

京都大学工学部 正員 吉川和広
運輸省 正員 ○戸嶋英樹
京都市 正員 品明真一郎

1. はじめに 航空輸送の著しい増加により、滑走路はじめ空港施設の整備・拡充が急務となっている。本研究は航空旅客の流動を分析し、これに対応した待ち現象解析のための数学モデルを導入し、さらに、一定の経済的ならびに機能的評価基準のもとに空港各施設間の均衡のとれた規模を算定しようとするものである。

2. 航空機、旅客および自動車の待ち現象の解析 旅客の流動に直接関係する諸施設のうち、主要な以下の各施設について待ち現象の解析を行なう。

(i) 滑走路 航空機の滑走路使用に関しては着陸機に対して先取権のない優先権が与えられている。着陸機の平均到着率 λ 、平均サービス率 μ 、離陸機のそれらを $(1-\alpha)\lambda$ 、 $\beta\mu$ とし、いずれもポアソン到着、指数サービスと仮定し、 $\rho = \lambda/\mu$ とすると、着陸機および離陸機に対する平均待ち時間 W_{g1} 、 W_{g2} は単一(i)および平行滑走路(ii, iii, iv)での各オペレーションについて下のよう求められる。

$$i) \text{ 単一滑走路 } W_{g1} = (\rho/\lambda) \{ \alpha + (1-\alpha)/\rho \} / (1-\rho), \quad W_{g2} = (\rho/\lambda) \{ \alpha + (1-\alpha)/\rho \} / (1-\rho) \cdot \{ 1-\alpha\rho - (1-\alpha)\rho/\beta \} \quad (1)$$

$$ii) \text{ 離着陸分離 } W_{g1} = \alpha\rho/\lambda \cdot (1-\rho), \quad W_{g2} = (1-\alpha)\rho^2/\beta^2 \{ 1 - (1-\alpha)\rho/\beta \} \quad \dots\dots\dots (2)$$

iii) 機體分離 (i) 式が適用できる。

iv) 混用 $P_{ijk,kl}$ (i, j : システム内の優先単位および優先権のない単位の数, k, l : それらのうちサービス中の各単位の数) なる状態確率を導入し、定常状態の状態方程式(一例で(i)式に示す)の連立方程式モデルを数値解法により平均待ち時間を求める。

$$(i, j, l, 1) \quad i \geq 2, j \geq 2 \quad \text{のとき}, (\lambda + \beta + 2)P_{ij,11} = \alpha\rho P_{i-1,j,11} + (1-\alpha)\rho P_{i,j-1,11} + \beta P_{i,j,11} + 2\beta P_{i,j+1,02} \quad (3)$$

$$W_{g1} = \sum_{i,j,k,l} (i-k)P_{ijk,kl}/\lambda, \quad W_{g2} = \sum_{i,j,k,l} (j-l)P_{ijk,kl}/\alpha\lambda \quad \dots\dots\dots (4)$$

(2) 誘導路 高遠離脱用誘導路への改善の初果は滑走路サービス時間の減少として前述の各式から平均待ち時間を算定できる。ホーリング・エプロンでの待ち機数は、滑走路サービス待ちとして算出できる。この分布を求めるため、単一滑走路の場合に用いた(i)と同様の数値解法が必要である。

(3) ローディング・エプロン $M/E_k/n$ が適当なものと考えられる。 $M/M/n$, $M/D/n$ 待ち合せモデルを導入すると、待ち行列の生起確率 $W^0(0)$ は両計算値の中間に存在するようになる。

$$M/M/n \quad W^0(0) = (\lambda\rho^n/n!) (1-\rho) \{ \sum_{i=0}^{n-1} \lambda^i \rho^i / i! + (\lambda\rho)^n / n! \} \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$M/D/n \quad W^0(0) = 1 - \exp \{ - \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{\infty} P(x: i, j) \} \quad \text{ここに } \rho = \lambda/\mu, \quad P(x: i, j) = e^{-\rho} \cdot \rho^x \cdot \mu^j / x! \quad \dots\dots\dots (6)$$

