

# ダイヤの乱れを克服する — 鉄道の運行管理システムの現状と今後 —

(財) 鉄道総合技術研究所

富井 規雄

*tomii@rtri.or.jp*

日本の鉄道は、運転時刻の正確さで世界に知られている。しかし、時として踏切事故や機器の故障などが原因となって、ダイヤが乱れてしまうことがある。通勤や通学の時に電車が大幅に遅れたり、その割にるく案内もなくていらしたり、ぎゅうぎゅうづめの電車に乗るはめになったり、といった経験をお持ちの方も少なくないだろう。踏切事故や飛び込み自殺など 100% 鉄道側の責任とは言いがたい事故もあるから、そこは、まあ百歩譲ったとしても、その後の回復や案内はどうにかならないのか、コンピュータを使えば何とかできるのではないのか、といった至極もっともな疑問をお持ちの方も多いただろう。ここでは、そのような疑問に答えてみようと思う。

## ▼ 緻密なダイヤ

日本の鉄道のダイヤは、きわめて緻密に作られている。JR では、ダイヤを作る単位は、通常は 15 秒だ。大都市近郊の路線だと 10 秒、線区によっては 5 秒単位ということもある。だから、10 時 34 分 15 秒着、10 時 34 分 35 秒発などといった列車<sup>☆1</sup> が現に存在する。

時刻を決めればそれで終わりということではもちろんない。当然のことながら、それらの列車をダイヤで定められた時刻通りに（しつこいようだが、15 秒単位の正確さで）動かすことが必要になる。適当に動かして、あとはその場で適当に決めて、・・・とはいかない。そんなことをすると、駅の手前まで来たのに、ホームに別の列車が止まっていて、駅の外でずいぶん待たされてしまったなどという事態におちいってしまう。日本のように高密度で列車を運転することが求められる国では、事前に精緻なスケジュールを作っておいて、それを忠実に守るというのが、鉄道を混乱させないという意味では、利用者のためにも、鉄道会社のためにも絶対に必要なのだ<sup>1)</sup>。

## ▼ 事故が起こればダイヤが乱れる...

せっかく精緻に作ったダイヤなのだが、事故が起こって乱れてしまうことがある。平成 13 年度には、JR だけでも 482 件の運転事故<sup>☆2</sup>、2,523 件の輸送障害が起こっている。平均すると、1 日約 1.3 件の運転事故、約 7 件の輸送障害ということになる。事故が起これば列車が遅れる。先ほど述べたように精緻に作られたダイヤであるからして、1 本の列車が遅れただけでも、その遅延はたくさんの方に影響を及ぼすことになる。だから、ダイヤが乱れた場合、それをほうっておくわけにはいかない。利用者にとって迷惑だからだ。たとえば、朝方に起こった事故で夕方の方の列車に遅れが残っているなどということが発生すれば、利用者からは「一体鉄道会社は何をやっているのか」という苦情が出ることになるだろう。だから、ダイヤが乱れた時には、一種の交通整理を行なう必要がある。具体的にいうと、ダイヤを一時的に変更して、何時間後かに普段通りに列車が走れるようにする。ただし、ダイヤをすべて作り直すわけではない。正常なダイヤに戻すまでの移行のダイヤを作ると考えていただいてもよい。この業務のことを、運転整理と呼ぶ。

<sup>☆1</sup> 鉄道部内では、「列車」と「車両」を厳然と区別する。本稿でも「列車」という言葉を使うが、読者は、駅と駅間の線路を走っている普通の電車のことだと思っていただいで差し支えない。

<sup>☆2</sup> 運転事故とは、踏切事故や人身障害などの事故、輸送障害とは、30 分以上列車が遅れた時や列車の連休があった時のことで、鉄道会社は、それらの事実を国土交通省に報告しなければならないというきまりがある。

