

VR とエージェントシミュレーションを用いた 避難判断支援システム

畑山満則^{†1}

2011年の東日本大震災、2018年の西日本豪雨、2019年の台風19号において深刻な浸水被害が発生し、避難の重要性が再確認されている。警戒レベルが導入されるなど行政からの情報提供には工夫がなされてきたが、実際の避難判断は、対象者がいる場所の地形などに依存するため、これらの情報に加えて対象者の災害想定能力が必要とされる。本研究では、避難エージェントシミュレーションを用いたによる災害想定能力の向上のために教材作成について報告する。避難途中において学習すべき項目として、避難経路の「混雑」による移動の不自由さがあると考え、エージェントシミュレーション結果から「混雑」を取り出し、可視化する手法について考察を行った。

1. はじめに

2011年の東日本大震災、2018年の西日本豪雨、2019年の台風19号において深刻な浸水被害が発生し、避難の重要性が再確認されている。警戒レベルが導入されるなど行政からの情報提供には工夫がなされてきたが、実際の避難判断は、対象者がいる場所の地形などに依存するため、これらの情報に加えて対象者の災害想定能力が必要とされる。本研究では、VR とエージェントシミュレーションの技術を組み合わせ、災害想定能力を向上させるシステムの構築を目指す。VR により防災教育の効果を向上させるためには、防災教育における課題である、(a)個々の住民にリスク判断をさせるための教材がなく防災教育が難しい問題、(b)VR 型防災教育システムにおける現実感が乏しく防災教育の効果が低い問題、の双方を解決することを目指す。防災教育内容として災害時の行動で最も重要でありながら、適切な行動が状況・条件により様々に変化する避難を取り上げ、(a)の課題を実現するために、エージェントシミュレーションによる避難経路上のリスクの分析と可視化について報告する。避難途中において学習すべき項目として、津波や洪水などのハザードの高まりに加えて、避難経路の「混雑」による移動の不自由さがあると考え、避難エージェントシミュレーションの結果から「混雑」を取り出し、可視化する手法について考察を行った。

2. エージェントシミュレーションと避難

エージェントベースシミュレーションは、エージェントを「相互作用を引き起こす基本単位」として構成されるシステム (マルチエージェントシステム (multi-agent system)) を用いて協調や交渉などの相互作用の分析を行うものである。個々のエージェントを、計算モデルを用いて認知心理学の視点から設計することが可能なため、人間行動のミクロな部分に焦点を当てた分析には親和性が良いと考えられている。心理学の知見を取り込んだエージェントベースシ

ミュレーションは、交通行動分析の新たな手法として検討され1)、避難行動の評価や計画策定への応用事例として多くみられるようになった。特に、グループ・ダイナミクス (group dynamics) の分野で杉万らが行った避難誘導に関する実験2)を、マルチエージェントとして計算モデルで記述し、再現することを試みた石田らの研究3)は、心理学の知見とエージェントシミュレーションの親和性の良さを示す例となった。これ以前にも、群衆行動を取り扱うマイクロレベルのシミュレーションは存在したが、多くは人の動きを粒子の振る舞いと捉え、粒子同士の力学的インタラクションとして数理モデル化する手法がとられていたのに対して、石田らはこの研究において、プログラムにより人の行動を規定する計算モデルによりエージェントを設計しており、さらに杉万らの実験結果を検証材料とすることで、行動モデルの妥当性を示している。

別途行われた実験を再現するように人間行動をモデル化する手法は、以降も多くみられるが、さらにフィールドワークやサーベイリサーチから心理分析を行いモデル化する手法も取り入れられている。このような計算モデル作成手法の検討に加えて、いくつかの汎用的なシミュレーション基盤が構築・提供されたことで、エージェントベースシミュレーションの適応事例が増えている (例えば文献5)。

3. VR環境を用いた防災教育

近年、没入型デジタル環境を用いて、仮想空間での災害の体験を行うことで防災教育につなげようという動きがある。これは、現在提供されている紙のハザードマップや、GIS をベースとした浸水想定区域図では、災害をリアルに捉えることが難しく、発災時に取るべき行動を、感覚的・知覚的に学ぶことができないことに起因する。この問題に対して、国交省では、町の中に直に浸水深を表示する「まるとまちごとハザードマップ」5)を進めているが、これとは別に、情報デバイスを通して浸水状況を町にマッピングする没入型デジタル環境を用いた提案がなされている

^{†1} 京都大学 防災研究所
Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

(例えば文献6)。しかしながら、避難の際の経路の安全性までも考慮した学習コンテンツができていないのが現状である。そこで本プロジェクトでは、シミュレーション結果をVRで表示するシステムで、経路安全性を考慮した避難体験を実現するシステムの構築を目指すこととした。本稿では、安全性を分析するシステムの構築について報告するものとする。

4. 避難経路分析システム構築

本研究では、物理的な安全性(水路の位置など)に加えて、マルチエージェントシミュレーションによる避難シミュレーションから避難経路の行動を分析し、それらを用いて避難経路に潜むリスクについて分析する。シミュレーションは、国土地理院が提供する基盤地図情報をベースに、避難者をエージェントとしてモデリングされる7)。図1にシミュレーションイメージを示す。このシミュレーション結果から安全が確保される場所までの移動時間をベースに経路の相対的な避難安全性評価を行うものとする。



