

観光地における避難計画の提案のためのマルチエージェント シミュレーションの行動ルールのモデル化に関する基礎的研究

Modeling of Behavior Rules on Multi-Agent Simulation for Proposal of Evacuation Plans at Tourist Sites

鳥 居 宣 之 光 同 寺 太 朗 野 並 賢
Nobuyuki Torii Taro Kodoji Satoshi Nonami

1. はじめに

2005 年 9 月 6 日午後 10 時頃に、広島県廿日市市を中心に土砂災害が発生した¹⁾。この内、厳島神社で有名な宮島町では、弥山山頂付近が崩壊し、白糸川を流下して大量の土砂が、厳島神社南側の住宅地に流れ込み、家屋戸が損壊するなどの被害が生じた。また、2020 年 7 月 25 日に長崎県諫早市高来町でがけ崩れが発生した²⁾。これは観光名所である轟狭付近で発生し、観光目的で訪れていた母娘 3 人が巻き込まれた。さらに、2021 年 7 月 3 日午前 10 時に、静岡県熱海市で大規模な土石流が発生しており、死者 26 人、行方不明者 1 人、負傷者 3 人、建物の損壊が 128 棟に及んだ³⁾。この土石流による観光地への被害は無かったが、静岡県のハザードマップを見ると、熱海市の観光地付近に土砂災害警戒区域が多くみられる。

観光地では、土砂災害発生時において、人的被害は逃げ遅れやパニックの発生により拡大すると考えられ、多くの課題が存在する。第一に、観光地で土砂災害が発生した場合、避難が必要な人は滞在している場所の危険箇所や避難所の位置を把握しているとは限らない。第二に、土砂災害時には避難路となる道路も被災している可能性がある。このような状況下では、危険な道路に多くの人が集まってしまうことで、さらなる人的被害につながってしまう。土砂災害の発生を未然に防ぐことが理想的であるが、自然災害であるため、予測不可能であり、人為的なミスによる被害の拡大を完全に防ぐことも困難である。土砂災害発生時において人的被害を軽減するためには、事前の避難計画と土砂災害発生時に被災している人々に適切な情報を発信し、迅速かつ安全な避難行動を促すことが重要である。

土砂災害を想定した避難の行動パターンを観察し、これらを踏まえたうえで、避難計画を立案し、避難行動を促すことができれば良いが、地域全体の人々や施設の協力が必要となる。また、多くの時間を要するため、現実では不可能であることから、マルチエージェントシミュレーションを用いた避難計画に関する研究が行われてきている。マルチエージェントシミュレーションとは、複数（マルチ）の「エージェント」を用いた仮想実験（シミュレーション）のことを意味する。「エージェント」の定義は、自分の周囲の状況を認識し、それに基づいて、一定のルールのもとで自律的に行動する主体のことを言う。具体的には、現実では人間や生物などがそれにあたる。つまり、エージェントは人間や生物の行動をルールとして模擬して自律的に振る舞う行動主体といえる⁴⁾。事前の避難計画に関するマルチエージェントシミュレーションを用いた既往の研究の多くが地震や津波発生時の避難行動についてであり、「土砂災害発生時」に限定した研究は地震や津波に比べると少ない。したがって、マルチエージェントシミュレーションを用いた「土砂災害発生時」の避難行動についての研究を行うことは、土砂災害による被害の軽減につながると考えられる。

以上の背景から、筆者らは、観光地の土砂災害時における様々な人の行動特性を考慮した避難行動をモデル化し、土砂災害発生時に安全で効率的な避難計画を提案するためのシミュレーションを行うことを目的として研究を行っている。本報では、その第一報として、観光地における様々な行動特性をもつエージェントの行動ルールのモデル化について報告する。

2. 研究方法

2. 1 マルチエージェントシミュレーションの概要⁴⁾

災害時の被災現場は、時間の経過とともに周辺環境が変化するため、避難者は周辺の状況から得られる情報をもとに、適宜行動を決定する必要がある。一般に、自然現象を解析・予測するとき、これまで還元主義に基づくトップダウン的な手法が多く用いられていたが、他方、社会現象や人間の経験に基づいた意思決定を扱うとき、このような既存の手法では十分に分析できないことが知られており、これを解決する手法として、複雑系のアプローチが注目されている。複雑系をコンピュータ上で分析する手法の一つとしてマルチエージェントシミュレーションがあり、この手法は「個々のエージェントが独自のルールを持って行動し、相互作用した結果を分析する」というボトムアップのアプローチ方法である。人間の意思決定をモデル化し、仮想的な社会の中で行動させることにより、個々人の相互作用により生じる様々な状況を分析することができる。

本研究の避難シミュレーションの作成には、株式会社構造計画研究所のマルチエージェントシミュレータである「*artisoc4.2*」⁴⁾を使用する。これは、社会現象など人間の意思決定に基づいたシステムを分析するアプローチである「マルチエージェントシミュレーション」を構築するプラットフォームである。「*artisoc4.2*」は各々の内部属性に関連付けられた独自の意思決定メカニズムと行動計画に基づき、自律的に判断し行動する意思決定主体のことをエージェント、そして複数のエージェントが相互関係をもつ集合体のことをマルチエージェントと呼称するが、この複数のエージェントが相互作用を及ぼすことによってシステム全体の流れが生まれ、またその全体の流れによってエージェントの個々の動きが動的に変化する特徴を有している。

2. 2 観光地におけるエージェント特性とルール

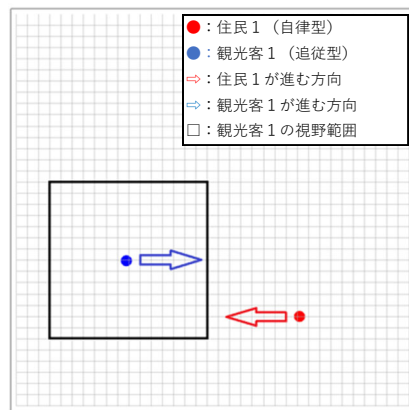
2. 2. 1 観光地におけるエージェント特性

観光地には住民以外にも、危険箇所や避難場所の位置を把握していない観光客、観光施設等に働きに来ている労働者が存在していると考えられる。また、身体障がい者や高齢者、病人などの歩行速度が遅い場合の人たちの存在も考えることができる。以上より、観光地内では、危険箇所や避難場所の認知、歩行速度により避難時の行動が変化するため、別々の行動ルールを持った複数のエージェントが存在すると想定する必要がある。

