

2008 年度 修士論文要旨
列車ダイヤの乱れを修正するための数理的アプローチ

関西学院大学大学院理工学研究科
 情報科学専攻 茨木研究室 吉内 友規

1 はじめに

鉄道のスケジュールは、列車の時刻や番線のなどを定めた列車ダイヤなどの列車計画だけでなく、ダイヤで定められた時刻に列車を運転するために、その列車に該当する車両の運用計画、その列車を運転する乗務員の運用計画、駅や車両基地構内での車両の入換え計画なども必要である。その中の重要な課題として列車ダイヤに乱れが生じたときに、それを正常に戻すための一連のダイヤの変更計画（運転整理案）の作成をする問題がある [1]。本研究では、この問題をスケジューリング問題として考え、運休が必要かどうか、またどの列車を運休にするかを日程計画の手法として知られている PERT(Program Evaluation and Review Technique)[3] を用いて判断し、資源制約スケジューリング問題 (Resource Constrained Project Scheduling Problem, RCPSP) として定式化したのち、既存の RCPSP ソルバ [2] を用いて解を求める。RCPSP とは、与えられた資源・作業に対して、各作業をいつ開始するかを決定する問題である。つまり、資源として列車の車両や線路、駅のホームを想定し、作業として列車の走行や停車とすることで運転整理案を作成することができる。RCPSP のソルバはメタヒューリスティクス的一种であるタブー探索を用いている。

2 PERT による運休の定式化

2.1 PERT のねらい

PERT とは、互いに依存しあう複数の作業の先行関係を重み付きアークを持つ有向非循環ネットワークにより表現し、工程管理や日程計画などを行なう手法である。PERT では、グラフの各アークは 1 つの作業を表し、アークの重みはその作業に要する時間を示している。また、グラフのノードは作業の順序制約を表しており、あるノードから出ているアークに対応する作業は、そのノードに入ってくるアークに対応する作業がすべて終了してからでないと開始できない。PERT 図から、それぞれの作業の最早開始時刻と最遅開始時刻を知ることができる。

PERT の計算は、駅間の基準運転時分や駅の基準停車時分などに基づく簡単な列車運行シミュレーションとみなすことができる。列車運行シミュレーションでは、グラフのノードは列車の駅への到着・駅からの出発の事象を表す。また、アークは各事象間の順序関係を表し、アークの重みは事象間に要する時間間隔を表す。図 1 の列車ダイヤ例を PERT 図で表したものが図 2 である。なお図 1 の数字はそれぞれの列車の上りと下

り示し、図 2 の数字と大文字の英字はそれぞれの列車名と駅名に対応しており、d は出発を a は到着を意味している。それぞれの駅間では列車の追い抜きはできないが、B 駅はホームを二つ有しているの待ち合わせや追い抜きが可能となっている。たとえば図 2 中の (1-A, d) は、図 1 中の下りの普通列車 1 の A 駅での出発を、アークの数字は所要時間を表している。

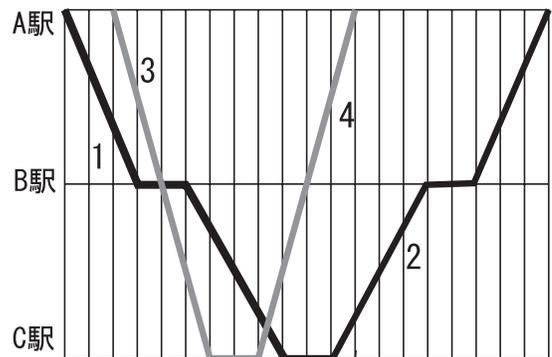


図 1: 列車ダイヤ図

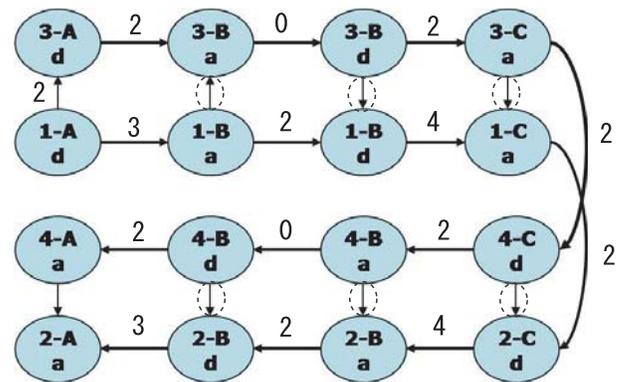


図 2: PERT 図

しかし、PERT は、アークによって作業の順序を定めることによって資源の競合を避けることができるものの、それ以外では資源制約を考慮しないので、実行可能なダイヤを与えるとは限らない。図 2 のようにアークを入れなければならないが(図 2 の破線で囲んだ部分)、アークを入れるのはアークの両端点の先行関係を決めることになるので、順序を変数として含んだ最適化は図れない。しかし、PERT を用いることによって最早・最遅時刻は高速に得られる。したがって、遅延が発生したときに、それぞれの列車の始発駅での出発の最低限の先行関係のみを PERT に入れることによって、条件融和さ

