

鉄道におけるデマンド指向スケジューリング実現のための課題

富井規雄，小野耕司，後藤浩一，福村直登，土屋隆司

(財)鉄道総合技術研究所

鉄道においては、季節や曜日による小規模な変更はあるものの、総じて固定的なスケジュールに基づいた輸送サービスが提供されてきた。この方式には、運行計画の作成や伝達に要する労力が最小限で済むこと、日々ほとんど同じダイヤで列車が運行されるため、列車の時刻等が覚えやすいこと等、事業者・利用者双方にメリットがある。しかしながら、この方式は、利用者のデマンドに的確に応えた輸送計画を提供することができないため、車両・乗務員等のリソースの効率的な使用、利用者の満足度の向上の両面において問題がある。本報告では、いわゆる IT を活用して、利用者のデマンドを反映した効率的で利便性の高い輸送を実現するために必要な技術開発項目に関する検討を行なう。

Issues to Realize Demand-oriented Scheduling in Railways

TOMII Norio, FUKUMURA Naoto, ONO Koji, GOTO Kouichi, TSUCHIYA Ryuuji

Railway Technical Research Institute

In railways, transportation service based on fixed train schedules has been traditionally provided. This approach has a couple of merits both for railway companies and users such as time and labors to make and transmit transportation schedules can be minimized and it is easy to memorize the train schedules. This approach, however, has defects as well. Some of them are; it is not possible to effectively use the resources such as crews and rolling stock, and it is quite difficult to meet the customers' satisfaction, since schedules in which customers' demands are considered are not always provided. In this paper, we examine the issues to realize an efficient and effective railway transportation reflecting customers' demands by utilizing IT.

1. はじめに

鉄道総研では、情報通信技術を全面的に活用した新しい鉄道システムとして、サイバーレール(CyberRail)を提案している。サイバーレールの基本コンセプトは、実際の旅客の移動を司る実空間と、それらの旅客や列車等に関する情報が流通するサイバー空間とをより密接かつ円滑に結びつけ、より利便性の高いサービスを旅客に対して提供し、より安全、効率的で、競争力の高い鉄道運営を実現するというものである[1][2]。

サイバーレールの重要な構成要素として、「輸送計画立案・運転整理の高度化」がある。本報告では、輸送計画立案・運転整理の高度化のためのひとつの手法として、利用者の移動に対するデマンドに的確に応えた効率のよい輸送の提供について、そのコンセプトの提案とそれを実現するための研究開発要素についての検討を行なう。

2. 現状の鉄道の輸送計画とその問題点

2.1 現状の鉄道の輸送計画

(1) 鉄道の輸送計画の分類

鉄道の輸送計画は、列車計画、車両運用計画、乗務員運用計画、構内作業計画からなる[3][4]。このうち、列車計画は、列車の運転区間や各駅の番線、時刻を定めたもの、車両運用計画は、列車に対する車両の使用順序と検査・清掃の計画を定めたもの、乗務員運用計画は、運転士・車掌の勤務の計画を定めたもの、構内入換計画は、駅・車両基地構内における車両の移動と、車両に対する検査、清掃、分割、併合等の作業のスケジュールを定めたものを言う。

鉄道の輸送を実施可能とするためには、単に各列車の運転時刻を定めるだけでなく、このような多種多様なスケジュールを作成することが必要になる。

(2) 現在の輸送計画の構造

現在の輸送計画の基本的な構造(図1)は、

- (a) ダイヤ改正時に作成される基本輸送計画（以下、基本計画と呼ぶ）
- (b) 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。以下、実施計画と呼ぶ）
- (c) 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、輸送実績調査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、臨時列車を加えて作成される。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2）。

2.2 現在の鉄道の輸送計画の構造の問題点

図1, 2に示す輸送計画業務の構造は、ITという言葉すらなかった時代から脈々と受け継がれて来たものである。

この方式には、次のような利点があると考えられる。

一度作成した基本計画は、長期間にわたって使用されるため、頻りに輸送計画を作成する方式と比較して、輸送計画を作るための作業量が少なく済む（鉄道の輸送計画には、コンピュータが使用されているとは言っても、実質は、人間の手作業主体で作られており、その作成には、多大な労力を必要としているのが実態である[3]）。

基本計画の作成にある程度の時間がかげられること、また、長期間にわたってその計画が実施されるため、車両運用効率、乗務員運用効率の面ですぐれた計画をたてることが可能である。

