

観光客のマルチエージェント広域避難行動シミュレーション におけるインタフェースの検討

中 利弘^{*1} 北村 尊義^{*2} 泉 朋子^{*3} 仲谷 善雄^{*2}

A study of Interface for multi-agent system of disaster refuge in large area for Tourists

Toshihiro Naka^{*1}, Takayoshi Kitamura^{*2}, Tomoko Izumi^{*3} and Yoshio Nakatani^{*2}

Abstract - In this paper, we propose a support system of disaster refuge in large area for tourists. In the evacuation guidance study supporting system targeting tourists, it was difficult to simulate the movement of tourists who perform diverse actions over a wide area. Therefore, we propose a simulator based on cellular automaton. To output a simulation result in a understandable way, we should consider which color assign to each state of cell. So, we conducted an evaluation to estimate a good type of color for the simulation.

Keywords: Multi-agent, Interface, Color evaluation, Disaster prevention

1. はじめに

1.1 背景

日本は地震大国であり、これまでも多くの大規模地震が発生し、さらに今後も大規模地震の発生が予測されている。そのため日本では人々の地震に対する関心が高まり、各自治体においては住民に対する災害対策は進んできている。また一方で、日本は観光立国を目指す多くの観光地を有する国でもある。また近年では、外国人観光客も急増しており、2016年には318万人であるという報告がある[1]。しかしながら、観光客を対象とした災害対策はほとんど行われていないのが実状である。

観光客はその土地の地理や避難施設などの避難行動に必要な知識が乏しく、被災時の避難行動時には混乱が生じる可能性が高い。したがって、観光客を対象とした避難誘導方法を予め検討し、ガイドラインを設計しておくことが重要となる。日本の代表的な観光地の一つである京都市は、年間の観光客数が5,500万人を超えた世界的観光都市である[1]。そこで京都市では、観光客と住民が混在することや、駅ターミナルに観光客が押し寄せることによる混乱を避けるために、段階的避難誘導方法に基づく避難誘導が検討されている[2]。しかし、発災時に膨大な数の観光客が広域に広がる観光地で段階的避難誘導を実施した場合にどのような状況に陥るかを予測することは困難である。

このように、自治体が避難誘導について検討を行って

いるが、検討をした結果得られた避難誘導方法が本当に効果的かどうかを検討者が知ることは非常に重要である。このために、検討をした誘導方法を実施した場合の状況を計算機でシミュレートすることが一つの方法であるが、既存の避難者の行動シミュレータにはいくつかの問題がある。具体的には、高性能な計算機を必要とする、シミュレート可能な範囲が限られている、観光者の行動を考慮していない、などである。

そこで我々は、避難者として観光客を想定し、広域にわたる避難行動シミュレーションによって避難誘導方法を支援するシステムの提案を行ってきた[3]。しかしこのシステムにおいても、行動をシミュレーションできるのは限られた経路上のみであるという問題があった。

そこで本研究では、セルオートマトン法を用いたシミュレータによる観光客の避難誘導方法の検討支援システムを提案する。対象のエリアを正方形のセルで分割し、各セル内の避難者の状況を色で表現する。この際、広域に広がるシミュレーション結果を検討者にとって見やすく表示することが重要である。そこで、検討者にとって状況の把握や検討のしやすい色による表現について検討をする。

2. 関連研究

2.1 観光客の避難行動に関する既存研究

観光客は訪問地に一時的に訪れている人であることから、災害発生時の行動は地元住民とは異なると考えられる。京都市は災害時の観光客の一般的な行動特性をまとめている[4]。

- 1.土地勘がなく、避難場所や避難すべき方向、避難に要する時間等の見当をつけることが難しい。
- 2.帰宅する、被災地から逃れる、または情報収集のため

*1: 立命館大学大学院 情報理工学研究科

*2: 立命館大学 情報理工学部

*3: 大阪工業大学 情報科学部

*1: Graduate School of Information Science and Engineering,
Ritsumeikan University

