

# 乗務員運用が列車ダイヤの頑健性に及ぼす影響の研究

輸送情報技術研究部 運転システム

副主任研究員 浅見 雅之

## 1. はじめに

都市圏の通勤鉄道路線において、列車が遅延した際、その列車に乗務する乗務員が次の列車の乗務に間に合わなくなるにより、列車遅延をより増大させてしまうという事象が時折発生している。また、ダイヤが乱れた際、複雑に制約条件の絡んだ乗務員運用がハードルとなり、運転整理手配を迅速かつ柔軟に行えないことが多い。本研究では、そのような現状を踏まえ、列車ダイヤの頑健性を高めるための乗務員運用のあり方を提案する。

## 2. 本研究の考え方

### 2.1 乗務員運用計画，運用整理のパターン化

大都市圏のほとんどの通勤鉄道路線で採用されているパターンダイヤ、及び先行研究として提案されているパターンの組合せによる運転整理手法<sup>1)</sup>の考え方を本研究の前提条件とし、これらに対応するものとして、乗務員運用計画，運用整理それぞれをパターン化するという考え方を導入する。現状では、乗務員行路には統一性や周期性は必ずしもないが、パターン化により大部分の行路は同一化され、時刻が周期分ずれるのみとなる(図1)。

これにより、ダイヤの頑健性を高めることができる。なぜなら、ダイヤと乗務員運用が同一パターンの定周期的な繰返しであれば、事故発生の状況の場合分けしたとしても、特にパターン化されない場合と比べ、それほど膨大な場合の数にならずに済み、例えば30分～1時間程度の運転見合わせであれば運転整理時の展開が読みやすくなり、対処方法をマニュアル化、パターン化しやすくなるからである。全ての事故発生パターンに対策を立てるならば、ダイヤの頑健性を乱す要因を排除でき、迅速かつ間違いにくい手配に繋がり、加えて鉄道輸送業務の簡素化、“見える化”にもなる。

### 2.2 休憩，折返し時間の配分の工夫

乗務員運用計画を作成する際、連続乗務できる時間に上限があるなどの勤務制度上の制約があるため、勤務時間の全てを列車乗務に充てることは現実的には難しい。一般に、労働時間のうち乗務時間の割合は良くても7割程度と言われる。

本研究では、そのような制約を活かし、休憩，折返し等の時間を乗務員行路の間に適切に配分し、それらの時間を列車が遅れた際に最大限有効活用する(図2)。なお、ダイヤ乱れ時には勤務制度上の制約条件を守る義務は必ずしもなく、休憩・折返し時間はほぼバッファ時間とみなされているのが実態であるため、本研究でも同様のスタンスを採るものとする。

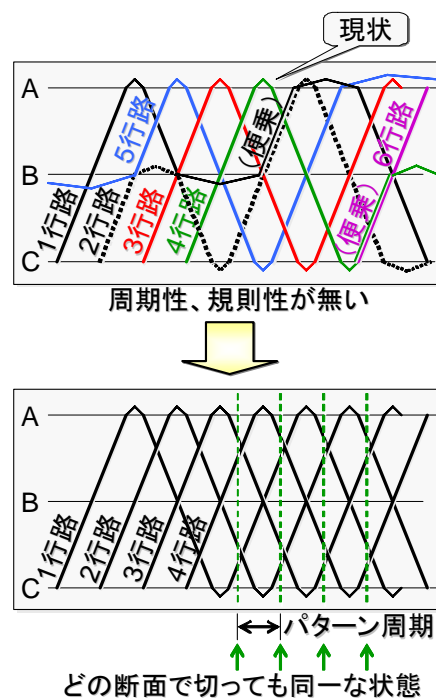


図1 乗務員運用のパターン化



全勤務時間を乗務に充てられない

休憩・折返し等の時間を  
運転整理、運用整理に有効活用

図2 休憩等時間の配分の工夫

### 3. パターン化された乗務員運用モデルの構築

上述の着眼点を踏まえ、パターン化された乗務員運用計画、及び運用整理モデルについて述べる。運用計画モデルについては、運転整理や乗務員運用整理を伴わない列車遅延、運転整理・運用整理を伴う列車遅延の双方の場面を想定して構築するものであるが、本発表では時間の都合上、後者に特化して述べる。乗務員運用整理のモデルは、この後者の場面を対象とした乗務員運用計画モデル、並びに前述の先行研究を踏まえたパターン化された運転整理モデルの上に成り立つものである。以下では、これら3つのモデルについて説明する。

#### 3.1 パターン化された運転整理のモデル

先行研究の考え方にもとづき、現状の運転整理における定石の中で後述の乗務員運用整理に関係する代表的な2つのケースを採り上げ、それらを運転整理のモデルと定義することにする。ここでは、その概要を述べる。

