

## 90. 巨大災害時疎開シミュレーションの構築と検証

－ 南海トラフ巨大地震を対象とした疎開行動の量的検討 －

The Study of construction and verification about Refuge Simulation after Catastrophic Disaster

－ Case Study for Quantitative Examination about Nankai Trough Megathrust Earthquake －

廣井悠\*・齊藤健太\*\*・福和伸夫\*\*\*

U HIROI and Kenta SAITO and Nobuo FUKUWA

After Nankai Trough Megathrust Earthquake, it is expected that serious housing shortage will occur and many victims will move to private rental housing-turned-temporary housing in all over Japan. In this study, to examine those effects, we construct a refuge simulation and estimate the number of refuge households. This simulation uses the three kind of parameters, the number of damaged houses, vacant houses and victim's demand. The number of victims and housings can be calculated from the government statistics. The victim's demand was calculated from the result of questionnaire survey, based on multinomial logit model.

**Keywords:** Nankai Trough Megathrust Earthquake, temporary housing, vacant house, refuge simulation, questionnaire survey  
南海トラフ巨大地震, 仮設住宅, 空き家, 疎開シミュレーション, アンケート調査

### 1. はじめに

2016年4月に発生した熊本地震では、複数回続く強い揺れへの不安から自宅を離れる人が急増したことにより、大量の収容避難者で多くの避難所が満員となり、結果として行くあてがなくなってしまう被災者や車中泊に至ったケースが多数発生した<sup>1)</sup>。一方で避難所が解消される段階においても同様の問題は深刻と考えられる。例えば内閣府の「被災者の住まいの確保策検討ワーキンググループ」は「東日本大震災では、膨大な戸数を供給するため、「従来型の応急仮設住宅の建設」と「民間賃貸住宅等の借上げ」を併用する必要が生じ...」「首都直下地震等の巨大災害では、圧倒的な住宅不足が予測される」のように現状と課題を述べるなど<sup>2)</sup>、巨大災害後には仮設住宅の不足が懸念される。南海トラフ巨大地震を例にとると、内閣府中央防災会議の被害想定によれば、全国で全壊ないし焼失する家屋は東海地域が大きく被災するケースで95.4万棟から238.2万棟になる可能性もある<sup>3)</sup>。他方で、阪神淡路大震災及び東日本大震災時に供給されたプレハブ仮設住宅は約5万戸であり<sup>4)</sup>、その供給量には限界がある。東日本大震災ではこれに対し、民営の賃貸住宅を被災者に提供する「みなし仮設制度」により6万戸の賃貸住宅が提供されたが<sup>5)</sup>、平成25年で賃貸空き家は全国で400万戸以上あることを考えると<sup>6)</sup>、南海トラフ巨大地震後にはより多くのみなし仮設の活用も考えられる。

しかしながら、災害後に被災地に建設されるプレハブ仮設住宅と違い、みなし仮設住宅として利用される賃貸住宅は都心部を中心として全国各地に点在している。このため、地震の規模と発生場所によっては、みなし仮設住宅へ移動する際に大規模な世帯移動が必要となってしまう可能性も考えられる。一般に世帯移動に伴う被災地の人口変化は、

表1 本稿で用いる文字の一覧

文字	概要
$i$	被災前に居住している市区町村 総数
$j$	疎開先の市区町村 総数
$k$	仮設住宅の種類
$k=1$	賃貸空き家
$k=2$	その他空き家
$k=3$	プレハブ仮設住宅
$O_i$	需要戸数 = 被害世帯数×82.4%
$D_j^{(k)}$	供給可能な仮設住宅の戸数
$t_{ji}^{(k)}$	居住地 <i>i</i> から疎開先 <i>j</i> の仮設住宅の種類 <i>k</i> に疎開する世帯数
$p_{ji}^{(k)}$	居住地 <i>i</i> から疎開先 <i>j</i> の仮設住宅の種類 <i>k</i> に疎開する確率
$v_{ji}^{(k)}$	居住地 <i>i</i> から疎開先 <i>j</i> の仮設住宅の種類 <i>k</i> に疎開する効用の大きさ

復興後の地域のあり方に大きな影響を及ぼすものと考えられる<sup>1)</sup>。したがって、このような巨大災害後の人口変動を定量的に推計する手法ができれば、広域避難者に対するきめ細かい支援や地域社会に対する影響など、人口移動・変動を考慮に入れた災害対応策を立案する材料を提供できると考えられる。以上が本研究の着想に至った問題意識である。

本研究では、全国の市区町村を対象として震災後に仮設住宅を求めて移動する世帯数(以下、疎開世帯数と呼ぶ)を算定する「巨大災害時疎開シミュレーション(以下、疎開シミュレーション)」について、表1に示した表現のもとで構築する。そのうえでここでは南海トラフ巨大地震をケーススタディとし、様々な空き家の戸数を疎開シミュレーションに組み込むことで、空き家の供給状況によって世帯移動がどのように異なるかを試算した。さらに、これを熊本地震に適用することで、シミュレーションの検証を行った。なお本稿では市区町村を最小単位(政令指定都市は区単位)として検討を行う。シミュレーションの対象範囲は、空き家の戸数や住宅状況のデータが必要なため、平成25年住宅・土地統計調査の結果が存在する1,270の市区町村のみとした(よって、以降で掲載する日本地図の灰色の地域は本

\* 正会員 東京大学 (University of Tokyo)

\*\* 非会員 名古屋市役所 (City of Nagoya)

\*\*\*非会員 名古屋大学 (Nagoya University)

検討の対象地域外であることを示している)。

## 2. 既往研究の整理と本研究の位置づけ

仮設住宅の需給関係を分析した研究はこれまでもなされており、代表的な先行研究として例えば池田ら<sup>8)</sup>は地震後の早期住宅需要を推計するモデルを構築するため、被災者が住宅を求める行動を3つの段階に分けて仮定し、アンケート調査の結果から被災世帯の属性および被害の大きさと被災後の対応行動の関係を明らかにしている。また佐藤ら<sup>9)</sup>は一連の研究のなかで首都直下地震後の応急住宅の需要と供給について分析を行っており、非集計行動モデルに基づいた応急住宅需要を予測するシミュレーションを提案している。ここでは地震後に利用可能な賃貸空き家の分布から整備した応急住宅データと、応急住宅を求める世帯のデータ、アンケート調査に基づく応急住宅選択モデルからシミュレーションを構築している。本研究ではこれらの先行研究を踏襲し、住宅を失った世帯が住宅を求める行動を、図1に示す避難行動・疎開行動・移住(定住)行動の3つの時期からなるものと仮定し、避難所に避難した世帯は仮住まいとなるプレハブ仮設住宅ないしみなし仮設に「疎開」するものと定義して、本稿では主に疎開行動を対象とする。一般には原則として、みなし仮設としては民営及び公営の「賃貸空き家」利用が想定されているが、災害後に生じる巨大な住宅需要に 대응するため、本研究ではみなし仮設として賃貸用空き家に加えて、売却や賃貸の意図がない「その他空き家」<sup>2)</sup>を供給するケースも全国スケールで計算した。以上に加え、モバイル空間統計を用いて熊本地震を対象とした検証を試みた点が研究の新規性となる。

