

## 論文の内容の要旨

論文題目 鉄道における旅客行動の詳細な推定に基づく輸送利便性の評価と  
それに基づく輸送計画設計手法

氏名 國松 武俊

### 1. 本論文の目的

鉄道において、列車ダイヤ等の輸送計画は、鉄道事業者の商品であり、利用者の利便性に直結する。したがって、輸送計画の作成担当者には、特に大都市圏の通勤路線において、著しい列車の混雑や遅延が発生しないか否か等、慎重かつ詳細な検討が求められる。しかし現状では、鉄道の輸送計画は、担当者が経験的に作成、評価しており、ダイヤ改正案等、新たに作成した輸送計画について、利用者の視点から、客観的かつ定量的に評価されることは少ない。鉄道が利用者に対し、魅力的な輸送サービスを提供し続けるためには、利用者の需要を適切に把握したうえで、輸送計画実施時の運行状況を再現し、利用者にとって利便性の高い輸送計画であるかどうかを検証し、必要に応じて輸送計画の改善を行う必要がある。しかし、そのような輸送計画実施時の運行状況の再現、および利用者の視点による評価を行う手法は、確立されていない。

本論文では、輸送計画の品質向上、および輸送計画業務の効率化を目的に、利用者デマンドを反映した輸送計画の自動作成手法、輸送計画実施時やダイヤ乱れ時の列車運行状況、利用者行動の再現手法、および利用者の視点による輸送計画の評価手法を構築している。これにより、鉄道事業者の担当者が、作成した輸送計画の品質を検証し、必要に応じ改良を行い、利用者に対しより便利な輸送サービスが提供できるような、輸送計画担当者への計算機支援実現の一例を示している。

### 2. 利用者デマンドを反映した輸送計画作成手法

本章では、デマンド指向輸送の実現と、輸送計画の品質向上、および輸送計画業務の効率化を目的に、利用者のデマンドに対して、利用者の利便性と事業者のコストの双方を考慮して、輸送計画を自動的に作成するアルゴリズムを導入している。ここで「デマンド指向輸送」とは、ダイヤ改正で作成された1つの輸送計画が、毎日繰り返し適用される現状とは異なり、日々異なる輸送計画を作成、適用する方式である。日々異なる利用者の需要に的確に応え、かつ限られたリソースを効率的に使用する輸送計画とすることで、利便性向上による利用者の満足度向上、および鉄道事業者の経費削減の両立を図るものである。また、利用者のデマンドとは、各利用者が移動に対する要求として予め持っている、乗車駅、降車駅、出発または到着の希望時刻のことである。

本章のアルゴリズムでは、列車本数、運行形態をも含めて、利用者デマンドおよび事業者の要求に合致した輸送計画とするため、時間帯毎の列車本数や運行区間も含めて提案するものとしている。これにより、ダイヤパターンにとらわれず、利用者が多い時間帯・区間に多くの列車を設定し、デマンドにきめ細かく対応させることを可能としている。また、輸送計画の評価尺度として、利用者が鉄道を利用することにより被る不効用を金額換算したものと、事業者が列車を運行するために必要な経費の和である、社会的損失を用いている。こ

れにより、利用者の利便性と事業者のコストの双方を考慮した、バランスのとれた輸送計画の生成を可能としている。

大都市圏の通勤路線を対象に、現実の利用者データを用いて、本アルゴリズムにより輸送計画を自動作成する実験を行い、現行の輸送計画に近い輸送計画が出力されたことにより、アルゴリズムの有効性を確認している。さらに、大規模イベント等により、特定の駅、時間帯の利用者が大幅に増加した場合の利用者データを想定し、それに対する輸送計画を本アルゴリズムにより自動作成する実験を実施、利用者が多い駅、時間帯に多数の列車を集中的に設定する輸送計画が出力されたことにより、本アルゴリズムによりデマンド指向輸送が可能であること、デマンド指向輸送が効果的であることを確認している。

### 3. マイクロシミュレーションを活用した輸送計画評価手法

本章では、輸送計画に対し利用者の視点から定量的に評価可能とするため、列車の運行とあわせて利用者 1 人 1 人の行動を追跡するマイクロシミュレーションシステムを導入している。このシミュレーションシステムは、列車の運行状況、利用者の行動をできるだけ精緻に再現するために、利用者の利用列車推定機能、列車の混雑推定機能、列車の運行時刻推定機能の 3 つの機能を併せ持つ。利用列車推定機能では、自動改札機等から収集された利用者データをもとに、1 人 1 人の利用者について、出発駅から目的駅までの利用列車、および乗車号車、扉といった乗車位置を推定する。このとき、早く行きたい、乗換を避けたいといった、各利用者の嗜好を反映させる。列車の混雑推定機能では、推定された各利用者の利用列車情報を集計し、各列車の乗車人数、各駅での乗降人数を算出する。列車の運行時刻推定機能では、推定された駅での乗降人数等から乗降に必要な時間を算出し、乗降時間の増加による列車の遅延を推定する。これら 3 つの推定を、初列車から時系列的に並行して行うことにより、列車運行と利用者行動との相互作用を加味した、実態に近い詳細なシミュレーションを可能としている。

