

輸送計画・輸送管理業務のシステム化の歩み

福村 直登

輸送情報技術研究部
(運転システム 研究室長)

平井 力

同
(同 主任研究員)



ふくむら なおと



ひらい ちから

はじめに

鉄道は敷設されたレール上しか走行できないため、正確かつ効率的に運行するためには、他の輸送機関と比べてより精緻な輸送計画の作成が求められます。輸送計画に従った列車運行の実現に必要な意思決定や手配を行なう業務は、輸送管理または運行管理と呼ばれます。これは、実際の列車運行場面において、路線全体の運行状況を監視し、トラブルに対処する業務でもあり、災害や事故等の発生により計画通りの列車運行が不可能な場合には、随時、「運転整理」と呼ばれる当初の輸送計画からの変更計画が作成されます。

以前は、輸送計画、運転整理ともにベテラン担当者が紙面と鉛筆を使って作成していましたが、コンピュータの普及により、最近では支援システムを用いた作業が増えていきます。現在、主に使われているのはマンマシン対話型システムと呼ばれるものです。このシステムの導入により、担当者が計画内容を考えてシステムに入力し、コンピュータを使って各種計算処理や計画内容チェックを行うという作業形態に変わり、作業時間の短縮、単純ミスの防止、計画データの二次利用など、作業効率は大いに向上しました。マンマシン対話型システムの詳細は2009年7月号で紹介済みですので、そちらをご参照下さい。

しかし、マンマシン対話型システムでは計画を作る主体は担当者のままであり、利用者の要望を最大限に満たしつつ、効率性も考慮した計画を作成するという負担は残っています。一方、コンピュータを使うことでより効率的な計画が作成できれば、経営的にも大きなメリットがあります。そのため、システム化の次のステップとして、計画内容そのものを自動作成し、提示する機能が望まれています。この自動作成機能が実用化されたときには、システムが作成した計画案を担当者が評価し、採否を決定するという作業形態に変わると考えられます。

本稿では、次世代システムである、輸送計画・輸送管理業務の自動作成システムに対する研究開発の歩みを紹介します。

自動作成への2つのアプローチ

コンピュータを使って鉄道輸送計画を作るという研究は、古くは1960年代から行われていますが、大きく2通りの方法がとられてきました。一つめは、定められたルールや経験にもとづくノウハウをもとにして計画を作り上げるという、担当者の作業方法をコンピュータに置き換える方法です。研究の初期段階では、このルールやノウハウをプログラム化する研究が盛んに行われましたが、芳しい結果は得られませんでした。これは、ベテラン担当者が持つノウハウすべてをプログラム化することができず、さらには、担当者の「直感」というコンピュータでは扱えない要素が含まれていることが原因だったと思われます。

二つめは、計画作成の問題を情報工学や数理計画の問題に置き換え、その問題の解法を応用する方法です。解法に関する理論の発展や、コンピュータの計算能力向上に伴い、最近はこの方法が研究の主流となっています。本稿でも、この方法による計画の自動作成に関する取り組みを紹介します。

輸送計画業務のシステム化の歩み

鉄道輸送計画の構成

鉄道の輸送計画は、列車運転計画(列車ダイヤ)、車両運用計画、乗務員運用計画、構内作業計画から構成されます(図1)。

この中で、列車ダイヤは現在の利用者数だけでなく、長期的な需要見通しや需要喚起策など、会社の施策を織り込んで作るものであり、自動化にはなじまないと考えています。そ

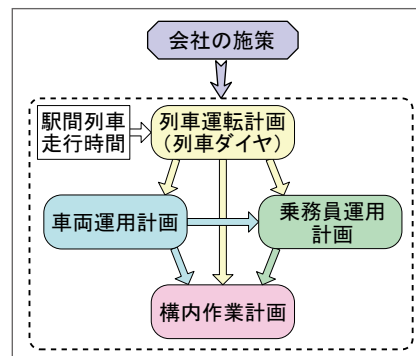


図1 輸送計画の構成
(矢印はデータの流れを示す)

れに対して、車両・乗務員運用計画、構内作業計画は、列車ダイヤを実行可能とするために作成されるものであるため、自動作成に適した業務と考えられます。本稿では、この中から乗務員運用計画と構内作業計画の自動作成についてご紹介します。

乗務員運用計画の作成

乗務員運用計画とは、運転士、および車掌の列車乗務順序を決めることです。各乗務員は自身が所属する乗務員基地に出勤し、計画で定められた順に列車に乗務し、所属基地に戻って退勤となりますが、この一勤務のことを「行路」といい、ダイヤ上のすべての列車に乗務員が充当されるように行路群を作ったものが乗務員運用計画です。

乗務員運用計画の作成問題は、「集合被覆問題」と呼ばれる数理計画の問題に置き換えられることが知られており、そのとき、以下の手順で乗務員運用計画を作ることができます(図2)。

