

効率のよい乗務員区所配置を考える

加藤 怜

輸送情報技術研究部(運転システム研究室 研究員)



かとう さとし

はじめに

乗務員区所は乗務員の勤務地にあたり、鉄道路線上のいくつかの駅に併設して配置されています。各乗務員はひとつの乗務員区所に所属しています。勤務の初めに自身が所属する乗務員区所に出勤し、いくつかの列車乗務を担当したのち、初めて出勤した所属区所に戻って勤務を終えます。これが基本的な勤務の流れです。乗務員区所は勤務の起点であるため、路線上の乗務員区所の配置により、勤務内容が大きく変わってきます。これは会社側から見ると、乗務員の運用(スケジュール)が大きく変わることを意味するので、乗務員区所の配置駅は、必要となる行路数をはじめとした運用の効率性を考える上でとても重要です。

列車体系が大きく変化すると、それに応じて乗務員区所の再配置が必要になり、その検討が行われます。この乗務員区所の再配置に関する意思決定を支援するため、私たちは、乗務員区所の配置変更によって生じる乗務員運用の効率変化を分析する手法を研究しています。

乗務員運用計画とは

ダイヤ改正時には、さまざまな計画が策定されます。そ

の中の1つに乗務員の勤務計画を決める乗務員運用計画があります¹⁾。ちなみに、乗務員とは運転士と車掌のことを指しますが、ここでは運転士を想定しています。しかし、運用計画策定上、両者には本質的に大きな違いはなく、車掌でもほぼ同様に考えることが可能です。

図1に簡単な列車ダイヤの例を、図2にこの列車ダイヤに対する乗務員運用計画の例を示します。この路線では、駅Aと駅Cのそれぞれに乗務員区所が併設されており、図2では、駅Aについて4つ、駅Bについて1つの勤務が示されています。○印は勤務の開始、△は終了を意味しています。この○から△までの乗務員の1回の勤務のことを、「行路」と呼びます。また、○や△の中の数値は行路番号を意味します。例えば、行路1を担当する乗務員は、駅Aから勤務を開始して、列車11の乗務を担当し、駅Cで休憩をとった後、列車12の乗務を担当して勤務を終えます。なお、図2の点線の部分は、乗務員が便乗する(移動のために乗車する)ことを示しています。このように、行路を、その必要人数が各乗務員区所の所属人数を上回らないように作成し、かつ全列車に充当することができれば、乗務員運用計画が作成されたこととなります。

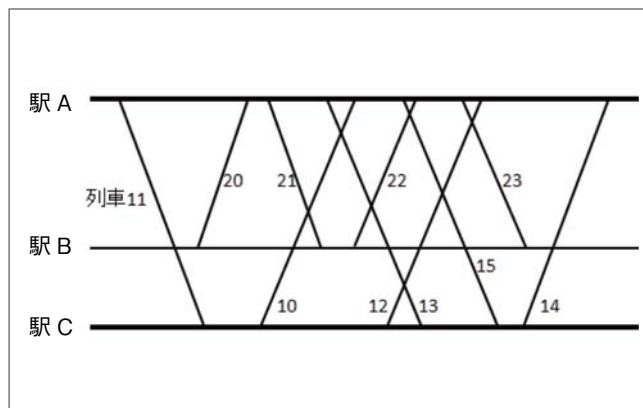


図1 列車ダイヤの例

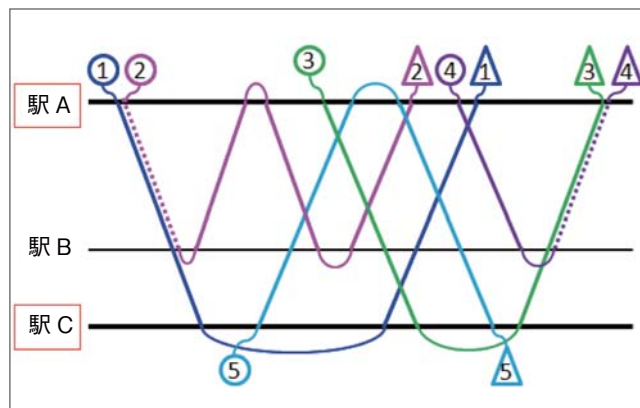


図2 乗務員運用計画の例

計画作成の担当者は、無駄のない、効率のよい運用計画を作成しようとします。しかし、区所配置が現在の列車体系と合致していない場合には、効率のよい運用計画を作成することはできません。そこで、乗務員区所の再配置が必要になります。

