

列車運行シミュレーションを用いた遅延の拡大メカニズムに関する研究*

Study on Mechanism of Worsening Punctuality using Train Operation Simulator*

仮屋崎圭司**・日比野直彦***・森地茂****

By Keiji KARIYAZAKI**・Naohiko HIBINO***・Shigeru MORICHI****

1. はじめに

列車の運行遅延は、ターミナル駅等で利用者の乗降時間の増加に伴い発生することが多い。しかし、列車毎に遅延時間の増加要因をみると、駅停車時間の増加（利用者混雑に起因）と、駅間走行時間の増加（線路上の列車混雑に起因）の2つに分類される¹⁾。この主因の一つに、現在の都市鉄道の特徴である非常に短い列車閉そく長がある。これにより高密度運行による大量輸送を可能としているが、一方で、列車の線路上の混雑が発生し、これに起因して列車の駅間走行時間が増加している。線路上に密な状態で運行している列車は、先行列車の速度変化に応じて、加減速を繰り返すこととなり、それは自動車交通における渋滞現象と類似する。つまり、線路上において列車の渋滞が発生している。このため、列車遅延の発生および波及・拡大のメカニズムを究明し、その対策検討を行うには、駅での列車乗降に関わる旅客流動のみならず、列車1本1本の挙動とそれらが互いに与える影響を時系列的に捉えることが不可欠といえる。

本研究は、上述の分析を実施すべく、線路上の列車挙動を再現するシミュレーションモデルを構築し、列車相互の運行状態から遅延が波及および拡大するメカニズムを明らかにすることを試みる。

2. シミュレーションモデルの概要

運行ダイヤ、信号コード表、運転曲線図、列車性能から得られる情報を入力データとし、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。駅停車時間は列車の発着間隔、車内混雑率、ホーム上の旅客の滞留等により値が変動するため、本来は列車の運行と利用者行動による駅停車時間の推定とを一体的

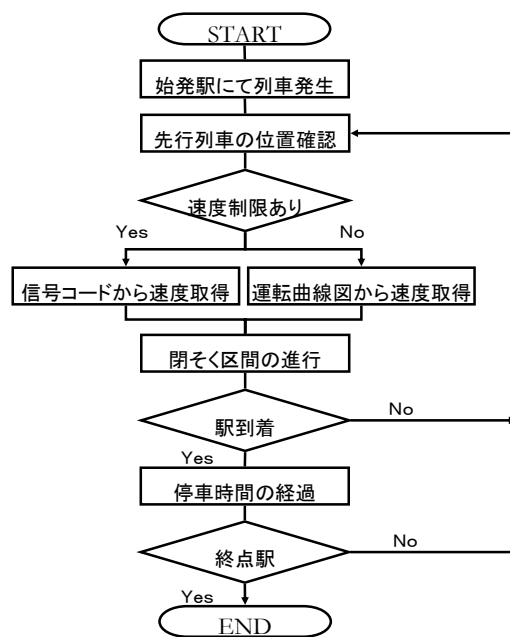


図-1 シミュレーションモデルのフロー

に再現するシミュレーションモデルが必要である。しかし、今回は列車運行に着目した分析を行うため、列車運行実績値から得られる駅毎・列車毎の駅停車時間の実績値を適用する。列車運行実績値は、駅毎に各列車の到着時刻、出発時刻が秒単位で記録されたものである。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。なお、この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。図-1にシミュレーションモデルのフローを示す。

3. シミュレーションの再現性

列車走行時間の計算値を実績値と比較すると、最大で約60秒の残差が発生しており十分な再現性を確保するに至っていない（サンプル数330：10駅間×列車33本、重相関係数0.91）。しかし、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から、今回はこれを用いて、駅での停車時間の増加が後続列車の運行

*キーワード：列車運行遅延、公共交通運用

**正員、工修、(財)運輸政策研究機構運輸政策研究所
(東京都港区虎ノ門3丁目18番地19号、
TEL:03-5470-8415、E-mail:kariyazaki@jterc.or.jp)

***正員、工博、政策研究大学院大学准教授

****名誉員、工博、(財)運輸政策研究機構運輸政策研究所長

に及ぼす影響を推定する。データ取得日においてダイヤに対する駅間走行時間の増加量が最大であった三軒茶屋駅～池尻大橋駅間の計算値と実績値の比較を図-2に示す。

4. 停車時間の増加による後続列車への影響

試験的な検討として、駒沢大学駅～三軒茶屋駅～池尻大橋駅間において、通勤ラッシュ時間帯のダイヤ上の運行状態を類似的に再現する（運行間隔：130秒、各駅の停車時間：ダイヤの平均値）。その上で、三軒茶屋駅において任意の列車1本の停車時間を5秒～30秒まで5秒ずつ増加させた場合の後続列車への影響をシミュレーションする。類似的なダイヤに対する三軒茶屋駅での到着遅れ時間を図-3に、池尻大橋駅でのそれを図4に示す。

