

マルチエージェントモデルを用いた災害避難シミュレーションシステムの構築

中央大学 学生員 ○ 宇野 圭亮
中央大学 学生員 大川 博史
中央大学 正会員 田中 聖三
中央大学 正会員 檜山 和男

1. はじめに

近年，地震や高潮，津波，洪水などの巨大自然災害が頻発している．それらの自然災害がおよぼす人的被害の影響評価は実験では困難であり，避難シミュレーションによる評価・検討に関する研究が幅広く行われている¹⁾．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する必要がある．避難行動を決定する要因として，避難者の周囲の状況や，年齢・性別などを考慮する必要があるが，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，地理情報を考慮したマルチエージェントモデルに基づく災害避難シミュレーションシステムの構築を行う．正確な地理情報の獲得や避難経路の作成を行うために GIS ソフトを用いる．なお，GIS ソフトには ESRI 社の ArcView9.1 を，マルチエージェントシミュレータには構造計画研究所の artisoc²⁾ 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．

本研究で用いる artisoc は，VBA に準じた言語で Object 指向のルールを記述できるシミュレータである．また，GUI によって出力画面の設定やコントロールパネルの設定を行うことが可能である．そのため，記述したルールを修正することなく，ユーザ側でシミュレーションに用いるパラメータを変更することができる．artisoc の実行画面を図 - 1 に示す．

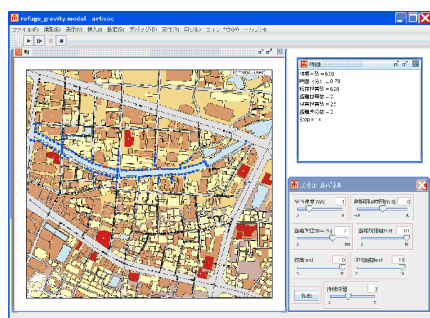


図 - 1 避難シミュレーション画面

3. 災害避難シミュレーションの概要

災害避難シミュレーションは避難者が『避難所に近づく』，『河川から離れる』，『標高の高い方へ逃げる』，などの要因を判断しながら道路上を移動するものである．避難者

が浸水部分に存在する場合，水深・流速によって，避難者の状態を変化させる．シミュレータ上で設定可能なパラメータは避難所認知率 K (%)，避難者歩行速度 V (m/s) および避難開始時間 T (min) である．

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，避難所に近づくか，河川から遠ざかるか，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)，河川距離 r (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，重力モデルを用いた．

重力モデル:

$$S = \frac{a}{s^\alpha} - \frac{b}{r^\beta} - \frac{c}{z^\gamma}$$

ここで a, b, c 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, γ 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．

4. 避難シミュレーションの入力データ作成

artisoc への入力データは図 - 2 の手順で作成する．

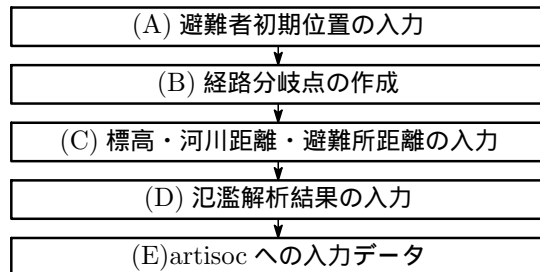


図 - 2 避難シミュレーションの入力データ作成フロー

(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，避難者初期位置には建物形状の重心に設定する．

(2) 経路分岐点の作成 (フロー (B))

まず，数値地図 2500 (国土地理院) の道路中心線を基に経路分岐点の作成を行う．道路中心線はポリラインで，ポリラインの頂点が経路分岐点となる．数値地図 2500 に含まれていない道路に対しては mapple2500 (昭文社) の街区・建物データを参考に補足する．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，データ変換プログラムにより経路分岐点の隣接関係を作成する．データ変換プログラムは，ポリラインの頂点 (経路分岐点) の xy 座標，

KeyWords: マルチエージェントモデル, GIS, 避難行動

連絡先: 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 E-mail: d33118@educ.kc.chuo-u.ac.jp

