

# 自家用車への同乗可能性を考慮した 津波避難シミュレーションによる地域内共助 の検討

山本 若菜<sup>1</sup>・杉木 直<sup>2</sup>・松尾 幸二郎<sup>3</sup>

<sup>1</sup>学生会員 豊橋技術科学大学大学院 工学研究科 建築・都市システム学専攻

(〒441-8580 愛知県豊橋市天伯市雲雀ヶ丘1-1)

E-mail:w151866@edu.tut.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 豊橋技術科学大学准教授 建築・都市システム学系

(〒441-8580 愛知県豊橋市天伯市雲雀ヶ丘1-1)

E-mail:sugiki@ace.tut.ac.jp

<sup>3</sup>正会員 豊橋技術科学大学准教授 建築・都市システム学系

(〒441-8580 愛知県豊橋市天伯市雲雀ヶ丘1-1)

E-mail:k-matsuo@ace.tut.ac.jp

津波発生時に多くの高齢者が逃げ遅れる原因の一つとして、自動車運転が困難な場合、徒歩避難もしくは家族の運転する自家用車へ同乗して避難を行わなければならないということが挙げられる。また、夜間は家族が在宅であり家族の運転する自家用車に同乗し避難を行うことができるが、昼間は家族が外出先や職場へ滞在しており自宅に残された高齢者は徒歩避難をしなければならないなどの時間帯によっても避難手段が異なる。そこで、本研究では避難者の属性や所属する世帯の属性、時間帯によって異なる避難手段の選択可能性の違いを表現可能な津波避難シミュレーションを構築する。

また、愛知県豊橋市を対象地域として、時間帯別の避難手段選択可能性を分析し、高齢者を被支援者とした地域住民による共助の有効性について評価する。

**Key Words:** *Tsunami evacuation simulation, Household micro-data, Estimation of hourly person's location, Possibility of riding in group, Mutual Assistance*

## 1. はじめに

東日本大震災において、死者の約 90%以上が津波による溺死、犠牲者の 65%は 60 歳以上であり、多くの高齢者が逃げ遅れたと考えられる<sup>1)</sup>。このような被災状況から、従来は自家用車による避難は推奨されていなかったが、東日本大震災以降はやむを得ない場合の自家用車を利用した避難が容認された<sup>2)</sup>。しかし、高齢者が避難をする際、自身による自動車運転が困難な場合には、徒歩避難もしくは家族の運転する自家用車への同乗者として自家用車避難を行う必要がある。避難手段の選択に制約がある場合、避難完了が困難となる可能性がある。また、夜間には家族が在宅であり高齢者は家族の運転する自家用車に同乗し避難を行うことができるが、昼間には家族が外出先や職場へ滞在しており自宅に残された高齢者は徒歩避難をしなければならないなどの時間帯によって自動車運転の困難な世帯構成員は選択可能な避難手段

が異なる。

そこで本研究では、属性や時間帯によって異なる世帯内同乗、地域内共助を含めた避難手段の違いを表現する津波避難シミュレーションを構築する。具体的には、世帯マイクロデータ推定により、運転免許や自家用車を保有しない高齢者などは自身が運転手としての自家用車避難を行うことができない等、個人属性によって異なる避難手段を表現する。加えて、年齢・職業などから各世帯構成員の時間帯別の滞在地推定と避難手段推定を行い、昼間人口分布と夜間人口分布の違いによって生じる世帯内同乗の可否を考慮した避難状況を表現する。また、南海トラフ地震の際に津波による被害が発生すると予想されている愛知県豊橋市を対象として津波避難シミュレーションを適用し、地域住民による避難時の同乗による地域内共助の有効性を異なる時間帯で評価する。

## 2. 既往研究の整理

津波発生時の避難行動をマルチエージェントモデルとして表現する津波避難シミュレーションには世帯単位の避難者をエージェントとした片田らの研究<sup>4)</sup>、住民をエージェントとした大畑らの研究<sup>5)</sup>、徒歩避難者をエージェントとした熊谷らの研究<sup>6)</sup>、津波避難エージェントと津波誘導エージェントを設定した藤岡らの研究<sup>7)</sup>等、多くの研究が行われてきた。

特に、徒歩避難・自動車避難を想定した津波避難シミュレーションに関する研究としては、避難手段選択方法や援助行動、相互関係、交通渋滞などの様々な要素を考慮したものが構築されている。鈴木ら<sup>8)</sup>は、独自の調査を行い、避難者の地域性(災害経験等)や個人の意識の違いから生じる住民の津波避難に対する意向について把握し、住民の意識を取り込んだ避難手段や経路選択などを行う津波避難シミュレーションを構築した。小山ら<sup>9)</sup>は、歩行速度などの個人特性を反映させ、要援護活動及び自動車避難の周囲に与える影響を考慮した津波避難シミュレーションモデルの構築を行い、避難行動中に起こり得る複雑な状況の把握を可能とした。牧野嶋ら<sup>10)</sup>は、避難途中の徒歩と車避難者のインタラクションを考慮し、避難経路が最短経路によらない津波避難シミュレーションを構築し、東日本大震災時の気仙沼市の避難行動の再現計算と実際の避難行動を比較することで、避難行動の再現性の検証を行った。池田ら<sup>11)</sup>は、交通渋滞や交通渋滞を避けるための経路変更を考慮した津波避難シミュレーションを行った。これは、やむを得ない場合の自家用車を利用した津波からの避難が容認されたが、多くの人々が自家用車で避難した場合には交通渋滞が生じ円滑に避難できない可能性があるといった問題や交通渋滞下での経路変更を表現するためのものであった。

