

研究助成実施報告書

助成実施年度	2021 年度
研究課題（タイトル）	シミュレータによる行動把握および避難時の気づきを活用した津波災害時緊急避難ルート開発手法の構築と防災・減災力を高めるまちづくりへの展開
研究者名※	荒川 俊也
所属組織※	日本工業大学 先進工学部 情報メディア工学科 教授
研究種別	研究助成
研究分野	都市環境工学
助成金額	150 万円
発表論文等	

※研究者名、所属組織は申請当時の名称となります。

() は、報告書提出時所属先。

大林財団2021年度研究助成実施報告書

所属機関名 日本工業大学
申請者氏名 荒川 俊也

研究課題	シミュレータによる行動把握および避難時の気づきを活用した津波災害時緊急避難ルート開発手法の構築と防災・減災力を高めるまちづくりへの展開
<p>(概要) ※最大10行まで</p> <p>津波避難時に設定されている避難経路は、自主防災組織や住民等で設定されたものであるが、本当に安全なものか否かという疑念が避難を阻害する要因になっている。また、我々のこれまでの実験から、地元住民の土地勘や経験に基づいた地域の状況を避難経路に反映させる必要性を感じてきた。そこで我々は、津波避難訓練用シミュレータシステムを用いた実験において、回顧的発話プロトコル法を参考にした手法を導入し、愛知県西尾市民を対象とした実験を行った。この実験の特徴は、実験協力者の気づきを逐一抽出する点にあり、これより西尾市で設定されている避難経路の妥当性を評価・検証した。その結果、実験協力者が、遠方の目立つ建築物をランドマークとして把握しながら避難する傾向があることが示唆された。また、実際の避難経路とシミュレータ上において避難時に歩行した経路を併せて検討することで、避難経路上で位置を把握しにくい箇所を抽出した上で、ランドマークを設置する必要性の検証に繋がることが示唆された。</p>	

1. 研究の目的	(注) 必要なページ数をご使用ください。
<p>2011年3月11日の東日本大震災発生以降、自助・共助・公助それぞれの観点で、様々な取り組みがなされるようになった。特に自助の観点では、津波から身を守るために、日頃からの災害に対する備えが重要であり、その教育が進められてきた。自助力向上の取り組みの一つとして、我々は2019年度より、南海トラフ巨大地震で甚大な被害を受けると想定されている愛知県西尾市の協力を得て、津波災害時の危険予知意識向上に資する教材開発を進めている。教材開発に資する基礎データ取得用途および地域住民の避難訓練体験用途として、我々は独自に、ステアリングコントローラの操作による自動車避難とVR(Virtual Reality)環境下での徒歩避難を体験できる、津波避難訓練用シミュレータを開発した。そして、愛知県西尾市において実施された「西尾市防災カレッジ」の場で、西尾市で定められている避難経路に沿って避難する体験機会の提供を通じ、津波避難訓練用シミュレータを防災に活用するなどの取り組みを進めている。避難場所・避難経路は自治体のホームページなどで、誰でも容易に確認・把握することができるが、避難経路は、「避難する場合の道路で、自主防災組織、住民等が設定する」ものとされ、その設定は町内会などに委ねられている。西尾市では、避難経路は、西尾市が標準的な経路を提示し、自主防災組織や住民等の意見を踏まえ設定しており、また、橋梁やそれに繋がる道路の被害を想定した上で、避難経路まで安全かつ最短で行ける道路を選定している。しかし、避難経路が本当に安全であるかという疑念が、避難を阻害する要因となっている報告もあり、設定された避難経路が安全であり妥当であるか評価する必要がある。我々が実施した、愛知県西尾市における津波避難訓</p>	

