

# 大雨時における避難状況のシミュレータの開発

二村智朗<sup>1</sup> 福田龍樹<sup>1</sup>

**概要:** 近年、大雨による洪水被害が相次いでいるにも関わらず、避難率は向上する気配がない。これは、自分のいる場所が被害を受けるはずがないという思い込みや、他の人はまだ避難していないという決め手不足によって引き起こされていると考えられる。これらのことから、避難率を向上させるための方法が早急に求められていることがわかる。我々がすでに提案した避難状況の共有システムを用いれば、他者の避難状況を知ることができ、避難率を向上させる可能性があるが、共有時の諸条件がまだ定まっておらず今後の課題点として残っていた。そこで、避難率が向上するときの諸条件を求めるために、本論文ではゲーム理論をもとにしたシミュレータの基礎を提案する。現段階でシミュレータの基礎部分が完成しており、その結果と事前に行った住民へのアンケートの結果とが、ほぼ一致することを示し、シミュレータが正常に機能することを確認できた。

**キーワード:** マルチエージェントシミュレーション, ゲーム理論, 豪雨災害

## Development of Simulator Based on Game Theory for Evacuation from Heavy Rainfalls

TOMOAKI NIMURA<sup>1</sup> TATSUKI FUKUDA<sup>1</sup>

**Abstract:** Recently, a lot of damage caused flood has been occurred in Japan. A lot of residents who damaged by flood might have known that they should evacuate to the safe place before the flood occur, they couldn't do that. According to a certain survey, they thought they were safety because they thought that their house couldn't get damaged. Therefore we have to find a way to get residents evacuate as fast as they can. We are developing a new simulator which is based on the game theory, and the fundamental function was completed. We compared the result of simulation to the survey we conducted, and the comparison result shows that our simulation can almost simulate well.

**Keywords:** Multi-agent simulation, game theory, Heavy rain disaster

### 1. はじめに

現在、日本国内において早急に解決しなければならない課題の一つに、豪雨災害がある。特に、平成30年に発生した西日本豪雨では、死者237人、行方不明者8人、水害被害額は約1兆940万円にも登り[1]、この課題を解決することへの重要性は明らかである。この時、調査対象の17市町の避難率は平均で約4.6%にとどまっていた[2]。現代では、テレビやラジオ、スマートフォン、防災無線など様々な媒体を通して自治体から出る避難勧告や避難指示の有無を知ることができる。しかし、実際にすぐ避難を開始する人は少数であることがわかる。

以上のことから、人的被害を減らすためには、避難率を向上させなければならない。そのためには、まず、どのような条件下で人は避難しようとするのかを分析する必要がある。

そこで、本研究では、避難率を上げるための条件を分析するために、経済学、社会学、政治学、情報工学など、あらゆる分野で広く使われているゲーム理論を用いた避難対

象者の行動を対象とするシミュレータの開発を目的とする。

### 2. アンケート調査

#### 2.1. 質問と選択肢

豪雨時に、避難をするかどうかを決める判断材料として、どのような事を意識するのか調べるため、10代から80代までの男女1000人を対象にアンケートを実施した。以下は本アンケートの代表的な質問とその選択肢である。

質問1:豪雨時にあなたが避難する際、自宅周辺の人が避難しているかどうか気にしますか。

- 気にする
- 少しだけ気にする
- 全然気にしない

質問2:避難するか決める時に、自治体の出す避難の指示と自宅周辺の人々の避難状況のどちらの方が影響力が大きいですか。

- 自治体の出す避難の指示
- 自宅周辺の人々の避難状況

<sup>1</sup> 北九州工業高等専門学校  
National Institute of Technology, Kitakyushu College

質問3:豪雨時、自宅にいる時に次の状況になったとしたら、あなたは避難所へ避難しますか。避難を行うと思うものを全て選んでください。(複数回答可)

- 自宅区域に「避難準備(警戒レベル3)」が出た
- 自宅区域に「避難勧告や避難指示(警戒レベル4)」が出た

## 2.2. アンケート結果

質問 1, 質問 2 の結果を, 図 1, 図 2 にそれぞれ示す.

