

都市間高速輸送の需要予測モデル

宮田 一・小野耕司・野末尚次

1. はじめに

わが国の旅客輸送は昭和40年代まで高度経済成長の波とともに急速な発展をしてきた。しかし石油ショック以後、エネルギーコストの高騰や経済不況等から輸送量全体の伸びは停滞気味であり、将来に対して頭打ちの傾向を示している。また近年にいたって騒音、振動、大気汚染等の環境問題が深刻化し、各交通機関は何らかの対応策を講じていく必要にせまられている。さらに旅客の交通機関選択特性も次第に変化しつつあり、シェアの獲得のためには乗心地やサービス度といった輸送の質的向上も重要な要素となってきている。

国鉄ではこのような輸送需要の変化に対応すべく各種の技術開発が進められているが、その評価を鉄道システム全体に対する貢献度として総合的に行なうことはぜひとも必要である。たとえば、ある1つの技術開発をコスト面からのみ見ると、それ単独では非常に高価でもシステム全体では廉価になることがある。またシステム全体が高価であっても、輸送量が伸び、収入増加分がコスト増加分を上まわる場合もある。

そこで筆者らは、技術開発の効果を総合的に評価するために、中距離都市間高速輸送(たとえば、

東京～大阪)を対象として、「コストの推定」、「需要予測」および「総合評価」よりなるディンジョン・サポート・システムを開発することとした。これにより、既存の交通体系の中で1つの交通システムをシステム・チェンジする場合とか、新しい交通システムを付加する場合等の提案についてその根幹となる技術の開発効果が単にコスト面のみならず、輸送量や経営収支といったシステム全体のトータル・バランスとして定量的に把握されるようになる。ここではこれらのモデルのうち輸送需要解析モデルにつき、その概要とケーススタディの結果の一部を紹介する。

2. 輸送需要解析モデル

2.1 全体の構成

輸送需要解析の基本的な考え方は、実績データの存在する年(基本年次)をベースとし、予測したい将来の年(推計年次)における社会経済指標パラメータや対象となる各交通機関のシステム特性をもとに、推計年次における輸送量を求めるものである。輸送需要解析処理の全体フローを図1に示し、以下の各処理ブロックにつき述べる。

(1) 基本年次OD輸送量の算定

輸送の需要解析をしようとする地域間とその周辺を適当なゾーンに分割し、それをノードとする。そして基本年次における各ゾーン・ノード間OD輸送量を算定するために、既存の国鉄や航空

