

鉄道波動輸送計画

福谷 隆宏, 福村 直登

1. はじめに

交通需要は、社会経済活動と密接に連動しているため、季節や地域によって大きく変動する。これは、盆やゴールデンウィークに顕著となっている。しかし、交通事業の場合には、インフラストラクチャーに対する投資が膨大となるために、最大需要に対応した設備の保有や需要に即応した生産の拡大等は不可能である。さらに、交通サービスは、その性格上保存が不可能であり、列車の運行を行なった場合の空席は全く無駄となってしまう。

したがって、利用客の要求に最大限適合するとともに、空席の発生によるロスを最小限にするための波動輸送計画が重要となる。

この波動輸送計画のキーポイントは、日々地域によって変動する輸送需要の予測である。

交通関係の需要予測は、従来より、新幹線の建設や新駅の開業等に関連して、交通計画の一環として行なわれてきたが、波動輸送のための予測とは本質的に異なっている。

交通計画：東京～大阪間に MAGLEV を運行した場合の平均的な1日の利用客数の予測

波動計画：東京～大阪間を平成6年8月15日の18:00～19:00の間に旅行する新幹線利用客数の予測

鉄道の輸送計画では、このような波動予測にもついで列車の運行計画が立てられるが、実際の計画では、当日に利用可能なリソースの制約を考慮すると同時に、翌日以降の需要の変動を考慮したリソースの車前配置——たとえば、連休の前日には東京に車両を集めておき、翌日の早朝より多くの列車の運行を可能とする——も行なわれている。

このリソースの再利用という面では、旅客輸送と貨物輸送では大きな差異がある。

旅客輸送の場合には、いったん列車の運行を定めると

ふくたに たかひろ, ふくむら なおと 財団法人鉄道総合技術研究所

〒180 国分寺市光町2-8-38

利用客の多少にかかわらず列車が運行されるため、翌日以降の利用可能性は確定している。

これに反して、貨物輸送の場合には、貨車やコンテナは、荷主が発送してはじめて運行が行なわれるため、必ずしも事前の計画どおり再利用性が保証される由ではない。これは、コンテナの場合に特に顕著である。

以上に述べたように、鉄道の波動輸送計画では、需要の予測、それに伴う効率的な輸送計画の作成、およびコンテナ等の再利用可能性に関する不確定性の対処が主要な課題となる。

本稿では、波動需要の現状とその予測方式、およびコンテナの再利用性等を考慮したコンテナ回送計画について、鉄道総研での研究事例を紹介する。

2. 波動需要の予測

鉄道旅客輸送の場合には、各列車ごとの日々の利用人員が「列車別旅客交通量報告」として集計され輸送計画の基礎データとなっている。

このデータは非常に膨大となるため、季節変動、週間変動の分析や特定の連休パターンに対する利用客の動向等に関する詳細な分析は従来の手作業では困難なため、パソコン・ベースの「列車計画支援システム (TRANSYS)」を開発し、JRでの計画立案を支援している。

以下では、このシステムをベースに波動需要予測について述べる。

2.1 TRANSYSと波動需要分析

TRANSYSは、列車の利用実績のデータベースを構築すると同時に、波動パターンの抽出、予測のための波動パターンの合成、波動需要の予測、予測データを利用した列車設定計画の作成、および利用実績から見た列車計画の評価が可能なパソコン・システムである。

図1は、TRANSYSの典型的な出力画面である。この図は、昭和60年の夏期データで7時00分から7時59分の間に東京駅を発車するひかり号の全列車の利用客のうち、米原～京都間を乗車していた人の合計値である。

