

# ダイヤ乱れ時の運転再開後の旅客流動予測手法

明星 秀一\* 杉山 陽一\*\* 松原 広\*\*\*

## A Prediction Method of Passenger Flow upon Resumption of Train Service

Shuichi MYOJO Yoichi SUGIYAMA Hiroshi MATSUBARA

In an event of train service suspension of tens of minutes, railway passengers affected by it have three options: 1. waiting for resumption of service, 2. taking indirect routes to their destination, and 3. cancelling their trips. Passenger flow varies in accordance with the difference of selection rate of these options. Rescheduling the train timetables without considering this change of passenger flow may easily causes over-crowded or over-capacity of trains. This paper explains our prediction method that calculates passenger flow upon resumption of train service using OD data - the number of passengers between each origin and each destination - on a similar event in terms of the day of the week, time of the occurrence of the train suspension, etc. This paper also introduces the prediction result on a day when train service was actually disrupted.

キーワード：旅客流動，自動改札機，OD データ，予測，ダイヤ乱れ

### 1. はじめに

鉄道において運転事故や輸送障害によりダイヤに大幅な乱れが生じたとき、当初の計画通りの列車ダイヤで列車を運行するとダイヤが乱れたまま元に戻らないため、一時的に列車ダイヤを変更し、乱れたダイヤを正常に戻そうとする運転整理と呼ばれる作業が行われる。ダイヤを早期に正常に戻すには、運転再開後の旅客流動を考慮した運転整理案とすることが有効と考えられ、それを作成するには、運転再開後の旅客流動を予測する手法と、旅客流動を考慮した運転整理案を短時間で作成する手法が必要である。大幅なダイヤ乱れが発生したときの旅客がとる行動には、①運転再開まで待機、②他の路線や交通機関に迂回、③旅行そのものを中止等が考えられ、これらの選択肢を旅客が選択する割合は旅客の利用駅や運転抑止の時間等により変化するため、結果として運転再開後の旅客流動はダイヤ乱れ毎に異なる。

これまで、平常時の旅客流動予測については、乗車人員の実績値をもとに自己回帰モデルなどを用いて新幹線の利用人数を予測する手法の研究事例<sup>1)</sup>や、パターンマッチングや自己回帰モデルを用いて駅の入出場人数を予測する手法の研究事例<sup>2)</sup>などがあり、また座席予約システムのデータをもとに指定席の販売推移から当日の需要を予測し、臨時列車を設定するということが既に行われている<sup>3)</sup>。自己回帰モデルを用いた予測は、旅客流

動に関する過去の時系列データから予測値を計算するモデルを統計的に構築するもので、突発的にデータが変化するダイヤ乱れへの適用は難しい。パターンマッチングによる予測も突発的な事象であるダイヤ乱れへの適用は困難である。

本研究は、指令員が需要を考慮した運転整理を行う際に必要となる輸送力に関する情報の提供を目指し、発生日時等のダイヤ乱れの状況が類似する過去の旅客流動データを活用することで予測する手法を検討し、実際のダイヤ乱れ時のデータを用いて同手法の可能性について確認を行うことを目的とする。

### 2. 取扱対象の旅客流動データ

#### 2.1 本研究で対象とするデータ

鉄道における旅客流動とは、駅構内等で旅客自ら歩行することにより発生する人の流れと、旅客が列車に乗車し鉄道ネットワーク内を移動する人の流れの二つがあり、本研究では後者を対象とする。後者の意味の旅客流動を把握するためのデータには、個別の列車の乗車人員、出発駅と到着駅の組合せ毎の利用人数である OD (Origin and Destination) データなどがあり、最近では乗車人員を検知する機能を備える車両や OD データを蓄積できる自動改札機の普及が進みつつある。

自動改札機が蓄積する OD データは、後述のとおり各駅に到着する人数を到着した時間帯ごとに集計したもの（以下、着駅基準の時間帯別 OD データという）で、列車運行の影響を受けるため、実施された運転整理によ

