

住民の視点から見た避難所最適配置計画の策定支援システム*

A Planning Support System of Optimal Shelter Location from Inhabitants Side*

山田知寛**・高木朗義***

By Tomohiro YAMADA**・Akiyoshi TAKAGI***

1. はじめに

近年、東海豪雨災害を始めとして想定以上の水害が相継いで起こっており、従来の河川堤防や排水ポンプ場といったハード中心の対策では対応しきれない現状にある。そのため、国や県が管理する河川について浸水想定区域図の公表が義務付けられるとともに、それに基づいた洪水ハザードマップの作成などのソフト対策が地方自治体によって行われ、避難計画の見直しが行われつつある。避難計画において避難者の特性、特に高齢者や年少者などの災害弱者について考えつつ¹⁾、避難所の位置や規模、避難所までの経路、備蓄品の量を決定しておくことは事前の対策として重要なことである。そこで本研究では、これらを考慮した上で避難所の最適配置計画を策定するための支援システムを開発することを目的とする。またその際、空間的な要因を管理、解析でき、都市計画や地域計画のシステムとして普及している GIS が有効に活用できると思われるため、この利用を前提とした上でシステムを開発する。

2. 本研究の位置付け

都市施設などの配置計画を考える際、ポロノイ図法²⁾と呼ばれる幾何学的方法を用いて最適な領域を設定しながら行うことが多い。ポロノイ図法とは、平面上にいくつかの点が与えられたとき、各点に領域を割り当てるための方法である。ポロノイ図法を用いた最近の研究として宮川ら³⁾、神谷ら⁴⁾などがある。宮川ら³⁾は不確実性や社会構造の変化に対して頑健的な施設

配置を明らかにするために、施設配置問題において基本的な指標である距離を最も重要な要因として、施設からの直線最短距離によって領域を決定している。また、神谷ら⁴⁾は自然的空間を中心とした空白円を求め、その空白円の半径の大きさによって、自然と触れ合う機会の平等さや地震時の避難しやすさという視点から配置の評価を行っている。このように、ポロノイ図法を用いた施設配置問題では施設までの距離が空間的に表現され、施設を中心に領域を設定している。これに対し、本研究の特徴は地域の洪水危険度や世帯属性、各世帯からの避難経路を考慮し、住民にとって最適な避難所を決定する、すなわち住民の視点から見た計画立案を目指す点にある。また、近年 GIS ソフトウェアおよびデータが充実してきており、このようなシステム構築を支援している。例えば、館ら⁶⁾は GIS を用いた洪水時の避難解析システムを開発している。この研究では世帯の居住地や属性などから避難ユニットを決め、GIS を用いて避難経路や避難場所を設定し、避難行動特性や情報伝達方法の違いが住民の避難行動や情報取得に与える影響を分析している。本研究ではこのような避難時の様々な状況を踏まえ、さらに GIS を用いることによって空間的な不均質さを考慮した上で、住民の視点から見た避難所配置計画を策定するための支援システムを開発するものである。

3. 避難所最適配置計画モデルの構築

(1) モデルの概要

本研究では、各世帯が効用を最大とする避難所を選んだ上で、政府(自治体)がその効用の合計、すなわち社会厚生を最大とするように避難所を配置するものとし、これを最適配置と考える。具体的には図 1 に示すように、まず GIS データと洪水ハザードマップより浸水しない建物を抽出し、利用可能な避難所を特定する。次に、各避難所における避難者数の初期値を設定して、

*キーワード：GIS，防災計画

** 学生員，岐阜大学大学院工学研究科土木工学専攻
(〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸 1-1, FAX:058-230-1248,
E-mail:i3101034@guedu.cc.gifu-u.ac.jp)

*** 正員，博(工)，岐阜大学工学部社会基盤工学科

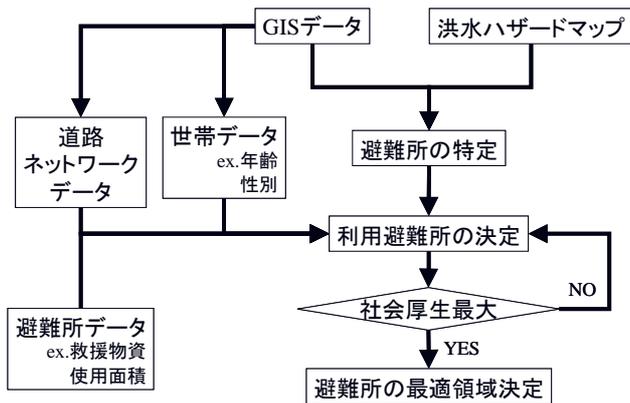


図1 避難所の最適配置の決定手順



図2 世帯の避難所経路選択

世帯データと道路ネットワークデータから各世帯が利用する避難所を決定する。避難所が決定することで避難所規模と備蓄品量が決定する。これにより各避難所の避難者数が求まるので、前期の値と比較して避難者数が収束するまで繰り返し計算を行う。すなわち、これにより避難所における混雑という外部性を内生化した均衡問題を解いていることになる。本モデルではここまでを下位問題として考えた上で、自治体による避難所の位置、規模、備蓄品量の最適化問題を上位問題として考える。このとき避難所の位置、規模などが変われば世帯は利用する避難所を変更するため、再び下位問題へ戻る。

