

航空交通流管理における遅延便交換の検討

-航空路セクタ-

管制システム部 福島 幸子

1. はじめに

空港需要の増加に伴い、航空交通流は増加している。連邦航空局の ATCSCC (Air Traffic Control System Command Center) や、ユーロコントロールの CFMU (Central Flow Management Unit) では航空交通流管理 (ATFM; Air Traffic Flow Management) を行っている。わが国でも 1994 年から航空交通流管理センター (ATFMC; Air Traffic Flow Management Center) で ATFM を行っている。ATFM とは航空交通の円滑な流れと安全を確保するために、事前に空域入域時間を調整することで、航空交通管制部の全セクタ及び主要空港に対して実施されている。出発前に各空域の滞在時間を計算し、容量を超えると予測されると、出発時刻の調整を行い、交通量の過度な集中を分散させる。

出発時刻は予定より早めることはできないため、出発時刻の調整とは遅延となる。航空機は 1 日に数回飛行させるため、遅延の積み重なりが、最終便の運航に影響することがある。各飛行ごとの空港の運用時間は考慮されているが、次に飛行する予定の空港の運用時間までは考慮されていない。航空会社にとって欠航は損害が大きく、整備状況や ATFM の影響に対して機材交換を行い、損害を最小に押さえている^[1]。そこで何らかの原因で遅延が回避できないとき、遅延便の交換によって特定便についての遅延を回避する方法について検討した。

本稿では航空路セクタを対象とした ATFM について遅延便交換の簡単なシミュレーションによる検討を行ったので、報告する。

2. 航空交通流管理

航空交通流管理は、図 1 に示すように、ある時間帯で空域の容量を越えると予測された場合、それを超えないように調整するものである。空域の容量には多くの考え方がある^[2]が、わが国では 2 種類が採用されている。1 つは物理的な

容量で、空域に航空機が何機存在できるかで表される。空港のターミナル空域では 30 分に着陸可能な機数とレーダ誘導により余分に存在できる機数を容量としている。

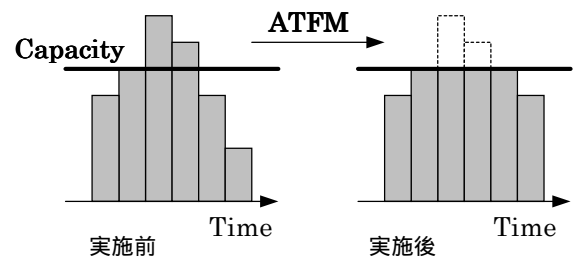


図 1 航空交通流管理の考え方

もう 1 つは、管制官の作業負荷量を基本とする容量で、英国の DORA 法^[3]とドイツの MBB 法^[4]を元にした MMBB 法 (Modified MBB Method) ^[5]を基本としている。これは管制官の作業量としてどの程度が適正であるかの数値で、

管制作業負荷 = 管制作業時間 + 考慮時間
で表わされる。

管制作業時間 = 通信作業時間 + 手作業時間

考慮時間 = 通信作業時間 × 困難度指数

であり、困難度指数は 0.25 ~ 2.00 の数値で、管

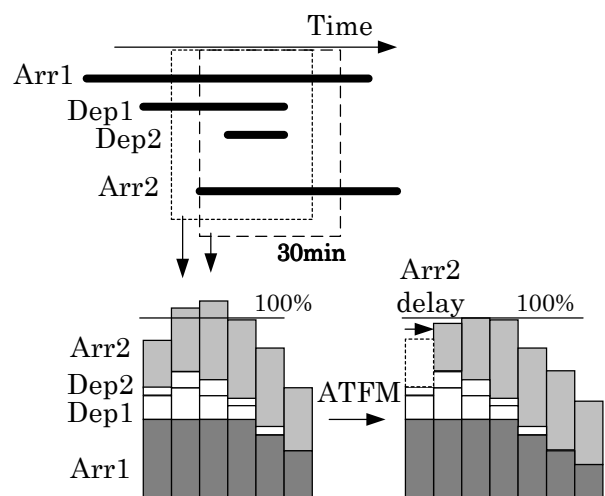


図 2 航空路セクタの容量値

制指示，運航票記入などの作業内容毎に定義される．セクタごとに，航空機を出発機，到着機，通過機，域内機の4種類にわけ，それぞれの管制処理に1分あたりどの程度の作業が必要かという数値と，30分間に作業可能な上限値が容量となっている．図2に出発機 (Dep1, Dep2)，到着機 (Arr1, Arr2) の作業量を計算し，Arr2が遅延した例を示す．

