

環境音の識別に関する課題の現状

Issues on identifying environmental noise sources by automatic noise measurements

森長 誠
MORINAGA Makoto

月岡 秀文
TSUKIOKA Hidebumi

防衛施設周辺整備協会
Defense Facilities Environment Improvement Association

In this paper, we introduce an issue about automatic aircraft noise measurement around military air bases and show the trial calculation for aircraft type identification using neural network model. Self-Defense force has been provided to us for an emergency and their operations greatly contribute the peacekeeping in Japan. However, their operations cause environmental burdens to the residence living around defense facilities, especially; aircraft noise problem is so serious. National government has conducted some kinds of noise mitigation measures in order to keeps and constructs a good partnership between defense facilities and local residence, and those measures are based on noise contour calculated by military aircraft noise simulation model and noise measurements in the real fields. We are trying to develop aircraft type identification equipment in order to contribute the reliability of the aircraft noise contour.

1. 研究の背景

自衛隊等飛行場などの防衛施設は、わが国の国防や平和維持の基盤として、あるいは東日本大震災に見られるような災害時の救援活動など重要な役割を担う一方で、騒音問題を始めた周辺地域住民への環境負荷を有する側面も持つ。このため、防衛施設の持続可能な運用のためには、周辺地域への環境負荷に対するミティゲーションを実施しながら地域と共生していくことが不可欠である。とりわけ、ジェット戦闘機が常駐する飛行場周辺では、航空機騒音の影響が顕著であり、幾つかの飛行場周辺では騒音訴訟が現在も進行中である。したがって、ジェット戦闘機による騒音問題への対応策は、防衛施設周辺の環境問題対策として最も力点が置かれている。本研究では、防衛施設周辺における航空機騒音問題の解決に貢献できるツールを開発し、飛行場一地域間の共生を支援することが上位理念である。

航空機騒音対策の基礎として、国や地方公共団体による騒音測定が実施されるが、測定はその目的から大きく 2 つに大別される。一つ目は、騒音状況の監視を目的とした測定である。これには航空機騒音に係る環境基準の達成状況を確認するための短期間測定や、防衛省が地域住民に日々の騒音状況を公開するための、365 日の常時監視による測定などがある。もう一つは、航空機騒音の面的評価を行う場合のシミュレーションによる騒音レベルを検証するための測定である。これは、主として防衛省が補償として実施している住宅防音工事の対策エリアを検討する場合に用いられる測定である。一般的に、航空機騒音の影響が及ぶエリアは滑走路延長方向を中心として数キロメートル以上に及ぶため、対策区域の決定は音源データと飛行経路情報などをパラメータとして計算した面的評価である騒音コンターに基づいている。

上記、いずれの測定に関しても、評価の信頼性や透明性を確保するためには、空間的にも時間的にも広いレンジでの測定が必要であるため、有人測定では多大な労力とコストを要する。したがって、無人測定でデータを収集する方法が望まれるが、とりわけ、後者として示したシミュレーション結果と実測値の対応を目的とした測定の場合、無人測定を行うために必要な条件が

クリアできていないという現状がある。

2. 無人測定における課題

計算結果を確認するための実測データを無人測定で入手するにあたり、最初の問題となるのは「航空機騒音の音だけをいかにして抽出するか」であるが、これに関しては既往研究で様々な検討が行われている。通常、騒音計で無人記録出来るのは 0.1 秒間隔での騒音レベルの瞬時値(テキストデータ)であり、これでは音の大小関係しか分からないため、例えば道路交通騒音が大きなレベルで聞こえる場合などでは、航空機の音と車の音を区別することが出来ない。そこで、音の到来時間差を利用した到来方向の検出[Yamada 94],[牧野 06]により、上空音と地上音を分離する測定法が提案されている。これは、上空から聞こえる大きな音はほぼ航空機騒音とよいためという実態に基づいている。また、騒音レベル値以外のパラメータとして実音の録音による周波数情報や、音の到来方向などをパラメータとしたロジスティック回帰モデルを作成し、航空機騒音とそれ以外の音の分離が可能である結果も報告されている[森尾 06]。このように、航空機騒音とそれ以外の音の分離に関しては技術的課題をクリアしているといつてよい。

