

ISSN 1346-7328

国総研資料 第742号
平成25年6月

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of
National Institute for Land and Infrastructure Management

No.742

June 2013

2011年東北地方太平洋沖地震津波の避難行動への 津波避難シミュレーションの適用性

熊谷 兼太郎

Applicability of Tsunami Evacuation Simulation
for Evacuation Activity
during the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake Tsunami

Kentaro KUMAGAI

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan

2011年東北地方太平洋沖地震津波の避難行動への 津波避難シミュレーションの適用性

熊谷兼太郎*

要 旨

本研究は、2011年東北地方太平洋沖地震津波の避難行動を再現する津波避難シミュレーションを行い、その結果と実際の避難行動とを比較することにより、シミュレーションの適用性を検証した。

対象は、岩手県釜石市の中心市街地における徒歩避難者の避難行動である。シミュレーションでは、街路・建物ネットワーク上の建物に約4,700人を配置し、収容可能人数を考慮した最寄りの避難場所を選択するモデル（条件付きp-メディアン問題モデル）を用いた。歩行速度はアンケートで得られた「65歳以上比率」及び「グループ歩行比率」をパラメータとして設定した。シミュレーションで得られた避難完了者の時間的増加を示す曲線は、長距離を避難する行動など再現できていない部分はあるものの、青壮年を中心としたアンケートの結果と近く、リアス式海岸沿岸部の徒歩避難者の避難行動に津波避難シミュレーションをある程度適用できることが分かった。

キーワード：2011年東北地方太平洋沖地震，津波避難シミュレーション，リアス式海岸

*沿岸海洋・防災研究部 主任研究官

〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1 国土交通省国土技術政策総合研究所
電話：046-844-5024 Fax：046-844-5068 e-mail: kumagai-k27n@ysk.nilim.go.jp

Applicability of Tsunami Evacuation Simulation for Evacuation Activity during the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake Tsunami

Kentaro KUMAGAI*

Synopsis

In this study, applicability of tsunami evacuation simulation is discussed in comparing a result of the simulation with a result of questionnaires of evacuation activity to evacuees during the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake Tsunami. A target of the simulation is a nearshore area in the Kamaishi bay, a ria coast of Tohoku district, and the number of evacuees is about 4,700. In a model of the simulation, evacuees select their evacuation sites in accordance with a route choice problem with its capacity limit, "Conditional p-median problem". Evacuee's walking speed is decided from parameters by introducing the result of the questionnaire conducted on evacuees, in terms of a proportion of elder persons to the evacuees and a proportion of persons who evacuate in group to the evacuees. According to the result of simulation, a shape of a curve which expresses the relation between evacuation time and the number of evacuees who arrives at their goal is also seems to be agree with a result of the questionnaire on evacuee. In spite of the problem on the route choice for evacuee who selects not simple but complex evacuation route, it is found that the result of the evacuation simulation is agree with the result of tsunami evacuation activity on foot at a nearshore area in a bay of ria coast.

Key Words : 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, Tsunami Evacuation Simulation, ria coast

* Senior Researcher of Coastal, Marine and Disaster Prevention Department

目 次

1. 序論	1
1.1 研究の背景	1
1.2 既往の検討と課題	1
1.3 研究の目的	2
1.4 本論文の構成	2
2. 東北地方太平洋沖地震津波の避難行動	2
2.1 対象地域	2
2.2 津波避難アンケートの実施状況	3
2.3 釜石市の避難行動	3
3. 津波避難シミュレーション	4
3.1 シミュレーションモデル	4
3.2 シミュレーションに必要なデータ	4
3.3 設定した条件	6
3.4 計算環境と処理時間	8
3.5 シミュレーション結果と実際の避難行動との比較	8
4. 結論と今後の課題	10
4.1 結論	10
4.2 今後の課題	10
謝辞	11
参考文献	11
付録-1 (津波避難に関する国の動き)	13
付録-2 (津波避難シミュレーションに必要なデータの形式サンプル)	15
付録-3 (避難場所の現況, 概形, 想定した収容人数等)	16

1. 序論

1.1 研究の背景

2011年東北地方太平洋沖地震により18,564人の死者・行方不明者が発生し（警察庁，2013）¹⁾，死因の約9割は溺死であった（同，2012）²⁾。こうした被害を踏まえ，中央防災会議「東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会」は，想定される最大クラスの津波に対し「住民等の避難を軸に（中略）総合的な津波対策」が必要としている。また「概ね5分程度で避難が可能となるようなまちづくり」を目指すべきとしている³⁾。このように，国，市町村，施設管理者等に対して津波避難の安全性を向上する対策が求められている。付録-1に参考として，津波避難に関する国の動きを整理した。

効果的な対策を計画・実施するためには，対策に伴う効果の評価が必要である。例えば，避難ビルの整備に伴う避難所要時間短縮の効果，湾口防波堤の整備に伴う浸水遅延の効果，車避難者の比率を変化させる施策実施に伴う混雑緩和の効果等の評価が考えられる。前者二つは「構造物の整備」，後者は「避難行動の質的变化」が避難安全性に及ぼす効果をそれぞれ評価していると言える。

これらの定量的な評価手法の一つとして，津波避難シミュレーションを用いた手法が考えられる。

1.2 既往の検討と課題

(1) 津波避難シミュレーションの手法

津波避難シミュレーションの手法については筆者ら（2009）が整理しているが⁴⁾，ここでは，その内容に近年の動向を加え述べる。以下，避難シミュレーションの手法について，避難開始時間の推定モデル，避難場所の選択モデル及び避難者の歩行モデルという観点で整理する。

a. 避難開始時間の推定モデル

永川ら（2000）は，過去の津波避難行動のアンケート結果を統計的に処理することにより，災害情報の伝達経路・種類，地震の発生時間・大きさ，居住場所及び津波経験のパラメータとして避難開始時間を推定する手法を提案している⁵⁾。ただし，同一属性の地域には一律の値を与えるものであり，避難行動の個人差は考慮されていない。それに対して避難行動の個人差を考慮したものとしては，武田ら（1997）が，高潮避難についてであるが，避難勧告・命令を受けた住民群ごとに乱数を用いて避難開始時間を仮定する手法を提案している⁶⁾。また，早川ら（2002）は，地震発生直後，警報発令時及び津波の到達時の3段階の避難率を推定し，それをもとに当該地域の避難開始時間を推定する手法を提案している⁷⁾。井料ら

（2013）は感染症の拡散モデルを参考に避難開始時間をマクロ的に推定する数理モデルを提案している⁸⁾。

b. 避難場所の選択モデル

竹内ら（2002）は，避難者の現在地と海岸の位置関係を基準に避難場所の安全性を判定したうえで，最短直線距離の避難場所を選択する手法を提案している。また，同じ論文において避難場所の配置計画問題を線形計画法の手法の一つのp-メディアン問題（総避難距離最小化問題）として格子状メッシュに適用して解く手法を提案している⁹⁾。行木ら（2007）は最短経路検索に加えて避難上のリスクを考慮した経路検索手法について提案している¹⁰⁾。また，大江・山田・渡邊・熊谷（2012）は，避難場所の最適配置問題を上述の竹内ら（2002）と同様なp-メディアン問題として街路ネットワークを考慮して適用することを提案している¹¹⁾。

c. 避難者の歩行モデル

歩行速度に影響を及ぼすのは，年齢，同行者の有無，混雑，逃げ惑い，階段など障害物，疲労等の要因である。

最も単純化した手法は歩行速度として一定速度を与えるもので，例えば「津波避難ビル等に係るガイドライン」（2005）は避難可能範囲の推定の際に用いる歩行速度の目安として1 m/sの値を示している¹²⁾。

交通状況に応じた歩行速度の変化，避難者同士や周辺環境からの情報取得による進行方向の変化等の比較的複雑な避難者の行動を表現するために，マルチエージェントシミュレーション¹³⁾，個別要素法¹⁴⁾，ポテンシャルモデル¹⁵⁾，セルオートマトン法¹⁶⁾等を用いた手法が提案されている。

(2) 避難対策が及ぼす効果の評価

避難対策が避難安全性に及ぼす効果について津波避難シミュレーションを用いて評価した事例を挙げる。

a. 構造物の整備

1.1節で避難対策の種類として「構造物の整備」と「避難行動の質的变化」を挙げた。「構造物の整備」の効果については，渡辺ら（2007）が住宅耐震化の効果の評価を行っている¹⁷⁾。なお，住宅耐震化の取組みを「構造物の整備」というカテゴリーに分類するのは議論の余地があるかもしれないが，ここでは「構造物の整備」に分類しておく。渡邊・熊谷（2012）は，ある地域を対象に避難場所を整備したときに避難所要時間に及ぼす影響について検討している¹⁸⁾。また，仙台市「津波避難施設の整備に関する検討委員会」（2013）では避難施設の整備が及ぼす効果の評価を行っており，自治体における避難対策の検討にシミュレーションが活用されつつある¹⁹⁾。

b. 避難行動の質的变化

「避難行動の質的变化」の効果については、渡辺ら(2007)が避難の呼びかけ、広報車及び警報の効果について検討している¹⁷⁾。片田ら(2012)は、車避難者の比率と犠牲者数との関係を調べ、犠牲者数を最小化する車避難者の比率を求める手法を提案するとともに、リアス式地形部と平野部とで違いがあることを指摘している²⁰⁾。

ただしこれまで、避難シミュレーション結果と実際の避難行動とを比較して再現性の検証を行ったものは、門野ら(2012)による2011年東北地方太平洋沖地震の際の避難場所の選択行動に関する検証²¹⁾が行われているもののほとんど無く、シミュレーション結果の検証が課題である。同地震の津波については避難行動のアンケートが実施されており、実際の避難行動を比較的詳細に把握できる。そこで、同地震の津波の避難行動を再現する津波避難シミュレーションを行い、その結果と実際の避難行動とを比較することにより再現性を検証することとした。なお、本研究では津波による死亡者・行方不明者の避難行動及びその影響については対象としていない。

1.3 研究の目的

本研究は、2011年東北地方太平洋沖地震津波の避難行動を再現する津波避難シミュレーションを行い、その結果と実際の避難行動とを比較することにより再現性の検証を行うことを目的とする。

1.4 本論文の構成

2章では、2011年東北地方太平洋沖地震津波の避難行動のアンケート調査結果について釜石市を対象に分析した。

3章では、構築した津波避難シミュレーションのモデルの概要について述べるとともに、シミュレーションに必要なデータ及び本研究で設定した条件について、それぞれ根拠を含め示した。また、それらを用いて津波避難シミュレーションを実施し、実際の避難行動と比較することで再現性について検討した。

4章では、津波避難シミュレーションを用いた実際の避難行動の再現性について、得られた結論と課題を述べた。

2. 東北地方太平洋沖地震津波の避難行動

2.1 対象地域

国土交通省都市局(2011)は、東北地方太平洋沖地震の津波浸水域をリアス式海岸沿岸部(石巻市牡鹿半島以北)と平野部(石巻市平野部以南)の2つに区分し避難状況を整理している²²⁾。本研究ではこれを参考に、対象地

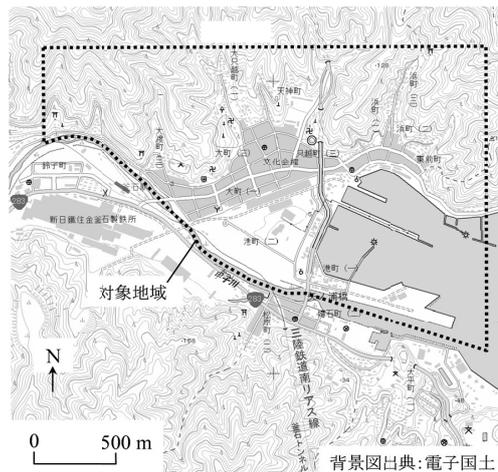


図-2.1 対象地域

域として、リアス式海岸沿岸部の典型例である岩手県釜石市中心部のうち甲子川左岸の地域を抽出した(図-2.1)。

対象地域は、東西約2.5km、南北約1.5kmの大きさである。対象地域の南側は東西方向に河川が流れるとともに、東側と西側は街並みが途切れそれよりも外側の地区とは離れていて、この対象地域は概ね避難行動が均質と考えた。すなわち海または河川に面した市街地から標高が比較的高い山のふもとに向かって、基本的には南から北へむかう方向に避難行動が取られると予想した。