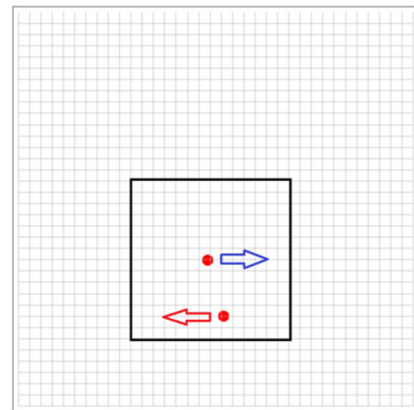
本研究で用いるシミュレーションでは、エージェントの行動ルールを歩行速度、「自律型」か「追従型」かによって識別する。ここで、「自律型」とは避難場所を認知しており、避難場所に最短経路で移動する住民のことをいい、「追従型」とは避難場所を認知していないため、住民の後について行き避難場所を目指す観光客のことを本研究では定義する。それぞれのエージェントの歩行速度は、健康な状態の場合は内村⁵⁾と同様に全世代の歩行速度の平均である 1.4m/s とし、歩行速度が遅い場合（身体障がい者、病人、高齢者など）は、健康な状態の場合の半分⁶⁾の歩行速度である 0.7m/s とする。また、その場にとどまる場合は歩行速度を 0.0m/s とする。ここで、労働者は普通に働くことができる、すなわち健康な状態であると考えられるため、歩行速度は 1.4m/s とする。これらを踏まえた上で、観光地におけるエージェントの行動ルールを表-2.1 に本研究では定義した。なお、労働者は、わざわざ職場付近の危険箇所や避難場所を把握していないと考えられるため、観光客と同じ「追従型」とし、観光客 1, 2 と同じ行動ルールであると考えたため、これらは観光客 1, 2 に含まれるものとする。さらに、住民の中には避難場所を認知していない人も存在するが、「避難場所の認知」という点で観光客と同じ性質であると考えたため、このような住民も観光客に含まれるものとする。また、エージェントの視野の範囲は新井ら⁷⁾を参考に矩形で周囲 7m とする。ここで、追従例を図-2.1 に示す。図中の step1 では、追従型の観光客 1 は右に移動し、住民 1 は左に移動している。この時点では、住民 1 は観光客 1 の視野範囲に入っていない。次の step2 では、観光客 1 の視野範囲に住民 1 が存在している。このとき、観光客 1 は住民 1 と同じ目的地へ向かうので、元の青色から赤色に変化するものとする。そして、step3 で観光客 1 が住民 1 に近づき、step4 でそのまま追従することとなる。

表-2.1 本研究で定義した観光地におけるエージェントの行動ルール

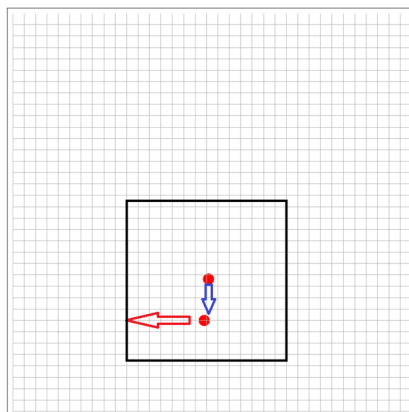
エージェント	行動ルール	速度(m/s)	型
住民1	避難場所へ最短経路で移動	1.4	自律型
住民2	避難場所へ最短経路で移動するが歩行速度が遅い	0.7	自律型
住民3	うろうろする	1.4	追従型
住民4	その場にとどまる	0.0	追従型
住民5	来たところへ引き返す（自宅など）	1.4	追従型
住民6	うろうろしているが歩行速度が遅い	0.7	追従型
住民7	その場にとどまるが歩行速度が遅い	0.7	追従型
住民8	来たところへ引き返すが歩行速度が遅い	0.7	追従型
観光客1	うろうろする	1.4	追従型
観光客2	その場にとどまる	0.0	追従型
観光客3	来たところへ引き返す（駅、宿泊先、駐車場など）	1.4	追従型
観光客4	うろうろしているが歩行速度が遅い	0.7	追従型
観光客5	その場にとどまるが歩行速度が遅い	0.7	追従型
観光客6	来たところへ引き返すが歩行速度が遅い	0.7	追従型
労働者1	うろうろする	1.4	追従型
労働者2	その場にとどまる	0.0	追従型



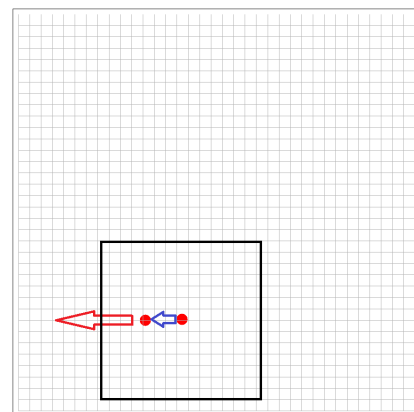
a) step1



b) step2



c) step3



d) step4

図-2.1 観光客が住民を追従する例

2. 2. 2 空間の設定

各エージェントの行動ルールのモデル化を検証するため、対象となる空間は二次元空間を設定し、 100×100 のセルでシミュレーションを行うこととした。対象となる空間を図-2.2に示す。これは、図の底辺を x 軸、左端の辺を y 軸とし、左下の座標を $(0,0)$ 、右上の座標を $(100,100)$ とした二次元の空間であり、1セルの面積は実空間で 1m^2 とし、1ステップは1秒とする。また、避難場所を二次元空間の座標 $(100,100)$ に設定した。

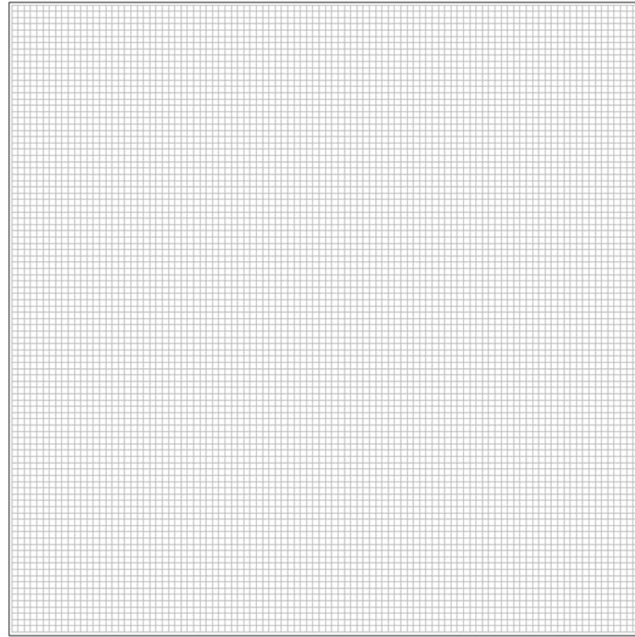


図-2.2 対象となる二次元空間

2. 2. 3 各エージェントのモデル化

(1) 住民 1

住民 1 は、シミュレーションが開始されたら、以下の図-2.3 のようなアルゴリズムに従い、行動すると定義する。住民 1 は座標 $(0,0)$ に発生し、歩行速度 1.4m/s で座標 $(100,100)$ にある避難場所へ最短経路で移動する。このとき、周囲 7m に歩行速度が 0.7m/s の観光客がいれば、図-2.1 で示したようにその観光客を避難場所まで誘導するとしたので、住民 1 の歩行速度も 0.7m/s になるとした。

(2) 住民 2

住民 2 は、シミュレーションが開始されたら、以下の図-2.4 のようなアルゴリズムに従い、行動すると定義する。住民 2 は座標 $(0,0)$ に発生し、歩行速度 0.7m/s で座標 $(100,100)$ にある避難場所へ最短経路で移動する。

(3) 観光客 1

観光客 1 は、シミュレーションが開始されたら、以下の図-2.5 のようなアルゴリズムに従い、行動すると定義する。観光客 1 はランダムな座標に発生し、歩行速度 1.4m/s で辺りをうろうろする。このとき、周囲 7m に住民がいればその住民に追従する。また、その住民の歩行速度が 0.7m/s ならば、観光客 1 の歩行速度も 0.7m/s になる。

