

群集シミュレーションによる動的な制御計画の評価

宮野 修平[†]

セコム株式会社 IS 研究所[†]

1 はじめに

現実の群集制御では、状況に応じて制御の方法を動的に変える必要がある。例えば、流量増加に合わせて誘導員を増員することでより強く誘導したり、制御から逸脱した歩行者に声掛け等に対応して群集流を正常化したりする。

近年、群集制御計画の効果を事前検証するため、群集シミュレーションが用いられている[1]。しかしながら、既存の報告例では群集が制御に従って移動する場合のリスク評価に主眼が置かれ、制御の実施方法に関する検討が不十分である。

本研究では、制御の強制力と群集の遵守度に基づく制御に対する行動選択モデルを用いて、動的な制御切り替え下でのシミュレーションを行い、制御計画における計画要素の一例である制御の強制力および切り替え条件の比較検討を行った。

2 提案モデル

本報告では、群集制御に対して遵守するか無視するかといった行動選択をモデル表現する[2]。

Hoogendoornら[3]は歩行行動を strategic, tactical, operational の3段階に分けたが、提案モデルは tactical レベルにおける行動選択をモデル化しており、シミュレーションしたい状況に合わせた operational レベルの歩行モデルと連携する。

行動選択モデルの概要

シミュレーション空間内に、立入禁止や一方通行などの制御を行う領域を設定し、制御の強さを表す強制力パラメータを設定する。一方、各歩行者エージェントには、制御に対する従いやすさを表す遵守度パラメータを設定する。

制御の指示内容に対し、「遵守」または「無視」の行動方針選択枝を生成する。例えば交差点における赤信号制御に対しては、「遵守」は交差点の手前で停止する行動方針を表し、「無視」は交差点内に侵入する行動方針を表す。

各歩行者エージェントは、与えられた「遵守」および「無視」の行動方針について、それぞれ選択コストを計算し、選択コストに応じて確率的に行動選択する。選択コストが小さい選択枝ほど選

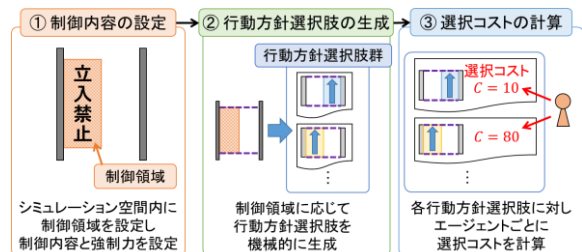


図1 提案モデルの構成

択されやすくなる。

ここでは、「無視」選択枝に対し、制御の強制力パラメータが大きいほど選択コストを大きく、またエージェントの遵守度パラメータが高いほど選択コストを大きくする。

3 シミュレーション実施例

提案モデルを用いた群集シミュレーションを実施し、制御の強制力や切り替え条件を比較検討する。

シミュレーション設定

目的地まで複数の経路がある空間において、最短経路が混雑したとき、迂回路に群集を誘導することがある。このとき、誘導を開始するタイミングを決める密度閾値や、迂回誘導の強制力を決定する必要がある。

図2にシミュレーション空間設定を示す。領域Sはエージェントの出発地点であり、領域AおよびBはエージェントの目標地点である。

初めは誘導制御がなく、エージェントは下経路を利用し領域Aを目指す。図2中の網目領域内の密度が閾値 d_{th} を超えたとき、強制力 E の制御で上側の通路に誘導を開始する。

誘導制御が開始された後、分岐路以前にいる各エージェントは、この誘導制御に対する行動方針として「遵守」=「上経路を利用しBを目指す」か「無視」=「下経路を利用しAを目指す」のい

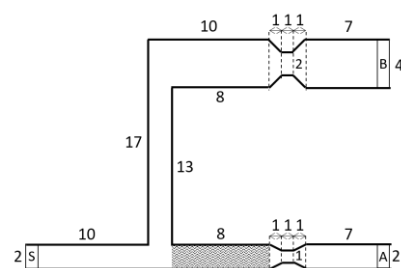


図2 空間設定 (単位は[m])

Crowd simulation to evaluate dynamic control plans
[†] Shuhei MIYANO, SECOM Co., Ltd., Intelligent Systems Laboratory <shu-miyano@secom.co.jp>

ずれかを選択する。ここで、エージェントが選択した行動方針下の歩行行動を表現するため、歩行モデルとして Social Force Model[4]を用いた。

移動するエージェントの総数および空間内への流入量については、それぞれ 200 人、4 人/秒とした。遵守度パラメータはエージェントごとにランダムサンプリングしており、同じ制御に対して異なる行動選択をする可能性がある。また、エージェントの自然状態における理想速さは、正規分布 $N(1.3, 0.2)$ よりサンプリングして決定した。

