

人流シミュレーションの3次元空間における時系列可視化

大木 杏夏* 大西 正輝† 伊藤 貴之*

概要. 人流シミュレーションは人流誘導方法を決定するパラメータによって制御され、そのシミュレーション結果は混雑度や移動時間といった複数の指標によって評価される。シミュレーション利用者にとって好ましい誘導計画を策定するためには、シミュレーション利用者がシミュレーション結果を正しく解釈し、それにもとづいて理想的な状況を実現するための誘導計画を立てる必要がある。一方で、人流シミュレーションの対象空間には建築物内部の立体的な人流も含まれるのに対して、3次元空間を対象とした人流シミュレーションのための可視化に関する手法は少ない。そこで本研究は、3次元空間の人流シミュレーション結果を直感的に理解できるように提示し、利用者にとって最適な誘導計画を提案することを目的とする。具体的には、シミュレーションを通して得られたデータをもとに、時間の経過に伴う人流の動きや変化を3次元空間で可視化するとともに、混雑状況や移動パターンを明示することで、利用者のより効果的な人流誘導計画立案を支援する。

1 はじめに

大規模イベントにおける混雑は、歩行者の安全を脅かす重大な問題である。特に、密集した人々が移動する際には、群衆事故のリスクが高まる。このリスクを軽減するためには、適切な人流誘導が不可欠である。人流誘導計画は、混雑を緩和し、歩行者のスムーズな移動を促進するための重要な手段である。武田らは、地下空間の利用が混雑緩和に有効であることを示した [3]。地下の移動経路は、地上の混雑を避けるための重要な選択肢となる。また、階段を利用した地上と地下との移動は、参加者の移動効率を高めるために不可欠な要素である。しかし、従来の2次元的人流可視化手法では、こうした上下の移動や複雑な人の動きを十分に表現することができていない。このため、高さのある大規模な空間における偶発的な現象を考慮した適切な誘導方法を検討することが困難となっている。そこで本研究では、3次元空間における人流シミュレーションの時系列的な変化を可視化し、地下空間や階段の利用を考慮した誘導方法を提案する。この手法により、利用者は混雑状況や移動パターンを直感的に理解できるようになる。例えば、特定の時間帯における地下道の混雑具合や、階段の利用状況を把握することが可能となる。

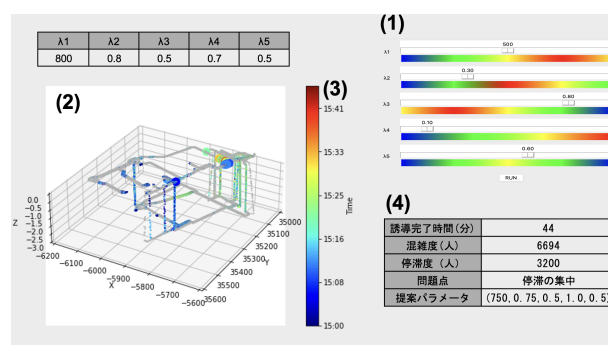


図 1. システム画面

2 可視化システム

本章では、提案する可視化システムについて説明する。本システムは、歩行者シミュレータ Crowd-Walk [2] を用いた人流誘導シミュレーションを実施して得た人流シミュレーションデータを使用する。

2.1 誘導パラメータ値の設定

人流シミュレーションは、歩行者の誘導方法を決定する誘導パラメータによって制御される。本システムでは、図 1(1) に示すスライダーを用いて人流シミュレーションの誘導パラメータを設定する。スライダーの下にカラーバーを表示することで、シミュレーション結果をもとにした評価指標（混雑度、誘導完了時間）からより良い結果が得られやすい値を示している。このカラーバーを参照することで、ユーザは最適な誘導パラメータを直感的に選択することが可能である。

Copyright is held by the author(s). This paper is non-refereed and non-archival. Hence it may later appear in any journals, conferences, symposia, etc.

