

停止エスカレーター避難の群集流動特性に関する実験的研究

辻本研究室

4105048 園部 直樹

1. 研究背景と目的

地下鉄火災において、プラットホームから地上への避難経路は階段が基本であるが、近年、より深層化する地下鉄駅には移動手段としてエスカレーターが多数設置され、エスカレーターが避難経路として使用される可能性が高い。更に、非常時にエスカレーターは停止する可能性があり、停止したエスカレーターは歩みにくいとされているにも関わらず、避難経路としてのエスカレーターの使用は想定されていない。

そこで本研究では停止エスカレーターの群集歩行実験を行い、設定した実験条件が避難時間に与える影響を明らかにすることを目的とした。

2. 実験方法

2-1 実験の流れ

実験は2008年4月、場所は日立ビルソリューションラボのエスカレーター(全長8.2m、揚程3.0m、幅1.1m)で行った。

被験者の属性は男性23人、女性11人の計34人(平均年齢21.6歳)であった。

また、本研究の対象とするプロセスは、火煙の影響の無い火災初期で、エスカレーター乗り口付近に群集が集結した状態から避難を開始する状況とした。

被験者は指定されたスタート位置に並び、合図と共に停止エスカレーターを1Fから2Fまで上がり、そのまま階段で1Fに降りて休憩しながらアンケートに答えた。所要時間は各実験休憩を含め約5分であった。

2-2 実験条件

実験は、21種類の実験条件で繰り返しを含めて計31回行った。設定した実験条件を表1に示す。また、実験条件の各因子を以下のようにした。

①スタート位置：「2m」、「15m」

ある程度の助走距離を歩行した後に停止エスカレーターに差し掛かれば、平地の歩調が停止エスカレーターの歩行の際の違和感となり避難時間に影響するのではないかという仮定のもと、「15m」を設定し、助走距離の違いによる影響を検証した。

②整流ガイド：「なし」、「1型」、「2型」(図1,2)

柵型、ポール型の2種類の整流ガイドが避難時間に与える効果を検証した。

③ステップの状態：「P0」、「P1」、「P2」(図3~5)

エスカレーターは停止するタイミングによってステップの踏面と蹴上げの割合が変化する。そこでステップの状態によって避難時間に影響があるかを検証するために、1段目のステップの踏面を410mm、205mm、100mmとした「P0」、「P1」、「P2」(図3~5)という条件を設定した。

④荷物の有無：「有」、「無」

実際の避難状況に近いと考えられる状況を検証するため、荷物を持った状態で実験を行った。

⑤実験回数：「1回」、「2回」

実験の再現性を確認するため、主な実験条件では実験を2回行った。

⑥実験試行の順番：「1~51」

順序効果¹を考慮に入れて、各実験条件がランダムになるように配慮した。また、被験者が停止したエスカレーターを歩行することに慣れてしまう影響をできるだけ少なくするために、停止エスカレーターの歩行実験を2回行えば、運転エスカレーターを1回歩行することとした。欠番は運転エスカレーターの歩行実験とした。

表1 実験条件

実験条件	スタート位置	整流ガイド	ステップの状態	荷物の有無	実験回数	実験試行の順番		
1	2m	なし	P0	無	2回	1, 42		
2			P1			15, 31		
3			P2		1回	28		
4			1型		P1	2回	22, 38	
5					P2	1回	13	
6			2型		なし	P0	2回	19, 33
7						P1	1回	6
8						P2	2回	8
9	P0	2回		3, 24				
10	15m	なし	P0	有	1回	47		
11			P1		2回	5, 39		
12			P1	有	1回	51		
13			P2		9			
14			1型	なし	P0	2回	18, 34	
15					P0	有	1回	45
16					P1		2回	16, 36
17					P1	有	1回	49
18			P2	27				
19			2型	なし	なし	2回	25, 43	
20							P1	21, 30
21							P2	1回



図1 整流ガイド1型

図2 整流ガイド2型

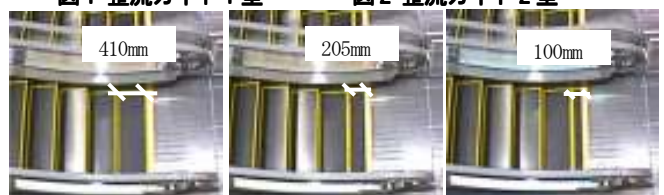


図3 ステップ:P0

図4 ステップ:P1

図5 ステップ:P2

3. 測定方法

被験者がエスカレーターを歩行する様子を複数のビデオで録画し、そのビデオ映像上でエスカレーターのハンドレールの先端、末端にそれぞれ測定ラインを設定し、被験者が各測定ラインを通過する時刻を記録した。その際再生速度を 1/2 にし、被験者の頭頂が測定ラインを通過した時刻を目視により計測した。

以上のように設定した測定ラインにおいて、群集が通過し始めてから通過し終わるまでの時間を「完了時間」と定義し、各実験条件で完了時間を測定した。その結果を表 2 に示した。

4. 分析方法と分析結果

表 2 における実験条件ごとの完了時間の差を見ることで実験条件の効果を見ようとしたが、実際には実験条件ごとの差の他に、「同じ実験条件では 1 回目と 2 回目とで同じ結果を得る」という仮定のもとに実験を 2 回行った実験条件に関して、1 回目と 2 回目とで明らかに異なる結果が複数見られた。

そこで、同一実験条件内での変動を「実験誤差」とし、実験条件ごとの変動を「実験条件の効果」として、各完了時間の変動が実験条件による必然的な効果であったのか、または実験誤差による偶然であったのかどうかを検定する「分散分析」を行うこととした。

