

北海道太平洋沿岸の津波浸水想定変更に伴う避難困難域の変化

橋本 雄一*

Change in the Difficult-to-evacuate Zone due to updated Tsunami Inundation Assumptions along the Pacific Coast in Hokkaido

Yuichi HASHIMOTO*

Abstract: This study aimed to estimate the difficult-to-evacuate population of the tsunami caused by the Kuril Trench Earthquake, assuming that the road network would be disrupted in the event of a landslide. The study zoned difficult-to-evacuate areas using walking speeds not only during non-snowfall but also during three types of snowfall (snowfall, heavy snowfall, and freezing). It proposed a new estimation method using geo-micro data (high-definition and micro-spatial data) such as road networks and buildings in GIS for calculating the tsunami inundation population and the difficult-to-evacuate population.

Keywords: 津波 (tsunami), 避難困難人口 (difficult-to-evacuate population), 積雪期 (snow season), 道路ネットワーク途絶 (road network cut off), 千島海溝地震 (Kuril Trench earthquake)

1. はじめに

自然災害の危険性 (risk) は、地震や洪水といった加害力 (hazard) と社会的脆弱性 (vulnerability) の重なるところにあるとされ (Wisner *et al.*, 2004), この社会的脆弱性の定量化や可視化によりリスクマネジメントに活かすために, Ajin *et al.* (2014) など多くの研究が蓄積されてきた。日本における津波災害の社会的脆弱性に関しては孫ほか (2013) や島田ほか (2015) などの研究があるが, これらは主に南海トラフ地震による津波を対象としており, 千島海溝沿いの海溝型地震 (千島海溝地震) に関する研究は今後蓄積する必要がある。

この千島海溝地震で大きな影響を受ける地域は北海道太平洋沿岸の積雪寒冷地である。これまでに最上・橋本 (2015) や奥野・橋本 (2015) など積雪寒冷地の地域特性を考慮した津波避難研究が行われてきたが, 今後は新しい津波浸水想定データを用いて具体的な社会的脆弱性を示す研究が必要である。また, 中央防災会議でも, 近年, 積雪寒冷地における津波対策の必要性を指摘し (内閣府, 2021), 指標となる積雪時の歩行速度などを公開していることから, これらの情報を活用することも重要である。

なお, これまでの津波避難研究は, 津波の浸水のみを扱ったものが大部分であるが, 津波発生時に高台へ上るための避難路が, 土砂崩れで通行不可になることは極めて深刻な事態となる。そこで, 内藤・橋本 (2018) や工藤・橋本 (2022) のように, 地震による土砂崩れ発生時に避難路が途絶する可能性も考慮する必要がある。この津波避難で避難路途絶に関する研究は, 資料上の制約により進まなかった。しかし, 近年, 様々な精度の高い地理空間情報が整備されたことで, 当該分析は比較的容易となった。

さらに, 千島海溝地震の浸水想定に関して, これまでの研究は 2012 年に北海道から公表された想定をもとに進められてきた。しかし, 2021 年に国の定める方法で作成された津波浸水想定データが 2021 年 7 月に公表されたため, この新たな想定に基づく研究成果の公開が望まれる。

そこで本研究は, 2012 年と 2021 年の両想定で千島海溝地震による津波発生時の浸水想定域人口を推定し, 結果の比較を行う事で, 新たな想定の影響を明らかにする。その上で, 北海道東部の市町村を事例として, 避難困難人口の推定を行う (図 1)。その際には, 非積雪時だけでなく, 内閣府が定める 3

* 正会員 北海道大学大学院 文学研究院 (Hokkaido University)
〒060-0810 北海道札幌市北区北 10 条西 7 丁目 E-mail : you@let.hokudai.ac.jp

種類の積雪期の路面状況（積雪，豪雪，凍結）の歩行速度を用いる。さらに，土砂崩れが発生した場合の道路ネットワーク途絶も考慮する。これらの結果から，津波災害に対する社会的脆弱性克服のための検討を行う。

