

輸送・交通計画に関する研究開発への取り組み

川崎 邦弘* 深澤 紀子**

Trends and Topics of Research and Development Related to Transportation and Traffic Planning Technology

Kunihiro KAWASAKI Noriko FUKASAWA

The signaling and transport information division aims to contribute to enhanced safety, reliability, and convenience through the research and development of signalling systems, communication network technology, transportation planning and traffic operation, and condition monitoring technology for railway facilities. This paper outlines the trends of research and development to provide supporting technology for transportation planning and rescheduling of train operations. And this paper focuses largely on some of topics of the activities and future plans on transport planning attaching importance to railway transport, passenger flow analysis, quantitative evaluation of railway customer needs and economic evaluations of mass transport.

キーワード：交通計画，運行管理，ICT，無線式列車制御，需要分析

1. はじめに

近年のICT（Information and Communication Technology：情報通信技術）の急速な高度化と普及に伴い、様々な業種において、ICTを活用した新しいサービスの提供、あるいは業務フローの革新に向けた取り組みが進められている。鉄道においても、ICTの活用によって、より安全で、かつ低コストの列車運行の実現が期待されている。鉄道総研では、車両や構造物、電力、軌道、防災、信号・情報、人間科学といった各種の技術分野において、ICTを活用した新しいシステムや検査・評価法等の研究開発を進めている。

本稿では、鉄道総研で取り組んでいる運行管理へのICT活用に関する研究開発の概要について述べたのち、鉄道輸送を中心とする交通需要予測、鉄道旅客の行動要因分析とニーズの定量的評価、公共交通ネットワークの評価に関する研究開発に焦点を当て、現在の取り組み状況と今後の研究計画について述べる。

2. 運行管理へのICT活用に関する研究開発

2.1 情報ネットワークを活用した列車運行

現在の鉄道では、運行管理システムと信号保安システムの2つのシステムによって列車の安全・安定運行が実現されている。運行管理システムはダイヤに基づく列車の定時運行と遅延時の運転整理を担い、信号保安システムは保安制御装置等による列車の安全確保を担っている。

現在、無線通信技術やデータベース技術を活用することにより、列車の位置や速度等の情報を細かく把握しな

がら列車を安全に制御する無線式列車制御システムが実用化されており、世界各国での導入が進んでいる。国内においても、JR東日本におけるATACSの実用化を皮切りに、複数の鉄道事業者が導入に向けて検討・開発を進めており、今後の普及が期待されている。

無線式列車制御システムの導入のメリットは、固定的な閉そくを確保するための設備の削減と、柔軟な列車間隔の設定などが挙げられるが、予測制御や自動運転など、より高度な列車制御システムに発展させるためのベースシステムとして活用できるという面もある。

さらに、無線式列車制御システムで保安制御用に利用している詳細な列車位置や速度などの情報を利用してリアルタイムで運転曲線を作成することができれば、安全確保とダイヤ管理とを融合した新しい運行制御システムの実現が期待できる。このようなシステムが実現されれば、旅客の集中や列車の遅延といった状況に応じて列車の運行を柔軟に制御できるようになり、遅延の拡大の抑制、ダイヤ乱れの早期復旧が可能となる。

