

予測つ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

須摩, 悠史
東京大学工学研究科

西成, 活裕
東京大学工学研究科、科学技術振興機構さきがけ

<https://doi.org/10.15017/14294>

出版情報：応用力学研究所研究集会報告. 20ME-S7 (22), 2009-02. Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University

バージョン：

権利関係：

応用力学研究所研究集会報告 No.20ME-S7
「非線形波動の数理と物理」(研究代表者 矢嶋 徹)
共催 九州大学グローバル COE プログラム
「マス・フォア・インダストリ教育研究拠点」

Reports of RIAM Symposium No.20ME-S7
Mathematics and Physics in Nonlinear Waves

Proceedings of a symposium held at Chikushi Campus, Kyushu University,
Kasuga, Fukuoka, Japan, November 6 - 8, 2008

Co-organized by
Kyushu University Global COE Program
Education and Research Hub for Mathematics - for - Industry

Article No. 22 (pp. 136-140)

予測つ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

須摩 悠史 (SUMA Yushi), 西成 活裕 (NISHINARI Katsuhiko)

(Received February 2, 2009)



Research Institute for Applied Mechanics
Kyushu University
February, 2009

予測つ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

Analysis of Pedestrian Movement at a Corner by Anticipation Floor Field Model

東京大学大学院工学系研究科航空宇宙工学専攻 須摩 悠史 (SUMA Yushi)
東大 工 航空宇宙, (独) 科学技術振興機構さきがけ 西成 活裕 (NISHINARI Katsuhiko)

1 はじめに

人の群集運動はマクロに見ると密度の偏りがある流れ, すなわち圧縮性流体と見ることができ, 空気や水のような一般の流体で言う密度はそのまま人の密度となり, お互いが押し合う力が圧力に対応する. 個々の人の運動方向のばらつき具合 (分散) を温度と見ることがもできる. 一方で, 人間は歩くときに周りの状況を元に判断し, 自らの意思で動く方向を決めるという点で一般の流体とは異なっている. このように作用反作用の法則が働かない粒子を自己駆動粒子 (Self Driven Particles; SDP) といい, 自己駆動粒子から構成される流体の解析にはマクロな視点だけでなくミクロな視点が必要となる.

フロアフィールドモデルは人の群集運動をミクロに記述するモデルの一つで, 現在世界中で活発に研究が行われている. フロアフィールドモデルでは人に様々な性質や影響を付加することができ, これまでに出口へ向かう性質や前の人について行く性質 [1], 慣性や壁の影響 [2], 人同士の押し合いの影響などが研究されてきた. 本研究では, 筆者が卒業研究で提案した予測の影響を考慮したフロアフィールドモデルの解析の一環として, 同モデルを使用して曲がり角を通過する群集のシミュレーションを行った. われわれの日常生活の中で曲がり角の内側に人が集中し流れが滞っているという場面にしばしば遭遇することがあるが, この現象に対する予測の影響を調査した.

2 フロアフィールドモデル

フロアフィールドモデルは, 床を正方形のセルに区切り, そのセル上で人が確率に従って動かすことで人の流れを再現するモデルである. 1セルには2人以上入ることはできない. 移動確率は図1のように上・下・左・右とその場 (ノイマン近傍と言う) のセルに埋め込まれた「フロアフィールド」という情報をもとに決定され, フロアフィールドの設定方法によって人の移動に様々な性質を付加することができる. 移動先となるセルも同じくノイマン近傍のセルとし, 1ステップでの最大移動距離は1セルである.

以下, 本研究で使ったフロアフィールドについて述べる.

2.1 以前からあるフロアフィールド

静的フロアフィールド (*Static Floor Field*)

目的地までのステップ数を格納している. 静的フロアフィールドの値が小さい方に向かうことで目的地に向かう性質を持たせる.

