

鉄道のダイヤ乱れ時への対応 その1

—現状と研究開発の状況—

富井規雄 (千葉工業大学 情報科学部)

佐藤圭介 ((公財) 鉄道総合技術研究所 信号・情報技術研究部)

応
般

ダイヤ乱れへの不満

日本の鉄道の運行は世界一正確だと言われている。しかし、日頃通勤・通学に鉄道を利用する多くの方は「本当にそうだろうか？」と首を傾げているかもしれない。「平均遅延」といった観点からは確かにそうかもしれないが、しかし、いったん事故が起こったときの対応に対しては、不満も多いに違いない。いつ復旧するのか案内がない、案内があってもその通りに復旧しない、迂回した方が早いのか・待っていた方が早いのか分からない、全面的に運転を取りやめるのではなく一部の区間だけでも運転できないのか、長らく待った後に電車が来ても凄まじく混雑しているなどの不満を感じたことは多いのではないだろうか。

確かに、一昔前に比べると、ダイヤが乱れた^{☆1}ときには携帯電話にメールで連絡があったり、駅の大型ディスプレイにダイヤが乱れている路線や振替輸送先が表示されたりもするようになった(図-1)。サービスはそれなりに発展してきたと言えるだろう。しかし、提供されるのは現在および過去の情報である。利用者が一番知りたいはずの「今後どうなるのか」「どう行動すべきか」に関する情報の提供はまだまだと言わざるを得ない。

本稿では、鉄道において事故が発生して電車が遅延が生じたときの対応について、2回にわたって、現状の鉄道会社での対応はどうなっているのか、それ



図-1 駅の大型ディスプレイ—遅延や振替輸送の情報なども詳しく表示されるようになった

に対する研究開発はどういう状況にあるのか、そして、今後はどうすべきかなどについて解説を試みる。

実は、先ほど述べた不満が簡単に解消できないのにはそれなりの理由がある。それを聞くと、いちいち、ごもっともと思えないわけでもない。しかし、本稿では、そういう表面的な言い訳に終始するのではなく、それらの背景、そして、それらを改善する試みについて述べてみたい。

事故が起こればダイヤが乱れる

◆ 事故はどれくらい起きているのか

電車^{☆2}が遅れるのには、さまざまな理由がある。車両や信号機などの故障、地震・強風・大雨などの自然災害、踏切事故、人身事故などである。それらの影響で列車が運休になったとき、あるいは、列

^{☆1} ダイヤ(正しくは、列車ダイヤ)は、もともとは、鉄道における運行計画のことを指すが、電車(一般には、複数の)に遅れが生じている状況を慣用的に「ダイヤ乱れ」と称する。

^{☆2} これまで「電車」と言ってきたが、正式には「列車」と言う。電車やディーゼルカー、機関車牽引などを総称した名称である。以下では、必要に応じて、「列車」を使う。

車に30分以上の遅れが生じたときには、鉄道会社はそのことを国土交通省に報告しなければならない(輸送障害)。ちなみにそのような輸送障害は、2011年度には5,278件発生している^{☆3}。そのうちの601件が自殺であった。全国的に見れば、おおむね、1日に14件程度、このような輸送障害が起きていることになる。

◆ 運転整理とは

ダイヤが乱れたときに運行計画をそのまま放置すると利用者に多大な迷惑をかける。たとえば、ドアなどが故障して電車の発車が遅れたとする。このとき、次の電車も同じ番線を使う計画になっているのであれば、その電車は駅に入らず手前で止まってしまふことになる。あるいは、普通列車が特急列車を待避する計画だったとして、特急列車が遅れているにもかかわらず発車順序を変えないでおくと、普通列車は延々と特急列車が来るのを待つことになる。ダイヤが乱れたときに、利用者にかかる迷惑をなるべく少なくするために、一連の運行計画の変更を実施する。この業務を「**運転整理**」と呼ぶ。

