

# 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

内橋 夏実<sup>1</sup>

**概要:** 近年, エスカレーターは両側に止まって利用しようという「エスカレーター乗り方改革」が叫ばれているが, 普及していないのが現実である。そこで本研究では, 既存研究でエスカレーターの「両側立ち」は輸送効率が良くなると報告されているにも関わらず普及しない原因を追求し, 普及する方法を探すことを目的とした。アンケートを行い, それをもとにエスカレーター利用者の効用関数を考案し, マルチ・エージェントシミュレーションのプラットフォーム「artisoc」を利用して駅のホームで人が電車を降りてエスカレーターに乗る動きをシミュレーションした。研究の結果, 「両側立ち」はエスカレーター利用者の効用値が低くなるため普及は難しいが, 「エスカレーター乗り方改革」にはまだ改善の余地があると言えた。改善された場合「両側立ち」に協力する人の割合が増え輸送効率が上がるが, 一方でエスカレーター利用者の効用値は下がることがわかった。

## Simulation of escalator passengers at the station platform

### 1. はじめに

#### 1.1 研究背景

##### 1.1.1 社会的背景

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う風習がある。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.[1], [2] 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。

##### 1.1.2 既存研究

社会などの複雑系を分析できる手法「マルチエージェント・シミュレーション」を紹介する Web サイト「MAS COMMUNITY」の中の「ARTISOC モデル集」[3]では, 駅等で利用されている 2 列エスカレータを通して人が移動する様子を模擬したシミュレーションモデルが紹介されてい



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  
Fig. 1 A poster appealing to people to ride the escalator by the right way

<sup>1</sup> お茶の水女子大学大学院 人間文化創成科学研究科 理学専攻 情報科学コース

る。450人(満員電車2両程度)の歩行者が、長さ20mのエスカレータを表1のパラメータ設定で移動する。

表1 モデルパラメータ (出典:[3]の表1)

Table 1 Model parameters

項目	設定値
エスカレータ利用者数:	450人
エスカレータ歩行選択割合:	40%
エスカレータ長さ:	20m
エスカレータ速度:	0.5m/sec
移動速度:	
-平地歩行時:	1.0m/sec
-エスカレータ歩行時:	1.0m/sec
前の人との間隔(最短):	
-エスカレータ上での立ち止まり:	0.8m
-エスカレータ上での歩行時:	1.2m
-平地歩行時:	0.4m

表2 試行結果 (出典:[3]の表2)

Table 2 Trial result

	両側歩行	片側空け	両側立ち
総移動時間(秒)	319	501	429
個人移動時間平均(秒)	49	81.8	102.0
個人移動時間標準偏差	0	28.7	13.8

移動を開始してから全員が移動完了地点に到達するまでの時間(総移動時間)と個人が移動を開始してから移動完了地点に到達するまでの時間の平均(個人移動時間平均)を評価すると、表2より、片側空けに比べ両側立ちの総移動時間が短くなることわかる。片側空けのほうが個人の移動時間は短く、直感的には片側で歩いたほうが全体の輸送効率が高くなるように思うが、シミュレーションの結果は逆になる。

## 1.2 研究の目的

発表者らはこの既存研究を発展させ、駅のホームを再現した空間を作成し、人が電車を降りてエスカレーターへ移動し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た。[4] 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「現状モデル」と1:1の割合で左右に立ち止まって乗る「理想モデル」で比較した結果、全ての降車客がエスカレーターに着くまでの時間(総移動時間)が理想モデルの方が良いことが確認できた。電車のドアからエスカレーターまでの移動時間についても、両側立ちの方が全体の輸送効率が良いという既存研究と同じ結果が得られた。

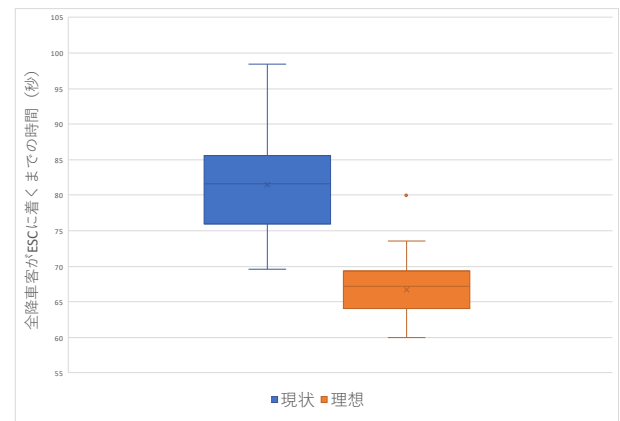


図2 総移動時間(40回実行)

