

# 囚人のジレンマ的状况を含んだ避難時のフロアフィールドモデル

## Floor field model at the time of evacuation that includes the prisoner's dilemma situation

齋藤 慧太朗<sup>\*1</sup>  
Keitaro Saito

大用 庫智<sup>\*1</sup>  
Kuratomo Oyo

高橋 達二<sup>\*2</sup>  
Tatuji 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

渋滞が起こる原因と対処法を研究する学問として渋滞学がある。渋滞学の中でも災害時の避難のモデリングに用いられるフロアフィールド(以下 FF)モデルに囚人のジレンマ的状况を実装したところ、FF モデルのみでは現れなかった、避難誘導の役割を果たす性質を表現することができた。この性質を使うと避難時間が減少する。また、この事実は人間社会において、一部のヒーロー的存在が社会全体を上手く回していることを示唆する。

### 1. はじめに

渋滞という言葉を聞くと一般的に負のイメージが想起される。例えば、車の渋滞や電車の渋滞、歩行者の渋滞、レジの混雑、病院の混雑、体内循環の渋滞等様々なものがあげられる。しかしながら、渋滞には良い渋滞もある。例えば感染症の勢いを止めるための渋滞や森林の火災を止めるための渋滞、行列のできるレストランなどがあり、我々の生活には渋滞という問題がありふれている。

その中で、渋滞学は悪い渋滞の解消やよい渋滞の発生、現実における渋滞の記述や規範を作る。これらを解決する渋滞学の理論は、確率過程を利用することで人や物の出入りの確率を考える待ち行列理論や、人や物を連続の粒子として捉える流体モデル、コンピュータ上で0と1に簡単なルール(左右の値から次の時間の事故の状態を変化させるなど)を与えて発生した現象を分析するセルオートマトン等がある。その他にも、蟻などの昆虫の生態的な合理性を用いて渋滞やシステムの構築、建築、アルゴリズム(ACO)[Drigo 07]などの研究も盛んに行われている[Miller 10]。近年の渋滞学の大きな成果としては、単純なルールから現実の渋滞を記述して、その渋滞の簡単な解決策を見出すという点があげられる。

本研究では災害時などの避難を人の群集行動を表すセルオートマトンのフロアフィールドモデル[Nishinari 03]を用いてシミュレートする。既存の研究では様々な指標(集団の向きや、偏り、出口までの距離など)を使った幾つもの拡張フロアフィールドモデルが示されている。また、車が起こす渋滞の原因の解明や、電車の遅延モデル、避難時に通路にわざと障害物を置くことで避難が早くなることなど、現実における活用法も示されている[西成 06; 西成 09]。そこに、人と人が衝突した時に囚人のジレンマを起こしているのではないかと考え、囚人のジレンマを組込み、人の避難の様子を観察し考察する。

### 2. セルオートマトン

セルオートマトンとは、格子状のセルと単純なルールによる、時間、空間、状態量が離散なモデルである。セルは有限の状態を持ち、その状態の変化は時刻  $t$  におけるセルの状態と近傍のセルを使ったルールによって、時刻  $t+1$  におけるセルの状態が

決定されるというものである。有名なセルオートマトンとしてはライフゲームがある。

### 3. フロアフィールドモデル

図 1 のような 2 次元のセルオートマトンを用いてモデル化した部屋を考える。格子状に区切られた 2 次元空間を部屋と考え、各セルに出口や障害物、人を配置し、現実空間をモデル化することができる。

次に、各セルの次の状態を決めるためのルールとして、このモデルでは状態が変化するのは人だけであるので、どのように人を動かすべきかを考える。

人は様々な指標に従い行動することが知られている。例えば、出口までの単純な距離や、周囲の人が向いている方向や偏りなどである。この指標を各セルに障害物や人といった状態とは別にもたせる。この指標はフロアフィールド (FF) と呼ばれる。人は、自分の居るセルの上下左右のセルのフロアフィールドを比較することで次に移動するセルを決定する。このフロアフィールドを持たせたモデルをフロアフィールドモデルと呼ぶ。

