

# 将来人口を考慮した避難行動特性に関する研究

堀合 紳弥<sup>1</sup>・武山 泰<sup>2</sup>

<sup>1</sup>学生会員 八戸工業大学大学院 工学研究科 社会基盤工学専攻 (〒 031-8501 青森県八戸市妙字大開 88-1)  
E-mail: m19304@hi-tech.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 工博 八戸工業大学大学院 工学研究科 社会基盤工学専攻 (〒 031-8501 青森県八戸市妙字大開 88-1)  
E-mail: takeyama@hi-tech.ac.jp

東日本大震災の被災地では、防災集団移転促進事業や土地区画整理事業など復興事業が終了し、住民の新たな生活環境も整い始めている。しかし、東北地方では少子高齢化による地域人口の減少とともに、数十年以内に千島・日本海溝沿いを震源とする地震の発生が予測されている。本研究では、東日本大震災で被害を受けた岩手県山田町を例として、将来人口推移のオープンデータを基に、発生が予測されている津波災害での住民の避難行動特性について、避難開始時間の関係について着目し、マルチエージェントシステムによる避難シミュレーションを行う。

**Key Words:** *Tsunami, Evacuation Behavior Characteristics, Future population transition, Multi-agentsimulation*

## 1. はじめに

2011年東日本大震災から10年が経過した被災地では、防災集団移転促進事業や土地区画整理事業などの復興事業が完了し、新しい市街地での生活環境が形成されている。しかし、東北の近海では千島・日本海溝沿いを震源とする最大でマグニチュード9.3の巨大地震が発生し、場所によって東日本大震災と同等以上の津波襲来が想定されている<sup>1)</sup>。この地震では、東日本大震災時より早く津波が到達するとされ、津波に対する迅速な避難行動が求められる。また、東北地方でも将来的な少子高齢化による人口減少が予想されており、先述した千島・日本海溝巨大地震の発生が想定されている30年以内には、人口の半数を60歳以上が占める自治体が発生するという分析結果も公表されている。少子高齢化により人口の年齢分布が変化すると、災害発生時の避難速度の低下など住民の避難行動にも影響が及ぶと考えられ、将来的な人口推移を考慮した避難計画を進める必要がある。

佐藤ほか<sup>2)</sup>は岩手県宮古市を対象として、避難場所の累積人数について、避難開始時点と年齢に着目した避難計画に関する研究を行い、累積収容人数を考慮した場合としなかった場合の避難者の避難行動についてスムーズに避難できるか、避難未完了者が発生するかを明らかにした。避難時の歩行者・車両が混在する場合の研究として、牧野嶋ほか<sup>3)</sup>は歩行者と車両避難者の混在を考慮した避難シミュレーションを行い、混在状況での避難行動について、気仙沼市の事例を再現可能にしている。マルチエージェントシステムを用いた

避難行動の研究として、Mas et al<sup>4)</sup>はNetlogoを用いた避難シミュレーションを行い、津波シミュレーションと組み合わせたシステムを構築し、宮城県での事例に適用した避難解析を行っている。

しかし、将来的な人口変動に着目し、年齢人口分布を考慮した避難行動解析や避難計画について検証している事例は少ない。

そこで本研究では、想定されている千島・日本海溝沿いを震源とする地震での津波襲来想定時間などのデータを用いて、津波の発生時期と避難開始時間による指定避難所への未到達者の発生割合について、将来人口の年齢分布を考慮した避難シミュレーションにより検証する。

## 2. 東日本大震災による被害と今後の津波想定 の整理

### (1) 東日本大震災による被害

2011年3月11日、14時46分に発生した東北地方太平洋沖地震に伴う大津波では、太平洋沿岸の広い地域で被害を受け、特に被災3県と呼ばれる岩手県、宮城県、福島県では人的と物的ともに甚大な被害を受けた。

ここで、研究対象地の決定のため岩手県内の被災自治体の中で特徴的な被害を受けている自治体を調べた。二重防潮堤を整備するなどハード対策が行われてきたにもかかわらず多くの犠牲者が発生した宮古市(図-2)、津波による浸水とその後の津波火災により被害が拡大した山田町(図-1)、県内でも最多の犠牲者数を記録した陸前高田市(図-3)の3カ所を浸水面積と犠牲者数の

