

旅客属性を考慮した列車乗降シミュレーションモデルの構築 ～東急田園都市線を対象に～

芝浦工業大学大学院 学生会員 ○高橋 郁人
さいたま市役所 非会員 武井 千亜生
芝浦工業大学 正会員 岩倉 成志

1. はじめに

近年，都市鉄道において朝のラッシュ時における混雑緩和を目指し，高頻度運行や相互直通運転等の施策が行われてきた．これらの施策は輸送力増強に大きく貢献したが，高頻度運行によって列車間隔が狭まり，僅かな乗降時分の増加が遅延発生につながり後続列車へ波及していく問題が発生した．

こうした現状から筆者らは，混雑問題を解決するために乗降時分推定モデルの構築⁽¹⁾を進めてきた．しかし従来のモデルでは，データ数が少なく詳細な旅客行動や旅客属性による変化を再現できていなかった．そこで本研究では乗降行動のデータ数を増やすと共に，旅客属性を考慮することで列車乗降シミュレーションモデルの精度の向上を図る．

2. 対象路線の実態

東急田園都市線の長津田～渋谷区間を対象とする．列車が駅停車中に発生した遅延を停車遅延，駅間走行中の遅延を走行遅延として，平日の遅延時間の内訳を表したグラフを図1に示す．黒の点線で囲んだ部分に着目すると，大きな停車遅延が連続的に発生し遅延合計が増加している様子が見て取れる．ピーク時間帯においては列車が高密度に運行しているため，一つの列車が停車中に遅延すると後続列車は駅間や駅で停車し遅延が波及する．このように停車遅延が遅延発生に大きく影響を及ぼしていると言える．

2. 乗車速度分析

本研究における乗車速度とは，扉を通過する直前の乗車速度とする．乗降時分に影響する要素として旅客の乗車速度に着目し分析を行った．分析対象は駅ホーム映像と車両応荷重データの両データが揃った車両の1扉とする．分析に用いたデータ及びサンプル数を表1に示す．分析方法は駅ホーム映像を2次元動画計測ソフト「MOVE-tr/2D」を用いて乗車速

表1 取得データの詳細

取得方法	使用したデータ	内容	期間・データ量	現状分析可能サンプル数
提供	駅ホーム映像データ	混雑車両の乗降行動が分かる映像	11月15日～12月10日 7:00～10:00 (平日のみ)	50停車 (501人乗車)
	車両応荷重データ	車両ごとの車内荷重を駅ごとに記録 混雑率を推定できる	11月15日～12月10日 7:00～10:00 (平日のみ) 1日3編成 (ピーク時と前後30分)	49編成
現地調査	加速度データ	加速度センサを持った状態で 列車に乗車した時の加速度	12月6日, 7日, 9日	4停車 (4人乗車)

表2 映像分析と加速度センサの乗車速度の比較

駅名	日付	列車乗車時の速度 (cm/s)		差
		映像分析	加速度センサ	
たまプラーザ	12月6日	18.6	24.3	-5.7
池尻大橋	12月7日	118.0	99.8	18.2
三軒茶屋	12月7日	58.8	48.6	10.1
三軒茶屋	12月9日	9.2	11.5	-2.3

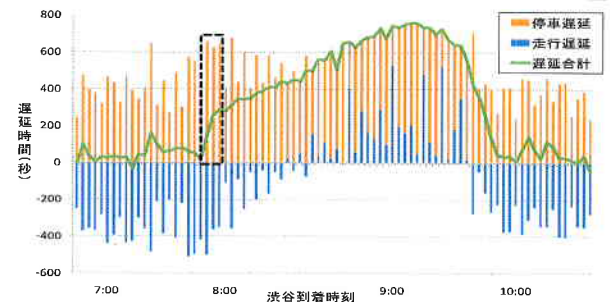


図1 2010年11月15日の遅延状況(長津田→渋谷)

度を計測する．加えて映像分析の精度確認として，映像記録時間にワイヤレステクノロジー社の加速度センサ「WAA-006」を所持した状態で対象列車に乗車し，加速度データを取得して乗車速度を算出し比較した．加速度データについては歩行の波形と映像データから歩き出しと乗車が完了した範囲を探し，その平均を乗車速度として映像データとの比較を行い表2に示す．最大で約18cm/sの差が出たが，映像分析と加速度計に強い相関があると判断し，映像データから分析した乗降速度をデータとして利用する．また映像データから目視で旅客属性を判断した．属性分けを行った結果を表3に示す．そして映像分析から得られた乗車速度を基に比較を行った．その一例として男女と携帯電話を操作しながらの旅客の乗車速度について20cm/sごとの頻度分布を作成し図2

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 TEL03-5859-8354

に示す。男女の乗車速度については、男性の最頻値が20cm/sに対して女性が10cm/sと乗車速度に差が見られた。次に携帯電話を操作しながらの乗車速度については、前方の旅客よりも平均で46%乗車速度が減少している傾向が見られた。以上から旅客属性によって乗車速度に差あり、乗降時間の長時間化に影響を与える要因だといえる。

