

容量を考慮した津波避難場所の評価に関する実証分析*

ー須崎市を対象としてー

Empirical Analysis on Evaluation of Refuge Facilities from Tsunami in Consideration of the Capacity -A Case Study in Susaki City -

竹内光生**, 近藤光男***, 山口 満****, 濱田洋平*****

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

1. はじめに

わが国は、諸外国と比較しても地震が非常に多く、昔から津波被害を繰り返し被ってきた。特に、南海道地震は、過去何度も周期的に発生し、その度に大きな被害を被ってきた。南海道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8クラスの地震が発生しており、最近では昭和21年に発生していることから、四国東南岸はあと半世紀中に大規模地震が発生することによる津波被害を被る可能性がある¹⁾。また、昨年末に中央防災会議の専門調査会が発表した被害想定結果が各自治体の従来の想定を大きく上回ることから、現在の避難場所整備状況では予想外の被害を被る可能性があり、早急に相当規模の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避難場所の整備を行う必要がある。

本研究は、竹内らによる研究²⁾における津波浸入解析の改良および住民の避難行動解析について実際の道路を利用する等改良を施した上で、新たに避難場所容量を考慮し、高知県須崎市において現在の防波堤や沿岸防災施設だけでは防ぎきれない最悪のケースを想定して地理情報システム(GIS)を用いながら、浸水状況の経時的変化や住民の避難行動を推測したものを統合的かつ視覚的に管理し、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ことを目的としている。

避難行動については、地震発生時は道路や建物の損壊により車等の移動手段が使用できない可能性が高く、また車を利用できたとしても1993年の北海道南西沖地震で自動車で避難した住民が犠牲となった例もあることから徒歩により避難することとし、方向に関係なく最も近くの避難場所に避難したケースと、津波の浸入方向と反対に避難したケースの2ケースについて考察する。ま

た避難場所の容量についても容量を考えないケースと、避難場所の実際のキャパシティを考えるケースの2ケースについて考察する。分析においては、津波発生時の各地の浸水までの時間、全住民の避難所要時間を予測するとともに、避難場所に避難できれば助かるという仮定のもと、人的被害を最小限に抑える避難場所配置を考える際に重要な参考基準となるであろう現在の避難場所の整備状況の評価を行う。

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、災害時の避難場所整備の選定に関する研究、避難行動について触れている研究を取り上げ、概観する。

まず、災害時における防災施設の整備場所の決定に関して、神谷ら³⁾は災害時の避難しやすさを考えた上で距離は重要な要因と捉え、防災空間を規模により「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(最も近い空間を利用すると仮定した時の利用圏)を設定することにより、距離的に問題のある地域を示している。その視点において新たな整備の必要性が高い地域を説明している。また、高山・木村の研究⁴⁾では、災害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、消防力が低下している地域を示している。これらは防災施設や所定の場所等、ある点を基準とした距離的カバレッジ領域を示したものとと言える。

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⁵⁾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⁶⁾、例えば高橋ら⁷⁾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

*キーワード: 防災計画, 避難場所

** 正会員 工修 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 工博 徳島大学大学院工学研究科エコシステム工学専攻
(徳島市南常三町2-1 TEL. (088) 656-7339)

**** 学生員 徳島大学大学院工学研究科エコシステム工学専攻

***** 学生員 徳島大学大学院工学研究科エコシステム工学専攻

している。また、石橋ら⁸⁾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の構築を行い、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、実際の住民人口等を元に避難計画について論じた例はあまりみられない。石井らの研究⁹⁾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としている。これらの避難行動シミュレーションで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。

(2) 本研究の特徴

このような関連研究がある中で、本研究では、いつ発生するともわからない南海地震に向けて、津波による被災者が出ないような避難場所の整備が急務であり、整備状況の現状評価が避難場所の最適配置を考える際には重要であるという認識のもと、高知県須崎市という比較的広域な範囲を対象とし、現在の避難場所の整備状況評価を行うことを目的としている。

本研究では、避難行動分析において実際の人口分布を把握した上で、災害時の避難行動は心理的にも予測困難であるという観点より、2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みている。また、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ており、規模予測が困難である津波について異なる規模の3つのケースを想定し、避難行動との時間的比較により避難解析を行っている。また、容量についても施設配置問題では施設容量を考慮することは困難であるとされているが、石井⁹⁾が指摘しているように避難場所の容量を考慮することが必要という認識をもち、実際に避難場所の有する容量を考慮して容量を超えてしまってから避難してくる人は、別の避難場所に避難するといった解析も試みた。

本研究の解析では「避難場所の容量が一杯になったので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は連続的に表されることはなく、分散した形でより厳密に表現される。

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. 浸水状況の分析

本研究では、津波襲来時の浸水状況を予測するにあたり、GISを用いて津波高さの違う3種類の津波について浸水シミュレーションを行い、浸水領域やそれらの地域に住む住民の人口を求める。これはあくまでも一例であり、実際はこれを上回る浸水被害が起こる可能性もある。

