

首都圏鉄道路線の朝の通勤時間帯における COVID-19 の感染拡大による遅延要因の変化

大島圭祐*・山本佳世子**

Changes of Train Delay Factors due to the Spread of COVID-19 in the Morning Commute Time on the Tokyo Metropolitan Railway Lines

Keisuke OSHIMA*, Kayoko YAMAMOTO**

Abstract: Though heavy commuter congestion on rail lines in the Tokyo Metropolitan Area can cause delays, the frequency of these delays varies greatly from line to line. In addition, the spread of COVID-19 infection has led to changes in lifestyle, such as the promotion of teleworking instead of commuting to the office, which is changing the usage of railways in Tokyo. Based on the above background, this study aims to find the factors of delay based on the characteristics common to lines with high and low delays, and to understand the factors that cause delays on rail lines in the Tokyo metropolitan area. Statistical analysis of the delay occurrence data published by each railroad operator, together with data on the equipment and the number of passengers on each line, will be conducted to identify the factors affecting the occurrence of delays. We will also analyze changes in railroad usage due to the spread of COVID-19 infection by comparing the factors affecting delays before and after the spread of COVID-19 infection.

Keywords: 鉄道遅延 (railway delay), 統計解析 (statistical analyze), 通勤時間帯 (commute time), COVID-19

1. 序論

1.1. 研究の背景と目的

首都圏の鉄道路線には通勤による激しい混雑が存在し、それにより遅延が発生することがあるが、その遅延の発生頻度は路線により大きく異なっている。また、首都圏では利便性向上のために鉄道路線間での相互直通運転が盛んに行われているが、これによりわずかな遅延が関東一円の広範囲に波及するようになり、列車の遅延が鉄道のネットワークに与える影響はより一層大きくなっている。鉄道の利便性を向上させるには、各路線の特徴を踏まえた上でこれらの遅延の発生要因を分析し、改善する必要がある。さらに、COVID-19 の感染拡大により、各企業で在宅勤務が推奨されるなど、人々の生活スタイルが変化している。これによって、鉄道の利用状況が大きく変化することが予想される。

以上の背景を踏まえて、本研究は、統計解析を用

いて COVID-19 の感染拡大前後の首都圏鉄道路線の列車の遅延の潜在的な要因を比較し、その変化を明らかにすることを目的とする。説明変数に線区単体と直通運転区間全体のデータを両方用意することにより、昨今の首都圏の鉄道ネットワークの実情に合わせて遅延の要因を明らかにする。

1.2. 関連分野の先行研究と本研究の位置付け

都市鉄道の遅延について、仮屋崎ら(2009)は、複数のデータを用いて首都圏鉄道における遅延の実態を明らかにし、遅延の発生および波及の現状分析を行った。また、山村(2014)や宮崎ら(2014)は列車の運行実績をもとに列車遅延の分析を行った。

さらに、上松ら(2010)は、遅延の主な原因を分析し、エージェントモデルを構築して遅延のシミュレーションシステムを提案した。

これらの先行研究と比較し、本研究では、多数の

* 学生会員 電気通信大学大学院情報理工学研究科 (University of Electro-Communications, Graduate School of Informatics and Engineering)

〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1 E-mail : o1930022@edu.cc.uec.ac.jp

** 正会員 電気通信大学大学院情報理工学研究科 (University of Electro-Communications, Graduate School of Informatics and Engineering)

路線に対して遅延データと路線データを用いた統計解析を用いることで、首都圏の鉄道の一般的な遅延の要因を定量的に評価し、また COVID-19 の感染拡大の前後の遅延の要因を比較することで、その変化を明らかにする点において独創性を示す。

2. 研究の枠組みと方法

2.1. 研究の枠組み

本研究では、まず説明変数となる路線データおよび被説明変数となる遅延データを収集し、解析に必要な形式に加工する。その後、収集・加工したデータを用いて解析し、遅延の潜在的要因について考察する。

仮屋崎ら(2010)によれば、遅延証明書の発行は土日より平日、特に朝が多いことから、本研究では平日の朝に着目し、この時間帯に限定して解析を行う。また、COVID-19 の感染拡大の影響を明らかにするため、東京都・千葉県・埼玉県・神奈川県を含む地域に対して緊急事態宣言が発令されていた 2020 年

