

鹿児島空港周辺の航空機騒音の分布と評価について (第2報)

— 周波数分析および評価 —

中 村 虎 重・宮 路 広

Distribution and Evaluation of Aircraft Noise around Kagoshima Airport. (2nd. Report)

— Analysation and Evaluation of Aircraft Noise —

Torashige NAKAMURA and Hiroshi MIYAJI

1. ま え が き

筆者らは第1報において鹿児島空港の航空機騒音の実態調査を行ない、Boeing 737 (以下 B₃ と略記) と YS 11 (以下 YS と略記) の離着陸時の騒音分布の特徴について論じ、また等音図を作成して騒音の及ぶ影響範囲、音源の指向特性の問題などについても検討を加えた。

本報においては飛行コース直下の B, C 点および側方の L, M 点でのテープによる録音結果を利用して周波数分析を行ない、B₃ および YS の離着陸時の騒音の中に含まれる周波数成分を比較し、それらの周波数成分が大気中の吸音効果などによって伝搬距離に対してどのように減衰するかを検討したい。また第一報の測定結果の中から各測定場所の最高騒音レベルを引用して鹿児島空港周辺の騒音評価も行なってみる。

騒音評価の問題はそれを感受する人間生活への影響の程度が最も根本的な基準となるべきものであろうが、それにはうるささなど心理領域の問題や、聴力障害、作業能率の低下など生理領域の問題など複雑な要素を含んでおり、単に音の大きさや強さなどについての物理量の計測によるだけでは尺度化され得ない困難さがある。

従来航空機騒音の激化に伴って、各国それぞれ音のうるささなどの感覚量や飛行回数、時間などを取入れた独自の評価法を採用して統一された基準がなかった。1968年に国連の下部機関である ICAO* で国際基準の評価量として継続時間や特異音補正、運航回数などを加味した ECPNL** が採用されることになった。

筆者らも本報においてはこの基準評価法を採用して鹿児島空港の騒音評価を行なうことにする。

2. 測定器および測定方法

測定器は第1報同様指示騒音計 (JEIC. SLM-12), 携帯用指示騒音計 (JEIC. SLM-21), テー

* International Civil Aviation Organization.

** Equivalent Continuous Perceived Noise Level.

プレコーダ (Sony. TC-4), それに周波数分析用として万能分析器 (RION. SA-33B), 1/3 オクターブフィルタ (JEIC. BP-10A) などを使用した。

各測定場所の最高騒音レベルは第1報の結果を引用することにし, 騒音のテープ録音については飛行コース直下の B, C の2個所とコース側方の L, M の計4個所を選び指示騒音計とテープレコーダを直結して同時録音を行なうことにした。コース直下より L 点までの水平距離は約 450[m], M 点までは約 900[m] である。

同時録音に際しては指示騒音計は C 特性として, テープレコーダの前増幅器として使用し, 最大 dB(C) を記録しておけばよい。録音テープは後で研究室に持帰り, 1/3 オクターブフィルタおよびオクターブフィルタに高速度レベルレコーダを通して分析した。この場合レベルの決定はフィルタの全音域 (over all) の出力を現地録音時の C 特性の dB(C) に合せればよい。

1/3 オクターブフィルタの中心周波数は

20, 25, 31.5, 40, 50, 63 …… 20000 の31点であり

オクターブフィルタは

4, 8, 16, 31.5, 63 …… 16000 の13点

のものを利用した。

3. 測定結果および考察

3.1 周波数分析

テープ録音は B, C, L, M の4個所の測定点について B₃, Y S ごとに数回ずつ行なった。

周波数分析は録音テープの最大レベル dB(C) 附近をピック・アップして行なうことにし, 1/3 オクターブおよびオクターブフィルタを通して高速度レベルレコーダに繰り返し記録させ, その記録結果を読みとり, 分析結果は B₃, Y S それぞれ各バンドについての平均 dB(C) を採用することにした。

