

# 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



H10024 神田 大輔  
指導教員 岩倉 成志

## 1. はじめに

東京圏の都市鉄道は、通勤時間帯の混雑により、慢性的な列車遅延が問題となっている。近年では、遅延の減少効果が期待される移動閉そくの導入が検討されている。移動閉そくでは軌道回路を無くすことで維持管理費の大幅な削減や現行より柔軟性に富んだ列車制御を可能とし、世界での導入が進んでいる。しかしながら、未だ日本の都市鉄道の高頻度運行路線には導入されておらず、また遅延減少効果は明らかにされていない。

そこで本研究では、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。本稿は角田、川村ら<sup>[1]</sup>によって開発された、東急田園都市線、東京メトロ半蔵門線を対象としたシミュレーションシステムに移動閉そくの列車制御アルゴリズムを構築し、遅延時間の減少を定量的に把握した結果を報告する。

## 2. 固定閉そくと移動閉そく

現行の列車の保安装置は主に固定閉そくを基本としている。これは列車の衝突を防ぐために、線路上を一定の区間(閉そく区間)で区切り、その区間内は1列車のみで占有させ、ほかの列車の進入を禁止する方式である。そのため図1のように、閉そく区間の途中で列車が停車すると、後方に余分な距離が発生してしまう。

これに対して移動閉そくは、無線を用いた列車制御システムにより先行列車の位置情報を取得し、列車間隔を制御することが可能であるため、余分な距離を発生させることなく常に車間距離を最短に保つことができる。この無線を用いた列車制御システムは世界の約100線区で導入されている。このように無線を用いた列車制御システムは、日本や海外で注目されており、近年中に多くの路線で導入されることが予想される。移動閉そくの仕組みを図化したものが図2であり、以下にそのアルゴリズムを示す。

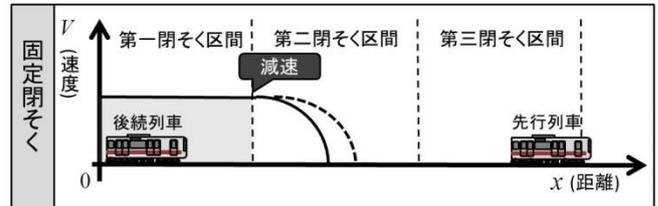


図1 固定閉そくにおける欠点のイメージ

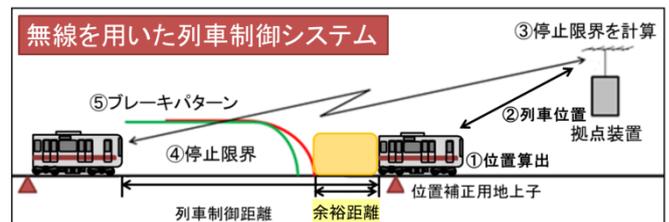


図2 移動閉そくの仕組み<sup>[2]</sup>

- ①列車が地上子などにより常に自位置を認識。
- ②列車位置を無線により拠点装置へ送信。
- ③地上装置が先行列車位置などに基づき、後続列車から余裕距離を保った停止限界を計算。
- ④地上装置が停止限界の情報を後続列車に無線で送信。
- ⑤後続列車は停止限界までに停止できるようにブレーキパターンを作成し走行。

## 3. 既存シミュレーションモデルの概要と研究方法

角田らのモデルは駅停車中の乗降時間と列車の走行時間を推定したモデルで構成されており、2011年12月1日午前6時~10時に長津田駅を出発し、半蔵門駅に到着した列車一本ごとの遅延時間を推定している。遅延時間の運行実績データと推定結果との残差RMSは48.6秒、相関係数は0.973であり、非常に再現性の高いモデルといえる。本研究ではこのモデルの走行のアルゴリズムを移動閉そくに変更し、遅延減少効果の分析を行う。

## 4. シミュレーションの構築

本研究では前述のアルゴリズム(図2)を参考に構築したフローチャートを図3に示す。

移動閉そくでは、停止限界の算出とブレーキパターンの作成が必要である。当初はブレーキパターンの速度式に $V = \sqrt{2ax}$  ( $V$ ;速度,  $x$ ;自列車と先行列車との距離,  $a$ ;減速度)を用いた。しかし、設定した停

止限界を 30m 程度過走してしまい、ブレーキをかけるタイミングが遅いことが分かった。そこで東京地下鉄にヒアリングを行い、実際に東京地下鉄で制動距離の計算に使用されている式を用いて再構築した。その結果、速度別の実際の制動距離と推定した制動距離を比較したところ、誤差は 1m 未満であり、一定の再現性を確認できた。

また本モデルは、固定閉そくにて生じる余分な距離が移動閉そくの導入によって解消されることによる遅延減少効果があるかを確認するため、余裕距離を変動させることのできるモデルとした。余裕距離は、20m,100m,150m,200m の 4 パターンで推定を行う。