乗務員区所配置と乗務員運用効率の関連

乗務員区所の再配置は、乗務員の運用の効率化を図る手段として有効です。特に、ダイヤ改正を何度も行うことで列車体形が大きく変化し、区所配置駅が適切でなくなっている場合には、乗務員区所の再配置を行うことで、運用の効率がよくなる可能性があります。

例えば、図2の駅Cの乗務員区所を駅Bに移設してみます。すると、1つの例として、図3のような乗務員運用計画ができます。図2の運用と比べて行路数が5から4に1つ減少していることがわかります。一般に行路数が減少すれば必要となる乗務員数も減少するので、計画作成の立場からすれば、図3の運用の方が、効率がよいこととなります。このように、乗務員区所の移転・新設・廃止・統合を行うことで、運用の効率がよくなる可能性があります。なお、原則として、区所併設駅で乗務交替するので、それ以外の駅で交替する場合は便乗による移動が生じます。よって、乗務員区所の再配置により便乗時間を減らすことができれば、全体の業務量も減らせるので、運用効率の向上が期待できます。

では、どの駅に配置すれば、効率はよくなるのでしょうか。乗務員運用計画は、列車ダイヤはもちろんのこと、就業規則や交番作成規程などに示される、乗務員の労働条件によっても大きく変わるので、効率がよくなる区所配置駅

は容易にはわかりません。よって、実際に乗務員区所の配置駅を変えた上で運用計画を作成し、元の運用計画と比較する必要があります。しかし、乗務員運用計画の作成には多くの時間と労力が求められます。そのため、区所配置を変えた運用計画を1案作成することはできても、複数の案を作成することは非常に困難です。また、「既存の区所配置を前提とせず、白紙状態から検討したい」という要望もあります。一部の乗務員区所の移設や統廃合の検討は、少なからず行われてきました。しかし、路線全体の乗務員区所を再配置するような白紙からの検討は、無数の区所配置案が考えられて人手には負えないので、コンピュータの計算能力を活用した検討手法が望まれています。

乗務員区所の効率的配置を分析するアルゴリズム

本研究では、乗務員区所の効率的配置を分析するためのアルゴリズムを開発しました。このアルゴリズムは、列車ダイヤ、区所配置の候補駅、乗務員の労働条件に対して、乗務員運用の効率がよい区所配置駅の組合せを求め、その配置にもとづく乗務員運用計画案を自動作成します(図4)。

乗務員運用計画を自動作成する研究は、以前にもありました²⁾。しかし、そこでは、現在の乗務員区所配置を前提にしているので、そのままでは新たな配置を検討対象に加えることはできません。しかし、考え方を発展させることで、乗務員区所の再配置を考慮することが可能です。

乗務員運用計画の自動作成問題は、数理計画の問題である「集合被覆問題」と呼ばれるモデルに置き換えられることが知られています。具体的な手順としては、まず各区所について勤務のルールを満たす行路の案を数多く作成します。続いて、行路案の中から、「全列車全区間に乗務員が

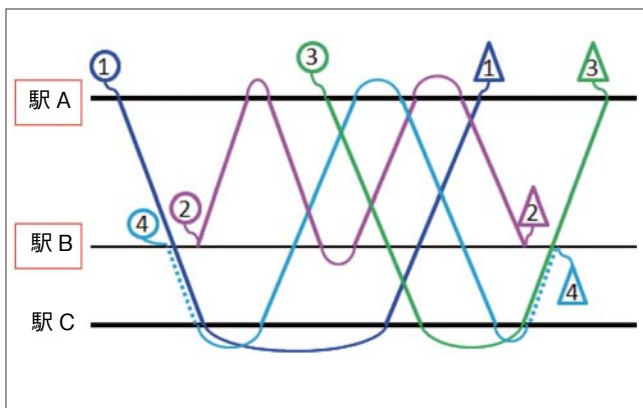


図3 駅Bに区所を移設したときの運用の例

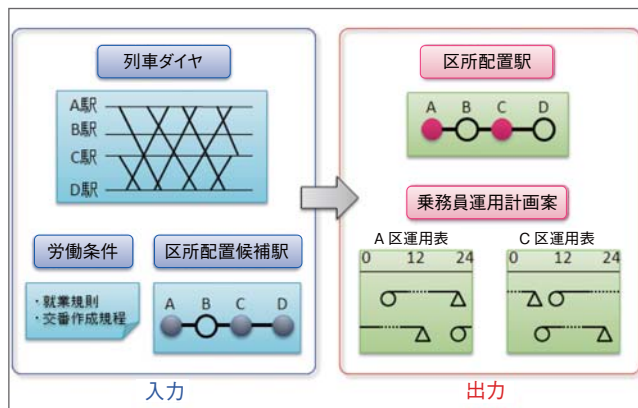


図4 アルゴリズムの概略

充当され、かつ効率がよい行路案の組合せ」を選択することで、運用計画を作成します。この考え方を発展させます。まずそれぞれの候補駅について、その駅に乗務員区所を配置したときの行路案を数多く作成します。次に、すべての候補駅を対象に路線全体として効率のよい行路案を選択していきます。すると、結果的に候補駅の中からいくつかの乗務員区所が選ばれ、各乗務員区所の行路が作成されます(図5)。

