

正 ○浅見 雅之 (鉄道総合技術研究所)

The Case Study On Rescheduling The Real And Complex Railway Network

Masayuki ASAMI, Railway Technical Research Institute. 2-8-38 Hikari-cho, Kokubunji-shi, Tokyo, Japan

We developed the rescheduling pattern description language R. However, we have not applied the language R to train operators' real rescheduling works yet. In this paper, we analyze the real rescheduling case, and prove that as even in the real and complex railway network the train operators prefer to reschedule simply because of the various and complicated restrictions about train operation, the real rescheduling work can be dealt with using the language R easily and effectively.

Keywords: rescheduling, pattern description language R, case study, real railway network, direct service

1. はじめに

鉄道において列車の運行に乱れが生じた際、正常な運行に戻すために、列車の運休、折返し運転、臨時列車の運転、列車の順序や番線の変更等、一連のダイヤ変更が行われる。この業務を運転整理と言う。

現在は、運転整理案の作成はほぼ全て人間の担当者の手によって行われている。近年、鉄道事業者内の専門家の減少等を背景に、運転整理案の作成をコンピュータで支援することへの要望が強くなってきているが、運転整理案を自動的に作成するアルゴリズムについては一部の小規模事例を除けば今現在あまり開発は進んでいない。

一方、鉄道総研では、現状の人間の専門家のノウハウ、特にパターン化された手順をコンピュータに学習させ、再現実行するための運転整理パターン記述言語 R を開発してきた。一部の実際の鉄道路線に適用し、評価試験を行ったものの、実際の鉄道事業者の運転整理に適用した実用的な観点での検証試験はまだ行われていなかった。そこで今回、現実の鉄道事業者内での運転整理の事例を分析検証し、パターン記述言語 R を用いての運転整理支援の実用的な可能性について検証することとした。

2. 運転整理のパターンとその表現

2.1 運転整理パターンとは

運転整理パターンとは、事故発生地点が特定の区間内にあるなどのいくつかの特定の条件が重なる状況になったとき、ある特定の運転整理手配を実行するという定型的なルールと言える。いわば、囲碁や将棋における定石に相当する。以下では、運転整理パターンの一例を示す。

図1はある都市圏の通勤鉄道路線のダイヤ図である。A は終端駅、B はその手前の折返し運転が可能な駅、C はさらにその手前の任意の駅とし、通常時のダイヤでは C 側から A まで運転し A で折返す列車が 10 分程度の等間隔に運転されているとする。この条件の下で、ある 1 つの列車 (列車 1 とする) が B 駅の手前で急病の旅客が発生したなどの原因により 10 分程度遅延したと

する。列車 1 の 1 本後の列車 (列車 2 とする) がまだ B 駅の手前にいるものとすれば、運転整理の 1 つの方法として、以下のようなものが考えられる。

- ・列車 2、および列車 1 の A 駅からの折返し列車 (列車 3 とおく) を A 駅～B 駅間で部分的に運休とする。
- ・列車 1 は遅れたまま A 駅まで運転し、折返し列車 4 (通常時は列車 2 の折返し列車) になるものとする。
- ・列車 2 は B 駅で運転を打ち切り、折返し列車 3 になるものとする。

これは、類似の状況が発生しても同様に適用できる運転整理手法であり、故に 1 つのパターンであると言える。

鉄道の運行管理においては、このような運転整理のパターン、定石をいくつも決めておくことにより、運転整理時の作業負担の軽減や混乱の防止、関係箇所での迅速な行動につながる事が期待できる。

