

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 —ゆとりある空港を考慮して—

Comparison on distribution of landing/taking-off and calculation
of the daily capacity using a single runway
—toward comfortable airport—

飯沼 忠康* 竹内 伝史**
By Tadayasu Inuma* and
Denshi Takeuchi**

A physical capacity of aircrafts operation on a single runway is discussed under the usual condition of landing and taking off continuously. But as a matter of fact, arrival of aircrafts are random and fluctuate in time.

In this paper, extracting 33 major airports around the world, parameters of distribution of landing and taking off were firstly analyzed. Secondary the simulation model of aircrafts operation on a runway was developed. And as results, the capacity of a runway was discussed under the relation to the level of waiting time.

1. はじめに

21世紀は“ゆとり”の時代と言われる。ところが、わが国の空港の現状に目を向けると、国際空港などのターミナルでは、旅行客でいつも混雑し、滑走路でも激しい混雑がみられる。このような混雑をなくし、いつでもどこからでも来ることができ、どこへでも行くことができるゆとりある空港になるためには、待ち時間のない空港でなければならない。

ところが現在、1時間の滑走路容量は31～32便と言われている。これは物理的限界値であり、離陸機着陸機が常に待たされている状態である。航空機の到着はランダムであり、かつ時刻変動が著しい。し

たがって航空機が滑走路側の事情により自由に離着陸できなくなり待ち時間が生じる。そこで本研究では、世界の大規模空港の中でもほぼ24時間運用されているゆとりある空港と思われる33空港を抽出して、パラメータを求め、滑走路離着陸シミュレーションモデルを作成し、許容される待ち時間を設定することにより、待ち時間の少ないゆとりある日滑走路容量を算出した。

2. 日滑走路容量の算定法

本研究では、単一滑走路において1時間シミュレーションプログラムを使い、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を1時間容量とし、その1時間容量を離着陸分布タイプ別に算出し、データベースをもとに

* 学生員 中部大学大学院 建設工学専攻
**正会員 工博 中部大学教授 工学部土木工学科

算出された拡大係数によって日容量を求めた。ここで拡大係数はピーク率の逆数である。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。これを式で表すと

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

3. 離着陸分布タイプ分析

1時間シミュレーションプログラムに入力するパラメータである5分刻み構成比（離着陸分布）は、33空港の中で見られた典型的な離着陸分布である6個のタイプに分類したものであり図-1に示す。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
- Bタイプ…離着陸交互5分タイプ
Aタイプを典型的な形としたものであり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
離陸と着陸を分けた極端なタイプ
- Dタイプ…15分ピークタイプ
アメリカやアジア地域でよく見られる
- Eタイプ…10分ピークタイプ
ヨーロッパ地域でよく見られる
- Fタイプ…NOピークタイプ
ピークを少なくした極端なタイプ

この6個のパラメータを各々シミュレーションプログラムに入力し、待ち時間の算出した結果を図-2に示す。この1時間容量を求めるための滑走路離着陸シミュレーションプログラムでは、上記のようなパラメータを作成し、プログラムへ入力する。プログラムでは平均便数を入力し、ランダムに発生させた航空機を交互に離着陸させ、離陸機・着陸機の待ち時間をカウントしている。ここで算出された待ち時間にばらつきがみられるため、5回計算を行いその平均値をとったものを入力した平均便数の待ち時間とした。

