

避難シミュレーションにおける 動的フロアフィールドモデルと視野モデルの比較

東京大学 工学部 航空宇宙工学科
柳澤 大地, 西成 活裕

1. はじめに

近頃日本では地震が頻発している。我々が日々研究活動を行っている建物は耐震性が脆弱と判断され、至急耐震工事が検討されている。もちろん地震が起きても崩れないような頑丈な建物を立てることが第一であるが、いざ実際に地震が起きたときに、どのように避難したらよいかということを我々が知っておくことは重要である。そのために避難訓練というものがあるが、避難訓練は避難の仕方を覚える経験的なものであって、理論的に効率のよい避難の仕方というものは、あまり議論されていない。

航空機の設計でも避難は重要である。航空機の最大乗客数は一定時間以内に航空機から脱出できた乗客数以下でなければならないという規定がある。避難しやすい航空機内部の設計ができれば、乗客数を構造的に可能な限り増加させることができ経済的である。もちろん航空機の安全性自体も向上することができる。

避難は人の心理状態を考える必要がある複雑な非線形問題であり、全ての人の行動を把握する解析解を出すことはほぼ不可能である。しかし状況を単純化しモデル化を行って、そのモデルを解析することにより、従来経験と感覚だけに頼って行われていた避難時の群集の集団運動がかかわる設計に理論的考察を与えることができる。

今回の発表では、「セルオートマトン・フロアフィールドモデル」に「視野」や「向き」といった新たな要素を加え、シミュレーションと部分的な解析を行い、モデルの有用性や限界について述べる。

2. セルオートマトン・フロアフィールドモデル

今回のシミュレーションではセルオートマトン(以下と CA 書く。)を用いる。避難の CA モデルとは居室を碁盤目状のセルに区切り、セルに出口や障害物、人などを配置したものである。シミュレーションを開始すると人はこちらが定めたモデルに従って出口に向かって行く。

このシミュレーションの是非は人の行動方法をどのようにモデル化するかにかかっている。避難時、人はどのように行動をするであろうか？まず考えられるのは、そこから脱出するため出口に向かうという行動である。しかし人はパニックしているとき、出口の方向など関係なく、わけもわからず周りの人についていく傾向がある。

これらの人の性質をうまくモデル化したのがフロアフィールドモデル(以下 FF と書く。)である。FF は前者の性質をモデル化する静的 FF と後者の性質をモデル化する動的 FF からなる。

2.1 静的フロアフィールド

人は向きを持っているとする。出口に向かって移動する場合、特別な事情がなければ最短距離

を通ると考えられる。これを反映したモデルが静的 FF である(図 1)。具体的には各セルに出口までの距離を持たせ、人がセル間を移動するときは静的フロアフィールドが減少するセルに移動しやすくする。

移動前のセルを i 、移動後のセルを j とした場合の静的 FF によって人がセル i から j に動く確率を、

$$P_{s(i \rightarrow j)} = \exp\{k_s(S_i - S_j)\}$$

とおく。ただし、 k_s :調整パラメータ、 S :静的フロアフィールド(出口からの距離を表す。)である。

2.2 動的フロアフィールド

人が人を追うようにするために、蟻と同様のモデルを考える。蟻が自分のいた場所にフェロモンを残すように、人は自分の 1 ステップ前にいた場所に足跡を残すとする。そして人はより足跡の多い場所へ動くようにする(図 2)。または足跡(動的 FF)は時間ステップとともに減衰し、ノイマン近傍の周囲 4 セルに拡散する。移動確率を、

$$P_{d1(i \rightarrow j)} = \exp(k_{d1}D_{1j})$$

とおく。ただし、 k_{d1} :調節パラメータ、 D_1 :動的フロアフィールド(足跡の数を表す。)である。

$S=2$	1	出口 0	1
$\sqrt{5}$	$\sqrt{2}$	1	$\sqrt{2}$
$2\sqrt{2}$	$\sqrt{5}$	2	$\sqrt{5}$

図 1:人(矢印)と静的 FF(数字)

$D_1=3$	3	4	4
0	0	3	0
1	2	3	2

図 2:人(矢印)と動的 FF(数字)

3. 新たに追加した要素「向き」と「視野」

2.2 で説明した動的 FF は他人の位置情報であるが、実際人が避難しているときは、「多くの人がいるところ」に行くほか、「多くの人に向かって方向」に移動するということも考えられる。この性質をモデル化するために「足跡の向き」を考え、向きの情報を持った動的 FF を考える。