本研究では、フロアフィールドとして各セルに出口までのマンハッタン距離をもたせた。

壁	壁	壁	壁	壁	壁	壁
壁	2	1	出口	人	2	壁
壁	人	2	1	2	3	壁
壁	4	3	障害	人	4	壁
壁	人	4	5	4	人	壁
壁	6	5	人	5	6	壁
壁	壁	壁	壁	壁	壁	壁

図 1: フロアフィールドモデルの例  
(数字はフロアフィールドの値)

### 4. 囚人のジレンマ

囚人のジレンマとは、二人の囚人が共犯の容疑で逮捕され、別々の部屋で取り調べを受け、それぞれ自白するか黙秘するかを迫られる問題である。一方だけが自白をすればその囚人は釈放され、黙秘した方は重刑を科せられる。共に自白したなら双方に中程度の刑を、共に黙秘したなら、双方に軽い刑を科せる事になっている。この時、自分は相手がどちらを選ぼうか自白すれば重い刑を免れるが、お互いに自白してしまうと中程度の刑を科せられることになってしまう。しかし、お互いに黙秘をして

いれば軽い刑ですむ。このように、自分の得になる行動をとったにもかかわらず不利益を被ってしまい、合理的な選択を行うことができない。このような状態のことを囚人のジレンマと呼ぶ。

#### 4.1 衝突時の囚人のジレンマ

本研究では、フロアフィールドモデルにおいて、人と人が同じマスに移動しようとすることを衝突と呼び、衝突した人同士が囚人のジレンマを行うこととした。上記の自白と黙秘を、協調と裏切りという行動とし、全員が協調ならばランダムに誰か一人進み、残りの人は元の場所にとどまる。ただ一人が裏切りならば、裏切りを選んだ人のみが進み、残りの人はその場にとどまる。裏切りが二人以上いたならば、全員がその場にとどまることとした。

### 5. シミュレーションの設定

#### マップの設定

- 51 × 51 マスの格子空間に、4 辺全てを壁として人が侵入できないようにする。
- 上辺の中心に出口となるマスを作り、そこに人がたどり着くとその人はフィールドから取り除かれる。
- 各セルには FF の値として出口までのマンハッタン距離をもたせた。

#### 人の設定

- 人は自分の上下左右のセルの FF を見て最も出口へ近くなるセルへ確率的に進もうとする。ただし、そもそも人がいるセルや障害物のあるセルは候補にも入れない。
- 衝突が発生した場合には前述の囚人のジレンマを行い目的のセルに進む人を決定する。
- 人には衝突が発生した時に必ず協調する人と、必ず裏切る人の 2 種類を用意した。

#### シミュレーションの設定

- 人の数は 100 人でフィールドに等間隔で配置する。
- 協調する人と裏切る人の割合を 1 ずつ変化させ (100:0 から始め、0:100 まで) 各割合で 500 回シミュレーションし全員が避難するまでの時間(ターン数)の平均をとった。
- 各回で 1000 ターンに達してもフィールドに人が残っている場合は、打ち切りとし次の回へ進むこととした。
- 1 ターンは全ての人次のターンでの居場所を決定し移動を終えることとした。

### 6. 結果 1

シミュレーションの結果を図 2 に示す。図 2 を見ると、裏切る人が増えるに連れて総避難時間も増えることがわかる。これは裏切る人同士が衝突するとそのターンはどちらも出口に近づくことができないためである。また、協調する人の割合 10 から先は、500 回の繰り返しの中で一度も総避難が行われなかった。

### 7. 考察

上記の結果は当たり前の結果であった。裏切る人が多ければ衝突の回数も、動けない人も増えるため避難に時間がかかる。しかし、このシミュレーションを観察していると、協調する人が出口の 2 辺を囲むと、協調する人はその場に残り、裏切る人が次々と出口に入っていく様子が見られた (図 3)。これを上手く

