

# 輸送障害時における運転再開手法の一考察

仮屋崎 圭司<sup>1</sup>・日比野 直彦<sup>2</sup>・森地 茂<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 鉄道建設・運輸施設整備支援機構 (〒231-8315 神奈川県横浜市中区本町6-50-1)

E-mail:kei.kariyazaki@jrtr.go.jp

<sup>2</sup>正会員 政策研究大学院大学 准教授 大学院政策研究科 (〒106-8677 東京都港区六本木7-22-1)

E-mail:hibino@grips.ac.jp

<sup>3</sup>名誉会員 政策研究大学院大学 教授 大学院政策研究科 (〒106-8677 東京都港区六本木7-22-1)

E-mail:smorichi.pl@grips.ac.jp

東京圏の都市鉄道は、高頻度運行や相互直通運転等の施策が混雑緩和や利便性向上に大きな効果をあげた一方で、通勤時間帯の慢性的な遅延、人身事故や車両故障等により発生した遅延の広域的な連鎖、一度発生した遅延の回復に数時間も要するといった回復困難性の問題等の新たな課題に直面している。近年、輸送障害の件数も増えており、輸送障害などの長時間の遅延は列車の運転見合わせを実施する機会が多く、運転再開後においても遅延の影響が広域かつ長時間に及ぶ。そこで本研究では、これまでに構築した列車運行挙動を再現するシミュレーションモデルを用いて、輸送障害等に起因する遅延について、路線特性を考慮した運転再開時の工夫による遅延拡大の抑制について検討を試みる。

**Key Words :** train delay, delay propagation, high frequency operation, simulation

## 1. はじめに

東京圏の鉄道は、輸送力増強や利便性向上のため、高密度な鉄道網整備、列車の長編成化、高頻度運行、相互直通運転の実施、ホームドアの設置等の施策により、世界に誇れる都市鉄道システムを構築している。しかしながら、これらの施策は大きな成果をあげた一方、その副作用として、通勤時間帯の慢性的な遅延、遅延の広域的な連鎖、遅延回復の長時間化が発生しており、東京圏の鉄道は新たな課題に直面している。抜本的な対策としては、大規模投資を伴う路線容量の増強、あるいは、利用者意識の改革が求められるが、これらが可能な場合は限定的であり、また急務である都市鉄道の信頼性回復を実現するまでには、長期的な時間を要してしまう。このため、遅延の対策にあたっては、遅延発生抑制のみならず、発生してしまった遅延に対する拡大・波及の抑制方法、さらには、遅延発生状況における早期回復方法といった視点からの検討が現実的かつ有効な手法と考える。

また、東京圏における輸送障害(列車の運休、旅客列車の30分以上の遅延等)の件数は平成17年度から減少傾向にあったが、平成22年度以降は再び増加傾向へと転じており、新幹線を除くと平成25年度は5,248件<sup>1)</sup>となっている。輸送障害時は一時的な運転見合わせに伴い、運転

再開後に時間的かつ空間的に大規模な遅延を生じる場合が多い。運転見合わせ中に発生した大量の利用者が、特定の列車に集中するため、当該駅の発車時だけでなく、次駅以降においても乗降時間の増加が生じる。

そこで、本稿では、遅延発生状況における早期回復の視点から、輸送障害等に起因する遅延について、路線特性を考慮した運転再開時の工夫による遅延拡大の抑制について検討を試みる。

## 2. 使用データ

本研究の分析は、列車運行実績値を用いて行う。列車運行実績値は、自動進路制御装置(ARC: Automatic Route Control)により得られるデータの一つであり、駅毎に各列車の到着時刻、発車時刻が秒単位で記録されている。これにより各列車の運行状況を時系列に把握することが可能である。対象路線は、東急田園都市線および東京メトロ半蔵門線とする。データ取得日は平成21年1月19日(月)、時間帯は7:00~11:00である。なお、東急田園都市線は渋谷駅到着7:50~9:00の急行を、二子玉川駅~渋谷駅(6駅間)の区間で各駅停車とする準急運転を実施しており、列車毎の混雑を平準化し遅延の抑制を

