

- 鉄道一般
- 車両
- 軌道
- 構造物
- 防災
- 電力
- 信号通信
情報
- 材料
- 環境
- 人間科学
- 浮上式鉄道

乗車率を推定しながら 列車ダイヤを作成する

列車ダイヤの作成にあたっては、旅客の利便性を考慮したうえで、各列車の乗車率を適正なものとする必要があります。このため、大幅なダイヤ改正を実施する場合において、ダイヤ作成担当者が改正案を作成したその場で瞬時に乗車率を推定し、ダイヤの質を向上させたいという強いニーズがあります。そこで鉄道総研では、ダイヤ改正案に対する各列車の乗車率を高速に推定する手法を開発し、乗車率推定機能を有する新しいダイヤ作成システムを構築しました。



辰井 大祐
Daisuke Tatsui
前 信号・情報技術研究部
運転システム研究室
研究員
【専門分野】 旅客流動推定、個別案内システム



國松 武俊
Taketoshi Kunimatsu
信号・情報技術研究部
運転システム研究室
副主任研究員
【専門分野】 旅客流動推定、輸送計画評価、シミュレーション



坂口 隆
Takashi Sakaguchi
前 信号・情報技術研究部
運転システム研究室
室長
【専門分野】 輸送計画、運用計画の評価・最適化、スケジューリングアルゴリズム



石原 裕介
Yusuke Ishihara
前 信号・情報技術研究部
運転システム研究室
主任研究員
【専門分野】 旅客流動推定、運転整理案作成アルゴリズム

はじめに

鉄道事業者にとって、列車ダイヤは商品の一つであり、旅客のニーズに合致するようなダイヤを作成することが求められています。その中でも特に重視されるのが、各列車の乗車率の適正化で、ダイヤ作成担当者は日々の列車運行状況を観察したり、事業者内の交通調査の結果を参考にしたりすることで、作成するダイヤで実際に運行した場合に適正な乗車率となるように努めています。

現在、ダイヤの作成には専用ソフトが利用され、画面に表示されるダイヤ図(☞参照)上でダイヤの編集作業が可能ですが、乗車率を考慮した列車本数の決定、詳細な接続、時刻の調整といった意思決定は、全て担当者に委ねられています。このため、作成したダイヤに従って運行した場合に、その担

当者の意図通りの乗車率となるかどうか、作成したその場ですぐに確認ができない、という課題があります。そこで本稿では、このダイヤ作成業務の品質向上を目的として、「乗車率を推定しながらダイヤを作成する」という、対話型ダイヤ作成業務フローを提案します。また、その実現に必要な、高速な乗車率推定手法、対話型ダイヤ作成システムについても紹介します。

ダイヤ作成業務とその課題

現在のダイヤ作成業務フロー

現在のダイヤ作成の業務フローを図1に示します。まず、現在のダイヤにおける輸送実績や混雑度合に関する現地調査を行い、現在のダイヤの問題点(特定の列車の乗車率が高すぎるなど)の抽出を行います。次に、それらの課題と需要予測、経営方針を考慮したうえで、朝のラッシュの8時台はA駅～B駅間に快速、普通列車を1時間に3本ずつ設定するなどの、おおまかなダイヤ案(改正案)を作成します。そして、おおまかなダイヤ案をもとに、使用可能な車両の編成数や運転士、車掌の乗務員数などと調整しながら、秒

☞ ダイヤ図

鉄道事業者で業務用に使用される、時刻表をグラフで表した図面です。縦軸の位置が駅を、横軸が時刻を表し、ダイヤ図上の線(列車スジ)が各列車の各駅着発時刻を表しています。

