

## 2 速度RCA モデルによる避難過程のシミュレーション

左高秀多<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

Floor field を考慮した RCA 法を用いて、部屋内における避難シミュレーションを行った。今回は異なる移動速度を持つ 2 種類の避難者を想定し、避難過程や避難時間を調べた。特に、避難者の配置方法の影響について検討した。まず、配置された人数の半分を速い人（移動速度 2.0 m/s）とし、もう半分を遅い人（移動速度 1.2 m/s）とする。これらを部屋内にランダムに配置した場合を Case A、出口から遠い部屋の左半分に遅い人を配置し、出口に近い右半分に速い人を配置した場合を Case B、逆に部屋の左半分に速い人を配置し、右半分に遅い人を配置した場合を Case C とした。これら 3 つの場合についてシミュレーションを行った結果、避難者の配置方法により出口付近に形成されるボトルネックの形成過程が異なることがわかった。また、Case B の避難時間が一番短くなった。

## Simulation of Evacuation Process by Two-Velocity RCA Model

Shuta Sadaka<sup>1</sup>, Kazuhiro Yamamoto<sup>1</sup>

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

### Abstract

In this study, a Real-coded Cellular Automata (RCA) simulation was conducted for room evacuation by using floor field. The model included two kinds of evacuees with different velocity to discuss the evacuation process and evacuation time. Three cases were considered. In case A, all evacuees were placed at random. In case B, slower evacuees were placed in half area far from the exit, and faster evacuees were placed in another half area near the exit. On the other hand, in case C, faster evacuees were placed in half area far from the exit, and slower evacuees were placed in another half area. It is found that the different evacuation process is observed in three cases, and that the evacuation time of case B is the shortest.

## 1 はじめに

避難計画には建築物の構造的な安全性だけでなく、実際に災害が発生したときの安全性の評価も重要である[1,2]。災害時の安全性を考慮する際、群集の行動を予測し、適切な避難経路を設定する必要がある。また、平成 13 年に兵庫県明石市の花火大会の際に歩道橋で群集なだれの事故が起きたように、災害による被害だけでなく、群集の行動がもたらす被害もある。これらの被害を低減するために、災害の規模や建物の大きさなどをあらかじめ想定した訓練やデモ実験を行い、データを蓄積することが望ましい。しかし災害時のデータを得ることは難しく、コストや時間などの制約もあるため実験による評

価は現実的ではない。そこで、数値シミュレーションにより事前に建物の安全性や避難経路を予測・評価することは有意義であるといえる。

我々は、群集行動の新しい解析手法として実数型セルオートマトン法（Real-Coded Cellular Automata, RCA）を提案した [3-6]。この計算手法は、流体の分野で利用されている実数型格子ガス法を人の移動過程に適用したものである。従来のモデル[7-9]とは異なり任意の速度を扱うことができ、方向についてもセルの向きにとらわれず自由に設定できる。これまでに、出口付近に人が密集するボトルネック現象や大勢の通行人が通路を対向して移動するときに見られる自発的レーン形成を模擬することができた。

本研究では、Floor field を考慮した RCA 法を用いて、部屋内における避難シミュレーションを行う。今回は、異なる移動速度を持つ2種類の避難者を想定し、避難過程や避難時間を調べた。特に、避難者の配置方法の影響について検討した。

## 2 計算領域

本計算では、16 m×16 m の正方形の形状の部屋を考える。出口幅は1.2 m で一定とし、部屋の右側の壁中央に配置した。部屋内の初期配置人数を  $N$  とし、初期配置人数を変えてシミュレーションを行った。今回は、部屋内に異なる移動速度を持つ2種類の避難者を混在させて検討した。考慮した避難速度は、「速い人」の速度を  $V=2.0$  m/s とし、「遅い人」の速度を  $V=1.2$  m/s とした。

