

滑走路配置による離着陸待ち時間の検討とその効果の分析

Analysis of aircrafts waiting time on the some types of runway configuration and it's benefit evaluation.

飯沼 忠康** 竹内 伝史***

By Tadayasu Inuma** and

Denshi Takeuchi***

1. はじめに

現在のわが国の国際空港の混雑状況は米国の国内幹線空港と並んで世界的に有名である。この混雑はターミナルビルにおける旅客の混雑がジャーナリズムに多くとりあげられるが、実は滑走路や駐機場における航空機の混雑の方が、より本質的な問題を抱えている。このような問題をなくしていくためには、いつでもどこからでも行くことができ、どこへでも行くことができるような待ちのない空港でなければならない。ところで現在、単一滑走路における1時間の滑走路容量は31～32便とされている。これは物理的限界値であり、離着陸機がつねに待たされている状態であり、とても随時離着陸可能なゆとりある滑走路の容量とは言えない。

一般に滑走路の容量には物理的容量、経済的容量、社会的容量の3者¹⁾があるとされている。物理的容量は滑走路が空き次第直ちに次の航空機が入ってくる状況を想定した極限的な容量である。したがって、航空機は常に待たされる状態になるが、その待ち損失は顧慮しない。一方、経済的容量は、この待ち損失費用と滑走路の増設費用を総合的に評価して、その最適状態における離着陸運用回数を滑走路の容量とするものである(社会的容量については省略)。ところで、従来技術資料として多用されるFAAの基準には、この物理的容量の数値しか示されていない。また、この分野の古典といわれるHoronjeff²⁾を始め、「飛行場概論」¹⁾や「空港」³⁾等のテキストにも、経済的容量の概念は説明されているものの、具体的な容量数値としてはFAAの基準を紹介しているのみである。

キーワード 空港計画、交通容量

**正生員 工修 株式会社 オオバ

***正会員 工博 中部大学 工学部教授土木工学科

そこで、本研究では、上記の主旨に基づき、航空機が待ちのない状態で滑走路を使った場合の容量は、どの程度になるかを求めてみることにした。もっとも、この経済的容量は待ち損失と滑走路増設費用とのトレードオフの結果として導出されるものであるから、簡単に一意的な結論を求めるわけにはいかない。そこで、ここでは一定の許容できる待ち時間を設定した場合の容量をもって、これにあてることとした。これは、則武によれば極限容量⁴⁾に対する実用容量の考えに等しい。則武はFAAの「許容できるレベルの航空機平均遅れに対応した1時間当たりのオペレーション数」⁵⁾という実用容量の考え方と有用性を紹介しつつ、自らは極限容量の詳細な分析を行っている。このように、実用容量の考え方によっても、滑走路のそれを具体的に分析した例は少ない。そこで、本研究では、単純なシミュレーションによって、待ち時間と離着陸回数との関係を求めた上で、この容量を分析することにする。シミュレーション自体は従来から使われてきた方法を忠実に実行することにするが、容量算出の結果のみならず、途中に得られる待ち時間と離着陸回数との関係も有用な知見となりうるであろう。なお、ここで許容待ち時間は、シミュレーションにおける平均待ち時間で定義されており、上限値ではない。これは、往々にして極端な値を算出することのあるシミュレーションの性質に依るものであって、それらが分析結果に影響を与えることを避けようとしたための措置である。

シミュレーションにあたって、ABC、OAG時刻表を用いて世界の大規模空港の中でもほぼ24時間運用されている比較的大規模な3空港を抽出し、ピーク時の典型的な離着陸分布をパラメータとして求めた。また単一滑走路とクロズドパラレル滑走路のシミュレーションモデルを作成した。

ここで、パラレル滑走路の形態として、クローズドパラレル形式を採用したのは、これによる滑走路容量の拡大を追求しようとしたわけではない。容量拡大を目指すのならば、インディペンデント（いわゆるオープン）パラレル形式の方が効果的であることは判っている。ここでは、より少ない費用で、いつでも着陸できる状況を作り出すために、些細なトラブルによっても滑走路閉鎖に追い込まれることのないクローズドパラレル形式を想定することにした。その結果として若干の容量拡大が望めることになるが、それよりも、これによって離着陸機の待ち時間が減少することの効果が大いものと考えられる。

