万人、ランク4に約6千人の居住者がいる。年齢構成は、65歳以上人口が26.7%から36.1%へと変化し、高齢化が進展する。

ランク2の範囲では、49.7万人から43.5万人と約12.5%、62万人減少するのに対し、浸水ランク3の範囲では5.8万人から5.4万人と、約5.8%で4千人と減少率が小さかった。年齢構成の特徴として、ランク1, ランク2, ランク4では65歳以上人口が26%をこえるのに対し、ランク3では23.3%と、高齢者の比率がやや低い。ランク3に比較的若者世帯の多いエリアがあり、ランク3では人口の減少ペースが低いと考えられる。適応策の観点からは、このような範囲の住居を減らしていくような政策がもとめられる。

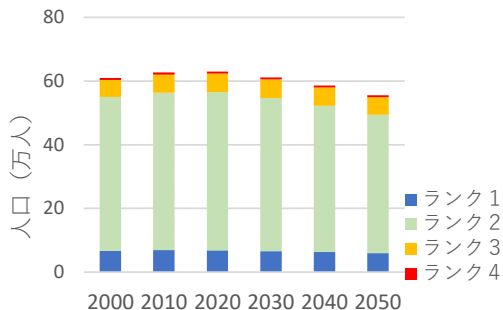


図5 浸水深別人口変化

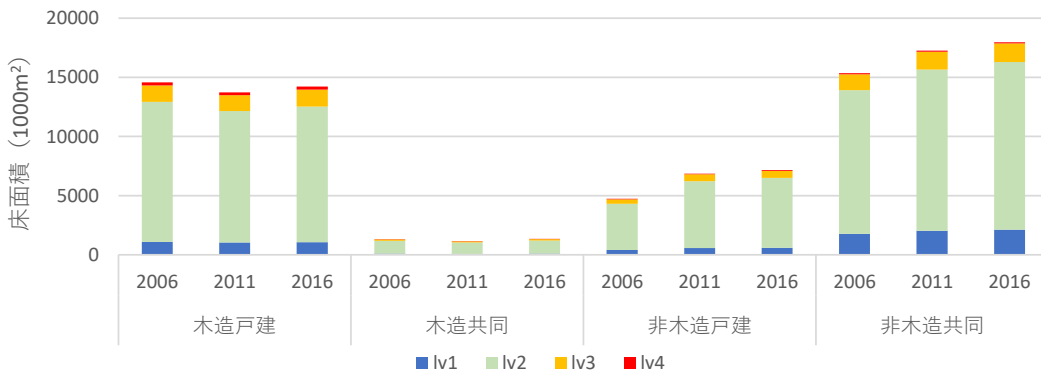


図4 浸水エリアの建物床面積の変化

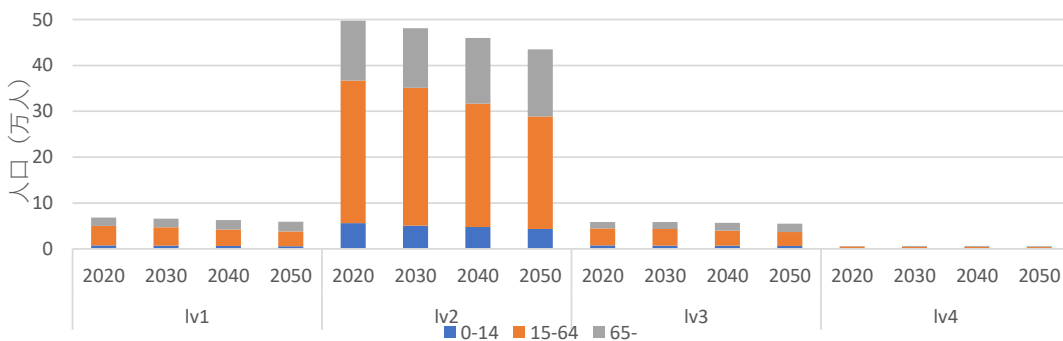


図6 浸水深別年齢別人口変化の推移

表-1 回帰分析結果

	灯油		電気		LPガス		都市ガス		総計		
	偏回帰係数	P値	偏回帰係数	P値	偏回帰係数	P値	偏回帰係数	P値	偏回帰係数	P値	
定数項	15.8402	0	260.8056	0	21.0996	0	67.727	0	365.4724	0	
説明変数 建物種別床面積	戸建て	0.0007	0	0.0109	0	0.0009	0	0.0028	0	0.0153	0
	木造集合	0.0048	0	0.0686	0	0.0068	0	0.0185	0	0.0987	0
	木造その他	0.0041	0.1	0.0675	0.07	0.0054	0.11	0.0175	0.08	0.0945	0.08
	非木造集合	0.0012	0	0.0172	0	0.0016	0	0.0046	0	0.0246	0
	非木造その他	0.0008	0	0.0112	0	0.0012	0	0.0031	0	0.0164	0
決定係数R2	0.887		0.884		0.888		0.885		0.885		