Fig. 2 Time for all passengers to reach the escalator (Run 40 times)

表3 総移動時間

Table 3 Total movement time

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

しかし、この理想の乗り方が世間で普及しているとは言えないのが現状である。

そこで本研究では

- 輸送効率が良いというメリットがあるにも関わらず「両側立ち」の乗り方が普及していない原因を追求する
- 「両側立ち」が普及する方法を探す

ことを目的とした。エスカレーター利用者の満足度が両側立ちでは低いことが普及しない原因ではないかと予測し、エスカレーターの乗り方に関するアンケートを行った。このアンケートをもとに客の効用関数を作成し、電車を降りた客がエスカレーターへ移動しエスカレーターを上りきるまでをシミュレーションした。

なお、[4]と同様に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。空間設定も[4]と同じつくば駅のホームの1号車から2号車付近を参考にした。



図3 つくば駅ホーム

Fig. 3 Tsukuba station platform

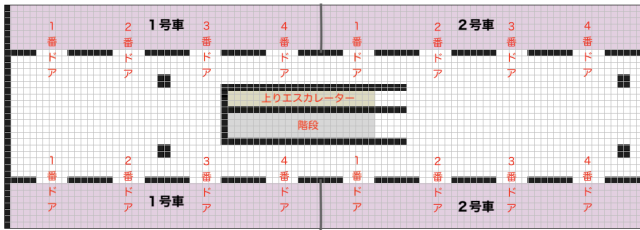


図 4 つくば駅ホームを参考にした空間  
 Fig. 4 A space based on Tsukuba station platform

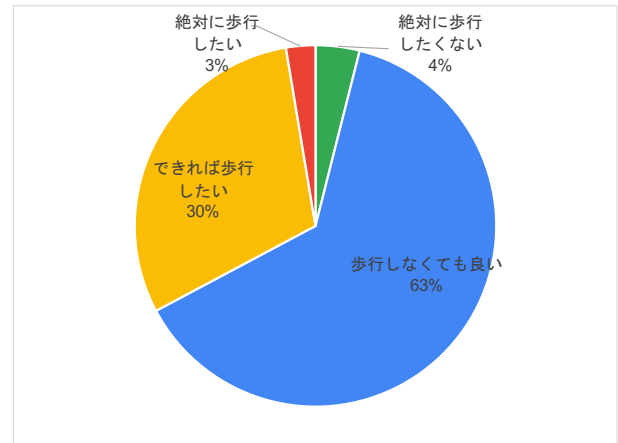


図 6 設問 2  
 Fig. 6 Question2

