

S5-2.

運転整理結果分析システムの開発

○浦田真一 田代善昭 富井規雄 (鉄道総合技術研究所)

中村達也 中根秀起 古家伸和 山下智 (西日本旅客鉄道株式会社)

Development of Train Rescheduling Analysis System

URATA Shinichi TASHIRO Yoshiaki TOMII Norio

(Railway Technical Research Institute)

NAKAMURA Tatsuya NAKANE Hideki FURUYA Nobukazu YAMASHITA Satoshi

(West Japan Railway Company)

We have developed a system to analyze results of train rescheduling. We use this system to extract phenomena that would occur when trains don't run as dispatchers intend. By analyzing the extracted results, we can recognize whether these phenomena cannot be avoided by any means or whether introduction of enhanced train operating systems would prevent these phenomena. We can also simulate train operation assuming that the train rescheduling implemented is different from the actual one. This function makes it possible to evaluate how much improvement in train rescheduling can be achieved if unintended phenomena are avoided.

キーワード：運転整理，シミュレーション，鉄道

Keywords: train rescheduling, simulation, railway

1. はじめに

鉄道にとって安定輸送は非常に大切であるが、時として、車両故障などによって列車ダイヤに乱れが生じることがある。このような場合、運転休止等の列車ダイヤの変更や車両・乗務員運用の変更を行なうと、列車の運行を正常に戻す試みが行なわれる。この業務を「運転整理¹⁾」と言う¹⁾。

現時点では、運転整理は、全面的に人手によって行なわれている。しかし、その困難さから、運転整理を支援する高度なコンピュータシステムへの要望が非常に強い²⁾。

運転整理は、①事故状況等の情報の収集、②運休、車両・乗務員運用変更、列車の順序変更等を含む運行計画の変更案（運転整理案）の作成、③作成した運転整理案の伝達等からなる、広範囲で多数の関係者が関連するきわめて複雑な業務である。このような複雑さに起因して、現状では、運転整理の実施段階において、指令員が当初想定していなかった事態が発生し、予定通りの運転整理が実施できなくなることが頻発している。また、そのために、運転整理案の再変更を行なわざるをえない状況となり、混乱に拍車をかける事態も発生しているのが実情である。

これらの当初想定していなかった事象（以下では、「予期

せぬ事象」と呼ぶ）のうちには、真に予期できないであろう事象も存在するが、一方では、運転整理支援システムの機能を充実させることによって回避できる事象も存在すると考えられる。従って、次世代の運転整理支援システムの開発にあたっては、

- ・現状における「予期せぬ事象」の発生状況を分析する。
- ・あわせて、それらの発生が回避できたとすれば、どのような運転整理が実現できたのかを定量的に分析する。

ことを実施し、これらの分析結果に基づいて、「予期せぬ事象」の発生を回避できるような機能を充実させることが効果的であると考えられる。

「予期せぬ事象」の発生状況の分析には、現実の運転整理結果を用いる必要がある。しかし、これは、複雑・膨大なデータであるため、手作業による分析は困難である。

本稿では、現実に行なわれた運転整理結果を分析することを目的として開発したシステム（運転整理結果分析システム）について述べる。運転整理結果分析システムは、次の2つの機能を持つ。

- ①現実に行なわれた運転整理結果データから、「予期せぬ事象」が発生したと考えられる箇所を抽出する。
- ②現実に行なわれた運転整理結果データに対して、実際に行なわれたものとは異なった運転整理を実施した場合（具体的には、予期せぬ事象の発生を回避できたとした場合）の運転整理結果を作成し、その効果を定量的に把握する。

¹⁾ 本稿では、「運転整理」という言葉を、列車ダイヤ、車両・乗務員運用計画等の変更計画を作成する業務だけでなく、それらの変更計画を作成するために必要な情報の収集、それらの変更計画の利用者・関係者への伝達等をも含めた業務全般を指すものとして用いる。

2. 「予期せぬ事象」

<2.1>「予期せぬ事象」の発生

指令員は、あらゆる事態の発生の可能性を考慮して、運転整理案を作成する。しかしながら、現実には、指令員が予想できなかった事象が発生し（例を表1に示す）、その結果、運転整理案を修正せざるをえなくなることも多い。

