

令和 2 年 6 月 9 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2017～2019

課題番号：17H02048

研究課題名（和文）産業施設の移転も考慮した災害後人口移動予測技術の開発

研究課題名（英文）Research for estimation method of population after disaster considering relocation of industrial facilities

研究代表者

廣井 悠 (HIROI, U)

東京大学・大学院工学系研究科（工学部）・准教授

研究者番号：50456141

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、巨大災害が発生して都市が甚大な被害を受けたあとの人口変動を中長期的に予測するシミュレーションを作成した。これは、これまで首都直下地震などを対象として行われていた疎開段階のみならず、いくつかの被害パターンやシナリオにおいて恒久住宅に人が移動する期間まで見据えたものである。巨大災害時疎開シミュレーションと国土復興シミュレーションの2つが成果として得られた。さらに熊本地震や東日本大震災の事例をもとにして、シミュレーションの精度検証を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、これまで筆者らが行ってきた福島原子力発電所周辺からの広域避難調査や南海トラフ巨大地震時における疎開シミュレーションなどの検討を経て、これまで学術研究として行われてこなかった復興時の人口変動を予測するシミュレーションを初めて開発した。現状では、東日本大震災時の現実の人口増減数と比較した結果、人口増加側の精度に問題がある。しかし、これらの課題が解決されれば事前復興計画の策定や、被災を踏まえた広域地方計画を作成する際の有用な基礎資料となるものと考えられる。

研究成果の概要（英文）：In this study, we developed a simulation to forecast population change in the mid to long term after a huge disaster occurs.

This is not only for the evacuation phase, but also for the period of moving people to permanent housing in several damage patterns and scenarios.

Outputs in this study are two types of migrant simulation. And we verified the accuracy of the simulations based on the cases of the 2016 Kumamoto earthquake and the Great East Japan Earthquake.

研究分野：都市防災

キーワード：シミュレーション 疎開 復興

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

2011年3月11日に発生した東日本大震災では津波災害のみならず、深刻な原子力災害によって住まいを失った数多くの避難者が市町村境界を超えて広域的に移動した。例えば福島県や復興庁の資料によれば、福島県では2016年6月現在で88,924人（県内：47,922人、県外：40,982人）の広域避難者がいまだもとの住まいに帰れていない。このような状況がありながら、巨大災害後に疎開や定住をする上で重要な条件となりうる職場や雇用を左右する産業施設の変遷も含めて、広域避難する人々の移動を予測し、事前対策や適切な支援を実現するための戦略に焦点を当てた中長期的・広域的検討は現在のところ、ほとんどなされていない。しかしながらわが国においては東日本大震災同様、数多くの避難者が広域的移動を行った事例は多い。例えば1923年に発生した関東大震災では東京市人口約200万人に対し、実に70万人が広域的な避難行動（疎開）を行ったものとされ、この結果東京市近郊の都市構造は大きく変わり、産業構造も国土レベルで変遷しているが、これは現在の巨大災害においても同様と考えられる。特に人口の密集する大都市部で巨大災害が発生した場合は、避難所不足やプレハブ供給能力の限界などにより、数多くの避難者が市町村境界を超える広域的な移動を行うものとみられ、さらには長期的な観点からは被災地域の人口減少や無秩序な開発が行われるであろうことは想像に難くない。例えば中央防災会議の被害想定では、首都直下地震時に最大約700万人の避難者が発生し、このうち約200～300万人は疎開者であるという試算を明らかにしており、産業施設の再配置パターンによっては国土・都市圏レベルで抜本的に都市構造が変化してしまう可能性も大である。本研究は開始当初、この点を問題意識として開始した。

2. 研究の目的

上記より、本研究では巨大災害後の人口移動を中長期的に予測するシミュレーションを作成した。これは、これまで首都直下地震などを対象として行われていた疎開段階のみならず、いくつかの被害パターンやシナリオにおいて恒久住宅に人が移動する期間まで見据えたものである。

