

## 4. 時間管理運用における入域時間の調整幅について

航空交通管理領域 ※岡 恵、福田 豊、蔭山 康太、宮津 義廣

### 1. はじめに

我が国では、円滑な航空交通の流れを形成するために、交通流制御が実施されている。この交通流制御の一環として2011年8月からSCAS (Specifying CFDT (Calculated Fix Departure Time) for Arrival Spacing Program) の試行運用が開始された<sup>[1]</sup>。これは、飛行中の航空機に対し飛行経路上の特定地点の通過時刻を指示する方式で、空港周辺でのレーダ誘導の集中を避け、早い段階から速度調整などで効率的な時間調整を行うものである。また、将来的には更なる効率性向上のため、航空機の軌道に基づいた時間管理が検討されている。この時間管理では、航空機の出発から到着まで全行程に渡って軌道が管理される<sup>[2]</sup>。

時間管理運用において、将来予測が正確にできるようにになれば、着陸時刻に合わせて離陸を行う。しかし、現状では交通状況や気象等により多少の誤差が生じるため、必要以上に航空機間の間隔が空いてしまった場合、到着枠の無駄が発生する可能性がある。そこで、時間調整を行う際には、過度の滞留を避け、かつ、到着枠を無駄にしないように、調整幅を適切に設定する必要がある。

電子航法研究所では、時間管理運用における時間調整幅の検討として以下の3つの状況を想定した管制官参加のシミュレーションを行った。

- (a) 時間調整を行わない
- (b) 対象空域内で処理可能な滞留時間以下になるように入域前に時間調整を行う
- (c) 対象空域内でほとんど滞留が発生しないように入域前に時間調整を行う

本稿では、シミュレーションの結果を報告するとともに、時間管理運用下における時間調整幅について検討する。

## 2. シミュレーションの実施

### 2.1 シミュレーションの概要

国土交通省航空局の協力を得て、2名の管制官の参加による実時間シミュレーションを行った。本番と同じシナリオで2回の練習を行った

後、3つの状況を2試行ずつ、計6回のシミュレーションを行った。シミュレーションの対象空域を図1に示す。航空機が3点から入域した後、規定の高度まで降下しながら合流し、1点でターミナル空域へ出域する仮想的な空域を想定した。シミュレーションの条件を表1に示す。

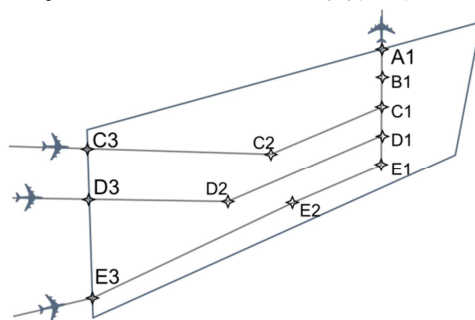


図1. シミュレーション対象空域

表1. シミュレーションの条件

入域条件			
入域点	入域高度	最低移管間隔	
C3	FL250 (水平飛行)	10NM	
D3	FL260 (水平飛行)	10NM	
E3	FL270 (水平飛行)	10NM	
※C3、D3、E3 通過前は高度、針路指示を行わない。			
出域条件			
出域点	出域高度	最低移管間隔	
A1	8,000ft	7NM	
※出域順序は自由に決定してよい。			

### 2.2 シミュレーションに使用したシナリオ

想定した3つの状況に応じて、以下に示す手順で3つの交通流シナリオを作成した。各シナリオの諸元を表2に示す。

初めに、「時間調整を行わない」想定シナリオ(以降、A)を作成した。シナリオは約30分間で、航空機の集まりが2グループ(G1、G2)、合計16機の航空機が飛行する。各入域点の機数構成を表3に示す。G1はC3からの入域機が主で、G2は3つの点からほぼ同数が入域する。次に、「対象空域内で処理可能な滞留時間以下になるように入域前に時間調整を行う」想定シナリオ(以降、B)を作成した。まず、図2に示す手順でAの各航空機の滞留時間を算出し

表 2. 各シナリオの諸元

		A	B	C
滞留時間の 最大値 [分:秒]	G1	5:23	3:47	1:37
	G2	5:27	3:48	1:36
平均滞留時間 [分:秒]	G1	3:21	2:24	0:57
	G2	3:01	2:06	0:53
先頭と最後尾の出域 時刻の差* [分:秒]	G1	5:26	7:02	9:12
	G2	2:40	4:19	6:31
平均出域間隔* (時間) [分:秒]	G1	0:41	0:53	1:09
	G2	0:27	0:43	1:05
平均出域間隔* (距離) [NM]	G1	3.7	4.8	6.4
	G2	2.5	3.9	5.9
A…時間調整を行わない				
B…対象空域内で処理可能な滞留時間以下になるように入域前に時間調整を行う				
C…対象空域内でほとんど滞留が発生しないように入域前に時間調整を行う				
*…管制介入がない状態（経路通り）でシナリオを再生した時の値				