Fig. 1 および Fig. 2 は B₃, Y S の離着陸時の録音を1/3 オクターブフィルタを通して分析した結果の平均値である。

Fig. 1 が B₃ の C 点 (コース直下, 高度 240 m), L 点 (コース直下より 450 m, slant distance 524 m) の結果で, 図より C 点については離陸時において 1000 Hz 以下の低周波分が比較的高いレベル値を示しており, 200 Hz 附近にピーク値 105 dB(C) を示している。1000 Hz 以上の高周波分は比較的低い。離陸時の地響きをたてるような強い号音はその傾向を示している。

着陸時には逆に高周波分のレベルが高くなり 2000~5000 Hz の周波帯にピーク値 95 dB(C) があり, 所謂 B₃ の着陸時のキーンと耳を刺すような金属性の音 (高周波特異音成分) を多く含んでいることを示している。

L 点については航空機よりの直距離 (slant distance) が長くなり相対的に C 点のレベルより低くなるのは当然であるが, 特に離着陸ともに高周波分の減衰が著しいが目立つ。これは遠方にな

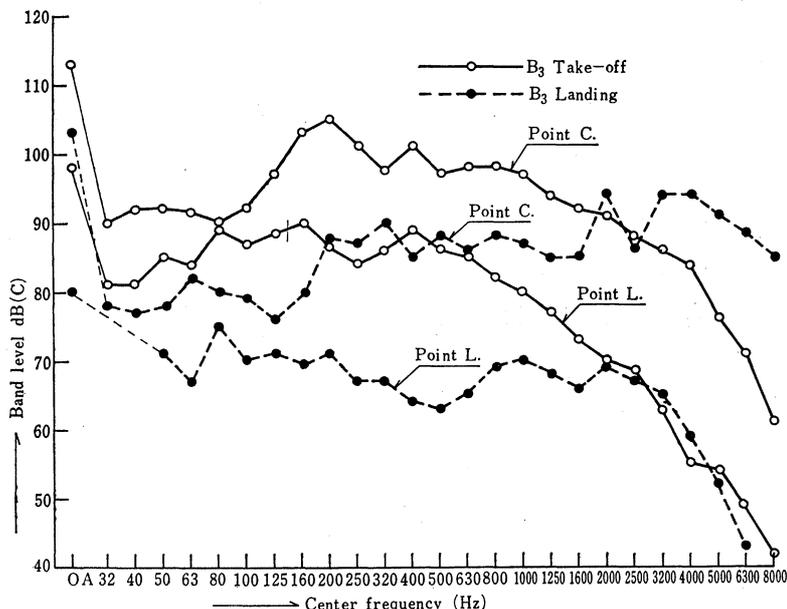


Fig. 1. 1/3 Octave band spectra of aircraft noise at points C, L.

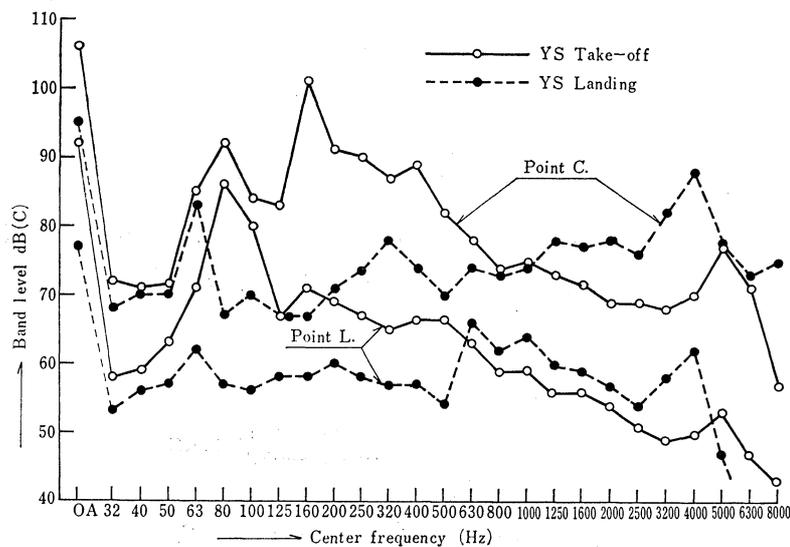


Fig. 2. 1/3 Octave band spectra of aircraft noise at points C, L.

