

# 航空環境研究



## The Journal of Aviation Environment Research

### No. 16, 2012

#### 焦点

- ソニックブーム低減技術最前線  
 ..... 牧野好和・中 右介 1
- 国際航空交通と地球環境問題に関する最近の状況  
 ..... 日原勝也 10

#### 研究報告

- 大阪国際空港周辺の長期大気環境調査  
 ..... 橋本弘樹・水島 実・鈴木孝治 18
- わが国の環境騒音の評価尺度の現状と課題  
 ..... 山田一郎・森長 誠・加来治郎 25

#### 内外報告

- ICAO CAEPの動向  
 ..... 柳澤裕司 31
- 国際騒音制御工学会議 インターノイズ2011  
 ..... 吉岡 序・山田一郎 34
- 環境騒音と障害調整生存年数 -WHO Euro.の視点-  
 ..... 金子哲也・後藤恭一 38

- 公衆衛生問題としての騒音に関する  
 第10回国際会議 ICBEN2011 ..... 山田一郎 44

#### 航空環境を取り巻く話題

- ボーイング787型機の低騒音技術と低燃費技術  
 ..... 久野正雄 47
- INTER-NOISE 2011：開催の経緯と会議の概要  
 ..... 山田一郎 53
- 騒音計の歴史：1928年から2012年まで  
 ..... Alan Marsh 59

#### エッセイ

- 飛行機とのつながり  
 ..... 時田保夫 76

#### 活動報告

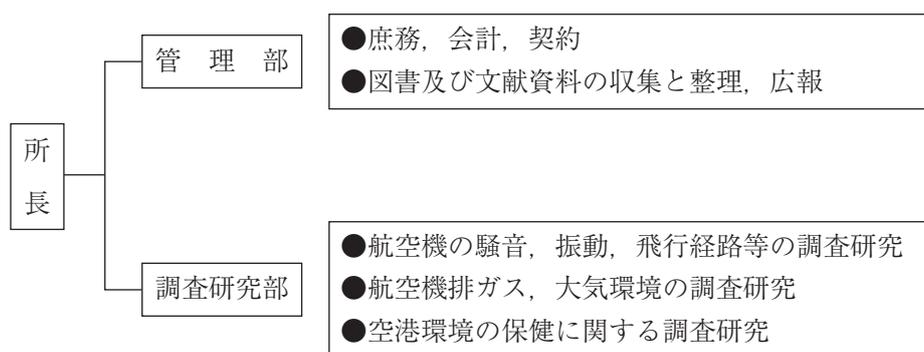
- 研究センターの動き（平成23年度） ..... 管理部 79

## 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まいりましたが、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、現在の航空環境研究センターに改称されましたが、設立以来、騒音、大気環境、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おります。

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。



## ソニックブーム低減技術最前線\*

牧野好和\*\* 中 右介\*\*

### 1. はじめに

ソニックブームとは、超音速で飛行する航空機から発生する衝撃波が地上に到達した際に観測される騒音であり、2003年に運航を終了したコンコルドも、そのソニックブームのために陸地上空での超音速飛行を禁止されたことで、アフターバーナー付きジェットエンジンにより元々悪かった燃費が更に悪化してしまい、経済的に失敗した要因の一つであったと言われている。コンコルドが引退した現在においても、ソニックブームに関する基準（陸地上空における超音速飛行に関する基準）に変更はなく、国際民間航空機関（International Civil Aviation Organization: ICAO）が採択している決議<sup>1)</sup>においては、旅客機が「公衆が許容できない」ソニックブームを発生することが無いように求めており、その決議に沿って、各国も独自の航空法において陸地上空における超音速飛行に制限を設けている。我が国では、航空法第91条において、「航空機は、人又は家屋の密集している地域の上空、航空交通管制区、及び航空交通管制圏において、国土交通省令で定める著しい高速の飛行（音速を超える速度で行う飛行）を行ってはならない」と定められており、また航空法施行規則第197条の2において、「上記以外の空域では、当該航空機による衝撃波が地上

又は水上の人又は物件に危害を与え、又は損傷を及ぼすおそれのある高度で飛行してはならない」と規定されている。

コンコルドが引退した2003年、米国においてF-5戦闘機を改修したSSBD（Shaped Sonic Boom Demonstrator）による飛行実験（図1）が実施され、世界で初めて機体形状を工夫することによってソニックブームが低減できることが実証された。それに呼応するよういくつかのメーカーが超音速ビジネスジェット機（SuperSonic Business Jet: SSBJ）開発のプロジェクトを立ち上げると、国際民間航空工業会の求めに応じてICAOの航空環境保全委員会（Committee on Aviation Environmental Protection: CAEP）において超音速タスクグループ（SuperSonic Task Group: SSTG）が設置され、ソニックブーム基準策定に向けた検討が開始された。

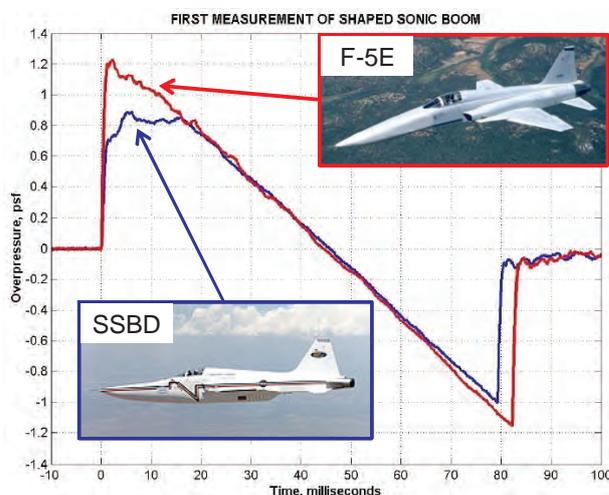


図1. SSBD飛行試験<sup>2)</sup>

\* The forefront of the sonic-boom reduction technology

\*\* 宇宙航空研究開発機構 航空プログラムグループ 超音速機チーム

本稿では、ソニックブーム基準策定の最新動向及び、ソニックブーム低減技術に関する研究動向について紹介する。

## 2. ソニックブームとその低減化の原理

ソニックブームが問題となる主たる原因は、その音圧の大きさである。通常の音波は球面波であり、球面音波の波動方程式<sup>3)</sup>は下記の通り $rp$ についての1次元波動方程式となるため、球面音波の音圧 $p$ は半径 $r$ (伝播距離)に逆比例する様に減衰する。

$$\frac{\partial^2(rp)}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2(rp)}{\partial r^2}$$

一方、マッハ円錐は音波の包絡線として定義され、超音速線形理論<sup>4)</sup>によればその面上の音圧 $p$ は下記の通り伝播距離 $r$ の平方根(1/2乗)に逆比例する様に減衰するため、長い距離伝播しても通常の球面波よりも大きな音として聞こえることになる。(なお、実際には後述する衝撃波の存在によりソニックブームは $r$ の3/4乗に逆比例する様に減衰することになる。)

$$\frac{p}{p_\infty} = \frac{\gamma M^2}{\sqrt{2\beta r}} F_\eta$$

ここで $\gamma$ は比熱比、 $M$ はマッハ数、 $\beta$ は $\sqrt{M^2-1}$ 、 $F_\eta$ はWhithamの $F$ 関数と呼ばれる機体形状に依存する関数である。この音圧の大きさが、ソニックブームがうるさい主たる要因であるが、ソニックブームがうるさく聞こえるもう一つの要因として、マッハ円錐面上に形成される衝撃波の存在が挙げられる。衝撃波とは、音波が非線形的に集積して急激な圧力変動を伴う波となったものであり、ソニックブームの場合、数ミリ秒の間に急激な圧力上昇を起こす波動になるが、その圧力変化は人間の聴覚の感度が高くなる高周波の音となり、特にうるさく感じられる。さらに、衝撃波より速く伝わる音は無いため、物体が近づいてくる前触れの音もなく、突然ソニックブームを聞いてびっくりする

ことが、心理的な圧迫感を強めていると言われている。

上記の様なソニックブームのうるさを軽減するには、その音圧を下げるか、圧力上昇にかかる時間を長くすることが有効であるが、音圧と圧力上昇時間には相関関係があることが知られており、音圧を下げると圧力上昇時間が長くなる傾向があることから、専らソニックブーム低減化は音圧を下げることに主眼が置かれている。ソニックブームの音圧を低減する根本的な方法としては、機体重量を軽くして衝撃波を弱めるか、飛行高度を上げて伝播距離を長くするか、飛行マッハ数を下げることで衝撃波を弱めるとともに伝播距離を長くすることが挙げられるが、これらの対策の多くは超音速機のメリットを損なってしまう。そこで機体の形状を工夫することによりソニックブームを低減する「低ソニックブーム設計技術」が有望視されており、世界中で研究開発が進められている。低ソニックブーム設計とは、コンコルドに代表される超音速機の典型的なソニックブーム圧力波形であるN型の圧力波形(図2)を、機体形状を工夫することにより音圧の小さな圧力波形(低ブーム圧力波形)にしようとする試みである。先に紹介したSSBDで実証された低ソニックブーム設計概念は、機首を鈍頭にしてあえて強い衝撃波を発生させてその後方における圧力変動を抑えることで、通常のN型波でない台形型の圧力波形を形成して先端圧力上昇量を低減するものである(図3)。