## 2. 事前準備

エスカレーターの乗り方に関するアンケートを 2020 年 8 月に実施し、305 名から回答を得た。設問 3,4,5,7 は 設問 2 の回答別にまとめる。

設問 1: 鉄道会社が危険防止の観点等からエスカレーターの「歩行禁止」を呼びかけ、「両側立ち」を理想としていることを知っていますか。

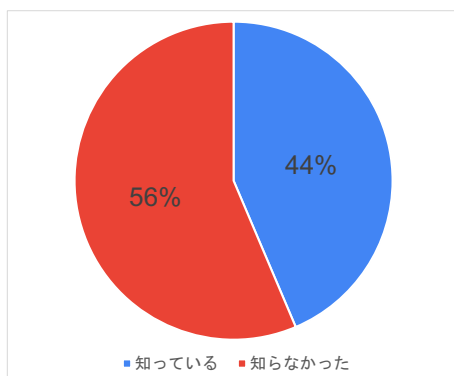


図 5 設問 1  
 Fig. 5 Question1

設問 2: エスカレーターを利用する際、歩行しながら利用したいですか。

設問 3: 駅でエスカレーターを利用する際、重要視することは何ですか（複数回答可）

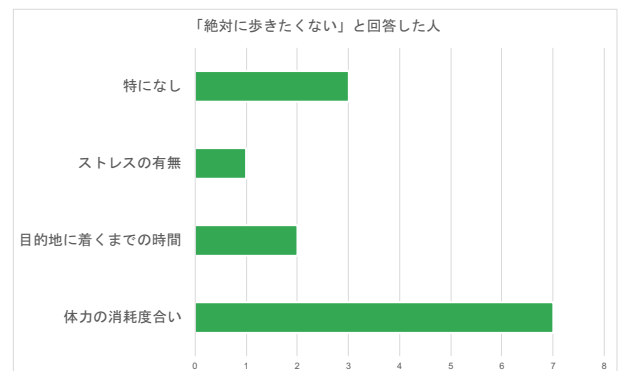


図 7 設問 3  
 Fig. 7 Question3

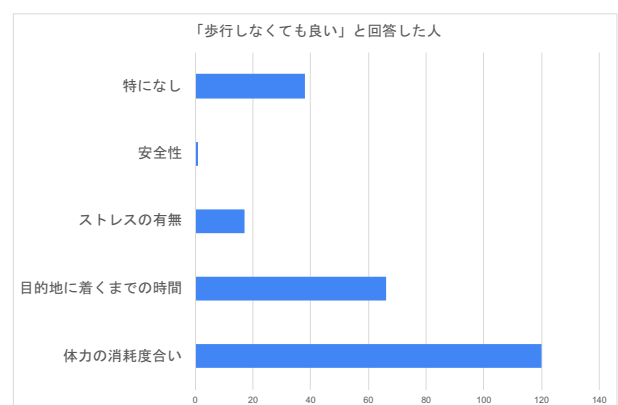


図 8 設問 3  
 Fig. 8 Question3

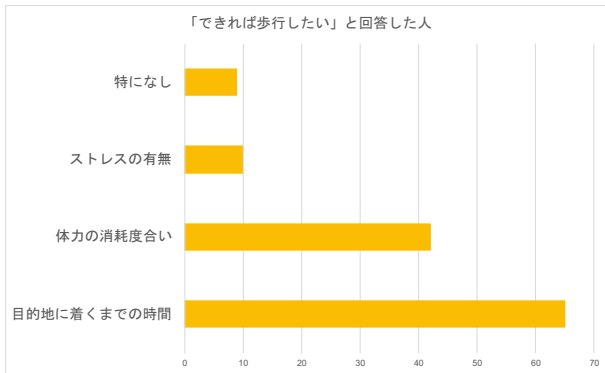


図 9 設問3  
Fig. 9 Question3

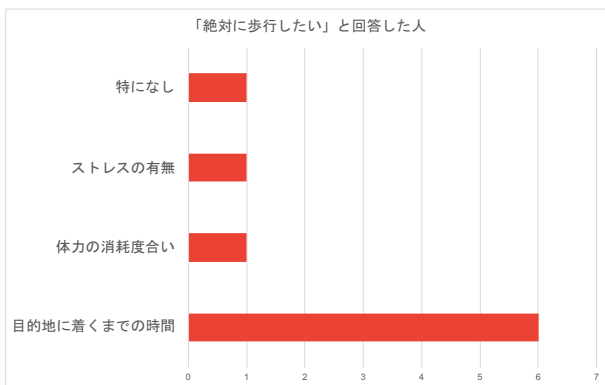


図 10 設問3  
Fig. 10 Question3

設問 4：あなたがエスカレーターの右側（大阪など一部地域では左側）を利用している際、自分の前の人歩行せず止まっていたら、苛つきますか。

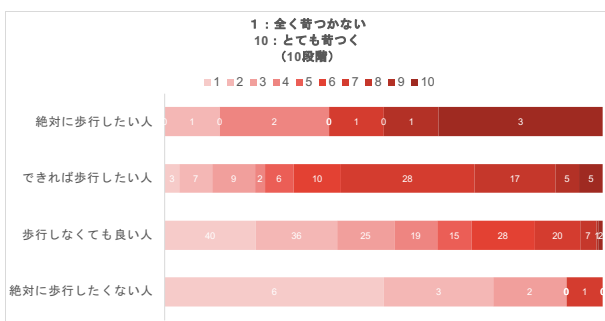


図 11 設問4  
Fig. 11 Question4

設問 5：エスカレーターを歩行する人のために右側が空けられている中、自ら率先してエスカレーターの右側に歩かず立ち止って利用することは、抵抗はありますか。（大阪など一部地域では左側）