図っている。準急運転時間帯における渋谷駅での最大到着遅延時間は約9分であった。

### 3. 列車運行シミュレーションモデル

#### (1) モデルの概要

運行ダイヤ、信号コード表、運転曲線図、列車性能を入力データとし、列車1本1本の駅間の運行挙動を再現するシミュレーションモデルを構築する。モデルはセルオートマトン理論を適用し、列車間の相互作用と列車信号方式により時系列で変化する走行速度を、列車毎に決定する。なお、本研究ではNagel-Schreckenberg<sup>2)</sup>の1次元のセルオートマトンモデルを適用し、列車の相互作用に基づく列車の運行挙動を再現している。セルは対象路線の線路閉そく割と同様に分割した。また、本研究はより列車運行に着目した分析を行うため、まず駅停車時間に列車運行実績値から得られる列車毎の実績値を適用し、列車運行シミュレーションの再現性を確認した。対象路線は、東急田園都市線および東京メトロ半蔵門線の二子玉川駅～半蔵門駅間（10駅間）とし、平成21年1月19日（月）の準急運転時間帯7：50～9：00頃（列車33本）のデータを用いた。

#### (2) 駅間走行時間の再現性

図-1に駅間走行時間の実績値とシミュレーションモデルによる計算値の比較を示す。最大で約50秒の残差が発生しており、更なる精度向上が必要であるものの（サンプル数330：10駅間×列車33本、重相関係数0.92）、列車毎の走行時間の比較において、遅延の発生および回復のタイミングの傾向は概ね再現されていることを確認した。

#### (3) 駅停車時間の設定

前節のシミュレーションモデルにおいて駅毎に発着時間と停車時間の関係を図-2のとおり設定する。駅毎列車別の停車時間は、運行ダイヤで設定された停車時間を最小値とし、運行ダイヤ上の発着時間を超過した場合に増加する。旅客の発生率は駅毎に一定と仮定し、運行ダイヤで設定された発着時間に対する必要停車時間がダイヤ上の停車時間となるように、駅毎に停車時間の増加率を設定した。

### 4. 輸送障害時の列車運行状況

#### (1) 運転再開時の列車状況

定常的に発生する比較的短い時間の列車遅延に対して、車両故障や自然災害等により発生する列車遅延は、遅れ

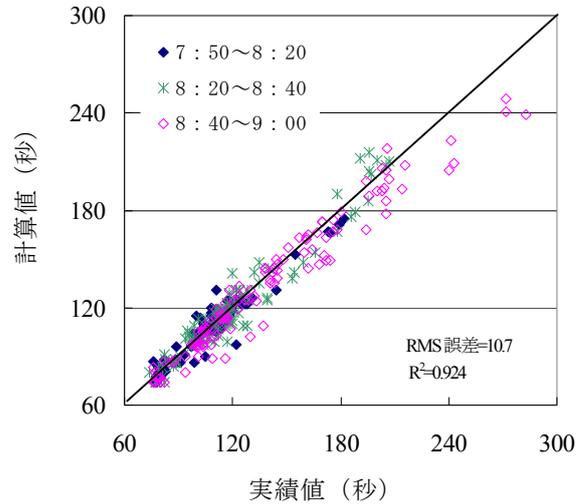


図-1 駅間走行時間の比較

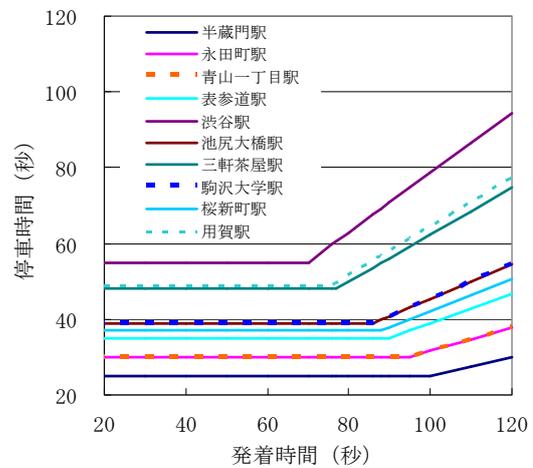


図-2 発着時間と停車時間の設定

時間や影響範囲が大規模となり、輸送障害として報告される場合が多い。輸送障害とは30分（旅客列車以外は1時間）以上の遅延を生じた場合に鉄道事業者から地方運輸局長へ報告される鉄道事故統計項目の一つである。輸送障害などの長時間の列車遅延は、発生要因が概ね特定される。このような長時間の列車遅延の発生に対して、鉄道事業者の基本的な対応として、遅延要因が解消されるまでの間の一時的な列車運転見合わせが実施される場合が多い。その際、乗客の安全確保や線路内立入りを防ぐため、駅間での停車を可能な限り避けて駅に停車するよう図られる。遅延要因の解消に数時間を要する場合は、振り替え輸送のほか、相互直通運転の停止や、折り返し運転など運転整理が実施され、列車遅延の影響範囲を最小限に抑える取り組みがなされる。

