

# 高頻度運行の都市鉄道を対象とした遅延連鎖シミュレーションシステムの開発と対策効果の分析

建設工学専攻  
土木計画研究

510061-5 <sup>たかはし</sup>高橋 <sup>いくと</sup>郁人  
指導教員 岩倉 成志

## 1. はじめに

近年、都市鉄道において朝のラッシュ時における混雑緩和を目指し、列車の運行間隔を 2~3 分とする高頻度運行や乗り換え旅客数を削減する相互直通運転等の施策が行われてきた。これらの施策は輸送力の増強に貢献したが、ピーク時間帯に遅延が発生すると列車の運転間隔が開き、到着駅の乗車旅客が増加することで旅客の乗降時間が増加し、そして後続列車の遅延が大きくなるという遅延の伝播と拡大が生じている。鉄道各社では、旅客の乗降を円滑化するためにワイドドア車を導入し、線路内の列車混雑を解消するため複々線化するなど様々な対策を講じてきている。しかし遅延が解消されたとは言えず、より効果的な対策が社会的に求められている。

本研究の目的は、高密度に運行される都市鉄道の遅延問題の対策として、列車遅延の発生・波及メカニズムを明らかにする。また、旅客の乗降行動を含む列車運行を再現した遅延連鎖シミュレーションシステムを開発する。そしてシミュレーションシステムに遅延対策案を反映し、本システムの有用性を明らかにすることである。

## 2. 対象路線の遅延実態

本研究は東急田園都市線中央林間駅→東京メトロ半蔵門線押上駅までの全長 48.3km を対象とする。列車が駅停車中に発生した遅延を停車遅延、駅間走行中に発生した遅延を走行遅延、停車遅延と走行遅延を加算したものを遅延合計として、2010 年 11 月 15 日の遅延状況を図 1 に示す。停車遅延は慢性的に発生しているが、ピーク時間帯外では走行遅延がマイナスの値となる回復運転によって遅延合計は抑制されている。しかし列車本数が増加するピーク時間帯では回復運転が行えず、走行遅延もプラスの値となり遅延が拡大していることわかる。

また駅間別に同様の分析を行うと、永田町駅や半蔵門駅といった乗り換え駅や折り返し駅で停車遅延が大きく増加する傾向がみられた。一方、二子玉川駅→永田町駅までの駅間では走行遅延がプラスの値に転じており、遅延の伝播と拡大を招きやすい区間であるといえる。以上のことから、旅客の乗降に時間を要する駅で遅延が発生し、それが列車間隔の接近に伴う速度低下を招き遅延が伝播するのだといえる。

## 3. 遅延連鎖シミュレーションシステムの開発

### 3-1 シミュレーションシステムの概要

本研究では、旅客の乗降に要する「乗降時間」と、列車の駅間走行時間に要する「走行時間」を推定するモデ

表 1 モデルに用いたデータ概要

	データソース	詳細	対象モデル
ルールの構築	ビデオ映像データ (平日19日分)	最混雑駅付近の旅客の乗降光景を撮影したデータであり、旅客一人一人の位置座標を取得し、旅客速度データを取得	乗降時間推定モデル
	応加重データ (平日19日分)	各駅の各列車の各車両の混雑率を取得したデータであり、映像データから得られた速度データを混雑率別に分類 ※混雑率100%は、座席か吊り革につくかドア付近の柱に揺まれる状態の車を指す	
	運転曲線図 (普通・急行)	自由走行時の列車の速度曲線と時間曲線を表した図であり、加減速のタイミングや惰行運転を行うべき場面を取得	走行時間推定モデル
	運行実績データ (平日24日分)	各日の発着時刻を表した表であり、外生的にモデルに与えるため停車時間を取得	
システムインプット	駅ホーム図面	各駅の平面図からシミュレーション再現範囲の駅のホーム幅を取得	乗降時間推定モデル
	H17年度大都市交通センサス	H17年度大都市交通センサスから東急田園都市線区間の各駅の乗降人員取得し、統合モデルに反映	
	東急5000系 東京メトロ08系 車両性能表	シミュレーション再現範囲の車両の寸法・列車の加速度・減速度・最高速度を取得	走行時間推定モデル
	発着時刻表	計画時における発着時間を10秒単位で表した表	
信号コード表	ATC信号コードや勾配値等が記載された表であり、先行列車の位置別制限速度・信号間の閉塞長・勾配値を取得		

