

# 巨大災害時疎開シミュレーションの提案

廣井 悠\*<sup>1</sup> · 齊藤 健太\*<sup>2</sup>

## The Study of the Migrant Simulation after Catastrophic Disaster

U HIROI\*<sup>1</sup> and Kenta SAITO\*<sup>2</sup>

**Abstract**— After catastrophic disaster, it is expected that serious housing shortage is going to occur and many victims migrate to around of all Japan in order to move in private rental housing-turned-temporary housing. In order to examine politics effects, we construct a simulation and estimate the number of migrant households in this paper. This simulation uses the three kind of parameters, the number of victims, housings, 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 research, based on multinomial logit model.

**Keywords**— Migrant simulation, Questionnaire survey, Logit model, Catastrophic disaster

### 1. はじめに

2017年7月現在の資料[1]によれば福島県ではいまだ57,538人(県内:21,864人, 県外:35,661人)が住み慣れたもの住まいに帰れておらず, 発災から6年以上が経過していながらも, 市町村境界を越えた広域的な避難を継続している被災者は多い。この結果, 多数の震災関連死の発生や被災後の人口回復がすまない自治体など, 被害を受けた都市・社会ではいまなお様々な中長期的問題が発生している。例えば前者については, 福島県では2,157人の震災関連死が記録されており, これは東日本大震災で大きな被害のあった宮城県・岩手県における震災関連死はおろか, 福島県の直接死1,604人を超えた人数となっている<sup>1</sup>。この震災関連死に関する問題は原発災害に特殊なものではない。例えば2016年4月には熊本県熊本地方を震源とする地震(以下, 熊本地震)が発生したが, この際にも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になった[2]。この結果, 行くあてがなくなった被災者が車中泊に至る, 広域的な避難行動を行うなどのケースが多数発生し, 直接死50名をはるかに超える184名の震災関連死が発生している(豪雨による被害のうち熊本地震との関連が認められた死者

5名を除く)[3]。また, 後者にあげた被災自治体の人口回復がすまない問題も深刻である。例えば2015年国勢調査4)では, 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%減), そして全国5位は宮城県山元町(26.3%減)であり, 東日本大震災で甚大な被害のあった地域が急激な人口減少に直面している一方, 人口増加率は全国3位に宮城県大和町(13.5%), 全国13位に宮城県富谷町(9.7%)と, 被災地に近いながらも大規模な被害を受けなかった自治体が確認できる<sup>2</sup>。また当該の国勢調査のデータには反映されていないが, 避難指示が一部解除された浪江町, 富岡町では2017年5月段階でいずれも人口の1%程度しか戻っていないなど, 災害による甚大な被害とそれに伴う広域的な避難行動が, 結果として地域社会に与える影響は極めて大きいと考えられるまた当該の国勢調査のデータには反映されていないが, 避難指示が一部解除された浪江町, 富岡町では2017年5月段階でいずれも人口の1%程度しか戻っていないなど, 災害による甚大な被害とそれに伴う広域的な避難行動が, 結果として地域社会に与える影響は極めて大きいと考えられる[5]。

ところで, わが国においては過去にも東日本大震災同様, 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, 約78万人(1923年11月15

\*1 東京大学大学院工学系研究科 東京都文京区本郷 7-3-1

\*2 名古屋大学大学院環境学研究科 愛知県名古屋市千種区不老町

\*1 The University of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo

\*2 Nagoya University, Fro-cho, Chikusa-ku, Nagoya, Aichi

Received: 7 August 2017, Revised: 14 September 2017, Accepted: 15 September 2017.

1. ただし, この問題を精緻に論じるうえでは, 自治体ごとに震災関連死の認定基準が異なることに注意する必要がある。

2. ただし, 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いている。

日時点、当時の植民地以外を推計)が広域的な避難行動(疎開)を行ったとされているが[6,7],これは現在の巨大災害においても同様であろう。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、仮住まいの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越える広域的な移動をせざるを得ないものと考えられる。しかしながら現段階で、このような巨大災害から広域的な避難や中長期的な移住を行う人々の移動を予測し、適切な支援を実現するための戦略に焦点を当てた取り組みは、池田らによるもの[8]があるのみで、研究蓄積に乏しい。本稿はこのような市町村境界を越えた広域的な避難行動もしくは疎開行動に関し、震災関連死の低減や支援ニーズの把握、さらには被災地域の急激な人口減少を考慮した望ましい都市構造の実現もにらんで、その量的予測技術を確立しようとするものである。