る程低周波分の多い低い音になって伝搬するということである。

Fig. 2 は Y S の分析結果である。

B₃ の場合に比較して各バンドごとのレベル値は小さい値を示しており、従って総体的な騒音としては B₃ よりかなり小さいことが分る。しかし離陸時の低周波分 (1000 Hz 以下) のレベル値の高さは B₃ 以上に目立っており、80~200 Hz 附近のピーク値が特に著しい。

離陸時の車輪を転がすような低い号音がそれである。

着陸時の高周波分 (1000 Hz 以上) のレベルの高い傾向は B₃ と同様であるが、低周波分に対する含有率の高さは B₃ 以上であり、4000 Hz 附近に 90 dB(C) 程度のピーク値を示している。この

ことは第1報において、着陸時の飛行高度が低いにも拘らずコース直下で意外に高い騒音レベルを示したこともよく一致している。

slant distance の大きいL点についての高周波分の減衰する傾向はB₃の場合と同様である。

以上要約すると B₃ の各バンドのレベル値は全周波帯にわたって YS よりもかなり高い値を示しており、それだけ異状な騒音源ということになるが、高、低周波分のレベル値の変動については YS の方が B₃ よりもかなり顕著である。

次にこれまでの結果を定量的な意味でまとめたのが Tab. 1 である。

Tab. 1 Comparison of sound levels more than 1000Hz and less, averaged 1/3 octave band spectra of aircraft noise at points C, L, M.

Point	Type	Take-off		Landing	
		SPL dB(C)		SPL dB(C)	
		1000Hz (under)	1000Hz (over)	1000Hz (under)	1000Hz (over)
C	B ₃	96.2	84.0	82.8	89.0
	YS	83.4	70.0	71.7	77.9
L	B ₃	85.6	63.2	68.3	62.0
	YS	67.4	51.8	58.0	52.9
M	B ₃	78.7	55.1		
	YS	63.5	46.1		

各測定点について B₃, YS の離着陸時の周波数バンドの音圧レベル dB(C) を低周波域 (1000 Hz 以下) と高周波域 (1000 Hz 以上) に別けて、それぞれバンドの平均値で示してある。

Fig. 3 はコース直下の C 点および側方の L 点と M 点 (直下よりの水平距離 900 m, slant

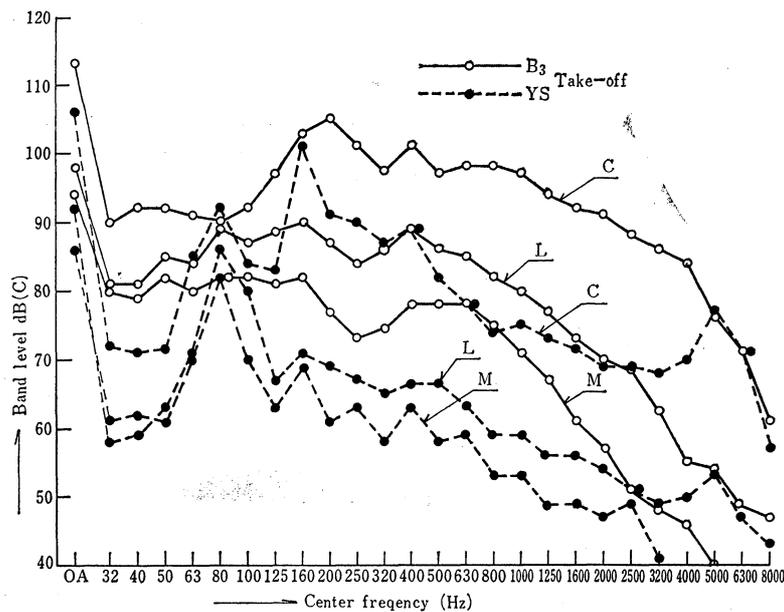


Fig. 3. 1/3 Octave band spectra of aircraft noise at points C, L, M.

