

自動運転自動車を利用した避難支援時の 所要時間に関する基礎的分析 —避難行動要支援者を対象として—

森脇 佑太¹・藤生 慎²

¹ 学生会員 金沢大学大学院 自然科学研究科 地球社会基盤学専攻 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)

E-mail: y.moriwaki@stu.kanazawa-u.ac.jp

² 正会員 金沢大学准教授 融合研究域融合科学系 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)

E-mail: fujiu@se.kanazawa-u.ac.jp (Corresponding Author)

近年わが国では、大規模水害の頻発に伴い、避難行動要支援者の被害が増加していることから、避難支援をどのように行うかが課題となっている。そこで、本研究では、自動運転自動車の避難支援への利用に着目した。石川県小松市における梯川の氾濫を想定し、自動運転自動車を利用して避難支援を行った際のシミュレーションを行うことで、自動運転自動車の利用台数と避難の所要時間から、避難支援を開始するタイミングや避難の所要時間に影響を及ぼす要因の把握を行った。その結果、自動運転自動車を 5 台利用した際に、破堤 1 時間前に避難支援を開始すれば、対象地域内の避難行動要支援者の全員が避難できることが得られた。また、所要時間に影響を及ぼす要因としては、乗車にかかる時間などの避難行動要支援者の行動や意識による部分であることが得られた。

Key Words: flood disaster, vulnerable person, automated vehicles, evacuation simulation

1. 本研究の背景と目的

(1) 本研究の背景

近年、わが国では、大規模水害が頻発している。平成 21 年から平成 30 年の 10 年間に全国の市区町村のうち、97.2%の市区町村で 1 回以上の水害が発生しており、甚大な被害を生じさせるような大規模な水害の発生も増加傾向にある¹⁾。また、大規模水害の頻発に伴い、高齢者や避難行動要支援者の被害が増加している。令和元年台風第 19 号では、東日本を中心に豪雨や暴風による甚大な被害が生じ、人的被害のうち約 65%が 65 歳以上の高齢者であった²⁾。また、令和 2 年 7 月豪雨では、死亡者の約 79%が 65 歳以上の高齢者であった³⁾ことや熊本県球磨村では避難行動要支援者名簿に登録されていないことから、支援を受けることができなかった 25 人が死亡した³⁾事例も存在する。

高齢者や避難行動要支援者が被害を受ける理由として、災害時において高齢者や避難行動要支援者は精神的・身体的に疲労しやすい場合が多く、避難のタイミングや避難場所の選択・移動に時間がかかることや災害時に重要な情報を得る力が低いことから避難指示が発令されてい

るにもかかわらず避難できない、またはしないことや避難が遅れることが挙げられる。入院中や介護施設などのサービスを受けている人々は水害時に有用な支援を受けることができるが、1 人暮らしや 1 人になるタイミングの多い人々については避難行動の開始が個人に委ねられるほか、支援を受けることなく自力での避難行動を行う必要があることから被害を受ける可能性が高くなることが考えられる。特に水害などの時間経過により被害が大きくなるような災害時には、迅速な避難行動が要求されるため、自力で避難行動を開始しなければならない高齢者や避難行動要支援者の被害がより大きくなることが考えられる。

今後のわが国では、高齢化の進展に伴い、避難行動要支援者が増加する一方で、避難支援関係者が減少することが想定されており⁴⁾、水害時に有用な支援を受けることのできない高齢者や避難行動要支援者について迅速で効率的な避難のための支援をどのように行うかが課題となっている。

ところで、現在、自動運転技術を用いた自動車（以下、自動運転自動車と記載）について、交通時の安全性や公共交通としての利便性だけでなく、国際競争力の強化な

ど様々な効果が期待され、世界各地で研究や社会実装への取り組みが検討されている⁵⁾。わが国においても高速道路での自動運転（レベル 3）や限定地域での無人自動運転移動サービス（レベル 4）が実現され、2025 年を目途に限定地域の無人自動運転サービスの全国普及（レベル 4）が見込まれているなど、自動運転に関する技術の向上や制度の整備が進められている⁶⁾。しかし、自動運転自動車に関する研究の多くは導入時の交通ネットワークへの影響や社会的効果に関する研究であり、防災分野への活用に対する研究は未だなされていない。人手を必要とせず迅速な移動が可能である自動運転自動車を避難行動要支援者の避難支援に活用した際の効果を明らかにすることで、前述した課題に対する新たな解決策となることが考えられる。そこで、本研究では、避難行動要支援者の避難支援として自動運転自動車の利用に着目した。

(2) 本研究の目的

本研究では、自動運転自動車の避難支援への利用に対する 1 つの事前把握として、河川氾濫時に自動運転自動車を利用して避難行動要支援者の避難支援を行った際の利用台数及び避難の所要時間から、避難支援を開始するタイミングや所要時間の変化に影響を及ぼす要因に関する知見を得ることを目的とした。

図-1 に本研究の流れを示す。本研究では、石川県小松市を対象に、小松市を流れる 1 級河川である梯川が豪雨により外水氾濫した場合を想定し、自動運転自動車を利用して避難支援を行った際の避難シミュレーションを行うことで、避難の所要時間に関する分析を行う。使用したデータについては 4 章及び 5 章にて後述するが、初めに、国民健康保険データベース（KDB データ）を用いて小松市の避難行動要支援者の町字単位の把握を行った。次に、小松市において河川氾濫が生じた場合を想定し、平成 27 年梯川浸水想定電子化データを用いて対象地域における避難行動要支援者の被災推計を行った。その後、

自動運転自動車を利用して避難行動要支援者の避難支援を行った際のシミュレーションを行い、自動運転自動車の利用台数による避難の所要時間を算出することで、避難支援を開始するタイミングや所要時間の変化に影響を及ぼす要因に関する分析を行った。

2. 既往研究の整理と本研究の位置づけ

本研究を行うにあたって、「KDB データを用いた災害時の避難行動要支援者に関する研究」と「水害時を想定した避難シミュレーションに関する研究」の 2 つの視点から既往研究の整理を行い、本研究の位置づけを行う。

