

# 世帯構成員の時間帯別世帯滞在状況を考慮した 津波避難シミュレーション

山本 若菜<sup>1</sup>・杉木 直<sup>2</sup>・池田 頌平<sup>3</sup>・松尾 幸二郎<sup>4</sup>

<sup>1</sup>学生会員 豊橋技術科学大学大学院 工学研究科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 (〒441-8580 愛知県豊橋市天伯市雲雀ヶ丘1-1)  
sugiki@ace.tut.ac.jp

<sup>3</sup>学生会員 豊橋技術科学大学大学院 工学研究科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:s163518@edu.tut.ac.jp

<sup>4</sup>正会員 豊橋技術科学大学大学院助教授 (〒441-8580 愛知県豊橋市天伯市雲雀ヶ丘1-1)  
k-matsuo@ace.tut.ac.jp

津波避難シミュレーションを行う際には、世帯構成員の年齢階層や所属する世帯、運転可能な同居家族の世帯への滞在状況を考慮し、同乗可能性や避難手段、避難速度を決定する必要がある。本研究では、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る愛知県豊橋市を対象とし、世帯マイクロデータ推計を行い、各世帯構成員の年齢・職業などを考慮した時間帯別滞在地推定を行うことにより、運転免許を保有している世帯構成員が自宅外にいる場合、運転免許を保有しない高齢者などは自動車避難を行うことができないといった問題を表現する。また、津波避難シミュレーションを実行し、時間帯によって異なる同居家族の世帯への滞在状況により高齢者の家族が運転する自動車への同乗可能性の違いを比較検討し、避難計画における地域課題の把握を行う。

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

## 1. はじめに

東日本大震災において、死者の9割以上が津波による溺死であり60歳以上の死者割合が人口構成に占める割合の2倍以上であった<sup>1)</sup>。自動車運転が困難な高齢者が避難する場合、徒歩もしくは家族の運転する自動車へ同乗する必要がある。このように同乗可能性や避難手段、避難速度は、年齢階層や所属する世帯、運転可能な同居家族の世帯への滞在状況などによって異なる。従って、津波避難シミュレーションを行う際にはこれらの要素を考慮する必要がある。そのようなことから先行研究<sup>2)</sup>では、世帯マイクロデータによって推定された世帯構成員に対し年齢階層・世帯人数などをふまえた運転免許・自動車保有推定を行い、各世帯を建物ポイントデータの住宅に配置し、各住宅を出発点とする津波避難シミュレーショ

ンを実行した。これは、夜間の全世帯構成員が自宅に滞在している状況において全世帯構成員が各住宅を出発点とする避難を行うと仮定し、世帯内に1人でも運転免許かつ自動車を保有していると推定された人がいた場合は自動車避難を行うといったシミュレーションであった。また、Sugikiらの先行研究<sup>3)</sup>では、交通渋滞を考慮した津波避難シミュレーションが行われた。これは東日本大震災以降、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を表現するためのものであった。しかしながら、いずれの先行研究<sup>2,3)</sup>においても運転免許を保有している世帯構成員が仕事などのため自宅外にいる場合、自宅に残された運転免許を保有しない高齢者などは自動車避難を行うことができないといった問題や時間帯

によって異なる高齢者の家族が運転する自動車の同乗可能性の違いを表現できていない。

そこで本研究では、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、推計された世帯マイクロデータの各世帯構成員に対し年齢・職業などを考慮した時間帯別滞在地推定を行う。さらに、豊橋市の浸水域<sup>4)</sup>において津波避難シミュレーションを実行することにより、時間帯によって異なる同居家族の世帯への滞在状況により高齢者の家族が運転する自動車への同乗可能性の違いを比較検討し、避難計画における地域課題の把握を行う。