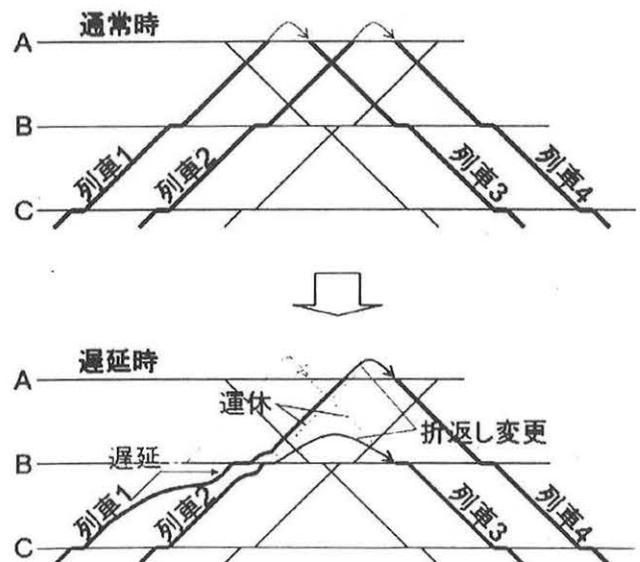


Fig.1 Example of the rescheduling pattern

2.2 パターン記述言語 R 用いた表現

これまでに鉄道総研において開発した運転整理パターン記述言語 R の概要を示す。R によって記述される運転整理パターン（「R ルール」）は次の 3 つの部分から構成される。いずれも変数を定義して用いることができる。

- (1) 事象部 (for_each 節) イベントの記述
- (2) 条件部 (if_exist 節) パターン動作条件の記述
- (3) 動作部 (then 節) パターン動作の記述

(1)事象部に記述したあるイベントが発生し、(2)条件部に記述した複数の条件を全て満たすとき、(3)動作部に記述した動作を実行するというものである。パターン記述の一例を図 2 に示す。

```

begin Pattern_a
for_each(
  運転休止[始端駅=A, 終端駅=E] =: x in WS)
if_exist(
  列車駅[列車番号=x 列車番号, 駅=A, 列車種別=普通, 運転方向=下り]=q,
  列車駅[列車番号=x 列車番号, 駅=E, 列車種別=普通, 運転方向=下り]=r,
  列車[列車番号=後運用列車(x.列車番号)]=w,
  列車駅[列車番号=w 列車番号, 駅=E, 列車種別=普通, 運転方向=上り]=s,
  列車駅[列車番号=w 列車番号, 駅=A, 列車種別=普通, 運転方向=上り]=t,
  列車[列車番号=前運用列車(x.列車番号)]=y,
  列車駅[列車番号=y 列車番号, 駅=A, 列車種別=普通, 運転方向=上り]=u,
  列車[列車番号=後運用列車(w.列車番号)]=z,
  列車駅[列車番号=z 列車番号, 駅=A, 列車種別=普通, 運転方向=下り]=v)
then(
  generate 運転休止 in WS(
    列車番号=w.列車番号, 始端駅=E, 終端駅=A)
  generate 車両運用変更 in WS(
    前運用列車番号=y.列車番号, 後運用列車番号=z.列車番号)
end Pattern_a
  
```

Fig.2 Example of the pattern description language R

図 2 の意味を以下で解説する。ある x という列車が A 駅→E 駅間で運休になったとき、以下の条件：

- ・ x 列車の A 駅に関するデータが存在する (q とおく)
- ・ x 列車の E 駅に関するデータが存在する (r とおく)
- ・ x 列車の後運用列車が存在する (w とおく)
- ・ w 列車の E 駅に関するデータが存在する (s とおく)
- ・ w 列車の A 駅に関するデータが存在する (t とおく)
- ・ x 列車の前運用列車が存在する (y とおく)
- ・ y 列車の A 駅に関するデータが存在する (u とおく)
- ・ w 列車の後運用列車が存在する (z とおく)
- ・ z 列車の A 駅に関するデータが存在する (v とおく)

を全て満たすならば、y 列車の E→A 駅間を運休とし、y 列車の後を z 列車に繋ぐよう車両運用を変更するという意味になる。

3. 実在路線の運転整理事例分析

3.1 実在路線の概要

ある大都市圏における実在の鉄道路線網を図 3 に示す。

この路線網においては、主として以下の運転系統の列車が運転されている（説明上の容易化のため、実在の路線の形状を必要の範囲で単純化して表している）。

- ① A or B→F~G~L 駅を結ぶ列車
- ② C or D→F~G~L 駅を結ぶ列車
- ③ A or B→F~H~I~J~W~O~P or Q 駅を結ぶ列車
- ④ C or D→F~H~I~J~W~O or S 駅を結ぶ列車
- ⑤ E→F~G~H~I~J~K 駅を結ぶ列車
- ⑥ M~N~W~O~P or Q, R 駅を結ぶ列車
- ⑦ V or M~N~W~O or S, T, U 駅を結ぶ列車

