

# フロアフィールドモデルにおける高密度回避行動の表現 Implementation of high-density avoidance behavior in the floor field model

丸山 大地\*<sup>1</sup>  
Daichi Maruyama

甲野 佑\*<sup>1</sup>  
Yu Kohno

高橋 達二\*<sup>2</sup>  
Tatsuji Takahashi

\*<sup>1</sup> 東京電機大学大学院  
Graduate School of Tokyo Denki University

\*<sup>2</sup> 東京電機大学  
Tokyo Denki University

Traffic jam by self-driven particles is a research topic of broad interest. Cellular automata models are used for the simulation and analysis. One of the popular models is the floor field model. We add the rule of avoiding high density among particles to the model and show that it enables simulating a real situation.

## 1. はじめに

物理学的発想により渋滞を再現および解消しようとする学問として渋滞学というものがある。この渋滞学では渋滞や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、その集団を研究している[西成 06]。渋滞や混雑などの群衆行動を表現する際、実際の車や人間を用いてシミュレートするのは難しい。また、2001年に発生した明石花火大会歩道橋事故のような群衆雪崩の再現をするのは危険が伴うため、群衆行動の再現および解消にはコンピュータ上で擬似的にシミュレートすることが必要となる。そこで渋滞学では人間の群衆行動を表すことの出来るセルオートマトンの一種にフロアフィールド(Floor Field:以下 FF)モデルが用いられており、群衆の避難モデルとして研究、拡張されている[柳澤 06][西成 09]。FFモデルでは、車が発生させる渋滞の表現や、避難時の出口に障害物を置くことで避難時間が早くなることが知られている。また、その拡張のしやすさから、前を歩行している人間に追従するモデル、人間の視野や向きなどの人間の特性を考慮したような手法が提案されてきた。しかし、群衆雪崩などの再現をするに当たり、最も重要となるのがどの程度現実の人間に近い挙動をするかであるが、それが実際の人間に近い挙動を取るかどうかの検証はあまりされていない。

本研究では、人間の特性の1つとされている混雑を避ける、つまり高密度を回避するという点に注目する。人間は、現在地から目的地までの最短ルートが混雑している際、最短ルートではないが混雑していない別のルートがある場合には、混雑していないルートを通る傾向があるとされている[釘原 11]。この特性を本研究では高密度回避行動と呼び、この行動を表現出来るようなFFモデルを提案する。また、提案したモデルがどの程度人間に近い振る舞いをするのかを既存のFFモデルと比較する。

## 2. フロアフィールドモデル

群衆の避難モデルを表現する場合、FFモデルというセルオートマトンの一種が用いられている[柳澤 12][森下 03]。セルオートマトンとは、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。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り定義される。また、格子状に区切られた二次元空間をマップ、各マスセルと呼ぶ。このマップ内の各セルには

壁などの障害物、ゴール、人を配置することができるが、いずれか1つの状態しか持たせることが出来ない。

それに対し、FFモデルはFFという状態量も持たせることが出来る[Nishinari 03]。この状態量には静的なものも動的なものがあり、それぞれの状態量を用いることでエージェントをあるルールに従わせて動かすことが出来る。

### 2.1 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距離など、静的な状態量である静的FFを持たせる。エージェントは各セル間を静的FFの少ない方へ移動しようとする。これを持たせることで、現在地から目的地へ向かおうとするという人間らしさを表現することが出来る。

### 2.2 動的フロアフィールドモデル

動的FFモデルは各セルに前述の静的FFに加え、時間とともに変化する動的な状態量である動的FFも持たせるようなモデルである。エージェントは静的FFと動的FFの両方を参照してセル間を移動する。代表的な動的FFとしてはあるセルから上下左右どのセルへ頻繁に移動しているのかを記憶する向きの動的FF、周りのエージェントが今後どこへ移動するかを予測する予測FF[須摩 09]などが挙げられる。

## 3. 提案手法

本研究では図1のように、周りに多くのエージェントが存在しているようなセルを避けて通る、高密度回避行動するようなモデル(以下 密度参照型FFモデル)を提案する。まず、各セルに目的地までの最短距離である静的FFを持たせる。それとは別に、各セルの周りにどの程度エージェントが存在しているのかと言う動的FFも持たせる。これにより、目的地までの最短距離にエージェントがあまりいない場合はそのまま最短ルートで目的地へ移動し、エージェントが多い場合はそこを避けながら目的地へ移動しようとするのではないかと考えた。これは先程述べたような人間の特性と一致している。

