

ターミナル管制について

水町 守志・伊藤 益敏・宮尾 光生

Approach Control of Terminal Area
— Average Delay, Alarm Rate and Flight Accuracy —
By
Moriyuki MIZUMACHI, Masutoshi ITOH, Kosei MIYAO

Abstract: It is presented here the time domain model of the terminal approach, which describes the procedure how two independent random flows of air-traffic are led to the final approach and landing. The model can cover, basically, any actual ATC (air traffic control) procedure, e.g. multipath, radar vector and velocity control. Taken various traffic parameters into consideration, simulations are performed for modified models, which are classified into 9 classes according to the number and composition of ATC instructions. Results are evaluated from viewpoints of the average delay and the alarm rate (the frequency that the conflict occurs). Obtained data can be used to clarify the relations between the evaluation parameters, mentioned above, and the flight accuracy, for any actual ATC procedure.

概 要

ターミナル領域における航空交通管制の時間軸上のモデルを提案した。すなわちターミナル管制を時間軸上の操作として表現し、時間調整幅、運航精度および指示の回数によって規定し、この時間調整幅と指示の組合せにより現実の各種管制方式を包含し得る事を示した。

ついで、これ等モデルについてシミュレーションを行い、遅延時間、警報率と運航の関係を明らかにすると共に、過去に行った交通流に関する調査にもとづく考察を加えた。

なおこの様なモデルで管制方式を論ずる事により、具体的な方式実現の問題を統一的に解明し、その本質を論ずる事が可能となり、具体的な方式の評価が容易に行えるデータが得られた。

1. ま え が き

航空交通管制は航空交通の安全の確保と円滑な交通流の維持を目的として行われる。航空

交通において渋滞が顕著にあらわれるのは、ターミナル領域である。この領域における管制手段としては、マルチパス、レーダベクタリング等が用いられて居り、また各種管制方式の提案、方式の検討等が行われている。

本論文では、従来個別に検討されて来た具体的管制方式を時間軸上のモデルとして取扱い統一的に論ずる事を試みた。すなわち進入管制のモデルを時間調整幅とその精度および指示の回数によって規定した。このモデルについて、過去に行った航空交通に関する調査をもとに考察を加え、併せてシミュレーション結果についても検討を加えた。

2. ターミナル進入管制のモデルと評価

2.1. ターミナル進入管制

ターミナル進入管制業務とは、ターミナル領域周辺上の幾つかの進入点に到着した航空機を安全且つ迅速に滑走路に着陸させる業務である。安全の確保は、管制間隔を保つ事によって行われる。管制間隔には、縦方向、横方向、垂直方向があるが、最終的な滑走路への着陸においては、時間間隔（縦方向）が問題となる。

この点より観れば、ターミナル進入管制業務は、ランダムに到着した航空機の時系列を、遅延を与える事（時間調整）により、航空機相互の間隔が一定時間以上離れた時系列にならべなおす業務として扱える。（待ち行列）

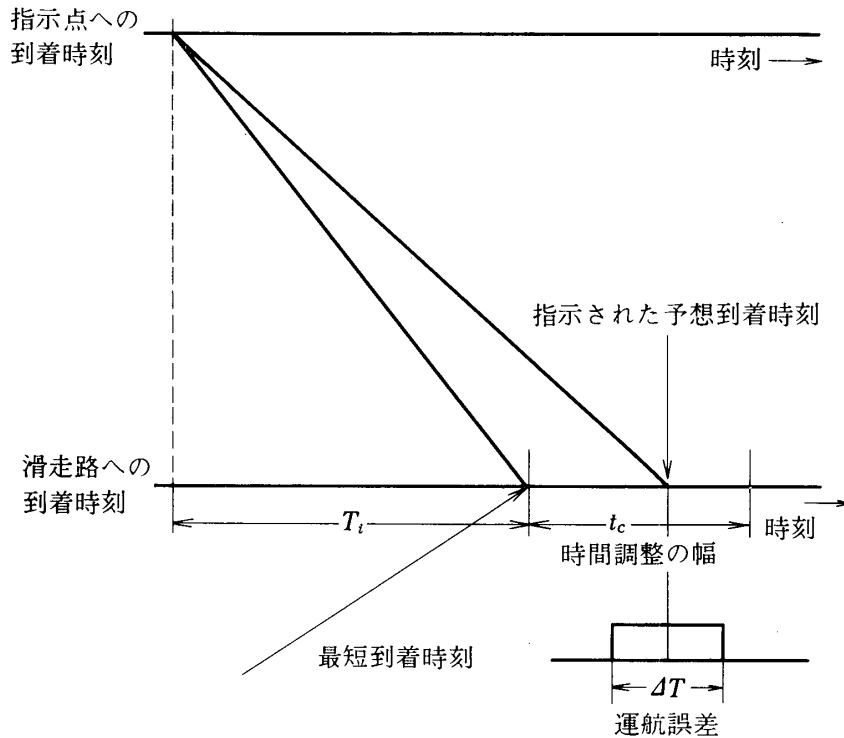
一方管制業務の内容は、パイロットおよび管制官を含んだ予測制御系とみる事が出来る。すなわち管制官は空域内の航空機の位置を予測し、航空機相互の間隔の確保の判定を行い、必要に応じて指示を与える。

パイロットはこの指示に従って航空機を操縦する。しかしながら、観測の誤差、運航の誤差等の為航空機の動きは必ずしも管制官が予測した通りにはならない。従って管制官は必要に応じて、繰り返し指示を与えねばならない。

2.2. ターミナル進入管制のモデル

前節で述べた諸点を考慮し、ターミナル進入に係る操作をすべて時間軸上の操作としてあらわすモデルを設定する。各種の管制方式は時間調整幅と指示の回数および運航の精度という観点からは、全てこのモデルに包含できる。モデルは以下の仮定に従うものとする。

- (i) ターミナル進入する交通流は、2方向からであり、滑走路は単一である。
- (ii) ターミナルへ到着する航空機を時系列としてみた場合、ポアソン過程である。（ポアソン到着）
- (iii) ターミナル内での管制及び運航に係る操作は、すべて時間軸上で表現される。
- (iv) 対象とする航空機は、進入点から滑走路迄の最短所要時間により3種のクラスとする。クラス i ($i = 1, 2, 3$) に属する航空機の最短所要時間は T_i である。
- (v) 管制官は最短所要時間に対し遅延 t_c を与える事が出来る。
- (vi) 遅延 t_c には、一定時間の遅延を与える固定遅延と、ある範囲内で任意時間を与える可変遅延とがある。
- (vii) 遅延の指示は、最大4回迄与える事が出来る。
- (viii) 所要時間は予測値に対し、最大 ΔT の誤差を持つ。（運航誤差と呼ぶ）



