

遺伝的アルゴリズムを用いた 災害時避難所の最適配置に関する研究

麻生稔彦(社会建設工学科) 松本頼一(リョーセンエンジニアズ) 森下和久(社会建設工学専攻)

A Study on the Optimal Arrangement of Shelters Using Genetic Algorithm

Toshihiko ASO (Department of Civil and Environmental Engineering)

Yorikazu MATSUMOTO (RYOSEN ENGINEERS Co.,Ltd.)

Kazuhisa MORISHITA (Graduate school of Civil and Environmental Engineering)

In recent years, the damage by natural disasters is increasing in Japan. A natural disaster takes a human life and serious blow to economic activities. In order to protect a human life from a natural disaster, the usual preparation is very important. Therefore, local government installs shelters. However, prediction of evacuation route and arrangement of shelters are not considered. This study aims to clarify evacuation behavior in Ube city using evacuation simulation. The simulation was performed by network model. Based on the results of evacuation simulation, optimal arrangements of shelters are also carried out.

Key Words: evacuation simulation, network model, genetic algorithm, optimal arrangement

1. はじめに

大規模な自然災害により、社会的、経済的に大きな被害を受ける事例は後を絶たない。自然災害による被害は極力抑制しなければならないが、とりわけ、人命に影響する被害を最小限にとどめることが重要である。人命に影響する災害が居住する地域で発生するか、または発生が予見される場合に、住民は定められた避難所へ避難行動をとるものと考えられている。現在、地方自治体により、災害時の避難所があらかじめ定められている。しかし、災害時の住民の避難行動は複雑であり、避難行動様式を一様に評価することは困難である。また、実際に避難するにあたり、指定された避難所の配置が住民にとって最適な配置となっているかについての検討はほとんどなされていない。特に、現存する指定避難所は、兵庫県南部地震以前の防災計画に基づいたもの、あるいは建設当時は避難所としての使用が策定されておらず、非常時に避難所として指定された施設である場合が

多い。そのため、現在避難所として指定されている公共施設のアクセシビリティや収容力さらには安全性についての検討はなされていないことが多い。そこで本研究では、山口県宇部市を対象に指定避難所の最適配置を明らかにすることを目的とする。そのために、ネットワークモデルによる避難シミュレーションモデルを構築し、災害発生時における指定避難所への一斉避難シミュレーションを行う。この避難シミュレーションをもとに、遺伝的アルゴリズムにより、避難所の最適配置を提案する。

2. 解析手法

2.1 避難シミュレーション

本研究は、広域かつ多人数の避難行動を予測するため、対象地域を道路のカーブや交差点、避難所を示すノードと、ノード同士をつなぐリンクに

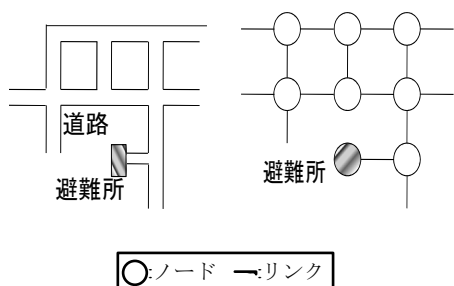


図-1 ネットワークモデルの例

よってモデル化するネットワークモデルを使用する。図-1 は都市モデルの一例をノード、リンクで示したものである。

避難者は対象地域の人口をもとに配置し、最短で移動できる避難所を目標として避難するものとする。避難者は必ずノードおよびリンクを利用すると仮定し、初期において避難者がノードあるいはリンク上に存在していれば、そのノード、リンクを通して避難を行い、ノード、リンク上に存在していない場合には、直近のノードまたはリンクに到達し、以後はリンク上を避難する。

2.2 最適配置

避難所の最適配置の検討には遺伝的アルゴリズムを用いる^{2),3)}。本研究で行った遺伝的アルゴリズムの流れを図-2 に示し、実際に行う動作を以下に示す。

(1) 遺伝子型の決定

遺伝的アルゴリズムでは、解を数値や記号列で表現する。本研究では避難所となるノードを求めため、ノードに番号を与えその番号を遺伝子の記号列とした。遺伝子数は避難所の数だけ設定し、その遺伝子をまとめたものが本研究で使用する遺伝子型であり、このまとまりを個体と呼ぶ。

