

群集歩行シミュレーションモデルを用いた エスカレータとホームの混雑に関する研究

○櫻井陸 蓮池隆（早稲田大学）

A Study of Congestion on Escalator and Platform Using a Crowd Walking Simulation Model

* R. Sakurai and T. Hasuike (Waseda University)

概要—本研究ではエスカレータ上での停止または歩行を含む歩行者の行動に関する群集歩行シミュレーションモデルの構築を行う。さらに埼玉県内の実在する駅をモデルとして実験を行い、エスカレータ上での安全性と輸送効率の関係について考察を行う。併せて、エスカレータと階段の最適な利用方法及び設置方法の提案を行う。

キーワード: Social force model, Multi-Agent Simulation, エスカレータ, 群集歩行

1 研究背景と目的

大都市近郊の鉄道駅の混雑は、人々の都市生活における大きな問題の一つである。この混雑の解消のため、鉄道会社は様々な対策を講じている。しかし、土地やコスト面での制約などにより解決できない場合も多く、鉄道駅の混雑は恒常的な課題である。

多くの鉄道駅では、改札とホームを移動する際に昇降設備を通過する。ここで乗降客数が多い駅であると、昇降設備の通過に時間がかかることが知られている¹⁾。また、その際行列が生まれ、駅ホームやコンコースに滞留が発生し安全面で好ましくないことも多い。

鉄道駅での昇降設備は、階段、エスカレータ、エレベータなどがあるが、本研究では大量の利用者を輸送することができる階段とエスカレータの2つに着目する。

その中で、エスカレータの利用方法に関して、首都圏では左側に直立して停止、右側を急いで歩行する人が利用する片側空け利用が定着している²⁾。

一方で、エスカレータの安全な利用を促進するため歩行を抑制する運動も起きている。2010年から毎年約1カ月間、全国の鉄道事業56社局・4団体及び空港施設、商業施設、自治体が共同で、エスカレータで歩行用に片側を空ける習慣を危険であると捉え、Fig.1に示すポスターやディスプレイ広告の掲出により「歩かずに立ち止まろう」「手すりにつかまろう」などの呼びかけを行うキャンペーンを実施している³⁾。

さらに、埼玉県では2021年10月より利用者に対して追突や衝突などの事故を防ぐため、立ち止まった状態での利用を求める条例が施行された⁴⁾。このような条例の施行等により歩行が禁止されることは、エスカレータ内での安全性を保つことができるものの、従来歩行が行われていた片側のレーンで歩行ができなくなることによる輸送効率の低下とそれに伴うホーム上の混雑が予想される。

そこで、本研究では、エスカレータ上における停止及び歩行を含む歩行者の行動に関する群集歩行シミュレーションモデルを構築する。その際、埼玉県内の実在する駅をモデルとして条例が及ぼす影響について分析し、評価することを目的とする。併せて、エスカレータと階段の最適な利用方法及び設置方法を提案する。

ユレーションモデルを構築する。その際、埼玉県内の実在する駅をモデルとして条例が及ぼす影響について分析し、評価することを目的とする。併せて、エスカレータと階段の最適な利用方法及び設置方法を提案する。



Fig.1: 立ち止まったの利用を呼び掛けるポスター³⁾

2 従来研究と本研究のアプローチ

阿久澤ら⁵⁾はネットワークとポテンシャルモデルの組合せにより進行方向を限定することなく歩行行動を再現する群集歩行シミュレーションモデルを構築した。歩行者の取り得る経路が複数存在する鉄道駅構内に適用し、実測データとの比較からモデルが有用であることを示した。併せて、階段またはエスカレータを選択するという歩行者の行動を、ロジックモデルによりモデル化した。混雑の程度に応じて変化する効用を求めることによって、歩行者の混雑を回避した経路選択を表現した。

大竹ら²⁾は実測値に基づき、駅での降車行動におけるエスカレータの流動の分析を行った。その中で、エスカレータ内での歩行を行わなかった場合の検証を行い、駅での利用状況や歩行割合により輸送効率が高まる可能性があることを示した。

本研究では、従来のモデルでは考慮されていなかったエスカレータ上での歩行を含む歩行者の行動をロジックモデルでモデル化する。さらに、シミュレーション

ン結果を踏まえ、エスカレータ上での安全性と輸送効率の関係について考察を行う。併せて、本研究においてモデルとした駅に関してエスカレータと階段の最適な利用方法及び設置方法の提案を行う。

3 エスカレータ歩行を考慮した群集歩行シミュレーションモデル

3.1 解析領域

本研究では、エスカレータ上での歩行を禁止し立ち止まった状態での乗車を求める条例⁴⁾の適用範囲内の埼玉県内であることと、昇降設備が階段とエスカレータの2種類のみであることの2点を考慮し、東武東上線朝霞台駅をモデルとして選定した。

東武東上線朝霞台駅の中で、1・2番線を含むホーム階、改札階、それぞれを繋ぐ階段とエスカレータ部分のみ解析領域として使用した。Fig. 2 に解析領域の地図を示す⁶⁾。なお、壁や柱などの配置は現地調査にてスマートフォンのアプリ等を用いて計測を行い、モデル化した。