##### (1) 路線の途中区間での運転見合わせ

この場合、事故影響の低い列車については、その前後の駅で折返し運転を行う。運転再開までの時間分の列車を折返し運転、言い換えれば不通区間内では同等の本数分を部分的に運休とする。折返し運転を行う際には、折返す駅で発着時刻の近いもの同士を繋げる(図3)。

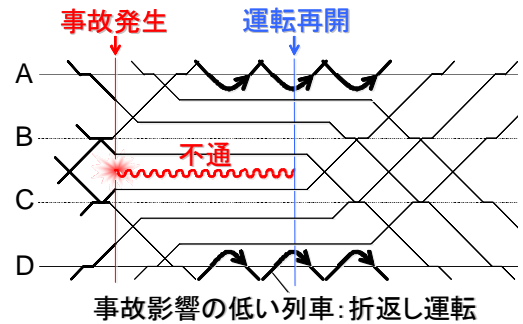


図3 運転整理モデル(途中区間)

##### (2) 路線の末端区間で大幅な遅延

ある列車がB駅手前で後続の列車に接近するほどに遅延し、そのまま終点のA駅まで運転されるとき、その列車の本来の折返しとなる列車のB~A駅間、後続の列車のA~B駅間をセットで運休とする。その上で、2

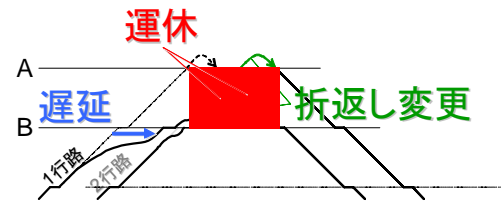


図4 運転整理モデル(末端区間)

本の列車とも終点となるA駅、B駅でそれぞれ折返し変更を行う(図4)。

#### 3.2 乗務員運用整理のモデル

##### 3.2.1 概念の導入

まず、以下の2つの概念を導入する。

##### (1) 位相差

位相差とは、同一のパターンの乗務員行路が繰返されるときのそれらの行路間の時間差と定義する(図5)。パターン的一致が一部分であっても、一致部分に対して適用できるものとする。

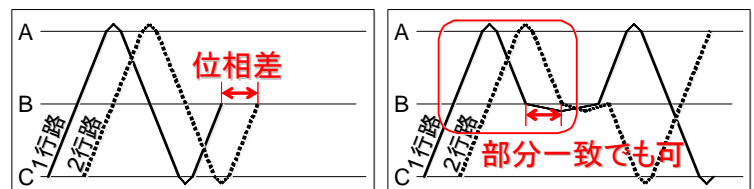


図5 位相差の概念

##### (2) 逆位相

逆位相については、対象路線の中心駅などを基準として、そこからほぼ同時に出発し、下り/上りともほぼ等距離な駅まで往復し、中心駅にほぼ同時に戻ってくる2つの行路があったとき、これらの行路をこの部分に関して逆位相であると定義する。あるいは、より拡張し、中心駅で一度すれ違い、再度戻ってくるまでの間を逆位相と定義することもできる(図6)。

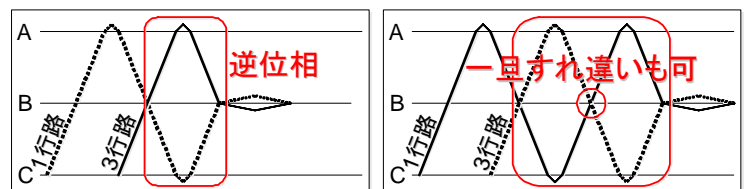


図6 逆位相の概念

### 3.2.2 運用整理のパターン

上述の概念，運転整理モデルを踏まえた乗務員運用整理モデルについて以下で述べる。

#### (1) 休憩等の時間を活用した位相差の相殺

例えば，対象路線の末端区間で前述のような遅延，運休を行った場合，2つの行路の順序が逆転することになる。この場合，後に休憩時間の重なりがあれば，2つの行路を入れ替え，元に戻すことができる（図7）。行路間の位相差が休憩時間よりも短ければ，その一つの休憩時間で一度に振替ができる。ただし，片方の乗務員の休憩時間が2倍近くに伸びる一方でもう片方の乗務員の休憩時間がほぼ無くなってしまいう偏りが生じることから，その偏りを軽減したい場合，あるいはそもそも位相差が休憩時間よりも長い場合は，その休憩時間

