

連結格子セルオートマトンによる密集状態退出シミュレーション

佐原, 亨
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/10.15017/14293>

出版情報：応用力学研究所研究集会報告. 20ME-S7 (21), 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. 21 (pp. 133-135)

連結格子セルオートマトンによる 密集状態退出シミュレーション

佐原 亨 (SAHARA Toru),
西成 活裕 (NISHINARI Katsuhiko)

(Received February 2, 2009)



Research Institute for Applied Mechanics
Kyushu University
February, 2009

連結格子セルオートマトンによる密集状態退出シミュレーション

Simulation of Outflow in Crowd Condition by Connected Grid Cellular Automaton

東京大学大学院工学系研究科 佐原 亨(SAHARA Toru)
東京大学大学院工学系研究科 西成活裕(NISHINARI Katsuhiko)

1. 背景

これまで液体や気体などの流体を解析する手法として Navier-Stokes 方程式や Euler 方程式などを用いて解析を行ってきた。宇宙空間での希薄気体をはじめとする離散流体の場合は Boltzmann 方程式によって記述される。

一方、粉粒体のように多体衝突や回転、変形を繰り返す粒子群や自己の意思を持って動く人の動きなどは運動方程式が立てられず、大胆な近似やモデル化を行って解析を行う。

本研究の目的は人が退出するために出口に殺到する極度の密集状態を想定し、早く退出するための方法を提案することである。極度の混雑により人が自由に動くことができないため、箱の中の粒子の動きでモデル化している。

たとえば混雑するイベント会場、映画館などにおいて、緊急時に早く避難できるような構造を造ることは安全管理上大きなメリットがあるといえる。

2. シミュレーションと条件

2.1. 連結格子セルオートマトン

今回は CA(セルオートマトン)と呼ばれる手法を用いた。

これは粒子シミュレーションの方法のひとつであり、三角格子上に定義した粒子がある決まったルールに従って動くというものである。

これによりルール自体にはプログラムされていなかった粉粒体に独特な挙動を見せる事が知られている。

粒子の定義の仕方としてはひとつの格子にひとつの粒子を対応させる単格子 CA、いくつかの格子をつないでひとつの粒子を定義する連結格子 CA とがあり、今回は粒子にあたる人と出口の大きさが退出流量に大きく関係するためひとつの粒子につき 12 点の格子を用いた連結格子 CA を用いた。粒子は互いに重なることがないという体積排除効果のみが考慮され、回転や反発といった効果はない。

2.2. シミュレーション条件

動かない、という方向も含めた 7 方向への移動確率は Fig. 1 に示すとおりであり、移動方向は Fig. 2 に定義したとおりである。下方向に高い確率で移動するのは 出口へ向かうことに対応している。移動先に壁や他の粒子などが存在した場合は、その粒子は移動しない。多数の粒子が重なりそうになる場合は選ばれた一つのみが移動する。また、10step おきに振動を与えている。

粒子の大きさはすべて半径 3cell とし、出口の大きさはシミュレーションにより変化させた。

また、出口付近に障害物を置くことでかえっ

確率	値
p[0]	0.02
p[1]	0.36
p[2]	0.25
p[3]	0.05
p[4]	0.02
p[5]	0.05
p[6]	0.25

Fig. 1: 移動確率

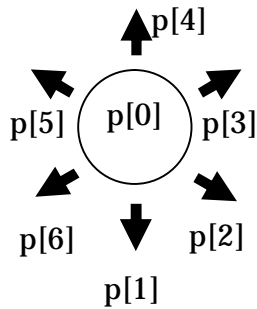


Fig. 2: 移動方向

て退出流量を上げ、人の流れをある程度制御することができるといわれているが、これが密集状態にも当てはまるかどうか検討するために障害物を置いたシミュレーションも行った。障害物は大きさの無視できるポールのようなものとした。

また、現実とモデルとの対応を調べるために3種の出口径を用意して実際に人を用いた実験を行い、値の対応を調べた。

3. 結果、考察

3.1. 出口径と流量

出口径を変えて流量および流動係数を調べたものを Fig. 3 に記す。流量は出口径に対しほぼ線形、より正確には出口径が 10cell 以下ではその 1.1 乗に、10cell 以上では 1.06 乗に比例して増加している。