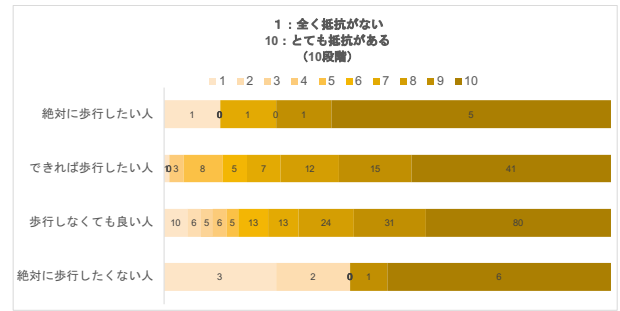


図 12 設問5  
Fig. 12 Question5

設問 6：どのようなことがあれば、設問 5 で答えた抵抗が小さくなりますか。

駅員の誘導	242
両側立ちを促すポスター	163
好きな芸能人などが両側立ち促進のキャンペーンに起用される	57
好きな人に命令される	16
上司に命令される	6
構内アナウンス	3
TVやCM	3
国家や自治体で定められる	2
小学校から習う	1
足元にマーク	1
歩行できないエスカレーターにする	1
そもそもこんなルール shouldn't	1

図 13 設問6  
Fig. 13 Question6

設問 7：設問 6 で回答したことが行われた場合、自ら率先してエスカレーターの右側（大阪などでは左側）を歩かず立ち止まって利用することに対する抵抗はどの程度に変化しますか。

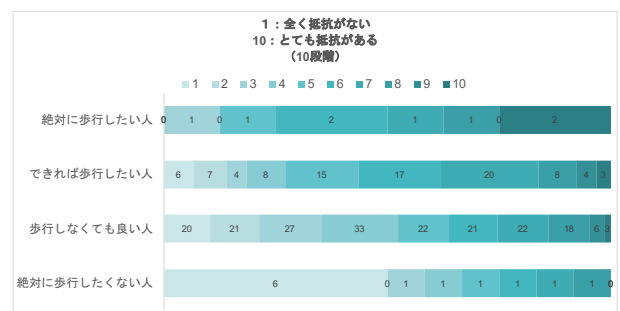


図 14 設問7  
Fig. 14 Question7

### 3. モデル

#### 3.1 降車客の設定

[5] を参考に、女性の歩行速度を平均 1.42m/s 標準偏差 0.251 の正規分布に従う乱数の上位 90%、男性を平均 1.52m/s 標準偏差 0.333 の正規分布に従う乱数の上位 90%

とした。また、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、エスカレーターを上りきったら空間から消去される。また、降車客エージェントは

- (1) 絶対に歩行したくない人
- (2) 歩行しなくても良い人
- (3) できれば歩行したい人
- (4) 絶対に歩行したい人

のいずれかのタイプに属する。このタイプの発生確率はアンケート設問 2 の回答 (図 6) の割合と等しくした。以下、この 4 つのタイプを順に、Type-1、Type-2、Type-3、Type-4 と呼ぶ。

全ての降車客エージェントがエスカレーターを上りきったら、シミュレーションは終了する。

### 3.2 降車客エージェントの目的地

電車のドアから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客の列が出来てなければエスカレーター乗り口を、出来ていれば列の最後尾を目的地とし移動する。エスカレーターの左右どちら側に乗ろうとするかは、タイプによって異なる。

Type-1 と Type-2 の降車客は左側を目指す。ただしエスカレーターの右側で一定数以上の客が止まって乗っており、かつ利用客の列が右側の方が左側より一定以上短い場合は、目的地へ向かう途中である確率で目的地をエスカレーター右側に変更する。

