

避難行動シミュレーションシステムとその検証に関する研究

Study on evacuation simulation system and its verification

辻原治

Osamu Tsujihara

抄録: 緊急時の避難行動をシミュレートする研究が近年行われるようになった。実用化の過程において、実際の大規模な避難行動とシミュレーションの整合性を比較検討し、シミュレーションの適用性について検証することが重要である。本研究では、セルオートマトン(CA)に基づく避難行動シミュレーションシステムを構築し、学生寮で実施された500人規模の避難訓練への適用性について検討した。混雑時の行動パターンをシミュレーションに取り入れることで、避難行動をより精度よく再現できることを示した。

Abstract: In recent years, the simulation systems of emergency evacuation have been developed. It is required for the practical use to verify the systems by comparing the results of the simulation with the actual large-scale movements in an emergency. In this study, a simulation system of emergency evacuation based on Cellular Automata (CA) is introduced. It was applied to the evacuation training which was held in a dormitory with about 500 participants, and the validity of the simulation system is discussed. The simulation system has successfully reproduced the movements in the evacuation training by taking the congestion factor into consideration.

キーワード: 避難行動シミュレーション, セルオートマトン, 避難訓練, 検証

Keywords: evacuation simulation, Cellular Automata, evacuation training, verification

1. はじめに

近年、災害時の避難行動をシミュレートする研究が実施されるようになった。それらはポテンシャルモデルを応用した方法¹⁾、個別要素法を応用した方法^{2,3)}、ペトリネットに基づく方法^{4,5)}、MAS (マルチエージェントシステム)に基づく方法^{6,7)}やCA (セルオートマトン)に基づく方法^{8,9,10,11)}等である。これらのうち、CAに基づく方法は、いわゆる複雑系のシミュレーション手法として発展したセルオートマトン法¹²⁾を適用したもので、簡単なモデルと規則からは予測もできない程の複雑な現象や状態を表現し得る方法として近年注目されている。MASも同様に複雑系の解析に用いられ、複数の知的なエージェントが相互作用を及ぼし合いながら現象を表現する。

このように多くの方法が提案されているにもかかわらず、既往の研究において、実際の避難行動とシミュレーションを比較した研究は以外と少なく、計算の精度について十分な検討がなされているとは言いがたい。

今後このような研究を進展させて実用化するためには、個人の避難行動パターンを分析しモデル化に反映させるとともに、実際の大規模な避難行動とシミュレーションの整合性を比較検討することが不可欠である。

著者らは、500名程度の学生が参加して実施された学生寮の避難訓練を調査した。7棟からなる学生寮のうち、

ある建物で火災が発生したという想定の下、棟内および各棟から避難所に向かうまでの学生の行動を追跡し、経過時間と避難人数の関係を調べた。そして、CAに基づく避難行動シミュレーションを行い、どの程度再現できるについて検討した¹³⁾。シミュレーション結果は概ね良好であったものの、一定時間経過後から対応性が悪くなることがわかった。建物の出入り口や避難場所の手前のボトルネックとなる場所で特に混雑するため、このことが人の行動に与える影響を考慮する必要があり、これによりシミュレーションの精度はさらに向上すると考えられる。

本研究では、混雑時の行動に簡単な確率を組み込むことによって従来の手法を改良し、新たな避難行動シミュレーションシステムを構築した。また、これを避難訓練に適用し、再現性の観点からシステムの検証を行った。

2. CAによる避難行動シミュレーション手法の概要

CAによるシミュレーションを行うにあたって、対象領域を縦横等間隔の格子線で分割する。それぞれの格子がセルであり、セルの状態として、「障害物」、「通路」等が割り当てられる。「通路」のセルには「人」を配置させることができる。CAによるシミュレーションにおいては、「人」の移動規則をどのように設定するかが重要である。本研究では、

「人」の視野の範囲内で目標となるセルを目指して進行するという考え方¹²⁾を基本とした。

以下に、本研究で用いた「人」の移動規則等について説明する。

1) セルの種類

それぞれのセルには、「通路」、「障害物」、「サイン」、「ゴール」のいずれかの状態量が割り当てられている。「障害物」のセル以外は「人」を配置することができる。「サイン」は標識と考えればよく、避難誘導者がいる場合や避難誘導のための標識がある場合等に、このセルにその役目をさせる。「ゴール」は目的地を表すセルに割り当てられる。

2) 人の移動

2-1) 人の進行方向と移動速度

移動可能な方向は、セルの並びに対して直交方向と45度をなす方向の計8方向とし、1計算ステップで2セルまで進行することができることとした。

避難訓練の調査から、人の移動速度が概ね1.4m/secであることがわかった。そこで、本研究では1セルの大きさを0.7m×0.7mとし、1計算ステップを1秒に換算することとした。

