

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—

A Study about the Selection of the Place of Refuge at the Time of the Earthquake Tsunami*

-A Case Study in Susaki-

竹内光生**・近藤光男***

By Teruo TAKEUCHI **・Akio KONDO ***

1. はじめに

高知県須崎市は、100年から150年周期とされる南海道地震の大きな被害を繰り返し被っている。その経験に起因してか、市民は大きな地震の後は津波がくるぞ、高台に逃げろという危機意識を持っている^{1), 2)}。

本研究は、大きな地震発生後に生じる津波を想定し、避難場所まで「逃げる」という行動に視点をおき、避難場所の立地位置の検討を試みたものである。人が徒歩で避難することのできる距離には限界がある。徒歩で避難することのできる範囲に、避難人口規模に充分な都市施設や避難場所を確保しなければならない。このような視点で本研究を進めている。

須崎市は、他地域と同様に、地域経済発展の過程で、土地の有効利用が図られ、昭和21年の南海道地震時の浸水領域もDID化されている。そのために災害時に避難移動すべき人口規模や避難移動距離は拡大しているといえよう。津波が襲来したときには、拡大した避難移動距離を、高台に向かって歩いて逃げる途中に、安全な避難所があることが望ましい。

しかし、従来の避難所は、浸水領域施設の1、2階部分が施設容量に換算されるなど、巨大地震津波を想定した施設容量として課題が残されている。施設容量としての課題は、避難所の分担エリアおよび避難所配置計画の検討の必要性を含んでいる。

避難所は、緊急避難のための1次避難所とその後の避難生活のための2次避難所の区分も必要としている³⁾。本研究は、避難移動距離と分担エリア人口を指標として、緊急避難のための1次避難所の最適配置を課題としている。

*キーワード：地震津波、避難所、高台、pメディアン

**正員、工修、高知工業高等専門学校

(高知県南国市物部乙200番1,
TEL088-864-5587, FAX088-864-5581)

***正員、工博、徳島大学大学院工学研究科

(徳島県徳島市南常三島町2-1,
TEL088-656-7339, FAX088-656-7341)

また、須崎市史など^{1), 2)}の記録によると、市街地を襲う津波が侵入してくる方向は、太平洋側の南側からだけではなく、奥行き約2kmの須崎港に侵入した津波によって、東あるいは西からも侵入し、さらには引き潮による北側からの津波も発生している。

したがって、避難場所の立地位置を検討するためには、市街地の位置によって異なる津波の侵入方向が1つの必要な資料となる。津波が侵入してくる海岸線と反対側が高台の方向と考えることができる。高台の方向にある避難場所を選択することが望ましいといえよう。

さらに、このような研究のためには、空間的な地理情報に関する資料や面的に視覚的な表現方法が必要となってくる。

本研究では、近年整備されつつあるGIS（地理情報システム）およびデジタル地理情報を用いて、簡便な津波の解析モデルを作成し、市街地地点ごとに津波が侵入してくる海岸線の位置とその津波の侵入方向を考慮した避難場所の立地位置の検討を行ったものである。

分担エリアのイメージは、一般施設の場合は施設を中心とする円であり、巨大地震津波を想定した避難所の場合は高台と反対側の海側の半円である。

以下、本文では、2. 解析データ、3. 津波の侵入方向と避難の方向、4. 避難所の配置計画、5. まとめとしている。

2. 解析データ

解析に用いたGISデータは、PDM（パスコ・デジタル・マップ）、国土庁50mメッシュ標高（以下、標高データとする。）、高知県総合防災地理情報、陸上部市町村単位数値データである。

陸上部市町村単位数値データは、3次メッシュの1/20細分（50mメッシュ）単位の人口、標高等統計情報である。高知県の許可を得て、（株）ニュージェックより提供を受けた。なお、避難所は、須崎市が平成9年度に各家庭を対象に発行した避難所マップの内容に合わせて一部追加した。また、Arcview の機能を用いて、標高データと避難所データに、公共座標IV系のx y座標値を追加した。

この標高データおよび陸上部市町村単位数値データを市街地の地理情報として、以下の解析に用いる。

解析においては、市街地に津波の浸入してくる海岸線地点、津波の到達時間、水深、および避難の過程で選択した避難所等を、(市街地)標高データに、属性データとして追加した。PDMは市街地地理情報の背景として使用した。

3. 津波の侵入方向と避難の方向

本節では、津波の到達関数モデルと避難場所の選択モデルを扱う。

(1) 津波の到達関数モデル

(a) 津波の到達関数

まず、簡便化のため市街地地点への津波の到達関数 f を次のように仮定した。

f (最大津波高さ、海岸線からの距離、海岸線の標高、浸水地点の標高、重力の加速度 g)

