

## 青森県八戸市における日本海溝地震を想定した津波避難解析\*

八戸工業大学大学院 堀合 紳弥  
八戸工業大学大学院 尾崎 壮一  
八戸工業大学大学院 高瀬 慎介  
日本工営(株)中央研究所 野島 和也  
八戸工業大学大学院 武山 泰

### 1. はじめに

東北地方の太平洋沿岸部では、千島海溝および日本海溝沿いを震源とする地震(以下、日本海溝地震)が想定<sup>1)</sup>され、東日本大震災津波を超える規模の津波襲来が予想される。東日本大震災以前より、津波避難計画等においては、避難行動時の移動手段は原則徒歩避難を推奨している。しかし、日本海溝地震想定を受け、身体的状況や避難場所までの移動距離が長距離となる場合に限り、車両避難を容認する自治体が増加している。同地方では、冬季間において降雪や積雪など、気象条件の悪化による避難行動への影響が懸念される。このような気象条件の場合、避難速度の低下などにより迅速な避難行動が困難となる可能性がある。また、将来的に少子高齢化が深刻化し、高齢層が増加した場合には、津波到達時刻までに避難を完了できる人口の減少が懸念される。過去の津波災害では、車両避難時に渋滞等の交通障害による影響を受け、津波に遭遇し犠牲または被災する事例が多く確認されている。牧野鳴ら<sup>2)</sup>、亀田ら<sup>3)</sup>によって歩車混在避難を想定した解析は行われているが、これらは東日本大震災での事例に適用した再現解析や、南海トラフ巨大地震の被災想定地域を対象とした事例であり、日本海溝地震を想定した研究や、積雪地域の気象条件を考慮した事例は多くはない。想定津波に対し、各自治体が車両避難を容認する場合、その有用性と安全性を十分に事検証しておく必要がある。

本研究では、将来発生が予想される日本海溝地震津波の被災対象地域において、積雪寒冷地での冬季夜間避難時を想定した避難行動解析を実施する。少子高齢化が懸念される地域での避難方法として、歩行および車両の選択比率を変化させた場合の犠牲率とその増減率の推移を検証する。

### 2. 日本海溝地震を想定した津波遡上解析

日本海溝地震にて発生した津波遡上を再現するため、日本工営株式会社の津波計算コード<sup>4)</sup>による遡上解析を行った。解析条件を表-1に示す。内閣府が公開する日本海溝地震断層パラメータから、断層モデルにより地殻変動量と水位変動量を算出した。その後、水位変動量を用いて、非線形長波方程式に基づく津波遡上計算を実施し、陸上部での浸水深データを作成した。遡上津波による避難行動への影響を検証するため、建物による影響を考慮する。計算メッシュには、国土地理院が公開する基盤地図情報の建築物データを用いて、全建物高さを考慮した地形と堅ろう建物のみの建物高さを考慮した地形メッシュ(図-2)を作成した。

\* Tsunami evacuation analysis in Hachinohe City, Aomori Prefecture assuming a Japan Trench earthquake by Shin-ya HORIAI, Soichi OZAKI, Shinsuke TAKASE, Kazuya NOJIMA and Yasushi TAKEYAMA

解析結果における市街地の最大水位を図-3、図-4に示す。建物の配置により内陸部の水位は変化するものの、海岸部では10m前後の水位を観測していることが分かる。また、解析結果から、浸水区域内に位置する避難施設の簡易的な利用可能判定を行った。この判定は、建物近傍の最大浸水深と、建物階数にフロア高さ3mを乗じた値を比較し、避難階として3m以上を確保できる施設を判定しており、避難行動解析の避難目標地点とする。判定結果を図-5に示す。○マークは避難階1フロア以上利用可能、△マークは屋上のみ利用可能、×マークは利用不可を示している。

この簡易判定結果を基に、避難行動解析での避難目標地点を設定した。

表-1 遡上解析条件

計算格子間隔	領域1：450m 領域2：150m 領域3：50m 領域4：10m 領域5：2m
陸海境界条件	領域1,2：反射条件 領域3,4,5：遡上条件
基礎方程式	非線形長波方程式
計算手法	Staggerd格子・Leap-Frog法
断層モデル	Fujii-SatakeモデルVer8.0
断層パラメータ	日本海溝モデル2(青森沖開始)
初期波源	Okada(1992)で地殻変動量計算
粗度係数	小西ら(1998)
塑望潮位	T.P.0.7m
時間増分	0.01sec
解析時間	地震発生4時間後まで
構造物	全建物or堅ろう建物のみ、堤防有無

