

鉄道利用者の乗車待ち時間と 列車の運転間隔の実測研究

小林 渉¹・大畑 俊英²・岩倉 成志³

¹学生会員 芝浦工業大学大学院 理工学研究科 (〒 135-8548 東京都江東区豊洲 3-7-5)

E-mail: na17103@shibaura-it.ac.jp

²非会員 前芝浦工業大学 工学部土木工学科 (〒 135-8548 東京都江東区豊洲 3-7-5)

E-mail: ah14204@shibaura-it.ac.jp

³正会員 芝浦工業大学 教授 工学部土木工学科 (〒 135-8548 東京都江東区豊洲 3-7-5)

E-mail: iwakura@sic.shibaura-it.ac.jp

都市鉄道において、駅での乗車待ち時間は鉄道サービスに影響する要素である。我が国の需要予測においても乗車待ち時間が含まれているが、現行の方法では乗車待ち時間を運転間隔の半分と設定している。これは、運転間隔の長い駅の待ち時間を過大に与えている可能性がある。本研究では、駅における乗車待ち時間の実測調査を6分間隔から30分間隔まで、7つの運転間隔の11駅で実施した。その結果、時刻表が示されているすべての駅において乗車待ち時間の平均値が、運転間隔の半分よりも有意に短いことが明らかとなった。また、利用者の到着分布から、運転間隔が長くなる駅ほど発車時刻に合わせて駅に到着していた。これらの結果は、海外の既往研究の成果とも整合するものであった。

Key Words: *Waiting time, Urban rail system, Frequency-based timetables*

1. はじめに

都市鉄道において、駅での待ち時間は鉄道サービスに影響する要素である。2016年の交通政策審議会第198号答申でも、乗車待ち時間は東京圏の鉄道経路選択モデルの変数として与えられたが、その与え方は運行間隔の半分としている¹⁾。また、鉄道路線別の推計交通量を算出する際には、Hyperpath法の考え方をを用いて、代表的なサービスレベルを与えている。これは、種別の組合せごとに平均所要時間と乗車待ち時間を算出し、これらの合計が最小となる組合せを選ぶ方法をとっているが、ここでの乗車待ち時間も運転間隔の半分である。

確かに、列車が遅延なく等間隔で運行し、利用者が時刻表を気にせずランダムに到着する場合には、利用者の乗車待ち時間の平均値は運転間隔の半分となる。列車が高頻度で運行している都心部においては、ランダムな到着も考えられるが、運転間隔が長くなるにつれて、利用者が時刻表を気にせず駅に到着していることは考えにくい。

交通量配分モデルで与える乗車待ち時間を、運転間隔の半分としていることへの問題意識は海外でも持たれており、列車の運転間隔と利用者の待ち時間との関係性について、いくつかの研究が報告されている。Ingvardson et al.²⁾は、デンマークのコペンハーゲンの鉄道駅を対象にICカードの入場履歴のデータを用いて、乗車待ち

時間を計測している。この研究では、利用者を時刻表に影響されて行動する人々(到着分布はベータ分布を仮定)とそうでない人々(一様分布を仮定)に分類し、運転間隔や時刻表の有無によってそれぞれのタイプの割合の変化を調査した。その結果、運転間隔が長くなるほど時刻表に影響されて行動する人々の割合が大きくなること、時刻表が存在しない駅の利用者の到着は一様分布とほぼ等しいことを明らかにしている。Luethi et al.³⁾は、スイスのチューリッヒのバス停を対象にカウント調査と利用者へのアンケート調査を行っている。この研究も、運転間隔が長くなるにつれて利用者が発車時刻に合わせて駅に到着する傾向が示されている。また、運転間隔が5分程度までは、利用者の乗車待ち時間の中央値が運転間隔の半分と概ね一致する結果であったが、それより長くなると乗車待ち時間が運転間隔の半分よりも短くなったとしている。

