

# 輸送障害時における旅客流動データの分析手法

信号・情報技術研究部 運転システム研究室  
副主任研究員 國松 武俊

## 1. はじめに

列車の運行に乱れが生じた場合には、列車運行をダイヤ通りに戻すために、列車の運休、順序変更、運用変更等の一連の変更手配が行われる。これを「運転整理」と呼ぶ<sup>1)</sup>。運転整理の実施にあたっては、極力早く計画ダイヤ通りの運行に回復させることの他に、運転再開前後の利用者に不便をかけないことも重要である。鉄道事業者では、指令室で運転再開までの見通しや線区全体の運転状況を把握しながら、状況に応じて支障区間以外での折返運転を実施したり、運休等で列車間隔が開く場合に運転間隔の調整をしたりして、利用者の利便性低下を防止している。しかし、ダイヤ乱れ時の利用者の動向は、利用者が他の路線へ迂回したり、駅の案内放送等を参考に平常時とは異なる列車を選択したりするため、把握が困難で、指令員が経験に基づき推定、運転整理を行っているのが現状である。

ダイヤ乱れ時の旅客流動を予測する既存研究も幾らか提案されているものの<sup>2)3)</sup>、それらは Web アンケート調査結果や、少ないダイヤ乱れ事例から構築した予測手法であり、実際の多くの事例に対する旅客流動の実績を示すデータに基づいて分析する手法は、これまで報告されていない。一方近年では、日々の列車運行の実績データや、利用者データを収集、蓄積する基盤が整いつつある。具体的には、各列車、各駅の着発時刻の実績値や、各列車、区間の乗車人数、利用区間、時間帯別の利用者数データ (OD データ) 等である。これら日々収集、蓄積されるデータを活用すれば、ダイヤ乱れ時の旅客流動もある程度は把握可能と考えられる。

そこで本研究では、これらの実績データを活用して、運転整理に資する旅客流動分析を行う手法を検討する。具体的には、まず、ダイヤ乱れ時の運転整理手法と列車乗車人数の増減との関係を分析するため、実績運行時刻データと乗車人数データを実績ダイヤ図上に可視化する手法を考案した。これにより、当日の列車間隔と乗員の偏りの関係の把握のほか、ある列車の当日の乗車人数が、ダイヤ乱れが発生していない標準日の乗車人数に比べどの程度増減しているかも判定可能である。次に、約1年分のトラブルの概況、実績データを利用し、運転再開前後の各区間の断面通過人数を、重回帰式で予測する「旅客流動予測モデル」を構築した。このモデルでは、説明変数の1つとして運転再開前後における各区間の運転本数を採用しており、折返運転による輸送力の確保等の運転整理の結果、旅客流動が変化することにも対応可能である。

構築した手法を、実在線区におけるダイヤ乱れ時に適用し、その信頼性と有用性を検証、確認した。

## 2. 使用するデータ

本研究で使用する実績データを以下に示す。2.1、2.2 については、ダイヤ乱れ発生日に加え、標準日のデータを作成するため、継続して一定期間のデータを取得する。

### 2.1 実績運行時刻データ

各列車、各駅の実績到着／発車時刻を記録したデータ。軌道回路の在線実績情報と、指令室の

運行管理システムが保持するダイヤ情報により演算され、運行管理システム内に記録される。システム導入範囲内の全列車、全駅の着発時刻情報が取得可能である。

## 2.2 列車乗車人数データ（応荷重データ）

各列車、区間の乗車人数情報。車両に搭載の応荷重装置により計測された重量をもとに乗車人数が推定され、各駅間で計測の都度、無線通信により地上側で収集、蓄積される。

## 2.3 輸送障害の概況、運行情報配信履歴

- ・輸送障害（ダイヤ乱れの原因となったトラブル）の日付、曜日、発生箇所、トラブルの種類、発生時刻、全面運転再開時刻
- ・運転中断線路（当該路線のみ運転中断か、当該路線と並走路線の両方が運転中断か）
- ・事業者のホームページに掲載された、運転再開見込時刻と、それが的中したか否か

