調査研究報告　　No.445
RESEARCH REPORT 2024. 3

都市部における津波避難手段の多様化による対策効果の評価に関する研究

Study on Evaluation of the Effectiveness of Measures to Diversify Tsunami Evacuation Means in Urban Areas

今井　崇嗣[1)]、竹内　慎一[2)]、川村　壮[3)]、戸松 誠[4)]、福井　淳一[5)]
Takashi Imai[1)], Shinichi Takeuchi[2)], Takeshi Kawamura[3)], Makoto Tomatsu[4)] , Junichi Fukui[5)]

地方独立行政法人北海道立総合研究機構
建築研究本部
北方建築総合研究所
Northern Building Research Institute
Building Research Department
Local Independent Administrative Agency Hokkaido Research Organization

[1)] 地域研究部防災システムグループ 研究職員　[2)] 同研究主幹・博士（工学）　[3)] 同研究主任・博士（文学）　[4)] 建築研究部　部長・博士（工学）　[5)] 地域研究部　部長

1) Researcher of Disaster Prevention Group.　2) Senior Research Manager of Disaster Prevention Group.Dr.(Eng.)　3) Researcher of Disaster Prevention Group.Dr.(Human Sciences.)　4) Director of Building Research Division.Dr.(Eng.)　5) Director of Regional Research Division.

本書の全部および一部の無断での転載はご遠慮ください。

No unauthorized reproduction

概　要
Abstract

都市部における津波避難手段の多様化による対策効果の評価に関する研究
Study on Evaluation of the Effectiveness of Measures to Diversify Tsunami Evacuation Means in Urban Areas

今井　崇嗣[1)]、竹内　慎一[2)]、川村　壮[3)]、戸松 誠[4)]、福井　淳一[5)]
Takashi Imai[1)], Shinichi Takeuchi[2)], Takeshi Kawamura[3)], Makoto Tomatsu[4)] , Junichi Fukui[5)]

キーワード ***：*** *津波避難、自動車避難、マルチエージェントシミュレーション*
Keywords : *Tsunami Evacuation, Automobile Evacuation, Multiagent Simulation*

1．研究概要

1）研究の背景

・北海道では「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震」の発生とそれに伴う津波の発生が懸念されており、この地震による被害想定が進められている。

・津波対策の基本は、徒歩による避難であり、これまでにも道総研重点研究「津波による最大リスク評価手法の開発と防災対策の実証的展開」において、冬期の避難速度の解明など徒歩避難による検討が進められてきた。

・北海道都市部の津波避難について、積雪寒冷条件や避難速度を考えると、非浸水域への自動車、バス、タクシーなどの移動資源を活用した避難、徒歩避難及び避難ビルへの避難を適切に組み合せることで救助できる人の最大化を目指すことが求められる。

・徒歩以外の避難手段として個人の自動車以外にも路線バスや貨物車両など利用可能な避難手段が考えられるが、自動車避難は歩行者の混在した状況で却って避難行動を阻害することも考えられ、避難手段の適切な組み合わせと、避難手段を知るための情報伝達手段と情報を適切に解釈し避難行動に移すことが必要である。

2）研究の目的

・本研究では、高齢者など避難困難者や、家族の救助心理、誘導の通りに行動しない人も一定割合いることも加味しつつ、マルチエージェントシミュレーションにより津波発生時の行動を分析し、地域内交通の活用など多様な避難手段を用いることによる避難時の状況予測を行い、津波発生時の取り決めを含めた実効性の高い避難方法を提案する。

2．研究内容

1）避難組み合わせモデルの検討（R4 年度）

・ねらい：避難者の属性及び市町村の現状を踏まえた使用可能な避難手段を整理し、津波浸水予測データから自動車避難や公共交通を用いた複数避難手段の組み合わせを検討する。また地震被害想定及び津波避難計画などを参考に、避難目標地点及び利用可能な避難経路を選定する。

[1)] 地域研究部防災システムグループ 研究職員　[2)] 同研究主幹・博士（工学）　[3)] 同研究主任・博士（文学）　[4)] 建築研究部　部長・博士（工学）　[5)] 地域研究部　部長
[1)] Researcher of Disaster Prevention Group.　[2)] Senior Research Manager of Disaster Prevention Group.Dr.(Eng.)　[3)] Researcher of Disaster Prevention Group.Dr.(Human Sciences.)　[4)] Director of Building Research Division .Dr.(Eng.)　[5)] Director of Regional Research Division.

・試験項目等：避難者数の推計、避難手段と利用方法の整理、組み合わせの検討、避難経路の選定

2）マルチエージェントシミュレーター※による避難シミュレーション（R5 年度）

・ねらい： 1）で決定した避難組み合わせモデルに基づき、誘導の通りに行動しない人も一定割合存在することなどを加味した上でエージェントの行動条件を複数設定し、避難シミュレーションを行い、避難可能数とシミュレーションの条件の違いによる結果のばらつきを計算する。また、シミュレーション結果を分析、避難行動時のボトルネックになる条件を明らかにする。

・試験項目等： シミュレーション条件の設定、シミュレーションの実施、ボトルネックの分析

3）避難手段の多様化実現に向けた課題整理（R5 年度）

・ねらい： 検討した避難手段について、実現するための制度的・技術的課題等について、事業者や行政などの関係主体に対して、ヒアリング等を行い、課題解決の可能性とその方法を検討する。

・試験項目等： 事業者ヒアリング、行政ヒアリング

3．研究成果

1）避難組み合わせモデルの検討（R4 年度）

・日本海溝･千島海溝沿いの地震被害想定結果や既往研究をもとに地域における避難者の属性、施設配置、移動資源、道路被害箇所などの整理を行った（図 1)。また、徒歩以外の避難手段として想定される組み合わせを検討し、本研究では自家用車などの乗用車を中心とした避難方法についてシミュレーションを行うこととした。

2）マルチエージェントシミュレーターによる避難シミュレーション（R5 年度）

・道内で実施された避難訓練を通じて自動車を用いた乗車時間や歩車混合による速度低下などシミュレーション構築において必要となるデータについて計測した。避難シミュレーションモデルでは格子状の地域を設定し、徒歩避難と自動車避難の行動条件を設定した（図 1)。特に避難中の自動車が徒歩避難者を拾い上げる「乗合（ピックアップ)」や病院要配慮者をまとめて自動車等を使用し避難所へ輸送する「集団避難」、初期配置された自動車が保育所へ向かいその後避難所へ移動する「他地点経由」の行動について検討し、津波浸水区域外へ到達した人数及び台数を避難者数で除した「避難完了率」を時間毎に集計した。

・本モデルでは自動車使用率を増加させると早期の避難完了率が向上するが、道路被害を想定すると自動車使用率 100%において避難完了の低下率が大きくなる。集団輸送の効果は見られるが、乗合（ピックアップ）する車両数や他地点を経由する車両数の割合の設定により避難完了率が大きく変化する。（図 3）

