

利用者デマンドの変動を予測し、適切な輸送計画を作成する

福村 直登
輸送情報技術研究部
(主任研究員)

武藤 雅威
同
(交通計画 研究室長)



ふくむら なおと むとう まさい

はじめに

列車運転時刻表（以下、列車ダイヤ）は、鉄道事業者が利用者に提供する輸送サービスのカタログと見なすことができます。利用者は列車ダイヤから自分の都合に合う列車を選択し、乗車します。しかし、自分の都合に合う列車がなければ他の交通機関を選択するかもしれませんし、鉄道利用時に、混雑や長い待ち時間など不快な経験が重なれば、その後の鉄道利用をやめてしまうかもしれません。従って、鉄道事業者にとって、利用者ニーズ（デマンド）を正確に把握し、デマンドに応じた便利な輸送サービスを提供することが必要です。

一方、妥当な運賃で輸送サービスを提供し続けるためには、運行コストの削減も重要な課題であり、列車ダイヤと車両・乗務員運用計画とで構成される輸送計画の効率化も求められます。このように、輸送計画の作成に対しては、利便性と効率性という、一見、相反する課題の両立が求められています。

ところで、現在の利用者デマンドの調査方法は、従来通り、目視調査や調査用紙配布によるものが主体です。また、輸送計画の作成も支援システムが導入されているものの、基本的にはベテラン担当者のノウハウに依存しています。しかし、情報技術の発展と、自動改札機や券売機などから取得できる様々なデータとを活用することで、その作業形態を大きく変えられる可能性があり、さらには、利用者へのサービス水準を一定レベルに保ちつつ、効率的な輸送計画案をコンピュータで作成することも可能になると考えられます。この可能性を実証するために、以下の研究課題に取り組みました。

列車運行・旅客行動シミュレーションシステム

ダイヤ改正案やダイヤ乱れ時の運転整理案を、鉄道利用者の立場から適切に評価するために、利用者1人1人の行動をシミュレーションするシステムの開発に取り組みました。本システムにより、利用者の観点による列車ダイヤの評価指標を様々な切り口から算出可能となります¹⁾。

図1にシミュレーション画面例を示します。乗車率の変化を列車ダイヤ図の列車運行を表わす直線の色で示したり、各列車の乗車人数などを視認したりすることができます。シミュレーション内部では、図2に示すように、旅客行動部分と列車運行部分に分かれています。

旅客行動部分では、大都市交通センサスや自動改札機などから得た時間帯別OD（乗車駅、降車駅、時間帯別の利用者数）データに従い、各利用者は自分の行き先を決めた上で出発駅ホームに出現し、乗車する列車を決定します。

列車運行部分では、列車ダイヤに従って列車を運行し、各駅での利用者乗降を処理します。このとき、利用者乗降に必要な時間と予め定められた停車時間を比較し、超過した時間だけその列車の発車を遅らせることで、旅客混雑に起因する列車運行時刻の変化（遅れ）が表現できます。この計算を、各利用者は目的駅で降車するまで、各列車は始

