

# 昇降機からの降車を実現する Social Force Model を用いたマルチエージェントシミュレーション Multi-agent simulation using Social Force Model for disembarking from an elevator

松江 清高<sup>†</sup>      元木 秀俊<sup>†</sup>      会津 宏幸<sup>†</sup>  
Kiyotaka Matsue   Hidetoshi Motoki   Hiroyuki Aizu

## 1. はじめに

IoT デバイスが普及し様々なデータを容易に取得できるようになり、それらのデータを快適なオフィス環境の実現に活用する取り組みが始まっている。例えば、ビル内の歩行者の行動をモニタリングして得たデータを利用してエレベータ(昇降機)を制御することで昇降機乗車までの待ち時間やフロア間の移動時間の短縮、昇降機の省エネ運転などが可能となる。その際これらを実現するためには歩行者や昇降機等のビル内設備機器をエージェントで表現したマルチエージェントシミュレーション(MAS)環境を構築し、エージェントのパラメータ値を変化させながらシミュレーション評価し、その評価結果を実機に反映する手法等が取られる。しかしこの手法には課題も存在する。例えば、歩行者の動きを Social Force Model(SFM)で表現する場合[1]、昇降機内の歩行者から昇降機出入口を結ぶ直線上に他の歩行者がいるとその歩行者は昇降機から降車できないケースが存在する。そこで本研究ではこの課題を解決するためにポテンシャル場を導入して適切な経路を導出する手法を採用している。Hoogendoorn らが定義した三種類の歩行者行動レベル(Strategic Level、Tactical Level、Operational Level)に従うと[4]、本研究は昇降機内の密集度の低い場所を通して降車する戦略を採用しつつ(Strategic Level)、降車手法の具体例である戦術を提示する(Tactical Level)ことに該当する。本稿ではこの手法の詳細とシミュレーション結果について報告する。

## 2. 関連研究

MAS を用いて歩行者の行動を評価する研究は多く、歩行者の心理的な影響を運動方程式で表現した SFM を用いた MAS 以外にも歩行者の移動をグラフ表現したネットワークモデル、歩行者をセル単位で移動させることで高速計算可能なセルオートマトン、観測データを利用したモデルフリーな手法等が知られている。その中でも SFM は比較的単純なモデルであること及び近年の計算機の高速化により大規模シミュレーションが可能になったことから数多くの研究成果が生まれている。たとえば Dynamic navigation field と呼ばれる移動時間に依存したコスト関数を定義して SFM の推進方向を決定する手法[8]や、混雑度をチャージ量で表現した Density field から推進方向を決定する手法[9]、凸多角形状の歩行空間になるように空間を分割して目的地へ向かわせる手法[5]などが存在する。

## 3. 手法

SFM は三つの力の合力で表現される。このうち目的地へ向かう力(推進力)の方向をポテンシャル場で決定することにより他の歩行者との衝突を回避しながら歩行者を昇降機から降車させることを考える。

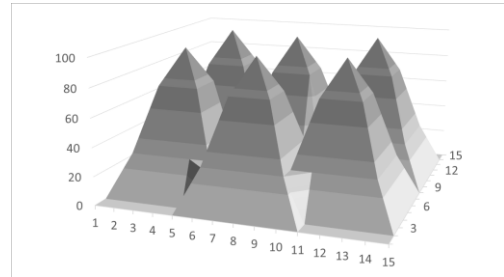


図 1 離散化したポテンシャル場の例

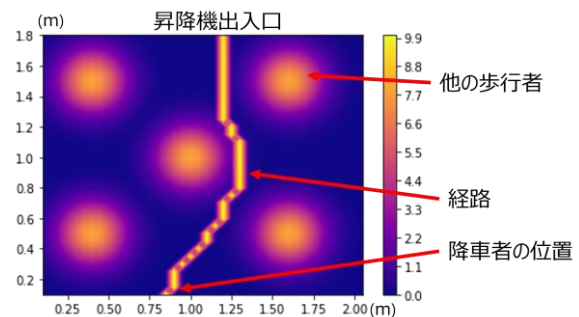


図 2 経路探索の例

### 3.1 Social Force Model (SFM)

SFM は心理的な影響を運動方程式で表現したモデルであり、式(1)のように表される[1]。

$$m_i \frac{dv_i(t)}{dt} = m_i \frac{v_i^0(t)e_i^0(t) - v_i(t)}{\tau_i} + \sum_{j(\neq i)} f_{ij}(t) + \sum_w f_{iw}(t) \quad (1)$$