朝霞台駅は地上駅であり、1・2番線ともに川越方面の下り列車が停車し、1番線を優等列車、2番線を普通列車及び地下鉄有楽町線からの直通列車が停車する。そのため、同じ進行方向であるものの同時に電車が到着する可能性があるという利用状況である。また、駅の周辺は住宅街が広がり⁷⁾、1・2番線は夕方時間帯に首都圏から帰宅する利用者で混雑することが多いという利用形態である。



Fig. 2: 解析領域⁶⁾



Fig. 3: 現地調査の様子（朝霞台駅）

3.2 パラメータ設定

シミュレーションに用いるパラメータを下記の通り定義する。

まず、駅構内の歩行者のパラメータについては以下に示す通りである。なお、この数値は一般的な駅の利用者を想定し、本研究と同様のソーシャルフォースモデルを利用して群集行動を扱った研究⁸⁾⁹⁾を参考に設定した。

歩行者最適速度 v_j^0 : 0.6m/s

歩行者最高速度 v_{max} : 1.5m/s

歩行者視野半径 : 5m

続いて、昇降設備に関するパラメータについて下記に示す。なお、この値は昇降設備選択確率モデル及び降車客がホーム階の昇降設備前に到達してから改札階の昇降設備を降りるまでの輸送時間の算出に用いる。

また、昇降設備内の移動速度は群集歩行シミュレーションについて扱った研究⁹⁾及び、駅ホームでのエスカレータに着目した研究¹⁰⁾を参考に算出した。

エスカレータ、階段高さ h : 3m

エスカレータ、階段傾斜 : 30度

エスカレータ停止列容量 : 10人

エスカレータ停止列輸送時間 : 12秒

エスカレータ停止列速度 V_{ES} : 0.5m/s

エスカレータ歩行列容量 : 10人

エスカレータ歩行列輸送時間 : 6秒

エスカレータ歩行列速度 V_{EW} : 1.0m/s

階段容量(2列分) : 16人

階段輸送時間 : 12秒

階段速度 V_S : 0.5m/s

3.3 ソーシャルフォースモデル

本研究では、マルチエージェントシミュレーションの中で、ソーシャルフォースモデルを用いる。ソーシャルフォースモデルとは、障害物やエージェントの相互作用による影響を表現する力学ベースのモデルであり、領域をセル空間や格子グラフにより分割せずにモデル化が可能である¹¹⁾。本研究では解析領域における歩行経路が一意に決まらない複雑な形状であるため、ソーシャルフォースモデルを用いることが好ましいと考える。

ソーシャルフォースモデルでは、歩行者 j は質量 m_j を持つ質点として表され、平面上で目的地を持ち、他の歩行者 k からの外力 f_{jk} や壁や柱などの障害物 W からの外力 f_{jW} を受けながら相互に干渉し運動を行い、歩行者 j の進行方向及び速度が決定する。

質量 m_j を持つ歩行者 j は次式の運動方程式に従うと考える。なお、 τ_j は目的地への推進力を示す。

$$m_j \frac{d\vec{v}_j}{dt} = m_j \frac{v_j^0 \vec{e}_j(t) - \vec{v}_j(t)}{\tau_j} + \sum_{k(\neq j)} \vec{f}_{jk} + \sum_W \vec{f}_{jW}$$

3.4 昇降設備選択確率モデル

降車客は、電車を降車したあと改札に到達するまでに、昇降設備を選択する。昇降設備選択確率モデルは、ロジットモデルに基づいて降車客が昇降設備の中で、エスカレータ上での歩行（右列）EW、エスカレータ上での停止（左列）ES、階段 S を選択する確率を求めるモデルである。本モデルでは、選択する要因として、移動時間、昇降時間、待ち時間、肉体的負荷の4つの項目を考える。

時刻 t において歩行者が昇降設備 i を選択したときの効用 $U_i(t)$ を次式で与える。

$$U_i(t) = V_i(t) \quad i \in \{ES, EW, S\}.$$

ここで本研究では、効用 $U_i(t)$ に含まれる確率的揺らぎは微小な値として考える。 $V_i(t)$ は効用の確定項として時刻 t における昇降設備までの移動時間 $X_{i1}(t)$ 、昇降設備の昇降時間 $X_{i2}(t)$ 、昇降設備までの待ち時間 $X_{i3}(t)$ 、肉体的負荷 $X_{i4}(t)$ 、およびパラメータ $\theta_1 = -0.1011, \theta_2 = -0.1750, \theta_3 = -0.6500, \theta_4 = -1.100$ として次式で示す。なお、パラメータの数値及び各要因における式は群集歩行シミュレーションに関する研究⁹⁾をもとに決定する。

$$V_i(t) = \theta_1 X_{i1}(t) + \theta_2 X_{i2}(t) + \theta_3 X_{i3}(t) + \theta_4 X_{i4}(t)$$

