

# 住民の視点から見た避難所配置計画の策定支援システムの構築\*

## A Planning Support System of Shelter Location from the Viewpoint of Resident\*

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だけ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<sup>1)</sup>、避難所の位置や規模、避難所までの経路、備蓄品の量を事前に決定しておくことは重要である。そこで本研究では、これらを考慮した住民の効用関数をベースにすることで、住民の意思に基づいた行動を第一に考え、その上で社会厚生を最大とする避難所の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. 既往研究と本研究の位置付け

都市施設などの配置計画を考える際、ボロノイ図法<sup>2)</sup>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。ボロノイ図法とは、平面上にいくつか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。ボロノイ図法を用いた最近の研究として宮川ら<sup>3)</sup>、神谷ら<sup>4)</sup>などがある。宮川ら<sup>3)</sup>は不確実性や社会構造の変化に対して頑健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<sup>4)</sup>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、ボ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<sup>5)</sup>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。さらに、片田ら<sup>6)</sup>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。また、避難行動に着目した研究として、目黒ら<sup>7)</sup>は利用者動向を考慮した避難行動シミュレーションツールを開発している。この研究では、避難者の位置情報をもとにバーチャルリアリティを用いて、よりリアルに避難行動を表現することで現実的な避難イメージについて分析している。これらの既往研究は避難時の様々な状況を踏まえており、特に住民の避難行動と情報伝達について着目している。それらに対して、本研究では位置を表す空間情報や性質を表す自然的・社会的属性情報、働きを表す機能情報、外観を表す形状情報など<sup>8)9)</sup>の情報を持った数値地図2500・世帯数・年齢属性・移動速度・避難所規模・備蓄品量のGISデータを用いて、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

\*キーワード：防災計画, GIS

\*\*学生員, 岐阜大学大学院工学研究科土木工学専攻

\*\*\*正員, 博(工), International Institute for Applied Systems

Analysis (IIASA), 岐阜大学工学部社会基盤工学科

(〒501-1193岐阜市柳戸1-1, TEL:058-293-2445,

FAX:058-230-1248E-mail:a\_takagi@cc.gifu-u.ac.jp)

生を最大とするような避難所配置計画問題を考える。避難所の配置計画を考える際、ファーストベストの問題として計画者が全ての個人の避難場所まで決定する問題を考えることができる。避難所配置計画問題において、このファーストベストの問題は単に参照点としての社会最適解にとどまらず、一定の実現性を持っていると考えられる。具体的に言えば、住民に対して居住地毎に避難場所の指定がなされて、住民は避難場所の選択を行うことなく指定された避難場所に避難するという対策が実行されている。しかし、このファーストベストの問題は効率性のみしか考えていない。例えば、非常に避難しにくい世帯があっても社会厚生が高くなるならば、その計画は採用されることとなる。このようにファーストベストの社会厚生最大化問題では、世帯間の効用格差が生じる可能性がある。そこで本研究では、住民のための避難所配置計画であることを前提に住民が満足する計画を実現できるような問題を考える。つまり、計画者が全世帯の避難場所を決定するよりも各世帯が自らの意志に基づいて避難場所を決定することにより、住民に受け入れられやすい避難所配置計画を策定することができると考えている。

## (2) 世帯の行動モデル

世帯の行動を式(1)～(7)のように定式化する。図-1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(以下避難所間と呼ぶ)を $t_{ij}$ とする。本モデルでは、世帯属性によって移動速度が違ふと考え避難時間が変化するものとする。すなわち、災害接近時ということを考慮して災害弱者を含む世帯と含まない世帯によって避難時間が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の広さで過ごすことが出来るかを示したものである。これは各避難所の使用可能面積と避難者数によって決定される。 $s_j$ は避難者一人がどの程度の食料をもらうことが出来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決定される。

$$\max_j u_{ij} = u(t_{ij}, a_j, s_j) \quad (1)$$

$$s.t. \quad t_{ij} = l_{ij}/v_i \quad (2), a_j = A_j/N_j \quad (3), s_j = S_j/N_j \quad (4)$$

$$\forall A_j = const. \quad (5), \forall S_j = const. \quad (6), \sum_j N_j = N \quad (7)$$

ここで、 $l_{ij}$ :経路距離、 $v_i$ :移動速度(世帯属性によって異なる)、 $a_j$ :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、 $A_j$ :避難所の使用可能面積、 $S_j$ :避難所の備蓄品量、 $N_j$ :収容避難者数。



図-1 世帯の避難所経路選択

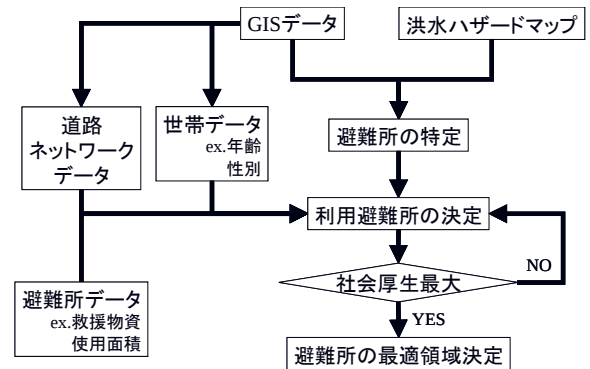


図-2 避難所の最適配置の決定手順

## (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、使用可能面積、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) 避難所の最適配置の決定手順

避難所の最適配置の決定手順を図-2に示す。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、各世帯は道路ネットワークデータから各避難所までの最短経路を選択して、最寄りの避難所へと避難する。避難所が決定することで、各避難所における各世帯の利用可能面積と利用可能備蓄品量が決定する。これにより各世帯は各避難所までの距離、利用可能面積、利用可能備蓄品量の情報を得て、効用がより高くなる避難所へと変更する。すなわち、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、使用可能面積、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の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。

#### 4. 避難所の配置計画に関する基礎的分析

##### (1) 分析条件

##### (a) 仮想地域

ここでは、図-3に示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する。一つのメッシュには2世帯(1世帯あたり4人)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(A, B)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、各避難所の最適領域を求める。また、上位問題として、施設の規模を1㎡あたり1食とし、 $A_j, S_j$ を $400 \leq A_j \leq 800$ ,  $400 \leq S_j \leq 800$ の中で、それぞれ10㎡, 10食ずつ変化させるという条件の下、高齢者世帯を考慮する場合と考慮しない場合の2パターンについて、社会厚生、すなわち式(8)の値が最大となる最適領域を求める。

