

# エージェントモデルによる 都市鉄道の遅延現象の解明

小林 渉<sup>1</sup>・岩倉 成志<sup>2</sup>

<sup>1</sup>学生会員 芝浦工業大学大学院建設工学専攻 (〒135-8548 東京都江東区豊洲3-7-5)

E-mail: me15045@shibaura-it.ac.jp

<sup>3</sup>正会員 芝浦工業大学教授 工学部土木工学科 (〒135-8548 東京都江東区豊洲3-7-5)

E-mail: iwakura@sic.shibaura-it.ac.jp

複数の列車種別が高頻度で運行し、遅延が発生しやすい東急田園都市線と東京メトロ半蔵門線を対象に、日々の遅延の発生状況を運行データ等から分析を行った。分析の結果、朝ラッシュ時の列車遅延の拡大にはドア引き込まれや車内急病人といった突発的な停車が強く関与していることを示した。また、ピーク時間帯に集中する利用者による停車時間の増加も、遅延連鎖の一つの要因であることを示した。エージェントモデルを用いた分析では遅延実態の再現と、現状の固定閉そく方式に替わる新たな信号システムである移動閉そく方式を導入した際の遅延予測を行った。

**Key Words** :train delay, Agent simulation, High frequency operation, Improvement effects

## 1. はじめに

東京圏の都市鉄道は車内やホーム上の混雑緩和を目的とした、朝ラッシュ時の高頻度運行や他路線への相互直通運転を行ってきた。これらは利用者に対しサービス向上をもたらした一方で、列車間の余裕時間の減少が列車遅延の原因となり、一度遅延が発生すると遅延が広範囲に伝播し収束しにくい課題が発生している。この列車遅延問題の解決は急務とされている。

鉄道は路線全体を中央管理しており、他の交通機関よりも管理が容易であるにも関わらず、列車遅延問題が発生している。それは旅客の乗降を完全に制御することが出来ないことが要因である。

列車遅延対策は鉄道事業者によって取り組まれており、信号設備の改良やホーム上の警備員の配置等によって一定の効果が挙げている。しかし全ての遅延の解消には至っていないのが現状である。そこで本研究では、運行実績データを解析し遅延実態を明らかにするとともに、エージェントモデルを用いた遅延実態の再現と信号システムの改良による遅延減少効果の算出を目的とする。

表1 使用データ一覧

データ名	期間
発着時刻表	2014. 11
運行実績データ	2014. 7～11のうち平日20日分
遅延実績データ	2013. 4～11, 2014. 4～11の16か月
乗降調査結果	2013年度に実施(東急電鉄のみ)
応荷重データ	2010. 11～12, 2013. 2～3のうち 平日28日, 1日3本程度
信号コード表	2014. 11

## 2. 対象路線の遅延実態

本研究の対象路線は、東急田園都市線の上り線及び東京メトロ半蔵門線A線の中央林間→渋谷→押上駅間である。最混雑時間帯の混雑率は池尻大橋→渋谷駅間で183%、列車は130秒間隔で運行している。使用したデータの一部を表1に示す。また対象路線は固定閉そく方式と呼ばれる、線路を区間に区切り1つの区間内に1列車以外走らせない方式で列車の安全運行を行っている。対象路線では1つの閉塞の区切りが非常に短く設定されており、線路内の容量を高め高頻度運行を可能としている。

列車遅延の最初の発生要因には、乗降時間の伸びがダ

ダイヤ上設定されている余裕時間を超え後続列車の運行に支障をきたす慢性的な遅延と、ドア引き込まれや車内急病人など突発的な停車によるものに分けられる。遅延実績データの対象期間全328日での突発的な停車の有無による最大遅延を示したのが図1である。突発的な停車は対象期間の62%に当たる204日で発生し、代表的な要因にはドア引き込まれの93回、車内急病人の77回が挙げられる。突発的な停車のある日の渋谷駅での最大遅延時間は平均6.1分である。また突発的な停車の無い日についても平均2.9分の遅延が発生している。

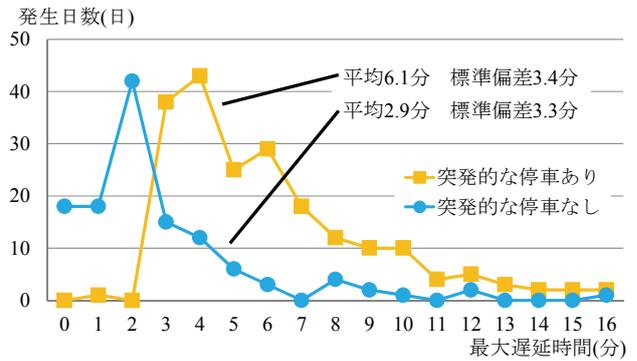


図1 渋谷駅での最大遅延時間

次に発生駅ごとの突発的な停車の発生確率と最混雑車両の混雑率との関係を図2に示す。図2のその他駅は対象路線のうち図中に記載のない全26駅の平均発生確率である。突発的な停車は溝の口駅から渋谷駅で多く発生しており、同区間は混雑率も高い傾向にある。発生駅に着目すると、溝の口駅や渋谷駅のドア引き込まれが高く、用賀駅や三軒茶屋駅の非常停止の発生確率が他駅と比較し高い。これは到着時の車内混雑や、転落報知器の設置状況が関係していることが鉄道事業者へのヒアリング調査から明らかになった。

