

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¹・日比野 直彦²・森地 茂³

¹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

²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

³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、高頻度運行等の輸送力増強施策による混雑緩和対策やネットワークを活用したシームレスな輸送サービスの提供等、利便性の向上に取り組んできた。その反面、稠密なダイヤ構成や運行形態の複雑化により、慢性的な遅延の発生、広域波及といった新たな課題が顕在化している。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、路線の特性を踏まえつつ、実績値データを用いた現状の把握を目的としている。また、輸送サービスの維持と遅延解消の両立に向け、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、計画ダイヤ上の発時刻前に列車を発車（以下「早発」という）した場合の影響を定量的に示している。更に、今後ホームドアの導入による列車遅延が想定されるなか、早発を実施することにより、現状の運行体系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, stored data at load weight units*

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で、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、首都圏鉄道における新たな課題が生じている。

首都圏における輸送障害（旅客列車の運休、又は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ものの、平成21年度でも546件であり¹⁾、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を越えており、他路線の事故等の影響が他線区に対する遅延の発生・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年度と比較して1.6倍に増加している。

しかしながら、上記数値の根拠となる鉄道運転事故等届出書²⁾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。従って、輸送障害とはならない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現状である。国土交通省が平成21年に実施した鉄道事業者への調査結果^{3,4)}によると、平成19年度における三大都市圏で発生している輸送トラブルの内、約6割は10分未満である。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割を占めている。

そこで、本研究では実データを用いて、短時間の遅延に関する発生状況の要因の分析を行うこととする。また、シミュレーションモデルを構築し、列車運行における遅延発生に関わる課題を抽出するとともに、遅延対策の可能性と方向性を示す。さらに、遅延の発生要因を分析するデータのの一つとして、車両応荷重装置により測定されるデータに関する現状と課題を整理し、今後の更なる活用に向けた提言を行う。

(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⁵⁾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、遅延した列車が次駅以降にて発生する乗降時間の増

加による遅延の増幅については考慮していない。國松⁶⁾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へ及ぼす影響については考慮していない。またこれらの研究は、遅延が鉄道輸送に対する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⁷⁾⁸⁾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、遅延の発生及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。遅延の発生現象の分析に焦点をあてた研究は、仮屋崎ら⁹⁾¹⁰⁾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。

このように鉄道の遅延を扱った論文やそのデータを活用した研究もいくつか見られるが、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実態把握及び現状分析は決して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

高密度かつ単一の列車種別である路線では、ダイヤ上の遅延が発生している状況において、利用者がその影響を殆ど意識していない場合がある。なぜなら、個々の利用者は、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における列車運行の状態等、現象把握に着目し、列車の駅到着時刻の遅れや、駅の停車時間及び走行時間の増加につながる要因について把握する。従って、先述した事業者にとっての遅延を扱うものとする。

(2) 運行間隔の定義

列車の運行間隔とは、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、列車運行に関する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を活用する。これは、列車毎に各駅の到着時刻及び出発時刻が秒単位で記録されており、これにより各列車の運行状況を時系列に把握することが可能となる。

対象路線は、路線の特性を分析する目的で、特徴的な運転を実施している山手線及び埼京線とする（表-1）。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、駅及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。

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

新宿駅において、ダイヤに対して実際の発車時刻に関する時間帯別平均遅延時分を図-2に示す。特に朝通勤時間帯（8,9 時台）では、遅延時分が大きくなっていることが分かる。

b) 遅延の伝播状況

山手線では、大崎駅を基準に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

表-1 対象路線の概要

路線	駅数	路線長	特性	データ取得日
山手線	29 駅	34.5km	大崎駅を基準に環状運転	平成 23 年 7 月 4 日（月）～8 日（金） 始発～終電
埼京線	19 駅	36.9km	池袋～大崎間で相互運転※	

※「相互運転」とは、複数の路線が同一の線路にて運転することを意味する

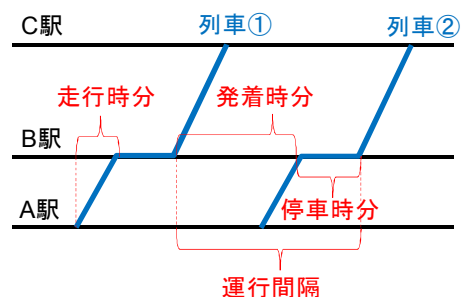


図-1 運行間隔の定義

7時台～9時台に発車する列車を対象に、列車毎の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に伝播している。これは、山手線が1周運転するためには要する時間は約1時間であり、1時間周期で遅延が伝播することが見てとれる。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。