また人が得る情報は視覚による情報が 90%と言われる。そこでそれぞれの人に視野を持たせ、その視野内の人の位置や向きの情報を得ることができるモデルも考える。

3.1 向きの動的フロアフィールド

人の足跡の残し方や、減衰・拡散の方法は、2.2 の位置の動的 FF と同様である。人は自分のノイマン近傍周囲 4 セルの足跡の向きを見て、多くの足跡が向いている向きに移動しようとする。移動確率を、 $direction = \{\uparrow, \downarrow, \rightarrow, \leftarrow\}$ として、

$$P_{d2(direction)} = \exp\left[k_{d2} \left(\sum D_{2(direction)}\right)\right] \quad (k_{d2}: \text{調整パラメータ}, D_2: \text{向きの動的 FF})$$

とおく。

3.2 視野モデル

3.2.1 位置を見る視野

自分の視野内の人がたくさんいる向きに移動しようとするのが位置の視野モデルである。図 3 のような場合、太矢印の人は視野内の人々の重心の向きに移動しようとし、移動確率は、上 右 左 下の順になる。また影響力の強さは調節パラメータ k_{v1} により調節できる。

3.2.2 向きを見る視野

自分の視野内の多くの人に向いている向きに動こうとするのが向きの視野モデルである。図 4 のような場合、太矢印の人の移動確率は、上 右 左 下の順になる。また影響力の強さは調節パラメータ k_{v2} により調節できる。

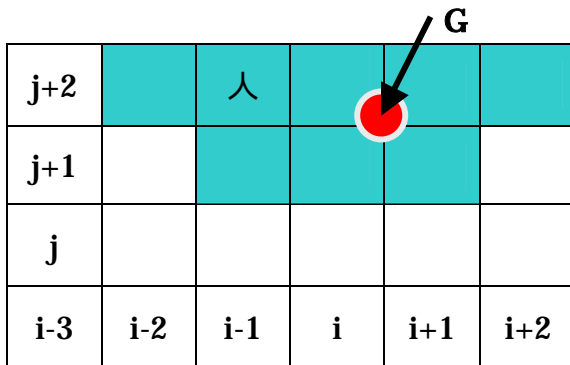


図 3:位置を見る視野

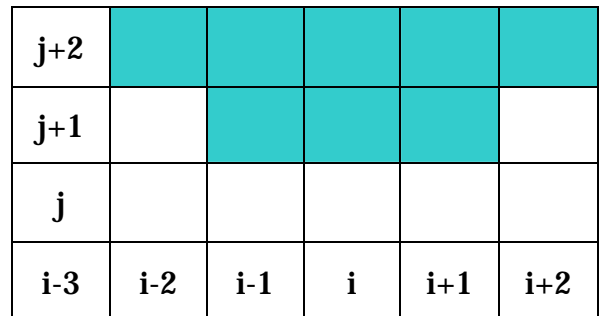


図 4:向きを見る視野

4. シミュレーション

部屋の形と静的 FF の調節パラメータ k_s を固定し、以下の 5 つの場合についてシミュレーションを行い、結果を比較する。

1:位置の動的 FF, 2:向きの動的 FF

3:位置の視野, 4:向きの視野, 5:静的 FF のみ(参考),

避難の様子を図(図 5 ~ 図 9)を見ると、視野では上半分の領域で人が広がっているのに対し、動的 FF では人が一列になって歩いている。これは居室の上半分では静的 FF が 1 次的になっているため、2 次元性を強める視野では人は広がろうとするが、1 次元性を強める動的 FF では 1 次元性がさらに強まり、一列に歩行するようになってしまうと考えられる。

図5 1:位置の動的FF(kd1=4.0)

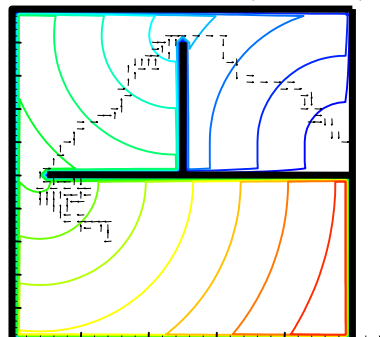


図6 2:向きの動的FF(kd2=4.0)

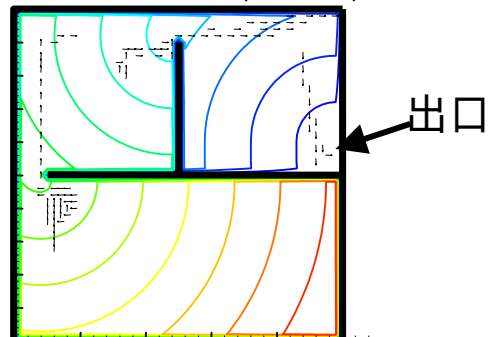


図7 3:位置の視野(kv1=4.0)

