

IV-389

管制空域の交通容量と動的セクタ分割に関する基礎的研究

本州四国連絡橋公団 正会員 薄井 稔弘
鳥取大学工学部 正会員 喜多 秀行

1. はじめに

航空需要の増加に伴い、複数の空港が近接して設置される状況が生じてきている。このような場合、各空港を発着する航空機が同一の空域を利用するため、空港周辺空域の交通容量が全体のボトルネックとなる可能性がある。この航空交通容量は一連の既往研究によって、安全飛行間隔から規定される場合以外に、主に管制官の管制処理能力から規定されることが多いことが明らかにされつつある¹⁾。

また通常、空域はセクタと呼ばれる空域に分割されて管制が行われているため、交通容量を最大にする最適なセクタ分割の存在が予想される²⁾。

しかし現在、セクタ分割は固定的に運用されているため、時間帯によって特定のセクタに交通量が集中し、混雑が生じている。そこで、交通量の時刻変動に応じてセクタ分割を変更すれば前述の状況を改善し得ることが期待される。このような運用方式を以下では動的セクタ分割と呼ぶが、その効果についてはほとんど何も検討されていない。

以上の点をふまえ、本研究では、最適セクタ分割法とセクタ内交通容量算定法とを組み合わせた管制空域の交通容量算定法を提案する。そして、それを用いて動的分割と静的分割両者における交通容量を算定し、比較することで動的セクタ分割の導入効果を検討する。

2. 移送継承待ち時間に着目した交通容量算定モデル

セクタにおいては、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へ進入しようとして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）の双方から出されている交信要求に対し、管制官は通常、セクタ内航空機を優先的に処理する。このため、管制処理待ち時間は主にセクタ外航空機に発生するので、両者の待ち時間を分離して評価する必要が生じる。

そこで本研究では、セクタにおける航空管制処理システムを優先度の異なる2種類のサービスからなる待ち行列とみなし（図1）、移送継承待ち時間を求める。まず、セクタ外・セクタ内双方の待ち行列の長さで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確率を用いて状態方程

式をたてた。そして、この定常解を数値的に求め、移送継承待ち時間を導出し³⁾、この待ち時間が許容限度を越えないときのセクタへの単位時間当たり流入航空機数を交通容量とした。

3. 空港周辺空域の最適セクタ分割モデル

空港周辺空域のセクタは当該空域を三次元的に分割した空間であるが、航空機は基本的に定められた航空路しか飛行できないので、航空路ネットワークの一部とみなせる。したがって、本研究では、セクタ分割は航空路ネットワークの切断問題であると捉える。

本研究では交通容量算定の指標として移送継承待ち時間を用いているため、本来は各セクタの移送継承待ち時間を平均化するモデルを用いるべきだが、計算量が膨大となり現実的でない。しかし、管制作業時間平均化をもって待ち時間平均化の代替とできることが分かっているので、各セクタの管制作業時間を平均化するモデル²⁾を用いた。

4. 動的セクタ分割モデルの検討方法

動的モデルの検討方法は次の通りである。まず、一定のODパターンの下での最適セクタ分割（静的分割）を行い、変動するODパターンの下で空域全体の交通容量を算定する。次に、ODパターンの変動に応じた最適セクタ分割（動的分割）を行い、その時のODパターンの下で空域全体の交通容量を算定する。こうして求めた両者の交通容量を比較することで、動的セクタ分割導入の有用性を検討する。

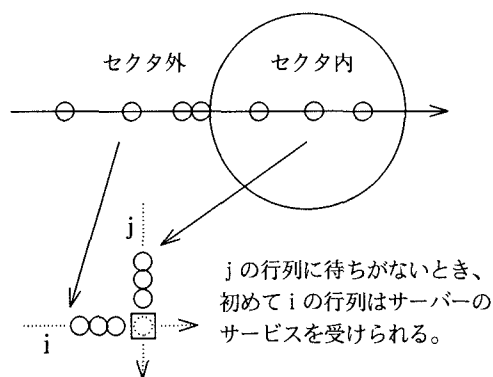


図1 待ち行列モデルの概念図

5. 仮想空域を対象とした数値解析

図4に示す仮想空域（45km離れた2空港をそれぞれ中心とする半径72kmの空域）を設定し、表1に示すOD別交通量比率の下で全体の交通量を徐々に増加させ、交通容量を算定した。航空機は速度は一律に450km/h、ハンドオフ作業は15秒/回、ルーチン作業は10秒/回、交差錯綜解消作業は40秒/回、ルーチン作業単位距離は30km、安全飛行間隔は5.4km、許容待ち時間は18秒とした。