(1) KDB データを用いた災害時の避難行動要支援者に関する研究

長木ら⁷⁾は、KDB データを用いて、小松市内の避難行動要支援者を詳細に把握し、小松市梯川における大規模水害の際に、どれだけ避難行動要支援者がいつ、どこで、どの程度の浸水被害を受けるのかを町字単位で推計することで、地域ごとの被災危険性を明らかにした。

平子ら⁸⁾は、大規模地震災害の発生を想定した際の避難行動要支援者が見舞われる避難行動要支援者の実態把握のため、KDB データから避難行動要支援者を算出し、避難所までの到達圏解析を行うことで、何人の避難行動要支援者が避難所へ到達できるのかを明らかにした。

森崎ら⁹⁾は、KDB データを用いて自力での避難が困難である避難行動要支援者の実態を明らかにするため、大規模地震の発生を想定した際の建物被害の把握と利用可能な避難施設の抽出・比較を行った。その結果、避難行動要支援者の避難施設と考えられる病院の病床数が不足する可能性があることが明らかとなった。

(2) 水害時を想定した避難シミュレーションに関する研究

西川ら¹⁰⁾は、水害時の避難において、避難者がリアルタイムで浸水などの情報を得ることで、避難がどの程度有効に行えるかを定量的に分析するために、避難者が浸水情報を取得しながら避難する場合についてのシミュレーションモデルを作成した。また、モデルを用いて対象地域の水害時における避難行動を浸水情報の有無を条件にシミュレーションし、比較を行った。

畑山ら¹¹⁾は、滋賀県湖北地区における河川の合流地点に位置する虎姫町において広域避難計画作成を支援する情報構築システムの構築のため、住民へのアンケート調査を行ったのち、マルチエージェントシミュレーション手法を用いて水害避難評価ツールを構築した。

花島ら¹²⁾は、マルチエージェントシステムに基づく水

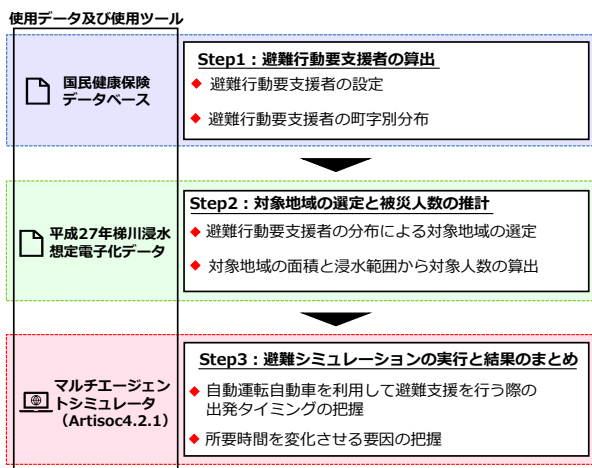


図-1 本研究の流れ

害避難ミクロモデルに自動車行動避難モデルを導入することで、自動車を用いた場合の避難を考慮した水害時の避難シミュレーションを行った。結果として自動車の走行が不可能でないほどの浸水下では、通常交通量が避難行動の成否に大きな影響を与えることを示した。また、大規模な浸水下では交通量ではなく浸水深が大きく影響することを示した。

(3) 本研究の位置づけ

前節において、「KDB データを用いた災害時の避難行動要支援者に関する分析」、「水害時を想定した避難シミュレーション」に関する既往研究の整理を行った。既往研究における特徴や課題を踏まえ、以下に本研究の位置づけを述べる。

本研究は、災害時において支援なしでは避難することが困難である避難行動要支援者の安全で迅速な避難のために自動運転自動車を利用して避難支援を行う際に、「どの程度の所要時間が必要となり、いつ出発すればいいのか」、また「どのような要因が所要時間の変化に影響を及ぼすのか」についての知見を得るものである。

本章(1)にて整理した既往研究では、KDB データを用いて詳細に算出された避難行動要支援者の被災評価や避難所への到達可能性、災害時における避難所の容量についてなどは把握されているが、具体的にどのように支援するかについては言及されていない。

また、本章(2)にて整理した既往研究では、自動車を用いて避難する際の人的被害への影響や防災施設の有用性、浸水深や流速及び避難経路を考慮した避難シミュレーションシステムの開発など、避難者が自発的に避難した際の被害の影響を明らかにしているが、避難者の個人属性は具体的に考慮されておらず、支援なしでは避難できない避難行動要支援者の避難については考慮されていない。また、避難方法としても自動運転自動車を利用して避難した際のシミュレーションは行われていない。

以上より、KDB データを用いて避難者の詳細な個人属性を把握し、自動運転自動車によって避難支援を行う際のシミュレーションを行うことは新規性があると言え、今後自動運転自動車が普及した際に防災への活用についての知見を得ることができると考えられるため、効果的な防災政策の策定の際に参考となる可能性が考えられる。

3. 石川県小松市について

(1) 石川県小松市の概要

図-2に石川県内における小松市の位置を示す。小松市は石川県南西部に広がる加賀平野の中央に位置し、面積は約 371.05km²である。北東部から南西部の大部分は森

林に囲まれており、面積の約 70%を占めているが、北西部は市街地として発展している。総人口は約108628人であるが、そのうち約 27%が 65 歳以上の高齢者となっており¹³⁾、少子高齢化が進んでいる。また、小松市には合計 230 の町字が存在している。

(2) 小松市で過去に生じた水害

本研究では、石川県小松市を流れる 1 級河川の梯川を対象河川とした。小松市で過去に生じた水害として、小松市北部における浸水実績図を図-3 に示す¹⁴⁾。浸水実績図とは、過去に大きな浸水被害が発生した際に、石川県