## 2. 東日本大震災時における福島県の疎開事例

建物倒壊や津波など巨大災害後の広域避難と厳密に対応するわけではないものの、はじめに東日本大震災時における福島県の広域避難事例を確認する。なお、防災研究では長らく「広域避難」という用語は、市街地火災からの緊急避難を指す用語であった。このため、ここでは市町村境界を越えた収容避難および仮住まいへの入居に対し、「疎開」という言葉を用いる。さて、筆

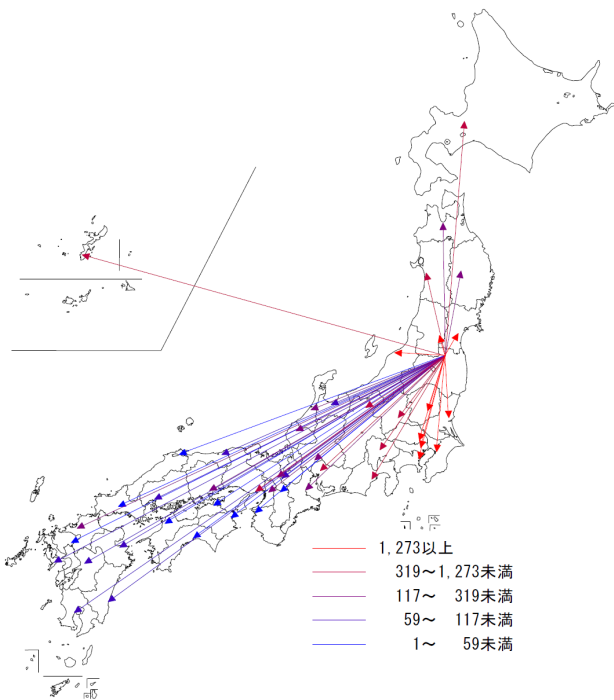


Fig. 1: Number of Migrants from Fukushima Prefecture after the Great East Japan Earthquake [9]

者は文部科学省・原子力損害賠償紛争解決センター(ADR)による福島県の避難世帯を対象とした質問紙調査(N=10,082)の調査票を検討委員として作成しているが、この結果によれば[9],調査対象者は発災後1年間で平均4.89回という多数の避難を繰り返しており、同種類の避難先を繰り返し移動している人も多いことが判明している。Fig. 1は平成28年9月12日時点において福島県から県外の公営・仮設・民間賃貸住宅へ疎開している人数を都道府県別に示したものであり、Fig. 2, Fig.

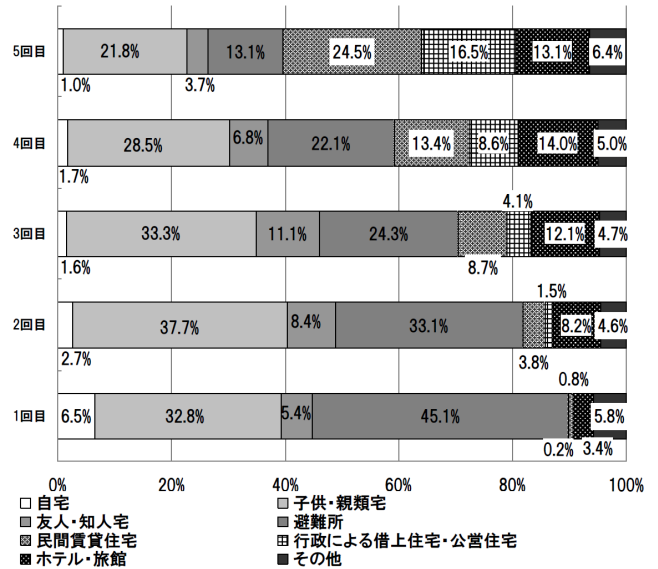


Fig. 2: The migrant destination by frequency (N = 6891)

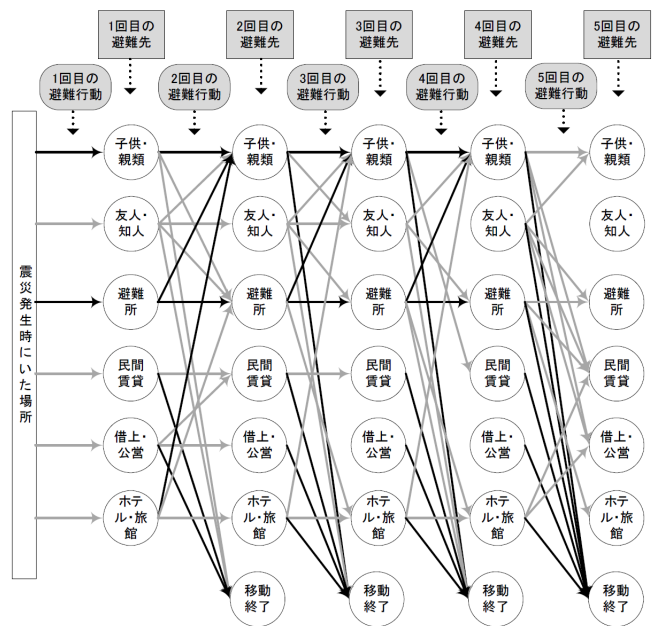


Fig. 3: Migrant Pattern in Fukushima Prefecture after the Great East Japan Earthquake (N = 6891)





