

津波災害時における降積雪を考慮した避難時間の変化に関する研究

A study on the variation of evacuation time that considering snow cover in tsunami disaster

独) 函館工業高等専門学校社会基盤工学専攻 ○学生員 高橋風人 (Nagito Takahashi)
 独) 函館工業高等専門学校社会基盤工学科 正員 永家忠司 (Tadashi Nagaie)

1. 研究の背景と目的

我が国では、少子高齢化が急速に進行し、本格的な超高齢化社会が到来している。災害時に高齢者や障害者をはじめとする災害弱者が急速に避難するためには、歩行だけでなく車移動での避難も想定されるため、車道の幅員や段差をはじめとする交通バリアを把握することは必要不可欠となる。そこで、内閣府は防災基本計画の修正を受けて、平成24年3月に「国家公安委員会・警察庁防災業務計画」を修正し、自動車で安全かつ確実に避難できる方策を立てた。しかし、降積雪のある地域で津波が発生した場合、降り積もった雪が避難の障害になることがあり、災害弱者の被災リスクが高まることが予想される。よって、積雪時の津波避難において避難時間を含めた条件は大きく異なり、避難時間にも大きく影響する。そこで、本研究では降積雪時における地域の交通特性と津波避難を考慮した道路ネットワークを構成し、最短経路分析を行うことで避難経路と時間に及ぼす影響を明らかにすることを目的とする。

2. 対象地区の概要

2.1 函館市津波避難計画の概要

函館市では、最大クラスの津波浸水予測を基に、将来発生が予測される津波災害に対し、地震・津波発生直後から津波が終息するまでの間の避難対策として計画を定めている。なお、本計画における避難方法は徒歩を基本としているが、指定緊急避難場所までの距離が相当程度長い場合や徒歩で避難することが困難な場合は自動車をを用いた避難が認められている¹⁾。

2.2 函館市除雪計画の概要

函館市では、冬季間における市民生活の安全確保を図ることを目的として、平成5年度に「函館市除雪計画」を策定した後、除排雪マニュアルの策定や生活環境道路出動基準の改訂などを行い、平成20年度から、市民、行政の協働による除排雪を実現するため、「スノーボランティアサポートプログラム」を実施し、さらに、平成21年度には、除雪計画を大幅に見直し、除雪管理基準の設定や道路種別の細分化により、道路種別にあった除排雪作業を実施している。また、平成22年度から、継続して安定的な除雪体制を維持するために、業者の除雪離れを防ぎ、除雪機械やオペレーターの確保が必要不可欠であることから、機械経費に対して最低保証制度の導入をするなど、安定的な道路除排雪作業が図られるよう雪対策を推進してきた。しかしながら、平成29年度に

は累計積雪量が観測史上1位となるなど、記録的な大雪に見舞われ、計画的に除排雪作業を進めていくことが難しい状況になったことから、大雪時にも対応できる安定した除排雪づくりに努め、より一層雪対策を推進するため除雪計画を見直すこととし、本計画が策定された。なお、本研究では除雪対象路線は函館市が担当した路線のみを除雪対象として取り扱った。

函館市除雪計画より函館市は除雪対象路線を交通量ごとに大きく4つに分類している²⁾。

- ① 第1種除雪路線（幹線道路）
都市計画道路または主要なバス路線などで、特に交通量が多い道路が対象である。都市機能上最も重要な役割を持つ道路であり、冬季間において最も高水準な幅員、車線の確保および路面管理が目標である。
- ② 第1種除雪路線（補助幹線道路）
都市計画道路または主要なバス路線などで、交通量が多い道路が対象である。都市機能上重要な役割を持つ道路や、学校などの公共施設、病院などに連絡する重要な道路であり、冬季間において最も高水準な幅員、車線の確保および路面管理が目標である。
- ③ 第2種除雪路線
都市計画道路またはリングバス等の運行数が少ないバス路線などで、やや交通量が多い道路が対象であり、対面通行可能な幅員確保が目標である。
- ④ 第3種除雪路線
公共施設周辺の生活道路及び地域の中でも比較的 주요な道路、郊外における幹線の道路で、吹き溜まりが発生しやすい道路が対象であり、対面通行可能な幅員確保が目標である。
- ⑤ 生活道路除雪路線
上記を除く機械作業が可能な道路が対象であり、地域住民の理解を得ながら、車1台の通行が可能な幅員の確保が目標である。

