

歩行者対向流シミュレーションにおける 斜め移動と分割線の効果

高橋大樹¹, 日永田泰啓², 只木進一²

¹ 佐賀大学 理工学部 知能情報システム学科

² 佐賀大学 総合情報基盤センター

概要

歩道橋や地下道における対向する歩行者流の格子ガスモデルによるシミュレーションを考える。通常のモデルを斜め方向に移動できるモデルに拡張し、その流量改善の効果を調べる。具体的には、進行方向の平均速度への影響を調べる。また、分割線の効果と斜め方向の移動の効果について比較する。

Effects of diagonal motions and partition lines on simulations of pedestrian counter flow

Daiki Takahashi¹, Yasuhiro Hieida² and Shin-ichi Tadaki²

¹ Department of Information Science, Saga University

² Computer and Network Center, Saga University

Abstract

We perform simulations with a lattice gas model of pedestrian counter flow, corresponding to that in underpasses and footbridges. The model is extended for allowing pedestrians to move diagonally in the lattice. The effects on the improvement of the flow are observed by observing the average velocity to the direction of pedestrians. We also compare the effects of the diagonal motion and of the partition line.

1 はじめに

1990年代以降、高速道路の自動車流やインターネットのバケット流、更には蟻など、様々な流れ、特にその渋滞形成について、理論、シミュレーション、実測の各側面から関心が寄せられている[1]。歩行者流については、劇場などからの避難、駅などでの複数方向の流れ、地下道や歩道橋などでの対向する流れなど、二次元的な流れに関心が寄せられている。特に、2001年に発生した、明石歩道橋での事故は、歩行者流への関心と呼び覚ました[2]。

本研究では、対向する歩行者流を格子ガスとしてモデル化する。通常の格子ガスによるモデル化では、

歩行者は進行方向及び横方向に確率的な移動を行う。このような移動方向の制約が、低流入量でのデッドロックを発生させている。本研究では、歩行者の斜め方向の移動が、流量を改善する効果があることを、進行方向への平均速度を通じて観測する。

地下道や歩道橋には、しばしば分割線(中央線)が引かれ、その右あるいは左側を通行することが緩いルールとして、歩行者に共有されていることが多い。このような分割線が流量を改善すると期待されている。格子ガスモデルでもこのような分割線が流量を改善することが報告されている[3]。本研究においては、斜め移動の効果とともに、分割線が進行方向の平均速度の改善に与える効果を観測し、比較する。

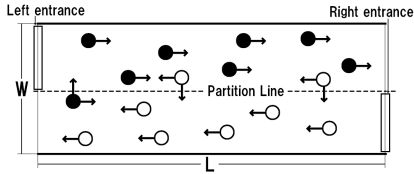


図 1: 幅 W 、長さ L の道路。道の真ん中に横に引いている線が分割線 (Partition Line) である。右に向かう歩行者は左から加え、左に向かう歩行者は右から加える。

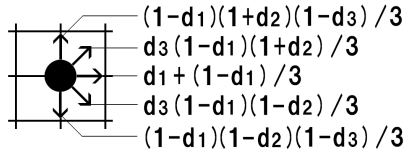


図 2: 歩行者の動きとその確率。 d_1 は直進性のパラメータ、 d_2 は分割線の影響を受けるパラメータ、 d_3 は斜め移動のパラメータ。

2 歩行者のモデル

地下道や歩道橋を想定した格子ガスモデルを考える。道を幅 W 、長さ L の正方格子としてモデル化を行う。各格子点には、一人の歩行者しか入れないとする (図 1)。

歩行者は、右へ向かう歩行者と左へ向かう歩行者の二種類があるとする。各歩行者は、進行方向、進行方向に対して左右、進行方向に対して左右斜め前の格子点へ、その格子点が空いている場合に、確率的に移動できるとする (図 2)。パラメータ d_1 ($0 \leq d_1 \leq 1$) は、直進性を表すパラメータであり、値が大きいほど、歩行者は進行方向に直進しようとする。パラメータ d_2 ($0 \leq d_2 \leq 1$) は、分割線を越えて反対側へ行った場合に、元へ戻ろうとする傾向を表す。右向き (左向き) 歩行者が、分割線を越えて進行方向に向かって右半分に入ったときにだけ働くパラメータである。これら二つのパラメータ d_1 と d_2 は、文献 [3] と同様である。パラメータ d_3 ($0 \leq d_3 \leq 1$) は、斜め移動を行う傾向を表すパラメータである。 d_3 が大きいと、歩行者は進行方向に対して左右ではなく、斜め前に移動しようとする。なお、歩行者は、後退しないことに注意する。

