

航空管制空域の容量推定に関する基礎的研究

鳥取大学工学部 正会員 喜多 秀行
安田信託銀行 正会員 大江 一馬

1. はじめに

航空需要の増加に対処すべく空港整備が急ピッチで進められているが、それにともない、大阪国際空港、関西国際空港に加えて神戸沖空港の構想が出されるなど、わが国でも複数の空港が近接して立地する状況が生まれようとしている。

航空交通の容量的なボトルネックはこれまで主として滑走路にあると考えられ、滑走路容量に関する研究が精力的に進められてきた。しかし、複数の空港が近接して設置される場合、それぞれの空港の離発着航空機が同一の空域を使用するため、全体的な輸送能力が当該空域の交通容量によって規定されてしまう可能性が生じる。

そこで、本研究では、空港周辺の空域容量を算定する基礎として、管制空域の交通運用を、管制作業をサービスとみなした一種の待ち行列システムと考えてモデル化し、セクタ分割などの操作変数とそれに応じて発生する待ち時間との関係を検討する。

2. 管制空域のセクタ分割と交通容量

ここでいう空港周辺空域とは、航空路管制空域（水平飛行をしている部分にほぼ相当する）から飛行場管制空域（滑走路への離着陸を管制する）に受け渡される間のいわゆる進入管制空域である。管制官の指示によって航空機が降下・上昇や進路・速度の変更をしながら滑走路へと導かれるような空域であり、ルートが複雑に交差、分岐している。通常は何人かの管制官が分割して管制作業を分担しており、分割された空域それぞれをセクタという。

空域の分割セクタ数を増やすと一人の管制官が処理すべき機数が減り、セクタ内航空機に対する作業量が減少するためより大きな交通量に対応することができるが、セクタ数をあまり多くすると隣接セクタ間で航空機の受渡し作業（ハンドオフ移送・継承作業）が増えてしまい、全体としての処理能力が下がる。これは、「最適セクタ分割」というものの存在を示唆するものであり、そのようなセクタ分割の

下で実現する取り扱い可能な最大交通量が、本研究で念頭においている空港周辺空域の交通容量である。

3. ハンドオフ移送・継承待ち時間の算定モデル

航空機が上流側セクタから下流側セクタに進入する際、上流側セクタを受け持つ管制官がこの航空機を移送したいにもかかわらず、下流側セクタを受け持つ管制官がセクタ内に存在する航空機の処理に追われ、すぐさま継承できないような状態が生じる。この状態を「移送・継承待ち」と呼ぶ。

ここで航空機と管制官との交信を航空機に対する管制官のサービスと考えると、移送・継承待ちは交通量の増大に伴って発生する一種の「サービス待ち」であり、この大きさをもって交通疎通能力を評価することができる。そこで、個々のセクタを、以下の特性をもつM/M/S型の待ち行列系であるとみなしてモデル化し、移送・継承待ち時間を求める。

航空機のセクタへの到着は、ルートごとにみるとほぼ所定のスケジュールにしたがっているが、多くの場合セクタへの到着ルートが複数存在し、それぞれは独立に到着するので、全体としてはおおむランダム到着と見なせる。

一方、個々の航空機に対するサービス時間は、そのルートにおける交信回数と1回の交信における所要時間の積となる。1回の交信に要する時間は、航

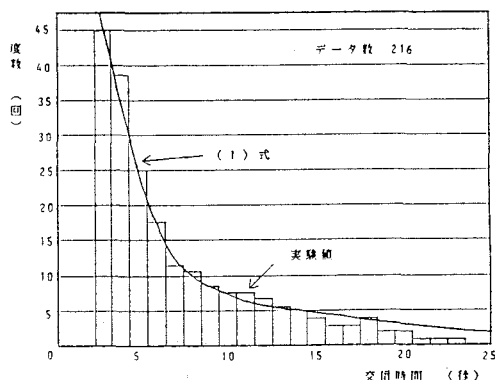


図 - 1 交信時間長の分布

空管制シミュレータによる実験データを収集し解析したところ、図 - 1 のような分布形状を示し、

$$p(t) = 0.225e^{-0.225(t-3)} \quad \dots\dots (1)$$

なる指数分布に従うことがわっている。

窓口数 S は、セクタ内で同時に管制下においておける航空機数の上限値に相当し、以下の整数計画問題の解として与えられる。

$$\text{maximize } S = \sum_{i=1}^I x_i \quad \dots\dots (2)$$

$$\text{s.t. } T \geq \sum_{i=1}^I c_i \cdot t_s \cdot x_i$$

ここに、 T は航空機のセクタ通過時間、 t_s は平均サービス時間、 c_i はルート i を航行する航空機に対する交信回数、 x_i はセクタ内のルート i 上に存在する航空機の数である。

