

改札入場データによる人流予測を用いた 鉄道列車運行制御手法に関する研究

伊藤 総汰[†] 藤田 悟[†]
法政大学 大学院 情報科学研究科

1. まえがき

鉄道における改札入場データは、利用者の入場時刻や入場駅などの情報を持ち、鉄道運用のサービス向上に向けたビッグデータとしての活用が期待されている。杉山らは、実際の改札通過データを用いて時間帯および駅間ごとの旅客需要を予測することによる輸送計画策定支援や乗車人数のリアルタイム推定を行う手法の提案を行っている[1]。日下部らは、ICカードの乗車履歴データと列車ダイヤのデータを用いて、ICカードを利用した鉄道利用者ごとの乗車列車を推定する手法の提案を行っている[2]。このように、改札通過データを活用した鉄道利用者の流れの予測に基づくシステムの開発に関する研究が進められている。しかし、改札を通過した利用者の流れをリアルタイムで把握する活用は可能なものの、改札通過データのリアルタイムな活用手法については、現状で十分な検討がなされていない。それゆえ、乗務員の立場では、改札を通過しプラットフォームに向かう利用者の状況をリアルタイムに把握できず、利用者の目の前で列車が発車し、次の列車が到着するまで待つことになるという状況が発生する。鉄道をはじめとした公共交通機関には待ち時間や人流などを考慮したサービスやシステムの提案が求められているため、利用者の待ち時間を可能な限り少なくしたうえで運行の最適化を行うシステムの提案が必要である。

そこで、本研究では改札入場データに基づいて駅構内での利用者の歩行流を予測することにより、列車の運行を制御する手法について提案する。具体的には、駅や列車、利用者をモデリングしたシミュレータを作成し、改札入場からホーム到着ま

での利用者の行動を予測したうえで列車ダイヤの微調整を行う手法を提案する。

2. 到着予定客を考慮した運行調整

2.1. 列車運行の課題

鉄道会社で管理する列車ダイヤは一般に5~15秒単位で管理されている。駅での列車への乗降可能時間は20秒ほどであり、乗降客が多い場合には、10~20秒程度超過することがある。逆に、乗降がスムーズに行われた場合には、運行時間に余裕ができるため、遅延が発生しない範囲で予め定められた猶予の範囲内で停車時間の調整が発生することもある。

上記のような停車時間や運行時間の揺らぎについて、現在はその場の状況による運行乗務員の判断の下で管理されることが多い。特に、改札を通過してプラットフォームに向かっている乗客については、その情報を得ないままに発車し、次の駅では優等列車の到着待ちをするなど、時間管理の無駄が顧客へのサービス低下を招きかねない。

2.2. 動的な列車運行調整

許容される列車運行の揺らぎを利用して、列車運行をリアルタイムかつ協調的に管理することで、乗降客の利便性を高めるシステムを提案する。本システムは、いくつかの重要な要素で構成される。

(1) 乗客の到着予定数の算出

プラットフォームにて到着列車を待つ乗客に加え、直近でホームに向かっている乗客の予定数をリアルタイムに把握する必要がある。このとき、鍵となるのが改札通過人数である。自動改札を通過する人数は容易に把握可能であり、数十秒前の乗客の通過数や属性（定期の利用区間など）を把握することで、プラットフォームに向けて歩行している乗客数を知ることができる。この「見えない」情報を活用し、またシステムが停車時間の延長を判断することで、本来であれば乗車できなかった客が列車に間に合い、乗車できるようになる。改札

Research on Railway Train Operation Control
Methods Using Passenger Flow Prediction by Ticket
Gate Entry Data

[†] Sota Ito and Satoru Fujita, Graduate School of
Computer and Information Sciences, Hosei University

口への到着モデルは、一般には待ち行列理論のポアソン生起のモデルで表現されるが、実際には乗り換え線の列車や駅前でバスの到着、交通信号による歩行者の行動変化などで、突発的に過大な到着客が生じることがあるはずで、ポアソン生起によるモデルでは近似ができないと考えられる。

