

# 輸送計画に関する最近の研究成果と展望

平栗 滋人\*

## Recent Results and Visions of Research and Development of Transport Planning

Shigeto HIRAGURI

A transport plan is essential to realizing highly reliable and convenient railway service. In actual operation, the plans may be changed dynamically when traffic is disrupted due to congestion, natural disaster and so on. In order to prepare an appropriate plan, evaluation method is important. This paper outlines the recent research and development of the evaluation method of the transport planning. It describes the results about the research and development of the evaluation method of basic transport plan, trains diagram and traffic operation measures. Finally, it describes the vision for application of multi data analysis and the new train control system based on radio communication to transport planning.

キーワード：輸送計画，列車ダイヤ，運行管理，データ分析，評価技術

### 1. はじめに

鉄道輸送は、運行する列車の本数や種別などの基本計画、それを実行するための列車ダイヤなど、様々な計画に基づいて実現されている。また、実際の列車運行の場面では混雑による遅延や、設備故障や気象条件、災害などによって計画どおりの運行ができない場合もある。このような場合、列車の時刻や順序の変更、あるいは部分的な運休や行き先の変更などの運転整理が行われることがあり、これは運転計画の再作成と捉えることもできる。

これら計画の作成を支援する技術として、基本計画に関連するものでは、交通需要の推定や交通ネットワークの評価などが挙げられる。また、列車ダイヤに関しても線区のニーズや条件に合ったものとするためには、評価技術が重要である。さらに、運転整理を含む運行管理についても、適切な評価手法が存在すれば、より良い方策を実施できることが期待される。

一方、近年、都市圏の路線を中心に多様なニーズに応えるために列車の種別、運行経路など考慮すべき条件が複雑化する傾向にある。このような中で、輸送の利便性を向上し、ダイヤ乱れなどの影響を極力小さくするためには、シミュレーションなどを用いた評価手法の重要性が一層高まるものと考えられる。

本稿では、輸送計画に関する研究開発のうち、交通ネットワークや列車ダイヤなどの評価技術を対象として、最近の成果を紹介する。このほか、鉄道の輸送データに社会経済データなどを組合せた分析に基づく計画作成支援に関する取り組みや、今後の展望について触れる。

\* 信号・情報技術研究部 部長

### 2. 鉄道における列車運行と輸送計画

鉄道において輸送計画を作成し、それにしたがって実際に列車を運行する技術、これに関連するシステムの構成概念を図1に示す。この内、本稿の主題としている輸送計画は、図中の運行管理システムより上位の階層との関連が強い。ここでは、1章で述べたように、これら計画作成の支援に重要な評価技術について、以下のように分類して述べることにする。

#### ①交通ネットワークや駅の利便性

輸送の実績や、需要の予測などに基づいて、交通ネットワークや列車種別、本数の設定などの評価を行い、鉄道事業者の施策決定や、列車ダイヤ作成の基となる方計画作成を支援する技術。

#### ②列車ダイヤ

列車の具体的な運行スケジュールである列車ダイヤを評価する技術。

#### ③運転整理を含む運行管理

ダイヤ乱れに対応した運転整理方法の決定支援や、大規模災害時などの運行方針を評価する技術。

なお、図中に示す信号保安システムは、輸送計画に直接的に関わるシステムではないが、運行管理に必要な列車位置などの運行状況を把握するための情報を得る手段である。特に、近年、国内外で導入が進んでいる無線式列車制御システム<sup>1) 2)</sup>に代表される地上一車上間の情報伝送を活用したシステムの場合には、従来より詳細な情報を得ることが可能であり、運行管理を中心として新たな可能性をもたらすことが期待される。