◆ 電車を「駅に」止める

少し大きな事故—事故の大きさを一律に定義するのは難しいが—になる可能性があると思ったとき、まずしなければならないことは、電車を「駅に」止めることである。駅の間で電車が止まると、乗客に多大な迷惑をかける。長時間に及ぶ場合には、電車から降りて最寄りの駅まで徒歩で移動していただくこともある。その場合、安全の確保、誘導、そして、その後の安全の確認(線路に人が残っていないことを確認しなければ運転を再開できない)などに長い時間を要する。運転再開を待っている人たちにも大変な迷惑をかけてしまう。したがって、電車を「駅で」止めることが鉄則となる。後に述べる指令員と呼ばれる人たちは、「事故発生!」の一報を受けたときには、電車を駅で止めるべく間髪を入れずに反応する。そうしなければ、電車が密に走っている路線の

場合、1つの駅間に2本、3本の電車が入ってしまふと、駅の間で電車が止まってしまうからである。

◆ 運転再開見込み時刻を予測する

運転整理を行う際の一番重要な情報は、運転再開見込み時刻である。たとえば、人身事故であれば、消防隊員による救助、警察による現場検証などが必要で、それが完了するまで運転を再開できない。また、踏切でトラックが電車にぶつかったなどの場合には、状況を確認した上で、重機を手配するなどの必要が生じることがある。それらの時間を見込んで運転再開見込み時刻を予測しなければならない。

しかし、これは非常に難しい。これまでの経験をもとに見込みを立てることになるが、確たる情報もない中ではっきりした見込みを立てることは簡単ではない。また、いったん立てた見込みを変更せざるを得ないときもある。警察から再度現場検証をするので列車を止めるよう要請があったとか、設備の点検が予定した時間で終わらなかったとか、風や雪がなかなか止まなかったなどの場合があり得る。そういう事態が起こると、せっかく考えた運行計画の変更案(これを、運転整理案と呼ぶ)も作り直しとなる。利用者から見ても運転再開時刻がころころ変わるの是非常に腹立たしい。しかし関係者にとっても、これが運転整理を難しくしている理由の1つであることは間違いない。

◆ 運転整理の方針をたてる

運転再開見込み時刻を一応決めたとする。その後、運転整理案を作る。しかし、大きなダイヤ乱れの場合には、それに先立って、「方針」を決めなければならない。ここで、「方針」の例としては、表-1に示すようなものがある。

◆ 運転整理案をつくる

運転再開見込み時刻をもとに、上述の「方針」に沿って、具体的な運転整理案を考える。伝統的に、紙のダイヤ図の上に鉛筆で線(スジ)を引くことによって行われることが多い(図-2)。

^{☆3} http://www.mlit.go.jp/tetudo/tetudo_fr8_000011.html

折り返し運転	一部区間で折り返し運転を行うかどうか。
直通運転	路線をまたがる直通運転列車の運転を取りやめるかどうか（たとえば、JR 東日本の場合、湘南新宿ラインをはじめ、武蔵野線と京葉線、総武快速線と横須賀線、中央線と青梅線などで、直通運転が行われている）。これは、ある路線のダイヤ乱れがほかに影響しないようにすることを念頭においている。類似の例として、相互直通運転（会社をまたがる直通運転）を中止するかどうかもある。
間引き運転	特に、雪や雨・風などが予想される場合、駅の間で列車が立ち往生する可能性を小さくするために、あらかじめ何本かの列車を運休とし、運転する本数を少なくする（間引き運転という）ことがある。
列車種別の変更（各停化）	ダイヤが乱れたとき、あるいは、乱れが予想されるときには、快速・急行運転を取りやめ、すべての列車を各駅停車にすることがある。これは、列車が使用する番線を同じにする、列車の追い越しをなくすなどによって、単純なダイヤとし、運行管理に要する業務量をなるべく少なくすることを目的としている。

表-1 運転整理の方針



図-2 運転整理案の作成—紙と鉛筆の作業

具体的な運転整理手法の代表例を以下に説明しよう。なお、ご注意をいただきたいのは、乱れの規模が大きい場合には、これらの手法は単発的に用いられるわけではなく、これらを適切に組み合わせて数多くの運行計画の変更が行われるということである。乱れの規模や列車の本数にもよるが、1時間程度のダイヤ乱れの場合、その数は、軽く百を超えるのが普通である。

