

# 鹿児島空港周辺の航空機騒音の分布と評価について (第1報)

— 騒音分布と等音図 —

中村 虎重・宮路 広

## Distribution and Evaluation of Aircraft Noise around Kagoshima Airport. (1st. Report)

— Distribution and Contour of equal Sound Level  
of Aircraft Noise —

Torashige NAKAMURA and Hiroshi MIYAJI

### 1. ま え が き

空港周辺の航空機騒音については、従来羽田、伊丹など大都市周辺の大型機種による離着陸頻度の高い空港について、大きな社会問題を提起し、学会などでもその測定法や評価の方法などについていろいろな角度から検討されてきた。

しかし急速に発展する航空界の現状は地方の中小都市空港においても、機種の大型ジェット化、輸送量の増加に伴ない人畜に及ぼす影響度の極めて大きい騒音源として住民の間で問題化し、環境基準の設定、土地利用計画などを含めて緊急な騒音対策を検討しなければならない実状にある。

鹿児島空港も昭和44年8月 Boeing 737 のジェット機導入に伴ない、市街地域の直上を通過する「うるささ、やかましき」の異質な騒音源として急速に住民の関心が高まってきた。

筆者らは昭和46年以来、鹿児島空港（鴨池）について航空機騒音の実態調査を行なってきたおり、その分析結果からある程度の成果を得られたのでここに報告する。

鹿児島空港については、昭和41年守田栄らによる調査研究の報告があるが、その時点においては本空港に離着陸する航空機の機種はYS 11, Friendship, Convair 240, Heron など小型4種類のプロペラ機だけであり、また1日当りの離着陸回数も極めて少なく、騒音源として住民に与える影響度も空港周辺の極めて限定された範囲内だけであった。従って市街地に近接した地方都市空港の特殊な一例として、むしろ近い将来、航空輸送量の増大、大型ジェット化による地方空港の航空機騒音を予想して騒音実態の調査を行ない、その測定法、分析の方法、評価算定などについての問題点を提起している感がないでもない。

また評価の方法にしても PN-dB (A), NNI (イギリスにおいて採用) を採用しているが、その後1968年、ICAO\* において国際的に統一された評価法の基準として ECPNL\*\* を採用すること

\* International Civil Aviation Organization.

\*\* Equivalent Continuous Perceived Noise Level.

が決定されている。

筆者らは本報において評価法は上述の ECPNL 国際基準を採用することにし、なお従来のプロペラ機 (YS11) とジェット機 (B737) との離着陸における騒音分布の実状、特徴などを比較しながら検討を試みることにした。特に B<sub>3</sub> についてはターボジェット機特有のキリキリ耳を刺すような、うるさい高周波の特異音成分 (純音性) も多く、異状騒音の波及する範囲も広くなり、また音の伝搬特性についても単純に無指向性音源とは考えられないので、それらの特徴についても或る程度検討を加えることにした。

## 2. 測定条件および測定方法

### 2.1 測定器

使用した測定器は指示騒音計 (JEIC. SLM-12) 2台、携帯用簡易騒音計 (JEIC. SLP-21) 2台、高速度レベルレコーダ (JEIC. LR-A11) 1台、テープレコーダ (Sony. TC-4805) 2台、1/3 オクターブ・フィルタ (JEIC. BP-10A)、万能分析器 (RION SA-33B) などであり、その外に気象条件測定用として風向計、風速計、温度計などを使用した。

指示騒音計の校正および測定法、マイクロホン設置の地上高さ (1.2 m)、その他についてはすべて JIS 規格に準拠することにした。

### 2.2 測定対象航空機および飛行コース

測定対象の航空機は本空港の主要旅客機である Turboprop engine 使用の YS11 (以下 YS と略記) と Turbojet engine 使用の Boeing 737 (以下 B<sub>3</sub> と略記) の二機種に限定した。その外に離島向けの小型プロペラ機 Heron (16人乗) もあるが、1日の運航回数は1~2回で騒音源としては問題にならないので考慮しないことにした。

YS, B<sub>3</sub> の仕様は Tab. 1 に示す通りである。

Tab. 1 Aircraft measured

Type of aircraft	YS-11	Boeing 737
Engine	Turboprop 3060 HP×2	Turbojet 6350 kg×2
Weight (t)	23.5	60
Length (m)	26.3	30.5
Width (m)	32.0	28.4
Number limit	60	115
Propeller (r.p.m)	15000	—
Cruising speed (km/h)	475	800-850
Daily number of take-off(landing)	16(16)	17(17)

飛行コースについては気象条件、特に風向によって南向コース (大部分が海に面しており住民に対する影響度は極めて少ない) もあるが、市街地域上空を飛ぶ北向コース (着陸時には南向き) の場合に限定し、Fig. 1 に示すような1, 2などのコース決定および高度、上昇角、下降角などは長期間にわたる観測結果から (あらかじめ予想されるコース直下の一地点に2~3人の観測者をバラ

バラに配置し、各機毎にコース直下と思われる点を地図上に記入させる。同様の操作をコースに沿った2~3個所で観測して地図上で結びコース決定を行なった)。Y S, B<sub>3</sub>とも離着陸について概略同一コースを取り、風向、風速などによる上昇角(下降角)のばらつきも極めて少ないので Fig. 1 に示すようなコースを設定し、高度、上昇角、下降角なども一定と見做して測定を行なうことにした。

1のコースが離陸の場合で、2のコースが着陸の場合である。

### 2. 3 気象条件および測定方法

測定は昭和46年5月~12月までの相当長期間にわたるが、前半はコースや高度の決定、測定場所の選定、測定方法の検討など予備測定的なことで、主として8~10月の3カ月間における割合平穏な気象条件(気温23~33°C、風速0.5~1.8 m/s、湿度48~66%、雲量0~10)の場合のデータを集計して、その平均的な値を採用することにした。

測定場所は Fig. 1 に示すように離着陸コースの直下およびコースの両側の適当な位置に約26個所を選定し、出来るだけ建造物、樹木などによる遮音、反射効果などを避ける意味で学校、公園、海岸などの見通しのきく平地または建物の屋上などを選ぶことにした。

特に B<sub>3</sub> については音波伝搬の指向性について検討を加える意味で (D, L, M, N, O, P, U, V), (W, X, Y, Z) などコースと直角な略一直線上の数点を選ぶことにした。

