

# 津波避難訓練用シミュレータシステムの地域防災への試用と評価 —「西尾市防災カレッジ」の体験を例として—

Trial and Evaluation of a Tsunami Evacuation Training Simulator System  
for Community Disaster Prevention: An Example of the  
“Nisio City Disaster Prevention College” Experience

荒川 俊也<sup>1</sup>, 尾林 史章<sup>2</sup>, 小林 一信<sup>3</sup>, 板宮 朋基<sup>4</sup>  
山邊 茂之<sup>5</sup>, 宇野 新太郎<sup>3</sup>, 鈴木 高宏<sup>5</sup>

Toshiya ARAKAWA<sup>1</sup>, Fumiaki OBAYASHI<sup>2</sup>, Kazunobu KOBAYASHI<sup>3</sup>,  
Tomoki ITAMIYA<sup>4</sup>, Shigeyuki YAMABE<sup>5</sup>, Shintaro UNO<sup>3</sup> and Takahiro SUZUKI<sup>5</sup>

<sup>1</sup> 日本工業大学 先進工学部 情報メディア工学科

Department of Information Technology and Media Design, Nippon Institute of Technology

<sup>2</sup> 愛知工科大学 次世代自動車システム研究所

Next Generation Vehicle System Research Center, Aichi University of Technology

<sup>3</sup> 愛知工科大学 工学部 情報メディア学科

Department of Media Informatics, Aichi University of Technology

<sup>4</sup> 神奈川歯科大学 歯学部 総合歯学教育学講座

Division of Dental Education, School of Dentistry, Kanagawa Dental University

<sup>5</sup> 東北大学 未来科学技術共同研究センター

New Industry Creation Hatchery Center, Tohoku University

Disasters such as the Great East Japan Earthquake have highlighted the importance of tsunami evacuation awareness training that simulates mixed car and on-foot evacuations. A tsunami evacuation simulation was developed for car and on-foot evacuations that was then demonstrated at the “Nishio City Disaster Prevention College” event. The results of the questionnaire revealed that the simulation system was useful in teaching how to calmly deal with the evacuations; however, several issues need to be addressed, such as improving the controller and control system and reducing feelings of VR sickness. It was also suggested that repeated experiences were more effective in gaining a full understanding of the evacuation routes.

**Keywords:** tsunami evacuation, mixed evacuation, car and on-foot evacuation, tsunami evacuation simulation system

## 1. はじめに

本論では、地域防災における教育手法の一つとして開発した「津波避難訓練用シミュレータシステム」を、2021年6月26日に実施された「西尾市防災カレッジ」で試用した事例を述べる。また、西尾市防災カレッジにおいて、シミュレータシステムを体験した地域住民のアンケート結果を解析し、地域防災におけるシミュレータシステムの有用性と受容性について考察した結果についても述べる。

2011年3月11日に発生した東日本大震災以降、災害を教訓とした防災力強化の取り組みが進んでいる。その一つとして地域防災の強化が挙げられる。東日本大震災では、戦後日本の防災対策パラダイムの特徴の中で、「行政中心の防災対策」と「中央集権的な防災対策」の見直しが必要であることが判明した。そして、行政を中心として、

中央から警報を発令して住民に伝達するトップダウン方式の避難行動ではなく、学校やコミュニティという、集団の力を活かした避難行動が有効であるという示唆がある<sup>1)</sup>。

地域防災の取り組みも様々であり、特に近年は、スマートフォンのアプリケーションなどの情報技術を活用した事例が増えている。例えばスマートフォン用ヘッドマウントディスプレイを用いて高潮想定没入を、小中学校の避難訓練における体験を通じ「自分のこととして」実感させる取り組み<sup>2)</sup>や、ネットワークが利用不可能な状態や災害発生前からの利用を目的とした、Android端末を用いた常時利用型災害時避難支援システムを開発し、和歌山市内の地域住民を対象とした事例<sup>3)</sup>がある。

一方で、これまでの研究開発事例は、徒歩避難のみを想定しているものが専らである。実際の避難状況では、自動車と徒歩が混在した状況であるため、現実に対応した

研究開発を行う上では、自動車避難と徒歩避難の混在を考慮する必要がある。加えて、徒歩避難を想定・模擬した訓練だけではなく、自動車避難も想定・模擬する必要がある。自動車避難と徒歩避難が混在した避難訓練の事例は、例えば、福島県いわき市薄磯区の事例<sup>4)</sup>や、いわき市（勿来地区）総合防災訓練において自動車避難訓練を行った事例<sup>5)</sup>などが存在する。しかし、自動車避難と徒歩避難が混在する状況を経験できる避難訓練の実施は大規模であり、容易に実施できるものではない。そのため、情報技術を活用し、自動車避難と徒歩避難の混在状況を経験できるシステムの開発は、今後の地域防災のあり方を検討する上で、重要かつ必須であると考え。また、筆頭筆者が2020年度まで所属していた大学が存在する地域は三河湾沿岸に面しており、今後、南海トラフ巨大地震の甚大な被害が危惧されている。特に、愛知県西尾市は、過去地震最大モデルによる想定に基づけば、最大震度7において、最大津波高5.1 [m]、浸水深1 [cm]以上となる面積は5,155 [ha]と、愛知県内で名古屋市に次ぐ被害が想定される<sup>6)</sup>。