第1図 所要時間，時間調整幅，運航誤差（指示1回の場合）

2.3. 管制方式の評価

航空交通にとって重要な事柄は、安全性と定時性の確保である。定時性に関する評価パラメータとしては「平均遅延時間」を用いる。ここで遅延時間は「他に航空機がなく、かつ航行誤差もないとした場合の最も早い到着予定時刻と管制手順を経て実際に到着した時刻との差」と定義する。

安全性に関する評価パラメータとしては、「警報率」を取りあげる。すなわち特定の2機に着目した時、滑走路における先行機の到着時刻と後続機の到着時刻の差を到着間隔と呼び、この到着間隔の分布を求める。この到着間隔分布より到着間隔が管制間隔 T_s を切る割合を求め、これを「警報率」と定義する。

3. シミュレーション

2.2で述べたターミナル進入管制のモデルを基に、これに種々の条件を付す形で幾つかのモデル（モデル1からモデル9）を設けシミュレーションを行った。

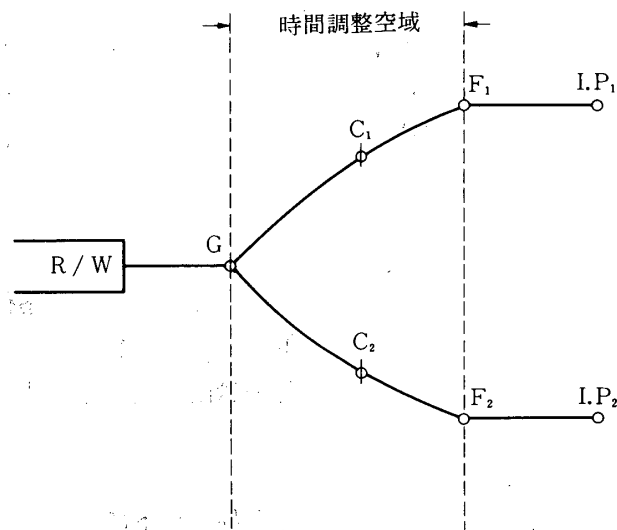
シミュレーションを実行するに当たっては、現行の管制方式、運航精度等を勘案の上、諸元を決定した。

3.1. シミュレーション・モデル

前にあげたモデルに対する補足および付加する条件を以下に示す。又これ等条件の組み合わせとモデルの関係を第1表に示す。

第1表 モデルと時間調整

	I. P. i	F i	C i	G
モデル 1	固 定			
2	(固 定)	固 定		
3	(固 定)	固 定 + 可 変 (幅 小)		
4	(固 定)	固 定 + 可 変 (幅 大)		
5	(固 定)	固 定 + 可 変 (幅 小)	可 変	
6	(固 定)	固 定 + 可 変 (幅 大)	可 変	
7	(固 定)	固 定 + 可 変 (幅 大)	可 変	固 定
8	(固 定)	固 定 + 可 変 (幅 大)	可 変	固 定 + 可 変
9	(固 定)	固 定 + 可 変 (幅 大)	可 変	可 変



第2図 空域および管制指示を行う地点

- (1) 空域および管制指示を行う地点 空域への進入は2方向からとし、滑走路(R/W)は単一とする。最初に当該航空機の情報を与えられるのは、着陸予定時刻の20分前と仮定する。この着陸予定時刻に従って優先順位が決定される。なおこの地点を $I.P.i$ (Initial point, $i = 1, 2$) と呼ぶが、地理上の定点ではない。管制指示を与え得る地点は、 $I.P.i$ 側よりR/W側に $F_i (i = 1, 2)$, $C_i (i = 1, 2)$, G点とする。(第2図)
- (2) 優先順位 優先順位とはR/Wに着陸する順位である。優先順位は $I.P.i$ 時刻の順序に従って優先順位があるとする。なお $I.P.i$ におけるR/W到着予定時刻は、航空機のクラスによって定まる最少所要時間によって算出する。
- (3) 管制 管制は優先順位が後位の航空機に対して時間を遅らせる方法で行われる。すなわち所定の地点における先行機と後続機の到着予定時刻の差が管制間隔を保っているかどうかを判定し、保っていない場合には後続機に対して時間調整が行われる。時間調整はすべて遅らせる方向にのみ行われる。
- (4) 時間調整および指示回数 時間調整(遅延)は、固定時間と連続可変時間との組合せとする。ただし可変時間調整については、その最大可変の量(可変幅)の大小によって2通りの場合があるものとする。

なお管制指示の行われる地点は、(1)で述べた通り $I.P.i$ 点を含め4点とする。

上述の固定遅延と可変遅延および管制指示の回数の組合せにより、モデルは第1表に示した9通りとする。

3.2. 諸元と評価パラメータ

- (1) 諸元 シミュレーションを実行するに際して定めた諸元(航空機クラスの比率、最短所要時間、遅延の値および運航誤差)の値を第2表に示す。なお誤差は一様分布を仮定している。

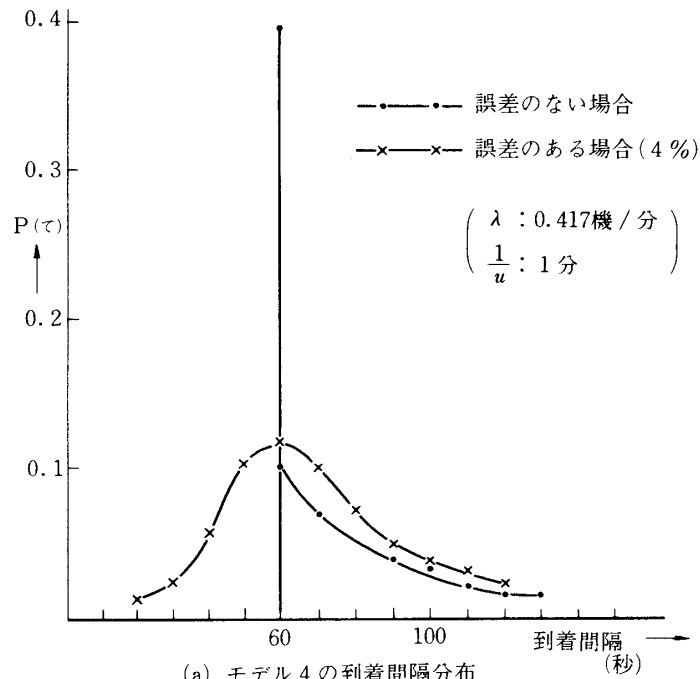
第2表 航空機のクラス、所要時間、時間調整幅 $\begin{Bmatrix} a \\ b \\ c \end{Bmatrix}$ はa, b, cのいずれかをとる。

