

# 北東北における積雪および身体的要因を 考慮した要援護者避難に関する解析的検討

堀合 紳弥<sup>1</sup>・武山 泰<sup>2</sup>

<sup>1</sup>学生会員 八戸工業大学大学院 工学研究科社会基盤工学専攻 (〒 031-8501 青森県八戸市大字妙字大開 88-1)

E-mail: d21301@hi-tech.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 博工 八戸工業大学大学院 工学研究科社会基盤工学専攻 (〒 031-8501 青森県八戸市大字妙字大開 88-1)

E-mail: takeyama@hi-tech.ac.jp

東北地方では近い将来、千島・日本海溝沿いを震源とする地震により、大津波の襲来が想定されている。特に青森県八戸市では、海岸部で 26.1m の津波高が予想され、東日本大震災を越える規模での市街地の浸水被害が懸念される。また、災害避難は健常者だけではなく、移動に際して身体的に補助を必要とする災害時要援護者についても考慮する必要があるが、少子高齢化に伴う地域人口変動の影響により、災害時要援護者が今後さらに増加すると予想される。

本研究では、青森県八戸市における降雪や路面凍結などの積雪による外的要因と、高齢化等による身体的要因を考慮した津波災害時の住民避難に関する解析的検討を行う。

**Key Words:** *Tsunami, Evacuation behavior, Snow cover, Persons required assistance during disaster, Multi-agent simulation*

## 1. はじめに

東北地方では、近い将来、千島・日本海溝沿いを震源とする地震(以下、日本海溝地震)が発生し、これを起因とする大津波によって甚大な被害が生じると想定<sup>1)</sup>されている(図-1)。青森県八戸市ではこれまで、東日本大震災津波の教訓から津波避難タワーの整備などを進めてきているが、新しい津波想定では、同市の海岸部において高さ 26.1m の津波が予測される。これは 2011 年東日本大震災で同市に襲来した津波より大きく、浸水範囲も拡大し、内陸部まで遡上・浸水の被害が発生するとされている。このことから、市の津波避難計画やハザードマップでは、浸水範囲内に位置する市指定避難所の多くが大津波警報発令時に初期開設不可能となり、一時的な避難利用となる指定避難場所や、区域外の指定避難所に避難する必要がある。住民の中には、単独で移動や行動が困難である災害時要援護者(以下、要援護者)も含まれ、身支度の時間や移動速度の低下から健常者避難よりも避難行動に時間を要する、要援護者は、通常の避難所では対応が難しい生活支援や、バリアフリーに対応する福祉避難所へ再移動する可能性があるため、初期避難時から浸水区域外に位置する指定避難所へ避難させることが有効であると考えられる。また、冬季の東北地方では、降積雪による交通障害も多発し、歩行者や車両交通に大きな障害となる。道路の

除雪作業が行われていない状況で津波発生の場合、無積雪状態での避難時よりさらに時間を要するため、津波による被災リスクが高くなる。

本研究では、被害拡大が想定される青森県八戸市を対象とし、マルチエージェントシステム(以下、MAS)を用いた避難シミュレーションを行う。住民の避難速度が最も遅い条件となる冬季の夜間帯に、想定される津波が発生した場合の要援護者の避難行動について解析する。解析結果から、浸水区域外の指定避難所まで、津波到達時刻より早く到着するための最適な避難方法の選択割合について検討する。



図-1 QGIS による今後想定される八戸市の浸水区域<sup>2)</sup>  
(黒範囲：東日本大震災による浸水区域<sup>3)</sup>)

## 2. 解析対象地域の特性

### (1) 近年の人口特性

八戸市の人口は 22 万 4550 人<sup>5)</sup>(表-1, R3,4 時点)で、総人口及び全世帯数の推移(図-2)としては、全世帯数は増加しているものの総人口数は減少傾向が続き、2015 年から 2020 年までに 1 万人(4.4%)の減少となっている。その一方、少子高齢化が進んでおり、市の高齢者福祉計画<sup>6)</sup>によれば 2020 年では生産年齢人口 57.0%、高齢化率 31.8%となっている。25 年後の 2045 年には生産年齢人口 46.3%、高齢化率約 44.9%となる見込みであり、今後は全人口の約半数は高齢となる可能性がある。