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かつ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性が低い。このため、代表駅（以下「採時駅」という）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駅の中で採時駅は、7駅（品川駅、東京駅、上野駅、池袋駅、新宿駅、渋谷駅、大崎駅）ある。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表-2、図-4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計65本のうち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でも、計画発時刻に合わせて発車することで、等間隔を確保している。

(2) 埼京線の遅延発生状況

a) ダイヤに対する遅延状況

池袋駅において、ダイヤに対して実際の発車時刻に関する時間帯別平均遅延時分を図-6に示す。山手線新宿駅と同様に、列車本数の多い時間帯、特に7～8時台では平均遅延時分が長くなっている事が読み取れる。

b) 遅延の伝播状況

各駅における列車別出発時刻の遅延状況を図-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。また、

表-2 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

通勤快速の乗り換え接続を行っている武蔵浦和駅、各駅停車が待避を行っている戸田公園駅、湘南新宿ラインとの合流駅となる池袋駅では、遅延が拡大する傾向にある。

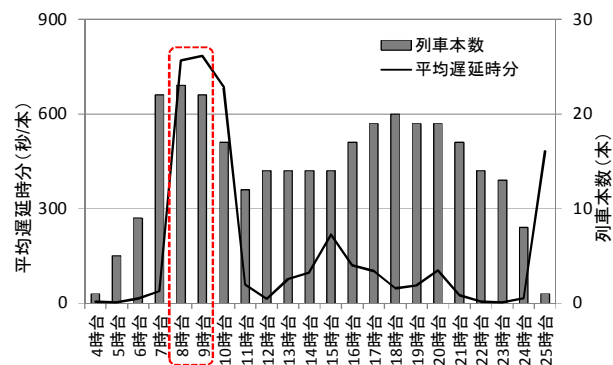


図-2 新宿駅発時分の遅延状況(2011年7月4日)

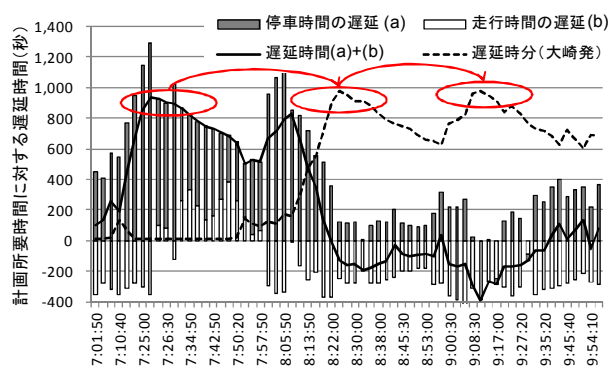


図-3 遅延時間の推移 (2011年7月4日:大崎駅7時～9時台発)

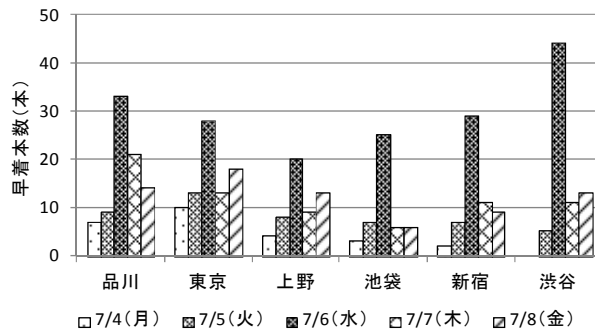


図-4 早着本数(大崎駅7時～9時台発)

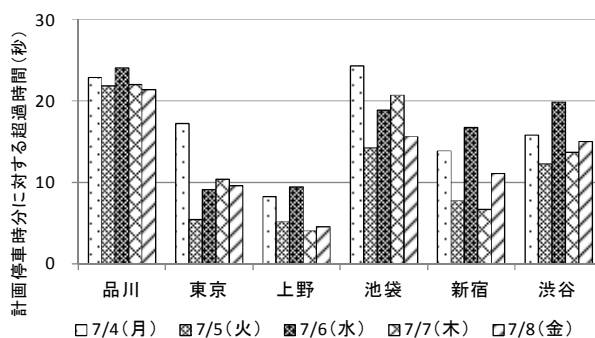


図-5 計画停車時分に対する超過時間(大崎駅7時～9時台発)

c) 乗換え駅の遅延状況

通勤快速と各駅停車との乗り換えが可能であ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。

通勤快速は駅での停車時分も長いことから、前列車に対して出発遅延時分が増大する傾向にある。また、武蔵浦和駅は各駅停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

通勤快速が通過するために各駅停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。待避する各駅停車は前の通勤快速に対して出発遅延時分が増大する傾向にあることが読み取れる。