連絡先: 丸山 大地  
e-mail: 10rd204[at]ms.dendai.ac.jp

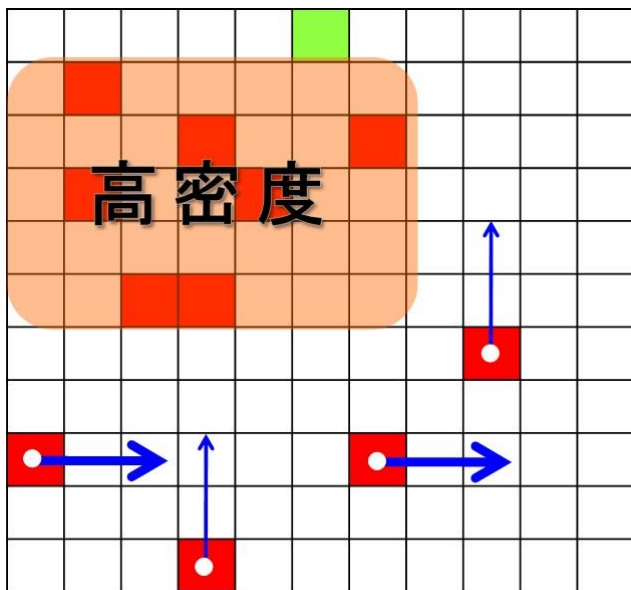


図 1: 提案手法(密度参照型 FF モデル)

#### 4. シミュレーション 1

前述で述べた高密度回避行動が密度参照型 FF モデルで表現出来ているのかの確認を行いためにシミュレーションをする。ここでは、静的 FF モデルと密度参照型 FF モデルでの比較を行う。

##### 4.1 シミュレーション 1 の設定

50×50 の二次元格子空間に、エージェントが生成される場所から目的地までの最短ルートである経路 1 と、最短ルートではない所謂迂回路のような経路 2 を用意する。エージェントは下部からマップ内へ入室し上部の目的地へ移動するものと、上部からマップ内へ入室し下部の目的地へ移動するものの 2 種類用意した。エージェントは各セルに足跡を残し、頻繁に通過したセル程色を濃く表示させ、どちらの経路を利用しているのかを確認する。エージェントが最短ルートで移動する場合は、経路 1 に足跡が集中するはずであり、高密度回避行動がきちんと表現出来ているのであれば、経路 1 だけでなく経路 2 にも足跡が分散するはずである。

また、エージェントの総数は 1000、エージェントがマップ内へどのくらい入室するかのパラメータである入室パラメータを 0.5、各セルの周りをどのくらい見て密度を計算するかのパラメータである近傍パラメータを 2、静的 FF と動的 FF の重み付けパラメータをそれぞれ 1 と設定した。

##### 4.2 シミュレーション 1 の結果

静的 FF モデルの結果を図 2、密度参照型 FF モデルの結果を図 3 に示す。静的 FF モデルでは最短ルートである経路 1 に足跡が集中しており、経路 2 には殆ど見られない。また、入室パラメータを 0.6 以上にすると経路 1 の中程でエージェント同士が詰まり、身動きがとれない状態になる。これに対して、密度参照型 FF モデルは経路 1、経路 2 に同程度の足跡が見られる。また、入室パラメータを高くしてもエージェントの流れが滞ることは見られない。