図1 津波避難シミュレーションのイメージ

5. 「混雑」の取り出しと可視化

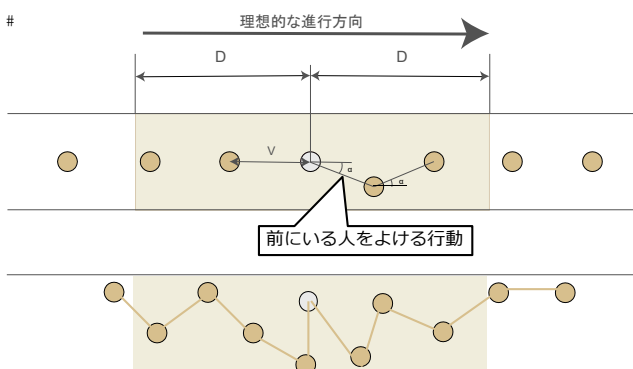


図2 意図した方向への速度移動が困難になる軌跡

歩行者エージェントについては、年齢や緊迫度に応じた移動速度の違いや、避難者が渋滞・混雑を回避する行動をモデリングした。その上で、道路の混雑状況を考慮するた

めに「混雑」の定義について考察し、モデリングを行った。

本研究では「混雑」を「意図した方向への意図した速度での移動が困難な集団」と定義する。意図した方向への意図した速度で移動が困難な場合のイメージを図2に示す。

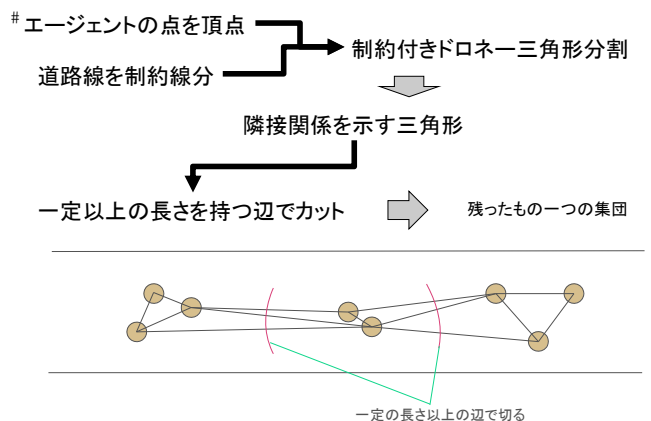


図3 津集団の取り出しアルゴリズム

「意図した方向に意図した速度で行けない状態」は、前方が詰まっているときに発生し、エージェントは直前にいる人を避けて前に出ようとする動きがある。この動きは意図した方向とは違う移動軌跡を持つため、これを意図した移動方向に分解した成分を足し合わせることで、意図した速度に対しての遅延率を計算し、一定の閾値を超える遅延率を示したときに速度低下したと判断する。

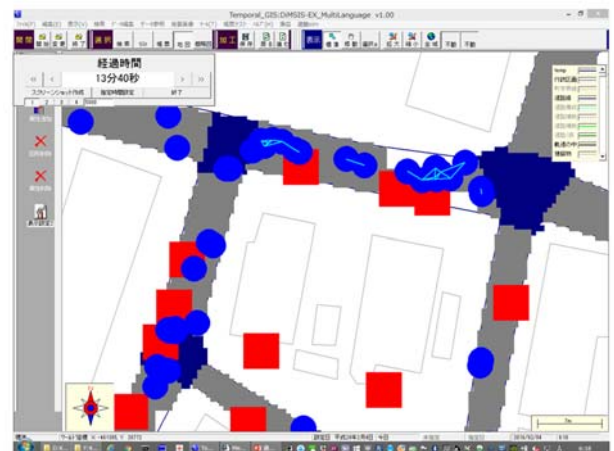


図4 取り出された「混雑」部分(水色の隣接関係部分)

「集団」はある程度の距離内に人が集まっている状態であるので、図3に示すようなアルゴリズムで取り出すことを考えた。具体的には、エージェントを頂点とし、道路線にあたる線分を制約線分として制約線分を必ず線分として含むドロネー三角形分割を行う。この時、得られた三角形の辺のうち道路線でないものが、隣接するエージェントとの隣接関係を示すこととなる。隣接関係の距離が一定以上の場合にリンクを切ることで、リンクがつながっているエージェント群を「集団」と定義して取り出すことにする。このような集団は、世帯などでみられるものである。この

2つのアルゴリズムを組み合わせることで「混雑」を取り出すことを試みた。取り出された「混雑」の事例を図4に示す。図の水色で隣接関係をつけられたものが「混雑」している状態を示したものである。駐車車両（赤■）が道路を狭めている部分でボトルネックとなっていることから、この「混雑」が発生したことがわかる。これは人が注視すればわかるものであるが、これが自動で抽出できることで、人手を介さずリスクの高いリンクを示すことができる可能性を示すこととなった。