##### (b) 関数形に関する条件

避難時間に対しては効用低下、備蓄品量、面積に対しては効用増大が考えられること並びに、避難時間に対する選好が他のものに比べて優先される可能性があることを勘案して式(1)の効用関数を次の4種類の関数形により特定化した。

$$\textcircled{1} \quad u_{ij} = \alpha_1 t_{ij} + \beta_1 a_j + \gamma_1 s_j + \delta \quad (9)$$

$$\textcircled{2} \quad u_{ij} = \alpha_2 \ln t_{ij} + \beta_2 \ln a_j + \gamma_2 \ln s_j + \delta \quad (10)$$

$$\textcircled{3} \quad u_{ij} = \alpha_3 t_{ij} + \beta_3 \ln a_j + \gamma_3 \ln s_j + \delta \quad (11)$$

$$\textcircled{4} \quad u_{ij} = \alpha_4 \exp t_{ij} + \beta_4 a_j + \gamma_4 s_j + \delta \quad (12)$$

##### (c) パラメータに関する条件

ここで、 $\alpha_{1\sim4}, \beta_{1\sim4}, \gamma_{1\sim4}, \delta$ はパラメータである。これらのパラメータは、研究室のメンバー20人に行った簡単なアンケートに基づいて設定した。アンケートの内容は、「洪水災害が発生した場合に、避難期間が1日～2日程度で高齢者と共に避難すると仮定し、避難所までの距離(移動時間)、避難所での使用面積、備蓄品量(配給される食糧等)のそれぞれに対して、1点から10点までの点数を重要だと考える項目ほど高い点数、あまり重要では無いと考

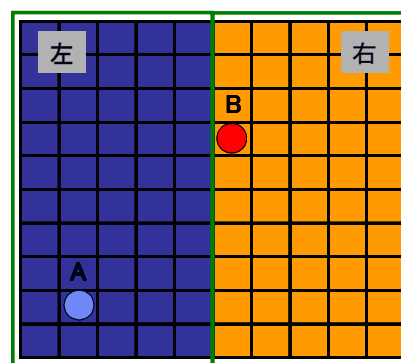


図-3 10×10メッシュの仮想地域

表-1 仮想地域におけるデータセット

|       | 避難所規模<br>(㎡) |       | 備蓄品量<br>(食) |       | 世帯属性<br>$v_i$ (km/h) |     |
|-------|--------------|-------|-------------|-------|----------------------|-----|
|       | $A_A$        | $A_B$ | $S_A$       | $S_B$ | 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 |

※ 世帯属性欄の「左」と「右」は、図-3の左側半分と右側半分のことである。

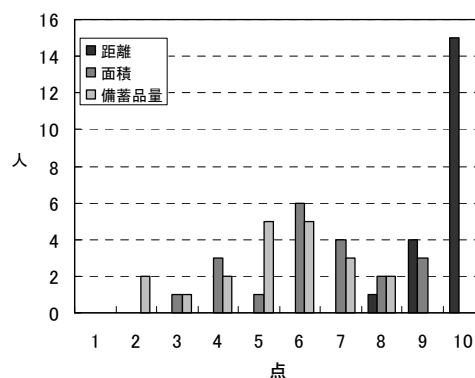


図-4 避難所選択の要因に対するアンケート結果

る項目ほど低い点数をつけてもらう」というものであり、結果は図-4に示すとおりである。この結果を踏まえると各パラメータは、以下の条件を満たすこととなる。

- ・ 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である。
- ・ 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、パラメータは正値である。
- ・ 備蓄品量よりも使用面積を重要視する傾向にあるため、使用面積のパラメータは備蓄品量より大きい。

住民は、避難時間や避難所における生活環境つまり使用できる面積、配給される備蓄品の量によって避難所を決定する。中でも特に、災害発生という緊急時において最優先すべき事項は人命である。つまり、避難時