そこで、単一滑走路とクローズドパラレル滑走路との待ち時間の差を燃料費に換算し、待ち時間短縮による便益と旅客の損失時間費用の測定を行なう。

これにより、ゆとりある運用状況（すなわち待ち損失の少ない）下での両タイプの滑走路容量に対する目安と、クローズドパラレルの設置効果を求めてみることにする。

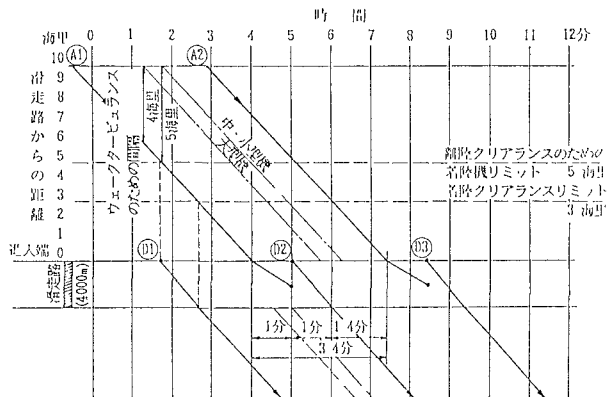
なお、現在における経済的容量の意義については、竹内が運輸と経済⁹⁾で論じている。

2. 単一滑走路シミュレーションモデルの概要

(1) 離着陸分布の分類

本研究では滑走路離着陸シミュレーションモデルを開発するにあたり図-1に示す仮想タイムスケジュールの考え方を基本にしている。これは、滑走路運用シミュレーションとしては極めて一般的な手法であって、ランダムに発生させた航空機をどのように処理していくかを考えるものである。この仮想タイムスケジュールの離着陸処理条件は、次のようになっている。

1. 離陸機と着陸機は交互に離着陸を行うものとする
これは、この交互運用が最も効率的¹⁰⁾であることによる。
2. 着陸する航空機の速度を130ノット(240km/h)とする
3. 滑走路の両側とも制約がなく進入方式が設定しうると仮定し、風向きにより滑走路処理能力は影響を受けないとする
4. 離陸機及び着陸機の滑走路占有時間を1分間とする
5. 離陸に対する離陸許可発出の時期は後続の進入機



(参考文献3)より引用

図-1 仮想タイムスケジュール

が滑走路進入端から5海里以遠でなければならない

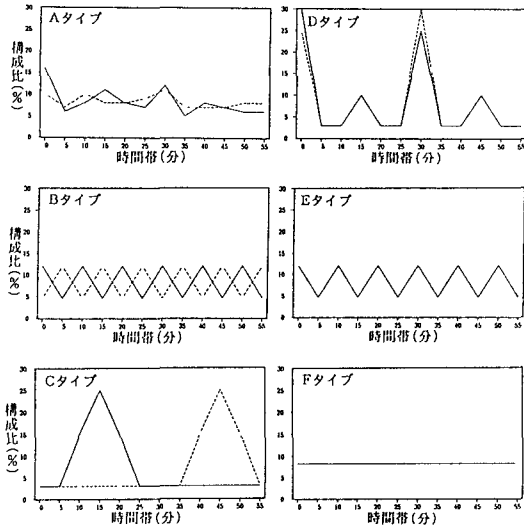
6. ウェークタービュランスのためのクリア間隔は1海里とする
7. 着陸クリアランスリミットは3海里とする

この条件によりシミュレーションプログラムを動作させている。なお、航空機の発生間隔については、離陸・着陸ともに指数分布に準ずるものとして、乱数発生機構によって、着陸側は滑走路端から5海里離陸側は滑走路端誘導路上に発生させることにする。これからも判るように、このシミュレーションでは航空路上における飛行時間調整によって吸収される時間損失は全く考慮されない。航空機は次に説明するような到着時刻割当てに合わせて、滑走路または最終進入路端に到着しようとするか、それに乱れが生じる部分だけを、ここではランダム発生として処理している。

シミュレーションモデルに入力するパラメータとして、離着陸発生点への航空機誘導（時間割り当て）方式を表すピーク1時間内の離着陸機割り当てタイプを作成した。これは、上述の33空港のデータの中から、典型的な離着陸分布タイプとして図-2に示すような6つに分類したものである。その概要を以下に示す。

Aタイプ…全空港の平均タイプ

- ・各空港のピーク1時間における離着陸便数を33空港合計し構成比にしたもの



—離陸…着陸

図-2 ピーク1時間の離着陸割り当てタイプ

Bタイプ…離着陸交互5分タイプ

- ・5分おきに離陸と着陸を行うもの

Cタイプ…1時間の前半に離陸、後半に着陸を割り当てたタイプ

- ・離陸と着陸を極端に分けたタイプ

Dタイプ…15分ピークタイプ(離着陸とも)

- ・アメリカやアジア地域で良くみられる

Eタイプ…10分ピークタイプ(離着陸とも)

- ・ヨーロッパ地域で良くみられる

Fタイプ…ピークのないタイプ

- ・ピークを少なくした平坦な分布なタイプ

(2)離着陸待ち時間の算出

上記に示した6つのピーク1時間内の離着陸機割り当てタイプをそれぞれシミュレーションプログラムに設定し、平均便数を入力することで航空機の離着陸便をランダムに発生させ、待ち時間のカウントをおこなっている。そこで、発生する待ち時間と離着陸便数との関係を調べ、許容待ち時間に対応する離着陸便数を1時間容量とした。なお、シミュレーションモデルでは航空機をランダムに発生させているため、入力する平均便数(期待値便数)と実際の発生機数が著しくかけ離れることがある。そこで、平均便数と発生機数との差が±4便/時以内になっ