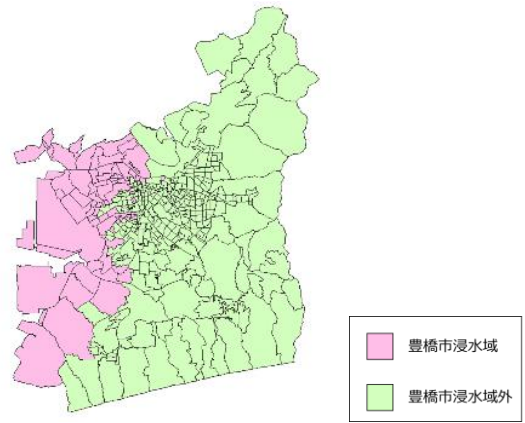


図-2 対象地域の概要

## 2. 避難シミュレーションの概要

本研究のフローを図-1に、対象地域である豊橋市を図-2に示す。本研究では長尾らの先行研究<sup>5)</sup>で推計された世帯マイクロデータに運転免許保有の有無や住宅などの個人属性を付与した後に各世帯構成員の時間帯別滞在地推定を行う。続いて、Sugikiらの先行研究<sup>3)</sup>をベースとした津波避難シミュレーションを実行する。津波避難シミュレーションでは、南海トラフ地震等の際に津波による被害が発生することが予想されている愛知県豊橋市の浸水域を対象とするが、浸水域外からの人の流入や域外への流出を考慮するため、世帯マイクロデータ推定、時間帯別滞在地推定は愛知県豊橋市全域を対象地域とする。

世帯マイクロデータ推定と時間帯別滞在地推定により、時間帯によって異なる運転免許を持たない高齢者などの避難における自動車同乗可能性を考慮し、昼間に津波が発生した場合における世帯構成員各自の避難を表現することが可能となる。また、津波避難シミュレーションを実行することにより、世帯構成員が各々避難すると仮定した場合と世帯ごとの避難を行うと仮定した場合における高齢者などの自動車への同乗可能性の違いによる避難完了率の比較検討を行う。

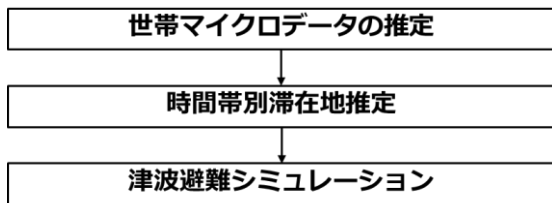


図-1 本研究のフロー

## 3. 世帯マイクロデータの推定

長尾らの先行研究<sup>5)</sup>では地域メッシュ統計を用いた初期世帯マイクロデータが推計されている。推計システムのフローを図-3に示す。豊橋市における世帯人数別世帯数および性別・年齢階層別人口を各メッシュの周辺分布として設定を行った後、各世帯に世帯タイプを割り付け、世帯構成員の属性、世帯内での世帯および婚姻関係を付加する。その後、メッシュごとに性別・年齢別周辺分布との誤差判定を行い、誤差が改善されるように世帯構成員を再生成する。

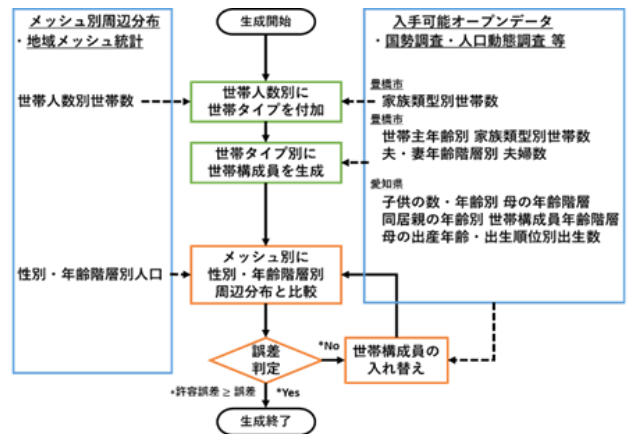


図-3 世帯マイクロデータ推計システムのフロー

続いて、国勢調査の就業状態基本集計を用いて決定した性別・年齢・配偶者の有無ごとに算出した就業状態5タイプ別の構成割合に基づき、世帯構成員の就業状態をフルタイム職、パートタイム職、学生、主婦・無職、その他として推定する。さらに、第5回パーソントリップ調査を用いて決定した性別・世帯人数・世帯構成員の年齢階層ごとの運転免許保有率に基づき、推定された世帯マイクロデータの世帯構成員に運転免許保有の有無を推定し個人属性として追加する。また、平成27年国勢調査