- ①運用作成ルール(就業規則など)にもとづき、実行可能な行路案を多数生成する。
- ②生成した行路案の中から、最適な運用計画となるように必要な行路案のみを選択する。

人手で運用計画を作るときは、通常、行路を1つ1つ作っていき、その後、改善箇所や不具合箇所を見つけて逐次修正するという手順をとりますので、それとは全く考え方が異なることがわかると思います。

集合被覆問題により乗務員運用計画を作る研究は、まずは1960年代頃からアメリカで航空会社のパイロット運用を対象とした研究から始まり、それを鉄道に転用するかたちで進んできました。航空については、1990年代には実用化例が報告されています。しかし、航空では発地・着地間の1便単位の組み合わせで行路案を作成すればよいのに対し、鉄道は列車途中駅で乗務交代が可能であるため、組み合わせの数が膨大になり、コンピュータを使っても計算時間がかかりすぎるという問題がなかなか解決できませんでした。

しかし、2000年代に入り、コンピュータの性能向上と数理計画に対する研究開発の発展とが相まって扱える問題の規模が飛躍的に大きくなり、鉄道の運用計画問題でも、十分、実用的な時間内で解けるようになりました。現在では、欧州やオーストラリアなどの鉄道事業者で導入されて、コスト削減などの効果を得た事例が報告されています。

鉄道総研でも2000年代前半から、乗務員運用計画作成に対する研究を、大学との共同研究も含め実施してきました¹⁾。その結果、生成する行路案数の増大を防ぐために担

	6	12	18	24
行路案1	1列車	3列車		
行路案2	1列車	4列車	6列車	
行路案3		2列車	4列車	7列車
行路案4		2列車	5列車	7列車
行路案5			4列車	6列車 8列車
行路案6			5列車	8列車

生成した6個の行路案から行路案1,4,5を選択すれば、8本の列車すべてに乗務員が充当される

図2 数理計画による乗務員運用計画の作成

当者のノウハウをうまくプログラム中に組み込むことが有効であり、またそれによって実用性も高められること、最適な行路案のみを選択する手法として、短時間で比較的よい近似解が得られる近似アルゴリズムを開発するなど、実用化に向けた貴重な成果を得ています。さらに、ここ数年の汎用数理計画ソフトの性能向上も著しいものがあり、このソフトを使うことで近似アルゴリズムを使わなくても、1路線分であれば、十分実用的な処理時間内で最適な運用計画案が得られる見通しがついています。

構内作業計画の作成

構内作業計画とは、大規模な駅や車両基地内の番線の使用計画、列車の入換えや車両検査などの構内作業の実施時間、および作業担当者への作業割り当てを定めた計画であり、列車ダイヤを陰で支える重要な計画です。また、図1からもわかる通り、構内作業計画は、鉄道輸送計画の最下流に位置しています。そのため、計画作成の自由度は大きくはないのですが、構内設備の制約、列車ダイヤや車両・乗務員運用による制約など、複雑で多岐にわたる条件を考慮しなければならぬためシステム化が最も遅れていました。

この複雑な構内作業計画作成の自動化は、非常に難しい問題です。海外の研究例も少なく、また計画作成の目的や前提条件が日本のものとは若干異なっています。鉄道総研では、2000年頃から研究に着手し、大規模プロジェクトの工程計画・管理手法であるPERT(Program Evaluation and Review Technique)手法と汎用近似アルゴリズムを組み合わせた自動作成アルゴリズムを開発しました。当初は、列車ダイヤと車両運用計画のデータをもとに、白紙状態から計画全体を作成するものでしたが、実用的な計画を作るためには膨大な前提条件データを事前に入力しなければならないこと、また、処理時間も非常にかかることから、その後、ベースとなる既存計画と、列車ダイヤの変更や構内設備の変更など、その計画に対する変更条件データを与えることで、それに対応した新しい計画を作成するアルゴリズム構成に修正しました。その結果、実用的な時間内で妥当な計画が作成できるようになっています²⁾。

輸送管理業務のシステム化の歩み

輸送管理業務のシステム化

輸送管理業務とは、冒頭で述べたとおり、輸送計画に従った列車運行の実現に必要な意思決定や手配を行なう業務です。輸送管理業務担当者は、本来、定められた番線に列車が到着するように、各転てつ器などを操作する必要がありますが、これらの作業の多くはPRC (Programmed Route Control, 自動進路制御装置) とよばれるシステムで自動化されています。これにより、輸送管理業務が省力化されるだけでなく、安全で高密度な列車運行が可能となっています。このようなシステムを輸送管理システムと呼ぶことにします。