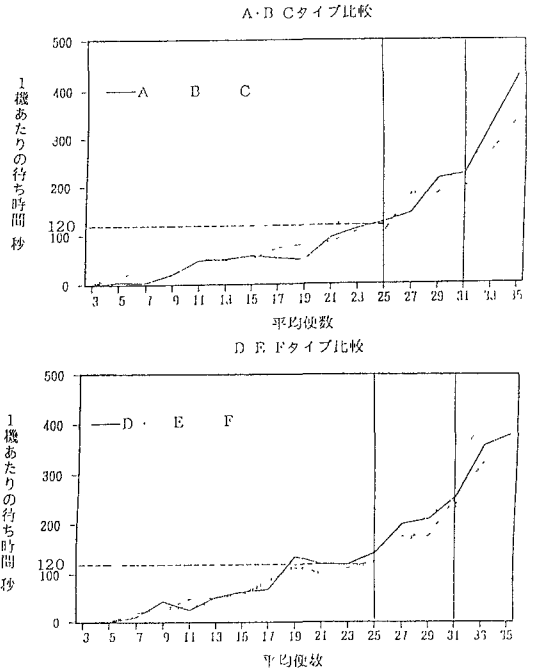


図-3 単一滑走路待ち時間算出結果

たものを5回算出し、その平均値を航空機の待ち時間としている。

ここで、パラメータである6つの離着陸機割り当てタイプ別にそれぞれシミュレーション演算した結果を図-3に示す。

この計算結果より、どのタイプにおいても平均便数が29便～31便の所で急激に待ち時間が増え始めている。ここで、先に記したように、31～32便が物理的限界値であることが確認できる。そして平均便数が25便のあたりまでは待ち時間は横ばいになっているが、それを過ぎた所ぐらいから徐々に増加している。またこの図より、待ち時間を完全になくすことが難しいということも確認できる。

この結果から離着陸の分布を5分刻みで処理しているBタイプは、ほかのタイプよりも待ち時間が少なくなった。逆にCタイプのような離陸と着陸を極端に分けたものはよい結果が得られなかった。この要因として、シミュレーションプログラム内では、航空機の離着陸は基本的に交互に処理するために、離陸と着陸の発生を時間的に分けて割り当てるCタイプではその効果がなくなってしまうものと考えら

れる。また、Fタイプも極端なタイプであるが、離着陸の分布にピークがほとんどないため、常に離着陸させているので、従来よく使われているA・D・Eタイプと同じような結果を得た。このことから離着陸分布は、5分刻みぐらいで交互に離着陸させるとよいと考えられる。

また図-3からA・B・Cタイプは、平均便数が増すごとに待ち時間が増えているが、D・E・Fタイプでは、15便くらいまでは低い値になっており、20便～25便あたりで待ち時間が横ばいになり安定した状態になっている。これも離陸と着陸の割り当てをずらしているタイプと、ほぼ同じであるタイプによる違いが出てきたと考えられる。このことから許容できる待ち時間を想定して考えるならば、20便～25便のあたりに1時間容量が設定できることがわかる。そこで今、仮に航空機1機当たりの許容待ち時間を120秒と考えた時の1時間容量算出結果を図-4に示す。

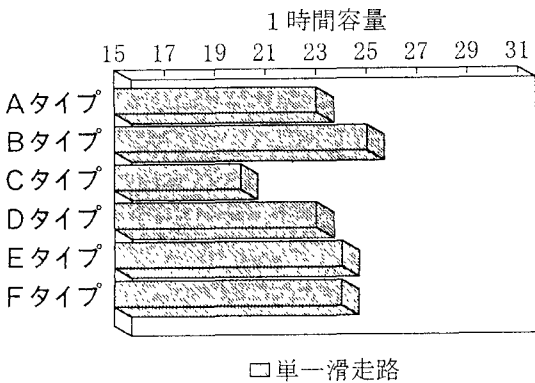


図-4 1時間容量算出結果

なお、このモデルとは別に、24時間シミュレーションモデルも作成し、同様に検討してみた。このモデルは、抽出した33空港の典型的なタイプである24時間の離着陸の割り当てタイプをパラメータとしてシミュレーション演算し、24時間(1日)の待ち時間を算出する。これらの両モデルの算定法について比較分析を行ったが、待ち時間にほとんど差が見られず、後で述べるように、拡大係数であるピーク率の逆数等を用いて、1時間シミュレーションモデルから滑走路容量を推計した方が、計画操作