昇降設備までの移動時間 $X_{i1}(t)$ を次式で示す。密度が高い領域では時間が多くかかることを取り入れるため、Fruin¹²⁾の密度と速度の関係式を用いる。なお、 $d(G_j, M_i)$ はエージェントの位置 G_j と昇降設備 i の入口の midpoint M_i までの距離、 $K_{oi}(t)$ は時刻 t における昇降設備前の密度である。 $d(G_j, M_i)$ については歩行者 j の位置 G_j と昇降設備 i の入口の midpoint M_i の間に障害物があった場合でも直線で結んだ距離として考える。

$$X_{i1}(t) = \frac{d(G_j, M_i)}{1.33 - 0.341K_{oi}(t)}$$

昇降設備の昇降時間 $X_{i2}(t)$ を次式に示す。ここで、昇降設備の高さ h 、エスカレータの水平移動速度 V_E 、階段の昇降時垂直移動速度 V_S 、階段内の密度 $K_S(t)$ とする。エスカレータは一定速度で移動するため、混雑していた場合であっても昇降時間に大きな影響はないと考えられるが、階段が混雑している場合は列の速度が低下し混雑時に昇降時間が延びるといことが考えられる。なお、階段における密度と速度の関係については、昇降時における密度と速度の関係式¹³⁾を参考にして決定する。

$$X_{i2}(t) = \begin{cases} \frac{1.3 + 2h + 1.65}{V_{ES}} & (\text{エスカレータ・停止}) \\ \frac{1.3 + 2h + 1.65}{V_{EW}} & (\text{エスカレータ・歩行}) \\ \frac{h}{V_S - 0.075K_S(t)} & (\text{階段}) \end{cases}$$

昇降設備までの待ち時間 $X_{i3}(t)$ も、同様に昇降設備内の密度に影響された値として次式で示す。なお、

$N_{ES}(t), N_{EW}(t), N_S(t)$ は時刻 t における各昇降設備の列の人数、 L_E, L_S は各昇降設備の列数とする。昇降設備の昇降時間 $X_{i2}(t)$ と同様に階段の場合のみ昇降設備内の密度に影響された値とする。

$$X_{i3}(t) = \begin{cases} \frac{0.8N_{ES}(t)/L_E}{V_{ES}} & (\text{エスカレータ・停止}) \\ \frac{0.8N_{EW}(t)/L_E}{V_{EW}} & (\text{エスカレータ・歩行}) \\ \frac{0.68N_S(t)/L_S}{V_S - 0.075K_S(t)} & (\text{階段}) \end{cases}$$

身体的負荷 $X_{i4}(t)$ を次式に示す。昇降設備の高さ h により決定されるものとする。なお、エスカレータ内での歩行の場合は階段を歩行するときに比べ歩行時間が12秒から6秒になることを考慮した。また、エスカレータにて停止する場合は歩行者に負荷は加わらないものとし0とする。

$$X_{i4}(t) = \begin{cases} 0 & (\text{エスカレータ・停止}) \\ h/2 & (\text{エスカレータ・歩行}) \\ h & (\text{階段}) \end{cases}$$

以上を踏まえ、エスカレータ上での歩行（右列）EW、エスカレータ上での停止（左列）ES、階段 S の選択確率をそれぞれ次式に示す。

$$p_{ES}(t) = \frac{\exp(V_{ES}(t))}{\exp(V_{ES}(t)) + \exp(V_{EW}(t)) + \exp(V_S(t))}$$

$$p_{EW}(t) = \frac{\exp(V_{EW}(t))}{\exp(V_{ES}(t)) + \exp(V_{EW}(t)) + \exp(V_S(t))}$$

$$p_S(t) = 1 - p_{ES}(t) - p_{EW}(t)$$

本研究における解析領域のホーム部分のみを簡略化した図を Fig. 4 に示す。Fig. 4 から分かるように、昇降設備がホームの中央付近に固まっており、ホーム端で降りた降車客からは降車直後に全ての昇降設備の状況を把握することが困難であると考えられる。そのため、降車客の降車位置に応じて、昇降設備選択確率モデルにより選択を行う位置を変更する必要があると考えられる。

さらに、実際の群集行動を考慮すると、昇降設備から離れた位置から降車した降車客は、昇降設備前に列を形成することが想定される。

以上の2点を考慮し、ホームの中央付近の電車の4～7号車の降車客は発生直後に昇降設備の選択を行い直接昇降設備へ向かう。一方で、昇降設備から離れた位置である1～3, 8～10号車から降車した降車客は、まずそれぞれホーム中央に近づいた位置に設定した中継地点に向かい、その後、その地点に到達した時点で昇降設備選択確率モデルを適用して選択を行い、昇降

設備へ向かうものとする。この方式を適用により、昇降設備から離れた位置で降車客は、2つの中継地点いずれかを経由することになる。そのため、昇降設備前の列の形成を表現できると考える。

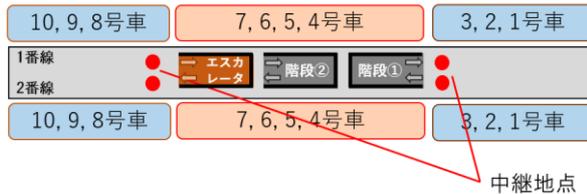


Fig. 4: 昇降設備の現状の位置と中継地点

3.5 状況設定

実際の駅の利用状況を考えると、降車客の人数は一定ではなく、曜日、時間帯、天候等さまざまな要因によって変化すると考えられる。そこで、本研究ではTable 1に示す通常状態、混雑状態、超混雑状態、日常利用状態の4つの状況を想定し、実際にあり得る多くの状況をシミュレーションにより再現する。ここで、日常利用状態に関しては、駅を日常的に利用し昇降設備の位置を把握している降車客が多い状態を想定したものである。3.4節でも説明したように本研究で想定した駅は昇降設備がホーム中央付近に固まっているため、ホームの中央付近の4~7号車のからの降車客の人数を多くすることで再現した。

