

# ダイヤ乱れ時の旅客流動推定と運転整理案作成アルゴリズム

輸送情報技術研究部 運転システム

研究員 國松 武俊

## 1. はじめに

事故等によりダイヤが乱れた場合には、ダイヤを回復させるために、運休、順序変更、行先変更等の一連のダイヤ変更が行なわれる。これを運転整理といい、これら一連のダイヤ変更の計画を運転整理案（以下、整理案）という。ダイヤ乱れ時には、その早期回復を図る一方、旅客流動を考慮し、利用者になるべく迷惑のかからない運転整理を行なう必要がある。しかし、これまで提案されてきた運転整理案作成アルゴリズムでは、ダイヤ乱れ時の旅客流動は明白には考慮されていなかった。ダイヤ乱れ時における旅客流動の詳細な推定、および利用者の視点による整理案の評価が、短時間では困難なためである。

本研究では、まず、ある整理案を実施したときの利用者1人1人の詳細な行動を推定する「列車運行・旅客行動シミュレータ」を構築し、他路線への迂回による利用者の流出を考慮に入れた、ダイヤ乱れ時の旅客流動推定を可能とした。次に、推定された旅客流動に基づいて、利用者が不満を感じる箇所、およびその不満を被る人数を計算し、影響の大きい不満を解消するよう整理案に繰り返し修正を加える、運転整理案作成アルゴリズムを構築した。さらに、列車運行・旅客行動シミュレータと運転整理案作成アルゴリズムを連携させ、旅客流動および各利用者が被る不効用を陽に考慮し、利用者の視点で望ましい整理案を作成するアルゴリズムを構築した。

構築したアルゴリズムを、大都市圏の通勤路線に適用し、ダイヤ乱れを想定したシナリオに対し、整理案を作成する実験を行なった。その結果、提案したアルゴリズムにより、旅客流動が適切に反映され、利用者の視点から好ましい整理案が作成されることを確認した。

## 2. 運転整理案作成アルゴリズムの枠組

本研究では、以下を要件とする運転整理案作成アルゴリズムの構築を目標とする。

- ①ダイヤ乱れ時における、利用者一人一人の行動を詳細に予測すること
- ②利用者一人一人の体験に基づき、整理案を定量的に評価すること
- ③上記の利用者行動、評価を明白に反映させ、利用者の視点からみて良い整理案を作成すること

本研究で提案する運転整理案作成アルゴリズムの全体像を図1に示す。全体の構成として、ダイヤ乱れ時に他路線へ迂回する利用者を予測する「迂回予測手法」、ダイヤ乱れ時の旅客流動を予測し、利用者の視点から整理案の評価を行なう「列車運行・旅客行動シミュレータ」

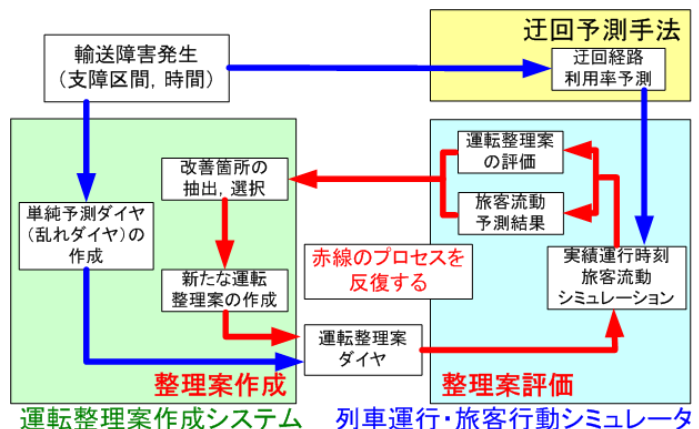


図1 提案する運転整理案作成アルゴリズムの枠組

ュレータ」，推定された旅客流動，および算出された整理案の評価値から，整理案の修正，改良を行なう「運転整理案作成システム」から成る。具体的な連携順序は以下のとおりである。

- ①整理案作成の対象となる輸送障害のシナリオ（発生時刻，不通区間，復旧（見込）時刻）に沿い，運転整理を何も実施しなかった場合の「乱れダイヤ」を作成する。あわせて，迂回予測手法を用い，利用者の発駅，着駅の組合せ毎（OD（Origin Destination）毎）に，他の路線への迂回行動の予測を行ない，他路線へ迂回する利用者を，当該路線の利用者から除く。
- ②作成した乱れダイヤと①の迂回処理後の利用者データを列車運行・旅客行動シミュレータに入力し，乱れダイヤでの旅客流動を推定，乱れダイヤの評価値を計算する。
- ③この旅客流動，評価値に基づき，運転整理案作成システムでダイヤを修正，改良し，新たな整理案を作成する。
- ④作成された整理案と利用者データから，新たな整理案のもとの旅客流動を推定し，整理案の評価値を計算する。
- ⑤以下，③と④を繰り返し，整理案を改良する。改良の反復回数が一定回数を越えたところで終了し，それまでの中で最良の整理案を出力する。

