

海水浴客を考慮した藤沢市片瀬・鵜沼地区における 津波避難リスクに関する研究

A study on Tsunami Risk in Consideration of Bathers' Evacuation
for Katase-Nishihama and Kugenuma District, Fujisawa City

姜 大原¹, 村尾 修²

Dayuan Jiang, Osamu Murao

¹東北大学大学院工学研究科都市・建築学専攻

Department of Architecture and Building Science, Graduate School of Engineering, Tohoku University

²東北大学災害科学国際研究所

International Research Institute of Disaster Science, Tohoku University

Abstract:

This paper aims to solve the tsunami evacuation problem in the area that is low-lying land and with an unspecified large number of bathers. The case study area is Katase-Nishihama and Kugenuma District, Fujisawa City, and this research uses multi-agent simulation to imitate refugees' evacuation behavior in different scenarios. The result demonstrate that Tsunami evacuation plan should take bathers in consideration. Nevertheless, it is hard to ensure the safety of all. This paper provides a method to decide the upper limit number of bather that tsunami evacuation plan should take into account.

The simulation results also show that tsunami risk in such an area is strongly relative to the number of bathers. Moreover, this paper discusses three methods to mitigate tsunami risk and evaluate its' effectiveness. Finally, the simulation shows that elevated railway that located in flood area can greatly mitigate the tsunami risk of the area that is low-lying land and with an unspecified large number of bathers.

Keywords : *Tsunami Risk, low-lying land, bather, multi-agent simulation, elevated railway*

津波リスク, 低平地, 海水浴客, マルチ・エージェント・シミュレーション, 鉄道高架化

1. はじめに

1.1 研究の背景

2011年の東日本大震災による津波で、東北地方の太平洋側沿岸部は甚大な被害を受けた。仙台平野などの低平地では津波が4kmほども内陸部に押し寄せ、浸水域も広域に及んだ。このような地域では、高台がないため津波避難ビルもしくは内陸部に避難する必要がある。さらに南海トラフでの巨大地震が懸念されている現在、このような低平地の沿岸部における津波対策が必要となっている。

一方、そのような低平地の沿岸部は人気のある海水浴場であることも多い。居住者と異なり、海水浴客は地域の地形、指定されている避難経路、

そして指定避難場所について必ずしも理解しているわけではない。さらに、居住者の避難を前提としている避難計画では、不特定多数の海水浴客あるいは観光客に対応できない。

そこで、低平地かつ海水浴客が多い地区に関する津波リスクに関する研究が必要である。

1.2 既往研究と研究の目的

本研究では複雑な地形を持つ低平地であり、かつ日本で有数の海水浴場である神奈川県藤沢市の片瀬・鵜沼地区の沿岸部を対象地域とする。

筆者の所属する研究グループは、これまでに片瀬・鵜沼地区の居住者を対象として、避難者と津波避難施設の収容能力、および各居住地からの避難経路について評価し、適切な津波避難計画を提

案した。

檜山ら^[1]の研究から、片瀬・鶴沼地区において、津波避難ビルがない場合、内陸部に避難するには30分以上をかける地域があることがわかった。また、関ら^[2]の研究の中で、ある時点における海水浴客数と津波避難施設の収容能力については比較した結果、現状の津波避難指定施設では海水浴客を十分に収容できないことが明らかになっている。

現状の海水浴客の津波避難において、①津波避難施設の収容能力の不足と施設配置の問題、②津波避難施設あるいは津波浸水域外への避難のため経路と時間の問題の2点が、課題として挙げられる。

そこで、本研究では居住者及び海水浴客を対象として、津波避難のためのマルチ・エージェント・シミュレーションを用いて、現時点での経路、津波避難施設の収容能力、および避難時間についての課題を明らかにすることを目的とする。

また、その課題の中で都市計画的対策をとった場合のシミュレーションを行い、海水浴客を対象とした将来的な対策の可能性について検討することも目的とする。

1.3 地域特徴

藤沢市は海岸沿いに市街地が形成されており、人口を概算すると16,000人の住民が津波予測浸水域内に住んでいる。津波浸水域内には密集木造住宅地が多く、道路の幅が狭いため、車を使う避難は原則として禁止されている。また、津波予測浸水域内には全国有数の海水浴場があり、夏のハイシーズンの海水浴客は一日最高19万人である。

