

屋内避難シミュレーションのためのエージェントの行動計画生成 An Action Planning Mechanism of Agents for Indoor Evacuation Simulation

岩佐 貴俊[†], 飯島 正[‡]

Takatoshi Iwasa[†], and Tadashi Iijima[‡]

[†]慶應義塾大学大学院 理工学研究科

[‡]慶應義塾大学 理工学部

[†]Graduate School of Science and Technology, Keio Univ.

[‡]Faculty of Science and Technology, Keio Univ.

要旨

各種施設等の建造物内で火災が発生した場合、その建造物内の在住者は、迅速に的確な経路を通じて屋外へ避難する必要がある。そのために、施設管理者は、事前に、避難路の確保、避難指示の掲示、災害発生時の避難誘導方法の計画立案と分析検討を進めておく必要がある。筆者らは、エージェント・ベース・シミュレーション手法により、それらの計画と分析を行う基盤の構築を試みている。個々の行動主体（エージェント）の行動計画には、安全を確保しつつ中間目標点を辿って、屋外への出口までに至るマクロな経路計画と、障害物を回避しながら中間目標地点をつなぐ滑らかな経路を生成するミクロな経路計画がある。避難状況を可視化した際の違和感を軽減し、避難に要する時間等のコストをより正確に見積もるには、そうしたミクロな経路計画も必要である。ここでは、IFC 形式で記述された建造物の三次元 CAD データ情報をもとに、現在構築中のエージェント行動計画生成手法に関して報告する。

1. はじめに

各種施設等の建造物の管理者は、発生する可能性のある災害に対して迅速に対応することができるように、予め避難計画を立てておかなければならない。その内容としては、避難路の確保、避難指示の掲示、災害発生時の避難誘導方法の検討など多岐にわたり、更に、それが実際に災害が発生したときにどのくらい効果的であるのかを定量的に評価することが必要となる。しかし、策定した避難計画を評価するために、災害が発生した状況を実際に再現するという事はもちろん不可能である。屋内避難シミュレーションは、一般に、避難計画を計算・評価するための屋内空間モデルと災害状況に関するモデル（災害モデル）が与えられると、避難計画を実行した結果、どのような状況になるのかをわかりやすく目に見える形で表示するとともに、実際に避難することができた人数や、避難に要した時間など、定量的な結果を提示する機能を持つ。

また、建造物管理者が効果的な避難計画を策定するだけでなく、避難者自身が避難行動について習熟を深めることが、実際に災害が発生したときの迅速な避難につながる。一般の人々が避難行動について習熟を深めるための方法として、集団での避難訓練が広く行われており、ある程度の効果を上げている。しかし、この方法の問題点として、時間や費用がかかること、そして、火災などの実際の災害の状況を再現することが困難であることなどが挙げられる。それらの問題点を解決しつつ、避難行動に関する習熟度を上げることに適用可能な、屋内避難シミュレーションを構築することが本研究の目的である。シミュレーションによって再現された発災状況を 3 次元可視化し、リアリティを持たせることによって、それを見た人は実際の災害を疑似体験することができ、現実に災害の状況を目の当たりにしたときに、慌てることなく迅速に対応することができるようになる。

建造物内での災害被害を軽減させるためにシミュレーションが果たすことができる役割として、事前に実施する、この 2 点（効果的な避難計画の立案のための定量的評価、および、発災時屋内在住者への体験型訓練）が大きな柱となると本研究プロジェクトでは考えており、こうした目的を意識しつつ、屋内避難シミュレーションを構築していく。なお、避難シミュレーションは、避難者モデル、空間モデル、災害モデルの 3 つから成り立っているが、本報告ではそのうちの災害モデルについては今後の課題として残し、避難者モデルと空間モデルに焦点を当てるものとする。

2. 既存研究

2.1. 既存のシミュレータと空間モデル

前述したように、避難シミュレーションは3つのモデルから成り立っており、本研究では避難者モデルと空間モデルに特に焦点をあてて扱っていくのだが、特に空間モデルは、それ自体の重要性もさることながら、避難者の行動のベースともなっている点で重要である。既存のシミュレータの分類については、[1] や、[2] などが既に行っており、空間モデルの観点から既存のシミュレータを分類すると、以下の3つのカテゴリーのどれかにそれぞれ属することになると論じられている。