特集：輸送計画技術

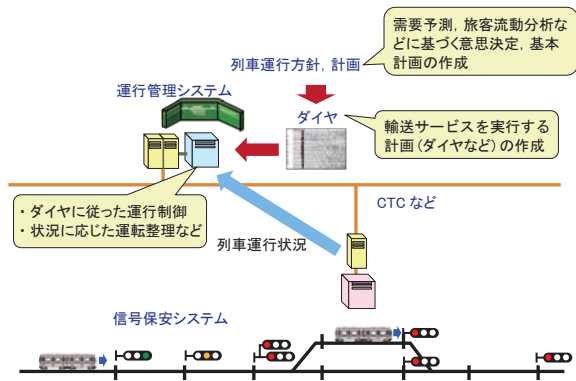


図1 列車運行システムと輸送計画

3. 最近の研究成果

3.1 交通ネットワークや駅の利便性の評価

3.1.1 交通ネットワークの評価

都市間の幹線鉄道のほか、航空、幹線バスなどを含む公共交通ネットワークを対象として、輸送上のボトルネックとなる駅を抽出することで評価する手法を開発した<sup>3)</sup>。本手法では、全国の旅客流動実績データなどを入力とし、多目的遺伝的アルゴリズムを用いて最適な交通ネットワークを導出する。ここでは、図2(a)に示すような複数の解(自身より全ての指標が優れている解がないもの)を得、これらの中から目的に合った解を選択する。図2(b)は、ネットワーク上の各駅について、現状の旅客数と評価値(最善ネットワークと現状との差)との関係を示したものである。例えば、図中の「改善を要する駅」は、旅客総数は少ない地方都市のターミナル駅であるが、ネットワーク全体のボトルネック駅である可能性を示唆している。

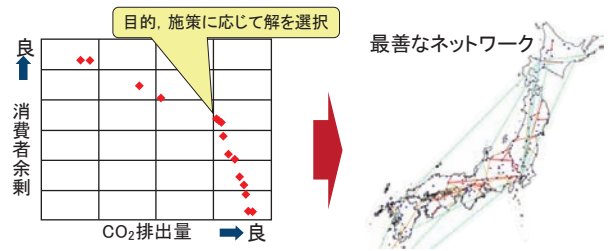
なお、ここでは利用者の利便性の向上度合いを貨幣価値に換算する消費者余剰<sup>4)</sup>と、環境負荷(CO<sub>2</sub>排出量)の2つを指標としたが、目的に応じて他の指標を適用することや、別の指標を追加することも可能である。

本手法は、上記のボトルネック駅の抽出のほか、新線の開業や災害時の路線の長期運休、人口減少など社会情勢の変化などを想定した最適ネットワークの検討や旅客数の推定などに活用することも可能である。

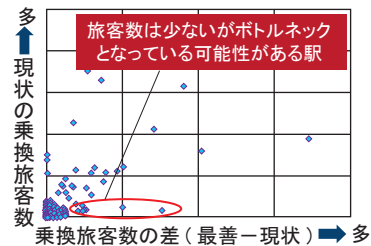
3.1.2 都市内での列車選択行動の評価

都市内で見られるように、1路線内で急行や各駅停車など複数種別の列車を設定している場合の列車選択行動を反映できる手法の研究事例は少なかった。そこで、このような路線を対象として、列車の乗車率や、駅における旅客滞留数を推定できる手法を開発した<sup>5)</sup>。

上記のように複数種別の列車を運行している場合を対象として、列車選択行動を表す数理モデルを構築した。これに列車ダイヤ、時間帯別ODデータ(発着地間の交通量)を組み合わせることで、図3に示すように列車ご



(a) 最善なネットワークの導出



(b) 現状の旅客数と評価値との比較

図2 交通ネットワークの評価

と、駅間ごとの乗車人数や、駅に滞留する旅客数の時系列的な変化を推定することができる。

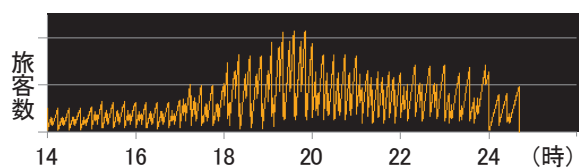
3.1.3 駅の利便性評価

交通ネットワーク全体を考える場合、駅における鉄道以外の交通機関との乗り継ぎの利便性も重要な評価対象となる。そこで、乗り継ぎに際しての旅客の移動抵抗を定量的に評価する手法を開発した<sup>6)</sup>。

