

1. はじめに

通勤通学時間帯の東京圏の都市鉄道は、利用者の時間集中により高い混雑状態で、列車運行が行われている。この需要に対応するため、鉄道会社では線路容量限界まで、列車の高密度運行を実施している。そのため、列車速度の低下・列車遅延の発生・車内混雑が同時に、かつ慢性的に発生している。現在まで、速達性向上や混雑率緩和策として、複々線事業や運行システム高度化による運行の効率化が行われている。しかし、列車遅延に関しては、遅延の発生や波及のメカニズムが明らかにされていないため、対策が明示できていない。現在では、多くの路線で相互直通運転が実施され、広範囲なネットワークが形成されているため、1路線の遅延が他路線へ波及し、多くの利用者に影響を与えるという深刻な問題が起きている。

本研究では、列車遅延の分析を行い、遅延の原因や波及のメカニズムを明確する。また、エージェントモデルを用いて、列車遅延の連鎖シミュレーションシステムの開発を行う。遅延の分析の結果を開発したシステムに組み込み、原因の列車運行へ影響を検証し、対策案の効果を分析する。

2. 対象路線とデータ収集

対象路線は、東急田園都市線とする。高い輸送力での運行がされているが、混雑率は高く、慢性的に遅延が発生している典型的な都市鉄道である路線である。また、東京地下鉄半蔵門線・東武伊勢崎線と相互直通運転を実施し、他路線への遅延波及が起きている。

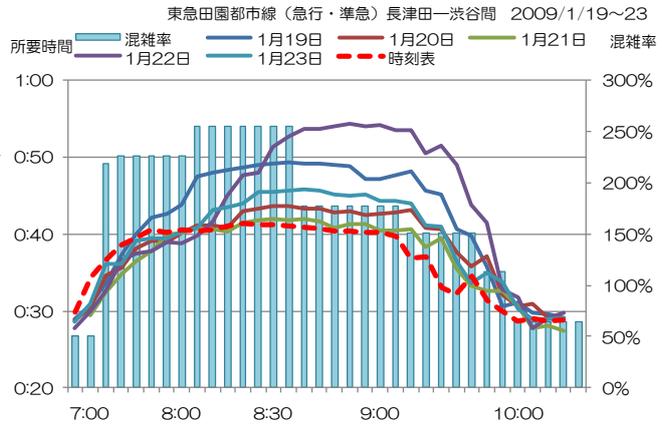
東急電鉄の協力を得て、分析に必要な表1のデータを収集した。

3. 遅延の実態調査

列車の各駅の発着時刻を計測した運行実績データを用いて、実際の列車運行の分析を行う。長津田ー渋谷駅間の所要時間を図1に示す。実際の所要時間が、時刻表の所要時間(点線)より大きい時に、遅延が発生している。この遅延の発生時点は、旅客が集中する高い混雑率の時間帯である。図1の遅延時間が最も大きい1月22日のデータを走行遅延と停車遅延で分け、分析した結果が図2である。ここで、総遅延とは、列車の各駅での遅延時間を累積した時間である。混雑率が高い時間帯に、まず停車遅延が発生し、その遅延時間を走行時間で回復している状況が見られる。停車遅延が一定以上になると、走行時間での回復ができなくな

表1 入力データ

データ項目	詳細	用途
発着時刻表	各駅の列車の発着時間	走行モデル
信号コード表	制限速度	
	軌道回路長(閉塞区間長)	
	勾配	
運転曲線図	運転曲線	乗降モデル
車両性能表	列車最高速度	
	加速度・減速度	
ビデオ画像からのホーム上の旅客行動データ	旅客の移動速度	乗降モデル
H17年度大都市交通センサス	各駅の乗降人員	
駅ホーム図面	ホームの階段位置	再現性検証
運行実績データ	各駅の実績発着時間	