本研究では除雪後の幅員が対面通行可能な路線を対象としているため、①～④のみを除雪対象路線として取り扱う。

国道と道道に関しては函館市が除雪を担当してはいないものの、避難経路として利用されることが十分に想定されるため、本研究に置ける除雪対象路線として取り扱う(図1)。

2.3 研究対象地域

本研究では災害弱者による避難を想定しているため、函館

都市圏の津波浸水予想地域内の福祉施設を対象とする。予想される津波の規模は、2011年までに北海道太平洋沿岸で行われた津波堆積物の各調査を踏まえて推定された「最大クラスの津波」による波高と浸水域の想定結果である³⁾。また、積雪時の路面状況は函館市が公開している除雪計画書と函館市提供の除雪計画図を基に道路ネットワークの重み付けを行った²⁾ (図2)。

3 研究方法と使用データ

3.1 分析の手順

本研究では災害時要支援者が災害時に安全かつ早急に避難するために自動車を用いた避難を積雪時、非積雪時の2つのパターンを想定した。GISデータとしては、国土数値情報および国土基本情報から取得し、速度と除雪に関する情報を付与した対象地域の道路ネットワーク、福祉施設、避難施設のデータを用いて、各施設間における最短経路分析を行う。また、非積雪時は全ての道路ネットワークを使用したことに対し、積雪時には幅員の減少等により対面通行や通行そのものが不可能になることが想定されるため、道路中心線の属性情報として格納されている幅員5.5m以下の路線を使用しないものとする。その場合は最寄りの使用可能な路線までの移動手段を歩行に設定することで重み付けを行い、積雪時に自動車での避難が困難になることが想定される福祉施設を明らかにすると共に、積雪時における歩行による最短経路分析も行い結果を比較する。

自動車および徒歩の走行速度は既存研究を参考に表1のように設定した⁴⁾⁵⁾⁶⁾。ただし、徒歩による避難速度は本研究では災害時要支援者の避難を想定していることから、高齢者のものとする。

次に各積雪状況における福祉施設から避難施設までの避難時間を明らかにする。積雪時と非積雪時の最短経路分析における2つの解析結果と積雪時における高齢者の歩行での避難時間を比較し、都市構造としての道路ネットワークの状況が避難にどれだけの影響を与えるか考察する。

3.2 解析に用いた手法

GIS (地理情報システム) を用いて以下の解析を行う。

① 避難到達圏 (iso-area)

QGIS3で実装されている補間アルゴリズム「TIN補間法」を適用し、複数の点から生成される補間距離ラスタを出力する操作である。出力された距離ラスタはアクセシビリティを検討する複数基準のサイト分析に有効であり、ファジリングモデル手法と組み合わせることが可能である。

本研究では対象地域内の全避難施設を中心に避難到達圏を出力することで周辺の避難施設までの到達時間を面的に表示し、津波避難の際に積雪の影響で支障をきたす地域やボトルネックの特定を図る。

② OD表

2つのポイントレイヤにおける各ポイント間の道路ネットワークを基準としたコストを算出する。また、表示されるコンポーネントは出発地から最寄りの路線までの



図1 除雪対象路線

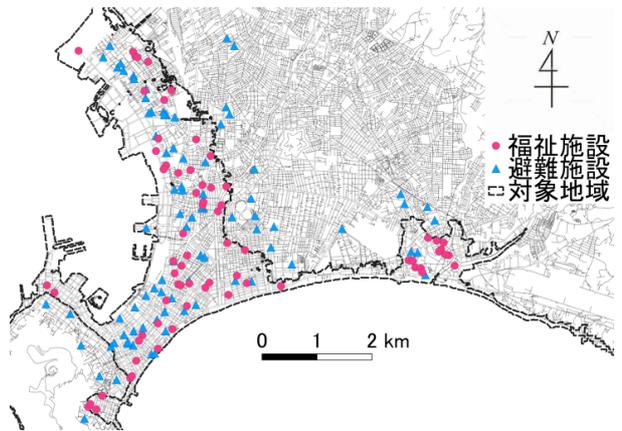


図2 対象地域と施設の立地状況

表1 積雪状況ごとの道路ネットワークの重み付け

	通行制限 幅員	低減率を加味した速度	
		除雪対象	除雪対象外
非積雪時(車)	無	30km/h	
積雪時(車)	5.5m以下	27km/h	18km/h
積雪時(高齢者徒歩)	無	1km/h	