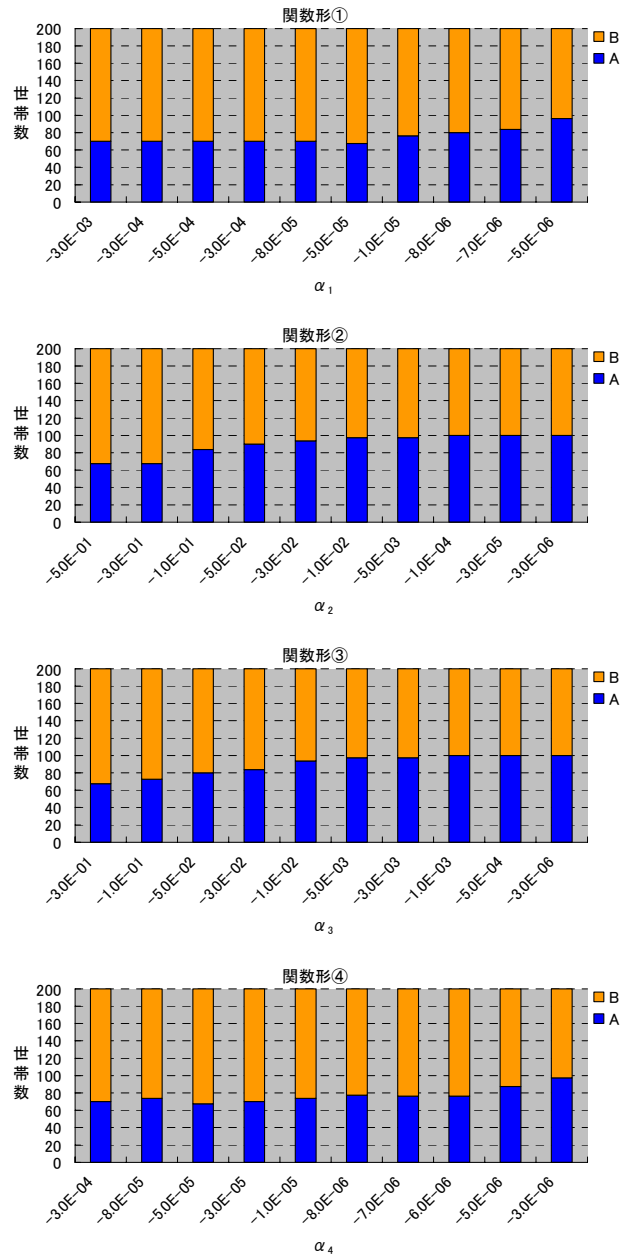
表－２ パラメータ設定

| 関数形①       |           |            | 関数形②       |           |            |
|------------|-----------|------------|------------|-----------|------------|
| $\alpha_1$ | $\beta_1$ | $\gamma_1$ | $\alpha_2$ | $\beta_2$ | $\gamma_2$ |
| -3.0E-03   | 3.0E-04   | 2.0E-04    | -5.0E-01   | 3.0E-02   | 2.0E-02    |
| -3.0E-04   |           |            | -2.0E-01   |           |            |
| -5.0E-04   |           |            | -1.0E-01   |           |            |
| -3.0E-04   |           |            | -5.0E-02   |           |            |
| -8.0E-05   |           |            | -3.0E-02   |           |            |
| -5.0E-05   |           |            | -1.0E-02   |           |            |
| -1.0E-05   |           |            | -5.0E-03   |           |            |
| -8.0E-06   |           |            | -1.0E-04   |           |            |
| -7.0E-06   |           |            | -3.0E-05   |           |            |
| -5.0E-06   |           |            | -3.0E-06   |           |            |
| 関数形③       |           |            | 関数形④       |           |            |
| $\alpha_3$ | $\beta_3$ | $\gamma_3$ | $\alpha_4$ | $\beta_4$ | $\gamma_4$ |
| -3.0E-01   | 5.0E-03   | 4.0E-03    | -3.0E-04   | 5.0E-04   | 4.0E-04    |
| -1.0E-01   |           |            | -8.0E-05   |           |            |
| -5.0E-02   |           |            | -5.0E-05   |           |            |
| -3.0E-02   |           |            | -3.0E-05   |           |            |
| -1.0E-02   |           |            | -1.0E-05   |           |            |
| -5.0E-03   |           |            | -8.0E-06   |           |            |
| -3.0E-03   |           |            | -7.0E-06   |           |            |
| -1.0E-03   |           |            | -6.0E-06   |           |            |
| -5.0E-04   |           |            | -5.0E-06   |           |            |
| -3.0E-06   |           |            | -3.0E-06   |           |            |

間に対する選好を知ることが最も重要である。そこで本研究では、特定化したそれぞれの関数形において、使用面積と備蓄品量に関するパラメータ $\beta$ 、 $\gamma$ の値は固定し、避難時間に関するパラメータ $\alpha$ の変化に対する感度分析を行う。具体的には、表－２に示す値について分析を行う。ただし、パラメータ $\beta$ 、 $\gamma$ の値はアンケート結果より使用面積と備蓄品量の平均得点の相対的な関係が6対5程度であることから、得点の分散等を考慮して3対2、5対4の二種類としそれぞれのパラメータを設定した。また、パラメータ $\alpha$ はパラメータ $\beta$ 、 $\gamma$ の値と同程度の選好になる値を中心として、正負に値を割り振って設定した。パラメータ $\delta$ は効用の基準となるような値であり、ここでは全ての効用関数に対して $\delta = 10$ とする。

## （２）世帯の選好の違いに関する感度分析

各ケースの結果のうち、ケース1に対する結果を図－５に示す。 $\alpha$ の値を小さくするほど、すなわち避難時間に対する選好が相対的に弱くなると、どの関数形についても避難所Aに避難する世帯数が若干増加する結果となった。また、全ての関数形について $\alpha$ の値を極端に小さくした時(例えば $\alpha = -1.0$ )の避難所A、Bに避難する世帯の割合は、どの関数形でも同じ結果となり、避難時間のみを考慮した場合の結果と同じとなった。同様に、全ての関数形について $\alpha$ の値を極端に大きくした時(例えば $\alpha = -1.0E-06$ )の避難所A、Bに避難する世帯の割合も、全ての関数形で同じ結果となり、避難時間を考慮しない場合の結果と同じ



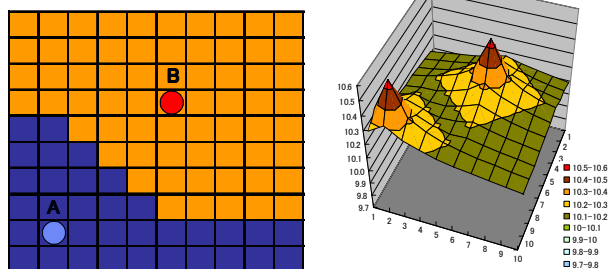
図－５ 世帯の選好の違いと選択避難所の関係

となった。したがって、避難時間に対する選好の違いは避難所配置計画に大きな影響を及ぼさないとと言える。つまり、避難時間に対する選好はパラメータ $\alpha$ が大きければより近い方へ、小さければより避難環境がよくなる方へ選択するモデルであると言える。

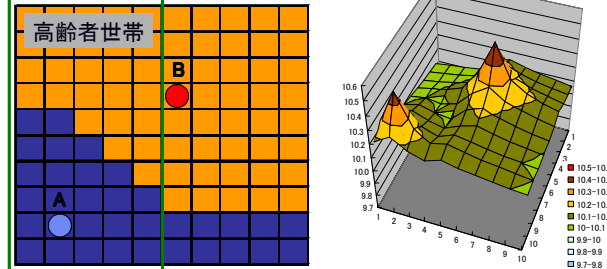
## （３）避難所の最適領域

表－２に示した全てのパラメータについて、表－１の各ケースを分析した結果のうち、関数形①については、各ケースによる大きな違いが見られなかったため、関数形②、③、④の典型的な結果のみ図－６に示す。図－６は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。またⅠ、Ⅲ、Ⅴ、ⅦとⅡ、Ⅳ、Ⅵ、Ⅷはそれぞれ計画者が高齢者世帯を考慮する場合と考慮しな

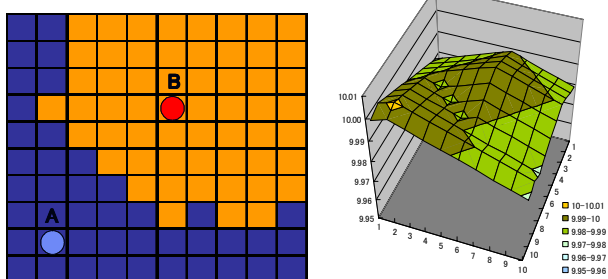
I. ケース 3 関数形②( $\alpha = -0.1$ )



