

ダッシュボードシステムを用いた輸送障害および大規模イベント開催時における鉄道利用者の人流把握に関する研究

高安 洋* (東日本旅客鉄道株式会社)

Jeph Puneet Xia Tianqi 金杉 洋 Jiang Renhe 柴崎 亮介 (東京大学)

A Study on Railway Passenger Flow Grasp Using a Dashboard System during Transportation Failures and Big Events

Hiroshi Takayasu*, (East Japan Railway Company)

Jeph Puneet, Xia Tianqi, Hiroshi Kanasugi, Jiang Renhe, Ryouyusuke Shibasaki (The University of Tokyo)

The Japanese Railways are an important transportation infrastructure in Japan, but if it is suspended due to an accident or other reason, it will have a huge impact on users. For this reason, railway operators are conducting various studies using big data, but there are few studies related to understanding the flow of passengers. Therefore, we developed a dashboard system that can grasp the flow of railway users by utilizing the GPS data built into smartphones, and analyzed the flow. As a result, we were able to observe changes in the flow of users by time period.

キーワード：鉄道輸送，輸送障害，大規模イベント，位置情報，人流解析，可視化

(Keywords, Railway Transportation, Visualization System, Big smartphone GPS data, Crowd estimation, Event analysis)

1. はじめに

日本の鉄道は 2022 年で開業から 150 年を迎えた。開業から今日に至るまで、重要な交通インフラとして発展を遂げてきた我が国の鉄道は、安全性と安定性(定時性)が極めて高く、安価なコスト(運賃)で手軽に利用できるといった魅力もあることから、人口が密集している都心部を中心に生活の足として重要な役割を果たしている。しかし、そうしたメリットがある一方で、混雑に起因する様々な要素が重なった場合には安定性を阻害するといった課題も存在する。特に混雑が発生する場面に関しては、

- (1) 朝・夕方の通勤時間帯におけるラッシュ時
- (2) 輸送障害発生に伴う列車運転見合わせ時
- (3) 大規模イベント等開催に伴う想定外の混雑発生時

の 3 つに分類されると考えられる。こうした場面において、鉄道事業者はビッグデータと呼ばれる情報を大量に集めることで、利用者の流動解析をはじめ、様々な視点から分析を進めている。特に、2000 年より導入が始まった交通系 IC カードのデータや、鉄道車両に搭載された重量検知システム(以下、応荷重装置)を用いることにより、鉄道利用者数をカウントする方法も存在するが、いずれも駅や列車単体の混雑状況の把握が可能である一方、個々の利用者の移動情報や駅周辺の混雑状況といった情報までは把握できない。

そうした中で、近年大幅に普及が進んでいる GPS 対応ス

マートフォンの LBS (位置情報サービス) データは、ユーザー個々の軌跡が把握可能であるため、膨大な量の位置情報データとなる。このデータは、ユーザー個々の移動情報に基づき集積することが可能であることから、先に述べた交通系 IC カードや、応荷重装置からの情報では把握できない、利用者の移動目的や経路に関する情報の課題を克服する手法になりうると考えられる。

2. 先行研究

鉄道利用者に関する研究や技術開発は、様々な分野で行われている。まず、JR 東日本では首都圏を走る鉄道車両に搭載されている重量検知装置(応荷重装置)データと、列車走行位置情報データを組み合わせることで、列車ごとの混雑状況と走行位置の把握が可能な「在来線混雑可視化システム」を開発した⁽⁷⁾。しかしながら、このシステムでは個々の列車の走行位置と混雑状況は把握できるものの、人の動きまでは把握することができない。このため、輸送障害などによる運転見合わせで、他の交通機関に迂回した人の動きや、大規模イベントの開催などにより一時的な混雑が発生した際の駅周辺の人の動きまでは把握することはできない。このほか、交通系 IC カードの利用実績データを用いた研究では、鉄道利用者の交通系 IC カードを用いて自動改札機の入場・出場時間と、移動時間を分析することで、通常時と輸送障害等に遭遇した場面の移動時間差分を掛け合わせ