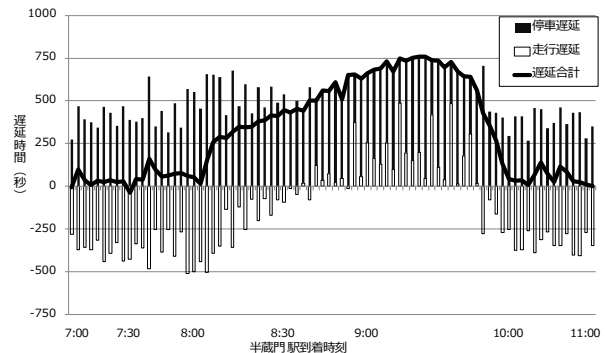


図 1 2010 年 11 月 15 日の遅延実態

ルをそれぞれ構築する。この他に、乗降の完了時点から閉扉までの「調整時間」と、閉扉から列車が動くまでの差分である「確認時間」が存在する。そして、乗降時間推定モデルと走行時間推定モデルを統合した上で調整時間・確認時間を与え、駅間の列車所要時間を推定し検証する。シミュレーション開発には、汎用性プログラミングソフト artisoc academic ver3.0 を用いて行う。

シミュレーション開発に用いたデータを表 1 に示す。ビデオ映像データは 2 次元動画計測ソフト Move-tr/2D 7.0 を用いて 1 秒毎に旅客の位置座標を取得し旅客の乗車速度を抽出した。その解析の際に性別・年代・乗車の際の携帯電話の操作など付随行動も取得した。この乗車速度と応加重データから取得した混雑率を用いて混雑率別の乗車速度データを作成した。これらから旅客行動の変化や、旅客属性による乗車速度の増減を把握した。

### 3-2 乗降時間推定モデルの構築

図2に示すように、乗降時間推定モデルは降車・乗車・車内の旅客をエージェントとして、各旅客に性別等の属

性を付与し、最混雑扉を対象として列車の開扉から旅客の乗降が終了するまでの時間を推定する。本モデルは降車旅客が降車行動を行い、乗車旅客が乗車行動を行う様子を再現した。その際、再乗車行動や旅客同士の押し込み、パーソナルスペースの減少、混雑や旅客属性による乗車速度の増減を考慮している。

再現性の検証は、映像データとシミュレーションの乗車直前の速度を比較して行った。各混雑率別の旅客一人一人の乗車直前の速度を比較したものを図3に示す。各混雑率別に見ても高い再現性が得られ、旅客の乗降行動を再現できたといえる。

### 3-3 走行時間推定モデルの構築

図2に示すようにシミュレーション空間の中に駅や列車、ATC信号情報などのエージェントを設定し、それぞれにルールを与えて相互作用しながら列車が運行する。列車は発車時刻を過ぎると駅を発車し、ATC信号の先行列車の位置による速度情報と勾配の影響、前方停車駅までの距離によって速度を増減しながら進行する。

再現性の検証は、運行実績データとシミュレーションの駅間走行時間から残差RMSを算出し比較をする。その結果、長津田駅→半蔵門駅間の最大残差は63秒であり、1駅間概ね10秒程度の残差で推定できた。

### 3-4 遅延連鎖シミュレーションシステムの構築

本システムは、駅停車の際に乗降時間推定モデルが稼働し、乗降が終了し時刻表の発車時刻を過ぎると走行時間推定モデルが稼働するように構築し、繰り返すことで駅間の所要時間を推定することができる。また列車の遅延によって駅の乗車旅客数が増加し、列車に与える需要の変動も考慮した。ただし確認時間は考慮されていない。

システムの再現性を図4に示す。遅延の発生や収束タイミングが課題であるが、発生と拡大の様子は再現できているため、本システムを用いて対策効果を分析する。

## 4. 渋谷駅2面3線化の効果分析

渋谷駅の停車時間は、需要量等により他の駅より最短でも20秒長く設定している。この影響によって後続列車は制限速度より低速で走行しなければならない。そこでホーム1面と副本線を新設し、ドアの両側開閉による円滑化と、交互発着による線路容量の増加を行ったときの所要時間の変化を図5に示す。

