

6N-1

## 非対称競合を対象としたスケジューリング方式と その列車運転整理エキスパートシステムへの応用

林 良之\* 富井 規雄\*\* 池田 宏\*\*

\*電気通信大学 \*\*鉄道総合技術研究所

### 1. はじめに

スケジューリング問題は、産業活動のさまざまな分野に数多く存在し、その計算機化に対する要求は極めて高い。

このうち、対象とする問題のなかに、例えば、作業  $A, B$  において  $A \rightarrow B$  の段取り時間と  $B \rightarrow A$  の段取り時間が異なり、どちらの作業を先に行うかは、資源の制約条件などに依存し、作業の順序関係に依存しないといった性質の競合が含まれている場合がある。この競合は複数箇所が発生するため、スケジュール全体への影響を考慮して競合を解消しなければならないが、解消によっては全体のスケジュールに大きな影響を与えることがある。このため、通常、このような競合の解消は、専門家が経験的な知識を用いることによって行っている。

一方、スケジューリング問題は、従来から OR の分野では組み合わせ最適化問題として定式化され、数理的なアプローチがとられてきた。教科書的な問題ならばこのアプローチは有効であるが、実際の問題では評価基準が多目的であるために、このアプローチだけで満足する解を得ることは難しい。

本稿では、このような競合を含んだスケジューリング問題に対する手法として、数理的アプローチと知識工学的アプローチを融合した手法を提案する。また、本手法を列車運転整理システムに適用することによって、手法の有効性を確認した。

### 2. 非対称競合を含んだスケジューリング問題

一般に、複数の作業が共通の資源を使用する場合、これらの作業間に競合が発生する。このとき、例えば、作業  $A, B$  において、 $A \rightarrow B$  と  $B \rightarrow A$  の

段取り時間が異なる場合、どちらの作業を先に行うかによってスケジュール全体に対する影響が違ってくる。本稿では、このような段取り時間が異なる競合を「非対称競合」と呼ぶことにする。

この非対称競合は、複数箇所が発生し、競合の解消時には、それぞれ資源の制約や優先順位といった複雑な評価基準を満足させなければならない。そのため、非対称競合を含んだスケジューリング問題は、非常に難しい問題となっている。

例えば、単線区間での列車走行の場合、どちらの列車を先に通すかで非対称競合が発生する。このとき、もし単純に段取り時間が小さい方向を選択するという基準で列車を運行させていくと、以降の列車にデッドロックが生じる場合があるため、逆にスケジュール全体に与える影響が大きくなってしまふ。これより、この競合の解消は単純なアルゴリズムでは解決できないため、専門家によって行われているのが現状である。

### 3. スケジューリング方式の提案

一般に、あらかじめ計画されたスケジュールは、作業の前後関係が確定しているため、この関係をネットワークで表すことができる。また、非対称競合は、図1のような選択アーク (disjunctive arc) の対 [1] で表現することが可能である。

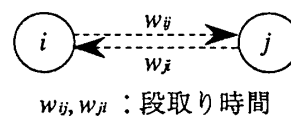


図1 非対称競合のネットワーク表現

「非対称」とは、図1における段取り時間  $w_{ij}$  と  $w_{ji}$  が大きく異なっていることによる。

これより、計画されたスケジュールに基づいたネットワークに図1の選択アークを導入し、競合の解消を図ることによって、全体のスケジューリングを

A Scheduling Method for Non-symmetrical Conflict and its application to a Traffic Rescheduling Expert System

Yoshiyuki Hayashi\*, Norio Tomii\*\*, Hiroshi Ikeda\*\*

\*University of Electro-Communications

\*\*Railway Technical Research Institute

行う。このとき、単純に時間だけを評価するなら、数理的なアプローチが有効である。しかしながら、実際の問題では、資源の制約など競合の解消に対する評価基準が複雑であるため、単に数理的なアプローチだけでは期待される解を得ることは難しい。