(1) 前提条件

(a) 対象地域を50mメッシュに分けて計測を行う。各メッシュに標高、人口等の諸条件を属性として与えることにより、より細かい計算を行う。

(b) 地震発生の際、破損等により所要の防災機能を発揮できない可能性があるため、沿岸防災施設は無いものと仮定する。

(c) 津波高さに等しい地盤高を持つ地域まで浸水すると考えるレベル湛水法を用いて浸水状況、被災人口等を算出する。

(2) 波の到達関数モデル

(a) 津波の速度

津波の速度 v を $\sqrt{gh}$ により算出した。ここに、 g は重力加速度 9.8m/sec^2 で h は水深(m)である。なお、本研究で h は須崎湾の水深を平均水深30mで一定であると仮定する。

(b) 津波の到達関数

本研究では、簡便化のため津波の到達関数を以下のよう設定する。

津波の到達時間 = f (津波高さ、メッシュの標高、重力加速度)

(c) 海岸線

須崎港は奥行きが深い港になっており、海岸に波が到達する時間に時間差が生じる。海岸線に沿って位置しているメッシュを海岸と仮定し、海岸線に到達する津波の時間差を求める。

(d) 対象地域への津波の到達

対象地域の最南端に基準線を設定し、地震発生から基準線に波が到達するまでの時間を従来の分析データ等を参考に20分として計算する¹⁰⁾。

(e) 津波の最大高さ

津波高さは須崎湾の幅によって変化するとした。須崎港内の津波の最大高さが3m、6m、9mとし、グリーンの法則¹¹⁾を用い須崎港に入るまでの津波高さがそれぞれ2.37m、4.74m、7.11mの3パターンの津波について浸水シミュレーションを行う。

(f) 陸上に浸入する津波

特に、先述の竹内らの研究からの改良点として、各海岸線からの計算は、水は標高が津波高さより高い地域を

迂回して浸水していくことにする。波の移動速度は(a)の津波の速度を用い、標高の変化によって水深を随時変化させてメッシュ単位で計算を行う。

(3) 浸水シミュレーション結果

浸水シミュレーションの結果より、津波高さが9mの時に波が到達すると考えられる避難場所の位置を図-1に示す。全22避難場所の中で、波が到達する避難場所を■点で表し、波の到達しない避難場所を●点で表す。Aの須崎地域、Bの多ノ郷地域が人口の多い地域となっており、避難場所も多く設定されている。しかし、両地域とも標高が低いため多くの避難場所に波が到達することがわかる。ここで、波が到達する避難場所は全て高い階数を持つ建物である。このような建物は収容人数を設定する際に、浸水しない階のみ考慮して設定している。

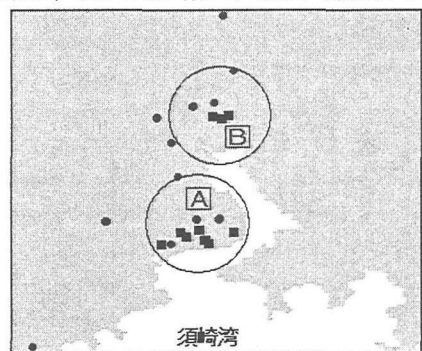


図-1 津波が到達する避難場所

次に津波高さ別の地震発生から避難場所に波が到達するまでの時間を図-2に示す。グラフで棒が立っていない避難場所は波が到達しないことを意味する。図-2から津波高さの違いにより波が到達する避難場所の数に違いが見られる。また、同じ避難場所に波が到達するまでの時間に多少の差は出るが大きな差は見られないこともわかる。

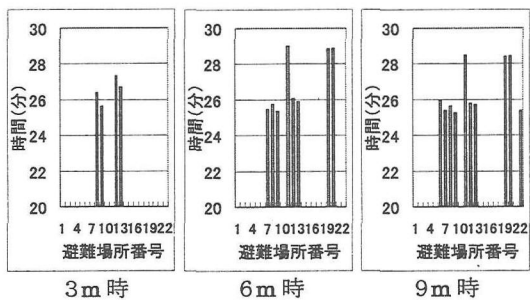


図-2 避難場所に津波が到達するまでの時間

浸水シミュレーションの結果を津波高さ別に比較するため、浸水面積等を表-1にまとめる。表-1からも、津波高さの違いにより浸水領域等に大きな相違が生じる

表-1 津波高さ別の浸水状況

津波高さ	3m	6m	9m
浸水面積(km ²)	2.33	5.33	7.76
浸水地域に住む人数(人)	4,639	8,249	11,552
波が到達する施設数	4	8	10
地震発生から津波が到達するまでの時間(分)	25~28	25~30	25~29

ことが明らかになった。しかし、波の到達時間には大きな差が出ないと予測されるので地震発生時には規模に関係なく即座に避難を開始することが肝要であると言える。

4. 避難行動分析の手順

避難行動の分析を行うにあたり本研究では、道路ネットワークを利用した避難行動シミュレーションを行う。シミュレーションを行う際、避難行動の違いによる人的被害の相違を確認するために、異なる2つのケースについて行う。いずれのケースも標高が12m以下の地域の住民のみ避難することとする。

