

エージェントモデルによる東京圏都市鉄道の超高頻度運行の可能性

芝浦工業大学 工学部 土木工学科 教授 岩倉 成志
芝浦工業大学 建設工学専攻 修士課程 吉枝 春樹

1. はじめに

都市鉄道の既存ストックを最大限に活用し、輸送力増強の投資額を激減させ、列車遅延を抑制して運行間隔 90 秒達成を目標とする超高頻度運行の可能性に挑戦する。移動閉そくシステムをベースに、さらに駅間での精緻な速度制御を行うことで列車群としての最適な制御を実現できる保安システムの導入を念頭におく。複雑な線化整備等に比して、圧倒的に短期間にサービスが改善でき、かつ次世代への財政負担を負わせない社会的インパクトの大きい研究成果を目指す。

超高頻度運行によって各駅で一編成当たりの乗降客が減少すれば、駅での停車時間が縮減して高頻度化と混雑率低下を達成できる解の存在を証明したい。

このため列車編成ごと、乗降客個々の挙動を再現する精度の極めて高いエージェントモデルに、高頻度化にともなう利用需要の変動を予測する需要モデルを開発して統合する。

2. 調査研究の内容と方法

超高頻度運行を行った際の交通需要の推計モデルを開発して、列車遅延連鎖と超高頻度運行の実現性を評価するエージェントモデルに統合する。加えて、運転曲線図による理論解析も行い、以上の2種のアプローチで超高頻度運行の実現性を証明する。本研究室では既に、列車間の相互作用、ホーム上の乗降客挙動の相互作用を数理モデル化し、列車一編成一編成の運行挙動を極めて精度良く再現するマルチエージェントシミュレーションをほぼ完成させており、これを応用改良して本研究を進める。イメージは、実際の全列車の走行と乗降客の挙動を、コンピューター上に数少ないルールで再現させたものである。

分析対象路線は、相直路線の東急田園都市線と東京メトロ半蔵門線である。以下の研究を進める。1) 大手民鉄及び国内鉄道信号メーカーへのヒアリングに基づく輸送力増強技術の整理、2) 緩急行接続の乗換需要の推計のための逐次選択モデルの構築、3) 移動閉そく等信号システムの改良による運行頻度の増加可能性をシミュレーション解析と運転曲線図を用いた理論解析の2種のアプローチで実現性を証明する。また、この高頻度運行の際の利用者便益を推計する。

今年度は特に、3) のシミュレーション開発と理論解析を重点的に行い、次年度以降に、1) の技術ヒアリング、2) の需要解析モデルの開発、1) と 2) の知見を取り込んだ 3) の実現可能性解析を行う。

3. 運転曲線図を用いた最適速度制御の検討

本研究では、移動閉そくシステムを導入することを想定する。仕様は JR 東日本の ATACS をベースとして、東急田園都市線および半蔵門線の車両性能に合わせて設定した (表 1 参照)。

追込み時間は、駅手前の最高速度に左右される。筆者ら²⁾は、距離時隔曲線を作成して駅手前の最高速度と追込み時間の関係を分析した。減速度は運転曲線作成基準を、加速性能は引張力曲線を基に設定した(表2参照)。その結果、駅手前の最高速度が概ね45 km/h ~ 49 km/hのときに追込み時間が最小になるが、進出側にこの速度以下の制限があるときは、進出側の制限速度と同じ速度に制限するのが最適との結果を得た(図1参照)。シミュレーションでは、制限した速度に対してある程度の余裕を見て走行することを考慮し、停車駅停止位置手前400 mの区間で最高速度を50 km/hまたは進出側制限速度の何れか低い速度に制限した。なお、分岐器等で進入側の速度がより低い速度に制限される箇所では、その速度に合わせている。

本システムは、走行時間推計モデルと停車時間推計モデルからなっている。走行時間推計モデルで列車の挙動を推定し、駅に停車すると停車時間推計モデルが起動して停車時間を推計する。シミュレーションの実行にあたって乱数を用いているため、推計を10回行って評価する。

