

物理学B-2 レポート

「エスカレーターの効率的な乗り方」

1. 目的

私たちは生活の中でエスカレーターをよく利用する。そして、その使い方についての言葉をよく耳にする。例えば、「急ぐ人の為に一列空けておくと良い」、「危険防止のため、そして多くの人に乗れるように二列で利用し、歩かない方が良い」などである。しかし今回、実際はどのように利用するのが一番良いのだろうか、という疑問を感じたので、簡単な観察実験を通して考察してみることにした。この実験では、限られた時間でより多くの人々が効率的に利用できる方法について考えることを大きな目的とする。

2. 原理

A エスカレーター利用の定量化

今回の実験ではエスカレーターの効率的な利用方法について、定量的に議論を進めていく。この議論を進めやすくするためにいくつかの用語や量について自分なりに定義をする。

- ・境界線 このレポートでは、特に断らない限りエスカレーターの各段の境目を指す。(図1)
- ・端線 エスカレーターの最初と最後の線を指す。
- ・段数 エスカレーターを階段に見立てて、いくつ段があるのか、という値。普通の階段とは違い、端線から段が出かかっている場合もあるので、値が整数値にならないこともあると考える。
- ・速度 今回は、(段/秒)という単位を用いる。端線から出る境界線の速度から算出する。詳しくは実験方法の項で記述する。
- ・静止列と歩行列 今回観察するエスカレーターは2列で利用するが。静止列は人が立った状態でエスカレーターを利用している側の列、歩行列は人が歩いて利用する側の列を指す。

B 歩行列の渋滞

今回観察する歩行列のように、人の流れを考える際には、セルオートマトンモデルという数式モデルが用いられる。これは車の渋滞などを考える際にも用いられるモデルで、人や車が前に進もうとする際に前の人や車に遮られて減速する、という動きを数式化する事が出来る。今回の実験では、歩行列において列が詰まっている様子が観察された場合、このモデルも参考にして議論していく。



図1 エスカレーターと各部の名称

3. 実験方法

A 実験道具と実験場所・時間

今回の実験は、以下の二つのものを使用した。

- ・スマートフォン（タイマーとして）

0.01秒刻みで時間を測定することが出来る。また、ラップ測定にも対応している。

- ・カウンター

ボードウォッチングなどに利用するもの。0から9999までカウントすることが出来る。

また、実験は以下の場所・日時で行った。

日時：2019年1月7日（月） 17:00～18:00

2019年1月8日（火） 18:30頃

場所：地下鉄仙台駅東西線プラットフォーム中央三連エスカレーター（図2）

B エスカレーターの観察実験

今回は静止列と歩行列の様子を調べるため、7日に1時間の間観察実験を行った。まず、エスカレーター近くの邪魔にならない場所に立った。そして前実験として、まずエスカレーターに乗り、歩かないで上まで登りきるまでの時間をタイマーで計った。具体的には、自分の足がエスカレーターに着いたときにタイマーを押し、上側の端線を超えて着地したときにタイマーを止めた。これは利用するお客様の迷惑にならないようにするため、空いている時間に2回だけ行った。また、同じく空いている時間帯に、エスカレーターの下側の端線に注目し、境界線が10回現れるまでの時間を、ラップ機能を用いて10回連続で計った。つまり、エスカレーターの段が新たに10段現れる時間を10回連続で計った。

その後本実験として以下の実験を行った。八木山方面から地下鉄が到着するのを待ち、降りてきたお客様がエスカレーターを利用する様子を観察した。具体的には、最初のお客様が乗り始め、最後の人が乗るまでの時間を計った。タイマーの停止は、地下鉄から降りてきたと思われる人の集団が途切れたところで止めた。その間、静止列を利用した人の人数をカウンターで数えた。また、同時に歩行列を歩き始めた人を確認したときにはタイマーのラップ機能を用いて、人数とその間隔を記録した。今回観察した一時間には、図3のダイヤのように6分間隔で10本の地下鉄が到着したため、この実験を10回繰り返して7日の実験は終了した。

