



H07018 稲見 隆史
指導教員 岩倉 成志

1. はじめに

通勤通学時間帯の列車内混雑は、都市鉄道におけるサービス向上の大きな課題である。特に近年、2～3分間隔による列車の高頻度運行や、相互直通運転の実施などにより輸送力の増強・利便性の向上を図ってきた。しかし、高頻度運行はダイヤの余裕が少なく、慢性的な列車遅延を引き起こす要因となっている。さらに列車遅延が相互直通運転先に波及し、広範囲に渡り影響を及ぼすという問題が発生している。

この問題に対し高橋・辻井[1]により、マルチエージェントシミュレーションを用いて高頻度運行時の列車運行を構築する研究が行われたが、積み残された課題も多い。そこで本研究では、従来のシミュレーションモデルのうち、列車の走行を再現したモデルの精度をさらに向上させ、対象線区を相互直通運転先まで拡大する。そして列車遅延対策の効果を事前に評価出来るモデルの開発を目指し、列車遅延が広範囲に伝播する状況を再現することを目的とする。

2. 分析対象路線の遅延実態

分析対象は、東急田園都市線の中央林間～渋谷および相互直通運転を行う東京地下鉄半蔵門線の渋谷～押上とする。高混雑率で高頻度運行を行う両線は、慢性的な遅延が発生すると共に、相互直通運転による遅延の波及を引き起こしやすい路線である。

図1に2010年11月16日の長津田～清澄白河間の列車毎の遅延時間を示す。旅客の乗降時間増加による停車遅延は全時間帯で慢性的に発生している。ピーク時間帯にかけて列車本数の増加に伴い列車間隔が詰まり、走行時分での遅延回復が出来なくなり走行遅延が発生している。また遅延合計の比較では、長津田～渋谷間（渋谷駅停車時分含む）で発生した遅延が、長津田～清澄白河間では最大2倍まで拡大しており、単一路線での遅延が相互直通運転先に伝播する状況が確認できる。

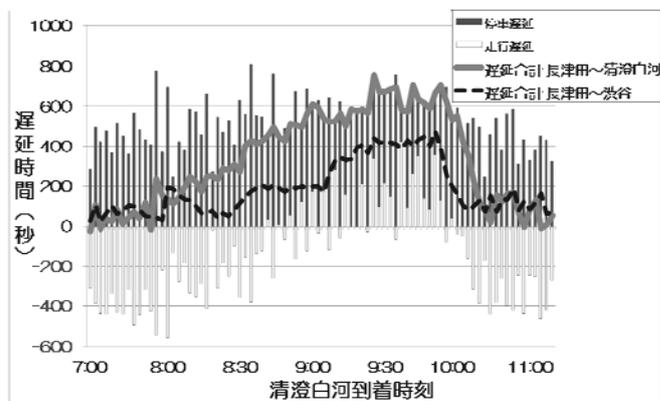


図1 長津田～清澄白河間の遅延実績(2010.11.16)

表1 使用データ

| | | |
|--------------------------|----------------------------|------------|
| 2009年1月19日(月)～1月23日(金) | 平日5日間 | 6:00～11:00 |
| 2010年11月15日(月)～12月17日(金) | うち平日24日間 | 6:00～11:00 |
| 発着時刻表 | 列車種別・行先・始発駅・停車時分 | |
| 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 | |
| 車両性能表 | 列車加速度・減速度 | |
| 運転曲線図 | 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. シミュレーションモデルの構築

3.1. データ整備

モデル構築・分析にあたり、東急電鉄と東京地下鉄の協力を得て、実際の運行に使用されたデータを利用する(表1)。

3.2. モデルの構成

列車運行は駅への停車と駅間の走行に分けられる。このうち、本研究では列車の駅間走行時分を推定するモデル(走行モデル)を構築し、停車時分には運行実績データから実際の停車時分を各駅に外生的に与えている。

走行モデルの構成としては、線路をシミュレーション空間とし、列車・信号機・駅や勾配をエージェントと見立て、それぞれのエージェントにルールを与えて相互作用させて運行させる。

列車の運行ルールは、先方のATC信号による制限速度、先行列車までの距離、列車種別毎の停車駅、駅の発車時分などを取得させ、現在の列車の速度に応じて加速・減速が必要か判断させる。この処理を繰り返し行わせることで、列車の挙動を再現する。

3.3.従来のモデルによる問題点の把握

2009年1月19日の走行シミュレーションの結果より、特に再現性の低い区間・時間帯の把握を行った。各駅間の1駅当りの残差RMSを算出し、図2に示す。

特に列車本数の多くなる区間・時間帯で過小推定となっている。実際の列車運行は先行列車の位置に応じて各信号区間で速度を制限して走行しているが、従来のモデルでは各信号区間の最高速度で走行させている。そのため速度が過大に推定され先行列車に接近しすぎるため、後続の区間で減速を余儀なくされ、結果として所要時分が伸びていると考えられる。

