

博士學位論文

(論文内容の要旨及び論文審査の要旨)

第19号

令和6年4月

八戸工業大学

は し が き

博士の学位を授与したので、学位規則（昭和28年文部省令第9号）
第8条の規程に基づき、その論文の内容の要旨及び論文審査の結果の
要旨をここに公表する。

目 次

課程博士

学位記番号	博士の 専攻分野の 名称	氏 名	論 文 題 名	頁
博 第 6 0 号	博士（工学）	堀合 紳弥	積雪寒冷地における人口変動と車両避難を考慮した津波犠牲率の低減に関する研究 (Research on Reducing Tsunami Casualty Rate Considering Population Change and Vehicle Evacuation in Snowy and Cold regions)	1

氏名	堀合 紳弥
博士の専攻分野の名称	博士（工学）
学位記番号	博 第 6 0 号
学位授与年月日	令和 6 年 3 月 1 9 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
学位論文題目	積雪寒冷地における人口変動と車両避難を考慮した津波犠牲率の低減に関する研究 (Research on Reducing Tsunami Casualty Rate Considering Population Change and Vehicle Evacuation in Snowy and Cold regions)
論文審査委員	(主査) 八戸工業大学 教授 武山 泰 (副査) 八戸工業大学 教授 竹内 貴弘 (副査) 八戸工業大学 教授 加藤 雅也

論文の内容の要旨

本論文では、日本海溝地震を想定した津波数値解析およびマルチエージェントシステムによる避難行動解析を行なった。避難行動解析では、歩車選択割合に着目した避難行動を検証することにより、犠牲率や交通流の状況など、巨大津波に対する避難への車両選択の有用性を検証した。少子高齢化により、高齢層の増加が懸念される地方圏域において、対象地域における交通や気象特性、将来的な避難要支援者の増加を考慮した避難行動解析を行うことにより、将来発生が想定される日本海溝地震による津波災害での犠牲率の低減と、人口減少地域における地域防災の発展に寄与することを目的とした。

第 2 章では、先行研究の事例から、コンピュータシミュレーションによる災害予測と避難行動解析は、防災計画を策定する上では有効的な手法である。都市の地形や人間行動など、さまざまなケースを想定することができるため、事前防災の観点においても、重要なステップであると言える。また、福島県沖地震による避難行動や、千島海溝・日本海溝地震の想定により、避難方法の選択について、再検討をすべきとの課題が挙げられている。

第 3 章では、将来的な人口変動と要支援・要介護認定に関する予測解析とデータ整理を行い、災害時に避難を要する住民がどの程度発生していくかを把握した。将来人口予測の結果から、2015 年～2045 年の 30 年間で、59 歳以下は大きく減少する一方、60 歳以上は増加傾向となることが分かった。このことから、将来災害が発生した場合、迅速な避難行動ができない、避難に支援が必要であるが、支援者となる住民が不足するという事態が考えられる。また、要支援・要介護認定者は高齢人口の増加に伴い、総人口に対する比率は微増傾向にあるものの、65 歳以上の人口との比率はほぼ横ばい状態であり、4 ヶ年平均 10.79%となっていることが分かった。行

動に介助を必要とする要介護 2～5 の割合は、半数以上を占めており、平常時の在宅介助等における生活環境の把握についても、避難支援の検討には重要であると考えられる。しかし、要介護認定者すべてが在宅で生活しているわけではなく、安全な地点に位置する高齢者福祉施設に入居しているなど、非在宅者を考慮した地域避難の検討を進める必要がある。

