

株式会社エイト日本技術開発 正会員 ○大川 博史
株式会社エイト日本技術開発 正会員 鈴木 誠
中央大学 理工学部 正会員 檜山 和男

1 はじめに

近年、高潮、津波、洪水などの巨大自然災害が頻発しており、人々への生活に甚大な被害を及ぼしている。それらの人的被害の程度は、災害の規模や防災施設の整備状況に加えて、住民の避難状況により大きく異なる。近年、防災対策の評価・検討に、避難シミュレーションを用いた人的被害の予測研究が行われるようになってきている¹⁾²⁾。これらのシミュレーションを正確に行うには、災害時における人間の避難行動の特性を考慮し、適切な条件設定を行う必要がある。避難行動を決定する要因としては、避難者の周囲の状況や、年齢・性別などがあるが、これらを考慮できる手法の一つとしてマルチエージェントモデルが近年注目を集めている。そこで本研究では、水害を対象としたマルチエージェントモデルに基づく避難シミュレーションシステムの構築を行うものである。入力データの作成には GIS を使用し、地形・地理情報の簡便な入力データ作成法を開発した。また、マルチエージェントモデルを用いることで、行政無線や広報車などの情報伝達モデルの組込みを行った。津波高潮氾濫問題を取り上げ、本システムの有効性を検討した。

なお、シミュレーションの入力データの作成には ArcGIS を、マルチエージェントシミュレータには NetLogo4.1 を使用する。

2 マルチエージェントモデルについて

マルチエージェントモデルとは、複数のエージェントを配置し、互いに影響させながらシミュレーションを行うものである。エージェントとは、知覚する、判断する、行動するという機能を持った行動主体である。

3 水害避難シミュレーションシステムの概要

本研究で構築している水害避難シミュレーションは、避難者が世帯ごとにより移動し、避難所までの距離や、標高などの要因を判断しながら道路上を移動するシミュレーションである。津波や高潮などの氾濫データを取り入れ、広報車などの情報伝達媒体を考慮することができ、様々なシチュエーションを想定することが可能