なお、本研究では施策の検証を行うため、結果の比較を行いやすい状況を想定する必要があると考え、下記の条件に従うものとする。

- 1・2番線の同時に電車が到着する
- 1・2番線ともに10両編成の電車を想定する
- 降車客のみを想定し、乗車客は考慮しない
- 降車客は寄り道せず、昇降設備、改札の順に移動する

なお、全ての状況において1・2番線に同時に電車が到着するものと想定するため、Table 1の降車客合計は2編成分の電車の合計値である。

Table 1: 降車客数に関する状況設定

状況	状態	1~3,8~10号車[人]	4~7号車[人]	降車客合計[人]
状況①	通常状態	5	5	100
状況②	混雑状態	10	10	200
状況③	超混雑状態	20	20	400
状況④	日常利用状態	10	20	280

3.6 シミュレーションの方法と手順

本研究では、NTTデータ数理システムのS4 Simulation System(Ver 6.2)¹⁴⁾を用いてシミュレーションを行う。

初めに、3.5節の状況設定に合わせて各車両における降車人数を指定した上で、ホーム階の車両のドアの

部分に降車客を発生させる。降車客は昇降設備選択確率モデルに従い、昇降設備を選択しホーム階を移動し昇降設備の前に向かう。次に、選択した昇降設備を設定した時間で改札階に移動する。最後に、改札階の昇降設備の前から改札に向かって移動する。なお、降車客を発生させた時刻 t を0として最大で5000タイムステップまでシミュレーションを行う。その際の、経過時間と改札を通過する前の歩行者の人数の推移を調べる。

シミュレーションソフトの画面上で、降車客が移動する様子を観察することが可能である。Fig. 5~8に $t = 5, 40, 90, 120$ における画面の推移を示す。青い点で表現される降車客が自由に移動できる範囲はグレーの領域を除く部分である。

なお、このシミュレーションは状況②条件Aの場合のものである。

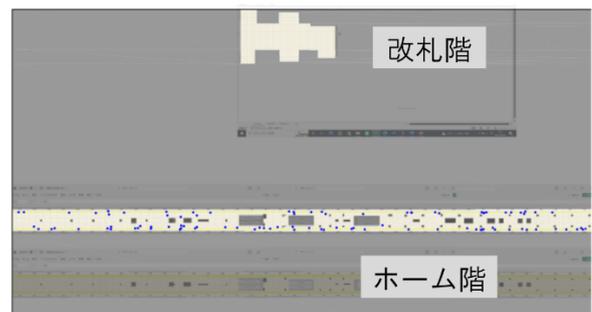


Fig. 5: シミュレーション実行画面 ($t = 5$)

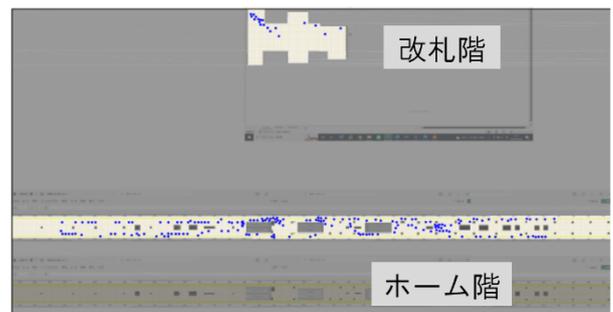


Fig. 6: シミュレーション実行画面($t = 40$)

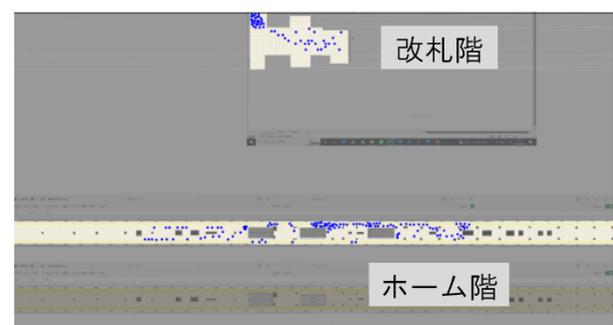


Fig. 7: シミュレーション実行画面($t = 90$)