我が国において、同様の研究例は少ないのが現状であるが、もし同様の傾向が示された場合には、鉄道需要分析において、乗車待ち時間の期待値を過大に与えている可能性が考えられる。例えば、運行頻度の少ない鉄道の新線建設時には、新規路線の待ち時間が長く設定することで需要を低く推計し、新線の便益を十分評価できないことが考えられる。最近では、利便性向上のため、運転間隔は長いものの優等列車を導入する路線もあり(JR南武線や横浜市営地下鉄ブルーライン

等),このような施策に対する評価が過少になることも課題として考えている。

本研究では、鉄道の需要予測手法における、乗車待ち時間の新たな設定方法を提案することを念頭に置きつつ、まずは我が国の列車の運転間隔と利用者の待ち時間の関係を実測調査から明らかにすることを目的とする。

2. 現地調査

東京圏の駅において利用者の到着状況に関するカウント調査を実施した。本研究における乗車待ち時間の定義は、利用者が乗車待機列へ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を指す。

調査方法は、調査員 1 名がプラットフォーム上の階段付近に立ち、利用者がホーム上に整列したタイミングと列車が発車したタイミングを、電子数取器を用いてカウントする。対象駅に階段が複数ある場合には、利用者の交通量が多い階段付近を選択する。整列する利用者を計測する範囲は、階段から 3,4 扉に限定している。階段通過旅客をカウント対象としなかった理由は 2 点ある。1 つ目は、ホーム構造が島式ホームであったため利用者の乗車方向が不明であったためである。2 つ目は、今後優等停車駅の調査を考えた場合に、このカウント方法ではホーム端へ向かっていった利用者が、優等列車が普通列車のどちらに乗り込んだか明らかにできないためである。

対象駅は、利用者の乗車待ち時間に着目するため、調査時間帯において以下の条件を満たす駅から選定した。

- 単一種別が停車する駅であること。
- 優等列車の通過待ちを行わない駅であること。
- 始発列車が存在しない駅であること。
- 乗換路線が存在しない駅であること。
- 時刻表のある駅では発車時刻が等間隔であること。
- 調査中に大規模な遅延が発生しないこと。

以上の条件を満たした 7 つの運転間隔の 10 駅を抽出とした(表-1 参照)。また、既往研究にて時刻表が存在する駅とそうでない駅において、利用者の乗車待ち時間が異なる結果が示されていたため、日中時間帯は時刻表が示されていない都電荒川線の停留場を調査対象に加えた計 11 駅で調査を実施した。

留意点として、列車の発車に合わせて路線バスが駅に到着することが考えられるが、本研究においてはその影響を考慮できていない点、到着した列車の混雑状況や着席可能性については調査を行っていない点が挙げられる。

表-1 調査対象駅

運転間隔	対象駅	路線	調査日	調査時刻
6分	雪が谷大塚	東急池上線	2017/12/06	11:37~12:37
8分	高井戸	京王井の頭線	2017/11/30	12:04~13:08
10分	五香	新京成電鉄	2017/12/15	10:31~11:31
"	北松戸	JR常磐緩行線	2017/12/07	14:03~16:03
12分	スポーツセンター	千葉都市モノレール	2017/12/07	09:45~11:45
"	多磨	西武多摩川線	2018/01/31	11:17~13:17
15分	八千代緑が丘	東葉高速鉄道	2017/12/05	11:27~13:27
20分	学園前	京成千原線	2017/12/08	06:56~07:56
"	大森台	京成千原線	2018/02/01	11:25~13:45
30分	神立	JR常磐線	2018/01/30	10:08~14:08
6~7分	滝野川一丁目	都電荒川線	2018/07/19	10:35~13:07

