

鉄道における車両運用計画作成問題

(財)鉄道総合技術研究所 01505160* 福村 直登 FUKUMURA Naoto, 01207440 坂口 隆 SAKAGUCHI Takashi
宮井 規雄 TOMII Norio
西日本旅客鉄道株式会社 01405094 中村 達也 NAKAMURA Tatsuya, 西森 進矢 NISHIMORI Shinya
(株)ニューメディア総研 豊坂 安彦 TOSAKA Yasuhiko

1. はじめに

長期不況と少子高齢化の影響による通勤・通学客の減少、交通手段の多様化等の影響で、近年、鉄道利用客数は横這い、ないしは微減傾向が続いている。その対策として、鉄道事業者側は、適切な設備投資を行い、利用者のニーズに迅速に対応した輸送計画(列車ダイヤ)の提供を目指している。

しかし、鉄道輸送計画の作成にはさまざまな制約条件があり、多くの担当者が膨大な労力を費やすことで作成しているのが実情である。さらに、実務を担ってきたベテラン社員の大量退職期を迎え、輸送計画作成を支援するシステムが望まれている。

本研究では、鉄道輸送計画業務の中核の一つである車両運用計画作成を取り上げ、その問題に対する解法アルゴリズムを提案する。

2. 車両運用とは

2.1 列車ダイヤと車両運用

列車ダイヤ、すなわち、時刻表は利用客のニーズと、線路設備の制約を中心に計画を作成している。図1に列車ダイヤの例を示す。図の縦軸は線区の駅並び、横軸は時刻を示し、各列車の運行計画は斜線で表される。横の数字は列車番号である。

列車ダイヤ計画に従って、実際に列車を運行するためには、各列車に車両(電車等の編成)を割り当てる必要があり、この割り当て計画を「車両運用」という。

図1に対する車両運用の例を図2に示す。端的にいうと、車両運用とは、車両が終着駅に到着した後の、次の充当列車を決めることである。前後列車を決めることを「つなぎ」という。また、1日分の使用計画を「仕業」、編成群全体の計画を「交番」という。

図2から、このダイヤでは車両を4編成使うことがわかる。また各編成は仕業番号順に順次割り当てられ、4日で一巡する。循環的な使用計画とするのは、各車両の走行距離を均一にするためである。

2.2 車両運用計画の制約条件

車両運用計画の主な制約条件を以下に挙げる。

- (1) 列車ダイヤ上の全列車に対し、車両を割り当てなければならない。また、列車ダイヤで決めた各駅の着発時刻は変更できない。

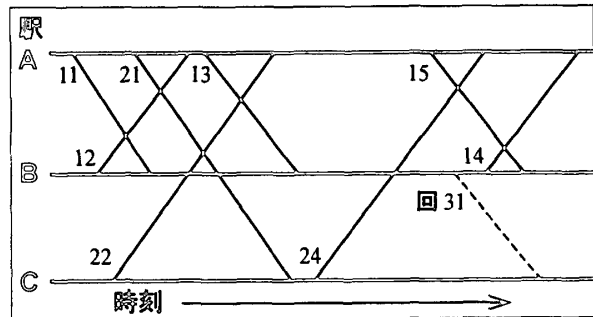


図1：列車ダイヤの例

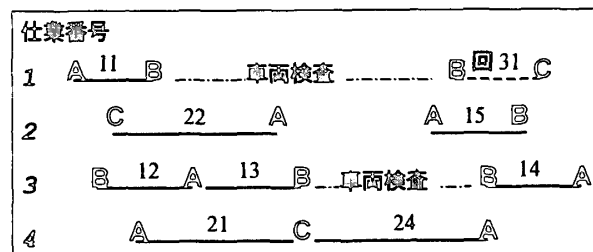


図2：対応する車両運用計画(「交番」)

- (2) つなぎが設定できる条件としては、
 - ・ 前後列車の着発駅は同一駅であること(駅が異なるときは回送列車を設定する。後述)、
 - ・ 日をまたぐ場合(終電から始電までの間)を除き、着発時刻は逆転しないこと、
 - ・ 間合い時間(つなぎの間隔)が、決められている折返し時間以上であること、などがある。
- (3) 鉄道車両には一定周期ごとの検査整備が義務づけられており、また検査ができる箇所と時間帯は限られているため、周期内に検査実施箇所に戻ってくる計画としなければならない。他にも多くの条件があるが、詳細は省略する。

2.3 車両運用計画の評価関数

続いて、車両運用計画の評価基準について述べる。

- (1) 鉄道車両は1編成が数億円以上の高価な資源であるため、使用車両数は最小とすること。
- (2) 列車ダイヤ第1案では、各駅で車両の過不足が生じることがあり、その解消のために回送列車を設定するが(図1中の「回31」)、この計画は車両運用の都合を優先する。回送列車はコストでしかないため、設定本数、及び走行距離は少ないほうが望ましい。