筆者らは、専門家が経験的な知識を用いることによって競合を解消している点に着目し、アークの選択に専門家から抽出したルールを適用することとした。すなわち、競合が発生する作業間の順序付けに、このような経験的な知識を適用することによって、作業の前後関係を確定させる。

#### 4. 列車運転整理システムへの適用

鉄道輸送において、車両事故などにより列車ダイヤが乱れた場合、一時的な運行計画の変更を実施して列車ダイヤの乱れを速やかに回復させる試みがとられる。この一時的な変更は「運転整理」と呼ばれ、通常、「運転指令員」と呼ばれる専門家が行っている。

このような運転整理業務のなかで、先取り判断が非対称競合の解消に相当する。例えば、次のような列車ダイヤにおける非対称競合を考える。

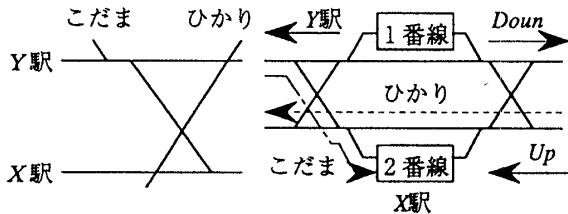


図2 非対称競合の発生

図2において、ひかりがX駅を通過したあとに、こだまがY駅から下ってきて2番線に到着している(X駅が終点)。

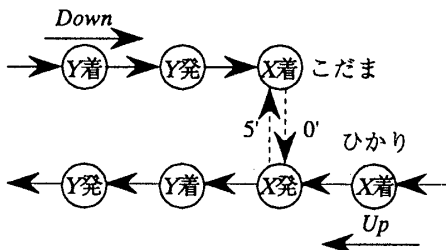


図3 こだまとひかりの非対称競合

これより、ひかりがX駅を通過するときと、こだ

まがX駅に到着するときに非対称競合が発生する。

提案した手法に基づいて、この非対称競合をネットワークで表すと、図3のようになる。このとき、選択アークには、ポイントの切り替え時間に相当する段取り時間の重みが付けられている。

通常、列車に乱れがなければ、列車の運行は図2のような列車ダイヤに従う。しかし、列車が乱れた場合、競合の解消によっては全体のスケジュールに与える影響が異なってくる。

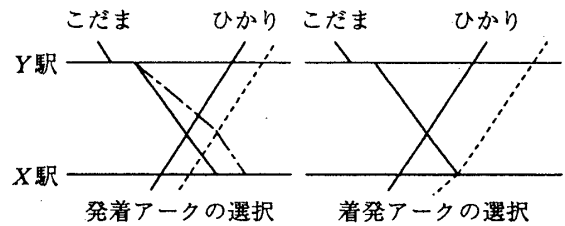


図4 ひかりの遅れに伴う影響

例えば、ひかりのX駅通過が遅れたときに、発着アークを選択した場合、こだまの到着が遅れて以降の下り列車に影響がでる。一方、着発アークを選択した場合、ひかりの通過は多少遅れるが、こだまを正常に到着させることができるため、以降の下り列車に影響がない。

このような非対称競合は、複数箇所で発生し、それぞれ競合が発生する駅、時間帯、および列車種別、乱れ状況などでどちらのアークを選択するかが異なってくる。よって、アークの選択に指令員の知識を適用することで、全体のスケジューリングを行う。

#### 5. おわりに

本稿で提案した手法を東海道山陽新幹線1日分(列車本数690本)の列車ダイヤに適用した結果、応答時間はEWS上で平均5~6秒であった。この応答時間は、指令員が予測結果を見ながら整理案に修正を加えるという一連の作業を繰り返すには実用的な時間であるといえる。また、競合解消の結果も十分満足できるものが得られ、本手法の有効性が確認できた。

#### 【参考文献】

[1] Balas, E.: Machine sequencing via disjunctive graphs: An implicit enumeration algorithm, *Opns. Res.*, pp. 941-957, 17 (1969).