図1に今回考慮した避難者の配置方法をまとめた。配置された人数の半分を速い人とし、もう半分を遅い人とする。これらを部屋内にランダムに配置した場合を Case A、出口から遠い部屋の左半分に遅い人を配置し、出口に近い右半分に速い人を配置した場合を Case B、逆に部屋の左半分に速い人を配置し、右半分に遅い人を配置した場合を Case C とした。これら3つの場合についてシミュレーションを行い、全員が部屋から避難できた時刻を避難時間 ( $T_E$ )、1秒間に出口から出た人数を  $M$ 、ある時刻までに避難できた人数（総避難者数）を  $N_T$  とし、これらの値を求めた。避難者の初期配置は乱数によって与え、部屋内の人数が同じ場合は初期配置もこれら3つのケースで同じになるようにした。

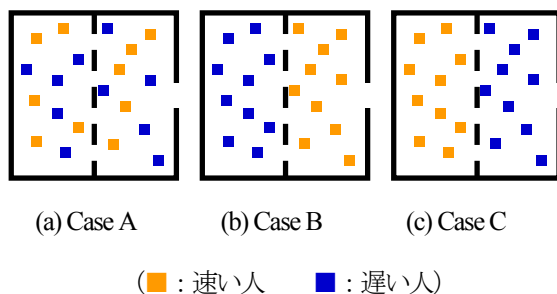


図1 部屋内の避難者の配置を変えた3ケース

## 3 計算結果及び考察

まず今回考慮した3つのケースを比較した。図2に部屋内の初期配置人数を  $N=100$  としたときの計算開始から0.5秒後、5秒後、9秒後の避難状況を示す。いずれの場合も避難者はほぼ直線的に出口へ向かっており、5秒後には出口付近にボトルネックが観察された。ただし、それぞれの結果を比較すると、速い人と遅い人がランダムに配置された Case A や出口側に遅い人が配置されている Case C では、速い人と遅い人が混在した状態で大きなボトルネックが形成されている。一方、出口側に速い人が配置されている Case B では、この時点では出口から遠い位置に配置された遅い人が出口に到着していないため、速い人のみでボトルネックが形成されており、ボトルネックの規模が他に比べると小さいことがわかる。

次に、9秒後における避難の様子を比較した。これによると、Case A では速い人と遅い人の両方が出口付近に残っているが、Case B では避難できていない人は遅い人がほとんどである。一方、Case C では避難できず出口に残っている遅い人の周りに速い人が来て渋滞することがわかった。

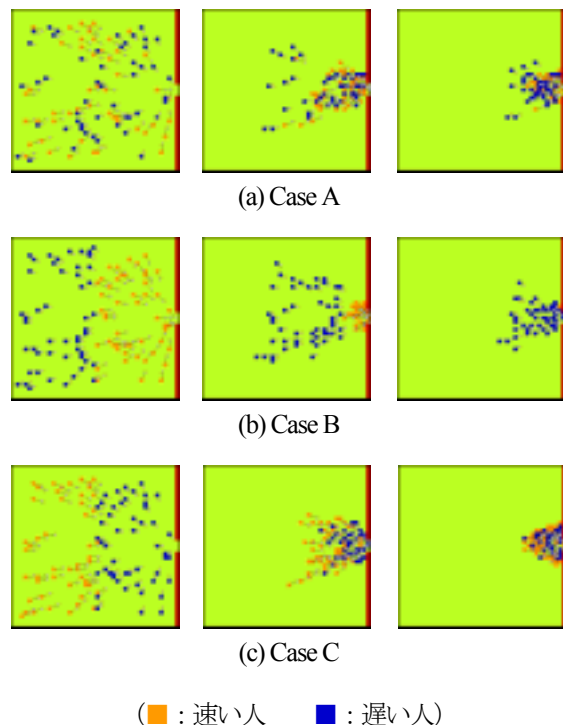


図2 避難の様子 (時刻0.5, 5, 9秒後)

次に、部屋内の初期配置人数を変えて避難時間を求めた。その結果を図3に示す。図中の各プロットは、人の初期配置を変えた5回のシミュレーションの平均値をとった結果である。いずれのケースでも、部屋内の人数が多くなると、避難時間も長くなった。各ケースを比較すると、部屋内の人数を変えてもCase B、Case A、Case Cの順に避難時間が長くなることがわかった。