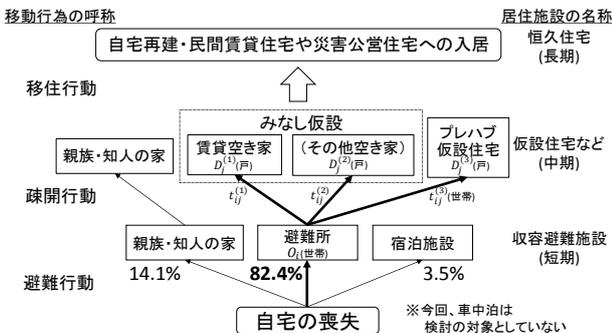


図1 仮定した住宅選択行動

## 3. 巨大災害時疎開シミュレーションの概要

本研究で求めたい最終的なアウトプットは疎開世帯数である。ここで疎開世帯数は、市区町村*i*から*j*へ疎開して賃貸住宅に入居する世帯数 $t_{ij}^{(1)}$ と、その他空き家に入居する世帯数 $t_{ij}^{(2)}$ 、プレハブ仮設住宅に入居する世帯数 $t_{ij}^{(3)}$ などに分けて計算する。本研究の手順を示したものが図2である。ここでは最初にアンケート調査を行い、その結果を用いて疎開によって得られる効用 $V_{ij}^{(k)}$ を算出した。パラメータの推定は最尤推定法を用いている。続いてシミュレーション

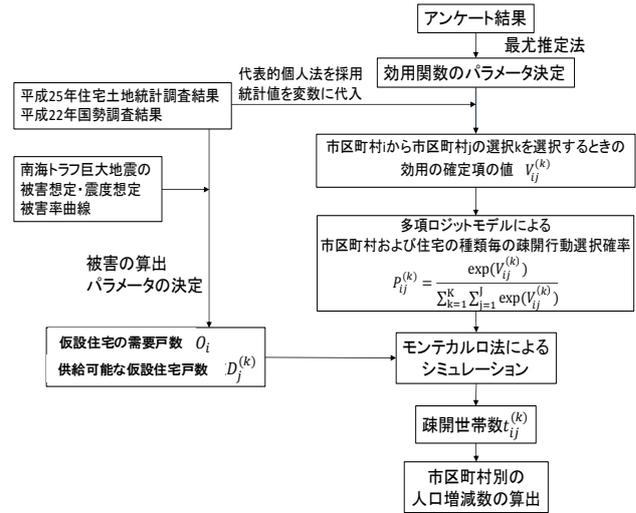


図2 検討の手順

に用いる制約パラメータとして、仮設住宅の需要戸数と供給戸数を算出する。最後にモンテカルロ法を用いて疎開世帯数を算出している。以降では、それぞれのプロセスを説明する。

### 3.1. アンケート調査の概要と結果

効用を算出するための関数を決定するため、アンケート調査を実施した。実施期間は2015年12月1日から12月15日まで、人口増加率の正負と津波被害の有無を考慮して抽出した中京圏下の4つの市区町村(名古屋市名東区、名古屋市港区、岐阜県恵那市、愛知県美浜町)の各400世帯、計1,600世帯を無作為にポスティングし、郵送にて回答頂いている。回収票数は395部で回収率24.7%、有効票数は311部であった。質問事項は、初めに回答者の属性である世帯形態、世帯年収、世帯主の職業、通勤通学にかかる時間と交通手段、自宅の特徴(建て方、所有区分、構造、築年数)、居住年数、居住市区町村を尋ねた。次に、地震によって自宅を喪失した状況を想定して、「親族・知人の家」、「避難所」、「宿泊施設」のうちどの収容避難施設に避難したいかの意向を尋ねた。そして、巨大地震後に避難所で1ヶ月過ごしたと想定してもらい、現住地から新規の住宅の距離とみなし仮設住宅の建て方(戸建て・集合住宅)の条件が異なる中で、「みなし仮設住宅」(アンケートでは賃貸住宅と表記)、「プレハブ仮設住宅」、「親族・知人の家」、「避難所生活の継続」のうち、どの住宅に入居したいかを尋ねた。ここでは1人の回答者につき、12種類の設問を用意し、それぞれ条件が異なる4つの選択肢の中から最も入居したい条件を1つだけ選んでもらった。住宅の距離は、自宅からの距離を具体的なキロ数で示しており、みなし仮設住宅(賃貸住宅)の建て方の条件は「アパート・マンション」・「戸建て住宅」のいずれかを提示した。そのほか、有意にはならなかったが、みなし仮設住宅の条件として補助金の有無も条件として提示している。効用関数の推計は、多項ロジットモ

表2 効用関数のパラメータ

	係数(推定値)		変数の概要	引用元となるデータ
	みなし仮設住宅	プレハブ仮設		
定数項	1	6.147 **	---	---
選択肢属性				
距離	-0.015 **	-0.015 **	市区町村間の直線距離(単位:km)	GIS上の役所間直線距離
(みなし仮設の)戸建てダミー	0.651	---	仮住まいが戸建てなら1、それ以外は0	住宅・土地統計調査
世帯属性				
単身世帯ダミー	1	-0.639 *	65歳未満で世帯人数が1人なら1、それ以外は0	国勢調査
夫婦世帯ダミー	1	-0.596 *	65歳未満で世帯人数が2人なら1、それ以外は0	国勢調査
子育て核家族世帯ダミー	1	-0.396 *	18歳以下の世帯員を1人以上含み、世帯人数2-5人なら1、それ以外は0	国勢調査
成熟世帯ダミー	1	-0.19	18歳以下の世帯員を含まず、世帯人数が3-5人なら1、それ以外は0	国勢調査
三世帯・大家族ダミー	1	-0.602 *	18歳以下の世帯員と65歳以上の世帯員を含む、ないしは世帯人数6人以上ならば1、それ以外は0	国勢調査
高齢夫婦世帯ダミー	1	-0.088	65歳以上で世帯人数が2人なら1、それ以外は0	国勢調査
高齢単身世帯ダミー	1	-0.555	65歳以上で世帯人数が1人なら1、それ以外は0	国勢調査
職業属性				
雇用者ダミー	1	1.069	世帯主が雇用者ならば1、それ以外は0	住宅・土地統計調査
無職ダミー	1	1.242	世帯主が無職ならば1、それ以外は0	住宅・土地統計調査
年収	1	0.834 **	世帯年収(単位:百万円)の値	住宅・土地統計調査
通勤時間	1	1.02	世帯主の通勤時間(単位:十分)の値、無職者は0	住宅・土地統計調査
自動車通勤ダミー	1	0.106 **	自家用車で通勤する場合は1、それ以外は0、無職者は0	国勢調査
公共交通手段ダミー	1	0.225 **	公共交通機関で通勤する場合は1、それ以外は0、無職者は0	国勢調査
居住地属性				
居住地人口	1	0.666 **	居住地の自治体の人口(単位:万人)の値	国勢調査
DID人口割合	1	6.202 **	居住地の自治体の遷入人口に占める、DIDに住む人口の割合	国勢調査
自宅戸建てダミー	1	1.606 *	自宅が戸建てならば1、それ以外は0	住宅・土地統計調査
居住継続年数	1	1.008 *	現在の居住地に住んでいる年数(単位:十年)	住宅・土地統計調査
持ち家ダミー	1	-0.666 **	自宅が持ち家ならば1、それ以外は0	住宅・土地統計調査
借家ダミー	1	-0.407 **	自宅が借家ならば1、それ以外は0	住宅・土地統計調査
McFadden尤度比	0.17	**、p<0.01 *、p<0.05		

