

避難状況の数値シミュレーションと出口数の影響

野々村陸¹, 山本和弘¹

¹名古屋大学 工学部 機械航空工学科

概要

災害発生時の被害を抑制するためには、発生源の早期発見と適切な避難経路の確保が求められる。しかし、入手できる情報が限られていることから、避難を円滑に進めることは実用上難しい。そこで、非常時緊急救命避難支援システム (ERESS: Emergency Rescue Evacuation Support System)の開発が行われている。本システムを実現するためには被災者の行動を分析し、災害が発生したかどうかの判定を行う必要があるが、実際の災害を想定したデモ実験を行うことは、費用や安全面の観点から困難である。そこで本研究では、実数型セルオートマトン法(RCA 法)を用いた避難シミュレーションを行い、使用する出口の数を変化させて初期配置人数や出口幅が避難状況に与える影響を検討した。

Numerical simulation of evacuation dynamics affected by number of exit

Riku Nonomura¹, Kazuhiro Yamamoto¹

¹Department of Mechanical and Aerospace Engineering, Faculty of Engineering, Nagoya University

Abstract

In order to suppress damage in an emergency situation, it is required to find its source and set an appropriate evacuation route. Then, Emergency Rescue Evacuation Support System (ERESS) has been developed. To realize this system, we need to analyze evacuee's behavior and judge the occurrence of the emergency situation. However, in reality, it is difficult to conduct demonstration experiments due to the aspects of cost and safety. In this study, we simulated evacuation dynamics with RCA model to consider the evacuation situations by changing the number of evacuees' number and exit width.

1 はじめに

近年、世界中でさまざまな災害が発生しているが、多数の被災者が出るケースも多い。中でも火災は日常的に発生しており、日本における建物火災の発生件数は年間3万件を超える。災害が発生したときの被害を最小限に抑えるためには、発生源の早期発見と適切な避難経路の確保が求められる[1]。しかし、入手できる情報が限られていることから、避難者がパニックに陥る可能性もあるため、避難を円滑に進めることは実用上難しい[2]。

そこで現在、和田らの研究グループは災害時の救助・避難支援を目的とした『非常時緊急救命避難支援システム(ERESS: Emergency Rescue Evacuation

Support System)』の開発を行っている[3]。本システムは災害時においてリアルタイム性の高い情報を被災者に提供し、緊急避難支援を行うものである。本システムを実現するためには、被災者の行動を分析し、災害が発生したかどうかの判定を行う必要がある。しかし、実際に災害は、建物の形状、避難者の数、災害の発生状況など多くの要素がある。そこで、実際の災害を想定したデモ実験を行うことは、費用や安全面の観点から困難である。そこで、数値シミュレーションにより実際の災害を想定し、様々なデータを蓄積する手法は有効である。

本研究では火災やテロを想定した和田らのモデル実験を参考に、実数型セルオートマトン法により避難シミュレーションを行うことにした。そのモデ

ル実験では、複数の出口が存在するときの避難状況を再現している。そこで、避難支援システムにより出口の数が制限されたときの避難状況を数値シミュレーションにより検討した。避難者の初期配置人数を変えたときの避難時間の変化を調べることで、出口の数が避難状況に与える影響について検討した。また、使用する出口の幅を変えたときの検討も行った。

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) 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 CA モデル[4-6]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[7-10]。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 (部屋内の各点から出口までの距離) 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。

今回の研究で対象とした部屋を図 1 に示す。和田らの研究グループは、災害を想定したモデル実験を行っている。そこで、モデル実験において使用した部屋を参考に、部屋の規模、通路や出口の位置を決定した。空間は仕切り板によって区切ることで通路とし、複数の出口を設定した。左下の出口から順に出口 1 から出口 4 となっている。ただし本論文では、出口 2 から 4 の 3 つの出口を使用した。それぞれの出口を使用したときに得られたフロアフィールドを図 2 に示す。出口 2 から 4 とこれら 3 つの出口すべてを使用した場合のフロアフィールドを示したが、出口から近いほど青、遠いほど赤で示した。

次に計算条件について説明する。格子間隔は 0.4 m [7-10]、避難者の移動速度 V は 1.6 m/s で一定とした。今回のシミュレーションでは初期配置人数 N と出口幅 W を変化させて避難時間に対する影響を考察した。なお、避難時間等は各条件に対し初期配置を変えて 10 回ずつ計算を行い、平均値を用いて検討を行った。ただし、初期配置のみによる避難時間の差が出ないように部屋の四隅に必ず 1 人は避難者を配置するようにした。