3）避難手段の多様化実現に向けた課題整理（R5 年度）

・徒歩以外の避難手段である自動車及びカートを用いて津波避難訓練を実施した浜中町保育所に対し、避難時の避難速度等の測定を行った。

・訓練時の測定結果から明らかとなった課題点について整理し、浜中町保育所へヒアリングを実施した。特に避難準備時間の短縮や介助者の人員確保の課題が挙げられた。

＜具体的データ＞



図 1　避難手段の組み合わせ（例示：むかわ町）

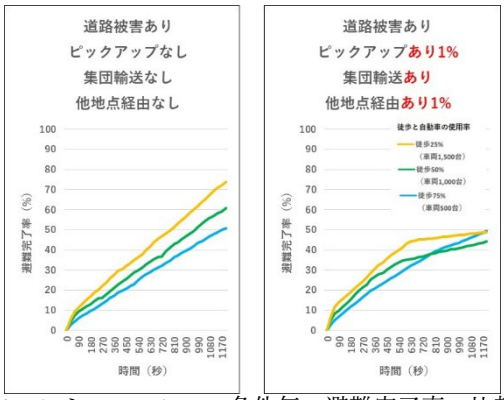


図 2　シミュレーション条件毎の避難完了率の比較

4．今後の見通し

1）成果の活用面と留意点

・自治体の津波避難計画や被害想定に基づいた減災対策への活用が図られる。

・都市部における津波避難の課題を明らかにして津波発生時の安全性の向上に寄与する。

2）残された問題とその対応

・今後の研究において、渋滞発生の要因に対するシミュレーション条件を精査し、現地適用を可能としたシミュレーションを確立させる。

・積雪寒冷期における課題も整理し、より実効性のある多様な避難手段を提案する。

目　次

１．研究の背景と目的 1
（１）背景と目的 1
（２）研究項目 1

２．避難組み合わせモデルの検討 1
（１）使用可能な避難手段の整理 1
（２）複数避難手段の組み合わせの検討 2
（３）避難目標地点・避難経路の選定 3

３．マルチエージェントシミュレーターによる避難シミュレーション 4
（１）データ測定 4
（２）アンケート調査 4
（３）避難シミュレーション条件 6
（４）避難シミュレーション結果 8

４．避難手段の多様化実現に向けた課題整理 10
（１）避難訓練時の計測 10
（２）避難訓練後のヒアリング 11

５．まとめ 11

１．研究の背景と目的

（１）背景と目的

北海道では日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震の発生とそれに伴う津波の発生が懸念されており、令和 4 年度に北海道が公表した「日本海溝・千島海溝沿いの地震被害想定[1)]（以下、「被害想定」という。）」において、冬の深夜帯で約 14 万人の人的被害が想定されている。

特に津波による被害が大きく、早期の避難を開始すること、津波情報の伝達や避難の呼びかけを行うことなど効率的な避難方法や対策が求められている。

この避難において国の防災基本計画では、徒歩によることを原則としており、やむを得ず自動車により避難せざるを得ない場合は、市町村において方策を検討するものとしている。自動車避難を検討するにあたり各地域における津波到達時間、指定緊急避難場所までの距離、避難者の属性を考慮するとともに、道路被害や建物倒壊による避難路の遮断、子供を保育所に迎えにいく家族の救助心理が働くなど避難時に自動車を使用することで様々な状況が発生することから、検討に苦慮しているのが現状である。

一方で、内閣府・気象庁・総務省が調査した結果[2)]より東日本大震災では避難時の自動車使用率が 57%であった。その理由として避難が間に合わない、複数人で避難するといったことが挙げられ、地域の事情や避難者の属性によっては徒歩での避難が困難であり徒歩以外の手段が必要となる。

本研究では、徒歩避難と自動車避難が混在した状況において①道路被害による影響、②複数の避難者を輸送する際の影響、③避難目的地以外へ経由することの影響、④徒歩避難者が避難途中で自動車に乗り合いする（ピックアップされる）ことの影響の 4 点について、人と自動車をエージェントと見立てて、それぞれが相互作用を受けたときの避難行動をマルチエージェントシミュレーションにより分析し、津波発生時の取り決めを含めた実効性の高い避難方法を提案し、徒歩や自動車の利用方法を適切に組み合わせることで救助できる人命の最大化を目指すことを目的とする。

（２）研究項目

1)避難組み合わせモデルの検討

避難者の属性及び市町村の現状を踏まえた使用可能な避難手段を整理し、津波浸水予測データから自動車避難や公共交通を用いた複数避難手段の組み合わせを検討する。また被害想定及び津波避難計画などを参考に、避難目標地点及び利用可能な避難経路を選定する。

2）マルチエージェントシミュレーターによる避難シミュレーション

１）で決定した避難組み合わせモデルに基づき、自動車を使用した避難方法についてエージェントの行動条件を複数設定し、避難シミュレーションを行い、避難可能数とシミューションの条件の違いによる結果のばらつきを計算する。また、シミュレーション結果を分析、避難行動時のボトルネックになる条件を明らかにする。

3)避難手段の多様化実現に向けた課題整理

検討した避難手段における実現するための制度的・技術的課題等について、事業者や行政などの関係主体に対して、ヒアリング等を行い、課題解決の可能性とその方法を検討する。

２．避難組み合わせモデルの検討

（１）使用可能な避難手段の整理

まず北海道内の車両数の実態把握を行った。北海道運輸局が公表している登録車両について振興局別に図 1-1 に示す。乗用車の割合が高いことに着目し、太平洋沿岸の市町村における被害想定の避難者数と乗用車数の相関を図 1-2 に示す。図 1-3 に市町村が保有する乗用車数よりも避難者数が多い 12 市町を示す。市町村の人口によらない避難手段として乗用車の台数が少ないことを考慮すると乗用車 1 台に対して複数人が乗り合いするなどの乗用車の使い方の工夫が必要となる。本研究では自動車避難者が避難

