

# 駅構造を組み込んだ 列車遅延シミュレーションの開発

小林 渉<sup>1</sup>・岩倉 成志<sup>2</sup>

<sup>1</sup>学生会員 芝浦工業大学大学院建設工学専攻 (〒135-8548 東京都江東区豊洲3-7-5-09c32)

E-mail: me15045@shibaura-it.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 芝浦工業大学教授 工学部土木工学科 (〒135-8548 東京都江東区豊洲3-7-5-09c32)

E-mail: iwakura@sic.shibaura-it.ac.jp

筆者らが開発を進めてきた遅延の発生や波及を高精度に再現する列車遅延連鎖シミュレーションシステムにおいて、従来より課題であった降車人数および車内混雑が遅延状況に関わらず与件としていた点について、旅客の降車位置及び乗車位置を推計し、車両別扉別駅間OD表を作成することに取り組んだ。また、乗車位置と降車位置を推計することで車内混雑も推計することが出来た。実際に作成した車両別扉別駅間OD表を用いて、再現性の確認を行った結果、車両別の混雑率は十分な再現性は確保できておらず、精度向上に向けた課題が残った。

**Key Words :** Knock-on train delay, Agent simulation, High frequency operation, Improvement effects

## 1. はじめに

都市鉄道は朝ラッシュ時の高頻度運行に伴う列車間の余裕時間の減少により、列車遅延問題を引き起こしている。これまで列車1本ごとの駅間の走行と駅での停車を再現するマルチエージェントシミュレーションを使用した、列車遅延連鎖シミュレーションシステムを開発し、遅延対策の検討を行ってきた。

このシステムは走行時間推計モデルや乗降時間推計モデルなど、複数のモデルで構成されている。乗降時間推計モデルは、乗車人数、降車人数、車内混雑率の値を変化させることにより、開扉時間に最も影響を与える各駅の最混雑1扉の乗降時間の推計を行っている。なお、乗車人数は前方との列車間隔に応じて増減させるようにしているが、降車人数や車内混雑率は、列車種別や駅別ではあるものの、外生的に与えているため、遅延などによる影響を受けない仕組みになっており、従来からの問題として残っていた。この問題は遅延発生時以外にも、階段増設等の駅改良を行った際の車内混雑の変化や、降車人数の変化を予測できないなど多岐に渡る。問題解決には、車内状態や降車人数を状況に応じて変化させることが必要であり、シミュレーション内の乗車旅客エージェ

ントについて降車駅の情報を付加させることで車内の混雑状態や、降車人数を変化することが可能になる。これは車両ごとの駅間ODが分かれば実現可能である。

そこで本研究では、列車遅延連鎖シミュレーションを用いて、駅構造に関する遅延対策を講じた際の遅延減少効果を定量的に把握するための、車両別駅間OD表の作成を行う。

## 2. データ概要

本研究の対象路線は、東急田園都市線と東京メトロ半蔵門線の中央林間駅→渋谷駅→押上駅間の計48.3km区間とする。この路線は相互直通運転を実施している。車両は10両編成、扉数は一部6扉車であるが、全編成に6扉車が連結されていないため、本研究では全て4扉車として扱う。

使用したデータを表1に示す。大都市交通センサスは、移動目的が「通勤」かつ「定期利用」、1回目の鉄道利用、勤務先始業時刻が6:00~12:00を満たす4,992サンプル、拡大した利用者217,012人のデータを用いる。乗降量カウント調査は、田園都市線のみのものである。主要な駅

については、各扉ごとの降車人数と乗車人数が列車ごとに計測されている。そのほかの駅については、列車ごとの各階段の昇降別通過人数を列車ごとに計測し、各駅の降車人数と乗車人数としている。

駅間混雑率は、輸送量を輸送力で除した値であり、輸送力は車両定員と通過車両数を乗じた値である。車両定員については、その算出方法の違いから、国土交通省の規定する標準定員、JIS規格による乗客定員の2種類が存在し、算出方法の違いにより同じ輸送量でも混雑率が異なることがある。本研究に用いる車両定員は、JIS規格によるものを用いる。

### 3. 車両別扉別乗降人数の推計

本研究の目的である車両別扉別駅間OD表の作成には、旅客がどの扉で乗降行動をしたのかの情報が必要である。旅客乗降位置の決定には、乗車駅並びに降車駅の駅構造が影響していることが示されている<sup>1)</sup>。そこで利用者は各降車駅の階段位置から各扉での降車位置を決定することを基本とし、加えて乗車駅の階段位置が乗車位置決定に影響を及ぼすロジックとする。