加えて、津波避難シミュレーションを用いた減災の要因の定量的な評価が行われており、高畠ら<sup>12)</sup>は、来訪者の行動特性を考慮し、海水浴場における防潮堤の粘り強さ向上と避難者同士の避難誘導などによる共助による減災効果を定量的に評価した。

様々な要素の考慮や自家用車避難と徒歩避難を想定した津波避難シミュレーションの構築や、来訪者を対象とした共助の評価は行われているが、昼間人口分布と夜間人口分布の違いによって生じる世帯内同乗の可否による避難手段の違いの考慮や自宅に取り残された高齢者の地域住民の支援による避難手段の改善可能性は評価されていない。そこで本研究では、先行研究<sup>13)</sup>で構築した時間帯別世帯滞在状況表現手法を用い、池田らの研究<sup>11)</sup>をベースとした同乗可能性を考慮した津波避難シミュレーションを構築し、地域内共助の有効性の評価を行う。

## 3. 同乗可能性を考慮した津波避難シミュレーション

### (1) 概要

同乗可能性を考慮した津波避難シミュレーションと共助の有効性評価の分析フローを図-1に示す。長尾ら<sup>14)</sup>が構築した手法に加え、住宅位置や自家用車保有状況の推定を行い、世帯マイクロデータの推定を行う。その後、各世帯構成員の時間帯別滞在地推定を行い、各世帯構成員の世帯への滞在状況から時間帯ごとの選択可能避難手段推定を行う。推定結果を用い池田らの先行研究<sup>11)</sup>をベースとした避難シミュレーションを実行することにより、同乗可能性を考慮した津波避難シミュレーションとする。同乗可能性を考慮した津波避難シミュレーションを通し、時間帯別の人口分布によって異なる世帯構成員の避難手段の違いを表現し、地域住民の同乗による共助の有効性を評価する。

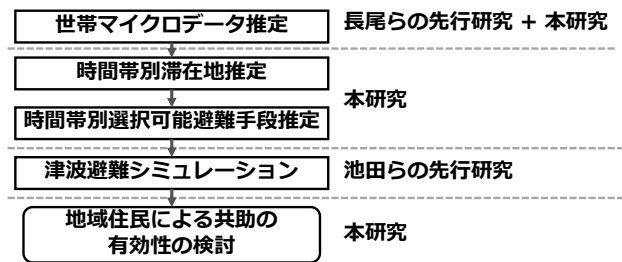


図-1 分析フロー

### (2) 世帯マイクロデータ推定

避難者の属性や所属する世帯の属性によって異なる避難手段選択可能性を表現するため、各世帯構成員の世帯属性や自家用車保有状況を持った世帯マイクロデータの推定を行う。

世帯マイクロデータとは、個人世帯の単位で属性(性別、年齢、世帯人数、家族関係、運転免許保有状況)などを持つデータである。長尾らの構築した初期世帯マイクロデータ推定手法を用い、世帯マイクロデータと住宅位置のマッチングを行う。また、各世帯構成員に対し、式(1)により算出した自家用車保有率を用い、確率的に自家用車保有状況を付加する。

$$P_{ahs} = \frac{n_{ahs}}{N_{ahs}} \quad (1)$$

ここで、 $P_{ahs}$ は年齢 $a$ 、世帯人数 $h$ 、性別 $s$ の自家用車保有率であり、 $n_{ahs}$ は年齢 $a$ 、世帯人数 $h$ 、性別 $s$ の自家用車保有人口、 $N_{ahs}$ は年齢 $a$ 、世帯人数 $h$ 、性別 $s$ の人口である。

(3) 時間帯別滞在地推定

各世帯構成員の時間帯別空間分布を表現するために時間帯別滞在地推定を行う。時間帯別滞在地の推定フローを図-2に示す。時間帯別滞在地推定は4次メッシュ単位で行い、トリップ目的として、通勤、通学、私用、業務、帰宅を考慮する。

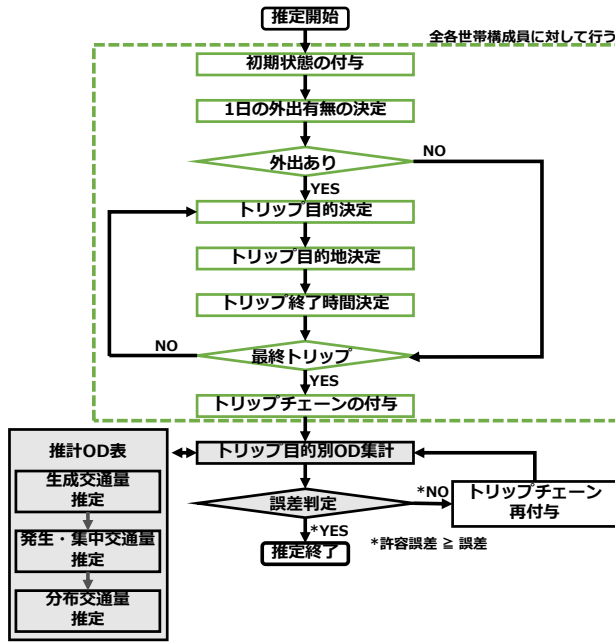


図-2 時間帯別滞在地の推定フロー

全体のコントロールトータルとして用いる推計 OD 表を生成交通量推定、発生・集中交通量推定、分布交通量推定により作成する。また、各構成員に対し終日在宅率より1日の外出有無の決定する。外出有りの構成員に対し、活動選択確率によりトリップ目的、目的地選択確率によりトリップ目的地、活動別時間帯選択確率によりトリップ終了時間の決定を最終トリップまで繰り返し行い、トリップチェーンを決定する。その後、トリップ目的別に全構成員の OD を集計し、推計 OD 表との誤差判定を行い、誤差が改善されるように構成員のトリップチェーンの再付与を行う。この時、構成員の1日の外出有無、トリップ目的、トリップ目的地、トリップ終了時間の決定はモンテカルロ法を用いて確率的に行う。

