

# 航空環境研究

The Journal  
of  
Aviation Environment Research

No. 7, 2003

## 挨拶

就任に当たって……………野崎敦夫 1

## 焦点

- エネルギーベース騒音評価量について  
……………橘 秀樹 3
- 環境騒音に対する社会反応—標準的なうるさ  
さ尺度の構成とデータアーカイブの設立—  
……………矢野 隆 12
- 国際シンポジウム “Which Technologies  
For Future Aircraft Noise Reduction?”  
に出席して……………中村良也 20
- 環境に優しい航空機用ガスタービンエンジ  
ンの研究開発動向……………石澤和彦 26

## 研究報告

- 地上デジタルテレビ放送の航空機による遅延  
波障害の予測  
…菅原政之・大沼保憲・末永昌久・伊藤士郎 37
- 等価騒音レベルに基づく航空機騒音予測の補  
正要因に関する検討と予測の考え方  
……………岩崎 潔・菅原政之・吉岡 序 45
- 航空機の補助動力エンジン (APU) 排出物  
の実測 (2) — 亜酸化窒素, カルボニル化合  
物, 粒子状物質等の測定結果—  
…橋本弘樹・柴田正夫・水島 実・鈴木孝治 53

## 内外報告

- 騒音アノイアンス, ストレス, 健康影響  
—インターネット・シンポジウム 2002  
より—……………金子哲也・後藤恭一・関 健介 62
- ICAO/CAEP の動向 (航空機騒音)・  
ICAO/CAEP-WG 2 の最近の動向に  
ついて……………松井 淳 83
- ICAO/CAEP の動向 (WG 1・WG 3)  
……………台木一成 89
- インターノイズ 02 ………………山田一郎 92
- 国際航空科学会議 (ICAS) 報告 ……相原康彦 99

## 航空環境を取り巻く話題

- 航空機騒音低減への挑戦—30年の足跡  
……………笹田栄四郎 103
- 最近の北西ヨーロッパ空港事情……………八百井英雄 112
- 中部国際空港の環境配慮の取り組み……………佐藤広幸 117

## エッセイ

騒音の物的被害—長期暴露と反応—……………時田保夫 124

## 活動報告

研究センターの動き……………管理部 127

## 文献情報

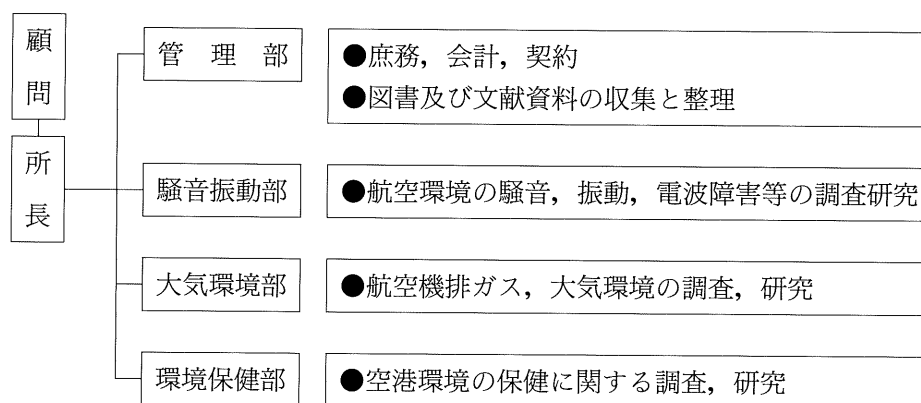
航空環境関連文献情報 (米国政府出版物  
データベースより) ………………文献資料室 130

## 航空環境研究センターの沿革と組織及び業務内容

産業，経済，文化の発展にともなう航空輸送需要の増大とジェット旅客機の開発運航は，空港周辺における環境阻害に深刻な問題を提起し，昭和43年8月航空公害防止対策について国の施策を補完する目的で「(財)航空公害防止協会」が公益法人として設立されました。当協会は設立以来，東京，大阪両国際空港をはじめ，主要空港において，各種の航空公害の調査に取り組んで来ましたが，調査事業が増加するなかで，専門的な航空公害を体系的に調査，研究し，これを防止，削減する対策並びに科学技術を研究開発する総合的な施設の設置が要望され，昭和47年12月航空公害防止協会の附属機関として航空公害調査研究センターが東京国際空港内に設置されました。

その後，名称を昭和51年10月に航空公害研究センター，平成5年4月航空公害防止協会が空港環境整備協会に改称することにあわせて，航空環境研究センターに改称してきましたが，設立以来，騒音，大気汚染，電波障害，空港周辺の環境などの調査と研究に取り組み今日に至っています。

なお，航空環境研究センターの組織及び業務内容は次のとおりです。



挨拶

## 就任に当たって\*

野 崎 敦 夫\*\*

昨年の8月1日に理事長に就任しました。航空の分野で仕事をした経歴が短いこともあって、就任以来幾つかの空港と周辺自治体や、当協会の「航空環境研究センター」、各地の事務所に挨拶と視察に出張する等が多い日々が続いて居ります。御蔭様で、協会を取り巻く空港の環境問題に関して認識を深めることが出来ました。

さて、この「航空環境研究センター」は、実質的には、昭和44年から調査活動を開始しています。空港環境整備協会の前身の「航空公害防止協会」が設立されたのが、前年の8月1日ですから、当初から協会の主要業務の一つとして期待されていたと言えます。当時のテーマは、騒音振動、大気汚染、人体影響、電波障害、土地利用、と広範に網羅しており、これは、当時の空港の環境問題の鮮烈さを生々しく伺い知ることが出来るものと解すべきでしょう。

そして正式に附属研究機関として「航空公害研究センター」の名乗りを上げるのが昭和47年12月。代表者や研究責任者には、斯界の碩学泰斗俊秀が蝟集して呉れた由です。誠に有り難い極みであるし、且つ、我々の先輩の努力に頭が下がります。

当初は、調査研究も外部に委託して実施する様な状況だった由ですが、徐々に実力を付

けて、今では立派な丈夫に育ち、自主的な研究のみならず、多くの調査研究を受注するに至っています。

一方で、空港を取り巻く環境問題も、各般にわたる行政の努力もあって、その対策実績も上がり、かなり改善されてきたと言えます。更には、今となつては、空港の新設のスピードも一段落した如くにも見受けられます。十年一昔、とか一世代三十年等と言われますが、空港の環境問題も時代の経過につれて展開しており、地域との共生に重点を移しつつ在ります。

私共の協会の仕事に関しても、空港周辺対策事業は形を変えつつ、引続き空港周辺自治体から要請があり、この種問題の解決には息長い対策の必要性を彷彿とさせます。

さて、空港以外の分野に関する環境問題に眼を転じてみれば、最近道路公害の訴訟に関し、排気ガスと騒音についての損害賠償判決も出されたりしました。古くは、工場の排水や大気汚染等といったテーマからこの環境問題は出発した観がありますが、それらは経済成長の成果の配分の問題という一面も有する様に伺えます。世界的な経済成長の鈍化もあり、究極は、地球環境問題と言われる如く、フロンだとか温暖化だとか地球レベルの大きな視点からの、資源の有限問題とも併せて議論されるまでになっています。

この様に、環境問題が変容しつつある裡、今後の動向に注目が集まる由縁ですが、当研究センターの課題とする、騒音振動、大気汚

\* An Inaugural Address, by Atsuo Nozaki (President, Airport Environment Improvement Foundation)

\*\* (財)空港環境整備協会 理事長

染、健康（人体影響）といったテーマは、尚、各界の協力と支援を必要とする状況にあると思います。

我々は、仕事に対する情熱と矜持をもち、その努力を怠ることさえなければ、的確に評価され、尚多くの支援を得られるものと考えます。例えば、研究の成果の活用の仕方、テーマの設定にあたっての問題意識の的確さも、従来以上に注目されるかと思えます。

更には、公害に関する研究を標榜する研究所は、恐らく世に多く存在すると思われませんが、これらの組織との協調も大切な課題でしょう。

勿論、行政は、現下の経済社会の動きに併せて、適宜適切に航空政策を進めてゆくでしょうし、空港の環境問題は、今や「航空」と「地域」の共生という点に重点を置き、その良好な関係を維持しつつ解決してゆく、という方向にある如くです。「エコ エアポート」とか「エアポート コミュニティ」なる語も耳慣れてきました。勿論、この問題の解決にはまだまだ時間を要しますが、矢張り新しい

動きを見逃すことは許されません。この動きを今後とも大切にしたいものです。

その裡にあつて、当研究センターが、財団法人の附属機関としての特徴を十分生かし、研究調査の成果が、関係者間で偏見無く受け入れられること、更には設立以来の伝統に則り、空港環境行政の期待に応えてゆくことが求められています。その為には、組織の活性化に努めて運営感覚を磨き、研究員の切磋琢磨が大切になります。多くの国の研究所は、独立行政法人となつて、文字通り「独立性」を軸にして、従来以上に社会への貢献が求められており、この世界でも「業務評価」「アカウントビリティ」「ディスクロージャ」「透明性」等という語が飛び交う様になっているのが現状でしょう。幸い、山田所長始め、研究員の皆様も、これら現状の認識は共通のものとなっている趣であり、新しい時代を迎えて、時宜を得た研究を続けて貰えそうです。

今後の、当センターの活躍に御期待頂くと共に、私も及ばずながら、理事長としての任に当たる所存です。

焦点

## エネルギーベース騒音評価量について\*

橋 秀 樹\*\*

### 1. まえがき

平成10年の「騒音に係る環境基準」の改正によって、環境騒音の評価量として等価騒音レベル ( $L_{Aeq}$ ) が取り入れられ、一般環境騒音を議論する上で国際的な共通基盤に立つこととなった。しかし、それ以外のわが国における法律・基準をみると、騒音源の種類ごとに異なった騒音評価量が用いられており、中には見直しが必要と思われるものも少なくない。そこで本稿では、最近の動向も含めて一般環境騒音の評価量の問題について考察する。

### 2. わが国における環境騒音関係の法律・基準の体系

まず、わが国における環境騒音関係の法律・基準の主なものをまとめると、表-1に示すとおりである。これらの法律・基準は、ほとんどが騒音源の種類ごとに制定されており、表-2に示すように、騒音評価量およびその測定・評価方法も騒音源ごとに異なっている。これは、歴史的に見れば騒音が社会的問題となる度に迅速に対応してきた証とも言える。しかし、中には制定以来相当の年月が経過し、現在の環境騒音問題の実態や国際動向あるいは計測技術の進展などからみると、

内容的にかなり古くなってしまっているものもある。また、環境騒音問題を総合的にとらえる場合、あるいは今後ますます重要になる環境アセスメントにおける騒音予測を考えると、見直しが必要な評価量も含まれている。

### 3. 環境モニタリング (管理) と環境アセスメント (予測)

表-1に示した法律・基準は、当然のことながら現実に問題となっている騒音の状況を評価・管理すること (モニタリング) が目的であるので、そのための騒音評価量としては、表-2に示すように騒音レベルの統計量 (時間率騒音レベルなど)、騒音レベルの最大値 ( $L_{A,Fmax}$ ,  $L_{A,Smax}$  など) など、騒音の時間変動特性に応じて適当な量を用いることができる。

一方、環境アセスメントにおいて、将来の騒音の状況を計算によって予測する場合には、騒音評価量は計算に適したものである必要がある。現行の法律・基準で採用されている騒音レベルの統計量や最大値を予測することは、何らかの統計的手法を用いる以外に方法はなく、単純な物理モデルで予測計算をすることは原理的に不可能である。その点で、 $L_{Aeq}$  など騒音のエネルギー (後述の物理的意味での“エネルギー”ではなく、ここでは音圧の2乗積分値という意味) に着目した評価量を基本とする場合には、後述のとおり、計算を一貫してエネルギーベースで行うことができ、計算モデルとしてはきわめて明快と

\* On the Energy-base Noise Measures, by Hideki Tachibana (Professor, Institute of Industrial Science, University of Tokyo)

\*\* 東京大学生産技術研究所 教授

表-1 わが国における環境騒音に係る法体系

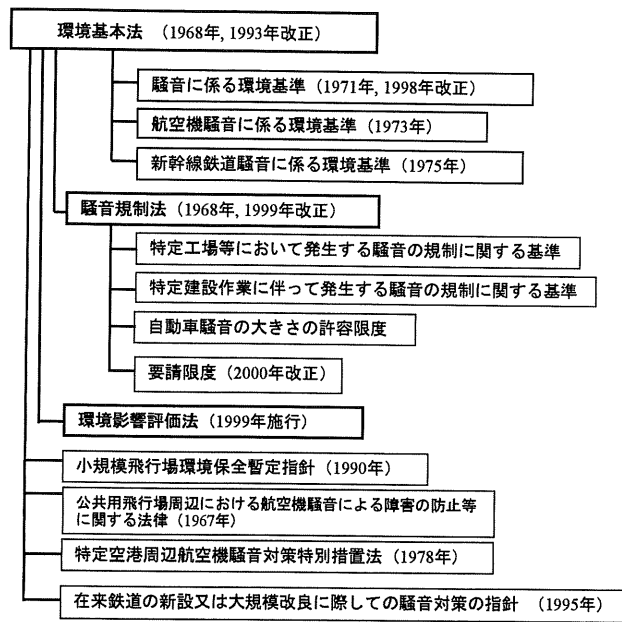


表-2 わが国における現行の法・基準等における騒音源ごとの評価方法

騒音の種類	法・基準	騒音評価量	評価時間
道路交通	騒音に係る環境基準	等価騒音レベル: $L_{Aeq,T}$	昼間 (6:00-22:00) 夜間 (22:00-6:00)
新幹線鉄道	新幹線騒音に係る環境基準	騒音レベルの S 特性最大値: $L_{A,Smx}$	騒音の発生ごと
在来鉄道	在来鉄道の新設又は大規模改良に際しての騒音対策の指針	等価騒音レベル: $L_{Aeq,T}$	昼間 (7:00-22:00) 夜間 (22:00-7:00)
航空機	航空機騒音に係る環境基準	WECPNL ( $L_{A,Smx}$ から計算)	時間帯別重み付け
建設作業	騒音規制法	(屋外夜) 等価騒音レベル: $L_{den}$	
工場・事業場	騒音規制法 (特定騒音源)	● 騒音レベル: $L_A$ ● 騒音レベルの F 特性最大値: $L_{A,Fmax}$	評価時間は明確には定められていない、騒音の発生ごと
大規模小売店舗	大規模小売店舗立地法 (夜間営業の個別騒音源) (*総合騒音は「騒音に係る環境基準」による。)	● 騒音レベルの 90%レンジの上端値: $L_{A5}$ ● 発生ごとの騒音レベルの F 特性最大値の 90%レンジの上端値: $L_{A,Fmax,5}$	

なる。かつて、道路交通騒音については旧環境基準で騒音レベルの中央値 ( $L_{50}$ ) が評価量として用いられていたため、それを予測するための日本音響学会モデル (ASJ Model 1975) では、交通流として等間隔・等パワーモデル (車間が等間隔で自動車の発生騒音も等パワー) を仮定することによって騒音を周期化し、それから中央値を求める手法がとられていた。また道路の部分ごとに予測された  $L_{50}$  について、そのエネルギー合成計算をするといった厳密に考えれば無意味なことも行われていた。それに対して、エネルギーベースの予測計算によれば、このような問題は避けることができる。また時間変動特性が異なる

複数の騒音を複合騒音としてとらえる場合にも、理論的には矛盾のない予測計算が可能である。

環境アセスメントでは、予測値の評価 (法・基準との整合性の評価) を行う場合、やはり関連する現行の法律・基準と照合せざるを得ない。道路交通騒音の場合には、前述の通り「騒音に係る環境基準」で  $L_{Aeq}$  が採用されたために、エネルギーベースの騒音予測計算が可能となり、その具体的方法として日本音響学会から ASJ RTN-Model 1998<sup>1)</sup> が提案された。しかし、たとえば建設工事騒音の場合には、関連する法律としては「騒音規制法」しかなく、その規定では騒音

の種類（時間変動特性）ごとに騒音評価量は異なっており、いわんや複合騒音の評価は不可能である。したがって、昨年11月に日本音響学会から発表された建設工事騒音予測計算法 ASJ CN-Model 2003<sup>2)</sup> では、計算の基本はエネルギーベースとし、騒音規制法で騒音源の時間変動特性ごとに規定されている評価量については、 $L_{Aeq}$  に統計的（経験的）補正を加える形で予測する方法がとられている。（ただし、このモデルでは、別の方法として、変動騒音に対する  $L_{A,5}$ 、衝撃騒音に対する  $L_{A,Fmax,5}$  などを評価量とする場合には、それらの評価量によって得られている実測データに伝搬に伴う減衰を加えて予測する方法も示されている。）

このように考えると、環境騒音について管理・規制（モニタリング）と予測（アセスメント）を一貫して行うためには、 $L_{Aeq}$  などのエネルギーベースの評価量を基本とするのが最も合理的であると言える。もちろん、 $L_{Aeq}$  は環境騒音の評価量として必ずしも万能とは言えず、騒音の生理・心理的影響については騒音源の違いによって二次的な補正も必要となる可能性はある。その例として、ヨーロッパなどで採用されている鉄道騒音に対する  $L_{Aeq}$  の数値上での緩和（いわゆる鉄道ボーナス）が挙げられる。しかし、少なくとも  $L_{Aeq}$  による基本的評価法の統一の可能性については検討すべきである。航空機騒音については、国際的にみて騒音評価量としては  $L_{Aeq}$  が一般的になりつつあり、いまや WECPNL を採用している国はきわめてわずか（日本以外にはイタリア、中国）である<sup>3)</sup>。WECPNL は概念的には  $L_{Aeq}$  に近く、この評価量への変更は理論的にはそれほど難しいことではない<sup>4,5)</sup>。新幹線騒音についても、現在は騒音レベルの最大値 ( $L_{A,Smax}$ ) で評価しているが、騒音影響という観点からは、列車本数も当然考慮すべきであろう。同じ鉄道騒音でも、「在来鉄道の新設又は大規

模改良に際しての騒音対策の指針」（平成7年）では既に  $L_{Aeq}$  が採用されており、新幹線騒音についても、将来  $L_{Aeq}$  の採用に向けて検討すべきである。

#### 4. “Emission” と “Immission” の区別

最近、インターノイズなどの騒音に関する国際会議で、しばしば “emission” と “immission” の区別が話題となる。これらの用語の和訳はまだ確定しておらず、ここでは（騒音の）“排出” と “暴露” としておくが、前者は騒音源の音響的出力（音響パワーまたはエネルギー）そのものに注目しているのに対して、後者は騒音源の周辺の地点（あるいはその場に居住する人間）がその騒音に暴露されている状況・程度に着目した概念である。このような考え方によってわが国の法律・基準を見てみると、たとえば「騒音規制法」は “emission” の視点からの規制であり、「環境基準」は “面的評価” という言葉が表すとおり “immission” の視点からの環境管理を目的としていると言えよう。考えてみればこれは当然の話であるが、従来このような概念はあまり明確には区別されてこなかったのではなかろうか。たとえば、道路交通騒音については沿道だけの騒音レベルを監視することが多いが、これは代表的な地点における “immission” のモニタリングとしてみてもよいが、実際には道路からの “emission” の監視の感が強い。また、「新幹線騒音に係る環境基準」も基本的には “immission”，すなわち沿線地域の住民がどのくらいの騒音に暴露されているかという視点に立つものであるが、実際には一定の距離（25 m 地点など）における騒音レベルの監視による emission control/regulation 的な適用のされ方となっている。今後、環境騒音に係る法律・基準を考える場合に、このような二つの概念の明確化が必要である。

“immission” の見方で騒音の状況を評価

表-3 建設工事騒音予測における騒音源出力の表示方法 (ASJ CN-Model 2002)

騒音源の時間変動特性	騒音源出力 (排出量) の表示量	
	記号	用語
定常	$L_{WA}$	A 特性音響パワーレベル
	$L_A(r_0)$	基準距離における騒音レベル (A 特性音圧レベル)
不規則かつ大幅に 変動	$L_{WAeff}$	A 特性実効音響パワーレベル
	$L_{Aeff}(r_0)$	基準距離における実効騒音レベル
	$L_{A5}(r_0)$	基準距離における 5% 時間率騒音レベル (90% レンジの上端値)
間欠性	$L_{\#}$	A 特性音響エネルギーレベル
	$L_{WAeff}$	A 特性実効音響パワーレベル
	$L_{AE}(r_0)$	基準距離における単発騒音暴露レベル
衝撃性	$L_{Aeff}(r_0)$	基準距離における実効騒音レベル
	$L_{A,Fmax}(r_0)$	基準距離における時間重み特性 F による騒音レベルの最大値
	$L_{A,Fmax,5}(r_0)$	基準距離における時間重み特性 F による騒音レベルの最大値の 90% レンジの上端値

する場合には、その場の音響的状态を表す音圧に着目すればよいが、“emission”の見方で騒音源の特性を評価する場合には、基本的には騒音源の音響パワー（定常騒音源の場合）またはエネルギー（単発的な間欠・衝撃性騒音源の場合）に着目すべきである。そのための標準測定法として ISO 3740 シリーズ（音圧法）および 9614 シリーズ（インテンシティ法）、またそれらに対応した JIS Z 8732, 8733, 8734（音圧法）および JIS Z 8736-1, 2（インテンシティ法）が整備されている。欧米諸国では、家電製品なども含む多くの工業製品に対して音響パワーレベルに基づく騒音排出規制・基準あるいは表示（ノイズラベリング）の制度を設けつつある。この点について、わが国でも早急に検討すべきである。わが国では、騒音源としてしばしば問題になる設備用機械類などについても、側方のある 1 点における音圧（騒音）レベルしか測定・表示されていない場合が多い。しかし、これらの騒音源についても、騒音排出量の総量を示す音響パワーレベルなどのデータを整備すべきである。

道路交通騒音の予測計算では、騒音源である自動車は定常走行区間内では定常騒音源として扱うことができ、その騒音排出量は音響パワーレベルで表現できる。一方、建設工事騒音の予測では、多様な時間変動特性をもつ

騒音源を対象としなければならない、問題はきわめて複雑である。そこで ASJ CN-Model 2002 では、騒音排出量の評価量として、騒音源の変動特性に応じて表-3 に示すような各種の量が規定されている<sup>2,6)</sup>。この中で、A 特性音響パワーレベルや A 特性音響エネルギーレベルを測定するのが基本であるが、大型の建設用機械などについてこれらの量を測定することが難しい場合も多く、騒音源から一定距離離れた点における騒音レベルを用いざるを得ないこともある。この場合の騒音レベルは、あくまで“emission”としての評価量である。（表中の“基準距離における騒音レベル”などの意味は、一般に任意の距離で測定されたレベル値を距離補正によって基準の距離（1 m）におけるレベルに換算した値という意味で、音源の放射特性を単一数値で表すために定義されている。）

## 5. エネルギーベース騒音評価量

「騒音に係る環境基準」の改正によって騒音評価量が  $L_{50}$  から  $L_{Aeq}$  へ変更されたことは、騒音影響をより正確に反映する評価量への変更および国際的整合という点で大きな意味がある。しかしそればかりでなく、前述のとおり環境アセスメントの際の騒音予測計算においてエネルギーベースの考え方が適用でき、予測モデルが物理的にきわめて明快にな



るといふ大きな利点がある。

このように、エネルギーベースの騒音評価量は今後もますます重要となると思われるので、関連する ISO 規格や JIS をもとに整理し、若干の考察を加える。

### (1) A 特性音響パワーレベル

$$L_{WA} = 10 \log_{10} \frac{P_A}{P_0} \text{ dB} \quad (1)$$

ここに、 $P_A$  : A 特性の重みづけをして評価した音響パワー、 $P_0$  : 基準の音響パワー ( $1 \text{ pW} = 10^{-12} \text{ W}$ )。

これは、時間平均の概念をもつ“パワー”の言葉が表すように、定常的な音源の騒音排出量を表すための最も基本的な量である。

### (2) A 特性音響エネルギーレベル

$$L_{JA} = 10 \log_{10} \frac{J_A}{J_0} \text{ dB} \quad (2)$$


ここに、 $J_A$  : A 特性の重みづけをして評価した音響エネルギー、 $J_0$  : 基準の音響エネルギー ( $1 \text{ pJ} = 10^{-12} \text{ J}$ )。


衝撃音あるいは間欠音を発生する騒音源の一回ごとの騒音排出量を表す場合、もはや時間平均の概念に基づく“パワー”(単位:  $\text{W} = \text{J/s}$ ) は適用できず、“エネルギー”(単位:  $\text{J}$ ) に着目すべきであり、それをレベル表示したのがこの量である<sup>7,8)</sup>。この量は、音響パワーレベルの測定における 2 乗音圧の時間平均を時間積分に置き換えることによって求められる。このようにきわめて基本的な概念に基づく量であるにもかかわらず、従来用いられることがなかったが、最近になってようやくその必要性が認められ、ISO 3740 シリーズ、JIS Z 8732:2000 でも採用されている。従来、衝撃性の音源についても“音響パワーレベル”が(誤って)用いられるなどの混乱が見られたが、今後は“パワー”と“エネルギー”を明確に区別する必要がある。

### (3) 単発騒音暴露レベル


$$L_{AE} = 10 \log_{10} \left[ \frac{1}{T_0} \int_{t_1}^{t_2} \frac{p_A^2(t)}{p_0^2} dt \right] \text{ dB} \quad (3)$$

ここに、 $p_A(t)$  : 瞬時 A 特性音圧 (Pa)、 $p_0$  : 基準音圧 ( $20 \mu\text{Pa}$ )、 $t_1 \sim t_2$  : 対象とする騒音の継続時間を含む時間 (s)、 $T_0$  : 基準時間 (1 s)。

この量は、本来は単発的な騒音による音圧暴露量を総量として表すために ISO 1996-1:1982 に採用された量で、その翻訳規格である JIS Z 8731 (1983 年制定、1999 年改正) によれば「単発的に発生する騒音の全エネルギー (瞬時 A 特性音圧の 2 乗積分値) と等しいエネルギーをもつ継続時間 1 秒の定常音の騒音レベル」と定義されている。もちろんこの定義のように解釈することもできるが、本来は、単にレベル表示の原則である無次元化のために (時間積分によって生じる時間の次元を基準化するために)、基準の時間  $T_0$  (1 s) が付加されていると考えるべきである。ここで重要なことは、に示すように、原理的には現象が  $t_1 \sim t_2$  に含まれている限り、 $t_1$ 、 $t_2$  そのものは無関係であることである。(もちろん、実際の測定で暗騒音の影響がある場合には、むやみに長く積分することはできず、主要な時間区間についてのみ積分する必要がある。)

この評価量によって、たとえば航空機騒音や鉄道騒音など間欠的な騒音について事象ごとの値 ( $L_{AE,i}$ ,  $i=1 \sim N$ ) をもとめておけば、次式によってある一定時間 (評価時間:  $T$ ) における等価騒音レベルが計算できる (参照)。

$$L_{Aeq,T} = 10 \log_{10} \left[ \frac{T_0}{T} \sum_{i=1}^N 10^{L_{AE,i}/10} \right] \text{ dB} \quad (4)$$

道路交通騒音予測モデル ASJ RTN-Model 1998 でも、自動車が 1 台通過したときの予測点における単発騒音暴露レベル (ユニットパターンの積分値) を計算し、それに評価時間当たりの交通量、車種ごとの走行音のパワーレベルの違いを考慮して等価騒音レベルを求める方法が取られている (参

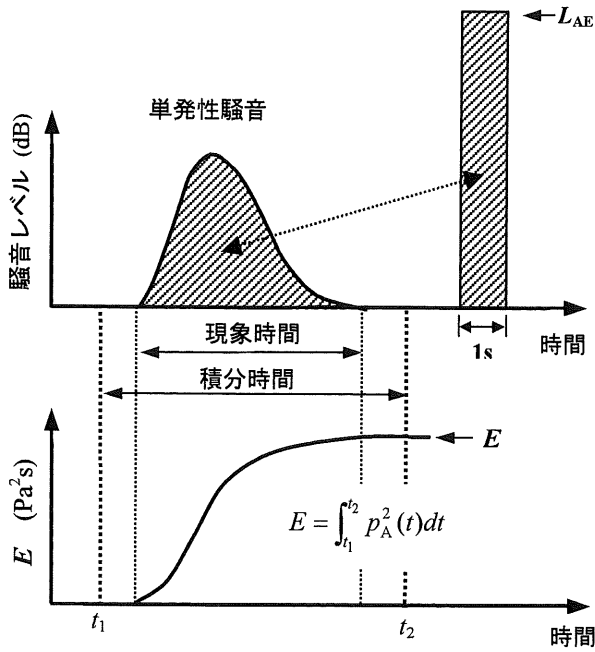


図-1 単発性騒音の積分評価

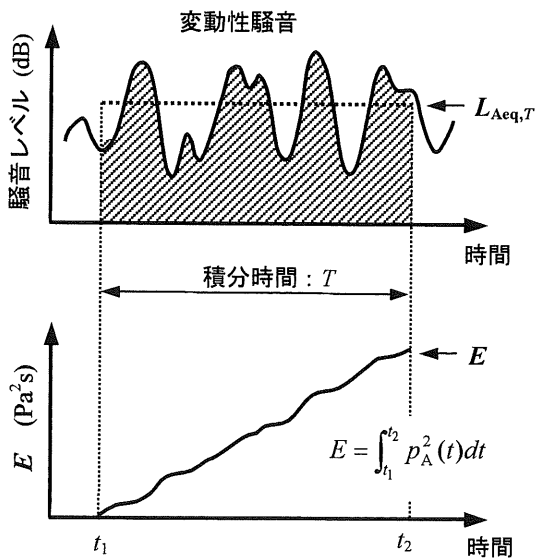


図-2 変動性騒音の積分評価

照)。

なお、継続時間が比較的短い単発性の騒音については、騒音レベルの時間重み特性 SLOW による最大値 ( $L_{A,Smax}$ ) と  $L_{AE}$  とはほぼ一致する<sup>9)</sup> (図-5 参照)。これは SLOW 特性の時定数が 1s で積分効果が大きいためである。また新幹線騒音や航空機騒音などの一過性の騒音についても、 $L_{A,Smax}$  と  $L_{AE}$  との間にはほぼ一定の関係がある。わが国では、これまで鉄道騒音や航空機騒音について  $L_{A,Smax}$  による測定が広く行われてきており、このような関係に基づけば、 $L_{A,Smax}$  のデー

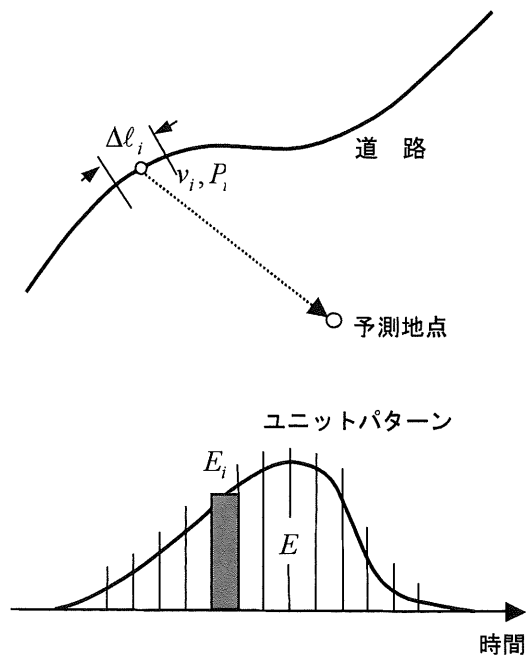


図-4 1台の自動車の走行による騒音暴露量 (ASJ RTN-Model 1998)

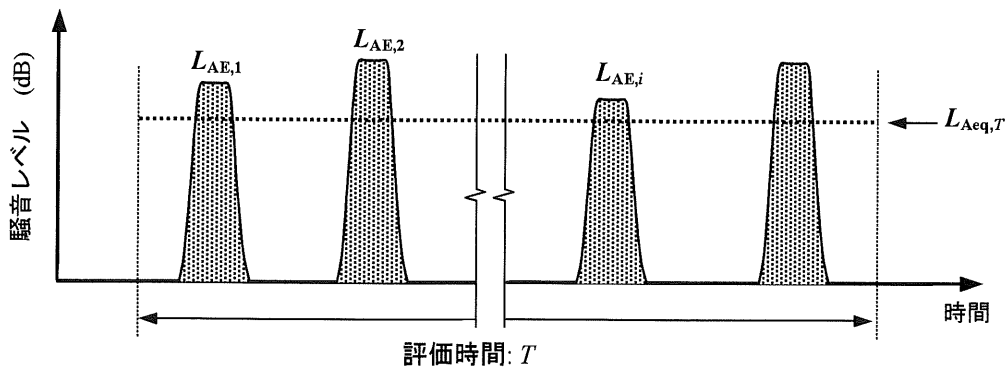


図-3 鉄道騒音、航空機騒音などの間欠性騒音の等価騒音レベルの計算

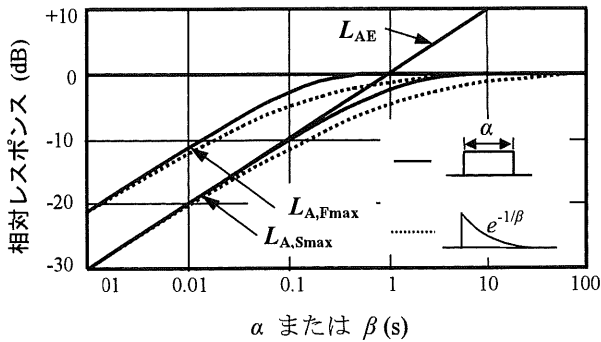


図-5 騒音レベルの最大値 ( $L_{A,Fmax}$ ,  $L_{A,Smax}$ ) と単発騒音暴露レベル ( $L_{AE}$ ) の関係

タから等価騒音レベルを近似計算で求めることができる。

#### (4) 騒音暴露レベル

上の定義に対して、最近では一般の変動騒音も含めたあらゆる騒音に対して式(3)と全く同じ定義式による“騒音暴露レベル”を適用することが多くなってきており、現在改定作業が進められている ISO 1996-1 の最終案では、むしろそのような定義が主になっている。その場合には、積分時間  $t_1 \sim t_2$  がきわめて重要になり、 $L_{AE}$  の値だけでなく、積分時間を必ず明示する必要がある (図-2 参照)。であるとすれば、これは等価騒音レベルとほとんど同じ意味になり、両者の関係は次式で示すとおりである。

$$L_{Aeq,T} = L_{AE} - 10 \log_{10} \frac{T}{T_0} \text{ dB} \quad (5)$$

このような理由から、ISO 1996-1:1982 の制定の際にはこの意味での使い方は認められず、(3)に述べた単発的な騒音についてのみ定義となった。(ISO 1996-1:1982 の最終案の段階では“single event sound exposure level”であったが、出版される直前に“single event”が取られて単に“sound exposure level”になってしまった経緯がある。)

もしここで述べた“騒音暴露レベル”を用いるとすれば、(3)の“単発騒音暴露レベル”との混乱を避けるために、用語も明確に

区別し、記号も、たとえば  $L_{AE}$  と  $L_{AE,T}$  というように区別すべきであろう。

#### (5) 等価騒音レベル

$$L_{Aeq,T} = 10 \log_{10} \left[ \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} \frac{p_A^2(t)}{p_0^2} dt \right] \text{ dB} \quad (6)$$

この量の意味は「ある時間範囲  $T$  について、変動する騒音のレベルをエネルギー的な平均値として表した量」(JIS Z 8731)で、改めて説明する必要もない。しかし、その評価時間については議論が必要である。

JIS Z 8731:1983 で初めて等価騒音レベルが導入された際に、ISO 1996-1 に倣って  $L_{Aeq,T}$  という記号が用いられ、測定時間を明記することとなったため、評価時間が新たな問題のごとく受け取られた。しかし、これはおかしな話で、 $L_{50}$  (一般にすべての時間率騒音レベル) についても、本来は評価時間を問題にすべきであるのに、わが国では道路交通騒音などを対象とした場合にはいわゆる“5秒間隔50回法”が一般化していたため、評価時間の概念が忘れられていただけの話である。

「騒音に係る環境基準」では、昼間16時間、夜間8時間を評価時間 (reference time interval) として規定しているが、実際の測定では、必ずしも16時間あるいは8時間にわたって連続測定をする必要はなく、時間サンプリングの考え方を適用して騒音の時間変動特性に応じて適当な時間間隔での間引き測定を行ってもよい<sup>9)</sup>。ただしその場合には、統計的安定性 (一種のサンプリングの定理) を確認しておく必要がある。

「騒音に係る環境基準」の規定とは別に、一般の環境騒音を対象としてある一定時間にわたる騒音レベルの平均値として  $L_{Aeq,T}$  を用いることは、原理的には一向に差し支えない。ただし、その場合には評価時間を必ず明記する必要がある。たとえば  $L_{Aeq,10min}$  (10分間平均)、 $L_{Aeq,1h}$  (1時間平均) などであ

る。しかし、環境騒音を対象としてグローバルな評価量として  $L_{Aeq}$  を用いる場合には、あまり短時間（たとえば数秒～数分）を評価時間とすることは適当でないのではなかろうか。もちろん、長時間にわたる  $L_{Aeq}$  を求める過程で短時間の平均値として  $L_{Aeq}$  を用いることはあるが、その場合には、上記のように記号で明示するか、1分間  $L_{Aeq}$ 、10分間  $L_{Aeq}$  などと呼んで区別する必要がある。

しばしば、1列車通過などの一過性の騒音に対して  $L_{Aeq}$  による表示が用いられている例も見受けられる。たしかに、通過時間の間の騒音レベルのエネルギー平均値であるという意味で、(数学的には)式(6)を適用することはできる。しかし、その場合には通過時間(積分平均時間)を明示することが必要で、その設定方法も一意的でなければならない。しかしこのような用い方は、環境騒音評価量としての本来の  $L_{Aeq}$  の概念とは異なるのではなかろうか。この種の一過性(単発性)騒音の総暴露量をエネルギー的に正確に把握・表示するためには、単発騒音暴露レベルを用いるべきである。

前述の建設工事騒音予測モデル“ASJ CN-Model 2002”では、“等価騒音レベル”とは別に“実効騒音レベル”という用語を新たに定義している。その理由は、建設工事騒音の比較的長時間(数十分～数時間)にわたる騒音レベルの平均値(環境騒音評価値)に対しては、通常の意味で等価騒音レベルを用いるとして、変動性の騒音源について比較的短時間(数分～数十分)の間に観測される騒音レベルのエネルギー平均値(予測計算のための原データ)を“実効騒音レベル  $L_{Aeff}$ ”と呼ぶこととなった。これらの量は数式による表現では全く同じであるが、意味する内容は異なる。

等価騒音レベルの導入の際、当初は行政関係の委員会などでその意味がなかなか理解されなかった。デシベル(対数)表現の難解さ

に加え、積分記号を含む一見難しそうな定義式にもその原因と思われるが、“Equivalent continuous”の直訳である“等価(連続)”という用語を用いたことも分かりにくさの一因であったかもしれない。概念としては、電気分野などで古くから用いられている実効値と全く同じであるから、最初から“実効騒音レベル”(ただし、上述の意味とは異なる)などを用いてもよかつたのではなかろうか。

## 6. む す び

以上、環境騒音の評価(表示)のための量的表現について、エネルギーベースという観点から述べた。この種の評価量の条件としては、まず第一に騒音の生理・心理的影響の程度を反映する量であることが重要であるが、それと同時に物理的意味が明確で客観的な測定ができること、さらに環境アセスメントの際の予測計算に適していることも重要である。また環境騒音の分野でも国際性は重要であり、特に騒音評価量の定義や適用の仕方について、ISOなど国際組織における議論の動向にも敏感でなければならない。わが国における法律・基準の体系についても、このような観点から常に見直し、改善を図っていく必要がある。

## 文 献

- 1) 日本音響学会道路交通騒音調査研究委員会：道路交通騒音の予測モデル“ASJ Model 1998”，日本音響学会誌，55(4)，281-324 (1999)
- 2) 日本音響学会建設工事騒音予測調査研究委員会：建設工事騒音の予測モデル“ASJ CN-Model 2002”，日本音響学会誌，58(11)，711-731 (2002)
- 3) 五十嵐寿一，“航空機騒音の環境基準をめぐる課題について”，航空環境研究 No. 1, 4-8 (1997)
- 4) 山田一郎，“航空機騒音の測定と評価に関する国際規格 ISO 3891 の改定作業”，航空環境研究 Vol. 2, 3-9 (1998)
- 5) 五十嵐寿一，“航空機騒音の評価と環境政策”，航空環境研究 No. 6, 2-19 (2002)
- 6) 橘 秀樹，“日本音響学会における騒音予測計算モデルの開発—ASJ モデルの現状と課題”，日本音響学

会講演論文集 p. 707-710 (2002.9)

- 7) Hideki Tachibana, Hiroo Yano, Koichi Yoshihisa, "Definition and measurement of sound energy level of a transient sound source", J. A. S. J. (E), Vol. 8, No. 6, 235-240, (1987)
- 8) Hiroo Yano, Hideki Tachibana, Masaru Koyasu, "Determination of "Sound Energy Level" for sound sources which emit single bursts of sound energy by the free field method and diffuse field method", Proc. Inter-noise 98 (1998)
- 9) 橘秀樹, "騒音記述量  $L_{Aeq}$  の意味と測定方法", 騒音制御 Vol. 20, No. 2, 10-15 (1996)

### 著者略歴

昭和42年3月 東京大学工学部建築学科卒業

- 昭和47年3月 東京大学工学系大学院建築学専攻博士課程修了
- 昭和47年10月 東京大学生産技術研究所助手
- 昭和48年3月 工学博士(東京大学)
- 昭和50年2月 東京大学生産技術研究所講師
- 昭和52年8月 同上 助教授
- 平成3年6月 同上 教授
- 平成7年-9年 日本音響学会会長
- 平成11年-現在 日本音響学会編集委員長
- 平成14年-現在 日本騒音制御工学会会長
- 平成13年-現在 国際騒音制御工学会副会長

専門分野 応用音響工学(建築音響, 環境騒音)

## 焦点

# 環境騒音に対する社会反応\*

## —標準的なうるささ尺度の構成とデータアーカイブの設立—

矢野 隆\*\*

### 1. はじめに

環境騒音の影響評価に関する調査研究は20世紀の後半から欧米諸国を中心に数多く実施されてきた。これら膨大なデータの蓄積を基に、調査データを2次分析し、結果を相互に比較して、より普遍的な知見を得ようとする比較研究が盛んに行われるようになった。その目的は、多くの調査結果を比較することによって騒音の影響を的確に把握し、その成果を環境基準や騒音対策、建築・都市計画など騒音政策に反映させることにある。

本報告では、環境騒音に関する社会調査研究の最近の動向を以下の3点を中心に述べる。

1) 暴露—反応関係に関する最近の研究動向：暴露—反応関係は騒音の社会調査研究の主要な検討課題であり、ここ四半世紀の研究の流れを概観する。特に、鉄道騒音と道路交通騒音による暴露—反応関係のヨーロッパと日本の調査結果の違い等について述べる。

2) 異なる言語間で比較可能なうるささ尺度の構成：異なる調査結果を比較する際に、調査ごとに異なるうるささ尺度をいかに共通の指標に変換するかが常に問題となる。もし、異なる言語間で比較可能な尺度が開発さ

れば、この問題は一挙に解決し、暴露—反応関係を精度よく比較できるようになる。ICBEN (International Commission on Biological Effects of Noise) の Team 6 (Community Response to Noise) は、最近、異なる言語間で比較可能なうるささの評定尺度を開発するための国際共同研究を実施した。この国際共同研究の意義と概要を紹介する。

3) 環境騒音に関する社会調査のデータアーカイブの設立：1990年代にオランダのTNO (Netherlands Organization for Applied Scientific Research) は、それまで世界各地で行われた環境騒音に関する社会調査データを収集し、データアーカイブを設立した。Miedemaらはそのデータを使って2次分析した結果を発表してきたが、日本のデータはほとんど含まれていないため、日本の調査結果を比較研究に反映させることができない。また、日本にはこの種のデータアーカイブはないため、日本での系統的な比較研究はほとんど行われてこなかった。ここでは日本でのデータアーカイブ設立の必要性とその試案を述べる。

### 2. 異なる音源による暴露—反応関係の最近の研究動向

#### 2.1 欧米での研究

1978年にSchultz<sup>1)</sup>は、航空機騒音、道路交通騒音、鉄道騒音に関する11の調査結果を基に、暴露—反応関係を相互に比較した。その際、調査ごとに異なる騒音指標を共通の

\* Community Response to Environmental Noise: Constructing Standardized Noise Annoyance Scales and Establishing a Public Data Archive, by Takashi Yano (Professor, Faculty of Engineering, Kumamoto University)

\*\* 熊本大学工学部 教授

指標  $L_{dn}$  (昼夜等価騒音レベル) に変換し、様々なうるささ尺度で測られる強反応の指標として % highly annoyed<sup>#1)</sup> を定義した。その結果、音源にかかわらず  $L_{dn}$  と % highly annoyed の関係が 1 本の総合曲線で表されることを先駆的に導いた。この研究はその後の社会調査研究や騒音施策に多大の影響を与えた。

Kryter<sup>2)</sup> は、Schultz が総合曲線を作成する際に用いた % highly annoyed の定義や  $L_{dn}$  の算定方法などに問題点を指摘し、地上の騒音 (道路交通騒音と鉄道騒音) と航空機騒音の曲線を別々の曲線で表した方が良く適合するとした。Kryter によると、航空機騒音の暴露—反応関係を表す曲線は、陸上の交通機関の曲線よりも強い反応を示した。

Hall<sup>3)</sup> は Schultz 以降の調査研究を基に検討し、音源によって暴露—反応関係に違いが見られるものの、基本的に Schultz の知見を支持した。Fidell ら<sup>4,5)</sup> は Schultz の総合曲線に理論的解釈を行うとともに、Schultz 以降の調査研究を加えて検討し、Schultz の総合曲線が妥当であるとした。しかし、その他多くの研究は暴露—反応関係に音源間で有意な差があることを示してきた。例えば、Knall ら<sup>6)</sup>、Fields ら<sup>7)</sup>、Moehler ら<sup>8,9)</sup>、Miedema ら<sup>10)</sup> は、ヨーロッパでの調査結果を中心に鉄道騒音の方が道路交通騒音よりもうるさくないことを示した。これらの研究成果は、5 dB の鉄道ボーナスとしてヨーロッパのいくつかの国々の環境基準に反映されている<sup>11)</sup>。

## 2.2 日本での研究

最近の日本での鉄道騒音と道路交通騒音に関する調査結果は前述の欧米での調査結果と

は異なる傾向を示している。田村<sup>12)</sup> はヨーロッパと同様の傾向を報告したが、Kakura<sup>13)</sup> は両騒音源に対する反応に差がないことを示した。森原ら<sup>14)</sup> は九州と気候がヨーロッパと似ている北海道で同一の方法を用いて両騒音に関する調査を実施した。図-1 はその暴露—反応関係を比較したものである<sup>#2)</sup>。両騒音源に関する暴露—反応関係に北海道と九州の間で有意な差は認められず、鉄道騒音のうるさは道路交通騒音とほぼ同じかわずかに大きく、いわゆる鉄道ボーナスは確認できなかった。

また、矢野<sup>15)</sup> は騒音に関する社会調査を実施してきた研究者にデータの提供を依頼し、両騒音源に対する反応を調べている調査データを基に、暴露—反応関係を比較した。北海道 (1984-1991)、横浜 (1997-1998)、名古屋 (1982-1984) での調査で、両騒音源に関する暴露—反応関係を比較することができるが、どの調査データも両音源間に有意な差を示さなかった。しかし、これらの調査は主目的がそれぞれ異なり、調査方法も同じでは

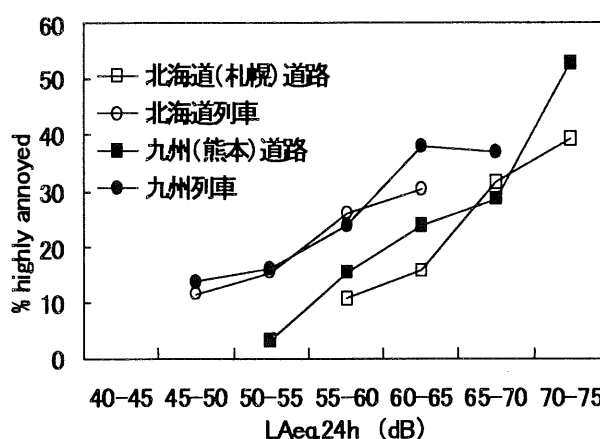


図-1 北海道と九州での鉄道騒音と道路交通騒音に関する暴露—反応関係

#1) Schultz<sup>1)</sup> は、7段階尺度の上位2カテゴリ、または11段階尺度の上位3カテゴリに相当する尺度の上位27~29%に反応した割合を % highly annoyed と定義している。しかし、実際には尺度段階に付けた言葉の意味によって、その割合は9~50%にわたっている。

#2) これらの調査では、1. 気が付かない、2. 気が付くが不快でない、3. 少し不快、4. かなり不快、5. 非常に不快、という尺度を使い、最上位の「5. 非常に不快」に反応した割合を % highly annoyed としている。

ない。日本の調査を基に暴露-反応関係の音源間の違いの有無を明らかにするにはさらにデータを集積する必要がある。

では、なぜこれまでの調査でヨーロッパでは鉄道ボーナスが見られ、日本では見られないか、明らかな原因があるはずである。調査方法や測定方法に原因がある可能性も考えられる。もしそうでないなら、これを明らかにすることは日本での有効な鉄道騒音対策につながると考えている。筆者はその原因として以下の5項目の可能性を想定しているが、特に2)~4)の影響が大きいと考えている。

- 1) 両騒音の音響特性の違い
- 2) 両騒音源に対する人々の態度の違い
- 3) 窓の遮音性能や住宅の質量、音源から住宅までの距離などの住宅要因の違い
- 4) 生活習慣や生活様式など社会文化的な要因の違い
- 5) 鉄道の運行形態の違い

これらの違いを精確に検討するためには、比較可能な物理的指標と心理的評定尺度を用いて日本とヨーロッパで調査を行い、結果を比較する必要があるかもしれない。

さて、これまで実施された社会調査研究を基に、欧米では前述のように多くのレビュー研究が報告されてきたが、日本での本格的な騒音の社会調査に関するレビュー研究としては、Igarashi<sup>16)</sup>によるもの以外見あたらない。Igarashiは国内外の調査結果を比較し、% highly annoyedの割合は調査に使われる尺度に影響されるため、騒音のうるささに関する標準尺度が必要であることを指摘した。

### 3. 異なる言語間で比較可能なうるささ尺度の構成

1993年にICBEN Team 6はニースでのThe 6th International Congress on Noise as a Public Health Problemで次の5年間の活動方針として、異なる言語間で比較可能なう

るささ尺度の開発を掲げた。その後、幾度かワークショップで検討した後、同チームは1997年8月にブダペストで標準的なうるささ尺度に関する会議を開催した。そこでは、それぞれの国で平行して同一の手法を用いて、騒音のうるささの程度が最小から最大までほぼ等間隔となるような標準的な尺度を構成するための実験を行うことが合意された。以下に、その一環として日本と近隣のアジア諸国で行われた共同研究の概要を紹介する<sup>17,18,19)</sup>。

#### 3.1 実験の概要

実験計画の骨子はルール大学のR. Guskiらのグループによって作成された。Guskiらはまず各国の研究者に騒音のうるささの程度を広範囲に表す21の言葉を選ぶように指示した。我が国の研究グループが選んだ21の言葉を表-1に示す。実験は以下の手順で行った。

- 1) 表-1の21の言葉を程度の強さによって最大9つのカテゴリに分ける。
- 2) その中から最大のうるささを表す言葉を選択する。最小のうるささを表す言葉は国際間で検討して“not at all annoyed”に相当する「まったくうるさくない」を当てることにした。
- 3) 等間隔となるように5段階尺度を構成する。
- 4) 最大の言葉は5段階尺度と同じとし、4段階尺度を構成する。
- 5) 表-1の21の言葉の強さを10cmの線分にマークを付けることによって、言

表-1 実験に使用した21の程度表現語

まったく…ない、ほとんど…ない、 あまり…ない、たいして…ない、 それほど…ない、わずかに、すこし、 いくらか、やや、多少、比較的、わりに、 だいぶ、かなり、とても、そうとう、 たいへん、すごく、ひどく、きわめて、 非常に
---



葉の強さを左端からの長さでもって評価する。

この共同研究には北海道、関東、近畿、九州の4地域で8研究機関の研究者が参加し、全体で1,102名の有効なデータが得られた。

### 3.2 尺度の構成

ICBEN Team 6の当時の議長であったFields<sup>20)</sup>は標準的な尺度に適した言葉を選択する基準として以下の3項目を提案している。

- 1) 程度表現語として選択された言葉がうるささの強さに関して等間隔に並ぶこと。例えば、5段階尺度の場合は、うるささの強さの最大値を100とすると、選択された言葉の強さは0, 25, 50, 75, 100に近い値であること (Equidistant intensity)。
- 2) 程度表現語として選択された言葉は、被験者が段階尺度の程度表現語として好んで選択するものであること、すなわち、ある特定の程度表現カテゴリを表す言葉として数多く選択され、他のカテゴリを表す程度表現語としてはあまり選択されないこと (Preference)。
- 3) 言葉の強さと選択性に関して被験者間で評価のばらつきが小さいこと (Agreement)。

全被験者の実験結果に以上の3つの選択基準を適用して尺度を構成すると、5段階尺度は「非常に」、「だいぶ」、「多少」、「それほど…ない」、「まったく…ない」、4段階尺度は「非常に」、「だいぶ」、「すこし」、「まったく…ない」となる。

各言語圏で行われた実験結果を検討するために1998年11月にシドニーでICBEN Team 6の会議が開催された。各言語にわたって4段階と5段階の尺度を比べると、言葉の強さの等間隔性と言葉が好んで選ばれる度数に関してどちらかの尺度が一貫して優れているということはなかった。しかし、全体的

に5段階尺度がわずかに優れていること<sup>21)</sup>、また人々は社会調査でも4段階よりも細かく評価することが可能であるという意見を考慮して、5段階尺度を共通に使用するのに適した尺度とすることに決めた<sup>23)</sup>。因みに英語の尺度は“extremely”, “very”, “moderately”, “slightly”, “not at all”となり、日本語の5段階尺度とともに表-2に示す。

### 3.3 アジア諸国での尺度の構成

これまでICBEN Team 6による共同研究を通して、英語、ドイツ語、フランス語、スペイン語、オランダ語、ノルウェー語、ハンガリー語、トルコ語、日本語の9言語で尺度が構成された<sup>22)</sup>。このように、当初この共同研究に参加した国は主に欧米を中心とした国々であり、東アジアからは日本だけである。今世紀にはアジアでは交通量の増大とともに交通網が拡充され、交通騒音がさらに深刻な環境問題となると予想される。生活環境に対する人々の改善要求が高まれば、騒音に関する社会調査が数多く実施されるであろう。その際、ICBEN Team 6が推奨する方法で構成した尺度を用いれば、これまでの欧米のデータを中心とした比較からアジアを含めたよりグローバルな国際的比較が容易に行えるようになることを期待している。そのため、

表-2 日本語と英語の標準的な5段階尺度

非常に	Extremely
だいぶ	Very
多少	Moderately
それほど…ない	Slightly
まったく…ない	Not at all

<sup>23)</sup> Fields<sup>22)</sup>はこれら5段階尺度の上位2カテゴリに反応した割合を% highly annoyed とすることを提案している。しかし、これはSchultzが尺度の上位27~29%、Miedema<sup>9)</sup>がちょうど中間の上位28%を% highly annoyed とする提案とは整合がとれない。今後は% highly annoyed をどのように定義するか国際的な合意が必要であると思われる。

筆者らは2001年からICBEN Team 6の手法を用いて、中国語、韓国語、ベトナム語の尺度を構成するための共同研究を開始している。

#### 4. 日本での環境騒音に関する社会調査のデータアーカイブ

データアーカイブとは、データを収集・保管し、学術目的での2次分析のために提供する機関である。欧米諸国では1960年代に設立され、社会科学の実証研究、教育に活用されてきた。2次分析とは、データアーカイブを利用して、最初の研究(1次分析)では明らかにされなかった点を解明する研究である。その利点としては次の3点があげられる。

- 1) データ収集過程がないため、データ収集に必要なコストを節約できる。
- 2) 多数の研究者が調査データに基づく社会研究に取り組むことが可能となる。
- 3) 公開データの利用により比較研究を行うことが比較的容易となる。

本章では環境騒音に関するTNOのデータアーカイブの概要を紹介し、日本でのデータアーカイブの試案を述べたい。

##### 4.1 TNOのデータアーカイブ

1990年代にオランダのTNOは各国から騒音の影響に関する社会調査データを収集し、2次分析のためのデータアーカイブを設立した<sup>23)</sup>。

当初のデータアーカイブには騒音に関する38の社会調査と8つのgrouped-site surveyを収集した。38の社会調査は各回答者の情報をコンピュータファイルに入力したものであり、grouped-site surveyとは回答者情報が回答者グループの割合や平均値として示され、各回答者についての情報は無い調査のことである。