注：調査時間帯の滝野川一丁目は時刻表が示されていない

表-2 基礎集計結果

駅名	運転間隔(分)		乗車待ち時間(分)		乗車人数	列車本数	検定本数(注)
	平均値	最大値	平均値	標準偏差			
雪が谷大塚	6.01	6.48	2.10	1.72	140	10	**
高井戸	8.07	8.77	3.21	2.18	232	8	**
五香	10.01	10.32	3.06	2.52	141	6	**
北松戸	10.05	10.67	3.84	2.88	220	12	**
スポーツセンター	11.98	12.42	4.61	3.11	164	10	**
多磨	12.03	12.28	1.94	1.88	97	10	**
八千代緑が丘	15.01	16.20	3.14	3.08	161	8	**
学園前	20.04	20.13	3.57	3.43	115	3	**
大森台	20.02	21.40	3.24	2.30	32	7	**
神立	30.19	31.00	5.30	4.62	64	8	**
滝野川一丁目	6.43	10.10	3.47	2.07	146	46	

注：乗車待ち時間の平均値が運転間隔の半分以下かどうか検定
*5%有意,**1%有意

3. 調査結果

(1) 運転間隔と乗車待ち時間との関係

調査した 11 駅の乗車待ち時間の平均と標準偏差、踏査扉からの総乗車人数や調査した列車本数を表-2 にまとめ、運転間隔と乗車待ち時間の平均値との関係を図-1 に示す。図の横軸に運転間隔を取り、縦軸は乗車待ち時間の平均値を取った。破線は運転間隔の半分を示している。各プロットは列車別の乗車待ち時間の平均値であり、大きなプロットが各駅の平均値である。あわせて平均値±標準偏差の範囲も示している。

乗車待ち時間の平均値は時刻表のない滝野川一丁目停留場を除き運転間隔の半分以下となった。また、調査で得られた各駅の乗車待ち時間の平均値が、運転間隔の半分以下であるか差の検定を行ったところ、滝野川一丁目停留場を除き有意な差があった。つまり乗車待ち時間は運転間隔の半分よりも短く、現行の需要予測手法では乗車待ち時間を過大に与えていることが明らかとなった。

図-2 は、Luethi et al.³⁾ で示された成果と本研究の成果を比較したものである。この図の縦軸は乗車待ち時間の平均値ではなく中央値である。既往研究で得られた乗車待ち時間と本研究の成果で同様の傾向が確認できた。