これらを踏まえて、我々は、有事の際に備えた地域住民の防災・減災の意識向上を目的として、ドライビングシミュレータを用いた自動車避難と、VR (Virtual Reality) デバイスを活用した徒歩避難を簡便に体験できるシミュレータシステムを開発し<sup>7)</sup>、愛知県西尾市と連携して運用を進めている。本来のシミュレータシステム開発の目的としては、東日本大震災で被害を受け、津波避難経験のある、宮城県石巻市の住民がシミュレータを体験し、避難時の視線挙動など得られたデータを活用した防災・減災に資する教材開発にある<sup>7)</sup>。しかし、地域住民がイベントなどでシミュレータシステムを用いて津波避難を擬似的に体験するだけでも、津波避難に対する意識向上や、自動車避難と徒歩避難のどちらかに拘ることなく、徒歩避難の原則を踏まえた上で、状況に応じた避難手法の峻別に資することが可能と考えられる。

しかし、シミュレータを避難訓練に活用した事例は少なく<sup>2, 8, 9)</sup>、地域住民がシミュレータを体験し、防災・減災意識の向上や変容について調査した事例は、筆者らが調べた限り、皆無である。また、シミュレータ自体経験したことのある地域住民は少なく、ドライビングシミュレータが実車と異なることや、VR酔いと呼ばれる現象が生じる可能性から、住民がシミュレータシステムを用いることに対して違和感を覚えたり不安を感じ、避難訓練への活用が受容されないことが懸念される。ドライビングシミュレータは、ドライバの運転感覚をある程度再現できるに留めたものであり、運転操作感覚、車両挙動感覚、周辺環境情報感覚等が再現に寄与するとされる<sup>10)</sup>。このことから、再現性が乏しい場合、リアリティに欠けた体験になり、シミュレータシステムを避難訓練に供す意義に疑問が生じる。従って、開発したシミュレータの運転・操作感覚や周辺環境の再現性に関して評価し、問題点を洗い出すことでシミュレータシステムの改善に繋げることは、地域住民が避難訓練にシミュレータシステムを用いることの受容性向上にも繋げると考えられる。

本論では、開発したシミュレータシステムを、2021年6月28日に実施された西尾市防災カレッジ<sup>11)</sup>における、筆頭筆者の講演「津波避難のあり方について考える」内でデモとして体験できる場を設け、地域住民が体験した結果について述べる。また、体験前後のアンケートを分析し、シミュレータシステムを経験することによる危機意識の変化、および、シミュレータシステムの評価と改善点を抽出することで受容性の向上に繋げる知見を獲得す

る。評価の手法として、運転行動の解析や、体験した地域住民の生体情報を解析するなどが考えられる。しかし、体験した地域住民の年齢層や、西尾市防災カレッジ内での実施に伴う時間制約に対する配慮、更に、方法の簡便性など、総合的に判断して、本論では、体験した地域住民に実施したアンケート結果を分析する手法とした。

アンケート結果の分析から、シミュレータシステムが津波避難訓練の一手法として有用である示唆が得られ、その一方で、シミュレータシステム固有の問題点と改善に関する示唆も得られた。このことより、本論は、シミュレータシステムの今後の地域防災への展開にもたらす知見として貢献するものと考え。

本論の構成は次の通りである。第2章では開発したシミュレータシステムについて概要を述べる。第3章では西尾市防災カレッジの実施概要について述べる。第4章ではアンケートの内容と回答結果について述べる。第5章ではアンケートの回答について分析した結果を述べる。第6章はまとめである。

## 2. シミュレータシステムについて

構築したシステムの概略を図1に示す。システムは、自動車・徒歩避難ともに再現可能であり、自動車避難と徒歩避難のシナリオはともに1台のドライビングシミュレータSirius（三咲デザイン合同会社製）で動作する。交通環境は、オープンソースのマルチエージェント交通流シミュレーション・プログラムRe:sim（三咲デザイン合同会社製）を用いて再現、車両制御を行っている。シミュレータを動作させているPCは表1のような構成である。

自動車避難の場合は、PCに接続されたステアリングコントローラを操作し、PCに接続されたディスプレイ上の画面を見ながら運転をする。一方で、徒歩避難の場合は、ヘッドマウントディスプレイ（HMD: Head Mounted Display, Vive Pro Eye, HTC株式会社製）を装着し、付属のコントローラのボタンを押し込むことで、その時に頭部が向いている方向に歩くようにしている。

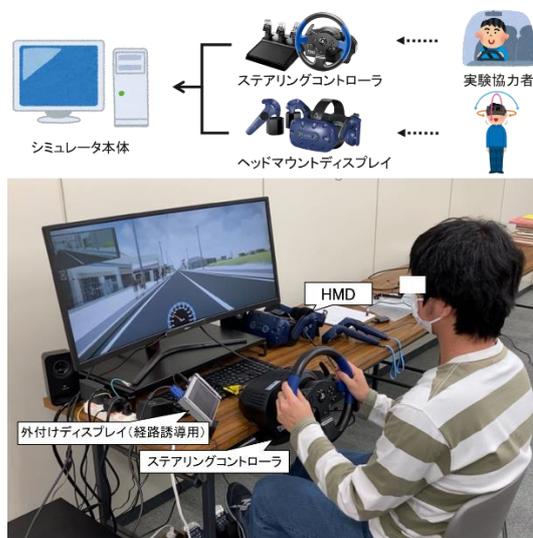


図1 シミュレータシステムの概略

表1 シミュレータシステムに使用する PC のスペック

CPU	Intel Core™i9-9900K
GPU	NVIDIA® GeForce RTX™ 2080 SUPER
Memory	16GB DDR4 SDRAM(PC4-21300, 8GB×2)