- Case 1 方向に関係なく最も近い避難場所に避難する
- Case 2 波が浸入してくる方向と反対の方向にある避難場所で最も近い場所に避難する

(1) 前提条件

- (a) 浸水シミュレーションと同様に、対象地域を50mメッシュに分けて計測を行う。
- (b) 住民は道路ネットワークを利用して最も近い距離にある避難場所に避難する。
- (c) Case 2において波の浸入方向の反対方向に避難場所が無い場合、同方向の十分標高が高い地域(標高12m以上の場所)に避難する。これはCase 2では「波の浸入方向と反対側に逃げる」という仮定が制約となり波の浸入方向に向かうという行動をとることができないため、居住地によっては避難方向に避難場所が無いというケースがでてしまうことを考慮した前提条件である。
- (d) 地震発生直後に避難を開始する。

(2) 最短経路距離

避難経路の算出はメッシュの中心点から最も近いノードまでの距離を測定、そのノードから道路ネットワークを利用して全ての避難避難場所までの距離を算出し、最も値の小さい避難場所を最近隣避難場所とする。この計算を、全てのメッシュに関して行った。

(3) 避難人口の算出

避難人口を算出するにあたり、地震発生時は車等の移動手段は使えない可能性があることと、高齢者も避難可

能な速度を想定するため、人の移動速度は時速3km(50m/分)とした。また、避難人口はメッシュ単位で避難場所までの所要時間を計測した後に、各メッシュに与えられた人口を避難人口として求める。

5. 容量を考慮しない避難場所の整備状況評価

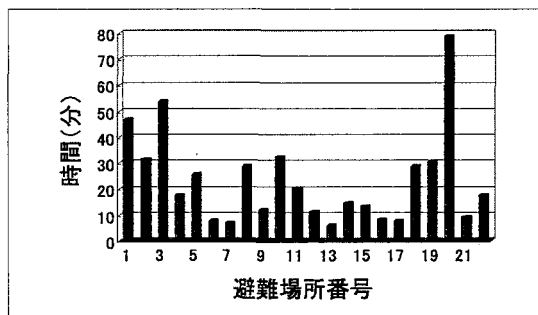
(1) 避難に要する時間

先述の前提条件下で避難場所の容量を考慮せず避難行動シミュレーションを行った結果を図-3と図-4に示す。図-3の結果より Case 1 の場合、対象住民全員が避難できるまでに30分以上要する避難場所が5箇所にも上る。対して Case 2 の場合、避難対象者全員が避難できるまでに30分以上要する避難場所は4。(1) (c)

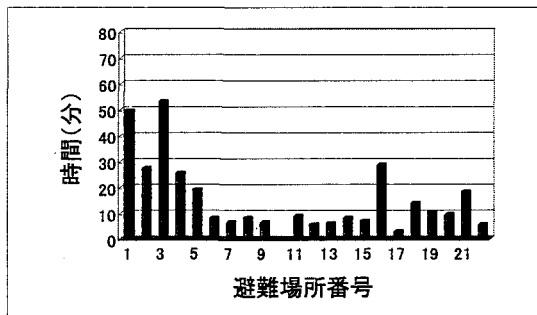
の条件が関係して2箇所にとどまり、全体的に所要時間は少ないと言える。ただ、Case 1、Case 2ともに避難場所によって避難所要時間にばらつきがみられる。また、図-4の結果からは、Case 1、Case 2ともに対象地域の多くの人が10分以内に避難できるが30分後に最近隣避難場所に避難できていない人も少なからず存在するということがわかる。地震発生から20分後には津波は海岸線基準線に到達していると考えられることから、このような避難場所の整備状況では危険な状況であると言える。

