

駅ホームにおける階段、エスカレータの旅客処理能力算定式

-鉄道駅旅客の階段、エスカレータ流動調査と旅客処理能力算定式の作成 その2-

正会員 ○*木下 芳郎 同 **尾住 秀樹 同 **坂本 圭司
同 ***石間 計夫

駅 ホーム 階段
エスカレータ 群集流動 算定式

1 目的

本報では、その 1 で得られた階段、エスカレータ (ESC) の流率や選択行動などのデータから、階段、ESC が併設された場合の旅客処理能力をモデル化し、滞留解消時間や滞留人数などを算定することで改修や計画時に役立つための算定式を作成する。

2 算定式の構成

作成する算定式の入力データと出力データ、算定の過程を図 1 に示す。本研究で作成する算定式は、階段、ESC 選択行動モデルと単体算定式を組み合わせることで、階段と ESC が併置された場合の旅客処理能力を算定し、ダイヤ単位で滞留解消時間や滞留人数の時間変動などを出力する。作成した算定式では、階段や ESC の滞留人数と時間によって選択行動が変化するため、電車到着直後の滞留が少ない状況では ESC が選択されやすいが、次第に階段が選択されやすくなるといった現象が表現できる。

3 階段、ESC の単体算定式

階段、ESC 右列、左列それぞれの処理能力を算定する単体算定式を作成する。電車扉が開いた時点をもととして時刻を定め、対象階段 (ESC) への滞留到着人数の累積値を $F(t)$ 、入口通過人数の累積値を $G(t)$ 、コンコース到着人数を

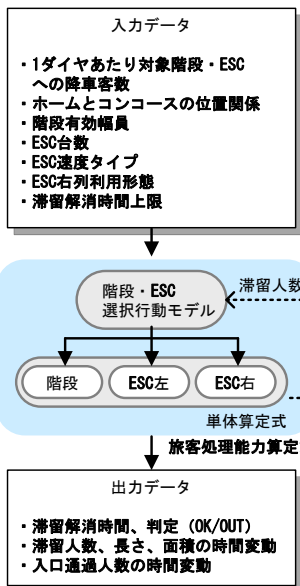


図 1 算定式の構成

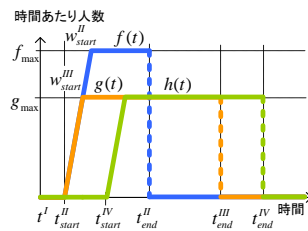


図 2 時間あたり人数のモデル

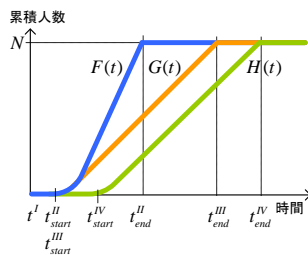


図 3 累積人数のモデル

$H(t)$ 、それぞれの微分を $f(t)$, $g(t)$, $h(t)$ とする。このとき、滞留人数の変動は $F(t)-G(t)$ 、滞留解消時間は $F(t)-G(t)$ が 0 になるまでの時間、階段 (ESC) 内人数の変動は $G(t)-H(t)$ と表現される。このことから、滞留人数、滞留解消時間などを算出するには $f(t)$, $g(t)$, $h(t)$ を定めればよい。本研究では $f(t)$, $g(t)$, $h(t)$ を図 2 のようにモデル化した。階段 (ESC) 入口到着までの立上りを直線で表現するので、 $F(t)$, $G(t)$, $H(t)$ は 2 次曲線と直線の組合せによって図 3 のようになる。基本となる $f(t)$, $g(t)$, $h(t)$ は表 1 に示す記号を用いて図 4 のように表現し、 $F(t)$, $G(t)$, $H(t)$ を求め、単体算定式を作成した。

4 階段・ESC 選択行動

モデル

混雑時において、旅客はなるべく早く移動したい一方、なるべく負荷を少なくしたいと考えて移動すると考え、図 5 に示すように階段と ESC の選択行動モデルを作成した。その際、移動時間と負担の重視度は、電