一般に、行動様式が大きく異なる複数の避難者群が含まれている場合、それぞれの避難者群の行動結果が重なって一つの結果として現れ、的確な分析が難しいと考えられる。そこで、避難行動がある程度均質な地域を抽出することを意図して、対象地域を設定したものである。

なお、今回の検討ではリアス式海岸沿岸部が対象であり、平野部の避難行動は検討の対象外である。

また、国土交通省都市局²²⁾は、浸水域の地形をリアス式海岸沿岸部と平野部との2つに区分していることを上で紹介した。それに対し、鈴木ら(2011)は、浸水域の地形をさらに詳細に5区分としている²³⁾。そこでは、地形の起伏量の程度を表す指標として「浸水域の平均高低差」を導入し、この値をもとに、浸水域を北から北上山地丘陵(平均高低差27~29 m程度)、リアス海岸低地(同32~36 m程度)、北上低地平野(同15~27 m程度)、仙台平野(同1~16 m程度)及び阿武隈山地低地(同19~30 m程度)の5つに区分している。東北地方太平洋沖地震津波の被災地をどの程度細分化して区分すべきか検討は十分ではないが、地形の違いは避難行動に大きく影響を与える要素の一つと考えられる。本検討では被災地を大きく2つに区分して考えることとしたが、その妥当性については今後さらに検討していく必要があると考えられる。

2.2 津波避難アンケートの実施状況

2011年東北地方太平洋沖地震津波の避難行動について、釜石市では、国土交通省東北地方整備局釜石港湾事務所と釜石市による「津波避難実態アンケート」（以下、釜石港湾事務所・釜石市アンケートという。）²⁴⁾、国土交通省都市局による「津波からの避難実態調査」（以下、国土交通省都市局アンケートという。）²²⁾、NPO法人環境防災総合政策研究機構と東洋大学による「津波に関するアンケート」²⁵⁾及び群馬大学と釜石市によるアンケート²⁶⁾という4種類のアンケートが実施されている。

このうち、詳細なアンケート結果を入手することが出来た釜石港湾事務所・釜石市アンケート及び国土交通省都市局アンケートの分析を行った。

2.3 釜石市の避難行動

(1) 釜石港湾事務所・釜石市アンケート

アンケートの実施時期は2011年5月～6月で、市中心部の公共施設への来訪者、避難場所への避難者、企業の従業員等の431人から回答を回収している。

国土交通省東北地方整備局釜石港湾事務所の協力により、筆者は回答結果を入手することができた。それにより地震発生時に2.1節の対象地域に所在していた178人のうち、徒歩避難を行った122人を抽出した。178人に対する割合、すなわち徒歩避難率は68.5%である。徒歩以外の避難手段は、自動車、バイク、自転車等である。

表-2.1の第2列に、この徒歩避難者122人に関する整理結果を示す。「65歳以上比率」（65歳以上の回答者の比率）である。65歳を閾値とした理由は3.3(1)項を参照）及び「グループ歩行比率」（2人以上で避難した回答者の比率）はそれぞれ18.0%、84.8%となった。65歳以上比率とグループ歩行比率という二つの指標は、3章で述べるシミュレーションにおいて避難者の歩行速度を決定するパラメータとして利用している。

避難開始時間は、徒歩避難者が地震発生から避難を開始するまでの時間で、有効票に記載された回答結果の平均値を求めた。避難開始時間は平均14.3分であった。

避難所要時間は、徒歩避難者が避難を開始してから避難場所に到着するまでの時間で、有効票の回答結果の平均値を求めた。避難所要時間は平均6.1分となった。

図-2.2に、避難所要時間と避難完了者比率との関係を示す。ここで、避難完了者比率とは徒歩避難者の全体人数に対する当該時間までに避難を完了した人数の比率である。例えば、避難完了者比率が0とは避難完了者がいない状態、1とは全員が避難完了した状態を示す。避難所要時間10分程度まで、避難完了者比率の勾配は比較的大き

いがその後は緩やかになっている。避難完了者が5割を超えるのは避難所要時間5分の時点、避難完了者が8割を超えるのは同10分の時点である。

(2) 国土交通省都市局アンケート

アンケートの実施時期は2011年9月～12月で、青森県から千葉県までの太平洋側に位置する49市町村の10,603人から回答を回収している。

国土技術政策総合研究所都市防災研究室の協力により、筆者は国土交通省都市局アンケートのうち釜石市の317人の回答結果を入手することができた。そのうち、避難経路の情報があって地震発生時に対象地域に所在していた35人のうち、徒歩避難を行った24人を抽出した。35人に対する割合、すなわち徒歩避難率は68.6%である。

表-2.1の第3列に、この徒歩避難者24人に関する整理結果を示す。「65歳以上比率」及び「グループ歩行比率」はそれぞれ52.1%、66.7%となった。(1)と(2)とを比較すると、(2)に比べ(1)は65歳以上比率が小さく青壮年層が回答者の多くを占めている。

徒歩避難者の地震発生から避難開始までの時間は平均

表-2.1 アンケート結果の比較

	釜石港湾事務所・釜石市アンケート	国土交通省都市局アンケート
全体の人数	431人	10,603人
分析対象(A)	178人	35人
徒歩避難者(B)	122人	24人
徒歩避難率(B/A)	68.5%	68.6%
実施時期	2011年5～6月	2011年9～12月
65歳以上比率	18.0%	52.1% ^{*1}
グループ歩行比率	84.8% ^{*2}	66.7%
避難開始時間	14.3分後 ^{*3}	10.8分後
徒歩避難者の避難距離	-	393 m ^{*4}
〃 避難速度	-	0.54 m/s ^{*4}
〃 避難所要時間	6.1分 ^{*5}	12.2分 ^{*4}

*1 アンケート票選択枝が10歳刻みのため、「60代」の回答のうち半数を65歳以上と仮定。
 *2 不明の40人を除く。 *3 逃げ遅れ・不明の8人を除く。
 *4 24人から到着時刻不明の2人を除いた22人の平均値。
 *5 不明(3名)を除くとともに、地震発生から大規模な浸水が発生するまでの時間が約45分程度であることを考慮して60分超(4名)を除いた。

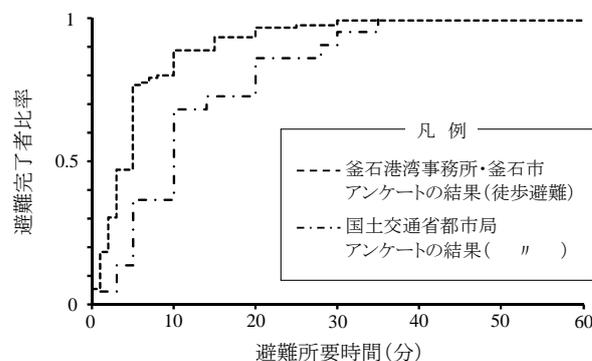


図-2.2 避難所要時間と避難完了者比率との関係

10.8分であった。また、(2)の調査では実際に歩いた経路が詳細にGISデータとして得られているため、徒歩避難者の避難距離の平均値及び避難速度（総避難距離を総避難所要時間で除した値）を求めると、それぞれ393 m, 0.54 m/sとなった。避難所要時間は平均12.2分となった。図-2.2に、避難所要時間と避難完了者比率との関係を示す。

図-2.3は、参考として、地震発生時に2.1節の対象地域内に所在して車避難した人の避難所要時間と避難完了者比率との関係を示す。ここで、釜石港湾事務所・釜石市アンケートでは対象地域に所在していた178人のうち車避難した人は42人（178人に対して23.6%）、国土交通省都市局アンケートでは対象地域に所在していた35人のうち車避難した人は6人（35人に対して17.1%）である。

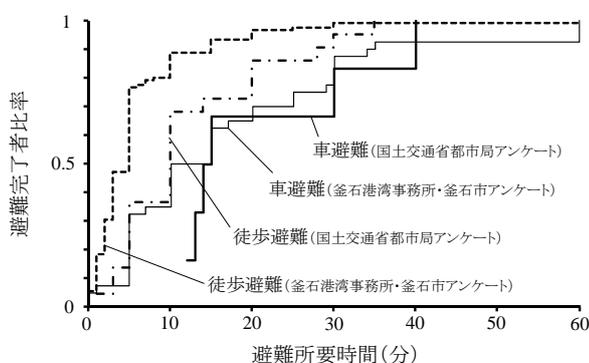


図-2.3 避難所要時間と避難完了者比率との関係

(3) その他の二つのアンケート結果

群馬大学と釜石市によるアンケートは、実施時期が2011年11～12月で、釜石市の全世帯約17,000世帯に配布し、3,902世帯から回収している（回収率約23%）。アンケート回答者の年齢構成は65歳未満が57.8%、65歳以上が42.2%である（釜石湾沿岸北部の921人が対象）。徒歩避難と車避難の比率はそれぞれ64.2%、32.4%である（釜石市全体3,578人が対象）。ウェブサイト上で公表されている結果は、詳細な値は不明な項目がある。例えば平均避難開始時間、平均避難所要時間、単独歩行・グループ歩行比はいずれも不明である。

NPO法人環境防災総合政策研究機構と東洋大学によるアンケートは、実施時期が2011年4月で、釜石市の113人を対象にしている。避難開始時間は14.0分後、徒歩避難率は64.8%である。

ここで挙げた二つのアンケート結果は詳細な値が入手できておらず、現時点では実際の避難行動データとしては情報が不足している。従って参考として取扱うこととし、3章以降の検討では対象としない。

3. 津波避難シミュレーション

3.1 シミュレーションモデル

国土技術政策総合研究所沿岸防災研究室の開発している津波避難シミュレーションシステムNILIM-TES2を用いてシミュレーションを行った。対象地域は2.1節で述べたリアス式海岸沿岸部で、徒歩避難者約4,700人を配置した。避難場所選択は、収容可能人数を上限に最寄りの避難場所を選択するモデル（条件付きp-メディアン問題モデル）を用いた。歩行速度は、2.3節のアンケート結果より得た「65歳以上比率」及び「グループ歩行比率」を参考に、グループ歩行、単独歩行（65歳以上）、単独歩行（65歳未満）の三区区分を設定し既往の文献²⁷⁾で示されている値を一定速度で与えた。さらに混雑、逃げ惑い及び障害物の発生を想定し避難者が交差点を通過するごとに10秒のロスタイムを与えた。なお今回の検討では単純化のため避難者の疲労による速度低下等は考慮していない。

図-3.1に、シミュレーションのフローを示す。プログラムでは、まず建物・街路ネットワークデータ等のデータ読み込み、さらに条件設定ファイルの読み込みを行う。次に、避難場所・経路を避難者ごとに与えるため、汎用的な線形計画問題ソルバーであるLINGO Ver.13 (Lindo社製)の入力形式に則った入力ファイルを作成する。このファイルをLINGOに投入することにより経路の解を得る。こうして得られた避難者ごとの経路情報について、避難速度及び交差点通過に伴うロスタイムを考慮して避難所要時間を算出・出力する。