また測定場所の記入の順序 (A, B, C, D ……) などは飛行コースの直下から先にして両側にわたるようにした。

測定は1組2名で1~2班(大部分は1班で)に別け、1日中一個所で全機種についての測定を行なうことにした。(後半になってデータの不備を補足するために数個所の測定を併用した場所もある)

全測定場所について指示騒音計の dB (A) 測定と高速度レベルレコーダ(紙送り速度3 mm/s)の同時測定を行ない、コース直下の測定点では航空機がマイクロホン直上附近を通過すると思われ

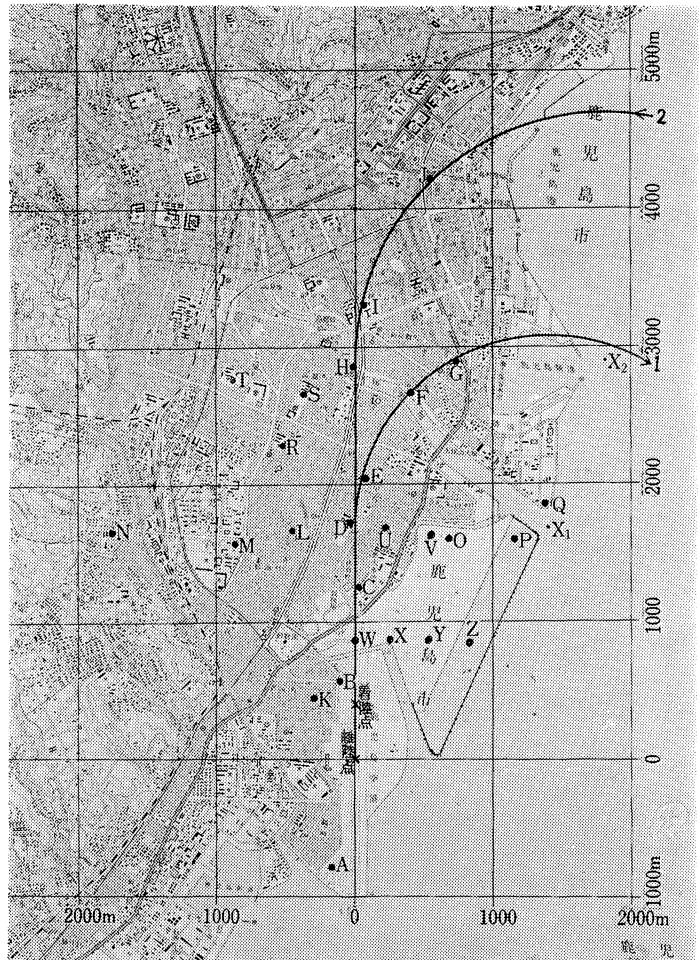


Fig. 1. Measuring points and Flying courses.

る時、他の測定点ではコースに直角な真横を通過すると思われる時点でマーカーを入れることにした。

B<sub>3</sub> についての音波伝搬の指向性を確かめるためである。

また周波数分析 (第2報) を行なうために B, C, L, M, N などの測定点では指示騒音計の dB(C) 測定と同時にテープによる録音を行なった。

### 3. 測定結果および考察

#### 3.1 騒音レベルとその分布

騒音レベルの測定は各測定点について指示騒音計 dB(A) (A 特性で一般的にはホン数) と高速度レベルコーダによる同時測定を行なったのであるが、この場合指示騒音計は高速度レベルレコーダの前増幅器として直結し、両者のレベル調整を適正に行なっておけば騒音計の指示とレベルレコーダの記録波形は大体一致する筈である。従って指示騒音計はその測定点の騒音レベルの最大 dB(A) の概略を知るだけにとどめ、後で高速度レベルレコーダの記録を研究室に持ち帰ってから各機種、各測定場所ごとの騒音レベルの大きさ、継続時間の消長を詳細に検討すればよい。

またこの場合高速度レベルレコーダの記録から (コース直下の測定点では直上を通過する時、その他の測定点では真横を通過する時のマーカー点が下部に記録されているので) その測定点におけるマーカー点によって最大騒音レベルに至る時間ずれも知ることができる。

Tab. 2 Average sound levels.

Point	Average sound levels dB(A)				Ground noise dB(A)
	Take-off		Landing		
	B <sub>3</sub>	Y S	B <sub>3</sub>	Y S	
A	106	92			42
B	109	92	96	89	55
C	106	91	102	97	48
D	102	90	100	95	54
E	99	88			45
F	97	84			54
G	96	80			50
H			97	89	62
I			95	87	57
J			92	82	61
K	96	81			54
L	95	78	82	74	54
M	90	71	65	64	53
N	84	67			48
O	91	79			54
P	86	73			45
Q	84	72			51
R	89	75	75	72	54
S			87	77	53
T			67	67	53
U			88	82	56
V			77	74	49
W	107	95			52
X	96	87			48
Y	91	78			43
Z	85	77			45
mean	95.2	81.0	86.4	80.7	51.5

Tab. 2 は各測定点における騒音の最大レベル dB(A) を B<sub>3</sub>, Y S について離陸, 着陸に別けて示したものである。各測定場所について数回以上の測定結果から算術平均して求めた値をその点の最大レベルとしたので、機種別のその場所の騒音レベルとしては一応信頼度は高いと思われる。(勿論上述したように筆者らの測定では気象条件その他による飛行コース, 速度, 上昇角, 下降角などは略一定であるとしている)。

一般に B<sub>3</sub>, Y S 両機種とも離陸時 (take-off) のレベルが着陸時 (landing) に比較してかなり大きな値を示している。特に B<sub>3</sub> においてその差 (8.8 dB(A)) が著しい。それは高度, 上

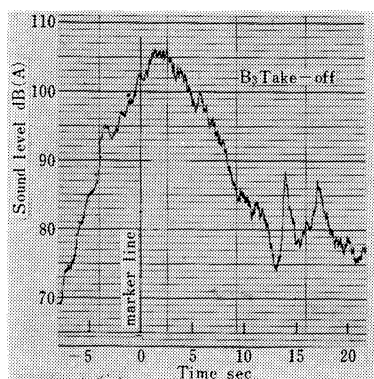


Fig. 2. Recording example of sound level at point C. (by High Speed Level Recorder)

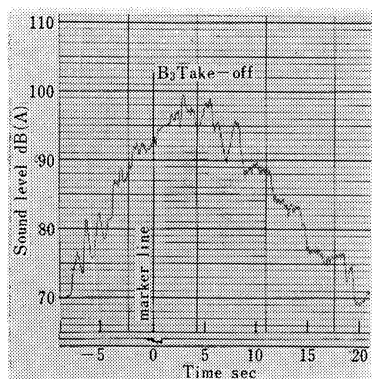


Fig. 3. Recording example of sound level at point E.

