

避難場所誘導サインの配置位置に関する研究 情報のない観光客に着目したマルチエージェントシミュレーション Study on the location of evacuation site guidance signs Multi-Agent simulation focusing on tourists without information

○上野 大輝^{*1}, 前 稔文^{*2}, 永家 忠司^{*3}, 松本 裕司^{*4}
Daiki UENO^{*1}, Toshifumi MAE^{*1} Tadashi NAGAIE^{*1} and Yuji MATSUMOTO^{*2}

^{*1} 大分工業高等専門学校機械・環境システム工学専攻

Mechanical-Environmental System Engineering Major, National Institute of Technology, Oita College, Advanced course.

^{*2} 大分工業高等専門学校都市・環境工学科 教授 博士(工学)

Professor, Department of Civil and Environmental Engineering, National Institute of Technology, Oita College, Dr. Eng.

^{*3} 大分工業高等専門学校都市・環境工学科 准教授 博士(工学)

Associate Prof., Dept. of Civil and Environmental Engineering, National Institute of Technology, Oita College, Dr. Eng.

^{*4} 京都工芸繊維大学デザイン・建築学系 助教 博士(学術)

Assistant Prof., Faculty of Design and Architecture, Kyoto Institute of Technology, Ph.D.

Summary:

In this study, we analyzed the evacuation using signage in an environment where the Internet connection is cut off in the event of a large-scale disaster, using a multi-agent simulation, and proposed locations for signage with high effectiveness in guiding people to evacuate.

First, as a basic study, we analyzed the effectiveness of signs in guiding people to evacuate, and predicted the locations where the signs are expected to be highly effective in guiding people to evacuate. Next, to reexamine the definition of agent behavior in the simulation, fieldwork was conducted in Kyoto City, and the behavioral psychology of evacuees who do not know the area well was discussed. Finally, the results of the fieldwork were reflected in the simulation, and the simulation was conducted again in a larger area than in the basic study. Based on the results of the analysis, we found a pattern of sign placement locations that increases the effectiveness of evacuation and made suggestions for further sign planning.

As future issues, the reliability of the agent's behavior definitions is low and there is room for improvement, and there is a possibility of overestimating the effectiveness of signage.

キーワード: サイン計画; マルチエージェントシミュレーション; GIS; 避難; 防災

Keywords: Sign plan; Multi-Agent; GIS; Evacuation; Disaster prevention

1. 研究背景

現代では、地図アプリや検索エンジンを用いた経路探索によって、誰でも簡単に目的地へ到達することができると。しかし、大規模災害発生時に避難行動をする際、通信基地局への物理的被害や回線の混雑によって、これらのツールが使えなくなってしまう可能性がある。地域住民は、日常生活で得た土地勘や経験によって、ある程度正確に避難場所へ到達することができると思われるが、観光客のように偶然その場に居合わせた人々は、ネットワークが遮断されてしまうと途端に避難が難しくなってしまう可能性がある。

その対策の一つとして、避難場所までの方向や経路を示した誘導サイン（以下、サイン）がまちなかに設置されており、土地勘のない避難者の誘導を促している。し

かし、このようなサインがもたらす具体的な避難効果は明らかになっておらず、現在まちなかに配置されているサインが、最も避難効果の高い場所にあるとは言い切れない。また、無作為なサインの配置は、情報の重複による混乱や景観の悪化を招く恐れがあり、明確な目的や根拠を基に、確実かつ迅速な避難に向けたサイン計画を進めていく必要がある。

小野ら¹⁾は、小規模で実施した歩行実験から、サインに表示されている誘導距離に応じて歩行者の行動が変化することを示し、適切な配置間隔を提案している。また、Takabatake et al²⁾は、観光地における地元住民と観光客に着目し、津波避難におけるエージェントベースのシミュレーションの方法論を示すとともに、避難行動における観光客の存在および行動が避難結果に大きく影響を及ぼ