開発したシミュレータシステムの様子を図2に示す。なお、図2(a)は自動車避難の様子を、また、図2(b)は徒歩避難の様子を示している。

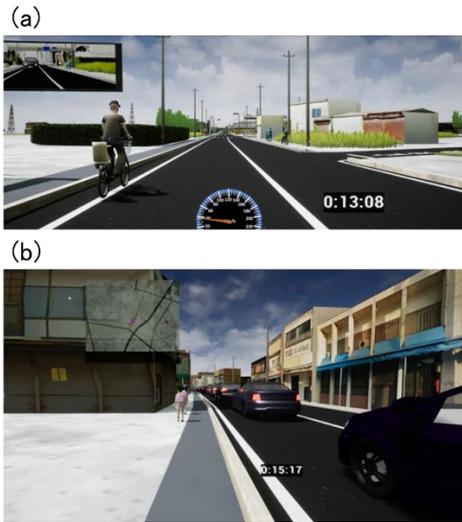


図2 シミュレータシステムの動作画面。  
(a): 自動車避難, (b): 徒歩避難

シミュレータシステムは、自動車避難・徒歩避難共に共通したマップを搭載しており、このマップ上を走行・歩行できるようにしている。マップは、愛知県立一色高等学校を中心とした、3 [km]×3 [km]のエリアを対象として、実際の環境をほぼ模擬した形で、Unreal Engine 4を用いて作成した。マップ内の信号は、地震発生後を想定し、終始滅灯もしくは1 [sec]周期で点灯・滅灯を繰り返すように設定できる。このマップを用いて避難訓練を行う際に、予め、避難経路を5パターン用意している。南海トラフ巨大地震が発生した場合、三河湾（西尾市から見て南方）から北の方向に浸水することが想定されている。このことを踏まえ、「南から北に逃げる」ことを前提として、図3の(a)から(e)内、青色の実線で示す避難経路を設定した。これらは西尾市が設定している、津波浸水想定区域外までの避難経路である。なお、図3の(a)から(e)は、西尾市が設定している避難経路のうち、マップ内に存在する、(a):「治明南部」および「養ヶ島」、(b):「一色三区(排水路西)」および「一式四区(排水路西)」、(c):「一色一区(排水路西)」、(d):「味浜二区」、(e):「細川」地区(町内会)の避難経路である。実際の避難経路と同様、それぞれの地区(町内会)のうち、津波浸水想定区域の外から最も遠い居住地を始点(図3中Sの箇所)とした。終点は図3中Gの箇所で示している。実際の避難経路における終点が、本論で構築したエリア外にある場合は、実際の避難経路と、作成マップの外周との交点を終点とした。全ての避難ルートは、市道から県道・国道に抜け、県道・国道に沿って避難し、西尾市が、それぞれの地区(町内会)毎に指定している避難所に向かうように設定している。この避難経路は、今後のシミュレータシステムの活用を見据えてプリセットしているものの、本論で述べる西尾市防災カレッジでは、第3章で述べるように自由走行としたために用いていない。

また、本システムでは、自動車・歩行者混在状況を想定していることを大きな訴求点としているため、マップ内にも、自動車と歩行者を出現させることで、実際の避難を模してリアリティを向上させている。自動車については、車両の起終点(OD: Origin/Destination)を、交通センサスを元に設定しており、避難行動を考えて車両のODを

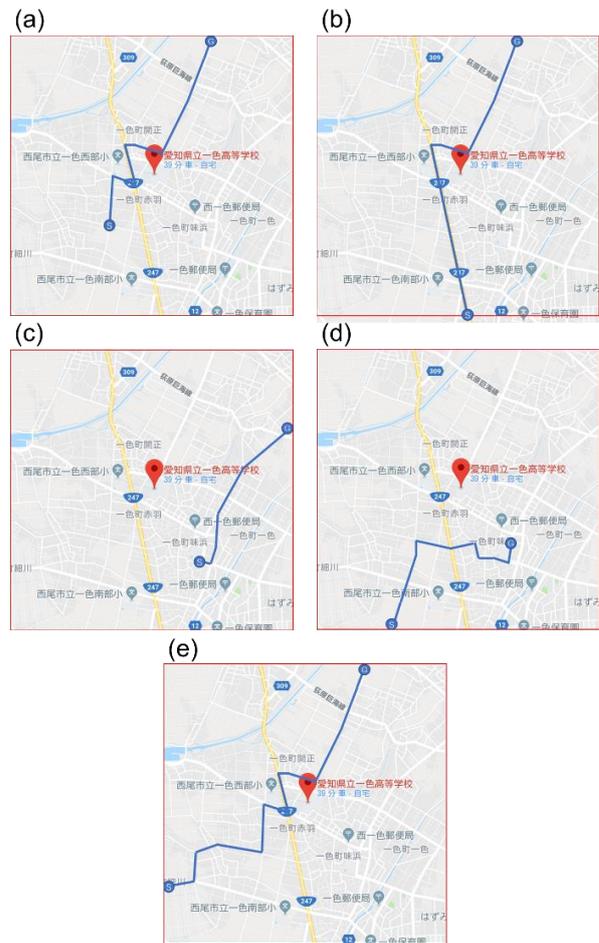


図3 避難経路 (Map data ©2021 Google)<sup>12)</sup>

変更している、また、西尾市避難計画に準じて歩行者（子供・若者男性・若者女性・子連れの男性・高齢者・ペットを連れた女性・車椅子の高齢者）の速度をシミュレートしている。歩行者は歩行者モデル毎に設定している出現頻度に応じてマップ内南側の特定の場所より出現させ、予め作成した経路データに沿って南から北に歩行させるようにしている。自動車の渋滞発生時はデッドロックはせず、わずかに渋滞車両が進むようにしている。なお、本システムでは、自動車避難時および徒歩避難時に、他車両および他歩行者と衝突した際の当たり判定は設けていない。また、自動車避難時および徒歩避難時いずれの場合も、避難経路を逸れて走行・歩行したとしても、避難経路を逸れたことを促す類の信号や警報は提示されない。但し、ナビゲーション用途として外付けディスプレイを接続する(図1)ことで、経路誘導することができるようにしている。本論で述べる西尾市防災カレッジでは外付けディスプレイを接続しておらず、経路誘導をしていない。加えて、自動車避難時と徒歩避難時ともに、避難時に津波到着までの予想時間を表示することができ、愛知県西尾市がホームページで公開している大津波警報の音声ファイル<sup>13)</sup>をバックグラウンドでループ再生することができる。なお、シミュレータシステムの詳細は、参考文献<sup>7)</sup>を参照されたい。

