129 航空機騒音の予測における地面の過剰減衰と気象の影響

Effects of Meteorological Conditions and Excess Ground Attenuation on the Prediction of Aircraft Noise

○篠原直明(新東京国際空港振興協会)・月岡秀文(防衛施設協会) 吉岡序・山田一郎(空整協・航空環境研究センター)

Naoaki SHINOHARA, New Tokyo Int'l Airport Promotion Foundation 118, Nakanodai, Higashi-sanrizuka, Narita, Chiba 286-0222 Hidefumi TSUKIOKA, Defense Facilities Environment Improvement Association Hisashi YOSHIOKA & Ichiro YAMADA, Airport Environment Improvement Foundation

Prediction of long-term average noise exposure is indispensable to environmental countermeasures for mitigating effects of aircraft noise around airports. In calculation of noise exposure in the side of flight track, especially in the side of runway, it is necessary to take the effect of excess ground attenuation (i.e. EGA) with meteorological conditions into account. SAE/AIR 1751 has long been used as a method of EGA adjustment, but the validity of AIR 1751 has been a problem with change of aircraft types and jet engines. This paper first describes a result of a follow-up survey to check the validity of a curve showing ground-to-ground attenuation in AIR 1751, using data of past measurement by Parkin et al. The result suggests that AIR 1751 almost coincides with a re-constructed EGA curve for lapse/calm conditions. But, the re-constructed EGA curves greatly changes according to different temperature and wind conditions. Then, the relationship between EGA and meteorological conditions has been examined using recent observation of airport ground noise by an unattached monitoring system over a long period. The measured EGA values almost follow the trend of the re-constructed EGA curves as far as we concern about the effect of vector wind, but the temperature gradient did not strongly affect the curve.

Key Words: Aircraft Noise, Noise Prediction, Excess Attenuation, Meteorological Conditions

1. はじめに

空港周辺にもたらされる航空機騒音の影響を軽減するた めの対策を行う際に、航空機騒音の状況を予測する必要が あるが、飛行経路側方での騒音を正しく評価するには地面 や上空気象などによる過剰減衰の影響を考慮することが必 要である。

この地面の過剰減衰(EGA)の補正手順として SAE(米国 自動車工業会) AIR 1751¹⁾の式が使われてきたが、一部に 実状と合わない部分があることから式の妥当性が問題とな っている。この式は旧型機の周波数特性に基づいて算出さ れたもので、機種が移り変り、バイパス比が大きくなるに つれ、騒音の特性が変化したため実情に合わなくなったと 言われている。また、同式が水面や舗装面など音響的に硬 い地面の EGA を記述できないこともあって、SAE 等で補 正手順の見直しが進められている²⁾。この新手順は音響伝 搬の理論に基づくもので、FAA(米国連邦航空局)の発行す る予測モデル INM の新版に盛り込む準備も進められてい るが、気象の影響が考慮できず計算手順も複雑である。-方、従来の AIR 1751 には取り扱いの簡便さ等、捨て難い良 さがある。そこで、AIR 1751 の作成手順を回顧し、EGA 式の再構築を試み、その妥当性を検証することにした。さ らに、騒音の自動監視装置の長期間にわたる観測データを 用いて空港付近の気象(気温、風向・風速の高さ方向の勾 配)と航空機騒音の関係を整理し、気象と EGA の関係を調 べた。この報告ではこれらの解析の概要と検討の結果を紹 介する。

2. SAE AIR 1751 の過剰減衰式

AIR 1751 は ground-to-ground の伝搬による音の減衰を表 し距離に依存する項 G と航空機が上空にあるために減衰 効果が減ることを考慮する仰角に依存する項Λとの積で表 現された評価式(Fig.1)であり、前者は、Parkin らの報告^{5,6}



に基づく周波数帯域別の過剰減衰値と音源スペクトル (1960~70年代の航空機、主にB727のデータ)から算出 したもので¹⁾、後者は実際に航空機が離着陸する際の騒音 を種々の距離と仰角とで多数観測した結果を整理して回帰 計算し、導いたものである。筆者等の経験より予測と実測 の乖離が地上滑走から上昇へと転じる辺りの低仰角時に顕 著であるため、ここではGに的を絞って検討する。

Parkin らの報告は英国 Radlett、Hatfield の2飛行場でそれぞれ一年余にわたって行われた測定の結果をまとめたもので、音源(ジェットエンジン)からの距離 35~1100 mの