Type-2 と Type-3 の降車客は右側を目指す。ただしエスカレーターの右側で一定数以上の客が止まって乗っており、かつ左側の列の方が右側より一定以上短い場合も同様に、目的地へ向かう途中である確率で目的地をエスカレーター左側に変更する。

### 3.3 ポイントエージェント

空間にはあらかじめ、降車客が生成された場所から目的地までの道順を指定する中間ポイントを用意する。これをポイントエージェントと呼ぶ。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。生成されたらまず配列の先頭の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。

## 3.4 降車客の行動ルール

### 3.4.1 列に並ぶまで

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次の目的地への方向) 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。(図 15) 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。

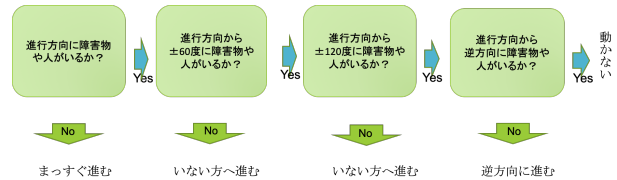


図 15 降車客の行動ルール

Fig. 15 Rules of passengers' behavior

### 3.4.2 エスカレーターの乗り方

自分が列の先頭になったら、前の人が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 秒経過したら乗る。(図 16) 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。[6]

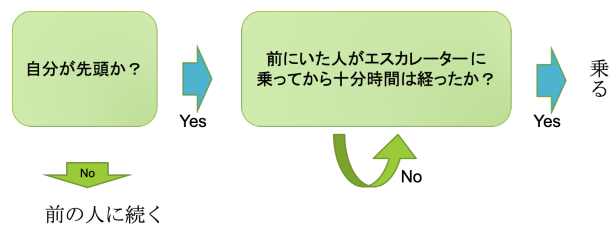


図 16 降車客行動ルール

Fig. 16 Rules of passengers' behavior

エスカレーター上の降車客エージェントは、歩かず止まってエスカレーターに乗る場合は 0.5m/s、歩行しながら乗る場合は 1.0m/s の速さで移動する。

また、降車客エージェントのタイプによって乗り方が変わる。Type-1 は必ず止まって乗る。Type-2 は止まって乗るが、自分の後ろに Type-4 の降車客エージェントがおり、前に止まって乗っている他エージェントがおらず歩行可能な場合は歩行する。Type-3 と Type-4 は歩行可能なら歩行し、不可能なら止まって乗る。

### 3.5 降車客エージェントの効用値

以下の 3 つの時間が長いほど、降車客の満足度 (効用値) は低くなる。

- 個人が移動開始してからエスカレーターを上りきるまでの時間: 『個人動時間』
- エスカレーターを歩行したくない客または歩行しなくても良い客 (Type-1、Type-2) が、エスカレーター上

を歩行した時間：『ESL 歩行時間』

- エスカレーターを歩行したい客 (Type-3, Type-4) がエスカレーター上で歩行できなかった時間：『ESL 歩行不可時間』

この3つの値をそれぞれ  $x, y, z$ , その平均を  $\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$ , 標準偏差を  $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$  として効用関数は以下のように定義した. ( $k, l, m$  は 0 または 1,  $n$  は定数)

$$\text{効用値} = n - k \frac{x - \bar{x}}{\sigma_x} - l \frac{y - \bar{y}}{\sigma_y} - m \frac{z - \bar{z}}{\sigma_z} \quad (1)$$

$k, l, m$  が 0 か 1 のどちらになるかの確率は降車客エージェントのタイプによって異なる (表 4).  $k, l$  はアンケート設問 3 (図 7, 図 8, 図 9, 図 10) で「目的地に着くまでの時間」「体力の消耗度合い」と回答した人の割合を,  $m$  は設問 4 (図 11) で 7~10 を選択した人の割合を参考に決めた. また, 今回は式 (1) の  $n$  は 3 に設定し実行した.

