

乗務員区所の最適配置アルゴリズム

輸送情報技術研究部 運転システム

研究員 加藤 怜

1. はじめに

鉄道輸送において、ダイヤ改正のたびに策定される輸送計画の1つに乗務員の運用計画がある。乗務員の出勤から退勤までの1つの勤務のことを行路と呼び、全列車に対し乗務員を割り当てた計画全体のことを乗務員運用計画と呼ぶが、鉄道事業者では無駄のない、効率のよい乗務員運用計画の作成が求められる。乗務員区所は営業路線上に配置され、各乗務員はいずれかの区所に所属するが、乗務員の乗務時間や乗務距離には上限があるため、乗務員区所の配置箇所により乗務員運用計画の効率は大きく変化する。よって、鉄道事業者にとって乗務員区所の配置箇所の決定は重要な問題である。特に、今回対象とする貨物列車に関しては、全国にまたがる長距離の運行や夜間の運行が多くあるため、乗務員運用の効率性が乗務員区所の配置箇所に影響されやすい。

これまで、乗務員区所の配置箇所については、運用計画作成担当者により手作業で特定区所を対象とした改廃の検討は行われてきた。しかし、必要となる輸送量を最重要視した場合における区所配置箇所の全面的な見直しの検討は、乗務員運用を全て白紙状態から作成し直す必要があり、作業量の問題から困難であるため、コンピュータの活用による区所配置箇所の検討が望まれている。本研究では、列車ダイヤ、乗務員の労働条件、乗務員区所の配置候補駅が与えられたときに、最適な乗務員区所の配置駅を提示するとともに、各区所の乗務員運用計画を同時に作成するアルゴリズムを開発したので、その概要を報告する。

2. 乗務員区所と乗務員運用計画

図1に列車ダイヤの例とこの列車ダイヤに対応する乗務員運用計画の例を示す。A駅・B駅が乗務員区所の配置駅であり、それぞれ2人の乗務員の行路を示している。例えば1行路はA駅で1列車に乗務することから始まり、6列車でA駅に戻って終わる行路である。これら4つの行路により、運行するべき列車の全乗務区間に乗務員を割り当てることができる。乗務員区所は行路の起点・終点であるため、乗務員区所を路線上のどの駅に配置するかにより、乗務員の運用効率は大きく変化する。

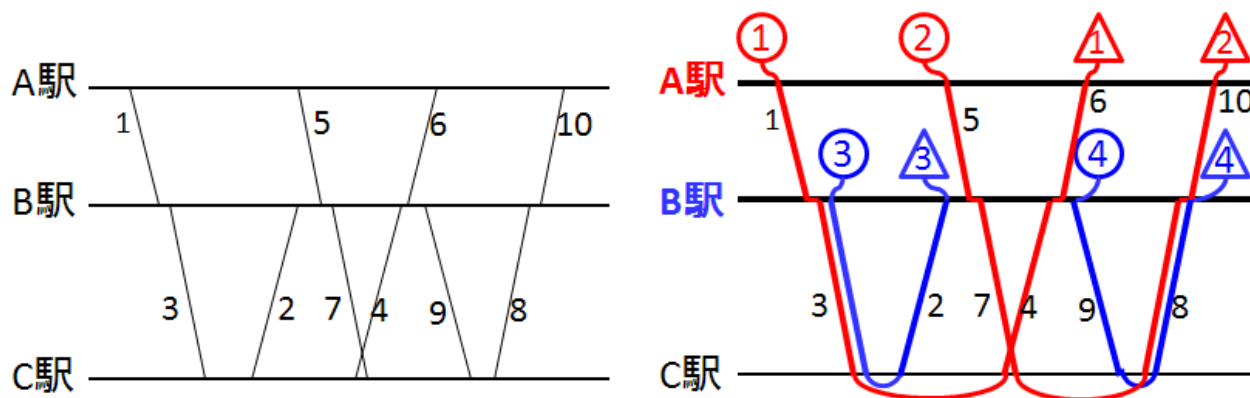


図1 列車ダイヤの例(左)と対応する乗務員運用計画の例(右)

乗務員運用計画は担当者により手作業で作成されているが、その作成に多大な時間と労力を要

していることから、コンピュータによる支援への期待が高まっている。乗務員運用計画の自動作成に関しては研究が数多く行われており、数理計画問題として集合被覆問題、あるいは集合分割問題に帰着させている例が多い¹⁾。しかし、これらのモデルではいずれも乗務員区所が所与であることが前提であるため、乗務員区所の配置箇所まで検討することはできない。

乗務員区所の配置箇所の妥当性を検討するためには、その区所配置にもとづく乗務員運用計画を評価する必要がある。よって、本研究では乗務員区所の最適な配置箇所の決定と、その配置にもとづく乗務員運用計画の作成を対象とする問題を区所配置問題と定義し、この問題に対するアルゴリズムを提案する。

