

MAS を用いた災害時における最適な避難経路の提案

堺谷天詩^{*1}・浅本紀子^{*2}

sakaitani.tenshi@is.ocha.ac.jp

*1: お茶の水女子大学大学院人間文化創生科学研究科理学専攻情報科学コース

*2: お茶の水女子大学 基幹研究院 自然科学系

◎Key Words 災害, マルチエージェントシミュレーション

1. はじめに

近年、地震や地球温暖化が原因とされている予期せぬ豪雨などにより、日常の安全が脅かされているニュースをよく目にする。防災グッズの常備や各地区で提供されているハザードマップの確認といった日頃の災害対策は、今後もかなり重要であると考えられる。

しかし、東日本大震災の際は、「実際に避難できたのは住民の7~8割であると言われている。⁽¹⁾」原因として、危機感を感じられず逃げ遅れてしまったり、自動車による渋滞に捕まってしまうことが挙げられる。また震源地から遠く離れた地域でも、公共交通機関の停止に伴い多くの人が帰宅困難となった。

これらの内容を踏まえると、災害時には1人1人の迅速かつ効率的な避難が求められる。また、均等に人を分散させることで渋滞を避けることも可能であると考えられる。さらに近年、電車や商業施設等の現在の混雑状況を知れるサービスや、さまざまなIoTシステムによる混雑状況の把握が可能である。これらがさらに発展すれば、1人1人の動きや各所の混雑状況をリアルタイムで取得できるようになると考える。

2. 背景

2.1 災害時における避難者

実際に東日本大震災の際の、首都東京では、「無理な帰宅は控えるようにという指令と共に区市町は一時避難場所として公的施設や民間施設、国の施設、教育機関等、1,000箇所の避難場所を用意したが、当日夕方より主要幹線道路には歩行者があふれ道路は車で渋滞が続くなど、結果的に首都圏において約515万人の帰宅困難者が発生した。首都直下地震の被害想定では帰宅困難者はそれを上回る最大約800万人発生すると言われている。⁽²⁾」

現在は帰宅困難者が発生した際は、警察等の指示により、帰宅困難者を最寄りの避難所へと誘導することが一般的となっている。しかし、人口の多い都心部では人々が一斉に避難することで、救護活動を行うための救急車等の通行の妨げや、過度な人口密度による進行速度の低下、身体的に不自由な方の予期せぬ怪我等の二次災害を作りかねない。さらには、避難所までたどり着いたとは言えずにその避難所の収容人数を超過しており、別の避難所を再度探さなければならないという事態に陥ることが想定される。

2.2 先行研究・関連研究

災害時における避難経路に関する研究は数多く行なわ

れている。小笠原は⁽³⁾避難経路上の坂の傾きの大きさに基づき、避難経路選択モデルを構築している。川村は⁽⁴⁾アンケート調査から得られた被災者の避難特性の結果をもとに、避難時における重要な要素に関する研究を行っている。木村は⁽⁵⁾室内で、階段やデイル口付近の渋滞を考慮したリアルタイムの避難誘導システムの開発を行っている。

3. 災害時の避難経路

3.1 本研究の目的の概要

前章で述べたことを実現するために、まずはシミュレーションで人の流れを再現できるモデルを構築する。渋滞状況や避難経路の情報をもとに最適な避難経路を提案することで、災害時における情報交換の重要性の確認や災害時における情報技術の活用を目指す。

本研究では、各避難者のリアルタイムの状況を取得できると仮定する。その上で、その情報を元に最も効率の良い避難経路を提案するモデルを、構造計画研究所のマルチエージェントシミュレーション(以下 MAS という)、artisoc を用いて構築する。

MAS を用いる理由は、個々のエージェントにそれぞれの行動特性を持たせることでより現実に近いシミュレーションができるからである。またシミュレーション結果を擬格的に出力してくれるため、現実で起こり得る状況を目で見て確認することができる。

作成したモデルやシミュレーション結果を利用して、今後の災害に向けた人為的な安全性を検証する。将来的にはどの場所に避難場所を新しく増設すると、より効率的に避難ができるのかという、最適な避難場所の提案に関しても研究する。

3.2 MAS

MAS とは、複数のエージェントに対して同時進行的に各々のルールのもと相互作用を受けながら実行させるシミュレーション手法である。⁽⁶⁾

社会にはいくつもの要素が絡み合う複雑な事象が溢れており、個々の人間や生物のミクロな動きだけでは想定できないようなマクロの現象がある。これを「複雑系の現象」という。「複雑系」とは、個々の人間や生物の個人的な好みや行動様式(ミクロ)から推測できることが、必ずしも現象全体(マクロ)に反映しないもののことを言う。例えば、身近な複雑系の現象として、「鳥の群れ」、「高速道路での自然渋滞」などが私たちの生活の周りにも見られる。マルチエージェント・シミュレーションは、これらマクロな現象について、ここのエージェントの相互作用