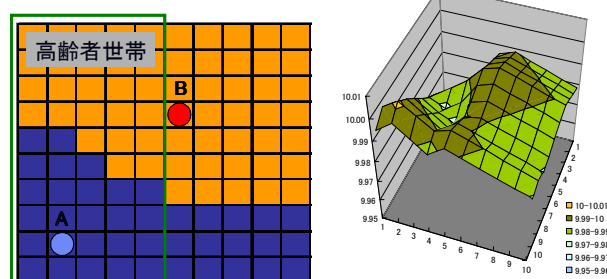
II. ケース 4 関数形②( $\alpha = -0.1$ )



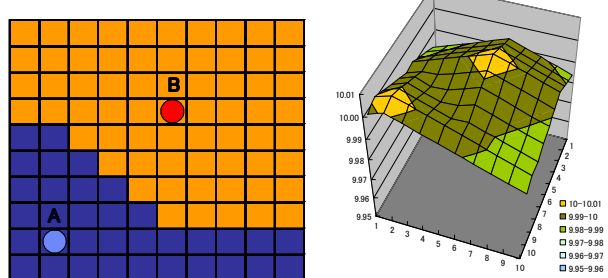
III. ケース 1 関数形③( $\alpha = -0.05$ )



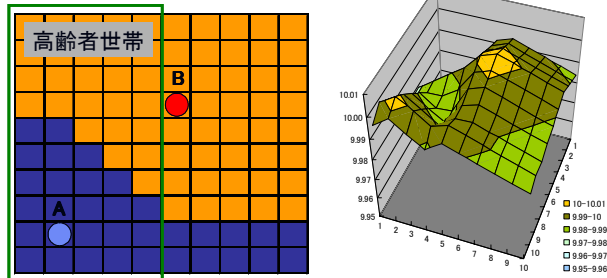
IV. ケース 2 関数形③( $\alpha = -0.05$ )



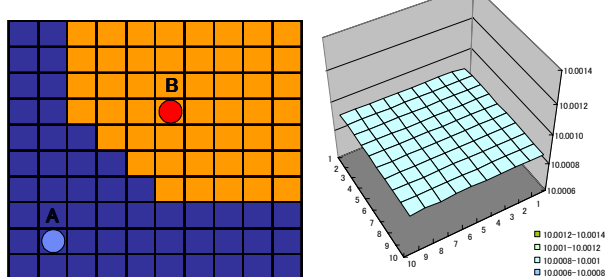
V. ケース 3 関数形③( $\alpha = -0.05$ )



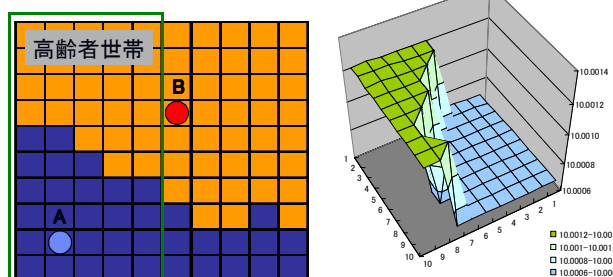
VI. ケース 4 関数形③( $\alpha = -0.05$ )



VII. ケース 1 関数形④( $\alpha = -1.0E-05$ )



VIII. ケース 2 関数形④( $\alpha = -1.0E-05$ )



図一 6 仮想地域における最適領域と効用分布

い場合の違いのみを示している。これらの結果より、高齢者世帯を考慮せずに避難所の領域を決定すると避難所から遠くに住んでいる高齢者世帯に不利な計画となることがわかる。IIIとIV、VとVIの効用分布の図を比較してみると、避難時間の長い高齢者世帯の効用が低くなっていることがわかる。これは避難所配置計画策定にあたっては、避難所から遠い位置に居住する高齢者について考慮しなければならないことを示唆している。VとVIIはIIIとIVにおいて避難所Bの規模を大きくしたケースである。IVとVIを比較してみると、避難所の規模が大きくなったこと

により一般世帯は避難所を変更しているが、高齢者世帯はほとんど避難所を変更していない。したがって、高齢者世帯は一般世帯よりも避難時間に対する選好が強く働いており、このことから避難所の配置計画においては、高齢者世帯の避難時間に注意する必要があると言える。

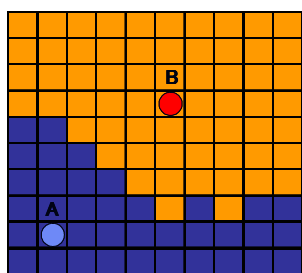
#### (4) 避難所の最適規模

上位問題である政府の行動モデル式(8)については、避難所の使用面積と備蓄品量に対して発生する管理費用を効用に置き換えた形で考え、以下のように特定化した。

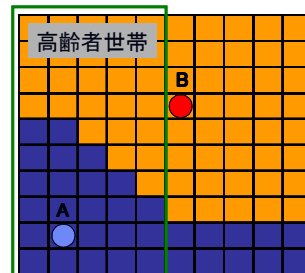
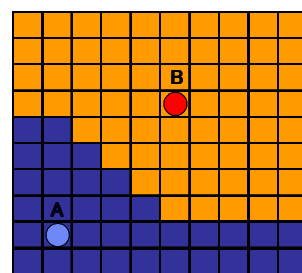
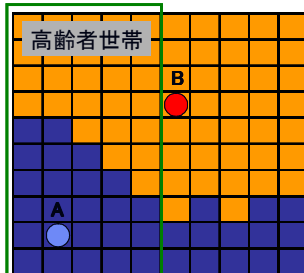
表－3 使用面積と備蓄品量の最適規模

| 関数形 | $\alpha$ | $\mu$   | $\eta$  | 高齢者世帯 | $A_A$ | $S_A$ | $A_B$ | $S_B$ |
|-----|----------|---------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|
| ①   | -8.0E-06 | 3.9E-05 | 2.4E-05 | なし    | 440   | 440   | 700   | 700   |
|     |          |         |         | あり    | 550   | 550   | 700   | 700   |
| ②   | -1.0E-01 | 3.0E-03 | 2.0E-03 | なし    | 400   | 400   | 660   | 660   |
|     |          |         |         | あり    | 400   | 400   | 660   | 660   |
| ③   | -5.0E-02 | 5.0E-04 | 4.0E-04 | なし    | 400   | 400   | 660   | 660   |
|     |          |         |         | あり    | 400   | 400   | 660   | 660   |
| ④   | -1.0E-05 | 6.7E-05 | 5.3E-05 | なし    | 400   | 400   | 400   | 400   |
|     |          |         |         | あり    | 400   | 400   | 400   | 400   |

