

# 徒歩避難困難地域における自動車利用を 考慮した津波避難シミュレーション

澤田 翼<sup>1</sup>・倉橋 奨<sup>2</sup>・横田 崇<sup>3</sup>

<sup>1</sup>学生会員 愛知工業大学大学院 工学研究科建設システム工学専攻

(〒470-0392 愛知県豊田市八草町八千草 1247)

E-mail: f20706ff@aitech.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 愛知工業大学 工学部土木工学科 准教授 (〒470-0392 愛知県豊田市八草町八千草 1247)

E-mail: susumu@aitech.ac.jp

<sup>3</sup>正会員 愛知工業大学 工学部土木工学科 教授 (〒470-0392 愛知県豊田市八草町八千草 1247)

E-mail: yokotat@aitech.ac.jp

短時間での津波到達等による徒歩での避難が困難な地域では自動車利用が必要である一方、渋滞等の問題も指摘されている。本研究は、愛知県南知多町を対象に徒歩避難困難地域における自動車利用を考慮した津波避難シミュレーションを実施し、許容自動車利用率を算出した。徒歩避難のみのシミュレーションおよび自動車利用率と乗合人数を変化させたケーススタディを行った結果、乗合人数を増加させることで徒歩避難が困難であっても避難対象全員が避難できる可能性を示した。一方で、自動車利用率が上がると、総合的な避難完了率が下がることも示した。また、ボトルネック現象による渋滞の発生場所を特定した。

**Key Words:** *Multi-agent simulation, Automobiles evacuation, Tsunami evacuation, Difficult-to-evacuate area on foot, Persons needing support*

## 1. はじめに

南海トラフ地震の被害想定において、短時間での津波到達等により、徒歩避難困難地域の存在が指摘されている。これら地域で避難を完了させる方法の一つに自動車の利用が挙げられる。津波避難は原則徒歩であるが、2011年の東日本大震災では、津波からの避難の際に自動車を利用して亡くなった人がいる。一方で、生存者の約6割が自動車利用との調査報告<sup>1)</sup>もある。これ以降、徒歩避難が困難な場合に限り、自動車利用を認める自治体が増えている。しかし、単に徒歩避難困難者の自動車利用を認めるだけでは、自動車の渋滞や駐車スペース等の問題により死者数の増加を招く可能性がある。このため、自動車避難シミュレーションを基にし、地域の実情を踏まえた具体的な避難計画の制定が不可欠となる。

自動車避難を利用したシミュレーションの既往研究は、以下のようなものがある。

福田ら<sup>2)</sup>は、アンケート結果を基準に避難車両を地域住民と訪問者に分類し、その発生比率を変化させるシミュレーションを行い、両比率が同程度の場合に避難困難車両が多数発生すること示した。また、自動車避難率を抑制した場合でも、主要区間が通行不可能な場合を仮定すると避難困難車両が多数発生するが、事業所の自動車避難抑制の取り組みや津波避難ビルへの誘導の徹底によって、大幅に避難困難車両を低減できることを明らかにした。竹居ら<sup>3) 4)</sup>は最適津波避難モデルを構築し、自動車利用率と津波遭遇リスクとの関係、および悪影響が卓越しない自動車避難率と津波遭遇率の範囲を明確化できることを示した。さらに、避難場所に近い地域の過剰な自動車利用や徒歩困難者率の増加が津波遭遇リスクの加速度的な増加を招くことを明らかにした。池田ら<sup>5)</sup>は逐次的な経路探索プロセスを組み込んだシミュレーションを行い、渋滞や避難先が満車の場合に目的地を変更するモデルを構築し、山本ら<sup>6)</sup>は池田らの研究に加え、

世帯マイクロデータ推定による世帯情報をもとに、時間帯別のシミュレーションを行っている。

このように、自動車避難における問題点や問題点を回避する方法が抽出されはじめ、新たなシミュレーション手法も提案され始めている。一方で、自動車利用における問題点は地形や地域性、道路網の状況により異なると考えられる。