## 3. 実績データの可視化による旅客流動把握

### 3.1 目的、手順

ダイヤ乱れ時の折返運転、間隔調整等の具体的な運転整理手配と、各列車の乗車率との関係进行分析するために、実績運行時刻データと乗車人数データを用いた可視化を行う。具体的には、当日の実績運行時刻データを利用して、各列車、各駅の実績着発時刻に基づき、ダイヤ図上の列車スジの描画位置を指定する。そして、各列車、各区間の列車スジの色、太さを、当日の乗車率に応じて指定する。スジの色は、乗車率の低い場合は青色系に、高い場合は赤色系としたうえで、高い場合はさらにスジを太線として強調する。

そして、各列車・区間の乗車率と曜日別標準乗車率との差分が一定値以上の列車スジの始点に●印を付加する。●印は、乗車率増加の場合は赤系、減少の場合は青系で着色する。

### 3.2 実際のダイヤ乱れに対する可視化例

上記のプロセスに基づき、あるダイヤ乱れ当日の実績データを可視化した結果を図1に示す。この路線は、駅11～20間では、2路線が並走している。この日は、駅26で人身事故が発生し、駅26を通過する列車運行が約1時間中断した。図の下側のダイヤ図が、トラブル発生時の当該路線であり、上側が並走路線である。

まず、運転中断直後から、ダイヤ図上側、並走路線の列車スジの多くに赤い●印が表示されている。これは、当該路線の運転中断に伴い、並走路線のある駅11～20間の利用者が並走路線へ迂回したためである。次に、

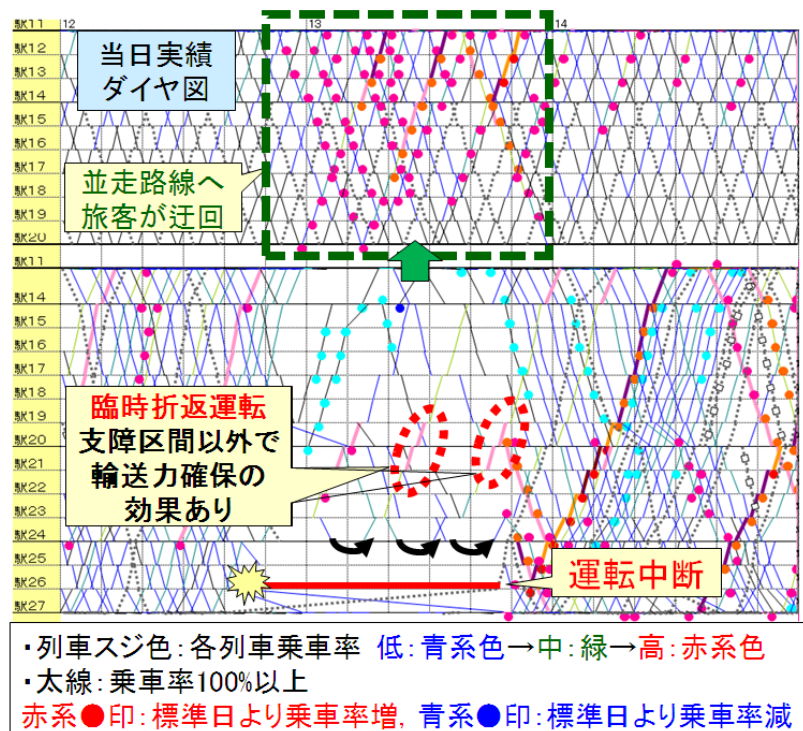


図1 旅客流動可視化例（当日実績ダイヤ図の着色）

当日は再開まである程度の時間を要すると見込まれたため、駅 24 において駅 11 方向へ 3 個列車の折返運転を実施した。その臨時折返列車のうち、図中下段の赤点線の丸で囲い表示される 2 個列車は、特に駅 20 付近では太線で 100%以上の乗車率となり、一定の利用者が乗車していたことがわかる。

