

# 要員効率に着目した乗務員運用計画の作成手法

坂口 隆\* 加藤 怜\* 福村 直登\*\*

An Algorithm for Crew Route Scheduling Focusing on Manpower Efficiency

Takashi SAKAGUCHI Satoshi KATO Naoto FUKUMURA

Planning of the railway crew working schedule consists of the crew route scheduling and the crew roster scheduling, and it is desired to reduce the number of crews required as much as possible. Methods of crew route scheduling with the evaluation criterion of the total number of required days have been studied because we could not figure the number of required crews out exactly at the stage of the crew route scheduling. However it has been noted that the crew route schedules prepared by such methods make it more difficult to prepare the roster scheduling. This paper proposes a crew route scheduling method with the evaluation criterion of the estimated number of required crews and shows its effectivity for this problem.

キーワード：乗務員運用計画，行路計画，要員効率，最適化，数理計画法，列生成法

## 1. はじめに

乗務員運用計画は、列車ダイヤ、車両運用計画などとともに輸送計画を構成する計画の一つであり、列車ダイヤが所与のもとで、すべての列車に乗務員が割り当てられるように乗務員の勤務スケジュールを定めたものである。乗務員運用計画の策定は、乗務員の1回の勤務行程である「行路」を定める行路計画作成と、乗務員の勤務順序である「交番」を定める交番作成によって構成される<sup>1)</sup>。これらの策定にあたっては、就業規則や交番作成規程、各乗務員区乗務範囲など、様々な制約条件が存在する。このような制約条件をすべて考慮しながら計画を作成する必要があるため、効率的な運用計画を作成するのは容易でなく、効率向上に関する検討が十分になされているとは言えないのが現状である。

乗務員運用の効率化とは、労働負荷の面での運用の安全性、健全性を制約条件によって担保したうえで、なるべく少ないコストで運用できるような計画を作成することである。個々の行路についてみると、一定の労働時間を超えると超過勤務となり、運用経費が高くなるため、無駄な便乗や折り返し間合いを少なくしたり、行路の労働時間のばらつきを少なくしたりするといった指針が考えられるが、個々の行路の運用経費だけに囚われていると、「木を見て森を見ない」ことになりかねない。つまり、個々の行路は効率的であっても、行路の数が増えたり、交番作成において、(適切な行路間の休養時間を確保で

きず) 効率的な勤務順序が構成できなかつたりして、最終的に必要となる乗務員の数(要員数)が増えると、かえってコストが高くなってしまふ。

乗務員運用計画の効率化に関して、従来より行路数や行路の総暦日数が小さくなるように行路計画を作成する自動作成アルゴリズムの研究開発が行われており<sup>1)</sup>、最近の最適化技術の進歩と計算機性能の向上によって、実用的な規模の行路計画が自動で作成できるレベルにまで達している。しかし、要員数に着目した研究はほとんど行われておらず、暦日数の最小化と要員効率との関係について分析された報告もほとんどない。

そこで本研究では、乗務員運用計画の要員数を効率性の指標として、数理計画法<sup>2)</sup>に基づいて効率的な行路計画を作成する手法を開発した。本手法により作成した行路計画と、暦日数の最小化により作成した行路計画をもとに、それぞれに対する交番の要員数を比較した結果、要員効率の高い行路計画を作成できることを確認した。

以下、2章では、本稿で扱う乗務員運用計画を、制約条件を示すことによって規定する。3章では乗務員運用計画の最適化問題に対して、本研究で行った定式化と適用した最適化手法について説明する。4章では、3章の手法による行路の暦日数最小化を行い、それを要員効率の点から評価した結果について述べる。5章では、要員効率の向上に着目した行路計画作成アルゴリズムの概要を述べ、本アルゴリズムを適用した実験結果を報告する。6章では、本アルゴリズムにより作成した行路計画について、労働条件に関する行路属性の分布を、実際の運用計画および暦日数最小化により作成した行路計画のものと比較する。7章でまとめを述べる。

\* 信号・情報技術研究部 運転システム研究室

\*\* 信号・情報技術研究部

## 2. 乗務員運用計画

本稿で扱う行路計画作成および交番作成を明確にするため、これらの制約条件を示す。鉄道事業者によって、また、運転士と車掌では制約条件が異なり、すべてを統一的に扱うことはできないため、実際の計画への適用においては対象に合わせた追加・修正が必要となるが、乗務員運用計画の作成の困難さや、要員効率が依存する制約条件の構造を構成するうえで必要と思われる主な制約条件によって問題を定義付けることとする。