38の社会調査から46のデータセット、8つのgrouped-site surveyから11のデータ

セット、合計57のデータセットが作られた。

データベースの変数は、ID変数、人口統計学的変数、住宅変数、暴露変数、反応変数、非音響変数の6つに分類することができる。残念ながらTNOのデータアーカイブは今のところ公開されていない。

##### 4.2 TNOのデータセットを用いた比較研究

Miedemaら<sup>10)</sup>は、収集された55のデータセットを用いて、航空機、鉄道、道路交通それぞれに対して、暴露-反応関係を示す曲線を作成した。その結果、鉄道騒音より道路交通騒音の方がうるさく、道路交通騒音より航空機騒音の方がうるさいことを示し、Fieldsら<sup>7)</sup>、Moehlerら<sup>8,9)</sup>と同様の結論に達した。

つぎにMiedemaら<sup>24)</sup>は、34のデータセットを用いて、人口統計学的変数(年齢、性別、学歴、経済的地位、家族数、持ち家、騒音源への依存、騒音源の使用)や態度変数(騒音源に対する恐れ、敏感さ)のうるささ反応への影響について2次分析した。その結果、人口統計学的変数の影響は小さく、態度変数の影響は大きいことを示し、Fields<sup>25)</sup>のメタ分析の結果を追認した。

またMiedemaら<sup>26)</sup>は、航空機騒音に関するデータセットを用いて、時間帯別の騒音レベルの重み付けについて検討し、航空機騒音に関して夜間に10dBの重み付けが妥当であることを示した。

このようにデータアーカイブのデータを用いることで、様々な比較検討を容易に行うことができるが、日本のデータはこれらの検討に含まれていない。

##### 4.3 日本でのデータアーカイブの設立の試み

日本でデータアーカイブの設立を目的として、データの収集を行った。騒音の社会調査を行った研究者に原データの提供を依頼し、4名の研究者から調査データの提供があっ

表-3 収集データの比較

騒音源	TNO		熊本大学	
	調査数	サンプル数	調査数	サンプル数
航空機	17	36323	0	0
道路交通	28	23204	14	5452
鉄道	7	7369	13	6990
合計	52	66896	27	12442

た。表-3は、2002年末時点で航空機騒音、鉄道騒音、道路交通騒音に関して、TNOと筆者らが収集したサンプル数を比較したものである。TNOは合計52の騒音に関する社会調査のデータセットを収集し、約67,000のサンプルを集積している。一方、筆者らは29のデータセットを収集し、約12,000のサンプルを集積したにすぎない。TNOのデータセットには、航空機騒音と道路交通騒音に関する調査データが多く、鉄道騒音に関する調査データが比較的少ない。筆者らは、鉄道騒音と道路交通騒音に関する調査データを収集したが、航空機騒音に関するデータは収集できなかった。

日本でデータアーカイブを設立して、有効に利用するために、次の4点を提案したい。

#### 1) データの提供

ある研究機関が調査を実施して、初期の目的にしたがって分析を行い、報告書を作成した後には、データを集積管理する機関に提供するような体制を整えることが望まれる。

#### 2) データセットの公開

我が国では1998年に大阪商業大学と東京大学が共同で組織的なデータアーカイブを設立し、ホームページ上で利用可能なデータを検索することができ、必要な手続きによって利用することができる<sup>27)</sup>。これにならって今回のデータアーカイブも公開し、有効利用したいと考えている。

#### 3) データの管理

データの管理は、筆者が所属するような大学ではなく、TNOのような研究機関で行う

のが望ましい。大学では担当の研究者が異動すると、データが散逸する可能性が大きい。

#### 4) 国際的整合性

今後は我が国のデータを世界のデータと比較する必要がある。できれば、TNOのデータセットと比較可能な形式にアーカイブを構築することが望まれる。

騒音に関する調査は、騒音に対する反応を調べる社会調査と、騒音測定または予測からなる。これらの作業は調査の規模にもよるが、多大の労力と時間、費用を要する。また、昨今はその他の社会調査も頻繁に行われたため、調査への協力が得られにくくなっており、都市部では回収率も低くなる傾向にある。社会調査データは将来にわたって貴重な社会的資産であり、それを適切に管理し、有効に使っていくことが切に望まれる。

読者の中でデータアーカイブ設立の主旨に賛同し、特に現在皆無の航空機騒音をはじめ環境騒音に関するデータセットを提供していただける方は下記まで連絡いただきたい。

矢野隆 熊本大学工学部

連絡先：熊本市黒髪2丁目39-1

Tel & Fax：096-342-3560

e-mail：yano@gpo.kumamoto-u.ac.jp

## 5. おわりに

本報告は、最近の四半世紀にわたる世界の騒音評価研究を暴露—反応関係の比較研究に焦点を当てて概観し、筆者が最近の十年間取り組んできた研究の成果を基に、今後の騒音評価研究の体制について私見を述べたものである。

我が国でもこれまで騒音の影響評価に関する社会調査は少なからず実施されてきた。しかしながら、それらが集積されてこなかったために、異なる調査結果の比較によるレビュー研究が活発に行われてこなかったし、今後、騒音に関する環境基準を見直す際に、参考となるべき資料が不足している。将来の騒

音政策に資するためには、これまで行われた社会調査とこれから行われる調査のデータを集積することが不可欠である。その際、航空機等は国を超えて飛来するため、騒音の影響評価に関する国際的な整合性を考慮して、海外の調査データと比較可能なデータを収集することが望まれる。

また、これまでは各研究者は独自の興味によって目的を設定し、調査が実施されてきたように思われる。このことは学術的には非常に重要である。しかし、それだけではなく調査の成果を騒音政策に反映させるなど社会的貢献のためには、必ずしも多いとは言えない騒音研究者が我が国のこれまでの調査研究で何が足りないかを多方面から検討し、調査を効率的に実施していかなければならない時期に来ていると考えている。

読者のご意見並びにご批判を賜りたい。

#### 文 献

- 1) T. J. Schultz: Synthesis of social surveys on noise annoyance, *J. Acoust. Soc. Am.* 64 (1978), pp. 377-405
- 2) K. D. Kryter: Community annoyance from aircraft and ground vehicle noise, *J. Acoust. Soc. Am.*, 72 (1982), pp. 1222-1242
- 3) F. L. Hall: Community response to noise: Is all noise the same?, *J. Acoust. Soc. Am.* 76 (1984), pp. 1161-1168
- 4) S. Fidell, T. J. Schultz and D. M. Green: A theoretical interpretation of the prevalence rate of noise-induced annoyance in residential population, *J. Acoust. Soc. Am.*, 84 (1988), pp. 2109-2113
- 5) S. Fidell, D. S. Barber and T. J. Schultz: Updating a dosage effect relationship for the prevalence of annoyance due to general transportation noise, *J. Acoust. Soc. Am.*, 89 (1991), pp. 221-233
- 6) V. Knall and R. Schuemer: The differing annoyance levels of rail and road traffic noise, *J. Sound Vib.*, 87 (1983), pp. 321-326
- 7) J. M. Fields and J. G. Walker, "Comparing the relationships between noise level and annoyance in different surveys: A railway noise vs. aircraft and road traffic comparison", *J. Sound Vib.*, 81 (1982), pp. 51-80
- 8) U. Moehler: Community response to railway noise: A review of social surveys, *J. Sound Vib.*, 120 (1988), pp. 321-332
- 9) U. Moehler, M. Liepert, R. Schuemer and B. Griefahn: Differences between railway and road traffic noise, *J. Sound Vib.*, 231 (2000), pp. 853-864
- 10) H. M. E. Miedema and H. Vos: Exposure-response relationships for transportation noise, *J. Acoust. Soc. Am.*, 104 (1998), pp. 3432-3445
- 11) D. Gottlob: Regulations for Community Noise, *Noise/News International* (1995), pp. 223-236
- 12) 田村明弘: 道路あるいは鉄道が主音源となっている地域における戸外騒音に対する住民の反応, *音響技術* 21 (1978), pp. 47-52
- 13) J. Kaku and I. Yamada: The possibility of a bonus for evaluating railway noise in Japan, *J. Sound Vib.*, 193 (1996), pp. 445-450
- 14) 森原崇, 佐藤哲身, 矢野隆: 鉄道騒音と道路交通騒音に対する社会反応の比較—北海道と九州における社会調査—, *騒音振動研究会資料 N-2002-15* (2002)
- 15) 矢野隆: 日本の騒音に関する社会調査データの再分析, *騒音・振動研究会資料 N-2002-10* (2002)
- 16) J. Igarashi: Comparison of community response to transportation noise: Japanese results and annoyance scale, *J. Acoust. Soc. Jpn. (E)*, 13 (1992), pp. 301-309
- 17) 矢野隆他: 騒音の社会反応の測定方法に関する国際共同研究—日本語のうるささの尺度の構成—, *日本音響学会誌*, 58 (2002), pp. 101-110
- 18) 神田一伸他: 騒音の社会反応の測定方法に関する国際共同研究—日本語のうるささの程度表現語の年齢層間・地域間比較—, *日本音響学会誌*, 58 (2002), pp. 93-100
- 19) 矢野隆他: 騒音の社会反応の測定方法に関する国際共同研究—日本語のうるささの程度表現語の妥当性と質問文の作成—, *日本音響学会誌*, 58 (2002), pp. 165-172
- 20) J. M. Fields: Designing noise annoyance surveys for international comparison: Guideline from ICBEN's community response team, *騒音・振動研究会資料 N-99-6* (1999)
- 21) J. M. Fields: ICBEN community response team's recommended method for selecting noise/annoyance questions for comparisons between studies, *騒音・振動研究会資料 N-99-14* (1999)
- 22) J. M. Fields et al.: Standardized general-purpose noise reaction questions for community noise surveys: Research and a recommendation, *J. Sound Vib.*, 242 (2001), pp. 641-679
- 23) J. M. Fields: The TNO survey data base project report, Contract #F41624-94-D-6001, D. O. 0010 (1997)
- 24) H. M. E. Miedema and H. Vos: Demographic and attitudinal factors that modify annoyance

- from transportation noise, J. Acoust. Soc. Am., 105 (1999), pp. 3336-3344
- 25) J. M. Fields: Effect of personal and situational variables on noise annoyance in residential areas, J. Acoust. Soc. Am., 93 (1993), pp. 2753-2763
- 26) H. M. E. Miedema and H. Vos: Community reaction to aircraft noise: Time-of-day penalty and tradeoff between levels of overflights, J. Acoust. Soc. Am., 107 (2000), pp. 3245-3253
- 27) 佐藤博樹他編: 社会調査の公開データ 2次分析への招待, 東京大学出版会 (2001)

## 著者略歴

- 昭和 49 年 大阪大学工学部建築工学科卒  
昭和 51 年 大阪大学工学研究科建築工学専攻前期課程修了  
昭和 51 年 熊本大学工学部助手  
昭和 64 年 熊本大学工学部助教授  
平成 5 年 ICBEN Team 6 日本代表委員  
平成 9 年 熊本大学工学部教授  
専門分野 建築環境工学

焦点

## 国際シンポジウム “Which Technologies For Future Aircraft Noise Reduction ?” に出席して\*

中村良也\*\*

### 1. はじめに

昨年春、東京で開かれたある会議で同席したスネクマ社のドミニク・コランさんから、「秋に航空機騒音の国際シンポジウムを計画している。メーカー、エアライン、空港、など航空機騒音低減に取り組んでいる関係者に集まってもらい、ICAO の場では十分できないような、技術的な中味の議論を行うシンポジウムにしたい。出席してもらえないか。」とお誘いを頂いた。確かに航空機の騒音やエミッションに関する基準案を纏めている ICAO/CAEP の場では、低減対策そのものについての技術的な議論は必ずしも十分には尽くせず、またそのためだけの場でもない。一昨年 of CAEP 5 では膨大なケーススタディの中から累積 10 dB の強化案が合意され、その後 ICAO 理事会で承認され、2006 年以降に新規登録される機種から適用される運びである。強化案を絞り込む議論に先駆け、“Environmentally acceptable, Technically feasible, Economically Viable” を基本的な考え方として進めることが採択されたが、“Technical feasibility” について認識合わせ

が不十分だったのではないかとの反省が、メーカーの集まりである ICCAIA の中で生まれて来た。また空港騒音問題がこれで解消したわけではなく、更なる努力が求められていくのは明らかである。そこで ICCAIA の中では特に欧州のメーカーを中心に、「いつ、どこまでの騒音低減が技術的に可能か」についての議論を普段から行い関係者間で共通の理解を持つことの必要性・重要性が認識され、一昨年 12 月に「航空機騒音ワークショップ」を CAEP ステアリンググループ会議に合わせて開催した。筆者も企画段階から準備に協力したが、これは非常に好評で、その後も ICAO の他の場でも同じ趣旨のレクチャーが開催された他、エミッションについても昨年 9 月の CAEP ステアリンググループ会議で同様のワークショップが併催された。今回のシンポジウムは、これらの流れを受け更に発展させたものといえることができる。

前置きがだいぶ長くなったが、このお誘いを受け、昨年 10 月フランスのアルカッションで開催されたシンポジウムに参加したので会議の様態を報告させて頂く。なお、本シンポジウムへの出席は SJAC/CAEP 委員会の調査活動の一環として実施したものである。

### 2. プログラムと発表概略

フランスのメーカー 3 社（スネクマ、エアバス、ダッソー）がスポンサーとなり、フランス航空宇宙学会が主催する形で、欧米の各メーカー、エアライン、研究機関、空港、行

\* Report of International Symposium “Which Technologies for Future Aircraft Noise Reduction?”, by Yoshiya Nakamura (General Manager, Noise and Emission Control Engineering Group, Aero-Engine & Space Operation, Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd.)

\*\* 石川島播磨重工業(株) 航空宇宙事業本部 技術開発センター 環境技術グループ 部長

政から、航空機騒音低減に携れる関係者を集めて開催された。出席者は約120名で、うち半分がフランス国内からの参加。発表は招待講演のみで、騒音低減の現状対策と将来ビジョンについて、22件（うち3件はキャンセル）の発表が3日間にわたり行われ、最後に“Do Research and Technology Program meet their objectives?”と題したパネルセッションで幕を閉じた。因みに発表はすべてPCによるもので配布資料はプログラムのみであった（図-1）。

発表の内訳は、メーカー9件（GE, PWA, PWC, RR, SNECMA, Honeywell, Boeing, Airbus, Dassault, IHI）、エアライン2件（Air France, Luft Hansa）、空港3件（パリ、ブラッセル、ロンドン）、その他5件（DLR, ONERA, EU本部, ICAO, キエフ大学）で、アムステルダム・スキッポール空港、NASA, Northwestからは残念ながらキャンセルされた。

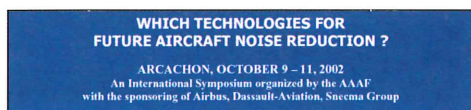
元SNECMA副社長のピエール・ベタン氏のWelcome addressに続いて、DGAC民間航空部長のパトリス・ピエール氏のOpening speechで開始。民間航空産業に対する政府の役割は、単に安全や環境を考慮して産業育成にあたるということだけではなく、航空産業の戦略的・経済的重要性の観点から、経済状況、環境、リソースの間で最善の妥協策を打つこと、と述べ、積極的な関与の姿勢を印象付けた。

この後3日間にわたり空港騒音に対するそれぞれの取り組みについての講演発表が行われた。以下に発表概要を紹介する。

### 1) 空港当局

（ロンドン空港のリチャード・ノーマン氏、ブラッセル空港のエリザベス・ピーターズ氏、パリ空港のフランソワ・メシナ氏）

コミュニティの声に直面している空港当局では、航空輸送の増大に対応していくためには航空機騒音問題は避けて通れない問題で、



#### List of Conferences

##### October 9, 2002

###### Morning :

- Welcome Address : Pierre BETIN
- Opening Address : Patrice PARISE (DGAC)
- Schiphol Airport : Etienne ZUIJLEN (canceled : see clients from NLR)
- Lufthansa Airline : Karlheinz HAAG
- Boeing Aircraft Manufacturer : Belur N. SHIVASHANKARA
- Rolls Royce Aircraft Engine Manufacturer : Ric PARKER

###### Afternoon :

- Brussels Airport : Elisabeth PEETERS
- Northwest Airline : J. BEGIN (canceled)
- Dassault Aviation Aircraft Manufacturer : Jeannine LAFON
- General Electric Aircraft Engine Manufacturer : Mike BENZAKEIN
- NASA/Researches : W. WILLSHIRE (canceled)

##### October 10, 2002

###### Morning :

- London Airport : Richard NORMAN
- Air France Airline : Jean-Baptiste RIGAUDIAS
- Pratt and Whitney Engine Manufacturer : Ed Crow, presented by Kirit PATEL
- Pratt and Whitney Canada Aircraft Engine Manufacturer : Kirit PATEL

###### Afternoon :

- Europe's Researches : Per KRUPPA
- Honeywell Aircraft Engine Manufacturer : Don WEIR
- Kiev University's Researches : Oeleksanders ZAPOROZHETS
- DLR's Researches : Ulf MICHEL
- IHI's Researches : Yashima NAKAMURA

##### October 11, 2002

###### Morning :

- Paris Airport : François MESSINA
- Airbus Aircraft Manufacturer : Michel PACULL
- Snecma Aircraft Engine and Equipment Manufacturer : Christian MARI
- ONERA's Researches : Alain JULIENNE

###### Afternoon :

- ICAO's Recent Development on Noise Policy : Dominique GARDIN (DGAC)

- Round Table :  
« Do Research and Technology Programmes meet their objectives ?  
Cooperation to Improve Aircraft Noise Reduction »

Moderator : Bernard CHABBERT - Journalist

Participants :  
LE THI MAI - AEA  
Michel PACULL - Airbus  
Christian MARI - SNECMA  
Jean-François GEORGES - Dassault Aviation  
Arturo BENITO - IBERIA  
Richard NORMAN - BAO

- Closing Address : A. GARCIA (Airbus)

図-1 今回の航空機騒音国際シンポジウムのプログラム

特に欧州の空港の置かれている状況は厳しい。たとえ新鋭機は静かなものがメーカーから提供されても、在来機は20年、30年飛び続けるので、機材の世代交代により空港環境が改善されるのには時間を要する。このため各空港ではそれぞれ騒音対策を実施しており、ロンドン空港からは課金つきの騒音規制、飛行手順の最適化（CDA；Continuous Descent Approach など）やEPNdBをベースに計算した離着陸時のQC（“Quota Count”）レベルにより機種別の夜間飛行規制をかける、などを紹介。ブラッセル空港では、騒音レベルにより周辺住宅の買い上げや、住宅防音工事、空港境界の防音壁工事などを行っている。パリ空港においても、オルリーの夜間規制、年間発着回数の制限、Chapter 2機の飛行禁止、様々な飛行手順や飛行経路の制限、等々を実施している。

## 2) エアライン

（ルフトハンザのカールハインツ・ハーグ氏、エアフランスのジャン・バプティスト・リゴディアス氏）

エアラインは低騒音機材の選定・更新や運用の工夫を通して空港騒音の改善に努力している。ルフトハンザではDRA（ドイツ航空研究所）およびエアバスと共同で、低騒音ノズル（シェブロンノズル）や機体騒音低減デバイスの飛行試験などを行っている。

## 3) 機体メーカー

（ボーイングのベラー・シバシャンカラ氏、エアバスのメシエル・パクル氏、ダッソーのジャーニー・ラフォン氏）

ボーイングはロールスロイスと共同で、エアバスはEUの包括的な騒音研究プログラムの中で、更なる低減に向けて技術開発に挑戦している。具体的には、シェブロンノズルによるジェット騒音低減、また吸音ライナーをインテークリップまで拡大する、あるいは周方向の枠を無くす、といった細かな対策も実機に搭載されて研究されている。着陸時は機

体騒音とエンジン騒音は同レベルになってきており、機体各社や研究機関では、ギア、フラップ、その他突起物やキャビティによる騒音の音源計測や低減対策が大規模に研究されている。

ビジネス機については、空港騒音全体への影響も小さいが、最近低騒音化に積極的に取り組んでいる。小口径ナセルや吸音材の最適化設計、翼や機体のシールド効果の予測、オンボードシステムの改良による飛行経路の精度向上や騒音回避飛行方式の研究等である。超音速ビジネスジェットの検討も始めているが、ソニックブームよりも騒音問題が困難で適当なエンジンもないとのこと。来年11月、CEAS（欧州航空宇宙学会）ではSSTシンポジウムを開催する由で、SSTへの関心が消え去ってはいない様子。

## 4) エンジンメーカー

（ロールスロイスのリック・パーカー氏、GEのマイク・ベンザカイン氏、PWA/PWCのキリット・パテル氏、ハニウエルのドン・ウェア氏、SNECMAのクリスチャン・マニ氏、IHI中村）

エンジンメーカーは航空機騒音低減の最前線でこれまで努力し、成果も上げてきたが、更なる低減に向け研究開発を進めている。欧米とも似たような技術に取り組んでいるが、特にシェブロンは大流行。GEはCF6-80C2とCF34-8Cでエンジン試験実施、CRJ700飛行試験実施、更にEMB170、A321で飛行試験予定。RRはボーイングと共同でB777によるQuiet Tech Aircraftプログラムを推進。何れも騒音低減の成果は出ているが、その次のテーマとしてNiベースの形状記憶合金により騒音と性能の両立も模索している由。

GEのベンザカイン氏は、GEエンジンの騒音レベルの状況と新技術への取り組みについて紹介した上で、騒音は基本的にエンジンサイクル選定が重要だが、エミッション、



SFC やコストとの妥協で決まるので、メーカーとしてはカスタマー要求に従って対応している/できることをアピール。筆者は、ミキサーエジェクター、耐熱セラミクス吸音材、スウィープ/リーン静翼などに国家プロジェクト研究として取り組んでいることを紹介、また CFD (計算流体力学) の活用が進み、騒音予測や低騒音設計に有効なツールになってきていることを披露した。

### 5) 国立研究所/EU

(ONERA のアラン・ジュリアン氏、DLR のウルフ・マイケル氏、NLR はチャートのみ、EU のペール・クルップ氏)

騒音の発生・伝播のシミュレーションコードの開発や低減方法の研究が行われている。また ONERA と DLR でアコースティック・アンテナの開発を行うなど他機関同士の連携も盛んである。

欧州では、企業、研究機関、大学などが一体となって航空機騒音の低減研究に取り組んできている。EU では科学技術研究プログラムの一環として航空機騒音の研究に重点的に予算を割り付けており、最近では CLEAN や SILENCER プログラムなどが知られている。実際、今回紹介された多くの低減技術がこれらのプログラムでカバーされている。次期プログラムがフレームワーク 6 (2003-2006) として 7 つの分野に 17,500 M ユーロの予算が承認され、このうち航空・宇宙は 1000 M ユーロがつくと発表。具体的内容はこれから提案・審査される。2010 年までに 10 dB, 2020 年までに 20 dB の低減が目標として設定されている。

### 6) ICAO

(DGAC のドミニク・ガルダン氏が ICAO のジェーン・フープ氏の代理で発表)

CAEP 5 で合意された、Chapter 3 に対して 3 つの計測点の累積で 10 dB 強化案はその後の理事会で Chapter 4 として採択されたが、空港環境改善には音源対策だけでなく、

運航対策、計画的な土地利用、のバランスをとって総合的に進めることが必要など ICAO/CAEP の最近状況を解説。CAEP 5 では膨大なコスト・ベネフィット調査を行ったが、最終的には Chapter 4 の決め方には必ずしも生かされず合理的ではなかったなど、フランス当局の本音も開陳していた。

### 7) パネル討議

最後に、航空ジャーナリストのベルナール・シャペール氏 (パリエアショーの司会役とのこと) の司会で、6 名のパネリスト (AEA のル・チ・マイ氏、ロンドン空港のリチャード・ノーマン氏、イベリア航空のアルトウーロ・ベニート氏、エアバスのミシェル・パクル氏、ダッソーのジャン・フランソワ・ジョルジュ氏、スネクマのクリスチャン・マニ氏) によるラウンドテーブルセッションが開かれた。空港騒音環境改善に向けてそれぞれの間のコミュニケーション/協力はできているか、航空輸送量の拡大の見通しをどう考えているか、静粛の価値はいくらか、社会はどう見ているか、などについて、プレゼンなしの完全な会話形式で討議された。雄弁なパネリストと巧みな司会者が揃い、活発な議論になった。

なお、軍関係から 3 名の参加あり (US Navy, ライトパターソン, ノルウェイ), 低減技術の軍用機への適用の可能性について活発な質問を発していたことを付け加えておく。今後、軍用機の世界も輸送機などから騒音規制が設けられていく可能性がある。

最後にエアバスのアラン・ガルシア氏の Closing address で閉会。

## 3. あとがき

シンポジウムの表題 “Which Technologies For Future Aircraft Noise Reduction?” は、民間航空に携わる者達にとって非常に関心のある、また心配をしている命題である。欧州各空港の騒音問題は深刻で、夜

間規制や騒音レベルに応じた着陸料などのローカルルールが新規開発機材の要求仕様に与える影響は大きい。A 380 も開発途中でロンドン空港規制にあわせて仕様変更され、エンジンファン径の増加を余儀なくされた由。航空機の騒音レベルの推移を振り返ると、図-2 に見られるようにこれまでに大いに進歩してきたが、ここにきてペースは鈍ってきてい

る。Chapter 2 から Chapter 3 への移行はエンジンの高バイパス比化や低騒音ファン設計技術に支えられた。2006 年から適用される Chapter 4 に対応するためにはエンジン騒音だけでなく、ナセルの吸音性能、機体騒音、離着陸時の空力性能や飛行経路など全体システムの最適化が重要である。しかし将来、更なる環境改善、基準強化に応えるためには、

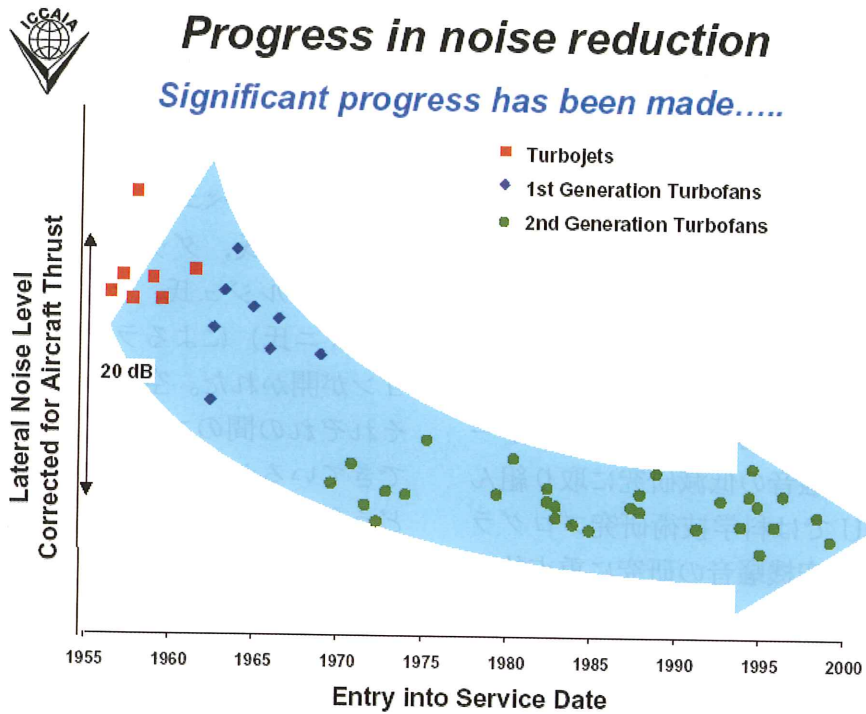


図-2 航空機騒音レベルの推移

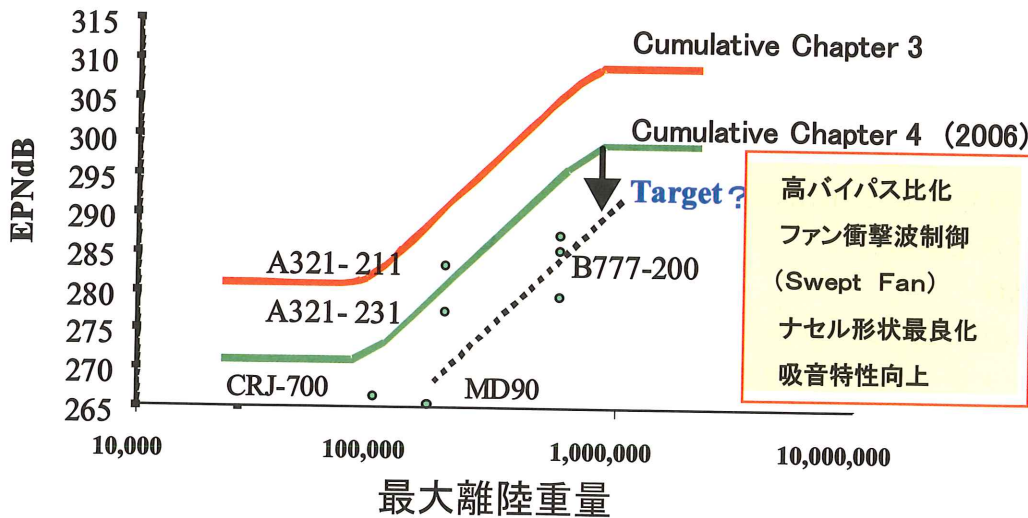


図-4 更なる騒音低減への取り組み



**Ambitious international noise research programs are in progress**

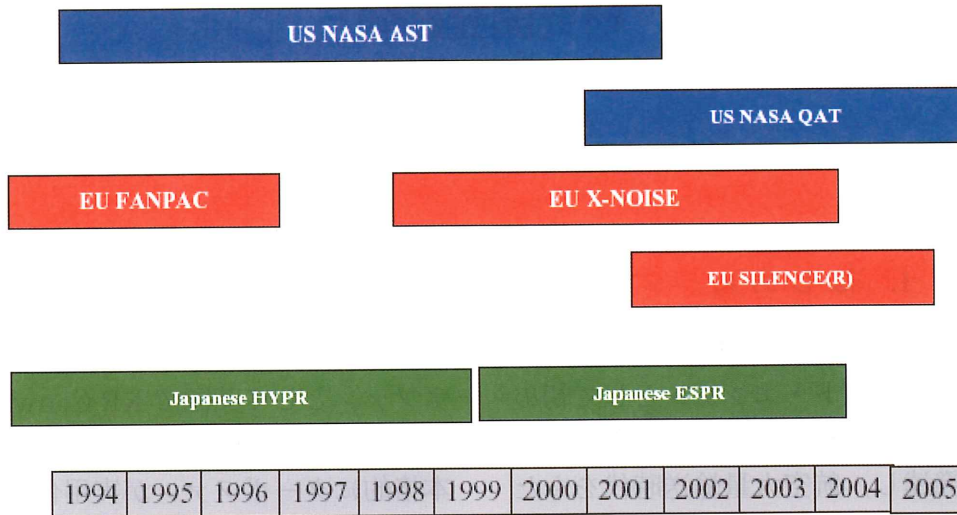


図-3 欧米日の騒音技術研究プログラム

図-3 に示すように騒音技術のブレークスルーが必要になってくる。このため、欧米において航空機騒音低減の研究開発プログラムが次々に立ち上げられている。わが国においても環境適合技術に重点を置いた研究プログラムが推進されており、ICCAIA ではこれらをまとめたチャートで騒音技術への国際的な取り組みを示している (図-4)。今回のシンポジウムも、フレームワーク 6 という次期プログラムの募集がアナウンスされたことに象徴されるように EU 研究プログラムの一つのキャンペーンと見ることができる。将来の環境改善/基準強化には、これを裏付ける騒音技

術が必要であり、研究開発投資の根拠になっている。そしてそれを具体的に進めるためのコミュニケーションの場として本シンポジウムは機能し、当初の目的を果たしたのではないかと考えられる。

**著 者 略 歴**

1977 年東京大学大学院博士課程修了。同年東京大学生産技術研究所助手。1980 年石川島播磨重工業(株)入社。V 2500, HYPR/ESPR などジェットエンジンの研究・開発に従事。また ICCAIA (国際航空宇宙工業会) 環境委員会委員として ICAO の環境関係会議に参画。日本航空宇宙学会, 日本ガスタービン学会および AIAA 会員。

## 環境に優しい航空機用ガスタービンエンジンの 研究開発動向\*

石澤 和彦\*\*

### 1. はじめに

1937年に英国の Sir Whittle の W. U. エンジンがターボジェット・エンジンとして初めての地上運転に成功して以来、航空用エンジンは急速に発達し、航空大量輸送時代をもたらすに至っているが、その発達過程を振り返りながら、環境対策にどのように対応してきたかを検証し、将来の動向について展望したい。

### 2. 航空用ガスタービンの発達<sup>1)</sup>と環境問題

航空用ガスタービンエンジン（以下ジェットエンジンまたは航空エンジンと略す）が出現した頃は、レシプロ機をしのぐ高速の機体を目指して、軍用エンジンを中心とした開発が急ピッチで進められ、比推力及び推力/重量比の増大が最大の技術目標とされた。轟音と黒煙を蒔き散らしながら飛行するジェット機をしばしば目にしたものであった。

1950年代中期には Comet や Boeing 707 及び DC-8 で代表されるジェット旅客機時代に入った。しかし、ターボジェットは燃料消費率が大きく、旅客機の航続距離としては、米国大陸横断が限度であった。また、運航機数の増加に伴い、空港周辺の騒音が問題にな

り始めた。ターボジェットのこのような課題を改善する手段として、ターボファンの出現があった。1952年には世界で初めてのターボファンとして英国で RR Conway (10年後 BAC VC 10 で初飛行) が開発されていたが、本格的にターボファンが実用化の段階に入ったのは、1958年に既に就航中の Boeing 707 などに搭載された米国 P & W 社の JT 3 C ターボジェットが改修キットで JT 3 D 低バイパス比ターボファンエンジンに大量に改修されてからであった。長距離用の旅客機のみならず、従来はターボプロップ推進が主流であった中距離用の旅客機もジェット化が促進され、低バイパス比ターボファン JT 8 D が搭載された Boeing 727 や DC-9 で代表される尾部ジェット型の旅客機が全盛期に入った。しかし、バイパス比の低いエンジンでは騒音はまだ十分に静かになったとは言えず、運航機数の増加と共に空港周辺の騒音問題が顕在化することになった。1960年代中期になると初めての高バイパス比ターボファン TF 39 搭載の大型軍用輸送機 Lockheed C-5 A の開発が行われた。その副産物として開発競争に落ちた Boeing 747 (P & W JT 9 D 搭載) がジャンボジェットとして開発されたのを契機に Douglas DC-10 (GE CF 6-6 搭載) や Lockheed L 1011 (RR RB 211 搭載) など、ワイドボディーの旅客機が相次いで出現し、高バイパス比エンジンの時代が始まった。これによって燃料消費率が大幅に低減し、更なる長距離飛行が可能になったのと同

\* Trend of the Environmentally Friendly Aircraft Gas Turbine Engines,  
by Kazuhiko Ishizawa (Director, Japan Aviation Journalist Association)

\*\* 航空ジャーナリスト協会理事 (元石川島播磨重工業(株)航空宇宙事業本部技術開発 事業部長)

時に空港騒音の対策の方向性も見えてきた。1969年、FAR（米連邦航空規定）の騒音規制 FAR 36 が制定されたのに続いて、ICAO（国際民間航空機関）でも ICAO Annex 16 を制定し、これが国際的な騒音基準となった。性能向上の要求と同程度の重要度で低騒音化技術が開発されるようになり、亜音速機では完成の域に達したといっても過言でないほどに進歩した。一方、運航便数の増加に伴う空港周辺の排ガス汚染に対しても、1973年に EPA（米国環境保護局）が「航空機と航空機用エンジンによる大気汚染物質の排気量規制」に関する法律を制定し、1979年には効力を発揮した。ICAOも1977年に「航空機エンジン排出物の管理」を発行し、同様の基準が設定された。

このような背景に対応するため、1970年代には、特に米国 NASA を中心に、静かで、きれいなエンジンの研究（QCSEE 等）、JT 8 D 等の低バイパス比エンジンのファンを換えて騒音を静かにする研究（Refan）、更には、1973年の石油ショックを契機に燃料経済性の良いエンジンの研究（E<sup>3</sup>）などが同時並行的に進められた。蓄積された技術的成果はそれ以降に開発された GE CF 6-80 C 2 や P & W PW 4000 などのエンジンに適用され、低公害化も促進された。空港周辺の HC, CO, 煙等のエンジン排ガス対策についてもエンジンの高性能化によって完成の域に達した。1980年代には IAE の V 2500 や CFMI の CFM 56 の導入で中・短距離機も高バイパス比化が進み、低騒音で排ガスの少ない、且つ燃料消費率の低い経済的なエンジンが普及した。1990年代には、3~4 発機に相当する機体を双発で推進できるような超大型の高バイパス比エンジンとして GE 90, PW 4084 や Trent などが出現した。バイパス比の増加によって低騒音化が進み、且つ、圧力比とタービン入口温度の上昇と相俟って燃料消費率の着実な低減が行われてきたが、

逆に高温化によって NO<sub>x</sub> の発生も無視できなくなり、E<sup>3</sup> の研究成果に基づく低 NO<sub>x</sub> 燃焼器が採用されるようになった。一方、超音速機（SST）としては、英仏の協同開発による Concorde が 1976 年から営業運航している唯一の機体であるが、騒音は例外的扱いを受けていて規定値を満足していない。米国 NASA を中心に次期先進超音速旅客機の実現を目指して亜音速機並みの低騒音化に向けた研究や NO<sub>x</sub> の高層大気への影響等についての研究対策が実施されてきたが、実開発には至っていない。

エンジンから排出される CO<sub>2</sub> は燃料消費率の低減に比例して少なくなるので運航経済性の要求から弛まなく進められてきた燃料消費率の低減によって効果を上げてきた。しかし、将来的に航空機輸送の増加に伴う CO<sub>2</sub> の総発生量の増加及び他の交通機関等での CO<sub>2</sub> の削減が進む中で航空エンジンでもこれまで以上の積極的な削減対策が望まれる。

このように航空エンジンの環境対策として現時点で特に考慮すべき課題として、騒音低減、NO<sub>x</sub> 低減及び CO<sub>2</sub> 削減の 3 大課題がある。これらに対する適応技術について述べる。

### 3. 騒音対策

#### (1) ジェット騒音の対策

ジェット旅客機運航開始当時は、JT 3 C や JT 4 等で代表される純ターボジェットが主であったため、エンジン騒音の主体はジェット騒音であった。この騒音は排気ジェット速度の約 8 乗に比例して大きくなる性質を有するので、排気ジェット速度の速いターボジェットでは、ジェット騒音が極めて大きく、且つ、現在のように旅客機の離陸直後の上昇角度が大きくない時代では、いつまでも大きな騒音が聞こえているという状態であった。ジェット騒音の周波数はほぼ発生する渦の大きさで決まるが、エンジン出口直後では小さ

い渦のために高周波、後方では渦が大きくなるため低周波数の騒音となり、全体として白色騒音となるが、距離によって低減し難い低周波数の音が地響きのような特得なジェット騒音として聞こえてくる。エンジン出口から始まり、その20 m程度後方までの間で発生するので、飛行中にエンジンで騒音低減対策をするのは困難を伴う。具体的な対策として排気ジェット流の低速化、排気ジェット流の細分化およびそれら併用方式が適用されてきた。

i. 排気ジェット流の低速化：高速の排気ジェット流をエジェクター・ノズルなどによって外部空気を吸入することで低速化する方法である。典型的な例として純ターボジェット Olympus 593 が搭載されている Concorde では、離陸時にアフター・バーナを作動させて推力を増強する必要があることから、騒音が極めて大きくなる。騒音対策としてはスラスト・リバーサとダイバーゼント・ノズルを兼ねた排気ノズルのフラップが離陸時にはエジェクター・ノズルとして作用して騒音低減を計るようになっている。

ii. 排気ジェット流の細分化：高速ガスをローブ・ノズルやコリュゲート・ノズルまたは多管式のノズルなどによって細かく分散させて噴出させ、混合層を薄くすることによって減衰し難い低周波数域の騒音を削減する方法などが考案されて採用された。一例として Boeing 707/JT 3 A の多管式消音装置（通称オルガン・チューブ）がある。これによって騒音が約 10 dB 低減したと言われる<sup>2)</sup>。

iii. 併用型：上記の方法を併用した例として DC-8/JT 4 の排気ノズルがある。通常は花卉状のコリュゲート・ノズルでジェット流を細分化して消音するが、離陸時のように大幅な騒音低減を必要とする場合にはエジェクターを最後方位置に下げて、このコリュゲート・ノズルの外周からエジェクター効果で空気

を導入して噴流速度を低減させて消音を計っていた<sup>3)</sup>。ターボファンエンジンの出現で、排気ノズルによるジェット騒音の対策は一時的に影を潜める、むしろ燃料消費効率向上のためにミキサーが使用されたりもした。その後、次世代超音速輸送機用エンジンの研究が国内外で進められ、ジェット騒音の対策が不可欠となったため、上記のような 1950 年代に考案されたジェット騒音対策技術が形を変えて、再度脚光を浴びるようになった。日本の HYPR（超音速輸送機用推進システム）計画では、菊花形のローブ・ノズルとエジェクター・ノズルとを組み合わせ、且つ、ローブ・ノズルによって新たに生じる高周波数の騒音をノズルのダクト内に貼り付けた多孔質吸音材で吸音するという方式で、エンジン試験まで行った結果、約 15 dB の騒音低減が達成できた<sup>4)</sup>。又、一方、ICAO/FAR の騒音規制値が Stage 2, Stage 3 と段階を踏んで厳しくなってきた結果、現在使用中の低バイパス比ターボファン搭載の騒音規制値を満足しない旧型機は使用できなくなることから Stage 3 の騒音規制値を満足させるために B-707, B-727 等各機種用の改修キット（ハッシュキット）<sup>5)</sup>が開発されているが、これにはジェット騒音の対策として最新の技術で開発されたエジェクター・ノズル等が使用されている。歴史は繰り返すという感が強い。最近ではジェット騒音の少ないターボファンでも更なるジェット騒音低減を狙ってコア側の排気ノズルをギザギザに切り欠いたようなシェブロン・ノズルを採用し、ファン側バイパス流と適切に混合して 3 dB 程度の騒音低減を達している機体もある。

iv. ターボファン化：ターボファンでは排気ジェットのエネルギーの大半を低圧タービンで吸収して、これでファンを駆動し、低速で大量の空気で推進するようにしてあるため、バイパス比が大きくなれば排気ジェットの騒音が大幅に低減する。その代わり、ファ

ンの騒音が顕著となる。このファンからの発生騒音を低減するための対策は総合的に以下の方法がある。

## (2) ターボファンに対する騒音対策

一口にファン騒音と言っても次のような種類の騒音が混在しており、それに合った対策が必要である。

トーン・ノイズ：ターボファンのキーンと言う独特の騒音であり、ファン回転数×ファン動翼枚数で表される動翼通過音の周波数又はその高調波の特定周波数に顕著なピークを有するいわゆるディスクリット騒音である。その発生に寄与する要因としては、ファン又は圧縮機の動翼と静翼の干渉、動翼の圧力場、翼列形状等があり、これに加えてファン動翼先端速度及びエンジン入口のディストーションによってそのレベルが増幅される。

広帯域騒音：上記の特定周波数のトーン・ノイズよりレベルは低いが、比較的広帯域に互った騒音がバックグラウンドに聞こえる。このレベルの大小に寄与する要因としては、動翼先端速度、ファンの負荷、境界層、動翼のウェーキ及び入口の乱れ等がある。

バズ・ソー：離陸後の上昇中など、ファン回転数が高く、空気流量の大きいときには、ファン動翼に流入する空気の相対速度は局部的に音速を超え、その部分から衝撃波が発生する。もし、動翼の出来具合が全く同じであり、個体差がなければ、この衝撃波は、どの動翼からも一定方向に放射されるので、ディスクリットな動翼通過音として聞こえるはずである。しかし、実際には、動翼に製造時の個体差がある等の理由で、衝撃波の放射方向がまちまちで、且つ、時間変動を伴う。そのため動翼通過音及びその高調波を基本としてその上下の各周波数帯に跨る電動ノコを引いた時のようなギューンと言う騒音 (buzz saw) が聞こえることになる。バズ・ソー騒音のレベルに寄与する要因としては、動翼の先端速度、機械的及び空力弾性的な個体差、

エンジン入口の設計等がある。

### i. 騒音発生源での対策

- a. バイパス比を大きくして更に排気騒音を低減する。実例としてJT8DのRefan計画があり、バイパス比を約1.6倍にすることによって10 dB程度の騒音低減が得られたという。
- b. 動翼と静翼やストラットとの間隔を動翼の翼弦長の2倍以上に広げ、動翼からのウェーキ及び圧力場との干渉を避けることによりトーン・ノイズが低減できる。静翼の傾斜、入口案内翼やスナバーの削除も同様の効果が得られる。
- c. 静翼枚数をその上流の動翼枚数の2倍より少し多めにすることで、トーン・ノイズをカット・オフすることができる。この原理はタービン騒音の低減にも応用される。
- d. ファン動翼先端周速度の低減により全体的な騒音レベルが低減できる。しかし、低圧タービンでの仕事を確保するため、段数の増加や減速ギアの追加などの必要性が生じるため、最適化が必要である。

### ii. 発生した騒音を低減する対策

吸音パネルの装着：ファン騒音は特定周波数にピークを有するトーン・ノイズが主体なので周波数に合致した吸音パネルをエンジン入口又はファン出口に貼り付けることによって吸音することができ、比較的容易に騒音を低減することが可能である。その構造と用途によって共鳴型、共鳴・抵抗(吸収)型、及び抵抗型の3種類に大別でき、吸音すべき周波数帯の幅の広さ及び使用環境に応じて選別することができる。

以上の騒音対策技術がターボファンエンジンのどの個所にどのように適用されているかの例を図-1に示す。

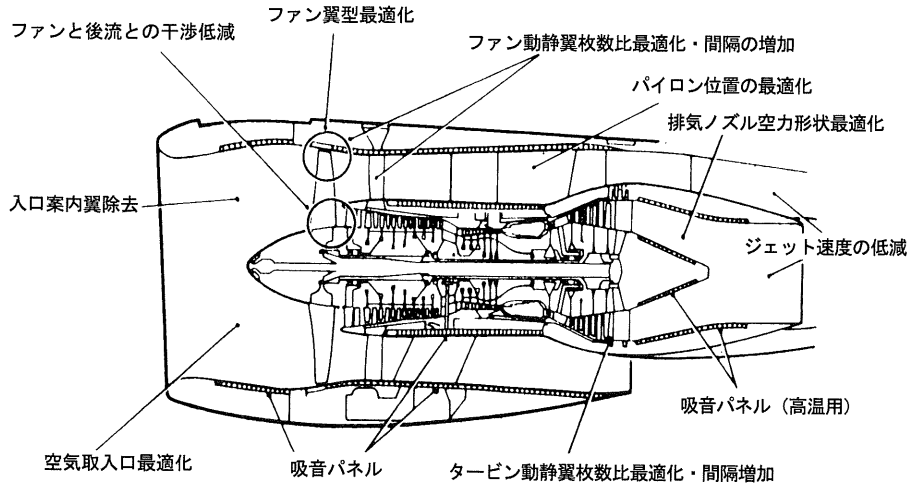


図-1 ターボファンエンジンにおける騒音対策の例<sup>14)</sup>

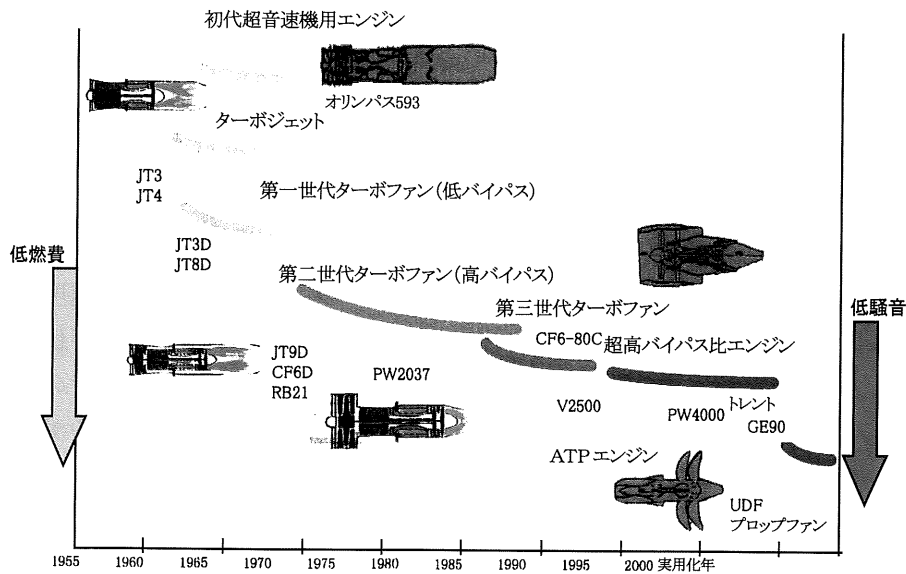


図-2 騒音および燃料消費率の推移

(3) 騒音規制の強化と騒音対策の動向

i. 騒音規制値強化の動向：航空機の型式証明を取得する際に、FAR Part 36, ICAO の Annex 16 に基づいて各国が法令化した騒音適合証明制度が適用されるようになり、Stage 2, 3 (ICAO では Chapter 2, 3) と年を追ってその厳しさが加わってきた。その結果、年代的に航空機騒音の推移を見ると、純ターボジェット、低バイパス比ターボファン、高バイパス比ターボファンとエンジン形態が低騒音で低燃費のものに置き換わってきたことや、騒音低減技術が進歩したこ

とによって騒音レベルが着実に低減してきている (図-2)。しかし、CAEP (航空機環境保全委員会) から提案された騒音規制の更なる強化案が、Chapter 4 として 2006 年以降に申請の新機体に適用されることが ICAO で承認されたことにより更なる騒音低減が必要となった。この Chapter 4 は、Chapter 3 を基に累積値での評価が加わり、離陸直下、離陸側方、着陸の 3 計測点の騒音累積値が、Chapter 3 規制値に対し 10 EPNdB 以上下回る必要があることなど、厳しい要求になっている。このようなことからエンジンでの騒音



対策における技術向上が以下のように限りなく促進されている。

ii. 次世代亜音速機・超音速機共通の騒音低減技術：今後の世界的な動向として従来の騒音対策に加え、亜音速機および超音速機に共通の騒音低減技術として以下のものが考えられる。

- a. ターボ機械としての騒音低減：
- ・回転速度対効率の最適化
  - ・軸方向/回転方向に傾斜したスウェプト・リーン翼の採用
  - ・発生騒音を相殺するアクティブ・ノイズ・コントロール
  - ・3次元非定常CFD（数流体力学）を駆使した低騒音ターボ空力設計
- b. ジェット騒音の低減：
- ・革新CFDを駆使した高効率ミキサ
  - ・LES（過流シミュレーション）手法を駆使した排気ジェット騒音の予測と低減対策
  - ・バイパス比可変の可変サイクルエンジン
  - ・切り欠きのあるシェブロンノズルの採用
- c. エンジンナセルでの対策：
- ・軽量で広帯域傾斜配孔多孔質吸音パネル
  - ・騒音の伝播を妨げるインテークの設計
- 実機に採用するには、これらを如何に軽く、安く、且つ信頼性のあるものに纏め上げるかが課題であり、エンジン性能や整備性も考慮したトレードオフが必要である。

iii. 次世代超音速旅客機での対策：現在運行中の超音速旅客機 Concorde では、離陸

開始時に必要とする大きな推力を得るのに、軍用機と同様にアフターバーナを使用するので、前述のようなエジェクタ方式の消音装置を用いても ICAO/FAR の規定を満足するようなレベルまで騒音を低減することは不可能であった。そのため、現在、超音速旅客機は例外扱いを受けており、FAR 36 では「経済的に相応で、技術的に現実的な最低限の騒音レベルであること」と規定されている。しかし、次世代の SST を実現させるには、騒音レベルが亜音速機並みに低いことが必須条件となる上、Chapter 4 のような更なる規制強化にも対応できるよう現在の Stage 3 から更に数 dB 低いレベルを騒音対策の目標とする必要がある。

次世代の SST 向けに検討されたエンジンの代表例としては、NASA（アメリカ航空宇宙局）の HSCT（高速民間輸送機）計画で最終的に選定されたミキサ・エジェクタ・ノズル付きミックスト・フロー・ターボファン<sup>9)</sup>がある。このエンジンはアフターバーナなしでも離陸上昇できる低バイパス比のターボファンであり、エンジンの後方にエジェクタ・ノズルを装着し、離陸時はこれを開けて外部空気を導き、騒音を低減させようとするものである。但し、このプロジェクトは諸般の情勢から中止され、現在は UEET（超高効率エンジン技術）計画という SST のみならず亜音速機や宇宙も含めた広範囲な目標を持ったプロジェクトに置き換わっている。日本の国家プロジェクトである HYPR 及び、

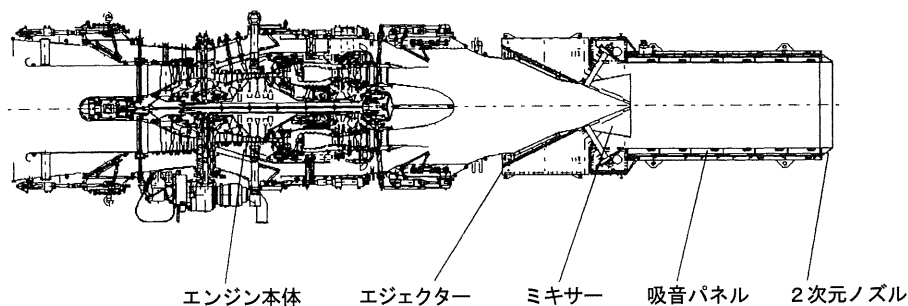


図-3 HYPR エンジン騒音試験での試験形態<sup>9)</sup>

その後継の ESPR（環境適合型次世代超音速推進システムの研究開発）も同様の設計概念に基づいており、3.（1）iii項で述べたように、エジェクタでジェット速度の低減を図ると同時に、ミキサで高周波数の音に変換して吸音材で吸音し、更なる騒音低減を図るものである（図-3）。エジェクタは大きいほど騒音低減効果があるので、これを如何に推力損失や外部抵抗の少ない、且つ、軽量なものにするかが最大の課題である。大型の軽量複合材ダクト等の開発が必要となろう。

#### 4. 排ガス対策

##### （1） エンジン排気ガスの特性<sup>3)</sup>

航空用ガスタービンエンジンの排気ガスで検討の対象となる排出物としては、CO（一酸化炭素）、HC（又は THC）（炭化水素）、NO<sub>x</sub>（窒素酸化物）、スモーク（煙）、SO<sub>x</sub>（硫黄酸化物）および CO<sub>2</sub>（二酸化炭素）がある。これら排出物のエンジン出力に対する発生割合は、CO と HC はアイドル付近の出力の少ない領域で発生量が多いのに対して NO<sub>x</sub> は離陸時等の高出力時の発生量が多いという特性を有する。従って、これらの排出物は空港の近くで多く発生することになるため、EPA の排ガス規制も LTO（着陸・離陸）サイクルと言って航空機の高度の低いところで設定される各エンジン出力における排出量の総和に対して規制値が決められている。スモークは既に 1970 年代には無煙化対策が取られており、全出力領域を通じてスモークは目に見えない程度にまで削減されている。SO<sub>x</sub> は航空エンジンでは燃料中の硫黄成分が 0.3%（実際には 0.1%）以下というように最小限になるよう管理されているので、全出力領域を通して排出量は無視できるほど少ない。CO<sub>2</sub> は燃焼生成物として必ず発生するものであり、燃料消費が少なくなれば CO<sub>2</sub> の排出量もこれに比例して少なくなる。

##### （2） 排ガス規制の動向

1970 年頃、急激な航空機の発着便数の増加によってエンジンからの排気ガスが空港周辺に悪影響を及ぼさないか検討が開始された。当時は航空エンジンの排気ガスの全体に対する寄与率は低いとされていたが、将来、航空輸送の増加に伴う寄与率の増加も考慮し、1973 年、米国 EPA が航空機と航空エンジンによる大気汚染物質の排出規制を制定した。ICAO では、この EPA の規制を検討しながら、1982 年に ICAO Annex 16 の騒音規制に加えて、排気ガスについても基準値が提示された。各国でこれらの基準値を満足するよう研究開発が盛んに行われ、エンジンの高性能化と共に CO、HC、及びスモークに対する対策は完成の域に達した。一方、NO<sub>x</sub> の排出量はエンジンの高温化および高圧力比化によって増加の傾向となり、対策も十分に進められておらず、光化学スモッグや酸性雨に対する影響が懸念されることなどから、ICAO では 1986 年に CAEP-2 で全体的に 20%削減、1996 年の CAEP-3 で更に NO<sub>x</sub> のみ 16%削減（1998 年 CAEP-4 で承認）というように NO<sub>x</sub> については 2 段階にわたって規制強化を行っている。巡航中の NO<sub>x</sub> に対してはまだ規定値はないが、成層圏を高出力で巡航する超音速旅客機から排出される NO<sub>x</sub> の許容量について NASA の HSCT 計画で大掛かりな研究が行われ、燃料 1 kg 当たり 5 g 以下の NO<sub>x</sub> 排出量であれば、1000 機の SST が飛行してもオゾン層に影響を与えないという結論<sup>6)</sup>が出されている。それ以降、この値が各国で SST 用エンジンの NO<sub>x</sub> 低減対策の目標値として一般的に使われている。NO<sub>x</sub> 排出量「5 g/1 kg 燃料」という数値は従来の技術で設計した場合の排出量の 1/7 に相当する厳しいものである。