運転整理

さて、輸送計画は列車ダイヤとして日々の列車運行に供されていますが、予期しない事故などによってダイヤ乱れが発生すると、輸送管理業務担当者は、輸送計画で定めたサービスレベルに戻すため、列車の到着する番線を変更したり、列車を運休したり、途中駅で折り返したりします。このような一連の変更が運転整理です。線区全体を見渡して運転整理を行なう輸送管理業務担当者は指令(または司令)と呼ばれ、輸送管理を集中的に行なう指令室に常勤しています。

運転整理は難しい業務です。これは、変更計画作成のための様々な意思決定、輸送管理システムに対する決定事項の入力、各関係箇所への連絡といった煩雑な作業であることに加え、それらをできる限り速やかに行なうことが求められるからです。そもそもが例外的な状況への対応なので、運転整理には人間の判断が欠かせません。また、列車本数の増加とともに、運転整理は更に複雑になってきています。

システムによる運転整理の支援

運転整理を適切に支援するためのシステムに関する研究開発は、現在でも、鉄道事業者、メーカー、鉄道総研を含む研究機関で進められています。運転整理支援の考え方には大きく分けて、意思決定の材料となる情報提供と、意思決定に対する提案の2つがあります。前者に属するものとしては、例えば、各列車の位置や遅延状況をリアルタイムに表示する機能や、駅の案内に反映させたりする機能です。また最近では、ダイヤの変更内容を自動的に運転士に伝える機能も実現しています。後者については、阪神電鉄のように局所的な変更計画提案機能を実現している例があります³⁾。全体的な判断に資する変更計画提案機能は、まだ実現しているとは言えませんが、将来に向けた研究開発は確実に進んできています。以降では、実用化されている支援

機能に加え、将来に向けた取り組みについても見ていくことにします。

新幹線における運転整理支援機能

JR東日本の新幹線では、東北・秋田・山形・上越・長野の5方面の各列車が、大宮～東京間の線路を共用しているため、大宮駅で合流する列車の順序管理は、運転整理を行なう上で極めて重要です。JR東日本では、新幹線にかかわるすべての業務を、新幹線総合システム(COSMOS)で総合的に管理しています。このシステムには、走行実績時刻から、その後の運行状況を予測する予想ダイヤ機能があります⁴⁾。この機能により、指令が考えたダイヤ変更案を適用した場合、どのような運行状況になるのかを、具体的に画面上でシミュレーションして検証することが可能であり、指令は確実な判断ができるようになってきました。また予想ダイヤデータを各駅の進路制御に反映し、指令の指示通りの列車制御を実現しています。図3に示すように、指令が操作するダイヤ図画面も、2線区を同時に表示させるなどの工夫が施されています⁵⁾。

在来線における変更計画提案機能

在来線は、新幹線に比べ、列車種別の多さ、列車運行予測の難しさ、利用者の振る舞いの複雑さなど、新幹線よりも運転整理が複雑な面があります。

鉄道総研では、変更計画提案機能の実用化を目指し、PERTを活用した最適化アルゴリズムの開発も行なっていますが、ここでは、実際に行なわれている運転整理方法を「運転整理パターン」として活用する取り組みを紹介します。運転整理は臨機応変に行なわれるものの、各路線には「定石」と言える考え方が存在するようです。これらを予めコンピュータに蓄積しておき、指令が共通に考案するような変更計画を迅速に提案するというものです。運転整理パターンの例を図4に示します。左図は所定ダイヤ、右図が適用後のダイヤ図です。列車1, 3は駅Aから駅Eの間を走り、列車2, 4は駅B～Dを経由して別線区に入ります。駅D～Eの間で支障が発生した場合には、次のような運転整理パターンがあります。支障区間にかかる列車1, 3を運休するだけでは駅Aからの輸送力が確保できないので、右図のように列車1, 3は駅Cから先だけを運休し、列車2, 4は駅B～Cの間を運休、駅Cで列車1から2へ、列車3から5へつなぎ換えます。この結果、駅Aからの運転と、別線区への直通運転の両方が確保されます。支障時間が更に長い場合には、図にはありませんが、列車3, 4の後に続く列車に対しても同様のパターンが繰り返し適用されます。

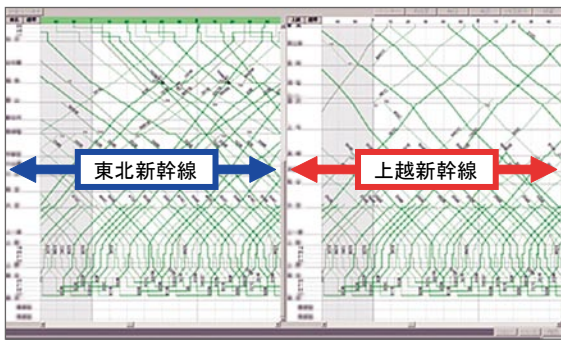


図3 2線区同時表示機能(左右縦分割)