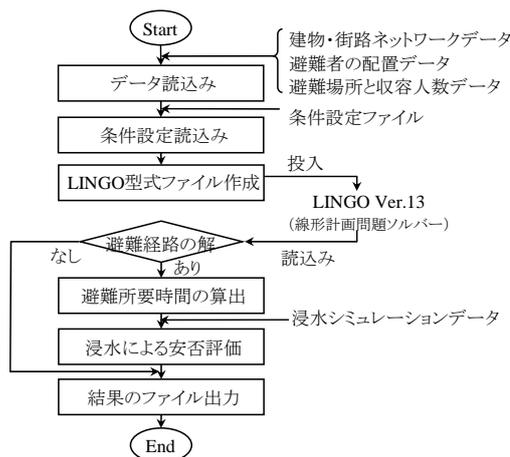


図-3.1 シミュレーションのフロー

3.2 シミュレーションに必要なデータ

建物・街路ネットワークデータ、避難者の配置データ、避難場所と収容人数のデータ、浸水シミュレーション結

果のデータが必要である。それぞれの構成内容を下に示す。また、各データの形式サンプルを付録-2に示す。

(1) 建物・街路ネットワークデータ

建物・街路ネットワークデータは、建物（平面的な中心位置）、交差点、街路の変曲点、接道点（建物が街路に接続する点）等の平面位置座標を含むデータと、交差点と交差点、建物と接道点等の間の接続関係を表現する街路データから構成される。データは、住宅地図（株式会社ゼンリン、平成22年版）を参考として、汎用的なGISソフトウェアであるArcGIS for Desktop Basic Ver. 10.1（ESRIジャパン株式会社）を用いて建物、交差点、街路の変曲点、接道点等をPC画面上でプロットすることによりそれぞれの位置座標をデータ化して作成した。さらに、建物、各点の接続関係を入力したテキストデータとして街路データを作成する。このようにして、建物・街路ネットワークデータ一式とする。

本研究で用いた建物・街路ネットワークデータでは、建物数は2,711、街路数は1,094であった（図-3.2）。

(2) 避難者の配置データ

初期状態として、各建物に避難者を配置する。地震発生は2011年3月11日金曜日の14時46分で平日の就労時間にあたり、昼間人口を配置する必要がある。そこで、まず対象地域の常住人口を推定し、つづいてその値をもとに昼間人口を推定した。

平成17年度国勢調査100mメッシュデータ（株式会社JPS）をArcGIS for Desktop Basic Ver. 10.1（ESRIジャパン株式会社）を用いて読み込み、メッシュ内に(1)のデータが重なるメッシュを抽出し、その人口（常住人口）を合計すると、4,867人であった。これは平成17年度時点の値なので、地震の発生時に近い時点（直近の国勢調査が行われた平成22年度）の値に補正する必要がある。釜石市全体の人口は平成17年（42,987人）と平成22年（39,574人）であり²⁸⁾、市全体の人口と対象地域の人口が同じ時期に同じ比率で変化したと仮定し、平成22年時点の対象地域の常住人口を4,481人と推定した。

総務省²⁹⁾による平成22年時点の釜石市全体の常住人口（39,574人）と昼間人口（41,514人）との比を用いて、対象とした地域の昼間人口を約4,700人と推定した。これが、

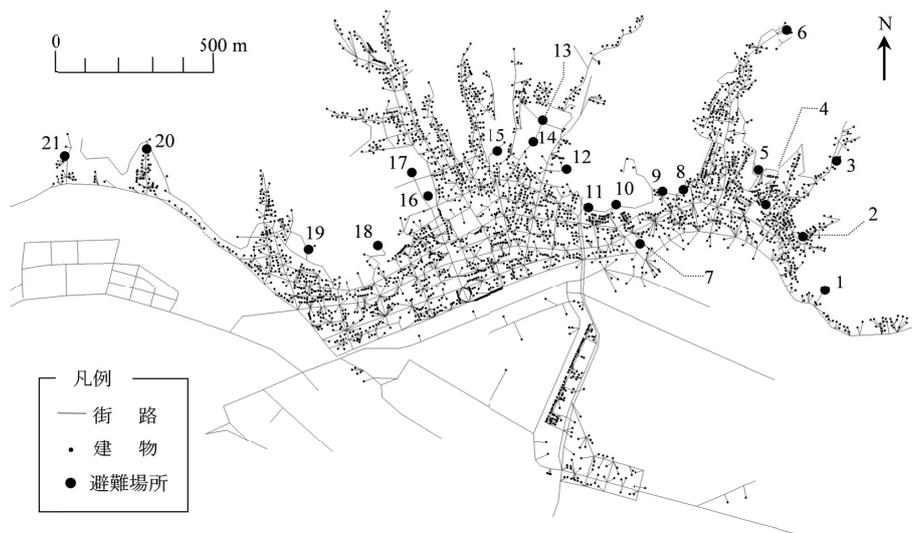


図-3.2 街路・建物ネットワークと避難場所

対象とした地域に配置する総人口である。

約4,700人を各建物に配置する方法は以下のとおりである。まず、建物を大規模建物とそれ以外の住宅との2種類に区分する。ここで、大規模建物とはホテル、大規模な工場、市役所（関連施設含む）、合同庁舎、郵便局（本局）、学校（幼稚園・保育園を含む）、総合病院及び魚市場である。中央防災会議のアンケート³⁰⁾によると、岩手県では地震発生時に1～2名が在宅していた場合が72%を占めていて、不在の場合は約1割と少なかった（図-3.3）。そこで、住宅には1名または2名を配置した。平均1.5人/棟となるように、偶数番号の建物には1名を、奇数番号の建物には2名を配置した。つぎに、配置する総人口（4,700人）から住宅に配置した人数を差し引き、大規模建物にいる人の総数を推定する。大規模建物の人数について参考となる適切なデータ（平日昼間に大規模建物に所在する平均的な人数）が無かったので、4,700人から住宅に配置した人数を差し引き、大規模建物の数で割り、5人単位で切り上げをおこなって、最終的に25名/棟とした。以上のようにして、1人配置の住宅は1,332棟、2人配置の住宅は1,329棟、25人配置の大規模建物は29棟となり、

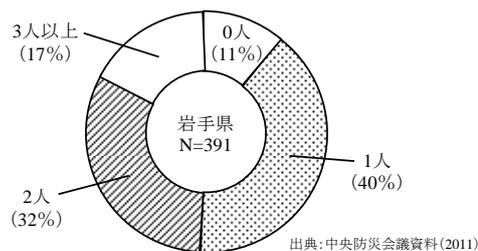


図-3.3 地震発生時に自宅にいた人数³⁰⁾

対象地域に配置した人口の総数は4,715名であった。

(3) 避難場所と収容人数のデータ

避難場所は、地震発生前に市が指定していた21箇所とした(図-3.2)。収容人数を推定するため、各避難場所を踏査する現地調査を平成24年10月25日～26日に筆者1名で行い、避難場所の形状を測定した。調査結果より、内閣府(2005)の示す値である1 m²あたり一人¹²⁾として算定し、50人単位で切り上げ収容人数として与えた。ただし、学校、大規模な公園等の比較的大きな広場が確保されている場所は、収容人数は1,000人とした。付録-3に、各避難場所の現況、概形、想定した収容人数等を示す。

その結果、収容可能人数はそれぞれ100～1,000人の範囲にあり、21箇所の合計値は10,550人となった。(2)で配置した避難者数と単純に比較すると、収容可能人数が避難者数を上回っていることから、避難距離を問題にしないのであれば全員が収容できるだけの容量は確保されている状態である。

なお、市街地は平坦ではなく、避難経路の途中や避難場所の手前のアプローチ部分に階段が存在する場所がある。内閣府の津波避難ビル等に関するガイドライン¹²⁾によれば、特に高齢者の場合は平坦路の歩行速度に比べて階段の歩行速度が約1/5に低下するとのことであり、避難所要時間に影響する可能性がある。しかし、避難場所のアプローチ部分に設けられた階段について位置等を記録しているものの、今回の検討では階段の効果はシミュレーションに反映できていない。21箇所の避難場所のうち、避難場所に至る経路上で階段を通過する必要があったのは9箇所(図-3.2及び付録-3のNo.1, 4, 5, 7, 9, 10, 11, 12及び18)である。

(4) 浸水シミュレーション結果のデータ

浸水による安否評価を行う際に必要である。ただし、今回の検討では浸水による安否評価は行わず、避難開始から避難場所に到着するまでの避難行動の再現性の検討だけを行っているため、このデータは利用していない。

なお、浸水による人的な被害についてはいくつかの報告がある。例えば牛山ら(2012)は、対象地域を含む市全体の浸水域人口に対して死者・行方不明者が約8%と報告している³¹⁾。こうした痛ましい被害に対し分析などを行うことは被災された方に対して心苦しいが、今後に想定される津波に対するため、浸水シミュレーション結果も考慮した取組みを行っていくことも必要と考えている。

3.3 設定した条件

(1) 歩行速度

シミュレーションで設定する歩行速度について、アン

ケート結果より得た「65歳以上比率」及び「グループ歩行比率」を参考に、グループ歩行、単独歩行(65歳以上)及び単独歩行(65歳未満)の三区分別を設定し、歩行速度として既往の文献²⁷⁾が示す値を一定速度で与えた。

a) 65歳以上比率とグループ歩行比率

2.3節のアンケート調査結果によると、グループ歩行比率はそれぞれ84.8%、66.7%であった。そこで両者の平均値である76%をグループ歩行比率とした。また、65歳未満、65歳以上という二つの区分で歩行速度を設定することを考える。同じアンケート調査結果によると、65歳以上比率はそれぞれ18.0%、52.1%であった。そこで平均値である35%を65歳以上比率とした。

b) 年齢と歩行速度

ここで、65歳を閾値として歩行速度を設定したことの理由を述べる。日本人を対象に、年齢と歩行速度との関係を調べたものとしては、佐藤(1992)³²⁾、独立行政法人国立長寿医療研究センター(2012)³³⁾、等により報告されている。図-3.4に、文献³²⁾と³³⁾で報告されている年齢と歩行速度との関係を示す。調査結果や性別によりばらつきがあるものの、50～60歳から歩行速度は漸減し、65歳以上では歩行速度が1 m/sを下回る年齢層グループも現れるようである。また、米国人を対象にした研究で得られた知見であるが、フルーイン(1974)によると「65才以上の年齢から急に遅くなっていく傾向がある」との指摘がある³⁴⁾。これらを踏まえ、65歳以上と65歳未満という二つの区分で歩行速度を設定した。

なお、既往の研究においても年齢に応じて歩行速度を変化させた事例があり、例えば渡辺ら(2000)は65歳未満の歩行速度を0.75～1.25 m/s、65歳以上の歩行速度を0.25～0.75 m/sと設定した条件設定を行っている¹⁷⁾。

c) シミュレーションで設定した値

シミュレーションで設定する歩行速度について検討する。年齢と歩行速度の関係、及び、単独歩行・グループ歩行と歩行速度の関係については、多くの報告がなされている。表-3.1に、そのうち主要ものをまとめて示す。全般に数値はばらつきが大きい、その理由は歩行速度に影響を及ぼす因子が多く存在するためである。岡田ら(1977)が挙げている因子を引用して列挙すると、環境条件(季節、天候、気温、風向、時刻、歩行環境、路面材質・形状、すべりやすさ、明るさ、煙霧、視界)、肉体的条件(性別、年齢、体重、健康、疲労、個人差)、服装条件(被服、装備、履物、携帯品、荷物)、心理的条件(目的、歩行環境の心理的影響、感情、場の熟知度)及び集団的条件(グループの人数・種類、群集密度、対向者、横断者)があるとしている³⁵⁾。