この結果について考察するため、それぞれのケースにおいて、ある時刻までに出口から避難した人数（総避難者数  $N_T$ ）を調べた。図4に  $N=100$  としたときの総避難者数の時間変化を示す。また、各時刻において1秒間に出口から避難した人数  $M$  についても調べた。その結果を図5に示す。今回の計算では、避難者は2種類の速度で避難している。そこで、速い人と遅い人の人数をそれぞれ別に数えることで、移動速度の影響について検討することにした。ここでは、速い人の人数を  $M_F$ 、遅い人の人数を  $M_S$  とし、速い人と遅い人の両方の人数の和を  $M_T$  としている。

はじめに、図5の結果について考察を行った。部屋内に速い人と遅い人をランダムに配置したCase Aでは、速い人と遅い人が混在しているものの速い人が先に出口まで到達するため、計算初期に出口から避難した人は速い人が多くなる。その後、遅い人が遅れて出口に到達するため、計算開始から10秒ほどたつと避難できた人は逆に遅い人が多くなった。図2(a)によれば、10秒前後で出口付近にボトルネックが形成されていることから、特に計算の後半において避難できる人の人数が減少して避難時間が長くなったものと思われる。同様の理由で、速い人が出口付近に配置されているCase Bでは、早い段階で速い人が先に避難して出口での渋滞が緩和され、避難時間が短くなる。一方Case Cでは、出口に近い位置に配置された遅い人は先に避難できるが、出口から避難できる人数が多くないため出口で渋滞が起きる。やがて出口から遠くに配置された速い人も出口に到着し、ボトルネックが大きくなり、もっとも避難時間が長くなったと考えられる。この現象は図4の総避難者数に表れている。ある時刻までに避難できた人数がCase Cでは小さいままであり、これにより避難時間が一番長くなったものと思われる。

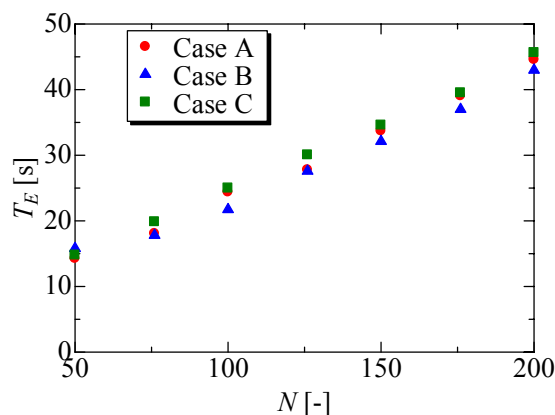


図3 初期配置人数を変えたときの避難時間

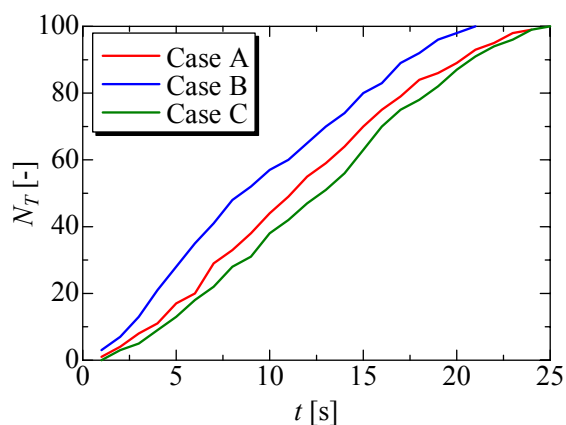


図4 総避難者数の時間変化 ( $N=100$ )

## 4 まとめ

本研究では、異なる移動速度を持つ2種類の避難者がいる場合を想定し、部屋内の避難行動を実数型セルオートマトン法 (RCA) を用いて数値的に模擬した。速い人と遅い人をランダムに配置したCase A、出口から遠い部屋の左半分遅い人を配置し、出口に近い右半分に速い人を配置したCase B、部屋の左半分に速い人を配置し、右半分に遅い人を配置したCase Cの3通りについて、避難の様子や避難時間を調べた。その結果、以下のことがわかった。

