

プローブパーソン調査データを用いた 鉄道乗車待ち時間推定モデル

池田 幸平¹・樋野 匠海²・柳沼 秀樹³・岩倉 成志⁴

¹学生会員 芝浦工業大学大学院 理工学研究科 (〒135-0043 東京都江東区豊洲 3-7-5)
E-mail: me19006@shibaura-it.ac.jp

²正会員 芝浦工業大学大学院 理工学研究科 (〒135-0043 東京都江東区豊洲 3-7-5)
E-mail: me18104@shibaura-it.ac.jp

³正会員 東京理科大学 理工学部土木工学科 (〒278-8510 千葉県野田市山崎2641)
E-mail: yaginuma@rs.tus.ac.jp

⁴正会員 芝浦工業大学大学院 理工学研究科 (〒135-0043 東京都江東区豊洲 3-7-5)
E-mail: iwakura@shibaura-it.ac.jp

都市鉄道における乗車待ち時間は、乗車時間や費用と同様にサービス水準を規定する重要な要素である。実務では、利用者の待ち時間を列車運行間隔の1/2として鉄道需要予測に適用しているが、実態とは異なることが既往研究で指摘されている。そこで、本研究では、プローブパーソン (PP) 調査データを活用した利用者の待ち時間推定モデルの構築を試みる。具体的には、PP調査データから待ち時間を計測する手順を示し、モデルの推定結果と既存の列車運行間隔の1/2設定との比較を行う。さらに、既存設定が需要予測に与える影響を把握するために、鉄道経路選択モデルに適用した。その結果、運行間隔が7分を超えると結果に乖離が生じることが明らかとなった。

Key Words : *Probe Parson survey, Passenger wait times, Railway route choice model*

1. はじめに

都市鉄道における乗車待ち時間は、乗車時間や費用と同様にサービス水準を規定する重要な要素である。これまでに精力的に実施されてきた高頻度運行は待ち時間の短縮を念頭においた施策であり、直通・相互直通運転は所要時間の短縮にくわえて、乗り換え待ち時間の短縮にも寄与している。これら施策の評価を適切に行う上でも乗車待ち時間を適切に計測する必要がある。

我が国の鉄道需要予測手法において、駅での乗車待ち時間は「列車運行間隔の1/2」として与えられている¹⁾。これは、列車と利用者の到着分布が一様分布であると仮定する場合、下記の式より利用者の乗車待ち時間の期待値 W が推定されるためである。

$$W = \int_0^{\text{Headway}} \frac{t}{\text{Headway}} dt = \frac{\text{Headway}}{2} \quad (1)$$

確かに列車が高頻度で運行している都市部の路線では、利用者は運行間隔を意識せずにランダムに到着していると考えられる。しかしながら、運行間隔が長い路線においては、利用者が発車時刻を考慮せず、駅に到着している

とは考え難く、待ち時間を少なくするために、発車時刻を意識した到着が行われていると考えられる。

小林ら²⁾は駅利用者の乗車待ち時間を「利用者が乗車待機列に整列またはベンチ等の付帯設備に待機してから列車発車までの時間」と定義し、プラットフォームに到着する利用者をカウントしている。結果として、列車運行間隔が7.5分以上から、乗車待ち時間が列車運行間隔の1/2から乖離することを示し、乗車待ち時間推定モデルを構築している。一方、この手法の問題点は、プラットフォームに到着するまでの利用者の行動を考慮できないことである。利用者が改札通過後プラットフォームに到着するまでの間、ベンチや待合室で待ち行動をおこない、列車の到着が近づいたらプラットフォーム上に移動する場合、プラットフォームに到着するまでの待ち時間を考慮することができず、実際の待ち時間と乖離してしまう。

本研究では、プローブパーソン (PP) 調査データより鉄道利用者の移動軌跡を追跡することで、改札通過後の待ち行動を考慮した乗車待ち時間を推定し、列車運行間隔との関係性を明らかにする。PP調査データは被験者の移動軌跡が数秒から数十秒単位で取得でき、利用者

の改札通過や列車の出発の判断が可能である。まず、異なる条件下でPP調査データより推定した乗車待ち時間と実際の列車運行間隔との比較分析をおこなう。その上で、PPデータから列車待ち時間推定モデルを構築する。さらに、鉄道経路選択モデルを対象に、既存の待ち時間設定と本研究での設定が選択確率に与える影響を比較することで、本研究の成果が鉄道施策の評価に資する可能性を定量的に示す。