日本機械学会 [No. 01-7] 合同シンポジウム VSTech2001 振動・音響新技術シンポジウム - 音響に関する研究のさらなる発展を目指して -日本機械学会・日本音響学会共催シンポジウム講演論文集 (2001-6.6~8, 広島) 7地点(地上高 1.5 m)で騒音を観測し、同時に気象観測 を行って距離減衰と空気吸収を補正し、気象条件別に周波 数毎の過剰減衰量を整理している。そのうち AIR 1751 の作 成に使われたのは文献 2)によれば Radlett の冬・日中の結 果であるという。日中なので気温の勾配は逓減(lapse)と考 えられる。風の条件は無風、±15 ft/s(ベクトル風速)の 3通りあり、どの状態での結果を用いたかは、文献 2)で は明示していない。

3. 過剰減衰式の再構築と検討

過剰減衰式の妥当性を検証するために、バイパス比の大きい現在の航空機(B747-400, B747, B767, B777, MD11, A330, A340 など)と AIR 1751 式を策定するときに用いられたバイパス比の低い旧型機(B727, DC9, IL62 など)の音源スペクトルを用意し、それぞれの過剰減衰式を再構築した。

なお、過剰減衰値は次の手順で算出した。①;音源から放 射された音のバンドスペクトルに距離減衰と空気吸収減衰 を加え、種々の距離の値にする。②;①の結果に周波数重み 特性 A を掛けて種々の距離での騒音レベルを算出する。③; ①の結果に Parkin のバンド減衰値を適用した後で、②同様、 A 特性を掛けて騒音レベルを算出する。④;②と③のレベル 差を求め、過剰減衰値とする。このようにして算出した過 剰減衰値を距離の関数として図に表し、AIR 1751 及び相互 との関係を比較検討した。

まず、バイパス比または新旧機種、離着陸の違いによる 結果の違いを比較したが、いずれも顕著な違いは見られな かった。また、SAE 式を策定するときに用いられたと考え られる冬季・日中・無風での再構築結果は新旧機種ともに SAE AIR 1751 式と概ね一致していた。(Fig.2)

次に、Parkin らの観測結果のうち気象条件別に整理され ている Hatfield のデータをもとに過剰減衰値を再計算した ものを Fig.3 に示す。図中の Upwind はベクトル風速で逆風 を、Calm は無風、Downwind は順風を示している。

また、Lapse は温度勾配が逓減の状態を、Neutral は中立、 Inversion は逆転を表している。この図からベクトル風速に よる EGA の違いが極めて大きいこと、温度勾配の方も無 視できない差異をもたらす(距離 1000m で±5 dB ほど変化







Fig 3 Relations of EGA with Meteorological Conditions (Hatfield, Hi-Bypass Engine)

する)ことが分かった。また、AIR 1751 式は温度勾配が逓 減と中立の中間に位置することも分かった。

このように、気象条件(ベクトル風速・温度勾配)によ る違いが大きいことから、空港周辺への航空機騒音を予測 するうえでこれらのどれを用いて EGA を評価するのが適 切かを検討する必要性が判明した。

4. 気象影響による過剰減衰値の変化

4.1 検討に用いた自動監視データと解析の概要

成田空港には航空機の離着陸騒音および地上騒音を監視 する装置⁴⁾が置かれており、後者は地上1.5mから40mま で数箇所の高さで気温、風向・風速を測定する機能を持つ (幾つかの監視点を併せて実現)。そこで、両装置の利用可 能な観測データをつき合わせて、気象条件/機種/飛行重 量で分類して過剰減衰値(EGA)を推定し、それらを集計し て、気象と EGA の関係を調べた(集計対象期間:平成12 年4月~13年1月)。地上騒音の自動監視装置の監視点(N1 ~N8)とそのうち気象観測を行っている監視点(N3,N5,N7) の配置図を Fig.4 に示す。

気温は地上 1.5m と 40m の観測値の差を高さ方向の勾配 として代表させた(中立/±0.5℃以内、逓減/-0.5℃以下、逆 転/+0.5℃以上)。風速は地上 40m での値を代表させて用い、 音源(滑走路)から各監視点方向へのベクトル風速に換算 した(無風±1.0 m/s 以内、順風+1.0 m/s 以上、逆風-1.0 m/s 以下)。なお、この気象観測高は Parkins ら^{5,6} と同じでは ない。

