

エスカレータ片側空けは本当に非効率的なのか

荒木・岸田・竹内・辰巳

概要

本研究はエスカレータ（以下では ESC）の左側（大阪では歩行者レーン）歩行の是非について議論したものである。駅における昇降設備の旅客流動を扱った研究には主に 2 類型あり、昇降設備の選択メカニズム（ESC/併設階段選択等）のモデル化を目的とする研究と昇降設備の最大輸送量の算定を目的とする研究がその多くである。しかし、ESC の左右（歩行/停止）選択を扱った研究・歩行割合が降車客のホーム滞留時間に与える影響についてのみテーマを絞った研究は少ないと思われる。本稿では、ESC の片側空け文化に対する反対意見を紹介したのち、ホームでの滞留時間と歩行割合の関係について、操作変数を用いた二段階最小二乗法によって明らかにし、片側空け反対派の指摘が的を射たものであるかどうか検討する。

なお、この研究をするにあたって当ゼミ 4 回生の平裕一さんと真田道男さんには実地計測にご助力いただきました。この場を借りてお礼申し上げます。

1 目次

1 目次	1
2 研究の概要	2
2.1 ESC の片側空け	2
2.2 研究の動機	2
2.3 安全性についての問題	3
2.4 先行研究：大竹・岸本（2017）	3
3 調査	4
3.1 輸送効率とはなにか	4
3.2 調査対象とした ESC	4
3.3 流量の算出・比較	4
3.4 調査したデータ	6
4 モデル・分析	6

4.1	ESC 上の流動モデル.....	6
4.2	回帰モデルの説明.....	8
4.3	回帰結果.....	8
4.4	考察及び問題点.....	9
5	付録.....	9

2 研究の概要

2.1 ESC の片側空け

ESC の片側空けは、大阪では左側空け・東京では右側空け・京都等の観光地では前の人に合わせて、といった風に様々な形態がある。しかし、それらに共通しているのは ESC の片側を空けることによって、反対側を急いでいる人たちに開放するという点である。「私たち」は、この文化は用事の有無・疲労度・気分等によって自分の都合のいいように左右の選択を行うことを可能にしており、オーダーメイドな使い方ができるという優れた「道具」の条件を満足させていると考えている。そもそも ESC の構想自体は 1859 年アメリカで特許を取得した回転式階段に始まるが、これは安全性の問題から実際に制作はされなかった。実際に設置されたのは、Piat 社が百貨店に「動く階段」を設置した 1898 年、パリ万博で「escalator」が一等賞を受賞した 1900 年頃になってのことだと思われる（斗鬼, 2015）。では、片側空けの文化の登場はいつかと言うと明確ではないが、1944 年頃ロンドンの地下鉄駅の混雑緩和のために公務員が思いついたという説がある。日本では、阪急電鉄による呼びかけによって阪急梅田駅（現・大阪梅田駅）で行われたのが最初と言われており、70 年程度は続く根強い文化であると言える。

2.2 研究の動機

ESC の片側空け文化は上で挙げたように、長年続いている優れた文化であると思うが、鉄道事業者 51 社局・その他団体が参加した「みんなで手すりにつかまろう」キャンペーンや JR 東日本が 2018 年 12 月 17 日から 2019 年 2 月 1 日まで行った両側立ちの呼びかけ等、片側空け文化への風当たりは強くなっている。そもそもなぜ片側空けは推奨されないのだろうか。片側空け反対派の論拠は主に 2 つあり、「①ESC 歩行は危ない」というものと、「②輸送効率の低下」である。果たして本当に ESC 歩行は危険で、輸送効率の低下を招くのだろうか。以下ではこの 2 点、特に輸送効率について回帰分析・モデルを用いて検証する。ESC 歩行が言われているほど危なくなく、輸送効率の低下につながるものではないことが確認できれば、「私たち」は晴れて堂々と ESC 歩行ができる。

2.3 安全性についての問題

まず初めに「①ESC 歩行は危ない」という歩行反対派の意見から考える。エスカレーターに係る事故防止対策検討委員会による平成16年8月30日から12月31日までに東京消防庁管轄区域内で、ESCに関連して発生した313人分の事故について実施された調査を分析する。事故後の調査の中から受傷者の行動類型に注目したところ、単純に歩行が原因で怪我した人数は全怪我人数313人中38人であり、その中で酩酊などの精神的な原因がない人は僅か17人しかいないということがわかる。また怪我の原因のなかで受動的な原因の怪我を除きまた精神的原因はなしという条件を揃え立っていたか歩いていたかだけで怪我の人数を比較したところ、立っていた人は40人、歩いていた人は16人と歩行者の割合は立っている人の割合よりも小さいことを考えても立っていた人の怪我が多い。以上の2つのことよりESCを歩行していてもそれが怪我の直接的原因になるとは言い難いということがわかる。