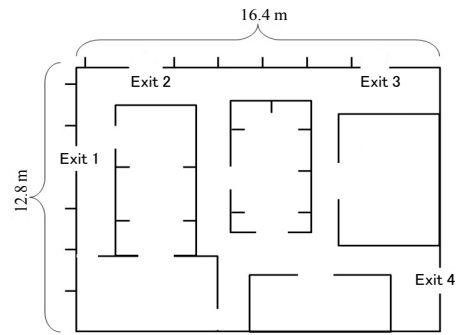


図 1 部屋の見取り図

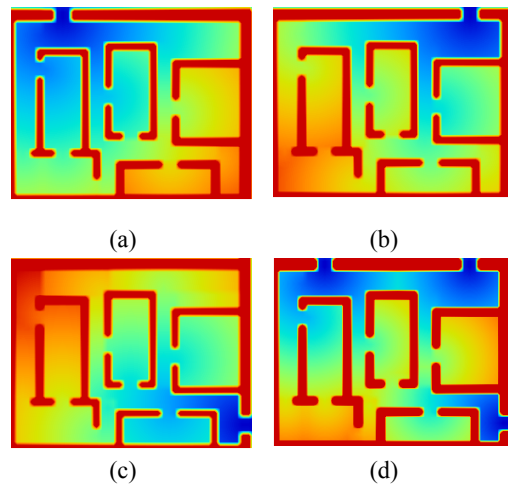


図 2 フロアフィールド;

(a) Exit 2, (b) Exit 3, (c) Exit 4, (d) Exit 2, 3, 4

3 計算結果及び考察

3.1 出口の数の影響

まず、出口の幅を $W=1.2$ m で固定し、使用する出口の数を変えて比較した。図 3 に初期配置人数 N と避難時間 T_E の関係をまとめた結果を示す。また $N=40$ の場合について各時刻の実際の避難の様子を図 4~図 6 に示す。

初期配置人数が 20 人より少ない領域ではいずれの出口を使用した場合についても T_E はほぼ一定値となっている。初期配置人数が少ない範囲では出口付近で避難者の流れが渋滞する現象 (ボトルネック) が発生しないため、 T_E は出口から最も遠い場所にいる避難者により決定されると考えられる[8]。ただし、初期配置人数が 20 人を越えた領域では出

口が一つのグループ、二つのグループ、三つのグループの避難時間はそれぞれ似た傾向を示した。

ここで得られた避難時間について考察する。まず出口が三つの場合の図6では避難者が40人ではボトルネックが形成されていないことが分かる。出口が二つの場合の図5では、 $t=5\text{ s}$ において出口2付近で避難者が渋滞している様子が確認できた。また部屋内の別の場所でもある程度スペースがあると、出口以外の場所でも避難者が渋滞していた。したがって、出口以外にもボトルネックが形成されて避難時間が増大することが分かった。一方出口が一つの場合では、図4の $t=10\text{ s}$ においてボトルネックが形成されている。以上により避難者の数が増えると避難者同士の干渉[10]によって避難時間はゆるやかに増加し、ボトルネックが形成されるとほぼ直線的に増加していくことが分かった。

次に各時刻においてそれぞれの出口を抜けた人数に着目して検討した。図7に出口2から避難した人数を示す。ここで M は、単位時間あたりに出口2より避難できた人数を表す。また、ある時刻までに避難が完了した合計人数 N_t を図8に示す。図7によると、出口の数が多いほど出口2を利用する人の避難完了時間は短くなっている。ただし、 $t=14\text{ s}$ までの時刻では、出口2から避難した人数は出口の数によらずほぼ同じであった。すなわち、利用できる出口が少なくても特定の出口に集中するわけではないことが分かった。したがって、火災などが原因で避難支援システムにより出口の数を制限した場合でも、避難者は直近の出口に向かうことで各出口に近い人から順に避難するため、特定の出口に避難者が集中する状況を考慮する必要がないと言える。ただし、使用できる出口の数が少ないと単位時間あたりに避難できる総避難者数は少なくなるので、避難が完了する時間は遅くなる。

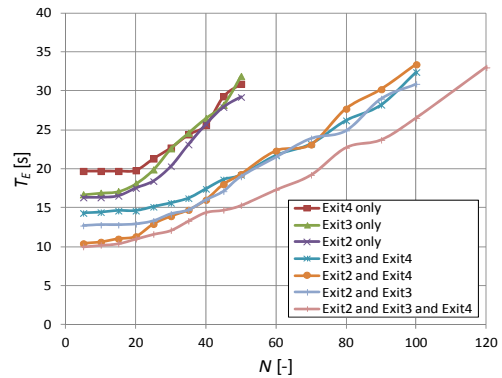
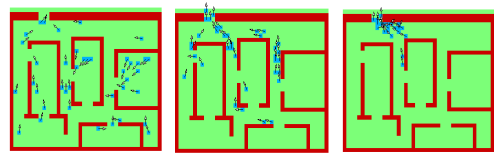
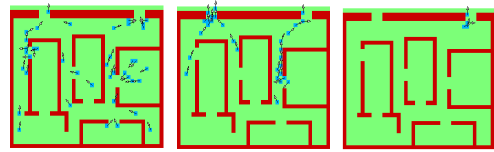


図3 出口ごとの避難時間の変化



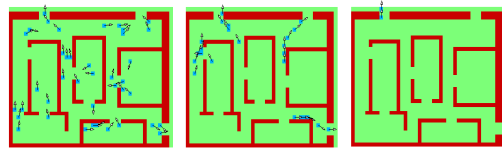
$t=0.3\text{ s}$ $t=5\text{ s}$ $t=10\text{ s}$

図4 各時刻における避難の様子 ($N=40$, Exit 2)