3. 研究の方法

本研究の方法は、大きく巨大災害時疎開シミュレーションの作成と国土復興シミュレーションの作成の2種類となる。前者については、以前に行ったアンケート（これは本研究の申請前に行った調査である）をもとにして作成したもので、NTTドコモによるモバイルデータを用いて検証を行っている。後者については、東日本大震災の人口変動を対象として基礎調査を行ったうえ、アンケート調査を行い、その結果を用いて国土復興シミュレーションを作成している。詳しいシミュレーションの内容や検証については、次章に詳しく示す。

4. 研究成果

(1) 巨大災害時疎開シミュレーションの作成

本研究では、図1に示す住宅選択行動を仮定し、筆者らが行ったアンケート調査を用いて、図2のような検討手順で巨大災害時疎開シミュレーションを作成した。詳細は5章の研究成果の廣井ら(2018)を参照されたい。なお本報告書は容量制限があるため、一部の画像は粗くなっている。住宅の需要個数と供給戸数については、図3のような計算フローでそれぞれ算出しており、他方でモンテカルロシミュレーションは図4に示される通り、約3,800回計算を行っている。

ここで、2つのケースを考える。ひとつは、現在の制度と同じく「プレハブ仮設住宅とみなし仮設となる賃貸空き家が供給される」場合である。これをケース1とする。もうひとつは、「プレハブ仮設住宅・賃貸空き家に加え、その他空き家の20%が供給される」というケースである。これをケース2とする。このもとで南海トラフ巨大地震陸側①ケースで約3,800回のモンテカルロシミュレーションを行った結果、ケース1とケース2における疎開後の世帯増減率は、図3および図4のように示される。検証については、このシミュレーションの熊本地震版を作成し、被害情報を入れた後、計算を行いモバイルデータと比較した。この結果、限りにおいては被害が甚大である熊本県内の増減人口は比較的精度高く予測されていると考えられる。他方で熊本県外における決定係数は0.199と熊本県内に比較して当てはまりが悪いことがわかった。この原因としていくつかの要素が考えられるが、そのひとつに観光客による数値変動が挙げられる。今回の検証で用いたモバイル空間データは疎開者のみならず観光客なども含めたものであり、災害の規模によっては疎開者に対する観光客の比率が高くなってしまっても容易に考えられ、詳細な検証のためには疎開者のみを把握するデータの取得・加工を必要とすることが課題と言えよう。とくに大きな影響を与えた市区町村は、避難者の受け入れ体制を表明し、公営住宅等の供給を行った都市であった。多くの被災世帯が、この受け入れ体制を聞いて疎開を選択した可能性も考えられる。さらには、本研究では住まいの選択に関する意向を尋ねる際、就業地の場所などを考慮した選択を促すことはなかったが、勤め先の移転に伴ってもしくは雇用を求め、被災世帯が産業集積地付近の居住地を選択することは容易に考えられる。いずれにせよ、熊本地震を対象とした検証の結果、被災地の人口増減はある程度確からしく記述できるが、被災地外の人口増減の予測ははまだ課題が残る、更なるシミュレーションの改善が必要と考えられる。

