

# 高密度運行の複々線区間における上り下りの干渉を考慮した運転整理

福地 正樹\* 古関 隆章 (東京大学大学院)

Rescheduling of highly frequent trains on quadruple tracks at a finite service section  
Masaki Fukuchi\* and Takafumi Koseki (The University of Tokyo)

Train rescheduling during disrupted service is a substantially significant task for urban railway operators. This task typically depends on the experiences. Operators have requested assistance by a system. The authors propose a train rescheduling system for the assistance. The system simulates and proposes a possible operation after an accident. The system calculates simultaneously passengers' flow in the proposed train operation and evaluates the goodness of the operation on quadruple tracks. In this paper, the authors show the best rule of calculating a train timetable by a case study. And authors give effect of train rescheduling on quadruple.

キーワード : 列車運行, 乗客流解析, 時刻変更, 運転整理, スケジューリング  
(train operation, passenger-flow analysis, timetable alteration, train dispatch, scheduling)

## 1. はじめに

運転整理と呼ばれる列車ダイヤの乱れを元に戻す作業は、指令員の重要な仕事の1つである。その作業は、現在の彼らの経験と勘に基づいており、車両性能、列車位置、客の要望などを勘案する必要があり、とても難しいものとなっている。よって、高速、高密度の都市部の鉄道において、コンピュータによる運転整理支援が求められている。

我々は、複々線区間における運転整理支援システムを作成している。本論文では、列車間隔を調整するアルゴリズムで、調整時間の範囲の限定ルールとそのルールを適用したときの結果を示す。

## 2. システムの概要

本運転整理支援システムは、先行研究<sup>(1)</sup>に基づき、列車ダイヤ案を作成し、そのダイヤ案を評価する。列車ダイヤ案を作成する部分では、計画時刻や各種制約条件から列車の走行する線路や列車の出発、到着時刻が決定される。ダイヤ案を評価する部分においては、乗客の行動を推定し、乗客の感じる損失で評価値が計算される。図1にコンピュータによる運転整理支援システムの構成を示す。

運行シミュレーションや乗客流解析については文献<sup>(2)</sup>に詳しく述べている。本論文では、文献<sup>(2)</sup>のシステムを用いる。また、ダイヤの評価で使用する各種パラメータも文献<sup>(2)</sup>を踏襲する。図2に、点線で今回用いる計画ダイヤと実線で事故を模擬したダイヤ(以降、詰めダイヤとする)を示す。なお、×が事故発生箇所である。

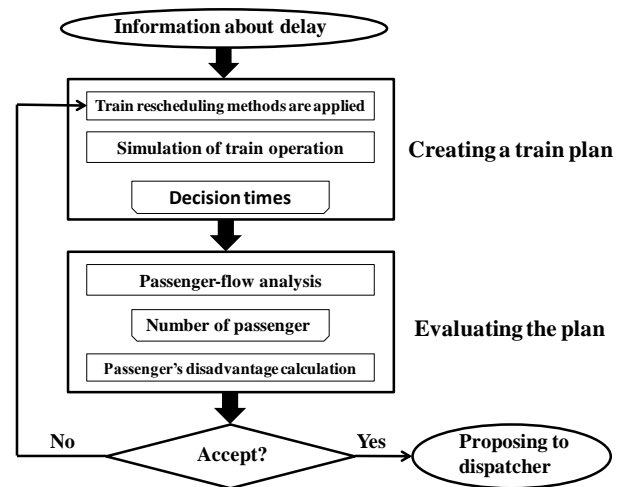


図1 システムの構成

## 3. 時刻変更

列車のダイヤが乱れると、列車の間隔が不均一になりがちである。その中、列車間隔が短いと駅間で列車が長時間停車したり、列車間隔が長いと、後続の列車の混雑による増延が起きてしまったりすることがある。これらを防ぐために、駅間停車を防ぐ時刻変更と列車間隔を調整するための時刻変更の2つを行う必要がある。

