

津波の浸水地域における避難拠点の最適配置

－石巻市を事例として－

日大生産工(院) ○大舘 享平 日大生産工 岩田 伸一郎

1. はじめに

1.1 研究の背景

平成 23 年 3 月 11 日、宮城県牡鹿半島の東南東沖 130km の海底を震源として発生した東日本大震災は、日本における観測史上最大規模マグニチュード (Mw) 9.0 を記録し、東北地方と関東地方の太平洋沿岸部に壊滅的な被害をもたらした¹⁾。

今後大規模の津波を考慮した上で避難しやすい都市計画を行うには、都市の安全性と危険性を十分に把握する必要がある。震災当時の地域を分析することで、被災時にいかなる場所に避難拠点があつたらより多くの被災者が避難できたかを知ること、今後の復興計画や防災都市としてのあり方を見直す必要がある。

1.2 研究の目的

本研究では GIS (地理情報システム)^{*1)} を用いて、津波浸水地域において高齢者などの避難困難者がいかなる場所に避難拠点があつると効率的に避難できるかを分析し避難拠点の最適配置を求めそれを可視化し、比較、分析を行うことで、津波浸水地域における避難拠点の配置の考察を行うことを目的としている。

1.3 既往研究

GIS などの地理情報システムを利用して、津波の影響を分析している解析は広く行われている。

GIS や津波避難関連の研究において、佐藤ら²⁾ は、津波被害が予想されている地域において、地震時の家屋倒壊が避難に及ぼす影響を分析し、避難経路の問題を指摘している。片田ら³⁾ は、津波による人的被害を予測するために、GIS をベースとした災害時の情報伝達、避難行動、津波氾濫をシミュレータにより尾鷲市民への防災教育を実施し、その有効性を検証している。目黒ら⁴⁾ は、GIS を利用して実用化を念頭

に置いた、ポテンシャルモデルに基づいた津波避難国道シミュレーションモデルを開発している。田村ら⁵⁾ は、地震時の建物倒壊による街路閉塞を確率的に考慮した津波浸水時の避難行動シミュレーションの手法を開発し、避難路と避難整備について考察を行っている。藤岡ら⁶⁾ は、マルチエージェントシステムを用いて津波避難者行動をモデル化し、避難所の規模、避難誘導方法など津波避難対策の評価を行っている。これらのモデルは、避難を情報判断とこれに対応する行動の連続過程と考え、避難開始情報、行動指示情報、避難方向指示情報、混雑情報、非難方向情報、安全情報、群集移動情報を考慮している。またこれを藤沢市江ノ島海岸にモデルを適用させた結果、早期段階で避難所への避難の拒否と、避難誘導者による避難者への避難方法指示が有効であることを指摘している。既往研究は、シミュレーションによって想定される避難行動分析を行っている。これは、実際の津波被害があつた被災地を事例として取り上げてその地域の分析を行っている研究は十分に行われていない。本稿は、実際の東日本大震災時の津波発生時を想定しており、高齢者などの避難