属していたラインの情報を基に経路分岐点の隣接関係を作成するものである。

(3) 標高・河川距離・避難所距離の入力（フロー (C)）

経路分岐点のデータに対して属性データを追加する。追加するデータは河川距離、避難所距離および標高である。避難所距離に対しては、ポイント間の xy 平面上の距離で計算する。河川距離に対しては、mapplet2500 の河川のポリゴンデータより、ArcView のラスタ解析機能を用いて距離を計算し、そのラスタデータに経路分岐点を重ね合わせた。標高に関しては数値地図 5m メッシュ・標高（国土地理院）のデータを Spline 補完し、標高サーフェスを作成する。その標高サーフェスを経路分岐点に重ね合わせた。

(4) 氾濫解析結果の入力（フロー (D)）

避難経路上に浸水予定点を一定間隔で作成し、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。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。分類の基準は表 - 1 に示す。

表 - 1 水深・流速による避難者の状態の分類

分類	流速および水深	避難者の状態
1	水深 0m	影響無し
2	図 - 3 の安全避難可能な領域	歩行速度半減
3	図 - 3 の安全避難が困難な領域	被害者とする

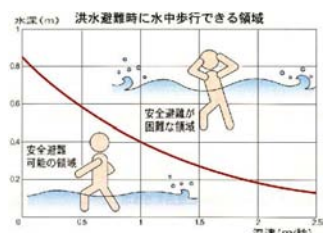


図 - 3 水深・流速と避難難易度の関係³⁾

5. シミュレーション条件

シミュレーション領域は、新宿区高田馬場にある神田川周辺の横 570m × 530m の範囲とした（図 - 4、図 - 5）。氾濫解析は三角形メッシュを用いた有限要素法で解析したものを使用した。共通のシミュレーション条件は、歩行速度 1 (m/s)、避難所認知率 70 (%)、初期世帯数 630 (世帯) である。また、経路選択モデルでのパラメータは、 $\alpha, \beta, \gamma = 1$ 、 $a, b, c = 10000$ とした。避難者の避難開始時間は、河川氾濫開始時間に対して、3 分前から 3 分後までの 1 分毎の 7 ケースとし、シミュレーションを行った。



図 - 4 シミュレーション領域



図 - 5 衛星画像

6. シミュレーション結果および考察

図 - 6 にシミュレーション結果を示す。図 - 6 の避難開始時間は、符号が負の時は氾濫開始時間に比べて早めに、符号が正の時は氾濫開始時間に比べて遅れて避難を開始していることを示している。これにより避難開始が遅れるほど被害世帯数が増加してしまうことが定量的に把握できる。

また、避難開始時間と河川氾濫開始時間が同時の場合の避難者の推移を図 - 7 に示す。これにより避難開始後 1 ~ 2 分までの間に被害世帯数が急増していることが読み取れる。さらに、避難シミュレーション画面より、河川の北西部の橋付近で被害世帯数事が確認できる。これは橋付近で住宅密集地帯があるにもかかわらず、避難経路が限定されてしまうことが原因だと推測できる。

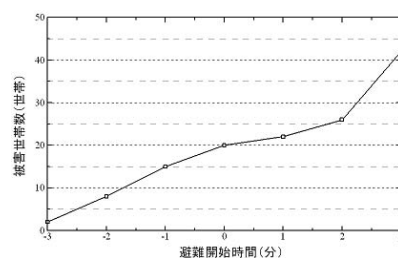


図 - 6 シミュレーション結果

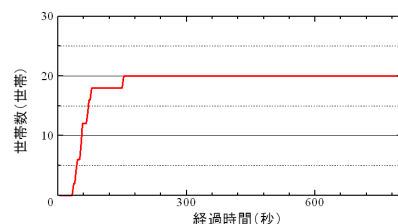


図 - 7 避難者数の時間推移（避難開始時間 0 分）

7. おわりに

本研究では、地理情報を考慮に入れたマルチエージェントモデルに基づく災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 ソフトを用いて地理情報を加工・編集し、避難シミュレーションに取り入れることで、避難者に地理情報を考慮した避難行動を行わせることができた。
- 避難開始時間等の条件をユーザ側で指定できるようにすることで、システムの汎用性を示せた。
- 氾濫解析結果を取り入れることで、避難する上での危険箇所が推測できた。また、避難開始時間を変化させることで避難が遅れることで被害者が増加することが定量的に示せた。

今後の課題として警報や広報車を設定して避難情報の伝達モデルを作成すること、避難者を年齢や性別によって避難行動に変化をもたせることなどが挙げられる。

参考文献

- 1) 例えば、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) 構造計画研究所，<http://mas.kke.co.jp/index.php>
- 3) 須賀堯三：利根川の洪水：山海堂：1995