推計 OD 表を作成する際の生成交通量、発生・集中交通量、分布交通量推定手法の詳細を以下に示す。生成原単位法を用いて式(2)より個人属性に従い、生成交通量を推定する。

$$T^p = \sum a_i^p \cdot N_i \quad (2)$$

ここで、 $T^p$ は目的 $p$ の生成交通量であり、 $a_i^p$ は目的 $p$ 、個人属性 $i$ の生成原単位、 $N_i$ は個人属性 $i$ の人口総数である。式(2)より推定した生成交通量をコントロールト

ータルとし、回帰モデル法を用いて式(3)より発生・集中交通量を推定する。

$$T_i = \alpha_0 + \sum_k \alpha_k X_{ik} \quad (3)$$

ここで、 $T_i$ はゾーン $i$ の目的別発生・集中交通量、 $\alpha_0$ は定数項、 $\alpha_k$ は指標 $k$ の偏回帰係数、 $X_{ik}$ は説明変数である。重力モデル法を用いて式(4)よりゾーン内外分布交通量を、式(5)よりゾーン内々分布交通量を推定する。

$$T_{ij} = k_1 \cdot G_i^\alpha \cdot A_j^\beta \cdot R_{ij}^{-\gamma} \quad (4)$$

$$X_{ii} = k_2 \cdot (G_i \cdot A_i)^\tau \cdot M_i^\varphi \quad (5)$$

ここで、 $T_{ij}$ は $ij$ 間 OD 交通量、 $X_{ii}$ はゾーン $i$ 内のトリップ数、 $G_i$ はゾーン $i$ の発生交通量、 $A_j$ はゾーン $j$ の集中交通量であり、 $R_{ij}$ はゾーン $ij$ 中心位置からの最短経路での時間距離である。 $M_i$ はゾーン $i$ の用途面積を用いる。 $k_1, \alpha, \beta, \gamma, k_2, \tau, \varphi$ は推定対象となるパラメータである。

次に、各構成員に対し行う1日の外出有無の決定手法を示す。式(6)より算出した終日在宅率を用いて、確率的に外出の有無を決定する。

$$P_{awl} = \frac{n_{awl}}{N_{awl}} \quad (6)$$

ここで、 $P_{awl}$ は年齢 $a$ 、就業状態 $w$ 、運転免許保有状況 $l$ の終日在宅率であり、 $n_{awl}$ は年齢 $a$ 、就業状態 $w$ 、運転免許保有状況 $l$ の終日在宅である人口、 $N_{awl}$ は年齢 $a$ 、就業状態 $w$ 、運転免許保有状況 $l$ の人口である。

続いて、外出ありと推定された各構成員に対し適用される、トリップチェーンを付与する際の各トリップ目的、各トリップ目的地、各トリップ終了時間決定手法の詳細を以下に示す。式(7)より算出したマルコフ連鎖型の活動選択確率を用いて終了状態までトリップ目的を決定する。

$$P_w(Z_{m+1} = q | Z_m = p) = \frac{T_w^{pq}}{T_w^p} \quad (7)$$

ここで、 $P_w(Z_{m+1} = q | Z_m = p)$ は就業状態 $w$ の構成員が $Z_m$ において目的 $p$ のトリップを行った場合に、 $Z_{m+1}$ において目的 $q$ のトリップを選択する活動選択確率であり、 $T_w^p$ は就業状態 $w$ の構成員が行う目的 $p$ のトリップ総数、 $T_w^{pq}$ は就業状態 $w$ の構成員が行う目的 $p$ のトリップの次に目的 $q$ のトリップを行うトリップ総数である。推計 OD 表を用いて式(8)により算出した目的地選択確率を用い確率的にトリップ目的地の決定を行う。

$$P_{ij}^p = \frac{T_{ij}^p}{T_i^p} \quad (8)$$

ここで、 $P_{ij}^p$ は目的 $p$ 、発生ゾーン $i$ ・集中ゾーン $j$ のトリップの目的地選択確率であり、 $T_{ij}^p$ は目的 $p$ 、発生ゾーン $i$ ・集中ゾーン $j$ の交通量、 $T_i^p$ は目的 $p$ 、発生ゾーン $i$ の交通量である。式(9)より算出したマルコフ連鎖型のトリ

ップ目的別時間帯選択確率を用いて確率的に各トリップの終了時間を決定する。

$$P_w(Z_{m+1} = t^q | Z_t = t^p) = \frac{T_{wt_2}^{pq}}{T_{wt_1}^p} \quad (9)$$

ここで、 $P_w(Z_{m+1} = t^q | Z_t = t^p)$ は就業状態 $w$ の構成員が $Z_m$ において目的 $p$ のトリップを $t_1$ 時に行った場合に、 $Z_{m+1}$ において目的 $q$ のトリップを $t_2$ 時に行う時間帯選択確率であり、 $T_{wt_2}^{pq}$ は就業状態 $w$ の構成員が $t_2$ 時に到着する目的 $p$ のトリップ総数、 $T_{wt_1}^p$ は就業状態 $w$ の構成員が $t_1$ 時に到着する目的 $p$ のトリップの次に目的 $q$ のトリップを行うトリップ総数である。これを最終トリップまで繰り返すことによりトリップチェーンが決定される。