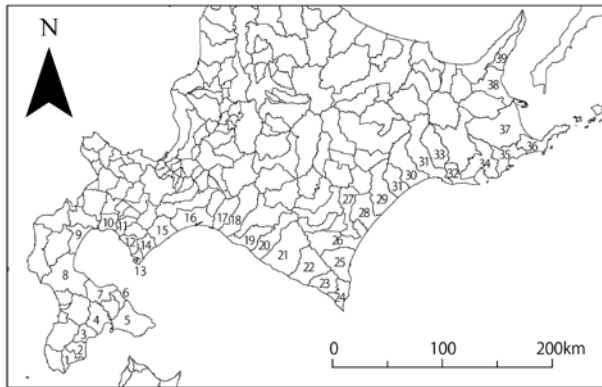


図1 研究対象地域

1. 福島町，2. 知内町，3. 木古内町，4. 北斗市，5. 函館市，6. 鹿部町，7. 森町，8. 八雲町，9. 長万部町，10. 豊浦町，11. 洞爺湖町，12. 伊達市，13. 室蘭市，14. 登別市，15. 白老町，16. 苫小牧市，17. 厚真町，18. むかわ町，19. 日高町，20. 新冠町，21. 新ひだか町，22. 浦河町，23. 様似町，24. えりも町，25. 広尾町，26. 大樹町，27. 幕別町，28. 豊頃町，29. 浦幌町，30. 白糠町，31. 釧路市，32. 釧路町，33. 鶴居村，34. 厚岸町，35. 浜中町，36. 根室市，37. 別海町，38. 標津町，39. 羅臼町。ゴチック体は5章以降の対象地域。

2. 研究方法

まず本研究では，北海道から2012年に公開された千島海溝地震による津波浸水想定（旧想定）と，2021年に発表された津波浸水想定（新想定）を用い，市町村別の浸水想定域人口の推定を行って，両想定の違いを検討する。

次に，津波浸水域人口が多い北海道東部地域（根室市から釧路市までの2市4町）を対象に，道路ネットワークデータを用いた津波発生時の避難困難域の画定を行う。その際，歩行速度を非積雪時だけでなく積雪時・凍結時・豪雪時に関しても設定し，避難困難域を画定する。さらに，土砂崩れで道路ネットワークが途絶した場合の避難困難域を画定し，同様の分析を行うことで，避難における土砂災害の影響を明らかにする。

以上により，津波浸水想定域の変更による影響を明らかにし，北海道東部太平洋沿岸の避難困難域において冬季の路面状況を考慮した道路ネットワーク途絶の影響を明らかにする。

3. データ

本研究で用いる北海道太平洋沿岸の津波浸水想定データは，2012年に公表された旧想定データと，2021年に公表された新想定データであり，いずれもシェープファイル形式で公開されている。

旧想定データは，千島海溝地震を対象とし，北海道独自の想定として公表された。この想定における沿岸部の波高は，津波堆積物から推計される波高をほぼすべて上回る。このデータは，浸水想定域内の最大浸水深が，市街地部分は10mメッシュ，それ以外は50mメッシュとして公表されている。

新想定データは，津波防災地域づくりに関する法律（津波防災地域づくり法）（平成23年法律第123号）第8条第1項に基づいて設定され，2021年7月19日に公表された。このデータは，日本海溝北部地震と千島海溝地震を対象とし，浸水想定域内の最大浸水深が10mメッシュごとに記録されている。

本研究では，夜間と昼間の浸水想定域人口を推定する。そのために用いる夜間人口データは，2015年国勢調査小地域データである。昼間人口データは株式会社日本統計センターが作成した2015年の推計昼間人口データである。この推計昼間人口データは，国勢調査小地域データの通勤通学者数などから推計されたもので，2015年国勢調査の小地域を空間的単位として整備されている。

避難困難域を画定するための道路データは，国土地理院が発行している国土基本情報の道路中心線データに，オープンストリートマップを参考にして道路中心線を補足したものである。また，避難路の途絶地点を設定するための土砂災害データとしては，国土数値情報ダウンロードサービスで提供されている土砂災害警戒区域データと土砂災害危険箇所データを使用する。

避難圏の中心となる避難施設としては，2021年4月時点で各自治体のホームページに記載されている大津波警報が発表された場合の緊急避難場所，津波緊急避難施設，津波避難ビルを取り上げる。津波浸水想定域や避難困難域の人口データ算出に用いる建築物データは基盤地図情報の建築物ポリゴンデータを用いる。