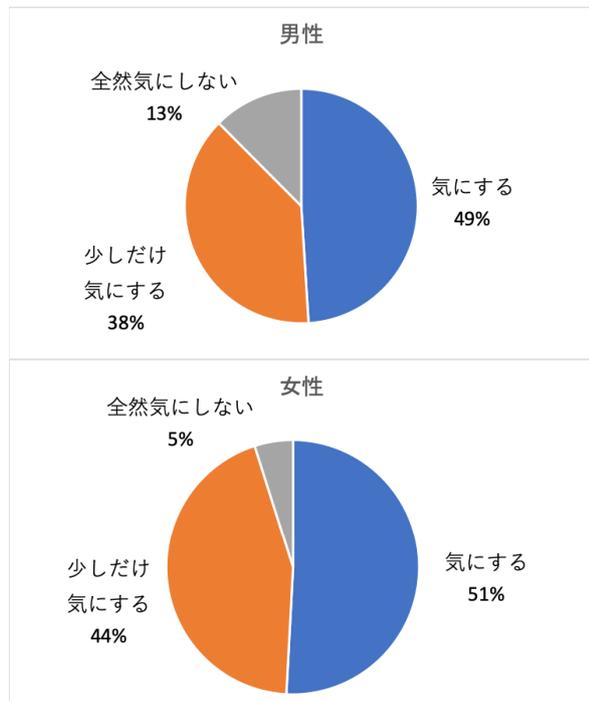


図 1 質問 1 の回答結果

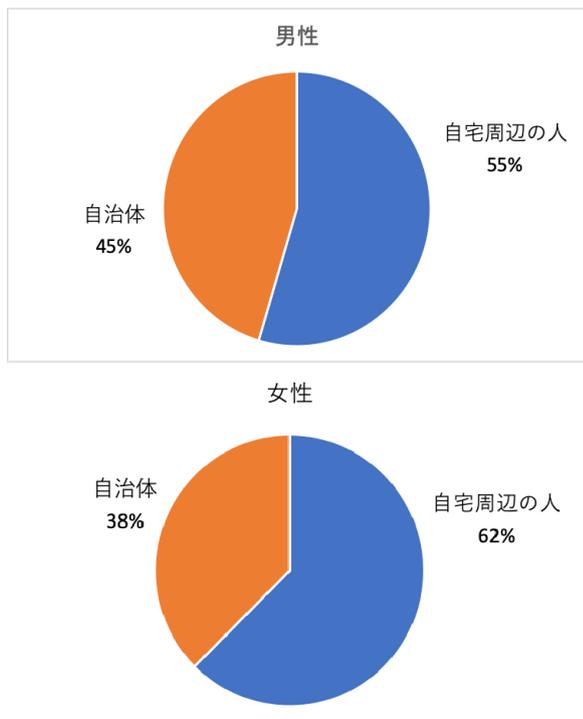


図 2 質問 2 の回答結果

表 1: 質問 3 の性別ごとの選択結果

選択肢	男性[%]	女性[%]	合計 [%]
自宅区域に「避難準備(警戒レベル3)」が出た	2.3	1.8	2.0
自宅区域に「避難準備(警戒レベル4)」が出た	3.6	2.6	3.0
自宅周辺の家の1割程度が避難をした	100	99.8	99.9
自宅周辺の家の3割程度が避難をした	100	99.8	99.9

図 1 より, 男女共に約 90% の人が自宅周辺の人の避難状況を参考にすることがわかる. また, 図 2 より男女共に約 60% の人が自宅周辺の人の避難状況の方が, 避難するかどうかの決定に影響を及ぼすと考えていることがわかる. 質問 3 の回答結果は表 1 の通りである.

これらの結果から, 多くの人の避難行動における意思決定は, 自治体の出す避難の指示よりも周辺の人の避難状況によって影響されることがわかる. そこで, 本シミュレータは, この避難行動についての意思決定の相互作用を考慮するためにゲーム理論を用いる.