表 4  $k, l, m$  が 1 になる確率

Table 4 Probability of  $k, l$  and  $m$  being 1

	$k$	$l$	$m$
Type-1	0.17	0.57	0
Type-2	0.34	0.62	0
Type-3	0.71	0	0.6
Type-4	0.75	0	0.63

## 4. シミュレーション

今回の研究の目的は

- (1) 「両側立ち」の乗り方が普及していない原因を追求する
  - (2) 「両側立ち」が普及する方法を探す
- の 2 点であるため,
- (1) 片側空けモデルと両側立ちモデル
  - (2) 対策強化前モデルと対策強化後モデル
- の 2 つの比較を行なった.

どちらも評価項目として『総移動時間』『効用値』『個人移動時間』『ESL 歩行時間』『ESL 歩行不可時間』の 5 つを検証する.

1 つ目の『総移動時間』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を上りきるまでの時間である. 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.

各モデルのシミュレーションを 40 回実行し, その平均値を算出した. (有効数字は 3 桁)

### 4.1 片側空けモデルと両側立ちモデル

片側空けモデルは, 3 節で説明したモデルに何も手を加えていない状態である. つまり Type-1 と Type-2 の降車客

エージェントは左側の列に並び, Type-3 と Type-4 は右側に並ぶ.

両側立ちモデルは, タイプに関係なく全ての降車客エージェントが生成時に左右 1:1 の割合でランダムに並ぶ列が決められる.

#### 4.1.1 試行・結果

表 5 総移動時間

Table 5 Total movement time

	片側空けモデル	両側立ちモデル
平均 (秒)	97.9	80.5
標準偏差	5.71	1.27
変動変数	0.0583	0.0158

図 17 総移動時間

Fig. 17 Total movement time

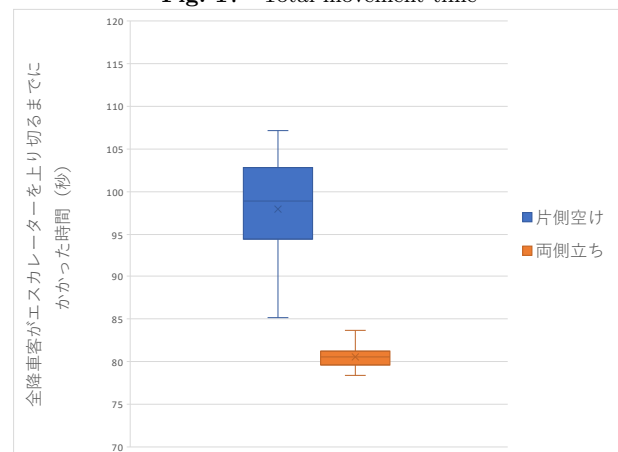


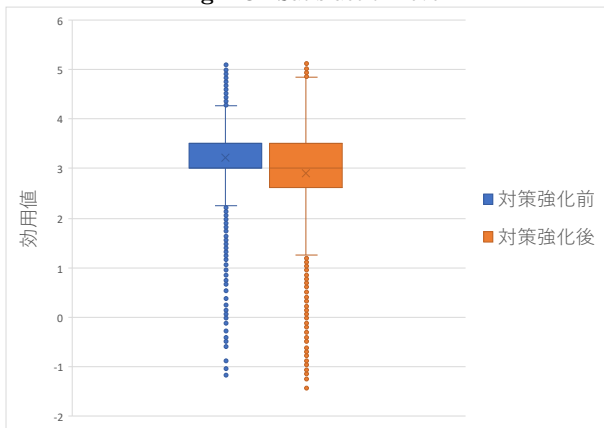
表 5, 図 17 から, 全体の輸送効率が両側立ちの方が片側空けより良いことが確認できる.

表 6 効用値

Table 6 Satisfaction level

効用値	片側空けモデル	両側立ちモデル
Type-1 平均	3.23	3.32
Type-2 平均	3.12	3.30
Type-3 平均	3.95	1.75
Type-4 平均	4.06	1.72
全降車客 平均	3.41	2.80

図 18 効用値  
Fig. 18 Satisfaction level



Type-1 と Type-2 の降車客の効用値は若干上がるがその増加度合いは小さい。一方で Type-3 と Type-4 は大幅に下がるため、全体的には片側空けの方が客個人の平均として高いことがわかる。

