

# 国内線定期航空旅客の需要予測

—大阪国際空港における適用例—

寺 戸 奎 介\*

## 1. 緒 言

最近における航空貨客の需要急増に対処して、航空界では航空機の大型化・ジェット化が急速に進んでいる。これに対して飛行場の滑走路・誘導路・エプロン等の不足が大きな問題となってきた。このような事態に対処して、わが国においても最近土木計画学の分野で飛行場施設整備計画の策定方法に関する基礎的研究が開始された。京都大学石原教授・吉川助教授は、飛行場施設整備計画の目的や立場を明らかにし、合目的計画の評価基準を定め、さらに preemtive priority のある待ち合せモデルを導入することによって、飛行場の施設計画を策定するための基礎的研究を行ない、「Study on Optimizing Airport Runway Design by Economic Analysis」と題して京都大学工学紀要に研究成果の一部を発表している。このような研究は、飛行場計画をシステム工学の一環として解析しようとするものであり、今後の発展が望まれている。飛行場の施設設計をシステム工学的アプローチによって解析しようとするためには、そのシステムに作用するインプットとしての航空旅客数と航空機発着回数の予測が重要な意義をもっている。

従来、予測の分野においては、数多くの数学モデルが提案されているが、そのモデルが現象にどこまで即しているかという点、はなはだ疑問である。本研究においては、予測のための数学モデルの開発というよりは、むしろ現象認識論的な立場にたつて、将来の航空旅客数および航空機発着回数の予測を行ない、システムアプローチによる飛行場施設整備計画策定のための一つのインプットデータを得ることを目的とし、予測のためのサブシステムを明らかにするとともに、大阪国際空港を対象として実証的研究を行なうこととする。

## 2. 定期航空旅客需要およびピーク時発着機数の予測方法

一般の需要予測理論は、大別するとマクロモデルと

ミクロモデルに分類することができる。マクロモデルによる予測方法とは、時間的な経年変化に重点をおいた時系列モデルの傾向値推計法、または他の説明要因との因果関係をもとにして作成した、回帰分析モデルによる推計法等の手段により、予測主体の集合全体をマクロ的に推計し、フレームを決定するためのものである。これに対して、ミクロモデルによる予測方法とは、予測主体の集合をそれぞれの特性に応じて層化抽出し、時系列モデル・回帰分析モデル等によって、個々に将来を推計し、最後にこれらの推計値を合計することにより、将来予測を行なうためのものである。理論的には、これら両者の推計値は一致すべきであるが、実際には、予測誤差その他の原因によって、一致しないのが普通である。一般にマクロモデルは、予測主体全体の傾向を把握することを目的としているので、ミクロモデルによる推計値と比較して、精度が高いといわれている。したがって、マクロモデルによる推計値をフレームとして、ミクロモデルによる推計値を修正するという方法がとられている。

国内線航空旅客の需要予測に関しても、国全体の航空旅客数をマクロモデルにより予測し、これを各空港にブレイクダウンする方法がとられている。フランス航空が時系列分析をとおして行なった航空旅客の需要予測、わが国の運輸省航空局が線型回帰分析をとおして行なった航空旅客の需要予測等においても、すべて上述の方法論が採用されている。しかし、本研究においては、土木工学的観点に立って将来における飛行場の施設配置とその規模を決定するために必要な航空旅客の需要予測の方法論を確立することを目的としているので、国全体の航空旅客数をマクロ的に推計し、これを各空港にブレイクダウンするという推計方法よりは、さらに精度の高い推計方法が要求されてくる。このような要求をみたすための航空旅客の需要予測値は、少なくともこの予測結果から、ただちに計画対象空港のピーク時における発着機数を求めうるものでなければならない。

このため、本研究においては、まず、計画対象空港の目標年次における国内線航空旅客需要を予測するための

\* 正会員 京都大学助手 工学部土木工学教室

マクロモデルを提案するとともに、こうしたマクロモデルによる推計結果を、国全体の航空旅客を計画対象空港にブレークダウンした推計結果と比較することとする。

つぎに、航空路線を相手空港の滑走路延長別に分類し、このようにして層化された各路線別の航空旅客の需要予測を行なうためのマイクロモデルを提案することとする。さらに航空輸送は、他の輸送手段（鉄道・自動車）とくらべて、海峡や山脈等を横断する場合、または遠距離輸送の場合に特に有利であるという条件を考慮して、航空路線を地域的に分類し、このように層化された各路線別の航空旅客に対してマイクロモデルを適用することによって、その需要予測を行ない、さきの滑走路延長グループ別の推計値をチェックすることとした。最後にこれらのマイクロモデルによる推計値に対して、マクロモデルによる推計値をフレームとした修正を行ない、各路線別の航空旅客数の需要予測値を決定することとした。