から、影響度を指標化した⁽⁸⁾。しかしながら、この手法は鉄道事業者の自動改札データに依存しているため、長時間運転見合わせにより移動を行わなかった人の影響や、サンプル数が少ない場合においては数値が指標に反映しづらいといった課題がある。このように、鉄道利用者の細かな動きまでは把握するためには、鉄道事業者が所有している既存データの活用だけでは困難であると考えられる。

一方で、近年は位置情報データを活用した研究も多く行われており、鉄道利用者の携帯電話から観測された Bluetooth 信号データを用いた列車の混雑推定に関する研究⁽⁴⁾や、Twitter のデータと交通系 IC カードのデータを組み合わせた、輸送障害時の利用者流動変化の研究⁽³⁾なども行われている。しかし、GPS データを活用した先行研究では、GPS ログデータを活用した道路交通渋滞の分析⁽¹⁾などはあるものの、鉄道利用者の混雑状況把握を対象とした研究は、GPS 軌道情報を用いたディープラーニング手法に基づく LSTM (Long Short Term Memory) を用いて、鉄道ネットワークにおけるカーネル密度推定の研究⁽⁶⁾などが存在する他には殆ど見当たらなかった。

3. 研究目的

本研究では鉄道事業者が所有している既存データではなく、位置情報データ(GPS データ)を用いることにより、鉄道利用者の流動を把握し、分析することを目的とした。なお、この流動把握にあたっては、鉄道利用者を視覚化することが可能な「ダッシュボードシステム」を用いることとしたうえで、ケーススタディとして利用者の特微的な変化が生じる場面である「輸送障害」と「大規模イベント」を対象とし、分析と考察を行うこととした。

4. ダッシュボードシステムの概要

前項の目的に基づき、本項ではその情報解析に必要なダッシュボードシステムの概要を紹介する。ダッシュボードシステム(以下、本システム)は筆者らによって開発されたものであり、複数のデータソースから収集されたデータがシステム内で処理され、サーバ側のデータベースに保存されている。それらのデータを基に、選択した事象の統計結果をサーバ側で追加処理し視覚化する。

また、鉄道利用者の情報を視覚化するため、GPS データ、イベントデータ、鉄道路線データといった、異なる 3 つのタイプのデータを収集している。このうち、GPS データは株式会社プログウォッチャー(以下、プログウォッチャー社)と連携し、47 都道府県の 500 万人の人々を対象とした GPS 軌跡データを使用している。なお、プログウォッチャー社より提供された位置情報では、匿名 ID、タイムスタンプ、経度、緯度のみが収集されるため、個人を特定できる情報が収集

されることはない。

次に、輸送障害や大規模イベントといったイベントデータは、分析対象となる駅やイベント会場を選択し、それらの位置情報を Open Street Map から収集した。そして、路線データについては、鉄道路線情報や人々の流動特定に GPS のローデータを移動手段ごとにセグメント化することで、地図上へのマッチングする手法を使用した⁽²⁾。そして、移動手段の把握には移動モード検知法を使用した⁽⁵⁾。

これら一連の情報に対してダイクストラ法 (Dijkstra's Algorithm) による最短経路アルゴリズムを用いて、鉄道の移動ルートを特定し、列車が地図上にある 2 つの整合ポイント間において、一定速度で走行すると仮定することで、各途中駅のタイムスタンプを計算し、全軌道の平均速度を用いて最初と最後の GPS 点から乗車・降車の時間を計算して特定した。データ収集の流れを以下に示す(図 1)。