すことを示している。以上のように、サイン配置の検討やシミュレーションを通じた津波避難の問題分析に関する研究は見られたが、土地勘のない避難者の避難誘導を目的としたサインの配置について、シミュレーションを通して分析したものはほとんどみられなかった。

そこで、大分市中心市街地を対象に、サインの配置による避難効果について、マルチエージェントシミュレータで分析を行った。中心市街地では、「県都にふさわしい中心市街地の魅力が進展するまちづくり」をコンセプトに、今後のまちづくりにおける施策として、災害に強く、早期に復旧・復興できるまちづくりを進めることを掲げている³⁾。大分市中心市街地の災害対応力向上を目指し、シミュレーションの分析結果から、避難効果の高いサインの配置について提案することを本研究の目的とする。

なお、本研究では、サインの有無および位置による避難誘導効果を把握するため、シミュレーションにおいては1箇所のみサインを配置するものとした。

2. 基礎研究モデルでのシミュレーション

2.1. モデルの定義

本研究は、マルチエージェントシミュレータとして *artisoc4* を用いて分析した。シミュレーションでは、大分市中心市街地内の小エリアを対象に、サインがもたらす避難効果を分析するモデルを作成した。モデル内を動くエージェントは、避難場所の位置情報を持っておらずランダムに移動する「情報なしエージェント」と、避難場所への最短経路情報を知っている「情報ありエージェント」の2種類とし、サインは交差点部（以下、**node**）に配置するものとした。また、サインによって得られる情報によって、エージェントは避難場所まで確実に到達できるものとした。

シミュレーション開始時、情報なしエージェントがモデル空間内の **node** からランダムに合計 100 人生成され、隣接した **node** に到達するたび、次の目的地となる **node** をランダムで選択する。到達した **node** にサインが配置されていた場合、情報なしエージェントは情報ありエージェントとなって避難場所まで最短経路で進む。また、ランダムで行動している情報なしエージェントが情報ありエージェントとすれ違った際には追従するようにした。なお、情報ありエージェントの歩行速度について、その平均値がおおよそ Google Map で表示される目的地到達予定時間となるよう定義し、情報なしエージェントは位置情報を持ち合わせていない不安感を考慮して 0.8 倍の速度で移動するものとした。

2.2. 概要

はじめに、対象地域内で想定される 40 箇所のサイン配置パターンにおいて、それぞれ 10 回ずつデータを取る第

1 シミュレーションを行う。10 回のシミュレーションで避難完了者数の平均値が最も多かった最上位 **node** と、最も少なかった最下位 **node** に着目して、災害発生を考慮した第 2 シミュレーションを行った。

第 2 シミュレーションでは、南海トラフ地震 CASE11（「室戸岬沖」と「日向灘」に「大すべり域+超大すべり域」を 2 箇所設定したケース⁴⁾）を想定した。対象地域には、地震発生から 1 時間 27 分後に津波の到達が数値解析により予想されている⁵⁾。さらに、気象庁は地震発生から約 3 分を目標に、大津波警報、津波警報および津波注意報を発表するとしている。そこで、避難者は警報を確認した後に避難行動を開始するものと仮定し、シミュレーション時間は避難開始から津波到達までの 1 時間 24 分とした。また、実際にサインのある交差点にたどり着いたとしても、避難者がサインを見つけるとは限らず、焦りによる情報の誤認なども考えられる。そこで、サインから情報を得る確率を 100, 80, 60% に分け、両サイン配置場所ともに 15 回×3 パターンのデータを取得した。

2.3. 第 1 シミュレーションの結果分析

図 1 にサインの配置場所ごとの避難完了者数についてのヒートマップを示す。図では、赤色が濃い箇所ほど、サインを配置した時の避難人数が多いことを示している。図より、避難場所周辺よりも避難場所からある程度離れた接続経路数の多い場所にサインを配置した場合の避難完了者数の方が多結果となった。なお、最上位 **node** は **node5**、最下位 **node** は **node34** であった。