第1段目のグラフは、乗車人員の合計値を表わしたものである。縦軸は、乗車人員の合計値、横軸は日付で、この場合には7月1日～9月29日が表示される。実際の

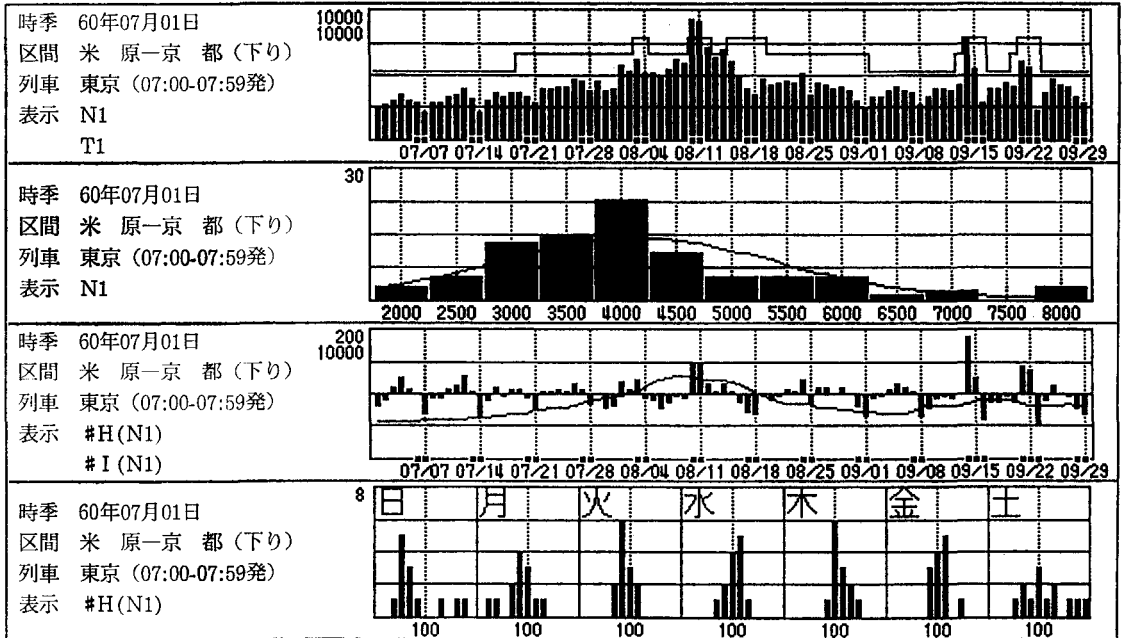


図 1 典型的な画面出力

画面上では、図中の凸凹の線が定員の合計（輸送力）として赤色で表示されている。

このシステムの特長として、各種データ間の演算が自由に指定できる機能を備えているため、利用効率＝乗車人員／定員の表示も容易に行なえる。

第2段目のデータは、第1段目のデータの度数分布である。

第3段目のデータは、第1段目の粗データから移動平均により季節波動・週間波動を抽出した結果である。上下の棒グラフが週間波動成分で、図の中央が100%に相当している。この図では、縦軸の位置が日曜日に対応しており、この図から日曜日の朝の7時台のひかりは混んでいないことがわかる。これは、新幹線の場合には50%がビジネス客であり、日曜日には旅行が行なわれなためである。

第4段目は、第3段目の週間波動成分の度数分布である。

この図より、計画者は波動の特性を容易に把握することが可能となる。

さらに、特定の1日の列車設定の良否を容易に判定できるように、図2の形式の出力を提供している。この図では、太線に見える列車が乗車効率がよい列車で、薄い線が乗車効率の悪い線である（画面上では、4段階の色により乗車効率のレンジに従って表示される）。

なお、これらの時間帯別の表示を、特定の1日に対して表示することも可能である（図4）。

2.2 波動パターンの合成と予測

波動輸送計画で必要となる時間帯別の需要予測では、定常的なパターン（たとえば、金曜日の夜の東京からの下り列車が混雑すること等）はフーリエ解析等で処理することも可能だが、連休等の利用客の行動パターンは、現状では予測が難しい。たとえば、4日間の中に3日休日がある場合でも、「休休休休」と「休休休休」では旅行者の行動パターンは非常に異なる。

それゆえ、このような連休に対しては、過去の同様な連休パターンより抽出した波動パターンを利用するのが最も現実的である。

TRANSYSでは、このような観点から(1)過去のデータの中から同一の連休パターンの年次を抽出し、その連休部分の波動パターンを生成する機能と(2)時系列データの cut & paste 機能を備えている。

