VR技術を用いた災害避難シミュレーションシステムの構築

中央大学大学院 学生員 ○ 宇野 圭亮
(株) エイトコンサルタント 正会員 大川 博史
中央大学 正会員 樫山 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を減少させるには，適切な避難経路を選定することが重要であり，避難経路の有効性を検討するのに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]．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．また，予想され得る避難状況をVR空間で可視化することは，住民へ避難の必要性を認知させる上で重要である．

そこで本研究では，VR技術を用いた災害避難シミュレーションシステムの構築を行う．システムはGISを用いた入力データの作成から，マルチエージェントシミュレータを用いた避難行動解析を行い，これらの解析データを用いて三次元可視化アニメーションの作成を行うものである．システム適応例として高田馬場の仮想洪水氾濫問題を挙げる．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 [2] 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artisoc [3] を使用する．三次元アニメーションの作成にはPOV-Ray [4] を用いる．

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．

3. POV-Rayについて

POV-Rayは，多くのコンピュータプラットフォームで利用できる三次元CG作成のためのフリーのソフトウェアである．レイトレーシング法を用いるため，光の反射，屈折，陰影などが表現された，高品質な画像を作成することが可能である．POV-Rayでシーンファイルに記述されたデータを基にして画像が作成される．シーンファイルとは，Pov-Ray独自の関数で記述されるテキストである．

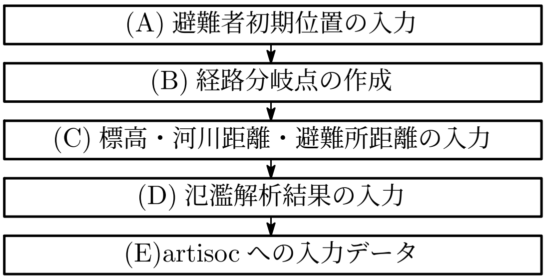
また，世界中のユーザにより様々なPOV-Rayの支援ツールが公開されており，POV-Rayの汎用性を広げている．本研究においても，PoseRayというCADデータをPOV-Rayで扱える形式に変換するソフトウェアなどを使用している．

4. 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．

5. 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－1**の手順で作成する．



図－1 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，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)）

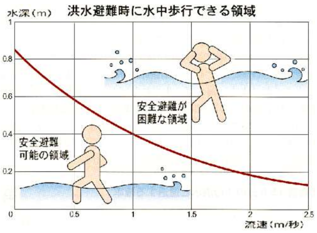
経路分岐点のデータに対して属性データを追加する．追加するデータは河川距離，避難所距離および標高である．

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: keisuke-u@educ.kc.chuo-u.ac.jp

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，mapple2500 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．避難者の状態は**図－ 2** を参考に分類した．



図－ 2　水深・流速と避難難易度の関係 [5)]

6.　避難シミュレーション

避難シミュレーションは artisoc を用いて行う．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．

7.　三次元可視化アニメーションの作成

建物の CAD データ，氾濫解析結果，避難行動解析結果を POV-Ray で扱えるデータに変換し，三次元可視化を行う．可視化例として，全体の避難者の行動と洪水氾濫形態が観察できる鳥瞰図アニメーションと，避難者からの視点で状況が観察できる避難者視点のアニメーションを作成した．

8.　シミュレーション条件

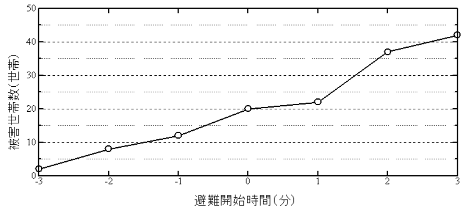
シミュレーション領域は，新宿区高田馬場にある神田川周辺の横 570m × 530m の範囲とした．氾濫解析は三角形メッシュを用いた有限要素法で解析したものを用いた．

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 100 (%)，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．

9.　システム適応結果

(1)　シミュレーション結果

図－ 3 にシミュレーション結果を示す．**図－ 3** 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．

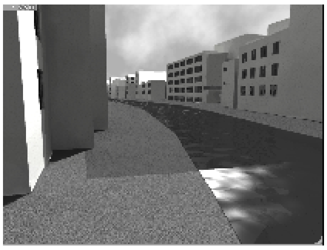


図－ 3　シミュレーション結果

(2)　三次元可視化例

避難開始時間が氾濫開始と同時の場合における避難シミュレーションのデータを用いて，POV-Ray で作成した鳥瞰図アニメーションと避難者視点アニメーションを**図－ 4** と**図－ 5** に示す．POV-Ray を用いて可視化を行ったことにより，臨場感のあるアニメーションが作成できていることが確認できる．

図－ 4　鳥瞰図



図－ 5　避難者視点画像

10.　おわりに

本研究では，VR 技術を用いた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．

- 避難シミュレーションの入力データを GIS ソフト上で簡略化できるシステムを作成できた．
- POV-Ray を用いることで，避難行動解析結果，洪水氾濫解析結果，建物の CAD データを三次元空間で重ね合わせて可視化することにより，臨場感のあるアニメーションを作成することができた．

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，淺田純作，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) ESRI ジャパン，http://www.esrij.com/index.shtml
3) 構造計画研究所，http://mas.kke.co.jp/index.php
4) POV-Ray，-http://www.povray.org/
5) 須賀堯三：利根川の洪水：山海堂：1995