### 5. シミュレーション結果

各余裕距離に対してシミュレーションを 10 回ずつ実施した平均値を算出した。その結果を表 1 に示す。

余裕距離 200m の場合では固定閉そくよりも遅延時間が 7.2% 増加していた。東京地下鉄に行ったヒアリングによると、現行の固定閉そくで発生する余分な距離よりも余裕距離 200m の間隔の方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。

一方、余裕距離が 20m から 150m の場合では、余裕距離が短いほど列車遅延が減少することが確認できた。ここで余裕距離 100m の場合の遅延時間を図 4 に示す。8 時半を過ぎたあたりから遅延減少に大きな効果があることがわかる。これは列車密度の変化が移動閉そくの遅延減少効果を発揮したと推測する。そこで図 4 の第二軸に半蔵門駅におけるダイヤ上の先行列車との時間間隔を示した。8 時半から 9 時にかけて列車間隔が開くダイヤが数本存在している。この箇所注目すると、固定閉そくでは遅延時間が急激に増減することがなく、緩やかに増加し続けている。対して、移動閉そくでは小さな増減が複数見られるが、遅延時間は 250 秒程度推移していた。これは移動閉そくの特長として車間距離を最短まで詰めることが可能となり、効果的な遅延回復が行われたと推測される。

今後、移動閉そくがどのような環境下で最も効果が発揮されているか列車間隔の関係性を把握するために固定閉そくと移動閉そくで異なる動きをする箇所に焦点をあて、多角的な観点からそれぞれの細かな分析を行う。

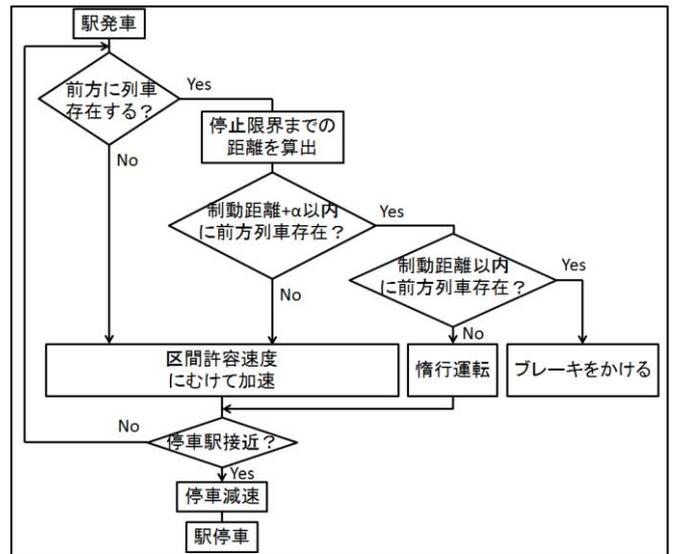


図 3 構築した移動閉そくのフローチャート

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 | -43.6% | -33.4% | -23.3% | +7.2% |

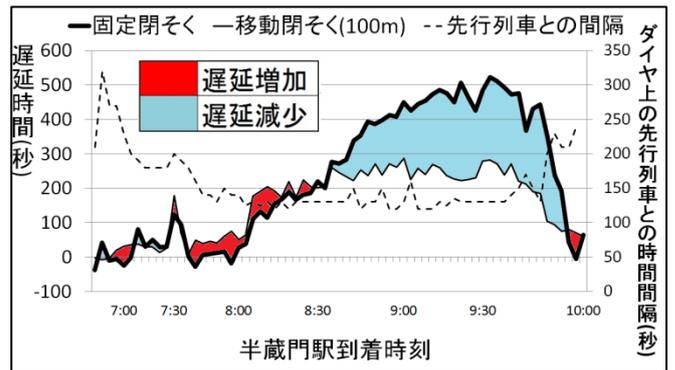


図 4 余裕距離 100m の半蔵門駅到着遅延時間

### 6. 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仕組みの理解とシミュレーションの構築を試みた。移動閉そくのシミュレーションは、一定の再現性を確認することができた。その結果、余裕距離の違いによる遅延減少効果を定量的に把握することができた。しかし、移動閉そくによる効果が発揮される要因は明確でないため、今後明らかにし都市鉄道の更なる発展に役立てたい。

参考文献:[1]角田隆太, 川村孝太郎, 岩倉成志:都市鉄道の遅延連鎖シミュレーションシステムの再現精度の向上と対策効果の分析, J-RAIL2013 講演論文集, pp.289-292

[2]東日本旅客鉄道(株):無線を用いた新しい列車制御システム ATACS の安全確保の考え方について

謝辞:本研究を行うにあたりデータ提供やアドバイスを頂いた東京地下鉄の方々のご厚情に感謝申し上げます。