

災害時における避難者の特徴を考慮した 避難行動モデルの構築

橋浦悠二[†] 松尾徳朗[†] 伊藤孝行^{††}

都市にて大規模な自然災害が発生した場合、人的被害の縮小には住民の避難行動が大きく関わっている。住民の避難行動は平時の時と異なり、各々の性格や人間心理による影響を大きく受けるため、避難シミュレーションにはそれらの特徴を反映することが望ましい。本論文では、従来の画一的な避難行動モデルを用いるのではなく、精度の高い群衆行動シミュレータである Massive を用いて、避難者の特徴を考慮したマルチエージェントベースの避難行動モデルの構築手法を提案する。

Development of evacuation model in disaster

Yuji Hashiura[†] Tokuro Matsuo[†] Takayuki Ito^{††}

If big disasters occurs in the city, evacuation is important to reduce the various damage. During the disaster, evacuee's behavior is different from peacetime because thier behavior is influenced of his/her personality and psychological state. So, evacuation simulation have to consider the evacuee's characteristic. But traditional evacuation simulation don't consider it and evacuation model is so simple.

In this paper, We introduce a Massive which is accurate crowd behavior simulator to consider evacuee's characteristic.

1. はじめに

自然災害に対する対策は、地震や津波が頻発する日本において怠ることはできない。特に近年の大規模災害においては建築物倒壊などの物的被害の他に死傷者や行方不明者等の人的被害も多数でている。特に人的被害については、災害に対する意識の希薄さや集団心理による安心感により、適切な避難行動を行えば助かる命を落としてしまう被害例も多かった¹⁾。そこで近年では避難シミュレーション研究を行うことで、大規模発生時の人的被害の縮小を図っている。既存の避難シミュレーションでは避難者は一斉に避難し、各々独立に目的地にむけて最短ルートを進むという最適行動を行うものが多い。しかし、現実的には避難者の行動は平時の時とは異なり、心理的な要因や性格などの影響を強く受け、最適な避難行動を全ての避難者が行うとは考えにくい。現に、阪神・淡路大震災における被災者への避難経路に関する調査では避難経路の選択を「習慣的に通る道を選ぶ」「他人についていった」など、心理的な要因による経路選択を行った被災者が存在することが明らかになっている²⁾。また、避難を誘導する誘導員の存在や、家族、親しい友人などの人間同士の協調的行動も避難者の避難行動に大きな影響を与え、全ての避難者が独立して行動する避難シミュレーションは避難行動の指標となりうるが、少しの状況変化で破綻してしまう脆弱性を孕んでいる。そこで、本論文では、マルチエージェントシミュレーションをベースとした避難シミュレーションにおいて、避難者の特徴付けおよび避難者間のコミュニケーションを避難行動に反映させるモデリングを、精度の高い群衆行動シミュレータである Massive を用いる方法を記述する[a]。

2. 関連研究

発生の予測が難しい自然災害に対する備えとして、具体的な避難状況や被害状況の予測を行うための避難シミュレーション研究が近年、広く行われている。従来の避難シミュレーションにおいては、避難者の行動は、災害が発生してすぐ避難行動に移り、最短のルートを通って目的地を目指すものが多かった³⁾⁴⁾。このような避難者が最適行動を行う設定の避難シミュレーションは、避難に時間がかかったり、失敗してしまう避難者の可能性を考えていないため、その都市構造自体の欠陥を発見しにくく、あくまで避難行動の指標となるに留まっている。一方、近年ではエージェントベースのシミュレーションシステムの利用の検討されている。エージェントベースのシミュレ