用が積み重なった結果として捉えて、その仕組みを解析するのに適した手法である。⁶⁾

3.3 構築した避難モデル

今回は東京など震源地から離れた場所での、帰宅困難者の避難に着目して研究を行う。道幅の状況や混雑状況、避難場所収容人数の情報から、シミュレーションを行い避難者1人1人に最適な避難経路に沿って避難してもらう。最終的に帰宅困難者が全員避難するまでにかかった時間(step数)を比較して検証を行う。

4. 実装

4.1 空間設定

実際の災害時に渋滞が起きそうな、都心の一部を簡易的な仮想モデルに作り変える。今回は図1に示す通り、「港区の住宅地が多い地域⁶⁾」を参考にモデルを構築する。広さは約2km×2kmとする。図2は図1の地図を簡略化して作成した仮想マップである。白い部分は避難者エージェントが歩行可能な通路である。



図1 仮想モデルの参考元の地図

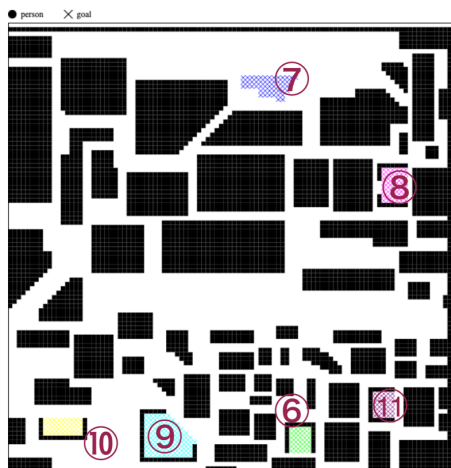


図2 簡易的に再現した仮想モデル

4.2 避難者エージェント

避難者エージェントは、ランダムに各地点で発生させる。今回は全員が通常歩行が可能であると仮定する。避難者エージェントは1エージェント1人とし、1000個のエージェントを発生させる。収容可能な避難所に到達した時点でシミュレーション上から自身は消えるように設定

する。

4.3 避難所エージェント

避難所エージェントは6から11番まで(各避難所の番号は図2を参照)、番号により区別する。各避難所にはそれぞれ収容可能人数が決まっており、その人数を満たした場合は避難者受け入れを終了する。各避難所の収容可能人数は表1にまとめる。避難者エージェントは避難所の入り口に到達した時点で避難完了とする。

表1 各避難所の収容可能人数

避難所番号	収容可能人数(人)
7	200
8	200
9	150
10	150
11	150

4.4 エージェントの行動ルール

今回はエージェントの行動ルールを2パターンに分類し、シミュレーションを行う。1つは、他の歩行者の場所を考慮せず、ただ最寄りの避難所に一目散に向かうパターンである。最寄りの避難所が収容可能人数を超えている場合は次に近い避難所を新たな目的地として行動する。避難可能な避難所にたどり着くまで繰り返す。

2つ目は、他エージェントの歩行場所、つまり渋滞を考慮し避難所に向かうパターンである。渋滞を回避した場合の方が目的地までの道のりが近い場合はその経路に沿って避難する。

4.5 避難経路決定手法

今回のモデルではポテンシャル法を用い、避難経路決定を行う。まず初めに各目的地に対するポテンシャルを求める。エージェントは収容可能な目的地ごとにムーア近傍でのポテンシャルを取得する。その中で最もポテンシャル値の小さかった避難所を目的地と設定し、1stepにつき1セル進む。渋滞を考慮した場合は、各避難所に対するポテンシャル法を求める際に、他のエージェントがいる場所は歩行不可とし、計算を行う。

4.6 シミュレーション結果 渋滞を考慮しない避難

渋滞を考慮しなかった時のstepごとの避難完了人数の結果は図3のようになった。1000人が避難完了するまでにかかったstep数は457stepであった。93stepまでかなり順調に避難できていることがわかる。また、139stepや231stepあたりでグラフが横ばいになっており避難完了人数に滞りが発生している。これは渋滞が発生したことによる、人の流れの滞りだと考えられる。

4.7 シミュレーション結果 渋滞を考慮した避難

渋滞を考慮した時のstepごとの避難完了人数の結果は図4のようになった。1000人が避難完了するまでにかかったstep数は386stepであった。渋滞を考慮しないシミュレーション結果より避難者の避難完了に要した総step数は少なくなっている。また比較的緩やかにグラフが伸びている。グラフが横ばいである箇所も少ない。