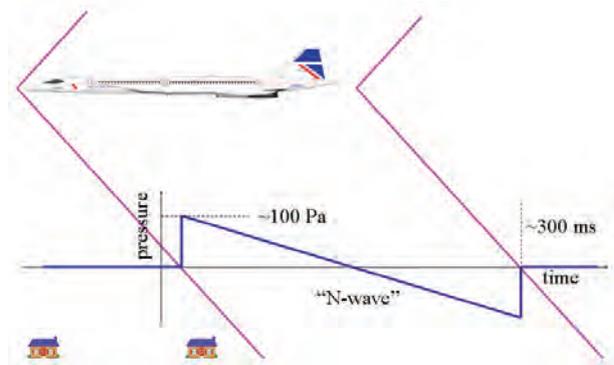


図2. ソニックブーム圧力波形<sup>5)</sup>

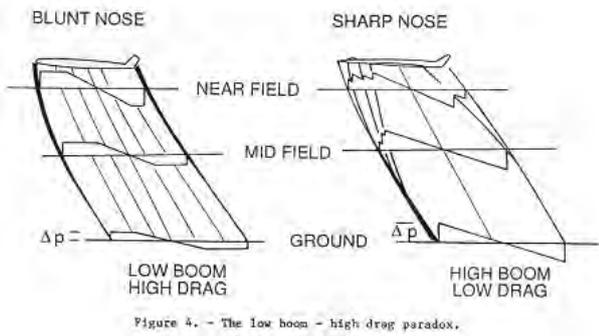


Figure 4. - The low boom - high drag paradox.

図 3. 低ブーム設計の原理<sup>6)</sup>

### 3. ソニックブーム低減技術の動向

#### 3.1 米国

米国ではSSBDの後も、NASAを中心として主要航空機メーカーがソニックブーム低減技術の研究開発を進めている。NASAはFAP (Fundamental Aeronautics Program) の超音速機プログラムにおいて、将来の超音速機のカテゴリーをN+1 (SSBJサイズで想定実現時期は2010年代)、N+2 (小型超音速旅客機サイズで想定実現時期は2020年代)、N+3 (大型超音速旅客機サイズで想定実現時期は2030年代)に分けて技術目標を設定し、システム設計研究を実施している(図4)。そのうち現在はN+2のシステム検討がBoeing社とLockheed Martin社への委託をベースに進められており、低ソニックブーム設計技術関連では、実機を想定した機体形状設計研究とその風洞試験実証を中心としつつ、研究機による飛行実証についても検討さ

れている。図5及び図6には、2社のN+2システム検討結果として機体概念形状及び推算ソニックブーム波形を示すが、どちらの機体も機首が長く伸びて先端ソニックブーム波形は連続的に上昇する波形を目標としており、後端波形は一度に大気圧まで回復することなく徐々に圧力回復する波形を目標としているのが分かる。他にもGulfstream社は、ソニックブーム低減化の独自コンセプトとしてQuiet Spike<sup>TM</sup>という機首部の変機構を考案した。これは離着陸時や亜音速飛行時には機首部に収納しておいた機首延長のためのデバイスを超音速飛行時に展開することにより、機体長の延長による低ブーム効果と、多段の機首延長部による衝撃波制御による低ブーム効果を狙ったものであり、NASAとの共同研究によりその機構、構造、飛行特性、そして機体近傍場における低ブーム実証が実施されている(図7)。

#### Technology Challenge Goals

Balanced Goals for Practical Civil Supersonic Aircraft (Technology Available)	N+1 Supersonic Business Class Aircraft (2015)	N+2 Small Supersonic Airliner (2020)	N+3 Efficient Multi-Mach Aircraft (Beyond 2030)
<b>Design Goals</b>			
Cruise Speed	Mach 1.6-1.8	Mach 1.6-1.8	Mach 1.3-2.0
Range (n.m.l.)	4000	4000	4000-5500
Payload (passengers)	6-20	35-70	100-200
<b>Environmental Goals</b>			
Sonic Boom	65-70 PLdB	65-70 PLdB	65-70 PLdB Low Boom flight 75-80 PLdB Overwater flight
Airport Noise (cum below stage 4)	Meet with Margin	10 EPNdB	10-20 EPNdB
Cruise Emissions (Cruise NOx g/kg of fuel)	Equivalent to current Subsonic	< 10	< 5 & particulate and water vapor mitigation
<b>Efficiency Goals</b>			
Fuel Efficiency (pass-miles per lb of fuel)	1.0	3.0	3.5-4.5



- NASA defined an initial set of design parameters and performance levels for practical supersonic airliners in the near, mid and far term time frames
- Systems Studies have been used to determine if these goals are valid and achievable