コストを表示するエントリーコスト、路線から目的地までの出口コスト、それらを結ぶネットワークコスト、及び全てのコストコンポーネントの合計であるトータルコストの4つに分割され、出発地と目的時間を直線として表示し、属性テーブル内の属性情報としてコストが表示される。

本研究では対象地域内のすべての福祉施設から避難施設までの到達時間をコストとして算出することにより、各施設の最短の避難時間と津波到達までに避難が困難とされる施設の特定を図る。

4. 積雪時と非積雪時における避難時間の状況

積雪による避難への影響を明らかにするため、積雪時と非積雪時における避難時間の分布とそれらの差分を図3に示す。結果として、施設周辺を構成する道路が比較的狭い一部地域において積雪の有無により到達時間に大きな差が生じた。

また、積雪時において全体の66%もの施設が非積雪時と異なった施設に避難しており、主に湯川町と港町においてそのような場合が多いことが明らかになった。これらの地域は周

辺道路の幅員の減少が避難時間に大きく影響している。住宅地を構成する細い路地では積雪量により車両での通行が不可能になり、最寄りの車道まで徒歩で移動すること、もしくは車移動をせずに徒歩のみでの避難が必要になる場合が想定される。しかしながら、高齢者の積雪時における避難速度を1km/hに設定し最寄りの避難施設まで徒歩のみで避難をした際、積雪時における車を用いた避難よりも大きく時間を要する。

以上のことから、高齢者が各福祉施設より避難をする際は幅員の狭い路線を避けながらの車による避難が最も効率的であると考えられる。また、昨年度から函館市が除雪の対象としている路線は主に交通量の多い幹線道路やバス路線とそれらの周辺道路であり、住宅街の道路は必要に応じて除雪を行う方針になっている²⁾。解析結果より福祉施設として指定されている施設周辺の道路は幅員が狭く、積雪量によっては通行不可能になり、車による避難の場合遅れが生じることが予想される。よって、幹線道路のみならず施設敷地内の車道も同様に対面通行可能な幅員、または最低限車1台が通過できる幅員を確保し、特に福祉施設、津波避難施設周辺の路線は優先的に除雪を進める必要がある。

5. 避難方法

解析結果より大きく分けて主に以下の3つに避難方法が分類された。

○パターンA

避難開始地点の福祉施設から最短経路を通り最寄りの避難施設に向かう避難方法であり、非積雪時における避難は通行制限を設けていないため全ての福祉施設がこの避難方法を採用している。また、積雪時にこの避難方法を採用した施設は非常に少なく、福祉施設と避難施設の距離が極端に近い場合、もしくは周辺に幹線道路が無く、止むを得ず幅員5.5m以下の路線のみを使用した場合にこの方法が採用された。よって積雪時にこの避難方法を採用した施設は原則、車での避難が困難であることが予想される。

○パターンB

積雪時において非積雪時と同じ避難施設を避難先として設定しているが、非積雪時の避難経路に幅員5.5m以下の路線が多く存在したため、周辺の幹線道路を利用して積雪の影響を軽減している。

○パターンC

積雪時において非積雪時とは異なる避難施設を避難先として設定した。Bとは異なり路線ではなく避難先を変更して積雪の影響を軽減している。

6. 避難が困難とされる施設

既存研究より函館市における地震発生から海岸・海中の人命に影響が出る恐れのある津波による水位変動（初期推移±20cm）が生じるまでの時間は25分とされている³⁾。また、国土交通省によると、東日本大震災において、地震が発生してから津波が来る前に避難行動をした人のうち、発災から15分後に避難を開始した人が最も多いとされている⁷⁾。本研究では道路ネットワーク