図-2 小松市の位置

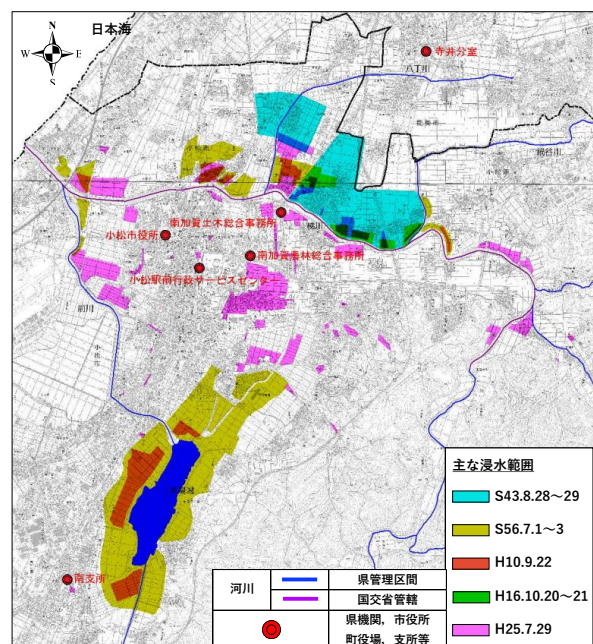


図-3 小松市北部における浸水実績図¹⁴⁾

が現地調査や市町等の関係者からの聞き取り調査を行った結果を基に、浸水実績範囲を取りまとめたものである。図-3 より、昭和 43 年における浸水状況は、梯川右岸において広く浸水したことがわかる。昭和 56 年及び平成 10 年における浸水状況は、梯川右岸の河川付近で浸水した場所が数多く存在するが、昭和 43 年よりも浸水範囲が小さくなっていることがわかる。また、木場湯付近での浸水範囲が大きいことがわかる。平成 25 年における浸水状況は、梯川の右岸だけでなく左岸の河川付近においても浸水した場所が数多く存在する。また、内陸部でも浸水した場所が見られ、豪雨による内水氾濫が生じたことが考えられる。梯川の氾濫による浸水であると考えられる河川付近での浸水に着目すると、河川の防災対策により、年々浸水範囲は減少しているが、近年においても河川付近で浸水した場所は数多く存在することがわかる。

4. KDB データを用いた避難行動要支援者の算出と対象地域の設定

(1) KDB データの概要

本研究では、避難行動要支援者の分布及び人数を把握するために、国民健康保険データベース（KDB データ）を用いた。KDB データは、国民健康保険に加入している人々について、各個人ごとに「健診」、「医療」、「介護」の情報が記載されている医療ビッグデータであり、各自治体が管理している。本研究における避難行動要支援者の算出には、小松市の KDB データのうち、「要介護（支援）者突合状況」を用いた。このデータには、各個人ごとに「年齢」、「性別」、「住所」などの個人属性に加え、「要介護（支援）認定度」、「利用介護サービス」等の介護に関する情報が記載されている。そのため、個人の健康状態を考慮した避難行動要支援者の町字単位の算出が可能である。

(2) 避難行動要支援者の設定

本研究では、避難行動要支援者として「要支援 1 から要介護 2 を受けた者」と定義し、KDB データからの算出を行った。定義した理由としては、自動運転自動車において支援すべき人々を自治体が把握していない人々と考えたためである。災害発生時に支援なしでは避難を行うことが困難であると考えられる人々のうち、自治体が把握していない人々については、避難時に支援を受けることができない可能性が高くなり、被害を受けることが考えられるからである。

表-1 に小松市における避難行動要支援者名簿の登録条件を示す¹⁵⁾。小松市では、表-1 に示す条件に該当する人

が同意することで避難時に要配慮者として支援を受けることができる。しかし、登録条件に同意していない人々や登録条件を満たしていないが避難時に配慮が必要な人々については、自治体に把握されておらず、避難時の支援を受けることができず、災害に巻き込まれてしまう可能性が考えられる。また、厚生労働省の要介護認定別の状態像¹⁶⁾によると、介護度が要介護 2 以下であると 1 人での日常生活動作はおおむね可能であり、部分的な介護による補助で日常生活を営むことが可能であることが示されている。

小松市の KDB データを整理して得られた、要介護認定度ごとの利用サービス状況を図-4 に示す。図-4 より、要介護 2 以下では、施設サービスを利用している人々は要介護 3 と比べて著しく少ない。そのため、要介護 3 以上の人々は避難時に有用な支援を受けることができるが、要介護 2 以下の人々は日常生活における補助が必要であるにも関わらず、共助を受けることができない場合は自力で避難行動を行わなければならないと考えられる。

以上より、小松市において避難行動要支援者名簿の登録条件を満たしておらず、施設介護サービスを受けている割合の少ない要支援 1 から要介護 2 に属する人々は身の回りに避難行動時の支援を行う人がいなければ、自力

表-1 小松市における避難行動要支援者名簿の登録条件¹⁵⁾

避難行動要支援者名簿登録条件	
75歳以上の一人暮らしや75歳以上のみの世帯の方	
肢体、視覚、聴覚の障害のある身体障害者手帳1, 2級を所持している方	
療育手帳Aを所持している方	
要介護認定3~5を受けている方	
精神障害者保健福祉手帳1, 2を所持している方	
その他申し出により、支援を必要としている方	

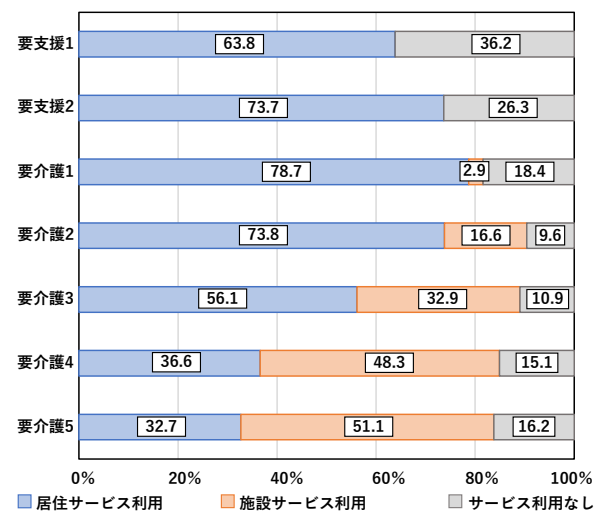


図-4 要介護認定度ごとの利用サービス状況

で避難行動を行う必要があり、災害時に被害を受ける可能性が高いことが考えられる。そのため、本研究における避難行動要支援者は要支援 1 から要介護 2 と定義し、算出することとした。