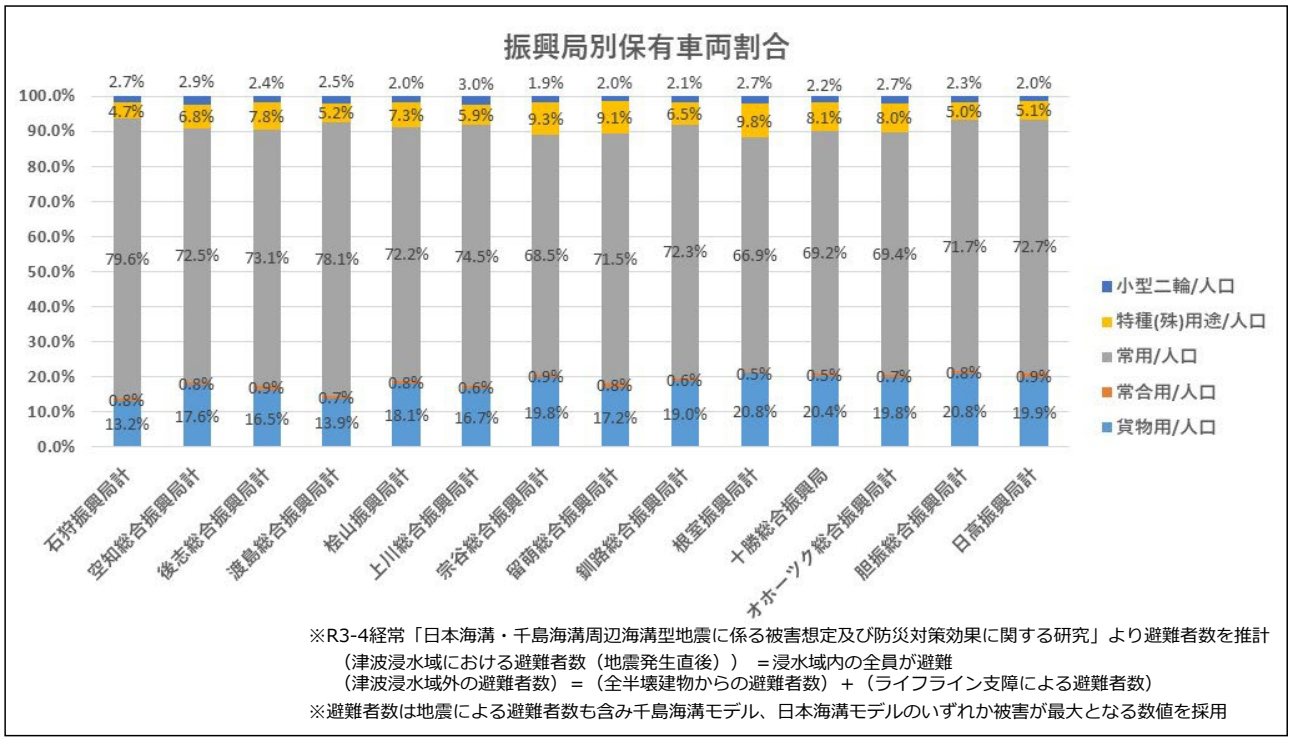


図 1-1　振興局別保有車両割合

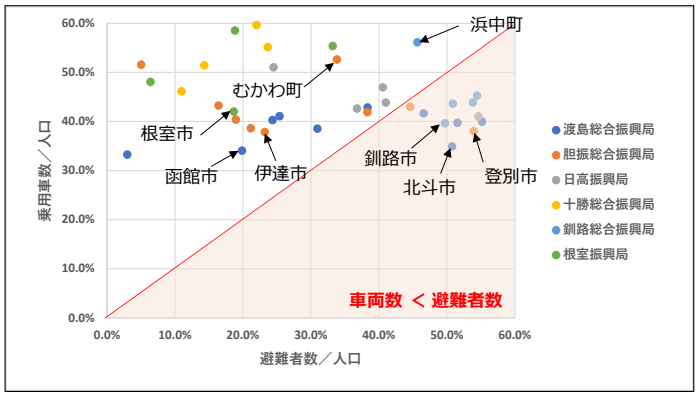


図 1-2　避難者数と乗用車数の相関

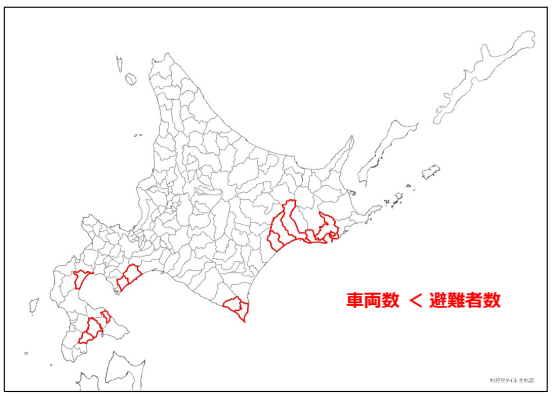


図 1-3　乗用車数より避難者数の多い市町村

中の徒歩避難者を自動車に乗り合いさせることを「乗合（ピックアップ）」と定義し、避難シミュレーションにて検討を行う。

次に避難者の属性について検討する。被害想定では避難に配慮が必要とされる避難者（以下、「要配慮者」という。）として「5 歳未満の乳幼児」、「妊産婦」、「外国人」、「65 歳以上の単身高齢者」、「身体障害者」、「知的障害者」「精神障害者」、「要介護認定者」、「難病患者」を対象としている。

市町村が保有する乗用車数よりも避難者数が多い 12 市町を対象に要配慮者の割合を表 1-1 に示す。このうち自力で徒歩避難ができない避難者（「以下、「要援護者」という。」）と考えられる「身体障害者」、「知的障害者」、「精神障害者」、「要介護認定者」、「難病患者」の合計割合が高いことから、要援護者の避難に対して自動車を利用して集団でまとめて輸送する方法が必要となる。本研究では要援護者をまとめて自動車を使用し避難所へ輸送することを「集団輸送」と定義し、避難シミュレーションにて検討を行う。

（2）複数避難手段の組み合わせの検討

むかわ町を例に複数の避難手段の組み合わせを検討する。津波浸水区域、施設の位置から推測される

表 1-1　要配慮者（要援護者）数と割合

市町村名	要配慮者総数	5歳未満の乳幼児	妊産婦	外国人	65歳以上の単身高齢者	自力歩行不可					
						身体障害者	知的障害者	精神障害者	要介護認定者	難病患者	計
木古内町	565人	23人	5人	10人	220人	107人	24人	19人	137人	20人	308人
		4.0%	0.9%	1.8%	38.9%	19.0%	4.3%	3.3%	24.2%	3.6%	**54.4%**
北斗市	4190人	540人	65人	106人	1004人	1032人	234人	180人	832人	197人	2475人
		12.9%	1.5%	2.5%	24.0%	24.6%	5.6%	4.3%	19.8%	4.7%	**59.1%**
鹿部町	451人	36人	6人	47人	113人	99人	23人	17人	91人	19人	249人
		8.0%	1.2%	10.5%	25.1%	22.0%	5.0%	3.8%	20.1%	4.2%	**55.2%**
長万部町	536人	37人	5人	49人	180人	99人	22人	17人	107人	19人	265人
		6.9%	1.0%	9.1%	33.6%	18.5%	4.2%	3.2%	20.0%	3.5%	**49.4%**
登別市	5594人	643人	86人	82人	1745人	1349人	306人	235人	891人	257人	3038人
		11.5%	1.5%	1.5%	31.2%	24.1%	5.5%	4.2%	15.9%	4.6%	**54.3%**
白老町	1659人	95人	20人	79人	582人	328人	75人	57人	361人	63人	884人
		5.7%	1.2%	4.7%	35.1%	19.8%	4.5%	3.5%	21.8%	3.8%	**53.3%**
様似町	625人	54人	9人	13人	213人	135人	31人	23人	122人	26人	337人
		8.6%	1.4%	2.0%	34.2%	21.6%	4.9%	3.8%	19.5%	4.1%	**53.9%**
えりも町	477人	54人	9人	14人	129人	120人	27人	21人	79人	23人	271人
		11.4%	1.8%	2.8%	27.1%	25.3%	5.7%	4.4%	16.6%	4.8%	**56.9%**
釧路町	1295人	210人	22人	21人	307人	326人	74人	57人	215人	62人	733人
		16.2%	1.7%	1.7%	23.7%	25.2%	5.7%	4.4%	16.6%	4.8%	**56.6%**
釧路市	16545人	1682人	230人	315人	5157人	3625人	823人	632人	3389人	691人	9161人
		10.2%	1.4%	1.9%	31.2%	21.9%	5.0%	3.8%	20.5%	4.2%	**55.4%**
厚岸町	1146人	108人	15人	60人	314人	248人	56人	43人	254人	47人	649人
		9.4%	1.3%	5.3%	27.4%	21.6%	4.9%	3.8%	22.2%	4.1%	**56.6%**
白糠町	1298人	85人	15人	58人	430人	262人	59人	46人	293人	50人	710人
		6.5%	1.2%	4.5%	33.1%	20.2%	4.6%	3.5%	22.6%	3.8%	**54.7%**

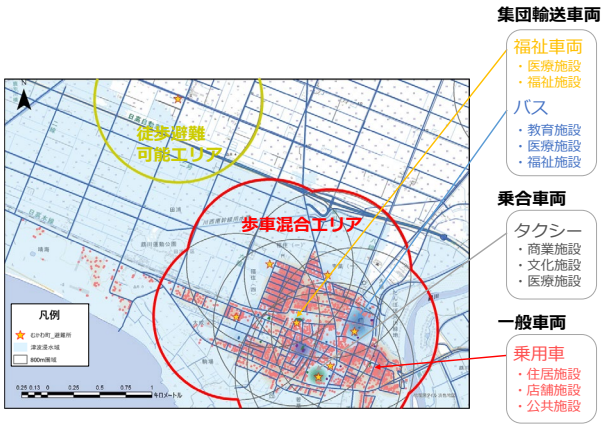


図 2-1　避難手段の組み合わせ（むかわ町の例）

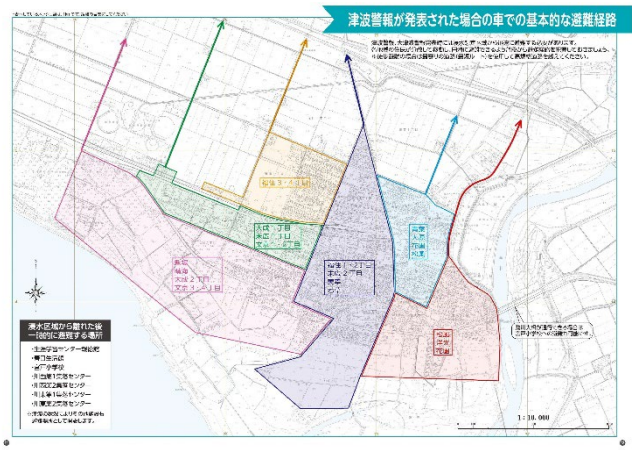


図 2-2　むかわ町津波ハザードマップ（避難経路）

移動資源及び一般的な徒歩圏として避難所を中心とした半径 800ｍの範囲を図 2-1 に示す。ここから「徒歩避難可能エリア」、「歩車混合エリア」に分けることができる。

