

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—



H06070 辻井 隆伸
H06206 高橋 郁人
指導教員 岩倉 成志

1. はじめに

東京圏の都市鉄道では、鉄道事業者によって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。さらに、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、ピークを過ぎて停車遅延が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からだと分かる。遅延発生時の主要な要因として、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。

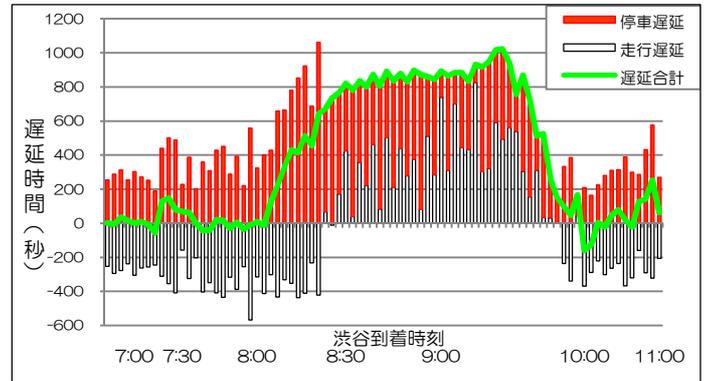


図1 長津田～渋谷駅間の実績遅延(2009.1.22)

表1 各モデルで用いるデータ

走行時分推定		乗降時分推定	
発着時刻表	列車種別・行先・始発駅発車時刻	駅ホーム図面	映像解析
車両性能表	列車加速度・減速度	車両性能表	シミュレーションの車内構造の構築
信号コード表	信号位置・軌道回路長・速度信号表示・勾配座標・勾配値	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)
運転曲線図	駅位置・シミュレーション再現性の検証	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. 開発したシミュレーションシステムの構築

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. 走行時分推定モデルの構築

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。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。実際のシミュレーション実行画面を図2に示す。

シミュレーションの再現性について検証する。まず、先行列車の制約を受けない自由走行時の列車挙動を視覚化した運転曲線図と比較し、図3に示す。運転曲線図には走行時分が記載されており、シミュレーション

走行時分との誤差は普通・急行列車ともに 10 秒以内に収まっており、自由走行時での列車挙動は再現できたといえる。次に、運行実績データから実際の停車時分を各駅に与え、故意に停車遅延を発生させながら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 秒の遅延が発生したが、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。

3. 3. 乗降時分推定モデルの構築

本モデルでは、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、旅客を直径 40cm の円で表現し、半径 40cm をパーソナルスペースとする。実行画面を **図 5** に示す。

全体の流れとして、降車旅客が降車したら乗車旅客が乗り込み、ホームに旅客が存在し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、回避行動によって増減する。パーソナルスペースの大きさは周囲の混雑状況の変化で減少する。

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い、**図 6** 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 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。

4. 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、シミュレーションで確認できた。

今後の課題として、走行時分推定モデルは先行列車接近時の加速・ブレーキの繰り返しによる細かい列車挙動を改善する必要がある。乗降時分推定モデルは再乗車する旅客が多い点や速度に影響のある要素が考慮しきれていない部分を改善する必要がある。今後は、モデルの精度をより良くした上で本システムを用いて遅延問題の対策案を検討したいと考えている。

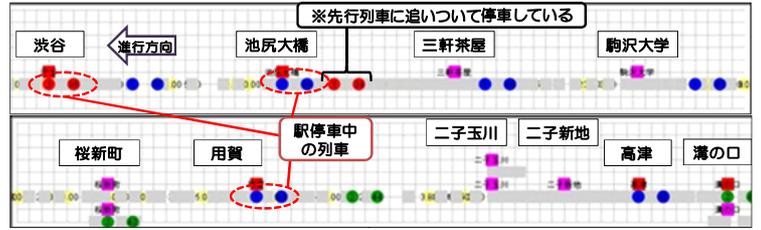


図 2 走行時分推定モデル実行画面(溝の口～渋谷)



図 3 運転曲線図による再現性検証(二子玉川～三軒茶屋・急行)

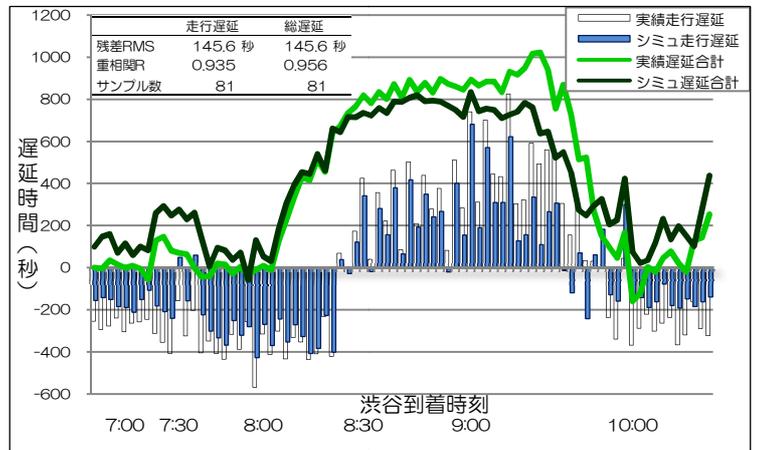


図 4 長津田～渋谷駅間 2009.1.22 実績遅延・シミュ比較

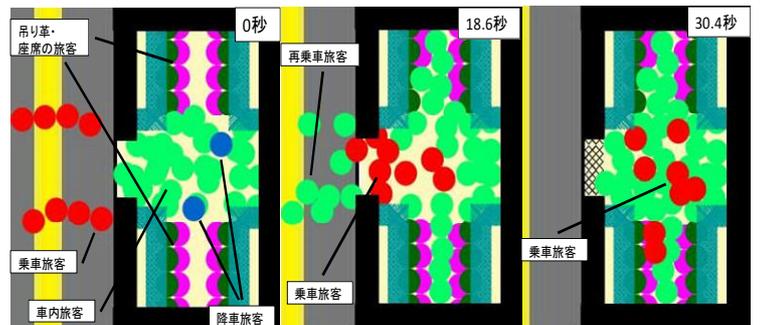


図 5 乗降時分推定モデル実行画面

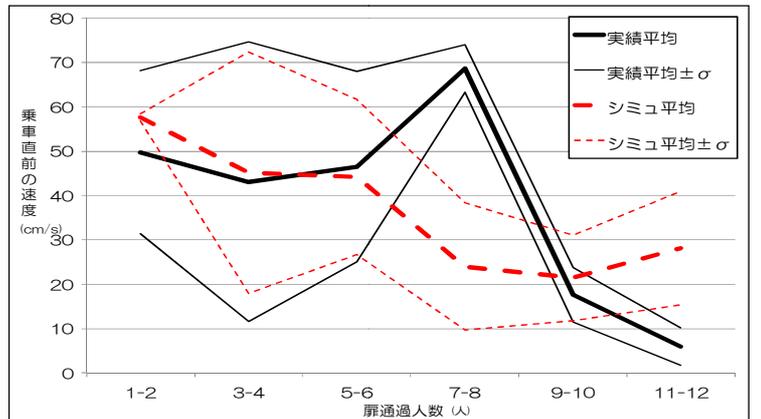


図 6 乗車直前の速度の再現性検証