

効率性を重視した乗務員運用案の作成と運用案評価方法の提案

信号・情報技術研究部 運転システム研究室

室長 坂口 隆

1. はじめに

鉄道総研ではこれまで、行路計画や乗務割交番の自動作成手法の研究開発を行ってきた。しかし、実用上必要な種々の制約条件を考慮した上で要員効率の高い運用計画を実現することは容易でなく、有効な手法を確立するには至っていなかった。従来、乗務員運用計画に対する要員数や平均労働時間を把握するためには、行路が確定した後、乗務割交番の作成によって行路から次に勤務する行路への繋がり、その間の在宅休養時間を確定させる必要があった。これに対し本研究では、行路作成の段階でこれらの条件を考慮することによって要員数を算出し、その最小化を図る行路計画案作成手法を開発した。

また、効率化の検討を必要とする一方で、人手やコンピュータにより作成された運用計画案を、単に行路数や要員数といった集約された情報のみで評価するのは好ましくなく、乗務員一人一人の労働負荷を考慮し、様々な観点から計画案をチェックする必要がある。そこで、作成した行路案の評価に関して、行路の様々な評価指標が行路計画案全体の中にどのように分布しているかをグラフ表示し、現行案や代替案との比較、区所間の比較などを行う方法を提案した。

2. 乗務員運用計画

列車ダイヤが所与のもと、全列車に乗務員を割り当てて、乗務員の勤務スケジュールを定めたものを「乗務員運用計画」という¹⁾。ダイヤ改正における乗務員運用計画は、乗務員の1回の勤務スケジュールを表す「行路」と、作成した行路を、休養日を含めて一人の乗務員が勤務できる順序に並べて、数週間で循環する勤務パターンを表した「乗務割交番」(以下では「交番」と略す)によって構成される。

(1)行路

乗務員は、乗務員区の最寄りの駅や車両基地から特定の列車に乗務し、いくつかの列車に乗務した後、再び元の駅・基地に戻って1回の勤務を終える。行路はその行程を表すものであり、行路によって乗務する列車、区間がそれぞれ異なる。そのため、出勤時刻、退勤時刻も行路によって異なる。出勤から退勤までが1暦日に収まる行路を「日勤行路」、2暦日にまたがる行路を「泊行路」のように呼ぶ。作成した行路全体をここでは「行路計画」と呼ぶ。1つの行路で乗務する列車や区間の選び方に関しては、乗務員への負荷を考慮して、継続して乗務することのできる最大時間や乗務と乗務の間に確保すべき休憩時間、1勤務の労働時間の上限などを規程類で定めている。それでも膨大な組み合わせが考えられ、それによって、労働負荷および、乗務率(労働時間の中に占める乗務時間の割合)や労働率(拘束時間の中に占める労働時間の割合)などの効率が変化する。

(2)交番

交番は、1つの行路に勤務した乗務員が次に勤務する行路を定めるとともに、その間の休養時間を定めている。この休養時間を「在宅休養時間」と呼ぶ。交番の作成に関しても、確保すべき在宅休養時間の長さに関する条件、一定期間中に付与しなければならない休日数、深夜時間帯の

乗務に関する条件など、勤務パターンの中での労働負荷を考慮した制約を規定している。

図1は縦に勤務パターンの日数, 横に1暦日の時間をとって, 単純な交番を表したものである。C1~C3は行路を表し, この交番では, 1日目にC1に勤務し, 2日目から3日目にかけて泊行路であるC3に, 4日目にC2に勤務した後, 2日間の休日を取り, 再びC1に勤務するというパターンを繰り返す。C1とC3の間には, C1の労働時間相当以上の在宅休養時間が必要である。そのため, 行路の組み方によっては, 全体的に適切な在宅休養時間を与えるような交番が作れないこともあり, 行路計画は交番の効率や労働負荷に影響する。図1の交番は6日間で一巡する(この日数を交番日数と呼ぶ)ので, この交番の要員数は6人である。一般に乗務員区では, 2~4週間程度で一巡するように複数の交番を作成し運用している。

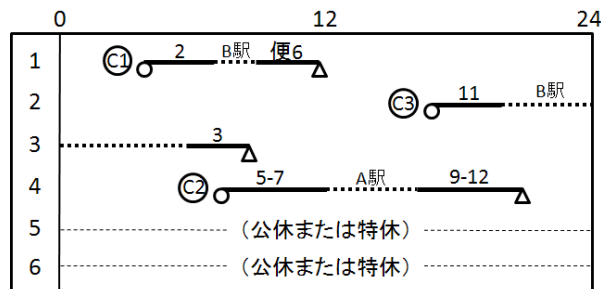


図1 交番の例

3. 効率性の高い乗務員運用計画の作成手法

交番の要員数は, 所与のダイヤを運用するのに実質的に必要な乗務員数であると言える。ここでは, この要員数を乗務員運用計画の効率性を表す指標と捉え, できるだけ少ない要員数となる計画案の作成方法について考える。