##### （3） エンジン排出物の減少対策

エンジンからの排出物質の発生原因及びその削減対策は以下の通りである。

スモーク(煙)：エンジンの煙は未燃カーボン、すす、およびその他の粒子からなっており、一般的に局部的に燃料の濃い個所を有する燃料-空気混合状態での熱化学的な現象であり、燃料過剰混合気の酸化現象、および液滴状態での熱分解等が考えられる。現在のエンジンでは、燃料噴射弁に微粒化方式を採用すること等により、一次燃焼域での空気流量の増加による燃料の希薄化、燃料と空気の混合方法の改善等によって煙は見えないのが常識になっている。

CO 及び HC：この両者ともに低出力域で温度及び圧力が充分高くない状態での不完全燃焼が原因で発生する。CO 及び HC の発生量を規定内に低減させるには、アイドルにおいても高い燃焼効率が必要であるが、高圧力比で燃焼効率の高い CF 6 以降のエンジンでは特別な対策を採用しなくても規定を満足させることができている。

NOx：最近の高圧力比、高温度のエンジンではアイドル付近においても CO, HC, スモークの排出量は規制値を満足するまでに低減しているので、残るのは全飛行形態を通じて約 86% を占める NOx の減少対策が必要である。約 9,000 m 以下の対流圏においては、NOx は「悪いオゾン」に加担して光化学スモッグや酸性雨の原因になる。又、超音

速旅客機が飛行する成層圏では地球を紫外線から守る「良いオゾン」を破壊する方向に作用する<sup>9)</sup>。NOx は燃焼温度が高温度になればなるほど発生量が多くなるので、エンジンの高圧力・高温化によってサイクル効率の向上を計り、燃料消費率、即ち CO<sub>2</sub> の低減を図った先進的なエンジンでは逆に NOx は必然的に多くなり、両排出物に調和の取れた対策の必要がある。NOx の発生原因は図-4 に示すように空気中に 78% (体積比) を占める N<sub>2</sub> (窒素) が関与して生じるサーマル NOx が大部分である。NOx は当量比 1 付近 (燃料と空気が化学的に化合して全て燃焼するときの混合比) で火炎温度が高い状態で生成量が多くなる。従って、対策としてはこの混合比を界に希薄化するか、又は、過濃化することである。希薄化した例としては、LPP (希薄予混合予蒸発) 方式<sup>9)</sup> がある。LPP 方式では、空燃比は安定性と効率の限界を損なわない程度に極力低く (希薄に) 制御されている。燃料を予蒸発させ、これを予混合管の空気中に噴射し、均一で粒滴のない混合気として燃焼域に送り込まれるため局所的な高温部の発生が防止でき、結果的に NOx の低減に至るものである。混合気の自己着火や逆火等の恐れがあるので、その制御が必要である。又、逆に混合比を過濃化した方式の例と

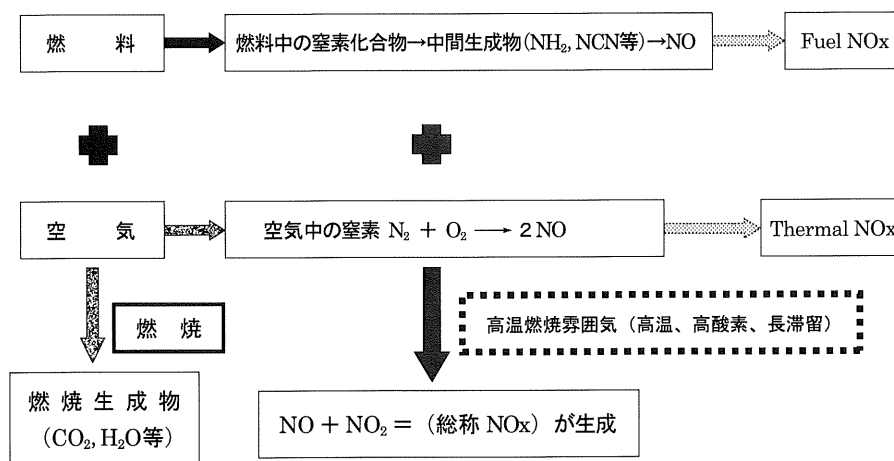


図-4 NOx の生成プロセス<sup>14)</sup>

して RQL (過濃燃焼急冷希薄燃焼) 方式<sup>9)</sup>があり、上記 LPP 方式と並行的に研究が進められた。この方式では、直列に 2 段階になった燃焼器の最初の段で、燃料が極めて濃い状態 (過濃) で供給され、空気中の  $O_2$  (酸素) の全てが燃料の燃焼に消費されてしまい、空気中の  $N_2$  と反応して  $NO_x$  を生成するための  $O_2$  が残存しないようにしてある。2 段階目の燃焼器では、残りの空気が流入して 1 段階目の生成物である CO や未燃燃料と急速に混合しながら完全燃焼に至るが、流入空気量が過剰な状態での燃焼となるため、空燃比が小さく (希薄)、温度が十分に低い (急冷) ため  $NO_x$  の発生は最小限に押さえられる。 $NO_x$  対策には空気・燃料混合比の精密な制御が必要なため、いずれの方式でも燃焼器ライナ冷却用の空気が流入して厳密に設定された空気・燃料混合比を乱さないように冷却空気を必要としない耐熱材料、例えば、セラミックス複合材等の使用が不可欠となる。両方式ともに一長一短があるが、NASA の HSCT 計画では  $NO_x$  発生量が少ないとの理由で LPP 方式を選定した。又、日本の ESPR プロジェクトでも LPP 方式を中心とした研究開発が進められている。

$CO_2 : CO_2$  は水 ( $H_2O$ ) と同様に、エンジンにおいて燃料が燃焼したときに必然的に発生する生成物である。燃料成分が同一であれば、その発生量は燃料消費量に比例するので、燃料消費率の低いエンジンでは  $CO_2$  発生量も少なくなる。 $CO_2$  は地球温暖化に加担すると言われるが、航空エンジンによる加担率は 1% 程度にしか過ぎないと言われている<sup>8)</sup>。しかも、前述のように、高バイパス比エンジンの導入及びその発展型の開発により、燃料消費率は年々減少の一途を辿っている。これを可能にしたのは、タービン入口温度の上昇とそれにマッチした全体圧力比の上昇であり、これは、耐熱材料及び冷却技術の向上並びに圧縮機の設計技術の向上に負うと

ころが大きい。しかし、地球温暖化防止の議論が進み、航空分野以外での  $CO_2$  削減対策も進展すると、航空分野の相対的な寄与率が増加すること、及び航空輸送が今後も増加の一途を辿り、それによる  $CO_2$  の総発生量は、上記のような技術進歩があったとしても、2010 年には 1990 年当時の 50% 増になると予想されることなどから、 $CO_2$  の総発生量を 2010 年においても 1990 年並みに低減するには機体及びエンジンの双方での対策が必要であり、エンジン側でその 1/2 の 25% を削減しようとする、従来の延長線上での高温化、高圧力比化によるエンジンの効率向上に加えて、タービンや燃焼器用の冷却空気流量の節約及びエンジンの重量軽減等も含めて革新的な技術開発が必要である。エンジン重量軽減には、軽量高強度の複合材等の開発、損傷許容設計のような限界設計等の開発が必要である。

## 5. 環境に優しいエンジンの研究開発状況

### (1) 米国

UEET (超高効率エンジン技術)<sup>10)</sup>: NASA が中心になって、各企業や研究所が参加して実施中であり、亜音速旅客機や超音速旅客機から宇宙往還機に至る広い応用範囲を狙って、燃料消費量、即ち  $CO_2$  が従来機より 15% 低いような高効率で、 $NO_x$  排出量が 1996 年の ICAO 規定値より 70% も少ない革新的なエンジン技術を研究開発するプロジェクトである。高負荷ターボ機械、先進高温材料と構造、低公害先進燃焼器技術、知的エンジン制御およびエンジン・機体統合技術等 7 項目の技術分野で技術レベル向上のための研究開発が進行中である。

### (2) 欧州

EEFAE (欧州委員会高効率環境適合型航空エンジン)<sup>11)</sup>

9 カ国から 15 の企業や機関が参加して実施中のプロジェクトで、高効率で環境に優し

い航空用ガスタービンエンジン技術をステップアップしようとするものである。その結果として21世紀の世界中の人々がより綺麗で、より静かで、より安全で、且つ、より経済的に旅行できるようになるとしている。

このプロジェクトは以下のように大きく分けて2つのプロジェクトから成っている。

ANTLE（入手可能短期低排出物供試体）<sup>11,12)</sup> 短期計画で実施中のプロジェクトで、推力40,000~50,000 lbの広胴機用の3軸式エンジンを狙い、部品点数の削減を図った上、1990年代の技術に対して燃料消費(CO<sub>2</sub>)を12%低減し、NO<sub>x</sub>を1996年ICAO規定値より60%削減し、更にコストとライフサイクル費用を低減することを目標としている。要素の台上試験が実施中であり、エンジンとしては2004年初頭に初試験が計画されている。

CLEAN（環境に優しいエンジンの要素確認供試体）<sup>11,12)</sup> 中長期計画で2020年代の狭胴機用のエンジンを狙ったプロジェクトで、CO<sub>2</sub>を20%、NO<sub>x</sub>を80%削減しようとして計画されているものである。この大幅な燃料消費率削減のため熱交換器を装着した形態の研究が進められている。エンジンとしての完成には時間が掛かるが、台上試験が2003年中頃に行われる予定である。

### (3) 日本

ESPR（環境適合型次世代超音速推進システム研究開発）<sup>13)</sup>：ESPRプロジェクトは、1999年3月に10年間のプロジェクトを終了したHYPR（超音速輸送機用推進システム研究開発）に引き続いて開始されたプロジェクトであり、1999年から5年間かけて研究開発しようとするものである。先行のHYPR<sup>4)</sup>では、マッハ5級の極超音速機(HST)の推進システムとして必要な技術を開発することを目標に、マッハ0から3までをカバーする可変サイクル・ターボファンエンジン(VCE)、マッハ3から5までをカバ

ーするラムジェット及びこれらを結合したコンバインド・サイクル・エンジン(CCE)を試作して高空試験を実施するなど、超音速輸送機用推進システムのコンセプトが実現可能であることを実証した。一方、VCEについては、その中核をなす超高温ガスジェネレーター(HTCE)を試作して、世界でも最高レベルのタービン入口温度1700°Cでの連続運転にも成功した。騒音対策およびNO<sub>x</sub>対策においても目標値を達成できる見通しを得ている。

ESPRプロジェクトでは、Concordeの後継機を狙ってマッハ数2.2級のSSTへの搭載を想定しているが、特にSSTの実現には不可欠の条件である環境適合性に重点をおいているのが特徴である。プロジェクトの大きな目標は、次の4項目である。

- ・低騒音化：HYPRから更に3 dB低減
- ・低NO<sub>x</sub>化：巡航条件で5 g/kg燃料
- ・CO<sub>2</sub>削減：現状から燃料消費25%削減
- ・システムインテグレーション：上記3項目の相互に相反する技術目標を実現するための統合的評価およびHYPR試作エンジンに新規開発部品を組込んで実証試験実施

このプロジェクトには、HYPRと同様に海外の4大エンジン・メーカーも参加し、これまでに以下のような成果が報告されている。

低騒音化では、排気ジェット騒音の減少対策としてローブ・ミキサ・ノズルに耐熱性多孔質吸音材を貼り付けた形態での縮小模型試験やLES手法を駆使した流れ場の解析等により、騒音低減の目標値を達成できることを確認した。今後、HYPRで試作した実エンジンを使って騒音試験を行い、これを実証する計画である。ファン騒音の減少対策としてCFDによりスウェプト・リーン翼の流れの解析を行い、模型試験により予測通りの騒音低減が達成できることを確認した。

低NO<sub>x</sub>化の研究としては、LPP燃焼器

の部分要素試験で目標値を達成したのに続いて、実燃焼器での台上試験が行われる計画である。また、LPP 燃焼器における不安定現象を予防するため AI (人工知能) 燃焼制御の研究も成功裏に実施中である。更に、冷却を最小限にできる CMC (セラミックス複合材) で LPP 燃焼器ライナを試作し、製造技術の確立を図るとともに燃焼試験に供試してその健全性を確認していく計画である。

CO<sub>2</sub> の削減では、燃料消費率の低減を目標に、部品の軽量化、冷却空気流量の半減化および最適化燃料制御技術などについて研究開発が進められている。軽量化の研究では、MMC (金属基複合材) のファンロータへの適用、CMC のタービン静翼等への適用が研究されている。冷却空気の削減に関しては、部品の温度を精度良く推定できる解析技術の開発および少ない冷却空気流量でも冷却効果の高いトランスピレーション (染み出し) 冷却技術の開発等が行われている。

## 6. ま と め

以上述べたような技術が開発された暁には、SST 用エンジンのみならず、将来の亜音速機用エンジンや産業用ガスタービンの分野にも適用可能であり、地球の環境保全に貢献するものと期待される。

## 文 献

- 1) 石澤, 「航空用ガスタービンエンジンの変遷と将来展望」, ターボ機械第 25 巻第 1 号, 1997 年 1 月
- 2) 疋田, 「ジェット旅客機と騒音」, 朝日新聞社刊「世界の翼」1950, p. 146
- 3) 比良, 「ジェットエンジンとその整備」, オーム文庫, p. 85
- 4) 山口佳和, 石澤和彦, 「HYPR (超音速輸送機用推進システム) プロジェクトの概要」, 「日本ガスタービン学会誌」, 2000 年 1 月
- 5) “QNC’s route Stage 3” “Flight International”, 25-31, 1995, p. 25

- 6) Wilhite and Other, “HSCT research picks up speed”, Aerospace America/August 1997 p. 25
- 7) Bahr and Others, “Technology for the Reduction of Aircraft Turbine Engine Pollutant Emissions”, ICAS Paper No. 74-31, Ninth Congress of the ICAS August 25-30, 1974
- 8) Moxon, “Lean and Clean”, Flight International, 12-18 August, 1992, p. 67
- 9) Graber, Jr., “Low NOx Combustor”, HSR Propulsion Project Overview, <http://www.lerc.nasa.gov/WWW/HSR/HSROver>.
- 10) Joe Shaw, “Ultra Efficient Engine Technology (Ueet) Program”, <http://www.ueet.nasa.gov/>
- 11) Clean engines herald environment-friendly future, Europa Homepage <http://europa.eu.int/comm/research/growth>
- 12) Guy Norris/Los Angeles, “Green Machines”, Flight International, 17-30 December 2002, p. 34
- 13) 畑幸宏, 藤綱義行, 「環境適合型超音速輸送機用推進システムの研究 (ESPR プロジェクト)」, 航空技術協会「航空技術」, 2002 年 5 月
- 14) 石澤和彦「環境適合型航空機用エンジンの研究開発動向」, 航空技術協会, 「航空技術」, 2000 年 1 月

## 著 者 略 歴

- 1961 年 : 石川島播磨重工業 (IHI) 入社。
- 1972 年～ : 騒音対策設計/実証試験を担当。ICAO 排ガス規制会議を支援。
- 1980 年～ : T-4 中等練習機 (Blue Impulse) 用 F 3 エンジン開発でチーフ・エンジニア。
- 1988 年～ : 技術部長として防衛庁向け航空エンジン全機種の技術取纏め。
- 1991 年～ : 日本航空機エンジン協会 (JAEC) 技術部長として V 2500-A 5/D 5 の開発を担当。
- 1994 年～ : IHI 技術開発事業部長としてエンジンの研究・開発全般の統括。
- 1997 年～ : 超音速輸送機用推進システム技術研究組合 (HYPR/ESPR) 常務理事。
- 2000 年～ : 航空ジャーナリスト協会理事としてエンジン資料等の調査・保存活動をして現在に至る。
- 著 書 : 三樹書房刊「海軍特殊攻撃機『橘花』日本初のジェットエンジン・ネ 20 の技術検証」

## 研究報告

## 地上デジタルテレビ放送の航空機による遅延波障害の予測\*

菅原 政之\*\* 大沼 保憲\*\* 末永 昌久\*\*\* 伊藤 士郎\*\*\*\*

## 1. まえがき

地上テレビ放送を受信しているとき、近くを航空機が通過すると、受信画面が乱れたり、揺れたり、明るさが変化したりすることがある。この現象は、航空機による電波障害、特に、フラッター障害と呼ばれている。これは、航空機による反射電波が放送局から受信者への直接波に干渉するために起こる。これまで、この種障害の程度を決める種々の要因が明らかにされ、それに基づいたフラッター障害の予測法が導かれた<sup>1)</sup>。

これまで対象にしてきた放送は、在来のアナログ方式による地上テレビ放送である。2003年末からの開始が予定されている地上デジタルテレビ放送に対しては、また別の観点からの取り組みが必要である。地上テレビ放送にデジタル方式が採用される目的の一つは、アナログ方式では克服が困難であった建造物からの反射波による障害、いわゆるマ

ルチパス伝搬に伴うゴースト障害の解消である。同じく反射波に起因する航空機による電波障害が、デジタル方式の導入によって抑圧されるかどうかの検討と、対応する障害予測法を用意して置くことが必要である。

## 2. 地上デジタルテレビ方式の特徴

地上デジタル放送の方式は、マルチキャリアを用いる OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, 直交周波数分割多重) をベースにした伝送符号化を採用し、さまざまな受信環境に適した伝送特性を選択できる特徴を備えている<sup>2)</sup>。表-1 に、地上デジタルテレビ伝送の基本パラメータを掲げる。

一方、放送番組を伝送するネットワークには、周波数の効率的な利用のために、単一周波数ネットワーク (SFN) が採用される。すなわち、図-1 に示すように、同じネットワークに属す送信局には全て同一の周波数が割り当てられる。従って、例えば、図-1 の TV 2 の受信者が送信局 S 2 を希望局として受信するときには、送信局 S 3 は妨害局となる。希望波に比べて、伝搬距離の差  $D_u - D_a$  の分だけ遅れた妨害波が到来する。逆に、S 3 を希望波とすれば、S 2 の電波が  $D_u - D_a$  の分だけ進んだ妨害波になる。このように、この地上デジタルテレビ放送では、遅れ及び進み妨害波への対処が必須である。また、建造物 B からの反射波も同列に扱うことができるので、このことはゴースト障害対策上も必要な条件である。同じく反射波であって

\* Prediction of Intereference with Reception of the Terrestrial Digital Television owing to a Delayed Signal via an Aircraft, by Masayuki Sugawara, Yasunori Ohnuma, Masahisa Suenaga and Shiro Ito (Noise and Vibration Division, Aviation Environment Research Center)

\*\* (財)空港環境整備協会 航空環境研究センター 騒音振動部

\*\*\* (財)空港環境整備協会 航空環境研究センター 騒音振動部長

\*\*\*\* (財)空港環境整備協会 航空環境研究センター 顧問

も、航空機からの反射波はドップラーシフトによって、周波数が変化している点が異なる。

遅れ及び進み妨害波への対処法として、地上デジタルテレビ放送では、ガードインターバルを付加する方策が採られている。マルチキャリア方式を用いているので、1シンボルに割り付けうる時間間隔（1シンボル期間）を長くとることができる。図-2に示すように、有効シンボル期間  $T_u$  の信号波形を巡回して繰り返すことによって、その一部をガードインターバル GI に移す。GI の分だけ伝送効率も減少するものの、有効シンボル期間と GI の和の期間内であれば、どこに  $T_u$  を選んでも、妨害波の影響を軽減できる。すなわち、 $t_p + t_d = GI$  に選べば、進み時間が  $t_p$  ま

表-1 地上デジタルテレビ伝送基本パラメータ抜粋

	モード1	モード2	モード3
OFDMセグメント数	13		
帯域幅	5.575 MHz		
キャリア間隔	3.968kHz	1.984kHz	0.992kHz
キャリア数	1405	2809	5617
変調方式	DQPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM		
有効シンボル長	252 $\mu$ s	504 $\mu$ s	1,008 $\mu$ s
ガードインターバル長	有効シンボル長の1/4, 1/8, 1/16, 1/32		

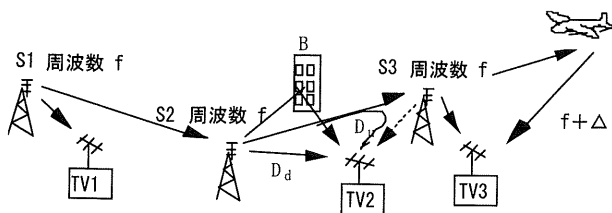


図-1 単一周波数ネットワーク

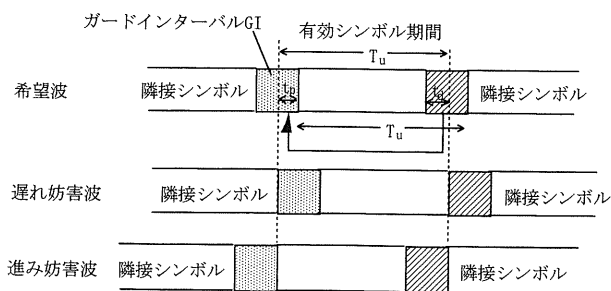


図-2 ガードインターバルとその効果

で及び遅れ時間が  $t_d$  までの妨害波であれば、選択されたシンボル期間に、隣接シンボルの信号が混入することはない。

しかし、航空機反射波が妨害波となるときの、航空機の移動とともに、伝搬路長が変化するために、反射波の周波数はドップラーシフト（=伝搬路長の変化速度×電波の周波数/電波の速度）を受ける。妨害波の周波数が、希望波の周波数と同一であるという単一周波数ネットワークの前提条件が破られるので、この場合、障害が引き起こされる恐れがある。

この地上デジタルテレビ放送のもう一つの特徴は、全て UHF 帯の電波が使用されることである。これまでの航空機フラッター障害に関する対策、調査と測定はほとんど VHF 帯テレビを対象に行われてきた。これは、障害がもつばら VHF 帯で発生していたためである。UHF 帯へ移行することの影響については、障害予測法の UHF 帯へ適用性を含めて、検討が必要である。

### 3. 航空機による電波障害の VHF 帯と UHF 帯での相違

航空機フラッター障害の発生が、VHF 帯と UHF 帯とでどのように相違するかを比較するために、また、実績が少ないこの予測法の UHF 帯への適用性を確認するために、2000年10月24日～25日、大阪測定実験を実施した。すなわち、生駒山から送信される NHK 総合テレビ (Ch 2: VHF) 及びテレビ大阪 (Ch 19: UHF) の電波を対象に、伊丹空港の周辺で、着陸体勢にある航空機による受信への影響を観測した。

図-3は、着陸コースの平面図と立面図である。航空機は俯角3度、時速277.8 kmで降下する。あわせて、図-3には、5箇所の測定点の配置と送信点及び航空機着陸コースの位置関係の概略を示す。測定点の選定にあたっては、調査目的達成のために、できるだけ



航空機の影響が出やすいと予想される場所で、かつ、希望波強度が比較的弱い受信アンテナ高を選んだ。今回観測された障害の状況は、従って、この地域での受信実態ではない。

表-2は、各測定点で選定した受信アンテナ地上高とそのときの電界強度の一覧である。受信電界強度は、同じく表-2に示した各測定点で想定される自由空間電界強度に比べて、Ch. 2で17 dB~33 dB, Ch. 19では14 dB~35 dB, 低下しており、非常に悪い受信条件の位置が選ばれていることが分かる。

伊丹空港では、大型から小型まで、多種類の航空機が発着するが、そのなかで影響が最もしやすい大型機(B 747 及び B 777)を抜き出して、航空機が受信点の上空を通過する

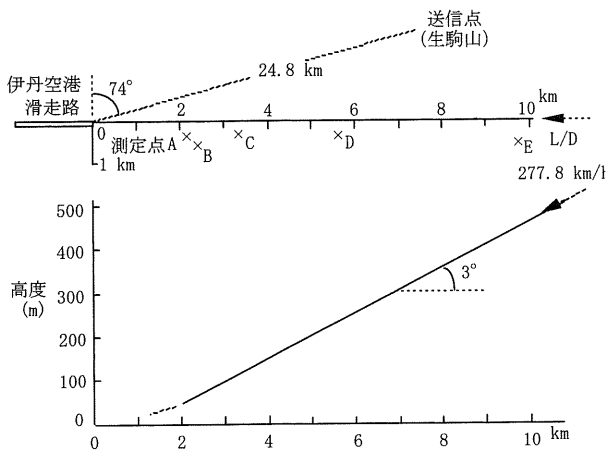


図-3 測定点と送信点及び航空機着陸コースの位置関係

表-2 測定点における電界強度

測定点	Ch	受信電界強度[受信アンテナ高] (dB, 0dB=1 μV/m) (m)	自由空間電界強度計算値 (dB, 0dB=1 μV/m)
A	2	81.6[6m]	98.7
	19	89.5[7m]	103.4
B	2	79.1[6m]	98.9
	19	83.9[7m]	103.5
C	2	73.5[6m]	99.2
	19	89.0[7m]	103.9
D	2	71.2[7m]	100.1
	19	72.5[8m]	104.8
E	2	68.6[6m]	102.0
	19	71.9[7m]	106.7

ときの受信画像に及ぼす影響、影響の Ch. 2 と Ch. 19 での相違を調べ、また、障害の予測と実際との比較を行った。障害予測計算プログラムは、当初、機体を47枚の長方形反射板で構成するモデルを使用していたが、その後、UHF帯への適用性の拡大を目指して、1091枚構成モデルに変更した<sup>1)</sup>。

図-4は、大阪測定実験の結論ともいえるべき結果を示している。航空機通過時の受信画面の画質を、5段階評価の評点(評点1:「妨害がひどくて画にならない」~評点5:「妨害が認められない」)で表してある。上述のように、大型機だけの結果であるが、実測に関しては、同じ航空機でも飛来の度に、多少とも航空路に相違があるためか、妨害の程度に差異を生じる。従って、図-4では、実測の評価は棒状で示す広がりを持っていて、破線が Ch. 2, 実線が Ch. 19 の実測結果である。VHF, UHFチャンネルとも0.5~1ランク程度のばらつきが見られる。影響が軽微であった測定点Bを除いて、実測された障害は、VHFチャンネルに比べてUHFチャンネルで、0.5~2ランク程度の障害の軽減が認められる。これまでの「VHFに比べてUHFでは障害が少ない」の通説と一致している。

一方、大型航空機が上空を通過するときの

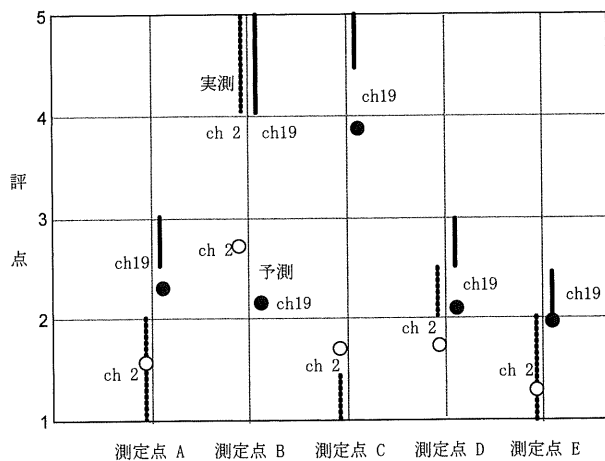


図-4 画質評価の予測値と実測値の比較

障害を予測し、その結果を図-4に丸印で記入してある(○: Ch. 2, ●: Ch. 19)。この計算では、B 747が決まった着陸コースを辿るので、ばらつきは生じない。障害の予測計算では、結果を、受信機入力における希望波対妨害波比(DU比)で表現する。従って、評点で表される実測結果と照合するためには、DU比と評点の関係が必要になる。なお、ここでいうDU比は、画面の揺れの周波数と航空機反射波の遅れ時間の効果を勘案した評価DU比(PDUR)である<sup>1)</sup>。

図-5は、(財)電波技術協会が、放送文化基金の昭和61年度の援助・助成を受けて行った実験結果の一部で、DU比と5段階評点との平均的な関係を与える<sup>3)</sup>。この関係を利用して、予測計算で得られた航空機通過時のPDURの最悪値を評点に変換して、図-4に記入してある。

図-4で、障害の実測値と予測値を比較すると、測定点Bを除いて、両者は非常によく対応している。なぜ測定点Bで予想が当たらなかったのかは不明である。予測計算で無視した航空機反射波が途中の建造物等で受ける減衰の影響が無視できなかったのかも知れない。でも、これまでのVHF帯での実績と考え合せて<sup>1)</sup>、まずは、この予測計算法はUHF帯を含めて実用に供し得ると考える。

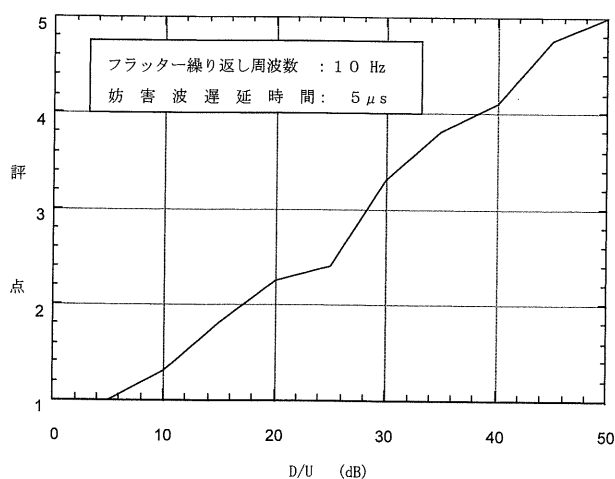


図-5 DU比と画像5段階評点の平均的な関係

実測結果はともかくとして、測定点Bでの予測値が示すように、条件によっては、VHF帯に比べてUHF帯で障害が悪化する可能性もある。しかし、UHF帯はVHF帯に比べて、ビル等の地物による減衰が大きいので、受信者が良好な受信状態を求めて、受信アンテナの設置位置を調整し、必要な希望波強度が確保されて障害が減少することを期待できる。一方、VHF帯と同じサービスエリアを確保しようとするれば、UHF帯では、送信アンテナをより高くすることが必要である。その場合、航空機に当たる電波の強さはほぼ変わらず、受信者に届く電波が強められて、DU比が改善されるので障害が軽減される。従って、地上デジタル放送に、VHF帯に代えてUHF帯が使用されることで航空機電波障害の軽減効果が期待できる。

なお、この大阪測定実験では、同じく生駒山から送信されていた地上デジタルテレビ実験局の電波(Ch. 15)の観測を平行して実施した。それには、住友電気工業株式会社の協力を得て、同社システム事業部の地上デジタル放送用電波測定車による測定を行った。実験局が、疑似雑音符号によって変調されている状態で、符号誤り率(BER)の測定によって、航空機からの反射波の影響を観測した。

地上デジタルテレビ放送で採用される誤り訂正符号のうち、外符号(Reed-Solomon符号)による訂正を外した状態で、BER =  $2 \times 10^{-4}$  が確保されるとき、通常、疑似エラーフリーとみなされる。この大阪測定実験では、航空機の影響によって、符号誤り率がこの基準を超えて劣化することはなかったので、地上デジタルテレビ放送への航空機の影響は、ごく少ないのではとの感触を得ていた。

しかし、2002年7月に実施され、筆者らも参加した(財)電波技術協会及び住友電気工業(株)による観測では、場所によっては、受

信アンテナ高を選んだとき、航空機の影響により受信画像が破綻することがあった。2000年の実験と同じく生駒山の実験局を対象に、ただし、通常の画像によって変調された電波を観測したもので、現在、データの分析が進められている。

#### 4. 周波数変化量の許容限界

地上デジタル放送は、単一周波数ネットワークの採用を基本として計画されている。その場合、同一ネットワークに属す送信局相互の周波数差が問題になるので、送信周波数を規格内に抑える必要がある。モードと変調方式によって異なるが、モード3で64QAMの場合、2つの送信局のレベル差が3dBのときに、周波数許容誤差は当面の目安として1Hzであるとされている<sup>2)</sup>。

航空機からの反射波の場合、本質的にドップラーシフトによる周波数の変化を伴い、DU比も大きくに変化する。この問題での周波数変化の許容限界を調べるために、(財)電波技術協会において、放送文化基金の平成12年度援助・助成による「地上デジタルテレビ放送の航空機による遅延波障害の研究・委員会」の下で、室内実験が行われた<sup>4)</sup>。ここでは、その結果を基に、予測計算プログラムに組み込むべき周波数変化の許容量に関する実験式を導く。

##### 4.1 周波数偏差許容量と受信CN比への依存性

図-6は、DU比と周波数変化の許容量の関係を表し、○印はC/Nを27dBに設定したときの実験結果である。この結果に基づいて、周波数変化の許容限界すなわち許容偏差として、次のような実験式を導いた。

$$\Delta F = 10 \left( \frac{D/U - C - 5.9}{3.5} \right)^{1/3} \text{ fcs} \quad (1)$$

ただし、

$\Delta F$  : 許容周波数偏差 (Hz)

fcs : キャリア間隔 (kHz, Mode 1 : 4

kHz, Mode 2 : 2 kHz, Mode 3 : 1 kHz)

C : CN比に依存する定数で、後で示すように、C/N=27dBのとき、C=0である。

図-6に引いた実線は、C=0での式(1)を描いたもので、実験結果を安全側で近似している。この曲線は、Cの値に従って、横軸方向に平行移動する。CN比が27dBより大きければ左方向に、小さければ右方向へ移動する。

図-7で、○印を結ぶ線はCN比に依存するこの移動量に関する実験結果である。これ

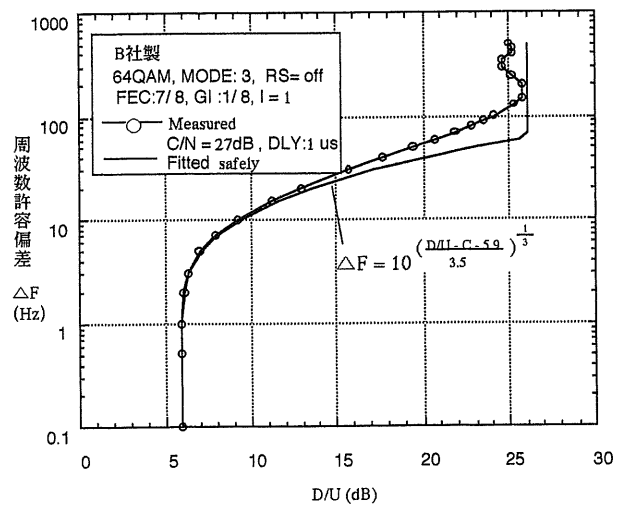


図-6 DU比と周波数許容偏差の関係

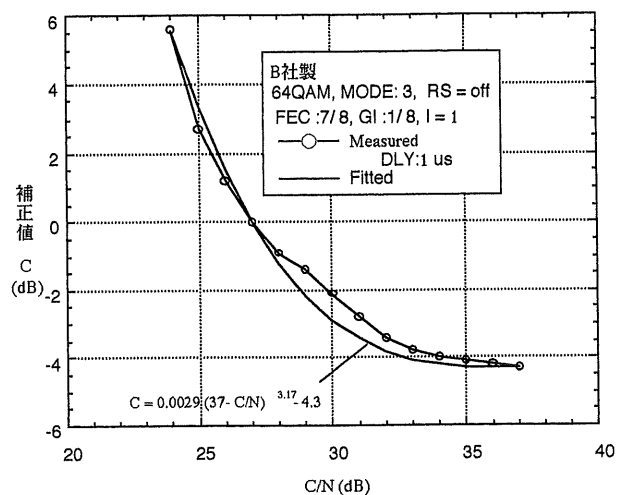


図-7 補正值CのCN比依存性

を近似する実験式として、図中の実線で描かれるような次式を導いた。

$$C = 0.0029 [37.0 - C/N(\text{dB})]^{3.17} - 4.3 \quad (\text{dB}) \quad (2)$$

### 4.2 受信電界強度と CN 比の関係

周波数偏差の許容量が CN 比に依存するので、障害の予測にあたっては、対象受信系の CN 比を決定することが必要になる。しかし、個々の受信系の性能に立ち入ることは、実際上不可能なので、標準的な受信系をモデルとして設定しておくことにする。この場合、CN 比は受信電界強度と 1:1 に対応する。

受信機の入力端子における受信電力は次式で与えられる。

$$P_r = \frac{1}{73.1} \left( \frac{\lambda E}{\pi 2} \right)^2 \frac{G}{L} \quad (\text{W}) \quad (3)$$

ただし、

E : 受信電界強度 (V/m)

$\lambda$  : 電波の波長 (m)

G : 受信アンテナの利得 (半波長ダイポール比) (G 倍)

L : フィーダー損等 (1/L 倍に減衰)

である。

一方、雑音電力は外来雑音と受信機の内部雑音からなり、外来雑音は、主として、人工雑音とアンテナビームが大地等を照らすことによる熱雑音である。従って、雑音電力は、

$$P_n = k \left\{ \frac{T_s + T_o}{L} + \left( 1 - \frac{1}{L} \right) T_o + (F - 1) T_o \right\} B \\ = k \left( \frac{T_s}{L} + F T_o \right) B \quad (\text{W}) \quad (4)$$

ただし、

F : 受信機の総合雑音指数 (倍)

k : ボルツマン定数 ( $1.38 \times 10^{-23} \text{ W s} / \text{K}$ )

$T_o$  : 周囲温度 (絶対温度, K)

$T_s$  : 外来雑音温度 (K)

L : フィーダー損等 (1/L 倍に減衰)

B : 受信機の雑音帯域幅 (Hz)

である。従って、

$$\frac{C}{N} = \frac{P_r}{P_n} = \frac{G}{73.1k(T_s + LFT_o)B} \left( \frac{\lambda E}{\pi 2} \right)^2 \quad (5)$$

変形して、

$$E = \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\frac{73.1k(T_s + LFT_o)B}{G} \frac{C}{N}} \quad (\text{V/m}) \quad (6)$$

いま、 $B = 5.6 \text{ MHz}$  とすると、

$$E_{\mu\text{V}} = 1.67 \times 10^{-3} F_{\text{MHz}} \sqrt{\frac{T_s + LFT_o}{G}} \sqrt{\frac{C}{N}} \quad (\mu\text{V/m}) \quad (7)$$

ただし、 $F_{\text{MHz}}$  は MHz で表した周波数である。

想定する受信系として、通信技術審議会で審議されたもののうち、表-3 に示す「固定受信 (ブースターなし)」を用いる。

周波数を 770 MHz, そして  $T_s = 200 \text{ K}$ ,  $T_o = 300 \text{ K}$  とすると、

$$E_{\mu\text{V}} = 21.0 \sqrt{\frac{LF + 0.67}{G}} \sqrt{\frac{C}{N}} \quad (\mu\text{V/m}) \quad (8)$$

ここで、 $F = 7 \text{ dB}$ ,  $L = 3 \text{ dB}$ ,  $G = 10 \text{ dB}$  とすると、

表-3 地上デジタルテレビジョン放送の回線設計の例 (パラメータは「地上テレビジョン放送等置局技術委員会分科会資料 98-4-2」より引用)

受信形態	固定受信 (ブースターあり)		固定受信 (ブースターなし)	
	470	770	470	770
周波数 (MHz)	470	770	470	770
OFDM キャリア変調方式	64QAM			
内符号の符号化率	7/8			
所要 CN (dB)	22			
装置化マージン (dB)	3			
受信機所要 CN (dB)	25			
干渉マージン (dB)	2			
マルチパスマージン (dB)	1			
受信機総合雑音指数 (dB)	3.3		7	
受信機雑音帯域幅 (MHz)	5.6			
外来雑音温度 (K)	700	200	700	200
周囲温度 (K)	300			
受信アンテナ利得 (dB)	8	10	8	10
フィーダー損等 (dB)	2		3	
$E_{\mu\text{V}} - \text{CN}$ (dB)	21.7	22.5	25.1	26.7
所要電界強度 (dB $\mu\text{V/m}$ )	49.7	50.5	53.1	54.7

$$E_{\mu V} = 21.0 \sqrt{\frac{2 \times 5 + 0.67}{10}} \sqrt{\frac{C}{N}}$$

$$= 21.7 \sqrt{\frac{C}{N}} \quad (\mu V/m) \quad (9)$$

電界強度をデシベル (0 dB = 1 μV/m) で表すと,

$$E_{dB\mu} = \frac{C}{N} (dB) + 26.7 \quad (10)$$

である。従って、式(2)を  $E_{dB\mu}$  を用いて表すならば,

$$C = 0.0029 [63.7 - E_{dB\mu}]^{3.17} - 4.3 \quad (dB) \quad (11)$$

となり、希望波の受信電界強度を用いることで、C/N を考慮した障害の判定が可能になる。

### 4.3 ガードインターバルを超える遅延波への対応

ガードインターバルは、例えば、モード3で、有効シンボル期間の1/8に選ばれると、126 μsである。モード1であれば、31.5 μsである。これが、進みと遅れ妨害波に分割されたとしても、通常、航空機反射波の遅延時間がそれを超えることは考えにくい。

しかし、図-1で、TV 2がS2を希望波として受信しているとき、S3の電波が航空機で反射されて妨害波になりうるときは、送信局の配置と航空機及び受信点の位置関係によっては、非常に大きい遅延時間が生じうる。

従って、障害予測プログラムには、この関係の対応を組み込んでおくことが必要である。そのためここでは、NHK 技術研究所で行われた実験の結果を利用する。実験は、モード1, 64 QAMで行われ、妨害波の遅延時間を、0 μs ~ 100 μsの範囲で変化したときに、必要となる混信保護比を求めている。航空機反射波のように、妨害波がドップラーシフトを受けて、周波数が変化する妨害波に対しては、実験結果がそのまま利用できない恐れがある。しかし、重要な要素とはならない問題なので、そのまま利用する。

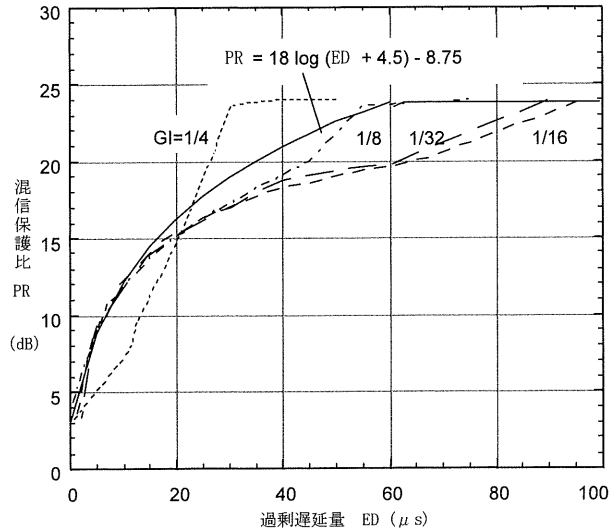


図-8 過剰遅延量と混信保護比の関係

図-8は、実験結果を、過剰遅延量ED (μs, ED = 妨害波の遅延量 - GI × 0.7) で描き直してある。ガードインターバルGIの大きさによってばらつきはあるものの、図中に実線で示した以下の実験式でおおよそ近似できる。すなわち,

$$PR = 18 \log(ED + 4.5) - 8.75 \quad (dB) \quad (12)$$

図-6及び図-7に示した(財)電波技術協会の実験結果では、遅延量が十分ガードインターバル期間内で、CN比が27 dBのとき、混信保護比に相当する値は6 dBであった。その結果と整合性をとるために、式(12)を以下のように変形する。

$$PR = 18 \log(EB + 4.5) - C - 5.75 \quad (dB) \quad (13)$$

ただし、Cはさきに式(2), (11)で示した量であり、混信保護比の上限は27 - Cとする。遅延時間が非常に大きくて、かつ、ドップラーシフトによる大きな周波数変化が生じるときには、PR = 27 - C (dB) とすることが安全かも知れないが、今後の課題としておく。

以上の結果をまとめると、障害予測のためのアルゴリズムとして、図-9に掲げる流れ図が得られる。従来のアナログ対応の障害予測法の障害判定部を、このアルゴリズムで置

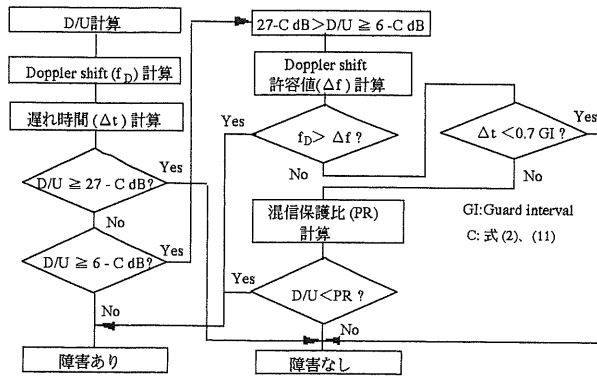


図-9 障害判定の手順

き換えて、デジタル対応の予測プログラムを作成した。

## 5. む す び

この障害判定手順を組み込んだ「地上デジタルテレビ放送の航空機による遅延波障害の予測法」を、計算機プログラムとして作成した。本文中で述べたように、2000年10月のデジタルテレビ実験局を対象とした大阪測定では、各測定点の観測で障害は認められず、また、この予測プログラムによる計算でも、各測定点で障害の恐れはないと判定された。

しかし、2002年7月の大阪測定で、地点によっては、受信アンテナの高さを選べば、航空機の影響による受信画像の破綻が生じることが確認された。地上デジタルテレビでも、航空機による障害がなしとはしないのである。放送文化基金の平成13年度助成・援助により、「地上デジタルテレビ放送の航空機による遅延波障害の研究2・委員会」(電波技術協会)の下で、測定結果の分析が進められていて、ビル等からの反射波が、航空機反射波による妨害を助長するとの疑いもある。

今後、受信環境(航空機の影響がないときの)いわゆるマルチパスの状況を、予測法に組み込むことを検討してゆく。

**謝 辞** 2000年10月の大阪測定において、測定場所の使用許可に関連して、大阪航空局周辺環境課及び大阪市公園課のご配慮に感謝します。

また、測定にあたって、住友電気工業株式会社システム事業部にご参加をいただいたこと、及び、当協会大阪事務所からの種々の便宜供与に対して謝意を表わします。

さらに、周波数許容偏差に関する測定及びその数式化は、放送文化基金の平成12年度助成・援助により、(財)電波技術協会の「地上デジタルテレビ放送の航空機による遅延波障害の研究・委員会」の下で実施・審議されたものであることを付記します。

## 参考図書

NHK 放送技術研究所編：“マルチメディア時代のデジタル放送技術辞典”，丸善株式会社 (1994.6)

## 文 献

- 1) 菅原政之, 大沼保憲, 伊藤士郎：“航空機によるテレビ電波障害の推定法”，航空環境研究, No. 4, pp. 22-29 (2000.3)
- 2) 佐々木誠, 黒田徹：“地上デジタル放送方式”，NHK 技研 R & D, No. 56, pp. 4-19 (1999.5)
- 3) フラッター障害評価研究委員会 (電波技術協会)：“航空機によるフラッター障害の評価に関する研究”，放送文化基金研究報告, No. 12 (昭和61年度助成・援助分), pp. 48-52 (1987.12)
- 4) 電波技術協会：“「地上デジタルテレビ放送の航空機による遅延波障害の研究・委員会」報告書”(2002.3)
- 5) 岡野正寛：“地上デジタル放送の伝送実験”，NHK 技研 R & D, No. 56, pp. 49-62 (1999.5)

## 研究報告

## 等価騒音レベルに基づく航空機騒音予測 の補正要因に関する検討と予測の考え方\*

岩崎 潔\*\* 菅原 政之\*\* 吉岡 序\*\*

### 1. まえがき

わが国の航空機騒音に係る環境基準では、騒音評価量として WECPNL を使用しているが、世界的には等価騒音レベル (LAeq) の考え方が広く採用されるようになっており、いずれ、環境基準がそうした方向で改訂される場合に備えて評価方法のちがいがもたらす影響の有無について検討しておくことが望ましい。そこで平成 12 年度より 3 年計画の要請研究として LAeq に基づく騒音予測プログラムを新たに作成して種々の検討を行ってきた。本稿ではその予測に必要な各種の補正要因の考慮の仕方について検討した結果を述べ、予測の基本的な考え方について報告する<sup>1)</sup>。予測モデルはセグメントモデルを想定し話を進める。

### 2. 予測モデルの補正要因

LAeq による予測では先行モデルとして FAA (米国連邦航空局) が開発した INM (Integrated Noise Model)<sup>2)</sup> があり、そこで使われている補正方法を参考にして計算してみた結果も踏まえて検討することとした。

セグメントモデルは航空機が通過する間の

観測点での単発騒音暴露レベル  $L_{AE}$  を算定する際に、飛行経路を幾つかの有限長セグメントに分割し、各々の寄与  $\Delta L_{AE}$  を (1) 式によって計算し、それらをエネルギー加算して全体の騒音暴露として算定する。

$$\begin{aligned} \Delta L_{AE} = & L_{AE}^0 + \Delta L_{NF} + \Delta L_{airspeed} \\ & + \Delta L_{G-direct} + \Delta L_{EGA} + \Delta L_{others} \end{aligned} \quad (1)$$

まず、 $L_{AE}^0$  は航空機が一定の飛行状態で直線飛行経路を飛んだ場合の単発騒音暴露レベルである。それに有限長セグメントであるため寄与が小さくなることを考慮する補正值  $L_{NF}$  を加える。第 3 項  $\Delta L_{airspeed}$  は該セグメントを飛行する速度が基準と異なる場合の補正である。以下、 $\Delta L_{G-direct}$  は離陸滑走時の滑走路後方への指向性の補正、 $\Delta L_{EGA}$  は地表面による過剰減衰、 $\Delta L_{others}$  はそれ以外の補正で、地形による回折や遮蔽  $\Delta L_{geometry}$ 、防音壁や防音堤等による遮蔽  $\Delta L_{barrier}$ 、気象の影響  $\Delta L_{meteo}$  などである。今回開発する予測モデルはこれらについて考慮していくことになる。

#### 2.1 有限長セグメントの補正 $L_{NF}$

飛行中の航空機が放射する音には強い指向性があり、有限長セグメントの寄与を評価する際にはセグメントと観測点の位置関係に応じて指向性を考慮する必要がある。それが有限長セグメントの補正である。INM では音源指向性を  $90^\circ$  ダイポールモデルで表し、様々な条件のセグメントと観測点の位置関係を想定して計算した結果から回帰関係として

\* Consideration on Adjustment Factors for Aircraft Noise and Forecast Modeling Based on Equivalent Continuous A-Weighted Sound Pressure Level, by Kiyoshi Iwasaki, Masayuki Sugawara and Hisashi Yoshioka

\*\* (財)空港環境整備協会 航空環境研究センター 騒音振動部

補正式を導いている<sup>2)</sup>。これは、ドプラー効果による前方での周波数減衰や高温排気流による後方への騒音放射の屈折などを含め、経験とよく合うよう考慮したものと書かれている。現在これがどの程度妥当かを検討中でありその経過報告として別報で飛行中の騒音放射の指向性について調べた結果を報告する<sup>3)</sup>。

## 2.2 対気速度の補正 $\Delta L_{\text{airspeed}}$

航空機が上空を通過する間の騒音暴露は飛行速度によって異なる。その変化は観測される騒音の継続時間の違いとして眺めることができ、継続時間補正として考慮することが可能である。INM は対気速度の比の対数により次式のように表している。

$$\Delta L_{\text{airspeed}} = 10 \cdot \log_{10}(V_m/V_r) \quad (2)$$

この式によれば対気速度  $V_m$  が基準速度  $V_r$  の2倍になると3 dBの補正が加わることになる。これは騒音レベルパターンを2等辺三角形で近似し、最大値を変えずに底辺の長さを倍にすると面積が2倍になることを思えば納得できるものである。基準速度をどのようにすれば良いかが問題であるが、INM が全 NPD データを基準速度 160 knot として作成しているのに対し、エアバス社が作成した NPD データを見ると INM と異なり基準速度は 180 knot となっている。そこで、

離陸機の機上データから通常運航時の対気速度がどうなっているか調べてみたところ、国際線ではあったが 160 knot は離陸直後のまだ滑走路の上空にいる時の速度であり、加速中の状態にあることが判った (図-1 に B 747-400 の調査事例を示す)。これらからみて、必ずしも基準速度が 160 knot である必要はなく、安定した速度でさえあれば、むしろ実用上はもう少し速い速度のほうが NPD データ作成の基準速度として好ましいのではないかと判断された。今後国内線のデータを蓄積し、さらに検討を重ねたい。

## 2.3 離陸滑走時の指向性 $\Delta L_{\text{G-direct}}$

離陸開始時の滑走路後方への騒音放射の指向性については、地上のエンジンテスト同様、斜め後方に指向性があるといわれている。しかし、真横を通る航空機の騒音の寄与の方が大きいことからわが国の現行 WECP-NL モデルでは離陸滑走の騒音放射については簡単に無指向性と想定してきた。しかし、優先滑走路方式が取られる空港があること等を考えると指向性を正確に記述することが望ましい。INM では、以前には 90° ダイポールモデルによる  $\infty$  形指向性が用いられていたが、現在の第 6 版では斜め後方 45° に 2 dB 程度の重みをつけたカージオイド型の指向性を採用している。なお、INM ではその後も

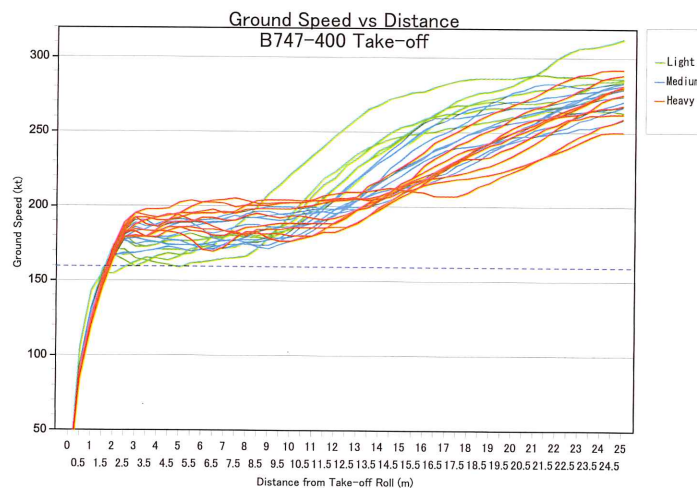


図-1 離陸時の対気速度 (B 747-400)



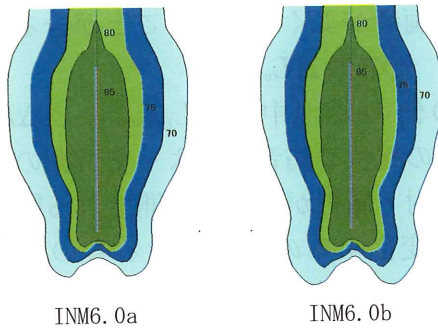


図-2 B 767-300 の離陸時の後方部分のフットプリントについての INM 6.0 a と INM 6.0 b の比較。  
 $L_{AE}$  : 50, 60, 70 のコンター図。

改訂が続けられており、第 6.0 b 版では着陸機の地上滑走の特性に変更が加えられたという。図-2 は B 767-300 離陸フットプリントを 6.0 a と 6.0 b で計算した結果を比較したものである。図は適宜拡大表示してあるので相対的な形の違いに着目して見てほしい。6.0 b の説明によれば、着陸機のみに変更が加えられたと記載しているが、離陸滑走の指向性にも変化があり、6.0 b の方が幾分側方側への指向性が強くなっているように見える。

無指向性からカージオイド型までどれが適切か検証するために、滑走路端の周辺に測定点を配置して後方への指向性を測ってみた。詳細は別報で述べるが<sup>4)</sup>、得られた指向特性は、INM と違い真横方向で指向性最大となり、カージオイド型より 90° ダイポール型に近いものだった。真後ろ方向の減衰は 15 dB に止まっている。距離や地形、地面の状態によっても指向性が変化すると考えられるため、今後も測定を積み重ね、検討を続ける積りである。

#### 2.4 地面による過剰減衰 $\Delta L_{EGA}$

飛行経路の側方へ伝搬する騒音を正確に予測するには地面の過剰減衰について補正することが必要である。その計算式として INM で採用されてきた SAE/AIR 1751 式がよく知られているが、この式を用いて計算すると航空機が離陸滑走から上昇に転じる辺りで過