(2) 家庭部門エネルギー消費量の推計

表-1 に回帰分析の結果を示す。木造戸建と非木造戸建は相関が高かったため、戸建住宅としてひとつの変数にまとめた。偏回帰係数は戸建より集合住宅で大きくなった。これは主に、床面積あたりの居住人数の違いによると考えられる。

図-7に、推計した2050年の家庭部門CO₂排出量分布を示す(各種エネルギーの総計)。また、図-8に2050年の排出量の、2020年比の増減量を示す。名古屋市東南部では、人口増加によって排出量が増え、西部や北部では人口減少に伴い排出量が減少する。表-2に、2050年までの排出量推計を示す。2020年から2050年で、CO₂排出量は人口とともに減少していき、330万tCO₂から306万tCO₂へと変化する。一人あたりCO₂排出量はやや増加する計算で、1.35t-CO₂から1.36t-CO₂となった。尚、環境省の調査では2020年度の東海地方一人あたり平均は1.12t-CO₂である。

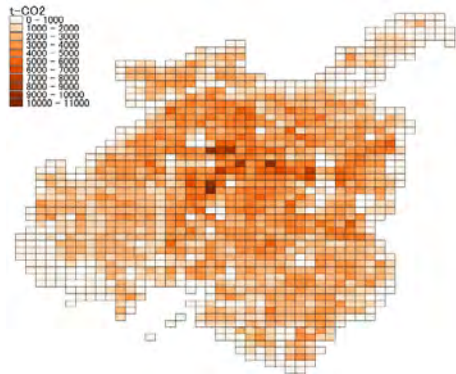


図-7 2050年の家庭部門CO₂排出量分布

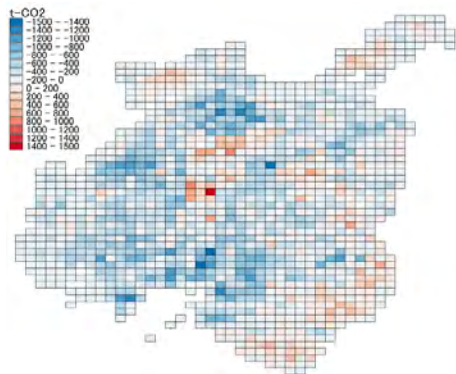


図-8 2050年の排出量の2020年比の増減量

4. おわりに

名古屋市を対象に浸水想定区域の住宅ストックの変化と2050年までの人口変化を調べた結果、市の人口減少と共に浸水想定区域の人口も減少していくが、ランク3の範囲では減少率が小さいことがわかった。家庭部門のCO₂排出量の変化を推計した結果、市の人口減少と共に家庭部門のCO₂排出量も減少していくが、一人あたり排出量はやや増加する計算となった。

表-2 名古屋市家庭部門のCO₂排出量推計

	2020	2030	2040	2050
人口(万人)	244	242	235	225
CO ₂ 排出量(万tCO ₂)	330	327	318	306
一人あたり排出量(tCO ₂ /人)	1.35	1.35	1.35	1.36

5. 今後の方針

エネルギー消費量の推計に関しては、建物床面積のみをパラメータとしているため、他の要因を考慮していく必要がある。特に世帯数や家族類型との関係を適切にモデル化していく必要がある。

今後、分析を日本全国に拡張すると共に、シナリオ別の比較をおこなっていく。人口の変化に伴う、住宅ストックの変化をモデルに組み込んでいく。

謝辞：本研究は（独）環境再生保全機構の環境研究総合推進費（JPMEERF20201003, JPMEERF20S11816, JPMEERF20212003, JPMEERF20223C02, JPMEERF20201004）、JSPS 科研費（JP22H03805, JP20H00648）、MEXT 科研費（JPJ010039）から助成を受けたものです。