次に、系全体の動作を説明する。各時刻において、以下の動作を繰り返すこととする。

1. 道の左右の端から歩行者を加える

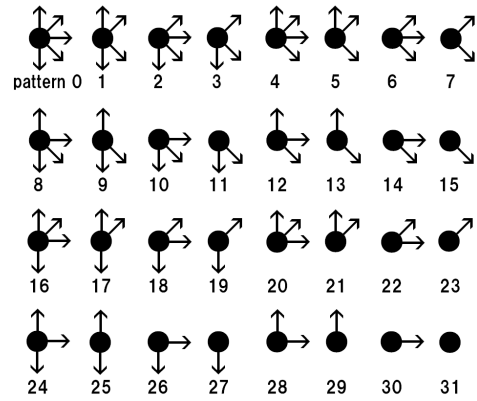


図 3: 右向きの歩行者のパターン一覧

2. 反対側に辿り着いた歩行者を取り除く
3. 歩行者を動かす順番をランダムに並べ替える
4. 順番に従って歩行者を動かす

最初に、右向き (左向き) の歩行者を系の左端 (右端) のセルのうち、上 (下) 半分に発生させる。各セルへの右向き (左向き) 歩行者の発生確率を p_r (p_l) とする。次に、系の右端 (左端) のセルに到着した右向き (左向き) の歩行者を系から削除する。最後に、系内の全歩行者に、毎時刻、ランダムに順番を付ける。この順番に従って歩行者の移動を行う。

一つのセルには、一人の歩行者しか入ることができない。また、地下道や歩道橋を想定しているので、幅方向には壁がある。このような制約から、歩行者の移動のパターンは、図 3 に示す 32 通りが存在する。図 3 は右向きの歩行者のパターンを示している。パターン 32 個のうち、24 番から 31 番のパターンは斜め移動のない動きである。それぞれの場合の移動確率の割り当ては文献 [3] に準じて設定する。

3 渋滞発生過程

道の幅 $W = 80$ 、長さ $L = 200$ 、 $d_1 = 0.6$ 、 $d_3 = 0.6$ において、系の時間発展を図 4 (分割線なし、 $d_2 = 0$) と図 5 (分割線あり $d_2 = 0.92$) に示す。

図 4 では、 $t = 200$ で対向流の衝突 (a) の後、 (b) $t = 500$ で、右向き、左向きの歩行者が、分割線を越えて広がり、相互に行く先を阻んでいる。 (c) $t = 1000$ では完全に渋滞してしまう。 (b) の渋滞発生となる地点が複数見られる場合も見られた。

図 5 では、 (a) は分割線の影響により、図 4 と比べてお互いが混ざり合っている箇所が少ない。 (b)