いま、今年度の夏期の波動計画を立てると仮定する。この時には、カレンダーに対して連休部分を指定することにより、自動的に同曜日配列の年次が検索され、図3の第1段目に示す波動パターンが抽出される。

第2段目には、前年度の夏期の実績データより作成した波動パターンと季節波動が表示される。

この2データに対して、必要な部分の cut & paste

60年5月3日

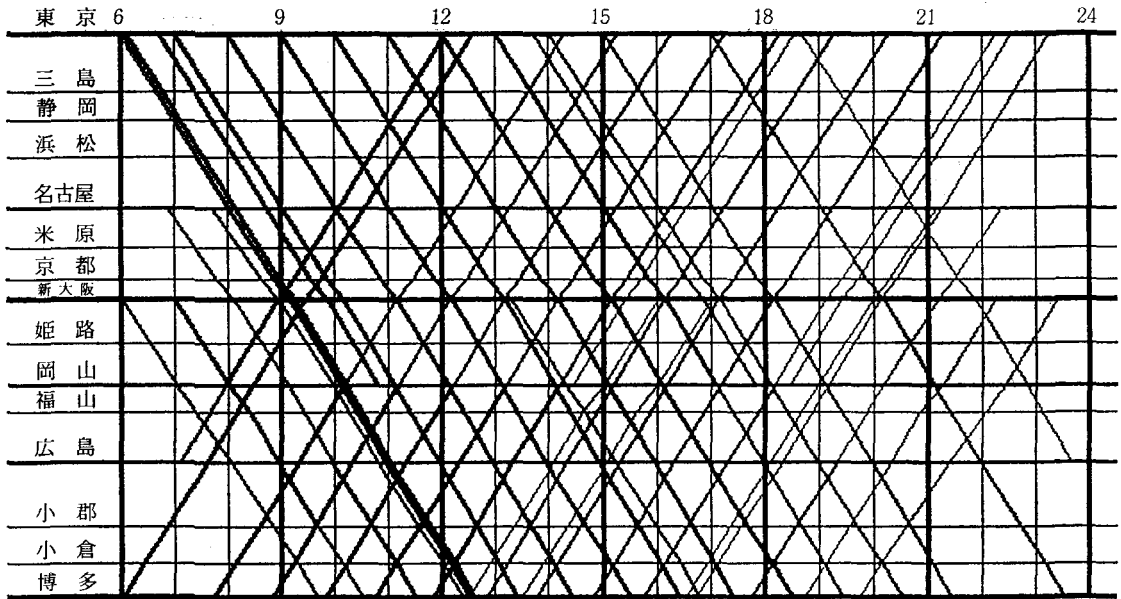


図 2 連休初日の乗車効率を表示

を行なうことにより、第3段目の今年度の夏期用の波動パターンが合成される。

これに、前年度の季節波動に伸び率5%を適用して予測した結果が第4段目である。

以上のプロセスを各時間帯ごとに実施（バッチ処理が

可能）することにより、図4に示す特定の日に対する予測結果が表示される。この画面には、目標の乗車効率を指定すると各時間帯ごとの必要な列車本数が表示されるので、担当者は当日のリソースを考慮しながら適切な計画の立案が可能となる。

