

自動改札機データを用いた旅客の列車選択嗜好割合推定手法

○ 中挟 晃介 [電] 國松 武俊 辰井 大祐

瀧本 友晴 坂口 隆 (鉄道総合技術研究所)

Estimation Method of Passengers' Preference for Train Paths

by using Entry Exit Data from Automatic Ticket Gates

○ Kosuke Nakabasami, Taketoshi Kunimatsu, Daisuke Tatsui,

Tomoharu Takimoto, Takashi Sakaguchi, (Railway Technical Research Institute)

When train company staff plans a train diagram, it is important to reflect passengers' preference for train paths, like minimal travel time or number of transfers. Nowadays, we can get the entry exit data from the automatic ticket gates. Therefore, we can get the distribution of required time from entering the ticket gate of one station to going out the ticket gate of another station. In this study, we propose the estimation method of passengers' path selection ratio by using time distributions of two kinds of passenger's paths: the fastest path, and few transfer paths. We apply this method to some section of real rail line and confirm the effectiveness of our proposed method.

キーワード: 自動改札機データ, 列車選択行動, 列車乗継経路

Key Words: automatic ticket gates data, train choice behavior, passenger's train path

1. はじめに

列車ダイヤ作成においては、列車の混雑度は重要な指標であるが、混雑度を適切に推定するためには、旅客が目的の駅までどの列車で向かいたいか、その列車選択嗜好毎の旅客数の割合（以下、列車選択嗜好割合）を把握することが重要となる。近年では自動改札機から旅客の入出場時刻を含む詳細な利用履歴データが収集可能となっており、このデータから各旅客の入場から出場までにかかった所要時間（以下、改札内移動時間）が得られる。

本研究では、列車選択嗜好毎に改札内移動時間が異なることに着目し、各列車選択嗜好の改札内移動時間分布を利用して、列車選択嗜好毎の旅客割合を推定する手法を提案する。本手法を実際の路線における複数の駅間を対象に適用し、手法の有効性を確認した。

2. 背景と目的

2.1 背景

列車ダイヤ作成担当者は、列車ダイヤ作成において列車の混雑度を重要な指標として考慮する。混雑度を適切に推

定するためには、何割の旅客が目的の駅まで最速の列車に乗り換えて向かう経路（以下、最早経路）で移動し、何割の旅客が遅くなっても乗り換えが少ない経路（以下、乗換回避経路）で移動するかといった、列車選択嗜好割合を把握することが重要となる。鉄道事業者は、この列車選択嗜好割合を把握することで、列車種別毎の列車本数の設定などに役立てることができる。

近年では自動改札機から旅客の入出場時刻を含む詳細な利用履歴データ（以下、旅客入出場時刻データ）が収集可能となっており、このデータから各旅客の入場から出場までにかかった改札内移動時間が得られる。ある駅間を移動した全旅客の改札内移動時間を集約することで、その駅間の改札内移動時間の分布（以下、改札内移動時間分布）が得られる。

2.2 旅客入出場時刻データ

旅客入出場時刻データは、自動改札機から得られる、各旅客の「入場駅、入場時刻、出場駅、出場時刻」などが記録された詳細なデータである。入場時刻と出場時刻から、入場駅から出場駅までの改札内移動時間が得られる。ただし、このデータが得られるのは、鉄道を利用する全旅客の

中の一部の旅客のみである。

2.3 関連研究

列車選択嗜好を考慮して乗継経路別の旅客人数を推定する手法として、非集計ロジットモデルが提案されている。深澤らは、複数の列車種別が存在する駅間において、旅客がどの列車を選択するかを表す列車選択モデルを非集計ロジットモデルにより構築している¹⁾。また渡辺は、輸送障害時の旅客流動を推定するために、運転再開時初列車選択モデルを構築している²⁾。これらの研究では、モデルの構築にアンケート調査結果をベースとしたデータを用いている。一方で、アンケート調査結果は実際の旅客の行動を必ずしも表していない。本研究では、実際の旅客の利用履歴を利用してモデルを構築しているため、より実際の旅客の利用実態に即したモデルが構築されることが期待できる。

