

津波常襲地域住民の防災意識に基づく避難場所の配置計画*

—須崎市を対象として—

Planning of Allocation of Evacuation Facilities based on Residents Awareness of Disaster Prevention -A Case Study in Susaki City-*

濱田洋平**・近藤光男***・渡辺公次郎****・竹内光生*****・山口満*****

by Yohei Hamada, Akio Kondo, Kojiro Watanabe, Teruo Takeuchi and Mitsuru Yamaguchi

1. はじめに

平成16年12月26日、インドネシアのスマトラ島沖を震源とするマグニチュード(M)8.9の巨大地震が発生し、沿岸各国に甚大な被害をもたらした。このことにより全世界の人々が大津波の恐ろしさを改めて知ることになった。わが国は、諸外国と比較しても地震が非常に多く、昔から津波による被害を繰り返し被ってきた。特に、南海地震は、過去何度も周期的に発生し、その度に大きな被害をもたらした。南海地震は過去の事例からみても100~150年間隔でマグニチュード(M)8クラスの地震が発生しており、今後半世紀中に大規模地震が発生し、大きな津波被害を受ける可能性がある¹⁾。したがって、早急に津波被災を想定した人的被害を最小限に抑えることができる防災計画を立案する必要がある。また、避難場所を立地する際には、住民の意識を十分把握し、それを反映したものであることが重要であるが、今まであまり考慮されていなかった。

このような背景のもと本研究では、高知県須崎市を対象として、南海地震を含めた大規模災害に関する住民意識、避難行動や避難場所に関する調査を行い、この調査データに基づいて、津波常襲地域の住民の意識や行動に即した避難場所の整備計画を提案することを目的とする。研究の具体的な目的は、以下の3項目にまとめられる。

(1) 地域住民の防災や避難行動に対する意識を明らかにするとともに地理情報システム(GIS)を用いて津波浸入解析および住民の避難行動解析を行い、浸水状況の経時変化や住民の避難行動を統合的かつ視覚的に表現する。

(2) 避難できない人数を予測するとともに、津波襲来時の危険地域も明らかにする。

(3) 選定した危険地域とそこに住む人数を考慮し、公平性を重視した配置モデルを適用し、全ての人が避難できることを前提とした避難場所配置について検討する。

なお、本研究で用いる「避難場所」とは、高台や市が指定している避難場所(市役所・学校・公園・神社・公民館・病院・寺・ホテル等)とする。

2. 従来の研究との関連

(1) 従来の研究

本研究と関連する研究として、災害時を考慮した避難場所の整備および避難行動に関する研究を取り上げ、概観する。

河田ら²⁾は、GISを用いて、津波氾濫予想区域の住民が、津波から避難するための緊急避難場所の選定方法を提案している。その手順は次のようになる。まず、避難場所となる可能性のある候補地をGISで表示する。そして、数値シミュレーションで求められた津波氾濫予想区域に含まれる候補地を取り除けば、そこは避難場所として安全な場所とすることができる。安全を考えて、この津波氾濫予想区域からさらに100mの余裕を取って、その区域に含まれる避難場所は除く。さらに、これらの中から収容人数、避難する場所からの距離などを考慮して、最終的に避難場所を決定している。神谷ら³⁾は、災害時の避難のしやすさを考え、防災空間を近隣レベル、地区レベル、市レベル、広域レベルの4階層に分類し、レベル毎に空間を母点としたボロノイ領域を設定することにより、距離的に問題のある地域を求め、新たな整備の必要性が高い地域を示している。高山ら⁴⁾は、地震火災発生時に被害を最小限に抑えることができるような防災拠点最適配置を考える際に、消防力低下地域を予測するために、消防自動車到着時間を5分と定め、想定される出火地点を中心に半径2kmの円を描き、その中に最低限必要な消防能力を満たしているかにより、消防力低下地域を示している。また、高山ら⁵⁾は、消防署増設により新たに消防力が及ぶ建物件数を最大化する目的関数を用いて、消防署増設位置の最適化を行っている。阪田⁶⁾は、

*キーワード：防災計画、避難場所、津波

** 正会員 修士(工学) 国土交通省四国地方整備局

(高松市福岡町4-26-32 TEL.(087)851-8061)

*** 正会員 工学博士 徳島大学大学院工学研究科エコシステム工学専攻

(徳島市南常三島町2-1 TEL.(088)656-7339)

**** 正会員 博士(工学) 徳島大学大学院工学研究科エコシステム工学専攻

***** 正会員 博士(工学) 高知工業高等専門学校

(高知県南国市物部乙200-1 TEL.(088)864-5587)

***** 正会員 修士(工学) 復建調査設計株式会社

(広島市東区光町2-10-11 TEL.(082)506-1853)

阪神・淡路大震災時には、避難場所と避難者の居住地の位置関係を示した希求線図（利用施設と利用者の居住地を直線で結んだ図）の広がりには違いがあり、施設の日常時の利用者圏が広いほど避難圏も広くなるとして、距離および施設の魅力度を要因とする代表的な選択行動モデルであるハフモデルの適合性を検討している。