練用シミュレータ体験では、「昔からこの近道を通っているから災害避難時この近道を通ると思う」など、地域住民の土地勘に基づいた知見やコメントが見受けられた。地域住民の気づきや知見は、地域の状況を反映したものであると考えると、このような気づきや知見を妥当性評価の指標にすることで避難経路の選定や改善に繋がる可能性が示唆される。そして、住民が津波避難訓練用シミュレータを体験している際の気づきを抽出し分析すれば、設定された避難経路の妥当性を検証することが可能になると着想した。これに加えて、津波避難訓練用シミュレータを用いた避難訓練を通じた検証により、避難経路上にランドマーク等を設置すべき箇所の抽出も可能になると考えられる。

以上より、本研究では、シミュレータを活用し、避難経路の妥当性を確認・検証する方法論の可能性について検証する。特に、

- ・ 津波避難訓練用シミュレータで避難経路歩行時の経路を分析することによる、経路に沿った避難ができていないかの検証、経路誤りの傾向や特徴の把握を通じた避難経路妥当性の検証
- ・ 津波避難訓練用シミュレータを用いて避難時に気づいたことを発話し、それを分析することによる、適切なランドマーク設置箇所の抽出

から、津波避難訓練用シミュレータが、避難経路検討に資する可能性について検討する。

2. 研究の経過

(注) 必要なページ数をご使用ください。

<実験概略と環境構築>

実験で使用した津波避難訓練用シミュレータは、三咲デザイン合同会社が開発したドライビングシミュレータ Sirius を基本構成としたものである (図 1)。画面中央にキャラクター (人間) を表示させ、このキャラクターをジョイスティック (Extreme 3D Pro, Logitech 製) で操作することで徒歩避難を再現している。キャラクターは、ジョイスティックを倒す角度に応じてキャラクターの歩行速度が増加し、左右に倒すことでキャラクターが左右方向に向くようになっている。ジョイスティックを操作することで景色が変化するが、キャラクターの位置は画面上でほぼ固定されており変化しない。また、実験協力者の気づきを視線から把握するために、ディスプレイ下方に、非接触の視線計測装置 (Tobii Pro ナノ, トビーテクノロジー株式会社製) を装着した。実験の様子は実験協力者の後方よりビデオカメラ (HDR-SR11, SONY 製) で撮影した。実験協力者から見てディスプレイ右下にサブディスプレイ (Y03Aa-JMP7.1, Miuzei 製) を設置しており、マップの俯瞰図と実験協力者のマップ上での現在位置を表示している (実験時の様子を図 2 に、シミュレータの動作画面を図 3 に示す)。



図 1 津波避難訓練用シミュレータの基本構成



図2 実験時の様子



図3 シミュレータの動作画面。赤色の円は視認対象。

実験では愛知県立一色高等学校を中心とした3km×3kmのエリアを対象として実施した。このエリア内で、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として、図4に示す味浜二区町内会と細川町内会の避難経路を使用した。以下、味浜二区町内会の経路を「経路1」、細川町内会の経路を「経路2」と記載する。



図4 本研究で用いた避難経路。左：経路1（味浜二区町内会）、右：経路2（細川町内会）。

図4において、経路1および経路2ともに、それぞれの町内会のうち、津波浸水想定区域の外から最も遠い居住地を始点（図4中Ⓢの箇所）とし、終点は図4中ⓐの箇所で示している。経路1の終点は実際の避難経路に従い西尾市立一色中部小学校に設定してあるが、経路2のみ、実際の避難経路とは異なり、終点を、2024年に共用開始予定とされる防災ヘリポートを設定している。これは、近々共用開始予定ということ想定すると、実際の終点（緊急避難場所）より始点に近い場所にあるヘリポートを設定することが現実的であると判断したためである。なお、マップの上方が北となり、マップの下方、つまり南側に三河湾が存在している。従って、津波発生時には、住民は、北、つまりマップでは上方に逃げることとなる。

<実験について>

実験は愛知県西尾市在住の17名に対して実施した。17名のうち、男性は11名、女性6名であり、平均年齢と年齢の標準偏差は男性50.1±14.7歳、女性38.7±13.3歳、全体で46.1±15.3歳であった。このうち、味浜二区町内会在住者は8名（男性6名、女性2名）、細川町内会在住者は5名（男性2名、女性3名）であった。各実験協力者(A~Q)の性別、年齢、居住町内会、避難経路を表1に示す。実験は表2の流れで実施した。なお、実験においては、新型コロナウイルス感染症