性にすぐれているため、以後1時間モデルを用いて待ち時間の算出を行った。

3. クローズドパラレル滑走路シミュレーションモデルの概要

(1) 離着陸待ち時間の算出

クローズドパラレル滑走路では、離着陸を分け、それぞれ専用の滑走路を持つ考えが多く用いられるために、図-5のような2つの滑走路配置を用意し単一滑走路の場合と同様に仮想タイムスケジュールを改造し、作成した。すなわち、ターミナル側に離陸専用滑走路を配置したTST(Terminal・side・takeoff)方式とターミナル側に着陸専用滑走路を配置したTSL(Terminal・Side・Landing)方式である。なお、クローズドパラレル滑走路のシミュレーションを作成するにあたり、次の条件を考慮した。

- ・平行滑走路間隔……300m
- ・誘導路の本数 ……離陸、着陸ともに1本ずつとしており、高速誘導路は考慮していない
- ・待ちスペース ……シミュレーション内では、航空機は誘導路上で待つことになる。

また、入力するパラメータは、単一滑走路モデルと同様に、図-2に示す6つの離着陸機割り当てタイプを用いた。

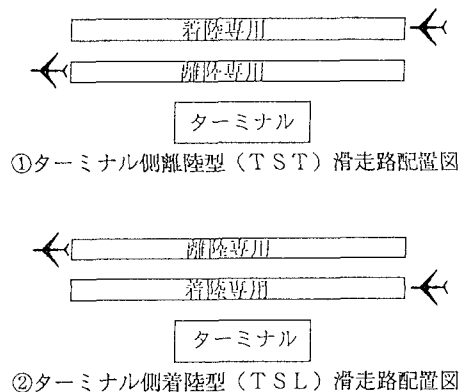


図-5 クローズドパラレル滑走路配置図

その離着陸割り当てタイプのうち、構成比が世界の33空港の平均をとった分布であるAタイプ、離着陸交互の代表であるCタイプ、離着陸同時の代表であるEタイプの3つのシミュレーション演算結果と単一滑走路の待ち時間とを比較したものを図-6

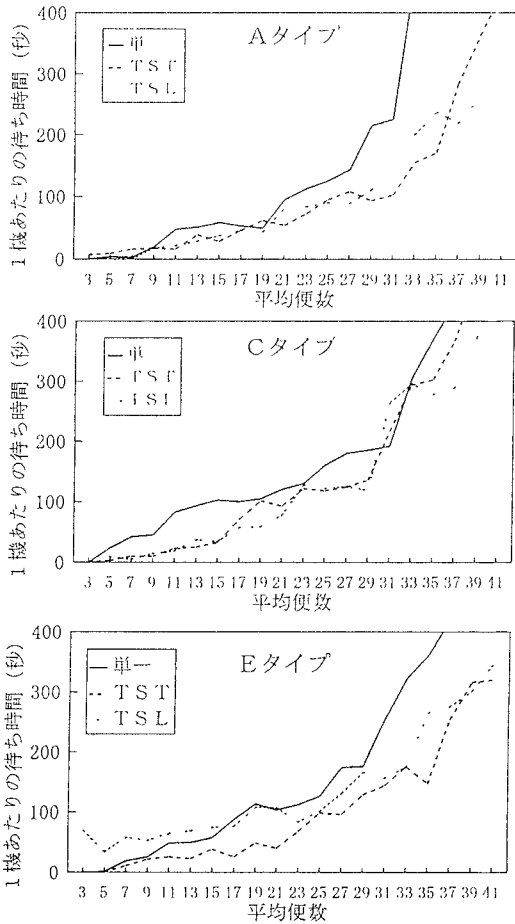


図-6 滑走路配置別待ち時間算出結果

を示す。

これらの図より、全空港の平均をとったAタイプについて見ると、19便を過ぎたあたりから単一滑走路とクローズドパラレル滑走路との間に、1機あたりの待ち時間に差が見られるようになり、特にTST方式では27便を過ぎたあたりから30%以上の待ち時間の減少が見られる。これに対して、離陸と着陸を極端に分けたCタイプは、平均便数が少ないときには、単一滑走路に比べてTST・TSL方式共に待ち時間の減少効果があるが、平均便数が増すごとに待ち時間に差がなくなっている。

この原因として、クローズドパラレル滑走路では2本の滑走路を離陸専用と着陸専用に分けて使うのが普通であるため、Cタイプのように離着陸の時間的割り当てを分けてしまうのは、ほとんど意味が

ないことがわかる。また、離陸と着陸の割り当てを同時に処理しているEタイプは、TST方式では30%近い待ち時間の減少があるのに対し、TSL方式では約10%の減少しか見られない。ここで、TSL方式がTST方式に比べ全体的に待ち時間が増えた原因について見た図を図-7に示す。