沿岸部の国道134号線は嵩上げされ、7mの高台になっている。海岸から内陸へ一旦高くなり、その後低くなり、再び高くなるという特殊な地形である。(図1)^[3]

また、平成28年6月1日時点で藤沢市には286棟の津波避難ビルが指定されており、

160,785人を収容できる。その中の176棟は想定浸水域内に位置している。

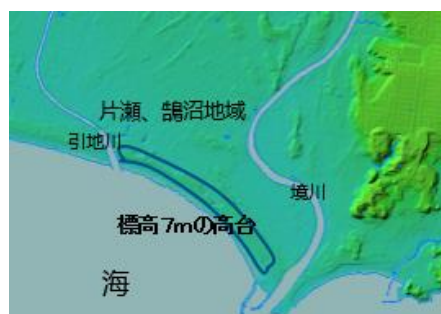


図1 地形図^[3]

2. 研究の方法

本研究は、海水浴客を考慮した上で以下の順で進めた。

- ① 津波避難シミュレーションの設定
- ② シミュレーションにより津波リスクの把握
- ③ 避難課題の抽出
- ④ 津波リスク軽減策を提案
- ⑤ 軽減策の効果を検証

また、シミュレーションについては、本研究ではマルチ・エージェント・シミュレータ「artisoc」を使用した。そのシステムは、「エージェント」という自律した行動主体を持ち、個々の要素間の相互作用を考慮することで、方程式では表せない複雑な現象を再現することができる。

3. 津波避難シミュレーションの設定

3.1 シミュレーションシステムの概要

シミュレーションモデルを構築する流れとしては、まずシステム適用地区を選定し、GISデータによりベースマップを作成する。次に避難者エージェントの属性を設定する。また、シナリオに応じて行動ルールを設置する。

システムを構築した後、最短経路探索を行い、最短経路探索の結果及び作成した属性データを基づいてシミュレーションを行う。

3.2 ベースマップの設定

まず、ネットワークモデルにより、道路情報を

交叉点の「ノード」とノードを繋ぐ「リンク」に抽象化し、道路ネットワークを作成した。

浸水範囲については、藤沢市ホームページで公開された「藤沢市津波避難計画」に基づき、最も浸水範囲が広い慶長型地震による津波をベースとして設定した。

なお、避難場所は藤沢市が指定した津波避難ビルと浸水範囲外の2種類を設定する。つまり、津波避難ビルもしくは浸水範囲線と道路リンクの交差点に到着を避難終了と設定する。

3.3 避難者エージェントの設定

3.3.1 住民の設定

藤沢市ホームページの市政情報のデータ⁴⁾に基づき、町丁目ごとの人口に合わせ、合計15,000人の避難者エージェントを公園、海浜、道路等以外の空間に配置した。

避難手段は徒歩のみと設定した。また、歩行速度については、平均値が1.085m/s、標準偏差が0.205m/sの正規分布により乱数を発生し、避難者の歩行速度を設定した⁵⁾。

群集流動においては、密度が4人/m²以上になると群衆歩行速度低速あるいは停止するといった状態になると言われている⁶⁾。そのため、本研究では速度を3段階に分けた。

3.3.2 海水浴客数の設定

ハイシーズンで多い時一日19万人の海水浴客が藤沢市に訪れる。このような大勢の海水浴客を全員避難させることは困難であるため、本研究では統計学の有意水準を考慮した上で、観光客の人数を34,500人と設定した。

まず、海水浴客データ⁷⁾を分析し、2014年から2016年の一日ごとの観光客数を最小から最大まで並べた上で、分布図を作った(図3)。

(95.07%,46,050)はこの三年間の中でランダムに一日を抽選し、一日の海水浴客が46,050人以下の確率は95.07%であることを示している(図3)。

つまり、藤沢市において、46,050人の海水浴客を全員避難されることができれば、「全員を守ることができる」という仮説の正確さは95%に超え、統計学的に成立と認めることができる。

