

駅ホームでのエスカレーター行列シミュレーション

内橋 夏実 (指導教員: 浅本 紀子)

1 はじめに

1.1 研究背景

日本に限らず世界各国で、エスカレーターの片側を急ぐ利用者のために空け、急いでいる人が歩行しながら乗るといふ風習がある。しかしここ数年、両側に止まって乗ろうという「エスカレーター乗り方改革」が叫ばれている。これには、

- エスカレーターでの歩行は危険
- 身体的理由で右側につかまって乗りたい人もいる
- エスカレーターは歩行しながら利用することを想定して作られていない

などの理由が挙げられている。また、両側に止まって乗る方が全体の輸送効率が良いことが、様々な既存研究で報告されている。しかし、心理的な問題や文化として根付いてしまったことなどから、この理想の乗り方が普及しているとは言い難いのが現状である。



図 1: エスカレーター での両側立ちを呼びかけるポスター

1.2 研究の目的

そこで本研究では、人が電車から降りてエスカレーターに向かい列を作る動きをエスカレーターの乗り方ごとにシミュレーションし、この問題の解決策を探そうと試みた。

空間設定はつくば駅のホームの1号車から2号車付近を参考にし、シミュレーションを

現状モデル エスカレーターに利用客の70%が左側で立ち止まって乗り、30%が右側を歩きながら乗る

理想モデル エスカレーターに利用客の50%が左側で、残りの50%が右側で立ち止まって乗る

中間 A モデル 図3の2号車2番ドアから降車した客は理想モデルの乗り方で、その他は現状モデルの乗り方

中間 B モデル 図3の2号車1番ドアと2番ドアから降車した客は理想モデルの乗り方で、その他は現状モデルの乗り方

の4つのモデルで行う。



図 2: つくば駅ホーム

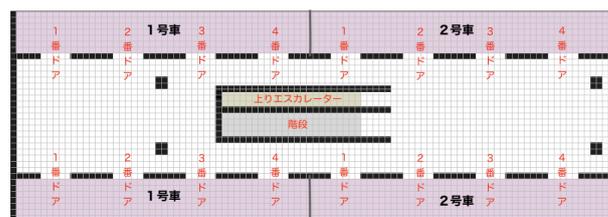


図 3: つくば駅ホームを参考にした空間

なお、シミュレーションの手法はMAS(Multi Agent Simulation)を用い、シミュレータは(株)構造計画研究所のartisocを利用する。

2 モデル

2.1 降車客の設定

歩行速度は[1]を参考に女性が平均1.42m/s 標準偏差0.251の正規分布に従う乱数の上位90%、男性が平均1.52m/s 標準偏差0.333の正規分布に従う乱数の上位90%。降車客の人数を70人、男女比を5:5、人体円直径を36cmとした。

降車客エージェントは電車のドアから70人になるまでランダムに生成され、エスカレーターにたどり着いたら空間から消去される。全ての降車客エージェントがエスカレーターにたどり着いたら、シミュレーションは終了する。

2.2 ポイントエージェント

空間にはあらかじめポイントエージェントが用意され、降車客エージェントは生成された際にポイントエージェントの配列を保持する。先頭のパポイントエージェントを目的地として目指し、そこにたどり着いたら次のポイントエージェントを目的地にする。目的地を連続

して与えこれを繰り返すことにより任意の順序にそって歩く。

2.3 降車客の行動ルール

生成された降車客エージェントはエスカレーター乗り口前に利用者の列がなければエスカレーター乗り口を、列が出来ていれば列の最後尾を目指し移動する。1ステップ=0.1秒とし、毎ステップ進行方向（現在の自分の位置から目的地への方向）に人や障害物などの他のエージェントがないか確認し、なければ直進する。ある場合は進行方向から左右に60度→120度→180度の順に他エージェントがないか確認し、ない方向に進む。もしその調べた方向全てに他エージェントがある場合は動けない。列の最後尾にたどり着いたら、前に並んでいる人に続いて進む。