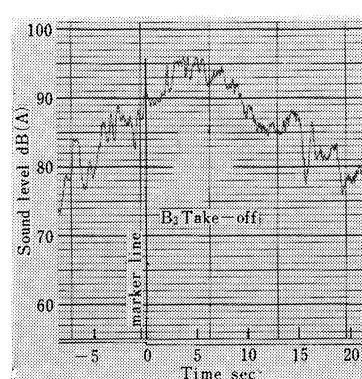


Fig. 4. Recording example of sound level at point F.

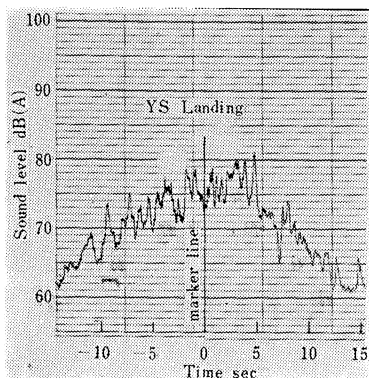


Fig. 5. Recording example of sound level at point J.

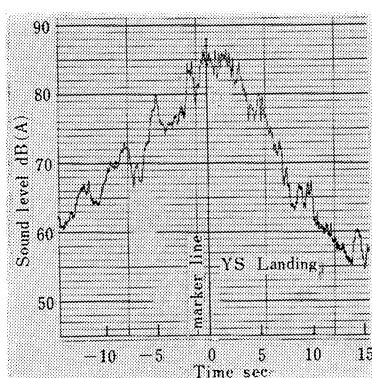


Fig. 6. Recording example of sound level at point I.

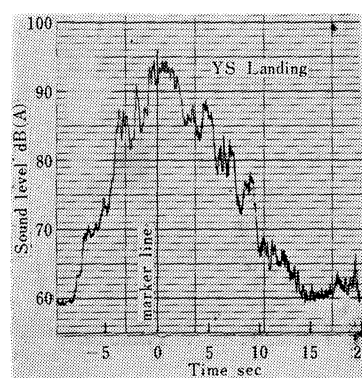


Fig. 7. Recording example of sound level at point D.

昇角とも離陸時が大きいにも拘らず (Tab. 4, Fig. 9 参照) 音源の音響出力  $PWL^*$  が着陸時に比べてはるかに大きい (Tab. 5 参照) ためと思われる。しかし着陸の場合でも飛行高度が低いのでコース直下の B, C, D, H, I, J などではかなり大きな値を示し, YS では離陸時と余り変らない。

また機種別には離着陸ともに  $B_3$  の騒音レベルが YS のそれよりもかなり高い値を示し (離陸時の両者の差は 14.2 dB(A), 着陸時には 6.4 dB(A)) ジェット機騒音とプロペラ機騒音の差を顕著に表わしている。

表中で離着陸の欄の右側の行に示した暗騒音 (航空機騒音以外の騒音) は JIS の測定法に従って中央値を採用したが, 総ての場所について航空機騒音とのレベル差が 10 dB(A) 以上になるので, その影響を無視できる。

Fig. 2~7 は高速度レベルレコーダの記録例として, 飛行コース直下の数個所の例を示したものである (Fig. 2~4 は  $B_3$  の離陸, Fig. 5~7 は YS の着陸)。マーカー点を中心にして一機毎の

\* Sound Power Level.

騒音変化の状態および継続時間を詳細に知ることができる。全測定場所についての記録結果から騒音レベルごと (70 dB 以上, 80 dB 以上, 90 dB 以上, 100 dB 以上など) の騒音継続時間を機種, 離着陸に別けて示したのが Tab. 3 である。表記の値は数回の記録結果の算術平均を求めて示した。最下列に示した平均値は稍データ不足ではあるが, それでも概略の傾向を知るには参考になる。

Tab. 3 Duration time of every sound levels over dB (A)

Saund level dB(A) Point	Take-off								Landing							
	B <sub>3</sub>				Y S				B <sub>3</sub>				Y S			
	100	90	80	70	100	90	80	70	100	90	80	70	100	90	80	70
A	6	13	22	35	—	1	18	30	—	—	—	—	—	—	—	—
B	5	9	13	21	—	1	8	14	—	2	6	10	—	—	6	16
C	3	9	16	22	—	1.5	8	15	1.5	5	9	12	—	4	8	12
D	2	12	21	28	—	0.2	7	14	4	7	10	16	—	3	9	15
E	—	10	24	68	—	—	7	13	—	—	—	—	—	—	—	—
F	—	9	25	50	—	—	4	14	—	—	—	—	—	—	—	—
G	—	7	20	32	—	—	—	14	—	—	—	—	—	—	—	—
H	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6	13	18	—	—	7	17
I	—	—	—	—	—	—	—	—	—	8	13	21	—	—	5	18
J	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2	14	23	—	—	3	15
K	—	6	14	23	—	—	0.3	7	—	—	—	—	—	—	—	—
L	—	7	22	53	—	—	—	12	—	—	4	16	—	—	—	8
M	—	0.5	15	33	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
O	—	3	36	70	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Q	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4	—	—	—	2
S	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5	11	—	—	—	4
mean	4.0	7.8	20.7	39.5		0.9	7.4	14.6	2.7	5.0	9.2	14.6		3.5	6.3	11.9

Tab. 2 の最大騒音レベルの結果と同様に, Tab. 3 の継続時間の長さにおいても B<sub>3</sub> の方が Y S よりも離着陸ともに著しく大きな値 (継続時間は離陸時 2.5~8 倍, 着陸時 1.5 倍程度) を示していることが分る。従って一日中の全運航回数 (B<sub>3</sub> 17×2, Y S 16×2) に換算すれば, そのうるささ, やかましきの程度, 影響範囲の広範なることを理解されよう。