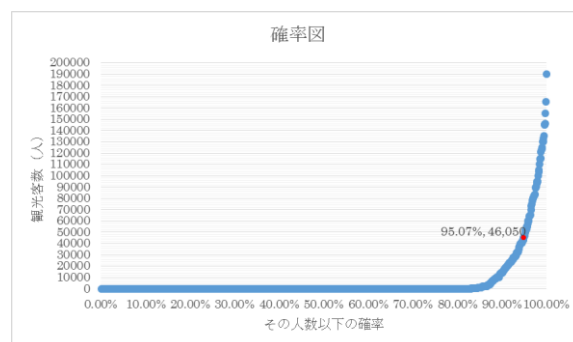


図3 確率図

さらに、本研究の対象地域は鵠沼・片瀬西浜のため、全体の海水浴客数に占める割合を計算し、海水浴客数を34,500人と設定した。

3.4 避難ルールの設定

具体的な行動ルールとして、図4のように、まず町丁目の人口ごとに避難者を配置する。避難開始後、避難者が一番近い道路ノードに移動する。道路上に到着した後、一番近い避難場所に最短経路で避難する。避難の時、混雑が発生した場合は減速する。そして避難場所に到着したが、津波避難ビルが満員になった場合、直接浸水域外に避難する。満員でない場合は避難終了とした。なお、最短経路や最寄り避難場所などはダイクストラ法により算出した。

3.5 シナリオの設定

本研究は主に以下の三つのシナリオを設定し、シミュレーションを行った。

1. 住民のみで、海水浴客を考慮しない：総数15,000人
2. 住民プラス海水浴客34,500人：総数49,500人
3. 住民プラス海水浴客150,000人：総数165,000人

また、片瀬東浜に高台があるため、橋を渡るかどうかという二つの状況に分けてシナリオを設

定した。

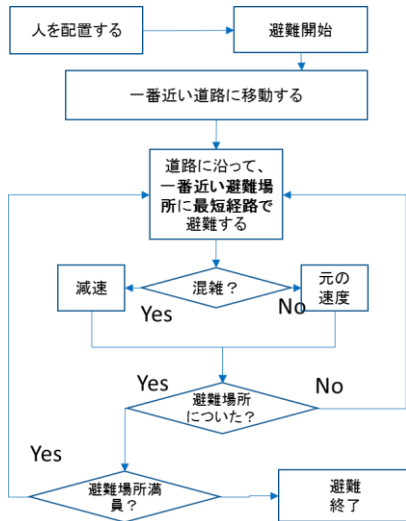


図4 避難行動ルール

4. 津波避難シミュレーションによる現状の課題

本章では、対象地域の津波リスクを把握し、津波避難における課題を抽出する。

まず住民のみのシミュレーションを5回行い、平均値を取り、その場合の津波避難の課題を明らかにした。その結果、以下の三つのことが明らかになった。

- ① 避難開始 35 分後であれば 98%の住民は避難を完了することができる
- ② 津波避難ビルの立地のバランスが取れていない
- ③ 到着した津波避難場所の数が多いほど避難時間が長い

津波避難時間は到着津波避難場所の数に関わるため、海水浴客が大勢いる時、初めて到着した津波避難ビルに入れなかった場合、直接浸水域外に避難した方が良くと考えられるため、その新しい行動ルールを設置する。

そのため、次に、同じ条件で比較するためにその行動ルールで6つのシミュレーションを行った。その結果は表1である。

表1によると、新しい行動ルールを取った場合、避難開始35分後の住民の時避難完了率は15%下がった。また住民が海水浴客と同時に避難した場

合、海側の津波避難ビルに海水浴客も避難していくため、避難開始から35分後の津波避難完了率はさらに7%下がり、76%になる。

そして、もし8月海水浴客が多い時に津波が来た場合、海水浴客に大きな被害が発生すると見られる。海水浴客が34,500人の場合は、避難開始後35分経っても海水浴客の津波避難完了率は20%しかない。さらに150,000人の海水浴客がいる時、35分経過しても88%、つまり13万人の海水浴客は避難できない。