1. Coarse Network モデル

比較的大きな面積をもつノードからなるネットワークによって空間を表すモデルであり、基本的には、複数のエージェントが一つのノードに属することを許容する。当然、複雑な形状の空間を正確に表現することはできないが、計算量は他のモデルと比べて少ないということが、このモデルを採用するメリットである。PCの高速化に伴い、このモデルを採用するシミュレータは少なくなっている。PEDROUTE や EXITT, EVACNET4 などがこのモデルを採用しているシミュレータの例として挙げられる。

2. Fine Network モデル

小さな面積をもつノードからなるネットワークによって空間を表すモデルであり、基本的に一つのノードに対してエージェントが一人属することが許容される。ノード形状は正方形や正六角形など実装方針によって相違が見られるが、異なる形のノードを組み合わせることは基本的にはない。複雑な空間を表現することができるが、計算量はその分多くなる。現在最も利用されているシミュレータの一つである buildingEXODUS が、このモデルを採用している。

3. Continuous モデル

ネットワークを用いずに、任意の多角形などで空間全体を連続的に埋め尽くすモデルである。Simulex, ASERI, Legion, GridFlow など、このモデルを採用するシミュレータは多い。Simulex と GridFlow については、Distance Map と呼ばれる、空間をグリッドに区切り、それぞれのセルに目的地までの距離が格納されているデータ表現を用いており、Continuous モデルと一口に言っても、様々な空間表現との併用がみられる。

2.2. 緊急時の避難者と一般的な歩行者の行動の特徴

空間モデルについてある程度の考察を述べたあとで、本章では避難者モデルについて論じたいと思う。避難者モデルの実装は、避難行動実験などで得られた避難者の行動の特徴をベースとして、可能な限り現実の行動を忠実に再現することを目的として行われる。

緊急時の避難者の行動の特徴として挙げられるのは以下のものである。

- 周囲で人が密集しているところに集まる。
- 周囲の人との衝突を避けようとする。
- 知っている経路を通りやすい。
- 建造物の係の人が誘導を行う。
- 周辺の人、誘導を行っている人についていく。
- 煙の中など視界の悪いところでは速度を落とす。
- 警報に対して、すぐには対応せずに避難を躊躇することがある。
- 災害発生初期には、確認のために火元にちかづく行動が見られる。

- 火が小さい場合には、消火活動を行う。
- その他パニックに起因した非理性的な行動をとる。

また、緊急時の人の行動だけでなく、平常時の歩行者などの行動の特徴を知っておくことは、避難者モデルの妥当性を検証するなどの目的において有用である。

一般的な歩行者の行動の特徴として挙げられるのは以下のものである。

- 人が密集している出口の前にポールを一本置くと、そのポールの左右に流れができ、ポールがない時よりスムーズに人が流れるようになる。
- 人の流れが対向すると、それぞれのレーンに分かれて流れができる。

なお、これらの項目は、[3]や[4]などを参考にまとめたものである。

2.3. 避難者の空間認知に関する既存研究

避難者の行動の一般的な特徴を再現するためのモデルを構築するためには、外から見ることでできる行動の特徴だけではなく、周囲の状況をどう認識し、それがどう行動に反映されていくのかのメカニズムを知っておかなければならない。

まずは、人が経路決定をする際に、その経路その物の認識をどのようにしているのかという問題があるが、それに対して論じている、[5]の内容を紹介したいと思う。彼らは、人間が認識する経路は、3つのレベルの要素から成り立つと論じている。

1. ランドマーク: 代表的な場所とその位置からなる
2. ルートマップ: ランドマークなどを含む、ある場所からある場所へと移動するための、指示の連続
3. サーベイマップ: 空間の幾何的な形状などの詳細な情報

空間認知に関する論文として同じような議論は、[6]などの中にもみられる。

また、人間がどのようにして経路を認識しているのかだけでなく、どのような形で外界の空間の情報を取得して、そこからどのように経路を導き出しているのかについても、避難者モデルを構築する上で必要になってくる。そこで、本論では更に、[7]の中で紹介されている、空間認知に関するモデルを紹介したい。彼は、人間が行う空間認知について、次の3つの要素に分けられるということを指摘している。