\* 信号・情報技術研究部 ネットワーク・通信研究室

\*\* 信号・情報技術研究部

\*\*\* 信号・情報技術研究部 交通計画研究室

特集：輸送計画・情報技術

て変化する。これは、各列車の乗車人員データも同様である。一方、各駅を出発する人数を出発する時間帯ごとに行先別に集計した OD データ（以下、発駅基準の時間帯別 OD データという）は運転再開までの時間の影響は受けるものの、列車の運行そのものによる影響は小さいと考えられる。そこで、発駅基準の時間帯別 OD データの予測を目指し、改札機から得られる着駅基準の時間帯別 OD データ（以下、単に時間帯別 OD データというときは、着駅基準の時間帯別 OD データを意味するものとする）を用いた旅客流動の予測手法を検討する。

2.2 ダイヤ乱れ時の自動改札機データ

2.2.1 自動改札機データの概要

自動改札機の主たる機能は乗車券の有効性判定による旅客の通行制御であるが、その一方で自動改札機は通過する人数を計数するカウンタとしての機能も併せ持っている。この機能を用いて予め設定された時間帯に通過した人数を方向（入場もしくは出場）別に集計したデータが時間帯別通過データである。時間帯別通過データのイメージを表1に示す。通過データには入場と出場の両方向のデータが含まれているが、このうち出場データを旅客の発駅別に集計したものが着駅基準の時間帯別 OD データである。時間帯別 OD データのイメージを表2に示す。

それぞれのデータにおいて、集計する時間帯の長さは鉄道事業者や駅によって異なり、また、同一駅の改札機であっても朝のラッシュ時間帯は短い間隔で集計し、日中は長い時間帯で集計するという具合に、1日の中でも異なる場合がある。

表1 時間帯別通過データのイメージ

日付	時間帯 No	開始時刻	終了時刻	駅	方向	定期券	普通券	...
2013/02/01	1	3:00	5:59	α 駅	入場	△△人	▲▲人	...
2013/02/01	1	3:00	5:59	α 駅	出場	▽▽人	▼▼人	...
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
2013/02/01	2	6:00	6:59	α 駅	入場	◇◇人	◆◆人	...
2013/02/01	2	6:00	6:59	α 駅	出場	□□人	■■人	...
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

表2 時間帯別 OD データのイメージ

日付	時間帯 No	開始時刻	終了時刻	発駅	着駅	定期券	普通券	...
2013/02/01	1	3:00	5:59	β 駅	α 駅	○○人	●●人	...
2013/02/01	1	3:00	5:59	γ 駅	α 駅	◎◎人	□□人	...
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
2013/02/01	2	6:00	6:59	β 駅	α 駅	■■人	◇◇人	...
2013/02/01	2	6:00	6:59	γ 駅	α 駅	◆◆人	△△人	...
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

2.2.2 本研究に用いたデータ

本研究で用いた自動改札機データを収集した駅を図1

に示す。A 駅および D 駅は大都市のターミナル駅であり、調査路線の駅と並行他社線の駅が近接している。一方、B 駅および C 駅は調査路線の速達列車が停車する駅であるが、並行他社線の最寄駅 B' 駅および C' 駅とはそれぞれ約 1.5km、約 2.5km 離れている。

今回の研究において、この4駅の通過データ及び4駅間の時間帯別 OD データの分析を行った。

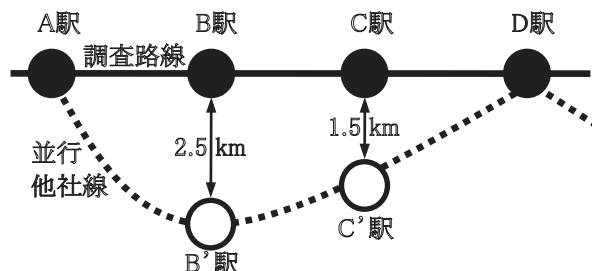


図1 分析対象の駅と並行する他社線の位置関係

2.2.3 ダイヤ乱れが自動改札機データに与える影響

運転抑止等が発生したときに旅客がとる行動として、①運転再開まで待機、②他の路線や事業者への迂回、③旅行の中止が考えられる。そして、これらの利用行動により、自動改札機データには、通過人数の増加、減少、後ろの時間帯へのシフト（ある時間帯の通過人数の減少と別の時間帯の通過人数の増加）といった影響が現れる。

図2は図1のC 駅において、ダイヤ乱れが発生した日に改札内への入場後に同じ駅の改札機を通過して改札外に出場した人数を表しており、ダイヤ乱れ発生後の同一駅での入出場人数が一週間前の同じ曜日の日より大幅に増加している様子をはっきり現れている。