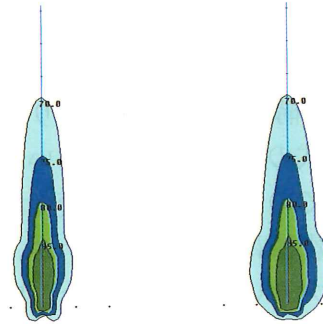


図-3 B 767-300 の離陸についての INM 6.0 a (SAE AIR 1751) と INM 6.0 a Research Version (EPD モデル Soft Surface) の比較。

剰減衰を過大に評価するきらいがある。これは低騒音機になって騒音特性が変化したためといわれている。そのため、現行 WECPNL モデルにおいては、実情と合うよう式を一部修正して用いている。INM においても AIR 1751 の見直しが進められており、有限インピーダンスの境界面上での波動理論に基づいた新たな補正方法が提案されている (EPD モデル)。これは様々な音源・受音点の位置関係について理論的に計算した結果を回帰分析して導かれた式で、代表的な航空機騒音スペクトルを想定して計算されており、Hard Surface, Soft Surface など地表面の状態に応じた評価が可能とされている。現在 INM ではこの EPD モデルを INM 6.0 a Research Version としてテストしている段階である。図-3 は B 767-300 の離陸の  $L_{Amax}$  を SAE AIR 1751 が使われている INM 6.0 a と、EPD モデルが使われている INM 6.0 a Research Version (Soft Surface) で計算し、結果を比較したものである。図-2 同様、適宜表示してあるので相対的な違いのみを見ることになるが、経路側方への拡がり EPD モデルの方が大きくなっている。

わが国の空港周辺の地面の状況は複雑で Soft/Hard とまで単純化して考えることは難しく、取り扱いに困ることも予想される。

その点、従来の SAE/ AIR 1751 は取扱いが簡単で捨てがたい。そんな理由で 2 年前<sup>9)</sup> から AIR 1751 を構築する手順を振り返り、減衰を計算する式の再構築を試みている。その結果、これまでのところ機種の変化が減衰式に及ぼすほど影響は顕著ではないが、気象の影響が非常に大きいことが分った。成田空港での実験結果ではベクトル風速については無風、温度勾配については中立で代表させるのが適当と判断された<sup>9)</sup>。この検討に基づき暫定補正式 (AIR 1751 M) を作成した。図-4 に GTG (地面に沿って音が伝わる) 条件について AIR 1751 M と従来式 AIR 1751 及び EPD モデルでの EGA (soft/hard) の比較を示す<sup>7)</sup>。図より AIR 1751 M は EPD の soft と hard の間であり、AIR 1751 の方は EPD の soft と近いことが分る。一方、図-5 は ATG (上方から地上に音が伝わる) 条件の EPD モデルによる補正式と実測推定値を比較したものである。図より、気象条件が一

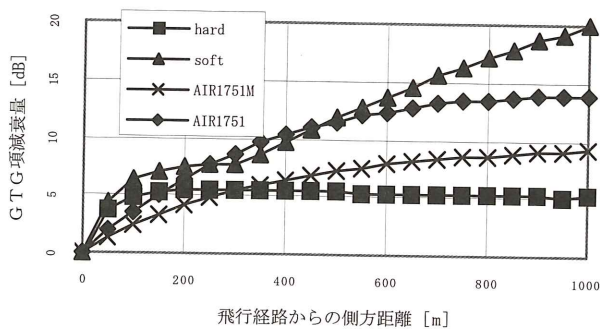


図-4 GTG 条件での EPD モデル, AIR 1751 および AIR 1751 M の EGA 評価式の比較<sup>7)</sup>

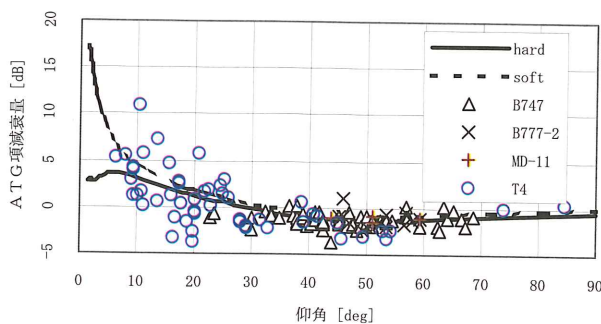


図-5 ATG 条件での EPD モデルの EGA 評価式と実測推定値の比較<sup>7)</sup>

定なら両者がよく合致することが分る。

## 2.5 その他 $\Delta L_{\text{others}}$

その他の要因中の  $\Delta L_{\text{geometry}}$  と  $\Delta L_{\text{barrier}}$  は地形の起伏や防音堤によって音源の遮蔽や音の反射・屈折が生じ、観測される騒音の大きさが変化するのを考慮するものである。INM では地理情報データベースに基づいて地形の起伏によるスラントディスタンスの変化を補正できると書いているが、遮蔽や回折の効果を考慮できる訳ではないようだ。CAB モデルでは有限長障壁の考えで防音壁等の遮蔽効果を考慮する手順を有するが、飛行経路への距離が最短となる点に音源を固定して計算した結果でしかなく、LAE の評価には全セグメントからの寄与について影響を評価するようにしなければならない。

他方、気象の影響  $\Delta L_{\text{meteo}}$  については、平均特性と変動が問題になる。今のところ INM には気象で運航条件を調整するような記述はあるが実際に考慮されているか明確ではないし、騒音伝搬への気象影響を考慮する機能は見当たらない。しかし、EGA の項で述べたように、地面の過剰減衰が気象条件によって大きく変化すること等を考慮することが必要と思われる。

## 3. 予測モデルの考え方

LAEq による予測モデルについては先行するものとして FAA (米国連邦航空局) が開発した INM (Integrated Noise Model)<sup>8)</sup> やわが国のヘリコプタ騒音予測モデル<sup>9),10)</sup> などがあることはすでに述べた通りである。INM は 1978 年の公表以来改訂が繰り返され、現在は第 6 版が最新である。INM はパソコン上で動作し、様々な評価量で計算が可能なことやプログラムの入手が容易なことなどから世界的にも広く使われており、これを用いれば経費節約になるし、同じ土俵で国際間の比較ができるなどの利点があるが、WECPNL による現行の騒音予測プログラム

で計算した結果と比較することや長年培ってきた経験を活かすという観点、国により航空機運航手順の違い等があるため予測に影響する種々の要因について考慮の仕方を検討してみる方がよいと思われること等を考えると、自ら新たに予測モデルを構築してみる方が好ましいと判断された。

現行の WECPNL による予測モデルは最大騒音レベル (L<sub>Amax</sub>) に基づく評価のため、観測点から飛行経路への最短距離 (或いはその近似であるスラントディスタンス) に応じて騒音/距離データベースを参照し、L<sub>Amax</sub> を算出する手順が基本であったが、L<sub>Aeq</sub> で予測を行う場合には航空機が飛行する間に飛行経路の各部分から時々刻々と観測点にもたらされる騒音の寄与をすべて合算して計算する単発騒音暴露レベル (L<sub>AE</sub>) を算出することが基本となるため、各部分を航空機が通過する際の飛行速度を考慮して計算しなければならない。これを実行する方法として、セグメントモデルとシミュレーションモデルが知られている。

前者は、飛行経路を多数の直線と円弧の有限長セグメントに分割し、個々の有限長セグメントが観測点にもたらす騒音暴露の寄与を計算し、エネルギー的に合算をして L<sub>AE</sub> を評価するものである。図-6 にセグメントモデルの計算の概念図を示す。式で表すと(3)のようになる。

$$L_{AE} = 10 \log_{10} \left[ \sum_{i=1}^n SE_i \right] \quad (3)$$

各セグメントからの騒音の寄与は L<sub>AE</sub> とセグメントへの最短距離を関係づけた基礎データを予め用意しておいて計算することになり、その点では現行プログラムと似ている。セグメントモデルは観測点と音源の位置関係が曖昧になるために音の回折等の影響を厳密に記述するのには向かないが、簡便に計算できる利点がある。そのため、空港周辺の平均的な騒音状況を把握したり運航状況の変化等

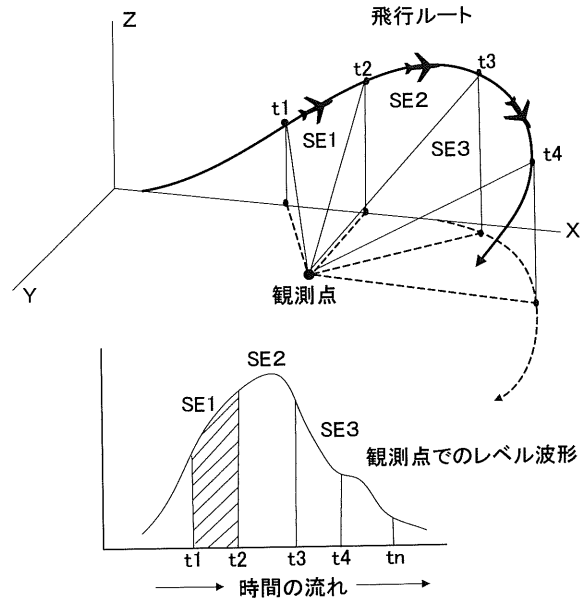


図-6 セグメントモデルの計算概念図

により騒音暴露を受ける地域がどう変化するかなどのトレードオフスタディを行うために騒音コンターを作成する場合に有用である。

後者は、計算機の中で航空機に相当する音源を飛行経路に沿って移動させて、時々刻々の飛行位置から観測点にまで到達する騒音を音源パワー、周波数特性、指向性、伝搬特性等を考慮して計算し、騒音レベルパターンとして表す方法である。レベルをエネルギー積分すれば L<sub>AE</sub> も評価できる。図-7 にシミュレーションモデルの計算の概念図を示す。L<sub>AE</sub> を算出する手順を式で表すと(4)のようになる。

$$L_{AE} = 10 \log_{10} \left[ \frac{1}{T_0} \int_{t_1}^{t_2} \frac{P_A^2(t)}{P_0^2} dt \right] \quad (4)$$

シミュレーションモデルは計算負荷が大きいものの実際の飛行に伴う騒音放射をシミュレートするため、地形や防音堤等の効果や気象が騒音伝搬に及ぼす影響を解析する場合など、精緻な評価に適している。ただし、必要なデータを揃えることは容易とはいえ、多大な労力を払う必要があるものと思われる。さらに、平均騒音暴露を推定するにはモンテカルロ法等を使用して繰返し計算しなければ

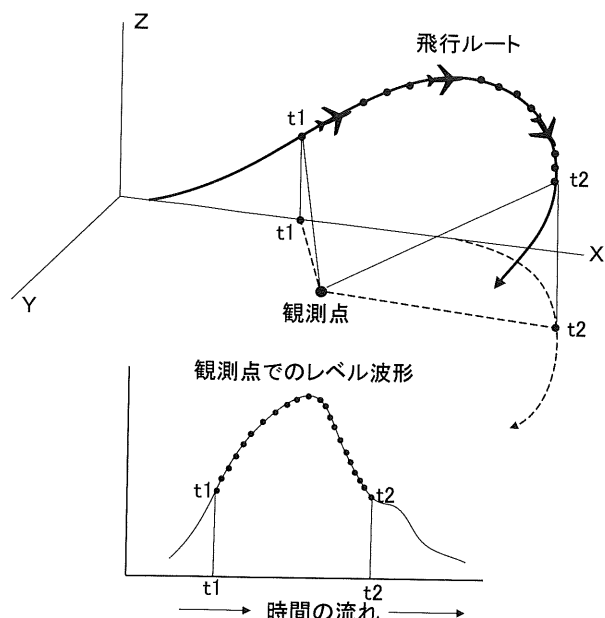


図-7 シミュレーションモデルの計算概念図

ならず、セグメントモデルに比べて計算時間が多く掛かるものと思われる。

基本とする予測方式を決めるにあたり、現行モデルとの比較・検討を行うことや、長年培ってきた予測経験を活かすこと等を考えると、当面はセグメントモデル方式でプログラムを構築することの方が急がれると思われた。そこでここでは、セグメントモデルを前提にしてプログラムのあり方を検討することとした（以下ではこれを基本モデルと称することにする）。

さて、基本モデルでは基礎データとしてNPDデータ（単発騒音暴露レベルと観測点までの距離の関係）と飛行経路、パフォーマンスデータ（飛行経路を構成する個々のセグメントにおける航空機運航状態を表すデータ）を用いる（図-8参照）。

パフォーマンスデータは進出距離（離陸滑走開始又は着地点から航空機までの飛行経路に沿った距離）と飛行高度・エンジン推力・飛行速度の関係を、航空機別・運航形態別・運航重量別に表したデータである。NPDデータは航空機が基準速度で飛行する時に観測される騒音レベルと観測点までの最短距離の

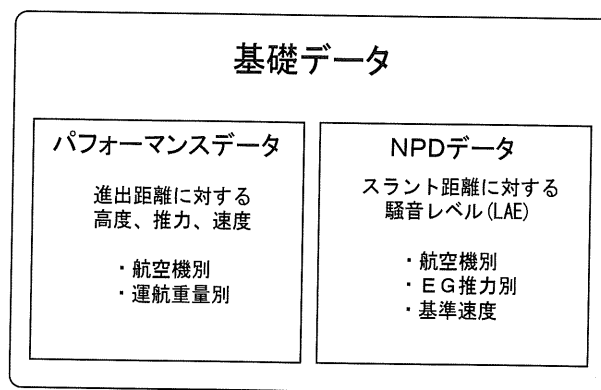


図-8 基礎データの構成

関係を、機種別・運航重量別・エンジン推力別に記述したデータである。現行WECPNLモデルとの相違は飛行速度の情報を含む点、NPDデータの騒音評価量がLAmaxからLAEになった点である。なお、現行モデルはNPDデータと、パフォーマンスデータのみ基礎データとしていたが、基本モデルは飛行経路も基礎データとして取り扱う。いずれ、空港毎に固有の情報（空港周辺の地形や気象の条件、人口分布、土地利用の状況など）までまとめて空港情報としてデータベース化し、騒音対策の効果を費用対効果の観点から検討できるよう意図するためである。

基礎データに基づいて算出されるLAEに対して、飛行騒音の指向性に基づく有限長セグメントの寄与や離陸滑走騒音の滑走路後方への指向性、地表面による過剰減衰、飛行速度等の要因の補正を考慮する必要がある<sup>2),4),11)</sup>。

#### 4. 基本モデルの構成と動作環境

基本モデルの基本構成を図-9に示す。基本モデルは、実際の計算処理を受け持つ計算処理部、基礎データ（パフォーマンスデータやNPDデータ等）を格納するデータベース部、各種入出力やデータ編集の処理、計算パラメータ設定等基本モデルの動作を制御統合するコントロール部に分けて構成し、パソコンやワークステーションで動作するものとす

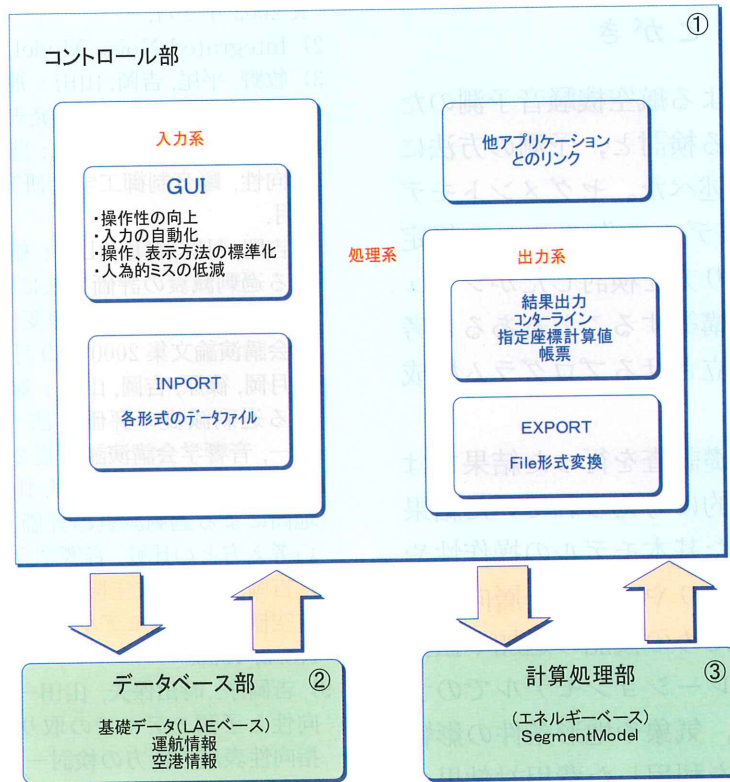


図-9 基本モデルの基本構成

### 基本モデルの動作環境

OS: Microsoft Windows Me, Windows 2000, Windows Xp

CPU: Pentium III 500MHz以上を推奨

メモリ: 256MB以上を推奨

HD: 20GB以上を推奨

画面: XGA 256色以上

図-10 基本モデルの動作環境

る。その動作環境として要求する条件を図-10に示す。すなわち、ごく普通のパソコン環境で十分実用的に使えるプログラムを目指す。この動作条件は先行モデルのINMの条件を意識したものである。なお、実際にINMを利用してみると分ることだが、プルダウンメニューで順に基礎データや空港情報などを設定していく必要があり慣れないと操作は簡単でない。航空機の運航情報等も熟知している必要があり、ユーザーマニュアルを

一読した程度では使いこなすことは難しいと思われる。また、わが国の空港に適用するにはINMの仕様に合わせた形でパフォーマンスデータを作る必要があるが、その作成にはかなり労力を要する。そこで今回、基本モデルを構築するに際しては視覚面の工夫を凝らし、計算処理の内容や手順の分りやすさ、処理パラメータ等の設定のし易さを向上させるよう図ることとした。さらに基礎データの整備の手順や各種の補正要因(EGA, 音源の指向性, 気象変動, 地形の影響)の考慮の仕方について現地調査も行い、多方面から検討できるようにした。さらに、近い将来、気象の変化に伴う局所的な騒音暴露の変化まで予測できるシミュレーションモデルを構築した際を想定し、スムーズにモデルを変更できるように各部を改修・修正・機能拡張できるように配慮することとした。

## 5. あとがき

等価騒音レベルによる航空機騒音予測のための補正要因に関する検討と、予測の方法について検討の結果を述べた。セグメントモデル方式で騒音予測モデルを作ることを想定し、基本モデルの有り方を検討したがシミュレーションモデルを構築することもあると考え、計算処理部を独立させるプログラム構成とした。

指向性に関する基礎調査を行った結果では一部であるが、一般的に考えられていた結果とならないこと、また基本モデルの操作性や処理の流れや内容の分りやすさを一層向上させ、実用性を高めるための機能の追加や拡張を図ること、シミュレーションモデルでの予測についても検討し、気象や地形条件の影響の考慮、人口データを利用した費用対効果の考慮の仕方についても今後の課題としたい。

## 文 献

1) 岩崎, 吉岡, 山田: 等価騒音レベルに基づく航空機騒音予測の考え方, 騒音制御工学会研究発表会講演論

文 2002年9月.

- 2) Integrated Noise Model 6.0.
- 3) 牧野, 平尾, 吉岡, 山田: 飛行時の航空機騒音の指向性, 騒音制御工学会研究発表会講演論文 2002年9月.
- 4) 磯部, 篠原, 吉岡, 山田: 離陸滑走時の航空機騒音の指向性, 騒音制御工学会研究発表会講演論文 2002年9月.
- 5) 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 2000年9月.
- 6) 月岡, 篠原, 吉岡, 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—気象の影響に関する考察—, 音響学会講演論文集 2001年3月.
- 7) 吉岡, 篠原, 月岡, 牧野, 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—INM 6.0 aの新しい考え方との比較—, 音響学会講演論文集 2002年3月.
- 8) 吉岡, 山田: 航空機の騒音予測—米国連邦航空局の航空機騒音予測モデル—, 騒音制御技術資料, Vol. 20, No. 3, 1996.
- 9) 吉岡序, 時田保夫, 山田一郎: ヘリコプタ騒音の指向性と予測モデルでの取り扱いについて その2—指向性表現の仕方の検討—, 日本音響学会講演論文集, H 4.3.
- 10) 山田, 吉岡: ヘリポート周辺の騒音予測の考え方, 日本音響学会騒音研究資料, 1991.10.25.
- 11) 菅原, 岩崎, 吉岡, 山田: 等価騒音レベルに基づく航空機騒音予測の補正要因に関する検討, 日本騒音制御工学会研究発表会講演論文集, H 14.9.

## 研究報告

# 航空機の補助動力エンジン (APU) 排出物の実測 (2)\* 一亜酸化窒素, カルボニル化合物, 粒子状物質等の測定結果一

橋本 弘 樹\*\* 柴田 正 夫\*\* 水島 実\*\* 鈴木 孝 治\*\*\*

## 1. はじめに

空港関連の大気汚染物質の主要排出源としては、航空機主エンジン、航空機の補助動力エンジン (Auxiliary Power Units, APUs)、地上支援車両 (Ground Support Equipment, GSE)、空港利用車両及び固定電源施設などがある。空港から排出される大気汚染物質の排出量低減対策を検討するためには、これら排出源からの排出量を排出源別にできるだけ正確に推計する必要がある。

空港における排出ガス対策としては、航空機主エンジンの主要排出物の規制が国際民間航空機関 (ICAO) 及び日本の航空法で定められていることに加え、航空機の補助動力エンジン (APUs) の運用規制も国内外の空港で行われている。しかし、APUs の運用規制は、主に空港周辺の騒音対策のために行われている例が多く、大気汚染に配慮した対策としての効果や有効性については、ほとんど把握されていない。

今後の空港における排出ガス対策のあり方

を総合的に検討するためには、主エンジン排出物だけではなく、APUs として使用されるエンジンからの排出物のデータを得ることが重要であり、本実測調査を実施した。

本報告では、昨年報告<sup>1)</sup>した窒素酸化物 ( $\text{NO}_x$ ;  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}$ )、全炭化水素 (THC)、メタン ( $\text{CH}_4$ )、一酸化炭素 ( $\text{CO}$ )、二酸化炭素 ( $\text{CO}_2$ )、酸素 ( $\text{O}_2$ )、水分、スモーク以外のガス状物質として亜酸化窒素 ( $\text{N}_2\text{O}$ )、カルボニル化合物、及び炭化水素組成を、粒子状物質としては排出全粒子、金属成分、炭素成分、イオン成分、及び多環芳香族成分を測定した結果について報告する。また、比較として、燃料中の炭素及び炭化水素組成分析を行った。

## 2. 調査内容

### 2.1 測定方法

#### 2.1.1 排出ガス採取法

APU (ハネウェル社製ターボジェットエンジン) からの排出ガスは、排出口直後のガス温度で  $400^\circ\text{C}$ ~ $500^\circ\text{C}$  の高温であるのに加え、流速が  $100\sim 200\text{ m/sec}$  にも達するため、きわめて強靱な試運転用架台がない限り、APU エンジン本体の排出口直後に排ガス測定用の採取プローブを取付けることは困難である。そのため、本調査では写真-1 に示す排気ダクトの温度測定用プローブ (既存部品) 取付部の 4 箇所を利用してガスサンプリングプローブを取付け、排出物を採取した。取付けの要領は写真-2 に示すように 4

\* Aircraft Emissions from an Auxiliary Power Unit (2): Measurement of  $\text{N}_2\text{O}$ , Carbonyl Compounds, Particulate Matters and other trace components, by Hiroki Hashimoto, Masao Shibata, Minoru Mizushima, and Koji Suzuki (Aircraft Emission & Environmental Air Research Division, Aviation Environment Research Center).

\*\* (財)空港環境整備協会 航空環境研究センター 大気環境部

\*\*\* 慶應義塾大学教授 (大気環境部長兼務)

本のプローブ先端が排気ダクトの壁から125 mmの位置に成るように設置した。これらのサンプリングプローブ先端は排ガス捕集効率を良くするため、プローブ先端を斜めにカッ

トして、排ガス流れに直向する方向に設置した。サンプリング系の概要を系統図として図-1に示す。



写真-1 排気ダクト（プローブ取付位置）

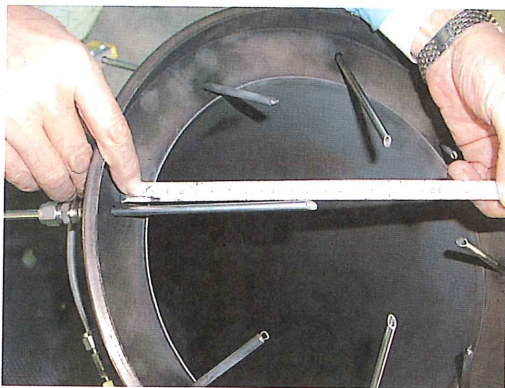


写真-2 プローブ取付状況

サンプリングは、APUから排出されたガスを多環芳香族成分、微量金属成分、ガス成分の3系統に分け、導管を150°Cに保温して行った。ガス状成分は、一度リザーバタンクに集められた後に、テドラーバッグに捕集し、分析した。また、粒子状物質は、ろ紙に捕集した後、分析した。

2.1.2 APU 運転モード

表-1にAPU運転モード時の仕様を示し、図-2にエンジン運転時間およびサイクルを示す。APU使用時の運転モードに合わせ、測定は、無負荷（定常状態）、負荷（抽気状態）、及び最大負荷（主エンジンスタート時）の3つの状態で運転を行い、モード毎に対象物質を測定した。運転は2サイクル行った。尚、最大負荷運転は長時間出来ないため、短

表-1 APU エンジン運転モード時の仕様

モード	エンジン回転数 (RPM)	供給電力 (KVA)	抽出空気 (LB/MIN) (MAX)	抽出空気圧力 (PSIA) (MAX)	大気温度 (°F/°C)
無負荷	39,850	90	—	—	59/15
負荷	39,850	52	200	45.6	103/40
最大負荷	40,400	60	270	54.3	59/15

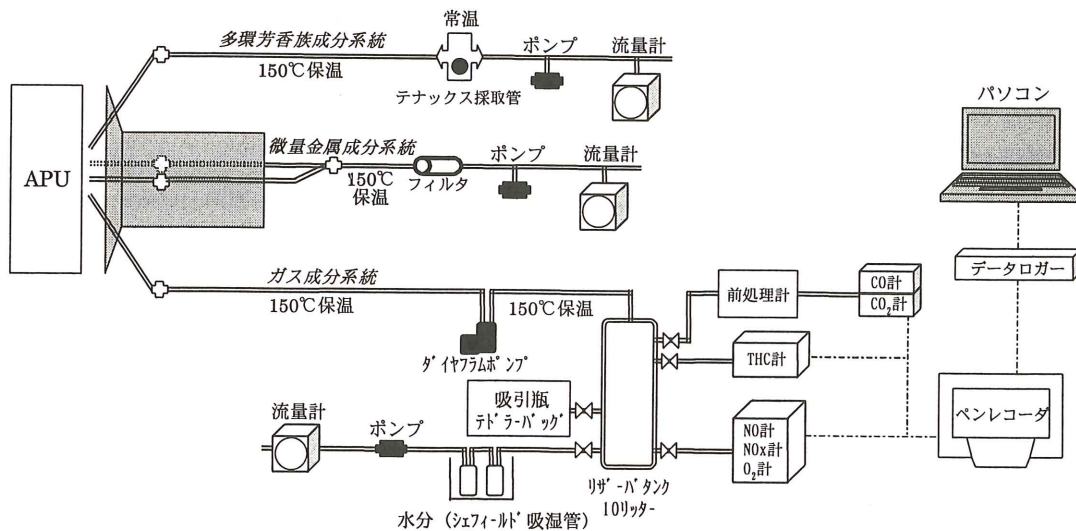


図-1 サンプリング系統図



時間（5分程度）の運転とした。

### 2.2 調査実施日及び調査実施場所

調査は、平成13年11月22日（木曜日）に屋内で実施した。APUからの排出物の採取及び測定は危険を伴う作業なので、まず測定者の安全を図り、ついで測定の実施が天候

等で左右されないようにするため、東京国際空港内の全日本空輸株式会社エンジン試運転場内で実施した。

### 2.3 測定対象 APU（ターボジェットエンジン）

本調査には、現在、日本で使用されている

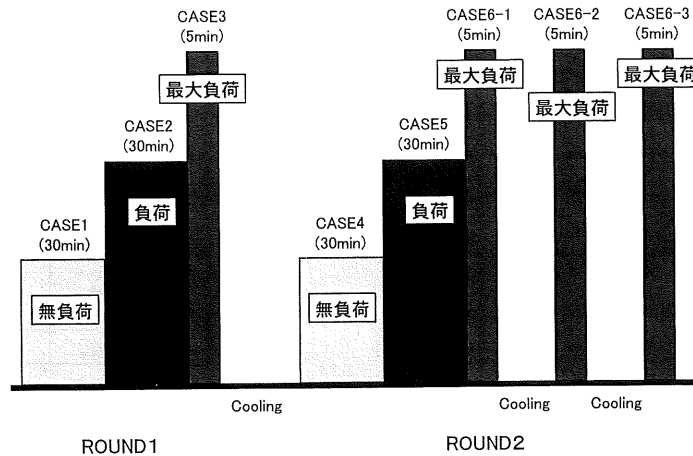


図-2 APU 運転モード

表-2 測定項目及び分析・サンプリング方法

測定項目		分析方法	サンプリング方法	
ガス状成分	亜酸化窒素	N <sub>2</sub> O	電子捕獲型検出器ガスクロマトグラフ法(ECD-GC)	テドラーバッグ捕集
	炭化水素	(C1-C3)	水素炎イオン化検出器ガスクロマトグラフ法(FID-GC)	テドラーバッグ捕集
		(C4-C16)	加熱脱着、ガスクロマトグラフ質量分析法(GC-MS)	テドラーバッグ捕集
		(C17-C20)	溶媒抽出、ガスクロマトグラフ質量分析法(GC-MS)	テドラーバッグ捕集
カルボニル化合物	ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、プロピオンアルデヒド、n-ブチルアルデヒド、i-ブチルアルデヒド、n-パレルアルデヒド、i-パレルアルデヒド、メチルイソブチルケトン	ガスクロマトグラフ質量分析法(GC-MS)	テドラーバッグ捕集	
粒子状成分	重量		電子天秤による重量法	円形ろ紙捕集
	炭素成分	元素状炭素、有機炭素	熱分離熱伝導度法	円形ろ紙捕集
	金属成分	Al, Ca, Ce, Cr, Fe, K, La, Mg, Na, Sc, Sb, Sm, Ti, V, Zn, Li, Ga, Ba, Pb, Bi, Mn	誘導結合プラズマイオン源質量分析法(ICP-MS)	円形ろ紙捕集
	イオン成分	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , Cl <sup>-</sup> , Br <sup>-</sup> , Na <sup>+</sup> , K <sup>+</sup> , Ca <sub>2</sub> <sup>+</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	イオンクロマトグラフ法(IC)	円形ろ紙捕集
多環芳香族炭化水素	ベンゾ(a)ピレン: B[a]P ベンゾ(k)フルオランテン: B[k]F ベンゾ(g,h,i)ペリレン: B[ghi]P	高速液体クロマトグラフ法(HPLC)	XAD-2樹脂吸着捕集	
燃料	炭化水素組成	飽和、芳香族、オレフィン	蛍光指示薬吸着法	使用燃料を採取
	金属成分	Al, Ca, Ce, Cr, Fe, K, La, Mg, Na, Sc, Sb, Sm, Ti, V, Zn, Li, Ga, Ba, Pb, Bi, Mn	誘導結合プラズマイオン源質量分析法(ICP-MS)	使用燃料を採取
	炭化水素	(C1-C3)	水素炎イオン化検出器ガスクロマトグラフ法(FID-GC)	使用燃料を採取
(C4-C20)		ガスクロマトグラフ質量分析法(GC-MS)	使用燃料を採取	

代表的な航空機であるボーイング 767-200 型機最後尾に装着されているハネウエル社製 GTCP 331-200 型エンジンをを用いた。

2.4 測定項目及び分析・サンプリング方法

表-2 に測定項目及び分析・サンプリング方法を示す。

ガス状物質は、1 ラウンド目の試料を分析した。粒子状物質は、重量濃度以外は 2 ラウンドの各モードの試料を合わせて 1 つの試料とした。但し Case 3 (最大負荷) については、運転時間約 5 分の制限のため、一回のサンプリングでは十分な試料採取が行えなかったため、試料を補うために同様の最大負荷モードとして Case 6-2, Case 6-3 (図-2 参照) の 5 分間 2 回の追加運転を実施し、サンプリングを行った。

2.5 使用分析機器及び分析条件

表-3 に使用した分析機器及び分析条件を示す。

3. 結 果

3.1 ガス状物質の測定結果

表-4, 表-5 及び図-3 に亜酸化窒素, ベンゼン, トルエン及びキシレンの運転モード別の測定結果を示す。亜酸化窒素は, エンジン出力が大きくなるにしたがって濃度が高くなった。この結果は, 以前に測定した航空機主エンジンの測定結果<sup>2)</sup>と同様の傾向を示し

表-4 亜酸化窒素濃度の測定結果

単位: ppb

成分名	運転モード			屋外 ブランク
	無負荷	負荷	最大負荷	
亜酸化窒素	740	1200	1300	310

表-5 ベンゼン, トルエン, キシレン濃度の測定結果

単位: ppbC

炭素数	成分名	運転モード			屋外 ブランク
		無負荷	負荷	最大負荷	
C6	Benzene	120	89	23	79
C7	Toluene	63	49	46	64
C8	m,p-Xylene	70	68	69	25
C8	o-Xylene	37	36	36	13

表-3 使用分析機器及び分析条件

測定成分	メーカー	型式	分離カラム	カラム温度	検出器	検出器温度	注入口温度	流量	キャリアガス							
ガス状成分	N <sub>2</sub> O	-	Unibeads C 60/80 2m × 2mm	130°C	ECD	250°C	250°C	50ml/min	N <sub>2</sub>							
			メタン	130°C	FID	320°C	250°C	50ml/min	N <sub>2</sub>							
	エタン, エチレン	180°C	60ml/min													
	プロピレン, プロパン	250°C	50ml/min													
	炭化水素 (C4-C20)	40°C(6min) → 200°C, 15°C/min	MS	250°C				—		1ml/min	He					
	炭化水素 (C4-C20)	0.25mm × 1.0 μm	40°C(5min) → 300°C, 10°C/min	—	1ml/min											
炭化水素 (C4-C20)	SUPELCOWAX10 60m × 0.25mm × 0.25 μm	40°C(10min) → 220°C(10min), 10°C/min	300°C	—	1ml/min											
カルボニル化合物	島津製作所	QP-5050A	SUPELCOWAX10 60m × 0.25mm × 0.25 μm	40°C(10min) → 140°C, 3°C/min	MS	250°C	250°C	1ml/min	He							
重量	メラー社	AE-163														
金属成分	セイコーインスツルメンツ(株)	SPQ9000														
粒子状成分	炭素成分		燃焼条件		キャリアガス		助燃ガス		流量							
	-		EC: 950°C, O-C: 600°C		He(200ml/min)		O <sub>2</sub>		20ml/min							
	イオン成分		分離カラム		溶離液		検出器		サプレッサー							
	-	日本ダイオネクス(株)	DX-AQ2211 (GDMX2)	陰イオン	IonPac AS12A, IonPac AG12A	2.7mmol/L Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> /0.3mmol/L NaHCO <sub>3</sub>	電気伝導度検出器	ASRS	1.3ml/min							
				陽イオン	IonPac CS12A, IonPac CG12A	20mmol/L メタンスルホン酸		CSRS	1.0ml/min							
	多環芳香族炭化水素		島津製作所	HPLC10A	Inertsil ODS-3 4.5mm I.D. × 150mm L 5 μm (GLサイエンス)	カラム槽温度		溶離液		流量	測定波長					
-		-		35°C		アセトニトリル:水=55:45		1.3ml/min	360nm							
炭化水素組成分析		-		-		-		-		-						
金属成分		セイコーインスツルメンツ(株)	SPQ9000													
燃料	メタン		分離カラム		カラム温度		検出器		検出器温度		注入口温度		流量		キャリアガス	
	エタン, エチレン		-		130°C		FID		320°C		250°C		50ml/min		N <sub>2</sub>	
	エタン, エチレン		-		180°C		-		-		-		60ml/min		-	
	プロピレン, プロパン		島津製作所		250°C		FID		320°C		250°C		50ml/min		N <sub>2</sub>	
	エタン, プロピレン, プロパン		-		130°C		-		-		-		50ml/min		-	
	炭化水素 (C4-C20)		島津製作所	QP-5050A	C4-C5	クロムパック製 CP-SIL 5CB 60m × 0.25mm × 1.0 μm	40°C(6min) → 200°C, 15°C/min	MS	250°C	-	1ml/min	He				
-		-		C6-C10	40°C(5min) → 300°C, 10°C/min	300°C										
-		-		C8-C20	40°C(10min) → 220°C, 10°C/min	300°C										

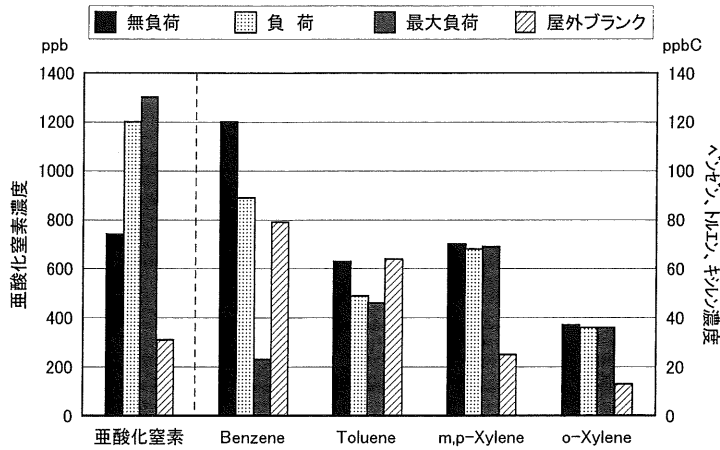


図-3 各成分の運転モード別濃度

表-6 炭化水素測組成の測定結果

単位: ppbC

炭素数	成分名	運転モード			屋外ブランク
		無負荷	負荷	最大負荷	
C1	Methane	1400	690	350	2000
C2	Ethylene	4600	520	28	18
C2	Ethane	160	144	42	44
C3	Propylene	780	N.D.	N.D.	60
C3	Ppopane	N.D.	N.D.	N.D.	75
C4	iso-Butane	440	560	640	100
C4	n-Butane	56	88	26	76
C5	n-Pentane	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
C6	n-Hexane	294	216	40	33
C7	n-Heptane	39	27	28	N.D.
C8	iso-Octane	7.2	N.D.	N.D.	N.D.
C8	1-Octene	26	N.D.	N.D.	N.D.
C8	n-Octane	19	N.D.	N.D.	N.D.
C9	n-Nonane	82	26	14	9.0
C10	1-Decene	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
C10	n-Decane	130	57	36	16
C11	n-Undecane	187	86	51	4.4
C12	n-Dodecane	156	66	52	N.D.
C13	n-Tridecane	64	40	9.1	N.D.
C14	n-Tetradecane	50	32	N.D.	N.D.
C15	n-Pentadecane	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
C16	n-Hexadecane	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
C17	n-Heptadecane	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
C18	n-Octadecane	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
C19	n-Nonadecane	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
C20	n-Eicosane	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.

(注)N.D.: 検出せず

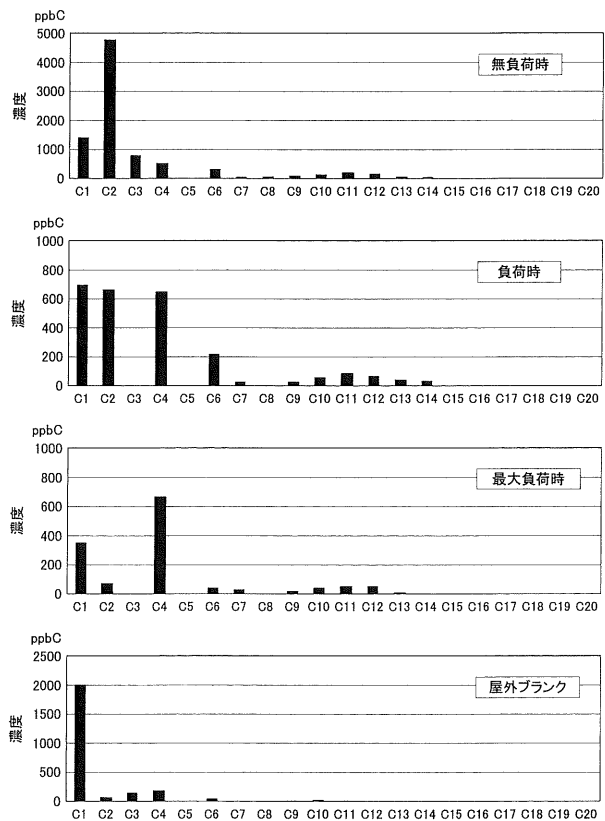


図-4 運転モード別の炭化水素組成 (炭素数別)

た。ベンゼン及びトルエンはエンジン出力が大きくなるにしたがって濃度が低くなった。この結果も、以前に測定した航空機主エンジンの測定結果<sup>2)</sup>と同様の傾向を示した。キシ

レンは、エンジン出力に関係なくほぼ一定の値を示した。この結果は、以前に測定した航空機主エンジンの測定結果<sup>2)</sup>と異なる傾向を示した。

表-6 及び図-4 に運転モード別の炭化水素組成の測定結果を示す。無負荷時は C2 成分、負荷時は C1, C2, C4 成分、最大負荷時は C4 成分の割合がそれぞれ高かった。ま

た、APUの排出ガスには、屋外ブランクでは観測されなかったC9～C14成分が観測された。

表-7にカルボニル化合物の測定結果を示す。カルボニル化合物はDNPH(2,4-ジニトロフェニルヒドラジン)カートリッジ等で捕集・誘導体化し、HPLCやGC-MS等で分析されることが一般的であるが、APUの排出ガス中には、DNPH分解成分が含まれているため分析できなかった。そこで一部の成分について捕集した試料ガスを直接GC-MSで分析したところ、アセトアルデヒドが屋外ブランクに比べて高濃度で検出され、エンジン出力が大きくなるにしたがって濃度が高くなった。この結果は、以前に測定した航空機主エンジンの測定結果<sup>2)</sup>と異なる傾向を示した。

### 3.2 粒子状物質の測定結果

表-8に粒子状物質(ダスト)重量濃度の測定結果を示す。エンジン出力が大きくなるにしたがって濃度が高くなった。無負荷時、負荷時のラウンドごとの重量濃度は、ほぼ等しい値となった。

表-7 カルボニル化合物濃度の測定結果

単位: ppb

成分名	運転モード			屋外ブランク
	無負荷	負荷	最大負荷	
アセトアルデヒド*	1200	1300	1900	5.6
プロピオンアルデヒド*	9	<4	<4	<4
n-ブチルアルデヒド*	<4	<4	<4	<4
n-ヘキシルアルデヒド*	<3	<3	<3	<3
メチルイソブチルケトン	<3	<3	<3	<3

表-8 ダスト重量濃度測定結果

成分名	運転モード						屋外ブランク
	無負荷 (CASE1)	負荷 (CASE2)	最大負荷 (CASE3)	無負荷 (CASE4)	負荷 (CASE5)	最大負荷 (CASE6)	
重量(mg)	1.37	2.57	—	1.44	2.14	1.67	1.25
吸引空気量(m <sup>3</sup> N)	0.727	0.713	—	0.731	0.632	0.248	10.181
濃度(mg/m <sup>3</sup> N)	1.88	3.60	—	1.97	3.39	6.73	0.12

(注) — は、試料採取ができなかった。

表-9にダスト中の炭素成分の測定結果を示す。エンジン出力が大きくなるにしたがって

表-9 炭素成分濃度の測定結果

単位: mg/m<sup>3</sup>N

成分名	運転モード			屋外ブランク
	無負荷	負荷	最大負荷	
全炭素	1.856	3.200	5.848	0.024
元素状炭素	1.792	3.113	5.739	0.005
有機炭素	0.064	0.087	0.109	0.019

表-10 金属成分濃度の測定結果

単位: μg/m<sup>3</sup>N

成分名	運転モード			屋外ブランク
	無負荷	負荷	最大負荷	
Al	2.5	2.8	5.2	1.4
Ca	1.4	0.59	1.0	2.7
Ce	N.D.	0.04	N.D.	0.002
Cr	2.47	1.87	2.54	0.023
Fe	11.26	8.64	12.54	2.50
K	N.D.	N.D.	N.D.	0.58
La	N.D.	0.030	N.D.	0.0010
Mg	0.64	0.21	2.74	0.54
Na	N.D.	N.D.	N.D.	1.46
Sc	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Sb	N.D.	N.D.	N.D.	0.01
Sm	0.007	0.007	N.D.	N.D.
Ti	0.36	0.082	0.44	0.12
V	0.007	0.015	0.040	0.024
Zn	0.31	0.24	0.65	0.35
Li	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Ga	N.D.	N.D.	N.D.	0.0020
Ba	0.075	0.074	0.12	0.038
Pb	2.76	0.94	N.D.	0.11
Bi	N.D.	N.D.	N.D.	0.0010
Mn	0.21	0.14	0.20	0.076

(注) N.D.: 検出せず

て濃度が高くなった。また、屋外ブランクの炭素成分の約80%が有機炭素であるのに対して、APU 排出物の炭素成分は97~98%が元素状炭素となった。

表-10 に金属成分濃度の測定結果を示す。APU 排出物の金属成分で屋外ブランクに比較して濃度の高かった成分は、Al, Cr, Fe, Ba, Mnであり、低かった成分は、Ca, K, Naであった。

表-11 にイオン成分濃度の測定結果を示

表-11 イオン成分濃度の測定結果

単位:  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$

成分名	運転モード			屋外 ブランク
	無負荷	負荷	最大負荷	
$\text{SO}_4^{2-}$	12.0	12.3	2.8	5.8
$\text{NO}_3^-$	1.1	N.D.	N.D.	22.7
$\text{Cl}^-$	N.D.	N.D.	N.D.	2.0
$\text{Br}^-$	N.D.	N.D.	N.D.	0.2
$\text{Na}^+$	0.2	N.D.	N.D.	1.3
$\text{K}^+$	N.D.	N.D.	N.D.	0.3
$\text{Ca}^{2+}$	N.D.	N.D.	N.D.	2.0
$\text{NH}_4^+$	3.1	3.5	0.8	6.7

(注)N.D.: 検出せず

表-12 多環芳香族炭化水素濃度の測定結果

単位:  $\text{ng}/\text{m}^3\text{N}$

成分名	運転モード			屋外 ブランク
	無負荷	負荷	最大負荷	
ベンゾ(a)ピレン	230	136	-	0.31
ベンゾ(k)フルオランテン	83	42	-	0.20
ベンゾ(g,h,i)ペリレン	263	159	-	0.42

(注)-は、試料採取できなかった。

表-13 ダスト中の成分割合

単位: %

成分名	運転モード			屋外 ブランク
	無負荷	負荷	最大負荷	
元素状炭素	93.094	89.075	85.274	4.454
有機炭素	3.305	2.484	1.627	15.845
金属	1.143	0.449	0.378	8.281
イオン	0.852	0.453	0.054	34.222
多環芳香族	0.030	0.010	-	0.001
その他	1.576	7.529	12.667	37.197

(注)-は、試料採取できなかった。

す。APU 排出物のイオン成分は、硫酸イオンが主成分であり、屋外ブランクの主成分である硝酸イオンであった。

表-12 に多環芳香族炭化水素濃度の測定結果を示す。最大負荷時は、試料採取できなかった。多環芳香族炭化水素濃度は、エンジン出力が大きくなるにしたがって濃度が低くなった。この結果は、昨年度報告した全炭化水素濃度の測定結果<sup>1)</sup>と同様の結果を示している。

表-14 ダスト中の成分割合 (詳細)

単位: %

成分名	運転モード			屋外 ブランク	
	無負荷	負荷	最大負荷		
元素状炭素	93.094	89.075	85.274	4.454	
有機炭素	3.305	2.484	1.627	15.845	
金属	Fe	0.585	0.247	0.186	2.083
	Pb	0.143	0.027	0.000	0.092
	Al	0.130	0.080	0.077	1.167
	Cr	0.128	0.054	0.038	0.019
	Ca	0.073	0.017	0.015	2.250
	Mg	0.033	0.006	0.041	0.450
	Ti	0.019	0.002	0.007	0.100
	Zn	0.016	0.007	0.010	0.292
	Mn	0.011	0.004	0.003	0.063
	Ba	0.004	0.002	0.002	0.032
	Sm	0.000	0.000	0.000	0.000
	V	0.000	0.000	0.001	0.020
	Ce	0.000	0.001	0.000	0.002
	K	0.000	0.000	0.000	0.483
	La	0.000	0.001	0.000	0.001
	Na	0.000	0.000	0.000	1.217
	Sc	0.000	0.000	0.000	0.000
	Sb	0.000	0.000	0.000	0.008
	Li	0.000	0.000	0.000	0.000
	Ga	0.000	0.000	0.000	0.002
Bi	0.000	0.000	0.000	0.001	
イオン	$\text{SO}_4^{2-}$	0.624	0.353	0.042	4.813
	$\text{NO}_3^-$	0.057	0.000	0.000	18.924
	$\text{Cl}^-$	0.000	0.000	0.000	1.694
	$\text{Br}^-$	0.000	0.000	0.000	0.180
	$\text{Na}^+$	0.011	0.000	0.000	1.089
	$\text{K}^+$	0.000	0.000	0.000	0.246
	$\text{Ca}^{2+}$	0.000	0.000	0.000	1.694
多環芳香族	$\text{NH}_4^+$	0.160	0.100	0.012	5.582
	B[a]P	0.012	0.004	-	0.000
	B[k]F	0.004	0.001	-	0.000
その他	1.576	7.529	12.667	37.197	

(注)-は、試料採取できなかった。

表-13, 表-14 及び図-5 にダスト中の成分割合を示す。

### 3.3 測定結果

表-15 に燃料中の金属成分濃度の測定結果を示す。測定した金属はすべて検出下限以下であった。

表-16 及び図-6 に燃料中の炭化水素組成の測定結果を示す。燃料中の炭化水素組成は、

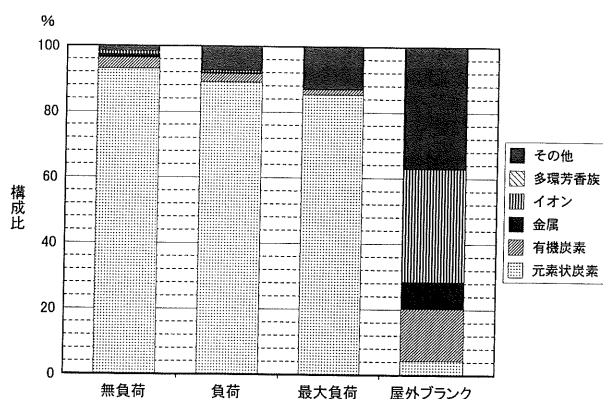


図-5 ダスト中の成分割合

表-15 燃料の金属成分濃度の測定結果

単位:  $\mu\text{g/l}$

成分名	濃度	定量下限値
Al	N.D.	<10
Ca	N.D.	<10
Ce	N.D.	<1
Cr	N.D.	<1
Fe	N.D.	<10
K	N.D.	<10
La	N.D.	<1
Mg	N.D.	<1
Na	N.D.	<5
Sc	N.D.	<1
Sb	N.D.	<1
Sm	N.D.	<1
Ti	N.D.	<10
V	N.D.	<1
Zn	N.D.	<5
Li	N.D.	<1
Ga	N.D.	<1
Ba	N.D.	<1
Pb	N.D.	<1
Bi	N.D.	<1
Mn	N.D.	<1

(注)N.D.: 検出せず

排出ガス中の炭化水素組成と異なり, C9~C14成分が多く含まれていることが特徴的であった。

表-17 及び図-7 に蛍光指示薬吸着法による燃料中の炭化水素組成を示す。燃料中には飽和分が82%, 芳香族分が18%含まれており, オレフィン分は含まれていないことが分かった。

表-16 燃料の炭化水素組成の測定結果

単位:  $\text{mg/l}$

炭素数	項目	濃度	定量下限値
C1	Methane	N.D.	<2.5
C2	Ethylene	N.D.	<70
C2	Ethane	N.D.	<70
C3	Propylene	N.D.	<180
C3	Propane	N.D.	<190
C4	iso-Butane	4800	-
C4	n-Butane	5000	-
C5	n-Pentane	N.D.	<400
C6	n-Hexane	120	-
C7	n-Heptane	1200	-
C8	iso-Octane	6.9	-
C8	1-Octene	790	-
C8	n-Octane	6200	-
C9	n-Nonane	28000	-
C10	1-Decene	N.D.	<4
C10	n-Decane	31000	-
C11	n-Undecane	27000	-
C12	n-Dodecane	27000	-
C13	n-Tridecane	15000	-
C14	n-Tetradecane	9100	-
C15	n-Pentadecane	3800	-
C16	n-Hexadecane	1200	-
C17	n-Heptadecane	350	-
C18	n-Octadecane	87	-
C19	n-Nonadecane	47	-
C20	n-Eicosane	16	-

(注)N.D.: 検出せず

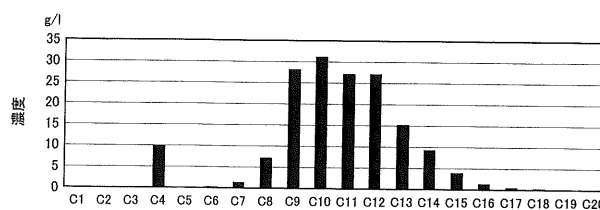


図-6 燃料中の炭化水素組成 (炭素数別)

表-17 燃料の炭化水素組成

分類	容量%
飽和分	82
芳香族分	18
オレフィン分	0

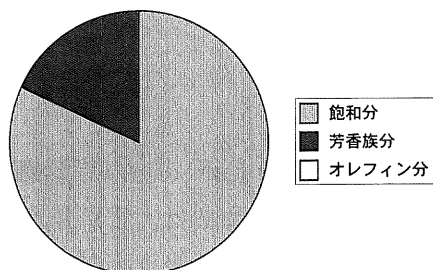


図-7 燃料中の炭化水素組成

#### 4. ま と め

APU エンジン排出物の調査を実施し、昨年報告<sup>1)</sup>した窒素酸化物 ( $\text{NO}_x$ ;  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}$ ), 全炭化水素 (THC), メタン ( $\text{CH}_4$ ), 一酸化炭素 ( $\text{CO}$ ), 二酸化炭素 ( $\text{CO}_2$ ), 酸素 ( $\text{O}_2$ ), 水分, スモーク以外のガス状物質として亜酸化窒素 ( $\text{N}_2\text{O}$ ), カルボニル化合物, 及び炭化水素組成を, 粒子状

物質としては排出全粒子, 金属成分, 炭素成分, イオン成分, 及び多環芳香族成分を測定した。また, 燃料中の炭素及び炭化水素組成分析を行った。

今回の測定項目は, 比較できるような文献値がなく, 主エンジンからの排出物との比較を論じるのに留めた。今後は異なる型式のAPUをさらに測ることを通じて, データを増やし, APUの排出物をより正確に知る必要があるだろう。

APU排出物測定において, このようにたくさん測定項目を調べた例はほとんどなく, 本調査は今後の空港における排出ガス対策を考える上での貴重なデータになると考えている。

#### 文 献

- 1) 橋本弘樹, 柴田正夫, 水島実, 鈴木孝治, “航空機の補助動力エンジン (APU) 排出物の実測 (1) — 主要大気汚染物質の測定結果 —”, 航空環境研究, No. 6 (2002), p 55.
- 2) 柴田正夫, 水島実, 橋本弘樹, 鈴木孝治, “航空機ジェットエンジン排出物の実測とその測定結果”, 航空環境研究, No. 3 (1999), p 32.