つぎに、統計的方法および損益分岐点による理論的方法により、これら各路線に将来就航が予定されている機種ごとにその座席利用率を推計し、計画対象空港の1日当たりの発着機数を推計するための方法論を確立することとする。

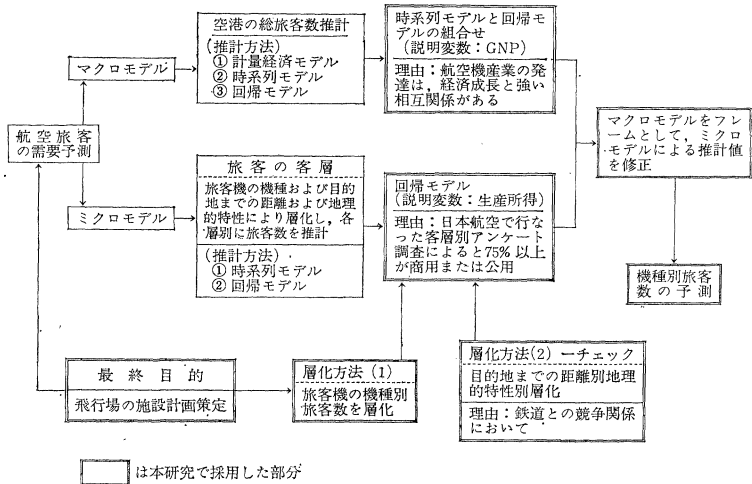
以上で明らかにした方法論をフローチャートに示すと、図-1のとおりである。またこのフローチャートには、各プロセスごとに有効と考えられる予測モデルの種類を併記した。

### 3. マクロモデルによる予測式

時系列分析の目的は、過去のデータの変動がどのような法則にしたがっていたかということ、数学的または統計的に定式化することにある。一般に過去における航空旅客の推移は複雑な変動をしているので、これを1つの式で表現することは、きわめて困難である。したがって、これらの複雑な変動に対して時系列分析を適用し、いくつかの変動のパターンに分解することによって、解析をすすめることとする。

長期にわたる時系列変動は一般に、① 傾向変動、② 循環変動、③ 季節変動、④ 不規則変動の4種類に分解できる。傾向変動は長期間にわたる変動の全般的な傾

図-1 航空旅客需要予測のためのフローチャート



向を示すもので、本来は上昇または下降などの一方向的な方向を持続する変動である。循環変動はほぼ一定の周期をもっており返される変動であり、その周期も3年から15年ぐらいの間に現われる。季節変動は通常1年を単位とする周期変動であり、周期的な変動の中で最も代表的なものである。不規則変動は通常短期間に起こる不規則な上下の小変動を示す。

航空機による旅客の推移を時系列によって分析する場合、一般に傾向変動と季節変動とを考慮することが重要であるといわれている。いま、ある時点における航空旅客数を  $X$  とすれば、この  $X$  はその時点における傾向値  $T$  に季節指数  $S$  を乗ずることによって算出することができ、

$$X = T \cdot S \dots \dots \dots (1)$$

となる。過去における航空旅客数の推移は、航空統計年報から求められるので、問題は  $X$  が既知のときに、 $T$  および  $S$  を求めることとなる。そしてこのための手順を列挙する以下のとおりである。

- (1) 原系列に分散分析法を適用して、系列の中に分析に値する変動があるかないかを検定する。
- (2) 原系列を12カ月移動平均することにより、傾向値  $T$  を算出する。
- (3)  $T$  の系列の比較的短期間の移動平均、たとえば3カ月移動平均をとれば、不規則変動を除去することができる。このようにして求められた系列の変動を、直線または曲線と仮定し、これに最小2乗法を適用することにより、将来の傾向値  $T$  を求めることができる。
- (4) 原系列から移動平均法により季節指数  $S'$  を求める。
- (5) 前項で求められた  $S'$  の有意差検定により季節

指数の平均値を求める。このようにして検定された季節指数を  $S$  とする。

(6) 以上で実績値  $X$  に対して、 $T$  および  $S$  が求まったので、式(1)により予測が可能となる。

上述した手順にしたがって計算を進めれば、時系列による予測が可能となるが、計算に入る前に、最初に与えられた系列の中に、果して分析に値するような季節変動がふくまれているかどうかを、分散分析の方法で調べてみなければならない。いま  $x_{ij}$  を  $i$  年  $j$  月における当該空港の航空旅客数とし、 $y_{i0}$  は  $i$  年における総航空旅客数、 $y_{0j}$  は過去数年間における  $j$  月の航空旅客数の合計、 $y$  を過去数年間の総航空旅客数をあらわすものとする、おのおのの偏差平方和は次式によってあらわされる。

$$\left. \begin{aligned} \text{全変動} \quad S_t &= \sum x_{ij}^2 - C_r \\ \text{年間変動} \quad S_y &= \frac{1}{12} \sum_{i=1}^t y_{i0}^2 - C_r \\ \text{月間変動} \quad S_m &= \frac{1}{t} \sum_{j=1}^{12} y_{0j}^2 - C_r \\ \text{誤差変動} \quad S_e &= S_t - S_y - S_m \\ \text{修正項} \quad C_r &= \frac{y^2}{12 \times t} \end{aligned} \right\} \dots\dots (2)$$