図 4. NASAの超音速機研究<sup>7)</sup>

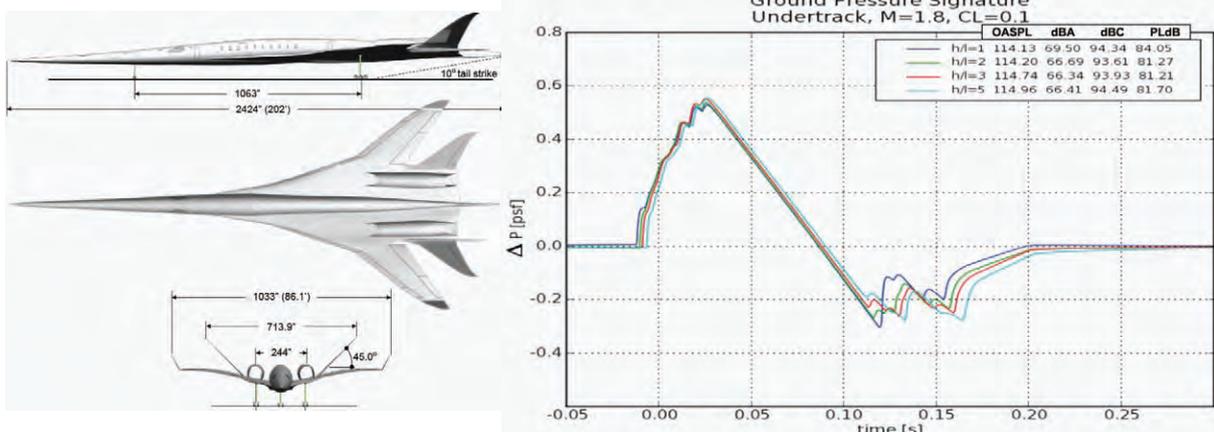


図 5. Boeing社のN+2機体概念形状<sup>8)</sup>

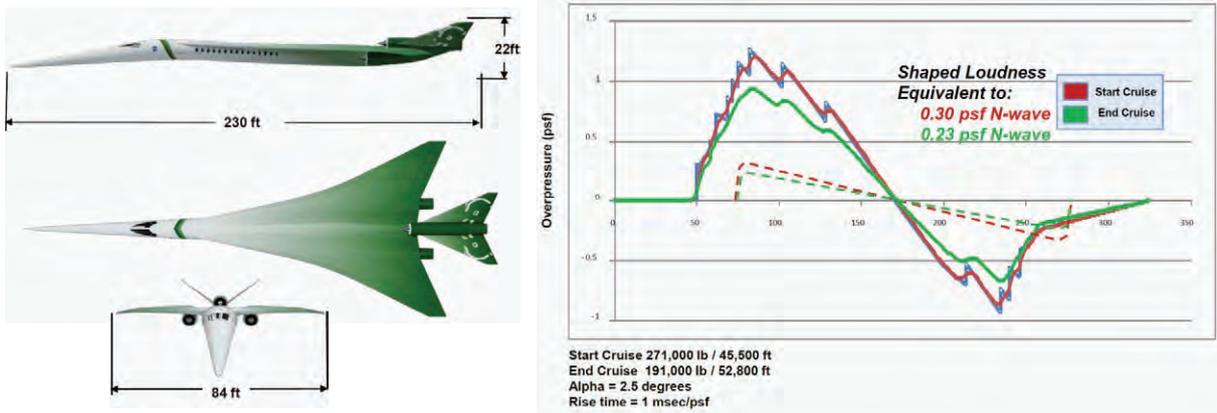


図 6. Lockheed Martin社のN+2機体概念形状<sup>9)</sup>

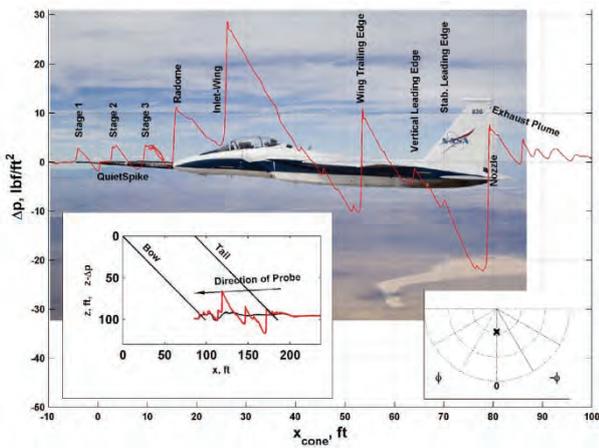


図 7. Gulfstream Quiet Spike<sup>TM 10)</sup>

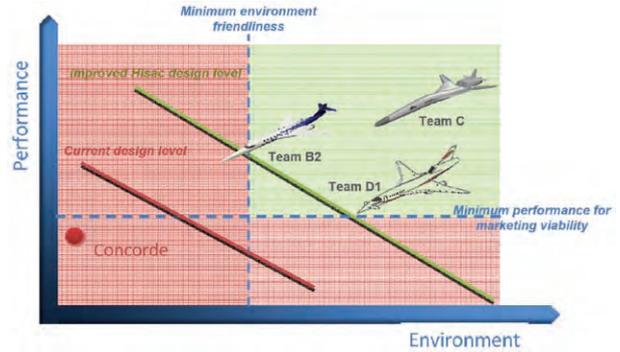


図 8. HISAC検討機体<sup>11)</sup>

### 3.2 欧州

欧州においては、EUプロジェクトとしてHISAC (HIgh Speed AirCRAFT) プロジェクトが2004年からの5年計画で欧州13ヶ国37機関が参加して実施され、SSBJサイズの機体の成立性について検討がなされた。HISACプロジェクトの中心は各参加機関による設計コンペの形式(図8)にて進められ、そのうちロシアSukhoi社の低ソニックブーム機体については風試検証まで実施されている。2009年に完了したHISACプロジェクトの結論として、SSBJサイズの機体であれば技術的に成立性はあるものの、技術の成熟や超音速機関連の基準策定を待つ必要があるとの見解を示した。

### 3.3 日本

我が国においては、JAXA航空プログラムグループが2005年に超音速機の環境適合性向上を主眼とする「静粛超音速機技術の研究開発(Silent SuperSonic: S3)」計画<sup>12)</sup>を開始し、「ソニックブームの半減」を1つの主要な目標に定めて研究開発を行っている。そして2009年からはソニックブームを半減させるための先進的設計概念及び手法を実証・評価するためのプロジェクトとして低ソニックブーム設計概念実証(Drop test for Simplified Evaluation of Non-symmetrically Distributed sonic boom: D-SEND)プロジェクト<sup>13)</sup>を立ち上げて、2011年5月にその第1フェーズであ

るD-SEND#1落下試験をスウェーデンで実施した。D-SEND#1試験では、長さ5.6mで先端が単純な円錐形状の模型と、長さ8mで先端が低ソニックブーム設計された形状の模型（最大断面積はどちらも同じとしている）を、気球により高度20km以上まで持ち上げて順番に落とし、落下する際に超音速まで加速した両物体から発生するソニックブームを地上及び高度約1kmまでの上空で観測した（図9）。観測結果は事前の推算通り、円錐形状では非線形的な衝撃波の集積により、音圧が高く尖った圧力波形となったが、低ソニックブーム設計された形状では同程度の音圧の波が集積することなく連続的に伝播した結果、音圧が低く平らな圧力波形となった。現在はこの低ソニックブーム設計を航空機形状（図10）に適用したD-SEND#2飛行試験計画を進めている。

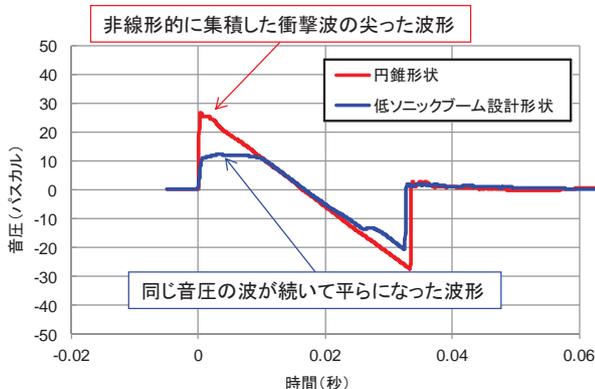


図9. D-SEND#1落下試験



図10. D-SEND#2供試体イメージ

## 4. 基準策定に向けた動き

### 4.1 評価指標（メトリック）の研究

ソニックブームの基準策定においては、ソニックブームが人間に与える影響を正確に反映する評価指標（メトリック）の検討が重要である。メトリックの検討には、実際のソニックブームを聞いた人間の反応を見るのが一番であるが、実機によるソニックブーム発生は簡単ではないためソニックブームの模擬音を聞かせる試験方法が用いられている。図11にはソニックブーム模擬音発生装置の一例としてJAXAのソニックブームシミュレータを示す。このソニックブームシミュレータでは、密閉した空間を低周波スピーカーによる音響信号によって圧縮・膨張することで模擬的に衝撃波によるソニックブーム現象を再現しており、中に被験者に入ってもらってソニックブームの主観的評価を実施している。試験では、様々な強度や波形のソニックブーム模擬音を再生し、基準音に対する大きさを被験者に評価してもらった。その結果を様々なメトリックを横軸として整理し、メトリックと被験者の反応との相関を見ることで、そのメトリックの有効性を評価する。図12にはソニックブームの評価メトリックとしてNASAが有望視しているPerceived Level (PL)<sup>16)</sup>と、通常のA特性評価である単発騒音暴露レベル（ASEL：A-weighted Sound Exposure Level）で整理し

た結果を示すが、どちらのメトリックも被験者の反応と良い相関を示しているのが分かる。



図 11. JAXAソニックブームシミュレータ<sup>14)</sup>

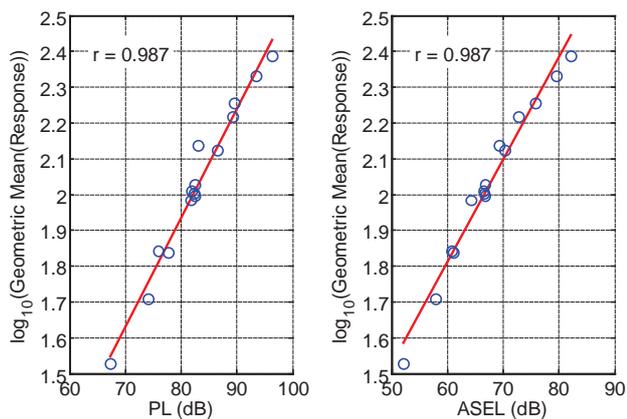
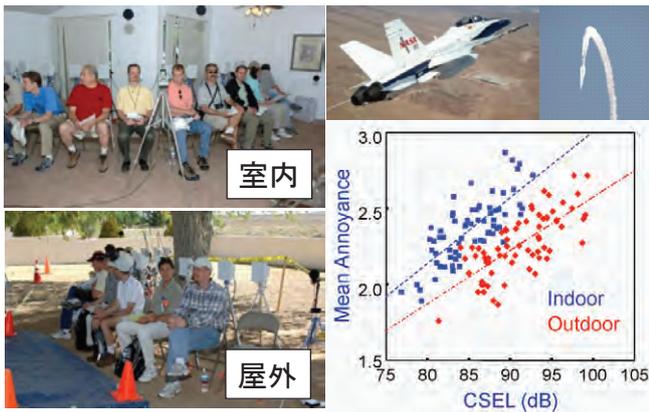
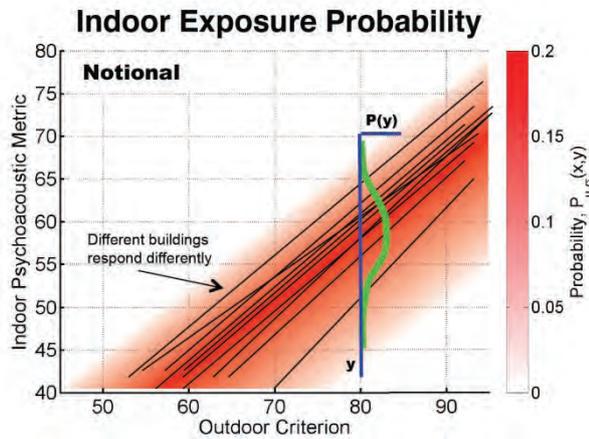
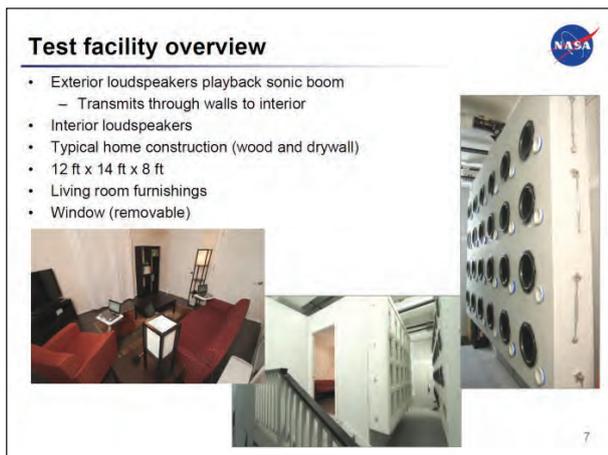