(4) 観光客 2

観光客 2 は、シミュレーションが開始されたら、以下の図-2.6 のようなアルゴリズムに従い、行動すると定義する。観光客 2 はランダムな座標に発生し、その場で立ち止まったまま動かない。このとき、周囲 7m に住民がいればその住民に追従する。そして、その住民の歩行速度が 0.7m/s ならば、観光客 2 の歩行速度も 0.7m/s になる。

(5) 観光客 3

観光客 3 は、シミュレーションが開始されたら、以下の図-2.7 のようなアルゴリズムに従い、行動すると定義する。

観光客 3 はランダムな座標に発生し、歩行速度 1.4m/s で来たところへ引き返す。すなわち、目的地を持っている。このとき、周囲 7m に住民がいればその住民に追従する。そして、その住民の歩行速度が 0.7m/s ならば、観光客 3 の歩行速度も 0.7m/s になる。

(6) 観光客 4

観光客 4 は、シミュレーションが開始されたら、以下の図-2.8 のようなアルゴリズムに従い、行動すると定義する。観光客 4 はランダムな座標に発生し、歩行速度 0.7m/s で辺りをうろうろする。このとき、周囲 7m に住民がいればその住民に追従する。

(7) 観光客 5

観光客 5 は、シミュレーションが開始されたら、以下の図-2.9 のようなアルゴリズムに従い、行動すると定義する。観光客 5 はランダムな座標に発生し、その場で立ち止まったまま動かない。このとき、周囲 7m に住民がいればその住民に追従する。

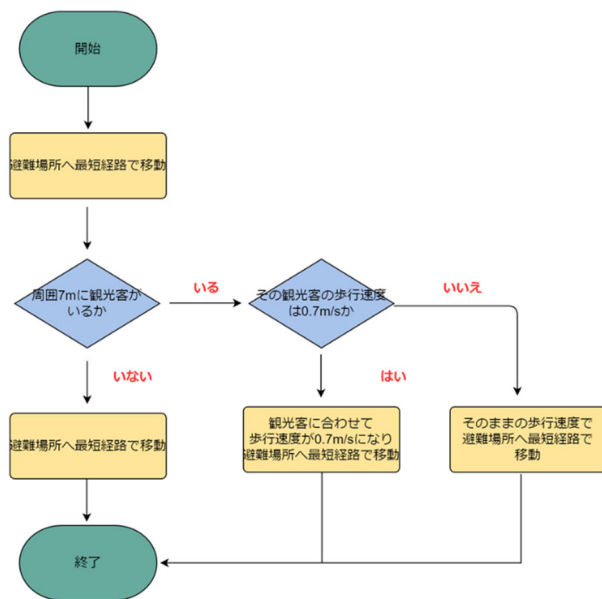


図-2.3 住民 1 の行動アルゴリズム



図-2.4 住民 2 の行動アルゴリズム

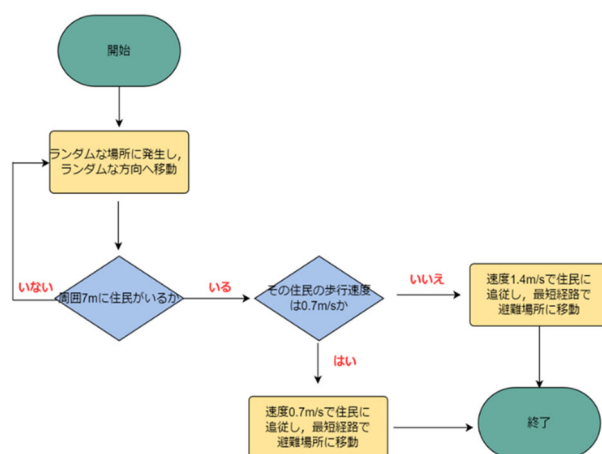


図-2.5 観光客 1 の行動アルゴリズム

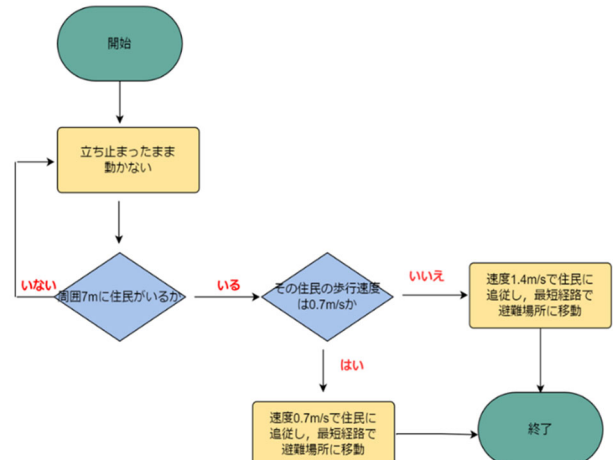


図-2.6 観光客 2 の行動アルゴリズム

(8) 観光客 6

観光客 6 は、シミュレーションが開始されたら、以下の図-2.10 のようなアルゴリズムに従い、行動すると定義する。観光客 6 はランダムな座標に発生し、歩行速度 0.7m/s で来たところへ引き返す。すなわち、目的地を持っている。このとき、周囲 7m に住民がいればその住民に追従する。

