

自助・共助・公助を踏まえた避難計画策定のための避難情報システムの構築

Evacuation Information System for Evacuation Planning with Self-preparedness, Mutual Aid and Public Help

澤田基弘**・高木朗義***・廣住菜摘****

By Motohiro SAWADA**・Akiyoshi TAKAGI***・Natsumi HIROZUMI****

1. はじめに

近年、想定以上の自然災害が相次いで発生しており、多くの地方自治体は災害対応として様々なソフト対策に取り組み、避難計画の見直しなどを行なっている。避難計画には避難者の特性や地域コミュニティに深く関わる問題が多く存在する。避難計画を事前に決定し、かつ災害発生前に有用な避難情報を住民に提供することは極めて重要である。そこで本研究では、住民の意思に基づいた避難行動を考慮した上で、避難計画の提案が可能なシステムを構築する。

本システムは、個々の地域住民に避難情報を提供できるとともに、行政と地域コミュニティが協働して避難計画を策定する際の支援システムとしても活用可能である。

2. 避難情報システム

本システムの構成を図1に示す。本システムは、GISをベースシステムとしており¹⁾、特徴としては、詳細な空間分析が可能、入出力データの取り扱いが容易、わかりやすい表示が可能、などが挙げられる。

本システムの利用手順について示す。まず、データ抽出システムにより避難時の二次災害を防ぐための安全な道路の特定や、非浸水避難所候補地の選定、要避難者の抽出等を行なう。この抽出はGISデータベース内に蓄積された浸水深データと建物データ、道路ネットワークデータを重ね合わせて行なっている。次に、利用可能避難所・道路を決定し、地域に対する最適避難計画を表示する。この時、アンケートによる地域住民の選好をとらえた効用関数に基づいて地域全体に対する社会厚生が最大となるように避難計画を決定するという数理最適化問題として捉えている²⁾。

3. 避難計画の総合評価指標の提案

本システムの最適避難計画決定に用いる社会厚生関数を総合評価指標と呼ぶ。この枠組みと構成要素を(1)に示す。

*キーワード：防災計画、意識調査分析、避難計画、リスクコミュニケーション

**正員、日建設計シビル

(名古屋市中区栄4-15-32, sawada@nikken.co.jp)

***正員、博(工)、岐阜大学教授 社会基盤工学科

(岐阜市柳戸1-1, a_takagi@gifu-u.ac.jp)

****愛知県

(名古屋市中区三の丸3-1-2, TEL052-961-2111)

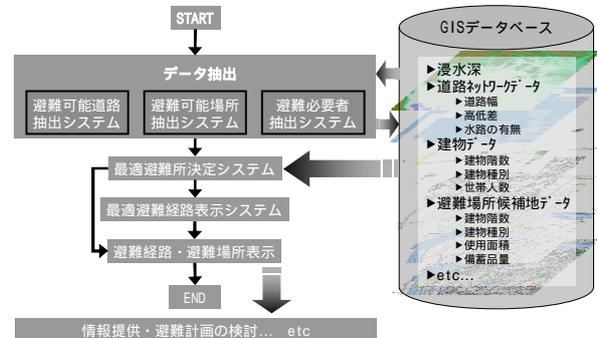


図1 避難情報システムの構成

(1) 総合評価指標の枠組み

総合評価指標とは、避難所・避難路の地域住民に対する適切さを評価する指標で、式(1)で表される。

$$U_c = \prod_h \sum_i \lambda_i (t, h_i, \dots, h_j, c_1, \dots, c_k) x_i \quad (1)$$

総合評価指標 U_c は、個別評価指標 x_i とその相対的重要度 λ_i の積算によって表現する($i = (1 \dots I)$:項目数)。 λ_i は世帯属性 h 、地域属性 c 、時刻 t によって変化する。なお、ナッシュ型の社会厚生関数³⁾の概念で総合評価指標を構築した。この理由として避難計画は公共性が高く公平性が不可欠であると同時に、予算や避難所面積が限られるなどの効率性が重要としたためである。