本研究では、伊勢湾に面し南海トラフ地震での津波被害が想定されている愛知県南知多町山海地区を対象として、地区住民が津波襲来までに全員避難できることを目的とした自動車避難方法について検討する。具体的には、マルチエージェント・シミュレーションにより、徒歩避難による避難完了率の算出を行う。次に自動車利用率と要支援者の介助者同乗を加味した乗り合い人数を変化させたケーススタディを行い、許容自動車利用率および交通渋滞による避難遅延に繋がる課題点を抽出した。

## 2. 研究対象地域

研究対象地域の南知多町山海地区は伊勢湾に面しており、集落の背後には山が近接している。南知多町全体の人口の 34%<sup>7)</sup> が 65 歳以上の高齢者であり、今後も高齢化率の上昇が予想されることから、避難時に支援を要する人の増加が懸念されている。同町の津波避難計画<sup>8)</sup>によると南海トラフ地震における津波到達時間は最短で 32 分と試算されている。

図-1 に当該地域の浸水想定区域と津波一時避難場所の地図を示す。平野部のほとんどが浸水想定域となっている。津波一時避難所はその外側に 6 か所設置されている。海岸線の東西方向に国道 247 号線、地域の東側に県道 470 号がある（赤線）。

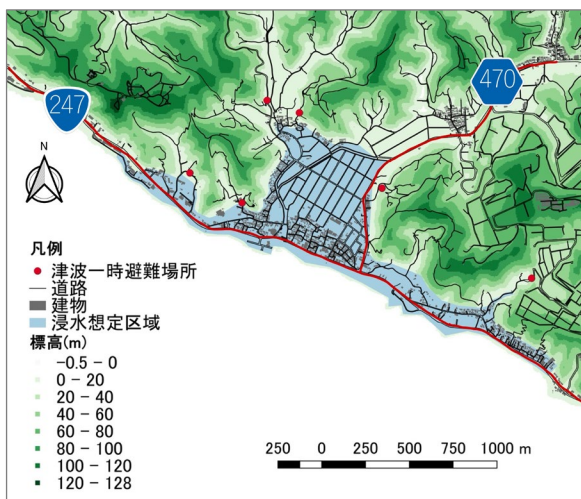


図-1 浸水想定区域と津波一時避難場所位置図  
(ハザードマップ<sup>9)</sup>を基に作成)

## 3. 避難モデル

### (1) 徒歩避難モデル諸元

徒歩避難モデルは、基盤地図情報の道路網を基にノードとリンクを作成しネットワークモデルとし、以下の条件設定とした。避難者は各自治区の指定避難場所（図-1の赤丸）に向かう。避難者の歩行速度は、東日本大震災の調査結果<sup>1)</sup>から 0.62m/s とした。避難者は周辺の道路を熟知しているものとして、ダイクストラ法による最短経路で避難する。避難の際、周囲の避難者との混雑（人の滞留）は考慮していない。シミュレーションにおける発生エージェント数は 170、住宅地の交差点を避難開始点とし、指定避難場所に到着すると避難完了となる。

なお、当該地区の避難訓練時にて計測した住民の行動ログ（GPS データ）と同一経路のシミュレーション結果の比較により、本シミュレーションの適応性を確認している。

### (2) 自動車避難モデル諸元

自動車避難モデルでは渋滞を考慮させるため、徒歩避難モデルのエージェントに次の 3 点を加えた。

- ① 速度にばらつきを与える
- ② 前方車両との間隔が一定の距離以下になるとブレーキを踏む
- ③ 前方車両と十分な車間距離がある場合には制限速度まで加速する