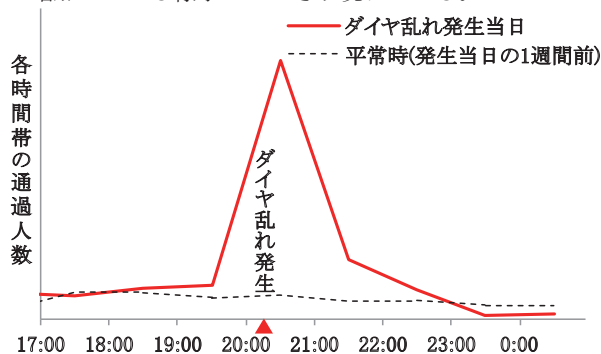


図2 同一駅入出場人数の増加の例

図3および図4は、平日の18時台にダイヤ乱れが発生したときの時間帯別 OD データの例で、図3はA 駅発、B 駅着の、図4はA 駅発、D 駅着の時間帯別 OD データを示している。図3において、18時台の利用人数の減少分と19時台の増加分に大きな違いがない。このことから、ここではダイヤ乱れ発生後、多くの旅客がA 駅や途中駅の改札内において運転再開を待っていたものと推測される。一方、図4では、18時台と19時台の利用人数が減少しているが、その後の時間帯に利用人数の

増加がみられないことから、18時から20時までの利用人数の減少分が迂回ないし旅行を中止したと考えられる。

図5は、図3と同じA駅発、B駅着の時間帯別ODデータであるが別の日に発生したダイヤ乱れによる利用人数の変化を表したもので、ダイヤ乱れ発生後の利用人数が平常時より増加していることが見て取れる。この原因と