航空機 a_i のそれぞれの空域入域時刻，出域時刻を IT_i, OT_i とすると，区間 $[t, t+T)$ における a_i の滞在時間 $ST_T(t, i)$ は

$$ST_T(t, i) = \begin{cases} OT_i - IT_i, & \text{where } t < IT_i, OT_i < t + T \\ t + T - IT_i, & \text{where } IT_i < t + T < OT_i \\ OT_i - t, & \text{where } IT_i < t < OT_i + T \\ T, & \text{where } t < IT_i, OT_i < t + T \\ 0, & \text{other} \end{cases} \quad (1)$$

となる．

時刻 t における T 分間の作業量 $TASK_T(t)$ は

$$TASK_T(t) = \sum_i ST_T(t, i) \times C_{CAT} \quad (2)$$

で表される． C_{CAT} は出発，到着，域内，通過機毎に設定される係数で，管制官の作業分析結果 [5] に基づいてセクタごとに定義される．

容量値を CAP とし， $TASK_T(t) > CAP$ となった場合は

$$IT_i \quad IT_i + \text{delay}_i$$

$$OT_i \quad OT_i + \text{delay}_i$$

とし，遅延 delay_i を1分ずつ加算し，

$$TASK_T(t) < CAP \quad (3)$$

となるまで繰り返す．

航空機の順番 i は，まず国外からの入域機の当該空域への入域順であり，次に国内空港からの出発機で，当該空域への入域順である．計算された遅延を元に出発制御時刻 (EDCT; Expected Departure Clearance Time) が割り当てられる．

3. シミュレーション

3.1 対象セクタ

近畿東セクタを対象とした．このセクタは河和を中心とし，西には関西空港，大阪空港，北には名古屋空港がある．関西・大阪空港への西行き到着機や，名古屋空港の南行き出発機・北行き到着機，また羽田空港，成田空港への東行

き到着機が多く通過する空域である．

3.2 シナリオの作成

2002年8月の近畿東セクタを通過する航空機の多い日を基にシナリオを作成した．シナリオには，コールサイン，移動開始予定時刻 (EOBT; Estimated Off Block Time)，離陸時刻 (ATD; Actual time of Departure)，近畿東セクタへの入域時刻 IT_i ，出域時刻 OT_i が記載されている．空域への入出域時刻は空域境界線通過予定時刻もしくはレディオ空港の出発・到着予定時刻とした．

3.3 航空機の状態

航空機の状態を図3のように分類した．

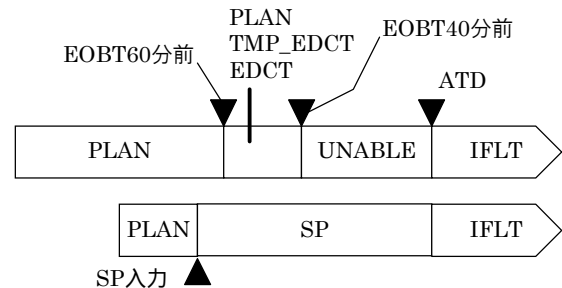


図3 航空機の状態

最初は全ての航空機は PLAN である．EOBT40分前に，UNABLE (EDCT 発行不可) となり，ATD で IFLT となる．

PLAN の状態で，ATFM により遅延が計算されると計算結果を提示し，TMP_EDCT となる．その EDCT を発行することにより，EDCT となる．TMP_EDCT のまま EOBT40分前までに EDCT が発行されない場合は，自動的に EDCT は解除され，飛行計画のまま UNABLE となる．

なお，国外から入域してくる航空機は最初から IFLT である．また，遅延を回避するために，入力により SP とする場合がある．これは出発前でも IFLT と同様の扱いとする．状態を1分ごとに更新し， $TASK_T(t) > CAP$ となった場合は式(3)を満たすように遅延を割り当てる．

3.4 遅延回避の模擬

EDCT は EOBT60分前に予報し，40分前までに確定している．予報の段階で航空会社から遅延の回避が要請されたことを模擬する．

当該機の遅延を回避する代わりに，遅延を計

算し直し ,再び EDCT を発行できる航空機はその時刻に EDCT を発行していないもの , 即ち EOBT が 40 分以上前の航空機に限られる .