内外報告

## 騒音アノイアンス, ストレス, 健康影響\* —インターネット・シンポジウム 2002 より—

金子 哲也\*\*\*\* 後藤 恭一\*\* 関 健介\*\*\*

2002年10月28日から2003年1月21日までの12週余にわたり、当センターが主体となって、インターネット上で上記タイトルのシンポジウムを開催した。その趣旨は、ホームページ上の“WELCOME”でも公開したとおり、今日、航空機騒音の人体影響を議論する前提となっている標記3者、「アノイアンス」、「ストレス」、「健康影響」の関連性を逐次、再確認すべきだ、というものだった。航空機騒音影響の機序解明と空港対策の将来展望をにらみ、枢要な課題であると考えたのである。会期が終わって同ホームページへのアクセス数は757件、コメント書き込み数17件、パスワード請求者45名、最終的にホームページ掲載に至った文章量は標準的な印刷条件でA4版140頁相当にもなった。以下、全体を要約してお伝えしたい。なお、会期は終えたがホームページは現在も公開しており、より詳しくお知りになりたい方はそちらをご参照頂きたい。URLは<http://www.netsympo.com/2002>である。

### 経 過

そもそもインターネットでシンポジウムを開く、というアイデアは、某企業でインタ

ーネット会議を試行した、という話題から生まれた。ただしこの会議は、TV電話の回線としてインターネットを使う方式であり、参加者は皆、同時にネットに接続することを前提としている。この、同時性に縛られる、という制約はしかしながら、現代のインターネット環境を十分活かしているとはいえない。いつでも、どこからでも特定の情報にアクセスできる、いわば時空の壁を越えた情報交換は、国際シンポジウムのような国際間の不特定多数に開かれた意見交流にこそ有用であろう。

企画の実現に当たっては、独自ドメインの取得からウェブサイトの立ち上げ、ホームページの作成・管理運営、メール・掲示板の管理といったインターネット上の問題と、シンポジストの選出、テーマの設定、プログラム策定、ネット上での討論管理等々、数多の課題を処理せねばならなかった。これらに当たっては、コンピュータやネットワーク、ウェブ管理に精通した、当部の後藤研究員と杏林大学の関助手の二人が心強い味方となった。

シンポジストは個人的に接点のある研究者から、7名の方々を選出した。具体的見通しに確信がないままに進行する初めて試みでもあり、ある程度、当方の勝手をお許し頂ける方々を、という配慮があったこと事実である。だがそれ以上に、今般のテーマである環境騒音の健康影響を論じる上で重要な、学識と権威について熟慮した結果であることは言うまでもない。

\* Noise Annoyance, Stress and Health Effects, by Tetsuya Kaneko, Kyōichi Gotō and Kensuke Seki (Environmental Health Division, Aviation Environment Research Center)

\*\* (財)空港環境整備協会 航空環境研究センター 環境保健部

\*\*\* 杏林大学保健学部 環境保健学教室



R. Rylander 氏は草創期からセンターとの縁が深いスウェーデン・イエーテボリ大学医学部の教授で、我が国の騒音研究者が数多く彼の下で学び、現在も日本—スウェーデン・騒音シンポジウムのバックボーンとなっている。L. Finegold 氏は長年、米空軍の騒音対策に関わってきた一線の研究者であり、当センター所長との親交が深い。現在は独立して、奥方の荘美智子博士とともに騒音問題のコンサルタント業に携わっている。W. Passchier-Vermeer 博士はオランダ応用科学研究所 (NTO) の所属で、航空機騒音影響の健康影響レポート (Aircraft noise exposure and public health, 2000.12) を取りまとめた女性研究者である。今夏開かれる第 8 回 noise-effect 2003 (騒音の生物影響国際委員会 (ICBEN) 主催) でも副議長を務められることになっている。国内からは難波精一郎教授、鈴木庄亮教授、兜真徳博士、川上憲人教授の 4 名に参加いただいた。難波教授は大阪大学文学部および工学部の教授を経て同大名誉教授となられ、現在、宝塚造形芸術大で教鞭をとっておられる。音響心理学の草分けで、長年にわたり当協会の騒音専門委員をお引き受け頂いている。鈴木庄亮名誉教授 (群大) は当環境保健部 (旧環境衛生部) の初代部長で、東大医学部助教授当時、当センターの立ち上げに尽力された。兜真徳博士は現在、首席研究官として (独) 国立環境研究所の中核にあるが、昭和 40 年代末から 50 年代にかけて当部研究員の職にあって、航空機騒音の生体影響を研究されていた。川上憲人教授 (岡山大学大学院衛生学・予防医学) は我が国のストレス研究、とくに職場などの集団における影響評価研究で中核を担っておられ、当部の研究事業を 10 年来お世話頂いてきた。

シンポジウムはディスカッション・ウィークを挟んで、前期と後期が設定された。それぞれのテーマは、前期が “Annoyance and stress”, 後期が “Stress and health effects”

である。ディスカッション・ウィークの設定は、特定期間には参加者が特に注目してメールのやりとりを頻回にチェックして欲しい、という希望から出たものだった。期間中、短いメールがやり取りされることを予想していたが、実際はかなり長文のコメントが掲載されることになり、議論の応酬は活発とは言い難かった。ネット上で即座に公開されるため、正確な英文で機敏にやりとりせねばならない、という点が、とくに日本の参加者からは敬遠された節もある。それでも最終盤には全パネリストからコメントを頂き、シンポジウムの体をなすことができた。当初意図したような、騒音の健康影響における確かな「一歩」を刻めたがどうか自信はないが、「半歩」くらいの前進があったように思う。

以下に、WEB 上に掲載したシンポジウムの趣旨、各パネリスト氏の論文、および寄せられたコメントの概要を掲げる。

### シンポジウムの趣旨 (概要)

環境騒音は重大な環境汚染因子の一つではあるが、その健康影響については未だ評価が定まっているとは言い難く、他の汚染因子に比して一般の認識も十分とは言えない。騒音研究セクターは明確なデータを示しつつ、実際の環境騒音制御に対する展望を拓く責務があるように思われる。騒音の非聴覚系身体影響は、音に対する不快感からストレスを生じて招来されるという仮定に立っているが、その 3 者の関連について十分な証拠はあるのだろうか。それぞれに対する評価法と、各 2 者間における相関の強さおよび妥当性を検討する必要がある。

**R. Rylander 教授**は、シンポジウムの幕開けにふさわしく、アノイアンスとストレスに関する一般論を簡潔にまとめられた。

日常騒音の健康影響を考えると、眠っているときでさえ、脳での解釈が最も重要な役割と果たしている。騒音の音響エネルギーは

比較的小さな役割しか果たしておらず、リスク評価の基盤にはならず、自然騒音と人工騒音の特質の違いも重要な要素である。騒音アノイアンスの評価において主たる課題は、個人騒音曝露量の評価と個々人の感受性の違いにある。社会反応として騒音アノイアンスを観るときは一般に集団曝露量をもとに議論されるが、実際の個人曝露量はきわめて大きなバラツキを持っている。騒音への苦情件数とアノイアンスの大きさは一致しない。アノイアンスは、実験では「判定」であり、フィールド調査では「日常の不便や不快感の蓄積」であり、別の意味を持っていることを留意すべきだろう。他方、ストレスには目下、普遍的で明確な定義がない。さまざまな研究的側面で異なるアプローチがなされている。

騒音によるストレスは、作業場や工事現場などの特殊環境を除いた一般の音環境下では、脳による解釈（翻訳：interpretation）に大きく左右され、物理的エネルギーの大小は必ずしも重要ではなく、悪影響のリスク評価における基盤にはならない。他方アノイアンスは基本的に「不快感 (feeling of displeasure)」であり、イライラや悩まされる心情である。フィールド調査ではしばしば大きな個人差に直面する。個人差の原因の一つは、実際の騒音状況、曝露量による違いであり、もう一つは個々人の感度の違いである。フィールド調査では社会経済要因の制御が不可欠となる。アノイアンスの評価には一般に「だいぶうるさい (very annoyed)」が指標として用いられてきた。多くのガイドラインなどはこれを基に作られてきた。しかし、特定騒音に対する「迷惑度 (extent of annoyance)」は、苦情件数とは一致しない。そうした件数は、住民と騒音問題を取り扱う側双方の条件などによっても異なるからである。アノイアンスは、フィールド調査では一定期間の不快感の蓄積として表出されるが、実験室では短期間の「うるささ」反応であり、一

種の「判定 (judgement)」として捉えるべきである。ストレスはホメオスタシス（恒常性維持機能）への圧迫ではあるが、観察・評価となると不確定要素が多い概念である。いわゆるストレスホルモンに属するコルチゾールの分泌が、急激な音の曝露で増加する事実は多数報告されているが、長期騒音曝露がストレスホルモン分泌にどう影響するかについては、異論がある。道路騒音環境下では社会活動が低下し、感性への影響もあるといわれているが、これはコルチゾールの分泌低下に関連しているのかもしれない。実験的な急性騒音曝露が心拍数の増加や血圧上昇を招くことはよく知られている。しかし循環系、内分泌系の変化は、心地よいはずの音楽でも変化を生じる場合があり、必ずしも「負のストレス影響」を示すとは言えないだろう。環境音が健康にとって良いか悪いか、は、音響信号としての意義、中枢神経系での反射、より高次な脳の機能である「解釈」など、いくつかの要因のバランスによって決まると考えられる。

難波精一郎教授は、騒音の評価法を整理した上で、アノイアンスの特性を概説された。

まず騒音評価指標としてのアノイアンスの位置づけを確認すべきである。「ラウドネス」は騒音の意味を考慮しない主観的な音の強さであり「音の大きさ」を示し、「ノイジネス」は主に音響学的要素によって決定されるもので「音のやかましさ」により近い評価である。これらのイメージを言語表現で日・英・独間の比較をすると、ノイジネスとアノイアンスは日英で類似しており、ラウドネスとアノイアンスの含意は英独できわめて類似していた。ノイジネスとアノイアンス、両者の違いにおいて一音の持続時間は重要な要素となっている。これらに対し「アノイアンス」は迷惑の程度というべきだろう。アノイアンスは音響学的特徴よりむしろ、個人要因や社会要因に大きく左右される。音が生じる状況や

意味が重要であるため、実験室でのアノイアンス評価は難しい。ディーゼル騒音を調査した Kahn らの報告では、アノイアンスは主にラウドネスによって決まり、ノイジネスにはあまり依存しない、と結論されたが、これが一般化できるかどうかは慎重を要する。また、アノイアンスは迷惑度を反映し、日常生活の妨害する。苦情や抗議はアノイアンスの一つの現れである。騒音によるアノイアンスで最も深刻なのは睡眠妨害である。睡眠妨害は実験的にも野外調査においても客観的な評価が可能な影響であるが、被験者が慣れていない実験的な設定では両者に共通のデータは得にくいこともある。睡眠妨害で最も深刻な影響は入眠妨害である。MD プレイヤーを用いた実験では、カラオケや人の話し声など、意味を持った騒音の方が影響大であった。日常騒音に対するアノイアンスの評価は社会調査において有用だが、各研究結果間の比較が困難な場合も多い。これを補うため近年、さまざまな質問票が提起されている。

L. Finegold 氏は、騒音規制の基盤とされている、騒音量とアノイアンスとの関連式について、歴史的な推移から今日の課題までを詳細に解説された。

社会調査において騒音長期曝露によるアノイアンスは、戸外の近隣騒音曝露によって様々な屋内生活妨害が生じる、という仮定の下で予測される。騒音アノイアンスは単なるイライラではなく、あきらかに日常生活の質の低下を招く事柄である。行政は特定地域の音環境変化について関心を持つことがあるが、実験研究における個々人の反応とは必ずしも一致しない。コミュニティ・アノイアンスは人々の態度や感情を反映するもので、その評価は住民の保健と福祉の向上のために行われるものであって、自治体への抗議活動のような明らかな反応を示すものではない。評価方法にはインタビューや電話などさまざまな方式があり、これまで標準化は行われな

ったが、近い将来、ICBEN (騒音生物影響国際委員会) や ISO (国際標準化機構) などがこれを促進するだろう。Fields は 1943 年から 1993 年までの社会調査をとりまとめたが、信頼しうる騒音量と反応の関係を得るには膨大な数のデータをメタアナリシス手法で合成する必要がある。これまで多くの研究者が取り組んできた。なかでも歴史的に著名なものが Schulz による報告 (1978) である。英語で公表された航空機、道路、鉄道騒音などのデータを、Day-Night Average Level (DNL) に換算して求めたものである。ここでアノイアンス尺度の上位 27-29% を “highly annoyed (きわめてうるさい)” とみなしてカウントするという規則が生まれた。これにより彼は 161 の点を採用して 3 次元多項式でモデル化したのである。この Shults の報告は、分析対象データの採択や騒音量の換算法、high annoyance の定義などを巡って、多くの議論を引き起こすこととなった。なお、この Shults の量-反応関係はソニック・ブームや銃声のような大エネルギーの瞬発音は含んでおらず、DNL で 45~85 dB 範囲外のことは想定していない点は留意しておく必要がある。その後、この Shultz 曲線は Fidell らを加え、米空軍の委託を受けて、292 点の測定点をもって改訂された (1989, 1991)。ここで Fidell らは 5 つの選択基準を定めた。1) 少なくとも 1 問はアノイアンスそのものについて問うている、2) 騒音曝露が測定された交通騒音によるものである、3) 騒音は DNL に換算 (推定) 可能であること、4) 標本数が十分であること、5) アノイアンス尺度から “highly annoyed” の人々を計数しうること、以上である。ここで彼らは 2 次曲線モデルを提唱した。これに対する評価・批判は Fields (1994) に詳しい。1994 年の Finegold らの報告は、分析対象を精選して Fidell らのデータを再分析したものである。ここでは騒音レベルとアノイアンスの

間に統計的な有意相関があったか否か、という第6の採用基準を設け、対数関数モデルを適用した。Miedimaらが報告したもの(1993, 1998, 2001)が目下のところ、最も有用なアノイアンス・データである。彼らはオランダ応用科学研究所(TNO)のデータを用いた。また、ここでは航空機、道路、鉄道それぞれの騒音源別に異なる曲線が提起された。これによると鉄道騒音は相対的に最もアノイアンスを生じにくく、逆に航空機騒音は最もアノイアンスを生じやすいように見受けられる。しかし46データを用いた航空機、道路騒音に比較して、鉄道騒音ではたった9点からの予測モデルとなっている。そこで対象データを選びなおして分散を検討したところ、そのような単純なモデル化はできないことが示唆された。ここでは対数モデルが強く推薦される。加えて、騒音曝露評価におけるDNLから夕刻を加えたDENLへの転換、アノイアンス評価におけるhighly annoyed people% (%HA)から、annoyed people% (%A)への転換などを検討すべきだろう。

**兜 真徳博士**はアノイアンスと不眠症について最新報告をとりまとめて報告された。

昼間の騒音は心理的負荷を介して、また夜間の騒音は睡眠妨害を介してストレス関連疾患を生じうる。道路騒音に関しては、かつて尿中カテコールアミン、および血中のストレスホルモンとの関連を調査したが、両者の量-反応関係は特定できなかった。そこで、精神的な作業負荷からの回復過程に与える騒音の影響を観察したところ、LAeqで70 dBA有意な影響が認められた。交感神経系の活動レベル変化については、心拍の変動をCV-RR(心拍間隔変動係数)によって観察した。夜間騒音は不眠症のリスクを増大させるが、睡眠の妨害には性や年齢、個々人のライフイベントなど様々な因子がからんでおり、騒音は数ある因子の一つにすぎない。道路騒音の影響を調査するため、4地域から1,037名の

女性を抽出し、それぞれを道路際の群、道路短から30 m内の群、それより外の群、の3群に分けて質問票調査を行った。その結果、睡眠満足度は道路から離れるに従って高くなり、夜間交通量が9,000および22,000の2地域ではそれらの間に有意な差異が認められた。各回答と騒音との回帰直線から、対象の10%が影響を受けるレベルを最小影響騒音レベルとしてもとめたところ、「道路騒音で目が覚める」34 dB(A)、「よく眠れない」44 dB(A)などであったが、「入眠できない」は決定できなかった。「道路騒音で目が覚める」「よく眠れない」「防音のため夜は窓を閉める」などの質問は「はい」/「いいえ」の両群間で屋外騒音の有意差が認められたが、「なかなか眠りにつけない」「しばしば睡眠導入剤をのむ」など回答には有意な差はなかった。睡眠妨害を生じる音のレベルには相当な個人差があるものと思われる。脳波を用いた睡眠影響の観察では、上記より低い騒音レベルでも生体の反応が現れるといわれている。当調査データで、「騒音で目覚める」という訴えが対象者の100%に現れるのは、睡眠時騒音曝露レベル56 dB(A)より上のエリアであり、これは屋外騒音レベルの68 dB(A)に相当する。1984の全国交通調査によれば、わが国のおおよそ1%、100万人以上の人々がL<sub>50</sub>で60 dB(A)の曝露を受けていることを考えると、重大な問題である。睡眠影響に関連して、ベルリンのコホート研究では、夜間騒音レベルは高血圧のリスクを増大するが、その治療は昼間の騒音や個々人の主観的な生活妨害への評価とは関連がなかったようだ。航空機や道路の騒音による健康影響については更なる疫学調査が必要であろう。

**W. Passchier-Vermeer博士**は騒音の健康影響について、騒音評価法を定めた上で概説した。

ここで議論に用いた騒音評価法は、dB(A)を基にして騒音発生時間軸を考慮に入

れた指標の数々である。通常、環境騒音評価では戸外騒音量を用いるが、睡眠影響などの議論においては、屋内騒音量を用いる。1994～1998年の騒音影響評価に関する報告をもとに、健康影響の一覧表を作成した。それぞれの影響については、科学的根拠の十分なものから希薄なものまで、4段階で評価を付した。また科学的根拠が十分な場合には、平均的な疫学データで影響が観察されている最低値をしきい値として表記した。また、それら影響と騒音曝露量との関連についても一覧表にまとめた。聴力損失に関しては、ISO (1999) が作業環境曝露について提示した予測式において、曝露量を24時間値とするなど若干の修正を加えれば一般環境での聴力損失予測に適用しうるものと考えられる。ストレス関連健康影響は環境騒音でも考慮すべき対象であり、これには虚血性心疾患などの心臓血管系障害や高血圧が含まれる。騒音ストレス影響には個々人の感受性に多大な違いがあり、引っ越しなどの対処法も各人各様だが、航空機および道路騒音に関しては多くの有用な疫学データからのメタ分析から、騒音と健康影響の関連性が示されている。鉄道騒音に関しては有用なデータはないが、前2者の騒音に比して5 dBほど高い方に関連性がずれていると考えられる。航空および道路騒音では、居住地の屋外測定値  $L_{den} 70 \text{ dB(A)}$ \* 以上で、成人の高血圧および虚血性心疾患による通院が増え始めるというオランダ健康評議会 (HCN: 1994) の報告がある。心臓血管系疾患に関する最近のデータもこれに矛盾しない。その相対危険度は  $L_{den} 70 \text{ dB(A)}$  以上で1.5になる。高血圧や心筋梗塞による通院の増加も  $L_{den} 70\sim 80 \text{ dB(A)}$  のレンジで生じるとされてきた。子供の血圧上昇に関しても、有意な関連性が示唆されている。ミュ

ンヘン空港の移転に伴う学童の調査では、ストレスホルモンの一種であるエピネフリン、ノルエピネフリンが航路下では上昇を示した。通常アノイアンスは質問票で評価されるが、これについては膨大な文献をもとに Miedema & Oudshoorn (2001) がまとめた報告がある。アノイアンスは調査によって程度を表す回答方式にだいぶ違いがあるが、これらを0～100の値に換算して、72を highly annoyed の、50を annoyed の区切りとみなした。騒音量—効果関係に影響を与える要因は、騒音感受性、騒音源に対する不安、騒音は減らせるはずだ、という思い、などであった。多数の因子が関与しており、個々人のアノイアンスの予告は不可能である。睡眠妨害は有害健康影響を引き起こすと考えられ、生理学的指標から本人の申告まで、様々な評価指標がある。ここでは睡眠妨害の自己申告、中途覚醒や体動に限定して議論する。夜間騒音曝露と心臓血管系およびホルモン系の機能に関する報告はいくつかあるが、量—反応関係について論じるほど十分なデータはない。質問票による睡眠妨害については道路騒音と鉄道騒音についての関係を図示した。ボタンを押して訴える夜間覚醒については、Fidellらが8地域の100点について解析したものである。行動による覚醒評価と屋内 SEL の関連については近々発表される予定である (Passchier—Vermeer 2003)。体動 (Motility) は睡眠からの覚醒時に生じるもので、騒音曝露との関連が認められている。元来、音には生物にとって警戒信号となる場合があり、その信号の意味を脳が解釈して防御体制に入るが、こうした脳の高次機能に至る前に、自律神経系やホルモン系での反応も生じうる。睡眠時の音刺激に対する小さな体の動きは、小型で簡便な装置で検出可能な、客観的睡眠妨害指標のひとつである。この体動は睡眠関連の訴えだけでなく、体の不調とも優位な関連が認められる。航空機騒音の場

\* ヨーロッパで用いられている  $L_{den}$  は、日本での基準に用いられる  $WECPNL_j$  に比べて10～13 dB低い値となる。

合、屋内騒音レベル  $L_{max}$  で 32 dB(A)、SEL で 38 dB(A) から体動の増加が認められる。これらは英国の空港周辺で行われた CAA の調査報告 (1992) より 15 dB(A) 前後、低い。これらの関係は二次関数で近似されるだろう。

川上憲人教授は精神保健学的視点から、労働環境での知見をまじえてストレスとその関連疾患について概説された。

ストレス関連疾患については多くの知見がある。しかしストレスとの量-反応関係についての報告は少ない。こうした研究では、①ストレスとその反応は直線的 (linear) か否か、②その関係はストレスの高低両端で高い U 字形か、③ストレスが顕著に増加するしきい値があるか、などいくつかの疑問が生じてくる。仕事のストレス (job stress) に関する理論を 3 つの視点からみてみよう。ミシガン大学 Caplan らの提唱したモデルは、仕事のストレッサー、ストレス反応、健康影響の 3 因子からなるものである。追加的な因子にはストレス緩和因子などもありうる。このモデルでは、ストレス反応にはウツ反応や血圧上昇が、また健康影響にはうつ病や高血圧が該当する。騒音問題に当てはめると、騒音はストレッサー、アノイアンスはストレス反応、慢性的な心身状況は健康影響ということになる。ついで仕事による緊張 (strain) の発生機序をみてみる。Karasek の仕事上の「要求-制御モデル」では、大きな要求と小さい裁量権の組合せが健康影響をもたらすと考えられる。近年ではこの延長として「要求-制御-支援モデル」や、「努力-報酬不均衡モデル」なども提唱されている。後者では、高い努力と低い報酬の組合せが健康影響を招くとされる。脳機能の視点からみるとストレスは、大脳皮質を介した心理-生理学的過程であるといえよう。精神的な刺激は皮質の覚醒レベルを引き上げ、二つの回路で末梢にまでその影響を及ぼす。ひとつは視床下部

一下垂体-副腎系でホルモン分泌が重要な役割を果たし、他の一つは交感神経系である。両者は脈拍、血圧、血糖を押し上げ、心臓血管系疾患のリスクを増大させると考えられる。他方、抑鬱や不安などの心理的反応への仕事ストレスの影響はそれほど明快ではない。しかしホルモン系、神経系両者の活性化は不安や不眠症と密接な関係があり、大脳皮質の関与の重要性は明らかだろう。

仕事における心理的な負のストレス (distress) に関する量-反応関係では、従来、仕事の負荷が大きすぎたり少なすぎたりすることが関連するとされていた。「個人-環境適合モデル」では、個人の能力や期待感と客観的な仕事量との乖離が健康影響をもたらす、と説明している。このモデルに従えば、仕事からの負荷は大きすぎても小さすぎても適当でなく、ストレスと健康影響の関連性は U 字形を示すことになる。要求-制御モデルでも、仕事の緊張と健康影響は曲線回帰で近似される。最近の研究で Jan de Jonge らは負のストレスを指標として検討している。まず、どのような介在因子の存在がストレスを左右するか検討した結果、仕事の要求、その制御および職場の支援との間に有意な相互作用は認められなかった。ついで、二次回帰と一次回帰のいずれが妥当か、を検討したところ、曲線回帰を限定的に支持したにすぎなかった。我々 (川上ら) は CES-D による自己評価抑鬱度と仕事緊張度との関連性について、いくつかのモデル化を試行した (未発表データ)。その結果、〈仕事の要求度/制御性の比率や複数回答式の点数より〉、単純な付加点数方式が最もよく抑鬱度を予測していた。これは仕事ストレッサーと心理的負ストレスのほぼ直線的な関連を示唆している。では心臓血管系の指標に関する量-反応関係はどうだろうか。いわゆる「過労死」に関する上畑博士の先見的研究では、被害者の 2/3 は直前の数ヶ月間、週に 60 時間以上の超過勤

務状態だったという。ある患者—対照研究では、喫煙や年齢、職業などの違いを考慮しても、一日11時間以上働く人では、7~9時間の場合に比べて心筋梗塞のリスクは3倍にもなる、という結果だった。我々の8年間にわたる追跡調査では、毎月50時間以上の超過勤務者では、先天性でない糖尿病のリスクが3.7倍にのぼった。また、13,386名の追跡調査では、仕事上のトラブルを抱え、時間的プレッシャーにさらされて毎週60時間以上働く者では、高血圧になる率が2.1~2.2倍高くなる、という報告もある。これらから、50時間の超過勤務は心筋梗塞の閾値であると予測される。上述の日本人における症例—対照研究では、超過勤務時間と心筋梗塞の間にU字形の量—反応関係が示されている。最後の1ヶ月の労働時間が7時間以下であった者は、11時間以上の労働者と同様に、心筋梗塞のリスクは3倍であったという。逆に仕事時間が非常に少ない者でもオッズ比が4であったという報告があり、労働過剰も労働過少もともに心臓血管系障害の危険をもたらすと考えられる。以上を総括すると、仕事ストレスと心理的な負のストレスはほぼ直線的な関係にあり、仕事ストレスと心臓血管系障害の関連は、閾値をもつか、U字型を示す量—反応関係になると解釈される。この違いは脳における二つのストレス回路によるものではないか。ストレスによって覚醒した辺縁系は心理的ストレスと直線的な関係を持つが、こうした脳の覚醒が心臓血管系の影響を發揮するにはある種のフィルターを通る必要がある、という理解である。アノイアンスは騒音曝露と有害健康影響との仲立ちをする一種の心理学的ストレスである。仕事ストレスの研究を外挿すれば、騒音とアノイアンスは直線関係にあるが、騒音と心臓血管系の反応との間には、健康障害をもたらす辺縁系の働きにより、U字型または閾値をもつ量—反応関係になると予想される。

鈴木庄亮教授は、トラックの间歇騒音による睡眠影響を生理学的指標で観察した報告を紹介された。

トラックの道路騒音は入眠困難や浅い眠りを起こすといわれるが、これらは客観的には脳波の観察で評価しうる。Ohrstrom & Rylanderの報告では、日に30万台の交通量ではほぼ連続音に等しい騒音が生じるが、時間当たり数台の交通量の場合は间歇騒音を生じて、異なる睡眠影響をもたらす、という。最小影響総音量は交通量の多少に応じて求めるべきであろう。本実験では19~21歳の健康な男子学生を対象に、各人10夜(不連続)、実験室の寝室で騒音曝露下の睡眠変化を脳波、筋電図により観察した。睡眠の深さはデルタ波、紡錘波の割合によって決め、REM睡眠期は筋電図で目の動きを捉えて評価した。騒音曝露は録音したトラック騒音を15分おきに、45, 50, 55, 60 dBの4レベルをランダムに組み合わせて発生させた。その結果、以下の諸点が明らかになった。まず、夜通したトラック騒音を聞かせた場合では、Leq 46.6でREM睡眠の抑制が生じ、これは脳波記録における15の指標中で唯一、有意に違いの現れた変化であった。ピークレベル40~65 dBのトラック騒音を15~3分間聞かせた場合は、曝露に従って脳波の紡錘波、デルタ波の減少、眠りの浅化、筋電図の変化、が認められ、REM睡眠はほとんど騒音に左右されなかった。これらの変化をもたらしたピークレベルの最低音量は、REM睡眠の変化では60 dB以上、第2ステージの睡眠レベル変化は45 dB以下、デルタ波の抑制は41 dB、筋電積分電圧で34 dB、紡錘波現象は32 dBで生じていた。最も敏感な指標では32~41 dBAで睡眠脳波に影響があったことは注目に値する。

#### ディスカッション

以下にディスカッションの要約を列記す

る。興味深い意見の交換であるため、少々長くなるがなるべく原文を活かす要約とした。

#### 座長からの質問

- 1) アノイアンスはそれ自身、重要な有害影響か、他の重大影響の単なる予測因子か？
- 2) 騒音曝露レベルの高低に関わらず、アノイアンスの質は同等か？ 別の言い方をすれば、アノイアンスへの評価が「きわめて」の人と「ほどほど」の人とでは、アノイアンスの質が違うのではないか？
- 3) 低レベル騒音下でアノイアンスを訴える人々は、高感受性群とみなしてよいか？ 高感受性の人々をどのように拾い上げてケアすべきか？ 何がその高感受性を招くのか？ また高感受性の人々は社会の中でどのようにケアされ、処遇されるべきか？
- 4) WHO の定義によれば、アノイアンスは情感の一種である。とすればそれは本人自身のみが表現しうるのものである。他方ストレスはある種の客観的指標で捉えられるだろう。とすればいずれ騒音ストレスが直接評価されるようになった時には、アノイアンスは無用の指標となるのだろうか？ また騒音によるストレスのみを評価する方法はあるだろうか？ またアノイアンスを制御することで他の深刻な騒音影響を防止できるだろうか？
- 5) 結局のところ、アノイアンスとストレスの相関性はどの程度だろうか？

#### Rylander 教授～座長の質問について (2002.11.24)

- 1) アノイアンスはそれ自身が深刻な影響か、それともより深刻な影響の予測因子にすぎないのか？  
まずはじめにアノイアンスという表現が主

観的な意見に基づいた作業上の定義に基づくものであり、他の臨床所見や検査とマッチさせることができないことを確認すべきだろう。私見だが、WHO の定義に沿うならば、アノイアンスを感じることは健康影響に当てはまるだろう。従って騒音制御プログラムにも適している。アノイアンス自体は他の深刻な影響があることの兆候ではないが、長期にわたれば、いわゆる生理学的な「抑制」を生じるだろう。これは中枢神経に支配されている機能の変調を意味し、気分や行動の変化をもたらし、ヒトはストレスに対する闘いをあきらめる。これは急性影響下のコルチゾールレベルの一過性上昇や他のストレス指標などを除けば、騒音研究では比較的、手薄な領域だった。個人的には病気のリスクに結びつくようなこうした神経系や分泌系の機序についてもっと研究を進める方が、直接疾病などを扱うより良いと思っている。臨床的な疾病より細胞レベルの研究に基づいて肺の疾病についての知見も蓄積されつつある。

#### 2) 騒音レベルの高低で、生じるアノイアンスの質は違うか？

ここにはアノイアンスの程度に対する表現の違いと、異なる騒音レベルに対する表現の違い、という2つの問題がある。アノイアンスは様々な個人の生活活動における妨害の総体であり、アノイアンスの程度はその活動の重要性をどう解釈するかに関わっている。たとえば仕事で本を読むのと家で新聞を読むのとでは同じ騒音でも迷惑度が異なるだろう。アノイアンスの表現は個人によって、また騒音によって質的に異なってくるのは明らかである。その個々人のアノイアンスにおける各要素を尺度化したり重み付けをするのは不可能であり、全体としての計測値、または個人による解釈である、ということに満足すべきだ。騒音レベルの高低については、集団の平均的な反応を扱う実地研究において、アノイアンスの高い人々の割合は騒音曝露レベルと



相関性が認められている。騒音の高低によって個人が「きわめてうるさい」という内容は異なっているだろうが，そのような違いを補正したり分析する十分な情報は存在しない。

### 3) 低レベル騒音下でアノイアンスを示す人々は高感受性“susceptible”といえるか？

大気汚染などいくつかの環境因子では，まず高感受性群で影響が現れる。汚染レベルが増加すると喘息気味の人々が兆候を現す。従って騒音でも高感受性群がまずアノイアンスを訴える。いくつかの研究が神経生理学的な高感受性とか，音楽に関連した音解釈の決定因子，神経症的な性格など，さまざまな理由を挙げているが，生理学的な感受性より脳の解釈のほうが重要であるというような明確な結論はまだない。ケアすべき高感受性群の程度は国によって，曝露形態によって，また，政策上の考え方によって異なっている。大気汚染について言えば，小児や喘息気味の人など，保護すべき人々についての社会的合意がある。これは騒音による聴力障害が平均的な健常者をもとにしているのとは異なっている。思うに騒音は個々人の解釈やその結果をどう表現するか，きわめて個人差が大きいからであろう。高感受性群には異質のグループが混在しているが，彼らを守ることは優先的な課題とすべきである。定義から言って，低レベル騒音で強いアノイアンスを訴える人々は高感受性で見なして良いだろう。彼らが保護されるか否かは経済的，実際的および政治的な要因による。

### 4) ストレスとアノイアンスの関連性について

騒音研究で主観的なアノイアンス表現が，コルチゾールや血圧などの客観的検査によって置き換えられることは，これまでも長い間夢であり，多くの研究がなされてきたが，これまでのところほとんど進歩はない。一つの

理由は，他の臨床的な変化と違って，アノイアンスが好ましからざる影響の第一歩でしかない（WHOの定義参照）ことであろう。同様のことは職業性の有機粉塵曝露でも言えることだ。このケースでは諸症状や不快感は，サイトカインの増加や肺機能の低下などが起こるような，きわめて低レベルで発生する。この事実は，騒音アノイアンスが最も敏感な指標であることを示唆している。あきらかにある種の臨床症状が生じていると思われるが，我々の技術がそれを捉えるレベルに達していない，ということだ。論文でも述べたが，実験室内での急性曝露影響においてもストレス計測は，未だ地域における騒音ストレスの存在を検証するモデルたり得ていない，と思われる。最も敏感な影響がアノイアンスであるとする概念は，比較的少ない「きわめてうるさい」と訴える人々の割合（%HA）に基づいた量—反応曲線によって基準値を設定していることから明らかである。我々はこのようにある程度の影響が存在することは認めながら，これがさらなる深刻な影響をもたらすリスクの増加に関連するとは見なしていない。これはアノイアンスを制御することで深刻な影響を予防できることを意味しているのかもしれない。

### 5) 騒音アノイアンスとストレスの関連はどれくらいか？

高曝露レベルでは，とくに睡眠妨害が存在するような場合は，両者の関連は密接だと思ふ。しかし，このような場面でも適格にストレスを測る手技はなく，その開発が急がれる。沖縄での航空機騒音影響研究のように，高レベル騒音をアツかった研究結果では，新生児に対するやや重大な影響が示唆されている。これは中枢神経系によって制御される機能に重要な変調があつたと推測される。コルチゾールレベルの変化，神経伝達系への影響，抗ストレス機能などは今後の研究テーマである。逆に低レベル騒音では良い相関があ

るとは考えられない。アノイアンスは妨害に基づく最初の反応であり、ストレスによる重大な影響指標が現れる以前のものだろう。

**Rylanmder 教授・Bjorkman 博士：  
～Finegold 氏の論文について (2002.11.29)**

膨大な資料と文献に基づく大変すばらしい総説であったが、いくつかの意見を申し添えたい。たしかに多くの資料と報告から、アノイアンスの程度と、一定期間の平均的な騒音レベルとしての騒音曝露との関連性は明白である。主観的な判断に基づくアノイアンスが国や文化の違いを越えて騒音との間に一定の相関性があるということは印象的である。しかしここ何年か、頻度の低い騒音発生下での相関性は低い、という点も指摘されてきた。これはそのような地域を排除した TNO (オランダ応用科学研究所) の分析にも反映している。1969年にスウェーデンの小空港周辺で行われた一連の研究で我々は、騒音の回数と発生の重要性を指摘してきた。現在の我々の交通騒音に関する見解はすでに発表した(文献)。この研究では個々人が暮らしている住居の階数で補正することによりアノイアンスと曝露レベル Laq 24 との相関性を大幅に改善した。曝露量を個々人で求めると、最大音量がよい相関性を示し、回数の重要性は小さくなった。航空機騒音に関しては発生回数は別の意味を持ち、70 dBA を越える発生数はアノイアンスの程度と直線的な関係を示した。Schultz による初期の努力やそれに続くメタ分析などはその当時の役割を果たしたが、今後は背景騒音、個人曝露レベル、ピークレベル、その他の音響的特性など、きめ細かいアプローチが必要になる。環境騒音曝露にかかわるすべての問題を一つの基準で対応しようと考えは過去のものである。

**Finegold 氏：～座長の質問について  
(2002.11.30)**

1) アノイアンスはそれ自身が深刻な影響か、それともより深刻な影響の予測因子にすぎないのか？

〈回答〉 アノイアンスはそれ自身、深刻な影響であり、ストレス関連疾患などの健康影響や他の騒音影響と結びつける必要はない。騒音制御の目的は人々の健康と福祉を守ることであり、多くの環境問題と同様、生活の質 (quality of life) を考慮に入れている。従って地域コミュニティにおけるアノイアンスの問題はこの考え方に沿っている。環境騒音の制御は、人々が政府にそれらのいずれを求めかにも関わってくる問題である。WHO の健康の定義は、「身体的・精神的・社会的に完全に良好な状態であり、単に病気や虚弱ではないというだけではない」である。近年の WHO の出版物では「この広い定義は『良好な状態』を包含しており、それ故、アノイアンス、コミュニケーションの妨害、仕事の障害となるような騒音の影響はすべて健康問題とする」(WHO 2000) と述べられている。歴史的に、少なくとも米国では、環境保護局 (EPA) が「公衆の健康と福祉を十分なゆとりをもって守る」ため満足できる騒音曝露の閾値を推奨している (1974 基準書 [Levels Document])。この考えは多くの国々に同様な表現で広められ、時を越えて騒音曝露対策の主たる基盤であり続けている。騒音の専門家や政府の政策決定者がいかにアノイアンスを重視してきたかを示す事例はたくさんある。無論、他の騒音影響、とくに健康影響について研究を進めるべきことは言うまでもない。これらの影響を考えた閾値について将来、騒音政策に組み入れられるべきだろうし、また騒音影響評価や影響緩和策についての予算が必要であることを政策決定者に自覚させる必要があるだろう。アノイアンスが人々に対する騒音影響についての我々の主要な関心事であり続けるよう希望したい。

2) 騒音レベルの高低で、生じるアノイア

ンスの質は違うか? 別の言い方をすれば, 騒音評価で「きわめてうるさい (highly annoyed)」と「多少うるさい (moderately annoyed)」と答えた人々のアノイアンスは同じものと見なして良いか?

〈回答〉 おもしろい質問だが, 科学的に立証できる回答はない。ほとんどの研究者は「アノイアンスはアノイアンス」であり, カテゴリーなり尺度なり, どのような表現で評価されたにせよ, アノイアンスは連続量だと答えるだろう。しかしながら, アノイアンスと関連性が高く (必ずしも一次相関である必要はないが), 血圧のように直接, 客観的に測りうる変量が存在する可能性はある。たとえばアノイアンスレベル“6”の, 血圧レベルがアノイアンス“3”の2倍に相当する, という具合だ。だが私は未だかつて, そのような類の研究結果を見たことはない。確固たるデータはないが, 「きわめてうるさい」は, 量的にも質的にも, より強く激しい反応であり, 「多少うるさい」という反応はその強さや程度において違うだけだ, と言っておきたい。加えていうならば, 個人と地域集団のレベルを区別することもまた重要である。たしかにアノイアンスは個人レベルで生じ, その将来メカニズムについて実験的研究も行われている。しかし国の政策立案においては, 地域集団としての反応や, 一般化した時の集団における大きさが重要なのである。この目的のために, 第一世代の環境騒音対策において, 住民反応を十分良く反映する%HAの考え方が1970年代に発展してきた。過去25年にわたり%HAは統計学的な環境影響分析に用いられてきたのである。「きわめてうるさい (highly annoyed)」は, さまざまなアノイアンスレベルや尺度を用いた地域アノイアンスの社会学的研究において, 数千人の上位27~29%のアノイアンス反応に相当する便利な記述法である。たとえば20~40%のレン

ジに相当するものが見つかるだろうか? 集団アノイアンスのメタ分析を行う研究者は, 異なる回答形式で集めた社会調査の反応をいかに結合するか, 主観に基づいて決断を下す。このように「きわめてうるさい」は様々な調査を通じて, インタビューされた人々におけるアノイアンスの統計的分布の上限をもとにしてユニークに定義されたものである。したがって逆に言えば, 異なる手法における「かなりうるさい」と「多少うるさい」を比較するときは十分注意が必要である。それはいくつの選択肢が用意されていたかによるからである。

3) 低レベル騒音下でアノイアンスを示す人々は高感受性“susceptible”といえるか?

これもまた興味深い課題であり, 近年, 取り組まれ始めたものである。まず第一に, “影響されやすい susceptible”という語を“超感受性 super sensitive”とか“傷つきやすい vulnerable”人々などの概念と区別することが必要である。前者は典型的には, ほとんどの人々が煩わされることのない様な低レベルの騒音を含め, ほとんどの騒音曝露に対してネガティブに反応する, 集団の中では少数の人々を示す。“傷つきやすさ vulnerability”とは, 身体的・社会的反応に対して注意が払われるような特殊な環境にある小グループすべてをさす。たとえば小児や高齢者, 医学的問題を抱えた人々などである。“影響されやすさ susceptibility”はどちらかといえば「傷つきやすさ」よりも「感受性」に近いが, 適切な差異を心にとめておくべきである。

人口の数%は環境騒音曝露の有害影響に対して高感受性であることは幾十年前から知られていた (1978年JASAのShultz曲線におけるディスカッション参照)。ほとんどの推定で, 高感受性, または超感受性群の割合は人口の4~20%だとされている。我々は何

がこの高感受性をもたらすか知らず、目下のところほとんど何もなされていないが、それらが最終的には騒音政策において組み込まれることが重要なことだろう。まず第一に人々の「死亡」を防ぐこと、第二に身体的に脆弱で感受性の高い人々を守ることが政府の役割である、と思う。騒音感受性の高い人々が国レベルの騒音対策で守られている程度は、各国がそれぞれの役割をどの程度認識しているか、騒音被害軽減策にどれだけ予算を取っているか、などによって異なる。ほとんどの国にとって目下のところ、大多数の人々を守ることが政策の中心課題であり、これは妥当である。将来、豊かで進んだ国が被害を被りやすい人々を守るための登録制度を導入するだろう。WHOもそうした人々の保護を勧告している。これらの人々には、高齢者、病人、聴力や視力の障害者、学生のように複雑な認識作業をする人、胎児、乳幼児その他、一般に「騒音影響への対処能力が弱く、有害影響の危険度が高い (WHO 2000)」と考えられるグループが入るだろう。これらは現在はまだほとんどの国で対処されていないが、将来は真剣に考えるべき問題だろう。

- 4) WHOによればアノイアンスは感情の一種である。とすれば本人自身の表現でしか推測できない。他方ストレスは客観的方法で測定可能である。もし騒音ストレスがはかれるようになった時には、アノイアンスは無用の指標となるのだろうか？

〈回答〉アノイアンスは日常生活の妨害など、様々な騒音影響を包含した一般的な表現である。元来、騒音対策において、種々の条件下で異なる表現を用いるよりも、ひとつの共通な言葉を用いようとした。他の評価法や睡眠妨害や聴力障害における閾値などさまざまな知見が積み重ねられてきたが、地域騒音対策においては上記の考えが保たれている。問1への回答でも述べたが、我々はまだ騒音による

負の影響の広がりについてまだ十分しっているとはいえ難いが、地域のアノイアンスを予測し、対処するという概念を持ち続けたいと思う。それは多くの国々で騒音対策において長い歴史と実績を持ち、すべてを包含する表現であるからである。

Q: 騒音のみによるストレスはどのように評価するか? A: この問は歴史的に長い間、騒音量—ストレス研究、とくに疫学的研究を悩ませてきた。多くの関連因子を制御できる実験研究での短期影響観察はともかくとして、長期にわたる影響を他のストレス—影響と分けるのはきわめて困難である。たとえば血圧については優れた実験データが報告されているが、実社会でのデータは不十分である。実際騒音曝露とその影響に関しては次々と問題が提起される。—騒音の個人曝露評価、個々人の音の解釈、騒音に対する反応系、多様な短期および長期影響等々である。

Q: アノイアンスのコントロールで重大な騒音影響を防ぐことができるか? A: 地域アノイアンスは騒音政策の根底にある。しかし騒音政策はアノイアンスを直接制御しようとするものではない。その理由は2つある。ひとつはアノイアンスを基盤とした曝露の閾値が、ほとんど常にガイドラインとして提示され、規制や法律の中に使われるわけではない。実際、政府による規制は騒音源に対してはあるが、騒音曝露側の数値はガイドラインにすぎない。なぜなら実際の騒音曝露モニタリングにはコストがかかりすぎ、技術的にも複雑すぎる。もう一つの理由は、騒音曝露の閾値は政府の指針には規定されているが、地域アノイアンスレベルのものではない。特定の曝露閾値を選択することは%HAの量—反応関係を選択する事になるのは事実だが、政策決定者は地域アノイアンスレベルではなく、必要な騒音曝露を確立するための条文書きを任じている。実際、研究者は地域アノイアンスを騒音曝露の閾値を推奨するために用

いている。さらにいうならば、我々は、睡眠影響のような、アノイアンス以外の騒音影響を根拠とした政策を求めている。異なる影響には異なる閾値が存在するはずだからである。アノイアンスのみを基盤とした政策は早晚、物足りないものになるだろう。

5) 最終的に、騒音アノイアンスとストレスの相関性はどれくらいなのか？

〈回答〉 これは急速に発展しつつある研究分野であり、ICBEN（騒音の生物影響に関する国際委員会）もだいぶ長い間奮闘して取り組んできた課題だが、世界の一流の科学者たちが合意するには至っていない。これは今後も熱心に取り組む続けるべき課題だろう。

山田教授：～Rylander 教授の論文について (2002.12.2)

Rylander 教授の意見に同意したい。たくさんさんの苦情に接すると、アノイアンスとストレスは聴取者の状況によって大きな開きがあるのが分かる。大きなストレスは制御できない音で生じる。本当は排除したい音が排除できない、という思いがストレスを大きくするのだ。かつて私自身も騒音に対して不満を持ったことがある。それはある温泉ホテルの屋上に設置されたクーリングタワーの音だった。その時は一生悩まされるのか、と大変なストレスを感じた。ほかに引っ越すことも簡単ではなく、毎日家でその音を聞かされた。この逃れられない状況がストレスを生んだのである。以下に私の論文からの抜粋を引用したい。「騒音被害の心理学的分析：低周波音と脳の構造—心理反応の相関について」第10回低周波騒音・振動国際会議 2002年10月〈苦情の心理分析〉苦情を言う人々には胸の内に様々な問題を抱えている。これまでこういう人々を多くカウンセリングしてきた。人間の心理は3層構造である。第1層は人間=ホモサピエンスの生存欲、食欲、性欲、権力欲などを司る。通常これらは明確に

は意識されないが、深層心理に在って人間の生命と行動を支えている。これらの欲望は大脳辺縁系にある。第2層は論理思考を司る主要な部分であり、多くの経験や学習、人間の成長によって獲得される。人間はとりわけこの層を意識することができる。第3層は言語や行動など外部から観察可能である。私は100例ほどの多愁訴者（いわゆる不平屋の類）を観察し、分析した。彼らはみなふつうの市民だが、第2層の欠如が認められ、とくに低周波音や可聴音に対して顕著だった。騒音問題をのぞいては正常な理解力があり、第2層も認められた。しかし低周波音にさらされると彼らは第2層を経ることなく第1層で反応し、アノイアンスを訴え、低周波問題に対する合理的な理解を示さなくなった。ヒトの脳の役割は、高度な論理的思考を担う前頭葉連合野、本能的な反応や感情などを司る大脳辺縁系、呼吸や循環機能の自律神経の中心である視床下部、記憶の要である海馬など、それぞれの部位で決まっている。辺縁系の活動は生存のために不可欠であるが、多愁訴者は低周波音を無意識に生存への危機として感じ取っているのかもしれない。高速道の橋梁近くでは低周波が発生して家の建具をがたがた鳴らすことがあり、かつては近隣住民に家の崩壊を危惧させたこともある。その後家屋崩壊がないとわかって、アノイアンスは残っている。人類は約400万年前に地上に登場してから、1万年ほど前の農耕開始まで、長い間、狩猟採取の生活を送ってきた。音は獲物、あるいは虎などの天敵を判別するサインであった。なかでも低周波は、地震や火山噴火、雷、地滑り、泥流など重大な危機を知らせたはずだ。私は低周波音を聞くと、かつての狩猟採集の民のように、恐れを感じるのである。

### Passchier-Vermeerm 博士：～Rylander 教授への返答 (2002.12.6)

5つの設問に対する Rylander 博士のすばらしい返答で私自身のアイデアが広がり、我々共通の認識となったように思う。ここでは少し付け加えたい。

アノイアンスは有害な健康影響であり、他の影響の予測因子である。この点から、睡眠妨害はさらなる影響をもたらさうる騒音影響なのだ。昨週われわれは睡眠影響と航空機騒音に関する大きなスケールの研究結果を web 上で公表したところだ (www.inro.tno.nl)。対象者には 11 昼夜の観察に入る前に、拡張版の質問票に答えてもらった。質問票では、たとえば夜間の騒音アノイアンス、睡眠への不満の回数、健康不満の訴えの数、睡眠の質、航空機騒音のために窓を閉めねばならないこと、などなど、さまざま角度から睡眠影響と自覚的健康度を捉えるようにした。「騒音レベルの高低でアノイアンスの質は同じか？」という第二の問に関して、夜間飛行による騒音曝露は、それ自体によるアノイアンスのみならず、その他の影響も増加させる。それゆえに騒音曝露のインパクトはアノイアンスという語で表されるだけでなく、さまざまな制限や他の行動をとらねばならない、というような視点からの評価も必要だろう。第3の問「低レベル騒音下でアノイアンスを訴える人々は高感受性群といえるか？」については、Rylander 博士のコメントに若干付け加えたい。もし低レベル騒音でアノイアンスを訴える人々を高感受性群としてしまうと、感受性の高い人々を騒音制御の対象から外してしまうことにならないか？騒音の制御というものは幾分、高レベル騒音下における高アノイアンス群を対象としているところがあるからである。第4の問「ストレスとアノイアンスの関連性」について私は、睡眠妨害が最も敏感な影響であると考えている。これは騒音測定にも反映している。たとえば

EU では 2 つの騒音指標を採用している。それらは Lden (day-evening-night-time level) と Lnight である。Lden では夜間騒音曝露のペナルティーは 10 dB(A) である。また、UE では睡眠を守るために夜間には特別騒音対策が必要だという立場を取っている。「騒音アノイアンスとストレスの関連性はどれくらいか」という第5の問に対しては、Babisch ら (2001) のレポートをチェックするようおすすめしたい。彼は、交通騒音に対する睡眠妨害の主観的評価値とノルアドレナリンのレベルと間に正相関を見出した。しかしながら、これらは窓を閉め切ってもなお睡眠妨害が軽くならなかった人々で観察されたものである (彼らは道路交通騒音への曝露者で、いわゆるストレスホルモンのひとつ、カテコールアミンの尿中値の増加を観た)

### R. Klæboe 氏：(投稿) 環境要因曝露への人々の反応におけるリジッドモデルの提唱 (2002.12.22) <概要のみ>

環境因子への曝露による人々の反応は、多くが順序性を持つカテゴリー (順序尺度) で調べられている。アノイアンスや妨害の程度、主観的健康度の深刻度や頻度などもその例である。にもかかわらず、しばしば、これらの順序尺度にそのまま数値を当てはめた直線回帰が適用されている。しかしながら、直線回帰モデルは両者の関連の非線形性や変数の不確定性 (heteroscedasticity) を考慮し忘れている。通常のリジッドモデルは、環境因子曝露と人々の平均的アノイアンス反応との間に線型性を示しつつも、人々の環境因子に対する感受性は一様ではないことを仮定している。ロジスティック確率分布は、与えられた環境因子曝露量への特異的なアノイアンス反応を得るための確率を表すのに用いることができる。通常のリジッドモデルの利点は、たとえば人々が「きわめてうるさい

(highly annoyed)」か否かをモデル化するのに用いられたロジスティック回帰に比べて、騒音曝露と%A や%HA 等の反応との間のすべての関連性にかかわる、あらゆるカテゴリー間の推移についての情報を用いことができる、ということである。これにより推定される関連性の確度を改善することができる。

### Rylander 教授～追加コメント (2003.1.9)

先コメントに追加したい。

#### 1) Passchier-Vermeer 博士 (2002.12.2) の発言について

騒音影響は睡眠妨害にも現れる。難しいのはいろいろな音を比較した場合で、交通騒音は休息やリラクゼーションを妨げ、銃声のような瞬間騒音は混乱と神経の集中をもたらす。こうした騒音の特性別の生活妨害については数年前、我々が報告したが、まだ重要ながら不明の部分もあろう。だがアノイアンスがさまざまな生活妨害の総体的な評価であるとすれば、アノイアンス、という一言ですべてカタがつく。他方、これはさまざまな生活妨害について徹底的に調べる必要性を表しているともいえるのではないか。

#### 2) 山田氏の発言について

人類の進化と騒音の関係についてのコメントにはうなずくところが多い。また、人は逃げ出したいけれども逃げられない状況は「あきらめの反応」を生じる。こういう場合は日常活動面でも気分の面でも活力が下がり、ホルモン失調や全般に対して疲労を覚えるようになる。これは大きな侵入音に曝されている人々についてもっと研究すべきテーマであろう。ただしこの対象には、慣れが生じやすいような交通騒音はあまり当てはまらないかもしれない。夜間の航空機騒音とかぎよつとするような大きな音がよいだろう。アノイアンスと苦情は直接結びつかないということは強調しておきたい。我々はアノイアンスと騒音影響の説明変数として扱うべきかもしれない

い。苦情有ればその集団にアノイアンスが存在し、調査が必要、ということだ。しかし押し寄せる苦情のヤマも、元を糺すと数名の発信者から、ということもあり、そのような場合は、騒音源に対する特別な理由が有ると考えられよう。さて、さまざまな相で神経系の反応を捉える、というのはおもしろい発想だが、集団に対する騒音影響がそれら客観的指標で容易に捉えられるほどに大きいか否かを考える必要がある。有機粉塵の職業性曝露を考えてみよう。広範な症状が存在するがこれを捉える臨床的な指標がない。なぜなら刺激や他の症状を起こすような機序そのものは激しい炎症の兆候を生じないからだ。この問題は私自身が騒音問題に係わってきた40年余も取り組まれてきたが、実社会における慢性影響の評価においては、あまりに小さな前進しかもたらされなかった。コルチゾールの日内変動はよい候補といえるだろうか？ 最後に進化について。たしかに聴力は生きるために発達し、進化してきたといえる。動物はエサを探し、流れる水を求めるために、音は重要だったろう。

#### 3) Finegold 氏のコメントについて

アノイアンスが影響の一つとして用いられる他の環境汚染因子もある。たとえば悪臭である。アノイアンスを生じる濃度と組成を分析・評価する適切な方法がない。我々はまた、地域の保健システムや学校基準によって住民の満足や不満を推定することが出来、またなんらかの方策をしかるべき機関に起こさせるだろう。異なる程度のアノイアンスには異なる理由を想定するのは理解できるが、わたしは実験室における短期曝露の影響を混同するのはさけるべきだと考える。それらはアノイアンスではなくラウドネスであるからだ。規制に関して言えば、その根拠となるアノイアンスの程度には、経済、政治、文化などの関わりがあることを留意すべきだ。ある社会は多少大きな割合の「きわめてうるさ

い」を守るために要求の多い環境規制をもつかもしれない。またある国はほんの少しの「ややうるさい」しか許容しないかもしれない。許容の幅は有害因子を比較しても実に広い。発ガン物質規制ではとても小さなリスクに対してさえきわめて厳しい基準があるのに比して、聴力損失に対する規制では29%までの労働者が疾病になりうるレベルまで許容されている。感受性、脆弱性については、環境医学ではとりわけ新しい問題ではない。大気汚染に反応しやすい人々は喘息にかかりやすく、心臓血管系が弱い。また、アルコールを飲むヒトは有機溶剤にやられやすい。再度言うならば、集団における高感受性群を保護する度合いは、経済的、文化的要因そしてマスメディアなどに関連している。私は、騒音影響評価にアノイアンスを用い続けるよう、断固主張したい。しかしながら警告もある。1960年代初期、McKenelとJohnsonが、騒音曝露を経験した人々に詳しいインタビューを重ねてその語を発展させた。その語は人々の間で、充分にして再現性の高い表現だった。我々はスウェーデンでその語の使用を危うくするような言語の変遷を目撃した。アノイアンス（スウェーデン語でstörning）は本来、環境からの影響を表すものだったはずだが、言葉の変遷によって今日では精神的なアンバランスを意味し、日常語では「ばかげたこと」を示すようになってきている。矢野や佐藤の研究にあるように、アノイアンスの語については文化的な違いも大きく反映されている。

すばらしいディスカッションだった。このシンポジウムはじつに面白い試みだった。組織委員に感謝したい。

## 座長からの質問(2)

### Rylander 教授および難波教授へ

音の意味論=解釈が重要な役割を果たしているとするば、騒音が人々に聞こえる限り、

必ず幾人かにおいてアノイアンスが生ずる可能性がある、ということだろうか？ 他の視点から言えば、例えば航空機からの騒音を鳥のさえずりに変えたところで、飛行機嫌いの人のアノイアンスを減らすことはできないのだろうか？

### 鈴木教授へ

論文のデータでは脳波の変化は40 dB(A)でも生じていたが、これを睡眠障害と呼ぶべきか、単なる生理反応とみなすべきか？ 換言すれば、これを無害レベル NOAEL の指標とみなしうるだろうか？

### FInegold 氏へ

閾値について伺いたい。Shultz 曲線は DNL 45~85 dB でのみ有効だとされているが、広域の騒音を基盤とした回帰モデルであれば誰もうるさいと反応しないレベルを求められるか。