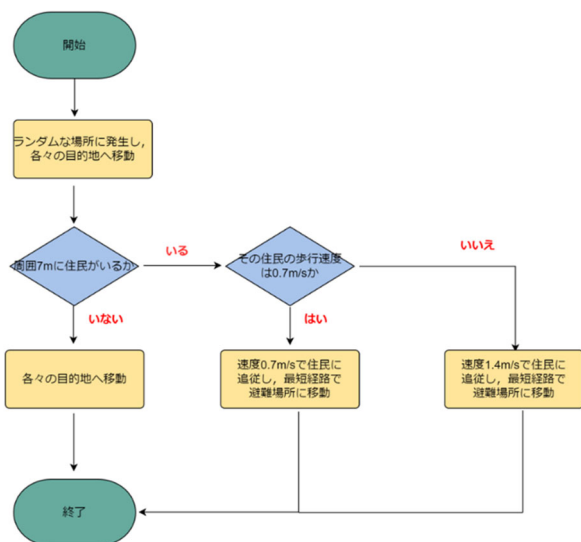


図-2.7 観光客 3 の行動アルゴリズム

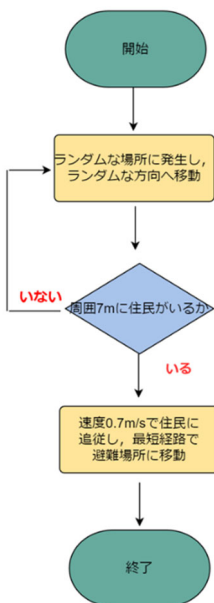


図-2.8 観光客 4 の行動アルゴリズム

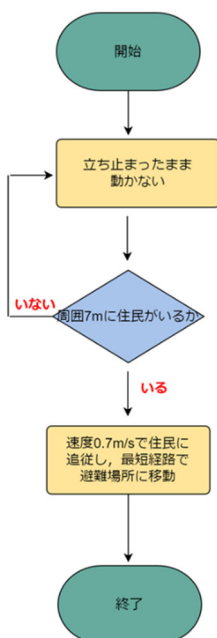


図-2.9 観光客 5 の行動アルゴリズム

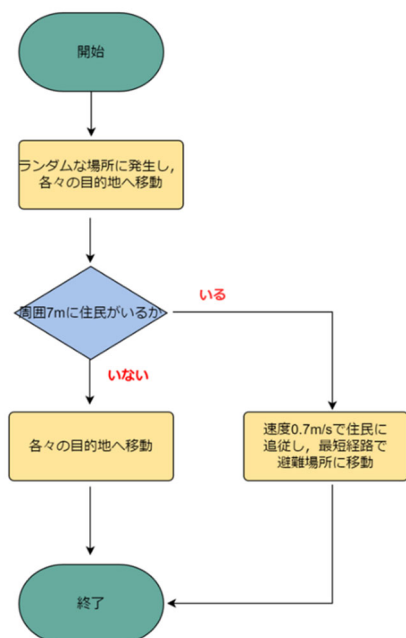


図-2.10 観光客 6 の行動アルゴリズム

3. マルチエージェントシミュレーションによる行動アルゴリズムの再現

3. 1 住民と観光客の歩行速度が等しい場合

住民と観光客の歩行速度が等しい場合に行動ルール別のエージェントを artisoc 上で同時に表現したときに、前章で定義した行動アルゴリズムが再現できているかをシミュレーション結果として示すこととする。なお、シミュレーションケースは、(1)住民1と観光客1、(2)住民1と観光客2、(3)住民1と観光客3の3ケースを設定した。また、ここでは、すべてのエージェントの歩行速度が等しいとするので、歩行速度がすべて 1.4m/s のエージェントを選んだ。また、2. 2. 1 で述べた「観光客が住民に追従する」ことに重点を置き、住民1と観光客1～3の関わりを別々に再現したかったので、このようなシミュレーションケースとした。

(1) 住民1と観光客1

ケース(1)におけるシミュレーション開始時の各エージェント数及び配置場所を表-3.1に示す。artisoc 上での実行画面を変化が生じたステップごとの結果を図-3.1に示す。

b) 6 ステップ後において、観光客1は視野範囲に住民1が入ったため、住民1に近づき、追従を開始する（赤色に変化）。c) 84 ステップ後では、他の観光客1も b) 6 ステップ後と同じようにして住民1に追従する。そして、d) 102 ステップ後で、避難場所へ到着する。このとき、視野範囲に住民1が入らなかった観光客1（エージェント数 16）は避難場所にたどり着くことなく、そのままろうろし続けることが再現できている。

表-3.1 ケース(1)における住民1と観光客1のエージェント数及び配置場所

	エージェント数	配置場所
住民1	1	(0,0)
観光客1	20	ランダムな座標

(2) 住民1と観光客2

ケース(2)におけるシミュレーション開始時の各エージェント数及び配置場所を表-3.2に示す。artisoc 上での実行画面を変化が生じたステップごとの結果を図-3.2に示す。

b) 6 ステップ後において、観光客2は視野範囲に住民1が入ったため、住民1に近づき、追従を開始する（赤色に変化）。c) 90 ステップ後では、他の観光客2も b) 6 ステップ後と同じようにして住民1に追従する。そして、d) 102 ステップ後で、避難場所へ到着する。このとき、視野範囲に住民1が入らなかった観光客2（エージェント数 13）は避難場所にたどり着くことなくそのまま動かない状態が再現できている。

表-3.2 ケース(2)における住民1と観光客2のエージェント数及び配置場所

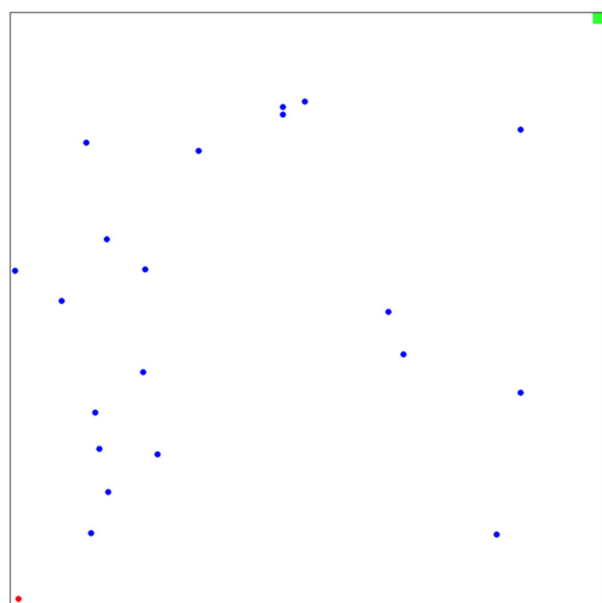
	エージェント数	配置場所
住民1	1	(0,0)
観光客2	20	ランダムな座標

(3) 住民1と観光客3

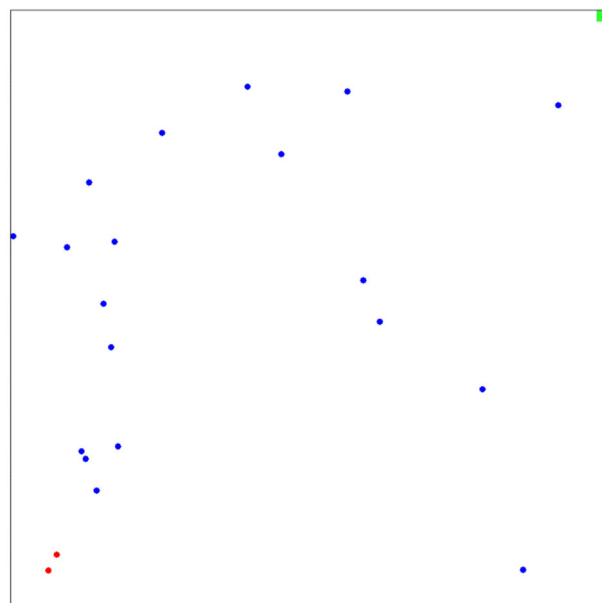
ケース(3)におけるシミュレーション開始時の各エージェント数及び配置場所を表-3.3に示す。artisoc 上での実行画面を変化が生じたステップごとの結果を図-3.3に示す。なお、観光客3の目的地を宿泊先、駅、駐車場とし、座標はそれぞれ(20,5)、(45,30)、(10,30)、に設置する。

b) 31 ステップ後において、観光客3（宿泊先）と観光客3（駅）は視野範囲に住民1が入ったため、住民1に近づき、追従を開始する（赤色に変化）。このとき、観光客3の目的地は避難場所になることになる。c) 50 ステップ後では、他の観光客3も b) 31 ステップ後と同じようにして住民1に追従する。そして、d) 102 ステップ後で、避難場所へ到着す

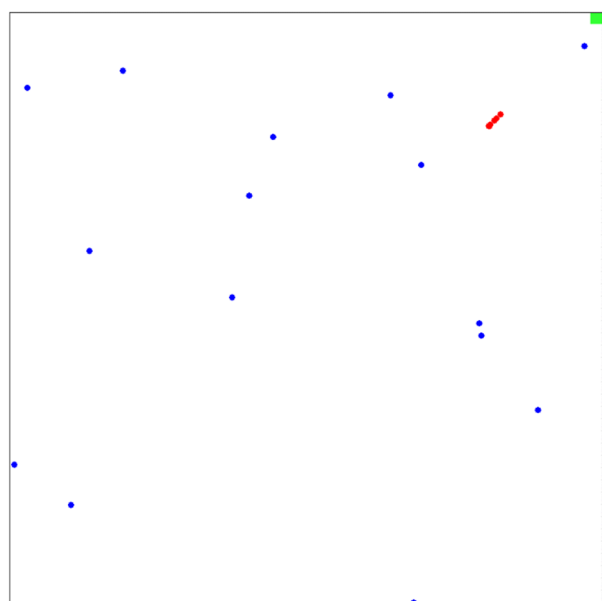
る。このとき、視野範囲に住民1が入らなかった観光客3は避難場所にたどり着くことなく、各々の目的地へ到着していることが再現できている。