速度にばらつきを与えることにより、遅い車両に速い車両が追いつき、ブレーキを踏むことで後続車両へと連鎖していくことで自然渋滞が発生する。図-2 に自動車避難モデルの行動フローを示す。はじめに、避難目標地点（図-3 参照）までの最短経路をダイクストラ法によって取得する。次に、自車の周囲 150m を検索する。周囲に他車があった場合、自車と同経路を走行している車両であるかで前方車両の有無を判断し、前方車両が存在する場合、車間距離に応じて加減速を行う。さらに交差点の有無を確認し、交差点までの距離が近くなると減速して合流する。合流する道路が優先道路の場合は優先道路を走行している車両が優先となり、自車のスペース（5m）がある場合に合流する。

地震発生時は停電の恐れがあるため、信号機による制御は考慮していない。また、国道 247 号線と県道 470 号線を優先道路として設定し制限速度を 60km/h とし、その他の道路は一般道路とし制限速度を 30km/h とする。

自動車の発生台数は、当該地区の避難対象人口が 835 人<sup>8)</sup>であることから、乗合人数 1 人の時の自動車利用率 100% の場合の台数を 835 台としている。自動車エージェ

ントの発生は、基盤地図情報の建物データを用いて、建物が接している道路上からとした（668 箇所）。自動車利用率 10%から 80%は 668 箇所から間引くことで発生台数の調節を行い、ノードからエージェントを発生させるモデルの仕様上、668 箇所よりも自動車発生台数が上回る自動車利用率 90%と 100%は自動車利用率 10%と同一箇所から 2台・3台と台数を増加させた。

避難場所は、徒歩避難者の避難の妨げにならないよう、自治会ごとに定められた津波一次避難場所ではなく、図-3 に示す県道 470 号線を北東方向に向かった避難目標地点まで走り続けることとした。そのため避難場所の駐車スペースは考慮していない。

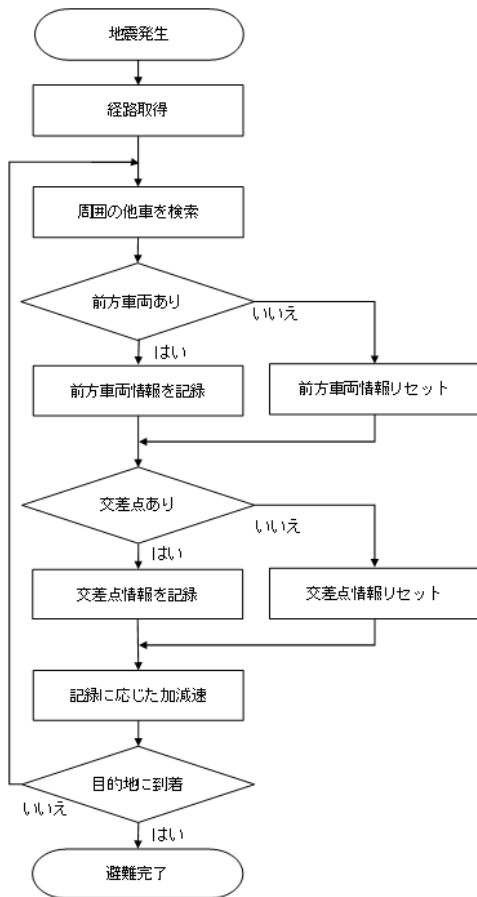


図-2 自動車避難のフロー

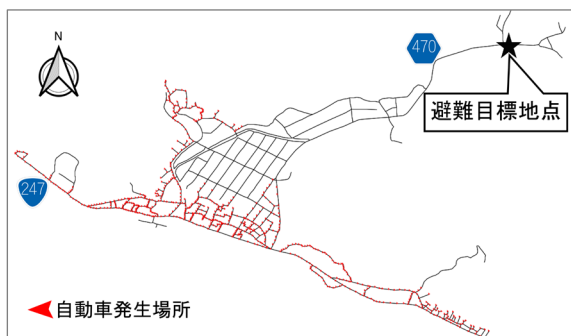


図-3 自動車発生場所と避難目標地点

#### 4. シミュレーション結果

##### (1) 徒歩避難シミュレーション結果

東日本大震災では 50%の人が約 15 分で避難を開始したと報告されている<sup>1)</sup>。一方、現在は当時より津波の危険性が認知されていることや当該地区では毎年津波避難訓練を行っていることを踏まえ、本シミュレーションでは徒歩避難者の避難準備時間を 10 分とした。

