

## 航空交通管制セクタにおけるハンドオフ移送継承待ちの解析

鳥取大学工学部 正会員 ○喜多 秀行  
住友金属工業㈱ 西山 正一

### 1. はじめに

空域の交通容量は、安全飛行間隔、騒音、管制作業負担などさまざまな観点から検討されてきた。このうち、前二者についてはその算定法が確立されているが、管制能力からみた交通容量についてはまだその段階に至っていない。とりわけハブ空域など、複数の管制セクタから構成される空域の交通容量についてはあまり多くのことがわかっていない。

筆者らは、このような空域の交通容量を明らかにすべく研究を進めているが<sup>(1)(2)</sup>、その基礎となる管制処理の現象分析については必ずしも実態に即した記述が現段階でできているわけでない。そこで本研究では、管制作業負担の変動を比較的好く反応するハンドオフ移送継承待ちに着目することにより、セクタレベルのモデル化を行った。

### 2. ハンドオフ移送継承待ちに着目したモデル化

これまでの研究では、航空交通管制官をサーバ、当該管制官が担当する航空機からの交信要求を「呼」とするラウンドロビンタイプのタイムシェアリング型待ち行列系として管制システムをとらえ、管制官が担当する航空機全体の平均待ち時間に基づいて交通容量を議論してきた。ここでは、着目しているセクタの管制官の管制下にある航空機（セクタ内航空機）と、上流側セクタから着目セクタに進入しようとして管制官にハンドオフ継承要求を出している航空機（セクタ外航空機）の双方から出される交信要求に対して先着順にサービスが行われるとしているが、実際上はセクタ内航空機が優先的にサービスされる。したがって、待ちの主としてセクタ外航空機に発生する。

このように、一部の特定の状態にある航空機に待ちが集中する状況で全ての航空機に関する平均待ち時間を評価することは、セクタ外航空機の待ち時間の過小推定、すなわちセクタ交通容量を過大に推定することとなるため、両者を分離して評価する必要がある。これまでにも Modi<sup>(3)</sup> が Nested Queue なる概念を導入し、両者を解析的に解く試みを行っているが、簡単化

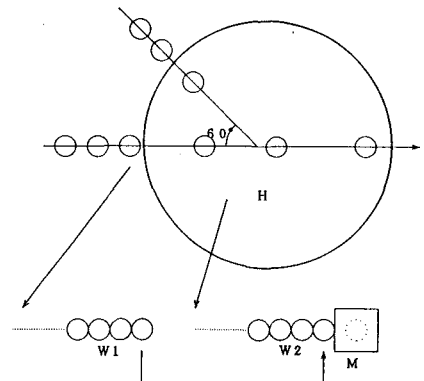
のためのいくつかの仮定をおくことが避けられない。そこで以下のようなタイムスライシング方式のシミュレーションモデルを作成し、種々の条件下における交通量-待ち時間関係を求めた。

- ・セクタ外航空機からの「呼」  
セクタへの到着交通量に応じたポアソン到着とする。
- ・セクタ内航空機からの「呼」

各航空機は、セクタ通過の際の飛行経路長やネットワーク構成、セクタ内航空機数などに応じた交信回数を有し、セクタを出るまでの飛行時間と残存交信回数に依存した頻度で管制処理を要求する。ここでは、管制処理作業をルーチン作業とコンフリクト解消作業の2つに分け、後者を交通量の関数として与えている。

- ・セクタ外航空機に対するサービス

隣接セクタから到着する航空機は管制移管のためのサービスを要求するが、このサービスはセクタ内航空機に対するサービスが全て終了している場合にのみ行われ、航空機はセクタ内に入る。サービスを待



- W1 : 管制移管待ち機数  
W2 : セクタ内交信待ち機数  
H : セクタ内航空機数 (W2を除く)  
M : 交信中の航空機数

図-1 モデルの概念図

つ間はセクタ内航空機とは別の待ち行列を作る。  
サービス時間分布は指数分布とし、パラメータは従来の研究<sup>2)</sup>のものを用いた。

### ・セクタ内航空機に対するサービス

セクタ外航空機に対して優先的にサービスを受ける。ただし、「呼」の発生時点で受けているセクタ外航空機へのサービスを中断することはない。サービス時間分布はセクタ外航空機に設定したものと同一のものを用いた。

