

都市鉄道の駆け込み乗車行動の定式化と抑制策

AH14086 矢澤 健太
指導教員 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。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

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。(表1)

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 秒後の閉扉確率 $P_{ex\ open}(t)$ (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、両者の積をとり乗車確率を導出する。

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

ここで、時刻 t における閉扉確率は、閉扉事象の排反事象と考えられるため、

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

時刻 t における予想閉扉確率 $P_{ex\ close}(t)$ を定義する。

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えられる。

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

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

次に、利用者ドア到達確率 $P_r(t)$ を定義する。

利用者 i のドア到達確率 $P_{ri}(t)$ を、平均 μ_{ri} 、分散 σ_{ri}^2

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

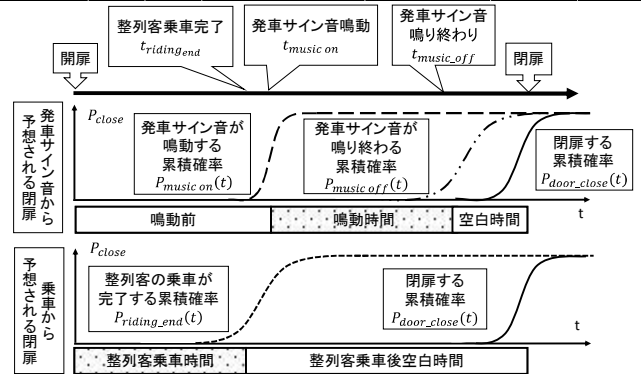


図1 閉扉確率算出過程

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

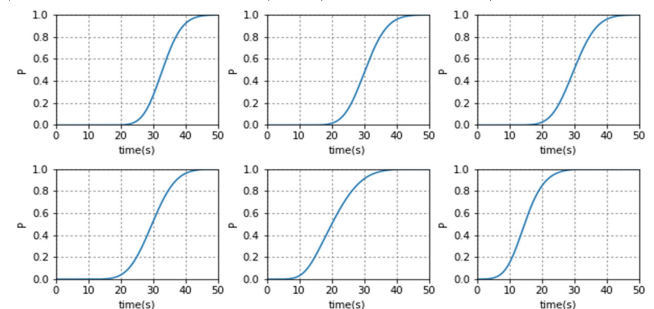


図2 みなとみらい駅各到着タイミング閉扉確率

に従う累積対数正規確率とする。

$$P_{ri}(t) = \log \text{Normal}(t | (\mu_{ri}, \sigma_{ri}^2)) \quad (4)$$

ここで、利用者ドア到達確率の μ_{ri}, σ_{ri}^2 は、利用者ごとに異なるパラメータである。本研究においては乗車サンプルのドア到達時間実測値 τ より、乗車タイプをリ

スクテイタイプ、一般タイプ、リスク回避タイプの3タイプに分け、パラメータ推計を行った。なお、非乗車サンプルはリスク回避タイプに分類した。

最後に、出力される乗車累積確率の例として、 P_{τ} を乗車サンプルの実測値 ($\mu_{\tau} = 1.97, \sigma_{\tau}^2 = 2.72$) で表したみなとみらい駅におけるグラフを図3に示す。

4. 評価

表4に3タイプのパラメータ推定結果を示す。ここで、各タイプの累積対数正規分布の μ と σ をそれぞれ para1, para2 に示した。モデルの尤度比は0.469と低いが、全体の的中率は93%であり、乗車群を乗車と判定した的中率、非乗車群を非乗車と判定した的中率ともに85%を超えている。このことから、作成したモデルは、妥当であると評価することができる。

図4には、推定された3タイプのパラメータのドア到達確率をプロットした。

5. 施策評価

以下の①～④の流れに沿って評価を行う。

- ① 施策を作成
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）の平均、標準偏差を決定。
- 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
作成した列車データより、開扉～閉扉の間30人の乗客を等間隔でホーム到着させ、集計した乗車タイプの構成比に基づき、乱数で利用者を3タイプに分類する。
- ④ 生成したデータをモデルで分析
算出したパラメータを用いて、乗車確率を算出し、乗車確率>50%を乗車、乗車確率≤50%を非乗車と判定する。

その後、乗車群、非乗車群を閉扉までの残時間ごとに乗車割合を計算し比較した。(表6) この割合が小さいほど、利用者は乗車をあきらめ、閉扉直前の乗車が減少したということを示している。

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。(表5)