図 12. 被験者試験結果<sup>15)</sup>

#### 4.2 許容値の検討

メトリック検討には有効なソニックブームシミュレータであるが、ソニックブーム基準としての許容値を決めるには、やはり実飛行による被験者試験（被験者を集めて行う試験）や社会調査（通常の居住地等にソニックブームを発生させ、聞き取り調査等を行う試験）が重要となる。しかし、現在使用可能な超音速機は軍用機であり、ソニックブーム波形はN型波に限られ

る上、その強度も通常の飛行においては機体重量に依存してほぼコンコルドレベルとなってしまうため、将来のソニックブーム基準を決める試験には適さない。そこでNASAは軍用機（F/A-18）に特殊なダイブ飛行をさせることにより、機体重量に依存せず、ダイブ位置と観測位置との距離によってソニックブーム強度を制御する飛行方法を考案し、その飛行方法を用いて2006年に被験者試験（Low-Boom/No-Boom飛行試験）を実施した。その被験者試験手法は、同じ被験者に屋外と室内で同様のソニックブームを聞いてもらい、“annoyance”を評価するものであるが、その結果、室内におけるソニックブームの感受性が屋外よりも強い傾向があることが示された（図 13）。これは室内ではソニックブーム自体の大きさは小さくなるものの、窓のがたつき音や室内での反響、そして建築物の振動などの副次的な影響が大きいことが作用しているためであるとされ、室内におけるメトリックの検討が重要と認識されることとなった。ただし、室内ブームの特性は当然建物自体の特性に左右されるため、ソニックブーム基準を室内ブームで定義するのは現実的でないと考えられる。そこでNASAが提案しているのは、図 14に示す様な室内ブームと屋外ブームの相関関係を様々な建築物に対して構築した上で、室内における許容値を屋外での基準に対応させる手法であり、その相関関係を構築するために、前述の被験者試験に使用した小型の住宅におけるデータの他、オフィスビルの様な大型の建築物に対するソニックブーム計測飛行試験（Sonic Booms On Big Structures: SonicBOBS試験）を実施するとともに、室内ブーム許容値検討のためリビングルームタイプのソニックブームシミュレータ（Interior Effects Room: IER、図 15）を製作して被験者試験を実施している。

図 13. NASA Low-Boom/No-Boom飛行試験<sup>17)</sup>図 14. 室内ブームを考慮した基準策定案<sup>18)</sup>図 15. NASA IERシミュレータ<sup>19)</sup>

### 4.3 研究ロードマップ

ICAO SSTGは、上述の研究動向をモニタしつつ、ソニックブーム基準策定に必要な研究について議論を重ね、2010年の第8回CAEP会議において図 16に示す研究ロードマップを提案した。ロードマップは、メトリックの開発と検証、ソニックブームに与える大気や飛行の影響の検討、低ソニックブーム設計技術実証及び社会調査のための研究機開発、社会調査及び試験結果の汎用化の検討、といった項目に整理され、それらの成果をベースに2016年の第10回CAEP会議においてソニックブーム基準を提案する目標を掲げている。本ロードマップに沿う形で、NASAは加速飛行によってソニックブームが集中して強い強度のソニックブームが発生する現象（フォーカスブーム）理解のための飛行試験（Superboom Caustic Analysis and Measurement Program: SCAMP試験）を2011年に実施し、フォーカスブーム推算法の検証を行っている。また、社会調査については、同じく2011年にエドワーズ空軍基地の軍関係者の居住区において、2週間にわたり低強度のソニックブームを発生させて住民の反応を見る試験（Waveforms and Sonic boom Perception and Response: WSPR試験）を実施しており、今後より一般の住民に対して同様の試験を行うことを検討中である。

## Community Response to Sonic Boom: Notional Roadmap for Research to Support Standards Development

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
<b>Standards Development</b> • Approved methodology, test protocols, and draft standards and cert. criteria derived from research and development	SSTG • Begin draft of Methodology and Protocol Document	CAEP/8	SSTG • Initial Metric • Surrogate a/c based test protocols	SSTG • Update Methodology and Protocol Document	CAEP/9 • Endorsed Community Response Methods and Test Protocols	SSTG • Standards based on Flt Test		CAEP/10 • Draft Boom Standards • Draft Certification Criteria
<b>Metric Development &amp; Validation</b> • Simulator studies • Structural test and analysis • Whole house simulation		• Initial Indoor & Outdoor Metrics	• Initial Metric Assessment	• Revised Metrics	• Revised Metric Assessment		• Metric for Draft Standards	
<b>Effects of the Atmosphere &amp; Flight Operations</b> • Temp, humidity, turbulence • Seasonal, geographical & climatic • Focus boom • Secondary booms & cut off	• Initial Turb. Model	• Secondary boom prediction • Initial Climatic Effects	• Secondary & cutoff boom noise assessment	• Focus boom prediction & placement guidance	• Revised Turbulence Model	• Integrated atmospheric effect model		• Models for Draft Cert. Criteria
<b>Research Aircraft Development</b> • Develop requirements • Design fab. & test aircraft • Validate signature		• Preliminary design & risk reduction		• Fab go-ahead	• Roll out	• First Flight	• Signature Validation	
<b>Community Exposure Tests</b> • Public awareness process • Surrogate a/c Tests • Test planning • Test conduction	• Community exposure test on Edwards AFB	• Community exposure test off range	• Initial test protocols	• Validated test protocols & best practices	• Community Selection • Test planning complete			• Test phase 1 complete
<b>Statistical Extrapolation to General Population Exposure</b> • Single event levels • Number of exposures • Response model	• Initial route & exposure assessment	• Revised route & exposure assessment		• Single event level	• Community Response Model			• Correlation & Assessment of Model for Draft Standards

図 16. ソニックブーム研究ロードマップ<sup>20)</sup>

### 5. まとめ

ソニックブーム低減技術の研究開発と、ソニックブーム基準策定に関する最新動向について紹介した。ソニックブーム低減技術に関しては、日米欧で各種研究開発プログラムが実施されており、小型の超音速旅客機サイズであれば将来予想されるソニックブーム基準を満たす機体の成立見通しはありそうであるが、その技術成熟度はまだ低く、今後の実証プロジェクトが期待される。また、ソニックブーム基準策定に関しては、ICAOで議論が進められており、基準策定に求められる研究ロードマップが定義され、各国において研究が進められているが、更なる国際協調の下で研究を進める必要がある。

### 参考文献

- 1) ICAO Assembly Resolutions A35-5, 2004.
- 2) K.Meredith, et al., "Origins and Overview of the Shaped Sonic Boom Demonstration Program", AIAA-2005-0005, 2005.
- 3) 小橋豊, 「音と音波」, 裳華房, p.70, 1969.
- 4) 牧野光雄, 「ソニックブーム その現象と理論」, 産業図書, p.99, 2000.
- 5) V.Sparrow, F.Coulouvrat, and Y.Makino, "Status of Sonic Boom Knowledge", ICAO CAEP/8 IP/26, 2010.
- 6) C.M.Darden, "Sonic-boom Minimization with Nose-bluntness Relaxation", NASA TP-1348, 1979.
- 7) P.Coen, "Supersonics Project Overview", NASA FAP Technical Conference 2011.
- 8) T.Magee and E.Adamson, "Boeing N+2 Low-Boom Experimental Validation Phase I Project", NASA FAP Technical Conference 2011.
- 9) N.Norstrud, "NASA N+2 Supersonic Validations,

