

# 避難行動に及ぼす避難者同士の干渉の影響

竹内裕貴<sup>1</sup>，山本和弘<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 名古屋大学大学院 工学研究科 機械理工学専攻

## 概要

避難を要するような緊急事態では、パニックにより適切な避難行動をとることは難しい。この場合、避難者同士がぶつかり合う状況が想定されるため、避難者同士の干渉を正確に評価することは困難である。そこで本研究では、実数型セルオートマトン法（RCA 法）により避難者が交差する避難シミュレーションを行った。部屋内に二つの出口を設置し、個々の避難者が利用する出口を限定することにより避難者同士をあえて交差させた。また、避難者全員が同じ速度を持つ場合と個々の速度が異なる場合を比較して検討した。ただし平均の速度は同じとした。避難の過程及び避難時間を調べることで避難者同士が干渉する影響を明らかにした。

## Effects of interaction between evacuees on evacuation dynamics

Yuki Takeuchi<sup>1</sup>, Kazuhiro Yamamoto<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Mechanical Science and Engineering, School of Engineering, Nagoya University

## Abstract

As for evacuation in case of emergency, we could not take a right action in a panic situation. Since it is expected that there are conflicts between evacuees, it is difficult to evaluate the evacuees' interaction. In this study, we simulated a room evacuation with two exits to consider the crossing-flow of evacuees, where each evacuee is forced to use the either exit fixed before evacuation. Two cases were considered: one is that all evacuees move at the same speed, the other is that each evacuee moves at different speed. For two cases, the averaged velocity is the same. Based on the evacuation process and the evacuation time, effects of interaction between evacuees were discussed.

## 1 はじめに

災害が起きた場合の被害を抑制するためには、建物などの構造物の安全性を確保する必要がある。しかし、近年の都市システムの高度化および複雑化に伴い、総合的な防災体制を構築するためには、構造物自体の防災化だけでなく避難する人間の行動を予測して具体的な対策を取ることが求められる[1,2]。これには実際の災害を想定したデモ実験を行い、避難時のデータを蓄積することが望ましいが、膨大なコストや時間がかかるため現実的ではない。そこで、数値シミュレーションにより避難行動をモデル化することで、避難時の安

全性を評価することは有効である[3-6]。避難を要する緊急事態では、開かれた感じのする方向へ逃げようとする向開放性、安全と思い込んだ経路をとる理性的安全思考性、多くの人が逃げる方向を追う追従性、などの人間行動特性が報告されている[7]。個々の避難者が様々な行動を起こすことで、互いに進行を妨げるような避難者同士の干渉を正確に評価することは困難であり、歩行者交差流を対象に渋滞形成に及ぼす歩行者の影響を検討した研究が行われている[8]。

本研究では、二つの出口を設けた部屋を対象とする。個々の避難者が利用する出口を限定することにより避難者同士をあえて交差さ

せた。また、避難者全員が同じ速度を持つ場合と個々の速度が異なる場合を比較して検討した。避難の様子及び避難時間を調べることで避難者同士が干渉する影響を考察した。

## 2 計算領域

本研究で用いた実数型セルオートマトン法 (Real-Coded Cellular Automata, RCA 法[3-6]) について簡単に説明する。隣接するセル上を単純に移動する従来のモデルとは異なり、任意の速度と方向を自由に設定できる。避難者の移動方向は、出口からの距離であるフロアフィールドにより決定する。これにより、避難者は出口まで最短経路をたどる。

今回は、出口を二つ設けた部屋からの避難を想定し、個々の避難者が利用する出口を限定することにより避難者同士をあえて交差させた。全ての避難者が最も近い出口に向かう場合を Case A、初期配置の時点で遠い方の出口に向かう場合を Case B、避難者が向かう出口をあらかじめランダムに設定した場合を Case C とした。部屋に設定した各出口のフロアフィールドを図 2 に示す。フロアフィールドの値は出口までの距離で与えられ、青色から赤色に変わるほどその値は大きい。上記の 2 種類の避難者は利用する出口によりどちらかのフロアフィールドを参照することになる。

