

# 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

小笠原 和香 (指導教員：浅本 紀子)

## 1 はじめに

災害時の避難では、高齢者や身体の不自由な人など、要配慮者への支援が必要である。特に急な坂や階段は要配慮者にとって移動の妨げとなるため、避けるべきである。しかし災害発生時におかれる状況は様々であり、安全なルートを選択しながら目的の避難所へ向かうことは困難である。

そこで本研究では、マルチエージェント・シミュレーションを用いて災害時避難における最適経路を求め、それを応用するモバイルアプリを開発し、災害時避難安全性向上における情報技術の活用を目指す。

## 2 MAS

マルチエージェント・シミュレーション(以下 MAS)とは複数の「エージェント」を用いた仮想実験のことを意味する。「複雑系の現象」について、個々のエージェントの相互作用が積み重なった結果として捉え、その仕組みを解析するのに適した手法である。

## 3 神田川氾濫避難モデル

MAS のプラットフォームである artisoc を用いて「神田川氾濫避難モデル」を作成し、文京区を中心とする高低差の大きい地域での災害時避難ルートの検証を行った。なお、本モデルは「河川氾濫モデルの作り方」[1]を参考に作成した。

### 3.1 エージェントの設定

東京都文京区・新宿区・豊島区の神田川外水氾濫区域を対象とし、ポイントを交差点・避難所、それぞれを繋ぐリンクを道路としてマップを作成した。

本モデルでは、ポイントエージェントを 170(うち交差点 126, 避難所 44)、リンクエージェントを 240 定義した。また避難者エージェントは 1512 定義した。ここで、避難者は  $1.0\text{m/s} \sim 0.8\text{m/s}$  で移動し、渋滞した道や坂ではその混雑度/勾配に応じて減速することとした。

### 3.2 最短経路計算

本モデルでは、ダイクストラ法を応用し、急坂・階段・橋など災害時に危険な要素を考慮した独自の最短経路探索を行った。ダイクストラ法は 2 点間の距離により重み付け値を定義するが、平面的な距離に加えて傾斜も重みとして与えることで、高低差の大きい地域に焦点を当てたルート取得を目指した。また、階段や橋を通る場合はコストをさらに与えた。

### 3.3 検証方法

本研究では、最短経路探索の重みづけ方法 2 通り、避難者の目的地決定方法 2 通り、計 4 通りのシミュレーションを行い、避難者全員が避難所へ辿り着くまでのステップ数を比較した。

最短経路探索は、傾斜を考慮しない「平面的な重み付け」と、傾斜を重みに加えた「空間的な重み付け」の 2 通りを設定した。

避難者の目的地決定方法は、文京区 HP[2] を参考に以下の 2 通りを設定した。

- (1) 指定の避難所 (地震時など)  
= 町会・自治会により割り振られた避難所
- (2) 最寄りの避難所 (水害/土砂災害時など)  
= 経路探索で、重みが最も小さかった避難所

事前に計算により避難ルートの初期値を取得し、シミュレーション開始と同時に避難者は避難を開始する。

## 3.4 検証結果

まず、本モデルにおける最短経路探索の有効性を検討するため、最短経路探索の重みづけ方法 2 通りについて、各交差点から見た「最寄り」の変化を検証した。126ヶ所の出発地のうち 37ヶ所に違いがあり、図 1 に示すように、厳しい坂道を避け、平坦な道でたどり着く避難所を選ぶ様子が確認された。

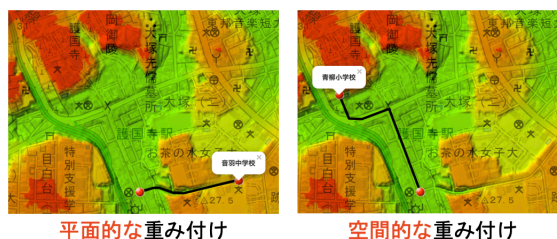


図 1: 最寄り変化例:「大塚警察署前」交差点

次にステップ数を比較したところ表 1 のようになり、指定の避難所へ向かうよりも最寄りの避難所へ向かう方が、早く避難完了することが確認できた。ただ後者の場合、(1)一部に避難者が集中し定員超過の恐れがある、(2)避難所付近の道が混雑してしまい通行が困難、などの問題点があった。これは現実の避難時にも起こりうる問題であり、特に(1)は、避難所の受け入れ人数等を事前に調べることで回避可能と考えられる。

また経路探索については、空間的な重み付けを用いた方が避難完了時間は僅かに縮んでいた。これは坂道の昇降による減速が減ったためと考えられる。

表 1: 経過ステップ数 (1step  $\equiv$  1mim)

経路探索 \ 目的地	指定の避難所	最寄りの避難所
平面的な重み付け	70.3 step	56.4 step
空間的な重み付け	70.1 step	53.1 step

## 4 文京区避難モデル

「神田川氾濫避難モデル」(以下 前モデル)に続き、対象地域を東京都文京区全域に広げたモデルの作成と検証を行った。前モデルから、マップの詳細化、経路計算方法の見直し等を行い、より現実の避難行動に沿ったシミュレーションを目指した。

