

避難行動支援への自動運転自動車の利用 に関する基礎的分析 —石川県小松市における大規模水害時を想定して—

森脇 佑太¹・藤生 慎²・高山 純一³

¹ 学生会員 金沢大学 理工学域地球社会基盤学類 (〒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)

³ フェロー 金沢大学名誉教授 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)
E-mail: takayama@staff.kanazawa-u.ac.jp

近年わが国では、頻発する大規模災害において人的被害が増加している。その中でも、避難時に支援を必要とする避難行動要支援者の被害が多く、大規模災害発生時にどのように避難行動要支援者の避難行動支援を行うかが課題となっている。特に水害などの時間経過に伴い、被害が大きくなる災害時には早期避難の実現により人的被害を大幅に軽減することが可能であることから、迅速な避難行動が要求される。そこで本研究では、避難行動要支援者の迅速な避難のための支援として自動運転自動車の活用に着目した。石川県小松市における河川の氾濫を想定し、自動運転自動車を用いて避難行動要支援者の避難行動支援を行った際のシミュレーションを行うことで、避難に要する所要時間を算出した。その後、所要時間におけるパラメータを変化させることで、自動運転自動車を用いて避難支援を行う際に削減すべき時間についての知見を得ることができた。

Key Words: flood disaster, personal attribute, automated vehicles, evacuation simulation

1. 本研究の背景と目的

近年わが国では、大規模な自然災害が頻発しており、人的被害が増加している。その中でも特に、高齢者や避難行動要支援者の被害が大きくなっており、2004年7月に生じた新潟・福島豪雨及び福井豪雨では死亡者の85%が65歳以上の高齢者であること¹⁾や熊本県では避難行動要支援者名簿や個別避難計画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人が死亡する²⁾といった事例も存在する。理由として、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勧告や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(しない)ことや避難が遅れることが挙げられる。上記の2004年7月に生じた新潟・福島豪雨及び福井豪雨では若い人と同居している高齢者と高齢者のみの世帯において避難に要した時間を比較すると、1

時間の差があったことが明らかとなっている¹⁾。このことから、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ため、被災す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。また、高齢化の進展により、高齢者の増加に伴う避難行動要支援者の増加が予想されており、今後災害時に有用な支援を受けることのできない人々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)については研究や社会実装への取り組みが検討されている³⁾。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自動運転技術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。そこで、本研

究では自動運転自動車を用いた移動に関する支援に着目した。災害時において災害情報をリアルタイムで取得できるような自動運転自動車は得られた情報から優先して支援すべき避難者の設定や安全な経路を無人で判断することができ、避難時間や人員を削減することができると思われる。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。その1つの事前把握として、自動運転自動車を用いて避難行動を支援した際にどの程度の所要時間が必要となり、どのような要因が所要時間の変化に影響を及ぼすのかを明らかにしておくことは重要であるといえる。

わが国における災害の甚大化と災害時の避難行動要支援者の迅速な避難のための支援に対する課題を踏まえ、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、小松市の避難行動要支援者の人数、梯川の時系列浸水想定を活用した避難シミュレーションを行う。研究の流れとしては、初めに小松市の「国民健康保険データベース（以下 KDB データ）」を用いて避難行動要支援者の設定および町字単位の把握を行う。その後避難行動要支援者の分布状況から対象地域を選定し、「平成 27 年梯川浸水想定電子化データ」を用いて面積按分を行うことで対象とする避難行動要支援者数を算出する。得られた対象者数及び浸水想定データを活用し、外水氾濫発生時から自動運転自動車を用いて避難を行った際のシミュレーションモデルを作成し、自動運転自動車の移動時間及び乗車人数・非乗車人数を算出する。そして、1人当たりの乗車にかかる時間、避難を促す呼びかけ時間、準備に必要な時間を設定し、移動時間と足し合わせることで避難時の所要時間を算出する。その後、1人当たりの各時間を変化させることで、所要時間に影響する要因を明らかにし、外水氾濫時に自動運転自動車を用いて避難行動要支援者の移動の支援を行う際の時間削減についての知見を得ることを目的とする。

2. 既往研究の整理と本研究の位置づけ

(1) 既往研究の整理

KDB データを用いた避難行動要支援者に関する研究はいくつか存在する。

長木ら⁵⁾は、KDB データを用いて、小松市内の避難行動要支援者の詳細を把握し、小松市梯川における大規模水害の際に、どれだけの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。

森崎ら⁵⁾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を明らかにしている。

平子ら⁶⁾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ている。

水害時の避難に関する研究は数多く存在する。

西川ら⁷⁾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⁸⁾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。