本章では、時刻変更という運転整理手法の適用法について述べる。また、間隔を調整するために止まる時間の算出でのルールについて検討する。

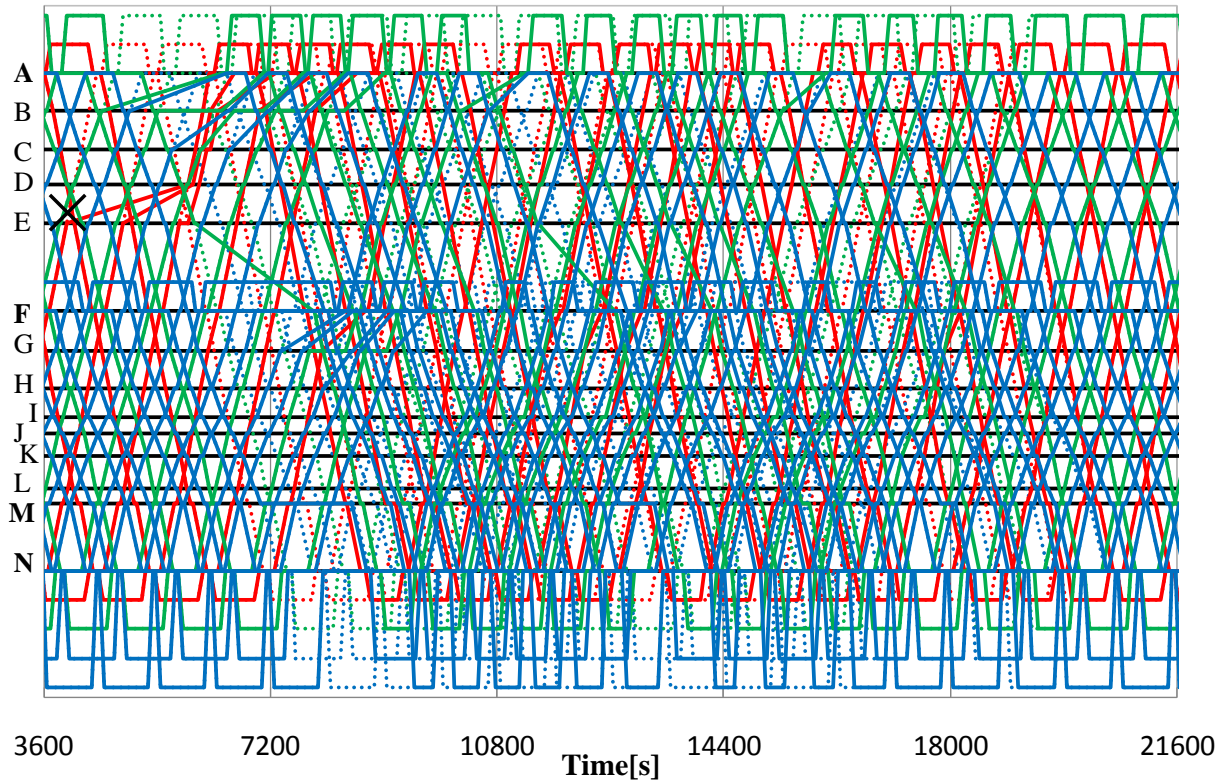


図2 事故時の運行シミュレーション結果

### (3.1) 駅間停車を防ぐための時刻変更

駅間停車を防ぐための時刻変更について、列車は駅間停車しそうな前の停車駅で時刻変更するものとしている。時刻変更のアルゴリズムは文献(2)で述べている。

### (3.2) 列車間隔を調整するための時刻変更

このアルゴリズムは、駅間停車を防ぐための時刻変更のアルゴリズムを適用した後に適用する。文献(2)より、調整時間を算出する式は、式(1)ようになる。

$$x = \frac{-(1+w_c) \sum_{V=I+1}^T P_V + \sum_{U=I}^{T-1} \sum_{V=U+1}^Z (p_{UV} + q_{UV}) H_{UV}}{2(1+w_c) \sum_{U=I}^{T-1} \sum_{V=U+1}^Z p_{UV}} \quad (1)$$

ただし、 $I$ は調整実施駅、 $T$ は $I$ 駅からの余裕時分の合計によって調整時間が吸収できる駅、 $Z$ は終着駅、 $w_c$ は駅で待つ時間に感じる損失の重み、 $P_V$ は $V$ 駅で下車した乗車人員、 $p_{UV}$ は $U$ 駅から $V$ 駅を乗換せずに利用する単位時間当たりの乗車人員、 $q_{UV}$ は $U$ 駅から乗車し、 $V$ 駅で乗換のために降車する単位時間の乗車人員、 $H_{UV}$ は後続列車を待った時との損失の差である。 $x$ は調整実施駅 $I$ 駅を遅らせて発車させる時間である調整時間とする。 $\tau_a$ は、 $a$ 駅での停車余裕時分である。 $x$ は、5秒単位で丸めるものとする。以上より、アルゴリズムを示す。