避難計画の評価手順としては、対象地域の避難所・避難路データを収集。世帯・地域属性データを収集。

意識調査を行い個別評価指標の相対的重要度の値を決定。式(1)に、を代入し、地域の避難リスクに関する総合評価値を算出、となる。

(2) 個別評価指標

個別評価指標とは、避難計画を評価するために必要な要因である。本研究では既往調査研究資料を整理して、表1に示す個別評価指標を設定した。なお、地震と洪水では避難計画が異なるとして、個別評価指標の一部を地震時と洪水時に区別している。

(3) 世帯・地域属性

災害弱者を含む世帯は、距離が長くとも他者の援助が得られることを望む場合がある。しかし自力での避難が可能な世帯では、避難距離が短いことを重視する可能性がある。このように世帯・地域によって避難所・避難路の選択が異なり得ることがわかっている⁴⁾。これらを捉えるため、個別評価指標の相対的重要度に表2のような世

帯・地域属性を反映させることとした。

表1 個別評価指標一覧

一次避難 (主として避難行動の指標)	二次避難 (主として避難所生活の指標)
移動距離 避難路の高低差 移動援助システム 道路幅員 道路の浸水深(洪水時) 道路の耐久性(地震時) 用水路の有無(洪水時) 道路脇の危険(地震時) 倒壊物(地震時) 避難所までの誘導	飲料水 非常食 防寒具 要介護者対応施設 バリアフリー 衛生状態 1人当たり面積 安否確認 医療設備

表2 世帯属性・地域属性

世帯属性 h	世帯人数, 居住年数, 外国人, 要介護者, 高齢者, 障害者, 12歳以下, 妊婦, ペット, 防災知識, 防災意識, 防災行動, 消防団員, 水防団員, 災害ボランティア
地域属性 c	防災意識, 防災訓練, 防災組織, ボランティア組織, 施設充足度, 地域コミュニティ

(4) 一次避難と二次避難

時々刻々と変化する避難計画の時間変化を表現するために、時刻tを避難路に関する「一次避難」、避難所に関する「二次避難」の二段階に区分し、個別評価指標に対する相対的重要度を推定することとする。

4. 鏡島地域における避難計画の現況評価

総合評価指標の適用性を確認するため、住民の選好をコンジョイント分析で調査し、世帯単位での分析を行った。調査の概要と評価結果を以下に示す。

(1) 地域住民の意識調査

図2に示す住民と岐阜大学の学生に一对比較アンケート調査を実施し、その結果(有効回答118部)を用いて最尤推定法により個別評価指標に対する相対的重要度 λ_i を求めた。このとき、的中率と尤度比は十分な値が得られた。調査票の一部を表3に示す。

洪水時、相対的重要度の推定結果を図3に示す。これを見ると一次避難では、主に道路の浸水深が重視され、二次避難では、衛生状態、医療設備が全ての世帯において重視されていることがわかった。世帯属性による特徴としては、災害弱者を含む世帯は道路幅員を他の世帯よりも重視し、学生は安否確認を他の世帯属性ほど重要と考えていない傾向がある。

(2) 最高避難人数の決定

(1)式の総合評価指標を最大とすることで地域の社会厚生は最大となる。本研究では、避難計画を一次避難と二次避難の二段階に分離する。その場合、総合評価指標は(2)式で表される。

$$U = \prod_n \left\{ \sum_{i=1}^8 \lambda_i x_i + \left(\lambda_9 x_9 + \lambda_{10} \frac{W_n}{P_n} + \lambda_{11} \frac{F_n}{P_n} + \lambda_{12} \frac{C_n}{P_n} + \lambda_{13} \frac{A_n}{P_n} \right) \right\} \quad (2)$$

$$\lambda_n' x_n' = \lambda_{12} x_{12n} + \lambda_{13} x_{13n} + \lambda_{14} x_{14n} + \lambda_{16} x_{16n} + \lambda_{17} x_{17n}$$