1. Haptic Space: 周辺の空間とその人の身体が直接的に作用することによって形成される空間情報
2. Pictorial Space: 周辺の空間以外も含む、視覚的な空間情報。いわゆる俯瞰図のようなイメージ。
3. Transperceptual Space: 経路決定の際に、他の情報から推論によって得られる情報。

また、これら3つの概念はそれぞれ独立したものではなく、Haptic SpaceはPictorial Spaceの形成に影響を与え、Pictorial SpaceはTransperceptual Spaceの形成に影響を与えるという図式になっている。

3. 提案

繰り返すが、本研究での大きな2つの目的は、発災時の避難者の行動を忠実に再現して、避難計画を定量的に評価するためのツールとすることと、シミュレーションを3次元可視化することによって避難訓練の代替物として提供し、避難者となりうる人たちの避難に対する習熟度を上げることとであり、それを念頭に置きながら、提案を行っていく。

3.1. 空間モデル

本研究では、より精度の高いシミュレーションを行うために、関連研究の章の中で示した 3 つの空間モデルの中で、Continuous モデルを採用する。そして、その Continuous モデルを実現するために、ノード 1 つ 1 つが任意の多角形で表される空間ネットワークを用いることとする。空間ネットワークを利用することの利点としては、連続した空間を表現しながらも、ネットワーク本来の性質として、最短経路などの問題を扱うことができ、エージェントが辿るべき経路の問題を扱えるという点にある。

3.2. 障害物回避を伴う目的地への移動

避難者が移動する方向を決定するときには考慮する要素は、避けるべき障害物と到達すべき目的地に分かれる。障害物の具体的な例としては、建造物自体はもとより、他の避難者や、建造物の中に配置されている家具などが挙げられる。本研究では、避難者が障害物を回避しつつ目的地へと移動する動きを再現するために、ロボットの経路計画問題などの分野で利用されている人工ポテンシャル法を、必要に応じて拡張し、用いることとする。人工ポテンシャル法とは、簡潔に説明すると、障害物と目的地が存在する場に置いて仮想的な力場を生成し、その力場によって避難者を誘導するモデルである。ちなみに、歩行者シミュレーションの分野において、Social Force モデルという人工ポテンシャル法と同様に、目的地から生じる力や他の歩行者から生じる力を考え、歩行者の行動をモデル化する手法があるが、Social Force モデルは、歩行者と歩行者の間に、衝突回避のための斥力だけでなく引力を仮定したり、歩行者同士の間で複雑な関係性を表現しようとしている。それに対して、人工ポテンシャル法は、障害物を回避しながら目的地に到達するという本来の目的に忠実で、その目的に対して様々な拡張を施す研究がなされている。

3.3. 避難者モデル

本研究では、エージェント・ベース・シミュレーションという概念を取り入れたモデルを構築する。エージェント・ベース・シミュレーションとは、自立した行動主体であるエージェントが、周囲の環境やほかのエージェント相互作用を起こすことによって、複雑系を表現するというものである。屋内避難シミュレーションにおいて、エージェントは避難者を表し、周囲の環境は建造物やその中にある家具などを表すことになる。

この基本的な関係を維持しつつ、本研究では、避難者の行動をより簡潔に表現するために、人工ポテンシャル法および、前述した [7] における、空間認識に関するモデルを利用したいと思う。エージェントはまず、周囲の環境からの情報を受け取る（ここで受け取った情報が、Haptic Space に該当する）。そして、その受け取った情報から、自身の中にある建造物の俯瞰図情報を更新する（この俯瞰図情報が、Pictorial Space に該当する）。最後に、更新された俯瞰図情報から、エージェントが辿るべき経路を更新する（この経路が、Transperceptual Space に該当する）。また、そうやって得られた情報から、人工ポテンシャル法を用いて、仮想的な力場を計算し、エージェントはそれをもとにして避難行動を行うことになる。より具体的に言えば、周囲の環境の情報から障害物を抽出し、その障害物から生じる斥力を計算し、また、エージェントが辿るべき経路から、今通るべき地点を求め、それから生じる引力を計算し、それらの合力によってエージェントが移動する。

