

避難行動解析に基づく地域条件を考慮した津波避難に関する研究*

八戸工業大学大学院 堀合 紳弥
 八戸工業大学大学院 立花 郁巳
 八戸工業大学大学院 遠藤 貫太
 八戸工業大学大学院 高瀬 慎介
 八戸工業大学大学院 加藤 雅也
 八戸工業大学大学院 武山 泰

1. はじめに

北海道や東北地方の沿岸地域では、日本海溝・千島海溝沿いを震源とする地震が発生し、青森県内でも最大 26.1m の津波到達が予想されている¹⁾。想定される津波が発生すると、東日本大震災当時より浸水区域(図-1)が拡大し、海拔数 m 程度の低地市街地域ではほぼ全域が浸水する可能性があり、浸水想定区域内に位置する避難所・避難場所の初動開設が制限される。この場合、地域住民の避難目標とすべき施設が減少し、令和 3 年度八戸市指定避難所²⁾136 ヶ所中 34 ヶ所が開設制限を受け、収容可能人数全 75,583 人のうち 20,033 人が収容不可となり、避難に要する移動距離の長距離化が懸念される。その一方、地方圏域では少子高齢化による地域の年齢分布の変動が進んでおり、今後、高齢者が増加すれば、避難速度の低下などにより地域全体の避難の所用時間が増加すると考えられる。また、冬季に発災した場合には、積雪による道路閉塞や路面凍結により交通状況が悪化し、さらに地域住民の被災リスクが高まる恐れがある。

そこで本研究では、青森県八戸市を対象としたマルチエージェントシステムを用いた避難シミュレーションにより、冬季夜間と夏季夜間を想定した解析を行い、気象状態の変化などの気象条件を考慮した住民避難への影響について検討する。

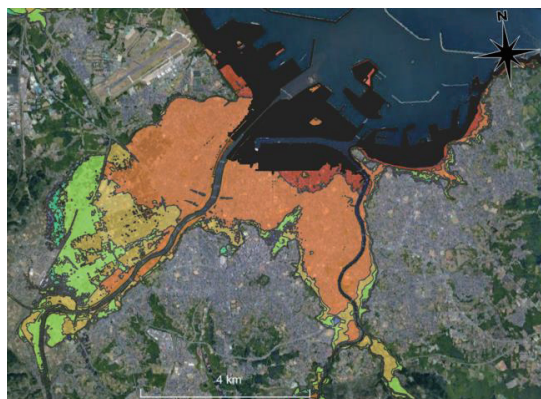


図-1: QGIS による東日本大震災浸水区域³⁾(黒区域)と浸水想定区域⁴⁾(色別区域)

* Research on Tsunami Evacuation Considering Regional Conditions based on Evacuation Behavior Analysis by Shin-ya Horiai, Ikumi Tachihana, Kanta Endo, Shinsuke Takase, Masaya Kato and Yasushi Takeyama

2. 対象地域の環境特性

解析対象とした八戸市を有する青森県は、県の東側を太平洋、西側を日本海、北側を津軽海峡に囲まれた本州最北端の地域である。冬季には津軽地方はじめとする県全域で積雪を観測する。八戸市の過去20年間(2001年～2021年)の気象観測記録⁵⁾を整理すると、2010年には日最大降雪量61cm(図-2)を観測している。同市では降雪量が概ね10cmを超えた場合に、重機による除雪作業が着手されるが、主要幹線道路や交通量が多い路線から優先的に除排雪を行うため、降雪時間や降雪量、交通状況によっては作業完了まで時間を要する。とくに、除雪重機の進入路や従事する車両数の問題から、住宅地のような密集区域では、除排雪作業が迅速かつ十分に行き渡るとは言えない。さらに、気温低下によるアイスバーン等の路面状況により、スリップ事故などの交通障害が多発する。また、歩道閉塞による歩行者の歩行環境へも影響が出るため、冬季の避難を想定する場合には、道路状況による交通障害も十分に考慮する必要がある。