対策を万全にし、実験開始前に非接触体温計を用いた検温を実施し、実験協力者が平熱であることを確認し、実験機材を都度除菌するなどの対策を講じた。また、本研究で述べる実験は、日本工業大学人を対象とする研究倫理審査委員会の承認を得た上で実施した（承認番号：NIT 倫審 2022-001 号）。

表1 実験協力者の性別、年齢、居住町内会、避難経路

協力者	性別	年齢	居住町内会	避難経路
A	女性	58	味浜二区	1
B	男性	23	細川	2
C	女性	21	細川	2
D	女性	26	細川	2
E	女性	35	その他	2
F	女性	39	味浜二区	1
G	男性	46	味浜二区	1
H	男性	58	味浜二区	1
I	男性	55	味浜二区	1
J	女性	53	細川	2
K	男性	29	その他	2
L	男性	35	その他	2
M	男性	60	その他	1
N	男性	67	味浜二区	1
O	男性	51	味浜二区	1
P	男性	71	味浜二区	1
Q	男性	57	細川	2

表2 実験の流れ

項目	所要時間 [分]
(1) 実験説明と同意書記入	10
(2) 視線計測装置キャリブレーション	5
(3) 操作練習	5
(4) 避難実験	17～25
(5) 振り返り実験	17～25
謝金支払い	5

(1) 実験説明と同意書記入

実験実施者が、インフォームド・コンセントの観点から、実験協力者に対し、実験概要および実験方法、取得データの取り扱い、研究協力の任意性と撤回の自由、研究終了後の資料などの取扱方針など、文書で提示すると共に口頭で説明した。その上で、実験協力者は、実験参加に承諾した場合、実験同意書に署名した。但し、実験同意書署名の後も、実験協力を撤回することがで

きる。その際には、実験協力者は、実験同意撤回書に署名の上、実験協力を撤回することとなる。なお、本実験協力の報酬として、終了時に1,000円を支給する旨も伝えた。

(2) 視線計測装置のキャリブレーション

キャリブレーションとは、正確に視点を算出するために被験者の目の幾何学的特徴を取得するプロセスである。キャリブレーションによって、個人毎に角膜や中心窩の位置や形状、光の屈折や反射特性などを計測した上で視点の精度を担保する。この作業は実験協力者毎に実施する必要がある。実験説明と同意書記入後、実験協力者毎にキャリブレーションの作業を実施した。

(3) 操作練習

ジョイスティックによる操作に慣れるため、約5分間、操作の練習を行った。このとき、操作に慣れることを目的としているため、歩行する場所に制約を設けず、実験協力者が操作に慣れたと自身で判断した段階でその旨を申告させ、操作練習を終了した。

(4) 避難実験

実験協力者に対して、味浜二区町内会在住者には経路1を、細川町内会在住者には経路2をそれぞれ提示し、指定されている避難経路に沿って歩行するように指示した。なお、味浜二区および細川町内会以外在住の実験協力者については、実験協力者全体で、経路1と経路2の歩行者数がほぼ均等になるように経路を割り振った。

実験協力者には、図4と同じマップと経路を記載した紙地図を手渡し、紙地図と、図2に示したサブディスプレイを手掛かりにして、避難経路通りに歩行するように教示した。加えて、歩行中に、歩行している経路に関する気づきがあれば、何でも良いので発話するように教示した。発話が、避難経路に関する内容である場合、1,000円の謝礼に加え、1回の発話につき40円を支給した。実験協力者の発話が、避難経路に関するかどうかは、実験実施者の判断に委ねた。

実験時の様子はビデオカメラで撮影し、また、発話内容はボイスレコーダで正確に記録した。実験に要した時間は、個人差はあるものの、おおよそ、経路1では17分、経路2では25分であった。経路を逸れてしまった場合は、元の経路に戻るよう教示し、終点に向かって歩行させた。