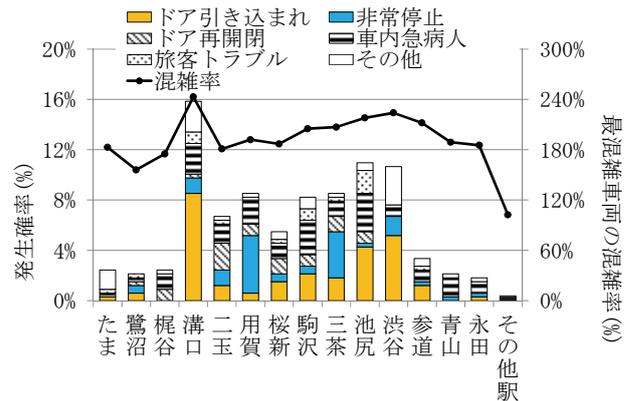


図2 突発的な停車の発生駅と混雑率

長津田→清澄白河間の停車遅延、走行遅延、列車間隔と渋谷駅の降車旅客を示したのが図3、図4である。図3は突発的な停車のない日、図4は7時30分頃に市が尾駅で車内急病人が発生した日である。停車遅延は長津田→清澄白河間の実績の停車時間とダイヤ上の停車時間の差分を指し、走行遅延は長津田→清澄白河間の実績の走行時間とダイヤ上の走行時間の差である。総遅延は停車遅延と走行遅延を足し合わせたものである。また利用者数の程度を示す指標として、ここではターミナル駅である渋谷駅の降車旅客数を用いた。

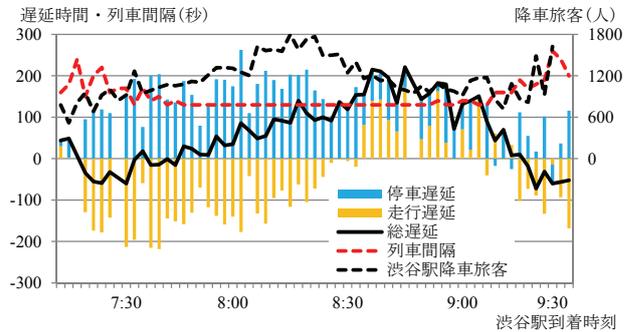


図3 突発的な停車がない日の遅延発生状況

図3を見ると渋谷駅に8時頃までに到着する列車の走行遅延はマイナスになっている。走行時間には余裕時間が含まれているためである。この余裕時間で停車遅延を吸収することが出来る。次に総遅延に着目する。渋谷駅に7時30分頃に到着する列車から総遅延が増加し始める。これは丁度列車間隔が130秒となる頃である。また列車間隔を詰めても渋谷駅の降車旅客は増加しているように、利用者はピーク時間帯に特に集中している。利用者の増加に伴う停車時間の増加と高頻度運行が、後続列車の機外停車（駅間での停車）を起きやすくさせ、走行時間を増加させた結果、余裕時間で停車遅延を吸収できなくなるため遅延が拡大する。その後列車間隔が開き利用者が落ち着く9時頃の渋谷駅到着列車から遅延が収束に向かう。図4では突発的な停車を起こした列車によって最初の遅延が発生し、以後後続列車の遅延は図3と似た傾向を示し、突発的な停車の分だけ各列車の総遅延が大きくなっている。遅延の収束も図3同様列車間隔が開く渋谷着9時以降の列車からである。