### (2) 冬季の気象特性

冬季の青森県では、降雪による積雪に加え、路面凍結によるスリップ事故等が多く発生する。太平洋沿岸部に位置する八戸市でも、過去には日最大降雪量 61cm(図-3<sup>4)</sup>)を観測した年もあり、車・歩道に大量の雪が堆積すると、車両の走行が困難な場合や大規模な渋滞の発生、歩道閉塞により歩行者道が使用できないなどの交通障害が起きる。

表-1 八戸市の 3 階級区分人口 (R2,4 時点)

年齢区分	男性(人)	女性(人)
20 歳未満	18,326	17,290
20~59 歳	85,288	51,399
60 歳以上	36,884	48,363
男女合計	107,498	117,052

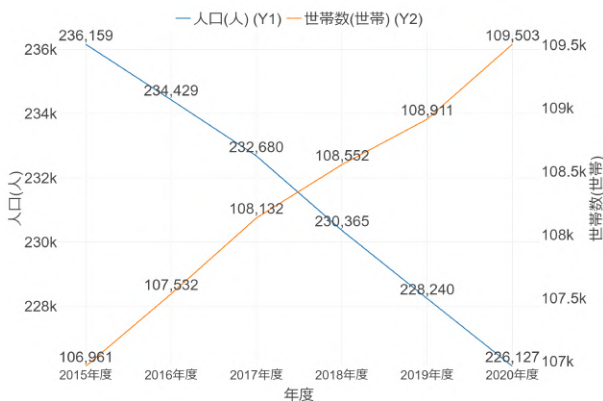


図-2 八戸市における人口推移 (2015~2020 年度)

## 3. 解析手法・要援護者避難に関する先行研究

### (1) MAS を用いた避難行動解析

災害発生時の避難行動や実社会での人間行動などを仮想的に再現し検証する手法として、MAS を用いた行動シミュレーションによる研究が行われている。MAS を用いた避難解析研究の事例として、Mas et al<sup>7)</sup>は NetLogo を用いた避難シミュレーションを行い、津波シミュレーションと組み合わせたシステムを構築し、東日本大震災被災地や海外の津波被害地域での事例に適用した避難解析を行っている。小坂ら<sup>8)</sup>は、MAS を用いた避難誘導に着目し、避難経路の指定、経路幅員比を用いて避難者の分散させたケースについてのシミュレーションを行っている。また、著者ら<sup>9)</sup>は、NetLogo を用いて岩手県山田町を対象とした東日本大震災当時の避難者数の再現や、将来人口を考慮した住民の避難行動解析を行った。

### (2) 要援護者避難に関する研究事例

要援護者に関する避難研究では、森下ら<sup>10)</sup>はグループホーム等において、災害発生から近隣の避難場所まで移動する過程の所要時間と速度について、実験とシミュレーションによる検証を行い、行動を遅延させる動作などについて、検証結果から考察している。また、立木<sup>11)</sup>は、東日本大震災当時の要援護者の避難実態と課題について整理し、福祉防災学においての高齢であるほど被害率が高くなるという点が震災でも繰り返されたと示している。大木ら<sup>12)</sup>は、高知県安芸市を事例として要援護者の避難を想定した津波避難ビルに関する研究を行い、宿泊施設や複合型商業施設等は、情報制約者に適した避難環境であるとしている。

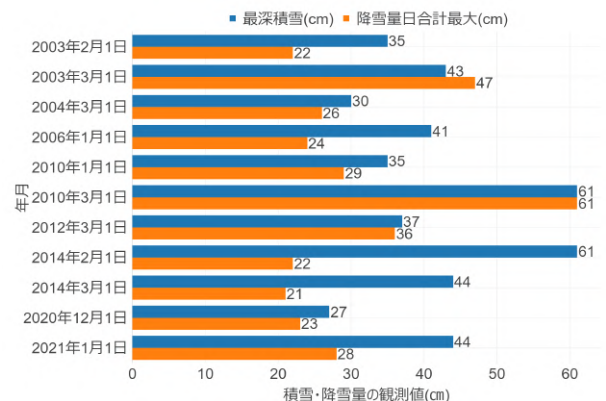


図-3 八戸市の積雪・降雪量の推移 (20cm 以上, 2001~2021 年)