2.4. 第 2 シミュレーションの結果分析

第 1 シミュレーションで得られた対象 **node** について、避難完了者の内訳と経過時間ごとの避難完了者数の分析を行った。なお、サインから情報を得る確率の設定によるシミュレーションの分析結果に差異は見られなかったため、ここではサインから情報を得る確率を考慮せず、両サイン配置場所ともに 15 回×3 パターンの合計 45 回

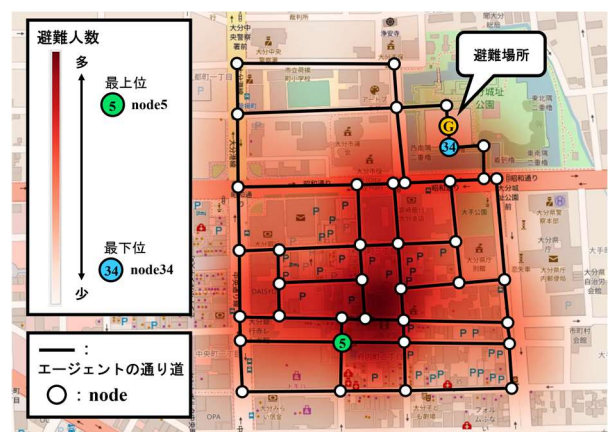


図 1 サインの配置による避難人数の分布

のシミュレーションの結果を示す。

図2は、第2シミュレーションにおける避難完了者の内訳を示す。結果より、サインの配置場所によって避難完了者数に2,690人もの差が生じた。中でも、追従エージェント数の差は2,373人であり、これが全体の避難完了者数に影響を及ぼしているといえる。追従エージェント数にこのような差が生じた原因として、node34が避難場所に隣接したnodeであり、情報なしエージェントとすれ違うことが極めて少なく、追従エージェントがほとんど生成されなかったため生じた差であると考えられる。

図3は、経過時間ごとの避難完了者数をまとめた散布図を示す。避難開始から9分程度は避難完了者数に差はなかったものの、その後node5では急激に、node34では対象時間内におおむね比例して避難完了者数が増加した。また、45分経過時点において、node5では9割前後のエージェントが避難したのに対し、node34での避難完了者数は3割に満たなかった。

2.5. 基礎研究モデルのまとめ

基礎研究モデルの分析結果から、サインによる避難効果は、その配置場所によって左右されるといえる。避難完了者の多くはサインを見た人がつくる流れについていく人であり、この追従心理を利用し、避難場所から少し離れた場所にサインを配置することで、高い避難効果が生まれるといえる。

以上より、避難効果の高いサインの条件として「他の

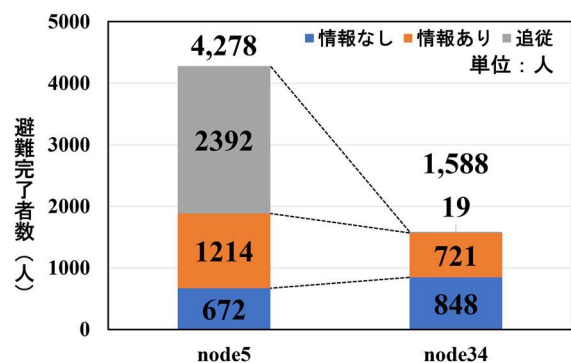


図2 避難完了者の内訳

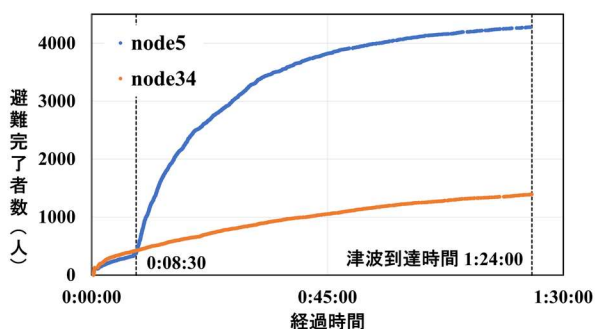


図3 経過時間ごとの避難完了者数

避難者が追従行動を取りやすい場所」「接続経路数の多い場所」が推察される。前者は追従行動を生み出すためである。後者については、基礎研究モデルではエージェントの経路選択に重みが考慮されてないため、接続経路数の多い箇所に避難者が集中してしまうことが原因であると推察される。

