

パニック時の避難行動シミュレーション

竹内裕貴¹, 山本和弘¹, 錦慎之助²

¹ 名古屋大学大学院 工学研究科 機械理工学専攻

² 鹿児島大学大学院 理工学研究科 機械工学専攻

概要

建物の火災や航空機事故の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。しかしながら、パニック時の行動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）によりパニック時の避難シミュレーションを行った。部屋内に複数の出口を設置し、避難者の数、移動速度、出口の幅を変えて避難の様子や避難経路を検討した。また、避難時間をもとに避難行動に及ぼすパニックの影響を考察した。

Evacuation Simulation in a Panic Situation

Yuki Takeuchi¹, Kazuhiro Yamamoto¹, Shinnosuke Nishiki²

¹ Department of Mechanical Science and Engineering, School of Engineering, Nagoya University

² Department of Mechanical Engineering, School of Science and Engineering, Kagoshima University

Abstract

In emergency situations such as fire evacuation and flight accidents, we could not take a right action in a panic situation. However, it is still difficult to give a precise definition of panic. In this study, we simulated a room evacuation in a panic situation. In the simulation, we changed the number of people in the room, the evacuation speed, and the location and size of the exit. Based on the evacuation time, we discussed the effect of panic in the evacuation dynamics.

1 はじめに

建物を計画する際の一優先事項の一つとして、避難の安全性を評価することが挙げられる。避難計画には建築物の構造的な安全性だけでなく、避難者の動き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し評価することは有効である[3-7]。

建物の火災や航空機事故の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。パニックとは「恐怖や不安に駆られた人々のヒステリックな集合的逃走および混乱的状况」を意味している。例えば、パニック時は恐怖に駆られて理性を失い、ヒステリックになって他者とぶつかりながら、出口に向かって突進する、などのような行動をとることが知られている[8,9]。しかしながら、パニック時の行動を正確に評価することは困難である。

本研究では、複数の出口を設置した 3 種類の部屋を対象に、避難者の移動速度を変えてパニック時の避難シミュレーションを行った。ここで、各部屋の出口の幅の合計は一定とした。避難者の人数を変えて避難時間を求め、避難行動に及ぼすパニックの影響を考察した。

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[3-7]) について簡単に説明する。この手法では、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、セルによらず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ことができる。

次に、パニック時の避難行動について説明する。緊急時の避難行動には、明るい方を目指して逃げる向光性、開かれた感じのする方向へ逃げようとする向開放性、炎や煙から遠ざかろうとする本能的危険回避性、安全と考えた（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、などがあること報告されている[8]。そこで、通常の避難者と同じ方向に向かうものの、フロアフィールドにより最短の経路をとる移動方向に対して ± 90 度以内の角度だけずれた角度をランダムに選んで移動する動きを入れて、パニックになった避難者を模擬した。パニックに陥った避難者は、全体の 20%をランダムに選択した。このようなパニックの避難者がいることにより、避難者間の渋滞が生じ、パニックの影響が現れることになる。実際にどの程度の避難者がパニックを起こしているかはデータがなく、今後の検討課題となる。

今回は部屋からの避難を想定した。シミュレーションに用いた 3 種類の部屋を図 1 に示す。合計の出口の幅を一定とし、出口の幅 W と出口の数を変えている。Case A は出口の数が一つで、出口幅は 2.4 m である。Case B と Case C は、それぞれ出口の数が二つと三つであり、出口幅は 1.2 m と 0.8 m とした。図 2 は 3 種類の部屋に設定したフロアフィールドを示す。フロアフィールドの値は出口までの距離で与えられ、それぞれの避難者がいる位置のフロアフィールドをもとに出口までの最短経路を決定する。

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、確率を用いて出口から避難できる人を選択することで、避難者の流出係数が $1.5 \text{ 人}/(\text{m} \cdot \text{s})$ になるように調整した[7]。今回は避難者全員の移動速度 V を同じ値とし、 V を 0.8, 1.6, 2.0 m/s とした。また、部屋内の避難者の初期配置人数 N も変えた。なお、シミュレーションは避難者の初期配置を変えて 5 回行い、避難時間の平均値を求めて検討した。

