

# ゲームエンジンを用いた 避難時集団行動表現の試み

An Attempt to Represent Collective Action during Evacuation Using a Game Engine

三上日向汰<sup>1)</sup> 横山天明<sup>1)</sup> 野澤鉄生<sup>2)</sup> 星野晋一郎<sup>2)</sup>

福山瑞葵<sup>2)</sup> 奥山彫夢<sup>3)</sup> 島崎彦人<sup>4)</sup> 石井建樹<sup>4)</sup>

Hinata Mikami, Tenmei Yokoyama, Tessei Nozawa, Shinichirou Hoshino,  
Mizuki Fukuyama, Yelm Okuyama, Hiroto Shimazaki and Tateki Ishii

1)木更津工業高等専門学校 制御・情報システム工学専攻

2)木更津工業高等専門学校 電子制御工学科 2024年3月卒業

3)木更津工業高等専門学校 電子制御工学科 准教授

(〒292-0041 木更津市清見台東2-11-1, E-mail: okuyama@d.kisarazu.ac.jp)

4)木更津工業高等専門学校 環境都市工学科 教授

Focusing on the game engine's ability to reproduce realistic topography and structure space, as well as crowd behavior with minimal visual discomfort, we attempted to represent collective behavior during evacuation as a crowd simulation. In this study, the buildings and topography existing at Kisarazu National College of Technology were reproduced as 3D models, and realistic crowds were reproduced using AI-controlled characters that walk autonomously. The results of this simulation suggested a similar trend to the crowding in real-life evacuation drills.

**Key Words :** Flow of People, Visualization, Reproduction, Game Engine

## 1. 緒言

近年、シミュレータの開発にゲームエンジンを活用することで、一からソフトウェアの開発を行うのに比べ、比較的簡単かつ短時間で開発が可能となっている。本稿ではその一例として、ゲームエンジンが持つ地形や構造物の空間再現性、見た目に違和感の少ない群集の行動表現に着目し、群集シミュレーションとして避難時の集団行動の再現を試みた。

今後の社会的な課題としてイベントの開催が増加することにより、閉鎖的な空間における人の密集が事故の発生リスクを増加させる可能性が指摘されている。例えば、韓国梨泰院での転倒事故のような人口密度の急激な上昇による圧迫や窒息、転倒やそれに伴う救助活動の妨げなどが、事故の重大性を飛躍的に高める要因となっている。この状況を未然に防ぐために現実でテスト用のモデルや人を用意して混雑の発生を実験するのは物理的にも費用的にも困難である。このように実験が困難な場合に、群集シミュレータを用いることで比較的簡単に群集混雑の大まかな予測を立てることができる [1]。

しかしながら、対象となる領域の幾何形状を工夫し、大人数の移動でも混雑が発生しないような構造を検討することは難しく、また、適切な可視化機能がない場合に

は、計算結果が映像的に分かりづらいといった難点がある。

本研究では、3DCGを用いたリアルな映像描写やAIを用いたキャラクターの制御が可能であるというゲームエンジンの特徴に着目し、Unreal Engine 5.2.1内に作成した仮想空間上での群集シミュレーション及び、シミュレーション結果の可視化を試みた。今回の試みでは転倒などの群集行動の再現や、集団行動の可視化という観点に重きを置く。さらに、より現実的な試験領域として、筆者らにとって身近な建築物である木更津高専をモデルケースとして採用し、現実と比較しながら群集シミュレーションとその可視化の手法を検討することとした。なお、木更津高専の避難訓練では、毎年ある地点において混雑の発生が確認されているが、本稿の結果も同様の傾向を示唆する結果が得られている。

本稿の結果のように、シミュレーション結果を見易く可視化することで、安全意識向上に貢献するとともに、人の移動やイベントの計画におけるリスク管理にも役立つ可能性が確認できた。本成果は今回モデルケースとして扱った木更津高専をはじめとする教育機関や公共施設の避難再現などでの活用が期待でき、より安全で持続可能な社会の実現に寄与できると思われる。