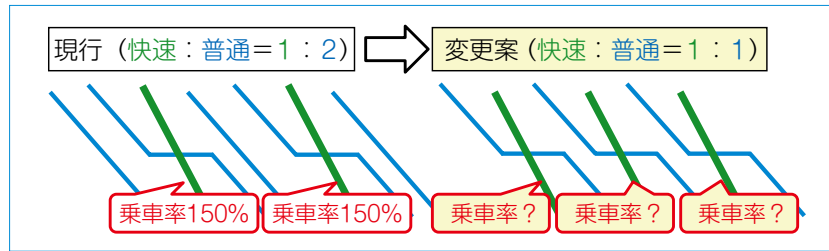


図2 ダイヤ変更例：快速と普通の比率変更

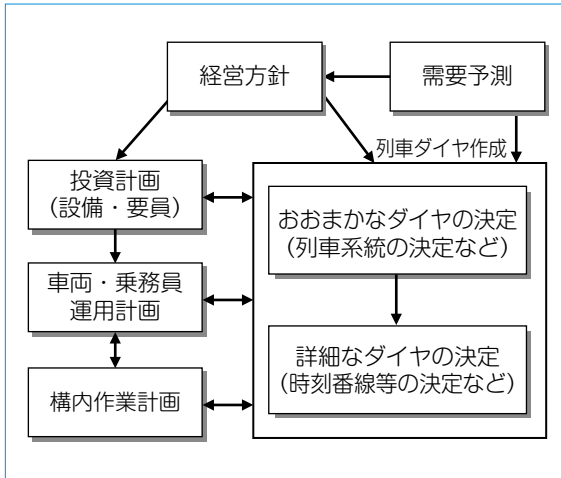


図1 列車ダイヤの作成手順

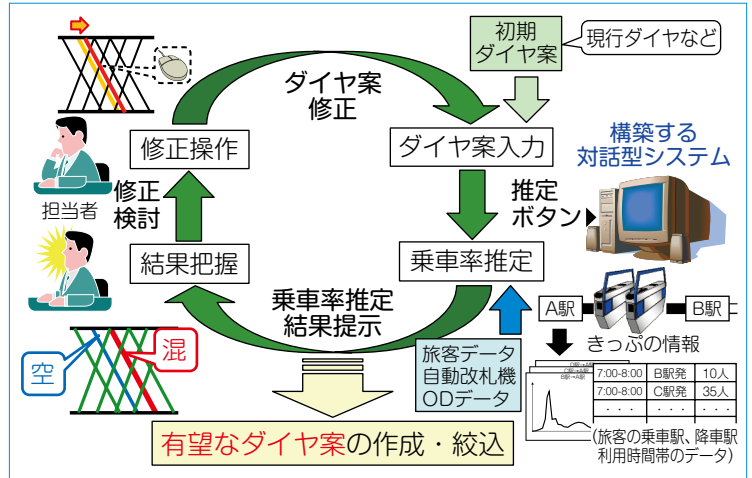


図3 提案するダイヤ作成業務フロー

単位の詳細なダイヤを作成します。

ダイヤ作成においても、近年はコンピュータの活用が進んでおり、専用のソフトウェアも開発されています。ソフトウェアにより、例えば、始発駅の時刻を入力したときに、中間駅の到着／出発時刻を、予め定めた各駅の停車時間や、駅と駅との間の運転時間に基づいて単純計算して補間したり、連続する列車が安全上必要な間隔を開けて設定されているかどうかを確認したりすることは、既に可能となっています。しかし、先述の「朝のラッシュの8時台はA駅～B駅間に快速、普通列車を1時間に3本ずつ設定する」といった、どの区間にどの種別の列車をどの程度の本数走らせるのか、といった列車設定の意思決定自体は、担当者が判断して入力を行っています。この判断には、主に現在のダイヤでの旅客の利用状況が参考にされます。

現在のダイヤでの利用状況調査

現在のダイヤで、各列車の乗車人

数(乗車率)を計測、推定する方法としては、ダイヤ担当者が目視により列車の乗車人数を記録する輸送状況調査、車掌の目視による乗車人員報告、交通量調査といった人を用いた調査がよく利用されます。また最近では、車両全体の重量から乗車人数を推定する手法や、自動改札機から取得することができる旅客の乗車券データを活用して旅客流動を推定する手法も利用されるようになってきています。

ダイヤ変更案に対する乗車率推定

しかし、仮に現在のダイヤでの利用状況が明らかになったとしても、それに対する改善策としてダイヤの修正を行った場合に、乗車率の低下など、どの程度の効果があるのかを把握するのは容易ではありません。特に困難なのは、1本の列車の運転時刻だけを現在より1分遅い時刻に変更する、といった小規模な変更ではなく、図2のように、列車本数の比率が快速：普通=1：2のダイヤから、快速：普通=1：1のダイ