4. 数値計算例

上述のモデルを図 - 2 に示す仮想空域に適用し、ルート変更やセクタ分割による移送・継承待ち時間の変化を検討した結果が表 - 1 である。

図 - 2 に示す設定(Case 1)のもとではセクタ $S 3$ と $S 4$ に混雑がみられ、 $S 8$ と $S 9$ はオーバーフロー状態となっている。そこでまず $S 8$ 、 $S 9$ を通過しているルート $R 7$ 、 $R 8$ の配置を、比較的すいている隣接セクタ $S 10$ 、 $S 11$ を通過するように変更すると、オーバーフロー状態はみられなくなる(Case 2)。また、 $R 1$ と $R 3$ の間で $S 4$ を 2 つに分割すると $S 4$ の混雑解消効果が得られる。 $S 8$ はルートの位置変更やセクタ分割を行ってもさほど待ちの発生が減少しないため、比較的すいている隣接セクタ $S 7$ と統合すると平均待ち時間が減少する。これは、当初のセクタが小さすぎ、セクタを統合して当該セクタ間の移送・継承作業をなくす方が、管制官を 2 人にして管制能力を高めるより効果的であったためと解釈される。一方、 $S 1$ 、 $S 3$ 、 $S 7$ を通過するルート $R 12$ を新設すると、通過セクタにそれぞれ待ちの増加がみられる。

5. おわりに

本研究では、空港の近接立地にともなって航空交通のボトルネックが空港周辺空域に生じる可能性を指摘し、その原因となる管制セクタ間のハンドオフ

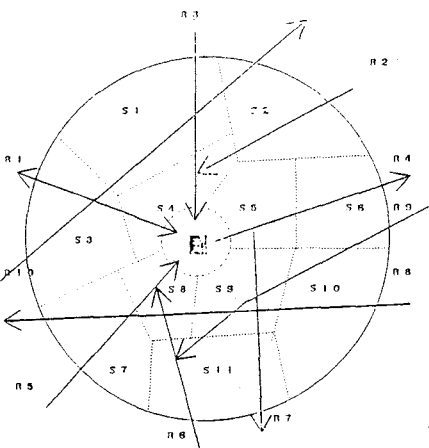


図 - 2 検討に用いたセクタ分割とルート設定

表 - 1 設定の変更に伴う平均待ち時間の変化

	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5
$S 3$	1.887	1.887	1.887	1.887	0.006
$S 4$	14.807	14.807	0.000	14.807	14.807
$S 7$	0.000	0.000	0.000	0.000	7.343
$S 7'$	—	—	0.170	—	—
$S 8$	O.F.	3.236	3.236	—	3.236
$S 9$	O.F.	0.000	0.000	0.000	0.000
$S 11$	0.000	3.101	3.101	3.10	3.101
他のセクタ	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

移送・継承待ちを算定する方法を提案した。数値計算の結果、セクタの分割・統合やルートの位置変更により待ちの発生を均等化できることが確かめられ、最適セクタ分割や空間全体での管制能力の上限といったものの存在を示すことができた。

この種の現象解析はこれまで主としてシミュレーション・モデル¹⁾によっていた。提案したモデルは今後さらに改良を要するが、計算時間が極めて短いため本モデルで大略的な把握を行った後に従来のモデルで詳細な検討を加えることも一つの方法である。

なお、航空管制交信データの収集に際し、航空保安大学校岩沼分校のご協力をいただいた。また、本研究の一部は文部省科学研究費補助金をうけて行われた。記して謝意を表する次第である。

<参考文献>

- 1) 例えば、東福寺ほか：航空路管制シミュレーション装置の試作，第18回電子航法研究所研究発表会講演概要，1986