

# 路線の特性に着目した 都市鉄道における列車遅延分析

宮崎 一浩<sup>1</sup>・日比野 直彦<sup>2</sup>・森地 茂<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 政策研究大学院大学 大学院政策研究科 (106-8677 東京都港区六本木 7-22-1)

E-mail:mjd12205@grips.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 政策研究大学院大学准教授 大学院政策研究科 (〒106-8677 東京都港区六本木 7-22-1)

E-mail:hibino@grips.ac.jp

<sup>3</sup>名誉会員 政策研究大学院大学特別教授 大学院政策研究科 (〒106-8677 東京都港区六本木 7-22-1)

E-mail:smorichi.pl@grips.ac.jp

我が国の都市鉄道は、新線建設等の輸送力増強や高頻度運行、相互直通運転等の混雑緩和対策が行われてきた。しかしながら、その副作用として、現在では慢性的な遅延が顕在化し、新たな問題が生じている。本研究は、都市鉄道における列車遅延の発生、波及の要因について、実績値データを用いた現状の把握を目的としている。路線の特性に着目することにより、環状運転や相互直通運転等の様々な列車運行における遅延発生の傾向を明らかにしている。現状分析を行うとともに、ラッシュ時における列車の運行を再現するシミュレーションモデルを構築し、早発を実施した場合の影響を定量的に示している。また、ホームドア導入を想定した場合、早発を実施することにより、現状の運行本数を概ね確保できることを明らかにしている。

**Key Words :** train delay, high frequency operation, loop line, direct-through line, simulation

## 1. はじめに

### (1) 本研究の背景と目的

首都圏の鉄道は、ネットワーク整備、列車の長編成化、高頻度運行、相互直通運転の実施等の施策により、世界に誇れる都市鉄道システムを構築している。しかしながら、これらの施策は大きな成果を上げた一方、その副作用として、i) 遅延の定常化、ii) 遅延の広域波及、iii) 遅延の回復困難性という問題が顕在化し、首都圏鉄道に新たな課題が生じている。

首都圏における輸送障害（列車の運休、旅客列車の30分以上の遅延等）の件数は平成17年度をピークに減少傾向にあるが、平成21年度は546件であり<sup>1)</sup>、これは1日当たり1.5件の輸送障害が発生したことになる。また、首都圏の全路線長における相互直通運転の路線延長は平成20年度で900kmを越えている。それに伴い、運行形態の複雑化や、他路線の事故等の影響を受けており、遅延の発生・波及の現象として顕在化している。このため、輸送障害1件あたりの平均影響列車本数は60本件となっており、平成14年度と比べ1.6倍に増加している。

しかしながら、元データの鉄道運転事故等届出書<sup>2)</sup>は30分未満の遅延を報告対象としておらず、恒常化する短時間の遅延は含まれていない。輸送障害にならない30分

未満の遅延については、既往の統計データが存在しないのが現状である。国土交通省が2009年に実施した鉄道事業者への調査<sup>3,4)</sup>によると、平成19年度の三大都市圏では10分未満の輸送トラブルが全体の6割以上を占めている。また、10分未満の輸送トラブルの発生原因をみると、他社・他線区の影響が4割も占めている。そこで、本研究では実データと実ネットワークを用いて、短時間の遅延状況を分析することを目的とする。さらに、シミュレーションモデルを構築することで、列車運行における遅延の改善に向けた課題を抽出し、遅延対策の可能性と方向性を示す。

### (2) 既往研究のレビューと本研究の位置づけ

鉄道の運行遅延に関しては、鳥海<sup>5)</sup>が通勤時間帯の駅停車時間の増加による遅延を、ネットワーク構造の変化として扱った利用者均衡配分を行っている。しかしながら、遅延の発生した列車の次駅以降での乗客数の増加による遅れの増幅については扱っていない。國松<sup>6)</sup>らはこの現象に着目し、列車の運行と利用者行動による駅停車時間の推定とを一体的に再現するシミュレーションモデルの開発を行っているが、駅で発生した遅延が駅間を走行する列車に影響を及ぼす影響については扱っていない。またこれらの研究は、遅延が鉄道輸送・需要に及ぼす影

響分析に主眼点をおいているのに対し、岩倉ら<sup>7,8)</sup>は駅での利用者行動と駅間の列車運行挙動をマルチエージェントモデルを用いて推定し、遅延の発生および波及の現象を再現するシミュレーションの構築を試みている。遅延の現象解明に焦点をあてた研究は、仮屋崎ら<sup>9,10)</sup>が列車運行の実績データを用いて定量的な現象把握を試みており、それを基に列車の運行挙動を再現するシミュレーションモデルが構築されている。

このように遅延に関する統計情報が乏しいこともあり、特に輸送障害に至らない短時間の遅れの事態把握および現状分析はあまり十分になされておらず、路線の特性に着目した研究も少ない。そこで、本研究の位置づけを路線毎の特性に着目した短時間の遅延分析とする。

## 2. 用語の定義と分析データ

### (1) 遅延の定義

高密度なダイヤで列車種別が単純な路線では、ダイヤ上の遅延が発生しても、利用者がその影響を殆ど意識しない場合がある。個々の利用者は、自分が実際に利用する列車の駅での待ち時間と駅間の乗車時間の増加に対し遅れを意識するためである。つまり、利用者にとっての遅延とは、期待した目的地までの到着時刻と実際の時刻との差を意味する。一方で、事業者にとっての遅延とは、ダイヤ上の時刻と実際の運行時刻との差を意味し、路線の列車運行状況を示すものである。