の際に暫定的に第3の行路と一時的に振替え，次の休憩時間も使って2段構えで入れ替えることもできる（図8）。さらに，より多くの行路間で多段階的な振替も原理的には可能であるが，手順が煩雑になるので，乗務負担の偏りなどを踏まえて総合的に判断すべきであると考えられる。

#### (2) 逆位相となる行路間での振替

例えばC駅を基準に逆位相となる2つの行路があったとする（図9）。片側の区間で不通になった場合，これらの行路間で逆位相となる部分の行路を入れ替える。ただし，一般には，不通となった方の再開タイミングが逆位相となる部分の時間長さ，時刻と必ずしも完全に一致しないため，先の休憩時間等の重なりを利用した振替の方法と組み合わせる（図10）。

### 3.3 乗務員運用計画のモデル

乗務員運用計画がパターン化され，休憩・折返し時間が適切に配分されていれば（勤務制度上の制約から，一定の休憩時間を一定間隔で付与しなければならない），乗務員行路の振替が可能な休憩・折返し時間の重なり，および逆位相な箇所，振替の相手がダイヤ上の随所に周期的に発生することになる（図11）。したがって，その条件の下では，原則的には先の運用整理方法の組合せにより乗務員運用整理のほぼ全てをまかなうことができると考えられる。

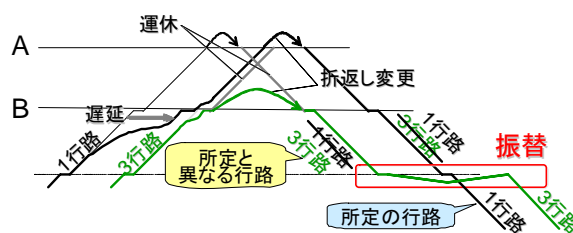


図7 休憩時間等の重なりを利用した振替

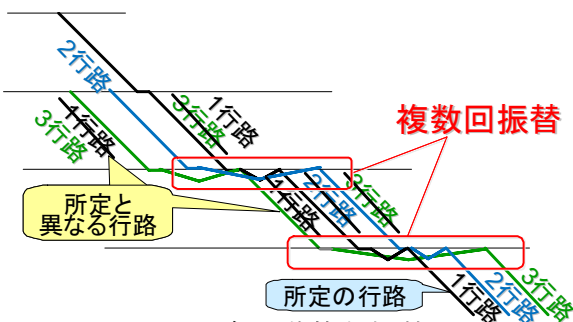


図8 多段階的な振替

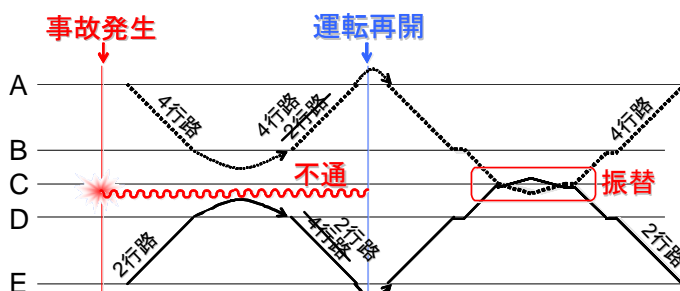


図9 逆位相な行路間での振替

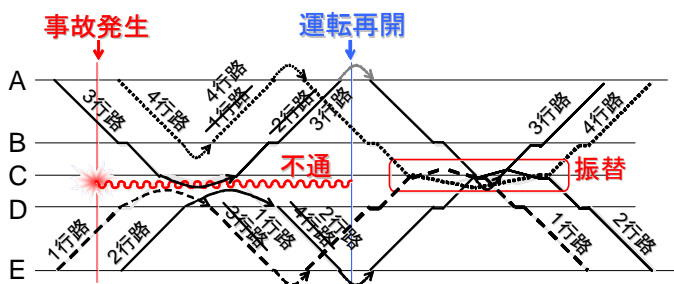


図10 2種類の振替方法の併用

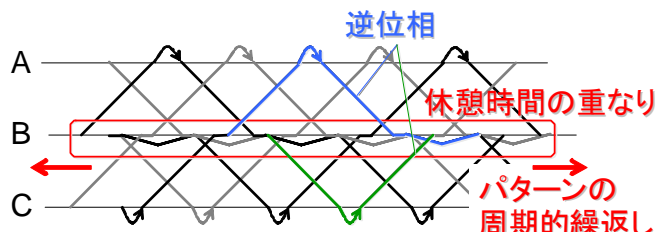


図11 パターン化された運用計画のモデル

#### 4. 実在路線への適用

当該鉄道事業者の勤務制度や運用計画の実務担当者へのヒアリング内容を踏まえた上で、前述の乗務員運用モデルをある実在の通勤鉄道路線に適用することを試みた。その結果、実際の路線を対象にパターン化された乗務員運用計画を終日分作成できることを確認した。以下では特に、平日日中帯のパターンダイヤに関する部分について述べる。