航空機騒音は多数の監視点で同時観測されているが、 Ground-to-Groundの伝搬を対象とするため、地上滑走中の



Fig 4 Site Location of noise monitoring stations in Ground Noise Monitoring System at Narita Airport

音が最大騒音レベルとなる監視点 N4・N5(距離 700m と 1560m、マイクロホンの地上高 9m と 4m)のデータを用い ることとした。

EGAの算出は、実測された航空機騒音の最大騒音レベル と機種別に用意した音源スペクトルから距離減衰、空気吸 収のみを考慮して推定したレベルとの差を取って行った。

4.2 気象観測結果の条件別頻度分布(成田空港)

成田空港の優勢気象条件を知るため、平成 12 年 4 月~13 年 1 月の 10 ケ月にわたる 10 分毎の気象データを時間帯別 に集計し、発生頻度分布として表した結果を Fig.5 に示す (左:温度勾配、右: ベクトル風速)。温度勾配は 1 ℃ご とに、ベクトル風速は 2m/s ごとに分類して集計した。

図より、温度勾配には、日中は地上の気温が高く上空が 低い逓減になり、夜間は地上の気温が低い逆転に変わる顕 著なリズムがあることがわかる。全時間帯の頻度で見ると、 最頻値は中立の33%だが、区分ごとに合計して見れば、逆 転49%、逓減18%と若干逆転の方に偏りがある。離着陸時 間帯である6:00~23:00について見ると中立36%、逆転39%、 逓減 25%と逆転の割合が幾分下がる。一方、風速の変化は 日中の方が大きい傾向にあるがあまり明確でないことがわ かる。ベクトル風速は無風 49%、順風 33%、逆風 18%の割 合で無風 (ベクトル風速 ±1m/s)に該当するケースが約半 数を占めている。

4.3 気象条件と EGA の関係

気象条件とEGAの関係を検討するために、N4 地点(滑走路から 700m)での EGA とベクトル風速の関係を温度勾配の種別でまとめた結果を Fig.6(下)に示す。音源は B747-400の離陸の音ですべて地上滑走中のものである。EGA は温度勾配によらず逆風で大きく順風で小さいという順当な結果だが、逆風・中立の EGA が大きい。そこで逆に温度勾配を軸に EGA の変化を見ると(Fig.6上)逆風・中立の時に大きく、逆風・逓減時に小さくなっていることがわかった。

次に、N5 地点について同様に気象条件とEGAの関係を 表した図をFig.7 に示す。この地点は滑走路から 1560mの 距離でN4 地点とは反対方向に位置している。EGA は逆風 時に大きく順風時に小さくなる結果はここでも変わらない。 しかし、N4 地点に見られた逆風・中立時に EGA が特に大 きい傾向はここでは見られない。その理由は明確でないが、 絶対風速との関連などが今後の検討課題として残る。なお、 N5 地点ではわずかながら温度勾配による傾向も見て取れ る。すなわち、EGA は逓減時に多少大きく、逆転時に小さ くなっているようである。

4.4 再構築した過剰減衰値との関係

自動監視装置の測定結果から得た EGA(図中に示すマーク: △逓減、□中立、○逆転)と、Parkin らのデータとハイ バイパスファンエンジンの音源スペクトルから再構築した EGA を比較したものが Fig.8 である。図から、両者の間で ベクトル風速との関係はほぼ同様の減衰傾向になっている ことが確かめられたが、温度勾配についてはそれほど明確 な傾向は見られなかった。また、SAE AIR 1751 式との比較 (無風条件)では測定結果から得た EGA が数 dB 程度低く なっており、1751 式が実状と合わないと言われることを裏 付ける結果ともなった。