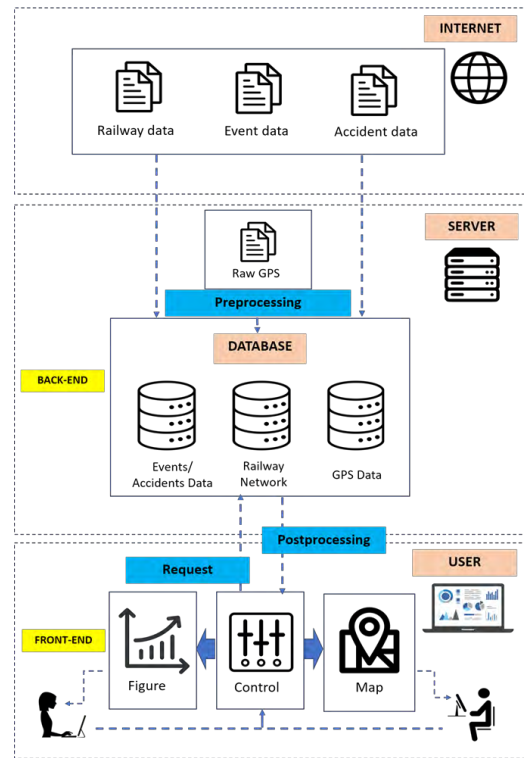


図 1 ダッシュボードシステムのデータ収集

この手法により、特定の駅における鉄道利用者の乗降時間と位置の推定が可能となったことから、次に、特定の駅の乗降鉄道旅客集計データの作成方法を解説する。

まず、処理した GPS 軌道データを用いて、各駅で乗降する OD データを抽出した。なお、この OD データ抽出には、GPS 軌跡と移動情報を用いることにより、鉄道利用者の出発地のほか、経路上で使用した交通手段、到着/出発時間、滞在時間などの関連情報を識別した。また、対象者の出発地の滞在場所を抽出することで、出身都道府県につい

でも特定することが可能となる。続いて、鉄道の混雑状況を分析するために混雑増加率を測る評価指標を開発した。輸送障害やイベント開催時は、運転見合わせとなった駅やイベント会場最寄り駅に混雑が集中する。このため、これらの駅において、通常時との混雑度合いを比較するため、輸送障害やイベント開催当日から遡り過去 5 日間の通常時の平均混雑と比較することで、相対的な混雑率を算出した。続いて、過去 5 日間の平均混雑に対して、当日のピーク時間帯における、駅での混雑の加重平均を算出するための計算手法を作り上げた。

$$C_{Entry} = W_i \sum_{i=1}^N \left(\frac{I_{peak}^0}{\frac{1}{5} \sum_{m=1}^5 I_{peak}^m} \right) \dots (1)$$

$$C_{Exit} = W_i \sum_{i=1}^N \left(\frac{O_{peak}^0}{\frac{1}{5} \sum_{m=1}^5 O_{peak}^m} \right) \dots (2)$$

W_i = 駅の混雑荷重 (利用者のシェア)

I, O = 入場, 出場のとして記録された数

N = イベント会場最寄り駅として選択された駅の数

m = 過去との比較に必要な日数 (5 日で設定)

この手法で算出された指標に基づき、本システム内では、混雑指数 C の値が 1 以下の場合、過去 5 日間と比較して混雑に変化が生じていないとし、1 以上の場合には混雑が増加したと定義づけ、システム上に数値を反映させている。

5. ダッシュボードシステムのデザイン

本システムは、主に「制御パネル」「地図パネル」「グラフパネル」の 3 つで構成されている (図 2)。



図 2 ダッシュボードシステムの機能とデザイン

「制御パネル」では、パラメータを選択し「地図パネル」で、GPS 軌道データに基づき、鉄道利用者の密度および人間の移動情報を地図上に視覚化する。そして「グラフパネル」では、本システム内で作成された分析結果から計測されたすべての駅・時間帯で情報の閲覧が可能となり、グラフ内の数値は、制御パネルからユーザーによって選択された各種

条件により、随時更新して表示される。

次に、筆者らは本システムの機能を用いて「輸送障害」と「大規模イベント」を対象とした事例研究を行った。

6. 事例研究

本研究の目的に則り、(1) 輸送障害と (2) 大規模イベントの事例分析を行った。対象とした事例は以下のとおり。

(1) 人身事故

2020 年 1 月 31 日 (金) 18 時 31 分、京浜東北線 (第 1772C) 電車は、蒲田～大森間の踏切道内で発生した人身事故により停車。負傷者の救出等を行い 20 時 03 分に運転を再開した。この間、並走する東海道線なども運転を見合わせたため、約 80,000 人に影響が生じた。