ヤに変更した場合です。このような大規模なダイヤ変更の場合には、快速と普通の接続駅が変更され、待避が無く終着駅まで先着していた普通が途中駅で快速を待避するようになるため、旅客の乗車する列車が大きく変化します。このような変化を、手計算で推定するのは困難です。

一方、最近では、自動改札機で収集される、旅客の乗車券データを使用し、各旅客の入場駅から出場駅までの列車乗継経路を推定し、それを集約することで、乗車率を推定する研究が行われています。

対話型ダイヤ作成業務フロー

新たに提案する対話型ダイヤ作成業務フローを図3に示します。これは、ダイヤ作成の業務フローをベースに、自動改札機データによる乗車率推定手法を組み込んだものです。具体的な手順は、下記のとおりです。

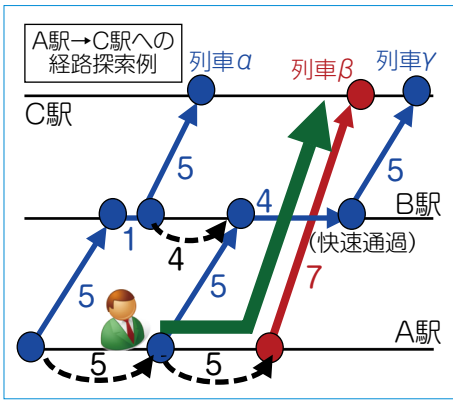


図4 既存研究の乗車率推定手法

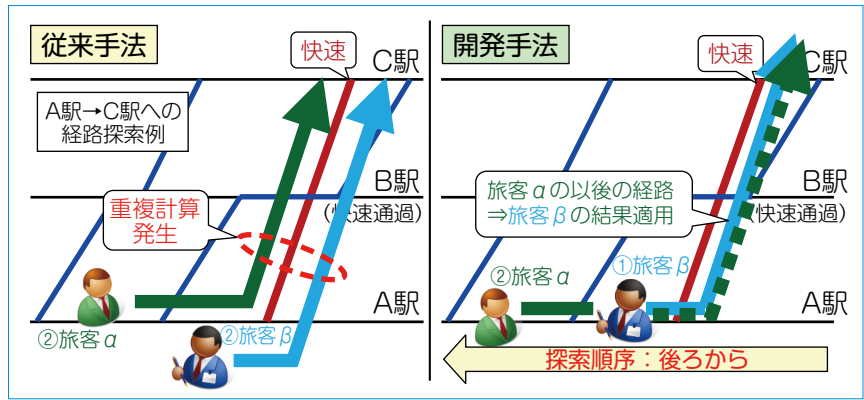


図5 開発した列車乗継経路探索手法(新規推定時)

Step1) 初期ダイヤ案として、現行ダイヤや検討中のダイヤの素案をシステムに入力します。

Step2) システムの乗車率推定機能を利用し、初期ダイヤ案における乗車率の推定を、旅客データなどを利用して行います。乗車率推定結果は、システムの画面上に提示され、担当者はその結果を確認します。