distance 922 m) の3点について離陸時の各バンドの分析結果を示したものである。実線は B₃ の結果であり、点線は Y S の結果である。

L, M 点と slant distance が大きくなるに従って高周波分の減衰する傾向を明らかに示しており、航空機騒音のうるささの感覚量を内容的に示しているといえる。着陸時については省略した。

次にコース直下の B 点と側方の M 点について B₃ の離陸時の録音結果からピーク値附近と、その前後にピーク値とのレベル差 10 dB(C) の2点を選び、計3個所の分析を行なった。

Fig. 4 がその B 点についての分析結果を示したもので、—○—線は最高レベル点の分析であり、…○…線は 10 dB 低下前 (音源が観測者に接近する時)、—●—線は 10 dB 低下後 (観測者から遠ざかる場合で通過後) の分析値である。聴感で感じられる接近中の高周波成分の大きさ、通過後の低周波分の大きさが顕著に表われており、このことは飛行移動音源のドプラ効果として説明できるし、また第1報の指向性の問題とも関係がある。

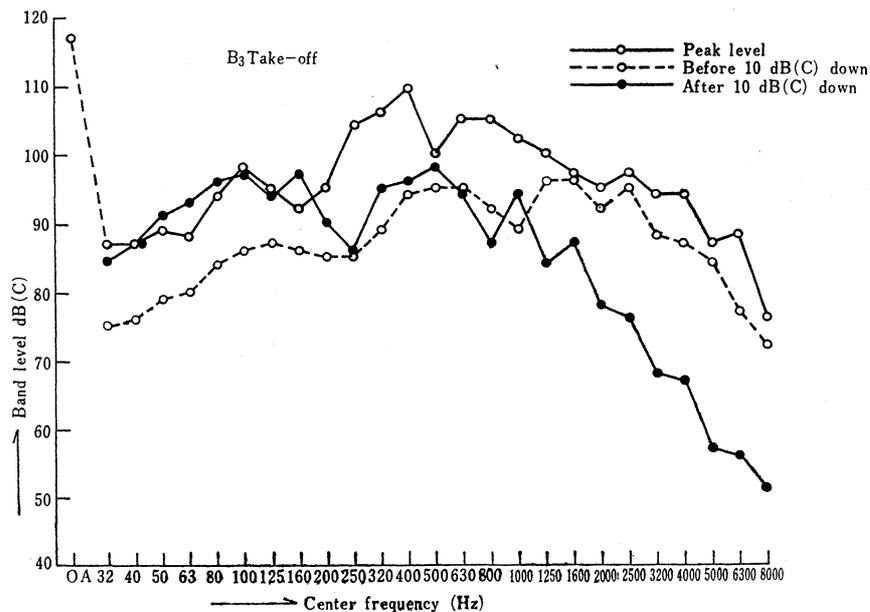


Fig. 4. 1/3 Octave band spectra of aircraft noise at point B. This spectra is compared the peak level with the levels of 10dB (C) down on before and behind at peak level.

3. 2 騒音評価

次に国際的に騒音評価量の基準として統一することに決定された ECPNL を採用して本空港の騒音評価を行なってみる。

それには、先ず全測定点についての録音結果をオクターブフィルタを通して分析し、それを利用して PN-dB を求める (ISO draft の方法, $PN-dB = 40 + \frac{100}{3} \log_{10} N_T$, N_T : total noy 数) のであるが、筆者らの場合テープ録音は B, C, L, M の4個所だけであるから、それらを利用して PN-dB を求めてみる。

Tab. 2 Average octave band spectra and PN-dB(C) at points B, C, L, M.