効用値を決める『個人移動時間』『ESL 歩行時間』『ESL 歩行不可時間』の値は次のようになった。

表 7 個人移動時間  
Table 7 Individuals movement time

単位：秒	片側空けモデル	両側立ちモデル
Type-1 平均	56.5	47.2
Type-2 平均	58.9	49.0
Type-3 平均	27.6	48.4
Type-4 平均	26.7	48.4
全降車客 平均	48.2	48.7

表 8 ESL 歩行時間  
Table 8 Walking time on ESL

単位：秒	片側空けモデル	両側立ちモデル
Type-1 平均	0	0
Type-2 平均	0	0.0656

表 9 ESL 歩行不可時間  
Table 9 Non-walking time on ESL

単位：秒	片側空けモデル	両側立ちモデル
Type-3 平均	0	0
Type-4 平均	0	0

#### 4.1.2 考察

図 17 より既存研究と同様に両側立ちの方が全体の輸送効率が良いことが確認できた一方で、表 11、図 18 から降車客の効用値の平均が低いことがわかる。予測したように、現在「両側立ち」が普及していないのは降車客個人としての効用が低くなるためであると言える。

#### 4.2 対策強化前モデルと対策強化後モデル

対策強化前モデルは、「両側立ち」促進対策が現状のまま、自ら率先してエスカレーターの右側を歩行せず止まって利用することに対する抵抗が少ない人が「両側立ち」に協力することを想定したモデルである。アンケートの設問 1 (図 5) で「知っている」と答え、かつ設問 5 (図 12) で「1」または「2」を選んだ人の割合をもとに、Type-1 の 20.8%、Type-2 の 1.55%の降車客エージェントは左側ではなく右側の列に向かう。

対策強化後モデルは、設問 6 (図 13) で得た「両側立ち」促進の対策が実行され、「両側立ち」が理想の乗り方であることが世間に普及した場合を想定したモデルである。設問 7 (図 14) で「1」または「2」を選んだ人の割合をもとに、Type-1 の 25.0%、Type-2 の 10.6%の降車客エージェントは右側の列に向かう。

##### 4.2.1 試行・結果

表 10 総移動時間  
Table 10 Total movement time

	対策強化前モデル	対策強化後モデル
平均 (秒)	93.8	84.6
標準偏差	8.67	6.03
変動変数	0.0925	0.0712

図 19 総移動時間  
Fig. 19 Total movement time

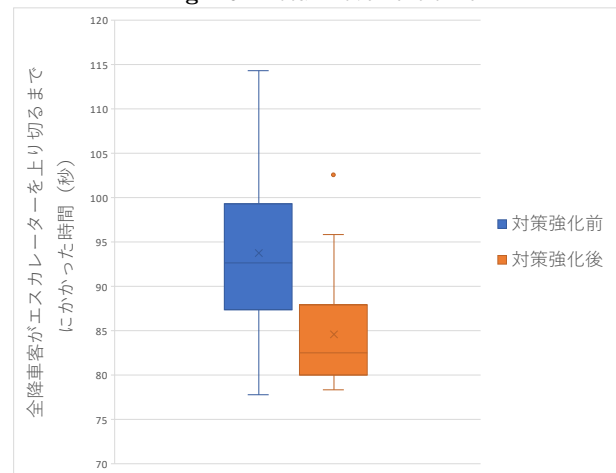
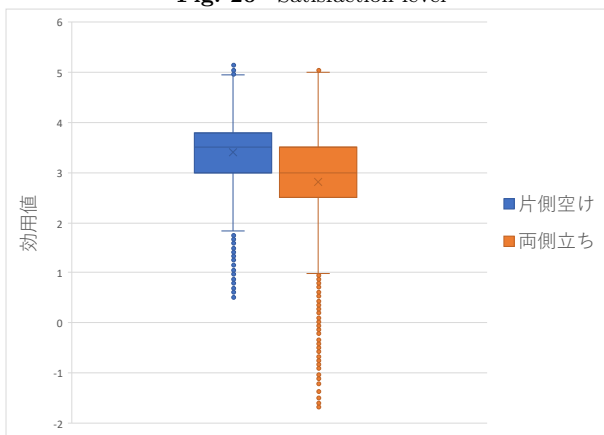