### 2.1 行路計画作成

1 個の行路は乗務員の 1 回の勤務の作業内容を示すものであり、行路によって内容が異なる。図 1 は B 駅で 101 列車を出区後、C 駅まで乗務して別の乗務員に乗り継ぎ、次に 102 列車に便乗して D 駅へ移動、同駅で 103 列車を別の乗務員から乗り継いで B 駅まで乗務し、入区する、という順序で作業する行路の例を表している。行路および複数の行路から成る行路計画は、次の制約を満たす必要がある。

- 行路の基本的な成立要件
- ① 行路は、担当する乗務員区所の最寄り駅から開始し、再び同じ駅に戻って終了する。
- ② 行路は、列車の一部または全区間への乗務または便乗（乗務以外で列車に乗車し駅間を移動すること）の連続によって構成される。なお、乗務の前後に車両入換などの作業が指定される場合もあるが、それらは乗務に含まれるものとする。
- ③ 連続する乗務または便乗の間で終了駅と開始駅が一致する（乗務員が移動可能である）。
- ④ 列車の途中駅での乗務交代は、予め指定された乗務交代可能な駅でのみ可能である。
- ⑤ 予め定められた列車および区間にのみ乗務する。以下では、対象となる列車および区間を乗務交代可能な駅で分割した単位を、1 回の「乗務」として扱う。
- 行路計画の基本的な条件
- ⑥ 対象となる各乗務を含む行路が少なくとも 1 個以上存在すること。なお、複数の行路に重複して含まれる場合は、1 つの行路の当該区間を乗務とし、残りの行路の当該区間を便乗とする。
- 行路の労働条件
- ⑦ 1 行路の労働時間が所与の上限を超えないこと。
- ⑧ 1 行路の拘束時間が所与の上限を超えないこと。
- ⑨ 継続していると見なされる一連の乗務が、所与の乗務時間の上限および乗務キロの上限を超えないこと。
- ⑩ 乗務（または便乗）と次の乗務（または便乗）の間の時間（行先地の時間）が、所与の下限以上確保されていること。

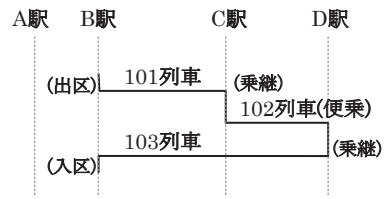


図 1 行路の例

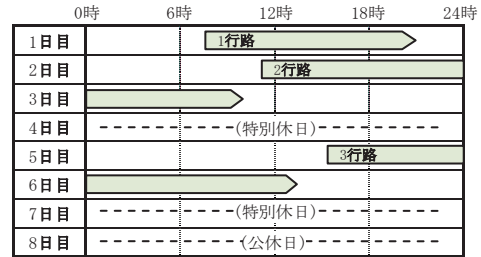


図 2 交番の例

- ⑪ 深夜帯（22 時～5 時）2 時間の乗務（これを深夜乗務と呼ぶ）を含む行路の労働時間が所与の上限を超えないこと。ただし、この上限は⑦の上限より低いものとする。

### 2.2 交番作成

交番は、乗務員の毎月の勤務表の基となる、数日から数週間の勤務パターンを表すものである。図 2 は、8 日間で一巡する交番の例であり、このようなパターンを繰り返すように日々の勤務が組まれる。交番全体の日数(図の例では 8 日)を交番日数と呼ぶが、これは、この交番に必要な要員数と等しい。交番は次の制約を満たす必要がある。

- 交番の基本的な成立要件
- ① 交番は、乗務員区所が担当する行路または休日の循環順列（サイクル）によって構成される。
- 交番作成の基本的な条件
- ② 乗務員区所が担当する任意の行路について、同所に属する交番の中に、必ず 1 回だけ現われること。
- 交番の労働条件
- ③ 交番の平均労働時間が所与の時間を超えないこと。
- ④ 行路、休日の連続において、一定の日数の間に所与の数の休日が含まれること。
- ⑤ 行路の連続において、退勤時刻から次の出勤時刻までの間（在宅休養時間）が、先の行路によって定まる所与の時間以上確保されること。
- ⑥ 休日を挟む 2 つの行路の間の在宅休養時間が、所与の時間以上確保されること。
- ⑦ 休日の前の行路の退勤時刻が、所与の時刻以前であること。
- ⑧ 休日の後の行路の出勤時刻が、所与の時刻以降であること。
- ⑨ 深夜乗務を含む勤務が所与の回数を超えて連続しないこと。

