

# 利用者の不満を最小にする列車運転整理アルゴリズム

富井 規雄<sup>†</sup> 田代 善昭<sup>†</sup> 田部 典之<sup>¶</sup> 平井 力<sup>†</sup> 村木 国満<sup>‡</sup>

運転整理を支援するコンピュータシステムが実用化されるようになってきているが、それらは自動作成機能に欠けるために人間の負担はさほど軽減されていない。本研究では、従来とは異なって、運転整理案の評価尺度として、利用者の不満に着目することを提唱する。ここで、利用者の不満とは、列車の遅延、列車の頻度、接続等に対して、線区・ダイヤ・事故の規模に応じてあらかじめ定義しておくものである。そして、運転整理案の作成問題を、利用者の不満を最小にする組み合わせ最適問題ととらえ、メタヒューリスティクスに基づく高度な自動作成機能を備えた運転整理案作成アルゴリズムを導入し、あわせて、実線区に対する本アルゴリズムの実験結果について紹介する。

## Train Traffic Rescheduling Algorithm which minimizes Passengers' Dissatisfaction

Norio TOMII<sup>†</sup> Yoshiaki TASHIRO<sup>†</sup> Noriyuki TANABE<sup>¶</sup> Chikara HIRAI<sup>†</sup> Kunimitsu MURAKI<sup>‡</sup>

Although computer systems which assist human experts in rescheduling disrupted train traffic is being practically employed recently, they are not so helpful in decreasing the workload of human experts. This is because they are lacking in intelligence such as to automatically make rescheduling plans. Unlike conventional works, we propose to use passengers' dissatisfaction as a criterion of rescheduling plans. We regard train traffic rescheduling as a combinatorial optimization problem in which dissatisfaction of passengers should be minimized and introduce an algorithm using meta-heuristics. We also show some experimental results of the algorithm using actual train schedule data.

### 1. はじめに

鉄道にとって安定輸送は非常に大切であるが、時として、天災、事故、車両故障などによって列車ダイヤに乱れが生じることがある。このような場合、列車の運行を正常に戻すために、一連の列車ダイヤの変更が行なわれる。この業務を運転整理と言う<sup>1)</sup>。

近年、運転整理案の作成を支援するコンピュータシステム(運転整理支援システム)が実用に供されるようになってきた<sup>2)</sup>。しかし、それらのシステムは、列車順序の変更程度の単純なダイヤ変更提案機能を備えるのみで、それ以外のダイヤ変更を自動的にこなす機能は備えていない。そのため、運転整理案を考案する作業は、指令員と呼ばれる専門家にまかされており、大きな負担となっているのが実情である。

この問題を解決するためには、運転整理支援システムに、運転整理案の自動作成機能を付加して、機能の

高度化、インテリジェント化を図る必要がある。

しかしながら、運転整理案を自動的に作成することは非常に難しい。本稿では、運転整理案作成問題を組合せ最適化問題ととらえ、計画ダイヤと事故の状況が与えられた時に、近似最適な運転整理案を迅速に作成するアルゴリズムの開発を目指す。そのためには、次の2つの問題を解決する必要がある。

運転整理案の評価尺度の確立

近似最適な運転整理案を迅速に作成するアルゴリズムの確立

本稿では、運転整理案の評価尺度として、利用者の不満を用いることを提唱する。そして、利用者の不満を最小にする運転整理案を自動的に作成するためのアルゴリズムを導入する。

ここで、利用者が不満と感ずる状況は、あらかじめ洗い出して蓄積しておく(これをクレームファイルと呼ぶ)。利用者の不満としては、列車の発遅延、列車の着遅延、列車の駅外での停車(機外停止)による駅間の走行時分の延び、列車の運休や遅延に伴う乗車チャンスの減少、列車間の接続が取られないことなどを考慮する。

利用者が何を不満と感ずるかは、線区の性格や事故

<sup>†</sup> (財)鉄道総合技術研究所  
Railway Technical Research Institute  
<sup>¶</sup> 北海道旅客鉄道(株)  
Hokkaido Railway Company  
<sup>‡</sup> ニューメディア総研(株)  
New Media Souken Co. Ltd.