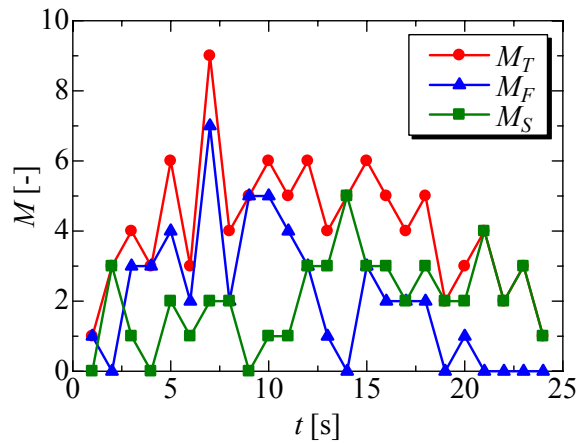
- 1) 3つのケースでは避難過程が異なることがわかった。Case A および Case B では、まず出口に

近い位置にいる速い人が先に避難し、その後遅い人が避難する。Case C では、出口近くに配置された遅い人が先に避難するが、出口から避難できる人数が多くないため速い人が追いつき、出口で渋滞する。

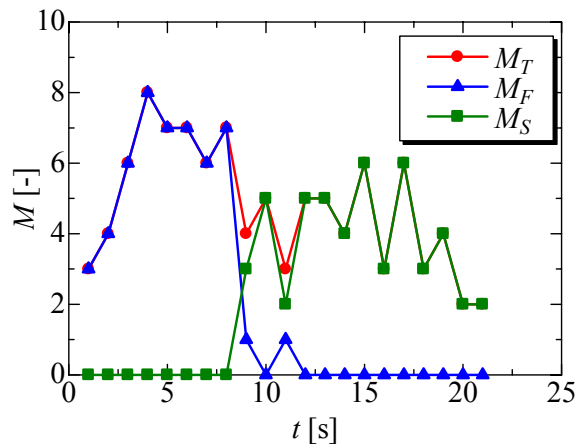
- 2) 部屋内の人数が多くなると、出口付近にボトルネックが形成された。Case A や Case C では、速い人と遅い人が混在した大きなボトルネックが形成されたが、Case B では先に速い人が出口に到達するため、速い人あるいは遅い人のみで構成される規模の小さいボトルネックが形成された。
- 3) 移動速度が速い人と遅い人では、出口に到達する時間に差があるため、避難時間が3つのケースで異なることがわかった。初期配置人数によらず、Case B、Case A、Case C の順に避難時間が長くなる。

## 参考文献

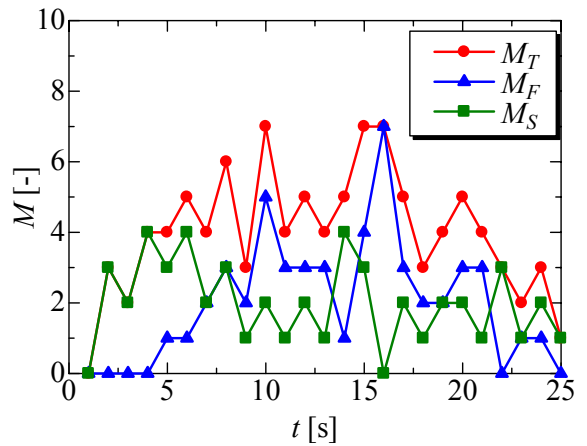
- [1] 田中哮義, 建築火災安全工学入門, 日本建築センター (1993).
- [2] T. Hirano, Combustion Science for Safety, Proc. Combust. Inst. **29**, 167 (2002).
- [3] K. Yamamoto, S. Kokubo, K. Nishinari, Lecture Notes in Computer Science, LNCS 4173, 728 (2006).
- [4] K. Yamamoto, S. Kokubo, K. Nishinari, Physica A **379**, 654 (2007).
- [5] 小久保聡, 山本和弘, 山下博史, 日本機械学会論文集 (B 編) 第 74 巻 748 号, 2724 (2008).
- [6] 山本和弘, 小久保聡, 山下博史, 実数型セルオートマトン法による火災時の避難シミュレーション, 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] C. Burstedde, K. Klauk, A. Schadschneider, and J. Zittartz, Physica A **295**, 507 (2001).
- [8] A. Kirchner and A. Schadschneider, Physica A **312**, 260 (2002).
- [9] A. Kirchner, K. Nishinari and A. Schadschneider, Phys. Rev. E **67**, 056122 (2003).



(a) Case A



(b) Case B



(c) Case C

図5 出口から避難した人数の時間変化