第 4 章では、気象データおよび交通関係のデータを整理し、避難行動への影響要因について検証した。八戸市が位置する北東北では、地方特有の気象特性を持ち、冬季には気温低下による寒さの影響がある。さらに、積雪や路面凍結の危険もあり、避難中や避難後の防寒対策は必須である。津波による直接死への対策だけではなく、災害関連死に繋がる危険のある低体温症や凍傷などのリスクにも備える必要がある。また、積雪時には、交通障害が多く発生する。例えば、未除雪路線でのスタックや、速度低下による渋滞など、平時の冬季間でも他の交通車両へ影響するもの、災害避難時にも起きる可能性がある。特に、住宅街において道路への積雪などは、歩行や車両の運転の妨げになるため、解析では降雪量に応じた避難速度を十分に検討する必要があると考えられる。発生時間を考慮した解析や、地点交通量だけでなく、パーソントリップ調査のような始点終点を確認できるデータの取得も重要であると考え、これら市街地の生活環境からの避難への影響も十分考慮する必要がある。また、避難経路としての利用が多数見込まれる路線では、優先的に除排雪作業の計画路線とするなどの対策を講じる必要がある。さらに、地方都市では自家用車による移動が多く、特に、主要幹線道路を持つ自治体は、住民車両だけではなく、一般交通や通過交通量が多くなる可能性がある。本章での交通量観測データの解析結果からも、朝と夕方時間帯に 30 番目時間交通量が観測されており、時間帯による交通流の動きについても、避難行動に対してはとても大きな影響を持つものである。このため、発生時間を考慮した解析や、地点交通量だけでなく、パーソントリップ調査のような始点終点を確認できるデータの取得も重要であると考え、これら市街地の生活環境からの避難への影響も十分考慮する必要がある。

第 5 章では、津波数値解析手法を用いて、想定される日本海溝地震が発生した際の、津波の挙動や避難場所における浸水深の再現を行なった。その結果、津波は地震発生から約 32 分後に海岸部に到達し、さらに 30 分後には海拔が低いエリアにおいて概ね全域が浸水することが分かった。遡上開始後は、構造物の有無により、浸水区域の大小と市街地における氾濫流の流れに影響を受ける。例えば、最大浸水深について、場所によっては、建物をすべて考慮したメッシュの計算結果が、堅ろう建物のみを考慮した更地に近いメッシュの計算結果に比べ、最大浸水深が上回る場合もあることが分かった。これは、構造物による堰き止めや流れの方向性の変化により、浸水深が高くなった可能性があると考えられる。また、遡上解析の結果から、指定された避難施設でも、新想定での津波では最上階まで浸水し、避難できるフロアが限定される危険性を伴う場合があることが確認された。これは、住民の避難行動に大きく関わるものであり、避難した住民が津波により犠牲となるケースを避けるために十分注意しておく必要がある。例えば、避難行動解析による避難検証等においては、適用する避難施設の安全性について、近傍浸水深や到達時間など、本章で確認された事象について十分注意して扱う必要がある。

第 6 章では、マルチエージェントシミュレーションを用いて、徒歩または車両の選択割合を変化させた避難行動解析を行なった。想定環境は、主に冬季の夜間帯を想定して行い、積雪状態

での道路状況における避難行動を再現し、住民を模したエージェントの避難行動に対して、避難環境が影響を与えるかを検証した。その結果、車両選択割合が多く、避難リンク上に車両が増加すると、避難場所周辺だけでなく、交差点部分などにおいて渋滞が発生し、再走行できなくなるケースも見られた。これらの問題を解決するためには、車両の避難目標を市街地の避難施設ではなく、浸水区域外へと分散させる方法が考えられる。浸水区域外へ分散させることにより、住宅街などの狭路や、鋭角交差点等での交通流の乱れを解消できる可能性がある。しかし、浸水区域外へスムーズに分散させるためには、比較的交通容量の大きい路線を選択する必要があると考えられる。特に、主要幹線道路等では、避難経路と主要幹線道路の交差部分等において渋滞が発生する可能性が考えられる。このため、事前に避難目標を定め、津波到達予想時刻までに安全に浸水区域外から脱出できる経路の計画が必要であると考えられる。また、テスト解析の結果から、避難行動に対し気象条件は大きく影響を及ぼすものであり、冬季における積雪時の避難の際にも、安全に避難完了するための対策が必要である。例えば、本解析での歩車選択割合検証の発展として、特徴的な結果となった割合のケースを対象として、避難開始時間を変えた検証を行うことにより、避難完了率の向上について検討できる。また、居住位置や地震被災位置から避難施設までの距離に応じて、避難開始時間を割り振ることで、避難経路上での混雑緩和につながる可能性がある。

本解析では、避難施設の収容能力の制限は設けていない。駐車台数の制限や、車両の入場が不可能となり、再避難を行う場合の経路選択など、さらに検討を進める必要がある。

ABSTRACT

Tsunami evacuation plans in Japan have traditionally recommended evacuation on foot as a general rule. Since during the 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami, there were many cases in various places where evacuations were caused by people getting caught in traffic jams while evacuating by vehicle, evacuation on foot has become increasingly recommended.