3. 列車乗降シミュレーションモデルの構築

列車乗降シミュレーションモデルを構築し、停車遅延に最も影響を与えると考えられる乗降完了が最も遅い扉1つを再現することで乗降時分を表現する。

モデル内のエージェントの行動パターンは、既存研究より乗車・降車・通過の各旅客を基本エージェントとして構築した。各旅客は個人空間の確保やエージェント間の距離による乗降速度の変動、車内混雑率上昇の際の押込みなどの動作をすでに反映している⁽¹⁾。改良前後のシミュレータ旅客の再乗車行動を図3に示す。図の左右ともに上下で連続した図となっている。まず改良前の左図の再乗車を見ると、乗車旅客の後方に回り込み整然と並ぶのに対して、改良後は右図のように再乗車旅客がドア周辺で停滞する行動を反映し、混雑時の降車のし難さを再現した。またすれ違いなどの旅客流動の円滑化や、車内の奥へ詰め過ぎる行動などを改善した。これらの改善によって心理状態の変化や基礎行動を表現したモデルとなっている。現時点では個々の旅客属性をモデルに組み込むに至っていないが、属性によって差が表れる傾向を今後、反映していきたい。

再現性の検証は、混雑率160%~190%の乗車旅客10~13人の実績値と混雑率180%の乗車旅客10人の推計値を比較して行い、その結果を図4に示す。1-6人目までは、推計値平均において平均5.1cm/s速い結果となった。これは扉付近の通過旅客は再乗車行動を行うために、扉に近い乗車旅客は障害物が無い状態で乗車するためだと考えられる。また6人目以降に関しては、実績値と推計値が同様の傾向を示している。タイミングは異なるが、実績値の7-8人目と推計値の5-6人目において標準偏差の値が減少していることから、車内が混雑することによる扉付近の旅客の滞留が再現できているといえる。8人目以降の標準偏差の増加については、前方の旅客に続いて乗車する人とかけこんで乗車する人が影響したと考えられる。

表3 乗車旅客の属性分けの詳細

属性	区分	サンプル数(人)	割合(%)
全サンプル		501	100.0%
性別	男性	359	71.7%
	女性	142	28.3%
年齢	子供	39	7.8%
	大人	453	90.4%
ながら乗車	通常乗車	465	92.8%
	携帯電話	23	4.6%

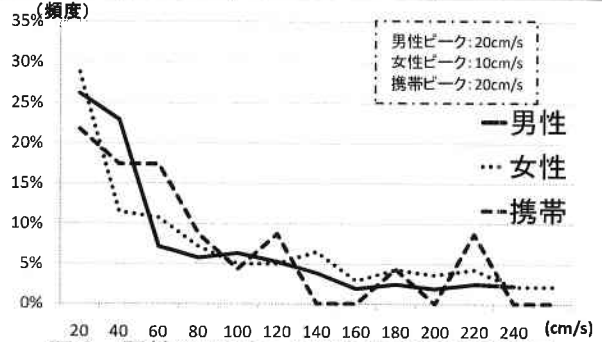


図2 属性分けによる乗車速度の頻度分布

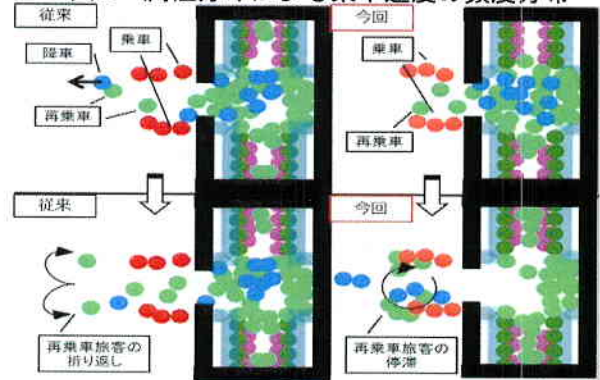


図3 列車乗降シミュレーションモデルの改善点

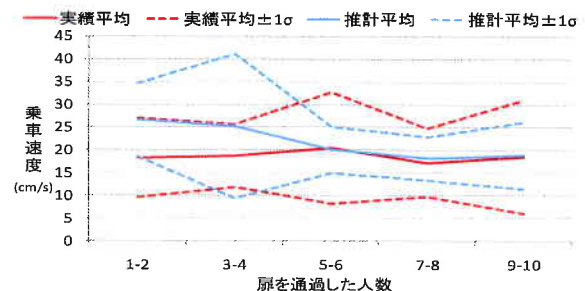


図4 乗車速度の比較(各サンプル数10)

現状は再現性が高いとはいえないが、実績データの傾向が掴めたことから今後の改善によって再現性の向上が期待できる。

4. まとめ

本研究は旅客属性が乗降時間に影響を与える可能性を明らかにした。今後さらに多くのデータを分析することで精度向上につなげていきたい。

【謝辞】

本研究に多大な協力をして下さった東京急行電鉄株式会社の方々、ならびに政策研究大学院大学日比野直彦教授様より感謝いたします。

【参考文献】

(1)高橋 岩倉ら: 高頻度運行下での都市鉄道の遅延連鎖シミュレーションにもとづく遅延改善策の試案, J-RAIL2010 講演論文集, S9-11pp257, 2010.12