Point	B				C				L				M	
	Take-off		Landing		Take-off		Landing		Take-off		Landing		Take-off	
	B ₃	YS	B ₃	YS	B ₃	YS	B ₃	YS	B ₃	YS	B ₃	YS	B ₃	YS
OA dB(C)	117	98	94		113	106	103	95	98	92	80	77	94	86
Octave band														
under 75 (Hz)	92	71	77		98	86	85	83	88	72	72	64	88	71
75~150	99	88	81		99	95	83	73	93	88	78	62	88	82
150~300	103	94	84		108	101	91	76	92	74	74	64	87	71
300~600	110	82	78		103	91	92	80	93	71	69	61	86	65
600~1200	109	78	74		102	81	92	78	87	66	74	69	83	61
1200~2400	103	72	74		97	76	95	82	81	60	72	64	75	53
2400~4800	101	69	86		91	74	98	89	70	55	70	64	60	50
4800~9600	94	75	82		77	78	94	80	58	55	52	47	50	44
N_T (Total noy)	341.2	79.0	104.3		225.8	108.7	225.1	112.7	87.3	35.9	37.4	22.9	59.5	23.5
PN-dB = a	124.4	103.3	109.7		118.5	107.9	118.4	108.6	105.0	91.9	92.4	85.3	99.0	85.7
dB(A) = b	109	92	96		106	91	102	97	95	78	82	74	90	71
a - b	14.4	11.3	13.7		12.6	16.9	16.4	11.6	10.0	13.9	10.4	11.3	9.0	14.7
mean of (a - b)	12.8													

Tab. 2 にその計算結果を示す。表には B, C, L, M 点について B₃, YS の離着陸別に表記してある。最上列の OA dB(C) は C 特性で測った over all 値である。N_T は total noy 数であり, dB(A) は録音と同時に測定した各場所の dB(A) の最高値である。

最下列に PN-dB と dB(A) との差が示されているが, その平均は 12.8 となり, 従来補正量として一般に使用されている 13 と略一致する。

そこで PN-dB は dB(A) に 13 を加えて求めることにして, 第 1 報の各測定場所の dB(A) 最高値を引用することにして ECPNL 値を求めてみる。ECPNL というのは或る測定場所の全運航機数 (本空港では B₃, YS) についてまず PN-dB を求め, これに継続時間補正, 特異音補正を加えて EPNL* を求め, 更に騒音暴露時間, 観測時間などを加味して騒音評価を行なうものである。

Tab. 3 がその計算結果で次のような手順で計算する。

$$\text{PN-dB(A)} = \text{dB(A)} + 13$$

D: 継続時間補正で

$$D = 10 \log \{ (t_2 - t_1) / T_0 \}$$

T₀: 20 sec

t₂ - t₁: 高速度レベルレコーダの dB(A) 最高値より
10 dB(A) だけ小さい継続時間。

によって近似的に補正値を計算する。

C: 特異音補正で近似的にはターボファンの着陸時だけに 2 dB を加える。

* Effective perceived noise level.

Tab. 3 Evaluation by ECPNL and NNI.