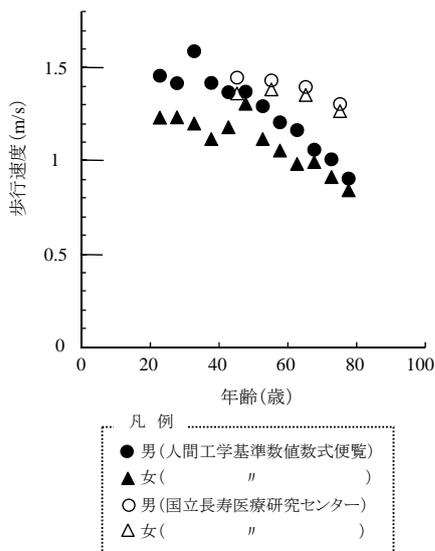


図-3.4 年齢と歩行速度の関係

表-3.1 歩行速度

資料名	単独歩行速度 (m/s)		グループ歩行 (m/s)	階段・上り坂昇降速度 (m/s)
	老人	それ以外		
内閣府(2005) ¹²⁾	1.3	1.0 *	0.88~1.29	0.21
紙野(1980) ²⁷⁾	0.96	1.19	1.13	-
佐藤(1992) ³²⁾	0.68	1.16	-	-
フルーイン(1974) ³⁴⁾	-	1.33	-	0.50~0.57
岡田ら(1977) ³⁵⁾	0.72~0.96	1.20~1.21	0.84~1.08	-

*1.0 m/sという値については、避難可能範囲の算定のための参考値として示されている値であり、必ずしも「老人以外の単独歩行速度」に限定して適用されているものではない。

このように、歩行速度は多くの因子の影響を受けて大きく変化するので一意に決定するのが難しいが、ここでは、表にまとめた数値を相互に比較し、そのなかから最も適切と考えられる値を採用することとした。

まず、老人の単独歩行速度については、1 m/sをやや下回るものが多いようである。次に、老人以外の一般の単独歩行速度は、1.2~1.3 m/s程度が多いようである。さらに、グループ歩行速度は、0.8~1.3 m/s程度とばらつきが大きいようである。これをふまえ、本研究では紙野(1980)の値²⁷⁾を採用することとした。すなわち、老人の単独歩行速度、それ以外の単独歩行速度、グループ歩行速度としてそれぞれ0.96 m/s, 1.19 m/s, 1.13 m/sの値を採用した。

以上より、避難者のうちグループ歩行する全体の76%は歩行速度1.13 m/sとした。残りの25%は65歳以上単独歩行(全体の8%)と65歳未満単独歩行(全体の16%)に割り振り、それぞれ歩行速度を0.96 m/s, 1.19 m/sとした。

なお、ここでグループ歩行速度は、グループの構成者の年齢によらず与えた。すなわち、「65歳以上の人を含むグループ」、「65歳未満グループ」等の年齢による区

分を設けず一括で与えている。その理由は、グループの構成者の年齢に着目して歩行速度を調べた事例報告が少なく筆者の知る限り岡田ら(1977)³⁵⁾の例だけであること、また、グループの歩行速度は最も遅い歩行者に同調した歩行速度になるが(岡田ら, 1977)グループの構成者の年齢(一つのグループ内に65歳以上の人が含まれるか、あるいは含まれないか)を適切に想定することが困難であることが挙げられる。ただし、表-3.1の「グループ歩行速度」欄に示したとおり0.84~1.29 m/sと報告されている値の幅が大きいことから、グループ歩行速度の適切な設定については今後の課題である。

避難者の割り振り方法は、各避難者に割り振った乱数により、上述の3つの構成比を満たすように歩行速度をそれぞれ与えることとした。

なお、表-2.1で徒歩避難者の平均歩行速度を示したが、この値は用いない。理由は、この値には、「各市街地の都市構造などの固有の要因が避難行動に及ぼす影響」を含んでいるので、そのまま汎用的な歩行速度とするには問題があるためである。それに対し年齢と歩行速度の関係、グループまたは単独の歩行速度は、人間の身体特性として普遍的と考えられる。シミュレーションの汎用性を高めるため、普遍的な歩行速度をシミュレーションで採用し、混雑、逃げ惑い、障害物、疲労等を考慮する必要がある場合は別途モデル化すべきと考えたものである。

(2) 交差点でのロスタイム

今回のシミュレーションでは混雑、逃げ惑い及び障害物の発生を考慮するために、単純な仮定として、避難者が交差点を通過するごとに10秒のロスタイムを与えた。

これは単純な仮定であるものの、混雑及び逃げ惑いについては交差点が起点となって発生することが考えられるため、ある程度は因果関係のある仮定と考えている。また、障害物の発生については必ずしも交差点で発生せず、障害物の遭遇リスクはむしろ経路の長さに比例すると考えられる。ただし、経路の長さで通過する交差点の数は比例関係があると考えられるので、課題はあるもののある程度は因果関係のある仮定と考えシミュレーションモデルの単純化のため採用した。このようにして、交差点を通過するごとにロスタイムを与えるものとした。

1箇所のある交差点を通過する際のロスタイムの長さとして設定すべき値について、参考となる直接的な資料はない。そこで、以下のように考え設定した。

国土交通省都市局(2012)²²⁾によると青森県から千葉県までの津波避難者の平均避難所要時間は、678sであった。一方、本研究では65歳未満の歩行速度を1.19 m/sと設定した。国土交通省都市局(2012)の同じ調査の結果で

ある平均避難距離423 mを避難した場合、避難所要時間は $423 \div 1.19 = 355$ sである。二つの避難所要時間の差を取ると、 $678 - 355 = 323$ sとなる。

対象地域の住宅地図を参照すると、概ね30～50 mおきに交差点が設けられている。したがって、423 mを避難した際に遭遇する交差点の期待数は、 $423 \div 30 - 1 = 13.1$ である。先に得られた323秒を交差点の数である13.1で割ると、 $323 \div 13.1 = 25$ sとなる。このうち概ね半分程度が、混雑、逃げ惑い及び障害物の発生によって生じ、残りの半分はそれ以外の要因（例えば、疲労）によって生じると仮定して考えた。

このように、混雑、逃げ惑い及び障害物の発生を考慮するために避難者が交差点を通過するごとに与えるタイムロスの長さを10秒とした。ただし、この値はいくつかの仮定のもとで設定した暫定的な値であり、設定値の大きさが適切であるかも含め、今後の検討が必要である。

3.4 計算環境と処理時間

計算に用いたPCのオペレーティングシステムはWindows Vista™ Home Premium 64bit、プロセッサはIntel® Core™ i7-950 (3.06GHz, 8MB L3 Cache)、メモリは9.00GB RAMである。プログラミング言語はVisual C# 2010 with Visual Studio® 2010である。(1)～(3)の条件のうち処理時間に最も大きく影響するのは避難場所数であり、避難場所数が21箇所の場合、計算の処理時間は147秒である。

3.5 シミュレーション結果と実際の避難行動との比較

(1) 比較した結果

図-3.5に、シミュレーションより得られた避難所要時間と避難完了者比率との関係を、実際の避難行動のアンケート結果に重ねて示す。アンケート結果（図中の点線と一点鎖線）は、図-2.1に示したものの再掲である。

シミュレーションで得られた避難完了者の時間的増加を示す曲線は、二つのアンケートのうち対象者に青壮年が占める割合が大きい釜石港湾事務所・釜石市アンケートの結果と概ね近い形状となった。ただし、避難所要時間が10分を超えるような比較的長い距離を避難する部分と、避難所要時間が概ね2分以下の避難所要時間が非常に小さい部分は十分に再現できていない。

長距離を避難する行動のなかには、出発地から避難場所まで数か所を経由する等の必ずしも最短経路によらない行動が含まれると考えられる。そうした行動は今回採用したような避難距離を最短にする避難場所決定手法ではモデル化できていない部分である。

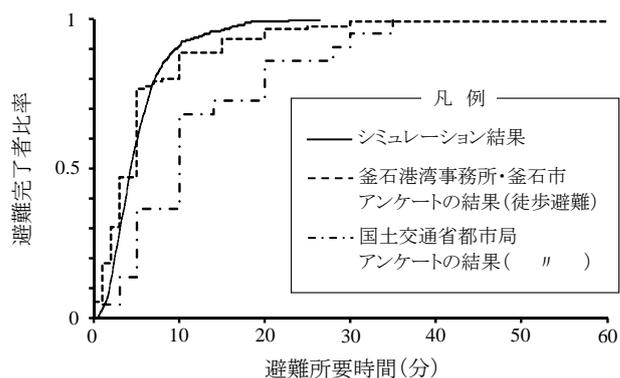


図-3.5 避難所要時間と避難完了者比率の関係

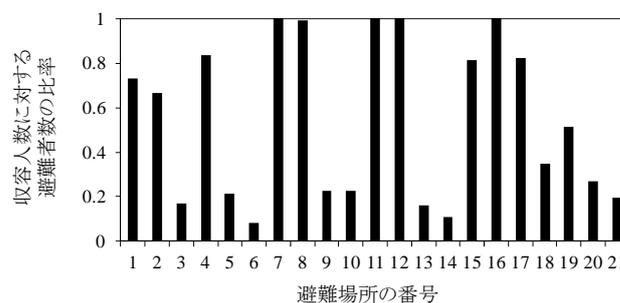


図-3.6 収容人数に対する避難者数の比率

また、地震発生時にもともと避難場所の中や近傍にいたと回答した避難者があったために、避難所要時間が非常に小さい部分はずれが生じている。これは、初期の避難者の配置方法、すなわち、最初に全ての住宅に1名または2名の避難者を配置し次に大規模建物に残った人口を等分配するという手法(3.2(2)を参照)が原因の一つと考えられるので、この問題は初期の避難者の配置を適切に見直すことにより改善できる可能性がある。

このように長距離を避難する行動など再現できていない部分はあるものの、リアス式海岸沿岸部の徒歩避難者の避難行動に津波避難シミュレーションをある程度適用できることが分かった。

図-3.6に、シミュレーション結果について、収容人数に対する避難者数の比率を示す。避難場所の収容人数に対する避難者数の比率は0.08～1.00の範囲で分布していた。21箇所の避難場所のうち4箇所(No.7, 11, 12及び16)で収容人数に達して飽和している。最短ではない場所に避難が必要な避難者が発生するため、避難場所の収容人数としてシミュレーションにおいて設定した値が計算結果に影響していることを示す結果となった。

避難場所の実際の収容人数に関するデータを筆者は未入手であり、シミュレーション結果と実際の避難場所の

表-3.2 パラメトリックスタディで設定した条件

ケース No.	65歳以上比率	グループ歩行比率	単独歩行速度・65歳以上 (m/s)	単独歩行速度・65歳未満 (m/s)	グループ歩行速度 (m/s)	交差点でのロスタイム (s)	備考	参照先
0	0.35	0.76	0.96	1.19	1.13	10	基準ケース	
1	0.18	0.85					釜石港湾事務所・釜石市アンケート	図-3.7
2	0.52	0.67					国土交通省都市局アンケート	〃
3			1.00	1.00	1.00		内閣府(2005)	図-3.8
4			0.68	1.16	0.84		文献値のうち最も遅い値	〃
5						0	ロスタイムなしの場合	図-3.9
6						25	ロスタイムが大きい場合	〃

(注) 数値の記入されていない欄は、ケース0 (基準ケース) と同じ条件を設定した。

選択行動との比較はできていない。ただし、2.3(2)の国土交通省都市局アンケートには、「当日、津波から最初に避難した場所の立地や設備面で問題と感じたことがありますか」という質問と、その質問に対する回答の一つとして「人で溢れて、入りきれなかった」との選択肢がある。釜石市全体の回答者 (317人) のうち、これを選んで回答した人の割合は約6.9% (22人) であり、実際の避難行動において避難場所の飽和がある程度発生していたと推定される。この結果は、定量的な検討が十分にできていないものの、シミュレーション結果と整合的である。