### 兜博士へ

私見だが、騒音影響への対策は、放射線制御における「実質的に到達可能な限りにおいて、できうる限り低く保つ as low as practically achievable」という原則を適用するのが現実的ではないか？ なぜなら騒音アノイアンスは、ある騒音が聞こえる限り必ず生じる可能性があり、「確率的影響」ともよぶべき側面があると思われるからである。

### Passchier-Vermeer 博士へ

騒音による睡眠影響は、入眠前と入眠後、2つの問題を分けて考えるべきではないか？ また、全体に見て、騒音影響と健康影響との相関係数はどれくらいなのだろうか？（この問いに対しては、会期終了後、原稿の改訂版でお答えいただいた。）

### 川上教授へ

高感受性群を考えるとき、騒音に対して敏感な、もしくは騒音によって悪化する可能性のある精神・神経系疾患の有病者はどれくらいの割合で存在するのだろうか？ また、ストレスは推移するもので、全体が三相に分か



れると言われるが、ある人の騒音ストレスがどの相にあるかは分かるのだろうか？ つまり、ストレスレベルが低い人が、未だ低いのか、すでに疲弊した相で低いのか、を判断することはできるのか？ これは横断研究では重要な視点であると思われる。また、特定の健康影響に結びつくリスクを予測できるストレス評価法はあるのだろうか？ また集団において、医学的指標によって測定されたストレス強度と、組織学的な変化や有病率などとの相関性を分析した例はあるのか？

### 難波教授～座長への回答 (2003.1.11)

アノイアンスそのものは「有害影響」か、という問いに対しては、立派な有害影響である、と答えない。我々はさまざまな音に囲まれて生活しているが、それらにいちいちアノイアンスを感じているわけではない。それらはわれわれが環境に適応してゆくための重要な情報を与えてくれている。騒音アノイアンスの質については2つの視点で論じるべきだろう。ひとつは音量の大小、両環境下において、他の一つは「極めてうるさい」と「多少うるさい」の回答において、「うるさい」の質が同じかどうか、というのは議論に値する。空港周辺の大きな騒音下では、アノイアンスは多大の人々に深刻な影響をもたらすが、近隣騒音のような比較的小さな騒音によるアノイアンスは、被害者は少ないが、地域の人間関係に重大な影響をもたらさう。従って後者の場合も無視されてはならない。言葉によるうるささ表現で、Schulz がはじめてさまざまなデータを合成した際に、極めてうるさい (highly annoyed) の割合を採用して騒音との良い相関性を示してから、この方式は心理学的アプローチで一般的なものとなった。この考え方の背景には、心理学的な連続性があると仮定されている。これはラウドネスに関しては妥当だろうが、アノイアンス、とくにコミュニティ・アノイアンスに関

しては疑問がある。たしかに実験室データでは Laeq との間にきれいな相関性が認められだろうが、本シンポジウムの論文でも述べたように、アノイアンス実験の再現性については疑義がある。日常生活の場で騒音で悩んでいる人々は、そこを逃げ出すわけにはゆかない。こうした場では「多少うるさい」などという状況は当てはまらず、逆にその程度を自由に表す尺度 (rating scale) でも「中程度にうるさい」などというのは、実際の深刻な迷惑度を反映しないのではないか。また、もともと人々の感受性には大変大きな差異があり、それゆえにこそ、ある集団におけるアノイアンスを%HA で表すアイディアは、極めて妥当だと思われる。そもそもアノイアンスの質を比較することは元来不可能であろう。たとえ低いレベルの騒音であっても、アノイアンスは深刻な影響であり、生活の質を落とすものである。%HA は閾値を決める上でも良い指標であるが、上位選択肢回答者の何%の人々が HA に属するのか、これが何%までを許容レベルとするのか、などは難しい問題である。騒音感受性の高い人々への対処も、重要で深刻だが難しい課題である。低レベル騒音によるアノイアンスの程度が無視しうる場合は特別にケアする必要はないだろう。だが既に述べたように、低いレベルの騒音でも深刻なアノイアンスはもたらされうる。Finegold 氏はコミュニティ・アノイアンスと急性のアノイアンスを明確に分けたが、これは非常に大切である。ここであえて引用したい。『コミュニティ・アノイアンスは、長期間の定常的な曝露条件下におけるコミュニティ総体としての社会反応であると仮定できる。他方、個人の曝露による即座のアノイアンス評価は、実験室のような高度に制御された環境下でなければ予測が不可能であり、交通騒音に対するコミュニティの反応評価などには用いられない。』低レベル騒音によるアノイアンスの問題は早急な対策が必要

ではあるが、個々人のさまざまな要因が絡んでおり予測不能である。筆者自身の大阪府公害訴訟調停における経験からいえば、被害者—加害者の調停は問題解消にとっても有効であり、コミュニティはもっとこうした視点で騒音問題に対処すべきだろう。ある例では防音工事が有効だったが、別の例では騒音自体は決定要因ではなかった。こうしたトラブルは早急に解決すべきだが、しばしば長期にわたり、住民間に感情的なしこりを残す。最も重要なのはこうした問題を未然に防ぐことである。そのためには騒音に関するキャンペーンを実施するのも有効かもしれない。高感受性グループは、住民が出す音を受け入れるのは困難だろう。静かな環境を作るためにコミュニティはそうした弱者の立場に立たねばならない。アノイアンス評価において生理学的現象は将来、限られた条件下でのアノイアンスやストレス評価の客観的な指標になりうるかもしれないが、日常のあらゆるストレスととの対比で騒音だけのストレスを評価することはできないだろう。アノイアンスのインタビュー調査はそうしたストレスを識別するためにも、引き続き有効な手段であり続けるだろう。

#### 難波教授～追加コメント (2003.1.11)

筆者が本シンポジウムの論文で提示した表1の作成者、泉が提唱したアノイアンスの規定によれば、「音の意味」のような非物理的因子の影響は極めて大きい。我々の実験でもカラオケや人の話し声による睡眠影響は明らかだった。これらの音はアノイアンスを生じるだろうが、個人差は極めて大きい。筆者は桑野博士と連続評価法を用いて、音に対する「慣れ」の個人差について実験を行った。被験者に、物売りの声がある中で精神的労作と、うるささの報告を科した結果、一部の被験者は物売りの声があるでも全く煩わされずに作業に集中していた。「慣れ」が生じた人々

には意味のある騒音でも煩わされることがないと考えられる。意味のある音は人々の注意を引きやすいが、その音量が小さければ他の音、例えばエアコンの音などによってマスクされる可能性があるだろう。

#### Rylander 教授～ (2003.1.17)

騒音聴取がそのままアノイアンスに結びつくわけではない。アノイアンスは日常生活の妨害などに起因するからで、騒音の解釈(interpretation)が重要な役割を果たしている。とくに低い騒音レベルでは、解釈の意義は大きい。ある軍用飛行場周辺で行われた介入調査では、住民の半数に軍用機の重要性を訴えるパンフレットを配り、配布のない群と比較した結果、両者のアノイアンスに有意な差があった、という。無論これは住民アノイアンスの操作法ではない。また、行動をコントロールされた人々で、ストレスが医学的影響を生じない、とも限らない。重要要素である「解釈」は、騒音の大小にかかわらず同質のアノイアンスをもたらすだろう。同じ条件の騒音であれば、静かな田舎の方が高いアノイアンスを生じると考えられる。だからといって都会の騒音が高くて良い、ということはない。高い許容度が高い耐性を示すとは限らないのである。昼間の騒音が睡眠に与える影響については不明である。医学的な影響については、コルチゾールなどを指標とした閾値のデータはきわめて少なく、更なる研究が必要であろう。

#### 川上教授～ (2003.1.17)

騒音に対して神経質になったり、騒音で悪化する精神障害について正確な情報はないが、臨床経験からみれば、うつ病などの「気分障害」、恐怖症やパニック障害などの「不安障害」では、騒音下で神経過敏になりうるだろう。これら患者の割合は国や地域でだいぶ違うが、これまでの疫学研究からみて6ヶ

月間の区間有病率の数値は大体、「気分変動症」0.9~4.8%、「パニック障害」0.1~1.0%、「一般不安障害」3.4~6.4%、「恐怖症」2.3~7.5%、「大うつ病」2.0~5.3%、である。この数値でも分かるように、精神障害は一般社会でも非常にありふれた存在なのだ。ストレスの作用時から「警告反応期」「抵抗期」「疲はい期」へと進行するストレスの各相について、警告反応期と抵抗期を分けるのは通常容易だが、抵抗期と疲はい期を分けるのはきわめて困難である。ストレスホルモンの比や代謝物を評価する方法も試みられているが、定かではない。免疫学的指標や循環機能の観察で、末期の破綻を評価する方法もあるにはある。しかし騒音に関してはストレスの発生機序が複雑であり、いわゆるストレスの3段階過程が適用できるか疑問の余地がある。理由の一つは、騒音に対する早い順応の存在である。心理学的にいえば、騒音そのものよりもむしろ騒音曝露が制御できないことに対する感情がストレスの誘発を引き起こしうる。すなわち、制御できない経験の蓄積と記憶により、人々は環境ストレスに対して脆弱になり、視床下部の機能亢進やさまざまな健康影響を生じるかもしれない。このような道筋についても考慮が必要だろう。

#### 兜博士~ (2003.1.17)

我が国では騒音の許容レベルはすでに環境基準で示されていると考えている。これは悩まされている人の割合(% annoying people)が20~30%程度にまで顕著に増加するレベルを基にしており、一部に敏感な人々が存在するとしても、一般公衆には受け入れられるレベルだろう。「実際に到達可能なレベル」がどのくらいかは分からないが、例えば交通量に関していえば、議論は可能だろう。睡眠影響では不眠症のリスクと幹線道路の交通量との量—反応関係は見出せるし、睡眠影

響の増加しない騒音レベルは存在する。この閾値は、沿道の高いビルが増えるにつれて高くなってゆくことが期待できる。

#### 鈴木教授~ (2003.1.21)

高いアノイアンスを訴える人には、THI(東大式健康質問票)のような自覚症状調査でいうところの多愁訴型に属する人もありうる。地域集団には多愁訴型のヒトが一定の割合で存在する。その割合はFinogold氏の指摘のように、その地域の発展の度合い、民族、居住形態、季節、政治的背景その他、さまざまな要因によって変わりうるので、西欧以外の多くの地域集団でもデータを蓄積すべきであろう。「極めて高い」アノイアンスの割合はシンプルであり、社会的な反応を考えても、好まれる指標である。騒音と疾病の明確な関連を見いだすのは困難であるが、沖縄の基地周辺では睡眠障害や疲労、神経症傾向の増加が報告されている。睡眠影響を生じる最小レベルは、兜博士らの質問調査では34~43 dBAと報告されていたが、トラック騒音の間歇曝露実験でも32~41 dBAで脳波の変化が認められた。今後、主観的な睡眠評価と生理学的指標の突き合わせが必要となろう。

#### シンポジウムを終えて

「インターネット上」の「座長」という、二重に慣れない仕事だったこともあり、議論を十分導くことができなかつたことは大変残念だったし、シンポジストの方々にもご迷惑をおかけして、申し訳なく思っている。とはいえ、このシンポジウムは、少なくとも小生と手伝ってくれた若手の諸氏には大いに得るところがあったと考えている。小生自身の勝手な解釈ではあるが、以下のようなことが確認できただけでも収穫があったように思う。

アノイアンスは身体的な健康影響とは別個のものとして、広い意味の健康と福利のため

に重要な指標であることが再確認された。その上で、アノイアンスを“0: zero”にすることの困難さも再認識した。Rylander 教授と難波教授からアノイアンス招来において「音の解釈」が要であること、川上教授から精神神経系疾患の有病率が十数%以上あること、などから、騒音曝露量が0“zero”にならない限り、その音源に対するアノイアンスは生じうる、ということである。兜博士からはアノイアンスを訴える人が20~30%に増加するあたりが明確な増加を示す音量であり、これが環境基準となっている、というコメントを頂いたが、これも上記の事実を踏まえ、あるレベルまでは「社会にとって」の受認限度と捉えたものだろう。これは周知のようにWECPNLでは70が該当するとみなされている。Passchier-Vermeer 博士の示されたHCN データでは、身体的健康影響である虚血性心疾患や高血圧の場合、Lden 70~80 dB(A)あたりで相対危険度が1.0を越えると考えられることになる。これは我が国の指標 WECPNL では80~93あたりに相当し、当センターの各種データと比較しても妥当だと思われた。こうした閾値に係わる議論では、Finegold 氏が詳細に述べられた、モデルの妥当性も重要な論点となろう。ただしこれらは集団としてみた値のはなしである。受忍限度も無影響レベルも「個人にとって」は当然異なっており、「弱者」の保護は、環境騒音全体の制御とは異なる次元で着実に行われねばならない。Finegold 氏からのご意見でも、将来的にはそうした多元的な取り組みが必要になろうと予想されていた。同氏はま

た、高感受性者と弱者の違いも解説されたが、貴重な指摘である。鈴木教授の示されたような敏感な生理反応は、こうした視点からも有用になるかもしれない。また、兜博士の幹線沿道における実態に沿った騒音受認限度の例も、practically achievable~実現可能性と実際的な規制の目安について、「まず出来るところから可能なレベルで」対策をどんどん推進する、現実的打開策の展開を探る糸口があるように思えた。最後に全くの私見だが、一連の議論を日本語に訳してゆくとやはり、“annoyance”を「うるさい」と訳すのは相当な無理が生じることを実感した。“highly annoyed”を的確に訳せないのはその一例である。難波教授、Rylander 教授が取り上げられたアノイアンスとラウドネスの解説でも明らかなように、日々の生活妨害の延長にあるのがアノイアンスであれば、その評価語句には「迷惑している」「困っている」という意味が全面に出なければならないだろう。住民の視点は往々にして研究者、調査者側のビジョンとは一致しないものである。

最後に、パネリストの諸先生、Finegold & So コンサルタントの荘美智子博士、当センター会計課の所員、その他、協力頂いた多くの方々に心より御礼申し上げます。

なお本シンポジウムは、当協会航空環境研究センター「航空機騒音をもたらす健康影響と騒音評価・対策のあり方に関する研究」の一環として開催された。強力にバックアップ下さった山田一郎所長には、ここに改めて感謝の意を表します。

内外報告

## ICAO/CAEP の動向 (航空機騒音) ・ ICAO/CAEP-WG2 の最近の動向について\*

松 井 淳\*\*

### 1. 概 要

国際民間航空機関 (ICAO) の航空環境保全委員会 (CAEP) は、ICAO 理事会に直属する唯一技術委員会として、航空分野での環境にかかる事項について理事会に助言、報告を行っている。

CAEP には、5つのワーキンググループと一つの調査支援チームが設置されており、それぞれ「航空機騒音の騒音源規制：WG1」, 「空港周辺の騒音影響：WG2」, 「航空機排出物の排出源での技術的抑制：WG3」, 「航空機排出物の運航面での排出抑制：WG4」, 「航空機排出物の経済的な排出抑制：WG5」, 「将来経済予測：FESG」を調査・検討している。図-1に現状における ICAO/CAEP の組織構成を示した。

ここでは、航空局環境整備課の業務及び(財)空港環境整備協会の事業と関係が深い“WG2：空港周辺での騒音影響”での検討状況について最近の動向を紹介するとともに、昨年12月にWG2を関西国際空港において開催したので、その模様を紹介したい。

### 2. WG2 の活動

#### (1) 概要

これまでも、WG2の参加報告は何回か本紙面上で行われており、その概要は既に良く承知されていると思うが、以下簡単に説明しておきたい。

WG2は、空港周辺の騒音影響を担当するWGとして、第2回CAEP時に設置された。通常各ワーキンググループは、個別の課題毎にTASK Groupを設置して検討作業を行っており、WG2では前回CAEP5終了時に5つのタスク・グループを設置して、次期CAEP6に向けた次の作業を行うこととした。

#### 2.1 Modernization of the Noise Certification Scheme

(騒音証明手順の改訂、フォーカルポイント：A. Depitre)

空港周辺での騒音低減運航手順等に関連した部分に係る騒音証明の手順の検討

#### 2.8 MAGENTA: Model for Assessing Global Exposure Noise of Transportation Aircraft

(航空機騒音暴露人口評定、フォーカルポイント：J. Gulding)

最適な騒音制御方策の評価に使用する空港周辺での航空機の運航に伴う世界的な被騒音暴露人口を予測するためのモデルの作成および評価手法の提供

#### 2.9 Noise Abatement Operational Mea-

\* Trends of ICAO/CAEP (Aircraft Noise) ・ ICAO/CAEP-WG2, by Atsushi Matsui (Deputy Director, Noise Abatement Technology Office, Environment Division, Civil Aviation Bureau, Ministry of Land, Infrastructure and Transport)

\*\* 国土交通省航空局飛行場部環境整備課  
騒音防止技術室 課長補佐

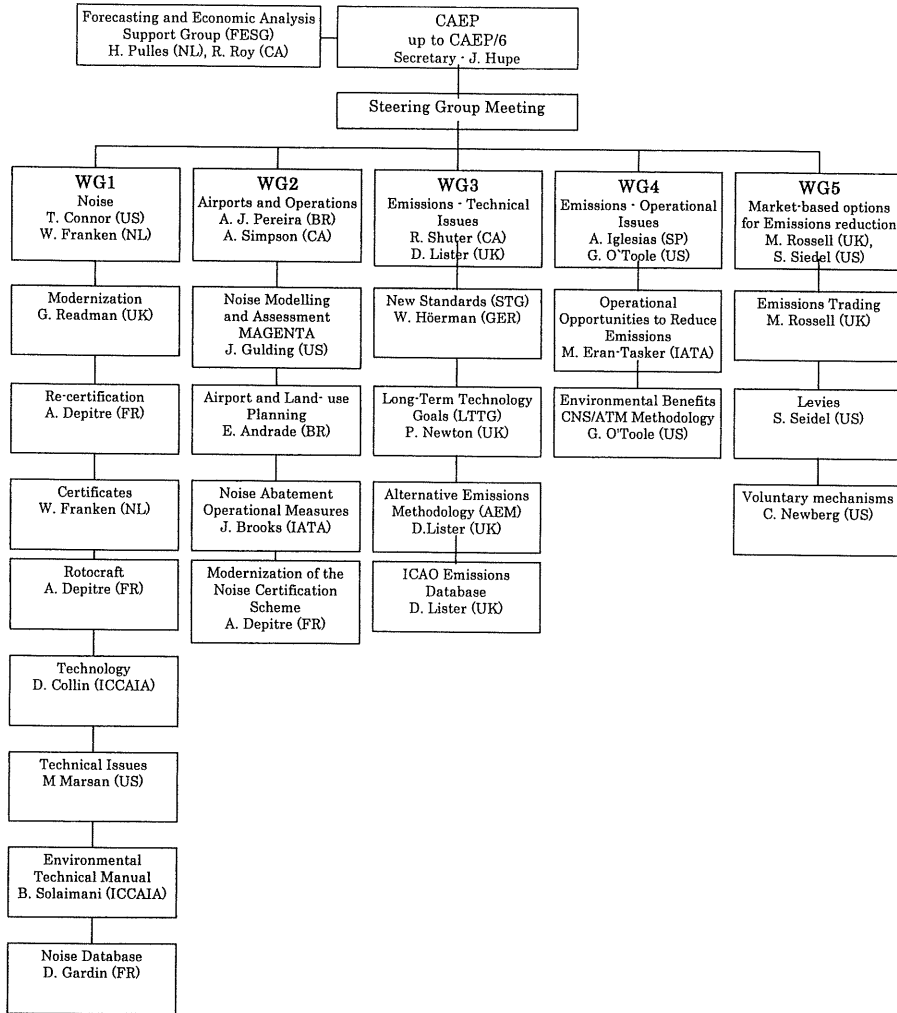


図-1 ICAO/CAEP 組織図

asures

(騒音低減運航方式, フォーカルポイント: J. Brooks)

空港周辺での航空機騒音暴露量を軽減するための運航手順及び方策の設定

2.10 Airport planning and Land-Use Planning

(空港計画及び土地利用計画, フォーカルポイント: E. Andrade)

空港周辺での最適に斉合性のある土地利用を促進するためのガイダンス資料の作成

2.11 Airport Noise Modeling and Monitoring

(空港周辺騒音モデル及び騒音監視, フォーカルポイント: J. Ollerhead)

空港周辺で騒音監視を行うシステムに係る基準及び飛行経路監視装置設置のガイドラインの設定及び ICAO サーキュラー 205 の航空機騒音コンターモデルの見直し

ここで「2.\*\*」で標記されている番号は CAEP 5 で承認された Work Program の番号である。ちなみに Work Program は「1\*\* : Engine Emission」, 「2\*\* : Noise」である。

(2) 「2.1 騒音証明手順の改訂」

本 TASK は, 騒音証明の近代化を目的としているが, WG 2 側としては現実に騒音問題が起こりやすく, 対策を行っていく上で騒音影響の評価が必要となるような場面及び実際に使用されている飛行形態・手順を基礎に

騒音証明手順を定めていくことを求めている。

また、騒音証明によって得られる航空機の騒音値及び Noise Performance Data について空港周辺での騒音環境評価に役立てられるようにし、最終的にはコンター作成にもつなげようとするもので、EPNL 形式のデータのほか、LAeq 形式のデータも取得し、ゆくゆくは当該データベースを ICAO に整備しようとしているものである。

これまでのところ、検討項目をリストアップして、その後の具体的な検討の内容について騒音証明を担当する WG1 と調整している段階であるが、WG1 からは検討事項についてより詳細を詰めるように求められており、実態として検討は滞っている。

### （3）「2.8 MAGENTA（航空機騒音暴露人口評定）」

本 TASK は、CAEP 5 から引き続き検討を行っているもので、理事会からの要請としては、途上国その他のファクターも加味したより高い精度の世界的な騒音人口の見積もりが課されている。

CAEP 5 で新たな強化騒音基準が採択された以上、さして優先度の高い事項とならないと考えるのがふつうであるが、Chapter 4 については基準強化に積極的な派と消極的な派の双方とも強い不満を持っており、消極的な側からは新基準発効の延期または更なる基準強化の阻止の根拠として、また積極的な側からは更なる基準強化の根拠として、それぞれ本件見積もりの見直しに高い優先度を与えている。

関連して基準強化コストの見積もりについても、FESG が優先的に取り組んでおり、CAEP 事務局としては両方の結果により、当面の騒音基準見直しの議論にけりを付けたいように見受けられる。

ところでこの TASK Group は、メンバーが“2.11 Noise Monitoring and Modeling”

とほぼ同一であることから合同で TASK Meeting を開くことが多かったが、2002 年 9 月の Steering Group Meeting において 1 つの TASK Group に統合することが正式に認められ、“Noise Modeling and Assessment” TASK Group となった。

MAGENTA に関しては、小規模飛行場での騒音影響（騒音被害人口の見積もり）及び Airport planning and Land Use Planning Task Group が作成することとなっているバランスド・アプローチの要素（民家防音/移転等を含む土地利用計画・管理、騒音低減運航方式、騒音源対策及び運航制限による影響人口抑制・低減効果を盛り込むこととなっており、結果は、費用見積もりを実施している FESG に送付されて費用対効果分析が行われることとなっている

当該、空港周辺騒音影響人口及びその増加の評価については、代表的な国際空港である 7 カ国の 24 空港が対象として挙げられており、日本については成田、羽田、伊丹、名古屋、福岡、関西国際の 6 空港が挙げられている。今回見直しにあたっては、名古屋空港については 2~3 年後に主要な航空輸送便は中部国際空港に移ること、関西国際空港については海上にあって対象となる騒音影響を受ける住居は存在しないことから MAGENTA の対象から除外する旨申し入れている。

作業は、それぞれの国のメンバーが自国の空港データを取りそろえて提供し、それをもって評価を行うことになる。後述する第 6 回 WG2 大阪会議では、イギリスからこの一環として、Heathrow, Gatwick, Stansted, Manchester, 及び Birmingham の 5 空港の例が他に先行して示された。ここでは、騒音コンターが変化する前後の人口/家屋数を調べた結果について、変化前のコンター及び人口/家屋数を基準に、コンターの変化と人口/家屋数の変化を比較して、コンターが変化したエリアでの人口/家屋数の増減を

Encroachmentとして表したものである。これを先例として3月下旬までに各メンバーが自国の空港についてドラフトデータを作成し、次回第7回WG2会議においてEncroachmentの定義をともに議論する事としている。なお、わが国については、福岡空港を対象としたドラフトデータを作成し、ラポーターに提出したところである。

Airport Noise Modeling and Monitoringに関連する作業については、航空環境影響評価に使用するためのモデル/データベースに関して維持管理プランの開発、最良な統合の可能性検討、精度維持のための共通要素の統合及び標準化に関する調査の必要性が課題として上がっていたがCAEPのなかで完成させるには範囲が広すぎるため、継続してその取り扱いを検討する事としている。

騒音モデルガイダンスの開発については、EUにおいても進められており、当該騒音モデルで用いるデータベースもEU独自のものとしている。コーディネートはSAE A 21が行っている。一方で、騒音予測手順のガイダンスであるCircular 205改定の一環としてICAO独自のデータベースを開発すべきであるとする意見がTASK Group内にあるが、これはCircular 205の改訂とICAO独自のデータベースを対にしておいて、ICAO CAEPのWeb Siteからダウンロードできるようにする構想の様である。ただし、Circular 205の改定作業そのものについては停滞気味である。

#### (4) 「2.9 Noise abatement Operational Measures」

このTASKには日本からメンバーが参加していないため、細かい議論の内容は判らないが、前回CAEP5において報告されたICAO新騒音低減運航方式が、OPS-Panelを経てANCを通過し、正式にICAO騒音低減運航手順として規定される見込みがたった時点ではほぼ活動は終了したと言ってよく、行

動計画には更なる見直しがあげられているものの活動は低調である。但し、Emissionとのトレード・オフの問題が、毎回STGで取り上げられており、WG3またはWG4とのInter-coordination meetingが進めば、改めてこの問題を中心に活動が活発となる可能性は残っている。

#### (5) 「2.10 Airport planning and Land Use Planning」

本TASK Groupは、WG2では最も活発なTASK Groupであって、メンバーもWG2では最も多く、現在のWG2は事実上2.11/2.8と2.10の2TASK Groupといっても良い状態にある。日本からは、航空局環境整備課に所属する筆者が参加している。

本TASK Groupの主たる課題は、Airport Planning Manualの改訂であるが、今回改訂では土地利用計画についての様々な類型を記載するとともに、各国の具体的な経験を収録することとしており、我が国についても、騒音防止法を適用する国の管理する空港及び新東京国際空港について収録するよう準備をしているところである。

本TASK GroupのAPM改訂と並ぶ重要な課題としてBalanced ApproachのGuidance manualの編集がある。良く知られているようにBalanced Approachは、現行基準(Chapter III)機の強制退役をCAEP5で見送った経緯もあって第33回ICAO総会(2001年9月)決議A 33-7で強く推進することとなった空港周辺での騒音問題について総合的な取り組みを指すもので、機材の低騒音化、騒音低減運航方式、空港周辺対策/土地利用規制及び運航規制から最適な方策によりアプローチするというものである。

総会で採択した決議では、空港毎に実施する運航規制について道を開く一方、Chapter III適合機に対する運航規制の導入に歯止めをかける表現も盛り込まれている。

本件については、TASK Group内に編集



Teamを設置して取り組んでいるが、思惑の違いは編集方針にもそのまま持ち込まれており、作業はline by line, word by wordで厳しく対立する場面の連続である。WG2だけでは編集作業が進まないため、WG2とは別途にワシントン、モントリオール及びデン・ハーグの3回の編集者会合が開催された。

これまでに、定義、各方法、方法の間の関係などを記載した1章から8章までについて概ね合意が得られ、今後は各方法を採用するにあたっての目安とする費用対効果分析の方法及びそれに基づく方法の選択に係る第9章と費用対効果分析の詳細な実施方法及びBalanced Approachの適用例を収録する付録の編集作業を進める予定であるが、FESGに依頼して行った費用対効果分析の内容について議論に入っていない。費用及び効果に何を含めるかについては、関係者全員強い関心を持っていることもあり、編集作業は更に難航すると予想される。また、編集Teamでは既に合意に達している1章から8章についても、これまでの議論の経緯から見ると6月のSTGですんなりと了解されるとは考えにくくまだまだ議論があるものと予想される。

#### (6) その他の課題

この他、WG2のTASKとしては騒音に関する社会科学的な検証(Sociological Study on Aircraft Noise)があり、初回会合でEgyptから参加したメンバーがFocal Pointとなったが、その後は旅費等を理由に当人の参加がほとんど無く、作業は進んでいない状況にある。

ところで、CAEPではWG4で航空機の運航にかかるemissionの排出抑制を取り扱っているが、CAEP5をもってほぼ課題が終了したことから、現在は専らWork shopの開催を行っており、CAEP6ではWGそのものが整理される可能性がある。一方、WG2が担当している空港計画マニュアルでは、空港に関連する環境一般、すなわち大気

汚染から水処理に至るまでを取り扱っており、今後WG4が整理された場合にはWG2が空港周辺での航空機及び空港に起因する大気影響も担当すると予想されている。

### 3. 関西国際空港で開催した第6回WG2について

12月に日本で開催したWG2会合は、メンバーが所属する国あるいは機関が順次ホスト役を務めて開催しており、今年6月にカナダがオタワにおいてホスト役を努めた後を受けて、日本がホストとなって大阪―関西国際空港で開催したものである。

関西国際空港での開催は、関西国際空港の利用促進の他、この地域に我が国での空港騒音問題への対応結果として最も典型的な例である関西国際空港(新規空港の立地)と大阪空港(既存空港での騒音対策)の2空港が所在しており、いずれも本作業部会で取り扱う事項の参考となることが期待されたほか、我が国空港事情についての国際的な理解がより一層進むことが期待されたことによるものである。

議論の内容は、既に述べたとおりであって重ねて記載する必要はないと思うので、ここでは今後の参考として会議の事務運営の様子を報告したい。

会合では活発な検討及び議論が行われ、初日から会議時間が大きく延長された他、2日目以降も会議時間を大幅に繰り上げて開始するなど、集中した検討作業が行われた。

参加者の積極的な参加はもちろんであるが、円滑かつ適度な会議運営・事務サポートも寄与したものと自負している。

まず議場については、既に述べた理由の他、関西国際空港が国際間の会合を開催することに極めて好都合なこともあげておかなければならない。

空港事務所には大変な苦勞をおかけしたが、会議を開催するのに必要な条件、①快適

な会議室があること＝近代的な空港事務所棟，②想定外の事態でもサポートが得られる組織があること＝空港事務所，③宿泊先から議場への参集が容易なこと（＝ホテル日航関西空港等多数の空港周辺ホテル），④参加者の食事とショッピングが至便でなおかつ選択肢も広いこと（＝PTB 及びエアロプラザ），⑤参加者の到着やフライト状況の確認が容易であること（＝空港内航空会社カウンター及びフライトインフォメーション），更に可能であれば有名な観光地に近いこと（＝京都及び奈良）がほぼそろっていた。

経費の面でも会場借料が不要で，関西空港事務所から議場の整備，PC，プリンター及びコピーなどのOAの使用，車両の送迎使用等の便宜も受けられたことから，日本で開催されたこの種の国際会合としては極めて低コストであったと考えている。ホテル日航関西国際，全日空ゲートタワーホテル及びホリデイ関西空港から特別レートの宿泊料金の提示が得られたことも参加者からは好評であった。

低コストにもかかわらず，検討作業中のタイムリーなドキュメント類の配布や会議場でのインターネットへのアクセス提供など，会議サポートは滞り無く提供しており，円滑な議事進行に寄与したと感じている。

CAEPの活動に今後とも積極的に関与していく方向からは，比較的頻繁に会合をホストすることになると予想されることもあって，今回は低コストと手づくりの会議運営を目指した。主催者側である航空局環境整備課，大阪航空局，空港事務所とともに，空港環境整備協会からも多数の人的事務サポートを得られた結果，日本ではまだ珍しい手作り

の運営が可能となったもので，参加者からはこれまでと違った意味で高い評価を頂いたと思う。

余談ではあるが，空港事務所に空の日の記念品を一部留保しておいてもらい，これを記念品として参加者に自由にもっていった。高価なものはないが，国土交通省のマークが入った関西国際空港の記念品として大変好評であった。

今回合合では，日程の合間を縫って関西国際空港の見学を実施したほか，最終日に空港環境整備協会の計らいで大阪国際空港（伊丹）での周辺環境対策の視察を行った。

関西国際空港については，管制塔下の回廊からの空港全体像の俯瞰から始まって，関西国際空港株式会社の案内による空港建設概要の説明及びPTB視察を行い美しく近代的かつ機能的な空港として好評であった。また伊丹空港周辺施設の見学については，空港環境整備協会の後援を受けて，大型防音壁，周辺整備機構による緑地整備・再開発事業及び空港環境整備協会の協力による大気測定の見学視察を行い参加者の真剣な興味に適合する有意義な視察とする事が出来たと感じている。

視察終了後，希望者については夕暮れの京都を案内した。貸し切りであったバスを有効活用したものであるが，協会の粋な計らいは大変好評であった。

最後になりましたが，航空局後援の行事でありながら快く会議及び視察の実施にご協力頂いた関西空港株式会社，空港周辺整備機構及び空港環境整備協会の関係者の皆様にこの紙面を借りて心から感謝申し上げますとともに今後とも変わらぬ，ご協力をお願いするものです。

内外報告

## ICAO/CAEP の動向 (WG 1・WG 3)\*

台 木 一 成\*\*

### 1. はじめに

国連の下部機関である国際民間航空機関 (ICAO) の理事会の下に環境問題を担当する航空環境保全委員会 (CAEP) が設置されている。この CAEP は騒音を担当した CAN と排ガスを担当した CEEE が合体した委員会であるが近年は本会合を概ね 3 年毎に開催している。CAEP には 5 つのワーキング・グループが設けられているが本稿ではそのうち航空機騒音を担当する WG 1 と排ガスを担当する WG 3 の平成 14 年 (2002 年) あたりの活動について報告する。

平成 14 年は、平成 13 年 1 月の第 5 回 CAEP 本会合から受けた項目を平成 16 年 2 月に見込まれる第 6 回 CAEP 本会合に向けて検討していく 2 年目、中間の年に当たっている。3 年に 1 回の本会合では間が開きすぎるため、1 年に 1 回ほど中間的なステアリング・グループが開催され、こちらは平成 14 年 9 月にパリ (フランス) で開かれている。

### 2. ワーキング・グループ 1

WG 1 は航空機の騒音基準の強化案の検討が主たる活動であるが前回の CAEP で聾音

速ジェット機とヘリコプターについて基準強化を行ったため、次回 CAEP にはさらなる強化案の提出は見込まれていない。しかし WG 1 の担当範囲は騒音基準をとりまくあらゆる点にわたっており、強化した基準の具体的な運用手続き、測定方法の改善など幅広い検討が進められている。第 5 回 CAEP を機会に WG の運営方法を見直し、7 つのタスク・グループを設置して検討事項を割り当てた後、試行錯誤を経て現在では実質的な検討をすべてタスク・グループに行わせている。そのため開催期間が約 1 週間となっている。平成 14 年には 6 月 (米国サヴァナ)、10 月 (英国ダービー) で開催された。さらに平成 15 年 2 月に臨時タスク・グループ (スイス・ジュネーブ) が開催されている。

構成は ICAO 事務局、各政府と各団体である。ICAO 事務局は時々出席する。政府は各国の航空局であり、米国、カナダ、ヨーロッパから英仏独オランダ、アジアからは我が国、たまにブラジルとアラブの連合が参加する。団体は航空機とエンジンの製造者を代表する国際航空宇宙工業会 (ICCAIA)、航空会社を代表する協会 (IATA)、時々空港管理者を代表する協会 (ACI) が参加する。参加者は約 20 人である。今期の WG 1 はタスク・グループの座長に政府委員だけでなく団体の委員を当てている特徴がある。議論は政府対団体の他、政府相互間の規制の違いで行われることもある。ICCAIA の出席人数が多く、政府は米国を除いて各国約 1 名である。

\* Recent Information from ICAO/CAEP/WG 1・WG 3, by Kazushige Daiki (Deputy Chief Airworthiness Engineer, Airworthiness Division, Civil Aviation Bureau, Ministry of Land, Infrastructure and Transport)

\*\* 国土交通省航空局航空機安全課 次席航空機検査官

米国はWG1の座長を務めていることもあり、タスク・グループ別にさらに担当者を割り振っている。オランダが副座長となっている。その他の政府は全タスク・グループ共通にほぼ同じ担当者が参加している。我が国からは航空局の他に時々航空宇宙技術研究所からヘリコプター騒音の専門家が参加している。

再証明タスク・グループではフランスが座長となり、現用ジェットの新基準 Chapter 4 に対する証明手続きの検討が概ね片付いた段階にある。なお Chapter 4 適合が証明されていない航空機の強制退役について第5回 CAEP で合意がなされなかったために、現用機の Chapter 4 証明にさほどの緊急性はなくなっている。

近代化タスク・グループでは英国が座長を務め、騒音規制のあり方から議論が始まったが現行の ICAO Annex 16 の方法は維持することとなり、その他諸要因についての近代化（アップデート）の検討を行っている。空港遠方の騒音に関して空港周辺対策を担当する WG 2 との間で連絡グループを置いている。

証明書タスク・グループはオランダが座長となり、当初は証明書類の統一が主であったが最近では証明騒音値（主に最大重量関連）の変更について議論されている。採用を任意として騒音証明書の標準様式を定めようという提案がされている。

テクノロジー・タスク・グループは ICCAIA（フランス SNECMA 社）が座長となり、技術開発状況を関係者に紹介するワークショップを一昨年12月のステアリング・グループに時期を合わせて開催するなどして好評を博している。さらに技術開発と騒音規制の関係の整理に取り組んでいる。

技術事項タスク・グループは米国が座長となって騒音証明に関連する測定技術などの周辺事項の整理を行っている。

ETM タスク・グループの座長は ICCAIA

（米国ボーイング社）であり、環境テクニカル・マニュアルのアップデートとその全面改定の検討を行っている。このマニュアルは各国が従来から使っている測定・解析方法と ICAO Annex 16 の方法との同等性を定めており、ある意味で国毎の多様性を許容している。

回転翼タスク・グループはフランスが座長で簡易規制の Chapter 11 と標準規制の Chapter 8 の整合性の追跡など回転翼機に係ること全般を検討している。

### 3. ワーキング・グループ 3

WG 3 は航空機の排ガス基準の強化案の検討が主たる活動であるが、平成10年の第4回 CAEP でジェット機の窒素酸化物の規制強化を行った後、前回の第5回 CAEP では規制強化を提案しなかった。WG 3 は第5回 CAEP より前から2つのタスク・グループを設置してきたが、さらに3つ目のタスク・グループを平成13年に設けた。WG 3 は出席者が約40人とWG1の倍である。平成14年は5月（米国グラス）、10月（仏国ツールーズ）に開催された。開催期間は約2日である。WG 3 はタスク・グループを少人数構成としてWG3と別日程で開催している。

WG 3 の構成も ICAO 事務局、各政府と各団体である。ICAO 事務局は時々出席する。政府は航空局の他に環境担当部局と研究担当部局が参加し、国の構成はWG1と大差がなく、米国、カナダ、ヨーロッパから英独仏スウェーデン、アジアから我が国が参加する。団体は ICCAIA がエンジン製造者主体である。IATA と ACI も参加する。議論は主に政府対団体で行われる。我が国は航空局と空港環境整備協会の他に航空宇宙技術研究所が時々参加する。座長をカナダが務めていたが交代した。副座長であった英国が座長となった。新しい副座長は米国になった。

第一は長期技術目標タスク・グループ

(LTTG) であり、英国運輸省の委員が座長を務めている。概ね20年スパンの技術開発動向をとりまとめている。

第二は代替方法タスク・グループ(ATM)であり、現WG3座長の英国研究所キネティック QuinetiQ (元の国防省研究所、現在は民営化された。)が座長である。現行の排ガス規制がLTOサイクルという高度900m以下の着陸進入、地上走行、離陸上昇を対象とした測定方法であり空港周辺の大気汚染の観点であるのに対して、全地球的観点から上昇と巡航における排ガスの規制を目指している。但し飛行中の測定が困難であるため地上運転時の測定で代替しようとしており、方法としては概ね目途がついた段階とされている。

第三は基準値タスク・グループ(STG)であり、ドイツ航空局が座長である。現在LTOサイクルでの窒素酸化物の規制強化を目指して多数の基準値の選択肢を検討中である。次回のCAEPまでの合意を目標としている。上昇・巡航時の基準値の選定はその後になるものと考えられる。

WG3では排ガスの測定技術については米国SAEに多くを負っており連絡担当者をWG3に置いている。また国が推進する排ガス低減技術の研究開発計画や大気汚染に関する科学研究計画の進捗状況を把握するための

連絡担当者も置いている。

エンジン製造者の主張によれば実験室レベルでは相当大きな窒素酸化物の低減が得られているものの実用エンジンにおいて得られる低減量はその他の各種設計要因との関係で限られたものになるとのことである。

また最近、排ガス低減と騒音低減のトレード・オフの状況を検討するためのWG1-WG3の連絡グループが置かれた。さらに空港周辺の排ガス予測技術の検討が一部から主張されたこともある。また排ガス低減技術の現状を紹介するワークショップがWG3により昨年9月のステアリング・グループに時期を合わせて行われた。

#### 4. おわりに

WG1とWG3のいずれも活発な検討を続けているが、騒音規制が空港周辺の問題であり現実的な技術や手続きの問題を主に扱うのに対して、排ガス規制はそれに加えて全地球的な観点が強くあり大気汚染などの科学研究との結びつきをより必要としている。また機体製造者もエンジン製造者もかつてのように大幅に騒音や排ガスを少なくする単一の技術は見当たらず地道な研究開発が必要との立場であり、引き続き規制の強化を目指していくこととなるが、一方で環境保全にはより総合的な対策が求められていくものと考えられる。

## インターノイズ 02\*

山 田 一 郎\*\*

### 1. はじめに

インターノイズは、騒音と振動の問題に携わる人々が一堂に会する最も大きな国際会議で、1972年以來毎年開催されている。インターノイズ 02はその第31回2002年の会議で、2002年8月18日～21日に掛けて米国ミシガン州のディアボーンに於いて「交通騒音」を会議テーマに開催された。米国騒音制御工学会主催、カナダ音響学会共催、オハイオ州立大学を中心とする実行委員会の下に準備が整えられた。開会式の会長報告によれば、発表論文402件、基調講演3件で32カ国から723人の参加登録があった。日本の参加者は59人で主催国の米国319人に次いで多かった。次年度の開催国、韓国も32人と例年より多かった。会議では口頭発表とポスター発表、パネルディスカッションにより騒音・振動の発生から伝搬、暴露、人体及び動物への影響、基準・規制等に至るあらゆる側面について討議された。発表論文はCDROMとして取りまとめられ、会議後も入手できる。なお、インターノイズ開催は最近では原則としてアジア・オセアニア、米州、ヨーロッパの3地域を順にまわる形で開催されている。

さて、会議への出席であるが、8月17日

午後成田を出発し、同日午後デトロイトメトロ空港に到着した。ディアボーンは、デトロイト郊外の小都市でフォード発祥の地として有名である。翌18日には国際騒音制御工学会 I-INCE の年次総会に日本騒音制御工学会代表として出席した。本会議は翌19日から21日にかけて開かれた。その他、初日の夕方に展示会場でレセプション、二日目夜にヘンリーフォード博物館でバンケット、最終日の閉会式後に次年度開催国（韓国）主催のレセプションが開かれた。筆者は初日と二日目に各1件講演した。カナダの J. S. Bradley から招待されて特別セッション「交通騒音に対する建物の遮音」で発表したものと米国の L. Finegold から招待されて特別セッション「地域騒音」で発表したものである。なお、本会議後、別の場所で「音の品質に関するシンポジウム (SQS 02)」が開催されたが、参加せず帰国した。

### 2. I-INCE 年次総会

年次総会は I-INCE の最高議決機関として年1回開催される。この会議では加盟団体の資格に関する審議、年次会計報告、新年度予算、将来の I-INCE 運営の見込とインターノイズ開催予定の報告等がなされた。特定議題の検討に設けている研究委員会の活動状況の報告もあった。I-INCE の活動を一層活発にするために研究分野会議 (Technical Section) を新たに設置することが提案・承認された。さらに韓国代表がインターノイズ

\* Report of Inter Noise 2002, by Ichiro Yamada (Head, Aviation Environment Research Center)

\*\* (財) 空港環境整備協会 航空環境研究センター 所長

2003 の開催国として、準備状況を説明した。韓国の済州島で開かれる予定である。

### 3. 本 会 議

**開会式：**英国の B. F. Berry とカナダの J. S. Bradley の司会で始まり、最初に会長 T. Kihlman が挨拶し、6つの研究委員会 TSG #1～#6 の内容と役割を簡単に説明した。次に総会で承認された研究分野会議の立ち上げを宣言し、騒音放射、騒音暴露、振動、伝搬、騒音政策の五分野に分けて若手研究者支援や将来の会議テーマの提案といった課題について自由に発言・討論できる場を作るものだと説明した。その後、INCE-USA 会長 R. Hellweg が歓迎の挨拶をし、今回の会議の特色として米国の騒音に関する国の政策のあり方を論議するパネルディスカッションを開くと述べた。最後に実行委員長 R. Singh が開会宣言した。

今回の会議では、特別セッションとして、米国の騒音政策 (NNP)・地域騒音 (CN)・環境騒音の管理 (ENM)・環境騒音評価基準 (ENC) などの表題を持つセッションが多数あった。NNP が7つ (パネルセッション)、CN が6つ、ENM と ENC が計4つ (パネルセッション2/1) である。米国では、長年、環境騒音問題への取り組みについて騒音暴露に立脚して影響を評価し、制御することを基本とする考え方のグループと騒音発生源で規制することを基本とする考え方のグループが主張しあう形で論議してきたが、最近では双方が調和して環境対策推進を図る方向になってきたと聞く。残念ながらプログラム構成が悪く幾つものセッションが同時進行したため、一部しか出席できず、全体の雰囲気把握するには至らなかった。ここでは出席したセッションで聞いた話のうち印象に残ったことをいくつか記すに止める。

**基調講演1：**米国のコンサルタント N. Miller (HMMH Inc.) が 'Transporta-

tion noise and recreational lands' と題してリクリエーションに伴って発生する騒音が自然の静謐を楽しむ人々に及ぼす影響を考察した結果を述べた。容易に予想されることだが、広い範囲に影響するのは航空機騒音であり、今や騒音が聞こえない地域は殆どないという結果が示された。

**NNP-1：**初日午前の NNP は前 I-INCE 会長の W. Lang 氏の司会で進行する予定だったが、病氣静養中のため、代りに L. Beranek が取り仕切った。最初に Maling Jr. が Lang の代理として講演し、討論の口火を切った。米国では、航空機騒音については国・インダストリー・エンジニアリングが協力し、一貫した環境政策を推進することができた。しかし、他の騒音についてはうまくいっておらず、航空機騒音の関連省庁連絡会議/FICON プロジェクトのような省庁間の協力体制を確立する必要があるが、どの官庁がリードできるか見通しが立たないこと等が話しあわれた。これまでは 'technical driving' だったが、これからは 'technical forcing' との話があり、正確な意味は分からなかったが強く印象に残った。次に Harris Andrew S. が話し、騒音評価の基準値として 60 や 65 という数値が使われるが、その規範には健康影響や生活の質が掲げられていると話した。R. H. Lyon は、芝刈り機を例に取り、欧州やアジアとの輸出競争に勝つには低騒音化の推進が必要だと述べた。L. Beranek は、騒音政策の明確な定義が必要だと指摘した。

**建物の遮音：**I. Yamada は日本の空港周辺における周辺対策としての防音工事について経緯と課題を紹介した。オーストラリアの M. Burjes はシドニーとアデレードの空港周辺の防音工事システムについて報告した。J. Yoshimura は日本の防衛施設周辺における防音工事の技術的課題について報告した。

**基調講演3：**フランスの D. Collin が 'Air-craft noise engineering issues and chal-

lenges' の題目で話した。航空機騒音の発生源対策に関する米国・欧州・日本のプロジェクトについて欧州の話を中心に詳細に説明した。具体的な低減目標について質問が出たが、CAEP の議論を踏まえ、明確な数値目標は未だ定まってはいると回答していた。Beranek が絵はきれいだがそれを現実のものとして欲しいと辛口のコメントをした。

**航空機騒音：**ノルウェーの K. Liasjo らが、航空機騒音予測において最近の低騒音機については 3 dB ほど実測より予測の方が低くなる傾向が強いとして飛行中の音源指向性等を調べた結果を発表した。

**閉会式：**I-INCE および INCE-USA の会長、実行委員長の挨拶とスタッフの紹介、INCE-USA の行事としての表彰が行われた。その後、次年度開催国である韓国から歓迎演説があり、開催場所のチェジュ島を紹介するプロモーションビデオが放映された。

#### 4. 会議の感想

今回は論文集の印刷物がなく CDROM が配布されたのみであった。発表もパソコンと液晶プロジェクタを使う人が圧倒的に多く、時代が変わったことを痛感した。しかし、逆に、パソコンを現地に持参して発表直前まで図面やスピーチ原稿を手直しすることとなり、一段と泥縄の度合いが深まった。懇親会は二日目の会議後にフォード博物館で催された。ホテルからチャーターバスで移動し、館内を自由に見学した後、バイキング形式で着席して食事するというものであった。歓迎挨拶もなく、ひたすら歓談し、食べるだけ、飲み物は有料、食べ物にありつくにも長い列に並ぶ必要があった。しかし、各国の人たちと歓談し、意見交換できたし、様々な種類の自動車を見て楽しむことができた。シコルスキー製の世界初の実用ヘリコプタを見ることもできた。オーストラリアの M. Burjes, Finegold らと話し、今年メルボルンで開催

される西太平洋地区音響学会議 (WE-SPAC-8) の折に環太平洋諸国で Military Noise の環境対策に係わっている技術者の交流促進を図るシンポジウムを開く計画を立てていることを聞かされた。

#### 5. 航空に関連する個別発表

##### I-INCE 研究委員会 TSG #3 「騒音政策と法規」

**I-INCE technical initiative #3 - noise policies and regulations, Tachibana, H., Lang, W. W (N 077) :**

1999 年の I-INCE 総会で騒音の制御と暴露に関する施策や指針、規制の有効性を評価する大規模な国際協力の計画を始めることが決まり、TSG #3 “騒音政策と法規” ができた。2000 年夏ニースで初会合を開き、参加国の騒音法令や基準のリストを作ることとした。その後、質問表調査を行い、法等の体系や性格、適用対象、有効性等を調査している。その中間報告がなされた。

##### I-INCE 研究委員会 TSG #6 「地域騒音」の現況

**Progress update on I-INCE technical initiative #6 - community noise, Finegold, L. S. (N 070) :**

TSG #6 の扱う課題に各国から大きな関心が寄せられ、最終報告「地域騒音の有効な管理の指針」の発刊が待たれている。この課題には様々な考え方や問題があるが、首尾よく合意されれば騒音対策に携わる人達に役に立つものとなる。その検討作業の中間報告が行われた。

##### 交通騒音低減のための産学官協力

**Quiet traffic - a joint effort of industry, academia, and agencies to reduce transportation noise, Wurzel, D., Neise, W. (N 542) :**

交通騒音は多くの人々が影響を受けていると感じ、苦情を述べる深刻な環境問題となっている。ドイツではその軽減を目指して製造者、運行者、研究機関、政府機関が協力することとなった。その概要が紹介されている：情報交換の場の提供、透明かつ学際的な研究



開発協力、効率的対策のための暴露—反応関係の確立、低騒音型の道路交通・鉄道・航空機の開発、騒音発生・伝搬・予測の技術手法の開発。

#### 設計段階での航空機ブレーキ振動評価方法

**A novel and efficient technique to rank aircraft brake judder levels at the design stage, Rook, T. (N 506) :**

ビジネスジェット機の機内振動苦情の元であるブレーキのトルク変動の程度を予測する手法の報告。

#### 航空機騒音工学—課題と挑戦

**Aircraft noise engineering - issues and challenges, Collin, D. (N 012) :**

三件目の基調講演で、2001年の暮れに開催された ICAO/CAEP のワークショップで検討された結果により、航空機騒音の発生源での低減に向けた米国・欧州・日本のプロジェクトについて欧州の話を中心に詳細に説明した。

#### 航空機騒音予測の音源データと伝搬アルゴリズムの検証

**Validation of source data and propagation algorithms for aircraft noise prediction, Olsen, H., Randeberg, R. T., Storeheier, S. A., Granøien, I. L. N., Ustad, A. (N 490) :**

米国の航空機騒音の予測モデル INM が最新の低騒音機について 2-3 dB 過小評価する時があるとして、ノルウェーの空港で測定を行い、音源特性と過剰減衰に焦点を絞って調べた調査の測定結果報告。

#### 航空機の騒音暴露、指向性、伝搬特性

**Aircraft sound exposure, directivity and propagation, Liasjø, K., Holen, K., Nilsen, N. I. (N 362) :**

米国 INM の過小評価原因究明として行った調査の解析結果の報告、N 490 と対をなす。

#### 豪州二大空港における建物の防音計画の実施

**Implementation of residential noise insulation schemes around two large airports, Burgess, M., Cotton, M. (N 560) :**

シドニーおよびアデレード空港周辺の民家

防音工事の実施状況の報告。2000年までに Ldn 65 相当の区域の民家 3,900 件に施工し、平均 10 dB の改善効果が得られている。

#### リヨン空港周辺における学校防音

**School building insulation around Lyon Saint-Exupery airport, Vallet, M. (N 228) :**

仏国では空港周辺の既存建物について住居は所有者から、学校は地方自治体からの要求によって環境省が助成金を出し、防音工事される。本報告はリヨン空港周辺の学校防音について報告している。

#### 日本における空港周辺の環境対策としての民家防音工事の有効性

**Effectiveness of soundproofing of private houses as part of environmental measures in the vicinity of airports in Japan, Yamada, I. (N 327) :**

航空機騒音防止法に基づく防音工事の経緯と防音性能の現状、ならびに今後の課題について報告された。

#### 航空機騒音に対する木造家屋防音性能改善手法

**Improvement methods of soundproofing performance in wooden houses for the control of aircraft noise, Yoshimura, J., Sugie, S., Ogawa, H. (N 432) :**

日本の防衛施設周辺における民家防音工事の性能向上に資する新遮音材料試験に関する報告。

#### 日本の航空機騒音環境対策における特殊法人と財団法人の役割

**Review of the role of semi-government and private sector organizations in environmental measures against airport noise in Japan, Yamada, I. (N 429) :**

航空機騒音防止法に基づく国の航空機騒音に対する対策を補完する特殊法人と財団法人の活動の紹介。

#### 航空機騒音の建物正面入射測定時の誤差

**Errors when using facade measurements of incident aircraft noise, Bradley, J., Chu, W. T. (N 403) :**

航空機騒音の屋外測定結果から建物内での騒音レベルを予測する際の建物の回折と地面

反射による誤差に関する検討の報告。

南ボストンウォーターフロント開発における航空機の上空通過時の騒音暴露の影響について

Aircraft noise exposure along South Boston's waterfront development, Fullerton, J., Najolia, D. (N 400) :

ローガン空港の飛行経路下にあたる地域の再開発における航空機騒音の影響に関する土地利用計画の観点からの検討結果の報告。

ヘリコプタの騒音に対する感度, うるささ, 心臓血管系の応答

Helicopter noise, noise sensitivity, annoyance and cardiovascular response, Smith, A. P., Rich, N. (N 532) :

白色雑音とヘリコプタ騒音による被験者実験 (30 人) に基づいて音のうるささと心臓血管系への健康影響を調べた結果が報告された。血圧上昇が見られたが, 特に白色雑音に対して慣れの効果も大きいことが分かった。

交通騒音による覚醒に関する予測モデル

A predictive model of noise - induced awakenings from transportation noise sources, Finegold, L. S., Elias, B. (N 444) :

挙動検知に基づく覚醒に関する種々の実験結果を解析し作成した予測モデルに関する報告。

交通騒音とレクリエーション活動

Transportation noise and recreational lands, Miller, N. P. (N 011) :

一件目の基調講演で, 各種レクリエーションに伴って発生する騒音が自然の静謐を楽しむ人々に及ぼす影響を考察した結果を述べた。人の活動に伴って発生する騒音量を人口密度から推算する簡便式に基づき全米にわたって交通騒音やその他の暗騒音が及ぶ地理的範囲を推計し, 自然の静謐が保持される地域がどれくらいあるか試算した結果を示した。容易に予想されることだが広範囲に影響を及ぼすのは航空機騒音であり, 騒音が全く聞こえない地域は殆どないと指摘した。

屋外のレクリエーション活動時の航空機騒音のうるささと家にいる時の騒音のうるささの関係

The relation between annoyance with aircraft noise in an outdoor recreational setting and being annoyed by noise at home, Krog, N. H., Engdahl, B. (N 531) :

屋外でレクリエーションに興じている場合に感じる航空機騒音のうるささについて自宅でも騒音に悩んでいる人とそうではない人で違いがあるかどうかを空港の移転で騒音の状況が変化する場所で関連付けて調べた。その結果, 相互に関連があることが分かった。

