

日本海溝北部地震による津波を想定した疑似的津波集団避難行動分析 - 北海道苫小牧市を事例として -

奥野祐介*・橋本雄一**

Analysis of Behaviors in Simulated Group Evacuations Due to Tsunamis Caused by Earthquakes in The Northern Part of The Japan Trench - A Case Study of The City of Tomakomai, Hokkaido, Japan. -

Yusuke OKUNO* and Yuichi HASHIMOTO**

This study aims to identify the influence of the tsunami inundation zones announced in 2021 on evacuation behaviors in the event of tsunamis. Using the city of Tomakomai, Hokkaido as a case study, where the largest class of tsunamis caused by earthquakes in the northern part of the Japan Trench are assumed to occur, simulated group evacuation behavior log data of tsunamis were collected through an originally developed evacuation behavior log data collection system. The log data were analyzed by focusing on evacuation times and other factors using geographic information systems (GIS). The analysis suggested the necessity of developing new evacuation measures by taking the increased evacuation distances and required times to reach safe areas into consideration because the area of the tsunami inundation zones was wider than that announced in 2012.

Keywords: 集団避難行動 (group evacuation behavior), 津波災害 (tsunami disaster), 移動軌跡データ (trajectory data), 苫小牧市 (Tomakomai)

1. はじめに

2011年に発生した「平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震」を起因として東日本大震災が発生し、東北地方を中心に甚大な被害が生じた。これに伴い、同年12月に津波防災地域づくりに関する法律(平成23年法律第123号)が成立、施行され、頻度の高い津波(L1)と最大クラスの津波(L2)の2種類の津波を想定することになった。特に、最大クラスの津波(L2)については、「減災」を基本理念とし、ハード対策及びソフト対策の両方を重視する「多重防御」の発想によって津波防災地域づくりを推進することとなっている(国土交通省, 2022)。

北海道においては、2012年に太平洋沿岸部の津波浸水想定の見直しが行われ(北海道, 2012a)、津波浸水想定区域(以下「旧想定」という。)が大幅に拡大し、津波対策の検討が進められてきた。その後、津波防災地域づくりに関する法律第8条第1項に基づき、2021年に新しい津波浸水想定(以下「新想定」という。)が公表された(北海道, 2021)。この新想

定は、津波災害警戒区域としての指定が順次進められており、北海道の太平洋沿岸部に位置する市町村においては、現行の津波避難計画や津波ハザードマップの見直しを含む津波対策の再検討が進められている。

津波災害からの避難行動に関する研究については、孫ほか(2014)や最上・橋本(2015)といったインタビュー調査やアンケート調査による避難行動分析研究が多く見られる。しかし、これらの調査には記憶違いや忘却が含まれるおそれがあり、森田ほか(2015)や奥野・橋本(2015)、奥野ほか(2020)などの衛星測位技術によって避難の過程を一定間隔で詳細に記録し、記録された緯度経度情報、時間情報から避難行動を分析する研究が蓄積されつつある。

しかし、集団避難行動の研究において、集団全員の移動軌跡データを収集し、分析している研究の蓄積は進んでいない。観光施設やショッピングセンター等の集客施設や団体の観光者が訪れる観光名所等では、係員や添乗員等の誘導による集団避難が想定

* 学生会員 北海道大学大学院文学研究科 (Graduate School of Letters, Hokkaido University)

〒060-0810 北海道札幌市北区北10条西7丁目 E-mail : okunoyusuke@eis.hokudai.ac.jp

** 正会員 北海道大学大学院文学研究院 (School of Humanities and Human Science, Hokkaido University)

される。また、乳幼児や高齢者等の避難行動要支援者を含む要配慮者が利用する社会福祉施設等においては、要配慮者個人での避難が難しい場合があり、その場合は避難支援者による誘導等によって集団避難を行うことが想定されるが、津波災害からの集団避難行動を分析した研究は稀である。

そこで本研究は、北海道太平洋沿岸部の津波浸水想定区域の更新に伴う集団避難時の課題を抽出するため、集団全員の疑似的津波避難に関する移動軌跡データを収集し、避難距離及び歩行速度、避難時間に着目した分析を行う。これにより、集団避難時の課題等が明らかとなり、現在北海道内の市町村において進められている津波対策の再検討をする際の基礎資料になると考えられる。