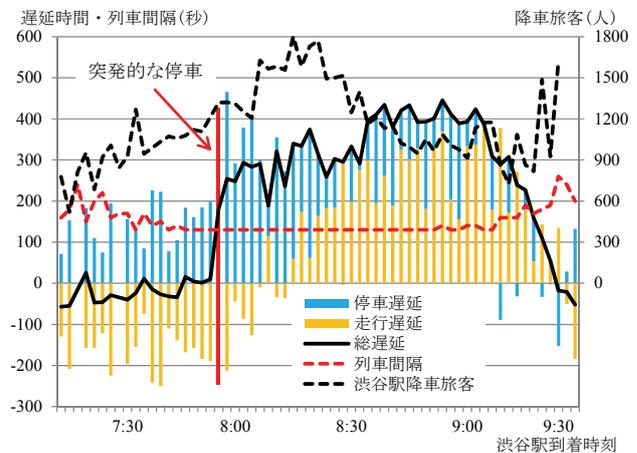


図4 突発的な停車がある日の遅延発生状況

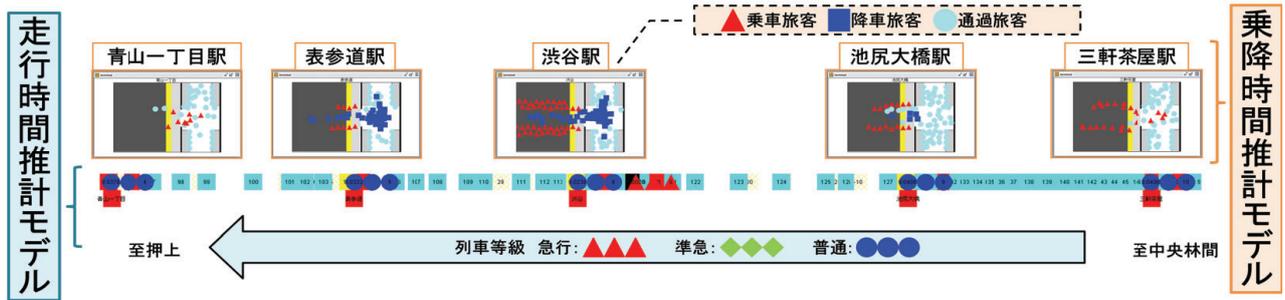


図5 シミュレーション実行中の様子

### 3. エージェントモデルによる分析

本研究ではマルチエージェントモデルを採用し、駅間の走行時間推計モデルと駅での乗降時間推計モデルの2つのモデルを構築している。走行時間推計モデルは列車の走行を再現し前方の列車の位置や信号現示に応じて自列車の速度決定を行い、次駅までの所要時間を計測する。乗降時間推計モデルは駅到着時の最混雑の扉付近を再現し、旅客が周囲の環境によって行動を変化させ、乗降に必要な時間を計測する。この2つのモデルを統合したのが列車遅延シミュレーションである。実行中の様子を図5に示す。

遅延実績データに記載のある突発的な停車のみを与件とし、運行実績データの対象期間全20日、午前6時から10時30分までの運行を再現したシミュレーション結果が図6である。図の実績値は20日間の平均値と標準偏差であり、推計値は各日10回のシミュレーションの平均に最も近い1回を代表とする20日間の平均値と標準偏差である。長津田→清澄白河間の38.1kmの走行を再現し、残差RMSが41.9秒と列車遅延の発生と拡大、収束を再現できたといえる。

最後に遅延連鎖予測シミュレーションを用いて、現在の固定閉そくに替わる新たな信号システムとして日本国内でも導入が検討されている移動閉そく方式の検討を行う。この方式では路線上に区切りを設けず、列車の停止限界を前方列車の位置に応じて算出するため、常に前方列車との車間距離を常に最短に保つことが可能である。現在の固定閉そく方式は区切りが非常に短いものの、余分な車間距離が発生している。一方移動閉そく方式では余分な車間距離が発生せず、遅延の減少効果が期待される。ここでは余裕距離を100mとし移動閉そく方式を対象路線全線に適用した場合のシミュレーション結果を図7に示す。全遅延時間の合計で80%の減少となり、現在よりも路線容量を高めることが出来、後続列車への遅延の拡大を防ぐことが出来た。

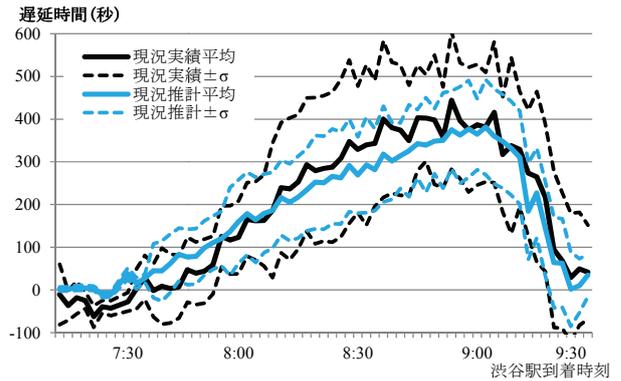


図6 シミュレーションの現況再現性

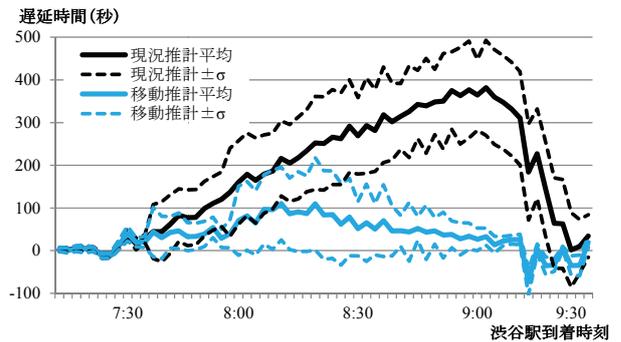


図7 移動閉そく時の遅延減少効果

### 4. おわりに

本研究では、遅延実績データや運行実績データを用いた遅延実態の把握を行った。朝ラッシュ時の列車遅延の拡大には突発的な停車が強く関与している。突発的な停車が発生しない日の遅延は、ピーク時間帯における旅客の集中による停車時間の増加が後続列車へ波及することで発生しているとみられる。エージェントモデルを用いた分析では、現在の遅延実態の再現と移動閉そく方式の遅延予測を行い、車間距離をより詰めることで遅延を削減できる可能性を示した。

謝辞：データのご提供並びに研究に対する数多くのご意見を頂いた、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ご心より感謝申し上げます。