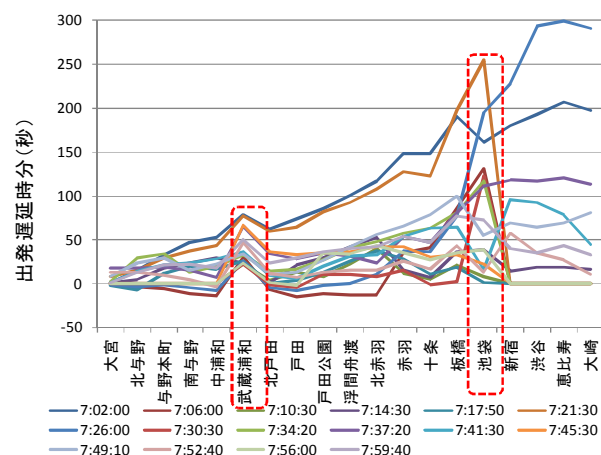
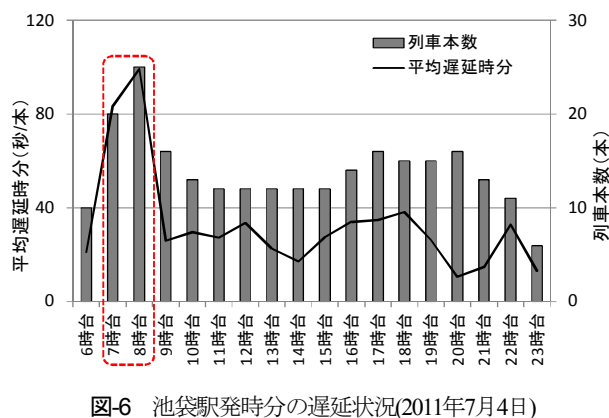


図-7 出発遅延時分の推移 (2011年7月4日：池袋駅7時台着)

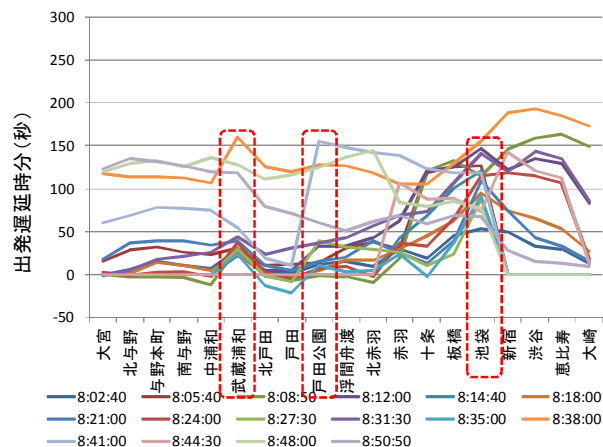


図-8 出発遅延時分の推移 (2011年7月4日：池袋駅8時台着)

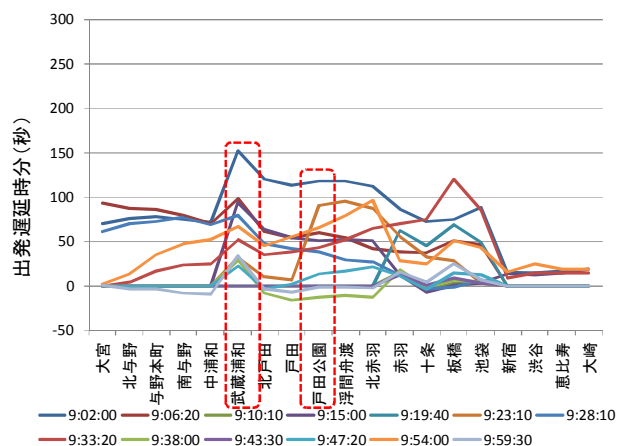


図-9 出発遅延時分の推移 (2011年7月4日：池袋駅9時台着)

