

混雑率を含む運行実績データを用いた列車の遅延分析に関する一検討

A Study on train delay analysis using actual operation data including congestion rate

○加藤瑞貴¹, 福田卓海², 高橋聖²*Mizuki Kato¹, Takumi Fukuda², Sei Takahashi²

By analyzing train operation data, including congestion rates, it is possible to identify the causes of chronic delays, which have become a problem in recent years. Prior studies have shown that delays are caused by train spacing jams. Congestion is expected to accompany the occurrence of delays, and we believe that there is a relationship between delays, train spacing, and congestion rates. In this paper, we conducted an analysis of chronic delays focusing on congestion rates. The results confirm that congestion does not have a strong influence on train delays. The most significant factor in train delays is train spacing.

1. はじめに

首都圏の鉄道は、高密度な鉄道網、列車の長編成化、相互直通運転の実施等により、膨大な通勤需要の正確かつ安全な輸送を可能としている。その反面、「慢性的な遅延の発生」、「遅延の連鎖」、「遅延の回復に時間が要する」等の問題が生じている。また、首都圏の列車の運休、旅客列車の30分以上の遅延等の輸送障害の件数は長期的に増加傾向にある。令和2年度では6,222件であり、これは1日あたり17件発生したことになる^[1]。しかしながら、上記数値の根拠となる届出書の対象は、30分以上の遅延を生じた列車となっており、30分未満の遅延については報告の対象となっておらず、既往のデータが存在していない。

飯屋崎らは、列車の間隔に着目し、間隔に起因する遅延の波及と拡大の現象について定量的に示している。また、シミュレータを用いて列車間隔を保持した場合とそうでない場合の遅延時間を比較し、列車間隔を保持することで遅延回復効果を明らかにした^[2]。

遅延に関する研究は長きに渡り行われているが、列車内の混雑率データを使用した遅延分析は行われていない。そこで、本研究はこれまでの列車遅延に対する研究をもとに、列車が走行した際に得られる運行実績データに加え、列車内の混雑率データを用いた慢性的な遅延の発生及び拡大の原因について分析を行う。

本稿では、列車内の混雑が慢性的な遅延に与える影響について明らかにすることを目的とする。

2. データ

2.1 運行実績データと混雑率データ

運行実績データとは、全列車の走行実績が1秒単位で詳細に記録されたものである。主に、ダイヤ上の到

着時刻及び出発時刻、実際に列車が駅に到着及び出発した時刻、駅名、列車種別等が表形式で保存される。

混雑率データとは、全列車の駅出発時の列車内混雑を示したデータである。混雑率データも表形式で保存され、百分率で表わされる。

3. 手法

本研究で分析対象とする路線は、首都圏を走行する上り路線の列車である。本研究では、当路線の2022年度の平日朝7時から8時半に走行した列車を分析の対象としている。運行実績データに記載されている到着時刻、出発時刻等から分析に必要なパラメータの算出に用いた式を以下に示す。

$$\text{出発遅延時間} = \text{出発時刻} - \text{定刻出発時刻} \quad (1)$$

$$\text{到着遅延時間} = \text{到着時刻} - \text{定刻到着時刻} \quad (2)$$

$$\text{駅発生遅延} = \text{出発遅延時間} - \text{到着遅延時間} \quad (3)$$

本研究では、列車内混雑が駅で発生している遅延に影響していると考え、列車内混雑と駅発生遅延及び列車間隔の各要素間の相関分析を行う。また、統計的除去を行い各要素間の変数の影響を取り除き、純粋な要素間の関係について分析を行う。これらを行うことで混雑率と遅延の関係を明らかにする。

4. 結果

4.1 朝ラッシュ時の遅延発生状況

朝ラッシュ時の遅延発生状況を Table 1 に示す。Table 1 より、全列車の内、多くの駅で70%以上の列車で遅延が発生していることが分かる。また、遅延が発生した列車の内、60秒以下の遅延が発生している列車の割合は95%であることが分かる。

60秒以下の遅延が発生している列車の混雑率と遅延発生件数及び平均遅延時間の関係を Figure 1 に示す。混雑率が高くなるにつれ、遅延発生件及び平均遅

延時間が増加していることが読み取れる。

4.2 相関分析

混雑と遅延の関係を明らかにするため、混雑率と駅発生遅延の相関分析を行った。また、先行研究より列車間隔を加え、混雑率と、駅発生遅延、列車間隔の3つの要素に着目した相関分析を行った。J駅の結果をTable 2に示す。要素間の関係性を明らかにしたいことから1日毎に相関分析を行った。