この「歩車混合エリア」のうち、施設毎の移動資源から車種を抽出し、そこから「集団輸送車両」、「乗合車両」、「一般車両」に分類する。徒歩避難者と自動車避難を想定した「集団輸送車両」、「乗合車両」、「一般車両」の割合を変えることで、避難の可否を避難シミュレーションにて検討を行う。

（３）避難目標地点・避難経路の選定

むかわ町では、新たな津波浸水想定の結果と既往研究[3]の成果をもとに、図 2-2 に示すとおり、地区ごとに自動車を使用した際の基本的な避難経路を津波ハザードマップ[4]として公表している。

自動車避難における避難経路の選定は道路被害がない路線を前提とするが、災害規模や道路の被害状況によっては交通渋滞や道路閉塞が発生し自動車避難に支障をきたす恐れがある。本研究では道路被害の有無による避難の可否を避難シミュレーションにて検討を行う。

3．マルチエージェントシミュレーターによる避難シミュレーション

（1）データ測定

避難シミュレーションの条件設定に必要となる乗車時間、避難速度のデータを測定した。

1）要援護者の乗車時間

集団輸送を検討する際に重要となるのが要援護者の乗車時間である。健常者が乗車するより時間がかかり避難開始時間に影響が出ると想定される。そこでむかわ町立鵡川中学校の学生を代用し、介助者二人が車いすの要援護者一人を乗車させる時間を計測した。

図 3-1 に示すとおり、車いすの使い方や介助の知識がない状態では乗車完了までに 56 秒だったのに対し、ある程度介助の経験をさせた状態では 25 秒であった。今回の避難シミュレーションでは介助に精通している者が介助することを想定し、要援護者一人を乗車させる時間として 25 秒の数値を採用する。



図 3-1　要援護者の乗車時間

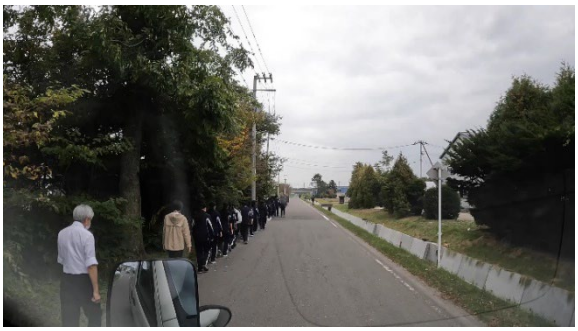


写真 1-1　避難中の様子

2）徒歩者と自動車の避難速度

既往研究[3)]では徒歩避難者のみの場合の避難速度を計測しているが、同一避難路において徒歩避難と自動車避難が混在した場合、相互の避難速度に影響が出ることが想定される。

そこで、むかわ町立鵡川中学校の避難訓練において徒歩避難と自動車避難の速度測定を行った。写真 1-1 に示すとおり、歩車分離がされていない道路幅員約 6m の避難路において徒歩避難者のすぐ横を自動車が通過する。図 3-3 に示すとおり、どちらも速度低下が見られ、徒歩避難においては自動車が通るたびに速度が低下する傾向が見られた。

また、自動車避難においても避難中の歩行者の飛び出しや路面の段差などで速度が低下する状況が見られた。今回の避難シミュレーションでは自動車避難の速度を計測時の平均速度 21.5km/h とする。徒歩避難の速度を被害想定で採用されている非積雪時の健常者中心速度 0.68m/s と避難行動要支援者同行速度 0.47m/s とした。

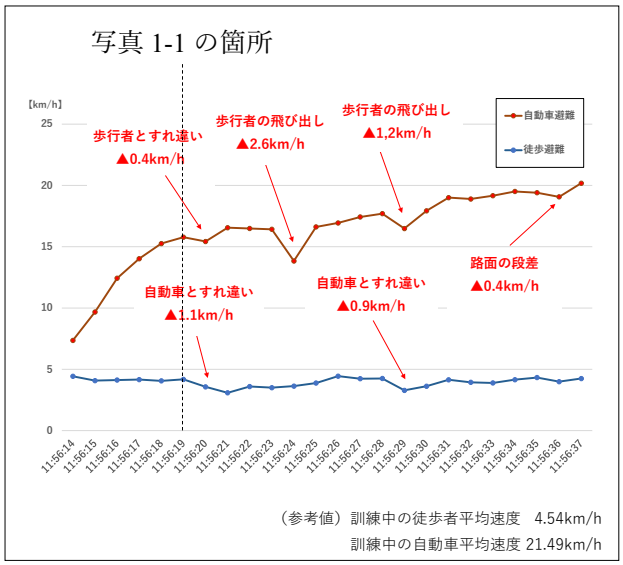


図 3-2　徒歩者と自動車の避難速度

（2）アンケート調査

次に避難手段と避難直後の行動について浜中町が実施した避難訓練においてアンケートを実施した。

1）避難手段

アンケート内容は国土交通省[5)]の調査結果と比較できる内容とした。アンケート結果を図3-3に示す。

東日本大震災時では自動車使用率が 55%であった

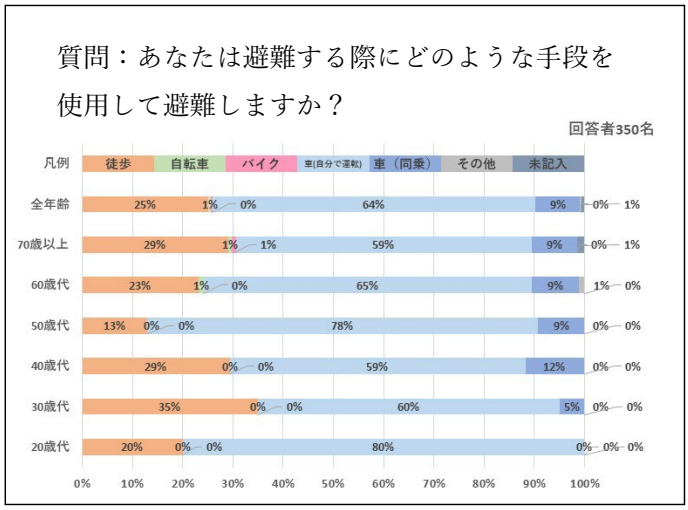


図 3-3　年代別避難手段

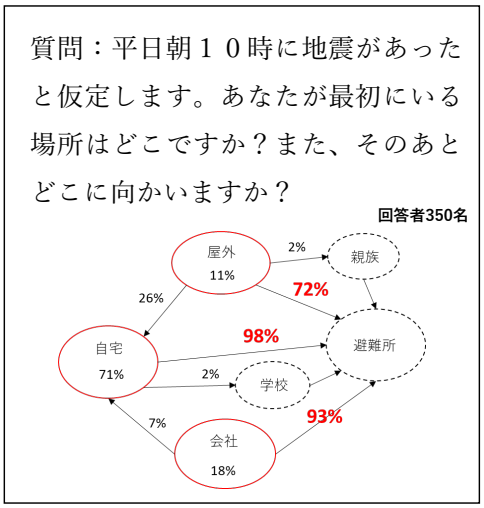


図 3-4　避難行動

のに対し、浜中町では 74%と東日本大震災時を上回った結果となった。また、東京大学社会情報研究所報告書[6]より十勝沖地震時の自動車使用率 74%と同値である。浜中町の自動車使用率が高い理由として、図 1-2 より他の市町村と比べて乗用車数の割合が高いことから、平時から自動車使用率が高いものと推測される。