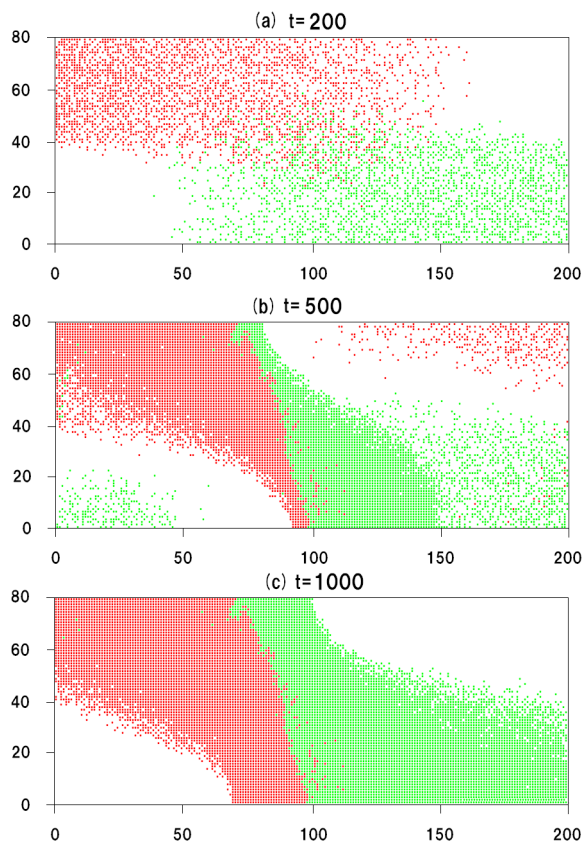


図 4: 分割線がない場合の渋滞発生過程。縦は道の幅方向、横は道の長さ方向である。赤い丸が右に向かう歩行者、緑の丸が左に向かう歩行者を表わす。

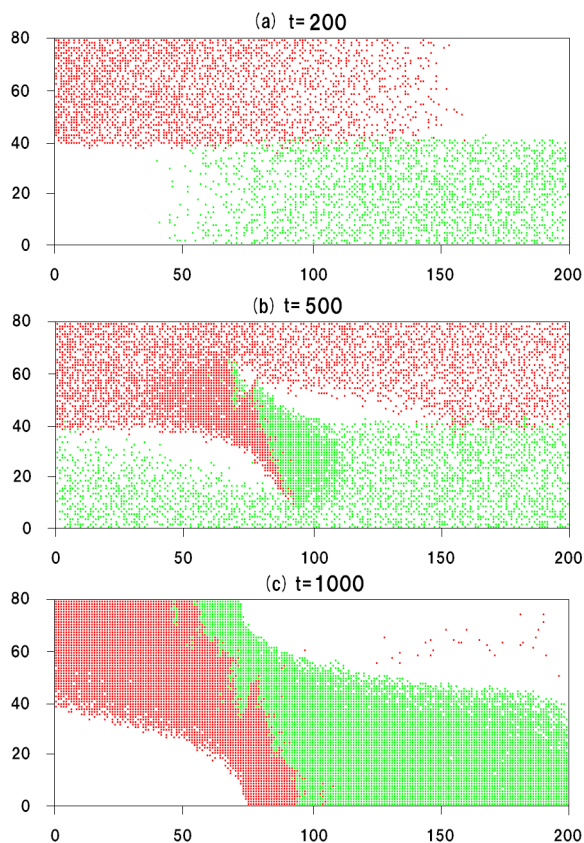


図 5: 分割線がある場合の渋滞発生過程。縦は道の幅方向、横は道の長さ方向である。赤い丸が右に向かう歩行者、緑の丸が左に向かう歩行者を表わす。分割線は道の幅 40 に存在している。

$t = 500$ で、長さ 70 の付近でお互いが分割線を越え、小さな渋滞が発生する。(c) $t = 1000$ では、完全に渋滞してしまう。小さな渋滞が次第に大きくなって完全な渋滞を引き起こす。

図 4 と 5 の比較より、分割線がある場合の方がよりスムーズに歩行者が流れていることが解る。分割線がない場合は渋滞発生の起点となるポイントが複数見られることもあり、より早い段階で歩行者の流れが止まってしまう。

4 斜め移動及び分割線の平均速度への効果

分割線のパラメータ d_2 と斜め移動のパラメータ d_3 による流量改善の効果を調べる。ここで、流量を直接調べるのではなく、進行方向への速度 v を指標

とする。進行方向への平均速度を

$$v = \frac{\text{前進した歩行者数}}{\text{全体の歩行者数}} \quad (1)$$

で定義することとする。ここで、「前進した歩行者」とは、進行方向、及び進行方向斜め前に移動した歩行者を指す。流入確率 $p = p_l = p_r$ を変化させ、平均速度を測定した結果を図 6 から図 9 に示す。

直進性が弱い場合 ($d_3 = 0.9$, 図 6 及び 7) と強い場合 ($d_3 = 0.9$, 図 8 及び 9)、分割線の無い場合 (図 6 及び 8) とある場合 (図 7 及び 9) で流入確率に対する平均速度の変化に大きな違いが無いことが解る。なお、 $d_1 = 1$ や $d_2 = 1$ の場合であっても、両方向の歩行者が混じる現象が起こることに注意する。歩行者が進行への直進を妨げられる場合には、 $d_1 = 1$ であっても横方向に移動し、 d_2 は、一旦分割線を越えなければその効果を現さないからである。

また、分割線の効果と比較して、斜め移動の効果が、進行方向への平均速度の向上に寄与しているこ

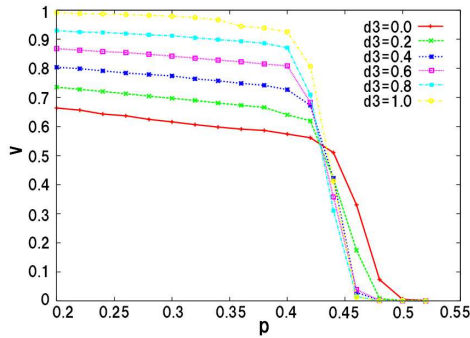


図 6: $d_1 = 0.6, d_2 = 0$ の場合の流入確率 $p = p_l = p_r$ に対する進行方向の平均速度 v の変化。 d_3 は 0 から 0.2 刻みで変化させている。