次に、避難行動に関しては災害時の避難解析システムを構築し、種々の要因が避難行動に与える影響について検討している研究⁷⁾や、シミュレーションを行い分析している研究等がみられる。シミュレーションを用いて災害時の防災計画について分析を行う研究は従来から様々な方法で行われており⁸⁾、例えば、高橋ら⁹⁾は洪水時浸水領域の時間的変化を考慮し、避難路の選定について検討している。また、石橋ら¹⁰⁾は、津波襲来時における避難者の情報受発信行動に着目した避難モデルを構築し、湘南海岸において避難行動シミュレーションを行っている。その中で避難場所の避難制限を時間的に行うことの有効性も検証している。しかし、避難行動シミュレーションを行う際に、実際の住民人口等に基づいた避難計画について論じた例はあまりみられない。石井ら¹¹⁾の研究では、対象地域において最も近い指定避難所への世帯単位の住民避難計算を行い、計画人数と計算により割り当てられた人数との差について論じている。ただし、用いた避難モデルでは避難所の収容人数は無制限と設定しており、避難所の収容能力を考慮したモデルによる計算も行う必要がある。また、これらの避難行動シミュレーションにおいては広域な範囲で道路ネットワークを利用してシミュレーションを行っているケースはほとんど見られない。堀切ら¹²⁾は、意識調査結果から被災住民の避難行動の発生モデルを構築し、避難行動の有無および避難先の決定に影響を及ぼした要因について検討している。そして、「災害発生初期には自宅付近に避難する傾向がある」、「自宅の被害が大きい人や家族に高齢者がいる住民ほど被災地内にとどまる傾向が見られる」、「家族に乳幼児がいる住民や単身者ほど被災地外に避難する傾向がある」という推定結果を導出している。以上のような研究成果が得られているが、今後は、住民の避難行動を災害発生から時間を追って予測できるモデルを作成することが課題であり、さらにそれを発展させることにより住民の避難行動シミュレーションシステムを構築し、震災直後必要となる避難所の配置や容量、被災地外への避難者の需要量などについて検討を行う必要がある。

（２）本研究の特徴

本研究の特徴の１つ目は、南海地震を含めた大規模災害に関する住民意識、避難行動や避難場所に関する調査を行い、それらの結果を避難行動シミュレーションと避難場所の配置計画に反映させた点である。避難行に関す

る質問の回答では「最も近くの避難場所に向かう」と答えた人が「海と反対の方向にある避難場所に向かう」と答えた人より多く占めた。しかしながら、避難行動シミュレーションを行い避難行動の違いによる避難状況の差を見た結果、「最も近くの避難場所に向かう」場合は避難できない住民が多くなり、現状の住民の意識では危険である状況が示された。また、避難場所配置においては複数のシナリオを与え住民の信頼の高い高台に設置する場合も想定し比較した。なお、避難場所の容量を考慮する場合と容量を考慮しない場合の人的被害の予測については、竹内ら¹³⁾が行っており、その研究成果を発展させた本研究では、避難場所の容量を考慮する場合について検討を行っている。

２つ目は、直線距離ではなく道路ネットワークを利用して避難所要時間をより厳密に算出し、波高の異なる３種類の津波の浸水時間との比較によって評価を行っている点である。本研究で取り上げた対象地域は面積が広い。ため、当然避難場所によって波の到達時間が異なる。したがって、地理条件と避難場所の容量により、避難場所の受け入れ可能範囲にも差が出る。このような波の侵入と避難行動の両方の経時的变化を同時に捉えて評価している研究事例としては片田ら¹⁴⁾、Sugimotoら¹⁵⁾、竹内ら¹³⁾がある。片田らは、GISベースの災害総合シナリオシミュレータを開発し、それを用いた津波リスクコミュニケーションツールを開発している。この研究では各種シナリオ想定を反映した災害情報の伝達から住民の避難状況、津波による人的被害の発生状況を可視化することで、空間的・時系列的に住民の避難行動と情報伝達の関係について分析している。このような成果があるなか、本研究では、「避難場所の容量が一杯になった場合最近隣ではない他の場所に避難せざるをえない」、「道路自体が迂回しているため避難するのに時間がかかる」等の要因により、近くの地域同士でも避難所要時間が全く異なるケースが出てくるため、危険と思われる地域を連続的に表すのではなく、分散した形でより厳密に表現する。このように災害時には予測が困難である要因が多いため、本研究では様々なケースを想定してシミュレーションを行い、避難場所の評価を行っている。

３つ目は、避難場所の配置モデルでは、評価分析で危険地域とそれらの地域に住む住民の人数を明らかにしており、これによって新規立地する避難場所数や規模を無駄なく具体的に設定することが可能となっている点である。また、本研究で用いた方法では広範囲の対象地域の中から、配置候補圏を小さい範囲まで選定することができる。本研究では評価から提案までの一連の流れの中で、このようなメニューの設定が可能となっている。また、避難場所配置の際も種々の制約条件のもと分析を行い、様々なケースでの計画情報を与えていく。

3. 津波常襲地域住民の防災意識調査

(1) アンケート調査の概要

本研究におけるアンケート調査は、高知県須崎市の住民を対象として、平成 15 年 10 月に実施した。アンケート調査では、全世帯数 10,963 世帯から住宅地図により無作為に抽出した 2,500 世帯を対象として直接配布を行い、その後郵送により回収を行った。その結果、回収数は 784 部、回収率は 31.4%と比較的高い数値になっており、須崎市民の地震災害に対する関心の高さが伺える。

(2) 防災意識に関する分析結果

回答者の属性についてみると、回答者の年齢は 50 才以上の回答者が過半数を占めており、年齢が高い人の方が地震や津波もしくは防災に関心を持っていることが感じられる。さらに、そのうち 60 才以上の回答者が半数以上占めており、前回の南海地震が約 60 年前に発生していることを考慮に入れると経験のある人ほど、防災に対する関心が高いと考えられる。また、回答者の 46%が昭和南海地震の経験者であった。