On the other hand, in the 2016 Fukushima Prefecture Earthquake, many evacuees used vehicles as the evacuation method, leading to traffic congestion. Additionally, in the case of the anticipated Chishima-Japan Trench earthquake, a tsunami higher than that of the Great East Japan Earthquake will reach many municipalities, and some of the tsunami evacuation facilities currently in place may become unusable due to safety issues due to the depth of flooding.

In response to the announcement of the new assumptions, local governments are moving to allow vehicle evacuation. However, as the number of evacuees increases, there are risks of traffic congestion and other risks, so evacuation plans must be carefully planned.

Therefore, in this research, Hachinohe City, Aomori Prefecture, was used as a case study to organize the regional characteristics, and based on the results, tsunami run-up analysis and evacuation behavior analysis were conducted, and residents' responses to tsunamis in a virtual space were analyzed with an evacuation verification simulation.

This research assumed disaster occurrence in multiple scenarios with different seasonal environments and selection ratios of evacuation methods, calculated the casualty rate due to tsunami run-up, estimated the selection ratio that would minimize the casualty rate, and estimated the selection ratio that would minimize the casualty rate in the future. The purpose of this research is to obtain knowledge for tsunami evacuation planning.

Chapter 1 presents the background and purpose of this research, as well as an overview of the research.

Chapter 2, reviewed previous research on tsunami numerical analysis, evacuation behavior analysis, and evacuation behavior research regarding tsunami disasters have also summarized issues for future tsunami disaster prevention based on a survey of residents following the 2016 Fukushima Prefecture-Oki Earthquake and damage estimates from the Chishima-Japan Trench Earthquake.

Chapter 3, to understand the regional characteristics of Hachinohe City, Aomori Prefecture, will examine population trends and future population estimates based on census results, as well as trends in the number of certified people in the region based on support/nursing care certification data. The analysis ascertained the trends in the number of residents who require support during disaster evacuation.

In Chapter 4, as an issue specific to local areas, the traffic characteristics were grasped in the target area from the meteorological characteristics based on weather data, the number of vehicles owned, and road traffic data.

In Chapter 5, a numerical analysis of tsunami run-up from the epicenter to the urban area was conducted using the fault parameters of the Japan Trench earthquake and created time-history water run-up depth data in the urban area.

Chapter 6, used water depth data obtained through numerical analysis to conduct a multi-agent simulation that takes into account evacuee characteristics and evacuation method selection, and discusses the evacuation method that can minimize the casualty rate under the assumed environment. The selection rate was estimated.

Chapter 7, summarized the results obtained in this study and discussed future tsunami disaster prevention and mitigation.

論文の審査結果の要旨

本論文は、日本海溝地震を想定した津波数値解析およびマルチエージェントシステムによる避難行動解析を行なったもので、全7章からなる。

第1章は序論であり、本研究の背景、目的について述べている。

第2章では、先行研究のレビューを行なって、コンピュータシミュレーションによる災害予測と避難行動解析が、防災計画を策定する上では有効な手法であることを指摘している。都市の地形や人間行動など、さまざまなケースを想定することができるため、事前防災の観点においても、重要なステップであるといえる。また、福島県沖地震による避難行動や、千島海溝・日本海溝地震の想定により、避難方法の選択について、再検討をすべきとの課題が挙げている。

第3章では、将来的な人口変動と要支援・要介護認定に関する予測解析とデータ整理を行い、災害時に避難を要する住民がどの程度発生していくかを把握した。将来人口予測の結果から、2015年～2045年の30年間で、59歳以下は大きく減少する一方、60歳以上は増加傾向となることが分かった。このことから、将来災害が発生した場合、迅速な避難行動ができない、避難に支援が必要であるが、支援者となる住民が不足するという事態が考えられる。また、要介護認定者すべてが在宅で生活しているわけではなく、安全な地点に位置する高齢者福祉施設に入居しているなど、非在宅者を考慮した地域避難の検討を進める必要がある。