そこで、後者を「人通りの多い場所」と仮定し、情報なしエージェントの経路選択方法の再検討を試みた。

3. 情報なしエージェントの行動

3.1. フィールドワークの実施

基礎研究モデルでは、情報なしエージェントはランダムに経路選択を行っていたが、実際にはランダムに経路を選択するケースはほとんどないと考えられる。そこで、自身の位置情報や目的地の情報がない被験者が、目的地に到達するまでにどのような行動を取るのかを調べるため、フィールドワーク（以下、FW）を実施した。

3.2. 概要

FWは、被験者全員が初めて訪れる場所である京都市内で実施した。4人の被験者らはそれぞれ京都市内各所（蛤御門、三井ガーデンホテル、文化博物館、丸太町駅）をスタート地点とし、目的地である平安神宮の大鳥居まで向かう際の移動経路を記録した。なお、FW実施中のスマートフォンの使用は記録用の写真撮影に限定し、まちなかのサインや第三者からの情報を頼りに目的地まで移動するものとした。

3.3. 結果と考察

図4に各被験者がFWで実際に歩いた経路を示す。いずれの被験者もFW対象地域を歩くのは初めてであるため、目的地とは異なる方向に進み、途中で現在地および目的地に関する情報を得たことで、軌道修正している様子がうかがえる。なお、一度来た道を折り返す行動が見

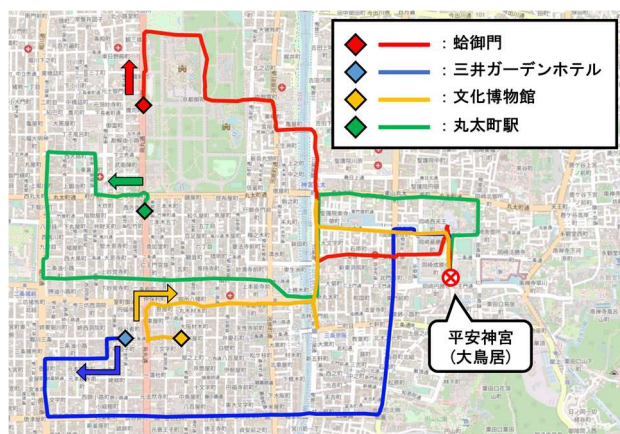


図4 FW被験者の行動記録

られたが、同じ道を繰り返し通る被験者はいなかった。また、FW 終了後、被験者に対して「何をきっかけに目的地の場所を確信したか」と尋ねたところ、1 名は京都御苑内の警備員を訪ね、3 名はバスの路線図をみて現在地をある程度把握し、目的地の方向を確信したとのことであった。

図 5 は、各被験者が FW で実際に歩いた経路と、起終点の Google Map による最短経路（黒線）を示す。両者を比較すると、被験者が歩いた経路は、最短経路に比べ、できるだけ見通しの良い大通りを選択し、路地などの狭い道は避けていることが観測された。これは、自身の位置情報および目的地の位置情報がわからない不安感から生まれる行動心理であると考えられる。