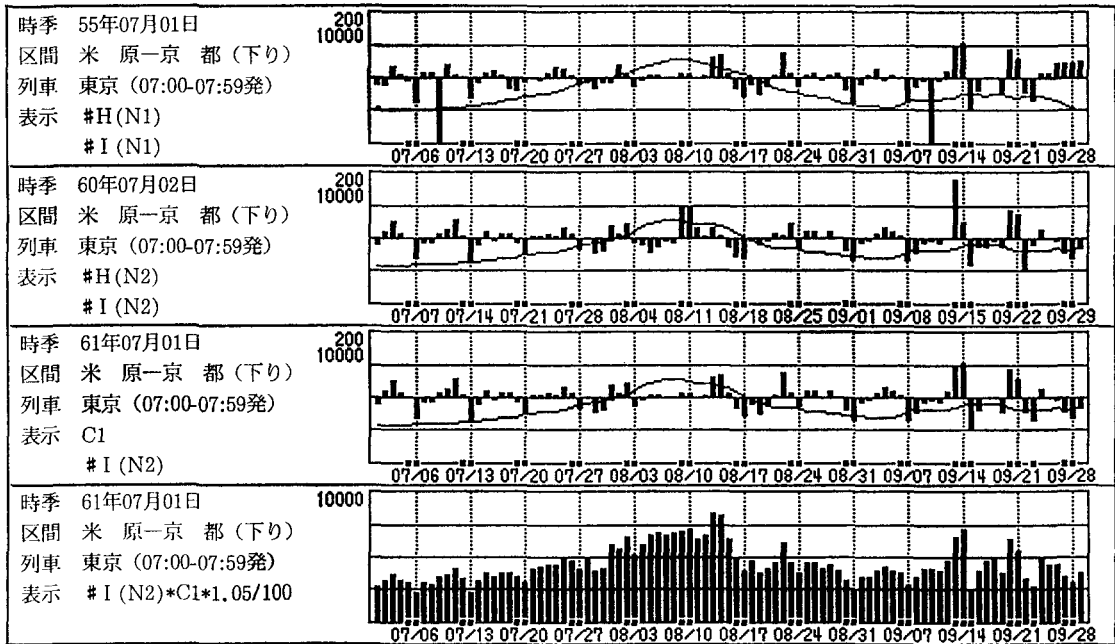


図 3 連休等の波動をコピー

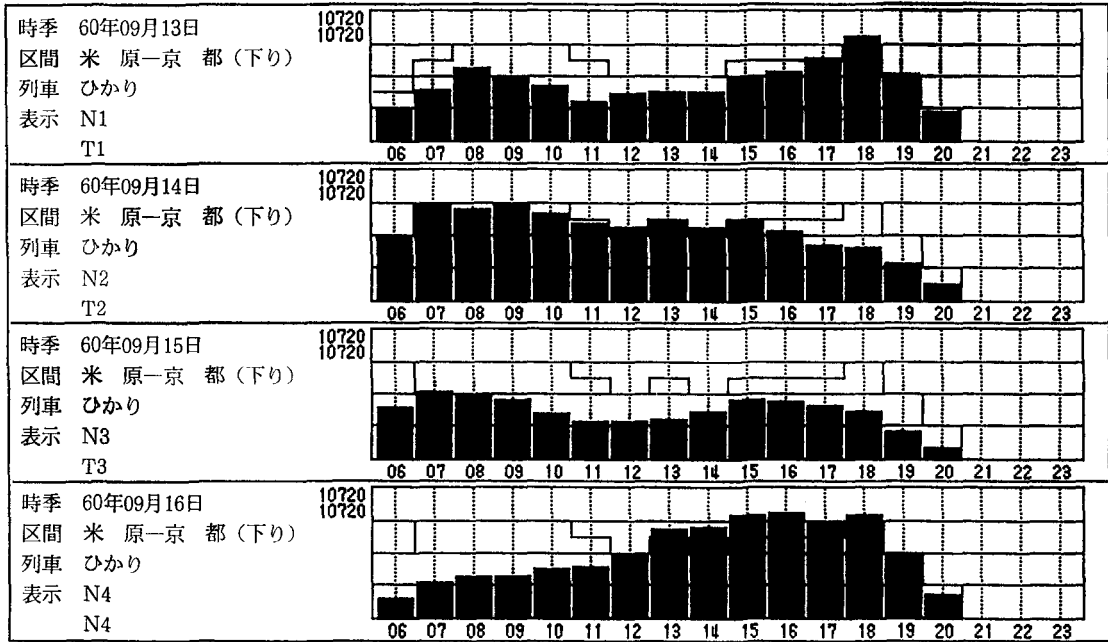


図4 時間帯別表示

3. コンテナ回送計画

貨物輸送と旅客輸送の一番大きな相違点は、旅客の場合には目的地へ行くと通常は再び出発地に帰ってくることである。貨物輸送では、供給地から需要地への片道輸送である。このため、輸送に使用される貨車やコンテナが特定の地域に偏ってしまい、供給地からの発送が不可能となる事態が発生する(図5)。

