

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よる避難所容量の検証

池田 頌平¹・杉木 直²・山本 若菜³・松尾 幸二郎⁴

¹学生会員 豊橋技術科学大学大学院 建築・都市システム学専攻

(〒441-8580愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1) E-mail:s163518@edu.tut.ac.jp

²正会員 豊橋技術科学大学 建築・都市システム学系 (〒441-8580愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1)

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

³学生会員 豊橋技術科学大学大学院 建築・都市システム学専攻

(〒441-8580愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1) E-mail:w151866@edu.tut.ac.jp

³正会員 豊橋技術科学大学 建築・都市システム学系 (〒441-8580愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1)

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

地震発生時の津波避難において、自動車を運転できない高齢者等は、徒歩もしくは家族の車へ同乗する必要がある、避難者の避難速度は所属する世帯構成により異なると考えられる。筆者らはこれまでに、所属世帯や避難時の交通手段による避難速度の相違と交通渋滞を考慮した津波避難シミュレーション手法を構築している。しかし、交通渋滞の迂回や避難所の収容人数及び駐車容量等は考慮されていないという課題があった。そこで本研究では、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の改良を行い、避難状況に与える影響を検討する。具体的には、避難中に経路探索を行うことで渋滞を回避した避難を行い、避難所の収容人数及び併設されている駐車場の容量を考慮し、満員時には再度経路探索を行うといった行動を表現する。

Key Words : *Tsunami evacuation simulation, Household micro-data, Evacuation mode, Avoid Traffic congestion, Shelter's capacity*

1. はじめに

日本は世界的に見ても非常に災害が多い国であり、特に近年は大規模な地震が多発しており、多くの被害が出ている。2011年の東日本大震災においては、津波による大きな被害が発生した。図-1、図-2に示すように死者の9割以上が津波によるものであり、60歳以上の死者割合が人口構成に占める割合の2倍以上を占めている¹⁾。このような被災状況から、従来は自動車による津波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動車を利用した避難が容認された²⁾。しかし、多くの人が自家用車で避難した場合には、市街地では交通容量が少ない道路に避難交通が集中するため、交通渋滞が生じ円滑に避難できない可能性がある。また、高齢者が避難する際、自身による自動車運転が困難な場合は、徒歩もしくは家族の運転する車へ同乗する必要がある、避難行動に制約がある場合、安全な避難の完了が困難となる。そのため、高齢者の避難速度は所属する世

帯の構成によって異なると考えられる。

地震が発生した場合、人々がどの手段で避難を行うか、避難所までの経路を把握しているかによって被害の規模は大きく異なる。津波避難では、津波到達以前に人々が安全な場所に避難することが最低限必要とされるため、人々がどの避難手段を用いてどの避難所に避難するのかを、世帯分布に基づいたシミュレーションにより把握し、事前に課題の把握や対応策の検討を行うことが重要である。

既存研究³⁾では避難所の容量及び避難途中における経路の再探索や地震発生時に既に道路を走っている平常時交通について考慮できていなかった。指定避難所はあくまでも一時的な避難が目的であるため、収容できる人数や自動車の台数に制限がある。また、避難開始時に探索した経路情報で避難所到達まで避難を行っており、経路の再探索をしていなかった為、避難中に渋滞に巻き込まれ経路を変更する避難者などを想定できておらず、シミュレーション内で発生するイベントに対して状況に応じ

た動作を表現することが難しかった。

そこで本研究では、避難車両の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手法を構築することを目的とする。また、避難先である津波避難ビルの避難容量も考慮し、研究対象地域に津波が起きた際の避難先として妥当であるか検討する。

2. 津波避難シミュレーション

(1) 概要

本研究では南海トラフ地震による津波被害が予想されている愛知県豊橋市の浸水域を対象として世帯単位で避難を行う津波避難シミュレーションを実行する。

避難開始時に各出発点から避難所までの時間をコストにしたダイクストラ法を用いて、最寄りの避難所までの経路を取得する。その経路を通り避難を行い、避難所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、交通渋滞を迂回する場合や目的地の避難所に着いたが収容可能容量を越えている場合には再度経路探索を行い、新たな経路情報を取得し別の避難所を目指す。

避難手段として、徒歩と自動車を考慮する。徒歩による避難は取得した最短経路に基づき行う。徒歩による避難速度は東日本大震災の津波被災現況調査結果⁴⁾を参考に高齢者を 15.6m/分、非高齢者を 39.0m/分とする。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である。図-3に示すように前方に自動車があればその場で待機し、無ければ 30km/h で前に進む。徒歩避難と同様、取得した経路に基づいて 1 世帯 1 台で避難を行う。