(2) ラグビーワールドカップ 2019 決勝戦

2019 年 11 月 2 日 (土) 18 時 00 分より、神奈川県横浜市の横浜国際総合競技場 (日産スタジアム: 最寄り駅 新横浜、小机) で開催されたスポーツイベント。9 回目の開催となった同大会は、この時がアジア初の開催であり、当日はイングランド対南アフリカの決勝戦観戦のため、約 70,000 人の観客 (会場収容人数は約 72,000 人) が訪れた。

それぞれの結果について、本システムを用いてデータ抽出を行ったことから、次節ではそれぞれの事例について結果を述べる。

7. 結果

筆者らは輸送障害の事例について、路線ごとの流動分析を行うため、本システムの有する地図パネル機能を用いて、輸送障害発生の時間帯 (18:42~19:11) について、鉄道路線上に混雑状況を可視化した (図 3)。



図 3 輸送障害発生時の路線別混雑状況

結果、JR 東日本京浜東北線が輸送障害により運転見合わせとなった事で、並走する京浜急行電鉄を中心に JR 東日本横須賀線や東急電鉄東横線の一部区間において、混雑が発生していることが把握できた。また、並走する京浜急行線の混雑増加率の評価指標 C は 1.12 であった。

続いて、大規模イベントについて各駅の混雑状況把握を行うためグラフパネル機能を用いて、駅と路線別の利用状況を可視化した(図 4)。また、これと併せて、観戦客の出発地を把握するため、出身都道府県分布(図 5)ならびに、会場までの利用交通機関についても可視化した(図 6)。

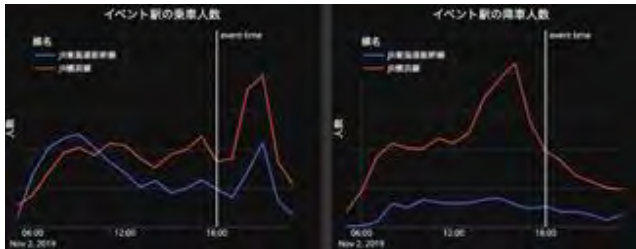


図 4 駅と路線別の利用状況

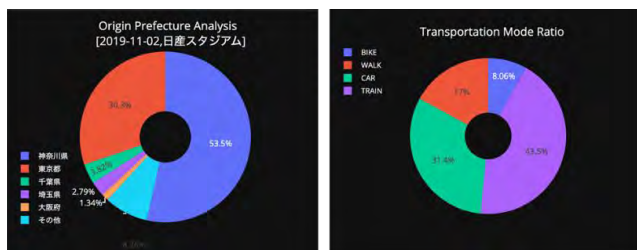


図 5 観戦客の出身地

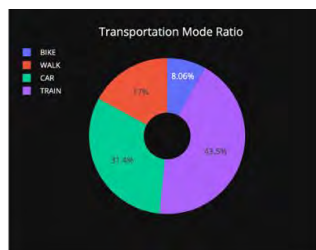


図 6 利用交通機関

駅と路線の利用状況においては新横浜、小机駅の利用が最も多く、利用路線は東海道新幹線と JR 横浜線の利用が最多であった。また、観戦客の出発地については神奈川県が最多であり、次いで東京都が多い傾向にあった。そして、会場までの利用交通機関は、鉄道利用者が最も多い結果となった。また、会場最寄り駅である新横浜駅の混雑増加率の評価指標 C は改札入場場面で 4.35、出場場面で 2.93 であった。