鉄道総研では、2015年度から、情報ネットワークにより運行管理と保安制御の機能を融合し、運転曲線をリ

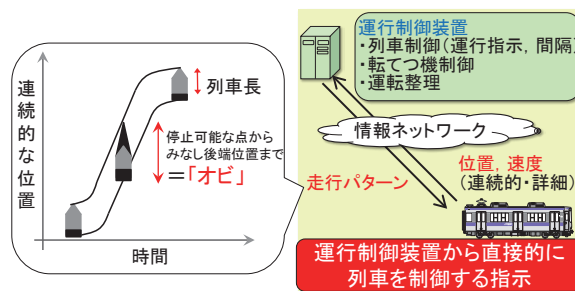


図1 運行管理と保安制御の融合による新しい列車運行制御システム

* 信号・情報技術研究部 部長

** 信号・情報技術研究部 交通計画研究室 室長

特集：輸送・交通計画技術

アルタイムに再計算して個々の列車や進路を制御するシステムの開発に取り組んでいる（図1）。

このシステムでは、横軸を時刻、縦軸を駅間もしくは閉そく区間単位の位置とする従来のダイヤ図を、連続的な位置を縦軸とするマップ図として発展させ、ある1本の列車がこのマップ図上で占有する範囲を「オビ」として表現する。各列車の「オビ」が重ならないように列車の走行を制御することにより、安全を確保するとともに、運行の管理を可能とする。昨年度までに、詳細な列車位置と設備等の状態情報に基づいて安全に列車を運行するための制御論理を検討し、アベイラビリティ（可用性）を確保できるシステムの基本仕様と構成を提案した。

さらに、将来の予測制御による自動運転化の要素技術として、輸送実績に関するリアルタイム情報とニューラルネットワークを用いて数十分先の列車遅延と乗車率を予測する手法を開発している。大きな乱れがない場合には、概ね30秒以内の誤差で遅延を予測できることを昨年度までに確認した（図2）。この手法をさらに発展させて大きなダイヤ乱れ時の予測が可能となれば、予測制御への展開だけでなく、現在は指令員の経験と知識に基づいて行われている運転整理等の業務負担を軽減するための支援技術としても活用が期待できる。

現在、図1・図2に示した運転曲線に基づく列車制御手法と列車の運行予測手法のほか、各種の運行制御手法の効果を定量的に量るシミュレーション手法や、鉄道の運行に必要な情報を統合して扱える情報ネットワーク基盤の研究開発も進めている。2019年度までに、新しい運行制御システムの有効性をシミュレーション等により示す予定である。なお、情報ネットワーク基盤については、デモシステムを鉄道総研の所内試験線に構築し、その有効性を実験的に実証するとともに、所内での諸実験等の実務に活用できるようにする予定である。

2.2 鉄道総研におけるICT活用に関する研究開発の推進体制

これまで、鉄道総研におけるICT活用に関する研究開発は、個々の技術分野ごとに進められてきており、現在の業務フローの一部の電子化あるいは自動化を実現で

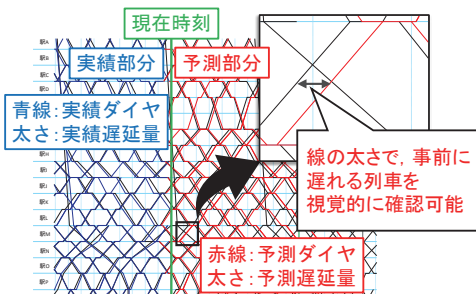


図2 ニューラルネットワークを利用した列車遅延・乗車率の予測手法

きる成果が得られつつある。

しかし、今後、革新的なICTを導入した新しい鉄道システムの実現に資する成果をタイムリーに出していくためには、複数の技術分野が有するノウハウを結集し、分野横断的に研究開発を進める必要がある。

そこで、ICT活用に関する研究開発を鉄道総研として統一的・体系的かつスピーディーに行うための戦略と実行計画の策定準備のために、この6月に「ICT推進チーム」が設置された。現在、ICT推進チームでは、「センシング」「情報通信・制御」「データ分析」の3つのサブグループを設けて、ICTを活用する対象と研究開発課題の調査検討を進めており、今後の研究開発の方向性を提案する予定である。このICT推進チームの提案がまとまり次第、9月以降に「ICT革新プロジェクト」（仮称）を立ち上げ、研究開発の戦略と実行計画を策定し、今後の鉄道総研におけるICT活用に関する研究開発テーマの設定・推進に反映する予定である。

3. 交通計画分野における取り組み

交通計画分野では、需要分析を柱として営業施策や鉄道サービスの定量的評価、経済性評価等に関する手法の開発に取り組んでいる。本章では、交通需要分析の目的と、鉄道事業評価方法の現状を概観し、鉄道総研におけるこれまでの取り組みと今後の方向性について述べる。