## 2. 木更津高専の3Dモデル作成

木更津高専を3DCGで再現する手法について、建物の再現と地形の再現についてそれぞれ説明する。

### (1) 建物の再現

本研究では、木更津高専に存在する建物を3Dモデルとして再現した（以下仮想木更津高専と略する）。

校舎の設計図を基に建築用CADソフトウェアを用いて床や柱などの基本的な構造を3DCGで再現した。図-1は、建築用CADソフトウェアを用いて校舎の一つの基本的な

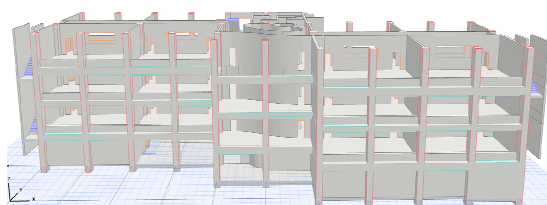


図-1 建築用 CAD ソフトウェアを用いて校舎を作成している様子

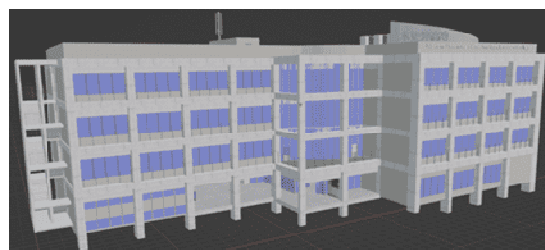


図-2 3DCG モデリングソフトウェアを用いて校舎を装飾している様子



図-3 ゲームエンジンに校舎のデータを取り込んだ様子

構造を再現している様子である。

次に、3DCGモデリングソフトウェアを用い、実際の校舎を撮影した写真を参照しながら細かい形状や材質などを再現した。図-2は3DCGモデリングソフトウェアを用いて建物の装飾を行っている様子である。壁の材質などは群集シミュレーションには直接関係のない情報ではあるが、出力したシミュレーション結果に映像的な見易さや迫力を持たせるために、現実の建物の見た目を3DCGでできるだけ表現した。

最後に、ゲームエンジン内に構築した仮想空間に完成した建物のデータを取り込み、上空写真 [2] の座標通りに、次の節にて述べる数値地形モデル上に建物を配置した。図-3は仮想空間上に校舎を配置した様子である。ゲームエンジン内で光や大気の設定を行い、現実の木更津高専と近い環境を再現している。

### (2) 地形データの作成

本研究では、Structure from Motion (SfM) および Multi-View Stereo (MVS) 技術に基づく3次元復元手法 [2] によって作成された木更津高専の数値表層モデル (digital surface model) を用いた。今回用いた数値表層モデルを図-4に示す。この数値表層モデルは、無人航空機を用いた空撮により得た画像を基に作成されたものであり、標高が高いほど白く、低いほど黒く描画され、グラデーションの濃淡によって詳細な高さの情報を記録している。

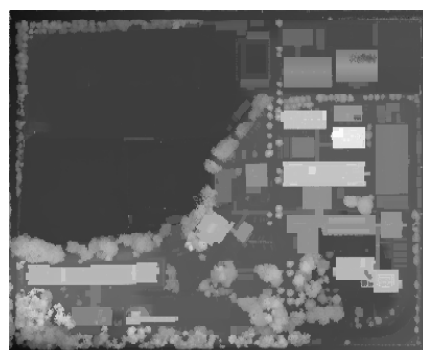


図-4 数値表層モデルのグレースケール表示



図-6 仮想木更津高専の全体像

数値表層モデルはゲームエンジン内の機能によって容易に3DCGの地形データに変換できる(図-5)。しかし、このデータには大地の高低差以外にも建物や植物などの「地物」のデータも入っている。このデータは今回の仮想空間の作成手法においては不要なデータであるため手動で削除し、数値地形モデルを作成した。

図-6は完成した仮想木更津高専の全体像である。この時点では家具や植物などは再現をしていないが、必要に応じて後から配置できるようにしている。今回は、ゲームエンジンの付属のデータから現実の植物に似た植物データを選んで配置した。

今回の再現手法で、現実の木更津高専の情報を比較的正確に再現することができたと考えられる。

### 3. 群集の表現

本研究では、仮想空間上での混雑の様子を視覚的に表現するために、ゲームエンジン内に存在するAI開発用コマンドを用いて、自律して歩行を行う人形であるNon Player Character (以降NPCと略する)を作成した。このNPCを用いて、仮想木更津高専内を複数人で同時に歩かせることで群集を視覚的に表現し、物理的な干渉による群集のシミュレーションを行う。