(1)従来手法

現行の運用計画作成は, データの入力管理がシステム化されていることを除いては, 行路作成も交番作成もそれぞれ手作業で行われている。そのため, すべての列車に乗務員を充当し制約条件を満たす行路を作成すること, 作成された行路に対して制約条件を満たす交番を作成することで手一杯となり, 効率性までは十分に検討されていないのが現状である。これに対して, 自動で行路計画や交番を作成するコンピューターアルゴリズムに関する研究が行われているところであるが, これまで, 行路作成と交番作成の研究は別々に行われてきた。その結果, まず, 行路計画の総暦日数を最小化する目的で行路を作成し, 作成された行路計画に対して要員数を最小化する目的で交番を作成する, という考え方にに基づいていた¹⁾。

(2)本研究のアプローチ

上述したように, 行路の構成は交番作成に影響を与えるため, “行路計画の総暦日数を小さくすること”が, 交番作成の段階で要員数の少ない交番が作られる方向に常に作用するかどうかは疑問である。単に総暦日数を小さくしようとする, それは1行路あたりの労働時間や拘束時間を長くする方向に働くため, 交番作成の段階で在宅休養時間の確保を困難にする可能性が考えられる。本研究では, 行路作成の段階で, 総暦日数に加えて総拘束時間や総労働時間のように直接交番作成に影響を与える指標を考慮し, これらが総体的に小さくなるような行路計画を求めることが, 次の段階の交番作成において, 要員数の少ない交番の作成に寄与するのではないかと考えた。そこで, 数理計画法により総暦日数を最小化する従来手法の行路作成アルゴリズムに対し, 総拘束時間を目的関数(行路コスト)に含め, $Z = \sum_i (x_i + \alpha y_i)$, (x_i :行路*i*の暦日数, y_i :行路*i*の拘束時間, α :重み係数($\alpha \geq 0$))のように変更を施したプログラムを用いて, 予備実験を行った。予備実験では, このアルゴリズムで重み係数 α を適当に決めて行路を作成した後, それを元に, 同じく数理計画法により要員数最小となる交番を作成するアルゴリズムを用いて, α に対する要員数を求めた。その結果, 総拘束時間を行路コストに含めること($\alpha > 0$)で要員数が少なくなることを確認した。

(3)アルゴリズムの構成

予備実験の結果から、行路作成アルゴリズムにおいて、交番作成に影響する指標を行路コストに含めることで最終的な要員数の削減効果が期待できることが分かった。ここで α のようにそれぞれの指標の重みを調整する係数の決め方が問題となる。そこで、本研究では、重み係数の値を仮に設定して行路コスト最小となる行路計画を作成し、さらに、それに対する交番の最小要員数を求め、その結果に応じて重み係数を調整し、再びこれらの手順を繰り返すという行路計画作成アルゴリズムを開発した(図2)。作成した行路計画における最小要員数は、近似的な交番をモデル化し、それを数理計画法により解くことにより求める。近似モデルの実際の交番作成条件との違いは、各区所に交番が1個であるという仮定をしている点である。そのため厳密ではないが、在宅休養時間や休日数の条件など、交番循環に関する条件を満たす勤務パターンを実際に作成するため、ほぼ正確な最小要員数を知ることができる。

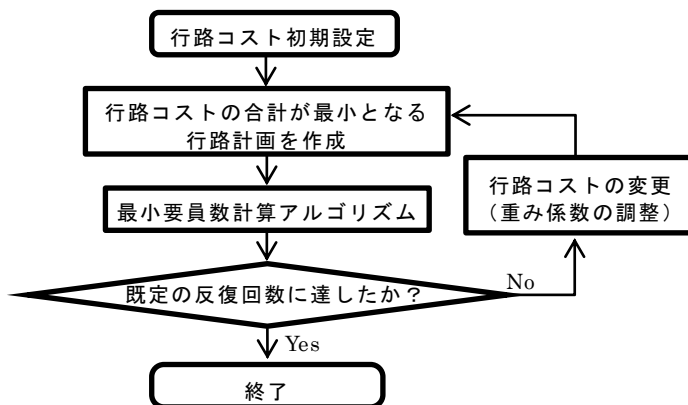


図2 行路計画作成アルゴリズムの流れ

4. 評価実験

実際の列車ダイヤを対象に、5~12か所の乗務員区所を含む4つの路線エリアについて上記のアルゴリズムにより行路計画を作成し、実際の運用計画との比較を行った(表1)。なお要員数は最小要員数計算アルゴリズムにより得られた値を用いた。また、上記のアルゴリズムで反復を行わずに、初期設定の行路コストにおける行路計画案と最小要員数を求めた。初期設定では暦日数のみを行路コストとするため、この結果は従来手法で作成した場合に相当する。

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、数理計画問題の求解には最適化ソルバーとして

Gurobi Optimizer 4.6 を使用した。1反復の計算時間は最大で600秒とし、同時間内での最良解を採用することとした。反復回数は30回とした。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5時間である。

