

IV-27

空港周辺空域の航空容量算定法に関する一考察

鳥取大学工学部	正会員	喜多 秀行
島根県経済連	正会員	○丹木 正明
鳥取大学工学部	正会員	奥山 育英

1. はじめに

航空需要の増加に伴ない、多数の航空路が集中する地域では、複数の空港が近接して設置されるといった状況が生じ始めている。これらの空港を離発着する航空機は、その上空に拡がる空域を同時に使用せざるを得ない。そのため、航空容量の面において空港周辺空域が航空輸送のボトルネックとなることが懸念される¹⁾。

空港周辺空域は航空ルートの密度が高く、安全飛行間隔から定まる各ルートの物理的航空容量一杯まで航空量が増えると管制空域内を同時に飛行する航空機の数が増え、必要となる管制作業量が管制処理能力を超える恐れがあるため、管制処理能力によって航空量が規定される可能性がある。そこで本研究では、航空機と管制官の管制処理待ち時間を評価指標として空域全体としての管制処理能力の上限を算定する方法を提案し、空港周辺空域の航空容量が管制処理能力の面から規定されてしまうことの可能性を検討する。

2. 空港周辺空域の航空容量

本研究で着目する空港周辺空域とは、航空路管制空域（水平飛行をしている部分）から飛行場管制空域（滑走路への離着陸を管制する部分）に受け渡される間の進入管制空域である。通常は管制空域を適当な空域（セクタ）に分割し、セクタ単位で管制を行なっている（図1参照）。

セクタを通過する航空量が増えるにつれ、管制官が単位時間当たりに処理すべき管制作業が多くなり、セクタ内の航空機数によっては必要な管制処理が遅れてしまう可能性がある。この遅れ時間は一種の無管制状態であるため、このような状態が長く続くことは安全上好ましくない。

そこで本研究では、許容する管制処理待ち時間を越えることなしに管制官が処理しうる航空機数の上限を空港周辺空域の航空容量とする。

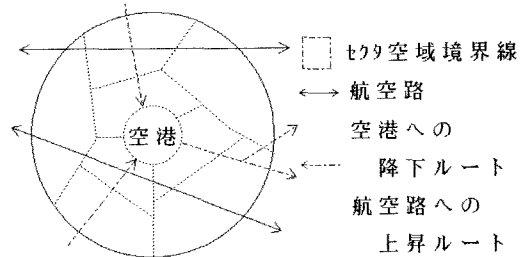


図1 航空路および管制セクタの概念図

3. 航空容量算定手法

個々の管制処理作業を航空機に対する管制官のサービスと考えると、1回の管制処理待ち時間は航空量の増大によって発生する一種の「サービス待ち」と考えられる。そこで、個々のセクタをラウンドロビン・サービス規律に従うタイムシェアリング型待ち行列系とみなしてモデル化し、管制官の受け持ち航空機数と管制処理待ち時間を求める。

航空機のセクタへの到着は、ルートごとに見るとほぼ所定のスケジュールに従っている。しかし、多くの場合セクタへの到着ルートは複数存在し、到着時間はその日の天候状態や飛行形態によって変わる。そして、各航空機は独立に到着するので全体としてはランダム到着とみなせる。また、個々の航空機に対するサービス時間は、セクタ内のルートにおける管制処理回数と1回の管制処理における所要時間の積となる。以下では1回の管制処理時間は一定であり、1機当たりの管制処理回数が幾何分布に従うと仮定する。

以上の条件のもとで、1回当たりの管制処理待ち時間の期待値 W は次式のように定義される²⁾。

$$W = \sum_{k=1}^{\infty} G_k \cdot \frac{W_k}{k} \quad \dots \dots (1)$$

ここに、 k は管制処理回数、 G_k は航空機が k 回の管制を必要とする確率、 W_k は航空機がセクタ内ですべての管制を終えるまでの待ち時間の期待値である。

次に、この管制処理待ち時間を評価するため、セクタ内において要求される平均管制要求間隔 T_c を次式のように定義する。

$$T_c = \frac{\sum_{i=1}^I Q_i \cdot \frac{L_i}{k_i V}}{\sum_{i=1}^I Q_i} \quad \dots \dots (2)$$