- Program Overview and Technical Status", NASA FAP Technical Conference 2011.
- 10) D.C.Howe, et al., "Quiet Spike<sup>TM</sup> Near Field Test Pressure Measurement with CFD Comparisons", AIAA 2008-128, 2008.
  - 11) P.Martin, "Publishable Activity Report", HISAC-T-6-26-1, 2008.
  - 12) 村上哲, 「静粛超音速研究機技術の研究開発について」第40回流体力学講演会/ANSS, pp.79-82, 2008.
  - 13) 本田雅久,他「低ソニックブーム設計コンセプト確認落下試験 (D-SEND) 計画」日本航空宇宙学会第41期年会講演会, pp.652-655, JSASS-2010-1115, 2010.
  - 14) 牧野好和, 中右介, 「超音速機のソニックブームと低減技術の研究」, 第2回JAXA航空プログラムシンポジウム前刷集, 2011.
  - 15) Yusuke Naka, "Subjective Evaluation of Loudness of Sonic Booms Indoors and Outdoors", 日本音響学会 2012年春季研究発表会講演論文集, 2012.
  - 16) S.S.Stevens, "Perceived Level of Noise by Mark VII and Decibels (E) ", Journal of the Acoustical Society of America, 51, pp.575-601, 1972.
  - 17) B.M.Sullivan, et al., "Human Response to Low-Intensity Sonic Booms Heard Indoors and Outdoors", NASA TM-2010-216685, 2010.
  - 18) J.Klos, "Measurement of Low-Amplitude Sonic Booms In and Around Large Buildings", NASA FAP Technical Conference 2011.
  - 19) J.Rathsam, et al., "Laboratory Study of Indoor Human Response to Sonic Booms", NASA FAP Technical Conference 2011.
  - 20) "Report of Supersonic Transport Task Group of Working Group 1", ICAO CAEP/8 WP/35, 2010.

## 国際航空交通と地球環境問題に関する最近の状況\*

日原 勝也\*\*

### 1. はじめに

地球環境問題が大きな注目を集めて久しい。従来の騒音、大気汚染等とは違い、問題の原因もその影響も地球規模であるような環境問題が、国民や政策担当者の関心事項になってきている。ここ数年は、世界的な金融危機と、東日本大震災、タイの洪水被害により、経済や復興問題に関心が移りがちであるが、依然、我々の生活に長期に大きな影響を与える可能性のある問題であることに変わりはないと思われる。本稿では、地球温暖化に関するCO<sub>2</sub>排出を巡る問題を例にとり、国際航空交通との関係を中心に政策面における最近の動きについて述べる。

### 2. 世界的な動向

そもそも、地球環境問題が初めて世界全体で議論されたのは、約20年前のことである。1992年に気候変動枠組み条約（UNFCCC）がニューヨークで合意されて、1997年には京都議定書が合意されて2005年に発効した。温暖化等に関する科学的解明を進めるため、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）が設立され、中立的な調査研究を実施し、累次の調査報告を发出しており、最近では、2007年に、第4次報告書を提出した。

それによれば、CO<sub>2</sub>濃度は産業革命前（～1800年）の0.028%から2000年には0.037%に上昇した。これに伴い過去100年間に気温は0.7℃上昇した。このままでは、2035年にはCO<sub>2</sub>濃度が産業革命前の2倍に達し、気温は2℃上昇、2030-60には気温は2-5℃上昇、21世紀末には6.4℃まで上昇しうると予測されている。5℃の気温変化は直近の氷河期と有史以降の平均気温の差に匹敵する。同じ時期に、海面は、18～59cmまで上昇することが予想されている。こうした変化により、地球の自然環境・生態系は壊滅的影響を受けるとされる。また、この報告書は、こうした温暖化の原因の一つが、産業革命期以降の人類の活動であることにつき、非常に高い信頼性がある（very high confidence）としている。破滅的状况を避けるため、環境負荷を減らす各国・各地域での取り組みが、この時期から活発化してきている。

他方、国家間の対応は、非常に困難な状況が続いている。中国などが削減義務を負っていないこと等を理由に、2001年当時最大の排出国である米国は、京都議定書からの事実上の離脱を宣言した。中国は、2009年に、世界最大の排出国となったが、現在まで法的な削減義務を一切負っていない。インド、ブラジル等の新興国も同様に法的な義務を負っていない。ただ、多くの国は、法的削減義務とは別に、政治的な削減目標を公表し、この問題に積極的に取り組む姿勢を見せる場合が多い。

\* Recent situation on global environmental issues in international air transportation

\*\* 東京大学公共政策大学院 特任教授

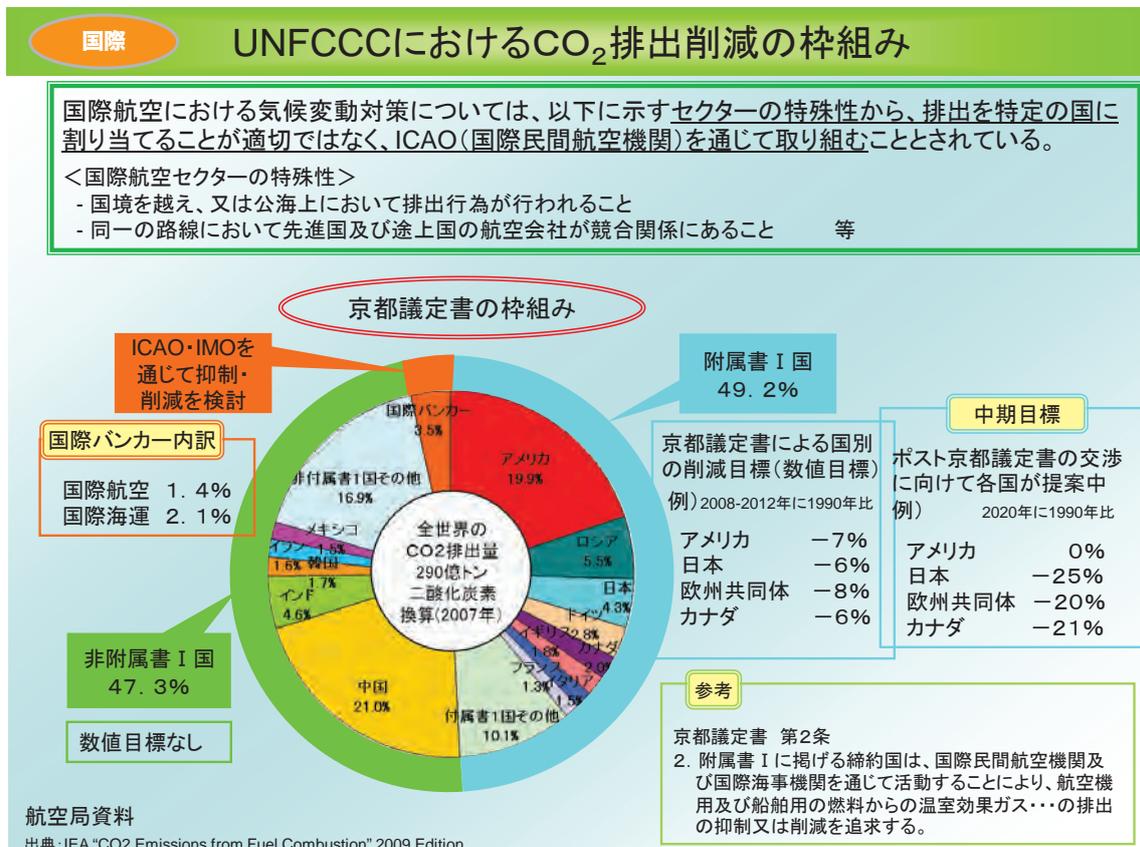
こうした問題を抜本的に改善するため、環境問題に熱心な欧州を中心に、多くの努力がなされてきた。途上国への資金支援等を定める2010年末のカンクン合意はその成果の一つである。しかし、削減義務の内容については、先進国と途上国の鋭い意見対立が続いている。先進国は、全ての排出国が参加する統一的な法的枠組みを目指している。これに対して、中国、インド等の途上国は、まず、歴史的に排出を先行して行ってきた先進国が削減の責任を負うべきで、CBDR (Common But Differentiated Responsibilities) の原則により、先進国と途上国は同一の扱いをすべきではないとの立場を強く主張している。2011年末のダーバン会合では、この点に関連し、2012年に削減の義務を定める期間が終了する京都議定書に代わる次の法的枠組みが焦点となった。結局、同会議で