(2) 各避難場所に避難してくる人数

図-5に最近隣避難場所に避難した結果、各避難場所に避難してくる人口を示す。図-5より、Case 1 では避

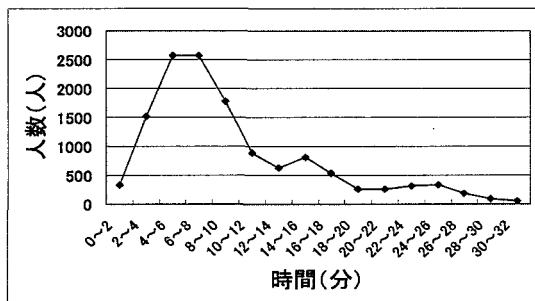


Case 1

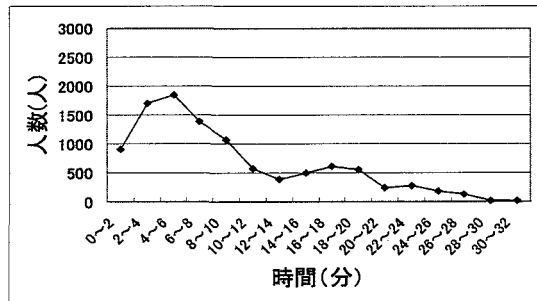


Case 2

図-3 各避難場所に全員避難するのに要する時間

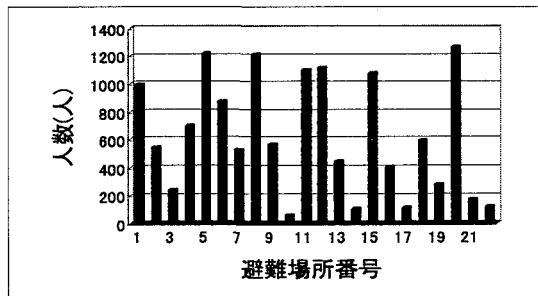


Case 1

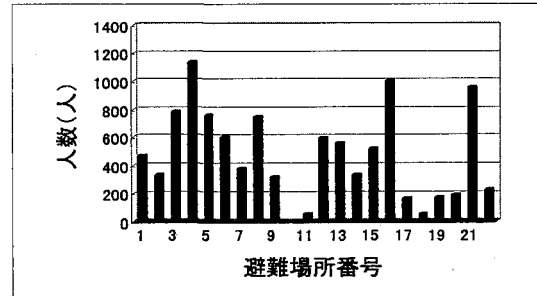


Case 2

図-4 避難場所への避難に要する時間の分布



Case 1



Case 2

図-5 各避難場所に避難してくる人数

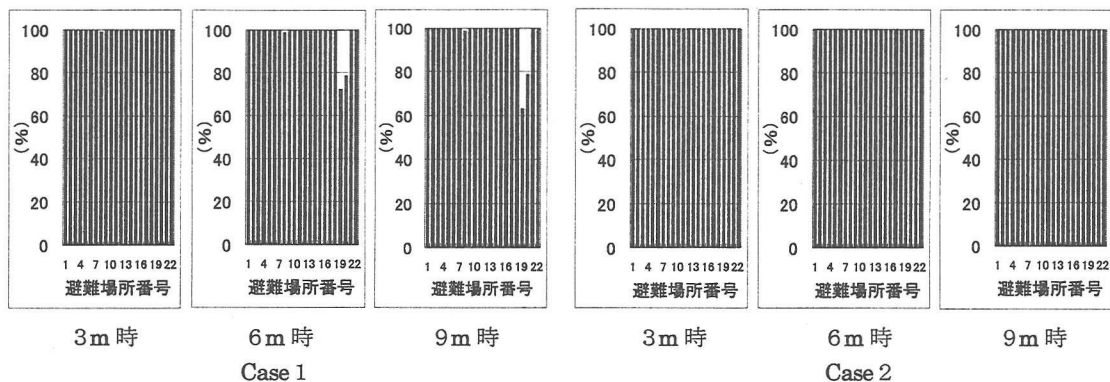


図-6 避難できる人の割合(容量を考慮しない場合)

避難してくる人数が1,000人以上になる避難場所が6箇所にも上ることがわかる。逆に避難してくる人数が200人以下という避難場所も5箇所存在する。それに対して Case 2では1,000人以上になる避難場所は1箇所のみであり、200人以下の避難場所は7箇所となっている。避難する方向の違いにより各避難場所に避難してくる人数に大きな差がみられ、Case 2では4. (1) (c)の条件が関係して標高の十分高い安全地域に避難する人が出てくるため、避難場所に避難する人数が少なくなるという結果になっている。

Case 1, Case 2に共通して言えることは、避難場所に避難してくる避難人数には大きなばらつきがみられることである。避難人数が1つの避難場所に集中すると容量の問題はもちろんのこと、避難場所近くの道路等が過密状態になってしまい、避難に予想以上の時間がかかってしまう恐れがあるので、避難してくる人数があまりに多くなってしまうのは危険な状況であると言える。

(3)浸水状況と避難状況の比較

本研究では、津波の浸水状況と避難場所への住民避難状況の時間的比較により、避難場所への波の到達より早く避難できれば助かるという観点から現在の避難場所の整備状況の評価を行う。その際、津波高さ別の3種の津波について比較評価を行い、それらの結果より現状評価を行う。本章では、避難場所の容量を考慮に入れてないので避難してきた人は全員避難場所に入れるという前提のもとで考える。図-6に各避難場所に波が到達するまでに避難できる人の割合を津波高さ別に示す。

図-6より、Case 1の場合、津波高さが3mの時には番号8の避難場所です約1%、人数にして10名程度とごくわずかではあるが避難場所に波が到達するまでに避難できない人が存在する。それに対して津波高さが6mの時には番号8, 19, 20の避難場所ですそれぞれ約1%, 20%, 30%の人が避難できず、津波高さが9mの時にも同じく番号8, 19, 20の避難場所ですそれぞれ約

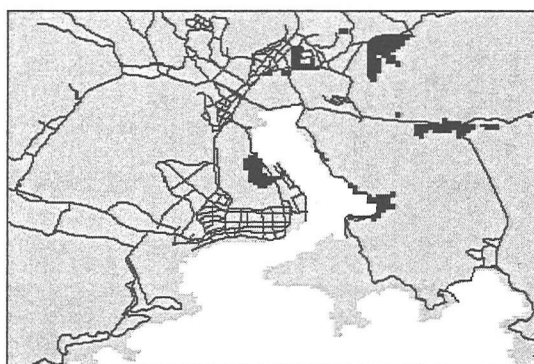


図-7 避難できない人が存在する地域

1%, 20%, 40%の人が避難できないということがわかる。避難できない人数は津波高さ6mの時に約370人、津波高さ9mの時には約390人である。Case 2では、津波高さが9m以下であるという条件下なら避難場所に波が到達するまでに全ての人が避難できることが明らかとなった。

