

令和 4 年 5 月 30 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K04752

研究課題名(和文) 機械学習によるデータ駆動型避難シミュレーションシステムの開発

研究課題名(英文) Development of a Data-driven Evacuation Simulation System Using Machine Learning

研究代表者

安福 健祐 (Yasufuku, Kensuke)

大阪大学・サイバーメディアセンター・准教授

研究者番号：20452386

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、エージェントベースの避難シミュレーションにデータ駆動型のアプローチを取り入れることで、複雑な人間の行動の再現性を向上させつつ、実用性のあるシステムを開発することを目的としており、津波による地下空間浸水からの避難を対象に、ある地下街管理会社から提供された滞留者予測データ、避難シナリオを入力データとし、避難安全性の評価を行った。また、大型商業施設を対象として、施設会員カードの購入履歴データから店舗間の遷移確率を生成することで群集シミュレーションによる買い回り行動を再現した。さらに、機械学習により群集行動モデルを生成する手法としてゲームエンジンUnityを活用した開発を進めた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

地下街の管理会社が想定する避難誘導計画データを活用してエージェントベースの避難シミュレーションを行い、想定されていた避難誘導効果を検証できたことは社会的な意義が大きい。また、従来はモデル化が難しかった平常時の回遊行動を、大型複合商業施設における購入履歴データをベースに一定の精度をもって再現できることを示したことは学術的意義がある。さらに、ゲームエンジンと機械学習を活用した群集シミュレーションのフレームワークの構築から群集密度の効果的な可視化手法を検討することにより、リアルタイムで群集予測を行う群集マネジメントへの活用が期待できる。

研究成果の概要(英文)：This study aims to develop a practical agent-based evacuation simulation based on data-driven approaches. We applied this simulation to evacuation from inundation of underground space by tsunami, and evacuation safety plan was evaluated based on the evacuation scenario provided by the underground mall management company. In addition, for a large-scale commercial facility, we reproduced shopping behavior by crowd simulation with the transition probabilities between stores based on the purchase history data of facility membership cards. Furthermore, a method for generating crowd behavior models through machine learning was developed using the Unity game engine.

研究分野：建築計画

キーワード：データ駆動 エージェントベース 避難シミュレーション 群集 回遊行動 機械学習 可視化

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

(1) 避難シミュレーションは、様々な災害に対して想定される避難のシナリオを設定し、建築・都市空間の避難安全性を検証するものである。特にエージェントベースによるシミュレーションは、コンピュータ上で個々の在館者の動きをエージェントという呼び方でモデル化する。その特徴の一つは、局所的なエージェント同士の相互作用によって、マクロな群集現象が再現されることである。これにより避難上ボトルネックになる地点や密集地点での群集の大きさを視覚的に把握しやすくなる。

(2) 避難シミュレーションの精度を上げていくには、避難行動に関する現実のデータとの比較検証が重要である。ただし、実際の災害発生後に行われる調査件数には限りがあるため、訓練や実験室での避難行動データも補完的に利用される。一方、近年、センシング技術の向上、IoT機器の普及により、個々の歩行者の移動軌跡を時系列で計測することが簡便化されており、人流に関するビッグデータが整備されつつある。

(3) 建築防火の分野において、従来のマクロな歩行分析からミクロな歩行軌跡の解析が進んできており、群集シミュレーションの基礎資料として有用なデータになり得る。さらに今後は、大量の歩行軌跡データを機械学習することで、災害時、平常時にも応用可能な「データ駆動型群集シミュレーション」を新たに開発、導入されることが予想される。

### 2. 研究の目的

(1) エージェントベースシミュレーションにデータ駆動型のアプローチを取り入れることで、人間の非常時の避難行動と平常時の移動行動の再現性、妥当性を向上させつつ、汎用性のあるデータ駆動型避難シミュレーションを開発することを目的としている。

(2) データ駆動型の避難シミュレーションを非常時の避難行動に適用して、大規模地下街における避難安全性の検証を行う。

(3) データ駆動型の群集シミュレーションを平常時の回遊行動に適用して、大型複合商業施設における人流の再現を行う。

(4) 機械学習によるデータ駆動型の群集行動モデルを新たに生成するため、汎用ゲームエンジンを活用した深層強化学習用のフレームワークを構築する。

### 3. 研究の方法

(1) データ駆動型の避難シミュレーションを災害時の避難行動に適用するため、火災および津波による地下空間浸水からの避難を対象に、一部、地下街管理会社から提供された滞留者予測データ、避難シナリオを入力データとし、群集の動きをシミュレーションで予測して避難安全性の評価を行う。避難場所までの経路選択方法として、最寄りの避難場所に向かって避難する「最短距離」に加え、混雑を回避することで避難時間が短くなることが予測される避難場所を選択する「混雑回避」、地下街管理会社が策定した「誘導計画」を設定する。

(2) データ駆動型の群集シミュレーションを平常時の回遊行動に適用するため、大型複合商業施設を対象に会員カードの購入履歴データから店舗間の遷移確率を生成することでシミュレーションによる買い回り行動を再現する。また、COVID-19 感染拡大前の人流との比較を行う。

