

# 運転整理ダイヤ案に対する乗務員運用の難易度評価手法

輸送情報技術研究部 運転システム

主任研究員 坂口 隆

## 1 はじめに

輸送障害が発生した場合、最初に列車時刻の変更や運休・および休活とこれらに伴う車両運用が行われる（これらは運転整理と呼ばれている）。運転整理ダイヤが作成されると、これに合わせた乗務員運用変更が計画され、乗務員の手配が可能であることが確認された後、運転整理が実施される。しかし運転整理ダイヤを作成する段階では、乗務員運用はほとんど考慮されていないため、時として運行すべき列車に乗務員を充当できず、輸送障害の収束を阻害してしまう場合がある。筆者らはこの問題に対し、運転整理ダイヤの案が作成された段階で、乗務員運用変更の可否と、それが可能な場合の乗務員にかかる負荷を推定し評価するアルゴリズムを開発し、これを用いて上記の問題を回避する運転整理案作成システムの枠組みを提案した。

また、実際の列車ダイヤに仮想的な輸送障害を発生させたときの運転整理ダイヤを複数案作成し、それらに対して本手法による評価を行って最も妥当な運転整理案を選択するというシミュレーション実験を行い、本手法の適用効果を確認した。

本発表では、運転整理ダイヤの作成時に乗務員運用を考慮する場合の課題、それに対するソリューションとして筆者らが開発した乗務員運用難易度評価アルゴリズムの概要、および運転整理ダイヤ案の評価選択シミュレーションの試験結果について述べる。

## 2 運転整理における乗務員運用の困難さ

JR などの広範囲にわたる線区を運行する鉄道会社では、複数の乗務員基地（区所）を置き、区所によって乗務する列車系統や乗務エリアを限定して運用することが多い。またそれらは乗務員運用の効率の面から区所間で互いにオーバーラップしているため、乗務員運用の中には、異なる区所の乗務員の間で運転を交代する箇所が多数存在している。旅客サービスの上から列車(車両)は乗務エリアを超えて設定されており、従ってそのような列車では必ず途中の駅で異なる区所の乗務員との間の交代が必要になる。線区の構造上、複数の区所によって運用することはやむを得ず、またメリットも大きいですが、その反面、運転整理においては次のような乗務員運用の困難さが生じていることが調査の結果わかった。

- 各区所は自区所の乗務員が乗務する列車を管理しており、他区所が担当する列車に関する情報を詳細には把握していない。
- ある列車において、運転整理によって他区の乗務員と乗務交代する予定の駅でそれができず乗務区間を延長させる場合、その列車が運転可能でも、折返し列車が他区所担当の列車だったり、行き先によっては乗務できなかつたりするため、乗務員運用が行き詰まる危険性が高くなる。この理由から、“持ち替え”（他区所の担当区間に乗務すること）は極力避けるようにしている。
- 運転整理による運休が特定の区所担当の列車に集中すると、乗務員運用への負荷がそれ以外の区所に偏り、その結果として乗務員の不足が発生する。その場合は、他区所に要請して持ち替えを行うことによって乗務員を手配しなければならない。

これらのことから、各区所の担当列車に自区所の乗務員を充当できなくなる運転整理ダイヤは、

乗務員運用を困難にする危険が高い（ハイリスクである）と言える。このような運転整理ダイヤは、最悪の場合その列車に他区所の乗務員すら充当できない、すなわち、実施不可能な運転整理ダイヤである可能性がある。したがって、運転整理ダイヤ案に対して、各列車の担当区所乗務員の充当の可否を判断することで、乗務員運用の難易度を推定することができる。また、担当区所の乗務員を充当することができたとしても、そうするために多くの乗務員を駅から駅に移動（便乗）させることは、不安定な運転整理ダイヤの上においてはトラブルの元であり出来るだけ避けなければならない。

### 3 乗務員運用を考慮した運転整理ダイヤの作成

上記より、運転整理ダイヤの乗務員運用への影響（＝乗務員運用の難易度）を評価するのに、それに対する乗務員運用変更で必要となる持ち替えと便乗の量（回数や乗務区間）がひとつの指標となることが分かった。したがって、運転整理ダイヤの作成においては、結果としてこれらの量を減らすことが乗務員運用を考慮することになり、乗務員運用変更から運転整理への手戻りの可能性を減少させ、輸送障害から平常ダイヤへの早期復帰につながる。