(2) 本研究の位置づけ

本研究は、河川破堤時における避難行動要支援者の避難行動支援を自動運転自動車を用いて行う場合に自動運転自動車の出発タイミングについての知見を得る。本章 KDB データを用いた避難行動要支援者に関する既往研究では、KDB データを用いて避難行動要支援者を算出し、災害時にどの程度の被害を受け、どのような状態に陥るのかを把握しているが、被災者を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、水害時の避難に関する既往研究では、避難者へ情報提供を行うことでどのような行動を取るのかやアンケート調査を用いた広域避難計画の知見を得ているが、避難者の個人属性を考慮し、実際に避難支援を行うことについては言及されていない。以上より、KDB データを用いて避難者の個人属性を把握し、自動運転自動車によって支援した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。

表-1 小松市における避難行動要支援者名簿の登録条件⁹⁾

避難行動要支援者名簿登録条件
75歳以上の1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

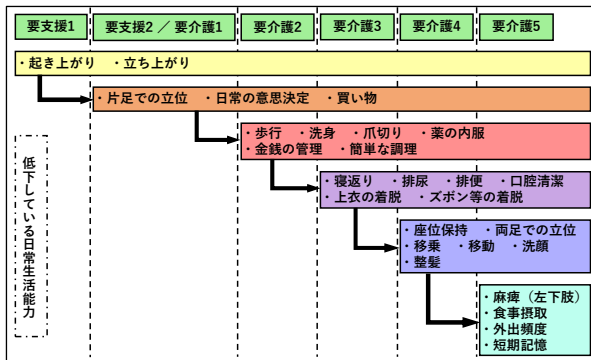


図-2 要介護認定別の状態像¹⁰⁾

3. KDB データを用いた避難行動要支援者の把握と対象地域の設定

(1) 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を市が把握していない人々と考えたためである、小松市では表-1に示す避難行動要支援者名簿の登録条件⁹⁾において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や要支援者などの登録条件を満たしていないが避難時に配慮が必要な人については、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ある。また、図-2に示す、厚生労働省において報告されている要介護認定別の状態像¹⁰⁾によると、介護度が要介護2以下であると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が、介護度が要介護3以上では日常生活を営むにあたって全面的な介護が必要となるとされている。

以上より、日常生活において部分的な支援が必要とされる要支援1から要介護2に属する人々は小松市において避難行動要支援者名簿の登録要件を満たしていない場合、避難行動時の支援を行う人がいなければ、自らの力

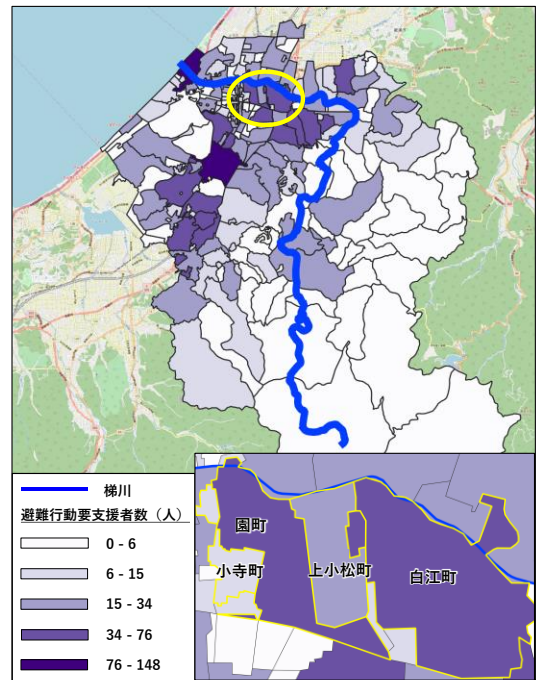


図-3 小松市町字別避難行動要支援者の分布及び対象地域

のみ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と定義した。

(2) 避難行動要支援者の分布と対象地域の設定

本章(1)において定義した避難行動要支援者についてKDB データからの算出を行った。図-3に小松市における避難行動要支援者の分布を示す。北西部における河川付近では、避難行動要支援者が多く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。よって、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)を対象地域とした。

4. 浸水想定データを用いた対象地域内の被災人数の算出

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。想定には、浸水データとして国土交通省が管理している「平成27年梯川浸水想定電子化データ」を用いる。図-4に破堤から90分間の浸水範囲を示す。破堤点としては、対象地域に大きな被害をもたらす可能性のある河口から5km地点を想定する。図-3及び図-4から対象地域では避難行動要支援者が河川近くに多く存在し、破堤から90分間で浸水範