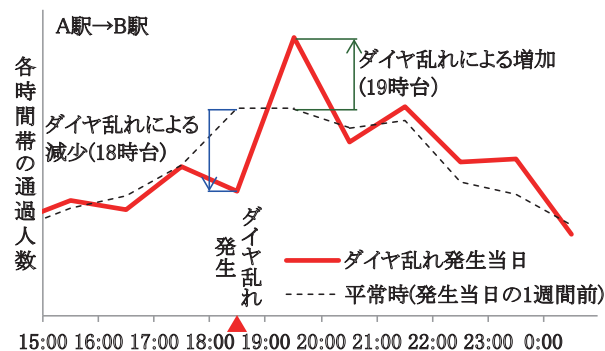


図3 ダイヤ乱れによる利用者の到着時間帯のシフトの例

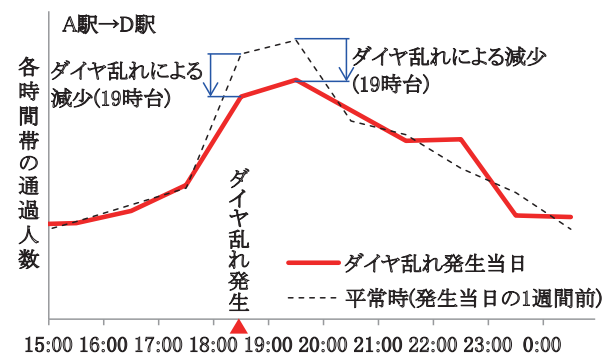


図4 ダイヤ乱れによる利用者減少の例

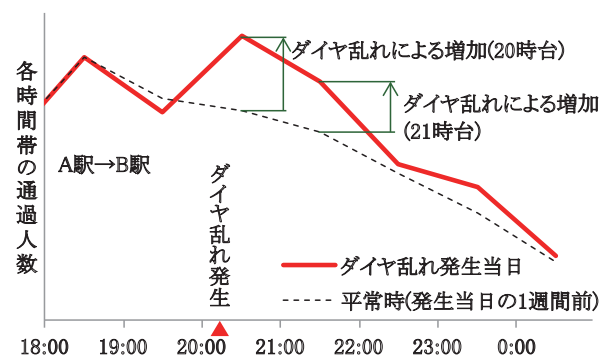


図5 ダイヤ乱れによる利用者増加の例

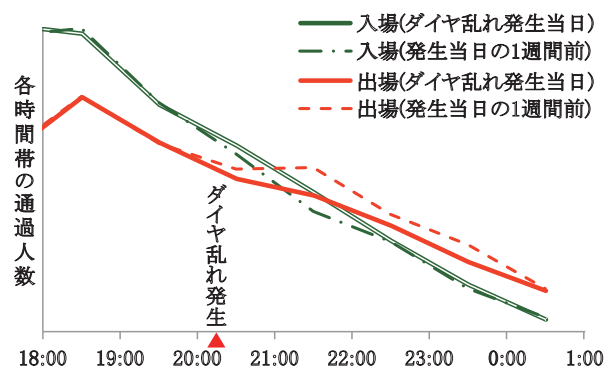


図6 B駅での入場人数と出場人数の変化

しては、遠くまで移動する予定の旅客が、B駅で一旦出場し運転再開を駅の外で待っていたためと考えられるが、B駅から別の交通機関に迂回するために降車した可能性もある。図6は、図5と同じ日のB駅の入場人数と出場人数を表したもので、図5の利用人数を含む出場人数全体はダイヤ乱れ発生後に平常時より減少している一方、入場人数は平常時よりわずかながら増加している。この入場人数の増加の原因は、①誤差、②遠くまで移動する予定の旅客が駅の外で待機していた可能性、③この駅まで別の交通機関で迂回してきた旅客の可能性が考えられる。

なお、図2から図6までの例からも分かるが、同じダイヤ乱れにあっても異なるODでは旅客の行動が異なり、同じODであっても異なるダイヤ乱れでは旅客の行動が異なっている。

### 3. 提案する旅客流動予測手法

#### 3.1 予測手法の概要

以前に経験したダイヤ乱れと類似のダイヤ乱れが発生した場合、旅客全体として前回と同様の行動をとることが期待できる。本予測手法は、この仮説をもとに自動改札機から取得可能な時間帯別ODデータを長期間蓄積し、ダイヤ乱れ発生時に、蓄積されたデータから属性（曜日、時間帯、運転再開までの時間）が類似する日のデータを検索し、そのデータを活用することでダイヤ乱れ発生後の発駅基準の時間帯別ODデータを予測するというのが基本的な考え方である。

具体的には、ダイヤ乱れ時に旅客の迂回行動や旅行中止による旅客数の減少率を迂回率とし、蓄積されたダイヤ乱れ時の迂回率の中から属性が類似するダイヤ乱れ時の迂回率を取り出し、ダイヤ乱れが発生しなかった場合の当日の発駅基準の時間帯別ODデータの予測値と取り出した迂回率を元にダイヤ乱れ発生後の発駅基準の時間帯別ODデータを計算する。その概要を図7に示す。

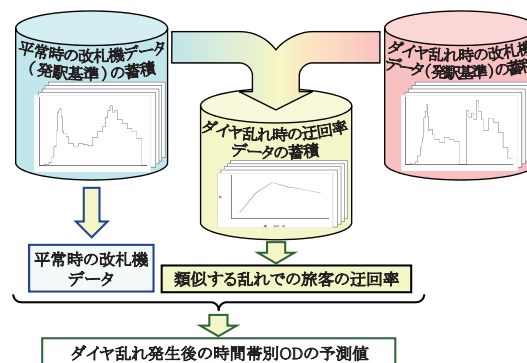


図7 提案する予測手法の概要

#### 3.2 迂回率の計算

ダイヤ乱れ時の迂回率の計算は、そのダイヤ乱れが発

特集：輸送計画・情報技術

生しなかった場合の発駅基準の時間帯別 OD データの予測値と、ダイヤ乱れ時の発駅基準の時間帯別 OD データの実績から計算する。現実的には、ダイヤ乱れが発生しなかった場合の予測値は、ダイヤ乱れがほとんど生じていない直近の同じ曜日の発駅基準の時間帯別 OD データで代用可能である。発駅基準の時間帯別 OD データは以下の手順で着駅基準の時間帯別 OD データから計算する。