(5) 振り返り実験

避難実験終了直後、ビデオカメラで撮影した実験光景を実験協力者に提示した。実験開始から実験終了（終点到達時）までの様子を実験協力者が確認しながら、実験時と同様に、実験協力者に対して、歩行した経路に関して何でも良いので気づいたことがあれば発話するように教示した。これは、赤松・北島(2012)の先行研究で述べられている回顧的発話プロトコル法を参考にした方法である。なお、避難実験時と同様に、発話が、避難経路に関する内容である場合、1回の発話につき40円を加算して支給した。発話が避難経路に関するかどうかは、実験実施者の判断に委ねることとした。また、発話が実験時と同一の地点で同一の内容であると判断した場合は支給の対象外とし、このことも実験協力者に伝えた。

振り返り実験時の様子を図5に示す。



図5 振り返り実験の様子

3. 研究の成果

(注) 必要なページ数をご使用ください。

<実験結果>

(1) 経路に沿った避難について

実験協力者17名が、経路1と経路2を、経路を誤らず指定の避難経路通り正しく避難できたか否かを確認した(表3)。表3では実験協力者毎に、正しく避難できた場合を○、一箇所でも経路を誤った場合を×として表している。表3において、網掛けがされている実験協力者は、実験時の避難経路と同じ町内会に居住していることを示している。表3より、実験協力者17名に対して経路を誤った人数の割合は、実験時の避難経路と同じ町内会に居住している実験協力者については100%、実験時の避難経路と異なる町内会に居住している実験協力者については約77%、全体で約82%となる。

表3 実験協力者毎の経路通り避難の可否

協力者	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
可否	×	×	×	×	×	○	○	×	×	×	×	×	×	○	×	×	×

なお、実験協力者A、H、Iについては、実験前の「経路を逸れてしまった場合は、元の経路に戻る」ことに関する教示ミスがあった。そのため、実験協力者A、H、Iは、経路が逸れた後、元の経路に戻ろうとせずに大幅に逸脱して、終点に向かっていった。

(2) 気づきの発話分析結果

実験協力者17名が、実験時と振り返り時に発話した回数を表4に示す。このことから、発話が少ない実験協力者もあったが、どの実験協力者も一定数の発話があったと判断できる。

表4 実験協力者毎の発話回数

協力者	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
回数	7	12	3	8	9	9	0	15	6	4	5	12	11	4	7	12	12

次に、17名の発話のうち、経路1と経路2で、特徴的な気づきが見られた地点を、図6内経路1ではaからd、図7内経路2ではaからgに示すと共に、それぞれの箇所における気づきの内容を集約したものを表5に示す。但し、17名の実験協力者の大半は避難経路と全く同じ経路を辿ることができず、途中で経路を逸れるなどがあった。そのため、実験協力者が実際に辿った経路のうち、経路1もしくは経路2と重複する経路上での気づきのみ抽出している。

(3) 視線挙動分析結果

実験協力者17名の視線挙動の様子が撮影された動画を分析した所、次の特徴が確認された。

- 全ての実験協力者に共通して、「パチンコ店」「高須病院」など、大型の目立つ建造物をランドマークとして遠方より視認している傾向にある(図8)。なお、「パチンコ店」は、外装色が白と赤であり、「パチンコ店」「高須病院」ともに西尾市一色町で比較的大きな建築物であるため目立つものと考えられる。
- 実験協力者が避難中、指定された経路から逸脱した際、交差点や分岐路などの逸脱箇所において、「どちらの道に行くべきなのか?」という迷いの有無は、視線挙動の観点からは確認されなかった。つまり、指定された避難経路の方向と、自ら進もうとしている方向の間で、視線のさまよいが生じると考えたが、そのような現象は見られなかった。
- 経路1について、図6内のh地点南側に、経路上唯一、津波浸水想定区域外まで誘導する標識が存在する。この標識を通過して避難した実験協力者は6名いたが、そのうち5名(C、J、K、L、Q)が、標識を中心視領域で視認していることが確認できた(図9)。