(1) 山切り—途中で折り返す

図-3 に、「山切り」と言われる運転整理手法を示す。この図はいわゆるダイヤグラムと呼ばれる図面で、横が時間、縦が距離である。点線は所定の計画（計画ダイヤ）である。山切りではつまり、列車を途中の駅で折り返して、折り返しの列車の遅延を小さくしようとしている。

山切りは一見単純だが難しさもある。折り返し駅では全乗客が降りることになる。次の列車があればともかく、次の列車もその次の列車もこの駅で運転打ち切りとなると、大量の乗客がこの駅で立ち往生してしまう。したがって、ある区間で折り返し運転を行うなどの場合には、そこからの代替輸送機関

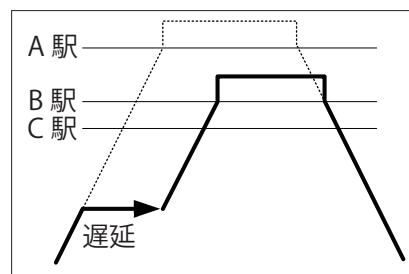


図-3 山切り—途中で折り返す

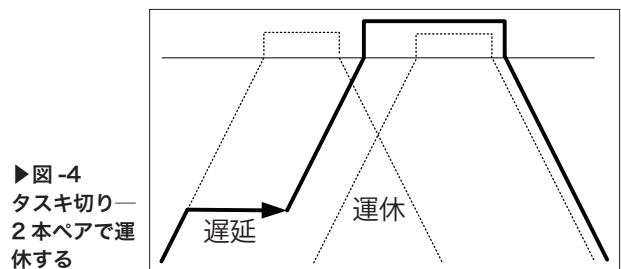


図-4 タスキ切り—2本ペアで運休する

があることが条件となる（振替輸送ができるなど）。とはいえ、列車の折り返しができる駅に必ず代替輸送機関があるとは限らない。その場合、手前の振替輸送先との接続駅（図-3 に示す C 駅）まで営業運転を行って、折り返しのできる駅（B 駅）までは回送扱いとすることも多い。B 駅に行きたい人にとっては面白くないことだろう。しかし、現実には、B 駅まで営業列車を運転すると、いくら案内しても「まずは行けるところまで行ってしまおう」とする人が多い。その結果、B 駅が大混乱してしまう。それを避けるための措置なのである。

(2) タスキ切り—2本ペアで運休する

図-4 に示すように、列車をバツェン（タスキ）の形に運休することを言う。大幅に遅れてしまって運転する意味がない列車（次の列車とほぼ同じ時刻で走るが、2本続けて運転するほどの旅客がいない場合など）は、運休にした方が遅延回復に有利である。ただし、1方向だけ運休したのでは、折り返し

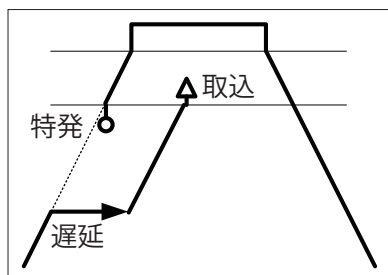


図-5 取込特発一別の編成を出す

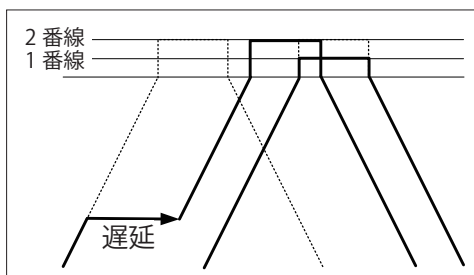
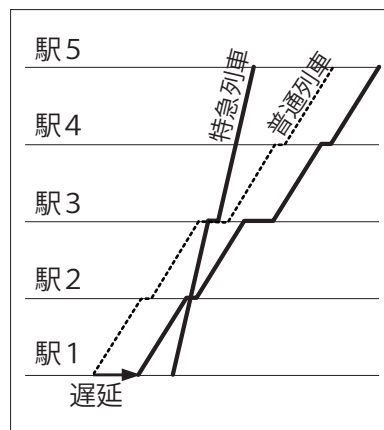