- ⑩ 深夜乗務を含む勤務が所与の回数連続する場合は、その行路の後に所与の時間以上の在宅休養時間を確保すること。
- ⑪ 深夜乗務を含む勤務の回数が、交番日数に対して所与の割合を超えないこと。

### 3. 数理計画法による定式化とアルゴリズム

#### 3.1 行路計画作成の定式化

##### (1) 記号の定義

- 集合： $I$  乗務の集合。乗務を表す添え字に  $i=1,2,\dots,|I|$  を用いる。
- $K$  乗務員区所の集合。乗務員区所を表す添え字に  $k=1,2,\dots,|K|$  を用いる。
- $J^k$  乗務員区所  $k$  の行路候補の集合。行路を表す添え字に  $j=1,2,\dots,|J^k|$  を用いる。
- 定数： $a_{ij}^k$  乗務員区所  $k$  の行路候補  $j$  が、乗務  $i$  を担当するならば 1、さもなければ 0 とする定数。
- $c_j^k$  乗務員区所  $k$  の行路候補  $j$  のコスト評価値。
- $t_i$  乗務  $i$  に対するコスト評価値（乗務時間に比例する係数）。
- 変数： $x_j^k$  乗務員区所  $k$  の行路候補  $j$  を行路計画に採用するならば 1、さもなければ 0 となる変数。本問題の決定変数。
- $u_i$  乗務  $i$  に対する便乗人数。

##### (2) 定式化

複数の行路の候補が与えられるとき、行路計画作成は、2.1 節⑥の条件、すなわち、全列車の全乗務区間に 1 つ以上の行路を割り当てるという条件を満たす行路候補の組み合わせの中で、各行路に対して定義されたコスト（行路コスト）の総和を最小にするという問題となる。これは、集合被覆問題という数理計画モデルとして定式化できる<sup>1)</sup>。ここでは、集合被覆問題をベースとして、次のように定式化した。

$$\text{minimize. } \sum_{k \in K} \sum_{j \in J^k} c_j^k x_j^k + \sum_{i \in I} t_i u_i \quad (1)$$

s.t.

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in J^k} a_{ij}^k x_j^k - u_i = 1, \quad \forall i \in I \quad (2)$$

$$x_j^k \in \{0, 1\}, \quad \forall j \in J^k, \forall k \in K \quad (3)$$

$$u_i \geq 0, \quad \forall i \in I \quad (4)$$

式(1)は、第1項が行路の総コスト、第2項が行路相互の乗務区間の重複によって生じる総便乗時間を表し、これらの合計の最小化を目的関数とすることを表している。式(2)は、2.1 節⑥の条件（集合被覆制約）を表す。式(3)、式(4)は、変数の取り得る値を定義する。

#### 3.2 交番作成の定式化

本稿では乗務員運用計画の要員効率について検討する

ことが主目的であるため、交番作成の定式化においては、最終的な交番は構成せず、休日から次の休日までの勤務の連続（行路群）とそれに付随する休日を単位とする、交番の断片を構成するように定式化する。図2の例では、1日目～4日目が1つの断片、5日目～8日目がもう1つの断片に相当する。したがって、各断片の日数の合計が交番日数と等しくなるので、構成された交番の断片の集合から交番の要員数を算出するものとする。

##### (1) 記号の定義

- 集合： $M^k$  乗務員区所  $k$  の行路の集合。行路を表す添え字に  $m=1,2,\dots,|M^k|$  を用いる。
- $N^k$  乗務員区所  $k$  の行路群候補の集合。行路群候補を表す添え字に  $n=1,2,\dots,|N^k|$  を用いる。
- 定数： $b_{mn}^k$  乗務員区所  $k$  の行路群候補  $n$  が、行路  $m$  を含むならば 1、さもなければ 0 とする定数。
- $d_n^k$  乗務員区所  $k$  の行路群候補  $n$  で必要となる交番日数（休日を含む）。
- $q_n^k$  乗務員区所  $k$  の行路群候補  $n$  で必要となる勤務日数（休日を除く）。
- $v_n^k$  乗務員区所  $k$  の行路群候補  $n$  に含まれる行路の労働時間の合計値。
- $s_n^k$  乗務員区所  $k$  の行路群候補  $n$  に含まれる深夜帯を含む行路数。
- $r_1$  平均労働時間の上限。
- $r_2$  交番における、深夜帯を含む勤務の許容割合の上限。
- 変数： $y_n^k$  乗務員区所  $k$  の行路群候補  $n$  を採用するならば 1、さもなければ 0 となる変数。