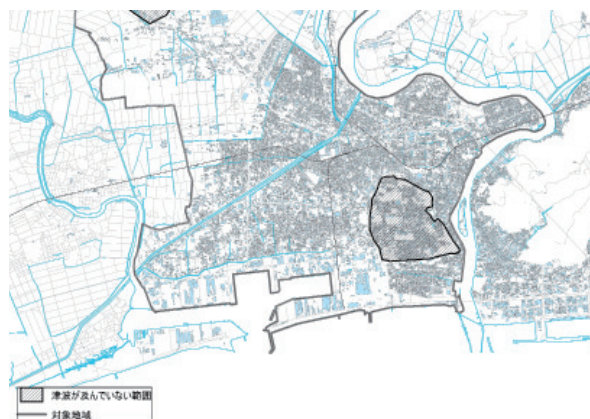


図 1. 対象地域

Optimum arrangement of the refuge base in the submerged land region of tsunami

Kyohei OTSUKI and Shinichiro IWATA

困難者を対象とし、徒歩での避難行動分析を行い、GISにより避難可能範囲の可視化を行い、すべての避難者が避難できるような最適施設配置を目的としている。

2. GISに基づいた最適配置の分析手法

2.1 分析手法の概要

避難行動は、東日本大震災の地震発生時から海岸線までの到達時間の50分間で行うものとし、自動車や自転車では渋滞や事故、道路の破損状態など避難リスクが考えられることから、避難手段は徒歩で行うものとする。避難時の歩行速度は既往研究⁷⁾から65歳以上の高齢者の歩行速度の最小値0.25[m/sec]で50分間移動できる範囲である750mの範囲の可視化を行う。避難行動は道路網を利用して行われることから、地域空間情報としてとらえ、道路網を考慮した分析を行う必要がある。道路網のネットワークデータを構築・解析することで避難拠点の最適配置モデルを作成する。

2.2 研究対象地域

本研究では、東日本大震災時、浸水範囲が広く、人的被害が大きかった宮城県石巻市沿岸部、市街地を中心とした地域を対象に分析を行った。今回の分析において、旧北上川より東側の地域を除いた(図1)。

対象地域の特徴として、海岸部に標高3m以下の低地が帯状に広がっていて、市街地中心より東側に小高い丘がある。なお、津波被害が及んだ地域は、主に三角州・海岸低地・砂州に該当しており、浸水範囲人口は11万2,276人、死者3,025人、行方不明者2,770人、全壊棟数は2万8,000棟であった。津波浸水範囲は、実際の津波の到達地点ではなく最高到達地点を基準にすることで、より安全なエリアとして津波が及んでいない範囲の設定をした。

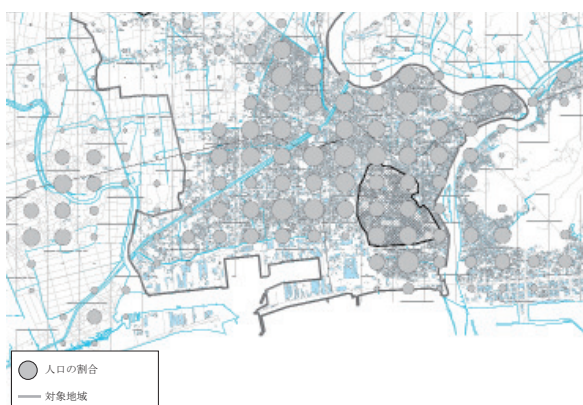


図2. メッシュごとの人口分布の割合

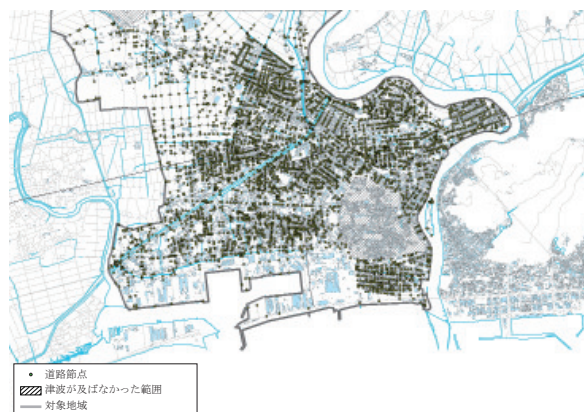


図3. 道路接点の位置

2.3 メッシュデータにおける人口密度の算出

平成17年国勢調査データを元に2分の1地域メッシュ^{*2)}ごとの人口分布を使用する(図2)。図2の円の大きさは人口の割合を示している。2分の1地域メッシュごとの総人口を面積で割ることで2分の1地域メッシュ内の人口密度を算出する。さらにそれに2分の1地域メッシュ内の道路接点の数で割ることで道路接点1つの人口密度を求める。

