

1. まえがき 最近における航空旅客の需要急増に対応して、航空界では航空機の大型化、ジェット化が急速にすすんでいる。これに際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つてきている。本研究においては、特に飛行場の滑走路問題に注目し、機種の組合せによる最小離着陸間隔を算出し、ついで preemptive priority のある係り合せモデルを導入することにより、航空機の平均係り時間を求め、さらにこの平均係り時間による損失費用を算出することとする。一方滑走路の建設費、資本回収額、維持費も算出し、これらと離着陸機の平均係り時間による損失費用との関係から、経済的観点に立つて break-even volume を計算し、適正な滑走路延長・幅員および本数も求めることを目的とする。

2. Preemptive priority のある係り合せモデルによる離着陸機平均係り時間の算出

一般の空港における離着陸機の滑走路使用に関しては、通常上の見地から着陸機に優先権が多えられている。しかし離着陸機が滑走路を走行中に到着した着陸機は、離着陸機が離陸を完了するまでは滑走路に入ることを許されない。このような状態での離着陸機の平均係り時間を算出するためには、

preemptive priority のある係り合せモデルを用いるのが有効である。いま左離着陸機に対する着陸機の割合を α とし、着陸機は単位時間に平均値 $\alpha\lambda$ のポアソン分布で、離着陸機は平均値 $(1-\alpha)\lambda$ のポアソン分布で到着するものとする。また滑走路の着陸機に対するサービス時間は平均値 $1/\mu$ の指数分布に、離着陸機に対するサービス時間は平均値 $1/\beta\mu$ の指数分布に従うものと仮定し、 $\beta = \frac{2}{\mu}$ とすれば離着陸機の平均係り時間は、

$$\left. \begin{aligned} \text{着陸機に対して} \quad W_1 &= \frac{\rho^2 [\alpha + (1-\alpha)(1/\beta^2)]}{\lambda(1-\alpha\rho)} \\ \text{離着陸機に対して} \quad W_2 &= \left[\frac{\rho^2}{\lambda(1-\alpha\rho)} \right] \frac{\alpha + (1-\alpha)(1/\beta^2)}{1-\alpha\rho - (1-\alpha)(\beta/\rho)} \end{aligned} \right\} (1) \quad \text{とあらわされる。}$$

3. 滑走路の平均サービス時間、離着陸機の平均係り時間および係り時間による損失費用の算出

滑走路で離着陸する航空機の到着順序のくみあわせを求めると以下のとおりである。

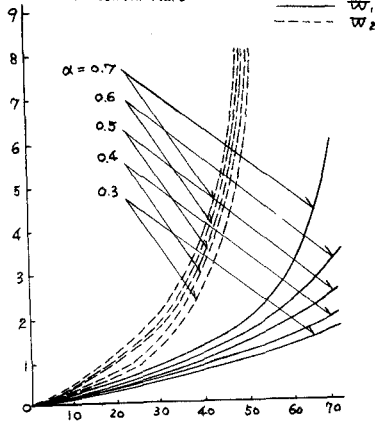
着陸機—着陸機 S^{**} 着陸機—離着陸機 S^{***} 離着陸機—離着陸機 S^{****} 離着陸機—着陸機 S^{****}

一般に滑走路のサービス時間は、航空機の種類と単位時間あたりの離着陸機入の関数として表示できるので、いま航空機の種類を, Jet, Heavy, Medium, Light の4種類にわけて、その構成比を δ_i (δ_j) とあらわすと、それぞれ λ に対して μ および $\beta\mu$ は、

$$\left. \begin{aligned} \mu &= \alpha \sum_j \delta_i \delta_j S_{ij}^{**} + (1-\alpha) \sum_j \delta_i \delta_j S_{ij}^{***} \\ \beta\mu &= (1-\alpha) \sum_j \delta_i \delta_j S_{ij}^{***} + \alpha \sum_j \delta_i \delta_j S_{ij}^{****} \end{aligned} \right\} (2) \quad \text{として計算できる。}$$

いま Jet: $\delta_1=20\%$, Heavy: $\delta_2=40\%$, Medium: $\delta_3=30\%$, Light: $\delta_4=10\%$ とし、式(2)を用いて $\mu, \beta\mu$ を求め、これらの値を式(1)に代入して離着陸機の平均係り時間を計算すると図-1が得られる。また各機種ごとに係り時間1分あたりの損失費用は、Jet: 5400円, Heavy: 3600~1,440円, Medium: 1,080円, Light: 360円と与えられているので、図-1とこれらの損失費用とから容易に平均係り時間による損失費用を計算することができる。

Fig. 1 Average Delay as a Function of Movement Rate



4. 滑走路建設費の年間資本回収額および年間維持費の算

出 一般に滑走路の1㎡あたりの建設費は、

舗装、照明装置等	4,500円
基礎、側溝工事等	900円
地価	1,800円
合計	7,200円

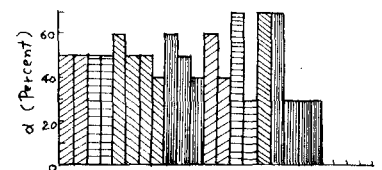
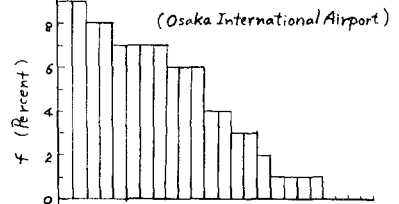
滑走路長3,000m、幅員60m(大阪国際空港B滑走路)を考えるとその建設費は1,296百万円となる。いま年間資本回収額を R 、建設費を P 、利率を i 、耐用年数 n とし、簡単のために、毎年同一額均等償却を行なうものと考え、 $R = P \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$ (3) 式(3)から年間の資本回収額を計算することが出来る。 $i=7\%$ $n=50$ 年として、前述の滑走路の資本回収額を求めると98.96百万円となる。滑走路の年間の維持費は資本回収額にほぼ等

しいと考えられているので、この滑走路の年間の総費用は187.92百万円となる。

5. 経済分析による通正滑走路数の算出 いま大阪国際空港を例にとり、1日に空港に出入する航空機の1時間あたり離着陸頻度分布およびそのときの α の値を調査すると図-2が得られた。さきに求めた離着陸機の待ち時間による損失費用と、図-2の結果をくみあわせることによつて、1日あたりの離着陸機の周数として、損失費用を求めることができる。これと滑走路の年間の総費用とから、図-3のようにして、break-even volume を計算することができる。この結果大阪国際空港では、1日の離着陸機数が290機以上になれば、いまのA滑走路と並行してB滑走路を建設した方が総損失費用が少なくなるということがわかった。

6. あとがき 本研究においては、preemptive priority を持った待ち合モデルを導入することによつて離着陸機の平均待ち時間を計算し、この平均待ち時間による航空機の損失費用と、滑走路の建設費・償却費・維持費とから、経済的観点になつて break-even volume を算出する方法論を展開し、大阪国際空港を例にとつて実証的研究を行なったものである。さらに今後の研究方針としては、この方法論を拡張して合理的な誘導路、エプロン、スポットの計画を行なうとともに、シミュレーションの手法を導入してモデルの精度を高めることが重要であると考えらる。

Fig. 2 Hourly Distribution of Aircraft Movement by Percentage



Hourly Rating (Busy to slow Hours)

Fig. 3 Economic Analysis of Parallel Runway (Osaka International Airport)