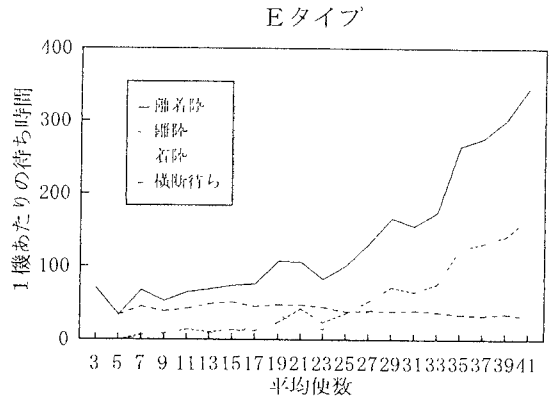


図-7 TSL方式Eタイプ待ち時間算出結果

この図より、TSL方式のEタイプの待ち時間算出結果を見ると、平均便数の値が低いところまでは、離陸機の着陸滑走路の横断待ちによって待ち時間が上がっていることが分かる。平均便数が増えて、全便が横断待ちをするようになれば、この待ち時間の増加はない。また、TST方式では、着陸機は常に優先して離陸滑走路を横断するので、この種の待ち時間は生じない。

(2)各タイプ別の滑走路容量比較

単一滑走路の時と同様に、航空機1機あたりの許容待ち時間を120秒と仮定すると、1時間容量が定義できる。そこで、1機あたりの許容待ち時間を120秒とした時の1時間容量について、上記で算出した単一滑走路とTST方式、TSL方式を比較したものか図-8である。

この図より、単一滑走路ではBタイプが最大1時間容量25便を示したが、クローズドパラレル滑走路では、B、D、Fタイプについては単一滑走路と比較してもあまり伸び率が見られない。そこで最も1時間容量が大きくなったタイプはTST・TSL方式共にAタイプとなりTST方式は31便、TSL方式では29便となった。この容量は、単一滑走路

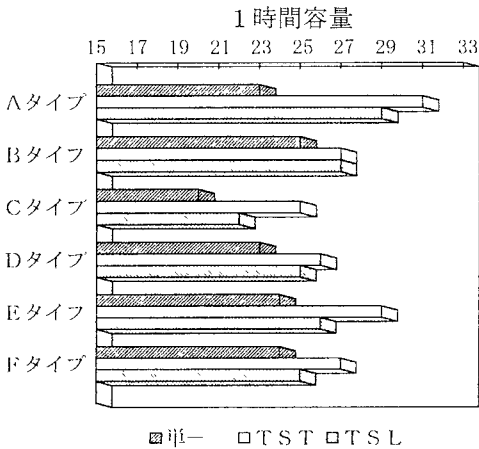


図-8 各滑走路によるタイプ別1時間容量比較

路に対して約1.3倍の容量である。これは、滑走路の物理的容量に関してFAAが算出している倍率にほぼ等しい。

ここで、Aタイプは抽出した33空港を平均した離着陸の割り当てであるため、これを典型化したものを作成した。AタイプはBタイプやEタイプに分布型が似ているが、さらによく見てみると離陸は適度に発生時間帯がコントロールされており、着陸についてはいつでも自由に降りていることが判る。すなわち、このような離着陸の分布が、クローズドパラレル滑走路の最大滑走路容量につながったと考えられる。したがって、Aタイプの典型的なタイプとしてA'タイプを作成した。その離着陸機割り当てタイプを図-9に示す。そしてシミュレーション演算して待ち時間を算出した結果から、1時間容量を求めてみると31便になる。

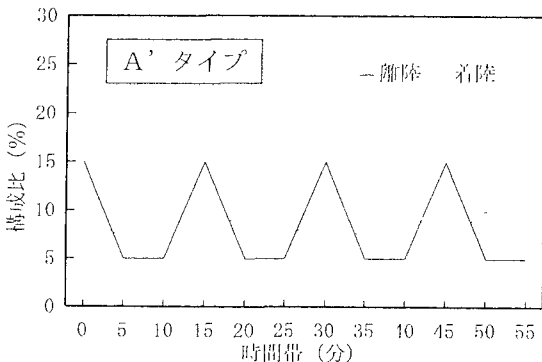


図-9 A'タイプ離着陸割り当てタイプ

(3)年間容量の算出

以上では、滑走路容量をピーク1時間について算出しているが、次に、年間容量を求める方法を考える。ここで年間容量は1時間容量に拡大係数であるピーク率の逆数を乗じて算出する(式-1)。

$$\text{年間滑走路容量} = 1 \text{ 時間容量} \times (1 / \text{ピーク率}) \times 365 \text{ 日} \quad \dots \text{式-1}$$

そこで、実際にクローズドパラレル滑走路の年間容量を算出すると、A'タイプの1時間容量は31便、ピーク率を33空港の平均値をとり9.5とすると、日滑走路容量は326便となる。これを年間滑走路容量にすると約12万回となる。したがって、クローズドパラレル滑走路における経済的年間容量は12万回程度となる。