実質的には、日々のダイヤの変更がほとんどないため、利用者にとって、ダイヤが覚え

やすい。

どの程度の輸送サービスが提供されるかが事前に明確にされているため、利用者にとって安心感がある（実際、輸送計画は、鉄道事業法によって、事前に国土交通省への届け出が義務付けられているが、その背景には、このような考え方もあるものと思われる）。

一方、この方式は、非常に硬直的であり、波動的な需要に対して十分対応できないというデメリットがある。主なものを次にあげる。

多客期や、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、通常と同じ輸送計画であるため、利用者、事業者双方にとってデメリットが生じる。利用者にとっては、混雑が増加する、指定券が入手

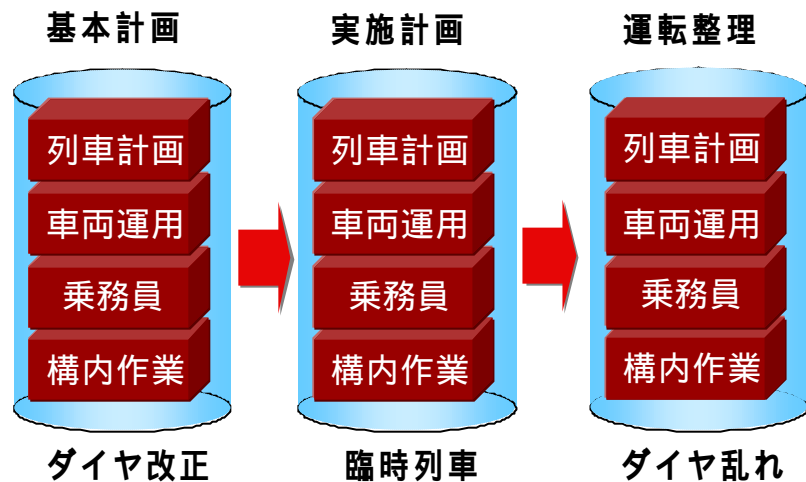


図1: 鉄道輸送計画の構造

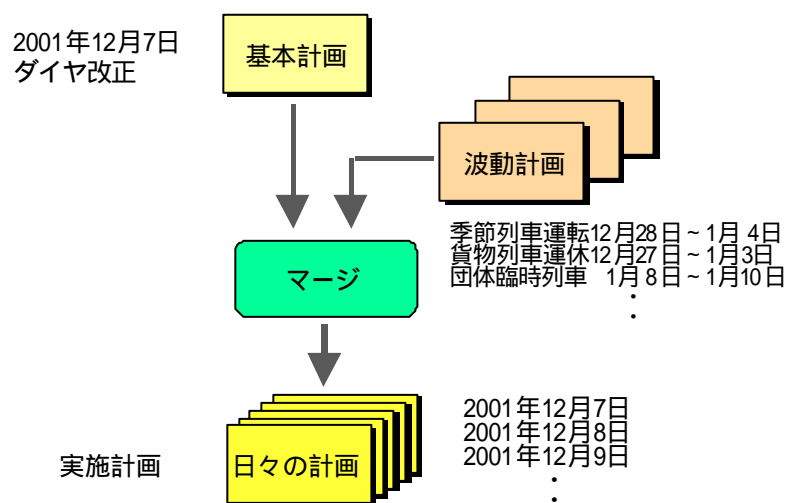


図2: 実施計画の成立

困難になる等のデメリットが生じ、事業者にとっては、本来得られたはずの収入を逸してしまうというデメリットが生じている。

多くの輸送需要が見込めない日であっても、それ以外の時期と同様の列車本数、車両数で運転を行なうため、車両・乗務員等のリソースに無駄が生じている。JR各社においては、列車の運転に直接・間接に関係する経費は、総経費の半分以上をしめている（[5]による）ため、無駄な輸送計画は、多大な浪費となっている。

2.3 今後の鉄道輸送

図1, 2の方式が長年にわたって採用されている背景には、次のような事情があると考えられる。

輸送計画作成に要する労力を最小限にする。

日々の輸送計画を極力同じ内容として、取り扱い誤りに起因する運転事故の発生を防止する。

輸送計画の遂行に必要な情報伝達量を最小限にして、情報伝達・受領に起因する誤りを未然に防ぎ、運転事故の発生を防止する（輸送計画は、駅、乗務員基地、車両基地等の輸送を直接担当する箇所、および、電力、信号、保線等の保守を担当する箇所に伝達する必要がある。図2の構造を採用すれば、日々伝達するのは、基本計画に対する変更部分だけで済む）。