なお、静的モデルは、1日の平均のODパターンを想定し、セクタ分割を静的に運用した場合を考えた。また、動的セクタ分割モデルの検討の際、静的分割には静的モデルのODパターンを用いた。得られた結果は次の通りであった。

- ①静的モデルでは図2のように分割数7、動的モデルでは図3のように分割数4で交通容量は上限に達した。つまり、セクタ数の増加に対する交通容量の増加には上限があり、交通容量の面から最も有利なセクタ分割数が存在した。
- ②図4,5のように、交通流の集中する合流点を含む特定のセクタが管制上のネックとなっていた。
- ③管制官数に制約がなくかつ分割数が可変である場合、静的分割よりも動的分割の方が分割数が少なく済み、場合によっては交通容量も大きくなった。
- ④管制官数（分割数）に制約がある場合には、静的分割に比べ、動的分割の導入は交通容量の増加に一定の効果があった。

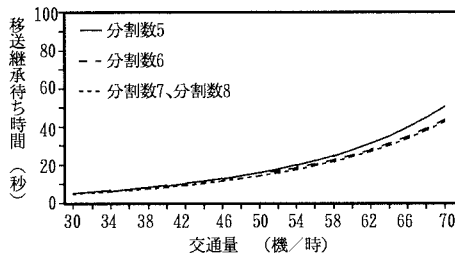


図2 静的モデルでの移送継承待ち時間

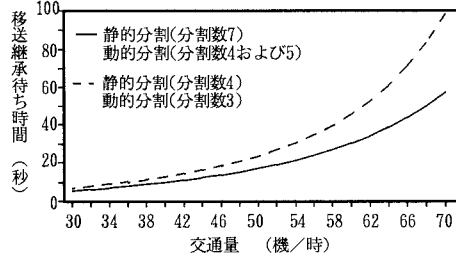


図3 動的モデルでの移送継承待ち時間

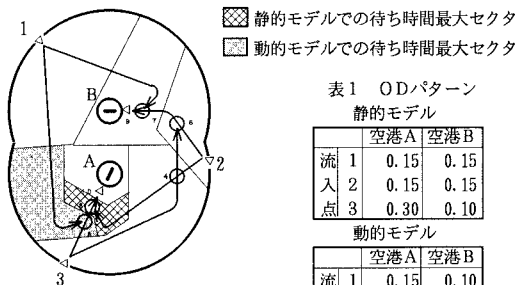


図4 静的モデルでの最適分割パターン

表1 ODパターン

静的モデル		
	空港A	空港B
流入	1 0.15	0.15
点	2 0.15	0.15
点	3 0.30	0.10

動的モデル		
	空港A	空港B
流入	1 0.15	0.10
点	2 0.05	0.20
点	3 0.45	0.05

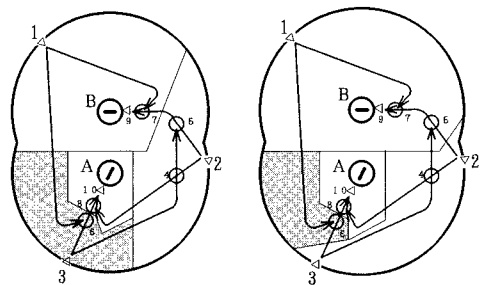


図5 動的モデルでのセクタ分割パターン
左=分割数4の静的分割 右=動的分割の最適パターン

なお、交通容量は静的モデルにおいては、管制処理能力から規定されるものが54機、安全飛行間隔から規定されるものが138機、動的モデルではそれぞれ50機および128機であった。また、動的モデルにおける静的分割時の交通容量は分割数4の時45機、分割数7の時50機であった。

6. おわりに

本研究では、所与のネットワーク構成の下で、管制官の管制作業に着目した、管制空域の交通容量算定法を提案し、動的セクタ分割の導入効果について検討を加え、いくつかの知見を得た。

しかし、本研究では極めて限定された事例のみについてしか検討していないため、今後さらに上記の結果を一般化するための検討が必要である。

また、セクタ分割パターンの変更の際には、受け持ちセクタが変わる全ての航空機に対して管制移管作業が必要になり、全体の交通容量も小さくなる。これを緩和する措置についても検討が必要となろう。

【参考文献】

- 1)例えば、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.97-104，1991.
- 2)喜多・信原・本間：広域航空管制空域の交通容量に関するモデル分析，土木計画学研究・講演集 No.15(1)，pp.603-608，1992.
- 3)喜多・川副：航空管制セクタにおける処理待ち時間と航空交通容量算定モデル，土木学会中国四国支部研究発表会講演概要集，pp.530-531，1994.