ここで、ピーク率とは1日の便数に対する1時間の離着陸便数が最も多い時間における便数の割合である。

$$\text{ピーク率} = \frac{\text{ピーク時の離着陸便数}}{\text{1日の全離着陸便数}}$$

また、ピーク率は、33空港データを用いた重回帰分析によれば、当該空港の混雑率など下記の説明変数を用いた次のような重回帰式で表せる。(r=0.86)

$$Y = 9.298 + 0.115B - 0.877E - 0.003H + 0.044I \quad \dots \text{式-2}$$

ここで、

- Y、ピーク率：ピーク率とは1日の便数に対する1時間の離着陸便数が最も多い時間における便数の割合
- B、オーシャンフライト率：全便数に対する大陸間でのフライトの割合
- E、混雑率：FAAの離着陸処理基準をもとにして算出した年間発着便数を年間処理可能回数で割ったもので、この値が1を越すと混雑していると言える
- H、年間貨物取扱量：1987年ICAO統計によるもの
- I、閉鎖率：24時間の中で、離着陸便が1便もない時間帯の割合

また、ピーク率と混雑率の関係は図-10のよう

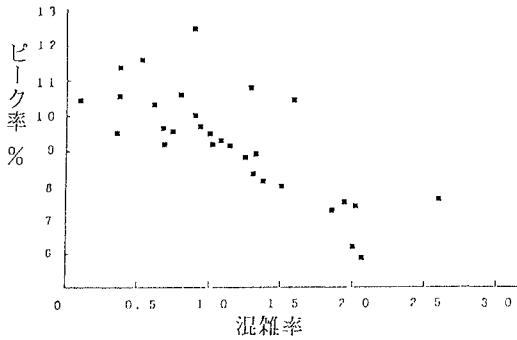


図-10 ピーク率と混雑率の関係

になっており混雑率が高くなっていくにつれてピーク率が低くなっていく傾向が見られる。今回は、このピーク率に実績(平均)値を用いて年間容量を算出したが、具体的な計画空港の容量については、式-1に使うピーク率をこの式-2を用いて推計計算することができる。

4. 待ち時間短縮による費用効果の測定

(1) 待ち時間短縮による費用効果

次に上述で得られた待ち時間の費用換算を行い、待ち時間が短縮することによりどれくらいの経済的な効果が得られるかを調べた。

上述で算出されたクローズドパラレルの経済的容量に相当する年間12万回(ピーク1時間31回)の離着陸に対する待ち損失費用を航空機と乗客に生ずる最も判りやすく、かつデータも集めやすい2つの項目について算出した。1つは航空機の自走時(離陸待ち)、ホールド時(着陸待ち)の燃料消費量を調査し、燃料価格(名古屋空港とほぼ同価格の22円/1として計算した⁷²⁾)を乗ずることによって燃料節約額を算出する。

もう一つは、航空機の離着陸待ちにより、乗客が待たされる時間価値を考えることにより損失費用を算出することができる。そこで、本研究では需要予測結果と時間価値(67円/分⁷³⁾)をもとに、年間滑走路容量12万回の時の必要人数を調べ⁷⁴⁾、1機あたりの待ち時間を1人あたりの待ち時間と考え、時間価値を乗ずることにより、1年間で旅客に及ぼす待ち損失費用を算出した。ここで燃料消費量は、全日空(名古屋)でのヒアリングによれば⁶²⁾、自走時の燃料消費量は63.51/分、ホールド時の燃料消費

表-1 待ち時間による費用節約

遅れによる航空機の損失				
	項目	離陸	着陸	離着陸
単一	便数	6	6	12 万回
	1機あたりの待ち時間	131.4	102.4	233.8 秒
	燃料消費量	63.5	199.8	1/分
	燃料費	22.0	22.0	円/1
	1機あたりの待ち費用	3059	7502	10561 円
	航空機の損失	1.8	4.5	6.3 億円
平行	1機あたりの待ち時間	80.2	34.6	114.8 秒
	1機あたりの待ち費用	1867	2535	4402 円
	航空機の損失	1.1	1.5	2.6 億円
単一-平行(費用節約額)				3.7 億円

遅れによる旅客の損失

	項目	離陸	着陸	離着陸
単一	需要人数	950	950	1900 万人
	1人あたりの待ち時間	131.4	102.4	233.8 秒
	時間価値	67	67	円/分
平行	旅客の損失	13.9	10.9	24.8 億円
	1人あたりの待ち時間	80.2	34.6	114.8 秒
	旅客の損失	8.5	3.7	12.2 億円
単一-平行(費用節約額)				12.6 億円

量は199.8 1/分程度である。(概略の数値である)その結果を表-1に示す。

この結果より、燃料消費によって生ずる費用である航空機の損失を見ると、燃料消費量は離陸待ちよりも着陸待ちのほうが多く消費されるため、離陸待ち時間に比べ着陸待ち時間の方が費用がより減少している。離着陸の1機あたりの待ち時間で見ると、119秒減少したことにより、航空機の燃料消費による待ち損失費用が年間で約3.7億円節約される。

