大阪国際空港着陸側の航空機騒音による 機種判別に関する研究

A Study on Discrimination of Aircraft Type by Approach noise
Landing to Osaka International Airport

大比賀 直 樹 *・廣 川 満 夫 *・片 岡 昇 *・水 谷 博 *

ABSTRACT

Transportable and fixed aircraft noise monitoring systems which record automatically peak levels and appearing times of aircraft noise flying over them are used in several places. But there is possibility that they record the sounds of a horn by car and a silen. If the monitoring systems are able to discriminate aircraft type by the method of pattern matching, they will not take the unnecessary sounds and the aircraft noise data will be more useful.

In this paper, the landing aircraft front and rear noise data which are recorded in the vicinity of approach course to Osaka International Airport are transformed to the spectrum data by Fast Foulrier Transform, and they are decided aircraft type with the help of a discriminant analysis. The result of discremination for the data used for making the discriminant function is 98.2%, it shows very high percentage. Moreover, the result of discrimination for the unknown data is good percentage of 86.5%. These discriminating rates are no problem in practical use at a personal computer level.

要 旨

最近、航空機騒音の測定を目的とした、固定あるいは可搬型の騒音測定装置が方々で使用されているが、これは通常、あるレベル以上の騒音値（ピークレベル）とその発生時刻を自動的（無人）に記録するもので、自動車のクラクションやサイレンの音なども記録される可能性がある。そこで、航空機騒音のパターン認識の手法で、機種を判別することができるならば、このような誤りを排除し、航空機騒音の単なる記録データのみでなく、より有力な騒音資料として役立てることができるはずである。

本研究は、このような目的で、航空機騒音から機種を判別する可能性を、大阪国際空港の着陸側で論じたものである。まず、大阪国際空港着陸コース周辺において測定した航空機の前方ノイズと後方ノイズを、それぞれについて高速フーリエ変換（FFT）を行い、周波数スペクトルデータを求め、それらのデータを判別分析法により機種判別を行った。その結果、判別関数を作製するために用いたデータでは、判別率98.2%とかなり良い判別率で判別され、さらに、判別関数作成に用いなかった未知データを入力した場合でも86.5%と比較的高い判別率を得た。この結果は、判別関数作成以外は全てパーソナルコンピュータにより計算処理されたもので、簡単なシステムでも、実行できるものと考えている。

1. はじめに

航空機騒音から機種を判別するシステムを開発する

にあたって、まず着陸する航空機の前方および後方ノイズを高速フーリエ変換等によって定帯域分析し、さらに同期加算処理¹⁾を行い得られた周波数スペクトル

*関西大学 Naoki OHBIKA, Mitsuo HIROKAWA, Noboru KATAOKA, Hiroshi MIZUTANI 昭和63年9月5日受理

データを、統計的決定論の一手法である判別分析法²⁾を用いて機種判別を行った。なお、判別にあたっては計算時間短縮を考え、判別に有効なパラメータのみを抽出するよう考慮した。

また、判別システムをできるだけ簡単にするため、パーソナルコンピュータで全処理を行うことを試みたが、容量および計算速度に問題があり、判別関数作成のみワークステーションで処理し、その結果をパーソナルコンピュータにデータベースとして登録し、機種判別を実行した。判別システムの流れを図-1に示す。

2. 測定およびデータの前処理

騒音測定は、昭和59年から63年にかけて、大阪市淀川区三国の神崎川河川敷において行った。(図-2)測定にあたって、騒音データをデータレコーダに収録するとともに、写真測量法により測定地点から航空機までの距離を求めるために写真撮影を、さらに航空機

図-1 機種判別システム

図-2 測定場所および着陸進入コース

点より航空機までの距離(直距離)は、A滑走路を主に使用するYS11型機では約500m、B滑走路に着陸するジェット機で約250mである。

図-3は、航空機が測定地点の上空を通過している時の様子を表している。bが測定地点からの最接近時の位置とすると、この最接近時より以前に観測される騒音が前方ノイズ、それ以後は後方ノイズと考えることができる。航空機騒音を構成する要素として、ジェットノイズ・ファンノイズ・エアフレームノイズなどがあるが、これらの各種ノイズから機種ごとの特徴を持つノイズを抽出することが望ましい。当研究室では、これまで機種ごとの特徴を持つ前方ノイズ(エンジンブレードノイズその他)のみで判別を行っていたが^{3), 4)}、今回は、前方ノイズと、比較的レベルの安定した後方ノイズをパラメータとして用い、さらに同期加算処理も併用した。