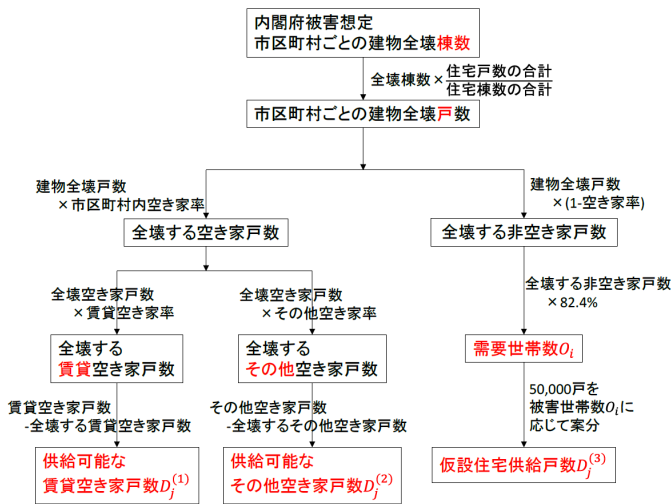


Fig. 6: How to Calculate the Number of Temporarily Houses Demand and Supply

住まいに関する意向調査（質問紙調査）を行い、その結果を用いて仮住まいの選択行動に関する効用  $v_{ij}^{(k)}$  を算出した。なお、パラメータの手法は最尤推定法を用いている。次に南海トラフ巨大地震のいくつかの被災ケースを前提として、仮住まいの需要戸数と供給戸数などを算出する。需要戸数は住まいを失った世帯を示し、供給戸数は地震の被害を免れた住宅を算出した。最後にモンテカルロ法を用いて、被災世帯による仮住まいの選択行動を多項ロジットモデルで記述したうえで、各市区町村ごとに仮住まいの供給戸数を制約条件として仮住まいの需要世帯を配分し、最終的な疎開世帯数を算出している。

このなかで、Fig. 5 左部分の「仮住まいの需要戸数  $O_i$  と供給可能な仮住まい戸数  $D_j^{(k)}$ 」は Fig. 6 の手続きに従い、「モンテカルロ法によるシミュレーション」は Fig. 7 の手続きに従って行っている。特に前者については、南海トラフ巨大地震の被害想定データをあてはめて算出しており、揺れ・津波・液状化・地震火災のハザードを考慮した建物の全壊被害を用いている（なお、ここでは簡単のため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している）。具体的には中央防災会議が算出した各市区町村の全壊建物棟数 [11] を全壊戸数に換算し（市区町村ごと、両者の関係は文 [12] の値を引用）、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ている。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り、全壊する空き家戸数に賃貸空き家率を乗じて、全壊する賃貸空き家戸数を求めている（なおここで賃貸空き家率とは、全ての空き家戸数で除した値である）。

