

二次元セルオートマトンにおける歩行者の避難過程

佐賀大 理工学部 高杉 肇
佐賀大 CNC 只木 進一
佐賀大 CNC 日永田 泰啓

1 はじめに

私達は、地震や火事などの災害に出会ったとき、安全な場所へ避難しようとする。多数の人がいる大部屋や地下街等の閉ざされた空間にいた場合は気をつける必要がある。皆が一斉に出口に向かうために出口付近に歩行者が密集することや、視界の悪さから皆が混乱することがあるからである。近年、このような歩行者の避難の様子について研究が行なわれるようになった。しかしこれらの研究は、系が2次元であるという性質のため、まだ十分には調べられてはいない。本研究では、セルオートマトンを用いた歩行者の避難モデルを構築し、そのコンピュータシミュレーションにより、歩行者の避難過程の振舞いについて調べる。

歩行者のモデルを構築する際に、個々の粒子には、他の粒子や環境との間に働くような相互作用を導入する必要がある。歩行者間の相互作用には、一つの場所を一人で占有する排除体積効果のような近接的斥力のほかに、他の人の後ろをついて行こうとする少し離れた相互作用もある。また、歩行者は出口等の方角の情報も利用するであろう。本研究では、排除体積効果以外の相互作用を場所ごとに定義された場 (*floor field*) として取り入れることにする。

2 歩行者のモデル

まず、本研究で構築した歩行者のモデルについて説明する。歩行者モデルは2次元セルオートマトンで表現する。セルの大きさは

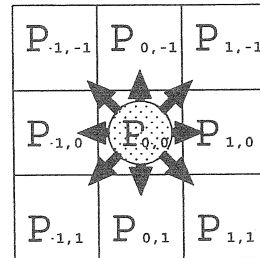


図 1: 歩行者が移動可能なセル (i, j) とそのセルへの移動確率 $p_{i,j}$

$40 \times 40 \text{cm}^2$ に相当するものとする。近距離相互作用として、1つのセルは1人の歩行者のみが占有できる。歩行者は、系の更新時間間隔 Δt 毎に1つのセルを移動する。この時、歩行者がセルを移動する速さは 40 cm/time である。実際に歩行者が歩く速さは、経験的に 1.3 m/s であると知られている。従って、時間間隔 Δt は約 0.3 sec に相当する。

歩行者は、一定の時間 $t \rightarrow t + \Delta t$ ごとに(当該セルを含む)隣接セルへの移動確率を求め、その9つの移動確率に従い移動する(図1)。

3 Floor field

Floor field は歩行者への遠距離の相互作用を表現するものである。これは各セルが、歩行者の情報とは別に保持する情報である。歩行者は、当該セルと隣接セルの floor field 値の差のみより、そのセルへの移動確率を決定する。これは近接的相互作用であるが、floor field に、歩行者より離れた場所の人、物に関連した値を持たせることで、遠距離

的な相互作用も表現する。Floor field は次の2つに分けられる。

- **Static floor field**

歩行者が出口に向かう力、及び障害物を回避する力を表す。シミュレーションの間、その値が変化することはない。

- **Dynamic floor field**

歩行者が他者から受ける影響を表現する。シミュレーションの間、その値は動的に変化する。

本模型において Static floor field は、出口から最も遠距離にあるセルで最小になるように、出口より放射状に振り分けられる。Dynamic floor field は、歩行者が移動時に、移動元セルに残していく「足跡」のようなものを表す値である。その値は、当該歩行者が他者へ与える何らかの(視覚的、聴覚的)影響を表す。Dynamic floor field は時間と共に減衰し、消滅する。

ここで、floor field の概念を導入した模型の更新規則を以下に示す。

1. Dynamic floor field D を確率 α で減衰させる。 $D \rightarrow D - 1$
2. 各歩行者について、すべての隣接セル (i, j) への移動確率 $p_{i,j}$ を、Dynamic 及び Static floor field より求める。
3. 各歩行者は、上記で求めた移動確率 $p_{i,j}$ に従い移動したいセルを決定する。
4. 1つのセルについて、複数の歩行者が移動を希望する場合は、移動を許可する歩行者を1人選択する。
5. 移動を許可された歩行者は移動する。
6. 隣接セルへ移動した歩行者は、移動元セルの Dynamic floor field D を増加させる。 $D \rightarrow D + 1$

