

日別需要に基づく鉄道輸送計画作成手法の開発

坂口 隆* 佐藤 圭介*
加藤 怜* 福村 直登**

Methods of Railway Transportation Planning Based on Day-to-day Passengers' Demand

Takashi SAKAGUCHI Keisuke SATO
Satoshi KATO Naoto FUKUMURA

Current railway trains are operated every day in accordance with a fixed timetable excluding extra trains operated during peak travel periods. This study aims to plan railway transportation flexibly in such a way as deciding which train is to be operated with how many cars according to the estimated number of passengers which vary with each day, each hour and each origin-destination stations. In this paper we discuss methods for timetabling, rolling stock scheduling and crew scheduling for such flexible transportation plan and report an evaluation result of the simulation of train transportation and passengers' behavior based on algorithms developed.

キーワード：デマンド輸送，輸送計画，運用計画，数理計画，シフトスケジューリング

1. はじめに

鉄道輸送計画は、限られた資源である車両や乗務員を効率的に使って、見込まれる利用者数に見合う輸送力をできるだけ確保することを目的として策定されている。しかし、的確に需要を捉え適切な輸送力を提供することは困難である。その理由のひとつに、需要のトレンドが変化し、過去の利用実績データや、旅客流動調査データ等を用いた分析結果が明らかになる頃には、その情報が既に古いものになってしまうという問題がある。また、輸送計画を白紙から作り直す作業は、支援システムの導入が進んでいるとは言え非常に時間がかかるため、実際にはほとんど行われておらず、現行のダイヤを基に改良を施す方法で行われる。このため、輸送計画の自由度が低下しているという問題もある。その結果、例えば、フレックス勤務制度などを導入してオフピーク通勤を推める企業が増加し、ラッシュ時間帯のピークの利用者数が減少する一方でピークの裾野が広がるといった需要の変化に輸送力が対応できずに、ピークを過ぎた頃の時間帯が逆に混雑するといったことが起こっている¹⁾。

日々の需要変動に至ってはほとんど対応できていないと言ってよい。お盆、年末年始などの季節的な旅客波動に限れば、期間中の需要変動が大きく、需要予測に基づいた波動輸送計画が作られるが、それ以外の通常期や閑

散期は、ほとんどの鉄道路線が毎日固定的な輸送計画(ダイヤ)に従って運行されている。これは予測の精度が低いという理由だけでなく、もし精度よく日々の旅客数が推定できたとしても輸送計画を日々変更できるような技術的環境が整っていないことが大きな壁となっている。これらの問題が解決できれば、利用者にとっては混雑の緩和や座席の確保といった利便性の向上が期待でき、鉄道事業者にとっては無駄な輸送力を削ることでコストや環境負荷の低減が期待できる。

このような課題に対し、利用者数の推定に関しては、自動改札機から取得したリアルタイムの利用実績データから時間帯別の利用者数を予測する研究が進められており²⁾、また今後一層の小型軽量化が期待される情報端末の利用などによって、将来的には精密な推定が可能になると考えられる。そこで本研究では、直近の利用者が、時間帯別、発着駅間別といった精度で予測可能になることを前提とした上で、推定される利用者数に的確に対応した輸送力の提供と、車両・乗務員リソースの効率的な使用とが両立するような鉄道輸送計画の作成手法の開発を目的とした。

本稿では、まず現在の鉄道輸送計画の構成と短期の需要に基づく輸送計画の例を示し、次に本研究が目標とする輸送計画の枠組みと、それに対する列車ダイヤと車両運用計画の作成手法および検証試験の結果を、さらに、乗務員運用計画の作成手法とその検証試験の結果を述べる。

* 輸送情報技術研究部 (運転システム)

** 輸送情報技術研究部

特集：輸送情報技術

2. 現在の鉄道輸送計画

2.1 基本的な構造

現在の輸送計画は図1に示すように、

- (1) ダイヤ改正時に作成される**基本輸送計画**
- (2) 波動的な需要を勘案して、基本輸送計画に季節列車、臨時列車などを加味して作成される日々の輸送計画**(実施輸送計画)**
- (3) 事故等によってダイヤに乱れが生じた時に、乱れをもとに戻すために、実施ダイヤに対して一連の変更が加えられた輸送計画**(運転整理)**