2.4 道路節点の構成とネットワーク解析手順

GISを用いて分析を行う際、最適配置を求める手順を以下に示す。

- ①国土地理院刊行の数値地図2500(空間データ基盤)を用いて、道路節点に属性値^{*3)}として人口密度の割り当てを行い、重みづけを行う。
- ②GISのNetwork analyst^{*4)}のロケーション・アロケーション解析^{*5)}機能の設定を行う。対象地域内の道路節点合計4204点(図3)を需要点とし、道路接点すべてを避難拠点の候補点に設定する。解析タイプとしてカバーエリアの最大化^{*6)}を利用する。
- ③歩行速度0.25[m/sec]の50分間の最大移動距離750mを移動圏内として解析を行う。
- ④対象地域内の津波が及んでいない範囲から750mの範囲を避難可能範囲とし道路ネットワークを考慮したバッファを作成する。
- ⑤避難拠点の数5, 10, 15, 20の最適配置を求め、それらを分析、比較を行う。

3. 分析結果

3.1 避難拠点数ごとの分析結果と考察

避難拠点数5(図4)と設定した場合、対象地域の西側のエリアには避難が及んでおらず、市街地中心にだけ施設配置が及んでいる。しかし、対象地域内ほとんどを満たしていないため、避難困難者が避難行動を行う上で避難拠点数5で