例えば表 1 の航空機がセクタを通過予定であるとする . 航空機#05 の遅延回避を考える . 予測 EDCT が通知されるのは#05 の EOBT ,03:30 の 60 分前の 02:30 であり ,02:50 までに EDCT が確定される . その間に他の航空機の EDCT を例えば 02:40 までに再計算するには , 02:40 で EDCT が発行されていない航空機 , 即ち EOBT が 03:20 以降の航空機が対象となり , #02,#06, #07 が対象となる .

航空機#03 の遅延を回避するには EOBT が 03:45 以降の航空機が対象となり . 表中に対象機は存在しない .

表 1 航空機例

	出発空港	EOBT	目的空港	IT	OT
#01	RJSI	03:00	RJOO	03:58	04:09
#02	RJFM	03:20	RJNN	04:07	04:20
#03	RJOO	03:55	RJTT	04:10	04:20
#04	RJFT	03:25	RJTT	04:15	04:29
#05	RJFK	03:30	RJTT	04:17	04:29
#06	RJSS	03:30	RJOO	04:22	04:35
#07	RJDC	03:50	RJTT	04:27	04:42
#08	RJCC	03:10	RJOO	04:31	04:42

表 2 EDCT 再計算機

	EDCT 再計算機
STD	なし
ALL	EDCT 未発行の全航空機
CA	EDCT 未発行で当該機と同じ会社の全航空機
C1	EDCT 未発行で当該機と同じ会社の 1 航空機

ATFM で割り当てられた遅延を回避するための処理として 表 2 の 4 通りを検討する . STD は比較のため遅延は回避しない . まず , 遅延回避機を SP 扱いとし , EDCT が発行されていない表 2 の航空機について EDCT を再計算する .

4. シミュレーション結果

4.1 通常の ATFM

ATFM を行わない場合の予測作業量は図 4 左図となり , 通常の ATFM を行うと , 右図のようになる . ATFM によって 37 機 , 計 523 分 , 平

均 14.1 分の遅延が割り当てられた . 遅延の最大値は 24 分であり , 15 分以上の遅延が割り当てられた航空機は 19 機であった .

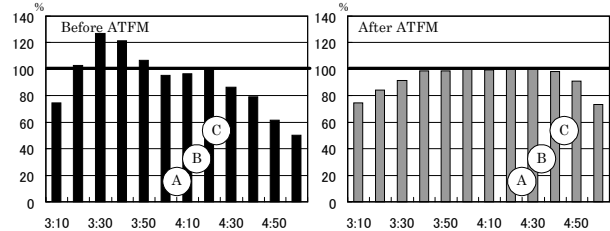


図 4 予測作業量

図 4 の A,B,C の航空機について遅延を回避する検討を行った . なお A,B,C の図中の位置は空域の滞在時間を示す .

4.2 航空機 A について

航空機 A は福岡空港発羽田空港行きで最初のピークの終りに位置する . ATFM による遅延は 24 分で , 遅延回避についての結果を表 3 に示す .

表 3 航空機 A の結果

	総遅延	遅延便数	遅延最大	容量超過
STD	523 分	37 機	24 分	なし
ALL	533 分	37 機	34 分	なし
CA	529 分	36 機	33 分	なし
C1	508 分	36 機	25 分	14 分

ALL , CA と容量値内で遅延を回避し , 他の航空機に替わりの遅延を割り当てられた . 遅延が増加した航空機は A よりも EOBT が早く空域への入域時刻も早いものであった . また ALL で最も遅延が増加した航空機は A とは別の航空会社の便であり 16 分の遅が 34 分に増加した . ALL,CA とともに総遅延は増加した .

C1 では ALL で遅延が増加した同じ会社の航空機を選んだが , 作業量は容量値を超過した .

4.3 航空機 B について

航空機 B は大阪空港発羽田空港行きで 2 番目のピークの始めに位置する . ATFM による遅延は 17 分で , 遅延回避についての結果を表 4 に示す .

