

移動閉そく導入による都市鉄道の遅延減少効果のシミュレーション分析

鉄道・運輸機構 非会員 神田 大輔
芝浦工業大学大学院 学生会員 ○川村 孝太郎
芝浦工業大学 正会員 岩倉 成志

1. はじめに

首都圏の鉄道は高頻度運行や相互直通運転により、遅延の発生と伝播が起きやすい環境にある。近年では、遅延減少効果が期待される移動閉そくによる列車間隔の制御システムの導入が検討されている。移動閉そくは無線を用いた列車制御システムであり、固定閉そくの問題となっていた余分な車間距離を発生させる事なく車間距離を常に最短に保つことで、遅延を減少させると考えられている。また、軌道回路を無くすことによる維持管理費の大幅な削減等から、世界 100 線区での導入が進んでいる。しかし、高頻度運行をする日本の都市鉄道には未だ導入されておらず、遅延減少効果は明らかにされていない。

そこで、本研究は筆者らが既に開発したシミュレーションシステムを、移動閉そく方式による遅延の推定ができるアルゴリズムに再構築し、高頻度運行路線に移動閉そくを導入した際の遅延減少効果を、定量的に把握することを目的とする。

2. 移動閉そくモデルの構築

本研究では、東急田園都市線と東京メトロ半蔵門線を対象とし、筆者らによって開発されたシミュレーションモデルを用いる。このモデルの列車間隔の制御を行うアルゴリズムを固定閉そく方式から移動閉そく方式へ変更する。

移動閉そくモデルは、東日本旅客鉄道の開発する ATACS を参考に構築する。移動閉そくの仕組みを図化したものが図 1 であり、このアルゴリズムを参考に図 2 のフローチャートを作成し、構築を行った。

移動閉そくは、先行列車位置によってブレーキパターンを作成する特性上、制動距離を高精度に求める必要がある。そのため、実務で用いられる制動距離の計算式を東京地下鉄から提供いただき、構築を行った。実際の制動距離と推定した制動距離を比較すると誤差は 50cm 未満であり、一定の再現性を得られた。

また、停止限界の地点から先行列車の最後尾まで

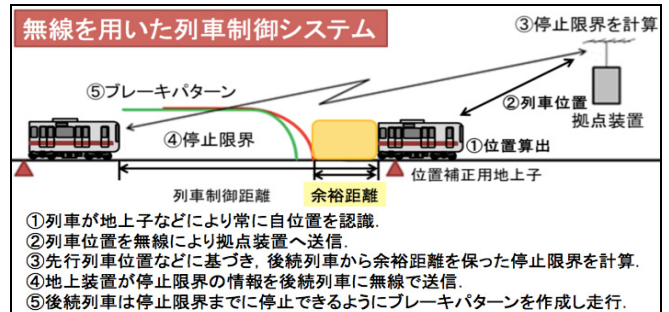


図 1 移動閉そくの仕組み

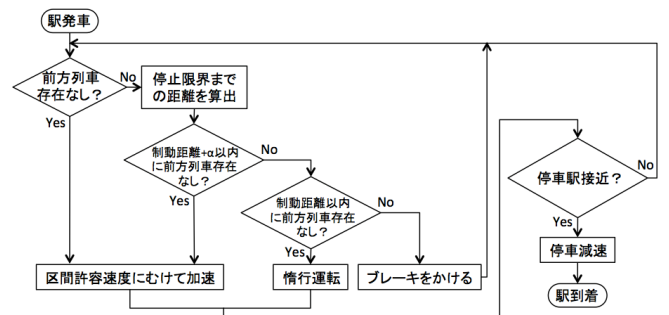


図 2 構築した移動閉そくのフローチャート

の余裕距離は変動させることが可能なモデルとした。

3. シミュレーションの結果

3.1. 固定閉そくと移動閉そくの運転曲線の比較

機外停車（駅間での停止）による遅延の波及が発生する状況下にて固定閉そくと移動閉そくの比較を行う。固定閉そく時に機外停車する列車を抽出し、駅出発時刻と機外停車位置を同条件に設定した上で、移動閉そく時の列車挙動を算出した。結果を図 3 に示す。

固定閉そくでは、先行列車が表参道駅発車後に閉そくの境界を通過した時点で後続列車の再加速が始まる。一方、移動閉そくでは、先行列車が表参道駅を発車してすぐに再加速する挙動が確認できた。

結果として、移動閉そくの方が 14 秒早く次駅に到着しており、固定閉そくで問題視されている余分な車間距離の発生が抑えられたといえる。

3.2. 余裕距離別の遅延時間の比較

東京地下鉄へのヒアリングより、余裕距離の値は未定であるとの回答を得た。このことから、本分析では余裕距離の設定を 20m,100m,150m,200m に変

【キーワード】 移動閉そく, 列車遅延, マルチエージェントシミュレーション, 旅客行動

【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 03-5859-8354

動させ、各距離での遅延減少効果を把握する。遅延時間は2011年12月1日午前6時から午前10時までの長津田—半蔵門駅間の結果の比較にて評価を行う。

各余裕距離に対してシミュレーションを10回行い、平均値を算出した。ここで余裕距離100mの場合の遅延時間を図4に示す。全列車の遅延時間の合計値を算出すると、固定閉そくに比べ36.8%の遅延時間の削減となった。特に、8時半過ぎから遅延の減少に大きな効果があった。これは運行密度の高い時間帯に余分な車間距離が減少することで、遅延が抑えられたと考えられる。その他の余裕距離の結果を表1に表す。