3. 区所配置問題のモデル化とアルゴリズム

3.1 区所配置問題の制約条件と評価指標

区所配置問題において、満たさなければならない制約条件を以下に示す。

- ① 各列車に1以上の行路を割り当てる。
- ② 各行路はいずれかの区所配置駅から勤務を開始し、同じ駅で勤務を終了する。
- ③ 各行路は1継続乗務キロ、1継続乗務時間の上限を守る。
- ④ 各行路は1勤務の労働時間の上限を守る。
- ⑤ 各行路は1勤務の拘束時間の上限を守る。
- ⑥ 各行路は行先地の時間制約を守る。
- ⑦ 各区所について、深夜帯(22:00～5:00)の乗務を含む行路の割合が一定以下である。

貨物列車の乗務員運用計画の特徴として、深夜帯の乗務が多いことが挙げられるが、③～⑥の行路に関する制約については、深夜帯の乗務を含むかどうかにより条件が異なっている。

評価指標として考えられるものとしては、以下のような項目が挙げられる。

- ① 区所を配置する駅は少ない方が望ましい。
- ② 新設する区所の数は少ない方が望ましい。
- ③ 必要となる乗務員数は少ない方が望ましい。
- ④ 乗務員の総拘束時間は少ない方が望ましい。

これらの項目については、状況により重視する項目が異なると思われるため、様々な状況に対応するために、各項目に重みを与えたその総和により区所配置案を評価することにする。

3.2 区所配置問題のモデル化

区所配置問題に対するアプローチとして、以下の2つが考えられる。

- 列車ダイヤをもとに、最適な乗務員区所の配置駅を決定したのち、その配置駅にもとづいた乗務員運用計画を作成する。
- 乗務員区所の配置駅を決定する過程で、同時に乗務員運用計画を作成する。

前者では、乗務員区所を決定してしまえば、乗務員運用計画の作成は従来研究をそのまま活用できる利点がある。しかし、そもそも列車ダイヤから乗務員区所の配置箇所を決めることは容易ではなく、場合によっては決定した乗務員区所の配置駅からは乗務員運用計画が作成できない可能性がある。後者の場合、同時に扱う問題の範囲が広く、問題規模が増大するという問題はあっても、前者のような問題は起こりえない。よって、本研究では後者のアプローチをとる。

乗務員区所の配置箇所の決定と乗務員運用計画の作成を同時に実現するために、本研究では施

設配置・配送ルート問題と呼ばれる数理計画モデル²⁾に着目した。モデルの概念図を図2に示す。区所配置候補駅と各乗務列車をノード（点）で表現する。「乗務列車」とは、各列車の始発駅～到着駅間を乗務員交代駅で分割した各区間のことである。各行路は区所配置候補駅ノードを始点とし、いくつかの乗務列車ノードを経由して、始点とした区所配置候補駅ノードに戻るサイクルとして表現される。このとき、各サイクルは乗継可能な乗務列車間をつなぐのはもちろんのこと、前節の制約条件③～⑥に対応する、行路に関する制約条件をすべて満たす必要がある。

このモデルにおいて、すべての乗務列車ノードが必ずどれかのサイクルに含まれるようなサイクル群を列挙できれば、それが区所配置問題の1つの解であり、サイクルの始点・終点となった区所配置候補駅ノードが区所配置駅、サイクルが各区所の行路となる（図3）。