シミュレーション結果

E および d_{th} を変えた際に、Aへ到達したエージェントの割合を図3に示す。ここで、各 (E, d_{th}) の組に対し、100 試行ずつシミュレーションを実施した。Bへの誘導を開始する密度閾値 d_{th} が大きく、また誘導の強制力 E が小さいほど、Aへの到達率が大きくなった。

また、各経路の隘路前領域における「ピーク密度*」と、全エージェントが目標地点へ到達するまでの退出完了時間を図4に示す。

考察

図4(a)によると、下経路のピーク密度は、密度閾値 d_{th} が増加するにしたがって増加し、また強制力 E を増すことで減少している。迂回誘導をより早く、より強い強制力で開始することで、下経路の混雑が緩和されることが分かる。

上経路への強い誘導により、下経路の混雑が緩和されAへ向かうエージェントの移動時間が短くなる一方で、より遠いBへ向かうエージェント数が増えることから、全体的な退出完了時間を短縮するためには、両者のバランスを考えながら d_{th} を決める必要がある。図4(b)によると、 $E = 2$ のとき、 $d_{th} = 1 \sim 1.5$ 付近で退出完了時間が極小となっている。

実際の制御計画は、シミュレーション結果を踏まえつつ、その他の要請を加味して決定される。例えば、ピーク密度上限 2 人/m² の下で退出完了時間を極小化したい場合、 $E = 2$ 、 $d_{th} = 1 \sim 1.5$ であるような制御手法が選ばれとされる。

ただし、具体的な制御手法と強制力パラメータとの対応については、本報告だけでは議論できず、別途実証的な実験を行う必要がある。

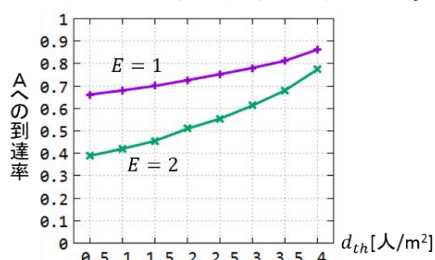


図3 目標地点Aへの到達率

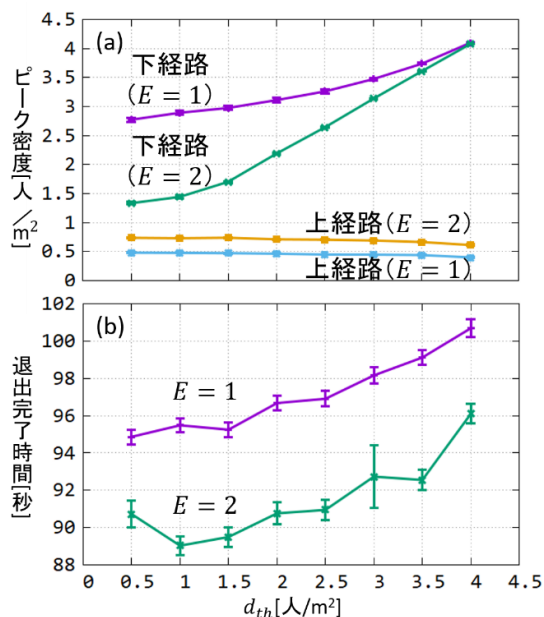


図4 (a) ピーク密度 (b) 退出完了時間

4 おわりに

本稿では、制御の強制力と個人の遵守度に基づく行動選択モデルを群集シミュレーション上で用いることで、制御計画における計画要素の一例である制御の強制力および切り替え条件を比較検討した。

今回検討した要素以外にも、例えば流量増加時の誘導員の増員数や、制御に対する逸脱行動があった場合の正常化計画など、制御の現場における実施方法を検討すべき場面は多い。提案モデルを用いることで、実施方法の違いに応じた制御効果の差まで含めた制御計画の事前検証が可能になる。

今後は、実証実験を通じて、モデルパラメータと現実の制御手法との対応方法を確立していきたい。

なお、本研究は、JST 未来社会創造事業 JPMJMI17D4 の支援を受けたものです。

参考文献

- [1] 山下倫央, 副田俊介, 大西正輝, 依田育士, 野田五十樹, “一次元歩行者モデルを用いた高速避難シミュレータの開発とその応用,” 情報処理学会論文, 53, pp.1732-44 (2012)
- [2] 宮野修平, “群衆制御施策の評価シミュレーションのための違反行動を考慮した行動選択モデル,” 情報処理学会 第82回全国大会 (2020)
- [3] Serge P. Hoogendoorn, Piet H.L. Bovy, “Pedestrian route-choice and activity scheduling theory and models,” Transportation Research, 38, pp.169-190 (2004)
- [4] Dirk Helbing, Illés Farkas and Vicsek Tamás, “Simulating dynamical features of escape panic,” Nature, 407(6083), 487-490 (2000)

※各時刻における密度値に対し、シミュレーション中での最大値を「ピーク密度」と呼んでいる。