8日には、7日に計り忘れてしまった、「エスカレーターを歩いて上るのににかかった時間」を測定した。これも7日同様、混雑と危険防止のため空いている時間に行った。まずエスカレーターに乗り、そのまま自分が感じる自然な速度でエスカレーターを歩き続けた。そして前日の実験同様、上まで上がりきるまでの時間を計測した。これも2回のみ行った。今回の実験は以上のようにして行った。



図2 実験場所

16	01	08	16	23	31	38	44	50	56	
17	02	08	14	20	26	32	38	44	50	56
18	02	08	14	20	26	32	38	44	50	56

図3 地下鉄のダイヤ

4. 結果

まず、エスカレーターを止まって、または歩いて利用したときの所要時間をまとめる。これは表1にまとめた。また、エスカレーターの速度についてまとめたものが表2である。さらに、表3には地下鉄利用者の人数と所要時間、そして歩行者の間隔についてまとめている。

また、観察した結果、歩行列が詰まっている様子は認めなかった。このことを踏まえ、また考察の煩雑化を防ぐため、今回はセルオートマトンモデルは用いないものとする。

表1 エスカレーターの利用の仕方と所要時間（単位はすべて秒）

利用方法	静止	歩行
1回目	59.47	24.21
2回目	59.31	24.06
平均	59.39	24.135

表2 エスカレーターの速度（単位は速度のみ段/秒、他はすべて秒）

ラップ1	8.05
ラップ2	8.22
ラップ3	8.13
ラップ4	8.23
ラップ5	8.11
ラップ6	8.23
ラップ7	8.16
ラップ8	8.14
ラップ9	8.17
ラップ10	8.17
平均	8.161
速度	1.23

表3 エスカレーター利用の様子

地下鉄（本目）	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
静止列利用者（人）	18	16	20	15	17	24	27	27	30	29
歩行列利用者（人）	3	0	3	5	5	6	6	7	9	5
所用時間（秒）	31.11	28.10	38.45	29.00	28.55	38.13	49.89	42.77	53.87	45.08

(表3 続き)

各歩行者の間隔 (秒)	4.79		11.65	0.45	0.67	2.16	0.4#	2.56	1.06	6.78
	2.39		0.95	1.45	2.14	1.31	3.43	11.76	1.25	1.57
				1.29	5.25	5.85	8.16	1.01	1.08	0.79
				4.71	0.65	1.32	5.23	1.75	4.75	16.8
						2.15	10.43	0.83	0.78	
								2.37	5.34	
									2.57	
									1.65	

※#のついた0.4秒はボタン押し忘れのため不正確であり、真の値の範囲は0.40～17.07秒。

大変幅が大きいので、今回は人数のデータとしては考慮に入れるものの、間隔のデータとしては用いない。

5. 考察

まず、エスカレーターの段数を考える。今回の実験では、静止して利用したときの所要時間を速度で割ることによって段数を求める。その値は、 $59.39 \div 1.23 = 48.28\dots = 48.3$ 段である。

続いて、利用率について考える。今回は「歩行列利用者数÷静止列利用者数」で求める。これはつまり、歩行列も静止列と同じように使われていた場合と比較して、どれくらいの効率で使われているかを示す値である。これを求めたものが表4である。

表4 歩行列の利用率

地下鉄 (本目)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
利用率 (%)	16.7	0.00	15.0	33.3	29.4	25.0	22.2	25.9	30.0	17.2

また、これらの利用率の平均値は21.5%であった。これはつまり、 $100 \div 21.5 = 4.65\dots$ より、仮にエスカレーターでの歩行をやめ、二列で並んで止まって利用すると、片側の列を約4.65倍効率よく使えるということである。また、エスカレーター全体としての効率を求める。これを輸送効率と呼び、「歩行列を静止列にし、元々の静止列と同じ人数が利用したと仮定したとき、何倍の人が利用できるか、という値」と定義する。これを求めたのが表5である。

表5 エスカレーター輸送効率

地下鉄 (本目)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
輸送効率 (倍)	1.71	2.00	1.74	1.50	1.55	1.60	1.64	1.59	1.54	1.71

この表から、歩行列を静止列にすることで、1.5～2倍の効率で人が利用できるようになる、ということが分かる。また、平均値は1.66倍であった。このことから、まず一点目の結論として、エスカレーターは歩かずに利用した方がよい、という考察が導き出される。

