

フロア間移動を伴う混雑時の人流マルチエージェントシミュレーション

Multi-Agent Simulation of Pedestrian Flow During Congestion with Inter-Floor Movement

元木 秀俊[†] 松江 清高[†] 会津 宏幸[†] 茂木 久[†] 大場 義和[†] 小林 優太[†]
Hidetoshi Motoki Kiyotaka Matsue Hiroyuki Aizu Hisashi Mogi Yoshikazu Ohba Yuta Kobayashi

1. はじめに

建物内での人（利用者）の移動に伴い、混雑が発生する場合があります。混雑により、余計な移動時間が発生したり、昇降機の待ち時間が増加したりするなど、利便性や快適性が低下する。また、警備員による交通整理が必要となり、ビル運用管理の手間が増えることにも繋がる。

そこで我々は実データに基づいたシミュレーションモデルを構築し、混雑の発生要因を把握し、対策を施すための試行をシミュレータ上で繰り返し、混雑の要因を解決することを目指している。

シミュレーションモデルには、直接計測が困難な未知のパラメータが含まれている。実計測データとシミュレーション結果を比較することで、これらの未知のパラメータを推定する。

本検証では、フロア間移動を伴う人流のマルチエージェントシミュレーションモデルにおいて、歩行者の歩行速度を推定した。

2. シミュレーションの対象

図 1 に計測対象の概要図を示す。シミュレーション対象となる建物は、15 階建てのオフィスビルである。従業員はフロア間の移動に昇降機および階段を利用する。ビルの入場ゲートおよび各フロアの出入口ゲートで各従業員の ID カードを読み取り、従業員の移動を把握している。歩行者はビル 3 階の入場ゲートから入場し、昇降機エリアへ向かう。一部の歩行者は 3 階に設置された店舗に立ち寄り、購買行動を行った後に昇降機へ向かう。各昇降機のかごには停止する階が指定されており、歩行者は目的の階に合わせて昇降機のかごに乗車する。かごは利用者の目的階で停止し、ドアが開くと、利用者は到着階の出入口ゲートへと進む。入場ゲート通過時刻と出入口ゲート通過時刻の差を計算し、各従業員の移動時間を算出する。

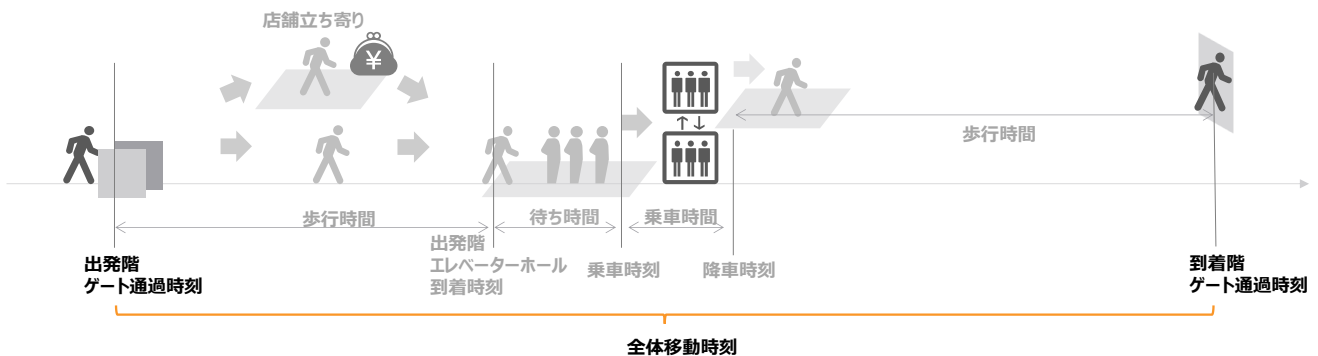


図 1 計測対象の概要図

3. マルチエージェントシミュレーション

本研究ではマルチエージェントシミュレーションソフトウェアとして、The AnyLogic Company によって開発された AnyLogic[1]を用いて、実際のオフィスビルにおける通勤ラッシュ時の移動をモチーフとしたシミュレーション環境を構築した。

エージェントベースシミュレーションとは、相互作用する複数のエージェントを用いて複雑なシステムを検証するコンピュータモデリング技術である。各エージェントは他のエージェントや環境とどのように相互作用するかを指定するルールと行動が定められている。AnyLogic での歩行者エージェントのふるまいは Social Force Model [2]によってシミュレートされる。

3.1 モデルパラメータの設定

表 2 シミュレーションのパラメータ

項目	数値
シミュレーション期間	2018 4/2 6:00 ~ 9:00
総入場人数[人]	5494
昇降機の最大乗車人数[人]	20
昇降機の移動速度[m/s]	3.971m/s,高層階(9~15 階)に停止
	3.329m/s,低層階(4~9 階)に停止
店舗利用率[%]	27.1

シミュレーションにおける各パラメータを表 1 に示す。歩行者エージェントのフロア間移動では昇降機を使用するものとした。店舗利用率は通勤ラッシュ時の利用者数を目視によりカウントし、算出した。

3.2 シミュレーションモデルによる検証

歩行者エージェントは実際の従業員 ID に紐づいており、入場時刻データを基に、歩行者エージェントを入場ゲート

[†] 東芝インフラシステムズ (株)

付近で生成した。歩行者エージェントは、実際の従業員が到着する予定の階の出入口ゲートに向かって進むように設定した。実際のデータとシミュレーションモデルを比較分析するため、実計測データに基づく移動時間と、シミュレーションによる移動時間を比較検証した。