しかしながら、自衛隊等の航空機騒音の場合、機種ごとに予測計算を行う必要があるため、航空機騒音を他の音源と区別するだけでは不十分であり、機種ごとに騒音レベルの実測値を抽出する必要がある。通常、ジェット戦闘機を主体とする飛行場では、ジェット戦闘機以外にもヘリコプターや輸送機系のジェット機なども配備されている。我々は、ジェット戦闘機・輸送ジェット機・プロペラ機・ヘリコプターの 4 分類を機種グループと称している。機種グループ間では受音点での騒音レベルは大きく異なり、また、プロペラ機やヘリコプターはプロペラやブレードの回転数によって卓越する周波数成分が異なるなど、これらの分類は比較的容易であり、それらは既存の技術である[横田 82] [山本 83]。ところが、機種グループ内での比較では、騒音レベルが極端に異なることなどから、これらの分類は難しい。今回、我々が取り組もうとしている課題は、同一の機種グループ内での識別であり、特にジェット戦闘機の機種識別が可能な分類機を作成したいと考えている。

連絡先: 森長 誠, 防衛施設周辺整備協会, 東京都港区芝 3-41-8, 03-3452-9527, morinaga@dfeia.or.jp

3. ジェット戦闘機音の特徴

自衛隊等の飛行場周辺の苦情の殆どはジェット戦闘機の騒音であるといつてよい。したがって、飛行場周辺の騒音コンターを作成する際に、ジェット戦闘機の騒音の計算結果がいかにか実態と整合しているかは非常に重視される。ジェット戦闘機同士の機種識別が困難である理由は先に述べたとおり、いずれの機種も周波数成分が広帯域におよぶノイズであることに加え、同一機種が同一地点の上空を飛行する場合であっても、エンジン出力が変動すること、飛行高度にばらつきがあり伝搬距離が毎回同じではないこと、上空から地上に伝搬する間に生じる空気吸収や気象のゆらぎなどによる伝搬影響の複雑さなど、受音点での音の性状が必ずしも一定ではないことが原因であると考えられる。図 1 に 4 章の分析で対象とする 3 機種の C 特性音圧レベルを比較した図を示す。これは全て同一地点でほぼ直上を飛行したデータに限定している。T-4 は軍用訓練機でありエンジン出力が他のジェット戦闘機よりも小さいため音のレベルの差が明確であるが、F-15 と F-4 には明確な差はないことが分かる。これは他のジェット戦闘機についてもほぼ同様の事が言え、音のレベルの大小だけではジェット戦闘機グループ内での識別が困難であると言える。また、各機種共に 10~15dB 程度のばらつきがあり、同一地点で同一機種がほぼ同じ飛行経路を飛行したとしても、このようにレベルは大きくばらつくことがこの図から分かる。

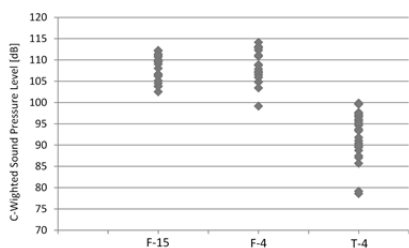


図 1 機種ごとのレベル分布

次に、同一機種におけるレベルのばらつきを周波数ごとに、図 2 に示す。このデータに関しても、同一地点でのデータであり、C 特性音圧レベル最大時における録音データを 1/3 オクターブバンド分析したものである。特徴的に目立つ卓越成分はなく、数 100Hz から 3000Hz 程度までの広帯域に渡るノイズであり、周波数ごとのレベルも、毎回ばらついていることが分かる。機種間によって周波数特性に若干の違いはあると思われるが、いずれも広帯域のノイズということに変わりはないため、機種間の違いが同一機種内での分散に埋もれてしまう。これが機種識別を困難にしている理由であると考えている。

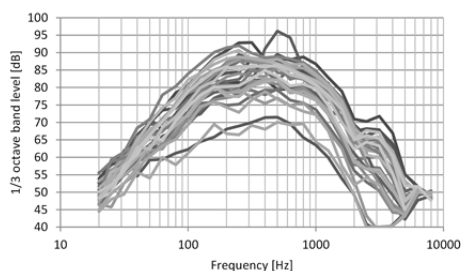


図 2 C 特性音圧レベルが最大時での周波数特性 (例として T-4)