(2) 遺伝子集団の発生

決定した遺伝子型で、遺伝情報が異なる個体を複数個発生させる。本研究では 10 個体を集団として発生させた。

(3) 適応度の評価

各個体に対しての適応度を算出し評価する。評価方法は、あらかじめ定めておいた評価関数を用いて各個体の適応度を求める。

(4) 選択・淘汰

適応度が高い順に遺伝子個体を並べる。この操作で適応度の低い個体 3 つを消去する。

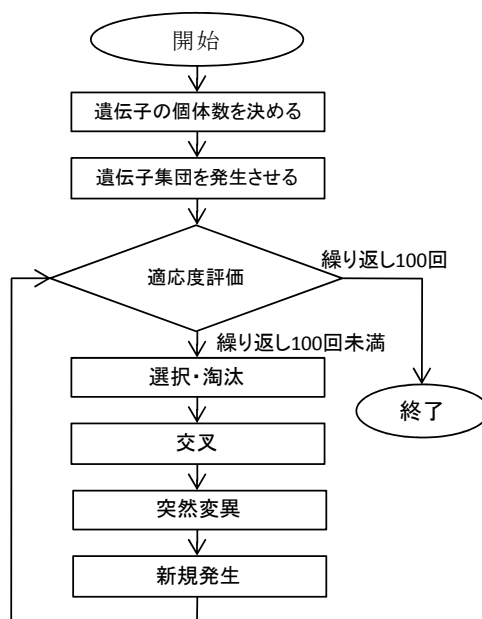


図-2 遺伝的アルゴリズムのフロー

(5) 交叉

最も適応度の高い個体を除き、無作為に 2 つの個体間で遺伝子情報の一部を交換し、新しい個体を発生させる。

(6) 突然変異

最も適応度の高い個体を除き、無作為に遺伝子の一部分の値を強制的に変化させる。

(7) 新規発生

消去された個体を補うため、新しい個体を発生させる。

以上の動作を 100 回繰り返し、算出された解を避難所の最適配置とする。ここで、適応度を評価するための評価関数として、以下の 2 つの場合について検討する。

(a) 危険度による評価

自然災害の発生時における避難では短時間で避難を完了させるだけでなく、避難経路の安全性も考慮する必要がある。そのため、避難経路の安全性を考慮しつつ、短時間での避難を評価するために危険度⁴⁾による評価関数を設定する。本研究では、発生する災害を緊急な避難を要する水害⁵⁾と想定し、危険度 E_d を次式で定義する。

$$E_d = \sum (D_i + D_d + D_f) \quad (1)$$

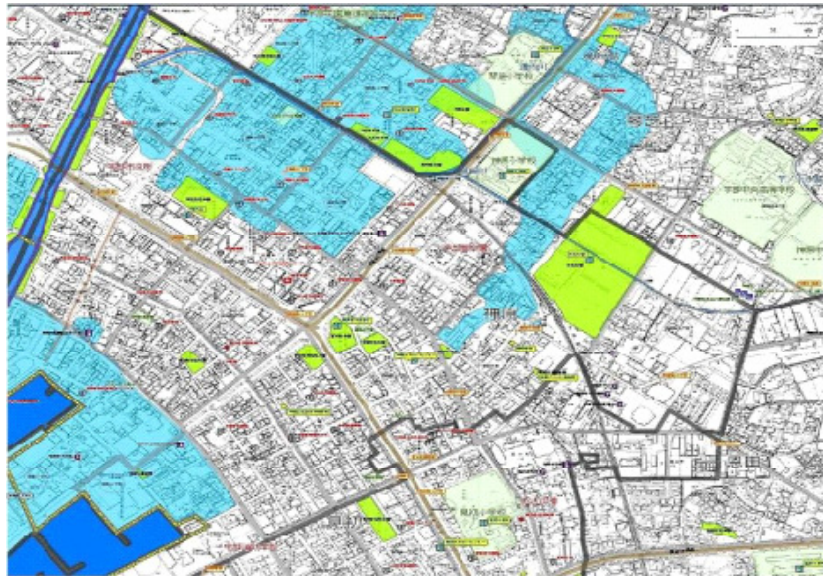


図-3 解析地域のハザードマップ

ここで、(1)式中の危険度はそれぞれ次の危険度である。

- 1) 浸水危険度 D_i : 地域の過去における浸水経験を考慮し、ハザードマップによる浸水面積を地域面積で除した値とする。

$$D_i = \frac{D_{fa}}{T_a} \quad (2)$$

D_{fa} : 地域別浸水面積 (m^2)

T_a : 地域面積 (m^2)