結果として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を、供給可能な賃貸空き

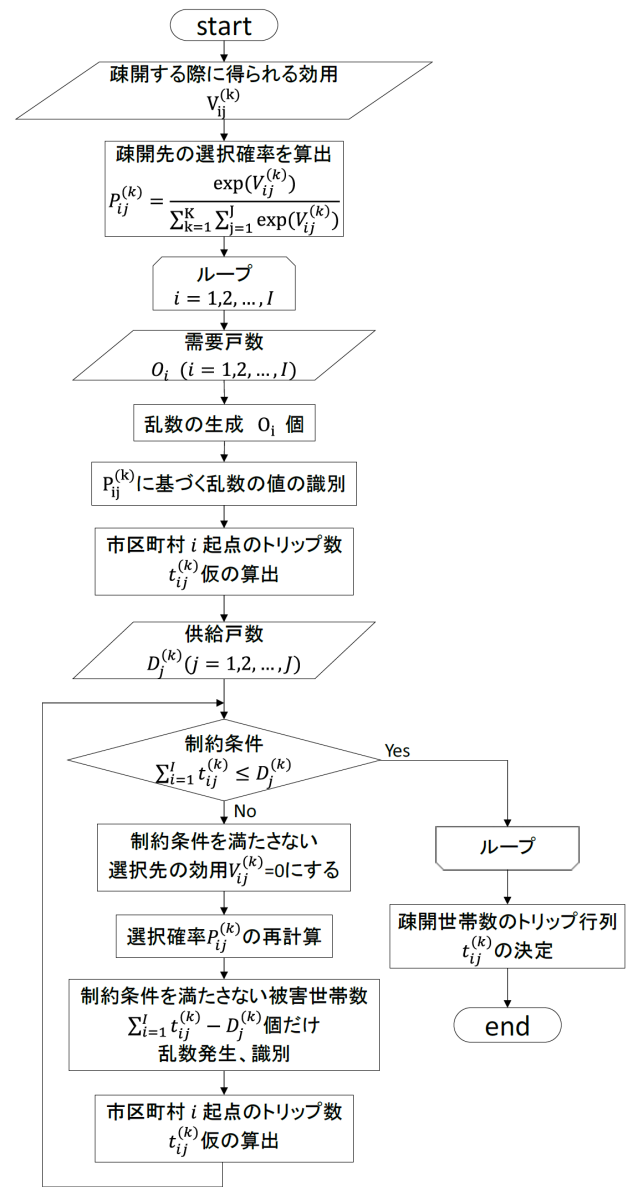
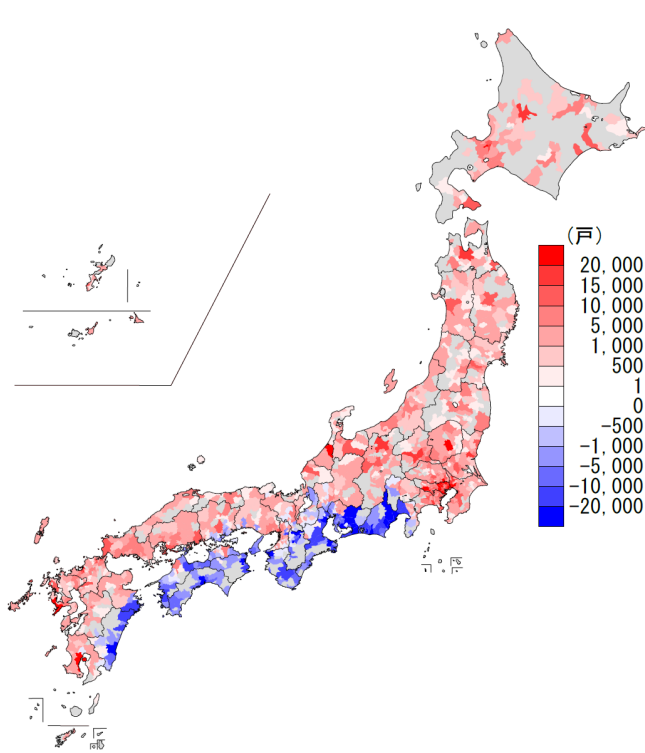
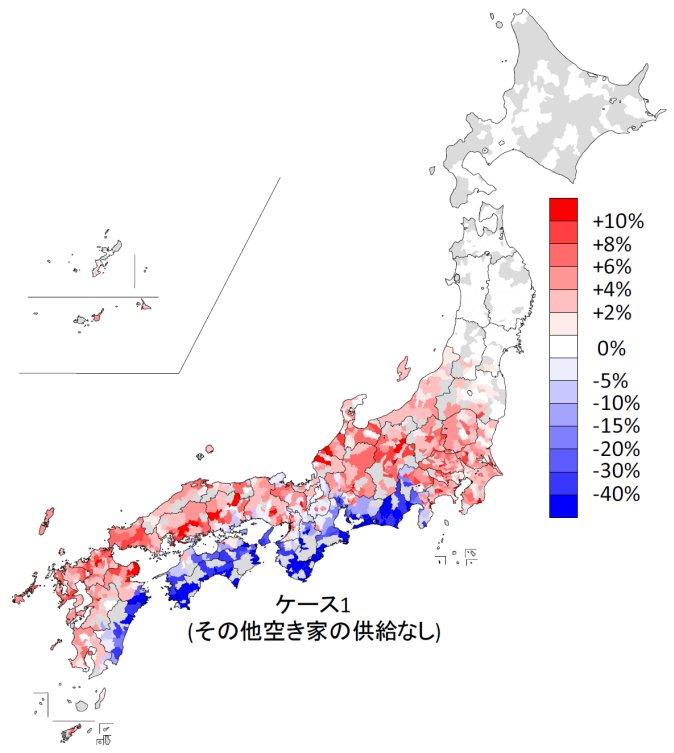