4. ニューラルネットワークによる機種識別の試み

現在の我々の優先事項は、機種識別における原因を明示化することではなく、モデルがブラックボックスであっても機種の分類性能が高いことが重要である。このため、分類機としての性質を重視し、現在、ニューラルネットワークによる機種識別に取り組んでいる。ここでは、その取り組みを紹介させていただく。

ニューラルネットワークによる機種識別を行うに際し、最初に導入したパラメータは、受音点での C 特性音圧レベルが最大となる時点での 1/3 オクターブバンドレベル (20Hz~8000Hz までの 27 変数) の絶対値である (分析 1 とする)。用いたデータは戦闘機が飛行する飛行場の近傍における住宅エリアで 3 日間、定点録音したデータであり、このうち、ジェット戦闘機グループとして、F-15、F-4、T-4 の 3 機種を用いた。測定点には人を配置し、個々の騒音イベントがどの機種であるか記録し、これを教師用データとして用いた。データ数は延べ 3 日間で 72 データであり、機種ごとのデータ数は異なる。分析は機種ごとに実施し、学習用データとテスト用データの使用割合は 7:3 とした。分析は IBM 社の SPSS Neural Networks のパッケージソフトを用い、多層パーセプトロンモデルを用いた。中間層の数は 1 つとし、中間層のユニット数は自動計算で最適化を行い、中間層および出力層における活性化関数はシグモイドを選定した。表 1 に機種ごとに分析した結果を示す。F-15 のテストデータの正解率をみると、F-15 以外のデータを F-15 と誤判定しているケースが目立つ。また、F-4 の分析では、学習用データを含む全ての F-4 のデータが他の機種として判定されている。このように、最大レベルが発生した時点での 1/3 オクターブバンドレベルを用いた識別結果は良好とは言えない。

表 1 機種ごとの分析結果 (分析 1)

			予測		正解の割合
			0	1	
F-15	学習	0	34	8	81.0%
		1	1	18	94.7%
	全体の割合	57.4%	42.6%	85.2%	
F-15	テスト	0	5	3	62.5%
		1	0	3	100.0%
	全体の割合	45.5%	54.5%	72.7%	
F-4	学習	0	41	0	100.0%
		1	19	0	0.0%
	全体の割合	100.0%	0.0%	68.3%	
F-4	テスト	0	11	0	100.0%
		1	1	0	0.0%
	全体の割合	100.0%	0.0%	91.7%	
T-4	学習	0	37	2	94.9%
		1	0	24	100.0%
	全体の割合	58.7%	41.3%	96.8%	
T-4	テスト	0	5	1	83.3%
		1	0	3	100.0%
	全体の割合	55.6%	44.4%	88.9%	

次に、パラメータを変更した分析を行った結果を示す (分析 2 とする)。分析 1 では、全周波数のレベルを合成した C 特性音圧レベルが最大となる時間での周波数情報のみを用いたが、分析 2 では、ジェット戦闘機は接近時と通過後で周波数成分が変化することに着目し、周波数情報の時間変化を変数として採用することとした。周波数ごとのレベルの時間変動を図 3 に示す。高さ軸は音圧レベルを、横軸は周波数を表しており、図中の奥から手前に向かって時間が進んでいる。音圧レベルが大きいところは色が赤く表示されており、F-15 や F-4 では時間の変化に伴い音の強い周波数成分が高い方から低いほうへ変化しており、T-4 も変化は少ないが周波数成分の変化がこの図から