※混雑率はH17大都市交通センサス30分ピッチで算出

図1 所要時間の変動 1月22日 長津田ー渋谷間

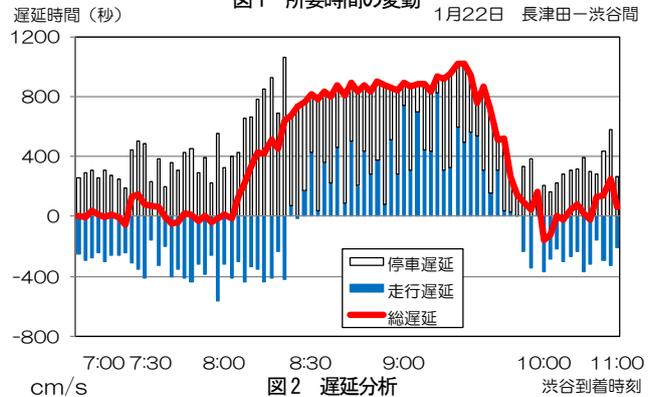


図2 遅延分析

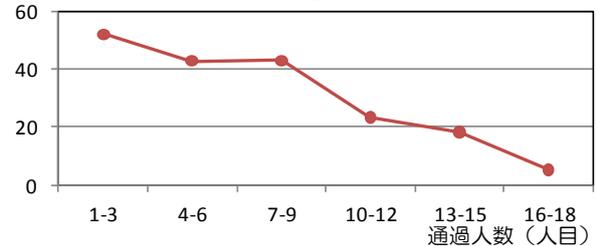


図3 通過人数による乗車速度の変動

り、走行遅延まで波及している。この走行遅延は、列車同士が団子運転になり、後続列車の表定速度が低下しているため発生する。この現象より、停車時間の増加から走行時間の増加に遅延が発生・波及していくことがわかる。

停車時間を構成する時間で、需要の増加に最も影響

を受ける時間は、旅客が乗降にかかる乗降時間である。図3は、ビデオ画像から乗車旅客が列車に乗車する寸前1秒間の速度を、通過人数3人毎の平均でまとめた結果である。累積通過人数が増加するほど、つまり、後から乗車する人ほど、移動速度が低下する。乗車人員が多い時に、より乗降時間の増加させてしまう可能性がある。さらに、扉付近での立ち止まりなど、移動を妨げる行為による影響も分析する必要がある。

4. システムの構成

遅延の原因は乗降時間と乗降時間内の旅客行動にある。この点に着目した列車遅延の連鎖シミュレーションシステムを開発する。本システムには、①乗降人員の増加の影響、②旅客行動の影響、③先行・後続列車への影響を組み込むことが要点となる。

本システムの図4のフローチャートに示す。駅での停車を乗降モデルで、列車走行を走行モデルで、エージェントモデルを用いて表現する。乗降モデルは、旅客をエージェントとし、旅客同士の相互作用から乗降時間を推定する。走行モデルは、列車や信号、駅をエージェントとし、それぞれの相互作用から走行時間を推定する。構築したシステムの実行画面の拡大した一部を図5に示す。走行モデルの列車が駅に停車すると、その駅の乗降モデルが作動し、乗降が終了し、安全確認時間を経て、列車が停車駅から発車する。

4-1 乗降モデル

乗降モデルは、混雑率と駅の最大乗降人員扉の乗降人員を入力する。旅客エージェントは、旅客の種類と現在位置から目標地点の方向を向く。前方に他の旅客エージェントの存在を探索し、移動可能な空間に移動するルールとなる。すべての旅客の乗車と降車が終わることで、当該駅での乗降モデルが終了する。

再現性の確認は、実績の乗降時間の乗降人員と混雑率を乗降モデルに設定し、推定した乗降時間とで比較する。また、ビデオ画像から計測した乗車旅客の速度で比較を行う。図3の速度の低下と同様の現象を表現可能なモデルにする。

4-2 走行モデル

列車エージェントは、進行方向上にある信号や勾配、駅の有無から、速度情報を取得し進行する。信号エージェントは、先行列車の位置から、信号コード表の条件に従い、接近する列車に速度制限の指示を与える。駅エージェントは、列車の到着から、乗降モデルが終了し、時刻表の発車時刻になるまで、列車を停車させる。これらの相互作用により、列車が走行し、全列車エージェントの走行が終了し、走行モデルが終了する。