- 2) 避難危険度 D_d : 地域人口が多いほど避難時の行動は他者の行動により容易でないと考え、人口密度を考慮する。地域の人口密度が、対象とする平均人口密度より大きい地域に対し、地域の人口密度と平均人口密度の差を、地域の最大人口密度から平均人口密度を引いたもので除した値とする。

$$D_{tp} - D_a \leq 0 \quad D_d = 0 \quad (3)$$

$$D_{tp} - D_a > 0$$

$$D_d = \frac{D_{tp} - D_a}{D_{p \max} - D_a} \quad (4)$$

D_{tp} : 地域の人口密度 ($人/km^2$)

D_a : 対象地域の平均人口密度 ($人/km^2$)

$D_{p \max}$: 地域最大人口密度 ($人/km^2$)

- 3) 高潮危険度 D_f : 高潮が発生した場合には海や河川に大きな被害が発生すると考え、河川の重要水防箇所および海に面している地域に以下の危険度を与える。

$$D_f = 1.0 \quad (5)$$

なお各危険度の最大値は 1.0 とする。この危険度をモデル中のノードに設定し、避難者は避難所に到達するまで通過したノードごとの危険度を取得する。避難者全員の取得危険度を合計し、危険度の総和が最も低い避難所配置を最適配置とする。

(b) 避難時間による評価

前述した危険度は考慮せず単純に避難時間のみで評価する。そこで、避難者の避難時間の総和を避難者人数で除した避難平均時間を評価関数として定義する。

$$E_a = \frac{1}{n} \sum_{h=1}^n t_h \quad (6)$$

t_h : h 番目の避難者の避難時間

n: 避難者数

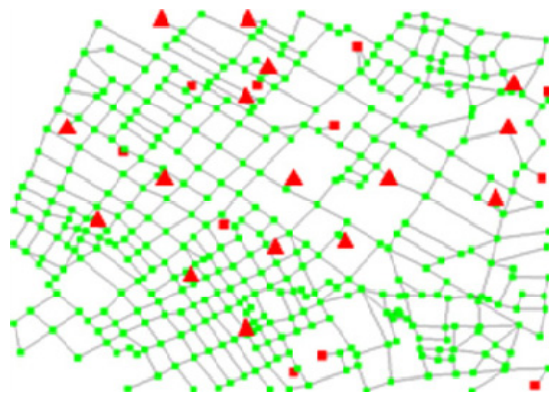


図-4 解析地域に存在する指定避難所

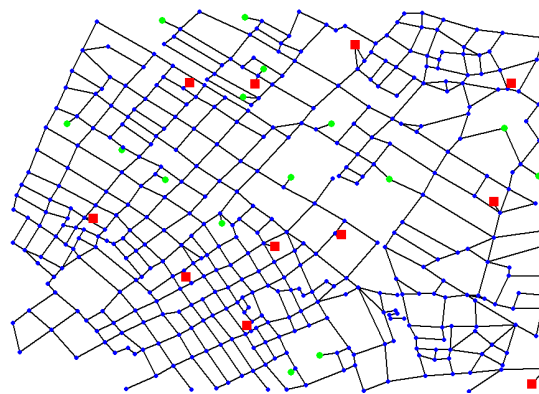


図-6 避難時間による評価の最適配置

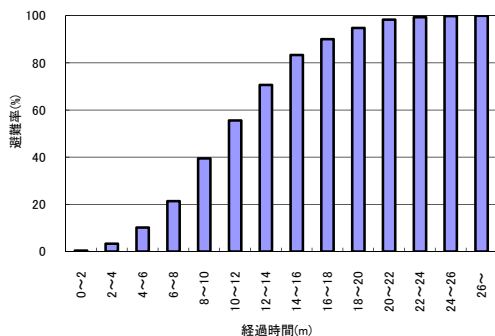


図-5 時間別避難率 (指定避難所への避難)

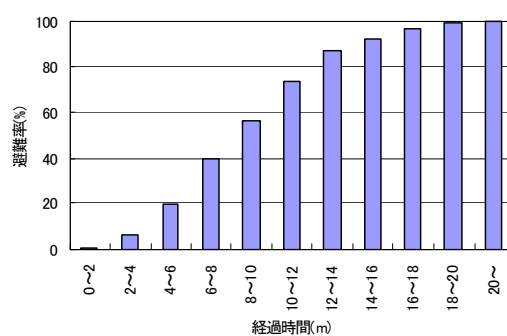


図-7 時間別避難率 (避難時間による評価)