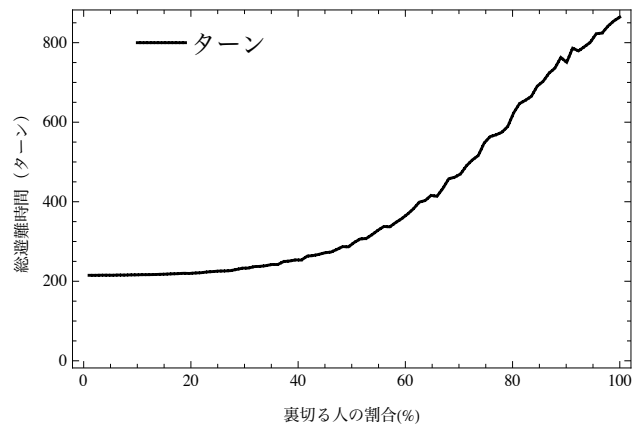


図 2: 各割合ごとの総避難時間のグラフ

壁	壁	壁	壁	壁	壁	壁
壁		協	出口	裏	裏	壁
壁	裏	裏	協	裏	裏	壁
壁	裏	裏	裏	裏		壁
壁	裏	裏		裏	裏	壁
壁						壁
壁	壁	壁	壁	壁	壁	壁

図 3: 上手く出口へ進んでいく形

使えば、裏切る人が多い状況でも、協調する人がうまく振る舞うことで避難時間を短縮できるのではないかと考えられる。

### 8. 追加シミュレーション

二人の協調する人が出口を囲むと、本当に避難時間が早くなるのか確かめる。

#### 8.1 変更したシミュレーションの設定

##### マップの設定

- 部屋の大きさを 13 × 13 マスの格子空間とした。
- 最初から出口を人が塞いでいる状態からシミュレーションをスタートする。

##### 人の設定

- 人の数は 99 人。

##### シミュレーションの設定

- 設定 1: 99 人全ての人が裏切る人 (図 4)。
- 設定 2: 3 人だけが協調する人でその人達が最初から出口を囲んでいる (図 5)。
- 設定 3: 99 人中にランダムに協調する人を 3 人配置する (図 6)。
- それぞれの設定で、各ターンでフィールドに残っている人数を比較する。
- 今回は各回で打ち切るターン数を設定せず避難が終わるまで様子を見た。

### 9. 結果 2

図 7 に追加シミュレーションの結果を示す。結果を見ると、最初から出口を協調する人が囲んでいる状態 (設定 2) が最も早く避難できていることがわかる。また、協調する人が 3 人いればいいというわけでもなく、ランダムな配置 (設定 3) では避難が遅くなっている事がわかる。