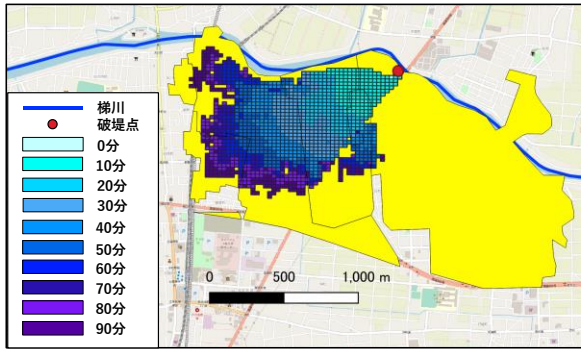


図-4 破堤から 90 分間の浸水範囲

表-2 避難シミュレーションの条件

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（破堤時）
計算時間	5400秒（90分間）
避難者数	46人
避難者位置	浸水時間ごとに浸水するノード上（初回のみランダム）
自動運転自動車設置場所	対象地域内における消防署
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
車両台数	1台
最大乗車人数	5人

囲が大きく広がるため、破堤直近において破堤点近くに存在する人々は時間的な猶予がないほか、避難行動に支援を要する人々であるため避難行動の開始までに時間がかかると予想されることから、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る。対象地域と浸水範囲において面積按分を行った結果、対象地域内における避難行動要支援者のうち、被災人数は 46 人となった。

5. 自動運転自動車による移動支援に関するシミュレーションの概要

表-2に本研究において設定した避難シミュレーションの条件を示す。また、図-5に初期状態における各エージェントの配置を示す。本研究では所要時間を増加させる要因を把握するため、今回はシミュレーションにおいて使用する自動運転自動車の台数は1台とした。避難所の設定については、被害を低減させるために、自動運転自動車による迅速な避難支援活動を行うことを考慮し、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、小松市消防本部とした。自動運転自動車の速度については、H27 年度全国道路・街路交通情勢調査において、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

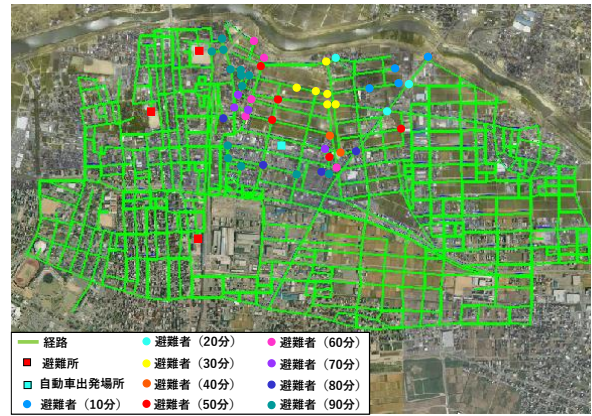


図-5 各エージェントの配置

表-3 シミュレーション結果

	乗車人数 (人)	非乗車人数 (人)	自動車の移動時間
個人の意思考慮	44.7	1.3	1:10:21

り・下り旅行時間の平均値から 24km/h とした。また、自動車の乗車人数は 5 人とした。避難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場合は被災するとした。避難経路については、浸水の広がり方を考慮し、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となる経路とした。シミュレーションにおけるシナリオとしては、破堤と共に自動運転自動車が同様に避難者のもとへ向かうが、到着した際に 13% の確率で乗車しないという選択をとる避難者が存在する場合について、1 人当たりの避難を促す呼びかけ時間を設けることで、乗車しない意思を持った人（避難準備をしていない人）が意思変更し、乗車した場合を想定した。乗車しないと選択する避難者を考慮した理由としては、避難者の中に避難を行う意思がない人が存在した場合に所要時間への影響を把握するためである。また、乗車しない確率としては、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¹⁾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とした。

6. シミュレーション結果と所要時間の算出方法

(1) シミュレーション結果

前章にて記述したシミュレーションを 10 回行った際の平均値を表-3に示す。破堤時から自動運転自動車が出発し、被災までの時間が短い要支援者を優先的に避難所まで運ぶ際の自動車の移動完了時間は 1 時間 10 分 21 秒