表1 評価試験の結果

エリア	実際の運用計画			反復なし(従来手法)			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	行路数	暦日数	要員数
A	190	330	390	153	249	380 (-2.6%)	144	256	348 (-10.8%)
B	148	272	303	125	214	333 (+9.9%)	120	220	294 (-3.0%)
C	165	303	373	153	261	389 (+4.3%)	149	268	362 (-2.9%)
D	239	436	550	222	373	594 (+8.0%)	214	387	520 (-5.5%)

表1の結果から、従来手法と本アルゴリズムでは、暦日数と要員数の関係において予備実験と同様の結果が得られた。すなわち、暦日数においては従来手法の方がいずれも少ないが、要員数においては本アルゴリズムの方が小さい。特に従来手法では、エリアAを除いて、要員数が実際の運用計画より多くなったのに対し、本アルゴリズムではすべてのエリアで実際の運用計画より要員数を少なくできた。

5. 行路計画案の評価

行路計画の妥当性に関しては、効率面だけでなく、労働負荷の面からのチェックも必要である。また、本アルゴリズムで作成した行路計画の内容について調べることは、効率的な運用計画の作成を検討する上で参考になると考える。そこで、各行路の様々な評価指標が行路計画を構成する行路群の中でどのように分布しているのかを概観できる、運用評価値可視化ツールと呼ぶプログラムを作成し、こ

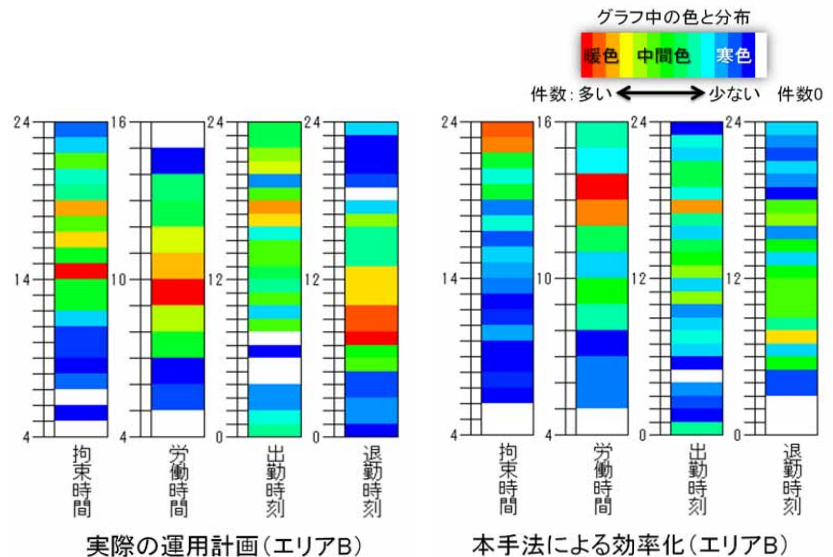


図3 実際の運用計画と本手法による結果との比較

れにより行路内容を確認した。図3に、同プログラムを用いて、表1のエリアBの運用計画と本手法で作成した行路計画を比較した結果を示す。このグラフは、対象となる指標値の分布範囲を縦軸にとり、各目盛間隔の範囲に分布する行路の数（度数）を色で表すもので、色はサーモグラフの配色（暖色になるほど度数が高く、寒色になるほど度数が低いことを表す）と同じである。

このグラフから本手法の結果をみると、出勤・退勤時間帯（単位は時）の分布は実際の運用計画とほぼ等しく、行路が少なくなった分、最も行路の多い時間帯の行路が減っていることがわかる。拘束時間は24時間を上限に設定しており、上限に近いほど行路数が多くなった。労働時間は深夜帯に2時間以上乗務する場合の上限を14時間に設定しており、それ以下の範囲において労働時間が長いほど行路数が多いことがわかる。また実際の運用と同様に、分布域は両指標とも制約条件の下限から上限まで広く分布している。これらと効率性との関係については、まだ解明に至っていないが、次のように考えることができる。拘束時間・労働時間の長い行路を作成することにより行路数は減少する。これにより、交番において長時間の在宅休養時間を必要とする個所が増え、交番作成の条件が厳しくなる。そのため、拘束時間の短い、一見効率が悪いと思われるような行路も含まれるようにして、行路のバリエーションを実際の運用計画と同様に多くすることで、効率よく適切な在宅休養時間を確保した交番の作成を可能にしているものと思われる。

6. まとめ

本発表では、効率性の高い運用計画の作成手法として、交番の作成条件および要員数を考慮した行路作成アルゴリズムを提案し、併せて、運用計画の評価手法および評価例を示した。なお、本手法と人間科学分野のこれまでの成果を融合することで、行路計画の段階から、在宅休養時間を含めたワークロードを考慮することも技術的に可能である。本成果を基に、効率と労働負荷の両面を考慮した、より高度な運用計画作成手法へ発展させたいと考えている。

参考文献

- [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—コンピュータで運行計画をつくる。エヌ・ティー・エス、2005.