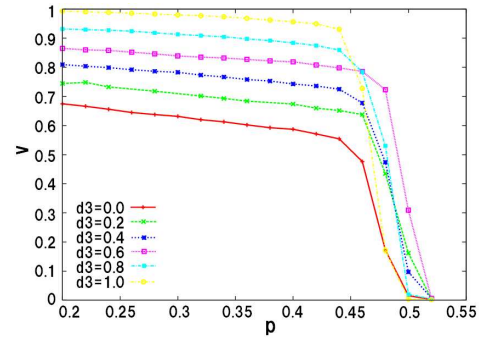


図 8: $d_1 = 0.6, d_2 = 0.92$ の場合の流入確率 $p = p_l = p_r$ に対する進行方向の平均速度 v の変化。 d_3 は 0 から 0.2 刻みで変化させている。

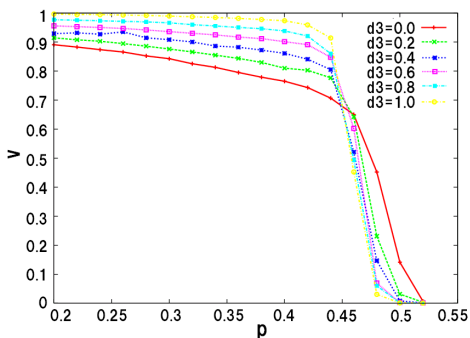


図 7: $d_1 = 0.9, d_2 = 0$ の場合の流入確率 $p = p_l = p_r$ に対する進行方向の平均速度 v の変化。 d_3 は 0 から 0.2 刻みで変化させている。

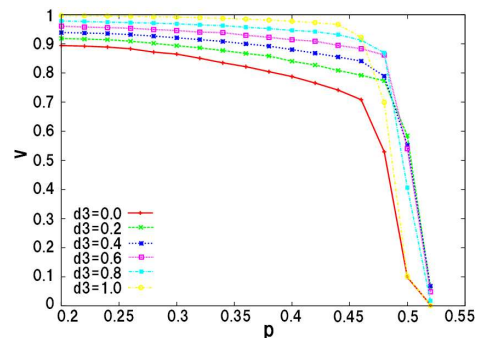


図 9: $d_1 = 0.9, d_2 = 0.92$ の場合の流入確率 $p = p_l = p_r$ に対する進行方向の平均速度 v の変化。 d_3 は 0 から 0.2 刻みで変化させている。

とが解る。興味深いのは、分割線がない場合には斜め移動が臨界流入確率を下げる方向に効いている点である。

5 まとめ

地下道や歩道橋のような状況を想定し、対向する歩行者流の格子ガスモデルによるシミュレーションを行った。特に、斜め方向の移動を可能とすることで、自由流状態での平均速度の大幅な改善と、渋滞転移の臨界流入確率の改善があることが分かった。

分割線の導入は、臨界流入確率の改善に影響しているが、進行方向への平均速度にはほとんど影響がない。斜め方向の移動は、分割線が無い場合に臨界流入確率の改善の効果があることが分かった。

一方、斜め方向の移動を制御するパラメタ d_3 は、実効的には直進性を補強している (図 2)。実効的な直進性での比較によって、斜め方向への移動が平均

速度改善に寄与しているかの検証が必要である。

さらに、斜め移動や分割線導入が及ぼす歩行者挙動への影響、例えば形成される渋滞の性質に与える影響の理解が今後の課題である。また、平均速度の観点だけでは、パラメタ (d_1, d_2, d_3) によって新たな相が現れていない。他の指標での検証も課題である。

参考文献

- [1] C. Appert-Rolland, F. Chevoir, P. Gondret, S. Lassarre, J.-P. Lebacque and M. Schreckenberg ed., *Traffic and Granular Flow '07* (Springer, 2009).
- [2] http://www.kobe-np.co.jp/news_now/asagiri.shtml
- [3] K. Takimoto, Y. Tajima and T. Nagatani, *Physica A* **308** (2002) 460–470.