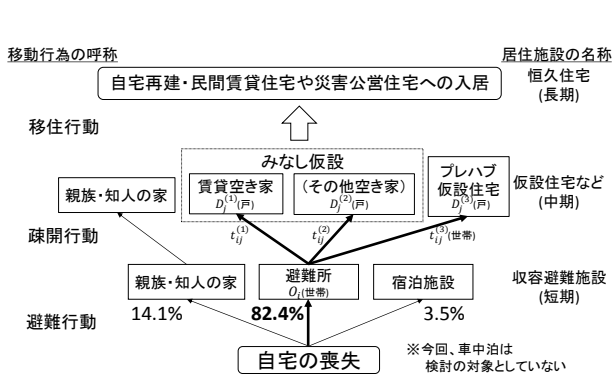


図1 仮定した住宅選択行動

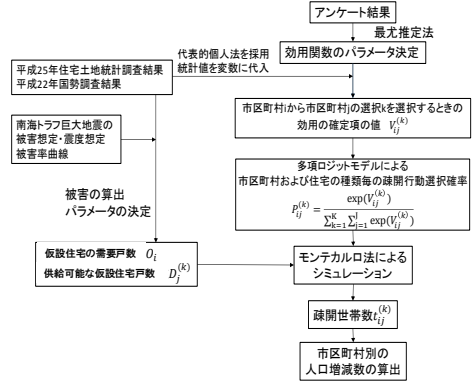


図2 大規模災害時疎開シミュレーションの検討手順

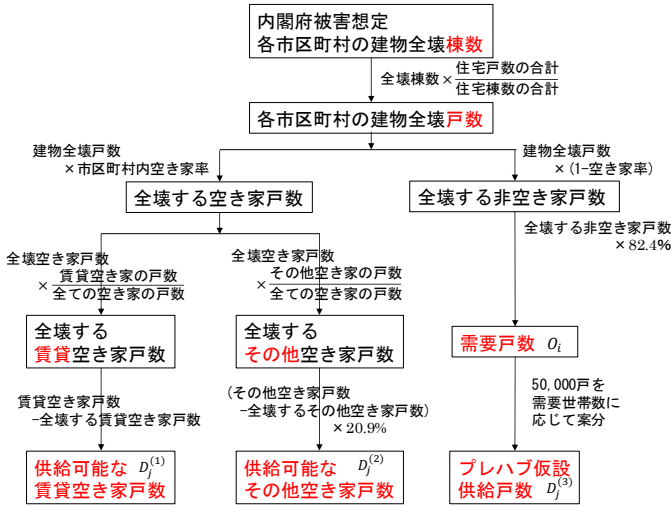


図3 仮設住宅の需要戸数と供給戸数の算出法

図4 モンテカルロシミュレーションの計算フロー

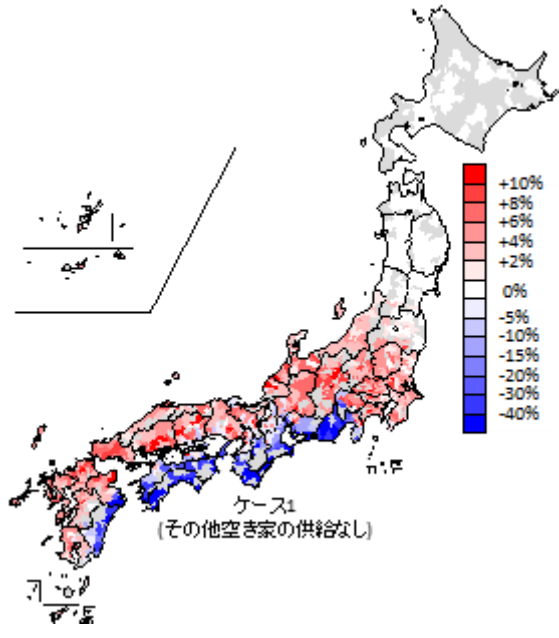
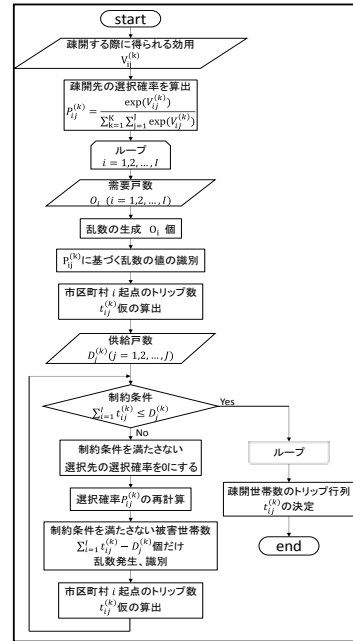


図6 疎開シミュレーションの結果 (ケース1)

