

セル・オートマトン法を用いた学校における避難計画

千葉良一

山形大学工学部 技術部 機器開発技術室

1. 背景と目的

地震や火事のような災害時には、建物内の居室からできるだけ速く安全な場所まで避難する事が求められる。学校などのように、一つの建物内に非常に多くの人間が生活している場所で災害が発生すると、廊下の幅員減少、人の流れの合流、階段などが避難者の流れを滞らせ、避難完了時刻を遅らせる。したがって、事前に各々が的確に避難経路を把握していないと、建物のある出口では人の流れが停滞している一方、他の出口では既に避難者が屋外へ出終わっている、というような非効率的な場合もでてくる。避難時間の遅延は直ちに人命に関わるため、あらかじめ最適な避難経路を調査し、それを学生と職員に周知させておく事は非常に重要である。

本研究では、宮城高専総合教育棟（屋外階段付き 5 階建て、延べ床面積 4464m²、1,2 階は実験室、2 階の一部と 3,4,5 階は教室）をモデルとし、建物から最後の避難者が屋外に出るのに要する時間を最短化するような最適避難経路の探索を行うことを目的とする。火災発生場所によって最適避難経路は変わるため、出火元が①1 階の物理実験室の場合②2 階の化学実験室の場合—の 2 ケースについて最適経路探索を実施する。ただし、このような問題では一般的に、群集移動という物理現象を数学的な関数として記述する事が困難である。そこで、交通流の計算などに用いられている「セル・オートマトン(CA)法」を応用して、学生の群集が避難する様子をシミュレートさせ、その結果から最適な避難経路を決定する。

2. モデルの概要

2.1. CA 法による人の流れのモデル化

対象領域を矩形のセルに分割し、複数の内部状態を持つ各セルの状態を時間とともに変化させることで、群集移動を表現する^(1,2)。各セルがどのように時間発展していくかは、近傍のセルとの相互作用を規定するローカルルールに依存する。たとえば、図 1 に示すような 3×3 のセルからなる領域を考え、セルの取りうる内部状態は 3 種類：空スペース(0)、人(1)、障害物(2)であるとする。ここで例えば、①人は他人がいるセルと障害物のセルには移動できない②各人は目的地までの最短ルートを進もうとし、その方向の隣接セルが空いていればそこに移動する③そこに他人がいれば 1 時間ステップ待機する④5 ステップの間動けなければ方向を変える—等、人が行動するルールを任意に決める。各人の移動ルートは、常に変化する周囲の状況と不動の目的地の方向から求めるため、常時変化している。上記ルールに従い、時間ステップごとに全ての人間を（待たせる人を除いて）一斉に一歩進ませ、これを繰り返す。そうすることで、大局的な視点から群集がどのように行動するかがわかる。

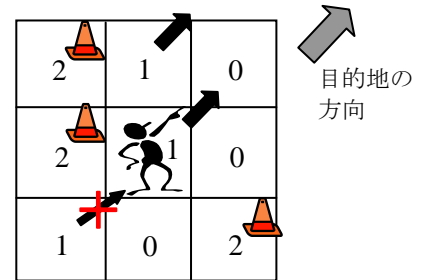


図 1 2次元セル・オートマトン

のセルには移動できない②各人は目的地までの最短ルートを進もうとし、その方向の隣接セルが空いていればそこに移動する③そこに他人がいれば 1 時間ステップ待機する④5 ステップの間動けなければ方向を変える—等、人が行動するルールを任意に決める。各人の移動ルートは、常に変化する周囲の状況と不動の目的地の方向から求めるため、常時変化している。上記ルールに従い、時間ステップごとに全ての人間を（待たせる人を除いて）一斉に一歩進ませ、これを繰り返す。そうすることで、大局的な視点から群集がどのように行動するかがわかる。

2.2. 移動先セルの決定

本モデルでは、密集空間で一人一人が占める面積を考慮して、シミュレーションの対象領域を 50cm×50cm の正方形セルで分割した。また、人の平均歩行速度は約 1m/s である⁽³⁾ことから、1 時間ステップを 0.5 秒とした。本研究で取り扱う群集避難において、避難者は複数ある出口のうち、部屋単位で指定されている出口を目指して移動する。したがって、全ての避難者は自分が向かうべき出口までの最短経路情報をもっている。避難者の動きは、目標とする出口までの移動距離と関係づけられた「静的 floor field」によって決定される。出口に近いセルほどより小さな floor field が割り当てられるため、避難者を現在いるセルよりも小さな floor field の隣接セルに移動させれば、それは出口を目指して移動したことになる。本研究では $\lambda=3/2$ とした Varas ら⁽⁴⁾の方法に従って floor field の割り当てを行った。図 2 に、100×51 のセルからなる 2 階部分の floor field を示す。また、セルがとりうる内部状態は 5 種類：空スペース(0)、右の階段に逃げる人(1)、障害物(2)、出口(3)、左の階段に逃げる人(4)とした。