本研究では、遅延の発生や遅延発生時の列車の運行状態といった現象把握に着目し、列車の駅到着時刻の遅れや、駅の停車時間および駅間の走行時間の増加の仕方を把握する。そのため、後者の事業者にとっての遅延を扱うものとし、列車間隔やダイヤとの比較により列車運行状況の把握を行う。

### (2) 運行間隔の定義

列車の運行間隔は、先行列車が駅を出発してから後続列車が到着するまでの時間と、列車が駅に停車している時間とに分類することができる。本稿では前者を発着時分、後者を停車時分と図-1のように定義する。また、駅間を走行している時間は走行時分と定義する。

### (3) 分析データ

本研究の分析は、列車運行実績値を用いて行う。列車運行実績値は、JR東日本の東京圏輸送管理システム(ATOS:Autonomous decentralized Transport Operation control System)導入区間において蓄積されるデータであり、駅毎に各列車の到着時刻、出発時刻が秒単位で記録されている。これにより各列車の運行状況を時系列に把握する

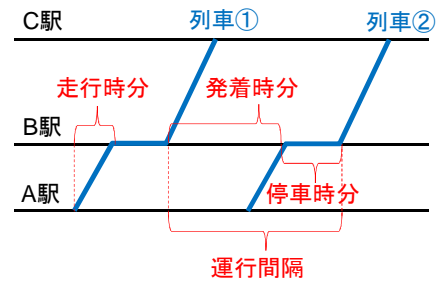


図-1 運行間隔の定義

ことが可能である。

対象路線は、路線の特性を分析するために山手線および埼京線とする。山手線は、大崎駅を基準に環状運転を行っており、駅数は29駅、路線延長は34.5kmの路線である。埼京線は、池袋駅～大崎駅において湘南新宿ラインが相互直通運転を行っており、駅数は19駅、路線延長は36.9kmの路線である。データ取得日は平成23年7月4日(月)～8日(金)、時間帯は始発～終電である。なお、山手線については内回り(以下山手線とする)、埼京線については上り(以下埼京線とする)を分析対象としている。このデータは列車1本1本の運行状況を、駅および駅間で連続的に把握できるため、発生した遅延が路線に波及する様子を捉えることが可能である。しかしながら、駅間の走行状況や乗車率についての情報を得ることはできない。

## 3. 遅延実績の分析

### (1) 山手線の遅延発生状況

#### a) ダイヤに対する遅延状況

山手線の新宿駅において、ダイヤに対して実際の発車時刻がどの程度遅れているかを平均遅延時分として図-2に示す。列車本数の多い時間帯では遅延時分の平均も長くなっており、朝のラッシュ時間帯は遅延時分が減っていない事が読み取れる。

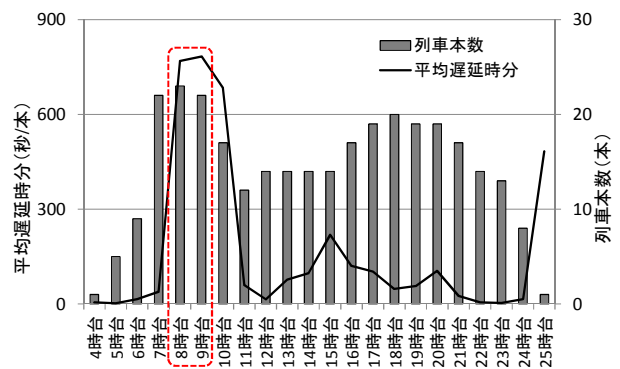


図-2 新宿駅発時分の遅延状況(2011年7月4日)

b) 遅延の伝播状況

山手線では環状運転を実施しており、1周を走行する間に発生した遅延は次の1周にも影響を与えると考えられる。その状況を確認するため、大崎駅を7時台～9時台に発車する列車を対象に、計画所要時間に対する遅延時間の推移を図-3に示す。7時台で発生した遅延は、8時台、9時台の大崎駅発車時の遅延時分に伝播している。1周に要する時間は約1時間となるため、1時間周期で遅延が伝播するという特徴がある。伝播先の前を走行する列車に対しては、停車時間の遅延が大きいことから、駅での停車時分を利用した間隔調整を実施していると考えられる。また、停車時分の遅れを走行時分により回復させている。

c) 採時駅での時間調整

首都圏の各路線には通称「E電（首都圏通勤列車）」と「M電（中長距離列車）」と呼ばれる2種類の列車が存在している。E電区間では、同じ性能の列車が連続して等間隔で走行するため、列車毎に個別に着発時刻を設定する必要が低い。このため、代表駅（採時駅と呼ぶ）の着発時刻と、あらかじめ時間帯に応じた駅間走行時分と駅停車時分をパターン化した標準運転時刻を設定している。

