

## 都市鉄道の遅延連鎖予測シミュレーションモデルの再現精度の向上

芝浦工業大学大学院 学生会員 ○川村 孝太郎  
 芝浦工業大学大学院 学生会員 角田 隆太  
 (株)新東日本エンジニアリング 非会員 渡邊 雄馬  
 芝浦工業大学 正会員 岩倉 成志

### 1. はじめに

近年、首都圏の鉄道は高頻度運行や相互直通運転などにより、遅延の発生と伝播が起きやすい環境にある。この遅延連鎖のメカニズムを明らかにするため、当研究室<sup>1)</sup>では東急田園都市線と東京メトロ半蔵門線を対象に、1列車ごとの遅延時間を再現するマルチエージェントシミュレーションシステムを開発してきた。このシステムは駅の停車時間を推計するモデルと駅間走行時間を推計するモデルを組み合わせ、統合したモデルで遅延時間を推計する。既存のモデルでは、統合モデルで遅延時間の過大推計が発生しており、再現性を著しく低下させる大きな問題を抱えていた。

本研究では、既存モデルの再現精度の向上を目的とし、各サブモデルの改良および統合モデルの過大推計の原因究明と解消を行った。実務的使用には、未だ課題が残るものの、既存モデルに比べ大幅に再現精度が向上したため、その結果を報告する。

### 2. 既存モデルの7つの課題と対応

既存モデルにおいて明らかになっている主要な課題とその対応を以下に述べる。

課題1:[統合モデル]平均的な駅停車時間よりも大幅に長い突発的な停車の再現ができていない課題があった。この課題に対し、運行実績データから突発的な停車の事象を抽出し、駅別の発生の頻度の分析を行った。

課題2:[統合モデル]遅延時間が過大に推計されていた問題があったため、乗車客を30%減らして推計をしていた。この問題は、乗降モデルで旅客エージェント同士の接触時に稀に挙動が停止し、乗降時間が大幅に拡大することが原因であったため、周囲の旅客に対する方向転換の促しと、旅客の存在認識範囲の設定を細かくする変更を行った。

課題3:[統合モデル]半蔵門線内の混雑率・乗降客数のデータが不足していた。この問題に対し、当該区間の混雑率データを提供頂くと共に、渋谷-永田町各駅にてカウント調査を行い、実際の乗降客数をモデルに組み込んだ。

課題4:[統合モデル]実績の遅延収束のタイミングに比べ、推定結果の遅延収束のタイミングが早い課題があった。そのため、走行モデルにて各駅間の走行遅延を分析し、原因の抽出と修正を行った。

課題5:[走行モデル]対象路線での再現性は良好であるが、他路線でのモデルの汎用性が不明であったため、新たに東京メトロ千代田線及び日比谷線にて既存のモデルと同様のルールで開発を行った。

課題6:[走行モデル]池尻大橋-渋谷間の再現性が他の区間と比べ、著しく低い問題があった。この問題に対し、東急電鉄にヒアリングを行い朝混雑時の運転曲線図を提供頂いた。その結果、実際の運行速度が推定した運行速度よりも早いことが判明し、当該区間の速度設定を増加させる変更を行った。

課題7:[乗降モデル]再現性の確認を少数の列車で、乗降時間の差のみで行っている問題があった。そのため、比較の対象を5列車から78列車に増やし、相関係数と残差RMSにて比較を行った。

### 3. 各課題への対応による再現性の改善結果

#### 3.1. 統合モデルの再現結果

本研究では、統合モデルの再現性を半蔵門駅到着時の実績遅延時間と推定された同様の遅延時間で比較をしている。課題1で挙げた突発的な停車の事象を分析では、最大400秒程度の突発的な停車が発生していた。しかし、突発的な停車の発生メカニズムや発生確率を解明するに至らなかったため、突発的な遅延が比較的少ない日の中で遅延が発生していた2010年11月25日の遅延時間量と推計した遅延時間

【キーワード】旅客行動、列車遅延、マルチエージェントシミュレーション

【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

量にて再現性を比較することとする。

図1は既存のモデルの再現性と、統合モデルの課題に対して変更を行った結果の再現性を比較した図である。青の実線は上述の半蔵門駅における11月25日の実績遅延時間である。

遅延時間 800 秒程度まで大きく膨らむ点線は、既存モデル<sup>1)</sup>の遅延時間を表しており、遅延が実績よりも過大に推計されていたことがわかる。

ここで、課題2で挙げた乗降モデルの変更を行った結果、旅客の停止により乗降が終わらず120秒後に強制的に列車を発車させる回数が、既存モデルの58回から改良後は1回に減った。そのため、乗降時間の過大推計は解消されたが、遅延時間0秒付近で推移する点線から読み取れるように、遅延がほぼ発生しない結果となってしまった。