#### 4. 八戸市内の要援護者に関する避難行動解析

令和3年3月に公表された日本海溝地震による津波被害想定<sup>13)</sup>と、避難シミュレーションおよび要援護者避難に関する先行研究の事例から、想定される地震が発生した場合の要援護者の避難行動について解析検討を行った。

##### (1) 解析対象地区

前章に記した解析条件に基づいて、要援護者の避難行動解析を行った。解析にあたって、八戸市内で最も浸水被害が想定されている小中野地区および柏崎地区(図-4)を対象地区と設定し、要援護者数を設定した SHP データ (GIS) を作成した。両地区の要援護登録者数は、八戸市役所より提供された登録者数データを使用している(表-2)。避難者の目標地点は、浸水区域外の最短に位置する八戸市指定避難所とし、避難方法の選択割合を変えて浸水区域外の目標地点に到達するまでに、どの程度の時間を要するのかを検討した。

##### (2) 解析条件

今回対象とした八戸市では、冬季の積雪や今後の高齢化に留意して要援護者避難について検討する必要がある。そこで、災害発生時のシナリオについて、最も避難速度が低速となる冬季積雪時の夜間帯に地震が発生し、

大津波警報が発表されるという想定で解析を行った。

NetLogo(図-5)によるシミュレーションはA\*アルゴリズムによる最短経路探索によって、初期配置ポイントから避難所へ向かって移動する(表-3)。

内閣府が公表した日本海溝地震による被害想定では、要援護者の速度は健常者より速度を低下させ、かつ、避難開始までに時間を要すると仮定している。要援護者の避難速度は、日本海溝地震被害想定WGが用いた手法<sup>14)</sup>を参考とし、夏季歩行速度を0.47m/s、車両選択避難者の夏季速度を50km/hと各基準速度を設定した。冬季を想定し積雪や路面凍結を考慮した速度とするため、表-4に示す係数を乗じた速度を冬季速度と設定した。また、地震発生から避難開始までの所要時間(表-5)は、速度設定の際に考慮した冬季および積雪に加え、要援護者として登録している条件(要支援・要介護度)の日常生活での身体機能を考慮した。

表-3 本解析の条件

ソフトウェア	NetLogo 6.2.2
探索解析法	A*探索アルゴリズム
解析ステップ	1ticks(step)=1s
解析終了	地震発生から180min
想定環境	冬季積雪状態での夜間避難