##### (2) 定式化

交番作成は乗務員区所ごとに独立した問題となるため、各乗務員区所  $k \in K$  に対して定式化する。複数の行路群の候補が与えられるとき、ここでの（要員数算出のための）交番作成は、乗務員区所が担当する任意の行路が、交番を構成する行路群の中に必ず 1 個だけ含まれる、という条件を満たす行路群候補の組み合わせの中で、行路群の休日を含む勤務日数の総和を最小にするという問題となる。これは、集合分割問題という数理計画モデルとして定式化できる。ここでは、文献3)をもとに、集合分割問題をベースとして、次のように定式化した。

$$\text{minimize. } \sum_{n \in N^k} d_n^k y_n^k \quad (5)$$

s.t.

$$\sum_{n \in N^k} b_{mn}^k y_n^k = 1, \quad \forall m \in M^k \quad (6)$$

$$\sum_{n \in N^k} (q_n^k r_1 - v_n^k) y_n^k \geq 0 \quad (7)$$

$$\sum_{n \in N^k} (d_n^k r_2 - s_n^k) y_n^k \geq 0 \quad (8)$$

$$y_n^k \in \{0, 1\}, \quad n \in N^k \quad (9)$$

式(5)は、要員数の最小化を目的関数とすることを表し

ている。式(6)は、2.2節②の条件であり、集合分割制約を表している。式(7)は2.2節③、式(8)は2.2節⑩の条件をそれぞれ表す。式(9)は変数の取り得る値を定義する。

### 3.3 最適化手法

#### (1) 行路計画作成手法

3.1節の定式化では、行路としての制約条件を満たすすべての候補が与えられたときに最適な行路計画を求めることを仮定している。しかし、行路候補をすべて列挙することは、ある程度の規模の行路計画となると、組み合わせが多すぎて事実上不可能であるため、列生成法<sup>2)</sup>と呼ばれる最適化手法を適用することにより、最適な行路計画の構成に有用な行路候補のみを効率的に探索する。列生成法では、乗務をノードとし、2.1節②～⑤、⑩の条件を満たすような乗務のつながりをアークとするネットワークを用意する。その上で、3.1節の式の最適化に有用な行路の探索をネットワーク上の最短経路問題に帰着させて、これを解くことにより行路を求める。その際、2.1節①、⑦～⑨、⑩の条件を満たすようにする。これを繰り返し行うことにより、行路候補の集合を求める。

このようにして得られた行路候補の集合  $U_{k \in K} J^k$  に対して、数理計画法の解法（商用の数理計画ソルバーを利用）により3.1節の混合整数計画問題を解く。

#### (2) 交番作成手法

交番作成問題においても、制約条件を満たす行路群がすべて与えられることを仮定しているが、上記同様にそれは不可能であるため、ここでも列生成法を適用する。ここでは、行路計画作成により求めた行路をノードとし、2.2節⑤～⑧の条件を満たすような行路（勤務）のつながりをアークとするネットワークを用意する。その上で、列生成法により、上記同様に最適化に有効な行路群候補を求めるが、その際、2.2節④、⑨、⑩の条件を満たすようにする。これを繰り返し行うことにより、行路群候補の集合を求める。

このようにして得られた各乗務員区所  $k$  の行路群候補の集合  $N^k$  に対して、行路計画作成と同様に数理計画法の解法により3.2節の整数計画問題を解く。

## 4. 行路計画の暦日数最小化に対する評価

これまでの多くの研究では、行路計画作成の効率性の評価指標として、行路計画の暦日数（行路の暦日数の総和）が用いられている。それは、前章の定式化において、行路候補のコスト評価値  $c_j^k$  に、乗務員区所  $k$  の行路候補  $j$  の暦日数を採用した場合に相当する。そこで、実際の列車ダイヤおよび乗務員区所を対象に、その場合の行路計画作成および交番作成を行って、暦日数最小化における要員数を評価し、実際の計画との比較を行った。な