Step3) 担当者は、より望ましい乗車率バランスとなるよう、初期ダイヤ案に対し時刻の修正、運転区間の延長などのダイヤ変更操作を、システムの画面上で行います。

Step4) 変更後のダイヤに基づき、再度乗車率推定を行います。

Step5) Step1からStep4までの手順を、担当者が望ましいと考える乗車率バランスのダイヤ案が作成できるまで繰り返します。

このフローにより、適切な乗車率バランスを有する有望なダイヤ案のみを効率的に作成することが可能となると

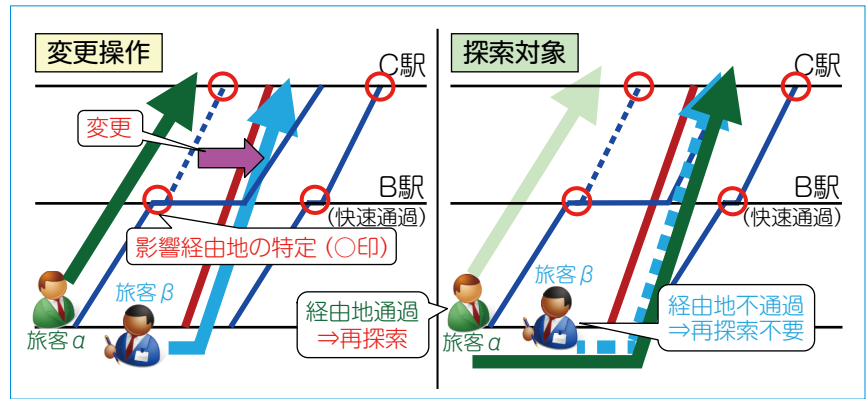


図6 開発した列車乗継経路探索手法(再推定時)

考えられます。この業務フローの実現には、対話型ダイヤ作成システムを新たに構築する必要がありますが、その機能として、主に①ダイヤ案に対する乗車率推定が高速に実行可能なこと、②担当者が、推定された乗車率を確認し、それを反映したダイヤの変更を容易に実施できること、の2点が必要となります。

高速な乗車率推定手法の開発

既存研究の乗車率推定手法

既存研究で提案されている乗車率

推定手法では、自動改札機ODデータ(☞参照)に基づき、その路線の全ての旅客1人1人に対し、入場駅から出場駅までの列車乗継経路を、Webでの乗換案内検索と同様の手法で探索します^{1),2)}。その手法のイメージをダイヤ図上に表現したものを図4に示します。この検索を、対象路線の全旅客に対して実施し、その結果を集約することで、各列車、各区間の乗車人数を集計し、そこから乗車率を計算します。

しかし、既存研究の手法では、乗車率を推定するために、1路線、終日で約100万人規模の旅客の全てに対し、上記の列車乗継経路探索を行う必要がありました。実際、この手法を利用した場合の計算時間を計測すると、終日の旅客数が約160万人の路線で、乗車率の推定に約180秒程度かかり、対話型ダイヤ作成システムとしては計算時

☞ 自動改札機 OD データ

自動改札機を通過する際に得られる乗車券の情報や時刻などのデータで、旅客の「改札入場駅、改札出場駅、出場時間帯」のことです。自動改札機は、旅客の乗車券が正当なものかどうかチェックを行いますが、同時にどの利用区間の旅客が何人いたのか、時間帯別に集計する機能もあります。なお、「ODデータ」の「O」はOriginの頭文字で出発地を表し、「D」はDestinationの頭文字で到着地を表します。

インターフェース

推定結果の表示、ダイヤ変更

乗車率の推定結果は、ダイヤ図上の列車スジの色を着色することにより表示します。図7では、青色は乗車率が低く、赤色は乗車率が高い状態を表しており、赤色で示す列車の乗車率が高く、課題があることがわかります。このような表示とすることで、推定結果を直感的に把握可能です。

また、この推定結果を踏まえたダイヤの変更が、色付きダイヤの画面上で容易に実施可能です。具体的には、マウス操作でスジをドラッグし時刻変更したり、スジのコピー&ペーストで列車を増発したりすることが可能です。図7の場合にも、混雑した列車の前に快速を増発しています。その結果も、乗車率の再推定を行うことによりすぐに確認可能で、混雑していた列車の乗車率が増発により減少したことがわかります。

おわりに

乗車率を推定しながらダイヤを作成するための、対話型ダイヤ作成システムについて紹介しました。このシステムを、ダイヤ作成担当者に実際に使用していただき、評価試験を行った結果、高い評価が得られました。今後は、引き続き長期的な評価試験を行い、改良を図りたいと考えています。RRR

文献

- 1) 國松武俊, 他: 利用者デマンドを反映した列車ダイヤ作成アルゴリズム, 電気学会論文誌D, Vol.129, No.1, pp.10-20, 2009
- 2) 長崎祐作, 他: 電気学会論文誌C, Vol.126, No.11, pp.1406-1413, 2006
- 3) 辰井, 國松, 石原, 坂口: 高速な乗車率推定機能を組み込んだ対話的ダイヤ作成システムの開発, 鉄道総研報告, Vol.27, No.9, 2013