これらのうち、③、④は最近新たに新設された複数の線区（〇〇線という区分）を跨いで運行される列車であり、日中帯はそれぞれ概ね 30 分間隔で運行されている。この列車の運行開始により、ある路線の局所的なダイヤ乱れが乗り入れ先の他の路線のダイヤにも波及してしまうという問題が新たに生じてきている。

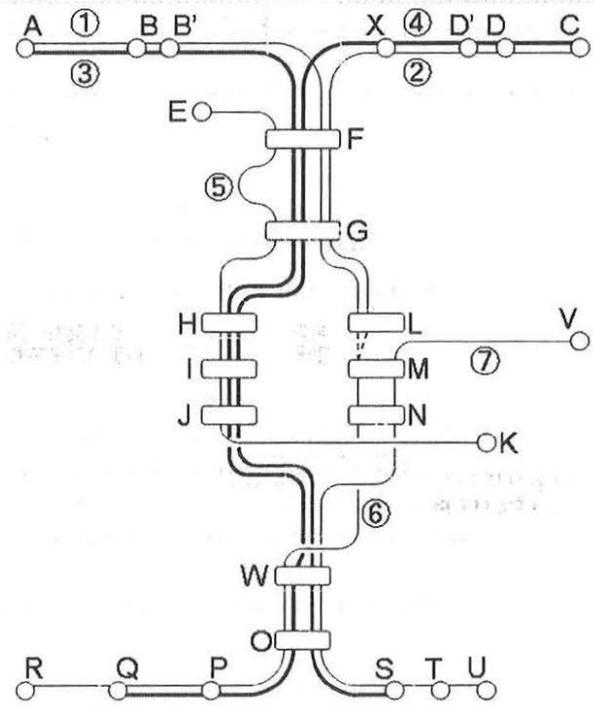


Fig.3 The real and complex railway network

この路線網内では今後、L 駅～M 駅間に連絡線を建設し、①、②と⑥との系統の直通運転化が計画されており、それが実現した際には他路線へのダイヤ乱れがより一層波及しやすくなる可能性が高い。現状はこの路線網内での列車運行管理、特にダイヤ乱れ時の運転整理は熟達した運行管理の専門家（輸送指令員）の職人芸的、経験則的な判断に拠っており、今後の輸送体系の複雑化に円滑に対応するため、運転整理のシステム化による輸送指令業務の支援強化が望まれている。

本研究では、このような現状を踏まえ、上の路線網における運転整理業務の支援を目指し、先に挙げたパターン記述言語 R をこの路線網のダイヤ乱れ事例への適用を試み、実業務への適用可能性を検証することとした。

3.2 運転整理の一例

まず、上の路線網に関する運転整理の現状について触れる。当該鉄道事業者の輸送指令部門へのヒアリングによると、先の路線網内でダイヤ乱れが発生した際、現状では以下のような基本ルールに基づき運転整理を行うとのことであった。

- ・ ある路線、地域の局所的なダイヤ乱れを他の地域、路線に波及させないようにする。
- ・ そのために、複数の路線に跨って運行される③、④の系統の列車を優先的に運休することが多い。
- ・ 運休となる場合、始発～終着駅の全区間運休の他、B 駅、B' 駅、D 駅、D' 駅、F 駅、H 駅、I 駅、J 駅、O 駅、P 駅での折返し運転を行うことが多い。

このような基本ルールの他、より細かな定石的な整理方法は色々あるものの、全体的な運転整理方針のパターン化は明示的にはされておらず、個々の場面において指令員の裁量で運転整理が行われるとのことであった。

以上の点を踏まえつつ、運転整理の事例分析の 1 つとして、2009 年のある平日の昼間に発生した人身事故によるダイヤ乱れに関する分析を行った。今回の事故発生箇所は系統②と④のみが通る X 駅であり、適切な運転整理