利用者への伝達が、駅頭に掲示する時刻表、印刷して発行される時刻表等の固定的な手段で対応できる。

しかしながら、いわゆるITを活用すれば、これらの問題の解決の糸口が得られると考えられる。

については、コンピュータ主体の輸送計画自動作成システムを開発する。については、輸送計画の配信と配信された輸送計画情報から自動的に必要な帳票類等を作成するシステムを開発する（この種のシステムは、既に、多くのJR会社で実用的に使用されている）。については、インターネット、携帯電話等によって、個々の利用者に直接、輸送計画に関する情報を配信する。

等の方策をとることが可能になってきており、案内・情報提供を含めて、今まで以上に利便性の高い輸送サービスを提供できる可能性が出てきたと考えられる。

3. デマンド輸送とは

3.1 デマンド輸送の定義

前節の議論から、鉄道に対する需要に的確に応じた輸送を提供することは、顧客満足度の向上、経費の節減の両面から、大きな効果があると考えられる。本研究では、鉄道を用いた利用者の移動に関する要望を「デマンド」と呼ぶこととする。

デマンドの構成要素は、本来、多岐にわたると考え

られるが、そのうち、輸送計画で対応できる項目としては、次があると考えられる。

出発地（必ずしも「駅」とは限らない）

目的地（ " " ）

日時

- 出発時刻 and/or 到着時刻

所要時間

- 乗車時間、乗り換え時間、待ち時間

快適性

- 混雑度、着席の可能性、乗り換えの便利さ（乗り換えに要する労力）、車両の種別

そして、これらの利用者のデマンドを反映した効率的で利便性の高い輸送のことを、「デマンド輸送」と呼ぶこととする。

この定義は、輸送計画にデマンドが反映されていることのみを要求しており、輸送計画の作成や変更のタイミングについては規定しない。

3.2 現状のデマンド輸送

現状の鉄道輸送においても、利用者のデマンドが反映されていないわけではない。ダイヤ改正時に作成される輸送計画（基本輸送計画）や、季節波動等の波動需要に対して作成される輸送計画（波動輸送計画）は、いずれも、デマンドの予測結果に基づいて作成されている。しかし、現状では、デマンドの把握や予測、反映が、的確かつ正確に行なわれているとは言いがたいという点で問題がある。

そのような中で、デマンドに着実に対応している場合もある。例えば、コンサート等のイベントの観客の輸送や、野球場での野球終了時の観客輸送等である。これらについては、開催日、時刻、必要な輸送人員を明確にすることが、比較的容易である（ただし、必要な輸送人員の予測は、競合交通機関が存在する場合など、場合によっては、困難なこともある）。よって、これらの情報をもとに、あらかじめ、臨時列車の運転とその運転に必要なリソースを準備しておくという方式で、デマンド輸送を行なっている。

野球輸送としては、西武球場、甲子園球場の輸送がよく知られている。これは、野球終了時に集中して帰宅する観客を円滑に輸送することを目的としている。試合の終了時刻を事前に知ることができないことが問題になるため、終了時刻にあわせて、臨時列車の運転パターンをあらかじめ何種類か計画しておき、実際の終了時刻にあわせて、採用する運転パターンを決定、通知するという方式が用いられている[6][7]。

3.3 デマンド輸送のイメージ

前述のように、本研究では、デマンド輸送の範囲をある程度広義に解釈する。従って、その中には、次の

ような輸送形態を包含すると考える。

[イメージ1] 輸送計画業務の構造、および、ダイヤ改正の頻度は、現行と同様とする。ただし、基本計画の設定や、臨時列車の設定にあたっては、利用者のデマンドを十分反映する。

[イメージ2] 利用者のデマンドを反映して、輸送計画の改定（現行のダイヤ改正にほぼ相当）を、現行よりも頻繁に行なう。現行の休日ダイヤを、より拡張し、季節ごと、曜日ごとにする等が考えられる。イベント対応ダイヤなどもこの範疇にはいる。

[イメージ3] あらかじめ、ある日のダイヤを公知しておき、利用者のデマンドに応じて、列車の増発・増結を行なう（列車の時刻は変更しない）。

[イメージ4] あらかじめ、ある日のダイヤを公知しておくが、利用者のデマンドに応じて、公知したダイヤをも含めて、時刻、列車本数、両数等の変更を行なう。

[イメージ5] ダイヤは、特に公知せず、利用者のデマンドに応じて、輸送計画を設定する。

[イメージ6] ダイヤを公知したかどうかに関わらず、当日の利用者のデマンドに応じて、臨機応変に輸送計画を変更する。

これらのイメージそれぞれにおいても、細部の扱いによって、さまざまなバリエーションが存在する。例えば、イメージ4に近いものとして、次のようなシナリオが考えられる。

1: 列車の設定

東京 9:00 発 - 新大阪 11:30 着の列車を設定、告示。この列車は、設定保証列車と称し、その後時刻が変更されることはない。設定時点での編成両数は、8両を予定。