図-7に Case 1の津波高さ9m時に避難できなかった人はどの地域の住民であるかを示す。

ここまですとまとめると次のことが言える。

- ①方向に関係なく最近隣避難場所に避難した場合 (Case1), 津波高さ3mの時にもごく少数 (図-6, Case1の3m時, 番号8) であるが避難場所に波が到達するまでに避難できない人が存在し、津波高さが6mを超えると計400人弱の人が避難できない。
- ②波が浸入してくる方向と反対の方向にある最近隣避難場所に避難する場合 (Case 2), 襲来する津波高さが9m以下なら迅速に避難を行えば人の被害は出ないと考えられる。
- ③ただし、これらのことは避難場所の容量を考慮していない。図-5に示したように最近隣避難場所に避難した場合、各避難場所に避難してくる人数に大きなばらつきがみられ、避難人数が非常に多い避難場所もいく

つか存在することから、これらの避難人数を十分に収容できる規模の避難場所が整備されていなければ、本章で述べた結果を想定することができない。

6. 容量を考慮した避難場所の整備状況評価

前章で述べたように、各避難場所に避難してくる人数に大きなばらつきがみられることから、本章では避難場所に容量を超えた人数が避難していないか、さらには容量を超えて避難してきた場合どのような影響がみられるかについて分析する。

分析の際、避難場所の実際の収容人数を考慮して前章の結果と比較しながら避難場所の整備状況の評価分析を行う。

(1) 避難所データ

避難場所は須崎市が発行している避難所マップに記されている避難場所22箇所とした。避難場所は十分な標高の高台や十分な階数を持つ建物が指定されている。表-2に避難場所の分類と各避難場所の収容人数を示す。

収容人数は各避難場所の敷地面積や建物階数、建物面積、避難場所が立地している場所の標高、普段の用途等を考慮し一時的な避難を前提とした広さを確保するように設定しており、それゆえ容量オーバーは重大な問題となる。また、避難場所番号16番の避難場所は城山であるが、須崎市が城山には制限なく避難できるとしているため収容人数を設定していない。

(2) 容量を越える避難人数

第4章で述べた条件下で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う。図-8に住民が最近隣避難場所に避難した場合、容量に対する避難してくる人数について示す。図-8からわかるように最近隣避難場所に避難する場合、Case 1では8箇所の避難場所で容量をオーバーする。Case 2では6箇所で容量をオーバーするが、番号10の避難場所は最近隣避難場所として避

難してくる人が存在しない。また、避難する方向の違いにより容量をオーバーする避難場所も大きく異なることもわかる。Case 1, Case 2に共通して言えることは避難場所の容量に対して避難人数が適正に分配されないということである。容量を500人以上超える避難場所もあるというアンバランスが生じている。

(3) 避難に要する時間

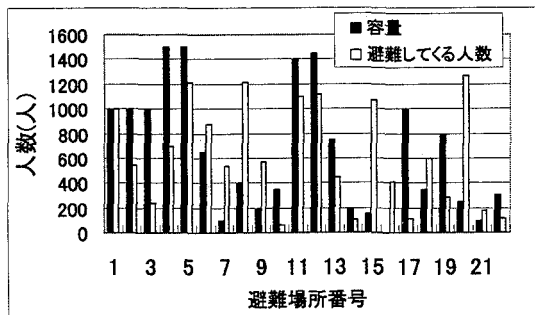
本章のシミュレーションの条件は次の3点である。

- ①最近隣避難場所に避難する人数が容量を越える場合、その避難場所に早く到達した人から収容していく。
- ②容量が一杯になった以降に避難してくる人はその避難場所を経由して次に近い避難場所に避難するより、初めから2番目に近い避難場所に避難した方がより短い時間で移動できるため、容量が一杯になった避難場所から近い所に避難するのではなく、あらかじめその人のスタート地点から2番目に近い避難場所へ避難する。
- ③2番目に近い避難場所も容量が一杯なら以降3番目、4番目に近い避難場所に探し、容量に余裕のある避難場所に避難する。

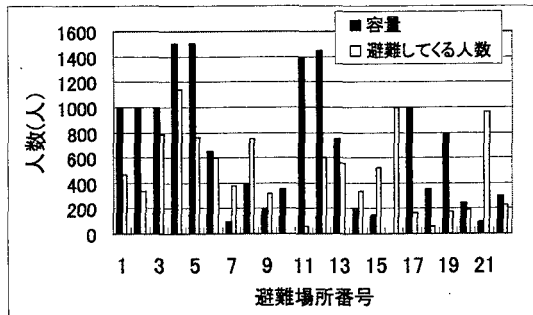
この条件下で避難行動シミュレーションを行った結果を図-9、図-10に示す。

表-2 避難場所の種類と収容人数

種類	避難場所番号	収容人数(人)	種類	避難場所番号	収容人数(人)
学校	1	1000	公民館	10	350
	2	1000		11	1400
	3	1000		12	1450
	4	1500		13	750
市役所・庁舎	5	1500	山(高台)	15	150
	6	650		16	-
	7	100		17	1000
市民センター	8	400	その他(ホテル・マンション等)	18	350
	9	200		19	800
公園・神社	14	200		20	250
	21	100	22	300	

