

イベント会場における混雑緩和を目的とした シミュレーションシステムの構築

古屋敷 隆也† 植竹 俊文† 竹野 健夫†

岩手県立大学 ソフトウェア情報学部†

1. はじめに

映画館やコンサートなどのイベント会場では移動の際に混雑しやすい。特に、出入口付近においてはボトルネックとなり、密集した出入りによる雑踏事故の発生も懸念される。そのため、混雑緩和の対策が必要となり、これらの施策はシミュレーションツールを用いて効果を検証することが望ましい。

本研究では、このような閉鎖空間における人の退場を想定したシミュレーションシステムを構築し、検証を行う。歩行者の動きを再現し、群衆の流れの可視化と混雑度（密度）の測定を行う。さらに、歩行者の動きには様々な心理的要因が働くため、これらの意思決定を導入する。

2. システム概要

2.1. 研究の全体像

提案システムの DFD を図 1 に示す。システムの利用者は空間モデルの設定に加え、歩行者の身体的情報およびシミュレーション状況を設定する。

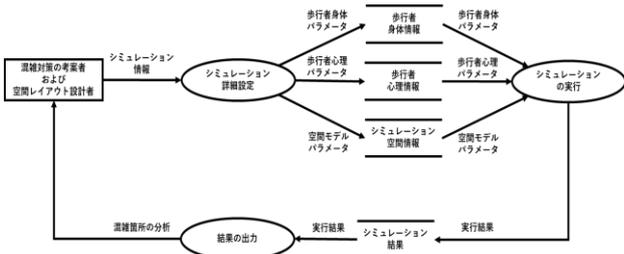


図 1 提案システムの DFD

2.2. シミュレーション環境

本研究では、マルチエージェント・シミュレーション（以下、MAS）を用いる。建造物や備品といった障害物に加え、エージェント同士の相互作用を考慮する必要があるためである。また、MAS 用のプラットフォームとして、Artisoc4（構造計画研究所）を使用する。

Structured of a simulation system aimed at alleviating congestion at event venues

†Takaya Furuyashiki, Toshifumi Uetake, Takeo Takeno

†Faculty of Software and Information, Iwate Prefectural University

3. 歩行者のエージェントモデル

3.1. エージェントの基本行動モデル

空間上に出入口は複数設置されており、出入口までの距離と混雑具合によって目標地点が決定される。各エージェントは優先度 $Priority_i$ が式(1)により計算され、最小となる出入口 i に移動する。

$$Priority_i = \frac{Distance_i}{\sqrt{X^2 + Y^2}} + \alpha \cdot \frac{Density_i}{4.0} \quad (1)$$

$Distance_i$: 出入口 i までの直線距離

$Density_i$: 出入口 i 付近の混雑度

α : $Density_i$ の重みづけ (0.5~1.5)

X : 空間モデルの幅

Y : 空間モデルの奥行

式(1)の第 1 項は出入口までの近さを評価しており、第 2 項は出入口付近における混雑度を評価している。なお、2 項の単位を統一するためにそれぞれ、空間モデルがとりえる直線距離の最大値および 1 m^2 における最大の人口密度で正規化している。歩行者エージェントのフローを図 2 に示す。

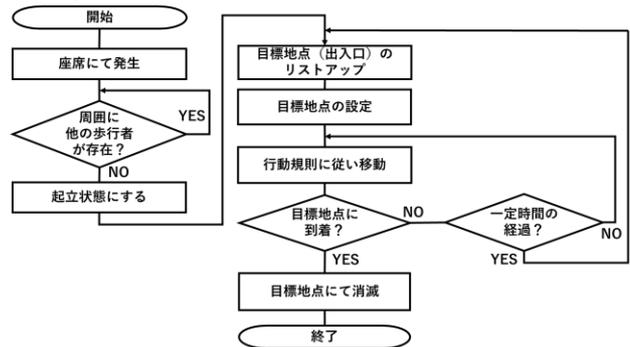


図 2 歩行者エージェントのフローチャート

目標地点への移動方法として、2つの行動規則を用いる。

3.2. 行動規則 1・小目標地点の設定

MAS 上の空間モデルはメッシュ状に区切られており、1つのセルを小目標地点として辿ることで、徐々に出入口へと近づく。

3.3. 行動規則 2・追従性モデル

歩行者は移動中に、前方の群衆に追従する心

理が働く．MAS 上において前方の群衆とは，自身の視野 $r[m]$ 以内でかつ，進行方向 $Direction$ から左に 30° ，右に 30° 以内の範囲内にいるエージェント群を指す．この群衆の中で，自身に最も近いエージェントに向けて $Direction$ を更新し，移動する．図 3 の例において，自身は他人 2 に追従する．

