

上りエスカレーターでの渋滞現象のモデル化とシミュレーションによる再現

| | | | |
|-----|--------|-----|-------|
| 正会員 | ○*木下芳郎 | 会員外 | **島村誠 |
| 会員外 | **三須弥生 | 会員外 | *山田武志 |

| | | |
|---------|------|----------|
| エスカレーター | 渋滞 | シミュレーション |
| 群集流動 | 行動特性 | |

1 目的

近年、駅等でのエスカレーター設置数が増加し、その利用形態の把握¹⁾や混雑の緩和策²⁾、緊急時における避難利用の可能性³⁾が検討されている。エスカレーターでの歩行は安全上好ましくないが、関東地域において1200型のエスカレーターは左側では停止し、右側では歩行しながら進む利用形態が慣習となっている。ただし、鉄道駅では朝の混雑時に右側でも歩行が停止する渋滞現象が見られる。本研究はエスカレーター周辺における混雑時の群集シミュレーションの再現精度を向上させるために、平常時の上りエスカレーターにおける渋滞現象の発生過程を検討し、シミュレーションに組み込むことで渋滞を再現可能とすることを目的とする。また、エスカレーターでは歩行する利用者を減少させることが安全上必要であることから、渋滞を誘導する方法についても考察する。

2 渋滞現象の観察結果

エスカレーターの利用状況を撮影した映像から、利用者の流量や密度を計測し、表1に示すエスカレーター右側列利用者の観察結果を得た。降り口付近での減速が渋滞発生のかきかけとなっていることが予想される。

表1 上りエスカレーター右側列利用状況の観察結果

- 1) 渋滞時の利用者前後の間隔はほぼ2ステップ
- 2) 歩行者が自由に歩行する場合の水平移動速度は平均約75[m/min.] (1秒あたり3.75ステップ)、エスカレーター自体の移動速度は約26[m/min.] (1秒あたり1.25ステップ)
- 3) 降り口付近でステップの蹴上げが変化するため歩行していた利用者が停止し、移動速度が減速する場合が見られる
- 4) エスカレーター内が混雑すると降り口付近で渋滞が生じ、その長さが伸び全体の渋滞に至る
- 5) 自由に歩行する場合の利用者流量は平均0.9[人/s]
- 6) 渋滞時の利用者流量は0.6[人/s]

*観察対象：2000年12月15日(金)赤羽駅埼京線(7,8番線)ホーム池袋寄り上りエスカレーターの7時40分~8時00分についてホーム上屋に設置したカメラからエスカレーターを撮影した。

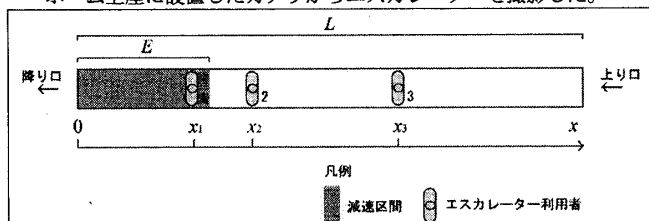


図1 エスカレーターの模式図

3 渋滞現象の発生過程の検討

(1) エスカレーターと利用行動の設定

降り口付近の減速区間を組み込んだモデルによって、渋滞現象の発生に関する検討を行う。上りエスカレーター右列を対象として、図1のようにエスカレーターを単純化して表現する。利用者は0からLの任意の場所に位置できるとする。ここでは単位長さをステップの踏面長さ[単位:step]とする。エスカレーター利用行動を単純化し、可能であれば全員が3.75[step/s]で移動し、減速区間では1.25[step/s]で移動することとする。

利用者に1, 2, 3と番号を付け、その位置を x_1, x_2, x_3 とするとき、時刻 t から1秒後の歩行者 j の位置について以下のように定め、エスカレーターの利用行動とする。