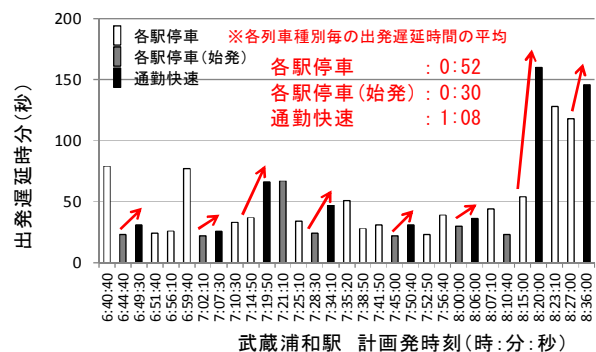


図-10 武蔵浦和駅における出発遅延時分の推移

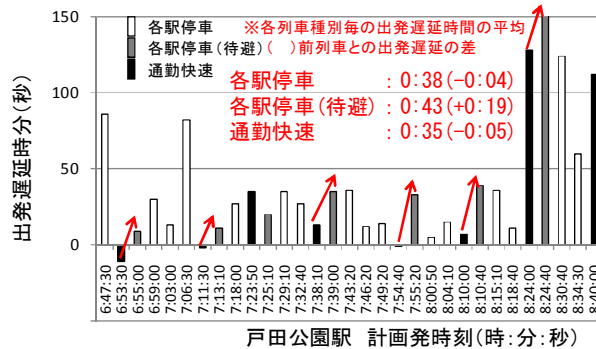


図-11 戸田公園駅における出発遅延時分の推移

e) 合流駅での遅延状況

埼京線と湘南新宿ラインが合流す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。

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～大崎間は線路が共通であるため発車時点での時間調整や順序管理が必要である。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。7月6日は、埼京線が湘南新宿ラインと比較して大きく遅延したため、列車の順序変更をしている。

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

山手線の列車運行を再現するために、シミュレーションモデルを構築する。モデルには、走行時分、停車時分、大崎駅発時刻（初期列車）を入力する。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）。

(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。

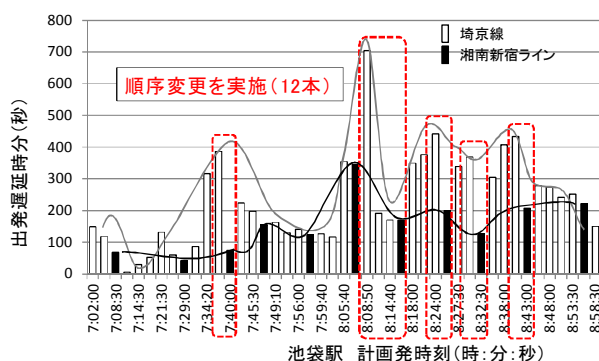


図-12 池袋駅における出発遅延時分の推移

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。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箇所もあり、差を拡大させる要因となっている。本研究のモデルでは、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。

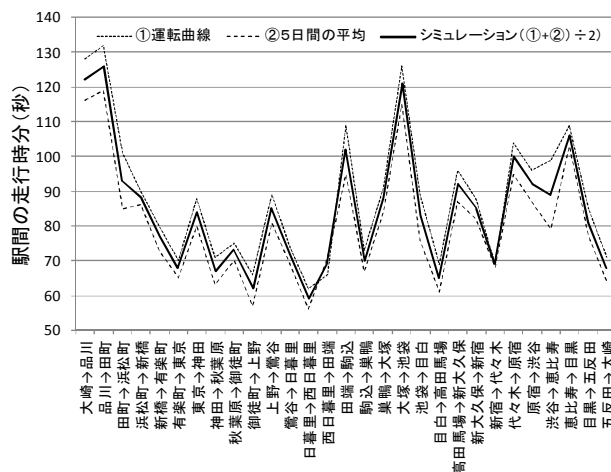


図-13 走行時分の設定

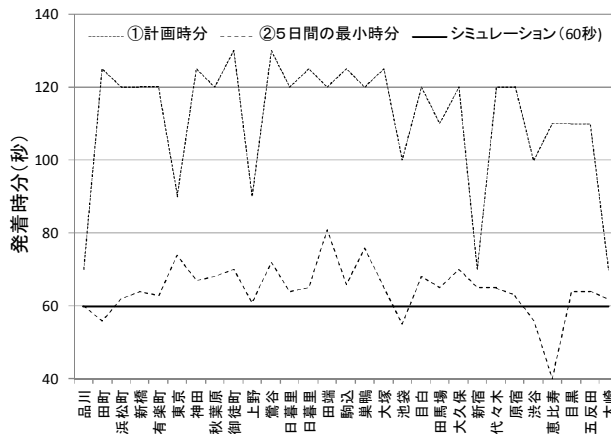


図-14 発着時分の設定

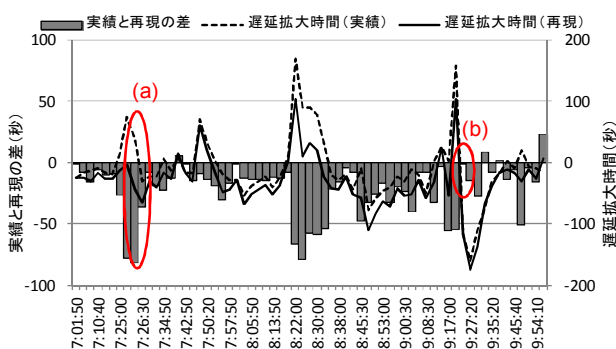


図-15 実績と再現の差（大崎駅基準）

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。

(3) 早発の検討

遅延の発生を事前に抑制する1つのアイデアとして、(1)で構築したモデルを用いて、採時駅での時分調整を行わずに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では、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。