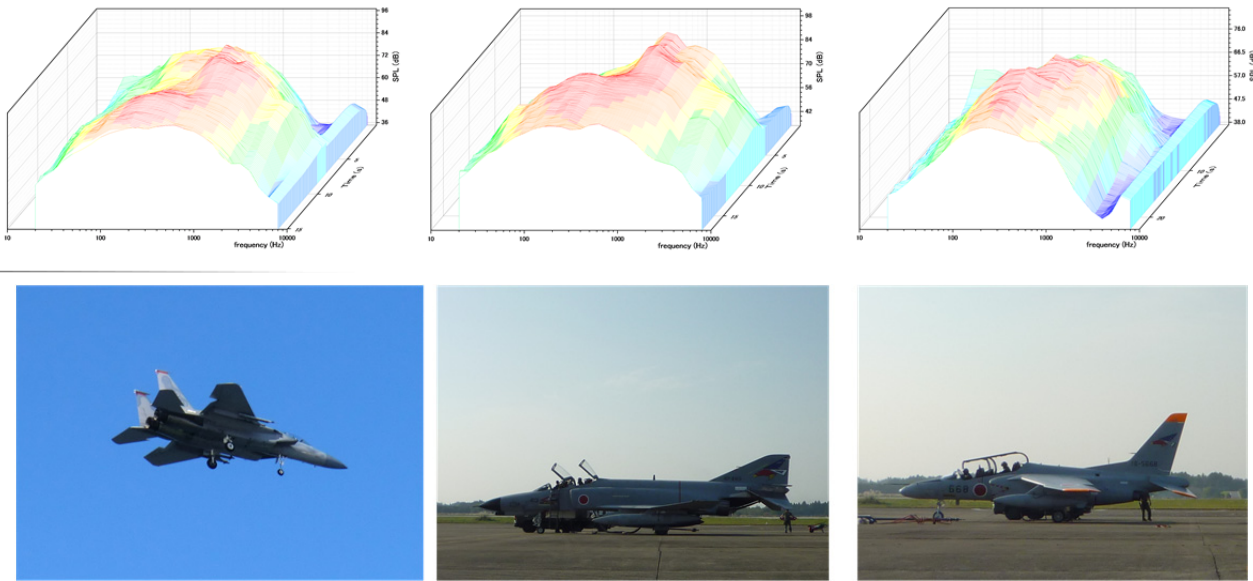


図3 周波数特性の時間変動
(左から F-15, F-4, T-4)

伺える。これは、ジェットエンジンの構造に関連している。ジェット戦闘機の基本的なエンジン構造を図4に示す。F-15はF100-PWエンジンを2基搭載したバイパス比0.70のアフターバーナー付ターボファンエンジンである(推力:8600kg,アフターバーナー使用時10600kg,最大速度マッハ2.5)。T-4はF3-IHI-30エンジンを2基搭載したバイパス比0.90のターボファンエンジンで(推力:1670kg,最大速度マッハ0.9),F-4はJ79-GE-17エンジンを2基搭載したアフターバーナー付ターボジェットエンジンである(アフターバーナー使用推力:8120kg,最大速度マッハ2.2)[自衛隊装備年鑑 02][世界航空機年鑑 07]。これらのエンジンの主な騒音の構成は概ね図4に対応していると言ってよい。ジェット戦闘機の音は強い指向性を持っており、測定点に接近している時は、前方の圧縮機ノイズが優勢である。一方、通過後は後方のジェットミキシングノイズ成分が優勢である。多くの場合、C特性音圧レベルの値が最大となるのは、戦闘機が直上を通過した後のジェットミキシングノイズを主成分とする状態の時であるため、分析1で用いたデータはこの広帯域ノイズを情報量とした分析であったといえる。接近時の圧縮機ノイズの音響特性は、ファンの回転数などに基づくと考えられ、これらが機種別の識別に有効な情報を提供する可能性はある。

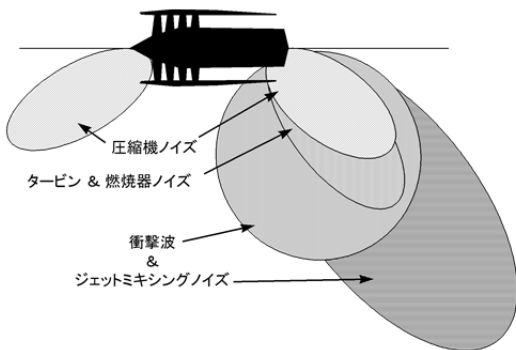


図4 ジェット戦闘機の基本的なエンジン構造

また、分析1では受音点における周波数ごとのレベルの絶対値を用いたが、絶対値を用いると毎回の飛行時のエンジン出力の違いによる影響をそのまま受けてしまうと考えられるため、その誤差をキャンセルできるよう、あえて機種間での音圧レベルの違いという情報量を削除し、各1/3オクターブバンドのレベルの合成値(オールパス)からの差(相対レベル)を用いるべきではないかと考えた。これらの構想より、オールパスが最大となる時を通過後のデータとし、それより3秒前のデータを接近時として、両時間でのオールパスに対する1/3オクターブバンドレベルの相対値を変数とした合計54変数を入力層として与えるニューラルネットワーク解析を実施した。中間層の数や中間層のユニット数の設定などは分析1と同じである。