(3) 機械学習により群集行動モデルを生成するため、ゲームエンジン Unity を活用して開発を進める。Unity は深層強化学習用のフレームワークを利用することができ、個々のエージェントが効率よく移動できる行動を学習させる環境構築を行う。

(4) 人流の群集流動を評価する場合に、群集密度算定方法と可視化手法を整理し、ポロノイ分割ベースの群集密度の可視化手法を提案する。

### 4. 研究成果

(1) 地下空間浸水時の避難シミュレーションにより、最短距離にある階段からの避難では避難者の集中がみられた場所を特定し、それを分散するように一部の避難者をあらかじめ指定した避難経路を選択させた結果、最短距離と比べて避難完了時間が約 53%短縮した。

(2) 地下街管理会社が想定する避難シナリオに沿って、避難シミュレーションを実施した結果、

地上への避難目標時間 120 分以内には余裕をもって避難が完了した。また、避難誘導の効果を検証した結果、最短距離のある階段より距離的に不利でも幅員の大きい階段へ誘導したことで避難時間が短縮することを確かめた。

(3) 大型複合商業施設において会員カードの購入履歴により店舗選択回数を抽出し、店舗間遷移確率に基づく買い回り行動モデルを開発した。

(4) 買い回り行動モデルの精度を検証するため、1度の買い回りで訪れる平均店舗数を購入履歴データと比較した結果、購入履歴データは平均店舗数が 2.64 店であるのに対して、買い回り行動モデルは平均店舗数が 2.77 店となり、高い再現性が確認できた。

(5) マルコフ過程を仮定した店舗間遷移確率に基づく買い回り行動モデルにおいて、同一店舗を選択する確率を検証した結果、90%以上一致することを確認した。

(6) 大型複合商業施設の店舗間遷移確率を分析することで、入館時から購入目的がはっきりしている傾向が読み取れる店舗と、入館時から購入目的があるわけではなく買い回りの結果、購入に至る可能性が高い店舗を明らかにした。

(7) 店舗間遷移確率に基づく買い回り行動モデルを群集シミュレーションに適用した結果、入館者数の実測値を入力データにして、施設全体の滞留者数と退館者数というマクロな現象を 85%以上の精度で再現した。

(8) 群集シミュレーションでの各出口における選択確率は、入館する入口が退館する出口と同じという仮定を行った結果、シミュレーションと実測値との間の回帰直線 ( $y=1.041x-22.284$ ) が  $Y=X$  とよく近似し、相関係数 0.949 となった。

(9) 群集シミュレーションの店舗間の経路選択において、最小コスト経路では通路通行量の再現性は低くなるが、通路ごとに経路選択パラメータを調整することで、8箇所ある通路の通行量の利用率がシミュレーションと実測値で相関係数が -0.24 から 0.81 に改善した。

(10) 2019 年度と 2020 年度で買い物行動を比較した結果、COVID-19 の影響によって買い回り店舗数と滞在時間は減少しているが、1回の買い物の購入金額は増加傾向にあること、雑貨店など店舗によっては買い物回数が増加していることを明らかにした。さらに店舗間の遷移確率を生成することで、群集シミュレーションによる買い回り行動を再現した結果、COVID-19 によって施設全体の人流は約 9.4%減少したこと、フロア別にみると飲食店が多いフロアが 18.3%減と顕著であること、大型の雑貨店周辺では人流が増加していることなどを明らかにした。

(11) 群集密度の算定手法を整理した上で、ヒートマップによる可視化手法を比較検討しながら、

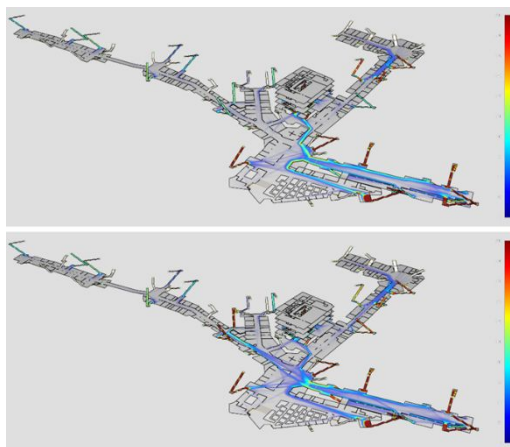


図 1 地下空間の避難シミュレーション

Dest Dep't	B1F No. 1 - 58	1F 59 - 95	2F 96-133 / 301-336	3F 134-183	4F Exit 187-209
Entrance			000% 1.2179% 0.0%		
B1F No. 1 - 58			779% 0.7117% 0.0%		
			000% 1.9048% 0.0%		
			000% 0.2495% 0.0%		
			000% 0.0000% 0.0%		
1F 59 - 95					
2F 96-133 / 301-336					
3F 134-183					
4F 187-209					