より具体的には、まず平日日中帯のパターンダイヤに合わせて標準労働時間（例えば7時間30分）分の長さの乗務員行路の基本パターンを3種類作成した（図12）。なお、この基本パターン作成においては、勤務制度上の制約条件を全て満たしながらパターンダイヤ上の列車スジ全てをカバーする必要があり、それには一定のアルゴリズム性があるが、詳細は割愛する。これら3種類の基本パターンを貼り合せ、日中帯のパターンダイヤを再現できることを確認した（図13）。このパターン化された乗務員運用計画に着目すべき点として、ほぼ中間に位置するE駅を基準に逆位相の組合せが周期的に発生している点、また休憩時間をほぼE駅に集中させ、前後の乗務員行路間で休憩時間の重なりが周期的に発生している点、その休憩時間の長さも手前の駅で折返し運転を行った際に生じうる最大の位相差に等しくなっている点などが挙げられる。

#### 5. おわりに

本研究では、乗務員運用計画、運用整理のパターン化等の考え方にもとづき、ダイヤの頑健性をより高める乗務員運用計画のあり方を提案した。また、実在の路線において現実的に乗務員運用計画、運用整理のパターン化が可能であることを示した。今後の課題としては、パターン乗務員運用計画を実務上の観点からより精緻にチューニングを施してゆくこと、他の路線でも同様な適用検証を試みることなどが挙げられる。その上で、より頑健性、柔軟性の高いダイヤ、乗務員運用の提案、実現に繋げていく所存である。

#### 参考文献

[1] 平井,富井,田代,近藤,藤森:「運転整理パターン記述言語Rによる列車運転整理案作成アルゴリズム」, FIT2005 第4回情報科学技術フォーラム, LF-001,(2005)

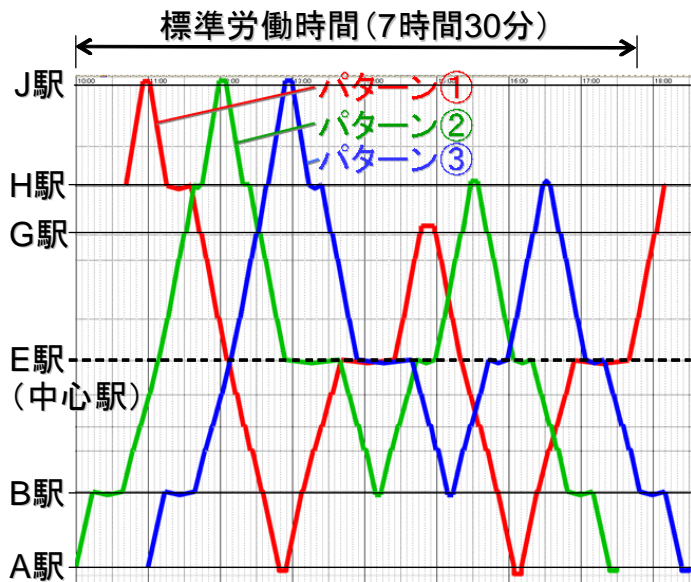


図12 乗務員行路の基本パターン

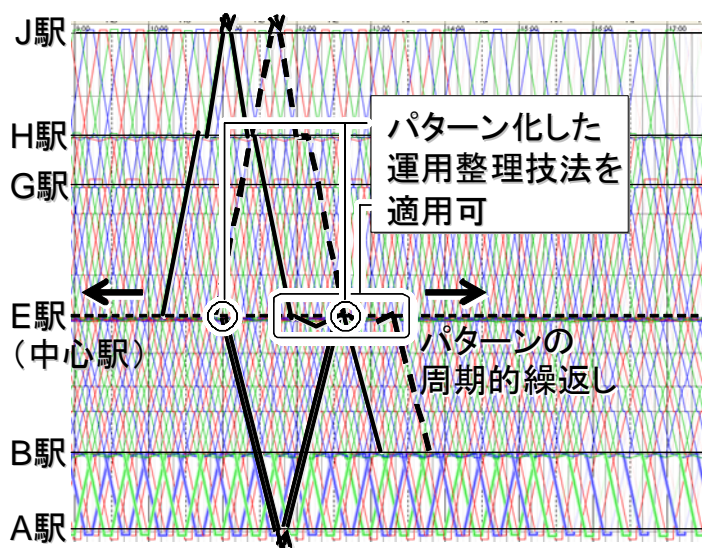


図13 基本パターンの貼り合せで構成したダイヤ