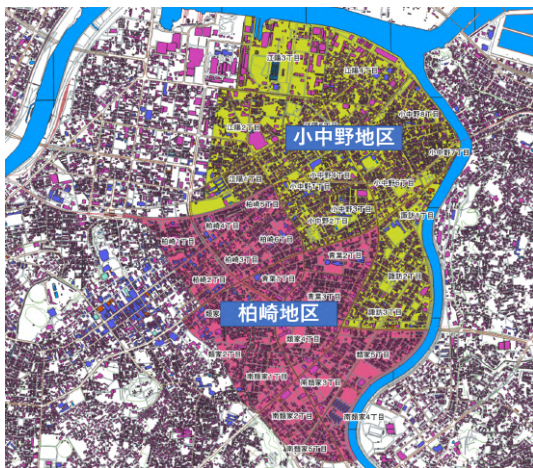


図-4 本研究での解析対象の地域区分

表-2 解析対象地区の人口・要援護登録者数データ

地区名	人口数 (人)	世帯数 (世帯)	災害時要援護者数 (人)
小中野地区	13,822	7,298	253
柏崎地区	10,191	5,388	167

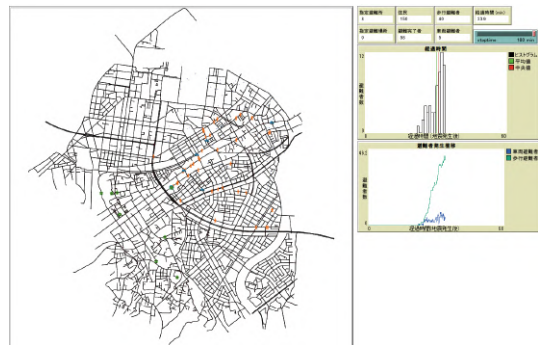


図-5 NetLogo の操作・出力画面

表-4 基準速度と速度係数について

速度区分	係数	速度
夏季歩行速度 (a)	-	0.47m/s
夏季運転速度 (b)	-	50km/h
積雪係数 (c)	0.8	(a) * 0.8
未除雪係数 (d)	0.6	(c) * 0.6
路面凍結係数 (e)	0.9	(c) * 0.9

(3) 解析結果

a) 小中野地区

小中野地区 (N=253 人) の解析結果を述べる。

避難者が歩行避難・車両避難を各 50%として選択した場合 (図-8) の最多避難者発生時刻は、歩行避難者は地震発生から 42 分後の 49 人 (図-7)、車両避難者は 34 分後の 9 人 (図-6) となった。また、避難完了時刻は歩行避難者で地震発生から 80 分、車両避難者は同 54 分後となった。全員が歩行避難を選択した場合 (図-9) は、最多避難者発生時間は 41 分後の 111 人、避難完了時刻は 85 分後となった。全員が車両避難を選択した場合 (図-10) は、最多避難者発生時間は 30 分後の 18 人、避難完了時刻は 66 分後となった。

b) 柏崎地区

柏崎地区 (N=167 人) の避難者が歩行避難・車両避難を各 50%として選択した場合 (図-13) の最多避難者発生時刻は、歩行避難者は地震発生から 34 分後の 23 人 (図-11)、車両避難者は 42 分後の 5 人となった (図-12)。また、避難完了時刻は歩行避難者で地震発生から 57 分、車両避難者は同 52 分後となった。全員が歩行避難を選

択した場合 (図-14) は、最多避難者発生時間は 40 分後の 38 人、避難完了時刻は 59 分後となった。全員が車両避難を選択した場合 (図-15) は、最多避難者発生時間は 32 分後の 7 人、避難完了時刻は 56 分後となった。



図-7 小中野地区の避難の様子 (t=42min)

表-5 地震発生から避難開始までの考慮時間

考慮区分	時間 (min)
地震振動継続	3
情報受信時間	5
着替等身支度	7
防寒着等着用	3
率先避難開始	2
合計時間	20

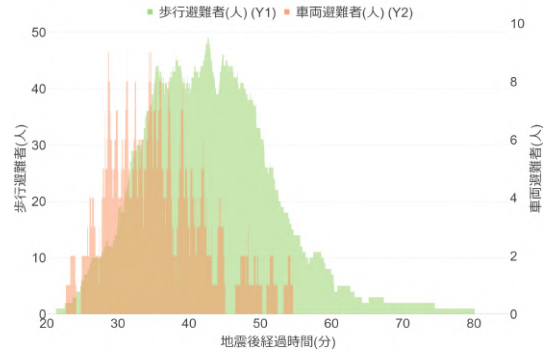


図-8 小中野地区の避難者 (歩行 50% : 車両 50%) 発生推移



図-6 小中野地区の避難の様子 (t=34min)

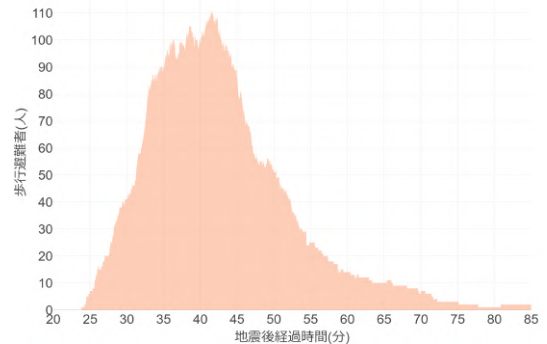


図-9 小中野地区の避難者 (歩行 100% : 車両 0%) 発生推移

(4) 結果のまとめ

両地区の解析結果の数値を表-6にまとめる。日本海溝地震発生時における当地域の津波の第一波到達予想時刻は、地震発生から38分、最大波到達予想時刻は183分後となっている。結果を見ると、第一波到達時刻までに要援護者が浸水区域外の避難所まで到達完了しているケースはなく、最早でも柏崎地区全員車両避難の56分後となった。また、避難者が最多発生している時刻は、第一波が到達する時刻帯の前後が多い結果となった。