3.1 交通需要分析の目的

鉄道事業者にとって輸送量は、事業の評価、あるいは設備、車両、要員、運転計画等、あらゆる経営計画策定の前提となるものであり、輸送量を予測すること、すなわち需要分析は、交通事業者の経営施策決定の根幹となるプロセスと位置付けられる。

3.1.1 計画時の需要分析

鉄道の新規建設や複線化事業等の計画段階において、需要分析の結果は、費用便益分析による事業採算性評価等の評価、さらには車両・地上・駅設備の設計に用いられる。鉄道は前述のような設備にかかる初期投資額を、長期間かけて運賃収入で回収する必要があるため、開業直後の需要のみならず、30年後～50年後といった長期的な需要の予測も必要とされる。長期で大規模な計画になるほど、需要分析のもつ意味は重要になる一方、分析結果に影響を与える不確定要素が多くなり正確な予測が難しい。一般に都市間鉄道の需要分析では、3.2.1項で示す四段階推計法が用いられる。

3.1.2 運用時の需要分析

一方、日々の運用における需要分析とは、既存の交通施設を有効に機能させる方策を策定する際の前提となるものである。例えば、時々刻々の各路線・各駅の交通量、

混雑状況などを予測することが要求される。前項で述べた計画段階での需要分析がハード的設備の整備効果を測ることが主な目的であるのに対して、日々の運用のための需要分析では、ダイヤ改正やプライシングなどソフト的施策の効果を中心とした評価に用いられる場合が多い。計画段階の需要分析と比較して短期的な予測が求められることが多く、そのほとんどが3.2.1項で示す四段階推計法における、交通の分布、交通機関別分担、経路配分過程を対象とする¹⁾。ソフト的施策に関する鉄道総研の研究開発事例を3.3.3項にて紹介する。

3.2 鉄道事業の社会的経済性評価

3.2.1 一般的な需要分析手法

前述の都市間鉄道の需要分析に用いられる四段階推計法とは、幹線旅客純流動調査等の交通量調査データ等を基に、発生・集中、分布、交通機関別分担、経路配分の4つの手順で交通量を予測する手法である。日本では、5-10年おきに国や自治体が主体となり交通量調査が実施され、その結果が一般に公開されるものもあり、そのデータを用いることが可能である。

四段階推計法の各段階の概要を以下に示す。

- (1) 発生集中交通量の予測：ゾーンごとに、そのゾーンから発生する交通量、そのゾーンに集中する交通量をそれぞれに予測する。
- (2) 分布交通量の予測：ゾーンごとに発生した交通がどこを目的とするか、集中した交通がどこのゾーンから出発したかを予測する。
- (3) 交通機関分担の予測：分布交通量予測で得られた各ゾーン間の交通量をベースにして、利用者がどの交通機関を利用するかを予測する。
- (4) 経路配分の予測：鉄道を利用すると予測された利用者がどの経路を利用するかを予測する。

上記のようなプロセスで予測された交通量を基に、次に述べる費用便益分析による事業の評価や、設備計画等が実施される。なお、この四段階推計法は、国内外を通して適用事例が多く様々な知見の集積が進んでいるが、元は1950年代に開発された手法であるため、各段階それぞれの精度を向上させるための新しい手法が、現在も提案されている。鉄道総研での開発事例を3.3.1項で紹介する。

3.2.2 費用便益分析

鉄道事業の評価は、国土交通省監修の「鉄道プロジェクトの評価手法マニュアル²⁾」に基づき実施されるのが一般的である。その事業の目的をいかに達成するかという観点で評価が行われ、その達成に当たっては社会経済情勢等の変化に適切に対応する必要があることから、事前評価、再評価、および事後評価(30年後および50年後)の3段階において、事業を実施する場合と事業を実施しない場合の差を計算する。費用(C)に対する便益(B)