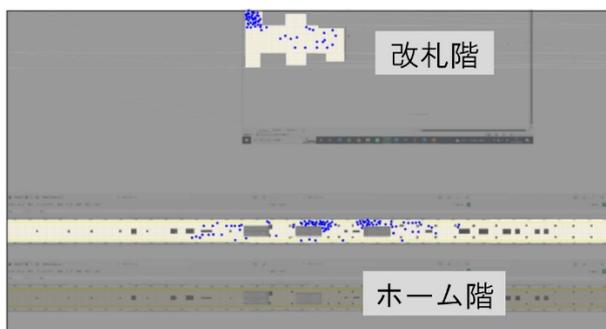
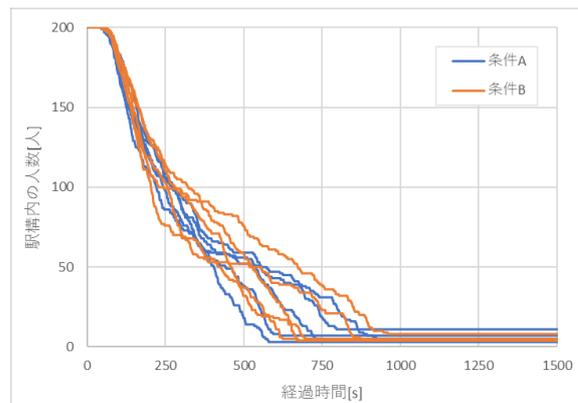
Fig. 8: シミュレーション実行画面($t = 120$)

Fig. 10: 駅構内の人数の推移 (混雑状態)

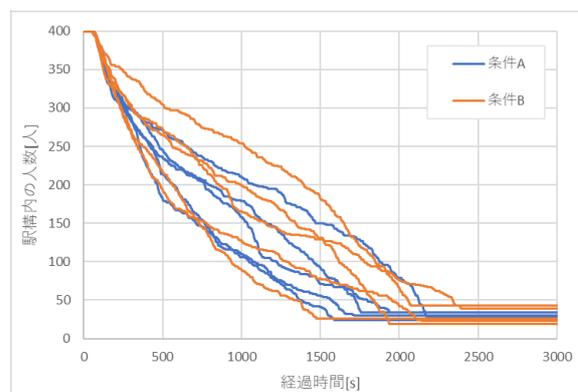


Fig. 11: 駅構内の人数の推移 (超混雑状態)

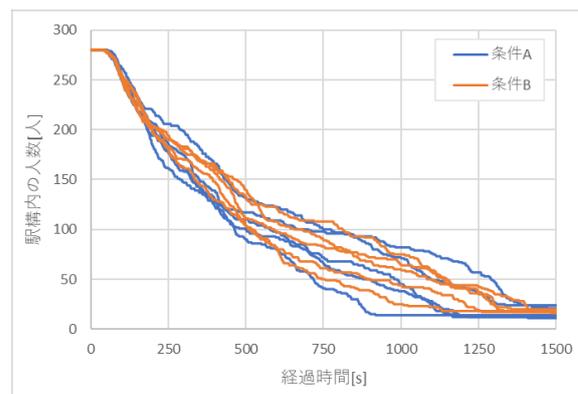


Fig. 12: 駅構内の人数の推移 (日常利用状態)

4 実験

4.1 エスカレータ歩行禁止の効果検証

4.1.1 実験概要

エスカレータ歩行禁止の効果を検証するため、Table 2 の二つの条件で実験を行う。なお、条件 B の場合の昇降設備選択確率モデルの設定は、階段・エスカレータ上での停止 (右列) ・エスカレータ上での停止 (左列) のいずれかを選択するものとし、エスカレータは両列とも停止列のパラメータを設定する。

Table 2 に示す 2 つの条件を、Table 1 に示す 4 つの状況設定で適用し検証を行う。なお、試行毎に異なる結果が出ると考えられるため、それぞれ 5 回実験を行う。

Table 2: 条件設定(エスカレータ歩行禁止の効果検証)

条件	実験条件
条件 A	エスカレータ歩行有
条件 B	エスカレータ歩行無

4.1.2 実験結果

5 回行った実験について、それぞれ経過時間に対する駅構内の人数の推移を求める。なお、駅構内の人数とは、改札を通過していない降車客の総和であり、時間経過とともに Table 1 の降車客合計から減少する。

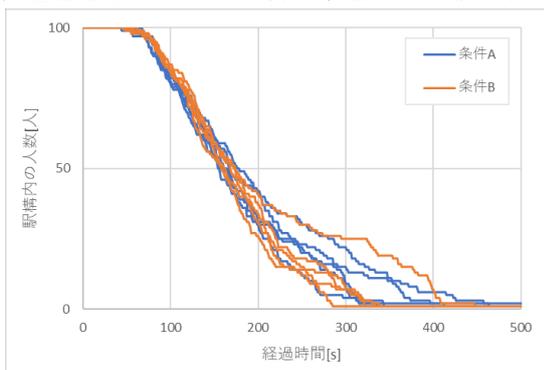


Fig. 9 駅構内の人数の推移 (通常状態)

Fig. 9 に状況① (通常状態), Fig. 10 に状況② (混雑状態), Fig. 11 に状況③ (超混雑状態), Fig. 12 に状況④ (日常利用状態) における結果を示す。以上より、試行毎に滞留の起き具合に差はあるものの総じてエスカレータの歩行の有無では同程度の輸送効率であることが分かった。なお、状況②, ③についても同様の結果であった。また、降車客の合計が大きくなるとともに各試行での滞留の起き具合が大きくなることが分かった。