表1 移動閉そくシステムの仕様

常用減速度	3.0 km/h/s	車両性能の80%
空走時間	3秒	既存のATCと同等
余裕距離	100 m	

表2 追込み時間分析の条件

保安装置	表1と同じ
減速度	3 km/h/s
加速性能	8500系引張力曲線
起動加速度	3.2 km/h/s
惰行時の挙動	制限速度と同じ一定速度で走行

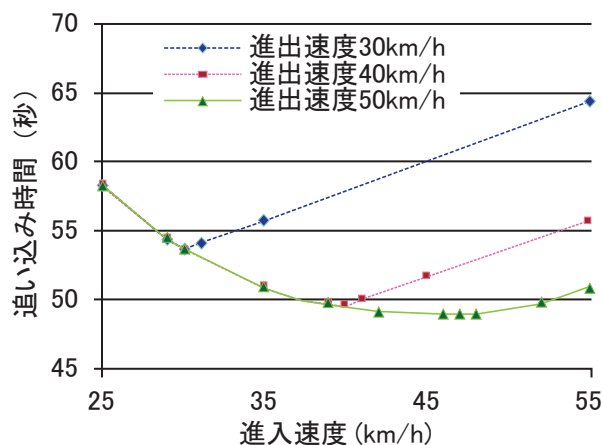


図1. 追込み時間と駅進入速度の関係

4. マルチエージェントシミュレーションによる高頻度運行の可能性検討

1) システムの概要

本稿で使用するマルチエージェントシミュレーションシステムは、乗降時間推計モデルと駅間走行時間推計モデルからなる。まず、列車エージェントが始発駅に配置されると、乗降行動推計モデルが起動して、その列車に乗り降りする乗客を再現して乗降時間を推定する。降車が完了したら、再び駅間走行時間推計モデルが起動して駅間での走行を再現する。

駅間走行時間推計モデルは、実際の列車の動きを模擬しており、先行列車との間隔に基づいて駅間で停車する等の動作も再現することが可能で、先行列車の遅れによる後続列車の遅れを再現することができる。また、乗降客数は各駅で乗降する人数等は時間帯を区分して任意に設定可能で、様々な状況を再現することができる。

シミュレーションの実行にあたって乱数を用いているため、推計を10回行って評価する。

2) 停車時間推計モデルの概要と設定条件

乗車旅客は、実績に応じた人数を推定時の先行列車との時隔に応じて配分した。降車人数と混雑率は、小林ら¹⁾の設定値に対し、ダイヤ上の運転頻度に反比例して減少させた。

3) 走行時間推計モデルの概要と設定条件

加減速性能は小林ら¹⁾のモデルに引張力曲線を反映した。ダイヤは、現況のダイヤで半蔵門線内の運転間隔が130秒となる列車の運転間隔を90秒に圧縮したものを入力した。

本モデルには走行時間の過小推計傾向があり、小林ら¹⁾は停車時間を延長して補正していた。しかし、この補正は追込み時間への影響が大きいいため、本検討ではこの補正を行わず、結果は運転間隔と停車時間で評価する。

4) シミュレーション結果

渋谷駅断面について、ダイヤで90秒の運転間隔を予定していた列車群の結果を示す。推定10回分の合計値である。運転間隔について見ると、入力したダイヤ通り、90秒以下の間隔で発着できた列車は全体の18%に過ぎなかったが、98%の列車が現況ダイヤの130秒より短い間隔で発着しており、運転間隔の短縮効果が認められる（図2参照）。停車時間は40秒台に最も多く分布しており、現状の所定停