B<sub>3</sub> の離陸, 着陸について比較してみると各レベルとも離陸時の継続時間が着陸時の 2.5~8 倍程度とかなり長く, Tab. 2 の結果と併用して考えれば B<sub>3</sub> の離陸時の騒音の極めて異状なことがよく理解できる。

Y S についての離着陸の継続時間の差違はあまり顕著でない。

### 3. 2 飛行高度および上昇角, 下降角の決定

飛行高度の測定は M, Q 点の附近で写真撮影により Fig. 8 に示すような方法で算出することにし, 離着陸それぞれ数回の測定を行なってその平均値をその点の高度とした。

方法は M, Q 点附近に図のようにカメラを置き, その前方 1m の所に目盛付きのテープを鉛直方向に張り, 航空機通過の瞬間に目盛テープとともに航空機の写真撮影を行ない次式によって高度 H を計算によって求めるのである。

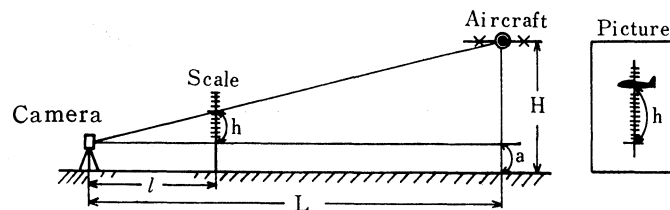


Fig. 8. Measurement of altitude.

$$H = \frac{h}{l} L + a$$

$l = 16.5\text{m}$  (実測値)

$h = 4.3\text{m}$  (実測値)

$L$ : カメラ位置とコース上の航空機直下点との水平距離

$a$ : カメラの地上高さであるが、カメラ位置と航空機直下点との標高差の補正量を含むものとする。

今  $B_3$  について離陸時の計算例を示すと、 $L = 900\text{ m}$  (地図上で計測)、 $a = 5\text{ m}$  として、

$$H = \frac{4.3}{16.5} \times 900 + 5 = 239 \text{ [m]} \text{ である。}$$

次に高度を測定した航空機直下と離着陸地点との水平距離 ( $M$  点で測定した場合は離陸時  $1400\text{ m}$ 、着陸時  $1200\text{ m}$ ) を地図上で求めると、その点における航空機の上昇角、下降角を計算できる。

$M$  点より  $B_3$ ,  $YS$  についての高度、上昇角、下降角を求めた結果を Tab. 4 に示す。

(各空港とも独自の運航規則を設けて、飛行コース、高度、上昇角、下降角などを規制して騒音による影響範囲をできるだけ狭くするような運航方法をとっている)。

Tab. 4 Angle of climbing (descending) of take-off (landing).

Type	Take-off		Landing	
	$B_3$	YS	$B_3$	YS
Altitude H (m)	239	172	68	72
	229	168	63	67
	224	156	59	65
	215	148		
mean	227	161	63	68
Horizontal distance (m)	1400	1400	1200	1200
Climbing ( $\alpha$ )	$\alpha = 9.1^\circ$	$\alpha' = 6.5^\circ$		
Descending ( $\beta$ )			$\beta = 3.0^\circ$	$\beta' = 3.2^\circ$

そこで航空機の離着陸時における飛行コース、高度、上昇角、下降角が気象条件その他の原因で多少ばらつくのを無視することにして、略一定条件下にあるとすれば、離着陸地点から航空機まで

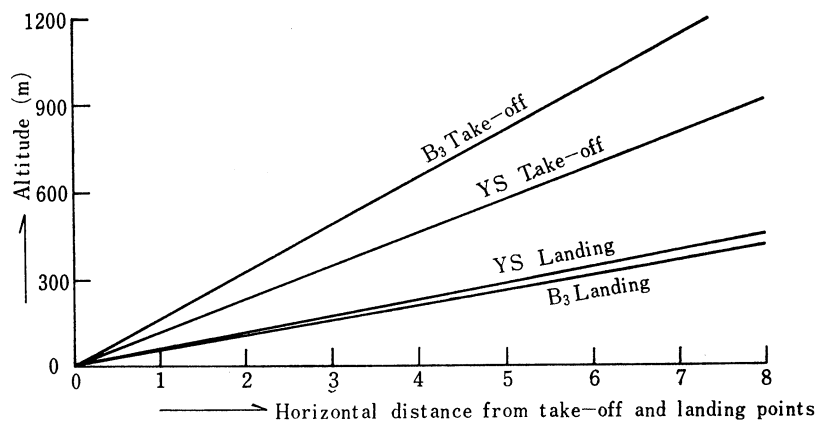


Fig. 9. Relation between altitude and horizontal distance from take-off (landing) points.

の水平距離と高度との関係は Fig. 9 のように示される。横軸と直線とのなす角はそれぞれ  $B_3$ , YS の上昇角, 下降角を与えることになる。ただし旋回コースについてはそれを直線コースに変換してから水平距離を求めなければならない。

従って飛行コース上の他の点の高度および各測定地点と航空機との直距離 (Slant distance) などは Fig. 9 を利用して計算すればよい。

### 3. 3 等音図

一般に騒音レベルの等音図は広い地域にわたる実測値によって決定するのがより妥当性をもつものと思われるが, それには気象条件, 飛行状態の変化 (パイロットの個人差などを含めて), または地形および地上の遮蔽物の状況, その他の種々な条件について考察しなければならない。その上数多くの測定値の集計を必要とするので余り実用的ではない。

そこで筆者らは音源の音響出力  $PWL(A)$  と測定点の音圧レベル  $SPL(A)^*$  との関係を用いて等音図を求めることにした。飛行コースや上昇角, 高度などについては一定コースとして先に決定しているので, それらを利用して騒音レベルの等音線を描いてみる。

飛行コースの旋回については  $X_1$  点 (take-off の場合),  $X_2$  点 (landing の場合) を中心にして半径それぞれ 1400 [m], 1800 [m] の円軌道として描いてある。

即ち音響出力  $PWL(A)$  の無指向性点音源を考え, 地表面上の影響を無視して自由音場を伝搬するものとすれば, 音源から  $r$  [m] 離れた点の音圧レベル  $SPL(A)$  との関係は次の式で与えられる。

$$PWL(A) = SPL(A) + 20 \log r + 10.9 \quad \dots\dots\dots (1)$$

$r$  は航空機 (音源) のコース上の点から測定点までの slant distance,  $SPL(A)$  は音圧レベルに A 特性の補正を加えた dB(A) であり, 従って  $PWL(A)$  は音源のパワーレベルに A 特性の補正を加えた値である。

\* Sound pressure level.