8時付近の遅延発生時は実績平均や推定平均よりも大きい値となった。これは渋谷駅の線路容量を増加させた結果、閉塞長の長い半蔵門線区間で列車が前へ詰めることができず駅外停車が発生し、その影響で渋谷駅に入線できなかったためである。以上より8時付近の運行管理の重要性がシミュレーションより言える。

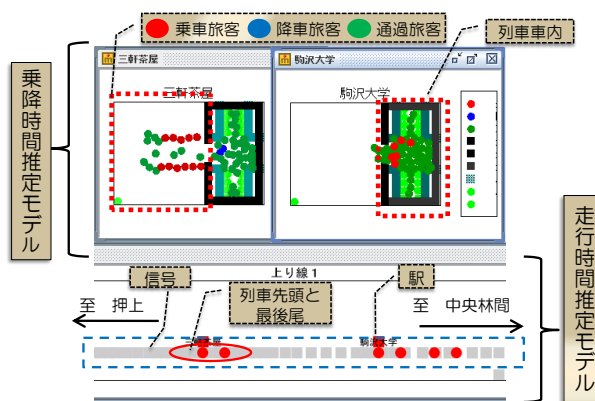


図2 遅延連鎖シミュレーションシステムの実行

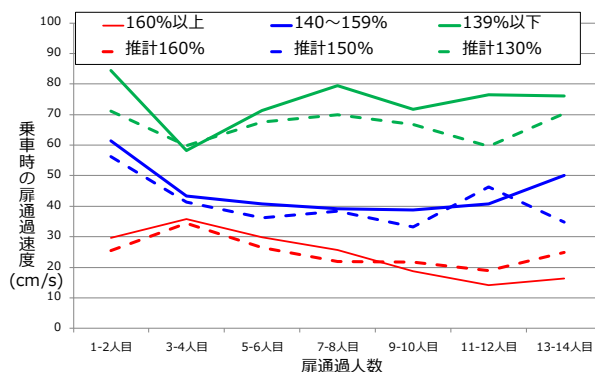


図3 乗降時間推定モデルの再現性

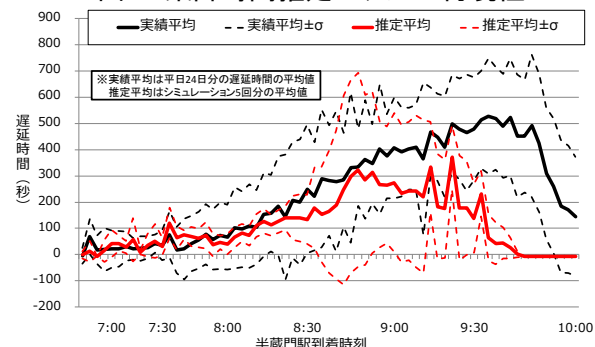


図4 遅延連鎖シミュレーションシステムの再現性

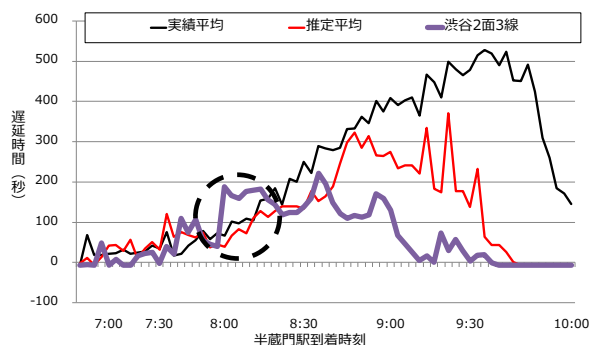


図5 渋谷2面3線化の効果

## 5. おわりに

本研究では、遅延連鎖シミュレーションシステムを開発し、対策の効果分析を行った。今後は再現性の向上を図るとともに、より多くの対策案の効果分析を進める。(謝辞)データを提供して頂きました東京急行電鉄株式会社および東京地下鉄株式会社の方々に心より感謝申し上げます。