次に、歩行列における歩行者の間隔について分析する。今回求めた、歩行者同士の間隔のデータは40個である。そのうち、不確かなデータ1つを除いた39個のデータの平均値は、有効数字3桁で3.62秒である。また、自分の歩行速度を利用して、歩くことで秒速何段分上昇できるかを計算する。これは、何段上るか、ということではない。歩行している人がどのくらい上昇しているか、ということが歩行者同士の距離になるからである。この値は、 $48.3 \div 24.135 = 2.001\dots$ より、歩行することで1秒につき2.00段分上昇できる、ということである。以上のことから、歩行者同士の平均距離は、 $3.62 \times 2.00 = 7.24$ より、7.24段である。7段分あれば前の人が邪魔で詰まったり、衝突したりすることはないと思われる。このことから、エスカレーターを歩いてぶつかる危険性はあまりない、ということが分かる。これは、歩行列が比較的空いていることから分かる。また、補足として、歩行者間の距離が2段以下になる確率を求める。2段以下であれば、二人の間に誰も立っていない1段が存在しないため、詰まってしまう可能性が出てくる、と考えたからである。今回のデータでは、間隔が1秒以下であれば距離が2段以下になる。このようなデータは39個中7個ある。よってその確率は、 $7 \div 39 \times 100 = 17.94\dots$ より、17.9%である。これは、そこまで低くない数値であり、衝突しにくい、という上の考察に矛盾するように思われる。しかし、「歩行列は空いているときと混んでいるときの差が大きい」と考えれば、矛盾しない。このことから、歩行列は比較的空いているが、詰まる可能性も低くない、ということが考えられる。

次に、静止列と同じ効率で歩行するための条件を考える。仮に、歩行列に一定の間隔で人が乗るとして、その時間間隔を求める。各地下鉄の所要時間を、静止列使用者数から1を引いた数で割ると、その間隔が求められる。その平均値を求めると、約1.83秒である。つまり、約1.8秒間隔で人が利用して初めて、静止列と同じ人数の人が利用できる、ということである。

最後に、歩くことの意義について考える。今回は、歩行することで短縮された時間を段数で割る。この値は、 $(59.39 - 24.135) \div 48.3 = 0.7299\dots$ より、およそ0.730秒/段である。これはつまり、歩くと1段につき0.73秒の時短になる、ということである。

以上の考察から、歩いての利用は利用効率を下げ、前後の人と間隔が狭くなることも少なくないが、時短効果は100段分のエスカレーターで73秒分、ということが今回の結論として導かれる。

6. 結論

今回は様々な実験値から、エスカレーターの効率的な利用法について考察した。以下に実験全体の結論を簡単にまとめる。

- ・エスカレーターでの歩行を止めれば、約1.66倍の人が利用できる。
- ・歩いて利用すると平均すると詰まらないが、約17.9%の確率で前後の人との間隔が狭い状態になる。
- ・歩行列に約1.83秒間隔で人が乗って初めて静止列と同じ人数が利用できるようになる。
- ・歩くことの時短効果はエスカレーターの長さ1段分につきおよそ0.73秒である。

今回の実験では、人を目視で数えたり、時間測定が少なかつたりしたため、多少の誤差が発生している可能性はある。しかし、歩行列の人数はほぼ正確に数えるようにし、測定時間の誤差も少なかつたため、結論の方針が大きく変わることはないように思う。このように、比較的多くの人の動きを追う実験の難しさは十分感じたが、その中でも一定の成果は上がったのではないかと思う。結果については、歩かない方が多くの人利用できる、という結論はある程度予想の範囲内であったが、時短効果について少し意外なものであった。

個人的には、100段のエスカレーターでも1分13秒分の時短であれば、特に歩かなくとも決定的な差には

ならない、というように感じた。これらの結論を踏まえて、今後はエスカレーターを歩かずに利用していきたいと思った。

最後に、この実験に対して寛大な措置を講じて下さった仙台駅の職員の方には感謝の意を表したいと思う。

7. 参考と出典

- ・「フリーフォトボックス」(<http://photo.nukimi.com/photodata/road/escalator1.html>)