乗車人数の推計には駅間OD交通量を基に旅客を配分するため、駅間OD表が必要であり、本研究では大都市交通センサスと乗降量カウント調査より駅間OD表を新たに作成する。各駅各扉ごとの乗降人数が把握できた段階で車両別扉別駅間OD表の作成、並びに車内混雑率の再現性を確認する。

#### (1) 扉別降車人数の推計方法

通勤旅客は、乗車駅および降車駅の駅構造を熟知しており、各駅の降車分布は階段位置を最大とした分布になることが考えられる。そこで、階段に最も近い扉からの降車人数が最大となると仮定し、階段から遠い扉ほど降車人数が減少する分布を考えることで降車人数の推計を行う。降車人数の推計は青木ら<sup>2)</sup>の研究を参考にする。

青木らは、各扉から降車する旅客は、最も近い階段を利用すると仮定し、各階段が負担する扉の割合を「階段負担率」としている。また、実際に階段を利用した降車人数の割合を「階段選択率」としている。階段に最も近い扉の降車人数(ピーク人員とする)は、階段負担率、階段選択率と総降車人数で推定している。

本研究では、扉ごとの乗降人数が計測されている田園都市線主要駅のデータを用い推定を行う。ピーク人員の対数を目的変数とし重回帰分析を行った結果が表2である。決定係数および説明変数のt値が有意となり、良好なモデルである。

扉ごとの降車人数は、以下の式を用いた。

表 1 使用データ一覧

データ名	期間
第11回大都市交通センサス乗降量カウント調査	2010年調査 2013年調査
応荷重データ	2010.11~12, 2013.2~3のうち 平日28日, 1日3本程度
車両性能表	-
各駅の階段位置	2015年調査

表 2 車両別降車人数の推計モデル

-	係数	t値
Ln(階段選択率)	0.599	46.2
Ln(階段分担率)	-0.080	-12.1
Ln(降車人数)	0.842	110.8
定数項	-1.276	-32.3
決定係数	0.927	

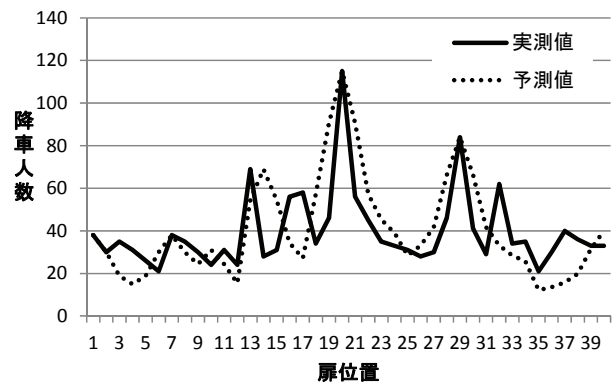


図 1 渋谷駅の降車人数の予測結果

扉ごとの降車人数=0.546\*ピーク人員/Ln(階段からの扉数)  
 $R^2=0.748$ となり、扉ごとの降車人数をある程度推計できた(図1)。

#### (2) 駅間OD表の作成

乗車人数の推計に用いる、乗降量カウント調査を用いたOD表を作成する。アンケートベースの大都市交通センサスでは、途中駅での各停から急行(準急も含む、以下同様)への乗換えを十分把握できない問題がある。主要駅における乗降量カウント調査の場合、旅客が途中駅で各停から急行に乗換える場合には、各停の降車と急行の乗車の両方でカウントされる。そのため、乗換えのための行動が数字として表れていると。

大都市交通センサスのOD表と、乗降量カウント調査で集計された調査時間帯の各駅乗車人数を発生量、降車人数を集中量とする制約を与えて、フレーター法にてOD表を作成する。乗降量カウント調査は田園都市線のみで行われているため、半蔵門線の乗降人数は、大都市交通センサスのトリップ数の比率で配分する。

#### (3) 扉別乗車人数の推計方法

通勤旅客が乗車扉を決定する要因は、降車駅の階段位置と乗車駅の階段位置であると考えられる。乗車人数の

推計も青木ら<sup>3)</sup>の研究を踏襲する。

まず降車駅の階段位置を考慮する。各駅には(1)で作成した降車分布がある。旅客は降車分布に従って降車すると仮定すると、同一の着駅にはその分布に従い乗車駅で乗車位置を決定すると考えることができる。これは各旅客が希望する乗車分布を持っているともいえ、OD毎の旅客の希望乗車分布を積み重ねた分布が、駅での乗車分布であるといえる。つまり、降車駅での降車分布を、OD間のトリップ数で重みづけし、合成した分布(以下合成分布)が乗車分布である。