利用者からの予約状況に応じて、編成両数の増加を随時（例えば、4両単位で2度）決定する。

編成両数の限界を超えた（例えば、東海道・山陽新幹線の場合、16両）場合、東京 9:04 発の列車を追加設定。

9:04 発も満席になった場合、8:56 発または、9:08 発をさらに設定する。

2: 予約と乗車方法

東京 9:00 発に乗車し、新大阪で 11:40 発の和歌山行きに乗り継ぐことを指定して切符を購入する。この利用者に対しては優先的に 9:00 発の列車の座席を割り当てる。ただし、9:00 発があふれてしまった場合は、8:56 発に振り替えることもあり得る（乗継は保証したまま）。その可否は、旅客の要望で決定する。

東京 9:00 発で新大阪までの切符を購入する旅客については、振り替えの可否を指定してもらおう。この

指定によって運賃が変動する（新大阪までの旅客は、よほどのことがなければ 9:00 発にこだわる必要はないので、割引によって前後の追加設定列車に誘導できるはずと考える）。

出発の一定日数前（または一定時間前）に、携帯機器等を通じて、座席を確保した列車を連絡する。

これからわかるように、デマンド輸送を実現するためには、列車の設定タイミング、公知する内容、乗り継ぎ列車との関係等、細部にわたって検討を行なう必要がある。これらを検討することは、それなりに興味深い。ただし、その際には、

- ・線区ごとの性格（都市間輸送か都市圏輸送か。新幹線か在来線か等）や事情を抜きにした議論ではあまり意味がない。
- ・予約の形態にまで踏み込む必要があること。例えば、現在の「座席」指定の予約ではなく、時間帯を指定した予約[8]とするかとか、あるいは、航空機のように、オーバブッキングの制度を取り入れるかどうか等も検討する必要がある。
- ・運転士等の勤務形態（例えば、現状のような担当列車を指定した勤務ではなく、勤務時間を指定した勤務とするなど）など、技術的に決定できない項目にも踏み込まざるを得ない。
- ・それらの事情を加味した上で、事業者が経営判断として決定すべきことが多々ある。

と考えられることから、本研究では、これに関しては、これ以上の議論は行なわない。すなわち、本研究で検討するのは、コア部分である「利用者のデマンドを反映した効率的で利便性の高い輸送計画」の実現方式であって、それをどのように運用するかについては、線区の特情、事業者の意向、利用者の意識等に応じて、その都度決定されることを考え、その際の個別の議論には、立ち入らないこととする。

4. デマンド輸送実現のための課題

4.1 基本的考え方

前節までの議論からわかるように、デマンド輸送を実現するためには、

デマンドの予測

デマンドを反映し、車両・乗務員等のリソースの制約を考慮したスケジューリングアルゴリズム
利用者への案内技術

の3つが必要である。本節では、それぞれに対する研究開発項目について検討を行なう。

4.2 デマンドの予測

(1) 都市間輸送に対するデマンド予測

デマンドの予測は、既に設定され公知されている列車に対する予約情報を使用する / できる場合と、既に

設定・公知されている列車に対する予約情報を使用しない/できない場合の2つのケースが存在する。例えば3.3のイメージ3やイメージ4を実施するには、最終的なデマンドを予測するために、既に設定・公知されている列車に対する予約の推移に関する情報を使用することができる。一方、3.3のイメージ5を実現するためには、その時点で設定されている列車に対する予約情報は、用いることはできない。

既に設定・公知された列車への予約情報を用いて、ある区間・時間帯に対するデマンドを予測する研究は、過去においても行なわれている[9][10]。

文献[9]は、座席予約システム(MARS)に蓄積された新幹線の販売実績データをもとに、予約プロセスを確率微分方程式で表現し、発車2週間前までのデータを用いて、静岡～浜松間「ひかり」断面輸送量(上り及び下り)の予測を行なおうとしたものである。

文献[10]は、時季、曜日、時間帯等を考慮したクラスター分析と、重回帰とを組合わせて、予約売上情報から最終売上を予測しようとしたものである。

都市間輸送のデマンド予測に関する現状の課題と今後必要となる研究開発項目としては、次がある。

- ・列車個別の予約プロセスの分析とモデル化の検討による列車単位の予測精度の向上

列車別および乗車区間に、季節や曜日、時間帯による差異・特徴を分析し予測モデル化の検討を実施する。また予測時点と予測精度の関係をも分析し、実用化上の問題点等を明らかにする。