特定要因による長時間の列車遅延が発生すると、駅では旅客が滞留し、駅に停車する列車の車内混雑率は増大する。一方で、次駅に停車する列車が存在し、やむなく駅間での停車を実施した列車は、次駅の到着時に旅客が少ないことがあり、この場合は駅に停車していた先行列車との車内混雑率に差異が生じる。振り替え輸送の実施

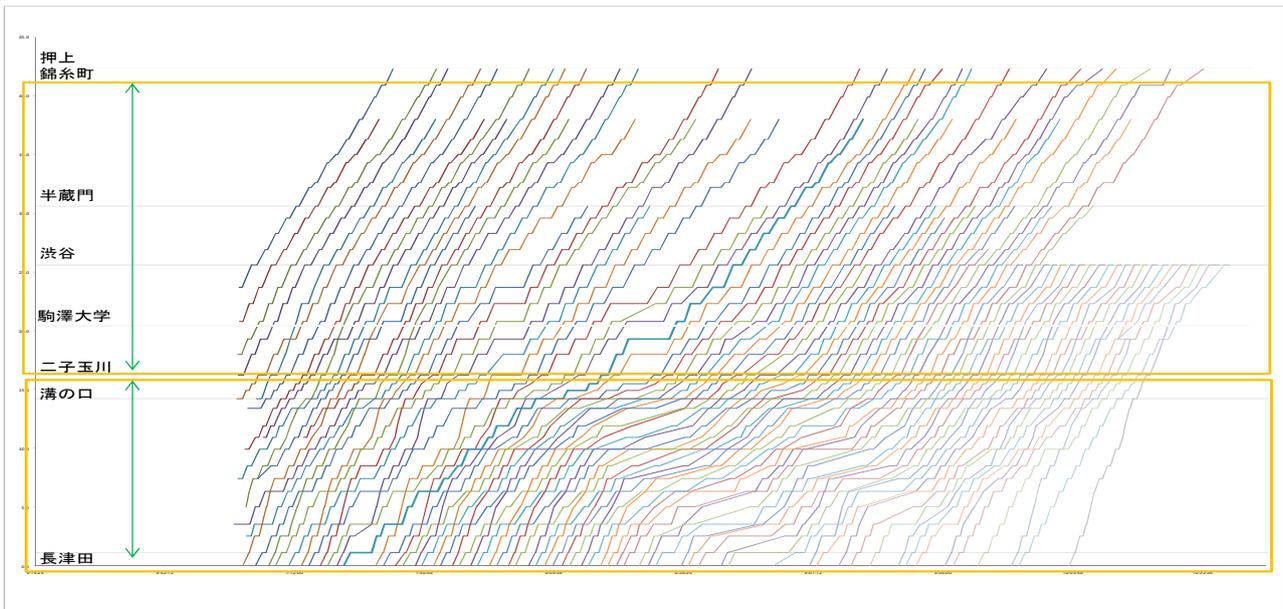


図-3 輸送障害時の運行状態（実績値）

までには至らないが、運転再開まで長時間を要する場合は、運転再開時に駅停車中の列車に乗りきれない旅客が駅に残留するため、駅間に停車していた列車においても、駅到着後に車内混雑率の増大が生じる場合がある。一方で、振り替え輸送が実施された場合には、駅で滞留する旅客が比較的少ないため、運転再開時に駅間に停車していた列車は、駅到着後も急激な乗客の増加は生じず、駅に停車していた先行列車との車内混雑率に差異が発生する。他路線においては、振り替えによる利用者増に伴い、混雑率の増加および列車遅延の発生が考えられる。