図-5 数値表層モデルを3DCGへと変換している様子

図-7に、作成したNPCの機能をフローチャートとして示す。(a)が今回用いるNPCの基本的な機能であり、出発地点と目的地を指定することで仮想空間上を歩行により移動するといった機能である。歩行の際に、拡張機能を使用したり、前方のNPCが邪魔で前進が難しい場合に避けて進んだりする。また、(b)と(c)は必要に応じて確率的に躓かせたり、複数の中間地点を経由させたりする拡張機能である。

図-8にNPCを仮想木更津高専に配置した様子を示す。実際の木更津高専の外観を忠実に再現しているため、この画像のように写真一枚で周囲の環境や状況が伝わり易いことが見てとれる。

なお、このNPCは身長、歩行速度、見た目などを比較的自由に設定可能であるため、あらゆる年齢・体型の集団を対象としたシミュレーションが可能である。

### 4. 群集シミュレーションの環境条件

本研究では、図-9に示す避難経路における群集のシミュレーションを行った。この避難経路は、校舎1、校舎2、及び、校舎3の3つの校舎から避難する場合の経路であり、赤い経路と青い経路が実際に使用される避難経路である。赤い矢印は各校舎の出口である。NPCは図の上方に示す

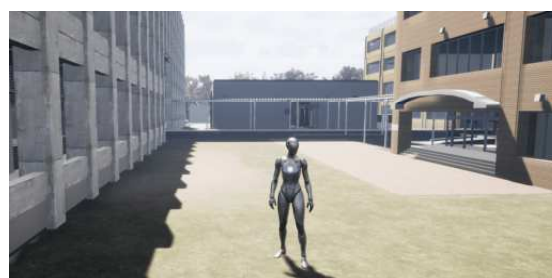


図-8 NPCを仮想木更津高専に配置した様子

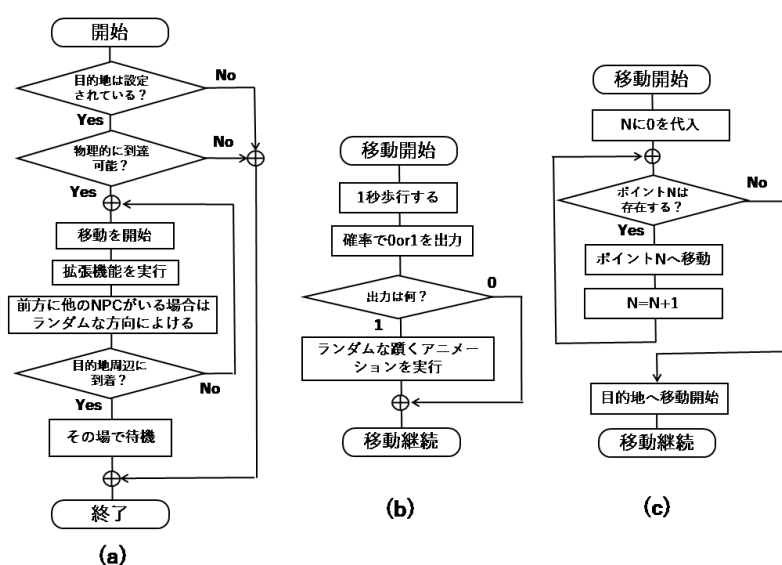


図-7 NPCの動作のフローチャート

- (a) 障害物を避けながら目的地へと歩行により移動する。
- (b) 歩行中に確率的につまずく。
- (c) 目的地へと向かう道中に中間地点を経由する。



目的地へと一斉に移動する。図-10に、図-9の経路の3Dモデルを示す。

今回のシミュレーションでは以下の2つの実験を行う。

実験1では、このシミュレーション手法で、現実の避難訓練において混雑が発生するポイントと、仮想木更津高専において混雑が発生するポイントが一致するかどうかを確認する。実験2では、図-9の青い経路の道幅を1.5倍に拡張することで、避難効率がどのように変化するかを確認する。

なお、本研究では、前方の人間が邪魔で後方の人間が前に進めず立ち往生してしまう状況を「混雑」と定義している。

今回使用したNPCの設定は、平均歩行速度を1.1m/s [3]、身長を木更津高専の平均身長である171cm、NPCの数を118人、転倒する確率を $0.02s^{-1}$ 、他のNPCと物理的に干渉し始める直径（パーソナルスペース）を肩幅程度としている。今回は、速度パラメータを少しずつ変えたNPCを3種類用意して、平均が上記の値となるように配置した。なお、単純化のために3種類しかNPCのパラメータを用意しなかったが、NPCの種類を多くすれば各NPCにそれぞれパラメータを設定し、標準偏差や分散を考慮したより現実的なシミュレーションも可能である。