の3つからなる。基本輸送計画は、輸送実績の調査結果等のデータを用いて行なった需要予測の結果に基づいて作成される。実施輸送計画は、季節波動等を予測して、基本輸送計画に対して、運転する列車を加えるという方法で作成される。基本的な考え方としては、あくまでも基本輸送計画がベースにあり、実施輸送計画はそれに対する追加・変更という考え方にもとづいて業務が行なわれている。

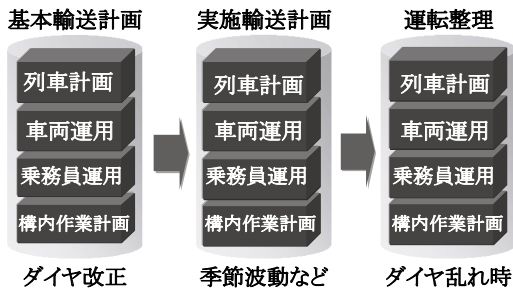


図1 現在の輸送計画の構造

2.2 メリットとデメリット

現在のこのような構造は、情報伝達と受領に起因する取り扱い誤りの防止を図り、運転事故の発生を防止するという点においては、輸送計画の追加変更部分のみを伝えればよいと、情報伝達量が少なく理にかなっていると言える。このことは利用者への周知という点においても同様である。また、毎日ほぼ同じ輸送計画が実施されるため、取り扱い誤りが発生する確率が低くなる、利用者が慣れることで利用しやすくなるといったメリットがある。

一方、この方式は、非常に硬直的であり、直近にならないと把握できない需要に対して十分対応できないため、冷夏などの天候不良、事件、感染症の流行などによって一時的に輸送需要が落ち込んでも、毎日同じ列車本数、車両数で運転を行なうため、リソースが有効利用されていない。逆に、イベントなどがあって多くの輸送需要が見込める場合でも、基本輸送計画に追加できる臨時列車の本数は限られており、そのため利用者にとって、混雑が増加する、指定券が入手困難になる等の不便が生

じる。

したがって、上記で述べたメリットを失なうことなく、かつ、デメリットを克服した新しい輸送計画の業務構造(ビジネスモデル)が求められる。

3. デマンド輸送計画

3.1 デマンド輸送計画の定義

鉄道利用者の要望(デマンド)は、乗降駅、乗降日時、座席指定の有無、座席位置といった、窓口で切符を買うときに指定する項目だけでなく、混雑度、始発駅(着席の可能性)、所要時間、待ち時間(運行頻度)、乗り換えの有無、安定性(遅れ頻度)といった、利用者の行動判断基準となる項目など多岐にわたる。本稿では、上記のうち、利用者の乗降駅と乗車日時の要望をデマンドとして捉え、それを対象となる鉄道路線・エリアにおける鉄道利用者全体について総合したデマンド全体に対して、的確に対応した輸送力を提供する輸送計画のことをデマンド輸送計画と呼ぶ。また、混雑度、所要時間、待ち時間、乗り換え回数などは、輸送計画に対する評価指標と位置づけて考慮することとする。

3.2 デマンド輸送計画の実施例

長期需要予測に基づいて策定される現在の輸送計画もデマンド輸送計画のひとつであると言えるが、直近のデマンドの変化に対応したデマンド輸送計画を行っている事業者は少ない。西武鉄道が行っている西武ドームの帰り客を輸送する、いわゆる野球輸送は、昔から行われているデマンド輸送計画のひとつと言える。これは、基本計画の休日ダイヤに臨時列車の予定時刻(以下、影スジと呼ぶ)を設定しておき、試合当日に球場最寄り駅に車両を待機させ、ゲーム終了時刻によって運転する臨時列車と車両・乗務員運用の変更パターンを決定する変更計画である。

この例ではデマンドが確定した時点で計画を変更するが、直近のデマンド推定に基づいて行う例としては、JR東海の新幹線の波動計画が挙げられる³⁾。これは2~4ヶ月の単位で日々の時間帯ごとの利用者数とそれに対して必要とされる列車本数を統計的手法を用いて推定し、影スジの中から運転する臨時列車を決め、更に、数週間前の指定席券の売れ行きを前年実績と比較することによって満席となる列車の予測を行い、これに基づいて臨時列車の増発を計画するというものである。