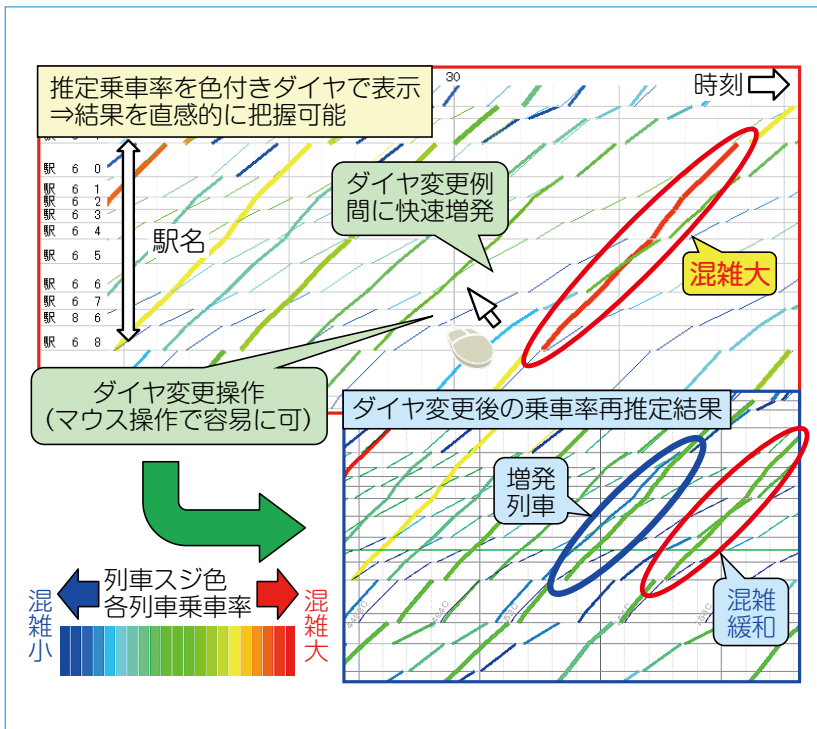


図7 推定結果の表示とダイヤ変更操作

間がかかりすぎ、担当者にストレスを与える、という課題がありました。

開発した乗車率推定手法

そこで、この列車乗継経路探索手法を見直し、高速な探索手法を新たに開発しました³⁾(図5)。これまで各旅客に対する探索を別個独立に行っていたものを変更し、探索を行う旅客の順序を、入場駅時刻の遅い順としたうえで、同一出場駅で既に経路探索済の旅客と経路が重複した際には、その旅客の以降の経路探索を中止し、探索済の旅客の経路情報を活用することにしました。これにより大幅な計算時間の削減が実現し、先述の終日の旅客数が約160万人の路線では、乗車率推定に要する時間は約10秒程度と大幅に短縮されました。

また、対話型システムは、一度だけ乗車率を推定して終わりではなく、高い乗車率が推定された列車を中心に、一部ダイヤの変更を行い、その後に再度乗車率推定を行うというような、何度も推定を繰り返す使い方が想定され

ます。しかし、既存研究の手法では、ダイヤの変更を行った場合には、それが列車1本の順序変更など、局所的な変更であった場合でも、全旅客に対する列車乗継経路の推定を最初から実施し直し、乗車率推定を行っていました。

そこで、2回目以降の乗車率の再推定を対象に、計算時間を削減するための新たな経路再探索手法を開発しました(図6)。まず、初回の各旅客の経路探索結果を保持したうえで、ダイヤ変更操作時に、その変更操作を記録します。2回目以降の経路探索の際には、記録された変更操作をもとに、列車乗継経路が変更になる可能性のある旅客の絞り込みを行います。そして、その絞り込まれた旅客に対してのみ、経路の再推定を行うようにしました。この手法の計算時間を、先述の終日の旅客数が約160万人の路線で計測した結果、列車1本の軽微なダイヤ変更の場合、約7秒程度で乗車率が推定され、更なる高速化が実現しました。