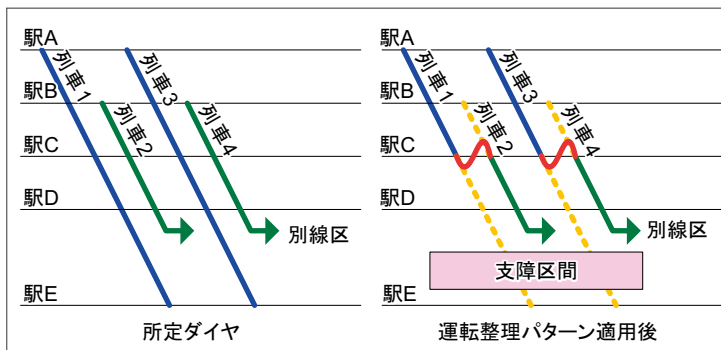


図4 運転整理パターンの例

現在、このような「運転整理パターン」に基づく変更計画提案機能の研究開発を進めており、実導入時の業務フローの変化を含めた検討を行なっています。

運転整理実現に必要な運用整理

運転整理は列車ダイヤに対する変更ですが、その実現のためには、車両や乗務員運用の変更も追従していなければなりません。運転整理に伴う運用の変更を運用整理と呼びます。運用整理案の自動作成については2009年9月号「貨物列車のダイヤ乱れに備える」で紹介していますので、ぜひご一読ください。

実用化に向けた課題

以上、ご紹介してきたとおり、輸送計画・運転整理案の自動作成処理は、技術的には実用化可能なレベルに達しています。しかし、現時点で自動作成機能が実務で用いられているケースは極めて少数です。では、なぜ実用化に至らないのでしょうか。

第一に、計画案に対する評価の問題が挙げられます。つまり、「最適な計画」とは何かという問題です。輸送計画に対しては、いくつもの評価指標を設定できますが、相反する尺度も含まれるため、ある特定の評価指標を重視すると別の評価指標が極端に悪くなるということも起こりえます。例えば、列車ダイヤにおいて長距離の利用者を優先すると、短距離の利用者が不便になるというようなケースです。また、評価者の価値観によって評価尺度間の重みは変わってきます。ベテラン担当者であれば、「ほどほどに」バランスをとった計画を作ります。この作業をシステム化するためには、主観的な判断基準を数値化する必要がありますが、多くの人が納得できる数値を決めることは、非常に難しい問題です。この問題は最近とくに注目されており、現在、研究に取り組んでいるところです。

二番目の問題は作成した計画案の提示方法です。担当者が自ら計画を作っているときは、その計画内容の詳細を把握していますから、修正も比較的容易です。しかし、システムの作成結果だけをいきなり提示し、担当者に善し悪し

を判断させたり、不具合点を修正させたりすることは不可能です。例えて言えば、料理人に対して、素材(入力データ)とそれを使った料理の写真(作成結果)だけを見せて、どんな味か述べよというようなものです。どの調味料をどれだけ使い、どのような方法で調理したのかわからなければ料理の味の見当をつけられないのと同様、いくらベテランとはいえ、複雑な計画の内容を短時間で把握することは困難です。とくに、自動作成の方法が担当者の考え方とは全く違うため、その計画が作られた理屈がわからないことも多々あると想像されますので、評価する際の材料をわかりやすく担当者に提示する必要があると考えています。

三番目の問題はデータ入力の問題です。精緻な計画を作るためには、詳細な前提条件データが必要ですが、このデータ入力に手間がかかるようでは本末転倒です。といって、中途半端なデータでは中途半端な計画しか作成できず、実務では使い物になりません。しかし、最初から詳細な条件をすべて入力することも不可能ですので、この問題を回避するためには、最初は大まかな条件だけを設定して自動作成させ、その結果を担当者が評価し、不足している条件を追加して再作成させるという操作を繰り返すことで計画を完成させるという、いわば「逆」マンマシン対話型システムを構成すべきと、筆者らは考えています。

これからも、鉄道輸送事業の効率化に貢献できるよう、これら技術の実用化に向けた研究開発を進めていきます。

RRR

文献

- 1) 福村, 坂口: 車両・乗務員運用計画を作る, RRR, Vol.61, No.5, 2004
- 2) 福村: 駅構内作業計画作成支援システムの開発, 鉄道総研報告, vol.23, No.8, 2009
- 3) 松本: 阪神電鉄における運行管理システムの構築事例, 平成21年電気学会産業応用部門大会 3-S13-05, 2009
- 4) 田辺, 本多, 相良: COSMOS(ニュー新幹線総合システム)の現状と将来展望, JREA Vol.48, No.5, 2005
- 5) 岸, 村上, 佐藤, 相良, 小林: COSMOSの機能向上, JR East Technical Review No.28, 2009