筆者らの測定対象であるプロペラ機 Y S については略無指向性の音源として支障はないと推測されるが、B<sub>3</sub> については明らかに指向性が認められる。然し後述するように後方向へのジェット気流の排出音による指向性として考えれば、飛行コースを直線状と仮定する場合、コースの直下および両側の騒音分布については左右対称的な分布をするものと考えられるので、指向性を考慮する必要はない。ただし旋回コースについては補正の必要がある。

いま地上の建造物、樹木等の遮蔽効果を考えず、空気中の吸音減衰の影響も無視して自由音場的な空間を伝搬するものとするれば (1) 式によって、そのまま等音線を決定できる。

等音線は音響出力一定の航空機（点音源と見做す）が飛行するとき、点音源を中心とする等音圧球面と地上水平面との交線の軌跡として求めればよい。Fig. 10 に示すように同一軌跡上の点は勿論音圧レベルは一定であり、同時に航空機からの slant distance  $r$  の等しい軌跡でもある。

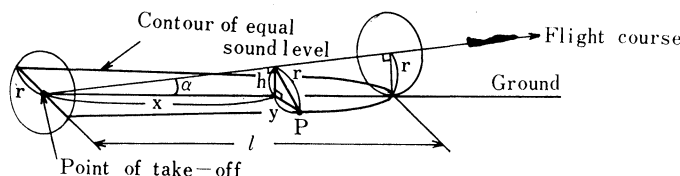


Fig. 10. Drawing of contour of equal sound level.

今  $l$  を高度  $H=r$  [m] の時の航空機の離着陸地点との水平距離とし、 $\alpha$  を上昇角（または下降角）とすれば、Fig. 10 より、

$$y^2 + x^2 \tan^2 \alpha = r^2 \quad \therefore \frac{x^2}{l^2} + \frac{y^2}{r^2} = 1 \quad \dots\dots\dots (2)$$

となり、等音線は短軸  $2r$ 、長軸  $2l$  の楕円となる。従って騒音レベル  $SPL(A)$  の等音線は、

$$(1) \text{ 式より } r = 10^{\frac{PWL(A) - SPL(A) - 10.9}{20}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

の 2 倍を短軸とし、

$$l = 10^{\frac{PWL(A) - SPL(A) - 10.9}{20}} \times \frac{1}{\tan \alpha} \quad \dots\dots\dots (4)$$

の 2 倍を長軸とする楕円を描いて求める。

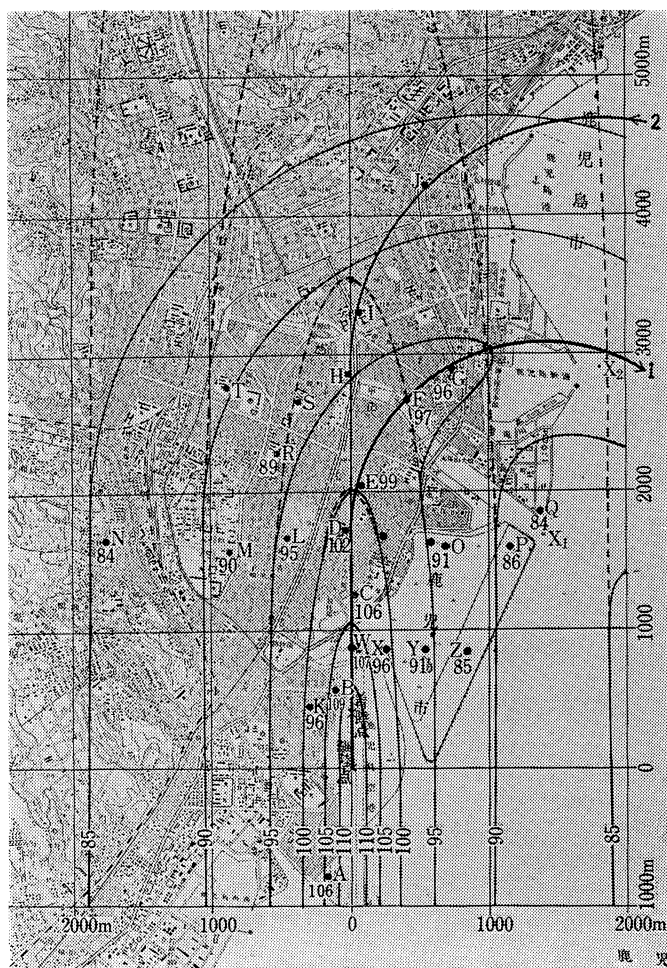
Tab. 5 はコース直下および側方の数個所の測定点について  $SPL(A)$  より  $PWL(A)$  を計算した結果である。気象条件や測定点からの slant distance の計算誤差、その他の原因で多少のばらつきはあるが、その平均値を  $PWL(A)$  として採用すればよい。

B<sub>3</sub> の離陸 ( $PWL=161.4 \text{ dB(A)}$ )、Y S の離陸 ( $PWL=145.7 \text{ dB(A)}$ ) の場合、 $SPL(A)$  が 110, 105, 100, 95, 90, 85, 80, 75 ……  $\text{dB(A)}$  に対応する  $r$  および  $l$  を (3), (4) 式より求めて等音線を描いたのが Fig. 11, Fig. 12 である。

B<sub>3</sub> の場合は最大レベル 110  $\text{dB(A)}$  を中心に、Y S では 95  $\text{dB(A)}$  を中心に 5  $\text{dB(A)}$  ステッ

Tab. 5 Sound power levels (PWL (A)) of aircraft noise.

Point	Take-off		point	Landing	
	B <sub>3</sub>	Y S		B <sub>3</sub>	Y S
B	163.0	144.9	B	147.3	140.3
C	164.5	146.5	C	149.3	144.9
D	161.5	146.5	D	152.7	144.1
E	160.4	146.5	H	150.7	143.3
L	160.3	142.9	L	146.0	138.0
O	159.1	146.7	S	149.9	139.9
mean PWL dB(A)	161.4	145.7	mean PWL dB(A)	149.3	141.7

Fig. 11. Contours of equal sound level in dB (A) of B<sub>3</sub> take-off.