デルを用いることとして、この回答結果に最尤推定法を用い、回答者の選択行動が現れる同時確率の対数尤度関数を最大にするように各変数のパラメータを推定した<sup>10)</sup>。また、空き家所有者のみを対象に、活用の意向についても尋ねている。

回答者全体のアンケート結果から、避難行動時に避難所に向かう世帯の割合を算出すると、「親族・知人の家」に避難する世帯が14.1%、「避難所」に避難する世帯が82.4%、「宿泊施設」に避難する世帯が3.5%であった。本シミュレーションでは「避難所」に避難した世帯が、みなし仮設となる「賃貸空き家」「その他空き家」と「プレハブ仮設住宅」を選択する部分のみを対象とすることとした。これは親族・知人の家に向かった人が必ずしも仮設住宅に入居するとは限らず、疎開先となる親族・知人宅の立地について把握することが現段階では困難であることや、表明選好法で世帯分離について詳しく尋ねることが現実的には難しいと考えられることなどから、シミュレーションによって疎開世帯数を直接算出し難いと考えたためである<sup>9)</sup>。そこで、ここで対象とする仮設住宅に入居する世帯数の母数(需要戸数 $O_i$ )は、住宅が全壊した世帯数の82.4%とし、一度「避難所」に避難した世帯は、その後「親族・知人の家」には疎開しないものとした。

### 3.2. 効用関数の推定

推定した効用関数のパラメータが表2である。みなし仮設のパラメータを1として、これを基準にプレハブ仮設の係数を推定している。ただし距離については、みなし仮設もプレハブ仮設も係数は同一とし、みなし仮設については別途戸建て選好の変数を用意してパラメータの推定を行っている。表中の\*\*は有意水準1%、\*は有意水準5%であることを示す。自由度調整済み尤度比は0.17であり推定精度には若干の課題が残る。このパラメータをもとに、市区町村間の疎開行動によって得られる効用を算出した。効用はこれらの項の線形和とし、算出の際は計算負荷を低減するため代表的個人法を仮定した。具体的には、各世帯の世帯形態<sup>4)</sup>や職業形態などの特徴は市区町村の代表的な世帯の特徴と同じであり、代表的な世帯の特徴は市区町村毎の統計

データの値と同じであるものとみなし、統計データの値を効用関数に代入することで各世帯の効用を算出した。引用した統計データは主に平成22年国勢調査<sup>11)</sup>と平成25年住宅・土地統計調査<sup>7)</sup>である(表2参照)<sup>6)</sup>。なおここでは、意思決定者がそこまで完全な情報を有していないと考えられる疎開先自治体の供給可能戸数を効用関数に設定してはいるが、供給可能戸数が多ければ多いほど選択率が高まることも考えられ、この点は今後の課題としたい。

### 3.3. 仮設住宅の需要戸数と供給戸数の算出

次に、南海トラフ巨大地震の基本ケースが発生した際に必要となる仮設住宅の需要戸数 $O_i$ と地震後に供給できる戸数 $D_i^{(k)}$ を算出する。ここで1世帯は1戸の仮住まいに入居し、世帯分離や世帯合併は考えないものとする。考慮するハザードは、揺れ・津波・液状化・地震火災の建物の全壊被害である。算出方法のフローを図3に示す。

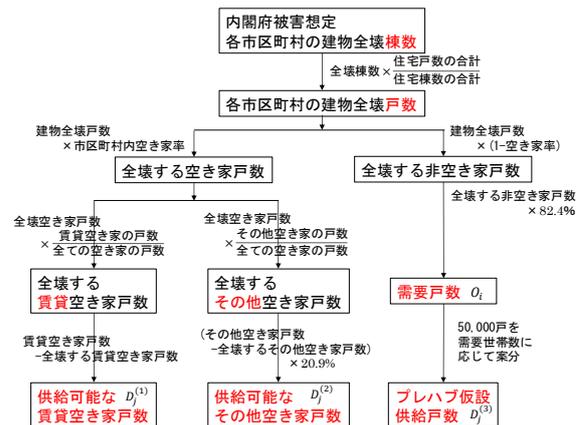


図3 仮設住宅の需要戸数と供給戸数の算出法

はじめに、中央防災会議が算出した各市区町村の全壊建物棟数<sup>12)</sup>を全壊戸数に換算する。市区町村ごとの建物棟数と建物戸数の関係は住宅土地統計<sup>7)</sup>の値を用いた。次に、建物全壊戸数に空き家率を乗じて、全壊する空き家戸数を求める。市区町村の空き家率は、各市区町村の空き家戸数を全住宅戸数で除した値である<sup>7)</sup>。ここでは全壊する空き家戸数に賃貸空き家率を乗じ、全壊する賃貸空き家戸数を求めている。ここで賃貸空き家率とは、賃貸空き家の戸数

を全ての空き家戸数で除した値である。市町村の賃貸空き家の戸数から全壊する賃貸空き家の戸数を除いたものが、供給可能な賃貸空き家の戸数とする。さらに同様の手順で、その他空き家についても算出した。建物全壊戸数に、非空き家率をかけることで居住者がいる住宅の全壊戸数を求める。それに82.4%を乗じて需要世帯数を算出している。

ここでは強い仮定となるが、プレハブ仮設住宅は全国で阪神淡路大震災や東日本大震災と同数の5万戸の供給がなされると仮におき、仮設住宅用地の制約などは考えていない。また市区町村ごとのプレハブ仮設住宅供給戸数 $D_j^{(3)}$ は、全国の供給戸数にその市区町村の被害世帯数が全国の被害世帯数に占める割合を乗じた値とした。すなわち式(1)のように按分計算をした。

$$D_j^{(3)} = 50000 \times \frac{o_j}{\sum_{i=1}^J o_i} \quad \dots(1)$$

### 3.4. 疎開世帯数の算出

最後に、モンテカルロ法を用いて疎開世帯数を算出する。その部分のフローが図4である。ここでは多項ロジットモデルに基づいて疎開先の選択確率を算出した。受け入れ先となる総市区町村数 $J$ は1,270であり、仮設住宅の種類 $K$ はみなし仮設として利用する「賃貸空き家」「その他空き家」および「プレハブ仮設住宅」の3種類である。各世帯は受け入れ先の市区町村と仮設住宅の種類を選択して疎開するため、選択肢の数は、 $J \times K = 1,270 \times 3 = 3,810$ となる。この選択確率は式(2)によって計算される。ただし(2)式は、意思決定者が全ての区市町村の仮設住宅に関する完全情報を有しているという強い仮定のもとでの選択モデルとなっていることに注意されたい。今後はこのような仮設住宅や恒久住宅の選択行動を扱う上で、選択肢集合に関する調査・分析も必要になると考えられる。

$$P_{ij}^{(k)} = \frac{\exp(V_{ij}^{(k)})}{\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J \exp(V_{ij}^{(k)})} \quad \dots(2)$$