である。図 3-1 に実行画面を示す。

災害避難シミュレーションは図 3-2 の手順で実行する。避難シミュレータへの入力データ作成は図 3-3 の流れで作成する。

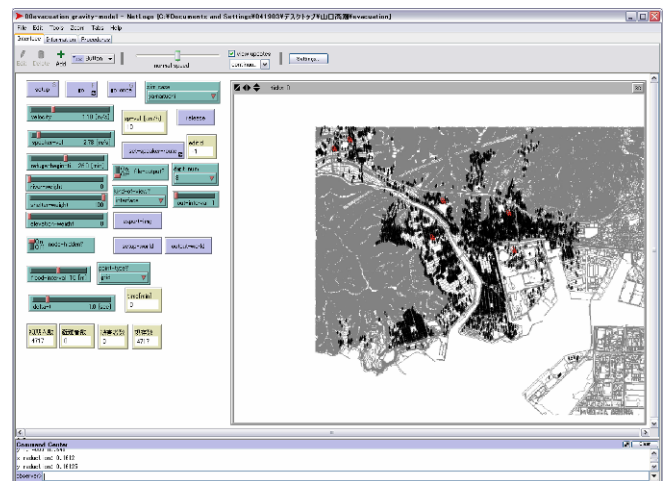


図 3-1 シミュレーション実行画面

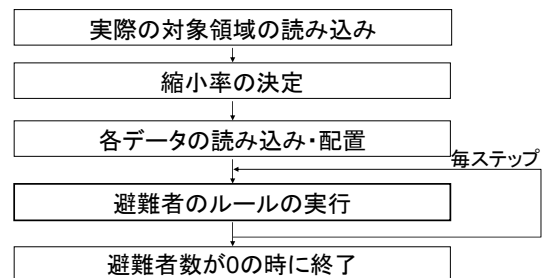


図 3-2 避難シミュレーションの実行手順

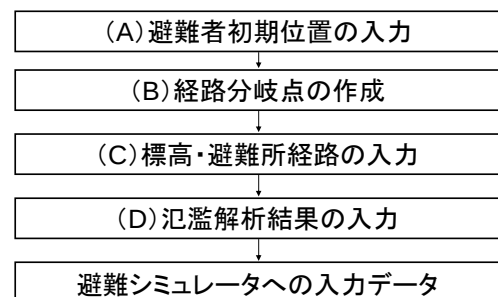


図 3-3 避難シミュレータへの入力データ作成フロー

3.1. 避難者初期位置の入力（フロー(A)）

避難者は建物内から避難を開始すると想定し、避難者初期位置は建物内にポイントとして配置する（図 3-4）。

3.2. 経路分岐点の作成（フロー(B)）

避難者は、道路の経路分岐点間を移動するため、経路分岐点と、その隣接関係を作成する必要がある。

まず、道路中心線データを参考に、GISによりポリラインを作成する（図 3-4）。ポリラインの頂点が経路分岐点となる。さらに、避難者が避難開始後建物から道路へ移動することを想定し、避難初期位置の点から最短距離となる位置に新たな頂点（経路分岐点）を作成する。経路分岐点の位置を設定後、隣接関係作成プログラムにより経路分岐点の隣接関係を作成する。隣接関係作成プログラムは、避難経路ポリラインより経路分岐点隣接関係を作成するものである。避難経路例とその隣接関係を図 3-5 と表 3-1 に示す。

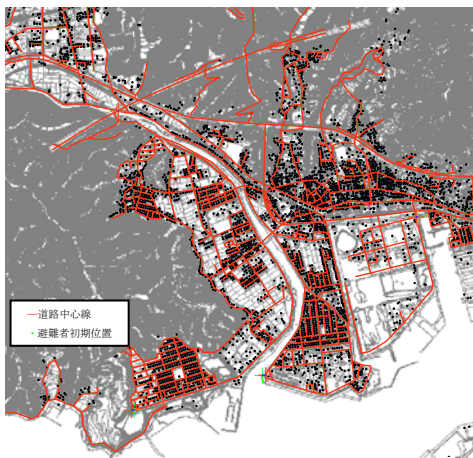


図 3-4 道路中心線と避難者初期位置

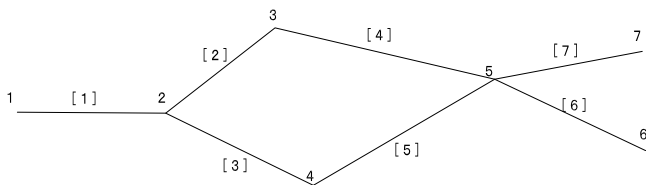


図 3-5 避難経路例

表 3-1 経路分岐点隣接関係

経路分岐点	隣接点総数	隣接点 1	隣接点 2	隣接点 3	隣接点 4
1	1	2			
2	3	1	3	4	
3	2	2	5		
4	2	2	5		
5	4	3	4	6	7
6	1	5			
7	1	5			

3.3. 標高・避難所距離の入力（フロー(C)）

避難者は経路分岐点に達した時に、隣接した経路分岐

点の情報を比較し判断を行う。そのため、経路分岐点のデータに対して、属性データを追加する必要がある。追加するデータは、避難所距離と標高であり、標高に関してはメッシュ標高データからGISにより取得する。避難所距離に対しては、Dijkstra 法によって、各避難所からのネットワーク距離で計算する。

3.3.1. Dijkstra 法

Dijkstra 法とは、ある始点からネットワーク上の各ノードへの最短経路を、始点の周辺から 1 つずつ確定し、徐々に範囲を広げ、最終的に全てのノードへの最短経路を割り当てるアルゴリズムである。必要なデータは、ネットワークに対応する距離行列と、始点のノードである。ネットワークのノード集合 N に対して始点ノード s から他のすべてのノードに至る最短経路を求める Dijkstra 法の手順を以下に示す。