4.1.3 考察

本研究において想定した状況においてエスカレータ歩行の有無では輸送効率に大きな差が生じることはな

いことが分かった。エスカレータ上での安全性と輸送効率の二つの観点で利用方法を考えると、エスカレータ上での歩行を禁止した場合でも安全性と輸送効率を両立することは可能であり、歩行を禁止することが望ましいと考えられる。

4.2 昇降設備位置変更の効果検証

4.2.1 実験概要

本研究でモデルとする駅について、現状の駅の利用状況や構造を観察すると、エレベータがなくエスカレータが一機のみ設置されているという状況に注目することができる。

さらに、エスカレータの利用を希望する降車客が存在することを考慮すると、ホーム上での移動距離が長くなってしまいう問題点があるように考えられる。そこで、エスカレータ利用希望者を考慮し、ホームの中央に設置すべきではないかという仮説を立て、仮説通りの位置変更案①とエスカレータを逆側に設置した位置変更案②を考える (Fig. 13)。なお、Fig. 13は昇降設備とホームのみを示す簡略化した図であるが、実際にシミュレーションに用いる解析領域内には柱やベンチ、自動販売機等の障害物を含んでいる。



Fig. 13: 昇降設備位置変更案に関する案

エスカレータの歩行禁止の効果検証に含まれる条件 A, B と併せて Table 3 に示す 6 つの条件を、Table 2 に示す 4 つの状況設定で適用し検証を行う。なお、それぞれの条件で 5 回の実験を行い平均値で評価を行う。

Table 3: 条件設定(昇降設備位置変更の効果検証)

	歩行有	歩行無
現状	条件 A	条件 B
位置変更案①	条件 C	条件 E
位置変更案②	条件 D	条件 F

4.2.2 実験結果

状況①～④について、それぞれ経過時間に対する駅構内の人数の推移を求める。

Fig. 14 に状況① (通常状態) の結果を示す。Fig. 14 より条件 D と F が他の条件より輸送効率が高いことが分かった。よって、位置変更案②の場合に輸送効率が高いと考えられる。また、同じ設置方法の条件で比較を行うとそれぞれの差は小さく、エスカレータ歩行の有無の影響は少ないと考えられる。

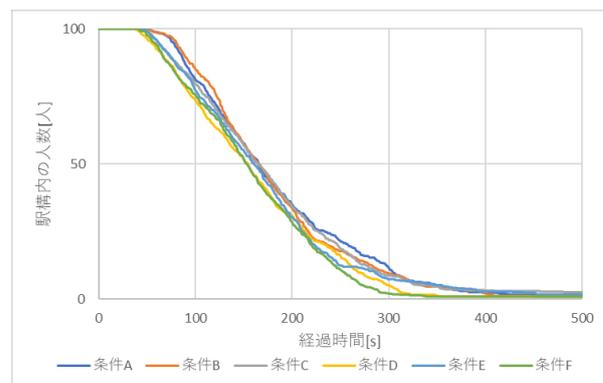


Fig. 14: 駅構内の人数の推移 (通常状態)

Fig. 15 に状況② (混雑状態) の結果を示す。Fig. 15 より状況①と異なり、条件 D と F のとき他の条件に比べ輸送効率が低くなることが分かった。また、条件 A, B, C, E において高い輸送効率となることが分かった。このことから状況②の場合、昇降設備の設置方法が輸送効率に与える影響が大きく、現状または位置変更案①で輸送効率は高くなり、位置変更案②で輸送効率が低くなると考えられる。

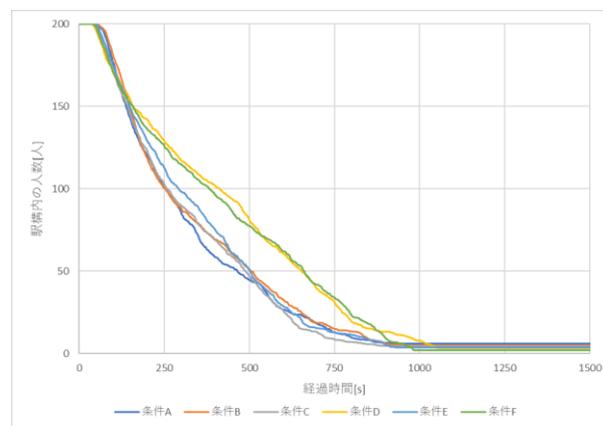


Fig. 15: 駅構内の人数の推移 (混雑状態)

Fig. 16 に状況③ (超混雑状態) の結果を示す。Fig. 16 より、状況②と同様に、条件 D と F のとき輸送効率が低くなることが分かった。また、条件 E の場合に最も輸送効率が高くなることが分かった。続いて、降車客の合計のうち 90% が改札を通過し、駅構内の人数が 40 人になるまでの経過時間で比較を行うと、短い順に条件 E, C, A, B, F, D となる。ここで、条件 E と C, A と B, F と D のそれぞれの昇降設備の設置方法が同じである。このことから、昇降設備の設置方法が輸送効率に与える影響は大きく、さらに、位置変更案①、現状、位置変更案②の順に輸送効率が高くなる傾向があると考えられる。