このようにして求められる各変動の偏差平方和から分散分析表を作成するとつぎのようになる。

要因	変動	自由度	不偏分散推定値
Y (年)	$S_y$	$t-1$	$V_y = S_y / (t-1)$
M (月)	$S_m$	$12-1=11$	$V_m = S_m / 11$
E (誤差)	$S_e$	$11 \times (t-1)$	$V_e = S_e / (t-1) \times 11$
全変動	$S_t$	$12t-1$	

ここで、同一母集団からえられた2組の任意標本の不偏分散の比は、 $F$ -分布にしたがうことが証明されている。したがって、季節変動については、 $F_m = V_m / V_e$  の値を計算し、また年間変動については、 $F_y = V_y / V_e$  を計算し、つぎに  $F$ -分布表から確率  $P$  の条件で、自由度  $\phi_1=11$  あるいは  $\phi_1=t-1$  と  $\phi_2=11 \times (t-1)$  の場合の値を求め、

$$\left. \begin{aligned} F_m \text{ or } F_y > F_{\phi_2}^{\phi_1}(0.05) \\ F_m \text{ or } F_y > F_{\phi_2}^{\phi_1}(0.01) \end{aligned} \right\} \dots\dots (3)$$

が成立すれば、 $V_m$ 、 $V_e$  あるいは  $V_y$ 、 $V_e$  が同一母集団にしたがう標本分散であるという仮設が棄却される。すなわち、与えられた系列には前者の場合では5%の危険率で、また後者の場合では1%の危険率で、それぞれ変動が原系列に与える影響を無視することができないといえる。それゆえ、上述の計算をとおして季節変動の存在が明らかとなった場合には、移動平均法あるいは連関比率法を用いて、季節指数を取り除かなければならない。このようにして、原系列から季節変動が取り除かれ

長期傾向が求まれば、この長期傾向を用いて将来における航空旅客の傾向値を推定する段階となる。本研究では大阪国際空港を対象として、航空旅客の長期傾向値を推計するための実証的研究を、以下のとおり行なうこととする。

大阪市は西日本における経済活動の中心的存在にあり、東京とともにわが国経済の発展に重要な役割りを果たしている。このような大都市を勢力圏にもつ大阪国際空港の旅客の需要予測を行なうには、わが国の経済と旅客との関係を的確に把握し、これを時系列分析の中に十分反映させることが重要である。それゆえ、マクロモデルによる航空旅客の需要予測では、時系列モデルおよび回帰モデルの組合わせにより予測を行なうこととし、そのときの説明変数には国民総生産を採用することとした。

中期経済計画においては、国民総生産 ( $N$ ) は、年次 ( $t$ ) に関して指数的關係に増大することを期待しているから、これらの関係は以下のように表わされる。

$$\begin{aligned} N &= a \cdot b^t, \log N = t \log b + \log a, \\ (a, b \text{ は定数}) \dots\dots (4) \end{aligned}$$

また、運輸省航空局においては、航空旅客数 ( $y$ ) と国民総生産 ( $N$ ) との間に、つぎのような関数關係が存在することを明らかにしている。

$$\log y = c \log N + d \quad (c, d \text{ は定数}) \dots\dots (5)$$

$$\begin{aligned} \text{式(4)を式(5)に代入して } N \text{ を消去すると,} \\ \log y = t \log B + \log A \\ \text{ただし, } \log B = c \log b, \log A = c \log a + d \end{aligned} \left. \dots\dots (6) \right\}$$

となる。したがって式(6)を用いて最小2乗法により、目標年次における旅客数の傾向値を推定することが可能となる。

このようにして、航空旅客の長期傾向値が推計されると、つぎに将来における航空旅客の季節変動について検討しなければならない。このような長期傾向値に対する各月の実現期待値の偏差を推計する方法は、大別するとつぎの二とおりとなる。

(A) 長期傾向線上の月別波動が、将来もそのまま続くとして仮定できる場合には、原系列をいくつかの標本に分け、この標本平均の差が時系列的に成立するかどうかを検定する必要がある。いま原系列を1つの母集団と仮定し、これを2つの標本 A, B に分け、A 標本の分散を  $x_i$ 、B 標本のそれを  $x_j$  とすると、それぞれの不偏分散は、

$$\left. \begin{aligned} U_A^2 &= \frac{1}{n-1} \left\{ \sum_{i=1}^n (x_i)^2 - \frac{\left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2}{n} \right\} \\ U_B^2 &= \frac{1}{m-1} \left\{ \sum_{j=1}^m (x_j)^2 - \frac{\left( \sum_{j=1}^m x_j \right)^2}{m} \right\} \end{aligned} \right\} \dots\dots (7)$$