本手法では、歩道を1秒間歩行するときの抵抗感を1としたときの、階段やエスカレータの利用、横断歩道の歩行などの要素に対して定めた抵抗係数を使用し、それらの値を累積することで移動抵抗を算出する。図4には、乗換え経路上の階段をエスカレータに置き換える改良を行った場合の試算例を示す。このように、移動抵抗を低減するために改良が必要な箇所の抽出や、改良策の評価を定量的に行うことができる。



(a) 列車別、駅別の旅客数表示



(b) ある駅の旅客数の推移

図3 列車選択行動モデルによる旅客数の推定

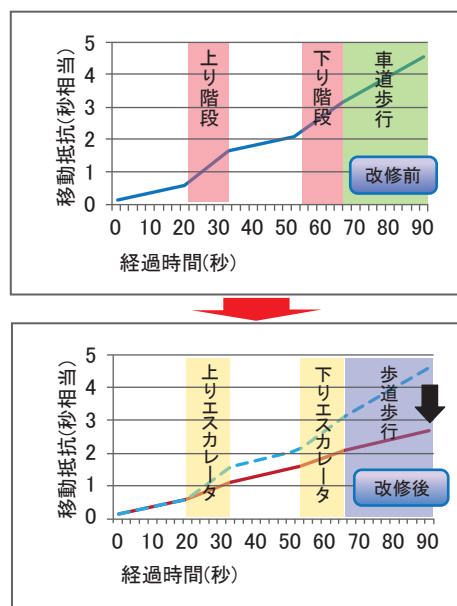


図4 鉄道からバスへの乗換時の移動抵抗評価

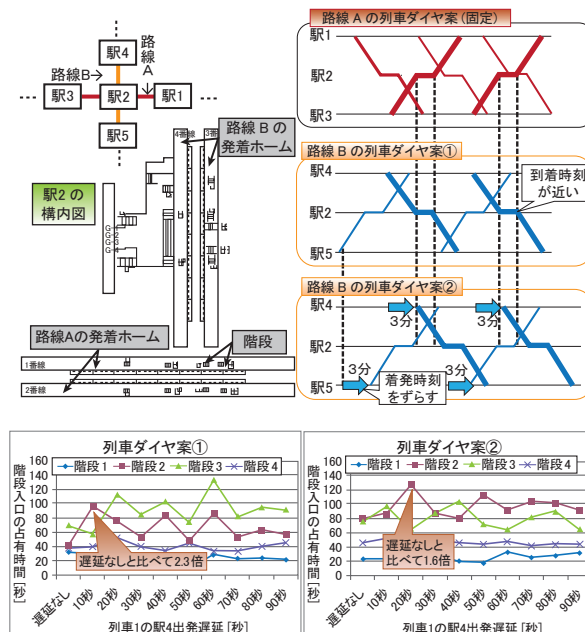


図5 駅の旅客流動の観点での列車ダイヤ評価

### 3.1.4 貨物輸送の評価

鉄道に対して、貨物輸送全体の効率化や環境負荷の低減に対して期待される役割は大きいと言える。そこで、貨物輸送の実態を把握、評価する手法の開発を進めている。貨物輸送の実態を適切に評価するための指標を整理し、そのモデルを作成<sup>7)</sup>するとともに、評価結果を地図上に表示するシステムを開発した。なお、これについての詳細は、本号の「貨物輸送の実態を把握するための地理情報システムの開発」を参照されたい。