表1 避難開始後35分の時避難完了率

		住民		観光客		全体	
		人数	比率	人数	比率	人数	比率
観光客 0人	橋を渡らない	12,450	83%			12,450	83%
	橋を渡る	12,600	84%			12,600	84%
観光客 34500人	橋を渡らない	11,370	76%	6,900	20%	18,270	37%
	橋を渡る	11,460	77%	9,039	26%	20,499	41%
観光客1 50000人	橋を渡らない	11,100	74%	18,000	12%	29,100	18%
	橋を渡る	11,400	76%	31,500	21%	42,900	26%

また、海水浴客の人数が多時、橋を渡り、片瀬東浜への避難は津波避難完了率に大きな影響があると見られる。海水浴客が15万人の場合、片瀬東浜に避難することは、片瀬東浜に避難しないより、35分の時点で避難完了した海水浴客が13,500人上回る。

さらに、本研究の場合、海水浴客は住民と同じような避難行動であると設定しているが、避難開始場所の違いで避難完了の結果は大きな差が見られる。つまり、海水浴客は地理不案内だけではなく、避難開始場所は避難できる場所と遠く離れることも課題である。

5. 海水浴客を考慮した津波リスク軽減政策の提案

5.1 提案

低平地に海水浴客が多数いる場合の津波避難は3段階に分けることができる。まず段階Ⅰで避難者は津波避難ビルもしくは近くの浸水域外に避難する。段階Ⅱで近くにある津波避難ビルが満

員になった後、浸水域外に避難する。段階Ⅲで避難者は徐々に内陸部の津波浸水域外に到着する。

本研究で、段階Ⅰにおける避難完了率の増加を促進、もしくは段階Ⅱの続く時間を短縮することを着目し、三つの案を提案した。

A 案：状況に応じての避難指示

表 2 状況に応じた避難指示

	レベル1	レベル2	レベル3
状況	海水浴場 開放しない	海水浴場を開放する	
		平日	休日
避難場所 の選択	なるべく津波 避難ビルに避 難する	最初に到着した津波避難ビ ルは満員になった場合、直接 浸水域外に避難する	
橋を渡るかど うかの 選択	渡らない		渡る

4 章では以下の 2 点を明らかにした。

- ① 住民のみの場合、なるべく津波避難ビルに避難したほうが良い
- ② 海水浴客が多い時、橋を渡ると避難完了率は高くなる

また、毎日海水浴場にいる人数を調べると、平日はほとんど 34,500 人未満であり、休日になると人数が急増する。そのため、表 2 のように、その日海水浴客の人数により、状況に応じた避難指示を津波避難警報と同時に出せば、避難者はより効率的に避難することが出来ると考えられる。

B 案：既存の津波ビルに避難する

藤沢市の津波避難ビルの収容密度は 1.67 人/㎡だが、津波避難ビルは一時的な緊急避難場所のため、設定密度を大きくすることで津波リスクの軽減に対してどのような効果があるのかを検証した。

C 案：小田急江ノ島線の高架化

津波浸水域にある小田急江ノ島線を高架化することは対象地域の避難に対して大きな効果があると考えられるため、その効果を検証した。

鉄道線路を高架化することに三つのメリットがある。まず、高架化した鉄道線路は無限に住みや海水浴客を収容することができる。そして、一旦津波が来たら、鉄道は被害がなければ、本来鉄道が持つ大量輸送という特性を発揮し、復興にも大きな役割を果たすことができる。また、鉄道施設自体が防潮堤として機能し、大津波による被害の拡大を防いだ例もある。

5.2 効果の検証

シミュレーションの結果を図 5 と表 2 に示す。津波避難ビルの収容密度の変更は避難開始 10 分後の津波避難完了率に良い影響がある。しかし、津波避難ビルは満員になった後、避難者は遠くの内陸部に避難する場合、前述した避難段階Ⅱへの効果が見られない。

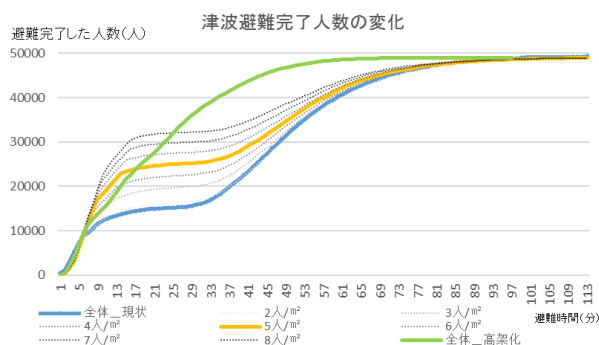


図 5 避難完了人数変化図

表 2 避難状況

避難状況	10分 (南関東地 震)	35分 (慶長型地 震)	60分	平均 時間
現状	26%	39%	82%	38分
収容密度 5 人/ ㎡	34%	54%	85%	30分
江ノ島線高架 化	32%	83%	98%	20分