となる。それゆえ式(7)から分散の比をつくると、 $F_0 = U_A^2/U_B^2$  となり、これと危険率5%におけるF-分布表の値との比較により有意差の検定をおこなう。したがって、

$$F_{m-1}^{n-1}(0.5) > \frac{U_A^2}{U_B^2} \dots\dots\dots(8)$$

ならば、5%の危険率でこれらの2標本は同一母集団に属していると考えることができる。

(B) 長期傾向線上の月別波動が将来もそのまま続くと仮定できない場合には、まず長期傾向値に対する月別実現値の偏差を系列とするコロログラムを画くことが必要である。コロログラムを画くために必要な系列相関係数  $r_k$  は、偏差の定常時系列  $y_1, y_2, \dots, y_t, \dots, y_n$  に対して、

$$r_k = \frac{n}{n-k} \cdot \frac{\sum_{t=1}^{n-k} (y_t - \bar{y}_t)(y_{t+k} - \bar{y}_{t+k})}{\sum_{t=1}^n (y_t - \bar{y}_t)^2} \dots\dots\dots(9)$$

として計算することができる。つぎにこうして求めたコロログラムがどのような基本型に属するかを判別し、それぞれ基本型にしたがった母集団過程を定差方程式にあらわし、これをもとにして偏差の外挿公式を導くことにより、将来の季節変動を推計しなければならない。

#### 4. ミクロモデルによる予測式

さきに、ミクロモデルによる航空旅客の輸送需要を推計する場合の説明変数として、生産所得を採用することを提案したが、生産所得は航空運賃と強い相関関係を有するものと考えられる。それゆえ、生産所得を説明変数として航空旅客の需要予測を行なう場合、予測値としては航空運賃の概念を反映したものを選ぶことが重要である。航空運賃は輸送距離に比例すると仮定してもほぼ間違いではないと思われるので、本研究においては、輸送需要の単位として(人・キロ)を採用することとする。また、航空路線を以下に詳述するグループに分類し、これらのグループごとに上述のミクロモデルを適用して、航空旅客の輸送需要を推計することとした。

##### (1) 航空路線の滑走路延長別分類

航空旅客の需要予測を行なう目的は、飛行場の各施設の整備計画を策定するための基礎データを作成することである。このためには、最終的に飛行場に発着する航空機の機数を予測しなければならない。そこでマクロモデルによって算出される航空旅客需要を、各機種ごとの旅客需要に配分する必要がある。機種と滑走路の延長とはきわめて密接な関係にあるので、航空旅客の需要予測

を行なう場合には、当該空港の相手空港を滑走路延長ごとに分類し、これらを一括して1つのグループにまとめ各グループ別に目標年次の航空旅客需要を推計することが重要である。

##### (2) 航空路線の地域別分類

航空輸送は、鉄道輸送あるいは自動車輸送にくらべて、海峡や山脈等が障害となる場合はきわめてまれであり、遠距離輸送の場合には特に有利である。これらの地形や距離の変化によって、当然その需要も異なってくると考えられる。したがって、これらの地形や距離別に空港を分類し、同じような条件にある空港はこれを一括して、1つのグループを作成し、これらのグループ別に目標年次の航空旅客需要を推計することとした。

ミクロモデルによる航空旅客の需要予測の手順は、地域別分類の場合も、滑走路延長別分類の場合もまったく同様であり、その手順を示すと以下のとおりである。

##### (1) 路線の分類

(2) グループ別生産所得の推計：県民生産所得の傾向値をグループ別に推計し、目標年次のグループ別生産所得を算出する。さらに中期経済計画にもとづいて生産所得の推計を行ない、これをフレームとして、さきに求めた目標年度のグループ別生産所得を調整する。

(3) ミクロモデルを適用することにより、グループ別生産所得の傾向値を説明変数として、グループ別輸送需要(人・キロ)の予測を行なう。本研究においては、輸送需要( $y$ )と生産所得( $x$ )との間に、次次の関係があると仮定する。

$$\log y = a \log x + b \quad (a, b \text{ は定数}) \dots\dots\dots(10)$$

式(10)に最小2乗法を適用して係数  $a, b$  を算出し、(2)において求められる目標年度の路線別生産所得を式(10)の  $x$  に代入することにより、路線別輸送需要を推計することとする。