2. PPデータを用いた待ち時間の推定

(1) 使用データの概要

本研究では、2008年11月8日から12月24日、2009年10月29日から11月27日、2010年7月5日から8月11日、2018年8月27日から12月31日に行われたプローブパーソン調査データを利用する。プローブパーソン調査では、被験者がGPS搭載のスマートフォンを持ち歩くことにより、数秒間隔で被験者の位置情報を取得することができる。また、トリップの目的や移手段、出発時刻、到着時刻も取得可能である。

(2) 待ち時間の推定手順

本研究における乗車待ち時間の定義は、利用者が改札口を通過してから列車発車までの時間とする。しかし、プローブパーソン調査によって得られた位置座標データは精度にばらつきがあるため、改札を通過した時間や列車が発車した時刻を明確に把握することが困難である。そこで以下の手順で乗車待ち時間を計測した。

a) PPデータの可視化

鉄道を利用しているトリップの移動軌跡をGIS上に表示する。そこから被験者が駅へ向かっているトリップを抽出する。対象駅は、普通列車のみが停車する駅とした。

b) 待ち時間の計測

まず、改札口を中心とした同心円を描き、そこに到達したプロットの時刻を乗車待ち開始時刻とする。本研究では、半径50mと100mの2種類の同心円を設定して分析をおこなう。次に、移動軌跡を追跡し、列車が発車したことが明らかなプロットの1つ前のプロットの時刻を乗車待ち終了時刻として、乗車待ち開始時刻から乗車待ち終了時刻までの時間を計測時間とする。そして、円から改札口までの歩行時間を計測時間から差し引いた時間を乗車待ち時間とする(図-1)。

この際に、歩行速度を考慮する必要があるが、歩行速度に関する既往研究は多数存在する。吉岡³⁾は、西新宿において主として通勤者を対象に調査を行い、自由歩行速度の平均値を1.54m/sec(92.4m/分)、後樂園において野球試合の終了時に帰路につく歩行者交通を対象に調査を行い、自由歩行速度の平均値を1.18m/sec(70.8m/分)と算出している。松田ら⁴⁾は、歩行者数や歩行者との関係が歩行速度へ与える影響を示している。また、渡辺ら⁵⁾は通勤、通学、買い物などで月1回以上渋谷を訪れる予定のある方を対象としたプローブパーソン調査によって得られた位置座標データを分析して、全被験者の平均歩行速度を1.772m/sec(106.3m/分)と算出している。しかし、気温、服装、混雑の程度、歩行者の年齢・性別といった多様な要因によって歩行速度には大きな変動が発生する。そこで、本研究では、60m/分、80m/分、100m/分の3パターンの歩行速度を設定して分析する。

c) 列車運行間隔の設定

計測した待ち時間の妥当性を確認するために、乗車待ち終了時の1時間あたりの運行本数から実際の運行間隔を算出した。使用したデータの当時の運行間隔を再現するため、2008年のプローブパーソン調査データはMYLINE東京時刻表2008年11月号を、2009年のプローブパーソン調査データはMYLINE東京時刻表2009年11月号を、2010