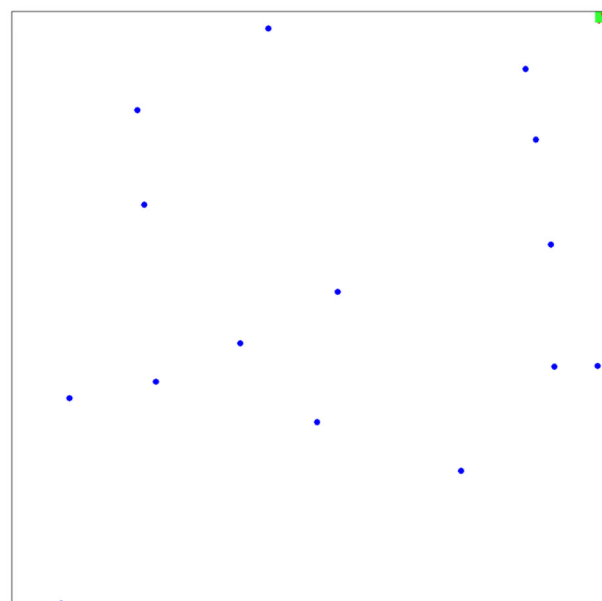
a) シミュレーション開始時



b) 6ステップ後



c) 84ステップ後



d) 102ステップ後

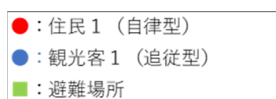
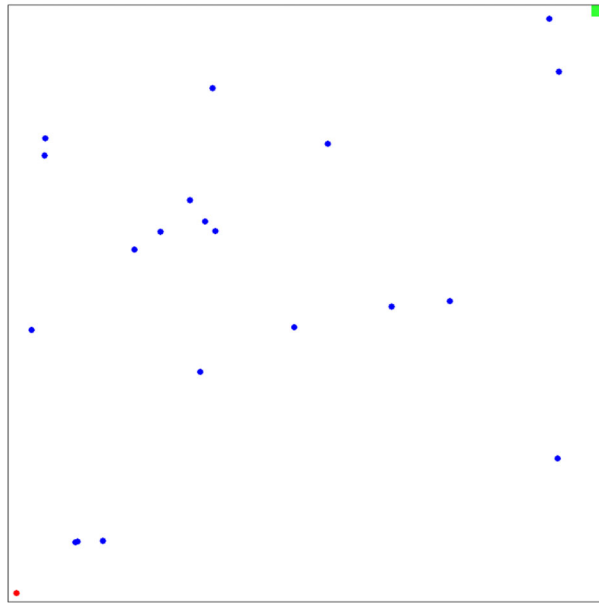
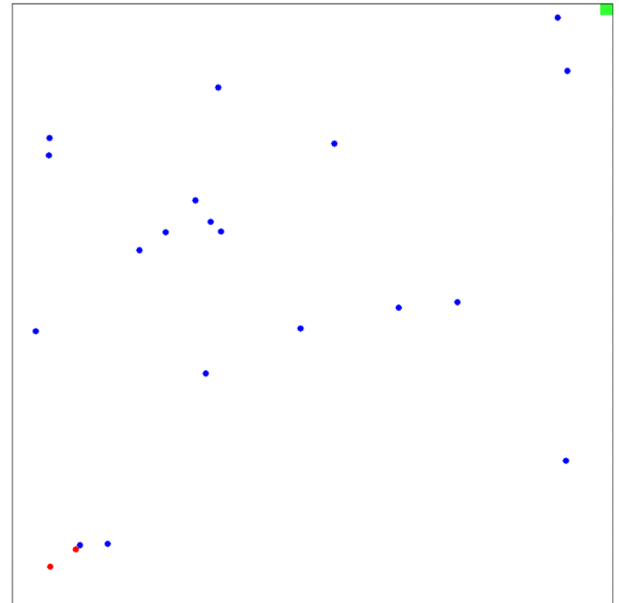


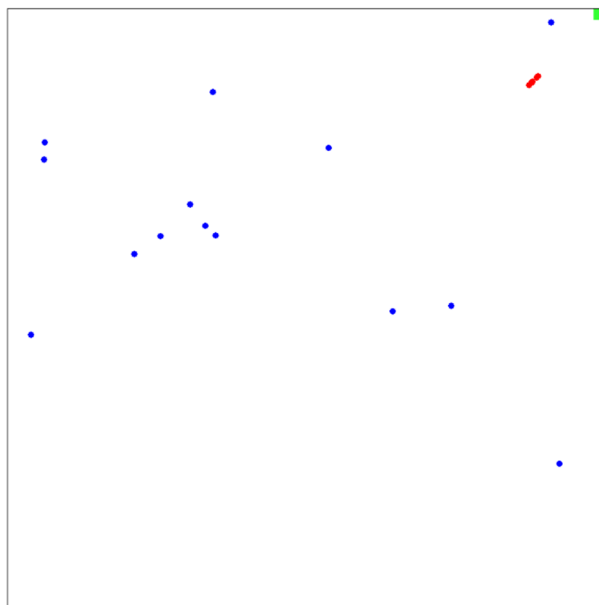
図-3.1 シミュレーション結果 (ケース(1))



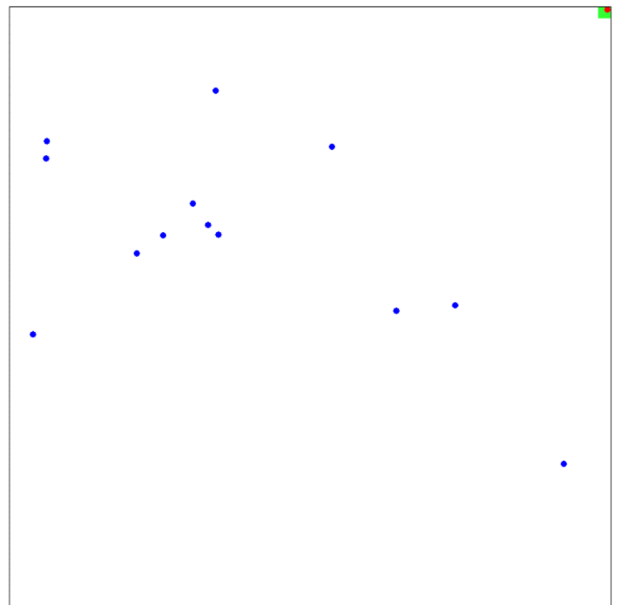
a) シミュレーション開始時



b) 6 ステップ後



c) 90 ステップ後



d) 102 ステップ後

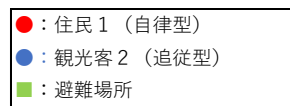
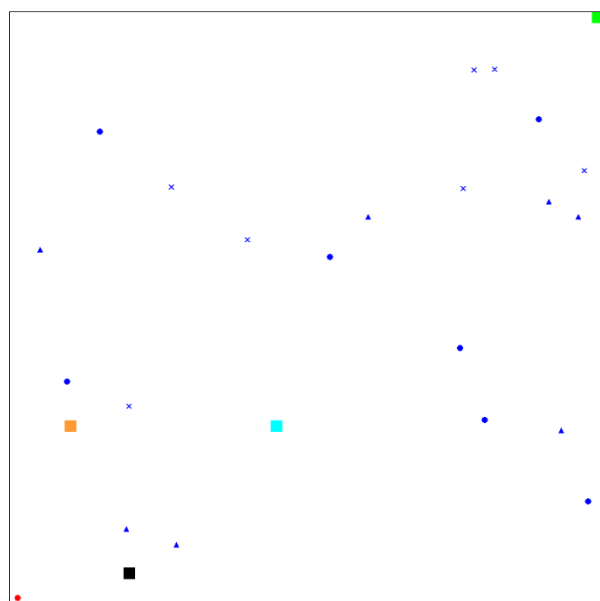