2-2) 障害物と死角

障害物がある場合、その背後は死角になり、視野の範囲外という扱いをする。死角になるセルは、視野内のそれぞれのセルの中心と対象とする人のセルの中心を結ぶ線分が障害物のセルを横切るかどうかで判定させている。

2-3) 移動規則

それぞれの人の視野内において目標となるセルを探し、そのセルを目指して移動させる。目標セルが複数ある場合は、次のように優先順位をつける。

- ① ゴールが見えた場合は、それを目指す。
- ② サインが見えた場合は、それを目指す。
- ③ 障害物の背後にできた死角のセルがある場合は、それに隣接するセルを目指す。
- ④ 目標セルが無い場合は、視野の先端に位置するセルを目指す。

このような規則を基本とするが、さらにつぎに示すような工夫をしている。

- a) 死角に隣接するセルは視野内に複数ある場合が多い。そのような場合は、現在の進行方向からの角度が最も小さいものを選択する。
- b) 視野内において、上記①～③の目標セルが見つからない場合は、進行方向の±45度の方向で探す。それでも見つからない場合は、±90度の方向で探す。最終的に目標セルが見つからない場合は上記の④に従う。ただし、視野の先端のセルが不可視の場合、つまり、行く手が障害物で塞がれていると判定できる場合は、進行方向を180度回転させ、逆方向で目標セルを探す。
- c) 堂々巡りを避けるため、一度目標になったセルの近傍を再度目標にする場合は、優先度を低くする。

- d) 目標セルに向けて移動する際に、移動先のセルが障害物あるいは他の人で塞がっている場合は、隣接するセルに移動する。そこも塞がっている場合は待機する。

3) 混雑時の行動

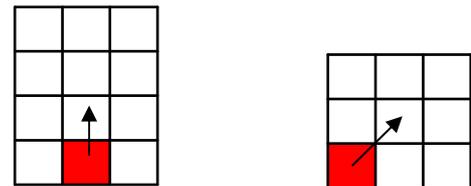
混雑すると進行方向前方のセルが空かないため、人の流れは遅くなる。しかし混雑の程度によって、それを緩和させようとする行動パターンもあり、上述の規則だけでは混雑時の避難行動を十分に表すことができない。そこで、以下のように、混雑時の歩行速度を低減する効果が考慮できるようにした。

3-1) 混雑の判定方法

混雑しているか否かの判定は、直進の場合と斜め方向への移動の場合で、それぞれ図-1に示す周囲の11セルと8セルを対象として、そのうち人による占有率がp%以上(例えば70%以上)のときに混雑していると判定する。

3-2) 歩行速度の低減

混雑していると判定された場合、歩行速度をs%低減する。具体的には、例えば歩行速度を30%低減する場合、0～1の乱数を発生させ、その値が0～0.3の値であれば、例え進行方向の隣接セルが空いていても、その計算ステップでは元のセルにとどまることにする。



a)直進の場合

b)斜め移動の場合

図-1 混雑を判定するときの近傍セル

3. 避難訓練の概要と調査

和歌山高専には、構内に併設された計7棟の学生寮があり、500名を超える学生が寄宿している。学生寮では、火災発生等を想定した避難訓練を毎年実施している。避難訓練の概要を以下に示す。

1) 想定

火災(出火場所;3号館3階)

2) 実施要領等

2-1) 火災発生の連絡

16:30に指定された学生が3号館3階で非常ベルをならす。それと同時に2号館1階にある寮事務室に待機中の教員が現場へ急行し確認後、寮事務室に戻って館内放送により、火災発生につき避難するよう指示を出す。