このような場合には、コンテナ等の過剰地域から不足している地域への回送が重要な問題となる。この回送では、コンテナの発送に十分な数を行なう必要があるが、コンテナが余分にある由ではないので、各地域へ最も効率的に配布する必要がある。また、余分な量を回送する場合には、再度他地域への回送が必要となり非効率である。さらに、これらのコンテナが不足する時期には、貨物の輸送量も多くなるため、荷物を積んだコンテナと回送用の空コンテナの何方を列車に積むかという競合も発生する。

コンテナ回送問題の他の重要な要因は再利用可能性である。ある地域から発送された積コンテナは、目的地に到着して荷物が取卸されると空コンテナとして再利用が可能となる。したがって、ある地域でのコンテナの過不足を予測するためには、当該地域での発コンテナ需要の予測と同時に、他の地域で将来発送されて当該地域へ到

着するコンテナの予測が必要となる。

コンテナ回送では、発送用のコンテナが不足しないように最小のコストで回送する計画を需要の不確定性を考慮して作成することが課題となる。

この場合にも波動需要の予測が必要となるが、予測方式はTRANSYSを利用しており、ここでは省略する。

3.1 最適回送計画のLPによる定式化

コンテナ回送計画では、1週間程度先までを考慮した計画を作成する必要があるが、目前の回送と数日先の回送とのトレード・オフを判断する必要がある。

- (1) 将来の不確定な輸送需要を満たすために早い時点でコンテナの回送を行なうことは、無駄になる可能性がある。
 - (2) 将来の輸送需要に対するコンテナの回送は、列車に空きがあるなら早い段階でも発送した方がよい。
- この相反する要求と総回送キロを最小にするという要求を組み合わせ、以下に示す定式化を行なった。

[定式化]

$$\begin{aligned}
 \min \quad & \sum_{h=0}^T e^{a(h-1)} \sum_i \sum_j d_{ij} X_{ij}^{(h \rightarrow)} \\
 & - M \left(\sum_{h=0}^T e^{b(h-1)} \sum_i \sum_j Y_{ij}^{(h \rightarrow)} Z_i^{(h)} \right) \\
 & - M' \left(\sum_{h=0}^T e^{c(h-1)} \sum_i \sum_j Y_{ij}^{(h \rightarrow)} W_i^{(h)} \right) \\
 & \dots \dots (6.1)
 \end{aligned}$$