4 月 8 日から同年 5 月 25 日までの期間、および緊急事態宣言前の同年 1 月 4 日から 4 月 7 日までの期間、緊急事態宣言後の同年 5 月 26 日から 7 月 31 日の期間の 3 つに分けて解析し、これらの解析結果を比較することによって、遅延の要因の変化を明らかにする。

2.2. 研究の方法

本研究では、遅延要因の分析にあたって、遅延時間を被説明変数とした標準重回帰分析と、1 分以上の遅延発生の有無を被説明変数としたロジスティック回帰分析の 2 種類の解析を行う。また、変数選択として、AIC を評価指標とするステップワイズ法による変数減増法を用いる。

2.3. 研究対象路線の選定

本研究では、首都圏の 17 社局の 55 線区を対象に解析を行う。図 1 は研究対象路線の概要図である。なお、図 1 では地下鉄路線は省略している。

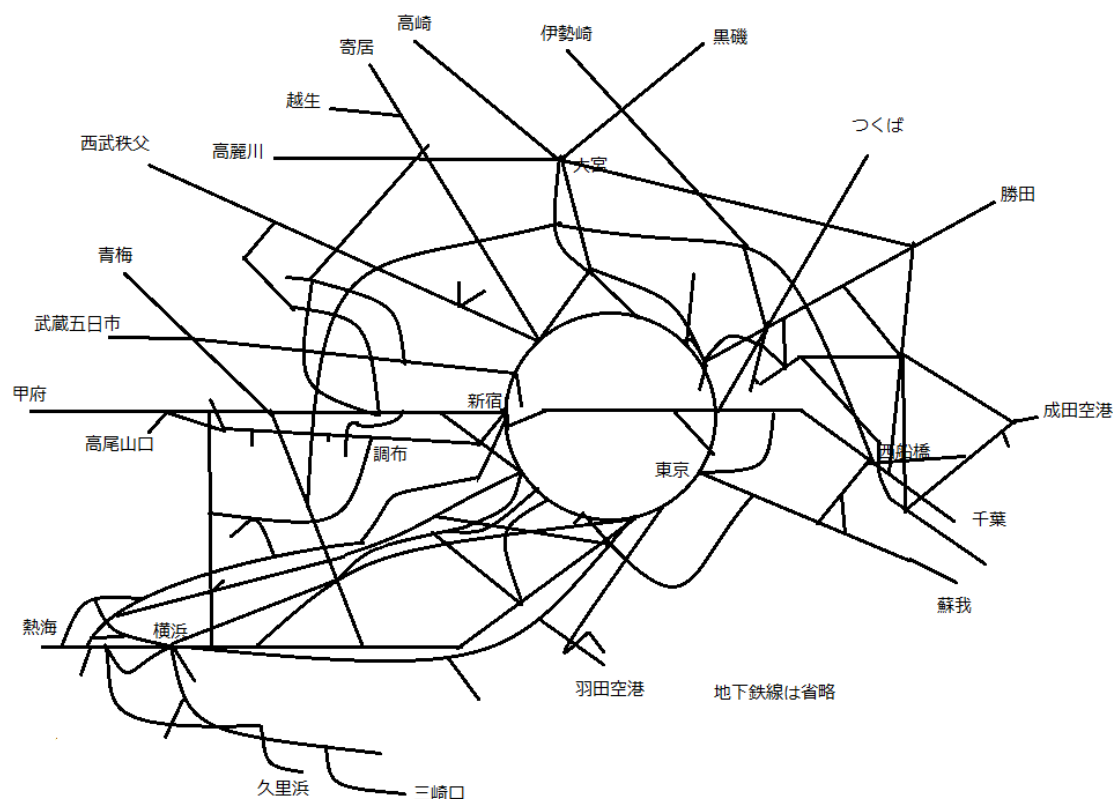


図 1 研究対象路線の概要図

3. データの収集・加工

3.1. 遅延データの収集

遅延データとして、各社局の web サイト上で公開されている遅延証明の情報を記録して使用した。始発から 9 時あるいは 10 時までの時間帯について、公開されている遅延証明書に表示された遅延時間を記録し、対象の時間帯に複数の遅延証明書が発行されている場合は、その遅延時間が最大のものを記録した。対象の時間帯が事業者によって異なるのは、事業者によって遅延証明書の時間の区切りが異なるためである。遅延データの収集は、2020 年の 1 月から 7 月までの平日に行った。