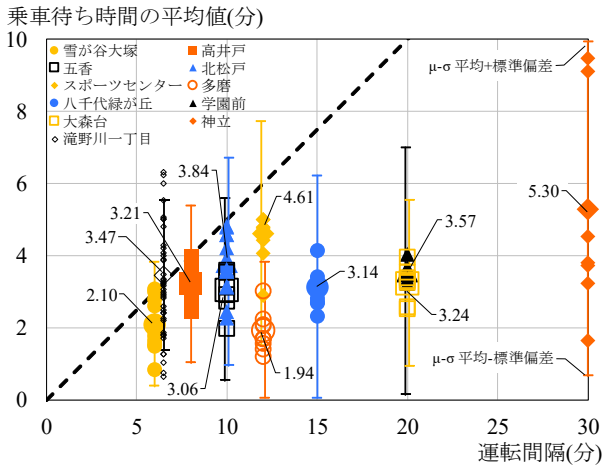


図-1 運転間隔と乗車待ち時間の平均値との関係

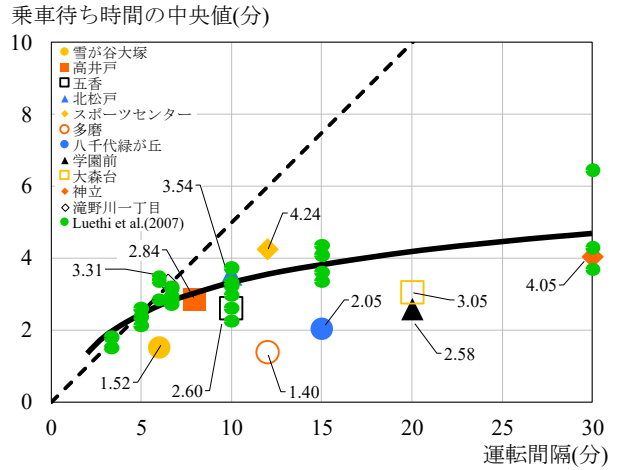


図-2 Luethi et al.(2007) との比較

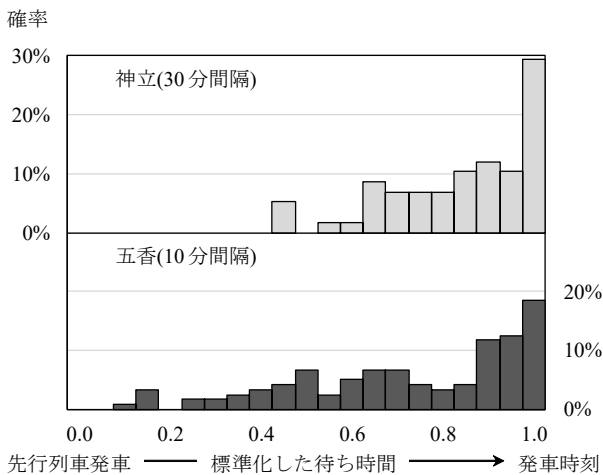


図-3 運転間隔と到着分布の関係

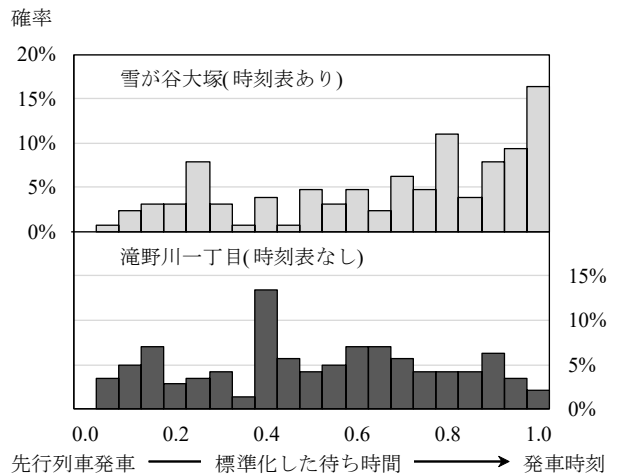


図-4 時刻表の有無と到着分布の関係

(2) 利用者の到着分布

図-3 および図-4 は、利用者の到着状況を示したものである。縦軸に利用者の駅への到着割合、横軸は実際の運転間隔を 1 とした場合の利用者の待ち時間である。ここで横軸の 0 が先行列車が発車した時点、1 が当該列車が発車した時点を示している。横軸を調査した当日の運転間隔で標準化した理由は、現行の需要予測手法での運行頻度が 1 時間あたりの本数で与えており、時刻表を用いた予測を行っておらず、時刻表ベースの分析は現時点では不要と考えたためである。

図-3 では運転間隔の異なる 2 つの駅の到着分布を示している。両者を比較すると、10 分間隔の五香駅は先行列車が発車してからすぐに次の列車を待つ人が到着しているのに対し、神立駅では最初の利用者が到着するまでに間隔があった。

運転間隔が 6 分台の雪が谷大塚駅と滝野川一丁目停留場を比較すると (図-4 参照)、雪が谷大塚駅の方が発車間際に到着する利用者の割合が多い。利用者が時刻表を意識した行動を取っていることが考えられる。調

査時間帯は時刻表が明示されていない滝野川一丁目停留場は、時刻表のある駅と比較して発車時刻に関係なくランダムに到着しており、この結果は Ingvardson et al.²⁾ の研究結果と同様の傾向を示している。

図-5 は、調査したすべての駅の利用者の累積到着分布である。45 度線が到着分布に一樣分布を仮定したものである。滝野川一丁目停留場を除いたすべての駅において、発車時刻が近づいてから多くの利用者が駅に到着していることがわかる。全体の傾向としては、運転間隔が長いほど発車時刻が近づいてから駅に到着しているが、同じ運転間隔であるスポーツセンター駅と多磨駅では到着分布が異なる結果となった。要因として、駅構造や立地条件、駅利用者層の違いなどが考えられ、今後詳細な分析が必要と考える。