[†] 山形大学
Yamagata University

^{††} 名古屋工業大学
Nagoya Institute of Technology

a) Massive はニュージーランドの Massive Software 社の商標である。

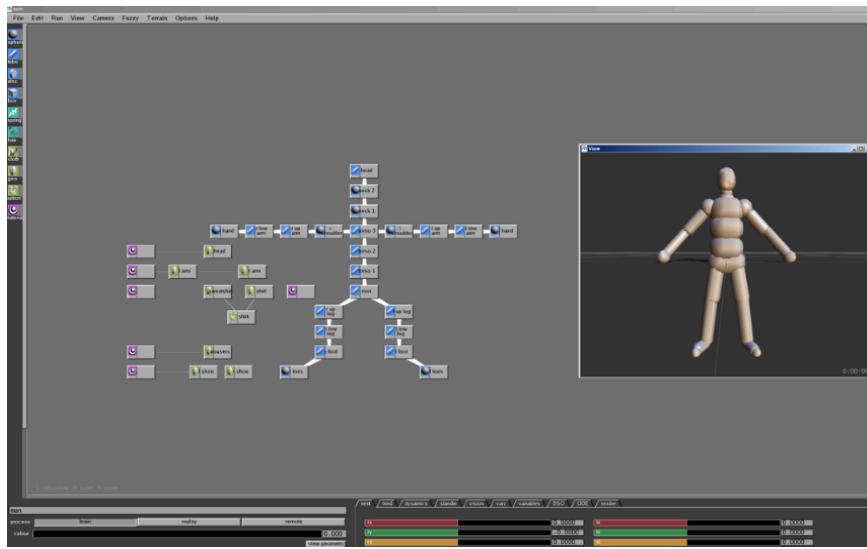


図1 エージェントのグラフィックモデル例

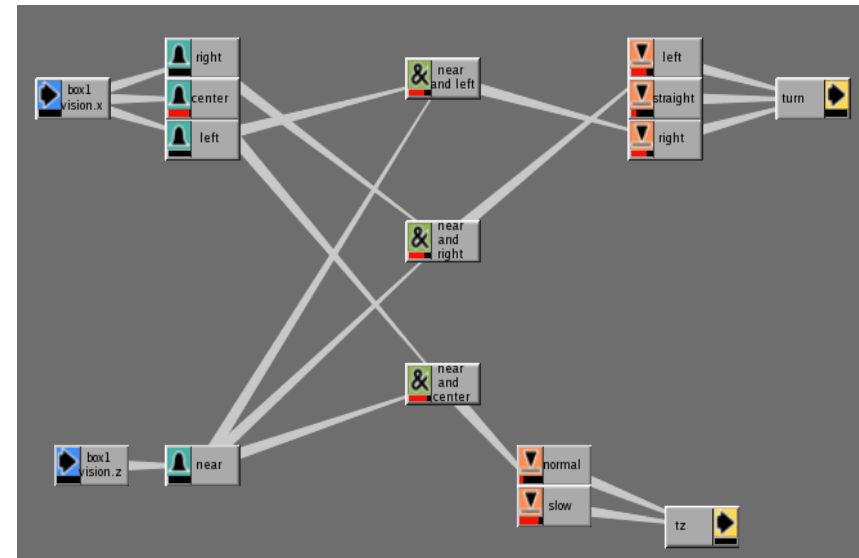


図2 エージェントの行動モデリング

ーションでは、エージェントが個々の判断により行動を決定する頭脳を持ち、従来の全ての避難者の特徴が同一視される避難シミュレーションとは異なり、より精密な分析が可能となる。しかし、これまでのエージェントベースのシミュレーションは、避難開始に伴う群衆の形成や、エージェント間の関係性を取り扱っていないことが World Trade Center の災害における膨大な詳細情報の解析から指摘されている⁵⁾。また、屋内などの避難者が密集する状況においては、避難を誘導する誘導員の存在が避難者の避難行動に大きな影響を与えることがシミュレーションにより明らかになっている⁶⁾。よって、避難者同士の行動の相互関係は避難行動を促進、または遅延させる影響を考慮することができるため、避難シミュレーションにおける群衆内の相互関係を無視する事はできない。

3. 群衆シミュレーション

本研究では、エージェント同士の相互関係を考慮した群衆避難シミュレーションに Massive を利用する。

3.1 Massive

Massive とは、1000 人を超えるエージェントの動きを 3D でシミュレートできる精度

の高い群衆行動シミュレータである⁷⁾⁸⁾。Massive では、エージェントのグラフィックモデルから行動モデルまで自由にモデリングすることが可能であり、多種多様なエージェントの構築を行うことができる。作成したエージェントは視覚、聴覚、触覚を持ち、その情報を元に他との衝突を避ける行動を取ったり、他のエージェントを追随するなど、様々な行動特性を制御することが可能である。また、モーションキャプチャや Maya の様な 3 次元コンピュータグラフィックソフトを用いたキーフレームアニメーションを取り込む事で、エージェントに現実の人間の動きに近いアクションを行わせることが可能である⁹⁾。本研究ではこの Massive を用いた群衆避難シミュレーションを取り扱う。