関係から比較した。その結果、表-1のような割合となり、浸水面積に対する犠牲者割合は山田町が最も高く、市街地環境と避難行動の関係性について、留意する必要があると考えられる。

(2) 想定される津波災害の整理

内閣府の日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震モデル検討会では、千島海溝（十勝・根室沖）モデルで Mw9.3、日本海溝（三陸・日高沖）モデルで Mw9.1 の巨大地震の発生が予測されている。この地震に伴う大津波の発生も想定されており、東日本大震災からの復興事業が終了する被災地でも新たな脅威が迫っている。特に岩

手県では、東日本大震災と同等、または一部地域ではさらに大きな津波が襲来すると想定されている。また、津波の到達時刻は東日本大震災よりも早く到達するとされており、ハード対策が進められている一方で、住民自らも迅速な避難行動を行う必要がある。

3. オープンデータと GIS を用いた地域ポテンシャルの把握

(1) 浸水区域と建物被災状況の関係

東日本大震災の被災状況の把握として、復興支援調査アーカイブ<sup>13)</sup>にて公開されている津波の浸水区域データや建物の被災状況データを、国土地理院の基盤地図情報データとともに重ね合わせ可視化を行った。本研究で解析対象とする山田地区の浸水区域(図-4)と、被災区分に従い色別した建物被災状況<sup>13)</sup>に関するデータファイルを取り込んだ GIS データ(図-5)を示す。津波の浸水深が深いほど、建物も被災状況が全壊や流出など、深刻な被害となっていることが分かる。

表-1 浸水面積と犠牲者の関係

自治体名	浸水面積 (km <sup>2</sup> )	犠牲者数 (人)	割合 (人/km <sup>2</sup> )
宮古市	10	420	42
山田町	5	585	117
陸前高田市	13	1,463	113