次に乗車駅の階段位置を考慮する。乗車駅の降車分布は乗車駅の階段位置を反映した指標である。降車駅の階段位置を考慮した乗車分布と、乗車駅の階段位置を考慮した乗車駅の降車分布の2つを重みづけし重ね合わせることで、降車駅および乗車駅の階段位置を考慮した乗車分布の推計値を求める。本研究では、分布の割合を(合成分布):(降車分布)=7:3と仮定し推計している。

#### (4) 車両別駅間OD表の作成

これまでに降車分布並びに乗車分布の推計方法を述べた。各駅の乗車分布と駅間OD表の発生量から車両別の発生量は把握でき、同様に降車分布とOD表の集中量から車両別の集中量を取得可能である。車両別の発生・集中量とOD表を用いて、車両別駅間OD表を作成できる。しかし、以下の課題が残る。一つは途中駅で急行へ乗換える旅客の存在、もう一つは利用者の列車種別による偏りの存在である。どちらも車両別駅間OD表の中で処理し再現性の確認を行う。

作成した車両別駅間OD表の再現性の確認方法として、まずは乗降量カウント調査との比較を行う。平均混雑率の誤差から、車両別駅間OD間のトリップ数に大幅な差がないか確認を行った結果が図2である。乗降量カウント調査に対し概ね±10%以内で推定できているものの、一部混雑率を30%近く過大推計している箇所もあることを確認した。

続いて、応荷重データとの比較を行う。車両別駅間OD表から算出したデータと応荷重データの混雑率を、同時間帯同種別で車両ごとに比較したものが図3である。標準偏差が25%と大きく、精度よく推計できているとは言えない。

## 4. おわりに

本研究では、各編成ごとの車両別扉別の乗降人数および駅間混雑率を推計する試みを行った。車両別降車人数の推計モデルの決定係数は0.93、扉別降車人数の推計モ

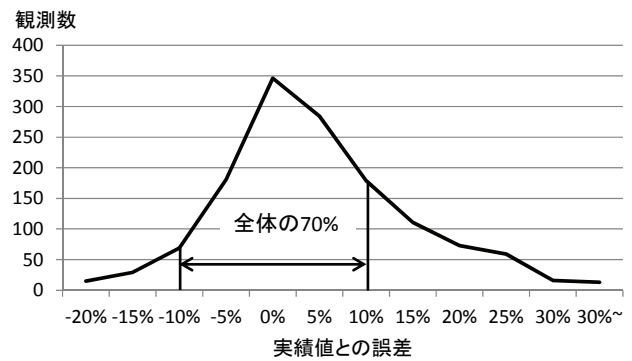


図2 乗降カウント調査に基づく平均混雑率推計値の誤差

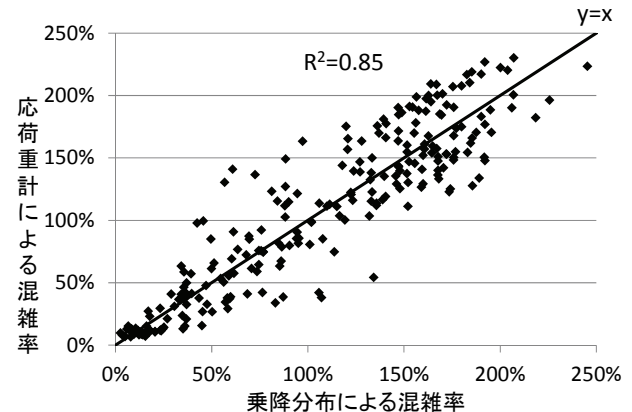


図3 応荷重データと車両別混雑率推計値との比較

デルの決定係数は0.75と概ね良好な結果を得た。駅間混雑率は、乗降量カウント調査に基づく観測車両の70%が混雑率±10%以内で推計できたが、応荷重データとの比較では決定係数が0.85であるものの、残差の標準偏差は25%と十分な精度は得られなかった。本成果は、まだ端緒についたばかりであり、推計方法の見直しによって、再現精度の改善の余地は十分あると考えている。

**謝辞:** データのご提供並びに研究に対する数多くのご意見を頂いた、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は心より感謝申し上げます。

#### 参考文献

- 1) 河合邦治, 青木俊幸, 大戸弘道, 都築知人, 古賀和博: 鉄道駅における旅客流動に関する研究その9乗車位置選択の利用者意識調査, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.847-848, 1999
- 2) 青木俊幸, 大戸弘道, 都築知人, 河合邦治, 不破徹, 古賀和博: 鉄道駅における旅客流動に関する研究その10降車分布, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.849-850, 1999
- 3) 青木俊幸, 大戸弘道, 山根清香, 河合邦治, 都築知人, 古賀和博: 鉄道駅における旅客流動に関する研究その11乗車分布の推計, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1081-1082, 2000