(2) パラメトリックスタディ

3.3節で設定した条件がシミュレーション結果に及ぼす影響を分析するため、パラメトリックスタディを行った。

表-3.2は、パラメトリックスタディのために設定した条件である。ケース0は基準ケースであり、3.3節で設定し3.5(1)項で検討を行った条件である。ケース1~2は、釜石港湾事務所・釜石市アンケート及び国土交通省都市局アンケートで得られた値をそのまま用いてそれぞれ計算したものである (表-2.1を参照)。ケース3~4は、歩行速度がシミュレーション結果に与える影響を検討するため、「津波避難ビル等に係るガイドライン」(内閣府、2005) が目安として示している1.00 m/sとしたものと、表-3.1で示した文献値のうち各区分 (単独歩行速度・65歳以上、単独歩行速度・それ以外、グループ歩行速度) ごとに最も遅い速度を抽出して与えたものである。また、ケース5~6は、交差点におけるロスタイムなしの場合と、3.3(2)を参考に交差点におけるロスタイムを1箇所あたり25 sとした場合である。

図-3.7に、ケース0, 1及び2のシミュレーション結果を示す。3つのケースの結果はほぼ重なっており、このパラメトリックスタディで設定した範囲内においては、65歳

以上比率、グループ歩行比率を変化させたことによる影響は非常に小さい結果となった。

図-3.8に、ケース0, 3及び4のシミュレーション結果を示す。ケース0のシミュレーション結果より描かれる曲線に対して、ケース4の結果は全体として右側に位置しており、歩行速度を各区分 (単独歩行速度・65歳以上、単独歩行速度・それ以外、グループ歩行速度) で遅くしたことの影響が表れている。ケース3の結果は、ケース0とケース4との間に位置している。

図-3.9に、ケース0, 5及び6のシミュレーション結果を示す。交差点におけるロスタイムなしとしたケース5は、ロスタイム10 sとしたケース0の曲線に対して左側に位置している。また、ロスタイム25 sとしたケース6は、ケース0よりも右側に位置している。

以上のパラメトリックスタディでは、基準ケースとしたケース0に対し、ケース1~6のシミュレーション結果はある程度のずれが生じるものの、いずれも青壮年が占める割合が大きい釜石港湾事務所・釜石市アンケートの結果に比較的近い形状となった。

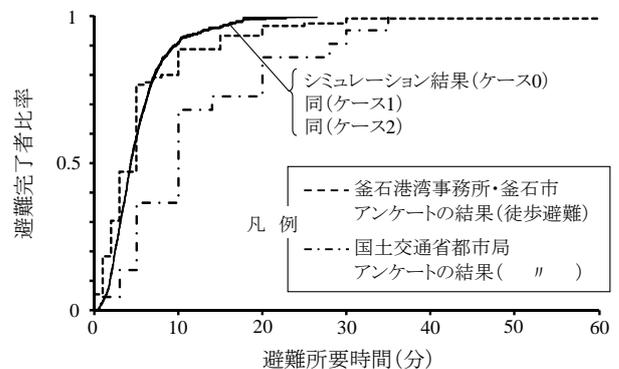


図-3.7 パラメトリックスタディ (ケース0, 1, 2)

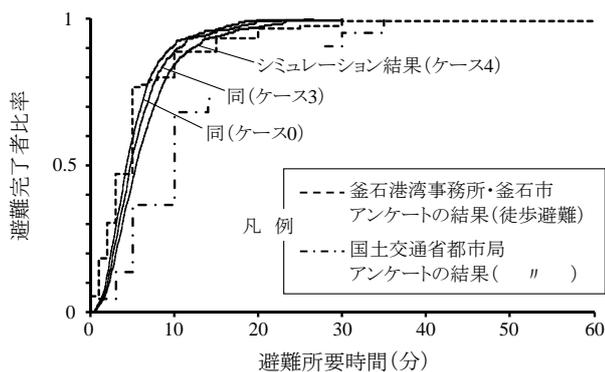


図-3.8 パラメトリックスタディ (ケース0, 3, 4)

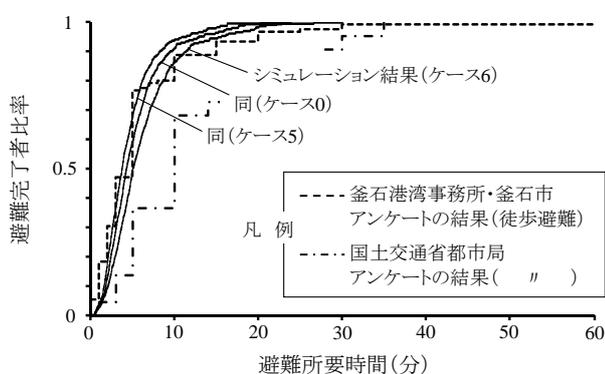


図-3.9 パラメトリックスタディ (ケース0, 5, 6)

4. 結論と今後の課題

本研究は、2011年東北地方太平洋沖地震津波の避難行動を再現する津波避難シミュレーションを行い、その結果と実際の避難行動とを比較することにより再現性を検討した。その結論及び今後の課題は以下のとおりである。

4.1 結論

- ・シミュレーションで得られた避難完了者の時間的増加を示す曲線は、被災者を対象に行われたアンケートのうち対象者に青壮年が占める割合が大きいアンケートの結果と概ね近い形状となっており、長距離を避難する行動など再現できていない部分はあるものの、リアス式海岸沿岸部の徒歩避難者の避難行動に津波避難シミュレーションをある程度適用できることが分かった。
- ・シミュレーションでは避難場所の選択の結果、21箇所の避難場所のうち4箇所まで収容人数に達して飽和している、最短ではない場所に避難が必要な避難者が発生するため、避難場所の収容人数が計算結果に影響している結果となった。

4.2 今後の課題

(1) 避難場所選択

避難シミュレーションにおいては、避難場所の収容人数の制約条件下において最短経路の避難場所を選択するように、“合理的な”避難場所選択モデルとしている。しかし実際の避難行動では、出発地から避難場所まで数か所を経由する等の必ずしも最短経路によらない“不合理な”行動が生じているので、こうした行動を適切にモデル化することが課題となる。

こうした課題に対して、例えば南ら(2005, 2006)がその一連の研究で宮古市田老地区において行っているように、昼と夜のそれぞれの住民の所在位置を詳細に調べたり、主要な避難路の勾配、整備状況、幅員、起伏、到達標高等を詳細に調べたりして総合的に避難場所を決定するというアプローチがありうる^{36), 37)}。ただし、データ作成に多大な労力を必要とすることから、ある程度以上の人口規模の市街地に同様の手法を単純に適用することは難しいと考えられる。

以上のとおり、避難場所選択モデルについて、本研究のように数学的手法を活用して最適配置に基づいて一律のルールで避難場所を決定していく方法、個別に地域を調べて避難場所を決定していく方法等が考えられるので、今後の検討が必要である。

(2) 平野部の避難行動

本研究ではリアス式海岸沿岸部が対象であり、平野部の避難行動は検討の対象外である。また、徒歩避難者が対象であり、車避難者の避難行動は検討の対象外である。国土交通省都市局の被災地全体を対象にした調査²²⁾によると、リアス式海岸沿岸部に比較して平野部では、避難者の全体に占める車避難者の割合が高くなっている。

以上のとおり、平野部の避難行動のシミュレーションを実施するためには、車避難者の避難行動のモデル、長距離を避難する徒歩避難者の疲労の考慮、また、車避難と徒歩避難との混在により発生する現象の適切なモデルについて今後の検討が必要である。

(3) 歩行速度に影響を及ぼす要因

歩行速度に影響を及ぼすのは、年齢、同行者の有無、混雑、逃げ惑い、階段など障害物、疲労等の要因である。

本研究では、年齢及び同行者の有無についてはそれぞれ避難速度を変化させることで考慮した。混雑、逃げ惑い及び障害物の発生については、避難者が交差点を通過するごとに10秒のロスタイムを与えることである程度考慮しているものの、非常に単純な仮定である。例えば混雑に伴う歩行速度の低下という現象は、交通工学における知見を活用してあるモデル化できると考えられるが、

そのためには、避難開始時間を個人差によるばらつきも考慮しつつ適切に設定する等の工夫があわせて必要となってくる。また、疲労については、本研究においてはシミュレーションの単純化のために考慮していない。

以上のとおり、歩行速度に影響を及ぼす要因の適切なモデルについて今後の検討が必要である。

(2013年5月31日受付)

謝 辞

本研究の実施にあたって、国土交通省東北地方整備局釜石港湾事務所・村上明宏所長（当時）、同事務所企画調整課の皆さんに、貴重な避難アンケート結果を参照させて頂くとともに現地調査についてご協力頂きました。国土技術政策総合研究所都市研究部都市防災研究室・木内望室長には、貴重な避難アンケート結果を参照させて頂きました。同研究所沿岸海洋・防災研究部沿岸防災研究室の菅野真由美さんには、シミュレーションに必要なデータ作成に協力を頂くとともに、現地の居住経験を生かした貴重なアドバイスを頂きました。また、釜石市危機管理監防災危機管理課、同市産業振興部港湾振興課の皆様をはじめ、多くの方々にご協力を頂きました。ここに記して深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 警察庁：平成23年東北地方太平洋沖地震の被害状況と警察措置，広報資料，2p.，2013年4月10日。
- 2) 警察庁：東日本大震災と警察，p.14，広報誌焦点，第281号，2012。
- 3) 中央防災会議東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会報告，44p，2011年9月28日。
- 4) 熊谷兼太郎・鈴木武：津波避難行動のシミュレーション手法，第21回海洋工学シンポジウム講演論文集，No.OES21-167，2p，2009。
- 5) 永川賢治・今村文彦：情報伝達・避難開始時間に着目した防災力評価法の提案，津波工学研究報告，東北大学工学部，第17号，pp.79-94，2000。
- 6) 武田誠・井上和也・戸田圭一・川池健司：高潮ハザードマップと避難に関する二・三の検討，海岸工学論文集，第44巻，pp.356-360，1997。
- 7) 早川哲史・今村文彦：津波発生時における避難行動開始モデルの提案とその適用，自然災害科学，日本自然災害学会，pp.51-66，2002。
- 8) 井料隆雅・辻本晋吾・天野和信：避難タイミング決定行動の数理モデルとその検証，平成24年度土木学会重点研究課題シンポジウム，土木学会土木計画学研究委員会・安全問題研究委員会，pp.17-20，2013年3月29日。
- 9) 竹内光生・近藤光男：地震発生時の避難場所の選定に関する研究－須崎市を事例として－，土木計画学研究・論文集，土木学会，Vol.19，no.2，pp.297-304，2002。
- 10) 行木雅子・金光永煥・門倉博之・浦野義頼：地震災害時において周辺環境及び個人属性を考慮した避難経路の決定手法，日本災害情報学会第9回研究発表大会予稿集，pp.75-80，2007。
- 11) 大江悠介・山田裕通・渡邊祐二・熊谷兼太郎：津波避難施設の最適配置のための数理計画モデル生成，日本オペレーションズ・リサーチ学会2012年春季研究発表会アブストラクト集，pp.130-131，2012。
- 12) 津波避難ビル等に係るガイドライン検討会・内閣府政策統括官（防災担当）：津波避難ビル等に係るガイドライン，68p.，2005。
- 13) 堀宗朗・犬飼洋平・小国健二・市村強：地震時の緊急避難行動を予測するシミュレーション手法の開発に関する基礎的研究，社会技術研究論文集，Vol.3，pp.138-145，2005。
- 14) 清野純史・三浦房紀・瀧本浩一：被災時の群集避難行動シミュレーションへの個別要素法の適用について，土木学会論文集，No.537/I-35，pp.233-244，1996。
- 15) 西畑剛・森屋陽一・田村保・瀧本浩一・三浦房紀：気仙沼地点における津波避難シミュレーション，海洋開発論文集，土木学会，第21巻，pp.163-168，2005。
- 16) 白木渡・井面仁志・有友春樹：Live Designのための参加型避難シミュレーションシステムの開発，第61回年次学術講演会後援概要集，pp.379-380，2006。
- 17) 渡辺公次郎・近藤光男・野澤延司・星野弘明：防災に関するソフト的施策を評価するための津波避難シミュレーションモデルの開発，都市計画研究講演集，日本都市計画学会，Vol. 5，pp. 17-20，2007。
- 18) 渡邊祐二・熊谷兼太郎：津波避難の安全性に及ぼす施設整備・避難対策の影響及び津波避難施設の配置手法に関する研究，国土技術政策総合研究所資料，No.675，46p.，2012。
- 19) 仙台市：避難施設配置案等に係る効果検証（避難行動シミュレーション），津波避難施設の整備に関する検討委員会，第5回，資料2，2012年11月28日。
- 20) 片田敏孝・桑沢敬行・渡邊寛：津波襲来時における自動車避難と人的被害の関係に関する一考察，日本災害