(b) 津波の速度²⁾

津波の速度 v は $\sqrt{gh}$ とした。ここに、 g は重力の加速度 9.8 m/sec^2 、 h は水深(m)である。

(c) 海岸線

須崎市の港は、太平洋に面して約 2 km の奥行き深い良港となっており、須崎湾および須崎港内の海岸線に到達する津波に時間差が発生する。そこで、海岸線に沿った標高データポイントを海岸線と仮定し、海岸線に到達する津波の時間差を求めた。

(d) 海岸線基準線

海岸線に到達する津波の時刻 t を計算する際に、 $t = 0$ とする海岸線基準線を定めた。ここでは、海岸線のうち、地形的に突出部の1つである須崎市下分の x, y 座標値(-20090.46955, 41533.35875)の地点の y 座標値を、海岸線の基準線とした。津波は、海岸基準線より北上し、須崎湾および須崎港内の海岸線に到達するものとした。

(e) 津波の最大高さ^{2), 4)}

津波の最大高さは、高知県の津波シミュレーション結果をもとに 6 m とした。ほぼ家屋の 2 階分である。

また、津波最大高さは、須崎港の幅員によって変化すると、幅員の狭くなる須崎港の入口地点である須崎市魚市場の x, y 座標値 (-1933169008, 42594.06655) より北部の海岸線の津波最大高さを $h_2 = 6 \text{ m}$ とし、南部の海岸線の津波最大高さ h_1 はグリーンズの公式より次の値とした。

$$h_1 = 6 \times \sqrt{350 / 1000} = 3.55 \text{ m}$$

なお、350 m は魚市場前面の幅員であり、1000 m はそれよりも南部の地形的狭細部の幅員である。

(f) 市街地に浸入する津波の水深と距離

レベル湛水法により、標高 6 m 以下の市街地を浸水域とした。浸水域および海岸線などを図 3. 1 に示す。

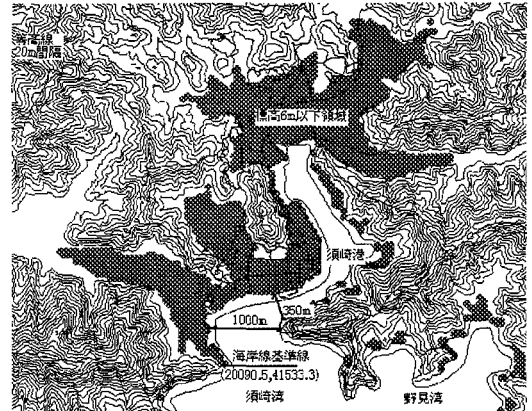


図 3. 1 標高 6m 以下浸水域および海岸線

浸水域への津波の到達時間は、上記の海岸線の各ポイントから最も早く到着する時間とした。その際に、水深は、浸水地点と海岸線地点の 2 点の平均水深 h として、次のように求めた。

$$h = \text{津波高さ} - (\text{海岸線の標高} + \text{浸水地点の標高}) / 2$$

浸入距離は、そのときの海岸線ポイントまでの 2 点間の直線距離とした。

(2) 津波の到達計算の事例

(a) 海岸線の波高と到達時間

図 3. 2 として、海岸線基準線を起点として海岸線に到達する津波の最大高さと時間の分布を示す。津波の最大高さは、3.55 m と 6 m の 2 種類である。

昭和の南海道地震時には、本研究において 3.55 m の津波の最大高さとなる海岸線の北側の市街地は、ほぼ浸水の被害を被っていない²⁾。

津波の到達時間は、海岸線基準線から北上するものとして、海岸線基準線と海岸線ポイントの y 座標値間の距離により求めた。

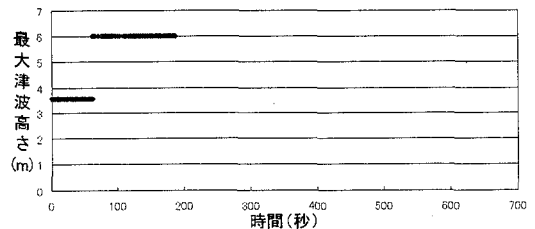


図 3. 2 最大津波高さと到達時間

須崎湾および須崎港内の水深は、本研究では 30 m の一定と仮定した。このとき、津波の速度は $17.1 \text{ m/sec} = 61.7 \text{ km/h}$ となり、海岸基準線から須崎港深部の約 3,200 m の距離を約 3 分で北上する。