* お茶の水女子大学

† 産業技術総合研究所

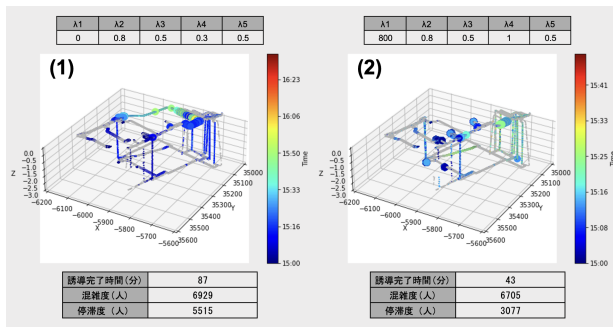


図 2. シミュレーション結果の比較

2.2 時系列可視化

2.1 節に示す方法で設定された誘導パラメータにもとづくシミュレーション結果は、図 1(2)にて時系列データとして可視化される。歩行者をグレーの点として表示することで、一般的な人流の動きを表現する。また、局所的な人口密度が閾値を超えた歩行者を色付きの点としてプロットする。混雑度の閾値は Fruin の標準レベルサービス [1] にもとづいて、地上、地下それぞれ 2.17, 1.08[人/m²] と定義した。点の色は時間帯ごとに図 1(3) に示した色を与える。また、分速 1[m] 以下の歩行者は移動が停滞しているとみなし、色をつけた大きな点で描画する。また、図 1(4)にはシミュレーション結果の概要となる値を示す。

2.3 誘導方法の提案

本研究ではシミュレーション結果を、誘導完了時間、混雑度、停滞度の 3 つの観点から評価する。誘導完了時間は避難開始から避難者全員が誘導場所に辿り着くまでにかかる時間とする。混雑度と停滞度は、可視化の際に色付きで描画された歩行者の人数とする。本システムでは、以上の 3 つの評価指標から、シミュレーション結果において、問題点とされる事象を提示する。例として、誘導完了時間が長いこと、特定の地点で停滞が持続的に発生していることがあげられる。また、それらの問題を解決する新たなパラメータ値を提案し、シミュレーション結果の比較を可視化する。提案されるパラメータ値は、初期設定値にできるだけ近いものを選定する。

3 分析例

3.1 実験設定

都内の主要ターミナル駅から街に出て、大通りを渡って一時避難場所へ避難する様子を例にして、可視化結果を示す。人流誘導を制御する誘導パラメータとして、以下の 5 つを使用する。

一つ目の変数は、出発の時間差である。歩行者を 2 分割し、出発時刻に時間差 λ_1 を設ける。二つ目の

変数は、駅構内および駅構外の東西を結ぶ動線を使用し、東側改札口の避難者を西側改札口へ誘導する割合である。駅構内、駅構外で誘導する割合を、それぞれ λ_2, λ_3 とする。三つ目の変数は、地下への誘導割合である。想定する環境では地上だけでなく地下にも空間があり、目的地までに複数の階段が存在する。それぞれの階段を利用し地下に誘導する割合を λ_4, λ_5 とする。

3.2 分析結果

スライドバーで適当なパラメータ値を設定すると、可視化結果が表示される。例として、初期設定を $(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5) = (0.0, 0.8, 0.5, 0.3, 0.5)$ とした(図 2(1))。上の通路が地上通路、下の通路が地下通路である。上下の通路は階段で接続されている。この結果により、避難場所前の通路で継続的な避難の停滞が確認できる。また、誘導完了時間が 87 分と比較的長くなっている。よって、問題点は誘導完了時間の長さ、および持続的な停滞があると判断した。これらを踏まえ、新たなパラメータ値として、出発時間差 λ_1 を 0 から 800 に、地下への誘導割合 λ_4 を 0.3 から 1.0 に変更した(図 2(2))。図 2(1)(2)より、初期設定の変更前と後のシミュレーション結果を比較すると、誘導完了時間が 87 分から 43 分に短縮されていることがわかる。また、局所的な人口密度の集中が発生している歩行者の数が減り、避難場所前の通路の停滞が緩和されたことがわかる。

4 まとめ

本稿では、人流シミュレーションの最適化を対象として、利用者の直感的な人流シミュレーション結果の理解と最適な誘導パラメータ探索を支援する手法を提案した。本手法では、3次元空間における人流シミュレーションの時系列的变化を可視化し、人流誘導の妨げとなり得る事象を明示することで、利用者にとって好ましい誘導方法の発見を容易にする。今後の課題として、より多くのシミュレーション結果を比較評価すること、可視化画面の視認性を向上することなどがあげられる。

参考文献

- [1] J. J. Fruin. Designing for pedestrians a level of service concept. *Polytechnic University*, 1970.
- [2] T. Yamashita, T. Okada, and I. Noda. Implementation of simulation environment for exhaustive analysis of huge-scale pedestrian flow. *Journal of Control, Measurement, and System Integration*, 2013.
- [3] 武田芽依, 大西正輝. 多目的ベイズ最適化を用いた震災時における地下誘導の検証. 進化計算シンポジウム 2022 講演論文集, (S2-03):120-125, 2022.