分析2の結果を表2に示す。テスト用データの判定に関してはいずれの機種でも100%の正解率となっており、分析1に比べて機種識別の精度がかなり向上している。F-15の学習用データでF-15以外をF-15と判定しており、これらはいずれもF-4

表2 機種ごとの分析結果 (分析2)

		予測			正解の割合
		0	1		
F-15	学習	0	34	5	87.2%
		1	1	20	95.2%
	全体の割合		58.3%	41.7%	90.0%
	テスト	0	11	0	100.0%
1		0	1	100.0%	
全体の割合		91.7%	8.3%	100.0%	
F-4	学習	0	36	1	97.3%
		1	0	15	100.0%
	全体の割合		69.2%	30.8%	98.1%
	テスト	0	15	0	100.0%
1		0	5	100.0%	
全体の割合		75.0%	25.0%	100.0%	
T-4	学習	0	39	2	95.1%
		1	0	19	100.0%
	全体の割合		65.0%	35.0%	96.7%
	テスト	0	4	0	100.0%
1		0	8	100.0%	
全体の割合		33.3%	66.7%	100.0%	

のデータであった。このデータは F-4 の分析では F-4 として判定できており、実際の運用を考えた場合にはこのような重複結果 (F-15 と F-4 とともに判定してしまうようなケース) でどのように優先順位をつけるべきかという課題は残る。このような重複結果などを詳細に確認し、分析 2 全体としての正解、間違い、重複の結果を表 3 に示す。

表 3 分析 2 全体での正解率

正解	間違い	重複	全数
64	2	6	72
88.9%	2.8%	8.3%	

5. まとめ

本稿では、自衛隊等飛行場周辺における無人騒音測定を導入するための課題について紹介すると共に、ニューラルネットワークを用いた機種識別の試算結果を紹介した。現段階ではまだデータ数が少なく、汎用的に使える分類機の作成に向けて更なる検討を行う予定であるが、入力層に用いるパラメータとして、接近時と通過後の周波数情報を用い、さらに周波数情報をオールパスとの相対値として与えることにより、機種識別が現実的に可能であることを示唆する結果が得られたと考えている。ただし、重複した機種判定結果がまだ幾つか見られている。また、今回は F-15, F-4, T-4 の 3 機種を用いた検討をしたが、米軍飛行場を始めとして、多種多様な戦闘機が飛行する飛行場もあり、そのような多様性がある環境下においてもこの手法で十分な正解率を得られるか、今後更なる検討を行いたいと考えている。また、分類機として必ずしもニューラルネットワークにこだわる必要は無く、より分解能の高いモデルがあればそれらを用いた検討も想定している。本研究は未だ初期段階にあると言えるので、あらゆる可能性を考慮したトライ&エラーを行うことによって、目標とする精度まで向上させたいと考えている。

参考文献

- [Yamada 92] I.Yamada, N.Hayashi: Improvement of the performance of cross correlation method for identifying aircraft noise with pre-whitening of signals, The Journal of the Acoustical Society of Japan (E), Vol.13, No.4 ,241-252, 1992.
- [牧野 06] 牧野康一, 山本貢平, 廻田恵司, 福島健二: 地面反射による干渉を利用した航空機騒音識別の試み, 騒音制御工学会 秋季研究発表会 講演論文集, 53-56, 2006.
- [森尾 08] 森尾謙一, 忠平好生, 山下晃一, 大橋心耳, 松井利仁: 統計的手法を用いた航空機騒音識別方法, 騒音制御工学会 秋季研究発表会 講演論文集, 33-36, 2008.
- [横田 82] 横田明則, 山田一郎, 清水進, 山下充康, 岡本圭弘: 日本音響学会 秋季研究発表会 講演論文集, 497-498, 1982.
- [山本 83] 山本貢平, 山田一郎, 横田明則, 清水進: 日本音響学会 春季研究発表会 講演論文集, 461-462, 1983.
- [自衛隊装備年鑑 02] 2002-2003 自衛隊装備年鑑, 朝雲新聞社, 2002.
- [世界航空機年鑑 07] 世界航空機年鑑 2007-2008, 酣燈社, 2007.