

フロアフィールドモデルを用いた雑踏状態における 歩行者対向流の定量的解析

中井颯良, 磯部雅晴

名古屋工業大学 大学院工学研究科

概要

対向流において、レーン形成の形成過程や性質をより定量的に解析した Nowak らの先行研究 [5] で用いられたパラメーターを参考にし、より多自由度に動ける三角格子を用いたフロアフィールドモデルにおいて追従効果や回避効果を導入し、系の振る舞いの違いを調べた。また、対象の系を長方形だけでなく三叉路等に変化させ、格子モデルによる系の最終状態の違いを定量的に調べた。

Quantitative analysis of pedestrian counter-flow in crowded condition using floor field model

Sora Nakai, Masaharu Isobe

Graduate School of Engineering, Nagoya Institute of Technology

Abstract

In counterflow conditions, drawing on parameters used in Nowak et al.'s prior work [5], which quantitatively analyzed the formation process and properties of lane formation, we introduced following effects and avoidance effects into an FF model using a triangular grid with greater degrees of freedom. We then quantitatively examined differences in the grid model by varying the flow rate and changing the target system from a rectangle to configurations such as three-way intersections.

1 はじめに

統計物理学的観点から様々な場面で起こる渋滞を再現および解消しようとする学問として渋滞学が提唱されている [1]。この渋滞学では混雑を発生させる人間や車などを自己駆動粒子とみなし、その統計集団を研究している。雑踏高密度状態における大規模な群衆の動きは、現実の実験での再現や検証が困難であるため、適切なモデル化を行ったシミュレーションによる研究は有益である。渋滞学では人間の群集行動を表すためセルオートマトンを基にしたモンテカルロ法の一つとしてフロアフィールド (Floor Field: 以下 FF) モデルが提案されており、群衆の避

難などのモデル系として研究が行われている [2, 3]。FF モデルの中には前方歩行者への追従効果や人間の視野角・向きなどの特性を考慮したモデルも提案されている。その中でも、雑踏状態における2方向流れのレーン形成や人流凍結は基本となるモデル系であり、FF モデルにおいてもレーン形成シミュレーションが行われてきた [4]。本研究ではそのような2方向流れのシミュレーションに対し、基本的な正方格子を用いた FF モデルに加え、動きの自由度が増す三角格子を用いた FF モデルを使用し、双方のモデルによる系の最終状態の違いを比較検討した。

2 モデルと系の設定

2.1 シミュレーションモデル

本研究では、図1で示されるような正方格子、三角格子を用い、以下のFFモデルによって解析を行った。

$$q_{ij} = \exp(k_S S_{ij} + k_D D_{ij} + k_A A_{ij}) \quad (1)$$

$$p_{ij} = \frac{q_{ij}}{\sum_{i,j} q_{ij}} \quad (2)$$

移動ルールとしては現在のステップの近傍セル (i, j) 情報 (S_{ij}, D_{ij}) を基に式1より q_{ij} を計算し、式2の移動確率 p_{ij} に従い、移動させる。(なお移動方向セル (i, j) に人が既にいる(衝突の)場合 $p_{ij} = 0$ とした。) S_{ij}, D_{ij}, A_{ij} はそれぞれ進行方向のバイアス、動的FF(同方向の“通過痕”への引き寄せ)、予測FF(逆方向の歩行者による反発)の値を表している。また、 k_S, k_D, k_A はそれぞれ S_{ij}, D_{ij}, A_{ij} の強度を表す。

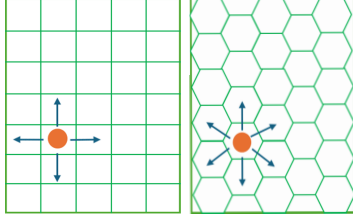


図1: (左) 正方格子と(右) 三角格子を用いたFFモデル

2.2 系の設定

幅 $L = 10$ 長さ $H = 100$ の格子点数 $M = 1000$ の系内の様々な密度 $\rho = N/M$ (M : 系の人数) において、 $k_S = 2.5$ とし、様々な k_D, k_A の値を用いて、系の最終状態の違いを調べた。境界条件は、進行方向は周期境界条件と開放境界条件の二つを考え、側壁は剛体壁と設定した。また、初期条件は歩行者をランダムに配置した。また、系の状態は[5]に従い判定した(2.3節参照)

2.3 系の状態の判定条件

(I) グリッドロック状態

直近 50 ステップの全流量(移動総量の積算)が $\frac{1}{2M}$ 以下の場合。アンサンブル数 N_s 中 N_g 回グリッドロック判定された場合の確率 $p_{jam} = N_g/N_s$ を定義する。

(II) レーン形成状態

$$\Phi = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \left(\frac{N_{i_n}^A - N_{i_n}^B}{N_{i_n}^A + N_{i_n}^B} \right)^2 \quad (3)$$

$N_{i_n}^A, N_{i_n}^B$ を進行方向に平行な同一セルに存在する(A)上(B)下方向の各人数とし、直近 1000 ステップ

におけるオーダーパラメータ Φ の最大値 Φ_{max} と最小値 Φ_{min} が以下の条件を満たす場合。

$$\frac{\Phi_{max} - \Phi_{min}}{\Phi_{max} + \Phi_{min}} < 0.1 \quad (4)$$

(III) 無秩序状態

(I) のグリッドロック状態ならびに (II) のレーン形成状態に判定されず、ステップ数 T が $20000\sqrt{\rho}$ を超えた場合。

3 結果

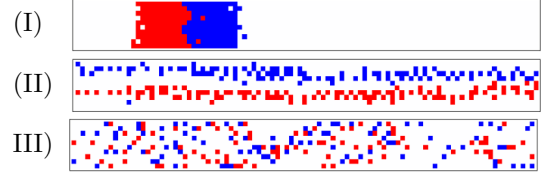


図2: (I) グリッドロック状態, (II) レーン形成状態, (III) 無秩序状態

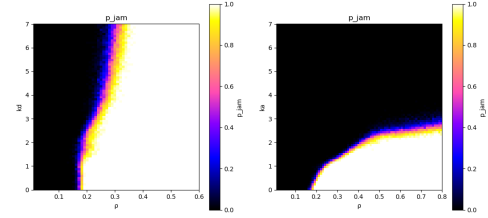


図3: 密度 ρ (左) 追従強度 $k_D > 0$ ($k_A = 0$)、(右) 反発強度 $k_A > 0$ ($k_D = 0$) に対するグリッドロック確率 p_{jam} の相図

図2はシミュレーションを行った際の三つの系の最終状態のスナップショットを示す。また図3は密度 ρ に対する k_D, k_A のグリッドロック確率である。 k_A を作用させた際、 k_D を作用させたときよりも、大きな密度であってもグリッドロックを回避することが分かった。さらに講演では、三角格子を用いたFFモデルとの比較、環境形状が系の状態に与える影響を報告する予定である。

参考文献

- [1] 西成 活裕: 渋滞学, 新潮社. (2006)
- [2] 西成 活裕: 図解雑学 よくわかる渋滞学, ナツメ社, (2009).
- [3] C. Burstedde, K. Klauck, A. Schadschneider, and J. Zittartz, *Physica A*, **295**, 507 (2001).
- [4] 柳澤 大地, Japanese J. Multiphase Flow, **28**, 312, (2014).
- [5] Stefan Nowak and Andreas Schadschneider, *Phys. Rev. E* **85**, 066128 (2012).