

複数基地の機関車に対する車両運用計画の立案

01012600 東洋大学 *今泉 淳 IMAIZUMI Jun
01205890 早稲田大学 椎名 孝之 SHIINA Takayuki
早稲田大学 中野 颯大 NAKANO Sota

1. はじめに

鉄道会社は時刻表に対応して車両運用計画を立案するが、貨物列車は運行距離が長く、点在する複数基地に配置された機関車の運用計画が必要である。本研究は複数基地の機関車の運用計画を立案する状況を想定し、既存のモデルを修正して計算時の挙動を観察する。

2. 車両運用計画とそれに対する研究

2.1. 車両運用計画の概要

車両は時刻表上の全列車の一巡順序の「交番」に従い運用されることが多い。交番は暦日一日分の「仕業」の順序からなり、各仕業に一車両を充当、日が変わる度に次の仕業を担当し、全車両が同一運用に従い使用の平準化を図り、検査も組み込みその施行を保証する。

近年は車両形式の統一や基地の集約の傾向があるが、貨物列車は長距離運用も多く機関車の配置が複数の基地にわたるため、各基地の担当列車とその車両運用（交番）を決めなければならない。

2.2. 過去の研究と本研究の関係

交番作成モデルはイタリアの Giacco et al. [1] が提案、その日本のケースへの修正・適用がある。Giacco et al. [1] では検査が走行距離上限で定まるが、それが日数の日本の旅客鉄道に対して、初期の試みとして諸岡ら [2] が、複数の交番（交番組）を考えるものとして、新旧車両が混在する Morito et al. [3] や相互直通運転を考える Nakano et al. [4] がある。本研究では時間上限で検査が定まる機関車を対象にし、Giacco et al. [1] のモデルにそのための修正を施す。なお、距離も同時に考慮するケースも考えそれも併せて対象にする。

3. 問題・モデル

3.1. 概要

列車を点に、二列車のつながりを有向枝に対応させたグラフ上で、検査制約を満たす指定数（交番組の数）の巡回路で各点を一度だけ被覆するようにする。

Giacco et al. [1] やその後の研究との違いは検査が時間（単位は分）で定まることで、その期限は「検査施行後の最初の列車の発車時刻から、次の検査の直前の列車の到着時刻が $x \times 24$ 時間（実際の単位は分。 $x \times 24 \times 60$ 分）以内」とする。

3.2. Giacco et al. の問題との違い

Giacco et al. [1] の問題では回送列車が最適化の結果として生じるが、距離上限で考える限りその発着時刻の参照やそれを定める必要はない。しかし本問題では検査が時間上限で定まるため、回送列車の発着時刻が必要になる。

3.3. モデルの詳細

本研究の仮定

計画立案の実務でこの種のモデルを使う場合には回送列車の発着時刻を仮に設定して入力データとすることも考えられる。本研究では二列車間の回送列車の発着時刻のルールをモデル化において設定する。そこでは主要な駅に隣接して検査可能場所がある現状を考慮し、検査前後の両者が回送のケースを除外し、検査のために回送を伴うにしても前・後の一方のみと仮定する。

回送列車の仮定に伴うモデル上の設定

回送列車が検査の i) 後に伴う場合は、検査前の担当列車の到着時刻に検査が開始、検査が終了したら直ちに回送列車が発車するよう回送列車の発着時刻を設定し、ii) 前に伴う場合は、検査後の担当列車の出発時刻に検査がちょうど終了する時刻に検査を開始し、その検査の開始時刻に回送列車が到着するよう回送列車の発着時刻を設定する。

前者は検査終了時刻が回送列車の発時刻で、検査終了後の最初の列車（回送）の出発時刻から検査期限のための時間カウントが開始し、後者は回送列車の到着後直ちに検査が開始し、回送列車の到着時刻に検査期限のための時間カウントが終了する。その上で Giacco et al. [1] の距離上限による検査を時間上限とする修正を施す。

4. 定式化

紙面の関係から、部分的に Morito et al. [3] を参考・準拠しつつ、修正や新規の記号を中心に 2 交番組の定式化の一部を示す。

記号の定義

0-1 変数 s_i^p を「列車 i を交番組 $p (= 1, 2)$ が担当するとき 1, さもなくば 0」、 x_{ijz}^p を「列車 i と j の間のつな

