

体の回転行動を考慮した群衆避難のセルオートマトンモデル Cellular automaton model with body-turning behavior in crowd evacuation

宮川 大樹*¹ 一ノ瀬 元喜*² 長谷 隆*³
Daiki Miyagawa Genki Ichinose Takashi Nagatani

1 はじめに

近年, オリンピックなど多くの人々が集うイベントを数える
と枚挙に遑がないが, 突然の災害などへの対策として安全かつ
迅速な避難方法の用意は必要であり, 今までも様々な分野か
ら研究がなされてきた. セルオートマトン (CA) による群衆避
難の行動解析もその一つである [1]. これまでの CA モデルで
は, セル 1 個を避難者とみなしていた. しかし, 現実において
人間は肩幅を持っており, そのことを活かして狭いところを抜
けようと横歩きや体の回転を行う. こういったことに考慮した
CA モデルは, 対交流については研究されているものの [2], 群
衆避難で行われていなかった. そのため本研究では従来の CA
モデルに肩幅を与え, 横歩きなどの多様化した行動に考慮をお
いた避難者モデルを提案する.

2 モデル

今回提案するセルオートマトンでは, 人間の肩幅を表現する
ために避難者の大きさを隣り合うセル 2 個分として扱う. そ
の拡張により, 避難者モデルが行える行動は前進 (後退), 横歩
き, 回転の 3 種類になる. 前進 (後退) は長方形の長辺方向へ
の移動, 横歩きは短辺方向への移動であり, これら二つを合わ
せると従来よく使われるノイマン近傍への移動と解釈できる
(図 1 左). それらに加え, 図 1 右に示すような回転行動も行え
る. 以下では回転により移動できる近傍を回転近傍と呼ぶ. そ
うした回転行動を持つこと, 及び後述する横歩きの遅さを表現
できることは本モデルの特徴と言える.

シミュレーション開始時に一つの出口を持つ正方形の部
屋に配置された避難者たちは, 同期的な移動プロセスを毎ス
テップ行なって出口へと避難する. 移動プロセスは大きく二
つの段階に分けられる. まず最初に移動したい地点を決定す
る段階がある. ここでは, ノイマン近傍か回転近傍かを先に選
び, その後に近傍中のどこに移動したいかを選択する. 図 1 に
示す二つの近傍からどちらかを選ぶことは, 回転をするかしま
いかの選択と等価である. 本モデルでは, この近傍の選択につ
いて回転率 r ($0 \leq r < 1$) を導入して確率的に行うことにす
る; 確率 r で回転近傍を, そうでなければノイマン近傍を選択
する. 近傍から移動したい地点を一つ選ぶ際には Static Floor
Field(SFF) を導入した遷移確率を用いる [1]. SFF は部屋の空

間に設定された, 出口からの近さを表すスカラー場であり, こ
れを導入することで避難者は最も出口に近い地点を選択しや
すくなる. 近傍 Ω から地点 (x, y) を選択する遷移確率は SFF
の値 S_{xy} を用いて以下のような式で記述される.

$$p_{xy} = \frac{v_{xy} \exp(S_{xy}/k_s)}{\sum_{(i,j) \in \Omega} \exp(S_{ij}/k_s)} \quad (1)$$

ここで, k_s は避難者の距離把握能力へのノイズパラメータで
あり, v_{xy} は地点 (x, y) への移動を横歩きで行う場合にのみ, 横
歩きの相対速度パラメータ v_s を返し, それ以外の場合 1 を返
す関数である. v_s の範囲を $0 < v_s \leq 1$ に設定することで, 横歩
きの確率的な速度を調整し, 横歩きが前進よりも遅いという事実
を表現できる. その後, 衝突が起こった場合には, 避難者をラン
ダムに 1 人選ぶことで解消する.

3 結果

シミュレーションの際, 部屋をセルが 30×30 並べた空間と
して扱い, 避難者は初期化時に部屋の中にランダムに配置され
る. 部屋は壁で囲まれており, 一つの壁の中央に位置する出口
からのみ脱出できる. 出口の幅はセル 4 つ分とし, k_s につ
いては 0.1 に設定して避難者が出口を視認できている状況を考
える.

3.1 回転の有無における脱出時間の比較

まず最初に, 回転行動の存在が避難に及ぼす影響を調査す
るため, 回転を行う場合と行わない場合とを比較した. 比較は
合計 3 個のシナリオ間において行われる. 図 2 にシナリオの
分類を示す. 回転を行う場合は, $r > 0$ のシナリオとして扱い
(Turn), 回転を行わない場合 ($r = 0$) についてはさらに 2 つに
分類する; 初期配置の際に, 出口に対して体を前向きにしてい
るシナリオ (Forward) と, もう一つは出口に対して体を横向き
にしているシナリオ (Sidle) である. これらのシナリオにお
いて, 避難が始まってから全員が脱出し終えるまでの時間 (脱出
時間: Exit time) を使って比較した. 図 3 に示す曲線は, 横歩
きの相対速度 v_s の変化に伴う脱出時間変化のプロットである.
全体的には, v_s 増加に伴って脱出時間が減少しており, つまり
避難の速度が速まっていく傾向が見られる. 比較的な観点から

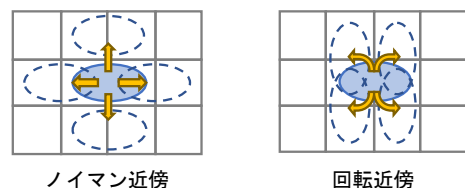


図 1 拡張したノイマン近傍と回転近傍.