4. 北海道太平洋沿岸の津波浸水想定域人口

本研究は、橋本（2021）と同様の方法により、津波浸水想定データと国勢調査小地域データ（2015年）をGISに読み込み、津波浸水想定域内の国勢調査人口を面積按分によって求めた。

津波浸水想定面積を比較すると、旧想定は約10万1千ヘクタール、新想定は約9万2千ヘクタールであり、新想定は旧想定面積の90.84%ほどになった。市町村別に新旧の想定面積を比較すると、旧想定で最も大きいのが釧路市の約1万4千ヘクタールであるが、新想定で釧路市の面積は減少し、苫小牧市の1万ヘクタールが最大となった。

太平洋沿岸における津波浸水想定域の夜間人口は、旧想定では約41万8千人、新想定では約48万人となり、6万2千人ほど新想定の方が多くなった。また、昼間人口は、旧想定では約45万7千人、新想定では約52万7千人となり、7万人ほど新想定の方が多くなった。新想定は旧想定より小

さいにも関わらず、昼夜間人口は旧想定より大きいのは、東部で釧路湿原のような人口の少ない地域で浸水想定域が狭くなり、逆に西部では人口が多い市街地で想定域が広がったことによる。

なお、昼間人口と夜間人口を比較すると、旧想定では3万9千人、新想定では4万6千人ほど昼間人口の方が多く、昼間に浸水想定域へ流入する人口が多かった。

市町村別の夜間人口を推定すると（図2）、旧想定でも新想定でも最多は釧路市であった。しかし、旧想定では函館市、苫小牧市と続くのに対し、新想定で2位は苫小牧市、3位は函館市となった。この結果は昼間人口でも同じであった。

上位3市の浸水想定人口が、夜間人口全体に占める比率は旧想定で56.51%、新想定で59.76%、昼間人口全体に占める比率は旧想定で57.01%、新想定で60.05%となり、浸水想定域に分布する人口の半分以上が、これらの市に集中していた。

