

# 高頻度運行される列車の遅延シミュレーションシステムの開発 — 東急田園都市線を対象に —

芝浦工業大学大学院 学生会員 ○高橋 郁人  
鉄道運輸機構 正会員 上松 苑  
足立区役所 正会員 辻井 隆伸  
芝浦工業大学 正会員 岩倉 成志

## 1. はじめに

東京圏の都市鉄道では、列車車内混雑を低減する取り組みが実施されてきた。具体的には、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などである。しかし、副作用としてピーク時間帯の慢性的な遅延問題を引き起こしている。遅延が発生すると運転間隔が開き、到着乗車客が増加することで、さらに遅延が大きくなるという負の連鎖が生じている。発生した遅延が他路線にも影響を及ぼすことが多く、遅延の回復に数時間も要することもある。このような現象は社会的にも対策が求められる重要な問題である。

本研究の目的は、列車遅延問題の対策の第一歩として、遅延がどのように発生・波及するのかを究明し、対策の効果を事前に評価できるマルチエージェントシミュレーションシステムを開発することである。

本研究では、ピーク時の平均混雑率が193%（H20・渋谷 - 池尻大橋間）と高い東急田園都市線対象とする。高頻度運行を行い、3路線との相互直通運転を実施し、遅延の発生や波及を引き起こしやすい路線である。

## 2. 分析対象路線の遅延実態

2009年1月22日の長津田～渋谷駅間の列車ごとの遅延時間を図1に示す。7時以前から停車遅延は発生していたが、回復運転によって遅延は発生していない。しかし、8時過ぎから停車遅延が増加し、ピークを過ぎて減少傾向になると走行遅延が増加している。これは、乗降時間増加によって列車間隔が詰まり、走行遅延を引き起こしているためである。遅延発生の主な要因として、需要増加に伴う旅客の集中などの旅客行動が関係していることが現地調査から得られている。また、乗降客の速度分析からも混雑率と乗車時間、乗車人数と乗車時間に比例関係があることが確認できた。

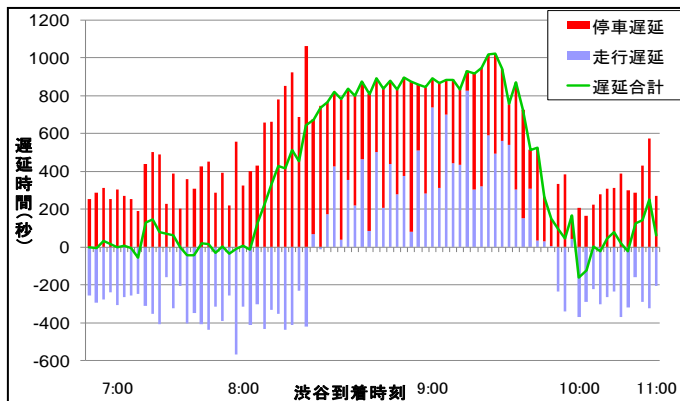


図1 長津田～渋谷駅間の実績遅延(2009.1.22)

表1 各モデルで用いるデータ

乗降モデル		走行モデル	
車両性能表	シミュレーションの車内構造の構築	車両性能表	列車加速度・減速度
駅ホーム図面	映像解析	発着時刻表	列車種別・行先・始発駅乗車時刻
応荷重データ	シミュレーションの初期値 (乗降客数・車内混雑率)	信号コード表	信号位置・軌道回路長・ 速度信号現示・勾配座標・勾配値
ビデオ映像	乗車直前の速度抽出 シミュレーションの再現性の検証	運転路線図	駅位置・ シミュレーション再現性の検証
		運行実績 データ	駅停車時分・ シミュレーション再現性の検証