さらに、近年、全国的に問題視されている少子高齢化による人口変動は、八戸市でも例外ではない。市高齢者福祉計画⁶⁾によれば、総人口の推移(図-3)として2020年から2045年までに約6万人の減少傾向し、少子高齢化により2020年の生産年齢人口57.0%、高齢化率31.8%に対し、2045年には生産年齢人口46.3%(2020年比:-10.7pt)、高齢化率約44.9%(2020年比:+14.5pt)となる見込みであり、今後は全人口の約半数が高齢となることが予想されている。この場合、若年層よりも避難速度が低下する高齢層が半数を占めるため、地域住民の全体的な被災リスクの増加が懸念される。また、高齢者の増加により、避難支援を必要とする災害時要援護者の登録数が増加すると考えられるが、若年層の減少により、災害発生時に要援護者の避難支援にあたる健常の避難支援者が不足する可能性もある。避難支援者が不足した場合、避難支援者1人あたりの要援護者数が増加し、津波到達までに避難支援者自身の安全確保が不十分となる危険性があるため、地域住民の年齢人口分布の変動について十分考慮し、より実態に即した避難計画を策定する必要がある。

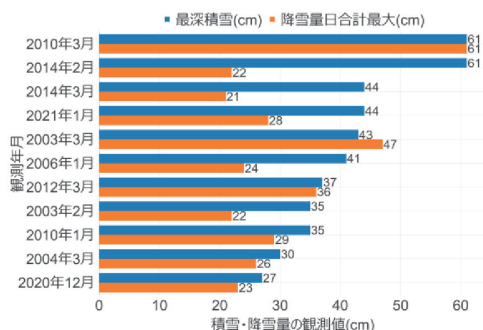


図-2：八戸市の降雪・積雪量の観測値

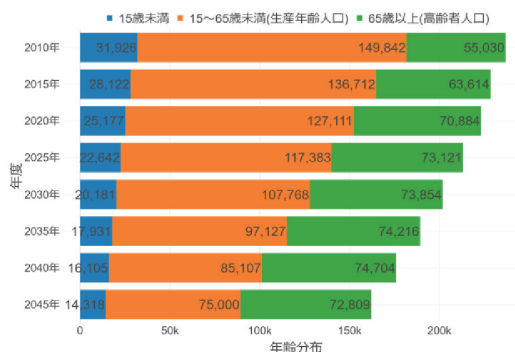


図-3：八戸市の将来人口の年齢分布

3. 地域条件を考慮した避難行動解析

解析対象とする青森県八戸市の気象状態の変化および人口年齢分布を考慮し、冬季夜間帯に想定される日本海溝沿いを震源とする地震が発生した場合の避難シミュレーションを実施した。

対象は同市柏崎地区の男女 60 歳以上(男性 n=1,548, 女性 n=2,201)で、第一波到達予想時刻の地震発生後 38 分時点で避難行動中のエージェントをカウントし、気象条件による避難所への未到達者エージェントの変化を比較した。解析条件を表-1 に示す。解析には NetLogo6.2.2(図-4)を用いた。このソフトウェアは津波避難に関する先行研究⁷⁾でも用いられており、構築したマルチエージェントシミュレーションの計算と可視化をリアルタイムで可能としている。エージェントの経路探索法には A*アルゴリズム法を適用し、避難開始地点から最短経路を探索し最寄りの避難所へ向かう。想定する環境は最遅条件となる冬季積雪状態での夜間避難とした。エージェントの避難速度は、小坂ら⁹⁾による先行研究内で用いている夏季避難速度を基準とし、これに内閣府被害想定 WG¹⁾による積雪係数(0.8)、夜間未除雪係数(0.6)、夜間係数(0.8)を考慮した速度を冬季夜間の避難速度とした。各エージェントには標準偏差に基づいた速度偏差により、速度のばらつきを与えている。車両避難者の運転速度は、当該地域の道路環境を考慮し夏季運転速度を 40km/h と設定、これに各速度係数を考慮し、冬季運転速度は 19.2km/h とした。避難目標については、市指定避難所の中で、大津波警報時に初動開設される柏崎地区周辺の最寄りの避難施設とした。また、住民が順次避難を開始するまでの所要時間は最早で地震発生 10 分後からと設定した。

解析の結果を表-2 に示す。避難方法の選択割合を 100%歩行避難、歩行・車両各 50%、100%車両避難とした場合の 3 ケースを夏季と冬季の 2 想定で実施した。その結果、最大で男性 31 人(n 比 2.0%)、女性 40 人(n 比 1.8%)の未到達エージェントが計測され、ほとんどのケースで夏季避難と比べ冬季避難では未到達者が 0.2~0.6pt 上昇していた。その一方、各 50%の割合で避難した場合には、100%歩行避難の場合より大幅に未到達者数が減少していた。車両避難 100%のケースでは、季節による結果の変化があまり見られなかった。季節条件により車速、加・減速度、車間距離等を考慮しているが、車両自体への積雪による影響は考慮されていなかったため、今後は避難開始時の車両自体からの除雪時間等も考慮した解析を進めたい。

