

列車運行・旅客行動シミュレータ

國松 武俊

輸送情報技術研究部(運転システム 研究員)



くにまつ たけとし

はじめに

鉄道利用者の全体的な流れである旅客流動は、列車ダイヤの策定やダイヤが乱れたときの対応策である運転整理を考えるにあたり、重要な役割を果たします。そのため、旅客流動を把握するために、様々な方法が実施されています。この記事では、シミュレーションを用いて旅客流動を推定する方法について紹介します。また、旅客流動の推定結果を、列車ダイヤや運転整理の検討に活用する方法についても紹介します。

旅客流動と列車ダイヤ

鉄道を利用する旅客は、各自の予定にあわせて駅に現れ、列車ダイヤを見て自分の乗車する列車を決め、その列車に乗って目的駅まで移動します。この一人一人の動きを、その路線の全旅客分集めると、駅や列車内で現実に見られるような、旅客の全般的な「流れ」がわかります。例えば、図1は、駅で列車が到着したときの状況で、列車から駅の改札口に向かう旅客が、川のような流れを形成しています。これを旅客流動といいます。具体的には、ある列車に乗っている人数、ある駅で乗降する人数などが、旅客流動に相当します。



図1 朝ラッシュ時の旅客の流れ

鉄道事業者では、様々な経営施策を検討するうえで、この旅客流動が大変重要な役割を果たします。特に、列車ダイヤは、鉄道会社にとっての商品で、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します。したがって、列車ダイヤの策定にあたっては、旅客の流動が大きい時間帯、区間に多くの列車を設定し、混雑などで利便性が低下しないようにする必要があります。

一方、事故等で列車ダイヤが乱れた場合には、運転整理と呼ばれる、ダイヤを平常に戻すための一連の列車の運休、順序変更、行先変更等が行なわれます¹⁾。運転整理では、列車をたくさん運休させればさせるほど、平常ダイヤへの回復が早くなりますが、そのようにしてしまうと、運休にした列車を利用する多くの旅客に迷惑がかかってしまいます。したがって、ここでも旅客流動を考慮して、なるべく迷惑を被る人が少なくなる方法を考える必要があります。

旅客流動の調査方法

現在、旅客流動の実態を把握するために、いくつかの方法が用いられています。代表的なものを以下に紹介します。なお、これらの方法は、RRR2008年1月号の記事『列車で移動する人の流れ』で詳しく紹介をしていますので、そちらもあわせてご覧ください。

(1) 大都市交通センサス

- ・国土交通省により、5年に一度、東京、名古屋、大阪の三大都市圏で実施される調査
- ・アンケート調査票により、利用者が自宅を出発した時刻、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刻などを尋ねるもの

(2) 鉄道事業者による交通量調査

- ・駅のホームで発着する列車の混雑率を調査員が目視で調査したり、利用者に乗車駅で配布した調査票を降車駅で回収したりする調査

(3) 乗車人員報告(略称「ノリホ」)