お、数理計画ソルバーには、Gurobi Optimizer 4.6 を使用した。この評価実験の結果について述べる。

### 4.1 評価実験の対象

乗務線区・範囲に重なりのある、実在する複数の乗務員区所を対象に、路線エリア4例(エリアA～Dとする)を選定し、各路線エリアについて評価実験を行った。路線エリアに属する乗務員区所の集合を  $K$ 、それらが担当する列車およびその乗務区間をすべて抽出したものを乗務の集合  $I$  とした。

### 4.2 実験結果

評価実験の結果を表1に示す。前章で述べた手法により暦日数最小の行路計画を作成した結果、すべてのエリアにおいて実際の運用計画より行路の暦日数を減少させることができた。しかし、そのようにして得られた行路計画をもとに交番作成を行ったところ、最終的な要員数においては、エリアAでは実際の運用計画より少なくなったが、他のエリアでは逆に要員数が増加する結果となった。これにより、暦日数最小化を行路計画の評価基準とした場合、必ずしも要員効率の向上が見込めない場合があることが確認された。

表1 暦日数最小化の結果

| エリア | 実際の運用計画 |     |     | 暦日数最小化 |     |     |
|-----|---------|-----|-----|--------|-----|-----|
|     | 行路数     | 暦日数 | 要員数 | 行路数    | 暦日数 | 要員数 |
| A   | 190     | 330 | 390 | 153    | 249 | 380 |
| B   | 148     | 272 | 303 | 125    | 214 | 333 |
| C   | 165     | 303 | 373 | 153    | 261 | 389 |
| D   | 239     | 436 | 550 | 222    | 373 | 594 |

## 5. 要員効率に着目した行路計画作成アルゴリズム

### 5.1 要員効率向上手法の検討

前章では、暦日数最小化のみを評価指標として行路計画作成を行った場合の問題点を指摘した。本章ではこの問題を解消し、要員効率の向上を目的とする行路計画作成アルゴリズムを提案する。

行路計画作成の段階で要員効率を直接示すような行路の指標はないが、2.2節の交番作成の制約条件として使用される労働時間などの行路属性は、どれも少なからず交番作成の結果に影響するものと思われる。また、在宅休養時間を確保する上では、行路の拘束時間が大きくなると、その後の在宅休養時間の確保に影響することが想定できる。そこで、これらの属性を行路の「要員効率因子」と呼ぶことにする。本研究では、要員効率因子を行路計画作成の行路候補選択の際に制御することで、交番の要員効率を向上する手法を検討した。

行路計画に含まれる行路の要員効率因子（例えば合計値）を制御する方法として、適正な範囲が分かれば制約条件に含めることができるが、それは未知であるし、乗務員区所などによっても異なるものと思われる。そこで、要員効率因子を評価関数に組み込む方法を検討することとし、行路コストの定義を次のように定義した場合の効果を調べた。

$$\begin{aligned} \alpha_j^k & \text{ 乗務員区所 } k \text{ の行路候補 } j \text{ の暦日数。} \\ \beta_j^k & \text{ 乗務員区所 } k \text{ の行路候補 } j \text{ の拘束時間（時）。} \\ w_1, w_2 & \text{ 評価値間の重みを調整する係数（重み係数）} \\ c_j^k & = w_1 \alpha_j^k + w_2 \beta_j^k \end{aligned} \quad (10)$$

重み係数が、(1)  $w_1=1, w_2=0$ , (2)  $w_1=0, w_2=1$ , (3)  $w_1=1, w_2=0.06$  の3通りのケースに対して、4章と同様に乗務員運用計画を作成したところ、(3)のケースにおいて要員数がかつとも少なくなった<sup>3)</sup>。これにより、総暦日数と総拘束時間が共に低くなるような行路計画を作成することによって、暦日数だけを評価関数とする場合に比べて要員効率を向上できることが示された。しかし、この場合でも、最小要員数を与えるような重み係数の値は未知である。そこで、文献4)の考えをもとに、行路計画と交番を交互に作成し、その結果（要員数）に応じて重み係数を調整するという方針で行路計画作成アルゴリズムを構成する。評価指標および重み係数に関しては、上に列挙したすべての要員効率因子を対象とする。

### 5.2 アルゴリズムの構成

暦日数、拘束時間、労働時間等の要員効率因子を用いて、式(10)のような荷重和により行路コストを定義し、前節の方針にしたがって、図3に示すような構成の行路計画作成アルゴリズムを構成した。処理概要は次のとおりである。