ラッシュ時の新幹線はビジネス利用客が多いため、このように時刻表に載らない臨時列車を増発しても当日の利用が見込まれるが、これをそのまま在来線特急に適用するわけにはいかない。これに対し、JR東海の在来線特急の波動輸送計画では、「増発」ではなく、予備の車両を

活用して列車1本の編成両数を増やす「増結」によって
 デマンドに対応する試行が行われている⁴⁾。

4. 列車計画・車両運用計画の作成手法

4.1 実現目標と仮定

デマンドは日々の乗車時間帯ごと、発着駅ごとの推定
 利用者数（以下ではこれをODと呼ぶ）として与えられ
 るものとする。高い精度でODが推定可能であると仮定
 したときに、上で紹介したようなデマンド輸送計画を更
 に発展させ、事業者の提供できる設備、車両、乗務員な
 どの限られたリソースを効率的に使用して、デマンドに
 可能な限り応じられる、現実的で理想的なデマンド輸送
 計画を実現することが本研究の目標である。その前提と
 して、現行の車両設備の条件を想定すべきかどうかは議
 論が分かれるところであるが、新しい輸送形態の創造と
 いう課題の性格上、制度等のソフト面での課題解決に時
 間がかかることを踏まえ、ここでは近未来における環境
 を想定する。具体的には、駅において車両の分割や併合
 を容易に行うことができるものとする。ただし車両の分
 割・併合は車両が列車として自走できる両数単位（以下、
 ユニットと呼ぶ）で行う。また、近未来と言えど駅線路
 は容易には変更できないので、分割・併合ができる駅は
 限定されるものとする。これらの条件下で、駅間で車両
 数を調整するという車両の効率的な運用方法を試みる。

なお、都市圏通勤輸送など、慢性的に輸送力が飽和し
 ている路線には、本研究が目指す輸送形態のニーズが無
 いと考え、輸送対象は、新幹線のような需要波動の比較
 的大きな都市間輸送を想定する。また、これに合せて、利
 用者全員を着席にて輸送することを前提とし、座席数を
 超える乗車はできないものとする。

4.2 提案する輸送形態

実施例で述べたように、基本計画では、あらかじめ毎
 日運行することを保証する定期列車ダイヤ（以下、定期
 スジと呼ぶ）の他に、団体需要や利用者増に応じて定期
 スジの合間に運行することが可能な影スジを同時に策定
 している（図2）。

本稿が提案する輸送形態の特徴は、列車の定時性の確
 保と利用者への案内の観点から、定期スジと影スジを事
 前に策定しておくという従来の基本計画の枠組みを踏襲
 しつつも、通年の平均的なデマンドに基づいて定期スジ
 を設定するのではなく、定期スジは案内上必要最小限の
 本数を設定し、その分だけ、影スジを多く設定すること
 である。このようにしておいて、日々の予想されるデマ
 ンドに応じて、影スジのひとつひとつを運行するか否か
 を1日単位で決定し、更に、ユニットの分割・併合が可
 能な駅間の単位で連結両数を決定する。その際、各車両

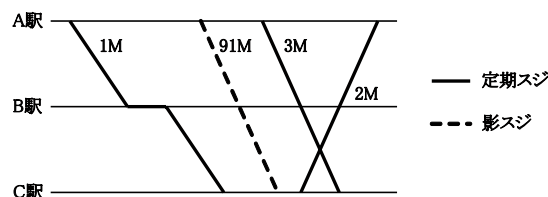


図2 定期スジと影スジの例

の仕業検査周期及び検査にかかる時間を考慮し、現実的
 な車両の運用も決定する。これらにより、繁忙期と閑散
 期、平日と休日といったことを意識することなく、日々
 のダイヤと車両運用をフレキシブルに決定することがで
 きる。

4.3 列車計画・車両運用計画の流れ

次に、提案する輸送形態を実現するための、列車計画
 および車両運用計画の流れを説明する。ある日（D）の
 列車計画（列車ダイヤ）と車両運用が策定され確定した
 次の日に、その翌日（D+1）と翌々日（D+2）の推定利
 用者デマンドをもとに、その2日間の列車ダイヤ設定と
 車両運用を後述のアルゴリズムにより求める。そしてそ
 のうち翌日（D+1）のダイヤについてのみ、アルゴリ
 ズムの結果を採用し確定する。

