

# 列車で移動する人の流れ

明星 秀一

輸送情報技術研究部(旅客システム 副主任研究員)

國松 武俊

同(運転システム 研究員)



みょうじょう しゅういち くにまつ たけとし

## 旅客の流れ

鉄道利用者の全体的な流れを「旅客流動」と言います。この「旅客流動」は利用者が移動することで発生するものですが、二つの種類に分類することができます。一つは、利用者が自らの足で歩いて移動することによる流れで、もう一つは利用者が乗り物に乗って移動することによる流れです。前者は、例えば図1に示すような駅構内での利用者の流れが相当します。これについては、次の「駅における人の流れ」で詳しく述べます。この記事では、後者、つまり利用者が列車に乗って移動することで発生する流れについて述べていきます。

## 列車ダイヤと旅客流動

列車ダイヤは、その良し悪しが利用者の利便性、ひいては利用交通機関の選択に直結する、鉄道会社にとっての商品です。そのため、鉄道会社は利用者のニーズに合った適切な列車ダイヤを設定する必要があります。利用者のニーズに合った列車ダイヤを考えるには、旅客流動を把握しなければなりません。すなわち、「この時間帯はA駅を出発しB駅へ向かう旅客が多い」「この列車は利用が多いが、

あの列車は利用が少ない」など、利用者の利用状況を詳細に把握し、利用の多い区間、時間帯に多くの列車を走らせるなど、利用者の流れに沿った列車設定とすることが望ましいと考えられます。鉄道事業者のダイヤ作成担当者は、このような日常の旅客流動を意識しながら、列車ダイヤの作成を行なっています。

## 旅客流動調査

旅客流動の実態を把握するために、国や鉄道事業者はいくつかの調査を行っています。代表的なものを以下に述べます。

### 1) 大都市交通センサス

大都市交通センサスは5年に一度、東京、名古屋、大阪の三大都市圏で実施される大規模な旅客流動調査です。最も新しい調査は2005年11月に実施されています。大都市交通センサスでは、「鉄道利用者調査票」というアンケート用紙で、利用者が自宅を出発した時間、利用した路線や列車種別(各駅停車、快速など)、目的地に到着した時間などをたずねることで、都市圏の詳細な旅客流動を調査しています。

### 2) 交通量調査

鉄道事業者が独自に行う比較的精度の高い調査です。調査方法には、駅のホームで発着する列車の混雑率を調査員が目視で確認する方法や、利用者に乗車駅で配布した調査票を、降車駅で回収する方法などがあります。

### 3) 乗車人員報告

いわゆる「ノリホ」と呼ばれるもので、調査対象列車の調査対象区間の乗車人員を、乗務員が目視で確認して報告するものです。地域によっては頻繁に停車する通勤電車などが調査対象外となっているため、全列車のデータはそろいませんが、調査対象列車の乗車人員については、毎日調査しています。



図1 朝ラッシュ時の利用者の流れ

## 装置による旅客流動のデータ

利用者の流れについては上記のような調査が行われてい

ますが、人手に頼った方法で全列車の乗車人員を毎日把握することは、あまり現実的ではありません。

そこで、車両や自動改札機などを利用し、それらが記録したデータを用いて、乗車人員などを推定する方法が考えられます。

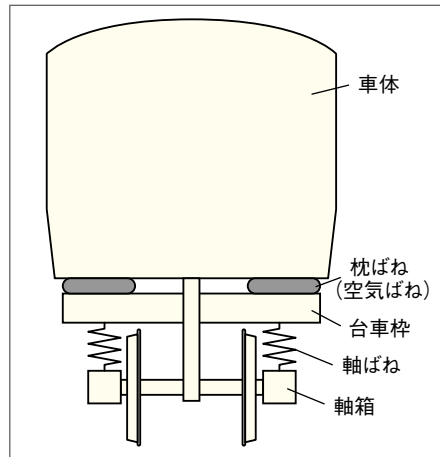


図2 ボルスタレス台車の構造



図3 利用列車の推理

### 1) 空気ばね

図2は、現在広く使われているボルスタレス台車の構造を模式的に表したものです。台車には「軸ばね」と呼ばれる一次ばねと、「枕ばね」と呼ばれる二次ばねがあり、二次ばねには空気ばねが使われています。この枕ばねの中の気圧は、台車枠と車体の間隔が一定に保たれるように、レベリング・バルブにより調整されています。つまり、上の車体部分の重量が重くなればなるほど、空気ばねの気圧が高くなるというわけです。この原理を利用し、営業運転中の枕ばねの気圧と、空車時(人が乗っていないとき)の枕ばねの気圧を比較すると、重くなった分、すなわち現在乗っている利用者全員の総重量を計算することができます。その総重量を、平均的な利用者の体重で割ることにより、およそその乗車人数が計算できます。