2.4 先行研究：大竹・岸本（2017）

この論文は、鉄道降車時に利用される駅ESC上の流動の問題点を明らかにすることを目的として、異なる特徴を持つESCを対象に、ESCの捌け時間や行列の待ち時間、ESC上の左右選択の比率等の調査を行い、それらを基にして駅での降車行動におけるESCの旅客流動を分析したものである。特に参考にした部分は、ESCの左右選択率と、ESCの長さや通過人数など複数の要因との関係を分析している部分である。この論文では歩行割合を目的変数に、総通過人数 N_{all} 、ESCの高さ H 、ダミー変数 D_{ST} （階段併設ダミー）、 D_C （乗換利用ダミー）、 D_F （高速ダミー）、 D_{TR} （旅行者ダミー）を説明変数として、ロジスティック回帰分析を行い、ESCの歩行側選択の要因を明らかにしている。歩行割合ロジスティック回帰分析の分析結果は、以下のようなものである。

	偏回帰係数	オッズ比	有意確率
高さ H	-0.109	0.897	.000
総通過人数 N_{all}	0.0054	1.0056	.000
高速ダミー D_F	-0.634	0.531	.000
旅行者ダミー D_{TR}	-1.422	0.241	.000
階段併設ダミー D_{ST}	-0.202	0.817	.000

「レベル差 H が大きくなるほど歩行のための負担が増えるため歩行割合は減少」、「併設階段のある場所では、歩行者の一部が階段を利用するため歩行割合は減少」する等、概ね直観に合う結果が得られている。本稿では後に操作変数を用いた二段階最小二乗法を行うが、操作変数の選択にあたって、上記の偏回帰係数・オッズ比を参考にした。

3 調査

3.1 輸送効率とはなにか

ひとくちに輸送効率といっても、さまざまな観点がある。本研究では「1分間に何人の人間が降りてくるか？」の指標である「流量」と、降車客のホーム滞留時間である「捌け時間」の2つの観点から考える。

3.2 調査対象とした ESC

調査対象とした ESC は全て駅構内の上り側 ESC であり、その中でも改札口がホームよりも上にあるものである。これには2つ理由があり、ひとつには定期的に列車が到着するために混雑が予期した時刻に観察できること、ふたつめには一般に下りより上りの方が渋滞しやすく混雑が容易に観察できることである。混雑を観察することが目的であるため、大・中規模の駅構内の ESC を調査した。また、混雑が1日のうちで最も深刻であろう朝のラッシュアワー時に調査をしている。各駅の調査日時は以下の通り。

	調査日	時刻	データ数
京阪祇園四条駅	2019年11月15日	8:00~9:00	16
烏丸線烏丸御池駅	2019年11月18日	8:00~9:00	15
JR 東西線京橋駅	2019年11月19日	7:30~8:30	16
同上	2019年12月10日	8:45~9:45	16
JR 天王寺駅 18 番	2019年11月20日	8:00~9:00	11
烏丸線四条駅	2019年12月5日	8:15~9:00	10

3.3 流量の算出・比較

流量 q は、単位時間あたりの輸送量を表す。非歩行者と歩行者では求める式が異なり、非歩行者の場合、 q_s (非歩行者流量) は平均乗り込み率 k_s と ESC の速度 v_E の積で求められる。一方歩行者の場合、 q_w (歩行者流量) は平均乗り込み率 k_w に ESC と歩行者の歩行速度を合算した速度($=v_E + v_w$)を乗算することで求められる。平均乗り込み率 k や歩行者の歩行速度 v_w は、各駅の ESC 降り口付近でそれぞれ 20 回前後計測した値の平均である。また、ESC の速度 v_E は単位時間あたりのステップ移動数である。これも各駅で計測した。これらを計測した結果、 k については全駅で非歩行者の方が大きい値をとった。つまり、非歩行者は歩行者よりも間隔を詰めて乗っていることが分かる。ところが、 q については全駅で歩行者の方が大きい値をとった。つまり、歩行者レーンは非歩行者レーンよりも多くの人が流れていることが分かる。また、烏丸御池駅では q_s と q_w の差が小さかったのに対し、京橋駅や天王寺駅ではその差が約2倍あり、駅によって傾向の強弱が見られた。原因としては k や v_E , v_w など