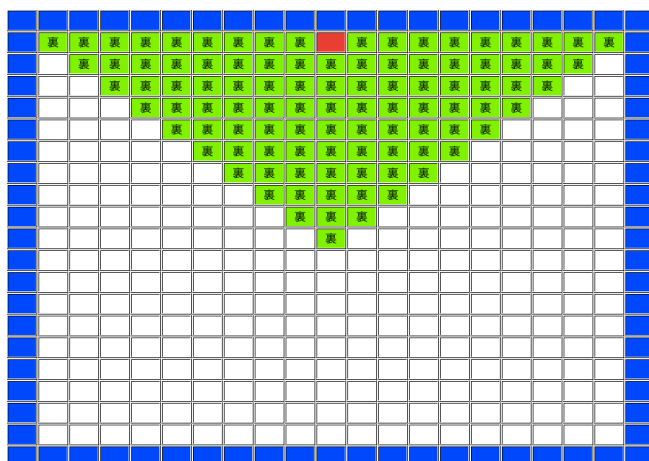


図 4: 追加シミュレーション設定 1

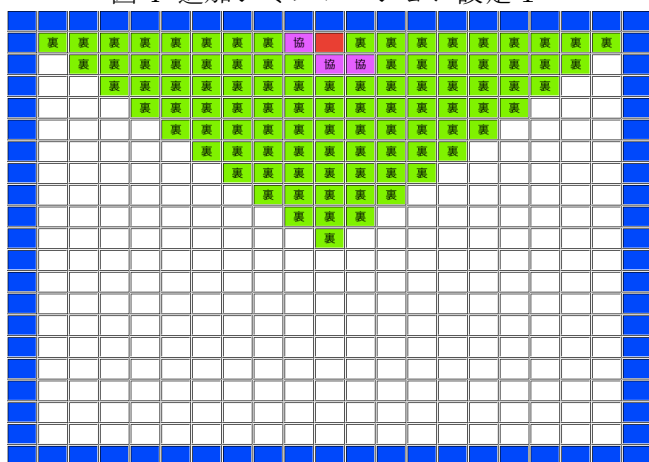


図 5: 追加シミュレーション設定 2

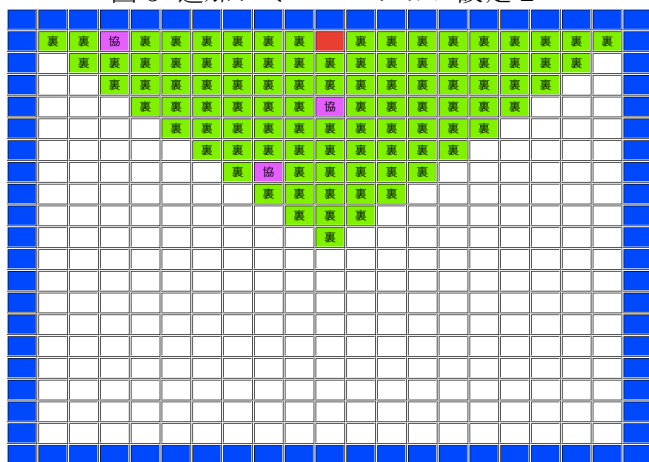


図 6: 追加シミュレーション設定 3

## 10. 考察

それぞれのシミュレーションの結果から、避難するさいに我先にと出口へ進んでいく人ばかりの状況でも、他の人に道を譲ってこうと考える人がほんの少し居るだけで避難が早くなるのがわかった。これは、出口の 2 辺を塞ぐ協調する人が進まないことでその後ろに並んでいる裏切りの人たちは前に進めず、また進路を塞いでいるものが障害物ではなく人なので、まわりまわうとする人がいなくなり、その結果として衝突回数が減るからと考えられる。

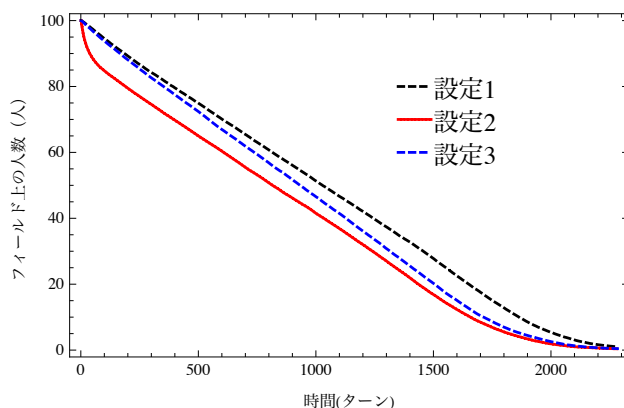


図 7: 追加シミュレーションの結果

もちろん、障害物を置くことでも避難を早くすることはできるが、障害物は予め置かなければならず、震災時などに少数の善良な人の力で避難を早めることができるということが特質すべき点である。

さらに、このことを踏まえると塞ぐ人は警備員や会場スタッフのような人では務まらない。警備員やスタッフは人を誘導するために立っていることがすぐに分かるため、その後ろに並んで前が空くのを待つ人が現れないからである。

## 11. 結語

本研究では災害時などの避難を、人の群衆行動を表すセルオートマトンのフロアフィールドモデルを用い、そこに囚人のジレンマを組み込んでシミュレーションを行い様子を観察した。その結果、裏切りを選択する人が増えると避難時間が長くなることが確認できたが、その中で協調する人が出口を囲むと避難が短縮される現象が確認された。

その確認のシミュレーションでは、協調する人が出口を囲むことが重要であることがわかった。

今後の課題として、部屋中に等間隔に人が並んでいる時どの位置に協調する人がいるとこの現象が起りやすいかを調べることがあげられる。

## 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.
- [西成 06] 西成活裕: 渋滞学, 新潮社, 2006.
- [Nishinari 03] Nishinari Katsuhiko: Extended floor field CA model for evacuation dynamics, arXiv:cond-mat/0306262[cond-mat.stat-mech], 2003.
- [西成 09] 西成 活裕: 図解雑学よくわかる渋滞学, ナツメ社, 2009.
- [Drigo 07] Marco Drigo: Ant colony optimization, SCHOLARPEDIA, 2007.
- [Miller 10] Peter Miller: The Smart Swarm (土方奈美[訳]), 東洋経済新報社, 2010.