

3次元大規模人流シミュレーションにおける 誘導パラメータの影響の可視化

大木 杏夏 (指導教員：伊藤 貴之)

1 はじめに

大規模イベントや災害発生時など、群衆の密集による危険が高まる場面では、群集事故を未然に防ぐために、人流シミュレーションを活用した事前の人流誘導計画の策定が役立てられている [1]. 人流シミュレーションは歩行者の誘導方法を定める誘導パラメータによって制御され、人流誘導計画の策定者は対象場所の構造や求めるシナリオに応じた人流を形成する誘導パラメータの値を見極めることが必要となる. 実際の都市空間や大規模施設は、単純な平面構造ではなく、複数の階層や階段、地下空間を含む3次元構造を持つことが多く、地下階や階段の利用は混雑の緩和や移動効率を高める重要な役割を果たす [2]. 一方で、地下階や階段を含む3次元空間での人流シミュレーションの可視化手法は限られており、多層階や階段の利用状況を効果的に可視化する手法は十分に確立されていない.

本研究では、3次元空間における人流シミュレーション結果を対象として、歩行者混雑度の時系列変化をアニメーションとして可視化する手法を提案する. この手法により、多層階や階段における時間経過に伴う群衆の密度変化や移動パターンを視覚的に示し、混雑の発生や解消のプロセスの把握を容易にする. また、異なる誘導方法で得られる2つのシミュレーション結果の混雑度の比較から、誘導パラメータが人流形成に与える影響を可視化し、より効果的な人流誘導計画の策定を支援する.

2 可視化手法

本研究では、高さ方向を含む3次元空間において、歩行者混雑度の時系列変化を可視化し、2種類のカラースケールで表現する. 高さ情報を取得するため、駅やスタジアムなど、多層階構造を持つ空間におけるシミュレーション結果を可視化の対象とする.

2.1 混雑度アニメーション

混雑度アニメーション (図 1(a)) では、歩行者の混雑度を色で示した. 混雑度の算出は、Fruin の標準サービスレベル [3] にもとづき、 $1[m^2]$ あたりの歩行者数から6段階の混雑レベルを使用した. シミュレーション空間を $10[m]$ 四方のグリッドに分割し、各グリッドにおける歩行者の混雑レベルの最頻値を混雑度とした. 階段部分は、グリッドに高さ $1[m]$ の幅を持つ立体的な空間内で混雑度を算出した.

2.2 混雑度比較アニメーション

混雑度比較アニメーション (図 1(b)) では、2つのシミュレーションの混雑度の差を可視化するため、同じ時間帯、同じエリアにおける混雑度の差分を色で示した. 2つのシミュレーション S_a と S_b があるとき、 S_b の混雑度が S_a より大きい経路をオレンジ、小さい経路を緑で表示し、それぞれの色の濃淡で混雑度の差を示す. また、 S_a , S_b のいずれでも混雑度が最大だった

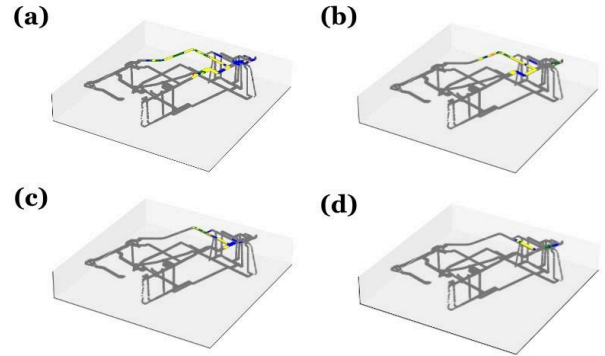


図 1: シミュレーション S_a の混雑度アニメーション. 誘導開始からそれぞれ (a)10 分後. (b)15 分後. (c)20 分後. (d)25 分後.

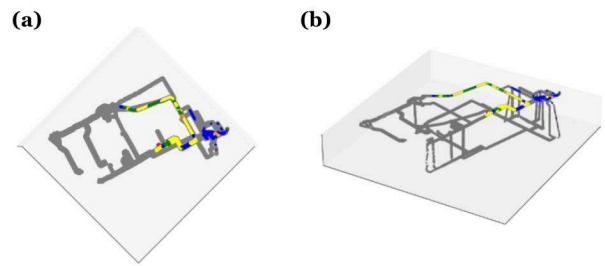


図 2: シミュレーション S_a における誘導開始 20 分後の混雑度アニメーション. (a) 真上からの可視化結果. (b) 斜めからの可視化結果.

経路を赤、最小だった経路を青で示す.

3 適用例

3.1 使用する人流データ

歩行者シミュレータ Crowd Walk [4] を用いて、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为例にして、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.

- 出発時間差：歩行者を2分割し、出発時刻に時間差 λ_1 を設ける.
- 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：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.
- 地下への誘導割合：想定する環境では目的地までに複数の階段が存在する. 西側、東側の各階段から地下に誘導する割合を λ_4 , λ_5 とする.

