

都市鉄道の駆け込み乗車行動の定式化と抑制策

芝浦工業大学 学生会員 ○矢澤 健太
 芝浦工業大学 正会員 岩倉 成志

1. 背景・目的

日本の都市鉄道は、ラッシュ時間帯において高頻度で運行されている。駅停車時間の遅延が運行の定時性に与える影響は大きい。しかし、大きな要因である駆け込み乗車行動の定式化や定量的な評価の研究¹⁾は、進んでいない。そこで本研究では、駆け込み乗車のメカニズムを解明し、抑制案の評価を定量的に実行できるモデル式の作成を目的とする。

山内ら(2006)は、駆け込み乗車は歩行速度の速い乗車行動と定義している。しかし、本研究では、閉扉寸前の遅延につながる乗車を対象とする。よって、列車のドアが開扉してからホームに到着した乗客の乗車行動を駆け込み乗車として定義し分析を行った。

2. 調査概要

表1に示す首都圏の6駅にて、乗車客が多いラッシュ時間帯に階段付近の乗車の様子をビデオカメラにて撮影した。映像から列車が開扉後、ホームに到着した利用者の到着時間を取得し、乗車をしたか否かを記録した。同時に、列車の開扉時刻、発車サイン音鳴動時刻、整列客乗車完了時刻、閉扉時刻も取得した。

3. 駆け込み乗車モデル式の作成

利用者のホーム到着時点での乗車確率 $P(t)$ を算出するモデルを作成する。ホーム到着から t 秒後の開扉確率 $P_{ex\ open}(t)$ (t 秒後にドアが開扉している確率)と利用者のドア到達確率 $P_r(t)$ (t 秒後にドアまでたどり着く確率)を定義し、式(1)で乗車確率 $P(t)$ を導出する。

$$P(t) = P_{ex\ open}(t) \cdot P_r(t) \tag{1}$$

ここで、時刻 t における開扉確率は、閉扉事象の排反事象であるので、時刻 t における予想閉扉確率 $P_{ex\ close}(t)$ を以下で定義する。

$$P_{ex\ open}(t) = 1 - P_{ex\ close}(t) \tag{2}$$

利用者は、閉扉のタイミングを何らかの情報から推測していると考えられる。要因として、開扉からの経過時間、発車サイン音、整列客の乗車などが考えられ、これらの要因を利用者は経験的に確率として認知し、乗車をするか否かの判断を下していると考えられる。よって予想閉扉確率を発車サイン音から予想される閉扉確率と整列客の乗車から予想される閉扉確率の積事象と定義し、図1の累積確率を、表2、3に示すよう、 t の平均、分散を正規分布で与える。予想される閉扉確率はとされる。

$$P_{ex\ close}(t) = \prod_x P_x(t) \tag{3}$$

{ x |music on, music off, door close, riding end, door close}

表 1 調査日時

日付	開始時間	終了時間	駅名	路線	対象方向	調査列車数
10月10日	17:30	18:30	みなとみらい	みなとみらい	上り	12
10月16日	17:00	17:30	みなとみらい	みなとみらい	上り	9
11月27日	7:44	8:20	お台場海浜公園	ゆりかもめ	新橋方面	12
11月29日	7:37	8:40	お台場海浜公園	ゆりかもめ	新橋方面	20
12月18日	17:10	18:25	東京テレポート	りんかい線	両方向	24
12月19日	17:03	17:58	東京テレポート	りんかい線	両方向	19
12月20日	7:13	8:15	都筑ふれあいの丘	グリーンライン	両方向	38
12月20日	16:36	18:21	参宮橋	小田急線	下り	13
12月20日	17:06	18:33	北千住	東武伊勢崎線	下り	17
12月22日	7:13	7:55	都筑ふれあいの丘	グリーンライン	両方向	30