山手線はE電区間であり、全29駅の中で採時駅と呼ばれる駅は7駅（品川駅、東京駅、上野駅、池袋駅、新宿駅、渋谷駅、大崎駅）となる。これら採時駅において、ダイヤ上の到着時刻より早く到着した場合（早着と呼ぶ）どの程度時間調整を行っているのかを図-4、表-1に示す。早着は7時台に比較的多く、特に早着が多く見られる7月6日では各駅で7時台から9時台に大崎駅を発車する列車の約半分が早着していることを示している。また、計画停車時分に対する超過時間（超過時間=実績値-計画値）を図-5に示す。品川駅、池袋駅において計画停車時分に対する超過時間が他の駅と比較して長い。

このように、採時駅では早着した場合に時間調整を実施することで、ダイヤに対して早く出発（早発と呼ぶ）しないように運行をしている。

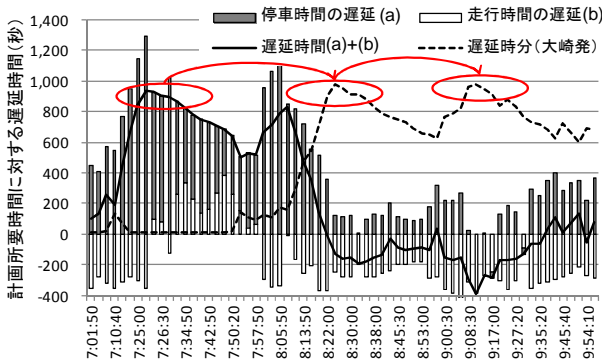


図-3 遅延時間の推移 (2011年7月4日:大崎駅7時～9時台発)

(2) 埼京線の遅延発生状況

a) ダイヤに対する遅延状況

埼京線の池袋駅において、ダイヤに対して実際の発車時刻がどの程度遅れているかを平均遅延時分として図-6に示す。山手線新宿駅と同様に、列車本数の多い時間帯では遅延時分の平均も長くなっている事が読み取れる。

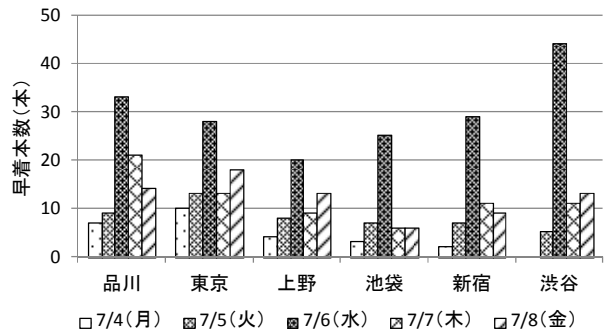


図-4 早着本数(大崎駅7時～9時台発)

表-1 時間帯別の早着本数 (単位: 本)

	7/4	7/5	7/6	7/7	7/8	計
7時台	26	45	69	60	46	246
8時台	0	1	53	9	2	65
9時台	0	3	57	2	25	87

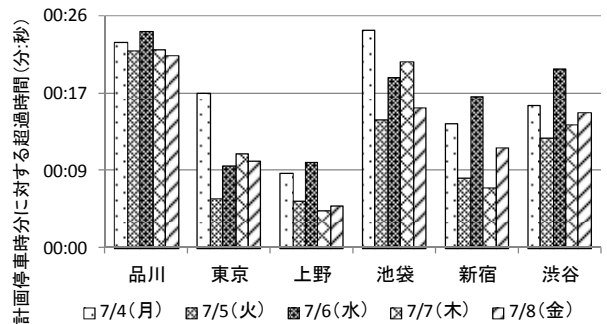


図-5 計画停車時分に対する超過時間(大崎駅7時～9時台発)

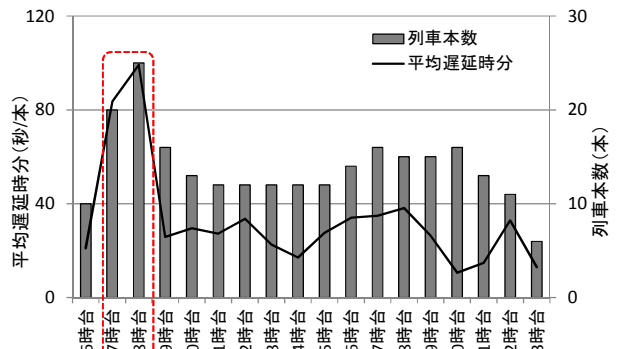


図-6 池袋駅発時分の遅延状況(2011年7月4日)

b) 遅延の伝播状況

各駅での出発時刻の遅れを時間帯別に図7~9に示す。7時台、8時台に池袋駅に到着する列車は、進行とともに遅延が拡大していることが読み取れる。通勤快速の乗り換え接続を行っている武蔵浦和駅、普通列車が待避を行っている戸田公園駅、湘南新宿ラインとの乗り入れ区間となる池袋駅では、遅延が拡大する傾向にある。

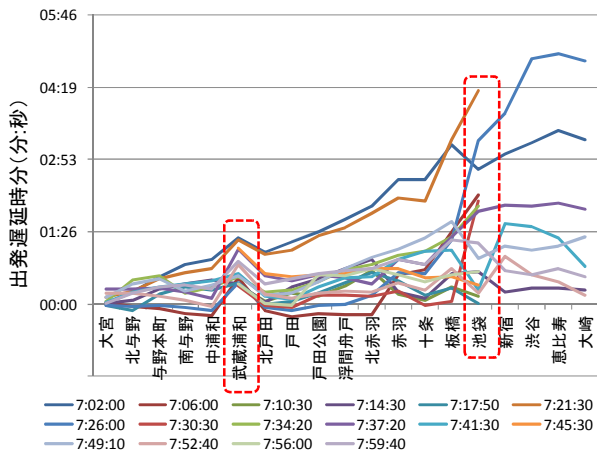


図-7 出発遅延時分の推移 (2011年7月4日：池袋駅7時台着)