表1 指令員が予想できなかった事態の例

名 称	内 容
1 乗務員通告遅れ	乗務員への時刻表の交付が遅れた。
2 列車制御遅れ	ある列車の進路制御を行なう時に、支障する他の列車が遅延していたので、制御が遅れた。
3 乗務員連絡遅れ	無線が、他列車からの連絡に使用されていたため、接続待ちしなくてもよい列車が不必要に接続待ちを行い、遅れてしまった。
4 乗降時間の増加	先行列車が遅延したため、乗降客が多くなっていた。
5 駅間での一旦停止	先行列車の乗降時間が増加したため、停止してしまった。
6 徐行による遅れ	多雨のため徐行していたが、当初の予想以上に遅れた。

予想できない事象には、天候等、本質的に予測が非常に困難な事象もあるが、一方では、何らかの手段をとることによって、その発生が回避できると考えられる事象も少なくない。例えば、表1の「乗務員への通告遅れ」は、現在のような駅員を介した方法を取り続けるのではなく、乗務員に、直接、時刻表や変更指示を伝達できる「通告伝達システム」を導入すれば、回避が可能であると考えられる。

<2.2>「予期せぬ事象」の抽出

「予期せぬ事象」の発生は、通常、列車の遅れを引き起こす（逆に、列車の遅れに直結するのでなければ、「予期せぬ事象」であっても、問題とする必要はないとも考えられる）。本研究では、輸送計画システムから得た計画ダイヤと、運行管理システムから得た列車の走行実績データ（以下、「実績ダイヤ」とを比較して、列車の遅延を抽出し、その中から、「予期せぬ事象」が発生したと思われる箇所を分析する。

抽出された結果から、どのような「予期せぬ事象」が発生していたのかを分析することは、最終的には人手にまかされることになる。そのため、「予期せぬ事象」と直接関係しない事象については、極力抽出されないようにする必要がある。このような観点からは、単純に計画ダイヤと実績ダイヤを比較して遅延を抽出する方式には、次のような問題点がある。

- ①すべての遅延が「予期せぬ」事象の結果というわけではない。よって、単純にすべての遅延を抽出すればよいわけではない。
- ②その後の分析の手間を考慮すると、「予期せぬ事象」が

間接的に影響して生じた遅延は、なるべく、抽出されないようにする必要がある。

- ③実績ダイヤには、すべての駅の実績時刻が含まれているわけではないので、単純な比較を行なっただけでは、「予期せぬ事象」の抽出は、困難である。

なお、①と②は相互に関連する。例えば、列車Xの始発駅Aからの発車が、「予期せぬ事象（例えば、「乗務員への時刻表の交付が遅れた」）によって遅延したとすれば、以降の駅における列車Xの着や発にも遅延が生じている可能性が高い（図1）。しかし、この場合、予期せぬ事象として抽出したいのは、駅Aでの発遅延のみである。さらに、列車Xの遅延は、後続の列車Yの発遅延につながることも多い。しかし、同様に、列車Yの遅延は間接的な遅延であって、「予期せぬ事象」としては、抽出されるべきではない。

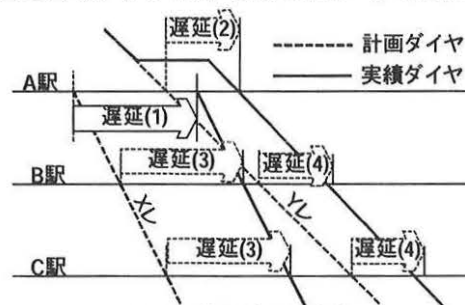


図1 抽出すべき事象

表2 抽出すべき現象

遅延	遅れた原因	抽出
(1)	X列車への時刻表交付が遅れたために、A駅の発車が遅れた。	○
(2)	X列車が遅れて発車したため、後続のY列車がA駅に入駅できず、到着が遅れた。	×
(3)	X列車A駅での発車が遅れたため、後の駅でも遅れた。	×
(4)	Y列車A駅での発車が遅れたため、後の駅でも遅れた。	×