図 4: 降車客の行動ルール

自分が列の先頭になったら、前の人立ち止まってエスカレーター乗った場合にはそれから1.6秒経過していたら乗り、歩きながら乗った場合は0.8秒経過したら乗り。これはエスカレーターの利用者が前の人と一段空けて乗ると考え、エスカレーターの板一枚が出るのが約0.8秒であることからこの数値にした。[2]



図 5: 降車客行動ルール

2.4 中間モデルでの特別ルール

エスカレーターが両側立ちの状態のとき、立ち止まってエスカレーターに乗りたい降車客が左側に乗りつもりだったがそれを見て右側に変えることがある。これを再現するために中間 A モデルと中間 B モデルでは、エスカレーターが視界に入る位置におり且つまだ列に並んでいない左側に並ぶ予定の降車客エージェントに特別ルールを設定する。エスカレーター前にできた右側の列が左側の列より2m以上短く、且つ右側に立ち止まってエスカレーターに乗っている利用者が一定以上いる場合、50%の確率で目的地を右側の列の最後尾に変更する。

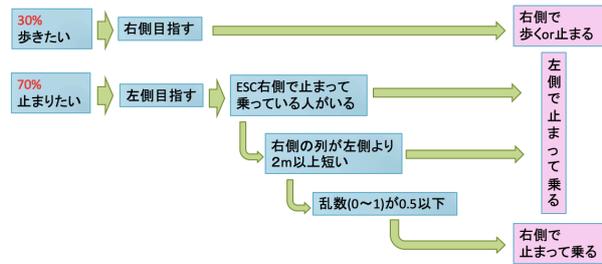


図 6: 中間モデルでの降車客特別ルール

3 検証指標

評価項目として『全降車時間』、『ドア別移動時間』、『列の最大人数』の3つを検証する。

1つ目の『全降車時間』は全体の輸送効率を調べるための検証指標であり、全ての降車客がエスカレーターに着くまでの時間である。1ステップが0.1秒換算であるためシミュレーション実行時間のステップ数を10で割った値となる。次に『ドア別移動時間』では、図3の1号車1番ドアから2号車4番ドアで降車した客ごとに降車からエスカレーターにたどり着くまでの時間を出力し、最も早く着くドアと時間のかかるドアとの時間差を調べる。『列の最大人数』はエスカレーター前にできた列に並んでいる降車客の最大人数で、左側と右側でそれぞれ値を出す。各モデルのシミュレーションを40回実行し、その平均値、標準偏差、標準偏差を平均値で割った変動係数を計測・算出した。(有効数字は3桁)

4 シミュレーション結果

比べたい2つのモデルのシミュレーション結果に違いがあるかを Excel を使って t 検定を行った。

4.1 現状モデルと理想モデル

4.1.1 全降車時間

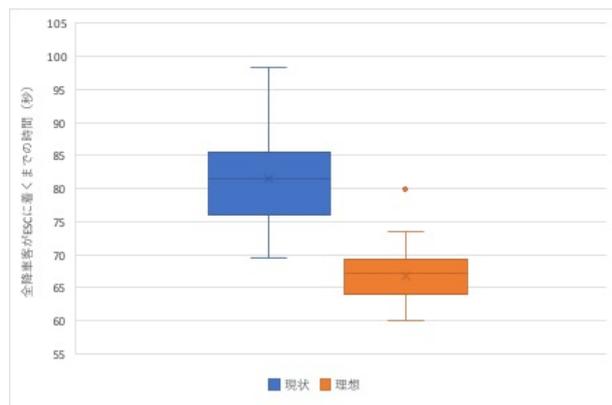


図 7: 全降車時間

表 1: 全降車時間

| | 現状モデル | 理想モデル |
|------|--------|--------|
| 平均 | 81.5 秒 | 66.7 秒 |
| 標準偏差 | 6.86 | 4.10 |
| 変動変数 | 0.0841 | 0.0615 |

- p 値は $p < 0.001$

表 1 より現状モデルと理想モデルの全降車時間の平均を比べると、理想モデルの方が早いことがわかる。また、その有意差が 0.05 未満であるため、既存研究と同じ結果を MAS の手法でも得られたことになる。