#### 4. 旅客流動予測手法の構築

##### 4.1 目的と対象

次に、実際のトラブル発生直後に、運転再開まで、または再開後の各区間の必要輸送力を把握するために、再開前後の区間別通過人数を定量的に予測する「旅客流動予測モデル」を、過去のダイヤ乱れ時の実績データを利用して構築する。モデル構築には、前章と同様、実績運行時刻データと乗車人数データを収集、利用する。ダイヤ乱れは頻度が少ないため、対象路線での実績データの収集期間を約 1 年間とし、その間に運転中断を伴う人身事故が発生し、かつ運転中断時刻、再開見込案内内容、再開時刻等のトラブルの概況が漏れなく収集できた、28 事例のデータを使用する。

予測対象としては、運転中断～再開まで、および運転中断～再開 1 時間後までの各区間の断面通過人数の増減率とする。対象を個別の列車の乗員ではなく、運転中断、再開時刻を基準とした一定時間の断面通過人数増減率とするのは、時間帯による本来の需要そのものの変動、差異と、局所的な運転間隔の疎密による影響を排除し、運転整理により充当される列車本数、輸送力が大局的にみて十分か否かを判断するためである。

なお、断面通過人数増減率の算出にあたり、分母となる標準日における断面通過人数が必要となるが、これには 4.2 節同様、1 ヶ月分の実績データを利用し、各曜日、時間帯、区間の断面通過人数の中央値を採用した。

##### 4.2 重回帰分析による予測モデル構築

予測モデルの構築には、重回帰分析を利用する。被説明変数を運転中断～再開まで、および運転中断～再開 1 時間後までの各区間の断面通過人数の増減率とし、説明変数を①トラブルの概況（発生箇所、支障区間、発生時間帯、不通時間長）、

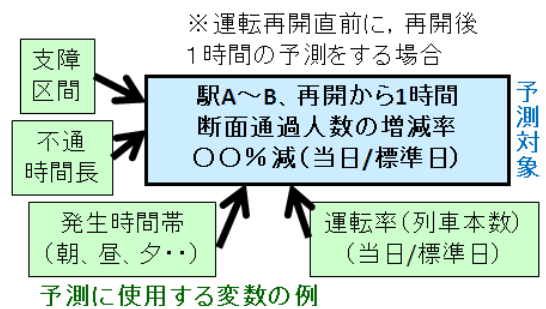


図 2 予測モデルのイメージ

支障区間、発生時間帯、不通時間長)、②各区間の特徴（並行線区有無、他社線との接続有無）、③再開見込案内的的中有無、④当該区間に運転整理で設定される列車本数(対計画ダイヤ比率)の 4 区分の情報、計 18 個とした。また、説明変数の選択には、ステップワイズ法を利用した(図 2)。

運転中断～再開1時間後 予測式				支障発生箇所D			支障時間長D			再開見込D			中断中 運転率
区間	上下	重相関係数	切片	駅14 以下	駅14～20	駅20～27	30分 以下	30～60分	60～90分	外れ前	外れ後	...	
駅1～駅20	下り	0.86	-0.25	0.07	-0.16	-0.07	0.00	-0.12	-0.17	0.00	-0.53	...	0.31
駅20～駅27	下り	0.88	-0.24	0.09	0.00	0.04	0.05	0.00	-0.03	-0.02	-0.18	...	0.31
駅27～駅32	下り	0.82	-0.08	0.00	-0.16	0.00	0.13	0.00	-0.20	-0.11	0.00	...	0.42
駅1～駅20	上り	0.85	-0.39	0.22	-0.08	0.00	-0.07	-0.22	-0.27	0.04	-0.58	...	0.37
駅20～駅27	上り	0.80	0.19	0.07	-0.07	-0.09	0.00	-0.15	-0.17	-0.03	-0.36	...	0.08
駅27～駅32	上り	0.76	0.08	0.00	-0.26	0.00	0.00	0.00	-0.14	-0.11	-0.14	...	0.31

◆ 1行目の場合 ※重相関係数:0.86(予測式の精度)

下り線 駅1～19間 断面通過人数の増減率 (運転中断～再開1時間後)  
 $= -0.25 - 0.07 \times (\text{駅14以下の輸送障害D}) - 0.17 \times (60\sim90\text{分間運転中断D}) + 0.31 \times (\text{中断～再開まで運転率}) + \dots$