ここで、 W_n , F_n , C_n , A_n , P_n はそれぞれ避難所nの飲料水量, 非常食量, 防寒具量, 利用可能面積, 避難

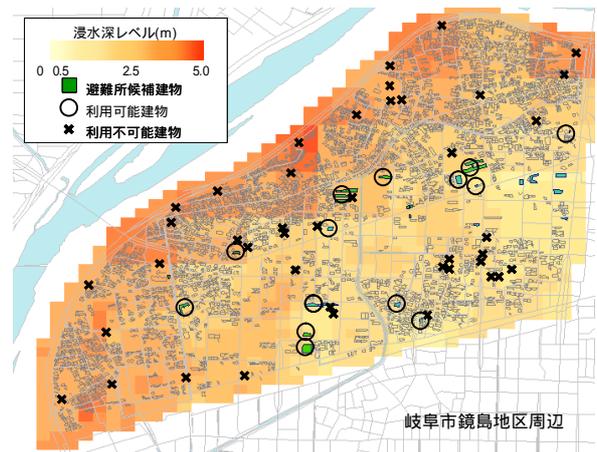


図2 対象地域の長良川全破堤における浸水深

表3 アンケート調査票の一部

[以下の点に考慮して回答下さい]
 水害時には、道路が水に浸かると足元が見えなくなる・ものが流される危険があります。また用水路に足を踏み入れて怪我をするといった問題があります。

一次避難		二次避難		回答欄
避難所までの距離 750m	道路の浸水深 50cm	避難所までの距離 1500m	道路の浸水深 0cm	
非常食の配給 1人3日分	避難所の衛生状態は普通	非常食の配給 1人1日分	避難所の衛生状態はよい	

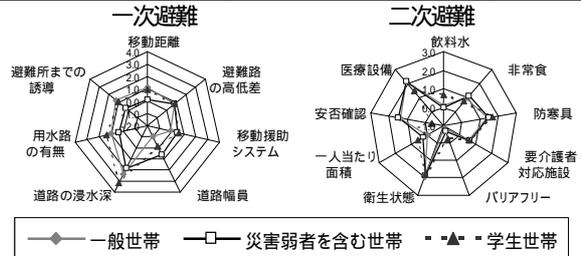


図3 個別評価指標の相対的重要度

者数。P は地域の総避難者数である。

世帯属性がhだけ存在する場合、地域全体での社会厚生は(3)式で表現できる。

$$U_n = \prod_n \prod_h \left(\frac{\sum_i \lambda_i x_i^n}{\sum P_n^h} \right)^{P_n^h} \quad (3)$$

ここで、 $\sum \lambda_i x_i^n$: 世帯属性mの世帯が避難所nで利用可能な水準に対する重みの総和, P_n^m : 避難所nへ避難した世帯属性mの避難世帯数。

この(3)式を最大化する避難人数を求めることで、地域の社会厚生を最大とする避難人数を求めることができる。この社会厚生最大化問題に対する目的関数と制約条件は以下のように定式化される。

$$\max U_n = \prod_n \prod_h \left(\frac{\sum_i \lambda_i x_i^n}{\sum P_n^h} \right)^{P_n^h} \quad (4)$$

$$\text{s.t. } P_h = \sum_n P_n^h \quad (5)$$

$$P_n^h \geq 0 \quad (6)$$

上式を解くと、次の最適化条件式が導かれる。

$$\frac{\sum_i \lambda_i^j x_i^n}{\sum_i P_i^j} = \frac{\sum_j \sum_i \lambda_i^j x_i^n}{\sum_j \sum_i P_i^j} \quad i = (1 \dots m), j = (1 \dots h) \quad (7)$$

(7)式の左辺は避難所*i*へ避難した属性*j*の世帯の効用、右辺は属性*j*の世帯の平均効用を表し、その値は一定となる。よって、世帯属性が等しいならば、各避難所の世帯の効用が等しくなることが、地域の社会厚生を最大化条件であるといえる。本研究ではこの条件を用いて各避難所における最適人数の決定を行う。