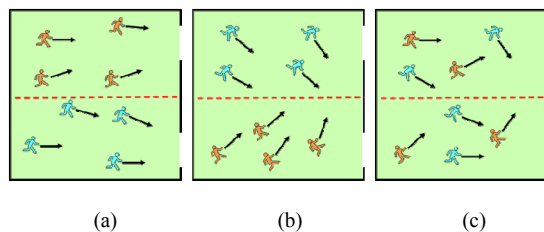


図 1 避難者の行動 (a) Case A, (b) Case B, (c) Case C

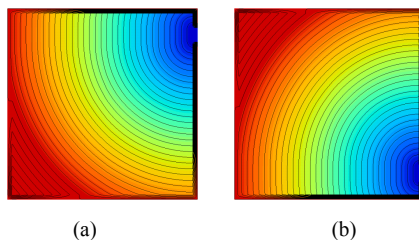


図 2 フロアフィールド; (a) Exit 1, (b) Exit 2

次に、計算条件について説明する。部屋は  $16\text{m} \times 16\text{m}$  とし、各出口の幅は  $1.6\text{ m}$  とした。今回は避難者全員の移動速度  $V$  を  $1.6\text{ m/s}$  とした場合と、 $1.2 \sim 2.0\text{ m/s}$  の間でランダムの値を与えた場合とを考えた。ただし、避難者全員の平均速度は  $1.6\text{ m}$  である。なおシミュレーションは、避難者の初期配置を変えて 5 回行った。避難者の初期配置人数  $N$  を変え、避難時間の平均値を求めて検討した。

## 3 計算結果及び考察

### 3.1 避難者全員が同じ速度の場合

初めに、全員の避難速度を  $1.6\text{ m/s}$  一定とし、100 人の避難者が避難する様子を比較した。まず、Case A の結果を図 3 に示す。シミュレーション開始後の経過時間が  $t = 0, 4, 10\text{ s}$  における避難者の位置と移動方向を示している。ここで、オレンジ色は Exit 1 に向かう避難者、青色は Exit 2 に向かう避難者を表している。いずれの避難者も出口に向かい集団となって移動している様子が観察される。また  $t = 4\text{ s}$  では、同じ出口に向かった避難者によってボトルネックが発生し始めている。 $t = 10\text{ s}$  では、ボトルネックが形成されていることが確認できる。この後、避難者全員が避難できた時間 (避難時間) は約 18 秒であった。

Case B と Case C でも同じ条件で計算し、比較した。Case B の結果を図 4 に、Case C の結果を図 5 に示す。Case B において、各出口に向かう避難者は集団となって移動している様子が確認できる。また  $t = 4\text{ s}$  では、部屋の中央で避難者同士が交差している様子が見られる。 $t = 10\text{ s}$  での出口付近の様子を Case A と比較すると、ボトルネックの大きさは Case B の方が大きいことがわかる。これは、部屋中央で避難者同士が干渉するため避難時間が余計にかかり出口での渋滞がひどくなったためであると思われる。その後、避難が完了するまでの時間は約 26 秒であった。また Case C において、 $t = 4\text{ s}$  では、Case A に比べ部屋中央で避難者同士が進行を妨げているものの、Case

B に比べると部屋中央の避難者の密度が小さい。また、 $t = 10 \text{ s}$ における出口付近のボトルネックの大きさが Case B よりやや小さくなった。Case C の避難時間は約 21 秒であり、Case A と Case B の間の値であった。

次に、部屋内の初期配置人数を変えてシミュレーションを行った。 $N = 20 \sim 140$ 、全員の移動速度を  $V = 1.6 \text{ m/s}$  一定としたときの避難時間  $T_E$  を図 6 に示す。いずれの場合も  $N$  が増加するにつれ避難時間も増加していることがわかる。Case A から Case C を比較すると、 $N = 20$  のとき避難時間に差異はないが、40 人以上では Case A が最も避難時間が短く、Case B が最も避難時間が長くなった。これは、避難者の数が増加するにつれて避難者同士の干渉の影響が増えるためと考えられる。