(2) リカバリを考慮した運行調整モデルの作成

乗客を待つということは列車遅延につながり、すでに乗車している利用者にとっては、到着目的駅への到着時刻の遅延につながり、サービスの低下を招く。よって、停車時間を延長する場合、その延長時間をリカバリできる運行が可能であるかを事前検証する必要がある。次の駅での停車時間の短縮が可能か、次の駅で待つ乗客数の見積もりは可能か、安全速度の範囲で列車の加速が可能か、などが重要な課題となる。

2.3. シミュレーションによる分析

2.2 に述べた列車運行調整の可能性について、シミュレーションによる分析を進めている。シミュレーションには、以下の機能が含まれる。

- 改札到着客のモデル: ポアソン生起ではない揺らぎの大きな到着モデルを採用する。
- 駅構内の歩行モデル: それぞれで異なる歩行速度分布を持つ歩行者が、改札を通りプラットフォームに移動するモデルを作成する。
- 列車のモデル: 降車客数に依存した停車時間や駅間の移動時間などをモデル化した列車モデルを作成する。

シミュレーションにより、乗客の駅での待ち時間や乗車時間などを計測し、定時運行時と差異を評価する。

3. 改札入場者データ測定

3.1. 改札入場者数の測定条件

実際の駅改札を通過する利用者数について実測し、5秒間ごとの到着数の分散について確認する。測定を行うため、iPhone アプリを作成し、入場者数をカウントする。測定条件は以下の通りである。

- 測定場所: JR 武蔵小金井駅中央改札口
- 測定日時: 2023年7月4日 7:40~7:51 の680秒間

3.2. 結果

3.1 の実験により取得したデータを図1に示す。平均到着率が5秒あたり9.22人であることから、ポアソン生起モデルで期待される分散は9.22人である。一方、実測値の分散は20.98人であり、この偏差の違いからも、実際の到着数は大きな揺らぎが生じていることがわかる。

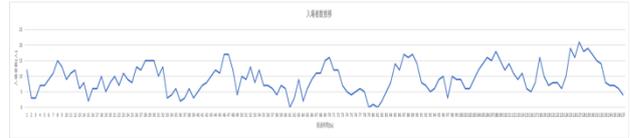


図1 5秒ごとの改札入場者数の推移比較

4. シミュレータの詳細設計と実験

4.1. シミュレータの詳細設計

3.2 で示した結果より、分散の推定値と実測値の差から改札入場者についてはポアソン生起によるモデルでの近似ができないと考える。そのため、バスを降車して改札に向かう人の影響があると考え。そこで、ポアソン生起に加えてバス到着モデルの適用により改札に向かう人の数に揺らぎを持たせることで、図1に示したような揺らぎの大きい改札到着客のモデルを構築する。

4.2. 実験内容

2章で示した運行調整手法が有効なものであるかどうかを確かめるためには、停車時間を微調整した際の総移動時間の検証が必要となる。定時運行の場合に乗車できなかった利用者の影響を精査することにより、路線全体での有用性について検証する。具体的には、1つの路線をシミュレータにより構築し、2.3 および4.1 で示した入場者モデルを適用したうえで検証を行う。

5. まとめと今後の課題

本論文では、鉄道利用者の改札入場データのリアルタイムな活用手法の提案に際してのモデリングとデータの検証を行った。実測データと待ち行列モデルに基づくデータの比較を行い、その変化の違いに関して考察し、実際のシミュレータ構築におけるパラメータ設定を行った。今後は停車時間調整実験を行うことにより、運行の微調整による利用者の総移動時間軽減の可能性について検証していく。

参考文献

- [1] 杉山 陽一, 松原 広, 明星 秀一, 田村 一軌, 尾崎 尚也: 改札通過データを用いた旅客流動のリアルタイム推定手法, 鉄道総研報告第23巻第8号, 2009年8月.
- [2] 日下部 貴彦, 高木 勇弥, 井料 隆雅, 朝倉 康夫: ICカードシステムによる改札通過データを活用した乗車列車推定方法の開発, 土木学会論文誌26巻, pp.655-662, 2009年.