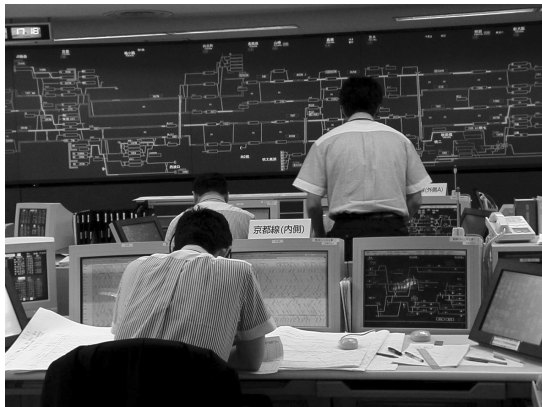


図-1 指令室の光景

### ▼ 運行管理の中核：指令室

運転整理は、指令室と呼ばれるその地区の列車を管理する場所で、指令員と呼ばれる専門家によって行なわれる。そこでは指令員が事故の状況を把握し、それをもとに、列車運行を正常に戻すためのダイヤの変更計画、すなわち運転整理案を作る。そして、それを関係個所に連絡する。また、運行管理システムと呼ぶ列車の運行を制御しているシステムに運転整理案を入力する。

指令室の写真を図-1に示す。この線区の運行管理システムは、2002年の7月に使用開始されたもので、今、日本で（おそらく世界でも）一番進んだシステムだろう。机の上のディスプレイには、ダイヤ図が表示されている。前の方にあるのは運行表示盤と呼ばれるもので、線路の配線と列車の位置、列車番号、信号などの情報を見ることができる。ただし、この線区の運行表示盤は、金属板ではなくプロジェクトだ。だから、列車の運行情報以外の情報も表示して指令員全員で見ることができる。

### ▼ 運転整理のやり方

運転整理は、一時的にダイヤを変更することだと書いた。では、具体的にはどういう変更をするのだろう。その内容をまとめたものを表-1に示す。

ここで注意していただきたいのは、表-1のどれかを単発的に適用すればよいわけではないということだ。これらの手段は、組み合わせて実施される<sup>2)</sup>。線区にもよるが、1時間程度の乱れのケースでも、行なわれるダイヤの変更は数十件から、場合によっては数百件になることもある。

### ▼ 運転整理の手順

運転整理の手順をごく大まかに表現すると図-2のよ

名称	内容
運休	列車の運転を取りやめる
部分運休	列車の一部区間の運転を取りやめる
臨時列車	臨時列車を運転する
延長運転	列車の運転区間を延長する
車両運用変更	車両の使用計画を変更する
番線変更	駅での列車の番線を変更する
発順序変更	列車の出発順序を変更する（待避の設定、待避の解除）
着順序変更	列車の到着順序を変更する（合流駅で）
停車種別変更	通過を停車に変更する
発時刻変更	列車の発時刻を変更する（間隔調整等）
列車種別変更	列車の種別を変更する（快速列車を普通列車に変更する、営業列車を回送列車に変更するなど）

表-1 運転整理の具体的手段

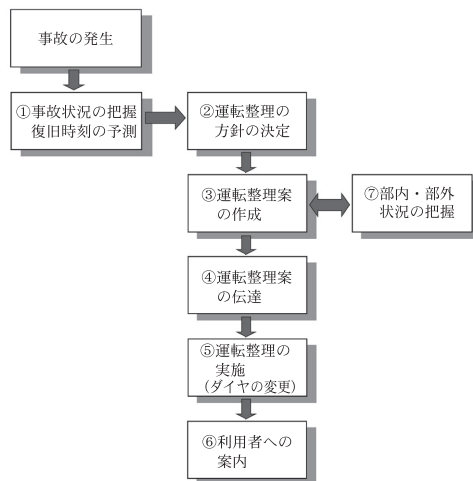


図-2 運転整理の概略手順

うになるだろう。ただし、これは、あくまでも標準的な手順であって、常にこの手順で運転整理が行なわれるとは限らない。また、この流れは何回も繰り返して行なわれるのが普通であるし、予期せぬ事態の発生等によって、この手順に狂いが生じてやり直しになることもめずらしくない。