3.2. 説明変数の選定

説明変数として、「ピーク時一列車あたり輸送力」「駅数」「ピーク時一時間あたり輸送人員」「ターミナル駅の階段・エスカレーター数」「路線長」「平均線路数」「ピーク時一時間あたり運行本数」「列車種別数」「直通運転路線数」「直通運転区間長」「連絡駅数」「のべ連絡路線数」の 12 個の変数を用意した。

「ピーク時一列車あたり輸送力」「ピーク時一時間あたり輸送人員」「ピーク時一時間あたり運行本数」のデータは、国土交通省の資料より引用した。

「路線長」「平均線路数」は線路の状況を表す変数である。なお、平均線路数とは、単線ならば 1、複線ならば 2、複々線ならば 4 として、これらが入り交じる路線においては、それぞれの区間の長さで重み付けして平均をとったものである。

「ピーク時一時間あたり運行本数」「列車種別数」は、ダイヤグラムを表す変数である。なお、列車種別数は、遅延証明書の対象時間に運行されているもののみを数えている。

「駅数」「ターミナル駅の階段・エスカレーター数」「連絡駅数」「のべ連絡路線数」は駅に関する情報を表す変数である。なお、のべ連絡路線数とは、各駅で連絡する路線の数をすべての駅で合計したものである。

「ピーク時一列車あたり輸送力」とは、各列車の定員の平均であり、車両を表す変数、「直通運転路線数」「直通運転区間長」は、直通運転について表す変

数である。直通運転区間の基準は、「遅延証明書の対象時間に該当路線を走行する列車がそれまでに走行した区間」とする。

4. 解析の結果と考察

4.1. 解析の結果

各期間における標準重回帰分析およびロジスティック回帰分析の結果を表 1~6 に示す。表 1, 2 は緊急事態宣言前における結果（2020 年 1 月 4 日から同年 4 月 7 日）、表 3, 4 は緊急事態宣言中（2020 年 4 月 8 日から同年 5 月 25 日）における結果、表 5, 6 は緊急事態宣言後における結果（2020 年 5 月 26 日から同年 7 月 31 日）を示す。

4.2. 考察

表 1, 3, 5 の標準重回帰分析の結果同士を比較すると、緊急事態宣言の前から後になるにつれて路線長の回帰係数が大きくなっていく傾向にあり、路線長の短い都心部の路線において遅延時間が短くなっていると考えられる。また、表 1 の緊急事態宣言前と表 3 の緊急事態宣言中とを比べると、一時間あたり輸送人員の回帰係数は半分以下に減少しており、特に利用の多い郊外への通勤路線における、利用者の多さに起因する遅延の時間が短くなっていると考えられる。それに加え、特に表 2 の緊急事態宣言中においては選択される変数の数が減少している。これは、COVID-19 の感染拡大によって鉄道利用が減少し、遅延を増大させる要素自体が減少しているためと考えられる。

表 2, 4, 6 のロジスティック回帰分析の結果同士を比較すると、平均線路数の回帰係数が緊急事態宣言の開始後に大きく下がっている。これは、複々線のあることも多い郊外への通勤路線において遅延の発生確率が下がっていることを示していると考えられる。列車種別数も同様の傾向にあり、同様に多数の種別が設定されている郊外への通勤路線での遅延の発生確率が下がっていると考えられる。ターミナル駅の階段・エスカレーター数も同様の傾向を示す。また、後の時期ほど連絡駅数の回帰係数が減少しており、連絡駅の多い都心部の路線の遅延の減少を示している。一方で、直通運転路線数の回帰係数は後