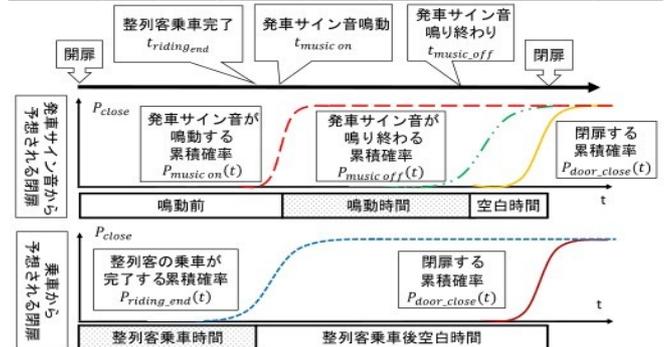


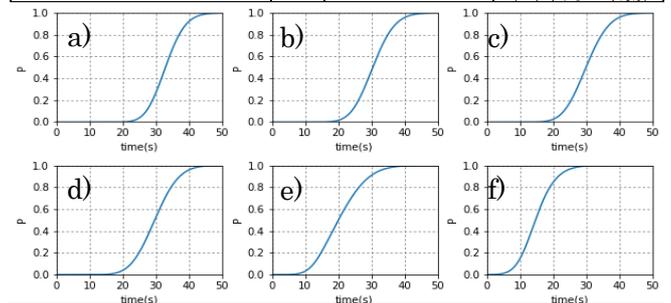
図 1 閉扉確率算出過程

表 2 発車サイン音から予想される閉扉確率算出表

		P music on	P music off	P door close
鳴動前に到着	P	$N(\mu_t, \sigma_t^2)$	$N(\mu_t, \sigma_t^2)$	$N(\mu_t, \sigma_t^2)$
	t	開扉～鳴動	開扉～鳴動終了	開扉～閉扉
鳴動時間内に到着	P	1	$N(\mu_t, \sigma_t^2)$	$N(\mu_t, \sigma_t^2)$
	t	-	鳴動～鳴動終了	鳴動～閉扉
空白時間内に到着	P	1	1	$N(\mu_t, \sigma_t^2)$
	t	-	-	鳴動終了～閉扉

表 3 乗車から予想される閉扉確率算出表

		P riding end	P door close
整列客乗車時間内に到着	P	$N(\mu_t, \sigma_t^2)$	$N(\mu_t, \sigma_t^2)$
	t	開扉～乗車終了	開扉～閉扉
整列客乗車後空白時間内に到着	P	1	$N(\mu_t, \sigma_t^2)$
	t	-	乗車終了～閉扉



time(s): ホーム到着からの経過時間
 a) 鳴動前かつ整列客乗車中に到着
 b) 鳴動中かつ整列客乗車中に到着
 c) 鳴動後かつ整列客乗車中に到着
 d) 鳴動前かつ整列客乗車後に到着
 e) 鳴動中かつ整列客乗車後に到着
 f) 鳴動後かつ整列客乗車後に到着

図 2 みなとみらい駅各到着タイミング閉扉確率

ここで、例としてみなとみらい駅における閉扉累積確率を図2に示す。

キーワード：駆け込み乗車、発車サイン音、鳴動時間、階層バイズ

連絡先：〒135-8548 東京都江東区豊洲 3-7-5 09C32 芝浦工業大学 交通計画研究室 TEL：03-5859-8354

次に、利用者 i のドア到達確率 $P_{\tau i}(t)$ を定義する。

$P_{\tau i}(t)$ を、利用者 i の平均ドア到達時間 $\mu_{\tau i}$ 、標準偏差 $\sigma_{\tau i}$ に従う累積対数正規確率とする。

$$P_{\tau i}(t) = \log \text{Normal}(t | (\mu_{\tau i}, \sigma_{\tau i})) \quad (4)$$

$P_{\tau i}(t)$ は、属性によって変化する。例えば、若者であれば、歩行速度が速いため、ドアまでの到達時間は短くなるが、高齢者の場合、ドアまでの到達時間は、長くなると考えられる。また、急いでいるか否かによってもドアへの到達時間も変化すると考えられる。

しかし、これらは、データから観測できない潜在的な変数である。そこで、階層ベイズの手法を用いて、 $\mu_{\tau}, \sigma_{\tau}$ の分布を得る。 μ_{τ} は、得られた分布より平均ドア到達時間の短い順にリスクテイクタイプ、中立タイプ、リスク回避タイプとタイプ分けを行い第1, 第2, 第3 四分位の値をそれぞれのパラメータとする。 σ_{τ} は、分布の平均値をパラメータとした。表4にみなとみらい駅におけるパラメータ推定結果を示す(実績値は乗車サンプルのみ)。

表5に作成したモデル的的中率を示す。モデル全体としては、的的中率が88.8%と高い値を示しており、乗車しなかったサンプルの的的中率も60%台と概ねあっている。作成したモデルは、概ね妥当と評価した。

4. 施策評価

発車サイン音鳴動時間や鳴動後～閉扉時間(以下空白時間と明記)の長さおよびばらつきを変化させた施策を実施し、施策無しと施策ありの場合で閉扉目の乗車割合(乗車人数/ホーム到着人数)を比較した。ここでは、みなとみらい駅における結果を記載する。以下の①～④の流れに沿って評価を行う。