- 情報学会第14回研究発表大会予稿集, pp.152-155, 2012.
- 21) 門野樹・浅野光行: 津波災害時における避難行動の対策評価ー茨城県大洗町を対象としてー, 土木計画学研究・講演集, 土木学会, Vol.46, no.40, 8p, 2012.
- 22) 国土交通省都市局: 津波避難を想定した避難路, 避難施設の配置及び避難誘導について(改訂版), 79 p., 2012.
- 23) 鈴木進吾・林春男: 東北地方太平洋沖地震津波の人的被害に関する地域間比較による主要原因分析, 地域安全学会論文集, No.15, pp.179-188, 2011.
- 24) 交通政策審議会港湾分科会: 参考資料, 第3回防災部会, 資料2, p. 24及びp. 30, 2011年7月6日.
- 25) 釜石市: 3.11東日本大震災アンケート調査について, <http://www.city.kamaishi.iwate.jp/index.cfm/6,19757,34,html>, 2012年4月19日.
- 26) NPO法人環境防災総合政策研究機構: 東北地方・太平洋沖地震、津波に関するアンケート調査分析速報, <http://www.npo-cemi.com/works/image/2011tohoku/0507tsunamisurvey.pdf>, 2011年5月7日.
- 27) 紙野桂人: 人のうごきと街のデザイン, 彰国社, pp. 128-132, 1980.
- 28) 釜石市: 釜石市統計書(平成23年度版), p. 23, <http://www.city.kamaishi.iwate.jp/index.cfm/10,22134,82,html>, 2013年5月1日時点.
- 29) 総務省: 平成22年国勢調査, 総務省統計局ホームページ, <http://www.stat.go.jp/data/kokusei/2010/index.htm>, 2013年2月26日時点.
- 30) 中央防災会議: 平成23年東日本大震災における避難行動等に関する面接調査(住民)単純集計結果, 東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会第7回会合, 参考資料1, p.131, 2011年8月16日.
- 31) 牛山素行・横幕早季: 人的被害の特徴, 災害情報, 日本災害情報学会, No.10, pp.7-13, 2012.
- 32) 佐藤方彦: 人間工学基準数値数式便覧, 技報堂出版株式会社, pp.285-288, 1992.
- 33) 独立行政法人国立長寿医療研究センター: 老化に関する長期縦断疫学研究, 第7次調査(2010年7月~2012年7月), <http://www.ncgg.go.jp/department/ep/monograph7thj/obj.htm>, 2013年5月時点.
- 34) ジョン・J・フルーイン: 歩行者の空間, 鹿島研究所出版会, pp.47-50, 1974.
- 35) 岡田光正・吉田勝行・柏原士郎・辻正矩: 建築と都市の人間工学, 鹿島出版会, pp.16-28, 1977.
- 36) 南正昭・中嶋雄介・安藤昭・赤谷隆一: 避難経路の高
- 低差が津波避難者に与える負荷に関する基礎的研究, 都市計画論文集, 日本都市計画学会, No.40-3, pp.685-690, 2005.
- 37) 南正昭・谷本真佑・安藤昭・赤谷隆一: 住民分布を考慮した津波避難計画の支援に関する研究, 都市計画論文集, 日本都市計画学会, No.41-3, pp.695-700, 2006.

付録-1 津波避難に関する国の動き

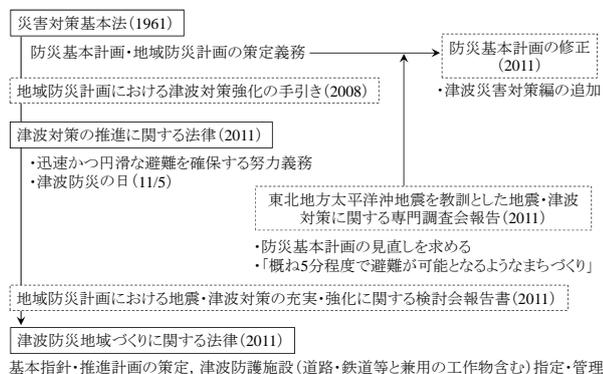
津波避難に関する国の動きを、「地域防災計画の策定」、「最大クラスの津波への対応」及び「個別分野のマニュアル等の策定」という三つの観点に分けて整理した。

a. 地域防災計画の策定

市町村において地域防災計画を適切に計画・見直しして地域の津波対策を計画的に実施する考え方である。いわば、まちづくりの観点からの津波避難対策と言える。

付録図-1.1に、これまでの国の動きを表した図を示す。

「災害対策基本法」(1961年11月15日, 法律第223号)により, 防災基本計画と地域防災計画の策定が義務付けられている。また, 「地域防災計画における津波対策強化の手引き」(2008)¹⁾により同法に基づいた地域防災計画づくりにおける津波対策の強化が求められてきた。2011年東北地方太平洋沖地震の発生後は, 「津波対策の推進に関する法律」(2011年6月24日, 法律第77号)が成立し, 迅速かつ円滑な避難を確保することの努力義務や, ”稲村の火”の故実に基づく11月5日の津波防災の日が制定された。「東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会報告」(2011)²⁾により, 当時の防災基本計画の見直しとともに, 概ね5分程度で避難可能なまちづくりが求められた。それまで, 防災基本計画において津波対策は地震対策の一部として扱われていた。同報告を反映するかたちで2011年に防災基本計画が見直され, 津波対策を独立した体系として扱うこととなった³⁾。既述の2008年の手引きも見直しが行われ, 「地域防災計画の地震・津波対策の充実・強化に関する検討会報告書」(2011)⁴⁾がとりまとめられた。さらに, 「津波防災地域づくりに関する法律」(2011年12月14日, 法律第123号)により津波防災の基本指針・推進計画の策定の枠組みづくり, 道路, 鉄道等と兼用する工作物を含めた津波



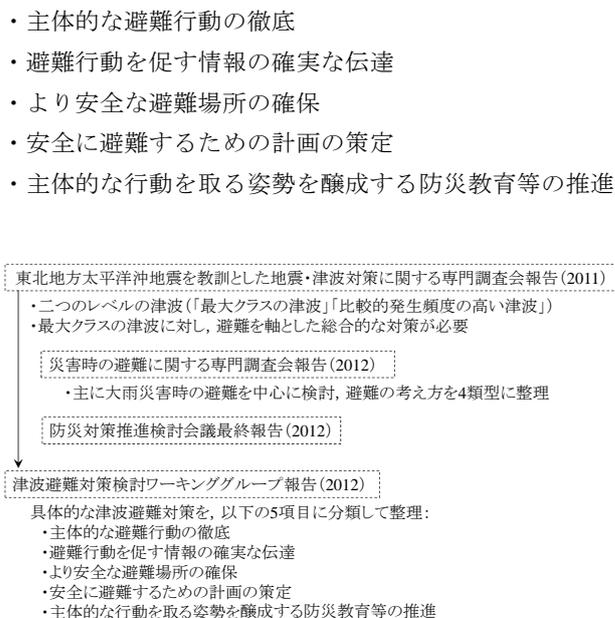
付録図-1.1 津波避難に関する国の動き
(地域防災計画の策定)

防護施設の指定・管理の仕組みづくりが行われている。

b) 最大クラスの津波への対応

最大クラスの津波への対応は, 避難を軸とした総合的な対策をとることが基本的な考え方となっている。

付録図-1.2に, これまでの国の動きを表した図を示す。中央防災会議「東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会報告」(2011)²⁾により, 最大クラスの津波と比較的発生頻度の高い津波の二つのレベルの津波を想定し, 最大クラスの津波に対しては”避難を軸とした総合的な対策”をとることとされた。中央防災会議ではこの他に「災害時の避難に関する専門調査会報告」(2012)⁵⁾, 「防災対策推進検討会議最終報告」(2012)⁶⁾, 「津波避難対策検討ワーキンググループ報告」(2012)⁷⁾がとりまとめられている。津波避難と最も関連が深いのは, 3番目のワーキンググループ報告である。その中では, 具体的な津波避難対策を以下の5項目に分類して列挙している。



付録図-1.2 津波避難に関する国の動き
(最大クラスの津波への対応)

c. 個別分野のマニュアル等の策定

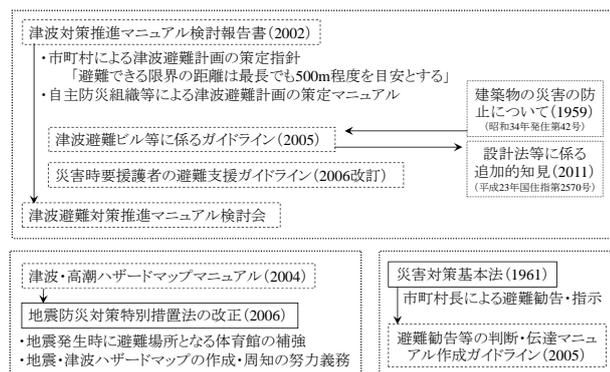
これまで, 津波避難計画の作成, ハザードマップの作成・活用, 避難勧告の発出に係るマニュアル等が策定されている(付録図-1.3)。

まず, 津波避難計画の作成に関して述べる。「津波対策推進マニュアル検討報告書」(2002)⁸⁾は, 名称は”津波対策”となっているが実質的には”津波避難対策”のマニュアルである。内容は, 市町村または自主防災組織等が津波避難計画を作成する際に参考にするマニュアル

になっている。なお、そのなかに”避難できる限界の距離は最長でも500m程度を目安とする”とあり、避難距離の最大値の目安となる数値を示している点で注目される記述であった。このマニュアルに関連するものとして、建設省の通達「風水害による建築物の災害の防止について」(1959)⁹⁾の津波に関する内容をより詳細に記述した「津波避難ビル等に係るガイドライン」(2004)¹⁰⁾がある。現時点では同ガイドラインを補足するため、国土交通省の通達「津波に対し構造耐力上安全な建築物の設計法等に係る追加的知見」(2011)¹¹⁾が出されている。また、特に災害時要援護者に関して「災害時要援護者の避難支援ガイドライン改訂版」(2006)¹²⁾が存在している。津波対策推進マニュアルは、「津波避難対策推進マニュアル検討会」¹³⁾において見直しが進められている。

ハザードマップの作成・活用に関しては、「津波・高潮ハザードマップマニュアル」(2004)¹⁴⁾が出されたあと、「地震防災対策特別措置法の一部を改正する法律」(2006年3月31日)で地震・津波ハザードマップの作成・周知の努力義務、地震発生時に重要な避難場所となる学校施設の体育館の耐震補強の特別措置等が示されてきている。また、作成の際に浸水区域を想定する際の参考に「浸水区域図作成マニュアル」(2009)¹⁵⁾及び「津波浸水想定の設定の手引き」(2012)¹⁶⁾がまとめられている。

避難勧告の発出に関しては、「災害対策基本法」(1961年11月15日、法律第223号)において市町村長が勧告・指示を行うとされており、その参考として「避難勧告等の判断・伝達マニュアル作成ガイドライン」(2005)¹⁷⁾が作成されている。



付録図-1.3 津波避難に関する国の動き
(個別分野のマニュアル等の策定)