次に、モンテカルロ法によって疎開する世帯数を算出する。各被害世帯に対して0から1の間で乱数を発生させ、先の選択確率に基づいて、どこの疎開先を選択したのか決定し、疎開世帯数を一時的に決定する。このときは、出発側市区町村 $i$ から疎開する世帯数の合計と需要戸数が一致するため、式(3)が満たされることになる。

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J t_{ij}^{(k)} = O_i \quad \dots(3)$$

しかしながら、仮設住宅には容量制約があるため、続いて決定した疎開世帯数が仮設住宅の供給戸数による制約条件を満たしているかを判別しなければならない。ここでは疎開して市区町村 $j$ に入ってくる世帯数が、市区町村 $j$ における仮設住宅の供給戸数以下でなければ、疎開世帯を受け入れることができないとして、全ての $j$ および $k$ について、式(4)を満たしているかを判断した。

$$\sum_{i=1}^J t_{ij}^{(k)} \leq D_j^{(k)} \quad \dots(4)$$

制約条件を満たさない場合、つまり疎開先対象市町村の全ての仮住まいに疎開世帯が入居した時点で、その疎開先を選択することはできないため、本シミュレーションではこの表現について、制約条件を満たさなくなった段階で、制約条件を満たさない選択先の選択確率を0にして、式(4)を

満たすようになるまで再計算を行っている。

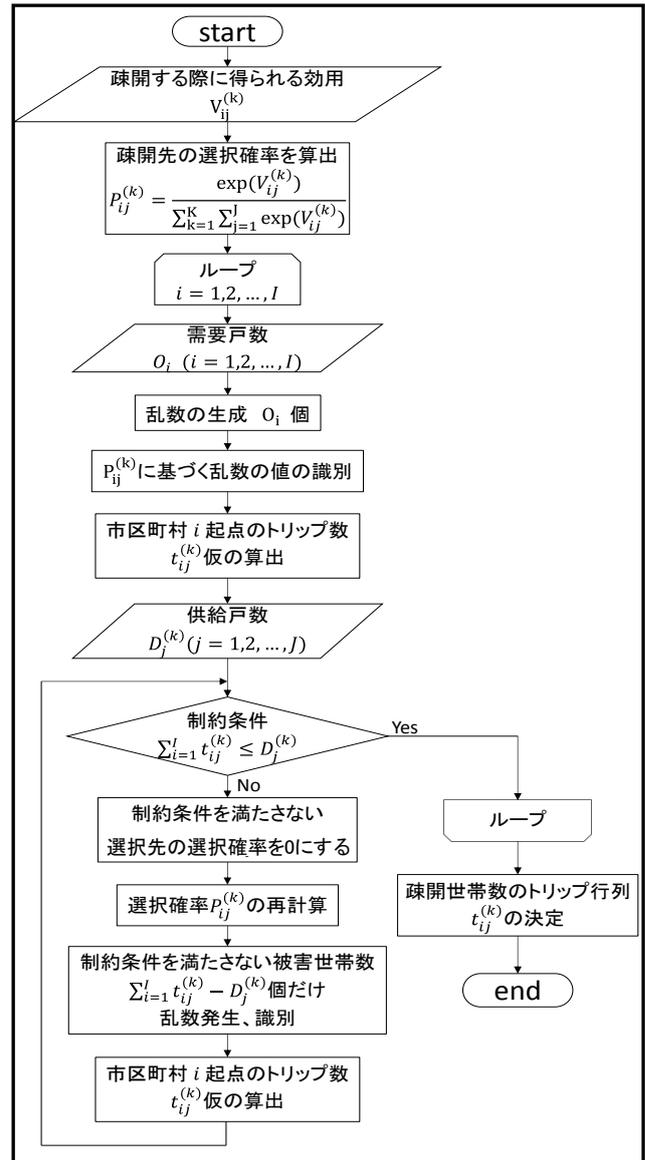


図4 疎開世帯数シミュレーションの流れ

以上の計算をすべての出発側市区町村 $i$ について行い、最終的に疎開世帯数のトリップ行列 $t_{ij}^{(k)}$ を得た。ただし、制約条件を満たすための再計算過程によって、計算する市区町村の順番が計算結果である $t_{ij}^{(k)}$ に影響を与える可能性がある。つまり最初に計算する市区町村では3,810の選択肢があったものが、計算の順番が後になり、仮設住宅の空きが無くなるのに従って選択肢が少なくなってしまう可能性が残っている。よってここでは、この順番による影響を除くため、計算する市区町村の順番を自治体コードの順番とし、1回シミュレーションを計算したら順番を1つ繰り上げて再計算するよう、図4の作業を出発側市区町村の総数と同じ1,270回繰り返す、その平均値を計算結果としている。これにより、全ての市区町村が少なくとも1回は最初に計算を行えるようにしたことになる。