図-4は、測定地点で観測された航空機の時間波形である。前方ノイズの場合、最接近時の3秒前からA/D変換(サンプリング周波数20.48[kHz])を開始し、最接近時までのデータをコンピュータのメモリ上に取り込む。後方ノイズの場合は、最接近時の2秒後から同様にしてA/D変換を開始し、約3秒間のデータを取り込むようにした。

まず前方ノイズにおいては、データの先頭から1024点分の区間の高速フーリエ変換を行い、256点ずつ

図-3 航空機の通過

図-4 航空機騒音の時間波形

らしながら同様に1024点分の区間のFFTを繰り返し実行する。そして、合計72回のFFTの後に、デシベル加算(同期加算)を行い、512個(0~10.22 [kHz], 20 [Hz] 間隔)の周波数バンドレベルを得る。しかし、実際に5.12 [kHz]以上の周波数領域には、機種判別に必要と思われる特徴が現れにくいことや、また、判別分析に用いるパラメータの個数は、必要最小限であることが望ましいという理由により、周波数間隔も40 [Hz]として、最終的に128個(0~5.08 [kHz], 40 [Hz] 間隔)の周波数バンドレベルを前方ノイズのパラメータとした。

後方ノイズにおいても同様に、データの先頭(最接近時の2秒後)からFFTを実行し、72回のデシベル加算によって128個の周波数バンドレベルからなる後方ノイズのパラメータを得た。

このように、航空機1機の通過騒音より、前方ノイズ128個、後方ノイズ128個、合計256個の周波数バンドレベルが機種判別に必要なパラメータとして与えられる。

3. 判別関数の作成

得られたバンドレベルデータが、どの機種のものであるかを判別するために、判別分析法を用いた。判別分析とは、複数のグループが混在する母集団から無作為に抽出したケースについて、その所属グループを求める統計的手法である。本研究では、10機種についてのバンドレベルデータが得られたので、各機種ごとにバンドレベルデータの群を形成し、判別に用いる最大変数は、256個として判別分析を行うことにした。

機種判別においては、所属不明のケースが、どのグループに属するか決定するために、マハラノビスの汎距離を利用する。マハラノビスの汎距離は、所属不明のケースと各群との重心の距離を示し、この距離が最小となる群に判別する。所属不明のケースについてのデータを x とし、 k 群の重心までのマハラノビスの汎距離は、次式⁵⁾で与えられる。

$$D_{(k)}^2 = (x - \mu^{(k)})' \Sigma (x - \mu^{(k)})$$

Σ : 分散共分散行列

x : 所属不明のケース ($x_1, x_2, \dots, x_p$)

$\mu^{(k)}$: k 群の重心 ($\mu_1^{(k)}, \mu_2^{(k)}, \dots, \mu_p^{(k)}$)

k : 群番号

この式の x の2次の項は、 k によらず一定であるので、この式を最小にすることは、次式を最大にする k を求めることと同じとなる。

$$z_k = x' \Sigma^{-1} \mu^{(k)} - \frac{1}{2} \mu^{(k)'} \Sigma^{-1} \mu^{(k)}$$

したがって、 z_k が最大となるような k に属するとして判定する。

さらに、この $z_{(k)}$ に含まれる変数を、計算時間短縮と計算負担軽減を考慮して、判別に有効な変数のみに限ることとした。いま、 q 個の変数 x^* が g 群の判別に用いられているとする。ここに、 x^* に含まれていない変数 x_j を追加した場合の判別力の増加が有効かどうかは、次式 F が、新しく加えた x_j が判別に寄与しないという仮説のもとで、自由度($g-1, n-g-q$)の F 分布に従うことを用いて検定を行う。

$$F = \frac{n-g-q}{g-1} \cdot \frac{1 - \Lambda(x_j | x^*)}{\Lambda(x_j | x^*)}$$

n : 総機数

g : 群の数

$\Lambda(x_j | x^*)$: 偏 Λ 統計量

$$\Lambda(x_j | x^*) = \Lambda(x^*, x_j) / \Lambda(x^*)$$

この F 値があらかじめ設定した限界値より大きくなれば、 x_j を変数として追加し計算した。

4. 結果および考察

本論文においては、判別の対象となる機種を表1に示す10機種とした。これらの機種は、現在大阪国際空港に定期便として飛来する主な航空機であるが、この中で、B-747がPWとGEの2種類に分類してある。この相違は、搭載しているエンジンによるもので、PWはPlatt&Whitney社製の、GEはGeneral Electric社製のエンジンを搭載している。機種判別においては、エンジンから発生する騒音の周波数スペクトルによるところが大きい。したがって、同一機種であってもエンジンが異なれば、別のカテゴリーとして扱った。また、機体による分類について、基本型から胴体を延