続いて、トリップ目的別に OD を集計し、集計 OD 表を作成する。一次的にトリップチェーンを決定した構成員から、推計 OD 表との誤差を持つトリップチェーンを持った構成員をランダムに抽出し、一次トリップチェーン付与方法と同様の手法で、トリップチェーンの再付与を行う。この操作を繰り返し、最終的に推計 OD 表との誤差が最小化された集計 OD 表が求められる。

#### (4) 時間帯別選択可能避難手段推定

家族の自宅への滞在状況、地域住民の自宅への滞在状況により異なる世帯構成員の避難手段選択可能性を表現するため、時間帯別選択可能避難手段推定を行う。選択可能避難手段の推定フローを図-3 に示す。各世帯構成員に対し、自力での自家用車避難の可否を決定し、不可能な場合、世帯内同乗・地域内共助の可否を検討することにより、自動車避難選択の可能性を検討する。



図-3 選択可能避難手段の推定フロー

世帯マイクロデータ推定において運転免許保有かつ自家用車保有と推定された世帯構成員を、自力での自家用車避難可能者とする。これらは、徒歩避難、運転手としての自家用車避難を避難手段として選択可能とする。

自力での自家用車避難不可能者は、滞在する 500mメッシュ内に自力での自家用車避難可能者と推定された世

帯構成員が滞在している場合、世帯内同乗可能者とする。これらは、徒歩避難、世帯内同乗者としての自家用車避難を避難手段として選択可能とする。在宅のみでなく、メッシュ内に滞在している場合としたのは、500m 以内であれば、外出先から家族を迎えに行き共に避難を行うことを想定したものである。

世帯内同乗不可能者は、被支援者・支援者が共に在宅である場合、地域内共助可能者とする。これらは、徒歩避難、被支援者としての自家用車避難を避難手段として選択可能とする。地域内共助不可能者は徒歩避難のみ選択可能とする。

地域内共助の可否の推定に用いた支援者と被支援者のマッチング方法を以下に示す。支援候補者は①自力での自動車避難が可能である、②パートタイム職もしくは主婦・無職である、③4 人乗りの自動車を選定し世帯内乗車可能人数が世帯人数を上回るという 3 つの条件を満たす構成員とする。被支援候補者は①自力での自動車避難が不可能である、②65 歳以上であるという 2 つの条件を満たす構成員と設定する。その中で年齢・距離を重みとして全体で最も多くのペアができるように、vincenty 法により算出した 50m 以内に住宅位置のあるペアを支援者・被支援者としてマッチングする。ここで、時間帯にかかわらず、支援者と被支援者のマッチングを行うのは、事前に近隣住民に支援を依頼する状況を想定したためである。マッチング条件を 50m 以内としたのは、高橋らの研究<sup>16)</sup>において地域的な生活の基礎単位が住居中心の半径 50m 圏とされていることを参考とした。

#### (4) 避難シミュレーション

避難シミュレーションは、池田ら<sup>16)</sup>の構築した交通渋滞、渋滞下での経路変更を考慮した津波避難シミュレーションをベースとする。各避難者は避難開始時に各出発点から避難先までの時間をコストとしたダイクストラ法を用いて、最寄りの避難先までの経路を取得する。その経路を通り避難を行い、避難先まで到達すると避難完了となる。経路情報は基本的に出発時に取得したものを利用するが、渋滞を迂回する場合には再度経路探索を行い、新たな経路情報を取得する。また、避難所到着時に避難所が収容可能人数に達しており避難が不可能な場合についても、再度経路探索を行い別の避難先を目指す。徒歩避難者は、取得した最短経路に基づき、交通渋滞の有無にかかわらず避難を行う。徒歩による避難速度は東日本大震災津波現況調査<sup>17)</sup>を参考に高齢者を 15.6m/分、非高齢者を 39.0m/分とする。自家用車による避難は前方車の有無により行動を変えるマルチエージェントシミュレーションであり、前方に自動車が存在すればその場に待機し、自動車が存在しなければ 30 km/h で前に進む。

4. 豊橋市への適用

(1) 世帯マイクロデータ推定

豊橋市の4次メッシュ地域を対象に世帯マイクロデータを作成した。対象とするメッシュは人口及び世帯が存在する787メッシュとし、平成27年国勢調査における地域メッシュ統計を周辺分布として用いた。また、世帯と住宅位置のマッチングにはZENRIN社の2017版建物ポイントデータを、自家用車保有状況付加には第5回中京圏パーソントリップ調査を用いた。

(2) 時間帯別滞在推定

a) 利用データと対象地域

豊橋市の人口有り4次メッシュを対象とし時間帯別滞在推定を行った。生成原単位推定には、第5回中京圏パーソントリップ調査、発生・集中交通量推定には第5回中京圏パーソントリップ調査、平成27年国勢調査、平成26年度経済センサス、平成30年愛知県学校一覧、平成27年住民基本台帳を利用した。分布交通量推定のゾーン中心位置からの最短経路の算出にはZENRIN社のZmap-AREA IIを道路ネットワークとして利用した。