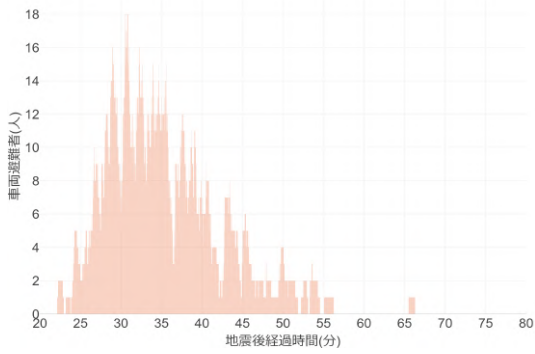


図-10 小中野地区の避難者(歩行0%：車両100%)発生推移



図-11 柏崎地区の避難の様子 (t=34min)

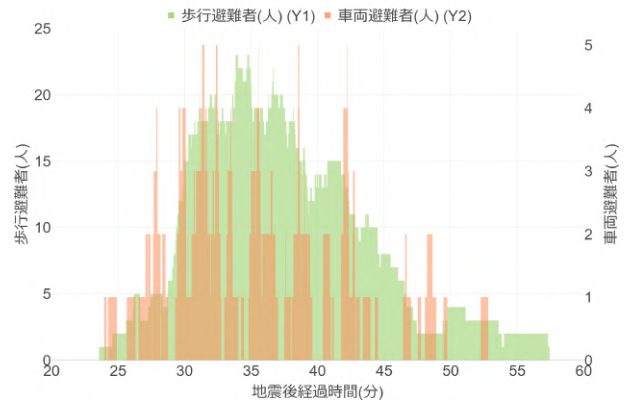


図-13 柏崎地区の避難者(歩行50%：車両50%)発生推移



図-12 地震発生直後の小中野地区 (t=42min)

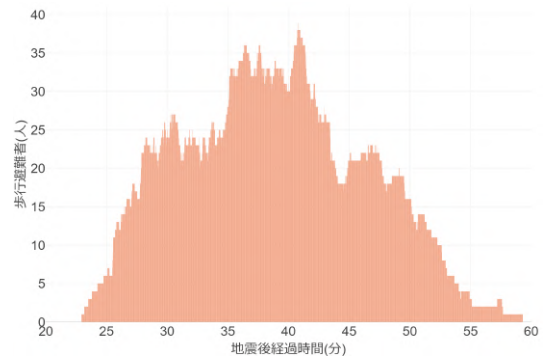


図-14 柏崎地区の避難者(歩行100%：車両0%)発生推移

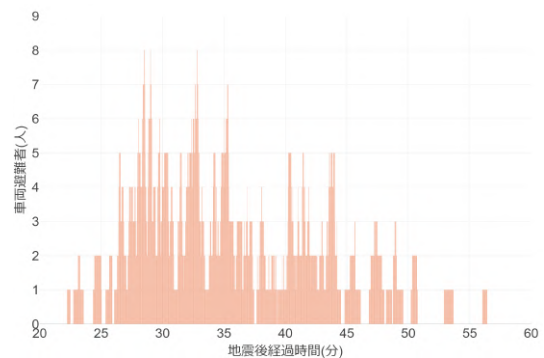


図-15 柏崎地区の避難者(歩行0%：車両100%)発生推移

表-6 解析結果まとめ

最多避難者時刻 (歩行：車両)	小中野地区	柏崎地区
50：50	42分：34分	34分：42分
100：0	41分	40分
0：100	30分	32分
避難完了時刻 (歩行：車両)	小中野地区	柏崎地区
50：50	80分：54分	57分：52分
100：0	85分	59分
0：100	66分	56分