2)避難直後の行動

アンケート内容は吉井[7]の調査結果と比較できる内容とした。アンケート結果を図 3-4 に示す。

東日本大震災では自宅や学校などを経由して避難所に向かうケースが多く見られた。一方で、浜中町では多くの方が直ちに避難所に向かう結果が得られた。

これは日頃の避難訓練の成果として避難行動が徹底されていると推測できるが、他の地点を経由する例も少なくない。柳原ら[8]の避難行動の分析結果においても、自動車避難者の自宅経由が渋滞の要因となるとともに避難者本人の避難可能時間を著しく短くするとしている。本研究では発災後に避難所に向かわず他の地点を経由した後に避難所へ向かう行動を「他地点経由」と定義し、避難シミュレーションにて検討を行う。

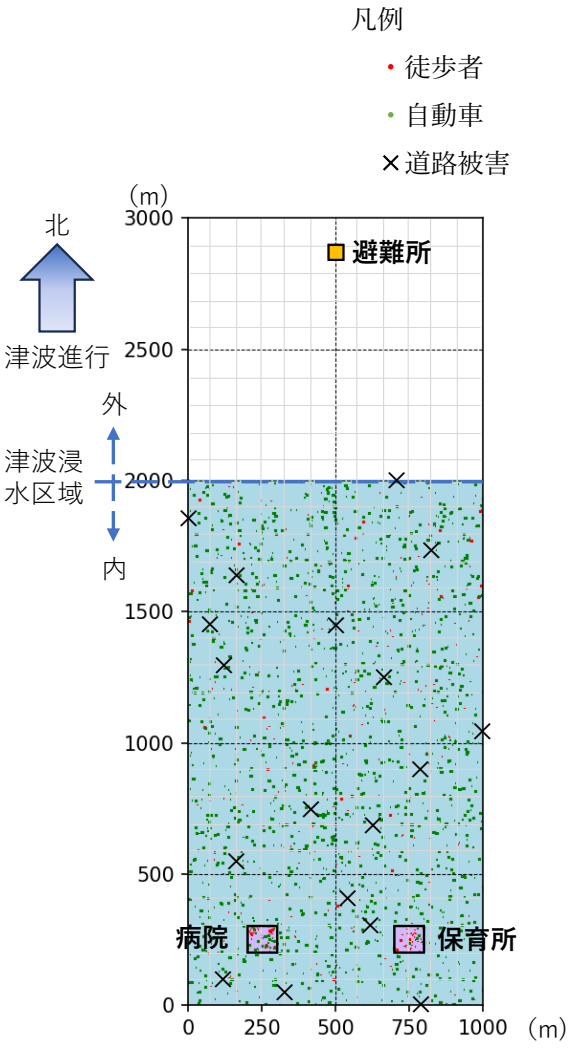


図 4-1　モデル設定

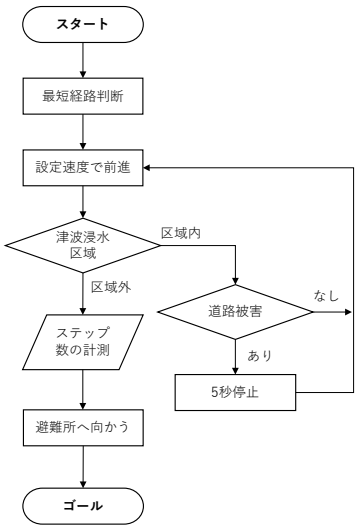


図 4-2　徒歩避難の行動条件

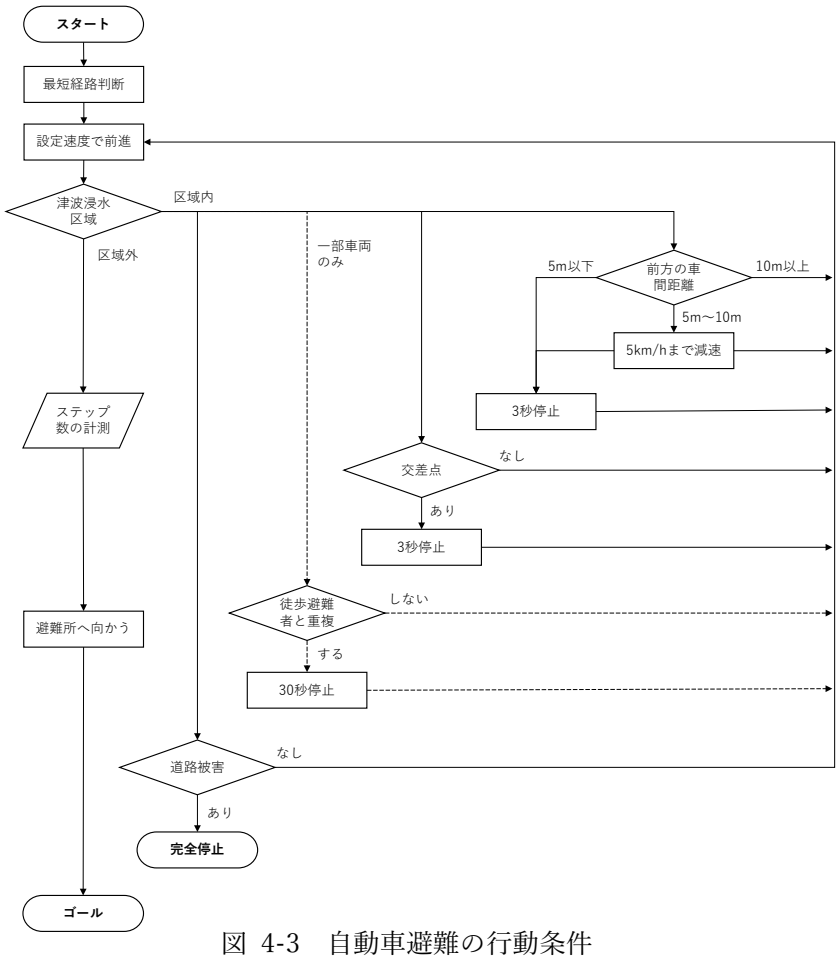


図 4-3　自動車避難の行動条件

（3）避難シミュレーション条件

1)基本条件

今回の避難シミュレーションでは避難手段と避難行動の違いによる結果のばらつきを把握するため、実際の都市をモデルとせず、横 1ｋｍ縦 3 ｋｍの格子状の架空モデルとして図 4-1 のとおり設定する。モデル内に避難所、病院及び保育所を配置する。津波の進行は南から北に向かうものとし、下方から 2ｋｍ地点で津波浸水区域内と区域外の境目を設定する。

津波浸水区域内に避難対象者 2000 人を配置し、徒歩避難と自動車避難の割合を設定する。避難所を目的地とし、時間の経過とともに津波浸水区域外に到達した人数及び台数を集計し、避難対象者数で除した値を「避難完了率」と定義する。