須崎市史¹⁾によると、昭和の南海大震災時に目撃した

須崎港奥に流れた津波の速度は25km/hとされている。

(b) 浸水地点の水深と到達時間

図3.3として、市街地の浸水領域に到達する津波の時間と水深の分布を示す。本研究では、海岸線基準線からほぼ10分以内となっている。須崎港内の津波の速度を25km/hとした場合、津波の到達時間の分布の範囲は、

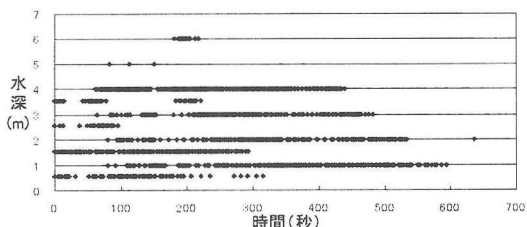


図3.3 浸水地点の水深と到達時間

約15分以内になると思われる。いずれにしても、津波が海岸線基準線に到達する前に避難を完了しなければならないといえよう。

(c) 浸水領域の時間的経過

今回の計算で、水深が3m以上の浸水領域に限定して表示すると、昭和の南海道地震の浸水領域記録²⁾と近似する。その浸水領域の時間的な経過を、2分後から2分ごとに6分後まで図3.4に示す。

昭和の南海道地震時には、須崎港奥の広い浸水領域である大間や多ノ郷に被害を与えた津波は、引き潮時に、その南部の原町などに北からの津波として、予想外の被害を与えている^{1), 2)}。その後、大間の市街化は進行し、潜在被害はさらに大きくなっている。



図3.4 シミュレーション計算による浸水領域の時間的経過

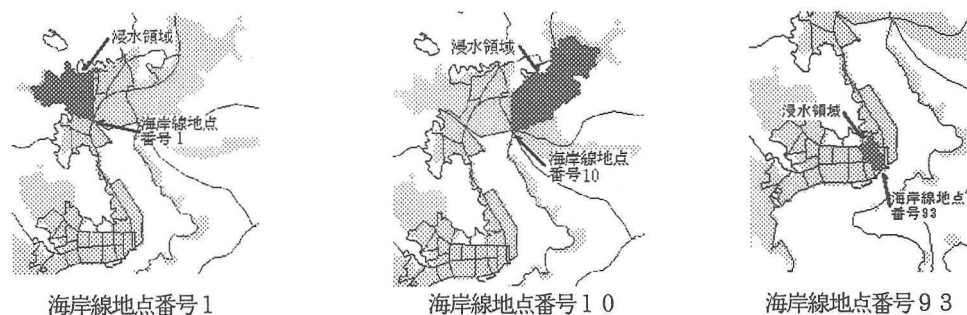


図3.5 シミュレーション計算による海岸線地点からの浸水領域

(d) 海岸線地点と浸水領域

海岸線地点の浸水領域の事例を図3.5示す。

図3.5によると、須崎港奥端の隅角部からの浸水領域が比較的に広がっている。浸水領域は、隅角部を除き、ほぼ海岸線に直角方向に広がっている。

なお、水深の計算に浸水地点と海岸線の2地点の値のみを用いているために、その途中に山があっても無視された浸水領域も見られる。しかし、概略、昭和の南海道地震時津波の海岸線からの侵入傾向は示されている。

(3) 避難場所の選択モデル

冒頭で述べたように、地震津波を避けるためには、高台に向かって歩いて逃げる途中にある安全な避難場所を選択することが望ましい。

ここでは、避難所として選択するべきかどうかの判断の基準を、方向と距離の2つとする。

a) 方向

方向については、図3.6のように仮定した。避難の方向は、海岸線と反対方向とする。

避難する人の現在地をx y座標で(xp,yp)とする。同様に、この地点に最も早く浸水する海岸線の座標を(xc,yc)、また、避難所の座標を(xs,ys)とおく。

現在地(xp,yp)を基準に、現在地と海岸線(xc,yc)を結ぶ直線と直行する直線を境界線とする。

境界線を境にして、海岸と反対側を安全側とする。

境界線の式は、現在地と海岸の座標値を用いて、次の式(3.1)のようになる。

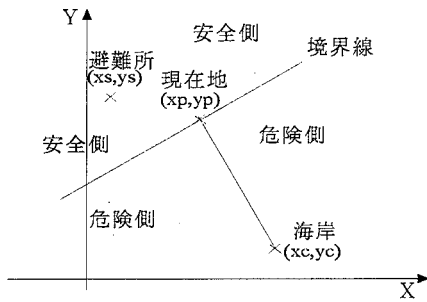


図3.6 避難場所の方向

$$y(x) = \{(xp - xc) / (yp - yc)\} \times (x - xp) + yp \quad \dots (3.1)$$

従って、現在地から避難所(xs, ys)の選択は、次のようになる。

$$(y(xs) - ys) \times (y(xc) - yc) \leq 0 \quad \dots (3.2)$$

のとき、安全側である。また、

$$(y(xs) - ys) \times (y(xc) - yc) > 0 \quad \dots (3.3)$$

のとき、危険側である。

(b) 距離

安全側にある避難所のうち、最短直線距離とする。

直線距離を経路距離に換算する係数を1.2と仮定した。また、地震後、10分以内に避難所に移動することが望ましいとして、そのときの歩行速度を500m/10分と仮定すると、経路距離に換算した10分当たりの歩行距離は、約417mとなる。これを最大直線距離と仮定する。