表-1 生成交通量モデルの推定結果

職業	年齢階層	運転免許	通勤	通学	帰宅	業務	私用	全目的
第1次就業者	5~14歳	有り	0	0	0	0	0	0
		無し	0	0	0	0	0	0
	15~64歳	有り	0.3235	0	1.2500	0.7721	0.4485	2.7941
		無し	0.3235	0	1.2500	0.7721	0.4485	2.7941
	65~74歳	有り	0.1129	0	0.9355	0.5645	0.5484	2.1613
		無し	0	0	0.5000	0.5000	0	1.0000
75歳以上	有り	0.0877	0	0.9123	0.7018	0.3860	2.0877	
	無し	0	0	0.6923	0.6154	0.1923	1.5000	
第2次就業者	5~14歳	有り	0	0	0	0	0	0
		無し	0	0	0	0	0	0
	15~64歳	有り	0.8309	0	0.9918	0.1379	0.2611	2.2217
		無し	0.6875	0	1.0625	0.1250	0.3750	2.2500
	65~74歳	有り	0.4524	0	0.8571	0.2619	0.4524	2.0238
		無し	0.8000	0	0.8000	0	0	1.6000
75歳以上	有り	0.5000	0	0.5000	0	0	1.0000	
	無し	0	0	1.0000	0	1.0000	2.0000	
第3次就業者	5~14歳	有り	0	0	0	0	0	0
		無し	0	0	0	0	0	0
	15~64歳	有り	0.7566	0	1.0011	0.2127	0.4728	2.4432
		無し	0.6842	0	0.9298	0.0526	0.3947	2.0614
	65~74歳	有り	0.4742	0	0.9859	0.2864	0.6808	2.4272
		無し	0.3415	0	0.7805	0.0488	0.7317	1.9024
75歳以上	有り	0.2647	0	0.7059	0.2353	0.5882	1.7941	
	無し	0.2632	0	0.5263	0	0.3158	1.1053	
就学者	5~14歳	有り	0	0	0	0	0	0
		無し	0	0.9810	1.2086	0.0076	0.3616	2.5588
	15~64歳	有り	0	0.7786	0.9389	0.0458	0.3664	2.1298
		無し	0	0.9194	0.9774	0.0097	0.1548	2.0613
	65~74歳	有り	0	0	0	0	0	0
		無し	0	0	0	0	0	0
75歳以上	有り	0	0	0	0	0	0	
	無し	0	0	0	0	0	0	
主婦・無職・ほか	5~14歳	有り	0	0	0	0	0	0
		無し	0	0	0	0	0	0
	15~64歳	有り	0	0	0.8137	0.0357	1.1542	2.0036
		無し	0	0	0.5213	0.0190	0.6825	1.2227
	65~74歳	有り	0	0	0.7530	0.0596	1.0562	1.8688
		無し	0	0	0.5642	0.0473	0.7365	1.3480
75歳以上	有り	0	0	0.6514	0.0704	0.8908	1.6127	
	無し	0	0	0.3652	0.0223	0.4083	0.7959	

b) パラメータ推定結果

生成原単位の推定結果を表-1に示す。生成原単位モデルでは、職業を5タイプ、年齢階層を3タイプとして分類し、運転免許保有の有無を考慮して推定を行った。表-1から運転免許を保有している人の方が交通行動が多いことを表現できていることがわかる。また、表-2に発生集中モデル、表-3にゾーン内外分布交通量モデル、表-4にゾーン内々分布交通量モデルの推定結果を示す。発生・集中交通量モデルの各パラメータのT値は有意であり、おおむね良好なモデル推定ができた。また、発生交

表-2 発生・集中交通量モデルの推定結果

モデル	目的	変数名	パラメータ	T値	P値	判定	重相関係数	修正済決定係数
発生交通量モデル	通勤	総就業者数	0.7313	12.7366	0.0000	**	0.91	0.822
		定数項	-126.9392	-0.3639	0.7182			
	通学	就学者数	1.0043	10.8297	0.0000	**	0.88	0.769
		定数項	145.7943	0.9014	0.3737			
	帰宅	総人口	0.4191	7.0958	0.0000	**	0.89	0.777
		総従業者数	0.5574	5.1834	0.0000	**		
		定数項	618.0255	0.8639	0.3939			
		総人口	0.0696	3.6651	0.0009	**	0.69	0.446
	総従業者数	0.0817	2.3622	0.0242	*			
		定数項	449.1440	1.9530	0.0593			
		総人口	0.5481	11.9803	0.0000	**	0.90	0.803
	定数項	245.9793	0.4474	0.6574				
集中交通量モデル	通勤	総従業者数	0.4670	15.3517	0.0000	**	0.93	0.870
		定数項	80.0230	0.4433	0.6603			
	通学	通学者	0.6283	8.4788	0.0000	**	0.82	0.669
		定数項	521.4034	3.9028	0.0004			
	帰宅	総人口	0.9648	12.8443	0.0000	**	0.91	0.824
		定数項	-43.7903	-0.0485	0.9616			
	業務	総従業者数	0.1323	5.4048	0.0000	**	0.84	0.681
		1次産業従業者数	1.7907	6.5844	0.0000	**		
		定数項	251.7599	1.5857	0.1223			
		総人口	0.3745	5.3951	0.0000	**	0.82	0.660
	3次産業従業者数	0.5983	3.3309	0.0021	*			
	定数項	-506.3694	-0.6236	0.5372				