みやた はじめ, おの こうじ, のづえ なおつぐ

日本国有鉄道 鉄道技術研究所

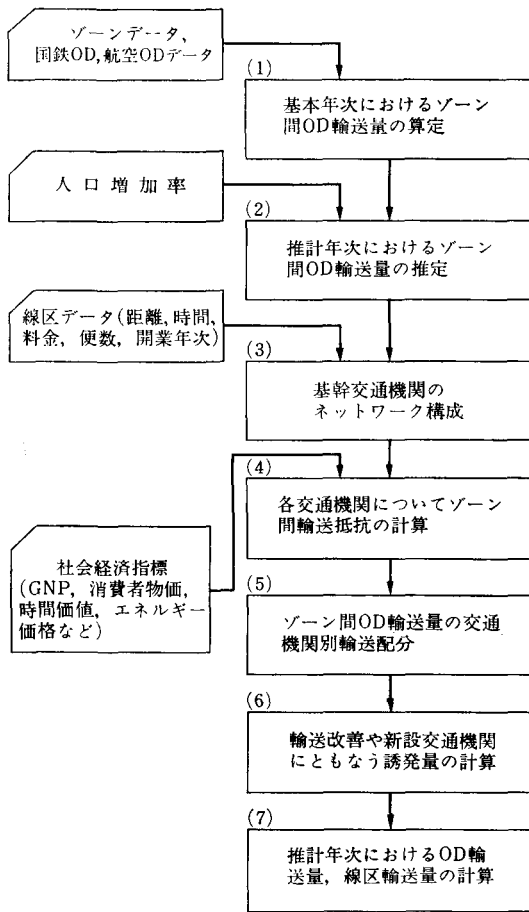


図1 輸送需要解析フロー

等OD輸送量から解析モデル上のゾーン間OD輸送量を算定する。

(2) 推計年次OD輸送量の推定

推計年次におけるOD輸送量は引力モデルをベースとして(1)で求めた基本年次OD輸送量を用いて次式で計算する(ここでは輸送改善等による誘発量は含まない)。

$$Q_{ij}^* = Q_{ij} \cdot P_i \cdot P_j \quad (1)$$

ここで、 Q_{ij}^* 、 Q_{ij} : 推計年次、基本年次での*i*、*j*ゾーン相互間の輸送量、 P_i 、 P_j : *i*、*j*ゾーンでの人口増加率。

(3) ネットワーク構成

考慮する基幹交通機関(たとえば航空、新幹線、新設線など)のネットワークを構成するために、駅、空港などを中継ノードとし、各ノード間リンク

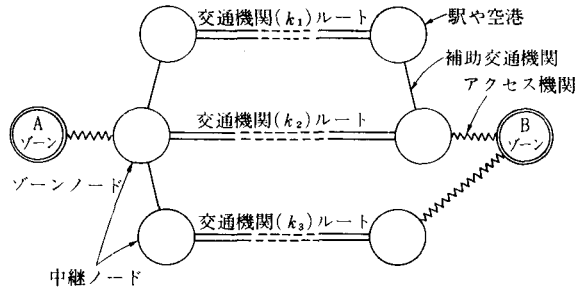


図2 ネットワークの構成の例

クについて距離、所要時間、料金、便数、開業年次のデータを設定する。図2に3種類の基幹交通機関(k_1 , k_2 , k_3)がある場合のA↔Bゾーン間ネットワーク・ルートの例を示した。ゾーン・ノードと中継ノードとの間はバス、地下鉄などを利用するアクセス機関リンクとなる。上位交通機関(航空、新設線、新幹線など)のネットワークでは下位交通機関(新幹線、在来線など)が補助交通機関として組込まれる。

(4) 輸送抵抗の計算

i、*j*ゾーン相互間の輸送量 Q_{ij} は次の引力モデル

$$Q_{ij} = KM_i M_j / R_{ij}^\gamma \quad (2)$$

を基本としている。ここで M_i 、 M_j : *i*、*j*ゾーンでの輸送引力源質量(人口を用いる)、 R_{ij} : *i*、*j*ゾーン間の輸送抵抗、 K 、 γ : 定数。

ここでの輸送抵抗 R_{ij} は通常、

$$R_{ij} = U_{ij} + W_1' T_{ij} \quad (3)$$

で表わされることが多い。ここで U_{ij} : *i*、*j*間の運賃、 T_{ij} : *i*、*j*間の所要時間、 W_1' : 通常いわれている旅客の時間価値(=交通問題ベースの時間価値)である。しかし、乗心地やサービス度などの快適性をも考慮するほうが合理的であるし、価値尺度より時間尺度のほうが絶対的なものであることから、輸送抵抗を次式で表わすこととした。

$$R_{ij} = \frac{U_{ij}}{W_1} + T_{ij} + \int_i^j \frac{W_2(T)}{W_1} dT \quad (4)$$

ここで、 W_1 : 純粋な意味の旅客の時間価値=所得ベースの時間価値、 $W_2(T)$: 歩行とか混雑に

よる旅客の労力抵抗係数。

通常2つのゾーン間には、複数のルートがあり、各ルートもリンクの乗り継ぎで構成される。各ルートの輸送抵抗は、構成しているリンクの特性値から決定されるが、単純な総和とはならない。運賃・料金の距離で減性および乗換待時間（列車間合/2）を取扱うためには、リンクの乗り継ぎが同一交通機関の中の連続乗車か否かにしたがって運賃・時間の計算を行なう必要がある。このようにして、各ルートの輸送抵抗を計算し、その最小値をゾーン間の輸送抵抗とする。各上位交通機関ごとに、下位交通機関を含めたネットワークを構成し、上記のゾーン間輸送抵抗を求め、それを当該交通機関のゾーン間輸送抵抗とする。