ただし、Case A と Case B では出口までの距離が違うため、避難時間に差が現れるのは明らかである。そこで、Case B において部屋の下半分のみに避難者を配置し、異なる出口へ向かう避難者同士が衝突しない計算を行った (Case B' とする)。図 7 は Case B' において  $N = 50$ 、 $V = 1.6 \text{ m/s}$  でシミュレーションを行った結果である。これによると、避難者同士が交差することではなくレーン形成して避難していることがわかる。 $t = 10 \text{ s}$  では、ボトルネックの大きさが Case A に比べて大きい、Case B より小さい。

次に、Case B' において  $N = 20 \sim 140$ 、移動速度は  $V = 1.6 \text{ m/s}$  として避難時間を求めた。ただし、Case B' では初期配置人数が半分となるため、単純に避難者の数で避難速度を整理できない。そこで、配置した人数を配置した面積 ( $\text{m}^2$ ) で割った初期配置密度  $\rho$  をもとに検討した。避難時間を求めた結果を図 8 に示す。これによると、 $\rho$  が最も小さい場合を除いて Case B の方が Case B' よりも避難時間が大きいことがわかる。これは、避難者同士の干渉による違いであると考えられる。また、Case B' と Case A を比べると、 $\rho$  が 0.23 まではほぼ同じ避難時間であるが、それを越えると避難時間が Case B' の方が大きくなった。

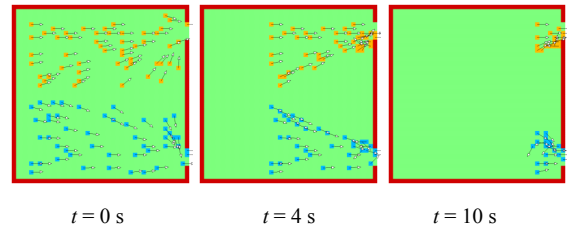


図 3 各時刻における避難の様子 (Case A,  $N = 100$ )

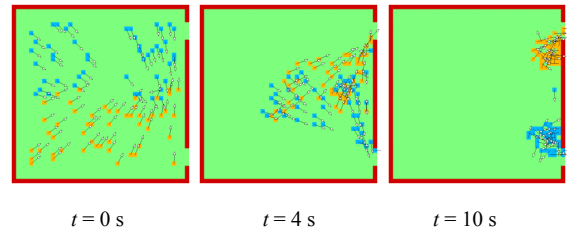


図 4 各時刻における避難の様子 (Case B,  $N = 100$ )

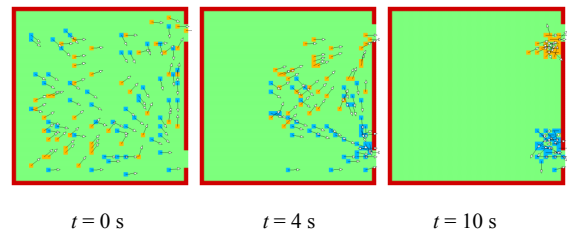


図 5 各時刻における避難の様子 (Case C,  $N = 100$ )

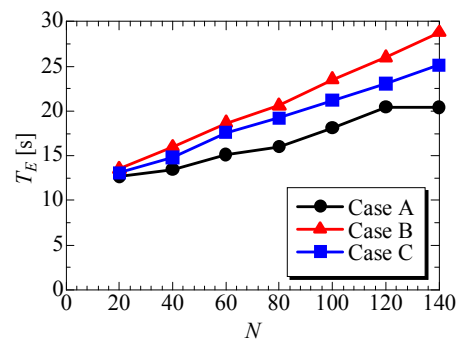


図 6 避難時間の比較

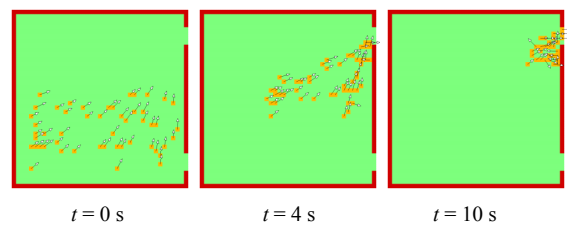


図 7 各時刻における避難の様子 (Case B',  $N = 50$ )