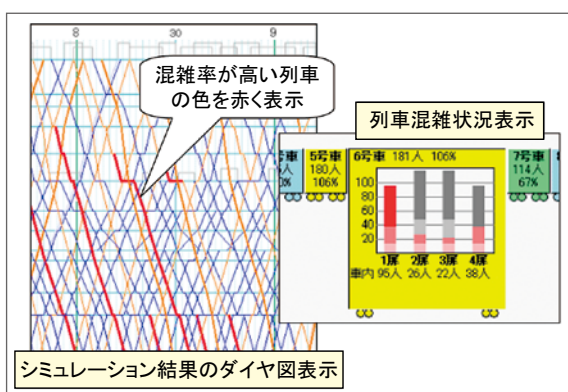


図1 シミュレーションの画面例

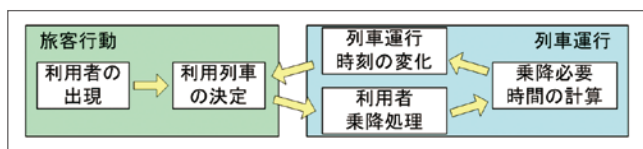


図2 シミュレーション計算の流れ

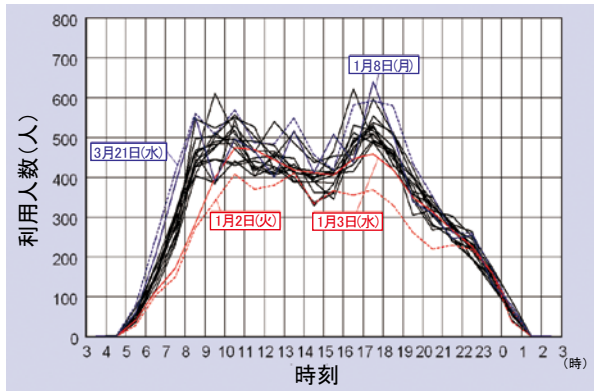


図3 自動改札機データの例

発から終着まで、時系列的に繰り返します。

また、本システムでは、乗換や混雑する列車を避ける、ダイヤ乱れ時に他経路へ迂回する、案内情報により行動が変化する、といった様々な利用者行動も再現することができます。

今後は、シミュレーションの表現力をより精緻にするとともに、計算結果の出力をわかりやすくすることにより、一般的な輸送計画に必要なあらゆる情報を予測できるシステムを目指した改良を進めていきます。

輸送計画の作成

列車を運行するにあたっては、事前に輸送計画を作成する必要がありますが、この業務に資する研究開発を行いました。

自動改札機データを用いたデマンド予測手法

駅に設置されている自動改札機には、30分間隔などの一定時間内で何人が通過したかを券種(普通券、定期券など)ごとにカウントする機能があります。これにより、どの時間帯で利用者が多いのかなど、駅一日の利用者数の波動が把握できます。図3は、自動改札機により収集された駅の利用者数波動データの一例です。横軸が早朝から深夜までの時間帯、縦軸が利用人数を示しており、朝と夕方それぞれピークがあることがわかります。一年間の複数日のデータを重ねることで、日別の波動の違いも把握できます。正月三が日には平常日よりも利用人数が少なく、1月8日の夕方には駅の周辺で大きなイベントがあったせいか、その帰りの利用者で年間最大のピークがあったことがわかります。このように自動改札機データは、駅の利用者数を詳細に把握することに欠かせない貴重な情報となります。

この自動改札機データを用いて、将来の利用者数をより詳細に予測する手法を開発しました。一つは、予測日の利用者数波動が過去のどの日の波動と似通っているかを判断する手法で、パターンマッチング法と言います。○月第□週×曜日というような時節や、天気などの外的要因から過去の波動データを引用し、引用したデータの年次から予測年次の利用者数(一日平均利用人数)伸び率を掛け合わせて、予

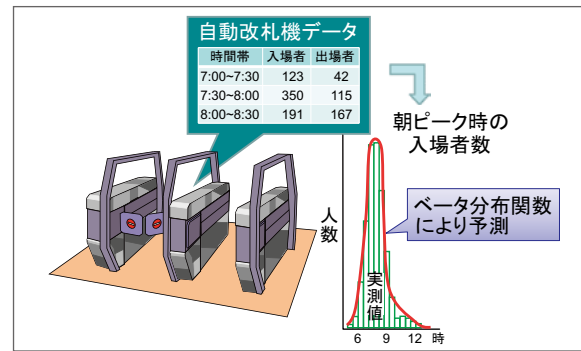


図4 ベータ分布関数による朝ピーク利用者数の予測

測日の時間帯別の利用者数を算定します。もう一つは、波動の形状に似ている曲線を示す式に当てはめて予測する手法です。例えば、ある通勤路線の駅では、朝のピーク部分の波動を、統計学で用いるベータ分布という関数の式(図4)に置き換えて予測することを試みました。ターミナル駅までの時間距離や、駅勢圏内の人口、就業者数データなどから、式的パラメータ値を推定します²⁾。これらの手法を用いるためには、沿線各駅の利用者数波動データを数年間にわたり、できるだけ多く蓄積することが要求されますが、その予測値は次の輸送計画作成に役立つものと考えています。