## 5. おわりに

本研究では、日本海溝地震による被害が想定されている青森県八戸市を対象として、要援護者の冬季における夜間の最遅条件下での避難についてシミュレーションを行った。その結果、第一波到達(地震発生から38分後)までに避難を完了できたケースは無く、同時刻帯に最多避難者が発生するケースが多い結果となった。また、地震発生から一時間以上経過してから避難者が最大となる場合もあり、最遅条件下での詳細な避難行動について検討を進める必要がある。また、本解析では、避難所の収容制限は考慮されていない。浸水区域外の最短距離に位置する指定避難所へ向う条件で行われているため、車両避難を選択した避難者が、避難所周辺で渋滞等により立往生するという場合も考えられる。今後は、避難所の収容制限と、二次避難を行う時間を考慮したシミュレーションを進める必要がある。

謝辞： 本解析を進めるにあたり、八戸市役所福祉政策課より、市内の災害時要援護登録者数データをご提供頂いた。ここに記して感謝を示す。

## 参考文献

- 1) 内閣府：日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震モデル検討会、概要報告。
- 2) 国土数値情報：青森県、津波浸水想定区域(平成27年度)。
- 3) 復興支援調査アーカイブ：八戸市、浸水深(5mメッシュ)。
- 4) 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 2021.10.18取得。
- 5) 八戸市：人口統計データ、令和3年4月。
- 6) 八戸市：第8期高齢者福祉計画 第2章 八戸市の状況。
- 7) Erick Mas, Fumihiko Imamura, and Shunichi Koshimura : AN AGENT BASED MODEL FOR THE TSUNAMI EVACUATION SIMULATION. A CASE STUDY OF THE 2011 GRATE EAST JAPAN TSUNAMI IN ARAHAMA TOWN, *9th International Conference on Urban Earthquake Engineering/4th Asia Conference on Earthquake Engineering*, 2012.
- 8) 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), I1010-I1017, 2017.
- 9) 堀合紳弥, 武山泰：将来人口を考慮した避難行動特性に関する研究, 第64回土木計画学研究発表会・春大会(1110), 2021.6.5.
- 10) 森下朔, 水口竜一, 金井純子, 馬場俊孝：要介護者の避難行動速度, 自然災害科学 JJSNDS 37-4 397-406, 2019.
- 11) 立木茂雄：高齢者、障害者と東日本大震災：災害時要援護者避難の実態と課題, 消防科学 地域防災データ総覧「東日本大震災関連調査(平成25年度)編」 P134-144,
- 12) 大木麻美, 田中直人：災害時要援護者の避難を想定した津波避難ビルに関する研究, 日本建築学会計画系論文集 2009年74巻641号 P1523-1529, 2009.
- 13) 青森県海岸津波対策検討会：津波浸水予測図, 2021.
- 14) 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・千島海溝沿いの巨大地震対策検討会ワーキンググループ(第2回), 2020.

(Received March 6, 2022)

(Accepted March 6, 2022)

# ANALYTICAL STUDY ON EVACUATION OF PERSONS REQUIRED ASSISTANCE DURING DISASTER CONSIDERING SNOW COVER AND BODY PHYSICAL FACTORS IN NORTH TOHOKU

Shin-ya HORIAI and Yasushi TAKEYAMA

In the Tohoku region, a large tsunami is expected to hit in the near future due to an earthquake whose epicenter is along with the Kuril Islands and the Japan Trench. Especially in Hachinohe City, Aomori Prefecture, a tsunami height of 26.1m is expected along the coast, and there is concern about flood damage in urban areas on a scale that exceeds the Great East Japan Earthquake. In addition, disaster evacuation needs to be considered not only for healthy people but also for people requiring assistance during a disaster who need physical assistance when moving. It is expected that the number of supporters will increase further in the future.

In this study, we analyze the evacuation of residents in the event of a tsunami disaster, considering external factors such as snowfall and freezing of the road surface in Hachinohe City, Aomori Prefecture, and Body physical factors such as aging.