

軌道回路占有データによる列車乗車率の計算手法に対する一検討 Investigation of a method for calculating ridership by track circuit occupancy data

○小幡 賢右¹ 福田 卓海² 高橋 聖²*Kensuke Obata¹ Takumi Fukuda² Sei Takahashi²

This study examines a method for calculating ridership in order to analyze the impact of ridership on delay. Analyzing the effect of train occupancy on delay requires more train operation data. Therefore, this paper analyzes the effect of occupancy on train running using train control data, which is accurate data, and confirms that the same analysis results can be obtained from track circuit occupancy data, for which all train operation data is available.

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、後続の列車へと伝搬してしまう。

そこで、本研究では乗車率が遅延に与える影響を分析するために、乗車率を計算する手法を検討する。

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、本稿では乗車率が列車走行に与える影響を、限られた列車からしか得られないが精度なデータであるトレインコントロールデータ（以下トレコンデータ）で分析し、全列車の運行データが得られる軌道回路占有データから同様の分析結果が得られることを確認する。

2. 軌道回路について

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解像度が低い、全列車の運行データを得ることができる。

3. トレコンデータについて

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. 列車種別について

運行を行う列車には各駅停車や快速列車など停車駅やサービスが異なる列車種別がある。本研究では、首都圏のラッシュ時間帯に運行を行う各駅停車、通勤快速、回送列車を対象に分析を行った。各駅停車とは運行区間内の駅すべてに停車する列車を指す。通勤快速とはラッシュ時間帯にのみ運行し、途中駅の一部を通過する列車を指す。回送列車とは、乗客を乗せずに運行を行う列車を指す。

5. 提案手法

坂を上る状態を正の勾配、水平な状態を勾配無し、坂を下る状態を負の勾配とする。運動方程式を式(1)に示す。 m は列車の重量、 a は列車の加速度、 g は重力加速度、 k は空気抵抗の比例係数、 v は速度である。勾配が負である場合、式(1)より、重力加速度 g 及び空気抵抗 kv は重量に影響を受けないため一定である。これにより、加速度は重力加速度から重量の逆数を減算した形となるため、重量が多いほど加速度が大きくなる。勾配が無い場合、加速度の変化はレールとの摩擦力によって決まる。摩擦力は重量に比例するため、重量が多いほど加速度が小さくなる。勾配が正である場合は負である時と逆向きに力を受けるため、重量が多いほど加速度が小さくなる。

これを利用し、勾配ごとに加速度を分析することにより乗車率が列車走行に影響を与えているかをトレコンデータで分析を行い、その後軌道回路占有データに乗車率の影響を受けているかを分析する。

$$ma = mg - kv \quad (1)$$

6. 結果

駅発車時の加速度と駅停車時の加速度の分析を行った。加速度は軌道回路長を軌道回路占有時間の2乗で除算することにより算出する。その結果をTable 1.に示す。Table 1.より、駅発車時の加速度は3.44[km/h/s]であるのに対し、駅停車時の加速度は-10[km/h/s]を下回っている。これは、駅到着側の軌道回路長が短いことから占有時間が短くなるため、加速度計算を行った際に誤差が生じると推測する。そのため、本研究では誤差が少ない駅発車時の加速度を分析対象とする。

Table 1. Acceleration

状態	加速度
停車時	-12.83[km/h/s]
発車時	3.44[km/h/s]

6.2 トレコンデータによる分析

勾配による加速度の影響の推測が正しいことを確認するため、勾配ごとに重量と加速度の関係を分析する。

トレコンデータは一秒毎のデータであるため、分析する秒数を固定し、移動距離で比較する。この場合、勾配が負である時は重量が多くなるほど移動距離が長くなり、勾配が無いまたは勾配が正である時は移動距離が短くなる。各勾配の特徴ごとに5秒後の移動距離を分析した結果をTable 2.に示す。Table 2.より、列車走行に乗車率の影響があることを確認した。

Table 2. Train control data analysis

駅名	非ラッシュ時	ラッシュ時	勾配
A 駅	20[m]	18[m]	正
B 駅	17[m]	13[m]	無し
C 駅	15[m]	16[m]	負

6.3 軌道回路占有データによる分析

乗車率の違いを得るために混雑の無い時間、やや混雑している時間、混雑している時間の3パターンの解析を、文献 [1] を元に該当時間内に走行している全ての列車の分析を行う。

軌道回路占有データは距離毎のデータであるため、分析する距離を固定し、時間で比較する。この場合、勾配が負である時は重量が多くなるほど軌道回路占有時間は短くなり、勾配が無いまたは正の状態である時

は重量が少なくなるほど軌道回路占有時間は短くなる。分析結果をTable 3.に示す。Table 3.より、重量と勾配による軌道回路占有時間の大小関係がトレコンデータと一致したため、軌道回路占有データは乗車率の影響を受けたデータであることを確認した。

Table 3. Track circuit occupancy data analysis

駅名	混雑無し	やや混雑	混雑	勾配
A 駅	8.13[s]	8.88[s]	9.87[s]	正
B 駅	9.35[s]	9.89[s]	9.92[s]	無し
C 駅	8.82[s]	7.58[s]	7.32[s]	負

6.4 乗車率の詳細度

2020年7月1日の午前7時以降のC駅発車時の加速度分析をFigure 1.に示す。図の縦軸は加速度[km/h/s]であり、横軸は午前7時からの経過時間[s]である。青色のプロット点は各駅停車、黄色のプロット点は通勤快速、緑色のプロット点は途中から回送列車に変わる列車である。

Figure 1.よりプロット点が2.5[km/h/s]と3.1[km/h/s]と4.1[km/h/s]の3段階に分けられていることが確認できる。該当時間帯の混雑度は100%~150%であるため、乗車率の詳細度は12.5%~25%であることが示せた。

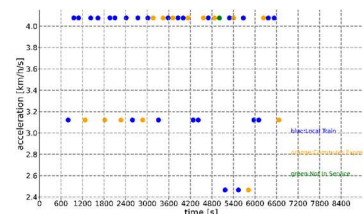


Figure 1. Station C analysis

7. むすび

本稿では、トレコンデータを分析することにより勾配による加速度への影響があることを確認し、軌道回路占有データを分析した結果、軌道回路占有データが乗車率の影響を受けたデータであることを示した。また、ラッシュ時間帯のみ分析することにより、乗車率は12.5%~25%の詳細度で得られることを確認した。今後は、乗車率の計算を行い、乗客の流れの可視化を行うことにより列車遅延への影響の分析を行う。

8. 参考文献

- [1] 東京メトロ、混雑見える化, <https://tmap-sid.tokyo-metro.jp/o/view/index.html>, 2022年