利用者デマンドに応じた輸送計画作成

現在の鉄道は繁忙期や閑散期などの大まかな利用者数の傾向をみて、列車ダイヤをはじめとする年間の輸送計画を策定し、利用者はその列車ダイヤに合わせて旅行しますが、計画時に設定した輸送力を超えて利用者を選ぶことはできないので、十分な輸送力が確保されていないと、利用を抑制することにもなります。時間帯別ODのような形で利用者デマンドを詳細かつ正確に予測できるようになり、それに合わせた輸送力を提供する輸送計画を設定できれば、利便性の向上とともに、潜在的な利用者を取り込むことで利用者の増加が図られます。

私たちは時間帯別ODの予測値を反映する形で、その日の列車の運行本数や駅間での車両連結数を毎日フレキシブルに設定する(図5)、新しい枠組みの輸送計画作成手法を開発しました。

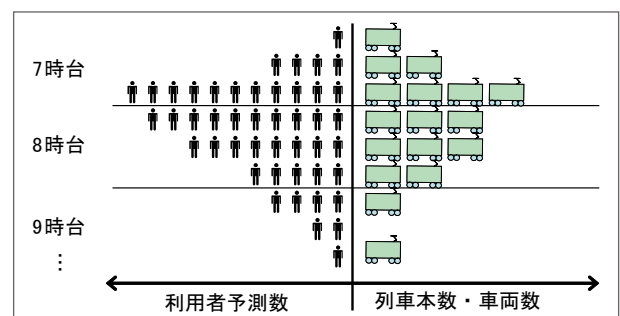


図5 利用者予測数に応じた輸送計画

この手法では、終電後の各駅の車両の留置数、駅での車両の分割や併合・折り返しについての制約条件、数日おきに数時間かけて行わなければならない車両の仕業検査、それを行う検査施設間の作業量のバランスなどを考慮しつつ、必要な輸送力を

できるだけ確保する列車ダイヤとそれを実現する具体的な車両運用計画を同時に作成します。また、将来の利用者デマンドから列車の運行に必要な日々の乗務員数を前もって推定し、乗務員の勤務を組みます。運行日間近の列車ダイヤ確定に伴い、乗務員数と各種の労働条件を満たす乗務員行路計画を作成し、各乗務員が乗務する具体的な列車が決まります。

今後の実用化に向けては、利用者ごとに異なる列車の乗り継ぎの予定を反映した列車ダイヤ計画と、駅の複雑な配線状況などを考慮した車両運用計画、乗務員ごとの休暇日を考慮した乗務員運用計画などからなる、より現実的で利用者にとって利便性の高い輸送計画を作成する技術の開発を進めていきます。

乱れに強い輸送計画

近年、従来以上に、列車の定時運行に対する利用者ニーズが強まっています。それに対し、「乱れに強い輸送計画」に関する2件の研究を行いました。

朝ラッシュ時間帯は高密度で列車が運行されているため、利用者集中による乗降時間増加、駆け込み乗車によるドア再開閉、急病人の救護などで列車停車時間が増加し、些細な遅延が発生すると、それが後続列車に影響を与え、遅延が雪だるま式に拡大することが珍しくありません。このような些細な遅延が生じたときでも、安定した輸送サービスを提供できる列車ダイヤを「頑健な列車ダイヤ」と定義します。まず、遅延により利用者が被る様々な悪影響を時間換算した値が、列車ダイヤの頑健性の程度を定量的に示す適切な指標であることを示し、与えられた列車ダイヤに対して遅延発生シミュレーションを繰り返すことで、評価指標の値を算出する手法を開発しました。そして、大都市圏では、途中で他路線に乗り換えて目的地に向かう利用者が多く存在することから、列車運転時刻中の余裕時分を、他路線との接続駅を中心として配分することで、頑健性が高い列車ダイヤを構成できることを示しました(図6左)。