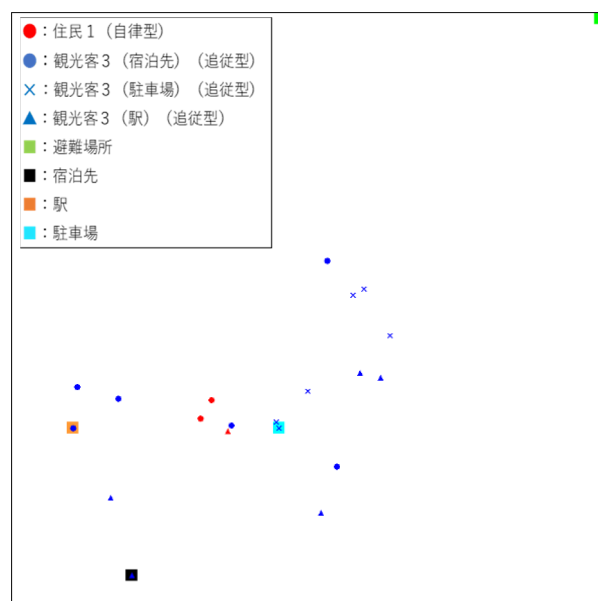
図-3.2 シミュレーション結果 (ケース(2))

表-3.3 ケース(3)における住民1と観光客3のエージェント数及び配置場所

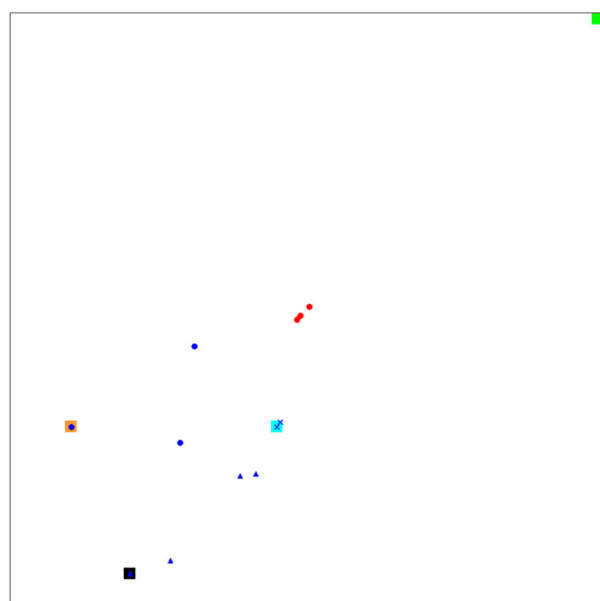
	エージェント数	配置場所
住民1	1	(0,0)
観光客3 (宿泊先)	7	ランダムな座標
観光客3 (駅)	7	ランダムな座標
観光客3 (駐車場)	7	ランダムな座標



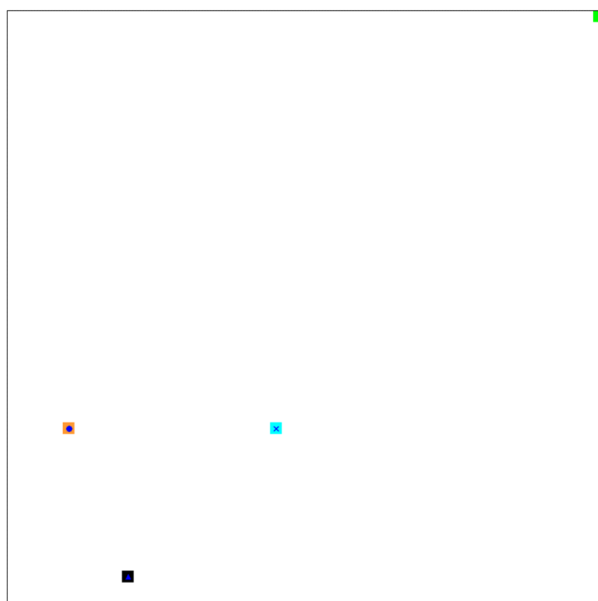
a) シミュレーション開始時



b) 31 ステップ後



c) 50 ステップ後



d) 102 ステップ後

図-3.3 シミュレーション結果 (ケース(3))

3. 2 住民と観光客の歩行速度が等しくない場合

住民と観光客の歩行速度が等しくない場合に行動ルール別のエージェントを artisoc 上で同時に表現したときに、前章で定義した行動アルゴリズムが再現できているかをシミュレーション結果として示すこととする。なお、歩行速度 1.4m/s のエージェントが、歩行速度 0.7m/s のエージェントに歩行速度を合わせた場合と合わせなかった場合を比較することとする。シミュレーションケースは、(4)住民 1 と観光客 4 (歩行速度を合わせた場合)、(5)住民 1 と観光客 4 (歩行速度を合わせなかった場合) の 2 ケースを設定した。また、ここではエージェントの歩行速度が等しくないとするので、歩行速度が 1.4m/s と 0.7m/s のエージェントを選んだ。歩行速度 1.4m/s のエージェントが歩行速度 0.7m/s のエージェントに歩行速度を合わせる、すなわち「住民がスピードを合わせて避難場所へ誘導する」ことを再現したかったの、このようなシミュレーションケースとした。

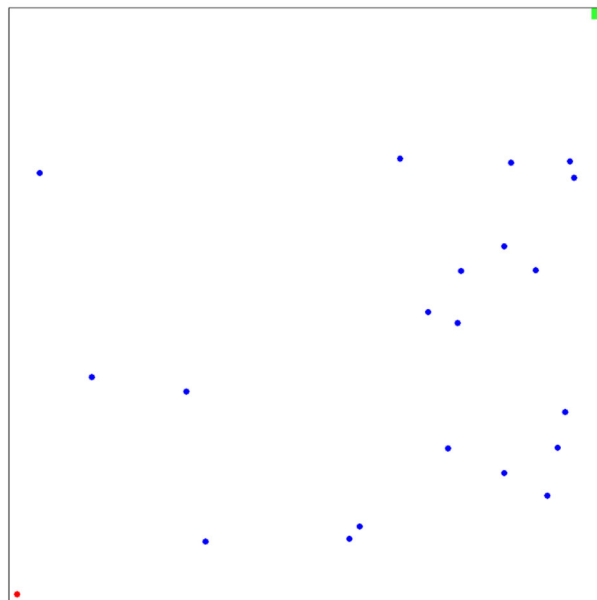
(1) 住民 1 と観光客 4 (歩行速度を合わせた場合)