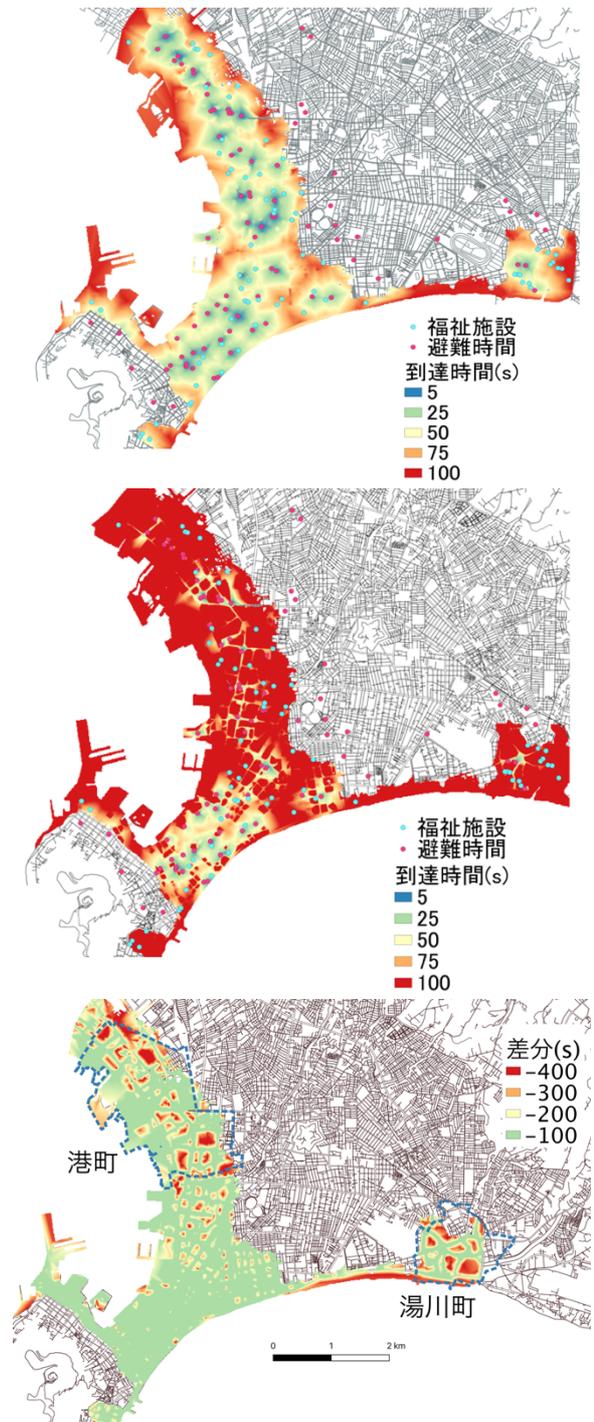


図3 避難時間の分布
(上図：非積雪時，中図：積雪時，下図：差分)

の重み付けとして幅員の減少と積雪による速度の低下を採用しており、低減率を0.6として解析を行った場合、非積雪時における避難時間は最大で2分程度だったものの、積雪時には最大で10分程度必要とすることが明らかになった。積雪時に避難に8分以上要し、避難が困難とされる福祉施設は表3のとおりである。また、これらの施設は非積雪時に最寄りの避難施設を選択しており、積雪を考慮した場合にも避難先の変更は要しなかった。これら2つの施設に共通する点は周辺に幅員5.5m以下の路線が多く存在しており、且つ利用可能な幹線道路が

少なかったことと積雪時、非積雪時それぞれ選択した避難先が異なる点であり、ルート変更や避難先の変更などにより積雪による避難時間への影響を軽減できなかったことから避難に要する時間が他の施設に比べて大きな差が生じたと考えられる。特に、施設Aに関しては入居定員が98名、常勤職員数は29名とされており、函館市が定める「避難行動要支援計画」では災害弱者への避難支援が重要視されている。施設Aのような多人数収容可能な施設では職員1人当たり約3.4人の避難を支援する必要があるため避難効率が大きく低下することが予想される。