れたダイヤグラムにおける列車の発車と停車の最早・最遅時刻や遅延回復の大まかな時間を知ることができる。ここでは、それらの情報を運休する列車の決定に利用し、そのあと RCPSP ソルバ [2] を用いて資源制約を満たした、実行可能な運転整理案を得るという方針をとる。

2.2 運休列車の決定方法

PERT で得た最早時刻と最遅時刻それぞれに基づいて、二つの列車ダイヤを作成し、その両方の同じ種別の列車、つまり、普通列車や快速列車の資源の競合回数の合計をとり、それぞれの種別の列車一台当たりの資源の競合回数の平均を求める。ここでいう資源の競合とは、線路が一つしかない区間での追い抜きや、ホームが一つしかない駅に、二つの列車が停車するという番線競合など、実際では実行不可能な状態を指す。そこで得られた資源競合の平均値が大きい列車種別順に列車を運休するという方針をとるのである。以上の手順を希望する遅延収束時間が達成されるまで繰り返す。

3 RCPSP による定式化

RCPSP を運転整理案に適用するにあたって資源や作業、制約を以下のように考える。

表 1: RCPSP による定式化

資源	駅のホーム，線路
作業	列車の走行，停車，通過
直前先行制約	列車行路
考慮制約	予定完了時刻

資源として駅のホームと線路を考え、作業として列車の走行、停車、通過、さらに直前先行制約として列車の作業の走行、停車、通過というダイヤの一連の順番（列車行路）を指定した。与えられた制約は、必ず満たさなくてはならない制約（絶対制約）と必ずしも満たさなくても良い制約（考慮制約）に分類する。本研究では、資源、作業、先行制約を絶対制約、予定完了時刻の制約を考慮制約として実験を行った。考慮制約にはペナルティが課されていて、RCPSP ソルバは、ペナルティの総和を最小にするように探索を進める。なお、表の直前先行制約は、同じ資源上での先行関係なので、作業の走行に、出発駅と到着駅のホームを資源として使用させることによって、停車と走行の作業をその資源上の直前先行制約としている。例えば、作業 $job[1]$, $job[2]$, $job[3]$ がそれぞれ走行、停車、走行とし、資源として同じ駅のホーム r を使うとする。このときの列車行路は

$$job[1] \prec_r job[2], job[2] \prec_r job[3]$$

というような直前先行制約を用いて表す。これらの制約は絶対制約として扱われる。

4 実験結果

実験に用いたダイヤは、駅数 16、普通列車、特急列車、快速列車 A、快速列車 B が数分間隔で計 64 本運行しているダイ

ヤである。このダイヤで 30 分の遅延が生じ、運転が再開されてから 60 分以内に通常ダイヤに戻ることを目的として実験を行った。

この遅延ダイヤの最早・最遅時刻の資源制約違反箇所の平均値を表 2 に示す。

表 2: 資源制約違反箇所の平均値

普通列車	特急列車	快速列車 A	快速列車 B
6.70	5.25	6.67	6.67

表より一番値の大きい普通列車を運休とする。以上の計算を希望する遅延収束時間が達成されるまで繰り返す。

表 3 に運休本数と遅延収束時間、またその時の遅延時分和を示す。

表 3: 運休本数と遅延収束時間

運休本数	遅延収束時間 (分)	遅延時分和 (分)
1	97	416
2	80	356
3	46	141

このように、三本運休させることで希望する遅延回復時刻である 60 分以内に通常ダイヤに戻ることができた。

5 結論

本研究では列車ダイヤの乱れを修正するために、PERT を用いて運休する列車を決め、それを基に RCPSP ソルバ [2] を適用する、という手順を反復するというアルゴリズムを提案した。実験の結果、この方法によって、遅延回復の設定時間までに通常ダイヤに戻せることを示した。

なお、この種の運転整理案作成アルゴリズムは、走行している列車を対象としていることから、極めて迅速に動作することが求められるが、高速アルゴリズムである PERT を用いて運休する列車を決め、その後に RCPSP で資源制約を満たした実行可能な解を得るという、本アルゴリズムによって、運転整理案を迅速に得ることが可能となった。また、アルゴリズムの心臓部分に汎用の RCPSP ソルバを用いることで、開発の手間を大幅に削除できる。

今後の研究課題として、実用の観点から、運休の他に、折り返し運転や特急を普通列車に変更するなどの手段も可能であるので、これらをどのように自動化するかを検討しなければならない。

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作る”, 株式会社エヌ・ティー・エス, 2005.
- [2] 茨木 俊秀 (研究代表者), “メタヒューリスティクスによる汎用問題解決システムの構築”, 科学研究費補助金 基盤研究 (B)(2)・研究成果報告書, 2005.
- [3] 関根 智明, “PERT・CPM”, 日科技連出版社, 1965.