表 1: 問題例と数値実験の結果

基地	所属車両数	列車数	距離の考慮	検査間隔の上下限	回送距離	時間 (秒)
A/B/C	36/25/30	135	× (時間のみ)	96~240 時間	188.0	438
A/B/C/D	36/25/30/17	160	× (時間のみ)	96~240 時間	341.7	7233
A/B	36/25	98	A・B とも	96~240 時間・~7200km	228.9	112
B/C	25/30	72	B・C とも	96~240 時間・~7200km	78.3	12
A/B/C	36/25/30	135	A のみ	96~240 時間・~7200km	188.0	456
A/B/C/D	36/25/30/17	160	A のみ	96~240 時間・~7200km	341.7	5723
A/B/C/D	36/25/30/17	160	A・B のみ	96~240 時間・~7200km	341.7	9185

ぎの種類 z の枝を交番 p で選べば 1, さもなくば 0」とする. 変数 g_{ijz}^p を「交番組 p で枝 (i, j, z) を選択した際の列車 j の出発時点から見て最新の検査以降の経過時間」とする.

ここで z の値として「 $z = 1$ 」(検査なしの折り返し), 「 $z = 2$ 」(検査を含む折り返し), 「 $z = 3$ 」(回送), 「 $z = 4$ 」(検査して回送), 「 $z = 5$ 」(回送して検査) がある.

定数として, R_j を列車 j の発時刻から着時刻までの経過時間, T_{ijz} を枝 (i, j, z) に対して列車 i の着時刻から列車 j の発時刻までの経過時間, E_{ij}^a を $z = 4$ の枝 (i, j, z) での検査終了から列車 j の出発までの経過時間(「列車 i の着時刻から列車 j の発時刻までの経過時間」- 検査時間), E_{jl}^b を $z = 5$ の枝 (j, l, z) での列車 j の到着から検査開始までの経過時間(「列車 j の着時刻から列車 l の発時刻までの経過時間」- 検査時間) とする.

目的関数

定数 c_{ijz}^p を交番組 p の枝 (i, j, z) における回送距離とし, 回送距離を最小化する.

$$\min \sum_p \sum_{(i,j,z)} c_{ijz}^p x_{ijz}^p$$

制約条件

制約条件としては以下のようなものがある.

巡回路を構成のために, 各点のカバー制約 ($s_i^1 + s_i^2 = 1$, いずれかの交番組で), 各点での入枝・出枝選択制約 (いずれも必ず 1), 部分巡回路除去制約がある.

検査からの経過時間をカウントする制約として, 各 p に対して,

$$\begin{aligned} \sum_l \sum_z g_{jlz}^p &= R_j s_j^p + \sum_{(i,j,z)|z=1,3} g_{ijz}^p + \sum_{(i,j,z)|z=4} E_{ijz}^a x_{ijz}^p \\ &+ \sum_{(j,l,z)|z=1,3} T_{jly} x_{jly}^p + \sum_{(i,l,z)|z=5} E_{jly}^b x_{jly}^p \end{aligned}$$

があり, 列車 j からみて, その直前の列車 i の後に検査があれば検査終了からの経過時間を考慮し, その直後の列車 l の前に検査があれば列車 j の到着時刻から検査開始までの経過時間を考慮している.

その他に, 検査からの経過時間の上限制約(場合により冗長な検査の抑止のための下限), 各基地の所属車両数制約, 交番組が所属基地を通過する制約等がある.

5. 数値実験

表 1 に示すような状況・例題を考えた. 検査間隔は上下限を設定し, 例題によっては距離上限も考慮した. 実験は XeonW-2145, メモリ 32GB の WS, IBM CPLEX を C++ から呼ぶ形で実装・実行した. 解は全て最適であり, 計算時間は右端の列に示した.

6. おわりに

本研究は複数の機関車基地の運用計画を同時に作る場合を扱い, 最適化モデルの計算時の挙動を観察した.

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP18K04619 の助成を受けたものです.

参考文献

- [1] Giacco et al.: Rolling stock rostering optimization under maintenance constraints. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, Vol. 18, No. 1, pp. 95–105, 2014.
- [2] 諸岡祐太, 福村直登, 椎名孝之, 今泉淳, 森戸晋. 鉄道車両運用計画における交番作成の数理計画モデル. 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2016 年秋季研究発表会アブストラクト集, pp. 172–173, 2016.
- [3] Morito et al.: Rolling stock rostering optimization with different types of train-sets. In *Proceedings of International Symposium on Scheduling 2017*, pp. 4–9, 2017.
- [4] Nakano et al.: Optimization of rolling stock rostering under mutual direct operation. In *Operations Research Proceedings 2019*, pp. 749–755, 2020.