(3) 避難行動要支援者の算出と対象地域の設定

本章(2)にて定義した避難行動要支援者について、KDB データからの抽出を行った。避難行動要支援者を抽出した。図-5に要介護度ごとの避難行動要支援者数を示す。抽出した避難行動要支援者数は合計で 2990 人であった。内訳としては、要介護 1 と認定されている者が最も多く、次いで、要介護 2 と認定されている者、要支援 2 と認定されている者となり、要支援 1 と認定されている者が最も少ない結果となった。

また、図-6に小松市における町字別避難行動要支援者の分布を示す。避難行動要支援者の多い町字は北西部の市街地に集中して分布しており、南部は少ないことがわかる。また、北西部における河川付近では、避難行動要支援者の多い町字が分布していることから、梯川が破堤した際には浸水地域内の避難行動要支援者の多くが被害を受けることが考えられる。

本研究では、北西部において河川に面している町字のうち避難行動要支援者が特に多い、上小松町 (18 人)、園町 (42 人)、白江町 (66 人)、小寺町 (10 人) の4町を対象地域とし、河川氾濫時における被災人数の推計及び自動運転自動車を利用した避難支援シミュレーションを行うこととした。

5. 河川氾濫時に被災する可能性のある避難行動要支援者数の推計

(1) 平成 27 年梯川浸水想定電子化データの概要

本研究では、本研究では、石川県小松市を流れている 1 級河川である梯川が外水氾濫した場合を想定する。また、破堤からの浸水範囲が時間経過とともに変化する状況を考慮し、自動運転自動車を利用した避難支援シミュレーションを行うことから、破堤からの時間変化による浸水状況を詳細に把握することが必要となるため、「平成 27 年梯川浸水想定電子化データ」を用いた。本データは、河口から左岸は 3.20km、右岸は 3.8km より約 200m 間隔で計 80 ヲ所の想定破堤点が設けられており、国土交通省北陸地方整備局金沢河川国道事業所が管理しているデータである。また、バックウォーター現象や内水氾濫が考慮されており、想定破堤点ごとに約 4 日間の浸水の広がり 25m メッシュで把握可能である。そのため、破堤からの一定時間ごとの浸水状況を把握することが可能である。

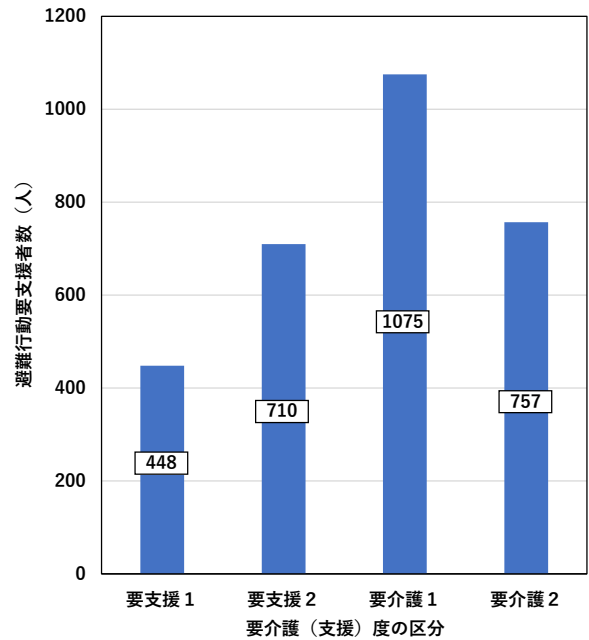


図-5 要介護度ごとの避難行動要支援者数

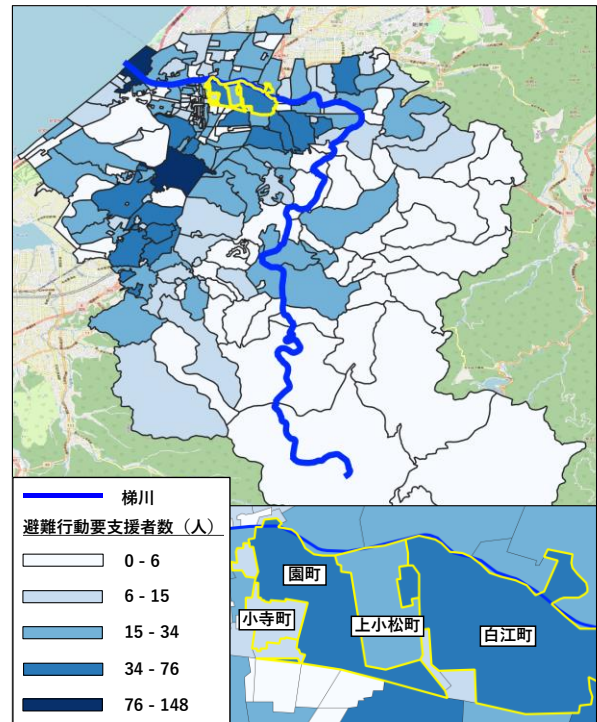


図-6 小松市における町字別避難行動要支援者数

(2) 対象地域における河川氾濫時の被災人数の推計

図-7に分析の詳細を示す。本研究における想定破堤点としては、南部に市街地が広がり、多くの居住者が存在することから、大きな被害をもたらす可能性があると考えられる「河口から 5km 地点」を想定した。

本研究では、外水氾濫発生時から自動運転自動車を用いて避難支援を行った際のシミュレーションを行った後、

必要となる所要時間についての考察を行うため、破堤直近の詳細な時間経過に伴う浸水範囲のデータが必要である。また、破堤直近における浸水の拡大時における対象地域では、破堤から 90 分間で浸水範囲が大きく広がるため、破堤点近くに存在する人々は時間的な猶予がないほか、支援の対象とした人々は避難行動に支援を要する人々であるため情報不足や身体的に垂直避難も難しい状況であると考え、人的被害において逃げ遅れが大きな要因となることが考えられる。