## 3. ゲーム理論

ゲーム理論とは, 利害が必ずしも一致しない複数の意思決定をする行動主体 (以降, プレイヤーと呼ぶ) が, 自身の利得を最大化もしくは損害を最小化しようとした場合, それぞれの意思決定は相互作用によって定まるといふ, ゲーム的状况を分析・研究する理論である[3]. ここでプレイヤーとは, 個人や企業, 国家など, 現在考えている問題で, 一つのまとまった意思決定ができる最小単位である. また, ゲーム理論におけるプレイヤーは合理的経済人であることを前提とする. 合理的経済人とは, 「個々の主体は自分の利益を最大化するよう意思決定を行う」という概念であり, プレイヤーは自分の利益を最大化することしか考えず, 他人の為に利益を与えることは無い(ただし, 他人に利益を与えることで自身の利益が増加する場合もある).

ゲームとは, 一定の制度的・社会的・物理的制約の下で相互に影響を及ぼして合う複数のプレイヤーが取り得る戦略を数学モデルとして表したものである.

## 4. 避難シミュレータ

### 4.1. 避難シミュレータの概要

本研究では、避難地域の住民同士の相互作用を再現するため、シミュレーション方法としてマルチエージェントシミュレーションを採用する。マルチエージェントシミュレーションとは、自律的に意思決定を行うエージェントを多数用いて仮想的な社会を形成し、様々な事象をモデル化するものである。本シミュレータでは、エージェントは豪雨が発生している地域の住民とする。

本シミュレータでは、以下の条件が存在する。

- 全てのエージェントは合理的経済人である。
- 自治体の出す警戒レベルは河川の氾濫前に必ず発表される。
- 自治体の出す警戒レベルに従ったエージェントは氾濫前に避難する。
- 周辺住民の避難状況は[4]で提案している「避難するね! ボタン」によって与えられる。
- 浸水範囲は「避難困難とされる浸水深 0.5m に達した範囲」と定義する[5]。
- 浸水範囲は円状に拡大する(地形を考慮しない)。
- 避難の判定は1世帯単位で行われる。
- エージェントの年齢、性別、健康状態、家族構成は考慮していない。
- 避難開始後の行動は考慮しない。

### 4.2. 避難シミュレータの処理の流れ

本シミュレータのフローチャートを図 3 に示す。

まず、あらかじめ設定した数のエージェントを生成し、各エージェントの座標をランダムに生成、氾濫地点からの距離を算出する。生成された各エージェントはアンケート結果を基に、個々に「隣人」の人数を設定する。ここでの「隣人」とは、各エージェントが意思決定を行う際に近くにいる他のエージェントである。

全てのエージェントが警戒レベルを基にした避難行動の意思決定を行った後、河川の氾濫・浸水を開始する。浸水範囲は1ステップごとに半径1ドットずつ拡大していく。避難を行わなかったエージェントは、1体1体がステップ毎に避難行動の意思決定を行う。各エージェントの意思決定の方法をアルゴリズム 1 の擬似コードに示す。

各エージェントは、自身が浸水していれば避難不可能な状態へ、浸水していなければ意思決定を行う。意思決定を行うエージェントは、「隣人」の避難状況を確認し、「隣人」の総数に対する避難した「隣人」の割合(以降、隣人避難率と呼ぶ)が任意の値に達していれば避難する。隣人避難率が任意の値に達していなければ、そのまま自宅に待機し次のステップで再度意思決定を行う。