Fig. 7: Method of Monte Carlo Simulation

家の戸数としている（つまり、壊れた空き家は使えないものとしており、その他空き家についても同様の手順で算出した）。建物全壊戸数に、非空き家をかけることで居住者がいる住宅の全壊戸数を求め、それに 82.4%（質問紙調査で尋ねた、住宅が全壊したら仮住まいに入居したいという意向の割合）を乗じて需要世帯数を算出した。なおここでプレハブ仮設住宅は供給制限があることから、全国で東日本大震災と同水準の 50,000 戸の供給がなされると仮定し、市区町村ごとに被災世帯数に応じて按分した。Fig. 8 はこの計算の結果、仮住まいの需要戸数と供給可能な仮住まい戸数を市区町村別に比較したものである。太平洋沿岸に多く見られる青色の市区町村は、供給戸数が需要戸数を下回る地域を示しており、こ



**Fig. 8:** Comparison of Temporary Housing Demand and Supply

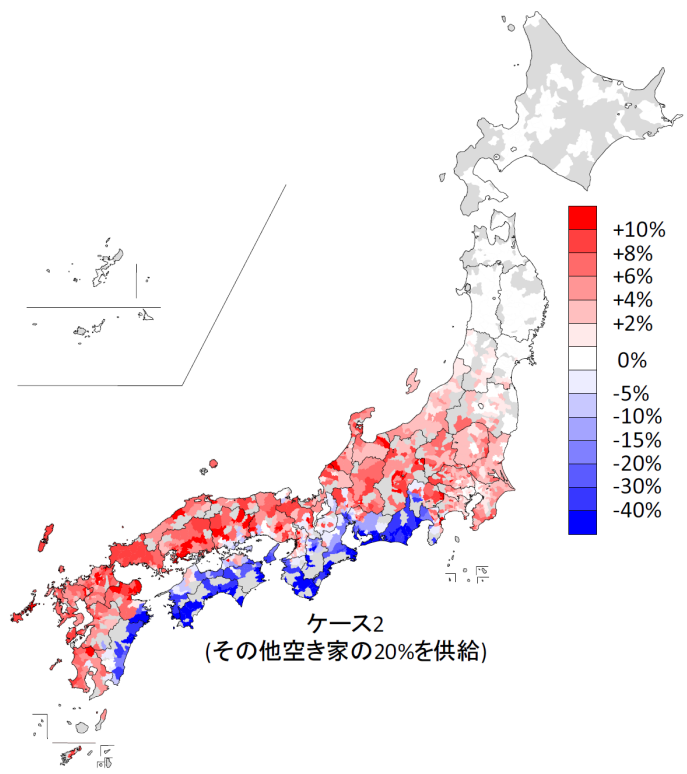


**Fig. 9:** Change of Households Rate by Simulation (Case 1)

これらの地域では、被災世帯が同一市区町村内での仮住まい入居を希望してもその住宅需要を補うことができない地域であることを意味している。実際の疎開シミュレーションは単純な需給の比較ではなく、市区町村ごとに仮住まい選択モデルに基づいた疎開世帯数を算出・配分しているが、いずれにせよこれらの地域は他市区町村への疎開が生じるものと考えてよい。

#### 4. シミュレーションの結果

構築した疎開シミュレーションの結果（疎開後の世帯増減率）を示したものが **Fig. 9** および **Fig. 10** である。ここでは、仮住まいとしてプレハブ仮設と賃貸空き家のみが供給されるケース 1 に加え、その他空き家の 20% がみなし仮設として供給された場合のケース 2 も算出した<sup>6</sup>。想定するハザードは、中央防災会議が想定する陸側①ケースであり、揺れ被害が大きく、かつ津波被害は東海地方で被害が大きくなる想定である。なお地震火災については冬期深夜\_風速 8m のパターンを引用してい



**Fig. 10:** Change of Households Rate by Simulation (Case 2)

6. ここで被災世帯の利用を前提とした「その他空き家」は賃貸および売却が意図されておらず市場に流通していない空き家を示す。現在の仮住まい供給は原則として民営および公営の賃貸空き家が想定されているが、南海トラフ巨大地震の被害量があまりにも大きく、本計算ではみなし仮設として賃貸用空き家のみならず、その他の空き家も一部は利用できるものと想定してケース 2 の計算を行った。なおこの割合の根拠は、新耐震基準でかつ腐朽・破損のないその他空き家の割合が 20.9% であることから [22]、2 割程度は仮住まいとして利用できることによる筆者らの仮定である。