災害時の備えに関してまず、「災害発生時に備えて物資などを準備しているか」について質問した結果、表 1 のように全体で約 7 割以上の人が何も準備していないことがわかった。また、昭和南海地震を経験した人はそうでない人に比べて約 10%多くの人が物資面の準備をしていることがわかる。

次に、「避難行動に関して避難する際にどこに避難するか」について質問した結果、表 2 に示すように全体的にみると、約 81%の人が避難する先を考えている。特に指定避難場所と近くの高台に避難するという人が圧倒的に多く、高い建物に避難すると答えた人はわずか 2.3%であった。

表 1 昭和南海地震経験の有無別による緊急時物資の準備状況 (%)

	昭和南海地震を		全体
	経験した	経験していない	
準備している	29.5	19.7	23.9
準備していない	69.4	80.3	73.0
無回答	1.1	0.0	3.2
合計	100.0	100.0	100.0

表 2 昭和南海地震経験の有無別による避難先 (%)

	昭和南海地震を		全体
	経験した	経験していない	
指定避難場所	37.3	35.9	35.6
近くの高台	38.7	48.1	42.7
高い建物	2.8	2.0	2.3
考えていない	3.6	5.0	4.2
その他	10.6	7.7	8.8
無回答	7.0	1.3	6.4
合計	100.0	100.0	100.0

「避難する時の避難路を想定しているか」という質問に対しては、図 1 に示すように、少なくとも 1 つ避難路を考えている人が全体の 7 割以上を占め、その中の約 3 割の人が避難路を複数考えていると回答した。このことから比較的多くの人が、避難する際の経路を現時点で想定しているといえる。

また、避難経路を「1 つだけ考えている」、「複数考えている」と回答した人に対して、「考えている道は津波が襲来した時に使えるか」という質問をした結果、全体の約 37%の人が「使えない」、「わからない」と回答した(図 2)。よって、津波襲来時に想定避難経路を使用できない可能性があると考えている住民がいることがわかる。

「地震発生からどのくらい時間が経ってから避難を開始し始めるか」について質問したところ、図 3 に示すように、地震発生から 5 分以内に避難すると回答した人が全体の 54%を占めていた。しかし、避難場所までの移動に要する時間を見ると地震発生から 10 分後に避難を始めたのでは十分に避難できるとはいえないことから、現状の意識では、避難時には危険になる人も相当数いると考えられる。地震発生から避難開始するまでの所要時間の平均は 7.27 分となっている。

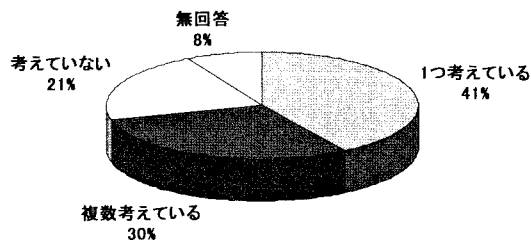


図1 避難する時の避難路を想定しているか

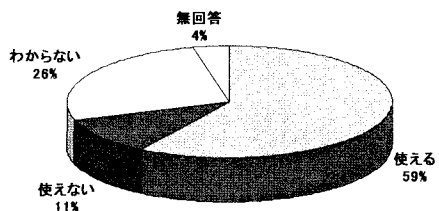


図2 考えている道は津波が襲来した時に使えるか

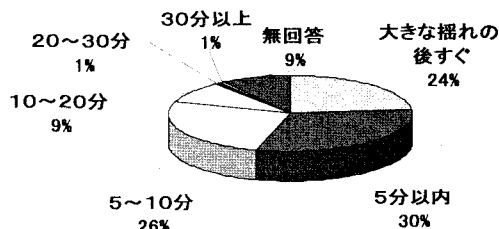


図3 避難開始までの時間

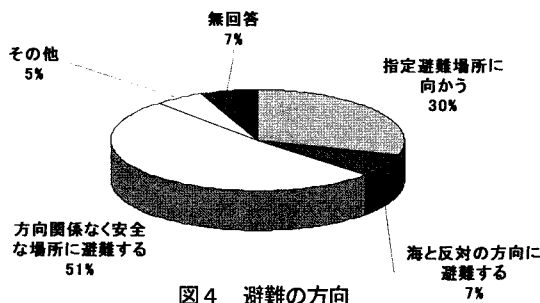


図4 避難の方向

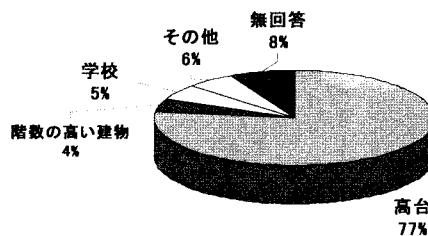


図6 信頼できる避難場所

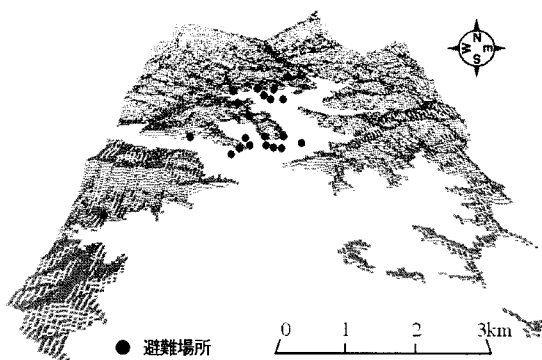


図5 須崎市の津波避難場所

さらに、避難する際どの方向に避難するかについて質問した。質問の際、避難する方向として「指定された避難場所に向かう」、「海と反対方向に向かう」、「一番近い安全な場所（指定避難場所や高台など）に方向に関係無く向かう」というケースをあげた。その結果、図4に示すように、「方向に関係なく安全な場所に避難する」と答えた人が51%を占めており、避難の際には方向は考えないという人が多いことが明らかになった。また、「指定避難場所に向かう」と回答した人は30%となっている。「方向に関係なく安全な場所に避難する」と答えた人の中にも避難場所に避難する人が含まれていると思われるが、それでも避難場所に避難しようとしている人は十分多いとはいえない。また、「海と反対の方向に向かう」と答えた人は全体の約7%であった。このことより、住民は波と反対方向に避難するより、避難する際は目的地を考えながら避難しようという傾向が伺える。図5には須崎市の津波避難場所を示す。