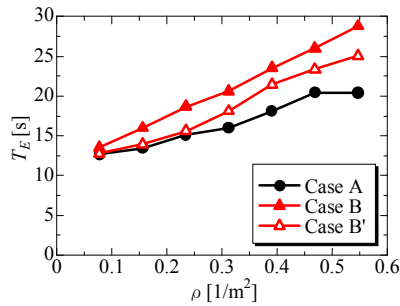


図8 初期配置密度に対する避難時間

### 3.2 避難者が異なる移動速度を持つ場合

次に、個々の避難者の移動速度が異なる場合について検討した。 $N=20\sim140$  とし、避難者の移動速度を  $1.2\sim2.0$  m/s の間でランダムに与えた場合を Case A'' とし、全員の移動速度が  $1.6$  m/s とした Case A と比較した。避難時間を求めた結果を図9に示す。これによると、避難者が60人以上になると Case A'' の方が避難時間は短くなった。

Case B と Case C でも同様の比較を行った。個々の避難者が異なる速度で移動した場合と一定の速度で移動した場合の避難時間の差を求めて検討した。避難時間の差  $\Delta T_E$  を図10に示す。これによると、Case A から Case C の場合でも  $\Delta T_E$  が正の値となった。すなわち、個々の避難者が異なる速度で移動した方が避難時間が短くなることがわかった。おそらく移動速度により出口に到達する時間に差が出るため、渋滞が起きにくくなったものと思われる。

## 4 まとめ

本研究では、二つの出口がある部屋の避難シミュレーションを行い、避難同士の干渉の影響を検討した。その結果、以下のことがわかった。

- 1) 避難者同士の干渉が多く存在する Case B が最も避難時間が長くなり、避難者同士の干渉がない Case A は避難時間が最も短くなる。Case C は干渉し合う避難者が Case B より減少するため Case A と Case B の間の避難時間となる。
- 2) 部屋の下半分のみ避難者を配置した Case B' を Case B と比較した結果、避難者同士

の干渉により避難時間が増えることがわかった。

- 3) 避難者の移動速度が全員同じ場合よりも個々の避難者が異なる速度で移動した方が避難時間は短くなる。

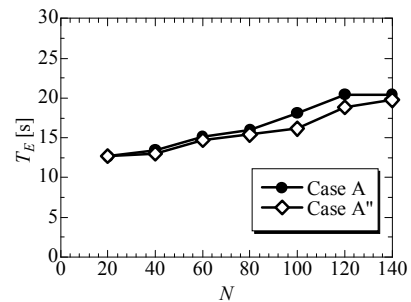


図9 Case A における避難時間

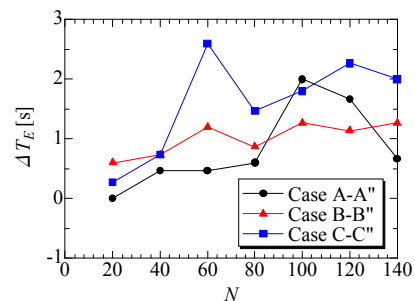


図10 移動速度を変えた場合との避難時間の差

## 参考文献

- [1] 横山忠史他, 土木学会論文集, **441**, 107 (1992).
- [2] 佐藤博臣他 6 名, はじめて学ぶ建物と火災, 共立出版, 240 (2007).
- [3] K. Yamamoto, et al., Lecture Notes in Computer Science, LNCS 4173, 728 (2006).
- [4] K. Yamamoto, S. Kokubo, K. Nishinari, Physica A **379**, 654 (2007).
- [5] 山本和弘他, 第17回交通流のシミュレーションシンポジウム論文集, 117 (2011).
- [6] 竹内裕貴他, 第18回交通流のシミュレーションシンポジウム論文集, 17 (2012).
- [7] 古田富彦, 国際地域学研究, 第6号, 239 (2003).
- [8] 高橋大樹他, 第17回交通流のシミュレーションシンポジウム論文集, 113 (2011).