解析の結果を図-4 に示す。歩行速度 0.62m/における津波到達時間（32 分）までの徒歩避難完了率は約 80%であった。歩行速度の遅い高齢者や自力歩行が困難な要配慮者を考慮すると、間に合わない避難者はもう少し多いと予想される。この方々が津波到達時間までに避難完了させる方法の一つとして、自動車の利用を考える必要がある。

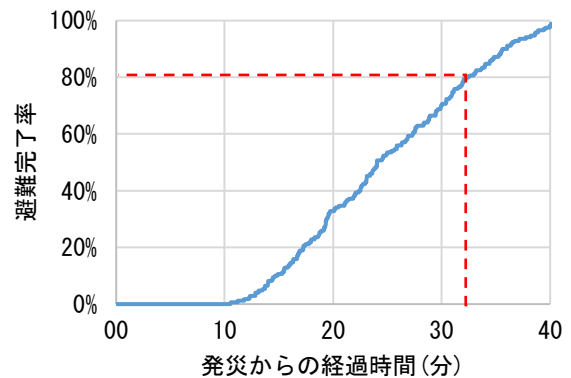


図-4 徒歩避難完了率推移

##### (2) 自動車避難シミュレーション結果

自動車利用避難者の避難開始時間は、東日本大震災の調査結果<sup>1)</sup>で 50%の人が約 25 分であったと報告されている。現在では当時より津波の危険性が認知されていることなどを踏まえ、地震発生から 20 分間を避難準備時間とした。避難完了台数は、浸水想定区域を出た通過車両とした。

はじめに、自動車利用率を 0%から 100%（835 台）まで 10%刻みで増加させた場合の、自動車利用率 100%に対する避難完了率を図-5 の青線に示す。この図から、自動車利用率 20%（167 台）以上になると、避難完了率が 15%（125 台）で変化がないことがわかった。即ち、自動車利用率が 15%を超えると、避難できない車両が増加していくこととなる。図 5 に、自動車利用率に対する避難完了率（オレンジ線）として示す。避難できる自動車台数を超えるた自動車の利用は、避難完了率を急激に減少させることとなる。自動車避難の検討においては、最大利用台を超えた自動車利用を避けなければならない。

今回の検討においては、自動車の避難率を低下させる要因は、山海地区の北東に位置する三差路付近での交通

状況であることがわかった。そこで、この部分について分析した。

図-6 に三差路における渋滞状況を、図-7 に三差路それぞれの道路における交通密度推移を示す。避難開始後数分で三差路それぞれ（優先道路合流前、非優先道路①、非優先道路②）の交通密度がピークに達する。その後、到來台数が相対的に少ない非優先道路②からの流入がなくなり（発災から約 45 分後）、その分、優先道路合流前の交通密度は低下するが、非優先道路②は優先道路合流前に存在する車両を優先するため、交通密度は低下しない。以降、優先道路合流前と非優先道路②のみの合流となるため交通密度は横ばいとなり、発災から約 100 分後すべての自動車が行き止まりとなった。ここで、優先道路合流後の交通密度を示す黄色線に注目すると、三差路の前の道路（優先道路合流前、非優先道路①、非優先道路②）の交通密度に関係なく、おおよそ 10 台/km から 15 台/km で横ばいで推移している。これは、三差路の合流部でボトルネックになっていることを意味している。これらの結果から当該地区では、自動車避難において、三差路における渋滞、およびボトルネックの問題点が浮き彫りとなった。