- ① 行路コストが行路の暦日数と等しくなるように、行路コストの重み係数を初期設定する。これは最初の行路計画作成で従来方式の暦日数最小化を行うためである。
- ② 現時点の重み係数の設定において、行路コストの総和が最小となる行路計画を、3章で述べた行路計画作成

アルゴリズムにより求める。

- ③ 求めた行路計画を基に、3章で述べた交番作成アルゴリズムにより各乗務員区所の交番を作成し、設定した重み係数に対する最小要員数を求める。
- ④ ③の結果、各乗務員区所別に、要員数や要員効率因子の値の変化量に応じて、重み係数の値を調整する。
- ⑤ ①～④の処理を繰り返し、既定の回数に達したら終了し、それまでの間で最も要員数が少なかった回の行路計画を出力する。

### 5.3 実験結果

4章で行った評価実験と同じ4エリアについて、提案する行路計画作成アルゴリズムにより行路計画を作成し、4章での結果と比較した。なお、表中の要員数の評価には、アルゴリズムの③の処理で求めた要員数を用いた。計算にはWindows XP Professional, CPU Core i7 3.20GHz, メモリ 3.0GB の計算機を使用した。また、アルゴリズムの設定において、反復回数を30回としたうえで、②～③の数理計画問題を解く処理では、最大600秒で計算を打ち切り、その時点での最良解を採用することとした。したがって1エリア全体の行路作成にかかる時間は最大で約5時間である。

表2に示すように、本アルゴリズムで得られた行路計画は実際の運用計画に比べて、いずれのエリアにおいても少ない要員数で運用できる結果が得られた。また、暦日数最小化を目的とした表1の結果と比べると、すべてのエリアにおいて、行路計画の暦日数が増加しているにもかかわらず、交番の要員数は減少していることがわかる。その理由については次のように考察する。行路の暦日数のみの最小化に着目して行路計画を作成すると、1行路の行程が長くなりがちとなり、拘束時間や出勤・退勤時刻などの要員効率因子に影響し、それが要員数の増加となって現れたものと考えられる。一方、本アルゴリズムでは、その他の要員効率因子にも配慮することによって、過度な暦日数の圧縮を抑えつつ、要員数の削減が可能となったものと考えられる。

表2 本アルゴリズムの適用結果

| エリア | 実際の運用計画（再掲） |     |     | 本アルゴリズム |     |     |
|-----|-------------|-----|-----|---------|-----|-----|
|     | 行路数         | 暦日数 | 要員数 | 行路数     | 暦日数 | 要員数 |
| A   | 190         | 330 | 390 | 144     | 256 | 348 |
| B   | 148         | 272 | 303 | 120     | 220 | 294 |
| C   | 165         | 303 | 373 | 149     | 268 | 362 |
| D   | 239         | 436 | 550 | 214     | 387 | 520 |