即ち、表2に示すように、図1において抽出すべき遅延は遅延(1)のみであって、遅延(2)(3)(4)は抽出すべきではない。本研究では、①②の問題を解決するため次の方策をとる。

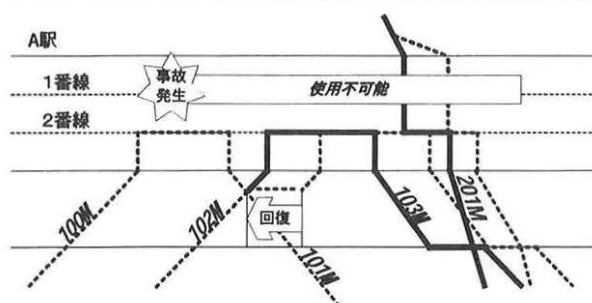
- すべての種類の遅延を抽出するのではなく、「始発駅での発遅延」、「駅間での増延」、「停車時分の増加」のみを抽出する。これは、例えば、始発駅以外の駅での遅延等、これら以外の遅延は、「予期せぬ事象」が当該列車に間接的に引き起こしたものであると考えられることによる。
- 上記3種類の遅延・増延についても、すべてを抽出するのではなく、間接的に引き起こされたかどうかを直前列車の遅延等を勘案して判断し、間接的に引き起こされたと判断される場合には、抽出しない、あるいは、その旨の注釈をつけて抽出を行なう。

③は、設備上、実績時刻が得られない駅が存在すること
に起因して生じる問題である。今回分析の対象とした線区
には、実績時刻が取得できない区間がある。取得可能なデ
ータだけで列車運行実績を再現しようとする、駅間での
列車の追い越しが発生したようになるなど、矛盾を含んだ
結果になってしまう。当然、そのような結果をもとにして、
「予期せぬ事象」の抽出を行なうことはできない。

本研究では、この問題を解決するために、「実績ダイヤの
補完」を行なうこととした。即ち、実績ダイヤ上の時刻を
もとに、前後の列車の関係と待避の可否等の設備条件を考
慮しつつ、コンピュータが、合理的に列車の順序や時刻を
順次決定していく方式である。

<2.3> 「予期せぬ事象」を回避できた場合の効果の推定—実
績シミュレーション

実績シミュレーションの概念を図2に示す。このような
検討のためには、現実の運転整理結果に対して、「この遅延
がなかったら」といった分析を繰り返し行なう必要がある。



<実績ダイヤの状況> (-----で実績ダイヤを示す)
102M~103Mが、1番線を使用する予定のところ、事故で使
えなくなったので、2番線折返しに変更することにした。
しかし、変更命令通告に予想以上の時間を要し、その結果、
102Mの到着が予想より遅れた。折返しの103Mの発車も遅延、
後続の201Mの到着も遅延し、201Mは駅間でも増遅延した。
<実績を変更したシミュレーション結果>
(実績ダイヤと異なる部分を——で示す)
運転命令の伝達システムが導入されるとこの遅延はなくな
ると想定した場合のシミュレーションを行なうと、102M、
103M、201M全ての遅延が解消された。

図2 実績シミュレーションの概念

しかし、この作業は、後続の多くの列車への影響を考慮
しながら行なう必要があるため、手作業で行なうことは非
常に困難である。従って、コンピュータによるシミュレー
ションが必要になる。コンピュータ・シミュレーションに
よって上記の検討を行なうための一つの方策としては、計
画ダイヤをベースとした次のような手順が考えられる。

- (1)事故発生当日の計画ダイヤデータを用意する。
- (2)事故発生の状況を入力する。具体的には、事故発生の
結果生じた列車の各駅の遅延を入力する。
- (3)当日運転整理として行なわれたダイヤの変更を入力す
る。必要に応じて、当日行なわれたダイヤの変更と異
なったダイヤの変更の入力を行なって、その効果を確
認する。