道路形態は一車線とし、停電により信号機が停止していることを想定し交差点における自動車の停止はないものとする。

また、道路被害について被害想定で使用した計算式により 18 か所とし、津波浸水区域内にランダムに配置する。

道路総延長 70km×0.25（震度 7・4 種）＝18 カ所

その他の条件として、夏季の昼間を想定する。また、モデルの領域以外からの人流はないものとする。

避難者の属性と速度の設定を表 2-1 に示す。

表 2-1　避難者属性と速度の設定

属性	内容	速度
人A	徒歩避難者で津波浸水区域内にランダムに配置し、避難所へ向かう	0.68m/s （被害想定の計算値による）
人B	自力歩行不可の要援護者100人を病院内に配置し、避難所へ向かう	0m/s
人C	自力歩行可能の要配慮者40人として保育所内に配置し、避難所へ向かう	0.47m/s （被害想定の計算値による） カート利用時1.2m/s （浜中町避難訓練の実測による）
車A	自動車を利用して避難し、津波浸水区域内にランダムに配置し、避難所へ向かう 車両の一部は避難中の徒歩避難者を乗合（ピックアップ）する	21.5km/h （むかわ町避難訓練の実測による）
車B	集団輸送用車両（福祉車両を想定）を利用して避難し、病院内に配置し、避難所へ向かう	21.5km/h （むかわ町避難訓練の実測による）
車C	自動車を利用して避難し、津波浸水区域内にランダムに配置し、保育所を経由し避難所へ向かう	21.5km/h （むかわ町避難訓練の実測による）

表 2-2　徒歩避難者数と自動車避難の台数の設定

避難手段			徒歩避難 100%	徒歩避難 75%			徒歩避難 50%			徒歩避難 25%			徒歩避難 0%		
				避難行動 0%	避難行動 1%	避難行動 5%	避難行動 0%	避難行動 1%	避難行動 5%	避難行動 0%	避難行動 1%	避難行動 5%	避難行動 0%	避難行動 1%	避難行動 5%
徒歩避難者			2000人	1500人	1500人	1500人	1000人	1000人	1000人	500人	500人	500人	0人	0人	0人
	人A（一般）		1860人	1360人	1360人	1360人	860人	860人	860人	360人	360人	360人	0人	0人	0人
	人B（要援護者）※固定数		100人	100人	100人	100人	100人	100人	100人	100人	100人	100人	0人	0人	0人
	人C（要配慮者）※固定数		40人	40人	40人	40人	40人	40人	40人	40人	40人	40人	0人	0人	0人
自動車避難			0台	500台	500台	500台	1000台	1000台	1000台	1500台	1500台	1500台	2000台	2000台	2000台
	車A	一般	0台	475台	465台	425台	975台	955台	875台	1475台	1445台	1325台	1975台	1935台	1775台
		乗合	0台	0台	5台	25台	0台	10台	50台	0台	15台	75台	0台	20台	100台
	車B（集団輸送）※固定数		0台	25台	25台	25台	25台	25台	25台	25台	25台	25台	25台	25台	25台
	車C（他地点経由）		0台	0台	5台	25台	0台	10台	50台	0台	15台	75台	0台	20台	100台
避難対象者合計			2000人	2000人	2000人	2000人	2000人	2000人	2000人	2000人	2000人	2000人	2000人	2000人	2000人

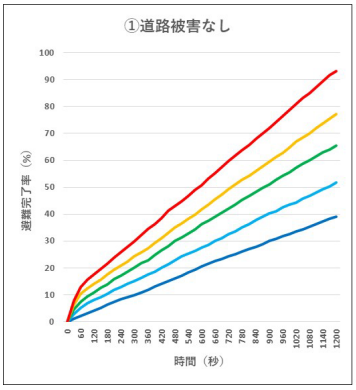


図 4-4　道路被害がない避難手段割合別避難完了率

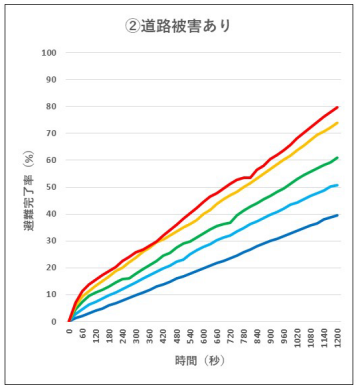


図 4-5　道路被害がある避難手段割合別避難完了率

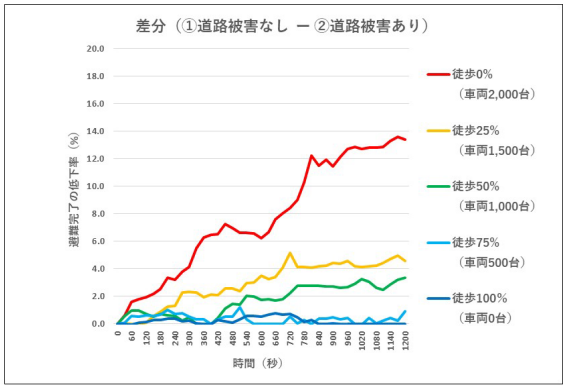


図 4-6　道路被害の有無による避難完了の低下率

2)徒歩避難の行動条件

徒歩避難の行動条件を図 4-2 に示す。徒歩避難者同士は追い越ししないものとする。また、周囲の自動車避難が及ぼす速度低下はしないものとする。

3)自動車避難の行動条件

自動車避難の行動条件を図 4-3 に示す。自動車避難者同士は追い越ししないものとする。また、周囲の徒歩避難者が及ぼす速度低下はしないものとする。

4)集団輸送の行動条件

集団輸送用車両は運転手含み 1 台あたり乗車人数を 4 人とする。また、乗車時間を 1 台あたり 100 秒（自動車準備 25 秒、要配慮者乗車 25 秒／人）とし、100 秒後に病院を出発し避難所へ向かうものとする。

5)乗合（ピックアップ）の行動条件

今回の避難シミュレーションでは自動車避難と徒歩避難者が同一上に重なった際に、それぞれが 30 秒停止し、徒歩避難者が自動車に乗り合いすることを想定する。ただし、自動車に乗り合いできる定員は 1 人とし、既に乗り合いが完了している自動車避難が他の徒歩避難者と同一上に重なっても乗り合い（停止）はしないものとする。

6)他地点経由の行動条件

津波浸水区域内にランダムに配置された自動車が初期位置から保育所へ向かい、保育所に到着後 60 秒停止したのちに避難所へ向かうものとする。この際、避難経路中の徒歩避難者の乗り合いや保育所での乗り合いはしないものとする。

（4）避難シミュレーション結果

1)自動車の使用率による避難完了率の変化

避難シミュレーションで比較する徒歩避難と自動車避難の台数の設定を表 2-2 に示す。避難対象者に対して徒歩避難者と自動車避難を振り分ける。人 B（要援護者）と人 C（要配慮者）の人数及び車 B（集団輸送）の台数を固定値とする。自動車避難のうち乗合と他地点経由の行動を「避難行動」と定義し、自動車避難台数に対して避難行動をする車両台数の割合を設定する。

横軸を経過時間とし、縦軸を避難完了率とした図 4-4 に示すとおり、道路被害がなく、避難行動がない条件では自動車の使用率が増加すると早期の避難完了率は向上する。徒歩避難 0%から 100%のいずれの避難手段割合においても線形に推移していることから、このモデルでは道路被害がない場合において交通渋滞が発生しにくく避難に影響は少ないものと考えられる。

2)道路被害の有無による避難完了率の変化

図 4-5、4-6 に示すとおり、道路被害があることで避難完了率は低下し、特に徒歩避難 0%（自動車使用 2,000 台）の 1200 秒時点の避難完了が 14%低下し、避難者 280 人に影響が出る。一方で、徒歩避難 25%（自動車使用 1,500 台）にすると避難完了の低下率は大きく減少し、徒歩 50%（自動車使用 1,000 台）と時間の経過とともに避難完了の低下率が 4%付近で収束する。このモデルにおける避難シミュレーションの結果では避難完了率が高く道路被害の影響が少ないと思われる避難手段割合は徒歩 25%となり、図 3-4 より浜中町でのアンケート結果による全年齢における徒歩選択率と同じ割合となる。

3)集団輸送による避難完了率の変化

図 4-8 に避難シミュレーションの結果を示す。集団輸送をすることで、徒歩避難 25%から 75%のいずれの避難手段割合においても病院の要援護者の避難が完了し、図4-7と比べ避難完了率が向上している。また、グラフの傾きに変化が見られないことから、集団輸送による交通渋滞の影響は小さいと考えられる。結果としてこのモデルにおいて集団輸送の効果が見られた。