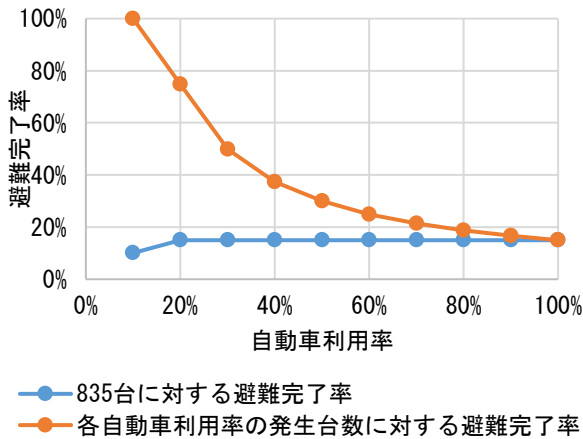


図-5 自動車利用率別避難完了台数(乗合人数 1 人)

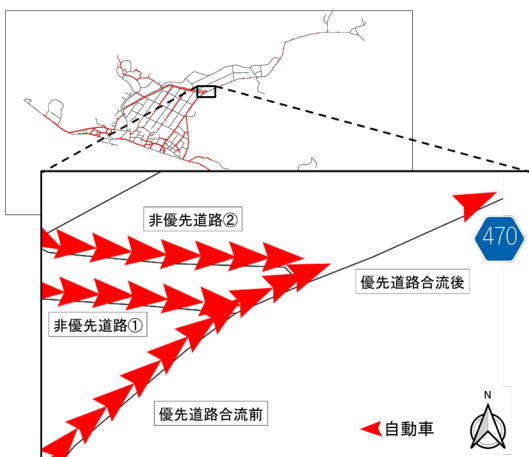


図-6 渋滞の様子

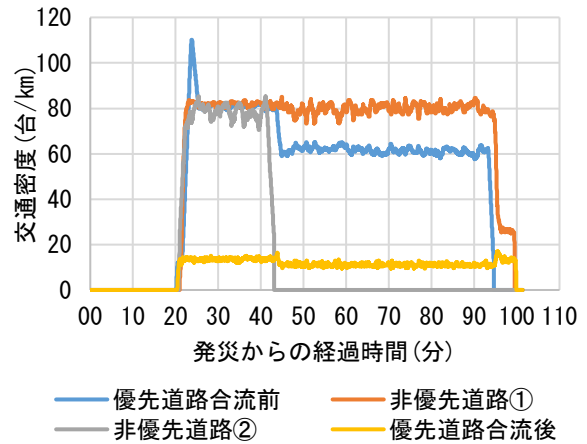


図-7 交通密度推移 (自動車利用率 100%)

### (3) 歩車混合避難完了率

徒歩と自動車それぞれの避難完了率結果から総合的な歩車混合避難完了率を算出する。

各自動車利用率の総合的な避難完了率 E は次式の通り。

$$E = \frac{Pm + Pw}{Pt} \quad (1)$$

ここで、Pt は山海地区避難対象人数、Pm は自動車避難完了人数、Pw は徒歩避難完了人数を表す。

式 1) に従って計算された避難完了率のグラフを図-8 に示す。先にのべたとおり、自動車利用率 0% で、全員が徒歩避難者の場合、徒歩避難者の避難完了率 80% である。逆に、乗合人数 1 人のケースで自動車利用率が 100% の場合、自動車の自動車避難完了率 15% で、避難者も 15% の人しか避難できないこととなる。

図-8 では、自動車の乗合人数を 1 名から 4 名のケースを示している。自動車の乗合人数が増えることで、自動車利用の避難完了率は多くなっている。

乗合人数が 2 人以上かつ自動車利用率 20% のときに避難完了確率が 100% になる。一方で、乗合人数が 1 人の場合は避難完了率が 100% に到達しない。また、乗合人数が 2 人の場合、自動車利用率が 30% を超えると、避難完了率は減少し始める。これは、自動車がボトルネック現象により渋滞を起こしはじめることにより、浸水予想域を時間内に越えられないためである。したがって、避難完了率を 100% にするためには、自動車利用率の制限または渋滞やボトルネック現象の解消、乗合人数の増加を検討する必要がある。