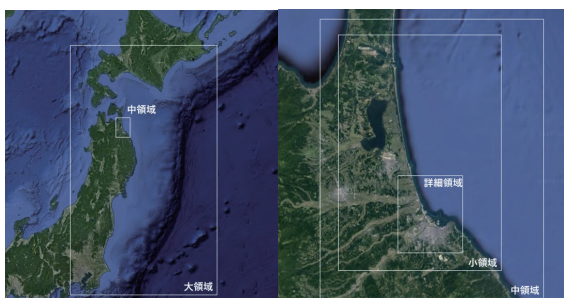


図-1 計算領域

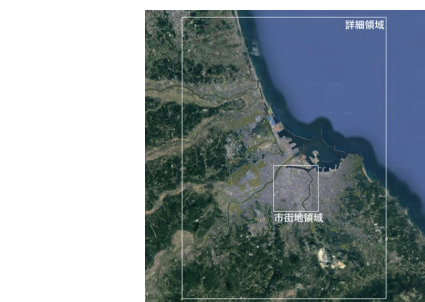


図-2 地形(左:全建物, 右:堅ろう建物のみ)

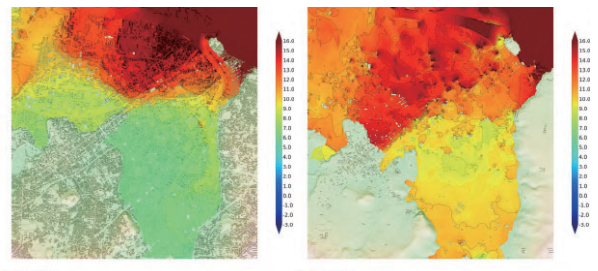


図-3 最大水位(左:全建物, 右:堅ろう建物のみ)

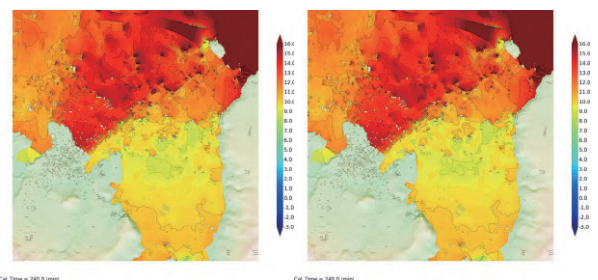


図-4 最大水位(左:堤防なし, 右:堤防あり)

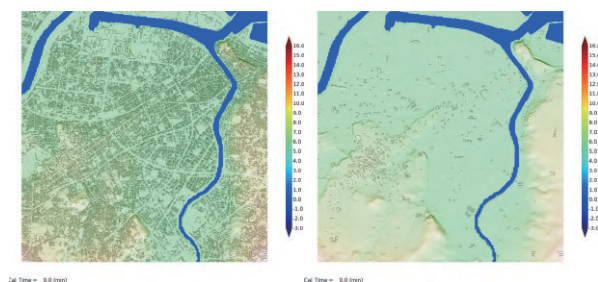


図-5 利用可能判定避難施設

### 3. 積雪夜間帯を想定した避難行動解析

津波遡上解析により得られた遡上数値データを活用し、積雪時を想定したマルチエージェントシミュレーションによる避難行動解析を行った。避難解析条件を表-2に示す。解析には、マルチエージェントシステム“NetLogo6.2.2”(図-6)を使用し、玉ら<sup>9)</sup>を参考にした計算コードにより解析を行った。避難者エージェントは、地震発生時の初期位置から最寄りの避難目標に向け、A\*アルゴリズムに従い最短経路探索を行いながら移動する。避難方法は、歩行または車両とし、歩行避難者エージェントは年齢別で6区分、車両避難者エージェントは年齢および世帯構成別と要介護認定者で7区分、合計13区分(表-3)とした。歩行速度は、小坂ら<sup>7)</sup>の避難速度を基準とし、これに内閣府の被害想定<sup>8)</sup>で適用している、積雪・未除雪・夜間の各係数を考慮した値を用いた。車両はGMモデルに基づき、先行車両との車間距離を考慮しながら加減速を実行する。車両速度は、夜間での未除雪道路の交通条件を再現するため、基準速度40km/hに積雪・未除雪・夜間係数を考慮した15.36km/hを最大速度とした。なお、停電による信号の消灯を想定し、交差点部分での信号操作については考慮していない。エージェントの避難目標として、浸水区域内に位置する避難利用可能な避難施設(垂直避難)、浸水区域外に位置する指定避難所(水平避難)、地理的に安全な地点(水平避難)の計3種類の避難目標地点を設定した。歩行者および要介護認定者には水平または垂直避難、車両避難者は水平避難を避難先属性として与えた。なお、今回は避難先の収容制限を設けない条件としている。避難開始時間は、過去の津波災害での調査結果<sup>9)</sup>から、歩行避難者は地震発生後15分後から、車両避難者は25分後から、要介護認定者は森下ら<sup>10)</sup>の調査結果を考慮して27.8分後から順次避難を開始する設定とした。津波の遡上数値データは、避難解析対象地区に遡上を開始する地震発生32分後から60分後まで、10秒ステップで読み込む。エージェントの犠牲判定は、浸水深0.5m以上のメッシュに10秒間滞在した場合、犠牲者エージェントに変化する設定とした。