で描いてある。同時に各測定点の離陸時の実測値も示してある。

図では一応直線コースを飛行するものと仮定して点線で示し実際の飛行コースについては Fig. 1 で決定した1のコース (離陸時の曲線コース) に移さなければならない。図では実線で示してある。

図によって B<sub>3</sub>, Y S の飛行コースから 500[m], 1000[m], 2000[m] 附近の騒音レベルを推定

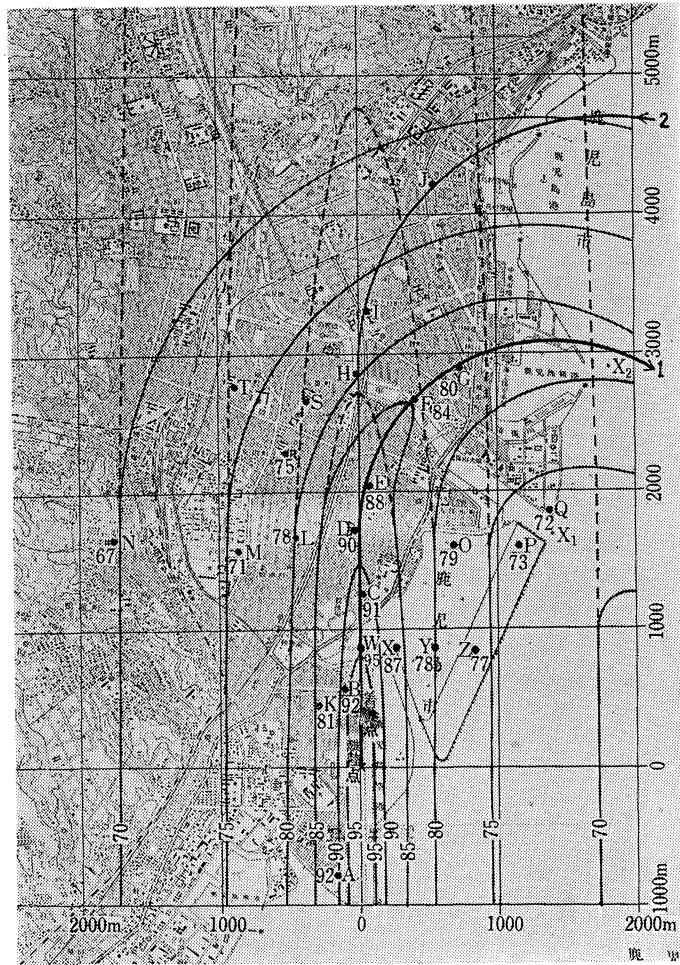


Fig. 12. Contours of equal sound level in dB (A) of YS take-off.

すると

距離 (m)	B <sub>3</sub>	YS
500	95 以上	80 以下
1000	90 以上	75 以下
2000	80-85	65-70

となり、YS に比較して B<sub>3</sub> の騒音レベルが著しく高いこと、およびその影響範囲の広範な状況がよく理解できる。

YS の場合は「やかましき」を感じる範囲が 500[m] 以内ということになる。

着陸についても同様に等音図を求められるが、ここには省略する。

### 3. 4 測定値と計算値との比較

Tab. 6 は各測定点の離陸の場合について実測値 (Tab. 2 より転記) と計算値 (等音図よりの推定値) を比較したものである。B<sub>3</sub>, YS とともに実測値と計算値のレベル差は ± 4 dB 以内で残り大きな差は認められない。しいて言えばコースの直下附近 A, B, C, D, E, F, G などて両

Tab. 6 Difference between measured and calculated value.

Point	Sound level dB(A)	B <sub>3</sub> Take-off			YS Landind		
		Measurement	Calculation	Difference	Measurement	Calculation	Difference
A		106	109	3	92	93	1
B		109	107	-2	92	93	1
C		106	103	-3	91	90	-1
D		102	102	0	90	89	-1
E		99	100	1	88	87	-1
F		97	97	0	84	85	1
G		96	96	0	80	83	3
K		96	100	4	81	85	4
L		95	96	1	78	81	3
M		90	91	1	71	75	4
N		84	85	1	67	69	2
O		91	93	2	79	78	-1
P		86	89	3	73	74	1
Q		84	88	4	72	72	0
R		89	93	4	75	78	3

者の差が稍小さく（実測値が大きい傾向）、コースを遠ざかるにしたがって両者の差が大きくなり、然も実測値が計算値より明らかに小さくなることを示している。

Fig. 13 はコース直下のD点を中心にコースの両側に直角な略一直線上にある数個所の測定点

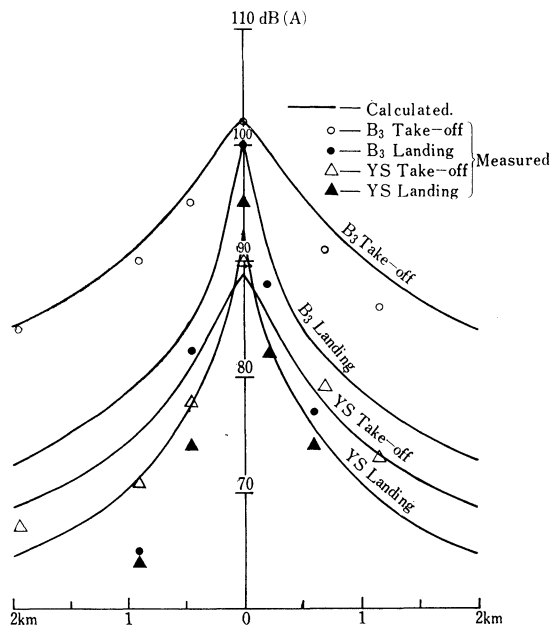


Fig. 13. Comparison between the measured and the calculated values by contours of equal sound level at rectangular plan to flight course.