### 3. 西尾市防災カレッジの実施概要について

本論で述べる西尾市防災カレッジは、地域の防災活動に理解と意欲のある住民を対象に幅広い知識を獲得する

ことが趣旨であり、災害時のみならず平常時においても実践的かつ戦略的に防災活動を推進する「防災リーダー」の養成を目的としている。また、防災カレッジ参加者同士の情報交換、協力・連携関係の構築を図ることによって、災害に強い「まちづくり」の実現を目標としている<sup>8)</sup>。本来は、2021年6月5日、6月6日、6月26日の3回開催される予定であったが、新型コロナウイルスに伴う愛知県の緊急事態宣言延長を受けて、6月5日、6月6日の防災カレッジは中止となり、6月26日のみの実施となった。2021年度の防災カレッジのカリキュラムは表2の通りであった。本論では、2021年6月26日実施の「津波避難のあり方について考える」におけるシミュレータシステムの体験について述べる。

表2 2021年度西尾市防災カレッジのカリキュラム

開催日	講座名
2021年6月5日	家具等転倒防止方策といざというときの救出方法
	防災気象情報と津波・洪水ハザードマップについて
2021年6月6日	住宅耐震改修の必要性
	災害時の口腔ケアと感染症対策
2021年6月26日	サイコロジカル・ファーストエイド(災害時の心のケア) (web講座)
	津波避難のあり方について考える

2021年6月26日に実施した西尾市防災カレッジは、表3に示す流れで行った。最初の40分は座学として、現状の津波避難教育の問題点を述べると共に、シミュレータシステムを活用した教材開発の狙いについて説明した。内容は第1章で述べたものが主である。

本論の対象となる講座「津波避難のあり方について考える」の参加者は36名(男性32名、女性4名)であった。36名の年齢の内訳は表4の通りである。

表3 「防災カレッジ」の流れ

時間	内容
13:00-13:40	座学
13:40-14:20	シミュレータシステム体験
14:20-14:30	総括、質疑応答

表4 参加者の年齢の内訳

年代	人数
30代	2名
40代	5名
50代	10名
60代	13名
70代以上	6名

シミュレータシステム体験に際しては、HMD装着時間や、新型コロナウイルス感染防止対策とした体験後の除菌などの時間を含めて、1人およそ4分の持ち時間とし、約2、3分で、自動車避難と徒歩避難を交代して体験する形式とした。自動車避難と徒歩避難を体験する順番は、体験者毎に異なっている。第2章では、開発したシミュレータシステムは、PC1台で動作し、自動車避難と徒歩避難がともに1台のシミュレータシステムで動作すると述べた。しかし、西尾市防災カレッジでは、なるべく多くの参加者が体験できるようにするため、PC2台体制とし、1台は自動車避難用、1台は徒歩避難用とした。表3より、シミュレータシステム体験に充てられている時間は約40分であ

ることと、西尾市防災カレッジ主催者である西尾市担当者との協議により、参加者の中から抽選でシミュレータシステムを体験する形式とした。実際に体験に所要した時間などを踏まえ、最終的には、12名が体験した。なお、抽選に漏れた参加者については、シミュレータシステム体験時間内で、シミュレータシステムを見学するなど参加者各自で対応した。また、体験者は、体験前後に、シミュレータシステムに関するアンケート(第4章で述べる)に回答した。アンケート回答に際しては、シミュレータシステムの体験およびアンケートの利用に関する同意書に基づき同意を得た上で実施した。アンケートの利用について同意を得た体験者は、12名のうち11名であった。従って、本論においても、11名のデータを解析した。11名のうち、西尾市在住は10名であり、残り1名は西尾市外在住であった。解析対象となる11名の属性を表5に示す。

表5 解析対象者の属性

性別	男性	女性
人数[人]	9	2
最高年齢[歳]	77	58
最低年齢[歳]	32	45
平均年齢[歳]	60.1	51.5
標準偏差[歳]	13.5	6.5

12名の体験者全員に対し、図3内(b)の避難経路内⑤の箇所(北向き)を出発点として提示したのみで、マップ内を自由に走行した。本論では、体験時間の制約があることと、シミュレータシステムを用いることによる危機意識の向上およびシミュレータシステムの評価と問題点抽出を目的としていることから、避難経路に沿って走るのではなく、マップ内を自由に走行することとした。図3(a)から(e)の中で、(b)の避難経路内⑤の箇所は、歩行者や自動車、建物などが多く、津波から避難するように国道247号線を南から北に走行することでシミュレータシステムの雰囲気を感じることが出来る程度の適切な量が配置されていると考え、この箇所を出発点に設定した。

本体験に際しては、愛知工科大学ヒトを対象とする研究審査の承認(01-1号)を得た。また、新型コロナウイルスによる感染リスクを抑えるために、体験後の実験装置の除菌などを徹底した上で実施した。体験時の様子を図4に示す。