(5) 交通機関別輸送配分

交通機関別輸送配分の方法にはいくつかの方法があるが、ここでは次式によって配分を行なう。

$$P_{ij}(k) = \frac{\sum_l R_{ij}^{-n}(l)}{R_{ij}^{-n}(k)} \quad (5)$$

ここで、 $P_{ij}(k)$ ： $i \rightarrow j$ ゾーン間の k 交通機関輸送配分率、 $R_{ij}(k)$ ： $i \rightarrow j$ ゾーン間の k 交通機関輸送抵抗（これは、ロジットモデルで、効用関数として、 $-\log R_{ij}(k)$ を採用する場合に等しい。）

たとえば図2において k_1 交通機関の AB 間輸送配分率 $P_{AB}(k_1)$ は、

$$P_{AB}(k_1) = \frac{R_{AB}^{-n}(k_1)}{R_{AB}^{-n}(k_1) + R_{AB}^{-n}(k_2) + R_{AB}^{-n}(k_3)} \quad (6)$$

で求められる。国鉄の旅客流動データからは、 $n=6$ 程度と推定されている。

(6) 誘発輸送量

既設交通機関が速度向上などにより輸送改善が行なわれたり、また新しい便利な交通機関が設置されると利用客の誘発効果をもたらす。誘発の原理は(2)式の引力モデルによるもので輸送抵抗が R から R^* に改善(減少)されたものとし、改善前後の輸送量をそれぞれ q 、 q^* とすれば、

$$q^* = q(R/R^*)^r \quad (7)$$

となる。すなわち $k = (R/R^*)^r$ が誘発指数であり

$$\Delta q = q^* - q \quad (8)$$

が誘発輸送量である。

(7) 各統計量計算

推計年次における最終的な統計量として、ゾーン間OD輸送量、交通機関別OD輸送量またその配分率、交通機関別線区輸送量などを計算する。

3. ケーススタディ

3.1 条件および入力データ

(1) 年次

基本年次：昭和50年，推計年次：昭和65年。

(2) 新設線モデル(仮想)

- ・ルート：新宿～甲府，飯田経由～新大阪（中央新幹線ルートを想定）
- ・形式：現用新幹線改良型（平均速度：現用（180）～300 km/時）

- ・距離：500 km

(3) 既存交通機関の昭和65年モデル

- ・新幹線：図3参照。
- ・航空：便数増加。
- ・在来線：昭和50年と同様。

(4) ゾーン・ノード

図4参照。

(5) 需要解析モデルのパラメータ

- ・輸送配分の次数： $n=6$ 。
- ・引力モデルのべき： $r=1$ （通常は、 $r=2$ と設定されることが多いが、誘発モデルとしては、最近の実績と今後の低成長時代を考慮して、 $r=1$ を採用した。）

(6) 入力データ

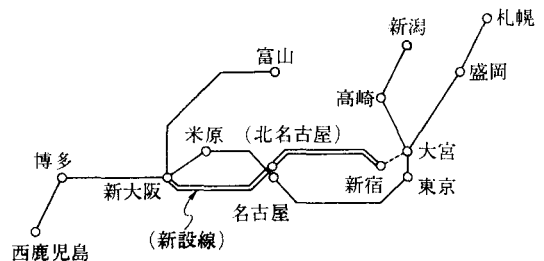


図3 新幹線網(昭和65年の想定)