ケース(4)におけるシミュレーション開始時の各エージェント数及び配置場所を表-3.4 に示す。artisoc 上での実行画面に変化が生じたステップごとの結果を図-3.4 に示す。

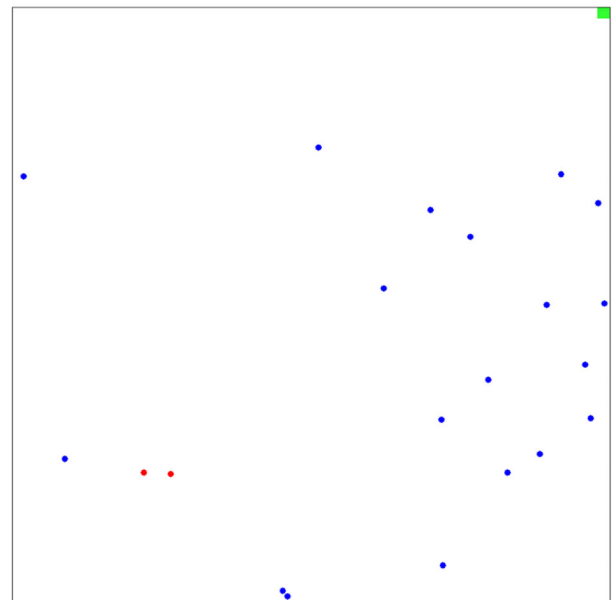
b) 22 ステップ後において、観光客 1 は視野範囲に住民 1 が入ったため、住民 1 に近づき、追従を開始する (赤色に変化)。このとき、住民 1 は観光客 4 に歩行速度を合わせる。c) 30 ステップ後では他の観光客 4 は住民 1 に追従することができる。そして、d) 204 ステップ後で、避難場所へ到着する。このとき、視野範囲に住民 1 が入らなかった観光客 4 は避難場所にたどり着くことなくそのままうろろし続ける状態が再現できている。

表-3.4 ケース (4) ならびに (5) における住民 1 と観光客 4 のエージェント数及び配置場所

	エージェント数	配置場所
住民1	1	(0,0)
観光客4	20	ランダムな座標



a) シミュレーション開始時



b) 22 ステップ後

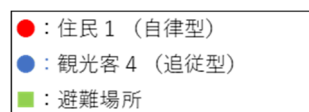
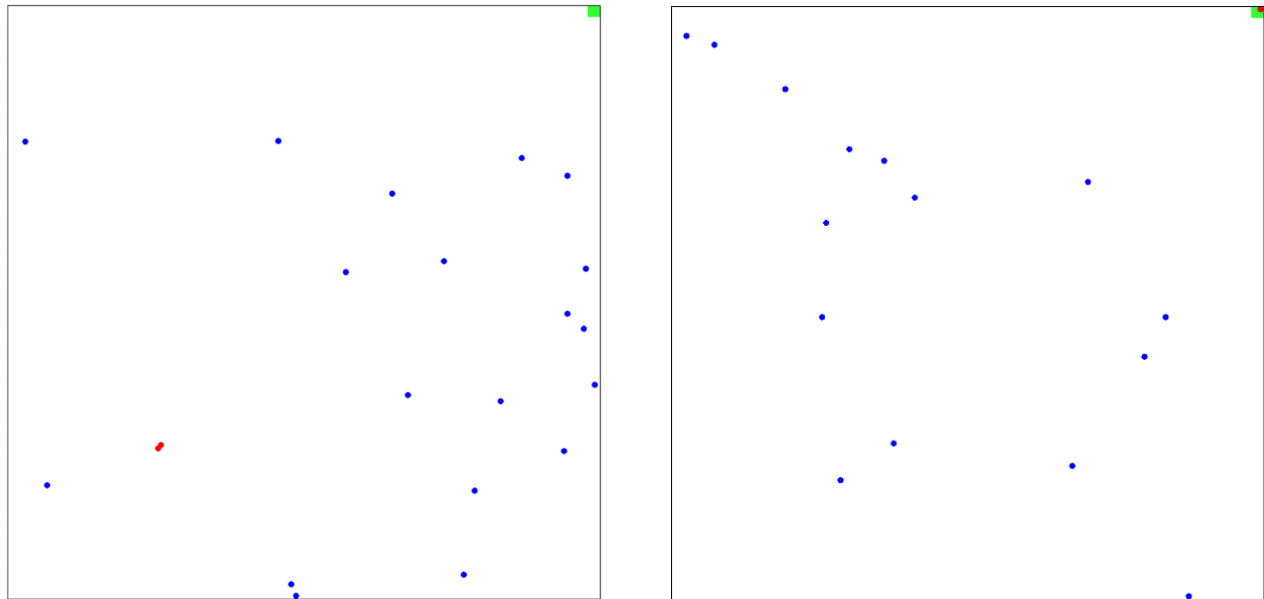


図-3.4 シミュレーション結果 (ケース (4))



c) 30 ステップ後

d) 204 ステップ後

図-3.4 シミュレーション結果（ケース(4)）（つづき）

(2) 住民1と観光客4（歩行速度を合わせなかった場合）

ケース(5)におけるシミュレーション開始時の各エージェント数及び配置場所を表-3.4に示す。artisoc上での実行画面が変化が生じたステップごとの結果を図-3.5に示す。

b) 10 ステップ後において、観光客4は視野範囲に住民1が入ったため、住民1に近づき、追従を開始する（赤色に変化）。このとき、住民1は観光客4に歩行速度を合わせないので、c) 16 ステップ後では観光客4は住民1に追従することができず住民1を見失ってしまう結果となっている。その結果、d) 102 ステップ後において、住民1だけ避難場所へ到着する結果となっている。このとき、視野範囲に住民1が入らなかった観光客4は避難場所にたどり着くことなく、そのままうろろし続ける状態が再現できている。

3. 3 まとめ

3. 1 節の結果より、すべてのシミュレーションケースにおいて、住民が観光客の視野範囲に入ると、観光客は住民に追従し、避難場所へ移動することが確認できた。したがって、住民1及び観光客1～3の行動ルールをモデル化することができたといえる。また、多くの人が避難を成功させるためには、観光客エージェントは避難場所を認知している住民エージェントをより早く見つけることが大切だということがわかる。したがって、今回の設定条件においては、観光客はその場に立ち止まっているより動いている方が良いことがわかった。

3. 2 節の結果より、住民が観光客の視野範囲に入ると、住民は観光客に歩行速度を合わせて、避難場所まで誘導する動きを見せた。したがって、住民が歩行速度の遅い観光客の視野に入ったときの行動アルゴリズムを再現することができた。また、住民が歩行速度を合わせなかった場合には、観光客は住民を見失い、避難場所にたどり着けないことがわかった。

2つの歩行速度が存在する場合の避難では、遅い方に対して何らかのサポートが必要であると想定できるため、多くの場合には速い方が歩行速度を合わせると考えられる。しかし、もしそのような心の余裕がなく、歩行速度の遅いエージェントが置いて行かれてしまうと避難が成り立たなくなってしまう。したがって、このような災害弱者に対して協力的に接することが、避難を成功させるために大切なことであるといえる。