ここに、 I はセクタ内のルート数、 L_i はルート i の長さ (km)、 V は航空機の種類 (km/h)、 k_i はルート i 上での管制処理回数、 Q_i はルート i 上の航空機数である。

安全上許容される最大の無管制状態継続時間を許容待ち時間と呼ぶと、管制処理待ち時間 W と平均管制要求間隔 T_c の差として与えられる実質的待ち時間 W_A が許容待ち時間 E を越えない時、

$$W_A = W - T_c < E \quad \dots \dots (3)$$

となる条件のもとでの航空量の最大値が空港周辺空域の航空容量となる。

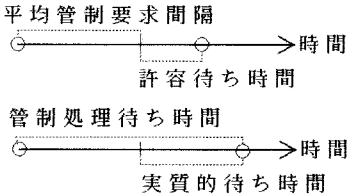


図2 航空容量算定方法

4. 仮想空域を対象とした検討結果

管制空域全体でみた場合に、管制処理能力が航空容量を規定する状況が生じるか否かを検討するため、図3に示すように長さ200kmのルート1本を含む空域を想定し、これを等分割してセクタを増やすことにより処理可能な航空量を検討した。また航空機の速度は450km/hとし、1回の管制処理時間 t (秒)、1秒あたり平均処理回数 k は航空量の違いによる変動を考慮するため以下のように設定した。

$$t = \alpha + \beta Q \quad \dots \dots (4)$$

$$k = \frac{L}{d} + 2 \quad \dots \dots (5)$$

$$d = \gamma - \delta Q \quad \dots \dots (6)$$

ここに、 Q は航空量 (機/時)、 L はセクタ内のルートの長さ (km)、 d は管制を必要とする平均距離であり、 α 、 β 、 γ 、 δ はパラメータである。

図4に算定結果の一例を示す。これは図3に示す空域を順次5個まで等分割していったものである。

図中の曲線は管制処理待ち時間の変化であり、点 $P1 \sim P5$ は実質的待ち時間が許容待ち時間に等しくなる点である。最大となるセクタ分割数が4個のときの航空量が管制処理からみた空域の航空容量であり、この場合は、現行の安全間隔基準に基づいて算定した航空容量 (点 Q) より小さいことが理解される。

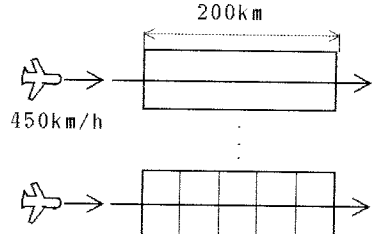


図3 仮想空域とセクタ分割

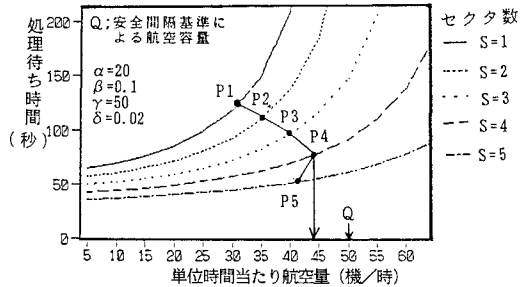


図4 航空容量算定結果の一例

5. おわりに

管制官の管制処理能力には上限が存在し、空域のセクタ分割数を増やしても管制処理の観点からみた航空容量は無限には増加しないため、検討した範囲内では、管制官の処理能力が物理的容量よりもむしろ空域の容量を規定する要因であることが明らかとなった。

しかし、本研究には簡単化のため種々の仮定が導入されており、さらに実態に即したものとするためには、航空量と管制処理作業との関係、および許容待ち時間の設定法などについて検討を進める必要がある。

【参考文献】

- 1) 喜多, 大江: 航空管制空域の容量推定に関する基礎的研究, 土木学会中四国支部研究発表会講演概要集, pp. 418~419, 1989
- 2) E.G. Coffman, Jr/P. J. Penning: オペレーティング・システムの理論, 日本コンピュータ協会