(4) 平均輸送距離の推定：当該空港における路線別の平均輸送距離の傾向を年次との相関において求め、目標年次における平均輸送距離を路線別に算出する。路線別平均輸送距離( $D$ )の傾向値と年次( $t$ )の間には、主要空港の適去の傾向から直線的な関係がみられ、次次のように表わされる。

$$D = At + B, \quad (A, B \text{ は定数}) \dots\dots\dots(11)$$

最小2乗法を式(11)に適用して係数  $A, B$  を決定し、目標年次に対応する( $t$ )の値を式(10)に代入することにより、路線別平均輸送距離を算出することができる。

(5) (3)を(4)で割ることにより、旅客需要を算出する。

## 5. 大阪国際空港における適用例

大阪国際空港は、昭和 12 年に公共民間飛行場として設置され、昭和 20 年に拡張工事が一応完了したが、第二次世界大戦以後は米軍によって管理されていた。しかし、昭和 26 年に民間航空が再開されるや、いち早く国内線幹線の主要空港として再発足した。現在（昭和 37 年）における同空港の旅客数は 155 万人で、わが国航空旅客の 30% を占め、年ごとに同空港の重要性は増加している。しかしながら、大阪国際空港における現在の 1800 m 級の滑走路では、大型ジェット機の発着は不可能であり、わずかに東南アジア向きの中距離ジェット機が発着しているにすぎない。こういった現状から運輸省航空局は、延長 3000 m 級の滑走路の建設工事を実施している。これらの工事は、昭和 43 年度中には完成の予定である。

### (1) マクロ モデルによる旅客需要の予測

大阪国際空港においては、昭和 27 年を基準として、過去 11 年間に多くの新しい路線が開設されているが、当然新路線が開設されれば、旅客輸送量はその開設年次から急激に増加するので、旅客輸送量の実現値をそのまま用いて、時系列分析を行なうことは危険である。このため昭和 27 年以後に開設された路線に対しては、す

でそれらの路線が昭和 27 年に開設されていたと仮定することにより、新路線開設による旅客数の一時的な急増の原因をとりぞくこととした。

昭和 27 年に大阪国際空港において開設された路線は東京～大阪線、名古屋～大阪線、大阪～岩国線、大阪～福岡線の 4 路線である。これらの線路における昭和 27 年から昭和 37 年までの月別旅客数の推移は表一のとおりである。

表一の値と式(2),(3)とを用いて、分散分析により検定を行なった結果は以下のとおりである。

$$V_m/V_e = 6.8 > \begin{cases} F_{\phi_2}^{\phi_1}(0.05) = 1.88 \\ F_{\phi_2}^{\phi_2}(0.01) = 2.43 \end{cases}$$

$$V_y/V_e = 220.9 > \begin{cases} F_{\phi_2}^{\phi_1}(0.05) = 1.92 \\ F_{\phi_2}^{\phi_2}(0.01) = 2.51 \end{cases}$$

したがって将来の航空旅客数については、単に長期傾向値を推計するだけでは不十分であり、季節変動も考慮しなければならないことが明らかとなった。表一の値と式(7),(8)から季節変動の有意差検定を行なった結果を示すと、表二のとおりである。

したがって、大阪国際空港の航空旅客数の推計については、航空旅客数の長期傾向線上の月別波動が将来もそのまま続くことと仮定することができるので、昭和 33 年から 37 年までの過去 5 カ年間の季節指数の平均値  $\bar{S}$  を目標年次昭和 43 年の季節指数とすることとした。この

表一 昭和 27 年開設路線の航空旅客数の推移

(単位：1000 人)

年 \ 月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
27	5.1	3.9	5.7	4.0	3.5	2.3	2.7	3.8	3.0	4.5	4.6	4.3
28	4.4	5.5	6.7	8.6	9.0	6.8	7.5	8.9	8.8	11.1	10.9	10.5
29	9.7	8.6	10.2	12.8	13.1	10.5	10.6	11.2	8.9	10.7	10.4	10.6
30	10.4	9.6	12.4	14.1	15.6	12.5	13.3	14.3	12.5	14.0	15.3	13.8
31	13.5	13.8	16.2	19.0	18.5	16.0	16.3	18.0	14.2	19.4	20.6	16.0
32	16.3	16.1	20.5	22.9	24.4	19.3	18.2	20.1	15.8	21.2	20.2	17.5
33	17.6	15.5	20.4	25.6	24.8	20.2	19.4	19.1	14.2	20.9	20.6	16.4
34	17.6	17.2	25.1	27.0	28.4	23.0	25.5	28.0	26.3	35.4	35.8	28.7
35	30.1	29.2	37.2	45.6	40.8	31.6	35.1	40.0	34.7	52.2	51.3	43.0
36	49.3	44.3	63.6	73.3	73.2	57.8	61.3	72.4	60.8	80.1	80.0	63.2
37	71.8	65.8	89.2	105.2	104.3	74.4	73.9	97.6	77.5	126.7	118.8	89.5