Table 2より、3つの要素間すべてに正の相関関係があることが分かる。また、3つの要素間の相関係数が約0.7以上の相関係数であることから3つの要素間には強い正の相関があることがわかる。

4.3 統計的消去

3つの要素間すべてに強い正の相関があることから、要素同士が影響し合っている可能性があると考え、統計的消去を行った。統計的消去を行い、残差同士を比較したJ駅の結果をFigure 2, 3に示す。

Figure 2より、混雑率と駅発生遅延の残差間には相関が見られない。また、Figure 3より、列車間隔と駅発生遅延の残差間には相関関係があることが読み取れる。これらのことから、列車内の混雑は駅で発生する遅延において直接的な影響は与えておらず、列車間隔が駅で発生する遅延に影響を与えていることが分かる。

Figure 3より、線形性が強い群とそうでない群の二つの群に分かれていることが読み取れる。また、線形性の強い群は、そうでない群に比べて上方向の分散が小さいことが読み取れる。これは、列車の間隔調整を行った際の停車と考える。

5. まとめ

朝ラッシュ時の遅延発生状況から発生している遅延の95%が遅延時間が60秒以下の遅延であることを明らかにした。混雑率の増加に伴い遅延発生件数、遅延時間の増加を確認した。これらのことを踏まえ、駅発生遅延と混雑率、先行研究より列車間隔の3つ要素に着目した相関分析を行い、全ての要素間に正の相関関係があることを明らかにした。

3つの要素間すべてに強い正の相関があることから、要素同士が影響し合っている可能性があると考え、統計的消去を行った。統計的消去を行い残差同士の比較を行うことで、混雑率と駅発生遅延には相関が見られなくなった。また、列車間隔と駅発生遅延には正の相関関係を確認した。このことから、混雑率は駅で発生する遅延に直接的な影響を与えておらず、列

Table 1. The rate of number of delays for each station (%)

Station	F	G	H	I	J
To total number of trains	71	78	70	80	42
To total number of trains [≤ 60s]	97	99	98	98	97

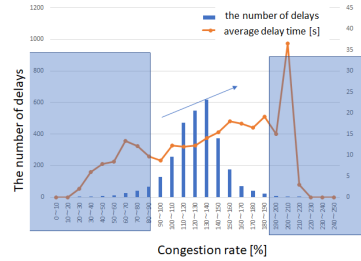


Figure 1. Dual-axis chart:congestion rate vs. the number of delays and average delay time

Table 2. Correlation analysis for station J

	A	B	C
delay at station (A)	1	0.73	0.95
congestion rate (B)	0.73	1	0.67
train interval (C)	0.95	0.67	1

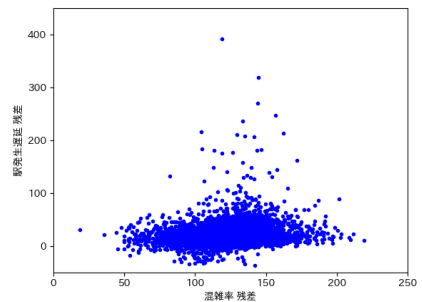


Figure 2. Residual Comparison 1

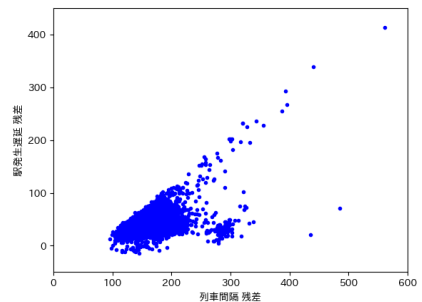


Figure 3. Residual Comparison 2

車間隔が駅で発生する遅延に影響を与えていると考える。

6. 参考文献

- [1] 国土交通省 鉄道局：「鉄軌道輸送の安全に関わる情報 (令和2年度)」, 2021
- [2] 仮屋崎圭司, 日比野直彦, 森地茂：“列車間隔に着目した運行遅延に関するシミュレーション分析”, 土木学会論文集, Vol.67, No.5, pp.1001-1010, 2011