とともに、最も近い避難所に移動する⁷⁾。この避

3. 解析結果

3.1 対象地域

本研究では図-3 に示す山口県宇部市の一部を対象とする。宇部市のハザードマップ⁶⁾を用いてネットワークモデルを作成し、水害を想定した一斉避難シミュレーションを行う。解析対象の人口は約 15000 人であるが、避難時には家族、近住民とグループを形成して避難をすることを考え、避難グループを 1 グループあたり 15 人とし、1000 グループとした。それぞれの町目ごとの住居人数より避難グループ数を算出し、丁目内に無作為に配置した。この配置をすべての丁目で行う。グループの避難速度は 1.0m/s とし、最も近い避難所に向かう。図-4 には、解析モデルおよび指定避難所を示している。指定避難所は小、中学校や地域の公民館である。

3.2 避難解析

図-3 をモデル化した図-4 について、指定避難所へ一斉避難を行う避難シミュレーションを行う。この解析では全ての避難グループが避難開始

難解析により、最も避難時間を要した避難グループの避難時間は 27 分 21 秒であり、90%の避難グループが避難を完了するために必要な時間は 17 分 57 秒となった。また、この時の時間別の避難率を、図-5 で示す。図-5 で示されるように、避難開始から 4 分後から 14 分後まで避難率は大きく上昇する傾向がみられる。しかし、避難開始 14 分後以降では避難率の伸びは鈍くなる。このことから、一部の避難グループにとって、現状の指定避難所は避難距離が長く、全ての避難グループを収容するには効率が悪いと考えられる。このシミュレーションをもとに、避難所の最適配置を行う。最適配置の解析では、指定避難所に加え、図-4 中に▲で示す公民館などの公共性のある建物 27 箇所を避難所候補とする⁸⁾。これらの避難所候補に対して、遺伝的アルゴリズムを用いて、評価関数の評価が最も良い避難所の配置を求める。この際、避難所総数は現在と同じ 11 箇所とする。遺伝的アルゴリズムにおいて、避難時間を評価関数とした場合には、20 分 37 秒で全避難グループの避難が完了し、避難グループの 90%が避難を完

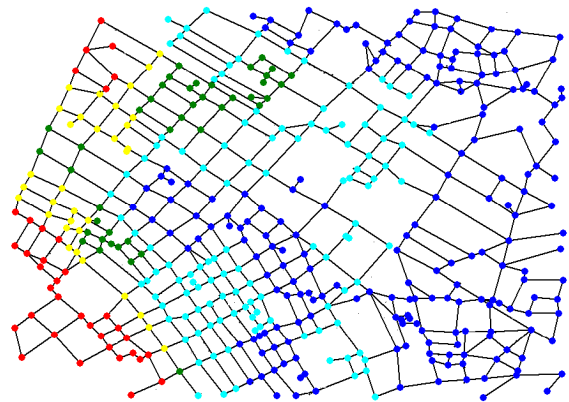
了する時間は15分である。避難に必要となる時間は指定避難所の場合より大きく短縮される。避難所配置は、図-6となり、避難所は一部に固まることなく地域にまんべんなく配置されている。このような最適配置を行うことで図-7に示されるような早急な避難が可能となる。

危険度を評価関数とした最適配置を行うためにはあらかじめ各ノードに危険度を設定する必要がある。先に述べた危険度を図-8に示すようにモデルに配した。危険度による評価から得られた避難所の最適配置は図-9となる。この時の全グループが避難に要した時間は28分37秒、90%避難者避難完了時間は18分53秒となり、指定避難所への避難と比較すると、避難時間が長くなる。これは、対象地域の西側と南西側は海または重要水防箇所に指定されている地域となっているため、図-8に示すように危険度が高く、危険度評価に大きく影響する。そのため、海、重要水防箇所に近い地域に居住するグループの早期収容が必要と考え、図-9のように避難所が多く配置される。しかし、東側は海、川から遠い陸地となっているため、危険度が低く、危険度評価による影響が少ない。このため避難所の配置数が減少し、相対的に避難時間が長くなったと考えられる。図-10に示す避難率は、避難開始から避難開始16分後にかけて、海側および重要水防箇所に居住する西側、南西側の避難グループの割合が多く、避難開始16分後から避難終了時刻までは陸側である東側地区の避難グループの割合が高い。