7. 結論

本研究では降積雪時における地域の交通特性を考慮した場合の避難経路と時間への影響を明らかにした。

(1) 避難経路への影響

幅員減少による通行制限、路面状況による速度の低減率を考慮し、GIS上において避難到達圏(iso-area)、OD表を用いて分析を行った。解析結果より福祉施設として指定されている施設周辺の道路は幅員が狭く、積雪量によっては通行不可能になり、車による避難の場合遅れが生じることが予想される。よって、幹線道路のみならず施設敷地内の車道も同様に対面通行可能な幅員、または最低限車1台通過できる幅員を確保し、特に福祉施設、津波避難施設周辺の路線は優先的に除雪を進める必要がある。

(2) 避難時間への影響

避難時間に生じる遅れは最大で10分程度であり、湯の川や港町など一部地域に大きな影響がみられた。現在、函館市防災計画では徒歩を基本とした避難計画になっているものの、積雪時において高齢者が徒歩で最寄りの避難施設に避難するよりも幅員の狭い路線を避けながらも異なる避難先へ避難することが効率的であるため、災害弱者が福祉施設からの避難をする際は出来る限り車を用いた避難をするべきであることが明らかになった。しかしながら函館市は除雪対象路線名については除雪計画書で公開しているものの、除雪計画図は一般公開されていない。除雪対象路線を利用して避難することが理想であるため、ハザードマップなどに除雪計画図を記載するなどして市民に除雪対象路線を認知させる必要があると考えられる。

本研究における結果はあくまでも道路構造上での結果であり、交通容量、施設の収容人数などについては考慮していない。本研究において除雪対象路線と定めた路線はあくまでも函館市が除雪を担当している路線に限り、住民の自己努力で住宅街などの幅員の狭い路線の除雪作業も可能である。また、状況に応じて垂直避難を余儀なくされる場合や、道路の混雑状況や積雪量によって大きく変動することが考えられる。

表3 避難が困難とされる福祉施設の避難時間

福祉施設	非積雪時	積雪時	差分
A	109	526	417
B	80	648	568

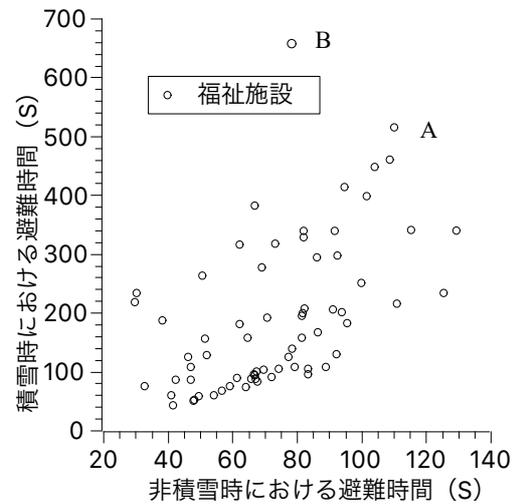


図4 積雪時と非積雪時の避難時間

8. 今後の展望

本研究では、道路ネットワークを都市構造上に着目し、道路の幅員や速度低減率の情報を付与したが実際の避難条件とは大きく異なる。今後は交通容量といった要素も加味し、現地調査も行うことで函館市の詳細な幅員や路面状況を把握することで実際の避難状況に近づけることが課題である。また、本研究では災害弱者の車を用いた避難に着目したが、マルチエージェントを用いた集団挙動のシミュレーションや歩行空間ネットワークデータを用いたシミュレーションも行っていきたい。

参考文献

- 1) 函館市, 函館市津波避難計画 (2017)
- 2) 函館市土木部, 函館市除雪計画 (2018)
- 3) 北海道総務部危機対策局危機対策課, 太平洋沿岸に関わる津波浸水予測図作成業務 (2012)
- 4) 武知洋太, 冬季環境が走行速度に及ぼす影響に関する研究, 寒地土木研究所月報 (658), pp.10-18 (2008)
- 5) 南海トラフの巨大地震 建物被害・人的被害の被害想定項目及び手法の概要, http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taisaku_wg/pdf/20130318_shiryoy4.pdf
- 6) 大堀和明, 雪国地域独自の津波および雪・地震複合災害の被害低減策の提案, 「北陸地域の活性化」に関する研究助成事業論文集, 18, pp.79-84 (2013)
- 7) 国土交通省 都市局 街路交通施設課, 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 (2013)