

# 災害避難シミュレーションにおける Dijkstra 法に基づく歩行アルゴリズムの検討

中央大学大学院 学生員 ○ 宇野 圭亮  
中央大学 学生員 鏡 麻衣  
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<sup>1)</sup>。そこで、筆者らは GIS データを用いた災害避難シミュレーションシステムを構築している<sup>2)</sup>。GIS を使用することで入力データの作成手順を簡略化し、シミュレーションには、人間の避難行動の特性を考慮できる手法の一つであるマルチエージェントモデルを用いることで、様々なケースを想定できるシステムとしている。しかし、構築中の避難シミュレーションでは、避難者は道路中心線上を歩行するので、より現実に近い避難行動を再現するためには、道路の幅員を考慮した二次元での歩行モデルを検討する必要がある。

そこで本論文では、二次元での挙動を考慮するための歩行モデルの検討を行う。歩行者は経過時間に応じて、他の歩行者および障害物を考慮した目的地までの最短経路を選択して歩行するものと仮定し、Dijkstra 法<sup>3)</sup>を用いた最短経路選択モデルを用いる。なお、マルチエージェントシミュレータとして NetLogo4.0<sup>4)</sup>を用いる。

## 2. 災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。実行画面を図-1に示す。

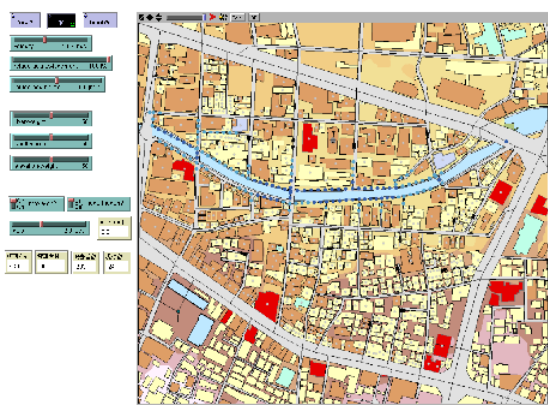


図-1 シミュレーション実行画面

## 3. 二地点間の歩行モデル

本論文で扱う歩行モデルは、災害避難シミュレーションにおける二つの交差点間での避難者の歩行モデルを検討するものである。この歩行モデルには、避難者が経過時間毎に、他の避難者を避けながら最も歩行する距離が短くなると考えられる経路を選択していく最短経路選択モデルを適用する。

### (1) 最短経路選択モデル

最短経路選択モデルは、始点と終点、塀状の障害物（以降『塀』と記述する）が存在する時に、塀を避けながら終点まで辿り着く最短経路を選択して移動するモデルである。最短経路は、質点が移動する場合には、始点と終点、塀の端点で構成される線分のネットワーク上に存在することが知られている。そこで、最短経路探索法の一つである Dijkstra 法<sup>3)</sup>を用いて経路の探索を行っている。また、全ての端点同士でネットワークのリンクを構成してしまうと、塀と衝突してしまうリンクが発生してしまう。これを回避するため、端点同士のネットワークの構成時に、全ての塀との二線分の交差の判定を行っている。

### (2) Dijkstra 法

$N$  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。

step1:  $T_s$  と  $k \leftarrow \infty (j \neq s)$ ,  $i \neq s$ , ノード集合  $M = N - s$  とする。

step2:  $M = \phi$  ならば終了。それ以外なら以下の手順で反復計算をする。

(1)  $j \in M$  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

$$T_j^{[k+1]} = T_i^{[k]} + d_{ij}, \quad B_j = i$$

と置く。

(2)  $\min_{j \in M}\{T_j^{[k+1]}\} = T_p^{[k+1]}$

となる  $p$  を求める。

(3)  $p$  を  $M$  から除く。  $j \leftarrow p$ ,  $k \leftarrow k + 1$  と置く。

ただし、 $d_{ij}$  はノード  $i$  からノード  $j$  にかけての距離、 $N$  はネットワークのノード集合、 $s$  は始点ノード、 $p$  は永久ラベルが付いているノード、 $j$  は一時ラベルが付いているノード、 $B_j$  はノード  $j$  の直前のノード、 $T_j$  は始点ノード  $s$  からノード  $j$  への暫定的な最短距離、 $T_p$  は始点ノード  $s$  からノード  $p$  への最短距離である。

本論文では計算時間の短縮のために、終点に永久ラベルが付いた時点で計算を終了している。

**KeyWords :** 避難行動, Dijkstra 法, マルチエージェントモデル

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

### (3) 障害物としての歩行者の考慮

歩行者を避けながら移動するには、歩行者を障害物とみなす必要がある。最短経路選択モデルでは、線分を回避させることができるため、歩行者の形状は線分で構成する。また、歩行者を構成する線分が多いほど計算負荷が増加するため、ここでは歩行者の向きと、その垂直となる方向での、十字形で表現することとする。なお、構成する線分の半分の長さを歩行者の半径  $r$  と表現することとする。

## 4. 歩行シミュレーション

### (1) 歩行者のみでの歩行シミュレーション

本歩行モデルの有効性を検討するために、二方向から擦れ違うような歩行シミュレーションを行う。2人が擦れ違う場合を Case1 (図-2) とし、6人が擦れ違う場合を Case2 (図-3) とする。他の条件は、歩行者の半径  $r=0.5[m]$ 、歩行速度  $v=1.69[m/s]$ 、微小時間増分量  $\Delta t=0.1[s]$  とした。