①到着の遅れが発生して最も遅い到着時刻の直前から停車余裕時分がありそうなところ及び折り返し駅を該当箇所とし、時間とは逆順に探索する。

②該当箇所を $T$ 駅とし、 $T$ 駅の前の停車駅を $I$ 駅として $x$ を

算出し、 $x$ が0や負のときは $I$ 駅を前の停車駅に順に変えていき、 $x$ が正になるか該当箇所当たるまで繰り返す。

③ $x$ が大きいときは、値を調整する。

④ $x$ の分だけ $T$ 駅で該当列車の発車を遅らせる。

⑤事故発生時刻まで繰り返したら、乗客流解析を行い、①に戻って、該当箇所がなくなるまで繰り返す。

今回、③について次の3種類のルールでシミュレーションを行った。

$\alpha$ …調整対象の列車が $T$ 駅出発で余計に遅れない程度の調整のみを行う。

$\beta$ … $\alpha$ に加え、他の列車が停車駅の到着で余計に遅れないよう調整する。文献(2)と同じルールである。

$\gamma$ … $\alpha$ に加え、構内作業を含む他列車のダイヤに遅れが余計に遅れないように調整する。

ルール $\alpha$ 、ルール $\beta$ 、ルール $\gamma$ 適用のダイヤと詰めダイヤの比較のために、各ダイヤの評価値から計画ダイヤの評価値を引いた評価値を図3に示す。また、ルール $\beta$ とルール $\gamma$ 適用のダイヤを図4と図5に示す。なお、それぞれ点線は、駅間停車を防ぐための時刻変更のアルゴリズムを詰めダイヤに適用したダイヤである。

また、各ルールの評価値と列車間隔を調整するためのアルゴリズム⑤に達した回数との関係を図6に示す。なお、図6の評価値は、各ルールでの評価値から計画ダイヤの評価値を引いた値とする。また、図4と図5の点線のダイヤの評価値から計画ダイヤの評価値を引いた値が適用前の値である。

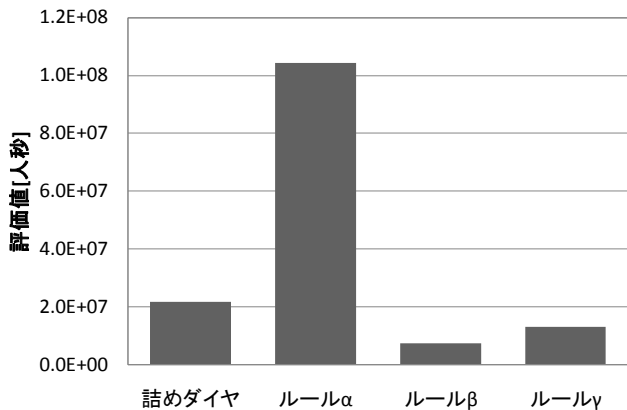


図3 評価値の比較

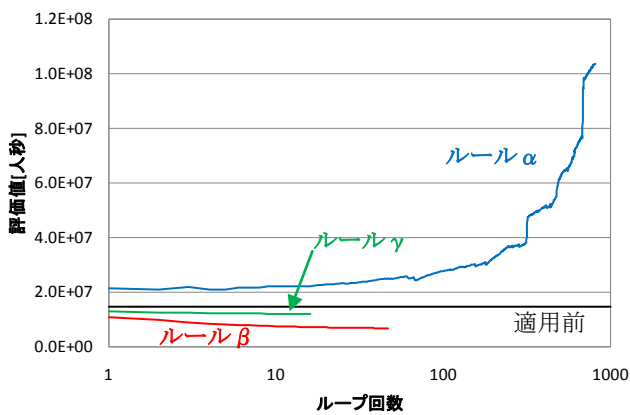


図6 ループ回数と評価値の推移

ルールαでは、他の列車の遅延を許容している為に、列車遅延が増大していき、ループの回数が増すにつれて評価値が悪化するという結果になった。このため、運転整理の手法として不適當であったと考えられる。ルールβは、交差支障等で生じる構内作業等旅客流動と関係ない遅延を許容することで、その分、より計算式の値に近い時間で調整でき、ルールγより評価値が小さくなったと考えられる。また、1回目のループで最終的に下がる評価値の半分くらい下がっており、ループしなくともある程度アルゴリズム適用の効果があることが確認できた。