2. 研究方法

本研究では、集団避難に関する移動軌跡データを収集する。データ収集には、奥野ほか（2018）で使用したデータ収集システムを使用する（図1）。まず、収集対象の集団員全員のスマートフォンに移動軌跡データを収集するアプリケーション（以下、避難ログアプリ）をインストールする。避難ログアプリを使用して集団での疑似避難を行い、移動軌跡データを収集する。

収集した移動軌跡データから、避難距離及び歩行速度、避難時間を算出する。避難距離及び歩行速度については、奥野・橋本（2015）と同様の計算手法

で算出する。まず、移動軌跡データに含まれる緯度経度の位置情報を平面直角座標に変換し、変換した座標値から2点間の距離の公式を用いて移動距離を算出する。そして、その算出した移動距離及び時間情報から歩行速度を算出する。避難時間については、避難開始から避難終了までの時間を移動軌跡データの時間情報から算出する。なお、歩行速度の算出後、エラーデータ等を取り除くデータクリーニングを行う。データクリーニングについては、奥野・橋本（2015）を参考に、(1) 歩行速度が10km/hを超える点、(2) 海上等の歩行不可能な場所にある点、(3) 信号によって停止している点を削除する。算出した避難距離、歩行速度、避難時間と新旧想定 of 津波浸水想定区域を用い、津波浸水想定区域の更新に伴う集団避難の課題を明らかにする。

3. 研究対象地域

3.1 津波浸水想定区域

本研究では、北海道中南部の胆振総合振興局管内に位置する北海道苫小牧市（以下「苫小牧市」という。）を研究対象地域とする（図2）。図3は旧想定、図4は新想定 of 津波浸水想定区域である。苫小牧市は、日本海溝北部を震源とする地震による津波浸水想定区域が新想定として設定されており、新想定 of 津波浸水想定区域が北海道太平洋沿岸部において最も広域な自治体である。新旧面積比率では、旧想定を1とした場合、新想定は1.40となっている（橋本、