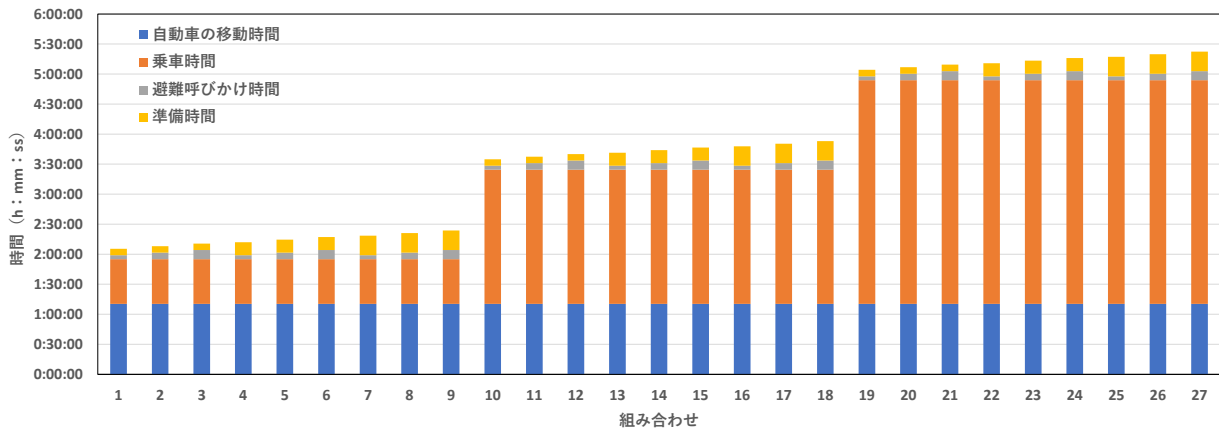


図-6 パラメータの変化による所要時間の変化

表-4 各パラメータの変化

乗車時間 (秒)	呼びかけ時間 (秒)	準備時間 (秒)
60	180	300
180	300	600
300	600	900

となった。また、乗車人数は 44.7 人非乗車人数は 1.3 人となった。

(2) 所要時間の算出

所要時間の算出にあたり、初めに避難者 1 人当たりの時間として乗車時間、避難を促す呼びかけ時間、準備時間を用いる。所要時間の算出方法としては、自動車の移動時間、1 人当たりの乗車に必要な時間を乗車人数に乗じた総乗車時間、1 人当たりの避難を促す呼びかけ時間を非乗車人数に乗じた総呼びかけ時間、1 人当たりの準備時間を非乗車人数に乗じた総準備時間の和を求めることで算出する。

7. 1 人当たりの時間変化による所要時間の変化に対する要因の検討

表-4 に 1 人当たりの各時間の変化を示す。表-4 に示す各時間の変化について全ての組み合わせに対する所要時間の算出を行った結果を図-6 に示す。各パラメータを増加させることで、所要時間も増加している。所要時間の増加において最も影響する要因は乗車時間の増加となり、次いで自動車の移動時間、準備時間の増加、避難呼びかけ時間の増加となった。以上から、自動運転自動車を用いて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。

8. まとめと今後の課題

本研究では、近年増加する大規模自然災害における避難行動要支援者の避難行動支援に自動運転自動車を用いた際の 1 つの知見として、シミュレーションモデルを作成し、所要時間に影響を及ぼす要因についての検討を行った。その結果、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要支援者の行動や意識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要支援者が乗車しやすい環境を整えることや災害意識を向上させておくことで、所要時間を削減することができると考えられる。また、有人運転で支援を行った際には今回算出した所要時間に加え、支援すべき避難者の設定や安全な経路を判断する時間が必要となり、所要時間の増加に繋がることが考えられる。

今後の課題として、本研究におけるシミュレーションでは自動運転自動車の移動時間を算出しているが、速度を一定の 24km/h と設定しており、自動運転自動車右左折時の挙動などについては考慮されていない。そのため、自動運転自動車の速度に関する挙動を考慮し、右左折時や混雑時における正確な速度を用いてシミュレーションを行う必要がある。また、自動運転自動車に乗車しない確率を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得られた、「避難の必要が無い」と答えた割合として 13% と設定したが、避難時に自動運転自動車に乗車するかどうかについては結果が異なることが考えられることや、所要時間の算出について変化させる 1 人当たりの時間についてのデータを実験やアンケートを行い、より精緻にする必要がある。

参考文献

1) 国土交通省：水害対策を考える，第 3 章水害・土砂災害の発生要因と社会構造の変化，

- https://www.mlit.go.jp/river/pamphlet_jirei/bousai/sai-gai/kiroku/suigai/suigai_3-4-2.html, 2021 年 9 月 29 日閲覧
- 2) 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/>，2021 年 9 月 29 日閲覧
 - 3) 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>，2021 年 9 月 29 日閲覧
 - 4) 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.
 - 5) 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, No1, p.1_104-1_121, 2018.
 - 6) 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.
 - 7) 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.
 - 8) 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.
 - 9) 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，2021 年 9 月 29 日閲覧
 - 10) 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，<https://www.mhlw.go.jp/topics/kaigo/kentou/15kourei/sankou3.html>，2021 年 9 月 29 日閲覧
 - 11) 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，2021 年 9 月 29 日閲覧

A BASIC ANALYSIS ON THE USE AUTOMATED VEHICLES
FOR EVACUATION ASSISTANCE
—ASSUMING A LARGE-SCALE FLOOD DISASTER
IN KOMATSU CITY, ISHIKAWA PREFECTURE—

Yuta MORIWAKI, Makoto FUJIIU and Junichi TAKAYAMA