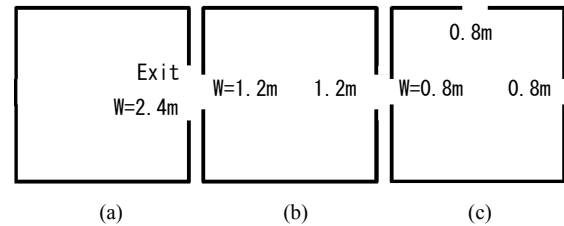


図 1 3 種類の部屋; (a) Case A, (b) Case B, (c) Case C

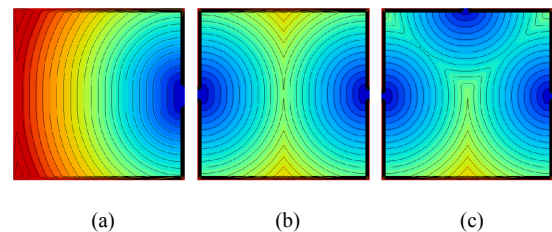


図 2 フロアフィールド; (a) Case A, (b) Case B, (c) Case C

3 計算結果及び考察

3.1 避難の様子

初めに、 $N = 100$ 、 $V = 1.6 \text{ m/s}$ とし、3 種類の部屋から避難する様子を比較した。まず、出口が 1 つの 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 $t = 0.33, 5.0, 9.0 \text{ s}$ における避難者の位置と移動方向を示している。ここで青色は、出口までの最短経路をとって移動する通常の避難者を表しており、オレンジ色はパニックになった避難者を表している。いずれの避難者も出口に向かって移動している様子が観察されるが、パニックになった避難者はジグザグの経路をたどりながら避難していることがわかる。また $t = 5.0 \text{ s}$ では、出口において避難者が渋滞し、ボトルネックが発生しはじめている。この後、

全員が避難できた時間（避難時間）は約 30 秒であった。

Case B と Case C においても同じ $N = 100$ 、 $V = 1.6\text{m/s}$ でシミュレーションを行い、比較した。 $t = 0.33, 3.0, 9.0\text{ s}$ における Case B の結果を図 4 に、 $t = 0.33, 2.0, 9.0\text{ s}$ における Case C の結果を図 5 に示す。Case B では $t = 3.0\text{ s}$ にボトルネックが発生するのにに対し、Case C では $t = 2.0\text{ s}$ であった。Case A に比べて Case B と C では出口幅が狭いため、ボトルネックが発生しやすかったものと思われる[4]。また、Case A に比べて出口までの距離が短いため、早い段階で避難者が出口に到達でき、ボトルネックが早く形成されたものと思われる。

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。 $N = 20\sim 200$ 、移動速度 $V = 1.6\text{m/s}$ とした時の避難時間 T_E を図 6 に示す。いずれの場合も初期配置人数が増えるにつれて避難時間が大きくなった。ただし、初期配置人数に対する避難時間の傾向が Case A から C で大きく異なった。初期配置人数が少

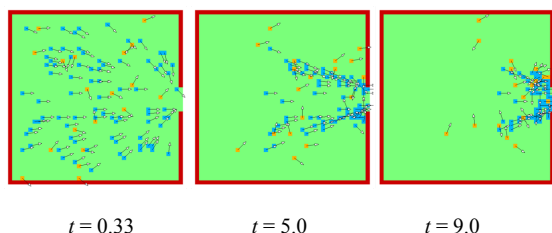


図 3 各時刻における避難の様子 (Case A, $N = 100$)

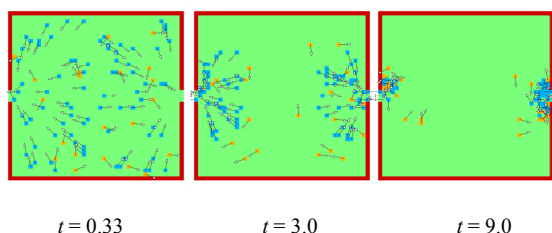


図 4 各時刻における避難の様子 (Case B, $N = 100$)

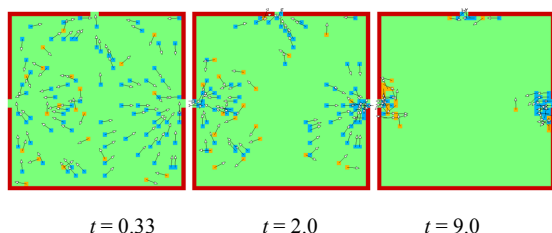


図 5 各時刻における避難の様子 (Case C, $N = 100$)

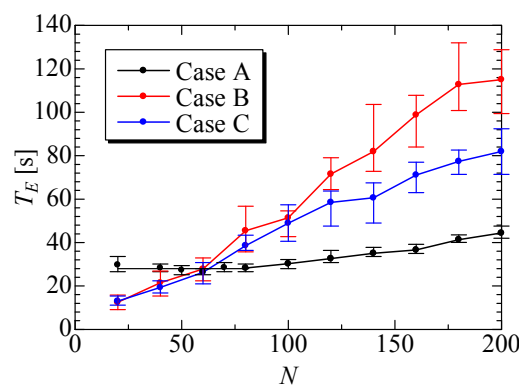


図 6 部屋ごとの避難時間

ない場合、避難経路が一番長くなる Case A が避難時間は長い、 $N = 60$ 以上になると Case B と Case C の避難時間が大きく増えた。また、Case B の避難時間が一番長い。図 4 によれば、出口幅が大きい Case B でも避難者が多いとボトルネックが発生している。Case C でもボトルネックは発生するが、Case B は出口が二つしかなく、Case C より避難者が集中することになる。このため渋滞がなかなか解消されず、避難時間が特に長くなったものと思われる。

