Ⅳ－111　飛行場滑走路の規模決定およびその使用方法に関する研究

京都大学工学部　正員　工博　吉川和広
京都大学大学院　学生員　○戸嶋英樹
京都大学大学院　学生員　宮下武

1．まえがき

近年、わが国における航空貨客の需要は、急激な増加を示し、飛行場の各施設の整備・拡充が迫られている。この需要の増大にともない、複数滑走路の使用方法の検討が大きな問題となってきた。そこで、本研究においては、滑走路間隔が十分に広い2本の平行滑走路の使用方法に着目し、国民経済的立場から、待ち損失費用と滑走路建設費の和を損失費用と定義し、これを最小ならしめる滑走路使用方法を求めることとする。

2．待ち時間の算定のための待ち合せモデルの作成

滑走路の使用方法を以下の3種類にとる。(1) 1本を着陸専用、他の1本を離陸専用として使用する。(2) 1本を国際線大型機専用、他の1本国内線中・小型機専用として使用する。(3) 両方の滑走路を1本の時と同様に混合して使用する。

モデル作成の前提条件として、つぎのものを仮定する。i) 着陸機は、離陸機に対して non preemptive priority を持つが、着陸機間または離陸機間のサービスは先着順である。ii) 全離着陸機に対する着陸機の割合をαとすると、着陸機は単位時間に平均値$\alpha\lambda$の、離陸機は平均値$(1-\alpha)\lambda$のポアッソン分布で到着する。iii) 滑走路の着陸機に対するサービス時間は、平均値$1/\mu$の、離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。また、$\rho = \lambda/\mu$とする。

(1) の場合に対しては、窓口数1、到着単位1種の待ち合せモデルとして定式化できる。すなわち、待ち時間は　着陸機に対して

$$W_{q1} = \frac{\alpha\rho^2}{\lambda(1-\alpha\rho)} \tag{1}$$

離陸機に対して

$$W_{q2} = \frac{(1-\alpha)\rho^2}{\beta^2\lambda\left(1-\frac{1-\alpha}{\beta}\cdot\rho\right)} \tag{2}$$

となる。

(2) の場合に対しては、窓口数1、到着単位2種の non preemptive priority のある待ち合せモデルとして定式化できる。すなわち、待ち時間は、

$$W_{q1} = \frac{\rho^2}{\lambda}\cdot\frac{\alpha+(1-\alpha)\,{}^1/\beta^2}{1-\alpha\lambda} \tag{3}$$

$$W_{q2} = \frac{\rho^2}{\lambda}\cdot\frac{\alpha+(1-\alpha)\,{}^1/\beta^2}{1-\alpha\lambda}\cdot\frac{1}{1-\alpha\rho-(1-\alpha)\rho/\beta} \tag{4}$$

となる。

(3) の場合に対しては、窓口数2、到着単位2種の non-preemptive priority のある待ち合せモデルとなる。このような待ち合せモデルの理論解はまだ解かれていない。本研究においては、$P_{i,j,k,l}(t)$なる状態確率を導入し、待ち行列に上限のある待ち合せモデルとして、状態方程式をたて、これを連立方程式として解くこととする。ここに、i：システム内にある優先権を持つ単位(A)の数，j：シ

ステム内にある優先権を持たない単位（B）の数、k：サービスを受けている単位Aの数、ℓ：サービスを受けている単位Bの数である。

定常状態における状態方程式は、

$(i, j, 2, 0)$，　$i \geq 3$，$j \geq 1$　のとき

$$(\lambda+2\mu)P_{i,j,2,0} = \alpha\lambda P_{i-1,j,2,0} + (1-\alpha)\lambda P_{i,j-1,2,0} + 2\mu P_{i+1,j,2,0} + \beta\mu P_{i,j+1,1,1} \tag{5}$$

$i \geq 3$，$j=0$　のとき

$$(\lambda+2\mu)P_{i,0,2,0} = \alpha\lambda P_{i-1,0,2,0} + 2\mu P_{i+1,0,2,0} + 2\mu P_{i+1,0,2,0} + \beta\mu P_{i,1,1,1} \tag{6}$$

$i=2$，$j \geq 1$　のとき

$$(\lambda+2\mu)P_{2,j,2,0} = (1-\alpha)\lambda P_{2,j-1,2,0} + 2\mu P_{3,j,2,0} + \beta\mu P_{2,j+1,1,1} \tag{7}$$

$i=2$，$j=1$　のとき

$$(\lambda+2\mu)P_{2,0,2,0} = \alpha\lambda P_{1,0,1,0} + 2\mu P_{3,0,2,0} + \beta\mu P_{2,1,1,1} \tag{8}$$

となる。さらに、$(i, j, 1, 1)$、$(i, j, 0, 2)$、$(i, j, 1, 0)$、$(i, j, 0, 1)$、$(0, 0, 0, 0)$ のすべての場合についても、同様にして状態方程式をたて　$\sum_{i,j,k,l} P_{i,j,k,l} = 1$　なる制限条件のもとに $P_{i,j,k,l}$ を解くと、平均待ち時間は次式によって計算することができる。

$$W_{g1} = \frac{\sum_{i,j,k,l}(i-k)P_{i,j,k,l}}{\alpha\lambda} \tag{9}$$

$$W_{g2} = \frac{\sum_{i,j,k,l}(j-\ell)P_{i,j,k,l}}{(1-\alpha)\lambda} \tag{10}$$

3、各使用方法の特徴とその評価

待ち損失の問題の他に、建設費の差異についての問題がある。(1) の場合には、着陸専用の滑走路延長、(2) の場合には、国内線中・小型機専用滑走路延長は (3) の場合の使用方法にくらべて短かくすむ。滑走路の毎年等価の資本回収額 R は、P：滑走路建設費、i：年利、n：耐用年数とすると

R＝P　　　　(11)　で与えられる。また、安全性については、(1)、(2)、(3) の場合の順に有利である。

4、以上の各モデルの適用計算例

計算のために仮定したものは、機種の混合率、機種の組み合せ別の安全サービス間隔、離着陸機の比率、1日の単位時間あたり到着数の分布、および待ち行列の上限、さらに、滑走路建設単価その建設面積、年利、耐用年数、維持補修費である。この計算例における待ち損失費用および滑走路建設費は図-1 に示すとおりである。この図から明らかなように1日の離着陸機数が200機以上になれば、平行滑走路を、1本を国際線大型機専用、他の1本を国内線中・小型機専用として使用する場合の損失費用が最小になるということがわかった。しかし、実際の滑走路使用方法は、この計算結果のみにたよることなく、前述の安全性の問題を加味した上で決定されねばならない。また、non-preemptive priority のある複数窓口の待ち合せモデルの理論解ないしは、近似解の追求が今後必要であるが、十分に大きい待ち行列の上限をとれば、実用上支障はないことがわかった。

図-1 損失費用計算例