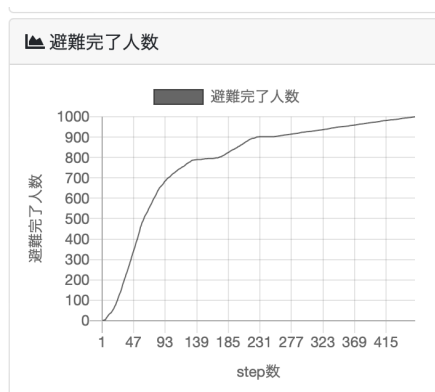


図3 渋滞考慮なし時のstepごとの避難完了人数

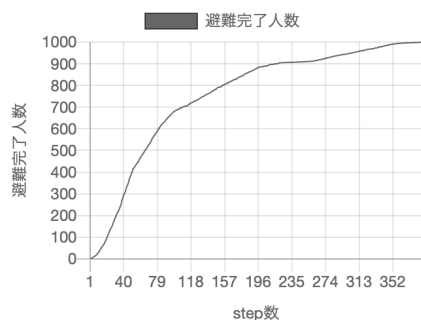


図4 渋滞を考慮した時のstepごとの避難完了人数

5. 考察

渋滞を考慮した時の方が総step数は小さくなっていったため、渋滞を考慮した方が全体的に見ると効率的に避難できることが分かった。実際のシミュレーション過程を見ても、渋滞を避けて避難している様子がわかる。図5では各所で渋滞が発生しており、立ち往生しているエージェントが見られた。しかし渋滞を考慮した場合でもグラフの横ばいが見られる。この原因として考えられることは、目的地としていた避難所が収容可能人数を満たしてしまい、強制的に目的地を変更せざる終えなくなることである。その場合最初に向かっていた目的地までの道のりが無駄に終わってしまう。

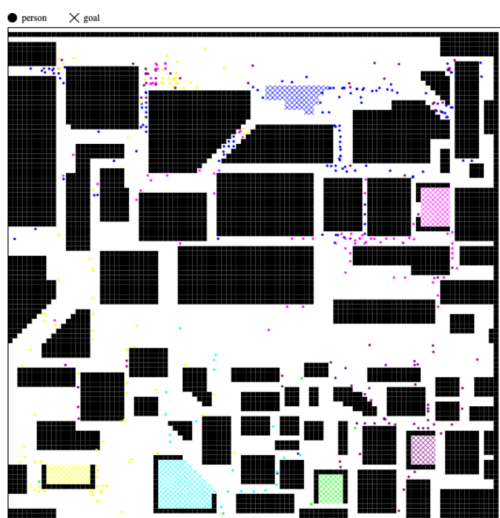


図5 渋滞を考慮しない時のシミュレーション



図6 渋滞を考慮しない時のシミュレーション

6. より現実的なシミュレーションにするために

今後はより現実に近いシミュレーションを行う。今回避難者エージェントは全員が渋滞を考慮した上でより最短で避難所に向かう経路を選択し避難した。しかし実際、現実では渋滞しているとはいえ最寄りの避難所を優先して避難する人もいると考える。また、避難者にはそれぞれの身体的能力の差がある。さらには必ず1人で避難するとは考えられにくい。また、考察でも述べたように避難所が満員になってから、次の避難所へ移動するのではなく、あらかじめ満員になる予定の避難所は目的地として考慮しない設定でシミュレーションを行う。

7. 今後の取り組み

さらに発展した避難経路に関する研究では、新たに避難所の提案を行う。今現在では、既存の避難所にいかに効率よく避難するかという点に着目し行われている研究は多くある。しかし、私は新たな避難所の新設により、さらに効率よく避難できるのではないかとこの点に着目した。渋滞や避難所の偏りを避け全体的に避難がより効率的に行えるような避難場所の提案に取り組む。

参考文献

- (1) https://www.toyo.ac.jp/link-toyo/social/risk_communication
- (2) 廣井悠, 関谷直也, 中島良太, 章谷峻太郎, 花原英徳: “東日本大震災における首都圏の帰宅困難者に関する社会調査”, 地域安全学会論文集, No.15, pp.343-353 (2011).
- (3) 小笠原和香, “MASを用いた坂の多い地域における災害時避難ルートの検証と避難誘導アプリの提案”, お茶の水女子大学 修士論文 (2023).
- (4) 川村日成, “最適行動に基づく津波避難行動解析を用いた避難経路に係る諸要因の分析”, 高知工科大学大学院 修士論文 (2018).
- (5) 木村健, “避難者分布と避難障害を考慮したリアルタイム分散避難誘導システムの開発”, 名古屋工業大学大学院 修士論文, (2018).
- (6) <https://mas.kke.co.jp/about/>
- (7) <https://www.city.minato.tokyo.jp/bousai/bosai-anzen/bosai/daiishinsai/b-map/r030301.html>