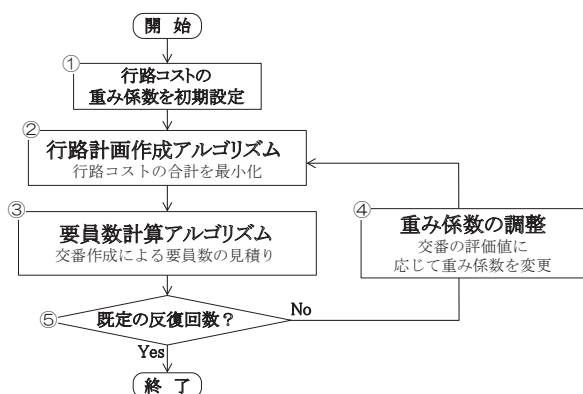


図3 行路計画作成アルゴリズム

### 6. 行路属性分布の比較

本アルゴリズムの効果と妥当性を確認するため、行路計画に含まれる個々の行路の労働条件について、実際

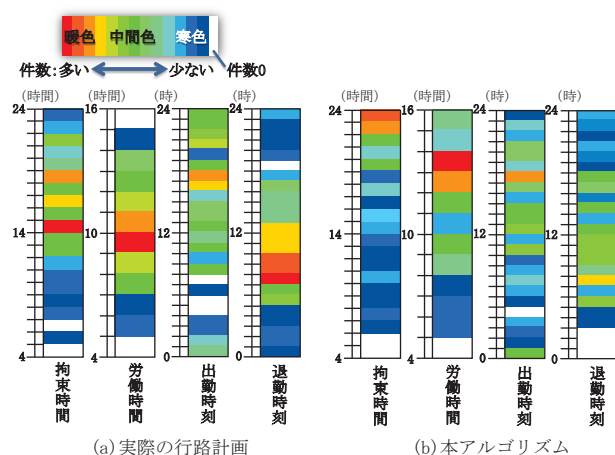


図4 エリアBにおける行路属性分布

の行路計画および暦日数最小化により作成した行路計画との比較を行った。数百件の行路を個別に確認することは困難なため、拘束時間、労働時間、出勤時刻、退勤時刻の4つの属性が、行路計画にどのように分布しているのかを度数分布としてグラフ化し、比較した。図4に、エリアBの実際の行路と本アルゴリズムの結果を示す。縦軸は属性値の範囲（各指標とも1時間刻みとした）を示し、各範囲に該当する行路の数を色で表す。暖色になるほど行路が多く、寒色になるほど少ない。白は行路が存在しないことを表す。

このグラフから、本アルゴリズムの結果は、出勤・退勤時間帯は実際の行路計画に近いが、拘束時間は上限(24時間と設定)付近の行路が増加し、11～19時間の行路が減少していることが分かる。労働時間も上限に近いほうにシフトしているが、14時間を超える行路が少ない。これは、2.1節⑩の条件のしきい値を14時間と設定したためであり、この条件が労働時間の構成に大きく影響していることが分かる。拘束時間、労働時間の長い行路が増加している点に関して、交番作成の結果を調べたところ、本アルゴリズムで作成した行路に対する交番は、退勤した同暦日に再び出勤する、ダブル泊と呼ばれる形態の勤務が実際の運用より極端に少ないことが分かった。したがって、実際の運用では、時間の短い行路が多いため、ダブル泊を多くして要員効率を確保しているのに対し、本アルゴリズムでは、時間の長い行路を多くすることによって、多くの制約を受けるダブル泊が避けられ、その結果、実際よりも要員効率が高くなったのではないと思われる。

図5は、エリアAの拘束時間と労働時間について、本アルゴリズムと暦日数最小化による結果を比較したものである。暦日数最小化では、両方とも全体的に長くな

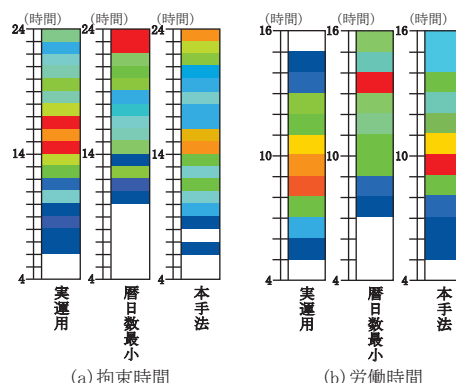


図5 エリアAにおける手法の比較

り、短い行路が生成されないことが分かる。このことが交番作成において要員効率を得られない原因であると推測され、これらの分布域を広くすることが交番作成の要員効率向上に有効であると考えられる。

## 7. まとめ

本研究では、要員効率の高い乗務員運用計画作成を目的とする、行路計画作成アルゴリズムを開発し、実問題への適用実験の結果、従来の暦日数最小化による方法と比較して、高い要員効率を得られることを確認した。その理由について行路属性分布を比較した結果、労働時間の長い行路が比較的多く、かつ、労働時間、拘束時間の分布範囲が実際の乗務員運用計画と同様に広く分布していることから、これらが要員効率向上に寄与している可能性があることが示された。

今後は、勤務形態の異なる線区など、多様な乗務員運用計画へ適用し、引き続き本手法の効果の検証と改良を行いたい。

## 文献

- 1) (財) 鉄道総合技術研究所運転システム研究室：鉄道のスケジューリングアルゴリズム, エヌ・ティー・エス, 2005
- 2) 久保幹雄, 松井知己, 田村明久：応用数理計画ハンドブック, 朝倉書店, 2002
- 3) 加藤怜他：乗務員行路の評価指標の違いによる乗務割交番への影響分析, 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2011 年秋季研究発表会アブストラクト集, pp. 294-295, 2011
- 4) A. Caprara et al.: A global method for crew planning in railway applications. In S. Voß and J. R. Daduna, editors, Computer-Aided Scheduling of Public Transport, pp.17-36, Springer, 2001.