このシミュレーション結果を利用して、乗車駅から降車駅までに各利用者が体験した、所要時間、待ち時間、乗換回数、混雑度に基づき、各利用者の不効用値を算出し、全利用者分を集約した値を輸送計画の評価値とする。この手法により、各利用者の体験する輸送サービスに基づく輸送計画評価を可能としている。

大都市圏のある通勤路線を対象に、このシミュレータを構築し、現行の輸送計画と、それを一部修正した輸送計画の変更案に対し、利用者の不効用値を計算、輸送計画の比較評価を実施している。その結果、本手法により、対象路線の利用者特性を考慮し、その路線の利用者の列車選択基準の傾向を反映したうえで、複数の輸送計画案が比較評価可能であることを確認している。

### 4. マイクロシミュレーションを活用したダイヤ乱れ時の運転整理評価手法

本章では、平常時を対象とした列車運行・旅客行動シミュレータの機能向上を行い、ダイヤ乱れ時の旅客流動を推定可能としている。ダイヤ乱れ時の旅客流動を推定する際に課題となる事項として、①振替乗車による利用者の他路線への迂回、②運転整理内容についての案内の有無による利用者行動の変化が挙げられる。これらに対処するため、まず、ダイヤ乱れ時において、利用者が迂回経路を利用するか運転再開を待つかを決定する迂回経路選択

モデルを組み込んでいる。次に、シミュレータにおける利用者の列車乗継経路推定に「案内ダイヤ」を導入し、ダイヤ乱れ時の状況に応じて、利用者が参照する運転整理ダイヤを異なるものとする事で、案内の有無による利用者行動の変化を反映可能としている。そして、運転整理案を1人1人の利用者の立場から定量的に評価するために、不効用値を全利用者に対して計算し、その集約値を整理案の評価値とすることで、利用者の視点による運転整理案評価を可能としている。

大都市圏のある通勤路線を対象に、輸送障害発生を想定した運転整理案を複数作成したうえで、本手法による比較評価を実施し、構築したシステムが、個々の利用者の視点から運転整理案を評価することが出来ること、迂回や案内など、ソフト面の対応を含めた評価が可能であることを確認している。さらに、運転再開直後の運転整理手法や、利用者への情報提供を変化させた場合のケーススタディもあわせて実施し、ダイヤ乱れ時においては、普通列車における快速列車や急行列車の待避を、順序変更により解消し、先発列車が終着駅に先着するよう変更することは、混雑の平準化の面から有効であることや、利用者に対する運転整理内容の案内が重要であり、案内が行われない状況下では、順序変更を行っても、混雑平準化の効果は発揮されないことも明らかにしている。

## 5. 主たる成果と今後の展望

本論文では、まず、利用者の要求に合致した、利便性の高い輸送計画の作成、運行管理の実施を目的に、従来、明示的に反映されてこなかった、日々の利用者デマンドデータを直接使用し、事業者の運行コストとのバランスが取れた輸送計画を自動で作成する、デマンド指向輸送が実現可能なアルゴリズムを構築している。それを用いて、利用者の集中による列車の混雑と、混雑に起因する列車遅延の発生を考慮した、利用者の列車乗継経路推定手法を開発した。計画の品質を、個々の利用者が体験する輸送サービスの観点で、定量的に評価する手法を提案、構築している。さらに、その評価法をダイヤ乱れ時における運転整理にも拡張し、迂回経路選択モデルの組み込みや、利用者への案内情報を考慮した列車乗継経路推定手法も構築している。これらの一連の旅客行動の推定法と運行計画の評価法の構築を通じ、これまで実務的に困難とされてきた、運転整理案を利用者の視点からの系統的な定量評価を可能としている。

今後の展望としては、①提案手法の様々な輸送改善施策の評価への活用、②粒度のより細かい利用者データの活用、③リアルタイムに取得する実績データを活用した運行管理手法の開発、④より適切な評価尺度の構築に取り組むことが挙げられる。これらを進め、輸送計画業務の更なる品質向上、効率化を図ることで、事業者の実務面で貢献するとともに、利便性向上による鉄道の魅力向上にも繋げていきたい。