3.2 エージェントの多様性

災害時が発生したときの避難者の行動は平時の時とは異なり、心理的な要因や性格などの影響を強く受ける。例えば、災害発生直後において、危機感が強く、真っ先に逃げる避難者がいる一方、危機感を感じず、避難をなかなか開始しない避難者が存在する²⁾。また、危険だと分かっているが家族や友人を救出するために引き返す避難者や車両での避難において、反対車線が空いているにも関わらず、交通ルールを破らずに進行方向の車線の混雑に巻き込まれ避難が遅延したり失敗するなど、緊急時において不合理な行動を取る避難者の存在が考えられるため、避難シミュレーションにおけ

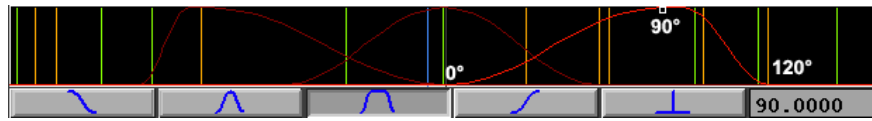


図3 Fuzzy Membersihp Curve

るエージェントは全て同一の特徴を持つものと設定するのではなく、個々のエージェント毎にある程度の特徴の差別化を行う事が望ましい。本研究ではエージェントのモデリングの特徴付けに、様々なエージェントを生成することが可能な Massive を用いる。

3.3 記述手法

Massive では、基本的にエージェントのグラフィックモデルと行動モデルの2つのモデルを構築することで、3Dでの群衆行動のシミュレーションを行うことが可能である。これらのモデリングはノードベースのインタフェースによりモデルを作成する。図1はグラフィックモデルの作成例である。グラフィックモデルは球型やチューブ型のパーツノードをリンクさせていくことで作成される。パーツごとの大きさや角度などの細かな設定を行う事で、人間のモデルにおいて老若男女の異なったモデルを作成する事ができ、また車や鳥などの人間以外のグラフィックモデルを作成することも可能である。また物理演算が搭載されていて、人間の髪の毛や服飾のなびきなども表現する事が可能である。

エージェントの頭脳と呼べる行動モデルは、図2の様に様々なノード同士をリンクする事で構築する。以下はノードの種類とその特徴である。

- ◆ **Input node**
エージェントが音や視覚情報、地形の角度など、様々な周囲の状況を認識し、それら情報を入力値として受け取るためのノードである。この入力値を後述の Fuzz node に出力する事で、回避行動や追従行動などにおいて人間の定性的な動きを表現できる。
- ◆ **Output node**
エージェントの移動の制御、およびエージェント自身が他のエージェントに知覚されるための情報を出力するノードである。ここで述べるエージェントは人間の様な移動するエージェントだけではなく、木などの静止している障害物を含む。出力情報の例としては、他のエージェントの聴覚で認識される音波情報を周波数のような任意の数値で設定することができる。
- ◆ **Fuzz node**
エージェントが知覚する周囲の状況をファジー理論に基づいた値に変換して入力するノードである。特定の周波数の音だけを入力したりなど、入力条件付け

を行う事が可能である。Fuzz node による入力には図3の Fuzzy Membership Curve を用いて知覚情報の曖昧性の入力制御を行う。図3は右方向からのエージェントの情報(縦線)を知覚するときの特徴を表している。つまり図2では、エージェント正面0度を真理値0とし、右方向90度において真理値が1になるように設定されている。0度と90度の間は半知覚状態として、曖昧な状態を表している。この Fuzzy Membership Curve に基づいて、エージェントは物体や他のエージェントの知覚を行う。