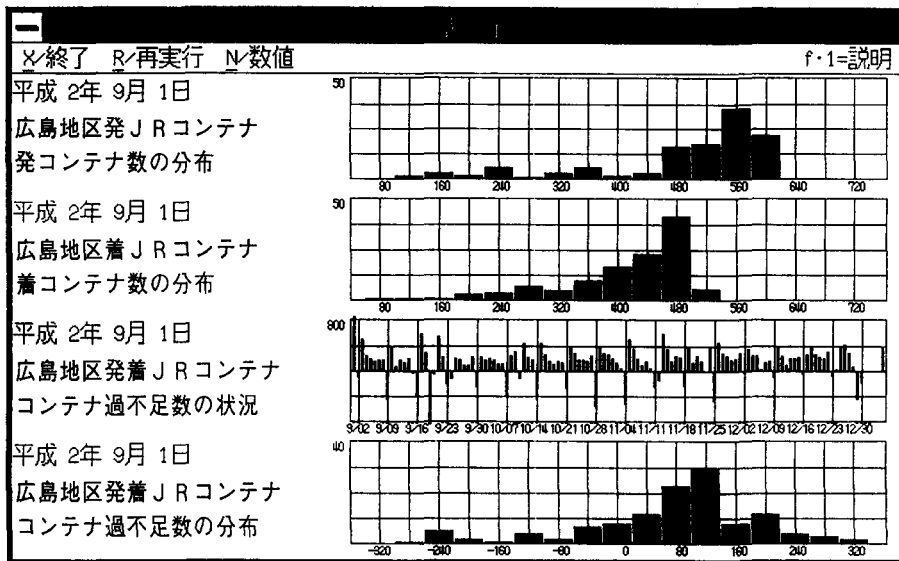


図 5 広島地区の発着数の分布と差の分布

$$s. t. \quad S_i^{(h+1)} = S_i^{(h)} + \sum_j Y_{ji}^{(h \rightarrow)} Z_j^{(h-1)} + \sum_j X_{ji}^{(h \rightarrow)} - \sum_j Y_{ij}^{(h \rightarrow)} Z_i^{(h)} - \sum_j X_{ij}^{(h \rightarrow)} \quad \dots\dots (6.2)$$

$$\sum_{i \in I_j} X_{ij}^{(h \rightarrow)} + \sum_{i \in I_j} Y_{ij}^{(h \rightarrow)} Z_i^{(h)} \leq C_l^{(h)} \quad \dots\dots (6.3)$$

$$S_i^{(h)} \geq W_i^{(h)} L_i^{(h)} \quad \dots\dots (6.4)$$

$$U_i^{(h)} \geq S_i^{(h)} \quad \dots\dots (6.5)$$

$$X_{ij}^{(h \rightarrow)} \geq 0 \quad \dots\dots (6.6)$$

$$0 \leq Z_i^{(h)} \leq 1 \quad \dots\dots (6.7)$$

$$0 \leq W_i^{(h)} \leq 1 \quad \dots\dots (6.8)$$

ただし,

$X_{ij}^{(h \rightarrow)}$: h 日目に地域 i から地域 j に発送する空コンテナ数

$(X_{ji}^{(h \rightarrow)})$: h 日目に地域 j から地域 i に到着する空コンテナ数

$W_i^{(h)}$: h 日目の地域 i の予備数に対する滞留数の割合 (予備率)

$Z_i^{(h)}$: h 日目の地域 i の需要に対する空コンテナ数の割合 (発送率)

また, 式中に必要な定数に対しては, 次の記号を用いる.

$\sum_j Y_{ij}^{(h \rightarrow)}$: h 日目に地域 i から発送する空コンテナの総数 (予測値)

$\sum_j Y_{ji}^{(h \rightarrow)}$: h 日目に地域 i に到着する空コンテナの総数 (予測値)

$S_i^{(h)}$: h 日目の地域 i の滞留コンテナ数

$L_i^{(h)}$: h 日の地域 i の予備数

$U_i^{(h)}$: h 日の地域 i の滞留数の上限

$C_l^{(h)}$: h 日の区間 l の輸送容量

d_{ij} : 地域 i から地域 j への回送コスト

目的関数の第 1 項目が総回送コスト, 第 2 項目がコンテナ不足に対するペナルティ, 第 3 項目が滞留数が予備数以下になった場合のペナルティを示す. この中で, 指数関数上の a, b, c は将来に対する割引率である. ここで注意することは, コンテナの回送キロの割引きを行なうと, できるだけ先に行なって回送する計画となり, 前述の要求(2)に適合しない解となる. それ故, 総回送キロに関しては割引増し ($a > 0$) とし, 他の不足量に関しては割引き ($b < 0, c < 0$) とした.

制約式の意味は, 上から順に, (1)滞留数の計算, (2)列車の容量制限, (3)最小予備数の制限, (4)滞留コンテナの上限値を示す.

今回のモデルを利用して関西以西の 4 ブロックを対象に, コンテナの回送計画を行なった結果を図 6 に示す.