このように、考え方は従来からある乗務員運用計画の自動作成とほとんど変わっていません。しかし、すべての候補駅を対象とするため、従来と比べて行路案の数が圧倒的に多くなります。このため、組合せの数が膨大になってしまい、コンピュータの計算時間が大幅に増大してしまいます。そこで、実際に調べる組合せの数を減らすさまざまな工夫を行った結果、市販のパソコンでも24時間程度で区所配置案を出力できるようになりました。

駅 A に配置	
行路案A1	<u>11</u> <u>12</u>
行路案A2	<u>13</u> <u>14</u>
行路案A3	<u>11(A-B)</u> <u>20</u> <u>21</u> <u>22</u>
行路案A4	<u>23</u> <u>14(B-A)</u>
駅 B に配置	
行路案B1	<u>11(B-C)</u> <u>10</u> <u>15</u> <u>14(C-B)</u>
行路案B2	<u>20</u> <u>21</u> <u>22</u> <u>23</u>
行路案B3	<u>11(B-C)</u> <u>10(C-B)</u> <u>22</u> <u>23</u>
駅 C に配置	
行路案C1	<u>10</u> <u>15</u>
行路案C2	<u>12(C-B)</u> <u>15(B-C)</u>

作成した行路案のうち、**駅Aと駅Bの計4行路を選択**することで、全列車の全区間に乗務員が充当される

図5 数理計画による区所配置案の作成

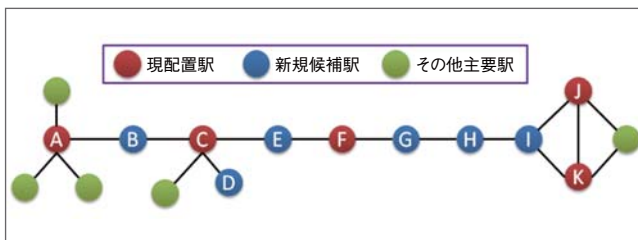


図6 対象路線の現区所配置駅と新規候補駅

一般に、全列車の全区間に乗務員を充当する区所配置案はたくさん考えられます。その中でコンピュータによる案を出力させるためには、よい案の明確な基準が必要です。しかし、区所配置案の望ましさは状況により大きく異なるため、一意に決めるのは好ましくありません。そこで、配置する乗務員区所の数、必要となる行路数などの効率性に関する評価項目の優先度を設定できるようにしました。優先度は数値で与えます。評価項目間の優先度のバランスを調整することで、優先度に応じた区所配置案を作成することができます。また、優先度を変えて計算を繰り返すことで、特徴が異なるさまざまな区所配置案を作成でき、比較評価も可能です。計算例を後述の分析1に示します。

このアルゴリズムの最大の特長は、区所配置駅を決めると“同時に”乗務員運用計画を自動作成することです。つまり、乗務員運用の効率がよくなる区所配置駅をコンピュータが提案するだけでなく、運用計画を見ながら、その駅に乗務員区所を配置すると効率がよくなる理由を確認できるので、区所配置に関する意思決定支援ツールとして活用可能です。

なお、状況によっては、「この駅の乗務員区所だけではどうしても移設・廃止したくない」、あるいは「この乗務員区所を廃止したい」という事情が考えられます。そこで、一部の駅について配置や廃止を指定する、あるいは配置する乗務員区所の数を指定するなど、さまざまな設定で運用が組めるかどうかを確認できるようにしました。計算例を分析2に示します。ここで採用している数理計画によるアルゴリズムは汎用性が高く、状況に応じた複雑な設定に対しても容易に対応することが可能です³⁾。

乗務員区所配置の分析例

実際の路線を対象に乗務員区所を配置して分析した例を示します。図6は対象の路線の概略を示しており、赤丸は現在区所が併設されている駅、青丸は新たに配置する候補駅を示しています。ここでは、区所配置の優先度を変化させた分析(分析1)と、配置する区所の数を変化させた分析(分析2)の2例を示します。

分析1 区所配置の優先項目を変化させる

区所配置案を作成するには、あらかじめ優先する項目を決める必要があります。この優先度を変えて複数の区所配置案を作成して比較します。ここでは、以下の優先度を設定し、区所配置案を作成します。