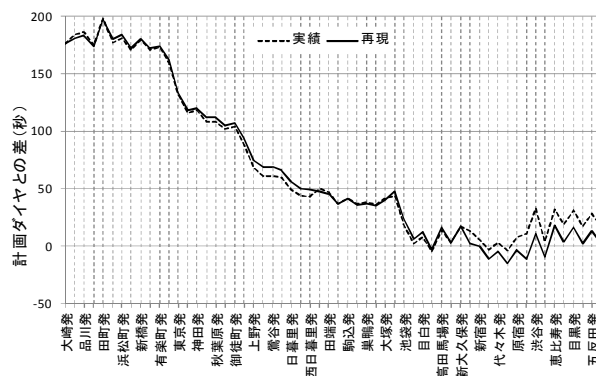


図-17 計画ダイヤに対する遅れの推移 (大崎駅発9:27:20)

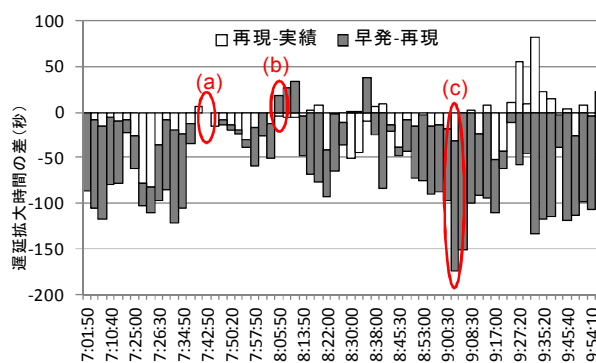


図-18 遅延拡大時間の推移 (大崎駅基準)

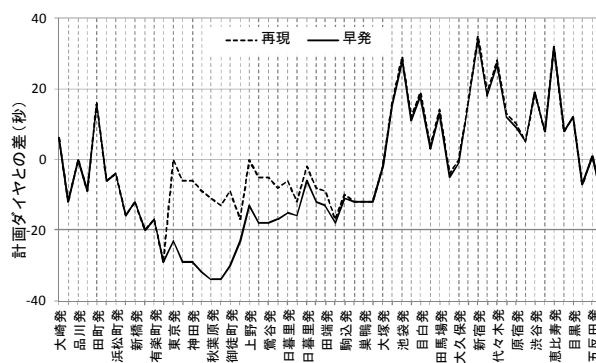


図-19 計画ダイヤに対する遅れの推移 (大崎駅発7:42:50)

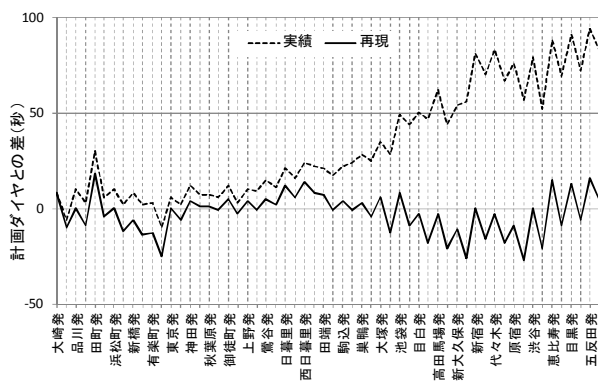


図-16 計画ダイヤに対する遅れの推移 (大崎駅発7:21:20)

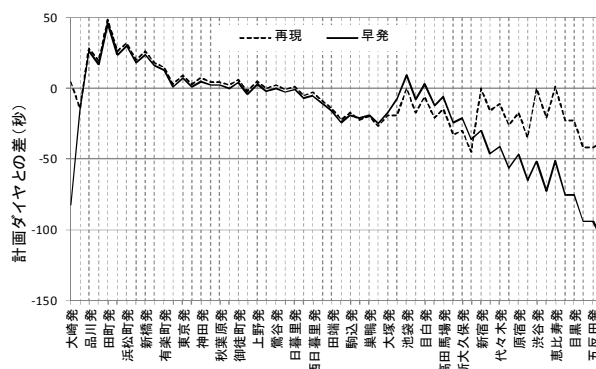


図-20 計画ダイヤに対する遅れの推移 (大崎駅発8:05:50)