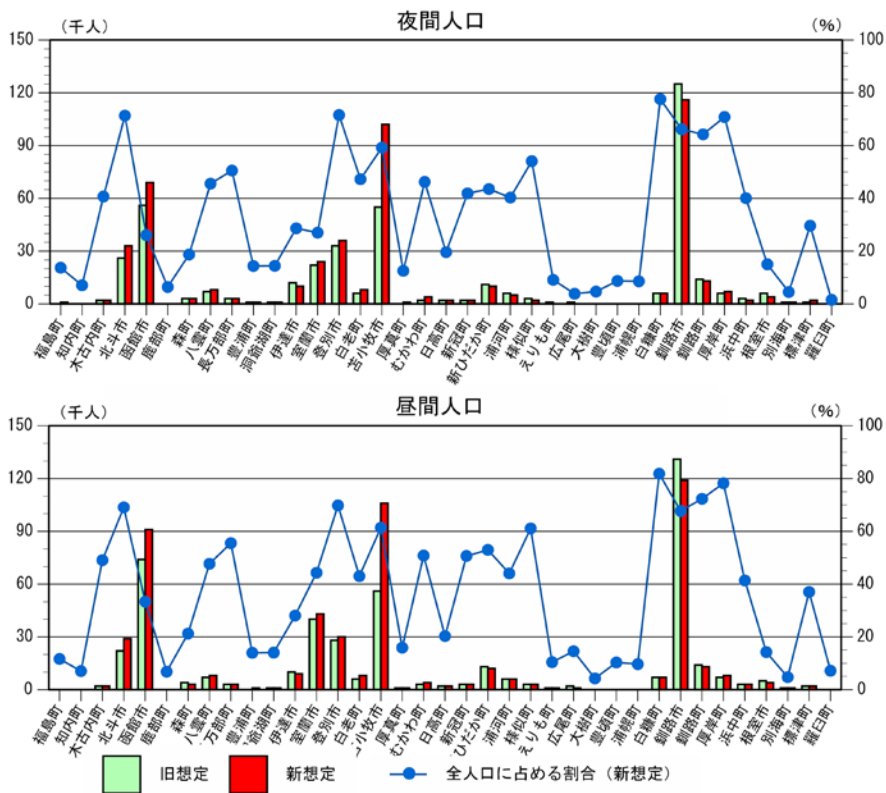


図2 推定された市町村別津波浸水想定域人口（2015年）

夜間人口は国勢調査小地域データ（2015年）、昼間人口は株式会社日本統計センターの推計昼間人口データ（2015年）により推定。

また、釧路市と苫小牧市に加え登別市と北斗市は、市全体の人口に占める津波浸水想定域の人口が昼夜間ともに高い比率を示した。

5. 津波避難困難人口の推定方法

ここから本研究は、新旧とも津波浸水想定域人口が最大である釧路市を含む北海道東部地域を対象に、道路ネットワークデータを用いた津波発生時の避難困難域の画定を行う。その際、積雪などによる道路状況も考慮する。また、土砂崩れにより道路ネットワークの途絶が発生した時の避難困難域も画定し、人口推定を行う。

分析では、まず道路と建築物で人口分布地区の抽出を行うことにより広範囲で高精度な人口推定を行う。そのために工藤・橋本（2022）と同様の手法を用いる（図3）。まず、50mメッシュで対象地域全体を覆い、これに建築物データと道路中心線データを重ねる。次に、メッシュ内に建築物と道路中心線が存在するメッシュのみを抽出する。さらに内閣府（2021）と同じく人口分布地区のうち浸水深30cm以上のメッシュを避難が必要な地区（要避難メッシュ）とする。

続いて、ネットワークバッファによる水平移動と津波避難ビルの垂直移動を総合的に扱い、避難の可

否に関する判定を行う。浸水想定域の外へと避難する際に目標となる地点は、津波浸水想定域データの外縁と道路データの交点とする。避難時間は、出発点から避難目標地点までの最短経路の長さを避難速度で除し、これに避難準備時間を加えて算出する。津波避難ビルなど避難施設への避難では、浸水想定域内の津波避難ビルの浸水深を垂直避難距離とし、これを垂直避難速度で除して避難時間を求める。

避難時間の算出では、内閣府（2021）を参考とし、避難準備時間を非積雪時の昼間で5分、夜間で10分、積雪時の昼間で7分、夜間で12分とする。また、非積雪時の歩行速度を2.24km/hとし、積雪時には非積雪時から2割の低下、凍結時は積雪時から1割の低下、豪雪時は積雪時から4割の低下と設定する。また、垂直避難速度については森山ほか（2006）を参考に0.68m/sとする。

そして、各避難メッシュからの避難時間が、自治体の津波第一波到達時間より長い場合に避難困難と判定する。各自治体における第一波到達時間は、北海道（2021）により根室市24分、浜中町25分、厚岸町24分、釧路町25分、釧路市（旧市部）28分、白糠町32分、釧路市（音別地区）33分とする。

道路ネットワークが途絶している場合には、土砂災害ポリゴンデータで道路中心線データを消去することにより、通行不可となる道路をデータから除外して判定を行い、避難困難地域を画定する（図4）。