#### 4.1 エージェントの設定

本モデルでは、ポイントエージェントを273(うち交差点182, 避難所47, 他44), リンクエージェントを390定義した。文京区は主要道路でも道幅が非常に狭い場合が多く、かえって危険な可能性もあることから、路地や狭い道路を新たに追加した。また避難者エージェントは3824定義し、文京区の町丁別人口データをもとに避難者の初期位置を変更した。

#### 4.2 最短経路計算の改良

対象地域の拡大, 道路情報の詳細化にあたり, これまでの経路探索方法ではポイント・リンクが増える毎に計算時間が伸びすぎることが問題として挙げられた。そこでプログラム改良を行い, これまでマップ全域について行っていた最短経路の探索範囲を, 半径約1km圏内に狭めた。その結果, 経路計算の回数が10分の1に減少し, 計算時間が1分30秒から10秒になった。

#### 4.3 検証結果

まず, 重みづけ方法2通りについて「最寄り」の変化を検証したところ, 152ヶ所の出発地のうち57ヶ所で違いがあった。

次にステップ数を比較したところ表2のようになり, 坂を考慮して最寄りの避難所を目指す場合で, 避難完了時間が特に伸びていた。また一部に避難者が集中する問題は前モデルよりも深刻化し, 収容人数の約10倍の人が集まる避難所も見られた。

表2: 経過ステップ数 (1step ≒ 1mim)

経路探索 \ 目的地	指定の避難所	最寄りの避難所
平面的な重み付け	77.4 step	76.0 step
空間的な重み付け	77.3 step	78.7 step

### 5 避難誘導アプリ

これらのモデルで計算した避難ルートを利用して, 独自のモバイル用避難誘導アプリケーションを開発した。なお, 対象デバイスはiPhone, iPadとしている。

#### 5.1 ルート表示機能

現在地から目的地へのルートをマップ上に表示する。目的地は「最寄りの避難所」「町会別の避難所」「他の避難所(設定から選ぶ)」から利用者が選択する。「町会別



図2: 経路表示例: 「町会別の避難所」

の避難所」は自身が所属する町会名をアプリに登録す

ることで確認でき, 家族や知人との合流に役立つ。文京区避難モデルで求めたルートを緑色で, MapKitが求めた最短ルートを青色で示した(図2)。また目的地が現在地から1km以上離れている場合, 文京区避難モデルの経路データがないため, 図3のようにMapKitによる最短ルートのみ赤色で示す。

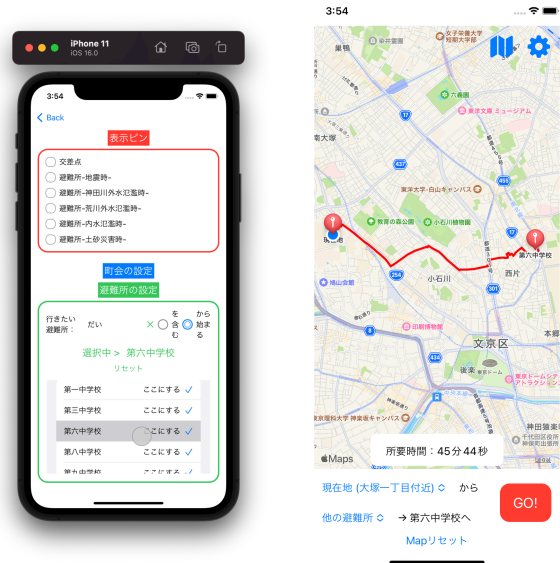


図3: 経路表示例: 「他の避難所(設定から選ぶ)」

#### 5.2 避難所情報表示機能

設定画面(図3左)から選択することで, 各避難所の位置をマップ上で確認することができる。またリスト検索により, 避難所の所在地やホームページ, 収容人数の目安などを表示する。

#### 5.3 アプリの実装

ここまでの検討をもとに, 避難モデルを組み込んだモバイルアプリの試作版を実装した。開発環境はmacOS Monterey上でXcode14とSwift5.7を使用しており, 対応プラットフォームはiOS16である。今後は, 利用状況や年代を問わずに利用できるようUI改善を行いたいと考えている。

### 6 まとめ

MASを用いて急坂や安全性を考慮した避難経路探索を行い, それを活用したモバイルアプリを提案した。

現時点では, 交差点・避難所の初期値設定やマップの描画設定など手作業で行うものが多く, 汎用性が低いことが課題として挙げられる。公開されているデータから簡単に経路探索やマップ表示が可能か検討し, 更なる改良を進めていきたい。

#### 参考文献

- [1] 「河川氾濫避難モデルの作り方」-artisocモデル集, (株)構造計画研究所 <https://mas.kke.co.jp/artisocmodel/>.
- [2] 避難所・緊急避難場所, 文京区HP <https://www.city.bunkyo.lg.jp/index.html>.