- ・自由席客の利用実態分析と予測モデル化

本来の列車需要は列車全体の乗客数が対象であるが、これまでの研究では指定席客のみの実態分析にとどまっている。「ビジネス客の平日の新幹線利用は、朝は指定席で帰りは自由席が多い」という意見があるがその真偽は確認されていない。列車全体の需要予測モデルを構築する上で自由席客の実態の把握と分析は欠くことのできない重要な課題である。出改札データの収集またはアンケート調査の実施等によって、自由席客の利用実態を把握し、指定席客数との関連性を明らかにするとともに、列車別予測方式への利用方を検討する必要がある。

- ・満席時の近時間帯列車への転移現象の解明

繁忙期には座席発売後早期に満席になる列車が出現し、その列車の近時間帯列車の予約が急増する現象が見られる。この転移現象の解明を行ない、予測精度を向上させる必要がある。

- ・列車単位分析と時間帯集約分析

名古屋断面流動量には東京～大阪間客と東京～大阪以遠(岡山、広島、博多など)客が混在している。列車別予測を行なうには、これらの客を分離して捉える分析が必要である。すなわち、東京～大阪

間には多数の新幹線が運転されており、利用客にとっては特定の列車である必然性は少ない。よって、弾力的列車設定(需要予測に基づいて指定券発売開始後に臨時列車を増発する)の可能性を考慮すると、時間帯集約での予測モデルが必要となる。一方、東京～大阪以遠間は1時間に1本程度であるため、弾力的な列車設定は困難である。よって、この区間については、列車単位及び乗車区間別の分析が必要であると考えられる。

- ・利用実績データの利用方の検討

予約データに利用実績データを補足することにより推定精度を向上させることを目指す。例えば、一年前の実績値や1ヶ月前、1週間前等の利用実績値との関係性を分析し、予測モデルへの利用方を検討する。

さらに、将来的な課題としては、次がある。

予測モデルの評価

空席案内データの活用

予測に誤差はつきものである。予測誤差の大きさの評価も重要ではあるが予測モデル作成の真の目的はより効率的な列車ダイヤの設定にある。予測値をもとに、ある評価基準で列車の増発の判断や車両の増結の判断がなされ、最適ダイヤが決定される。従って、予測モデルの良否の最終評価はその最適ダイヤの評価(現行のダイヤと比較しての効率性評価になる)で行なう必要がある。

また、最近では、インターネットを介して空席案内情報の検索を行なっている利用者が少なからず存在する。座席予約行為に至ればMARS予約データとして認識され予測モデル用データの一部になるが、空席案内の確認のみで予約行為に至らない人についての情報は今のところ利用されていないようである。このような空席案内検索情報が今後入手でき分析可能となれば、このデータの列車需要予測への利用可能性の検討も興味深い課題であると考えられる。

(2) 大都市圏通勤線区におけるデータ

(a) デマンド予測に用いることのできるデータ

近年、自動改札やICカード等の急速な普及にとともに、旅客の移動に関するデータの取得が従来よりも容易に行なえるようになった。個々の旅客の移動に関するデータは、どの時点のものを対象とするかで、次の3種に分けることができる。

A: 鉄道を利用し終わった時点のデータ

B: 鉄道を利用している時点のデータ

C: これから鉄道を利用しようという計画あるいは願望段階のデータ

(b) 自動改札機から取得できるデータ

Aタイプのデータとしては、自動改札機で収集され

るデータがある。ただし、このデータには、個別の旅客を区別するデータではなく、券種（定期券、普通乗車券、SFカード等）や OD 毎にまとめたカウントデータの形で集計されており、具体的な個々の旅客の行動を抽出することはできないことや、データの集計がリアルタイムではなく、かなり後の時点でないと利用できないこと、および、利用法がまだ十分確立されていないこともあり、自動的にデマンドを解析するシステムは現時点では存在しない等の課題がある。

しかし、全駅、全通路の自動改札化を実施している鉄道会社もあり、そのような環境では利用者の OD を集約して、全体の動きを把握することができる。

また、最近、非接触 IC カードの導入という重要な変化があった[11]。JR 東日本の Suica に代表される非接触 IC カードシステムにおいては、その利用履歴をすべて保存しておくことになっている。この個人毎の実績データを用いることによって、従来の自動改札機でのデータに比べて、より精度の高い情報を得ることが期待される。すでに JR 東日本では数百万人単位の IC カード利用者があり、今後もその比率は高まって行くものと予想される。IC カード利用者が大きな割合を占めるようになれば、この実績データから事後の分析に十分なデータが得られる可能性がある。