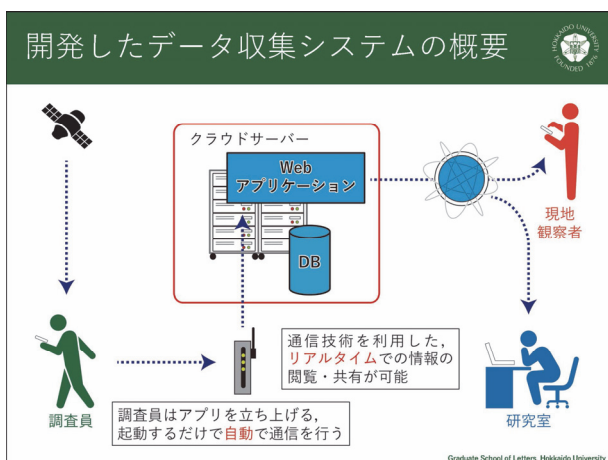


図1 データ収集システムのイメージ図

奥野ほか（2018）の発表資料より引用。



図2 苫小牧市の位置

基盤地図情報（国土地理院）を使用して作成。

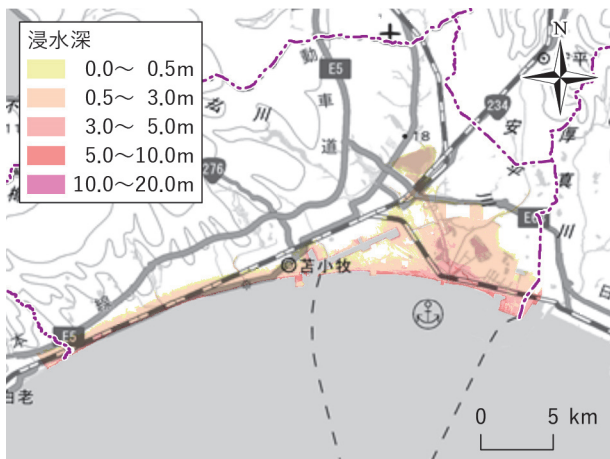


図3 旧想定 of 津波浸水想定区域

背景に地理院タイル（国土地理院）を使用して作成。

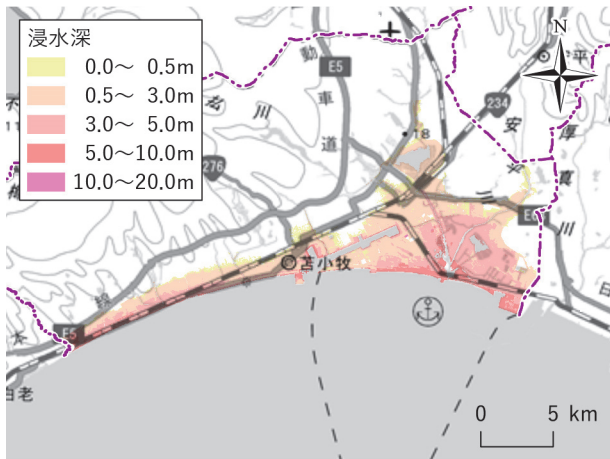


図4 新想定 of 津波浸水想定区域

背景に地理院タイル（国土地理院）を使用して作成。

2021). 津波浸水想定区域の広域化に伴い、避難施設の再配置や津波浸水想定区域の住民周知等の津波避難対策の再検討が急務となっている。

3.2 避難施設

苫小牧市では、一時避難場所（一時的に退避して身の安全を確保する場所）、指定緊急避難場所、指定避難所、福祉避難所、地域避難所（苫小牧市と協定を締結した企業、団体等の所有施設）、津波一時避難施設（津波避難ビル）が公表されており（表1）、その施設の位置を図5に示す（苫小牧市，2022a）。なお、一時避難場所及び指定緊急避難場所については、災害種別によって使用可／不可が設定されており、津波災害時に使用できる施設のみを表示している。

表1及び図5のとおり、苫小牧市の避難施設については、西部地区の津波一時避難施設（津波避難ビル）以外は新想定 of 公表（2021年7月公表）以前に公表されているということもあり、旧想定 of 津波浸水想定区域内の施設数は少なく、新想定 of 津波浸水想定区域内の施設数が多くなっている。

3.3 津波対策

苫小牧市における津波対策は、苫小牧（2016）及び苫小牧市（2019）においてまとめられている。しかし、本研究で取り扱う津波からの集団避難については、定期的な避難訓練の実施や避難支援者の確保といった点については記載されているが、具体的な避難方法等に関する記述は見られず、検討が必要であると考えられる。

表1 苫小牧市の避難施設数

種別	地区	施設数*	旧想定内に立地	新想定内に立地	公表年月
一時避難場所	全域	169	0	72	2020年3月
指定緊急避難場所	西部地区	18	7	14	2021年4月
	中心部地区	16	3	5	2021年4月
	東部地区	13	4	4	2019年10月
指定避難所	西部地区	19	8	15	2021年4月
	中心部地区	16	3	7	2021年4月
	東部地区	13	4	4	2019年10月
福祉避難所	全域	8	4	6	2020年2月
地域避難所	全域	3	0	1	2020年3月
169	西部地区	20	11	17	2022年3月
	中心部地区	28	13	21	2021年4月
	公営住宅	46	40	46	2021年4月
	東部地区	15	6	7	2021年4月

※一時避難場所及び指定緊急避難場所については、津波災害時に使用可能な施設数のみを記載

4. 移動軌跡データの収集

移動軌跡データの収集は、前述のデータ収集システムを使用し、2022年7月16日に実施した。移動軌跡データは、約5秒間隔で位置情報及び時間情報を取得しており、データ収集時には、避難の状況を記録するため、2台のビデオカメラで集団の前方、後方を撮影した。

調査員は、北海道大学文学部で前期に開講されている地域科学演習を履修している学部生及びサポートの大学院生の全10名（男性8名、女性2名）である。避難経路は、集客施設等が立地する国道36号と糸井西通の合流部から津波浸水想定区域外の糸井山神社付近の交差点まで（経路1、図6）、JR沼ノ端駅から津波浸水想定区域外の北栄町4丁目と5丁目の

境界付近まで（経路2、図7）の2経路を設定した。なお、新想定では、経路1の避難開始地点には地震発生後40分で、経路2の避難開始地点には地震発生後67分で津波が到達する想定となっている。調査員には事前に調査用の避難経路を記した地図を配布し、各自のペース（移動速度）で避難するように指示した。なお、調査員10名のうち、2名が避難ログアプリの動作不良等が原因でデータが取得できていなかったため、経路1及び経路2ともに8データを有効データとした。