①事故状況の把握、復旧時刻の予測：なにか事故が起きたとして、それがダイヤにどの程度の影響を及ぼしそうかを推測する必要がある。たとえば、踏切事故なら、すぐに運転を再開できそうなのか、それとも、自動車の撤去にレッカー車等の重機が必要なのかなどの事情を確認する。大雨や強風の場合には、規則に照らして列車を止めたり、徐行運転をしたりする。どの範囲の列車にどの程度の遅れが見込まれるのかを推定することが、運転整理の出発点になる。

②運転整理の基本方針の決定：特に、復旧までにある程

度の時間がかかると予測される場合、運転整理の基本方針を立てることが重要になる。簡単にいえば、「列車の遅延を何時頃までに収束させることにするか?」「そのために何本くらいの列車を運休するか」ということだ。

列車を運休することは、遅延の収束に非常に効果がある。しかし、朝の通勤時間帯だと、列車を運休するのはまずい。列車本数が減った分、混雑が増加して利用者に迷惑をかけるし、乗降に時間がかかってかえって列車の乱れが大きくなる可能性もある。とりあえずは、遅延した列車をそのまま運転し、混雑が一段落した10時以降などに徐々に列車を運休して、昼頃に平常ダイヤに戻るような方針とするのが普通だ。

- ③**運転整理案の作成**：事故状況と復旧時刻の予測、基本方針を踏まえて、具体的な運転整理案を作成する。つまり、表-1に示す個別のダイヤ変更の手段の内容を決めていく。個々の列車の遅延状況を把握し、それをもとに今後の運行状況を予測しながら、なるべく利用者に迷惑をかけないような運転整理案を作成していくという難しい作業になる。
- ④**運転整理案の伝達**：作成した運転整理案を関係者に伝達する必要がある。ここで、関係者とは、駅員（案内）、乗務員（運転士と車掌をまとめて乗務員という）、車両基地、乗務員基地、関連する線区の指令員などが含まれる。
- ⑤**運転整理の実施**：運行管理システムにダイヤの変更を入力する。後述するが、大量の入力になることがある。
- ⑥**案内**：利用者への案内も重要だ。案内は、放送が中心だから、駅や車掌にうまく情報を伝達することが重要だ。
- ⑦**部内・部外状況の把握**：運転整理を実施するためには、さまざまな状況の把握と予測が必要になる。まずは、利用者の状況の把握と予測が重要だ。先ほども述べたが、通勤・通学時間帯と昼間では、運転整理の基本方針が異なってくる。また、新幹線や特急列車を運休する場合には、その列車と後続の列車の指定席の売れ行きをチェックし、後続の列車へ案内可能かどうかを確認したりする。

鉄道社内の状況の把握も重要だ。たとえば、車両運用変更をしようとした場合、問題となるのは、検査計画の有無だ。車両は、一定日数（たとえば、3日）ごとに検査（仕業検査）を施行する必要がある。これは、規則で決められていて、この検査をしなければ、その編成を走らせることはできない。仕業検査はどこでもできるわけではない。できる場所（通常は、車両基地）やできる時間帯が決まっている。したがって、車両運

1	必要な情報が多い。しかも、必要な情報すべてが得られるとは限らない。
2	評価基準を明確にすることが難しい。評価基準がその時によって変化する。
3	迅速に問題を解決することが求められる。
4	状況が時間の進行とともに変化していく。将来を予測することが難しい。
5	複雑・大規模な組合せ問題である。
6	系の構成要素を完全にコントロールできるわけではない。よって、予期せぬ事態の発生の可能性がある。
7	公共性があり、社会的使命が大きい。
8	伝達すべき内容が多く、相手も多岐に渡る。