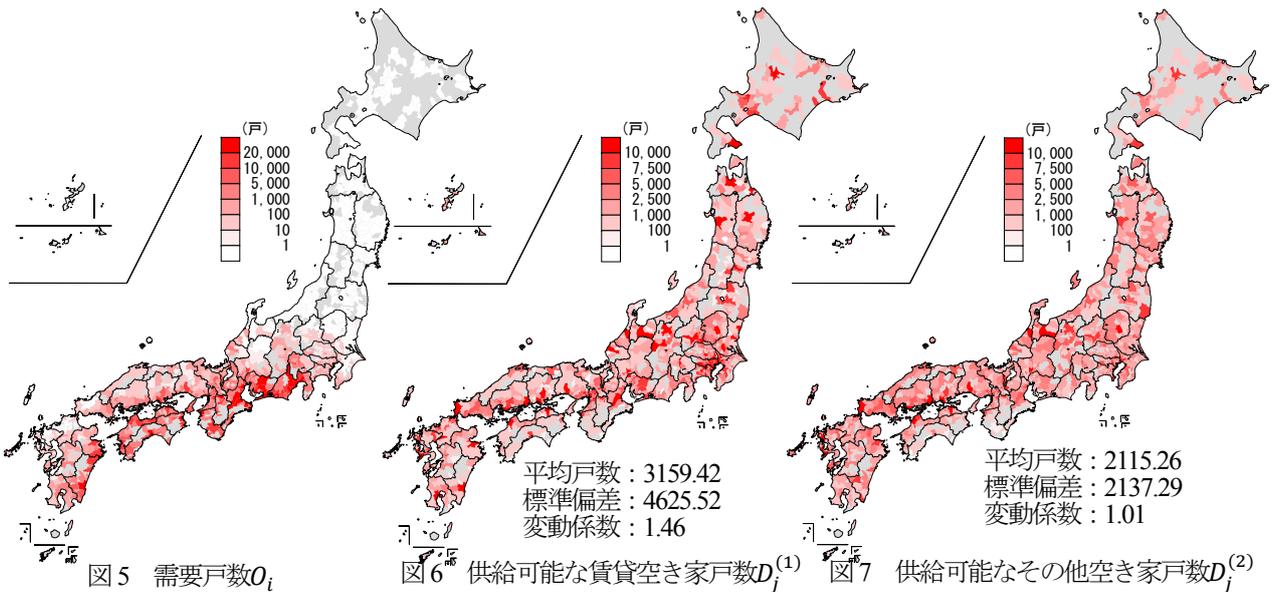


図5 需要戸数 $O_i$

図6 供給可能な賃貸空き家戸数 $D_j^{(1)}$

図7 供給可能なその他空き家戸数 $D_j^{(2)}$

#### 4. 南海トラフ巨大地震を対象とした数値例

ここでは、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」ケース1と、「プレハブ仮設住宅・賃貸空き家に加え、その他空き家の20%<sup>(6)</sup>が供給される」ケース2を計算条件とした数値を紹介する。想定するハザードは、揺れ被害は陸側ケース、津波被害は東海地方で被害が大きい津波ケース①である。地震火災は被害が最大の冬期深夜 風速8mの場合を引用した。またこの数値例では、応急補修などの対処策もあることを考慮し、半壊・一部損などは需要として数えていない。

この条件下での需要戸数は図5のようになる。内閣府の計算をもとに図3の通り計算すれば、揺れによる全壊被害の合計は2,627,082世帯、津波被害は133,129世帯、液状化被害は173,402世帯、地震火災被害は263,732世帯、計3,197,345世帯である(ただし、この数字は建物が全壊した後の浸水などのダブルカウントが精緻に考慮されていない可能性もある)。よって、ここでシミュレーション計算の母数となる仮設住宅の需要戸数 $O_i$ の合計は全壊世帯の82.4%で、2,635,776戸となる。この場合の賃貸空き家の供給戸数を図6に、その他空き家の供給戸数を図7に示す。地震被害を受けずに供給可能な賃貸空き家は全国に4,012,464戸、その他空き家は2,686,383戸と計算される。またプレハブ仮設住宅の供給戸数は図8のようになる。仮設住宅の供給戸数と需要戸数を比較したものが、図9となる。青色の市区町村は供給戸数が需要戸数を下回る地域であり、これらの地域では同一市区町村内で住宅需要を補うことができない。したがって、これらの地域では必然的に他市区町村への疎開が生じる可能性が高い。

上記の数値をもとに、疎開シミュレーションを計算した。この結果が、図10である(疎開後の世帯増減率)。どちらのケースにおいても、被害の大きい南部の市区町村で世帯が減少し、被害が小さい北部の市区町村の世帯が増加しており、おおまかな傾向として南から北への疎開が生じていることが分かる。

その他空き家を供給するケース2は、その他空き家を供

給しないケース1と比較して、需要戸数の大きい西日本の地方の市町村、すなわち政令市や中核市および県庁所在地ではない市区町村を中心に世帯増加率が大きくなっている。また静岡県などで確認できるように、被災地域の世帯減少率も小さくなった。一方で、首都圏の世帯増加率は、ケース1の方がケース2よりも大きい。これは効用関数のパラメータにおける戸建て住宅に対する選好が影響をおよぼしているものと考えられ、結果としてその

他空き家の供給によって地方部の戸建住宅に入居できることで、首都圏へ疎開する世帯数が減少し、被災地から近い中部や西日本の世帯数が増加していることが分かる。他方で、図11はそれぞれのケースで大規模な世帯移動(上位20番以内)のペアのみを示したものである<sup>(7)</sup>。この検討は、広