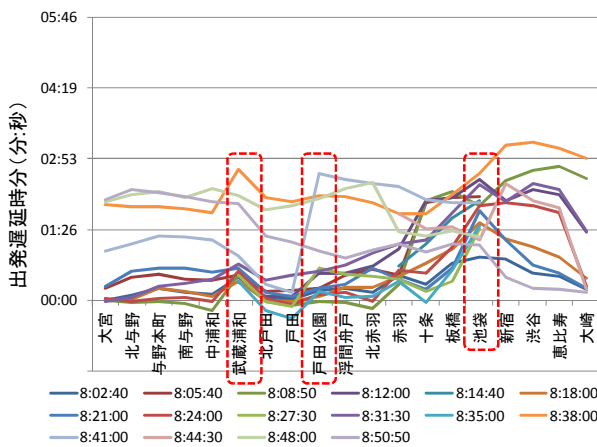


図-8 出発遅延時分の推移 (2011年7月4日：池袋駅8時台着)

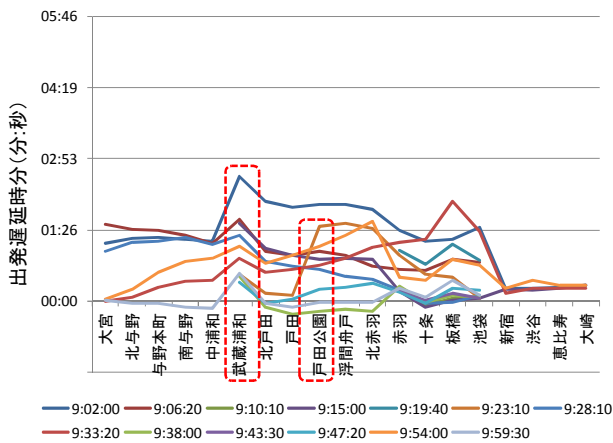


図-9 出発遅延時分の推移 (2011年7月4日：池袋駅9時台着)

c) 乗換え駅の遅延状況

通勤快速列車と普通列車との乗り換え接続を行っている武蔵浦和駅での遅延傾向を把握するため、計画発時刻に対する各列車の出発遅延時分を図10に示す。なお、分析対象は、7月4日の池袋駅に7時台、8時台に到着する31本の列車としている。

通勤快速列車は前列車に対して出発遅延時分が拡大する傾向にある。また、武蔵浦和駅は普通列車の始発駅でもあるが、これら始発列車は他の列車と比較して遅延時分が少ないことが読み取れる。

d) 待避駅の遅延状況

通勤快速列車が通過するために普通列車が待避している戸田公園駅での遅延傾向を把握するため、計画発時刻に対する各列車の遅延時分を図11に示す。乗換え駅の遅延状況と同様に、分析対象は、7月4日の池袋駅に7時台、8時台に到着する31本の列車としている。待避する普通列車は前の通勤快速列車に対して出発遅延時分が拡大する傾向にあることが読み取れる。

e) 乗り入れ駅の遅延状況

埼京線と湘南新宿ラインが乗り入れている池袋駅での遅延傾向を把握するため、計画発時刻に対する各列車の遅延時分を図12に示す。7月6日の池袋駅に7時台~8時台に到着する45本の列車を対象としている。

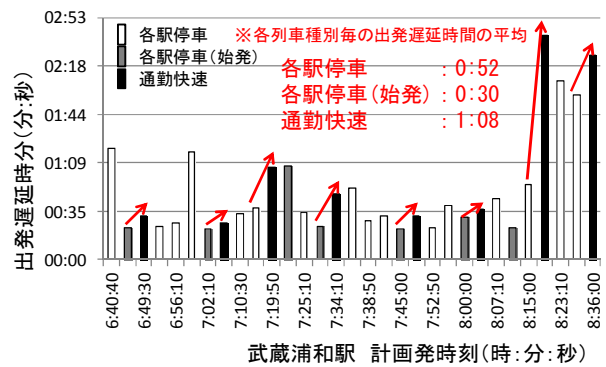


図-10 武蔵浦和駅における出発遅延時分の推移

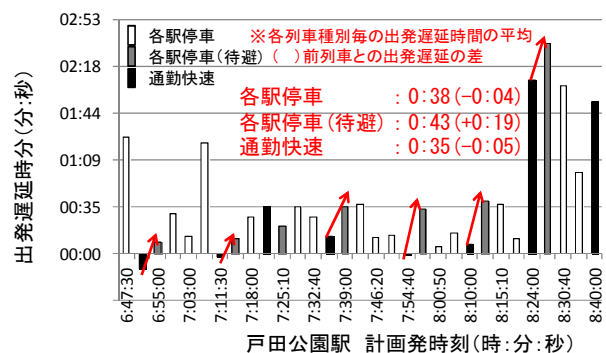


図-11 戸田公園駅における出発遅延時分の推移



遅延時分の大きい埼京線の遅延影響が湘南新宿ラインに伝播している事が読み取れる。池袋駅のホームは方向別となっているため、他線区の遅延に関係無くホームへ進入できる構造となっているが、池袋駅以南は線路が共通であるため発車時の時間調整が必要である。この事が、一方の線区の影響が他方の線区に影響を与えている要因として考えられる。実際に7月6日のケースでは、埼京線が5分以上遅延したため、湘南新宿ラインの列車と順序変更という運転整理を実施している。