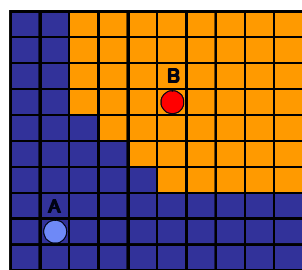
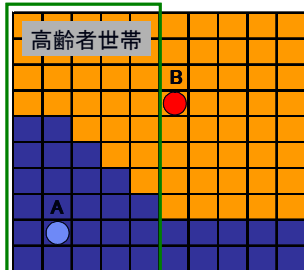
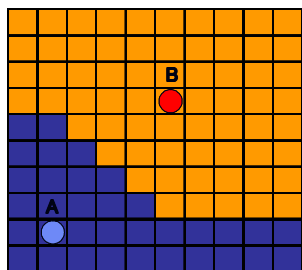
関数形①



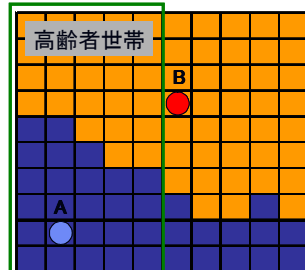
関数形②



関数形③



関数形④



図－7 最適な避難所使用面積と備蓄品量の規模における最適領域

$\mu, \eta$  はパラメータであり、(1) (c) で示した条件を満たすこととする。

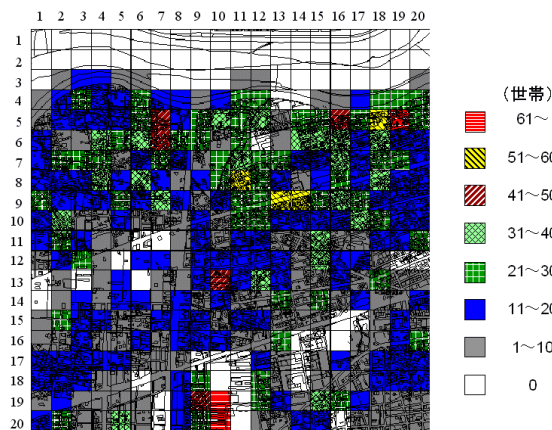
$$\sum_i u_{ij} - \sum_j (\mu A_j + \eta S_j) \quad (13)$$

また、感度分析の結果から、ある程度整合がとれているパラメータを用いて上位問題の検討を行った。それぞれの関数形について分析に用いたパラメータと結果として得られた最適規模を表－3に示す。ただし、ここでの検討は施設の規模を1㎡あたり1食として考え、パラメータ $\mu, \eta$ は費用を効用に換算するものであるため、これもアンケート結果を用いて、使用面積と備蓄品量の平均得点の相対的な関係が6対5程度であることおよび総効用との関係を考慮して、現実的な結果が得られるように試行錯誤で設定した。さらに現実の問題を考えた場合、既存の施設を避難所として利用することは可能であるが、新たに施設を建設するのは困難であることを踏まえ、こ

こでは施設を追加しないで $A_j, S_j$ についての最適規模を検討した。また、図－7にその最適領域を示す。関数形①では、高齢者世帯を考慮する場合と考慮しない場合で最適領域は同じ結果となったが、避難所Aに避難する高齢者世帯の使用面積と備蓄品量が不足していることがわかった。したがって、避難所の規模を決定する際においても、高齢者世帯を考慮することが大切である。関数形②と③では、高齢者世帯を考慮する場合と考慮しない場合で最適規模、最適領域共に同じ結果となった。このうち、関数形③は、(3)で示したV、VIの最適領域と同じ結果となっているが、使用面積と備蓄品量は(3)のV、VIより少なくなっている。関数形②についても結果は示していないが同様である。したがって、避難所の使用面積と備蓄品量について、避難所を追加しないという条件かつ1㎡あたり1食という条件の下で最適規模が決定できたと言えよう。関数形④では、最適領域、最適規模共に(3)で示したVII、VIIIと同じ結果を示した。この結果は距離に対する選好が大きいためである。以上の結果と

表－４ 対象地域の避難所の配置・規模・備蓄品量

| 避難所名      | 座標       |          | 避難所<br>規模(㎡) | 備蓄<br>品量<br>(食) |
|-----------|----------|----------|--------------|-----------------|
|           | 東西<br>方向 | 南北<br>方向 |              |                 |
| a.西部福祉会館  | 5        | 14       | 445          | 489             |
| b.農協市橋支店  | 2        | 18       | 120          | 132             |
| c.立政寺     | 3        | 15       | 160          | 176             |
| d.精華中学校   | 4        | 10       | 2450         | 2692            |
| e.本荘小学校   | 17       | 11       | 2800         | 3076            |
| f.本荘中学校   | 12       | 6        | 3090         | 3395            |
| g.科学館     | 11       | 19       | 2449         | 2691            |
| h.岐南工業高校  | 11       | 17       | 2550         | 2802            |
| i.農協本荘支店  | 16       | 13       | 123          | 135             |
| j.コマクサ保育園 | 8        | 9        | 200          | 220             |



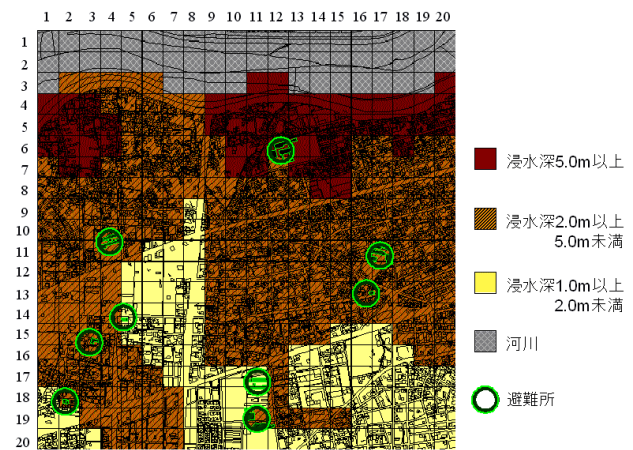
図－９ 岐阜市本荘地区の世帯分布

(2), (3)の結果を踏まえて、今回分析した関数形を現実に応用するならば、避難行動を最も反映しているであろう関数形③を用いることが望ましいと考える。ただし、本来ならば避難所の選択に関するアンケート調査を住民に対して行い、その結果を踏まえて効用関数を推定する必要があると思われるが、これについては今後の研究課題としたい。