「避難場所として最も信頼できるものは何か」について質問した結果を図6に示す。高台が最も信頼できると回答した人が77%と圧倒的に多いマンションなどの階数の高い建物や学校は、現在、実際に指定避難場所となっているが、住民の信頼は高台ほど高くないといえる。

「津波避難場所に求めることは何か」という質問では、図7をみると自宅から近い場所に避難場所を配置してほしいという回答が最も多かった。これは、住民にとって

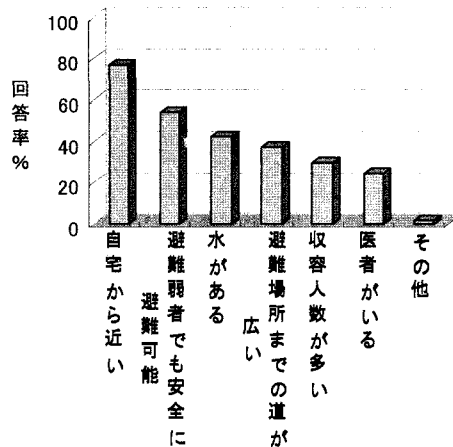


図7 津波避難場所に求めるもの（複数回答）

自宅からの距離が避難場所を評価する際の指標として最も身近なものであるということを表している。

4. シミュレーション分析による現在の避難場所の整備状況評価

避難場所の配置を考えるにあたり、現在の避難場所の整備状況が関連することから、避難場所配置の現状評価をすることは大きな意味を持つ。そこで、地理情報システム（GIS）を用いて浸水シミュレーションと避難場所容量を考慮した避難行動シミュレーション¹⁰⁾を行い、浸水状況の経時的変化や住民行動を推測したものを統合的にシステム化し、それらに基づいて容量を考慮した津波避難場所の評価を行う。浸水シミュレーションでは3m, 6m, 9mの3パターンの津波が襲来した場合を想定して分析を行い¹⁷⁾、住民の避難行動分析では、「方向に関係なく最も近い避難場所に避難する（ケース1）」と「波の侵入方向と反対側にある避難場所に避難する（ケース2）」の2つのケースについて、避難場所の容量を考慮して避難行動シミュレーションを行った。このようなケースを設定した理由は、避難場所の容量を考慮しない場合と考慮する場合の比較については、竹内ら¹²⁾の研究で

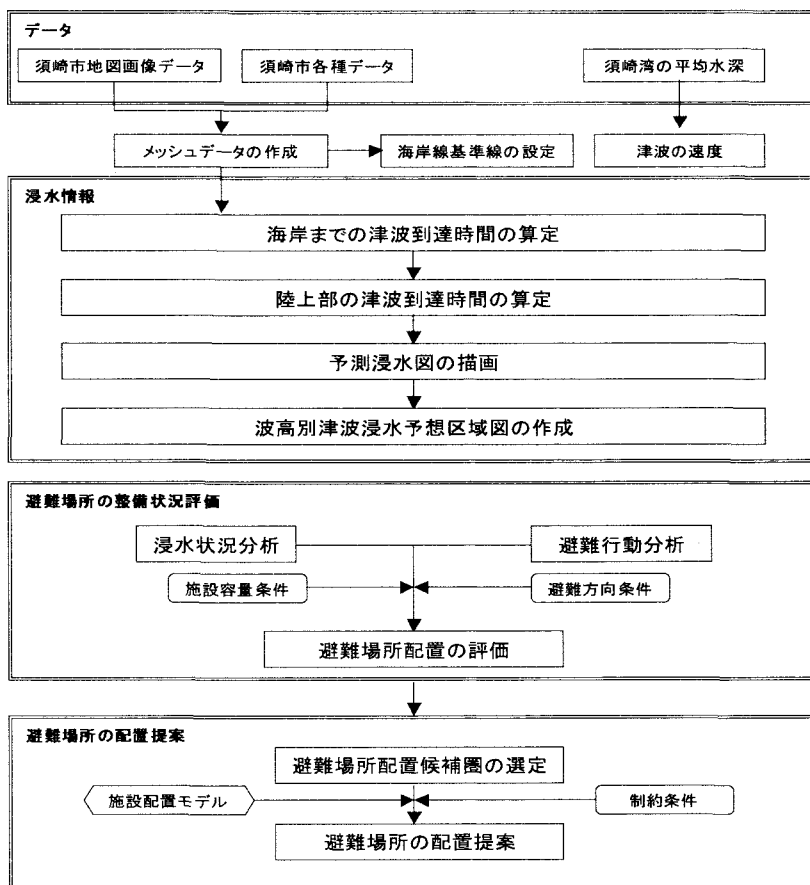


図8 シミュレーション分析のフロー

行われており、その結果として、考慮する場合の現実性、重要性が指摘されているためである。避難開始時間はアンケート意識調査から得られた7.27分後とした。以上のシミュレーションのフローを図8に示す。