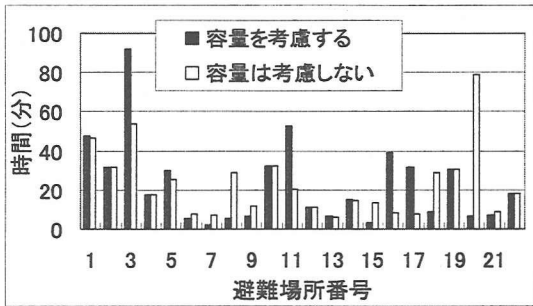


Case 1

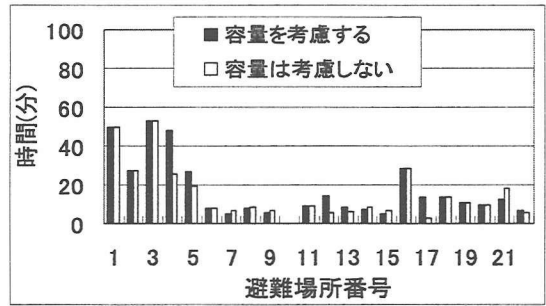


Case 2

図-8 最近隣に避難した場合の容量に対する避難人数

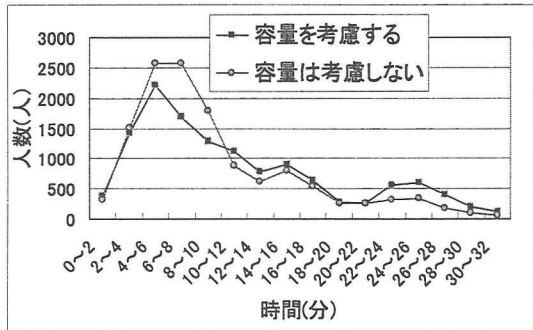


Case 1

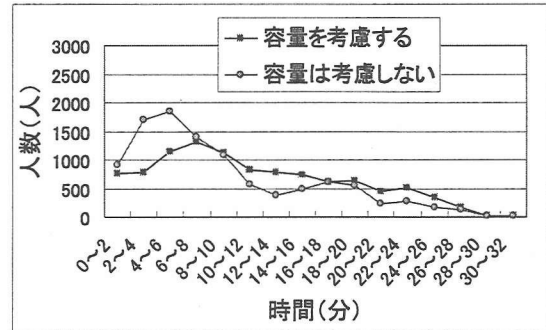


Case 2

図－9 各避難場所に全員避難するのに要する時間の比較

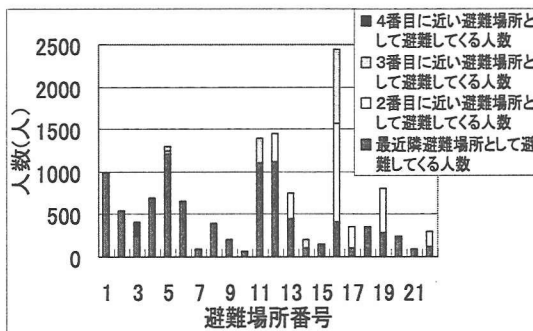


Case 1

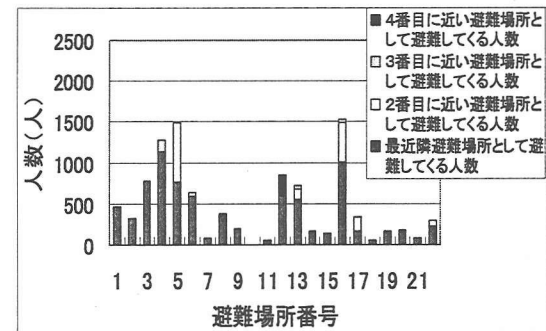


Case 2

図－10 避難場所への避難に要する時間分布の比較



Case 1



Case 2

図－11 各避難場所に避難してくる人数

と Case 2 を比べてみると、Case 1 では容量を考慮する場合としない場合では避難に要する時間に大きな差が生じるが、Case 2 では容量を考慮しても避難に要する時間に大きな差が生じないことがわかる。

次に図－10 では避難場所への避難に要する時間の分布をみている。Case 1、Case 2 に共通して言えることは容量を考慮していない場合、避難開始から10分以内に避難できる人が集中し、その後急激に避難人数が減っていくのに対して、容量を考慮した場合は考慮しない場合と比べて比較的緩やかな線を描き、避難開始から10分後過ぎには避難している人数が逆転する。特に、Case 2 ではごく緩やかな線を描く。ただ、30分後には Case