このような枠組みを採用する理由は二つある。一つは、
 翌々日の早朝時間帯のデマンドも考慮に入れることで、
 翌日の終電後の各駅・区所の滞泊車両両数が適切に決定さ
 れるということである。もう一つは、翌々日に仕業検査
 を行わなければならない車両について、確実に検査区ま
 での運用ルートを確認するためである。よって翌々日に
 検査を行う車両については、翌日と翌々日の2日分の仕
 業を採用する。これにより、翌日に検査を行う車両の運
 用はアルゴリズムで決定する対象から除外され、既に与
 えられているものとなる。アルゴリズムの全体の流れを
 図3に示す。なお、D日の計画を確定させる日は、関係
 箇所への周知等に係る時間を考慮し、現行のように2週
 間程度前（D-14）としてもよいし、将来的に情報イン
 フラの高度化によって計画から実施までの期間が短縮され

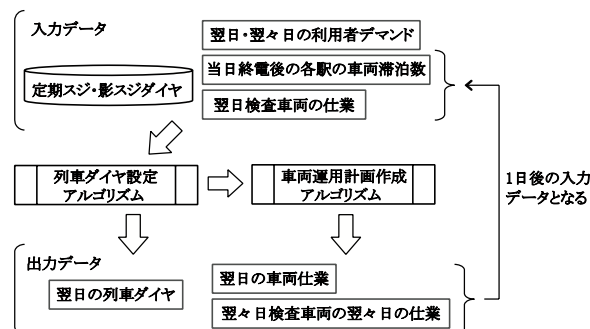


図3 列車ダイヤ・車両運用作成アルゴリズムの流れ

特集：輸送情報技術

ると仮定し、その前日 (D-1) としてもよいが、ここでは最も条件の厳しい後者を仮定する。

4.4 列車ダイヤ設定の定式化

上で述べた列車設定を行う問題を、条件をグラフ⁵⁾で表すことによりモデル化する。ノードはユニットの分割と併合が可能な駅、列車の発車、到着、車両検査、そして駅での列車の到着と発着の間におけるユニットの滞留からなる。アークはノードの間で車両が推移可能である場合に描く。例として図2の列車ダイヤにおいて、駅Aと駅Cでユニットの分割・併合が可能で、また駅Cには隣接して車両検査設備が存在すると仮定したときのグラフ(以下、列車設定グラフ)を図4に示す。走行アークは列車の発ノードと着ノードとを結ぶ、停車駅間の走行を表現するアークである。

デマンドに応じた列車設定とは、利用者が乗りたい列車とその利用区間に対応する走行アークに、適切な座席数分だけの車両を割り当てる問題ととらえることができる。各列車の各駅間における利用者数は、定期スジか影スジかに関係せず、利用者が最も早く目的地に到着する経路の中で乗り換え回数が最も少ない経路を希望するものとしてODより算出する。このようにして得られる、各列車の停車駅間の乗車希望人数を、対応する走行アークのデマンドと定義する。このようなモデル化された列車設定問題を、ネットワークフロー問題⁵⁾と呼ばれる形式に定式化する。詳細は割愛するが、定式化における目的関数および制約式は次のように構成する。

[目的関数]

$$\text{最小化： } P_1 \times (\text{利用者の総待ち時間}) + P_2 \times (\text{総空席数}) + P_3 \times (\text{総列車本数}) \quad (1)$$

(ただし、 P_1, P_2, P_3 は各項の重みを表す定数)

[制約条件]

- ・ 走行アークに充当するユニット数の最大、最小値
- ・ 各ノードにおける流量保存則
- ・ 各駅の最大留置可能ユニット数
- ・ 各車両検査枠における同時検査可能ユニット数

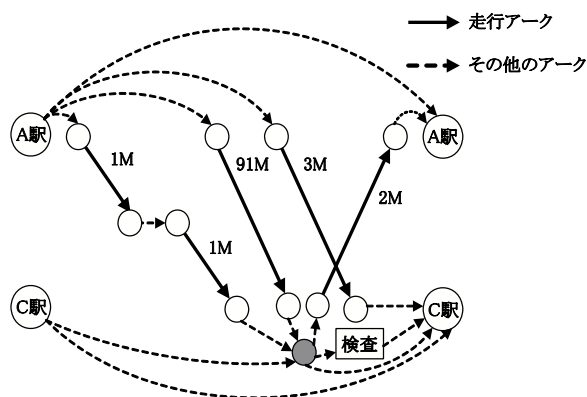


図4 図2のダイヤに対する列車設定グラフ

- ・ 各走行アークに充当するユニット数の整数制約
 - ・ 各列車の設定有無を判定するための不等式制約
- これを汎用の数理計画パッケージを用いて解くことにより、デマンドとリソース制約を考慮した列車ダイヤ設定が得られる。