参考文献

- 1) 国土交通省：住生活基本計画（全国計画）、2021。[Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism: Living life basic plan, 2021.]
- 2) 国土交通省：国土強靱化基本計画、2018 [Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism: Fundamental Plan for National Resilience, 2018.]
- 3) 秦康範：洪水浸水想定区域の人口の推移とその特徴、災害情報、18 巻 2 号, p.165-168, 2020。[Hada, Y.: Population trends and characteristics of the areas expected to be inundated by floodwaters, Disaster information studies, Vol.18, issue 2, pp.165-168, 2020.]
- 4) 水野伶那, 佐尾博志, 大西暁生：神奈川県における浸水発生に適切した住宅の再配置による被害額の軽減効果, 水文・水資源学会誌, 28 巻 5 号, p.245-260, 2015。[Mizuno, R. Sao, H. and Onishi, A.: Reducing flood damage in Kanagawa prefecture, J. Japan Soc. Hydrol. and Water Resour, Vol.28, issue 5, pp.245-260, 2015.]
- 5) 環境省：環境・循環型社会・生物多様性白書, 2020。[Ministry of the Environment: Annual Report on the Environment, the Sound Material-Cycle Society and Biodiversity in Japan, 2020.]
- 6) 小端拓郎：都市の脱炭素化, 大同出版, 2021。[Obata, T.:Urban decarbonization, Daido printing co, 2021.]
- 7) 尾崎明仁, 井上玄規, 尾崎由美, 李明香：民生家庭部門エネルギー消費量の将来予測, 日本建築学会環境系論文集, 79 巻 700 号, p.489-497, 2014。[Ozaki, A., Inoue, G., Ozaki, Y. and Lee, M.:Future prospects of the household energy consumption, J.Envirjon. Eng., Vol.79, issue 700, pp.489-497, 2014.]
- 8) 石河正寛, 松橋啓介, 有賀敏典：建物ポイントデータの床面積補正を通じた民生部門エネルギー消費量の推計, 土木学会論文集 G（環境）, 72 巻 6 号, p. II_87-II_94, 2016。[Ishikawa, M., Matsuhashi, K. and Ariga, T.:Estimating consumer sector energy consumption through total floor space correction of building point data, Journal of Japan society of civil engineers, ser.G, Vol.72, issue 6, pp.489-497, p. II_87-II_94, 2016]
- 9) 谷川寛樹, 大西暁生, 高平洋祐, 橋本征二, 東修, 白川博章, 井村秀文：“ストック型”かつ“低炭素型”社会へ向けた都市構造物の物質・エネルギー消費の 4D マッピング, 日本 LCA 学会誌, 6 巻 2 号, p.92-101, 2010。[Hiroki, T. Onishi, A., Takahira, Y., Hashimoto, S., Azuma, O., Hiroaki, S. and Imura, H.:Four-dimensional Mapping of Building Material Stock and Energy Consumption for Stock-type and Low Carbon Society, Journal of Life Cycle Assessment Japan, Vol.6, issue 2, pp.92-101, 2010.]
- 10) 白井信雄, 田中充, 田村誠, 安原一哉, 原澤英夫, 小松利光：気候変動適応の理論的枠組みの設定と具体化の試行, 環境科学会誌, 27 巻 5 号, p.313-323, 2014。[Shirai, N., Tanaka, M., Tamura, M., Yasuhara, K., Harasawa, H. and Komatsu, T.:Building and Verification of a Theoretical Framework for Climate Change Adaptation, Environmental science, Vol.27, issue 5, pp.313-323, 2014.]
- 11) 朴秀日, 加藤博和, 大野悠貴：気候変動に対応した地域のサステイナビリティとレジリエンスの両方とも考慮できるシステムの開発と施策の検討手法：環境科学会誌, 33 巻 6 号, p.195-207, 2020。[Park, S., Kato, H. and Ohno, Y.:Evaluation Methods for simultaneously Consider Sustainability and Resilience for Mitigation and Adaptation to Climate Change, Environmental science, Vol.33, issue 6, pp.195-207, 2020.]

(Received August 22, 2022)

ESTIMATE REDUCTION OF THE IMPACT OF DISASTER AND GHG EMISSION IN THE ASPECT OF THE UPDATING OF RESIDENTIAL STOCK

Sota NAGATA, Yuki HIRUTA, Hiroaki SHIRAKAWA, Hiroki TANIKAWA

Climate change requires measures for mitigation and adaptation. Since building distribution and their structure influence the amount of energy consumption and the impacts of disasters, it is important to create good quality residential buildings in terms of disaster prevention and reduction of GHG emissions. Purpose of this study is to understand the relationships between reconstruction of the building due to population changes and resilience of the urbanized areas as well as the low carbonization of the city in terms of the mitigation and adaptation strategies. This study estimates future populations in hazardous areas and the CO2 emission in household sector of Nagoya city.