航空機 クラス	比率	所要時間 (秒)	F点およびC点				G点			運航誤差	
			固定遅延	幅(大)		幅(小)		モデル7	モデル8		モデル9
				F点	C点	F点	C点				
クラス 1	70 (%)	600	$\begin{Bmatrix} 0 \\ 50 \\ 100 \end{Bmatrix} + 240 \cdot n$	80	0~40	20	40	固定 240・n	固定+可変 240・n+60	任意	2%, 4%
クラス 2	20	700	$\begin{Bmatrix} 0 \\ 60 \\ 120 \end{Bmatrix} + 240 \cdot n$	100	0~60	26	60	同上	同上	同上	2.4%, 4.8%
クラス 3	10	1050	$\begin{Bmatrix} 0 \\ 110 \\ 220 \end{Bmatrix} + 240 \cdot n$	100	0~50	40	50	同上	同上	同上	3%, 6%

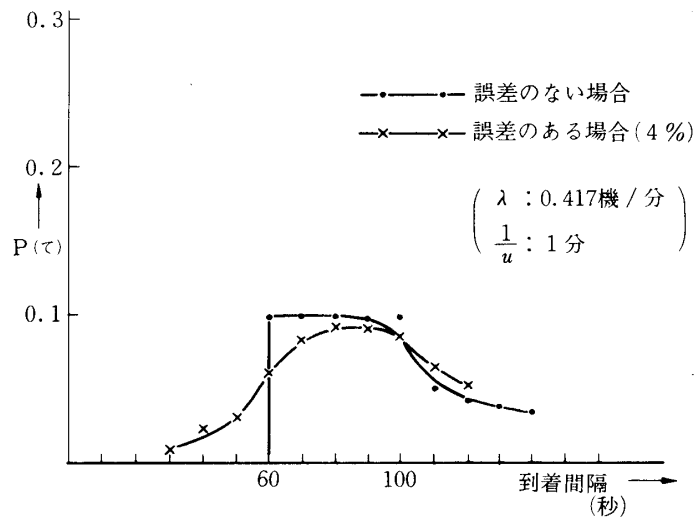
又シミュレーションを行った到着率は10, 15, 20, 25機/時間を中心に扱った. 更に管制間隔 T_s は R/W および G 点で1分の場合を主たる対象とし, 他に1.5分, 2分も採用した.

(2) 評価パラメータ シミュレーションを実行し, 以下の結果を求める.

(i) R/W 到着時刻の遅延 T_d の確率密度 遅延は, 他に航空機がなく, かつ運航誤差もないとした場合の最も早い到着予定時刻と管制を受け実際に到着した時刻との差と



(a) モデル4の到着間隔分布



(b) モデル2の到着間隔分布

第3図 到着間隔の分布

定義する.

(ii) R/W への到着時間間隔の確率密度 R/W における相隣る2機の到着時間間隔の

第3表 平均遅延時間と警報率

			10機/時間	15機/時間	20機/時間	25機/時間
モデル 2	\bar{T}_a (秒)	誤差なし	26.7	55.6	117.5	276.1
		2%	27.9	55.2	114.2	281.4
		4%	28.0	58.4	121.9	293.1
	P_a	誤差なし	/	/	/	/
		2%	0.012	0.018	0.023	0.030
		4%	0.025	0.036	0.047	0.054
モデル 3	\bar{T}_a (秒)	誤差なし	17.4	33.9	58.4	107.9
		2%	18.2	33.3	60.0	108.9
		4%	18.2	34.9	60.2	109.2
	P_a	誤差なし	/	/	/	/
		2%	0.053	0.078	0.101	0.127
		4%	0.071	0.104	0.133	0.163
モデル 4	\bar{T}_a (秒)	誤差なし	16.4	29.2	51.0	80.2
		2%	16.2	29.6	47.3	83.6
		4%	16.4	30.3	50.7	83.7
	P_a	誤差なし	/	/	/	/
		2%	0.065	0.098	0.127	0.162
		4%	0.077	0.120	0.158	0.194
モデル 5	\bar{T}_a (秒)	誤差なし	17.3	33.4	58.6	109.9
		2%	18.3	34.9	60.4	108.9
		4%	18.9	35.7	63.1	113.4
	P_a	誤差なし	/	/	/	/
		2%	0.031	0.045	0.062	0.079
		4%	0.044	0.071	0.094	0.119
モデル 6	\bar{T}_a (秒)	誤差なし	16.4	29.6	49.1	80.8
		2%	17.2	30.1	51.3	83.9
		4%	17.5	31.8	54.8	86.5
	P_a	誤差なし	/	/	/	/
		2%	0.042	0.064	0.089	0.121
		4%	0.055	0.089	0.120	0.154
モデル 7	\bar{T}_a (秒)	4%	48.9	95.6	161.5	240.4
	P_a	4%	0.005	0.013	0.028	0.051
モデル 8	\bar{T}_a (秒)	誤差なし	16.3	28.1	49.7	80.4
		4%	18.0	31.7	56.3	88.9
	P_a	誤差なし	/	/	/	/
		4%	0.027	0.043	0.062	0.078
モデル 9	\bar{T}_a (秒)	4%	47.7	94.0	161.0	249.6
	P_a	4%	0.004	0.009	0.021	0.035