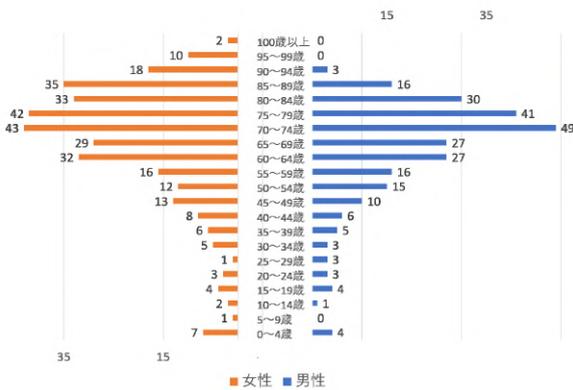


図-1 山田町の犠牲者年齢分布

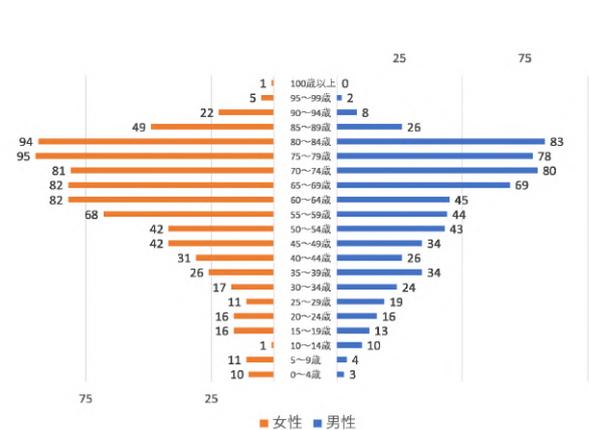


図-3 陸前高田市の犠牲者年齢分布

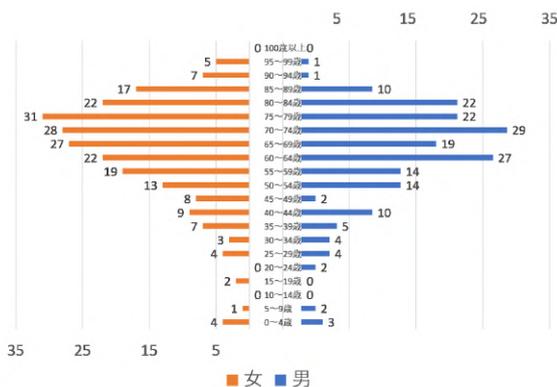


図-2 宮古市の犠牲者年齢分布



図-4 山田地区の津波浸水区域

**(2) 避難所・避難場所データ**

近年増加する自然災害に対して、住民の安全を確保するため各自治体では避難所および避難場所を指定し、所在地や避難所を開設するための津波警報などの基準情報を公開している。山田町では町役場より公開されている町指定避難所一覧データに、インターネット上で得た住所および座標値を付与した一覧データを作成した。新たな地図データを用いて重ね合わせることににより図-6に示すような実際の道路や建物などと同じように確認することができる。また、地形情報解析フリーソフトである“QGIS”は地形解析などの調査解析機能も有している GIS ソフトであるため、地図上で避難所までの最短経路探索や距離バッファによる周辺環境との位置関係などの解析を行うことができる。バッファ作成機能を利用した避難距離の地図化を行い、パラメータとして指定避難所から半径 250m を表すバッファ円を作成(図-7)した。距離 250m は、本研究の避難行動解析で用いる避難最遅速度 0.46m/s で避難した場合、避難所用時間が 9~10 分必要となる距離である。2018 年に山田町で行った質問紙調査では、震災時の避難開始時間は地震発生から 10~20 分といった回答が多く、20 分程度で避難を開始した場合に津波に遭遇するリスクが出始める距離である。

**(3) 将来人口の推移**

国立社会保障・人口問題研究所<sup>15)</sup> から公開されている、岩手県将来人口推移データより山田町の将来人口の推移についてまとめた。山田町でも少子高齢化による人口減少が顕著であり、2020 年から 2045 年までの 25 年間で男性-3,479 人 (-53.3%)、女性-3,713 人 (-52.3%) の人口減少が予測されている。また、2045 年には総人口の 50%以上を 60 歳以上が占めるとされている。若年層に至っては、2020 年時点の人口数より半減する値となっている。東日本大震災では犠牲者の年齢分布の中