4.1.2 ドア別移動時間

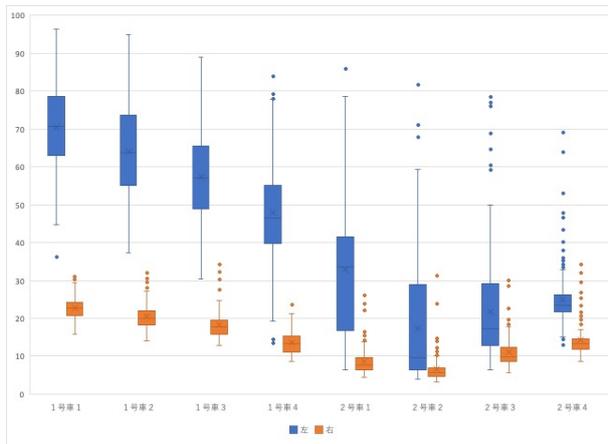


図 8: ドア別

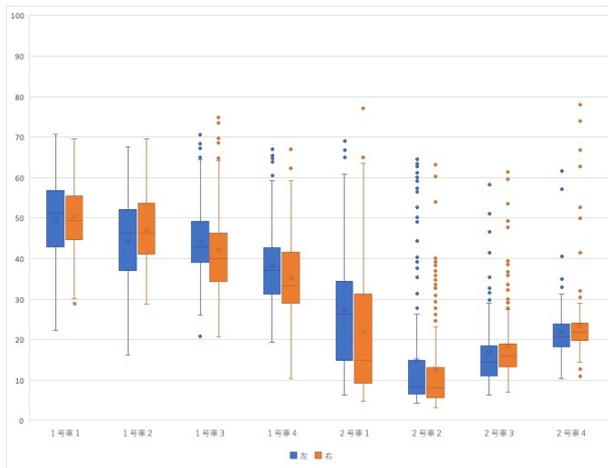


図 9: ドア別

表 2: ドア別平均時間 (現状・理想)

| | 現状 | | 理想 | |
|------|------|------|------|------|
| | 左 | 右 | 左 | 右 |
| 1号車1 | 70.4 | 22.7 | 49.5 | 50.2 |
| 1号車2 | 64.0 | 20.4 | 44.2 | 47.2 |
| 1号車3 | 57.3 | 18.3 | 44.4 | 41.9 |
| 1号車4 | 47.9 | 13.5 | 38.1 | 35.2 |
| 2号車1 | 32.8 | 8.71 | 27.4 | 21.8 |
| 2号車2 | 17.2 | 6.61 | 14.9 | 12.7 |
| 2号車3 | 21.7 | 11.0 | 16.6 | 18.6 |
| 2号車4 | 24.8 | 14.4 | 21.9 | 23.4 |

表 3: 平均時間の差 (現状・理想)

| | 現状モデル | 理想モデル |
|----------|--------|--------|
| 最大値 (ドア) | 1号車1・左 | 1号車1・右 |
| 最小値 (ドア) | 2号車2・右 | 2号車2・右 |
| 差 (秒) | 63.8 | 37.5 |

図 8 と図 9 で客が利用したドアごとに降車してからエスカレーター にたどり着くまでの時間を比較すると、現状モデルも理想モデルもエスカレーターの乗り口に最も近い 2号車2 番ドアからの降車客が早く、また、エスカレーターの乗り口から最も遠くかつ列の伸びる方向と逆側の 1号車1 番ドアからの降車客が遅いことが確認できる。その平均時間を表 6 に、平均時間の最大値、最小値、その差を表 3 に示した。理想モデルの方が現状モデルより、1号車1 番ドアからの降車客と 2号車2 番ドアからの降車客の時間差が小さいことが分かる。