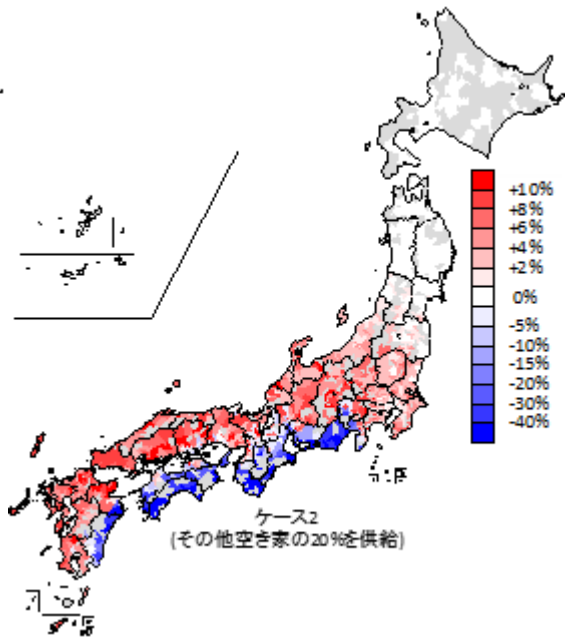


図7 疎開シミュレーションの結果 (ケース2)

(2) 国土復興シミュレーションの作成と検証と政策分析

上記の疎開シミュレーションに続いて、仮住まい住宅から恒久住宅に生活の場を移す移住行動に伴って生じる人口移動を予測するシミュレーションを作成した。ここで移住行動は、図8のように恒久住宅の種類を決める「居住形態の選択」と「移住先の選択」の2段階のプロセスを経るものと仮定し、モデル化を試みた。なお、移住先の自治体で受入れが不可能である場合は、再

度「居住形態の選択」を行うこととする。

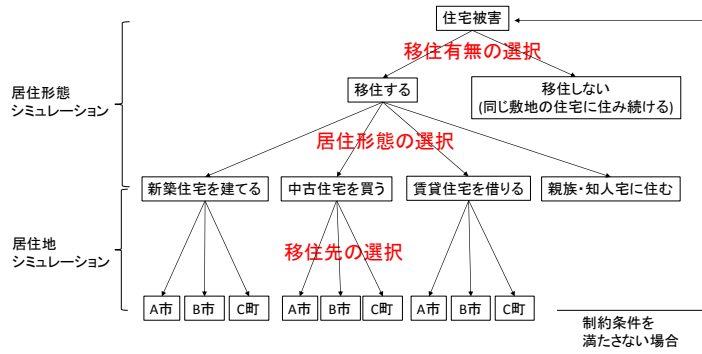


図8 国土復興シミュレーションにおける移住行動のプロセス

選択モデルにおける効用は、疎開期の検討と同様に、筆者らによるアンケート調査の結果をもとに、最尤推定法を用いてパラメータを求めた。表1は居住形態の選択における変数の概要と効用関数の係数、表2は移住先の選択における変数の概要と効用関数の係数である。表1における職場間距離の係数の大きさをみると、職場と自宅の距離が遠くなるほど、中古住宅の購入や賃貸住宅への入居といった、居住地の移動を伴う選択をする傾向が高まることが分かる。国土復興シミュレーションのフローは図12のように示せる。

表1 居住形態の選択における効用関数の変数の概要と係数

変数名	単位	概要
自宅職場間距離	$x_{1,n}$ [km]	現在の自宅から職場・学校までの距離
大世帯ダミー	$x_{2,n}$ [ダミー]	核家族・二世帯・三世帯世帯は1、単身世帯・夫婦世帯は0
高齢者ダミー	$x_{3,n}$ [ダミー]	世帯主が65歳以上なら1、65歳未満なら0
戸建てダミー	$x_{4,n}$ [ダミー]	自宅が戸建てなら1、それ以外なら0
集合住宅ダミー	$x_{5,n}$ [ダミー]	自宅が集合住宅なら1、それ以外なら0
年収	$x_{6,n}$ [百万円]	世帯年収
DID人口率	$x_{7,n}$ [%]	自宅のある市区町村における、総人口に対する人口集中地区(DID)に居住する人口の割合

居住形態	定数項	$x_{1,n}$	$x_{2,n}$	$x_{3,n}$	$x_{4,n}$	$x_{5,n}$	$x_{6,n}$	$x_{7,n}$		
1. 自宅再建	17.34	0.98	3.20	**	0.45	-14.24	-15.74	1.04	1.81	
2. 新築住宅	1.14	0.97	3.77	**	-0.73	*	-1.02	-0.19	1.01	2.83
3. 中古住宅	1.37	1.00	1.69		-0.39	-0.03	0.01	1.04	1.88	
4. 賃貸住宅	15.90	0.99	2.81	*	0.43	-14.84	-13.69	1.01	3.72	
5. 親族知人宅	1	1	1	1	1	1	1	1	1	