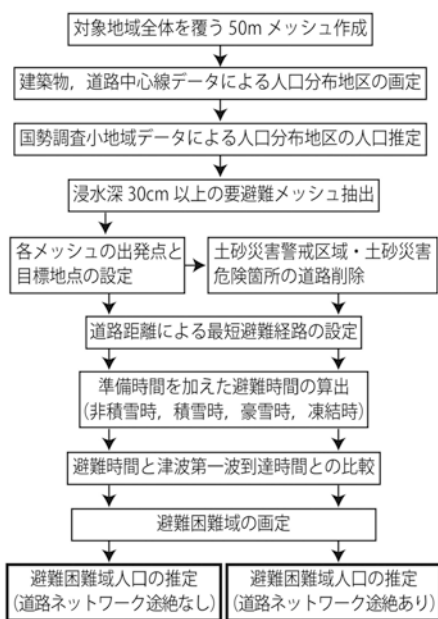


図3 分析方法

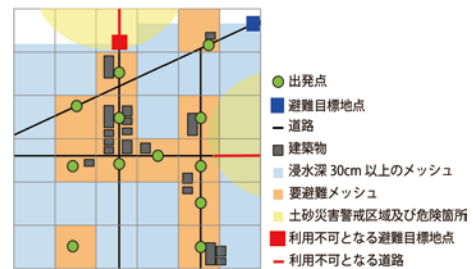


図4 道路ネットワーク途絶時における避難困難地域

6. 北海道東部における避難困難人口

自治体別に避難困難人口を推定すると、いずれの路面状況においても避難困難人口が最大となるのは釧路市であった（図5）。最も避難困難人口が少ない非積雪時でネットワーク途絶のない状態では、夜間

人口が 15,818 人、昼間人口が 13,708 人であり、釧路市の津波浸水想定域人口の 41.4%と 11.1%となった(図 6, 図 7)。また、最も多い豪雪時でネットワークが途絶した状態だと夜間人口が 99,500 人、昼間人口が 73,087 人で、浸水想定域人口の 85.3%と 59.3%となった。

根室市では、非積雪時でネットワーク途絶のない

状態での夜間人口は浸水想定域人口の 29.7%、昼間人口は 8.0%であり、豪雪時でネットワークが途絶した状態でも夜間人口が 63.5%、昼間人口が 39.8%と釧路市の値を下回った。

他の 4 町では浸水想定域人口に占める避難困難人口の割合が、釧路市よりも高い数値を示した。非積雪時でネットワーク途絶のない状態での割合が最大

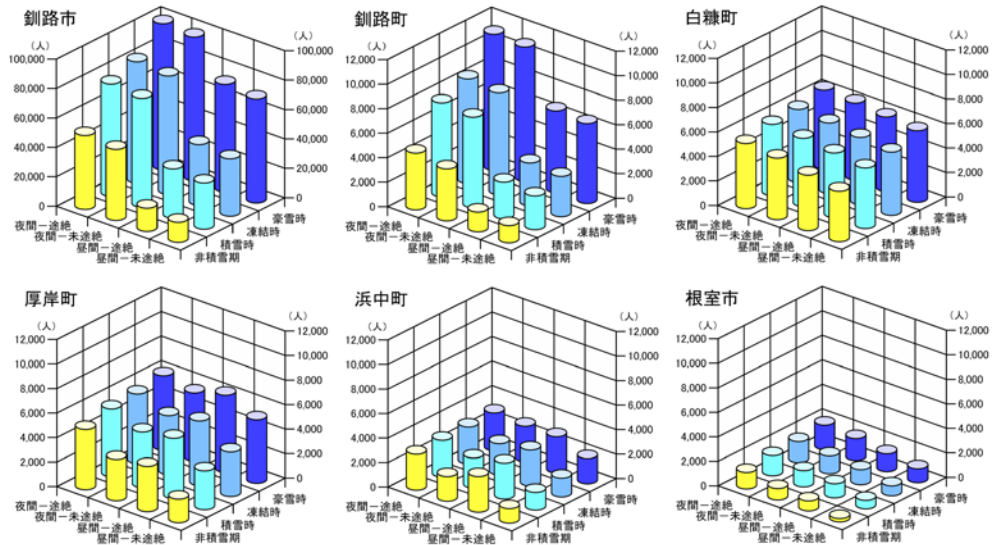


図 5 道路条件別の避難困難人口

夜間人口は国勢調査小地域データ (2015 年)、昼間人口は株式会社日本統計センターの推計昼間人口データ (2015 年) により推定。

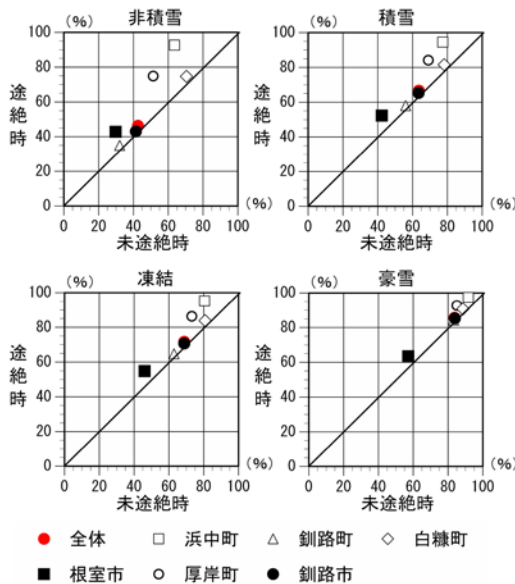


図 6 避難困難人口比率 (夜間人口)

