

移動閉そく列車制御による超高頻度運転のフィービリティ

建設工学専攻
交通計画研究

よしえ はるき
ME16111 吉枝 春樹
指導教員 岩倉 成志

1. はじめに

東京圏の鉄道は、戦後一貫して複々線化や新線建設などによる輸送力増強を行ってきた。その効果により、首都圏の混雑は改善しているものの、今なお高い混雑率を有する路線が存在している。

しかし、今後も混雑緩和を目的に大規模なインフラ投資を行うことは容易ではない。そこで、超高頻度運転による輸送力増強に注目した。日本の都市鉄道の運転間隔は2分程度だが、海外の地下鉄では2分を下回るような運転頻度を実現している例もある。

運転間隔の縮小に有効と考えられる方法の一つが、移動閉そく列車制御である。これは、従来、数百~数十m程度の区間ごとに列車を検知・制御していたのに対し、列車位置を連続的に検知することで、無駄なく安全な間隔を確保するシステムである。

本研究では、東急田園都市線および地下鉄半蔵門線を対象に、移動閉そくシステム導入し、優等列車と各駅停車を組み合わせた運行など日本のニーズに適合した高頻度運転の可能性を検証する。

まず、運転間隔の極限值について時隔曲線を用いて検討したあと、検討対象線区の旅客流動や種別選択行動を組み込んだエージェントシミュレーションを用いて運転の可能性を検証する。

3. 運転間隔の極限值に関する分析

(1) 分析方法

図1に示すような時隔曲線によって分析した。横軸に時間、縦軸に距離を取ったグラフである。車両性能に基づいて先行列車の最後尾の位置をプロットしたあと、後続列車の先頭の位置を走行パターンに沿ってプロットし、先行列車との間に確保する間隔を計算して重ね合わせることで、最低限の追込時間を求められる。図中に示した最接近点では後続列車の空走+制動距離の線が、先行列車の最後尾の余裕距離分手前の線に重なっており、そこから駅に停止するまでの時間で追込み時間が決まっている。

(2) 分析条件

分析条件を表1に示す。車両性能は検討路線の旧型車両にあわせた。また、現実の操作を模擬するため、後続列車が一度減速したあと再加速するときは、加速終了からブレーキ開始までに5秒間一定速度で走行させた。さらに、鉄道車両が加速度の微調整が難しいことを考慮し、再加速は間欠的に行うものとした。後続列車が停止するケースでは先行列車の発車5秒後に後続列車が発車するものとした。

(3) 分析結果と考察

先行列車と最接近したときの速度による追込時間の変化を図2に示す。

表1 時隔曲線の分析条件

モデル車種	東急8500系10両	減速度	3 [km/h/s]
編成長	200 [m]	空走時間	3 [秒]
余裕距離	25 [m]		