一方で、Kyung らは、入出場時刻データを用いて韓国ソウル近郊の路線を対象に、急行列車が停車する、ある二駅間における急行列車選択モデルを線形ロジットモデルにより構築している³⁾。ただし、Kyung らのモデルは、途中駅で速達列車に乗り換える行動は考慮していない。また、入場駅に普通と急行の2種類の列車種別の列車が停車することを前提としている点で本研究の提案手法と異なる。

2.4 本研究の目的

本研究では、ある駅間における全旅客分の改札内移動時間分布は、その駅間の最早経路で移動した旅客の改札内移動時間分布と乗換回避経路で移動した旅客の改札内移動時間分布を一定の割合で重ね合わせることで導出できると仮定し、この割合を推定することで、最早経路と乗換回避経路それぞれの旅客割合を推定する手法を提案する。また、本手法を実際の路線における3つの駅間を対象に適用する。適用して得られた結果の割合を列車ダイヤから想定される、乗換えの際の利便性と照らし合わせ考察し、おおむね妥当な結果が得られていることを確認する。

3. 改札内移動時間分布の重ね合わせに基づく旅客列車選択嗜好割合推定手法

3.1 概要

入場駅から出場駅までの移動において、途中駅で緩急接続が存在し、どちらの列車に乗車するか選択できるような場合、最早経路で移動した旅客の改札内移動時間分布と乗換回避経路で移動した旅客の改札内移動時間分布は異なる。全旅客が上記2つの旅客に分けられるとすると、全旅客分の改札内移動時間分布は、この2つの改札内移動時間分布の総和となっていると考えられる。このイメージを図1に示す。横軸は改札内移動時間(1分単位)、縦軸は改札内移動時間毎の旅客数の割合を示しており、棒グラフはある駅間における、全旅客分の改札内移動時間分布を表している。この改札内移動時間分布は、実線で示した最早経路で移動した旅客の改札内移動時間分布と点線で示した乗換回避経路で移動した旅客の改札内移動時間分布が重ね合わさったものと考えられる。そのため、最早経路と

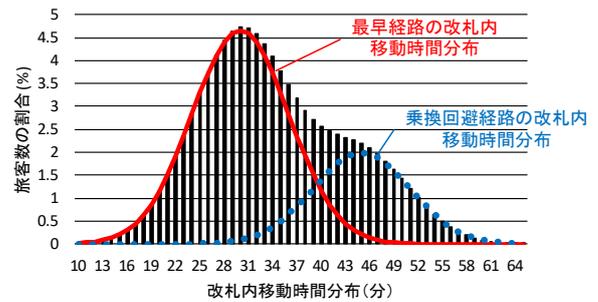


図1 改札内移動時間分布の重ね合わせ

乗換回避経路の改札内移動時間分布が分かれば、全旅客分の改札内移動時間分布と一致するように2つの分布を一定の割合で重ね合わせることで、各経路の旅客の割合を導出できると考えられる。

本研究で提案する手法(以下、重ね合わせ手法)は、最早経路と乗換回避経路の2経路が存在する駅間(以下、対象駅間)における、各経路で移動した旅客の割合を推定する。各経路で移動した旅客の改札内移動時間分布を作成し、一定の割合で重ね合わせ、全旅客分の改札内移動時間分布と最も一致する割合を探索する。この割合を各経路の旅客の割合(列車選択嗜好割合)とする。重ね合わせ手法の詳細は3.3節において説明する。

3.2 入力データ

入力データには、数ヶ月分、数年分といった、改札内移動時間分布が得られる程度の量の、対象駅間を利用した旅客入出場時刻データと、対象路線におけるダイヤデータを用いる。