## (2) 列車運行実績値による現状分析

長時間の列車遅延が発生した際の列車運行実績値を、ダイヤグラム図に示す。図-3は朝ラッシュ時間帯において、東急田園都市線長津田駅と東京メトロ半蔵門線半蔵門駅間で最大約40分の列車遅延が発生した際の列車運行状態を示している。この時間帯は、二子玉川駅から下流については準急運転を実施しており、各駅運行となっている。このため、列車の追い越しがなく、列車遅延の要因が解消するまでは、可能な限り駅で停車させる措置が取られている。二子玉川駅より上流については、急行列車の運行による追い越しの影響により、普通と急行とともに駅間で停車する列車が発生している。列車の追い越しを実施しなくなる準急運転区間の始点にあたる二子玉川駅では、溝の口駅の複線ホームにより、あるいは二子玉川駅での列車間隔調整により、列車の発車間隔が調整され、二子玉川駅で上流区間の列車間隔の乱れが概ねリセットされている。路線の設備や施設の点については、二子玉川駅より下流の都心に近い駅においては、複線ホームなど列車遅延を吸収する施設がないことなど、現状

において列車遅延対策が困難な区間である。都心に近いため輸送力を低下する折り返し等による運転整理が実施しにくいという要素も考えられる。また、一般的に輸送障害などによる長時間の列車遅延発生時は、列車間隔が乱れやすく、遅延の拡大が生じやすいことから、急行運転を停止するケースが多くみられる。このような路線の特性及び現状の運行管理手法を踏まえて、長時間の列車遅延に対する、以下の分析においては、二子玉川駅・錦糸町駅間を対象にシミュレーションを行うこととする。

## 5. 運転再開手法の検討

### (1) シミュレーション設定

運転再開における遅延拡大の抑制手法を検討するため、ネットワークの複数の列車において、トラブル等の遅延発生に伴う一時的な運転見合わせを行い、その後、運転を再開するシミュレーションを実施した。半蔵門線大手町駅より上流側の駅において、全ての列車を駅にて停車させることとし、先行駅に既に列車が停車している場合は、駅間に停車させる。計算の都合上、渋谷駅に停車した列車の停車時間が10分となった時点で、駅に停車中の列車を一斉に発車させることとした。駅間に停車した列車は、信号現示が青になり次第、順次発車する。駅毎列車別の停車時間は図-2で示したとおり、発着時間の増加による停車時間の増加を考慮する。駅に停車中の列車は、発着間隔に対する停車時間の増加率を2倍に設定し、駅間に停車した列車については、図-2の増加率をそのまま設定した。振り替え輸送等による旅客の経路変更は想定しない。長時間の遅れの場合、前から順番に駅を発車さ

