

避難施設の設置場所と設置数による津波被災人口の変化

Variance of Tsunami Disaster Population by Installed Location and Installed Number of Tsunami Evacuation Facilities

○藤田 謙一¹, 矢代 晴実²
Ken-ichi FUJITA¹ and Harumi YASHIRO²

¹ 千代田化工建設(株)

Chiyoda Corporation

² 防衛大学校システム工学群建設環境工学科

Department of Civil and Environmental Engineering, National Defense Academy.

Variance of tsunami disaster population by installed location and installed number of tsunami evaluation facilities is presented. In evaluating the disaster population, probability function proposed by the author's method considered differences between tsunami reaching time from an earthquake occurrence to refuge area and completed tsunami evacuation time is used. Variances of flood flow velocity of tsunami and walking velocity in evacuation are considered in the probability function. Variations in the tsunami disaster population are shown each mesh. In the evaluation of the tsunami disaster population, area-mesh size, population and elevation data of area are used GIS.

Keywords: Tsunami evacuation, Tsunami damaged population, Tsunami evacuation influence function, Installed location, Installed number, Area-wide mesh, GIS

1. はじめに

東日本大震災での津波による甚大な人的被害を受けて、今後の発生が想定されている南海トラフ巨大地震などによる地震津波に対する被害想定¹⁾が公表されている。津波に対する人的被害想定では、地域をメッシュ分割し、避難時間と遡上津波の到達時間を考慮した上で、浸水深と人的被害の脆弱性を用いた結果が示されている。津波に対する地域の防災計画の策定においては、津波ハザードマップを用いた避難活動計画や避難場所の指定などが行われている。

人的被害の低減策として、避難施設の新規指定（ハード対策）および避難教育（ソフト対策）などがある。避難計画の策定において、被災数を地域メッシュで表すと、被害分布が容易になり、防災・避難誘導計画に有用になると予想される。避難計画および避難教育において、東日本大震災における津波避難教育が功を奏した鶴住居小学校と釜石東小学校の生徒の避難行動、誤った避難経路を選択し多数の犠牲者を出した大川小学校の悲劇などの教訓²⁾は重要である。

本研究では、地域の津波による浸水を受ける範囲を対象に、地域メッシュを用いて津波避難における被災人口の分布を示す。著者らの津波避難における避難速度および津波遡上流速のばらつきを考慮した方法^{3), 4)}を用いて被災人口率を評価し、メッシュの人口を乗じて被災人数を求める。被災人口の評価には、GISの人口および標高データを用いる。評価例として、実在の地域をモデルに、避難意識の違い、避難施設の設置数と設置場所による被災人口の変化を考察する。

2. 津波被災人口の考え方

被災人口の評価フローを図-1に示す。被災人口の評価は、地域をメッシュ分割し、メッシュごとに人口構成、

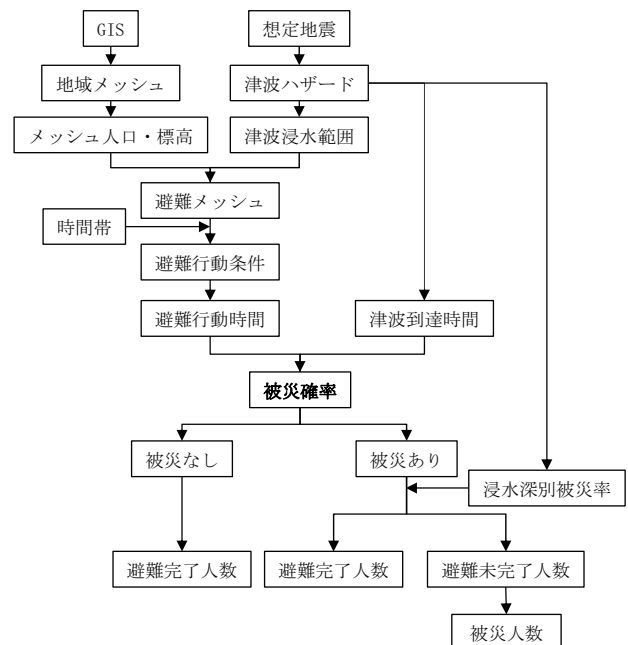


図-1 被災人口の評価フロー

標高、避難に対する意識の人口率、標高、浸水深を設定して行う。人口構成および標高はGISのデータを用いる。避難メッシュから避難先までの距離は隣り合うメッシュを辿る経路とし、避難距離はこの経路に標高差を含めた距離の1.5倍とする。避難行動時間と津波到達時間の関係から被災人口確率を求め、これに浸水深ごとの人的被害関数⁵⁾を乗じて被災人口率を算出し、さらにメッシュの人口を乗じて被災人数を求める。地域全体の被災人数は各メッシュの和により求める。