以上より、情報のない人の経路選択には、見通しや道路幅員が関係しており、同じ道を繰り返し通らないよう行動するということがわかった。

4. 中心市街地モデルでのシミュレーション

4.1. モデルの定義

京都市内で実施した FW の分析結果を踏まえ、基礎研究モデルにおけるエージェントの行動にいくつかの変更を加えた。

シミュレーションの対象地域は、大分市都市計画マスタープランの土地利用の基本方針で定めている区域⁹⁾とした。図 6 にシミュレーション対象地域を示すが、図中に node 番号とともに避難場所を示す。基礎研究モデルと比較して対象地域を拡大したため、node 数および避難場所の数も増加した。なお、中心市街地モデルにおける避難場所は、大分市が実際に津波発生時の緊急避難場所として指定している場所⁷⁾とした。

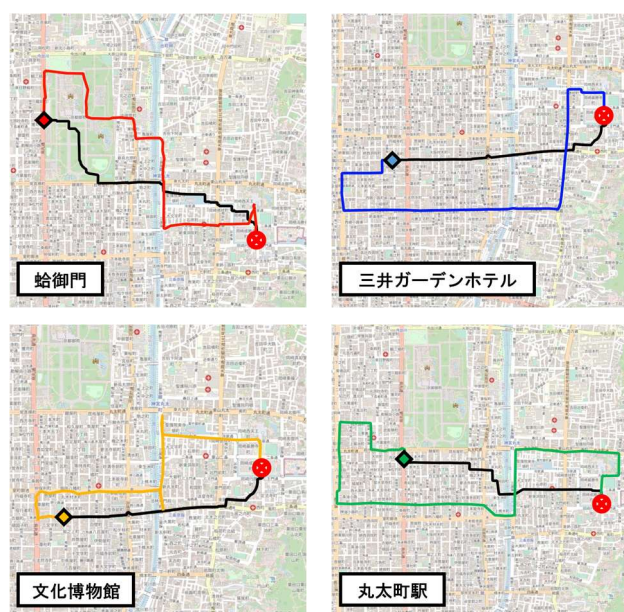


図 5 被験者の歩行経路と最短経路の比較

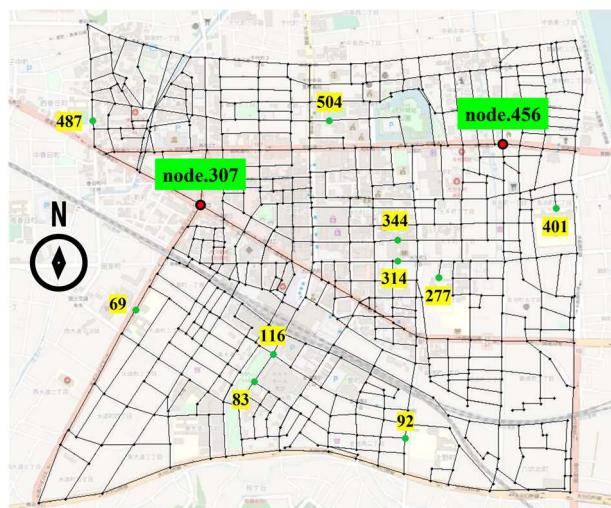


図 6 中心市街地モデルの対象地域

エージェント数については、2021 年度（令和 3 年度の
大分駅乗降者数から決定した。同年度のその数は 13,724
人/日⁸⁾であり、同年度の観光実態報告書⁹⁾によると、県
外観光客の大分県までの交通手段として「JR 在来線」を
利用した人の割合が 3.1%であった。そこで、1 日の大分
駅乗降者人員の 3.1%である 426 人を、1 回のシミュレ
ーションで生成する合計の情報なしエージェント数とした。

情報なしエージェントが経路選択を行う際、重みを考
慮するようにし、優先して大通りに出るようにした。具
体的な重みを表 1 に示す。ここで、重みは実際の道路幅
員を基準としており、Weight の値が大きい node を優先
して選択するようにしている。なお、避難場所から 2 つ
手前の node からであれば、学校やホールなどの避難場所
としている施設を視認できると考えられ、エージェント
は避難場所に隣接する node への経路を選択し、必ず避難
場所に行くように避難場所およびそれに隣接する node
の優先順位を高くしている。また、完全に Weight を基準
として行動すると、大通りからエージェントが動かなくな
ってしまうため、30%の確率で幅員に関係なくランダム
に経路を選択するようにした。