表-1：解析条件および使用したパラメータ

解析環境	NetLogo6.2.2
経路探索法	A*アルゴリズム法
解析ステップ	1ticks(step)=1sec
想定環境	冬季積雪状態での夜間避難
夜間歩行速度	夏季 0.91m/s : 冬季 0.44m/s
速度偏差	標準偏差に基づく
夜間運転速度	夏季 40km/h : 冬季 19.2km/h
避難開始時間	地震発生 10 分後～

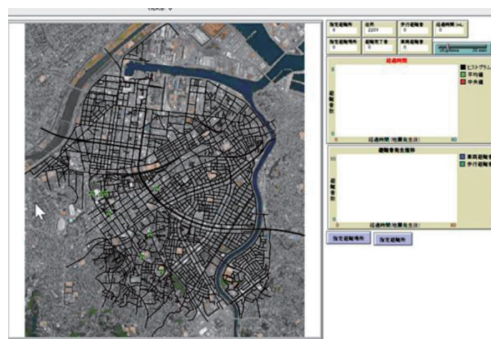


図-4：NetLogo の制御・出力画面

表-2：解析結果

未到達 エージェント数	男性 60 歳以上(n=1,548)		女性 60 歳以上(n=2,201)	
	夏季避難者	冬季避難者	夏季避難者	冬季避難者
避難方法選択割合 歩行：車両				
100：0	24 人(1.6%)	31 人(2.0%)	27 人(1.2%)	40 人(1.8%)
50：50	16 人(1.0%)	18 人(1.2%)	17 人(0.8%)	27 人(1.2%)
0：100	14 人(0.9%)	15 人(1.0%)	13 人(0.6%)	13 人(0.6%)

4. おわりに

本研究では、千島・日本海溝沿いを震源とする地震および津波による被害が想定される青森県八戸市を対象とし、冬季夜間帯における男女 60 歳以上の住民の避難行動についての解析を行った。その結果、第一波到達予想時刻の時点で避難途中だった住民数は 100%歩行避難の場合で最大男性 31 人(n 比 2.0%)、女性 40 人(n 比 1.8%)となった。避難手段を 50%ずつとした場合、ある程度の人的被害のリスクを低減できることが分かった。現時点では、特定の年齢区分の解析結果であり、今後は年齢層が混在する解析条件へ展開し、各エージェント間の影響についても考慮する予定である。

5. 参考文献

- 1) 内閣府 (防災担当)：被害想定手法について (第 1 回ワーキンググループでのご意見を踏まえた手法の検討), 日本海溝・千島海溝沿の巨大地震対策検討会ワーキンググループ(第 2 回), 2020.
- 2) 八戸市：令和 3 年度指定避難所一覧, 2022.2.15 取得.
- 3) 東京大学空間情報科学研究センター：復興支援調査アーカイブ 八戸市浸水深, 2020 年 11 月 25 日 取得.
- 4) 国土交通省：国土数値情報 青森県津波浸水想定区域, 2022 年 6 月 17 日 取得.
- 5) 気象庁：過去の気象観測記録 青森県八戸市 降雪気温データ, 2021 年 10 月 18 日 取得.
- 6) 八戸市：第 8 期高齢者福祉計画, p.5, 2021.
- 7) Mas, E. Suppasri, A. Imamura, F. and Koshimura S. : Agent-based Simulation of the 2011 Great East Japan Earthquake Tsunami Evacuation An Integrated Model of Tsunami Inundation and Evacuation, Journal of Natural Disaster Science, Vol 34, pp.41-57, 2012.
- 8) 川辺赳史, 檜山和男：建物の倒壊を考慮した津波遡上及び津波避難シミュレーションシステムの適用性向上, 第 40 回土木学会関東支部技術研究発表会, 第 I 部門, 2013.
- 9) 小坂陽介, 野村尚樹, 大藤愛子, 宮島昌克：マルチエージェントシステムを用いた津波避難に関する解析—輪島市臨海地域を対象とした事例研究—, 土木学会論文集, A1(構造・地震工学), Vol.73, No.4 (地震工学論文集第 36 巻), pp.11010 - 11017, 2017.