表二 季節指数の有意差検定

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$F_0$	11.1	1.3	21.0	12.6	10.8	14.9	1.4	16.2	12.5	2.3	2.5	5.8
$F_{\phi_2}^{\phi_1}(0.05)$	19.0	1.9	19.0	19.0	19.0	19.0	11.0	19.0	19.0	19.0	19.0	19.0

表三 季節指数 (S)

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
(S)	0.916	0.839	1.085	1.216	1.176	0.910	0.957	1.005	0.826	1.126	1.075	0.819

表-4 昭和27年から昭和37年までの航空旅客数の傾向値

(単位：1000人)

年	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
27	—	7.1	6.0	5.3	4.0	3.8	4.2	4.7	5.3	5.5	6.1	6.5
28	7.4	8.0	9.0	9.6	10.1	10.5	11.0	12.5	13.5	14.2	14.8	15.1
29	14.9	13.9	13.8	14.2	15.0	15.4	15.4	15.0	14.3	13.8	14.8	15.6
30	16.2	15.8	15.8	16.6	17.2	18.4	18.9	19.7	19.1	19.3	19.6	20.6
31	21.2	21.1	21.4	21.2	22.1	23.0	24.0	23.9	24.0	24.8	25.4	25.6
32	25.0	25.6	26.0	26.8	27.5	27.8	27.5	26.6	26.5	26.4	26.7	26.8
33	26.6	26.6	27.0	28.4	29.6	29.8	28.7	26.1	24.8	25.0	25.5	25.4
34	25.2	27.2	29.4	31.5	32.4	34.5	36.1	38.7	41.1	44.0	44.9	45.8
35	45.6	47.3	46.9	47.1	46.5	48.7	50.6	54.1	59.3	63.3	65.8	67.7
36	68.7	73.9	76.1	80.4	81.4	84.2	89.6	94.7	99.3	101.8	102.8	106.4
37	107.5	112.6	115.3	119.9	119.3	116.9	121.5	127.5	142.9	150.1	154.8	—

表-5 昭和43年月別旅客数予測値

(単位：1000人)

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	計
予測値	404.5	371.9	500.5	574.1	568.1	448.1	483.0	544.8	436.5	607.5	593.4	462.7	5995.8

結果を表-3に示した。

こうした季節指数の平均値  $\bar{S}$  を用いて表-1の実績値を除することにより、季節指数の影響をとりぞくことができる。同様に昭和33年、昭和35年および昭和37年から開設された空港についても傾向値を算出し、これらをすべて加算することによって、相手空港が昭和27年に開設されたことと仮定した場合の、旅客数の傾向値を求めると表-4のようになった。

表-4の値をもとにして、目標年次の昭和43年(暦年)における大阪国際空港の月別乗降客を推計したのが表-5である。

(2) ミクロモデルによる旅客需要の予測

本研究においては、航空旅客の需要予測値をもとにして、最終的には航空機の発着回数を算出することを目的としているために、ミクロモデルによる推計方法としては、滑走路延長別による分類を採用し、この方法にしたがって計算をすすめてゆくこととした。それゆえ4.で述べた(1)~(5)までの手順にしたがって、大阪国際空港の旅客数の推計を行なう。

a) 路線の分類

大阪国際空港の相手空港の滑走路延長をもとにして分類した路線グループは、表-6のとおりである。

b) 路線別生産所得の推計

4.にのべた(2)の推計方法により、目標年次の生産所得を算出すると表-7のようになった。

c) 路線別輸送需要の推計

表-7および表-8の昭和37年までの実績値と、式(10)から表-8の右端に示したような輸送需要を算出することができた。

d) 平均輸送距離の推定

式(11)を用いて路線別輸送距離を算出した結果を、表

—9に示した。

e) 航空旅客の需要予測

昭和43年における路線別輸送需要を、それぞれに対応する平均輸送距離で除することにより、昭和43年の路線別航空旅客の需要を表-10に示した。

表-6 路線別グループ分け

	路線分類 (m)	空 港 名
滑走路別	(1) 3000以上	東 京
	(2) 2000~2999	札幌, 金沢, 名古屋, 岩国, 福岡
	(3) 1500~1999	米子, 徳島, 高知, 小倉, 宮崎
	(4) 1000~1499	高松, 松山, 広島, 大分, 大村, 熊本, 鹿児島

表-7 路線別生産所得ならびに対前年比 (単位：10億円)

年次	33	34	35	36	37	対前年比	43
滑走路延長別	(1)	1494.7	1792.7	2181.0	2420.9	—	1.110 4994.5
	(2)	1656.7	1858.1	2225.9	2417.4	2625.3	1.086 4318.3
	(3)	663.3	733.2	851.6	908.6	969.5	1.067 1425.5
	(4)	877.1	964.2	1107.2	1175.9	1248.8	1.062 1787.0

表-8 路線別旅客輸送需要 (単位：1000万人キロ)