表 1 記号の表記

| | |
|----------------------------------|----------------|
| t^I | ホーム到着時刻 |
| $t_{start}^{II}, t_{end}^{II}$ | 滞留到着開始、終了時刻 |
| $t_{start}^{III}, t_{end}^{III}$ | 入口通過開始、終了時刻 |
| $t_{start}^{IV}, t_{end}^{IV}$ | コンコース到着開始、終了時刻 |
| N | 対象階段、ESC の降車客数 |
| w_{start}^{II} | 滞留到着人数の立上り時間 |
| w_{start}^{III} | 入口通過人数の立上り時間 |
| f_{max} | 時間あたり滞留到着人数の最大 |
| g_{max} | 最大安定処理状態の流率 |
| w^{IV} | 入口～コンコース移動所要時間 |

$$f(t) = \begin{cases} 0 & \dots \dots t < t_{start}^{II} \\ \frac{f_{max}}{w_{start}^{II}}(t - t_{start}^{II}) & \dots \dots t_{start}^{II} \leq t < t_{start}^{II} + w_{start}^{II} \\ f_{max} & \dots \dots t_{start}^{II} + w_{start}^{II} \leq t < t_{end}^{II} \\ 0 & \dots \dots t_{end}^{II} \leq t \end{cases}$$

$$g(t) = \begin{cases} 0 & \dots \dots t < t_{start}^{III} \\ \frac{f_{max}}{w_{start}^{III}}(t - t_{start}^{III}) & \dots \dots t_{start}^{III} \leq t < t_{start}^{III} + \frac{g_{max}}{f_{max}} w_{start}^{III} \\ g_{max} & \dots \dots t_{start}^{III} + \frac{g_{max}}{f_{max}} w_{start}^{III} \leq t < t_{end}^{III} \\ 0 & \dots \dots t_{end}^{III} \leq t \end{cases}$$

$$h(t) = \begin{cases} 0 & \dots \dots t < t_{start}^{IV} + w^{IV} \\ \frac{f_{max}}{w_{start}^{IV}} \left\{ t - (t_{start}^{IV} + w^{IV}) \right\} & \dots \dots t_{start}^{IV} + w^{IV} \leq t < t_{start}^{IV} + \frac{g_{max}}{f_{max}} w_{start}^{IV} + w^{IV} \\ g_{max} & \dots \dots t_{start}^{IV} + \frac{g_{max}}{f_{max}} w_{start}^{IV} + w^{IV} \leq t < t_{end}^{IV} + w^{IV} \\ 0 & \dots \dots t_{end}^{IV} + w^{IV} \leq t \end{cases}$$

図 4 時間あたり人数のモデル式

車到着からの時間により変化すると考え、時間の関数として定式化した。

移動時間と負担の重視度などのパラメータについては、計測値とモデル式による選択比の誤差が最小となるように求めた。調査から得られた値や算定式で用いる設定値をまとめて表2に示す。

作成した算定式を用いて求めた入口通過人数の変動について、実測値と算定値を比較した例を図6に示す。算定値はやや安全側に評価する傾向にあるため若干の違いはみられるが、階段、エスカ右列、エスカ左列の通過人数の変動は同様の傾向を示していることが分かる。

4 算定式の流率設定値に関する検討

算定式で滞留解消時間などを求める際には安全側に評価する必要があるため、流率の設定値について検討した。まず、階段、ESC それぞれについて、流率の設定値を変えて滞留解消時間の実測値と算定値を比較した結果を図7に示す。実測値には流率の分析を行った対象データと異なるデータも含めた。

階段では、平均- σ で7割程度、平均- 2σ ではほぼ全ての場合に安全側に立った滞留解消時間の算定ができる。なお、エスカレータについては、滞留解消時に散発的に余裕を持って到着する旅客が含まれるため、早く移動しようとする旅客を想定した算定式では実際の滞留解消時間よりも短くなる傾向がある。

階段幅員について、簡便式（必要幅員＝ピーク1時間降車客数/2500）と、作成した算定式で滞留解消時間を2分として算定した結果と実際の幅員を比較した結果を図8に示す。作成した算定式による階段の必要幅員は簡便式による算定結果よりも広く、実際の幅員に近い結果となった。

5 まとめ

階段とESCの流率、選択行動の調査結果を組み込んだ、混雑した駅のホームにおける階段、ESCの旅客処理能力算定式を作成した。滞留処理時間を安全側に評価するために、適切な流率の設定値についても検討し、階段幅員について算定結果と簡便式、実際の値を比較した。

階段、ESC右/左列から選択肢*i*を選択する際の満足度を
選択肢*i*の満足度 = コンコースへ移動できる満足度
 -待ち、移動時間による(負の)満足度
 -移動負荷による(負の)満足度
 +個人のばらつき

によって表現する。

●コンコースへ移動できる満足度 : u

選択肢によらず等しい

●待ち、移動時間による(負の)満足度 : $\alpha(t)L_i(t)$

$\alpha(t)$ 待ち、移動時間の重み(時間によって変化する)

$L_i(t)$ 待ち、移動時間の心理量(選択肢、時間で変化する)

●移動負荷による(負の)満足度 : $\beta(t)W_i$

$\beta(t)$ 移動負荷の重み(時間によって変化する)

W_i 移動負荷の心理量(選択肢で変化する)