表 3. 各入域点の機数構成

	G1	G2
C3 経由	7 機	2 機
D3 経由	1 機	2 機
E3 経由	1 機	3 機
合計	9 機	7 機

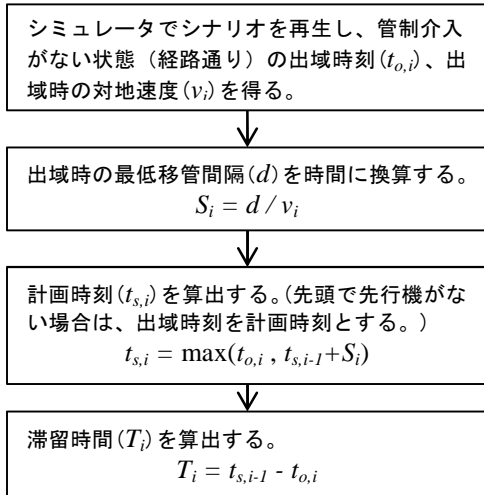


図 2. 滞留時間算出フローチャート

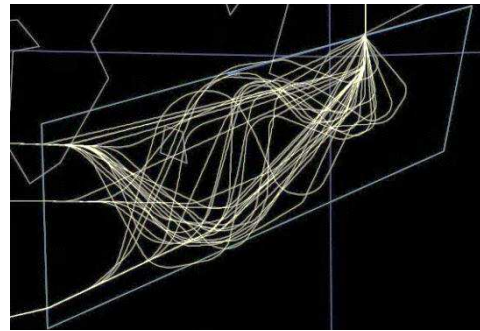
た。次に、それぞれの滞留時間を7割に減らしたものを、Bの各航空機の滞留時間とし、各航空機の発生時刻を滞留時間から逆算して求めた。最後に、最低入域間隔 10NM の条件を満たすように発生時刻を調整した。同様に滞留時間が3割程度になるように調整したものを「対象空域内でほとんど滞留が発生しないように入域

前に時間調整を行う」想定シナリオとした(以降、C)。Bの滞留時間をAの7割としたのは、空域の許容滞留時間が約4分であり、Aで発生する滞留時間の最大値の約7割となるためである。空域の許容滞留時間とは、“空域内で許容し得る滞留時間”の事であり、「空域を逸脱しない」、「何度も回頭を繰り返すジグザグ飛行をしない」という条件で想定される空域内の最大飛行距離を、空域内の平均的な飛行速度で除したものとした。

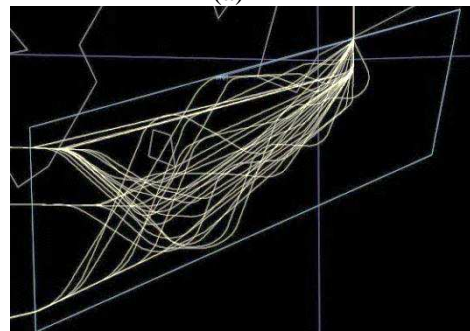
### 3. シミュレーションの結果

#### 3.1 航跡

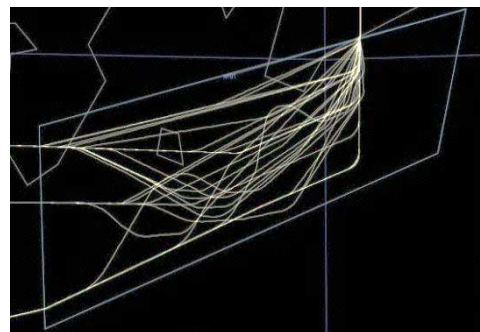
管制処理が行われた航跡をシナリオ毎に図3に示す。(2試行分を合わせて描画した。)Aに比べB、Cのレーダ誘導量が少ない。Cの2回目の試行後の講評において、「滞留が少ないので、



(a) A



(b) B



(c) C

図 3. 航跡

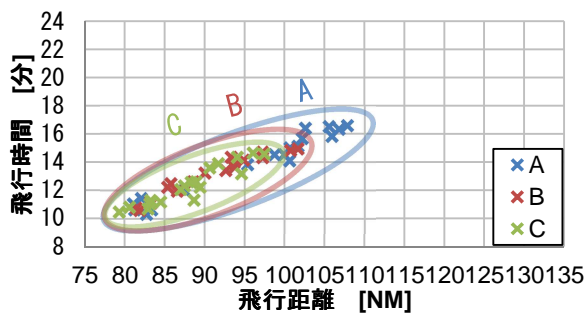
レーダ誘導を使用せず、監視をして間隔が取れると判断したタイミングで直行を指示するという方法を使用した」との報告があったが、航跡図からも経路通りの航跡が多いことが確かめられる。