第4章では、気象データおよび交通関係のデータを整理し、避難行動への影響要因について検証した。八戸市が位置する北東北では、地方特有の気象特性を持ち、冬季には気温低下による寒さの影響がある。さらに、積雪や路面凍結の危険もあり、避難中や避難後の防寒対策は必須である。津波による直接死への対策だけではなく、災害関連死に繋がる危険のある低体温症や凍傷などのリスクにも備える必要がある。また、積雪時には、交通障害が多く発生する。例えば、未除雪路線でのスタックや、速度低下による渋滞など、平時の冬季間でも他の交通車両へ影響することが、災害避難時にも起きる可能性がある。

第5章では、津波数値解析手法を用いて、想定される日本海溝地震が発生した際の、津波の挙動や避難場所における浸水深の再現を行なった。ハザードマップでは、想定される最大浸水深のみが示される場合が多いが、津波避難を考える場合、地震が発生してから津波が襲来するまでのリードタイムが避難者の生存に大きく影響する他、浸水深の時刻歴も避難に大きく影響することから、遡上解析を行う必要があると考えた。また、大地震による建物の倒壊や防潮堤の破堤なども、浸水深に影響することから複数のケースについて計算を行なっている。

第6章では、マルチエージェントシステムを用いて、徒歩または車両の選択割合を変化させた避難行動解析を行なっており、この研究の主要な成果となっているところである。想定環境は、主に冬季の夜間帯を想定して行い、積雪状態での道路状況における避難行動を再現し、住民を模したエージェントの避難行動に対して、避難環境が影響を与えるかを検証した。

第7章は、最終章として、本研究の考察と結論、将来に残された課題について述べている。

最終試験の結果の要旨

本研究の結論としては、以下となる。マルチエージェントシステムを用いて、徒歩または車両の選択割合を変化させた避難行動解析を行なった。想定環境は、主に冬季の夜間帯を想定して行い、積雪状態での道路状況における避難行動を再現し、住民を模したエージェントの避難行動に対して、避難環境が影響を与えるかを検証した。その結果、車両選択割合が多く、避難リンク上に車両が増加すると、避難場所周辺だけでなく、交差点部分などにおいて渋滞が発生し、再走行できなくなるケースも見られた。これらの問題を解決するためには、車両の避難目標を市街地の避難施設ではなく、浸水区域外へと分散させる方法が考えられる。浸水区域外へ分散させることにより、住宅街などの狭路や、鋭角交差点等での交通流の乱れを解消できる可能性がある。しかし、浸水区域外へスムーズに分散させるためには、比較的交通容量の大きい路線を選択する必要があると考えられる。特に、主要幹線道路等では、避難経路と主要幹線道路の交差部分等において渋滞が発生する可能性が考えられる。このため、事前に避難目標を定め、津波到達予想時刻までに安全に浸水区域外から脱出できる経路の計画が必要であると考えられる。また、テスト解析の結果から、避難行動に対し気象条件は大きく影響を及ぼすものであり、冬季における積雪時の避難の際にも、安全に避難完了するための対策が必要である。例えば、本解析での歩車選択割合検証の発展として、特徴的な結果となった割合のケースを対象として、避難開始時間を変えた検証を行うことにより、避難完了率の向上について検討できる。また、居住位置や地震被災位置から避難施設までの距離に応じて、避難開始時間を割り振ることで、避難経路上での混雑緩和につながる可能性がある。今後の課題として、シミュレーションシステムの改善を行い、車両による避難を含めて、より津波犠牲者を減少することができる、避難計画の策定があげられる。

論文審査については、令和5年12月11日に予備審査を行い、令和6年2月1日に最終審査を行った。その後、専攻会議を開催し、課程博士としての修了について合格と合意された。論文の中では、多数の英文論文を参照しており、研究成果については、国際会議でも数回発表を行なった他、海外の研究者から助言を得るなど、研究遂行に十分な英語力を持っていると評価できる。