避難開始時間については、東日本大震災の津波被災現況調査結果⁴⁾を参考にしている。地震の発生と共に全ての避難者が避難を開始するのではなく、避難を開始するまでに必要な準備時間を考慮している。そのため、出発時間は世帯によって異なる。避難開始時間分布を図-4に示す。

(2) 利用データ

出発点データとして南海トラフ地震で津波による被害が想定されている豊橋市浸水域の 100m メッシュの重心座標を利用した。図-5に出発点を示す。終点である避難所には浸水域の東端と道路が交差したポイントに加え、豊橋市が定める津波発生時における一時避難施設⁵⁾である津波避難ビルを利用した。浸水域を出れば津波による被害を受ける地域を抜けることで避難が完了すると考え、浸水域の東端と道路の交点を避難所とした。図-6にシミュレーションに用いる津波避難所を示す。道路ネットワ

ークデータにはZENRIN社のZmap-AREA IIを利用した。

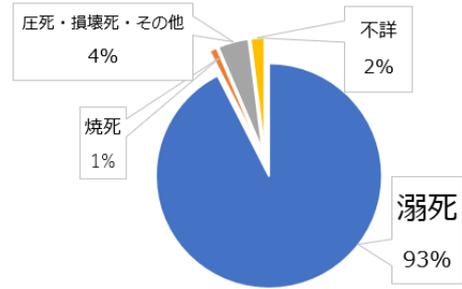


図-1 東日本大震災の死因割合

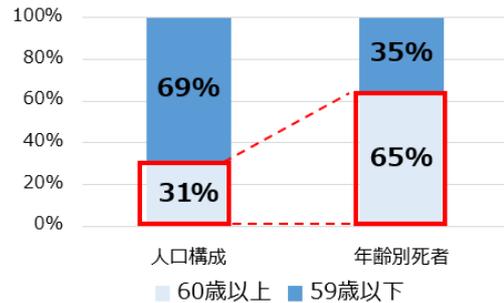


図-2 被災地の人口構成と年齢別死者割合

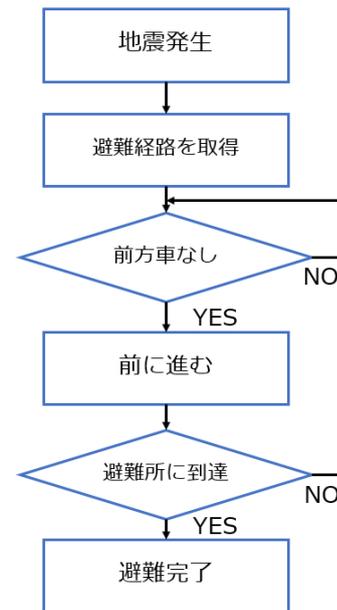


図-3 自動車避難のフローチャート

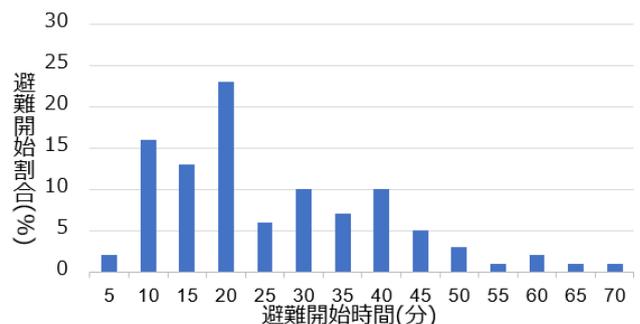


図-4 避難開始時間分布

3. 避難所容量

(1) 収容可能人数

シミュレーションで設定している避難所は、浸水域の東端と道路が交差したポイントと豊橋市が定める避難ビルの2種類に大別できる。このうち避難ビルには豊橋市津波避難行動指針⁶⁾により、収容可能人数が定められている。シミュレーション内で各津波避難ビルに避難者が到達し、避難が完了すると収容人数も増える。収容可能人数を越えた場合、新たな避難者を受け入れられない為、避難者は別の避難所に向かう必要がある。