*2: College of Information Science and Engineering,
Ritsumeikan University

*3: Faculty of Information Science and Technology,
Osaka Institute of Technology

め、鉄道の駅周辺などに集まる傾向にある。

3.その土地の災害特性の知識が乏しい。

4.非常に多数の他の観光客と一緒に行動せざるをえない。

さらに西野ら[5]は、京都市清水地域を観光する観光客を対象に、地震火災からの避難を想定した意識調査を実施し、以下に挙げる知見を示している。

5.観光客の避難行動は大きく、志向型・探索型・方向型・その他の4つのタイプに分類される。志向型は駅や観光地などの特定の明確な目的地がありそこを目指し、探索型：明確な目的地がなく安全な場所を探索するタイプである。方向型のタイプは明確な目的地がなく安全な方向を目指す。

6.地震後の避難行動タイプは、観光客の居住地に強い影響を受ける。

7.観光客は、観光の際に利用した交通施設や観光先等、観光に関連した施設を目指して避難しやすい。

8.地震火災時、避難誘導に従わない人々は地震後のそれに比べて多くなり、地震火災時には、観光事業者の避難誘導が地震後に比べて機能しにくくなる。

本研究では、これらの観光客の避難行動特性をシミュレータの観光客モデルに取り入れる。

2.2 観光客の避難行動に関する既存研究

避難行動モデルの研究は、熊谷[6]や李[7]らによって行われている。李の研究によれば、避難行動は、群集歩行、追従モデルの2つに区分できる。群集歩行では、群集密度によって群集歩行速度が決定され、群集密度が1.5人/m²以上になると、群集内で追い越しが不可能となる。この場合の歩行速度は集団的条件によって決まるとされている。また追従モデルは、避難者が前を行く先行避難者に追従する形で歩行し、先行者との相対関係によって速度が決定されるモデルとなっている。さらに森本ら[8]の研究では、建物内の避難において、混雑を考慮して出口を変更する歩行者の心理を導入した行動の再現を行っている。このように災害発生時の避難行動のモデル化に関する研究は多数あるが、観光客を対象とモデル化、および誘導方法の検討の場を想定した支援システムに関する研究はほとんど行われていない。

江守ら[3]は、京都市を対象地域として、段階的避難誘導がシミュレート可能な観光客を対象とした避難誘導方法検討支援システムを提案している。このシステムでは、災害発生時の各地点にいる観光客数、そこからの避難経路、および避難先を電子地図上で指定すると、地図上に時間経過とともに避難状況が表示される。また、各地点の混雑度も混雑度に応じたサイズの円が描画されることで視覚的に表示され、指定された誘導方法によって生じる混雑が検討者に提示されるようになっている。

しかし、江守らのシステムでは次の課題がある。各道路路上に存在する観光客避難者を可視化しているが、対象としているのは検討者が入力をした避難者の初期地点から避難所や駅などの限られた道路のみである。対象外の地域については計算が行われない。そのため、指定した避難経路以外の避難状況、混雑状況を検討者が知ることができない。本研究ではこの課題に対し、対象地域をセルで分割してシミュレーションをする方法を提案する。

3. 提案の概要

3.1 避難誘導方法検討支援に対するシステム条件

まず、避難誘導方法検討支援システムに求められるシステムの条件をまとめる。避難行動シミュレーションに関する既存研究は多数あるが、自治体等で行われる検討の場で利用するにはいくつかの問題がある。一つは、シミュレートの対象とする地域が建物内のみや狭い範囲に限られている場合があることである。広範囲のシミュレーションをするには計算量が多いため、高性能な計算機を必要とするか、または計算に非常に長い時間を要してしまい検討の場で繰り返し用いるには不適切である。また、一般的なユーザが利用することを想定していないため、素人が避難行動に関するパラメータを設定することが難しいことも問題である。

また、避難者として観光客を想定した研究も少ない。前節で述べたように、江守ら[3]の研究では観光客を対象とした避難誘導方法検討支援システムが提案されているが、シミュレートの対象としているのは限られた道路上のみであるという問題があった。

以上から、自治体等で観光客の避難誘導方法を検討する場で利用が可能な避難行動シミュレータの条件として以下が挙げられる。

- 一般的に普及している計算機のスペックで、数分程度で計算可能な程度の計算量に押さえる。
- 広域全体をシミュレートできる。
- 検討者が避難誘導方法に関するパラメータを設定できる。
- 検討者が入力した避難誘導方法に対してシミュレーションを行った結果が、検討者にとって見やすいように表示される。
- 避難者が観光客であることを想定したモデル化を行う。