4. あとがき

波動輸送計画では, 需要予測の精度が鍵となるが, 非常に困難な面が多く, 現状では過去の利用実績を有効に利用するための意思決定支援システムの構築が望ましい. これらの問題に対しては, 事前の計画の他に, 予約の実績を利用した比較的短期間の予測にもとづく弾力的な列車の運行方式等の研究等も完了しているが, よりサ

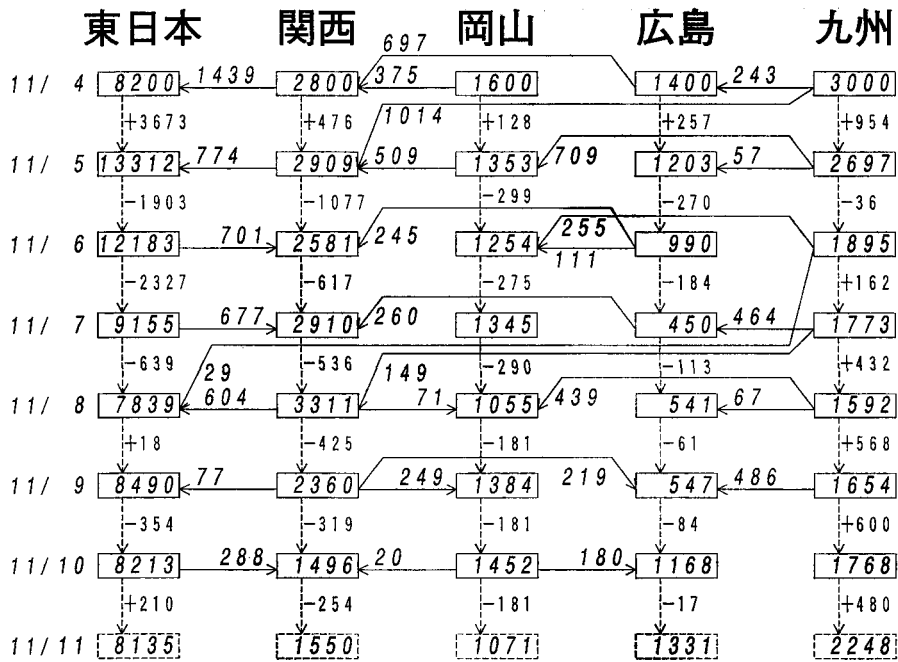


図 6 小規模な問題でのシミュレーション結果

ービス・レベルの高い輸送を安価に提供するための研究がさらに必要と思われる。

テムの開発，鉄道総研報告 Vol. 4, No. 9, pp. 36-40, 1991.

参 考 文 献

[1] 福谷隆宏，輸送実績を利用した列車計画支援シ

[2] 野末尚次，福村直人，コンテナ運用操配支援シテムの開発，研究開発テーマ報告（部内資料），1992.

日 本 工 学 会 に つ い て

日本工学会という団体があるのをご存じでしょうか？創立明治12年，もともとは工部大学校（東大工学部の前身）の卒業生の親睦と知識交換のための，今日でいう“学会”だったようですが，現在では，個人を会員とするのではなく，工学系の学会や協会88団体が“会員”となって作っている団体となっています。……わがOR学会も，もちろん，会員団体です。

学会や協会，特に，工学系のそれには，共通の問題があります。横の連絡も必要です。工学全体の問題について話し合い，政治家や政府に，学会側としてのまとまった発言をする必要もあります。また一般に対する広報も欠かせません。

日本工学会の活動はこのような必要に対応するためのものです。現会長の石川六郎氏（鹿島建設会長）は日本工学会の活動を積極的に指導されると同時に，学術に理

解のある政治家と学会側の朝食会を設定，率直な意見交換の場を作るなど，高い立場からの力を尽くしております。

また，工学全体の問題，特に，教育の問題に関するシンポジウムや協議会も開いております。さらに，各学会の事務局の方々による事務研究会も定期的に開催され，学会運営の向上のため活発な討議と勉強がつづけられております。……OR学会の関口事務局長も，長くその委員長の任に当たっておられました。

今日では，開かれた学会ということで，学会活動の広報が求められます。日本工学会では，88にのぼる会員学会の研究発表会等の行事の予定をまとめた「学会スケジュール」を隔月に発行，一般に頒布（有料）し，好評を得ております。ご希望の向きはOR誌イエローページ（7月号）参照，もしくは学会事務局にお問い合わせください。