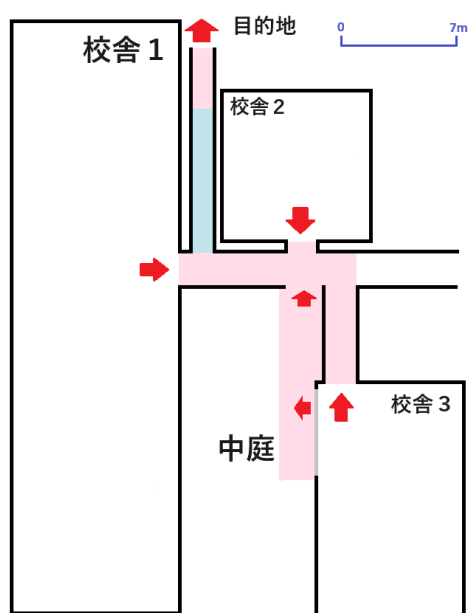


図-9 今回使用する避難経路図

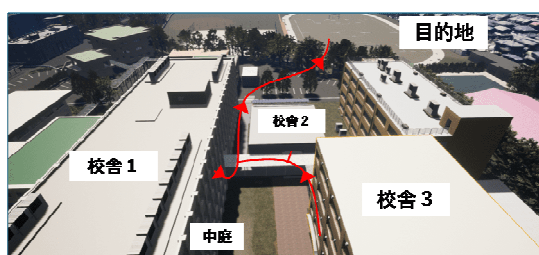


図-10 今回使用する避難経路の3Dモデル

今回は3つの校舎にランダムにNPCを配置し、同時に避難を開始する場合の青い経路における群集と混雑のシミュレーションを行った。しかし、避難開始から青い経路にNPCが到達するまでに時間がかかるため、複数回のシミュレーションを行う上でこの時間が無駄となっていた。そこで、一度各校舎からの群集シミュレーションを行い、NPCが青い通路に近づいたタイミングでの各NPCの位置情報を記録した。以降のシミュレーションでは、その記録位置からシミュレーションを開始することで、無駄な時間を省いている。その際、記録位置を基準にNPCの配置を少しずつ変えて実験1と実験2でそれぞれ4回シミュレーションを行ったが、実験1と実験2の結果はどの場合でもおおそ同じであったため、5章で示すシミュレーション結果ではその中の一例を記載する。

## 5. 群集シミュレーションの結果と考察

この章では、前章の環境条件におけるシミュレーション結果を示し、その考察を述べる。

### (1) 実験1の検証結果と考察

図-11は木更津高専での避難訓練の群集シミュレーションの様子である。今回の検証では全体の群集の変化を観察したいため、分かり易く(a)のようなリアルな画面出力ではなく(b)のようにメッシュを透かしてNPCの動きを観察できるようにした画面出力としている。これにより、建物の屋根や壁の存在に関わらずNPCの全体の動きを遠くから把握できる。以降のシミュレーション結果は全て図-11の(b)のような形式で示すこととする。