余裕距離が20mから150mの場合では、余裕距離が短いほど遅延時間が減少することが確認できた。一方、余裕距離が200mの場合では、固定閉そくよりも遅延時間が2.9%増加していた。東京地下鉄へのヒアリングによると、固定閉そくの余分な車間距離よりも余裕距離200mの間隔が広いとされているため、遅延が増加した結果は一定の再現性があると言える。

3.3. 余裕距離別の遅延の波及状況の比較

安全距離100mと200mで遅延の波及の分析をする。各駅間での遅延の増加量を比較した結果、池尻大橋—渋谷駅間で遅延の増加量に差異が発生していた。クロマティックダイヤ¹⁾を参考に図5、図6に当該区間の推定した距離—時間曲線を示す。

8:32時点では、AやDの列車のように両距離とも機外停車が発生していない(青線)。しかし、当該列車が渋谷駅で120秒程度の停車をすると、BやEの列車に遅延が波及し、機外停車が1回(緑線)発生した。その後、余裕距離100mの場合は1回の機外停車で推移するが、200mの場合はFの列車のように機外停車が2回(黄線)に増加している。これは、余裕距離増加分の線路容量が減少することに加え、余裕距離が増加するほど後続列車の到着が遅くなるため、駅での列車待ちの旅客の増加により停車時間が拡大し、後続列車に遅延が波及すると考えられる。

その結果、余裕距離200mは機外停車が3回(赤線)まで波及し、CとGの列車の駅間所要時間の差は154秒となった。このことから、余裕距離の値が遅延の波及に大きく関係していると考えられる。

4. おわりに

本研究では、無線を用いた列車制御システムによる移動閉そくのシミュレーションモデルの構築を試

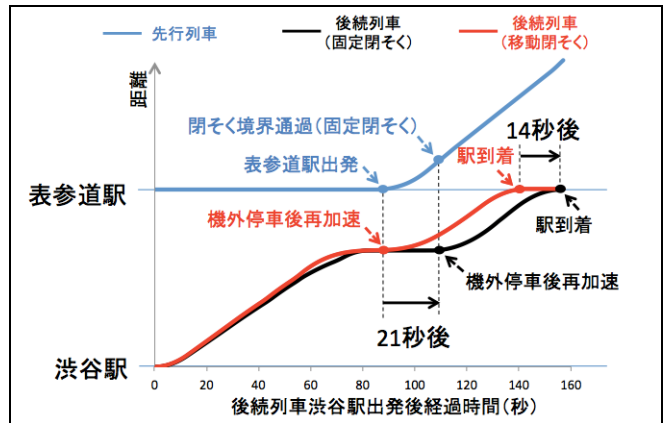


図3 固定閉そくと移動閉そくの列車挙動

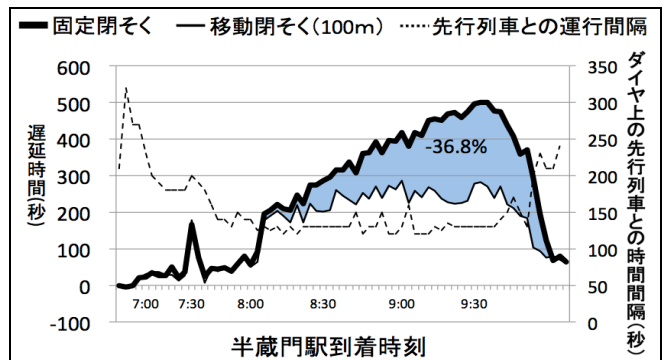


図4 余裕距離100mの半蔵門駅到着遅延時間

表1 各余裕距離の遅延時間変化率

	余裕距離			
	20m	100m	150m	200m
固定閉そくを基準とした遅延時間の変化率	-46.6%	-36.8%	-27.2%	2.9%

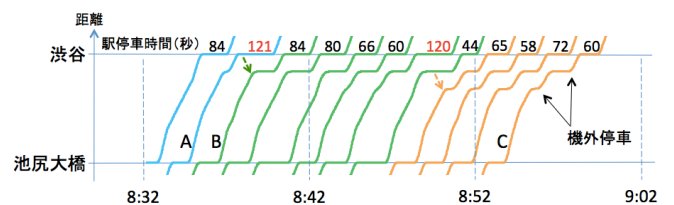


図5 余裕距離100mの距離—時間曲線

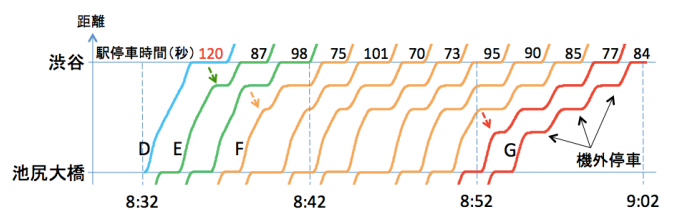


図6 余裕距離200mの距離—時間曲線

み、一定の再現性を得た。その結果、固定閉そくで発生する余分な車間距離が遅延の波及に影響していることを確認できた。また、移動閉そくが導入された際の遅延減少量を定量的に評価することに加え、余裕距離による遅延の波及を把握することができた。

【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) 稲川, 富井, 牛田 [2009]: 列車運行実績データの可視化, J-RAIL 2009 講演論文集, pp.745-748