また、旅客の損失についても年間で約12.6億円の節約効果があった。したがって、航空機の待ちによって発生する燃料消費の節約費と旅客の待ち時間短縮による時間価値の節約費用を考えると約16億円強の節約効果があることが分かった。

なお、この試算には待ち時間にピーク時のものを

用いており、計算結果はかなり過大なものとなっている。厳密には各時間帯の待ち損失を累積する必要があるが、ここでは概略の値とその構成を知り得たものといえよう。

(3)新空港建設による費用効果

次に、上記では離着陸の需要を12万回と定義して費用効果の算定をしたが、実際には需要は年々増加し、それに伴い航空機の節約効果も変化していくため、需要の変化も考慮に入れ離着陸回数に応じて節約費用がどのように変化していくかを考えなければならぬ。

そこで本研究では、図-11に示すような21世紀初頭の新空港開港予定の旅客・発着回数需要予測値を参考にして、開港予測時期の2005年～2025年の経年的に見た節約効果がどれくらいあるかを調べた。そこで、この需要予測値を各年毎に需要便数・旅客数を読み直し、それから各年の需要便数

に対しての待ち時間を算出し、これを年間の待ち損失費用に換算した。なお、社会的割引率を2%～6%で計算を行ったが、ここでは2%と6%の結果のみ表-2に示す。

表-2 2005～2025年までの経年変化を考慮した費用節約

	社会的割引率 2%		
	航空機の損失	旅客の損失	計
単一滑走路	170.0億円	643.1億円	813.1億円
平行滑走路	86.0億円	328.0億円	414.0億円
節約費用	84.0億円	315.1億円	399.1億円

	社会的割引率 6%		
	航空機の損失	旅客の損失	計
単一滑走路	105.0億円	392.6億円	497.6億円
平行滑走路	53.5億円	201.7億円	255.2億円
節約費用	51.5億円	190.9億円	242.4億円

この結果から社会的割引率が2%のときは単一滑走路の損失費用は、航空機の損失が170億円、旅客の損失では643.1億円となり合計813.1億円となった。そして、クローズドパラレル滑走路では合計で414億円となった。したがって、単一滑走路からクローズドパラレルを建設したときの費用節約は399.1億円となり、社会的割引率が6%のときには242.4億円になることがわかった。

5. 結論

本研究は一般の空港工学のテキストに載せられている滑走路運用のシミュレーション手法である仮想タイムスケジュールの単純なシミュレーションモデルを実際に開発し、これを用いて滑走路の経済的容量(ゆとりある運用状況下での容量)を算出し、クローズドパラレル滑走路整備の効果を分析したものである。その算定の根拠にはきわめて単純化された条件が与えられているので、ここに算出された容量と待ち時間の絶対値は、実際の滑走路運用によって実現される値とはかなりの変動が生じることが予想される。しかし、これらの計算結果の概略としての妥当性は、本文中にも示したように検証されている。

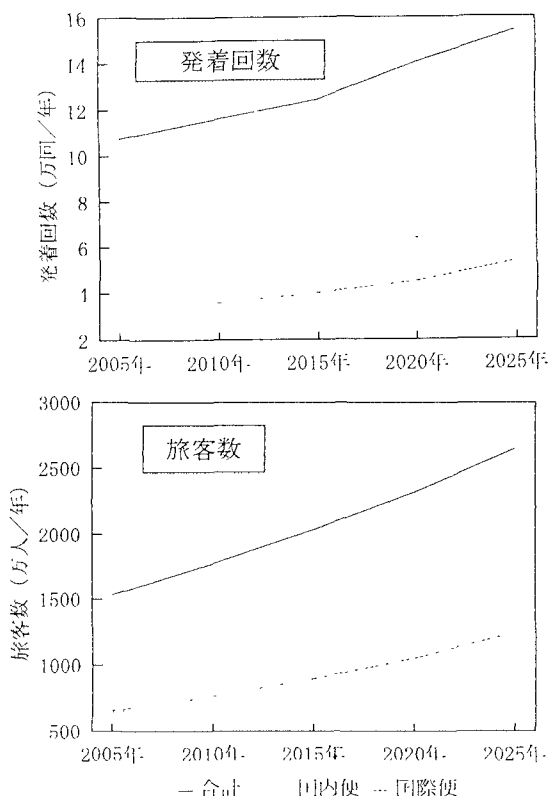


図-11 新空港需要予測値 (中部空港調査会資料⁹⁾より作成)