付録-1の参考文献：

1) 国土庁・農林水産省構造改善局・農林水産省水産庁・運輸省・気象庁・建設省・消防庁：地域防災計画における津波対策強化の手引き，99p，1998年3月26日。

2) 中央防災会議東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会：東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会報告，44p，2011年9月28日。

3) 中央防災会議：防災基本計画，2012年9月6日。

4) 消防庁国民保護・防災部防災課：地域防災計画における地震・津波対策の充実・強化に関する検討会報告書，215p，2011年12月。

5) 中央防災会議災害時の避難に関する専門調査会：災害時の避難に関する専門調査会報告，27p，2012年3月。

6) 中央防災会議防災対策推進検討会議：防災対策推進検討会議最終報告，44p，2012年7月31日。

7) 中央防災会議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：津波避難対策検討ワーキンググループ報告，41p，2012年7月。

8) 津波対策推進マニュアル検討委員会：津波対策推進マニュアル検討報告書，162p，2002年3月。

9) 風水害による建築物の災害の防止について，建設事務次官通達，昭和34年発住第42号，1959年10月27日。

10) 津波避難ビル等に係るガイドライン検討会・内閣府政策統括官(防災担当)：津波避難ビル等に係るガイドライン，68p，2009年6月。

11) 津波に対し構造耐力上安全な建築物の設計法等に係る追加的知見について(技術的助言)，国土交通省住宅局長通達，国住指第2570号，2011年11月17日。

12) 災害時要援護者の避難対策に関する検討会：災害時要援護者の避難支援ガイドライン(改訂版)，59p，2010年3月。

13) 津波避難対策推進マニュアル検討会，http://www.fdma.go.jp/neuter/about/shingi_kento/h24/tsunami_hinan/index.html，2013年2月14日時点。

14) 内閣府(防災担当)・農林水産省農村振興局・農林水産省水産庁・国土交通省河川局・国土交通省港湾局：津波・高潮ハザードマップマニュアル，128p，2004年4月。

15) 国土交通省河川局治水課：浸水想定区域図作成マニュアル，21p，2009年6月。

16) 国土交通省水管理・国土保全局海岸室・国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部海岸研究室：津波浸水想定の設定の手引き，Ver.2.00，86p，2012年10月。

17) 集中豪雨時等における情報伝達及び高齢者等の避難支援に関する検討会：避難勧告等の判断・伝達マニュアル作成ガイドライン，27p，2005年3月。

付録-2 津波避難シミュレーションに必要なデータの形式サンプル

津波避難シミュレーションシステム (NILIM-TES2) では、シミュレーションに必要なデータのうち、建物・街路ネットワークデータ、避難者の配置データ、避難場所と収容人数のデータは以下に示す(1)~(3)のデータファイルで与えている。ここでは、各データファイルに記載する項目とともに、データ形式のサンプルを示す。

(1) node.csv

ノード番号、建物種別、構造形式、建築面積、階数、屋上が避難場所として利用可能であることを示すフラグ、外階段の有無を示すフラグ、建築年、配置した避難者数、標高、東西方向の位置座標 (座標原点は平面直角座標系第 X 系)、南北方向の位置座標 (同)、将来の拡張に備えたダミー項より構成される。データ形式のサンプルとして 10 行分を示す。

```

1 | node_id,category,kouzou,kmenseki,kaisu,roof_index,roof,sotokaidan,year,population,z,x,y,dummy1-13↓
2 | 1,51,0, 0, 0.0,0.0, 0, 0, 0.000,90090.648956,-79335.455792,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0↓
3 | 2,51,0, 0, 0.0,0.0, 0, 0, 0.000,90163.803525,-79452.460322,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0↓
4 | 3,50,0, 0, 0.0,0.0, 0, 0, 0.000,90199.953005,-79464.011044,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0↓
5 | 4,51,0, 0, 0.0,0.0, 0, 0, 0.000,90200.380809,-79439.198383,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0↓
6 | 5,51,0, 0, 0.0,0.0, 0, 0, 0.000,90173.856930,-79388.931355,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0↓
7 | 6,51,0, 0, 0.0,0.0, 0, 0, 0.000,90260.059537,-79485.829073,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0↓
8 | 7,50,0, 0, 0.0,0.0, 0, 0, 0.000,90277.171716,-79554.705597,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0↓
9 | 8,51,0, 0, 0.0,0.0, 0, 0, 0.000,90290.647558,-79601.336287,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0↓
10 | 9,50,0, 0, 0.0,0.0, 0, 0, 0.000,90296.422919,-79621.870903,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0↓
    
```

(2) link.csv

リンク番号、出発側のノード番号、到着側のノード番号、リンク長、通行可能方向の規制を示すフラグ、幅員、勾配、速度低減率、階段の有無を示すフラグ、出発側のノードの東西方向の位置座標 (座標原点は平面直角座標系第 X 系)、南北方向の位置座標 (同)、到着側のノードの東西方向の位置座標 (同)、南北方向の位置座標 (同) より構成される。データ形式のサンプルとして 10 行分を示す。

```

1 | link_id,departure_node,arrival_node,length,regulation,fukuin,kobai,teigenritsu,kaidan,x_dep,y_dep,x_arr,y_arr↓
2 | 1, 1, 627, 28.299, 2, 0.000, 0.000,1.00,0,90090.648956,-79335.455792,90090.269400,-79363.197362↓
3 | 2, 627, 2, 111.937, 2, 0.000, 0.000,1.00,0,90096.269400,-79363.197362,90163.803525,-79452.460322↓
4 | 3, 2, 629, 29.118, 2, 0.000, 0.000,1.00,0,90163.803525,-79452.460322,90191.517270,-79461.393717↓
5 | 4, 629, 3, 8.832, 2, 0.000, 0.000,1.00,0,90191.517270,-79461.393717,90199.953005,-79464.011044↓
6 | 5, 3, 4, 24.816, 2, 0.000, 0.000,1.00,0,90199.953005,-79464.011044,90200.380809,-79439.198383↓
7 | 6, 3, 6, 63.944, 2, 0.000, 0.000,1.00,0,90199.953005,-79464.011044,90260.059537,-79485.829073↓
8 | 7, 5, 628, 6.879, 2, 0.000, 0.000,1.00,0,90173.856930,-79388.931355,90177.695893,-79394.639409↓
9 | 8, 628, 4, 50.001, 2, 0.000, 0.000,1.00,0,90177.695893,-79394.639409,90200.380809,-79439.198383↓
10 | 9, 6, 630, 11.523, 2, 0.000, 0.000,1.00,0,90260.059537,-79485.829073,90262.976728,-79496.976410↓
    
```

(3) Initial.xml

最適配置のモデル指定、避難距離の上限値、既存津波避難施設の番号、初期状態として避難施設上に配置された人の行動制約のフラグ、避難場所とする施設候補の構造形式、建築年、階数、避難場所を個別指定する場合のノード番号、1 人あたり収容人数、避難場所を個別指定する場合の収容人数等より構成される。

```

1 | <?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>↓
2 | <InitialSetting xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema">↓
3 | ↓
4 | <!--1: Pメディアン問題モデル-->↓
5 | <!--2: 集合被覆問題モデル-->↓
6 | <モデル>1</モデル>↓
7 | ↓
8 | <避難距離上限値>*****</避難距離上限値>↓
9 | <既設津波避難施設 NODE_ID></既設津波避難施設 NODE_ID>↓
10 | <既設津波避難施設 避難行動制約の0</既設津波避難施設 避難行動制約の0>↓
11 | <追加津波避難施設 避難行動制約の0</追加津波避難施設 避難行動制約の0>↓
12 | ↓
13 | <津波避難施設候補 建物構造>1,2</津波避難施設候補 建物構造>↓
14 | <津波避難施設候補 建築年>1</津波避難施設候補 建築年>↓
15 | <津波避難施設候補 必要階数>*1</津波避難施設候補 必要階数>↓
16 | <津波避難施設候補 個別指定NODE_ID>7357,7358,7359,7360,7361,7362,7363,7364,7365,7366,7367,7368,7369,7370,7372,7373,7374,7375,7376,7377,7378</津波避難施設候補 個別指定NODE_ID>↓
17 | ↓
18 | <収容可能人数 一人当たり平米>1.0</収容可能人数 一人当たり平米>↓
19 | <収容可能人数 個別指定NODE_ID 人数>7357/100,7358/200,7359/300,7360/350,7361/1000,7362/1000,7363/200,7364/500,7365/300,7366/500,7367/100,7368/1000,7370/500,7372/500,7373/1000,7374/300,7375/200,7376/500,7377/500,7378/500</収容可能人数 個別指定NODE_ID 人数>↓
20 | <Pメディアン問題モデル_追加津波避難施設数>21</Pメディアン問題モデル_追加津波避難施設数>↓
21 | ↓
22 | <集合被覆問題モデル_総避難距離重み係数>0.000001</集合被覆問題モデル_総避難距離重み係数>↓
23 | ↓
24 | </InitialSetting>[EOF]
    
```

付録-3 避難場所の現況、概形、想定した収容人数等

No. 1

N 39°16'20", E 141°53'53"

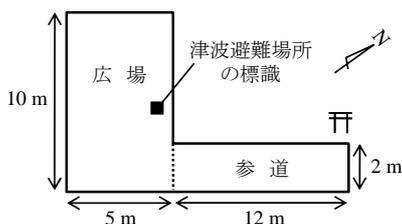
(1) 現況

平成 24 年 10 月 25 日～26 日に現地調査を行い、現況の写真撮影を行った（以下同じ）。



(2) 概形

(1)にあわせて、避難場所の形状を測定した。図中に記した数値は全て概数である（以下同じ）。



(3) 想定した収容人数

(2)の結果より、避難場所の大きさを 50m²単位で推定する。さらに内閣府政策統括官（防災担当）他「津波避難ビル等に係るガイドライン」（2005）の示す単位面積あたりの収容人数である 1 人/m²の値を用い算定する（以下、特に記載の無い限り同じ）。

$$10\text{ m} \times 5\text{ m} + 2\text{ m} \times 12\text{ m} = 74\text{ m}^2 \approx 100\text{ m}^2 \rightarrow 100\text{ 人}$$

(4) 海側からのアプローチ部の形状

階段及び未舗装斜面

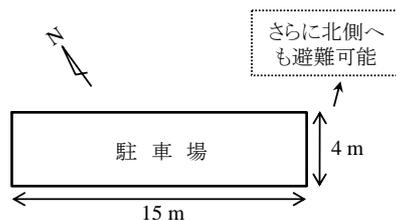
No. 2

N 39°16'28", E 141°53'39"

(1) 現況



(2) 概形



(3) 想定した収容人数

15 m×4 m=60 m²であるが、さらに北側の場所へも避難可能なこと、また、近隣住民からの聞き取りで「2011年 3 月 11 日にこの付近には百数十人が避難した」との証言があったことから、収容人数は 200 人と想定した。

(4) 海側からのアプローチ部の形状

舗装斜路（舗装された街路で比較的大きな勾配があるもの。以下同じ。）

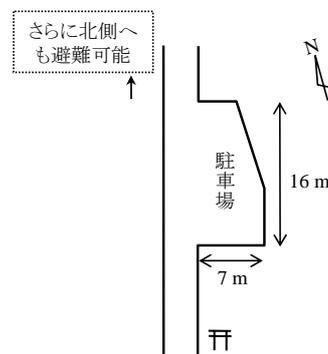
No. 3

N 39°16'35", E 141°53'44"

(1) 現況



(2) 概形



(3) 想定した収容人数

16 m×7 m=112 m²であるが、さらに北側の場所へも避難可能なことから、収容人数は 300 人と想定した。

(4) 海側からのアプローチ部の形状

舗装斜路

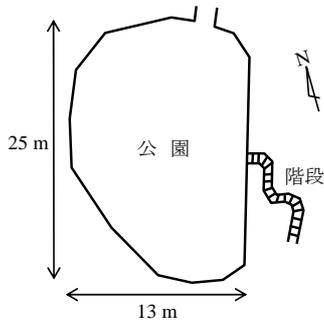
No. 4

N 39°16'31.8", E 141°53'34.2"