でも、60 歳以上から割合が高くなる傾向があり、津波災害の避難や被害想定でも将来的な人口の推移を考慮していく必要がある。

**4. 東日本大震災再現解析**

本研究での解析対象地区は山田町の中心部である山田地区を対象とし、避難シミュレーションの妥当性を検証するため、東日本大震災での犠牲者データの再現実験を行う。

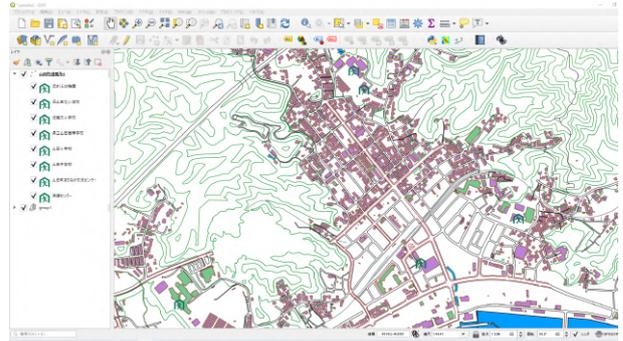


図-6 QGIS により地図化した指定避難所の一部

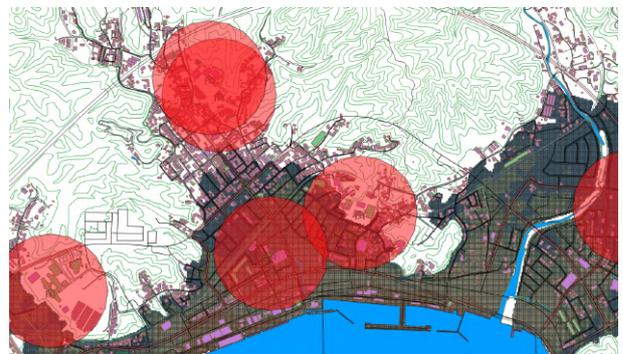


図-7 避難所から半径 250m 地点を示すバッファ図

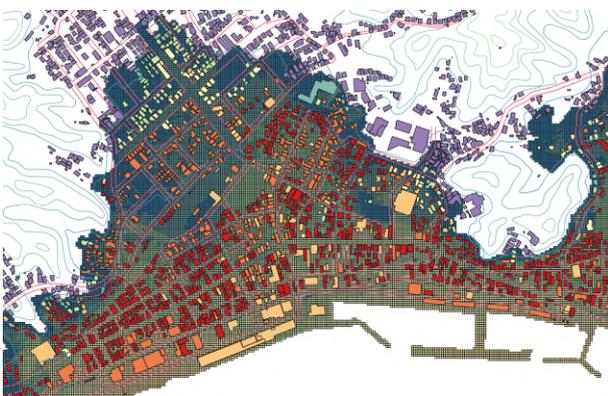


図-5 建物被災状況

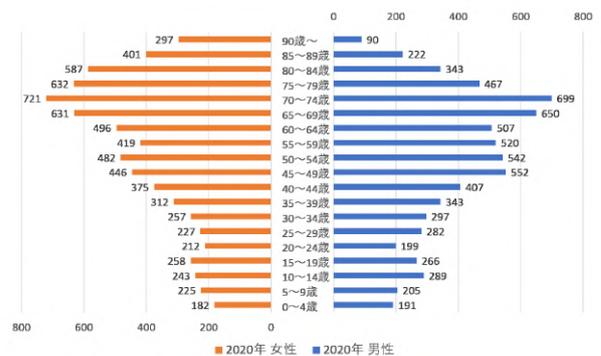


図-8 2020 年の人口分布ピラミッド(山田町)

東日本大震災発災時は 14:46 であり、職場での勤務中や、若年層では学校へ登校中の時間帯である。解析対象地区の小中学校は全て高台に位置し、浸水を免れている。そのため、昼間における対象人数を求めるにあたり、対象地区人口 (5,198 人) から登校中とされる 18 歳以下 (926 人) を除いたものを昼間対象地区人口を式 (1) と仮定した。

$$\text{昼間対象地区人口} = 5,198 \text{ 人} - 926 \text{ 人} = 4,272 \text{ 人} \quad (1)$$

**a) 浸水区域に対する犠牲者の割合**

犠牲者数は市町村単位で公表されているため、詳細な地区・地割区分による犠牲者数の設定が不可能である。そこで、山田町全域の浸水区域に対する犠牲者数の比の式 (2) を算出した。犠牲者 (825 人) は全員津波による溺死と仮定すると総浸水区域人口 (12,160 人) と犠牲者の割合が算出され、解析対象とする地区あたりの推定犠牲者数を設定することができる。

$$\text{犠牲者比} = \frac{825 \text{ 人}}{12,160 \text{ 人}} = 0.068 \quad (2)$$

**b) 発災時の昼間対象地区人口**

解析対象地区とする浸水区域の人口 (5,198 人) に犠牲者比 (0.068) を乗じることで、対象地区の犠牲者数を推定する。式 (3) の結果、対象とする山田地区の推定犠牲者数は 353 人と算出された。

$$\text{推定犠牲者数} = 5,198 \text{ 人} \times 0.068 = 353 \text{ 人} \quad (3)$$

**(1) 再現解析の評価条件**

当時の避難行動についての再現実験の評価基準として、先述した式 (3) による解を解析対象地区の昼間人口で除した比率を算出する。評価基準の比率計算式を以下に示す。

$$\text{評価基準値} = \frac{353 \text{ 人}}{4,272 \text{ 人}} \times 100 = 8.26\% \quad (4)$$

再現解析による初期避難者数と避難所未到達者数の比率=評価基準値となった場合、本シミュレーションによる再現度は妥当であるといえる。

**(2) 再現解析の評価**

2010 年国勢調査による山田町の人口データ表-2 を適用し再現解析を行った再現解析を行った結果、図-?? のようなデータとなった。48 分経過時点で、避難所への未到達エージェントの数が 409 人となり、評価比率が 9.57% となった。評価基準 8.26% = 9.57% となり、誤差は 1.3p 程度であるため、再現解析はおおむね妥当であると考えられる。

$$\frac{\text{避難所未到達者 (人)}}{\text{初期人口数 (人)}} = \frac{409}{4,272} \times 100 = 9.57\% \quad (5)$$