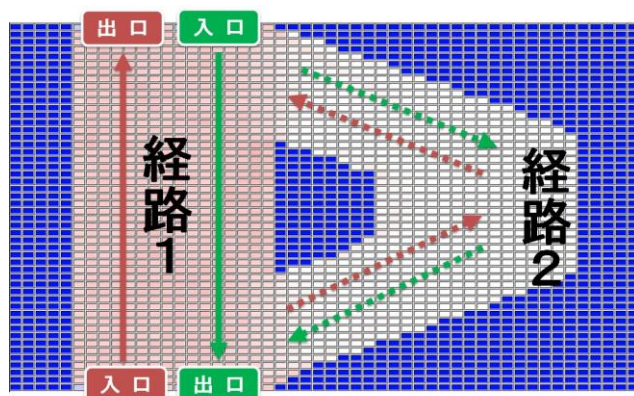


図 2: 静的 FF モデルのシミュレーション結果

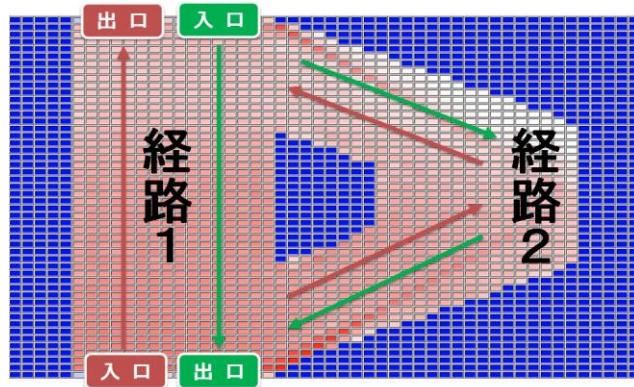


図 3: 密度参照型 FF モデルのシミュレーション結果

##### 4.3 シミュレーション 1 の考察

静的 FF モデルでは、エージェントが経路 2 を利用することが殆ど無いために、エージェントの入室パラメータが一定以上になるとまだ通れる経路 2 があるにもかかわらず経路 1 詰まり、エージェント全体の流れが滞ることが確認された。これは、エージェントが静的 FF しか参照せず、少しでも目的地へ近づこうとするため、実際の人間の場合は気づくような経路 2 と言う迂回路に気づくことがないからだと考えられる。

これに対し、密度参照型 FF モデルでは最初はほぼ全エージェントが経路 1 を利用するが、ある程度混雑してくると経路 2 を利用するエージェントが出現してくることが確認された。これは、経路 1 の密度が高くなり、それをエージェントが避けようとするために、経路 2 とする迂回路を利用するためだと考えられる。このことから、高密度回避行動を表現できたと言える。

#### 5. シミュレーション 2

次に、シミュレーション 1 を踏まえた上で、実際に発生した群集事故の再現を行う。今回再現したのは、2001 年 7 月 21 日に兵庫県明石市で発生した明石花火大会歩道橋事故である。マップは実際に事故が発生した JR 朝霧駅前の通路を、図 4 のような 100×100 セルの二次元格子空間で簡易的に模した。エージェントは上部からマップ内へ入室し左部の目的地へ移動するものと、左部からマップ内へ入室し上部の目的地へ移動するものの 2 種類用意した。また、この群集事故の瞬間的な最高密度は 13 人/m<sup>2</sup>と言われている。そこで、入室パラメータを上昇させていき、エージェントが初めて詰まり身動きがとれない状態を事故発生とみなす。そのパラメータ時の最高密度がどの程度実際の事故発生時の最高密度に近づいたかを静的 FF モデルと密度参照型 FF モデルについて検証する。

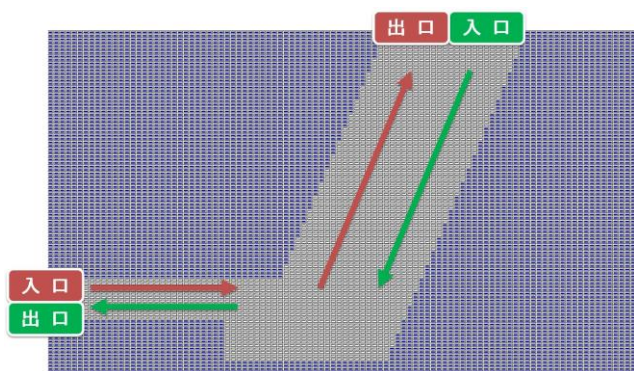


図4: シミュレーション2のマップの様子

### 5.1 シミュレーション2の設定

各セルが現実世界の25cm×25cmになるように設定したので、4×4の16セルが1㎡を表している。最高密度は、エージェントが移動可能な全てのセルに対するエージェントの総数から計算する。エージェントの入室パラメータを0.01ずつ上昇させていき、各入室パラメータの最高密度を計算する。

また、エージェントの総数は1000、エージェントの初期入室パラメータは0.01、近傍パラメータは2、静的FFと動的FFの重み付けパラメータをそれぞれ1と設定した。

### 5.2 シミュレーション2の結果

図5が各入室パラメータにおける最高密度であり、横軸が入室パラメータ、縦軸が最高密度を表している。

静的FFモデルは、入室パラメータが0.04の時点で初めてエージェントが詰まり、身動きが取れない状態となる。その際の最高密度は9.98人/㎡を記録した。また、エージェントの流れが滞る直前の入室パラメータ0.03の時点での最高密度は5.59人/㎡を記録した。