(1) 現況



(2) 概形



(3) 想定した収容人数

$10\text{ m} \times 5\text{ m} + 2\text{ m} \times 12\text{ m} = 74\text{ m}^2 \approx 100\text{ m}^2 \rightarrow 100\text{ 人}$

(4) 海側からのアプローチ部の形状

階段

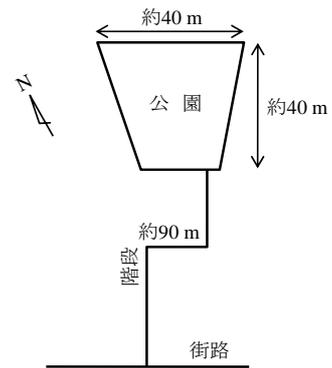
No. 5

N 39°16'34.8", E 141°53'33.3"

(1) 現況



(2) 概形



(3) 想定した収容人数

比較的規模が大きい施設のため、1,000人とした。

(4) 海側からのアプローチ部の形状

階段

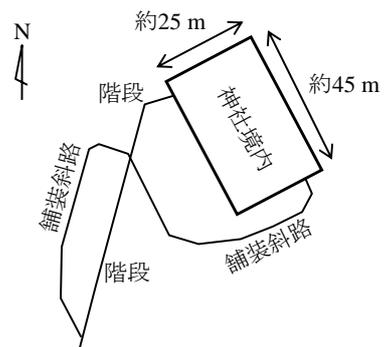
No. 6

N 39°16'48.3", E 141°53'37.3"

(1) 現況



(2) 概形



(3) 想定した収容人数

比較的規模が大きい施設のため、1,000人とした。

(4) 海側からのアプローチ部の形状

舗装斜路または階段

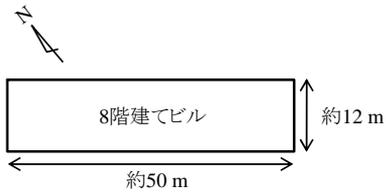
No. 7

N 39°16'27.6", E 141°53'18.4"

(1) 現況



(2) 概形



(3) 想定した収容人数

8階建てビルの4階以上の部分に避難可能かつ各階に100人ずつ収容可能と仮定して、500人とした。

(4) 海側からのアプローチ部の形状

階段

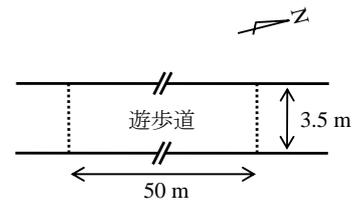
No. 8

N 39°16'33.2", E 141°53'23.8"

(1) 現況



(2) 概形



(3) 想定した収容人数

$$50 \text{ m} \times 3.5 \text{ m} = 175 \text{ m}^2 \approx 200 \text{ m}^2 \rightarrow 200 \text{ 人}$$

(4) 海側からのアプローチ部の形状

舗装斜路

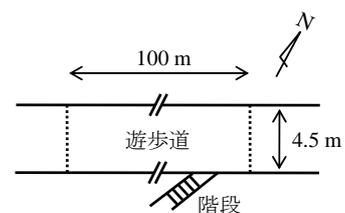
No. 9

N 39°16'32.9", E 141°53'20.9"

(1) 現況



(2) 概形



(3) 想定した収容人数

$$100 \text{ m} \times 4.5 \text{ m} = 450 \text{ m}^2 \approx 500 \text{ m}^2 \rightarrow 500 \text{ 人}$$

(4) 海側からのアプローチ部の形状

階段

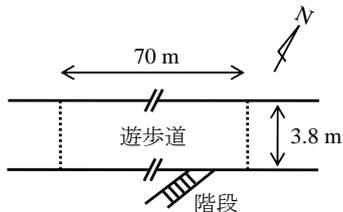
No. 10

N 39°16'31.4", E 141°53'15.0"

(1) 現況



(2) 概形



(3) 想定した収容人数

$$70\text{ m} \times 3.8\text{ m} = 266\text{ m}^2 \approx 300\text{ m}^2 \rightarrow 300\text{ 人}$$

(4) 海側からのアプローチ部の形状

階段

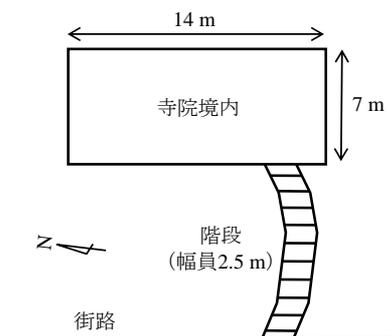
No. 11

N 39°16'31.1", E 141°53'12.1"

(1) 現況



(2) 概形



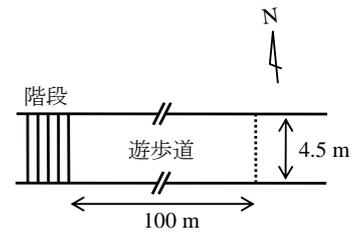
(3) 想定した収容人数

$$14\text{ m} \times 7\text{ m} = 98\text{ m}^2 \approx 100\text{ m}^2 \rightarrow 100\text{ 人}$$

(4) 海側からのアプローチ部の形状

階段

(2) 概形



(3) 想定した収容人数

$$100\text{ m} \times 4.5\text{ m} = 450\text{ m}^2 \approx 500\text{ m}^2 \rightarrow 500\text{ 人}$$

(4) 海側からのアプローチ部の形状

階段

No. 12

N 39°16'35.0", E 141°53'7.1"

(1) 現況



(2) 概形

No. 13・No. 14

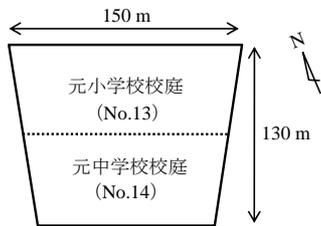
N 39°16'39", E 141°58'5"

(1) 現況



(2) 概形

北側の元小学校校庭が No.13 の避難場所、南側の元中学校校庭が No.14 の避難場所である。



(3) 想定した収容人数

比較的規模が大きい施設二つ分であるため、1,000人 + 1,000人 = 2,000人とした。

(4) 海側からのアプローチ部の形状

平坦な街路

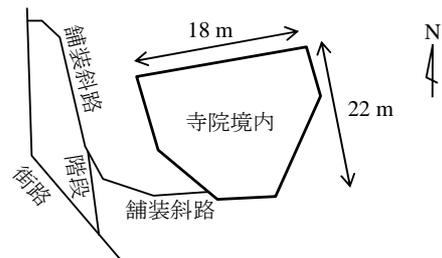
No. 15

N 39°16'36.7", E 141°53'0.6"

(1) 現況



(2) 概形



(3) 想定した収容人数

22m × 18m = 396m²であるが、アプローチ部の幅員が比較的大きくそこにも避難可能と考えられることから、収容人数は1,000人と想定した。

(4) 海側からのアプローチ部の形状

舗装斜路または階段

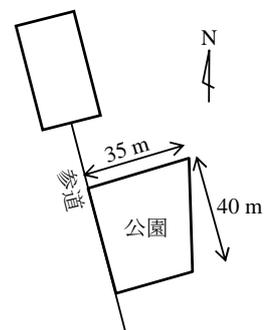
No. 16

N 39°16'32", E 141°52'50"

(1) 現況



(2) 概形



(3) 想定した収容人数

隣接した No.17 の施設と一体で1,000人程度の収容能力があると考え、そのうち半数の500人とした。

(4) 海側からのアプローチ部の形状

平坦な街路

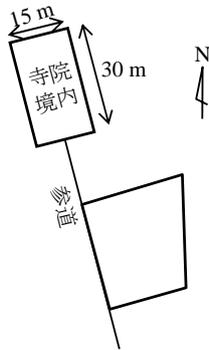
No. 17

N 39°16'34.6", E 141°52'49.7"

(1) 現況



(2) 概形



(3) 想定した収容人数

隣接した No.16 の施設と一体で 1,000 人程度の収容能力があると考え、そのうち半数の 500 人とした。

(4) 海側からのアプローチ部の形状

平坦な街路

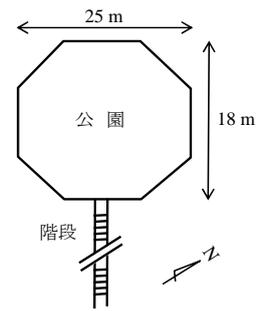
No. 18

N 39°16'28.1", E 141°52'45.2"

(1) 現況



(2) 概形



(3) 想定した収容人数

$$25\text{ m} \times 18\text{ m} = 450\text{ m}^2 \approx 500\text{ m}^2 \rightarrow 500\text{ 人}$$

(4) 海側からのアプローチ部の形状

階段

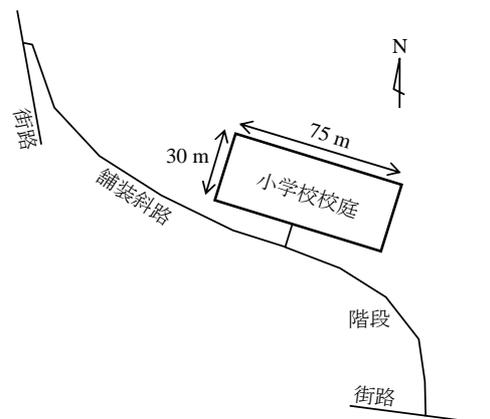
No. 19

N 39°16'26.4", E 141°52'36.2"

(1) 現況



(2) 概形



(3) 想定した収容人数

比較的規模が大きい施設のため、1,000 人とした。

(4) 海側からのアプローチ部の形状

階段または舗装斜路

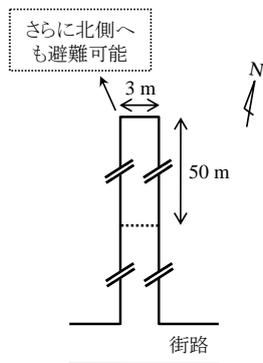
No. 20

N 39°16'39", E 141°58'5"

(1) 現況



(2) 概形



(3) 想定した収容人数

$3\text{ m} \times 50\text{ m} = 150\text{ m}^2$ であるが、さらに北側の場所へも避難可能なことから、収容人数は300人と想定した。

(4) 海側からのアプローチ部の形状

舗装斜路

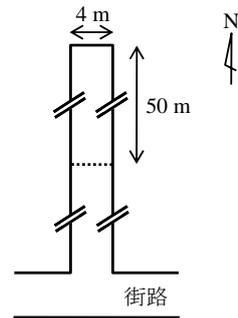
No. 21

N 39°16'37.2", E 141°52'5.3"

(1) 現況



(2) 概形



(3) 想定した収容人数

$4\text{ m} \times 50\text{ m} = 200\text{ m}^2 \rightarrow 200\text{ 人}$

(4) 海側からのアプローチ部の形状

舗装斜路

(5)備考

近隣住民からの聞き取りによると「街路を通行していた車の数台が津波を目撃し、路地に入るように急に進路を変更して避難してきた」との証言があった。

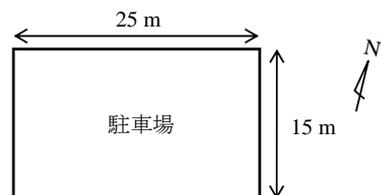
地震後の見直しで追加された避難場所（参考）

N 39°16'38.8", E 141°52'47.6"

(1) 現況



(2) 概形



(3) 海側からのアプローチ部の形状

平坦な街路

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of NILIM

No. 742

June 2013

編集・発行 ©国土技術政策総合研究所

本資料の転載・複写のお問い合わせは

〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬 3-1-1
管理調整部企画調整課 電話:046-844-5019