

渋滞学における高密度を避ける フロアフィールドモデル

丸山 大地[†]東京電機大学[†]甲野 佑[‡]東京電機大学[‡]高橋 達二[‡]東京電機大学[‡]

1. はじめに

渋滞学は物理学的発想により渋滞を解消しようとする学問であり、人や車など渋滞を発生させる自己駆動粒子の集団を研究している。その中でも人の集団運動を表せるセルオートマトンとして、フロアフィールドモデル[1]（以下 FF モデル）が群集の避難モデルとして研究および拡張されている。FF モデルでは車が発生させる渋滞の再現や、避難時の出口の前に障害物を置くことで避難時間が早くなることなどが示されている。また、その拡張のしやすさから、前を歩行している人に追従するモデルや人の視野や向きを考慮したモデル[2]などが提案されてきた。しかしながら、人混みや混雑を避けるような挙動つまり密度に関する拡張はされていない。

本研究では密度という点に着目し、FF モデルにおいてエージェントが密度を考慮する手法を提案した。

2. セルオートマトン

セルオートマトンとは、セルと呼ばれる格子状の空間と単純な規則からなるモデルであり、時間・空間・状態量が離散的である。[3]各セルは 0 か 1 の状態を持ち、時刻 $t+1$ の各セルの状態はそのセルの時刻 t の時点での状態およびその近傍セルの状態によって定義される。

3. フロアフィールドモデル

まず、2次元セルオートマトンを用いてモデル化した居室を考える。格子状に区切られた2次元空間を居室と考え、各マスセルと呼ぶ。各セルには壁などの障害物やゴール、人を配置することができるが、各セルはいずれか1つの状態しか持つことが出来ない。

次にどのようにして人を動作させるかを考える。避難の際、人には冷静に出口まで最短距離で移動しようとする人と、パニック状態となって周りの人に追従してしまう人がある。このような人の性質を上手くモデル化するために FF モデルが知られている。

3. 1 静的フロアフィールドモデル

静的 FF モデルは各セルに目的地までの最短経路の値を持たせ、各セル間を静的 FF が少ないセルへと移動しやす

くするモデルである。実際に人が目的地に移動しようとする場合、基本的に人は目的地まで最短経路で移動するという特徴を考慮したものである。

3. 2 動的フロアフィールドモデル

動的 FF モデルは各セルに今まで通った人の足跡を記憶させ、足跡が多いセルを通りやすくするモデルである。これはアリが残すフェロモンと同じ性質があり、フェロモンのように拡散・減衰することで人がパニック状態に陥る際に前の人について行くという特徴を表現できる。また、これに限らず予測 FF[4]など、時刻によって値が変化する FF モデル全般のことを指す。

4. 提案手法

本研究では、図 1 のような FF モデルに密度という新たな要素を加えたモデルを考える。3.2 節で述べた動的 FF モデルでは、他人の足跡を参照していたが、実際に人が移動している場合は避難時のパニック状態を除くと、人混みなどの混雑つまり高い密度を避けようとして移動する。この性質をモデル化するために各セルに密度を持たせ、密度の情報を考慮した動的 FF を考える。

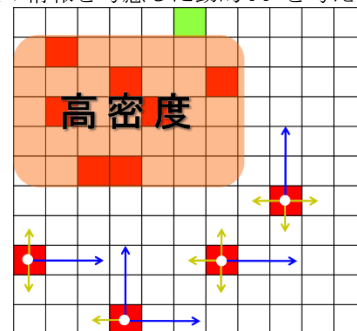


図 1: 密度参照型フロアフィールドモデル

また、エージェントが渋滞しているか否かをエージェントの密度 ρ と流量 Q の関係から判断する。ここで密度とは、各セルの周りにどの程度エージェントが存在するかである。また流量とは、エージェントがどの程度目的地へ流れているかを表す。実際に車が渋滞している際の ρ, Q の関係は図 2[5]である。図から分かるように、始めは ρ, Q ともに増加していくが、ある一定の密度（以下臨界密度）に達すると、 ρ が上昇するに連れ Q が減少する。この現象を本研究では渋滞していると定義する。つまり、密度が増加すると流量が減少することが渋滞していると考えられる。

Floor field model to avoid the congestion in high-density science.