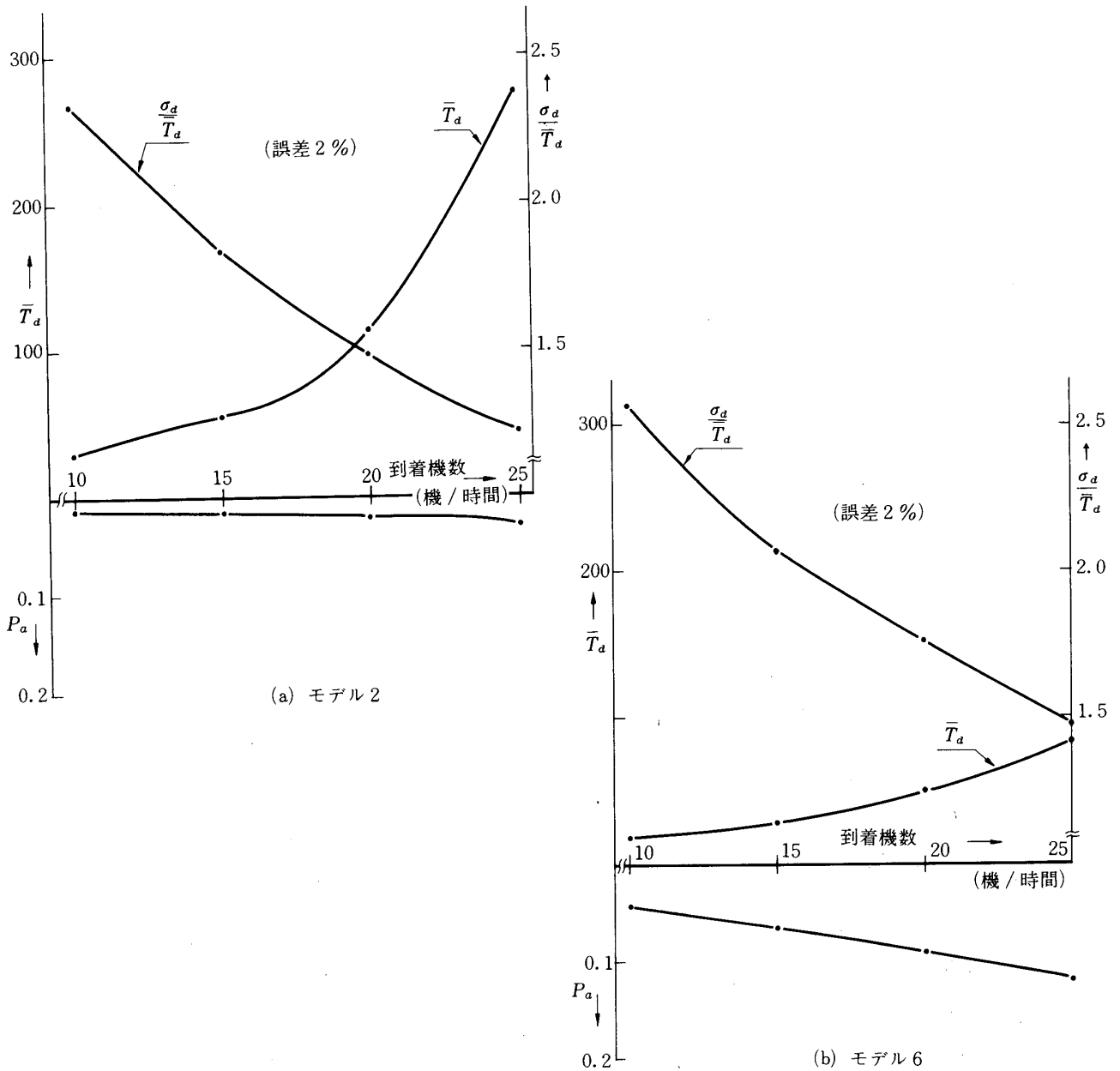
分布

(iii) 評価パラメータ

(a) P_a : 警報率 (b) \bar{T}_d : 平均遅延時間 (平均待ち時間)

3.3. シミュレーション結果

シミュレーションは、第1表に示すモデルの夫々について行った。以下にその主要な結果を示す。



第4図 平均遅延時間および警報率

- (1) シミュレーションは、1回6時間分を30回で1試行とし、12試行ずつ行った。
- (2) 到着間隔の度数分布の1例を第3図に示す。誤差のない時の到着間隔では、当然1分(管制間隔)以下の到着はなく、1分の所にピークがある。このピークの大きさは、トラヒック密度に比例する。ただし遅延が固定時間で与えられる方式の場合には、このようなピークは生じない。

次に誤差があると、その影響で到着間隔が1分を切る場合を生ずるが、これは誤差の増加と共に1分の所にあったピークが、にじみ出る形で増加する。
- (3) 平均遅延時間と警報率 上に述べた到着間隔の分布より、管制間隔を切る割合を警報率として求めた。又遅延時間については、その平均値を求め、両者を第3表に示した。なおモデル2と6を選びこれを図示した。(第4図)
- (4) 上記は標準的なパラメータに対するシミュレーションであるが、その他実際の管制上重要な意味をもちうるパラメータの影響を調べるため、幾つかの数値についてもシミュレーションを行った。

4. 考 察

4.1. モデルに関する考察

(1) 現実の管制と時間軸モデル

3.1で示したモデルと現実の管制方式との対応は、次の様に考えられる。

まずマルチパスとホールドを用いた運航票管制方式に対応するのがモデル2である。なお固定遅延の為のマルチパスを実際の空域に多数設定する事は空域の大きさ、横方向分離の確保、コース設定の精度等を勘案すれば困難であり、ここに取りあげた程度が実際的と考えられる。

この運航票管制に速度管制を導入した場合には、モデル3、モデル4が相当する。運航票管制に於いては、位置通報点の設定が困難ではあるが、位置通報点を設定し、速度管制を導入した場合に於いては、運航票管制の限界として(警報率に関し)モデル5、モデル6が考えられる。

次にレーダ管制は、所謂レーダベクタにより原理的には任意の経路延長が行える訳であるが、現実には比較的規格化された手続きによっていると考えてよい。

実際に行われている経路延長の模様を、その飛行軌跡より推定すると、後述する如く時間に換算して30~60秒程度であり、標準的な経路との併用は、モデル4、モデル5に相当する。