$t=0.3\text{ s}$ $t=5\text{ s}$ $t=10\text{ s}$

図5 各時刻における避難の様子 ($N=40$, Exit 2, 3)



$t=0.3\text{ s}$ $t=5\text{ s}$ $t=10\text{ s}$

図6 各時刻における避難の様子 ($N=40$, Exit 2, 3, 4)

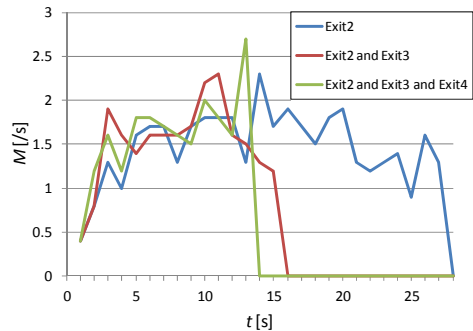


図7 単位時間あたりに出口2を抜ける人数の推移

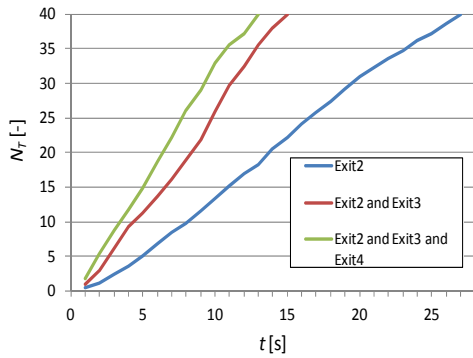


図8 ある時刻までの総避難者数

3.2 出口幅の影響

出口2のみを使用し、出口幅を変化させて避難時間を調べた。 $N=40$ の場合の $t=12$ sにおける避難状況を図9に示す。出口幅が小さいほど出口に避難者が集中し、より大きなボトルネックが形成されていることが分かる。

次に、出口の幅を0.8 mから2.4 mまで変化させて避難時間を調べた。初期配置人数 N と避難時間 T_E の関係を図10に示す。これによると、出口幅が2.0 m以上の場合は、初期配置人数が50人以下の範囲では T_E に変化は見られなかった。ただし、それより小さい場合は出口幅が狭いほどボトルネックが少ない人数で発生し、 T_E が増加することが分かった。

4 まとめ

本研究では、複数の出口が存在するときの避難状況を再現し、避難者の数と出口幅を変えて出口の数に制限された影響を検討した。

- 1) 初期配置人数が20人を超えると避難者同士の干渉により避難時間は緩やかに増加する。初期配置人数が40人になると出口数が二つ以下の場合は部屋内の通路や出口においてボトルネックが発生する。ボトルネック発生以後は避難時間は直線的に増加する。
- 2) 使用できる出口の数が少ないと避難が完了する時間は遅くなる。ただし、利用できる出口が少なくても避難者は直近の出口に向かい、各出口に近い人から順に避難するため、特定の出口に集中する状況は見られない。
- 3) 使用する出口を一カ所に固定した場合は、出

口幅が広いほど全体の避難時間は初期配置人数の影響を受けにくく、形成されるボトルネックは小さくなる。

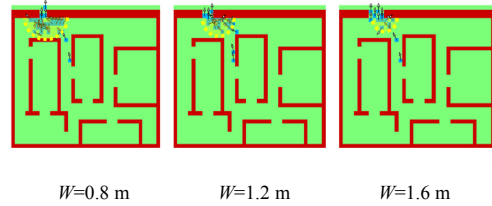


図9 異なる出口幅における避難状況 ($N=40, t=12$ s)

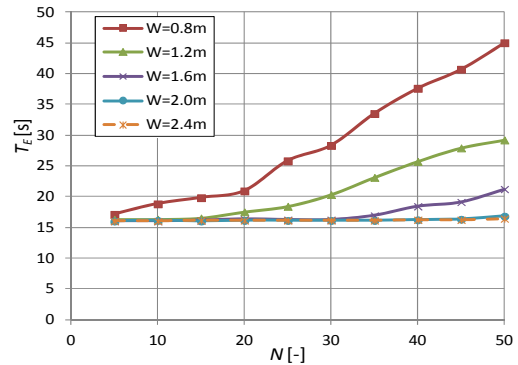


図10 出口幅が避難時間に与える影響

参考文献

- [1] 佐藤博臣他 6名, はじめて学ぶ建物と火災, 共立出版, 240 (2007).
- [2] 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).
- [3] 早川洋平他, 電子情報通信学会信学技報, 319(2011).
- [4] C. Burstedde, et al., Physica A **295**, 507 (2001).
- [5] A. Kirchner and A. Schadschneider, Physica A **312**, 260 (2002).
- [6] A. Kirchner, et al., Phys. Rev. E **67**, 1 (2003).
- [7] K. Yamamoto, et al., Lecture Notes in Computer Science, LNCS 4173, 728 (2006).
- [8] K. Yamamoto, S. Kokubo, K. Nishinari, Physica A **379**, 654 (2007).
- [9] 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).
- [10] 竹内裕貴他, 第19回交通流のシミュレーションシンポジウム論文集, 37 (2012).