*¹ 静岡大学工学部数理システム工学科 Department of Mathematical and Systems Engineering, Shizuoka University

*² 静岡大学大学院工学領域数理システム工学系列 Department of Mathematical and Systems Engineering, Shizuoka University

*³ 静岡大学大学院工学領域機械工学系列 Department of Mechanical Engineering, Shizuoka University

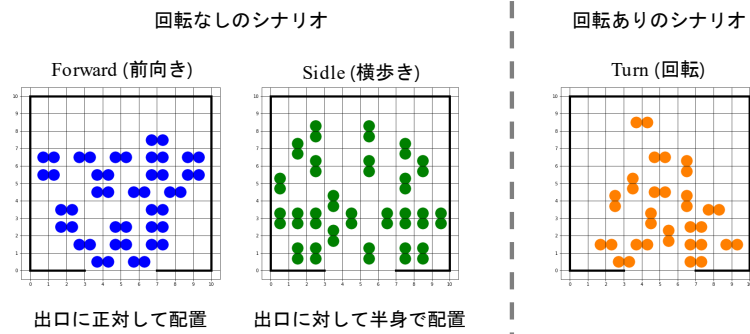


図2 3個のシナリオの分類. 回転の有無と, 初期配置時の体の向きによって分類される.

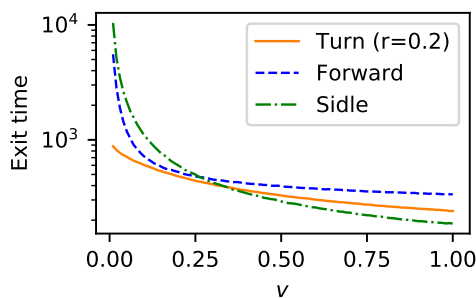


図3 3個のシナリオの比較プロット. 各点につき 100 試行平均の値を使用.

は, v_s が小さい領域 ($v_s \leq 0.35$) において Turn が最も避難が速く, それ以降は Sidle が最速になっていることが分かる. 横歩きの速度は前進の 1/3 程になるという実験結果をふまえると [3], $v_s = 1/3$ は Turn 最速の領域となり, 現実に即していると言えるだろう. v_s が大きいときに Sidle が速くなるのは, 体の側面を出口に向けてすることで衝突が起こりにくいからと考えられ, 逆に Forward が遅いのは, 長辺を出口に向けているため他人に邪魔されやすく, また衝突も起こりやすいからと考えられる.

3.2 最短の脱出時間を与える回転率

次は Turn のみに焦点を当て, 回転率変化が脱出時間に与える影響について調査した. 図4のカラーマップは色が脱出時間を示しており, 横軸は図3と同様に v_s , 縦軸は r となっている. なお, 図中の白線は v_s を固定したときに最短脱出時間をとる r を繋いだ曲線であり, 言い換えれば谷底を示す線となっている. カラーマップ及び白線の様子から, 回転率 r が増加しても脱出時間は単調な変化を見せず, 極値のある関数的な挙動を示すことが分かる. したがって, 少量の回転及び過剰な回転は避難を遅くし, その間に最適な回転率が存在するということが伺える. 避難の様子を観察すると, 少量の回転では Forward の場合と大差ない進み方をしており, 逆に回転率が過剰な場合は, むしろ出口付近の密度が過密になって進むことが困難になっていると見られ, それらが避難の遅さを引き起こしていると考えられる.

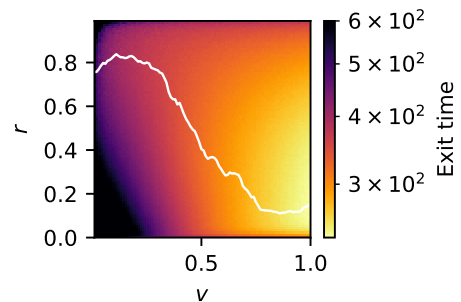


図4 v_s と r の変動に対する脱出時間変化を表すカラーマップ. 白線は v_s を固定したとき最短の脱出時間をもたらす r を繋いだ線である. 各点につき 100 試行平均の値を使用.

4 おわりに

本研究では, 避難者の肩幅を考慮したセルオートマトンモデルを構成し, 回転行動と横歩きの遅さが避難に与える影響を調査した. 回転の有無についての比較実験により, 回転することは避難の効率化に有用であることが判明した. また, 回転のしやすさを示す回転率は, 中庸な値のときに最短の脱出時間をもたらしていた. これらの結果により, ある程度の回転行動は群衆避難を速める効果を持つことが結論づけられる.

参考文献

- [1] C. Burstedde, K. Klauck, A. Schadschneider, J. Zittartz, "Simulation of pedestrian dynamics using a two-dimensional cellular automaton", Physica A 295 (2001) 507-525.
- [2] M. Fukamachi, T. Nagatani, "Sidle effect on Pedestrian counter flow", Physica A 377 (2007) 269-278.
- [3] Cheng-Jie Jin, Rui Jiang, Jun-Lin Yin, Li-Yun Dong, Dawei Li, "Simulating bi-directional pedestrian flow in a cellular automaton model considering the body-turning behavior", Physica A 482 (2017) 666-681.