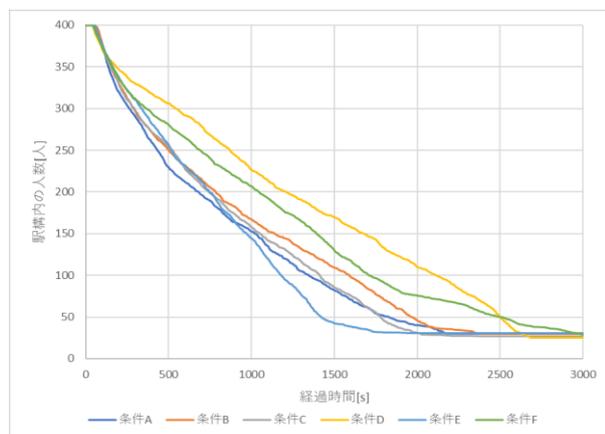


Fig. 16: 駅構内の人数の推移 (超混雑状態)

Fig. 17 に状況④ (日常利用状態) の結果を示す。Fig. 17 より、状況②、③と同様に、条件 D と F のとき輸送効率が低くなることが分かった。また、状況③と同様に条件 E の場合に最も輸送効率が高くなることが分かった。

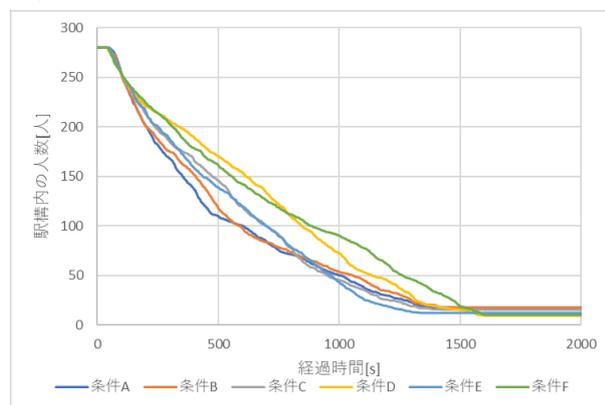


Fig. 17: 駅構内の人数の推移 (日常利用状態)

4.2.3 考察

状況①では位置変更案②の場合に最も輸送効率が高くなるのに対し、状況②～④では位置変更案②の場合に輸送効率が最も低くなることが分かった。これらの結果から、昇降設備の設置方法が駅全体の人流に与える影響は大きく、また、混雑状況により望ましい設置方法は異なることが分かった。このことから、駅の利用状況を想定し、それに合わせた設置方法を検討する必要があると考えられる。

続いて、エスカレータ上での安全性と輸送効率の二つの観点で昇降設備の利用方法及び設置方法を考える。本研究で想定した駅は、近隣に住宅地が広がり、朝夕のラッシュ時間帯、特に本研究の解析領域では夕方時間帯に通勤利用客による混雑が見込まれる。そのような駅の利用状況を考慮すると、エスカレータ上で歩行を禁止することで安全性を高めることができるうえで、状況②～状況④のいずれも比較的混雑した状況設定において最も輸送効率が高いことが示された条件 E が望ましいと考えられる。

続いて、条件 E での昇降設備の設置方法である位置変更案①に関して、状況①～③における駅構内の人数の推移を用いて考察を行う。

Fig. 14, Fig. 15 より、状況①・②では、エスカレータ上での歩行を可能とする条件 C と歩行を禁止した条件 E では輸送効率に差が小さいことが分かる。しかし、Fig. 16 より、状況③では差が大きくなり、条件 C に比べ条件 E における輸送効率が高くなることが分かる。このことから、時間ごとの利用状況で乗車方法を変更することが有効であるという知見を与えることができる。状況③ (超混雑状態) を通勤利用客による混雑がピークを迎える時間帯と考えると、その時間帯のみに 2 列でのエスカレータの停止乗車を行えば輸送効率を最大にすることができると考えられる。また、エスカレータでの歩行を禁止するためには呼びかけ等を行う人員が必要であることを考慮すると、特に混雑する時間帯のみに係員の配置を行うことで必要な人員を最小限に抑えた上で、エスカレータの安全性と輸送効率二つの面でメリットをもたらすことができると考えられる。

5 結論と今後の課題

5.1 結論

本研究では、ソーシャルフォースモデルと定義した昇降設備選択確率モデルによりエスカレータ上での歩行行動を含む群衆行動のモデル化を行った。さらに、実在する駅を解析領域として、多数の乗客が降車してから昇降設備を経て改札に向かうまでの行動をシミュレーションの実装により再現した。

また、通常状態・混雑状態・超混雑状態・日常利用状態の 4 つの状況を想定し実験を行うことで、エスカレータ上での歩行を禁止する施策に関する検証を行った。さらに、乗車方法及び昇降設備の設置方法についての 6 つの施策の検証を行い、輸送効率と安全性の二つの観点から考察し、有効な施策を示すことができた。

5.2 今後の課題

本研究では今後の課題として以下の項目が考えられる。

- より詳細に状況を設定したシミュレーション
本研究では、結果を鮮明化できることと乗降客の昇降設備選択及びホーム上で並ぶ状態を再現するモデルを組み込むことが困難であると考え、降車客のみでかつ 1・2 番線の両番線に同時に電車が到着するという状況設定で実験を行った。しかし、現実に近い実験を行うためには、乗車客に関するモデルを新たに作ったうえで乗車客を含むシミュレーションを行う必要があると考えられる。さらに、状況設定として、実際の時刻表に合わせた到着間隔を設定することも有用であ

