

運転整理ルールを内生化した列車遅延連鎖シミュレーションの開発

芝浦工業大学大学院 学生会員 ○小林 渉
前芝浦工業大学大学院 正会員 川村 孝太郎
芝浦工業大学 正会員 岩倉 成志

1. はじめに

都市鉄道は朝ラッシュ時の高頻度運行に伴う列車間の余裕時間の減少により、列車遅延問題を引き起こしている。当研究室では、列車1本ごとの駅間の走行と駅での停車を再現する、列車遅延連鎖シミュレーションシステムを開発し、遅延対策の検討をおこなってきた¹⁾。

このシステムは、実際の運行を非常に高い精度で再現できる反面、突発的な停車（本研究では車内急病人やドア引き込まれ等、突発的に発生する支障時間が10分以下の停車を扱い、人身事故等の長時間停車は対象外とする）や、それに伴う運転間隔調整を目的とした運転整理は、時刻表の所定の停車時間+60秒以上の停車をした場合、停車時間を外生的に与えていた。これは再現性が向上する一方、遅延対策を講じたときの予測値の感度が低下する問題がある。

本研究では、外生的に与える停車を減らすため、運行実績データを解析した上で運転整理をルール化する。その後、突発的な停車のみ外生的に与え、エージェントシミュレーションの再現精度の変化を報告する。

2. 分析概要

本研究では、東急田園都市線中央林間駅から東京メトロ半蔵門線押上駅を対象とする。この路線の2013年と2014年の各4~11月、計16か月での突発的な停車の有無による各日の渋谷駅での最大遅延時間を図1に示す。突発的な停車は全体の62%にあたる204日発生している。

シミュレーションの構築には、信号コード表、発着時刻表、応荷重データ等を用いた。また2014年7、10、11月のうち特定の平日20日間の運行実績データおよび遅延実績データから突発的な停車を抽出し、以下に示す手順で分析を行った。

1)突発的な停車と運転整理の時空間範囲の特定

【キーワード】 都市鉄道, 列車遅延, 運転整理, 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 09C32 芝浦工業大学 交通計画研究室 TEL 03-5859-8354

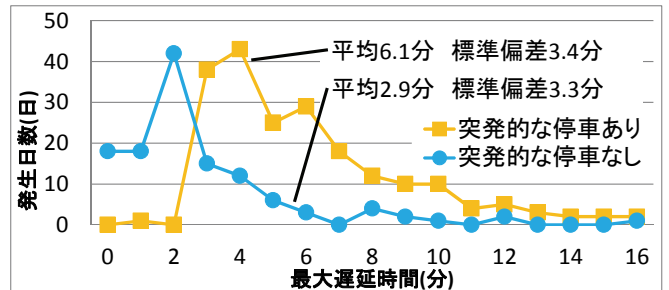


図1 渋谷駅での最大遅延時間

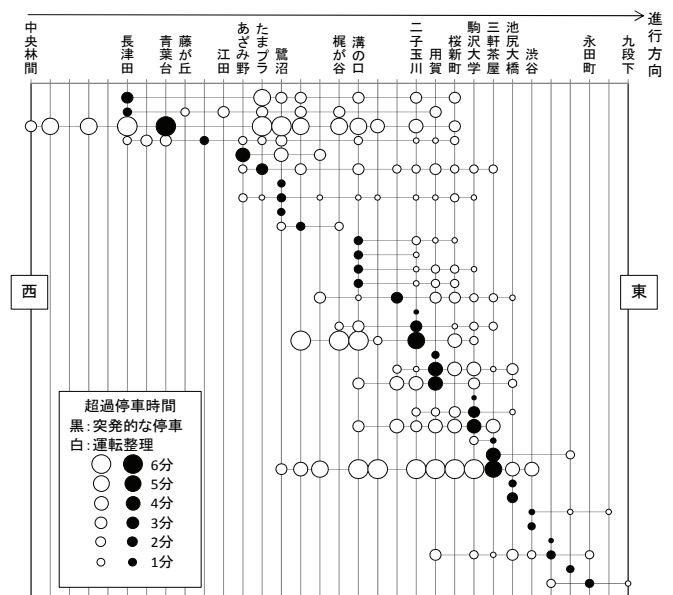


図2 突発的な停車と運転整理

2)運転整理の範囲をルール化しプログラミング

3)シミュレーションを実行, 再現性の検証

3. 分析結果

3-1. 運転整理の範囲取得

図2は突発的な停車発生直後の前後の駅にて、時刻表の所定の停車時間+60秒以上の停車が存在した場合、突発的な停車による運転整理として、突発的な停車をした列車と運転整理をした列車との関係を示したものである。この結果から、突発的な停車の発生駅や停車時間により、運転整理の範囲が異なることや、同一の突発発生駅でも運転整理の範囲に多少のばらつきがあることが分かる。

3-2. 運転整理のルール化

運転整理の範囲の決定ルールを、図3のフローチャートに示す。図中にある運転整理指示の駅数は、記載の範囲内でランダムに与える。また、発生箇所がたまプラーザ以西の場合は、前方の運転整理端部を用賀一駒沢大学間にある駅でランダムに与える。運転整理駅数を固定とせずランダムに与える理由は、3-1の結果より、運転整理範囲は司令員の経験知で判断が異なると考えられるためである。運転整理範囲内の駅停車時間は最初の突発停車時間と同値とし、前方の運転整理端部の駅のみ、その1/2の値とした。