4.5 車両運用作成のモデルとアルゴリズム

上記の列車設定問題を解いて得られた列車ダイヤに対し、次に、個々のユニットの車両運用を決定する方法について述べる。ここでもグラフを用いてモデル化するが、上記とは異なる方法による。説明上、図2と異なるダイヤを用いるが、例えば、列車設定モデルを解いて図5の列車ダイヤが得られた場合について説明する。5MはA駅～C駅間を2本のユニットを連結して運行し、C駅で分割してC駅～D駅間は1ユニットで運行されることを示している。8MはD～C駅間を2ユニットで運行される。各列車の各ユニットの運行区間をタスクと呼び、駅、タスク及び車両検査をノードとし、ユニットが推移可能なノード同士にアークを描くことで、グラフを構成する(図6)。分割・併合や編成位置の逆転を伴うアークに対して、同アークが使用された場合のコストを与える。列車設定の問題と同様にこれをネットワークフロー問題として定式化して解く。定式化における決定変数は、各アークに割り当てられるユニット数であり、問題を解いて正の値が付与された変数アークをたどることで、個々のユニットの車両運用を決定することができる。目的関数と制約条件は次のように構成する。

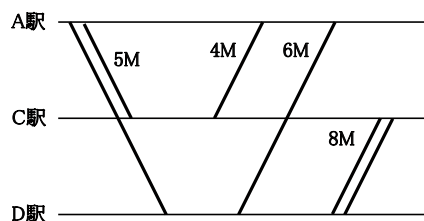


図5 列車ダイヤ設定の例

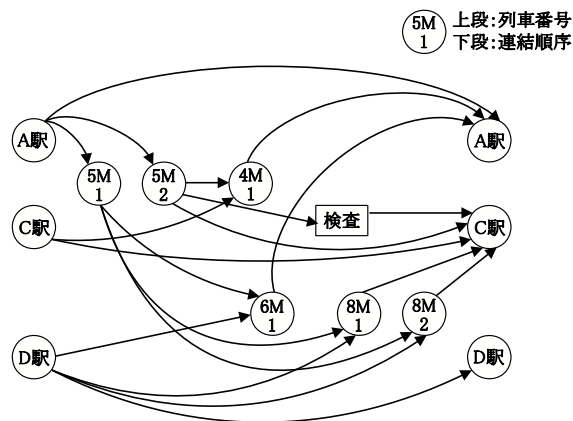


図6 図5のダイヤから構成したグラフ

[目的関数]

$$\text{最小化} \sum_{\text{各アーク}:e} (e\text{のコスト}) \times (e\text{の流量}) \quad (2)$$

[制約条件]

- ・ 各タスクに入るアークの流量の合計=1
- ・ 各ノードにおける流量保存則
- ・ 各検査枠ノードは、列車設定で求めた受け入れ数の検査対象ユニットから流れこむ
- ・ 各検査非対称ユニットからの流れは、車両検査枠ノードには流れこまない
- ・ 各アークの流量は整数（実際は 0 or 1）

4.6 列車ダイヤ・車両運用作成の評価試験

実在する長距離路線とその路線のODをもとに作成した試験データを用いて、デマンドに応じた列車設定・車両運用案を作成した。作成結果の評価にあたっては、鉄道総研が開発した列車運行・旅客流動シミュレータにより評価を行った。このシミュレーションソフトは、輸送計画とODに相当する利用者の発生確率を与え、列車の運行と利用者一人一人の発駅から着駅までの行動を計算し、各利用者が感じる満足度や不効用を数値化することによって輸送計画を評価するものである。不効用値とは文献6)にあるように、シミュレータ上の利用者の乗車時間・ホーム待ち時間・乗り換えの負担の重み付き線形和をとったものである。評価結果を表1に示す。試験用に作成したデータを用いたため、比較対象とすべき輸送計画の選定は難しいが、ここではデマンドを一切考慮せず、表1の下部の説明にあるような固定ダイヤで毎日運行する場合と比較した。繁忙期は利用者増に伴って列車本数が増え、したがって待ち時間、不効用値が減少し、満足度が向上している。コストと利用者数のバランスによって乗車率を維持するように働いたため、閑散期は利用者減に伴って列車本数が減少し、待ち時間が増加、よって利用者観点では固定ダイヤに若干劣るものの、固