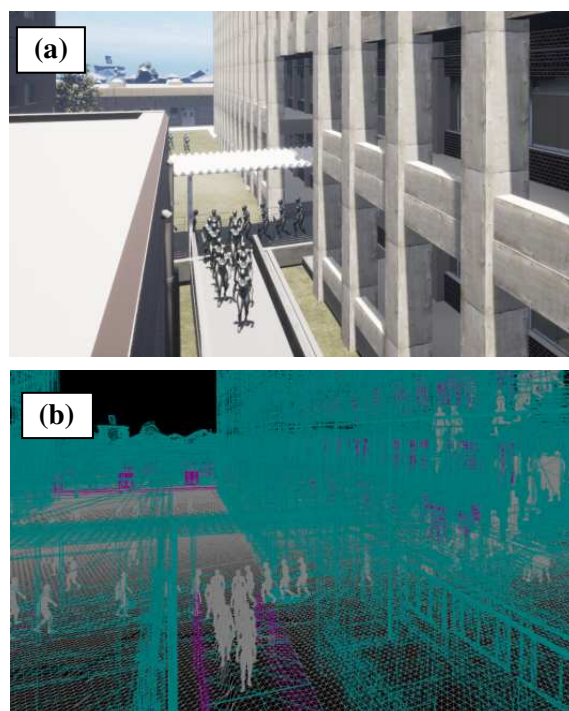


図-11 各画面出力でのシミュレーション結果の比較画像

(a) リアルな画面出力

(b) メッシュを透過した画面出力

図-12と図-13に、現状経路における群集シミュレーション(実験1)の結果を示す。画面左側が校舎1で、右側が校舎2と校舎3であり、画面上方に目的地がある。この結果を見ると、画面中央のT字路で発生した混雑により、校舎1から来た人の流れが停滞していることが分かる。この結果は、実際の本更津高専の避難訓練において確認された混雑の発生場所と状況を、ゲームエンジン内で概ね再現できていることを示している。したがって、ゲームエンジンを活用した群集の再現手法は簡易的な混雑発生の目安を立てるのに使用できる可能性があると言える。

なお、今回のシミュレーションではNPCの物理的な干渉のみを群集の要素として扱っており、人間の心理的な側面は考慮されていない。群集の再現において、心理的な要素は物理的な要素と同様に重要であると考えられる[4]。よって、本研究のNPCを制御するプログラムには、群集シミュレーションの精度向上という点でまだ改善の余地が見られると推測される。

また、ゲームエンジンの機能を活用することにより、直感的に分かり易いシミュレーション結果をリアルタイム出力できることが確認できた。よって、本研究の主要な目的である、3DCGを活用したシミュレーション結果の映像化という点に関しては、目標を概ね達成することができたと考えられる。

## (2) 実験2の検証結果と考察

この節では、経路の一部を拡張した場合のシミュレーション結果を示し、実験1にて示した結果と比較して実験2についての考察を述べる。

避難経路の幅の一部を拡張した場合(以下拡張経路と略す)における群集の様子を、図-14と図-15に示す。

現状経路と拡張経路での混雑の発生をそれぞれ比較すると、現状経路では一度発生した混雑が解消するまでに

ある程度の時間がかかっており、その影響で混雑は比較的大規模となっていた。それに対し、拡張経路では発生する混雑は小規模となっており、その解消も比較的早くなることが確認できた。

ここで、最初の1人が青い経路を通過してから最後の1人が青い経路を通過するまでにかかった時間を基に、この避難経路の避難効率を考える。全体的な避難効率を比較すると、道幅を拡張することによって12秒程早く避難が完了し、全体的な避難効率が高まったことが分かった。直感的には通路の幅が広がれば避難効率は高まるはずであり、今回の結果から、シミュレーション内の挙動は直感に反することなく現実の群集を表現できていると考えられる。

なお、ゲームエンジンの活用によって校舎の3Dモデルは簡単に編集ができる。そのため、道幅の拡張のような現実の校舎で実験が困難な場合に目安を立てる目的で使用するには十分な精度と機能であると推測される。

## (3) ゲームエンジンを利用したシミュレーション結果の可視化の考察

この節では、ゲームエンジンを活用して映像的に分かり易くなった、複雑な校舎内でのシミュレーションの様子を示す。

前節にて示した実験結果は全て、群集の変化を画像で伝えるために同一のアンクルから撮影した画像を用いた。しかしながら、実際のシミュレーション結果はリアルタイム出力であるため、ゲームエンジンのゲーム開発用の機能を利用することで、リプレイ機能やNPC視点での撮影、プレイヤー自身がキャラクターを操作してNPCと一緒に移動を行うなどの機能を比較的簡単に実装することができる。例として、図-16と図-17に示した画像ではそれぞれ、ゲームエンジンを活用して実現できた機能の一例