3.2.1 平常時の発駅基準の時間帯別 OD データの計算

予め各駅間の標準所要時間を計算しておき、図8に示すように着駅基準の時間帯別 OD データの各時間帯の人数をそのまま標準所要時間 ( $T_{AB}$ ) だけ前にスライドする。通常は図8に示すように二つ以上の時間帯にまたがり、時間帯  $i-2$  には  $\alpha/(\alpha+\beta)$ 、時間帯  $i-1$  には  $\beta/(\alpha+\beta)$  だけ割り当て、A 駅から B 駅への発駅ベースの時間帯別 OD を算出する。

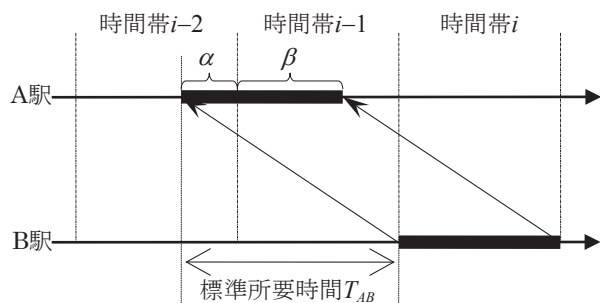


図8 標準所要時間を用いた発駅基準の OD への変換

3.2.2 ダイヤ乱れ時の発駅基準の OD の計算

(1) 実績ダイヤを用いる場合

実績ダイヤを利用できる場合、発駅基準の時間帯別 OD データへの変換は、平常時およびダイヤ乱れ時ともに図9に示すように、全ての利用者が最速の乗継経路を利用して移動したものと計算する。例えば図9では、列車  $k$  が B 駅に到着してから列車  $k+2$  が B 駅に到着するまでの時間に出場した旅客は、全員が列車  $k$  の利用者であるものとして扱う。また、A 駅から B 駅に移動する利用者は途中で列車  $k+2$  に追い越される列車  $k+1$  を利用しないものとし、列車  $k+2$  が到着してから列車  $k+3$  までの時間に出場した旅客は全員が列車  $k+2$  の利用者であるものとして扱う。また、列車  $k+3$  は運転抑止中の最後の列車であるが、運転抑止中に出場した利用者は全て列車  $k+3$  を利用したものとして計算する。着駅基準の時間帯別 OD データから各列車の利用人数を計算する際、ある列車が到着してから次の列車が到着するまでに出場した人数は、その列車間の時間の長さに比例するものとし、例えば図9において列車  $k+2$  の利用人数は、時間帯  $i$  の B 駅到着人数に  $T_{i,k+2}/(T_{i,k}+T_{i,k+2})$  を乗じたものになる。一方、A 駅を出発する旅客は、列車  $k$  の発車後に一定の割合で A 駅に出現し、列車  $k$  の発車から列車  $k+2$  の発車までに出場した旅客全員が、列車  $k+2$  を利用したものとしている。

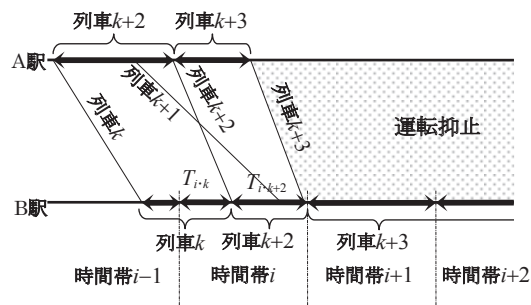


図9 実績ダイヤを用いた発駅基準の時間帯別 OD データへの変換

(2) 実績ダイヤを用いない場合

運転抑止を伴うダイヤ乱れが発生したときのダイヤの典型的なパターンを図10に示す。上り下り双方で運転不能な場合、ダイヤ上の運転不能領域は、輸送障害発生から運転再開までの時間を底辺とし、上り方面/下り方面に列車ダイヤとはほぼ平行に延びる四辺形状であることが多い。つまり、実際に列車が抑止されている時間は、駅によって少しずつずれていることが多いことを示している。また、列車の運転本数や駅間所要時間は、運転再開後も大きく変化していない。

この性質を利用して、ダイヤ乱れ時の着駅基準の OD データから発駅基準の時間帯別 OD データに変換する場合、まず図10のように運転抑止の範囲を示す平行四辺形をダイヤ図上に描き、所要時間だけ遡る平行四辺形が運転抑止の平行四辺形と交わる場合に抑止時間だけ前の時間にずらす。図11において、D 駅に①の時間帯に到着する旅客は赤の実線のスジを通ったものとみなし、②の時間帯に到着した旅客は薄緑の網掛けの範囲を均等に利用したものとして、各発駅の出発時間に変換すること