これに関しては、今後は、データマイニング手法の適用方法等の研究が重要であると考えている。

B タイプのデータに関しては、自動改札機等において、データの収集がほぼリアルタイムで行なわれるようになれば、技術的には旅客が入場側の改札機を通過した後、それほど時間遅れなく（まだ降車駅に着く前に）、その情報を必要な箇所に送信することが可能と考えられ、B タイプのデータの収集ができる可能性もある。ただし、事前に区間を設定しないプリペイドやポストペイ方式の支払い方式では、旅客の目的地についての情報が十分には得られないという問題がある。

ただし、C タイプの出発前のデータについては、自動改札機で収集することはできない。

(c) 携帯電話等の携帯情報機器の利用

携帯情報機器の利用はデマンド情報の収集にも役立てられると考える。例えば、旅客の位置情報を鉄道システムが連続的に把握することができれば、個々の旅客の移動軌跡情報として、利用者のデマンドの分析に利用できる。ただしこれは利用者のプライバシーに関わることであり、利用者にとっての何らかの利点が必要であろう。例えば、鉄道総研が提唱しているサイバーレールの中に位置付け、利用者がみずからの位置を知らせる代償として何らかのメリットを享受するという方策が必要であると考えられる。

なお、すでにその傾向が見えるように、将来は携帯情報機器が IC カード等の支払い手段と一体化するこ

とも想定され、IC カードと携帯情報機器を統合した形で、デマンド情報を収集することも考えられる。

また、近年、多く用いられている経路案内サービスデータからデマンドを推定することも考えられる。現時点では、そのような利用者の比率が低いことや、検索実績と発券との連動性があいまいであること等の問題があるため、直ちにそれからデマンドを推定することには無理がある。しかし、移動計画の作成から実際の移動局面での情報支援までの一貫性の実現を目指しているサイバーレールにおいては、きわめて興味深い課題であると考えられる。

(3) 大都市圏通勤線区におけるデマンド予測

大都市圏の通勤線区におけるデマンド予測を実現するために、将来的に実施すべき事項としては、次があると考えている。

・時系列的データ分析

過去の実績データを基に将来日の予測を行なうモデルを構築するため、季節、曜日、時間帯別に断面輸送量や特定区間の輸送量を分析する。

・他要因との関連性分析

前項で説明できない変動要因について原因の究明を目指し、社会的要因、経済的要因、他交通機関要因等の変動との関連性を分析する。

・当日内データの関連性分析

例えば、朝の実績データから当日夕方の乗車人員が推定できないかという観点からの分析である。期待値からのズレを早期に把握・分析し、当日の弾力的な列車計画に反映させる可能性を検討する。

・予測モデルの検討・構築

上で述べた各種のデータ分析に基づいて予測モデル構築を行い、精度や問題点等を検討・整理する。あわせてダイヤ計画への利用上の課題をも整理する。予測モデルとしては過去の乗車実績データや他の要因をもとに将来日の予測を行なうモデルと、当日内での予測を行なうモデルの 2通りが考えられる。

4.3 リソース制約を考慮したスケジューリングアルゴリズム

(1) 現状のスケジューリング業務

現在、鉄道の輸送計画作成作業はすべて人手で行なわれている。近年、システム化が進められてはいるが、それは紙とペンを使った作業形態からマンマシン系の作業形態に移行しただけで、計画の中身自体は、従来通り業務別担当者のノウハウをベースに作成しているため、輸送計画全体を完成させるまでには月オダの時間を要している。

しかし、デマンド輸送を実現するためには、計画作成に要する時間を現行よりも飛躍的に短縮する必要があり、そのためには、現行の担当者のノウハウに依存

した計画作成から、コンピュータと各種計画作成技法を用いた計画案の自動作成へと、作業形態も変革しなければならない。

(2) 鉄道のスケジューリング業務の難しさ

航空機業界においては、使用機材決定問題¹、使用順序決定問題²や、乗務順序決定問題³、勤務計画決定問題⁴等に対するアルゴリズムの研究が数多く見られ[12]、欧米の航空会社での実用システムも報告されている。

しかしながら、鉄道においては、車両運用計画や乗務員運用計画、構内入換計画の作成等に、近年、いくつかの研究事例が見られる程度である[13][14][15][16][17]。