5. 移動軌跡データ分析

5.1 避難距離

避難距離については、経路1が約1,625m、経路2

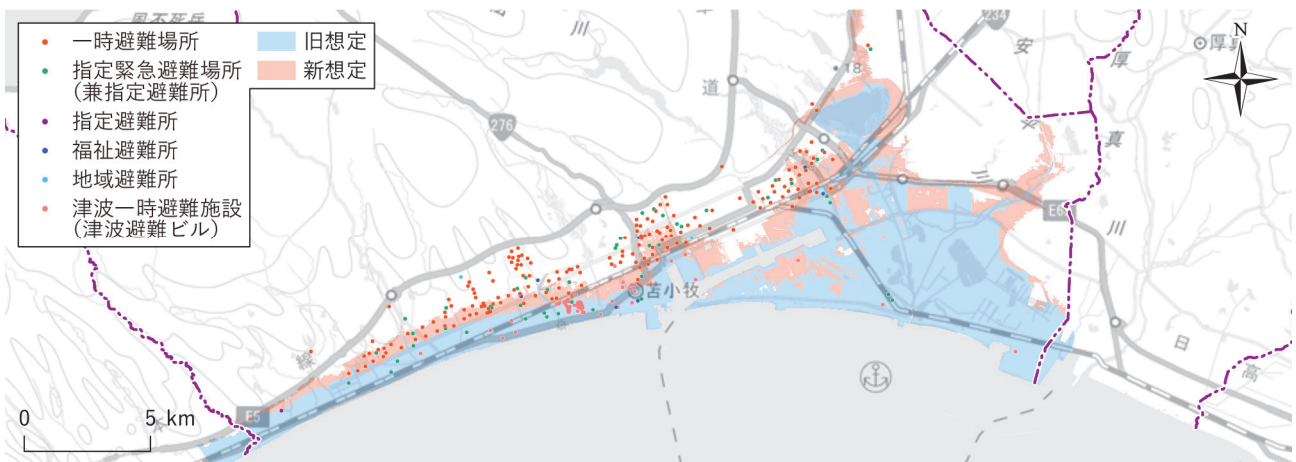


図5 苫小牧市の避難施設位置

背景に地理院タイル（国土地理院）を使用して作成。

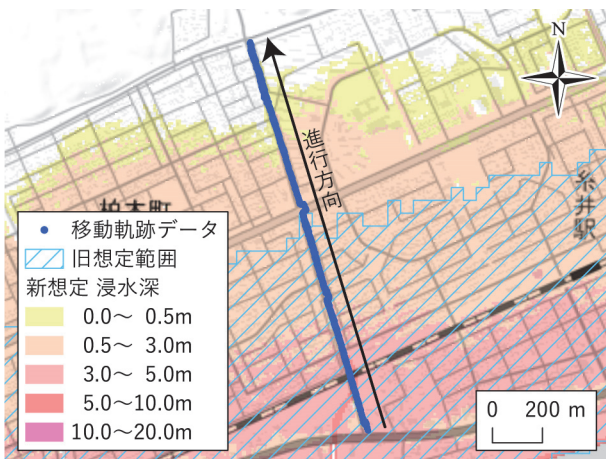


図6 経路1の移動軌跡データ

背景に地理院タイル（国土地理院）を使用して作成。

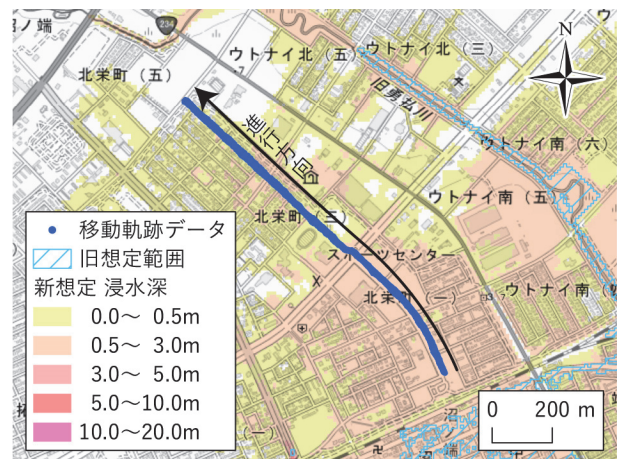


図7 経路2の移動軌跡データ

背景に地理院タイル（国土地理院）を使用して作成。

が約 1,253m であった。経路 1 については、旧想定
の区域外に出るまでが約 904m であったことから、新
想定によって避難距離が約 721m 増大していた。経
路 2 については、旧想定では津波浸水想定区域外で
あったことから、避難に要した距離である約 1,253m
の増大ということとなった。