予測時点(運転再開時)に入手可能な情報

※1:「○○○D」は、ダミー変数 (あてはまる場合に1、あてはまらない場合に0)  
 ※2:説明力が無く、採択されない変数:0.00と表示

図 3 予測モデル構築結果

実在路線を対象に、旅客流動予測モデルを構築した結果の一部を図 3 に示す。当該路線上下線の運転中断～再開、再開 1 時間後までの各区間の断面増減率が、駅 11～20、駅 20～27 のそれぞれについて、どのような重回帰式で表されるのかを示している。表中の各

項目は、対応する説明変数の偏回帰係数で、モデルとして選択されない変数には 0.00 が記載されている。また、説明変数に「D」の表記があるものはダミー変数で、該当する場合には 1、しない場合には 0 をとる。構築した予測モデルの重相関係数を比較すると、0.73～0.88 と、良好な予測結果を示した。

### 4.3 予測モデルの検証

モデル構築に使用しなかった 5 件の輸送障害日データを使用し、実際の断面通過人数と予測モデルによる断面通過人数を比較検証した。そのうち 2 事例、運転再開～再開後 1 時間の比較結果を図 4 に示す。誤差等の定量的な評価も行った結果、運転再開前後の列車本数を検討する目的では、耐えうる精度であることを確認した。

## 5. おわりに

輸送障害時に適切な運転整理を行うことを目的に、旅客流動を各種実績データを用いて分析する手法を提案した。実績データの可視化手法は、当日の運転整理内容と、各列車の乗車率の増減との関係を容易に把握可能で、指令室での当日の運転整理手配の振り返り等に活用可能である。また、旅客流動予測モデルは、輸送障害の概況だけでなく、再開見込案内情報、運転整理で確保される各区間の列車本数から、各区間の断面通過人数を予測しており、再開前後の輸送力過不足等の検討に活用可能である。

今後、対象事例増加、他路線への適用による検証の継続と、構築したプロトタイプシステムの実務担当者による有用性評価に取り組む予定である。

### (参考文献)

- 1) 電気学会・鉄道における運行計画・運行管理業務高度化に関する調査専門委員会編：鉄道ダイヤ回復の技術，オーム社，2010
- 2) 武藤雅威：運転再開時における旅客数の予測手法の開発，鉄道総研報告，vol. 22, No. 6, pp. 17-22, 2008
- 3) 明星秀一，杉山陽一，松原広：ダイヤ乱れ時の運転再開後の旅客流動予測手法，鉄道総研報告，vol. 27, No. 2, pp. 29-34, 2013

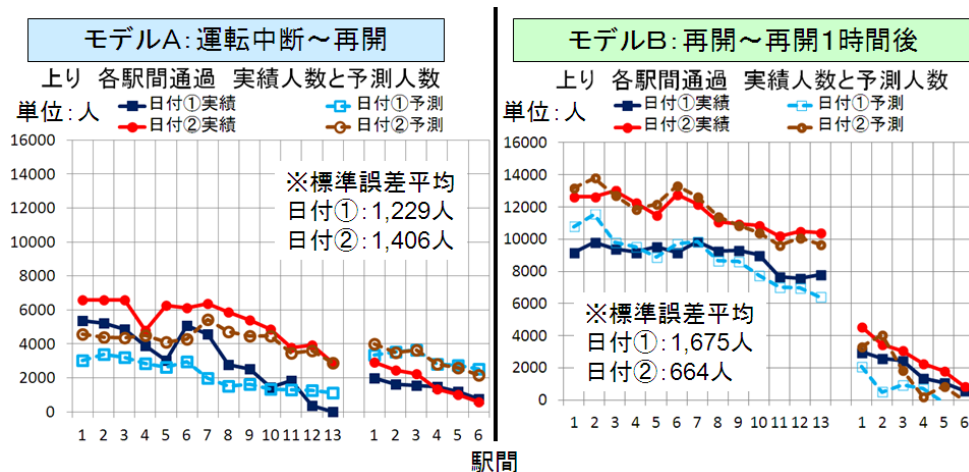


図 4 予測モデル検証結果