等を用いて決定した世帯タイプ・世帯主年齢ごとの戸建て率に基づき、浸水域に関しては世帯と住宅のマッチングを行う。表-1に世帯住宅のマッチング例を示す。

表-1 世帯と住宅マッピング例

市区町村面	大字町	字丁目名	地番	建物名	建物分類	経度	緯度	世帯番号
豊橋市	青竹町	字浜通	51		個人の家屋	137.350981	34.755964	10008
豊橋市	青竹町	字青竹	169		個人の家屋	137.343377	34.76204	10042
豊橋市	青竹町	1 2 0 - 2		だんご味千代	事務所兼住宅	137.345249	34.763086	10036
豊橋市	青竹町	字八間西	8		個人の家屋	137.352019	34.760569	10019
豊橋市	青竹町	字八間西		レーベン 2 1	マンション	137.350434	34.762633	10007
豊橋市	青竹町	字八間西		レーベン 2 1	マンション	137.350434	34.762633	10027

#### 4. 各世帯構成員の時間帯別滞在地推定

時間帯によって異なる高齢者の同居家族の世帯への滞在状況を推定するために、世帯マイクロデータの個人属性に応じた時間帯別滞在地推定を行う。各世帯構成員の時間帯別滞在地推定のフローを図-4に示す。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OD表を作成する。作成したOD表を基に目的別到着地選択確率の推定を行った後、活動別時間帯選択確率を推定する。作成したOD表に従い、目的地選択確率・活動別時間帯選択確率を用い時間帯別滞在地推定を行う。

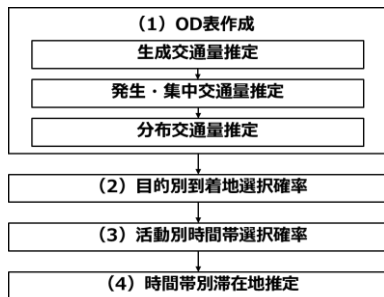


図-4 時間帯別滞在地推定のフロー

##### (1) OD表作成

###### a) 手法

生成原単位法を用いて式(1)より個人属性に従い、生成交通量を推定する。

$$T^p = \sum a_i^p \cdot N_i \quad (1)$$

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(1)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(2)より発生・集中交通量を推定する。

$$T_i = \alpha_0 + \sum_k \alpha_k X_{ik} \quad (2)$$

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(3)よりゾーン内外分布交通量を、式(4)よりゾーン内外分布交通量を推定する。

$$T_{ij} = k_1 \cdot G_i^\alpha \cdot A_j^\beta \cdot R_{ij}^{-\gamma} \quad (3)$$

$$X_{ii} = k_2 \cdot (G_i \cdot A_i)^\tau M_i^\phi \quad (4)$$

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発生量、 $A_j$ はゾーンj集中量であり、 $R_{ij}$ にはゾーンij中心位置からの最短経路での移動時間を用いた。 $M_i$ にはゾーンiの面積として用途面積を用いた。 $k_1, \alpha, \beta, \gamma, k_2, \tau, \phi$ は推定対象となるパラメータである。

##### b) モデルパラメータ推定

第5回中京圏パーソントリップ調査を用いて推定した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、運転免許の有無を考慮し推定を行った。表-2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再現できていることがわかる。また、第5回中京圏パーソントリップ調査、平成27年度国勢調査、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年住民基本台帳を用いて発生・集中交通量推定を行った。また、ゾーン中心位置からの最短経路での移動時間はZENRIN社のZmap-AREA II を利用しArcGISの最短経路探索機能を用いて算出した。