選択した経路が 3 回以上通ったことがある経路であつ
た場合、経路をランダムに選びなおすことで、可能な限
り同じ場所に留まらないようにした。ここでも、完全に
同じ道を通らないよう定義してしまうと、エージェント

表 1 node の Weight 基準

幅員	Weight
3m 未満	1
3m～5.5m 未満	2
5.5m～13m 未満	3
13m～19.5m 未満	4
19.5m 以上	5
避難場所隣接 node	6
避難場所	7

が動かなくなってしまうため、再抽選による同じ経路の選択確率を下げるようにした。

4.2. 概要

はじめに、サイン未配置の場合でのシミュレーションを 100 回実行する。そこで、全ての node の中で最もエージェントの通過回数が最も多かった node にサインを配置した場合のシミュレーションをさらに 100 回行った。なお、両シミュレーションとも基礎研究モデルで参照した津波到達時間でシミュレーションを終了した。

4.3. 結果分析

図 7 にサイン配置前のシミュレーションにおいて、エージェントの通過回数が全体の平均以上であった node を示す。道路線形に沿って点群が見られることから、大通りを優先して選ぶ行動が反映されていることがわかる。ここで、表 2 を基準に色分けしており、最も通過回数の多いクラス A の node はひし形で表示している。

図 8 にサイン配置場所周辺の拡大図を、表 3 にサイン配置場所から避難場所までの node における、サイン配置前後での通過回数の変化を示す。なお、データは 100 回分のシミュレーションの合計を示す。表より、サインを配置した node456 と、同じく大通りに位置する node458 での通過回数が減少し、その他の通過回数が増加していることがわかる。これは、大通りで迷い行動をしていたエージェントが、サインにより避難場所へ誘導されたためである。

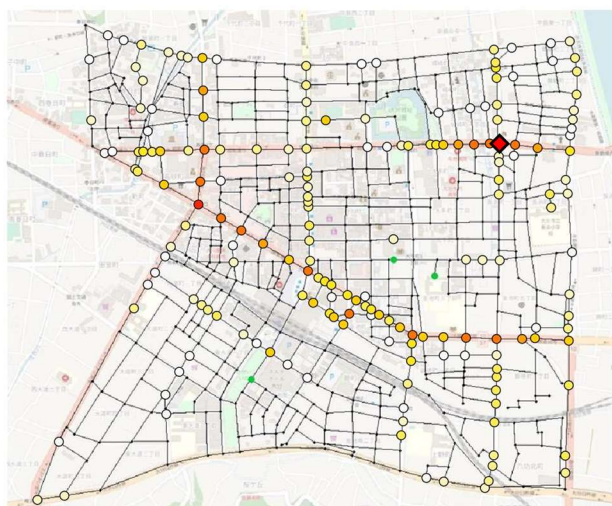
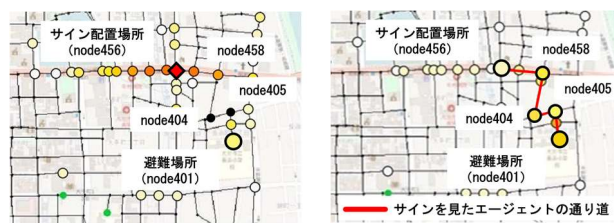


図 7 人通りの多い node (サイン未配置)

表 2 通過回数による色分け

クラス	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
通過回数	8,426	7,684	6,942	6,200	5,458	4,716	3,974	3,233	2,492	1,751
	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
	9,200	8,426	7,684	6,942	6,200	5,458	4,716	3,974	3,233	2,492
色	◆	●	●	●	●	●	●	●	●	○