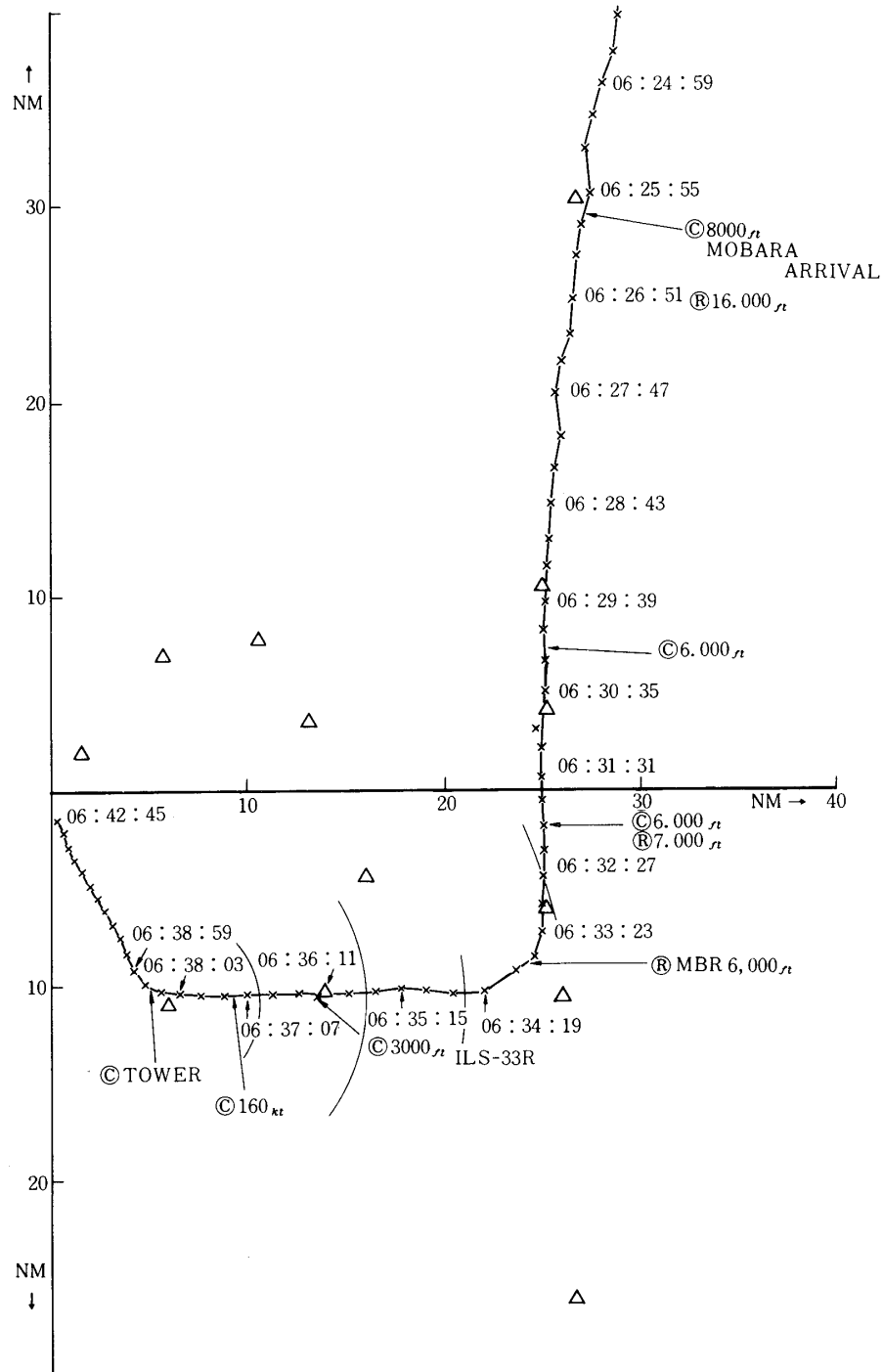
なおG点以降における時間調整は現実には行われぬが、この地点で任意の時間調整が行えるとしたモデル9は、警報率に関し限界を示すモデルである。

(2) 指示の回数と警報率の意義

実際の管制業務を考えた場合、管制官による指示には定形的な指示と応急的措置の為の指示とが考えられる。

指示の回数は、前者は方式を定めれば一意的に定まるが、後者はトラヒックの量、誤差等によって影響される。(ここでは高度変更にもなう指示は別のことと考える。)

定形的な業務を考えた場合，ターミナル領域に入ってから滑走路に着陸する迄の 20 分程度における指示（時間軸での操作）としては，實際上ここで取りあげた 4 回程度が航空機側から見ても限度と言える。

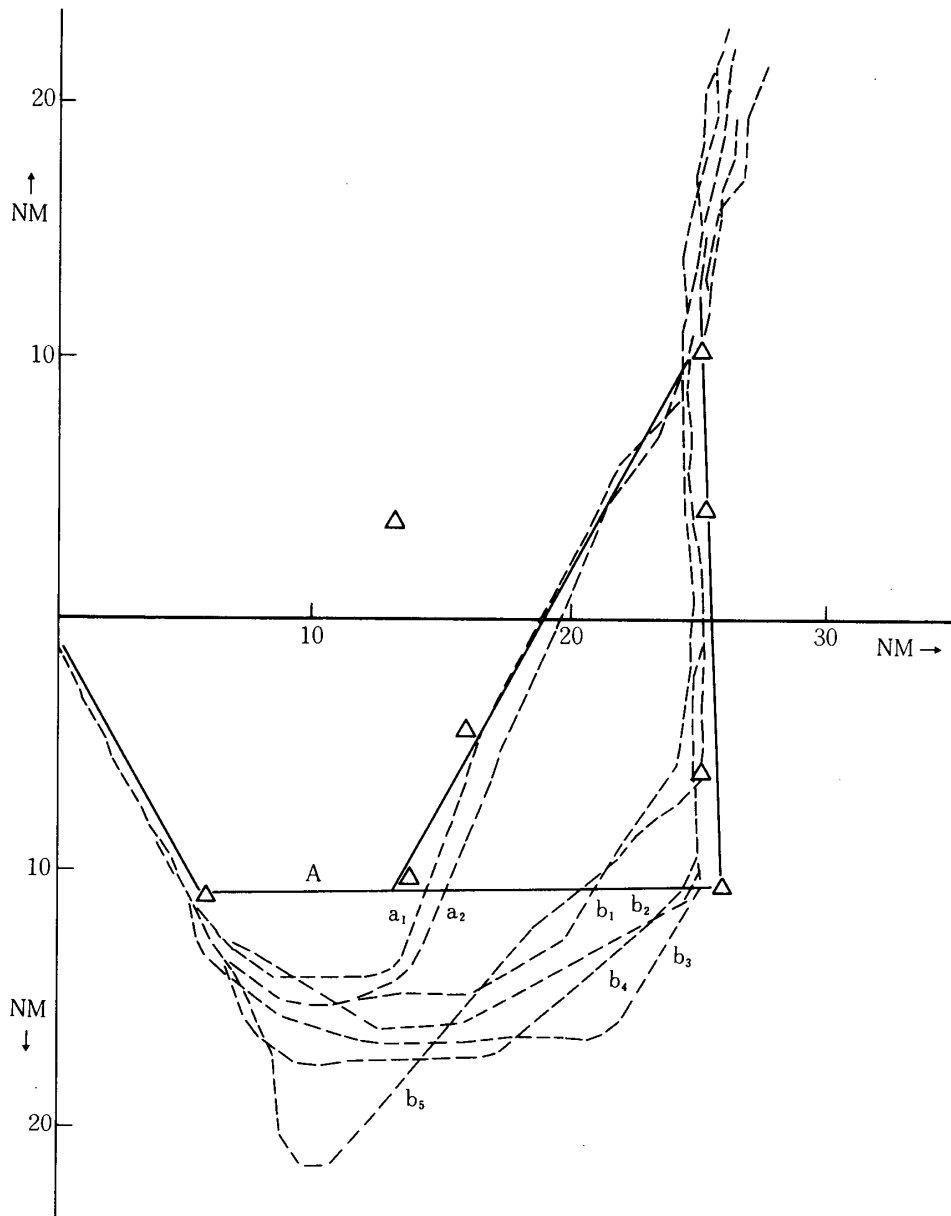


第 5 図 航跡の例

一方応急的措置とは、管制間隔が保たれない状態が生じた時の措置であって本来生じてはならないものである。

これの指標として警報率が考えられる。警報率は、衝突の確率ではなく管制間隔を切る割合である。しかもシミュレーションで求めたのは、滑走路に到着した時の間隔が、管制間隔を切る割合であって空域の途中におけるそれではないが、一つの目安として考えられる。