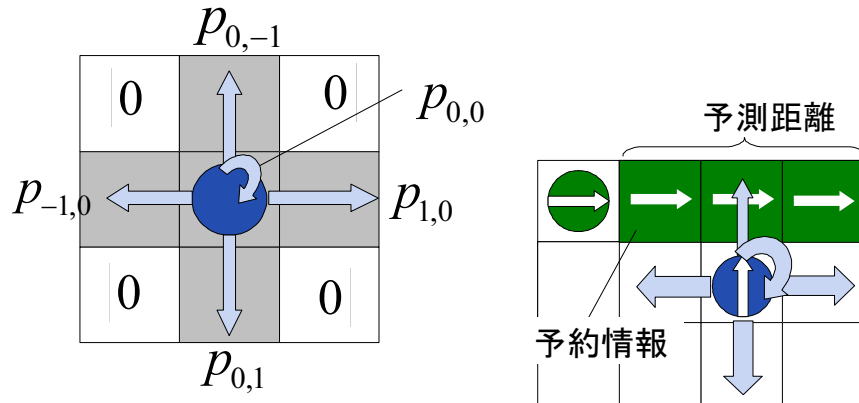


図 1: 進行方向は上・下・左・右・その場の 5 セルである．また，移動確率を決める際にも同じ 5 セルを参照する（左）人の進行方向に「予約情報」が投げられる．予約情報が投げられる距離が予測距離となる．予約情報があるセルへの移動確率を小さくすることで，人間の予測行動を取り入れる（右）

動的フロアフィールド (*Dynamic Floor Field*)

セルに残された人の「足跡」の数を格納している．足跡の多い方に向かうことで前の人についていく性質を持たせる．

壁フロアフィールド (*Wall Floor Field*)

壁からの距離を収納している．閾値以上離れた位置では閾値と等しい値とする．

2.2 予測フロアフィールド

(*Anticipation Floor Field*)

本研究で新たに導入したフロアフィールドで，将来そのセルに人がやってくるという「予約情報」の値を格納している．予約情報の少ない方に向かわせることで他の人の動きを予測し回避する性質を持たせる．予約情報については以下で詳しく述べる．

予約情報

毎時間ステップごとに各々の人の過去の動きをもとにして予測される進行方向（停止・上・下・左・右）を決定し，その進行方向の一定数のセルの方向つき予約情報の値を 1 増やす．1 セルには 5 種類の予約情報の値が存在することになる．例えばある人の進行方向が右向きならば，その右方向の直線状の一定数のセルの「右向きの予約情報」の値が増加する．人は基本的に直進するため，予測される進行方向も直線状とした．予約情報を書き込むセル数を「予測距離」と呼び， d_A と表す（図 1）．

人間は自分の後方を見ることはできない．これを実現するため自分の後方セルの全ての予約情報の影響を受けなくするというルールを設定する．可視な予約情報の値の和が多いほど移動確率が小さくなるということにして予測と回避を実現する．

2.3 移動

近傍セルのフロアフィールドの値を元に，それぞれの人について次の式により移動確率を決定する．ただし，進入不可能なセルへの移動確率は0である．

$$p_{ij} = N \exp(-k_A A_{ij}) \exp(k_W W_{ij}) \\ \times \exp(-k_S S_{ij}) \exp(k_D D_{ij})$$

(i, j)	$(0, 0), (0, 1), (0, -1), (1, 0), (-1, 0)$
N	規格化定数
A_{ij}	セル $[i, j]$ におけるセル $[0, 0]$ から可視な予約情報の値の和
W_{ij}	セル $[i, j]$ における壁からの距離
S_{ij}	セル $[i, j]$ における出口までの距離
D_{ij}	セル $[i, j]$ における足跡の値
k_A	予測フロアフィールドの強度 (≥ 0)
k_W	壁フロアフィールドの強度 (≥ 0)
k_S	静的フロアフィールドの強度 (> 0)
k_D	動的フロアフィールドの強度 (≥ 0)

移動確率に従って進行方向を決定し，同じセルに2人以上の人が入ろうとした場合はランダムで1人を選び進ませる．残りの人は現在のセルに引き戻される．また，既に人がいるセルに進もうとした場合は無条件に現在のセルに留まることとする．

3 曲がり角のシミュレーション

3.1 シミュレーション条件

図2のような90度の角度で曲がっている通路に関して周期境界条件でシミュレーションを行った．初期状態はランダムに人が通路内に分散した状態とし，左上の縦10セルを出口セルとした．出口セルは各ステップごとに右下の入り口セルと1対1の対応があり，出口セルに到達した人は対応する入り口セルが空な場合のみ入り口セルに移動する．周期境界のためシミュレーション中に全体の密度は一定に保たれる． $k_S = 3, k_D = 2$ は固定し k_A, d_A, k_W, d_W, ρ の5つを変化させた．

3.2 結果と考察

代表的な結果として $k_W = 2, \rho = 0.12$ で d_A が1および6のときの平均流量と衝突頻度（単位時間・1セルあたりの衝突回数）を図3～図6に示す．