以上より、本研究では破堤から 90 分後までのデータを用いて河川氾濫時に被災する可能性のある避難行動要支援者数の推計を行うこととした。

分析の流れとしては、各町字の面積と破堤から 90 分間における浸水面積の割合を算出し、町字ごとに KDB データから算出した避難行動要支援者数を浸水面積の割合と掛け合わせることで、被災人数の推計を行った。

被災人数の推計結果を表-2に示す。表-2より、最も町字内における浸水範囲が広がる地域は小寺町となった。また、90 分間で浸水に見舞われる避難行動要支援者数が多くなる町字は園町であった。また、シミュレーションの対象地域である 4 町において、90 分間で浸水に見舞われる避難行動要支援者数の合計は 46 人となり、シミュレーションにおいて自動運転自動車を利用して避難支援すべき人数とした。

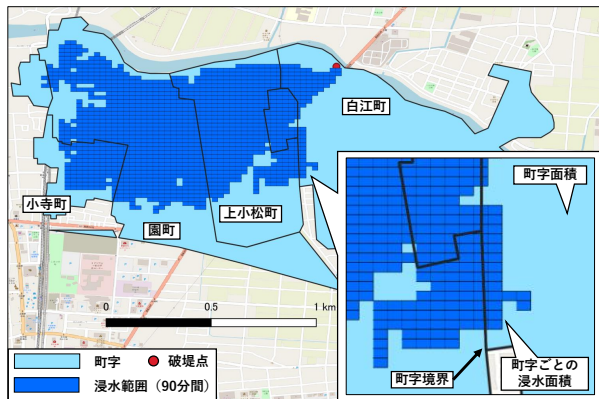


図-7 分析の詳細

表-2 各町字の浸水割合及び被災人数の推計結果

	小寺町	上小松町	園町	白江町
浸水面積 (m ²)	80625	273125	403125	108125
町面積 (m ²)	119640	462338	734694	1239628
浸水割合 (%)	67.3899	59.0683	54.8698	8.72238
避難行動要支援者数 (人)	10	18	42	66
被災人数 (人)	7	10	23	6
合計被災人数 (人)	46			

6. 河川氾濫時における自動運転自動車を利用した避難支援に関するシミュレーションの概要

(1) シミュレーションの計算条件

初期状態における各エージェントの配置例を図-8に示す。避難所の設定については、浸水範囲外において近距離に位置するものとした。自動運転自動車の出発位置については、自動運転自動車が速やかに出発し、避難支援を行うことが可能な場所として、小松市消防本部及び対象地域内の公的集会施設とした。避難行動要支援者の初期配置としては、10 分ごとに広がる浸水範囲内に属するノードの中から、ランダムに対象人数分を抽出したものを配置場所とし、浸水までの時間以内に自動車による支援を受けることができなかった避難行動要支援者は被災するとした。

表-3に避難シミュレーションの条件を示す。シミュレーションは避難行動要支援者全員が避難所に到着するまで行った。自動運転自動車の速度については、H27 年度全国道路・街路交通情勢調査¹⁷⁾において、対象地域内で調査された道路である国道 305 号小松鶴来線における昼間 12 時間平均旅行速度の上り・下り旅行時間の平均値から算出した 24km/h とした。避難経路の選択については、浸水時間が短い避難行動要支援者のうち車両との距離が近い順番かつ浸水範囲内の道路は通行不可能となる経路を選択することとし、最短経路探索法の 1 つである

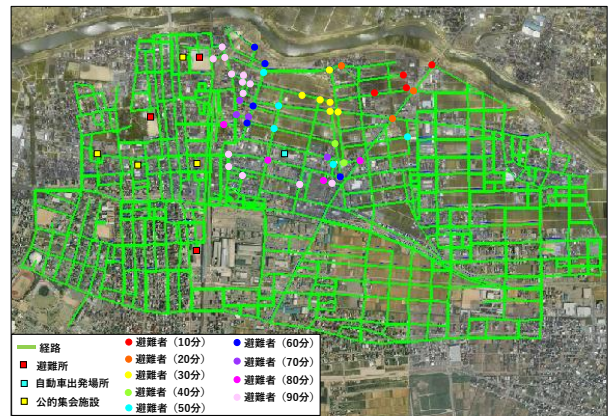


図-8 各エージェントの配置例

表-3 各エージェントの配置例

項目	詳細
避難所	浸水範囲外で近距離に存在するもの
避難開始時間	0秒 (シミュレーション開始時)
計算時間	全員避難が完了するまで
避難者数	46人
避難者設置場所	浸水時間ごとに浸水するノード上 (ランダム)
自動運転自動車設置場所	対象地域内における消防署及び公的集会施設
自動運転自動車の速度	24km/h (平成27年度全国道路・街路交通情勢調査)
シミュレーション回数	10回
避難経路選択	浸水時間が短い避難者のうち車両との距離が近い順番かつ浸水範囲内の道路は通行不可能
最大乗車人数	5人
車両台数	1台から5台まで

A* (A-star) アルゴリズムを用いた。自動運転自動車の乗車定員は 5 人とした。

(2) シミュレーションのシナリオ

シミュレーションのシナリオとしては、自動運転自動車が浸水時間の短い避難者のもとへ優先的に向かい、避難行動要支援者を 5 人乗車させたのち、避難所へ向かうものである。避難行動要支援者を乗車させる際には、避難行動要支援者のうち避難意思がない人があることを考慮し、到着した際に 13%の確率で乗車準備が完了していない避難者が存在する場合を想定した。避難意思がない人の発生確率は国土交通省関東地方整備局が行った「水防災に関する住民意識アンケート」結果¹⁸⁾から、避難をしないと選択した人々のうち、理由として「避難の必要が無いと思うから」を選択した人の割合である 13%を用いた。

図-9 にシミュレーションにおける自動運転自動車の動きを示す。自動運転自動車が避難行動要支援者のもとに到着した際の滞在時間として、乗車にかかる時間、避難意思のない人に避難を呼びかける際に必要となる呼びかけ時間、避難意思のない人が避難準備にかかる時間を設定した。ない人が避難準備にかかる時間を設定した。シミュレーションにおいて、自動運転自動車が避難