が考えられるが、この値に影響を与えるのが歩行割合である。各数値は以下の通り。

$$q_s = k_s v_E$$

$$q_w = k_w (v_E + v_w)$$

計算の結果

			祇園四条	烏丸御池	京橋①	京橋②	天王寺	四条
非歩行者 平均 乗り 込み 率	k_s	(人 / 段)	0.55374	0.58192	0.48276	0.47176	0.42980	0.59127
歩行者 平均 乗り 込み 率	k_w	(人 / 段)	0.33333	0.26402	0.33333	0.32812	0.33333	0.33333
ESC 速度	v_E	(段 / 分)	69	69	60	60	72	73
歩行者 歩行 速度	v_w	(段 / 分)	75.41666	90	120	102.75	109.68984	95.29302
非歩行者 最大 輸送 効率	q_s	(人 / 分)	38.20874	40.15303	28.96616	28.30601	30.94578	43.16316
歩行者 最大 輸送 効率	q_w	(人 / 分)	48.13888	41.97936	60	53.40234	60.56328	56.09767

5 駅 6 回しか計測を行っていないが、程度の差はあれ、どの駅でも q_s より q_w の方が大きな値をとった。 q_w は q_s よりも大きいものとして、以降では捌け時間 t_8 に焦点を当てる。

3.4 調査したデータ

調査したデータは以下の通り。

N_{all} : ESC の総通過人員

N_s : 右列の非歩行人数

N_w^L : 左列の歩行者人数

N_w^R : 右列の歩行者人数

N_w : 二列の歩行者人数

P_w : $(N_w^L + N_w^R) / N_{all}$

q_i (人/分) : 流量 (1 分間に ESC から何人の旅客が出てくるか)

k_i (人/段) : 平均乗り込み率 ※「何段に 1 人乗っているか」の逆数

※下付き文字 i は s, w (s は非歩行者, w は歩行者を表す)

t_0 : 最初の降車客が ESC の乗り口に到達する時点

t_2 : 右列の最初の非歩行者が ESC の乗り口に到達する時点

t_5 : 左列の最後の歩行者が ESC の乗り口に到達する時点

t_7 : 右列の最後の非歩行者が ESC の乗り口に到達する時点

t_8 : 右列の最後の非歩行者が ESC の降り口に到達する時点

v_E (段/分) : ESC の速度

v_w (段/分) : 歩行者の歩行速度

$Steps$ (段) : ESC の乗り口～降り口までの段数

ESC の通過人数である N_i は、数取り器カウンターで計測。 t_i はスマホのラップ機能付きストップウォッチで測定。 k_w, v_w は目視で計測した。これらは、左側歩行者列が完成し安定した時点で計測したものであり、特に v_w は 6 段上昇するのに何秒かかったかで計測した。

4 モデル・分析

4.1 ESC 上の流動モデル

3 節における実地調査をもとに、 t_8 についての ESC 上の旅客の流動を表すモデルを考えた。このモデルにはいくつかの仮定が存在しており、以下の 5 つである。

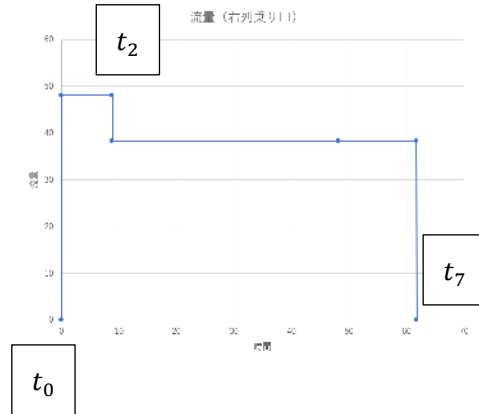
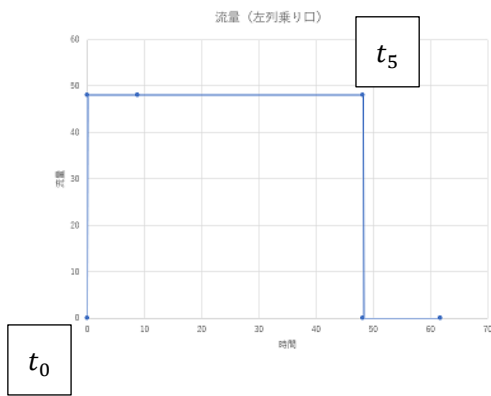
- ・ 仮定 1 : 旅客は ESC 上で左右の移動を行わない
- ・ 仮定 2 : 旅客が通過している間、流動の特性は変化しない