により他系統や④のうちI駅からO駅側のダイヤにはほぼ影響がなかったことから、以下では②、④のみを見る。

このときに輸送指令での実際の運転整理に用いられたダイヤ図（「整理ダイヤ」、運休や折返し運転などの手配の記録がカラーペンや鉛筆でダイヤ図上に書き込まれているもの）を図3に示す。ここで、図中のカラーペンで描かれた直線は系統④の列車のうち運休となった区間のスジを表している。

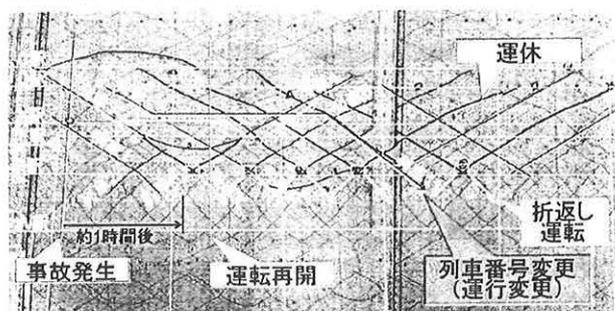


Fig.4 The real train diagram used by train operators

この整理ダイヤ図から運転整理手配に関する情報を読み取り、整理すると、以下のようにまとめられる。

(1) 事故発生、復旧時刻と支障箇所

D駅～F駅間のX駅で11:04に人身事故が発生し、系統②のC or D～F～G～L駅間、④のC or D～F～G～H～I駅間、各々両方向の列車が運転を見合わせた。必要な処置を行い、12:30頃に運転を再開した。

(2) 列車の運休手配

系統④については、I駅断面で見て事故発生時刻から約1時間後の12時過ぎ発着予定の列車から全運転区間の約半分に相当するC or D駅～I駅間が部分運休となった。運転再開直後の列車1往復分がI～F駅間部分運休、その後4往復分の列車はI駅～C or D駅間が運休となった。

系統②の一部の両方向の列車についても始発駅から終着駅まで(C or D～F～G～L駅)の全区間運休となった。

(3) 折返し運転、その他運転手続きの変更

系統④を見ると、既述の運休手配と連動して、F駅での折返し運転が1本、I駅での折返し運転が4本、I駅から列車番号が変わっている列車が1本設定されている。

ここで、最後のI駅で列車番号が変わっている列車は、事故発生時点で既に始発駅を出発している列車のうちの1つである。図3の中ではI駅で長く停車しているように見えるが、実際にはF駅を発車した時点で大幅に遅れてきているため、I駅ではそれほど長く停車はしていない。この列車は、運休となった区間は無いものの、I駅で2つの列車に分断され、C or D駅～I駅側とI駅～O or S駅側とでそれぞれ別の列車として運転された(C or D駅側はI駅到着が大幅に遅れ、I駅から別の列車となって、即ち列車番号を変えてO or S駅まで運転。O or S駅側はI駅で折返し運転)。

また、F駅折返しの列車についても、事故発生時点で既に始発駅を出発しており、実際には大幅に遅れてF駅に到着し、遅れて折返し発車している。I～F駅間のみが部分運休となったため、C or D駅～F駅側とI駅～O or S駅側とでそれぞれ別の列車として運転された(F駅、I駅の両側でそれぞれ折返し運転)。

3.3 運転整理手配の理由に関する考察

次に、上で読み取った運転整理手配の理由、背景等についての分析結果を示す。なお、当該鉄道事業者の輸送

指令室にヒアリングを行い、分析内容の妥当性については裏付けを取っている。

(1) I駅での折返し運転について

I駅折返しが12時過ぎから設定されているのは、系統④のの列車のうち、事故の影響によりX駅の手前で止められた列車(列車3以降)のI駅到着予定時刻が12時過ぎであることが理由である。