表1 判別対象機種と搭載エンジン

機 種	搭載エンジン
B727	P&W-JT8D-15
B737	P&W-JT8D-15
B747PW	P&W-JT9D系
B747GE	GE-CF6-45/50
B767	GE-CF6-80A
L1011	RR-RB211-22B
MD81	P&W-JT8D-209
DC10	P&W-JT9D-59A
A300	GE-CF6-50
YS11	RR-DART542

長するなどの改良を加えた派生型（例えば、B-747SP, B-747-300, B-767-300）は、すべて基本型に含めた。

図-5に、B-747PW, B-747GE, YS-11の前方および後方ノイズの72回の同期加算後の周波数スペクトルのデータを示す。B-747PW, B-747GEの前方ノイズの高周波域には、前方ファンのブレード枚数とその回転数によって特徴づけられるファン前方ノイズのピークが、YS-11の前方ノイズの低周波域には、4枚のプロペラの回転による特徴周波数が表れている。一方、後方ノイズには、全帯域にわたって前方ノイズほど目立った特徴は存在しない。しかしながら、F検定により判別率の増加に寄与するであろうと判定された判別関数の数は、全部で77個あり、そのうち前方ノイズから得られたものは35個、後方ノイズからは42個であった。これは、前方ノイズより後方ノイズのほうがランダム性が小さく、同一機種のバンドレ

ベルのばらつきも少ないため、後方ノイズからより多くの機種判別に有効な変数が採用されたと考えられる。また、周波数帯域の違いによる変数の数に着目すると、前方・後方ノイズとも低周波成分で、バンドレベルのばらつきが小さいため、この低周波成分についての変数が多く含まれている。

こうして作成された判別関数を用いて判別を行った結果を表2および表3に示す。表中左側縦列が、未知入力としての機種名であり、上段横行が、それに対する出力の機種名である。表2では、作成された判別関数がどれほど機種ごとに分離できているかを確認するために、判別関数を作成するのに用いたデータを入力したときの判別結果を示し、表3は、作成された判別関数に、判別関数作成に用いなかった未知データを入力したときの結果である。また、表4は、判別関数作成に用いたデータの機種ごとの、直距離、対地速度、および測定時の温度の、平均と標準偏差を示す。

図-5 B747PW, B747GE, YS11のパワースペクトラム（昭和59年3月）

表2 判別結果(判別関数作成用データについての判別率〔%〕)

機 種	機数	機 種 名									
		B727	B737	B747PW	B747GE	B767	MD81	DC10	L1011	A300	YS11
B727	25	96.0		4.0							
B737	6		100.0								
B747PW	54			96.3					3.7		
B747GE	32				100.0						
B767	60		1.7			96.6				1.7	
MD81	9						100.0				
DC10	50							98.0		2.0	
L1011	37								100.0		
A300	19				5.3					94.7	
YS11	102										100.0

判別関数に用いたパラメータの数=77

表3 判別結果(判別関数作成には全く関係のない未知データについての判別率〔%〕)

機 種	機数	機 種 名									
		B727	B737	B747PW	B747GE	B767	MD81	DC10	L1011	A300	YS11
B727	2	50.0	50.0								
B737	1		100.0								
B747PW	20	5.0	5.0	75.0		10.0	5.0				
B747GE	10				90.0	10.0					
B767	22		9.1		9.1	81.8					
MD81	2		50.0				50.0				
DC10	8			12.5				87.5			
L1011	6								100.0		
A300	5		20.0							80.0	
YS11	28										100.0

