

避難シミュレーションの精緻化と大規模化の取り組み

安福 健祐

大阪大学サイバーメディアセンター

[アブストラクト]

災害時の人間の避難行動の研究は、事例調査や実験等が国内外で数多く行われており、避難シミュレーションは、これらの知見に基づいて人間の避難行動をある一定のルールでモデル化する。近年のエージェントモデルを用いた避難シミュレーションは、より精緻な人間の避難行動モデルが構築されており、建築物の設計や防災計画の立案に援用されている。また、広域避難に適用して、膨大なエージェントを扱うためには、高性能計算や大規模可視化が有効な手段の一つとなっている。一方で、シミュレーションの妥当性の検証手法については十分に確立されておらず、その現状の課題について考察する。

[キーワード]

避難シミュレーション、エージェントモデル、可視化、GPU コンピューティング、V&V

1. はじめに

建築・都市空間の防災計画を立案する上で、災害時の人間の避難行動を予測することは重要であり、コンピュータによる避難シミュレーションが開発されている。近年、実用化されている避難シミュレーションの多くは、エージェントモデルが用いられており、個々の避難者をエージェントとして、ある一定のルールでモデル化し、エージェント同士の局所的な相互作用により、大域的な群集行動を再現する。このようなシミュレーションをより精緻に行いながら、大型化・複合化している都市施設や広域災害からの避難に適用するには、高性能計算が有効な手段となる。一方、モデルの検証と妥当性の評価については、観測結果や実験結果との比較が行われているが、根拠となる避難行動データについては十分に整理がなされていないという意見もあり、信頼性のある評価方法の確立が求められている。

2. 避難シミュレーションの精緻化と大規模化

エージェントモデルを用いた避難シミュレーションは、個々の人間の行動を精緻化することで、再現性の向上を目指している。避難行動モデルの多くは、目的地までの経路選択行動と、他のエージェントや障害物との衝突回避行動で構成されている。経路選択は、目的地までの最短経路が一つの候補となる。最短経路を計算するには、空間形状の特徴を損なわないような微細なネットワークや格子状のメッシュデータ構造を持つものが多い。一方で、現実に行われる避難経路選択は最短経路になるとは限らない。より精緻なモデルとしては、エージェントの視界内にある誘導灯が考慮されたモデル(1)や、状況によりフロアフィールドを動的に計算するモデル(2)がある。選択した経路に沿って移動するときは、他のエージェントや障害物との衝突回避をしながら歩行する。そのため、動力学モデルやセルオートマトン、また、独自の衝突回避計算が用いられている。動力学モデルとしては、個別要素法(3)、Social Force モデル(4)が挙げられる。より精緻なモデルとしては、エージェントの形状を人間に近づけてより高密度な群集を表現するもの、待つ行列行動、グループ行動、介助行動なども考慮されたものがある。一方、セルオートマトンモデルは、格子状のメッシュデータをセルと呼ぶ離散的計算モデルである(5)。その避難行動モデルは、エージェント、目的地、障害物などをセルに割り当てて経路選択し、エージェントはある遷移確率でセルからセルに移動する。上記以外にも様々な避難行動モデルがあるが、より詳細なレビューは文献(6)が参考になる。

エージェントモデルを広域避難に適用し、対象とするエージェントの数が増えていくと計算量も飛躍的に増加する。このような問題は、従来コンピュータの性能が年々向上することで解決されてきたが、現在のプロセッサ技術は、マルチコア化、メニーコア化の方向で進化しており、一つのプロセッサ性能が劇的に向上することを望めない。そこで、避難シミュレーションにGPUコンピューティングを用いた並列処理に適用した結果、逐次処理よりも高速化されることを示したが、並列処理専用データ構造の追加やアルゴリズム設計が必要となった。

また、このような大規模計算結果を防災に関わる関係者との情報共有や防災教育に役立てるためには、わかりやすく可視化する技術も重要になっている。特に数万人規模のエージェントモデルの動きを可視化する場合には、タイルディスプレイウォール等を用いた高解像度による大規模化が有効である。

3. 検証と妥当性の評価 (V&V)

人間の避難行動は複雑で不確定要素も多く、物理現象としての基礎方程式はない。そのため提案された避難行動モデルの多くは、観測に基づく群集流理論(7)を比較対象にして、開口部における流動係数、群集密度と歩行速度の関係との比較検証が行われている。また、群集流理論に基づく手計算ベースの避難時間と比較を行う例も多い。本来、エージェントモデルでは個々のエージェントに異なる特性を持たせることができるため、年齢、性別、避難経路についての知識、グループ行動、介助行動などを反映した精緻な避難行動モデルも開発されているが、パラメータが増えれば増えるほど、V&Vも複雑化するという課題がある。それに対し、シミュレーション結果を現実に近い表現で可視化する技術は、人間の認識能力を駆使してシミュレーション自体の問題点を発見する役割も果たすと考えられる。

国際的に見ても避難行動モデルのV&Vの標準はない。国際海事機関(IMO)では、2007年に新規および既存の旅客船の避難分析ガイドライン(MSC/Circ. 1238)を策定しているが、建築・都市空間の災害時の避難行動とは背景が一部異なっている。アメリカ国立標準技術研究所(NIST)では、V&Vに関してオープンな議論を行うことを目的として、The Process of Verification and Validation of Building Fire Evacuation Models という Technical Note (1822)を 2013 年に提供しており、避難行動モデルにおける不確定性をどのように扱うかの検討がなされており、今後の動向が注目される。

[参考文献]

- (1) S. Gwynne, et.al., Adaptive Decision Making in Response to Crowd Formations in building EXODUS, Journal of Applied Fire Science, Vol. 8 (4), pp 265-289, (1999)
- (2) K. Nishinari et.al., Extended Floor Field CA Model for Evacuation Dynamics, IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems Vol.E87-D, No.3, pp.726-732, (2004)
- (3) 後藤他 3 名, 個別要素法型群衆行動モデルによる津波時の避難シミュレーション, 海岸工学論文集, 第 51 巻, pp.1261-1265, (2004)
- (4) D. Helbing, I. Farkas, T. Vicsek, Simulating Dynamical Features of Escape Panic, Nature. 407, pp.487-490, (2000)
- (5) C. Burstedde, K. Klauck, A. Schadschneider, J. Zittartz, Simulation of pedestrian dynamics using a two-dimensional cellular automaton, Physica A 295, pp.507-525, (2001)
- (6) E. Kuligowski, R. Peacock, B. Hoskins, A Review of Building Evacuation Models, 2nd Edition, NIST Technical Note, 1680, (2010)
- (7) 戸川, 群集流の観測に基づく避難施設の研究, 建築研究報告, No14, (1955)