密度参照型FFモデルは入室パラメータ0.13で初めてエージェントが詰まり、身動きが取れない状態となる。その際の最高密度は12.79人/㎡を記録した。また、エージェントの流れが滞る直前の入室パラメータ0.12の時点での最高密度は12.23人/㎡を記録した。

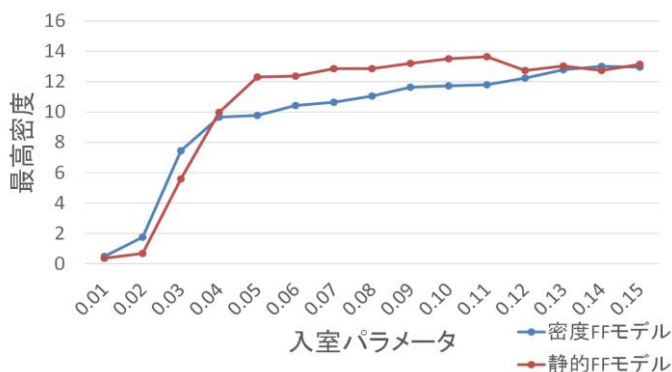


図5: 各入室パラメータにおける最高密度

### 5.3 シミュレーション2の考察

初めて事故が発生する際の入室パラメータは静的FFモデルだと0.04という比較的低い段階であることが確認された。これは、2種類のエージェントが通路の曲がり角付近でぶつかり、身動きが鈍り始めたところに後から来たエージェントが前へ前へと押し

寄せてくるために、早い段階から身動きがとれない状態になるからだと考えられる。

それに対して、密度参照型FFモデルが初めて事故が発生するのは入室パラメータが0.13の時である。これは、2種類のエージェントが通路の曲がり角付近でぶつかり、身動きが鈍り始めた際、後から来たエージェントは曲がり角付近の密度が高いために、そこをなるべく避けようとするために、静的FFモデルよりもマップ全体を効率よく利用し、混雑が解消に向かう機会が多いからではないかと考えられる。また、その際の最高密度は12.79人/㎡と、実際の事故発生時の最高密度である13人/㎡に近い値を記録した。このことから、密度参照型FFモデルは群集事故のより忠実な再現が出来たとと言える。

## 6. おわりに

本研究では人間の特性とされている高密度回避行動を表現するために、シミュレーション上でFFモデルを用いた。結果として、既存のFFモデルよりも人間に近い振る舞いが表現できたのではないかと考える。これは、高密度回避行動をすることで、結果的にマップ全体を効率よく利用することに繋がるからではないかと考えられる。また、実際に発生した群集事故に非常に近い再現をすることが出来た。これにより、生身の人間では行いにくい事故の再現を安全なシミュレーション上で出来るということで、今後の群集事故への対策などに寄与できるのではないかと考えられる。

今回は、静的FFモデルという人間の基本的な特性である、目的地まで最短ルートで移動するという単純なモデルとの対比をし、良い結果を得ることが出来た。しかし、他のFFモデル、特に動的FFモデルには、人間の特性を実装したモデルが多く存在している。今後は、そのモデルとの比較を行いたい。また、本研究は予め人間の特性を実装してから、シミュレーションで妥当性を確認し、良い結果を得ることが出来たので、まだ拡張されていない他の人間の特性を実装し、より人間に近い振る舞いを行うモデルを考案することを課題としたい。

## 参考文献

- [柳澤 06] 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-S2, 2006.
- [柳澤 12] 柳澤 大地, 西成 活裕: 渋滞学のセル・オートマトンモデル, The Japan Society for Industrial and Applied Mathematics, 2012.
- [須摩 09] 須摩 悠詩, 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.
- [Nishinari 03] Katsuhiko NISHINARI, Ansgar KIRCHNER, Alireza NAMAZI, Andreas SCHADSCHNEIDER: Extended Floor Field CA Model for Evacuation Dynamics, IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems Vol.E87-D No.3 pp.726-732.
- [森下 03] セルオートマトン複雑系の具象化, 養賢堂, 2003.
- [西成 06] 西成 活裕: 渋滞学, 新潮社, 2006.
- [西成 09] 西成 活裕: 図解雑学 よくわかる渋滞学, ナツメ社, 2009.
- [釘原 11] 釘原 直樹: グループ・ダイナミクス - 集団と群集の心理学 -, 有斐閣, 2011.