表-3 ゾーン内外分布交通量モデルの推定結果

	α	β	γ	ln(k)	F値	重相関係数	修正済決定係数	
通勤	パラメータ	0.4732	0.5378	0.3101	-1.0569	111.4389	0.60	0.352
	T値	12.2724	13.7093	-7.6823	-1.9592			
	P値	0.0000	0.0000	0.0000	0.0506			
通学	パラメータ	0.2656	0.0839	-0.4497	5.6527	13.6019	0.43	0.175
	T値	3.7265	1.0422	-5.4807	6.2000			
	P値	0.0003	0.2987	0.0000	0.0000			
帰宅	パラメータ	0.5071	0.6175	-0.8071	1.6772	210.5691	0.67	0.444
	T値	10.6216	15.2725	-18.6343	2.4577			
	P値	0.0000	0.0000	0.0000	0.0142			
業務	パラメータ	0.2633	0.2065	-0.1944	2.6076	12.5907	0.33	0.098
	T値	4.3666	4.0341	-4.0950	4.2201			
	P値	0.0000	0.0001	0.0001	0.0000			
私用	パラメータ	0.3779	0.3811	-0.8062	5.0982	143.7526	0.63	0.400
	T値	7.8237	9.2679	-15.8720	6.7010			
	P値	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000			

表-4 ゾーン内々分布交通量モデルの推定結果

	γ	β	ln(k)	F値	重相関係数	修正済決定係数	
通勤	パラメータ	0.5316	0.0786	-3.6073	22.7343	0.77	0.561
	T値	5.9536	0.7302	-2.1023			
	P値	0.0000	0.4706	0.0435			
通学	パラメータ	0.5991	0.1515	-4.5538	47.2691	0.88	0.755
	T値	9.3629	2.0478	-3.1864			
	P値	0.0000	0.0501	0.0035			
帰宅	パラメータ	0.5496	0.1623	-4.6902	94.5660	0.92	0.846
	T値	12.0651	2.8361	-4.6625			
	P値	0.0000	0.0079	0.0001			
業務	パラメータ	0.4093	0.2595	-4.3765	14.0559	0.71	0.465
	T値	3.2672	1.8142	-2.2104			
	P値	0.0029	0.0804	0.0354			
私用	パラメータ	0.6119	0.2250	-6.7631	64.5781	0.90	0.789
	T値	11.0009	2.6697	-4.2847			
	P値	0.0000	0.0118	0.0002			

通量モデルの通勤トリップにおける就業者数のパラメータの符号は正であり、就業者数が多いほど通勤目的の発生交通量が多くなると解釈でき、合理的な結果となっているといえる。

c) 時間帯別滞在地推定結果

時間帯別在宅者数を図-4 に示す。在宅者が最も多い時間は3時であり、構成員の約99%が在宅者である。在宅者が最も少ない時間は11時であり、構成員の約32%が在宅者である。構成員の自宅位置によるメッシュ人口分布、3時、11時、17時の滞在メッシュ人口分布とメッシュ人口分布の差を図-5 に示す。3時には自宅位置と滞在人口が大きく変わっているメッシュはなく、11時には豊橋駅周辺、工場地帯の滞在者が大きく増加していることがわかる。また、17時は11時と比較すると大きく人口が増加するメッシュが少なくなり、メッシュ人口分布に対する変動が小さくなっている。これらのことから、夜間は家族が自宅に滞在しており、昼間は家族が外出先や職場へ滞在しているという状況や時間帯によって異なる世帯構成員の空間分布を表現することができたと考えられる。

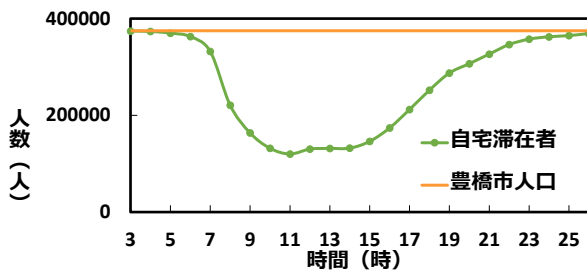


図-4 時間帯別在宅者数

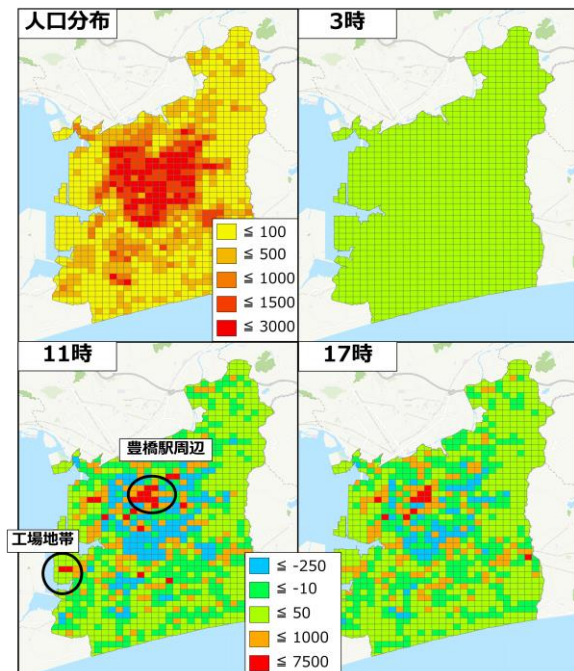


図-5 メッシュ人口分布と滞在メッシュ人口分布の差

(2) 時間帯別選択可能避難手段推定

a) 対象地域

対象地域は、図-6 に示すように豊橋市南海トラフ地震被害予測調査<sup>19)</sup>を参考に4次メッシュ単位で作成した豊橋市津波浸水域とした。津波浸水域内に住宅位置がある構成員と外出先として浸水域内にいる構成員を対象として時間帯別選択可能避難手段の推定を行った。