本研究では、避難場所の配置評価のための指標として、避難できない人の数を用いる。ここでいう避難できない人とは、津波が避難場所に到達するまでに避難場所にたどり着けない人のことである。よって、避難場所に向か

って移動している途中の道路上で津波が到達した場合は避難できない人として判定される。

図9より、ケース1では津波高さ3mの場合、番号3の避難場所に避難してくる住民で約20%の人が、11、16の避難場所でそれぞれ15%、20%の人が、波が到達するまでに避難できないことがわかる。また、津波高さが6m、9mの場合は、ともに番号3、11、16、17、19の避難場所で約10～30%の人が避難できないということも

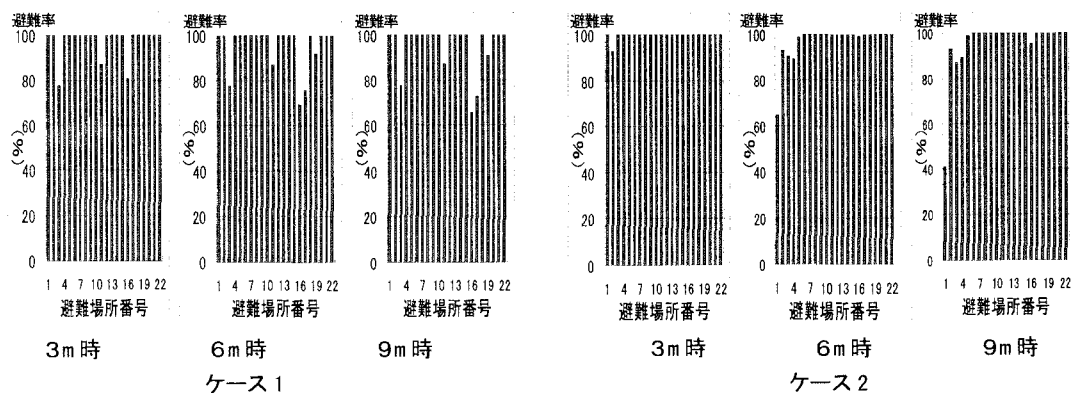
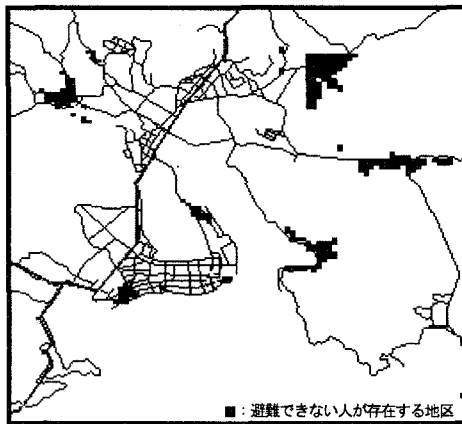
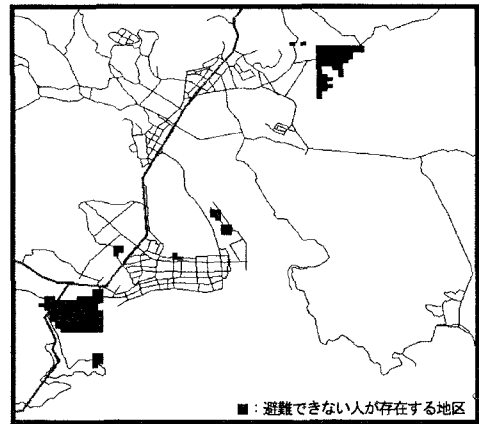


図9 避難できる人の割合(容量を考慮する場合)



ケース 1



ケース 2

図 10 避難できない人が存在する地域（容量を考慮する場合）

表 3 避難行動の違いによる避難できない人数（人）
【容量を考慮する場合】

ケース	津波高さ		
	3m	6m	9m
ケース1: 方向に関係なく最も近い避難場所に避難する場合	747	1032	1158
ケース2: 波の進入方向と反対側にある避難場所に避難する場合	23	425	625

わかる。人数にして津波高さ 3m 時に約 750 人、6m 時に約 1,030 人、9m 時に約 1,160 人の人が避難できないという結果になった。また、ケース 2 では津波高さが 3m の場合、番号 2 の避難場所では約 7%、20 人程度の方が避難できないことがわかった。しかし、津波高さが 6m を超えると番号 1, 2, 3, 4, 5, 16 の避難場所では約 1～35% の人が避難できないという結果になった。避難できない人は津波高さ 6m 時に 425 人、9m 時に 625 人となる。図 10 に津波高さが 9m の時に避難できない人の居住地を示す。さらに、ケース 1、ケース 2 における波高別の避難できない人数を表 3 に示す。

避難場所の容量を考慮して「方向に関係なく最も近い避難場所に避難する」と「波の浸入方向と反対側にある避難場所に避難する」の 2 つのケースについて、避難行動シミュレーションを行い、被害の違いを確認したが、「方向に関係なく最も近い避難場所に避難する」方が 2 倍近く被害が大きくなることがわかった（表 3）。このことより須崎市においては、避難時には「波の浸入方向と反対側にある避難場所に避難する」行動をとる方が好ましいと思われる。しかし、住民のアンケート結果で示したように、「避難する際どの方向に避難するか」という質問に対する回答では、「方向に関係なく安全な場所に避難する」と答えた人が半数以上を占めており、「波と反対の方向に避難する」と回答した人は約 7% と非常に少ない状況であった。このことから現状の住民意識では被害が大きくなることが予想される。被害が大きくなる可能性が高いにも関わらず「方向に関係なく安全な場所に避難する」と考えている人が多いことから、その行動に対