そこで、そのような評価指標を併せ持つ運転整理ダイヤ作成アルゴリズムを開発することが本研究の目標となる。運転整理ダイヤを作成するアルゴリズムに関して、現在鉄道総研が採っている方法は、運転整理を行わない場合の予測ダイヤを作成し、これを旅客サービスの面から評価して改善すべき点を抽出し、改善されたダイヤを作成するということを繰り返す、逐次改善法に基づいている<sup>1)</sup>。この繰り返しの部分に乗務員運用への影響の面からの評価を組み込んだ場合のアルゴリズム構成は図1のようになるが、しかし、この方法は重大な問題を含んでいる。運転整理は輸送量の確保と平常ダイヤへの早期復帰が本来の目的であり、個別の変更、例えば運休、車両運用変更などを決定する際に乗務員運用への影響を考慮してしまうと、それらが阻害される恐れがあるので、ひとつの整理ダイヤ案が完成するまでの処理中に乗務員運用の難易度評価に基づく判断を行うべきではない。

この問題に対して、筆者らは図2に示すような運転整理ダイヤ作成システムの枠組みを提案した。この枠組みは、運転整理案作成アルゴリズムと、作成された運転整理案に対する乗務員運用の難易度評価アルゴリズムによって構成される。第1ステップにおいて運転整理案が作成される時点では乗務員運用については考慮せず、運転整理案に対して、第2ステップで乗務員運用の難易度を評価する。この判定の結果、実行可能だと判定された場合は、これを本アルゴリズムの提案する運転整理案のひとつとして、その評価値（運転整

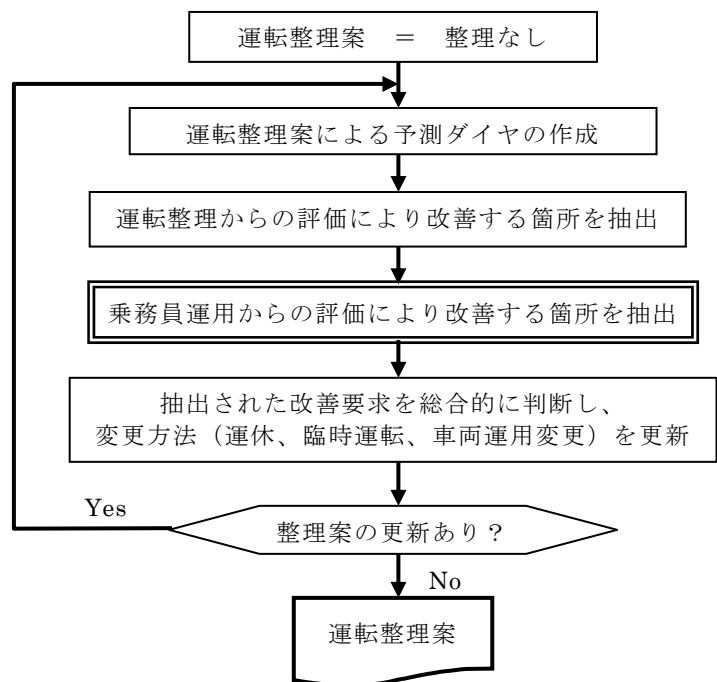


図1 本来目的が阻害される可能性のある処理構成

理による評価と乗務員運用の難易度による評価)を付けて出力する。実行不可能であると判断された場合には、乗務員を充当する上で必要となる改善箇所(クリティカルポイント)を抽出し、これを運転整理案作成システムの入力として、指摘箇所を解消するように運転整理案を改善するループを繰り返す。