- ・減速区間の場合：全員が歩行停止

$$x_j(t+1) = x_j(t) + 1.25 \quad (1)$$

- ・減速区間以外の場合：前方利用者との間隔が2ステップ以下にならない範囲で歩行

$$x_1(t+1) = x_1(t) + 3.75 \quad (2)$$

$$x_j(t+1) = x_j(t) + \min\{3.75, x_{j-1}(t) - x_j(t) - 1\} \quad j > 1 \quad (3)$$

(2) 利用者流量と密度の関係

減速区間長 E によるエスカレーター上の密度と流量の関係の変化について検討する。初期状態としてエスカレーター上に等間隔に利用者を配置し、同じ間隔で利用者を上り口に到着させることとする。減速区間長 E によって、初期状態、到着頻度として設定する利用者間隔とエスカレーターの利用者流量の関係がどのように変化するかを検討したところ、以下のような結果が得られた。c)、d)について間隔と流量、速度のグラフを図2に示す。グラフでは利用者の間隔の逆数を横軸にとっている。

a) $E=0$ (減速区間がない場合)

設定間隔4[step]で最大の流量となり、さらに間隔を小さくすると流量は低下する。

b) $E=L$ (全区間が減速区間の場合)

利用者全員が1.25[step/s]で移動することから、間隔 d のとき流量は $1.25/d$ となる。

c) $2 \leq E < L$ の場合

減速区間での最大流量は0.625[人/s]なので、これ以上の流量で減速区間に利用者が到着する場合には渋滞が生じる。ただし間隔が6ステップ以上の場合、減速区間に入った

利用者と次の利用者との間隔が2ステップ以上となり渋滞は生じない。

d) $E < 2$ の場合

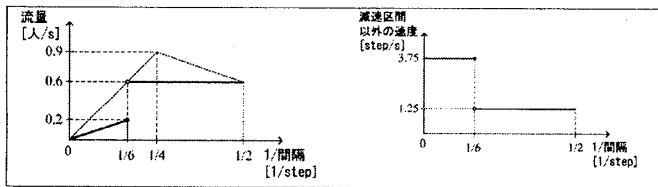
エスカレーターの降り口より2ステップ手前の位置から降り口までに要する時間を T とすると

$$T = E/1.25 + (2-E)/3.75 \quad (5)$$

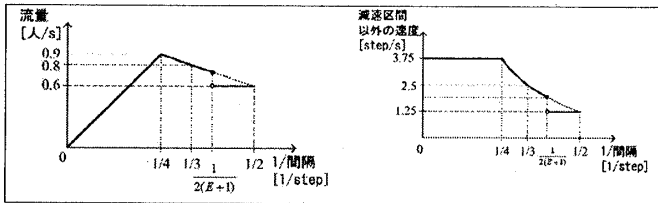
である。利用者が降り口に達した時、3.75[step/s]で移動する後方の利用者との間隔が2ステップより小さくなる場合に減速区間で減速が生じ、渋滞のきっかけとなる。その間隔を M とおくと

$$\begin{aligned} M &= 3.75T \\ &= 2(E+1) \end{aligned} \quad (6)$$

である。上記の検討結果から、減速区間の長さ、渋滞が生じる最も長い間隔の関係を図3に示す。減速区間が長くなると渋滞が生じる利用者間隔は長くなるが、2以上としても間隔が6ステップ以上では渋滞が生じない。



c) $2 \leq E < L$ の場合



d) $E < 2$ の場合

図2 利用者間隔と流量、速度の関係

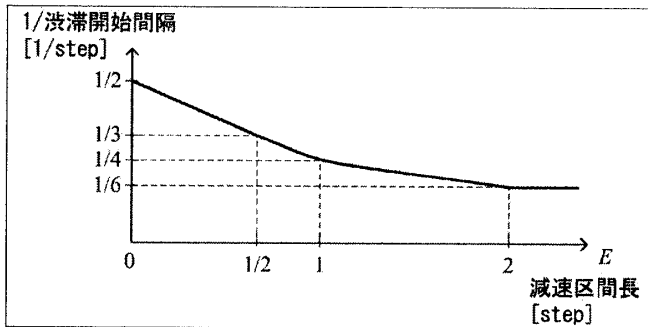


図3 減速区間長と渋滞開始間隔

4 シミュレーションによる渋滞現象の再現

検討したモデルを組み込んだシミュレーションを作成し、渋滞現象の表現を確認した。設定条件を表2に示す。実際の利用者間隔にはばらつきがあり、等間隔としたモデルとの厳密な比較はできないが、最大流量が約1.7[人/s]である