図4 西尾市防災カレッジでのシミュレータシステム体験の様子

#### 4. アンケートの内容と回答について

11名に対して実施したアンケートの内容とその結果を図5と図6に示す。図5はシミュレータシステム体験前のアンケート結果、図6はシミュレータシステム体験後のアン

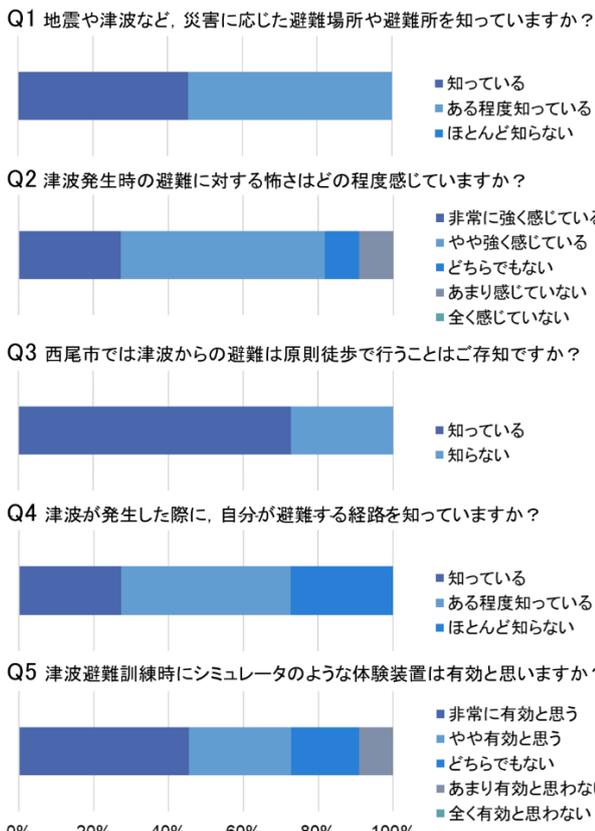


図5 体験前のアンケート結果

アンケート結果である。シミュレータシステム体験前のアンケートQ1, Q3, Q4およびシミュレータシステム体験後のアンケートQ3, Q5, Q6, Q9, Q12以外はリッカートの3件法もしくは5件法を用いている。なお、シミュレータシステム体験前のアンケートQ1とQ4については、回答者が、防災カレッジに参加している住民であることから、多少なりとも防災に対する意識や関心を持っており、自分の避難経路、避難場所や避難所を極わずかであっても把握していることを前提とし、「全く知らない」を含まない、「知っている—ある程度知っている—ほとんど知らない」の3択としている。

(1) シミュレータシステム体験前のアンケート結果

図5を参照する。シミュレータシステム体験前のアンケート結果について、避難場所や避難所(Q1)は、11名全員が把握しており、把握していない体験者は皆無であった。津波発生時の避難(Q2)に対しては、8割程度が怖さを感じている。津波からの避難について原則徒歩であることについて(Q3)は、7割程度が理解しているが、一方で、3割程度は、徒歩原則を把握していないことがわかる。津波発生時の避難経路について(Q4)は、7割程度のは知っているが、3割程度はほとんど知らないという結果であった。最後に、シミュレータの有効性について(Q5)は、7割程度は有効であると回答したが、「どちらでもない」「あまり有効でない」と感じた体験者が3割程度いる様子であった。

(2) シミュレータシステム体験後のアンケート結果

図6を参照する。津波発生時の避難について(Q1)は、6割程度の体験者が怖さを感じている。先述した、シミュレータシステム体験前の同じ質問(図5内Q2に該当)との比較については、次章で考察する。体験時間について

(Q2)は、ほぼ全員が短く考えていたようである。シミュレータの経験について(Q3)、全員がシミュレータ未経験であった。そのこともあつてか、シミュレータのリアルさについて(Q4)は、ほぼ全員がリアルと感じていたようである。

