

## 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～



H07209 武井 千亜生  
指導教員 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ダイヤの余裕がなく、乗降時分の増加が遅延発生に繋がり後続列車へ波及していく問題が発生した。

この様な現状から本研究室では、混雑問題を解決することを目的とした乗降時分推定モデルの構築が進められてきた。しかし従来のモデルでは、データ数が少なく平均的な旅客行動を再現するものであり旅客の属性についてまでは考慮されていなかった。

そこで、本研究では、乗降行動のデータ数を大幅に増やし、旅客属性を考慮して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. 対象路線の実状

本研究では、東急田園都市線の長津田～渋谷区間を対象とする。11月15日～12月17日（平日）を対象に東急田園都市線 HP に掲載された遅延証明書から遅延状況を図1にまとめた。10分程度の遅延が頻発しており、乗降時分の増大等による小さなタイムロスから発生する遅延が慢性的に起こっていると言える。

### 3. 現地調査

モデルの構築にあたり、現地調査を行い田園都市線の調査をした。旅客の特徴としては乗車後すぐに車内奥まで詰める旅客が多いこと、整列乗車が徹底して行われていることが挙げられる。以上の点については田園都市線の旅客特性と判断し、モデル構築の参考とした。同様に、ながら乗車する旅客など後述する旅客属性についても乗降に影響を与える要因の参考とした。

### 4. 乗車速度分析

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。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扉を分析対象とした。分析に用いたデータ及びサンプル数は表1に示す。

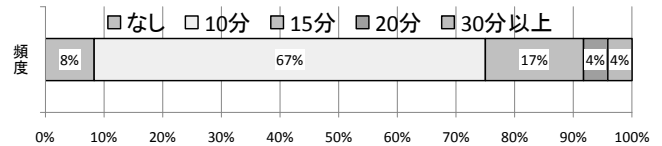


図1 遅延証明書から見る遅延規模と発生状況

表1 使用したデータ

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 映像データと加速度データ比較

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

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加速度センサを持った状態で分析対象列車に乗車することで、加速度データを取得し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った。その結果を表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似た傾向が見られたと判断し、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。

## 5. 列車乗降シミュレーションモデル構築

### 5-1. 列車乗降シミュレーションモデル

本研究では、列車乗降シミュレーションモデルを構築し、1編成の車両のうち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。

### 5-2. エージェント行動パターン

モデル内のエージェントの行動パターンは、乗車、降車、通過を基本として個人空間の確保や、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反映している。

今回、モデル改良の例として、旅客の再乗車行動について説明する。(図2参照)左図が従来のモデルで右図が改善モデルである。図の左右ともに上下で連続した図となっている。まず左図の再乗車を見ると、乗車旅客の後方に回り込み並ぶのに対して、右図のようにドア周辺で停滞するように変更した。この変更によって混雑時の降車のし難さを再現出来た。他にも、旅客同士が固まって動かなくなる問題や、不自然に車内奥までつめる行動などを改善した。

### 5-3. エージェント属性

映像分析する段階で旅客属性を確認し、属性分けをした。(表3参照)属性は映像データから見た目判断出来ることを前提とし、分析から得られた乗車速度を基に比較を行った。図3には、男女と携帯電話を操作しながらの旅客について乗車速度 20cm/s ごとの頻度分布を示す。男女については、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降は、特化した点は見当たらないが、携帯電話を操作した乗客の後では全体的に乗車速度が下がる傾向が見られた。以上のことから現時点では、旅客属性をモデルに組込めていないが、属性によって差が表れる傾向をつかむことができた。

### 5-4. モデル再現性の検証

実績値をもとに再現性の検証を行った。シミュレーション条件と実績値の条件は表4、結果を図4に示す。1-6 人目までの値は、実績値σに収まっているものの、標準偏差が実績値に比べ小さな値をとった。これは、モデル上で旅客同士が固まって動かなくなる現象を改良したために、速度の分散が小さくなったためと考えられる。次に 7-8 人目の実績値が急激に減った後で標準偏差が増加する点は、最初の 6 人が乗車するとドア付近に一時的に旅客が溜まることで 7 人目以降の旅客が乗車しづらくなるのが映像データと確認してわかった。その後の標準偏差の増加については、8 人目以降乗車して乗る人と少し時間をおいて出発前に急いで乗る人が存在したため、差が生じたと考えられる。

現状のモデルでは、再現性が高いとはいえないが、実績値から大幅に離れていないこと、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。

### 6. まとめ

本研究の結果から、旅客属性が乗降に影響を与える

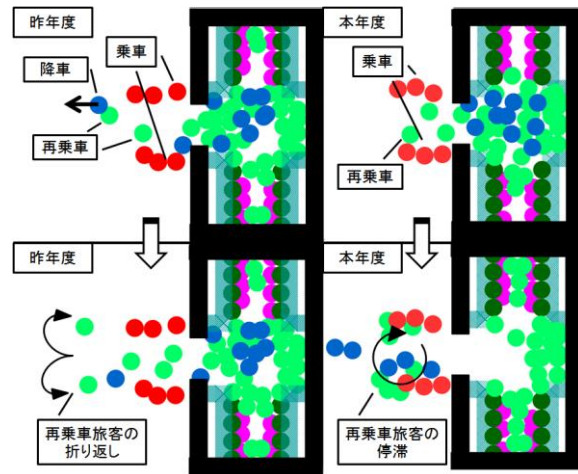


図2 再乗車の改良

表3 旅客属性

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%

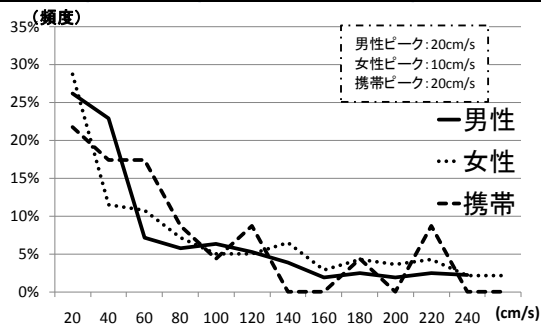


図3 旅客属性性別頻度分布

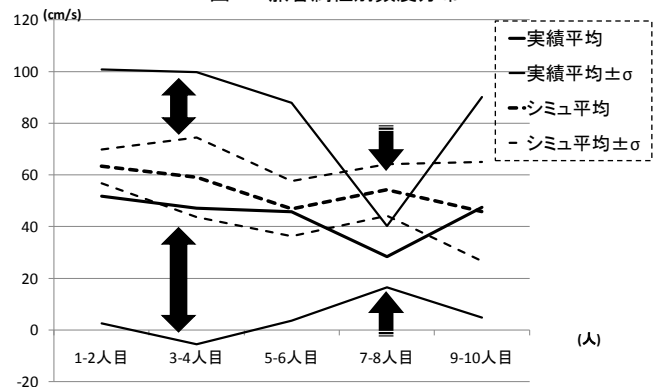


図4 実績値とシミュレーション結果比較

表4 実績、シミュレーション比較条件

条件	サンプル数	混雑率(%)	乗車人数(人) 再乗車含む
実績	12	162~190	10~14
シミュ	20	180	9~15

可能性を見いだせた。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がると考えられる。

謝辞：本研究に多くのデータを提供して頂いた、東京急行電鉄株式会社様に感謝の意を表す。