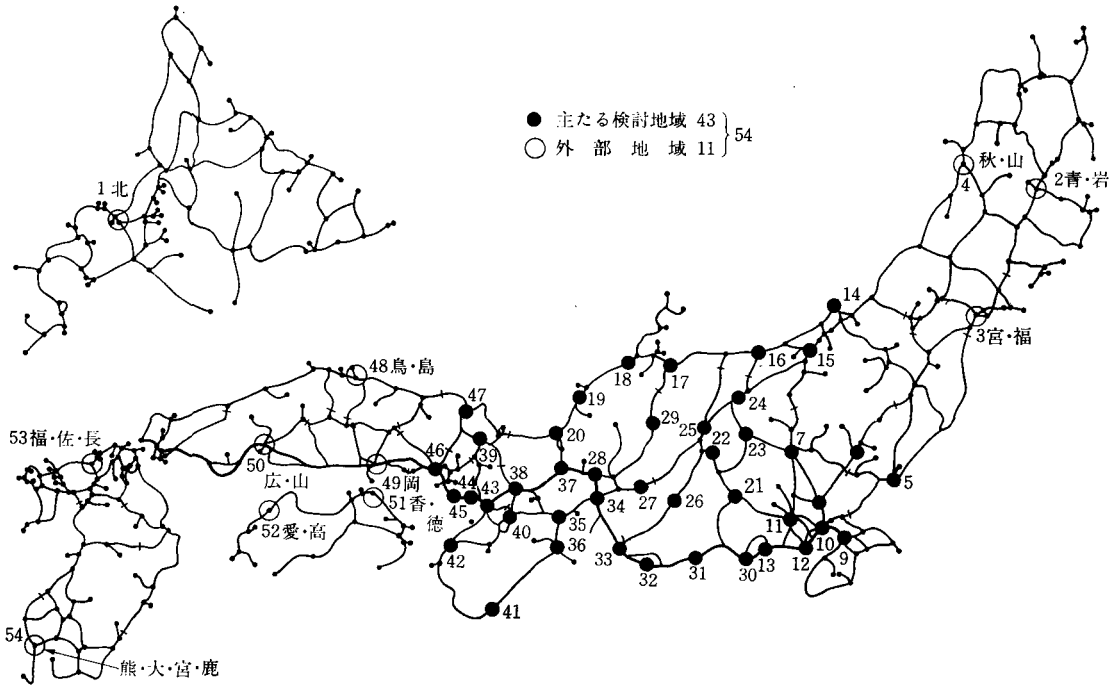


図 4 輸送モデルゾーンリング (54ゾーン)

社会経済指標は昭和50年を100として昭和65年に次の値、式を使用した。人口(118), 労働人口(116), GNP(208), 人件費(400), 卸売物価(180), 消費者物価(233), 時間価値(393)。

- ・動力費物価 = $\alpha \cdot$ 卸売物価 (α : エネルギー価格上昇率で1~4倍で計算)
- ・国鉄運賃 = $0.2 \cdot$ 人件費 + $0.12 \cdot \beta \cdot$ 動力費物価 + $0.68 \cdot$ 卸売物価 (β : 新設線速度向上にともなうエネルギーコスト増分を考慮した係数)
- ・航空運賃 = $0.13 \cdot$ 人件費 + $0.20 \cdot$ 動力費物価 + $0.67 \cdot$ 卸売物価

また、昭和50年調査の国鉄、航空の全国OD量から54ゾーン間OD量を計算した。

(7) 新設線料金の設定

[ケースA]

・新設線の料金を新幹線と同じとする。(新設線の東京~名古屋間、名古屋間~新大阪間距離は、現東海道新幹線より少し短かいため、新設線のほうが有利となる。)

・新設線の列車速度向上にともなうエネルギーコスト増分を料金に含ませない($\beta=1$ に固定)。

[ケースB]

- ・現用速度において新設線の料金を距離の短かい分だけ高くし、輸送抵抗値(R)で新幹線と等しくする。
- ・速度向上にとまない、速度の二乗に比例したエネルギーが必要なことから、その分を新設線の料金に含ませる。したがって β は表1の値にセットした。