全域が浸水した時、シミュレーションを終了し、警戒レベルに応じて避難したエージェント、避難不可能なエー

ジェント、「隣人」の避難状況を考慮して避難したエージェントの数を計算する。

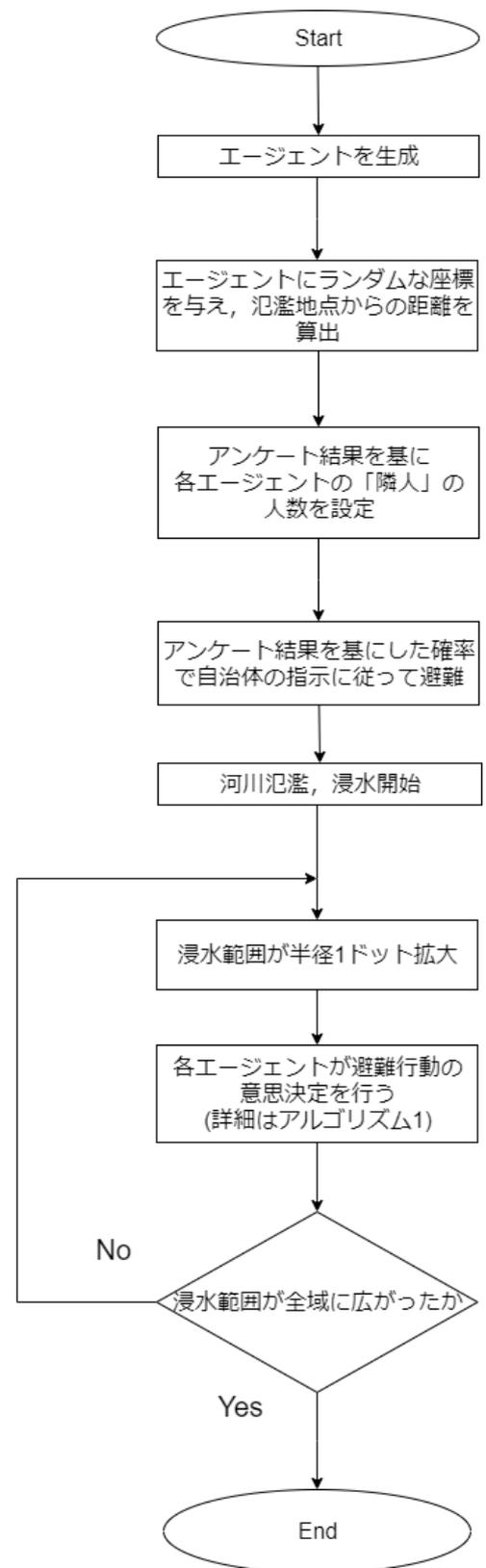


図 3 シミュレータのフローチャート

```

    If 自身が浸水していない{
        for 全ての「隣人」に対して{
            if 「隣人」が氾濫前に避難 or 氾濫後に避難{
                避難した「隣人」の数を1増やす
            }
            if 隣人避難率が10%に達している{
                避難する
            }
            else{
                自宅に待機, 次のステップで意思決定を行う
            }
        }
    }
    else {
        避難不可能
    }
    }
    
```