次節では、これらの条件を満たすシステムについて提案の概要を示す。

3.2 基本方針

本節では、前節で述べた条件を満たすシステムについて検討をした内容を述べる。

$S_{i-1,j-1}$	$S_{i-1,j}$	$S_{i-1,j+1}$
$S_{i,j-1}$	$S_{i,j}(t)$	$S_{i,j+1}$
$S_{i+1,j-1}$	$S_{i+1,j}$	$S_{i+1,j+1}$

図 1: セルオートマトン法のセルの対応

3.2.1 計算方法

広域な対象範囲に対し、対象を特定の道路などに限らず避難状況をシミュレートするには、計算をある程度簡略化する必要がある。江守らの研究では各道路に存在するエージェントがすべてシミュレートされていたが、この方法をすべての道路に適用することは計算量の問題で難しい。そこで本研究ではセルオートマトン法を用いた計算を用いる。セルオートマトン法では、二次元平面で表現される空間を格子（セル）で区切り、各セルには状態が割り当てられる。各セルの状態は有限個である。あるセルの次の状態は、そのセルの現在の状態と隣接する8つのセルの現在の状態から予め定義されている状態遷移規則に従って定まる（図1）。

セルオートマトン法に基づく既存の避難行動シミュレーションでは、各セルにエージェントが配置され、各エージェントは滞在セルと隣接セルの状態から次に移るセルと状態を決定している[9]。しかしこのように避難者ごとにエージェントを生成すると、広域を対象としたシミュレーションでは計算負荷が高くなる。そこでセル内にいる避難者を個々のエージェントとして扱うのではなく、セル内にいる属性ごとの避難者の数のみをデータとして保持し、各セル内の属性ごとの避難者数がどのように変動するかのみを計算する。

各セルの属性としては、2.1節で述べた観光者の避難行動特性に示されている観光者の避難行動に影響を与える施設を考慮する。交通施設や観光地など観光に関する施設に影響を受けて行動をすることが示されているため、具体的には以下の属性を考慮する。

- 観光スポット
- 避難所
- 公園などの空き地
- 宿泊地
- 駅などの交通施設
- 火災発生地

最後に示した火災発生地は、火災が発生すると避難行動に変化があることが示されている[5]ためである。

3.2.2 観光客のモデル化

本節では、観光客の行動をモデル化するために検討した事項を述べる。観光客のモデル化について述べる前に、観光客の避難行動の影響を与える誘導員について述べる。

検討者は、どのような避難経路でどのような誘導をすれば効率よく、安全に誘導が可能かを検討する。このとき、限られた人数の誘導員をどのように配置するのも検討事項の一つであると考えられる[2]。江守ら[3]の研究でも誘導員の配置機能が提案されている。そこで誘導員を検討者が指定したセルに配置することとする。誘導員は隣接セルに移動をせず、指定されたセルに滞在し続ける。

つぎに避難者である観光客の属性を考える。本研究では、江守ら[3]の研究で考慮されていた、誘導に従う避難者と誘導に従わない避難者を考慮する。

誘導に従う避難者の行動モデルは次の通りである。検討者が入力をした避難経路に従い、移動を続ける。ただし、各セルにいる誘導に従う避難者のうち一定割合が誘導に従わなくなる。この割合は、滞在セル、および隣接セルが観光スポット、空き地、宿泊地、交通施設、および火災発生地が存在する場合に高くなる。移動先セルが火災発生地である場合には、移動先セルに隣接するセルに移動する。指定された避難所のセルに到着すると移動を終了する。

誘導に従わない避難者の行動モデルは次の通りである。誘導に従わない避難者を西野らの研究で示された志向型、探索型、方向型の3つに分類する。分類する割合は既存研究[5]で示されている割合に従う。志向型は最も近い観光スポットか交通施設、避難所に向かって移動する。探索型は、移動先の隣接セルをランダムに選択するが、隣接セルに観光スポット、避難所、空き地、交通施設がある場合にはそこに移動し、滞在する。方法型は、はじめにランダムに決めた移動方向に移動し続けるが、隣接セルに観光スポット、避難所、空き地、交通施設がある場合にはそこに移動し、滞在する。いずれも、移動先セルが火災発生地である場合には、移動先セルに隣接するセルに移動する。ただし、誘導員が配置されたセルにいる誘導に従わない避難者数のうち、一定割合が誘導に従うようになる。