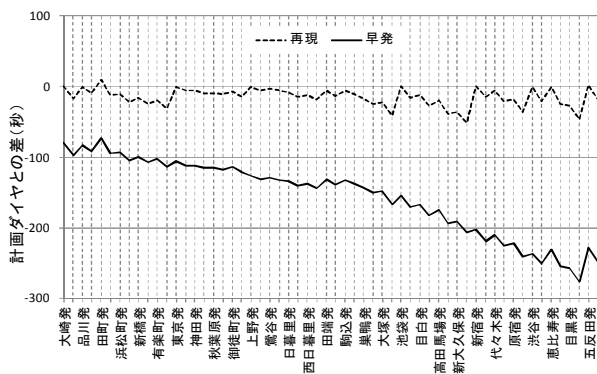


図-21 計画ダイヤに対する遅れの推移（大崎駅発9:06:00）

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あるが生じている。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¹¹⁾。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、本研究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-3に示す。ホームドアを全駅に設置した場合には、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、現在の計画ダイヤ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、現在の計画ダイヤを維持することが可能であると考えられる。

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。

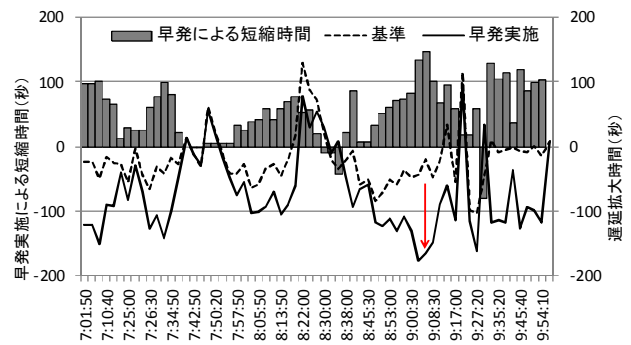


図-22 早発実施による短縮時間（大崎駅基準）

表-3 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（計画ダイヤ）	—	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

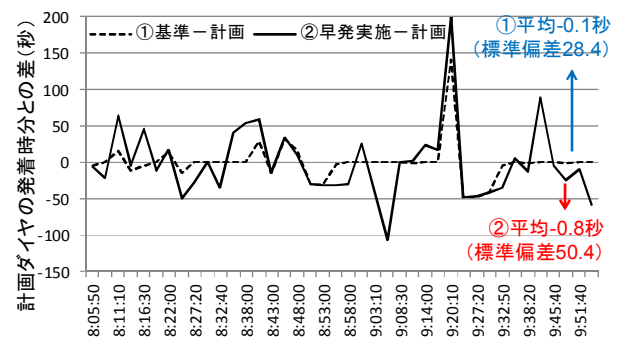


図-23 計画ダイヤの発着時分との差の推移（大崎駅）

早発実施の方は、発着時分の変動が大きくばらついて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) 運転間隔の検討

(4)では、ホームドアが全駅に設置された場合の対策の1つとして、早発の実施による効果と影響を述べた。ここでは、早発を実施せずに運転間隔を現状よりも①-10秒（運転本数は1本/h増）、②-20秒（運転本数は3本/h増）に縮めた場合の検討を行う。なお、新宿駅着時刻ではピーク時に2分30～40秒であり、1時間あたりの運転本数は23本となっている。

山手線1周の所要時間の推移を図-24に示す。現状の所要時間の平均が3,697秒であるのに対し、①のケースでは3,702秒、②のケースでは3,721秒となっている。また、現状と比較した場合の所要時間の差の推移を図-25に示す。②のケースでは、最大84秒も増加していることが読

み取れる。以上の結果より、運転間隔を10秒減少させるケースは、現状の所要時間とほぼ同じレベルを保ちつつ、輸送力の強化も可能であるといえる（表4）。

5. 車両応荷重データの活用

(1) 車両応荷重データの活用

列車が遅延する主要因を表-5に示す。ダイヤの自由度については、前章までに列車運行実績値を用いた分析を行っている。本章では、車内や駅構内の混雑が主な原因となる、旅客混雑について分析する。旅客混雑について検証可能となる既存のデータは、大都市交通センサス等の交通統計データが存在するが、計測区間や時間帯が限定され、連続的な分析は困難である。

そこで本研究では、列車毎の混雑率と遅延の関係を把握するため、車両応荷重データの活用に着目した。車両応荷重データを活用することで、時間帯別、列車種別、車両別等の多様な視点による混雑把握が可能となる。また、路線、駅の特性に応じた混雑対策（混雑情報の乗客への提供、駅改良時の階段・ESC配置方法）も可能となる。さらには、人手を要している現状の混雑調査方法の改善も期待される。