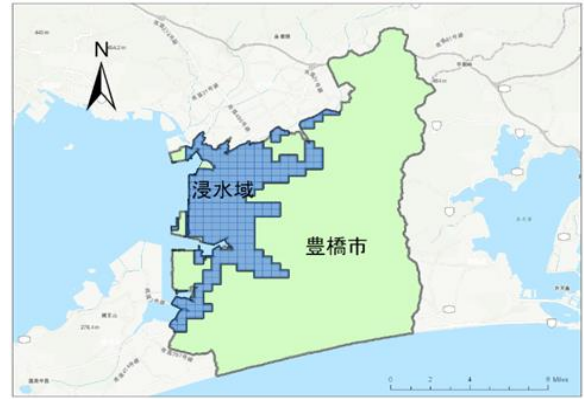


図-6 豊橋市における津波浸水域

b) 同乗による避難手段の違い

各世帯構成員の自力避難のみの場合の選択可能避難手段の構成割合を図-7 に示す。高齢者の徒歩避難者の割合が高いことから属性によって自力での自家用車による避難が困難になるという問題が表現されている。自動車免許保有率と比較して自家用車避難者割合が少ないが、各世帯構成員に対し、自家用車保有状況を考慮したためであると考えられる。

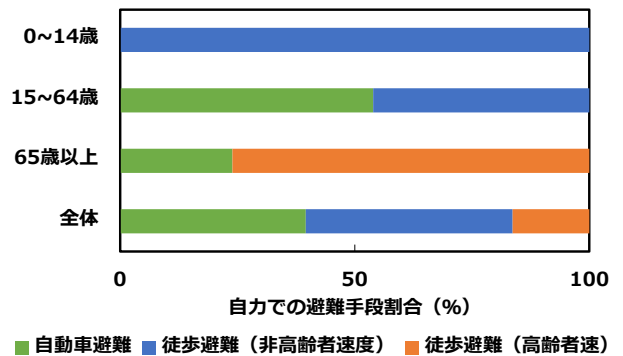


図-7 自力避難のみの場合の選択可能避難手段の構成割合

3時、11時、17時における世帯内同乗のみを考慮した場合と地域内共助を考慮した場合の避難手段の年齢による変化を図-8 に示す。ここでは、自家用車避難が選択可能である構成員は全て自家用車避難を選択する状況を想定している。世帯内同乗のみを考慮した場合の3時と11時を比較すると、3時の徒歩避難を行う高齢者数に比べ、11時の徒歩避難を行う高齢者数が約2倍となった。夜間

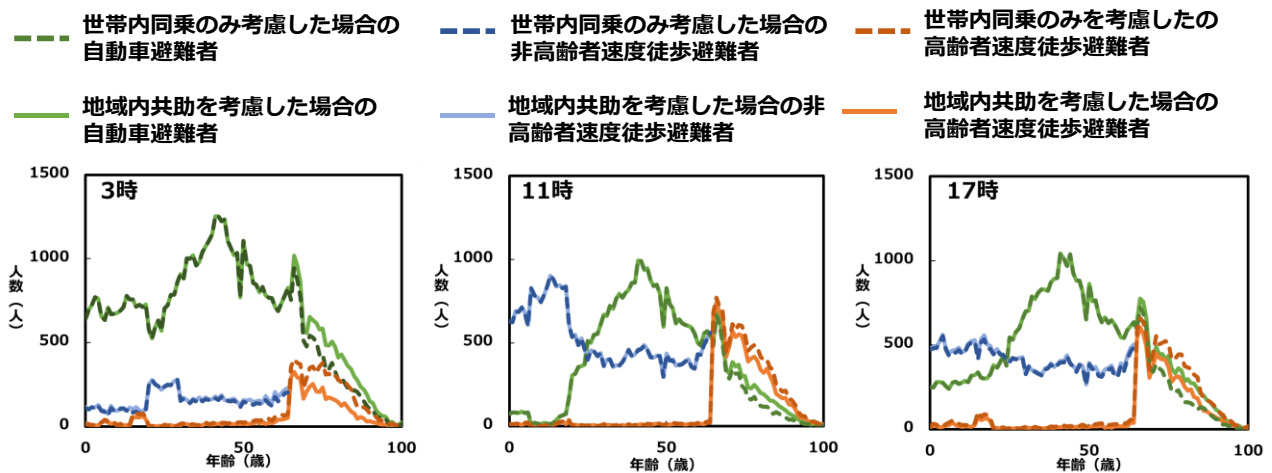


図8 世帯内同乗のみを考慮した場合と地域内共助を考慮した場合の年齢別避難者数の時間帯による変化

は自力での自家用車避難可能な世帯構成員が在宅しているため自力での自家用車避難不可能な高齢者も自家用車に同乗し避難を行うことができるが、昼間は自力での自家用車避難可能な世帯構成員が外出先や職場へ滞在しているため、自宅に残された高齢者は徒歩避難をしなければならない。また、地域内同乗可能性を考慮した場合の3時、11時、17時のいずれの時間においても徒歩避難を行う高齢者数は世帯内同乗のみを考慮した場合より減少している。3時と17時では地域内共助により徒歩避難を行う高齢者数が減少しているが、11時ではあまり変化がないことがわかる。これは、支援者が外出しており、共助ができないためであると考えられる。