3.2.3 入出力インタフェース

本節では、検討者に対する入出力インタフェースについて述べる。

入力については以下の事項を検討者は入力可能とする。

- 避難開始地点
- 避難開始地点にいる人数
- 誘導をする避難経路
- 誘導員を配置する地点
- 火災発生地点

各地点の設定については、対応するセルを選択することで設定可能にする。避難開始地点にいる人数は指定されたフィールドに入力する。避難経路については、経路に対応するセルを連続して選択することで入力することとする。

シミュレーション結果の出力については、電子地図上に各セルに含まれる各属性の避難者の状況を色で出力することを考えている。しかし、広域を対象とした出力画面に対し、各セルの状態を色で出力した場合、色の表現によって避難状況の認知のしやすさに大きな影響があると考えられる。どのような色表現をすればよいかが大きな課題であり、次節で本研究で行った色表現についての実験結果について述べる。

3.3 試作システムの概要

本研究では、構造計画研究所が開発した artisoc 4.0 を使用して試作システムを構築する[10]。

シミュレーションの実行中、検討者がシミュレーションの実行速度を調整することが考えられるため、以下のボタンを設定した。

- ① 「実行」 ボタン：シミュレーションを開始する
- ② 「ステップ実行」 ボタン：シミュレーションを 1 ステップ分だけ実行する
- ③ 「一時停止」 ボタン：シミュレーションを一時停止する
- ④ 「停止」 ボタン：シミュレーションを終了する
- ⑤ 「実行ウェイト」 ボタン：シミュレーションの実行速度を調整する

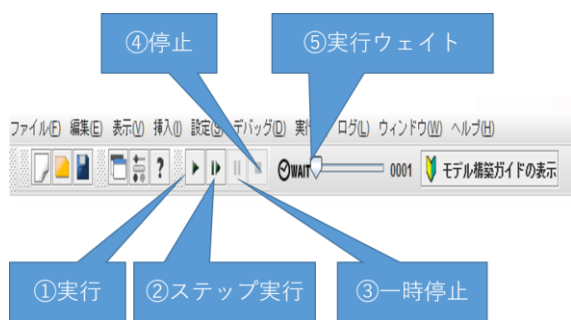


図 2：シミュレータのボタン

本システムのシミュレーション全体のおおまかな処理フローを図 3 に示す。システムの初期画面を表示させ、検討者から必要な入力事項のデータを受け取る。検討者がシミュレーションを実行すると、計算を開始する。計算では、まず各パラメータの初期化とセルの設定、各セルの属性の設定、および避難者の初期配置を行う。避難者が移動を開始すると、電子地図上に各セルの状態に対応する色重畳描画する。すべての避難者の移動が終了するとシミュレーションが終了する。

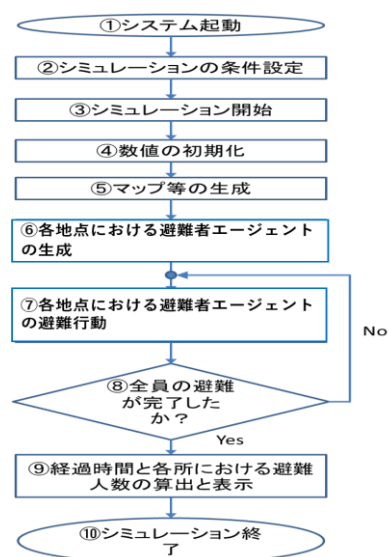


図 3：シミュレータの処理フロー

4. 色表現に関する予備実験

本研究では、各セルの状態を色で表現することでシミュレーションにおける避難状況を検討者に提示することを考えている。そのため、どのような色で状態を表現するかが避難状況の認知に大きな影響を与えられ、どのような色であれば、検討者が見やすいのかを知る必要がある。そこで、さまざまな色が電子地図上のセルに描画された場合に受ける印象の実験を行った。本節ではこの実験と実験結果について述べる。