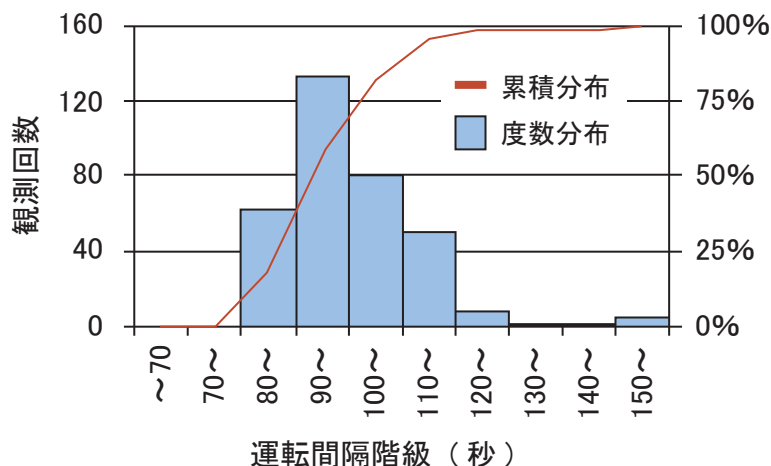


図2. 渋谷駅運転間隔ヒストグラム

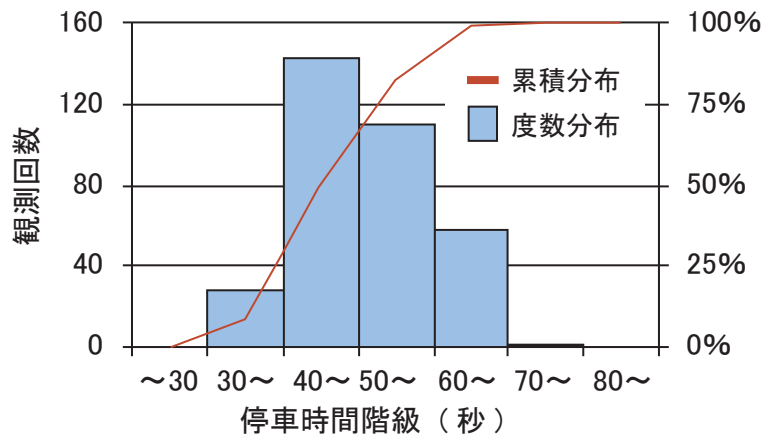


図3. 渋谷駅停車時間ヒストグラム

車時間である60秒以内に発着できない列車も16%残ると推定された（図3参照）。

今回実施したシミュレーションに関しては、駅間走行時間が過小に推計される傾向がある。また、混雑率等を外生的に与えており、遅れによって乗客が滞留し、乗車率が上昇することを再現できていない課題がある。また、今回は駅進入時の速度最適化を部分的に実施したが、実際の列車の進入速度が期待した速度を下回る箇所もあるため、速度条件の与え方を改める必要がある。今後は、これらの課題を解消してシミュレーションシステムの精度を高めたい。

5. おわりに

本稿では、都市鉄道の混雑解消を目的とした高頻度運転の可能性について検討した。

まず、列車の運転間隔は追込時間と停車時間によって決まることを示し、追込時間は列車の駅への進入・進出速度、保安装置の条件などによって左右され、停車時間は概ね車内の混雑状況と乗降客数で説明できると示した。

次に、東急田園都市線および半蔵門線の乗降行動と列車の行動を再現可能なエージェントシミュレーションシステムを用いて、移動閉そくシステムを設備した条件で最小運転間隔90秒のダイヤを入力してシミュレーションを行ったところ、運転間隔が80秒～120秒程度に分布する結果となった。

本研究では、検討対象路線について、運転間隔が一つの目標として設定した90秒には至らなかったが、今後、速度制御や移動閉そくシステムの再現を精緻化していくことで、高頻度でも安定した運行を行うことができる可能性があるとして、引き続き超高頻度運転の可能性を検討する。

謝辞

本研究の実施にあたり、実路線の設備や車両性能等の情報のご提供を頂いた東京急行電鉄株式会社ならびに東京地下鉄道株式会社に深甚の謝意を表します。なお、本研究は筆者独自の見解であり、すべての責任は筆者が負うものである。

参考文献

- 1) 小林渉、川村孝太郎、岩倉成志：遅延連鎖予測シミュレーションシステムの構築と遅延対策案の評価、第 51 回土木計画学研究・講演集、CD-ROM、2015.6
- 2) 吉枝春樹、小林渉。岩倉成志：移動閉そくシステムによる都市鉄道の超高頻度運行の可能性、第 54 回土木計画学研究・講演集、CD-ROM、2016.11
- 3) 吉枝春樹、岩倉成志、移動閉そくシステムによる都市鉄道の超高頻度運行の基礎的検討、第 23 回鉄道技術連合シンポジウム (J-RAIL2016) 講演論文集、2016.12