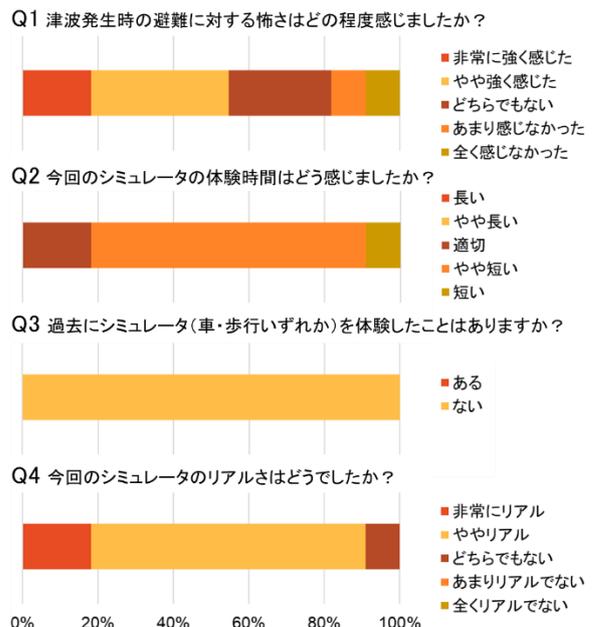


図6 体験後のアンケート結果

Q6 Q4について、どの辺りはリアルでないと感じましたか？

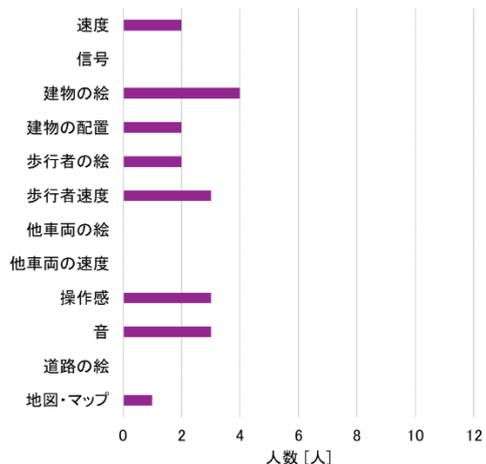


図6 体験後のアンケート結果

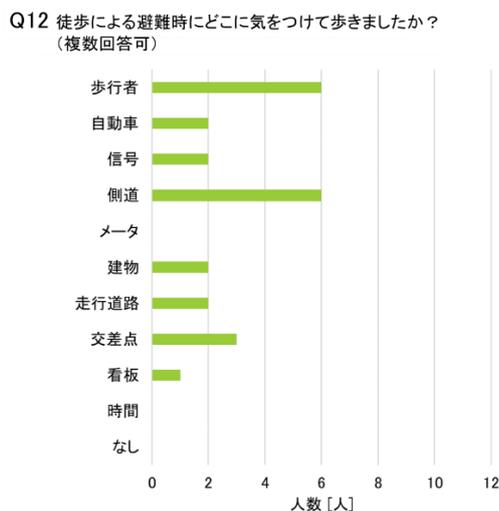
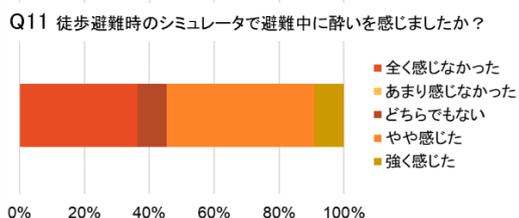
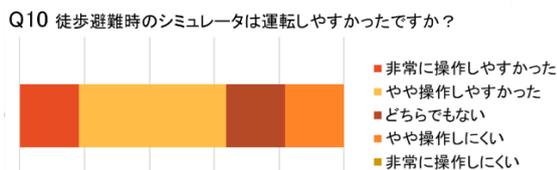
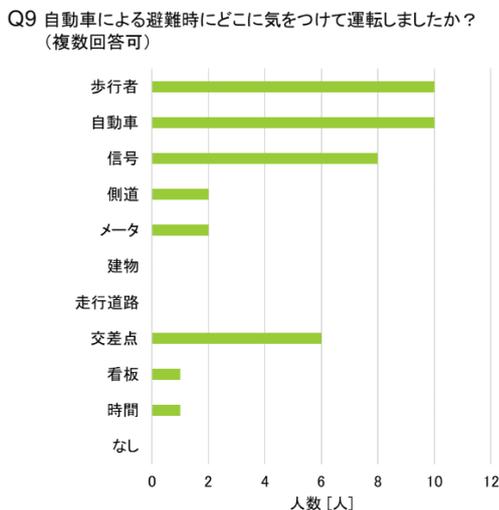
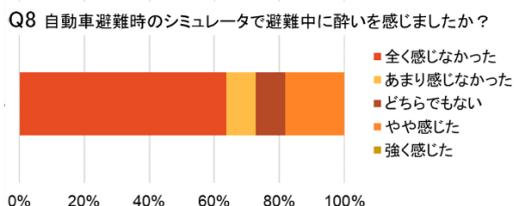
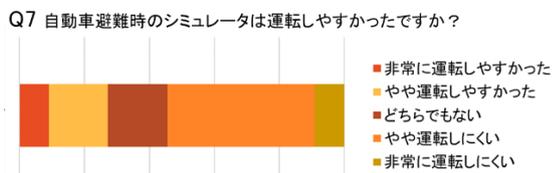


図6 体験後のアンケート結果 (続き)

シミュレータの操作性について、自動車避難時の運転のしやすさについて(Q7)は、運転しやすかったと回答した体験者は半数以下で、過半数は、運転しにくいと感じていたようである。一方で、徒歩避難時の操作のしやすさについて(Q10)は、操作しやすかったと回答した体験者は6割程度であった。

自動車避難時の酔いについて(Q8)は7割程度があまり感じなかったか全く感じなかったと回答したが、徒歩避難の酔いについて(Q11)は全く感じなかった体験者は4割程度のみであり、半分以上が酔いを感じたと回答していた。

## 5. アンケートの回答に関する考察

アンケートの回答から、シミュレータシステムの体験による危機意識の変化について考察する。シミュレータシステムの表示や操作性に違和感があると、津波避難訓練においてシミュレータシステムを活用することに対する受容性が低下することが懸念される。その一方で、シミュレータシステムそれ自体の評価を通じ、問題点や改善点を洗い出すことにより、津波避難訓練に向けたシミュレータ活用のあるべき姿としての示唆が得られると考えられる。そのため、本章では、体験前と体験後のアンケート結果を比較することによる「シミュレータシステムの体験による危機意識変化」と、「シミュレータシステムの評価・改善点」に分けて考察する。なお、図6内、Q9とQ12については、第1章で述べた「避難時の視線挙動など得られたデータを活用した防災・減災に資する教材開発」のための参考調査であり、本論の目的から外れるため、考察より除外する。

### (1) シミュレータシステムの体験による危機意識変化について

まず、体験前のアンケート結果(図5)より、体験者の殆ど(10名)が西尾市民であったにもかかわらず、3割程度は避難経路を知らないと回答した体験者がいることがわかる。シミュレータによる反復経験を通じ、自分の居住地区に設定された避難経路を把握・理解することが可能になるものと思われる。但し、今回の体験では、各体験者1回だけの体験であり、時間も短かったため、反復経験による避難経路の把握・理解の実証には至っていない。今後避難経路の把握・理解の可能性について評価・検証の必要がある。