#### 4. 本システムへの実装を目指す運転整理手法

##### 〈4.1〉 順序変更

図2において、A駅進入時に番線の使用順序の制約により、手前で長時間停車が強いられている列車が存在する。これらの列車の番線の使用順序を変更することで、遅延の軽減、列車間隔の平準化や乗客視点での評価値の減少が期待できる。

##### 〈4.2〉 運転線路変更

図2において、事故列車によって、駅間で詰まってしまっている列車が存在する。これらの列車の運行を行う線路を変更することで、遅延の軽減、列車間隔の平準化や乗客視点での評価値の減少が期待できる。

##### 〈4.3〉 運休

図2において、列車が詰まっている反対側の方向は、列車の間隔が開いてしまっているところがある。詰まっている方の列車の運行を取りやめ、折返すことで、列車間隔の平準化や早期のダイヤ回復が期待できる。

#### 5. まとめ及び今後の予定

今回、あるケーススタディーで、運転整理の時刻変更について、列車間隔を調整するためのアルゴリズムにおいて、調整時間の限定法について3つのパターンのシミュレーションを行い、結果のダイヤとダイヤの評価値を示した。それぞれのダイヤの評価を行った。このことで、他の列車の停車駅での遅延を許容しない範囲がよいという結果を得ることができた。また、順序変更や運転線路変更、運休といった運転整理手法の実装の有効性について述べた。今後、これらを実装していく。

#### 文 献

- (1) Nagasaki Yusaku, Eguchi Makoto and Koseki Takafumi : "Automatic Generation and Evaluation of Urban Railway Rescheduling Plan", *Proc. of Int. Symp. on Speed-up and Service Technology for Railway and Maglev Systems STECH '03* (2003年)
- (2) 福地正樹、古関隆章 : 「高密度運行の複々線区間における折り返しを考慮した運転整理」, 電気学会交通・電気鉄道・ITS 合同研究会, TER-10-058, ITS-10-049 (2010年)