(N, M, L, D, U, V, O, P, Q ……)などを選んで、離着陸時の実測値と計算値が距離によって減衰する状態を比較したものである。カーブは等音図から推定して描いたものであり、横軸はD点から測定点までの距離である。

離陸時については Tab. 6 の結果と概略一致しており、B<sub>3</sub>、YS とともに推定曲線（着陸時のコースに直角な騒音レベルの推定曲線はこれまでと同様な方法で計算によって求めた）に対して実測値のばらつきは僅少である。従って筆者らの選んだ測定場所（コースより略 2000 [m] 以内の範囲）については等音図（大気中の吸音補正をしてない）がある程度信頼性をもっていることが分る。

しかし着陸時については B<sub>3</sub>、YS とともに推定曲線に対して実測値のばらつきが [+4] dB 以内程度に収まるのは、飛行コースの近傍 500 [m] 程度であり、一般に実測値が推定曲線の値よりも小さくなり、特に YS の場合にその傾向が著しい。また遠方の測定点になる程実測値の減少度も大きくなる（500 [m] 附近で 2.5 dB(A)、1000 [m] 附近で 8~15 dB(A) 程度低くなる）。

これは一般に着陸の場合は離陸の場合に比較して進入角が  $3^\circ$  程度と小さく、従って飛行高度が低い (Tab. 4 および Fig. 9) ので大気中の吸音補正だけでなく、地上遮音物による吸音、反射などに大きく影響されるためと思われる。

### 3. 5 飛行音源の指向特性について

$B_3$  については騒音源となるジェット気流の性質から、当然音源の指向性が予想される。筆者らの測定においても指向性音源としての特性を確認された。

Fig. 14 は前出の高速レベルレコーダの記録の中から飛行コース直下の C 点について騒音レベルの時間変化を 1 秒毎にプロットしたものである。実線はそれぞれ  $B_3$ , YS の離陸時 (高度 240m, 170 m), 点線は着陸時 (高度 68 m, 71 m) である。

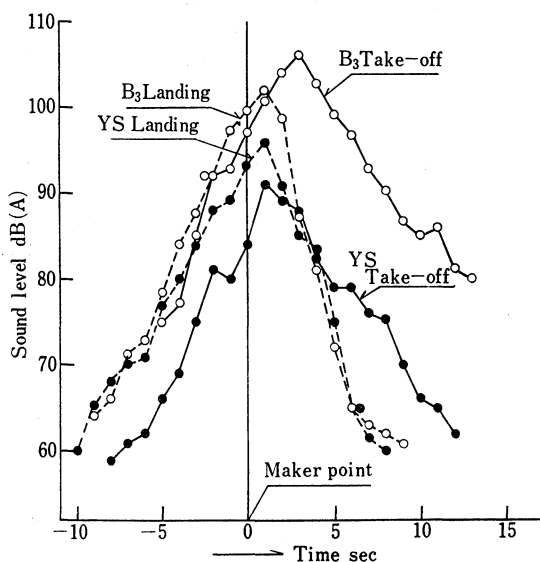


Fig. 14. Sound levels at point C.

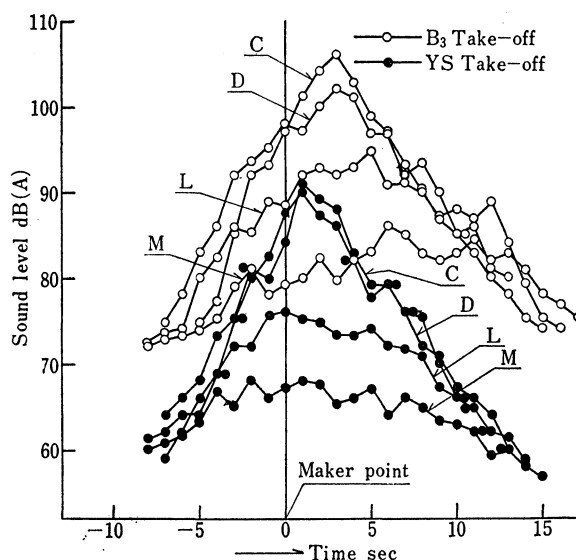


Fig. 15. Sound levels at points C, D, L, M.

Fig. 15 は Fig. 14 と同様にコース直下の C, D 点と同時に、D 点を中心にコースに略直角な一直線上の L, M 点の離陸時の騒音レベルが 1 秒毎にプロットされている。

今離陸時の場合だけについて考えることにすると、Fig. 15 より、C, D 点ともに最大レベルはマーカー点 (直上通過時) よりも  $B_3$  で約 3 秒, YS で 1 秒程度遅れている (C, D 点はともにコース直下で近距離にあるので飛行機の高度差は極めて小さい)。また  $B_3$  の場合 L 点 (コース直下より約 450m) で 5 秒, M 点 (900 m) で約 7 秒遅れている。YS については L, M 点での最大レベルの遅れは確認できない。

そこでコース直下の C 点の離陸時の記録結果から 3 秒間の遅れ ( $B_3$ ), 1 秒の遅れ (YS) の内容を Fig. 16 によって詳細に検討してみることにする。図の中で O 点は観測者 (C 点における) の位置である。

$B_3$  の場合: —

O の直上点 a (マーカー点で高度 240m) を通過した  $B_3$  は 3 秒後に c 点 (a 点より、飛行速度  $\times$

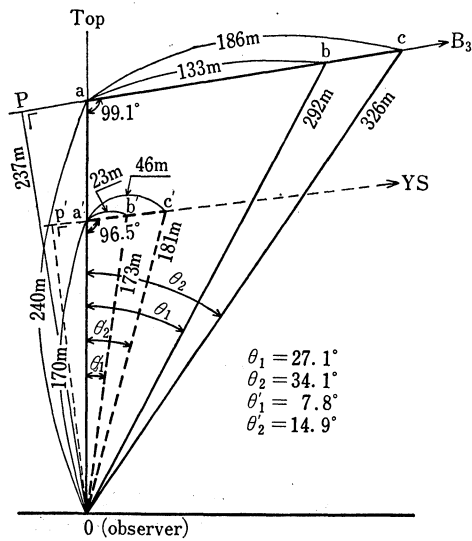


Fig. 16. The angle of elevation of the maximum sound levels at point C.  
 sound velocity:  
 $C=345 \text{ m/s}$  ( $22.6^\circ\text{C}$ )  
 aircraft speed:  
 $B_3=62 \text{ m/s}$  (altitude 240m)  
 $YS=46 \text{ m/s}$  (altitude 170m)

