津波避難シミュレーションを用いた特定避難困難地域の抽出に関する検討

東北大学大学院工学研究科　学生会員　○牧野嶋　文泰
東北大学災害科学国際研究所　正会員　今村　文彦
東北大学災害科学国際研究所　正会員　安倍　祥

1. はじめに

将来の津波災害において人的被害を軽減するためには，住民個人の意識啓発に基づき，適切な住民避難行動が実施されることが重要であるが，その以前に，想定する津波に対し，理想的な避難行動が行われたとしても，潜在的に津波暴露のリスクがあるエリアを特定し，必要な対策を実施することも重要である．そうした背景から，特に東日本大震災以降，自治体の津波避難対策を推進するため，わが国では，避難困難地域もしくは特定避難困難地域を抽出する手法が提案されている[1]．この方法は，地理情報に基づいた避難可能距離から津波暴露リスクを評価するもので，近年研究と社会実装が進んでいる津波避難シミュレーションと比較すると巨視的かつ簡便な評価といえる．一方で，実際のリスク評価を進めるには，社会の経済的制約が存在することから，複数存在する評価手法から，合理的にリスク評価手法を選択し，効果的に津波避難対策を実施していくことは重要である．従って，地理情報による簡便な評価と，シミュレーションのような詳細な検討が必要となる場合を明らかにして，適切な手法によって避難のリスクを評価する必要があるが，これを検討した例はない．

そこで本稿では，津波避難シミュレーションの計算結果から避難困難地域を抽出し，その結果を巨視的な評価と比較することで，巨視的な手法の適用限界について検討した．本来，避難困難地域の検討にあたっては，津波避難ビルの収容能力も考慮した評価が必要であるが，検討に用いる人口データにより評価結果も変わるため，今回は，避難場所全てが想定する人口をカバーできるものとして検討する．

2. 研究対象地域

本稿では，震災以前の宮城県気仙沼市の中心市街地を対象に避難困難地域の検討を実施する．検討対象領域と，考慮した避難場所の一覧を**図-1** に示す．本地域を研究対象としたのは，震災以前の道路網や，震災当時の避難行動のようす，多くの住民に利用された避難場所といった，本検討に必要な情報が豊富に得られているためである．

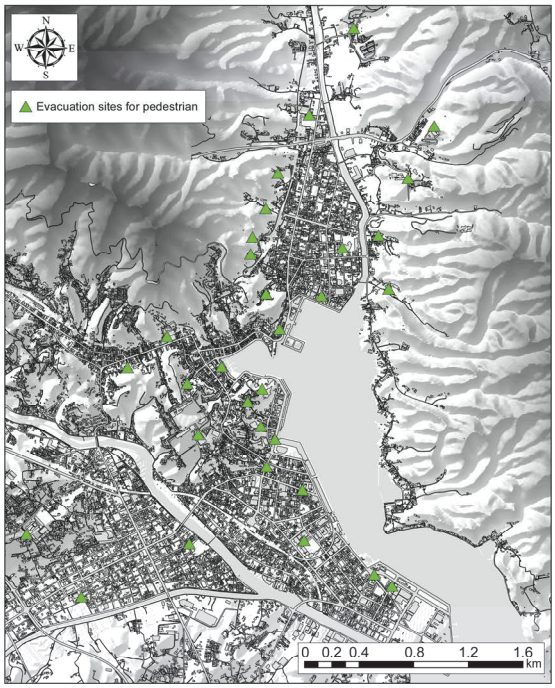


図-1　研究対象地域と検討で考慮した避難場所

3. 避難困難地域の抽出方法

巨視的な方法として，国の指針を参考に GIS を用いた図面ベースの抽出方法を採用し，避難困難地域を抽出する．検討対象領域内の津波避難ビルを含む津波避難場所を中心として，徒歩での避難限界距離として広く用いられている 500m[2]に基づいて円を描き，その領域にカバーされないエリアを避難困難地域として判定する．この際，既往の検討で提案されている迂回率[2]についても，検討する．

微視的な方法として，エージェントベースドモデリングにより，避難者の個人スケールの回避・追い越しといった徒歩避難行動を計算する詳細な津波避難シミュレーション[3]を採用し，津波避難シミュレーション中で津波暴露と判定されたエージェントの初期位置から避難困難地域を抽出する．津波避難シミュレーションでは，エージェントの初期位置が試行毎にランダムに変化するため，多数シナリオ計算[4]を実施し，得られたエージェントの点分布からカーネル密度推定を行うことで，個々の避難者の初期位置から避難困難地域を推定する．カーネル密度推定では，