(8) 相互乗入れの設定

新設線がそのルートの両端(新大阪および新宿)で在来新幹線と相互乗入れをする場合としない場合を想定し、その効果を検討することとした。

3.2 新設線の列車速度の影響

計算結果の中から東京~名古屋間の主要交通機

表 1 ケースBの場合の β の値

新設線の列車速度[km/時]	現用	200	250	300
β	1.00	1.17	1.67	2.26

関別線区輸送量を図5に示した。

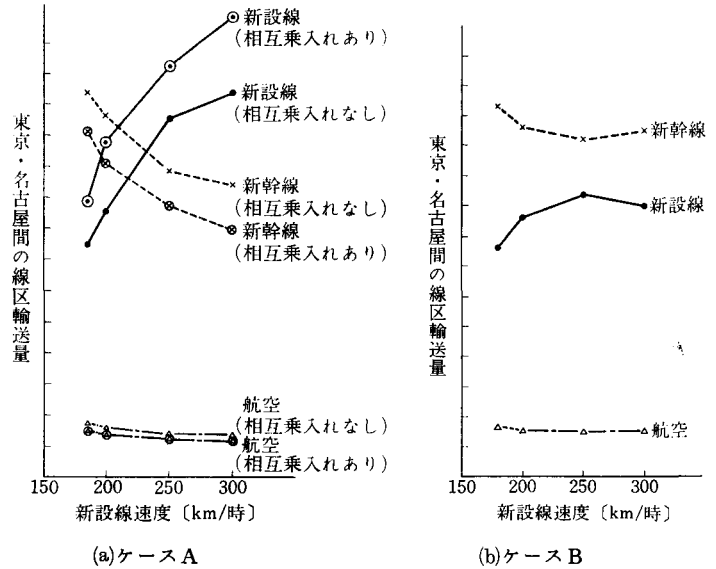
(1) ケースAの場合(図5(a)参照)

新設線列車速度の変化は、新幹線と新設線の利用客数に大きな影響を与えるが、航空の利用客数には少ししか影響を与えない。つまり、新設線の列車速度が上昇するにつれ、新幹線の利用客が次々と新設線へ移転していくといえる。

また誘発効果の影響も大きく、新設線列車速度が上昇するにつれ、新設線利用客数の増加量は他交通機関の利用客減少量(つまり新設線への転移量)の約1.3~1.5倍となる。

(2) ケースBの場合(図5(b)参照)

新設線列車速度の変化はケースAの場合と同様に、航空に与える影響は小さく、新設線、新幹線には大きな影響を与える。このケースの興味をひく点は、新設線列車速度が上昇しても新設線利用客数は必ずしも増加せず、250km/時付近でピークに達することである。この原因としては250km/時付近で速度向上にもなるエネルギーコスト上昇分が時間価値効果を上まわることにあると考えられる。



条件: エネルギー価格上昇率=4 条件: {エネルギー価格[上昇率=4]
相互乗入れなし

図5 新設線列車速度の影響

3.3 エネルギーコストの影響

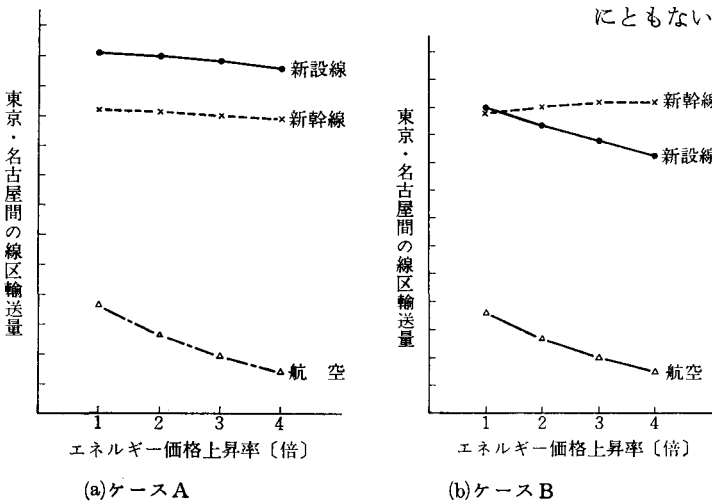
(1) ケースAの場合(図6(a)参照)

エネルギー価格の上昇にともない、各交通機関利用客数はすべて減少する。特に航空はその運賃が動力費に依存する割合が高いためエネルギー価格の上昇にともない利用客数の減少量が多い。