アルゴリズム 1 避難行動の意思決定に関する擬似コード

### 4.3. 避難シミュレータの出力方法

図 4, 図 5, 図 6 にシミュレータの動作例を, 表 2 に表示されたシミュレータの画面内の各色の意味を示す。

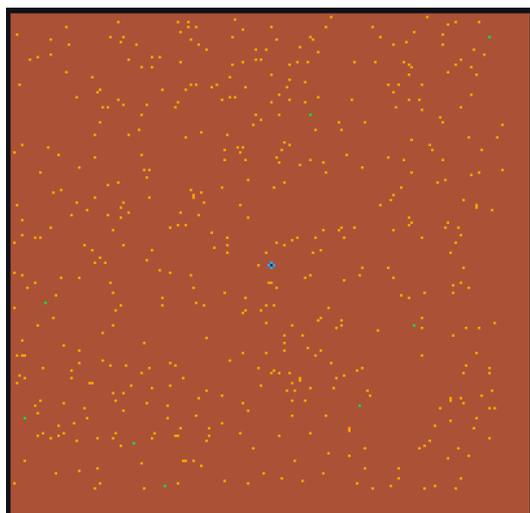


図 4 1 ステップ後のシミュレータ

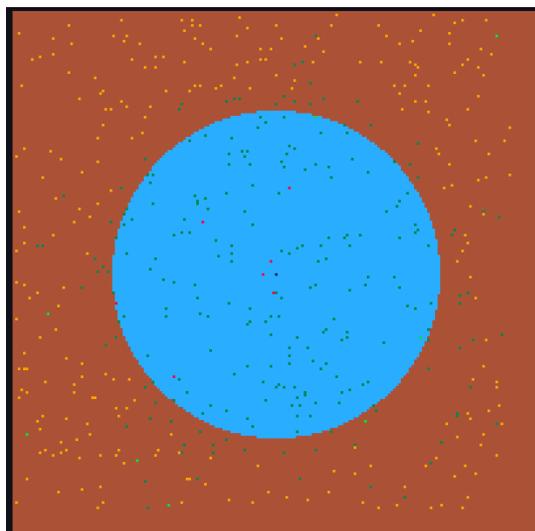


図 5 65 ステップ後のシミュレータ

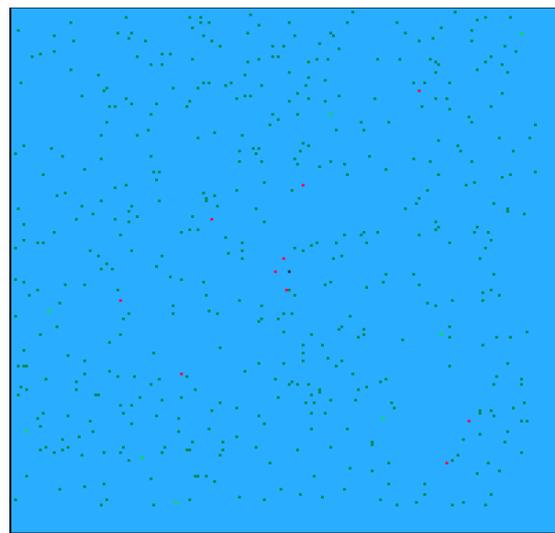


図 6 144 ステップ後のシミュレータ  
 表 2 表示された各色とその意味

色	意味
水色	浸水範囲
紺	氾濫地点
緑	「隣人」の避難状況を考慮して避難したエージェント
黄緑	警戒レベルに応じて避難したエージェント
橙	待機中のエージェント
赤	避難不可能なエージェント
茶	背景

## 5. 実験

### 5.1. 各種条件

本シミュレータは, Python3.7 を用いて開発した. また, ライブラリとして pyxell.2.10 を利用している.

開発したシミュレータが正常に動作をするか確認するため, 警戒レベル 3, 警戒レベル 4 それぞれの状態 で 50 回ずつシミュレータを稼働させた. シミュレータの各パラメータの設定は表 3 の通りである.

なお, 1 ドットあたりの面積及び 1 ステップあたりの時間の設定値は, 2018 年(平成 30 年)に発生した西日本豪雨の被災地である岡山県倉敷市真備町有井地区の住民の証言を基に算出した値である[6]. また, 「隣人」の数の設定で使用した割合と隣人避難率は, アンケート結果を基にしている.

表 3 各パラメータとその値

パラメータ	設定した数値
1 ドット当たりの面積	10[m]×10[m]
シミュレーション範囲	2[km]×2[km]
1 ステップあたりの時間	1[分]
シミュレーション時間	145[ステップ](=145[分])
エージェント数	500[件]
警戒レベルに応じて避難する確率	警戒レベル 3 で 2[%] 警戒レベル 4 で 3[%]
各エージェントの「隣人」の数	46.0%で 10[軒] 29.1%で 10[軒] 24.9%で 10[軒]
隣人避難率	10[%]

## 5.2. 実験結果

警戒レベル 3 の時の稼働結果を表 4, 警戒レベル 4 の時の稼働結果を表 5 に示す。

表 4 警戒レベル 3 の時のエージェントの行動

状態	平均値 [軒]	割合 [%]
「隣人」の避難状況を考慮して避難	481.44	96.29
警戒レベルに応じて避難	10.72	2.14
避難不可能	7.84	1.57

表 5 警戒レベル 4 の時のエージェントの行動

状態	平均値 [軒]	割合 [%]
「隣人」の避難状況を考慮して避難	476.30	95.26
警戒レベルに応じて避難	15.58	3.12
避難不可能	8.12	1.62