ことから2ステップ以下であり、渋滞が生じ始める際の間隔がおおむね3であったことから $E=0.5$ とした。

表2 シミュレーションモデルの設定

| エスカレーター | |
|-----------|--|
| 幅 | 1.2m |
| 角度 | 30度 |
| 踏面長さ | 35cm |
| 沿面移動速度 | 30m/min. |
| 利用者 | |
| 利用行動 | 前方2ステップあいていれば歩いてエスカレーターを上る。降り口では停止してエスカレーターを降りる。 |
| 歩行速度 | |
| エスカレーター内 | 0.4秒毎に1ステップ |
| エスカレーター前後 | 全員歩行速度 1.0m/s |
| 左右の通行割合 | 全員右側を通行する |
| 上り口到着頻度 | 75人/分 |

歩行時平均流量は0.8[人/s]、渋滞時の流量は0.6[人/s]で観察結果とほぼ等しい値となった。渋滞の生じる過程を図4に示す。観察結果と同様、降り口部分で渋滞が生じ、それが広がることで全体的な渋滞が生じる様子を確認できた。

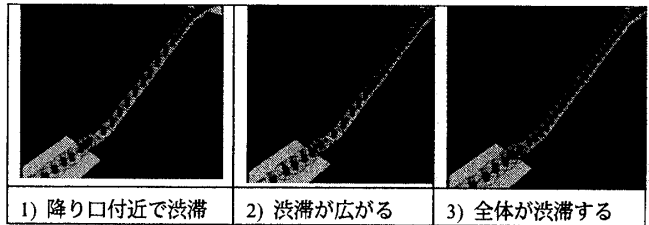


図4 シミュレーションによる渋滞発生過程

5 渋滞誘導方法についての考察

渋滞現象を降り口部分の減速によって説明することができた。図3より、安全性が損なわれないかたちで降り口部分の減速区間を2ステップまで延長させることで、エスカレーター上の歩行行動の減少が可能であると考えられる。

6 まとめ

降り口部分の減速行動を考慮した上りエスカレーター利用者の行動をモデル化し、混雑時に渋滞が生じる過程について検討した。これを組み込んだシミュレーションモデルにより渋滞現象が再現できた。

本研究を進めるにあたり、エスカレーター利用状況の映像を財団法人鉄道総合技術研究所構造物技術研究部より提供いただきました。また本研究は東日本旅客鉄道株式会社防災研究所の「駅構内の災害時旅客避難に関するシミュレーションモデルの検討」の一部として行われました。

[参考文献]

- 1) 中村彩子、佐野友紀、青木俊幸、石突光隆：鉄道駅のエスカレーター、階段に見られる群衆行動の分析、日本建築学会学術講演梗概集 E-1, pp.953-954, 2007 など
- 2) 佐藤敏彦、青木俊幸、山本昌和、佐藤隆：鉄道駅における昇降設備の選択行動に関する調査：情報提供及び位置変更による旅客流動の変化、日本建築学会学術講演梗概集 E-1, pp.897-898, 2006
- 3) 岡田尚子、長谷見雄二、森山修治、武盛功太、蛇石貴宏、鷹韻琴：エスカレーターを用いた避難行動特性に関する実験研究、2007年度日本建築学会関東支部研究報告集-11, pp345-348, 2008

* ベクトル総研

**東日本旅客鉄道 JR 東日本研究開発センター 防災研究所

*Vector Research Institute, Inc.

**East Japan Railway Company Research & Development Center of JR East Group Disaster Prevention Research Laboratory