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一定

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、ばらつき一定

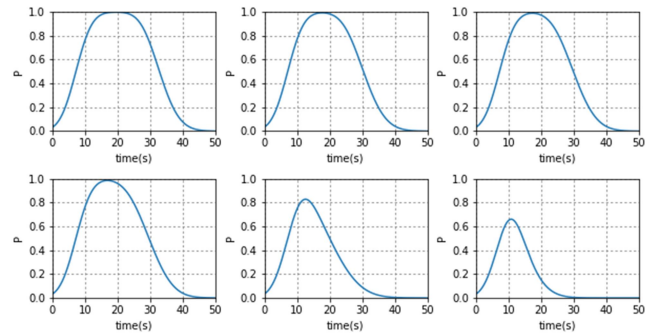
施策4：発車サイン音を3秒（ブザータイプ）、空白時間を2秒、かつ、ばらつき一定

※ばらつきを一定化する施策は、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。

分析の結果、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ことがわずかながら有効であると示唆した。発車サイン音を短くすると閉扉直前の乗車には効果があるが、閉扉5秒前以前には効果は表れない為、ドア到達時間が長くなる、ホームが広い駅では、大きな効果は期待できないと言える。

6. 考察

本研究では、利用者の潜在変数である心理的リスクタイプをパラメータ推定に取り入れて分析を行った。



Time(s):ホーム到着からの経過時間		
鳴動前かつ 整列客乗車中に到着	鳴動中かつ 整列客乗車中に到着	鳴動後かつ 整列客乗車中に到着
鳴動前かつ 整列客乗車後に到着	鳴動中かつ 整列客乗車後に到着	鳴動後かつ 整列客乗車後に到着

図3 みなとみらい駅乗車確率

表4 モデル評価表

	全体	乗車	非乗車
サンプル数	908	721	187
的中率	93.0%	94.2%	88.2%
初期尤度		-396.71	
最終尤度		-210.58	
尤度比		0.469	
	リスクテイ タイプ	一般タイプ	リスク回避 タイプ
観測 τ	$\tau < 5$	$5 \leq \tau < 10$	$10 \leq \tau$
サンプル数	184	443	281
構成比	20.26%	48.79%	30.95%
para1	2.09	3.43	5.19
para2	3.22	3.60	5.98
τ 平均(s)	5.31	7.03	11.17
τ 標準偏差	4.99	5.72	9.05

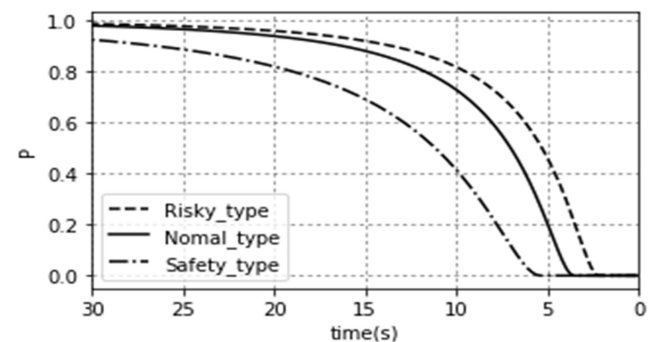


図4 ドア到達確率乗車タイプ比較

表5 各駅データ観測値

		みなと みらい	お台場	東京テレ ポート 上り	都筑ふれ あいの丘 上り	東京テレ ポート 下り	都筑ふれ あいの丘 下り	参宮橋	北千住
発車 サイン音	平均	8.24	0.99	11.63	3.06	10.88	3.20	3.12	3.77
	標準偏差	4.57	0.21	3.97	0.17	4.27	0.26	2.42	1.52
空白時間	平均	13.17	10.66	12.91	16.37	12.42	11.05	6.78	9.01
	標準偏差	6.36	0.84	1.87	4.36	1.16	2.31	3.47	1.20

表6 施策評価表

		施策無し	施策1	施策2	施策3	施策4
発車 サイン音	平均	変更なし	3秒	変更なし	5秒	3秒
	標準偏差	変更なし	変更なし	0.5	0.5	0.5
空白時間	平均	変更なし	変更なし	変更なし	2秒	2秒
	標準偏差	変更なし	変更なし	0.5	0.5	0.5
閉扉10秒前		19.15%	18.39%	22.60%	21.78%	28.11%
閉扉5秒前		4.73%	4.75%	3.60%	3.10%	5.08%
閉扉3秒前		2.67%	3.50%	2.53%	2.53%	2.44%

よって、本モデル式での出力結果は、駅での乗車行動を反映した結果となっていると言える。そのため、効果があると評価された、発車サイン音と空白時間のばらつきを一定化する施策は、実際の駅でも有効に働くと考えられる。

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