定ダイヤに比べて大幅なコスト削減となっている。これは現行の輸送形態では実現し得ない効果である。また、途中駅でユニットの分割・併合ができることによって、繁忙期においても運用コストが削減されていることがわかる。以上の考察から、デマンドに応じて適切な輸送計画案が得られたと言える。

5. 乗務員運用計画の作成手法

5.1 乗務員運用方式

これまでに述べた列車計画を実現する上で、乗務員運用計画の効率化のためには、ダイヤに応じて要員数を調整する必要があるが、一方で、乗務員の労働環境を保護するため、現行と同様に事前に勤務表を作成する必要がある。この問題に対し、図7に示すような業務フローによる乗務員運用方式を提案する。ここで、乗務員シフトとは、“8～9時出勤18～19時退勤”のように勤務を出退勤時間帯によって分けられたものであり、乗務員シフトスケジューリングではそれらの要員数を決め、その結果に基づいて勤務表を作成する。乗務員の行路は列車ダイヤが確定した後に、先に決定した各乗務員シフトの要員数に合うように作成するが、直近のデマンドの変化な

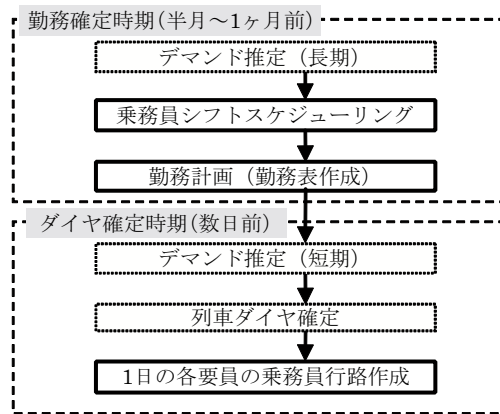


図7 提案する乗務員運用方式

表1 デマンドに応じた列車設定案の評価結果

OD 規模	列車ダイヤ	利用者視点				事業者視点		
		平均待ち時間(分)	列車キロ(km)	平均不効用値(※1)	平均満足度(※2)	列車本数(本)	平均乗車率(%)	総車両キロ(km)(※3)
繁忙期	固定	15	146,000	7581	3.1	302	63	407,000
	デマンド	13	178,000	7372	3.2	360	73	308,000
閑散期	固定	13	146,000	7363	3.2	302	52	407,000
	デマンド	16	140,000	7700	3.1	291	72	258,000

固定ダイヤ：定期列車250本+毎日運転の予定臨時列車52本を運行、ユニット数も固定。

デマンドダイヤ：定期列車に加えて臨時列車の候補188本の中から、デマンドに応じて運行する臨時列車、ユニット数を設定。

※1 不効用値の数値は小さいほうが良い。 ※2 満足度の点数は7点が最高。 ※3 1ユニットを1両として計算した。

特集：輸送情報技術

どによって要員数を増やさなければ運用できない場合は、現行と同様に予備乗務員を充てるなどして対処する。

5.2 乗務員シフトスケジューリング手法

乗務員シフトスケジューリングの抛り所となるのは、その時点でデマンド推定結果のみである。そこで、推定した時間帯別ODから各乗務員シフトの要員数を決定する乗務員シフトスケジューリングの方法を述べる。筆者らは次の2段階により構成される手法を開発した。

第1段階：ODデータから列車ダイヤ、車両運用、乗務員行路の順に作成し、OD（入力）に対する各乗務員シフトの要員数（出力）を求める。ただし、車両運用と乗務員行路は翌日の列車ダイヤの影響を受けるため、1日分の要員数を決定するのに2日分のODが必要となる。

