

航空管制セクタにおける処理待ち時間と交通容量の分析

鳥取大学工学部 正会員 喜多 秀行
日建技術コンサルト(株) 正会員 ○川副 宏樹

1. はじめに

複数の空港が近接して存在する地域では、これらの空港を利用する航空機は同じ空域を使用するため、多くの航空路が集中し空域の混雑が予想される。このような地域では、空域の交通容量が空港の拡張や新設の可能性に大きく影響するため、あらかじめ空域の交通容量を把握しておくとともに、交通容量を高める効果的な方法を検討しておく必要がある。

著者らは、このような空域の全体的な交通容量に関する検討を進めており^{1)~3)}、その基礎として、管制処理作業の遅れに比較的良好に反応するハンドオフ移送継承待ち時間を算定するシミュレーションモデルを構築したが、空域全体の容量分析を行うためには計算効率が十分高いとはいえない。そこで、今回新たに所与のセクタ特性と交通特性の下で移送継承待ち時間を数値的に算定するモデルを開発し、セクタレベルでの交通容量を分析した。

2. 移送継承待ち時間に着目したモデル化

1人の管制官が受け持つ航空交通管制空域の一部を管制セクタという。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移送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、管制官は通常セクタ内航空機を優先的に処理を行なう。その結果、両者に対する処理待ち時間は均等とはならず主としてセクタ外航空機に発生するため、セクタ内航空機の待ち時間とセクタ外航空機の待ち時間を分離して評価する必要がある。

本研究では、セクタにおける航空管制システムをひとつの待ち行列システムとみなし、移送継承待ち時間をその待ち時間のひとつとして推定する方法を示す。サーバは管制官であり、管制官が航空機に対して行なう個々の管制処理がサービス、航空機から管制官への管制処理要求が「呼」である。また、セクタ外航空機よりもセクタ内航空機が優先的に処理されるという影響を直接モデル化するため、ひとつのサービス窓口には優先度が異なる2

つの待ち行列が形成されると考える。双方の待ち行列の長さやセクタ内航空機数によってシステムの状態を定義し、微小時間における各状態間の推移の様子を推移確率を用いて記述することにより、まず状態方程式をたてた。そして、その定常解を数値的に求め、移送継承待ち時間を導き出すことにより、移送継承待ち時間と交通量の関係を求めた。このモデルでの仮定を以下に整理して示す。

(1)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。

(2)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などに応じた交信回数を持ち、交信要求はセクタ内の総交信発生期待回数を平均値とするポアソン分布に従うものとする。

(3)航空機に対するサービス

セクタ内航空機は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、サービス中のセクタ外航空機へのサービスは中断しない。また隣接セクタから到着してくる航空機へのサービスはセクタ内航空機へのサービスがすべて終了している場合にのみ行われる。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¹⁾のものを採用した。

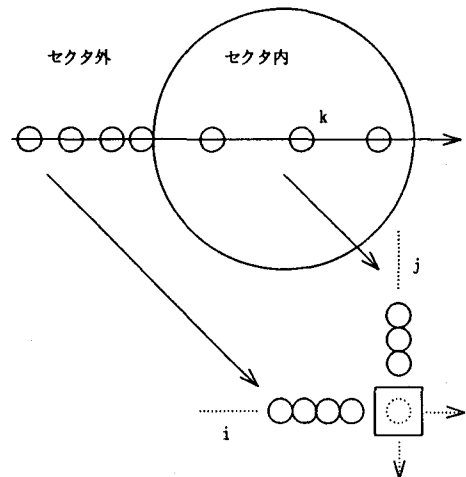


図-1 モデルの概念図

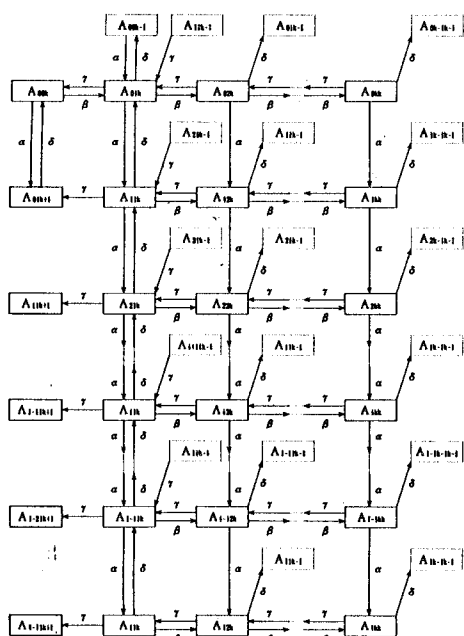


図-2 セクタ内にk機存在するときの状態推移確率
($k = 2 \sim K-1$ の場合)

3. 数値実験

大きさの異なる仮想空域を対象に、数値実験を行なった。航空機は全機同一とし、航空路（ルート）は1本でその長さは50km～200kmまで50km刻みで変化させた。到着交通量はルート長に応じて20～150機/時とした。

図-3は、ある設定条件下での交通量と平均移送継承待ち時間の関係を、セクタサイズごとに表示した結果の一例である。移送継承待ち時間を航空機が一種の無管制状態におかれている時間と考えると、待ち時間があまり長くなることは安全上望ましくない。従って、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。

この図からセクタ交通量が増加するにつれて移送継承待ち時間が長くなり、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ことが分かる。このことは、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、ならびに航空路が集中するなど管制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のサイズより小さくなることを意味している。移送継承待ち時間の長さは交通量の変化に対

して敏感であり、特に作業負荷の限界に近いところでは極めて大きな感度を有する。これは混雑につれてセクタ内航空機による管制処理待ち行列が継続的に形成され、セクタ外航空機に対する実質的なサービス率が低下するためである。逆にこのような状況下で作業負荷を少しでも軽減することができれば移送継承待ち時間は大きく減少する。これより、ルート別交通量の変化に対応してダイナミックに管制セクタの分割を変えることにより、混雑空域における交通管制の一層の円滑化を図ることが期待できる。

4. おわりに

本研究では、ハンドオフ移送継承待ち時間がセクタの交通容量に影響を与えることに着目し、従来のモデルではシミュレーションモデルを用いていたハンドオフ移送継承待ち時間の算定をより短時間で精度よく行なう方法を提案した。そして、ある想定条件下で移送継承待ち時間を分離して推定し、セクタの動的な分割変更等により作業負荷を適切に調整することにより移送継承待ちを大きく減らす可能性のあることを示した。提案したモデルを用いてこの種の改善方策の検討を進めることも今後必要となつてこよう。

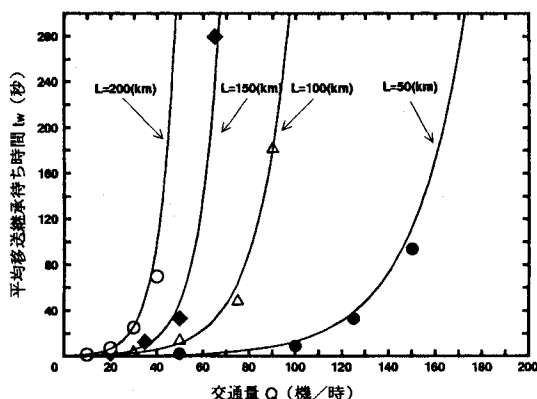


図-3 平均移送継承待ち時間と交通量の関係

【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) 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, pp. 97-105, 1991.
- 3) 喜多, 西山: 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, 土木学会中四国支部研究発表会講演概要集, pp. 560-561, 1993.