2-2) 事前教育等

避難訓練の日時、避難経路や避難場所等は予め寮生に館内放送や掲示などで周知している。また、当日の訓練実施中、指導寮生(指導的役割をする寮生のことをい

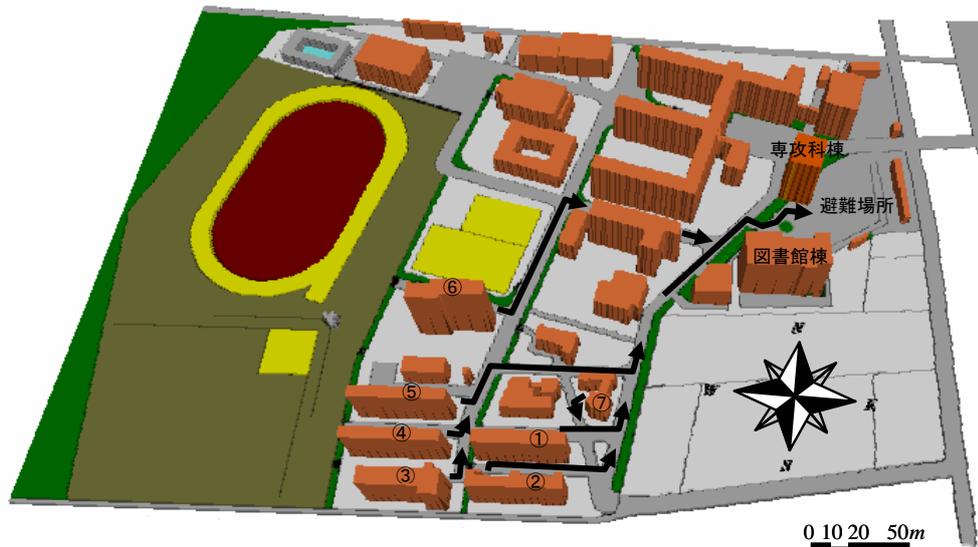


図-2 和歌山高専構内の鳥瞰図と避難経路

う)や教員がいくつかのポイントに立ち、進行方向を指示する。それぞれの号館からの避難経路を図-2に示す。

3) 調査方法

避難訓練の調査は、以下に示す3つの手段で行った。

- それぞれの号館の玄関に設置されている防犯カメラによる映像
- 専攻科棟3階からのビデオカメラによる撮影
- 避難場所で記入された学生寮のフロアごとの点呼票

点呼票は、常時朝晩に指導寮生がそれぞれのフロアにおいて点呼をとる際に用いるもので、寮生の部屋番号と氏名が印刷されており、○か×を記入するようになっている。

4) 調査結果

避難場所に設定されたのは、構内の東側にある図書館棟と専攻科棟の間にある駐車場である。普段は職員が使用しているが、当日は避難訓練のためにすべて空けられていた。また、このスペースは一段高くなっている場所であり、構内の南側にある寮から避難場所に行く場合、階段を利用することになる。この階段を上がりきったところが避難場所として設定されていた。

この避難場所は専攻科棟に隣接しており、当日は同棟の3階にビデオカメラを設置し、階段付近を定点撮影した。このビデオ映像を分析して、避難場所に到達した人の数と時間との関係を調べた。

4. シミュレーションシステムの検証

屋外の避難場所までの避難行動のシミュレーションを行うに際して、各号館の防犯カメラの映像を分析して得られた時間と人数の関係を計算のステップと同期させて、それぞれの号館の出口から人を通路に流入させる。

周辺セルの人による占有率が70%以上の場合に混雑と判定し、歩行速度の低減率を、ビデオ映像等を参考に20%として解析を行った。一定時間経過後に避難場所前の階段が混雑しはじめ、後続に人の列ができることはビデオ映像や目視によって確認されているが、計算においても

同様の現象が再現できた。避難場所に到達した人数と時間との関係について、シミュレーションとビデオ映像の分析を比較した結果を図-3に示す。両者はよく対応していることがわかる。比較のため、混雑の影響を考慮せずに行った計算の結果¹³⁾を図-4に示す。前半部分はビデオ映像の分析とよく対応しているものの、やはり混雑が顕著になると考えられる後半において若干の差が認められる。