応した避難場所配置を検討する必要があると考え、住民避難行動は「方向に関係なく避難場所に避難する」と仮定して分析を行うことにする。

5. 住民意識を考慮した津波避難場所の配置提案

（1）分析手順と前提条件

まず、本章で取り扱う配置問題について、対象が避難場所ということ観点にして述べる。被害者をゼロにすることを考えている以上、避難場所では容量オーバーは許されないことから、当然避難場所においては容量を考慮した配置計画を行うことが重要であるといえる。

しかし、施設の容量を問題にして考える場合、利用者が必ずしも最近隣施設に配分されるとは限らないという側面を持つ。そこで、本章では全ての人が波の到達より早く避難できるという条件を最優先にして、容量を考慮した避難場所配置を検討する。いわゆる p-center model や p-median model は利用者が距離に対して反応するような避難場所の配置には有効であると考えられる。なお、p-center model とは、ハキミ(Hakimi,S.L.)によって提起された施設配置モデルである。センターとは、すべての移動コストのうち、最も大きいものを最小にする地点のことであり、最大移動コストを最小化することからミニマックス問題とも呼ばれている。また、p-median model は、需要地点と施設立地点との間の総移動コストを最小化するものであり、移動コストとしては地点間の最短距離や最短移動時間などが用いられる。ここで、効率性を重視した場合、需要がより集積している中心地域に施設配置が集中しがちになることから、需要が分散している遠隔地の利用者には不利になる可能性がある。しかし、避難場所の場合、全ての人が助かるためには公平性を配慮することが重要と考え、より公平性を考慮している p-center model が好ましいモデルであるといえる。そこ

で、本章で避難場所配置問題を取り扱うにあたって、他の既存避難場所の位置と容量を考慮した上で p-center model を適用する。Center とは、全ての移動距離のうち最も大きいものを最小にする地点のことである。

手順としては、まず避難場所配置候補圏を選定し、その圏域内で他の既存避難場所との兼ね合いも考えながら p-center model を適用し最大移動距離を最小にする地点を探す。このモデルを適用するにあたり、候補圏内での最大移動距離は必ずしもある住民の居住地点から新規立地点までの移動距離とは限らず、ある住民の居住地点から既存避難場所までの移動距離が最大移動距離になるというケースが発生する。それらのケースも含めて、配置候補圏全体での最も好ましい配置点を選定する。

特筆すべき点として、避難場所の配置数と配置候補圏があげられる。p-center model では配置施設数は外生的に設定しなければならない。本研究においては、これまでに津波襲来時の危険地域とそれらの地域に住む人数が算出されていることから、新規立地する避難場所の数を規模に合わせて具体的に設定することが可能である。また、須崎市という広範囲の地域の中から、新しく避難場所を配置すべき候補圏をかなり小さい範囲まで選定することができ、配置すべき避難場所数の最小値とそれらの規模を無駄なく設定できる。

次に、既存避難場所やその容量を考慮しても津波襲来時に避難できない人が存在しないように、避難場所の好ましい配置について提案を行う。ここで、分析を行う際的前提条件を示す。

①想定津波は津波高さ 9m とする。

②住民の避難行動は住民意識調査結果より「方向に関係なく避難場所に避難する」という行動を仮定する。

なお、避難においては、人命の安全確保が最重要であり、このためにも、避難場所の容量を考慮した上で配置計画を行う。ところで、提案する避難場所の容量に基づく、避難施設の建築物等、施設そのものの整備計画については、そこに滞在すべき避難期間等を考慮して、別途考案すべきである。

(2) 分析シナリオ

上述の前提条件のもと、まず選定した危険地域とそれらの地域に住む人数から避難場所の配置候補圏を選定する。その圏域の中で、他の既存施設の位置や容量などを考慮しながら最大移動距離を最小にする配置候補点を求める。この際に、新規避難場所の立地条件に制約が無いケースだけでなく、「標高が高い地域に配置する場合」、「人が住んでいる地域に配置する場合」といった制約があるシナリオについて配置候補点を提案し、様々なケースを想定した計画情報を与えていく。シナリオについて表 4 に示す。

表 4 避難場所配置のシナリオ

シナリオ1	制約なし
シナリオ2	標高10m以上の地域に立地
シナリオ3	人が住んでいる地域に立地
シナリオ4	標高10m以上で人が住んでいる地域に立地

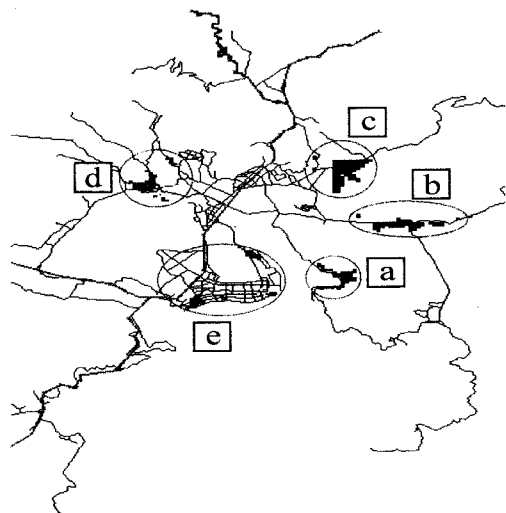


図 11 危険地域

このようなシナリオを設定した理由は、住民のアンケート調査より、避難場所として住民が最も信頼できるものとして高台があげられていることや高台に立地すれば高層の建物を建設する必要がなく建設コストが低くなること、そして避難場所は普段別の用途で使用されている場所がほとんどであることからである。また、避難場所配置に関しては新規立地あるいは規模拡大についても検討していく。図 11 に津波高さ 9m 時に方向に関係なく避難した場合に、避難できない人が出ると想定される危険地域を示す。図 11 からわかるように、大きく分けて a ～ e の 5 つの地域が危険地域として選定されている。例えば、b と c の地域の間の一つ避難場所を立地してどちらの危険地域もカバーするといったことは、住民の移動距離と津波が襲来する時間との兼ね合いの問題上不可能である。これは他の地域同士でも同じようにいえることである。このことから避難場所の配置を考えるに際して、a ～ e の地域別に配置点を検討する必要がある。