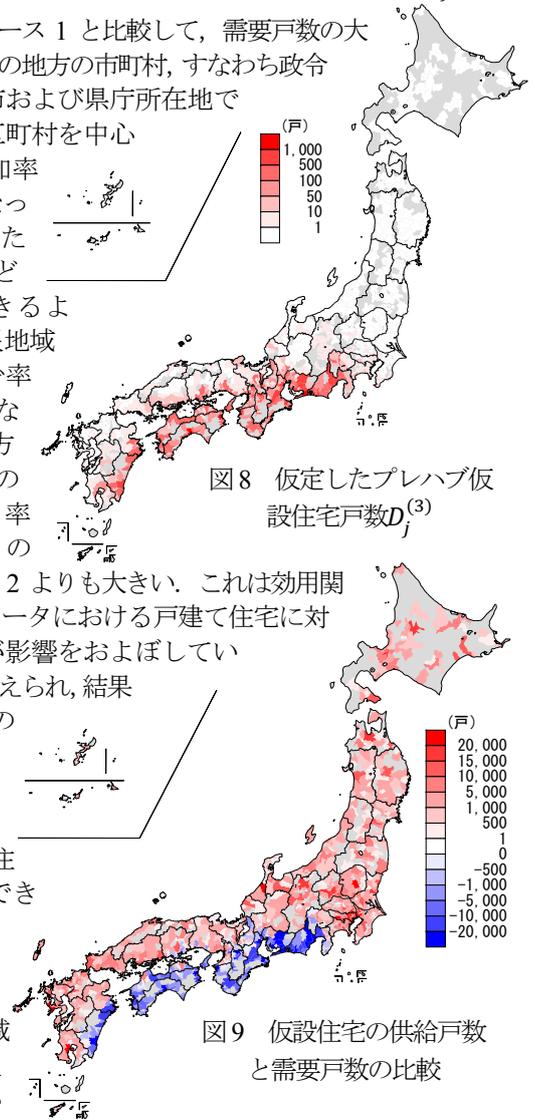


図8 仮定したプレハブ仮設住宅戸数 $D_j^{(3)}$

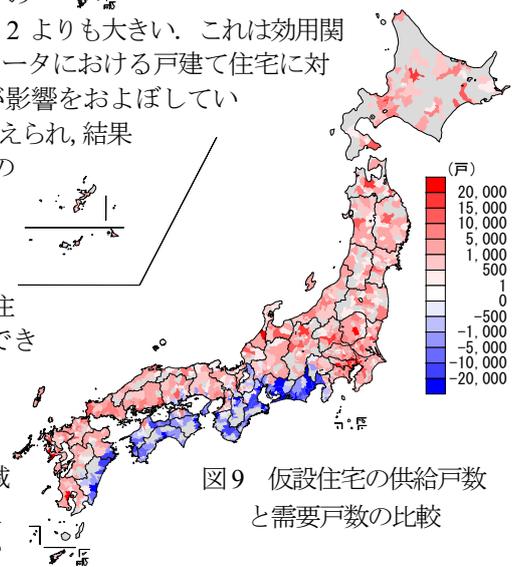
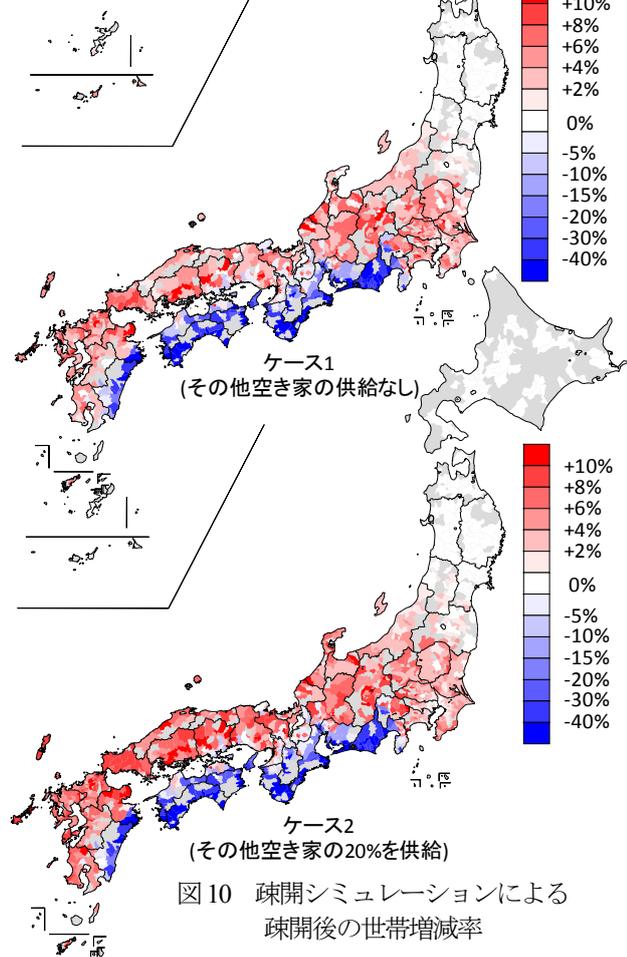
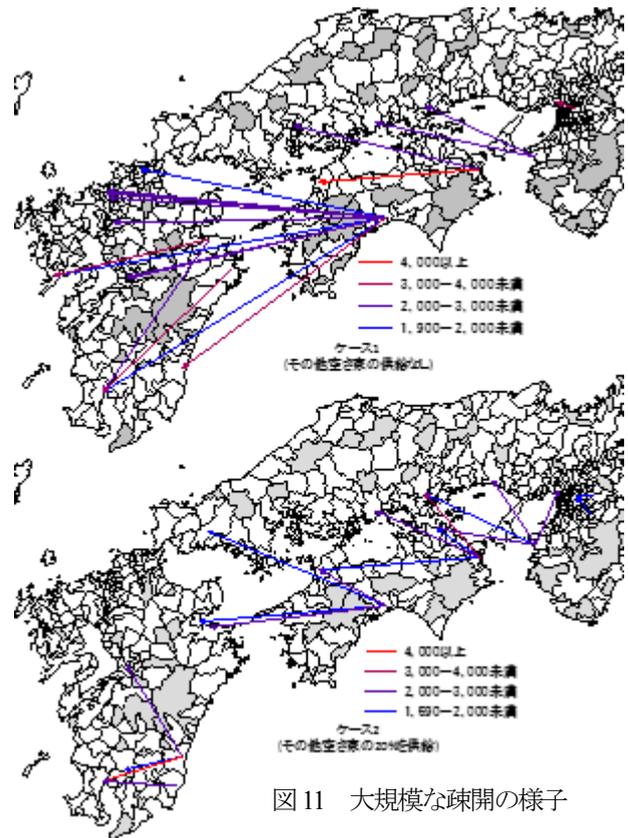


図9 仮設住宅の供給戸数と需要戸数の比較

域避難者の支援策や、疎開に関する自治体間協定などの策定を考える場合に有用な資料となる可能性がある。両者のケースに共通して、大規模な疎開は近畿以西の市区町村間で生じており、東から西への疎開であった。ケース2はケース1に比べて大規模疎開の移動距離が短くなっている。また20の市区町村の組み合わせのうち、ケース1では政令市の区への疎開が8組であるのに対してケース2では3組である。その他空き家の供給によって、政令市に大規模な疎開を行う代わりに、近距離にある県庁所在地や中核市に疎開する傾向があることが分かる。このような変化の要因は上記と同様に、制約条件となる仮設住宅の供給戸数の変



化であると考えられる。つまり、ケース2ではケース1と比べて西日本の市区町村に供給される仮設住宅の絶対数が増加して受け入れ能力が向上し、被災地から近い地域で疎開世帯を受け入れることが可能になったことになる。図6と図7の変動係数を比較すると、賃貸空き家はその他空き家と比べて市区町村間の供給戸数に偏りが大きく、前者は都市部への供給に偏っている。したがって、賃貸空き家のみが供給される場合、地方では仮設住宅不足が生じて都市部の賃貸空き家に流入し、結果として都市部や首都圏の世帯増加率を高めたものと考えられる。一方その他空き家は地方の市区町村ほど総世帯数に対する空き家戸数が大きい。



したがって、その他空き家が供給されることによって、地方の受け入れ能力が高まり、疎開世帯数そのものは減少し、地方と都市部との人口増減の差が是正されるものと考えられる。このように、被災世帯における住宅タイプの選好と空き家の立地特性が、疎開行動に少なくない影響を与えることが本シミュレーションの数値例から判明した。

### 5. 巨大災害時疎開シミュレーションの検証

上記で紹介した疎開シミュレーションは、東日本大震災時の教訓をもとに、筆者らが行ったアンケート調査や被害想定、住宅土地統計調査などを積み上げて構築したものであり、結果の再現性を検証する作業は必須と言える。本稿では、巨大災害とは言い切れないものの、2016年4月に発生した熊本地震を対象として疎開シミュレーションを用いた世帯増減数を算出し、これを熊本地震後の携帯電話による夜間人口の統計データ（モバイル空間データ）と比較することで、シミュレーション結果の妥当性を検討した。

前者については、南海トラフ巨大地震を対象とした計算と同じく住宅・土地統計調査のデータが公表されている自治体のみを対象とし、熊本市では行政区ごとの全壊世帯数<sup>13)</sup>を、熊本市以外の県内市町村については市区町村ごとの全壊世帯数<sup>14)</sup>とし、県外の市区町村は被害なしとしたうえで仮住まいの需要を計算した。ただし選択モデルは中京圏で行ったアンケートの結果を用いている。また供給数については、平成25年の賃貸空き家の戸数<sup>7)</sup>に、市区町村内の計測震度の最大値<sup>15)</sup>に対応した全壊被害率<sup>16)</sup>をかけて全壊戸数を求め、これを除くことで求めた。なお携帯電話のデ