(a) 配置前

(b) 配置後

図 8 サイン配置場所周辺の拡大図

表 3 サイン配置前後の通過回数

node	配置前	配置後	増減
401	3,491	6,168	+2,677
404	541	4,116	+3,575
405	824	4,303	+3,479
456	9,169	2,955	-6,214
458	6,520	4,935	-1,585

また、表 4 はサイン設置前後の各避難場所における到達人数の変化を示す。ここでも、表 3 と同様にシミュレーション 100 回の合計である 42,600 人のエージェントを対象に表を作成した。表より、node456 から最も近い避難場所である node401 に到達した人数が、サイン配置によって 2,677 人増加した。一方で、次に node456 に近い避難場所である node344, node504 に到達した人数はそれぞれ減少した。これは、対象地域北東部に生成されたエージェントがサインによって誘導され、node401 へ流れ込んだためであると推察される。合計避難完了者数は 2,085 人増加し、1 つのサインによる避難効果としては十分といえる結果となった。なお、その他の避難場所においても増減がみられたが、サインによる影響とは言い難いものであった。

避難完了者の内訳について、サイン配置前は避難場所に関する情報が入手できないため、合計避難完了者数の 31,791 人は全て情報なしエージェントである。一方、サイン配置後はサインから情報を得た情報ありエージェントと、そのエージェントとすれ違った際に追従行動をとる追従エージェントが存在する。具体的な内訳としては、

表 4 サイン配置前後の各避難場所への到達人数

node	配置前	配置後	増減
69	3,455	3,401	-54
83	801	849	+48
92	4,213	4,420	+207
116	5,513	5,510	-3
277	1,374	1,357	-17
314	1,568	1,540	-28
344	2,760	2,491	-269
401	3,491	6,168	+2,677
487	2,927	3,023	+96
504	5,689	5,196	-493
合計	31,791	33,876	+2,085

合計避難完了者数 33,876 人のうち、2,844 人が情報ありエージェント、1,454 人が追従エージェントであり、人通りの多い場所にサインを 1 つ配置することで、その合計である 4,298 人が情報を取得および情報を持つ避難者への追従によって、確実な避難を完了させた。

図 9 はサイン設置前後における、経過時間ごとの避難完了者数の推移を比較したものである。ここでも、表 4 と同様に 42,600 人を対象にグラフを作成した。グラフより、時間経過に伴い避難完了者数の差が大きくなったことがわかる。このことから、人通りの多い場所へのサイン配置によって迅速な避難に繋がるといえる。

最後に、通過回数上位 node とサイン未配置との経過時間ごとの避難完了者数の比較を図 10 に示す。なお、ここではシミュレーション回数を各パターン 10 回ずつとした。結果より、2 番目に通過回数が多かった node307 にサインを設置した際の避難完了者数の推移が最も増加傾向にあった。node307 は、node456 に比べて接続経路すべてが大通りであり、情報のないエージェントが訪れやすいため、他のエージェントが追従行動を取りやすいことが関係していると推察される。

5. まとめ

5.1. サイン配置場所の提案

シミュレーション結果から、サインは「他の避難者が追従行動を取りやすい場所」「人通りの多い場所」に配置することで高い避難効果が得られ、確実かつ迅速な避難に繋がるといえる。具体的には、「避難場所からある程度

離れた、交通量の多い交差点部」に配置することが望ましいと考える。

また、サインから情報を得た避難者が作り出す人の流れに、追従する避難者を増やすことで、避難達成率の向上に繋がる。点としてのサイン計画ではなく、今後は線的なサイン計画が必要である。

5.2. 今後の課題

最も大きい課題は、エージェントの行動定義である。中心市街地モデルでは京都市内で実施した FW の行動記録をもとに、情報のないエージェントの行動定義をしたが、FW の被験者数が少ないため、さらに被験者数を増やし、データの信頼性を高める必要がある。