最近の車両は、この原理を利用して乗車人員や乗車率を車掌室のディスプレイに表示する機能を備えています。この機能を利用することで、車両ごとの乗車人員をリアルタイムに取得できると期待されますが、今のところデータの信頼性に疑問が残っているようです。

### 2) 自動改札機

現在、大都市圏の駅には、概ね自動改札機が導入されています。自動改札機は、利用者が所持する乗車券が有効かどうかを判定するだけでなく、通過した利用者の人数を、数分から1時間程度の時間帯ごとに記録する機能も備えています。しかも、この記録されたデータは、単なる改札機通過人数ではなく、利用者の出発駅ごとの人数の内訳も含まれています。例えば、10:00から10:15の間にA駅に到着した利用者のうち、x人がB駅から、y人がC駅からといったことが、この記録されたデータから把握できるというわけです。

このような、出発駅と到着駅の組合せごとに利用者的人数を集計したデータをOD(Origin & Destination)データと呼びますが、時間帯別のODデータと、列車ダイヤを組

み合わせることで、利用者の流れを推定することが可能です。

例えば、10:00から10:15の間にA駅に到着したB駅発の利用者x人が利用したであろう列車は、列車ダイヤからある程度推理することができます(図3)。

ここで、利用者が乗車した可能性のある列車は1本に絞りきれないことが普通です。しかし、各列車を使用したときの乗車時間や乗り換え回数など、その列車の便利さを考慮すると、利用者が各選択候補の列車を選ぶ割合を、ある程度推定することができます。この結果、利用者x人のうち、選択候補1には $x_1$ 人、選択候補2には $x_2$ 人が利用したという具合に計算することができます。

このような計算を全ての時間帯について行えば、B駅からA駅に移動した全利用者の流れを把握することができます。さらに、全てのODデータを対象にこの計算を行うと、その鉄道の全時間帯の旅客流動、全列車の乗車人員を得ることができます。ここで得られる乗車人員は、先に紹介したノリホや空気ばねのデータと異なり、図4のように利用者が降車する駅ごとに内訳を表示したり、詳細な分析

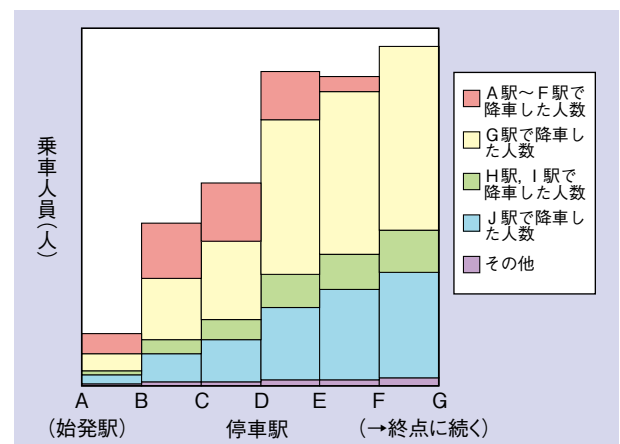


図4 降車駅ごとに集計した乗車人員

をすることが可能です。このように、列車の乗車人員を把握するだけでなく、詳細に分析することで、利用者のニーズにより合致した列車ダイヤの作成に役立つと考えられます。

### 増延

大都市圏の朝のラッシュ時間帯には、特に都心に向かう列車で、混雑した列車が乗降の多い駅に停車し、利用者の乗降に時間がかかり、当初の計画より停車時間が延びてしまうことがあります。これにより、以下のような現象が発生することがあります。

- ①停車時間が延びる。
- ②停車時間が長くなった分だけ乗車する利用者が増える。
- ③列車の出発が遅れが生じる。
- ④次の駅への到着が遅れ、先行する列車との運行間隔が広がる。
- ⑤次の駅で到着を待つ利用者が増える。
- ⑥利用者の乗降時間がさらに伸びる。
- ⑦次の駅の出発が遅れる。

このような悪循環が「増延」と呼ばれる現象です(図5)。増延は、利用者の流れの影響でスムーズな列車運行ができなくなり、その結果、列車の遅れや混雑の形で、利用者に迷惑がかかっている状態とも言えます。

ダイヤ作成担当者は、このような悪循環が起こらないよう、旅客流動を十分考慮してダイヤ案を作成します。しかし、列車がスムーズに運行できるかどうかを事前に検証することは大変困難です。そこで鉄道総研では、旅客流動を推定する方法を応用し、この「増延」を再現できるシミュレーションシステムを開発しました。