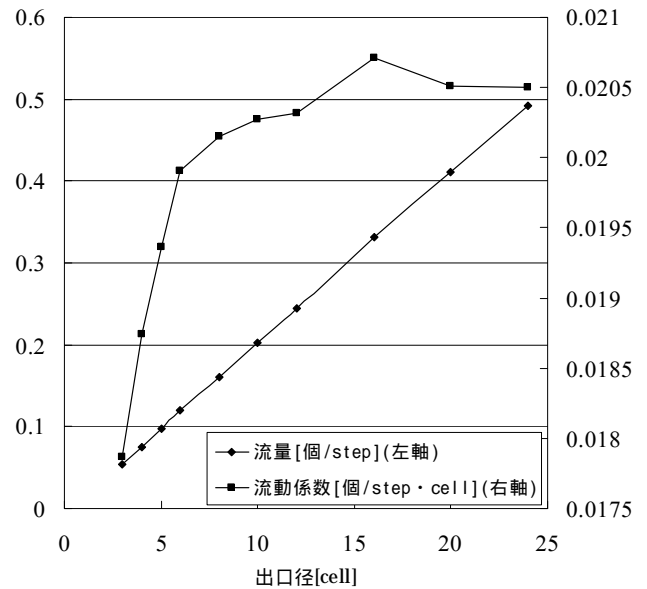


Fig. 3: 出口径と流量、流動係数

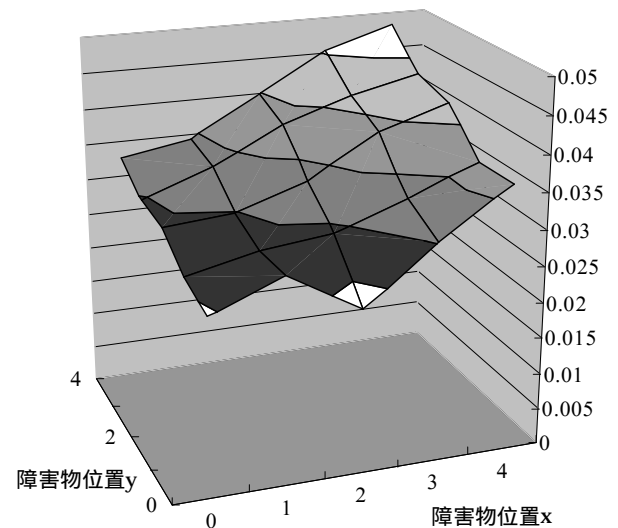


Fig. 4: 障害物位置と流量

z 軸: 流量[個/step]

流量を出口径で割った流動係数は退出の効率を表す。こちらは出口径が 10cell 前後で頭打ちになり始めている。

これにより出口の幅をいたずらに大きくしても効率はあまり上がらないことがわかる。大きな出口は構造上難しいため、人の肩幅の 3~4 倍、つまり 2m ほどの出口を複数作ることで十分であると考えられる。

3.2. 障害物の位置と流量

また、出口径を 6cell に固定し、障害物を置く位置を変えてシミュレーションした結果を Fig. 4 に示す。原点は障害物を出口の中心に置いたものであり、x 座標は斜め上方向に移動した cell 数を、y 座標は真上方向に移動した cell 数を表している。

出口径を 6cell とした今回のシミュレーションでは障害物の位置が出口から離れれば離れるほど流量は増加することがわかる。しかし、そのうち最大になったものでも、障害物を置かないほうが流量は大きく、退出速度を速める目的であれば障害物の設置効果はないものとしてよい。

3.3. 平均速度場

また、出口径 6cell としたシミュレーションの出口付近の平均速度場を Fig. 5 に示す。

いずれも出口から出た後は出る前に比べて著しく平均の速さが増していることがわかる。また、障害物を置いた場合は出口前での流れが分散しているが、出口面およびその直後ではかえって集中してしまっていることがわかる。

3.4. 現実との対応

人を用いた実験で計測した出口径、流量とシミュレーションの比較の結果、以下のような対応が得られた。

$$\begin{aligned} 1\text{cell} &= 0.15\text{m} \\ 1\text{step} &= 0.37\text{sec} \end{aligned}$$

4. まとめと今後の課題

今回のシミュレーションから、密集状態に対応するための適した出口径について知見が得られた。一方、障害物による人の流れの制御に関しては期待した流量増加や整流効果は見られなかった。後者に関しては異なる条件でシミュレーションを行い、期待した効果を得られる

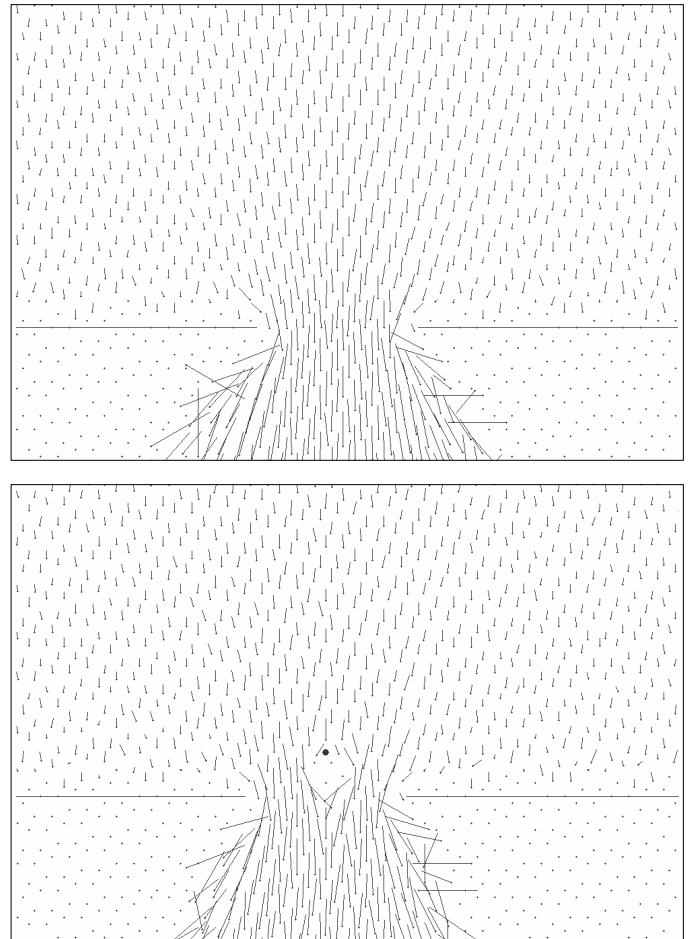


Fig. 5: 出口付近の平均速度場
上: 障害物なし 下: 障害物あり

場合があるかを検討する必要がある。

また、今回は対照実験が回数、種類ともに十分言えず、それらを行うことでモデルと現実との対応、先に述べた知見の正当性について突き詰めてゆく必要がある。

[参考文献]

- [1] 粉体工学会編 粉体シミュレーション入門 産業図書株式会社 1998
- [2] J.Duran Sables,poudres et grains, Eyrolles Sciences 1999