年次	33	34	35	36	37	43	
滑走路延長別	(1)	10000	14019	26778	34423	—	171400
	(2)	2032	2490	3835	7338	11303	57280
	(3)	1313	1461	2176	3707	6425	22131
	(4)	1206	1522	2971	5158	9798	66830

表-9 滑走路延長別平均輸送距離 (単位：キロ)

グループ	(1)	(2)	(3)	(4)	平均
平均輸送距離	530	679	354	540	512

表-10 滑走路延長別旅客需要予測値 (単位：人)

グループ	(1)	(2)	(3)	(4)	合計
予測値	3234000	843600	625200	1237600	5940400

表-11 昭和43年大阪国際空港における滑走路延長別旅客数

(単位:1000人)

グループ	月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	合計
(1)		219.7	201.9	271.7	311.7	308.4	243.7	262.2	295.8	237.0	329.8	322.3	251.3	3255.7
(2)		58.2	53.6	72.1	82.7	81.8	64.6	69.6	78.5	62.9	87.5	85.4	66.6	863.4
(3)		42.5	39.0	52.6	60.3	59.7	47.1	50.7	57.2	43.8	63.8	62.3	48.6	629.6
(4)		84.1	77.4	104.1	119.4	118.2	93.4	100.5	113.3	90.8	126.4	123.4	96.2	1247.1
合計		404.5	371.9	500.5	574.1	568.1	448.8	483.0	544.8	436.5	607.5	593.4	462.7	5995.8

以上の予測結果をとりまとめると、以下のとおりである。

マクロ モデルによる予測結果 600万人

マイクロ モデルによる予測結果 594万人

なおチェックのため、上と同様のマイクロモデルにより地域別に航空旅客数を推計すると、575万人となった。このようにして、いずれのモデルを用いた場合にもきわめて近似した予測結果がえられたので、昭和43年における大阪国際空港の国内線定期航空旅客の需要を600万人と推計した。そして、マイクロモデルと比較して予測の精度が高いと考えられるマクロモデルによる推計値をフレームとして、マイクロモデルによる滑走路延長別航空旅客の需要予測値を補正した。以上の結果を表-11に示した。

## 6. 航空機発着回数の算出

航空旅客需要の推計値を用いて、航空機の発着回数を算出するためには、路線別に機種・定員、あるいは座席利用率を知ることが必要となってくる。機種については、幹線では、CV-880・B-727級、主要地方線においては、B-727・カラベル・VIS-828、地方線ではYS-11・F-27の就航が考えられている。

また、将来の座席利用率は、以下にのべる考えかたにもとづいて推計することとした。わが国の国内線航空事業は民間企業によって支えられているので、各航空会社はその採算性という観点から、損益分岐点に相当する座席利用率を確保するため、今後いっそうの企業努力をばらうであろう。したがって、将来の座席利用率の下限値は、損益分岐点と考えることが妥当であろう。またこれとは別に、航空統計年報をもとにして、昭和33年から昭和37年までの座席利用率の実現値の平均値に標準偏差を加えたものを座席利用率の上限値と仮定し、将来の路線別座席利用率を求めると表-12に示すとおりである。

つぎに、表-12に示した値をもとにして、大阪国際

空港における1日当たりの航空機発着回数の算出を行なうこととする。まず、表-11によって求められた路線別月別旅客輸送量の中から、ピーク月における1日当たりの平均旅客数を求める。さらに、表-12から路線別に1機当たりの平均旅客数を計算することができるので、1日当たりの旅客数を1機当たりの平均旅客数で除することにより、1日当たり必要な航空機運航回数を算出することができる。これらの結果を一括表示すると表-13が得られた。

表-13 路線別発着回数 (1日当たり)

路線種別	1日当たり旅客数(人)	1機当たり旅客数(人)	1日当たり発着回数(回)
東京～大阪線	11000	66～90	168～123
幹線	2930	53～65	55～45
主要地方線	2130	38～51	57～42
地方線	4210	34～46	125～92
合計	20270	—	405～302

## 7. 結 言

本研究においては、国内線定期航空旅客の需要予測方法を検討し、それを大阪国際空港に適用することによって実証的研究を行なった。その結果を以下に示す。

昭和43年における大阪国際空港の国内線定期航空旅客数は、600万人と推計された。さらにこの推計値をもとにして、航空旅客需要の最も多い月の1日当たり航空旅客数を推計すると、2万人/日となった。なお、現在の大阪国際空港では、1日の総発着回数は250機が限度とされている。

今日、大阪国際空港においては、急増する離着陸機に対して、昭和43年を目標として、滑走路の建設をふくむ拡張工事が行なわれている。しかし、この拡張工事が完了したとしても、300～400機の離着陸機をさばくには不十分と考えられるので、さらに第二期の拡張工事、または代替空港の建設・整備が重要な課題となってくるであろう。