る。このように、ここで紹介する数値例は東日本大震災より甚大な被害が考えられると仮定した場合の結果である点に注意されたい。さて、このような甚大な被害を想定した場合、ケース1とケース2のいずれにおいても被害の大きい太平洋沿岸部の市区町村で世帯数は大幅に減少し、被害が小さい内陸部の市区町村の世帯数は増加する。他方でその他空き家の一部を供給するケース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を中心に世帯増加率が大きくなっており、太平洋沿岸部の世帯減少率も比較的緩やかなものとなっている。一方、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。これらは、仮住まいとして戸建住宅を選考する被災者が多いことから、ケース2では戸建住宅の多いその他空き家が供給されたことで、首都圏などの大都市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都市部で世帯数が増加したことを示している。

また Fig. 11 はそれぞれのケースにおいて、大規模な世帯移動のあった市区町村のペアを上位 20 件ずつとりあげて示したものである。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、全体として東から西への疎開がみられる。またケース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おり、疎開世帯自体も少なくなっている。これは Fig.9 と Fig.10 の比較と同じく、その他空き家の供給によって、賃貸空き家の豊富な大都市で大規模な疎開が行われる代わりに、近距離にある県庁所在地や中核市に疎開したものと解釈できる。被災世帯が大都市部に集中する状況は東日本大震災の福島県からの県外避難にも見られたが、ケースによっては大都市のみならず、比較的距離の近い都市部に集中する可能性もあることが示唆されたと言えよう（例えば Fig.1 でも確認できるように、東日本大震災においては、福島県からある程度の距離はあれど、関東地方や 5 大都市への疎開人口が多い）。いずれにせよ巨大災害時のその他空き家の利用は、疎開世帯数や移動の負担軽減に繋がる可能性のある政策と判断できる。

## 5. 熊本地震での検証

上記で紹介したシミュレーションは、東日本大震災時の教訓をもとに、筆者らが行った意向調査や被害想定、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よう。そこで筆者らは、巨大災害とは一概に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

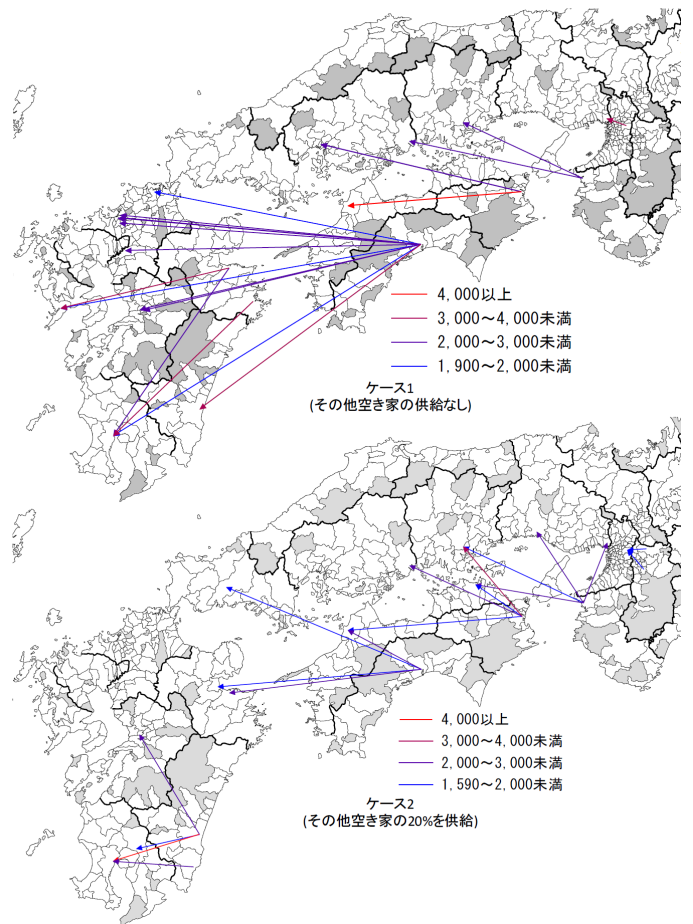


Fig. 11: Large Migrant Pair (Top 20)

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 [13] 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 [14] 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。他方で供給数については、平成 25 年の賃貸空き家の戸数 [15] に、市区町村内の計測震度の最大値 [16] に対応した全壊被害率 [17] 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 [18] を乗じて増減人口を算出している (Fig. 12)。

また後者については、NTT ドコモ社提供のモバイル空間統計のデータを用いている。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 [19]。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