3.4.モデルの構築

まず、列車遅延の伝搬を再現するために、半蔵門線区間の列車の発着時刻、信号位置、勾配値などを追加し、対象線区の延伸を行った。シミュレーション実行画面を図3に示す。また、3.3.で挙げた問題点の解決策として、先行列車の位置に応じて信号に速度制限を与えて走行させるルールを新たに加えた。

以上の改良を行ったうえで、シミュレーションの再現性について検証する。表2、図4は2009年1月19日の実績の停車時分を各駅に与え、シミュレーションによる推定値と実績値での走行遅延時分を長津田～半蔵門間で比較したものである。走行遅延の残差RMSは130.4秒、相関係数は0.983という結果が得られた。従来のモデルのルールでシミュレーションした際の走行時分の比較(表3)に比べ、再現性が向上していることが分かる。理由としては、先行列車が接近している際に速度制限を与えたことで、列車同士が接近し過ぎず、より実際の列車挙動に近付いたことが考えられる。

4. まとめ

本研究では、列車遅延の発生の影響が他の路線へ伝搬する様子を実態分析によって示し、シミュレーションモデルによって遅延の影響が伝播する様子を再現することが出来た。また、従来のモデルで考慮されていなかったルールを与えることで、再現性の向上が見られた。課題としては、さらに忠実なルールを組み込み、モデルの精度をさらに向上させるとともに、シミュレーション自体の安定性を向上させることが必要である。

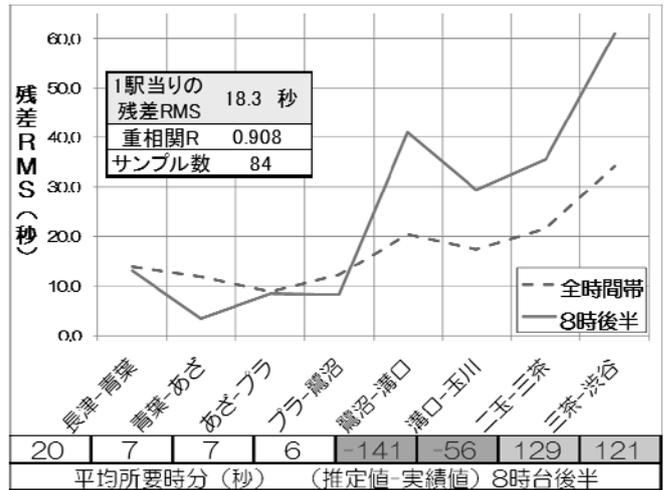


図2 各駅間所要時分の残差RMS(1駅当り)(長津田-渋谷間 2009.01.19)

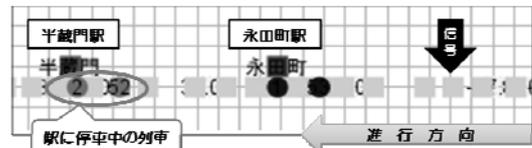


図3 走行モデル実行画面

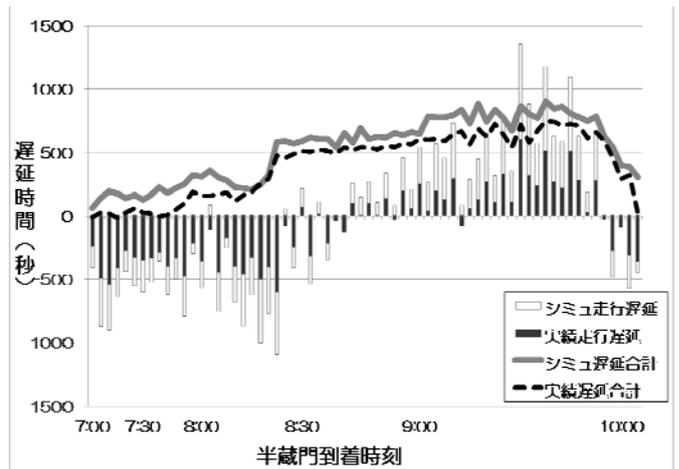


図4 新ルール 実績・シミュ遅延比較(長津田-半蔵門間 2009.1.19)

表2 新ルール 遅延比較 残差RMS(長津田-半蔵門間 2009.1.19)

| | 走行遅延 | 遅延合計 |
|-------|---------|---------|
| 残差RMS | 130.4 秒 | 129.6 秒 |
| 重相関R | 0.983 | 0.977 |
| サンプル数 | 66 | 66 |

表3 旧ルール 遅延比較 残差RMS(長津田-半蔵門間 2009.1.19)

| | 走行遅延 | 遅延合計 |
|-------|---------|---------|
| 残差RMS | 170.7 秒 | 143.2 秒 |
| 重相関R | 0.899 | 0.933 |
| サンプル数 | 79 | 79 |

[1] 高橋・辻井:「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一」2009年度芝浦工業大学卒業論文

謝辞: 本研究分析の際、東急電鉄株式会社ならびに東京地下鉄株式会社にはデータの提供など、多大なご協力を頂きました。ここに感謝の意を記します。