騒音に対する社会反応の信頼できる予測: なぜ, ここからそこに行けないか

Reliable prediction of community response to noise: why you can't get there from here, Fidell, S. (N 500) :

騒音に対する社会反応の関係には大きなばらつきがあり, 技術者や対策担当者はそれでも価値あるものと見るが, 疑問を呈する人もいる。そろそろ, 現在の手法に簡単な手直しを加えても精度を向上するのは難しいことを認めるべき時である。

日本における交通騒音に対する騒音基準と社会反応

Noise standards and community response to transportation noise sources in Japan, Kaku, J., Kato, T., Kuwano, S., Namba, S. (N 437) :

日本の道路交通, 鉄道, 航空機の騒音に対する評価基準比較および社会調査による騒音に対する住民反応の程度の違いの比較を行った結果の報告。

飛行騒音測定から抽出したパラメータとモデル計算による騒音予測

Model based prediction of aircraft noise parameters from pass - by noise measurements, Boone, M. (N 300) :

飛行騒音の測定結果に計算モデルを当てはめて音源パワーや伝搬特性等のパラメータを推定し, その結果に基づいて, 改めて騒音レベルパターンを推定する方法の報告。暗騒音

や風等の揺らぎを考えるとこの方が精度が高いという。

### マルペンサ空港における航空機騒音評価モデルによる予測計算

Prediction simulation with airport noise evaluation model in a study on Malpensa international airport, Ragusa, G., De Leo, A., Curcuruto, S., Franchi, A. (N 539) :

マルペンサ空港周辺の騒音暴露に関する予測計算と実測結果の比較検討の報告。

### 州条例に基づいて自治体ベースの環境騒音管理を行う地域社会と直面する挑戦

The challenge facing communities that rely on state regulations for community - based environmental noise management, Kuhn, F. (N 589) :

米国では騒音公害に対する連邦規則がなく自治体でも持たず、州条例がその役割を果たしているところがある。本報告は州政府の騒音施策や条例等の有効性について調べた結果を論じている。

### パネルディスカッション

#### 米国における国の騒音政策：展望

米国は国家的な騒音政策を必要としている  
America needs a national noise policy, Beranek, L. L., Eldred, K. M., Lang, W. W. (N 465) :

米国は自国製品が世界市場において競争力を維持し、国民の健康と福祉が時とともに向上するように、また1980年代前半に放棄された指導力を取り戻すために、新たな国家的騒音政策を必要としている。

#### 米国における騒音政策の発布・実施・公布のための過去の試み

Previous attempts to develop, implement, and enforce a U.S. noise policy, Finegold, L. S., Finegold, M. S., Maling, G. C. (N 061) :

1970-1980年代の米国における騒音問題に対する法規制や指針等の作成経緯やその後の運用を回顧し、新たな騒音政策の確立に資するため長所と弱点を考察している。

#### 米国における生活の質に対する環境騒音の影響

The impact of environmental noise on quality of life in the U. S. A., Fleming, G. G., Harris, A. S., Lang, W. W., Schomer, P. D., Wood, E. W. (N 063) :

生活の質に関連して米国の1972年の騒音規制法を回顧し、望ましい生活の品質や騒音政策の不備に関する現状、騒音暴露人口や人口分布の変化、騒音源の変化、騒音の影響に関する知識の不備等について論じ、新たな国の騒音政策の必要性を示す。

#### 米国の職場環境における健康保護のための国の騒音政策：工場騒音規制に関する国家協力

National noise policy on occupational health in the U. S. A.; national industrial-noise-control partnerships, Bruce, R. D., Wood, E. W. (N 065) :

十年前の時点で米国には聴力障害に繋がりにくい環境で仕事をする労働者が三千万人いた。その状況は今も本質的に変わらない。本報告では静かな機器を導入したり騒音対策をしたりして状況を改善し、生産効率を改善した事例を紹介し、抜本的な状況改善には国家的な騒音政策を取ることが必要であると述べている。

#### 騒音政策不在による米国製品への経済的影響

The economic impact on America's products without a noise policy, Lyon, R. H., Lang, W. W., Eldred, K., Brooks, B. M. (N 240) :

EUでは米国製品の流入を阻止するため新たな騒音規制を実施する方向にあり日本等もこれにならいつつある。米国の産業界は産官の協力を推進してこうした規制に適合するように研究・協力・技術移転を推進して製品の騒音暴露を低減させる必要がある。

### パネルディスカッション

#### 米国の騒音政策：連邦政府の役割

#### 米国の国の騒音政策—連邦政府の役割

A national noise policy for the United States—the role of the Federal Government, Eldred, K. M., Beranek, L. L., Lang, W. W. (N 074) :

論文なし。

#### 騒音による職場健康問題への連邦の取り組み

The approach of the federal agencies to noise as an occupational health issue, Finegold, L. S., Fleming, G. C. (N 062) :

論文なし。

NIOSH 評価法の推奨基準への改訂：職場騒音暴露

Revisiting the NIOSH criteria for a recommended standard: occupational noise exposure, Murphy, W., Franks, J. (N 078) :

論文なし。

高品質生活への課題としての騒音問題に対する連邦部局の取り組み

The approach of the federal agencies to noise as a quality of life issue, Fleming, G., Finegold, L. S. (N 468) :

論文なし。

#### パネルディスカッション

米国の騒音政策：重要な役割を担うもの

国の騒音政策に関する国民の関心

The interest of the general public in a national noise policy, Blomberg, L., Schomer, P. D., Wood, E. W. (N 472) :

サウンドスケープの観点から米国におけるこの三十年の騒音源の変化について検討し、騒音に関心を持つのはどんな国民層か、最も関心が持たれる騒音は何か、騒音についてどんな対策が望まれるかについて検討した結果の報告。

騒音軽減と制御に関する州政府と地方自治体の部局の役割

The roles of state and local government agencies in noise abatement and control, Hanson, C., Wood, E., Donovan, P., Fleming, G. (N 053) :

州や地方自治体が有効な騒音対策を行えるために必要な国の騒音政策について論じるパネルディスカッションのパネリストとして州と自治体の役割を述べる。

米国の国の騒音政策—米国の製造者の役割

A national noise policy for the USA—The role of

US manufacturers, Donovan, P. R., Hellweg, R. D. (N 068) :

論文なし。

騒音問題における非政府組織の関与

The involvement of non-governmental organizations in noise issues, Hellweg, R. D., Finegold, L. S. (N069) :

論文なし。

#### パネルディスカッション

環境騒音評価法

環境騒音の影響評価法の改善に関する勧告

Recommendations for an improved environmental noise impact assessment method, Finegold, L. S. (N 446) :

有効な騒音影響評価法は環境騒音を制御する重要なパーツである。1970-1980年代、米国のEPAやNRCの委員会CHABAで影響評価に役立つ概念が提案され、環境基本法の要求に答えて環境影響評価方法に関する報告が作られ、騒音影響に関する科学的理解が進んだ。その後WHOから発行された社会騒音指針等により騒音暴露評価法は一段と改善された。この報告では環境影響評価の手順をさらに改善するために検討すべき問題について検討し、提案する。

騒音暴露の形態に関する住民の選択

Residents' preferences for noise exposure patterns, Gjestland, T., Solberg, M., Støfringsdal, B. (N 201) :

以前の主観聴取実験により被験者は様々な騒音暴露状況を比較できることが確かめられており、屋内で四方から一様に音が聞こえる場合と正面から大きく後方から小さく音が聞こえる場合について主観的な等価点が判断できる。そのような等価な屋内騒音暴露条件において種類の異なる暴露形態のいずれを被験者が好むか調べられた。結果は、人口の稠密な地域で、道路騒音の影響を軽減する方法を考える手段として用いる予定である。

内外報告

## 国際航空科学会議 (International Congress of Aeronautical Sciences : ICAS) 報告\*

相原 康彦\*\*

### 1. はじめに

2002年9月8日から13日にかけてカナダのトロント市で第23回 ICAS が開催された。ICAS という会議についての概略の説明と、今回の会議の様態等について報告させていただきたい。

### 2. ICAS とは

ICAS は、第2次世界大戦後ヨーロッパでの指導的航空科学者たちにより発足した会合が、航空科学の国際的な学会として1957年に設立されるに至ったものである。各国の航空宇宙界を代表する団体が加盟している組織であり、現在32団体から成り、日本からは日本航空宇宙学会が参加している。西暦偶数年毎にヨーロッパを中心に会議を開催している。

後述するように ICAS は、会議で取り上げられる発表論文や招待講演が航空科学技術を広く網羅すると同時に、今後のこの分野に関する意見交換が行われる場でもある。会議には各国から500名程度の参加者があり、4日間にわたり7セッションで平行して300乃至400の論文発表が行われ、この他に総合講演が企画されている。

因みに、今回の日本からの論文は26編、参加者は50名を越えた。

### 2. 採り上げられるテーマ

論文募集の題目及びそれぞれの細目を以下に紹介するが、これを見ると本会議が航空科学の発展を担いかつ今後も時代の要請に対応していくであろうことがうかがわれる。

#### (a) 多角的分野の統合化

亜音速及び超音速輸送機、コンピュータ機と多目的(汎用)航空機、無人航空機(無人機と遠隔操縦機)、極超音速航空機、新形態航空機、宇宙往還機、滑空機と超軽量航空機、多目的分野の最適化、生存目的の設計、設計教育、回転翼航空機

#### (b) 空気力学

亜音速空気力学、遷音速および超音速空気力学、極超音速と空気熱力学、大迎角空気力学、計算空気力学、遷移と乱流、風洞試験と実機試験、試験設備と実験技術、空力騒音、揚力・抗力推算のためのCFD

#### (c) 材料と構造

複合材料と複合材料構造、合金材料、高温材料と構造、構造力学、疲労と損傷許容、構造力学と空力弾性、動的加重・音響加振と衝撃、構造試験

#### (d) 推進

ガスタービン、プロペラとファン、極超音速推進、空気取り入れ口とノズル、エンジン/機体の統合化、騒音、試験装置と試験技術

\* Report of International Congress of Aeronautical Sciences, by Yasuhiko Aihara (Adviser, Aviation Environment Research Center)

\*\* (財)空港環境整備協会 航空環境研究センター顧問

## (e) 飛行力学と制御

飛行性能と最適軌道, 制御技術と制御システム, 飛行操縦性基準, 飛行試験とシミュレーション, 飛行力学, 飛行誘導, ニューラルネットワーク, システムとパラメータの同定

## (f) システム, サブシステムおよび装備システム統合

電気・油圧および周辺機器, 航法装置, 降着装置, 補助動力装置, 損傷許容システム, 先進技術センサ, ナノテクノロジー, バイオテクノロジー

## (g) 設計, 開発, 製造および管理

総合的な製造/工程の開発, 支援, ライフサイクルコスト, CAD/CAM, 情報化システム技術, 製造工程, ロボット工学, 品質, 市場性と経済性, オートメーションと協調工学

## (h) 航空機のオペレーション

飛行管理, 空港と交通管制, 整備, 航法と通信, 直接運航費

## (i) 安全

飛行安全性, 事故解析, 信頼性と維持管理, ヒューマンファクタ, マンマシンインタラクション, シミュレーション技術, 不時着時耐久性, 航空医学, 耐空性と耐空性証明

## (j) 環境

騒音, 汚染, 大気物理

上記のうち(b)から(e)は飛行のための要素技術であり, 当初からの発展を支えてきている。(f)(g)は航空機が生産され製品として用いられるための技術である。(h)は航空輸送を安全かつ効率的に実施するための技術である。(i)(j)は航空機が公共の輸送機関として社会活動の一環を担う上で不可欠な技術課題である。これらの諸技術に基づいて(a)の各種航空機の統合的設計がなされ, 人材の育成もすすめられる。

本誌に特に関わりのある環境関係の発表論文の幾つかと, 現在の ICAS が関心を示している課題が招待講演のテーマとなっているこ

とから, それらの概略を以下に記したい。

## 3. 環境関係の論文

## 3.1 Weather and Natural Hazards

4編の発表中3編が飛行中の氷結に関する論文で, カナダ, チェコからは翼面上の氷結, ポルトガルからは翼内燃料タンクのパイプのブロックの研究が報告された。いずれも風洞を用いた実験である。他の1編はドイツで行われた後流渦の解析で, 渦の影響範囲, 制御についての提案が議論されている。

## 3.2 Aircraft Noise I

4編中3編が米国の論文であり, NASA ラングレー研究所からはノイズの低減を経済性, 安全性, 性能と総合的に検討する研究, GEからはジェットノイズ低減のための周辺気流との干渉効果の研究, 同じくGEの研究でESPRプログラムでMixer-Ejectorノズルの騒音とAcoustic Linerの関係についての発表があった。他の1編はポルトガルの論文で, 円筒形ノズルからの音場のモデルに関する研究であった。

## 3.3 Aircraft Noise II

3編の論文はそれぞれ, 米国NASA ラングレー研究所の今後のノイズ軽減目標である, 1997年の状況から近い将来に2.10 dBの達成と計画の進め方, インドネシアからのプロペラ騒音をactiveあるいはpassiveな音源により制御を試みる解析, 及びデンマークからのローターノイズの軽減に関する研究であった。

## 3.4 Design Applications and Acoustics

4編の論文が発表された。ポルトガルからは温度分布のある境界層内の音波伝播の解析, フランスのONERAの研究所からは低超音速の円形ジェット周りの流れの遷移による騒音への影響の解析, 英国からは空気取り入れ口を想定して衝撃波と境界層の干渉及び設計についての考察, オランダからは翼一胴のフェアリングの設計法の検討と

NACA 0015 翼を平板に取り付けた場合の風洞試験について、それぞれ研究成果が示された。

### 3.5 Aircraft Emission

3編の論文発表が行われた。英国からはターボファンサイクルを地球温暖化最小を目指して検討する研究と、その結果として巡航時で最適の燃費を得る場合よりも低い圧力や温度でエンジンを作動させることが望ましいこと、ハンガリーからは空港周辺の汚染物質拡散のシミュレーション、オランダからは地球温暖化対策として水素エンジン機を想定した場合の通常燃料使用機との直接運航費、性能、環境への影響の面での比較検討、がそれぞれ示された。

## 4. Memorial Lecture と General Lecture

ICAS では会議の冒頭、中間及び最後に行われる (named) 記念講演と、会期中に企画される3編の招待講演がその会議の時期の特色を示すものとして注目されている。第23回会議でのこれらの題目を講演順に列記すると次のようになる。

Daniel and Florence Guggenheim Memorial Lecture: Civil Aircraft Propulsion: The last 50 Years, H. I. H. Saravanan, Carleton Univ., CA

General Lecture 1: Aerospace in 2020: European Vision, H. von Bose, European-Commission, BE

John Green Lecture: CFD in Canadian Aerospace, F. Mavriplis, Bombardier, CA

General Lecture II: Development and Application of Technology for the Sonic Cruiser, D. P. Mooney, Boeing Commercial, USA

General Lecture III: Market Drivers and Innovation behind the Airbus Products, P. Jarry, Airbus France, FR

von Karman Lecture: The Canadian and

Australian F/A-18 International Follow-on Structural Test Program, D. L. Simpson, NRC, CA, et. al.

General Lecture I では、2020年を目指してヨーロッパが航空分野で達成すべき数値目標を掲げ、如何にこれに取り組むべきかを論じている。航空量が現状の3倍になるものと予想し、2酸化酸素排出量の50%削減、事故率の1桁低下、直接運航費の50%削減等が航空におけるヨーロッパの地位確保に欠かせないとの見通しと意欲が述べられている。

General Lecture II では、これに対して、ボーイング社が現在開発中のソニッククルーザーについてその性能を示すことにより、迫りくるボーイング747機の後継機を巡る欧米の競合への姿勢を明らかにしていた。この時代の流れと新しい技術への関心が今回の会議の大きな関心であったように思われる。

以上の3と4で察せられるように、ICASの基本的な姿勢は航空の科学、技術は総合的な観点から評価、議論されるべきというところにある。更に突き詰めれば、それは航空の発展は長い人類の願いの上であり、今後も人間社会に貢献し続けるという関係者の思いが根底にあるからであろう。

## 5. 注目の質疑

先に述べたように、ボーイング747の後継機に関する動向が現在の世界の航空輸送における大きな関心事であり、従って本会議でのGeneral Lecture IIには注目が集まった。

これまでの次世代の輸送機の開発に関する論議では、超音速輸送機(SST)を含めて多様な可能性が検討されてきた。我が国でも日本航空宇宙工業会を中心として調査検討が行われ、特にSSTに関しては、経済性、技術的課題、国際協力等について日本の取り組みが検討されてきた。しかし当初予期されたSSTの国際共同開発の見通しが失われ、一方でヨーロッパではエアバス社による大型の

亜音速輸送機、アメリカではボーイング社による高亜音速のソニッククルーザーの構想が発表され、開発が開始された。従って、SSTの出現は更に次の段階のものという受け止められ方になったものと考えられる。SSTの重要性から、日本での研究は継続されるもののその計画は比較的先を見た内容のものと思われる。

General Lecture IIの内容はソニッククルーザーの仕様を示す興味あるものであった。しかし筆者にとって予想外であったのは講演についての質疑の一つであった。聴衆からの「ソニッククルーザーの風洞試験はどの程度の速度範囲で行われているか」という質問に対して講演者は「マッハ数2弱まで行っているが、問題はない」と答えている。このことはソニッククルーザーがSSTとしての可能性を有していることを意味している。すなわち将来超音速輸送機に関する環境規制が整備された場合には予想以上の早さでSSTの時代がくるのかもしれない。

このような情報の収集、分析や対応が日本の将来計画のためにも遺漏無いことを願っている。(その後2003年の暮れに、ボーイング社がソニッククルーザーの計画を取りやめたとの報道があったようである。その内容はつまびらかではないが、その背景となる状況を把握して今後の日本の方針を検討することも必要なのではないか。)

## 6. なぜ SST に拘るのか

これまでのICAS関連の報告とやや離れるが、なぜSSTの開発に筆者が関心を持つのかについて述べさせていただきたい。

日本の航空の将来について検討するために海外の動向調査を過去に行った際に、SSTの開発の持つ意味は従来の航空機のそれとは

幾つかの点で異なるように感じられた。例えば、航空技術という観点からすれば超音速で飛行する生物は自然界にはいないので、ここで用いられる技術は人知により編み出されたものである。従ってその開発には意欲と同時に細心さ、より一層の慎重さがなければならないであろう。次に、SSTの従来の経緯は環境問題という厚い壁なしには考えられない。これは技術と社会との関係を考える上でSSTが象徴的な存在であることを示している、航空関係者が負う大きな課題であるものと思われる。

更に考えておくべきことは、何時の日かSSTの飛ぶ時代がくるのではないかということである。SSTの特質はその高速性にあるので、一回の飛行の間に頻繁に離着陸を行うことはない。すなわちSSTの航路は限定されたものとなり、用いられる空港や地域の国際交通に占める地位は重要なものとなるであろう。これはSSTの就航が単に航空輸送の問題だけで扱われべきものではないことに留意しなければならないことを示している。SSTの航路の設定には、その性能、管制、運行の整備、更には社会全体の対応等が総合的に影響するものと思われる。

今日技術の育成には各分野毎に重点化が進められているが、総合的な視点も必要なことと考えられる。

## 7. 結び

論文はCD-ROMに収録されているので関心のある方は筆者にご連絡下さい。

ICASでは航空関係の全般的な情報が取り交わされる。2004年に第24回会議が横浜で開催される。この会議が日本にとって有意義であることを願っている。



航空環境を取り巻く話題

## 航空機騒音低減への挑戦—30年の足跡\*

笹田 栄四郎\*\*

### 1. はじめに

今からちょうど100年前、ライト兄弟が人類初の動力飛行に成功した。この100年の間に飛行機は速度・飛行距離・重量において飛躍的な発展を遂げてきた。因みに1903年12月17日ライト兄弟が初飛行に使ったフライヤー機は総重量274.7キログラムで搭乗者は操縦者一人だけであった。その時の飛行時間は僅か12秒、飛行距離36.6メートルというものであった。そして100年後の今日では最大離陸重量約413トン、500人を超える乗客を乗せて15,000キロメートル以上をノンストップで飛行することが出来るボーイングB747-400が現有の最大の民間ジェット輸送機である。そして今、2006年の初就航に向けて最大840人乗りのエアバスA380機の開発が進められている。

それまで空から地上へ降りてくる音は、鳥の鳴き声は別として、雷鳴が唯一の騒音であった。そして、20世紀に入って動力飛行機の発する人工音が新たな騒音として加わったのである。飛行機が出現して前半の50年間はピストン・エンジンを動力とするプロペラ機の時代であった。この時代は飛行機の騒音が大きな社会問題となることもなかった。

それでも、1928年1月31日には米オハイ

オ州ギャレットツビルの農場主が低空を飛行する郵便機の騒音で鶏が卵を産まなくなったと郵政公社総裁に苦情を訴えている。総裁は郵便機の運航会社に書簡を出してこの地区では一定の高度を保つよう要請したことが記録として残っている。

### 2. ジェット機と騒音問題の発祥

今から約50年前の1952年5月2日、民間機初のジェット旅客機コメットがロンドン-ニューヨーク間に初めて就航した。コメット機の轟音が人と飛行機を対立させ航空機騒音という社会問題を惹き起こす引き金となった。その後1957年12月にはボーイングB707型機が初飛行、1958年12月に定期便初就航、1958年5月にダグラスDC-8型機が登場してジェット旅客機時代に入った。この当時の初期のジェット・エンジンはターボジェットと呼ばれる形式で、今日のターボファン・エンジンと違って減音対策が全く施されていなかったため、その発する音はまさに轟音、爆音そのものだった。

一方、民間ジェット輸送機初の超音速旅客機コンコルドが1969年3月に初飛行した。コンコルドは亜音速ジェット機のおよそ2.5倍のマッハ2.04（音速の2.04倍）の速さで飛行することができる。当時は夢の超音速旅客機と言われていた。しかしながらコンコルドは普通のジェット機に比べて離着陸時の騒音が極めて大きく、さらに音速を突破する際に生じるソニック・ブームという新たな騒音

\* 30 Years Challenge to an Aircraft Noise Reduction, by Eishiro Sasada (Director, Flight Operations Engineering, All Nippon Airways Co. Ltd.)

\*\* 全日本空輸(株)運航本部 技術部長

問題も惹起した。そのためソニック・ブームの影響を受け難い特定の路線に限定して細々と運航されてきたのが現状である。

### 3. 日本での騒音問題の発祥

日本においても昭和34(1959)年4月になると、BOACがコメット機をロンドンー東京線に、同年9月にはパンアメリカン航空が太平洋線にB707機を相次いで投入した。翌昭和35年には羽田空港周辺航空機爆音被害対策協議会が発足した。そしてこれが日本での航空機騒音問題の始まりであった。

昭和36年9月に日本航空がCV-880型機を国内線に投入すると、翌昭和37年に羽田地区住民が運輸省へ夜間飛行禁止を申し入れ、それを受けて羽田空港では昭和38年4月1日から夜間(23:00~06:00)のジェット機の発着が禁止された。昭和39年には全日空によるB727型機の国内線への投入、日本航空のCV-880の大阪線への投入で大阪国際空港でもジェット機の騒音が問題となり、同年10月に大阪国際空港騒音対策協議会が発足した。昭和40年1月豊中市から運輸省へ夜間飛行禁止申し入れがなされ、同年11月24日から羽田と同じように夜間(23:00~06:00)のジェット機の発着が禁止となった。

更に昭和44年12月には大阪国際空港騒音第一次訴訟が提訴されるに到って航空機騒音は深刻な社会問題となり、その後福岡空港を始め各地へと波及して行った。

これに対して、昭和42年8月に「公害対策基本法」と「公共用飛行場周辺における航空機騒音による障害の防止等に関する法律」(通称「航空機騒音防止法」)が公布された。さらに昭和48年12月には「航空機騒音に係る環境基準」が告示され、国としての航空機騒音による公害防止のための法律等の整備がなされた。

### 4. 航空機騒音の規制と基準

設計製造段階から航空機騒音を規制することを目的として、米国では1969年に連邦航空規則第36部(FAR Part 36)、国際民間航空機構(ICAO)では1971年に第16付属書(ICAO Annex 16)により航空機騒音基準適合証明制度が制定された。この基準が初めて適用されたのが、DC-10とL-1011(トライスター)である。そしてわが国では昭和50(1975)年10月にICAOに準拠した同制度が施行された。その後、新型式機だけでなく、米国は1973年以降、ICAOは1976年以降の新造機に対してもこの騒音基準への適合が義務付けられた。

その時点では既に運航中の機体への適合化は要求されていなかったが、全日空は、当時の主力機であったB727とB737に装備されていたプラット・アンド・ホイットニー社製JT8Dエンジン(計88基)の低騒音化改修を世界に先がけて行った。減音ナセル(Quiet Nacelle)というものでエンジン・ナセルとエンジン本体に吸音材を貼り付けることによってファンやタービンから発せられる高周波騒音を減少させようとするもので、前述の騒音基準への適合を目的として研究開発されたものであった。ファン騒音が優勢な着陸時に特に効果を発揮し、5~7 dBAの騒音低減を達成した。これは人の耳には従来よりも約30%静かに感じられる量である。

それと同時にわが国では、昭和50年9月から航空機騒音基準に基づく騒音証明値と最大離陸重量に比例する「特別着陸料」が公共用飛行場の使用料の科目として新たに追加徴収されることとなった。航空機騒音に係る課金制度は当時世界でも類を見ない特異なものであった。全日空のエンジン低騒音化改修は騒音基準適合と特別着陸料の軽減を狙ったまさに一石二鳥の施策であったといえよう。

そしてこの課金制度は普通着陸料の一部と

して発足当時の2倍強の単価で現在も徴収が  
続けられている。

さらに騒音基準は1978年にFAR 36  
Stage 3/ICAO Chapter 3として新設強化さ  
れ、これ以降の新型式機への適合が義務付け  
られた。新基準適用第一号が第3世代機と呼  
ばれたB 767である。2001年にはICAOは、  
Chapter 3の離陸・側方・着陸の各基準値と  
の差の合計で10 EPNdB低い基準のChap  
ter 4を設定し、2006年以降の新型式機に適  
用されることとなった。

これらの騒音基準の強化の程度をB 767型  
機(双発機/最大離陸重量約159トン)の離  
陸・側方・着陸の三点の合計で比較してみ  
ると、Chapter 2に対してChapter 3は約18  
dB(一測定点当たり6 dB)、Chapter 4は約  
28 dB(同9 dB)強化されていることにな  
る。これを音響エネルギーでみるとChap  
ter 3は四分の一、Chapter 4は八分の一に減  
少していることが分かる。

図-1に示す航空機の騒音低減の推移に見  
られるようにこの50年の間にジェット機の  
騒音レベルは20 dB以上下がったことにな

る。

## 5. 運航方式の改良による騒音軽減

### 5.1 騒音軽減運航方式の原理

騒音軽減運航方式は以下の三つの原理体系  
に分けることができる。

- ①エンジンの推力を減少させることによっ  
て音響出力を下げる方法：  
カットバック上昇方式、低減離陸推力の  
使用、ディレイド・フラップ進入方式、  
低フラップ角着陸方式、減速進入方式な  
ど。
- ②発生源と受音点との距離を増大させるこ  
とによって音の距離減衰を大きくする方  
法：  
急上昇方式、優先飛行径路方式、Dis  
placed Threshold(着陸側滑走路端の前  
方移設)など。
- ③エンジン推力の減少と距離の増大の両方  
の原理を組み合わせた方法：  
プロファイル・ディセント方式、急角度  
進入方式、2段階進入方式など  
その他、滑走路の一方側の立地条件が騒音

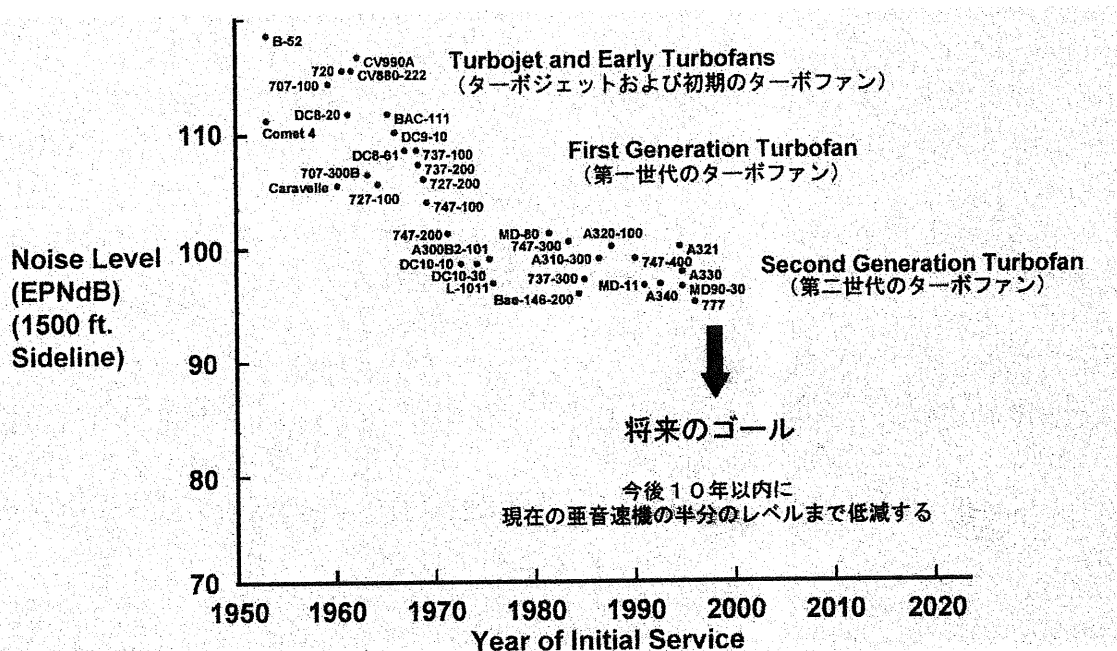


図-1 航空機の騒音低減の推移

の影響が少ない場合、可能な限りそちら側方向で離着陸を行う優先滑走路方式がある。

## 5.2 米国における騒音軽減運航方式

米国では1970～1976年にかけて飛行方式の工夫による数々の飛行騒音軽減策が研究された。1970年に設立されたばかりのEPA（環境保護局）は、1972年制定の騒音規制法に基づいて航空機騒音対策に関する法案の発行をFAA（連邦航空庁）に命令できる権限を与えられていたことから、航空機騒音基準の設定・強化や騒音軽減運航方式の導入促進等、航空機騒音対策行政に関して絶大な主導権を発揮していた。

そしてその当時、以下に示す種々の騒音軽減運航方式が連邦航空規則法案という形で次々と公布された。

- Keep-'Em-High：空港周辺空域で離着陸時にできるだけ高度を高く保持させるよう管制方式、出発・到着径路を改善する。
- Get-'Em-High-Earlier：離陸後できるだけ早く高度を獲得させる離陸上昇方式で、いわゆる急上昇方式（低バイパス比エンジン装備機ではカットバック上昇方式）である。
- Higher Glide Slope Intercept Altitude：計器着陸装置（ILS）の進入角への会合高度を引き上げる（3,000フィート以上へ）。
- Two-Segment Approaches：初期に6°の進入角で降下し、高度1,000～700フィートで通常のILSの進入角3°に乗って進入着陸する。
- Delayed Flap and Gear Extension：進入着陸時にフラップ下げ時期（1,000フィート以下の高度）と脚下げ時期を遅らせる。
- Reduced Landing Flaps：着陸時浅い方の着陸フラップを使用する。
- Increased Glide Slope：ILSの進入角を

変更して深くする（2.5°から3.0°へ）。

## 5.3 日本における騒音軽減対策の推進

昭和49年2月、全日空では「航空機騒音に関する技術対策について」と題する会社方針が出され、国内他社に先がけて積極的に騒音軽減対策が推進された。その一つが前述の減音ナセルの採用によるエンジンの低騒音化改修であった。そして運航方式の改良による騒音軽減対策フェーズIとして、最適上昇方式（後の急上昇方式）と標準騒音軽減着陸方式（後のディレイド・フラップ進入方式/低フラップ角着陸方式）を確立して、昭和49年9月1日から実運航へ導入された。

しかしながら、航空機騒音問題の効果的な解決には一航空企業のみでの努力にはおのずから限界があり、関係各方面、とくに国家的な立場での行政当局の調整、指導、援助が不可欠との認識から、関係当局への要望書の提出等の働き掛けが行われた。

### (1) 官民合同による騒音軽減対策の推進

昭和50年1月25日、運輸省航空局に「騒音軽減運航方式推進委員会」（通称、官民合同委員会）が設置された。委員会は航空局次長を委員長とし、監理部長、飛行場部長、技術部長、管制保安部長、および航空運送事業者の役職員を委員として構成された。委員会の下には航空局関係部の課室長と民航3社の関係部長で構成する幹事会および作業部会が置かれた。

これ以降、官民一体となって騒音軽減対策が推進されるようになった。

その後も全日空では官民活動への参画と並行して、騒音軽減対策フェーズIに続くフェーズIIとして、Quiet Climb Procedure（カットバック上昇方式）と2-Segment Approach（2段階進入方式）の検討が先行して進められた。2段階進入方式についてはNASA Ames Research Centerと全日空の共同研究による実運航での運用評価を日本で行う計画で具体的な調整も進められていた。

## (2) 海外調査

官民合同委員会は設置直後から活発な活動に入った。そして同委員会は昭和52年4月に騒音軽減運航方式調査団（運輸省航空局、日本航空、全日本空輸、東亜国内航空）を結成して「二段階進入方式等の騒音軽減運航方式にかかる海外調査」を10日間（4月4日～14日）に亘って実施した。調査対象は米国でFAA（本省とWestern Region）、NASA（本省とAmes Research Center）、航空機メーカー（ボーイング社、マクダネル・ダグラス社、ロッキード社）およびユナイテッド航空を訪問して、騒音対策行政や騒音対策技術の現状と将来についての情報を得ると共に、活発な意見交換がなされ、今後わが国で騒音対策を推進するに当たっての貴重な調査成果が収められた。

ちょうど同じ時期（昭和52年4月8日～同月19日）に実施された大阪国際空港低騒音大型ジェット機（エアバス）・テスト・フライトと重なった関係で、当初は航空局飛行場部騒音防止技術室長が調査団長の予定であったが急遽メンバーを変更しての調査団派遣となった。

## (3) 2段階進入方式について

米国においては、1960年代の後半より、FAAとNASAが中心となって、進入着陸騒音の軽減飛行方式として2-Segment Approach（図-2参照）の調査研究が開始さ

れた。1970年には3D-RNAVを装備したアメリカン航空のボーイングB-720機を使用した実機試験飛行が行われた。さらに1972年に入るとNASAがユナイテッド航空とコリンズ社に委託して、コリンズ社開発の2-Segment Approach専用の装置を搭載したユナイテッド航空の飛行機を用いて実運航での評価飛行を開始した。評価飛行にはGlide Slope Computerを装備したB727-200と3D-RNAVを装備したDC-8が用いられた。この方式に関しては米環境保護庁（EPA）からの強力な勧告もあって、1974年3月、FAAは2-Segment Approachの法制化に向けた規則原案を事前に先行公布して関係界からの意見収集と調整を始めた。

この飛行方式は進入着陸騒音を相当程度改善できる可能性を持つ方式として、各方面より期待され、我国においても注目されていた。FAAは日常運航での実施に関して本格的な意見調整を行い、1976年11月、EPAの勧告に応じてこの方式の導入に関し官報で正式に告示した。

しかし、2-Segment Approachは安全性の観点で運航者側からの賛同が得られず、1979年に廃案となった。それに応じてわが国での導入も断念した。またDelayed Flap and Gear Extensionの「1,000フィート以下での着陸フラップ下げ」も1980年に同じ理由で廃案となった。わが国の方式では着陸

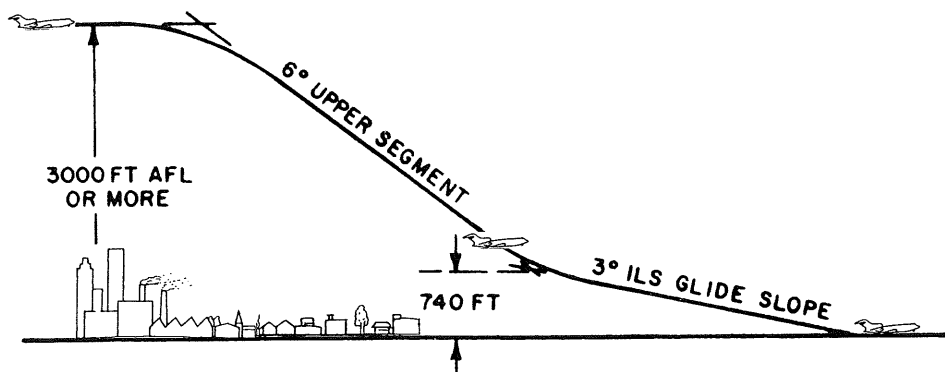


図-2 2-Segment Approach 方式

フラップ下げ時期を1,000 フィート以上に設定していたので、特にその影響は受けなかった。

(4) カットバック上昇方式について

カットバック上昇方式は騒音影響地域の上空でエンジン推力を減少させることにより音源の音響出力を下げ、騒音低減を図る原理を応用した飛行方式で、B 727, B 737, DC 9等の低バイパス比エンジン装備の機種に特に騒音軽減効果が大きい方式である(図-3参照)。全日空では昭和50年頃からこの方式の調査研究が独自に行われていたが、前述の官民合同委員会が設置された後は官民協同によ

る調査研究活動の一環として主導的な役割で参画することとなった。

カットバック上昇方式の導入までに行った試験飛行等(表-1参照)は、特に安全性、操作性、騒音軽減効果の検証に主眼が置かれた。千歳空港と熊本空港で行われた試験飛行における騒音実測結果(図-4, 図-5参照)でも予想通りの騒音軽減効果が確認された。カットバック領域では高周波のコンプレッサおよびファン騒音だけでなく低周波のジェット排気騒音が低減されているため、実際に聞いた感覚ではうるささの点でも大幅に改善されていた。

### Cutback Climb Procedure

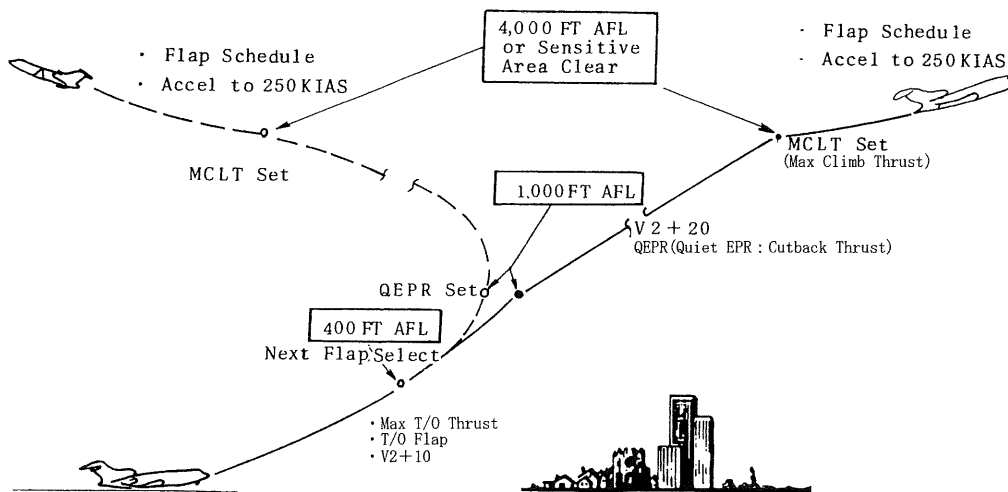


図-3 カットバック上昇方式

表-1 カットバック上昇方式の試験飛行等の実績

試験飛行名称	実施場所	実施期日	飛行回数	試験目的
予備試験 (B727)	長崎空港	S50.8.18	3	操作感覚の把握
試験飛行 (B727)	長崎空港	S51.3.12	4	騒音基礎データ収集 操作要領の検討
SIM 試験 (B727)	全日空訓練所	S51.7.5 S51.7.17 S51.7.30	67	操作要領の確立 安全性の確認
試験飛行 (B727)	千歳空港	S51.10.16	10	操作要領と安全性確認 騒音軽減効果の確認
SIM 試験 (B737)	全日空訓練所	S52.2.5	8	操作感覚の把握
試験飛行 (B737) DC9と同時実施	熊本空港	S52.2.15	10	操作要領と安全性確認 騒音軽減効果の確認
SIM 試験 (B737)	全日空訓練所	S51.7.17 S51.7.30	41	操作要領の確認

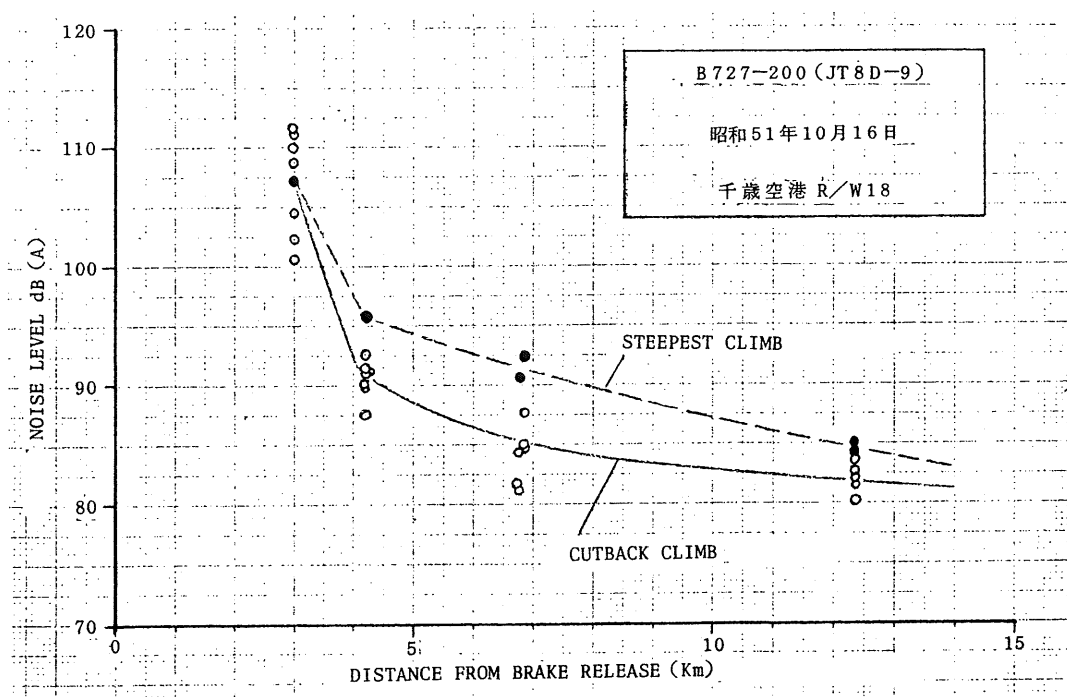


図-4 騒音実測結果 (B 727-200 千歳空港)

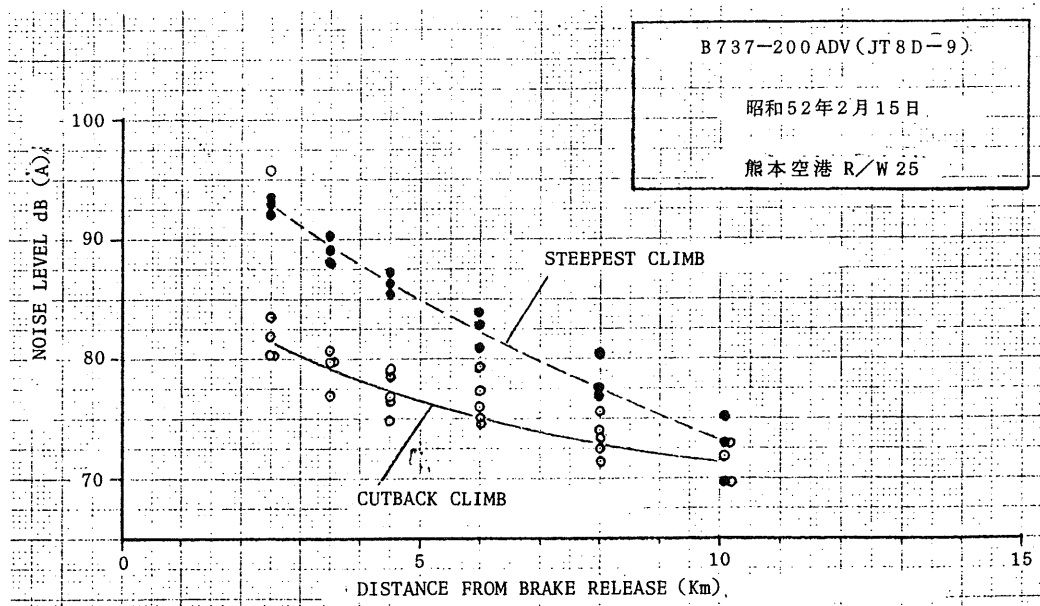


図-5 騒音実測結果 (B 737-200 熊本空港)

当該方式の騒音軽減効果が最も得られるのは、大阪、福岡、熊本、および名古屋の四空港であった。この方式はもともと大阪国際空港での騒音軽減の切り札として検討されたものであったが、大型機の導入や標準出発飛行経路への適合性等の諸事情により、結局大阪

では対象機種が退役するまで導入されることはなかった。また、名古屋空港は標準出発飛行経路への適合性の他に、推力を戻す地域での騒音の再上昇という問題の解決が難しいという理由で導入されなかった。

福岡と熊本については官民合同委員会で標

準出発飛行経路の一部見直しが行われた。そして福岡空港では B 727 と B 737 は昭和 52 年 11 月 1 日から特定の運航乗務員に限定して試行運用を開始し、一年間の慣熟期間を経て、昭和 53 年 11 月 1 日から正式に全面導入された。熊本空港に導入されたのは昭和 55 年 7 月 1 日である。

#### (5) わが国の騒音軽減運航方式の公式採用

それまでに調査研究され、実用化された種々の騒音軽減運航方式の中からわが国として採用すべき方式と運用方法について、官民合同委員会において昭和 53 年から 54 年にかけて検討・審議が行われた。

そしてその結果が 1979 (昭和 54) 年 12 月 15 日付けで新設された運輸省航空局発行の AIC (Aeronautical Information Circular: 航空情報サーキュラー) の第一号, Nr. 001「騒音軽減運航方式の採用について」にて国内外に公布された。

AIC では、「騒音軽減運航方式は、あくまで航行の安全確保に支障がない範囲で実施されるものであり、例えば、気象条件などにより機長が騒音軽減運航方式の実施により航行の安全確保に支障があるものと判断した場合には、当然その実施を断念すべき性格のもの

である。」と安全性最優先の考えが明確に謳われている。

余談ではあるが、優先滑走路方式の運用に関しての作業部会審議において、実施条件の範囲内であればペイロード (旅客や貨物) を制限してでも適用させるべきとの騒音軽減積極論も出されたが、制限した場合には需要に応じて運航便数を増やす必要も生じ、当該路線の目的地空港での騒音の迷惑が逆に増すこととなるとの論議を経て、AIC には、「…航空輸送の公共性が損なわれない範囲で…」という文言が加えられた。

その後も官民合同委員会では、特定空港での騒音軽減対策の調査検討や騒音予測評価システムの開発などの活動が行われた。騒音軽減運航方式推進委員会は設置後 28 年を経過した現在も存続しているが、平成 7 年 12 月以降、実質的な活動は財団法人 空港環境整備協会に設置された航空機騒音委員会で行われている。

## 6. おわりに

ここまで航空機騒音低減への挑戦という題で、航空機騒音問題の歴史と騒音低減への内外の取り組み、その中でもわが国で取り組んできた約 30 年の足跡を述べてきた。わが国

Growth in Airport Noise Restrictions

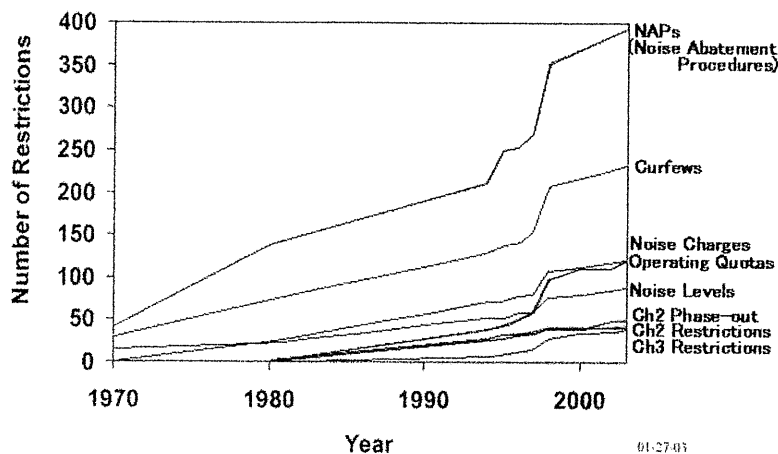


図-6 空港騒音規制の増加



は空港の立地が住居地域や都市に近接しているという特殊性から、地域社会との調和と環境基準の早期達成が重要かつ喫緊の課題であった。そして航空機騒音低減という課題と目標の達成を官民一体となって最大限の努力をしてきたのがこの30年であったと思われる。

この30年間で航空機の騒音低減技術の進歩と運航方式の工夫によって航空機の騒音レベルは格段に低くなってきた。しかしながら一方で、[図-6](#)に見られるように、世界的に空港周辺の地域社会との調和を目的とした騒音に係る空港当局の規制も年とともに増加の

一途を辿っており、今後もますます厳しくなることが予想される。

航空機騒音基準の強化、新しい材料や機体構造の開発による機体の軽量化、エンジンの効率化と騒音低減技術の研究開発、GPSによる高精度航法およびFMSによる飛行制御の自動化の進歩発展によって、航空機の騒音低減技術は今後飛躍的に進歩して行くことが期待される。そして航空機騒音の影響を極小化して空港周辺地域社会に優しい空港環境の実現が21世紀の課題であろう。

## 最近の北西ヨーロッパ空港事情\*

八百井 英雄\*\*

### 1. はじめに

財団法人中部空港当調査会は昭和60年12月中部地域における空港・航空に関する唯一の調査・研究機関として設立されました。中部国際空港の建設が進んでいる現在においても環境関連、社会経済関連等の幅広い調査活動を行っています。また、当会は中部国際空港建設以前から先進事例として、世界の空港について調査をしてきましたが、現在では中部国際空港の供用後を視野に入れた海外先進事例調査についても実施しております。

本報告は、平成14年3月に北西ヨーロッパのフランクフルト国際空港（ドイツ）、リエージュ空港（ベルギー）、スキポール国際空港（オランダ）、コペンハーゲン国際空港（デンマーク）及び周辺自治体を訪問し、航空物流及び空港と地域の連携に関する調査を行い、とりまとめたものです。北西ヨーロッパの空港について現状及び将来に関して筆者の感想を含めながら紹介します。

### 2. 調査対象空港の概要

表-1は調査対象空港の概要を整理したものです。フランクフルトやスキポール国際空港については既に多くの方が調査されていま

すが、私自身、ヨーロッパにおける拠点空港の実態を調査して、その規模の大きさや活力等について感銘を受けたところです。両空港とも旅客及び貨物の両分野に力を入れており、取扱量も非常に多いことがうかがえます。空港全体の従事者数も5万人以上と多く、地域経済に与える影響は相当大きいものがあると思われます。また、将来の航空需要増加を見越して、滑走路や旅客並びに貨物関連施設の拡充を計画し、常に更なる収益力向上を目指しています。

コペンハーゲン空港は北欧のゲートウェイとしての役割を果たしています。空港の規模はあまり大きくはありませんが、旅客ターミナルビル内は適正な空間規模で、案内が親切で雰囲気もすばらしく、親しみの持てる空港との印象です。2000年5月にIATAから旅客関連で世界ベストエアポート賞を受賞しました。強力なライバルであるシンガポール空港と常に1,2位を争っています。また、当空港利用者に対して空港の全般的印象を聞いた結果、約97%が満足であるとのことでした。子供や身体障害者に対してもソフト、ハード両面で十分な配慮がなされています。

同空港内の航空貨物施設としてSASカーゴの最新施設が1999年に完成しております。SASカーゴはイギリスの専門誌から1999年カーゴ・エアライン・オブ・ザ・イヤー賞を受賞しました。SASカーゴの施設見学では、省力機器の積極導入やITによる貨物情報管理が徹底しておこなわれており、高品質、信

\* Current Trends on North-Western European International Airports, by Hideo Yaoi (Director Research Div., The Chubu International Airport Research Foundation)

\*\* (財)中部空港調査会役員待遇 調査部長

表-1 調査対象空港の概要 (2000年)

	フランクフルト国際空港 Frankfurt Airport (FRA)	リエージュ空港 Liege Airport (LGG)	スキポール国際空港 Amsterdam Airport Schiphol (AMS)	コペンハーゲン国際空港 Copenhagen Airport (CPH)
	ドイツ	ベルギー	オランダ	デンマーク
設置管理者	Fraport AG (FAG) フランクフルト空港会社	SAB (Society of Airport Belgium) リエージュ空港公団	Schiphol Group スキポールグループ	Copenhagen Airport A/S コペンハーゲン空港会社
出資比率	国(連邦政府): 25.9%, 民間に譲渡? ヘッセン州: 45.2%, フランクフルト市: 28.9%	ワロン州: 75% パリ空港公団: 25%	国: 75.8%, アムステルダム市: 21.8% ロッテルダム市: 2.4%	国: 51% 民間: 49%
空港の位置・アクセス	フランクフルト市の南西12km 鉄道(15分)、バス(25分)	リエージュ市の西10km 高速道路(15分)	アムステルダム市の南西15km 鉄道(12分)、高速道路(20~25分)	コペンハーゲン市の南東8km 鉄道(12分)、一般道路(25分)
空港敷地面積 (ha)	1900		1750	1240
滑走路本数	3本(4060m、4000m×2)	2本(3287m、2500m)	4本(3500m、3400m、3300m、3450m)	3本(3600m、3300m、2800m)
滑走路拡張計画	第4滑走路計画	メイン滑走路4000m化計画	第5滑走路整備中	
エプロン数	112基	38基	80基	56基
年間発着回数	約45.9万回		約43.2万回	約30.4万回
年間取扱量	旅客合計	約4936万人(世界7位 欧州3位)	約20万人	約3961万人(世界10位 欧州4位)
	貨物合計	約171万トン(欧州2位)	約27万トン(欧州12位)	約127万トン(欧州4位)
主要乗入航空会社	旅客便	Lufthansa, Alitalia, BA, Cathay Pacific, Delta, JAL, Northwest, SAS	Sobellair, Pegasus	KLM, Air France, Alitalia, BA, Delta, Northwest, SAS, Singapore Airlines
	貨物便	Lufthansa, FedEx, DHL, TNT	TNT, CAL	Asiana Airlines, Dragonair, Korean Air
主要貨物施設所有会社	North: Lufthansa, South: Fraport AG	SAB, LACHS, KWE, TNT		SAS, DHL
主要航空貨物取扱製品	コンピュータ、自動車、食品など	郵便物、食品など	コンピュータ、花卉など	食品など
設置管理者の従業員数	グループ全体で14271人	1662人	1864人	1399人
空港全体の従業者数	約6万2千人		約5万5千人	

頼性を売り物にしている様子を見ることができました。空港の規模からして、当面は中部のお手本になるような空港であるとの印象を受けました。

リエージュ空港はインテグレーターであるTNT社と連携して、貨物専用空港として、近年は飛躍的に取扱量を伸ばしています。大規模拠点空港のように人と物の両方を取扱う空港に対して、貨物専用に特化した場合は、空港の立地も都市部からかなり離れていても、貨物の輸送のための内陸輸送手段(主に道路)が的確に確保されれば、その特徴を出すことができます。今後、アメリカのメンフィス空港のように発展していくことが予想されますが、ヨーロッパにおいてもインテグレーターの発展が今後も予想されます。

### 3. 空港と周辺自治体の連携

今回の調査では空港の調査と併せて、空港周辺自治体を訪問し、空港と地域の連携方法についても調査しました。訪問箇所はドイツのヘッセン州フランクフルト・ラインマイン地域計画部門とオランダの北ホランド州政府

計画部門です。前者はフランクフルト国際空港、後者はスキポール国際空港を抱えています。フランクフルト・ラインマイン地域計画部門では空港利用者や従事者及び地元住民の立場から環境的側面や経済的側面等について幅広く検討しています。特に空港の処理能力向上と空港アクセスについては、自治体なりの将来計画案を作成しています。

北ホランド州ではCOFAR (Common Options For Airport Regions) についてヒアリングを実施しました。COFARとはプロジェクト名称であり、北ホランド州の担当部門がその事務局です。参加メンバーは、2002年3月時点でオランダ、ドイツ、フランス、イギリス、ベルギー、アイルランドに位置する12の国際空港を抱える周辺自治体と1空港事業主体です。そもそもヨーロッパには地域内もしくはその周辺に国際空港が存在している自治体の共同会議体であるARC (The Airport Regions Conference) が組織されており、その一部メンバーが参画しました。COFARの目的は参加メンバー共通課題である拡大する航空輸送に対応し、地域の発展に