## 3. 数値実験

図2に示す仮想空域を対象に、数値実験を行った。航空機は全機同一としているため、必要なコンフリクト解消作業は合流点における間隔設定作業のみである。交通量は流入点への到着交通量の総和として定義している。

図3は、交通量と管制移管待ち時間およびセクタ内交信待ち時間との関係を、セクタサイズごとに表示した結果の一例である。交通量が少ないところでは平均的にみてセクタ内交信待ち時間の方が管制移管待ち時間より短い。交通量が増加するにつれて管制待ち時間がセクタ内交信待ち時間を上回る様子が見受けられる。これらの待ち時間が航空機が無管制状態におかれている時間であると考え、待ち時間がより長くなることは安全上問題がある。したがって、許容される待ち時間の上限を与える交通量が、管制作業上の交通容量となる。許容待ち時間を30秒とした時の交通容量の値は、ルート長50kmの場合が90機/時、100kmの場合が60機/時、200kmの場合が45機/時となることがこの図から読みとれる。

ここで興味深いことは、セクタ交通量が増加するにつれて管制移管待ちが長くなり、実質的にセクタサイズが縮小するという実際の現象が再現されている点である。これは、空域全体の交通量の増加に伴いセクタの分割数が多くなること、ならびに、飛行ルートが集中するなど作業負荷が相対的に高くなる箇所を担当するセクタのサイズが他のセクタに比べて小さくなることを意味しており、本モデルの最適セクタ分割問題への適用可能性を示唆するものといえる。

## 4. おわりに

従来のラウンドロビン型モデルでは「呼」の発生時間間隔を明示的に取り扱えなかったため、結果として得

られる待ち時間のもつ意味が必ずしも明確ではなかったが、今回のモデルでは「呼」の発生があった時点で待ち行列に加わるため、得られた待ち時間を直接評価することができるという利点がある。今後は、このモデルを先に提案したセクタ分割モデルに組み込み、空域全体の交通容量に関する検討を加えていきたい。

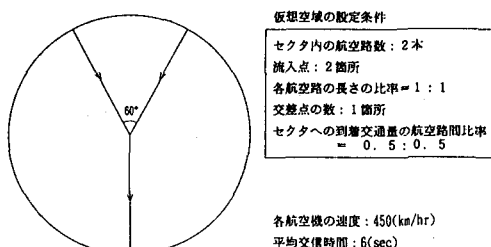


図-2 数値実験のための仮想空域

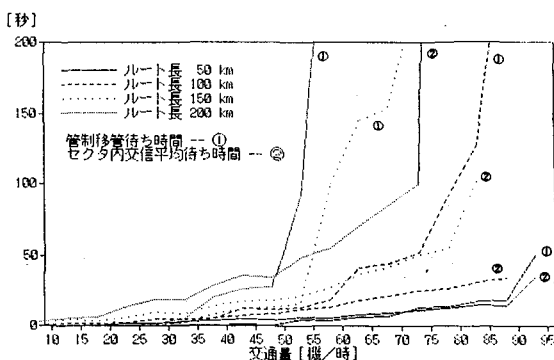


図-3 交通量と管制移管待ち時間およびセクタ内交信待ち時間の関係

- 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, 土木学会中国四国支部年次学術講演会講演概要, pp. 418-419, 1989.
- 2) 喜多, 舟木, 大江: 空港周辺空域の最大交通容量に関する一考察, 土木計画学研究・講演集, No. 14 (1), pp. 97-105, 1991.
- 3) Modi, J. A.: A Nested Queue Model for the Air Traffic Control Sectors, Transp. Res., Vol. 8, pp. 219-224, 1973.
- 4) 上野, 東福寺: シミュレーション実験による管制業務の分析, 電子航法研究所研究発表会講演概要, pp. 75-78, 1987.