終りにのぞみ、本研究に対して終始ご指導賜わった京都大学教授 石原藤次郎博士、同 長尾義三博士、京都大学助教授 吉川和広博士、ならびに計算その他の労をわずらわした、大学院学生 戸嶋英樹君に対して、心から感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- 1) 円山由次郎：需要予測と時系列分析，日本生産性本部，昭和38年4月発行
- 2) 西田俊夫：経営のための近代統計入門，中央経済社，1962年12月発行
- 3) 運輸大臣官房統計調査部：航空統計年報，昭和31年～昭和37年
- 4) Adrian R. Legault：Highway and Airport Engineering, Prentice-Hall INC., 1960.
- 5) 運輸省航空局：民間航空の現況，昭和37年版
- 6) 運輸省航空局：空港整備の長期的ビジョン（補足資料）p.p. 3～5, p. 32, 昭和39年8月
- 7) 運輸省航空局：空港整備の長期的ビジョン，p. 6, p. 12, 昭和39年6月
- 8) 日本航空営業企画課：日航国内線路線別客層，昭和39年12月
- 9) M.A. Warskow, H.P. Galliher and K.G. Grossman：Airport Runway and Taxiway Design, Airborne Instruments, Laboratory Report, No. 7601-1, July, 1960.
- 10) 経済企画庁調査局：1964年経済要覧
- 11) 経済企画庁：中期経済計画，昭和40年2月15日
- 12) R. Horonjeff：Planning and Design of Airports, Mc Graw-Hill Book Co. INC., 1962.

【カラー口絵写真説明】

離島天草と九州本土を結んで，天草諸島の産業を開発し，さらに阿蘇，雲仙，別府とともに国際観光ルートを形成させるべく，日本道路公団の手によって，天草架橋工事が着手されてすでに3年を経た。

現在，来年秋の開通を前に，とびつづたいのように島々を結んでゆく5つの橋は，それぞれ上部工にはいり，今その架設がたけなわである。

この5つの橋のうち，3号橋と4号橋はディビダーク方式カンチレバー工法によるPC橋である。口絵写真の3号橋は中央径間長160mを有する3径間橋で，完成の暁には西ドイツで最近完成したペンドルフ橋(中央径間長208m)について世界第二位のものとなる。3号橋工事は39年4月に下部工に着手し，本年3月から上部工にはいった。そして現在は片側からの80mの片持り部分を完成し，全橋桁コンクリートは12月末までに打設完了の予定である。

3号橋の概要はつぎのとおりである。

- 位 置：熊本県天草郡松島町永浦島一池島
- 橋長・径間：361.0=100.5m+160.0m+100.5m
- 幅 員：有効6.5m，全幅8.0m
- 構 造：中央ヒンジ3径間連続T型ラーメン橋
- 方 式：ディビダーク式PC橋
- 設計荷重：TL-20 および風荷重と地震荷重  $k_h=0.15$
- 航路限界：高さ M.T.L.+15m，幅 40m
- 工 期：昭和39年4月～昭和41年6月(上・下部とも)
- 工 費：下部工 1億2600万円，上部工 2億円
- 企 業 者：日本道路公団天草架橋工事々務所
- 施 工 者：住友建設KK

主要材料

上部工	コンクリート	3130 m <sup>3</sup> ( $\sigma_{28}=400 \text{ kg/cm}^2$ )
	P C 鋼 棒	277 t (2種 $\phi 33$ および $\phi 27$ )
	鉄 筋	226 t
下部工	プレバッド コンクリート	2600 m <sup>3</sup>
	コンクリート	2220 m <sup>3</sup>
	鋼 材	150 t

本橋の構造形式は，橋脚に剛結された橋桁が，中央径間において鉛直せん断力のみを伝えるヒンジをもつ形式で，設計に当っては，橋梁が完成した後に，橋脚に不均衡モーメントが残らないように特に注意し，施工時の不均衡モーメントに対しては橋台支承上で最終的に支点調整(62.5t)を実施する。また，長大径間のため，桁高は脚部で10mにもなる。PC鋼棒としても  $\phi 33 \text{ mm}$  の非対称転造ネジをもったものが始めて使用された。またクリープ等によるたわみの問題に対しては，特別の試験を実施してその結果をおり込み，従来以上の確度をもって揚越しされるように施工を進めている。

施工に関しては，高さ10mもある薄い主桁をいかにコンクリート打ちするかということと，コンクリートの硬化熱について特に注意をした。また，ちょうど九州商船天草航路がとおっているため，船舶の往来が激しく，中央径間中央部の施工時には種々の災害予防措置をとった。離島での工事なるがゆえに，すべての資材をはじめ，生活必需物資や飲料水に至るまで，遠く船によって搬入しなければならないというハンディキャップにも耐えて，12月末には橋桁の全コンクリートを完了すべく，現在着々と進行している。