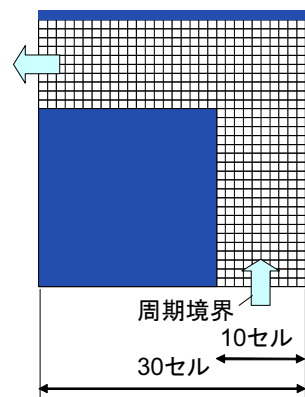


図2: 塗りつぶされたセルは進入不可能で通路に接している部分は壁となる．1セルは50cmに対応する．

予測距離が短い場合 ($d_A = 1$) は、予測強度 k_A の値が大きくなるにつれて平均流量は単調増加、衝突頻度は単調減少している。シミュレーション画面上でも曲がり角において外側の人が無理に内側に進んで生じる衝突の減少が確認され、衝突頻度の減少が流量の増加につながっているといえる。

予測距離が長い場合 ($d_A = 6$) は、 k_A の値の増加に対して衝突頻度は単調減少するが、流量ははじめは増加するが途中で減少に転じている。つまり、衝突頻度が少ないにもかかわらず曲がり角の通過に時間がかかっている。シミュレーション画面ではカーブ外側を通過している人が内側の避ける必要のない位置にいる人の影響で遠回りしており、過剰な予測行動により流量が低下しているといえる。 $d_A = 2 \sim 5$ の場合でも同様に過剰な予測による流量の減少が観測された。

また、壁の影響する距離に関わらず壁の影響が強すぎると流量が減少し衝突頻度が増加した。曲がり角の内側と外側の影響を受けるために実質的な通路の幅が減少し衝突が増加したことと、内側を通りにくくなって距離が長くなったことが流量の減少の原因と考えられる。

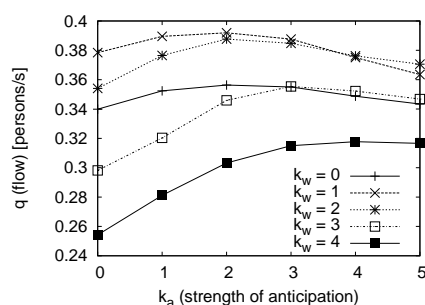
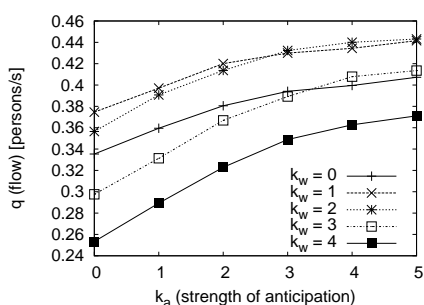


図 3: $d_A = 1$ のときの平均流量 q [persons/step] 図 4: $d_A = 6$ のときの平均流量 q [persons/step]

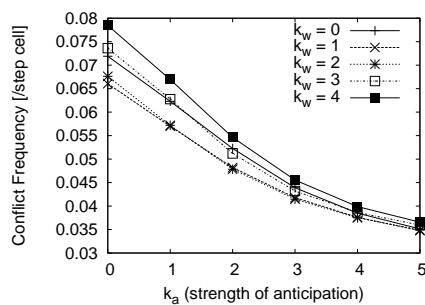
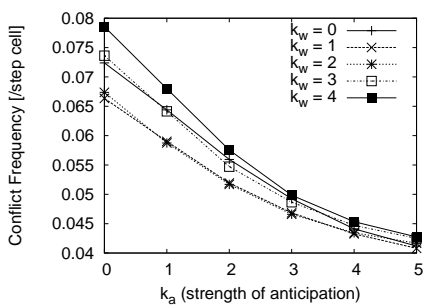


図 5: $d_A = 1$ のときの衝突頻度 [step cell]

図 6: $d_A = 6$ のときの衝突頻度 [step cell]

4 結論と今後の課題

本研究ではフロアフィールドモデルに新たに予測という要素を導入し，曲がり角において強く長い距離の予測を行い回避行動をとることは流量の低下を招くことを明らかにした．また，曲がり角における群集運動には壁も強く影響することがわかった．今後は，横から来る人と衝突しないときは通り抜けるようなモデルや 90 度以外の通路形状の場合を研究していきたい．

参考文献

- [1] A. Kirchner and A. Schadschneider, *Physica A* **312**, 260 (2002).
- [2] K. Nishinari, A. Kirchner, A. Namazi, and A. Schadschneider, *Nonmembers, IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems* **E87-D** NO.3, 726 (2004).