・乗務員（主に車掌）が、車内の乗車人数を目視で確認し報告する調査

(4) 応加重装置（ばね圧）による測定

・車両全体を、重さを測る秤とみなし、現在乗っている利用者全員の総重量を測定し、平均的な人間の体重で割ることにより、おおよその乗車人数を計算する方法

(5) 自動改札機データを利用した推定

・駅の自動改札機で記録される乗車券のデータ（乗車駅、降車駅）と、列車ダイヤから、各列車乗車人数を推定する方法

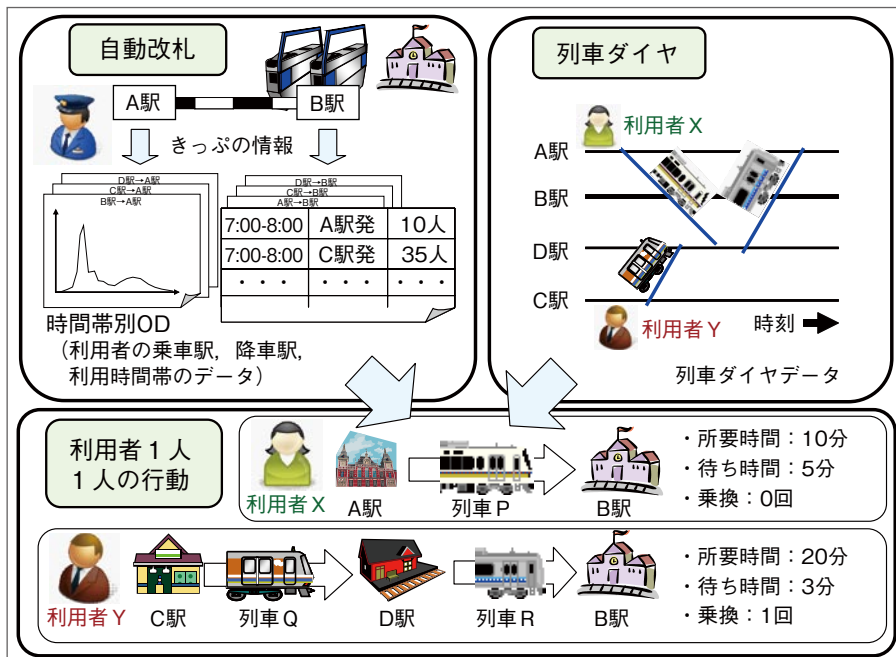


図2 自動改札機データによる旅客行動推定

これらの方法には、詳細さ、精度、実施頻度等で、それぞれメリット／デメリットがありますが、ここでは、広範囲で詳細なデータが取得できる、(5)の自動改札機データから推定する方法を紹介します。

列車運行・旅客行動シミュレータ

自動改札機に蓄積された、旅客一人一人の乗車券データと、列車ダイヤデータを利用すると、旅客一人一人の行動（乗車駅から降車駅まで利用した列車、乗継）が推定できます（図2）。この推定方法を利用して、ある路線の全旅客分の行動を集約し、各列車の乗車人数、各駅での乗降人数といった旅客流動を推定するのが、列車運行・旅客行動シミュレータです。

このシミュレータでは、旅客流動に加え、列車運行時刻（実際に運転される実績時刻）も同時に推定することができます（図3）。列車乗車人数、各駅での乗降人数が推定されると、その駅での旅客乗降に必要な時間を計算することができます。その時間と、所定ダイヤでの停車時間とを比

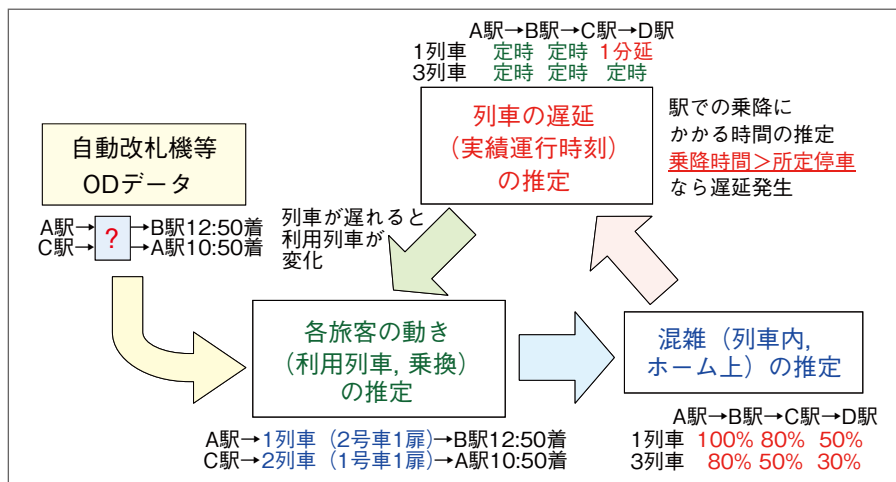


図3 列車運行・旅客行動シミュレータの概要

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。このようにすると、旅客乗降による列車の遅れ、運行時刻への影響が推定できます。旅客流動の推定と列車運行時刻の推定を同時に行ないますので、旅客の集中が列車の遅れをもたらし、列車の遅れがさらなる旅客の集中をもたらしという、いわゆる「増延」と呼ばれる現象も表現することが可能です。なお、増延については、先述の2008年1月号の記事で詳しく紹介をしていますので、そちらもご覧ください。