は、対応する枠組みが存在しない事態を避けるため妥協が成立し、中国、インド、米国、欧州、我が国も含む全ての締約国に適用される法的な枠組みを2015年までに合意し、2020年から実施することを合意した。あわせて、京都議定書も、削減目標を定める参加国が減少するものの、2013年以降も、継続されることとされた。

### 3. 航空分野と地球環境問題

#### 3.1 航空分野

現在、航空機から排出されるCO<sub>2</sub>は、世界全体の排出量の2%程度にとどまっているが、航空輸送の著しい伸展の結果、航空機の技術革新による燃料効率の改善にもかかわらず、民間航空によるCO<sub>2</sub>排出量は2050年までに約2倍～5倍になると予想されている。このうち、国際航空によるCO<sub>2</sub>排出量は、現時点では航空



第1図 国際交通と国際的削減の枠組み

全体の約半分、即ち、世界全体の排出量の約1%程度であるものの、1990年から2004年までの間に52%も増加しており、将来的に看過できない規模となる可能性が高い。

しかし、1997年に締結された京都議定書では、国際航空からの温室効果ガスの排出量削減については、国連の専門機関である国際民間航空機関（International Civil Aviation Organization: ICAO）を通じて活動することとされており、国ごとの削減目標の対象外とされている（第1図）。他方、国内航空については、各国の排出量の中に計上されており、我が国では、6%の国別削減義務を負っているところ、その削減対象に国内航空からの排出が含まれている。このため、国内航空については、我が国の削減計画である京都議定書目標達成計画に、エネルギー消費原単位（人キロ輸送あたり燃料消費量）ベースの目標（2010年度までに1995年度比で15%改善）が位置づけられ、変動があるものの、全体として削減がなされてきており、2010年度時点では、目標は達成されている<sup>1)</sup>。

### 3.2 国際航空と地球環境問題

国際航空について役割を与えられたICAOは、10年ほど経っても、削減目標の設定等具体の成果を挙げるに至らなかった。その理由は、国際機関に特有の非効率性もあるが、ICAOは安全、環境基準等につき、非差別の原則が通常であるところ、京都議定書等では、上記のCBDRの原則があり、両者が本質的に対立する関係にあることも影響していると考えられる。環境問題に積極的なEUは、欧州発着の全ての航空会社をEU独自の排出枠取引制度（European Union Emission Trading Scheme: EU-ETS）

に一方的に組み込む措置を2008年に指令<sup>2)</sup>として発し、2012年から施行している。これに対しては、後述するように、一方的な内容であるとして、米国、中国、インド、日本等は激しく反対している。

ICAOは、こうした状況に対応する形で、2007年以降、ハイレベルの検討グループを組織して検討し、2010年の第37回総会までに、主に①短期、中期及び長期の目標の設定、②ICAOが策定した諸政策の採択と深化の提言、③各国による自主的な行動計画の策定・提出の勧告、④市場ベースの措置（market-based-measures: MBM）に関するガイドラインとそれに基づく更なる検討、⑤ICAO・各国に対する要請を定めている\*\*\*。

①の目標については、2020年、2050年をそれぞれ中期、長期の目標年とし、いずれもそれまでに世界全体の燃料効率を年2%（liter/RTKベース）改善することを掲げている（第1表）。年2%の燃料効率改善を実施すれば、2005年比で短期（2010-2012年）に13%、中期（2013-2020年）に26%、長期（2021-2050年）に約60%の燃料効率化を図ることとなる。こうした目標値は、締約国全体の目標であり、個々の国に個別の義務を負わせるものではないと明記されている。これは、CBDRと非差別原則という矛盾する原則相互を実務上の工夫により調和させ、米国も中国もインドもブラジルも含む意味で真のグローバルなセクター別（国際航空分野に関するもの）の削減目標（燃費効率の改善）になっている。国際航空以外のいかなる分野においても、筆者の知る限り、米国や中国を含む共通の数値削減目標は存在せず、この点、大いに注目されることである。

また、いくつかの条件を置きつつ、国際航空からのCO<sub>2</sub>排出量を、2020年レベルで固定する目標も掲げられている。（ただし、EU、中国、インド、米国等の主要国が留保している。）

②の諸政策は、航空機関係技術の進展、改善

\*\*\* 詳しい経緯については、日原他（2009）<sup>3)</sup>及び岡野他（2010）<sup>4)</sup>を参照。

第1表 ICAO行動プログラムと京都議定書の比較

	ICAO	京都議定書
目標年・期間	短期：2012年 中期：2020年 長期：2050年	2008年～2012年
削減目標	毎年2%の燃料効率改善 (RTKベース)	各国で目標設定 (先進国全体で少なくとも5%の温室効果ガス削減 (1990年比))
参加国	ICAO加盟国190カ国 (ICAO自体は全地域を代表する15カ国の政府高官で構成)	批准国187カ国 (うち付属書特国は米国を除く40カ国・地域)
法的拘束力	なし	有り (違反の場合の強制措置なし)

された航空交通管理及びインフラ利用、より効率的な運航といった項目から成り、それぞれについて具体的な措置例とその効果及び費用の水準等を列挙したものとなっている。③については、各国が行動計画を策定し実施するとともにそれをICAOに提出することを要請している。ただし、国際航空の輸送量（RTKベース）が世界の1%に満たない国については、適用されないことが定められている。（この点も、中国、インド等が留保している。）

④の市場ベースの措置（MBM）に関しては、炭素税、開放的な排出量取引等が世界規模のMBMスキームとして考えられるとした上で議論がなされていたが、具体的な措置については、調整がつかなかった。そこで、当面、透明性、効率性等の基本的な考え方を示すガイドラインについて合意し、それに基づき、更に検討することとしている。ここでも、国際航空の輸送量（RTKベース）が世界の1%に満たない国については、適用されないことが定められている。（この点も、EU、米国、中国、インド等が留保している。）最後に、⑤については、

モニタリングのために各国の輸送量の情報を収集する既存の仕組みに加え、燃料消費量を報告するよう求めるとともに、新型の航空機に関するCO<sub>2</sub>基準の策定着手等を要請している。

#### 4. 我が国の貢献

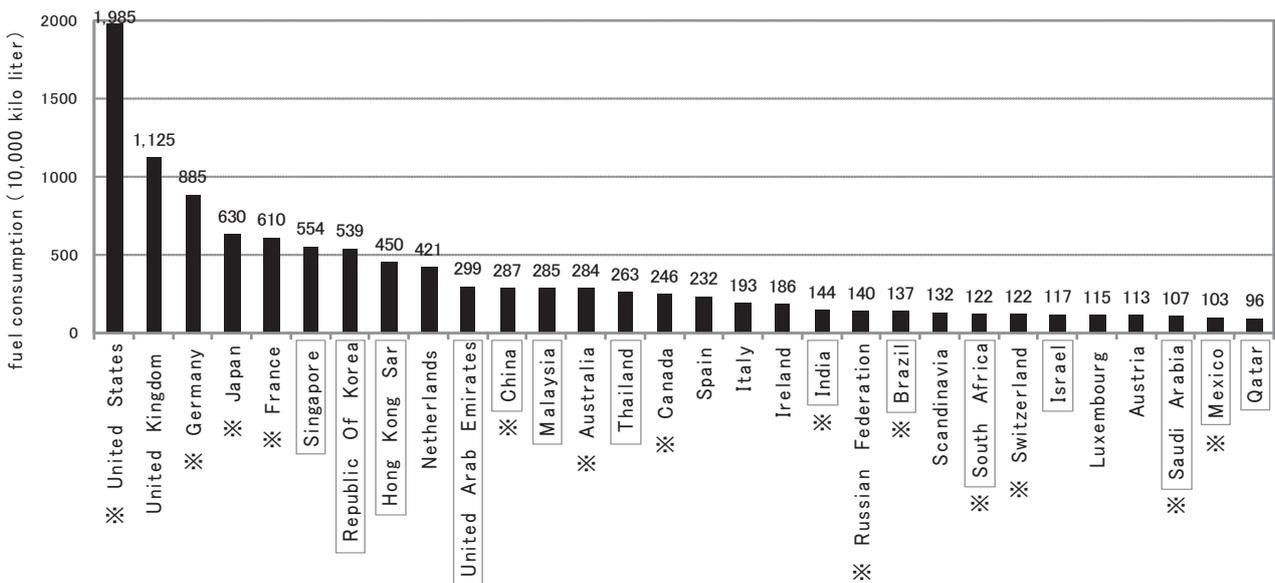
ICAOでの検討はICAOが前提とする非差別原則と京都議定書のCBDRの原則とが本質的に矛盾する内容となっていることは既に述べた。この困難を克服するため、日本が積極的に活動していることは余り知られていない。2007年の総会以降、目標設定について、各国間の差が大きい排出量の絶対値（第2図）からの削減目標では合意が困難と考えられることから、各国間での差が非常に小さい燃料効率性指標（fuel liter/RTK、第3図）をベースに議論すべきことを日本が積極的に提案し、現実に各国に受入れられたことが好例である。これらの資料は、我が国がICAOに提出したものである<sup>5)</sup>。この作業は、（財）空港環境整備協会からの支援に基づく東大・公共政策大学院の研究に基づいている。