次に、シミュレータシステムの体験によって、津波発生時の避難に対する怖さがどのように変化したかを考察する。シミュレータシステム体験前の質問Q2と、体験後の質問Q1を比較する。ここで、それぞれの質問について、「非常に強く感じている(感じた)」を5点、「どちらでもない」を3点、「全く感じていない(感じなかった)」を1点とした。シミュレータ体験前の質問Q2と、シミュレータシステム体験後の質問Q1に関する箱ひげ図を図7に示す。この結果についてWilcoxonの符号順位和検定を実施したところ、5%有意( $p=0.0313$ )で、シミュレータシステム体験前の方が、シミュレータシステム体験後に比べて、津波発生時の避難に対して怖いと感じていることがわかった。このことから、シミュレータシステムを体験することによって、津波避難という、今回の参加者にとって未経験・未知の事柄が、どのような雰囲気であるかを体験・理解・把握できるため、恐怖が緩和されるものと推察され、冷静な対応や行動に繋がれることが期

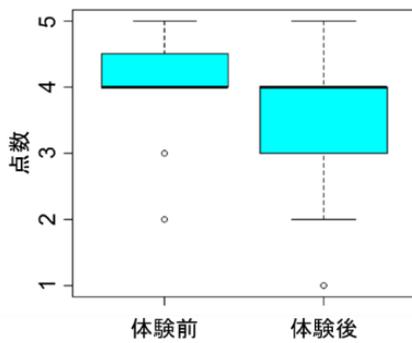


図7 シミュレータ体験前と体験後の津波発生時の避難に対する怖さ

待される。

## (2) シミュレータシステムの評価・改善点について

シミュレータシステムの評価については、操作性と臨場感の影響が大きいと考え、これらについて考察する。

### a) 操作性について

自動車避難時は、実際の自動車と同様に、ステアリングコントローラおよびアクセル・ブレーキが備わった装置を介して操作を行う一方で、徒歩避難時は、実際の歩行とは異なり、コントローラのボタン押下により歩行する形式としている。自動車の操作系をそのまま流用した自動車避難の方が、徒歩避難に比べて操作性が高いと考えたが、実際の結果は全く逆であった。これは、西尾市は自動車保有率が全国的に高い<sup>14)</sup>ため、自動車の運転が日常茶飯事であり、今回の体験者も、殆どが、日常的に自動車を運転しているものと考えられる。そして、実際の運転時の感覚とシミュレータによる感覚の違いに起因する違和感や、実際のステアリングでなく、より小径であり、操舵トルク等が実際と異なるステアリング型ゲームコントローラを用いているなど、操作系の違いに伴う違和感が大きい。そのため、自動車避難時の操作性について否定的な評価が多かったと考えられる。従って、例えば、実車のステアリングやアクセル・ブレーキペダルを用いたり、車両制御を改善する等によって、違和感を軽減する必要があると考えられる。

### b) 臨場感について

図6内Q5とQ6の結果より、信号、他車両の絵や、他車両の速度については、高評価であった印象である。しかし、建物の絵については、リアルでないと感じた体験者が見受けられたようである。本シミュレータシステムの建物の絵(写真)は、実際に西尾市を走行し、360°カメラを用いて撮影した写真を用いたテクスチャマッピングを採用している。仮に建物を更にリアルに表現する場合は、建物毎に精細なモデリングを行うことや、近年、3D都市モデルのオープンデータ化が進んでおり、このデータを活用することで対応できると思われる<sup>15)</sup>。建物の絵以外でリアルでないと判断された項目としては、歩行者速度や操作感、音などが挙げられる。これらについては、今後の試用を経て様々な方に対する体験と評価により具体的に改善することが可能である。

一方で、臨場感と併せて考察の必要がある酔いについては、図6内Q8とQ11の結果より、自動車避難時に比べて、徒歩避難時の方が強く現れている。これはVR酔いに起因するものと考えられる。VR酔いは、視覚と、視覚以外の感覚の矛盾から生じるとされており、矛盾の原因の一つとして、視覚から生じる自己移動感(ベクション)であると考えられている<sup>16)</sup>。解決に向けて様々な手法が提案

されている<sup>16, 17)</sup>、現状、抜本的な解決には至っていないようである。そのため、徒歩避難については、臨場感が劣ることが懸念されるものの、VR環境以外での実施も含め、検討する必要があると考える。

## (3) 考察のまとめ

以上をまとめると、シミュレータシステムの有用性と改善点について、次の通りになると考えられる。

- ・ シミュレータシステムの体験によって、未経験・未知である、津波避難という事柄に対する恐怖が緩和されることが示唆され、冷静な対応や行動に繋がれることが期待される。
- ・ 但し、シミュレータシステムの操作性に起因する違和感が懸念される。違和感については、自動車避難の際が顕著であり、操作系や制御の改良によって改善されるものと考えられる。
- ・ シミュレータシステムの臨場感については、今後進む、3D都市モデルのオープンデータ活用などで向上できるものと考えられる。また、歩行者速度や操作感、音などを改善することも必要と考えられる。VR環境においては酔いの影響も懸念され、VR環境以外の実施も含め検討する必要があると考えられる。なお、本論の内容では検討していないが、地元住民であっても、避難経路を詳細に把握していない人が少なからず見受けられた。シミュレータシステムの反復体験により避難経路の把握・理解に寄与できる可能性がある。