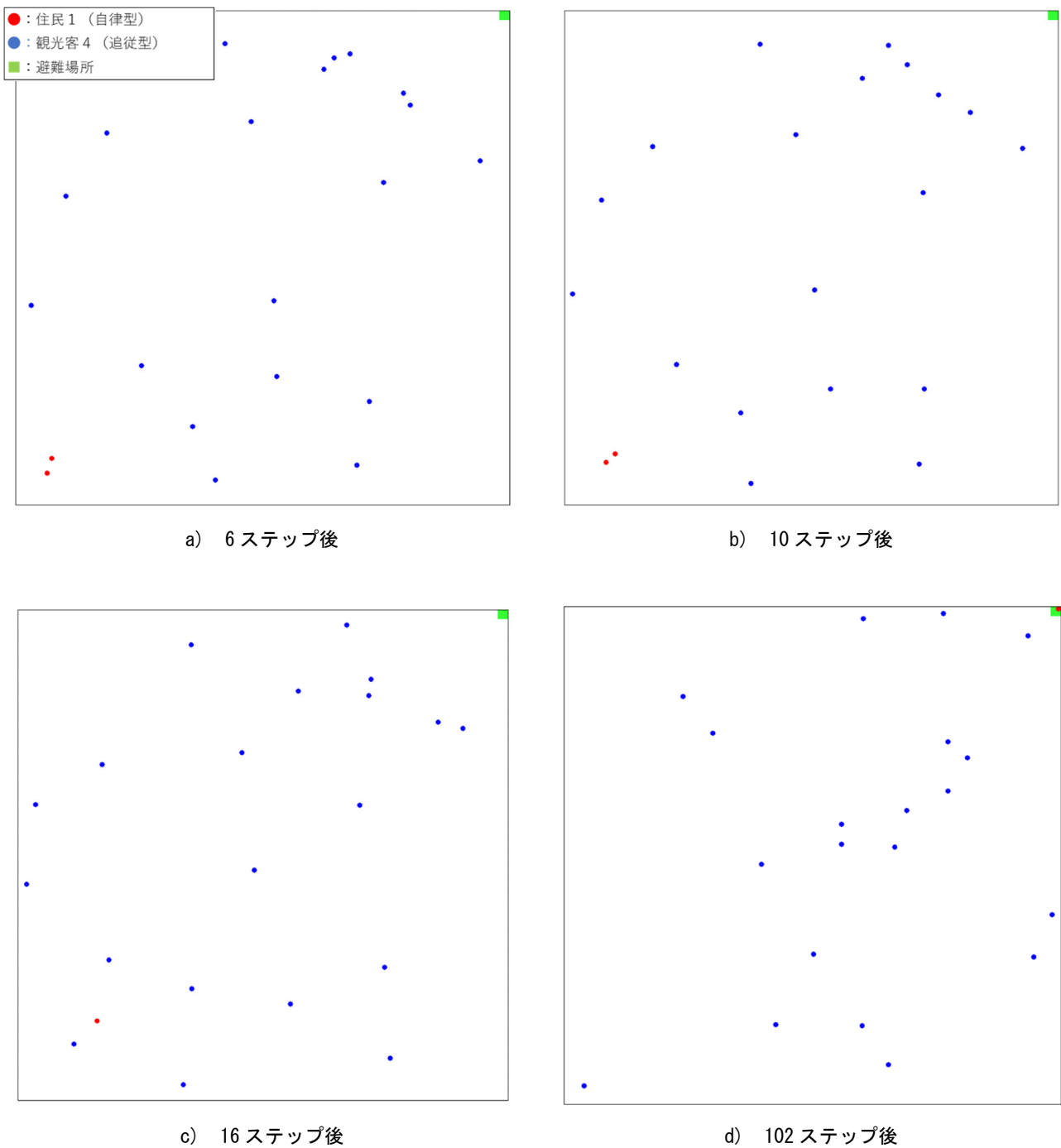


図-3.5 シミュレーション結果（ケース(5)）

4. おわりに

本報では、観光地の土砂災害時における様々な人の行動特性を考慮した避難行動をモデル化し、土砂災害発生時に安全で効率的な避難計画を提案するためのシミュレーションを行うことを目的として、観光地における様々な行動特性をもつエージェントの行動ルールモデル化について検討した。以下に得られた結果を列挙する。

- ・観光地内に存在する各エージェントの行動ルールをモデル化した。
- ・観光客が住民に追従し、避難場所へ向かう行動アルゴリズムをマルチエージェントシミュレーション上で再現した。

・歩行速度が遅い観光客に、住民が歩行速度を合わせることによって、住民が観光客を誘導し、避難場所へ向かう避難行動をモデル化することができた。

本研究のエージェント属性については、避難場所の認知、歩行速度の違いのみに着目し、マルチエージェントシミュレーション上で表現することができたが、この着目点だけでは人間の心理を考慮した動きを完全に表すことはできない。例えば、状況別の歩行速度や個体差による歩行速度または、家族などの一定のグループによる避難行動などを考慮することが課題として挙げられる。

また、エージェントが歩行速度を一定にして歩くように設定したが、実際には途中で走ったり、立ち止まったりと緩急のついた動きをすると考えられる。加えて、障害物によっても歩行速度が変化すると考えられ、特に階段や坂道などでは歩行速度に大きな変化がみられることが考えられる。さらに、本シミュレーションを実際の観光地に反映させるためには、道路、標識、階段、坂道などより現実に近い障害物を設置することが必要であり、これらを反映させたマルチエージェントシミュレーションを今後行う予定である。

謝 辞

本研究は、JSPS 科研費 20K12420 の助成を受けたものです。ここに記して、謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 広島県：広島県の砂防資料館, <https://www.sabo.pref.hiroshima.lg.jp/portal/sonota/sabo/sabolist.htm> (2023-9-11 参照)
- 2) 西日本新聞：「まさか…」住民絶句 地盤緩み土砂一気 諫早市崖崩れで母娘死亡, <https://www.nishinippon.co.jp/item/n/629498/> (2022-10-12 参照)
- 3) ウィキペディア：熱海市伊豆山土石災害, <https://ja.m.wikipedia.org/wiki/> (2022-6-15 参照)
- 4) 構造計画研究所：artisoc マルチエージェント・シミュレーションプラットフォーム, <https://mas.kke.co.jp/artisoc4/> (2022-6-15 参照)
- 5) 内村珠梨：浸水域の時間・空間的变化を考慮した最短避難経路の選定に関する数値的検討, 神戸市立工業高等専門学校都市工学科令和2年度卒業研究報告書, 40p., 2021.
- 6) 国土交通省四国地方整備局：災害に強いまちづくり計画, https://www.skr.mlit.go.jp/kensei/saigainituyoi/nankai_taikeizu/shisakuzu/02sumiyakana/zua05-tunamihinann.pdf (2022-10-15 参照)
- 7) 新井健, 増田浩通, 落合哲郎：災害弱者を考慮したマルチエージェント避難シミュレーションモデル, 第3回KKMAS コンペティション論文集, 8p., 2003.

著 者

鳥居 宣之	所員 (非常勤), 神戸市立工業高等専門学校教授, 博士 (工学), 斜面防災工学
光同寺 太郎	神戸市立工業高等専門学校研究生, 準学士 (工学)
野並 賢	所員 (非常勤), 神戸市立工業高等専門学校教授, 博士 (工学), 地盤工学