#### 4. シミュレーションの実施（山手線）

##### (1) シミュレーションモデルの概要

シミュレーションモデルは、現状通り採時駅において停車時分の時間調整を行うケース（現状再現）と、時間調整を行わないケース（早発実施）の2ケースを実施する。モデルへの入力値は、走行時分、停車時分、大崎駅発時刻（初期列車）となる。走行時分は、各駅における運転曲線上の走行時分と5日間の最小走行時分の平均値を基準とし、列車の間隔調整時分を加えたものを入力する（図-13）。停車時分は、実績値を入力し、発着時分は実績値より最短60秒とする（図-14）。

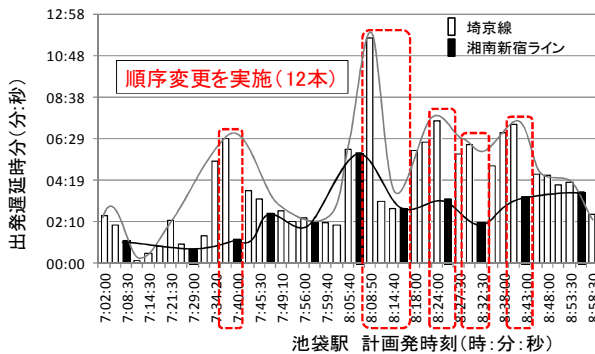


図-12 池袋駅における出発遅延時分の推移

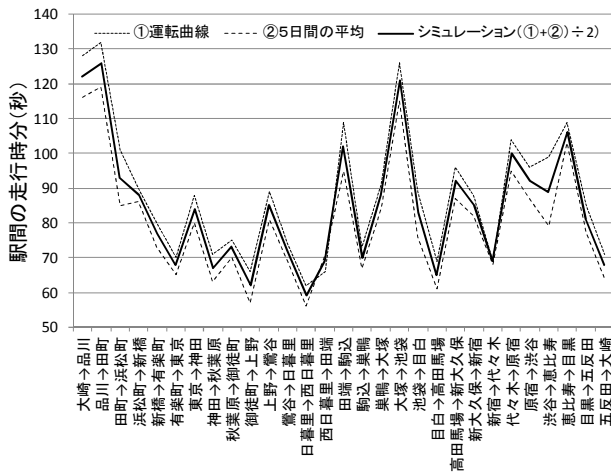


図-13 走行時分の設定

##### (2) モデルの傾向

構築したモデルの傾向を確認するため、大崎駅を基準に列車を1周させた場合の遅延拡大時間の推移を図-15に示す。なお、分析対象は、大崎駅を7時台～9時台に発車する65本の列車としている。

現状再現は、実績と遅延拡大の傾向や量は近いことが読み取れるが、1周する過程での傾向については把握することができない。ここでは、a)実績と現状再現の差が大きい列車、b)実績と現状再現の差が小さい列車の2ケースに着目する。