レーダ管制のように、管制間隔を切る状態が視覚化されて確認されれば、当然応急の措置が取られるものと考えられる。この頻度を示す指標として警報率がある。



第6図 進入経路

(2) 時間調整について

すでに述べた様に、ターミナル管制においては、安全を確保する為に遅延（時間調整）を与える。遅延の与え方として、実際の管制においては、マルチパス、レーダベクタ、速度制御等種々の方法が用いられる。本論文では、これ等の方法の表面的な違いを捨去り、管制をその本質的な時間軸の操作としてモデル化し、時間の調整幅と精度で規定する事を試みた。

比処では、過去に行った調査結果* をもとに、最も基本的な時間調整手段である経路延長（マルチパスとレーダベクタ）の様子を示す。

本調査は、空港レーダのレーダデータをもとに、約700機のIFR進入機の軌跡を追跡調査したものである。

すなわち、記録されたレーダデータをオフライン処理する事により、1機1機の航跡を第5図に示す様な形でX-Yプロッタにより描かせた。比処では、そのうちの特定方向からの進入を例にとり分析する。

試みに特定方向から進入の8機の航跡を多数のうちから選出し、同一図面上に示したものが第6図である。図中の△印は定点であり、実線は基本的な進入経路（マルチパス）である。夫々の経路（図中A、B）に対する変化として $a_1, a_2, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5$ 等が記録されている。これ等は準定形化された手続きと見られ、個々の軌跡は更に変化があると言える。

比等経路の違いによる所要時間の違いは、調査結果から直接導く事は出来ないが、経路長の差を第4表に示す。

これより、時間に換算して2分程度迄の時間調整が行われると言える。

(3) 運航精度について

航空機の運航精度（比処では所要時間の精度）を直接的に測定する事は困難である。すなわちこれを意図的に測定する為には、特定の2地点間をその所要時間（又は到着時刻）を指定して多数回飛行する事が必要であり、しかもそれが航空会社の航空機である必要があるからである。

しかし、直接的なデータを得る事は困難であっても幾つかの調査により、大略の値を推定する事は出来る。

以下にその調査結果**の1部を示す。本調査は、管制部の運航票をもとに行ったものであ

第4表 進入経路の経路長の差

Aとの差(NM)		Bとの差(NM)				
a_1	a_2	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5
4.6	5.9	0.26	2.6	5.6	5.8	9.6

(なおAとBとの差は9.5 NMである。)

* 本調査は昭和48年に航空振興財団の航空保安システム技術委員会の活動の一環として行ったものである。

** 航空振興財団航空保安システム委員会昭和50年度調査報告

*** " " 49年度 "

第5表 所要時間と偏差

	XM → XA					MX → GO				
	月/日	機数	平均速度	平均時間	標準偏差	月/日	機数	平均速度	平均時間	標準偏差
A グ ル ー プ	12/1	11	472.4 kt	14分	1.0分	12/1	15	478.3 kt	14分	0.7分
	2	3	455.0	16	/	2	16	477.1	14	1.1分
	3	2	463.0	14	/	3	18	477.2	12	1.1分
	4	4	474.0	15	/	4	18	477.5	14	0.6分
	5	3	466.0	15	/	5	10	475.2	15	1.3分
	6	3	476.3	13	/	6	19	477.6	14	1.4分
B グ ル ー プ	12/1	21	428.5	15	1.2	12/1	10	430.4	15	0.4
	2	23	424.7	16	1.1	2	9	430.0	16	1.1
	3	29	426.7	15	1.2	3	9	430.6	12	1.6
	4	26	428.8	15	1.3	4	10	431.0	15	0.7
	5	27	430.5	15	1.4	5	3	436.7	16	/
	6	19	430.6	15	1.0	6	7	429.4	16	1.0

(ただしAグループとは480 knot, Bグループは430knot を中心とする航空機を指す。
平均速度は運航票に記載された速度の平均値。

る。まず第5表は、特定の2地点間の所要時間と標準偏差を航空機のクラス別、日別に調べたものの一部である。これは、あるグループに属する航空機の所要時間のばらつきを示すものであって、運航の精度ではない。

次に第7図は、特定の地点でのETA (Estimate Time of Arrival) とATA (Actual time of Arrival) の差の分布である。これは、航空路における運航精度を示すものと言えるが、ATAを運航票から取ったものであり、レーダデータから直接取っていない点に注意する必要がある。