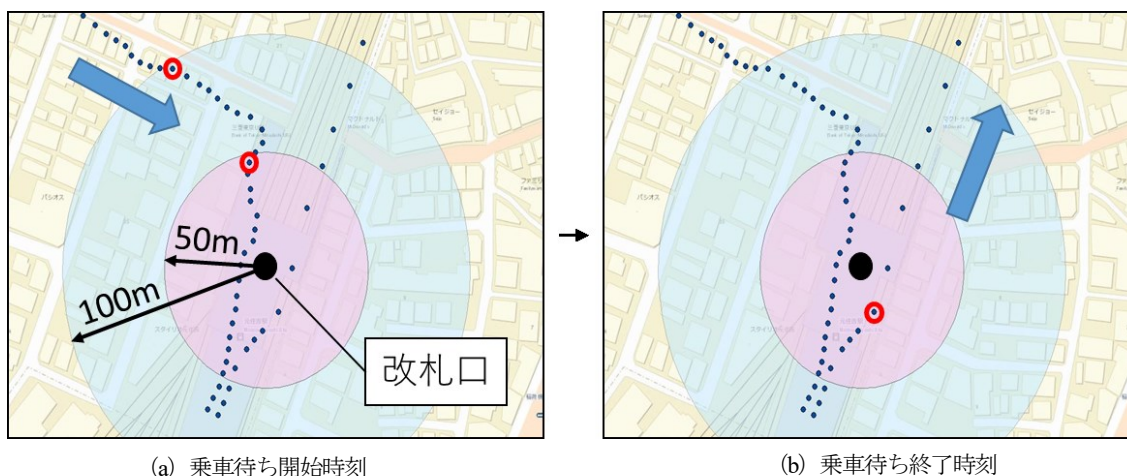


図-1 乗車待ち時間計測手法の手順

年のプローブパーソン調査データはMYLINE東京時刻表2010年8月号を、2018年のプローブパーソン調査データはMYLINE東京時刻表2018年5月号を使用した。

3. 分析結果

乗車待ち時間と運行間隔との関係を図-2に示す。図の横軸に運行間隔、縦軸に乗車待ち時間としてPP調査データより算出した結果をプロットしている。また、分析の対象としたのは、普通列車のみが停車する駅であるため、到着した普通列車に乗らずに優等列車を待つといった行動は発生しないと考えて、乗車待ち時間が運行間隔よりも長いプロットは除いた。

改札の中心からの円の半径を50mに設定した場合には、運行間隔が5~6分以上になると乗車待ち時間が運行間隔の1/2と乖離することがわかった。また、改札の中心から円の半径を100mに設定した場合には、運行間隔が6~