また、列車遅延が生じた際、運転士や車掌(乗務員)の運用行路変更到手間取り、遅延が増幅してしまうことが生

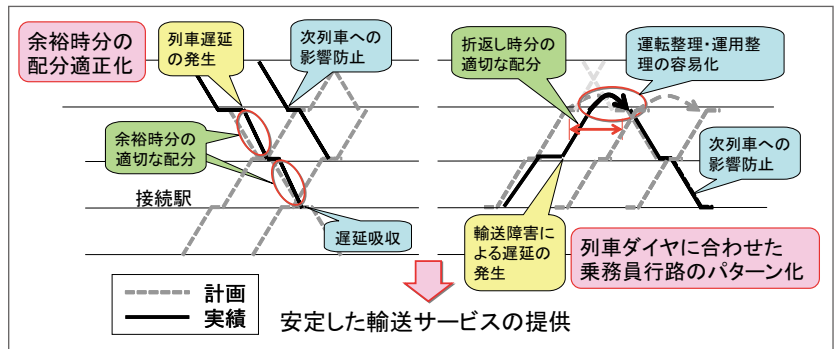


図6 輸送計画の頑健性評価

じています。この対策として、周期的に同体系で列車を運行するパターンダイヤを採用している路線を対象に、遅延発生時のダイヤ変更の定石に合わせた乗務員行路のパターン化を提案しました。そして、実在するパターンダイヤ採用路線の乗務員運用行路をパターン化することで、遅延発生時の行路変更手配が容易となり、ダイヤ乱れに強い輸送計画を構成できることを示しました(図6右)。

今後、提案手法を適用した際のケーススタディを積み重ねることで、本手法の有効性の確認とさらなるレベルアップを図っていきます。

ダイヤ乱れ時の対応

自然災害、人身事故、機器トラブルなどの発生により列車運行が阻害され、余儀なくダイヤ変更を行うことがありますが、このような際にも、極力、利用者デマンドに沿ったダイヤ変更が望まれます。この状況に資する研究開発を行いました。

ダイヤ乱れ時のデマンド予測手法

「お客様にお知らせします。ただいま人身事故が発生しましたので、しばらく当線の運転を見合わせます。」という案内放送を聞いたとき、あなたはどうしますか。運転再開まで待つ場合もあるでしょうし、首都圏などの大都市圏では鉄道ネットワークが充実していることから、他の路線に乗り換えて行く迂回経路をとることもあるでしょう。鉄道会社から見れば、運転を再開したときの利用者数がわかれば、多くの列車をいち早く運行させるのが良いのか、それとも運休列車を多く出しても早く正常ダイヤに戻すことを優先させるのが良いのか、こういった運転整理の考え方に大いに参考となることでしょう。ダイヤ乱れ時のデマンド予測手法³⁾は、このような場面で有効活用されることを念頭に、開発を進めました。

そこで、運転中断に遭遇した利用者が「運転再開まで待つ」か「経路迂回する」かの行動選択(図7)をモデル化することを試みました。実際に運転中断に遭遇した利用者に対してアンケート調査を行ったところ、たいていの方は人身

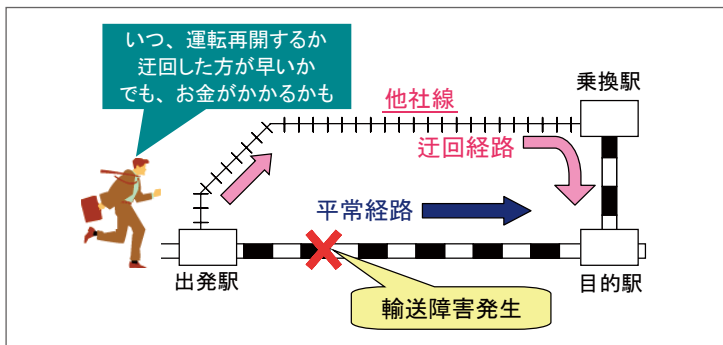


図7 「待つ」か「迂回」かの行動選択

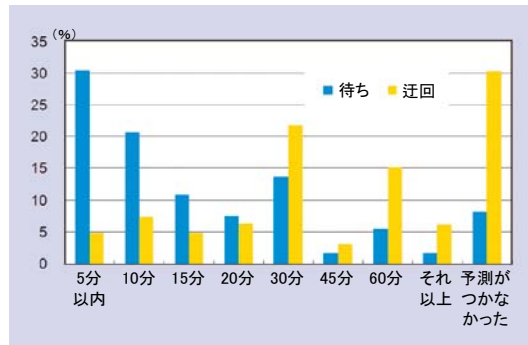


図8 運転再開までの見込み時間と行動

事故などの運転中断原因を聞くと、過去の体験から「運転再開まであと〇分はかかるだろう」というような見込み時間を予測していることがわかりました。図8は運転再開までの見込み時間と、とった行動（「待ち」か「迂回」か）との関係を示しています。「待ち」の利用者ではその見込み時間を10分以内と想定した方で過半数を占め、「迂回」した利用者では30分や60分、もしくは「予測がつかなかった」方が多いことが判明しました。