McFadden尤度比 0.19 ※** : 1%有意, * : 5%有意, . : 10%有意

表2 居住地の選択における効用関数の変数の概要と係数

変数名	単位	概要
距離	d_{ij} [km]	自宅のある市区町村 <i>i</i> と移住先の市区町村 <i>j</i> の距離
人口密度	y_j [千人/km ²]	移住先の市区町村 <i>j</i> の人口密度
職場距離	d_{wj} [km]	職場 <i>w</i> と移住先 <i>j</i> の距離
大型小売店数	z_j [所]	移住先の市区町村 <i>j</i> の大型小売店の数

居住形態	d_{ij}	y_j	d_{wj}	z_j	McFadden尤度比		
1. 自宅再建	居住地の移動なし						
2. 新築住宅	-0.002	0.074	-0.019	*	0.013	**	0.13
3. 中古住宅	-0.015	*	-0.029	0.003	0.012	.	0.11
4. 賃貸住宅	-0.018	***	0.026	-0.001	0.014	***	0.16
5. 親族知人宅	居住地の推定を行わない						

※*** : 0.1%有意, ** : 1%有意, * : 5%有意, . : 10%有意

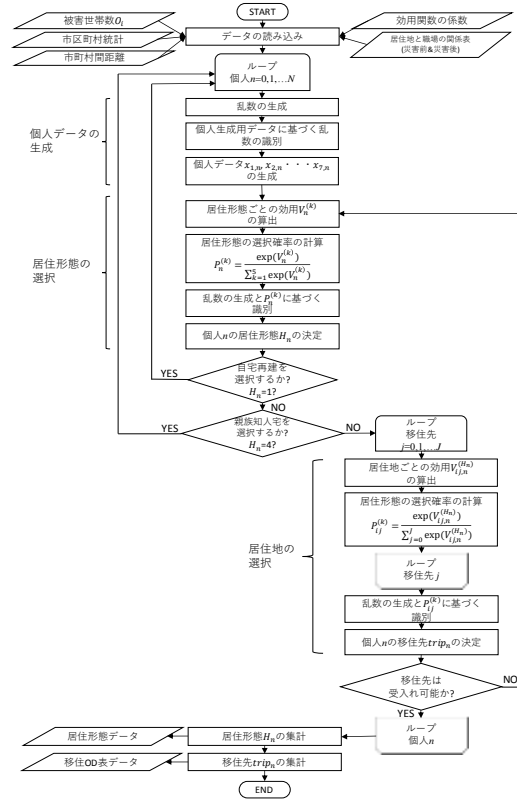


図9 災害時移住シミュレーションのフロー

本シミュレーションを検証するため、東日本大震災の被害データを用いて国土復興シミュレーションを計算し、国勢調査における移動世帯数(以下、実態値と呼ぶ)と比較することでシミュレーションの検証を行った。平常時の世帯移動の影響を除くため、2010年から2015年にかけての値から、2005年から2010年にかけての値の差分をとった。実態値と比較して、被害の大きい地域は世帯減少を過大に見積もり、被害の大きい地域に隣接した地域は世帯増加を過大に見積もり、被災地から遠方の地域は世帯増加を過少に見積もっている。図10にシミュレーション結果と実態値の散布図を示す。被害が発生した地域ではR2値で0.407とそれなりに高い相関が得られたが、被害が生じていない地域ではR2値で0.185と精度が低く、災害時疎開シミュレーションと同様に、移動が到達する地域の推定が課題として残った。さて、巨大災害時疎開シミュレーションと同様のハザード(南海トラフ巨大地震陸側①ケース)による被害世帯数をパラメータとして、国土復興シミュレーションを計算した。図11は雇用喪失の有無別の従業者分布である。雇用喪失の表現は簡単のため、被害率と同等だけ雇用が減少し、減少分を他地域に按分した。図12は雇用喪失がある場合の世帯増減数と増減率である。雇用喪失がある場合と比べて、喪失がない場合は居住地の変化がない自宅再建を選択する世帯が増加した。図13は雇用喪失なしの場合