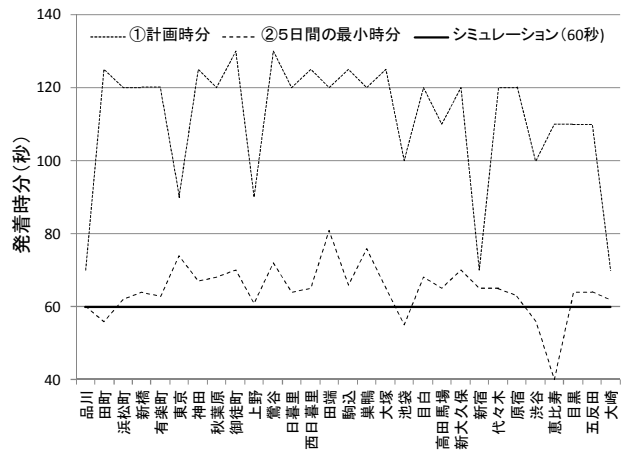


図-14 発着時分の設定

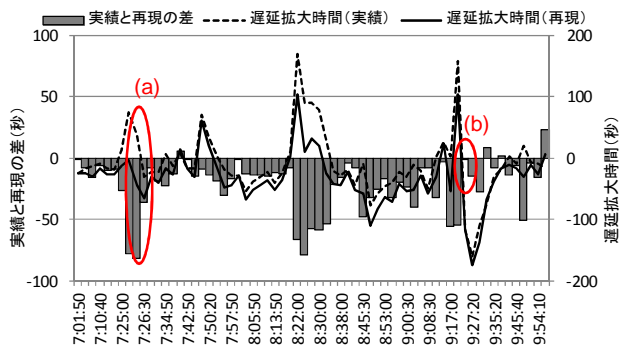


図-15 実績と再現の差（大崎駅基準）

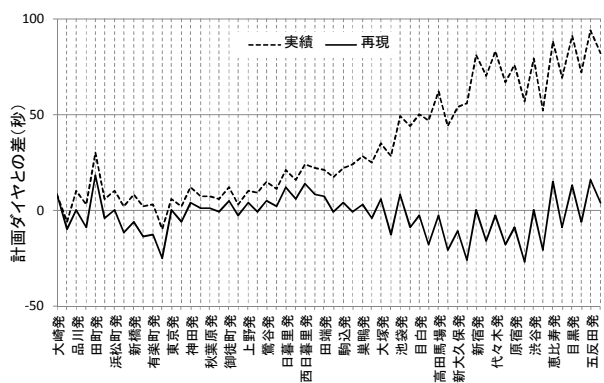


図-16 計画ダイヤに対する遅れの推移（大崎駅発7:21:20）

a) 実績と現状再現の差が大きい列車

計画ダイヤに対する遅れの推移を図-16に示す。品川駅の到着時点では、実績と再現共に早着しているにも関わらず、実績では計画ダイヤ上の発車時刻を過ぎたために差が拡大していることが読み取れる。モデル上では、早着した場合は計画ダイヤ上の発車時刻に合わせているため差が生じてしまう。また、西日暮里駅以降において走行時分はモデルより実績の方が遅いことが差を拡大させる要因である。今回のモデルでは、遅延が拡大する傾向にある場合、十分に走行時分への影響を反映できていないため、この点については今後の課題であると考えている。

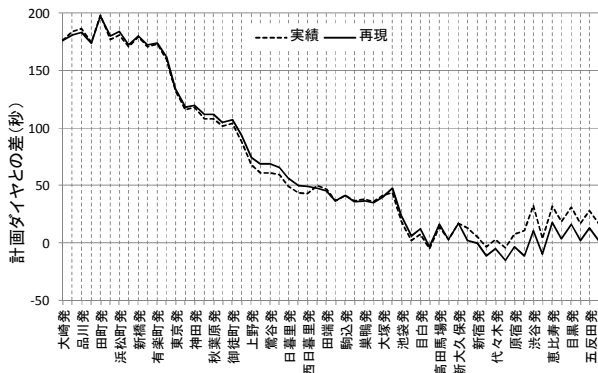


図-17 計画ダイヤに対する遅れの推移 (大崎駅発9:27:20)

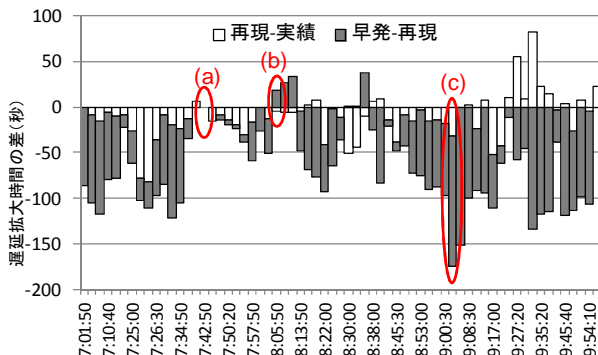


図-18 遅延拡大時間の推移 (大崎駅基準)

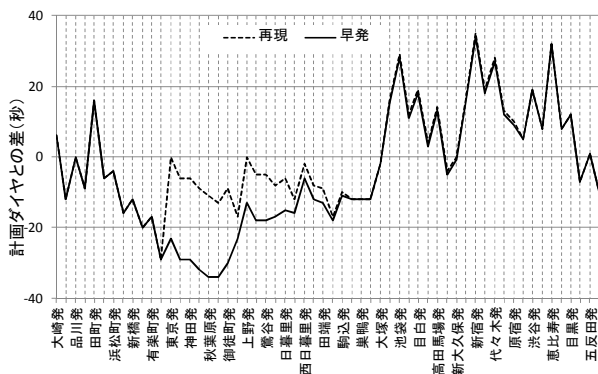


図-19 計画ダイヤに対する遅れの推移 (大崎駅発7:42:50)

b) 実績と現状再現の差が小さい列車

計画ダイヤに対する遅れの推移を図-17に示す。遅れの推移はモデルと実績でほぼ同様の傾向を示している。遅延が回復している状況では、走行時分が早くなるため差が小さくなると考えられる。

(3) 早発の検討

(1)で構築したモデルを用いて、採時駅において早発を実施した場合の検討を行う。大崎駅を基準に列車を1周させた場合の遅延拡大時間の推移を図-18に示す。なお、分析対象は、7月6日の大崎駅を7時台~9時台に発車する65本の列車としている。早発と再現との差は平均50秒であり、7時台と9時台の列車で大きいことが読み取れる。ここでは、a)早発の効果が見られない列車、b)早発の効果がマイナスとなる列車、c)早発の効果がプラスとなる列車の3ケースに着目する。

a) 早発の効果が見られない列車

計画ダイヤに対する遅れの推移を図-19に示す。早発を実施した場合は、上野駅手前で列車のダンゴ状態が発生したため走行時分が遅くなっている。対して再現の場合では東京駅と上野駅において停車時分の調整を行うことで、列車間隔のコントロールができていていると考えられる。

b) 早発の効果がマイナスとなる列車

計画ダイヤに対する遅れの推移を図-20に示す。早発を実施した場合は、品川駅手前で走行遅延が発生していることが読み取れる。これは、シミュレーションで1周させた列車と前を走行する列車との間隔が短くなったことに起因している。しかしながら、新宿駅以降の区間においては早発を実施することで早く運転できていることが読み取れる。1周した時点では、再現と早発の差が縮小し早発の効果がマイナスとなっている。