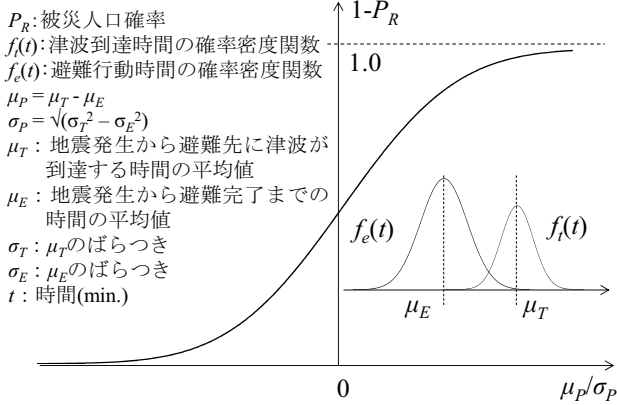


図-2 被災人口確率の確率分布曲線

3. 被災人口確率の評価

被災人口確率^{2), 3)}は、津波到達時間と避難行動時間の関係から求める。これら時間はそれぞれ津波遡上流速と歩行速度の関数として表すことができる。本研究では、津波遡上流速の算定には松富らの浸水深で表される評価式⁵⁾を用いる。避難は歩行とし、歩行速度の算定には平時における市街地の実測データ⁶⁾を用いる。

津波遡上流速と歩行速度はそれぞれ独立であり、正規分布に従うと仮定する。被災人口確率は、構造物の信頼性設計⁷⁾における破壊確率を評価する方法を用いる。すなわち、避難先への津波到達時間の確率密度関数 $f_i(t)$ の確率分布を T_T 、避難行動時間の確率密度関数 $f_e(t)$ の確率分布を T_E とし、両確率分布の差で与えられる次式（信頼性設計における性能関数）を用いて被災人口の発生確率を評価する。

$$Z = T_T - T_E \quad (1)$$

式(1)は、正の値のとき津波避難において被災することはなく、ゼロあるいは負の値のとき被災することを表す。

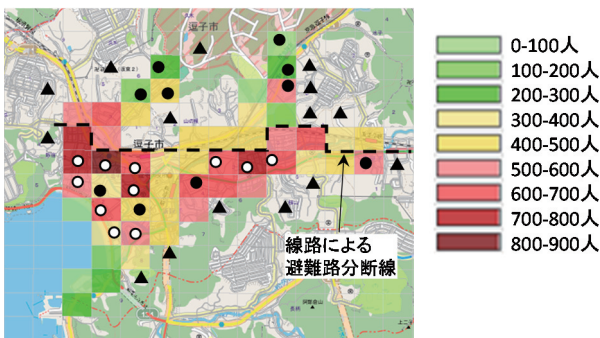


図-3 メッシュの人口分布

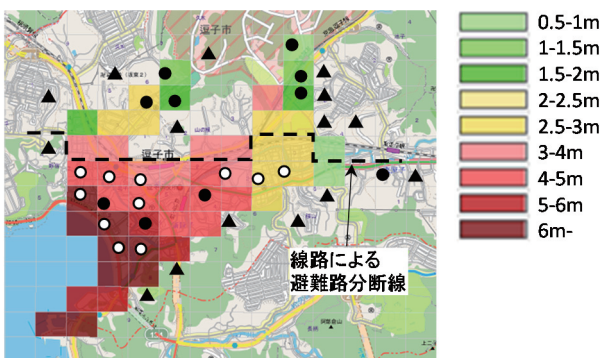


図-4 メッシュの浸水深

表-1 津波避難意識の人口割合

避難意識	人口率 (%)			
	直接避難 (意識高)	用事後避難 (意識低)	切迫避難 (意識低)	避難しない (意識低)
高	80	10	5	5
中	50	25	15	10
低	15	35	30	20