(2) 自動車の避難可能台数

自動車で避難を行う場合、避難所到着時に収容可能人数に加え自動車の駐車可否によって避難完了を判断する。自動車に乗ったまま避難所に入ることは難しいと判断したため、自動車は避難所に隣接する道路の路肩に駐車可能とした。また、敷地内に駐車場がある場合も駐車可能とした。以上を踏まえた避難所への駐車可能台数 P_A (台)は次式のとおりである。

$$P_A = \frac{\sum_i l_i}{x} + P_g \quad (1)$$

ここで l_i は避難所に隣接する道路 i の延長(m)、 x は自動車一台駐車する為に必要な距離(m)、 P_g は避難所の敷地内に駐車できる台数(台)である。また、避難可能台数のイメージ図を図-7に示す。

4. 動的経路探索手法

(1) 概要

本シミュレーションはマルチエージェントシミュレーションであり、避難者は他の避難者が取る行動によって自身の行動が変化する。特に①避難所の収容可能容量を既に超えているとき、②避難途中に進行予定の経路に過度の渋滞が見られる状況においては、逐次的な経路探索を行いながら避難を行う。

①については避難者が目的地に着いた際、収容可能人数を越えているか判断する。その際、収容人数が収容可能人数を下回っていれば避難が完了する。一方で、収容可能人数を上回っていた場合、避難完了とはならず、その場を出発点とし、再度経路探索を用いることで新たな避難所への経路を取得し、避難行動を再開する。避難が完了するまでこれを繰り返す。②については、実際の避難時には被災状況によって渋滞が発生することが考えられる。避難中、進行予定の経路に深刻な渋滞が発生している場合、逐次的に経路探索を行い、渋滞を回避しながら避難行動を行う。全ての避難者が渋滞回避行動をとる

わけではなく一部のみが渋滞を回避する行動を行う。

(2) 平常時交通

シミュレーション実行時には避難交通だけでなく、元々道路を走っていた平常時交通も考慮する必要がある。

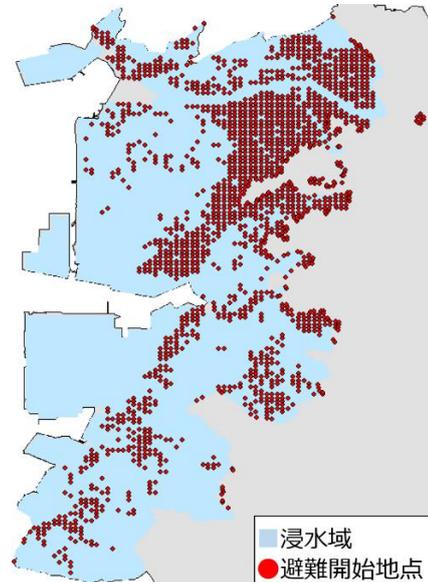


図-5 避難開始地点

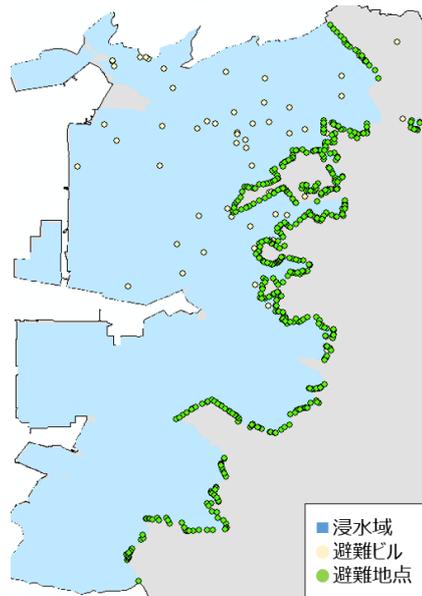


図-6 避難所一覧

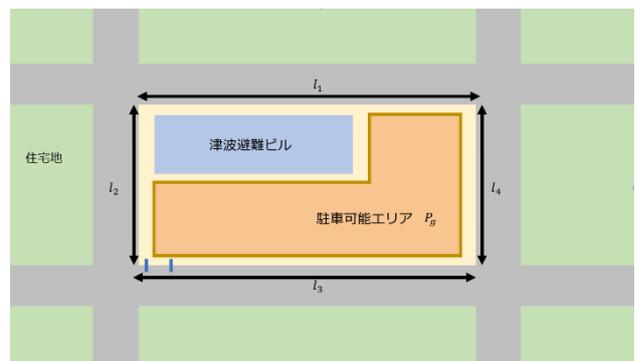


図-7 避難可能台数

そこで、道路・街路交通情勢調査（道路交通センサス）の結果から各道路リンクの交通量を設定し、道路上に平常時交通として配置する。具体的にはシミュレーション内の想定時刻と同時間帯の対象地域内各道路の時間帯別自動車交通量を求め、シミュレーション内の地震発生時に道路上に配置することでより現実に近い状況を表示する。