貢献するための方策を検討することです。実態調査を主体とする COFAR 1 は昨年で終了し、今後は COFAR 2 として具体的検討をするための EU の補助金を期待しています。

#### 4. 主要空港の航空需要と将来の見通し

ヨーロッパでは数多くの空港が運営されています。国際航空路線は、主にヨーロッパ域内における各国間国際航空と大陸間国際航空にわけることができます。大陸間国際航空旅客の約 8 割はヒースロー、シャルルドゴール、フランクフルト、アムステルダム各国際空港が取り扱っています。これらの大規模国際空港はヨーロッパ域内のハブ空港として今後とも需要拡大が予想され、ハブ化に伴う路線の集中度等によって複数案の航空需要のシナリオが検討されています。航空旅客の需要予測では、年平均伸び率を 5% として 2020 年にはヒースロー、シャルルドゴール、フランクフルトは約 1 億人/年程度の航空旅客が想定されており、スキポールは予測の変動幅が大きく、約 4000 万人～1 億人/年と大きく変化するとの予想です (表-2)。これらの空港は航空会社アライアンスの動向を注目しながら、熾烈な空港間競争を繰り広げています。各空港とも将来の需要拡大に対応した空港拡張計画を策定するとともに、一方では航空路線網獲得競争を行って行くものと予想されます。

旅客需要と同じように航空貨物需要の伸びも大いに予想されますが、ヨーロッパ域内は道路網が発達していてトラック輸送が主体で

表-2 ヨーロッパ主要国際空港年間航空旅客利用者数  
(現在と将来予想)

空 港 名	2000 年	2020 年
ヒースロー	約 6.5 千万人 / 年	1 億 5 千万人 ~ 1 億 8 千万人 / 年
シャルル・ドゴール	約 5 千万人 / 年	9 千万人 ~ 1 億人 / 年
フランクフルト	約 5 千万人 / 年	1 億人 ~ 1 億 3 千万人 / 年
スキポール	約 4 千万人 / 年	4 千万人 ~ 1 億人 / 年

あり、今後は環境問題から鉄道輸送に少しずつ移行する傾向がありますが、いづれにしても域内は陸上輸送が主体の方向です。反面、大陸間の航空貨物については、大規模空港がヨーロッパ域外の多方面へ広がる旅客便の航空網を活用した多頻度輸送を行い、まとまった貨物量がある場合は貨物便を仕立てることで大量輸送を行い、荷主側のニーズに対応していく体制を構築しています。従ってこれらの大規模空港周辺には荷主やフォワーダーの物流基地が多く進出し、輸送貨物の集約基地化が積極的に行われています。

また、空港運営主体は、航空系収入の中でも、旅客便取扱いによる収益ばかりでなく、将来は需要増加に伴う空港収入の増加が予想される航空貨物の方が期待できるとして、航空貨物施設の拡充や貨物ハンドリング業務に力を入れて収益力強化を狙っている空港もみられます。

一方では、航空貨物専用化する空港もあり、ベルギーのリエージュ空港ではインテグレーターの基地化を行うなど、貨物取扱量を飛躍的に伸ばしている空港もみられます。フォワーダーによっては、この貨物専用空港のほうが貨物取扱い時間をより短時間で処理でき、いくつかの優遇処置があるので、メリットが多いと考えています。

#### 5. 空港処理能力向上と環境問題

北西ヨーロッパの主要空港はいずれも空港周辺への住宅の進出が多くみられ、航空機騒音に対する地域からの苦情が多く、対応に苦慮しています。過去数十年に亘って航空機自身の騒音改善が行われてきましたが、今後は大幅な改善はもはや期待できないと考えられています。管制技術の改善についても、民間航空への利用拡大については時間が相当かかるものと考えられています。また、超大型機材の導入により、離発着回数を減らすことによって騒音問題を少しでも改善したいとの

思いもありますが、超大型機材導入は航空会社の投資に依存するところであり、空港運営主体がどの程度騒音問題の改善に寄与できるか推測できないところでもあります。航空機騒音の他に空港アクセスによる環境問題として自動車交通による大気汚染等が課題としてあります。こうした中で周辺自治体が空港の拡張計画検討や都市計画の中で積極的に空港アクセスの改善策を検討し、公共交通機関の利用促進の方策検討を積極的に推進しています。

## 6. 空港経営戦略

空港間競争が進展する中で、自空港を優位に導くため、航空系収入をできるだけ抑えてその依存を減らし、非航空系収入を拡大することを積極的に推進している空港が多くみられます。今回訪問したフランクフルト国際空港やスキポール国際空港では非航空系収入は全体の50~65%であり、更なる商業施設の拡充や各種の関連施設、宿泊施設、娯楽施設等の設置が積極的に行われています。また、フランクフルトでは商業都市として、スキポールでは港湾と連携した貨物流通の中心基地として地域の特色を背景に、空港としてもその特色をより明確に打ち出して利用者拡大に努めています。このように機能拡大する空港及びその周辺地域は、いわゆるエアポートシティとして捉えられており、今後の方向性を模索するため空港事業主体及びその周辺自治体では、このエアポートシティに関する調査・検討が積極的に行われています。

空港経営のより一層の効率化を図るため、フランクフルト及びスキポール両国際空港は世界で始めて空港アライアンスを結成しました。その内容は現段階では情報交換、資材の共同購入や共同での対外ノウハウ技術供与等ですが、この空港アライアンスは、今後、他の空港も参加して拡大する傾向であり、さらに航空会社やアクセス事業主体等を取り込む

方向で連携を強化していく方向にあります。また、これらの空港事業主体は、空港民営化が世界的に進む中で、蓄積された経営ノウハウを背景に、他空港へ技術指導、経営参加、事業進出等を積極的に行っており、今後の動向が注目されます。

## 7. エアポートシティ

エアポートシティについては、わが国でも多くの検討がなされ、空港事業主体や空港周辺地域開発者等によって色々な紹介、提案がなされています。多機能化する空港を都市として捉え、このような表現が出てきたものと思います。先に触れたようにヨーロッパにおいても、共同会議体であるARC (The Airport Regions Conference) 等で、詳細な共同調査・検討がされています。“From Airport to Airport City”として、空港は地域にとって単に雇用創出の場としてだけでなく、サービスや産業の魅力ある場を提供すること、空港は地域の経済活動において、ダイナミックで魅力ある発展の中心地として重要な位置を占めていることなどから、地域において活力あるひとつの都市としてその効果を的確にとらえ、経済効果を最大限に発揮するための方策について積極的に検討しています。特に空港を単に長距離旅行のための中継地としてとらえるだけでなく、空港及びその周辺地域自身がビジネスの場であり、出発地もしくは到着地として移動発生源と考えられます。したがって、空港アクセスについては、周辺の各都市から色々な交通手段が選択でき、高頻度で短時間移動できるアクセスが必要であることが強調されています。

しかし、このエアポートシティの定義は必ずしも確定しておらず、色々な使われ方をしています。ある調査機関でおこなわれた定義付けの一部を紹介します。

○空港及びその周辺地域が、主要な雇用の

場を提供していること。

○空港及び周辺地域が都市生活の中で、ある分野で中心地的役割を果たしていること。

○空港が各種交通手段の連結点としての機能を果たしていること。

これらの評価項目を個別に点数制にして評価点をつけると、エアポートシティらしいということでは1番がスキポール、2番がシャルル・ド・ゴール、3番がフランクフルトとなっているようです。

地域は、空港によって経済効果や雇用創出効果等の恩恵を受けつつ、環境面等の負の要素を克服してよきパートナーとして持続的発展を目指すことが肝要であり、地域としても、空港都市を包含した地域開発、都市開発についての的確な政策展開が必要であろうと思います。このような観点から、中部地域として中部国際空港を以下のように捉える必要があることを再確認したいと思います。

- ・グローバル社会における人及び商品の国際ネットワークの結節点である。
- ・周辺居住者、企業に対する各種サービスの提供の場として、特に外国市場へのアクセスの場の提供。
- ・活力あるビジネス活動及び競争力醸成の場の提供、内部投資の促進。

- ・地域における新ビジネス発生の場
- ・空港は地域における旅行、観光産業における基本資産である。
- ・地域を形成するイメージの主要部分である。

## 8. ま と め

中部国際空港（セントレア）の開港が2005年に迫っている中部圏として、航空・空港産業分野及び関連産業分野の発展が期待されており、この機会にその効果を地域の発展のため最大限に活用する必要があると思います。このような考えで、先進事例として北西ヨーロッパの空港事情について紹介しました。当会は発足以来、「地域に優しい空港」を目指して活動してきました。本調査を参考にして、今後、中部圏として検討すべき課題を以下のようにまとめてみました。

- 1) 中部圏における中長期の空港戦略の策定とその推進。
- 2) 空港間競争を意識し、地域の特色をより鮮明に打ち出した空港戦略。
- 3) 周辺諸国の動向と東アジアにおける中部国際空港の位置付け。
- 4) 空港周辺地域側の立場からの、空港との共存のための方策検討と具体的な空港の影響把握（メリット及びデメリット）。

航空環境を取り巻く話題

## 中部国際空港の環境配慮の取り組み\*

佐藤 広 幸\*\*

### 1. はじめに

中部国際空港（セントレア）は、2005年の開港を目指し、愛知県常滑市沖（伊勢湾海上）に建設が進められている。

中部圏（富山，石川，福井，長野，岐阜，静岡，愛知，三重，滋賀の9県）の人口は約2,000万人を数え，製造品出荷額は日本全体の約1/4を占めている。このため中部圏は，首都圏，近畿圏に次ぐポテンシャルを有し，その経済規模は世界第7位のカナダを上回っている。

中部圏の主要空港である名古屋空港の旅客数は，1997年に1,000万人を超え，2000年には1,089万人に達し，滑走路やターミナルビル施設等の処理能力が限界に達しつつある。

しかし，名古屋空港は，市街地に位置することから，大幅な拡張は非常に難しく，また，航空機騒音の影響から，夜間・早朝への運用時間の拡大も困難な状況にある。

さらに，日本が世界の航空ネットワークの拠点としての役割を果たしていく上で，国際空港機能の一層の充実が望まれていたことから，この一翼を担う中部国際空港が計画された。

### 2. 空港計画の概要（図-1）

#### 2.1 滑走路の概要

数	1本
方向	真方位N11° W
長さ	3,500m
幅	60m
強度	荷重区分LA-1に耐える強度
着陸帯の幅	300m

#### 2.2 空港敷地の面積

約470ヘクタール

#### 2.3 工事完成の予定期限

工事は，平成17年（西暦2005年）開港を目途に，滑走路及びこれに対応する諸施設の建設を完了する。（図-2）



図-2 空港建設計画

#### 2.4 運用時間

航空機の離着陸の時間制限を設けないものとする。

### 3. 位置及びアクセスの状況（図-1，3）

#### 3.1 位置

名古屋の南約35kmの常滑市沖（伊勢湾海上）

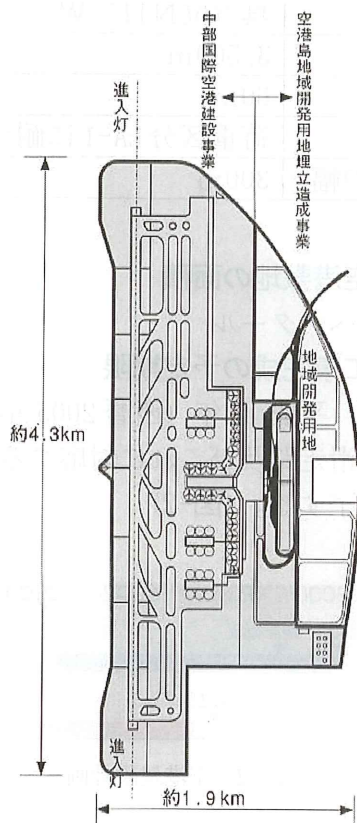
\* Considerations for the Environment of Central Japan International Airport, by Hiroyuki Sato (Manager, Coordinating Division Environment Department, Environment Planning Group, Central Japan International Airport Co., Ltd.)

\*\* 中部国際空港(株)調整部環境室 環境企画グループ副長

●位置図



●計画図



●航空輸送需要

	航空旅客 (万人/年)		航空貨物 (万トン/年)		[参考] 離着陸回数 (万回/年)
	国際	国内	国際	国内	
航空輸送需要	800	1200	43	8	約 13

図-1 位置図, 計画図, 航空輸送需要

3.2 アクセス

(1) 道路アクセス

60 km 圏域内の主要都市から概ね 1 時間を目標

(2) 鉄道アクセス

名鉄常滑線を延長して名古屋～空港間 30 分以内を目標

(3) 海上アクセス

三重県方面からのルートを検討中

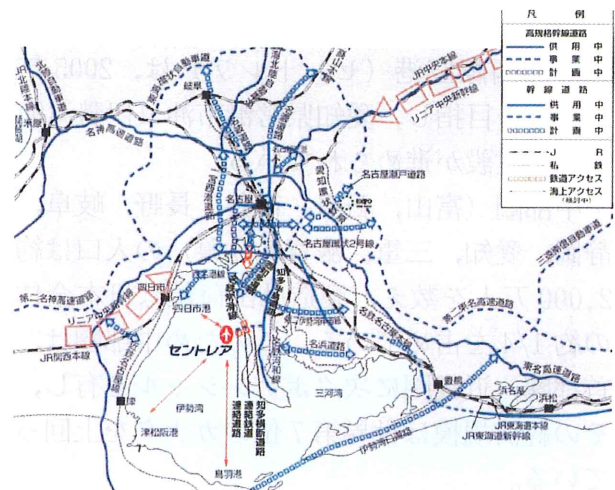


図-3 空港アクセス計画図

4. 環境対策の概要

中部国際空港株式会社は、「環境への配慮」を基本理念の1つとして掲げ、環境負荷やエネルギー消費を可能な限り低減した 21 世紀の循環型社会にふさわしい環境先進空港の建設を目指している。

その具体的な行動として、空港施設の基本構想から計画, 設計, 施工に至るさまざまな段階で継続的に環境への配慮に取り組んでいる。

また, 2000 年 12 月に日本の空港設置者としては初めて環境マネジメントシステムの国際規格である ISO 14001 の認証を取得した。空港施設の建設段階からの認証取得は, 世界の空港を見渡しても初めての試みである。この認証取得は, 本社, 建設事務所及び東京事



務所の全事業所を対象とし、用地造成工事から空港施設建設工事までの空港建設事業について、設計・施工・オフィスの3部門で構成されている。

建設工事を進めるにあたり、当社は施設の計画・調査・設計及び工事の発注・施工管理を行う。実際の建設工事は工事請負者が行うことから、施工部門では工事に伴う環境負荷を確実に低減するため、工事請負者に対し、

- ・環境管理計画書の作成
- ・作業員への環境教育
- ・環境管理計画書に基づく活動の実施
- ・建設現場での環境パトロール

等の環境活動への協力を依頼し、その結果を定期的に報告を受けるなどしている。こうしたことにより、当社は工事請負者と一体となった環境活動を推進しており、また、これにより工事開始前に実施した環境影響評価手続の中で示した環境保全対策の進捗管理を行っている。

## 5. 環境への配慮

具体的な環境への配慮の取組事項は以下のとおりである。

### 5.1 基本構想段階における取組

#### (1) 海域環境

空港島の位置及び形状は、海域環境に配慮して次のとおり対策を決定した。

- 対策1：空港島と対岸部との最小海域幅を約1.1 km 確保することにより、常滑沖の南下流を妨げないこと。
- 対策2：空港島の形状に曲線を取り入れ、対岸部との海域幅を拡大することにより、流速低下範囲・停滞域の発生を縮小すること。
- 対策3：空港島の隅角部を曲線とすることにより、渦の発生を抑えること。

#### (2) 航空機騒音

空港を海上に立地することにより、航空機騒音に係る環境基準（WECPNL 70 以下）

を超える地域は、すべて海域に収まっていると予測している。（図-4）

さらに、陸域への航空機騒音を低減するため、滑走路の位置を1997年の「中部圏における新たな拠点空港に関する計画案（中間まとめ）」から100 m 沖出した。

また、離陸機の沖側への経路偏針の起点となるVOR/DME（方位・距離情報提供施設）を滑走路西側に設置することにより、離陸経路と陸域との距離をさらに確保する飛行経路の設定が可能となった。

### 5.2 施設設計段階における取組

#### (1) 航空機騒音

周辺沿岸陸域への航空機騒音の影響を低減するため、低騒音型機材の導入、ディレイド・フラップ進入方式等の飛行方式、海上を有効に活用した飛行経路の運用、深夜及び早朝の時間帯の運用方法等を関係機関に要請し



図-4 航空機騒音の予測結果

ている。

また、開港後は航空機騒音や飛行経路を監視し、その結果を公開するシステムの導入を検討している。

## (2) 大気質・温室効果ガス

### a. コージェネレーションシステムの導入

空港施設には、エネルギー効率の高いコージェネレーションシステムを使用した地域冷暖房の導入を計画した。本システムは、エネルギー供給会社が運営し、ガスタービンから発生する排熱を回収して、旅客ターミナルビル、管理棟、貨物施設等の熱需要家に熱供給を行うものである。

また、大気汚染物質や温室効果ガスの排出量削減に配慮し、燃料は都市ガスを使用するとともに、熱源としての海水ヒートポンプの導入やガスタービン、ボイラーの低NO<sub>x</sub>化を実施している。

### b. 新エネルギーの導入

旅客ターミナルビルのセンターピアに太陽光発電システムを採用する等、クリーンな自然エネルギーの有効活用を積極的に推進している。

### c. 建物の省エネルギー対策

旅客ターミナルビルは、「ユーザーフレンドリーでシンプルなターミナル」を設計コンセプトとし、

- ・建物自体の断熱化設計
- ・高効率で合理的な空調システムの採用
- ・自然採光の積極的な導入
- ・インバータ照明等省エネ機器の採用
- ・エレベーター等輸送施設の合理的な配置等の省エネルギー対策にも配慮した環境先進空港にふさわしい空間を提供していく。

### d. 低公害車の導入

空港では、航空機牽引車等のGSE車両(地上支援器材)や業務連絡用車両等、さまざまな車両が走行する。これらの車両を対象に「セントレア低公害車導入計画」を策定し、空港関連事業者の協力を得て、低公害車

の導入を推進します。

また、空港島内に電気自動車用充電施設や天然ガス充填施設の設置を計画し、低公害車の利便性の向上を確保していく。

### e. アイドリングストップ運動の啓発

旅客ターミナルビルの乗降場、バス・タクシーの待機場、貨物地区等の駐停車車両に対し、アイドリングストップ運動への協力を要請していく。

### f. GPUの設置

航空機に装備されているAPU(補助動力装置)は、駐機中の航空機の電力や空調等の補助動力として利用されるが、その稼働による排気ガスや騒音が発生する。このため、より環境負荷の少ない電力による固定式GPU(地上動力施設)を27のスポットに設置し、航空会社のGPUの利用を促進する。

### g. ハイドラント方式の導入

航空燃料給油施設として、給油タンク車を使わないハイドラント方式を導入した。

### h. 空港アクセスの利便性向上

公共交通機関によるアクセスの利便性を向上することにより、空港利用者のマイカー利用を抑制し、公共交通機関の利用促進を図っていく。

鉄道駅、バス・タクシー乗降場等は、マルチアクセスターミナル(MAT)で旅客ターミナルビル(PTB)と連絡している。MATはPTB3階(出発フロアー)と2階(到着フロアー)の中間レベルに位置し、緩やかな

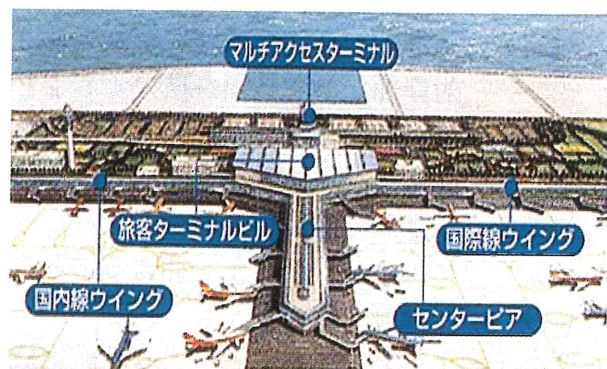


図-5 旅客ターミナルビル完成予想図

スロープと動く歩道で優しく結ばれ、利用者の利便性を高めている。

また、マイカー利用に関しては、ITS（高度道路交通システム）による円滑な車両運行を実現するため、基本的な調査検討を行っていく。（図-5）

（3）水質・水温

a. 水資源の有効利用

旅客ターミナルビル等の建物では、厨房排水等を高度処理することにより中水として、トイレの洗浄水に再利用する。また、雨水の一部を貯留し、植栽の散水に利用する計画である。

b. 下水処理

汚水は空港島全域に污水管を整備し、対岸部の常滑市浄化センターで高度処理する。

c. 温冷排水対策

海水ヒートポンプの利用にあたっては、排水と海洋との水温差をできるだけ小さくするため、冬季は冷排水と冷凍機からの温排水を混合して排水したり、夏季は下層部から水温の低い海水を取水することにより、表層水に対する温排水の温度差を小さくする設計を採用している。

（4）廃棄物

循環型社会にふさわしい空港づくりを目指し、空港設置管理者の立場から、空港島内の工事関連事業者に対し、「循環型社会形成推進基本法」の趣旨（廃棄物の発生抑制→再利用・再利用→適正処分）を踏まえた適正な処理の実施が確保されるよう、廃棄物処理に関する講習会等を開催し、協力を要請している。

供用開始後の一般廃棄物については、分別を徹底することにより、排出抑制や有効利用に努めるとともに、リサイクルセンターを稼働させ資源化・減量化に努めていく。

産業廃棄物については、排出事業者自らの責任において、排出抑制や有効利用に努め、適正な処理をするよう要請していく。

（5）生態系

a. 藻場造成

海域生物の新たな生育環境を創造するため、空港島西側及び南側護岸延長約 6.5 km に幅 10 m の小段を有する自然石を使用した捨石式傾斜堤護岸を採用し、岩礁性藻類の生育基盤を造成するとともに、学識経験者で構成する「藻場造成検討委員会」の指導を得て、生育基盤上に人工的に藻類を移植する藻場造成事業に取り組んでいる。

傾斜堤護岸の造成や岩礁性藻場の創出により、海域生物の産卵場、生育場として、新たな生息・生育環境を提供できることを期待している。（図-6）

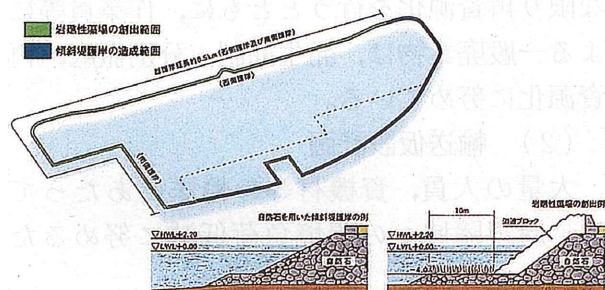


図-6 環境に配慮した護岸構造

b. バードストライク対策

航空機の運航に伴う航空機と鳥類の衝突（バードストライク）の防止は、航空機の安全運航に対する重要な課題である。

バードストライク対策については、他空港の事例を参考に鳥類を誘引しない空港構造や緑化方法等設備面の対策及びバードパトロール等の運用面対策を検討し、「セントレア・バードストライク対策ガイドライン」を策定していく。

（6）グリーン調達

空港施設で使用する物品等については、エコマーク商品等環境に配慮した製品を利用するよう努めている。

2001年4月から本格的に施行された「国等による環境物品等の推進等に関する法律」

(グリーン購入法)の、事業者としての一般的な責務を踏まえ、当社の「グリーン調達ガイドライン」を策定した。

環境物品等の調達にあたっては、環境物品のリストアップを行い、価格、品質、納期等を勘案の上、無駄な調達量の増加を招かないことに配慮し、可能な限り積極的に推進している。

### 5.3 建設工事段階における取組

#### (1) 工事全般

建設工事にあたっては、法令遵守を第一とし、工事請負者等と連携して、環境にやさしい工法や資機材の使用を推進する等の環境配慮に取り組んでいる。

また、工事で発生する建設副産物は、可能な限り再資源化を行うとともに、作業員等による一般廃棄物は、発生抑制、分別徹底、再資源化に努めている。

#### (2) 輸送仮設計画

大量の人員、資機材等の輸送にあたっては、周辺陸域への環境負荷低減に努めるため、

- ・主要な建設資機材の輸送は、フェリーバージ等による海上輸送を基本としている。
- ・作業員の通勤は、海上輸送と陸上輸送を併用する。
- ・作業員の自動車による通勤は、相乗りを励行するとともに、周辺地域に陸上中継基地を分散設置し、そこで作業員専用バスに乗り換えるパーク&ライドを基本としている。

#### (3) 建設機械等の運転

排出ガス対策型建設機械や低騒音型建設機械の使用を推進している。また、建設機械の効率的な使用計画により、使用台数の削減に努めている。

車両や建設機械等の運転手に対して、

- ・定期的な点検、整備の実施
- ・急加速、急発進及び空ぶかしの防止

- ・過積載の防止
- ・建設機械の定格運転の実施
- ・アイドリングストップの実施

等の配慮事項を徹底している。

#### (4) 用地造成工事

用地造成工事には、周辺海域の水質汚濁の発生や拡散防止に努めるとともに自然環境に配慮して山土使用量を低減させるため、

- ・造成工事の実施にあたっては、汚濁防止膜を展張するとともに、護岸概成後に埋立工事を開始した。
- ・埋立工事の工事量の分散化、汚濁負荷量の小さな埋立材料の使用(粒度分布等の確認)により、濁りの発生源の低減に努めた。
- ・濁りの拡散状況を監視し、その結果を施工管理に反映した。
- ・空港用地北側では、国土交通省中部地方整備局港湾空港部との連携事業として、名古屋港浚渫土砂を受け入れ、「管中混合固化処理工法」による埋立を実施した。
- ・同工法により、改良浚渫土は護岸等で締め切った閉鎖海域へ投入し、余水は処理施設を通じて海域へ放流した。処理施設では、pH及びSS等を監視し、必要に応じてpH調整等を行った。
- ・2000年9月に発生した東海豪雨での激甚災害特別事業における新川治水緑地掘削土の一部を埋立材料として受け入れ利用した。
- ・空港島の建設工事等に伴い発生する建設発生土や泊地浚渫土は、埋立材料として有効利用した。
- ・山土使用にあたっては、土砂調達先に対し環境配慮を要請するとともに、埋立材料に浚渫土砂や公共残土を積極的に利用することにより、山土使用量の低減を図った。

・消波ブロックやケーソン等の製作には、環境配慮型セメント（高炉セメント）を使用し、製造過程での温室効果ガスの排出低減に努めるとともに、鋼製型枠を使用（木製型枠の使用抑制）し、建設副産物の発生抑制及び再資源化を促進している。今後も工事により発生するコンクリート殻、アスファルト屑を空港島内の工事用道路資材等として可能な限り再利用していく。

#### （5） 空港施設建設工事

施工上可能な範囲で環境配慮型セメント（高炉セメント）を使用することにより、製造過程での温室効果ガスの排出低減に努めている。

粉塵の発生を防止するため、必要に応じて埋立地表面への散水を実施している。

建設副産物の発生抑制及び再資源化の促進として、施工上可能な範囲で鋼製型枠の使用（木製型枠の使用抑制）に努めるとともに、搬入資材等の簡易梱包を推進している。

### 5.4 オフィス業務における取組

#### （1） 紙の使用量削減

社内文書の両面コピー、裏紙利用の徹底により、紙の使用量削減に取り組んでいる。2001年度の1人当たりの使用量は、目標、前年度比95%に対し、90%を達成した。

また、パソコンによるFaxの電子受信化や電子決裁の導入に取り組み、社内文書のペーパーレス化を推進している。

#### （2） ごみの分別

ごみの分別は、紙類回収箱と分別ごみ箱を設置し、各事業所毎の分別基準に従って実施している。実施状況は、担当者が週1回評価点を付け、目標管理を行っている。

#### （3） 適正な電気使用

各自が離席時や退社時に照明の消灯やOA機器等の電源OFFを徹底することにより、適正な電気使用に心掛けている。実施状況は担当者が週1回評価し、目標管理を行ってい

る。また、事務所内の空調は、適正な温度管理に努めている。

#### （4） グリーン調達

当社の「グリーン調達ガイドライン」に従い、調達可能な物品から順次グリーン調達を推進している。

事務用品については、原則的にエコマーク商品等の環境配慮物品、OA用紙は古紙配合率100%再生紙を購入している。

社内で使用するパソコンは、2001年度末までに省エネルギー基準に適合した機種への取替えを完了した。

また、社有車についても、車両入れ替え時に低公害車の導入を検討していく。

### 5.5 環境モニタリングに関する取組

工事の実施が環境に及ぼす影響を把握し、必要に応じて適切な措置を講じることにより環境保全を図るため、2000年7月（汚濁防止膜設置前）から工事中の環境監視を実施している。

工事中の環境監視は、各専門分野の学識者で構成される第三者機関である「工事中の環境監視に関する検討委員会」及び関係自治体の意見を踏まえ、監視項目、地点、頻度等について具体的に定めた「工事中の環境監視計画」に基づいて実施している。

また、環境監視結果については、同委員会の公平・中立な評価を受け、年報として取りまとめ、周辺関係自治体等で構成される「工事中の環境監視連絡会議」に報告後、公開するとともに岐阜・愛知・三重県及び名古屋市を始め関係機関に送付・報告している。

## 6. おわりに

供用開始後の空港運営に伴う環境影響を低減するためには、以上に記した取組みを着実・適切に実施していくことが重要であり、今後とも環境マネジメントシステムの運用を通じ、「環境にやさしい空港」を目指してまいります。

エッセイ

## 騒音の物的被害\*

### —長期暴露と反応—

時 田 保 夫\*\*

#### 1. はじめに

騒音の暴露とその反応という課題で考えてみる。ここでいう暴露というのは、一つは構造物への物理的な暴露で、音が物にあたって振動するという現象で、建具のがたつきや瓦屋根のずれなど、もう一つは音として聞こえる人間への心理問題と心理から生理現象への影響である。

騒音暴露の状態を時刻暦で見たとき、発破のような一回で終わる単発暴露、継続時間は長くはないが繰り返されるような間欠暴露、長時間の連続暴露というようにいろいろな形態があるので、それに対する反応もおのずから違ったものになることは想像できる。単発や間欠の暴露に対するその時の評価は、比較的实验もしやすい状況なので暴露とレスポンスということでは回答は得られやすいのであるが、長期の暴露でどうなるかということになると、反応と思われることを観測しながら、その原因や寄与度を抽出することが必要になる。物によっては多分に主観が入ってしまうものであるから、結論を急ぐことは難しい場合が非常に多い。

この課題は日ごろ自分でも気になっていな

がら解決に至っていないものなので、ここではいわゆる論文ではなく所感を述べてみます。読者からはいろいろな反論やご意見もあろうかと思うので、ご提示いただければ幸いです。

#### 2. 航空機騒音と屋根瓦のずれ

空港周辺における家屋の屋根瓦の被害というのは、大別して3つに分けられる。一つは航空機の翼端からの渦によるもの、次は強大な騒音によって引き起こされる屋根瓦の振動が原因のもの、最後は全く違った次元の航空機からの落下物によるもので、今回はこれには言及しない。

翼端渦の被害はいわゆる航跡乱流による一過性のもので、飛行コースから少しずれたところで起こる。この現象は長期暴露とはあまり関係はなく、たまたま翼端で発生した渦が地上に到達するまでにエネルギーが減衰せず、運悪くというか瓦や窓ガラスに強い吸引力を与えてしまって起きる現象で一過性のものである。渦が消滅するまでに気象条件や航空機の飛行の状態によって起きる現象なので、起きた後で発生の原因を突き止めることは出来る可能性はあるが、実際の空港を対象に空港周辺家屋への被害を予測するということは殆ど不可能と言って良いものである。従って現象が起きてからの処理をどうするかが一番の問題となる課題である。この渦についてのヒースロー空港でのことや将来の大型航空機の問題点などは、この航空環境研究 No.

\* Structure Response and Damage Produced by Jet Noise—Long Term Exposure and Response—, by Yasuo Tokita (Adviser, Aviation Environment Research Center)

\*\* (財)空港環境整備協会 航空環境研究センター 前所長

5に佐藤先生（前当協会顧問，事故調査委員会委員長）が飛行機雲に関連してわかりやすく書かれているので参照されたい。

以前，大阪万博の後で，航空局からの依頼で，大阪空港周辺の家屋やお寺から，大阪空港への大型ジェット機の導入以後に屋根瓦がずれ落ちるといふ苦情が寄せられているので，その実態を調査して判断資料を作るという作業を頼まれたことがある。これが筆者にとってはこの空港環境整備協会（昔の航空公害防止協会）との繋がりが始まる最初なのである。そのころ筆者は財団法人小林理学研究所にいて騒音問題や公害振動を手がけ，さらに低周波音の問題にも着手して，広い周波数範囲の音と振動の測定が出来るようになっていたので声が掛かったものと思う。

調査の対象として選ばれた家屋は土地の名士の住宅で，江戸時代からの庄屋の家で，定期的に屋根瓦の吹き替えが行われていたという記録をお持ちの家だった。その記録によると60年毎に吹き替えが行われていたようで，まさに還暦の吹き替えということだったのではないかと思う。それが大阪万博のときにジャンボジェット機が就航したために，本来まだ吹き替えをする必要がない状態であるべき瓦がずれて40年目に吹き替えをしなくてはならなくなったのだということを知られた。非常に長いスパンの話なので，如何にこの問題を調べたらよいかの判断が出来ないままに，実態調査というので航空機騒音と屋根瓦の振動測定をしたものである。飛行コース直下に近い家だったので，航空機が飛ぶたびに強烈な騒音にさらされ，瓦もそれに従って振動をすることは測定されたが，この時の調査ではずれるという現象を把握することは全く出来なかったのである。わずかでもずれが飛行とともに起きているものであれば，ずれて落下するということの証明は出来るのであるが，一応ずれてしまって止まっている瓦はちょっとやそっとのことでは動かないという

のが実状であった。

長期暴露を短時間で再現できないかというのは，実験をする者のすぐ考えることである。実験の時間を短くするという過程では，単発的や間歇的なものであれば，連続に置き換えて時間の短縮を図るとか，微弱振動を強度を変化させて強烈にして時間短縮につながるとか，温度の変化に対する反応への寄与を考えて，高い温度に暴露させていわゆるエージング効果で時間を縮めるというような作業で実験を計画するものであるが，この問題に取りついてじっくり考える余裕がなかったのが今になっては残念である。

航空機の飛行とともに，音のあたったところの屋根瓦は振動する，振動量は結構大きな値になって，触っても分かる程度のものであるが，瓦がずれたり落下をするという状況にはめぐり合うようなことはなかった。瓦屋根の構造では，屋根の下地構造の野地板の上に土が置かれていて，土の上に貼り付けるような状況で瓦は葺かれている。従って修復したばかりの瓦の状況は決して簡単には動くようなものではない。お寺の屋根の葺き替えでは，檀家の奉仕によって行われることも多いようで，このときには葺き土の練り具合が寿命に関係するそうである。後年瓦屋さんに模型の瓦屋根を葺いてもらったことがあるのであるが，その職人は「俺の葺いた瓦屋根は700年は持つ」と豪語していたほどであるから，実際に土が接着している状況であればずれることは考えられないと思う。それが年月とともに土が風化してひびが入り細かく砕けて，段々砂の状態になってしまうのが普通で，この状態で吹き替えが必要になるわけであるから，ずれの起る状況では，土はぼろぼろさばさの砂の状態になっていると考えられるわけである。

傾斜したところに置かれた瓦は摩擦で位置を保たれているのであるが，葺き土で接着している瓦は単なる摩擦で保たれているわけで

はなく、土が乾燥して接着がなくなったというような状況での問題と考えなければならない。したがって瓦が振動でずれるようなことが起きるかどうかを確かめる実験をすることにしたが、この状態を作るのが大変で、結局モデルを設定して振動が摩擦で保たれている瓦の摩擦係数を少なくするようなことが起きるかどうかを出すことにした。

このような顆粒の状態での物体の摩擦は、液体のように連続性は保たれなくて、クリックアンドステップというようにコックと引っ掛けが外れて少し動いて次のところで止まるという現象になる。振動台の上に砂をかませた物体を置き、傾斜によって滑るように設定して、動き始めの摩擦係数が振動によってどのように変化するかを実験した。この解析は難しいのであるが、結構振動量が摩擦の減少に寄与するということが出来るが、果たして実際の瓦の状況がどれだけの摩擦係数の状態にあるかというようなことは全く出すことが出来なかった。いわゆる研究成果とその行政への適用ということの間にはギャップがあって、思うようには行かないものであるが、行政の停滞は許されない

ので、しばしば現場対応のマニュアルで対症療法へと進んでしまうものである。

後年、建築の先生にも参加をしていただいて、屋根瓦の状況の判断に、全くの年月による自然経過か、航空機の騒音が寄与してのものか、状況観察によるグレードはどのくらいかを判断する判定マニュアルを作っていた。現在はここのマニュアルを用いて対象とする屋根瓦の状況を判断してもらって、個々の事例ごとに対処しているというのがこの問題の解決方法である。

### 3. おわりに

結局長期曝露による反応ということには解答を出すことが出来なかったということになる。これは対象とする構造物は一様でなく、且つ現象をつかさどる要因が多くて、長年の経過という時間要素が入り込んでくると、ほとんどの場合原因を絞り込んで責任の比率をうんぬんすることは不可能だといってよい。物的な問題がこのようなものであるから、人間が絡んでくる問題では益々難しくなってしまうのは避けられない。

次の機会に人間への影響を検討してみようと思う。



## 活動報告

## 研究センターの動き\*

平成14年度、航空環境研究センターでは、次の受託業務及び自主研究等を実施した。

## 1. 受託業務

## ●騒音振動部

## (1) 「航空機騒音及び飛行経路実態調査」

航空局等から委託を受けて実施した航空機騒音及び飛行経路実態調査は、次の空港について実施した。

- ・宮崎空港
- ・長崎空港（航空機騒音調査のみ）
- ・東京国際空港（飛行経路調査のみ）

## (2) 「航空機騒音予測コンター図の作成」

将来計画としての空港建設及び運航方式の変更等のためのアセスメントの一環として、地方自治体及びコンサルタント会社等から委託を受けて、次の空港等についてコンター図を作成した。

- ・与那国空港・美保飛行場
- ・石垣空港及び新石垣空港
- ・新東京国際空港
- ・医療機関のヘリポート設置に関する騒音コンター図の作成（山梨県，長崎県）

## (3) 「その他の調査」

航空局から委託を受けて、次の調査を実施した。

- ・「東京国際空港航空機騒音測定記録集計業務」
- ・「東糶谷小学校航空機騒音データ解析作業」
- ・「空港周辺における航空機騒音影響範囲予測調査」
- ・「航空機騒音基礎調査」

- ・「東京国際空港再拡張に係る環境現況調査」
- ・「航空機騒音測定局基本配置調査」
- ・「テレビ視覚障害影響範囲調査」
- ・「航空機騒音影響範囲予測調査」
- ・「東京国際空港再拡張事業騒音予測コンター作成業務」

## ●大気環境部

航空局から委託を受けて、次の調査を実施した。

- ・「大阪国際空港周辺大気汚染調査」

## ●環境保健部

航空局から委託を受けて、次の調査を実施した。

- ・「空港周辺住民健康調査」

## 2. 自主研究

航空局からの要請に基づいての研究及び研究センターの自主事業としての基礎研究を次のとおり実施した。

## ●騒音振動部

- ・「航空機騒音予測技術検討調査」
- ・「航空環境の保全に関する動向調査」
- ・「東京国際空港における新運用方式に係る騒音測定の調査研究」
- ・「テレビ電波受信障害範囲の予測調査」
- ・「航空機騒音の自動監視に関する基礎研究」
- ・「飛行経路測定の精度向上に関する基礎研究」
- ・「航空機騒音伝搬性状に関する基礎研究」

## ●大気環境部

- ・「航空環境の保全に関する動向調査」
- ・「空港周辺における浮遊粒子状物質による環境影響に関する調査研究」
- ・「航空機排出物低減対策に関する研究調査」

\* Annual Activities of Aviation Environment Research Center

- ・「航空機から排出されるうがい大気汚染物質の実態に関する研究調査」

#### ●環境保健部

- ・「航空環境と健康に関する疫学的研究」
- ・「航空機騒音の睡眠に及ぼす影響」
- ・「低レベル騒音変動に伴う住民意識の動向調査」
- ・「航空機騒音をもたらす健康影響と騒音評価・対策のあり方に関する研究」

#### 3. 研究発表

#### ●騒音振動部

- ・日本騒音制御工学会における研究発表  
「等価騒音レベルに基づく航空機騒音予測の考え方」岩崎潔, 吉岡序, 山田一郎 (東京 平成14年9月)  
「等価騒音レベルに基づく航空機騒音予測の補正要因に関する検討」菅原政之, 岩崎潔, 吉岡序, 山田一郎 (東京 平成14年9月)  
「離陸滑走時の航空機騒音の指向性」磯部正臣, 篠原直明 (新東京国際空港振興協会) 吉岡序, 山田一郎 (東京 平成14年9月)  
「飛行時の航空機騒音の指向性」牧野康一, 平尾善裕 (小林理研) 吉岡序, 山田一郎 (東京 平成14年9月)  
「航空機騒音の到来方向の法線ベクトルを用いた航路分類について」廻田恵司, 福島健二 (リオン) 吉岡序, 山田一郎 (東京 平成14年9月)  
「単発性衝撃音の計測と自動検出について—音源分類の試み—」中島康貴, 福島健二 (リオン) 落合博明 (小林理研) 月岡秀文 (防衛施設整備協会) 山田一郎 (東京 平成14年9月)
- ・日本音響学会における研究発表  
「航空機騒音自動監視におけるマイクロホン高さと測定値の不確かさ」武士田卓佳, 篠原直明 (新東京国際空港振興協会) 牧野康一 (小林理研) 月岡秀文 (防衛施設整備

協会) 吉岡序, 山田一郎 (秋田 平成14年9月)

「航空機騒音予測時の地面による過剰減衰の評価方法—受音点の高さによる違い」篠原直明 (新東京国際空港振興協会) 牧野康一 (小林理研) 月岡秀文 (防衛施設整備協会) 吉岡序, 山田一郎 (秋田 平成14年9月)

「航空機騒音予測時の地面による過剰減衰の評価方法—伝搬理論モデルに基づく Air to Ground の伝搬特性」牧野康一 (小林理研) 篠原直明 (新東京国際空港振興協会) 月岡秀文 (防衛施設整備協会) 吉岡序, 山田一郎 (秋田 9月)

#### ●大気環境部

- ・日本分析化学会において研究発表  
「航空機の補助動力エンジン (APU) 排出物の実測 (1)—主要大気汚染物質の測定結果—」橋本弘樹, 水島実, 柴田正夫, 鈴木孝治 (北海道 平成14年9月)

#### ●環境保健部

- ・Journal of Sound Vibration (2002) に研究発表  
「DISTRIBUTION OF BLOOD PRESSURE DATA FROM PEOPLE LIVING NEAR AN AIRPORT」後藤恭一, 金子哲也

#### 4. その他

- (1) ICAO/CAEP WG 3 会議に出席  
橋本副主任研究員 (アメリカ・グラス 平成14年5月)
- (2) ISO 国際会議に出席 山田所長  
(フランス・パリ 平成14年5月)
- (3) ICAO/CAEP WG 2 会議に出席  
吉岡騒音振動部長代理 (カナダ・オタワ 平成14年6月)
- (4) (財)空港環境整備協会全国事務所長会議に出席 山田所長, 根本管理部長  
(東京 平成14年6月)
- (5) 「航空機騒音委員会」を開催

- 山田所長，末永騒音振動部長，吉岡騒音振動部長代理他（東京 平成 14 年 7 月）
- (6) 「大気環境委員会」を開催  
山田所長，鈴木大気環境部長，柴田大気環境部長代理他（東京 平成 14 年 8 月）
- (7) インターノイズ 2002 国際会議に出席  
山田所長（米国・ディアボン 平成 14 年 8 月）
- (8) 日本騒音制御工学会に出席  
岩崎主任研究員，菅原研究員（東京 平成 14 年 9 月）
- (9) 日本音響学会に出席  
山田所長，吉岡騒音振動部長代理（秋田 平成 14 年 9 月）
- (10) 大気環境学会に出席  
橋本副主任研究員（東京 平成 14 年 9 月）
- (11) 日本分析化学会に出席  
水島副主任研究員，橋本副主任研究員（北海道 平成 14 年 9 月）
- (12) ICAO/CAEP 6 ステアリンググループ会議に出席  
山田所長（フランス・パリ 平成 14 年 9 月）
- (13) (財)空港環境整備協会主催  
「空港環境対策担当者研修会」に講師派遣 山田所長，伊藤顧問，末永騒音振動部長，吉岡騒音振動部長代理，鈴木大気環境部長，柴田大気環境部長代理，金子環境保健部長他（東京 平成 14 年 10 月）
- (14) ICAO/CAEP WG 3 会議に出席  
橋本副主任研究員（フランス・ツールーズ 平成 14 年 10 月）
- (15) 国土交通省航空保安大学校へ講師派遣  
山田所長，吉岡騒音振動部長代理（東京 平成 14 年 10 月）
- (16) 「大気環境委員会」を開催  
山田所長，鈴木大気環境部長，柴田大気環境部長代理他（東京 平成 14 年 11 月）
- (17) 巡回健康診断担当者会議に出席 後藤副主任研究員（大阪 平成 14 年 11 月）
- (18) (財)空港環境整備協会全国事務所長会議に出席 山田所長，根本管理部長（東京 平成 14 年 11 月）
- (19) ICAO/CAEP WG 2 会議に出席  
山田所長，吉岡騒音振動部長代理（関西国際空港 平成 14 年 12 月）
- (20) 「航空機騒音委員会」を開催  
山田所長，末永騒音振動部長，吉岡騒音振動部長代理他（東京 平成 15 年 1 月）
- (21) 「大気環境委員会」を開催  
山田所長，鈴木大気環境部長，柴田大気環境部長代理他（東京 平成 15 年 3 月）
- (22) 日本化学会 第 83 春季年会に出席  
橋本副主任研究員（東京 平成 15 年 3 月）
- (23) 「航空環境研究」第 7 号の研究誌を発刊（平成 15 年 3 月）

## 文献情報

## 航空環境関連文献情報 (米国政府出版物データベースより)\*

## 管理部文献資料室\*\*

以下の文献は、2001年4月から2002年3月までの間のNTISデータベースから入手した文献データより選出したものです。文献の入手に関するお問い合わせは、株式会社ジー・サーチ (電話: 03-3452-1244, FAX: 03-3452-1246) までお願い致します。

## 〔騒音〕

## ●測定

**N20010051298/XAB**

Large Engine Technology (LET) Task XXXVII  
Low-Bypass Ratio Mixed Turbofan Engine Subsonic Jet Noise Reduction Program Test Report (Final Report), Mar 2001

**ADA392187/XAB**

Field-Deployable Acoustic Digital Systems for Noise Measurement, 2000

**N20010084650/XAB**

Investigation of Blade Impulsive Noise on a Scaled Fully Articulated Rotor System, Jun 1977

## ●予測

**N20010032275/XAB**

Inverse Problem in Jet Acoustics, 2001

**N20010050555/XAB**

Rotor Broadband Noise Prediction with Comparison to Model Data, 2001

**N20010094062/XAB**

Simulation of Supersonic Jet Noise with the Adaptation of Overflow CFD Code and Kirchhoff Surface Integral, Jul 2001

## ●対策

**N20010011059/XAB**

Theory and Design Tools For Studies of Reactions to Abrupt Changes in Noise Exposure, Oct 2000

**N20010061345/XAB**

AST Critical Propulsion and Noise Reduction Technologies for Future Commercial Subsonic

Engines: Separate-Flow Exhaust System Noise Reduction Concept Evaluation (Final Report), Dec 2000

**ADA392373/XAB**

Fluidic Noise Shield, 2000

**N20010071843/XAB**

Active Control of Aerodynamic Noise Sources (Final Report), 26 Jul 2001

**N20010071250/XAB**

Advanced Methods for Aircraft Engine Thrust and Noise Benefits: Nozzle-Inlet Flow Analysis (Annual Report, 1 Jan. 1999-31 Dec. 2001), Jan 2001

**ADA392535/XAB**

Flowfield Mixing Enhancement and Noise Control Using Flexible Filaments (Final report. 1 Aug 1996-31 Jul 2000), 7 Jan 2000

**ADA394261/XAB**

Noise Reduction Stethoscope for United States Navy Application, 25 Jul 2000

**ADA397743/XAB**

Study of Rectangular Supersonic Jets Modified for Mixing Enhancement and Noise Reduction (AASERT97) (Final technical report. 15 Jun 1997-30 Jun 2001), 30 Jun 2001

## ●騒音機構

**N20010045806/XAB**

Small Engine Technology (SET) Task 23 ANOPP Noise Prediction for Small Engines, Wing Reflection Code (Final Report), Nov 2000

**AD499609/XAB**

Noise in Tracking Radars. Part II. Distribution Functions and Further Power Spectra (Interim report), 16 Jan 1952

**PB2002-100795/XAB**

Aircraft Noise Exposure: The Cycle of Modeling, Monitoring and Validation (Technical report. (Final)), 20 Aug 1998

\* United States Government Reports for Aviation Environment; Selections from NTIS Database

\*\* Library, Aviation Environment Research Center

**ADA395453/XAB**

Subsonic Aircraft Noise At and Beneath the Ocean Surface: Estimation of Risk for Effects on Marine Mammals (Interim report. Oct 1996-Apr 2000), Jun 2000

**ADA395911/XAB**

Effect of Onset Rate on Aircraft Noise Annoyance. Volume 3. Hybrid Own-Home Experiment (Final report. Nov 1992-Dec 1993), Dec 1993

## ●環境影響評価

**PB2001-103588/XAB**

Aviation and the Environment: Results From a Survey of the Nation's 50 Busiest Commercial Service Airports (Report to the Congress), Aug 2000

**PB2001-104191/XAB**

Aviation and the Environment: Airport Operations and Future Growth Present Environmental Challenges (Report to the Congress), Aug 2000

**N20010032276/XAB**

Evaluation of Turbulence-Model Performance as Applied to Jet-Noise Prediction, 1998

**PB2002-100162/XAB**

Aviation and the Environment: Transition to Quieter Aircraft Occurred as Planned, but Concerns about Noise Persist (Report to the Congress), Sep 2001

**ADA396160/XAB**

Delicate Balance: Protecting the Environment and Strengthening Trade Through Controlling Aircraft Noise and Emissions (Master's thesis), 31 Aug 2001

## ●ヘリコプタ

**ADA391020/XAB**

Black Hawk Helicopter Vibration Analysis Due

to Main Rotor Damage, Directional Constituents of the Resultant Vibrations (Final report. 1992-2001), Mar 2001

**ADP011125/XAB**

Helicopter Noise Reduction by Individual Blade Control (IBC) -Selected Flight Test and Simulation Results-, Jan 2001

## ●人体影響

**ADA395938/XAB**

Field Studies of Habituation to Change in Night-time Aircraft Noise and of Sleep Motility Measurement Methods (Final report. Dec 1995-Mar 1998), Mar 1998

## ●その他

**ADA387786/XAB**

Federal Interagency Committee on Aviation Noise:1997 Annual Report (Interim report. Jan-Dec 1997), Feb 1998

〔大気汚染〕

## ●調査

**PB2001-104856/XAB**

Aircraft Sampling to Determine Atmospheric Concentrations and Size Distributions of Particulate Matter and Other Pollutants Over the South Coast Air Basin (Final report), May 2000

## ●大気質に及ぼす影響

**ADP010588/XAB**

Impact of Aircraft Emissions on the Global Atmosphere, Apr 2000



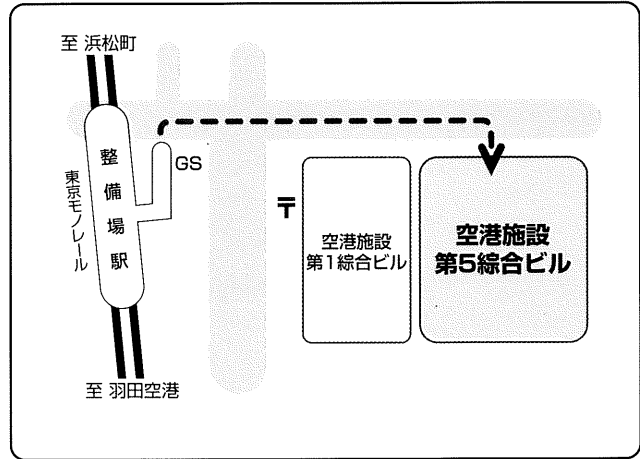
## 編集後記

いつまで続くのか我が国の低迷する経済情勢，将来に不安を抱えながらも早く安定してほしいものです。さらに今年は，イラク戦争ありアジアでは新型肺炎の流行で現在不穏な空気に包まれております。旅行社始め航空各社等早く落ち着くことを願っていると思われ

ます。  
さて，本誌第7号も遅れての発行となりましたが，今号では焦点で東京大学教授で現在日本騒音制御工学会会長である橘先生始め，4名の方の論文を掲載致しました。

研究報告では，当センターで現在研究を進めている調査事業について各部から3編の記事を掲載した他，内外報告ではICAO航空環境保全委員会の動向について，今回から航空局より原稿を頂きました。そのほか当センター所長，顧問並びに環境保健部長他の報告記事を掲載しました。

又，航空環境を取り巻く話題においては，全日本空輸(株)事業部長始め，3名の方に寄



航空環境研究センター案内図

稿して頂きました。

各執筆者の皆様方には深く感謝申し上げます。

なお，発行が大幅に遅れまして読者の皆様方に多大なご迷惑をおかけしましたことを深くお詫び申し上げます。

編集事務局：航空環境研究センター  
文献資料室 仰山博文

---

**航空環境研究 第7号** 平成15年3月25日印刷 平成15年3月31日発行 © 2003

発行人 山田一郎

発行所 財団法人 空港環境整備協会 航空環境研究センター

144-0041 東京都大田区羽田空港 1-6-5 第5総合ビル 5階

電話 (03)3747-0175 FAX (03)3747-0738

印刷所 三美印刷株式会社

116-0013 東京都荒川区西日暮里 5-9-8

電話 (03)3803-3131(代)

---

無断転載を禁じます

**CONTENTS****PREFACE**

- An Inaugural Address Atsuo Nozaki 1

**FOCUSES**

- On the Energy-base Noise Measures Hideki Tachibana 3

Community Response to Environmental Noise :

- Constructing Standardized Noise Annoyance Scales and  
Establishing a Public Data Archive Takashi Yano 12

- Report of International Symposium "Which Technologies  
for Future Aircraft Noise Reduction?" Yoshiya Nakamura 20

- Trend of the Environmentally Friendly Aircraft Gas Turbine Engines Kazuhiko Ishizawa 26

**RESEARCH REPORTS**

- Prediction of Intereference with Reception of the Terrestrial Television  
owing to a Delayed Signal via an Aircraft Masayuki Sugawara 37  
Yasunori Ohnuma  
Masahisa Suenaga  
Shiro Ito

- Consideration on Adjustment Factors for Aircraft Noise and  
Forecast Modeling Based on Equivalent Continuous A-Weighted  
Sound Pressure Level Kiyoshi Iwasaki 45  
Masayuki Sugawara  
Hisashi Yoshioka

- Aircraft Emissions from an Auxiliary Power Unit ( 2 ) :  
Measurement of N<sub>2</sub>O, Carbonyl Compounds, Particulate Matters  
and other trace components Hiroki Hashimoto 53  
Masao Shibata  
Minoru Mizushima  
Koji Suzuki

**DOMESTIC AND FOREIGN REPORTS**

- Noise Annoyance, Stress and Health Effects Tetsuya Kaneko 62  
Kyōichi Gotō  
Kensuke Seki

- Trends of ICAO/CAEP (Aircraft Noise) • ICAO/CAEP-WG2 Atsushi Matsui 83

- Trends of ICAO/CAEP (WG1 • WG3) Kazushige Daiki 89

- Report of Inter Noise 2002 Ichiro Yamada 92

- Report of International Congress of Aeronautical Sciences Yasuhiko Aihara 99

**CURRENT TOPICS**

- 30 Years Challenge to an Aircraft Noise Reduction Eishiro Sasada 103

- Current Trends on North-Western European International Airports Hideo Yaoi 112

- Considerations for the Environment of Central Japan International Airport Hiroyuki Sato 117

**ESSAY**

- Structure Response and Damage Produced by Jet Noise  
—Long Term Exposure and Response— Yasuo Tokita 124

**ACTIVITIES OF AERC**

- Annual Activities of Aviation Environment Research Center Executive Department 127

**REPORT INFORMATION**

- United States Government Reports for Aviation Environment ;  
Selections from NTIS Database Library 130