(3) 各世帯の最適避難所の決定

(8)式の避難路の指標も含めた評価を行い、各世帯の最適避難所を決定する。具体的には、ある避難所への経路についての評価が高い世帯順に最適避難人数に達するまで避難所を決定する。これを全避難所に対して行う。なお、避難路の評価には経路距離が含まれるため、各世帯で(8)式の値は異なる。

$$U_{Route} = \sum_{i=1}^8 \lambda_i x_i \quad (8)$$

対象地域の全世帯に最適避難所決定システムを適用した結果を図4に示す。避難所に対応する避難世帯が色分けされており、視覚的にわかりやすい提案となっている。計画者の視点からは、各避難所の避難人数の分布を容易、かつ感覚的に読み取ることが可能である。避難者の視点からは、自分の最適避難所が空間情報として視覚的に判断できる。避難人数の分布を見てみると、多くの世帯は備蓄品が用意された小学校(地域中心に位置する)へ避難することがわかる。世帯属性ごとの避難状況を見ると、一般世帯の多くが備蓄品のある小学校へ避難し、災害弱者を含む世帯は一人当たりの面積が広くなるように地域内で分散した。世帯属性によって避難計画に違いがあることが確認できた。

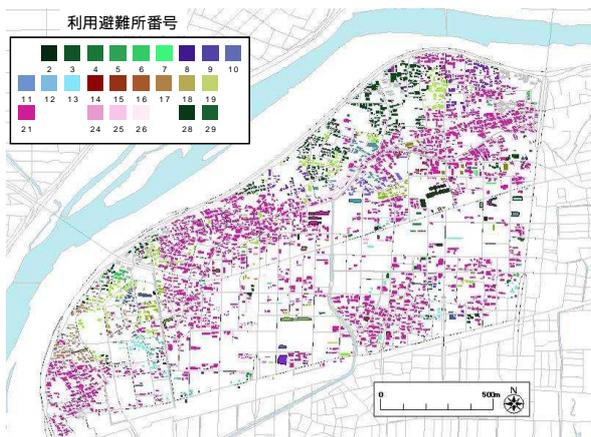


図4 鏡島地域における現況の最適避難所

5. 避難計画の改善案の評価と有効性の検討

自助・共助・公助の視点から表4に示す複数の避難計画改善案シナリオを用意し、避難情報システムを用いて比較分析を行った。これらを比較分析することは避難計

画の提案時に有効な判断材料となり得る。同時に、様々なシナリオを評価可能とする本システムの有用性を確認する。

(1) 非常食と飲料水に対する改善案の検討

非常食と飲料水に対する改善案はそれぞれ次の2パターンを想定した。行政が小学校の備蓄非常食、備蓄飲料水を追加する、事前に各世帯で非常食、飲料水を用意する(自助)。各案の一人当たりの追加量を変化させ、施策実施主体と追加量に対する比較を行なった。本システムを用いて得られた結果を図5、図6にそれぞれ示す。これを見ると、準備する非常食数、飲料水が増加すると社会厚生の評価値も上昇し、非常食と飲料水の事前準備がともに有効であることが確認できた。また、公助と自助を比較すると自助の改善案も公助とほぼ同程度の評価値となり、自助の有効性が確認できた。

表4 シナリオ一覧

改善内容	実施主体	改善量/シナリオ番号			
		シナリオ0			
非常食	行政(公助)	+1食/1人	+2食/1人	+3食/1人	+4食/1人
	世帯(自助)	シナリオ1	シナリオ2	シナリオ3	シナリオ4
飲料水	行政(公助)	+1本/1人	+2本/1人	+3本/1人	+4本/1人
	世帯(自助)	シナリオ5	シナリオ6	シナリオ7	シナリオ8
防寒具	行政(公助)	+1枚/1世帯	+2枚/1世帯	+3枚/1世帯	+4枚/1世帯
	世帯(自助)	シナリオ9	シナリオ10	シナリオ11	シナリオ12
用水路	行政(公助)	すべてに蓋をする			
	世帯(自助)	シナリオ13	シナリオ14	シナリオ15	シナリオ16
避難誘導	行政(公助)	被災時に避難誘導を実施			
	地域(共助)	シナリオ17	シナリオ18	シナリオ19	シナリオ20
		シナリオ21	シナリオ22	シナリオ23	シナリオ24
		シナリオ25			
		シナリオ26			