### 3. ダイヤ乱れ時の旅客流動推定と整理案評価

#### 3.1 列車運行・旅客行動シミュレータ

筆者らが開発した「列車運行・旅客行動シミュレータ」の概要を図2に示す。自動改札機データ等から収集されたODデータをもとに，一人一人の利用者の乗車駅から降車駅までの利用列車，乗継を推定する。また，推定された各利用者の行動から，各列車の乗車人数，各駅での乗降人数を算出し，列車混雑を推定する。さらに，推定された各駅での乗降人数および列車乗車人数から，乗降に必要な時間を算出し，乗降に起因する列車の遅延を推定する。これらの推定を時系列に沿って逐次行なう。これにより，列車の遅れが混雑をもたらし，混雑が列車の遅れをもたらしという，増延現象も加味しながら，利用者1人1人の詳細な行動をトレースした旅客流動推定が可能である。

#### 3.2 他路線への迂回行動の予測

ダイヤ乱れ時の実態に近い旅客流動を把握するため，上記シミュレーションにおいて，武藤が構築した他路線への利用者の迂回行動モデル<sup>1)</sup>を利用し，迂回経路にまわる利用者数を予測，迂回利用者をシミュレーションから除去する。具体的には，迂回した場合，運転再開を待った場合の効用を，予測所要時間をもとに算出，以下の式で計算される確率に基づき，迂回を実施させる。

$$P_1 = \frac{e^{U_1}}{e^{U_1} + e^{U_2}}$$

$P_1$ ：迂回経路の選択確率

$U_1$ ：迂回した場合の効用

$U_2$ ：運転再開を待った場合の効用

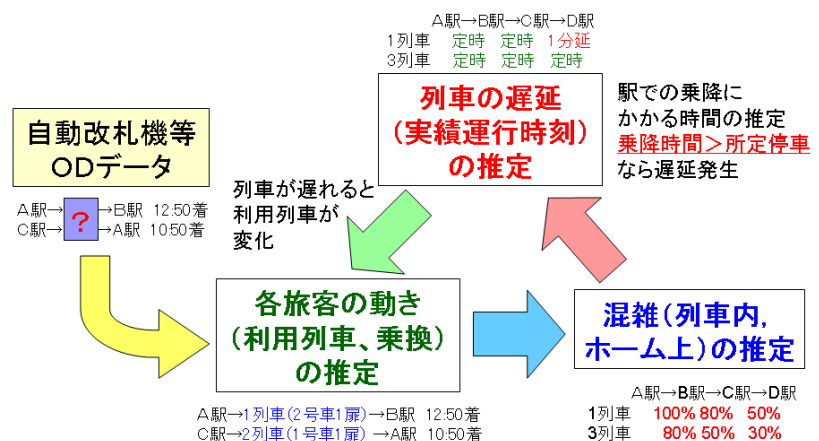


図2 列車運行・旅客行動シミュレータの概要

#### 4. 旅客流動を反映した運転整理案作成アルゴリズムの構成

鉄道総研では以前、利用者が不満を感じる箇所数に着目した運転整理案作成アルゴリズム（以下、従来アルゴリズム）を開発した<sup>2)</sup>。このアルゴリズムは、予め定義されたクレームファイルに基づき、整理案から利用者が不満を感じると考えられる、列車の遅延、停車時分の増大等の箇所を抽出し、それらの箇所の中から等確率で1箇所を選択、その不満を改善する整理案の改良を逐次反復的に実施することで、適した整理案を作成するものである。このアルゴリズムは、高速に動作するものの、整理案の評価尺度を不満の件数としており、どの程度の利用者が各不満を実際に被るのかを反映していない。すなわち、利用者の視点からの評価が、明白にはなされていない。

本研究で構築した運転整理案作成アルゴリズム（以下、本アルゴリズム）では、運転整理を一切行わない場合の「乱れダイヤ」からスタートし、メタヒューリスティクスを利用して、以下の手順で、整理案を逐次反復して改良することにより、評価値の良い整理案を作成する。

- ①不満箇所の抽出：現在の整理案に対し、予め定義されたクレームファイルに基づき、整理案から利用者が不満を感じると考えられる、列車の遅延、停車時分の増大、駅間走行時分の増大、運転頻度の低下、接続が悪い箇所を抽出する。
- ②不満の選択確率の算出：旅客流動予測結果を参照し、抽出された各不満を被る旅客の人数を集計する。この不満を被る旅客数に基づき、各不満の選択確率を算出する。この選択確率は、多くの旅客が不満を被る箇所が優先して改善されるよう、旅客数に比例した形とする。
- ③不満の選択、解消：抽出したこれらの不満の中から、②で計算した不満の選択確率に比例して1つの不満を確率的に選択し、それを解消するような変更を、整理案に対して加える。
- ④整理案評価値の算出：③により新しく作成された整理案について、旅客流動の推定を行ない、評価値を算出する。整理案の評価値には、利用者が体験する輸送サービスに基づき、全利用者の不効用値<sup>3)</sup>を算出し、平均をとったものとする。
- ⑤解の採否判断：この評価値が改善すれば、修正後の整理案を採用、改善しない場合にも、局所解へ陥ることを防ぐため、一定確率で採用する。この採否判断には、シミュレーテッド・アニーリングを用いる。