●個人のばらつき : ε

ガンベル分布を仮定する

時刻*t*で選択肢*i*を選択する時の満足度 $U_i(t)$ を

$$U_i(t) = u - \alpha(t)L_i(t) - \beta(t)W_i + \varepsilon$$

と表現すると、選択確率は以下のように導出される。

$$p_i(t) = \frac{n_i U_i(t)}{\sum_j n_j U_j(t)}$$

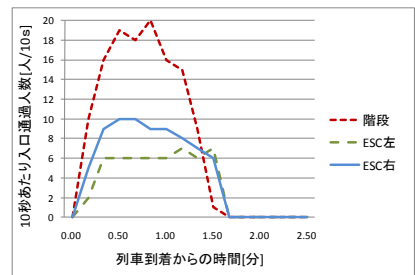
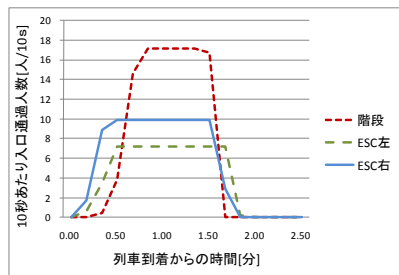
$$= \frac{n_i \exp[u] \left\{ (1 + l_i(t))^{\alpha(t)} (1 + w_i)^{\beta(t)} \right\}}{\sum_j n_j \exp[u] \left\{ (1 + l_j(t))^{\alpha(t)} (1 + w_j)^{\beta(t)} \right\}}$$

n_i : 列数
 $l_i(t)$: 待ち、移動時間
 w_j : 移動負荷

図5 階段、ESCの選択行動モデル

表2 設定パラメータ

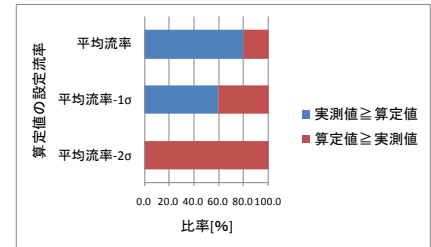
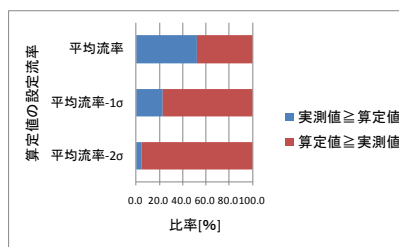
| | |
|----------------|--------------------------------------------------------|
| 入口通過人数立上がり時間 | :20[s] |
| 1人あたり滞留専有面積 | :0.5[m ²] |
| 1人あたり滞留長 | :0.7[m] |
| 滞留到着人数の最大 | :6.5[人/s] |
| 電車到着から滞留到着の時間 | :5[s] |
| 移動負荷 | :2940[kgm/s ² ·m] |
| UPとDOWNの移動負荷の比 | :20対1 |
| 時間と移動負荷の重み | |
| 時間 | $\alpha(t) = a_1 \exp[-b_1 t]$: $a_1=12.0, b_1=0.023$ |
| 移動負荷 | $\beta(t) = a_2 \exp[-b_2 t]$: $a_2=0.9, b_2=0.030$ |



1) 入口通過人数 (算定値)

2) 入口通過人数 (実測値)

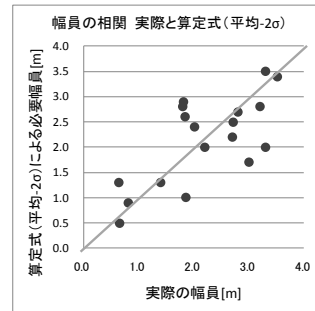
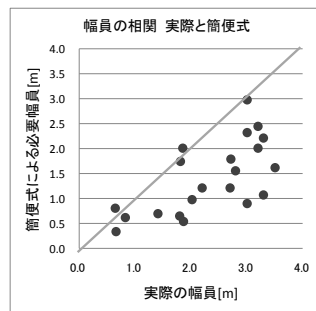
図6 算定値と実測値 (対象階段ESC : S駅の平日朝混雑時)



1) 階段 (データ数 : 71)

2) ESC (データ数 : 10)

図7 流率設定値による算定値と実測値の滞留解消時間の大小関係



・階段幅員は降車客が通行に利用する有効幅員を指す。
 ・ここでの簡便式による幅員はピーク15分間の降車客数から求めた。

図8 実際の階段幅員と簡便式、算定式による幅員 (データ数 : 21)

* ベクトル総研

** 東日本旅客鉄道 フロンティアサービス研究所

*** ジェイアール東日本コンサルタンツ

* Vector Research Institute, Inc.

** East Japan Railway Company, Frontier Service Development Laboratory

*** JR East Consultants Company