表 10、図 19 より対策強化後の方が全体の輸送効率が良くなることが確認できる。

表 11 効用値  
Table 11 Satisfaction level

効用値	対策強化前モデル	対策強化後モデル
Type-1 平均	3.25	3.27
Type-2 平均	3.17	3.24
Type-3 平均	3.36	2.22
Type-4 平均	3.34	1.76
全降車客 平均	3.24	2.90

図 20 効用値  
Fig. 20 Satisfaction level



こちらも Type-1 と Type-2 の降車客の効用値はほぼ変わらず、Type-3 と Type-4 は下がるため、対策強化後の方が客全体の効用値の平均は下がるという結果になった。効用値を決める『個人移動時間』『ESL 歩行時間』『ESL 歩行不可時間』の値は次のようになった。

表 12 個人移動時間

Table 12 Individuals movement time

単位：秒	対策強化前モデル	対策強化後モデル
Type-1 平均	54.4	49.9
Type-2 平均	56.7	52.0
Type-3 平均	31.7	42.0
Type-4 平均	33.8	44.7
全降車客 平均	48.4	48.7

表 13 ESL 歩行時間

Table 13 Walking time on ESL

単位：秒	対策強化前モデル	対策強化後モデル
Type-1	0	0
Type-2	0.00215	0.00787

表 14 ESL 歩行不可時間

Table 14 Non-walking time on ESL

単位：秒	対策強化前モデル	対策強化後モデル
Type-3 平均	3.06	8.73
Type-4 平均	3.54	9.05

#### 4.2.2 考察

対策が強化されることで全体の輸送効率が大幅に改善されることが図 19 から確認できる。つまり理想の「両側立ち」の状態に近くということが言える。しかし、歩行してエスカレーターを利用したい客は普段より時間がかかることと歩きたいのに歩けないことに対する不快さがあり、全体的な効用値は下がることが分かる。

## 5. まとめと今後の課題

今回のアンケートで、半数以上の人々が「両側立ち」が促進されていることを知らず「急ぐ人のために片側を空ける」ことをマナーとして捉えていることが分かった。「エスカレーター乗り方改革」のキャンペーンはまだ改善点が多くあると言えるだろう。

エスカレーターの「両側立ち」は、全体の輸送効率は改善されても利用する客の効用値は上がらないため普及しづらい。また、「両側立ち」に協力する人が増えて普及しても、歩きたくない人・歩かなくても良い人は時間をあまり気にしないためそれほど満足度は上がらず、歩きたい人の満足度は大幅に下がることから全体的に満足度は下がる。エスカレーターを歩いて利用したい人の「エスカレーター乗り方改革」の社会の流れへの対処法は、不満でも妥協するか時間に余裕を持って行動してそもそも「歩行しながらエスカレーターを利用したい」と思わないようにするかの 2 点しかないのではないかと。

今回の課題として、アンケートの回答と本当の気持ちとがどれだけ合っているかが気になった。また、回答者によって普段利用しているエスカレーターは長さ・速度・混雑具合など様々であるため今回のシミュレーションであまり忠実な再現は出来てはいないと感じた。心理学的知識やより詳細な設問、より大きな母集団が今後必要であると感じた。

#### 参考文献

- [1] 一般社団法人日本エレベーター協会：ご利用について，入手先 (<https://www.n-elekyo.or.jp/instructions/escalator.html>) (最終検索日：2020.11.10.)
- [2] NHK：未来スイッチ，入手先 (<https://www3.nhk.or.jp/news/special/miraiswitch/article/article27/>) (最終検索日：2020.11.10.)
- [3] 構造計画研究所：MAS COMMUNITY/ARTISOC モデル集/エスカレーターモデル，入手先 (<https://mas.kke.co.jp/escalator/>) (最終検索日：2020.11.10.)
- [4] 内橋夏実：駅ホームでのエスカレーターの行列シミュレーション入手先 ([https://mas.kke.co.jp/wp-content/uploads/2020/03/uchihashi\\_paper.pdf](https://mas.kke.co.jp/wp-content/uploads/2020/03/uchihashi_paper.pdf)) (最終検索日：2020.11.10.)
- [5] 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).
- [6] 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).