以上の上下問題を繰り返し行うことにより社会厚生を最大とする場合を最適配置とする。また、この手順は避難所を中心にして見ると、避難所に対してどれだけ領域をカバーするかを決めていることに相当する。本研究では、これを最適領域と呼ぶこととする。

(2) 世帯の行動モデル

図2に示すように世帯*i*と避難所*j*があり、*ij*間の最

短経路に対する徒歩での所要時間を t_{ij} とする。世帯属性によって歩行速度が違うので所要時間も変化する。すなわち、災害接近時ということを考えて災害弱者を含む世帯と含まない世帯によって変わることを考慮している。また、 a_j は避難者一人が避難所においてどの程度での広さで過ごすことができるかを示したものである。これは各避難所の避難所規模と避難者数によって変化する。 s_j は避難者一人がどの程度の食料をもらうことができるかを示したものである。これは各避難所の備蓄品量と避難者数によって変化する。

各世帯はこのような所要時間、使用面積、備蓄品量から効用を最大とする避難所を選択するものとし、次のように定式化する。

$$\begin{aligned} \max_j u_{ij} &= u(t_{ij}, a_j, s_j) & (1) \\ \text{s.t. } t_{ij} &= l_{ij}/v_i & (2), \quad a_j = A_j/N_j & (3), \quad s_j = S_j/N_j & (4) \\ & \forall A_j = \text{const.} & (5), \quad \forall S_j = \text{const.} & (6), \quad \sum_j N_j = N & (7) \end{aligned}$$

ここで、 l_{ij} :経路距離、 v_i :移動速度(世帯属性によって変化)、 a_j :一人当たりの避難所利用可能面積、 s_j :一人当たりの利用可能備蓄品量、 A_j :避難所の規模、 S_j :避難所の備蓄品量、 N_j :収容避難者数。

(3) 政府(自治体)の行動モデル

政府(自治体)は社会厚生を最大にするように避難所の位置、規模、備蓄品量を決定するものとする。ただし、避難所の設置には、施設や備蓄品の管理費用 c が発生するものとし、次のように定式化する。

$$\max_{j, A_j, S_j} \left(\sum_i \max u_{ij} - \sum_j c(A_j, S_j) \right) \quad (8)$$

4. 仮想地域における避難所の最適領域

(1) 検討条件

ここでは、 10×10 のメッシュに区分した仮想地域を対象として、3. で構築したモデルの適用性を確認してみた。一つのメッシュには8世帯ずつ居住し、地域内には決められた場所に避難所が2ヶ所あるとする。表1に示す4ケースについて各世帯が選択する避難所を探索することにより、最適領域を求めるとする。

表 1 仮想地域におけるデータセット

	避難所規模 (m^2)		備蓄品量 (食)		世帯属性 v_i (km/h)	
	A_1	A_2	S_1	S_2	左	右
ケース 1	400	400	400	400	2.0	2.0
ケース 2	400	400	400	400	1.0	2.0
ケース 3	400	800	400	800	2.0	2.0
ケース 4	400	800	400	800	1.0	2.0