表-2 避難解析条件

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	夜間避難(冬季積雪・夏季)
避難目標	歩行者：最寄りの避難先 車両：浸水区域外の水平避難先 要介護者：最寄りの避難先
車両走行	GMモデルに従う
犠牲判定	水深0.5mに10秒間滞在
避難開始時間	歩行避難者 15min～順次 車両避難者 25min～順次 要介護者 27.8min～順次
遡上開始時間	地震発生32min～60min

表-3 エージェント区分

歩行避難者	車両避難者
20歳未満男性	20～59歳夫婦+子1人
20歳未満女性	20～59歳夫婦+子2人
20～59歳男性	20～59歳夫婦
20～59歳女性	20～59歳単独
60歳以上男性	60歳以上夫婦
60歳以上女性	60歳以上単独
-	60歳以上要介護認定者



図-6 NetLogo 解析画面

エージェント配分数の内訳を表-4に示す。歩行割9：車両1割から、歩行割1：車両9割の選択割合まで1割ずつ変化させて配分した。歩行者エージェントは1人/エージェント、車両エージェントは、性別・世帯構成別に数名乗車/エージェントとして扱う。図-7に避難解析フロー、図-8に避難解析過程(一例)のスナップショットを示す。地震発生後を0分とし、15分後から歩行避難者が避難を開始、25分後から車両避難者が避難を開始する。また、32分後から遡上数値データの読み込みが始まり、浸水深に従い青色で示す浸水区域が10秒ステップで拡大していく。解析対象地区は60分後には全域が浸水するため、地震発生60分後に避難解析計算を停止する。

避難方法の歩車選択割合を変化させて検証した結果のうち、3回平均歩行・車両犠牲者数の推移を図-9に、3回平均犠牲率の推移を図-10に示す。解析結果から、車両選択割合が増加すると、歩行犠牲者数3863人から420人に減少していくものの、車両避難者数は21人から228人へ増加する結果となった。犠牲率として見ると、歩行犠牲率は20.65%から2.25%へと18.4pt減少するものの、車両犠牲率は0.08%から1.26%へ1.18pt増加する結果となった。

車両選択割合を増加させた場合、全体の犠牲率を抑えられる傾向となるが、車両犠牲率は増加する結果である。そこで、選択割合を1割ずつ変化させた場合の増減率を算出し、傾向を確認した。増減率のプロットを図-11に示す。橙色で示すプロットは歩行犠牲者の増減率、緑色で示すプロットは車両犠牲者の増減率を表し、青色のプロットは両増減率の合計を表している。歩車割合を変化させていくと、歩行犠牲者は減少するため、増減率は減少を表す負の値を示す。その一方、車両犠牲率は増加していくため、正の値を示すが、歩車割合6対4から5対5へ変化する際に、増減率が微小な値となっていることが分かった。歩車割合5対5の場合、歩行増減率-2.60ptと、車両増減率0.06ptであり、総増減率は全体で最も犠牲率の増加が抑えられる-2.54ptであった。この割合で車両の増減率が抑制された点について、避難車両の交通流に対し、増加台数の影響が受けにくい車両台数であったのではないかと考えられる。

表-4 エージェント配分数

歩対車	歩行数(人)	車両数(台)
9対1	16838	1332
8対2	14966	2460
7対3	13097	3589
6対4	11226	4718
5対5	9356	5847
4対6	7483	6976
3対7	5613	8105
2対8	3742	9234
1対9	1871	10363