Zは正規分布となり、図-2に示す確率分布となる。図の横軸は津波到達時間と避難行動時間の時間差の無次元量、縦軸は被災人口の発生確率である。

4. 津波被災人口の評価

4.1 評価条件

地域を対象に避難意識の違い、および避難場所の設置場所と設置数による被災人口を評価する。地域は逗子市のデータを参考に設定した。想定津波は逗子市の被害想定における明応型地震とし、浸水深はハザードマップ⁷⁾の値を用いた。被害想定における津波波高は8.94m、海岸への津波到達時間は59分である。なお、避難意識の違いおよび避難施設の設置数と設置場所による被災人口の差による変化の違いを考察するため、津波到達時間を20分とした。

避難意識の分類を表-1に示す。避難意識は意識高い、意識中間および意識低いに分類し、それぞれの意識に対する人口率は直接避難、用事後避難、切迫避難、避難しないについてそれぞれ設定した。地震発生から避難開始までの時間は、直接避難で5分、用事後避難で15分とし、切迫避難ではメッシュに津波が到達した時間とした。

地域メッシュはGISに基づく分割とし、メッシュの大きさは250m×250mである。人口および標高はGISデータとし、標高はメッシュの最低標高を用いた。メッシュの総人口は23,361人である。浸水深は逗子市の津波ハザードマップを用いて設定した。地域メッシュにおける人口分布を図-3、浸水深を図-4に示す。図中、●は避難場所、○は追加設置する避難場所、▲は想定津波高さよりも標高が高い高台があるメッシュである。また、破線は非常時に線路による避難路の分断線を示し、メッシュ間の移動はできないものとした。

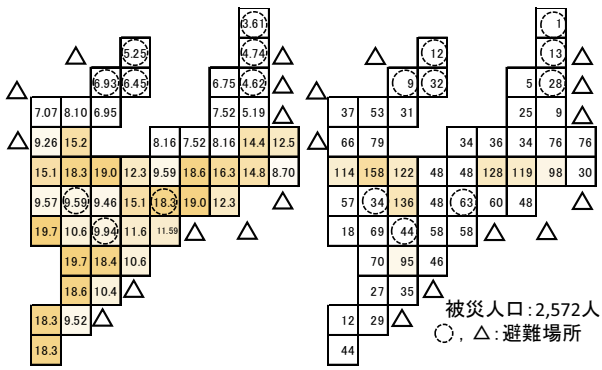
人口構成は各メッシュとも中年層とし、歩行速度は実測データ⁶⁾の平均値1.34m/s、標準偏差0.167m/sとした。津波遡上流速に関しては、津波浸水深を中央値とし、津波痕跡高と津波計算値の適合度を表す相田の幾何標準偏差⁹⁾を用いて標準偏差を設定した。なお、津波浸水深は海岸線から避難場所までの平均浸水深とした。津波到達の時間帯は昼間とし、海岸から遠ざかる方向への避難とした。

4.2 評価結果

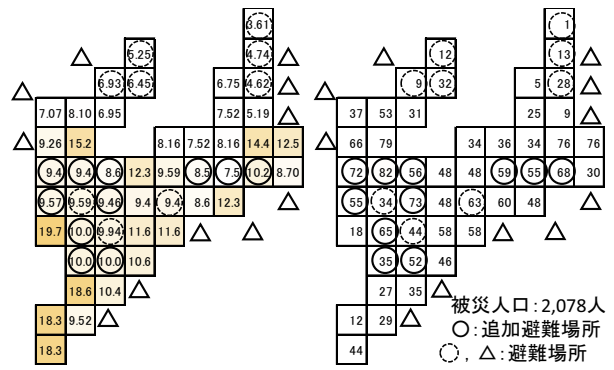
(1) 避難意識の違いによる被災人口の変化

避難意識の違いによる被災人口率と被災人口の分布を評価する。避難場所は図-3に示す●と▲である。メッシュの被災人口率および被災人数を図-5に示す。なお、被災人口の違いはメッシュの色分けで表し、被災人口率および被災人数が高いメッシュを赤色、中間を黄色、低いメッシュを白色で表し、同系色で数値が高いほど濃い色とした。