3.3 重ね合わせ手法の処理の流れ

(1) 対象駅間と援用駅間の改札内移動時間分布作成

まず、対象駅間と援用駅間の改札内移動時間分布を、旅客入出場時刻データから作成する。援用駅間については次項で説明する。

(2) 最早経路と乗換回避経路の改札内移動時間分布作成

次に、対象駅間における最早経路と乗換回避経路の改札内移動時間分布を作成する必要がある。改札内移動時間は、大きく分けると下記の4つの時間要素に分割できる。

- ① 自動改札機で入場しホームまでの徒歩時間
 - ② ホームでの列車待ち時間
 - ③ 列車乗車時間(途中、乗り換えにかかる時間を含む)
 - ④ 列車降車から自動改札機で出場するまでの徒歩時間
- この中で、③については、列車乗継経路が同一であれば、各旅客で同一の時間である。①、②、④については、駅構内の歩行速度や、入場駅で改札を入る時刻に依存するので、旅客によってその時間が異なる。したがって、これら①、②、④の合計時間分布が分かれば、その分布を最早経路の場合の列車乗車時間だけ加算する(時間軸上で分布を右にスライドさせる)ことによって最早経路の場合の改札内移動時間分布が得られる。乗換回避経路の場合も同様にすることで、乗換回避経路の場合の改札内移動時間分布が得

表1 検証対象駅間と推定された最早経路移動旅客の割合

駅間	路線	最早経路の列車 乗車時間 (分)	乗換回避経路の列車 乗車時間 (分)	援用駅間の列車 乗車時間 (分)	入場駅における 列車間隔 (分)	最早経路移動 旅客の割合 α
A→B	X	16	30	14	15	0.76
C→D	X	21	24	5	15	0.22
E→F	Y	11	16	4	15	0.87

られる。

ここで、①、②、④の合計時間分布を推定するにあたり、以下の条件を満たす、別の入場駅、出場駅の組合せ（以下、援用駅間）の時間分布を援用する。この援用駅間の条件を以下に示す。

- 対象駅間と援用駅間の入場駅および出場駅が同規模の駅、あるいは同一駅。
- 対象駅間と援用駅間の入場駅の列車発車間隔が同一。
- 援用駅間の列車乗継経路が、列車選択嗜好によらず一意に定まる。

1 点目の条件から、対象駅間と援用駅間の①および④の分布がほぼ等しくなると仮定できる。また、2 点目の条件から、列車発車間隔が同一であるため、②の分布もほぼ等しくなると仮定できる。さらに、3 点目の条件から、全旅客について③列車乗車時間が同じになるため、援用駅間の改札内時間分布について、列車乗車時間分だけ減算する（時間軸上で分布を左にスライドさせる）ことによって、対象駅間における全旅客分の①、②、④の合計時間分布が得られる。列車乗車時間は、ダイヤデータを参照することで得られる。パターンダイヤの場合、経路毎に、列車乗車時間は全旅客について同じと仮定できる。

以上から、援用駅間の改札内時間分布を利用して、対象駅間の最早経路と乗換回避経路のそれぞれの改札内時間分布が作成できる。なお、実際には入場駅あるいは出場駅の改札内に長時間滞在するような行動をとる旅客も存在する。ここでは、そのような旅客の割合は無視できるほど少ないと仮定し、全旅客が①、②、④の合計時間分布に従って行動するとする。

(3) 最早経路と乗換回避経路の改札内移動時間分布の重ね合わせ

対象駅間における最早経路の改札内移動時間分布と乗換回避経路の改札内移動時間分布を（最早経路の旅客）：（乗換回避経路の旅客）= $\alpha : (1 - \alpha)$ ($0 \leq \alpha \leq 1$) で重ね合わせる。

具体的には、まず改札内移動時間 t (分) とし、想定される最大の改札内移動時間 T を設定する ($0, 1, \dots, t, \dots, T - 1, T$)。例えば、 $t = 15$ は、改札内移動時間が 15 分以上 16 分未満であることを意味する。そして、最早経路で移動する旅客の単位時間帯毎の割合を p_t とする。これは、最早経路で移動した全旅客に対する割合であるため、以下が成り立つ。

$$\sum_{t=0}^T p_t = 1 \dots\dots\dots (1)$$

同様に、乗換回避経路で移動する旅客の単位時間帯毎の割

合を q_t とする。 q_t についても以下が成り立つ。

$$\sum_{t=0}^T q_t = 1 \dots\dots\dots (2)$$

次に、最早経路の旅客の改札内移動時間分布に最早経路の旅客の割合 α 、乗換回避経路の旅客の改札内移動時間分布に最早経路の旅客の割合 $(1 - \alpha)$ を乗じる。具体的には以下のようなになる。

$$\alpha p_0, \dots, \alpha p_t, \dots, \alpha p_T \dots\dots\dots (3)$$

$$(1 - \alpha) q_0, \dots, (1 - \alpha) q_t, \dots, (1 - \alpha) q_T \dots\dots\dots (4)$$