表-2 運転整理の難しさの理由

用変更を実施しようとする場合には、まず、その編成に仕業検査が予定されているかどうかを確認し、その予定があるのなら、仕業検査ができる場所に行く計画にしておく必要がある。

それ以外にも、いろいろと確認しておかなければならない情報がある。たとえば、車両基地に予備の編成があるかどうか、その編成を運転できるようにするためにはどれくらいの時間がかかるのか（車両基地の奥の方に留置してあったりすると、入換という作業が必要になる。それを担当する社員がいるかどうか問題となる）。あるいは、運転士の勤務の変更が可能かどうか（運転士によって担当できる車種や線区に制限があるし、また、いくらダイヤ乱れ時だからといっても労働条件をまったく無視して馬車馬のごとく働かせるわけにもいかない）も重要だ。

### ▼ 運転整理は難しい

運転整理は難しい。筆者は、かつて、あるところで「万一、運転整理は世界で一番難しい業務であるといわれても、それを直ちに否定する根拠は思いつかない」と書いたことがある。その思いは、今も変わらない。その理由を表-2にまとめた上で、もう少し説明させていきたい。

### ▼ なぜ、運転整理は難しいのか？

鉄道というのは、要は、列車ダイヤを共通の情報として、いろいろな職種につく多くの人たちが分散協調的に自らの職務を果たしていくという使命を持った複雑なシステムだと考えることができる（図-3参照）。もちろん、利用者もまた、このシステムの構成要素となっている。

運転整理というのは、その共通情報であるダイヤを変える必要があるから難しい。どのように変えればよいのかの判断、思うように変えられるかどうかの確認、ダイ

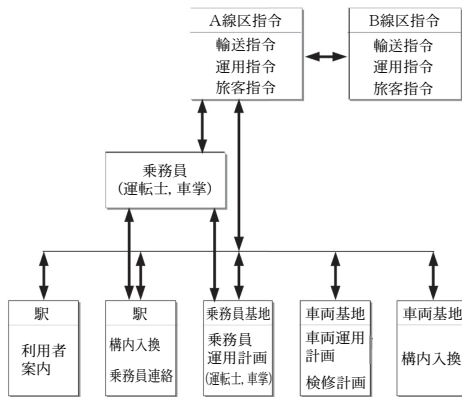


図-3 分散協調システムとしての鉄道



図-4 駅の発車標

ヤを変える作業，そして変えたダイヤを部内・利用者に伝達する手間（前述のように大量の変更になる）等々の余分な作業が必要になる。しかも，それを短時間にこなさなければならないという難しさがあるのだ。

表-1には，いわゆる「ダイヤの変更」しか書いていない。しかし，それ以外にも，たとえば，乗務員（運転士，車掌）の勤務の変更，車両基地内での車両の入換作業などの変更も数多く行なわなければならない。

運転整理というのは，紙の上にダイヤ図を描いて終わり，という作業ではない。そのダイヤ図に従って，利用者を乗せた列車が動かなければならない。そのためには，まずは，そのダイヤ図がさまざまな状況から見て「実行可能」である必要がある。列車どうしが番線で競合しないか，乗務員は正しく充当されているか，分割・併合，入換などの作業は正しくできるか，仕業検査切れにならないか，混雑しすぎて遅れが増大しないか等々の事情を勘案しておく必要がある。これらの情報をよく把握しておかないと，そもそも実行可能な運転整理案ができないのだ。

### ▼ では State of the Arts は？

では，現状の技術レベルはどの程度なのだろうか。コンピュータに列車ダイヤを蓄えて，それに従って，自動的に信号機を制御する（たとえば，発車時刻がきたら信号機を青にするとか，1番線に到着する列車が駅に近づいたら，1番線の信号を青にするなど）システムをPRC<sup>☆3</sup>という。国鉄では，新幹線の岡山開業（昭和47年）以来長い歴史がある。在来線では，貨物列車を含む多数の種類の列車があるとか，駅での入換があるなどの複雑