(4) 避難場所の選択事例

避難場所の選択モデルに従って、全ての浸水領域を避難場所に割り振ることができた。

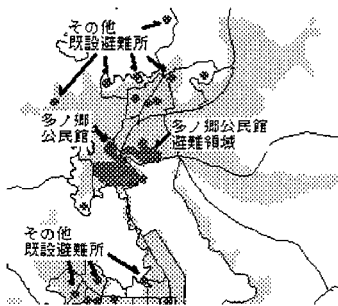


図3.7 多ノ郷公民館の避難領域

多ノ郷公民館を避難場所とする浸水領域の事例を図3.7に示す。各浸水領域地点から、多ノ郷公民館までの直線距離の範囲は3.6mから59.2mとなっている。

以下、歩いて避難する距離には限界があるとして、その限界距離を、経路距離に換算した約10分間の歩行直線距離約417mと仮定した場合の、避難可能領域。あ

るいは逆に避難困難領域を図3.8に示す。図3.8の濃い色の広い部分が、避難困難領域である。

避難所を中心に半径417mの円を描いている。円内に含まれる山手側の濃い色の部分も、山側に逃げるとした仮定から避難困難領域となる。避難困難領域には、居住区や主要道・JR路線の一部が含まれる。

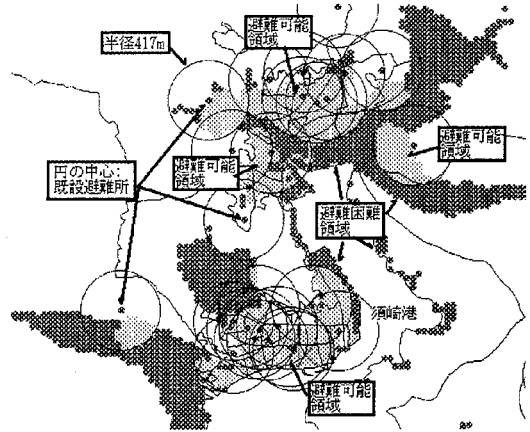


図3.8 避難困難領域

4. 避難所の配置計画

本節では、分担エリアを改善する避難所の配置計画を、pメディアン問題として検討する。

(1) pメディアン問題⁵⁾

pメディアン問題は、総移動距離(人・キロ)を最小化する位置(メディアン)に、施設を配置しようとする考え方である。混合整数線形計画問題として解くことが可能である。諸式は次のようになる。

(a) 目的関数

$$\text{Minimize } W = \sum_i \sum_j dijXij \quad \dots (4.1)$$

$$dij = \sqrt{(Xi - Xj)^2 + (Yi - Yj)^2} \quad \dots (4.2)$$

ここに、

dij: メッシュiの居住区とメッシュjの施設との距離

Xij: メッシュiの居住区からメッシュjの施設を利用する人口(設計変数)

(Xi, Yi): メッシュiとメッシュjの地理上のXY座標

(b) 制約条件式

$$\sum_j Xij \geq Pi \quad \dots (4.3)$$

ここに、Pi: メッシュiの居住人口である。メッシュiの居住人口Piはいずれかの避難所に避難することを示す。

$$\sum_j Xij \leq Mj \quad \dots (4.4)$$

ここに、Mjはメッシュjの避難所の容量である。

$$\sum_j Z_j = K \quad \dots (4.5)$$

ここに、 K は避難所数、また Z_j はメッシュ j に避難所を設置する場合1、設置しない場合0の整数型変数である。なお、 $Z_j=1$ を初期値と置くと、メッシュ j の避難所は既設であることを示す。

$$-Z_j + X_{ij} / P_i \leq 0 \quad (\text{ただし、} P_i > 0) \dots (4.6)$$

これは、 $Z_j=0$ のとき $X_{ij}=0$ でなければならないこと、また $Z_j=1$ のとき $X_{ij} \leq P_i$ が可能であることを示す。