## 3.2 列車ダイヤの評価

### 3.2.1 多様な観点からの評価

従来の列車ダイヤ評価は、基本的には駅の着発時刻のレベルで行っており、駅間での信号などの影響による列車の詳細な動きの考慮は必ずしも十分ではなかった。しかし、実際の場面では、旅客行動、列車混雑、列車走行、信号条件などが相互に作用し合っている。これらを出来る限り再現したシミュレーションを行うことで、より精度が高く、かつ様々な観点からのダイヤの評価が可能となる。そこで、「列車運行・旅客行動シミュレータ」<sup>8)</sup>をベースとして旅客利便性のほか、列車運行に伴うエネルギー消費など鉄道事業者の経営、あるいは社会に対する影響の観点から、列車ダイヤを評価できるシミュレータを開発した<sup>9)</sup> <sup>10)</sup>。

### 3.2.2 駅の旅客流動への影響評価

列車間の乗り換えがある都市部の駅では、駅構内に多くの旅客が発生し、混雑する場合がある。列車ダイヤの観点から、このような駅における旅客流動を推定し、混雑回避の方策を検討する手法を開発した<sup>11)</sup>。

例えば、図5に示すように、ある駅で交差する路線間

の列車の着発時刻が近いダイヤと、3分ずらした場合のダイヤを比較する。前者では遅れが発生した場合、旅客が階段付近を占有する時間は遅れないときの2.3倍になるのに対して、後者では占有時間は長くなるが、遅れないときに対する増加は1.6倍と小さくなっている。この例において、いずれを優先して評価するかはケースバイケースであるが、このように列車ダイヤによる駅の旅客流動への影響を定量的に評価することができる。

### 3.3 運転整理を含む運行管理の評価

列車ダイヤにある程度以上の乱れが発生すると、運休や順序変更などに運転整理が行われる。これら運転整理の支援や評価に関する成果については、本号の「旅客視点の指標に基づくダイヤ乱れ時の列車順序・間隔整理手法」、および「速度規制による列車遅延時の運休判断支援手法」を参照されたい。

ここでは、大規模な災害などによって長時間にわたり列車運行が停止する場合を対象とした、運行再開方針を評価する手法について述べる。運行再開の計画案と駅の入場規制案、および旅客の移動に関するデータを入力として、駅での待ち時間や移動の状況を計算し、輸送量と駅での滞留旅客数を得る。ここで、駅での滞留旅客が多すぎる場合には、列車から降りられない状況を再現し、列車運行を停止することを模擬する。これによって、例えば入場規制の実施によって運行停止を回避できる効果を確認することができる<sup>12)</sup>。

今後、入力するデータの与え方、想定するシナリオの考え方の整理などの課題に取り組む予定である。

特集：輸送計画技術

4. 輸送計画作成におけるデータ活用

近年、様々な分野で、多数のデータの分析結果に基づいたサービス提供や、設備保全への取り組みが注目されている。鉄道の輸送計画作成に際しても、輸送実績データなどが活用されてはいるが、社会情勢や経済動向、他交通機関との関連などを考慮した体系的な取り組みに関しては、改善の余地が多いと考えている。そこで、既存の需要推計手法や、3.1.1 で述べた交通ネットワークの評価技術に、経済動向などの分析結果も加え、日・時間帯別の需要予測を行うためのモデル構築に着手した。これを用いて、需要の季節波動や他交通機関との関連を考慮した輸送基本計画の作成支援手法の提案を目指している（図6）。

また、鉄道の利用状況に関するデータの効果的な分析手法、可視化手法の研究を通じて、遅延の発生しにくい、あるいは影響が波及しにくい列車ダイヤの作成手法や、効果的な運転整理手法の提案なども目指していきたい。

5. 運行管理と信号保安システムとの連携

2章で述べたように列車運行の実施場面では、信号保安システムが運行管理に必要な情報を得る手段となっている。従来の信号保安システムは、高レベルの安全運行実現に大きく寄与してきた。その一方で、在来線の多くでは、列車の把握は軌道回路単位での有り/無しの情報だけによっており、列車番号などによる列車の特定は、ソフト的手段で間接的に行っているなど、列車に関して得られる情報が限定的であった。これに対し、例えば無線式列車制御システムでは、列車を車上装置のIDなどをキーとして直接的に特定した上で、その位置、必要があれば速度なども連続的に把握することができる。したがって、列車に関する詳細な情報の取得が現実になった現在、主に運行管理を対象として、今後のあり方を議論する必要があると考えている。鉄道総研では、このような考え方に関連する取り組みの一つとして、運行管理と信号保安システムとの機能的融合を図る運行システム<sup>13)</sup>の研究に着手した所である。