Point	Type	Take-off									Landing								
		dB (A)	PN dB	t ₂ -t ₁ (sec)	D	C	EPNL	TNEL	ECPNL	NNI	dB (A)	PN dB	t ₂ -t ₁ (sec)	D	C	ECPNL	TNEL	ECPNL	NNI
A	B ₃ YS	106 92	119 105	9 11	-3 -3	-	116 102	138	89	59									
B	B ₃ YS	109 92	122 105	5 6	-6 -5	-	116 100	138	89	62	96 89	109 102	4 5	-7 -6	2 -	104 96	127	78	50
C	B ₃ YS	106 91	119 104	7 8	-5 -4	-	114 100	136	88	59	102 97	115 110	5 5	-6 -6	2 -	111 104	134	85	56
D	B ₃ YS	102 90	115 103	10 7	-3 -5	-	112 98	134	85	55	104 95	117 108	5 7	-6 -5	2 -	113 103	135	86	57
E	B ₃ YS	99 88	112 101	13 7	-2 -5	-	110 96	132	83	52									
F	B ₃ YS	97 84	110 97	15 12	-1 -2	-	109 95	131	82	50									
G	B ₃ YS	96 80	109 93	13 14	-2 -2	-	107 91	129	80	49									
H	B ₃ YS										97 89	110 102	7 7	-5 -5	2 -	107 97	129	80	51
I	B ₃ YS										95 87	108 100	9 11	-3 -3	2 -	107 97	129	80	48
J	B ₃ YS										92 82	105 95	15 15	-1 -1	2 -	106 94	128	79	45
K	B ₃ YS	96 81	109 94	11 6	-3 -5	-	106 89	128	79	49									
L	B ₃ YS	95 78	108 91	15 14	-1 -2	-	107 89	129	80	48	82 74	95 87	14 19	-2 0	2 -	95 87	118	69	37
M	B ₃ YS	90 71	103 84	19 15	0 -1	-	103 83	125	76	44	65 64	78 77	20 26	0 +1	2 -	80 78	104	55	20
O	B ₃ YS	91 79	104 92	31 18	+2 0	-	106 92	128	79	44									
Q	B ₃ YS	83 75	96 88	41 22	+3 0	-	99 88	121	72	37									
R	B ₃ YS	89 72	102 85	15 16	-1 -1	-	101 84	123	74	42	75 72	88 85	20 17	0 -1	2 -	90 84	113	64	30
S	B ₃ YS										87 77	100 90	8 12	-4 -2	2 -	98 88	120	71	40
T	B ₃ YS										67 62	80 75	22 28	0 +1	2 -	82 76	105	56	21

故に $EPNL = PN-dB + \text{継続時間補正} + \text{特異音補正}$

$$\begin{aligned} \text{従って } TNEL^* &= 10 \log \sum_1^N \text{anti log} \frac{EPNL(N)}{10} + 10 \log T_0/t_0 & N: \text{全機数} \\ &= 10 \log \sum_1^N \text{anti log} \frac{EPNL(N)}{10} + 10 & T_0 = 10 \text{ sec} \\ & & t_0 = 1 \text{ sec} \end{aligned}$$

$$\therefore ECPNL = TNEL - 10 \log T$$

T : sec (観測時間で本報では1日として計算した)。

なお、これまでイギリスで騒音評価量として採用しており、日本でも dB(A), PN-dB(A), EPNL などとともによく使われていた NNI による評価計算の結果も示しておく。

計算式は次の通りである。

$$NNI^{**} = 10 \log \frac{1}{N} \sum_1^N 10^{\frac{L}{10}} + 15 \log N - 80$$

L : PN-dB(A)

N : 全機数

ECPNL, NNI などは騒音のやかましさ, うるささの評価の概略を知るもので, 計算の過程からも分るように, PN-dB や EPNL またその平均値の取り方, 機数などに若干の誤差があっても評価が変わる程のことはない。

種々な騒音評価の換算は図表などによって簡単に求めることができる。筆者らは ISO*** で NNI の評価基準として与えている: 60(very much), 45(moderate), 35(little), 10以下(not at all) によって計算結果の評価を行なってみる。

上記の評価基準によって Tab. 3 の結果を検討すると, 測定場所の大部分が 45 以上の範囲にあり A, B, C …… L など飛行コースの近傍は 50~62 の範囲で相当うるさいことが理解できる。

4. む す び

本報では鹿児島空港周辺の騒音分析とその評価について主として論じた。

離着陸時における航空機騒音の内容, 特に成分周波数の分布状態が機種 (turbojet, turboprop などの使用エンジンの種類) または離着陸時のエンジンの PWL などによって著しく異なること, 飛行移動音源としての航空機騒音の伝搬の特徴などを分析結果からある程度定性的に解明することができた。高周波成分の距離による減衰度の大きいことを考えれば大気中の吸音補正は是非必要である。

移動音源による航空機騒音は定常騒音ではなく, しかも相当広範に強烈な影響力をもつので, そ

* Total noise exposure level.

** Noise and Number Index.

*** International Organization for Standardization.