1、Case 2 とともにほぼ収束し、その後には顕著な相違はみられない。

(4) 各避難場所に避難してくる人数

図－11 に各避難場所に容量を考慮して最終的に避難してくる人数を示す。容量的にみれば全ての人が避難場所に入ることができた状況である。Case 1 では最近隣避難場所に避難できない人が多く存在し、3番目、4番目に近い避難場所に避難せざるをえない人も相当数存在する。番号16の避難場所は城山であり容量に制限がないため、最近隣避難場所に避難できなかった人が2番目、3番目に近い避難場所として多く避難してくる。対して

Case 2では最近隣避難場所に避難できない人は Case 1 に比べて少なく、避難できない人でも多くの人が2番目に近い避難場所に避難できる。しかし、3番目4番目に近い避難場所に避難する人も少なからず存在し、特に4番目だけを見ると Case 1 より多いこともわかる。

図-8と比べても、容量に余裕のある避難場所です最終的に避難が終了した後も、かなりの余裕が残っている所が存在することが明らかとなった。また、Case 2の番号10の避難場所に至っては最終的な避難者数もゼロとなった。これらのことから避難場所の配置が最適なものではないということがうかがえる。

(5) 浸水状況と避難状況の比較

最終的に避難したデータをもとに、浸水状況の時間的比較から容量を考慮した場合の避難場所の整備状況評価を行う。第4章と同様に3種の津波が襲来した場合を想定する。図-12に各避難場所に波が到達するまでに避難できる人の割合を津波高さ別に示す。

図-12より Case 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人で約40%の人が、11、16の避難場所で約5%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の避難場所で約

5～40%の人が避難できないということもわかる。人数にして津波高さ3m時に約320人、6m時に約530人、9m時で約590人の人が避難できないという結果になった。

Case 2では津波高さが3mの場合、全ての人が避難できるということがわかった。しかし、津波高さが6mを超えると番号1、3、4の避難場所です約10～25%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時に約320人、9m時に330人となる。図-13に津波高さ9mの時に避難できない人はどの地域の人かを示す。

(6) 容量を考慮しない場合との比較

本章では、避難場所の容量を考慮して分析を行ってきた。まず、最近隣避難場所に避難しても容量オーバーとなる避難場所が数多く存在することが明らかとなった。その結果、4番目に近い避難場所まで行かなければ避難できない人も出てきてしまう。反面、容量にかなりの余裕がある避難場所もいくつか存在することもわかった。第4章の容量を考慮しない場合の分析結果と比較しても、Case 1、Case 2ともに被害が大きくなっており、Case 1では第4章で被害者数がゼロだった津波高さ3m時にも被害を被る人が出てきてしまいその他の津波高さの時

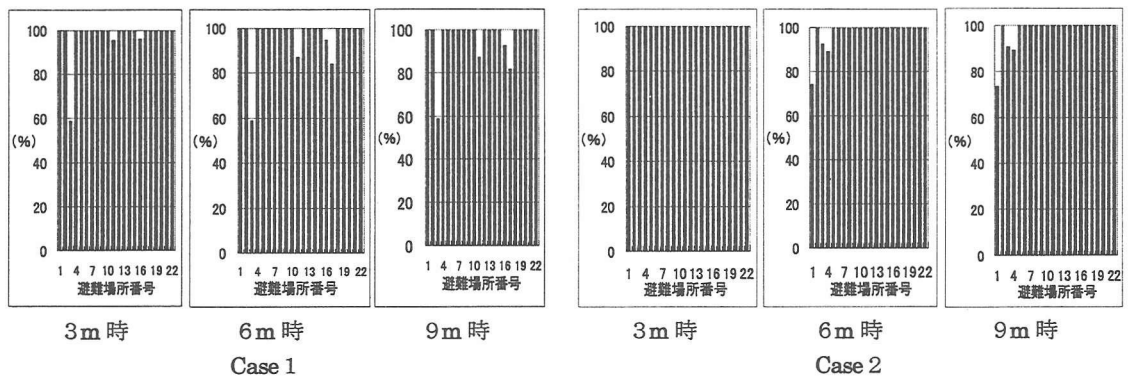


図-12 避難できる人の割合 (容量を考慮する場合)

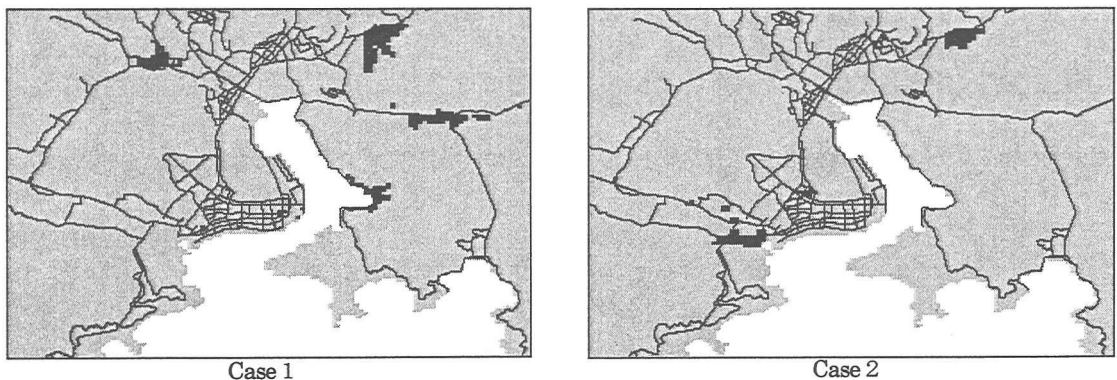


図-13 避難できない人が存在する地域 (容量を考慮する場合)