系統④のうち事故を間逃れた列車(列車1)は、遅延しながらも、I駅を通りO or S駅まで通して運転されている。I駅には車庫は無く、折返し運転を行う場合は必ず対になる反対方向の列車が必要になることを踏まえると、反対方向(O or S→C or D駅)の列車がC or D～I駅運休となるのは、先に述べた列車4の対になる列車3以降の列車になる。それよりも前の列車(列車2)については、これから向かう先の区間で運転見合わせが続いていたとしても、そのまま行かせるしかないことが分かる。

(2) F駅での折返し運転について

F駅折返し(列車3→列車4)の理由については、既に列車3が事故発生時点で始発駅を出てしまい、事故の影響で大幅に遅延していること、最寄りの折返し運転可能駅がF駅であること、I駅での折返し運転が始まっていることなどから、列車3をI～O or S駅側のダイヤに影響を与えないような運転整理手配を行うための方策を採ったためである(なお、列車3のF駅到着時刻が運転再開直後であり、運転再開直後のF駅発C駅方面の輸送力確保が必要であるためと当初は考えられたが、裏付けを行った際に指令へのヒアリング時に否定された)。

(3) I駅で列車番号が変わる列車について

I駅から列車番号が変わっている列車(列車5→列車11)が存在するのは、既に事故発生時点で列車5が始発駅を出てしまい、事故の影響で大幅に遅延していること、I～O or S駅側に影響を与えぬようにI駅での折返し運転が始まっていること、列車3の直後であり、F駅の線路設備の関係から同駅で続けて折返し運転を再開する必要があること、列車5のF駅発車時点での遅延は90分程度であり、そのままI駅まで走行すると丁度列車11のスジに乗ること等が理由である。ここで、列車11はC or D～I駅間運休となっているため、形式上列車11のI～O or S駅側を活かした形とし、実質的にI駅まで来た列車5をI駅から列車番号を変えて列車11として運転させている。

(4) 系統④の列車の運休について

事故発生時刻以降の場面では、C or D～I駅側での輸送力は必要無く、特に事故現場よりもC or D駅側で折返し運転をする必要性が無いと判断されたことから、事故発生時点で始発駅をまだ出していないC or D→O or S方向の列車について始発駅からI駅までが運休とされた。事故による運転見合わせの時間が結果的に概ね1時間半程度であったことから、輸送指令側が多少の時間的余裕を持って復旧状況を踏まえ、両方向とも30分間隔×2時間分、即ち4本分の列車を運休させた。

(5) 系統②の列車の運休について

系統②の運休が少ないのは、L駅側の線路容量に余裕があること、系統④を優先的に運休しているため系統②は輸送力確保のために本数が必要であることなどが挙げられる。一部の列車が運休となったのは、L駅の線路容量を踏まえても同駅での折返し運転が間に合わず、L駅の前で列車が数珠繋ぎになるのを少しでも緩和すること等が挙げられる。なお、系統②についてもF駅折返しがあるが、その理由は系統④と同様である。

3.4 見出される法則性と手順の一般化

以上より、あくまで結果論ではあるが、今回の事例は傾向や法則性、パターンが見出しやすく、比較的エレガントな運転整理が行われた事例であると言える。この事例から、より一般化した汎用的な運転整理の手順を導く。

(1) 見出される法則性、手順の整理

1 点目として、複雑な運行体系であっても、実際には運転系統ごとに分解して考えることが挙げられる。これにより、問題をより小さい複数の問題に置き換えることができる。この事例で言えば、運転系統ごとに電車の車種、編成両数や車両、乗務員の運用もほぼ分けられていることから、このような系統毎の分解が可能になると考えられる。逆に言えば、問題解決の容易化のためには、元々ダイヤを計画する段階で、このように系統間の独立性を高めておくことが望ましい。

2 点目として、実際に運転を見合わせた時間、または見合わせの見込み時間の分の列車を、上下の本数、区間を揃えて運休にしている点が挙げられる。例えば、この路線網では運転見合わせ時間約1時間分の列車本数を上り列車/下り列車をペアにして運休としている。これは、事故発生時点で全区間の列車を一斉に止め、運転再開時点で一斉に動かすという、俗に究極の運転整理と呼ばれる形にできるだけ近づけるための方策とも解釈できる。ただし、輸送力に余裕のあるデータイムの時間帯、あるいは土休日であることがこの場合の条件になる。平日の朝通勤時間帯は、輸送力が逼迫しているため、同様な考え方は単純には当てはまらないと考えられる。なお、運休する上下の本数を揃えるのは、車両や乗務員が運休区間を挟んでどちらかに通常よりも偏らないようにするためである。通常よりも偏ってしまうと、運転再開後のダイヤ平復に支障が生じることになる。

