

# イベント時の混雑緩和のための人流シミュレーションモデルの提案

高橋慎吾 ○陸怡雯（早稲田大学）

## A proposal of Pedestrian Simulation for Congestion Reducing of Events

S. Takahashi and \*I. Riku (University of Waseda)

**概要**— イベントの入退場時の混雑緩和のためエージェントベースシミュレーションが望ましい。大規模施設のシミュレーションにおいて、従来研究はエージェント行動のタイミングや時間を焦点とし、エージェントの動きを一斉開始または正規分布に従って設定していた。しかし現実において、人は自分の考えに基づいて行動するため、エージェントの意思決定モデルを考慮する必要がある。

**キーワード:** イベントの混雑緩和, 大規模人流シミュレーション, 心理モデル, 同調性

### 1 研究背景

2020年の東京オリンピックを含め、コンサートや花火大会など一年中多くのイベントが行われている。イベントの入退場において、運営側の誘導があるにもかかわらず混雑が発生する。

大規模施設の場合実験をすることが難しいため、エージェントベースシミュレーションを行うことが望ましい。

#### 1.1 イベントの混雑緩和

混雑は気持ちを不安定にさせるだけでなく怪我を招くリスクがある。また、イベントに参加した関係者のみでなく、周辺の公共交通機関にも大きな影響を及ぼす。混雑による事故の例<sup>1)</sup>として、1956年の彌彦神社事件（死者124名、重軽傷者77名）や2001年の明石花火大会歩道橋事故（死者11名、重軽傷者247名）などが上げられる。

イベントの混雑緩和対策<sup>2)</sup>として、バリケード、警備員による誘導、車両交通規制や通路の確保（空間的制約）、移動開始する時間をバラバラにする（時間的制約）などがある。混雑緩和の研究について、安福<sup>3)</sup>は屋内等の比較的狭い範囲を対象とし、楕円型RVOモデルを用いた高密度群集流動を再現した。磯崎、中辻<sup>4)</sup>はエージェント間がいかに影響し合うのかに注目しソーシャルフォースモデルを用いて研究を行った。

#### 1.2 大規模人流シミュレーション

人流とは、イベント会場、駅、ショッピングモール、大規模施設など人が集まる空間において人々がそれぞれの目的地に向かうことで起こる人の流れである。大規模施設において、事前に人流シミュレーションを行うことによって人の流れを予測し、適切な誘導によって「イベント時の混雑」、「目的地で行列発生」、「災害時の逃げ遅れ」などの問題解決を図ることが目的である。

### 2 先行研究

#### 2.1 行動モデル

##### ソーシャルフォースモデル<sup>5)</sup>

ソーシャルフォースモデルとは、歩行者の行動は流体の動きと類似していると考え、ソーシャルフォースによって環境が歩行者行動への影響や変化を物理的に表現するモデルである。

牧野嶋<sup>6)</sup>らは、ソーシャルフォースモデルを用いてエージェント個々の動きを詳細にモデル化し、実際の都市環境における大規模避難シミュレーションを行った。

従来の大規模人流シミュレーションは、エージェント行動のタイミングや時間を焦点とし研究を行ったため、エージェントの動きは一斉開始または正規分布に従って設定していた。しかし、現実では人は自分の考えに基づいて行動をする。例えば避難の場合<sup>7)</sup>において、避難勧告などを出しても安全行動を取らない人が存在している。行動を取らない理由として、「自分が被害を受けるとは思わなかった」や「周りの人が行動取っていない」などが考えられる。

#### 2.2 心理モデル

##### 認知的不協和<sup>8)</sup>

認知的不協和とは、自身の中で矛盾する認知を同時に抱えた状態、またそのときに覚える不快感のことである。例えば避難の場合、地震を感じて津波が来る可能性を考えたものの、避難する面倒及び津波への恐怖感を解決するために津波が来ないものと思いつむ。

佐藤<sup>8)</sup>らは、不安感コスト、移動コストおよび期待被害低減便益より、以下のようにモデルを構築した。

- ① 住民は避難の有無別に津波発生の主観確率を持ち避難行動の有無を選択する。
- ② 避難行動の有無の選択については、有無別の主観確率を元に計算された「避難するコスト」と「避難しないコスト」を比較し、コストの低い方が選択される。
- ③ 「避難するコスト」は、不安感コスト、移動コスト、期待被害低減便益で構成され、「避難しないコスト」は不安感コストのみである。

##### 同調性<sup>9)</sup>

同調性とは、心理的要因の一つであり、他者の行動に同調、追従する特性である。鶴島<sup>9)</sup>は反応閾値モデルを用いて、エージェントを自分の意思によって行動する個体（リーダー）と他人の行動に影響されて行動する個体（フォロワー）に分け、同調性を以下のモデルによって表現した。