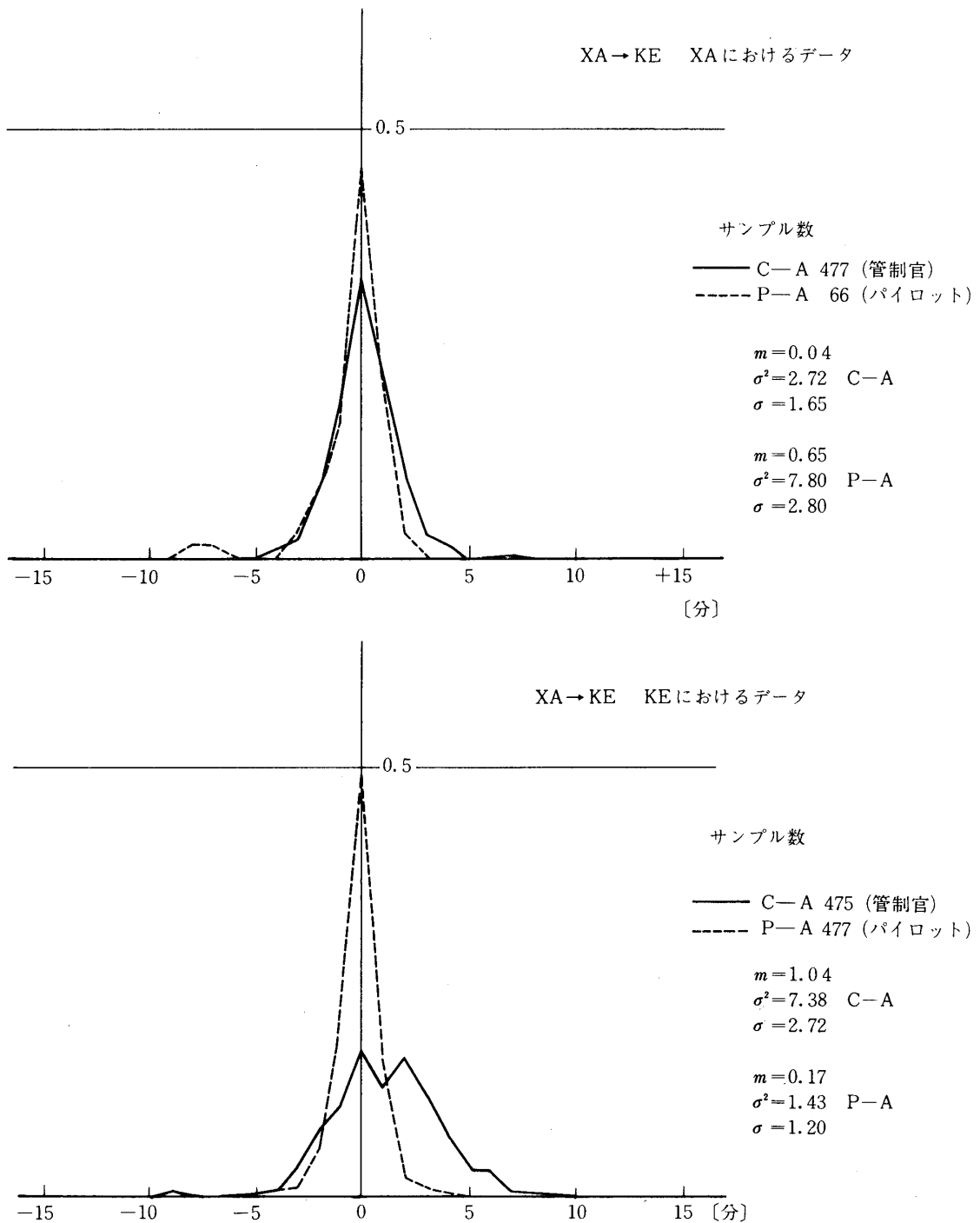
調査では他の地点についても同様なデータを取っているが、これ等から判断してETAとATAの差は、その所要時間の8~10%程度の標準偏差を持つと推定される。

一方これ等とは別に、パイロットとの面談による聴取り調査***の結果によれば、速度の維持精度は±5~10 knot程度と考えられる。これをターミナル領域の運航についてあてはめると2~4%程度の誤差となる。

シミュレーションにあっては、ターミナル領域と言う点を考慮して、数%の誤差を用いる事とした。

4.2. シミュレーション結果に対する検討

(1) 時間調整手段と遅延時間について



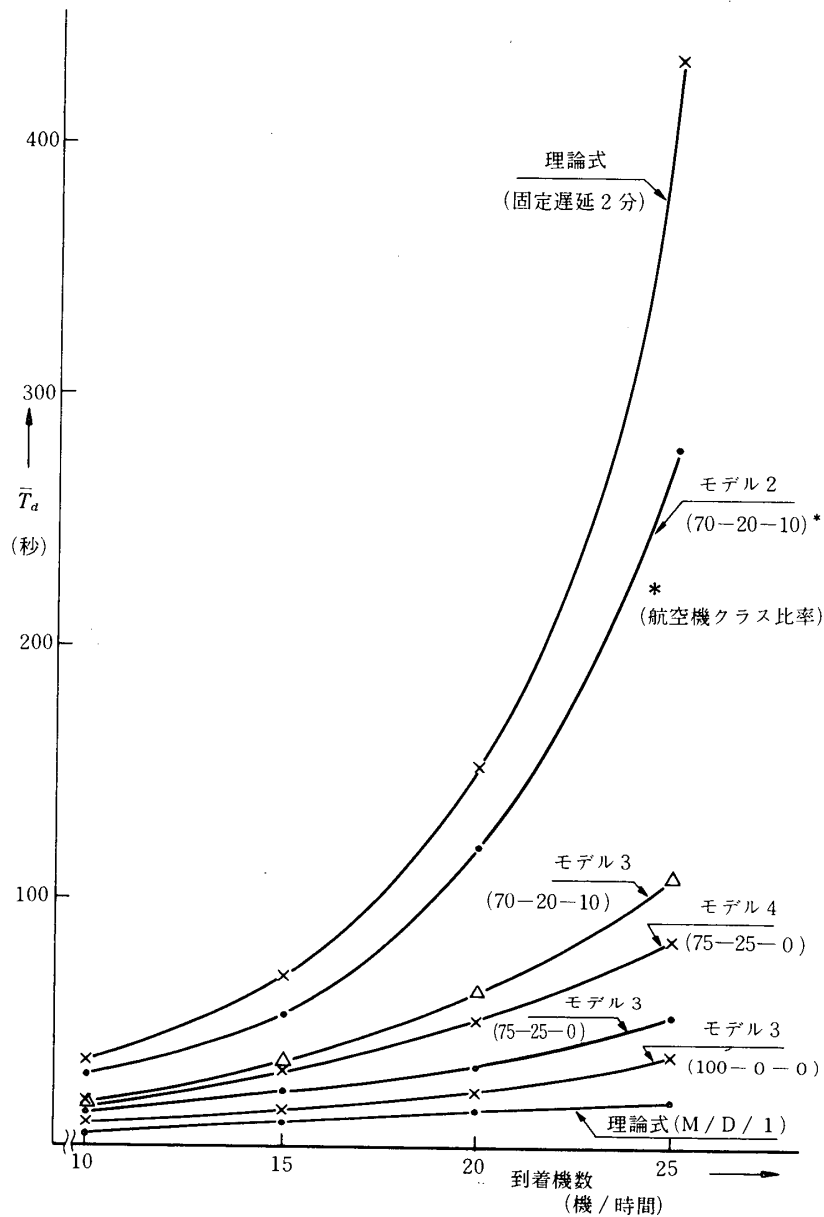
第7図 ETAとATAの差の分布の例

ターミナル進入管制における遅延時間は、時間調整手段の如何により、可変幅無限のモデル $M/D/1$ の理論値と固定遅延モデルの理論値とを上、下限としてこの間に入る。この関

係を見る為、理論値とシミュレーション結果とを同一の図上に示す。(第8図)