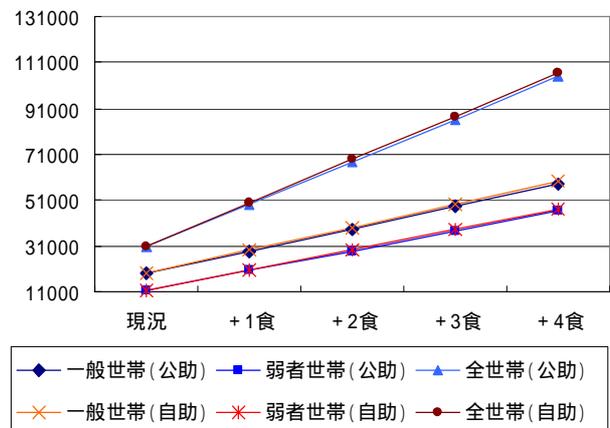


図5 改善案の評価結果(非常食)

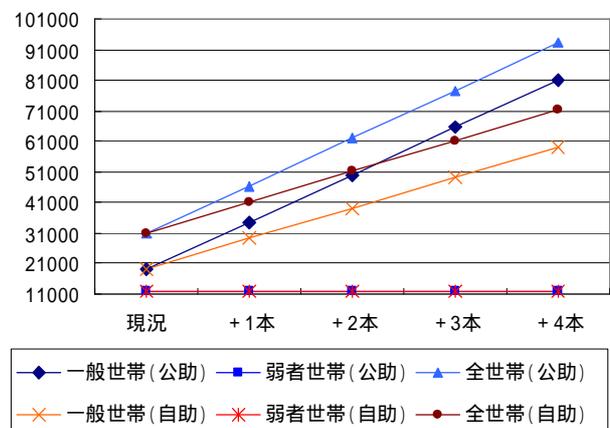


図6 改善案の評価結果(飲料水)

(2) 防寒具に対する改善案の検討

防寒具に対する改善案は非常食と同様に 行政が小学校の備蓄防寒具を追加する(公助)、事前に各世帯で防寒具を用意する(自助)の2パターンを想定し、追加量に対する比較を行なった。本システムを用いて得られた結果を図7に示す。これを見ると、公助、自助ともに、防寒具量を増加させることで社会厚生の評価値が上昇し、防寒具の事前準備は有用な対策であることがわかった。公助と自助の比較では、自助の方が高い評価値となっており、非常食の改善案と同様に自助の有効性が確認できた。

(3) 避難路に対する改善案の検討

避難路の改善案として 行政が全水路に蓋を設置する(公助)、被災時に地域誘導をおこなう(共助)の2種類を想定し評価を行った。図8を見ると、どちらの場合も社会厚生が上昇し、有用な対策であることがわかる。

(4) 自助・共助・公助の視点からの整理

全ての改善案において、共助、自助を促進したどのシナリオの場合でも公助を実施した場合とほぼ同程度の改善効果がみられ、社会厚生の評価結果のみをみても、共助や自助の促進は有用な対策であるといえる。また、実現可能性に着目したとき、行政が実施主体となるシナリオは早期の実現性が低い、住民や地域が行動主体となるシナリオでは早期に実現性可能であるという違いがある。一例として、備蓄品の必要面積と費用の試算結果を表5に示す。公共施設は普段、他の目的で利用されていることが多く、これらの保管面積の確保は困難である。一方、住民が各世帯で自主的に人数分の非常食などを用意することは容易で、実現性は高い。公助と同程度の改善効果があり、実現性も高い自助と共助の促進は避難計画に非常に有効である。