## 3. 開発したエージェントシミュレーションシステム

### 3.1. シミュレーションシステム構築のためのデータ整備

本研究では長津田駅から渋谷駅までの延長25.6km区間を対象に、走行時分と乗降時分の推定を行うモデルを用いるが、その際に整備したデータを表1に示す。

### 3.2. 乗降モデルの構築

図2に示すように、本モデルは降車・乗車・車内の旅客をエージェントとし、列車の扉が開いてから乗降が終了するまでの時間を推定する。初期設定は、1扉1/4車両の空間で、旅客1名を直径40cmの円で表現している。全体の流れとして、降車旅客が降車したら乗車旅客が乗車し、ホームに旅客がいなくなるとシミュレーションを終了する。旅客行動ルールは、前方左右の混雑具合で判断し、最も混雑していない方向に進む。進行速度は、混雑や押し込み、パーソナルスペース、回避行動で増減する。

再現性の検証は、最も開閉時間の長い扉を対象に、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い、図3に示す。実績平均は混雑率175%～200%の3データの平均であり、シミュレーション平均は混雑率

【キーワード】 列車遅延, 都市鉄道, マルチエージェントシミュレーション

【連絡先】 〒135-8548 東京都江東区豊洲3-7-5 芝浦工業大学 (TEL) 03-5859-8354

175%で10回計算した平均である。6人目までは誤差が小さいので再現できたといえるが、7-12人目の通過速度に大きな差が発生した。これは、旅客の速度決定要素が考慮しきれていないため、扉付近の旅客滞留が解消した際の旅客流動の再現ができていないことが影響している。

### 3.3. 走行モデルの構築

走行時分とは、列車が駅を発車してから次の停車駅に停車するまでの時間を指す。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発生させ、それぞれにルールを与えて相互作用しながら運行させる。列車の運転ルールは、ATC信号の速度情報と前方停車駅までの距離を取得し、減速が必要か不要かを判断させる。減速が必要であれば停車駅の停止線または制限速度区間に合わせて減速する。減速が不要であれば、惰行運転か加速・再加速すべきかを速度によって判断し、勾配の影響を受けて進行させる。

シミュレーションの再現性について検証する。運行実績データから実際の停車時分を各駅に与え、停車遅延を発生させて走行シミュレーションを行い、相関係数と残差平均を算出し、図4に示す。1編成あたり最大約250秒の残差が発生したが、遅延が拡大するタイミングや回復運転などの傾向は再現できている。

### 4. 乗降モデルと走行モデルの統合

走行モデルと乗降モデルを連動させ、マルチエージェントシミュレーションシステムを構築した。全体の流れとして、走行モデルをベースに、駅停車の際に乗降モデルが稼働し、乗降が終了すると走行モデルが稼働するようにしている。

再現性の検証は、所要時間の比較で行い、それを図5に示す。シミュレーション平均は、H17大都市交通センサスから算出した30分ピッチ乗降人員と混雑率を入力してシミュレーションを10回計算させた平均である。概形は再現できたが、推定値の分散は小さく、実績値の遅延時分の変動特性まで反映できていない。今後、データ数を増やし、かつ確率的な変動特性を分析する必要がある。

### 5. まとめ

本研究では、乗降遅延の継続が走行遅延を招き、総遅延が発生するというメカニズムを実績データや現地調査によって究明し、マルチエージェントシミュレーションによって、再現可能性の高さを実証できた。