興味深い点は、三軒茶屋駅にはダイヤどおりに到着した場合でも、次駅の池尻大橋駅に遅れて到着する列車が存在することである。駅停車時間の増加等により列車の間隔が乱れると、停車時間が増加した駅において後続列車の到着遅れが発生するだけでなく、その下流の駅間においても後続列車の走行時間が増加するケースがある。これは駅間距離の短い区間やダイヤで停車時間を長く設定している駅の手前で、先行列車との間隔が小さくなり、後続列車は減速を強いられるためである。一例として、上記と同様にして桜新町駅で任意の列車1本の停車時間を30秒増加させたところ、後続列車1本目の桜新町駅の到着遅れは4秒であったが、その下流駅間で走行時間の増加が繰り返し発生し、4駅先の渋谷駅では到着遅れが20秒に拡大する計算となった。

実際には、駅での対応や経験的な運転技術により、遅れの回復が図られ計算どおり遅延時間が拡大することは考えにくい。また、シミュレーションの再現性の問題もある。しかし、この様な計算結果は、ラッシュ時間帯の過密なダイヤとそれを遵守した運行がいかに関難であるかを示すとともに、遅延対策において発生・波及メカニズムの究明および駅部の検討のみならず列車運行と連鎖した一体的な検討の必要性を示唆するものである。

5. おわりに

遅れの発生した列車が次駅以降における乗客の増加により、乗降時間が増加しさらに遅れが拡大する事象や、先行列車の時間調整、優等列車の追い越し待ちによる遅れの拡大については、これまでも知られてきた。これらの遅延拡大の要因は駅停車時間の増加である。一方で、ある駅で発生した遅延が後続列車にどのように波及・拡大するかについて記した文献は少ない。遅延の発生駅における到着遅れと、次駅以降での運行間隔の乱れによる

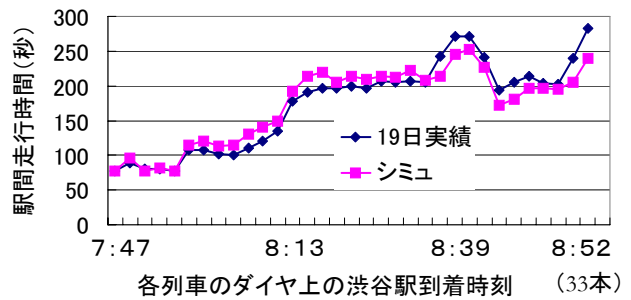


図-2 走行時間の比較（三軒茶屋駅～池尻大橋駅）

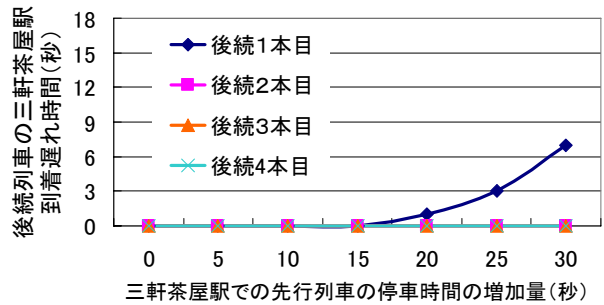


図-3 後続列車の到着遅れの変化（三軒茶屋駅）

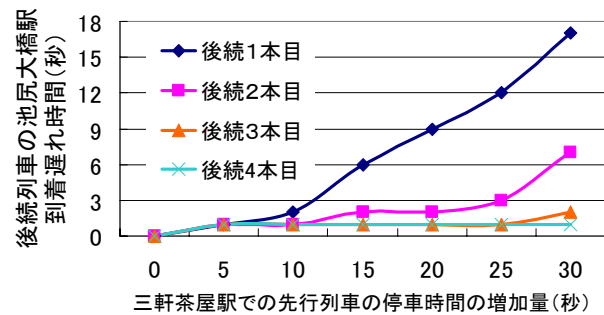


図-4 後続列車の到着遅れの変化（池尻大橋駅）

遅れの拡大は、駅間の走行時間の増加に起因するものであり、駅の乗降に関する分析と併行して、列車の運行挙動を捉えた交通流としての分析および対策が必要である。

今後は列車運行挙動の再現性の向上および駅停車時間との一体的な推定を目指したシミュレーションの改良を進め、より詳細な分析を行うことを考えている。なお、本研究は科学研究費助成金（課題番号：21360242）ならびに東京急行電鉄株式会社、東京地下鉄株式会社、東武鉄道株式会社の協力のもとで行われた。ここに記して感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 仮屋崎圭司：都市鉄道の列車遅延の拡大メカニズムに関する研究，運輸政策研究，Vol. 45, pp. 73 -76, 2009
- 2) 上松苑，岩倉成志：エージェントモデルによる東京圏都市鉄道の遅延連鎖シミュレーションの構築，土木計画学研究・講演集，Vol. 40, 5page, 2009