の時期ほど増加している。これは、銀座線や丸ノ内線など、繁華街を通り他路線との直通運転を行わな
い路線で特に遅延の発生が減少していることを示していると考えられる。

表 1 緊急事態宣言前における標準重回帰分析の結果

	回帰係数	標準誤差	t 値	p
切片	-7.301×10^{-15}	1.569×10^{-2}	0	1
路線長	0.1310	3.038×10^{-2}	4.313	1.66×10^{-5}
直通運転路線数	8.809×10^{-2}	2.822×10^{-2}	3.121	0.00182
直通運転区間長	7.644×10^{-2}	3.547×10^{-2}	2.155	0.03125
一時間あたり運行本数	-0.1066	2.727×10^{-2}	-3.908	9.49×10^{-5}
一時間あたり輸送人員	0.1809	2.828×10^{-2}	6.396	1.80×10^{-10}
列車種別数	-8.957×10^{-2}	2.541×10^{-2}	-3.524	0.00043
平均線路数	3.357×10^{-2}	1.916×10^{-2}	1.752	0.07986
連絡駅数	-0.1422	4.499×10^{-2}	-3.160	0.00159
のべ連絡路線数	0.2248	4.564×10^{-2}	4.926	8.77×10^{-7}

表 2 緊急事態宣言前におけるロジスティック回帰分析の結果

	回帰係数	exp(回帰係数)	標準誤差	z 値	p
切片	2.123	8.3546773	0.5085	4.175	2.98×10^{-5}
路線長	8.851×10^{-3}	1.0088902	2.368×10^{-3}	3.738	0.000186
直通運転路線数	6.677×10^{-2}	1.0690524	4.335×10^{-2}	1.540	0.123494
直通運転区間長	3.319×10^{-3}	1.0033244	7.223×10^{-4}	4.595	4.33×10^{-6}
一列車あたり輸送力	-1.486×10^{-3}	0.9985154	1.879×10^{-4}	-7.909	2.60×10^{-15}
一時間あたり輸送人員	1.263×10^{-5}	1.0000126	3.612×10^{-6}	3.497	0.000471
ターミナル駅階段・エスカレーター数	0.2356	1.2656825	3.775×10^{-2}	6.241	4.35×10^{-10}
列車種別数	-9.718×10^{-2}	0.9073937	4.304×10^{-2}	-2.258	0.023946
駅数	-3.957×10^{-2}	0.9612040	6.016×10^{-3}	-6.577	4.80×10^{-11}
平均線路数	-1.006	0.3655311	0.2583	-3.896	9.79×10^{-5}
連絡駅数	-6.788×10^{-2}	0.9343693	1.880×10^{-2}	-3.611	0.000305
のべ連絡路線数	2.809×10^{-2}	1.0284876	5.244×10^{-3}	5.357	8.46×10^{-8}

表 3 緊急事態宣言中における標準重回帰分析の結果

	回帰係数	標準誤差	t 値	p
切片	-2.562×10^{-15}	2.355×10^{-2}	0	1
路線長	0.1701	3.805×10^{-2}	4.471	8.30×10^{-6}
直通運転区間長	0.1346	3.440×10^{-2}	3.911	9.56×10^{-5}
一時間あたり輸送人員	7.718×10^{-2}	2.717×10^{-2}	2.841	0.00456
列車種別数	-0.1167	2.722×10^{-2}	-4.286	1.92×10^{-5}

表 4 緊急事態宣言中におけるロジスティック回帰分析の結果

	回帰係数	exp(回帰係数)	標準誤差	z 値	p
切片	1.7210534	5.5904142	0.6947815	2.477	0.01324
路線長	0.0099331	1.0099826	0.0036351	2.733	0.00628
直通運転区間長	0.0018256	1.0018273	0.0008171	2.234	0.02547
ターミナル駅階段・エスカレーター数	0.1438773	1.1547425	0.0604697	2.379	0.01734
列車種別数	-0.1525604	0.8585070	0.0833501	-1.830	0.06720
駅数	-0.227855	0.9774721	0.0130060	-1.752	0.07979
平均線路数	-1.9924351	0.1363630	0.3978231	-5.008	5.49×10^{-7}
連絡駅数	-0.1034709	0.9017023	0.0414697	-2.495	0.01259
のべ連絡路線数	0.0317548	1.0322644	0.0107406	2.957	0.00311