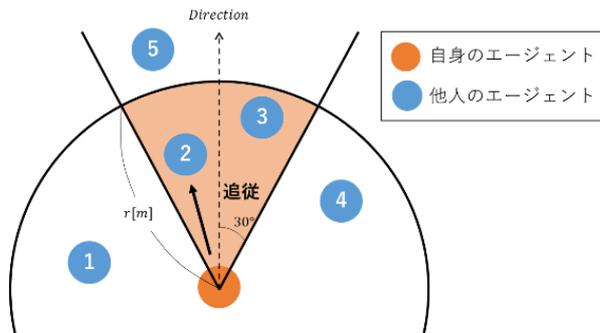


図 3 追従のイメージ

4. シミュレーション

4.1. 実験の目的

構築したモデルを利用して，後述の施策を取り入れたシミュレーションを実行し，混雑度の評価を行う．

4.2. 実験条件

実験で使用する空間モデルを図 4 に示す．今回の実験では，混雑緩和のための施策として歩行者エージェントに，前を歩行する被追従者から $d[m]$ 以上の距離を保つように移動する性質を付与する．被追従者との距離が $d[m]$ に近づくにつれ，自身の歩行スピードを調整することにより，移動の際の間隔をとる．

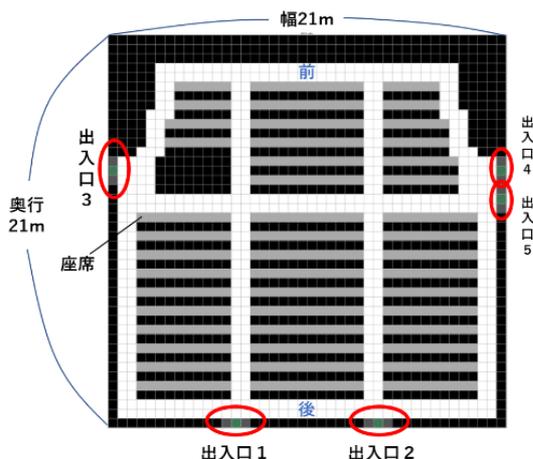


図 4 空間モデル

$d = 0.0, 0.5, 1.0$ および $\alpha = 0.5, 1.0, 1.5$ を組み合わせた 9 パターンの試行を 10 回繰り返し， $\Delta t[sec]$ ごとに密度を記録する．また， $r = 2.0$ ， $\Delta t = 0.1$ とし，比較的に出入りが安定している 20

～30 秒の間を記録の対象とする．

4.3. 実験結果

施策を実施したシミュレーションの結果を図 5 に示す．

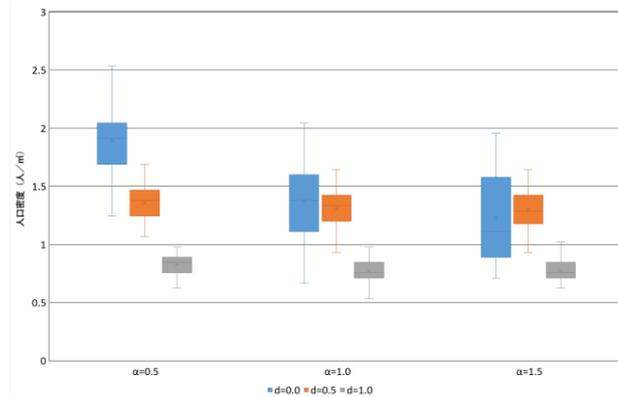


図 5 各パターンにおける人口密度（出入口 3）

4.4. 考察

図 5 より， $d[m]$ の値が大きいくほど密度が低くなる傾向がある．また， $d = 0.0$ について比較すると， $\alpha = 0.5$ が他のパターンよりも高密度であることが読み取れる．有意水準を 0.05 とした二元配置分散分析を実行したところ， α および d についても有意差があることが確認できた．

今回の実験では平常時での移動を前提としているため，周囲に合わせて行動することにより，出入口の混雑を防ぐことができる．しかし，災害時であれば我先に出たいといった思考から周囲に合わせず行動することにより転倒のリスクがあり，雑踏事故が発生したり，避難完了までに遅れが生じたりすると考えられる．

5. おわりに

本研究では，MAS を用いた混雑緩和シミュレーションシステムの構築を行った．イベント会場におけるレイアウト設計のためのツールとして応用できることが期待できる．

今後の課題として，歩行者身体の多様性の実現や，さらなる心理的要因を組み込んだ歩行モデルの構築を目指したい．

参考文献

- 1) 山影 進：人口社会構築指南 artisoc によるマルチエージェント・シミュレーション入門，書籍工房早山（2008）
- 2) 玉井 拓之，山崎 達也，大和田 泰伯，佐藤 剛至，柄沢 直之：都市避難シミュレーションにおける追従性心理の導入と遅滞リスク軽減モデル提案，日本シミュレーション学会論文誌 Vol. 10, No. 1, pp. 17-24（2018）