鉄道の輸送計画作成が難しいのには、主として、次のような理由がある[3]。

計画自体が複雑で膨大である。例えば、列車計画の作成について言えば、航空機のように拠点の時刻だけを決めればよいわけではなく、各駅の着発時刻、番線等を、多数の列車相互の関係を考慮しつつ決めなければならない。また、その際には、各駅を利用する利用者の利便性（互いに相反することが多い）を向上させるように腐心しなければならない。

関係箇所が多いため、それらの間の調整が必要となる。例えば、列車計画、車両運用計画、乗務員運用計画、構内作業計画は、相互に関連しており、いずれかの計画の変更は、通常、他の計画に波及する。また、これらの計画相互間で、たがいに相反する要求が発生することも珍しくない。

評価基準が必ずしも明確ではない。鉄道の輸送計画については、どういう輸送計画がよいのかの評価尺度が必ずしも明確ではないし、また、仮に評価尺度を洗い出せたとしても、それは一面的ではなく、多面的な評価にならざるを得ない。また、線区をはじめとするその計画が適用される状況に応じて変化するという性質もある。

評価に必要な情報の取得が容易でない場合がある。例えば、現状では、予備の乗務員や車両の有無、車両基地における編成の留置位置等は、中央の指令室からは直接は把握できない。しかし、このような情報は、デマンド輸送を実現するためには、どうしても必要になる情報である。

このように、鉄道の輸送計画作成問題は、典型的な ill-structured 問題であって、これをコンピュータで自動

¹ 使用する航空機のタイプを決める問題 - fleet assignment problem

² 運行順序を決める問題 - flight assignment problem

³ 出勤から退勤までの間に乗務する航空便の順序を決める問題 - crew pairing problem

⁴ 各乗員に勤務割当てを行なう問題 - crew rostering problem

的に作成しようとする研究は、無謀な試みであるとの意見もあると思われる。

筆者らは、これに対して、

最新の計画技法を用いた高度で高速なアルゴリズム

列車計画、車両運用計画等の各計画を作成するアルゴリズムをエージェントととらえ、エージェント相互が、たがいに交渉・調整を行なうメカニズム

過去の事例を的確に用いて計画を迅速に作成する手法

等に関する研究を深度化していくことを考えている。

また、線区の事情にあわせて、アルゴリズムをある程度テイラーメイドすることも避けられないと考えられ、それを汎用性を考慮しつつ効率よく行なう手法も重要な課題である。

もちろん、あわせて、輸送計画に必要な情報を効率よく得られるような通信インフラの整備も必要である。

4.4 利用者への案内技術

(1) パーソナルナビゲーションシステム

個別の情報案内システムとしては、旅客が携帯情報機器を保有して、それが行動をいつも助けるといったシステムが有用である。カーナビとは異なり、鉄道の場合にはただルートを教えてもらうだけでは不十分で、どのような列車に乗ればいいのか、それはいつどこから発車するのか、予定どおり運行されているのか等の動的に変化する情報も提供できなければならない。本稿では、このような情報を提供するシステムをパーソナルナビゲーションシステム (PNS) と呼ぶ。

PNS には、現在位置を検知する機能に加えて、鉄道の施設や運行状況に関する情報を取得する機能が必要である。そのためには、インフラとしてこのような情報を鉄道側が発信できるような体制を整えることが必要となる。

同様の考え方に基づくシステムを実現するための研究開発として、国土交通省の歩行者 ITS[18]、通信総合研究所のロボティクス通信端末、産業技術総合研究所のサイバーアシストプロジェクト[19]などがある。それらには、利用者とともに移動する携帯情報機器が、各種のシステムとつながった情報通信ネットワークを利用しながら、利用者の活動（戸外での行動を含む）を支援するための研究という共通点がある。いずれもユーザの位置、状況、意思等をもとに、外部システムとの情報のやりとりを仲介し、ユーザが使用しやすい形で情報を提供しようというものである。

鉄道においても、これと同様な考え方に基づく PNS が必要であると考えられる。

(2) ローカルな情報発信

列車の運行状況等の動的に変化する情報の取得を

実現する方法として、次のものが考えられる。駅においては音声による構内放送が流れて案内が行われているが、それを音声ではなくデータの形でローカルに発信し、それを入手することにより、その場所での運行情報等を取得するという考えである。そのような環境を実現する無線通信技術としては、既にブルートゥースや無線 LAN 等があり、今後さらに新しい技術が出てくるものと思われる。デジタル情報のため、表示や加工はその人の個人的な状況に合わせることができる。視覚障害者には音声で、聴覚障害者には文字での情報提供が可能になる。あるエリアに来るとその場所に関する情報が得られるという意味では、駅構内の種々の施設、例えば、レストランやショップ等の情報も発信可能である。またこのような情報取得は PNS 内の地図情報を更新する手段としても使える。駅の構内はいつでも変化する可能性があり、携帯端末が古い地図を使っていた場合 誤った案内をしてしまうおそれがある。その現場に行ったときに最新の地図情報をローカル通信によって得ることができれば、より確実な情報の更新方法となる。