右辺第一項が推進力、第二項は他の歩行者からの斥力、第三項は壁等の障害物からの斥力を表し、歩行者はこれらの合力によって移動するモデルである。ここで第一項の推進力は目的地へ向かう力となるため、歩行者と目的地を結ぶ直線上に垂直な障害物が存在すると目的地へ到達できない問題が知られている。これは昇降機出入口と降車者を結ぶ直線上に他の歩行者がいると降車できないことを意味している。そこで推進力の方向を決定するためにポテンシャル場を導入する。

### 3.2 ポテンシャル場の形成

ポテンシャル場とは歩行者の移動空間を二次元分布で表現した場のことであり、本研究では昇降機内の各歩行者を式(2)に示す二次元ガウス分布で表現する。

$$\mathcal{N}(x|\mu, \Sigma) = \frac{1}{\sqrt{(2\pi)^2 |\Sigma|}} \exp \left\{ -\frac{1}{2} (x - \mu)^T \Sigma^{-1} (x - \mu) \right\} \quad (2)$$

ここで  $\mu \in \mathbb{R}^2$ ,  $\Sigma \in \mathbb{R}^{2 \times 2}$  は歩行者の中心位置および幅・向きを表現する。またポテンシャル場を用いて推進力方向を決定するために、二次元分布の連続空間のポテンシャル場から XY 平面を離散化したポテンシャル場を生成する。図

<sup>†</sup> 東芝インフラシステムズ株式会社 Toshiba Infrastructure Systems & Solutions Corporation

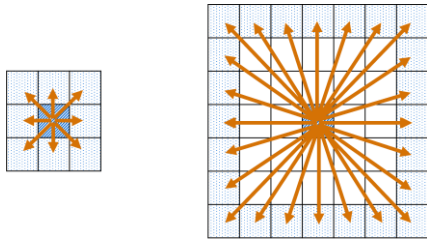


図 3 推進力方向の選択肢(N=1(左図), N=3(右図))

1 は昇降機内に 6 名乗車しているときのポテンシャル場のイメージ図である。一つの山が一人の歩行者を表している。

### 3.3 推進力方向の決定

ポテンシャル場を利用して SFM 第一項の推進力方向を決定する。まず初めに降車者の昇降機内の位置から昇降機出入口までの経路を導出することを考える。二次元ガウス分布の高さをコストとみなして歩行者の位置から昇降機出入口までの経路の総コストを最小にする最短経路問題に帰着させて導出する。最短経路探索は A\*アルゴリズムを用いる。図 2 に昇降機を上部から見たときの最短経路の探索結果を示す。昇降機に 5 名(図中黄色の円)が乗車したときに昇降機奥の壁(図中下側)から出入口(上側)までの最短経路(黄色の折れ線)の探索例を示している。

歩行者の経路が決定したら推進力の方向を決定する。離散化した空間におけるエージェントの位置から隣接マス(N=1)に移動する方向を推進力方向とする。その場合、図 3 の左図に示すように 8 通り(45 度単位)方向から最短経路で選択されたマスの方向を選択する。また隣接マスではなく複数マス先の方向を移動方向にすることも可能である。本研究では図 3 の右図に示した 3 マス先(N=3、24 通り、15 度単位)に相当する 24 マスの中から経路選択する。

## 4. 評価

### 4.1 シミュレーション条件

15 階程度のオフィスビルに設置された昇降機をモチーフにしたシミュレーションを実施する。昇降機内の広さは 2,000(W) × 1,750(D)mm とし、20 名が乗車した環境において一番奥に乗車した一名を降車させるシミュレーションを実施する。この場合、人流密度は 5.7(peds/m<sup>2</sup>)に達し、Fruin が定義する Level of Service におけるレベル F に相当する最も混雑した状態となる[2, 3]。また表 1 に示した ISO4190-1 の定義に従うと[6, 7]、平均体重 65kg としたアジア人における 20 名の乗車とは実行可能な最大積載人数に相当している。

表 1 有効積載人数(65kg/0.18m<sup>2</sup>)