8. 考察

事例分析を行った結果、輸送障害では京浜急行電鉄をはじめとした周辺の鉄道路線に混雑が発生した。これは、JR 東日本京浜東北線の利用者が目的地に向かうために迂回したものと考えられる。また、大規模イベントにおいては、東海道新幹線の新横浜駅と横浜線の小机駅の時間帯別利用状況を可視化した結果、降車人数ではイベント開催前の時間で横浜線の利用者が多く、開催後の乗車人数では東海道新幹線、横浜線双方において利用者が多いことが観測できた。これは、イベント開催後には遠隔地に戻る観戦客が多かったためだと考えられるが、出身地比率を見ると神奈川県と東京都が多いことから、今後さらに詳細なデータ分析が必要である。なお、利用交通機関では会場が駅から近いことをはじめ、イベントの特性上試合開始時間に確実に間に合う移動手段としたいという観戦客の心理から、鉄道の利用が最多であったものと考えられる。このほか、混雑評価指数 C

の値は、何れのケースでも 1 を上回っており各事例において混雑具合を把握することができた。

9. まとめと今後の課題

本研究では GPS データを用いた「ダッシュボードシステム」を通じて「輸送障害」と「大規模イベント」の分析と考察を行った。結果、人身事故発生時の利用者流動変化と、大規模スポーツイベント開催時の観客流動を把握し可視化する事が出来た。まず輸送障害では、事象発生時に他線区への迂回傾向を把握できた点について、鉄道事業者単独の情報だけでは把握する事が出来ないものであるため、有用な結果を得ることができたと言える。また、大規模イベント開催時の流動解析では、イベント会場までの観戦客の足取りや出身都道府県を把握することができたなど、今までの情報では把握できなかった人流情報を把握することができたと言える。しかしながら、一方でラグビーワールドカップという大規模イベントでありながら、観戦客の出身都道府県が東京と神奈川に集中していた点については、システムの特性上 24 時間遡った滞在場所を出身地として判別していることから、このような結果となってしまった。こうした点については今後改善の余地があることから、さらに本システムの使用について改善を重ねることで、様々な事象について分析が可能なものとなるようにしたいと考えている。

文 献

- (1) Huimin, W., Zhongwei, H., Jifu, G., Liyun, Z. and Jianping, S. : "Operational analysis on beijing road network during the olympic games", *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology* 8(6), pp. 32-37 (2008)
- (2) Ikezawa, S., Kanasugi, H., Matsubara, G., Akiyama, Y., Adachi, R. and Shibasaki, R. : Estimation of the number of railway passengers based on individual movement trajectories. In: 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON CARTOGRAPHY AND GIS, p. 249 (2016)
- (3) Itoh, M., Yokoyama, D., Toyoda, M., Tomita, Y., Kawamura, S. and Kitsuregawa, M.: Visual fusion of mega-city big data: an application to traffic and tweets data analysis of metro passengers. In: 2014 IEEE International Conference on Big Data (Big Data), IEEE, pp. 431-440(2014).
- (4) Maekawa, Y., Uchiyama, A., Yamaguchi, H. and Higashino, T.: Car-level congestion and position estimation for railway trips using mobile phones. In: Proceedings of the 2014 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing, pp. 939-950 (2014)
- (5) Witayangkurn, A., Horanont, T., Ono, N., Sekimoto, Y. and Shibasaki, R. : Trip reconstruction and transportation mode extraction on low data rate gps data from mobile phone (2013)
- (6) Xia, T., Song, X., Fan, Z., Kanasugi, H., Chen, Q., Jiang, R. and Shibasaki, R. 2018. :Deeprailway: a deep learning system for forecasting railway traffic. In: 2018 IEEE Conference on Multimedia Information Processing and Retrieval (MIPR), IEEE, pp. 51-56 (2018)
- (7) 佐原亨、伊藤和敬、坂入整、大塚理恵子、大土橋格、秋吉和也 : 「在来線混雑可視化システムの開発」、鉄道サイバネ・シンポジウム論文集 23、15-19 (2018)
- (8) 角田史記、加藤学、大塚理恵子、助川浩子、大関一博 : 「交通系 IC カードを利用した輸送障害時の影響を定量化する方法の研究」 情報処理学会論文誌 データベース Vol.6 No.3 187-196 (2013)