

軌道回路占有データによる列車乗車率の推定と遅延の関係の検討

Investigation of the relationship between train occupancy estimation and delay using track circuit occupancy data

○小幡賢右¹, 福田卓海², 高橋聖²*Kensuke Obata¹, Takumi Hukuda², Sei Takahashi²

This study analyzes the impact of ridership on delay. Analyzing the effect of train occupancy on delay requires more operational data. Therefore, this paper analyzes the effect of occupancy on train running by using train control data, which is limited but accurate, and track circuit occupancy data, which is available for all trains.

1. はじめに

都心部の駅は、ラッシュ時間帯である午前7:00から午前9:30にかけて乗客数が増加し、非常に混雑する。しかし、高密度に整備された首都圏の鉄道では、極めて高頻度な列車運行により、ラッシュ時間帯における膨大な鉄道利用客の運送を可能にしている。一方、高頻度な列車運行は乗客の乗降や車両トラブルにより遅延が発生し、後続の列車へと伝播してしまう。

そこで、本研究では乗客の乗降により発生する遅延について分析をするために、列車の乗車率と遅延の関係について分析を行う。

乗車率が遅延に与える影響を分析するにはより多くの運行データを必要とする。そのため、全列車の運行データが得られるが位置の精度の低い軌道回路占有データを、正確なデータであるが限られた列車からしか得られないトレインコントロールデータ（以下トレコンデータ）と同じ結果が得られるかを分析し、軌道回路占有データから乗車率を推定する。その後、軌道回路占有データから得た乗車率と遅延の関係を分析する。

2. 軌道回路占有データ

軌道回路とは、一定の区間ごとに区切られたレール上の、どの位置に列車が在線しているか検知を行う装置である。レールに列車検知電流を流し、区間内にいる列車の車輪および車軸が2本のレールを電氣的に短絡することを利用して列車検知を行い、区画内の在線状況を1秒ごとに記録する。この記録データから短絡状態を1、非短絡状態を0としたバイナリデータを軌道回路ごとに集計したものが軌道回路占有データである。

この性質上、軌道回路内での細かい動きの記録ができないため、実際の運行データより位置の精度が低い

が、全列車の運行データを得ることができる。

3. トレコンデータ

トレコンデータとは測定装置を搭載した列車の運行データを1秒ごとに記録しているデータである。記録しているデータの種類は位置、時刻、走行速度、総走行距離、停車駅名、各車両の乗車率の6種類である。乗車率は定員に対する乗客数を百分率で表現している。正確だが、測定装置を搭載している列車に限られているため、全列車の運行データは得られない。

4. 提案手法

4.1 列車乗車率の推定

列車の走行には様々な力が働いており、特に勾配による重力の影響、車輪とレール間の摩擦力は列車の重量に影響を大きく受ける^[1]。これにより、乗車率が列車の加速度に影響を与えると考える。その影響をトレコンデータと軌道回路占有データで分析したものをTable 1に示す。軌道回路占有データとトレコンデータの加速度の差が1.5倍程度であるが、乗車率に対する加速度の増減の特徴が一致していることから、軌道回路占有データで乗車率が推定できる事がわかる。これを利用し、トレコンデータと同じ列車の同日の時刻の軌道回路占有データと回帰分析を行うことにより、軌道回路占有データで加速度を推定できるようにする。

Table 1: acceleration analysis

train occupancy rate[%]	36	60	84	152
train control[km/h/s]	2.79	2.76	2.61	1.52
track circuit[km/h/s]	4.52	4.52	3.66	2.55

4.2 列車乗車率と遅延の関係

本稿では、列車の乗車率が乗客の乗降にかかる時間

に影響していると仮定し、駅停車時間の超過時間と4.1で求めた乗車率との関係性を分析する。運行予定時間表を元に各列車の予定停車時間を求め、軌道回路占有データから算出した実際の停車時間との差分を取ることで、駅停車時間の超過時間を求める。その超過時間と駅発車時の乗車率との関係を分析する。次に、駅停車時間の超過時間が正である場合を遅延発生、負である場合を非遅延発生とし、遅延発生率を計算する。また、乗車率は駅発車時のデータを使用する。その遅延発生率と駅発車時の乗車率との関係を分析する。