再現性の確認は、走行モデルの停車時間に実績の停車時間を代入し、実際の列車運行と比較して行う。また、駅間の列車の自由走行時の速度と所要時間が記載

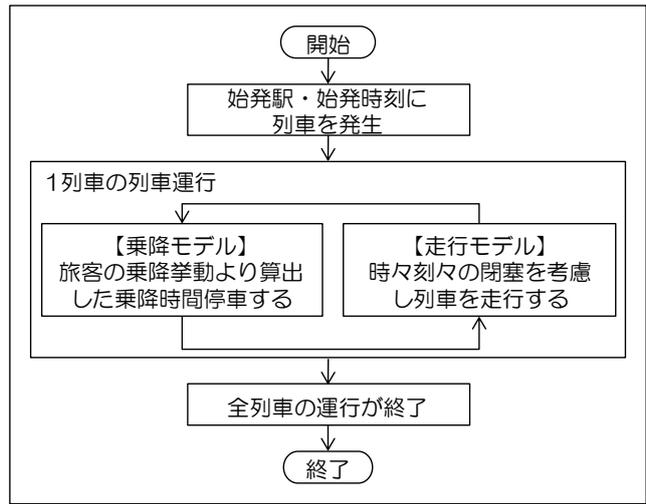


図4 システムのフローチャート

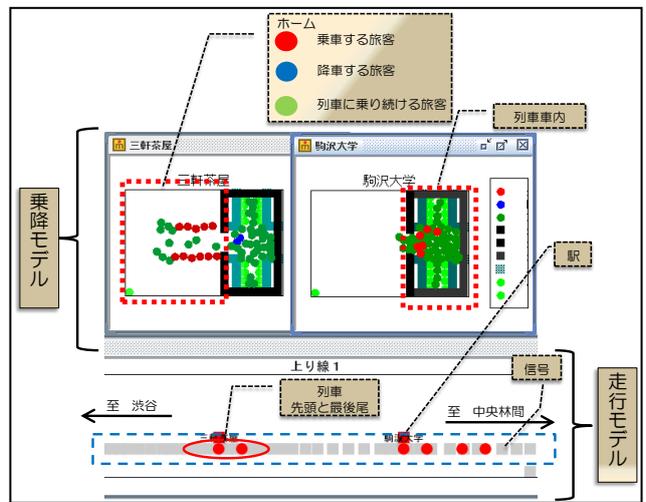


図5 システムの実行画面

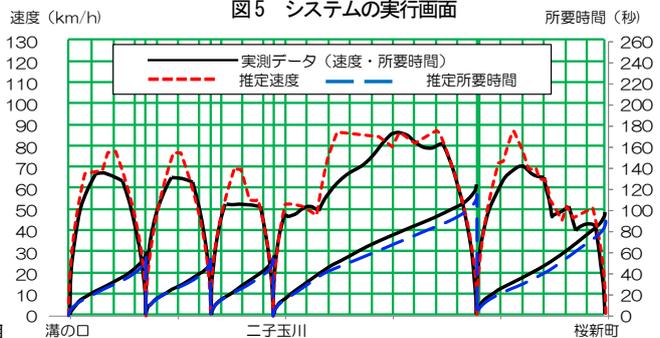


図6 運転曲線の比較

された運行曲線図で比較する。この比較した結果が図6である。実測データより、速度が高く、所要時間が小さいが、列車の挙動は概ね表現できている。

5. おわりに

本研究では、列車遅延の実態調査を行い、遅延が停車時間の増加から発生し、走行時間の増加に波及することがわかった。特に、乗降人員の増加や乗降行動が停車時間の増加に影響する。また、遅延原因の列車運行への影響を明らかにするため、列車遅延の連鎖シミュレーションシステムを開発した。このシステムを活用し、今後、遅延現象の対策案を提案する。