7分以上になると50mの場合と同様に運行間隔の1/2との乖離が見られた。これは、現実的な利用者の行動と整合する結果であると考えられる。

乗車待ち時間推定モデルは、以下に示す式(2)から式(7)のようにそれぞれ得られた。ここで、 W は乗車待ち時間(分)、 h は運行間隔(分)である。

- 円半径 50m, 徒歩速度 60m/分

$$W = 1.88 \ln(\text{Headway}) - 0.67 \quad (2)$$

- 円半径 50m, 徒歩速度 80m/分

$$W = 1.88 \ln(\text{Headway}) - 0.47 \quad (3)$$

- 円半径 50m, 徒歩速度 100m/分

$$W = 1.88 \ln(\text{Headway}) - 0.34 \quad (4)$$

- 円半径 100m, 徒歩速度 60m/分

$$W = 2.05 \ln(\text{Headway}) - 1.04 \quad (5)$$

- 円半径 100m, 徒歩速度 80m/分

$$W = 2.05 \ln(\text{Headway}) - 0.63 \quad (6)$$

- 円半径 100m, 徒歩速度 100m/分

$$W = 2.05 \ln(\text{Headway}) - 0.38 \quad (7)$$

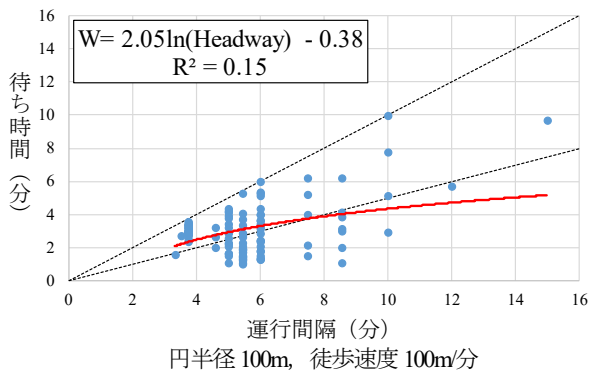
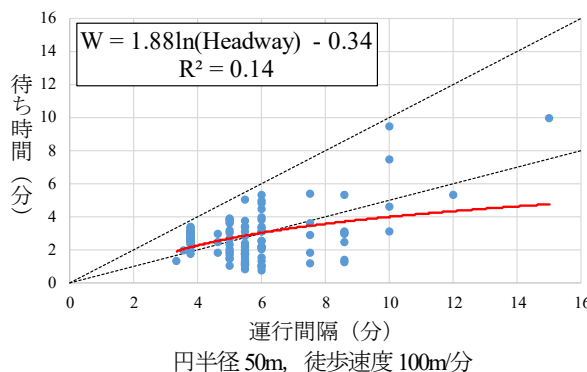
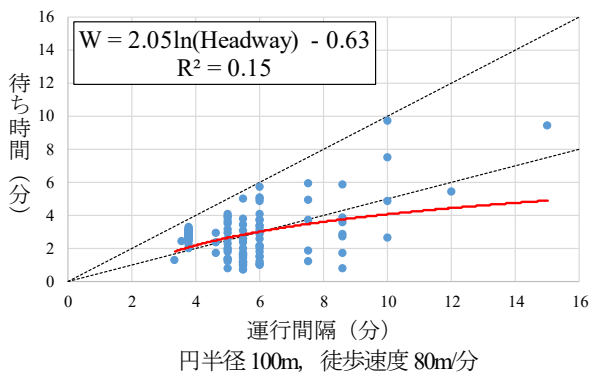
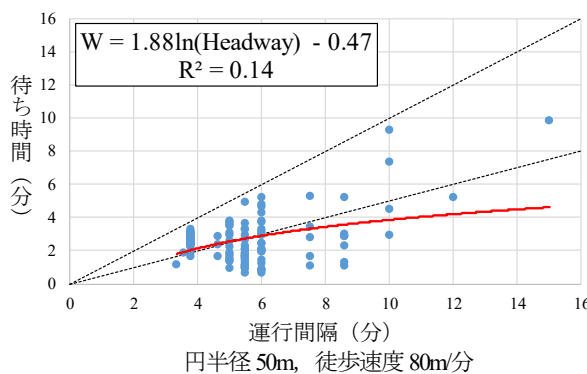
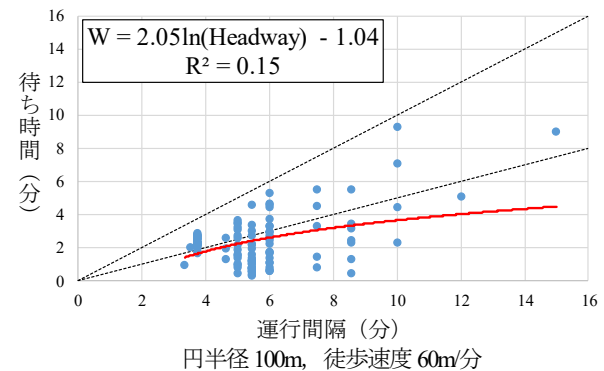
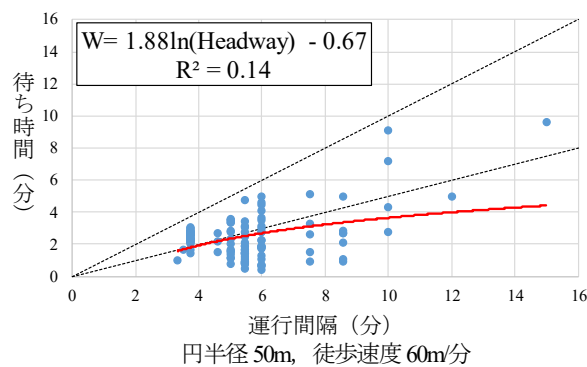


図-2 運行間隔と乗車待ち時間の関係

4. 鉄道経路選択モデルへの適用と感度分析

PP調査データより推計した乗車待ち時間が鉄道経路の選択に及ぼす影響を分析する。そのため、乗車待ち時間を運行間隔の1/2として推計した場合とPP調査データより推計した場合の2パターンでの鉄道経路選択確率を算出した上で比較を行った。

表-1は、本検討で用いた経路選択モデルのパラメータを表す。ここでは、運輸政策審議会18号答申における鉄道需要予測モデルパラメータを用いて、鉄道経路の選択確率を算出した。また、運輸政策審議会18号答申の鉄道経路選択モデルは、構造化プロビットモデルであるが、本分析においてはロジットモデルとして計算を行う。表-2は、鉄道経路のサービス水準の設定を示す。乗車待ち時間は運輸政策審議会18号答申と同様に乗換時間の一部として含まれる。また、PP調査データより推計した待ち時間は、図-2の円半径100m・徒歩速度60m/分の回帰式である式(5)を用いた。