しかし、この手順は現実的でない。具体的には、(2)にお
いては、当日生じたすべての遅延を入力する必要がある。
今回目的としているのは、「予期せぬ事象」の結果生じた遅
延の抽出であるから、まずは、すべての遅延を入力する必
要がある。言うまでもなく、この作業には、膨大な手間を
要する。

また、(3)においては、一般には、運転整理のために入力
されたダイヤの変更は膨大な数にのぼるため、それらを後
日いちいち調べあげて、すべて入力することは、現実には
非常に難しい。

そこで、本研究では、上記の手順とは異なって、「実績ダ
イヤをベースとしたシミュレーション」という手順を提案
する（この機能を「実績シミュレーション」機能と呼ぶ）。
その具体的手順は、次の通りである。

- (1)事故発生当日の計画ダイヤと実績ダイヤを用意する。
- (2)実績ダイヤを「計画ダイヤ」として見なして、シミ
ュレーションを行なう。
- (3)シミュレーションにあたって、列車の時刻については、
実績時刻にとらわれない。ただし、本来の計画時刻よ
り早発・早着しないようにする。
- (4)事故発生による遅延は、使用者がシミュレーションに
先立って入力（発時刻の指定）する。

言い換えると、列車の「順序」は、実績ダイヤ通りとし、
列車の「時刻」は、計画ダイヤを参考とする、というシミ
ュレーション方式ということになる。

この方式をとることによって、膨大な量にのぼる列車の
遅延を入力せずに済む。また、ダイヤの変更についても、
当日実施されたダイヤの変更を入力する必要はなくなる。
よって、入力の手間を劇的に削減することが可能になる。

3. 運転整理結果分析システム

<3.1> 全体構成

運転整理結果分析システムの全体構成を図3に示す。

<3.2> 実績ダイヤの補完

前述の通り、実績時刻が取得できない駅が存在するため、
それらの駅に対しては、前後の駅の実績時刻等を用いて実
績時刻の補完を行なう。なお、不具合抽出のためには、不
確実な補完を行なうことは逆効果（本来抽出しなくてもよ
い箇所を不具合と誤る等の現象が発生する）であるため、
確実と判断できる補完のみを行なう。

実績時刻の補完アルゴリズムについては、詳細は省略す
るが、例えば、

- 前後の駅間とも遅延がない場合には、各駅とも計画ダ
イヤを実績ダイヤとする。
- 駅間での列車の追い越しが発生している場合、基準運転
時分、最小停車時分、時隔、配線等から待避が可能かど
うかを判断し、可能と判断されれば、その駅で待避して
いるとして、時刻を補完する。

等の処理を行なう。

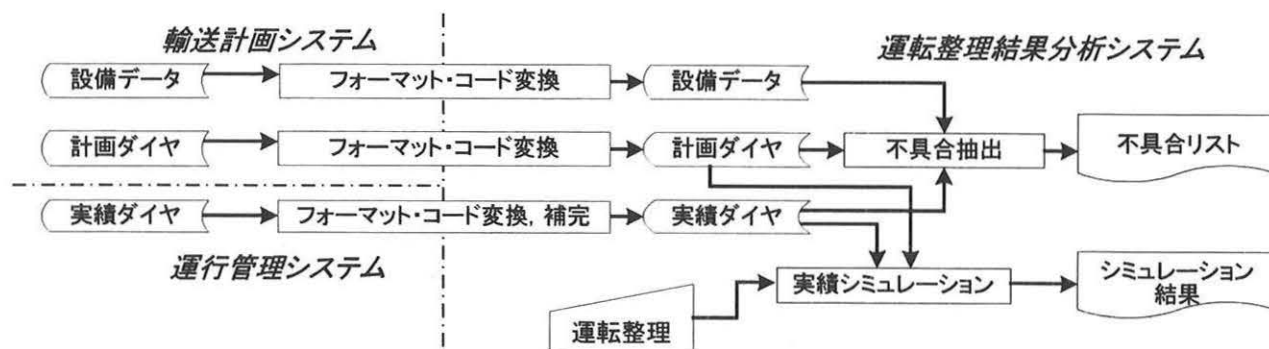


図3 運転整理結果分析システムの全体構成

<3.3>不具合の抽出

<2.2>で述べたように、本研究では、すべての種類の遅延を抽出するのではなく、「始発駅での発遅延」、「駅間での増延」、「停車時分の増加」のみを抽出する。それらの不具合抽出の手順は、文献4)を参照して頂きたい。