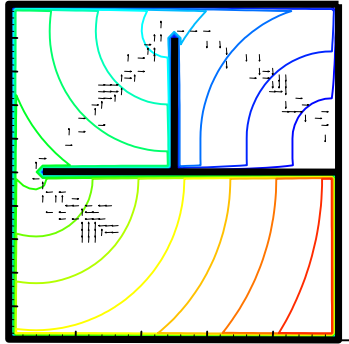


図8 4:向きの視野(kv2=4.0)

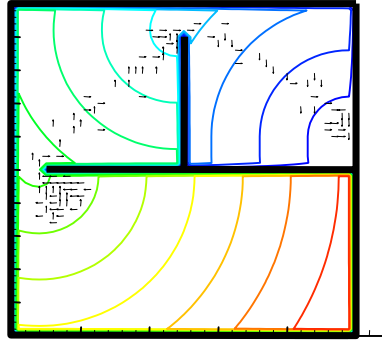
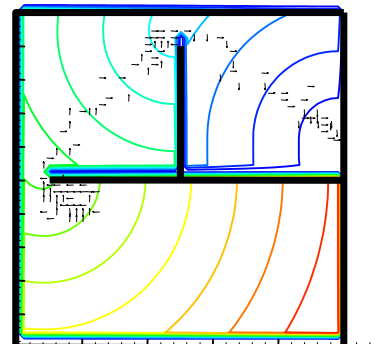


図9 5:静的FFのみ



避難時間は調節パラメータ k を増加させることによって、以下の図10のように変化する。これを見ると位置を見ているものは k の増加に対して総避難時間が増加しているが、向きを見ているものは k の増加に対して総避難時間が減少していることが分かる。位置を見るモデルでは多くの人がある方向に行こうとするので、結果渋滞が起こり易くなるのに対し、向きを見るモデルでは動きを揃えることにより渋滞が起こりにくくなるため、総避難時間が減少するのだと考えられる。

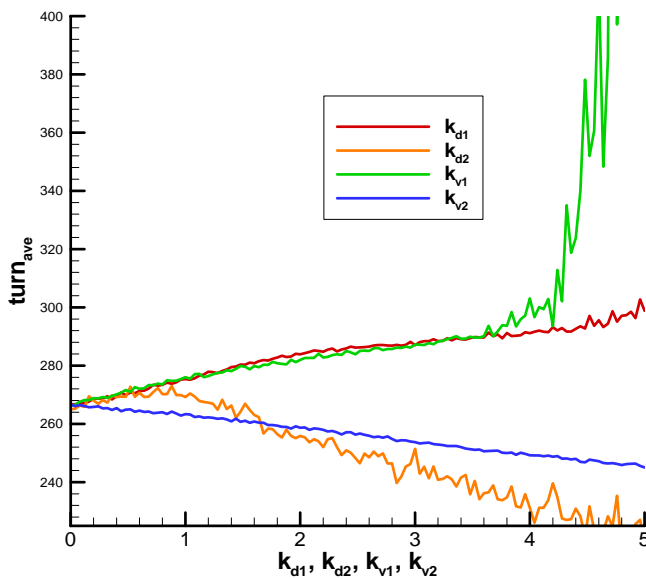


図10:調節パラメータと総避難時間の関係

シミュレーション条件

- ・部屋の大きさ: 49×49
- ・出口: $(49, 27)$, $(49, 28)$, $(49, 29)$, $(49, 30)$
- ・初期人口密度: 約 6.2%
(144/2334, 4セルおきに1人)
- ・ $k_s = 3.0$, 視野=6
- ・動的FFの減衰, 拡散=0.2

グラフの説明

- 赤線: 位置の動的FF (kd1)
- 橙線: 向きの動的FF (kd2)
- 緑線: 位置の視野 (kv1)
- 青線: 向きの視野 (kv2)

5.参考文献

- [1] Ansgar Kirchner, Katsuhiko Nishinari, and Andreas Schadschneider, "Friction effects and clogging in a cellular automaton model for pedestrian dynamics," PHYSICAL REVIEW E 67, 056122 (2003)
- [2] Katsuhiko NISHINARI, Ansgar KIRCHNER, Alireza NAMAZI, and Andreas SCHADSCHNEIDER, Nonmembers, "Extended Floor Field CA Model for Evacuation Dynamics," IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems VOL.E87-D NO.3 MARCH 2004