自動車エージェントも、歩行者に似た行動モデルを実装した（ただし、前方の自動車を追い越す行動は取らない）。この運転行動モデルで「混雑」が発生すれば「渋滞」と判断することとした。また、歩行者と自動車が混合する場合には、お互いが相互に行動を制限するようモデル化し、歩行者と自動車が道路に混在する状況でのシミュレーションを可能にした。

6. 取り出した「混雑」の評価

アルゴリズムの評価のために、開発したマルチエージェントモデルを用いて、リンク内密度を一定としたとき（図5）にエージェントの平均速度を変えることでQV曲線を作成した（図6）。実際の交通観測データと同じように臨界速度を過ぎると、交通量が減少する現象を観測できた。

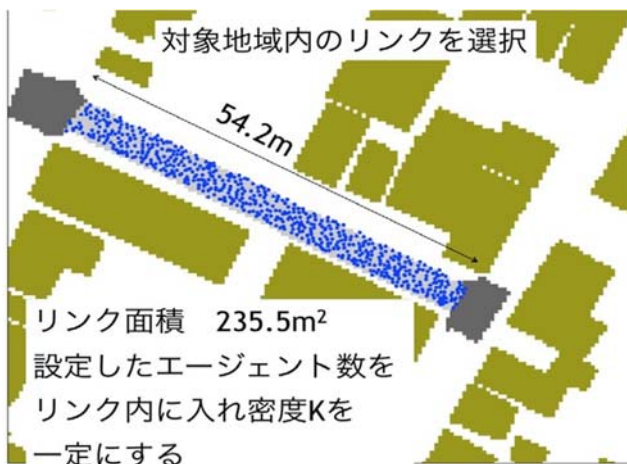


図5 QV曲線作成のためのシミュレーション

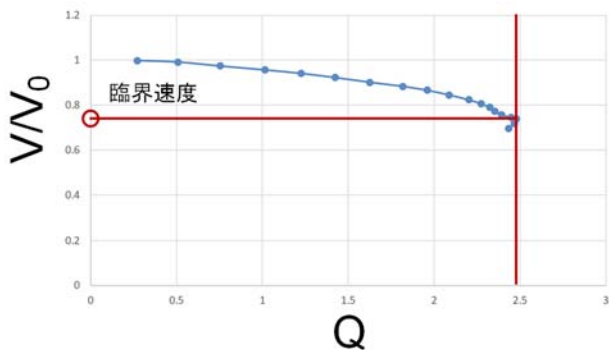


図6 シミュレーターにおける避難者のQV曲線

7. おわりに

本研究では、VR型防災教育システムを用いて個々の住民にリスク判断をさせるための教材の開発を目指し、避難エージェントシミュレーションにおける「混雑」の取り出し手法について検討した。シミュレーションは、環境の再設定やエージェントの速度や目的地などのパラメータの設定をプログラム変更なしで行えるように実装しており、ランダム要素を与えることも可能である。この設定変更を利用して、VRコンテンツ生成時において毎回異なるシナリオが生じさせることを可能とした。これにより、コンテンツ体験者による過学習（1つのシナリオで安全を確保する行動をどのシナリオでも有効な行動と認識して災害時の臨機応変な行動を妨げること）の効果を抑制できるようにした。

今後は、対象地域を決めて、シミュレーションを行い、VRへの実装を行っていくことを考えている。

謝辞

本研究は、総務省の戦略的情報通信研究開発推進事業（SCOPE）研究科題名「実世界の仮想化に基づく高臨場VR型防災教育システムの開発（181607010）」により実施している。

参考文献

- 1) 秋山孝正：知的情報処理を利用した交通行動分析，土木学会論文集 No. 688/IV-53, pp.37-47, 2001.
- 2) Sugiman, T. and Misumi, J.: Development of a New Evacuation Method for Emergencies: Control of Collective Behavior by Emergent Small Groups, Journal of Applied Psychology, Vol. 73, No. 1, pp. 3-10, 1988.
- 3) 村上陽平, 石田亨, 河添智幸, 菱山玲子：インタラクティブ設計に基づくマルチエージェントシミュレーション，人工知能学会論文誌, 18巻5号E, pp.278-285 (2003).
- 4) 枝廣篤・畑山満則・多々納裕一・湯川誠太郎：姉川・高時川下流域におけるエージェントベース広域避難シミュレーションシステムの開発，土木計画学研究・講演集, Vol. 40, CDROM, 2009.
- 5) 国土交通省水管理・国土保全局河川環境課水防企画室：まるごとまちごとハザードマップ実施の手引き（第2版），2017.
- 6) 板宮朋基, 神保貴彰, 四村好紀, 幸村衡, 北河佑基：ヘッドマウントディスプレイを用いた洪水疑似体験システムの開発と市民啓発への応用，日本バーチャルリアリティ学会サイバースペースと仮想都市研究会 CSVC2016-5, 25-28頁, 2016.
- 7) 畑山満則, 中居楓子, 矢守克也：地域ごとの津波避難計画策定を支援する津波避難評価システムの開発，情報処理学会論文誌, 55巻, 5号, 1498~1508, 2014.