### 3.2 飛行時間、飛行距離について

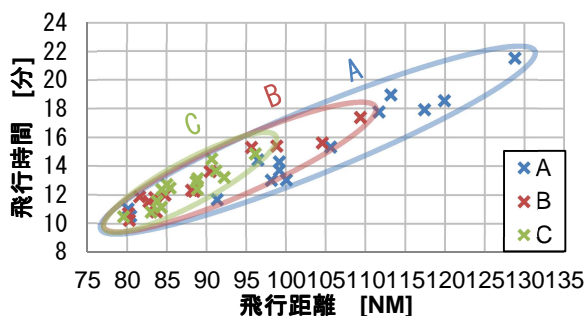
飛行時間、飛行距離のシナリオ値および試行結果を表4に示す。飛行時間、飛行距離共にA→B→Cと、平均値、最大値、標準偏差が少なくなる。図4に、飛行距離に対する飛行時間のグラフをグループ別に示す。どちらもA→B→Cとデータの分布範囲が狭くなっていくが、特にG2の効果大きい。

表4. 飛行時間と飛行距離

		A	B	C
飛行時間 [分秒]	シナリオの平均値	11:37		
	最小値	10:19	10:16	10:29
	平均値	14:27	12:59	12:29
	最大値	21:30	17:23	14:52
	標準偏差	2:45	1:45	1:18
飛行距離 [NM]	シナリオの平均値	89.7		
	最小値	80.2	80.2	79.4
	平均値	99.0	90.1	87.8
	最大値	128.8	109.4	97.5
	標準偏差	12.1	7.6	4.8



(a) G1



(b) G2

図4. 飛行時間と飛行距離

### 3.3 管制移管間隔について

出域点A1における前後機間の間隔を表5に示す。最低移管間隔の条件は7NMであるため、出域間隔は7NM以上であり、かつ、到着枠の損失につながらないように、7NMに近い値の方が望ましい。ただし、最低移管間隔は到着空港での間隔を確保するためのものであり、間隔を下回ることが安全性の欠如につながるものではない。表5から、出域間隔の平均値、最大値はAが最も大きく、B、Cの差は小さかった。Bの方が平均値、最大値、標準偏差において、Cより若干小さかった。

各シナリオの出域間隔の累積度数分布を図5に示す。図5からもCよりBの方がより7NMに集約している様子が確かめられる。

図6に、シナリオ毎の先頭と最後尾の出域時刻の差をグループ別に示す。G1ではCの1回目の試行が、G2ではAが大きな値となっている。G1では主にC3から入域するため、初めか

表5. 出域間隔[NM]

	A	B	C
最小値	6.0	5.8	5.4
平均値	8.5	7.5	7.7
最大値	12.9	9.3	9.7
標準偏差	1.4	0.9	1.1

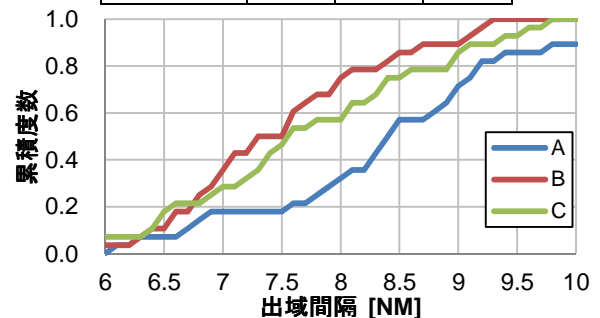
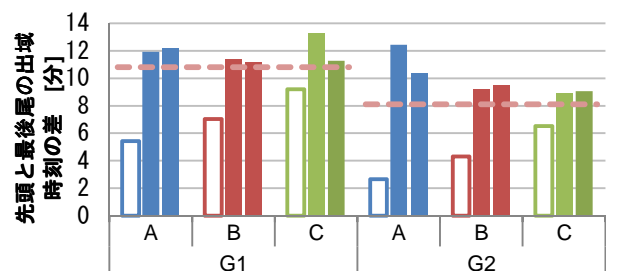