な条件があることから普及が遅れた。しかし，私鉄では，JRに比べてダイヤや線形の条件が比較的単純であることもあって，早くから実用化されているし，JRの複雑な線区でも，首都圏を対象とする運行管理システムATOSの第1期システムが平成8年に中央線に，関西の草津～西明石間の複雑線区間を対象とするシステムが平成14年に導入されるなど，急速に導入が進んできている<sup>3), 4)</sup>。

PRCはダイヤをもとに，列車の位置を追跡している。だから，駅の発車標（図-4）を自動的に制御するとか，案内放送をするなどのことも原理的には難しくはない。

運行管理システムという，普通，PRCに自動放送や発車標の制御を付加したシステムを指す。これに関しては，完全に実用化されているといっていよう。

### ▼ 進路制御以外は，まだまだ手付かず

運行管理システムが導入されている線区では，指令員は何もしなくてよい<sup>☆4</sup>。しかし，これは，ダイヤが乱れなければ，という前提だ。ダイヤが乱れた時のシステムによる支援という点では，ほとんど手付かずといっていほどなのである。そのあたりを紹介しよう。

### ▼ 問題点1：情報取得・交換の問題

事故が起こった時，まず知りたいのはその状況だ。しかし，今は，現場の社員（運転士や車掌，あるいは駅などから派遣された社員）からの音声による連絡によるしかない。かつてに比べれば携帯電話が使えるだけ便利になったとはいえるが，それ以上のものではない。

部内・部外の状況の把握という面でも同様だ。利用者の状況は運転整理の方針を決める上で非常に重要な情報

☆3 Programmed Route Control の略。

☆4 もちろん，これは誇張である。大きな事故がない日でも，ちょっとしたトラブルがあちこちで発生して，指令員はその対応に追われているというのが実情だ。

だが、列車の混雑度、駅の混雑度の現状を把握することですら、現状では容易ではない。せいぜい、ホームのカメラの映像を指令室で見られる程度だ。部内の車両基地や乗務員基地の情報の取得も前述の通りきわめて重要なのだが、現在では、電話以外の手段はない。

### ▼ 問題点 2：指令の伝達の問題

作成した運転整理案を伝達する機能についても、現状は、お粗末といわざるを得ない。駅や車両基地、乗務員基地などへの運転整理の指令の伝達は、あいかわらずファックスによっている個所がほとんどだ。

運転士や車掌への指令については、もっとひどい。JRの在来線のほとんどの線区では、列車が駅に着く時の番線を変更する場合には、原則として、事前にその旨を運転士に通告しておかなければならない。列車無線を使うこともあるが、容量が限られていることもあって、通告券と呼ばれる紙を渡すことも多い。そこで、通告券を手前の駅にファックスし、駅員を通して運転士に手渡すという手段をとる。

担当する列車を変更する場合も同様だ。運転士は、その日自分が担当する列車の時刻表を携帯していて、それを見ながら運転する。本来運転する予定でなかった列車を運転させようとする場合には、その列車の時刻表を手渡す必要がある。どうするかというと、駅に備えてある予備の時刻表を駅員に渡してもらったり、それが無い場合には、駅に時刻表をファックスで送ってそれを手渡してもらったりという手順をとる。

言うまでもないが、これらは、大変な労力だ。どの運転士にどこで通告をしなければならぬのかをいちいち洗い出す必要がある（信じがたいかもしれないが、ダイヤが大きく乱れた時などには、そもそも、運転士が今どこにいるかを把握することすら難しくなる）。そして、駅に、通告券を渡してくれる人がいることを確認する必要があるし、また、通告券や時刻表が渡されたことを確認してからでなければ、その運転整理案は実行に移せない。

### ▼ 問題点 3：運転整理案作成の問題

運行管理システムには、運転整理案の作成を支援する機能が含まれていることも多い。しかし、それらは、「インタラクティブシステム」、すなわち、指令員が主体となって運転整理案を作成するという考え方に基づく。コンピュータは現時点の列車の遅延と計画ダイヤに基づいて、その後の列車の運行を予測（シミュレーション）する。そして、指令員の修正指示を受け入れて再度シミュレーションを行なうという枠組みである。運転整理案の自動作成機能という点では、せいぜい、順序変更が実装