4.1.3 列の最大人数

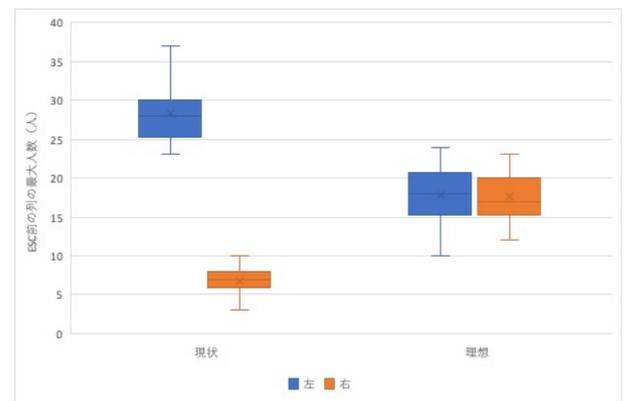


図 10: 列の最大人数

表 4: 列の最大人数

| | 現状左 | 理想左 | 現状右 | 理想右 |
|------|--------|--------|--------|--------|
| 平均 | 28.3 人 | 17.9 人 | 6.80 人 | 17.7 人 |
| 標準偏差 | 3.43 | 3.49 | 1.42 | 3.08 |
| 変動変数 | 0.121 | 0.196 | 0.209 | 0.174 |

- 現状モデル左と理想モデル左の p 値は $p < 0.001$

表 4 で現状モデルと理想モデルの平均最大人数の多い方の列同士を比較すると、理想モデルの方が少ないことと有意差が 0.05 未満であることから、この点でも理想モデルの方に通行人の邪魔にならないというメリットがあることが確認できる。

4.2 中間 A モデルと中間 B モデル

4.2.1 全降車時間

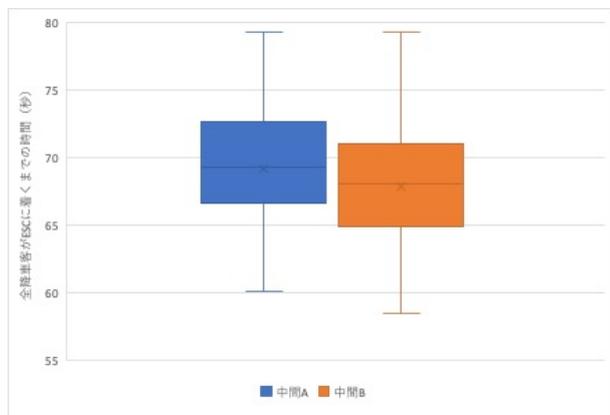


図 11: 全降車時間

表 5: 全降車時間

| 所要時間 | 中間 A モデル | 中間 B モデル |
|------|----------|----------|
| 平均 | 69.2 秒 | 67.9 秒 |
| 標準偏差 | 4.58 | 4.67 |
| 変動変数 | 0.0661 | 0.0688 |

- p 値は $p=0.206$

中間 A モデルと中間 B モデルを比較すると図 11 と表 5 から、全降車時間の値が極めて近いことが確認できる。p 値が 0.05 を大幅に上回っているため、有意差がないほどこの二つのモデルの全降車時間の値が近いことがわかる。