3.2 避難者の移動速度の影響

次に、移動速度の影響を調べた。 $N = 20\sim 200$ とし、移動速度 $V = 0.8, 1.6, 2.0\text{ m/s}$ とした時の Case A における避難時間を図 7 に示す。これによると、早く移動できるほうが避難時間は単純に短くなった。したがって、パニックに陥った避難者がいた場合でも、全員が早く移動できるほうが避難時間は短くなることがわかった。

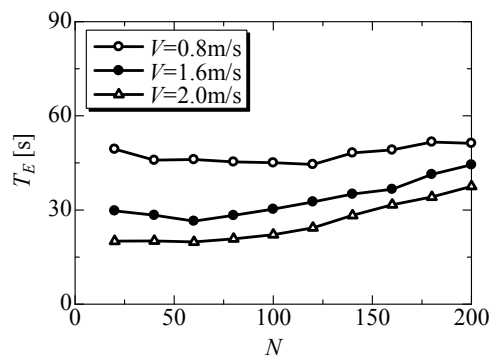


図 7 移動速度を変えた時の避難時間 (Case A)

3.3 パニックの影響

最後に、パニックの有無の影響を明らかにするため、パニックに陥った避難者がいる場合と全員が通常の避難者である場合とを比較した。Case A の部屋を対象に、初期配置人数を $N=20 \sim 200$ 、移動速度を $V=1.6\text{m/s}$ としたときの結果を図 8 に示す。ただし、Case A の部屋でパニックを考慮しない場合を Case A' とした。これによると、 N が小さい時にはパニックを起こす避難者がいる方が避難時間は長くなった。パニックを起こしている人は避難経路が長くなり、また、最短の避難経路をたどる人の障害にもなるためであると思われる。ただし、 $N=150$ 以上になると両者の避難時間がほとんど同じになった。これはおそらく、避難者が多くなると出口でのボトルネックが解消されず、通常の避難者とパニックに陥った人が出口に集中するため、両者の避難時間がほとんど同じになるためであると思われる。

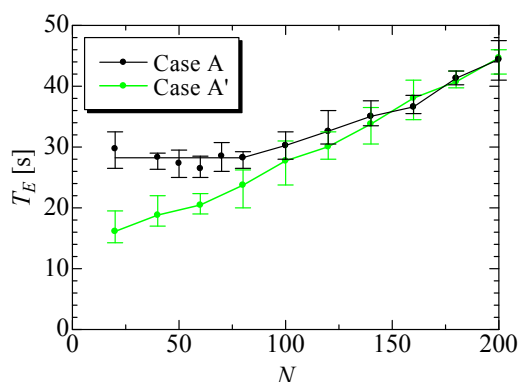


図 8 Case A における避難時間

4 まとめ

本研究では、出口の数と幅を変化させた 3 種類の部屋を考慮し、実数型セルオートマトン法 (RCA 法) により避難シミュレーションを行った。3 種類の部屋において、出口の幅の合計は一定にした。特に今回は、パニックの避難者を出口までの最短経路をたどらない避難者としてモデル化した。また、避難者の速度と人数を変えて避難時間を求め、避難行動に及ぼすパニックの影響について検討した。その結果、以

下のことがわかった。

- 1) 部屋の種類によらず、初期配置人数が増えるにつれて避難時間は単調に長くなる。ただし、初期配置人数に対する避難時間の傾向が Case A から C で大きく異なる。初期配置人数が少ない場合、避難経路が一番長くなる Case A が避難時間は長い、 $N=60$ 以上になると Case B と C の避難時間が大きく増える。
- 2) 移動速度を 0.8, 1.6, 2.0 m/s としたところ、避難者が早く移動できるほうが避難時間は単純に短くなる。したがって、パニックに陥った避難者がいた場合でも、全員が早く移動できるほうが避難時間は短くなる。
- 3) パニックに陥った避難者がいる場合とない場合を比較した。初期配置人数が少ない時にはパニックを起こす避難者がいる方が避難時間は長くなる。ただし、避難者が多くなると出口でのボトルネックが解消されず、通常の避難者とパニックに陥った人が出口に集中するため、両者の避難時間がほとんど同じになる。

参考文献

- [1] 佐藤博臣他, はじめて学ぶ建物と火災, 共立出版 (2007).
- [2] T. Hirano, Proc. Combust. Inst. **29**, 167 (2002).
- [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] 小久保聡, 山本和弘他, 日本機械学会論文集 (B 編) 第 74 巻 748 号, 2724 (2008).
- [6] 山本和弘他, 第 14 回交通流のシミュレーションシンポジウム論文集, 9 (2008).
- [7] 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).
- [8] 古田富彦, 国際地域学研究, 第 6 号, 239 (2003).
- [9] 釘原直樹, 安全工学シンポジウム講演予稿集, 4 (2012).