(4) 旅客待合室 待合室への出発客の到着はポアソン、待合室でのサービスは指数分布である。いま、待合室の広さ n が十分大いとして仮定すると $M/M/\infty$ の待ち合せモデルが適当な。待合室に n 人いる確率 P_n は次式で表される。

$$P_n = \rho^n e^{-\rho} / n! \quad \dots\dots\dots (7)$$

(5) 駐車場 自家用車駐車場には、 $M/M/\infty$ が適当し、(7)式により駐車台数分布が算出できる。

タフシー駐車場には、通常、二重待ち合せモデルが適用されるが、構内タフシーは認可制で有限母集団の待ち合せモデルとなり、サイクルタイムが適当とする。駐車場の各のサービス率を μ_1 (ステージI)タフシーが駐車場以外にいるサイクルタイムを μ_2 (ステージII)とする。架車場の数: M 、タフシー数とイエステージ出口数: N とし、ポアソン到着、指数サービスと仮定すると各台駐車する確率 P_n は次式で求められる。

$$P_0 = P(0, N), P_n = \left[\frac{N!}{(N-n)! n!} \right] (\mu_2/\mu_1)^n P(0, N) \quad (n < M) \quad \dots \dots \dots (8)$$

$$P_n = \left[\frac{N!}{(N-n)! M! M^{n-M}} \right] (\mu_2/\mu_1) P(0, N) \quad (M < n) \quad \text{ここに } P(0, N) = \frac{1}{\sum_{n=0}^N P_n}$$

3 適用計算例 空港の容量は、機能的にも経済的にも、主に、滑走路の容量により規定される。この適用計算例でも、大阪国際空港の現在および将来の機能的容量(ピーク時各、 $\lambda=26$ 機/時および25機/時)に対応する他の空港諸施設の規模を算定した。計算結果を図-1~8に示す。

4. あとがき 本研究においては空港諸施設間の均衡性を追求すべく、各施設における待ち現象を解析した。これを規模決定に用いることの経済的評価基準は明確であるが、機能面からの評価基準は現状に追従しており、一層、徹底かつ合理的の評価が必要である。

待ち現象の解析上の問題としては、待合室の容量について、シミュレーションを行なった結果と理論計算値の間の分散に差があったことがあげられる。これは、到着およびサービス終了に集団性があることに起因すると考えられるから、これに対応した集団待ち合せモデルの開発が望まれる。さらにタフシー駐車場に対しは、サイクルになった二重待ち合せモデルを開発する必要がある。空港各施設における、非定常状態における待ち現象の解析、および空港諸施設間の旅客、航空機、自動車の流れの相互の関連における説明は今後の課題であり、本研究は合理的な空港施設計画への第一段階をなすものである。

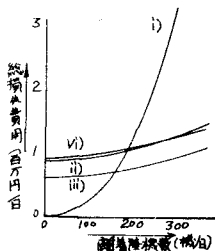


図-1 滑走路総損失費用

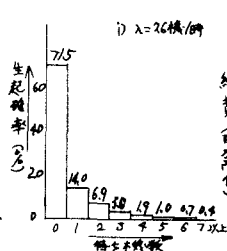


図-2 ホルデン・グエ700レでの待ち機数

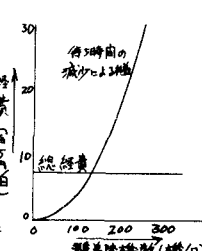


図-3 離脱用誘導路の改善の経済性

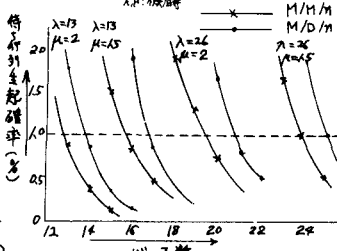


図-4 ローディング・エプロンでの待ちの生起確率

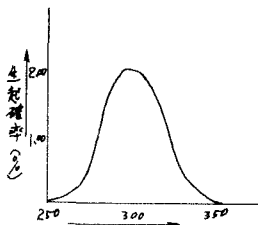


図-5 待合室における待ち機数(現)

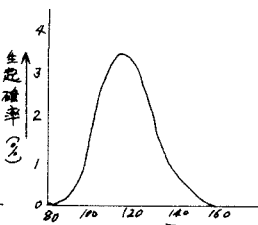


図-6 自家用車駐車台数(現)

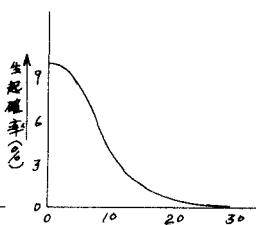


図-7 タフシー駐車台数(現)

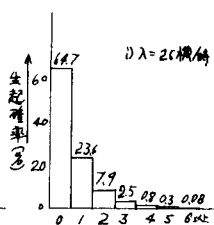


図-8 上空での待ち機数