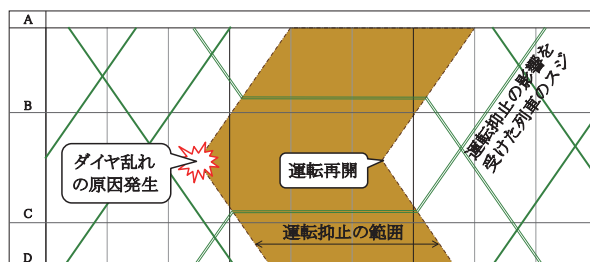


図10 輸送障害時の実績ダイヤのイメージ

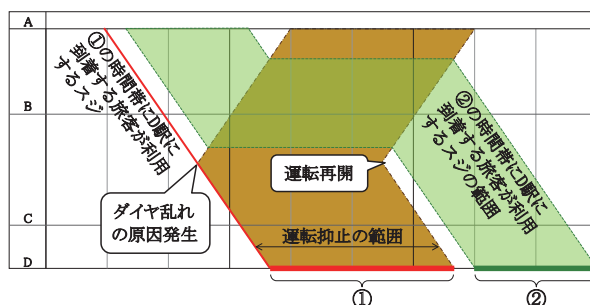


図11 抑止時間だけ前方にずらして変換する方法

ができる。なお、運転抑止の影響を受けない時間帯は、通常の駅間所要時間だけ遡って発駅の出発時間帯を算出する。同様に、平常時の発駅基準の時間帯別 OD データも、各駅間の標準的な所要時間で計算する。図 1 の D 駅到着時間で集計した、A 駅発 D 駅着の着駅基準の時間帯別 OD データを発駅基準に変換した例を図 12 に示す。

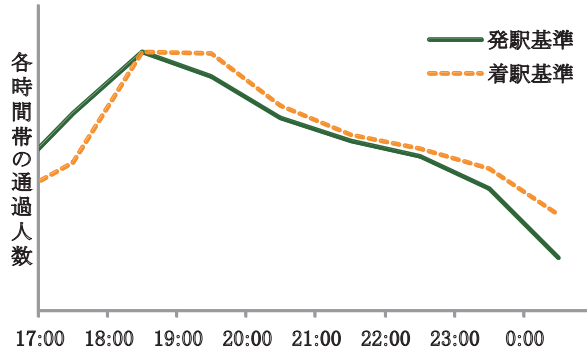


図 12 発駅基準への変換例

### 3.2.3 迂回率の計算

ダイヤ乱れ発生時の迂回率は、その日に乱れが発生しなかった場合の予想される発駅基準の時間帯別 OD データに対する変化の割合である。今回は、乱れが発生しなかった場合の予測値は、以下の条件を満たした直近の実績データを用いている。

- ① 曜日が同じ
- ② 平日／休日の種別が同じ
- ③ 大きなダイヤ乱れが発生していない

該当する日の時間帯別 OD データを 3.2.1 項の方法で発駅ベースの時間帯別 OD データに変換し、過去のダイヤ乱れ発生日の実績データを 3.2.2 項に記載した方法で発駅ベースの時間帯別 OD データに変換する。このようにして得られた、乱れ時の発駅基準の時間帯別 OD データの実績と乱れなかった場合の予測値から、以下の式により各時間帯における迂回率を計算する。