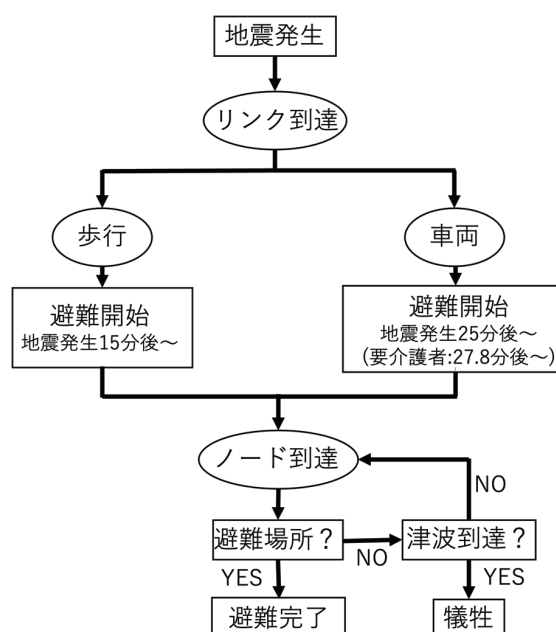


図-7 避難解析フロー

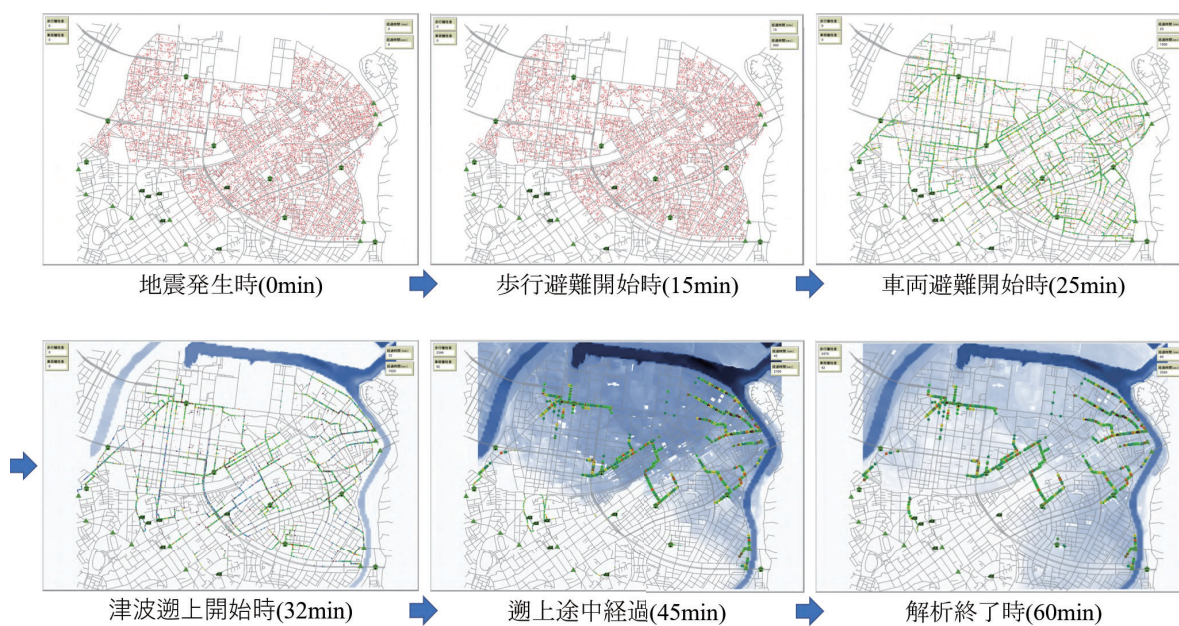


図-8 避難解析過程の一例

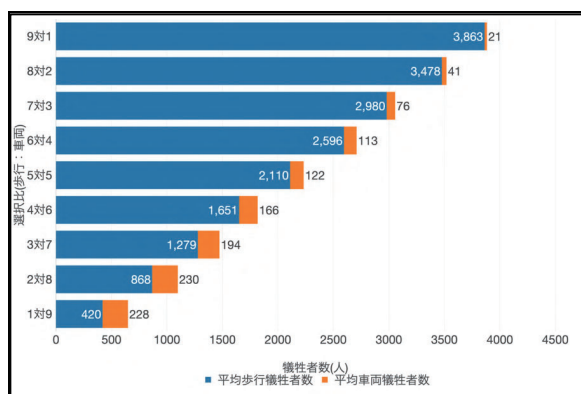


図-9 3回平均歩行・車両犠牲者数の推移

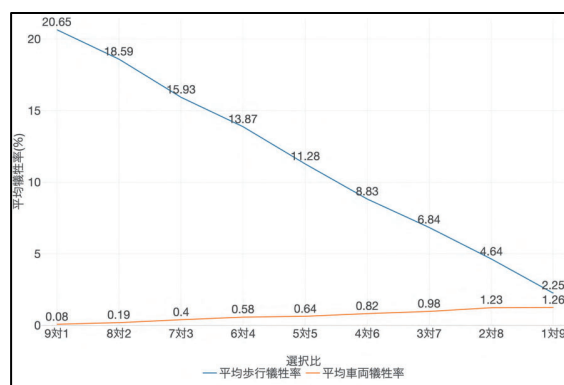


図-10 3回平均歩行・車両犠牲率の推移

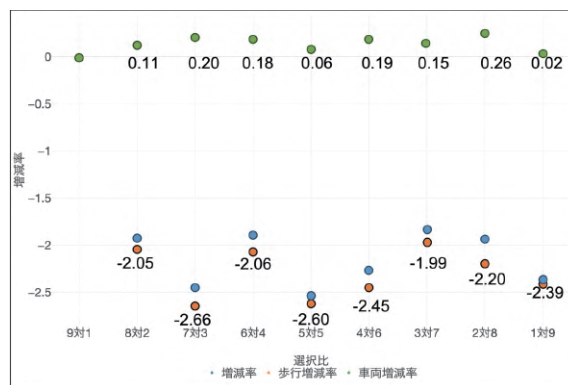


図-11 増減率の推移

#### 4. おわりに

本研究では、将来発生が予想される日本海溝地震を想定し、八戸市における人口変動および気象条件を考慮した避難行動解析を実施し、車両による避難行動の有用性の検証を行った。その結果、車両選択割合を1割ずつ増加させていくと、歩行避難者と全体の犠牲率は抑制される一方、車両避難者の犠牲率は増加する結果となった。また、選択割合を変化させた場合の増減率について着目したところ、歩車割合6対4から5対5に変化する際、車両犠牲者の増減率が他ケースに比べ、微小増加となることが分かった。このケースでの歩行犠牲者の増減率は全体で2番目に多い減少値であり、総増減率では最も増減値が低い結果となっていた。この結果から、車両避難による犠牲を抑制するために有効な選択割合であると考えられる。しかし、本解析条件では、車両はすべて地理的に安全な場所への水平避難と指定しており、避難場所周辺での駐車台数制限や駐車待ち時間等の交通環境は考慮しきれていない。今後は、この点も考慮した解析へ展開することで、想定される津波に対し、自治体の容認が進む車両避難を有効的に活用するための、歩車選択割合について検証し、犠牲率抑制のための検討を進める必要がある。

#### 5. 参考文献

- 1) 中央防災会議防災対策実行会議 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：日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震の対策について 報告書，2022.