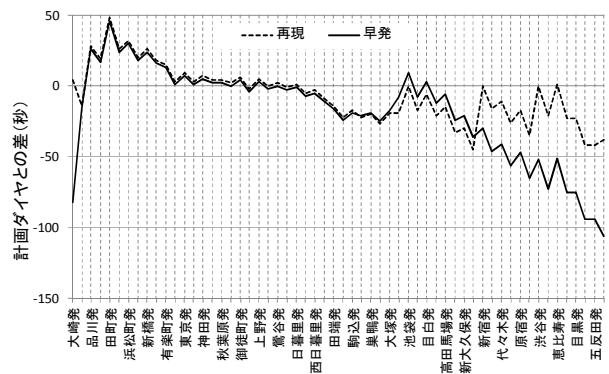


図-20 計画ダイヤに対する遅れの推移 (大崎駅発8:05:50)

c) 早発の効果がプラスとなる列車

計画ダイヤに対する遅れの推移を図-21に示す。遅れの推移は早発、再現ともに回復傾向を示している。再現では、各採時駅において早発調整を実施する必要が生じている。1周した時点では早発を実施した場合との差が拡大しており、早発の効果がプラスとなっている。

(4) ホームドア設置時の検討

a) シミュレーションの実施

(1)で構築したモデルを用いて、山手線全駅にホームドアが設置された場合の検討を行う。ホームドアが設置されると扉の開閉動作に3秒程度の時間を要すると考えられる<sup>11)</sup>。実績データを用いた平成23年7月時点では、恵比寿駅と目黒駅の2駅にはホームドアが設置済であるため、今回の検討では他の駅での停車時分を3秒増加させることとする。

大崎駅を基準に列車を1周させた場合の遅延拡大時間の推移と早発実施による短縮時間を図-22に示す。なお、分析対象は、7月6日の大崎駅を7時台～9時台に発車する65本の列車としている。早発実施と基準（早発を実施しない場合）との差は最大146秒、平均51秒となる。

また、山手線を1周した場合の所要時間の比較を表-2に示す。ホームドアを全駅に導入した場合には、早発を実施しないケースでは1分以上も所要時間が増加するため、現在の運転本数を維持することは困難である。早発を実施することで、所要時間は5秒程度の増加となるため、現在の運転本数を維持することが可能であると考えられる。

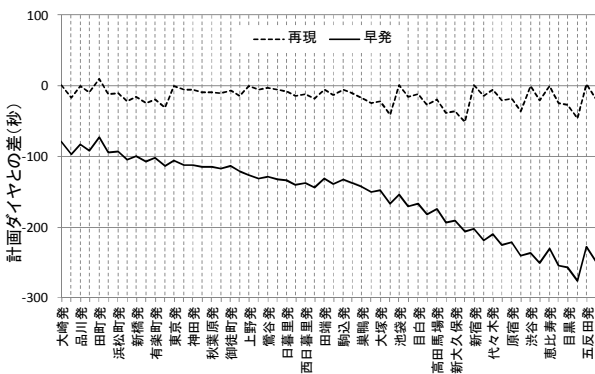


図-21 計画ダイヤに対する遅れの推移 (大崎駅発9:06:00)

表-2 山手線1周の平均所要時間 (大崎駅発7時～9時台発)

	早発の実施	所要時間	現在に対する増加時間
現在	—	1時間1分51秒	—
ホームドア導入後	未実施	1時間3分09秒	+78秒
	実施	1時間1分56秒	+5秒

b) 発着時分への影響

早発を実施すると、ダイヤの調整を各駅で行えないため発着時分にばらつきが発生すると考えられる。ここでは、大崎駅での発着時分が計画ダイヤに対してどの程度差を生じているかを図-23に示す。分析対象は、大崎駅を8時台～9時台に発車する41本の列車としている。

早発実施の方は、発着時分の変動が大きくばらついていることが読み取れる。等間隔で列車が到着し、発車するというパターンダイヤはお客さまに対してご利用しやすい鉄道サービスとなっており、発着時分のばらつきがサービスレベルに与える影響を考慮する必要がある。

5. おわりに

(1) 結論

本研究では、輸送障害に至らない短時間の遅延を路線の特性に着目して分析を行った。分析結果より、高頻度運行を行っている時間帯は、遅延時分が長く、減少しにくい傾向であることを把握した。また、停車時分の遅れを走行時分により回復させている実態を明らかにした。

さらに、環状運転を行っている山手線は、遅延が周期的に伝播をし、その前の列車にも影響を与えている。一部に採時駅を設定することで、時間かつ列車間隔の調整を行っていることを把握した。

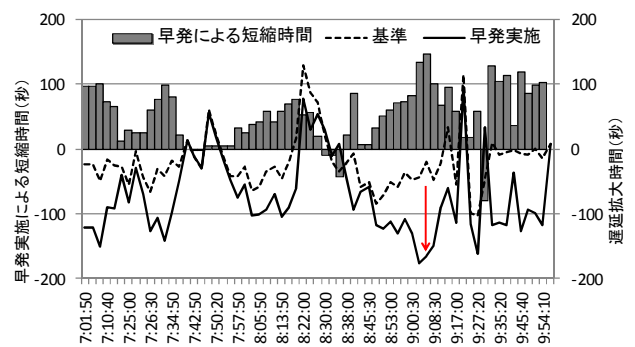


図-22 早発実施による短縮時間 (大崎駅基準)