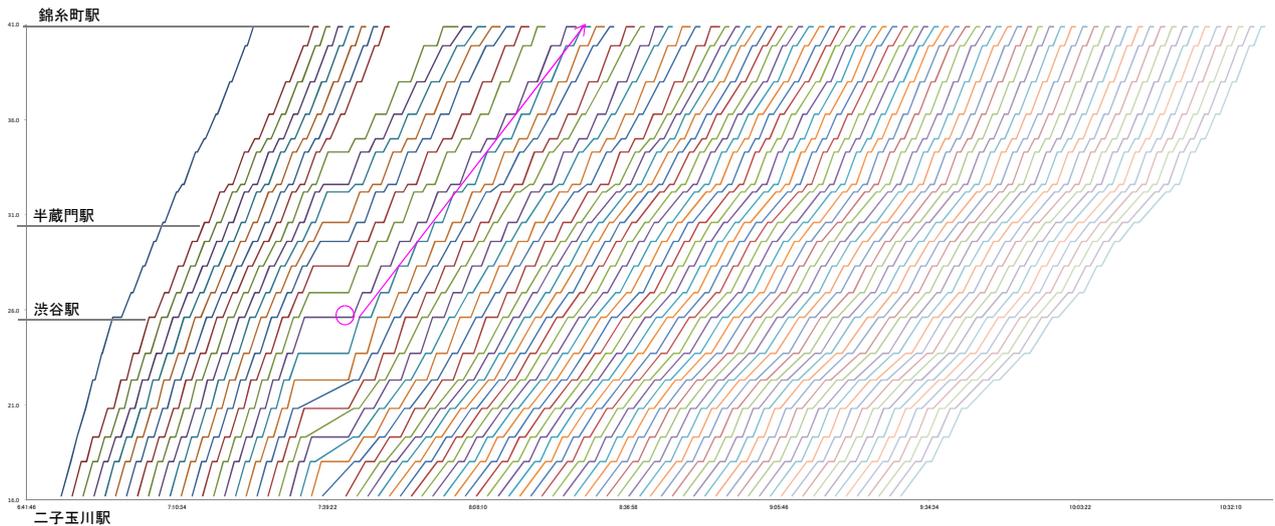


図4 運転再開後の運行状況（シミュレーション結果）

せることもあるが、遅延の回復が遅くなるため、ここでは、一斉に運転再開するものとした。

## (2) 運転再開方法の検討

シミュレーションは、駅に停車中の列車を一斉に発車させるケース1と、特定の列車において間隔調整を行うケース2の、2通りを実施した。

ケース1は、池尻大橋駅に停車した列車について、渋谷駅に停車した先行列車との列車間隔が、停車駅毎に拡大し、後続列車において、いわゆる団子運転が発生する結果となった。つまり、当該列車は新たな遅延の原因となったことが分かる。この要因として、駅停車する全ての列車を同時に発車させた場合、池尻大橋駅～渋谷駅間は、他の駅間と比べて駅間距離が長いいため、渋谷駅での到着間隔が遅れてしまう。さらに、渋谷駅は他の駅よりも発着間隔に対する停車時間の増加率が高いため、停車時間が増加し、新たに遅延を拡大する列車になったと考えられる。

そこで、ケース2では、当該列車について渋谷駅到着時の発着間隔の増加を防ぐため、渋谷駅停車の列車のみ、発車時間を遅らせて、池尻大橋駅発の列車との間隔調整を行った。調整時間は、ダイヤ設定における両列車の発車時間を鑑みて45秒を設定した。図4にシミュレーション結果を示す。図の丸記号と矢印は、間隔調整を行った箇所と、ケース1における池尻大橋駅発列車の概略軌跡を示している。ケース1と比べ、渋谷駅で間隔調整を実施した列車の錦糸町駅到着時間は143秒増加したが、池尻大橋駅発の列車の渋谷駅到着は6秒短縮、錦糸町駅の到着時間は62秒短縮した。後続列車については、最終的に錦糸町駅の到着時間が206秒回復しており、間隔調整を実施した列車の所要時間は増加したが、路線全体の遅延回復に貢献する結果を得た。

## 6. おわりに

本稿は、列車の相互作用により列車1本1本の駅間運行挙動を再現するシミュレーションモデルを用いて、輸送障害等に起因する遅延について、路線特性を考慮した運転再開時の工夫により、遅延拡大の抑制について検討を行った。運転再開時の列車には、駅に滞留した多くの利用者が集中することから、新たな遅延が発生し、遅延が拡大する場合があります。通常時以上に等間隔を維持した列車運行が重要である。そのため、利用者発生率など駅の特性と、駅間距離の違いによる発着時間の違いを考慮した運転再開手法が、遅延の拡大抑制および早期回復に有効であることを示した。このとき、振替輸送の実施の有無等についても考慮が必要であり、運転再開時の状況別に、対応方法を事前に検討しておくことが重要である。

**謝辞：**本研究を遂行するに当たり、東京急行電鉄株式会社、東京地下鉄株式会社、東武鉄道株式会社からは協力を得た。ここに記して感謝の意を表す。なお、本研究は科学研究費（課題番号:21360242, 25420536）の助成を得て行ったものである。

### 参考文献

- 1) 国土交通省：鉄軌道輸送の安全にかかわる情報（平成25年度），2015。
- 2) Nagel, K. and Schreckenberg, M. : A cellular automaton model for freeway traffic, *Journal de Physique I France* 2, 2221-2229, 1992.
- 3) 仮屋崎圭司，日比野直彦，森地茂：列車間隔に着目した運行遅延に関するシミュレーション分析，*土木学会論文集 D3（土木計画学）*，Vol.67, No.5, pp.1001-1010, 2011。
- 4) 宮崎一浩，日比野直彦，森地茂：路線の特性に着目した都市鉄道における列車遅延分析，*土木学会論文集 D3（土木計画学）*，Vol.70, No.5, pp.477-486, 2014。