行動要支援者のもとに到着した際の滞在時間としては乗車にかかる時間、呼びかけ時間、準備にかかる時間の合計とし、避難意思がある人については乗車にかかる時間のみであるが、避難意思のない人については、乗車にかかる時間に加え、呼びかけ時間、準備にかかる時間が必要となることとした。

滞在時間のばらつきを考慮するために、乗車にかかる時間及び呼びかけ時間については平均 180 秒のポアソン分布、準備にかかる時間については平均 600 秒のポアソン分布を用いて、確率的に各時間を算出した。以上のシナリオにおいて、自動運転自動車の利用台数を 1 台から 5 台まで変化させ、シミュレーションを行うこととした。

7. シミュレーション結果と避難支援開始タイミング及び所要時間の増加要因の把握

(1) シミュレーション結果

6 章にて、設定したシナリオについてシミュレーションを行った。自動運転自動車の利用台数別による避難の所要時間の変化を図-10 に示す。図-10 より、自動運転自動車を 1 台利用した場合の所要時間を基準とすると、2 台利用時は約 43.9%、3 台利用時は約 55.8%、4 台利用時は約 67.5%、5 台利用時は約 70.6%、所要時間が削減された。自動運転自動車の利用台数を 1 台から 2 台に変化させた場合において、所要時間の削減率が最も高くなった。また、自動運転自動車の利用台数を 4 台から 5 台にさせた場合においては、所要時間の削減率が約 9%とな



図-9 シミュレーションにおける自動運転自動車の動き

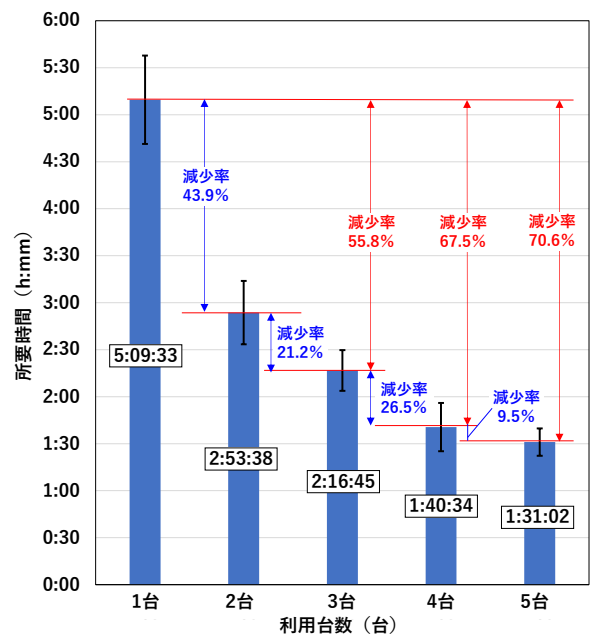


図-10 自動運転自動車の利用台数別による避難の所要時間の変化

り、最も変化が少ないことがわかる。全体の傾向としては、自動運転自動車の利用台数を増加させることで、避難における所要時間は減少する。また、自動運転自動車の利用台数の増加に伴い、避難における所要時間の削減率が低下していくことが得られた。

(2) 自動運転自動車の利用台数別の出発タイミングの比較

自動運転自動車の出発タイミングとしては、シミュレーション内において被災する避難行動要支援者を 1 人も発生させずに避難が完了することのできる時間を算出することとした。そのため、自動運転自動車が浸水に見舞われた際や避難行動要支援者が被災した際には出発タイミングが早いと考え、避難支援の開始時間を破堤時ではなく、破堤から一定時間前に設定することで、利用台数の変化による出発タイミングを把握することとした。破堤から一定時間前の間隔としては、30 分とした。また、シミュレーションは破堤から一定時間を設定するごとに 10 回ずつ行い、10 回のうち、1 人も被害を発生させずに避難が完了した回数を割合として算出した。10 回すべてにおいて被害を発生させずに避難が完了した時間を出発タイミングとし、自動運転自動車の利用台数ごとに算出した。

図-11 に自動運転自動車の利用台数ごとの出発タイミングについて示す。図-11 より、自動運転自動車の利用台数が 1 台の場合は、破堤前 5 時間 30 分、利用台数が 2 台の場合は破堤前 3 時間、利用台数が 3 台の場合は破堤前 2 時間 30 分、利用台数が 4 台の場合は破堤前 2 時間、利用台数が 5 台の場合は破堤前 1 時間に出発すると被災

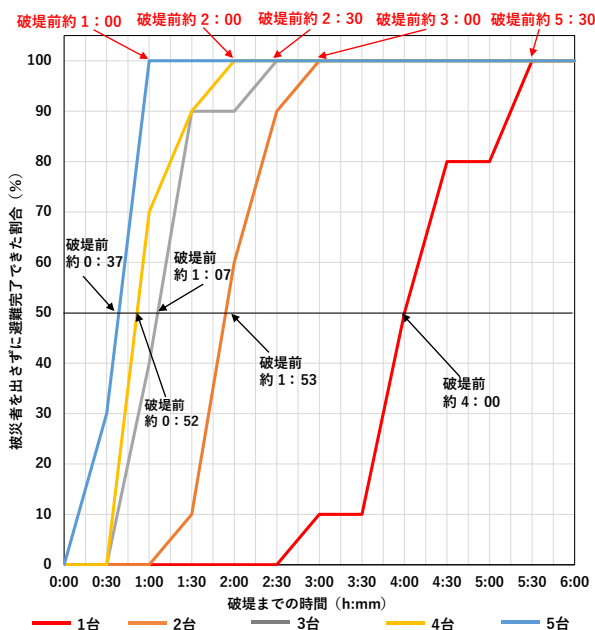


図-11 自動運転自動車の利用台数ごとの出発タイミング

者を発生させずに避難が完了することが得られた。

(3) 自動運転自動車を利用した避難支援における所要時間の増加要因の把握

本研究では、シミュレーションのシナリオにおいて設定した、①乗車にかかる時間、②避難の呼びかけ時間、③準備にかかる時間の 3 つを所要時間に影響を及ぼす要因として感度分析を行った。自動運転自動車の移動時間については、対象地域内における移動距離や自動運転自動車の速度などのあらかじめ設定されたものにより決定されることから、同じ対象地域内においては、時間の大幅な変化は生じないと考え、避難の所要時間を増加させる要因としては考慮しないこととした。