このため、課題3で述べた実際の半蔵門線内の実データを組み込んだところ、最大200秒程度の遅延が発生したが、遅延の収束は早い結果となった。

早い収束を解消させるために、課題4で主要駅間での遅延の発生を分析した結果、半蔵門線内で遅延の発生が少ない事が判明した。半蔵門線内では、実績と推定で停車時間に大きな差はなく、実績の走行時間に比べて全体的に早着の誤差があることが判明した。そのため、渋谷から半蔵門までの駅間の走行速度設定を現在よりも15%低く変更し、早着を抑えた。その結果、図1の赤い実線となった。青い実線の実績遅延時間と類似しており、再現性の向上がみられた。今後、統合モデルでは突発事象および半蔵門線内の早着の原因を明らかにしていく必要がある。

**3.2. サブモデルの再現結果**

統合モデルを構成する走行および乗降サブモデルの変更による再現結果を以下に示す。

課題5で行った東京メトロ千代田線および日比谷線での新規開発での再現結果を表1に示す。全路線ともに相関係数が0.95を上回り、再現性が高い事が分かる。また、所要時間1分あたりの残差も4秒程度(日比谷線)であることから、走行モデルで使用されるルールの汎用性を確認することができた。

課題6では、池尻大橋-渋谷間の残差RMSが26.0秒から14.4秒に縮まった。この結果、田園都市線・半蔵門線の全区間で残差RMSが15秒程度に収まった。

課題7では、実績の乗降時間と推定の乗降時間を

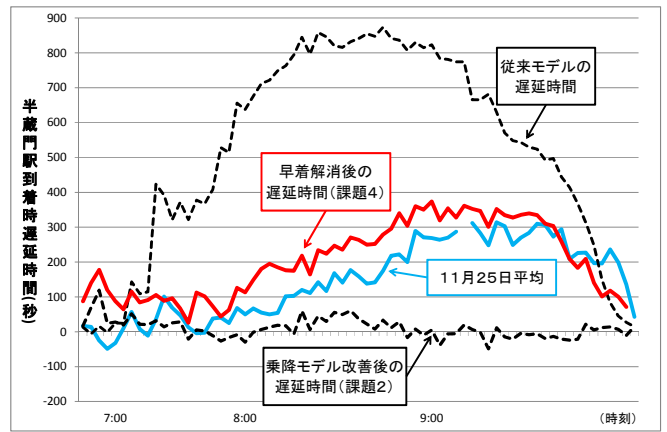


図1 各課題対応後の遅延時間の比較

表1 新規開発された路線の再現性の比較

路線	田都・半蔵門線		千代田線		日比谷線	
区間	半蔵門-長津田		綾瀬-代々木上原		北千住-中目黒	
相関R	0.99		0.96		0.98	
残差RMS(秒)	45.59		64.30		135.51	
サンプル数	80		68		107	
駅間走行時間	実績	推定	実績	推定	実績	推定
	0:58:46	0:59:26	0:21:15	0:20:00	0:32:18	0:31:41
推定-実績	-40		-23		-38	
所要時間(分)あたりの残差RMS(秒)	0.77		3.08		4.2	

比較した結果、改良前の相関係数が0.58、残差RMSが9.8秒に対して、改良後の相関係数が0.72、残差RMSが6.2秒と再現性が向上した。

**4. おわりに**

遅延の発生しやすい環境にある首都圏の都市鉄道を対象に開発されたシミュレーションシステムの再現精度を向上する改良をおこなった。統合モデルおよび走行・乗降サブモデル共に、実績の遅延時間に近づき、再現性の向上がみられた。

今後の課題として、第1に荷挟まりや飛び乗りといった突発的な停車時間の増大への対応が挙げられる。現在、停車時間別の確率を算出してシミュレーションを行うと、突発的な停車が多いほど半蔵門駅到着時の遅延が増加することが確認できている。そのため、突発的な事象の発生メカニズムや発生確率などを明らかにした上で、モデルに組み込む必要がある。第2に、半蔵門線内での早着の発生の原因究明を東京メトロへのヒアリング等を通じて、シミュレーション上での挙動と実際の運転方法との差異の有無を明らかにする必要がある。

**【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急行電鉄株式会社および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) 岩倉 高橋 森地 [2013]: 都市鉄道の遅延連鎖予測のためのエージェントシミュレーション, 運輸政策研究, Vol.15, No.4, Winter, pp.31-40