道路ネットワーク途絶の有無ごとに津波浸水想定人口に占める避難困難人口の比率を、国勢調査小地域データ (2015 年) により推定。

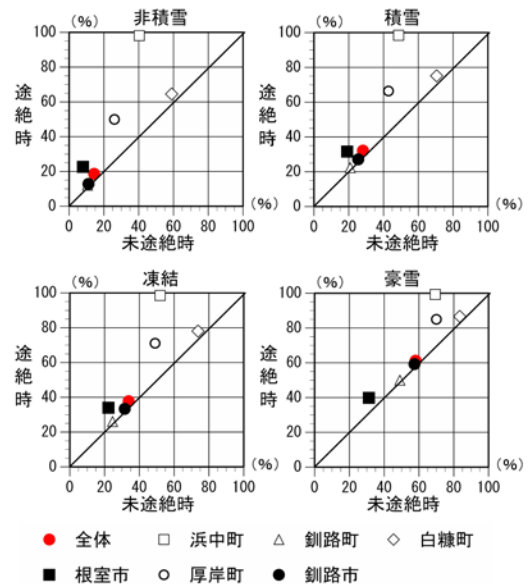


図 7 避難困難人口比率 (昼間人口)

道路ネットワーク途絶の有無ごとに津波浸水想定人口に占める避難困難人口の比率を、株式会社日本統計センターの推計昼間人口データ (2015 年) により推定。

なのは白糠町で、夜間人口が 70.5%、昼間人口が 59.0% となった。また、豪雪時でネットワークが途絶した状態での割合が最大なのは浜中町で、夜間人口が 97.4%、昼間人口が 99.3% となった。

この分析結果では、厚岸町以东と釧路町以西で道路ネットワーク途絶による影響が異なった。また、道路ネットワーク途絶の有無による避難困難人口の差は、釧路市以外の自治体では昼夜間とも非積雪時に最多となり、豪雪時に最少となる傾向が見られた。道路ネットワーク途絶の影響が大きいのは、対象地域東部にあり急傾斜地と海域に挟まれた狭い地域に人口が集中する漁港の周辺であった。一方で道路ネットワーク途絶による影響が小さいのは、対象地域西部で比較的広い平地を持つ地域であった。

以上のように、本研究で提案した手法により、積雪や道路ネットワーク途絶による影響に関する自治体間の違いを明らかにすることができた。これらへの対応が社会的脆弱性の克服に繋がると思われる。

7. おわりに

本研究は、千島海溝地震による津波発生時の浸水想定域人口を推定し、新旧想定で結果の比較を行う事で、新たな想定の影響を明らかにした。その上で、北海道東部を事例として、非積雪時だけでなく積雪時の路面状況（積雪、豪雪、凍結）の歩行速度を用いて避難困難人口の推定を行った。さらに、土砂崩れが発生した場合の道路ネットワーク途絶の有無についても検討した。

まず、市町村別の浸水想定人口では新旧想定とも釧路市が最大であり、その周辺市町村は全人口に占める想定域人口も高い値を示していた。なお、この人口に関する新旧想定の違いを見ると、北海道東部は西部に比べて小さかった。これは、北海道東部における浸水想定域が、人口の少ない範囲で変化したことによると考えられる。

次に、北海道東部を対象とし、道路ネットワークデータや建築物データを用いて、新想定での避難困難域人口を推定したところ、夜間も昼間も釧路市が最も多く、中でも豪雪時に最も高い数値となった。浸水想定人口に占める避難困難人口の比率では、い

ずれの自治体も昼間より夜間に比率が高く、また路面状況が悪化するに従い数値が高くなる傾向にあった。さらに、市街地の狭い浜中町、厚岸町、白糠町で比率が大きく、特に積雪による道路ネットワーク途絶の影響が大きいことも明らかになった。