ると考えられる。

また、本研究では歩行者のパラメータについて、シミュレーションの簡略化のため年齢層等は考慮せず、歩行速度は最高速度と最適速度のみを設定することで再現した。しかし、駅の利用者の年齢層等を調査し、それぞれの分布に合わせて歩行速度を調整することによって、より現実に近いシミュレーションを行うことができると考えられる。

● 実験の試行回数の増加

本研究では、それぞれの実験について各条件で 5 回ずつ行い、結果を求めた。Fig. 5～8 の結果より、各試行でばらつきが大きいことが分かる。そのため、より試行回数を増やし実験を行うことでより結果が明確になりやすいと考えられる。

● 昇降設備前の混雑

本研究では昇降設備を昇る前の行動に関して、ホーム中央付近の 4～7 号車の降車客は直接昇降設備に向かい、ホームの末端付近の 1～3・8～10 号車の降車客は中継地点を経由したのち、昇降設備に向かう。Fig. 5～8 から分かるように、この方法により、ホーム末端付近の降車客は昇降設備前に列を形成している様子を表現できていると考えられる。一方で、ホーム中央付近の降車客は直接、昇降設備に向かうため、昇降設備前の列の後ろに並ぶ様子が表現できず、昇降設備の列に割り込む形となり、混雑が生じる現象が起きていていると考えられる。実際の群集行動においても割り込む行動は起きている一方で、全ての降車客が割り込みを行うとは考えにくい。そのため、今後の研究ではホーム中央の降車客の行動についてより詳細な行動をモデル化することでより現実に即した結果を得ることができると考えられる。

● 新たな設計パラメータの設定

本研究では、想定した駅が他社線区との繋がりがあることや周辺に施設があり新たな出口の設置等が困難であることを考慮し、着目したエスカレータ及び階段を除く現状の設備からできるだけ変更せずに可能な施策のみを考え、実験を行った。しかし、シミュレーション上では新たな出口の設置や自由な配置での昇降設備の設置等も可能である。そのため、新たな設計パラメータを追加した実験を行うことも今後の研究として考えられる。

参考文献

- 1) 大竹, 岸本: 鉄道駅におけるエスカレータ上の歩行行動に関する研究, 都市計画論文集, 52-3, 263/269, (2017)
- 2) エスカレーター, 関西なぜ「右立ち」(謎解きクルーズ). 日本経済新聞, (2014)
https://www.nikkei.com/article/DGXLASIH02H08_T01C14A2AA1P00/, 最終アクセス日 2022.11.22
- 3) エスカレーター「歩かず立ち止まろう」キャンペーンの実施について, 東京メトロ,
<https://www.tokyometro.jp/news/2022/213146.html>, 最終アクセス日 2022.11.22
- 4) 埼玉県エスカレーターの安全な利用の促進に関する条例, 埼玉県, <https://www.pref.saitama.lg.jp/a0310/escalator.html>, 最終アクセス日 2022.9.30
- 5) 阿久澤, 田口: 駅構内における群集歩行シミュレーションモデルの研究, 日本オペレーションズリサーチ秋季研究発表会, 192/193, (2005)
- 6) 朝霞台駅の構内図, らくらくおでかけネット,
https://www.ecomo-rakuraku.jp/ja/station_map/朝霞台/, 最終アクセス日 2022.10.3
- 7) 朝霞台駅周辺の住みやすさ! 治安や家賃相場・口コミなど大公開【一人暮らし】, Rooch,
<https://ieagent.jp/blog/eria/asakadaihitorigurashi-42530>, 最終アクセス日 2023.1.18
- 8) 田島, 大島: Social Force Model を用いたコンビニエンスストアの混雑シミュレーション, 東京理科大学理工学部経営工学科卒業論文集, (2017)
- 9) 富樫: マルチエージェントシミュレーションを用いた観光地の混雑情報提供に関する効果分析, 早稲田大学大学院創造理工学研究科修士論文集, (2021)
- 10) 内橋: 駅ホームでのエスカレーター利用客のシミュレーション, 情報処理学会研究報告, 154-9, (2020)
- 11) 磯崎, 中辻: Social force model を基にした歩行者の避難シミュレーションモデルに関する研究, 土木学会北海道支部論文報告集, 66, (2009)
- 12) Fruin, 長島: 歩行者の空間: 理論とデザイン, 鹿島出版会, (1974)
- 13) 小塩: 高層ビルにおける避難シミュレーションの構築と評価, 中央大学理工学部情報工学科卒業論文集, (2006)
- 14) 汎用シミュレーションシステム, S4 Simulation System Ver.6.2.0, NTT DATE Mathematical Systems, Inc.
- 15) マルチエージェント・シミュレーションとは?, 構造計画研究所, <https://mas.kke.co.jp/about/>, 最終アクセス日 2023.1.18.
- 16) 永田: 入門統計解析法, 87/111, 日科技連, (2016)