図-2の計算結果より、どのタイプにおいても平均便数が31便～33便の所で急激に待ち時間が増えて

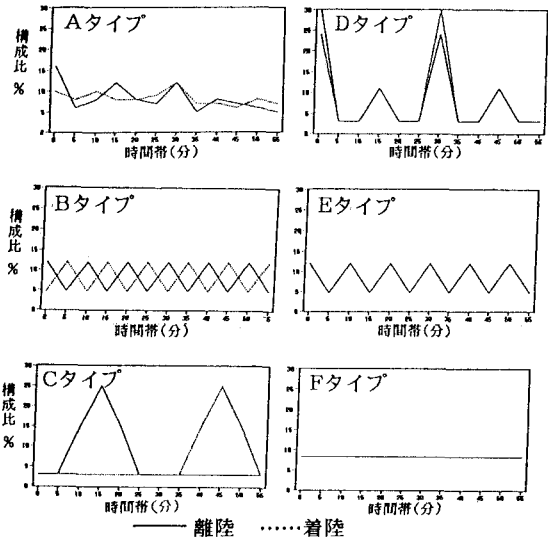


図-1 ピーク1時間の離着陸構成比

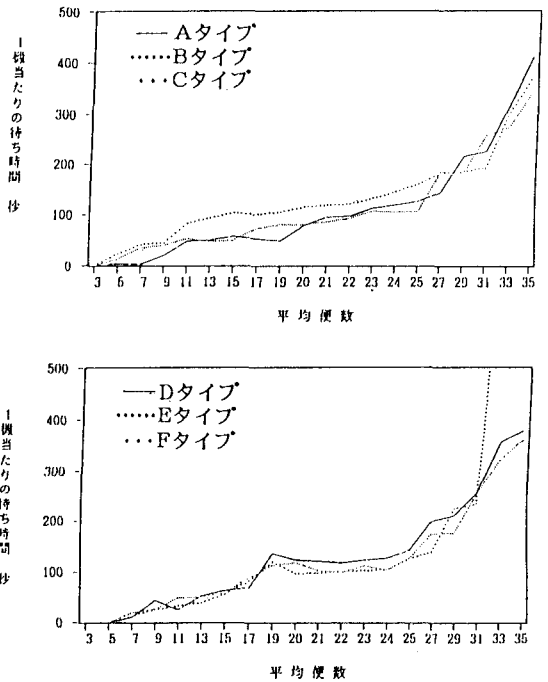


図-2 各タイプ別の待ち時間

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された。そして平均便数が25便ぐらいまでは待ち時間は横ばいだが、それを過ぎた所ぐらいから徐々に増加している。また待ち時間を完全になくすことが不可能であることも確認できる。したがって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時間容量ができることがわかる。

そこで今、仮に平均便数25便を例にとりて1機当たりの待ち時間を各タイプ別にみると、最も少ない待ち時間はBタイプの106.0秒、最も多い待ち時間はCタイプの160.2秒となる。そこで、航空機1機当たりの許容待ち時間を120秒とすると1時間容量を定義することができる。その結果を以下に示す。

	1機当たりの 待ち時間	1時間容量 (許容時間120秒)
1. Aタイプ ……	143.8 秒	23便
2. Bタイプ ……	106.0 秒	25便
3. Cタイプ ……	160.2 秒	20便
4. Dタイプ ……	142.3 秒	23便*(19)
5. Eタイプ ……	126.9 秒	24便
6. Fタイプ ……	124.2 秒	24便

*19便で一度待ち時間が135秒となるがその後下がったため23便とした

この結果からBタイプは、ほかのタイプよりもよい結果が出た。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。またFタイプも極端なタイプであるが、ピークが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分刻みぐらいでばらつきをもたせると離着陸させやすくなると考えられる。

また図-2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便ぐ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と言える。このような違いが出たのは、シミュレーションプログラム内では離陸と着陸を交互に行わせているので、離着陸分布の離陸と着陸の分布が異なっているA・B・Cタイプと、離陸と着陸の分布がほぼ同じであるD・E・Fタイ