- ・ 仮定 3：左列の方が右列より、流量は大きい
- ・ 仮定 4：基本は左列歩行/右列停止（大阪基準）である
- ・ 仮定 5：行列形成当初は 2 列歩行であり、途中から非歩行者が乗り込んでくる。また、歩行者レーンから旅客がいなくなった後は右列の 1 列のみが使用される

この仮定を用いると、乗り口で観察する流量変化のイメージ図は以下ようになる。

流量（左列乗り口）

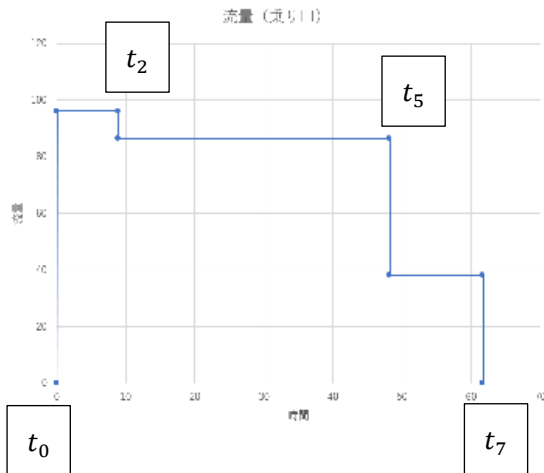
流量（右列乗り口）



まず左列についてであるが、左列には歩行者しか存在しない。したがって、1 人目の旅客が ESC に到達してから最後の歩行者が通過するまで流量は一定であり、左上図のようになる。次に右列についてである。右列も最初は歩行者が通過するため、左列と同等の流量がある。しかし、ある時点から停止する旅客が出現するため、左列の流量より少なくなってしまう。一般に、歩行者レーンの方が最後まで旅客が残るために、流量 0 になるのは左列より遅い。

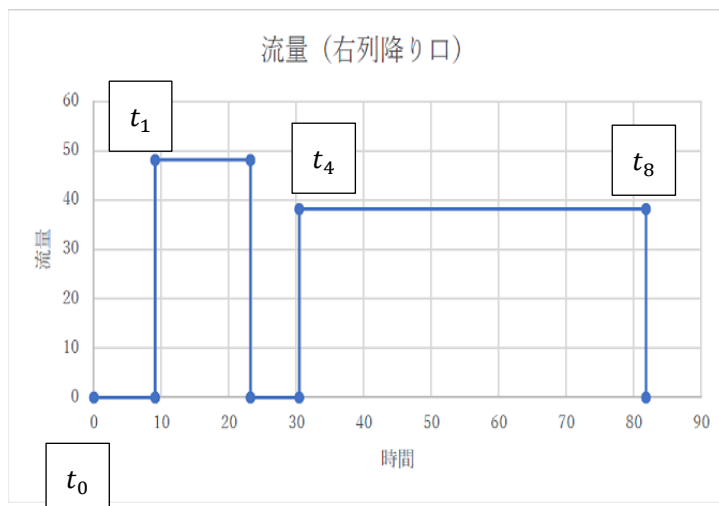
そして、上記 2 列のグラフを合成したのが下図。

流量（乗り口）



なお、降り口で観察する右列の流量は下図のようになる。

流量（右列降り口）



4.2 回帰モデルの説明

本研究では、以下のような単純な線形回帰モデルを考える。

$$t_8 = \beta_0 + \beta_1 P_w + \beta_2 N_{all} + \beta_3 Steps + \beta_4 q_s + \varepsilon_1$$

先行研究でも示唆されている通り、この中で歩行割合 P_w は内生的に与えられる変数であり、単純な OLS を用いても適切な結果を得ることはできない。したがって、操作変数を用いた二段階最小二乗法を使う。誘導形は以下の通り。

$$P_w = \gamma_0 + \gamma_1 D_{ct} + \gamma_2 N_{all} + \gamma_3 Steps + \gamma_4 q_s + \varepsilon_2$$