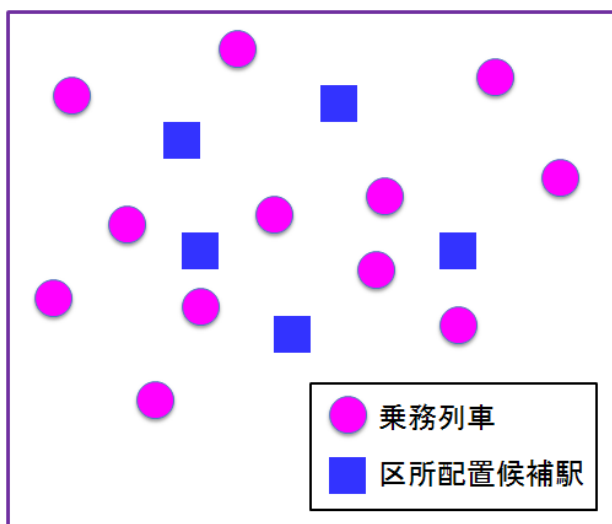


図2 モデルの概念図

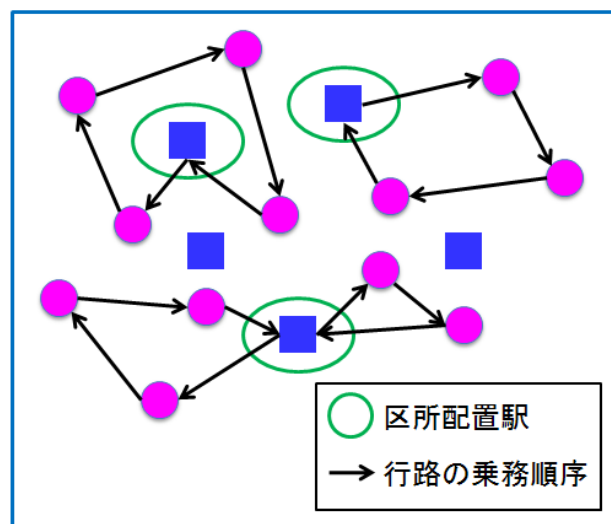


図3 モデル上での区所配置問題の解

3.3 区所配置決定アルゴリズム

前節のモデルをもとに、区所配置問題を数理計画問題として定式化した。解法としては乗務員運用計画の自動作成でもよく用いられる列生成法³⁾を適用している。各区所候補について、制約を満たす行路をすべて用意することは、問題規模の観点から現実的ではない。それに対し、逐次行路を生成することで、数理的に「良い」行路案だけをを用意する列生成法は有効な手法となりうる。また、行路の生成には最短路探索手法を適用するが、この手法によって貨物列車の乗務員運用計画では特に問題となる、深夜帯の乗務に関する複雑な制約を考慮することができる。

区所配置案求解の基本的な考え方は、各区所候補について行路を生成し、その中からすべての乗務列車に行路が割り当たるような行路群を求める。このとき、定式化に「1つでも行路が採択されるならば、その行路に対応する区所候補駅も必ず配置する」という条件を加えることで、乗務員区所、乗務員運用計画がともに最適化された区所配置案を求めることができる。

4. 評価試験

開発したアルゴリズムに対し、実際の貨物列車の路線データを用いた評価試験を行う。対象線区の路線図および乗務員区所の配置候補駅を図4に示す。路線長は約550km、1日の列車本数は約300本である。なお、試験にはCore i7 3.20GHz, 3.0GB RAMのPCを使用し、数理計画問題の求解にはIBM ILOG CPLEX⁴⁾を用いた。

表1に、1 継続乗務キロの上限を 200, 220, 240, 260 キロと変化させたときの、区所配置駅、所要乗務員数、平均労働時間を示す。なお、評価指標は区所配置数の最小化に最も重みをおき、所要乗務員数を少なくすることも考慮している。表1を見ると、1 継続乗務キロの上限を変更することで運用効率が向上するため、区所配置駅数が減少し、また区所配置駅数が同じならば所要乗務員数が減少することがわかる。また、平均労働時間はほとんど変化していないことから、区所配置駅の変化による労働時間への影響はほとんどないといえる。

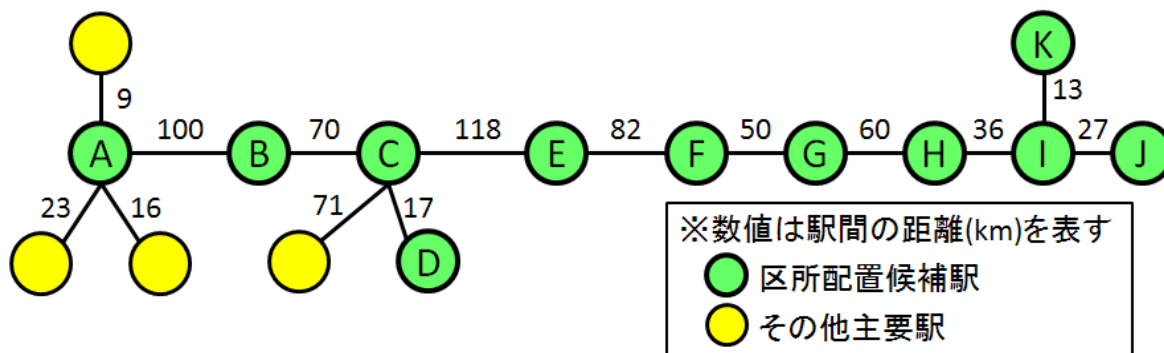


図4 対象線区の路線図と区所配置候補駅

表1 1 継続乗務キロを変化させたときの区所配置

1 継続乗務キロ上限(km)	区所配置駅	所要乗務員数	平均労働時間
200	A・C・F・J 駅	294	6:29
220	A・C・F・J 駅	290	6:30
240	A・C・H 駅	293	6:38
260	A・C・I 駅	288	6:38

5. おわりに

本研究では、列車ダイヤをもとに最適な乗務員区所の配置駅を提示し、同時に乗務員運用計画を作成するアルゴリズムを提案した。このアルゴリズムにより、乗務員区所と所要乗務員数等の関係を調べるための多様なシミュレーションが可能になった。なお、今回は貨物列車を対象としたが、アルゴリズムの基本的な考え方は旅客列車にも応用できると考えている。

最後に、本研究開発の実施にあたりご協力いただいた、JR 貨物運輸部運用グループの方々に深く謝意を表す。

参考文献

- 1) 今泉淳: 鉄道の運用計画問題に対する整数計画法によるアプローチ, オペレーションズ・リサーチ, Vol.53, No.8, pp.439-445, 2008.
- 2) R. T. Berger et al.: Location-routing problems with distance constraints. *Transportation Science*, Vol.41, No.1, pp.29-43, 2007.
- 3) 久保幹雄, 田村明久, 松井知己: 応用数理計画ハンドブック. 朝倉書店, 2002.
- 4) IBM ILOG CPLEX: <http://www-01.ibm.com/software/integration/optimization/cplex/>