の大きさを費用便益比(B/C)と呼び、数値が1以上であれば、社会経済的に効果的な事業と評価される。

上記のマニュアルで示されている費用便益分析で対象とする効果のうち、貨幣換算法がほぼ確立されているものは以下である。

- ・利用者便益：総所要時間の変化、交通費用の減少、乗換え利便性の向上、車内混雑の緩和、運行頻度の増加、駅アクセス時間の短縮、輸送障害による遅延の軽減
- ・供給者便益：当該事業者の収益の改善、競合・補完鉄道路線収益の改善、維持管理コストの削減
- ・環境等改善便益：地球的環境の改善、局所的環境の改善、道路交通事故の減少、道路混雑の緩和

一方、便益として計上可能だが、現時点では貨幣換算が困難とされている効果は、「存在効果」と呼ばれるもので、具体的には、オプション効果、代位効果、遺贈効果、イメージアップ効果、間接利用効果がある。このうちオプション効果に関する取り組みを3.3.2項で紹介する。

3.3 鉄道総研におけるこれまでの取り組み

3.3.1 旅客の嗜好を考慮した交通機関分担率推定手法³⁾

四段階推計法の交通機関分担の予測プロセスにて用いられる一般的な交通機関選択行動モデルは、ランダム効用理論に基づき、旅客はあらゆる交通機関のサービスレベルを比較し合理的に交通機関選択の判断をするという前提に基づいている⁴⁾。しかし実際には、数多くの旅客がある1つの交通機関のみを選択肢として認識している「キャプティブ」であり、各交通機関のサービスレベルを基にした需要分析が旅客の嗜好結果と一致しない場合がある。この問題解決のため、旅客が嗜好等により選択肢の絞り込みを行う実態を反映した選択行動モデル(図3)と、これにモンテカルロシミュレーションを適用した交通機関分担率の推定手法を開発した。

3.3.2 オプション価値の計測手法⁵⁾

鉄道は、直接的な利用に関する便益だけではなく、生活や各種活動の安定化といった公共的な便益ももたらす。しかし、これらは受益者が対価を支払うメカニズムが存在しない非市場的な価値であるため、定量的な計測が難しく、鉄道整備事業の効果を評価する際に十分考慮されてこなかった。そこで、鉄道が有する総合的な価値

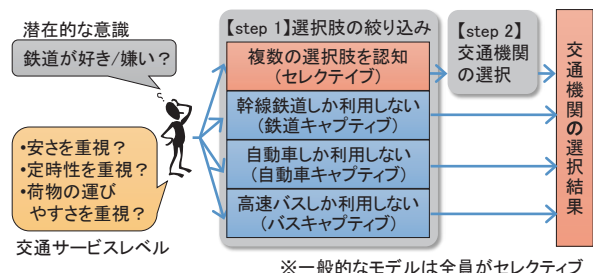


図3 嗜好等を反映した選択行動モデル

特集：輸送・交通計画技術

を体系的に整理し、鉄道の非市場的な価値の一つであるオプション価値（不測の状況下における代替交通モードとしての鉄道の価値）が、定量的に評価できることを確認し、鉄道整備事業に対する鉄道非利用者の主観的な意識から、鉄道整備事業がもたらすオプション価値を、金銭価値で定量的に計測する手法を開発した。

3.3.3 席種（指定席／自由席）配分の最適化⁶⁾

新幹線や特急列車の指定席・自由席の配分（席種設定）は需要の変化に即時には対応できないため、混雑による利便性低下や、需要の逸失を招く場合がある。そこで、きめ細かい席種設定を策定して輸送力の利用効率を向上させるため、需要データに現れない潜在的な需要を推定するモデルと、混雑等に直面した旅客の行動変化を表す次善策選択行動モデルを構築し、乗車人数推定シミュレーション手法を開発した。さらに、この手法を用いて最適な座席配分を提案する手法を開発した（図4）。