手順4において、複数の歩行者の中で移動を許可する1人は好きな方法で決めてよい。本模型では、各歩行者の持つ移動確率の比を使用し決定する。

4 移動確率 $p_{i,j}$

歩行者は系のある更新時間 $t \rightarrow t + \Delta t$ における、隣接セル (i, j) への移動確率 $p_{i,j}$ を決定する。セル (i, j) に他の歩行者が存在する ($n_{i,j} = 1$) ならば移動確率 $p_{i,j}$ は0とする。当該セル $(0, 0)$ から隣接セル (i, j) への移動確率 $p_{i,j}$ は以下の式で求められる。

$$p_{i,j} = N \exp(\beta J_s \Delta_s(i, j)) \cdot \exp(\beta J_d \Delta_d(i, j)) \cdot (1 - n_{i,j}) \cdot d_{i,j} \quad (1)$$

ただし、 $\tau_s(i, j)$ はセル (i, j) の Static floor field 値、 $\tau_d(i, j)$ はセル (i, j) における Dynamic floor field の値であり、

$$\begin{aligned} \Delta_s(i, j) &= \tau_s(i, j) - \tau_s(0, 0) \\ \Delta_d(i, j) &= \tau_d(i, j) - \tau_d(0, 0) \end{aligned} \quad (2)$$

である。またこの時、 N は $\sum_{i,j} p_{i,j} = 1$ を決めるような規格化因子である。

定数 J_s, J_d は各 floor field の値の強度を表す。 J_s の値が減少すると、歩行者はより出口からの影響を受けにくくなる。現実におきかえると、例えば部屋に煙が充満している場合、 J_s が小さいということは歩行者は煙のために出口が殆んど見えない、といった事に相当する。 J_d は Dynamic floor field の強さを決める定数である。この値が大きければ大きい程、歩行者は他者の影響を強く受ける。

$d_{i,j}$ は図2に示すような性質を持つ補正因子である。これは、歩行者が自らの Dynamic floor field に反応しないためのパラメタである。これにより、 J_0, J_d が大きいほど歩行者の直進性は高まる。

1	βJ_d	1
1	1	1
1	$-\beta J_0$	1

図 2: 移動補正因子 $d_{i,j}$. 各セルの値は、セル $(0,0)$ の歩行者が、以前の更新時間 $t - \Delta t \rightarrow t$ において図の矢印の方向 $(0,1) \rightarrow (0,0)$ へ移動していた場合の $d_{i,j}$ の値である。

5 シミュレーション

以上の歩行者模型を用いてコンピュータシミュレーションを行い、その結果について考察する。系のサイズは、 $50 \times 50 \text{ cell}^2$ すなわち $20 \times 20 \text{ m}^2$ である。歩行者は、系全体にランダムに配置する。また歩行者の目的地となる出口は、1箇所のみとする。シミュレーションのスナップショットを図3に示す。

図4は、シミュレーションによって得られた、Dynamic floor field の減衰確率 α と避難時間 T との関係を表したものである。避難時間 T とは、シミュレーションの開始より全歩行者が退出するまでに掛かった時

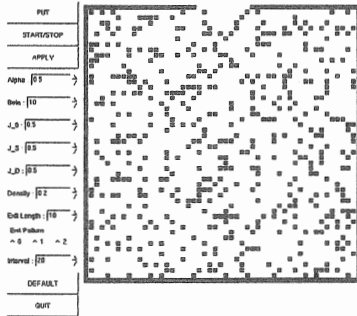


図 3: シミュレーションの初期配置のスナップショット。システムサイズは $50 \times 50 \text{ cell}^2$ 、歩行者数は全セル数の 20%(500 人) である。

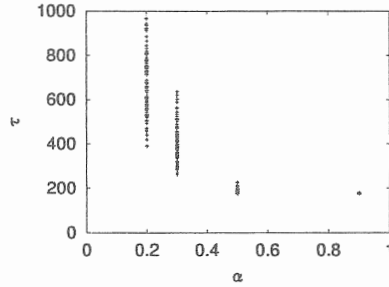


図 4: 避難時間 T と減衰確率 α のグラフ。図の横軸は α 、縦軸は T に対応している。図の点は各 α での避難時間 T を示したもので、線は α 毎での平均避難時間のグラフである。パラメタは、 $J_0 = 10$, $J_s = 10, J_d = 10$ である。