表-1に以上の結果をまとめて示す。指定避難所より避難時間を評価関数とした配置の方が全避難グループの避難時間が短縮され、安全な避難経路を移動する危険度を評価関数とした避難所配置との重複が少ない。そのため、この地域の避難所に向かう避難時間の短縮、安全な配置の検討が必要であると考えられる。また、指定避難所と重複箇所が多い点、避難時間が速やかに行うことができる点から避難時間を評価関数とした配置が有効であろう。しかし、将来の都市開発を行う際に、改めて危険度の評価を行うことで、より安全な避難所の配置が行うことができると考える。

4. まとめ

本研究では災害が発生した際の一斉避難シミュレーションを行い、避難行動を予測することで、避難所の到着までの過程を表現した。また、災害



色	危険度
赤	0.8-1.0
黄	0.6-0.79
緑	0.4-0.59
水色	0.2-0.39
青	0-0.19

図-8 解析地域の危険度

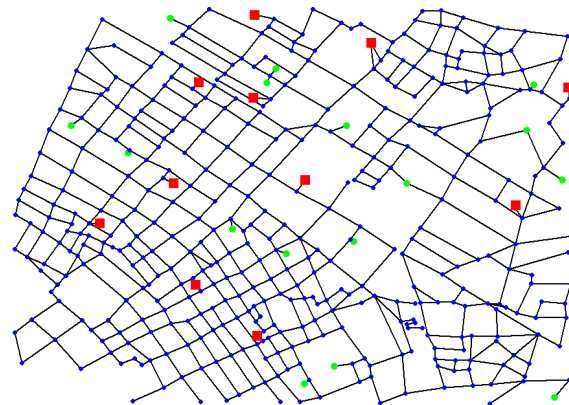


図-9 危険度の評価による最適配置

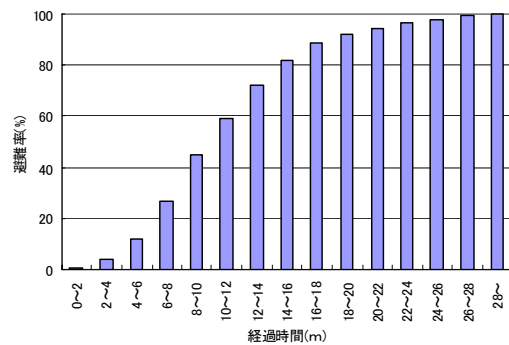


図-10 時間別避難率 (危険度による評価)

表-1 避難解析の避難時間と重複箇所

	避難時間	90%避難完了時間	指定避難所との重複箇所
指定避難所	27分21秒	17分57秒	
避難時間による評価	20分37秒	15分00秒	4
危険度による評価	28分37秒	18分53秒	2

発生時に、避難者にとって効率の良い避難所配置を、遺伝的アルゴリズムによって求めた。この際、危険度を評価関数として考慮し、避難行動中も安全を考慮した避難所の配置を示した。この方法を用いることで、災害の特色を考慮し、より人々に有用な避難所の設置を行うことが可能となろう。

迅速に且つ安全に地域住民を避難させる防災対策は、今後の人命を守るための重要な課題の一つである。そのため、災害の種類や地域の地理情報など、様々な条件を考慮しての避難行動シミュレーションが必要である。さらに、災害が与える人間の心理的要因を考慮することも重要であろう。本研究で構築したシミュレーションに避難者の心理状態を導入することで、より現実に近い避難シミュレーションを表現することができると考える。

参考文献

- 1) 阪田弘一, 震災時における避難者数推移および避難所選択行動の特性, 建築学会計画系論文集, No.537, pp.141-147, 2000.
- 2) 萩原将文, ニューロ・ファジィ・遺伝的アルゴリズム, 産業図書, 1994.
- 3) 古田均, 杉本博之, 遺伝的アルゴリズムの構造工学への応用, 森北出版, 1997.
- 4) 東京都都市整備局ホームページ
http://www.toshiseibi.metro.tokyo.jp/bosai/chou sa_5/home.htm
- 5) 国土交通省防災情報提供センターホームページ <http://www.bosaijoho.go.jp/>
- 6) 山口県宇部市ホームページ
<http://www.city.ube.yamaguchi.jp/>
- 7) 阪田弘一, 柏原士郎, 吉村英祐, 横田隆司, 阪神・淡路大震災における避難所の圏域構造に関する研究, 建築学会計画系論文集, No.501, pp.131-138, 1997.
- 8) 依田浩敏, 尾島俊雄, 広域災害におけるリモートセンシング利用に関する研究, 建築学会計画系論文集, No.411, pp.1-8, 1990.

(平成 19 年 9 月 28 日受理)