(c) 解析プログラム⁶⁾

整数混合型の線形計画問題を解く解析プログラムとして、広島大学が公開している HUMPS を用いた。

式(4.1)から式(4.6)に対応する HUMPS 用データの書き込みプログラムは、距離 d_{ij} と居住人口 P_i をデータとして、Basic 言語により作成した。

(2) 解析の対象住区地域

p メディアン問題の解析の対象住区地域は、須崎市の城山を高台とする標高6m以下の10町とした。10町のうち東古市町と南古市町を除く8町は、昭和の南海道地震時の一部あるいは全域の浸水領域である。東古市町と南古市町を含むその西側の標高6m以下の町は、幸い海岸線の津波高さが低く、ほぼ浸水領域となっていない。なお、これらの10町は、既設避難所までの直線距離が417m以下として、図3.8における避難可能領域に大部分が含まれている。

しかし、一般に、現在の避難所は、1階と2階部分の床面積が施設容量に含まれるなど、大きな地震津波を想定した避難所としては課題が残されている。本研究では、施設容量は今後の課題として残し、各避難所は任意の避難人口に対応できるものとして、式(4.4)の各施設容量 M_j に、 $\sum P_i$ (居住人口 P_i の総和) を代入し、避難所の分担エリアおよび避難所配置を検討した。

(a) 人口密度分布

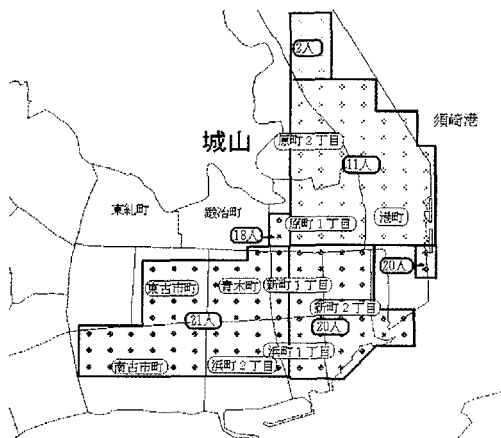


図4.1 住区の人口密度分布(50mメッシュ)

解析対象地域の50mメッシュ人口密度分布を図4.1に示す。標高6m以下の解析対象地域内の住区メッシュは、169ポイント、集計人口2734人、1046世帯(平成7年度統計)である。人口密度は、城山に近い北側よりも海に近い南側が高く、須崎港に近い東側よりも西側が高くなっている。

(b) 避難所候補地点

合計20カ所を避難所候補地点として、図4.2と表4.1に示す。図4.2の①～⑥の6カ所は、須崎市の城山⑥を高台とする10町に最も近い既設の避難所である。また、⑦～⑯の14カ所は、10町および高台側2カ所の隣接町(鍛冶町、東糺町)のほぼ中央の住区ポイントおよび南北に細長い港町の南と北の2カ所に追加したものである。

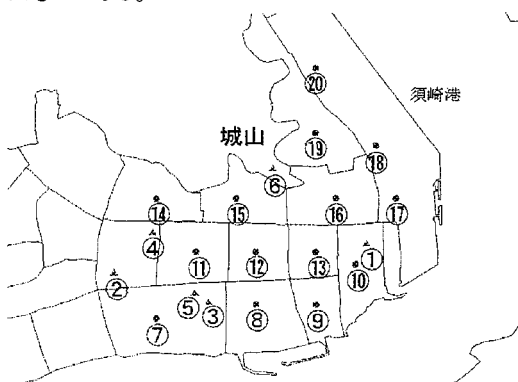


図4.2 住区メッシュと避難所の候補地

表4.1 避難所候補場所

避難所番号	場所	施設容量(人)	避難所番号	場所
①・既	市民文化会館	1350	⑪	東古市町
②・既	須崎公民館	400	⑫	青木町
③・既	社会福祉センター	500	⑬	新町1丁目
④・既	第二須崎総合庁舎	1000	⑭	東糺町
⑤・既	高陵地区建設協会	500	⑮	鍛冶町
⑥・既	城山	不定	⑯	原町1丁目
⑦	南古市町		⑰	港町(南)
⑧	浜町2丁目		⑱	港町(中央)
⑨	浜町1丁目		⑲	原町2丁目
⑩	新町2丁目		⑳	港町(北)

したがって、混合整数線形計画法における整数型変数 Z_j の数は20個、また設計変数 X_{ij} の数は住区メッシュ数169として、 $169 \times 20 = 3380$ 個となる。

(3) 避難所の分担エリア

①～⑥の既設避難所の分担エリアをp メディアンの手法により求めた。既設避難所に対し、総移動距離最小を指標とした解析結果は、避難所から最短距離にある各住区が選択される。