第2段階：上記の入力と出力のペアを大量に用意し、これを推定用の標本として、回帰分析によりODデータ N から乗務員シフトの要員数 y を推定する推定式を求める。ただし、回帰分析では乗務員の不足が発生するリスクを考慮するため、制約条件を伴う回帰分析を行う必要がある。

回帰は次のような線形回帰とする。

$$y = \alpha_0 + \sum_{i \in N} \alpha_i x_i \quad (3)$$

$\alpha_0, \alpha_i (i \in N)$ は推定パラメータであり、この問題における決定変数である。 x_i は時間帯別発着駅別の個々の利用者数を表す。リスク回避を目的とした制約条件付き回帰分析に関しては、オークションの価格設定に関する先行研究⁶⁾を参考に、混合整数計画問題として定式化した。標本 k の要員数を y_k として、目的関数は回帰誤差成分である絶対偏差の合計 $d = \sum_k |y_k - y|$ と乗務員の不足人数の合計 $p = \sum_k \max(0, y_k - y)$ にリスク回避パラメータ λ ($0 \leq \lambda \leq 1$) を乗じた値の和とした。

5.3 乗務員運用計画作成の評価試験

4.6節と同じ試験用データから、50件のサンプルデータを用いて各運転区所の延べ18個の乗務員シフトの推定式の算出を行い、表1で使用した閑散期と繁忙期のODから推定式により各期間の勤務計画を行った。次に、勤務計画で求めた要員数を下回らないことを条件として乗務員行路を求め、その要員数との比較を行った。なお、勤務計画の作成には、文献8)のアルゴリズムにおいて、乗務員シフトの要員数との差の総和を最小化するように目的関数を変更して用いた。比較実験の結果を表2に示す。

乗務員シフトごとにみると高い的中率が得られたが、各乗務員シフトにおいて要員の余りが出ないように条件

表2 乗務員運用計画のシミュレーション結果

OD規模	勤務計画時の区所平均要員数(人)	行路作成時の区所平均要員数(人)	平均不足数(人)	要員数的中率(%)
閑散期	103.14	105.00	1.86	93
繁忙期	129.55	131.00	1.45	94

を設定したため、区所全体でみると慢性的に乗務員が不足する結果となった。この結果から、今回の実験では常時2名の予備乗務員を行路確定までの間準備する必要があることがわかった。シフト間の要員数の調整を可能にして、要員数の余りを認めるように改良すれば、予備乗務員を更に減らすことが可能であると思われる。ただしその場合、シフト全体では要員数の余りが生じないように、新たな条件を加える必要がある。

6. おわりに

精密なデマンド推定に基づき、日別の運転する臨時列車と車両数を柔軟に設定することにより、利用者の利便性の向上と車両・乗務員のリソースの効率的運用が可能で新しい輸送形態を提案し、それを実現する列車、車両運用、乗務員運用の各計画手法と、試験データによる評価実験の結果を報告した。開発にあたっては様々な仮定を置いたが、今後はそのバリエーションについても検討し、実現の可能性を高めていく所存である。

文 献

- 1) 家田仁：岐路に立つ日本の鉄道システム—今後の展開に向けた課題認識—, JREA, Vol.50, No.10, 2007
- 2) 杉山陽一：改札通過データを用いた旅客流動のリアルタイム推定手法., 鉄道総研報告, Vol.23, No.8, pp.11-16, 2009
- 3) 小島泰昌, 佐藤敬範：東海道新幹線の知られざる特徴～365日の輸送力チューニング～, 運転協会誌, Vol.46, No.3, pp.9-13, 2006
- 4) 杉本幸俊：今, 特急“しなの”で起きている変化など～JR東海における在来線波動輸送の充実～, 運転協会誌, Vol.50, No.4, pp.1-5, 2008
- 5) 藤重 悟：グラフ・ネットワーク・組合せ論. 共立出版, 2002
- 6) 村越暁子：列車ダイヤに対する顧客満足度の予測, 鉄道総研報告, Vol.22, No7, pp.49-54, 2008
- 7) 高野祐一：最小絶対値回帰分析を利用した中古車落札金額予測モデルの構築. オペレーションズ・リサーチ: Vol.54, No.2, pp.81-90, 2009
- 8) 加藤藤ら：乗務員基地最適配置決定アルゴリズム, 日本オペレーションズ・リサーチ学会2009年秋季研究発表会アブストラクト集, pp.239-240, 2009