計画担当者はこれを何度か実行して複数の運転整理案を作成し、それぞれの評価値を比較検討して最も妥当な運転整理案を運転整理ダイヤとして採用する。

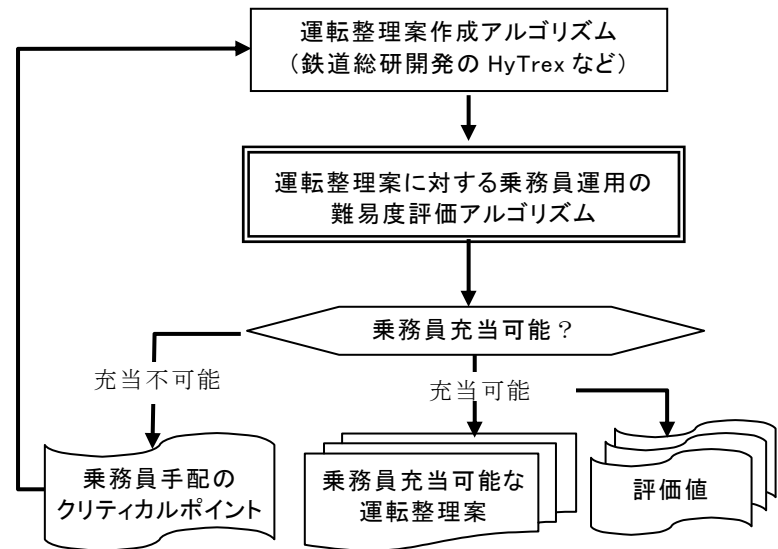


図2 提案する運転整理ダイヤ作成アルゴリズムの枠組み

#### 4 乗務員運用の難易度評価アルゴリズム

上記で示した枠組みにおいて、乗務員運用の難易度は、前述したように所属区所の異なる乗務員の間で交代する「持ち替え」の回数と、便乗の回数を調べることで評価できる。ここで、運転整理ダイヤからこれらをどのようにして調べるかが課題となるが、運転整理の現場では一刻も早く整理ダイヤを作成し関係箇所に伝達する必要があるため、運転整理ダイヤを作成する段階で乗務員運用変更までを模擬的に行う、いわゆるシミュレーション方式による評価は現実的ではない。したがって、運転整理ダイヤを解析して、どのような乗務員運用変更を行うかに関わらず最低限必要となる持ち替え回数と便乗回数を求める手法が必要となるが、過去においてこのような手法が研究された例はない。

筆者らはこの問題を、一種のリソース配分問題と捉えて定式化し、それを制約プログラミングによって解く方法を開発した。

図3に開発したアルゴリズムの概要を示す。本アルゴリズムでは最初に入力された運転整理ダイヤの列車および車両の折返しを所定の担当区所別に見ると、区所の境界において、その地点まで担当した区所で乗務員が余り(リソースの発生)、その地点から先を担当する区所の乗務員を充当する必要がある(タスクの発生)。各リソースは、そのまま駅で待機するか便乗して他の駅に移動することで到達できる同一区所のタスクに充当することができる。このよう