・エージェントは式 (1) の確率で活動的になる。

$$P(X=0 \rightarrow X=1) = \frac{s^2}{s^2 + \theta^2} \quad (1)$$

X=1: エージェントは活動的

・式 (2) の固定確率でエージェントは非活動的になりタスク遂行を止める。

$$P(X=1 \rightarrow X=0) = \epsilon \quad (2)$$

・タスクに関連した刺激の強度は式 (3) により与えられる。

$$s(t+1) = s(t) + \delta - \alpha \frac{c}{C} \quad (3)$$

$\delta$ : 単位時間あたりの刺激の増加量

$\alpha$ : タスク遂行効率のスケールファクター

$c$ : 現在のタスクに従事する個体数

$C$ : 全体の個体数

・作業の遂行度を推定する進捗関数  $F$  を式 (4) で定義。

$$F(n) = \begin{cases} 1 - n/N_{max} & n < N_{max} \\ 0 & \text{otherwise,} \end{cases} \quad (4)$$

・各エージェントのリスク認知  $R$  は式 (5) で表す。

$$R(r) = \frac{1}{1 - e^{g(r-\mu)}} \quad (5)$$

$\theta$ : 反応閾値

$\mu$ : リスク感度を表すパラメータ

$g$ : シグモイド関数の曲率を表すパラメータ

### 3 研究目的

本研究の目的は、従来の人流シミュレーションにエージェントの心理モデル（同調性を中心）を取り込むことによって、イベント入退場時の混雑解消のための適切な誘導計画を策定することを支援するシミュレーションを開発することである。

### 4 モデル概要

#### 4.1 環境モデル

本研究の環境モデルは等々力競技場（仮）を対象施設とする。

#### 4.2 エージェントの行動モデル

エージェントの行動モデルは、イベント開始前及びイベント終了後の2種類の行動がある。

#### 4.3 エージェントの内部モデル

エージェントの内部モデルについて、本研究では鶴島[8]の反応閾値モデルを採用し、エージェントをリーダーとフォロワーの2種類に分けることを想定している。

#### 4.4 モデルの概要図



Fig.1 モデルの概要図

Fig.1:環境モデルの中で、エージェントはイベント開始前またはイベント終了後に、目的地に向かって行動する。エージェントは確率的に認知的不協和により正しくない目的地を認識する。さらに、反応閾値モデルを用いてエージェントをリーダーとフォロワーに分かれ、フォロワーエージェントは同調性により群集について人が多い方向に向かって行動をとる。

### 5 今後の計画

- ① 同調性モデルを応用する際改善すべき点を抽出し、モデルを構築する。
- ② シミュレーションの結果を分析し、モデルの妥当性を検討する。

### 参考文献

- 1) 大尾和葉:集客施設における退場時の混雑緩和に対する検討,首都大学東京都市教養学部都市教養学科経営学系経営学コース (2017)
- 2) 泉野桂一郎,松島裕康,野田五十樹:歩行者シミュレーションを用いた大規模群集に対する各種移動制約導入手法の評価,情報処理学会研究報告,Vol.2015-ICS-178 No.7 (2015)
- 3) 安福健祐:「楕円型 RV0 モデルを用いた高密度群集流動の再現」,日本建築学会技術報告集,Vol.17,No.35,pp.187 - 190 (2011)
- 4) 磯崎勝吾,中辻隆:Social force model を基にした歩行者の避難シミュレーションモデルに関する研究」,北海道大学大学院工学研究科,平成 21 年度土木学会北海道支部論文報告集第 66 号 D-3 (2009)
- 5) Dirk Helbing, Peter Molnar: Social force model for pedestrian dynamics, PHYSICAL REVIEW E, VOLUME 51, NUMBER 5 (1995)
- 6) 牧野嶋文泰,大石裕介,今村文彦,古村孝志:大規模シミュレーションによる臨海都市部の津波避難リスク分析と低減方策の検討,土木学会論文集 B2 (海岸工学),Vol.74, No.2, I\_409-I\_414 (2018)
- 7) 内閣府防災担当:災害時要援護者避難支援策具体化のための手引き
- 8) 佐藤太一,河野達仁,越村俊一,山浦一保,今村文彦:心理的作用を考慮した津波避難開始における意志決定モデルの開発,土木学会論文集 D3 (土木計画学),Vol.69,No.2,64-80 (2013)
- 9) 鶴島彰:避難シミュレーションにおける反応閾値モデルによる複数タスクのモデル化,セコム株式会社 IS 研究所, The 32nd Annual Conference of the Japanese Society for Artificial Intelligence (2018)