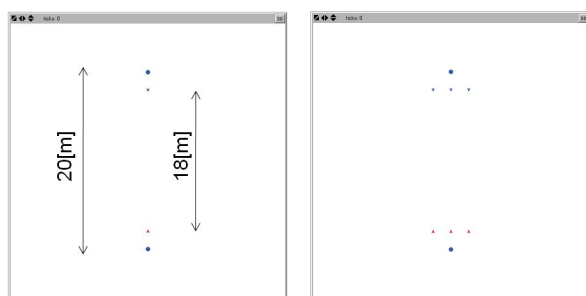


図-2 初期条件 (Case1)

図-3 初期条件 (Case2)

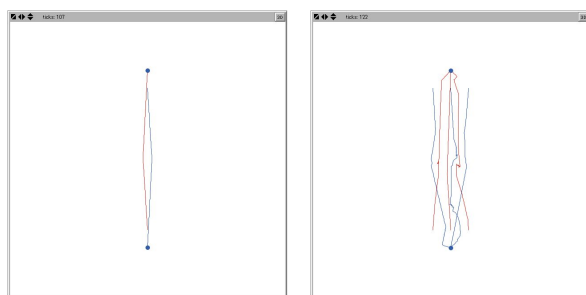


図-4 歩行軌跡 (Case1)

図-5 歩行軌跡 (Case2)

図-4 及び 図-5 に各歩行者が辿った軌跡を示す。両ケースとも近接する前から接触を回避するように歩行していることが読み取れる。また Case2 では、他の歩行者と近接するに際し、歩行にもたついている歩行者が確認できた。

### (2) 歩行者と塀を含むシミュレーション

複数の歩行者と塀を考慮することで、最短経路選択モデルの汎用性を検討する。初期条件は図-6 に示す配置とし、Case3 とする。歩行者は 10 人、歩行者の半径  $r=0.5[m]$ 、歩行速度  $v=1.69[m/s]$ 、微小時間増分量  $\Delta t=0.1[s]$  としてシミュレーションを行う。

図-7 に各歩行者が辿った軌跡を示す。状況に応じて様々な経路を選択していることが確認できる。

### (3) 計算時間による比較

ところで、Dijkstra 法を用いて最短経路を用いる場合、毎ステップ、歩行者毎に各ノード集合とノード集合との距離関係（これを距離行列と呼ぶ）を作成し直す必要がある。し

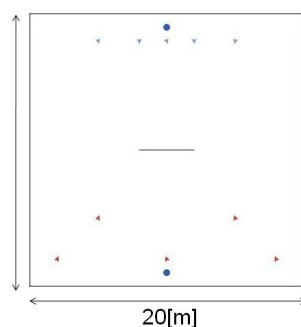


図-6 初期条件 (Case3)

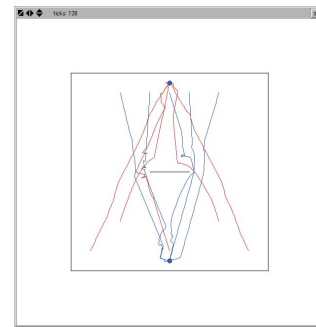


図-7 歩行軌跡

かしながら、歩行者の大きさが一定だとすると、歩行者が移動・追加・削除されるときに変更される距離行列は一部分である。そこで、各歩行者毎に距離行列を作成する方法と、歩行者が移動・追加・削除される度に距離行列を部分変更する方法とでの計算時間の比較を行った。初期条件は Case3 と同様である。

計算時間の比較結果を図-8 に示す。これにより、歩行者が移動・追加・削除される度に距離行列を部分変更する方法を適用することで、大幅に計算時間が削減できることが確認できた。

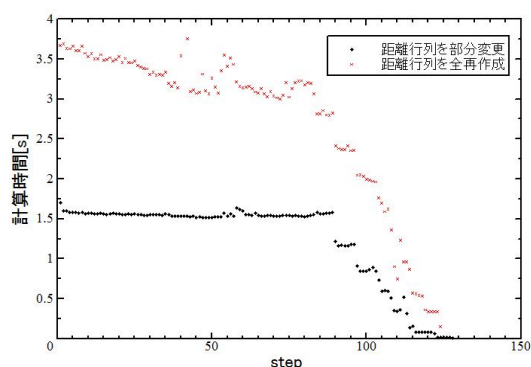


図-8 ステップ毎の計算時間の比較

## 5. おわりに

本論文では、災害避難シミュレーションにおける Dijkstra 法に基づく歩行アルゴリズムの検討を行った。歩行者が二方向から擦れ違うシミュレーションを行うことで、歩行者の重なりが生じない、二次元での挙動が確認できた。また、距離行列を部分変更する方法を適用することで、距離行列を避難者毎に作り直す方法より大幅に計算時間が削減できることが確認できた。

今後の課題として、二地点間歩行モデルを連結するモデルの構築などが挙げられる。

### 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) 宇野圭亮, 大川博史, 田中聖三, 樫山和男: 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: 土木学会関東支部技術研究発表会概要集 (CD-ROM) : 34, 2007.
- 3) E. W. Dijkstra, A note on two problems in connexion with graphs, Numerische Mathematik, Vol.1, pp.269-271, 1959.
- 4) NetLogo, <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>