4.1 実験目的

避難者にはいくつかの属性があるため、セルの状態を表すためには複数の色を描画する必要がある。本実験では、状態を表現する色の候補として赤・黄・緑・水・青・紫・桃・茶・白・黒の 10 色とし、これらを一度にシミュレーション画面に描画した際に人が認知しやすい色について調べる。

4.2 実験方法

4.2.1 色と色の描画について

本実験で用いた色の名前と RGB 値、実際に表示される色を表 1 に示す。用いた色は赤・黄・緑・水・青・紫・桃・茶・白・黒の 10 色である。

表 1：実験で利用した色

色の名前	RGB 値	表示される色
赤	R:255 G:0 B:0	
黄	R:255 G:255 B:0	
緑	R:0 G:128 B:0	
水	R:0 G:255 B:255	
青	R:0 G:0 B:255	
紫	R:128 G:0 B:128	
桃	R:255 G:20 B:147	
茶	R:165 G:42 B:42	
白	R:255 G:255 B:255	
黒	R:0 G:0 B:0	

実験では、11.6 インチ、解像度が 1366×768 のディスプレイに縦横のサイズが 1275px の正方形の電子地図上に色を描画した。電池地図の対象範囲を縦 50、横 50 の計 2500 のセルに分割した。各色について 5 つのセルを他の割り当てと重複しないようにランダムに割り当て、配色をした。すなわち、初期画面では 2500 あるセルのうち、50 セルに色が塗られており、5 つのセルが同じ色が塗られている。画面例を図 4 に示す。

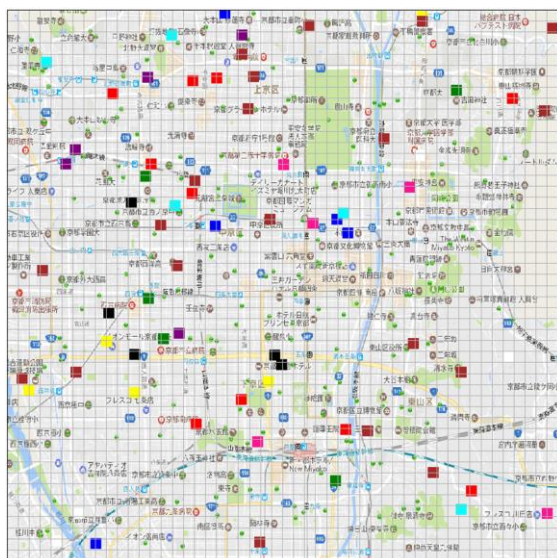


図 4：評価実験における画面例

4.2.2 セルの状態変化について

実験中のセルに塗られる色の変化について述べる。各色で表現されたセルは避難者がいるセルであるとし、避難者が向かう避難所として 10 つのセルに避難所の属性を割り当てた。避難者は初期位置から最も近い避難所への最短経路を通して一定速度で進む。つまり、あるセルの隣接セルのうち、最も近い避難所への距離が最も短くなる隣接セルを移動先となる。計算の t ステップ目において、あるセルが色 x で塗られていた場合、 $t+1$ ステップ目にはこの移動先セルが色 x で塗られる。避難所セルにたどり着いた避難者は移動をしないため、避難所のセルがある色 y で塗られた場合、次の計算ステップでも避難所のセルの色は y である。ただし、他の色 z が割り当てられた避難者が同じ避難所のセルにたどり着いた場合、避難所のセルは色 z と上塗りされる。

4.2.3 実験協力者と実験手順

本実験では、実験協力者として 21 歳から 25 歳までの大学生、大学院生の男性 7 名、女性 3 名の計 10 名に協力を依頼した。実験協力者の詳細を表 2 に示す。

実験協力者には画面が表示されているディスプレイの前に座ってもらい、1 分間シミュレーションの動作を見てもらった。その後、表示された色について最も見やす

かった色色を 3 色について順位付けをしてもらった。

表 2：実験協力者の属性

実験協力者数	10 名
性別	男性 7 名、女性 3 名
年齢	21-25 歳(平均 23.1 歳)