シミュレーションで外生的に与える停車の回数を表1に示す。運転整理を内生化したことで、外生的に与える停車回数は従来から98%削減できた。

3-3. 運転整理内生モデルの再現精度

突発的な停車のみを与え運転整理を内生化させ、シミュレーションを行った結果(以下、内生モデル)と、所定の停車時間+60秒以上の停車があれば、全て停車時間を与えてシミュレーションを行った従来(以下、外生モデル)の結果(以下、外生モデル)を図4に示す。図4の平均値と標準偏差(±1σ)の算出方法を以下に記す。

- ・実績値：20日間の平均値と標準偏差。
- ・推計値：各日5回のシミュレーション結果の平均値を算出し、一番平均に近い1回の結果を当該日の代表値とする20日間の平均値と標準偏差。

長津田→半蔵門間で見ると、どちらのモデルも再現性に差異がないという結果になった。

一方で、図4の標準偏差に着目すると内生モデルは、外生モデルや実績平均と比較し小さい結果となった。また、表2に示すように二子玉川→渋谷間や渋谷→半蔵門間では、内生モデルが外生モデルと比較し残差RMSの値が著しく大きい結果となった。最初の突発停車のみを外生させる内生モデルは、突発的な停車と運転整理以外の停車で、各日で生じる旅客の乗降時間のばらつきを十分再現できていないため、乗降時間が過小に推計される傾向があることが分かった。そのため二子玉川→渋谷間では遅延時間が小さくなる分、図5に示すように渋谷→半蔵門間で列車間隔が狭まり遅延時間が増大している。

4. おわりに

本研究では、突発的な停車と運転整理について運

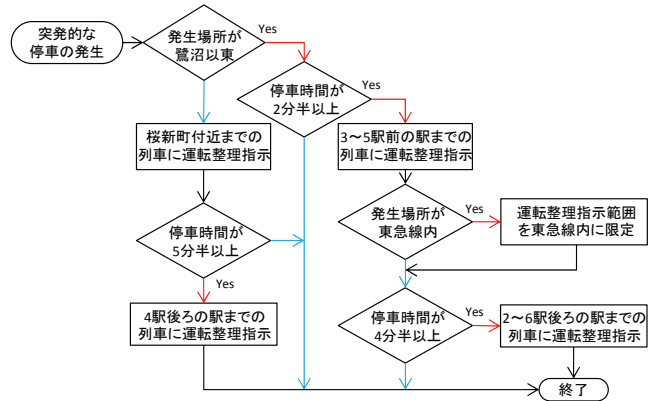


図3 運転整理のフロー

表1 外生的に与えた停車回数

全停車回数	77640 停車/20日
外生モデル(従来)で与えた停車回数	1263 停車/20日
全停車に対する割合	1.6 %
内生モデル(新規)で与えた停車回数	27 停車/20日
全停車に対する割合	0.035 %

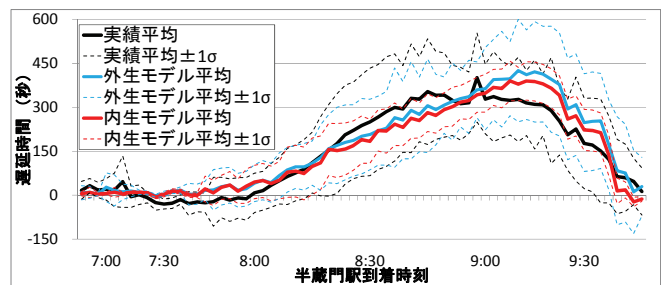


図4 長津田—半蔵門間遅延時間

表2 区間別再現性

区間	実績と外生モデル残差RMS(秒)	実績と内生モデル残差RMS(秒)	内生モデルと外生モデルとの残差変化量(秒)	区間長(km)
長津田→半蔵門	50.3	44.8	-5.5	30.7
長津田→鷺沼	38.3	28.4	-9.8	9.9
鷺沼→二子玉川	38.7	39.0	+0.3	5.3
二子玉川→渋谷	47.9	87.9	+40.0	9.4
渋谷→半蔵門	109.7	164.5	+54.8	5.1

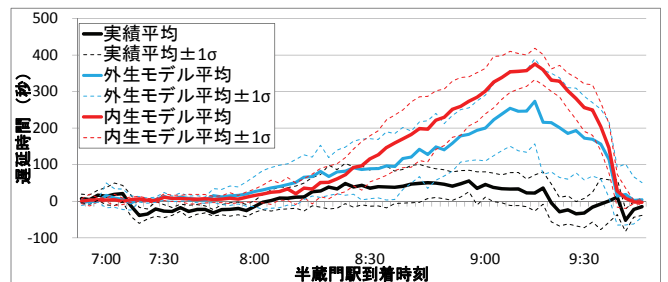


図5 渋谷—半蔵門間遅延時間

行実績データを用いて解析を行い、運転整理をルール化しシミュレーションモデルに組み込んだ。外生的に与えていた停車数を大幅に削減しても、再現性に大きな精度低下はなかった。今後の課題として、乗降時間のさらなる精度向上が挙げられる。

【謝辞】

データのご提供および研究に対する数多くのご意見をいただいた、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心より感謝申し上げます。

【参考文献】

1)川村孝太郎, 神田大輔, 岩倉成志: 複数の列車遅延対策案の効果分析~東急田園都市線と東京メトロ半蔵門線を対象に~, 第21回鉄道技術・政策連合シンポジウム, S9-1, 2014