(3) 整備計画の検討結果

e 地域でシナリオ 1 制約なしの場合の結果を例にあげる。e 地域については、避難できない人数は 485 人となっており、500 人という比較的大きな規模の避難場所の立地が必要となる。このことから 500 人規模の避難場所を 1 つ立地することにする。なお、配置前の最大移動距離は 1,468m となっている。図 12 に最大移動距離を示す。図 12 からわかるように、最も好ましい配置点は候補圏の真ん中ではなく、既存避難場所の位置と容量が大きく

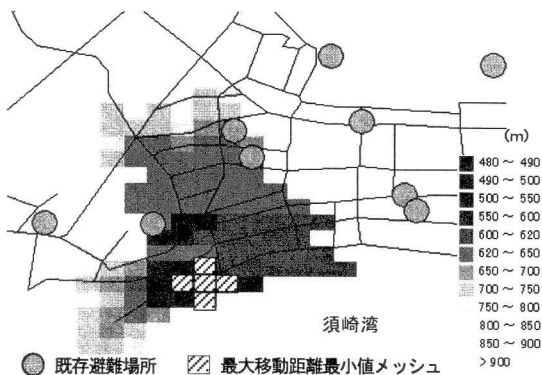


図12 最大移動距離 (シナリオ1 e 地域)

影響して候補圏下部に好ましい配置場所が集中している。最大移動距離が最小となる場所は5つ同値で存在し、それらの場所のいずれかに立地することが好ましいといえるが、どれも海岸近くの地域における最大移動距離の最小値は480mとなり、既存の避難場所に対する最大移動距離は3分の1程度まで短縮される。

なお、シナリオ2、シナリオ3、シナリオ4についての検討結果は次のようであった。シナリオ2の配置候補圏を標高10m以上に限定した場合、候補点はほとんどなくなってしまう。これは対象地域の須崎地区が人口の多い地区で標高が低い平野部であることが影響している。最大移動距離の最小値は621mとなった。なお着目する点は、既存避難場所とごく近い位置が最も好ましい配置点となっていることであるが、シナリオ2の制約で考えるのであれば、規模拡大することが好ましいといえよう。次に、シナリオ3の人が住んでいる地域に配置する場合では、かなりの地域に人がいるため、このように人口の多い地域ではシナリオ3が考えやすい。最大移動コストの最小値はシナリオ1の場合と同じである。シナリオ4の標高10m以上で人が住んでいる地域に立地した場合、配置候補点がわずか2地点しかなくなってしまう。その結果、最大移動コストはシナリオ2と同値となった。

分析は危険地域と選定されている5つの地域においてそれぞれ配置点を検討した。その結果、シナリオ別の最も好ましい配置点を提案しただけでなく、次のような点が明らかになった。

(a) 避難場所を新たに配置する場合、既存避難場所の位置と容量が大きな影響を与えることが明らかになった。また、既存避難場所と最も好ましい新規立地配置点の位置関係から生じる、新規立地より規模拡大したほうが好ましいと考えられるケースがあることがわかった。

(b) 住民が望むような高台に避難場所を立地した場合、必ずしも好ましい配置となると限らず、高台に配置することで最大移動距離が大きくなってしまいうケースが多々みられた。

(c) また、シナリオ別に避難場所配置について提案したが、制約として人が住んでいる地域や標高が高い地域を設定しても、最大移動距離の最小値は制約が無い時と同じであり、シナリオの違いによる変化がみられないケースがあった。しかしながら、最大移動距離が最小値を示す場所が現実には避難場所を配置できる場所とは限らず、場合を分けてそれぞれレンジ幅で最大移動距離を示すことは施設の立地主体者に計画情報を与えるという点からも十分に意味のあることといえよう。

6. おわりに

本研究では、高知県須崎市を対象として津波常襲地域の住民の意識や行動を把握し、それらを反映した避難場所の整備計画を提案することを目的とし研究を遂行した。その結果、得られた成果を以下にまとめる。

(1) 避難行動に関する質問の回答では「方向に関係なく最も近い避難場所に避難する」と答えた人が「海と反対の方向にある避難場所に向かう」と答えた人より多く占めた。このことから、2つのケースの避難行動シミュレーションを行い避難行動の違いによる避難状況の差を見た結果、「方向に関係なく最も近い避難場所に避難する」場合は避難できない住民が多くなり、現状の住民の意識では危険である状況が示された。

(2) 道路ネットワークを利用して避難所要時間をより厳密に算出し、波高の異なる3種類の津波の浸水時間との比較によって、避難できない人数を予測するとともに、津波襲来時の危険地域も明らかにした。

(3) 避難場所の配置モデルでは、公平性を考慮している p-center model を他の既存避難場所の位置と容量を考慮した上で適用した。その際、本研究では評価分析で危険地域とそれらの地域に住む人数が明らかになっているため、避難場所の配置候補圏の絞込みが可能であり、配置すべき避難場所数の最小値とそれらの規模を無駄なく設定できることをあげた。さらに、種々の制約条件のもと分析を行い、最も好ましい配置点を計画情報として与えた。なお、本研究は論文の副題に示した通り、須崎市における分析事例であり、用いた手法は他の地域にも適用可能であるが、分析結果として得られた知見は須崎市に限定されるものである。