(2) データの分析

車両応荷重データと運行実績値を組合せた分析の一例として、時間帯別とピーク時間帯の関係を次に示す。

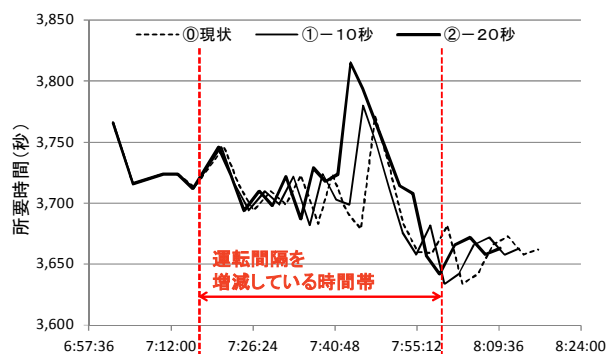


図-24 1週の所要時間

表-4 運転間隔検討のまとめ（ピーク1時間）

	①現状	②-10秒	③-20秒
最小運転間隔	2分30～40秒	2分20～30秒	2分10～20秒
運転本数 (ピーク1時間)	23本	24本	26本
輸送力	37,444人/h	39,072人/h	42,328人/h
平均所要時間	1時間1分37秒	1時間1分42秒	1時間2分1秒
所要時間の増加	—	最大29秒	最大84秒

a) 時間帯別の分析

総武線錦糸町・両国間と山手線新大久保・新宿間の平均混雑率と平均着遅延時分を時間帯別に図-26～27に示す。既存の交通統計データでは、ピーク時1時間の混雑率しか把握できないが、車両応荷重データを活用すると終日の利用傾向を把握することが可能となる。また、路線毎の混雑率の特徴として、総武線はラッシュ時間帯でピークを迎えた後、低下し続けるのに対し、山手線で

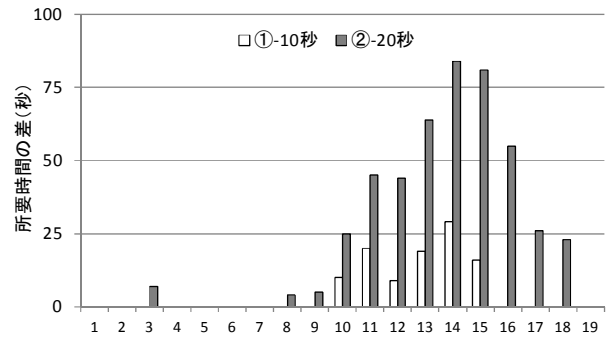


図-25 1週の所要時間の差（現状との比較）

表-5 列車遅延発生要因

	①ダイヤの自由度	②旅客混雑	③その他
主な原因	線路容量の不足 過密ダイヤ	車内混雑 駅構内混雑	人身事故 車両故障
検証可能データ	列車運行実績値	車両応荷重データ 大都市交通センサス	鉄道運転事故等 届出書