されている程度にすぎない。だから、連休や車両運用変更、着発線変更などは指令員がいちいち入力してやらなければならない。これには、運転整理案を作るのはいろいろな判断が必要になって難しいから、そこは人間にまかせて、機械的にできる部分だけをコンピュータにやらせようという考え方が根底にある。

もう1つの問題は、車両運用計画や乗務員運用計画との連携がとれていないということだ。これらの条件を考慮しなければ、実行可能な運転整理案すら作れないのに、である。したがって、その部分は人間まかせとなる。

これらのことは、指令員に多大な負担をもたらしている。運転整理案を作る時間と労力、状況把握のための連絡の手間の問題がある。さらに、コンピュータへの入力の手間も問題になる。運転整理は、何せ時間に追われている。ある指令員によれば、入力件数になるべく少なくなるような運転整理案を考えることにしているという。これはやはり本末転倒といわざるを得ないだろう。

### ▼ IT を活用しなければ...

もちろん、鉄道会社もいろいろな努力を行なってきた。情報の取得や交換、指令の伝達という面では、ITの活用ということになる。たとえば、事故状況の伝送という面では、デジタルカメラで撮った画像を無線で伝送するという試みを行なっている会社がある。混雑度の把握という点でも、最近の車両では、バネのたわみなどから乗車人員を推定できるようになっている。それを指令室にリアルタイムに伝送することも夢ではない。

運転士や車掌への伝達という点では、最近、携帯電話を持たせる会社が増えてきた。メールを配信して今後の状況を車掌に伝えるようにしている会社もある。もちろん、利用者への案内のためだ。案内の駅員にPDAを持たせて円滑に情報を伝える試みも行なわれている。

車上の運転士への指令の伝達という点でも、指令を列車に無線で伝送して、運転台のディスプレイに指令を表示するシステムがすでに試験運用に入っている(図-5)<sup>5)</sup>。

利用者への案内という面でもITは活用されてきている。ウェブページでの列車遅延情報の表示は今ではごく一般的になっているし、あらかじめ申し込んでおけば、普段利用する線区のダイヤ乱れ情報を携帯電話に配信してくれるサービスも実現されている。

### ▼ 運転整理案の作成は自動化できるか？

では、残された運転整理案作成の自動化はどうだろうか？ 鉄道会社では、ベテランの減少が懸念されている。ベテランの不足を補うためには、運転整理案作成機能を

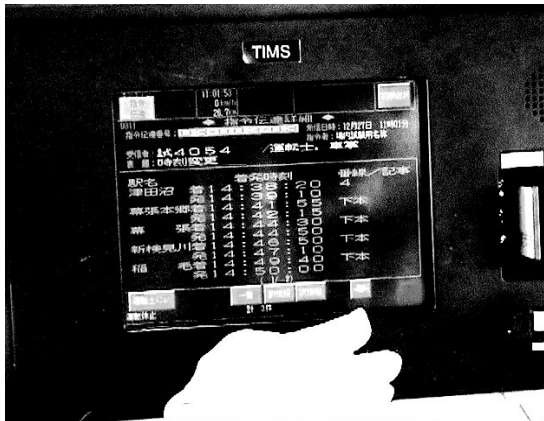


図-5 運転台のディスプレイへの指令の配信 (JR 東日本提供)

高度化して、少数のベテランでも現状以上の品質の運転整理をすることが望まれる。以前とは違って、難しいからこそコンピュータでやらせたいという要望になっている。では、将来的には、運転整理案の自動作成は可能になるのだろうか？