感度分析は一般的に、ある変数を基準値から上下に 20% ずつ変化させたときの最終結果の変動から、最終結果に影響を及ぼす要因を把握するものとされている。そのため、本研究では、自動運転自動車を 1 台利用した際のシミュレーション結果をもとに、乗車にかかる時間、呼びかけ時間、準備にかかる時間について、平均値を算出し、得られた平均値からそれぞれ上下に 20% 変動ずつ変動させることで、最終的な所要時間の変化を把握し、所要時間の増加要因の把握を行うこととした。

所要時間の算出方法としては、式 (1a) に示す通り、乗車にかかる時間に乗車人数である 46 人を掛け合わせたもの、呼びかけ時間にシミュレーションにおいて考慮した避難意思のない人々の人数を掛け合わせたもの、同様に、準備にかかる時間に避難意思のない人々の人数を掛け合わせたもの、自動運転自動車の移動時間の 4 つを合計することで算出した。

$$TT = A_{time} \times n_1 + B_{time} \times n_2 + C_{time} \times n_2 + D \quad (1a)$$

ここで、 TT は所要時間、 A_{time} は乗車にかかる時間、 B_{time} は呼びかけ時間、 C_{time} は準備にかかる時間、 D は自動運転自動車の移動時間、 n_1 は乗車人数、 n_2 は避難意思のない人々の人数を示している。

各要因における所要時間の変化の領域を図-12 に示す。図-12 では、所要時間の変化の領域が広いほど、避難の所要時間に影響を及ぼすことを意味している。避難の所要時間に最も影響を及ぼす要因は、乗車にかかる時間であり、次いで、準備にかかる時間、避難の呼びかけ時間となった。

以上より、自動運転自動車を利用して避難行動要支援者の避難支援を行った際の所要時間を増加させる要因としては乗車時間や準備時間などの避難行動要支援者の行動や意識による部分であることが得られた。このことから、自動運転自動車を用いて避難支援を行う際には、あらかじめ避難行動要支援者が乗車しやすい環境を整えておくことや自動運転自動車の接近を知らせるビーコンな

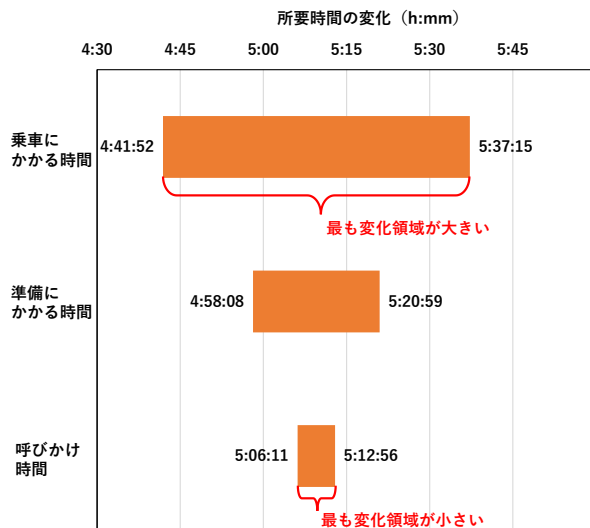


図-12 各要因における所要時間の変化領域

などを配布しておくこと、スマートフォンアプリなどを用いて、支援することをあらかじめ伝えておくことで所要時間を削減することができると考えられる。

7. 本研究のまとめと今後の課題

(1) 本研究のまとめ

本研究では、河川氾濫時における避難行動要支援者の避難支援として、自動運転自動車を利用した際の出発タイミングや所要時間の増加要因についての知見を得ることを目的に、自動運転自動車を利用した避難シミュレーションを行ったのち、所要時間に関する検討を行った。

その結果、石川県小松市における梯川の河口から5km地点の破堤を想定し、自動運転自動車を用いて要支援者の支援を行った際の避難支援の開始タイミングや所要時間の増加要因に関する知見を得ることができた。

自動運転自動車の利用台数と所要時間の関係としては、自動運転自動車の利用台数を増加させることで避難における所要時間が減少していくことが得られた。また、所要時間の減少率としては、利用台数を1台から2台に変化させた場合に所要時間の減少率が約43.9%と最も高くなることが得られた。

自動運転自動車の出発タイミングとしては、自動運転自動車の利用台数を増加させることで河川の破堤開始前に必要となる時間が減少していくことが得られた。利用台数が1台の場合は河川の破堤開始5時間前に避難支援を開始しなければならないが、利用台数が5台の場合は河川の破堤開始1時間前に避難支援を開始しても対象者全員の避難が可能であった。

避難の所要時間に最も影響を及ぼす要因は、乗車にかかる時間であり、次いで、準備にかかる時間、避難の呼

びかけ時間となった。このことから、自動運転自動車を利用して避難行動要支援者の避難支援を行った際には、避難行動要支援者の行動や意識による部分が避難の所要時間を増加させる要因であることが得られた。

(2) 今後の課題

今後の課題として、シミュレーションにおける自動運転自動車の走行時の具体的な挙動については考慮されておらず、速度は一定の24km/hと設定している。自動運転自動車の走行時の挙動や速度は所要時間に大きく影響することが考えられるため、自動運転自動車の右左折時や直進時の速度に関する挙動を詳細に把握し、シミュレーションに反映する必要がある。

また、自動運転自動車が避難行動要支援者のもとに到着した際に、避難しない意思として国土交通省関東地方整備局が行ったアンケート結果から、「避難の必要が無い」と答えた割合である13%を使用した。しかし、このアンケートは本研究の対象地域と異なる地域で行われたほか、災害時の自動運転自動車の利用についての質問は行われていない。そのため、本研究における対象地域内でアンケート調査やヒアリング調査を行い、より正確な情報をシミュレーションに反映させる必要がある。