図-6 番線変更一別の番線を使う



▶図-7 順序変更—
発車の順序を変える

の列車に充当する編成^{☆4}がなくなる。よって、運休の場合には、上下方向の列車をセットで運休することが原則となる。

なお、タスキ切りの場合、どの編成をどの列車に充当するかとあわせて、乗務員（運転士と車掌）が担当する列車にも変更が生じることに注意が必要である。また、（区間）運休を行ったときには、その日の夜に、本来行くべき場所に列車が行かなくなる可能性がある。そうなると、翌日の列車を所定通り走らせられない。そのため、ダイヤの乱れが一段落した後に回送列車を走らせる、列車の折り返しを変更するなどして、翌日の運転に必要な編成を確保するようにする。この作業は、運転整理の一環ではあるが、区別して「運用整理」と呼ぶことがある。

(3) 取込特発一別の編成を出す

図-5に、「取込特発」と呼ばれる運転整理手法を示す。これは、遅れている列車を車庫（車両基地）に収容し（「取込」）、別の編成を車庫から出して（「特発」）、折り返しの列車の遅延を回復する。車両基地のある駅では、よく使われる手法である。ただし、この場合、そもそも車庫に予備の編成があること、それを担当する運転士と車掌がいること（あるいは、どこから送り込めること）が条件となる。

(4) 番線変更一別の番線を使う

ある列車が遅れたとする。その場合、次にその列車と同じ番線を使う列車の到着も遅れることになる。そこで、それを防ぐために次の列車の番線を変更する。図-6では、2本目の列車は、当初2番線に到着する予定であったところを、1番線に到着させることとして遅延を防いでいる。

☆4 編成：列車に充当するためのひとまとまりの車両のこと。

番線変更は、比較的単純で、よく使われる手法である。しかし、これにもいくつかの注意事項がある。まず、当然だが、駅の構造上、列車がその番線に到着して、出発できるようになっていなければならない（もう少し具体的に言うと、その番線に入って出られるようなポイントと信号機がなければならない）。さらに、利用者のことを考える必要がある。図-6のように、折り返してその駅からの始発列車になる場合、状況によっては多くの乗客が列を作って待っているかもしれない。たとえば、ラッシュ時でもなんとか座りたいと思って始発列車を待っている人たち、お盆・正月などの混雑する時期に座席を確保しようとしている新幹線の自由席の客などである。そのようなときに、急に番線を変更したりすれば、ホーム上では怒号と悲鳴が飛び交うであろう。したがって、番線変更を行う場合には、駅の係員とも調整の上、十分前もって決定し、乗客に案内する必要がある。

(5) 順序変更—発車の順序を変える

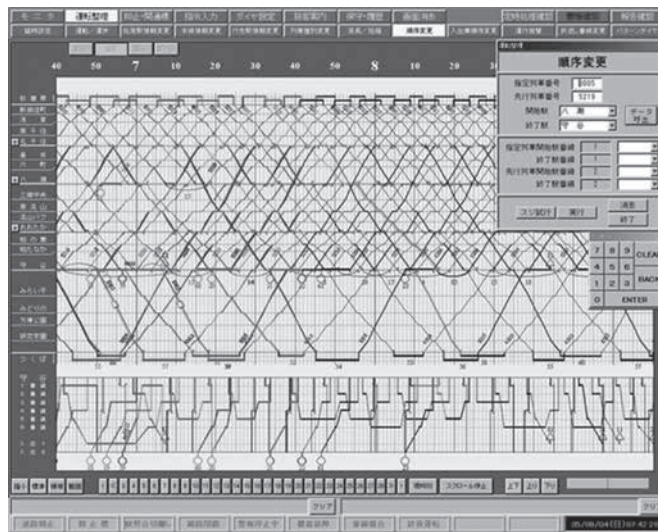
普通列車が特急列車に追い越される計画だったとして、普通列車が遅れたとする。その場合、放置しておく、先を走る普通列車の影響を受けて特急列車がノロノロ運転になってしまう。そこで、手前の駅で待避するようにする（図-7）。逆に、特急列車が遅れた場合には、発車順序を変更して、普通列車を先に発車させることとし、先の駅で特急列車を待避するようにする。