の規模等によって異なるため、状況に応じたクレームファイルをあらかじめ準備しておく。前述のように、運転整理の評価尺度は、線区の事情や事故の規模等によって異なるが、本研究では、線区や事故の規模等に応じたクレームファイルを個別に準備しておくことでその問題の解決を図る。

この考え方を採用することにより、従来の画一的な評価尺度の下では実現が困難であった、運休、車両運用変更、着発線変更等を含んだ運転整理案が自動的に生成でき、また、接続や駅での待ち時間への考慮なども可能となる。これらは、既存の研究では対象とされていなかった事柄である。

本アルゴリズムを PC 上に実装し、現実の線区のダイヤを用いて、その評価を行なった。その結果、実用可能な運転整理案を迅速に生成できることを確認した。

## 2. 運転整理支援システムの現状

### 2.1. 運転整理の難しさ

運転整理は、非常に難しい業務である。その主な理由としては、次があげられる<sup>3)</sup>。

- (1) 運転整理案の最適性の評価尺度は、事故の規模や発生時間帯、線区の性格等によって異なる。すなわち、評価尺度を一律に決定することができない。
- (2) 多数の列車を対象とした大規模な組合せ問題であること。
- (3) 走行している列車を対象としているため、迅速性が要求される。
- (4) 必要な情報が必ずしもすべて得られるとは限らない。

### 2.2. 従来の運転整理支援システムとその問題点

運転整理は、きわめて難しい業務であるために、コンピュータによる支援が求められてきており、運転整理案作成支援システムに関する研究が進められてきた<sup>4)5)6)</sup>。ただし、これらにおいて考慮されている運転整理手段としては、発順序変更（待避箇所の変更）程度であって、これ以外のダイヤ変更は、使用者が入力する必要がある。

このような運転整理支援システムは、次の理由により、指令員の負荷の軽減のためには有用ではない。

- (1) 発順序変更以外のダイヤの変更入力は、使用者が入力する必要があるため、入力の労力が大きい。
- (2) 局所的な判断を積み重ねて運転整理案を得ようとするアルゴリズムであるため、全体として最適な運転整理案が得られない。

## 3. 利用者の不満による運転整理案の評価

### 3.1. 運転整理の評価に関する従来の研究

運転整理案作成問題を組み合わせ最適化問題ととらえるためには、運転整理案に対する評価尺度を明確にする必要がある。

運転整理案の評価尺度としては、これまで次のようなものが提案されてきた。

- 遅延時分による評価
- 運休列車本数による評価
- 遅延が収束するまでの時間による評価
- 利用者側の損失・不効用による評価<sup>7)8)</sup>
- 利用者が期待するサービスとの乖離による評価<sup>9)</sup>

しかし、運転整理が行なわれる状況は千差万別であること、必ずしもすべての情報が得られるとは限らないこと等を考慮すると、これらの評価は、いずれも満足のいくものではない。

### 3.2. 利用者の不満による運転整理案の評価

本研究では、現時点の技術においても適用可能な評価尺度を提案することを念頭において、利用者の不満に着目した運転整理案の評価尺度を提唱する。この考え方の背景は、次の通りである。

- (1) 運転整理が行なわれるケースは千差万別であり、さまざまなケースに対して、遅延時分や運休本数等の画一的な評価尺度を使用することは適切でない。
- (2) 運転整理が行なわれる状況は、「異常時」であり、鉄道会社の視点からの評価尺度は、重要ではない。
- (3) 運転整理が行なわれる状況において、利用者の数や利用者の行動を予測することは、容易ではないため、それらを用いた評価尺度を使用することには、現時点では限界があると考えられる。
- (4) 指令員が運転整理案を作成する際には、利用者になるべく迷惑をかけないことを念頭においており、「利用者の不満」という考え方は、指令員の直感によく合致する。

### 3.3. 利用者の不満の定義

本研究では、利用者の不満として、次を考慮する。

- (1) 列車の遅延に関する不満
- (2) 列車の停車時分の増加に関する不満
- (3) 列車の駅間の走行時分の増加に関する不満
- (4) 列車の運転頻度に関する不満
- (5) 列車の接続に関する不満

作成された運転整理案に対して、これらの不満の件数をカウントし、その重みつき線形和を、その運転整理案の評価値とする。

## 4. 利用者の不満を最小にする運転整理案作成アルゴリズム

### 4.1. アルゴリズムの概要

本アルゴリズムでは、利用者の不満を「制約」ととらえ、運転整理案作成問題を、制約違反をなるべく少なくするスケジュールを求める制約充足問題であるととらえる。また、列車ダイヤを、列車運行ネットワークと呼ぶ、ある種の PERT ネットワーク（列車運行ネットワーク）で表現する<sup>6)10)</sup>。そして、「列車の遅延、停車時分・走行時分の増加に関する制約違反は、列車運行ネットワーク中で、その制約違反箇所の事象に対応するノードに至るクリティカルパスを構成するアークのいずれかに原因がある」という性質を用いて、制約違反の解消を行なう。アルゴリズム全体の枠組みは、シミュレイトイド・アニメーション<sup>11)</sup>に基づく。アルゴリズムの詳細については、12)をご参照いただきたい。