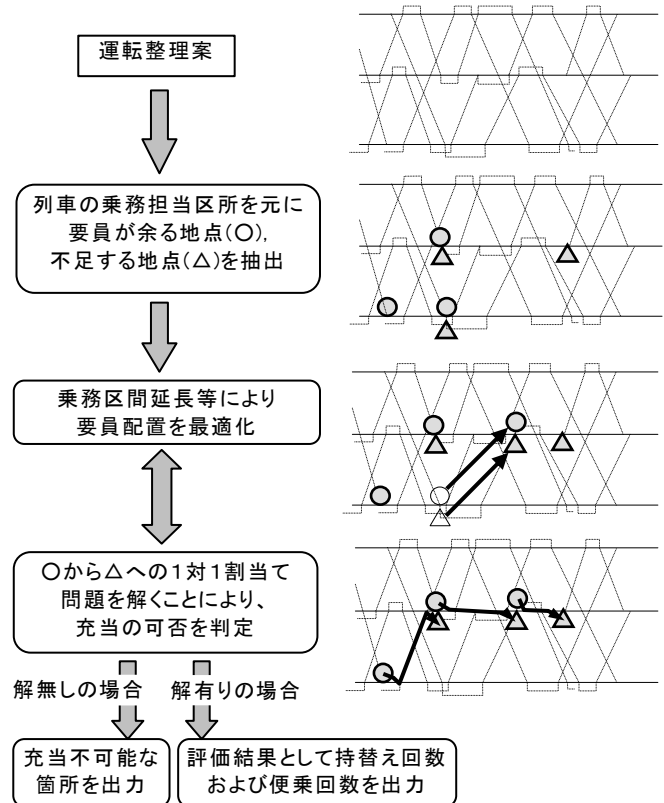


図3 難易度評価アルゴリズムの処理概要

にして各タスクへ充当するリソースの組合せを求めるリソース配分問題を構成することができる。

ただし、抽出したリソースとタスクの位置は持ち替えを行わない場合のものであり、この問題に解が無い場合でも持ち替えを行いリソースとタスクの位置を変更することによって充当可能となるかもしれない。そこで、リソース、タスクの発生位置を持ち替えによって変更できるように変数とし、それらの間の制約条件を付加して、持ち替え回数と便乗回数を評価値とする最適リソース配分問題に拡張した。同問題はリソース・タスク間の同期制約を伴う組合せ最適化問題となるため、制約プログラミングの解探索手法を適用して解くことができる。

## 5 運転整理ダイヤ案の評価選択シミュレーション

提案した運転整理ダイヤ作成システムの枠組みと乗務員運用の難易度評価アルゴリズムの実効性を検証するため、この枠組みに従って運転整理ダイヤ案を複数作成し、その中から評価値を比較して妥当な運転整理ダイヤを選択する模擬試験を行った。試験には JR 稠密線区の輸送計画(列車ダイヤ、車両運用計画、乗務員運用計画)を使用し、次の手順で行った。

- (1) ある駅間で 30 分間上下線が不通となる輸送障害を想定。
- (2) 鉄道総研で開発した運転整理案作成システム HyTrex を用いて、運転整理ダイヤ案を 10 パターン作成。
- (3) 今回開発した難易度評価プログラムにより、各運転整理ダイヤ案に対する乗務員運用の難易度を評価。
- (4) 運転整理ダイヤの評価指標として総遅延時分を採用し、これと乗務員運用の難易度評価指標である持ち替え回数を人間の目で相互比較し、妥当と思われる運転整理ダイヤ案を採用。

シミュレーションで抽出された 10 パターンの案の総遅延時分と持ち替え回数の関係を図 4 に示す。この例では総遅延時分が 2 番目に良い(持ち替え回数が 0 回の)案を妥当な運転整理ダイヤとして採択した。図から総遅延時分が比較的小さい案の中に持ち替え回数を多く必要とするものがあり、今回開発したアルゴリズムによりそのような案を排除できることがわかった。

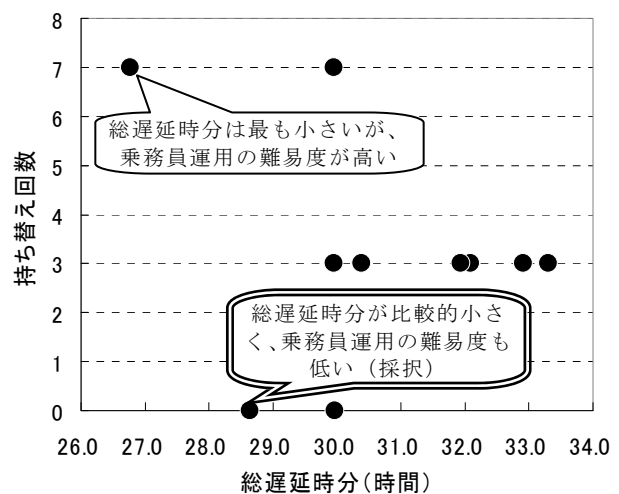


図 4 運転整理案の評価値の比較

## 6 おわりに

本研究では、運転整理ダイヤを作成するシステムに乗務員運用への悪影響を回避するしくみを導入する方法を提案した。しかし、この方法の実効性を定量的に評価するには実際の輸送障害とそれに対する運転整理の履歴、さらには乗務員運用変更の履歴を記録し、それらのデータを用いた検証が必要となる。そのためは、鉄道会社、現場の方々の多大な協力をいただく必要があり、今後の旅客サービスの向上に資するためにもご協力を切にお願いしたい。

## 参考文献

- [1] 富井, 田代, 田辺, 平井, 村木: 「利用者の不満を最小にする列車運転整理案作成アルゴリズム」, 情報処理学会論文誌「数理モデル化と応用」、Vol.46, No. SIG 2 (TOM 11), 2005.