	Distribution of Temperature Gradient(Difference of 1.5m to 40m :*C)														Vector Wind(Direction of Runway to Weast Side of Airport: m/s)						
	過夏(Lapse)					Neutral		逆 呍 (Inversion)				逆風(Upwind)			Calm	02	& (Downwind)		I		
time zone	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	~-5	-5~-3	-3~-1	<u>-1~+1</u>	+1~+3	+3~+5	+5~	Legend
0:00		-					0	0	0	0	°	· ·	·	·	•	•		0	•		
1:00							0	0	0	0	•	•	•	·	•	0		0	•	·	-5% •
2:00							0	0	0	•	•	•	•	•	•	0		0	•	·	5-10% •
3:00							0	0	0	0	0	•	•	·	•	•		0	•	•	10-20% O
4:00	l I				•	•	0	0	0	0	•	•	•	·	•	•		0	•	· ·	20-30% O
5:00							0	0	Ò	0	0	•	•		ŕ•	0		0	•	· ·	30-40% ()
6:00	í l					•	0	0	0	0	•	•	. •	·	•	0		0	•	•	40-50%
7:00						•	0	0	0	0	•	•	•	•	•	0		0	•	•	50%-
8:00					•	0	0	0	0	•	•	•		•	•	0		0	•	•	
9:00				•	0	0	\odot	0	•	•	•			•	•	0	\odot	0	0	•	
10:00				•	0	Θ		0	•	•				·	•	0	\odot	0	0	•	
11:00			•	•	0	0		0	•					· ·	•	0	0	0	0	•	
12:00		•	0	0	0	0	۲	•	•					•	0	0	۲	0	0	•	1
13:00		•	•	•	. •	۲		•						•	0	0	0	0	0	•	· ·
14:00	•	•	0	0	0	· 🔘		•	•					· 1	0	0	0	0	0	•	
15:00	•	•	•	•	0	۲	0	0	•					•	0	0	0	0	. •	•	1
16:00		•	•	•	0	۲	0	۲	0	•	•	•	•	•	•	0		0	0	•	1
17:00				•	•	0		0	0	0	•	•	•	· ·	•	0	\bigcirc	۲	•	•	1
18:00						•	0	0	0	0	•	•	•	· 1	•	0	0		•	•	1
19:00							0	0	ø	0	•	•	•	· ·	•	0	\bigcirc	۲	•	•	1
20:00						•	0	0	0	0	•	•	•	•	•	0		0	•	•	1
21:00						•	0	0	0	0	•	•	•	•	•	0	19	0	•	•	1
22:00							0	0	0	•	•	•	•	•	•	0	烈	0	•	•	
23:00							0	0	0	0	0	•	•	•	•	0	1	Θ	•	•	1
aliday	0.0%	0.2%	1.2%	2.4%	4.7%	8.8%	33.0%	24.5%	11.7%	6.0%	3.8%	1.9%	1.8%	1.6%	3.6%	13.0%	49.4%	26.2%	5,3%	0.9%	1
6:00-23:00	0.0%	0.3%	1.7%	3.3%	6.6%	12.4%	36.2%	20.9%	9.1%	4.6%	2.1%	1,1%	1.5%	2.0%	4 2%	13.5%	44.8%	28.1%	6.4%	1.0%	1

Fig.5 Frequency Distribution of Meteorological Conditions at Narita Airport (04/2000~01/2001).

(Left)Temperature Gradient, (Right) Vector Wind.



Fig.6 Comparison between EGA and Meteorological Conditions at N4 point. (Upper) Temperature Gradient vs EGA, (Lower) Vector Wind vs EGA



N5 2000/04~2001/01





Fig.8 Comparison between EGA from Monitoring System and Re-Calculated EGA

5. おわりに

航空機騒音の予測に用いる地表面の過剰減衰評価式について検討した。当初予想した機種の変遷が過剰減衰を変え るような傾向は見られなかった。しかし、ベクトル風速と 温度勾配が過剰減衰に及ぼす影響は大きいことがわかった。 このため、気象の影響について自動監視データを用いて考 察した結果、風の影響が大きいこと、温度勾配による影響 は再構築の結果ほど顕著なものではなかった。最後に、今 回の検討において、新東京国際空港公団からデータ提供等 の協力を得たことを記し深謝する。

參考文献

1) AEROSPACE INFORMATION REPORT, Prediction method for lateral attenuation of airplane noise during takeoff and landing, SAE AIR 1751 (1981).

2) INM 6.0a Research Version and it's reference 'Technical Description – Ground Effects,' not published (2000).

3) 吉岡・月岡・篠原・山田: 航空機騒音予測時の地面によ る過剰減衰の評価方法に関する考察 - 機種の変遷に伴う 音源スペクトルの変化がもたらす影響-、音響学会講演論 文集 pp.701-702 (平成 12 年 9 月).

4) 斉藤・尾形:空港内地上騒音の自動監視と音源同定、音響学会講演論文集(平成13年3月)

5) Parkin et al., The horizontal propagation of sound from a jet engine close to the ground, at Radlett, J. Sound Vib.Vol.1, pp.1-13 (1964).

6) Parkin et al., The horizontal propagation of sound from a jet engine close to the ground, at Hatfield, J. Sound Vib.Vol.2(4), pp.353-374 (1965)