でも被害者数が約1.5倍になる。Case 2では第4章の分析の際、全ての津波高さが被害者ゼロだったのが避難場所の容量を考慮すると津波高さ6m以上の時に300人以上の避難できない人が出てしまう。全てのケースの中で唯一、津波高さ3m以下の時に波の浸入と反対に迅速に避難すれば人的被害は出ないということが明らかになった。

6. おわりに

本研究では、避難場所の容量に焦点を当て、3種の想定津波についての津波浸水シミュレーションと避難行動の違いによる避難状況の差をみるため「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うことにより、須崎市の現在の避難場所整備状況を評価した。本研究の成果は以下のように要約できる。

- (1) 避難場所の容量を考慮しない時、Case 2（波の浸入方向と反対側にある避難場所に向かって避難する）では津波高さが9m以下であれば全ての人が避難できるという結果になった。つまり、規模拡大等によって十分な収容人数を持たせれば、人的被害はゼロに抑えることができることがわかった。
- (2) 避難してくる人数だけをみても Case 1, Case 2ともに避難場所によって大きなばらつきがみられ、避難してくる人数が避難場所の容量を越える避難場所も数箇所あることがわかった。また、避難場所の容量を考慮して分析を行い、全ての人が避難した後でも容量にかなりの余裕がある避難場所も存在することが明らかになった。
- (3) 避難場所の容量を考慮して分析を行った結果、Case 1, Case 2両方で、最近隣避難場所に避難しても容量が一杯で避難できず、中には4番目に近い避難場所まで行かなければならない人が出ることがわかった。また、それらの避難状況下において津波襲来時には、Case 1（方向に関係なく最も近い避難場所に避難する）の方が被害が大きくなることがわかった。このことより避難時には Case 2のような行動をとる方が好ましいと思われる。さらに津波襲来時の危険地域を明らかにした。

これらの結果から、避難場所の整備を考える際には、明らかにした危険地域への配置を検討する余地があると言える。避難行動についても本研究の避難行動パターンだけではなく、「波に向かう方向でもある一定の短い距離内に避難場所がある場合は Case 1の行動に基づいて避

難し、そうでない場合は Case 2の行動に基づいて避難する」といったような組み合わせも考えられる。また、容量に対して避難してくる人数があまりに少ないような避難場所は配置について再度検討を行う必要もある。

災害時には、避難行動の違いによっても被害の程度に差が出てくることが明らかになり、あらかじめどこに避難するかを考えておくことが重要であると言える。災害時の避難行動は人間の心理に大きく影響すると考えられるため、今後アンケート等を実施し十分検討する必要がある。また、避難場所選択や避難経路設計についてはまだ考慮すべき余地があり、今後さらに詳細な解析を行っていく予定である。

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) 竹内光生, 近藤光男: 地震津波発生時の避難場所の選定に関する研究—須崎市を事例として—, 土木計画学研究・論文集, Vol. 19 no2, pp. 297-pp. 304, 2002
- 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-pp. 273, 2001
- 4) 高山純一, 木村裕蔵: 地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-pp. 54, 1996
- 5) 館健一郎, 武富一秀, 吉谷純一: GIS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
- 6) 高埴琢馬, 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-pp. 25, 1995
- 7) 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-pp. 24, 1989
- 8) 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-pp. 452, 2002
- 9) 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~pp. 321, 1996
- 10) 高知県: 高知県津波防災アセスメント事業報告書, 2000
- 11) 榎木亨, 出口一郎著: 海岸工学, 共立出版株式会社, pp. 64-pp. 65, 1998

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―

竹内光生, 近藤光男, 山口満, 濱田洋平

本研究では、GISを用いて津波浸水状況の予測と避難行動分析を行い、それらの経時的变化を統合的に比較することにより避難場所に避難できれば助かるという観点から現在の避難場所の整備状況評価を行った。避難行動分析は、方向に関係なく最近隣避難場所に避難するケースと波の浸入方向と反対に避難するケースの2ケースについて行い、避難場所の容量を考慮しない場合と考慮する場合を考え被害状況の差異を確認した。そして分析の結果を用いて、全てのケースについて人的被害の算出と津波襲来時に危険と思われる地域を選定した。本研究の成果は、人的被害を最小限に抑えることができる避難場所整備を考える際の参考基準となりうるものである。

Empirical Analysis on Evaluation of Refuge Facilities from Tsunami in Consideration of the Capacity - A Case Study in Susaki City -

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

This study aims to estimate the flooding areas by Tsunami in Susaki city and analyze the escape behavior of citizen using GIS, and also to evaluate the current refuge facilities in terms of their location. Using the results of analysis, the number of people suffering is calculated and the dangerous areas when Tsunami descends on are shown. The results of this study are very useful when the location plan of refuge facilities is discussed in which the number of people suffering is minimized.