YSの場合: —

YSについても同様な方法で検討できるが、L、M点などの記録結果を総合すれば  $B_3$  のように指向性音源としての特徴は明らかでない。

以上の結果から  $B_3$  の指向特性を考慮すれば、当然 Fig. 11 の  $B_3$  の飛行コースの旋回部分については補正を必要とすることになる。

#### 4. 要 約

Turbojet engine  $B_3$  と Turboprop engine YS の離着陸時の騒音分布の実態調査を行ない結果を分析して検討した。要約すると次のようになる。

##### 1. 最高騒音レベルについて

- (i) 離陸時の飛行高度は高い (上昇角  $B_3$   $9.1^\circ$ , YS  $6.5^\circ$ ) にも拘らず PWL が大きいので騒音レベルは着陸時に比較してかなり高い ( $B_3$  で離着陸時のレベル差は  $8.8 \text{ dB(A)}$ )。
- (ii) 着陸時には飛行高度が低い (下降角  $B_3$   $3^\circ$ , YS  $3.2^\circ$ ) のでコース直下では相当高い騒音レベルを示すが、遠距離になると極端に低下する。
- (iii)  $B_3$  と YS のレベル差は  $B_3$  が高く離陸時において  $14.2 \text{ dB}$ , 着陸時で  $6.4 \text{ dB}$  である。

##### 2. 騒音の継続時間について

離陸時の騒音の継続時間が着陸時よりもかなり長い ( $B_3$  で離陸時は着陸時の約 2.5 倍)。機種別には  $B_3$  の方が YS に比べて著しく長く離陸時で 2.5~8 倍, 着陸時で約 1.5 倍であ

$3=186 \text{ m}$ ) にある。計算の結果  $B_3$  は a 点を通過後 2.15 秒後に b 点 (a 点より, 飛行速度  $\times 2.15=133 \text{ m}$ ) にあり, この点での騒音が最大レベルの音として O 点で記録されたことになる。勿論 O b 間 (292m) を音波が伝搬する時間 (0.85 秒) と b c 間 (53 m) の  $B_3$  の飛行時間とは等しい筈である。即ち仰角にして:  $\theta_1=27.1^\circ$ : の b 点の音が O 点の観測者に: 0.85 秒: 後に最大レベルとして記録されたことになる。

この場合, 音源に指向性がないとすれば P 点 (O より飛行コースえの垂線の足で  $OP=237 \text{ m}$ ) での飛行音を 0.68 秒後に O 点で最大レベルとして記録する筈である。

L 点, M 点の 5 秒, 7 秒の遅れについても略同様に検討できる。以上の結果から  $B_3$  の後方向えの指向特性の傾向の概略は確認できるが, なお詳細は今後検討することにする。

る。

### 3. 等音図について（離陸時の場合）

$B_3$  の場合 2000[m] 附近でも 85 dB 以上の騒音レベルを示し、騒音範囲が広い。YS は 500[m] 附近で 80 dB 以下に低下し騒音範囲はかなり狭い。

### 4. 実測値と計算値との比較

(i) 離陸時については  $B_3$ 、YS とともに 2000[m] 以内では実測値と計算値の差は  $\pm 4$  dB 以下で小さく、計算値による等音図の信頼性は高い。遠距離になれば大気中の吸音補正が必要である。

(ii) 着陸時の飛行高度の低い場合には 500[m] 附近でその差は  $+4$  dB となり、それ以上は等音図を適用できない。

### 5. 飛行音源の指向性について

$B_3$ （飛行音源）の場合、騒音の伝搬特性として前、後方（筆者らの場合は後方向だけについて検討した）にかなりの指向性をもっていることを確認できた。

従って  $B_3$  の等音図については飛行コースの旋回部分において内、外側に或る程度の補正を要することになる。

以上を総括すると  $B_3$  の離着陸時における騒音は、そのレベルの高さ、継続時間の長さ、周囲に及ぼす影響度の広範なることにおいて YS に比較してはるかに優り、それだけ異質な騒音源であることが理解されよう。

## 5. おわりに

航空機騒音の周辺住民に与える影響を究明するために、鹿児島空港の主要旅客機である  $B_3$  と YS の離着陸時における騒音の実態調査を行ない、騒音分布の特徴、等音図などについて検討した。 $B_3$  の飛行移動音源としての指向特性についても、ある程度の手掛りを得たのであるが、周波数分析、騒音評価の問題とともに今後更に詳細な検討を加えたい。

等音図についても、今少し広範囲（4000 m 程度）の適用に資するためには、大気中の吸音補正を行なうと同時に飛行コース、高度、上昇角、下降角の決定、算出の方法などについて今少し検討する必要がある。

筆者らが本研究の調査を概略終えた時点（昭和 47 年 4 月）で鹿児島空港も新空港（溝辺）に移転して、その後データを補足するための再測定などは不可能になった。

現在新空港の機種も B737, B727 (100, 200), DC-8, FD-28 …… など、益々大型化し、運航回数も増加しつつある。

しかし、新空港についての特殊な気象条件、機種やジェット機騒音の伝搬特性などについて十分考慮すれば、筆者らの旧空港における測定の方法、結果などはそのまま新空港にも適用できるし、ある程度寄与できるものと確信する。

筆者らもこの研究に続いて、更に新空港の調査研究に取り組む予定である。

#### 参 考 文 献

- 守田 栄：騒音と騒音防止：オーム社。  
守田 栄：鹿児島空港周辺の航空機騒音：音学会誌，Vol. 22, 4。  
坂田展甫 外：飛行移動音源の指向特性について：音学会講論集，1972, 10。  
Cyril M. Harris：Handbook of Noise Control：McGraw Hill (1957) 33-30～。  
五十嵐寿一：航空機騒音問題：音学会誌，Vol. 26, 6。  
五十嵐寿一，西宮 元：航空機騒音の計測と評価：音学会誌，Vol. 28, 4。  
五十嵐寿一：航空機騒音の測定と評価：音学会講論集，1970, 10。  
西宮 元：基地周辺騒音の要因分析について：音学会講論集，1970, 10。  
近藤 暹 外3名：航空機騒音の要因分析：音学会講論集，1970, 10。  
守田 栄：騒音レベル測定方法のJ I Sの改正について：音学会誌，Vol. 23, 3～4。