また、本シミュレータでは、推定された列車運行時刻、

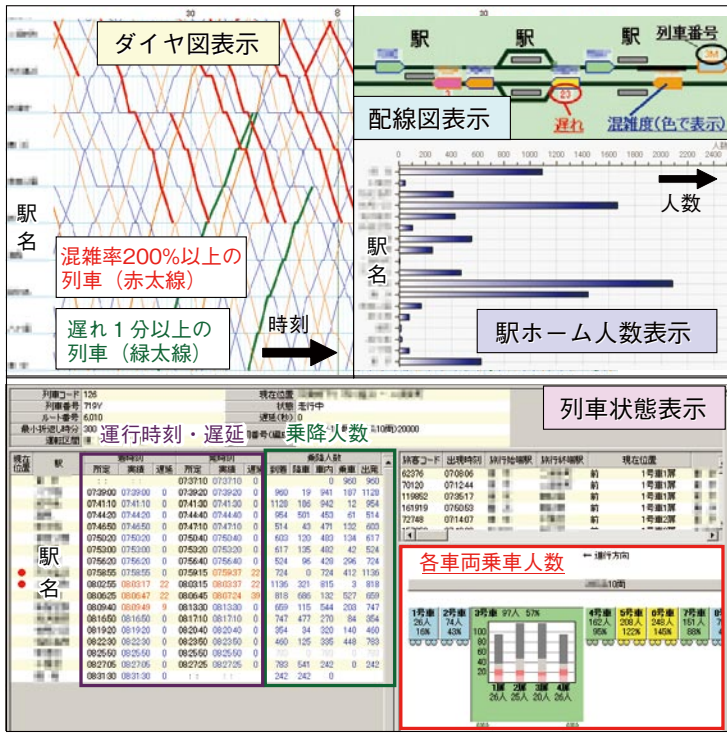


図4 システムの画面の例

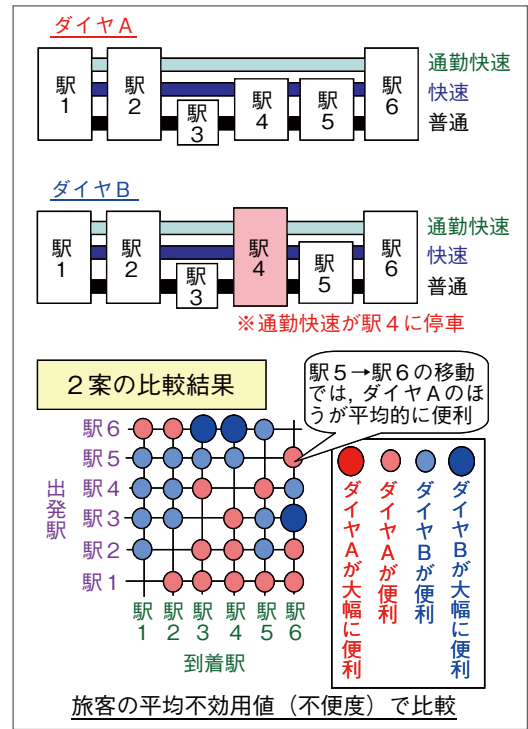


図5 ダイヤ案と評価結果

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表示します(図4)。これにより、例えば、ダイヤ改正前にダイヤ案を事前検証するといった使い方や、今のダイヤが旅客にとってどれほど便利なのか評価を行なう、といった使い方が可能です。

列車ダイヤの比較評価

列車運行・旅客行動シミュレータでは、旅客一人一人の詳細な行動が推定されるため、乗車駅から降車駅までの間に、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、旅客一人一人の体験をトレースできます。これを利用して、ある実在路線の2つの列車ダイヤ案(ダイヤAとダイヤB)について、旅客の視点からの評価を行ないました。

評価方法は、各旅客の体験する所要時間、待ち時間、乗換回数、混雑度により、旅客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、それを各旅客が感じる不便度とします。不効用値は、次の式で表されます²⁾。

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

評価を行なった路線の種別ごとの停車駅と、評価結果を図5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、旅客の平均不効用値を計算し、その大小で表しました。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ることがわかります。その一方、駅6→駅1の利用は、ダイヤBでは通勤快速が駅4に止まり、所要時間が延びるため、ダイヤAのほうが便利という結果になっています。本シミュレータにより、このような列車ダイヤの比較評価が可能となります。

ダイヤ乱れ時への適用

次に、事故等によりダイヤが乱れた時を対象に、ダイヤ乱れ時の旅客流動を推定し、運転整理を評価する方法について紹介します。ダイヤ乱れ時には、運転中断により旅客が特定の駅に大量に滞留し、混乱を引き起こす場合もありますので、旅客流動を精緻に予測することは、大変重要です。しかし、ダイヤ乱れ時には、特定の列車に乗客が集中し増延が発生するほか、列車の遅れや順序について、旅客に十分な案内がなされない、不通区間を避けて他の路線を利用する、迂回乗車(振替輸送)が行なわれる(図6)など、平常時と同じ手法では、旅客流動の推定は困難です。