5.2 平均歩行速度及び速度低下要因

平均歩行速度については、経路 1 が 5.04km/h、経
路 2 が 5.19km/h で、全体では 5.10km/h であった。
経路 1 の跨線橋以外は傾斜の無い平坦な地形であり、
平均歩行速度に顕著な差は見られなかった。

図 8 及び図 9 は、集団の 5 秒間隔の重心位置であ
り、上述の経路別の平均歩行速度よりも遅い地点を
青色、速い地点を赤色で表示したものである。表 2

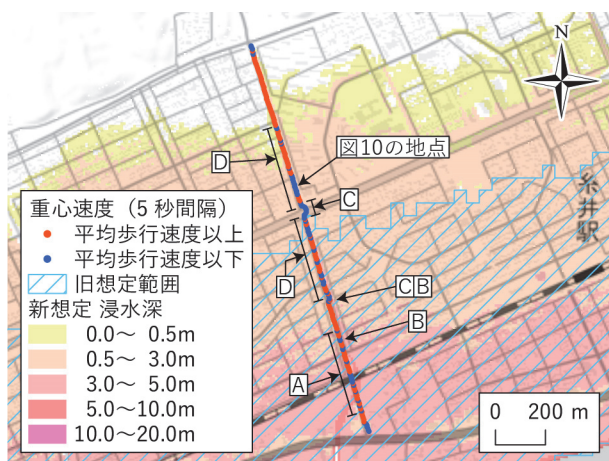


図 8 経路 1 の重心位置 (5 秒間隔)

背景に地理院タイル (国土地理院) を使用して作成。



図 9 経路 2 の重心位置 (5 秒間隔)

背景に地理院タイル (国土地理院) を使用して作成。

は、歩行速度が低下した要因であり、図 8 及び図 9
内に記載のアルファベットと対応している。速度低
下要因の特定には、移動軌跡データ収集時に避難の
様子を録画したビデオカメラ映像から特定した。な
お、アルファベットの記載がないものについては、
速度低下要因を特定できなかった箇所である。

経路 1 では、跨線橋の傾斜部分や通行人とすれ違
う際、交差点等の道路を横断する際に減速していた
ほか、歩道が狭い箇所での減速がみられた。特に、
後半部分は、歩道の狭さに加え、歩道脇の植物の繁
茂も円滑な歩行を妨げていた (図 10)。経路 2 にお
いては、経路 1 で見られた速度低下要因のほか、公
園敷地入口の杭や路上駐車といった障害物、公園敷
地内の地面状況 (砂) も円滑な歩行を妨げる要因と
して見られた。

5.3 避難時間

避難開始から新想定 of 津波浸水想定区域外までの
避難時間については、経路 1 が 19 分 25 秒、経路 2
が 14 分 30 秒であった。旧想定の場合は、経路 1 は

表 2 速度低下要因

記号	速度低下要因
A	傾斜 (跨線橋)
B	通行人 (徒歩、自転車) とのすれ違い
C	道路横断時 (交差点等)
D	狭い歩道
E	障害物 (杭、路上駐車等)
F	悪路 (砂)



図 10 歩道脇の植物繁茂の一例

ビデオカメラ映像のスクリーンショット。

10分50秒、経路2は区域外のため0秒であることを考慮すると、それぞれ避難時間が8分35秒、14分30秒の増大となった。

6. 考察

苫小牧市においては、北海道(2012b)に基づき、津波の避難可能距離を以下の計算式で算出することとされている(苫小牧市, 2016)。

避難可能距離(m)

$$= \text{歩行速度(m/秒)} \times (\text{津波到達時間(分)} - 5(\text{分})) \times 60$$

歩行速度については、1.0m/秒(3.6km/時)が基本とされており、経路1及び経路2を上述の計算式に当てはめた場合、経路1の津波到達時間が40分であったため2,100m、経路2の津波到達時間が67分であったため3,720mとなる。今回の疑似的集団避難においては、経路1が約1,625m、経路2が約1,253mであったため、苫小牧市が定める避難可能距離の範囲に収まるものであった。