### 4.2. 制約違反解消手段の制限

本アルゴリズムでは、制約違反を解消する時に用いるダイヤ変更手段を制限することを行なう。

- 探索開始後、一定世代が経過するまでは、ダイヤ変更手段として、「順序変更」、「着発線変更」のみを用いる。
- さらに、一定世代が経過するまでは、ダイヤ変更手段として、上記に加えて、「車両運用変更」を用いる。
- さらに、一定世代が経過した後は、上記に加えて「運休」を用いる。

このように探索の進行にともなって、用いるダイヤ変更手段に制限を加えるという方式を採用することにより、探索空間が膨大になることを防止し、精度の高い解を効率よく求めることを目指している。

## 5. 実験結果とその評価

### 5.1. 実験結果

本稿で導入したアルゴリズムを PC に実装し、実際のダイヤデータを用いて、その性能を検証した。

#### (1) 用いたデータ

対象とした線区は、首都圏近郊の約 40km の路線である。実験では、この線区の 24 時間分の列車ダイヤ（列車本数は、総計 564 本）を用いた。

#### (2) クレームファイルの構成

クレームファイルは、主要駅での上下方向の発遅延、各駅間の走行時分の増加、主要駅での停車時分の増加、主要駅における列車頻度、分岐駅における列車の接続等に関して作成した。クレームファイルのレコード件

数は、計 265 件であった。

#### (3) 実行世代によるダイヤ変更手段の制限

100 世代までは、順序変更、着発線変更を用い、200 世代までは、加えて車両運用変更を用いることとした。また、201 世代以降は、制限なしとした。

#### (4) 実験内容

- 実験 1：駅間で列車が約 30 分停止したケース（踏切事故を想定）に対して、アルゴリズムを 10 回実行した。
- 実験 2：4.2 で導入した、用いるダイヤ変更手段を世代に応じて制限するという戦略の有効性を確認するために、実験 1 と同じ乱れのケースに対して、用いるダイヤ変更手段を世代によって制限しないとして、アルゴリズムを 10 回実行した。

#### (5) 実験の結果

- 実験 1 の結果：運転整理をしない場合の列車ダイヤと本アルゴリズムで生成された運転整理案の一つをそれぞれ図 1、図 2 に示す。また、10 回の実行の結果を表 1 に示す。
- 実験 2 の結果：10 回の実行の結果を表 2 に示す。

表 1：実験 1 の結果

Table 1: Results of Experiment 1

試行	最良解の評価値	最良解が得られた世代
1	346	361
2	344	363
3	348	271
4	349	230
5	349	289
6	351	132
7	345	306
8	344	282
9	348	312
10	349	239

表 2：実験 2 の結果

Table 2: Results of Experiment 2

試行	最良解の評価値	最良解が得られた世代
1	479	342
2	392	369
3	480	190
4	441	353
5	345	388
6	347	163
7	354	298
8	398	9
9	472	9
10	586	182

## 5.2. 評価と考察

### (1) 実験 1

実験 1 については、すべての試行において、実用上問題のない運転整理案を生成している。例えば、図 2 のダイヤ図を図 1 のダイヤ図と比較すると、列車の順序の変更や車両運用変更を適切に行なうことによって、特に事故発生直後の列車の頻度を確保した運転整理案を生成していることがわかる。これらの運転整理案を、輸送指令員と呼ばれる実業務の専門家に示し、実用的であるという確認を得ている。

また、表 1 からは、10 回の試行において、最終的に得られる解の評価値はほぼ一致していることが分かる。これらのことから、本アルゴリズムは、安定して良好な解を生成可能であると判断できる。