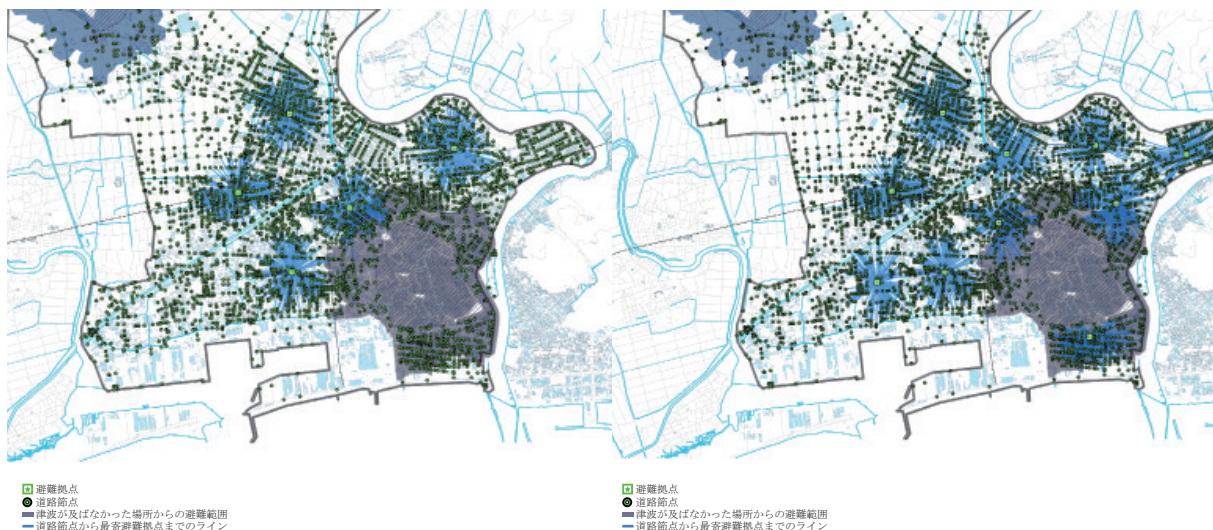


図 4. 避難拠点数 5 の最適配置



図 5. 避難拠点数 10 の最適配置

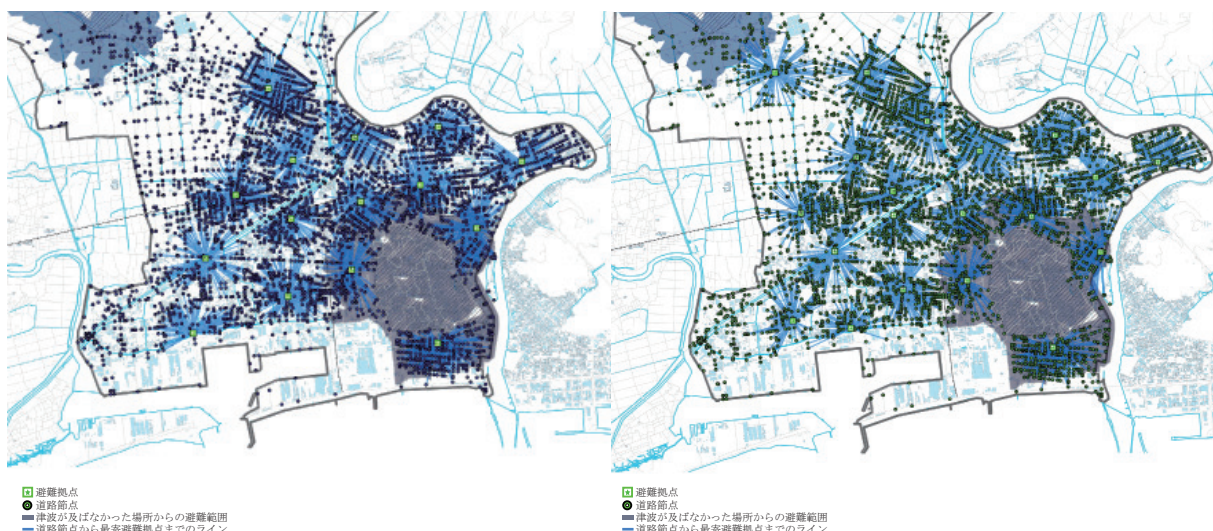


図 6. 避難拠点数 15 の最適配置



図 7. 避難拠点数 20 の最適配置

は避難拠点が不足していると評価できる。

避難拠点数 10(図 5) と設定した場合、対象地域の西側のエリアには、避難が及んでおらず、避難拠点数 10 でも避難拠点数 5 の時とあまり差が表れていない。市街地中心においても避難が及んでいないエリアが多いため、避難拠点数 10 においても設置に必要な避難拠点の数は不足していると評価できる。

避難拠点数 15(図 6) と設定した場合、西側のエリアには避難が及んでいないが、市街地中心において道路接点から避難施設までのバッファがほぼ及んでいるため、市街地中心のみ避難可能範囲が及んでいることが評価できる。そのため、市街地においてのみ、避難施設数は十

分に満たしている。

避難拠点数 20(図 7) と設定した場合、対象地域の西側のエリアには、人口が少ない地域において避難拠点が及んでいないが、対象エリア全体に避難拠点が配置されてきたと評価できる。市街地中心は避難拠点からのバッファが道路接点全体を満たしているため、市街地中心は避難が行き届いていると評価できる。しかし、津波が及んでいない範囲からのバッファ付近に施設配置が及んでしまっているため、市街地に必要以上に避難施設が配置されてしまったと考えられる。

3.2 施設数に応じた避難拠点配置の比較

避難拠点数が変化しても対象地域の中心エリ

アである市街地周辺に、避難拠点は多く配置される傾向がある。

また避難拠点数5の時に配置された避難拠点の位置は施設数を増やしてもほぼ同じ位置に配置された。そのため、この位置に規模の大きい避難施設を配置することが望まれるのではないかと考えられる。

避難拠点数を徐々に増やしたが西側のエリアには人口が少ないため、避難拠点の配置が及ばなかったものと想定される。避難拠点数を増加させると震災時に津波がこなかった範囲に多くの施設が配置されてしまっている。そのためこの付近にある施設を西側の避難拠点が配置されていないエリアに配置することで対象エリア全体を満たす施設配置が可能になると考えられる。対象エリア南側には、道路接点はあるが、人口が分布していないために、避難が及んでいない。人口の分布が大きい中心市街地への避難拠点の配置は施設数15でほぼ市街地全体を満たすことができたと評価できる。