## 5. 欧州の動き

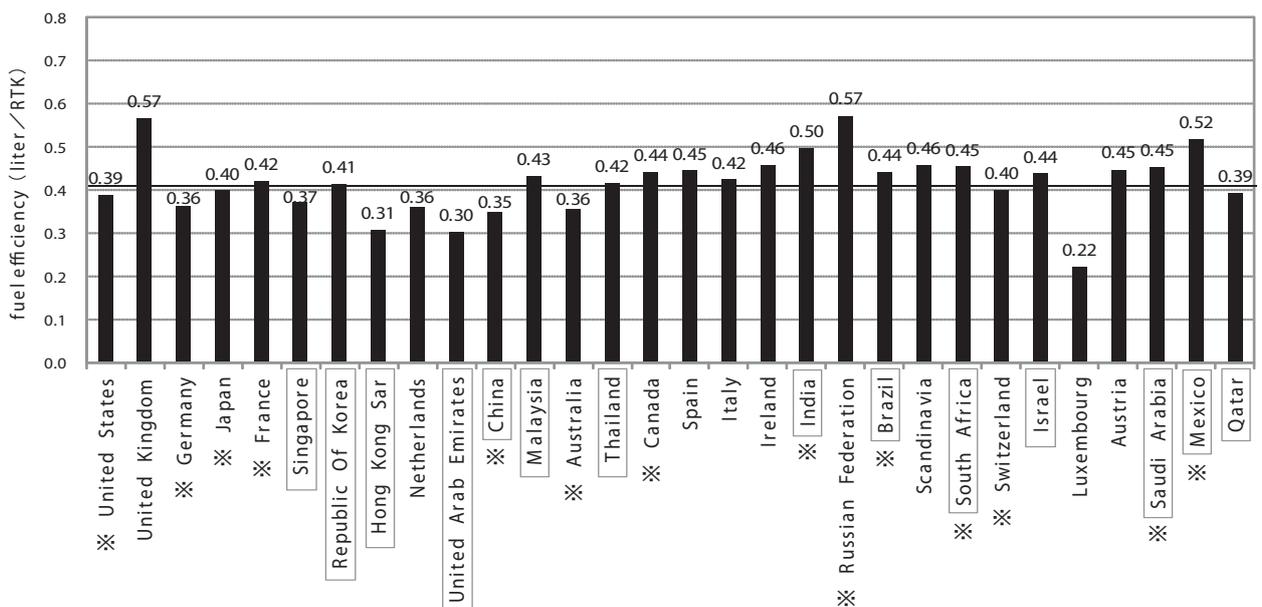
### 5.1 国際航空とEU-ETS

EU-ETSは、いわゆるキャップ&トレード方式を採用したEU独自の排出枠取引制度であり、2005年から導入されている。前述のように、航空部門は2012年から対象に含まれている。航空

部門のキャップ（総排出量の上限）の設定は、EUにおける2004年から2006年の航空部門からのCO<sub>2</sub>排出量の平均値（歴史的排出量）を基に行われ、2012年は歴史的排出量の97%が、2013年から2020年は95%が航空部門全体のキャップとなる。キャップのうち15%がオークション



第2図 上位30国の国別の燃料消費推計（日本）



第3図 上位30国の国別の燃料効率性推計（日本）

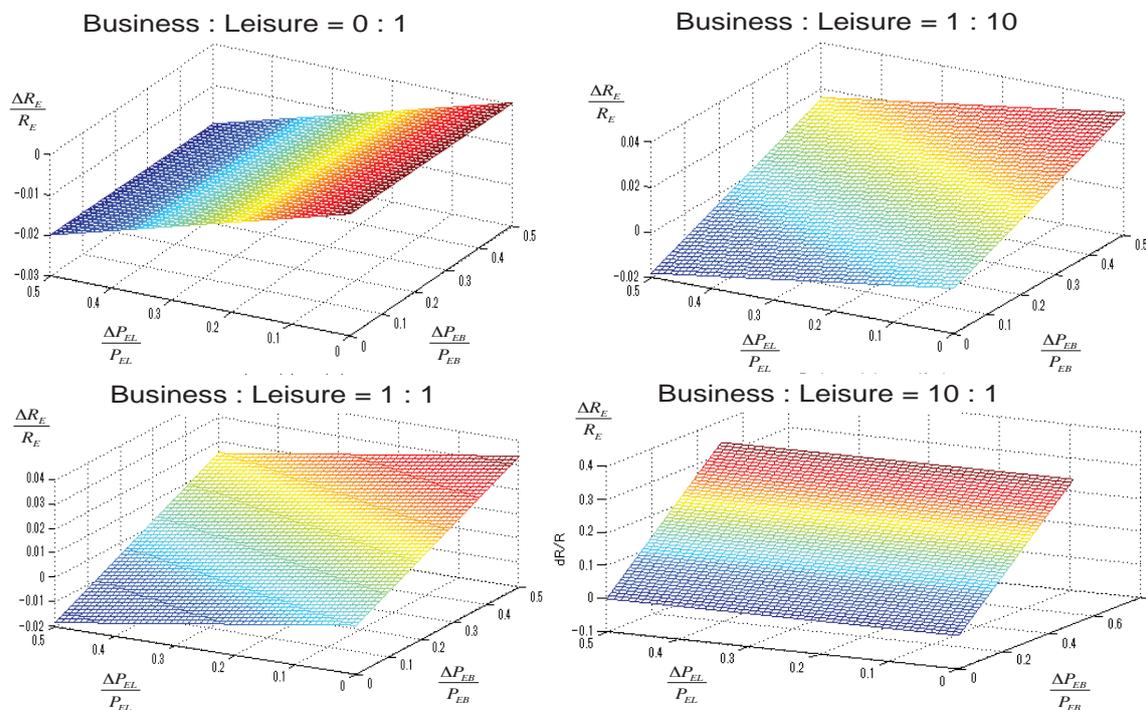
によって配分され、2013年から2020年までは、3%が新規参入事業者や成長が著しい運航者への特別留保分とされる。このため、キャップのうち残る82%（2012年は85%）が運航者に無償で割り当てられる排出量となり、これらは2010年の運航実績（トンキロベースの輸送量）に応じて各運航者に発行されることとなる。

前述のように主要排出国はこれに対し反対している。米国は、EUの措置は域外のフライトにも適用されるので国際法に違反することを主な理由に、裁判闘争を含め対抗措置を実施・検討中である。大統領も反対を表明している。中国は、EUの措置は京都議定書が定めるCBDRの原則に違反することを主な理由に反対しており、所管の航空会社にEUの措置に従わないよう指示を出している。インドも、一方的な貿易障壁であること等を理由に反対している。我が国も、地球環境問題は世界的な課題であり、EUという地域レベルの解決ではなく、ICAO

を通じて世界規模で対応すべきことを主な理由に反対している。

## 5.2 経済的影響等に関する研究

EU-ETSに航空部門が含まれることによる影響についてもいくつかの研究が発表されている。欧州委員会のワーキングペーパー<sup>6)</sup>では、EU全体のGDPに与える影響は10年間で0.002%減から0.026%増の間としており、GDPの減少と航空部門の雇用への影響は、代替的な活動によって生み出される所得と雇用の増加で相殺されるとしている。また、航空部門への影響としては、2020年までに排出枠の価格がトン当たり6ユーロである場合は0.3%から0.4%の需要減、30ユーロである場合は1.5%から1.9%の需要減を引き起こすとしている。需要減が生じても航空部門は133%の需要増（RTKベース）が見込まれているため、問題はないとしている。これにより、CO<sub>2</sub>は、2005年比で2020年までに



第4図 価格転嫁（ビジネス・非ビジネス）による欧州線収入への影響

46% (183百万トン) の削減が見込まれるとしている。他方、Scheellhaase et al. (2009)<sup>7)</sup> の試算では、航空会社は平均して排出量の40%に当たるCO<sub>2</sub>を購入しなければならず、排出枠の価格が1トン当たり25～40ユーロとした場合には航空部門は2012年だけで18～19億ユーロ(4.58億トンのCO<sub>2</sub>)の費用がかかるとしている。