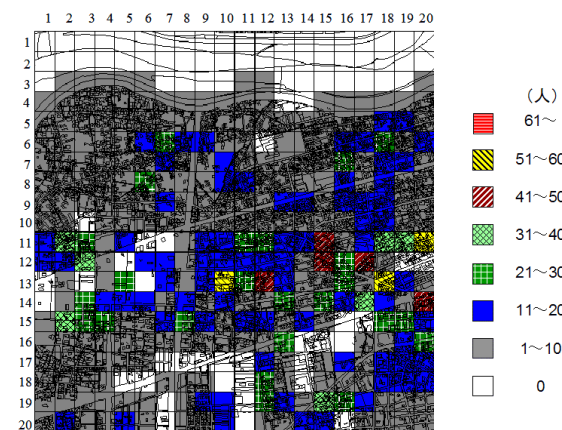
## 5. 岐阜市における避難所の配置計画

### (1) 対象地区と条件

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実際の避難所配置計画について検討した。まず、本荘地区において岐阜市が想定している洪水時の浸水深と現状の避難所配置<sup>10)</sup>を図－8に示すとともに、各避難所のデータを表－4に示す。この地区内には指定された避難所が9ヶ所と、避難所として利用可能な建物が1ヶ所ある。また、避難所の規模は建物の延べ床面積(㎡)とし、備蓄品量は地域全体で一人1食程度となるように設定して、各避難所の施設規模に応じて割り振った。また、世帯数の分布は図－9のとおりで



図－８ 岐阜市本荘地区の想定浸水深と避難所配置<sup>10)</sup>



図－10 岐阜市本荘地区の高齢者分布<sup>11)</sup>

ある。対象地区内の世帯数は5,269世帯であり、岐阜県の平均世帯人数が約3人<sup>11)</sup>であることから区域内人口を15,807人とした。なお、高齢者数の分布<sup>11)</sup>は図－10のとおりであり、国勢調査の2分の1地域メッシュ統計に基づいて各メッシュの世帯数で高齢者数を比例配分した。対象地区内の高齢者数は3407人である。また各メッシュの移動速度は、高齢者数の割合によって決定する。つまり、高齢者数の割合が多いほど移動速度は減少することとなる。これらのデータを用いて最適領域を求めた。以上のことから、ここで考えている問題の上位問題は、 $j, A_j, S_j$ をひとまとまりとした上で、つまり、現実的な条件の下で $j$ が決まれば $A_j, S_j$ が決まるとして解を求める問題である。

### (2) 現状の最適領域

仮想地域の分析において、検討結果が最も妥当であると考えた関数形③を用いて現状の避難所に対する最適領域を求めた結果、図－11のようになった。図－11の上段から下にいくほど避難時間に対する選好が小さくなるようにパラメータ $\alpha$ を設定した。まず $\alpha = -0.3$ の結果を見てみると、一部の世帯は避難時間ではなく使用面積と備蓄品量が大きくなる避難所を選択しているが、ほと