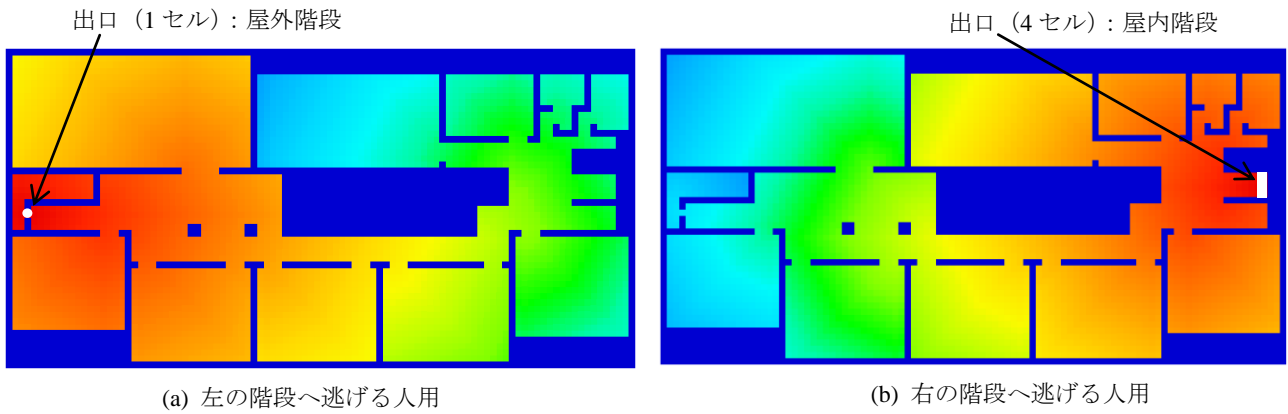


図2 出口ごとの Floor field (値が大きくなるにつれ赤→青)

基本的に、各避難者は現在いるセルに隣接するセルの中で最も小さい floor field を持つセルへ移動するのであるが、もし、隣接するセルの中で最小な floor field を持つセルが複数ある場合は、乱数によって移動先を決める。また、各避難者の移動先の決定は乱数で与えられた優先順位に従って処理されるため、複数人が同一セルへ移動しようとすることはない。つまり優先順位の低い避難者は、他の避難者が入ることになっているセルを除いた移動可能なセルを移動先とし、空いているセルが見つからなければ現在のセルにとどまる。なお、恐怖のあまりパニックを引き起こす学生も考えられるため、隣接セルへ移動可能な避難者でも 5% の確率でその場にとどませた^(3,4)。