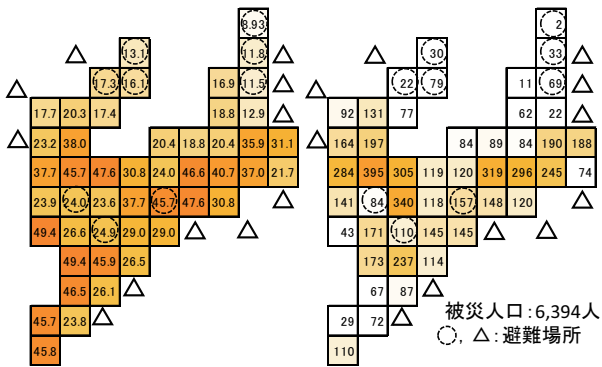
被災人口率は、避難意識が高いと地域全体で低くなる。



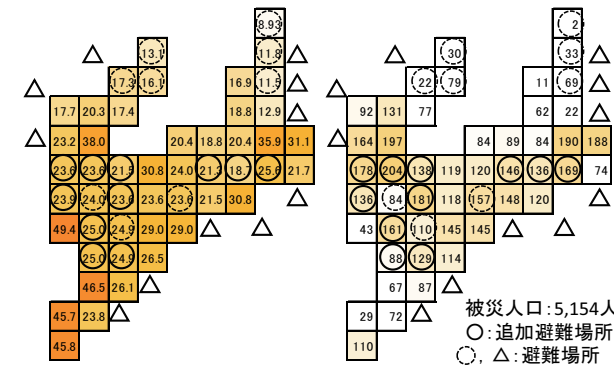
(a) 被災人口率 (b) 被災人数
(1) 避難意識人口高



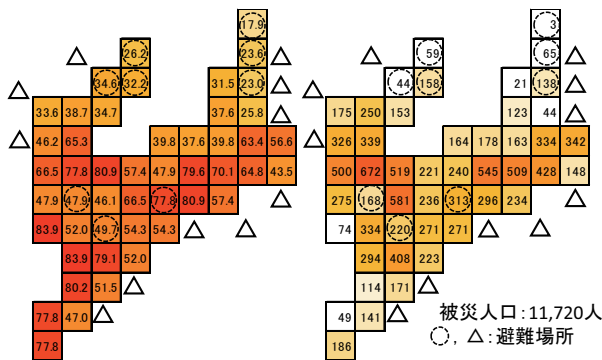
(a) 被災人口率 (b) 被災人数
(1) 避難意識人口高



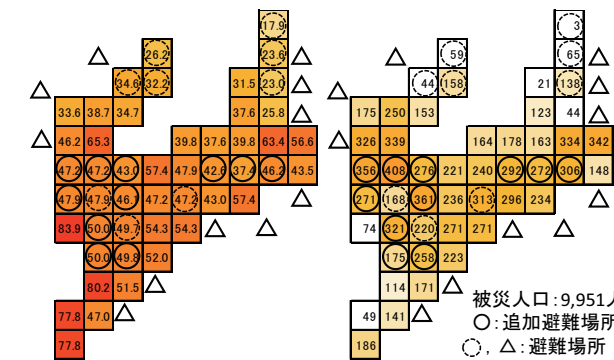
(a) 被災人口率 (b) 被災人数
(2) 避難意識人口中間



(a) 被災人口率 (b) 被災人数
(2) 避難意識人口中間



(a) 被災人口率 (b) 被災人数
(3) 避難意識人口低



(a) 被災人口率 (b) 被災人数
(3) 避難意識人口低

図-5 避難意識の違いによる被災人口分布

図-6 避難施設の設置場所と設置数による被災人口分布

海岸に近いと高く、内陸側になると低くなる分布を示す傾向にある。海岸近くであっても避難場所のあるメッシュおよび避難場所に近いメッシュの被災人口率は周辺よりも低くなっている。内陸側において被災人口率が高いメッシュがあるが、これは避難場所が近くても、避難路が線路により遮断されることにより、別の避難場所へ避難しなければならぬためである。

被災人数は、被災人口率を同じく避難意識が高いと地域全体で少なくなる傾向にある。しかし、被災人口は人口が多いメッシュで相対的に多くなる傾向にあり、避難経路が線路で遮断されたメッシュの被害人口は多い。避難場所のあるメッシュの被災人口は避難意識の違いに関わらず周辺よりも少ない。避難意識の違いによる被災人

口総数を表-2 に示す。避難意識高い場合の被災人口は意識が低いときの約 22%、避難意識中間の場合の被災人口は意識が低いときの約 55%に低減し、避難意識の違いは津波被災人口の低減に大きく影響する結果となった。