3 点目として、事故現場の前後での折返し運転実施の可否の決定が挙げられる。対になる上下両方向の列車が共に折返し運転の実施駅から事故現場側で運休または大幅に遅延するものについて折返し運転を実施する。逆にこの条件を満たせない場合は折返し運転を実施できない。例えば、先の事例で言えば、X 駅での事故発生直後から I 駅で折返し運転を行おうとしても、事故の影響を間違った列車 1 が僅かな遅延のまま I 駅に来てしまうため、対になる列車 2 は事故現場手前で詰まることを承知の上でそのまま行きさざるを得ないことが分かる。ただし、その場合も必要により先の区間の駅で運転見合わせ(「抑止」)の手配は行う。なお、どの列車同士を折返し運転のペアとするか等については予めパターン化して決めておくことが望ましい。

4 点目としては、事故発生時点で既に始発駅を出ており、事故の影響により大幅に遅延する列車の取扱いが挙げられる。取扱い方法の1つ目は、事故現場の前後の駅で折返し運転(先の例ではF駅の折返し運転)を行うことである。2つ目は、途中の駅(特に折返し運転を実施する駅)を境に列車番号を後の列車のものに変えることである(「運行変更」又は「継走」)。折返し駅の前後で1つの列車を2つの列車(先の例では列車5と5')に分割し、大幅に遅延して折返し駅に到着する方の列車(列車5)を後続の運休とした列車のいずれか(先の例では、運休とした列車群のうち最後から1つ前の列車11)に繋ぐ。