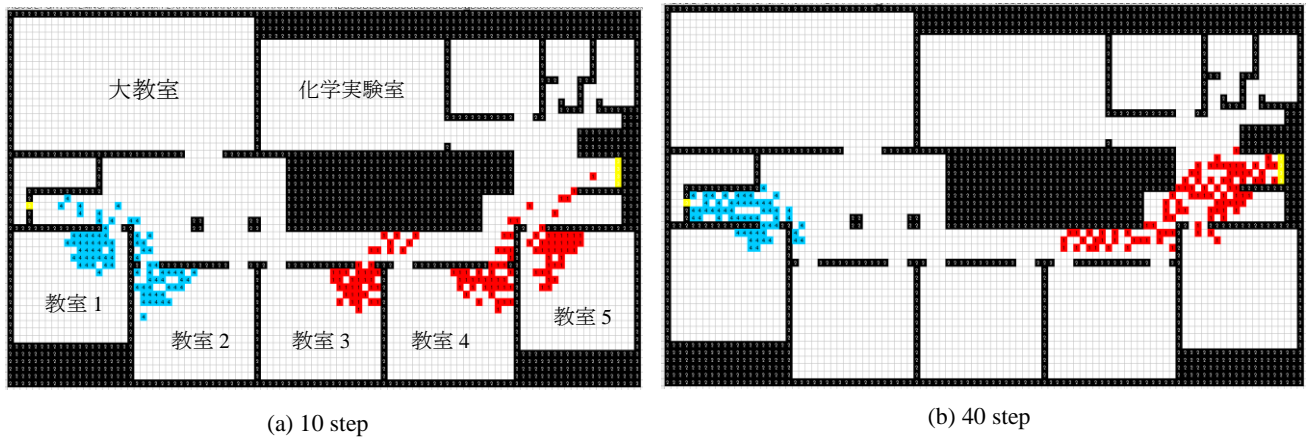


図3 シミュレーションの snapshot (セルの状態は赤:1, 黒:2, 黄色:3, 青:4)

3. シミュレーション結果

建物内での火災発生を想定し、2階部分のみを対象とした避難シミュレーションを行った。初期状態として、教室 1~5 (図 3a を参照) には 1 クラス 40 名の学生を規則的に配置した。教室 1, 2 の学生は左の出口から、他の教室の学生は右の出口から避難する経路をとった。図 3 に、時間ステップが 10 および 40 の時のスナップショットを示す。出口に向けて群集がなだれ込んでおり、実現象をよく表現できている。

図 4 はフロア内の残存者数の時刻歴を示したものである。上の場合に加え、教室 1~5 の他に大教室にも 1 クラスぶんの学生がいた場合、および化学実験室にも 1 クラスいた場合に対してもシミュレーションを行った。本計算例では、終始 -5 の傾きで残存者数が減少するのが理想的だが、その傾きが崩れると、その時点でどちらか一方の出口から避難が完了してしまったことを意味する。また、図示していないが、教室ごとの最適避難経路は、左の階段から逃げる避難者数と右の階段から逃げる避難者数との比が 1:4 となる場合で、したがって最初の計算例の場合、教室 1 の学生のみ左の階段から逃げるとした避難経路が避難完了時間を最短にする。

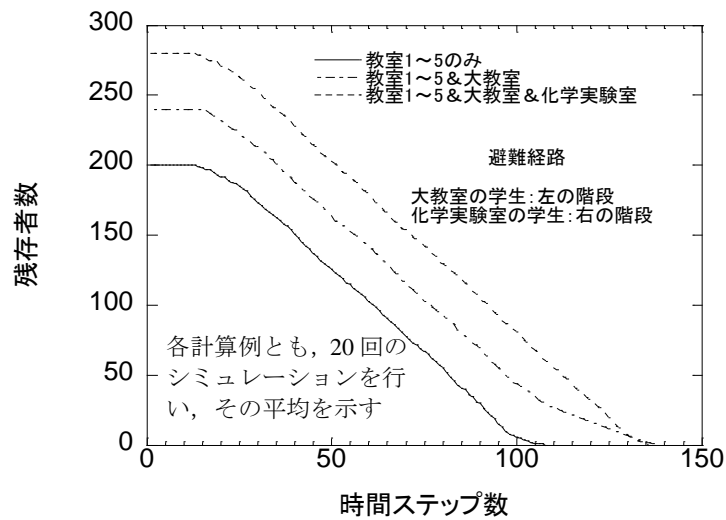


図4 残存者数の経時変化

4. まとめ

静的 floor field モデルを用いた CA プログラムを FORTRAN 言語で作製し、学生群集の避難挙動を計算機によりシミュレートすることができた。これにより、これまで経験的に決められていた学校内の避難経路を、ある程度客観的な指針を基に決定することが可能となった。

5. 謝辞

本研究は科学研究費補助金(奨励研究 19921013)の助成により行われたものである。ここに記して感謝の意を示します。また、本研究課題の目的および重要性をご理解いただき、建物の CAD データを快く提供して下さった宮城高専 施設係の皆様にも感謝いたします。

6. 参考文献

- (1) 森下信, セルオートマトン—複雑系の具象化, 2003年, 養賢堂
- (2) 市川惇信, 複雑系の科学—セル・オートマタ体験 CD-ROM 付, 2002年, オーム社
- (3) Z. Daoliang *et al.*, Exit dynamics of occupant evacuation in an emergency. *Physica A*, **363** (2005) 501-511.
- (4) A. Varas *et al.*, Cellular automaton model for evacuation process with obstacles. *Physica A*, **382** (2007) 631-642.