

関西大学工学部 学生会員 ○伊藤祥展 関西大学工学部 正会員 則武通彦
 関西大学工学部 正会員 山田忠史 関西大学工学部 学生会員 井川智博

1. はじめに

わが国の航空輸送は、人々の生活水準の向上や旅客の時間価値の上昇などにより、目覚ましい発展を遂げている。

空港の旅客ターミナルは、旅客が航空機に搭乗する際、種々の手続きを行う公共施設である。そのため、旅客ターミナルは、旅客に対して効率よくサービスを提供することが要請されると共に、ターミナル建設・運営上での費用が抑制されるように計画・設計されることが必要である。

旅客ターミナルを建設する場合、旅客が最も影響を受ける項目は、施設規模に伴う各窓口等での待ち時間の増大、あるいは、待ち行列の増長であろう。本稿では、チケットカウンターにおける旅客の待ち時間損失を、施設で発生する総費用の一部として捉え、総費用を最小化するようなチケットカウンター施設を計画・設計するための方法を提示する。

2. 最適窓口数決定のための評価基準

チケットカウンターにおける窓口数が S の時、期間 T の間に消費される総費用は、以下のように表される。

$$C = c_b ST + c_p (L_q + a) T + c_s (L_q + a) T \quad (1)$$

ここに、

C : 窓口数 S 、対象期間 T における総費用 (円)
 c_b : 窓口 1 ブース当りの総費用 (円/日・ブース)
 S : 窓口数 (ブース)
 T : 考察の対象とする期間、本研究では 365 (日)
 c_p : 旅客 1 人当りの時間価値 (円/人・日)
 c_s : フロアで旅客 1 人当りに要する費用 (円/人・日)
 L_q : 平均待ち行列人数 (人)
 a : トラフィック密度 (= サービス中の人数) (人)

である。なお、 c_b に関しては、

$$c_b = c_c + c_f A_c \quad (2)$$

ここに、

c_c : 窓口 1 ブース当りの運営費用 (円/日・ブース)

c_f : 窓口 1 m² 当りの建設費用 (円/日・m²)

A_c : 窓口 1 ブース当りの面積 (m²/ブース)

であり、 c_s に関しては、

$$c_s = (c_o + c_f) A_p \quad (3)$$

ここに、

c_o : フロア 1 m² 当りの運営費用 (円/日・m²)

A_p : 旅客 1 人当りの占有面積 (m²/人)

である。ここで 1 m² 当りの旅客数を占有率と定義すれば、 A_p は占有率の逆数である。さらにパラメータの数を減らすために、式(1)の両辺を $(c_p + c_s) T$ で割ると、

$$r_s^T = r_{bf} \cdot S + (L_q + a) \quad (4)$$

ここに、

r_s^T : 総費用比率

r_{bf} : 窓口・待ちスペース面積費用比率

となる。ここで、 $(c_p + c_s) T$ は定数であるから、式(1)の C を最小化することは、式(4)の r_s^T を最小化することと同義である。よって本研究では、総費用比率 r_s^T を最適窓口数決定のための評価基準とする。

3. チケットカウンターのフロア面積

空港旅客ターミナルにおけるチケットカウンターのフロア面積は、サービスを行う窓口の総面積と、サービス中を含めた旅客の待ちスペースの和であり、次式で表される。

$$A_T = A_c \cdot S + A_p (L_q + a) \quad (5)$$

ここに、

A_T : チケットカウンターの全フロア面積 (m²)

である。

4. 待ち行列理論を用いた解析

平成 8・9 年に大阪国際空港のチケットカウンターで行った旅客流動調査より、各窓口では、旅客の到着分布がポアソン分布、またサービス時間分布はアーラン

分布に従うことがわかった。従って、式(4)および式(5)に *Cosmetatos*¹⁾の近似式を用いる。

$$L_q = \left\{ \frac{1+(1/k)}{2} + \left(1 - \frac{1}{k}\right) \left(1 - \frac{a}{S}\right) (S-1) \times \frac{\sqrt{4+5S-2}}{16a} \right\} \times \frac{a^{S+1}}{(S-1)(S-a)^2} \left\{ \sum_{n=0}^{S-1} \frac{a^n}{n!} + \frac{a^S}{(S-1)(S-a)} \right\}^{-1} \quad (6)$$