- 2) 牧野嶋文康，今村文彦，安倍祥：歩車混在を考慮した津波避難シミュレーションの開発-2011年東日本大震災での気仙沼市での検証-，土木学会論文集 B2(海岸工学)，Vol.71，No.2，I\_1645-I\_1650，2015.
- 3) 亀田知沙，高橋智幸：津波避難時における歩車の相互作用を考慮した数値シミュレーションの開発，土木学会論文集 B2(海岸工学)，Vol.73，No.2，I\_349-I\_354，2017.
- 4) 小園裕司，高橋智幸，桜庭雅明，野島和也：津波波力に基づく建物倒壊を考慮した津波解析の検討，土木学会論文集 B2(海岸工学)，Vol.71，No.2，I\_163-I\_168，2015.
- 5) 青森県県土整備部河川砂防課：平成24年度津波浸水想定業務委託報告書，2013.
- 6) HaiZhong Wang, Alireza Mostafizi, Lori A.Cramer, Dan Cox and Hyoungsu Park : An agent-based model of a multimodel near-field tsunami evacuation : Decision-making and life safety , Transportation Research Part C, 2015.
- 7) 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.I1010-I1017，2017.
- 8) 内閣府(防災担当) 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：被害想定手法について(これまでのワーキンググループでの意見を踏まえた手法の検討)，2020.
- 9) 内閣府 防災対策推進検討会議津波避難対策検討ワーキンググループ：自動車で安全かつ確実に避難できる方策(補足資料)，2012.
- 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 J.JSND37-4，pp.397-406，2019.