定格重量(kg)	1,600
有効面積(m <sup>2</sup> )	3.56
最大積載人数(人)	19.8

### 4.2 シミュレーション結果

昇降機を上部から見た歩行者の動きを時間遷移ごとに示した結果を図 4 に示す。シミュレーションは左上(T<sub>1</sub>)から右下(T<sub>8</sub>)に向かって進んでおり、全 8 枚の時間間隔は一定ではない。図中の番号は歩行者 ID であり、ID①から ID⑱までの 20 名のうち昇降機左奥に乗車した ID①を図中上部の出入口まで移動させるシミュレーションを実行している。

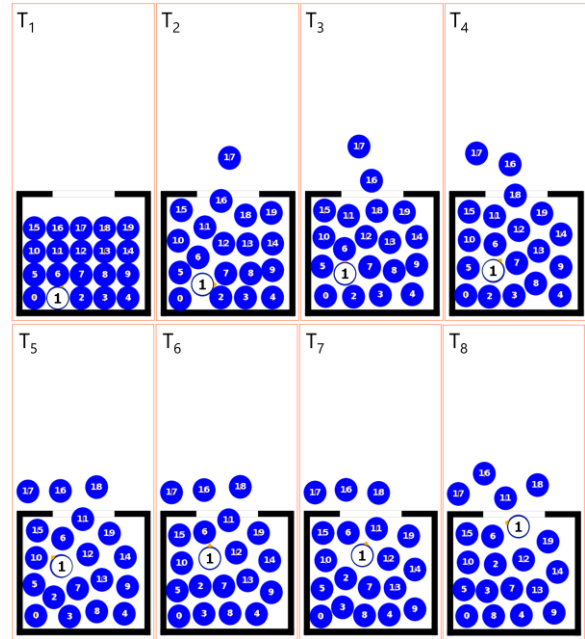


図 4 シミュレーション結果

ID①以外の歩行者の推進力はゼロに設定している。ID①は時間変化と共に少しずつ昇降機出入口に近づき、周辺の歩行者 4 名を降車させた後に出入口にたどり着いている。

## 5. 結論

SFM の推進力方向を二次元ガウス分布のポテンシャル場を用いた最短経路探索問題に帰着させて決定することで、混雑環境下における昇降機奥側に乗車した歩行者を降車させるシミュレーションを実行できることを確認した。

## 6. おわりに

二次元ガウス分布でポテンシャル場を形成して SFM の移動方向を決定する本手法と実環境における歩行者の移動経路や降車時間との差異に関する評価は今後の課題である。また本手法は昇降機からの降車以外のモチーフへも適用可能であり、その適用可能性をさらに探求していく。

### 参考文献

- [1] Helbing, D., Farkas, I. & Vicsek, T., “Simulating dynamical features of escape panic”, Nature 407, pp.487–490 (2000).
- [2] 西田遼, 重中秀介, 加藤優作, 大西正輝, “群集シミュレーションによる歩行空間設計と制御に関する研究動向”, 人工知能学会論文誌, 37 巻, 2 号 J (2022).
- [3] John J. Fruin, “Designing for Pedestrians: A Level-of-Service Concept”, The 50th Annual Meeting of the Highway Research Board, No.355 (1971).
- [4] Hoogendoorn, S.P. and Bovy, P.H.L., “Pedestrian route-choice and activity scheduling theory and models”, Transaction Research Part B: Methodological”, Vol.38, No.2, pp.169-190 (2004).
- [5] 小林寛, 藤井秀樹, “複雑形状を有する歩行空間における群衆シミュレーションに対する Social Force Model の適用に関する研究”, 第 38 回人工知能学会全国大会予行集 (2024).
- [6] Gina Barney and Lutfi Al-Sharif, “Elevator Traffic Handbook: Theory and Practice”, Routledge (2016).
- [7] ISO 4190-1:2010, <https://www.iso.org/standard/43194.html> (2010).
- [8] Yanqun Jiang, Bokui Chen, Xi Li, and Zhongjun Ding, “Dynamic navigation field in the social force model for pedestrian evacuation”, Applied Mathematical Modelling, vol. 80, pp.815–826 (2020).
- [9] Yutong Sun and Hong Liu, “Crowd evacuation simulation method combining the density field and social force model”, Physica A, vol.566 (2021).