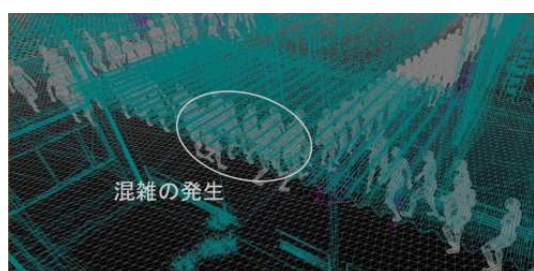


図-12 現状経路におけるシミュレーション開始 20 秒の様子

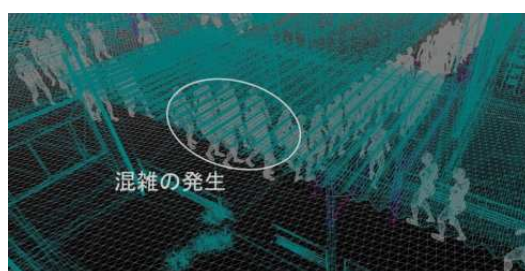


図-14 拡張経路におけるシミュレーション開始 20 秒の様子

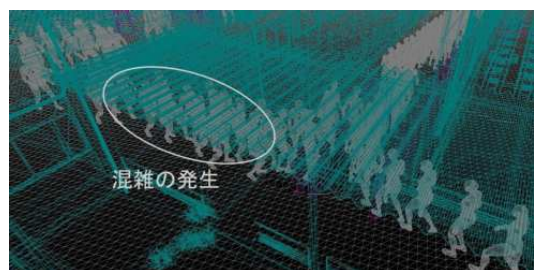


図-13 現状経路におけるシミュレーション開始 25 秒の様子

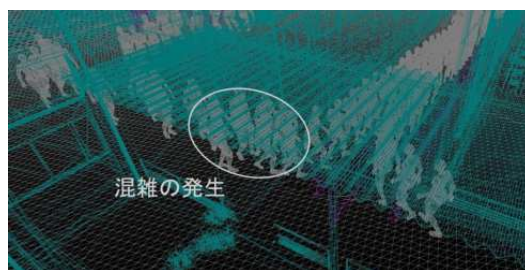


図-15 拡張経路におけるシミュレーション開始 25 秒の様子



を記載する。

図-16では、室内において近距離から群集を撮影しており、階段やスロープなど複雑な群集が発生する場所で撮影ができる。また図-17では、避難中のNPCの頭頂部にカメラをセットして、避難者の視点での群集の観察をしている。この撮影方法は既存の群集シミュレータにはあまり見受けられない機能である。しかしながら、直感的に分かり易く主観的な映像が撮影できるため、子供を対象とした避難時集団行動の映像作成での活用が期待される。

以上より、群集の可視化の試みとしてゲームエンジンを用いることで、一からソフトウェアを開発するのに比べ、比較的簡単かつ汎用的に、シミュレーション結果の映像化とそれに伴う可視化機能を実装することができたと推測される。



図-16 室内を撮影した様子



図-17 NPCの頭頂部のカメラから撮影した様子

## 6. 結言

ゲームエンジンを群集シミュレーションに用いることで現実と比較的似た混雑状況を3DCGで再現し、混雑の発生とその抑制について簡易的な予測を立てられることが確認できた。また、ゲームエンジンという特徴を利用し、映像的に分かり易い形で結果を出力することができた。今回はシミュレーション結果を見易い形で映像化するという課題に取り組むことができたが、今後は、より複雑な校舎や建造物における大人数でのシミュレーションを行うことを想定し、群集のシミュレーションという点での精度向上を目指してNPCの改良に取り組むことを考えている。

今回のシミュレーションでは混雑の発生を目視で確認できるようにしたが、シミュレーションの規模を大きくすることで具体的にどれほどの規模の混雑がどこで発生したかが分かりづらくなるという問題が生じた。そこで、今後は仮想空間内で人口密度や位置・速度を測定し、数値解析できるようにすることで混雑の発生を定量的に扱い、半自動的に混雑の規模や発生場所を記録できるような機能の作成を考えている。

このように、シミュレータの開発にゲームエンジンを活用することで、一からソフトウェアの開発を行うのに比べ、比較的簡単かつ短時間での開発が可能となると推測される。

## 参考文献

- [1] 西田遼, 重中秀介, 加藤優作, 大西正輝: 群集シミュレーションによる歩行空間設計と制御に関する研究動向, 人工知能学会論文集 37 巻 2 号 p. J-LB1, pp.1-16, 2022.
- [2] 島崎彦人, 榊友幸, 高橋一義: 小型無人航空機写真測量で整備した地理空間プロダクトの品質評価手法の提案, 公益社団法人日本測量協会応用測量論文集 30, pp.107-118, 2019.
- [3] 阿久津邦男: 歩行の科学, 不昧堂新書, 1975.
- [4] 八島敬暁, 飯島正: 群集シミュレーションのためのパーソナリティと有限の処理能力を有するエージェントモデルの構築, 情報システム学会誌13 (1), pp.1-24, 2017.