今後は本研究で示したように複数のシナリオによる分析結果をふまえて、建設コストや現地における配置可能場所などを考慮し、条件に合う立地点に避難場所を配置すれば、人的被害を最小限に抑えることが可能であると考えられる。この成果を地域住民へ情報提供し、防災への意識向上を促すことにより、住民独自の自主的な防災計画づくりへ役立てていく手助けになれば幸いである。

参考文献

- 1) 村上仁士, 他: 南海・チリ地震津波録—海からの警告—, 高知県須崎市, 1995
- 2) 河田恵昭, 小池信昭: 津波災害のハザードマップについて, 京都大学防災研究所年報, No.40, B-2, pp.75-92, 1997.
- 3) 神谷大介, 萩原良巳: 都市域の自然的空間利用における心理的要因と整備内容に関する研究, 土木計画学研究・論文集, Vol.18 no2, pp.267-273, 2001.
- 4) 高山純一, 木村裕蔵: 大震時同時多発型火災を対象とした消防防災拠点の最適配置に関する研究, 土木計画学研究・講演集 Vol.19(2), pp.51-54, 1996.
- 5) 高山純一, 黒田昌生: 火災出火地点への消防車の走行時間信頼性からみた消防力評価に関する研究, 日本都市計画学会論文集, Vol.34, pp.709-714, 1999.
- 6) 阪田弘一: 震災時における避難者数推移および避難所選択行動の特性—地域防災計画における避難所の計画に関する研究—, 日本建築学会計画系論文集 No.537, pp.141-147, 2000.
- 7) 館健一郎, 武富一秀, 吉谷純一: G I Sを用いた洪水時の避難解析システムの開発, 第 56 回土木学会年次学術講演会概要集 第 2 部(CD-ROM), 2001.
- 8) 高橋琢馬, 椎葉充晴, 堀智晴: 水害避難行動のミクロモデルシミュレーションと制御に関する研究, 土木学会論文集 No.509/II-30, pp.15-25, 1995.
- 9) 高橋保, 中川一, 東山基: 洪水氾濫水の動態を考慮した避難システムの評価に関する研究, 京都大学防災研究所年報, 第 32 号 B-2, pp.1-24, 1989.
- 10) 石橋健一, 藤岡正樹: エージェントモデルによる災害時避難行動シミュレーションの試み—湘南海岸における事例—, オペレーションズリサーチ 2002 年 7 月号, pp.447-452, 2002.
- 11) 石井秀樹, K・クマール, 小泉栄一, 石橋晃睦: 災害時の避難所と避難経路の評価手法に関する研究(1)—GISデータベースの構築と避難場所配置の基礎的検討—, 土木学会 51 回年次学術講演会, pp.320-321, 1996.
- 12) 堀切真美, 小谷通泰: 阪神・淡路大震災後における住民の避難行動に関する分析, 土木計画学研究・論文集No.17, pp.819-826, 2000.
- 13) 竹内光生, 近藤光男, 山口満, 濱田洋平: 容量を考慮した津波避難場所の評価に関する実証分析—須崎市を対象として—, 土木計画学研究・論文集, Vol.20 no.2, p.345-354, 2003.
- 14) 片田敏孝, 桑沢敬行: 災害総合シナリオシミュレータを用いた津波リスクコミュニケーションツールの開発, 土木計画学研究講演集 CD-ROM Vol.29, 2004.
- 15) T.Sugimoto, H.Murakami, Y.Kozuki, K.Nishikawa, T.Shimada: A Human Damage Prediction Method for Tsunami Disasters Incorporating Evacuation Activities, Natural Hazards 29, Kluwer Academic Publishers, pp.585-600, 2003.
- 16) 建設省国土地理院・地図管理部: 国土数値情報の概要, 1980.
- 17) 榎本亨, 出口一郎: 新編海岸工学, 共立出版株式会社, pp.64-67, 1998.

津波常襲地域住民の防災意識に基づく避難場所の配置計画—須崎市を対象として—

濱田洋平, 近藤光男, 渡辺公次郎, 竹内光生, 山口満

本研究では, 住民を対象としてアンケート調査を実施し, その結果を考慮した避難行動シミュレーションや避難場所配置計画を行った。具体的には, まず, 3 種類の津波を想定して津波浸水シミュレーションと異なる 2 つの避難行動シミュレーションを行い, 避難できない人数を予測するとともに, 津波襲来時の危険地域を明らかにした。そして, 選定した危険地域とそこに住む人数を考慮し, 全ての人が避難できることを前提とした公平性を重視した配置モデルを適用し避難場所配置について検討した。

Planning of Allocation of Evacuation Facilities based on Residents Awareness of Disaster Prevention - A Case Study in Susaki City -

By Yohei Hamada, Akio Kondo, Kojiro Watanabe, Teruo Takeuchi and Mitsuru Yamaguchi

The purpose of this study is to propose the planning method for the allocation of the Tsunami evacuation facilities. The study area is Susaki city in Kochi prefecture. Firstly, the questionnaire for the resident is carried out to get residents awareness for disaster prevention. From the results of the Tsunami flooding simulation and the evacuation action simulation, the flooding area in Susaki and the number of population which could not evacuate are estimated. Next, we developed the facility location model considered the selected flooding area and the residents on the area. This model assumed to be able to evacuate all residents.