乗車待ち時間と経路Aの選択確率の関係を図-3に示す。列車運行間隔が7分以降から経路Aの選択確率の乖離がみられた。これは運行間隔が長い路線において、乗車待ち時間を運行間隔の1/2として与える現在の需要予測手法を用いると利用者を過小に評価してしまう可能性を示唆している。特に、さほど運行頻度が高くない郊外駅から都心に向かう通勤トリップでは、待ち時間の設定による過小推計の影響が生じる。

5. おわりに

本研究は、PP調査データを用いて鉄道利用者の待ち時間を推定する手法の構築と鉄道需要予測モデルの導入可能性を検証した。従前から用いられている運行間隔の1/2を待ち時間として与えることは、運行間隔が7分を超える場合には当てはまらず、実態との乖離が生じることが明らかとなった。また、実務で用いられる鉄道経路選択モデルに導入した結果、過小推計となる可能性を示し、需要予測モデルの改良が必要であることを示唆した。

今後の課題として、複数の列車種別が同一プラットフォームで発着する場合での待ち時間算出モデルの構築、PPデータからより効率的に個人の待ち時間を算出するアルゴリズムの検討などが挙げられる。引き続き検討を行い、モデルの精緻化に取り組みたい。

謝辞

本研究は、第18回行動モデル夏の学校における検討結果を報告するものである。データの提供ならびに有益な条件を頂いた。ここに感謝の意を表する。

表-1 パラメータの設定

説明変数	パラメータ
乗車時間 (分)	-0.0943
アクセス・イグレス時間 (分)	-0.127
乗換時間 (分)	-0.112
運賃 (円)	-0.002
混雑指標	-0.00869

表-2 鉄道経路のサービス水準の設定

	経路A	経路B	経路C
乗車時間 (分)	40	30	30
アクセス・イグレス時間 (分)	30	20	25
乗換時間 (分)	Headway*1/2	3	5
	2.05*Headway-1.04		
運賃 (円)	500	500	500
混雑指標	175	185	200

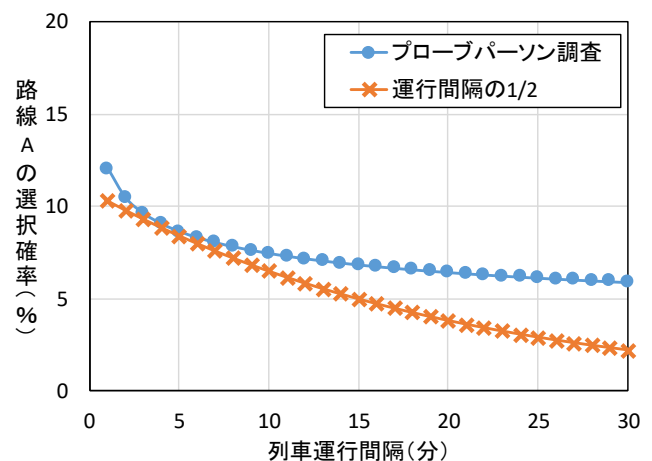


図-3 乗車待ち時間と経路Aの選択確率の関係

参考文献

- 1) 国土交通省：東京都圏における今後の都市鉄道のあり方について 鉄道需要分析手法に関するテクニカルレポート，2016.
- 2) 小林 渉，渡部 翔平，岩倉 成志，山下 良久：都市鉄道の運転間隔と利用者の乗車待ち時間の推定モデル，土木計画学研究・論文集，Vol.75, No.5, pp.693-700, 2019.
- 3) 吉岡昭雄：歩行者交通と歩行空間 (II)-歩行速度 密度交通量について-，交通工学，Vol.13, No.5, pp.41-53, 1978.
- 4) 松田 壮，菊池 輝，北村 隆一：歩行者属性を考慮した都市内回遊行動における歩行速度についての分析，交通工学研究発表会論文報告集，Vol.24, pp.313-316, 2004.
- 5) 渡辺 美穂，羽藤 英二：移動軌跡に着目した都市空間の歩行速度分析，都市計画論文集，No.42-3, pp.535-540, 2007.

(2020.3.18受付)

PASSENGER WAITING TIME ESTIMATION USING PROBE PASON DATA

Kohei IKEDA, Takumi HINO, Hideki YAGINUMA and Seiji IWAKURA