ここで示したモデルを採用すると、図 1 は次の

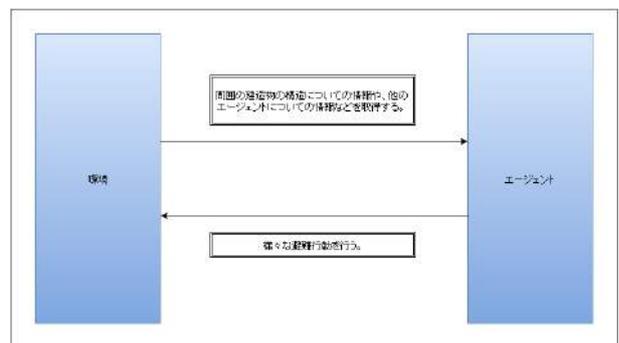


図 1: エージェント・ベース・シミュレーション

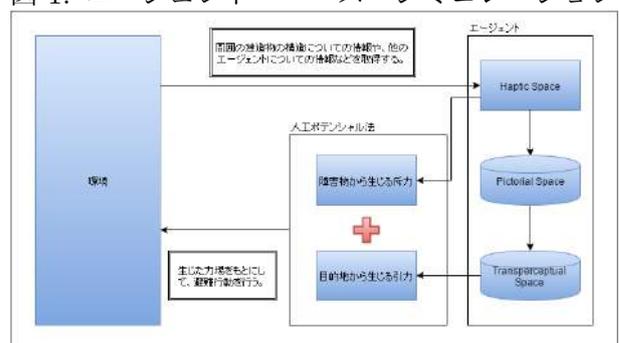


図 2: 本研究の避難者モデル

図2のように書き換えられることになる。

4. 設計・実装

本研究における実装は、Java および Scala 言語を用いて行う。

4.1. 避難者の行動の特徴の実装

関連研究の章で示したような、避難者の行動の特徴を再現することは、現実の避難計画を正しく評価すること、および、シミュレーションによって災害状況の疑似体験する際によりリアリティを感じてもらふこと、その双方につながることであり、大変重要なことである。本節では、提案モデルに基づいて、誘導員に追従する行動の実装を図3のように行う。エージェントが周辺の環境を知覚し、そのときに誘導員を見つけたなら、エージェントの中にある情報を更新する際に、経路から目的地を求める機能を無効化する。そして誘導員を追従するように、引力を計算するという流れになる。

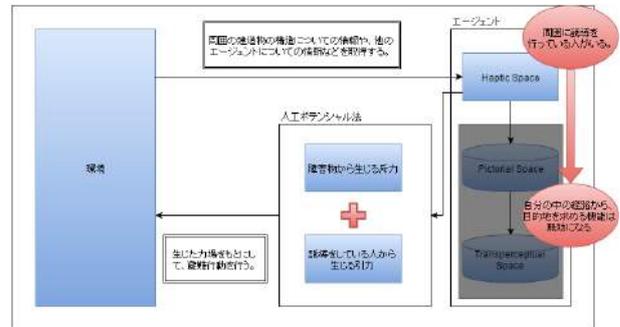


図 3: 追従行動の実装

4.2. シミュレーション全体の構成

本研究では、エージェント・ベース・シミュレーションを実装するために、ジョージ・メイソン大学等で開発している、Mason¹ と呼ばれるフレームワークを使用している。2次元シミュレーションにおけるUIなどは、主にそれに依存している。

IFCデータの解析には、IFC TOOLS PROJECT² がリリースしているライブラリを用い、2次元シミュレーションにおいては、計算幾何学のライブラリ Java Topology Suite³ を使用している。また、2次元状平面上でのシミュレーションをあらかじめ行い、その結果をもとにゲームエンジンなどで3次元可視化を行っていく。本研究プロジェクトでは、ゲームエンジンとして、長く jMonkeyEngine⁴ を利用してきており、本報告での例はこれを試用しているが、現在、並行して Unity⁵ を利用したプロジェクトも、並行して進行中である。