$$\text{迂回率} = \frac{\text{平常時の旅客数} - \text{ダイヤ乱れ時の旅客数}}{\text{平常時の旅客数}}$$

なお、ここでいう迂回率は 3.1 節で述べたとおり、迂回および旅行中止による旅客の減少率のことであり、必

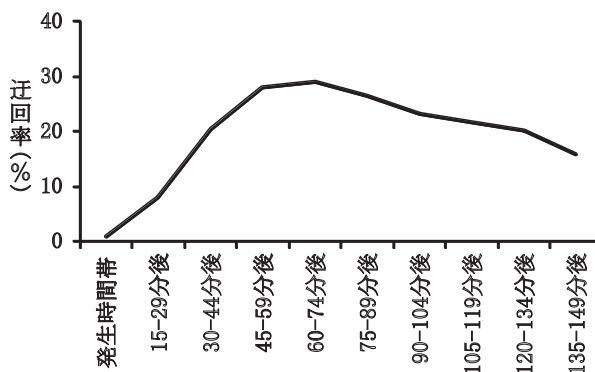


図 13 迂回率の計算結果の例

ずしも実際に迂回した旅客の割合を示すものではない。図 13 に、図 1 における A 駅から D 駅までの利用者の迂回率を計算した例を示す。

### 3.2.4 類似日の検索

前項の迂回率のデータを発生日時、支障時間、支障箇所、支障の種類属性データとともに蓄積して、実際にダイヤ乱れが発生した時の旅客流動を予測する際は、発生した日の属性（平日、土曜、休日）、時間帯、支障時間が一致又は近い日を検索し、該当する日の迂回率データを予測に用いる。

### 3.2.5 予測値の計算

旅客流動の予測値の計算は、以下の式に示すように旅客流動の予測を行う日の発駅基準の時間帯別 OD の予測値に前項で計算された迂回率を乗じた値を減じて行う。時間帯別 OD データの予測値は 3.2.3 項の①から③の条件を満たした直近の実績データを使っている。

## 4. 実データを用いた予測事例

### 4.1 予測に用いたデータ

実際にダイヤ乱れが発生したときの実績データを前章で提案した予測手法に適用し、予測を行った。予測に用いたデータは表 3 に示す二つの事例のもので、乱れの規模が比較的大きく、発生曜日、時間帯が類似している。

表 3 予測に用いたデータ

	事例 1	事例 2
発生時期	2007 年秋（金曜）	2007 年夏（金曜）
発生事象	列車支障	人身事故
発生時刻	18 時台	19 時台
支障時間	約 30 分（推定）	約 60 分（推定）
支障中の列車運行	無し（推定）	有り（推定）

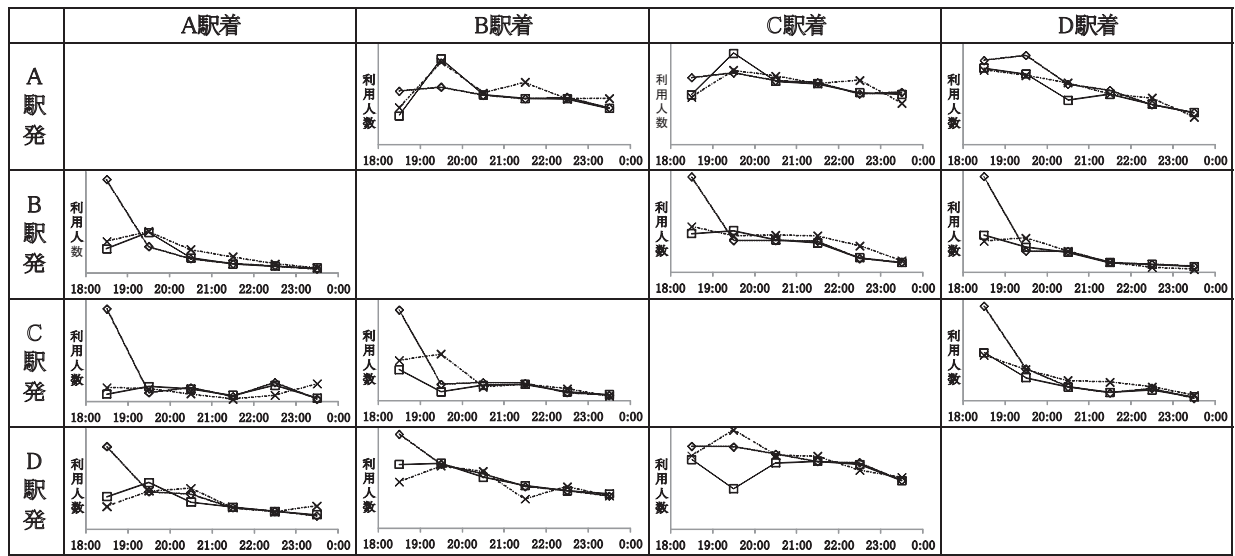
### 4.2 予測結果

実際に予測した結果と実績の比較を図 14 および図 15 に示す。ここでは、実績データと比較するため、発駅基準の時間帯別 OD データを、3.2.1 項および 3.2.2 項と逆の手順で着駅基準に変換している。