表-1 Dタイプの演算結果

平均便数	待ち時間(秒)			1機当たりの 待ち時間
	離陸	着陸	離着陸	
3	0	0	0	0
5	0	1.0	1.0	0.2
7	51.6	19.2	70.8	10.1
9	205.0	184.8	389.8	43.1
11	196.5	71.86	268.3	24.4
13	457.8	218.6	676.4	52.0
15	823.6	325.2	948.8	63.3
17	690.0	464.2	1154.2	67.9
19	1424.2	1139.6	2563.8	135.1
20	1373.8	1074.4	2448.2	122.4
21	1384.4	1158.0	2542.4	121.1
22	1421.0	1179.2	2600.2	118.2
23	1528.8	1360.0	2888.8	125.6
24	1661.0	1461.4	3122.4	130.1
25	2310.8	1246.6	3557.4	142.3
27	2965.1	2442.3	5407.4	200.3
29	3432.4	2655.6	6088.0	209.9
31	4123.1	3802.4	7925.5	255.7
33	6055.2	5699.3	11754.5	356.2
35	6820.2	6402.3	13222.5	377.8
37	7055.6	6524.3	13579.9	367.0
39	9203.1	8895.2	18098.3	464.1
41	10842.3	9501.9	20344.2	496.2

プに、このような違いが出てきたと考えられる。

次に待ち時間について経済的条件を考慮して見ていくと、航空機の待ちというのは、離陸待ち機よりも着陸待ち機の方が燃料消費量は明らかに多くなるため、着陸機の待ち時間が少ない方がよい。このような条件をふまえて各6タイプについて見ると、表-1のようにB・Dタイプについてはどの平均便数においても着陸機の待ち時間が少なくなっている。

4. 日滑走路容量の算出

日滑走路容量は、上記に示した方法で表すことができる。ここで1時間容量を日滑走路容量にするための拡大係数に關係するピーク率は、重回帰分析を行った結果から算出している。これを式に表すと

$$Y=9.298+0.115B-0.877E-0.003H+0.044I$$

ここで説明変数について説明すると、

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：F A Aの離着陸処理基準をもとにして算出した年間処理可能回数を年間発着便数で

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ICA O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-3のようになり、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みられるため、ピーク率はあまり低い値をとらない方がよい。

そこでさきほど1時間容量でよい結果が得られたCタイプについて日滑走路容量を算出すると、

日滑走路容量＝1時間容量×(1/ピーク率)

で表されるため、Cタイプの1時間容量は25便、ピーク率を33空港の平均値の9.5 とすると、日滑走路容量は263便となる。これを1年間の滑走路容量にすると10万回弱程度になる。つまり、ゆとりある空港の1年間の容量基準としては10万回ぐらいといえる。

5. 今後の課題

今回の研究では、単一滑走路についてののみ分析をしてきたが、発表までには目下計画の中の新国際空港に目を向け、平行滑走路についても滑走路容量の算出結果を出してみたいものである。またピーク率の分析についてもまだ進める余地があるため今後の課題としたい。

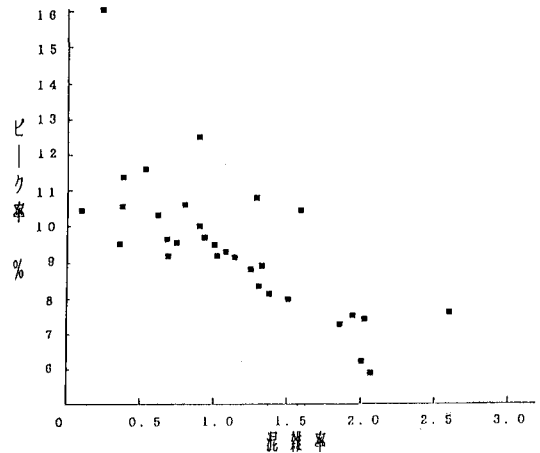


図-3 ピーク率と混雑率の関係

【参考文献】

- 1) 藤原啓史・竹内伝史：ゆとりある空港における離着陸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
- 2) 飯沼忠康・松原昭二・竹内伝史：ゆとりある空港における日滑走路容量の二つの算定法，土木学会中部支部研究講演集，pp505-506, 1993
- 3) 社団法人 土木学会：新体系土木工学69空港
- 4) ㈱航空ニュース社：飛行場概論