ータと集計単位をあわせるため、シミュレーションで得られた増減世帯数に市区町村別の1世帯あたりの平均人数<sup>19)</sup>を乗じて増減人口を算出している。後者についてはNTTドコモ社提供のモバイル空間統計のデータを用いた。このデータは携帯電話ネットワークの運用データから生成される人口統計情報で、特定の日時における市区町村ごとの携帯電話契約者の滞在人数を把握するものである<sup>18)</sup>。本稿では熊本地震の発生から3ヶ月が経過した同年7月14日の午前3時における熊本県民の滞在データを用い、これに2015年10月時点の市区町村人口<sup>19)</sup>の人数を引き、熊本県内の増減人口を算出した。両者を比較したものが図12および図13である。

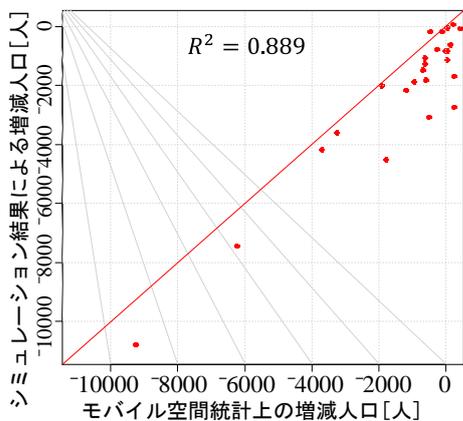


図12 熊本県内の増減人口

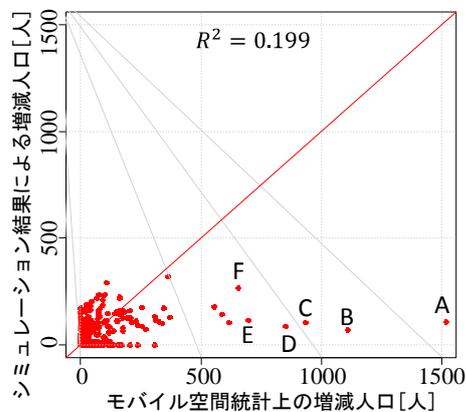


図13 熊本県外の増減人口

図12からは熊本県内25市区町村のうち24市区町村で、シミュレーション結果に基づく減少人口が実際の減少人口よりも大きく見積もられていることが分かる。これは住まいを失ったものの、同一市町村内の近親者や知人宅に入居した人数を増減数に含めていないためと考えられる。本シミュレーションでは、このような親戚・知人宅への疎開を考慮しているものの、親戚・知人宅の所在地を詳細に調べることが困難なことから、ここで示す増減世帯数・増減人口には含めていない。このような課題はあるものの、図13を見る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てよいだろう。

他方で図13にもあるように、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。すなわち、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。ところで図13をみると、実際の増加人口がシミュレーションによる見積もりよりも大きい自治体があり、これが大きく決定係数を下げている。例えば図中のA点は福岡市博多区、B点は鹿児島市、C点は福岡市中央区、D点は宮崎市、E点は大分市、F点は福岡県大牟田市であるが、このように都市部で大きな誤差が発生する要因として、家族や親族の居住地など人間関係に依拠した移動先の選択がシミュレーションに反映できていない課題がある。東日本大震災後の福島県の県外避難者では、子供世帯が居住する首都圏などの都市部への移動が見られたが<sup>20)</sup>、熊本地震においても同様の理由で近隣都市の人口が増加した可能性がある。また先述の6都市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ため、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まだまだ課題が残る、更なるシミュレーションの改善が必要と考えられる。

## 6. まとめ

本研究は、大規模災害が発生した後の疎開世帯数を算出するための巨大災害時疎開シミュレーションを構築し、熊本地震を対象としてその検証を行った。さらに、内閣府が公表した南海トラフ巨大地震被害の1ケースでシミュレーションの数値例を計算した結果、下記の示唆が得られた。

1. 南海トラフ巨大地震が発生し、本稿で使用した内閣府想定と同様の被害が発生すると、太平洋沿岸部の多くの地域で同一市町村内での仮設住宅居住は量的制約で限界に達し、市町村境界を越えた疎開が考えられる。
2. このような市町村境界を越えた疎開は被害量や利用できる空き家の種類によっても異なるが、おおむね太平洋沿岸部から内陸部および日本海側への移動が顕著である。また西日本においては、東から西への疎開が生じる可能性がある。
3. 市場に流通していないその他空き家を災害時にみなし仮設として供給すると、疎開世帯の移動距離は短くなり、西日本を中心に地元に残る世帯が増える。ま

た大都市とそれ以外で世帯増減率の差が小さくなる。

他方で、本研究で構築した疎開シミュレーションはまだ多くの課題を有している。ひとつは、推定精度に関する問題である。これは、被害を受けない状態で仮想的に意向を把握するというアンケート調査法そのものの限界や、代表的個人法を用いて市区町村ごとに一律な世帯の特徴を仮定した分析の妥当性、中京圏で行ったアンケートを全国の計算に利用している点、さらには効用関数の確定項を線形として直線距離を用いている点や、大都市特有の吸引力、地震被害に伴う就業地の移動や職業の変化を考慮していない点などで、解決を必要とする課題と言える。用いた空き家や被害想定データのデータがこのような詳細なシミュレーションを行うにはいまだ不十分かつ解像度が低いものであるという点も、課題といえよう。また本稿の数値例では、賃貸空き家のみならず良質なその他空き家を積極的に確保・利用することで、長距離疎開や地方部の人口減少を抑制する可能性を示唆したが、現実には空き家の品質に関するデータ整備や責任所在の明確化、仮設住宅から恒久住宅への連続性など、多くの課題が存在する。本稿ではそのような議論には踏み込まず、統計データに則った戸数のみに着目した量的な分析を行ったものである。結果として本研究はまだ十分な再現性を有した技術の確立とはいえないが、モバイル空間データを用いた検証などにより、就業地や職業に関する変数を内生化する必要性やより詳細なデータの公開・入手など、今後の研究課題を模索する上では学術的意義を有していると考えている。このため本稿は、広域避難や疎開に対する迅速な支援策と被災後の人口減少に対する解決策を探るための萌芽的性格を持つ研究と位置づけられる。

本研究を行うにあたって、内閣府に被害想定データのご提供を頂きました。また本研究は、文部科学省委託研究「都市の脆弱性が引き起こす激甚災害の軽減化プロジェクトサブプロ③(代表:林春男防災科学技術研究所理事長)の研究助成を受けました。皆様方にご厚くお礼申し上げます。