判別関数に用いたパラメータの数=77

表4 判別関数作成に用いたデータと被判別データの平均および標準偏差

機 種	—	判別関数作成に用いたデータ				被判別データ			
		機数	温 度	直距離	速 度	機数	温 度	直距離	速 度
B727	平 均	25	13.5	244.0	73.3	2	21.2	248.4	60.7
	標準偏差		8.8	12.7	5.5		2.8	3.2	3.1
B737	平 均	6	23.0	319.8	66.2	1	21.6	257.7	64.2
	標準偏差		9.3	109.1	3.2		—	—	—
B747PW	平 均	54	17.4	256.6	72.8	20	22.2	264.0	71.9
	標準偏差		9.5	9.3	4.3		0.9	9.8	4.9
B747GE	平 均	32	19.1	254.8	72.0	10	21.6	259.1	73.2
	標準偏差		9.2	8.6	3.4		1.0	5.5	2.2
B767	平 均	60	17.5	253.9	68.8	22	21.7	260.3	67.9
	標準偏差		9.2	6.2	4.1		1.2	5.1	1.8
MD81	平 均	9	15.2	248.8	70.4	2	22.7	255.5	70.6
	標準偏差		9.2	10.4	3.1		0.7	3.9	0.4
DC10	平 均	50	16.0	257.4	75.4	8	21.0	260.8	75.6
	標準偏差		9.4	7.6	5.8		1.4	4.3	4.0
L1011	平 均	37	14.4	258.8	75.3	6	21.9	261.0	77.3
	標準偏差		8.9	17.0	3.8		1.5	5.6	4.7
A300	平 均	19	16.4	244.4	70.2	5	21.6	250.9	63.4
	標準偏差		9.6	5.7	5.1		1.7	3.8	2.2
YS11	平 均	102	16.6	475.7	62.6	28	21.7	495.1	63.0
	標準偏差		9.9	37.9	4.1		1.0	50.8	6.8

注：単位は次の通り 温度；℃ 直距離；m 速度；m／s

表2より、全体の判別率は98.2%と非常に高い判別率が得られた。これは、判別関数が機種ごとに良く線形分離できていることを意味する。この判別率は、文献4)の報告と同程度であるが、パラメータの数が約2/3で得られている。これは、データを同期加算することで、機種ごとの特徴をより明確にできたためと考えられる。表3においても、全体の判別率86.5%と高い率で判別できたといえる。特に、YS-11と他のジェット機とは、完全に分離できた。これは、搭載エンジンがターボプロップとターボファンであり、全く構造が異なるので、図-5からもわかるように、周波数スペクトルが大きく異なり、完全に判別できたものと思われる。

誤判別の原因としては、以下の5点が主に考えられる。

- (1) 測定時の気象条件の相違
- (2) 飛行コースのばらつき
- (3) 搭載エンジンの形式と運用方法
- (4) エンジン推力のばらつき
- (5) 機体の形状

これらの原因を個々に検討すると、まず気象条件については、測定時の最低気温が約7℃で最高気温が約32℃と大きな差がある。図-6に9月のB-747GEの同期加算後の周波数スペクトルを示す。図-5は3月の測定データであるが、これらを比較すると、ファンノイズによる特徴周波数のピークが、9月のほうが約200Hz高い。これは、エンジン推力が温度で差があり、その影響ではないかと思われる。また、湿度や風を含めた気象条件が、騒音伝搬の減衰に影響を及ぼすことも考えられる。

つぎに、飛行コースのばらつきについて検討すると、大阪国際空港に着陸する場合、航空機は計器着陸装置(ILS)による誘導を受けるため、表3に示すよう

に直距離のばらつきは少ない。ただ、表4よりB-737のデータには、A滑走路とB滑走路に着陸するデータが含まれ、直距離のばらつきが大きくなっている。また、測定地点からみたA滑走路の着地点は、B滑走路より遠方にあり、エンジン推力のばらつきも大きいと推測できる。その結果、ばらつきの大きいデータから判別関数が作成され、判別の段階で他の機種がB-737に誤判別され判別率が低下したと考えられる。

(3)の搭載エンジンについては、表1に分類したとおりであるが、特にB-747に搭載されているP&W JT9Dには-7A、-7AW、-7Q、-7R4G2……と多くの種類があり、推力や騒音値が少しずつ異なっている。またこれとは反対に、B-747GE、B-767、A-300のように機種が異なっても同種のエンジンを搭載している場合もある。さらに、エンジンの着陸時における運用および(4)のエンジン推力のばらつきに関して、着陸機はILSの誘導によって、細かくエンジンの推力を調整するために測定地点の推力は一定ではない。これらも誤判別の一因といえる。