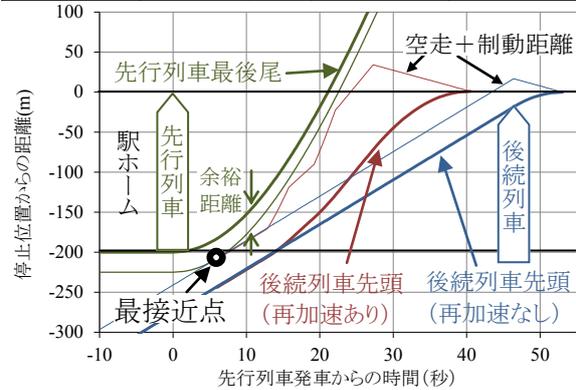


図1 時隔曲線

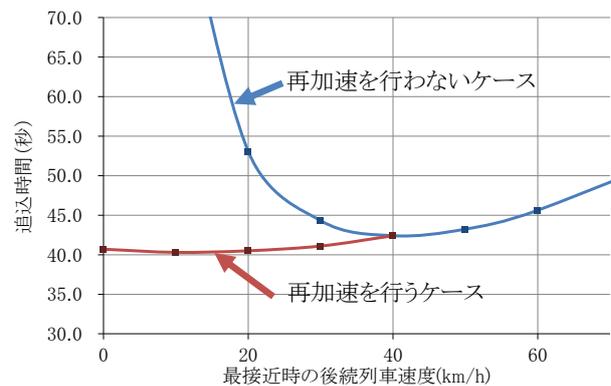


図2 時隔曲線による分析結果

再加速を行わないケースとは、先行列車と最接近したあと再加速を行わないで停止位置に停止した場合の追込時間を示している。このときは、先行列車に接近する速度が40km/h程度のときに追込時間が最短となった。走行速度が速いときも、駅手前で2段階に減速すれば同じ効果があるとの研究がある¹⁾。

一方、再加速を行うケースは、先行列車と接近した後再加速することで時隔を短縮可能であり、一時停止しても多きなロスが生じない。先行列車に接近させても、時隔への影響が小さいことを示している。

4. エージェントシミュレーションの実施

(1) シミュレーションの概要

エージェントシミュレーションでは、ダイヤに沿って列車を走行させた場合の列車群の挙動を評価する。本研究で用いたのは小林ら²⁾の開発したシステムである。列車の挙動を推定する走行モデルと旅客の乗降行動を再現する乗降モデルからなる。乗降モデルは旅客の乗降行動ミクロに再現して停車時間を推定し、走行モデルは列車間の相互作用や線形等の影響を加味して列車の挙動を推定できる。

現況と同じ線路配置(ケース1) 渋谷駅ホームを両側に増設(ケース2) 渋谷駅の線路を増設(ケース3)

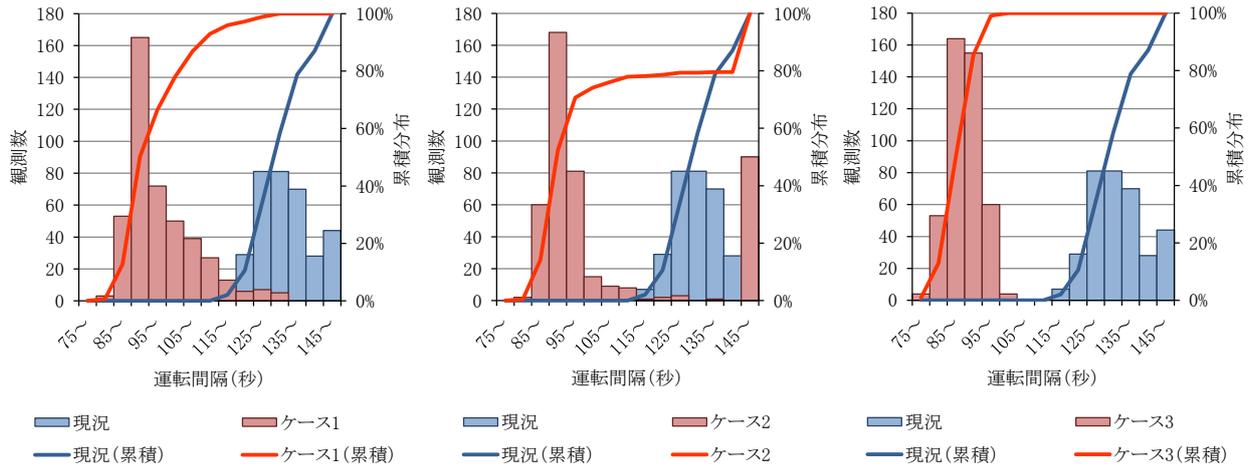


図3 エージェントシミュレーションの推計結果

現況値は2014年の観測値から遅延100秒以下の任意の10日間

ここに、今後の分析でダイヤを現況と変更することを考慮し、ダイヤのパターンによる乗客の列車集中度の変化を分析に反映する列車種別選択モデルを追加した。運転頻度を高めると、優等列車と各駅停車の間隔が短くなることで優等列車と各駅停車の所要時間差が縮まり、種別選択行動が変化する。