しかし、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(2021)において言及されているように、避難行動要支援者が同行している場合や、北海道は積雪寒冷地であるため、積雪時、豪雪時、凍結時についても考慮する必要がある。表3は、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(2021)を参考に上述の状況下での歩行速度を参考値として算出したものである。な

表3 積雪寒冷地を考慮した歩行速度(参考値)

(単位: km/h (括弧内は m/s))

		健常者中心 ^{※1}	避難行動要支援者同行 ^{※1}	全体
冬季以外	非積雪・非凍結時	5.10 (1.42)	3.55 (0.99)	4.70 (1.31)
	積雪時 ^{※2}	4.08 (1.13)	2.84 (0.79)	3.76 (1.04)
冬季	豪雪時(未除雪時) ^{※3}	2.45 (0.68)	1.70 (0.47)	2.26 (0.63)
	凍結時 ^{※4}	3.67 (1.02)	2.55 (0.71)	4.23 (1.18)

※1 健常者の避難速度と避難行動要支援者同行の避難速度は、東日本大震災の実績から8:2の人数割合であったとして全体平均より設定

※2 積雪時の避難速度は、東日本大震災の平均避難速度から2割低下

※3 豪雪時(未除雪時)の場合は積雪時から4割低下

※4 凍結時は積雪時から1割低下

お、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(2021)では、集団避難ではなく個人避難の歩行速度を示しているため、参考値としている。そして、表3の歩行速度及び上述の計算式で算出した避難可能距離(参考値)を表4に示す。経路2については、避難距離が1,253mであり、積雪期/非積雪期、健常者中心/避難行動要支援者同行ともに避難が可能と考えられる。しかし、経路1については、避難距離が1,625mであり、健常者中心でも豪雪時(未除雪時)には避難を完了できない可能性があることや、避難行動要支援者同行の場合、豪雪時(未除雪時)及び凍結時には避難が困難となる可能性がある。

また、上述の計算式では、地震発生から避難開始までの準備等の時間を5分とし、避難可能距離を設定しているが、要配慮者や地理不案内な観光者等の集団の場合は、避難のための準備や避難先の決定等にさらに多くの時間がかかる可能性がある。その場合、表4に記載の避難可能距離がさらに小さくなり、津波の到達時間までに津波浸水想定区域の外に避難することが困難である避難困難地域が拡大するおそれがあると推察される。そのため、避難先の再選定や避難訓練の実施による準備時間の短縮化が必要であると考えられる。

速度低下要因については、今回疑似的津波集団避難を行った2経路では、歩道が狭いことによる速度

表4 避難可能距離(参考値)

(単位: m)

		健常者中心	避難行動要支援者同行	全体
経路1 (1,625m)	非積雪・非凍結時	2,975.73	2,069.54	2,743.06
	積雪時	2,380.59	1,655.63	2,194.45
	豪雪時(未除雪時)	1,428.35	993.38	1,316.67
	凍結時	2,142.53	1,490.07	2,468.75
経路2 (1,253m)	非積雪・非凍結時	5,271.30	3,666.05	4,859.14
	積雪時	4,217.04	2,932.84	3,887.31
	豪雪時(未除雪時)	2,530.22	1,759.70	2,332.39
	凍結時	3,795.33	2,639.55	4,373.22

低下が見られた。図 10 のとおり、歩道脇の植物の繁茂によって歩道が狭くなり、集団での避難をより困難なものにしていた。経路 1 及び経路 2 が避難路として指定されている場合、定期的な除草等の維持作業が必要と考えられるが、現行の津波ハザードマップにおいては、避難路が記載されていない状況である（苫小牧市、2022b）。旧想定 of 津波浸水想定区域が記載されている津波ハザードマップにおいては避難路が記載されているほか（苫小牧市、2013）、苫小牧市（2016）においても避難路について言及されており、円滑な避難のための重要な要素である避難路の維持及び整備を適切に行うためにも避難路の早急な再検討又は公表が必要と推察される。

7. おわりに

本研究では、北海道太平洋沿岸部の津波浸水想定区域の更新に伴う集団避難時の課題を抽出するため、苫小牧市を事例として疑似的津波集団避難に関する移動軌跡データを収集し、避難距離及び歩行速度、避難時間に着目した分析を行った。