このように、本研究で構築した混雑時の影響を考慮できる避難行動シミュレーションシステムを、訓練ではあるが実際の避難行動に適用し、その適用性を検証することができた。

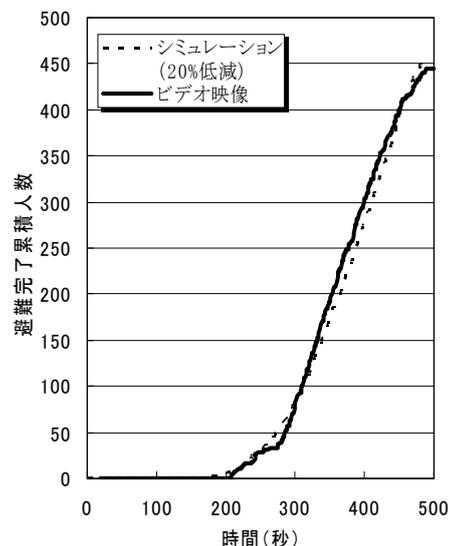


図-3 混雑の影響を取り入れた屋外の避難行動シミュレーションとビデオカメラ映像分析結果との比較

6. まとめ

本研究では、CAに基づく避難行動シミュレーションシス

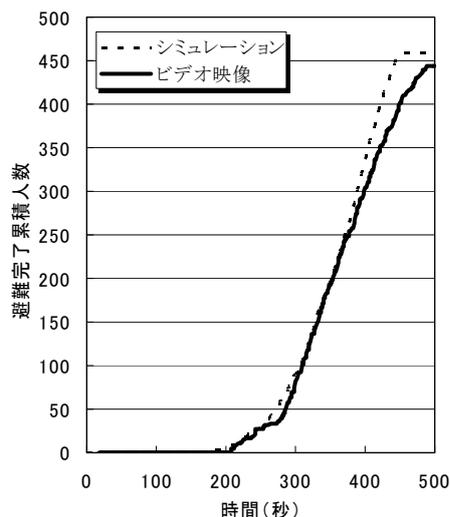


図-4 屋外の避難行動シミュレーションとビデオカメラ映像分析結果との比較(混雑の影響の考慮なし)¹³⁾

テムを構築し、約 500 人規模の避難訓練の再現を試みた。

以下に、本研究で得られた成果を要約する。

- 1) 視野データの作成、解析モデルの作成、解析、解析結果表示の各サブシステムからなる避難行動シミュレーションシステムを構築した。
- 2) 混雑の判定と混雑時の歩行速度の低減を導入し、従来の手法を改良した。
- 3) 和歌山高専学生寮の避難訓練にシステムを適用し、ビデオカメラによる映像等から分析した避難の動態を表現することができた。とくに、従来の手法では再現ができなかった混雑時の動態が表現でき、システムの適用性が検証できた。

避難訓練は、一般に事前教育がなされているため混乱やパニックもなく、実際の災害時の避難行動とは異なることもある。しかし、たとえ避難訓練であっても、シミュレーションによって再現できることがわかったことで、避難行動シミュレーションの発展の可能性を示すことができたと考えられる。今後、個人の避難行動パターンの詳細な分析を行って、モデル化に反映させる等、さらに改良する余地がある。

謝辞

避難訓練の調査には当時研究室の学生であった今北智基氏および松川知憲氏の協力を頂いた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 横山秀史, 目黒公郎, 片山恒雄: 避難行動解析へのポテンシャルモデルの応用, 土木学会論文集,

No.513/I-31, pp.225-232, 1995.

- 2) 清野純史, 三浦房紀, 瀧本皓一: 被災時の群衆避難行動シミュレーションへの個別要素法の適用, 土木学会論文集, No.537/I-35, pp.233-244, 1996.
- 3) 清野純史, 三浦房紀, 八木宏晃: 個別要素法を用いた被災時の避難行動シミュレーション被災時の群衆避難行動シミュレーション, 土木学会論文集, No.591/I-43, pp.365-378, 1998.
- 4) 二神透, 木俣昇: 背景画像上での避難ペトリネットシミュレーションへのプローブ情報技術の活用化研究, 土木情報利用技術論文集, Vol.14, pp.33-40, 2005.
- 5) 源貴志, 成行義文, 藤原康寛, 三神厚, 澤田勉: 自主防災組織で活用可能な津波避難シミュレーションシステムの開発に関する基礎的研究, 土木学会地震工学論文集, Vol.29, pp.756-764, 2007.
- 6) 竹下史朗, 小林一郎, 山田文彦, 上野幹夫: マルチエージェントモデルを用いた洪水・避難シミュレータの開発, 土木情報利用技術論文集, Vol.16, pp.203-212, 2007.
- 7) 堀宗朗, 犬飼洋平, 小国健二, 市村強: 地震時の緊急避難行動を予測するシミュレーション手法の開発に関する基礎的研究, 社会技術研究論文集, Vol.3, pp.138-145, 2005.
- 8) 山本英臣, 森下信, 中野孝昭: セルラオートマトンによる人の流れシミュレーション, 日本機械学会機械力学計測制御講演会論文集, 98, 8, pp.261-264, 1998.
- 9) 松田泰治, 大塚久哲, 樗木武, 内田広明: セルオートマトン法を用いた地下街の避難行動シミュレーションに関する一考察, 地域安全学会論文集, No.2, pp.95-100, 2000.
- 10) 近田康夫, 廣瀬智士, 城戸隆良: CA を用いた歩行シミュレーションモデルの構築, 土木情報システム論文集, Vol.9, pp.19-30, 2000.
- 11) 井面仁志, 白木渡, 堂垣正博, 有友春樹: CA による災害時の人間行動を考慮した避難シミュレーション, 土木学会第 59 回年次学術講演会講演概要, I-242, pp.483-484, 2004.
- 12) 森下信: セルオートマトン - 複雑系の具象化 -, pp.135-137, 養賢堂, 2003.
- 13) 辻原治, 今北智基, 松川知憲, 澤田勉: 避難訓練の調査と CA に基づく避難行動シミュレーション, 土木学会地震工学論文集, Vol.28, pp.1-10 (in CD-ROM), 2005.