表 5 緊急事態宣言後における標準重回帰分析の結果

	回帰係数	標準誤差	t 値	p
切片	2.158×10^{-15}	1.841×10^{-2}	0	1
路線長	0.2043	3.603×10^{-2}	5.670	1.59×10^{-8}
直通運転路線数	4.786×10^{-2}	3.202×10^{-2}	1.495	0.135130
直通運転区間長	8.472×10^{-2}	3.936×10^{-2}	2.152	0.031457
一列車あたり輸送力	8.983×10^{-2}	2.652×10^{-2}	3.387	0.000718
列車種別数	-0.1330	2.650×10^{-2}	-5.020	5.53×10^{-7}
連絡駅数	-0.1022	5.097×10^{-2}	-2.006	0.044980
のべ連絡路線数	0.1454	5.194×10^{-2}	2.799	0.005165

表 6 緊急事態宣言後におけるロジスティック回帰分析の結果

	回帰係数	exp(回帰係数)	標準誤差	z 値	p
切片	2.885	17.8962061	0.6281	4.592	4.38×10^{-6}
路線長	1.045×10^{-2}	1.0105077	2.987×10^{-3}	3.500	0.000466
直通運転路線数	0.1505	1.1623710	5.715×10^{-2}	2.633	0.008471
直通運転区間長	2.105×10^{-3}	1.0021075	8.371×10^{-4}	2.515	0.011902
一列車あたり輸送力	-5.807×10^{-4}	0.9994195	2.353×10^{-4}	-2.468	0.013603
一時間あたり輸送人員	1.054×10^{-5}	1.0000105	24.358×10^{-6}	2.418	0.015588
列車種別数	-0.1956	0.8223533	6.077×10^{-2}	-3.218	0.001290
駅数	-1.944×10^{-2}	0.9807517	8.216×10^{-3}	-2.366	0.017994
平均線路数	-1.903	0.1491689	0.3200	-5.947	2.74×10^{-9}
連絡駅数	-0.1239	0.8834810	2.688×10^{-2}	-4.610	4.04×10^{-6}
のべ連絡路線数	3.735×10^{-2}	1.0380604	7.107×10^{-3}	5.256	1.47×10^{-7}

さらに、標準重回帰分析とロジスティック回帰分析の結果を比較すると、全体的にロジスティック回帰分析の方が多くの変数が選択されている。その一方で、ロジスティック回帰分析の方が回帰係数の小さい説明変数も選択されている。これらのことから、ロジスティック回帰分析の方がより小さな影響を反映できていると考えられる。

5. 結論と今後の研究課題

解析の結果、特に郊外から都心部へ向かう路線および都心の繁華街を通る路線において、遅延の発生が大きく減少した傾向が示された。このような路線は、COVID-19 の感染拡大により、大きく人出が減少した都心部を沿線に持つ。このことから、テレワークの導入などにより都心部への通勤客が減少している傾向が、遅延の発生にも影響を与えていることが分かった。今後も現在のような利用状況が続く場合、遅延の発生に対して従前とは異なるアプローチをとる必要があると考えられる。

COVID-10 の感染状況は本稿執筆段階でも刻一刻と変化しており、今後の動向を注意深く見守っていく必要がある。

参考文献

- 上松苑・岩倉成志（2009）エージェントモデルによる東京圏都市鉄道の遅延連鎖シミュレーションの構築。「土木計画学研究・講演集」，**40**，312.
- 仮屋崎圭司・日比野直彦・森地茂（2010）都市鉄道の列車遅延の拡大メカニズムに関する研究。「土木計画学研究・論文集」，**27**，871-879.
- 国土交通省（2019）統計情報 混雑率データ。
<<http://www.mlit.go.jp/common/001299668.pdf>>.
- 宮崎一浩・日比野直彦・森地茂（2014）路線の特性に着目した都市鉄道における列車遅延分析。「土木学会論文集 D3 (土木計画学)」，**70 (5)**，I_477-I_486.
- 山村明義（2014）列車運行実績データを活用した稠密運転路線における遅延改善アプローチとその効果。「土木学会論文集 D3 (土木計画学)」，**70 (1)**，44-55.