## 6. まとめ

本論では、開発したシミュレータシステムを、西尾市で開催された西尾市防災カレッジで体験を実施し、その結果得られたアンケート結果を解析することにより、シミュレータシステムの有効性と改善点について考察した。その結果、シミュレータシステムを用いることによる防災・減災意識向上効果と、シミュレータシステムの現状の問題点を抽出することができた。これらの知見は従来確認されておらず、今後、シミュレータシステムを地域防災への活用に供するための有用な知見が獲得できたと考える。シミュレータシステムは、主に、地域のイベントなどで地域住民が体験することを狙いとしているが、津波避難に対する恐怖の緩和と冷静な対応や行動の促進、反復体験による避難経路の把握・理解などの効果が期待される。

本論は時間の制約と一般市民の中から抽選で選定した体験者のアンケート結果について考察しており、年齢や性別などの偏りが生じている。そのため、更に幅広い年齢層や性別を考慮した分析を行う必要がある。また、本論では、西尾市防災カレッジの場でシミュレータシステムの有効性を簡便に評価するために、アンケートに基づく解析を実施したが、今後は、走行時・歩行時の視線計測やドライバ行動などの評価を通じ、より精緻に、シミュレータシステムの効果を検証する。

## 謝辞

シミュレータの開発および西尾市防災カレッジのサポートにあたって、三咲デザイン合同会社・瀬戸内シミュレータ株式会社の田島淳氏と小田蛸太氏に、また、本研究の遂行にあたって、西尾市役所危機管理課、西尾警察署交通課の皆様にも多大なるご

協力を頂いた。この場を借りてお礼を申し上げる。本研究は科研費基盤研究(B)(19H01723)の支援を受けて遂行された。

## 参考文献

- 1) 田中重好：東日本大震災を踏まえた防災パラダイム転換，社会学評論，64巻，3号，pp. 366-385, 2013.
- 2) 板宮朋基，村上智一，小笠原敏記，川崎浩司，下川信也：スマートフォン用ヘッドマウントディスプレイを用いた高潮想定没入体験システムの開発，土木学会論文集 B3 (海洋開発)，74巻，2号，pp. I\_773-I\_778, 2018.
- 3) 吉野孝，濱村朱里，福島拓，江種伸之：災害時支援システム“あかりマップ”の地域住民による防災マップ作成への適用，情報処理学会論文誌，58巻，1号，pp.215-224, 2017.
- 4) 杉安一也，高橋秀幸，横田信英，片山健太，Garcia Fry Matrin，橘一光，小野寺清美，菊池弘幸：東日本大震災被災地における復興事業完了後の津波避難訓練の取り組みー2018年福島県いわき市薄磯区の事例ー，東北地域災害科学研究，55巻，pp.221-224, 2019.
- 5) いわき市：平成30年度いわき市総合防災訓練（勿来地区自動車避難訓練）アンケート結果について，2019年1月，<http://www.city.iwaki.lg.jp/www/contents/1536548533850/simple/nakososyuukei.pdf>（2021.7.10閲覧）
- 6) 愛知県防災会議地震部会：平成23年度～25年度愛知県東海地震・東南海地震・南海地震等被害予測調査結果，2014年5月，<https://www.pref.aichi.jp/bousai/2014higaiyosoku/whitebooknew2.pdf>（2021.7.10閲覧）
- 7) 荒川俊也，山邊茂之，鈴木高宏，板宮朋基，尾林史章，小林一信，宇野新太郎，田島淳：津波避難訓練用シミュレータシステムの開発と防災・減災への構想，自動車技術会2021年春季大会学術講演会予稿集，pp. 1-6, 2021.
- 8) 榊想太郎，丸山喜久：自動車運転者の津波避難実験のためのドライビングシミュレータの構築，土木学会論文集 A1（構造・地震工学），70巻，4号，pp. I\_384-I\_392, 2014.
- 9) 板宮朋基，尾林史章，荒川俊也，小塚一宏：大型ドライビングシミュレーターにおける津波・道路冠水状況の再現と運行動態分析，情報処理学会第77回全国大会講演論文集，2015，1，pp. 55-56, 2015.
- 10) 栗谷川幸代，景山一郎：ドライバ特性計測のためのドライビングシミュレータの活用に関する研究，日本大学生産工学部研究報告 A，42巻，2号，pp. 11-18, 2009.
- 11) 西尾市公式ウェブサイト：西尾市防災カレッジを開講します，2021年6月，<https://www.city.nishio.aichi.jp/kurashi/bosai/1001366/1005706.html>（2021年6月22日閲覧）
- 12) Google：Google map，2021年11月，<http://maps.google.co.jp/>（2021年11月9日閲覧）
- 13) 西尾市公式ウェブサイト：防災無線，2021年5月，<https://www.city.nishio.aichi.jp/kurashi/bosai/1001366/1004489.html>（2021年7月10日閲覧）
- 14) Response：世帯当たり乗用車普及台数，1位は茨城県筑西市の1.918台，2012年5月，<https://response.jp/article/2012/10/16/183168.html>（2021年7月11日閲覧）
- 15) 国土交通省：PLATEAU，2021年11月，<https://www.mlit.go.jp/plateau/>（2021年11月21日閲覧）
- 16) 笹山琴由，五味田啓，加藤嘉明，城和貴：速度低下錯視を用いたVR酔いの低減手法，研究報告 数理モデル化と問題解決(MPS)，2021.11，pp. 1-6, 2020.
- 17) 森田翼，梨木玲穂，ヤム ヴィボル，雨宮智浩，池井寧：搭乗感覚共有システムにおけるVR酔いの低減手法に関する研究，第25回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集，2C1-6, 2020.

(原稿受付 2021.8.28)

(登載決定 2022.1.8)