そして、これら 2 つの改札内移動時間分布を重ね合わせる。具体的には、同じ改札内移動時間同士の旅客の割合の和をとる。

$$\alpha p_0 + (1 - \alpha) q_0, \dots, \alpha p_t + (1 - \alpha) q_t, \dots, \alpha p_T + (1 - \alpha) q_T \dots\dots\dots (5)$$

これが、援用駅間の改札内移動時間分布から作成した、対象駅間の改札内移動時間分布（以下、推定改札内移動時間分布）となる。

(4) 最早経路と乗換回避経路の旅客の割合の探索

3.3 節 (1) 項で作成した対象駅間の改札内移動時間分布（以下、正解改札内移動時間分布）と推定改札内移動時間分布の誤差を計算し、この誤差が最も小さくなる最早経路の旅客の割合 α を探索する。正解改札内移動時間分布について、単位時間帯毎の旅客の割合を r_t とする。両分布の誤差 e は以下のように計算する。

$$e = \sum_{t=0}^T (r_t - (\alpha p_t + (1 - \alpha) q_t))^2 \dots\dots\dots (6)$$

α を 0 から 1 まで、0.1 あるいは 0.01 ずつインクリメントしながら誤差 e を計算し、最も e の値が小さくなった α を、対象駅間の最早経路の旅客の割合とする。

以上が重ね合わせ手法の処理の流れとなる。重ね合わせ手法を適用できる条件は以下のようなになる。

- データタイムのようなパターンダイヤ時
- 対象駅間に 3.3 節 (2) 項で挙げた条件を満たす援用駅間が存在

4. 実路線を対象とした検証

重ね合わせ手法を用いた最早経路、乗換回避経路の旅客の割合の推定を、実在する路線における 3 駅間を対象に適用した結果を示す。この 3 駅間の特徴を表 1 に示す。路線 X、Y とともに大都市近郊の路線である。対象時間帯は、路線 X、Y とともに平日のパターンダイヤ時（12 時から 16 時）とする。各駅間の入場側の駅 A、C、E は普通列車のみが 15 分間隔で発着する小規模な駅である。出場側の駅 B、D、F は、複数の列車種別の列車が発着する大規模な駅である。