4.2.2 ドア別移動時間

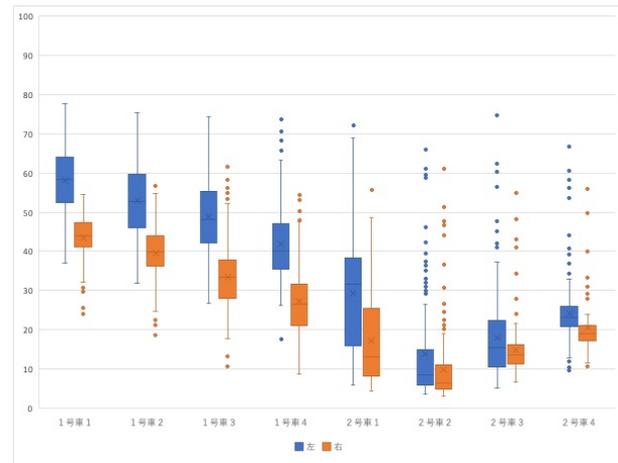


図 12: ドア別

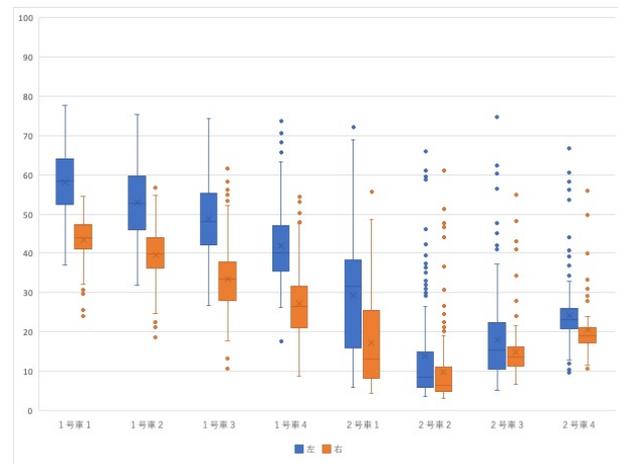


図 13: ドア別

表 6: ドア別

| | 中間 A | | 中間 B | |
|--------|------|------|------|------|
| | 左 | 右 | 左 | 右 |
| 1 号車 1 | 58.1 | 43.5 | 55.0 | 44.3 |
| 1 号車 2 | 53.0 | 39.6 | 50.9 | 40.6 |
| 1 号車 3 | 48.9 | 33.5 | 46.5 | 34.6 |
| 1 号車 4 | 41.9 | 27.2 | 40.5 | 31.0 |
| 2 号車 1 | 29.3 | 17.1 | 27.6 | 18.8 |
| 2 号車 2 | 13.9 | 9.83 | 13.4 | 12.2 |
| 2 号車 3 | 18.1 | 14.9 | 18.4 | 17.0 |
| 2 号車 4 | 24.2 | 20.4 | 23.1 | 22.9 |

表 7: 平均時間の差 (中間 A・中間 B)

| | 中間 A モデル | 中間 B モデル |
|-------|----------|----------|
| 最大値 | 1号車1・左 | 1号車1・左 |
| 最小値 | 2号車2・右 | 2号車2・右 |
| 差 (秒) | 48.3 | 42.8 |

図 12 と図 13 から、中間 A モデルも中間 B モデルもエスカレーター乗り口に最も近い 2号車 2番ドアからの降車客が電車を降りてからエスカレーターに乗るまでの時間が短く、最も遠くかつ列の伸びる方向と逆側の 1号車 1番ドアからの降車客が長いことが確認できる。また、中間 A モデルと中間 B モデルの違いが小さいことが分かる。

4.2.3 列の最大人数

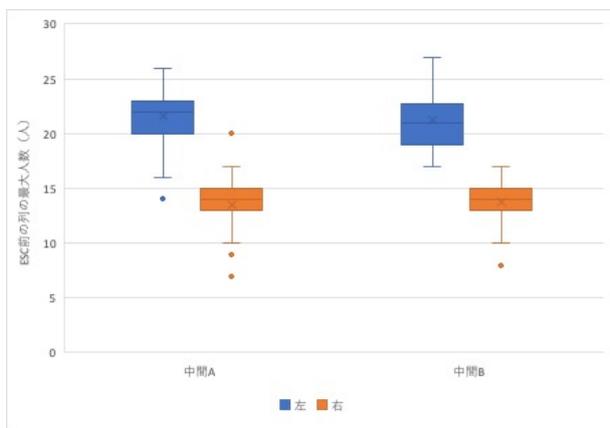


図 14: 列の最大人数

表 8: 列の最大人数

| | A 左 | B 左 | A 右 | B 右 |
|------|--------|--------|--------|--------|
| 平均 | 21.5 人 | 21.2 人 | 13.6 人 | 13.8 人 |
| 標準偏差 | 2.53 | 2.47 | 2.59 | 2.07 |
| 変動変数 | 0.118 | 0.117 | 0.191 | 0.150 |