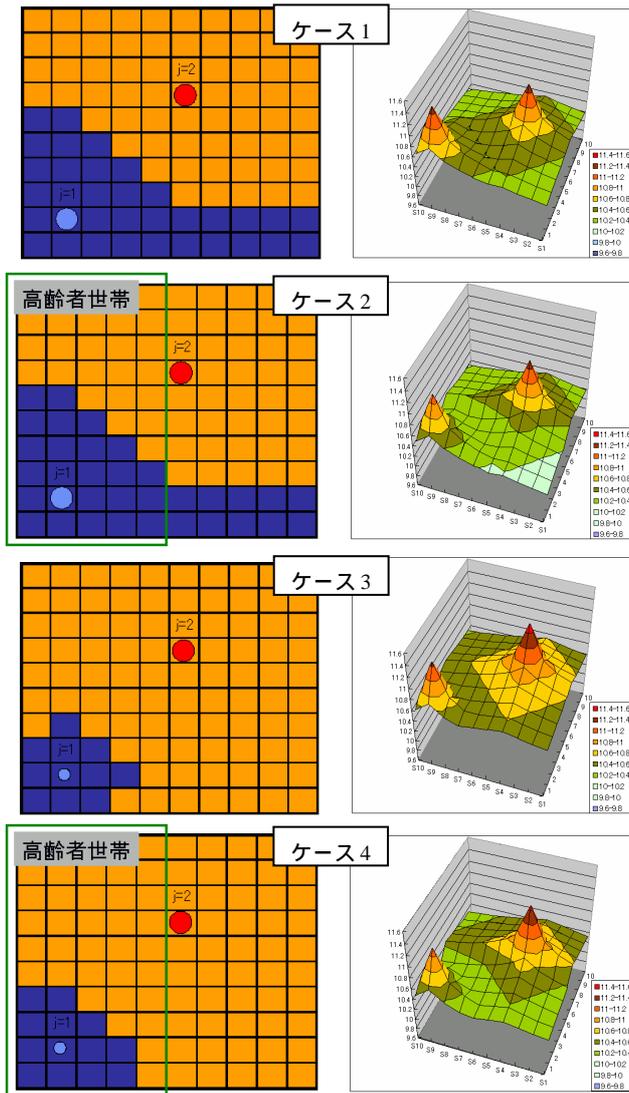


図 3 仮想地域における最適領域と効用分布

なお、式(1)の効用関数は緊急時であることから、所要時間に対する効用低下および備蓄品量、使用面積に対する効用増大の逓減率が大きいと思われるため、次のように特定化した。

$$u_{ij} = \alpha \ln t_{ij} + \beta \ln a_j + \lambda \ln s_j + \delta \quad (9)$$

ここで、 $\alpha = -0.25$ 、 $\beta = 0.09$ 、 $\gamma = 0.08$ 、 $\delta = 10$ 。

なお、パラメータは以下の理由から恣意的に決定した。距離が遠くなるほど家計の効用は低下することから、避難時間に対するパラメータは負値となる。避難所での使用面積は大きいほど、備蓄品量が多いほど効用が高くなるため、パラメータは正值となる。簡単なアンケート結果から備蓄品量よりも使用面積の方が、避難者が重要視することがわかったため、使用面積のパラメータを備蓄品量より大きくした。

(2) 最適領域

各ケースについて図 3 のような結果が得られた。図 3 の左側の図が各避難所に対する最適領域であり、右側の図が効用水準の分布である。パラメータを恣意的に決めているものの、各ケースの結果の整合性がとれており、かつ各ケースとも常識的な結果となっているため、モデルの一応の適用性は示されていると思われる。パラメータへの依存度が高いものの、個別に見てみると次のようなことがわかった。ケース 1 ではより近い避難所を選択している結果となった。ケース 2 では左側半分が高齢者世帯であるが、ケース 1 の結果と同じになった。ただし、全体の効用はケース 1 に比べて高齢者世帯で低くなっていることがわかる。ケース 3 では避難所の規模と備蓄品量が変化することで、避難距離がより長い世帯でも、規模と備蓄品量の大きい避難所を選択していることがわかる。ケース 4 では高齢者世帯もある程度の避難距離までならば、規模と備蓄品量の大きい避難所を選択するという結果となったが、一般世帯に比べて、その傾向が弱いと言える。

5. 岐阜市における避難所の最適領域

(1) 対象地区と条件

次に、岐阜市本荘地区を中心とする 2km 四方の地区を対象に、地区内を 100m メッシュに区分してモデルの適用性に確認した。まず、本荘地区における浸水深と現状の避難所配置を図 4 の上段に示す。現在この地区内には、様々な規模の避難所が 9 ヶ所ある。世帯数の分布は図 4 の下段のとおりである。対象地区内の世帯数は 5,269 世帯であり、平均世帯人数を約 3 人として区域内人口を 15,807 人とした。なお、本研究では高齢者世帯を考慮せずに分析した。