運休や車両運用変更、着発線変更などの手段も含めた運転整理案を自動的に作成するためには、少なくとも、次の2つの問題を解決しなければならないだろう。

- (1) 評価尺度を明確にすること
- (2) 組合せ最適化問題としての取扱いとそれに対するアルゴリズムの開発

### ▼ 運転整理の評価

運転整理案を評価することは難しい。その理由は運転整理が行なわれる状況はケースバイケースだからだ。どういう運転整理を行なうのがよいのかは、その時の状況や線区の性格、事故の発生日時・時刻によって異なる。何度も述べているように、朝の通勤時間帯は、列車を運休しない。しかし、昼の事故ならむしろ列車を何本か運休して夕方の通勤輸送に影響を出さないことが重視される。また、1本1本の列車にもそれぞれの事情がある。他の線区へ乗り入れていく列車は優先して走らせて、なるべく遅れさせないほうがよい。そちらの線区まで遅れが波及するからだ。接続の問題もある。新幹線に接続する列車はやはり優先的に走らせることになるだろう。

運転整理の評価尺度として、これまで、各種の指標が提案されている。たとえば、全列車の遅延の(重み付き)和、運休本数、遅延が収束するまでの時間などだ。しかし、今述べたようなケースバイケースの事情をこれらの単一の評価尺度で評価することには、どう考えても無理がある。極端な話、遅延している列車をすべて運休して

しまえば、遅延は0になる。しかし、果たしてそれはよい運転整理だろうか？

### ▼ 筆者らのアプローチ

しかしそうはいつでも、なんらかの目標が必要になる。筆者らは、この点に関して、「利用者の不満」に着目してはどうだろうかと考えている。

ダイヤ乱れが生じると、利用者はまず間違いなく、不満を感じるようになる。そこで、利用者が不満と感じる状況をあらかじめ調べ上げておいて、ファイル(クレームファイル)に蓄えておく。そして、運転整理案を作る時にはクレームファイルと照らし合わせて、利用者が不満と感じる状況を極力少なくした案を作ろう、というのが基本的なアイデアだ。

利用者が不満と感じる状況は、線区や事故の規模によって異なるだろう。普通は、列車の遅延に不満を感じる人が多いだろうが、たとえば、山手線のような線区なら列車の遅延はあまり関係なく、むしろ、列車の頻度・間隔に不満を感じるようになるだろう。クレームファイルは、このように線区や事故の規模に応じて何種類かを用意しておく。これによって、運転整理の評価はケースバイケースということに対応しようとしている。

筆者らはこの考え方に基いて高度な自動作成機能を持った運転整理案作成アルゴリズムを開発中である<sup>6)</sup>。これがうまくいくようであれば、また別の機会に詳細を紹介させていただきたい。

### ▼ 運転整理に王道なし

繰り返すが運転整理は難しい。しかし、今後は、情報の取得や伝達・案内に関しては、ITがどんどん用いられて、事態の改善が図られていくだろう。運転整理案作成の自動化については、いろいろな研究を地道に進めていく必要があると思う。「運転整理に王道なし」である。

なお、筆者は鉄道部内の人間である。必然的に「鉄道もこんなに苦労している」的な記述が多くなってしまったのではないかと懸念している。叱正をいただければ幸いに思う。

#### 参考文献

- 1) 三戸祐子：定刻発車—日本社会に刷り込まれた鉄道のリズム，交通新聞社（2001）。
- 2) 富井規雄編著：鉄道システムへのいざない，共立出版（2001）。
- 3) 特集「運行管理」，JR ガゼット，Vol.57, No.3（1999）。
- 4) 北原文夫：自律分散型列車運行管理システム，電学誌，Vol.119, No.2（1999）。
- 5) 辺田文彦，小島央士：通告伝達システムの開発，JRIL2002—第9回鉄道技術連合シンポジウム（2002）。
- 6) 富井規雄他：利用者の不満を最小にする列車運転整理アルゴリズム，情報処理学会研究報告（知能と複雑系）ICS-131-7（2002）。（平成15年5月12日受付）