(3) 情報案内のための IC カード利用

前述のようなシステムには、誰でもが使いこなせるというものにならないかもしれないという問題もある。また、ポリシーとして携帯電話等は持たないという人もいる。そういう人に対しては個別的な情報提供ができないというのでは、すべての人が利用者となりうる鉄道のシステムとしては問題がある。その際、IC カードは今までの切符とかなり近い存在であり、より使いやすくなっていることから、情報機器は持たなくとも IC カードを持つことはかなり期待できる。IC カードに旅客のこれからの予定に関する情報等が書きこまれており、カードをただ何らかの装置にタッチするだけで、場所や時間に応じた案内情報が得られるという方式が考えられる。例えば、旅行代理店のメニューの一つとして、旅行中に適切な案内が受けられるような情報を IC カードに書き込むということもありうる。

5. おわりに

利用者の移動に対するデマンドを反映した効率的で利便性の高い輸送のことを、「デマンド輸送」と定義し、それを実現するために必要な研究開発項目を列挙した。今後は、サイバーレール研究会 [20]とも連携をとって、具体的な研究開発を進めていく所存である。

謝 辞

本稿は、(財)鉄道総合技術研究所におけるデマンド輸送に関する研究グループでの検討経緯をまとめたものである。検討に参加いただいた、熊谷則道、中川千鶴、関清隆、斉藤綾乃の各氏に感謝します。

文 献

- [1] 荻野隆彦:「サイバーレール - インターモーダル時代の IT インフラを求めて」, JREA, Vol. 45, No.1, 2002.
- [2] 土屋隆司:「サイバーレール構想」, JREA, Vol. 44, No.1, 2001.
- [3] 富井規雄 編著:「鉄道システムへのいざない」, 共立出版, 2001.
- [4] 脇田, 富井他:「鉄道とコンピュータ」, 情報フロンティアシリーズ, 共立出版, 1998.
- [5] 平成 11 年度 鉄道統計年報
- [6] 高荷英利:「西武鉄道の野球輸送」, 運転協会誌, Vol. 36, No. 8, 1994.
- [7] 久保正典:「わが社の列車ダイヤ - 阪神電鉄」, 運転協会誌, Vol.34, No.5, 1992.
- [8] 田中他:「新しい列車予約方式の研究 - 時間帯指定による予約方式の検討と評価」, 鉄道におけるサイバネティクス利用国内シンポジウム, 1996.
- [9] 野末尚次, 小野耕司他:「予約情報を利用した動的列車設定計画」, 鉄道におけるサイバネティクス利用国内シンポジウム, 1984.
- [10] 田中, 佐々木他:「データマイニング手法の鉄道への適用の研究」, 鉄道総研報告, Vol. 14, No. 7, 2000.
- [11] 片方聡:「特集 IC カード"Suica"を用いた新しい出改札システムの実用化」, JR ガゼット, Vol. 59, No. 12, 2001.
- [12] Goapalan, R. and Talluri, K.: "Mathematical models in airline schedule planning: A survey," Annals of OR, 76, 1998.
- [13] 趙, 富井, 福村, 坂口:「確率的局所探索に基づく鉄道車両運用計画アルゴリズム」, 電気学会 交通・電気鉄道研究会資料, TER-01-54, Nov. 2001.
- [14] 平井, 富井, 田部:「サイバーレールを指向した車両運用計画作成アルゴリズム」, 電気学会 交通電気鉄道研究会資料, June, 2002 (to appear).
- [15] 坂口隆:「制約論理プログラミングの探索手法と対話型スケジューリング」, オペレーションズ・リサーチ, Vol. 47, No. 1, 2002.
- [16] 富井, 周, 福村:「確率的局所探索と PERT を組み合わせた駅構内入換計画作成アルゴリズム」, 電気学会論文誌, Vol. 119-C, No. 3, 1999.
- [17] 富井規雄, 周 利剣:「事例ベース推論を応用した鉄道駅構内入換作業スケジューリングアルゴリズム」, 電気学会論文誌, Vol. 122-C, No. 6, 2002 (to appear).
- [18] <http://www.its.go.jp/ITS/j-html>
- [19] <http://www.carc.aist.go.jp/>
- [20] <http://cyberrail.rtri.or.jp>