警戒レベル 3, 警戒レベル 4 それぞれに応じて避難したエージェントの割合は, 2,14[%], 3,12[%]であった。これらの値は, 質問 3 の「自宅区域に『避難準備(警戒レベル 3)』が出た」, 「自宅区域に『避難勧告や避難指示(警戒レベル 4)』が出た」のそれぞれの合計選択率, 2,0[%]及び 3,0[%]とほぼ同値であると言える。また, シミュレーション終了時に避難していたエージェントは, 警戒レベル 3, 警戒レベル 4 それぞれで 98,43[%], 98,38[%]であり, 質問 3 の「自宅周辺の家の 1 割程度が避難をした」の合計選択率 99,9[%]とほぼ同値と言える。

## 6. 今後の展望

本研究の最終的な目標は, 避難率向上のため, 洪水が発生している地域の住民がどのような条件下で避難を行うか分析するためのデータを収集することができるシミュレータの開発である。今回作製したシミュレータは試作品であるため実装したモデルは「『隣人』の避難状況を確認し, 意

思決定を行う」という単純なものである。また, シミュレーション対象の地域はランダムに生成された架空のものであり, 地形も考慮していない。したがって, 目標を達成するためには以下のような機能やデータを実装するべきであると考えられる。

- (1) エージェントの性別や年齢, 健康状態, 家族構成
  - (2) エージェントの心理特性
  - (3) 外部情報の伝達方法や伝達速度, 伝達可能範囲等
  - (4) 実在する地域の地形データ及び住宅のデータ
  - (5) 過去の豪雨災害の詳細なデータ
  - (6) 状況に応じた警戒レベルの引き上げ
- (2) の心理特性には表 6 のようなものが挙げられる[7].

表 6 心理特性とその効果

心理特性	効果
正常性バイアス	災害発生時に, 都合に悪い情報を無視する, または事態を楽観視するなどして, 対応が遅れる
同調性バイアス	緊急事態時に, 人は集団と同じ行動を取ろうとする
家族愛性	家族の安否を確認する, 家族を捜す, 家族の安全を確保するなど, 家族のことを考慮した行動をとる

正常性バイアスは, 東日本大震災発生時に住民がその場に留まる, または避難所に向かわず帰宅しようとした原因と考えられており, 災害発生時に大きな影響を与える心理特性と言われている[8]. このため, 優先的に考慮すべきであると考えられる。

## 参考文献

- [1] 国土交通省, 「平成 30 年 7 月豪雨における被害等の概要」, [https://www.mlit.go.jp/river/shinngikai\\_blog/shaseishin/kasenbunkakai/shouinkai/daikibokoukigouu/1/pdf/daikibokoukigouu\\_01\\_s2.pdf](https://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/shaseishin/kasenbunkakai/shouinkai/daikibokoukigouu/1/pdf/daikibokoukigouu_01_s2.pdf), (参照 2019-07-20).
- [2] 東京新聞, 「西日本豪雨避難率 4.6%死者, 不明者が出た 3 県 17 市町」, <https://www.tokyonp.co.jp/article/national/list/201809/CK2018090602000143.html>, (参照 2019-07-20).
- [3] 渡辺隆裕, ゼミナールゲーム理論入門, (社) 日本経済新聞出版社, 1 版 12 刷, 2018.
- [4] 福田龍樹, 「避難するね! ボタンを用いた避難促進システムの開発」, 北九州工業高等専門学校研究報告, 第 53 号, pp.41-44, 2020.
- [5] 末次 忠司, 「氾濫原管理のための氾濫解析手法の精度向上と応用に関する研究」, 国立国会図書館デジタルコレクション 博士論文, 1999.
- [6] 山陽新聞: 「真備町あの日の 24 時間 タイムラインで見る決壊の様子」, [https://www.sanyonews.jp/sp/okayama\\_gou\\_timeline](https://www.sanyonews.jp/sp/okayama_gou_timeline), (参照 2019-7-20).
- [7] 本田 慧悟・菅原 俊治, 「心理特性と外部情報の影響考慮した災害避難シミュレーション」, 第 80 回全国大会講演論文集 2018 巻 1 号, p.535-536, 2018.
- [8] 近田 洋輔・原山 美知子, 「被災者の心理に基づく津波避難シミュレーション」, 情報処理学会研究報告.情報システムと社会環境研究報告 Vol.2013-IS-126, No.8, p.1-8, 2013.