4. まとめ

- ・GISソフトにおいて空間データを用いたネットワーク解析を行うことにより、高齢者歩行速度の移動圏内を避難拠点数に応じて可視化し、具体的に移動できる範囲を示した。
- ・道路接点に人口密度による重み付けを行ったことで、人口の多い市街地中心の分析を行うことができた。
- ・避難拠点が必ず必要となる場所を可視化することができた。
- ・避難施設数に可視化することで、どの位置にどの程度の施設を必要となるかを図示することができた。
- ・避難拠点数が増加させることで市街地中心の避難も効率的になるが、人口の少ない地域における避難は及ばないということが判明した。

今後の課題として、避難拠点の規模や移動圏内における対象地域全体の避難が及ばなかったため、今後対象地域全体の避難が可能になるための施設配置計画や道路計画を行う必要がある。また、避難施設に収容できる人数と今後想定される津波の高さなどを考慮した避難施設配置などより具体的な設定をした避難施設の配置をすることを今後の課題とする。

参考文献

- 1) 気象庁データベース
- 2) 佐藤広章，村上仁士，島田富美男，上月康則，倉田健悟，大谷寛：地震による家屋と岡井を考慮した津波来襲時における避難に関する考察，海岸工学論文集，Vol149. pp311-315. 2002. 10
- 3) 片田敏孝，桑沢敬行，金井昌信，細井教平：津波災害シナリオ・シミュレーションを用いた尾鷲市民への防災教育の実施とその評価，社会技術研究論文集，Vol. 2, pp. 199-208, 2004. 10
- 4) 目黒公郎，織田浩平：津波災害時の避難行動シミュレーションモデルの開発，生産研究，Vol. 57-4, pp. 343-347, 2005
- 5) 田村保，西畑剛，森屋陽一，瀧本浩一，三浦房紀：街路閉塞を考慮した津波浸水時の避難シミュレーション手法の適用，海岸工学論文集，Vol152, pp. 1286-1290, 2005. 10
- 6) 藤岡正樹，石橋健一，梶秀樹，塚越功：津波避難対策のマルチエージェントモデルによる評価，日本建築学会計画系論文集，No. 562, pp. 231-236, 2002. 12
- 7) 安倍北夫：災害心理学序説－生と死をわけるもの－，サイエンス社，総項数 237, 1982

注釈

- *1) GIS: 本稿では、ESRI ジャパン株式会社 ArcGIS Desktop10 を利用して分析を行っている。
- *2) 2分の1地域メッシュ: 地域メッシュとは、統計に利用するために、緯度・経度に基づいて地域をほぼ同じ大きさの網の目(メッシュ)に分けたものである。基準地域メッシュより細かな地域区分として2分の1地域メッシュがある。2分の1地域メッシュは基準地域メッシュを縦横に2等分したものである。1辺の長さは約500mである。
- *3) 属性値: 数値地図上に点・線・面で表現される図形に対してそれぞれ埋め込まれた情報のことを言う。一般的には数値や文字列による情報が行列によって与えられている。
- *4) ArcGIS Network analyst: 店舗の配置解析、走行時間の解析、空間的な位置の相互関係のモデリング等、交通ネットワークに基いた空間解析のための新しいフレームワーク。Network Analyst では、現実的なネットワーク状況をモデル化し、現実に即した解析を行うことができる。
- *5) ロケーション・アロケーション解析: 一般的に、商品とサービスを提供する施設およびそれらを消費する需要地点に関する情報に基づいて、需要地点に商品とサービスを最も効率的に供給できるような施設を配置することに用いられる。施設を配置することで需要地点を割り当てる2つの要素で構成される解析である。
- *6) カバーエリアの最大化: 指定された応答時間内にすべての需要地点に到着する必要がある消防署、警察署、ERSセンターなどの緊急サービスの配置によく使用される。