その結果、苫小牧市においては、津波浸水想定区域の広域化に伴い、避難が長時間化、長距離化する地域が確認されたほか、参考値ではあるが、積雪寒冷地特有の路面状況、避難行動要支援者の同行の有無による避難可能距離の縮小によって避難困難地域が拡大するなど、避難がより困難になる可能性が示唆された。本研究は、迅速かつ円滑な避難が必要とされる津波災害対策を検討する際の基礎資料の整備等に貢献できたものと考えられる。

また、苫小牧市においては、新想定 of 津波浸水想定区域が公表されて以降、避難施設の更新が一部に留まっているほか、津波災害からの避難に利用する避難路が未公表（旧想定 of 避難路のみ公表）といった津波対策検討の遅れも確認された。新想定である日本海溝北部周辺で想定されている津波を伴う地震（青森県東方沖及び岩手県沖北部のプレート間巨大地震）の発生確率は、今後 30 年間で 10～30%程度（2022 年 1 月 1 日時点）、海溝型地震の相対的評価では「ランク III」となっており、早急な対策検討が必要と考えられる（地震調査研究推進本部、2021）。

今後は、幅広い年齢層に加え、要配慮者を含む集団の移動軌跡データ収集を実施したいと考えている。併せて、非積雪期だけではなく積雪期における集団の移動軌跡データの収集及び分析を実施するなど、移動軌跡データのさらなる蓄積と多様性の確保を通じ、分析結果の精度向上に努めていきたい。

謝辞

本研究を進めるに当たり、北海道大学文学部の学部生及び大学院生のみなさまには調査員として、北海道大学大学院文学研究院の塩崎大輔さまにはデータ収集システムの開発及びデータ収集当日のシステム運用でご協力いただきました。ここに記して深謝いたします。なお、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）及び 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。

参考文献

- 奥野祐介・塩崎大輔・橋本雄一（2018）GNSS を用いた疑似的津波集団避難行動分析－北海道釧路市・厚岸町を事例として－。地理情報システム学会講演論文集，27（CD-ROM）。
- 奥野祐介・塩崎大輔・橋本雄一（2020）疑似的津波集団避難に関する移動軌跡データ分析。地理情報システム学会講演論文集，29（CD-ROM）。
- 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。地理情報システム学会論文集「GIS－理論と応用」，23（1），11-20。
- 国土交通省（2022）津波防災地域づくりに関する法律パンフレット。 <1/2 <https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/point/content/001475754.pdf> 2/2 <https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/point/content/001475755.pdf>（最終アクセス日：2022 年 8 月 30 日） >

- 孫英英・中居楓子・矢守克也・畑山満則 (2014) 2014年伊予灘地震における高知県沿岸住民の避難行動に関する調査. 自然災害科学, **33** (1), 53-63.
- 苫小牧市 (2013) 苫小牧市津波ハザードマップ. <<https://www.city.tomakomai.hokkaido.jp/kurashi/bosai/jishin/handbook.html> (最終アクセス日: 2022年8月30日) >
- 苫小牧市 (2016) 苫小牧市津波避難計画. 苫小牧市.
- 苫小牧市 (2019) 苫小牧市地域防災計画地震・津波災害対策編. 苫小牧市.
- 苫小牧市 (2022a) 避難場所・避難所等. <<https://www.city.tomakomai.hokkaido.jp/kurashi/bosai/jishin/evacuation/hinanjoichiran.html> (最終アクセス日: 2022年8月30日) >
- 苫小牧市 (2022b) 津波ハザードマップ. <<https://www.city.tomakomai.hokkaido.jp/kurashi/bosai/jishin/handbook.html> (最終アクセス日: 2022年8月30日) >
- 地震調査研究推進本部 (2021) 日本海溝沿いの地震活動の長期評価. <https://www.jishin.go.jp/main/chousa/kaikou_pdf/japan_trench.pdf (最終アクセス日: 2022年8月30日) >
- 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 (2021) 資料2 被害想定手法について (案). <http://www.bousai.go.jp/jishin/nihonkaiko_chishima/WG/pdf/dai5kai/siryu2.pdf (最終アクセス日: 2022年8月30日) >
- 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 (2012a) 北海道に津波被害をもたらす想定地震の再検討のためのワーキンググループ. 太平洋沿岸の見直し報告書. 北海道.
- 北海道 (2012b) 津波避難計画策定指針. 北海道.
- 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.
- 森田匡俊・小池則満・小林哲郎・岩見麻子 (2015) 小学校における集団避難行動の可視化と改善に関する研究. 地理情報システム学会講演論文集, **24** (CD-ROM).