[†]Daichi Maruyama, Tokyo Denki University

[‡]Kohno Yu, Tokyo Denki University

[‡]Tatsuji Takahashi, Tokyo Denki University

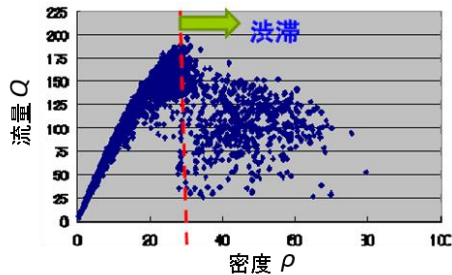


図 2: 密度と流量の関係性

5. シミュレーション

5.1 シミュレーションの設定

今回シミュレーションをするに当たり、2001年に発生した明石花火大会歩道橋事故の再現を試みた。居室は実際に事故が発生した朝霧駅前の通路を図3のような50×50マスの格子空間で簡易的に模した。この居室でシミュレーションを行い、密度と流量の関係を考察する。各セルは周り25マスにいるエージェントの総数から密度を計算する。初期設定として総エージェント数 $agent_num=1000$ ，エージェントの初期配置数 $agent_i=300$ ，エージェントの生成確率 $gen_p=0.5$ と設定した。

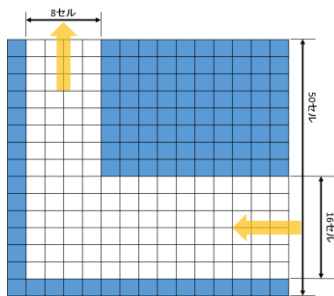
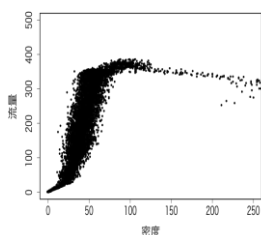
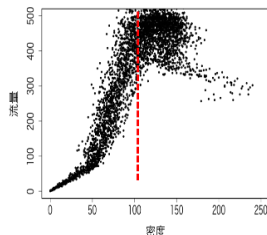


図 3: 群集雪崩シミュレーションの居室

5.2 群集雪崩シミュレーションの結果

密度を考慮しないFFモデルを図4、考慮するFFモデルを図5に示す。図4を見ると密度が上昇するに連れて流量も上昇しているが、臨界密度もはっきりとせず、密度が上昇し続けても流量は減少していない。それに対して図5を見ると、図4と同様に密度が上昇するに連れて流量も上昇しているが、臨界密度に達すると密度の上昇に対して流量は減少している事が分かる。

図 4: 非密度参照型
FFモデル図 5: 密度参照型
FFモデル

5.3 群集雪崩シミュレーションの考察

密度を考慮しないモデルに関しては、臨界密度よりも密度が上昇しても流量が減少しないので、きちんとした渋滞が発生しているとは言えない。それに対し、密度を考慮するモデルは臨界密度に達した後、流量は減少するので渋滞つまり人の混雑が発生していると言える。

5.4 事故回避シミュレーション

次に図6のような通路の中央に仕切りを設けることによって、人が死亡してしまうくらいの高密度（以下 死亡密度）がどのくらいの頻度で発生するのかをシミュレートした。仕切りの数は0,1,2本、死亡密度は12人/m²と設定した。

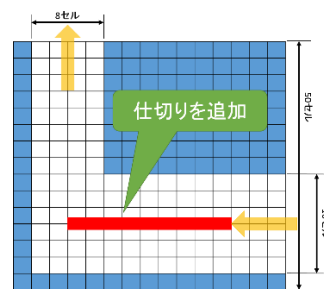


図 6: 事故回避シミュレーション

表 1: 仕切りの数に対する死亡密度の頻度

仕切りの数 (本)	0	1	2
死亡密度 (回)	41	14	1

表1の結果から分かるように、仕切りの数を増やすごとに死亡密度の頻度は減少した。これは、仕切りを設けることによって居室全体にエージェントが分散するからだと考えられる。

6. 結論および今後の課題

本研究では、密度を考慮するFFモデルを用いることで群集雪崩のシミュレーションの再現および事故の回避を図った。その結果、エージェントが高い密度を避ける事でシミュレーションにおける群集雪崩を再現でき、また通路の中央に仕切りを設けることで死亡密度の頻度を減少させることができ、事故回避を行えたと考えられる。今後の課題として、本研究は同一方向に進むエージェントのみだったので、今後は双方向に進むエージェントについてもシミュレーションしたい。

参考文献

- [1] 柳澤 大地, 西成 活裕: 群集の集団運動と拡張フロアフィールドモデル, 応用力学研究所研究集会報告 No.17ME-S, 2006
- [2] 西成 活裕: 渋滞学, 新潮社, 2006
- [3] 森下 信: セルオートマトン 複雑系の具象化, 養賢堂, 2003
- [4] 須摩 悠史, 西成 活裕: 予測付きフロアフィールドモデルによる曲がり角での群集運動の解析, 応用力学研究所研究集会報告 No.20ME-S7, 2009
- [5] 西成 活裕: 渋滞のサイエンス 渋滞学とはなにか, 2009