4)乗合や他地点経由による避難完了率の変化

図 4-8 の避難行動なしの条件に自動車避難台数の 5%に相当する車両台数を避難行動させると、図 4-9 に示すとおり、避難直後から交通渋滞が発生し徒歩避難率が低い（自動車使用台数が多い）ものほど避難完了率が大幅に低下する。特に図 4-11 に示すとおり、徒歩避難 25%（自動車使用 1,500 台）では 1200 秒時点の避難完了率が 54%低下し、避難者の半数以上に影響が生じている。また、徒歩避難 25%から 75%のいずれの避難手段割合においても図 4-4 で示す徒歩 100%（自動車使用 0 台）の 1200 秒時点の避難完了率よりも低いことから、このモデルにおいて乗合による効果は低い。これは乗合時の車両停止や他地点を経由する逆走車両による交通渋滞が発生するためで、乗合や他地点経由の避難行動をする車両が多いほどその影響を大きく受ける。今回の避難シミュレーションの条件設定では、徒歩避難が間に合う避難者も乗合すること、また前方の自動車が停止時に追い抜かないことの 2 点が車両停止する状況を増やし、車両が停止するたびに渋滞発生が増加する。乗合や他地点経由の避難行動をする車両割合を減らした結果を図 4-10 に示す。図 4-9 と 4-10 を比べると、避難行動の車両割合を減らすと避難完了率は向上し、徒歩避難 25%（自動車利用 1,500 台）では 1,200 秒時点の避難完了率が 29%向上する。しかし、避難行動の車両割合を減らした図 4-10 においても、600 秒を過ぎると津波浸水区域内で交通渋滞が発生し避難完了率に変化が見られない。一方で、図 4-12 に示すとおり、660 秒時点までは徒歩避難 25%から 75%のいずれの避難手段割合においても避難行動をした場合の避難完了率が上回っている。このモデルにおいて避難行動によって発生する車両停止の影響開始時間が発災後約 10 分であることから避難開始時間を早

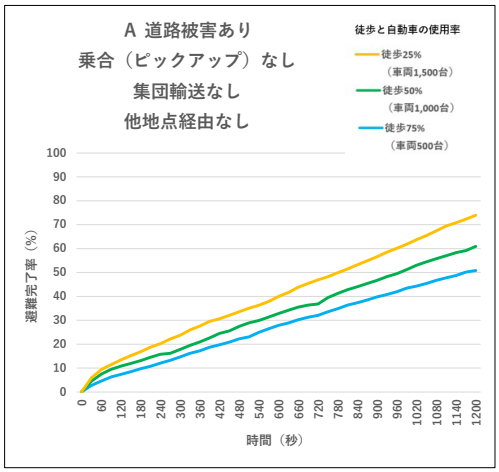


図 4-7　避難行動がない避難手段割合別避難完了率

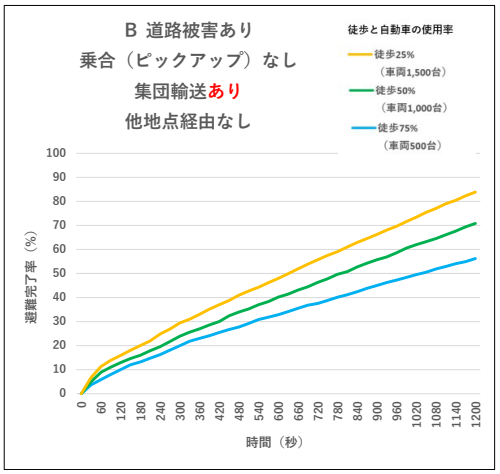


図 4-8　集団輸送がある避難手段割合別避難完了率

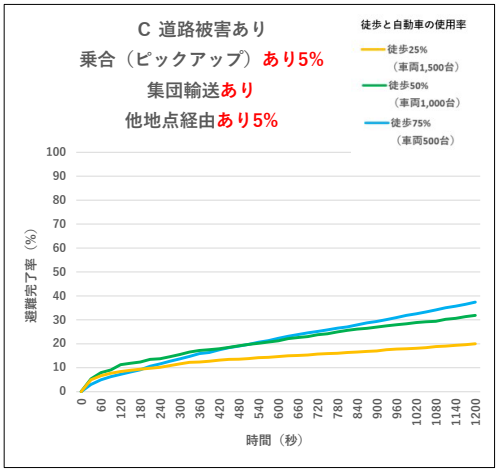


図 4-9　避難行動の割合が高い避難手段割合別避難完了率

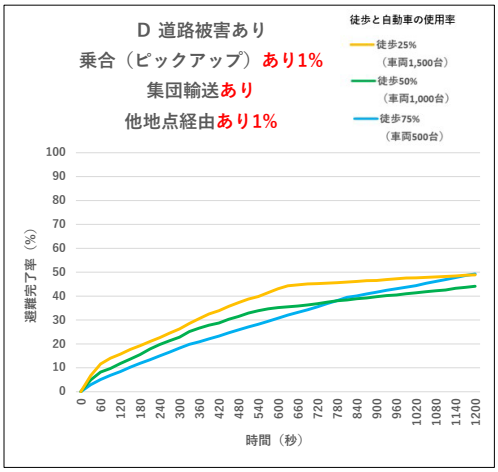


図 4-10　避難行動の割合が低い避難手段割合別避難完了率

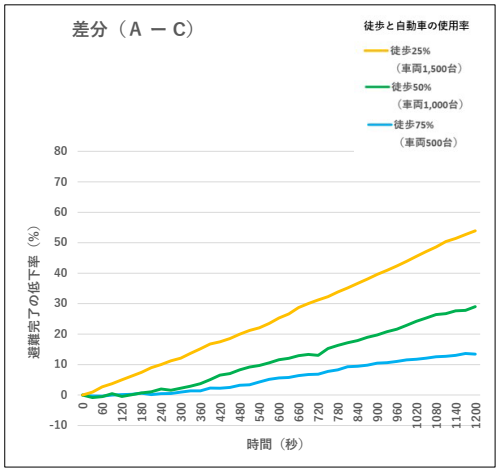


図 4-11　避難行動の有無による避難完了の低下率（その 1）

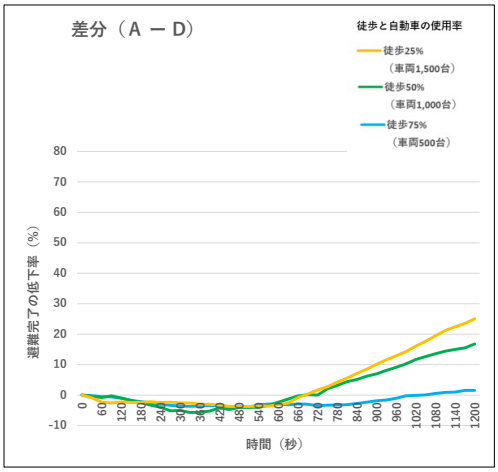


図 4-12　避難行動の有無による避難完了の低下率（その 2）

める対策が必要となる。また、図 4-12 に示すとおり、徒歩避難 75%（自動車利用 500 台）では避難完了率に差が見られない。本モデルにおいて自動車利用が 500 台以下であれば早期の避難完了率は大きくなり、時間の経過とともに避難行動がない場合の避難完了率と同じになる。