(2) ケースBの場合(図6(b)参照)

航空はケースAと同様にエネルギー価格の上昇にともない、その利用客数の減少量は大きい。新設線はケースAと比べて利用客数の減少量が大きくなっている。これは新設線の列車速度を250km/時に固定しているため運賃に占める動力費の割合が高いことに起因している。

また新幹線を見ると、エネルギー価格の上昇にともない、若干ではあるが利用客数が増加している。これは新幹線の運賃に占める動力費の割合が比較的小さいためエネルギー価格変動の影響をあまり受けず、航空、新設線に比べ有利に働いたものと考えられる。



条件: {新設線速度=250[km/時]
相互乗入れなし

図6 エネルギーコストの影響

3.4 新設線と在来新幹線との相互乗入れ効果

ケースAの場合について図5(a)に相互乗入れを行なった場合の結果を合わせて描いてある。これからわかることは、新設線が在来新幹線と相互乗入れを行なうと、新幹線の利用客のうち15~20%が新設線へ転移し、航空の利用客はあまり変化しないことがわかる。また相互乗入れを行なう場合の新設線は、その列車速度の上昇にともない誘発効果も大きいことがわかる。

3.5 ま と め

以上の計算結果をまとめると次のようになる。

ケースAは、新設線の列車速度向上に対応してそれなりのコスト低減技術が開発され、システム全体として在来新幹線と同じ料金でまかなえるという想定である。このケースでは列車速度が高く、また在来線と相互乗入れを行なうと格段に利用客は増大する。主に在来新幹線の利用客が新設線に転移することになるが、誘発効果が非常に大きく各交通機関の輸送量総計も増加する。

ケースBは、現在の新幹線システムに改良を加え速度向上を行なうが、それにもなって空気抵抗の動力コスト上昇が発生し、その分を利用客に負担してもらうという想定である。このケースでは列車速度の向上にもなうエネルギーコストの影響が大きく、新設線単独で見ると必ずしも列車速度が高いほうが良いといえず、利用客最大となるある適当な列車速度が250km/時付近に存在する。航空や新設線は運賃に占める動力費の割合が大きいので、エネルギー価格が上昇するとそれにもない、それらの利用客は急激に減少する。

ただ、このケーススタディはある特定の条件のもとでの結果であって、今後各パラメータについて既存の予測値との適合性をはかりつつ十分な検討を行なっていくことが必要であることは言うまでもない。

4. あとがき

以上、技術開発効果の評価サポート・システムの1つとして開発した輸送需要解析モデルの概要と、ケーススタディの一部を紹介した。

需要予測に関する問題はかなり以前からさまざまな手法が試みられており、それぞれ特長を備えている。ここで述べた需要予測モデルは中長距離都市間における輸送システムを対象としたもので輸送抵抗、交通機関別輸送配分、誘発輸送量、エネルギーコストを含めた主要な社会経済変動など技術評価に必要な諸項目を合目的的に構成したものである。

なお、コスト計算と総合評価部分についてはもっか検討中であり、早期に開発してディシジョン・サポート・システムとして提供したい所存である。

最後に、このケーススタディを実行するに当り多大なるご協力いただきました鉄道技研、輸送システム研究室の福岡博氏に対し、厚く感謝の意を表します。

参 考 文 献

- [1] 第2SEグループ：“新形式鉄道の可能性”，鉄道技術研究報告 No.1106, 1979.2
- [2] 宮田：“輸送解析における引力モデルのべきに対する多角的考察”，鉄道技術研究資料, pp.299~302, 1980.7
- [3] 宮田：“輸送条件の変化による輸送配分を考慮した新設交通機関の評価”，鉄道技術研究報告No.864, 1973.8
- [4] 宮田：“多要因構造的旅客輸送解析の考え方”，鉄道におけるサイバネティクス利用国内シンポジウム論文集, pp.25~29, 1978.11
- [5] 宮田：“広域旅客輸送解析(多交通機関)の問題点”，鉄道におけるサイバネティクス利用国内シンポジウム論文集, pp.30~34, 1978.11