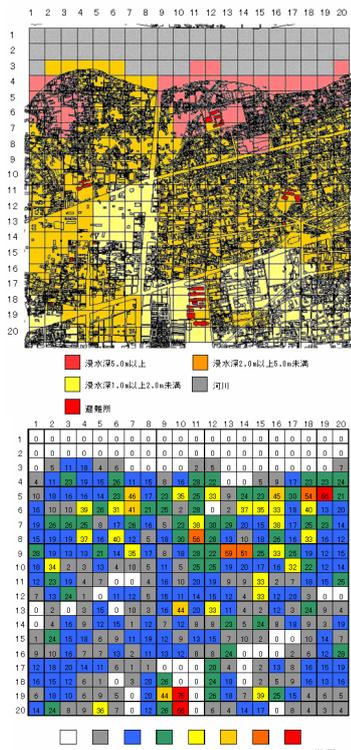


図4 岐阜市本荘地区の浸水深と避難所配置と世帯の分布

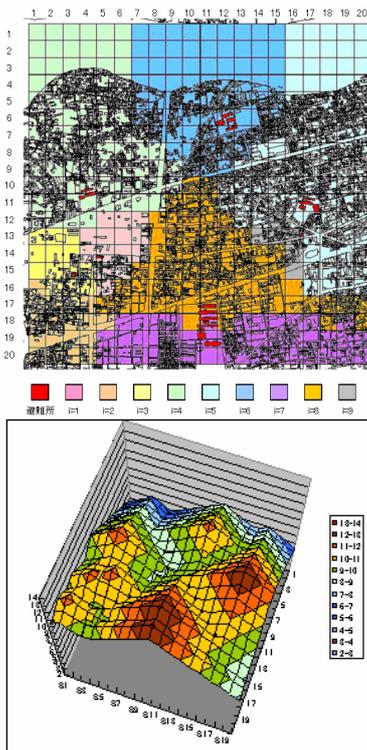


図5 現状の最適領域と効用の分布

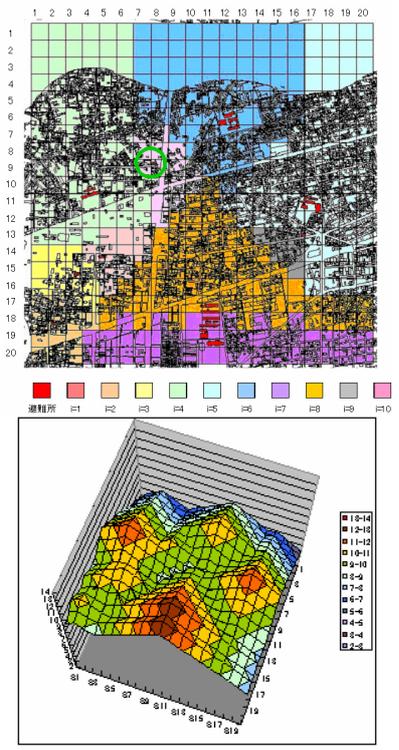


図6 避難所追加時の最適領域と効用の分布

(2) 最適領域

現状の避難所に対する最適領域を求めた結果、図5のようになった。これを見ると、避難所までの距離が多少遠くても規模が大きい避難所を選択するという結果となっている。ただし、避難所までの距離が遠すぎると、使用面積が小さくても近い避難所を選択している。さらに、避難所における一人当たりの使用面積、備蓄品量から判断すると、この地区全体で避難所数が不足していると思われる。

次に、現状において特に避難所が不足していると思われる辺りに、避難所を一箇所追加した(図6の印)。結果を図6に示す。現状と比較すると追加した避難所付近に変化があるものの、全体的には各避難所がカバーしている領域にはあまり変化はなかった。若干変化した避難所もあり、例えば座標(17,11)の避難所に対する最適領域はやや右にずれていることがわかる。全体の効用は現状と比較してほとんど変わらなかったが、効用が低くなり過ぎる世帯が少なくなった。

6. おわりに

本研究ではGISの利用を前提とした避難所最適配置計画の策定支援システムを構築した。そして、本システムの基本的な部分について、仮想地域と岐阜市本荘

地区を対象として適用性を確認した。その結果、まず世帯属性や避難所の位置、規模などを考慮して避難所の最適領域が決定できることが確認できた。また、実際に避難所を追加した場合について検討可能であることも確認できた。もちろん、実用にはまだ多くの改良が必要である。まず、既往の水害調査結果やアンケートの実施により、水害時における住民の避難行動を分析し、より実態に近いパラメータを設定する必要がある。また、本研究ではメッシュ単位で最適領域を探索しているが、地域コミュニティなどを考慮すると、街区単位での検討の方がより住民の視点に近い最適領域となると考えている。今後はこれらの課題について取り組んでいきたい。

参考文献

- 1) 片田敏孝, 山口宙子, 寒澤秀雄: 洪水時における高齢者の避難行動と避難援助に関する研究, 福祉のまちづくり研究論文集, vol.4, No.1, pp.17-26, 2002.
- 2) 岡部篤行, 鈴木敦夫: 最適配置の数理, 朝倉書店, 1992.
- 3) 宮川雅至, 大澤義明: 利用者からの距離に着目した規則的施設配置の頑健性, 筑波大学大学院システム情報工学研究科修士論文, 2002.
- 4) 神谷大介, 吉澤源太郎, 萩原良巳, 吉川和広: 都市域における自然的空間の整備計画に関する研究, 環境システム研究論文集 Vol.28, pp.367-373, 2000.
- 5) 館健一郎, 武富一秀, 古谷純一: GISを用いた洪水時の避難解析システムの開発, 土木技術資料 Vol.43, No.8, pp.44-49, 2001.