5. 結果

5.1 列車乗車率の推定

加速度は、駅発車時の軌道回路占有データを使用し、軌道回路の長さを軌道回路を列車が通過した時間の2乗で除算することにより算出する。

乗車率は同じ列車と同じ時間であるトレコンデータに記載された乗車率を使用する。軌道回路占有データの加速度とトレコンデータの乗車率の関係を Figure 1 に示す。Figure 1 より、乗車率と加速度の関係が対数関数状に変化していると仮定し、対数近似を行った。

これを各駅ごとに回帰式を算出することにより、全列車の全駅での乗車率の推定を行うことが可能になった。

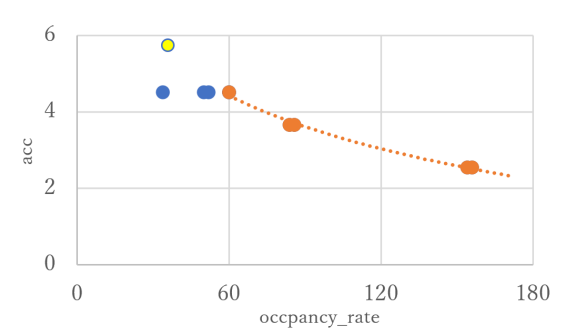


Figure 1. acceleration - occupancy rate

5.2 列車乗車率と遅延の関係

2020年7月の平日の7:00から9:30に走っている合計451本を対象に分析を行う。駅停車時間の超過時間と駅発車時の乗車率との関係を表す散布図を Figure 2 に示す。駅停車時間の超過時間と駅発車時の乗車率の相関係数が -0.14 であり、駅停車時間の超過時間と駅発車時の乗車率には相関関係が無いことを確認した。

駅停車時における遅延発生率と駅発車時の乗車率との関係を Figure 3 に示す。駅停車時における遅延発生率と駅発車時の乗車率の相関係数が -0.95 であり、駅

停車時における遅延発生率と駅発車時の乗車率には強い負の相関関係があることを確認した。特に乗車率が非常に高くなる7:30から8:30において、7:00から7:30や8:30から9:30の時間帯と比べ、予定停車時間が10秒から20秒程度長くなっていることを確認した。これにより、予め予定停車時間を長く用意しておくことによって、遅延発生が抑制されたことが確認できた。

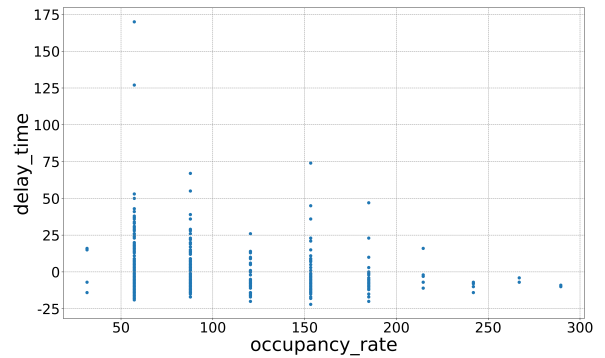


Figure 2. delay time - occupancy rate

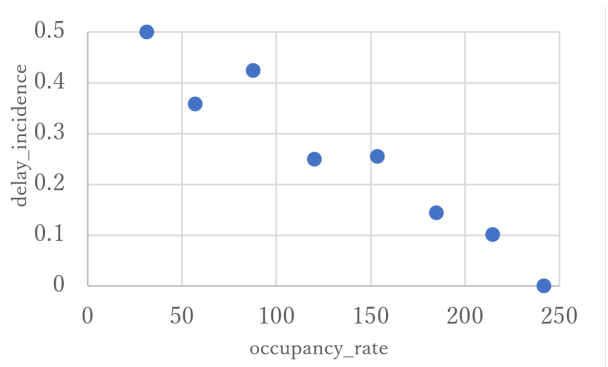


Figure 3. delay time - occupancy rate

6. まとめ

本稿では、限られた列車からしか得られないが精緻なデータであるトレコンデータと同じ列車の軌道回路占有データを比較し、列車の乗車率を推定した。これにより、全列車の各駅発車時の乗車率を得ることが出来た。また、駅停車時間の超過時間と駅発車時の乗車率との関係は相関関係が無いことを確認し、駅停車時における遅延発生率と駅発車時の乗車率との間には強い負の相関関係があることを確認した。

今後は、他駅における駅発車時の乗車率と遅延発生率の関係の分析を行う。また、駅停車前の乗車率に着目し、駅停車時の乗車率と駅停車時における遅延発生率との関係の分析を行う。

7. 参考文献

[1] 桑原弥寿雄, "路線の勾配選定に関する研究", 土木学会論文集第78号, pp.16-41, 1962