#### 【補注】

- (1) 例えば2015年国勢調査<sup>20)</sup>では、原子力災害によって全域が避難指示区域である町村を除くと、人口減少率の全国1位が福島県楢葉町(87.3%減)、全国2位が宮城県女川町(37.0%減)、全国3位が宮城県南三陸町(29.0%現象)、そして全国5位は宮城県山元町(26.3%)と、東日本大震災で甚大な被害のあった地域が人口移動により急激な人口減少に直面している。わが国では過去にも大量の住宅を失った世帯が広域的移動を行った事例は多く、1923年の関東大震災では東京市人口約200万人に対し、約78万人(1923年11月15日時点)が広域的な避難行動(疎開)を行ったとされている<sup>21),22)</sup>。
- (2) 住宅・土地統計調査では、空き家を4つに分類している。「二次の空き家」は、週末や休暇時に使用され普段は人が住んでいない別荘や、普段住んでいる住宅とは別に寝泊まりしている人が存在する住宅である。「賃貸空き家」および「売却用空き家」は、新築・中古を問わず、賃貸および売却のために空き家になっている住宅である。そして「その他空き家」は、上記以外の人が住んでいない住宅を指しており<sup>24)</sup>、他の区分と比べて管理が不十分になりがちと考えられている。管理が不十分な空き家が増加することで、建物倒壊等の防災安全性の低下、放火などの防犯性の低下、ごみの不法投棄や動植物の繁殖による悪臭の発生や公衆衛生の低下、そして景観の悪化や地域イメージの低下といった問題が懸念されている<sup>23),26)</sup>。
- (3) 本稿では過去の事例をもとにおおむねこのような単純なモデル化を行ったが、東日本大震災時における福島県からの広域避難行動の分析によれば、実際は親類・知人宅を転々としたり、友人・知人宅から避難所に戻ったりと複雑かつ多様な移動が見られている<sup>20)</sup>。
- (4) 世帯形態は世帯人数によって以下のように定義した。単身世帯は65歳未満で世帯人数が1人の世帯、夫婦世帯は2人の世帯である。高齢単身世

帯は65歳以上の世帯員が1人の世帯、高齢夫婦世帯が2人の世帯である。子育て核家族は18歳以下の世帯員が1人以上いる世帯人数2人以上5人以下の世帯である。成熟世帯は18歳以下の世帯員がおらず、世帯人数が3-5人の世帯である。三世帯・大家族世帯は18歳以下の世帯員と65歳以上の世帯員がそれぞれ1人以上いる世帯及び世帯人数が6人以上の世帯である。

- (5) 効用関数の変数をアンケート対象地である4市町村と全国の市区町村で比較した結果、これらの偏りは小さかったため、調査結果の偏りも小さいと判断して、このアンケート調査結果を全国に拡大している。しかしながら、本来は全国を対象にしたアンケート調査を実施し、その結果をモデルに用いるべきであり、その点で本研究の方法論には若干の課題が残る。
- (6) 文献<sup>27)</sup>によると、その他空き家320万戸のうち新築基準となる1981年以降に建設され、腐朽・破損のないその他空き家は67万戸であり、全体の20.9%である。また、今回行ったアンケート調査で震災後に空き家を提供しても良いか尋ねたところ、空き家所有者のうち、貸しても良いと答えたのは27.5%であった。本シミュレーションでは、このような数値を踏まえて、そのような質の良いその他空き家をすべて確保できた理想的な状況として、その他空き家の仮に20%を利用するケース2の計算条件を設定した。
- (7) 東日本大震災の福島県からの県外避難でも、このように被災世帯が広域に散らばり、かつ都市部に集中する状況が確認されている<sup>20)</sup>。

#### 【参考文献】

- 1) 毎日新聞:「熊本地震2カ月 損壊の住宅手つかず/避難所も満員 復興の道筋見えず」, 2016.06.11.
- 2) 内閣府:「被災者の住まいの確保策検討ワーキンググループ資料・概要版」, 2014.08.
- 3) 中央防災会議:「南海トラフ巨大地震の被害想定について(第二次報告)~施設等の被害~被害の様相」, 2013.3.
- 4) 内閣府:「阪神・淡路大震災 総括・検証 調査シート 069」, <http://www.bousai.go.jp/kensho-hanshinawaji/chosa/index.htm>
- 5) 国土交通省:「2013.4. 応急仮設住宅着工・完成状況」, <http://www.mlit.go.jp/common/000140307.pdf>
- 6) 国土交通省:「災害時における民間賃貸住宅の活用について被災者に円滑に応急借上げ住宅を提供するための手引き(本編)」, 2012.11. , <http://www.mlit.go.jp/common/000232197.pdf>
- 7) 総務省統計局:「平成25年住宅・土地統計調査結果」.
- 8) 池田浩敬, 中林一樹(2001), 「震災からの住宅復興対応のための事前需要推計に関する基礎的研究」, 日本建築学会計画系論文集 第549号, pp223-230
- 9) 佐藤慶一, 中林一樹, 翠川三郎(2008), 「地震被害想定を用いた応急住宅対策のシミュレーション -東海北部地震 M7.3 時の応急居住状況の予測」, 都市計画論文集 No.43-3, pp715-720
- 10) 北村隆一ら(2002), 『交通行動の分析とモデリング 理論・モデル調査/応用』, 技報堂出版
- 11) 総務省統計局:「平成22年国勢調査結果」, <http://www.e-stat.go.jp/>
- 12) 中央防災会議:「南海トラフの巨大地震 被害想定結果」.
- 13) 熊本市:「第63回災害対策本部会議資料」.
- 14) 熊本県:「熊本地震等に係る被害状況について」[第224報].
- 15) 地震調査研究推進本部 地震調査委員会:「平成28年(2016年)熊本地震の評価」.
- 16) 中央防災会議:「南海トラフの巨大地震 建物被害・人的被害の被害想定項目及び手法の概要」.
- 17) 平成27年国勢調査(総務省統計局), 人口等基本集計, 都道府県結果
- 18) NTTドコモ:「モバイル空間統計」.
- 19) 熊本県:「昭和50年~平成28年市区町村別人口推移(総数, 男女別)」.
- 20) 廣井悠:「福島原子力発電所からの避難行動に関する調査と分析」, 都市計画論文集, No.49-3, pp.537-542, 2014.
- 21) 総務省統計局:「平成27年国勢調査結果」, <http://www.e-stat.go.jp/>
- 22) 内務省社会局:「震災調査経過概要」, 震災調査報告, pp.1-37,1924.12.
- 23) 北原奈子:「関東大震災における避難者の動向:「震災死亡者調査票」の分析を通して」, 災害復興研究, 関西学院大学災害復興制度研究所, No.4, pp.43-51, 2012.
- 24) 総務省統計局:「平成25年住宅・土地統計調査 用語の解説」.
- 25) 国土交通省:「空き家の現状と課題」, <http://www.mlit.go.jp/common/001125948.pdf>
- 26) 国土交通省:「地域に著しい迷惑(外部不経済)をもたらす土地利用の実態把握アンケート結果」, 2009.4.
- 27) 国土交通省:「社会資本整備審議会住宅地分科会(第42回)資料3 空き家の現状と論点」, 2015.10.