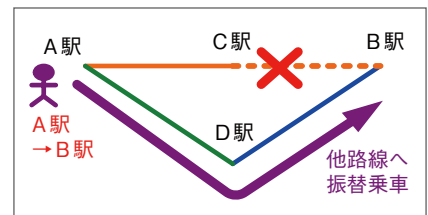


図6 迂回乗車のイメージ

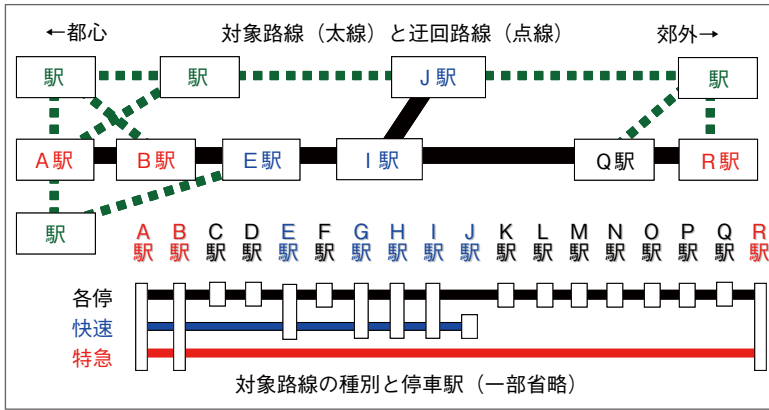


図7 路線の概要

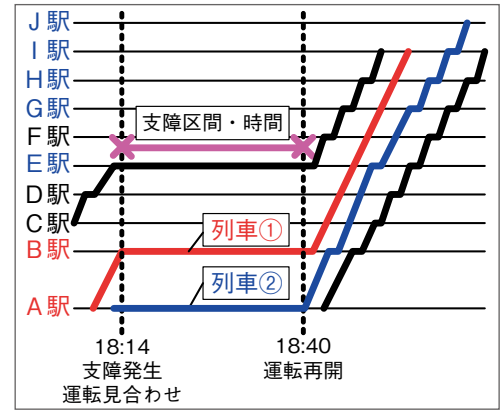


図8 ダイヤ乱れの例(ダイヤ図)

そこで、これらのうち迂回乗車に注目し、ダイヤ乱れ時に各旅客が他路線へ迂回するか、運転再開を待つかの選択行動を予測するモデルを構築し、シミュレーションに組み込みました。このモデルでは、迂回した場合、再開を待った場合の予測所要時間をもとに、どちらの行動をとるのかの意思決定を予測します³⁾。

ダイヤ乱れ時の旅客流動推定

ある路線でのダイヤ乱れを対象に、運転再開前後の旅客流動の推定を行ないました。この路線の概要を図7に示します。太線が対象路線、点線が迂回路線で、例えば、対象路線の全線で運転見合わせとなった場合、A駅→J駅といった利用では迂回可能ですが、A駅→I駅といった利用では迂回不可能です。

いま、図8のダイヤ図(縦軸：駅、横軸：時刻)のように、この路線のE駅～F駅間で事故が発生し、約25分間、全線で運転を見合わせた場合を考えます。運転再開後の列車①、②の混雑度はどうなるのでしょうか。これをシミュレータを用いて推定した結果が表1です。手法の比較のため、前節で説明した旅客の迂回行動を考慮した場合(迂回考慮)に加え、考慮しなかった場合(迂回不考慮)を含めた2通りについて算出を行ないました。

まず、迂回の考慮／不考慮について、特急列車の①では、迂回考慮により推定混雑度が大幅に減少しています。これは、特急列車の旅客の多くが、迂回経路が存在するR駅を目的駅としており、迂回を行なうためと考えられます。一方、快速列車の②では、迂回不可能なG、H、I駅への旅客が多いため、迂回の考慮の有無では、大きな差が出なかったと考えられます。これより、並行路線が存在するなど、迂回経路がある路線で旅客流動推定を行なう際には、迂回を考慮したモデルを利用するのが好ましいと考えられます。

次に、運転整理について考えると、列車①より②のほうが、多くの旅客が乗車し混雑することが推定されます。し

表1 ダイヤ乱れ時の旅客流動予測結果

列車・区間別混雑率 (迂回不考慮の場合と迂回考慮の場合)

駅間	列車① (特急)		列車② (快速)	
	迂回不考慮	迂回考慮	迂回不考慮	迂回考慮
A駅～B駅間	99%	100%	219%	198%
B駅～E駅間	112%	17%	244%	239%
E駅～G駅間	112%	17%	245%	241%
G駅～H駅間	112%	17%	228%	222%
H駅～I駅間	112%	17%	82%	51%
I駅～J駅間	*	*	53%	13%

※単位は混雑率 (%)

たがって、例えば、乗客が多い②の列車を優先的に運行したほうが、多くの旅客が被る迷惑を少なくできることがわかります。このように、ダイヤ乱れ時の旅客流動を推定することで、運転再開後の適切な対応や、運転整理の検討に役立つと考えられます⁴⁾。

おわりに

この記事では、シミュレーションを用いて、平常時、ダイヤ乱れ時の旅客流動を推定する手法について紹介をしました。今後は、より高精度の推定が高速に可能となるよう、旅客行動モデル、シミュレーション技術の双方の改良に取り組む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) 国土交通省鉄道局監修：「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) 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、第22巻、第6号、pp.17-22
- 4) 國松武俊、平井力、村木国満、高場基司：「旅客の流動と評価に基づく運転整理案作成アルゴリズム」、電気学会交通・電気鉄道／リニアドライブ合同研究会、2008