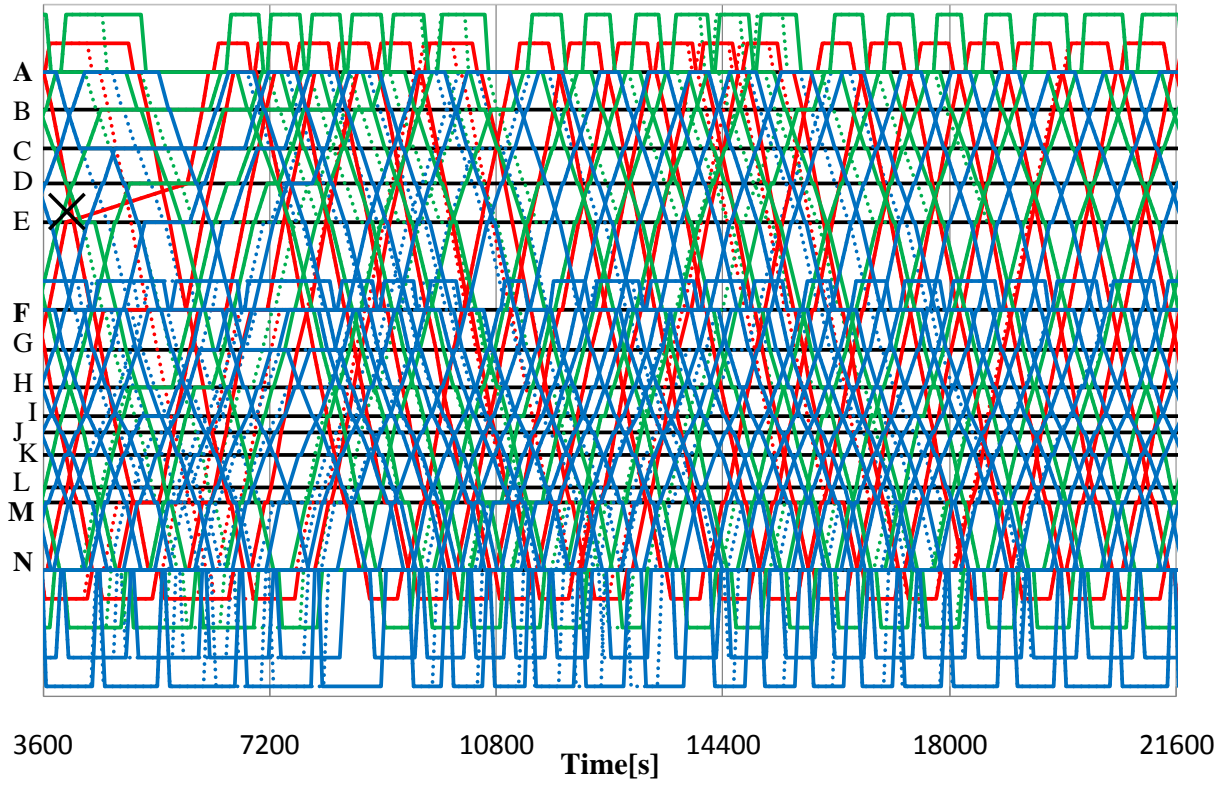


図4 ルール $\beta$ 適用のダイヤ

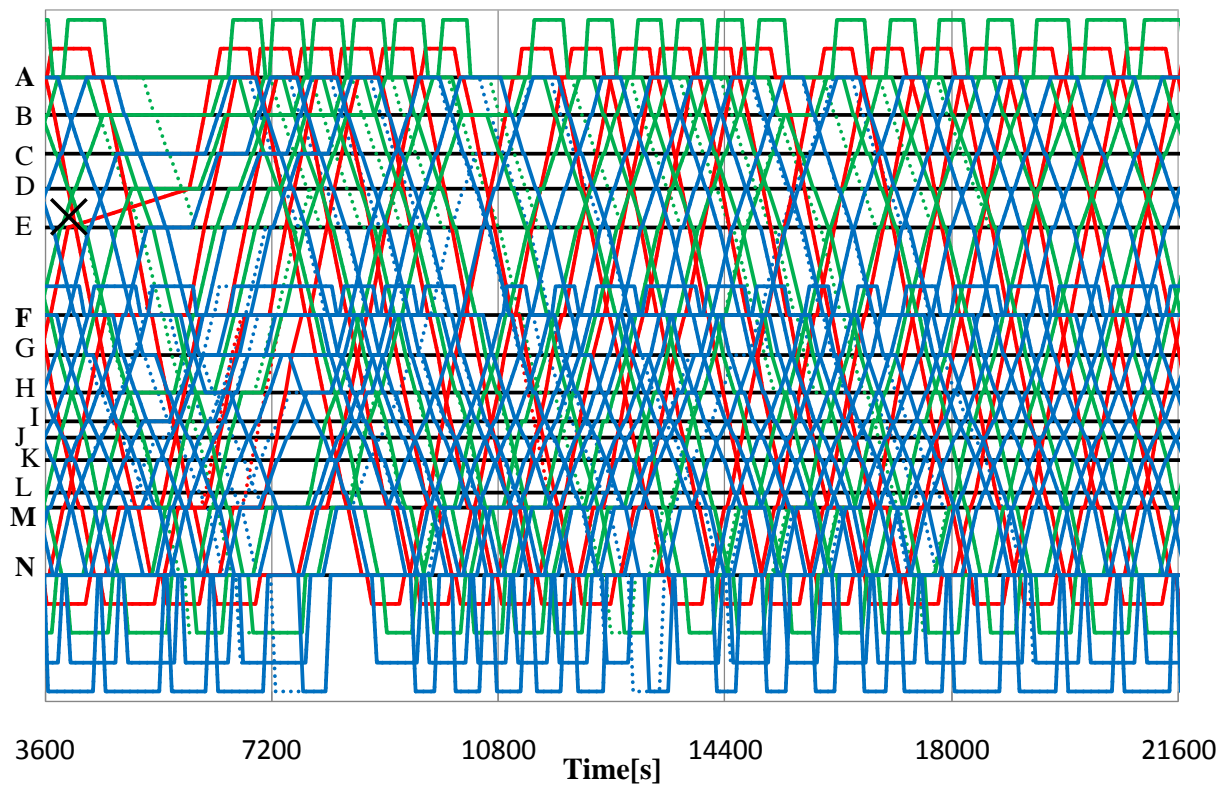


図5 ルール $\gamma$ 適用のダイヤ