運転再開までの見込み時間に、平常運転時の目的駅までの所要時間を足し合わせた時間が、「待ち」場合の所要時間となりますが、その「待ち」場合の時間と、「迂回」した場合の迂回経路の所要時間とを比較して、どちらが早く着くかを判断し、どちらかの行動を選択しているのではないかと推察されます。ただし、迂回路線が他社線ならば、振替輸送を利用しないと運賃がかかりますので、実際には所要時間の概念だけで行動選択がなされているとは限りません。よって、「所要時間」と「他社線への迂回か（他社線=1, 自社線=0）」を入力値として、交通需要予測で汎用されている数式によりモデル化を図りました。このモデルにより「待ち」の選択確率が算出でき、平常時の利用者数データと乗じることで、運転再開時の利用者数が予測できます。

利用者デマンドを考慮した運転整理案作成アルゴリズム

利用者の観点による評価指標を直接的に用いて運転整理案を作成するアルゴリズムを開発しました⁴⁾。

列車運行・旅客行動シミュレーションシステムに、ダイヤ乱れ時のデマンド予測手法を組み込み、図9に示すような計算を繰り返しながら、より良い運転整理案を作成します。はじめに①列車運行の支障箇所、復旧見込時刻を入力として、ダイヤ変更を行わない場合の予測ダイヤ（乱れ予測ダイヤ）を作成します。②これを運転整理案としてシミュレーション計算を行い、各列車の乗車人数を予測し、利用者の観点による評価値を算出します。③算出した評価値に基づいてダイヤ変更案を作成し、運転整理案として、再びシミュレーション計算で評価します。このように各列車の乗車人数の予測値に基づいて計算するため、例えば、利用

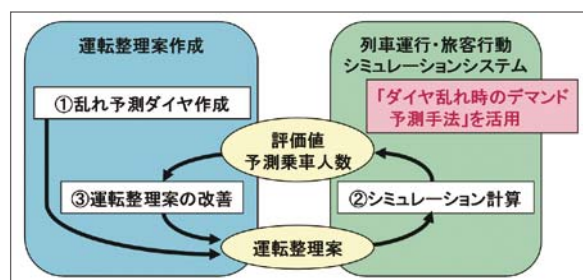


図9 運転整理案作成アルゴリズムの流れ

者が多い列車を優先した案が作成されます。

今後は、シミュレーション計算速度の向上技術、より適切な運転整理案評価指標の開発とタイアップすることで、将来の運行管理システムでの活用を目指します。

最後に

高速道路や航空の路線拡充、料金・運賃の値下げなど、交通機関間の競争が激しくなり、また利用者の要求水準も高まりつつある中、鉄道事業者にとって、デマンドの早期把握とそれに即応した魅力ある輸送サービスの提供は、今後、ますます重要性が増すものと予想しています。鉄道が引き続き利用者から選択される交通機関であり続けるために、本テーマで開発した手法の早期実用化を目指し、デマンド予測の精度向上、輸送計画作成手法の精緻化などに取り組んでいきます。[RRR]

文献

- 1) 國松, 平井, 富井: マイクロシミュレーションを用いた利用者の視点による列車ダイヤ評価手法, 電気学会論文誌D, Vol.130, No.4, 2010
- 2) 田村, 属: 鉄道駅の通勤利用特性に関する基礎的考察, 日本オペレーションズ・リサーチ学会春季研究発表会, 2008
- 3) 武藤: 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, 2008
- 4) 國松, 平井: 利用者デマンドを考慮した運転整理案作成アルゴリズムの開発, 鉄道総研報告, Vol.23, No.8, 2009