図6 経路1 走行時に主な発話があった箇所

図7 経路2 走行時に主な発話があった箇所

<考察>

(1) 経路に沿った避難について

表3、表4より、自身が居住している町内会で定められている避難経路に忠実に避難した実験協力者は極めて少ないことがわかる。避難できる実験協力者の割合は、自身が居住している町内会外の避難経路を避難した場合と変わりがなく、カイ2乗検定の結果から有意差が無いことが示された($\chi^2(1)=0.0954$, $p=0.757$)。しかし、全ての実験協力者が終点までは問題なく到達していることから、避難場所までの慣れたルートを実験協力者自らが想定しているか、目立ったランドマークを中継地点として設定し、そこまでの慣れたルートを実験協力者自らが想定しており、それに従い避難しているものと考えられる。

表5 箇所毎の気づきの内容

経路	地点	内容
1	a	広い道路があると、案内がないと広い道路に行きたくなる。
	b	どこか案内表示板がポイント毎にあると良い。
	c	曲がる場所がわからない、避難経路がさっぱりわからない。ここまで避難するなら、皆さん高須病院に行ってしまう。
	d	ここから左に入ると学校の裏口に通ずる道がある。そちらのほうが校舎に近い。 本当はここに中部小学校へ行ける道があるが、狭い。
2	a	経路の案内があると良い。 ここを左に曲がると、海から遠ざからないと思うので、セブンイレブンやすき家の方に逃げる方が海との距離は取れると思う。
	b	この道を選択する際に一番怖いのはここ。両側の家が建っているか壊れているかわからない。
	c	ここに看板あるほうが良い。
	d	ここも迷うかも知れない。
	e	交差点に何か目印があるとわかりやすい。 昔川があって、今は暗渠になっているか埋め立てたのかわからないが、ここは大丈夫なのか心配。でも自分ならこの道を行くと思う。 ここを左に行くより、まっすぐ行く方が早いかな？パチンコ屋越えていくとどんどん狭い道ではあるが、高台にはなるのかな。 ここにカーブミラーか何か欲しい。
	f	ここに高須病院まで行く道があると思う。そこに行くか、経路の道に行くかどっちかだと思う。
	g	ここ通る時は怖い。



図8 避難経路歩行中に遠方のランドマーク（パチンコ店、高須病院）を視認している例。図中、円の場所は視認対象、円の大きさは視認時間に比例している。



図9 「津波浸水想定区域外」誘導標識への視認行動。各図内、赤色の円は視認対象、円の大きさは視認時間に比例する。

なお、経路2を歩行した実験協力者について、全員、国道247号線から逸れて終点であるヘリポートに向かう際に、図10内のコンビニエンスストア（以下コンビニ）の箇所で右折する（図11）経路誤りを生じていた。実際の避難経路では、図10と図12に示すように、コンビニから更に北に進んだ交差点を右折することになっている。この誤りの理由として、避難経路の通りに実際に右折すべき交差点と、実験協力者が実際に右折した箇所が近い場所であり、紛らわしいことが一因として考えられる。別の要因としては、コンビニ南方に置かれている、津波浸水想定区域外まで誘導する標識（図13）を、歩行中に実験協力者が目視した影響が考えられる。



図10 国道247号線からヘリポートに向かう際の経路誤り例（実験協力者Cの例）



図11 経路2内コンビニ前の交差点



図 12 避難経路に基づいて右折する交差点



図 13 津波浸水想定区域外まで誘導する標識の場所

(2) 気づきの発話分析結果について

図 6 内、経路 1 の始点から c 地点までは、左右に田畑が広がっているが、交差点が点在しており、似たような景色が続いている。そのため、どの交差点で右折をするかがわかりにくいように感じた実験協力者がいた。実際、表 5 のコメントからは、図 6 内 a 地点から c 地点のどこで曲がるのかがわからない実験協力者が見受けられた。図 14 は、図 6 内 a 地点と c 地点の間で経路を間違えた実験協力者(A、I、M、P)の経路を示している。そのため、避難経路通りに誘導させるのであれば、図 6 内 a から c の各地点(交差点)に何らかのランドマークを設置すべきであることが示唆される。