① T_s と $k \leftarrow \infty (j \neq s), i = s$, ノード集合 $M = N - s$ とする。

② $M = \phi$ ならば終了。それ以外なら以下の手順で反復計算を行う。

(i) $j \in M$ に対して

$\min\{T_j^k, T_i^k + d_{ij}\} = T_i^k + d_{ij} \quad (d_{ij} < \infty)$ ならば、 $T_j^{k+1} = T_i^k + d_{ij}, B_j = i$ とおく。

(ii) $\min_{j \in M}\{T_j^{k+1}\} = T_p^{k+1}$ となる p を求める。

(iii) p を M から除く。 $j \leftarrow p, k \leftarrow k+1$ とおく。

d_{ij} : ノード i からノード j にかけての距離

N : ネットワークのノード集合

s : 始点ノード

p : 永久ラベルが付いているノード

j : 一時ラベルが付いているノード

B_j : ノード j の直前のノード

T_j : 始点ノード s からノード j への暫定的な最短距離

T_p : 始点ノード s からノード j への最短距離

3.3.2. 氾濫解析結果の入力（フロー(D)）

避難者へ津波氾濫の影響を考慮するために、浸水地点と浸水状況のデータを作成する。浸水予定点は、シミュレーション領域に 10m 間隔のグリッドとして作成し、氾濫解析結果の水深・流速のデータを浸水予定点へ補間する。氾濫解析結果は有限要素法の三角形メッシュで解析したものを用い、水深・流速を浸水予定点へステップ毎に線形補間するものである。さらに、避難者は

水深・流速によって状態を 3 パターンに分類する．分類の基準は図 3-6 に示す．

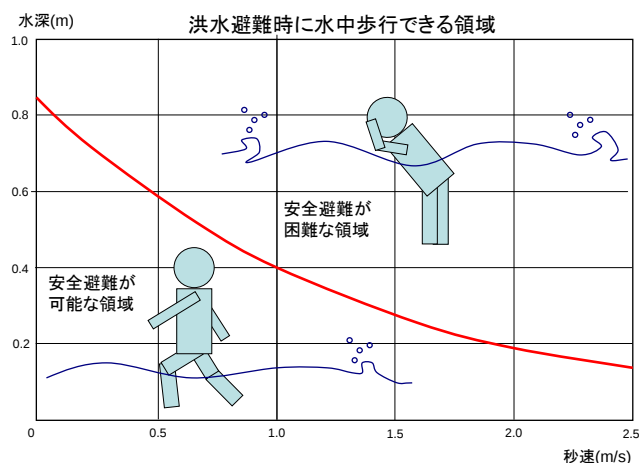


図 3-6 水深・流速と避難難易度の関係 3)

3.4. 避難者の移動アルゴリズム

避難者はステップ中に図 3-7 の手順で移動を行う．

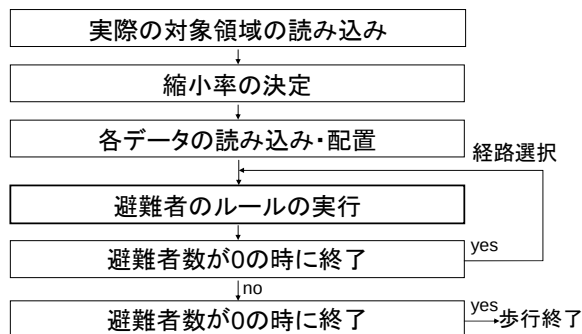


図 3-7 避難者の移動アルゴリズム

3.4.1. 避難者の密度の判定

各避難者について，ステップの開始時に自身の前方から角度 30° ，半径 2m の扇形領域内の避難者を数えて，これによる歩行者密度を考慮して歩行速度に変化を与える．歩行者密度と歩行速度の関係は，通勤通学中や買い物客としての歩行者などを対象として研究されている 4)5)．本シミュレーションでは，一般道路での関係である式 (1) を用いてシミュレーションを行った．

$$v = 1.69 - 0.17\rho \quad \cdots (1)$$

v : 歩行者速度[m/s]，

ρ : 歩行者密度[人/ m^2]