図-6 は、Ingvardson et al.²⁾ の研究で示されていた待ち時間と到着割合について、本研究の成果と比較したものである。本研究で得られた結果のほうが、45 度線から離れた結果となっている。これは、我が国の鉄道利用者のほうが、発車時刻直前に多く到着している

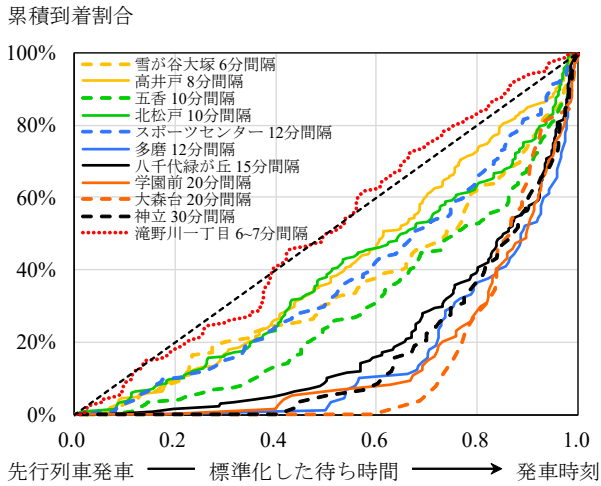


図-5 各駅の累積到着分布

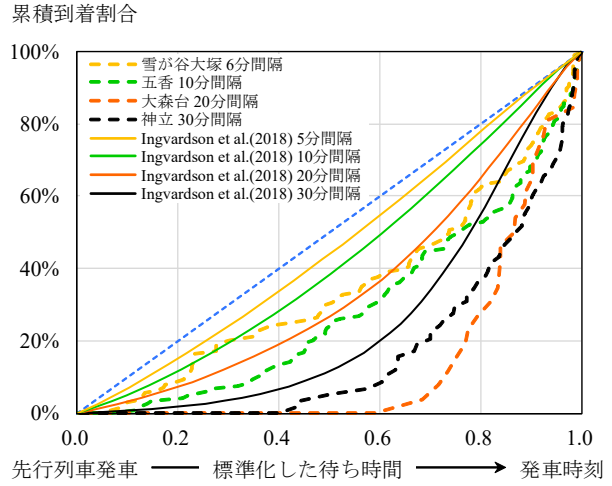


図-6 Ingvardson et al.(2018) との比較

ことを示している。すなわち、海外の鉄道利用者よりも時刻表を意識して行動している可能性が考えられる。我が国の鉄道の定時性の高さなどが要因として考えられるが、今後の検討事項としたい。

4. おわりに

本研究では、鉄道の需要予測手法における、乗車待ち時間の新たな設定方法を提案するために、まずは乗換や緩急接続などの発生しない駅において、乗車待ち時間と運転間隔の関係性について実測調査を行った。6分から30分までの7つの運転間隔の11駅にて調査を行った結果、乗車待ち時間の平均値は運転間隔の半分よりも有意に小さい結果となった。また、利用者の到着分布をみると、利用者はランダムに到着しているのではなく、発車時刻に合わせて駅に到着していることが明らかとなった。これらの結果は、海外で実施されている既往の研究と整合する結果である。ただし、我が国の利用者のほうが、海外よりも時刻表を意識して駅に到着している傾向もみられた。

今後の方向性として、優等停車駅や乗換駅、運転間隔が等間隔でない駅などで調査を重ねていくことと、得られた結果を用いて待ち時間モデルを構築し、経路選択モデルのパラメータがどのように変動するのか、分析を進めていきたい。

参考文献

- 1) 国土交通省: 東京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) J.B. Ingvardson, O.A. Nielsen, S. Raveau, B.F. Nielsen, Bo FriisNielsen: Passenger arrival and waiting time distributions dependent on trainservice frequency and station characteristics: A smart card dataanalysis, Transportation Research Part C, Vol.90, pp.292-306, 2018.
- 3) Luethi, M., Weidmann, U.A., Nash, A.: Passenger arrival rates at public transport stations. Transportation Research Board 86th annual meeting (No. 07-0635), 2007.