### 列車運行・旅客行動シミュレーションシステム

列車運行・旅客行動シミュレーションシステムは、利用者の行動に加え、列車運行時刻(実際に運転される実績時刻)も同時に推定するシステムです。

本システムでは、「増延」を模擬するため、旅客流動推定により推定された列車乗車人数、各駅での乗降人数から、その駅で乗降に必要な時間を計算します。その時間と、所定ダイヤでの停車時間とを比べ、前者が上回る場合には、その分列車が遅れると考えます。このようにして、旅客乗降による列車の遅れが推定できます。

また本システムでは、推定された列車運行時刻、旅客流動を、列車単位の混雑度や遅延の表示画面にわかりやすく示します(図6)。これにより、例えば、ダイヤ改正前にダ

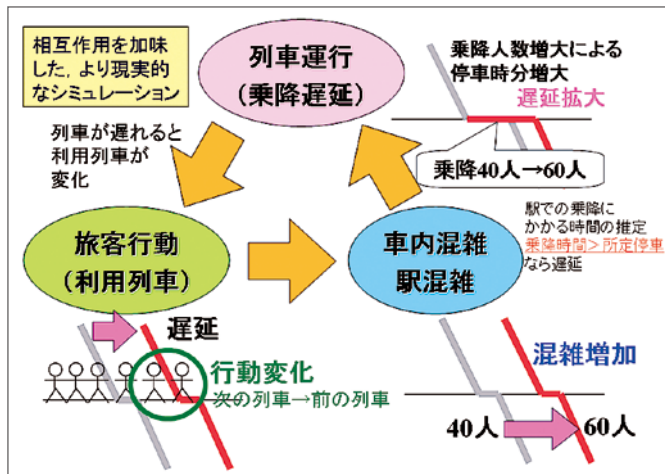


図5 列車運行と旅客行動の相互作用

イヤ案を事前検証するといった使い方や、今のダイヤが利用者にとってどれほど便利なものか、ダイヤの評価を行なう、といった使い方もできます。このうち、後者について詳しく紹介します。

### 列車ダイヤの比較評価

列車運行・旅客行動シミュレーションシステムでは、利用者1人1人の詳細な行動を推定します。すなわち、出発駅から目的駅までの間に、列車に乗るまで何分待ち、どの列車に乗り、どこで乗り換え、目的の駅にいつ頃到着したのか、またどの程度の混雑度を体験したのかといったことをトレースすることができます。これを利用して、ある実在路線の2つのダイヤ案(ダイヤAとダイヤB)について、利用者の視点からの評価を行ないました。

従来、列車ダイヤの評価は、1時間当たりの列車本数、編成両数、快速列車の割合、最も混雑する時間帯の平均混雑率など、列車単位の指標が中心でした。これらの指標は計算が簡単な反面、1人1人の利用者がどれほど便利な／不便なサービスを受けたのかが不明で、必ずしも利用者の視点からの評価とは言えません。そこで、利用者の体験する所要時間、待ち時間、乗換回数、混雑度といったものにより、利用者にとってのダイヤの便利／不便が決まると考え、これらを不効用値という1つの値に集約し、それを各利用者が感じる不効用としました。不効用値は、次の式で表されます。

$$\text{旅客の不効用} = \text{乗車時間} + \text{待ち時間不効用} + \text{乗換不効用} + \text{混雑不効用}$$

この式では、待ち時間、乗換、混雑による不効用の増加分を、乗車時間の増加分に換算しています。この値を、ある列車ダイヤでの1人の利用者の不効用とし、2つの列車ダイヤの評価を行ないました。