さらに、本研究において、所要時間の算出時に使用した、乗車にかかる時間、呼びかけ時間、準備にかかる時間については、ポアソン分布を利用して確率的に算出した数値を利用した。しかし、現実における各数値はポアソン分布を利用して確率的に算出した数値とは異なることが考えられる。そのため、乗車にかかる時間、呼びかけ時間、準備にかかる時間について、実験やアンケート調査を行い、より正確な値をシミュレーションに反映させる必要がある。

参考文献

- 1) 政府広報オンライン：河川の氾濫や高潮など、水害からあなたの地域を守る、「水防」、<https://www.govonline.go.jp/useful/article/201507/1.html>, 2022年3月5日閲覧。
- 2) 内閣府防災情報のページ：令和元年台風第19号等を踏まえた高齢者等の避難に関するサブワーキンググループ、令和元年台風第19号を踏まえた高齢者等の避難のあり方について（最終とりまとめ（案））、<http://www.bousai.go.jp/fusuigai/koreisubtyphoonworking/pdf/dai8kai/siryoi1.pdf>, 2022年3月5日閲覧。
- 3) 西日本新聞：高齢者の避難、再び課題に 熊本豪雨犠牲者の7割は70歳以上、<https://www.nishinippon.co.jp/item/n/632350/>, 2022年3月5日閲覧。
- 4) 内閣府：人口減少・要支援者の増加による大規模災害対策への影響、https://www.soumu.go.jp/main_content/000578734.pdf, 2022年3月5日閲覧。

- 5) 国土交通省：第 3 回自動運転に対応した道路空間に関する検討会，海外の動き（その 2），https://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/road_space/，2022 年 3 月 5 日閲覧。
- 6) 国土交通省自動車技術・環境政策課安全・環境基準課：第 1 回車両安全対策検討会（資料 6），自動運転を巡る最近の動向，<https://www.mlit.go.jp/common/001352348.pdf>，2022 年 3 月 5 日閲覧。
- 7) 長木雄大，森崎裕磨，藤生慎，高山純一，柳原清子，西野辰哉，寒河江雅彦，佐無田光，平子紘平：大規模水害時の時間経過を考慮した避難行動要支援者の浸水危険性に関する分析，土木学会論文集 D3，Vol.75，No.6，I_153-I_161，2020。
- 8) 平子紘平，森崎裕磨，藤生慎，高山純一，柳原清子，西野達哉，寒河江雅彦：要介護認定を受けた避難行動要支援者の避難施設への到達可能性に関する分析—羽咋市の国民健康保険データを用いた検討—，土木学会論文集F6，Vol.74，No.2，p.I_41-I_51，2018。
- 9) 森崎裕磨，藤生慎，高山純一，柳原清子，西野達哉，寒河江雅彦，平子紘平：大規模地震を想定した重大な疾患を持つ避難行動要支援者の利用可能な避難施設を検討する手法の考察—鳩山町の国民保険データベースを活用して—，日本地震工学論文集，Vol.18，No.1，p.1_104-I_121，2018。
- 10) 西川詩雲，堀智治：避難者間の経路障害情報の共有が水害避難行動に及ぼす影響，土木学会論文集B1，Vol.75，No.2，p.I_1327-I_1332，2019。
- 11) 畑山満則，湯川清太郎，枝廣篤，多々納裕一：エージェントベース広域避難シミュレーションシステムの開発—滋賀県姉川・高時川下流域を対象とした事例研究—，土木計画学研究・論文集，Vol.27，p.323-330，2010。
- 12) 花島健吾，和田洋介，堀智晴，野原大督：自動車の行動特性を考慮した水害避難モデル，土木学会論文集B1，Vol.70，No.4，I_1525-I_1530，2014。
- 13) 小松市：統計情報，過去分，平成27年校下，男女，年齢階層別人口，<https://www.city.komatsu.lg.jp/soshiki/kanzai-soumu/toukeijouhou/2/koukadanjyonenreikaisou-betujinkou/index.html>，2022年3月5日閲覧。
- 14) 小松市：災害等の記録（小松市災異誌・浸水実績図），https://www.city.komatsu.lg.jp/soshiki/bousaiaizen/bousai_kyuukyuu_anzen/1739.html，2022年3月5日閲覧。
- 15) 小松市：小松市避難行動要支援者名簿について，https://www.city.komatsu.lg.jp/kenko_fukushi/11/5447.html，2022年3月5日閲覧。
- 16) 厚生労働省：2015年の高齢者介護～高齢者の尊厳を支えるケアの確立に向けて～，参考（3），介護保険制度における要介護認定の仕組み，2022年3月5日閲覧。<https://www.mhlw.go.jp/topics/kaigo/kentou/15kourei/sankou3.html>，2022年3月5日閲覧。
- 17) 全国道路・街路交通情勢調査：平成27年度全国道路・街路交通情勢調査一般交通量調査集計表，<https://www.mlit.go.jp/road/census/h27/>，2022年3月5日閲覧。
- 18) 国土交通省関東地方整備局：「水防災に関する住民意識アンケート」調査について，https://www.ktr.mlit.go.jp/ktr_content/content/000716660.pdf，2022年3月5日閲覧。

A BASIC ANALYSIS OF TIME REQUIRED FOR EVACUATION ASSISTANCE USING AUTOMATED VEHICLES —TARGETING VULNERABLE PERSON—

Yuta MORIWAKI and Makoto FUJII

In recent years, the number of Harm to vulnerable person has been increasing in Japan due to the frequent occurrence of large-scale floods. Therefore, how to provide evacuation support has become a challenge. Therefore, this study focused on the use of automated vehicles for evacuation assistance. Assuming the flooding of the Kakehashi River in Komatsu City, Ishikawa Prefecture, we conducted a simulation of evacuation assistance using automated vehicles to understand the factors that affect the timing of starting evacuation assistance and the time required for evacuation, based on the number of automated vehicles in use and the time required for evacuation. As a result, it was found that when five automated vehicles were used, if evacuation support was started one hour before the levee breach, all vulnerable person in the target area could be evacuated. Factors that influenced the time required were the behavior and awareness of vulnerable person, such as the time required to board the automated vehicles.