**5. 将来人口を考慮した避難シミュレーション**

**(1) シミュレーション概要**

将来的な災害発生年別の避難行動解析を行うため、公開されている岩手県の将来人口推移データ (2020~2045 年) を活用し、解析対象とする浸水区域住民の人口推定を行う。2045 年には総人口の 50% 以上を 60 歳以上が占めるとされるため、東日本大震災犠牲者データ中で犠牲者割合が急激に上昇し始める 60 歳以上に着目した避難行動解析について、表-3 に示す解析条件で行う。

表-2 2010 年再現解析の対象人口

年齢区分	男性 (人)	女性 (人)
20 歳未満	442	484
20~59 歳	1095	1091
60 歳以上	863	1223

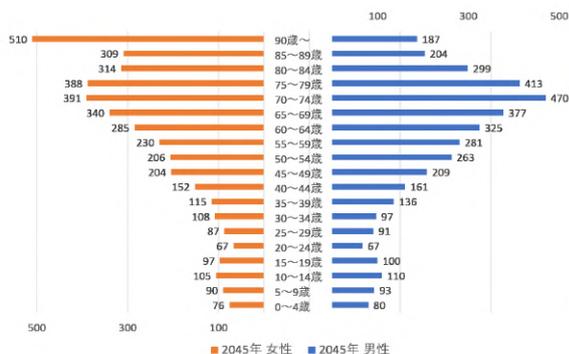


図-9 2045 年の人口分布ピラミッド (山田町)

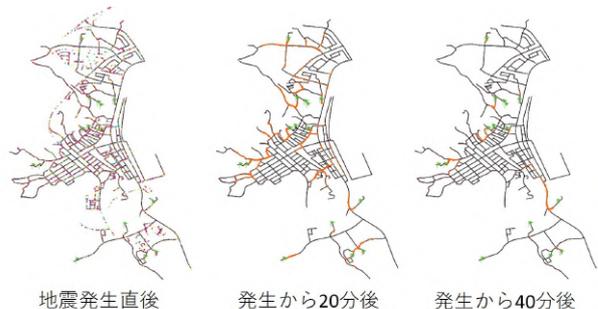


図-10 東日本大震災発生時の避難行動の再現

(2) シミュレーション結果

表-3 に示した条件で、2020 年～2045 年までの 5 年毎の予測人口を用いた避難シミュレーションを行った。その結果から 2020 年と 2045 年の結果を図-11 と図-12 に示す。地震発生から 10 分で避難を開始した場合、男性夏季で平均 38.9%，女性夏季で 37.5%であるのに対し、さらに 10 分経過した地震発生後 20 分から避難を開始した場合、未到達率が男性夏季で平均 57.6%，女性夏季で 56%となった。避難開始が 10 分遅れることにより未到達率が男性夏季で平均 18.7%，女性夏季で平均 18.5% 変化することが分かった。

季節による避難速度が変化することにより、冬季ではさらに避難に時間を要し、地震発生後 10 分で避難を開始した場合でも男性で平均 61%，女性で平均 59.7% という結果となり、夏季と冬季では 20%程度変化することが分かった。今回は積雪時かつ未除雪という条件での速度設定ということもあり、未到達率が非常に高い結果となった。実際に東日本大震災の発生は 3 月であり、避難経路がスムーズに移動できない場合も想定されるため、このような条件下でも未到達率が低減できるような対策を今後検討していかなければならない。

表-3 避難解析条件

項目	条件
対象年	2020～2045 年 (5 年毎)
測定時間	地震発生から 38 分後
避難開始時間	地震発生から 10, 15, 20 分後
季節帯	夏季・冬季
冬季係数	0.4 (積雪&未除雪)