表-2 生成交通量モデル

職業	年齢階層	運転免許	1.通勤	2.通学	4.業務	3.私用	5.帰宅	全目的	
第1次就業者	5~14歳	有り	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	
		無し	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	
	15~64歳	有り	0.32353	0.00000	0.77206	0.44853	1.25000	2.79412	
		無し	0.32353	0.00000	0.77206	0.00000	1.25000	2.79412	
	65~74歳	有り	0.11290	0.00000	0.56452	0.54839	0.93548	2.16129	
		無し	0.00000	0.00000	0.50000	0.00000	0.50000	1.00000	
	75歳以上	有り	0.08772	0.00000	0.70175	0.38596	0.91228	2.08772	
		無し	0.00000	0.00000	0.61538	0.19231	0.69231	1.50000	
	第2次就業者	5~14歳	有り	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
			無し	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
		15~64歳	有り	0.83087	0.00000	0.13793	0.26108	0.99179	2.22167
			無し	0.68750	0.00000	0.12500	0.37500	1.06250	2.25000
65~74歳		有り	0.45238	0.00000	0.26190	0.45238	0.85714	2.02381	
		無し	0.80000	0.00000	0.00000	0.00000	0.80000	1.60000	
75歳以上		有り	0.50000	0.00000	0.00000	0.00000	0.50000	1.00000	
		無し	0.00000	0.00000	0.00000	1.00000	1.00000	2.00000	
第3次就業者		5~14歳	有り	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
			無し	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
		15~64歳	有り	0.75661	0.00000	0.21265	0.47284	1.00107	2.44317
			無し	0.68421	0.00000	0.05263	0.39474	0.92982	2.06140
	65~74歳	有り	0.47418	0.00000	0.28638	0.68075	0.98592	2.42723	
		無し	0.34146	0.00000	0.04878	0.73171	0.78049	1.90244	
	75歳以上	有り	0.26471	0.00000	0.23529	0.58824	0.70588	1.79412	
		無し	0.26316	0.00000	0.00000	0.31579	0.52632	1.10526	
	就学者	5~14歳	有り	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
			無し	0.00000	0.98104	0.00759	0.36157	1.20860	2.55879
		15~64歳	有り	0.00000	0.77863	0.04580	0.36641	0.93893	2.12977
			無し	0.00000	0.91935	0.00968	0.15484	0.97742	2.06129
65~74歳		有り	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	
		無し	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	
75歳以上		有り	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	
		無し	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	
主婦・無職・ほか		5~14歳	有り	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
			無し	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
		15~64歳	有り	0.00000	0.00000	0.03565	1.15419	0.81373	2.00357
			無し	0.00000	0.00000	0.01896	0.68246	0.52133	1.22275
	65~74歳	有り	0.00000	0.00000	0.05963	1.05622	0.75298	1.86882	
		無し	0.00000	0.00000	0.04730	0.73649	0.56419	1.34797	
	75歳以上	有り	0.00000	0.00000	0.07042	0.89085	0.65141	1.61268	
		無し	0.00000	0.00000	0.02233	0.40829	0.36523	0.79585	

(2) 目的別到着地選択確率

a) 手法

式(5)を用いて目的ごと目的地選択確率を算出する。目的地選択確率とはあるゾーンに滞在している人がある特定のゾーンを目的地として選択する確率のことである。

$$P_j^i = T_{ij} / \sum_j T_{ij} \quad (5)$$

$P_j^i$ はゾーン i に滞在している人がゾーン j を目的地として選択する確率である。

(3) 活動別時間帯選択確率

a) 手法

トリップチェーンを考慮した活動別時間帯選択モデルを作成する。第5回中京圏パーソントリップ調査を用いて、職業形態ごとにトリップチェーンパターンを設定する。出勤、登校、私用、業務、帰宅の目的別にトリップが開始された時間を集計することにより、トリップチェーンのパターンごとに活動別時間帯選択確率を推計する。

b) 活動別時間帯選択モデルの一例

トリップチェーンを考慮した活動別時間帯選択確率の一例として、フルタイム職における通勤→私用→帰宅の目的順に行われるトリップチェーンの活動別時間帯選択確率を図5に示す。