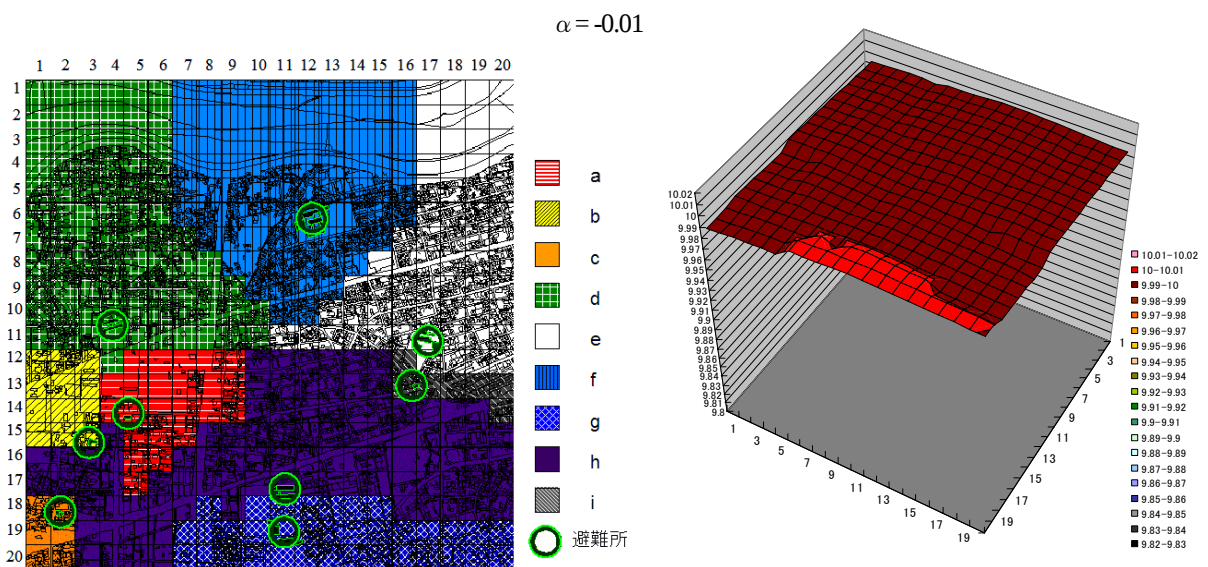
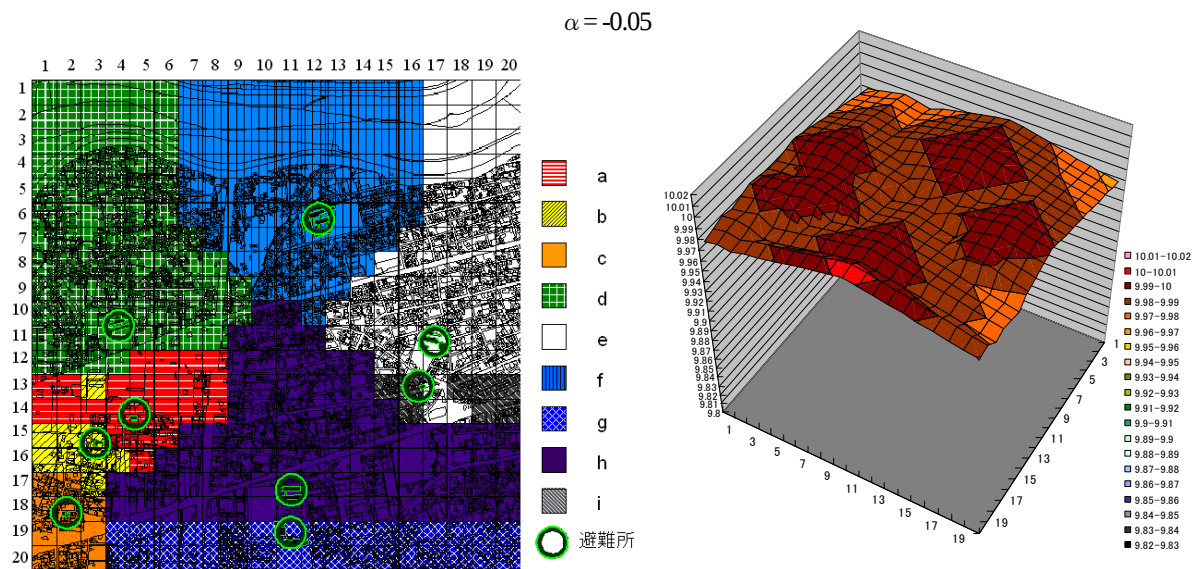
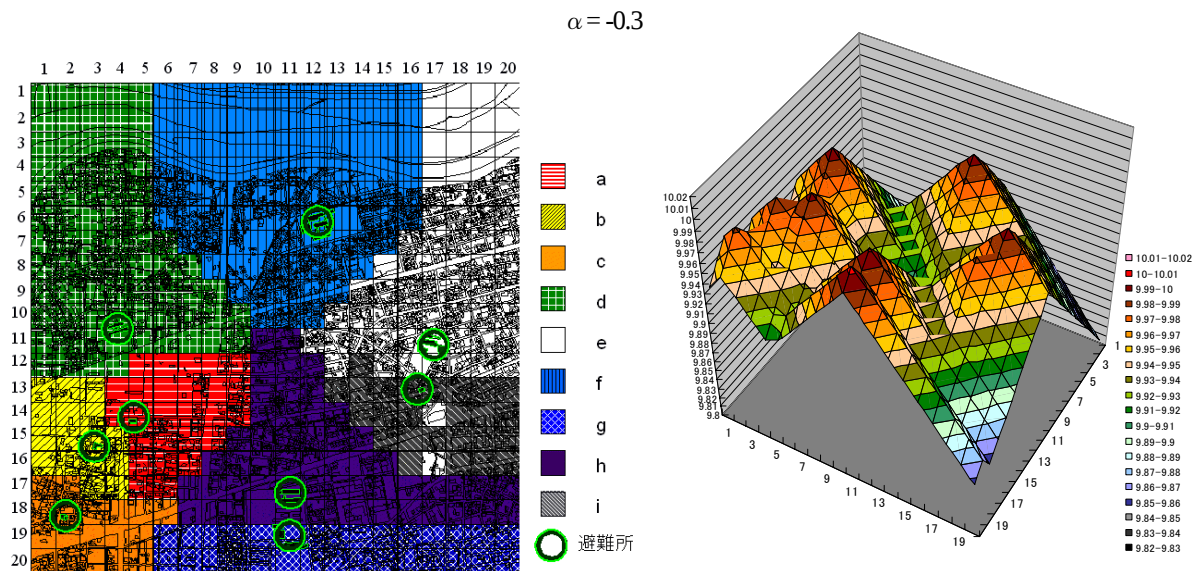
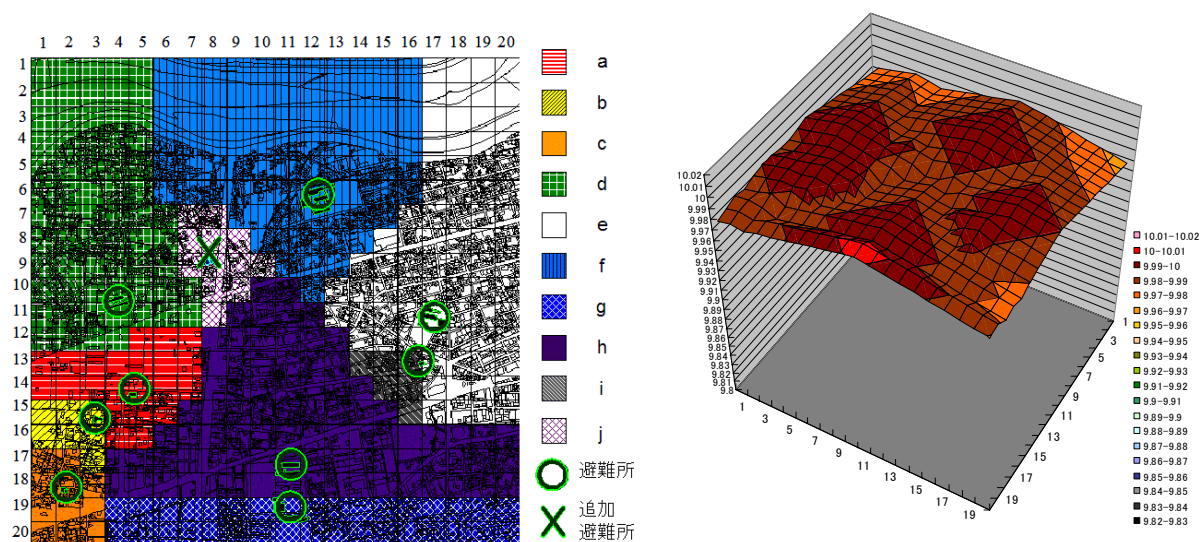
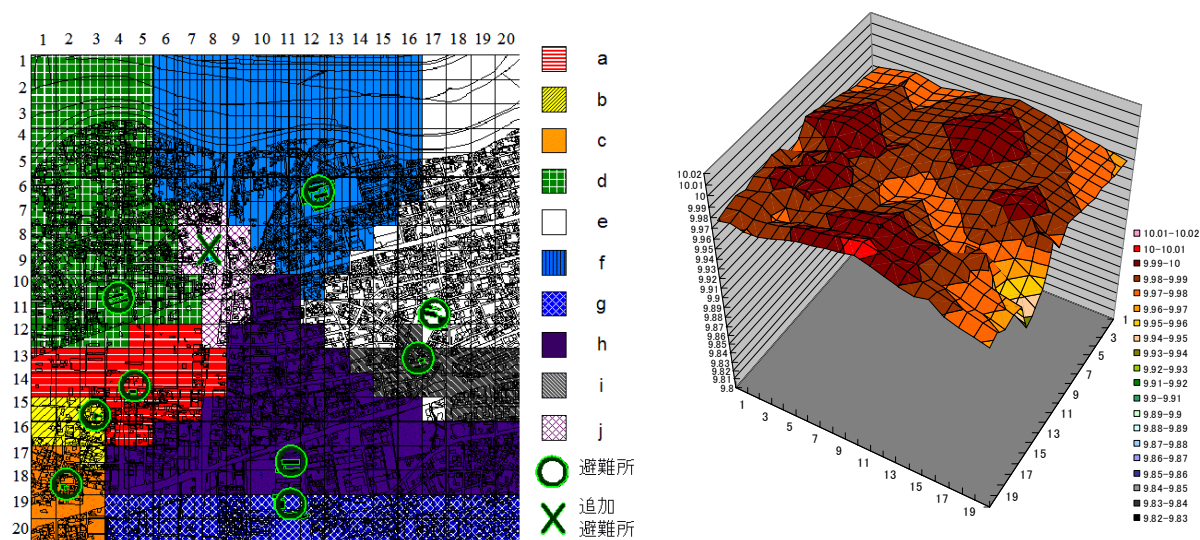