最後に、機体の形状についてであるが、航空機の着陸時には、エンジンを絞るため航空機騒音に含まれるエアフレームノイズの割合が増加する。それゆえ、機体の形状によるエアフレームノイズの差⁶⁾が、判別に影響すると考えられる。また、フラップや方向舵の操作によっても騒音が変化し、判別に影響を与える。

これらの判別率低下の原因と考えられるもののうち、(3)と(4)の影響を取り除くため、表5のようにエンジン別の判別率を求めた結果、全体で92.3%と非常に高い判別率を得た。

5. まとめ

パーソナルコンピュータを用いて、航空機騒音による機種判別を自動的に行う手法について述べたが、未

図-6 B747GEのパワースペクトラム(昭和60年9月)

表5 エンジン別の判別結果（判別関数作成には全く関係のない未知データについての判別率(%)）

エンジン名	JT8D-15	JT8D-209	JT9D系	CF6系	RB211-22B	DART542
JT8D-15	100.0%					
JT8D-209	50.0%	50.0%				
JT9D系	7.1%	3.6%	82.2%	7.1%		
CF6系	8.1%			91.9%		
RB211-22B					100.0%	
DART542						100.0%

知データを入力した場合、全体の判別率が86.5%と実用上差し支えない値が得られた。さらに、異なる機種でも同一エンジンを搭載している場合があるので、エンジンごとの判別を行った結果、全体で92.3%の判別率であった。

本論文では、判別関数の作成以外は、パーソナルコンピュータで計算処理したが、この方法では、騒音データを取りながら、同時に判別関数をより正確なものに更新していくことができないため、できるだけ気象条件や航空機の運用方法など、判別率を悪化させる要素とは関係のない判別関数をあらかじめ作成しておく必要がある。あるいは、それらの要素をパラメータに加えて判別関数を作成することにより、判別率がさらに向上するものと考えられる。また、B-737のように直距離のばらつきの大きいデータについては、バンドレベルの比をとることによりデータを正規化し、判別率を上げることも可能と思われるが、今回検討しなかった。さらに、離陸機の機種判別については、現在作業を進めているところである。

参 考 文 献

- 1) 寺田孝守, 小山雅寛, 片岡昇, 水谷博 “航空機騒音のパターン認識によるエンジン推力の推定に関する研究” 昭和61年度日本音響学会秋季研究発表会講演論文集 pp. 491～492
- 2) 奥野忠一, 久米均, 芳賀敏郎, 吉澤正 “多変量解析法” 1980. 日科技連 pp. 259～322
- 3) 中田明彦, 片岡昇, 水谷博 “航空機騒音による機種識別に関する研究” 昭和56年度日本音響学会春季研究発表会講演論文集 pp. 13～14
- 4) 山田佳邦, 東健二, 片岡昇, 水谷博 “大阪国際空港着陸時の航空機騒音による機種識別に関する研究” 昭和59年度日本音響学会秋季研究発表会講演論文集 pp. 319～320
- 5) 田中豊, 垂水共之, 脇本和昌 “パソコン統計解析ハンドブックⅡ” 1986. 共立出版 pp. 71～159
- 6) Terrill W. Putnam, Paul L. Lasagna, and Kenneth C. White “Measurement and Analysis of Aircraft Airframe Noise” AIAA 2nd Aero-Acoustics Conference, Hanpton, Va., March 24～26, 1975

図 書 案 内

食品衛生法施行40周年記念

「21世紀に向けての食品衛生」

監修 厚生省生活衛生局食品保健課・乳肉衛生課・食品化学課

A 5 判 320 頁 上製 特別価格 1,000円(〒300円)

— 主 な 内 容 —

安全で快適な食環境を目ざして（サム計画21）
わが国における動物性食品の衛生対策の現状と展望
今後の食品化学行政
機能性食品—その取組みと新開発食品の保健衛生対策
輸入食品監視体制の現状と課題

都道府県における食品衛生行政の展望
21世紀のわが業界（13団体）
21世紀の食生活に望む
これからの食生活に対する消費者の要望
食品保健分野における国際協力の現状と今後

（社）日本食品衛生協会（03-403-2114）