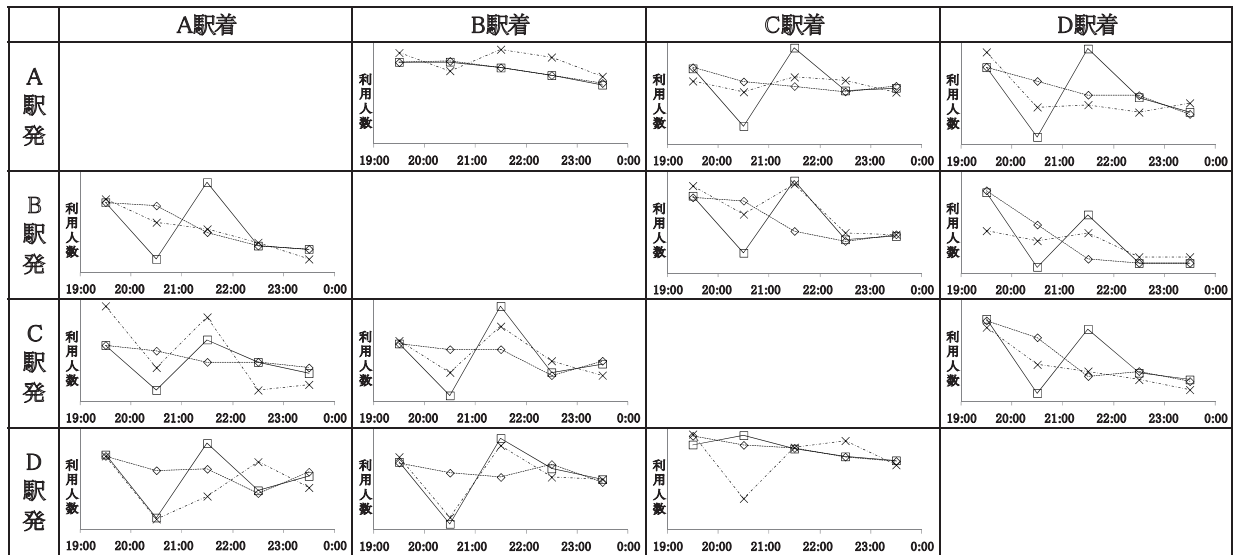
図 14 は表 3 の事例 1 の予測結果であり、予測結果と実績が近い値を示している。図 15 は事例 2 の予測結果であり、予測結果と実績が大きく異なっている。

### 4.3 考察

提案する予測手法は、図 10 に示すように運転再開までは全列車が停止し、運転再開後は平常並みの駅間所要時間と輸送力が確保されているものとして計算している。これは、予測結果である発駅基準の時間帯別 OD データを着駅基準に変換する場合も同様である。事例 1 では



◆---通常時 □---異常時(推定) -×-異常時(実績)  
 図 14 事例 1 の予測結果



◆---通常時 □---異常時(推定) -×-異常時(実績)  
 図 15 事例 2 の予測結果

この前提と同様に運転再開まで全列車が停止していたと推定されるのに対し、事例 2 では本格的な運転再開前に一部列車が運行していたと推定されるため、予測と実績の差異が現れたと考えられる。

の検証が必要であり、今後も検討を深めていきたい。

## 5. おわりに

ダイヤ乱れ時の時間帯別 OD データを分析するとともに、時間帯別 OD データを用いてダイヤ乱れ時の発駅基準の時間帯別 OD データを予測する手法を提案した。実際のデータを用いて予測を行い、予測の前提条件が満たされる場合に提案する予測手法が有効である可能性が示されたものの、条件が満たされていない場合は予測が大きく異なるなど、課題も多いことがわかった。より多く

## 文献

- 1) 松木恭太郎, 寺部慎太郎: 都市間旅客鉄道における時系列分析を応用した短期需要予測, 高知工科大学大学院修士論文, 2004
- 2) 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, Vol.23, No.8, pp.11-16, 2009
- 3) 小島泰昌, 川合慎吾, 佐藤敬範: 東海道新幹線の列車設定の今-1日310本以上走るようになった理由, JREA, Vol.49, No.8, pp.27-31, 2006