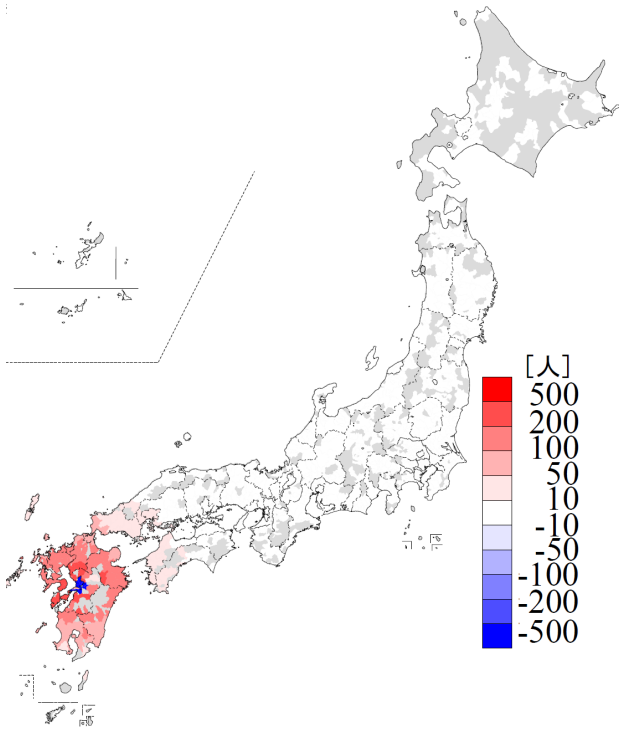


Fig. 12: Change of population by Simulation

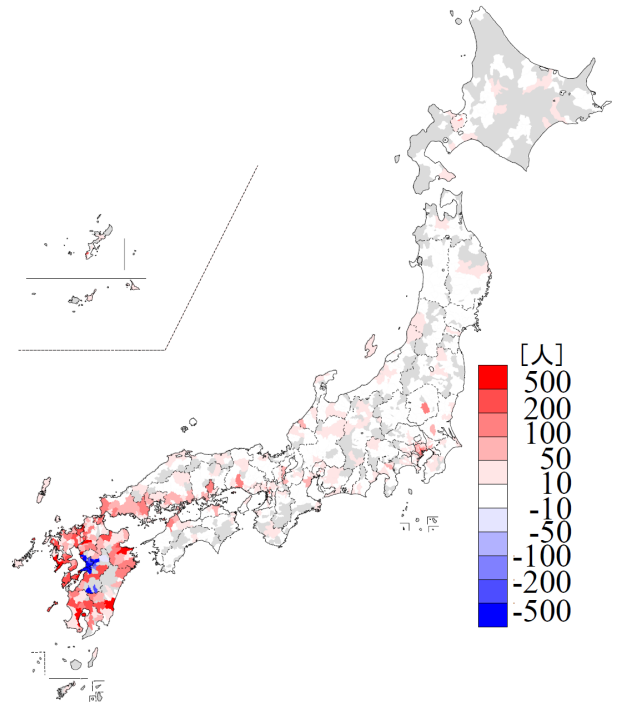


Fig. 13: Change of population by Mobile Data

時における熊本県民の滞在データを用い、これに最新の市区町村人口20)の人数を引くことで、熊本県内の増減人口を算出した。これが Fig. 13 である。

両者を比較したものが、Fig. 14 および Fig. 15 である。Fig. 14 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、Fig. 14 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 Fig. 15 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 Fig. 15 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

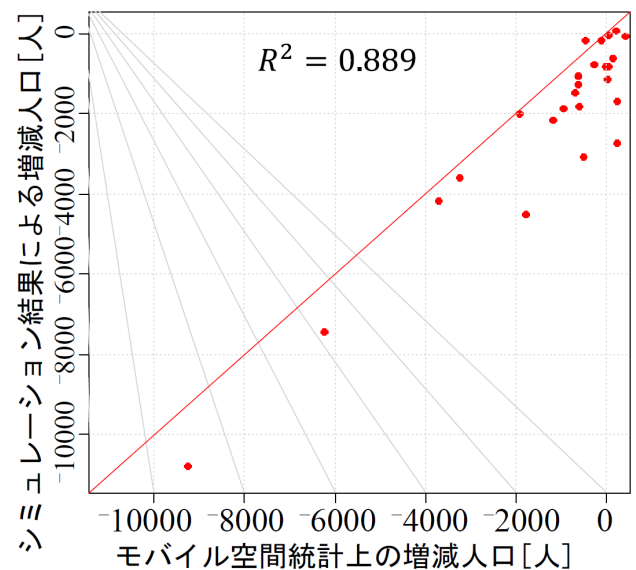


Fig. 14: Comparison of increase and decrease population within Kumamoto prefecture