図 2 店舗間遷移確率の可視化

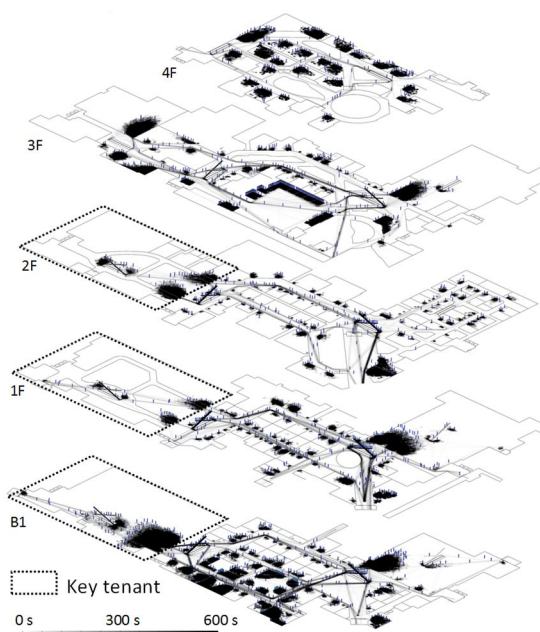


図 3 商業施設の回遊シミュレーション

その結果が一意に定まるボロノイ分割による算定とリアルタイムレンダリングによるアニメーションを有効な可視化手法の一つとして提案した。ボロノイ分割ベースの群集密度の算定は、群集密度がボロノイ領域の面積の逆数で計算されるため、「固定範囲ベース」のような計測範囲のパラメータも必要がなく、群集密度が一意に定まるメリットがある。

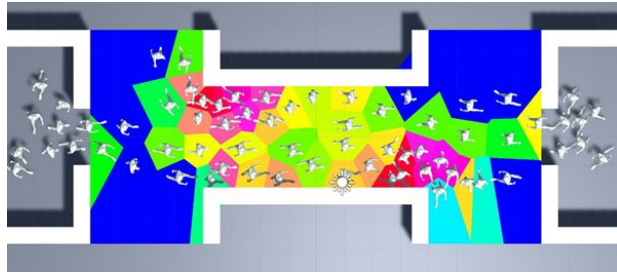


図4 ボロノイ分割による群集密度の可視化

(13) ボロノイ分割ベースの群集密度の算定において、ボロノイ領域をアニメーション表示するメリットは、1人の人に着目して、その人の専有面積の変化を見ながら、群集流動性状を把握できることが挙げられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 安福健祐、泉本淳一、阿部浩和	4. 巻 86
2. 論文標題 大規模商業施設におけるデータ駆動型買い回り行動モデルの開発	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本建築学会計画系論文集	6. 最初と最後の頁 1358 ~ 1366
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3130/aija.86.1358	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 高橋彰、安福健祐、阿部浩和	4. 巻 86
2. 論文標題 避難シミュレーションを用いた大規模地下街津波浸水対策の避難誘導計画の評価	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本建築学会計画系論文集	6. 最初と最後の頁 2104 ~ 2114
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3130/aija.86.2104	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 安福健祐
2. 発表標題 リアルタイムレンダリングによる群集密度変化の可視化手法検討
3. 学会等名 日本図学会2021年度大会（オンライン）大会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kensuke Yasufuku
2. 発表標題 Analysis of Shopping Behavior in Commercial Facility during COVID-19 Using Agent-Based Simulation
3. 学会等名 The International Conference on Pedestrian and Evacuation Dynamics (PED2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 安福健祐
2. 発表標題 データ駆動型エージェントモデルを用いた大規模施設における人流分析
3. 学会等名 2021年度地球総合工学シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kensuke Yasufuku
2. 発表標題 Development of Data-Driven Agent Model for Consumer Shopping Behavior in Commercial Facility
3. 学会等名 The 19th International Conference on Geometry and Graphics（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 安福健祐、阿部浩和
2. 発表標題 マルチエージェントシステムを用いた津波による地下空間浸水時の避難シミュレーション その2 避難誘導計画に基づく避難安全性の評価
3. 学会等名 2020年度日本建築学会大会（関東）学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 弘中昇太、安福健祐、阿部浩和
2. 発表標題 マルチエージェントシステムを用いた津波による地下空間浸水時の避難シミュレーション その1 時間帯別の滞留者分布予測に基づく避難安全性の評価
3. 学会等名 2020年度日本建築学会大会（関東）学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 安福健祐
2. 発表標題 大規模群集のシミュレーションと可視化
3. 学会等名 第14回群集マネジメント研究会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 安福健祐, 阿部浩和
2. 発表標題 マルチエージェントシステムによる複数の災害を考慮した地下空間最適避難誘導の検討
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>大阪大学研究者総覧  <a href="http://www.dma.jim.osaka-u.ac.jp/view?l=ja&amp;u=848">http://www.dma.jim.osaka-u.ac.jp/view?l=ja&amp;u=848</a>          研究者Webページ  <a href="http://www.comy.cmc.osaka-u.ac.jp/~yasufuku">http://www.comy.cmc.osaka-u.ac.jp/~yasufuku</a></p>
---

6. 研究組織			
	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	高橋 彰  (Takahashi Akira)		

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------