図5. 出域間隔の累積度数分布



白抜き棒グラフ…シナリオ通りに飛行した際の値  
点線…シナリオ通りの飛行で、忠実に7NMの間隔を付けた際の予測値

図6. 先頭と最後尾の出域時刻差

ら間隔が大きくとられているCでは、先行機のショートカット等により間隔が大きく空いた際に、後続機の間隔を縮められない事象が発生した。また、G2では3点からほぼ同数が入域することから、短い時間間隔で複数の航空機が入域するAの場合、レーダ誘導が複雑な流れになり、合流時の間隔が大きくなったと考えられる。

### 3.4 滞留時間及び管制処理の可否について

空域を逸脱して隣接空域を飛行することや、何度も回頭を繰り返しジグザグに飛行すること、設定した管制移管間隔を下回って出域することは、そのこと自体が禁止されるものではないが、空域内での管制処理の可否と深い関連があると考えられる。そこで、滞留時間毎の機数および上記飛行を行った（以降、変則機）機数を表6に示す。また、発生した滞留時間の最大値と変則機数を図7に示す。

Aは、シナリオの滞留時間の最大値が空域の許容滞留時間を超えているため、変則機数が多い。Bは、管制処理の方法により許容滞留時間を超えることがあり、変則機数がCより僅かに多い。Aはこの空域での処理が困難であると推測される。

表6. 滞留時間毎の機数および変則機数

試行	滞留時間			空域逸脱	ジグザグ	間隔欠如
	～2分	2～4分	4分～			
A-1	5	6	5	(1)*	5	0
A-2	7	5	4	2	5	1
B-1	9	6	1	0	1	1
B-2	12	4	0	0	1	1
C-1	9	7	0	0	1	(1)*
C-2	16	0	0	0	0	1

\* …ジグザグと同一機

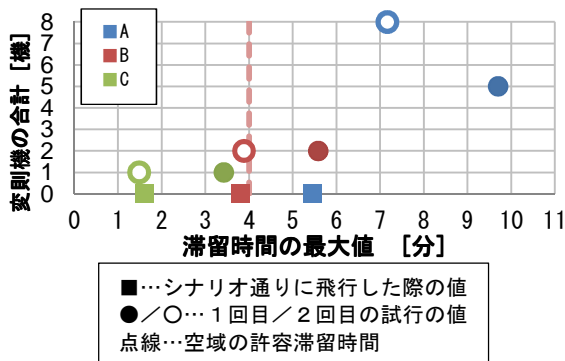


図7. 滞留時間の最大値と変則機数

### 3.5 管制指示の回数について

発出された管制指示（高度指示、速度指示、針路指示、直行指示のみを対象とした）の回数

を図8に示す。高度指示はほとんどの航空機が1度で出域高度の8,000ftを指示されており、間隔設定のために途中の高度を指示されたのは、全試行で2機のみであった。針路指示はA、B、Cと順に少なくなる傾向があった。

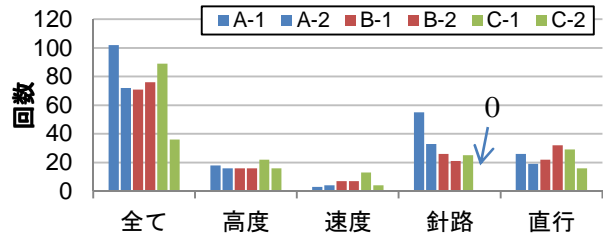


図8. 管制指示回数

## 4. まとめ

時間管理運用における入域時間の調整幅の検討として、時間管理運用を想定した管制官参加のシミュレーションを行った。「時間管理を行わない (A)」、「対象空域内で処理可能な滞留時間以下になるように入域前に時間調整を行う (B)」、「対象空域内でほとんど滞留が発生しないように入域前に時間調整を行う (C)」、3つの状況を想定しシナリオを作成した。

シミュレーション結果から、空域内の飛行時間、飛行距離において、時間管理の効果が確認された。特に、複数の入域点から同程度の機数が入域する場合に効果が大きかった。最も飛行時間、飛行距離が短かったのは、Cであった。

出域間隔の無駄が少なかったのは、B、Cであったが、Cでは、空いた間隔を縮める事ができずに、規定より大きな移管間隔となってしまう事があった。

## 謝辞

シミュレーションの実施にご協力頂きました、東京航空交通管制部をはじめとする関係各位に感謝申し上げます。

## 参考文献

- [1] “フィックス離脱時刻の指定による航空交通流管理 (SCAS) の試行運用について”、AIC(Aeronautical Information Circular) Nr 029/11、国土交通省、2011年7月28日
- [2] 福田、白川、新井、瀬之口：トラジェクトリ予測に対する気象の影響、日本航空宇宙学会第41期年会講演会、2010年4月