順序変更は、一見単純に見えるが、そうでもない。たとえば、特急列車がかなり遠くまで行く列車で（た



図-8 指令室—列車の運行を管理する中枢

▶ 図-9 運行管理システムのダイヤ変更画面—
最近では、マウス操作による入力になっている



たとえば、中央線の「あずさ」)、その日の最終の特急だったとする。そのとき、図-7のような変更をすると、普通列車に乗って駅3で特急に乗り換えようと思っていた人は、その日のうちには自宅に帰り着けないことになる。一見単純でも注意が必要な例である。

◆ 指令室—列車の運行を管理する中枢

指令室は、列車の運行を管理する中枢である(指令室の光景を図-8に示す)。そこには、列車の運行状況はもちろんのこと、駅の混雑状況を知るための中継映像、雨量や風速など沿線の気象データ、電力や信号機をはじめとする設備に関する情報など、運行管理に必要な各種の情報が集約されている。指令室に勤務する指令員と呼ばれる人たちは、それらの情報をもとにして、円滑に列車を運行するように努める。そして、ダイヤが乱れたときには、利用者の状況を勘案して運転整理を行う。さらに、運転整理案の内容を関係個所に伝達することも指令室の重要な業務である。

指令室は、会社の規模にもよるが、民鉄の場合には、おおむね会社に1つ、JRのように規模の大きな会社の場合には、本社の下に地域ごとにいくつかの支社があり、その支社ごとに1つ程度存在する。

◆ 運行管理システムとその機能

列車の運行は、運行管理システムなどと呼ばれるコンピュータシステムによって管理されている。具体的に言うと、列車が、ダイヤで決められた時刻に、ダイヤで決められた番線に到着して、ダイヤで決められた時刻に発車し、ダイヤで決められた線路上を走れるように、信号機やポイントを自動的に制御する。言い換えれば、列車がダイヤ通りに走っている限り、指令員は何もしなくてもよい(やや誇張すれば)。では、あらかじめ決められたダイヤとは違ったように列車を運転したい場合には、どうだろうか。たとえば、前述のように列車の発車順序を変えたい場合はどうだろうか。後ほど詳しく説明するが、あらかじめ定められているダイヤとは異なるように列車を運転したい場合(鉄道では、この状況を「ダイヤを変更する」と考える)、運行管理システムがそれを自動的にやってくれるわけではない。その場合には、指令員がダイヤの変更を運行管理システムに入力してやらなければならない(その例を図-9に示す)。

◆ 運転整理の難しさ

◆ 運転整理の目的—利用者の視点

(1) から (5) に示した運転整理手法の説明から、要は、利用者のことを考えた運転整理でなければ意

味がないことがお分かりいただけたと思う。ダイヤ乱れという遅延が問題にされることが多いが、仮に「列車の遅延の総和最小の運転整理案」を作ったとしても、それは、ほとんどの場合、何の意味もないだろう（たとえば、遅れている列車をすべて運休にしてしまえば、遅延の総和は0になる。しかし、旅客サービスの上からは、そのような運転整理案が意味を持つことはない）。

◆ 物理的制約とリソースの制約の考慮

列車を動かす際には、さまざまな物理的な制約を考慮しなければならない。たとえば、線路に起因する制約がある。駅と駅の間ではほかの列車を追い越せないとか、駅の番線の数以上の列車を駅に収容できないとか、列車と列車の間には、ある一定の時間間隔を確保しなければならないなどである。