これらの結果から、市街地の狭い自治体の避難対策において、特に冬季の除排雪や土砂災害対策が重要と考えられる。特に、豪雪時のように路面状況が悪く、歩行速度が低くなると、道路ネットワーク途絶があっても迂回などの方法を取れなくなることが心配される。逆に、低地にあつて市街地が広い釧路市は、標高の高い土地が少ないことから道路ネットワーク途絶の影響は小さく、冬季における積雪対策で歩行速度を上昇させる効果が大きいと思われる。

本研究は、新たに公表された津波浸水想定に関して、道路ネットワークデータや建築物データなど最新のオープンデータやマイクロジオデータを用いて避難困難人口を比較的高い精度で推定する手法を提案した。それによって、災害への社会的脆弱性を克服するための積雪対策や土砂災害対策などに関する検討を行うことができた。なお、この手法を活かすには、歩行者専用道路も含む高精度な道路ネットワークデータをオープンデータとして公開することが望まれる。

付記

本研究は建議研究「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画（第二次）」の課題研究「地理空間情報の総合的活用による災害への社会的脆弱性克服に関する人間科学的研究」（代表者：橋本雄一、課題番号：HKD07）およびJSPS 科研費（基盤研究C）「ブラックアウト・ホワイトアウトを考慮した千島海溝地震の津波避難モデル構築」（代表者：橋本雄一、課題番号 22K0104002）における成果の一部である。本研究では分析の一部に工藤・橋本（2021）のデータベースを使用した。

参考文献

奥野祐介, 橋本雄一 (2015) : 積雪寒冷地における疑似的津波避難に関する移動軌跡データ分析. GIS-理論と応用, 23 (1), 11-20.

- 工藤由佳, 橋本雄一 (2021) : 路面状況と道路ネットワーク途絶を考慮した積雪寒冷地における津波避難困難人口の推定—千島海溝地震による津波の浸水想定域の事例—. 地理学論集, 97(1), 1-12.
- 島田広昭, 米倉翔, 川中龍児, 石垣泰輔, 武藤裕則, 馬場康之 (2015) : 海水浴場における津波防災対策と管理体制に関する研究. 土木学会論文集 B3 (海洋開発), 71 (2), 665-670.
- 孫英英, 矢守克也, 谷澤亮也, 近藤誠司 (2013) : 南海トラフの巨大地震・津波を想定した防災意識と避難行動に関する住民意識調査. 災害情報, 11, 68-80.
- 内閣府 (2021) : 『被害想定手法について (案)』日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震対策検討ワーキンググループ (第5回).
- 内藤健裕, 橋本雄一 (2018) : 積雪寒冷都市における津波避難困難地域に関する空間分析—北海道釧路市を事例に—. 地理情報システム学会講演論文集, 27, B-5-3.
- 橋本雄一 (2021) : 北海道太平洋沿岸における津波浸水想定域の空間分析. 北海道大学文学研究院紀要, 165, 129-166.
- 北海道 (2021) : 『北海道太平洋沿岸の津波浸水想定について (解説)』北海道.
- 最上 龍之介, 橋本 雄一 (2015) : 積雪寒冷地における保育園の津波集団避難—北海道釧路市における認可保育園を事例に—. 地理学評論, 88 (6), 571- 590.
- 森山修治, 長田悠平, 土屋伸一, 小川純子, 浜暁也, 神忠久, 渡辺大地, 長谷見雄二 (2006) : 津波避難ビルにおける階段歩行特性に関する実験研究 その2 階段上昇時の群衆歩行特性. 日本建築学会学術講演梗概集, E-1, 907-908.
- Ajin, R. S., Jacob, M. K. and Vinod, P. G. (2014) : Tsunami Vulnerability Mapping Using Remote Sensing and GIS Techniques: A Case Study of Kollam District, Kerala, India. *Iranian Journal of Earth Science*, 6, 44-51.
- Wisner, B., Blaikie, P., Cannon, T. and Davis, I. (2004) : *At Risk: Natural hazards, people's vulnerability and disasters (Second edition)*. Routledge, London and New York.