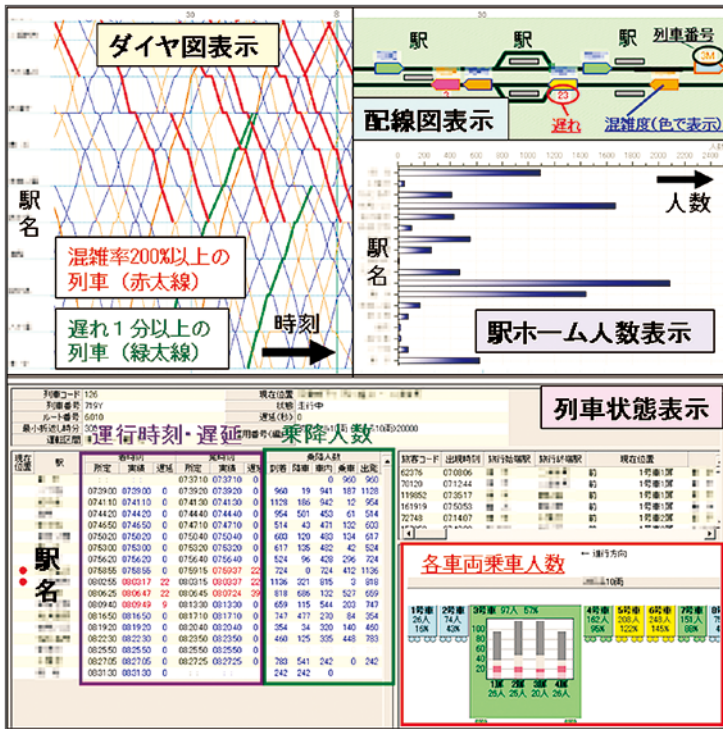


図6 システムの画面の例

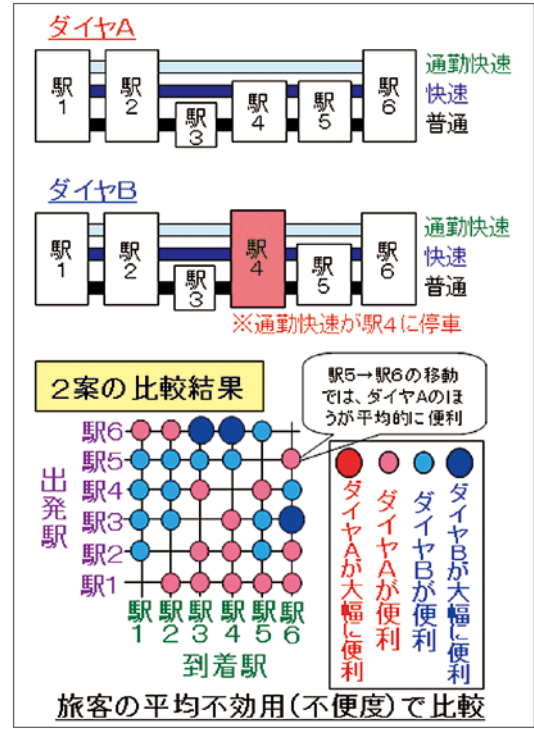


図7 ダイヤ案と評価結果

対象路線の種別ごとの停車駅と、評価結果を図7に示します。ダイヤAとダイヤBの違いは、駅4に通勤快速が停車するか否かです。また、評価結果は、各出発駅一到着駅の組み合わせ毎に、利用者の平均不効用値を計算し、その大小で結果を表しました。駅4に通勤快速が止まるダイヤBのほうが、駅6→駅4、駅3の移動では便利になっていることがわかります。その一方で、駅6→駅1といった利用は、ダイヤBで通勤快速が駅4に止まり、所要時間が延びるため、ダイヤAのほうが便利になっています。このように、列車ダイヤを利用者の視点で比較評価できます。

### おわりに

自動改札機データを使って、列車で移動する人の流れを探る方法を紹介しました。また、それを応用した、増延を再現できるシミュレーションシステムや、列車ダイヤの評価方法についても紹介しました。

利用者は、毎日同じ時間に同じ区間を利用しているわけではないため、利用者の流れは日々刻々変動しています。同じ平日であっても、月曜日と金曜日の違いなど、曜日による差異もあれば、学校の休み期間など季節的な要因による変動もあります。本来であれば、利用者の詳細な流れを毎日正確に把握、予測し、日々変動する流れに対し、日々最適な輸送サービスをタイムリーに提供するのが、最も望ましいといえます。このような、利用者の流れに合わせて提供される利便性の高い輸送サービスのことを、筆者らは

デマンド指向輸送と呼んでいます。

従来の旅客流動調査では、旅客流動の日々の変動を予測するには詳細さや調査の頻度の面で必ずしも十分ではありませんが、本稿で紹介した自動改札機データを用いた旅客流動推定手法を応用することで、日々の旅客流動を予測することが可能になると考えられます。この手法に基づいて需要予測を行ない、デマンド指向輸送の検討につなげたいと考えています。

また、列車運行・旅客行動シミュレーションシステムは、今回紹介したダイヤ改正案の評価、検証だけでなく、ダイヤが乱れたときの運転整理案の評価、利用者への案内方法の評価などへの活用も考えられます。このような様々な方面への応用も、今後検討していきたいと考えています。

RRR

### 文献

- 1) 富井規雄：「列車ダイヤのひみつ」、成山堂書店(2005)
- 2) 国土交通省鉄道局：「鉄道プロジェクトの評価手法マニュアル2005」、運輸政策研究機構(2005)
- 3) 明星秀一、田端隆文、泉利幸、土屋隆司：「自動改札機データによる旅客流動の推定」、J-Rail2006(2006)
- 4) 富井規雄、小野耕司、後藤浩一、福村直登、土屋隆司：「鉄道におけるデマンド指向スケジューリング実現のための課題」、情報処理学会第9回高度交通システム研究発表会(2002)
- 5) 國松武俊、平井力、富井規雄：「列車運行・旅客行動シミュレータの構築」、J-Rail2006(2006)