シミュレーション全体の構成としては、図4のようになる。

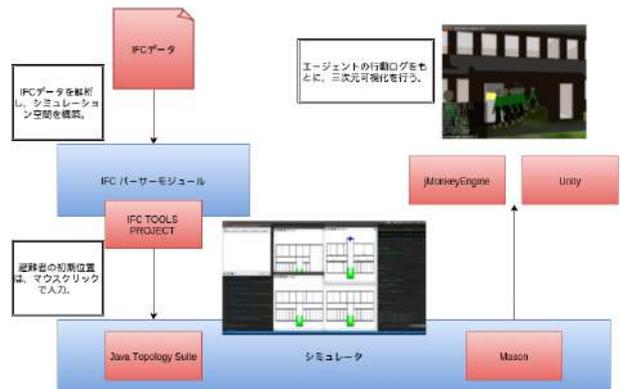


図 4: シミュレーション全体の構成

5. 実行結果・評価

5.1. 特定の人物を追従する行動の実装

前述した避難者モデルを実装し、特定の人物を追従する行動を実現したシミュレーションを構築、実行した。具体的には、誘導員となるエージェントを事前に設定し、他のエージェントが誘導員を視界に収めることによって、誘導員を追従する行動に移行するように実装した。実行イ

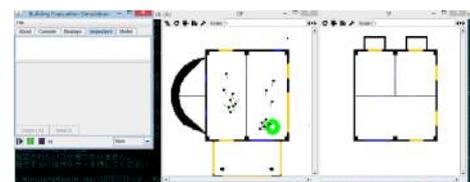


図 5: シミュレーションの実行イメージ

¹<https://cs.gmu.edu/~eclab/projects/mason/>

²<http://www.ifctoolsproject.com/>

³<http://tsusiatsoftware.net/jts/main.html>

⁴<http://jmonkeyengine.org/>

⁵<https://unity3d.com>

メージは図5のようになる。

特定の誘導員を追従しつつ、一緒に目的地に到達する行動を実装することはできたが、避難者の追従行動は、特定の人物を追従するだけでなく、不特定多数の集団などを追従する場合などもあり、それらの場合も考慮して柔軟に実装する必要があるというのが、今回の実装における評価である。

5.2.3 次元可視化

3次元可視化は、前述のように2次元上でのシミュレーションから生成したログによって行われる。実行すると、図6のようになる。

評価としては、生成されたログを忠実に反映することができたと言える。

6. まとめ

今回は、人間の空間認知に関する研究をもとにして、ポテンシャル法や空間ネットワークなども利用して、避難者モデルを構築し、最短経路を使って目的地に到達する行動だけでなく、特定の人物に対する追従行動も合わせて実装した。また、その結果を忠実に、3次元空間に反映することができた。今後の研究としては、他の避難者の行動の特徴も実装していき、更に、それぞれの避難者についても、性別や年齢などの性質を設定でき、かつそれを反映できるようにすることを目標にする。



図 6: 3次元可視化の実行イメージ

参考文献

- [1] Erica D. Kuligowski, Richard D. Peacock: “A Review of Building Evacuation Models,” National Institute of Standards and Technology, Technical Note 1471 pp.156, July 2005.
- [2] Nitish Chooramun: “Implementing a Hybric Spatial Discretization within an Agent Based Evacuation Model,” the University of Greenwich for the degree of Doctor of Philosophy, May 2011.
- [3] Xiasoshan Pan, Charles S. Han, Ken Dauber, Kincho H. Law : “A Mutli-agent Based Framework for the Simulation of Human and Social Behaviors during Emergency Evacuations, ” AI and Society, vol.22, issue 2, pp.113-132, 2007-11.
- [4] 岡谷賢, 高橋友一: “災害・避難シミュレーションにおける心理表現,” 人工知能学会知識ベースシステム研究会資料, 第88巻, 01-08 ページ, 2010年2月22日.
- [5] L.Hajibadai, M.R.Delavar, M.R.Malek, A.U.Frank: “Agent-Based Simulation of Spatial Cognition and Wayfinding in Building Fire Emergency Evacuation,” Geomatics Solutions for Disaster Management, pp.255-270, 2007.
- [6] Steffen Werner, Bernd Krieg-Bruckneer, Hanspeter A. Mallot, Karin Schweizer, Christian Freksa: “Spatial cognition: the role of landmark, route, and survey knowledge in human and robot navigation,” Informatik '97 Informatik als Innovationsmotor, pp.41-50.
- [7] David M. Mark: “Human Spatial Cognition,” Human Factors in Geographical Information Systems, Belhaven Press, pp.51-60, 1993.