- ① 乗務員区所が現状のままの場合
- ② 配置する乗務員区所の数を優先的に減らす場合
- ③ 行路数を優先的に減らす場合
- ④ 配置する乗務員区所の数も、行路数もバランスよく減らす場合

表1に、4つの優先度について、乗務員区所数とその配置駅、運用の効率性の指標として、必要となる行路数と便乗率(労働時間に対する便乗時間の割合、単位は%)の2つの指標を示します。表を見ると、乗務員区所数を優先的に減らす案では、駅A・C・Kの3つの区所のみでも運用可能であることがわかります。しかし、行路数が現状の区所配置に比べて大幅に増え、便乗率も増加しています。つまり、乗務員区所の統廃合により、区所数を減らすことで管理費用を抑えることができますが、一方で、乗務員の便乗頻度が増えて運用効率が悪化し、結果として人件費が増加する可能性があることを示しています。また、区所数と行路数をバランスさせる案では、区所数が現状から減り、行路数の増加も区所数を優先的に減らす案と比べて抑えられています。このように、優先度を変えることで、特徴が異なるさまざまな区所配置案を検討することができます。

分析2 区所配置の数を変化させる

対象の路線には5つの乗務員区所が配置されています。この配置数を変化させることにより、区所配置駅がどのように変化するかを、各区所の行路数の変化とともに分析します。

区所数を4から7の間で変化させたときの、各区所の行路数の内訳を図7に示します。区所配置数を増やしていくと、合計の行路数が減少することがわかります。これは、乗務員区所を増やすことで、乗務交替箇所までの便乗を減らせるためだと考えられます。また、区所数4のときに配置された駅A・C・F・Kの4駅は区所数を増やしても配置されていることから、区所数にかかわらず配置すべき重要な駅であるといえます。しかし、これらの乗務員区所の行路数は、区所数が増えるとともにそれぞれ減少する傾向にあります。新規に配置する乗務員区所にいくつかの列車を受け持ってもらうことで、便乗が減少し運用の効率がよくなっていると考えられます。このように、区所数を変えながら配置駅や運用効率の変化を分析することができます。

おわりに

ここでは、コンピュータによる乗務員運用計画の自動作

表1 優先度の違いによる区所配置案の比較

優先度	区所数と配置駅	行路数	便乗率 (%)
現状	5 (A・C・F・J・K)	279	9.5
区所数	3 (A・C・K)	292	11.9
行路数	6 (A・C・E・F・J・K)	274	9.2
区所数・行路数 バランス	4 (A・C・F・J)	285	10.8

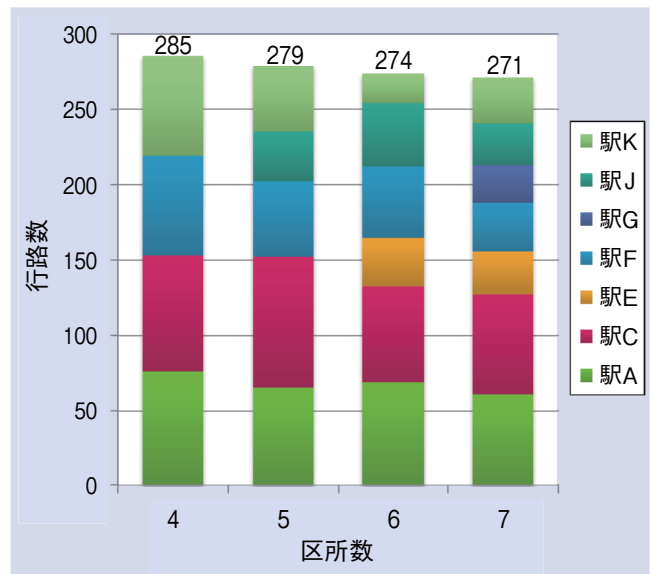


図7 区所配置数による配置区所と行路数の変化

成手法を活用し、効率のよい乗務員区所配置を分析する例を紹介しました。開発したアルゴリズムにより、移転・新設・廃止・統合といった、乗務員区所の再配置に関するさまざまな意思決定の支援が期待できます。

今後はこの研究成果をより幅広く生かすために、乗務員運用の効率性について、さらに研究を進めていきたいと考えています。RRR

文献

- 1) 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-コンピュータで運行計画をつくる-, エヌ・ティー・エス, 2005
- 2) 福村直登, 坂口隆：車両・乗務員運用計画を作る, RRR, pp.8-11, 2004
- 3) 加藤怜, 佐藤圭介, 福村直登：乗務員基地配置駅決定アルゴリズムの開発, 鉄道総研報告, Vol.24, No.10, pp.23-28, 2010