3.4.2. 避難者の経路選択

避難者の経路の判断は経路分岐点に到達した時点で行い，隣接した経路分岐点の情報を獲得し，避難所に近づくか，低い場所から遠ざかるかという情報を基に決定する．避難所距離 s [m]，標高 z [m] とし，効用 S を最大とする隣接点を次の目標点とすること

で経路の選択を行うモデルとして，式(2)に示す重力モデルを用いた．

$$S = \frac{a}{s^\alpha} - \frac{b}{z^\beta} \quad \cdots (2)$$

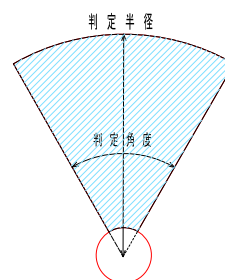


図 3-8 歩行者の密度判定

ここで， a, b はそれぞれの変数に対する重みであり，値が大きいくほど全体の効用に占める割合が大きくなる．一方， α, β は各変数に対する空間距離の影響度であり，値が小さいほど遠くまで影響を及ぼすこととなる．

本シミュレーションでは，避難者の経路の判断は経路分岐点に到達した時点で行い，隣接した分岐点の情報を獲得し，避難所の場所を知っている場合にはその避難所へ移動し，それ以外では標高の高い方へ移動するようになっている．

3.5. 情報伝達モデル

本研究では，情報伝達モデルの媒体として，行政無線と広報車の概念を取り入れる．行政無線と広報車は，音声到達半径を設定し，避難者が音声到達半径に含まれているときには，各情報伝達媒体が持っている避難情報を避難者が取得する．なお，行政無線は，広報車が移動しないものとして考えることができる．

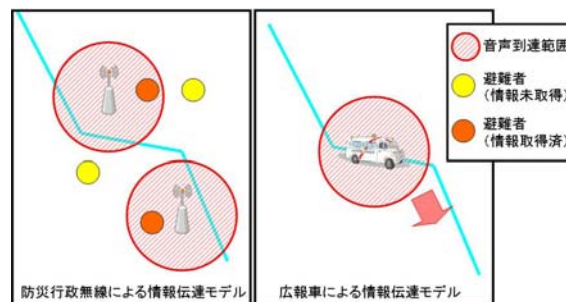


図 3-9 音声到達イメージ

4. システム適用例

4.1. シミュレーション条件および結果

シミュレーション領域は，山口県周南市とした．高潮氾濫データは，既往最大の台風（枕崎台風(1945 年)）が最悪のコースを通過した場合（りんご台風(1991 年) の経路を東へ 0.75° 移動させた台風）を想

定し、有限差分法で解析したものを用いた(図 4-1)．シミュレーション条件は、台風上陸時から避難を開始し、初期世帯数 4717[世帯]、1 世帯を 4 人とし、式(1)より標準歩行速度を 1.18[m/s]とした．以下にシミュレーション画面を示す(図 4-2、図 4-3)．