- 中間 A モデル左側と中間 B モデル左側の p 値は $p=0.563$

列の最大人数においても、図 14 や表 8, p 値から 2 つのモデルの違いが小さいことがわかる。

4.3 全 4 モデルでの比較

4.3.1 全降車時間

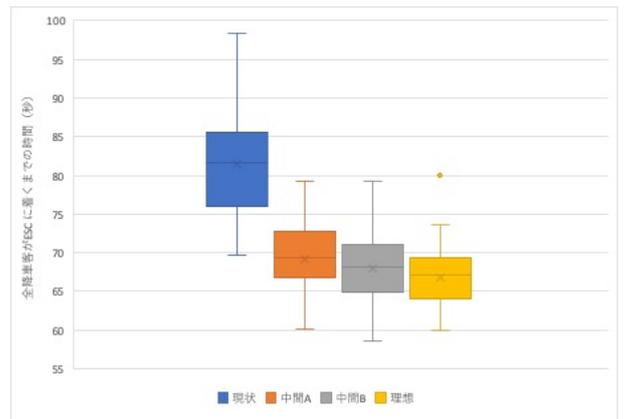


図 15: 全降車時間

- 現状モデルと中間 A モデル p 値は $p < 0.001$
- 中間 A モデルと理想モデル p 値は $p = 0.0120$
- 中間 B モデルと理想モデル p 値は $p = 0.234$

全降車時間において表 1 と表 5 から、中間 A モデルと中間 B モデルの平均値が現状モデルより理想モデルに近いことが確認できる。特に中間 B モデルは理想モデルと有意差があるとは言えないことから、理想モデルに近いことが言える。

4.3.2 ドア別移動時間

どのモデルでも 2号車 2番ドアからの降車客が電車を降りてからエスカレーターに乗るまでの時間が短く、1号車 1番ドアからの降車客が長いことが共通している。2号車 2番ドアと 1号車 1番ドアの平均時間の差が理想モデル < 中間 B モデル < 中間 A モデル < 現状モデルであり、「降車したドアによる不平等さ」が緩和されていると言える。

4.3.3 列の最大人数

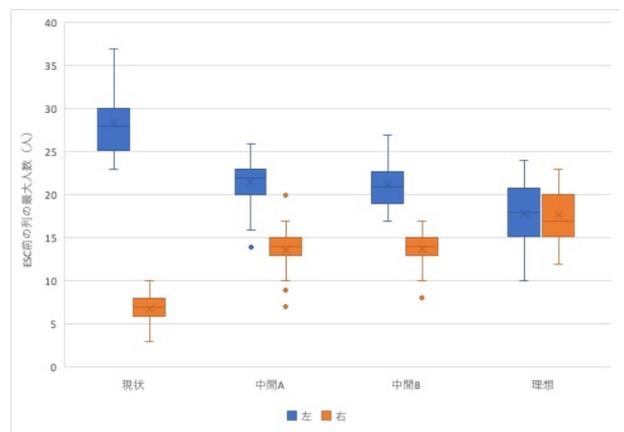


図 16: 列の最大人数

- 現状モデル左側と中間 A モデル左側の p 値は $p < 0.001$

- 中間 A モデル左側と理想モデル左側の p 値は $p < 0.001$
- 中間 B モデル左側と理想モデル左側の p 値は $p < 0.001$

列の最大人数においては、平均値が理想モデル < 中間 B モデル < 中間 A モデル < 現状モデル であり、列の最大人数が緩和されていることがわかる。

5 まとめと今後の課題

エスカレーター乗り口に近いドアからの降車客が右側に立ち止まって乗ることによって、全体の輸送効率が飛躍的に向上することがわかった。列の長さにおいても、全体の輸送効率ほどではないが緩和されることが確認できた。

また、中間 A モデルと中間 B モデルの比較から、理想モデルの乗り方をさせる指定のドアが1つでも2つでも結果の違いが小さかったことから、エスカレーター乗り口に最も近いドアで「エスカレーターの両側立ち」を重点的に誘導すれば、混雑の解消につながることをわかった。

今後の課題としては、全体の輸送効率が個人として嬉しいこととは限らないため、降車客の効用関数を考え、理想モデルが普及する方法を考えていきたい。また、中間 A モデルと中間 B モデルでは指定のドアからの降車客は全て止まってエスカレーターに乗る設定であったが、実際には誘導を無視する客もいると考えられるので、「エスカレーターの両側立ち」の誘導に従う客の割合を変化させて検証項目を比較していきたい。

参考文献

- [1] 兼田敏之 編, artisoc で始める歩行者エージェントシミュレーション, 株式会社 構造計画研究所, 2010.
- [2] 元田良孝, 宇佐美誠史, エスカレーター 内の歩行に関する基礎研究, 交通工学研究発表会論文集, 221-225, 2018