### (3) 避難シミュレーション

出発点には豊橋市浸水域の500mメッシュの重心座標を外出先、ZENRIN社の建物ポイントデータを住宅位置として利用した。到着点である避難先には、豊橋市が定める地震発生時における一時避難施設である津波避難ビル<sup>1)</sup>に加え、浸水域の東端と道路が交差するポイントを利用する。道路ネットワークにはZENRIN社のZmap-AREA IIを利用する。

避難シミュレーションの実行結果及び避難完了率を用いた定量的な地域内共助の評価については、講演時に報告する予定である。

## 5. まとめ

本研究では、時間帯別に滞在地を推定し時間帯によって異なる避難手段を表現し、地域内共助の有効性を評価可能な手法を構築した。豊橋市を対象とした分析により、いずれの時間帯においても自動車避難選択可能な高齢者数は増加した。特に在宅者の多い夜間に地域内共助の可能数が多くなることが分かった。今後の展望として、被支援者のピックアップ行動や要介護者の考慮など津波避

難シミュレーションの改良や避難手段選択ルールによる避難完了率の比較等を行ってゆく予定である。

### 参考文献

- 1) 内閣府：平成23年防災白書  
<http://www.bousai.go.jp/kaigirep/hakusho/h23/index.htm>
- 2) 三上卓：東日本大震災の津波犠牲者に関する調査分析～山田町・石巻市～，土木学会論文集A1（構造・地震工学），vol70，No4（地震工学論文集第33巻），I\_908-I\_915，2014
- 3) 国家公安委員会：交通の方法に関する教訓（第10章交通事故、故障、災害などのとき），<https://www.npa.go.jp/koutsuu/kikaku/kyousoku/index.htm>
- 4) 片田敏孝，桑沢敬行：津波に関わる危機管理と防災教育のための津波災害総合シナリオ・シミュレータの開発，土木学会論文集D，Vol.62，No.3，250-261，2006.7
- 5) 大畑大志朗，高井伸雄，鏡味洋史：釧路市中心市街地における津波避難施設配置の評価 マルチエージェントシステムを用いた津波からの避難シミュレーション その2，日本建築学会計画系論文集，第612号，87-91，Feb，2007
- 6) 熊谷兼太郎：2011年東北地方太平洋沖地震津波の避難行動の津波避難シミュレーションによる再現性の検証，土木学会論文集D3（土木計画学），Vol70，No.5，I\_187-I\_196，2014
- 7) 藤岡正樹，石橋健一，梶秀樹，堀越功：津波避難対策のマルチエージェントモデルによる評価，日本建築学会計画系論文集，第562号，213-236，2002
- 8) 鈴木介，今村文彦：住民意識・行動を考慮した津波避難シミュレーションモデル，自然災害科学J，JSNDS 23-4 521-538 2005
- 9) 小山真紀，湯浅亮，奥村与志弘，土肥裕史，清野純史：要介護者を考慮したDEMによる避難シミュレーションプログラムの開発と南あわじ市阿万塩屋町中西地区におけるケーススタディ，日本地震工学論文集，第15巻，第5号(特集号)，2015
- 10) 牧野嶋文泰，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），vol71，No.2，I\_1645-I\_1650，2015

- 11) 池田頌平, 杉木直, 山本若菜, 松尾幸二郎: 逐次的な経路探索プロセスを組み込んだ津波避難シミュレーションに夜避難所容量の検証, 第 60 回土木計画学発表会・論文集, CD-ROM, 2019
- 12) 高島知行, 柴山知也: 訪者を対象とした避難シミュレーションに基づく津波対策効果の検討, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), vol73, No.2, I\_1507-I\_1512, 2017
- 13) 山本若菜, 杉木直, 池田頌平, 松尾幸二郎: 世帯構成員の時間別世帯滞在状況を考慮した津波避難シミュレーション, 平成 30 年度土木学会中部支部研究発表会・講演概要集, 2019.
- 14) 長尾将吾, 杉木直, 松尾幸二郎: 地域メッシュ統計を用いたメッシュベースの初期世帯マイクロデータ推定, 平成 30 年度土木学会中部支部研究発表会・講演概要集, 2019.
- 15) 山本若菜, 杉木直, 小林頌平, 松尾幸二郎: 自家用車の利用可能性と避難者の空間分布を考慮した津波避難シミュレーション, 第 60 回土木計画学発表会・論文集, CD-ROM, 2019
- 16) 高橋恒, 福田成二, 伊藤庸一, 岩隈利輝: 近隣における生活行為と空間において一コミュニティ計画の基礎的研究—3—, 日本建築学会論文報告集第 306 号, 昭和 56 年 8 月
- 17) 国土交通省: 東日本大震災の津波被災現況調査 [https://www.mlit.go.jp/rport/press/toshi09\\_hh\\_000004.html](https://www.mlit.go.jp/rport/press/toshi09_hh_000004.html)
- 18) 豊橋市: 南海トラフ地震被害予測調査, <http://www.city.toyohashi.lg.jp/16584.htm>.
- 19) 豊橋市津波避難行動指針, <https://www.city.toyohashi.lg.jp/31505.htm>.

(2020.10.2 受付)

EVALUATION OF MUTUAL ASSISTANCE IN THE LOCAL COMMUNITY BY  
TSUNAMI EVACUATION SIMULATION CONSIDERING POSSIBILITY OF  
RIDING IN A PRIVATE CAR

Wakana YAMAMOTO, Nao SUGIKI, and Kojiro MATSUO