間のことを指す。減衰確率 α が小さいほど非常に多くの避難時間 T を必要としていることが分かる。減衰確率 α は、歩行者の残す「足跡」の消えやすさを示すパラメタである。従って α が大きい所では、他人の影響を受けにくく出口に向かう力が強いいため、避難時間 T は最小値へ向かうのであろう。

次に上記シミュレーションから、static floor field 値のみを変更したものについて調べた(図5)。Static floor field を弱くすることで、先程とは異なった現象が見られる。Static floor field を弱くすることで、歩行者は出口の位置が分かりにくくなるため、避難に掛かる時間が大きくなる。そのため図4と比較して、全体的に避難時間が底上げされている。 J_0, J_d が J_s より遥かに大きいことにより、歩行者は出口が見えにくく移動の直進性が強くなるためであると考えられる。また、減衰確率 α が強すぎる場合には、出口も分からず、他人も見えない状態のため避難時間が大きくなる。そのため $\alpha = 0.5$ 辺りで避難時間が最小となるような現象がみられる。

これらのことから、出口の見えにくい所、即ち出口からの遠距離相互作用が弱い系の場合、他者からの影響を適度に受けること

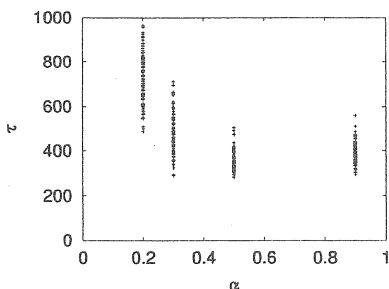


図 5: 避難時間 T と減衰確率 α のグラフ 2. 各パラメータは図 4 と殆んど同じである。ただし $J_s = 1.5$ である。

で避難時間を最小にすることができる。しかし、その影響力が強すぎる、または弱すぎる場合は逆に歩行者間に混乱を与えることが分かる。

ここまで、歩行者の単純な模型について調べて来たが、更に簡単な模型について考える。より簡単な模型でも上記のような特徴が現れるかについて調べる。現在、移動可能な方向は 9 方向であるが、それを斜めを除いた 5 方向とする。

この 5 方向模型のシミュレーション結果と 9 方向の模型の結果を比較したグラフを図 6 に示す。それぞれのグラフは、減衰確率 $\alpha = 0.5$ 付近の右側では、ほぼ同じ避難時間であることが分かる。またその反対側では、9 方向模型の避難時間が急激に増加しているが、5 方向模型の避難時間の変化は小さい。このような特徴のグラフは、図 6 のような Dynamic floor field の強度 J_d が非常に大きい際に見られる。以上のことから、5 方向模型は 9 方向模型よりパラメータからの影響が大きく見られない。そのため、パラメータの強さによる歩行者への影響を見るようなシミュレーションには不向きと言える。

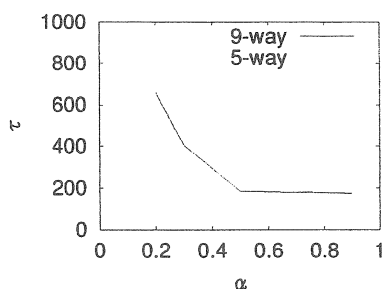


図 6: 避難時間 T と減衰確率 α のグラフ 3. 移動方向が 9 方向の模型と 5 方向の模型の比較。各パラメータは $J_0 = 1.5, J_s = 10$ そして $J_d = 10$ である。

6 おわりに

本研究では、大部屋から避難する歩行者の模型を構築し、歩行者の振舞いについて観測した。その際に、歩行者が他要素から受ける影響を、floor field という場の概念を導入することで実現した。様々な条件下での、dynamic floor field の減衰確率と避難時間の関係について調べた。大半の結果は、減衰確率を高くする (他人からの影響を小さくする) に従い、避難時間は短くなるというものだったが、しかし、状況によっては、他人からの影響力が適度に存在したときに最短の避難時間が得られるという現象も見ることができた。

今後は、floor field の更なる調査や、より大きい系での振舞いの研究などが考えられる。

参考文献

- [1] C.Burstedde K.Klauck
A.Schadschneider J.Zittartz:
Simulation of pedestrian dynamics using a 2-dimensional cellular automaton, cond-mat/0102397 (2001).