他にも要求事項は存在するが、今回は、使用車両数と回送列車の設定数の最小化を評価関数とした。

3. 車両運用計画作成問題のモデル化

2.2 項の車両検査条件を考慮するには、作業単位で計画を作って、その並び順を決める方法よりも、交番全体を同時に決める方法のほうが、アルゴリズム開発の面で有利であると考えられる。

その考え方にもとづき、各列車をノード、列車間のつながり候補をアークとするネットワークとして、この問題をモデル化した(図3)。

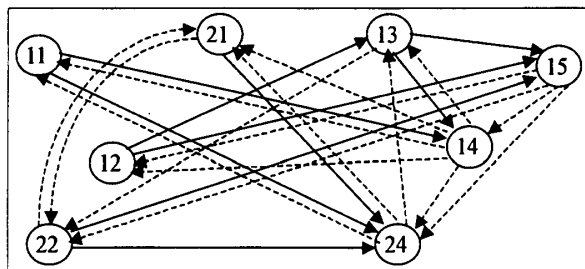


図3：車両運用問題のネットワークモデル
実線のアークは同一日、点線のアークは翌日の列車へのつながりを示す

このネットワークモデルには次の特徴がある。

- ・ノードとアークの双方に時間コストを含む。
- ・着発駅が異なる列車間のアークには、回送列車の設定を含む。
- ・着発時刻が逆転しているときは、日をまたいでいると見なして、アークを設定する。
- ・つながり設定の条件を満たさないときは、アークは設定しない。

アークのコストは、つながり前後の時間間隔と回送列車設定コストの重み付き線形和である。従って、ノードAからノードBへのアークと、その逆向きのアークではコストは異なるので、これは非対称不完全グラフとなっている。

4. 車両運用計画作成アルゴリズム

使用車両数最小化という評価関数は、営業列車ではない時間、すなわち、間合いと回送時間の最小化(=アークのコスト)で置き換えて構わない。また、全列車に車両を1回ずつ充当するという条件だけ考えると、これは、巡回セールスマン問題(TSP)であるが、車両検査条件が加わっているため、TSPの解法はこの問題には適用できない。さらに、実際の列車ダイヤではノード数は100以上となり、厳密解を求めるのは困難と思われる。

そのため、今回は、検査条件を満たす最短巡回路を求める近似アルゴリズムの開発を目的とした。

問題となるのは、「いつ、どこで」検査をするかと

いうことである。ネットワーク中には、検査箇所に行けるアークが多数あり、どれが適切であるかは、巡回路を生成してみないと判断できない。

そこで、確率的アルゴリズムと最短路アルゴリズムの組み合わせをベースとした、最短巡回路探索アルゴリズムを構築した。

提案アルゴリズムの概要を以下に示す。

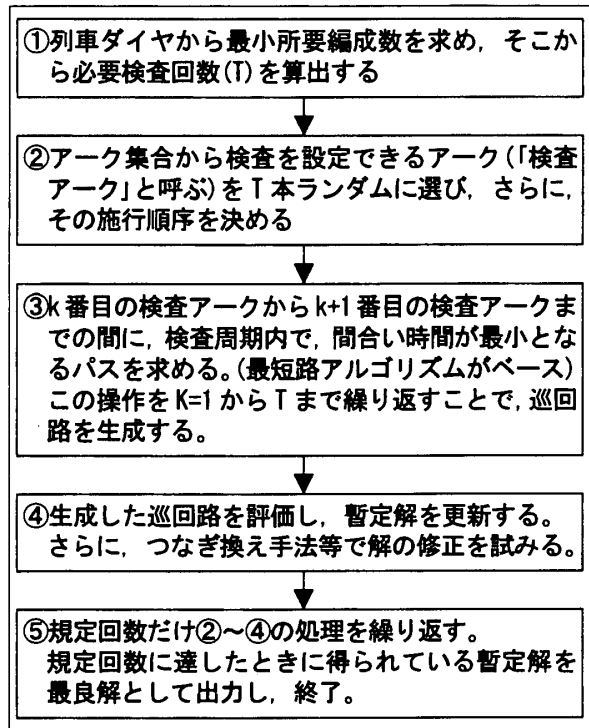


図4：車両運用計画作成問題のアルゴリズムの概要

このアルゴリズムをPC上に実装し、実際の列車ダイヤに対する車両運用を作成させてみたところ、1時間程度で、担当者が作成したものと同程度の品質の計画を作成できることを確認した。

5. 今後の課題

今回扱った問題は、全列車を1カ所の車両基地で担当するケースであるが、実際の鉄道輸送計画では、1線区を複数の車両基地で担当するケースや、複数の車両編成で1列車とし、途中駅で分割するケースなど、より複雑な車両運用形態をとる線区も多い。

引き続き、このような線区に対するアルゴリズムの研究・開発も行っている。

参考文献

1. 趙,富井,福村,坂口：“確率的局所探索に基づく鉄道車両運用計画アルゴリズム”, 電気学会交通・電気鉄道研究会, 2001
2. Lawler et al., "Traveling Salesman Problem", John Wiley & Sons, 1985