3.4 今後の方向性

これまで述べてきたように、鉄道事業者にとって需要分析はあらゆる経営計画策定の前提となるものである。その時代、その地域により、鉄道の運営状況は様々であり、個々の状況に対応可能な手法や技術の開発が求められる。従前、高度成長期からバブル経済期までの鉄道需要分析においては、日本の人口は増加を続け、経済活動は拡大し続け、これに伴い鉄道利用者数も増加し続けることが大前提であった。特に大都市部では通勤時間帯の混雑が社会問題化し、いかに大量の旅客を効率的に目的地まで運ぶかということが、鉄道事業者の長年の課題であり、その解決のための施策、例えば列車の運転時隔を短縮し運行本数を増加させるといった施策策定のため、需要分析が行われていた。現在でも混雑緩和に努力を続ける事業者もあり、ひきつづき重要な課題である一方、人口減少、高齢化社会の進展が進む現在の日本においては、人口の少ない地域を走る地域鉄道の運営に関する課題が年々大きくなってきている。大都市部でも例外ではなく、利用者の減少が趨勢的に続く路線は多い。

このような背景の中、鉄道事業者にとって今後より重要な課題となるのが、不採算路線の運営である。その一

方で、鉄道は地域の経済活動を支える重要なインフラの一つでもあることから、その路線単体の収支による評価のみを考慮するのではなく、当該地域における公共交通の在り方について未来図を描き、その中で当該路線の果たすべき役割を分析する必要がある。このためには、地域社会や他の公共交通との協調を図ることも考慮し、地域全体における公共交通の利便性を一定程度維持しながら交通事業者の負荷を低減するような、公共交通の在り方を検討するための手法が必要であると考え、現在検討を進めている。さらに別のアプローチとして、地域に支持される鉄道、沿線住民に愛される鉄道を目指すための研究開発として、マーケティング施策に関連する分野をより強化していきたいと考えている。

4. おわりに

ICTは、鉄道を維持するうえで欠かせないツールであり、またさらなる発展のための強力な武器ともなる。今後も、鉄道の維持・発展に資する成果を提供できるよう、鉄道事業者、先端技術を有する研究機関・メーカーと連携しながら研究開発に取り組みたいと考えている。

また、交通計画分野の取り組みとして述べた需要分析は、日々の輸送計画策定、喫緊の課題に対応するための設備投資のみならず、中長期的な展望による設備投資、さらには将来の経営収支検討等において、重要な判断材料として不可欠なものである。引き続き、鉄道事業者にとって重点的な施策、あるいは関心の高い施策に対して、ニーズに即した手法や技術の研究に尽力していきたい。

文 献

- 1) 河上省吾：交通需要予測の意義と課題，運輸と経済，Vol.58, No.7, pp.32-40, 1998
- 2) 国土交通省：鉄道プロジェクトの評価手法マニュアル(2012年改訂版)，2012
- 3) 柴田宗典，奥田大樹，武藤雅威，鈴木崇正：旅客の嗜好性と選択肢の選別プロセスを考慮した幹線鉄道の分担率推定手法の開発，運輸政策研究，Vol.17, No.1, pp.002-011, 2014
- 4) 土木学会土木計画学研究委員会：非集計行動モデルの理論と実際，土木学会，p.12, 2002
- 5) 奥田大樹，深澤紀子，松本涼佑，鉄道整備事業がもたらすオプション価値の推定と事業評価への導入に関する検討，鉄道工学シンポジウム論文集，No.21, pp.167-174, 2017
- 6) 中川伸吾，柴田宗典，尾崎尚也，深澤紀子，鈴木崇正，優等列車の席種設定最適化に向けた旅客需要に関する研究，鉄道工学シンポジウム論文集，No.49, pp.179-186, 2014

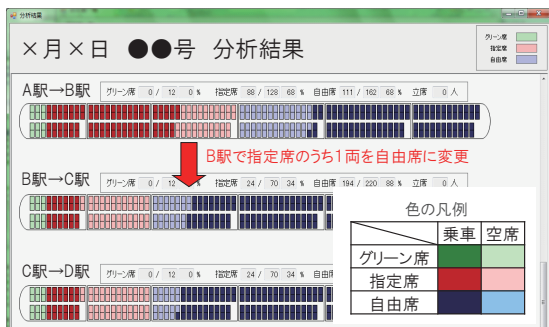


図4 席種配分の最適化結果出力例