図より固定遅延の場合はトラヒックの増大と共に急激に遅延時間が増大することが判る。この場合の理論値は固定遅延を2分として計算してあり、シミュレーションにおける固定遅延は、1分と2分と4分の組み合わせのためシミュレーション結果の方が、遅延が若干少くなっている。

次に可変幅無限 (M/D/1) の場合は、当然遅延時間は大幅に減少する。モデルとして取りあげた方式は、固定遅延+可変遅延(幅1分)であって、可変幅無限ではないが、この場



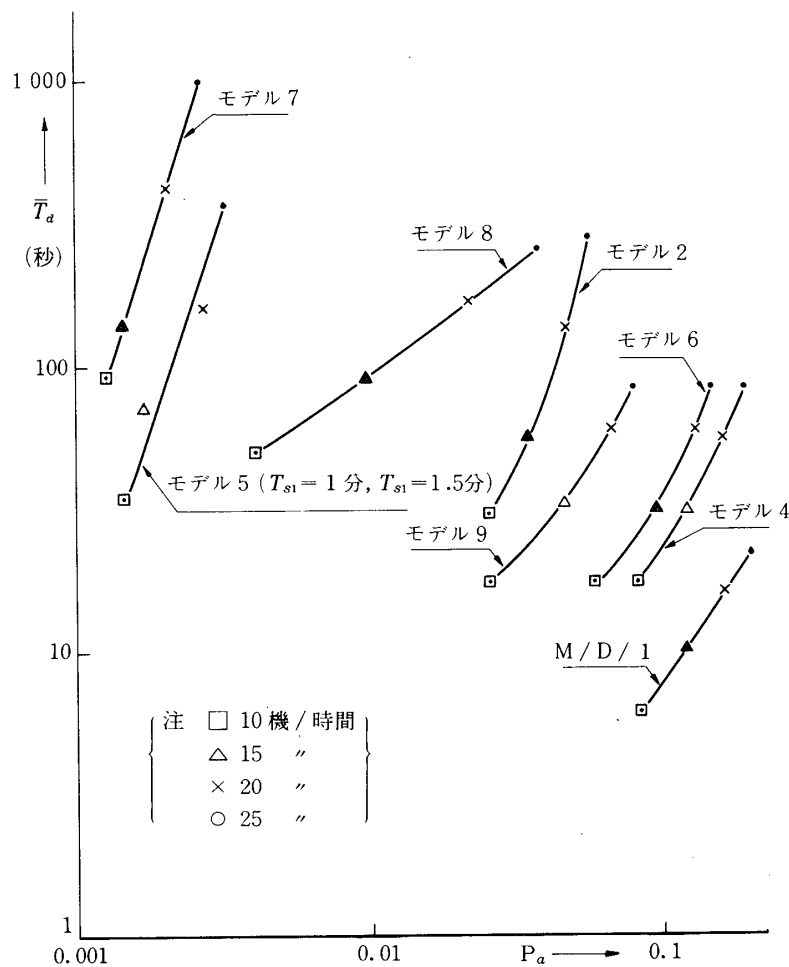
第8図 到着率と平均遅延時間

合でも充分遅延時間は減少する。

特にこの場合，クラスの異なる航空機が混在している事の影響により遅延時間が増大しているが，単一クラスの場合には，略理論値に近い遅延時間となることが第8図より明らかである。

(2) 警報率と時間調整手段について 警報率は，到着間隔が管制間隔以下になる割合として定義される。従って，警報率は到着間隔分布と密接な関係にある。そしてこの到着間隔分布の形は，時間調整手段に依存する。

まず誤差のない場合を考える。たとえば，モデル4とモデル2を取りあげると，前者は後者にくらべ精密な時間調整が行える訳であるから，管制間隔を割っている場合，必要最少限の遅延が与えられ，間隔は丁度管制間隔にそろえられる。これに対し，後者の場合には通常必要以上の遅延が与えられる事となり管制間隔より大きい時間間隔となる。この関係は，3.3.の第3図に見ることが出来る。



第9図 平均遅延時間—警報率

第6表 出発機数の推定 (モデル6. 6時間当り)

到着機	10機/時間	15	20	25
出発機	204機	180	152	128

次に誤差が生じた場合を考える。特定の2機の到着間隔に着目すれば、その間隔は誤差により等しい確率で増加するか減少するかのいずれかである。従ってモデル4の如く丁度管制間隔の所にあったピークの半分は、管制間隔を割る事となり警報の対象となる。よって当然の事として、警報率はモデル2よりモデル4の方が大きくなる。

この様に時間調整手段の如何により到着間隔分布の形が変わり、それが警報率に影響する。一般的に言って遅延を減少させる為に精密な時間調整を行えば、間隔分布の管制間隔に近い所に集中が生じ、航航誤差があれば警報率の増大をまねく事となる。

(3) 遅延時間と警報率 各モデルを遅延時間と警報率の両面から考察する為、シミュレーション結果を遅延時間-警報率の図上にプロットして第9図に示す。

まず時間調整手段が固定(モデル2)及至は固定的(モデル7, 8)な方式と可変な方式(モデル4, 6, 9)とに大別される。前者にあっては警報率を減少させる為に指示回数を増加すると警報率は大幅に減少するが遅延は急激に増大する。後者の場合も警報率は減少するが前者程大幅でない。しかし遅延はほとんど増加しない。なお後者の場合遅延は前述の通りM/D/1の理論値となる。

(4) 出発機について 本シミュレーションにおいては着陸機のみを扱っている。これは基本的に、離着陸においては着陸機を優先するとの考え方に立つからである。

すなわち着陸機を優先とし、着陸機相互の間隔が、出発機が間に入れるだけ離れていればこの間で離陸するものとする。

この様な考え方から、シミュレーション結果の到着間隔分布をもとに、出発させ得る航空機の数を推定し、参考の為第6表に示した。

5. む す び

ターミナル管制を時間軸の操作として取扱い、時間調整幅とその精度および指示の回数によって規定する事を試み、幾つかのモデルを設定した。方式の評価には遅延時間と警報率を取りあげた。

ついでモデルと現実の管制方式との対応を論ずると共に、過去の交通流調査の結果をもとに若干の考察を加えた。更に上記各方式モデルのシミュレーション結果を示し検討を加え以下の結果を得た。

- (i) このモデルによって現行各種方式を包含し得る。
- (ii) 固定と可変の遅延を組み合わせた方式と遅延時間との関係を明らかにした。
- (iii) 指示回数と警報率の関係を明らかにした。

なお、この様なモデルで進入管制を扱う事により具体的な方式の本質を運航誤差、遅延時

間、警報率で論ずる事が可能となり、具体的方式の評価が容易に行えるデータが得られた。

1980年12月23日計測部