4．避難手段の多様化実現に向けた課題整理

（1）避難訓練時の計測

令和 5 年 5 月 24 日と同年 11 月 1 日に浜中町保育所が実施した避難訓練において避難時の行動記録と時間計測を行った。

行動記録及び時間計測には職員にアクションカメラ（GoPro）を着用させ、避難開始から避難完了までの一部始終を記録した。

避難経路は図 5-1 のとおり保育所から避難先である役場までの約 1 キロで途中上り坂となる。



浜中町保育園　津波避難ルート（1km）

図 5-1　浜中町保育所避難経路



写真 2－1　カート
（6 人乗り散歩車）



写真 2－2　自動車
（5 人乗り普通乗用車）

表 3-1　令和 5 年 5 月 24 日の避難訓練時の避難方法及び計測結果

避難方法	対象	内容	対応職員数	児童数（想定）	大津波警報発表時～津波浸水区域外	大津波警報発表時～役場到達
自動車避難	年少組～年中組（砂袋代用）	保育所から自動車1台を使用し役場まで避難する	2人	4人	1分52秒	3分
自動車避難から徒歩避難へ切り替え	年中組～年長組（砂袋代用）	保育所から自動車1台を使用し途中の地点で自動車を乗り捨て、徒歩避難に切り替えて役場まで避難する	2人	4人	5分32秒	14分6秒
カート避難	0～2歳児（砂袋代用）	保育所から6人乗りカートを使用し複数の職員が付き添い役場まで避難する	3人（途中＋1人）	6人	5分20秒	13分

表 3-2　令和 5 年 11 月 1 日の避難訓練時の避難方法及び計測結果

避難方法	対象	内容	対応職員数	児童数	大津波警報発表時～津波浸水区域外	大津波警報発表時～役場到達
カート避難	0、1歳児	保育所から6人乗りカートを使用し複数の職員が付き添い役場まで避難する	2人（途中＋1人）	5人	6分23秒	16分4秒
カート避難	2歳児	保育所から6人乗りカートを使用し複数の職員が付き添い役場まで避難する	2人（途中＋1人）	4人	6分31秒	16分21秒
徒歩避難	年少組	保育所から職員が付き添い徒歩で役場まで避難する	3人	18人	7分53秒	17分21秒
徒歩避難	年中組	保育所から職員が付き添い徒歩で役場まで避難する	2人	6人	5分45秒	15分26秒
徒歩避難	年長組	保育所から職員が付き添い徒歩で役場まで避難する	2人	15人	5分12秒	16分28秒

令和 5 年 5 月 24 日の避難訓練では児童の代わりに砂袋を使用し避難先の役場まで避難した。使用したカート及び自動車を写真 2-1、2-2 に、避難方法と計測値を表 3-1 に示す。

避難の距離が短く、歩道が整備されていることからどの避難方法であっても津波の第 1 波到達時間である 36 分までに避難完了している。また、自動車避難から徒歩避難へ切り替えた際に砂袋を抱えて徒歩したことから役場到達まで時間がかかった。

令和 5 年 11 月 1 日の避難訓練では児童も参加しシェイクアウト後に役場まで徒歩避難を行った。前回の避難訓練の結果より徒歩避難でも避難が間に合うことが判明したため児童の年齢別に避難時間を計測した。避難方法と計測値を表 3-2 に示す。

児童数が少なく児童をまとめて輸送できるカート避難が役場までの到達時間が短い。一方で、付き添う職員数が少なく児童数が多いクラスは避難開始に時間がかかり、避難中の児童の誘導に手惑い避難時間がかかっている。

（2）避難訓練後のヒアリング

浜中町保育所に対して避難訓練後にヒアリングを実施した。浜中町保育所では自動車よりもカートを使用した避難が効果的であることからカート避難に対する課題を表 3-3 のとおり整理した。

カートを使用した避難における留意事項の中で特にカート自体が無被害であること、カートを準備する時間や乗車する時間を短縮すること、避難路中の児童の安全を確保することが求められ、避難を円滑に行うために職員数の確保が必要となる。また、積雪時におけるカート避難の影響を今後検証する必要がある。

5．まとめ

北村ら[9]は避難経路の閉塞が被災者数に与える影響を定量的に評価し、避難時の車両侵入規制を提示している。本研究においても避難路の障害となる要因として道路被害と避難行動からその影響を評価し

表 3-3　浜中町保育所の避難時の課題

No	発災時から避難完了までの留意事項	カート避難の課題
1	防災無線の聞こえやすさ（聞こえにくい部屋）	
2	情報収集の方法（スマホ、テレビなど）	
3	幼児のシェイクアウト対策、方法	
4	室内避難路の確保（家具転倒、収納物散乱）	
5	職員室の安全確保（車のカギなど）	
6	自動車、カートの保管場所の安全性（被害の有無）	写真2-3
7	自動車、カートの準備時間	写真2-3
8	一次避難（室内→車内）の輸送方法、乗車時間	写真2-4
9	乗車人数から必要となる車数の算定	
10	残留者の確認（点呼方法）	
11	二次避難（保育園駐車場→避難所）の代替ルート	
12	車避難中の危険物（路面崩壊、電柱転倒、交差点、徒歩避難者など）	
13	避難中の児童の安全確保（飛び出し、ヘルメット、チャイルドシートなど）	写真2-4
14	乗り捨ての判断基準（運転中の情報収集方法）	
15	自力歩行困難者の抱きかかえ時の速度、自力歩行可能者の帯同歩行の速度	



写真 2-3　カートの準備



写真 2-4　カートの乗車、シートベルトの着用

た。避難シミュレーションの結果より交通渋滞の発生となりうる箇所を減らすこと、又は避難路を明解にすることが対策と考えられる。

交通渋滞の発生となりうる箇所については地域ごとに建物、塀、電柱などの倒壊による道路閉塞の危険性の予測、交差点や橋梁、狭小道路の位置をあらかじめ確認する必要がある。実際の避難において避難行動を規制することは難しいが、乗合する避難者の属性を限定する、乗合する場所を停留所や道路幅員の広い所で行うなど交通渋滞を発生させない取組みも必要と考える。

また、避難路については都市規模と自動車の使用率から適切かつ複数の避難路を提示することで分散機能が働くと考えられる。特に、自動車を使用した避難が必要となる要援護者については今回の避難シミュレーションにおいて一定の効果があったことから、要援護者の優先的な避難路の設定をはじめ、自動車の使用率が高いほど避難時間が経過するごとに交通渋滞が発生するため避難開始時間を早める対策や介助者の人員確保が必要となる。

成果の活用策として、自治体の津波避難計画や被害想定に基づいた減災対策への活用が図られる。また、都市部における津波避難の課題を明らかにして津波発生時の安全性の向上に寄与する。

今後の課題として、渋滞発生の要因に対するシミュレーション条件を精査し、現地適用を可能としたシミュレーションを確立させる。また、積雪寒冷期における課題も整理し、より実効性のある多様な避難手段を提案する。

[参考文献]

1) 北海道危機対策局：日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震の被害想定について、R4 年 7 月 28 日
2) 内閣府、気象庁、総務省消防庁：平成 23 年度東日本大震災における避難行動等に関する面接調査（住民）
3) 戸松誠,川村壮,堤拓哉,飯泉元気,石井旭,川上源太郎,佐藤創,橋本雄一,塩崎大輔,田中規夫：津波による最大リスク評価手法の開発と防災対策の実証的展開､2020 年、調査研究報告 No. 403
4) むかわ町：津波ハザードマップ、R4.3 時点
5) 国土交通省：平成 23 年度 津波避難を想定した避難路、避難施設の配置及び避難誘導について、平成 24 年 4 月
6) 東京大学社会情報研究所報告書：2003 年十勝沖地震における津波避難行動、平成 17 年 3 月
7) 吉井博明：平成 23 年　津波避難行動に関する調査結果概要（東日本大震災)、東京経済大学
8) 柳原純夫,村上ひとみ：東日本大震災における石巻市内での避難行動-移動パターン･移動距離からの分析-、土木学会論文集、Vol.69、No.4、2013 年
9) 北村福太郎,稲津大祐,池谷毅,岡安章夫：津波避難計算を用いた避難経路の効果的な地震対策、土木学会論文集、Vol.75、No.2、2019 年