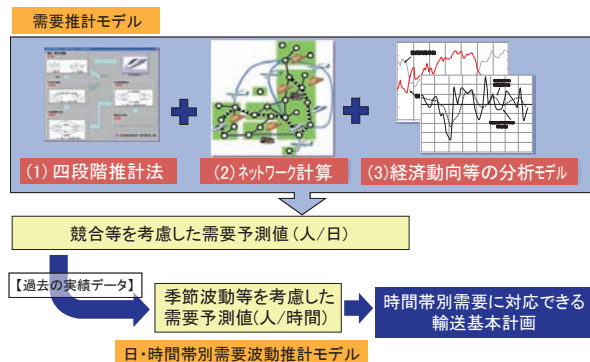


図6 複数データを活用した輸送基本計画の作成支援

6. おわりに

本稿では、鉄道の輸送計画に関して、その評価技術を中心に最近の研究成果を紹介した。今後、これらの成果をベースとして、鉄道のさらなる利便性向上に向けた新しい価値の創出に貢献できる成果を提供していきたい。

なお、本稿の3.2, 3.3で紹介した内容は国土交通省の鉄道技術開発費補助金を受けて実施したものである。

文献

- 1) 佐藤盛三：無線を用いた移動閉そく式信号システム ATACS の仙石線導入, JREA, Vol.55, No.1, pp.33-36, 2012
- 2) 福田光芳：無線を用いた列車制御システムの現状, 鉄道と電気技術, Vol.24, No.1, pp.56-59, 2013
- 3) 渡邊拓也, 柴田宗典, 鈴木崇正：公共交通ネットワークにおけるボトルネック駅の抽出手法, 鉄道総研報告, Vol.29, No.6, pp.11-16, 2015
- 4) 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(2012年改訂版), pp.105-116, 2012
- 5) 深澤紀子, 柴田宗典：都市鉄道における列車選択行動モデルの構築, 鉄道総研報告, Vol.29, No.6, pp.17-22, 2015
- 6) 鈴木崇正, 石突光隆：鉄道とバスの乗継利便性評価手法の改良と評価ツールの開発, 鉄道総研報告, Vol.29, No.6, pp.5-10, 2015
- 7) 属国権：鉄道貨物輸送の経済性・効率性評価手法の開発, 鉄道総研報告, Vol.30, No.1, pp.41-46, 2016
- 8) 國松武俊：列車運行・旅客行動シミュレータ, RRR, Vol.65, No.10, pp.30-33, 2008
- 9) 武内陽子, 坂口隆, 熊澤一将, 國松武俊, 佐藤圭介：高機能な列車運行・旅客行動シミュレータの開発と列車運行の多面的評価, 電気学会論文誌 D, Vol.135, No.4, pp.411-419, 2015
- 10) 平栗滋人：輸送・情報分野におけるシミュレーション技術の活用, 鉄道総研報告, Vol.29, No.6, pp.1-4, 2015
- 11) 武内陽子, 山本昌和：運行状況を反映した駅構内旅客流動の推定, 第52回鉄道サイバネ・シンポジウム論文集, 論文番号401, 2015
- 12) 武内陽子, 佐藤圭介：長時間輸送障害時における運転再開後の旅客滞留数推定シミュレータ, 日本オペレーションズ・リサーチ学会秋季研究発表会アブストラクト集, pp.156-157, 2015
- 13) 深澤紀子：鉄道輸送ネットワークにおけるリアルタイムなデータ連携と高度列車運行, 第28回鉄道総研講演会予稿集, pp.45-52, 2015