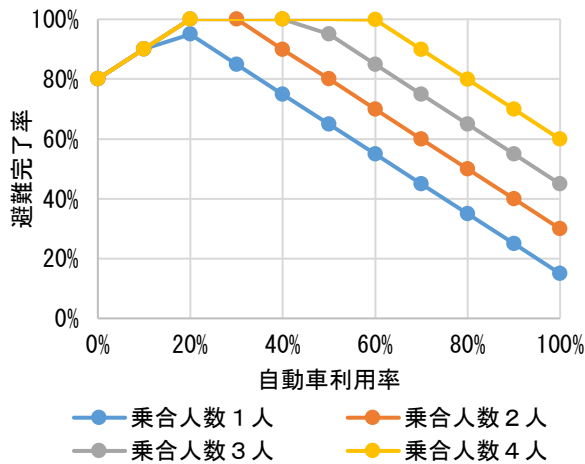


図-8 歩車混合避難完了率

## 5. まとめ

本研究では愛知県南知多町山海地区を対象として、徒歩と自動車のそれぞれのシミュレーション結果から総合的な歩車混合の避難完了率を算出し、次のことを示した。

- ① 当該地区では、津波到達までの徒歩避難の避難完了率が 80%に対して、自動車利用を行うことで総合的な避難完了率が 100%になることを示した。
- ② 自動車避難の障害原因として、三差路の渋滞と避難道路が 1 本道となるボトルネック現象であることを示した。
- ③ 許容される自動車台数以上の避難車両が発生すると避難完了率が低下する。そのため、徒歩で避難できない要支援者など、優先的な乗車が必要不可欠である。

今後、今回の結果を踏まえ、地域での避難計画の検討に着手するとともに、徒歩避難と自動車避難の混合シミュレーションを実施する予定である。

**謝辞：**本研究の解析には、株式会社構造計画研究所のマルチエージェント・シミュレーションのソフトである「artisoc」を使用させていただいた。記して感謝いたします。

## 参考文献

- 1) 国土交通省都市局街路交通施設課：津波避難を想定した避難路、避難施設の配置及び避難誘導について(第3版), pp30-32, 2013.
- 2) 福田崇紀, 奥嶋政嗣：地方都市における津波避難計画策定のための自動車利用避難シミュレーションの適用, 土木学会論文集 D3(土木計画学), vol.71, No.5(土木計画学研究・論文集第 32 巻), I\_53-I\_68, 2015.
- 3) 竹居広樹, 奥村誠：歩車混合を考慮したセルベース最適津波避難モデル, 第 37 回交通工学研究発表会論文集(研究論文), No.38, 239-245, 2017.
- 4) 竹居広樹, 奥村誠：津波避難における自動車利用率設定のための基礎的分析手法, 土木学会論文集 D3(土木計画学), vol.74, No.5(土木計画学研究・論文集第 35 巻), I\_181-I\_189, 2018.
- 5) 池田頌平, 杉本直, 山本若菜, 松尾幸二郎：逐次的な経路探索プログラムを組み込んだ津波避難シミュレーションによる避難所容量の検証, 第 60 回土木計画学研究発表会・講演集, 2019.
- 6) 山本若菜, 杉本直, 松尾幸二郎：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, 第 62 回土木計画学研究発表会・講演集, 2020.
- 7) 南知多町：平成 27 年国勢調査確報集計結果, p5.
- 8) 南知多町：南知多町津波避難計画, p10, p20, 2015.
- 9) 南知多町：津波防災マップ山海地区, 2021.

## TSUNAMI EVACUATION SIMULATION CONSIDERING AUTOMOBILE UTILIZATION IN THE DIFFICULT-TO-EVACUATE AREA ON FOOT

Tsubasa SAWADA, Susumu KURAHASHI and Takashi YOKOTA