(a) 津波の進入方向を考慮しない場合

図4.3と表4.2として、津波の進入方向を考慮しない場合の分担エリアを示す。住区を選択避難所番号によってグラデーション表示し、境界線に線引きをした。

分担エリアは、各既設避難所間の垂直2等分線で区分されることになる。

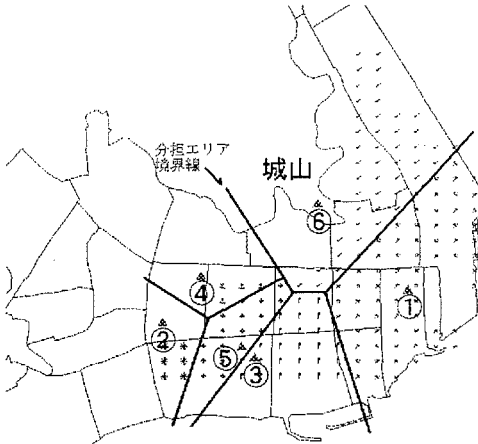


図4. 3 分担エリア（津波を考慮しない）

表4. 2 分担エリアの指標（津波を考慮しない）

避難所 番号	集積人口 (人)	最大移動 距離(m)	総移動距 離(人・km)	平均移動 距離(m)
①・既設	1154	410	214	186
②・既設	126	176	16	126
③・既設	525	262	81	154
④・既設	42	186	7	157
⑤・既設	315	221	37	118
⑥・既設	459	482	120	262

各既設避難所への集積人口は、避難所①の1154人、避難所③の525人、避難所⑥の459人の順に大きくなっており、海岸線を含む避難所の分担エリア人口が大きい施設配置となっていることがわかる。

また、各分担エリア内の最大移動距離は、人口密度の低い地域を含む避難所⑥において482mと最も大きくなっている。

(b) 津波の進入方向を考慮した場合

図4. 4と表4. 3として、津波の進入方向を考慮した場合の分担エリアを示す。なお、危険側とされる避難所までの距離は、式(3. 3)により判別し、充分大きなダミー値100000とした。

図4. 4の各避難所の分担エリアは、各既設避難所間の垂直2等分線で区分した場合とは異なる結果となっている。ほぼ避難所を中心とする海岸線側の分布を示している。このpメディアンによる既設避難所の解析結果は、前節の人口密度を考慮しない分担エリアと同じである。

集積人口は、避難所⑥の960人、避難所①の787人、避難所④の357人の順である。津波を考慮しない場合と比較して、山（高台）側の避難所が増加し、海岸線側の避難所が減少している。

なお、各分担エリア内の最大移動距離は、津波を考慮しない場合と同様に、人口密度の低い地域を含む避難所⑥において449mと最も大きくなっている。

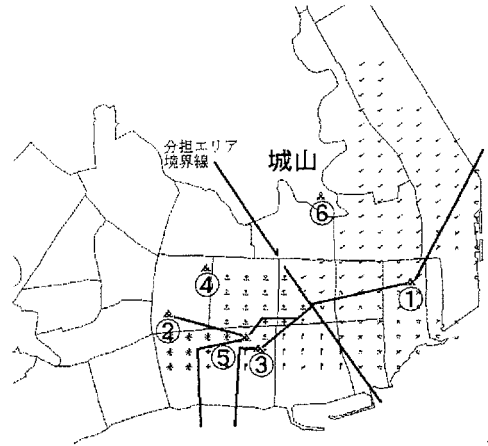


図4. 4 分担エリア（津波を考慮）

表4. 3 分担エリアの指標（津波を考慮）

避難所 番号	集積人口 (人)	最大移動 距離(m)	総移動距 離(人・km)	平均移動 距離(m)
①・既	787	416	161	205
②・既	168	194	23	137
③・既	315	262	43	262
④・既	357	323	71	198
⑤・既	147	241	19	127
⑥・既	960	449	272	284