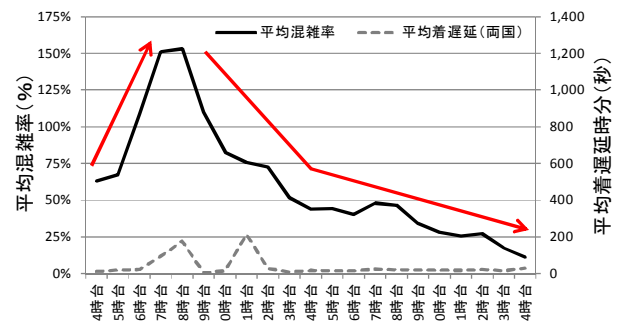


図-26 時間帯別（2011年12月5日：総武線錦糸町→両国）

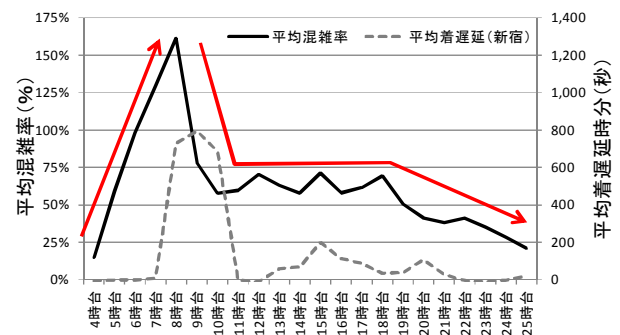


図-27 時間帯別（2011年7月4日：山手線新大久保→新宿）

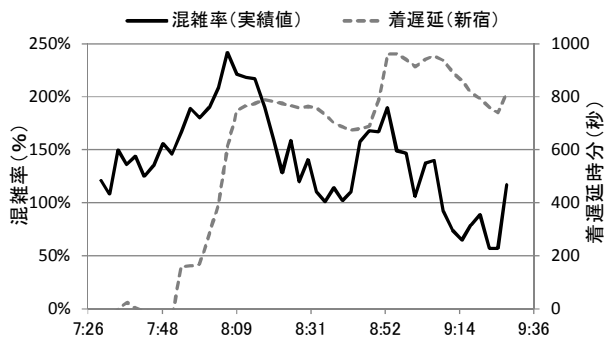


図-28 ピーク時（2011年7月4日：山手線新大久保→新宿）

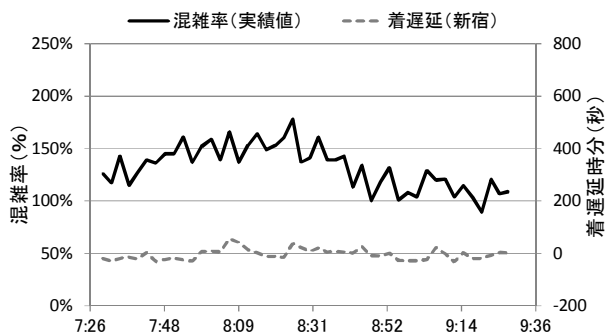


図-29 ピーク時（2011年7月6日：山手線新大久保→新宿）

はピーク後もタラッシュ時間帯まで概ね60%～70%程度で一定となり、以後低下している。

b) ピーク時間帯の分析

ピーク時間帯の山手線新大久保・新宿駅間の混雑率と着遅延時分を図-28～29に示す。分析対象は、新宿駅を8時台に到着する列車とその前後30分の列車としている。2011年7月4日においては、着遅延時分の増加（＝運転間隔の拡大）により、混雑率に影響を与えている可能性があることが読み取れる。対して、2011年7月6日のような遅延の変動が小さい日は、列車別における混雑率の変動も小さいことが読み取れる。

(3) 現状の課題と提言

車両応荷重データに関する現状の課題と提言を表-6に示す。データの精度については、実際の人員と±10%の誤差を生じていると既往の研究で述べられており¹²⁾、各社において使い方を検証している段階である。また、応荷重装置は全ての車両に備わっておらず、比較的近年に導入された車両のみ導入されているのが実状である。

応荷重装置自体は、列車の走行管理が主目的であり混雑率データの取得を目的に設計されていないことから、データの取り出しが困難である。また、長期間蓄積されている混雑率データが車両毎ではなく、編成毎に平均化されてしまうという課題もある。

表-6 車両応荷重データの課題と提言

	主な項目
課題	- データの精度や使い方を検証している段階 - 応荷重装置が全ての車両に備わっていない - データの取り出しが困難 - データの蓄積に制約がある
提言	- データ活用に向けた合意の形成 - 使いやすい統合システムの設計

これらの課題に対して、例えば混雑率の情報を旅客に提供する等、データの活用に向けた社内外の合意形成が必要であると考えている。さらには、混雑と列車遅延の関係を細かく分析するために、運行実績値と車両応荷重データのデータベースを共通化する等使いやすい統合システムを設計することが必要である。

6. おわりに

(1) 結論

本研究では、恒常化する短時間の遅延について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。

路線の特性に着目すると、環状運転を行っている山手線は、遅延が周期的に伝播し、その前後の列車にも影響を与えていること、快速運転や相互運転を行っている埼京線は、他列車や他線区の影響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、山手線においては、採時駅と呼ばれる7駅において停車時分の調整を行っている。遅延の発生を事前に抑制する1つのアイデアとして、採時駅での時分調整を行わずに早発を実施した場合の検討を、列車の運行を再現するシミュレーションモデルの構築により行った。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、遅延の増加時分を抑制することが期待できることを示した。運転間隔の短縮検討では、現状より10秒短縮させるケースは、現状の所要時間とほぼ同じレベルを保ちつつ、輸送力の強化も可能であることを示した。

車両応荷重データを活用することで、ピーク時以外の傾向を把握することが可能となり、輸送サービスのアカウントビリティが向上する。また、遅延データと組み合

わせることで、時間帯別やピーク時間帯の傾向を示した。

(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、本研究で構築したシミュレーション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。

車両応荷重データについては、列車運行実績値と組み合わせることで、混雑と列車遅延の関係をより細かく分析することが可能となる。データを今後活用していくためには、精度の向上や使いやすい統合システムの設計が必要である。

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、運行実績データ等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る。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) 島海重喜，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) 森田泰智，太田雅文，窪田崇斗，家田仁：車両応荷重データを用いた都市鉄道の時間帯別・車両別混雑率の分析，土木計画学研究・講演集，vol.36，4page，2007
- 13) 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
- 14) 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，相互運転，シミュレーション，車両応荷重データ