合のケースと雇用喪失ありのケースの増減世帯数の差分値である。沿岸部の赤色の地域では、雇用喪失を防ぐことで流出世帯を抑制することができる。つまり、雇用喪失がない場合、同一市町村に留まる世帯が増加することが再現できた。

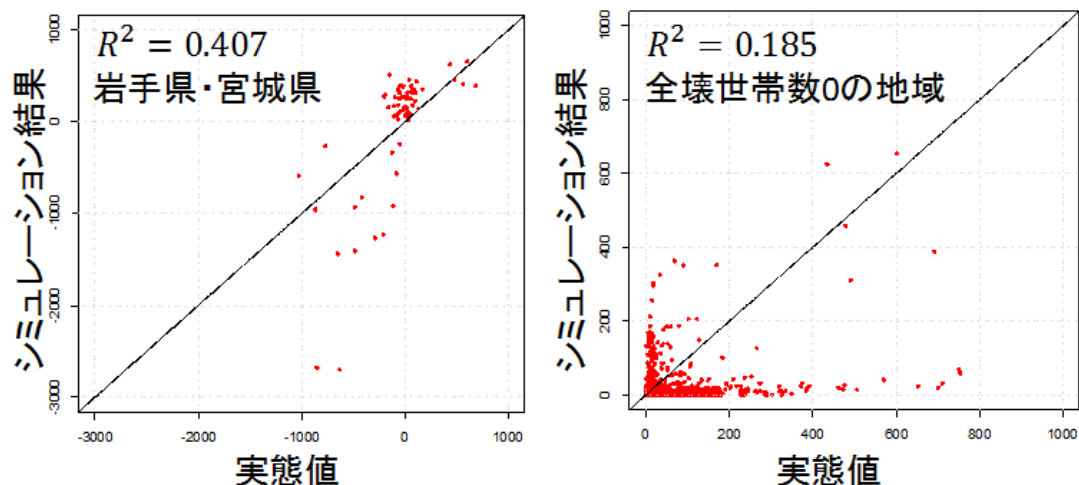


図10 東日本大震災におけるシミュレーション結果と実態値の散布図

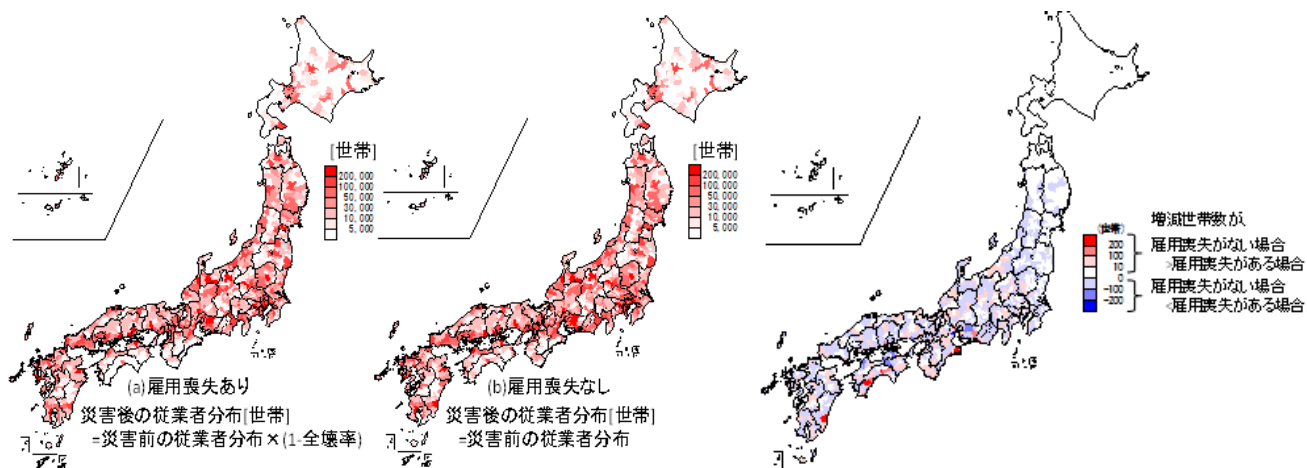


図11 雇用喪失の有無別の従業者分布

図13 雇用喪失の影響

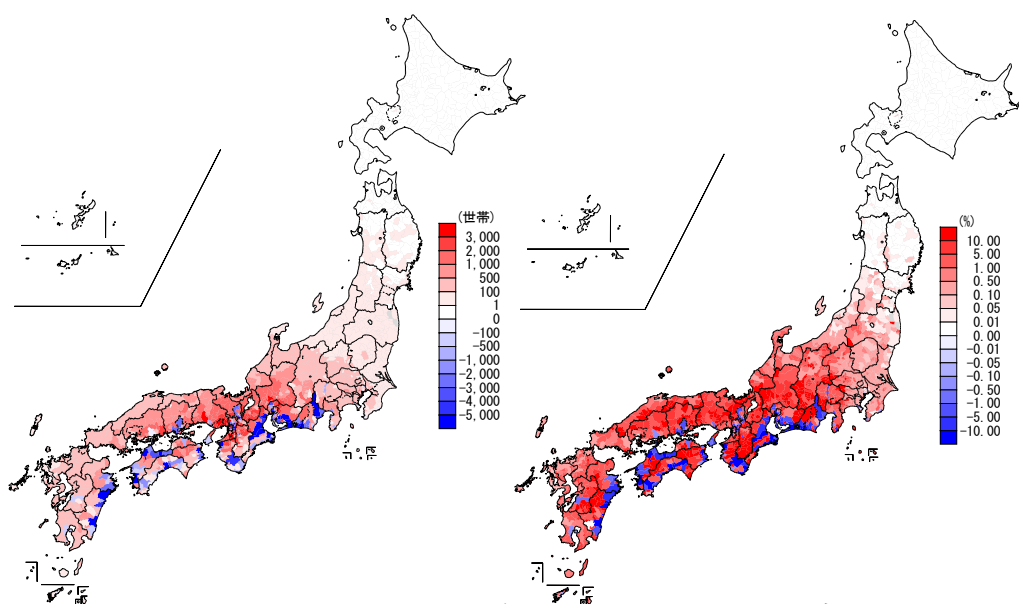


図12 南海トラフ地震の際の世帯増減数と世帯増減率

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 3件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 廣井 悠, 齊藤 健太, 福和 伸夫	4. 巻 No.53-3
2. 論文標題 巨大災害時疎開シミュレーションの構築と検証	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 都市計画論文集	6. 最初と最後の頁 pp.897-904
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.11361/journalcpj.53.897	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 久保田映希, 廣井悠	4. 巻 No.54-3
2. 論文標題 災害リスクが関東大都市圏の賃貸住宅市場に与える影響-賃料・専有面積による市場区分と地域間の差異に注目して-	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 都市計画論文集	6. 最初と最後の頁 pp.1153-1160
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Hiroaki Goto and U HIROI	4. 巻 Vol.15
2. 論文標題 Trends of Measures in Disaster Recovery Plans:Focusing on the 2011 Great East Japan Earthquake and the 2016 Kumamoto Earthquake	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Disaster Research	6. 最初と最後の頁 pp.226-232
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 廣井悠, 齊藤健太	4. 巻 Vol.11
2. 論文標題 巨大災害時疎開シミュレーションの提案	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 横幹	6. 最初と最後の頁 pp.126-134
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 オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 久保田映希, 廣井悠
2. 発表標題 災害リスクの低い居住を促進する施策の定量的比較分析
3. 学会等名 日本災害情報学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 斉藤健太, 廣井悠
2. 発表標題 災害時疎開シミュレーションの構築と検証
3. 学会等名 日本災害情報学会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

本研究の成果を発表した学会発表で2件の受賞を受けた（ただし発表賞の位置づけ。ともに日本災害情報学会・河田賞）。

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	関谷 直也 (SEKIYA NAOYA) (30422405)	東京大学・大学院情報学環・学際情報学府・准教授 (12601)	