また、車両と乗務員に関する制約も存在する。そもそも編成が用意できなければ列車を運転できないし、また、必要な性能（最高速度等）と両数を考慮する必要がある。乗務員についても同様である。臨時に列車を運転するのであれば、乗務員を準備する必要がある。もし、そのような乗務員がいない場合には、その列車の運転はできない。また、列車が遅れたために、本来なら次に運転するはずであった列車の発車時刻に間に合わない場合、ほかの乗務員を充当するなどのことも必要になる。特に運転士の充当においては、その運転士の資格（その路線を運転できるか、その種類の車両を運転できるか）なども問題となる。

◆ 運転整理の本質

鉄道の本質は、列車ダイヤという共通情報をあらかじめ関係者（運転士、車掌、駅員、車両基地、乗務員基地、指令員、そして、利用者）に配布して、それに沿って各自が自律的に各自の役割を果たすことにある。その際には、関係者間の情報交換は最小限でよいような仕組みになっている。これは、携帯電話や列車無線などがなく、関係者間の情報伝達・情報交換に多大なコストを要していた時代の仕組み



図-10 事故発生直後の指令室—情報収集と伝達に追われる

が営々として用いられているということだろう。

運転整理が難しい理由の1つは、この列車ダイヤという共通情報を変更しなければならないことにある。すなわち、平常時とは大きく異なる利用者の需要に対応するための輸送力の供給計画を作る際に、

- (1) 物理的な制約、リソースの制約を満たした上で、利用者の不便をなるべく少なくすることを考えた運転整理案としなければならない。
- (2) 復旧見込み時刻の予測、列車の運行状況、リソース制約の状況（予備車両や予備乗務員の有無など）、利用者の動向などについて、大量の情報を迅速に集めなければならない。
- (3) 作成した運転整理案を運行管理システムに入力しなければならない。
- (4) 作成した運転整理案に基づいて、ダイヤの変更を運転士・車掌・駅等の関係者に伝達しなければならない。もちろん、利用者にも案内しなければならない。

などのことが必要となる。また、

- (5) 復旧見込み時刻が変わるなど、予期せぬ事態に対応しなければならない。

という難しさもある。

このようなことから、運転整理案作成にあたっては、平常時とくらべて指令室の業務量は急激に増大することになる（図-10をご覧ください）。

運転整理の支援

このような事情を背景に、ダイヤ乱れ時に増大する業務をコンピュータシステムで支援することが望まれてきた。前述のように、情報を関係者で共有することがきわめて重要であることから、現時点では、

- 駅員の携帯端末や列車の運転台のディスプレイなどに現時点の列車の運行状況を配信する。
- 事故復旧の進捗状況などの情報を指令室内の大型ディスプレイなどで共有できるようにする。
- ダイヤの変更等の情報を運転台のディスプレイに表示するなどして、列車を運転中の運転士・車掌にそれらの情報を伝える（従来は、列車無線や、場合によってはファックスなどでこの種の情報を伝えていた）。

などの支援機能が実現されている。

しかし、ダイヤ乱れ時の指令室の業務を軽減し、また、利用者へのサービスを向上する上で大きな効果があるのは、運転整理案の自動作成機能であろう。運転整理案を迅速に作成して今後の運行計画を早期

に確定することができれば、その情報を利用者に提供することができる。そうなれば、利用者は、冒頭に述べた「今後どうなるのか」「どう行動すべきか」などの情報を得ることができる。次号では、運転整理案を作成するアルゴリズムについて、現状の機能とその問題点、それに対する研究開発の状況を解説する。

なお、ダイヤ乱れ時への対応について、詳細をお知りになりたい方は、文献1)をお読みいただきたい。

参考文献

1) 富井規雄 編著：鉄道ダイヤ回復の技術，オーム社（2011）。

（2013年7月1日受付）

富井 規雄（正会員） | tomii@cs.it-chiba.ac.jp

国鉄、(財)鉄道総合技術研究所を経て、千葉工業大学情報科学部教授。運輸安全委員会委員（非常勤）。著書として、「鉄道ダイヤ回復の技術」、「鉄道ダイヤのつくりかた」など。京都大学博士（情報学）。

佐藤 圭介 | keisato@rtri.or.jp

(公財)鉄道総合技術研究所信号・情報技術研究部副主任研究員。鉄道の運転整理・運用整理の最適化の研究開発に従事。