比較検証では移動時間ごとのヒストグラムを作成し、分析を行った。本検証では、立ち寄りを行わないケースと、店舗へ立ち寄るケースを想定して比較検証を実施した。計測データには、歩行者が目的階に到着した際に ID カードが正常に検知されないケースや、トイレや食堂の利用により中央値から大きく外れる移動時間が発生することがある。よって、店舗以外への立ち寄りや、ID カードの不適切な検知によるデータは、本検証では不正確な記録として扱い、移動時間が 300 秒以上かかった歩行者のデータはヒストグラムから除外した。

また、移動時間が 30 秒未満の場合も不正な記録として排除した。

混雑時の歩行者の移動速度が人流に与える影響を検証するために、朝 6 時から 9 時までの時間帯のシミュレーションを実施した。特に、7 時 30 分から 8 時 30 分の間に入場した歩行者エージェントの移動時間を、ヒストグラムで示し、分析した。歩行者エージェントの移動速度を 0.8、0.9、1.0m/s の 3 パターンでシミュレーションを実施し、それぞれの目的地までの移動時間を算出した。各歩行速度における移動時間を、実計測データとヒストグラムで比較し、実計測データとヒストグラムが最も近似するときの歩行者の移動速度を求めた。

4. 検証結果

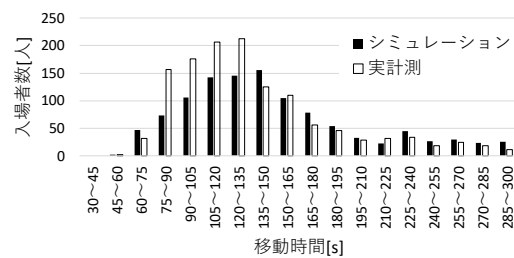
シミュレーションによる結果と実計測データを図 2 に示す。シミュレーション結果では歩行速度の変更に伴い、移動時間の分布が変化した。実計測データでは 120 秒から 135 秒が最も多くの人々の移動時間であったことが分かる。一方、シミュレーション結果では、移動時間のヒストグラムにおけるピークが実計測データとは異なった。

表 2 では、設定された各歩行速度における、ヒストグラムで示されるシミュレーション結果と実計測データの頻度差の合計を示す。歩行速度を 0.9m/s に設定した場合、シミュレーション結果は実計測データに最も近い値を示した。

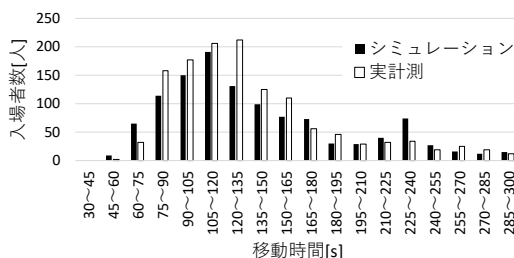
5. 考察

ヒストグラム全体における誤差は小さく、シミュレーションはおおむね成功したと考える。ヒストグラムの結果にもとづき、検証した歩行速度の中では 0.9m/s が実際の歩行速度に最も近いと推定される。ただし、歩行速度のシミュレーション値の刻み幅を細かくすることで、移動時間の推定精度をさらに向上させられる可能性はある。

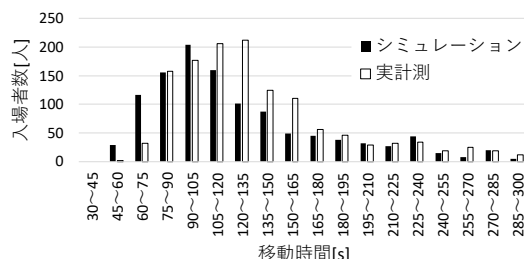
実計測データのヒストグラムにおけるピーク位置は 120 秒から 135 秒であり、シミュレーション結果では歩行速度が 0.9m/s の場合に 105 秒から 120 秒の範囲がピークとなった。0.8m/s の設定では、ピークは 135 秒から 150 秒の範囲にある。一方、1.0m/s の設定では、ピークが 90 秒から 105 秒の範囲になり、実測値との差異が顕著になった。頻度差の合計を考慮した結果、最も実測値に近い歩行速度は 0.9m/s と推定した。



(a) シミュレーション歩行速度 : 0.8m/s



(b) シミュレーション歩行速度 : 0.9m/s



(c) シミュレーション歩行速度 : 1.0m/s

図 2 移動時間のヒストグラム

表 2 シミュレーションと実計測のヒストグラムの差

歩行速度[m/s]	0.8	0.9	1.0
シミュレーションと実計測の頻度差の合計	422	372	465

本検証では手動により未知のパラメータを変更し、シミュレーションを実施したが、今後の課題として、パラメータを効率的に最適化する手法の導入が挙げられる。

6. おわりに

本研究では、フロア間移動を伴う混雑時の人流シミュレーションを実施し、歩行者の歩行速度という未知のパラメータの推定結果を得た。

今後のシミュレーションの精度向上のためには、さらなるパラメータの導入と推定が必要である。本検証では手動によりパラメータを変更したが、遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm: GA) 等の最適化手法を用いることで、多数のパラメータを効率的に最適化する検討を行いたい。

参考文献

- [1] The AnyLogic Company, <<https://www.anylogic.jp/>>, (accessed 2024/05/20)
 - [2] Helbing, D., & Molnar, P. (1995). Social force model for pedestrian dynamics. *Physical review E*, 51(5), 4282.
- 本論文に掲載の商品、機能等の名称は、それぞれ各社が商標として使用している場合があります。