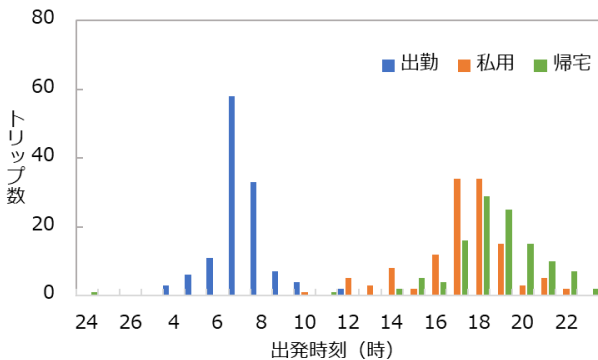


図5 活動別時間帯選択確率

(4) 各世帯構成員の時間帯別滞在地推定

a) 手法

各世帯構成員の時間帯別滞在地推定のフローを図6に示す。世帯マイクロデータはメッシュ単位で推計されているため、以下の分析はメッシュ単位で行う。パーソントリップ調査から算出したトリップチェーンの構成比からモンテカルロ法を用いて各世帯構成員にトリップチェーンを付与する。各世帯構成員に付与されたトリップチェーンに従い、目的別到着地選択確率から到着メッシュを逐次的に設定する。全ての世帯構成員に対しトリップチェーン・到着メッシュの設定を行った後、ODトリップ数を集計する。(1)で作成されたOD表に対する集計されたODトリップ数の誤差判定を行い、誤差が改善され

るようにトリップチェーン・到着メッシュの再設定を行う。OD表に対するODトリップ数の誤差が全て改善された後、トリップチェーンごとに作成した活動別時間帯選択確率に従い、各トリップが行われる時間を決定する。決定されたトリップ発生時間に応じて到着メッシュに世帯構成員の滞在地を変更させることにより時間帯別の滞在地が推定される。ここで、滞在地の変更が行われた世帯構成員は到着メッシュの中心位置に配置されるものとする。

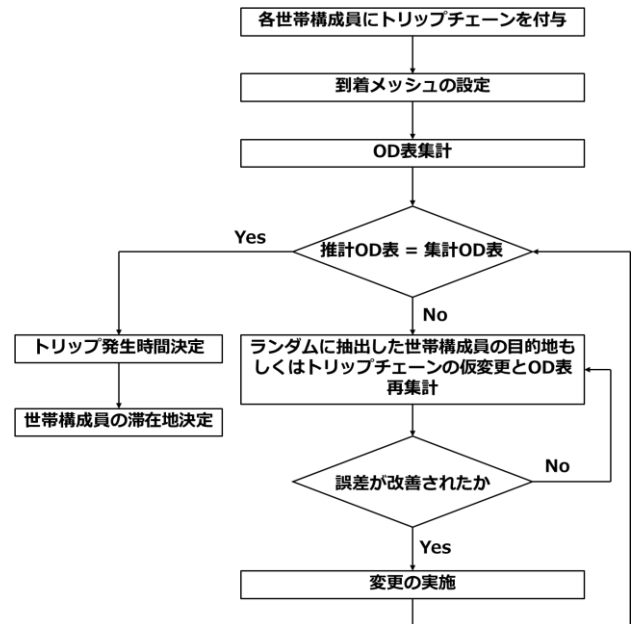


図6 時間帯別滞在地推定のフロー

5. 津波避難シミュレーション

(1) 津波避難シミュレーションの概要

世帯を配置した住宅とメッシュの中心座標を出発点とし到着点を避難所までとする最短経路探索を行い、最寄りの避難所もしくは浸水域外への経路を取得する。取得された経路をたどり、避難所もしくは浸水域外まで到達すると避難完了となる。避難手段としては徒歩と自動車を考慮する。徒歩による避難は取得した経路に基づいて行われ、自動車による避難は前方車の有無によって行動を変えるマルチエージェントシミュレーション<sup>3)</sup>とする。