分散分析とは、実験結果の総変動を「実験条件による変動」と「実験誤差による変動」とに分け、「実験条件による不偏分散」と「実験誤差による不偏分散」を算出し比較することで、実験条件による有意差があるのかどうかを検証するものである。

以下、実際にそれぞれの不偏分散を求めた。

・「実験誤差の不偏分散」

まず各実験条件で、実験条件ごとの平均値と、1 回目と 2 回目それぞれの値との差を 2 乗して実験誤差による偏差の平方値を求める(表 3 における実験条件 1 の 1 回目では、 $(32.0 - 29.9)^2 = 4.41$)。これらを全て合計し偏差の平方値の総和を求めた(表 3 における 29.48)。次にこれを標本数によって定まる自由度 10 で除して「実験誤差による不偏分散」とした($29.48/10=2.948$)。

・「実験条件による不偏分散」

まず各実験条件で、実験条件ごとの平均値と、全体平均との差を 2 乗して、実験条件による偏差の平方値を求める(表 4 における実験条件 1 では、 $(32.0 - 34.1)^2 = 4.41$)。これを各実験条件でそれぞれの標本数の分だけ対応させて、それら全てを合計し偏差の平方値の総和を求めた(表 4 における 33.08)。次にこれを標本数によって定まる自由度 20 で除して「実験条件による不偏分散」とした($33.08/20=1.654$)。

表 2 各実験条件の完了時間

実験条件	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
1回目	29.9	34.7	34.5	34.7	33.3	34.1	33.5	34.6	31.8	35.1	36.2	35.0	33.7	34.2	36.9	34.6	35.6	32.9	35.2	37.6	33.6	
2回目	34.1	34.6	—	32.8	—	33.9	—	—	33.9	—	34.0	—	—	33.2	—	33.2	—	—	34.0	32.7	—	全体平均
平均	32.0	34.7	34.5	33.8	33.3	34.0	33.5	34.6	32.9	35.1	35.1	35.0	33.7	33.7	36.9	33.9	35.6	32.9	34.6	35.2	33.6	34.1

表 3 実験誤差による偏差平方和と実験誤差による不偏分散

実験条件	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
1回目	4.41	0.00	—	0.90	—	0.01	—	—	1.10	—	1.21	—	—	0.25	—	0.49	—	—	0.36	6.00	—	
2回目	4.41	0.00	—	0.90	—	0.01	—	—	1.10	—	1.21	—	—	0.25	—	0.49	—	—	0.36	6.00	—	総和
偏差平方和	8.82	0.01	—	1.81	—	0.02	—	—	2.21	—	2.42	—	—	0.50	—	0.98	—	—	0.72	12.01	—	29.48

表 4 実験条件による偏差平方和と実験条件による不偏分散

実験条件	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
1回目	4.41	0.30	0.16	0.12	0.64	0.01	0.36	0.25	1.56	1.00	1.00	0.81	0.16	0.16	7.84	0.04	2.25	1.44	0.25	1.10	0.25	
2回目	4.41	0.30	—	0.12	—	0.01	—	—	1.56	—	1.00	—	—	0.16	—	0.04	—	—	0.25	1.10	—	総和
偏差平方和	8.82	0.60	0.16	0.25	0.64	0.02	0.36	0.25	3.13	1.00	2.00	0.81	0.16	0.32	7.84	0.08	2.25	1.44	0.50	2.20	0.25	33.08

実験条件の不偏分散= 1.654

次に 2 つの不偏分散を比較すると、「実験条件による不偏分散」よりも「誤差による不偏分散」の方が大きいという結果となった。このことから、「各完了時間のばらつきは、実験条件の効果であるとは言えず、実験誤差であった」という判断となった。

5. 考察

設定した実験条件には 2-2 で述べたような効果をそれぞれ予想したにも関わらず、停止エスカレーターの群集歩行に与える影響はいずれの条件に関しても確認できなかった。

しかし、表 3,4 における実験条件ごとの偏差平方和をみると、特筆すべき変動が見られる条件がいくつかあった。以下、それらに着目し考察した。

まず実験条件 1 について、実験試行の順番に着目すると、実験条件 1 は、実験試行が 1 番目と 42 番目であり、1 回目の完了時間の値が際立って早かった。また、実験試行が 3 番目と 24 番目である実験条件 9 でも同様の結果が見られた。以上のように実験条件 1 と 9 では、実験試行の 1 回目が極端に早い結果となったために 2 回目との差が大きくなり、実験誤差が大きくなった。このことから、実験試行の順番が最初の方であったことによって結果が早く出たという可能性が考えられる。

また、実験条件 1 と 9 はいずれも「ガイドなしでステップが P0」という実験条件でもあったため、それによる効果で避難時間が早くなった可能性も考えられる。

次に実験条件 20 について、これは 1 回目の実験時に群集の最後尾の被験者が群集から外れるような遅い歩行を行ったことによるものであった。このことは 1~33 人目の結果で再び同様の分析を行ったところ平方和に差がなかったということから明らかにした。

最後に実験条件 15, 17 について、これらの条件もいずれも変動の平方和が高い結果となった。これらの実験条件はいずれも「1 型のガイドを設置した状態かつ荷物あり」という条件であり、このことから 1 型ガイドに従って整列すると荷物の効果が顕著に現れ、避難時間が遅くなる可能性があると考えられる。

6. 今後の課題

本研究は各実験条件と完了時間の関係を分散分析によって検定したものであり、被験者ひとりひとりの動きに着目した分析や、アンケート調査と各実験条件の相関に関する分析を行っていない。それらを分析することで、実験条件による新たな効果が見られる可能性が考えられる。

¹心理学用語で、複数の刺激を評価する際に後の刺激を過大もしくは過小に評価する傾向のこと