(2) 言語Rによる汎用的な運転整理手順の表現

上の(1)の一連の手順を言語Rで表現すると、以下の図5のようにまとめられる。ここで、言語Rの記述を

コンピュータ上に読み込むサブシステム(IRインタプリタ)とは別に存在する「運休決定システム」により、予め先の事例のような運転障害が発生した場合には、必要な列車の運休手配が自動的に採られるものとする。

```

begin Pattern_keitou4FtoI
for each
  列車3に相当する列車を抽出
  (運休停止(始発駅=F, 終端駅=L, ...) = t3 in WS)
if exist
  (列車駅(列車番号=t3, 列車番号, 駅=L, 列車種別=系統4, 運転方向=下り, ...) = t3i,
  列車(列車番号=latest_train_no(
    列車駅(駅=L, 列車種別=系統4, 運転方向=上り, 着特別<t3i, 発時刻, ...) = t4
  ))
  列車3の駅での折返し運転のペアに相当する列車(列車4)を抽出
then(
  generate 運休停止 in WS(列車番号=t3, 列車番号, 始発駅=S, 終端駅=F, ...)
  generate 新列車設定 = nt3 in WS(列車名称=列車種別記号置換 (3列車名称, "臨"), ...)
  generate 新列車設定列車駅 = nt3i in WS(駅=L, 番線=t3番線, 発時刻=t3, 発時刻, ...)
  列車3の1→S駅間を別の名前の列車(列車3)とする
  generate 運休停止 in WS(列車番号=t4, 列車番号, 始発駅=S, 終端駅=F, ...)
  generate 新列車設定 = nt4 in WS(列車名称=列車種別記号置換 (4列車名称, "臨"), ...)
  generate 新列車設定列車駅 = nt4i in WS(駅=L, 番線=t4番線, 発時刻=t4, 発時刻, ...)
  列車4のF→S駅間を運休とし、1→S駅間を別の名前の列車(列車4)とする
  generate 車両運用変更 in WS(前運用列車=t3, 列車番号, 後運用列車=t4, 列車番号, ...)
  generate 車両運用変更 in WS(前運用列車=t4, 列車番号, 後運用列車=nt3, 列車番号, ...)
end Pattern_keitou4FtoI

begin Pattern_keitou4CtoI
for each
  列車5より後続の列車でC→I間が運休となる列車(列車10)を抽出
  (運休停止(始発駅=C, 終端駅=L, ...) = t10 in WS)
if exist
  (列車駅(列車番号=t10, 列車番号, 駅=L, 列車種別=系統4, 運転方向=下り, ...) = t10i,
  列車(列車番号=latest_train_no(
    列車駅(駅=L, 列車種別=系統4, 運転方向=上り, 着特別<t10i, 発時刻, ...) = t11
  ))
  駅での折返し運転のペアに相当する列車(列車11)を抽出
then(
  generate 運休停止 in WS(列車番号=t10, 列車番号, 始発駅=L, 終端駅=C)
  generate 車両運用変更 in WS(前運用列車=t10, 列車番号, 後運用列車=t11, 列車番号, ...)
  列車10のI→C駅間を運休とし、駅で列車10→列車11のつなぎ換え
end Pattern_n

begin Pattern_keitou4HtoI
for each
  列車5に相当する列車を抽出(初めにC→I間のみ運休とタミ一設定しておく)
  (運休停止(始発駅=L, 終端駅=L, ...) = t5 in WS)
if exist
  (列車駅(列車番号=t5, 列車番号, 駅=L, 列車種別=系統4, 運転方向=下り, ...) = t5i,
  列車(列車番号=latest_train_no(
    列車駅(駅=L, 列車種別=系統4, 運転方向=上り, 着特別<t5i, 発時刻, ...) = t6
  ))
  列車5の駅での折返し運転のペアに相当する列車(列車6)を抽出
then(
  generate 運休停止(始発駅=H, 終端駅=L, ...) = t11 in WS
  列車11に相当する列車を抽出(初めにH→I間のみ運休とタミ一設定しておく)
then(
  generate 運休停止 in WS(列車番号=t5, 列車番号, 始発駅=L, 終端駅=S, ...)
  generate 新列車設定 = nt5 in WS(列車名称=列車種別記号置換 (5列車名称, "臨"), ...)
  generate 新列車設定列車駅 = nt5i in WS(駅=L, 番線=t5番線, 発時刻=t5, 発時刻, ...)
  列車5の1→S駅間を別の名前の列車(列車5')とする
  generate 運休停止 in WS(列車番号=t6, 列車番号, 始発駅=L, 終端駅=C)
  generate 車両運用変更 in WS(前運用列車=t6, 列車番号, 後運用列車=nt5, 列車番号, ...)
  列車6のI→C駅間を運休とし、駅で列車6→列車5'のつなぎ換え
  generate 運休停止 in WS(列車番号=t5, 列車番号, 始発駅=C, 終端駅=H, ...)
  generate 車両運用変更 in WS(前運用列車=t5, 列車番号, 後運用列車=t11, 列車番号, ...)
end Pattern_keitou4FtoI
  
```

Fig.5 Derivation of the generalized rescheduling algorithm

このように表現できることにより、複雑な路線網における言語Rを用いた運転整理支援の実現可能性を示せた。

4. 終わりに

今回の事例から見出した点の1つとして、複雑な運転形態を持つ路線網であっても、現実採られる運転整理の方策は比較的単純なものであり、従ってパターン化しやすいことが挙げられる。その背景には、現実の運転整理が車両や乗務員の運用など様々な制約の上に成り立つものであり、そのような制約の影響を最小限にし、間違いの無い手配を行うためには比較的単純な手配の組合せに落ち着かざるを得ないといった事情がある。またそれ故に、複雑な運転形態を採る実在の鉄道路線網においても言語Rを用いたパターン運転整理の実用的意義は十分にあると言える。今後も事例分析を重ね、より汎用的な運転整理手順および支援システムを構築してゆきたい。

参考文献

- 1) 平井力, 富井規雄, 田代善昭, 近藤繁樹, 藤森淳: 運転整理パターン記述言語Rによる列車運転整理案作成アルゴリズム, FIT2005(第4回情報科学技術フォーラム), LF-001, pp.85-88, 2005