また、本システムは行政、住民、地域といった実施主体の違いを考慮して評価可能なこと、および最適避難計画の決定に与える影響が評価可能であることが確認できた。すなわち、本システムが自助、共助、公助を踏まえた避難計画評価に有用なシステムであると確認できたといえる。

6. おわりに

本研究では自助・共助・公助を踏まえた避難計画策定を支援するための避難情報システムを構築し、その適用性を確認した。具体的には、対象地域における最適避難計画を提案した。また、改善案の検討結果から、自助、共助の促進を行った場合でも、公助を実施した場合と同程度の改善が得られることがわかった。公助の対策を実行するには費用、面積などの面から非常に困難なため、自助と共助の促進は非常に有効である。以上から、自助、共助、公助の視点からの地域住民の意識に基づき、効率性と公平性の両面

を捉えた社会厚生を最大とする避難計画を策定するための避難情報システムが構築できたと思われる。

今後は、実際の地域への本システムの活用とともに、住民の意識レベルや意識変化を捉えて改良案を提案するシステムや、地域コミュニティ単位での避難行動を捉えることが可能なシステムへの改良が必要である。

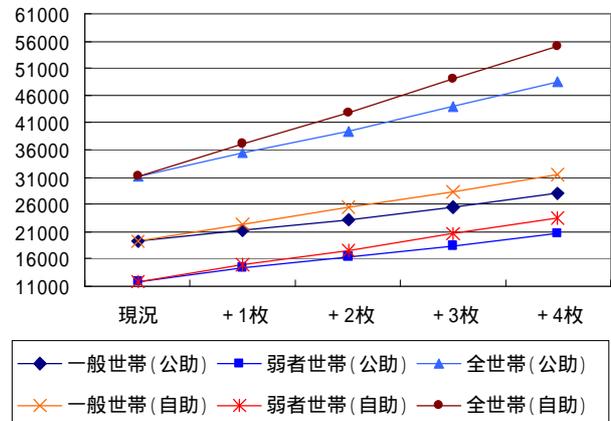


図7 改善案の評価結果(防寒具)

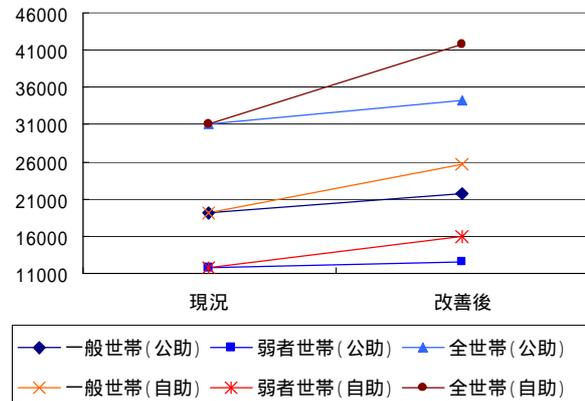


図8 改善案の評価結果(避難路)

表5 必要面積と必要費用の試算結果

改善内容	シナリオ番号	必要面積	必要費用
非常食	シナリオ1	約8 m ²	約420万円
防寒具	シナリオ9	約390 m ²	約1650万円

1学級辺りの平均保有面積：310 m²

参考文献

- 1) 山田知寛, 高木朗義: 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, 土木計画学研究・論文集, Vol.21, 集.No.800 / IV-69, pp.37-50, 2005.
- 2) 高木朗義・廣住菜摘・澤田基弘: 地域住民の特性を考慮した避難計画の総合評価, 環境システム研究論文集, Vol.34, pp.277-284, 2006.
- 3) P.-O.ヨハンソン, 金沢哲雄(訳): 現代厚生学入門, 勁草書房, pp.33-40, 1995.
- 4) 片田敏孝: 高齢者の避難行動と避難避難に関する調査報告書, 2000.