- ◆ **Defuzz node**
Fuzz node のよって与えられた0から1までの真理値を現実の値として変換を行うノードである。例えば、左方向に45度曲がると設定された Output node に Defuzz node がリンクしている場合、その曲がる角度は真理値によって0度から45度までの間で変化する(真理値が1なら左方向に45度曲がる)など、曖昧な変化の設定が可能である。
- ◆ **And node**
論理演算子における論理積を定義するノードである。And node に向けて接続しているノードの全てが真と判断された時、And node は真となる(正の出力値を返す)。
- ◆ **Or node**
論理演算子における論理和を定義するノードである。Or node に向けて接続しているノードの内、どれかが真と判断された時、Or node は真となる(正の出力値を返す)。
- ◆ **Timer node**
シミュレーション実行からの時間経過に伴い、任意の時間において真理値1を出力するノードである。
- ◆ **Noize node**
任意の変化率を設定し、出力値を時間経過に伴いランダムに変化させるノードである。

4. モデリングと実行例

図1のグラフィックモデルと図4の行動モデルを用いたエージェントの群衆を生成して実行したときの例が図5である。図4において、聴覚情報の出力は他のエージェントに知覚されるための音声の周波数を定義している。地形情報の入力と行動設定においては現在移動している地形の高さや傾斜に合わせた歩行の変化を行動設定を行っている。首の向きの設定は、近接するエージェントを知覚した時、その方向に顔を向ける設定を行っている。聴覚情報の入力と回避行動設定においては、他のエージェント

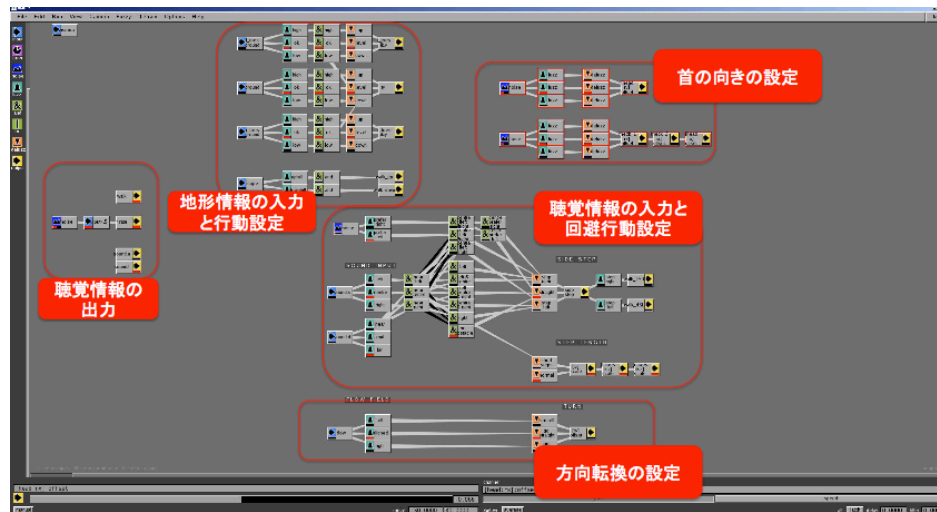


図4 エージェントの行動モデルの例

や物体が発する音波を知覚し、前方向と左右方向において衝突しそうなエージェントおよび物体を知覚した場合、サイドステップまたは歩行速度を緩めて衝突を避ける行動を設定している。方向転換の設定では、歩行中における方向転換の設定を行っている。

5. 評価手法

5.1 エージェントの評価手法

本研究で用いる避難者エージェントの行動モデルは2011年3月11日に発生した東日本大震災の被災者を含むインタビューおよびアンケートの結果を反映させる。構築したエージェントの行動モデルの妥当性は、シミュレーションを行い、避難の開始から終了までのエージェントの避難行動と調査結果との相違を分析することで評価する。

5.2 シミュレーションの評価

本研究では、現実の都市のモデル上で Massive による群衆避難シミュレーションを行う。都市の形態は平野部、山間地、沿岸部、および丘陵地など様々であり。その都市の形態により、避難の仕方は異なる。例えば、大規模な地震が発生した場合、海に近い沿岸部の都市においては津波が発生する可能性があるなら、迅速に海から