- ① 施策の設定：発車サイン音鳴動時間と空白時間の平均、標準偏差を設定する。
- ② 列車データを確率に従い生成：施策で与えた平均、標準偏差と取得した開扉・乗降時間を基に、駅ごとに一駅当たり100列車を正規乱数で生成。
- ③ 列車データを基に、利用者データを生成：②より、開扉～閉扉の間30人の乗客を等間隔でホーム到着させ、利用者の属性をランダムに3タイプに分類する。
- ④ 生成したデータをモデルで分析：推定したパラメータを用いて、乗車確率 P を算出し、 $P > 50\%$ を乗車、 $P \leq 50\%$ を非乗車と判定する。

シミュレートした施策は表6に示した。

変更なし：各駅の実測値を用いた。

施策1：発車サイン音を3秒(ブザータイプ)

施策2：発車サイン音、空白時間のばらつき縮小

施策3：発車サイン音を5秒(短めのメロディ)、空白時間を2秒、かつ、ばらつき縮小

施策4：発車サイン音を3秒(ブザータイプ)、空白時間を2秒、かつ、ばらつき縮小

※ばらつきを縮小する施策は、ドア操作を自動で一定のタイミングで行っているゆりかもめを参考に標準偏差を0.5とした。

図3より分析の結果、発車サイン音を短縮化した施策1、ばらつきを縮小した施策2において閉扉目の乗車が減少しており、発車サイン音とサイン音鳴動後の空白時間の標準偏差を小さくする施策は有効である

表4 パラメータ推定結果

パラメータ	μ_{τ}			σ_{τ}
	リスクテイク	中立	リスク回避	
パラメータ	8.14	9.14	10.14	0.46
実績値	7.17			3.89

表5 モデル評価表

	全体	みなとみらい							
		お台場	東京テレ	都筑ふれ	東京テレ	都筑ふれ	参宮橋	北千住	
全体	サンプル数 的中率	165 87.9%	98 92.9%	180 87.2%	200 88.5%	80 88.7%	28 96.4%	26 92.3%	131 87.0%
乗車	サンプル数 的中率	122 96.0%	88 94.3%	154 97.7%	134 96.1%	66 93.3%	26 98.5%	24 100.0%	107 96.3%
非乗車	サンプル数 的中率	187 61.0%	43 69.8%	10 50.0%	26 34.6%	66 78.8%	14 42.9%	2 50.0%	24 45.8%

表6 シミュレートした施策

		みなとみらい駅				
		施策無し	施策1	施策2	施策3	施策4
発車サイン音	平均(秒)	8.2	3	8.2	5	3
	標準偏差	4.6	4.6	0.5	0.5	0.5
空白時間	平均(秒)	13.2	13.2	13.2	2	2
	標準偏差	6.4	6.4	0.5	0.5	0.5

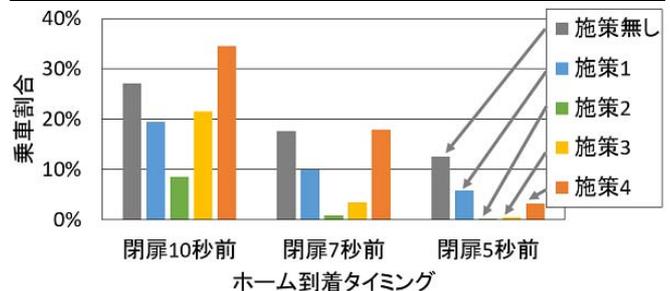


図3 施策実施後の乗車割合

と言える。しかし、発車サイン音を短縮化し、かつ空白時間も短縮化した施策3, 4では、鳴動時間によって乗車割合に差が生じた。これは、発車サイン音を短縮化する施策の効果が限定的であること示している。また、この傾向はドアへの到達に時間がかかる駅(ホームが広い又は混雑が激しい駅)において顕著であった。

5. おわりに

本研究より知見が3つ得られた。

- 1) 閉扉目の乗車を減少させるためには、発車サイン音の鳴動時間、空白時間のばらつきを減少させることが効果的である。
- 2) 発車サイン音を短縮化する施策についても、一定の効果が見られる。
- 3) 当然ではあるが、過度な短縮化は効果的ではない。ドアへの到達に時間がかかる駅では、利用者へ早めに閉扉を知らせる必要がある。よって、発車サイン音の鳴動時間は、どの駅も一様に設定するのではなく、ホームの構造や混雑度合いなどのドアへの到達時間に応じて、短すぎない適当な長さに設定することが効果的である。

今後は、空間的な条件(ホーム構造、利用者の判断位置)もモデルに組み込むことができればさらに、精度が向上すると考えられる。

参考文献

1) 山内香奈・藤浪浩平・鈴木浩明：発車メロディーの短縮化が駆け込み乗車行動に及ぼす影響、鉄道総研報告 Vol.22 No.7, P27-30, 2008年7月