これら一連の整理案改良動作を反復し、最終的に評価値を最良にする整理案を採択する。

このアルゴリズムの特徴として、整理案全体の評価値を全利用者が体験する輸送サービスに基づき算出すること、多くの利用者が不満を感じる箇所を重点的に改良することが挙げられる。このような構造とすることで、利用者にかかる迷惑が少ない整理案を、効率的に作成可能である。

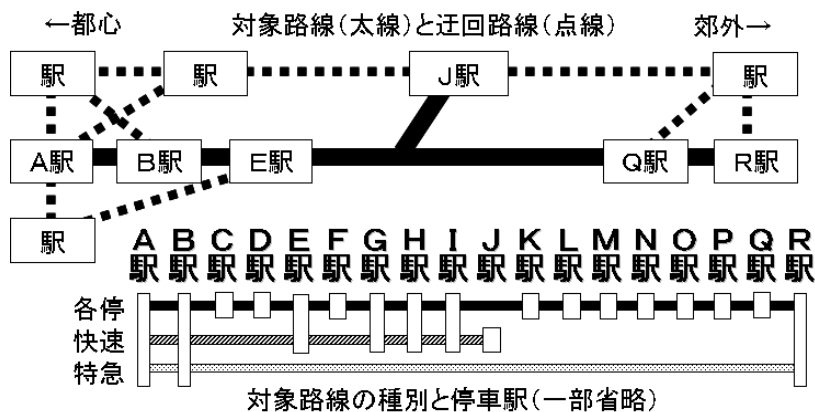


図 3 対象路線の路線図と各種別停車駅

## 5. アルゴリズムの実験結果と評価

大都市圏のある路線の夕方通勤時間帯を対象に、約 40 分程度の不通時間を含むダイヤ乱れを想定したシナリオを作成した（路線図・停車駅は図 3）。このシナリオに対し、本アルゴリズムを適用し、ケーススタディを実施した。

本アルゴリズムが作成した整理案（一部分）を図 4 に示す（赤線区間は不通の区間、時間帯）。一方、旅客流動を考慮せず、従来アルゴリズムで実験を行った場合に作成される整理案（一部分）を図 5 に示す。両者を比較すると、前者が快速、特急の運転時間が延びても各駅停車の運行を優先させているのに対し、後者は快速、特急の運行を優先させている。これは、快速、特急を利用する長距離利用者の多くが他経路へ迂回したのに対し、各駅停車を利用する近距離の利用者は迂回経路を利用できなかったことが影響していると考えられる。本アルゴリズムでは、運転再開を待つ人数の多い近距離の利用者へのサービスを優先させた結果、各駅停車の運行を優先させた整理案が採用されている。このように、旅客流動を考慮することにより、利用者の立場からみて、より良い整理案が作成されることを確認した。

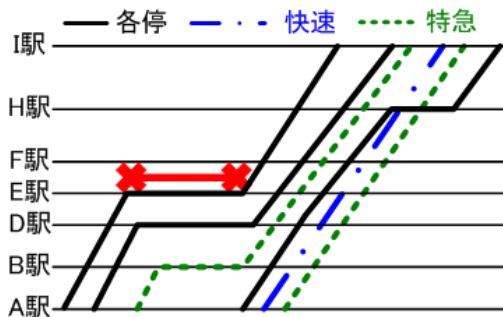


図 4 運転整理ダイヤ図（本アルゴリズム）

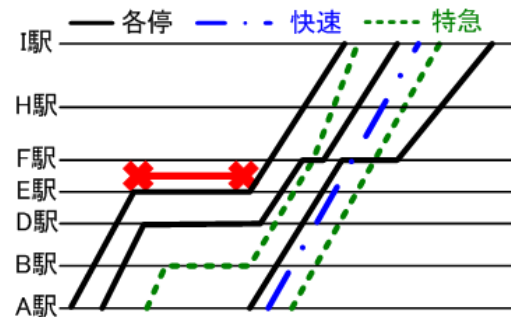


図 5 運転整理ダイヤ図（従来アルゴリズム）

## 6. おわりに

本研究では、ダイヤ乱れ時における運転整理について、利用者の他経路への迂回など、より実態に近い旅客流動を推定し、それに基づいた整理案の評価、作成を自動で行なう手法を構築した。また、実在の通勤線区を対象に、整理案の作成実験を行ない、利用者の視点からの評価で、望ましい整理案が作成されることを確認した。

今後の課題としては、①利用者への案内の有無による行動変化の組み込み、②アンケート調査による、より利用者の実感に近い評価尺度の確立、③計算の高速化、の3点が挙げられる。引き続き、望ましい整理案を高速に作成するアルゴリズムの開発に取り組みたい。

### （参考文献）

- 1) 武藤雅威：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)
- 2) 富井規雄，田代善昭，田部典之，平井力，村木国満：利用者の不満を最小にする列車運転整理アルゴリズム，情報処理学会研究報告 知能と複雑系 2003-ICS-121 (2003)
- 3) 運輸政策研究機構：鉄道プロジェクトの評価手法マニュアル 2005 (2005)