図-1 1 現状の最適領域と効用分布



図－１２ 避難所追加時の最適領域と効用の分布



図－１３ 高齢者世帯を考慮した場合の避難所追加時の最適領域と効用の分布

んどの世帯は避難時間で避難所を選択していることがわかる。  $\alpha = -0.05$  の結果では、一部の世帯を除いて、ある一定の避難時間内に住んでいる世帯はより近い避難所を選択しており、それ以外の世帯は使用面積と備蓄品量が大きくなる避難所を選択していることがわかる。効用分布を見てみると、  $\alpha = -0.3$  に比べて地域全体の効用格差が小さい。  $\alpha = -0.01$  の結果では、各世帯は避難時間に関係なく使用面積と備蓄品量が大きくなる避難所を選択しており、規模が大きい避難所ほど避難する世帯のカバーする領域が大きくなっていることがわかる。効用分布を見てみると、地域全体で大きな変化はなかった。以上の結果から、本システムにより住民の避難行動に対する選好を把握した上で、各避難所の最適領域を求めることができたことを確認した。

### (3) 避難所を追加した場合の最適領域

現状において既存の施設から避難所として利用可能な

施設を1ヶ所追加した(図－１２の×印)。ここでは  $\alpha = -0.05$  を用いて検討した結果を図－１２に示す。現状と比較すると追加した避難所によって、避難所d, fに避難する世帯の一部をカバーすることがわかる。その影響を受けて、各避難所のカバーする領域に変化が見られた。また、全体の効用は現状と比較して約0.006% 高くなった。追加した避難所の規模は小さいが、新たに避難所を追加することは地域全体にとって必要であることがわかった。よって、本システムがこのような現実的な避難所の配置計画に利用可能であることが示せたと思われる。

次に高齢者世帯を考慮した場合について、高齢者世帯を考慮していない場合と同様の条件で検討した。その結果を図－１３に示す。避難所eに避難していた世帯のうち高齢者の割合が多い世帯はより近い避難所へ避難している。また、高齢者の割合が多い世帯で効用が低下している。以上より、高齢者世帯を考慮して避難所の配置計画をしなくてはならないことがわかった。

## 6. おわりに

本研究では住民の視点から見た避難所配置計画の策定支援システムを構築した。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限定的な条件のもとで適用性を確認した。また避難時間のパラメータと関数形についての感度分析を行い、住民の選好の違いが避難所配置計画に与える影響について把握した。その結果、住民の避難行動を考慮した避難所の配置計画を策定するための支援システムができたと言える。また、高齢者世帯を考慮することで住民の避難行動は大きく変化することがわかった。つまり、避難所の配置計画を行う際に住民の視点に立って考えることが重要であり、特に高齢者世帯を考慮することが重要であると言える。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調査の実施により、水害時における住民の避難行動を分析し、実態に近い効用関数の推定をする必要がある。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し、街区単位での検討を行うことで、より住民の視点に近い配置計画となると考えている。さらに、浸水深データと対象地域の高低差、建物の階数データを合わせて利用することで、住民が避難し始める時間帯についても考慮することができ、時間帯を考慮した避難所の配置計画ができると考えている。今後は、これらの課題について取り組んでいきたい。

**謝辞：**本研究は日本学術振興会「特定国派遣研究者事業、研究課題名：大規模都市災害に対する総合リスクマネジメントに関する研究」の助成を受けて行った研究成果の一部である。ここに記してInternational Institute for Applied

Systems Analysis(IIASA), ならびに日本学術振興会, Federal Ministry of Science and Transport of Austriaの関係各位に感謝の意を表する。

### 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.
- 6) 片田敏孝,桑沢敬行：災害総合シナリオシミュレーション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.
- 7) 目黒公郎,藤田卓：ポテンシャルモデルとVRを組み合わせた新しい避難シミュレーションツールの開発,第57回年次学術講演会講演概要集,土木学会,共通セッション,CS1-022,pp.43-44,2002.9,E
- 8) 巖網林：GISの原理と応用,日科技連出版社,2003.
- 9) 東明佐久良：完・全・図・解ビジュアルGIS,オーム社,2002.
- 10) 岐阜市：岐阜市洪水避難地図長良川左岸地域版,2002.
- 11) 総務省統計局：平成12年国勢調査,2000.

---

## 住民の視点から見た避難所配置計画の策定支援システムの構築\*

山田知寛\*\*・高木朗義\*\*\*

近年の水災害は、従来型の施設整備によるハード中心の対策だけでは対応しきれない現状にあり、多くの地方自治体は様々なソフト対策に取り組んでいる。そこで本研究では、避難所の配置計画を策定するための支援システムを構築した。本システムは、住民の選好に基づいて避難所を選択する構造になっており、住民の視点から見た避難所配置計画を策定できるものである。また、いくつかの分析を通して、高齢者世帯の避難行動を考慮して配置計画を立案することが重要であることが明らかとなった。

---

## A Planning Support System of Shelter Location from the Viewpoint of Resident\*

By Tomohiro YAMADA\*\*・Akiyoshi TAKAGI\*\*\*

Since the recent flood disasters cannot be corresponded with the only hard measure based on the conventional facilities development, many municipalities are trying various soft measures. In this paper, we structured the planning support system of shelter location. This system can plan the shelter location from viewpoint of residents, because it has the structure which chooses a shelter depend on the preference of residents. We obviously show that it is important to plan the shelter location in consideration of the refuge behavior of the elderly household through several analyses.

---