表 4 航空機 B の結果

	総遅延	遅延便数	遅延最大	容量超過
STD	523 分	37 機	24 分	なし
ALL	499 分	36 機	19 分	20 分

大阪空港は近畿東セクタに隣接しており、遅延を再計算できる航空機は出発時刻に近い名古屋空港や大阪空港の出発機で出発時刻に近いものに限られるが、このシナリオではBの代わりに遅延できる航空機はなかった。

Bの遅延をキャンセルした場合、その時間帯の作業量が増加した。作業量の最大値は105%であった。なお、航空機Bを最初からSP扱いとした場合は、総遅延496分、遅延便数37便、遅延最大値26分で容量値内に押さえられた

4.4 航空機Cについて

航空機Cは鹿児島空港発羽田行きで2番目のピークの終りに位置する。ATFMによる遅延は19分で、遅延回避についての結果を表5に示す。

表5 航空機Cの結果

	総遅延	遅延便数	遅延最大	容量超過
STD	523分	37機	24分	なし
ALL	520分	36機	24分	9分
CA	521分	36機	23分	28分
C1	513分	36機	28分	15分

ALLでは各航空機が少しずつ遅延が増加したが作業量は容量値を超過し102%であった。またCA,C1も102%と容量値を超過した。

5. 考察

5.1 ATDの変動

EOBTは飛行計画の段階で提出するが滑走路の向きによってスポットからの走行距離が異なる。また乗客の集合や整備の状況によって航空機のATDは予定とは±10分程度のずれが生ずる。さらにEDCTも0~10分程度のずれが生ずる。また、EDCTが割り当てられてからキャンセルされることもある。

航空機Bでは代わりに遅延できる航空機がなく結果として容量値を超えてしまったが、例えば空域通過予定時刻に近いある1機が遅れて出発すれば、航空機Bが定時で出発しても容量を越えない可能性もある。

5.2 遅延回避の可能性

航空機Aは容量値内で遅延を回避できたが、航空機B,Cは容量値内では遅延を回避できなかった。AとBの差は出発空港から近畿東セクタまでの距離である。当該セクタに近い空港からの出発機については遅延の回避は難しいこと

が示された。夕方は近畿東セクタと羽田空港がATFMの対象となるが、最も遅延の回避が求められる羽田大阪便の遅延を回避するには、EDCTが発行されてからでは難しく、回避するには事前にATFM対象外機にすることが必要である。

AとCは出発空港と近畿東セクタまでの距離はほぼ同じである。Aと入域時刻が近かった航空機は全て福岡空港から福島空港までの空港からの出発機であり、再計算の対象となりやすかった。Cの場合は前後にCよりもEOBTが早い新千歳空港の出発機が2機あり、この2機が再計算の対象とならなかったことが遅延を分散しきれなかった原因と推察できる。

6. まとめ

近畿東セクタのATFMについてシミュレーションを行った。その結果、特定便の遅延を回避するにはその便よりもATFM対象セクタまでの距離が短く、入域時刻がやや早い航空機が存在し、代わりに遅延が必要であることが示された。

今回は近畿東セクタのみを対象として行ったが、実際は複数空域が同時にATFMの対象となる時間帯も多い。今後は複数空域がATFMの対象となっている場合に同様の検討を行うとともにEOBTからのATDの変動分を考慮したい。

参考文献

- [1] J. F. Bard, "Optimizing aircraft routings in response to groundings and delays," IIE Trans. (2001) 33
- [2] J.M. Alliot, J.F. Bosc, N. Durand, L. Maugis, "An experimental study of ATM capacity," USA/Europe ATM Seminar, Saclay, France, 1997.
- [3] I.G.Parker, "A Review of some sector capacity estimation techniques," Civil Aviation authority DR Report 8703, 1987, Aug.
- [4] R. Seifert, K.Brauser and G. Och, "Untersuchungen zur Luftraumnutzung Band 1 Zusammenfassung," Messerschmitt-Blokow-Blohm GmbH, 1977.8.
- [5] (財)航空保安研究センター, "航空交通流管理における交通容量算定方式の高度化に関する調査報告書," 2002.3.
- [6] N. Tofukuji, "An Enroute ATC Simulation Experiment for Sector Capacity Estimation," IEEE Trans. on Control, Systems Technology, 1(3), September 1993.