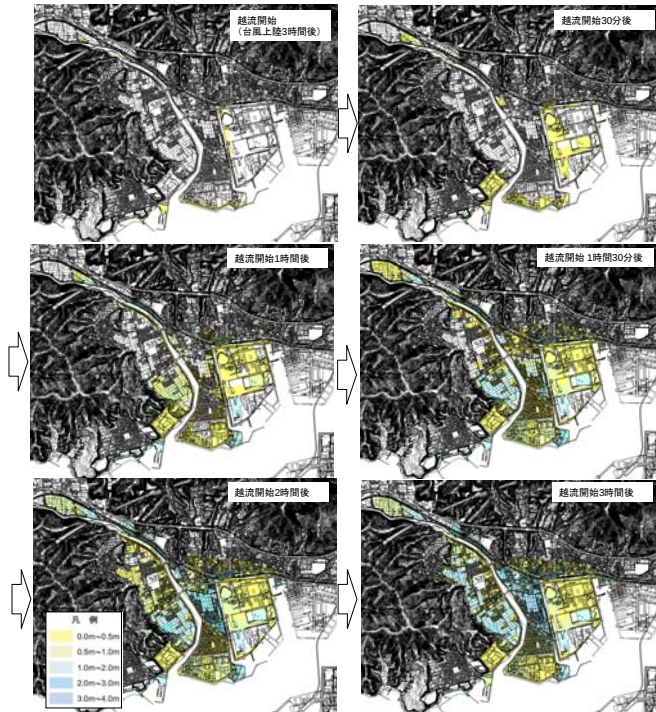


図 4-1 高潮氾濫シミュレーション結果

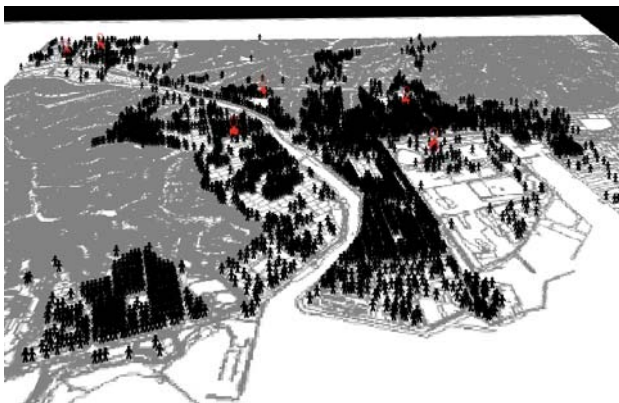


図 4-2 シミュレーション開始

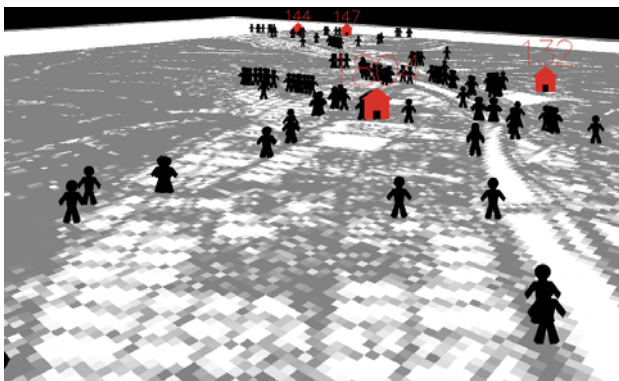


図 4-3 シミュレーション実施画面

シミュレーション結果では、浸水前に全世帯が避難することができたため、被害者はいないという結果となった．しかし、地震津波など、ある程度短いスパンで起こる災害においては、本シミュレーション例以上の有効性が期待できる．

5. おわりに

本研究では、マルチエージェントモデルに基づく水害避難シミュレーションシステムの構築を行い、以下の結論を得た．

- GIS を用いて地理情報を加工・編集することで、入力データ作成の簡略化と、現地の情報を避難者の行動に反映することができた．
- マルチエージェントモデルを用いて避難シミュレーションを行うことにより、避難に要する時間を把握することができた．

今後の課題として、避難シミュレータ上で避難経路ネットワークを対話的に修正できるようにすること、自治体と連携して避難シミュレーションを行うことにより、実際の避難場所の再設定・変更を行うことなどが挙げられる．

なお、本研究は中央大学理工学部都市環境学科計算力学研究室との共同研究によるものである．

参考文献

- 1) 片田敏孝, 浅田純作, 桑沢敬行: GIS を用いた災害情報伝達のシミュレーション分析: 土木情報システム論文集: Vol.9, pp.49-58: 2000
- 2) 椎葉航, 小林一郎, 上野幹夫, 橋本敦也: "マルチエージェントモデルを用いた洪水・避難シミュレータに関する研究": 土木学会第 61 回年次学術講演会: 2006
- 3) 須賀堯三: 利根川の洪水: 山海堂: 1995
- 4) 交通工学研究会(編): 交通工学ハンドブック: 技報堂: 1984
- 5) 矢守克也・杉万俊夫: 横断歩道における群衆流の巨視的行動パターンの軽量に関する研究コンピュータグラフィックスによる計量: 社会心理学研究, 第 7 巻第 2 号, pp102-111: 1992