また、相対的評価としての議論は十分に成立すると見ることができよう。

本研究で得た知見を要約すれば、次のようである。

- ①滑走路の経済的容量は、その定義からいって物理的容量のように決定できないが、いま1機あたりの待ち時間を120秒と定義すれば、物理的容量の55%ぐらいである。(単一滑走路9.6万回、クローズドパラレル滑走路12万回)
- ②クローズドパラレル滑走路の経済的容量は、単一滑走路の場合のその約30%増しとなる。
- ③経済的容量を最大に導く離着陸機の発生誘導システム(時間割り当て)は、単一滑走路の場合は離着陸を交互に5分おきに割り当てるもの(Bタイプ)であるのに対し、クローズドパラレルでは着陸は常時、離陸は15分毎に集中させる方式(Aタイプ)がよい。
- ④クローズドパラレル滑走路を整備することによる経済的効果は、単一滑走路の場合に比して、少なくとも見積もっても単年で16億円、20年間で340億円と算出される(計画空港の想定条件としては中部空港構想を使用)。

なお、上記④で算出した便益額は、単一滑走路をクローズドパラレル滑走路に拡張するための費用に十分見合うものとは言えない(特に海上空港の場合)。しかし、これにはクローズドパラレル滑走路本来の目的である、2本の滑走路を持つことによる、いつでも降りることができるということの信頼性、安定性ひいてはサービス向上に対する評価が一切含まれていない。これらを含めて考えれば、この算出結果を持ってクローズドパラレル滑走路の整備はその投資効果を十分に発揮できる滑走路配置形式であると考えてよいものと思われる。

6. おわりに

本研究は、本年度について文部省科学研究費一般研究(B)の交付を受けている。また、長年にわたり中部大学特別研究費の交付を受けてきた。さらに(財)中部空港調査会には多くのデータの提供や調査の協力を頂いた。ここに謝意を表するとともに、下記文献欄7)8)に示すデータの収集については、協力を頂いたものの、そのデータの読みとりと解釈については、その責任は一切著者にあることを記しておきたい。また、本研究に着手

したのは平成3年本研究室修了の藤原啓史氏^{12) 13)}(現国際開発コンサルタント)である。また、幾つかの卒業研究の積み重ねがあつて本論文をまとめることができた。この機会に感謝の意を表しておきたい。さらに、本研究を数回発表してきた所、鳥取大学喜多秀行助教授をはじめ、多くの人のアドバイスを得た。厚く感謝するものである。

【参考文献】

- 1)高橋誠他(株)空港ニュース社:飛行場概論,1993
- 2)Horonjeff, Robert: Planning And Design of airports, 3rd ed., McGraw-Hill Book Co., 1983
- 3)平井磨瑳夫編著:空港, 技報堂出版, 1984
- 4)則武通彦: 空港滑走路の極限容量の推定方法に関する研究, 土木学会論文集, 第389号/W-8, 1988
- 5)Federal Aviation Administration: Airport Capacity Criteria Used In Preparing The National Airport Plan, 1976
- 6)竹内伝史: ゆとりの時代と社会基盤整備—とくに中部空港のあるべき姿をめぐる—, 運輸と経済54-8, pp49-50, 1994
- 7)中部空港調査会収集の資料より読みとり
- 8)平成6年5月に中部空港調査会の協力の下に行ったヒアリングの結果による
- 9)(財)中部空港調査会: 中部新国際空港, p8
- 10)飯沼忠康・竹内伝史: 単一滑走路における離着陸分布比較と日滑走路容量の算出, 土木計画学研究講演集, pp243-246, 1993
- 11)飯沼忠康・竹内伝史・梅村一美: クローズドパラレルの滑走路配置とその経済的容量, 第49回年次学術講演会講演概要集, pp202-203, 1994
- 12)藤原啓史・竹内伝史: 世界の24時間空港における離着陸時刻分布について, 土木学会第45回年次学術講演会IV, pp80-81, 1990
- 13)藤原啓史・竹内伝史: ゆとりある空港における離着陸時刻分布と経済的容量算出の試み, 土木計画学研究講演集, pp91-96, 1991

本研究では、一般の空港工学のテキストに載せられている滑走路運用シミュレーション手法である仮想タイムスケジュールの単純なシミュレーションモデルを単一滑走路とクローズドパラレル滑走路の場合について実際に開発した。これを用いて多数回の計算を行い、発生する待ち時間と離着陸便数との関係を調べ、許容待ち時間に対応する離着陸便数によって、滑走路配置別の経済的容量を算出している。次に、両滑走路形式の離着陸待ち時間の差によって発生する経済的効果がどれくらいあるかを測定することにより、クローズドパラレル滑走路整備の効果を分析したものである。

Analysis of aircrafts waiting time on the some types of runway cofiguration and it's benefit evaluation

Tadayasu Inuma . Denshi Takeuchi

In this report, simple runway operating simulation-models were developed for two runway configuration, a single runway and the closed parallel system. Caluculating with these simulation models, the relation between waiting time and operating times of aircraft were analyzed. As a result, the economic capacitys for each type of runway configuration were obtained, and the benefit of the closed parallel system was evaluated.