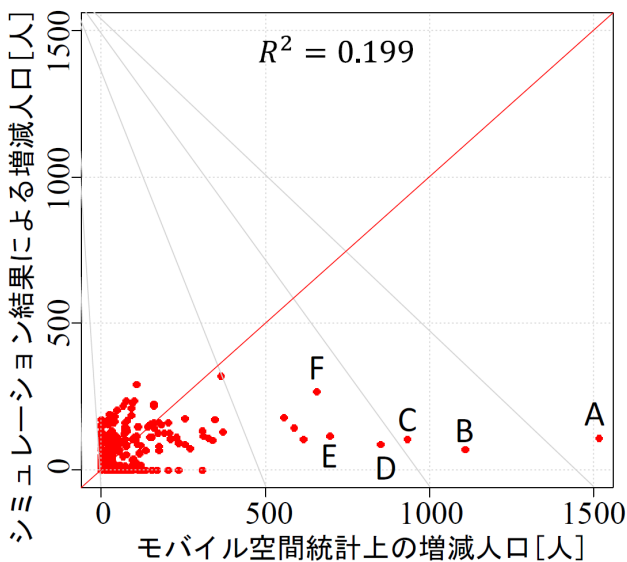


Fig. 15: Comparison of increase and decrease population outside Kumamoto prefecture

差が発生する要因として、下記の3点の原因が考えられる。1点目は先述と同様に、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点である。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(21)が、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。2点目は施策による影響である。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。このため、多くの被災世帯が、仮住まいを求めて疎開を選択した可能性も考えられる。最後の原因は、就業地の空間配置や雇用との関係である。本シミュレーション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ことである。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り、更なるシミュレーションの改善が必要と考えられる。

## 6. おわりに

本稿では、巨大災害時の疎開世帯数を算出するためのシミュレーションを作成し、南海トラフ巨大地震を想定した場合の数値例と熊本地震を対象とした検証例を紹介した。結果として、

1. 南海トラフ巨大地震が起きると、太平洋沿岸部の多

くの地域で同一市町村内での仮住まい居住は量的制約により限界に達し、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
3. 長距離の疎開や地方部の劇的な人口減少を抑制するため、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し、災害時に活用する制度が必要

などの示唆が得られた。熊本地震を対象とした検証の結果、本研究はまだ十分な再現性を有した技術が確立したとはいえないが、ここで紹介したいくつかの課題を解決し、シミュレーションをより発展させることで、震災関連死の低減と被災をきっかけとした劇的な人口減少の解決策を探るための基礎技術としたい。

謝辞: 本研究は科学研究費補助金基盤研究(B):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(研究代表者: 廣井悠)の助成を受けた。関係各位に深甚なる謝意を表す。

## 参考文献

- [1] 福島県:「平成23年東北地方太平洋沖地震による被害状況速報(第1704報)」, 2017.07.24.
- [2] 毎日新聞:「熊本地震2カ月 損壊の住宅手つかず/避難所は満員 復興の道筋見えず」, 2016.06.11.
- [3] 総務省消防庁:「熊本県熊本地方を震源とする地震(第104報)」, 2017.07.14.
- [4] 総務省統計局:「平成27年国勢調査速報結果(全国)」, 2016.02.26.
- [5] 日本経済新聞:「浪江・富岡、帰還1%にとどまる」, 2017.05.01.
- [6] 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.
- [7] 北原糸子:「関東大震災における避難者の動向:震災死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.
- [8] 池田浩敬, 中林一樹:震災からの住宅復興対策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 66(549), pp.223-230, 2001.
- [9] 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.
- [10] 福島県:「福島県から県外への避難状況」, 2016.10.
- [11] 中央防災会議, 南海トラフの巨大地震被害想定結果.
- [12] 総務省統計局, 平成25年住宅・土地統計調査結果, <http://www.e-stat.go.jp/>.
- [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] 平成 25 年住宅・土地統計調査(総務省統計局), 都道府県編, 熊本県.
- [16] 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,
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] NTT ドコモ: モバイル空間統計.
- [20] 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).
- [21] 廣井悠: 広域避難と震災時疎開シミュレーション, 都市問題 107, pp.25-30, 2016.9.
- [22] 総務省統計局, 平成 22 年国勢調査結果, <http://www.e-stat.go.jp/>.

---

廣井 悠



1978 年 10 月 27 日生. 東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻・博士課程を中退, 同・特任助教, 名古屋大学減災連携研究センター准教授を経て 2016 年 4 月東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻准教授, 博士(工学), 専門は都市防災, 都市計画. 平成 28 年度東京大学卓越研究員, JST さきがけ研究員(兼任). 主な受賞に平成 24 年度文部科学大臣表彰 若手科学者賞等.

斎藤 健太



1993 年 7 月 2 日生. 2016 年 3 月名古屋大学工学部環境土木建築学科を卒業 2016 年 4 月から名古屋大学大学院環境学研究科都市環境学専攻に所属 Saito.

---