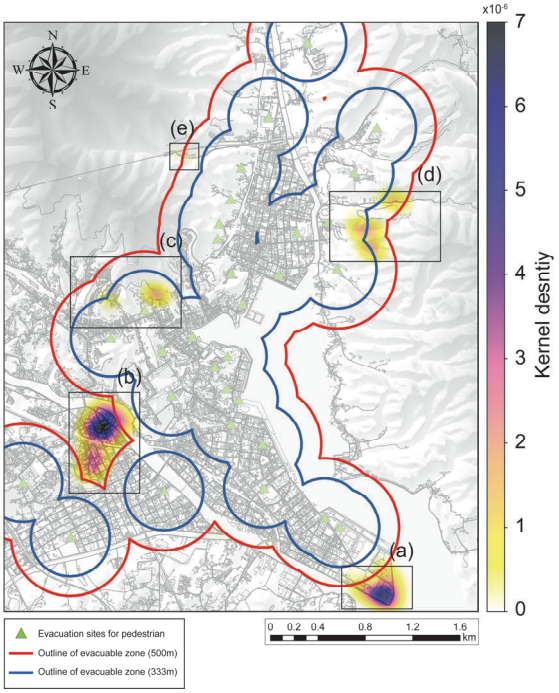
キーワード：避難困難地域，津波避難，津波避難シミュレーション，高性能計算，カーネル密度推定
連絡先：〒980-0845　仙台市青葉区荒巻字青葉 468-1 災害科学国際研究所　TEL022-752-2089

Gaussian カーネルを用い，バンド幅は，点集合を良く模擬するものを試行錯誤で探索して，0.05 を採用した．津波避難シミュレーションの詳細な計算条件は既往研究 [4]と同様とした．対象地域の昼間人口計 25,869 人のうち，65 歳以上の避難者（7,055 人）を区別して，異なる最大移動速度分布（65 歳未満: 1.34±0.26; 65 歳以上: 0.67±0.26 の正規分布）を与えることで年齢の差異を考慮している．

4. 検討結果と考察

GIS ベースの巨視的な方法と，避難シミュレーションを用いた微視的な避難困難地域の評価結果の比較結果を**図−2** に示す．ここで，**図−2** では，巨視的な方法では，赤線で示した避難可能領域に含まれない領域が避難困難地域，シミュレーションを用いた方法では，カーネル密度が高い領域が避難困難地域として判定されている．巨視的な方法（500 m の場合）に依ると，対象地域を概ねカバーするように避難場所が存在しているが，検討地域の南端等，一部の地域（**図−2** 中(a),(b)）がカバーされていないことが分かる．避難シミュレーションに依る方法でも，同等のエリアが，カーネル密度が高い避難困難地域として抽出されている．一方で，避難シミュレーションによる検討では，巨視的な方法では避難困難地域として判定されない箇所（**図−2** 中(c),(d),(e)）についても抽出されている．これらは，複雑な道路網がある箇所に対応しており，直線距離との乖離が大きくなる箇所である．但し，これらの箇所は高台の近くに位置し，主に避難シミュレーションにおいて，有限の避難場所しか考慮出来ない仮定によって発生する避難困難地域であり，詳細に避難目標地点を設定することで解消する可能性がある．以上の検討から，避難路が複雑な場合に巨視的な方法と微視的な方法による避難困難地域には乖離がある場合があるが，徒歩避難行動の検討の限りでは，概ね巨視的な評価によって詳細な検討と同様の傾向を得られることが示唆される．

図面ベースの巨視的な評価により避難困難地域を推定する手法では，震災の実態に基づき，直線距離に係数 1.5 を乗じて移動距離を推定する方法 [2]も提案されている．これを考慮した場合，今回の検討では，避難可能域の半径が約 333 m（**図−2** 中，青線）となり，避難シミュレーションによる評価結果よりも過大に避難困難地域を推定することになる．この評価手法の妥当性は，都市の構造などによっても変化することが考えられるため，東日本大震災など，ある特定のイベントから経験的に導かれた評価方法の妥当性・有効性を，シミュレーションなどの方法で検証していくことも，今後，他地域で津波避難困難地域の評価を進めていく上で，必要であると考えられる．



図−2 巨視的・微視的手法による避難困難地域の評価結果の比較

5. おわりに

本稿では，徒歩避難行動を想定した津波避難困難地域の評価方法について，GIS を用いた巨視的で簡便な検討と，津波避難シミュレーションを用いた微視的で詳細な検討を比較し，適切な評価手法について考察した．2 つの検討結果の比較から，両手法で抽出される避難困難地域は概ね同様の結果を示すことが分かった．しかし，道路網が複雑な場合は，簡便な検討と詳細な検討が乖離する可能性が示唆された．適切なリスク評価手法選択のためには，今後，この乖離基準をより詳細かつ具体的に検討する必要がある．また，本稿の検討では，低密度流の徒歩避難行動を考慮したが，車避難を含む都市型の津波避難など，避難者の干渉による混雑が避難の速度に大きく影響するような場合には，距離ベースの簡便な評価に限界があると考えられ，この点は更なる検討が必要である．

参考文献

1) 国土交通省都市局，津波防災まちづくりの計画策定に係る指針（第 1 版），2013.
2) 宮城県津波対策連絡協議会，宮城県津波対策ガイドライン，2017.
3) Makinoshima F., Imamura F., Abe Y., Enhancing a Tsunami Evacuation Simulation for a Multi-scenario Analysis using Parallel Computing, *Simul. Model. Pract. Theory*, 2018. (in press)
4) 牧野嶋文泰，今村文彦，安倍祥，多数シナリオ津波避難シミュレーションによる確率論的避難安全性の評価，土木学会論文集 B2（海岸工学），73(2), I_1513-I_1518, 2017.