(4) 避難所の追加配置計画の検討

pメディアンの手法により、①～⑥の既設避難所に、避難所を追加する配置計画を検討した。

(a) 3カ所の避難所追加配置の事例

図4. 5と表4. 4として、避難所を3カ所追加配置した事例を示す。

避難所を1カ所ずつ追加していくと、総移動距離を最小とするメディアンの位置として、まず⑩、次に⑩と⑫、⑩と⑫と⑬の順に避難所が配置された。

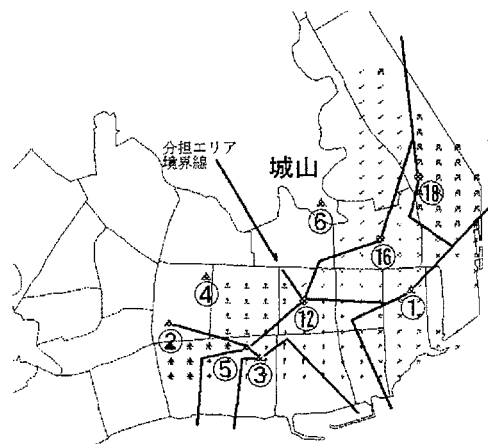


図4. 5 追加配置計画の分担エリア（3カ所）

表4. 4 追加配置計画（3カ所）

避難所 番号	集積人口 (人)	最大移動 距離(m)	総移動距 離(人・km)	平均移動 距離(m)
①・既	535	277	92	172
②・既	168	194	23	137
③・既	189	206	17	90
④・既	273	253	47	174
⑤・既	105	145	11	104
⑥・既	273	419	60	222
⑬	436	283	61	141
⑭	500	289	76	152
⑮	255	344	31	123

その結果、集積人口の最大は、避難所①の535人、次いで避難所⑭の500人、避難所⑬の436人となっている。

pメディアンの手法による避難所の追加は、他の既設避難所と比較して負担の大きい避難所⑥と①の分担エリアを大きく緩和する配置となっている。

しかし、人口密度の小さい住区を含む、避難所⑥の分担エリア内の最大移動距離は419mであり、3カ所の避難所を追加することによる最大移動距離減少の効果は少ない。

(b) 避難所配置による移動距離の変化

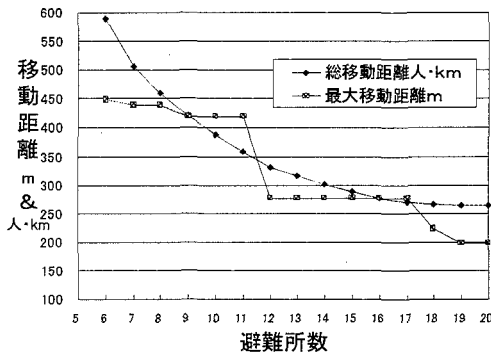


図4. 6 避難所配置数と移動距離の関係

図4. 6は、横軸を避難所配置数、縦軸を11町の総移動距離と最大移動距離として、避難所数を既設の6カ所から20ヶ所まで増加させた場合の、総移動距離(人・キロ)と最大移動距離の変化を示す。

図4. 6によると、避難所の配置増によって、最大移動距離は減少傾向を示している。その減少傾向は徐々に緩やかになっており、pメディアンの手法は、総移動距離最小を指標として、少ない避難所を効率的に配置する施設配置計画の手法であることを示している。

なお、最大移動距離の減少傾向が鈍い傾向は、総移動距離最小を指標としていることにより、人口密度の低い地域への施設の配分順位が遅くなることによる。

例えば、図4. 6において、最大移動距離が419mから277mに急減する避難所配置数12は、避難所⑥の人口密度の小さいエリアを分担する避難所⑬が追加配置された場合である。

(c) 避難所配置による分担エリア人口の変化

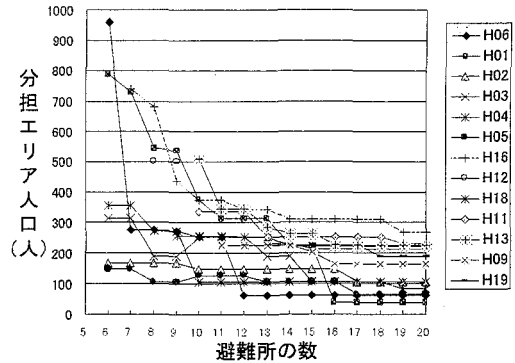


図4. 7 避難所配置数と分担エリア人口の関係

次に、図4. 7は、横軸を避難所配置数、縦軸を各避難所の分担エリア人口として、避難所配置数と分担エリア人口の関係を示す。避難所数6は、既設避難所①～⑥の配置の場合である。

以下、pメディアン解析により、既設避難所を既設として、避難所候補の中から順次追加配置される避難所は最初の13個のみ示す。避難所数14以降は、その避難所13カ所の分担エリア人口の変化である。避難所の再配置により13カ所以外の避難所が選択され、折れ線が途切れている部分もある。

図4. 7によると、まず避難所数6における避難所⑥と避難所①の分担エリア人口が他の避難所と比較して大きく、避難所の追加はこれらの避難所の分担エリア人口を急減させている。以下、各施設の人口分担の不均衡を是正する傾向を示している。