本研究の対象地域は道路の幅員や交通量の差から、エージェントの行動において経路選択に重みを定義することで、サイン配置による避難効果を示すことができた。一方で、沿岸域や丘陵地など勾配が顕著な道路や、道路の幅員や交通量に判別できるだけの差が見られない地域においては、エージェントの行動定義に検討を重ね、経路選択の重みや経路再抽選時などランダムな要素が残っている行動定義についても FW を重ねて根拠ある値にしていきたい。

また、サインの効果についての課題も残る。実際にまちなかに設置されたサインを避難者が必ず見るとは限らない。実際のサインに、シミュレーションと同等の効果を発揮させるためには、サインの色彩・形状の検討を進め、避難者が見つけやすく、伝えたい情報がわかりやすいサインをデザインすることが必要となる。

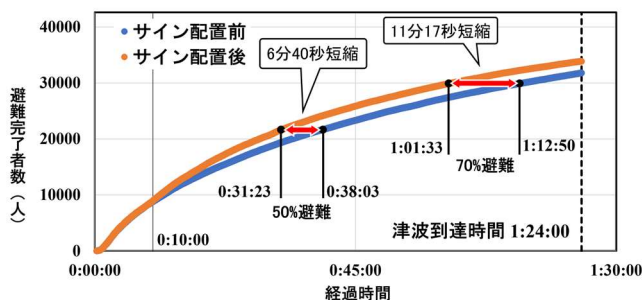


図 9 経過時間ごとの避難完了者数の推移

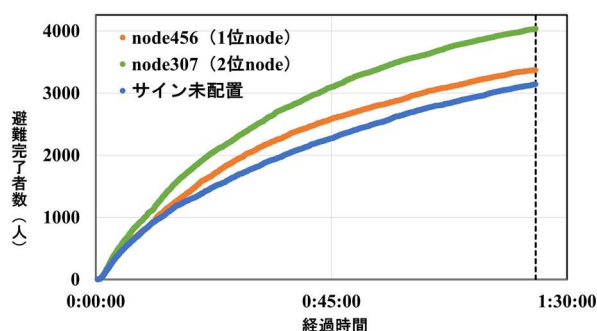


図 10 サイン未配置と上位 node の避難完了者数の水位

[参考文献]

- 1) 小野天椰, 岡安章夫, 池谷毅, 稲津大祐: 歩行実験に基づく津波避難誘導標識の設置間隔の検討, 地域安全学会論文集, 2021 年 39 巻 p391-399
- 2) T. Takabatake, T. Shibayama, M. Esteban, H. Ishii and G. Hamano.: Simulated tsunami evacuation behavior of local residents and visitors in Kamakura, Japan, International Journal of Disaster Risk Reduction, Vol.23, pp.1-14, 2017
- 3) おおいた中心市街地まちづくりグランドデザイン p6-8
- 4) 津波断層モデル編-津波断層モデルと津波高・浸水域等について- 南海トラフの巨大地震モデル検討会, 第二次報告, 平成 24 年 8 月 29 日
- 5) 大分県津波浸水予測調査結果(確定値)について <https://www.pref.oita.jp/soshiki/13550/shinsuiyosokukakuteiti.html> (参照日: 2022 年 12 月 26 日)
- 6) 大分市都市計画マスタープラン p89
- 7) 災害時の避難場所について (指定緊急避難場所一覧) https://www.city.oita.jp/o009/kurashi/anshinanzen/siteikin_kyuhinanbasyo.html (参照日: 2023 年 7 月 6 日)
- 8) JR 九州旅客鉄道株式会社 | 駅別乗車人員 (2021 年度) <https://www.jrkyushu.co.jp/company/info/data/station.html#ct-op> (参照日: 2023 年 6 月 28 日)
- 9) 令和 3 年度大分県観光実態調査報告書 大分県商工観光労働部観光局観光政策課, 令和 4 年 3 月, p18