今回操作変数として用いたのは、乗り換えダミー D_{ct} （京橋・天王寺のみ1）である。操作変数として適切であるための条件は、①歩行割合 P_w と相関していること、②捌け時間 t_8 の影響を受けていないこと、の2つである。この2つについて、それぞれ順に検討していく。まず、① D_{ct} と P_w の相関関係についてである。 D_{ct} は乗り換えダミーであり、その駅の利用者は比較的急いでいることが考えられ、結果的に歩行割合が増加するということが容易に想像できる。乗り換えダミーは大竹・岸本（2017）でも議論されており、先行研究ではオッズ比0.817という結果が出ている。私たちが収集したデータを基に相関係数を計算すると、0.539であった。これは非常に強い相関があるとまでは言えないが、十分に相関関係があると言える数値である。次に② t_8 との関係についてであるが、 D_{ct} は駅そのものに由来するダミー変数であり、 t_8 の影響を受けているとは考えにくい。実際、 D_{ct} と t_8 の相関係数を計算してみると0.132であった。

4.3 回帰結果

回帰結果は以下の通り。

	回帰係数	標準誤差	t 値
P_w	-175.82	50.167	-3.505
N_{all}	0.542	0.056	9.730
$Steps$	1.756	0.511	3.431
q_s	-4.124	1.183	-3.487

β_1 は-175で負、 β_2, β_3 はそれぞれ0.541, 1.755で正。一方、 β_4 は-4.124で負。私たちが最も注目している変数は P_w なので、 β_1 が最重要である。 P_w の回帰係数(β_1)が負であることから、 P_w が大きくなればなるほど、捌け時間 t_g は短くなることがわかる。またt値は-3.504であり、十分に大きい。

4.4 考察及び問題点

回帰結果から、 P_w が大きくなるほど捌け時間 t_g は短くなり、 q_s についても大きくなるほど捌け時間 t_g が短くなる関係が見て取れる。一方、 $N_{all}, Steps$ は大きくなるほど捌け時間 t_g は長くなる。この結果はどれも直観に合う。総通過人数 N_{all} が多くなると捌け時間が長くなるのは自明であり、ESCの段数 $Steps$ も同様である。ESCの段数が増えれば、非歩行者一人が降り口まで到達するのに要する時間($Steps/v_E$)が長くなり、結果的に捌け時間は長くなるはずである。また非歩行者流量 q_s について言うと、「非歩行者流量が大きくなるほど、捌け時間は短くなる」という結果が出ているが、 q_s が大きければ単位時間あたりに通過する旅客が多くなるので、結果的に捌け時間は短くなる。肝心の P_w であるが、回帰係数が負であったので、片側空け反対派が主張するような「ESC歩行は輸送効率を低下させる」という指摘は必ずしもあたらないことがわかる。したがって、片側空け反対派が論拠とする「①ESC歩行は危ない」・「②輸送効率の低下」のどちらも有効とは言えず、「わたしたち」のESC歩行を阻むものではない。しかし、本稿は「いつでもどこでも」ESC歩行を勧めるものではないことをここに明記しておく。歩行割合が高ければ捌け時間が短くなると思われるが、歩行割合が20・30%程度の低水準であれば、むしろ歩行割合0%の方が捌け時間が短くなると考えられるからだ。

5 付録

乗換ダミー D_{ct} について

D_{ct} の値を乗換駅は1, 非乗換駅を0とした。ここでいう「乗換駅」は鉄道→鉄道の乗換が行われる駅とし、鉄道→バスは含まない。

・ $D_{ct}=1$ 天王寺駅、京橋駅

当該 ESC が乗換に利用されており、また乗降客に占める乗換客の割合が高かった。

・ $D_{ct}=0$ 祇園四条駅、烏丸御池駅、四条駅

祇園四条駅

→阪急京都河原町駅と近接しているが駅構内での乗換ができない

烏丸御池駅

→当該 ESC がコンコース直結かつ東西線との乗換には利用されない

四条駅

→通常時は阪急烏丸駅との乗換が可能だが、調査実施日は阪急京都線が人身事故のため運転見合わせとなっており、乗換客は予め他の駅で乗り換えを済ませていると考えられ、乗り換え客はいなかったと想定される

以上の理由から 3 駅を非乗換駅とした。

参考文献

[1]一般社団法人日本エレベーター協会(2015), Elevator Journal No.7 2015 10

[2]大竹・岸本(2017), 鉄道駅におけるエスカレーター上の歩行行動に関する研究,

公益社団法人日本都市計画学会 都市計画論文集 vol.52 No.3

[3]東京消防庁指導広報部生活安全課(2005), (エスカレーターに係る事故防止対策

検討委員会報告書) エスカレーターに係る事故防止対策について

[4]斗鬼 (2015) , エスカレーター片側空けという異文化と日本人のアイデンティティ,

江戸川大学紀要