なお、<2.2>で述べたように、「予期せぬ事象」によって直接引き起こされたと考えられる不具合と、間接的に引き起こされたと考えられる不具合とを区別して抽出することとし、その後の分析作業において対象とする不具合の数が多くなりすぎないように工夫を行なっている。よって、事後の分析作業においては、分析の対象とするのは、このフラグが付されていない不具合だけでよい。

<3.4>実績シミュレーション

実績シミュレーションは、鉄道総研において、運転整理アルゴリズム構築のために開発したHyTreX II³⁾を用いて行なう。これにより、現実に行なわれたものとは異なった各種のダイヤ変更を実施した場合の運転整理結果を迅速に得ることができる。また、HyTreX IIの自動運転整理機能を用いて、ある程度のダイヤ変更を人間が行なった後、自動的に運転整理を行なった結果を得ることもできるように考慮している。

4. 運転整理結果分析システムの使用結果

不具合を抽出した結果(一部)を表3に示す。最左列に、<3.3>で述べた「直接引き起こされた不具合」かどうかのフラグが出力されている。また、その不具合に関連する駅、時刻、番線、線路等の情報をあわせて出力することで、その後の分析を容易にすることを意図している。

なお、この例の場合、出力された不具合の総数は、858件、直接引き起こされたとされたのは、625件であった。

5. おわりに

運転整理結果を分析するシステムを開発した。本システムは、次の2つの機能を持つ。

- ・輸送計画システムから得た計画ダイヤと運行管理システムから得た実績ダイヤとを比較して、「予期せぬ事象」の結果として発生したと思われる列車の遅延・増延を抽出する。
- ・実績ダイヤに対して、現実に行なわれたものとは異なった運転整理案を入力し、シミュレーションを行なうことによって、現実に行なわれたものとは異なった運転整理案を行なったと仮定した場合の効果を検証する。

今後は、本システムを用いて、各種の運転整理結果を分析していくとともに、その結果を本システムの機能にフィードバックし、システムの改良を行なっていく。

文 献

- 1) 富井規雄 編著:「鉄道システムへのいざない」、共立出版、2001。
- 2) 中村達也、井原恭平:運行管理システムの現状と課題、電気学会誌、Vol. 124, No.5, 2004。
- 3) 富井規雄、田代善昭、田部典之、平井 力、村木国満:「利用者の不満を最小にする列車運転整理案作成アルゴリズム」、情報処理学会論文誌「数理モデル化と応用」(2004 in print)。
- 4) 浦田真一、田代善昭、富井規雄、中村達也他:「運転整理結果分析システムの開発」、鉄道総研報告、Vol.18, No.12, 2004。

表3 不具合抽出結果の出力例(812T 塚本～大阪間にて停止)

原因	不具合内容	列車番号	駅	番線	着時刻	発時刻	線路	駅	番線	着時刻	発時刻	線路	増分
1	駅間走行時分増加	8 1 2 T	塚本	2	19:52:26	19:52:26	上内	大阪	8	20:03:48	20:05:28	上内	507
0	駅間走行時分増加	1 2 1 4 C	塚本	2	19:58:16	19:58:49	上内	大阪	7	20:08:47	20:11:18	上内	398
0	原因列車	2 3 6 C					上内	大阪	7	19:53:35	20:07:06		
1	原因列車	8 1 2 T					上内	大阪	8	20:03:48	20:05:28		
0	停車時分増加	2 3 6 C	大阪	7	19:53:35	20:07:06	上内						531
1	原因列車	8 1 2 T	大阪	8	20:03:48	20:05:28	上内						
1	始発駅遅延	4 0 4 7 M	大阪	11		20:10:58	上外列						163