したがって、pメディアンの解析手法は、総移動距離最小を指標として、各施設の人口分担の不均衡を是正する位置に施設を配置する手法であることが分かる。

5. まとめ

県および国は、地域住民と協力して被害の最小化に取り組む姿勢を示している。例えば、高知県は、平成12年3月に「高知県津波防災アセスメント調査報告書」をまとめている。また、政府の地震調査委員会は、平成13年9月27日、マグニチュード(M)8.4前後規模の南海道地震が今後30年以内に発生する確率は40%であるとの予測を示した。

巨大地震津波を想定した避難所の分担エリアは、一般の施設とは異なる。本研究は、高台に逃げる途中に避難所を配置するとして、「高台に逃げろ」とする過去の地震津波の教訓を、地震津波を想定した避難所の配置計画に導入する考え方を検討した。

本研究のシステムにより得られる結果は、次の通りである。

① 「高知県津波防災アセスメント調査報告書」による津波の予想最大高さを与件として、50mメッシュ標高との差から、レベル湛水法による浸水領域の市街地と浸水深さが示される。

② 海岸線の形状を考慮した市街地への津波の侵入方向として、ほぼ海岸線に直角方向の津波の遡上が示されている。

なお、本研究の津波の到達関数モデルは、標高値として、浸水地点と海岸線の2地点の値のみを用いているために、その途中で山があっても無視された浸水領域も見られる。しかし、このように市街地と海岸線の間に高台がある場合を除けば、概略、昭和の南海道地震時の津波の侵入傾向は示されている。

③ 避難場所の選択モデルとして、津波の侵入方向を考慮した高台の方向が示される。

④ 津波の侵入方向を考慮した避難所の分担エリアが示される。

津波の侵入方向を考慮しない場合、分担エリアの区分線は、避難所間の垂直2等分線となる。津波の侵入方向を考慮した場合の概略は、その垂直2等分線を海側の避難所まで、ほぼ平行移動させた区分線となる。

⑤ 本研究では、3章4節で、既設避難所までの最大移動距離(m)を指標として、避難困難領域を示した。

⑥ 4章では、避難所の追加配置の計算事例として、総移動距離(人・キロ)最小を指標とするpメディアンによる施設配置の解析結果を示した。

避難所候補の中から、既設の避難所に避難所を追

加するpメディアンの解析結果は、解析対象地域全体の住区から避難所までの総移動距離(人・キロ)や各施設の人口分担の不均衡を効率的に是正・改善する施設配置が可能であることを示した。

⑦ pメディアン問題は、n個の候補の中からp個を選択する、回数 $n C_p$ の組み合わせ問題である。全ての組み合わせを考慮した解は真の解である反面、一般に回数 $n C_p$ は大きな値となる場合が多い。

本研究では、pメディアン問題の解法として、制約条件を定式化し、実行可能領域の境界域を探索する整数混合型の線形計画法を用いた。解析プログラムとパソコン機能の発達により比較的大きなシンプレックス表の解析が可能である。

なお、本報告書の作成に当たっては、建設省国土地理院長の承諾を得て、同院の測量成果を使用したものである。

参考文献

- 1) 須崎市編：須崎市史，須崎市，1974
- 2) 村上仁士，他：海からの警告，須崎市，1995
- 3) 安藤昭，佐々木栄洋，赤谷隆一，三浦剛史：岩手県沿岸域の津波防災に関する史的研究，土木学会論文集，No. 639/IV-46，1-11，2000.
- 4) 高知県：高知県津波防災アセスメント調査報告書，高知県，2000
- 5) 大山達雄，田村浩之，佐野貴子：郵便局の置局配置に関する調査研究，郵政研究所月報，No. 134，pp. 4-23，1999
- 6) <http://wind.pei.sys.hiroshima-u.ac.jp/open/HUMPS/>

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—

竹内光生**・近藤光男***

本研究は、巨大地震津波の進入方向を考慮した、避難所の分担エリアを提案した。避難の方向を危険側と安全側に分類した避難所の分担エリアは、一般施設の分担エリアと異なり、避難所を中心とする海側のエリアとなることを示した。また、最適施設配置計画のpメディアンの手法を検討し、pメディアンの解析結果が、各施設の人口分担の不均衡を是正する傾向を示した。

A Study about the Selection of the Place of Refuge at the Time of the Earthquake Tsunami* —A Case Study in Susaki—

By Teruo TAKEUCHI**・Akio KONDO***

This study proposed a share area in the taking refuge place to have considered the approaching direction of the tsunami generated by a huge earth quake. The share area in the taking refuge place which classified the direction of the taking refuge into the danger side and the safety side showed that it was different from the share area at the general facilities and to become an area on the side of the sea centered on the taking refuge place. Also, it examined the technique of the p median of the optimal facility arrangement plan and the analysis result of the p median showed the tendency to correct the non- balance of the population share at each of the facilities.