4.3 実験結果と考察

実験協力者が最も見やすかったと評価した色には 3 点を、次に見やすかったと評価した色には 2 点、見やすさが 3 番目であった色には 1 点の点数を与え、10 名の実験協力者が選んだ結果の合計点数で色を評価した。さらに、各色の得点率を求めた。その結果を表 3 に示す。

エージェントの色で認知しやすい色は黒色 (40%)、赤色 (35%)、青色 (18.3%)、桃色 (6.7%) という順番になった。また、この 4 色以外に認知しやすかったと回答された色がなかったことが特徴である。これは、地図の道路等が灰色、白色で構成されているため、最も色の濃い黒色が実験協力者にとって認知しやすい色となったのではないかと考えられる。次に赤色は、三原色の一つであり、またセルの下に表示されている地図に公園等が緑色であるのに対し、その補色であることが認知のしやすさにつながったと考えられる。同様に青色も、黒や赤とは異なる三原色の一つであり、また地図に駅や店舗密集地域が橙色に対してその補色であることが理由の一つであると考えられる。

本実験の結果から、これら 4 色を利用してセルの状態を設定することに取り組む。ただし、4 色のみではセルの状態数に満たない可能性がある。この場合には、本実験で得た地図の色に対する補色が認知しやすいという知見に基づいて色を設定する。

5. まとめと今後の展望

本研究では、検討者が避難誘導方法を検討する場において利用する誘導方法支援システムに必要な条件を整理し、セルオートマトンによるシミュレータの提案と、その際に考慮すべき色表現について議論した。具体的には、10 色の色で表現されたセルの状態が画面上で動く場合に、認知しやすい色について実験協力者による実験を行った。結果として、最も認知しやすい色は黒色であり、その次が赤色、青色となった。今後、本実験で得られた知識を用いて、提案したシミュレータを構築し、実際に検討の場で利用をして評価をする。

6. 謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP16K21484 の助成を受けたものです。

表 3：実験結果

			実験協力者が回答をした順位									
実験協力者	性別	年齢	白	茶	赤	黄	緑	水	青	紫	桃	黒
A	男	21			2				3			1
B	男	23			1				3			2
C	男	23			1						3	2
D	女	23			1				3			2
E	男	24			3				2			1
F	女	23			2						3	1
G	男	24			2				1			3
H	男	24			1				3			2
I	女	22			3						2	1
J	女	24			3				2			1
得点			0	0	21	0	0	0	11	0	4	24
得点率			0	0	35	0	0	0	18.3	0	6.7	40

参考文献

- [1] 京都市産業観光局：京都市観光総合調査（2017）.
- [2] 京都市：京都市事業所帰宅困難者対策指針（2013）.
- [3] 江守直人，北村尊義，泉朋子，仲谷善雄：観光客の行動パターンを考慮した避難誘導検討支援システム，情報処理学会全国大会論文集，Vol.78，pp.151-152（2016）.
- [4] 京都市行財政局防災危機管理室：災害時における観光客等防災対策に係る避難シミュレーション等の検証調査（2012）.
- [5] 西野智研，大橋響，北後明彦：地震火災に予想される観光客の避難行動傾向，日本建築学会環境系論文集，Vol.81，No.719，pp.1-8（2016）.
- [6] 熊谷良雄：避難モデル論，都市計画，Vol.89，pp.40-50（1976）.
- [7] 李載吉：誘導群集の歩行動態ならびに広域群集の避難勧告支援モデルの開発，学位論文，筑波大学大学院社会工学研究科（1992）.
- [8] 森本陽，栗田治，田中健一：混雑状況下にある建築空間内の出口選択が避難効率に与える影響の評価モデル，日本建築学会都市計画論文集，Vol.50，No.3，pp.636-643（2015）.
- [9] 大鑄史男，小野木基裕：セルオートマトン法による避難流動のシミュレーション，日本オペレーションズ・リサーチ学会和文論文誌，Vol.51，pp.94-111（2008）.
- [10] 山影進：人工社会構築指南 artisoc によるマルチエージェント・シミュレーション入門，有限会社書籍工房早山，東京（2007）.