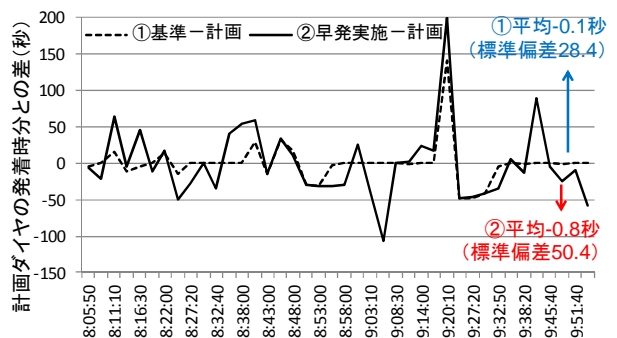


図-23 計画ダイヤの発着時分との差の推移 (大崎駅)

埼京線については、乗換え駅、待避駅や乗り入れ駅のような駅の特徴が遅延を拡大する要因の一つであることを把握した。遅延の程度により列車運休や順序変更という運転整理をせざるを得ない状況にもなるため、鉄道サービスの維持と遅延解消の両立が大きな課題であると言える。

また、山手線における列車運行のシミュレーションモデルを構築し、現状では実施していない採時駅での早発検討を行った。早発の実施により、1周あたりでは1分程度の遅延時間短縮効果があることを明らかにした。

今後は、山手線全駅にホームドア導入される計画であり、駅での停車時分も増加することが想定される。早発の実施により、発着時分の変動に与える影響は大きくなるが、現在の運転本数を維持することが可能であることを示した。

## (2) 今後の課題

発着時分の変動が停車時分に与える影響については、本研究で構築したモデル上では考慮することができていないため、駅毎の要因や列車の状況等をさらに整理する必要がある。また、ホーム幅員や階段設置箇所が発生すると考えられるホーム上の混雑や車内の混雑が列車遅延に与える影響についても分析を進めることが必要である。

**謝辞：**本研究を進めるにあたって、東日本旅客鉄道株式会社には、運行実績データをご提供いただくとともに、数多くの議論の機会をいただいた。ここに感謝の意を表す。なお、本研究は科学研究費（25420536, 40016473）の助成を受けて実施したものである。

## 参考文献

- 1) 国土交通省鉄道局：首都圏鉄道輸送障害対策会議資料，2009
- 2) 国土交通省鉄道局：鉄道運転事故等届出書
- 3) 国土交通省鉄道局：鉄道輸送トラブルによる影響に関する調査，2009
- 4) 国土交通省鉄道局：都市鉄道の広域的なネットワーク機能を活用した混雑対策に関する調査，2010
- 5) 鳥海重喜，中村幸史，田口東：通勤電車の遅延計算モデル，オペレーションズ・リサーチ：経営の科学，50(6)，pp.409-416，2005
- 6) 國松武俊，平井力，富井規雄：列車運行・旅客行動シミュレーションシステムの開発，鉄道総研報告，vol.21，No.4，pp.5-10，2007
- 7) 宮崎信介，藤代隆正，岩倉成志：都市鉄道の線路内混雑に着目した列車速度の推定—エージェントモデルによるアプローチ—，J-RAIL2007第14回鉄道技術連合シンポジウム講演論文集，pp.365-368，2007
- 8) 上松苑，岩倉成志：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，vol.40，5page，2009
- 9) 仮屋崎圭司，日比野直彦，森地茂：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，vol.27，pp.871-879，2010
- 10) 仮屋崎圭司，日比野直彦，森地茂：列車運行シミュレーションを用いた遅延の拡大メカニズムに関する研究，土木計画学会研究・講演集，vol.41，CD-ROM，2010
- 11) 仮屋崎圭司：都市鉄道の運行ダイヤ過密化に伴う列車遅延の波及に関する研究，運輸政策研究，vol.11，No.4，pp.111-118，2009
- 12) 運転理論研究会：運転理論（再改訂版）—基礎知識と応用実務—，日本鉄道運転協会，2010
- 13) 財団法人鉄道総合技術研究所鉄道技術推進センター，わかりやすい鉄道技術 [鉄道概論・車両編・運転編]，2005

## ANALYSIS OF TRAIN DELAY IN URBAN RAILWAY SERVICES BASED ON CHARACTERISTICS OF EACH LINE

Kazuhiro MIYAZAKI, Naohiko HIBINO and Shigeru MORICHI

The objective of this study is to understand the current situation of train delay in urban railway services with train traffic records. The study shows the tendency of worsening punctuality based on characteristics of each line, loop line, direct-through line *etc.* While conducting present data analysis, the study formulates a train operation simulation model which reproduces the situation of train operation taking into account the interaction between the trains during the rush hour. Using the simulation model, the influence is shown quantitatively in Yamanote line, if the early departure is carried out. Moreover, the study suggests the present service level will be preserved by the early departure, if the platform screen doors are provided in all the stations of Yamanote line.

**Key Words：**列車遅延，高頻度運行，環状運転，相互直通運転，シミュレーション