5. ケーススタディ

豊橋市南海トラフ地震被害予測調査⁶⁾、ちずみる豊橋⁷⁾を参考に国勢調査データから抽出した豊橋市の浸水域のうち、人口秘匿地域ではないゾーンを分析対象地域とする。また、豊橋市の太平洋側は津波の到達が予想されているが海拔が沿岸部から内陸部に向けて急激に上昇するため、津波が住民に与える影響は少ないと判断し、対象地域から除外した。

また、世帯単位での避難を行う為、対象地域の所属世帯の情報を含むデータが必要である。そこで杉木ら⁸⁾による手法により世帯マイクロデータを推定した。世帯マイクロデータ推定の結果を元に 65 歳以上を高齢者と定義し、世帯タイプを(1)高齢者のみ世帯、(2)非高齢者のみ世帯、(3)高齢者と非高齢者からなる世帯の 3 つに分類した。

避難完了の判定方法については、豊橋市南海トラフ地震被害予測調査より、地震発生後最短 77 分で三河湾側に津波が到達する予測が公開されている。そのため避難完了の可否判定は避難完了時間が津波到達時間よりも早いかどうかで判別する。

シミュレーションケースとして、①避難所の容量を考慮しない場合及び容量を増やした場合②避難所容量を越える場合の 2 つのケースを考慮する。避難所の容量が豊橋市における避難に与える影響の大きさや要因を特定する。ケース②の避難完了までの避難者の行動フローチャートを図-8 に示す。

6. おわりに

本研究では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手法を構築した。その結果、論文発表時にはケース分けしたシミュレーション結果も含めて提示する予定である。今後は地震および津波の発生時刻によって異なる人口分布や建物倒壊による道路閉塞などの考慮を行うことでシミュレーションの改良を行っていく予定である。

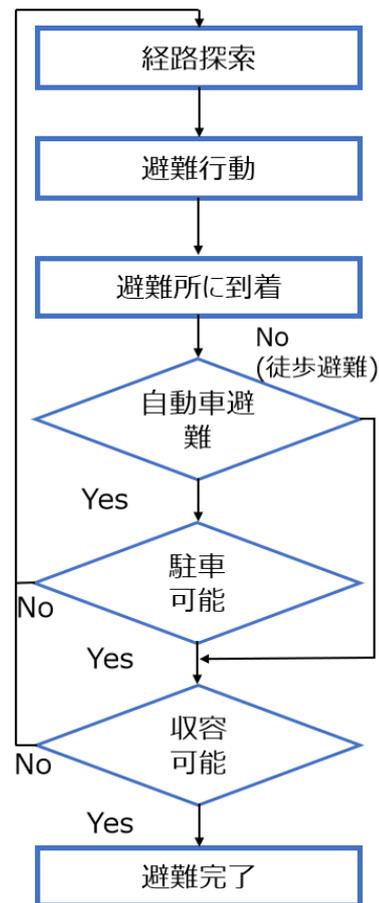


図-8 ケース②のフローチャート

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) 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>.
- 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) .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/report/press/toshi09_hh_000004.html
- 5) 津波発生時における一時避難施設（津波避難ビル等）
<http://www.city.toyohashi.lg.jp/7001.htm>
- 6) 豊橋市津波避難行動指針
<http://www.city.toyohashi.lg.jp/31505.htm>
- 7) 豊橋市：豊橋市南海トラフ地震被害予測調査，<http://www.city.toyohashi.lg.jp/16584.htm>.
- 8) 豊橋市：ちずみる豊橋 防災・災害情報／避難施設一覧（津波避難ビル等），<http://www2.wagmap.jp/toyohashi/ThemeSearch?mid=13&mcl=21,5,50,500;21,6,60,600>
- 9) 杉木直，村中智哉，宮本和明：実都市を対象とした初期マイクロデータの推定手法の適用と検証，第 45 回土木計画学研究会発表会・講演集，CD-ROM，2013.

(2019. 10. 4 受付)

VERIFICATION OF SHELTER CAPACITY BY TSUNAMI EVACUATION
SIMULATION WITH INCORPORATION OF SUCCESSIVE ROUTE SEARCH
PROCESS

Shohei IKEDA, Nao SUGIKI, Wakana YAMAMOTO and Kojiro MATSUO