【謝辞】 データを提供して下さった東京急行電鉄株式会社の方々に心より感謝申し上げます。

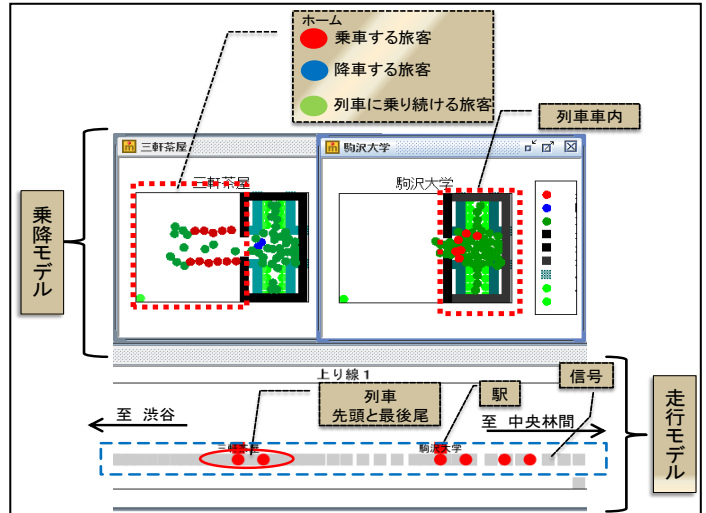


図2 マルチエージェントシミュレーションシステム実行画面

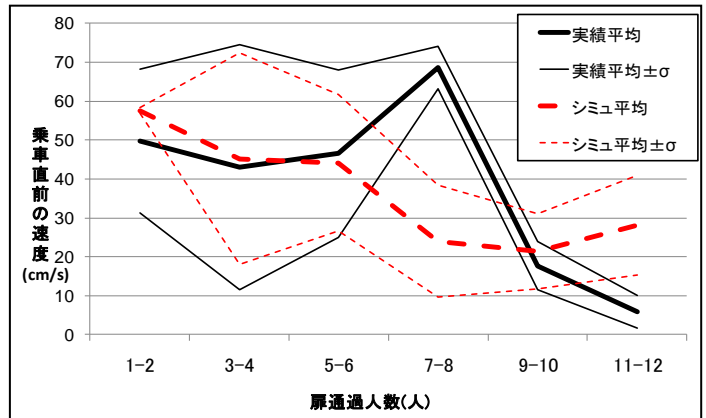


図3 乗車直前の速度の再現性検証

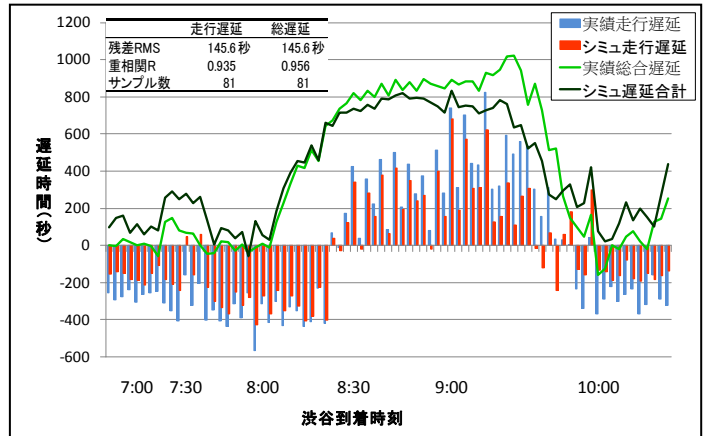


図4 長津田駅→渋谷駅の走行モデルの再現性(停車時分は実績値)

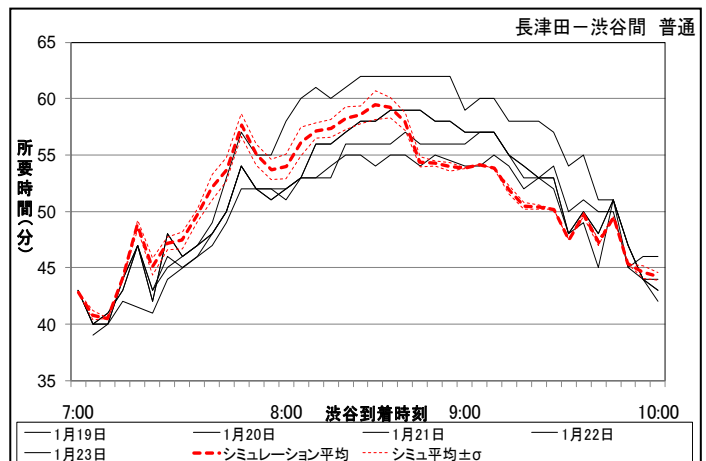


図5 マルチエージェントシミュレーションシステムの再現性検証