実行時間は、解が収束する 300 世代までで、約 2 分 (Pentium 3.06 GHz) であり、十分実用的な値であった。

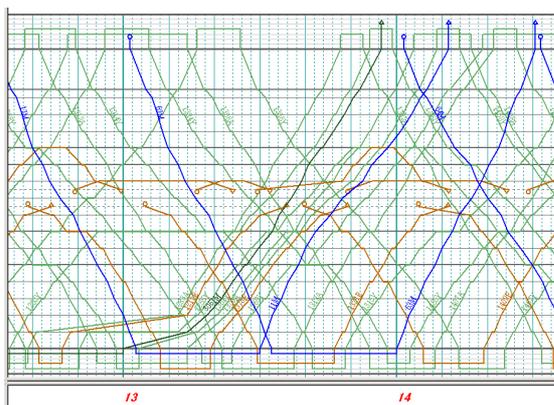


図 1 : 運転整理なし (実験 1)

Fig.1 : Without rescheduling (Exp. 1)

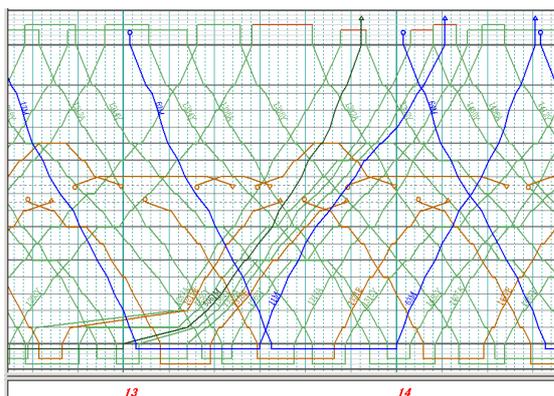


図 2 : 実験結果 (実験 1)

Fig.2 : A rescheduled plan (Exp. 1)

### (2) 実験 2

表 1 と表 2 を比較すると、表 2 では、得られた解の

質にばらつきがあること、探索の初期で局所最適解におちいっていると思われる場合があることがわかる。実験 2 で作成された運転整理案の内容を観察したところ、待避を解除すれば制約違反を解消できる列車を運休にしてしまう、車両運用変更を行なえば制約違反を解消できる列車を運休にしてしまう等の現象が見られた。一方、実験 1 で作成された運転整理案ではそのような現象は観察されなかった。この結果は、4.2 で導入した、用いるダイヤ変更手段を世代に応じて制限するという戦略が良好に動作していることを示していると考えられる。

## 6. おわりに

運転整理案の評価尺度として、利用者の不満に着目する考え方を新たに提唱し、その考え方に基づく運転整理案作成アルゴリズムを導入した。本アルゴリズムは、PERT とシミュレーテッド・アニーリングを組み合わせたもので、これまでの研究では実現されていなかった、列車の運休や、車両運用変更、着発線変更を自動的に実施する機能を持つほか、その時の状況に応じた運転整理案を迅速に作成する機能を有する。

また、実際のダイヤデータを用いた実験により、提案アルゴリズムの有効性を実証した。

## 参考文献

- 1) 富井規雄編：鉄道システムへのいざない、共立出版 (2001).
- 2) 特集「運行管理」、JR ガゼット、Vol. 57, No.3 (1999).
- 3) 富井規雄：ダイヤの乱れを克服する - 鉄道の運行管理システムの現状と今後、情報処理、Vol. 44, No. 8 (2003).
- 4) 駒谷喜代俊、匹田志郎、安部恵介：知識工学的アプローチによる列車運転整理支援システムの開発、電学論、Vol. 107-C, No.2 (1987).
- 5) 荒木大他：マンマシン協調モデルに基づく運転整理エキスパートシステム、電学論 Vol.115-C, No.5 (1995).
- 6) 富井規雄、池田宏：ハイブリッド型列車運転整理シミュレータ、電気学会産業システム情報化研究会 IIS-96-14 (1996).
- 7) 小林里紗：利用者の利便性から見た非常時の運転整理ダイヤの評価、東京大学工学部土木工学科卒業論文 (2000).
- 8) 長崎祐作、古閑隆章：都市近郊鉄道における運転整理案の作成と評価、電気学会交通・電気鉄道研究会、TER-02-63 (2002).
- 9) 村田悟、Goodman, C.: 乗客の満足度を考慮した列車群制御方式、第 34 回鉄道サイバネ論文集 (1997).
- 10) 安部恵介、荒屋真二：最長経路法を用いた列車運行シミュレーション、情処論、Vol.27, No.1 (1986).
- 11) Aarts, E. and Korst J.: *Simulated Annealing and Boltzman Machines*, Wiley & Sons Inc. (1989).
- 12) 富井規雄他：利用者の不満を最小にする列車運転整理アルゴリズム、情処研究報告、知能と複雑系 2003-ICS-121-7, 2002.