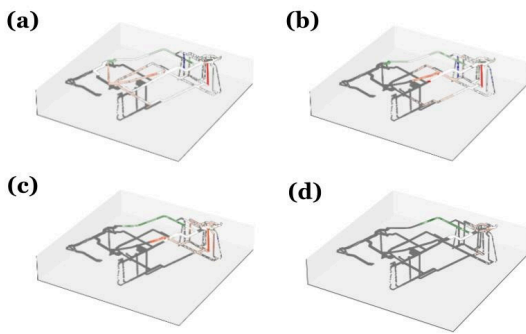


図 3: シミュレーション S_a , S_b の混雑度アニメーション. 誘導開始からそれぞれ (a)10 分後. (b)15 分後. (c)20 分後. (d)25 分後.

3.2 分析結果

図 1 は, 誘導パラメータを $(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5) = (0.0, 0.5, 0.0, 0.0, 0.0)$ として実行したシミュレーション S_a の混雑度アニメーションである. 誘導開始 20 分後から 50 分後にかけて, 地上通路で継続して混雑レベル D の歩行者が多数確認される. 特に, 誘導開始 40 分後から誘導開始 50 分後の歩行者混雑度にかけて, 歩行者位置と混雑度がほとんど変化しておらず, 誘導が停滞していると考えられる. 一方で, 地下通路にはほとんど歩行者が存在せず, 十分に活用されていないことがわかる. 誘導停滞の要因として, S_a では地下への誘導割合を設定していないため, 建物全体の構造を十分に活用できていないことが挙げられる. その結果, 一部の経路に歩行者が集中し, 混雑と停滞を引き起こしていると考えられる. そこで, S_a における問題点を「地上通路での継続的な混雑による誘導停滞」とし, その解決策として地下通路への誘導割合を追加することを検討する. このように, 歩行者混雑度の時系列変化を可視化することで, 設定した誘導方法が形成する人流の特徴を直感的に把握するとともに, 発生した問題の原因を特定しやすくなることが確認された. また, 図 2(a) は S_a の混雑度アニメーションを真上から, 図 2(b) は斜めから可視化した図である. 図 2(a) からは, 地下通路に歩行者がおらず, 地上通路に集中しているということがわかりにくい. このことから, 高さを含む 3 次元空間による可視化は, より正確なシミュレーション結果の把握に有効である.

図 1 より設定した解決策をもとに, S_a と, S_a の誘導方法に西側階段での地下への誘導割合 $\lambda_5 = 0.75$ に変更したシミュレーション S_b との混雑度比較アニメーションを 3 に示す. 誘導開始 10 分後, 西側階段がオレンジ色に色付けされており, 地下への誘導割合を設定したことによる, 地下通路への歩行者の誘導が確認できる. また, 誘導開始 20 分後には地下階通路がオレンジで示され, 誘導開始 25 分では地上階通路が緑に色付けされており, 地下階の利用によって地上階の混雑が緩和される様子を確認できる. また, 図 4 は S_a と S_b の誘導完了人数の推移を表している. S_a の誘導完了時間は 72 分なのに対し, S_b の誘導完了時間は 48 分と, 20 分以上も誘導完了時間を短縮していることを確認できる.

このように, 混雑度アニメーションを通じて発見し

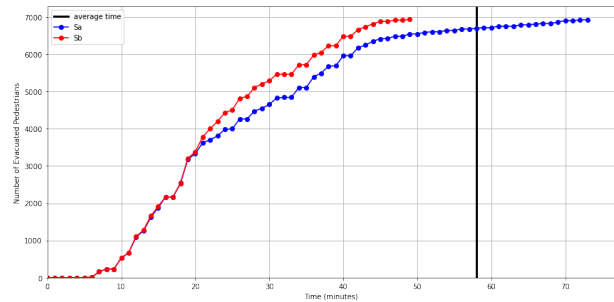


図 4: 誘導完了人数推移

た問題点とその解決策が, 混雑の分散と誘導完了時間の短縮効果的に活用することができる.

4 まとめと今後の展望

本研究では, 3 次元人流シミュレーションを対象として, 高さのある 3 次元空間における歩行者の混雑度の時系列変化と誘導パラメータが人流の混雑度に与える影響を可視化する手法を提案した.

高さのある 3 次元空間における歩行者の混雑度の時系列変化を可視化することで, 多層階からなる建物内での人流の状況を, 各階ごとに視覚的に確認することを可能にし, 定めた誘導方法が人流形成に与える影響を直感的に理解することを目指した. 具体的には, どこで混雑が発生するか, またはどの時間帯に混雑がピークに達するのかを明確に示すことができるようになり, 問題点の発見や混雑発生地帯の特定が容易になった. また, 誘導パラメータが人流の混雑度に与える影響を可視化する手法では, 異なるシミュレーション結果を比較から, パラメータの変更が求める人流形成にどのように影響するかを検証した. これにより, 実際のシミュレーションや実環境における改善策を提案するための有力なツールが提供され, より効果的な人流誘導計画策定に貢献することができる. 今後の課題として, 歩行者アニメーションの視認性の向上があげられる.

謝辞

本研究を進めるにあたり, ご協力いただいた国立研究開発法人産業技術総合研究所の大西正輝氏に感謝の意を表します.

参考文献

- [1] 倫央 山下 and 正輝 大西. オリンピックのための情報処理: 2. オリンピックにおける人の流れの解析. *情報処理*, 55(11):1189–1195, oct 2014.
- [2] 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.
- [3] J. J. Fruin. *Designing for pedestrians a level of service concept*. Polytechnic University, 1970.
- [4] 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*, 6(2):137–146, 2013.