また、表 6 内、経路 1 の c 地点のコメントより、実際には、経路 1 の終点ではなく、近隣で比較的規模の大きい施設である高須病院に誘導した方が良いとも考えられる。高須病院は、西尾市の津波一時待避所として設定されている。経路 1 については、d 地点のコメントより、経路 1 の終点である西尾市立一色中部小学校に至る近道の存在に関するコメントも見られた。津波避難訓練用シミュレータは、エリア内の全ての道路および建造物は網羅しておらず、主要な道路とそれに沿った建造物のみ、実際の環境とほぼ同様に再現している仕様である。先のコメントから、地域住民を対象としてシミュレータを構築する場合は、本論のように地域住民の土地勘を活かし、裏道や抜け道などを反映させる必要がある。

次に経路 2 について考察する。図 7 内 a、c、d に示す地点は、いずれも交差点であるが、全て交差点を形成する道路幅が同じであることや、「高須病院」や「パチンコ店」のようなランドマークを、図 6 内 a、c、d 周辺を歩行時に確認できず、方向感覚を損なっていることが、迷う可能

性の原因であると考えられる（図 15）。このうち、a 地点では、実験協力者 D、E、Q が経路を誤っている（図 16）。また、表 6 内、e 地点のコメントからは、e の箇所においても経路がわかりにくい示唆があった。この箇所は、水路に沿って北上する経路であるが、津波避難という状況を考えると、水路に沿って北上することに対する不安や懸念が経路誤りに起因している可能性がある。なお、この地点で経路を誤った実験協力者は E、K の 2 名存在した（図 17）。

経路 1 と経路 2 に共通して考えられることとして、避難経路を提示したとしても、国道などある程度の道幅のある、広い道路のある方向に行けば良い、という意識が潜在的に働いていることが示唆される。このことは、実験協力者 A、I、M が、いずれも、起点を直進し、広い道と交差する箇所で、本来の避難経路ではなく、広い道の方向に進んでいることからわかる。a 地点と e 地点の経路誤りについては、表 6 の経路 2 内 a 地点と e 地点のコメントのように、一旦国道 247 号線に出て広い道を通る方が良いと考えている可能性がある。



図 14 実験協力者 A、I、M、P の経路。それぞれの経路は図内破線で示している。



図 15 経路 1 内 a、c、d の各地点の様子



図 16 実験協力者 D、E、Q の経路。それぞれの実験協力者が辿った経路は図内破線で示している。



図 17 実験協力者 E、K の経路。それぞれの実験協力者が辿った経路は図内破線で示している。

(3) 視線挙動分析結果について

ほぼ全ての実験協力者が、遠方より、目立つ建築物や、地域の重要な施設（高須病院）をランドマークとして確認し、自分の現在位置や進むべき方向を把握していると考えられる。また、交差点など分岐点や、経路選択誤りが生じた箇所において、視線のさまよいなどが生じなかった。これは、経路 1 と経路 2 とともに、幹線道路である国道 247 号線を経由して終点に向かう経路であるため、「まずは国道 247 号線に出れば良い」という意識が働いており、指定された避難経路とは違う経路を自ら設定していることに起因すると考えられる。

4. 今後の課題

(注) 必要なページ数をご使用ください。

本研究は、避難経路の策定に資するツールとして、また、避難経路の問題点を抽出するツールとしての津波避難訓練用シミュレータの活用を提案したものである。しかし、妥当な避難経路の構築や、ランドマークの種類を選定や設置場所の確定などの具体的な内容までは、津波避難訓練

用シミュレータだけでは賄えなうことはできない。津波避難訓練用シミュレータによる避難経路問題点を示し、改善点を提案することの有用性を普及・活用させ、活用成果を実際の防災・減災施策に結びつける取り組みが今後の課題となる。