(2) 利用データ

出発点は浸水域内の世帯を配置した住宅ポイントと時間帯別滞在地推定によって求められた各メッシュの中心座標とし、到達点は豊橋市が定める津波発生時における一時避難ビルまたは浸水域外とした。出発点を図7に到達点を図8に示す。道路ネットワークデータにはZENRIN社のZmap-AREA IIを利用した。

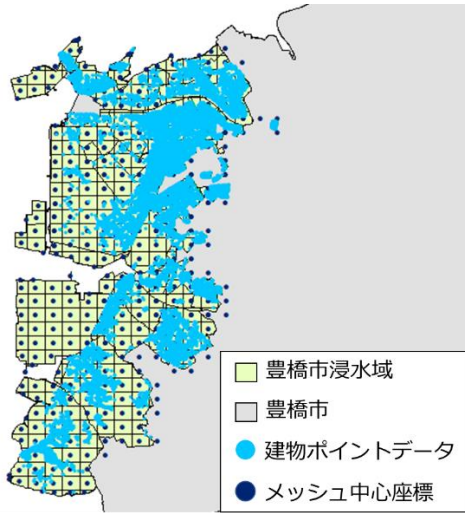


図-7 出発点

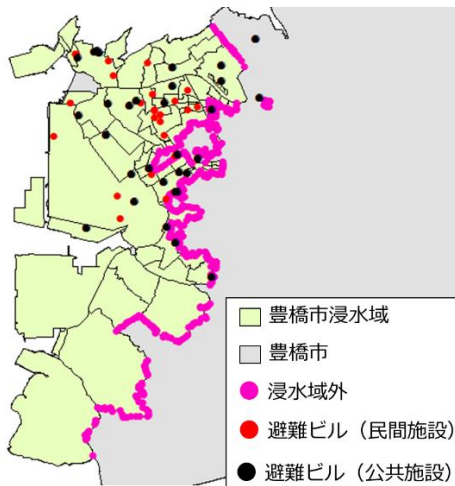


図-8 到達点

(3) シミュレーション条件とケース

シミュレーション条件については先行研究である Sugikiらの研究<sup>3)</sup>と同様とする。また、シミュレーションケースについては、3時、9時、15時、21時の4時点を想定し、各時点ごとに各世帯構成員の世帯への滞在状況を

推定し、運転免許・自動車を保有している世帯構成員が住宅に滞在している場合には自動車避難を行い、運転免許・自動車を保有している世帯構成員が住宅に滞在していない場合には徒歩避難を行うものとする。シミュレーション結果は講演時に示す予定である。

5. まとめ

本研究では各世帯構成員ごとに時間帯別滞在地推定を行い、高齢者など運転免許を持たない世帯構成員の同居家族の世帯への滞在状況より自動車同乗可能性を考慮した津波避難シミュレーション手法の構築を行った。本研究では、同居家族のみの同乗可能性を想定しシミュレーションを行ったが、実際は近隣住民が運転する自動車へ同乗する可能性も考えられる。今後は、地域住民による同乗による共助を考慮するなど、津波避難シミュレーションの改良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) 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, 平成 30 年度土木学会中部支部研究発表会・講演概要集, 2019.
- 3) Nao Sugiki, Shohei Ikeda, Kojiro Matsuo : Tsunami Evacuation Simulation Considering Traffic Congestion and Difference Evacuation Means Depending on Household Composition, 15th World Conference on Transport Research, web, 2019.
- 4) 豊橋市：南海トラフ地震被害予測調査,  
<http://www.city.toyohashi.lg.jp/16584.htm>.
- 5) 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.

(2019. 10. 4 受付)

TSUNAMI EVACUATION SIMULATION WITH CONSIDERATION OF FAMILY MEMBERS PRESENCE

Wakana YAMAMOTO, Nao SUGIKI, Shohei IKEDA and Kojiro MATSUO