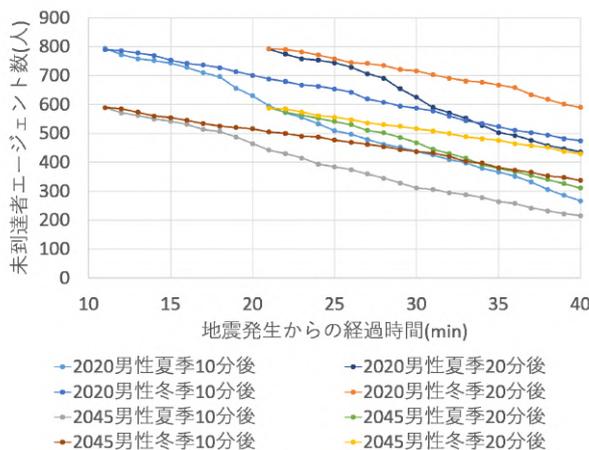


図-11 男性 (60 歳以上) の未到達者の推移

6. まとめ

本研究では、東日本大震災で被害を受けた岩手県山田町を対象として、オープンデータおよび GIS データを活用した地域の市街地特性の把握とマルチエージェントシステムを用いた避難シミュレーションを行った。市街地特性の把握では、地理情報や避難所データ、東日本大震災時の浸水区域データなどを重ね合わせて可視化することにより、指定避難所から 250m 圏内についてのマッピングや浸水深と建物被害区分の関係について把握することができた。

マルチエージェントシステムを用いた避難シミュレーションでは、東日本大震災の犠牲者割合の中で、特に被災割合が高かった男女 60 歳以上の年齢区分について着目し、避難開始時間と季節による避難速度の変化を与えながら、将来人口分布の大半を占める年齢層について避難行動の検証を行った。本シミュレーションにより、避難開始時間が避難所への到達率に大きく関係することが分かった。地震発生から 10 分で避難を開始した場合に比べ、地震発生から 20 分後に避難を開始すると、避難所への未到達率が 20%程度上昇し、犠牲者が津波に巻き込まれてしまう危険性が高まる恐れがある。また、予測されている千島・日本海溝沿いを震源とする地震では、山田町には最短 28 分で到達すると想定されており、東日本大震災時よりも迅速な避難意思決定と避難行動が求められる。また、冬季の避難速度を適用すると、男女ともに避難所への未到達率が夏季よりも高まることが分かった。市街地空間と住民避難の関係が重要なポイントとなると考えられるため、冬季のスムーズな移動が困難な場合でもすぐに避難できる空間づくりを考慮した避難計画を進める必要があると考えられる。

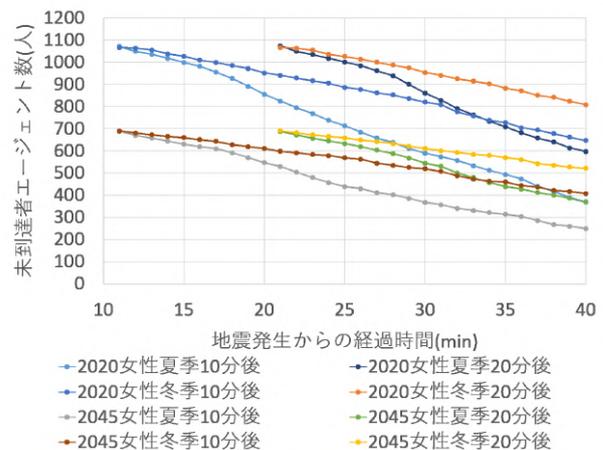


図-12 女性 (60 歳以上) の未到達者の推移

謝辞：本研究を進めるにあたり，将来人口の推移，被災地域の道路，東日本大震災被災状況データには，国立社会保障・人口問題研究所，国土地理院，東京大学空間情報科学研究センターが公開するオープンデータを利用した。ここに記して謝意を表する。