江ノ島線を高架化した場合、避難できる場所が増えたため、10 分後の津波避難完了率に改善が見られる。さらに、海水浴客は高架化した線路に避難できるため、避難段階Ⅱの時間を短縮することができ、35 分後現状より 2 倍以上の人が避難できた。また、地域ごとの平均避難時間も大きく短縮された。

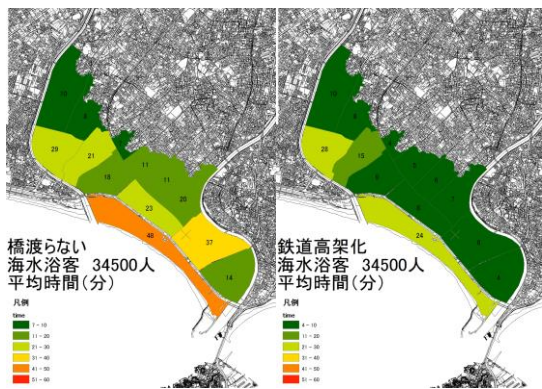


図6 平均避難時間図

6. まとめ

本研究では、津波避難行動をモデル化し、マルチエージェント・シミュレーションにより、低平地かつ津波避難施設が十分ではない場合の津波リスクについて検討した。本研究の成果は以下の通りである。

① 鶴沼・片瀬東浜地区において、海水浴客を考慮した津波リスクの評価をした。また、津波リスク軽減策を提案し、その効果を検証した。

② 低平地かつ不特定多数の海水浴客がいる地域の津波リスクにおいて、まず、防災政策を策定する際に考慮すべき海水浴客の人数の決め方を提案した。

また、津波リスク軽減策として、三つの案を提案し、特に鉄道の高架化は津波避難完了率を大幅に増加することができるため、対象地域のような特性を持つ地域において、将来起こりうる津波災害に備えるために、鉄道の高架化を可能性として提案できることがわかった。

本研究ではシミュレーションを用いて津波リスクを分析している。今後は、現実の津波防災訓練とシミュレーションを結合し、より精度が良い津波リスクの分析方法を提案する必要がある。

注釈：*津波避難ビルの定員は藤沢市観光課からもらった『平成28年6月1日現在津波避難ビル対象物地域別一覧』により設定した。

参考文献

- [1] 檜山貴史, 齊藤拓也, 高点哲, 村尾修: 藤沢市片瀬西浜地区における住民の津波避難ポテンシャルと津波避難ビル利用の効果, 2012年地域安全学会梗概集, No.31, pp.119-122, 2012.
- [2] 関脩大, 村尾修, 杉安和也: 藤沢市片瀬西浜・鶴沼地区における津波避難ビル収容能力を考慮した津波避難計画、地域安全学会論文集 (22-24), 123-132, 2014.
- [3] 地理院地図: 色別標高図 (2016年1月26日閲覧)
<http://maps.gsi.go.jp/#14/35.316806/139.449120>
- [4] 藤沢市: 町丁字別・年齢別人口 (2016年4月1日現在)
<https://www.city.fujisawa.kanagawa.jp/bunsho/shise/toke/jinko/jinko>

/chocho/20160401.html

- [5] 津波避難ビル等に係るガイドライン - 内閣府
www.bousai.go.jp/kohou/oshirase/h17/pdf/guideline.pdf
- [6] 藤沢市 HP: 海水浴客数統計表 (2016年1月26日閲覧)
- [7] <https://www.city.fujisawa.kanagawa.jp/kankou/press/documents/toukei.pdf>
- [8] ジョン・J. フルーイン (著), 長島 正充 (訳): 歩行者の空間—理論とデザイン, 鹿島出版, 1974