(2) 列車種別選択行動モデルの組み込み

・モデル概要

非集計ロジットモデルを次式の通り構築した。パラメータは表2の通りとなり、概ね行動を再現できた。

$$P_{t,i,j} = \frac{\exp(V_{t,i,j})}{\sum_k \exp(V_{t,k,j})} \quad V_{t,i,j} = \sum_m X_{m,t,i,j} \alpha_m$$

$P_{t,i,j}$ 時間帯tに発駅を出発する区間jの利用者が選択肢iを選択する確率

$V_{t,i,j}$ 時間帯tに発駅を出発する区間jの利用者における選択肢iの効用

α_m m番目サービス変数に対するパラメータ

$X_{m,t,i,j}$ 時間帯tの選択肢i、区間jのm番目サービス変数

表2 パラメータ推定結果

パラメータ名	推定値 (t値)	初期尤度	-3235
乗車待ち時間	-0.16 (-8.3)	最終尤度	-1382
乗車時間	-0.16 (-19.89)	修正尤度比	0.57
乗換回数	-4.31 (-34.64)	的中率(%)	73.2
たまブラーザダミー	-1.10 (-3.84)	サンプル数	2249

乗車時に乗車種別との乗換駅を一括で選択するものとした。優等通過駅から乗車する場合、優等列車に乗車する駅を最寄り4駅から選択させるようにし、普通列車のみの経路と併せて最大5肢とした。

・推定に使用したデータ

推定には2010年大都市交通センサス個票データを用いた。LOSの作成には同年のダイヤ(秒単位)からLOSを用いた。LOSの計算は時間帯ごととし、6:30~9:45の間を15分毎に区分したほか、6:00~6:30と9:45~10:30までに分けて求めた。

(3) シミュレーションの実行

現況ダイヤをベースに、ラッシュピーク時間帯は準

急列車と各駅停車を交互に90秒間隔で運転するダイヤを入力した。乗車旅客は、種別間の乗換が発生する駅は2010年大都市交通センサスの拡大率からの算出値と2010年の実測値を組み合わせた。

渋谷駅を現状のままとしたケース1、渋谷駅の押上方面行き線路の両側にホームを設けて乗車と降車を同時に行えるようにしたケース2、渋谷駅を交互発着可能な配線としたケース3を設定した。

(3) 分析結果

ボトルネックとなった渋谷駅の発着間隔の分布の推定結果と、現況の実測値を図3に示す。

ケース1では、渋谷駅での乗降に時間がかかり、運転間隔90秒を超える列車が存在した。ケース2では、降車客を通すために降車用ホームに降りた乗客の再乗車と一般の乗車客の動線が車内で交錯し、一部列車の停車時間が著しく伸びた結果、145秒以上の運転間隔となる列車が出現した。これはシミュレーションモデルのアルゴリズムに原因がある可能性もある。ケース3では渋谷駅での問題は解消し、90秒間隔で運転された。

5. おわりに

本研究では渋谷駅を2面化することで、1分30秒間隔を実施可能であると示した。また、現状の配線でも、現在より短い間隔で運転可能であると示した。

今後は優等列車の運転本数や停車駅、待避駅を変更したパターンについても分析を行う。

また、本研究に際してデータをご提供頂いた東急電鉄ならびに東京地下鉄およびダイヤ作成支援ツールであるTrueLineをご提供頂いた東芝インフラシステムズの各社に深甚の謝意を表します。

文献

- 菅原宏之、中村英夫:GAを利用した移動閉塞における運転時隔短縮に関する検討、日本大学大学院理工学研究科博士前期課程情報工学専攻修士学位論文、2000年3月
- 小林渉、岩倉成志:エージェントシミュレーションを用いた列車遅延対策の効果比較、第23回鉄道技術連合シンポジウム(J-rail2016)論文集CD-ROM、2016