#### 参考文献

- 1) 内閣府(防災担当)：被害想定手法について(第1回ワーキンググループでのご意見を踏まえた手法の検討)，日本海溝・千島海溝沿の巨大地震対策検討会ワーキンググループ(第2回)，2020。
- 2) 佐藤史弥，谷本真佑，南正昭：避難場所の累積収容人数を考慮した津波避難計画に関する研究，土木学会論文集 D2(土木計画学)，Vol.74，No.5，I315-I325，2018。
- 3) 牧野嶋文康，今村文彦，安倍祥：歩車混在を考慮した津波避難シミュレーションの開発-2011年東日本大震災での気仙沼市での検証-，土木学会論文集 B2(海岸工学)，Vol.71，No2，I1645-I1650，2015。
- 4) Erick Mas, Fumihiko Imamura, and Shunichi Koshimura: AN AGENT BASED MODEL FOR THE TSUNAMI EVACUATION SIMULATION. A CASE STUDY OF THE 2011 GREAT EAST JAPAN TSUNAMI IN ARAHAMA TOWN, *9th International Conference on Urban Earthquake Engineering/4th Asia Conference on Earthquake Engineering*, 2012.
- 5) 近田洋輔，原山美知子：被災者の心理に基づく津波避難シミュレーション，情報処理学会研究報告，Vol.2013-IS-126 No.8，2013。
- 6) 宇野喜之，鴨原康子，岡安章夫：津波人的被災リスク評価のための群衆避難シミュレーションの開発，土木学会論文集 B2(海岸工学)，Vol.71，No2，I1615-I1620，2015。
- 7) 村田寛奈，栗林伸一：オープンデータと QGIS を用いた災害避難支援システムの提案，成蹊大学理工学研究報告，Vol.53，No.1(2016)，pp.35-38，2016。
- 8) 桃野輝文，宇都宮健太，谷本真佑，南正昭：震災前後で比較した岩手県山田町の津波避難環境について，土木学会東北支部技術研究発表会，IV-16，2019。
- 9) 小坂陽介，野村尚樹，大藤愛子，宮島昌克：マルチエージェントシステムを用いた津波避難に関する解析-輪島市臨海地域を対象とした事例研究-，土木学会論文集 A1(構造・地震工学)，Vol.73，No.4(地震工学論文集第36巻)，I1010-I1017，2017。
- 10) 熊谷兼太郎：2011年東北地方太平洋沖地震津波の避難行動への津波避難シミュレーションの適用性，国土交通省 国土技術政策総合研究所資料，No.742，2013。
- 11) 佐藤翔輔，今井健太郎，大野晋，齋正幸，松尾敏彦，板原大明，今村文彦：徒歩と自動車を組み合わせた津波避難計画の策定-宮城県亘理町における実践-，土木学会論文集 B2(海岸工学)，Vol.70，No2，I1371-I1375，2014。
- 12) 新家杏奈，佐藤翔輔，今村文彦：東日本大震災の津波避難行動へ影響を与えた要因に関する分析-宮城県気仙沼市の事例検討-，地域安全学会論文集，No.34，2019。
- 13) 東京大学空間情報科学研究センター：復興支援調査アーカイブ，<http://fukkou.csis.u-tokyo.ac.jp/>，2020.11.25 取得。
- 14) 国土交通省 国土地理院：基盤地図情報，<https://www.gsi.go.jp/kiban/index.html>，2020.5.17 取得。
- 15) 国立社会保障・人口問題研究所：日本の地域別将来推計人口，<http://www.ipss.go.jp/index.asp>，2020.10.15 取得。
- 16) 山田町役場：避難場所・避難所，<https://www.town.yamada.iwate.jp/>，2020.4.21 取得。
- 17) 警察庁ホームページ
- 18) 3.11 残し，語り，伝える 岩手県山田町 東日本大震災の記録，2019.1.9 閲覧。

(2021. 3.7 受付)

## Study on Evacuation Behavior Characteristics Considering Future Population

Shin-ya HORIAI and Yasushi TAKEYAMA

In the disaster-stricken area by the Great East Japan Earthquake, reconstruction projects such as a project for promoting group relocation for disaster prevention and land readjustment project have been completed, and the development of a new living environment for residents has begun. However, in the Tohoku region, where the birthrate is declining and the population is aging, it is predicted that an earthquake with epicenters in the Kuril-Kamchatka Trench and the Japan Trench will occur within a few decades.

In this study, we evacuation behavior characteristics of residents during a tsunami disaster from open data on the Future population changes, taking Yamada Town, Iwate Prefecture, which was damaged by the Great East Japan Earthquake as an example. Focus on started evacuation time relationships, run evacuation simulations using a multi-agent system.