(2) 避難施設の設置場所と設置数による被災人口の変化

前項の避難意識中間の結果において、被災人口が周辺のメッシュよりも多いメッシュ（被災人口 200 名以上）および海岸線に近いメッシュ（被災人口 100 名以上）に、避難場所を追加した場合の被災人口の変化を評価する。避難場所は図-3 の●、○（追加設置場所）、および▲であり、海岸近くで 8 箇所、内陸側で 3 箇所の避難場所を追加した。また、一部メッシュで避難先を○に変更して避難距離を短縮した。

表-2 被災人数

避難意識	被災人口総数 (人)	
	避難場所 新規指定なし	避難場所 新規指定あり
高	2,572	2,078
中	6,394	5,154
低	11,720	9,951

避難場所の設置場所と設置数による被災人口率および被災人数の変化を図-6 に示す。被災人口の色分けは図-5 と同じとした。

避難場所を追加することにより被災人口率は低減している。避難路が線路により分断されたメッシュにおいては、避難路が分断されない箇所に避難場所を追加したことにより被災人口率が低減した。

被災人数は、被災人口率と同様、設置場所を追加したメッシュで低減した。避難意識の違いによる被災人口総数を表-2 に示す。避難場所を追加することにより、避難意識が高い場合と中間の被災人口は、設置場所の追加がないときの約 81%、避難意識が低い場合は設置場所の追加がないときの約 85%に低減した。避難場所の追加がなく避難意識が低い場合に対して比較すると、意識が高いと約 18%、意識中間で約 44%に低減し、避難場所の追加により、被災人口はさらに低くなる結果となった。被災人口をさらに低減するためには、避難場所の追加といったハード対策と、避難意識の向上といったソフト対策の両面が効果的であると考えられる。

5. まとめ

津波避難における被災人口の変化を避難意識の違い、および避難施設の設置場所と設置数により評価した。

本研究の範囲内におけるまとめを以下に示す。

- 1)津波避難における意識の向上で、被災人口は意識が低いときの最大約 22%まで低下し、さらに避難場所を新設することにより被災人口は約 18%まで低減する。
- 2)被災人数は避難意識が低いと多く、意識が高いと少なくなる。避難意識向上などのソフト対策は、被災人口

の低下に効果がある。

- 3)避難施設の追加により被災人数は少なくなり、施設を追加したメッシュでの低減が大きい。避難施設の新規指定や新設などのハード対策は被災人数の低下につながる。
- 4)津波避難計画を行う上では、ソフト対策とハード対策の両方が理想的である。
- 5)メッシュの利用により、被災人数分布の把握が容易となり、避難計画の策定に有用である。

本研究により避難意識の違い、および避難施設の設置場所および設置数による被災人口の変化を評価した。しかし、避難施設の規模や収容人数を考慮した評価に関しては今後の課題である。

参考文献

- 1)中央防災会議：南海トラフ巨大地震の被害想定について（第二次報告），2013.3.
- 2)東日本大震災合同調査報告書編集委員会：東日本大震災合同調査報告 建築編5 建築基礎構造／津波の特性と被害，日本建築学会，2015.3.
- 3)藤田謙一，矢代晴実：津波避難リスク評価における津波避難人的影響関数の構築，地域安全学会 東日本大震災特別論文集，No.3，pp.5-8，2014.
- 4)藤田謙一，矢代晴実：避難速度のばらつきを考慮した津波被災人口の評価，地域安全学会梗概集，No.36，pp.59-62，2015年5月
- 5)越村俊一 他：津波被害関数の構築，土木学会論文集 B，Vol.65，No.4，pp.320-331，2009.
- 6)松富英夫，飯塚秀則：津波の陸上流速とその簡易推定法，土木学会論文集，第45巻，pp.361-365，1998.
- 7)松本直司 他：街路空間特性と歩行速度の関係，日本建築学会計画系論文集，第74巻，第640号，pp.1371-1377，2009.
- 8)星谷勝，石井清：構造物の信頼性設計法，鹿島出版会，1986.
- 9)神奈川県県土整備局：新たな津波浸水予測図解説書，http://www.pref.kanagawa.jp/uploaded/life/901723_2800225_misc.pdf，2012.3.
- 10)相田勇：三陸沖の古い津波のシミュレーション，東京大学地震研究所集報，第52冊第1号，pp.71-101，1977