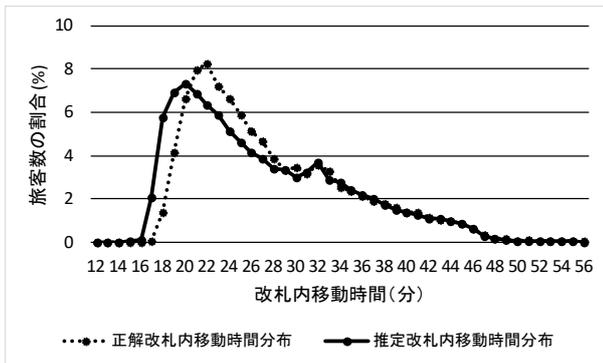


図3 A 駅→B 駅の分布の重ね合わせ結果

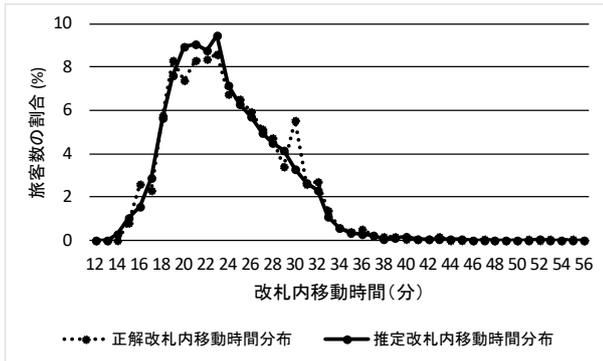


図4 C 駅→D 駅の分布の重ね合わせ結果

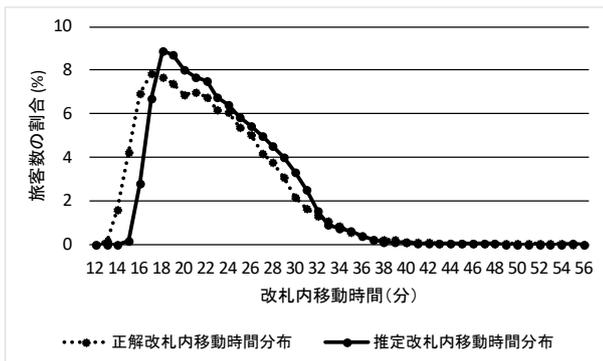


図5 E 駅→F 駅の分布の重ね合わせ結果

旅客入出場時刻データは、2017年4月1日から2019年3月31日の2年間（ただし、列車の遅延や運転見合わせがあった日を除外した約490日分を対象）で上記の時間帯における旅客の利用データを対象とする。データ数としては、A 駅→B 駅が約31,000件、C 駅→D 駅が約7,300件、E 駅→F 駅が約240,000件である。なお、各駅間に対応する援用駅間のデータはそれぞれ、A 駅→B 駅に対応する援用駅間のデータは約30,000件、C 駅→D 駅は約27,000件、E 駅→F 駅は約61,000件である。本検証では、援用駅間は当該路線のダイヤ構成を踏まえ、列車乗継経路が1つに限定される区間をそれぞれ選定した。また、本検証では最大の改札内移動時間を2時間($T = 120$)とし、 α は0から1まで、0.01ずつインクリメントしながら誤差 e が最小となる α を探索する。

対象駅間に重ね合わせ手法を適用した結果の α の値を表1の最も右の列に示す。また、推定改札内移動時間分布と

正解改札内移動時間分布を比較した図を、A 駅→B 駅、C 駅→D 駅、E 駅→F 駅についてそれぞれ図3、4、5に示す。

表1から、A 駅→B 駅、E 駅→F 駅については、最早経路で向かう旅客が76%と87%となり、最早経路を選ぶ旅客が約8割という点では、不自然な結果ではない。A 駅→B 駅の方が76%と少ないが、これは当該駅間が、速達列車への乗換えが同一ホーム上での対面乗換ではないことから、乗換えに関する利便性が対面乗換よりも低く、最早経路を選択する旅客が少なくなっているためと思われる。C 駅→D 駅については22%と非常に少ないが、こちらも当該駅間が速達列車への乗換えが同一ホーム上での対面乗換ではないことや、最早経路と乗換回避経路の列車乗車時間の差が3分と速達効果が小さいにもかかわらず、乗換駅のホーム上で速達列車の到着を4分程度待つことから、最早経路を選択する旅客が少なくなることが想定される。図3から図5から、おおむね改札内時間分布を推定できていることが分かる。一方で、A 駅→B 駅、E 駅→F 駅については、旅客の割合が最も大きい改札内移動時間が1、2分ずれている。これは、対象駅間と援用駅間の入場駅におけるホームまでの徒歩時間やホームでの列車待ち時間の分布が完全には同じではないためと考えられる。また、数分の列車の遅延により、旅客によって列車乗車時間に数分の差があるためと考えられる。

5. まとめ

本研究では、最早経路と乗換回避経路の2種類の経路が取り得る駅間における各経路の旅客の割合（列車選択嗜好割合）を、自動改札機から取得できる旅客入出場時刻データを用いて、各経路の改札内移動時間分布を重ね合わせることでその割合を推定する手法を提案した。実際の路線における複数の駅間に対して適用し、旅客の列車選択嗜好割合が推定可能なことを確認した。

今後は、パターンダイヤ時以外をはじめ、本手法を適用できないダイヤ構成、駅間における推定方法の検討が挙げられる。

参考文献

- 1) 深澤紀子, 柴田宗典: 都市鉄道における列車選択行動モデルの構築, 鉄道総研報告, Vol. 29, No. 6, Jun. 2015.
- 2) 渡辺義大: 運転再開時における旅客の列車選択行動モデル, 鉄道総研月例発表会講演要旨, 2015年6月.
- 3) K. M. Kim., S. Hong, S. Ko, and J. H. Min: Predicting Express Train Choice of Metro Passengers from Smart Card Data, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, Vol. 2544, Issue 1, pp. 63-70, Jan. 2016.