ここに、

k : アーラン次数

となる。ここで、システムの平衡条件として、

$$a/S < 1 \quad (7)$$

が成立していなければならない。

式(4)は、あるサービスレベル A_p のもとに、各定数とアーラン次数 k の値を設定すると、窓口数 S をパラメータとしたトラフィック密度 a のみの関数となる。

一例として、チケットカウンター内のチェックインの手動窓口で、サービスレベルを IATA の最も標準的なレベル、即ち $A_p=1.41$ (m²/人) で計画するものと考えると、総費用比率 r_s^T とトラフィック密度 a との関係は、 S をパラメータとして図1のように描かれる。

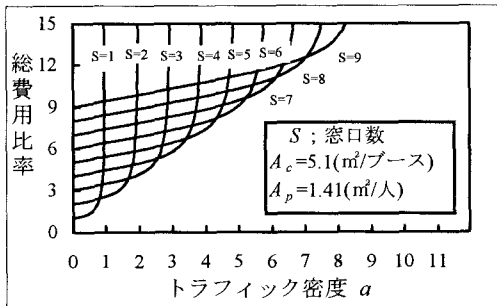


図1 総費用比率と最適窓口数との関係

図1において、 a の値を与えれば、その a の値を通る鉛直線を引き、それと最初に関わる曲線との交点が最小の総費用比率であり、その時の窓口数 S が最適窓口数である。なお、フロア面積は、ここで決定された S 、 a の値を式(5)に代入すれば算出できる。

5. 待ち行列シミュレーションを用いた解析

待ち行列理論では、システムの平衡条件が成立しない場合、最適窓口数およびフロア面積の算出ができない。この時、離散型待ち行列シミュレーションを用いて解析を行う必要がある。

本研究では過去の調査結果より得られた到着分布

(ポアソン分布)、およびサービス分布(アーラン分布)を基にして解析を行う。

なお、シミュレーションで得られるのは、任意の窓口数 S の時に発生する待ち行列人数 L_q である。これを式(4)に代入し、各々の窓口数における総費用比率 r_s^T を算出する。そして、 r_s^T を最小とする時の窓口数を最適とする。また、フロア面積に関しても同様に、決定された S を式(5)に代入すれば算出できる。

6. 適用例

両モデルを用いて、実際に大阪国際空港へ適用した。本稿では、IATA のサービスレベルを $A_p=1.79$ 、1.41、1.00 (m²/人) の三段階に分けて解析した。

窓口数については、実際に手動10、自動9ブースに対して、各レベルとも待ち行列理論では手動6、自動3ブースとなった。シミュレーションでは手動8、自動5ブースである。また、各サービスレベルに対するフロア面積は、表1、2に示される。

表1 手動窓口におけるフロア面積

占有スペース A_p (m ² /人)	1.79	1.41	1.00
待ち行列理論 (m ²)	40.0	38.0	35.9
シミュレーション (m ²)	49.1	47.3	45.4

表2 自動窓口におけるフロア面積

占有スペース A_p (m ² /人)	1.79	1.41	1.00
待ち行列理論 (m ²)	6.27	5.40	4.46
シミュレーション (m ²)	7.01	6.29	5.51

上表より、待ち行列理論とシミュレーションによる最適窓口数・フロア面積に多少の差違が認められる。これは時間帯ごとの旅客の到着人数が大きく変動することが原因である。待ち行列理論モデルでは、ピーク時間帯の待ち行列長を正確に推定することが困難であるため、結果としてフロア面積を過少評価したものと思われる。しかし、旅客の到着人数に大きな変動がない場合は、待ち行列理論により、簡便に最適窓口数とフロア面積が算出できるものと考えられる。

参考文献

- 1) *Cosmetatos, G.P. Some approximate equilibrium results for the multi-server queue (M/G/r), Operational Research Quarterly, Vol.27, No.3, pp.615-620, 1976.*