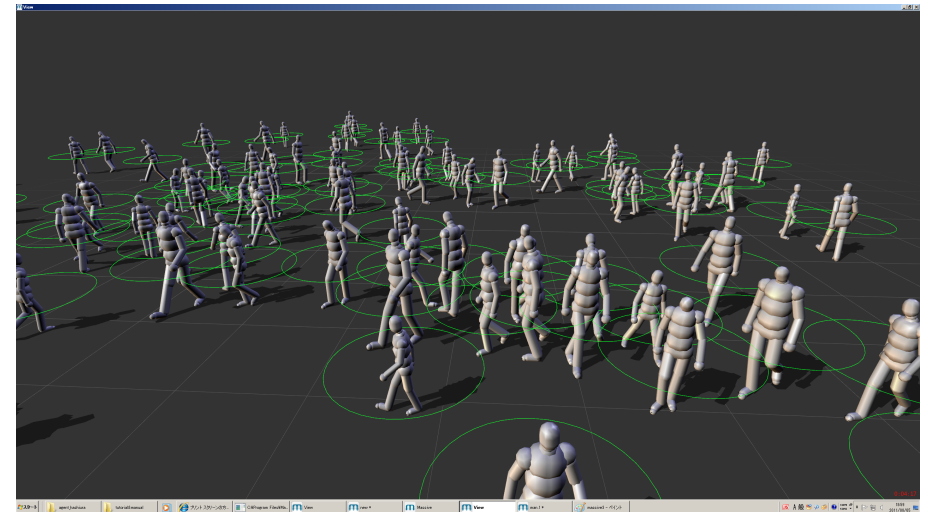


図5 実行例

遠ざかるような避難を行う必要があるが、海から遠い平野部の都市においては津波の危険性は少なく、近所の広い公園などに避難するだけで良い場合がある。自然災害の規模によってもその被害の全容は変化する。そこでシミュレーションにおいては自然災害の規模を大小変化させ、各シミュレーションを通じた全体の住民の避難成功率をもってシミュレーションを評価する。

6. おわりに

本論文では、マルチエージェントベースの避難シミュレーションにおいて、大規模な群衆の行動をシミュレート可能な Massive を災害時の群衆避難シミュレーションの適用する際の手法について提案した。現実の避難行動においては、避難を先導するリーダーの存在により避難の迅速性を高めるため、避難者間の協調的な行動の関係性を分析しなければならない¹⁰⁾。本研究の今後の課題は、実世界を再現できるエージェントのモデリングとして、被災者に対するインタビューおよびアンケートによる調査を複数回実施し、その結果をエージェントモデリングにフィードバックを行うことである。

参考文献

- 1) 山村武彦, :「人は皆「自分だけは死なない」とおもっている」, 宝島社(2005)

- 2) 柏原士郎, 上野淳, 森田孝: "阪神・淡路大震災における避難所の研究", 大阪大学出版会 (1998)
- 3) 渡辺公次郎, 近藤光男: 「津波防災まちづくり計画支援のための津波避難シミュレーションモデルの開発」, 日本建築学会計画系論文集, 第 74 巻, 第 637 号, 627-634(2009)
- 4) 源貴志, 成行義文, 藤原康寛, 三神厚: 「津波避難シミュレーションシステムの開発と地区の避難安全性評価への適用」, 土木学会地震工学論文集, Vol.30, pp.757-767(2009)
- 5) Kuligowski, E. D. and Gwynne, S. M.: "The Need for Behavioral Theory in Evacuation modeling", In Pedestrian and Evacuation Dynamics 2008, pp.721-732 (2008)
- 6) Pelechano, N., N. Badler: "Modeling Crowd and Trained Leader Behavior during Building Evacuation", Reprinted from IEEE Computer Graphics and Applications, Vol. 26, Issue 6, , pp.80-86(2006)
- 7) Massive Software Simulation life (2011 年 9 月アクセス)
<http://www.massivesoftware.com/>
- 8) Crescent,inc. 自律型群衆シミュレーションソフトウェア Massive (2011 年 9 月アクセス)
<http://backup.crescentinc.co.jp/massive>
- 9) Autodesk Maya (2011 年 9 月アクセス)
<http://www.autodesk.co.jp/adsk/servlet/pc/index?id=14515239&siteID=1169823>
- 10) Ripley, A.: The Unthinkable: Who Survives When Disaster Strikes - and Why, Crown, 2008(生き残る判断、生き残れない行動), 光文社 (2009)