各航空企業に具体的にどの程度の排出枠の購入負担が生じ、どの程度の価格転嫁がなされるかは、個別の企業ごとに、路線構成の変化を踏まえ、排出枠の価格別に収入への影響等を詳細に分析することが必要である。ここでは、予備的作業として、我が国の航空企業などの欧州路線へのインパクトをミクロ的に観察するため、実証研究<sup>8)</sup>で得られている価格弾力性の値(長距離国際線におけるビジネス客の価格弾力性(中央値)は-0.265、非ビジネス客の価格弾力性(中央値)は-1.04)を用い、排出枠購入費用を運賃に転嫁することにより収入へどのような影響が及ぶかについて、簡単なモデル(注1)を作成し試算した。具体的には、価格転嫁を絶対額ではなく、現在の価格に占める割合として捉え、ビジネス客と非ビジネス客(観光客)の価格弾力性の違いを明示的に反映するよう工夫して、欧州路線収入全体への影響を試算したものである。

結果は第4図に示しており、価格に敏感な非ビジネス客の割合が多いローコストキャリアのようなビジネスモデルの航空会社の場合(ビジネス客の収入割合がゼロ(図上左)、10分の1程度(図上右)及び半分(図下左))は、収入に一定程度マイナスの影響が及ぶことが判る。他方、価格に敏感でないビジネス客の割合が多い航空会社の場合(図下右)は、値上げが受け入れられて収入への影響は限定的であることが見て取れる。

\*\*\*\* より詳しくは、岡野他(2012)<sup>9)</sup>を参照。

## 6. おわりに

2012年10月にはICAOの第38回総会が予定され、11月末からはカタールで、次の締約国会議(COP18)が予定されている。前回の会議で、積み残されたMBM、航空機型式ごとの燃費効率性指標等の検討課題について、今年も精力的に議論がなされることとされている。こうした残された課題についての報告は、別の機会に譲ることとしたい。

## 謝辞

東京大学・公共政策大学院における国際交通政策の研究に貴重な貢献を頂いている(財)空港環境整備協会に、改めまして厚く御礼申し上げます。

注1：使用した簡単なモデルは、次の通り。一定の仮定の下、欧州路線の収入に与える影響( $\Delta R_E$ )が元の収入( $R_E$ )に占める割合( $\Delta R_E / R_E$ )を、以下の式に示すように、欧州線のビジネス・非ビジネス客への価格転嫁( $\Delta P_{EB}$ 、 $\Delta P_{EL}$ )が基の価格に占める割合( $\Delta P_{EB} / P_{EB}$ 、 $\Delta P_{EL} / P_{EL}$ )と欧州線におけるビジネス・非ビジネスの収入比( $k = P_{EB} Q_{EB} / P_{EL} Q_{EL}$ )及びビジネス客・非ビジネス客の価格弾力性( $\varepsilon_B$ 、 $\varepsilon_L$ )により説明するものである\*\*\*\*。

$$\frac{\Delta R_E}{R_E} = \frac{1}{(k+1)} \left[ k(1+\varepsilon_B) \frac{\Delta P_{EB}}{P_{EB}} + (1+\varepsilon_L) \frac{\Delta P_{EL}}{P_{EL}} \right]$$

## 参考文献

- 1) 地球温暖化対策本部: 京都議定書目標達成計画の進捗状況、(2011).
- 2) EC: Directive 2008/101/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008.
- 3) 日原勝也、岡野まさ子、鈴木真二: 国際民間航空と地球環境問題～ICAOにおける最近の議論と今後について、日本航空宇宙学会誌、57 (2009)、pp.309-312.

- 4) 岡野まさ子、日原勝也、鈴木真二：国際民間航空と地球環境問題～排出量取引制度と航空（その1）～、日本航空宇宙学会誌、58（2010）、pp. 241-246.
- 5) ICAO GIACC WORKING PAPER GIACC/2-WP (presented by JAPAN) ; SOME BASIC COMPONENTS FOR THE REDUCTION MECHANISM OF CO2 EMISSIONS FROM INTERNATIONAL AVIATION, (2008).
- 6) EC: Commission staff working document accompanying document to the proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council amending Directive 2003/87/EEC so as to include aviation activities in the scheme for green house gas emission allowance trading within the Community, (2006).
- 7) Scheelhaase, J., M. Schaefer, W. Grimme and S. Maertens : EU-legislation tackling aviation' s CO<sub>2</sub> emissions: Model-based empirical estimation of the economic and ecologic impact of the EU-Emissions trading scheme on the international aviation sector, ATRS Conference, (2009).
- 8) Gillen, W., W. Morrison, and C. Stewart : Air Travel Demand Elasticities: Concepts, Issues and Measurement, Government of Canada, Department of Finance Canada, (2008).
- 9) 岡野まさ子、日原勝也、鈴木真二：国際民間航空と地球環境問題～排出量取引制度と航空（その2）～、日本航空宇宙学会誌、60（2012）、forthcoming.

# 大阪国際空港周辺の長期大気環境調査\*

橋本弘樹\*\* 水島実\*\* 鈴木孝治\*\*\*

## 1. 諸言

航空機排出ガスが一般環境大気に与える影響を調査することは、空港周辺における環境保全対策を検討する上で重要である。このため本研究センターでは、大阪国際空港（伊丹空港）内及び空港に隣接する地点に大気汚染常時監視測定室を設けて、大気汚染物質の常時監視を空港内測定局は昭和48年7月から、勝部及び西桑津測定局は昭和52年10月から、継続的に行ってきた<sup>1)</sup>。また、平成6年9月に関西国際空港が開港したことに伴う航空機の運航回数の激減による航空機排出ガス量の減少が空港周辺大気環境に与える影響も調査した<sup>2)</sup>。

本報告では、大気汚染物質の常時監視が平成22年3月で終了したことから、改めて長期間（昭和53年度～平成21年度）にわたり測定されてきた大気汚染物質濃度の推移と気象の影響など航空機排出ガスが空港周辺大気環境に与える影響を検討する。

## 2. 大気汚染常時観測調査

### 2.1 大気汚染常時監視測定室

大阪国際空港は、兵庫県伊丹市と、大阪府豊中市及び池田市の2府県3市にまたがり、大阪平野のほぼ中央に位置し、南約6 kmに尼崎

臨海工業地帯、南東約6 kmに大阪市で、西側は、伊丹市の工業地帯となっているが、北東方面は、箕面に至るまでほぼ住宅学園郊外地となっている。

大阪国際空港は、総面積約317万m<sup>2</sup>で、ほぼ南北方向にA滑走路（1,828m×45m）とA誘導路並びにB滑走路（3,000m×60m）とB誘導路が設置され、発着回数は年間約13万回（平成21年）であった。

空港周辺に設置した大気汚染常時監視測定室の設置位置と周辺の立地条件を図1に示す。

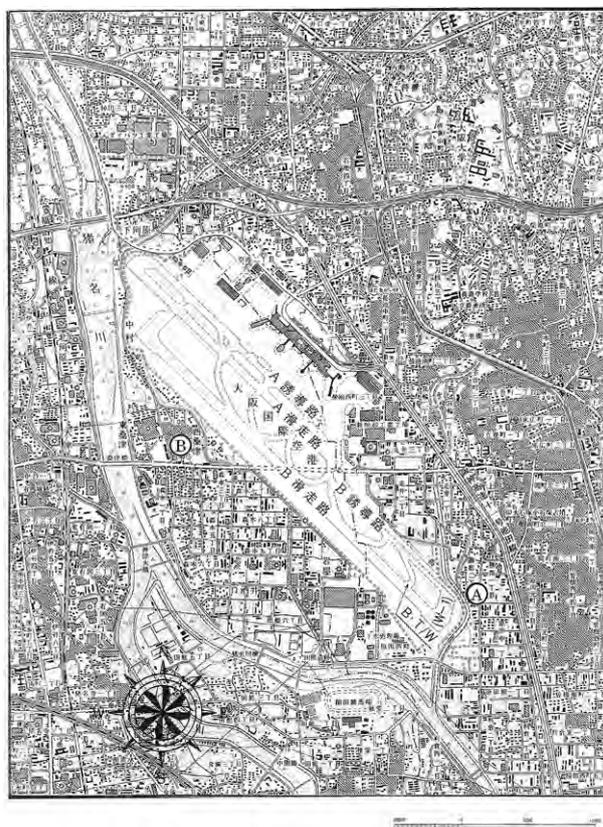


図1 大気汚染常時監視測定室の設置場所  
A：勝部大気測定室 B：西桑津大気測定室  
B・T/W：バイパス誘導路

\* Long-term air quality study of the environmental air around the Osaka International Airport

\*\* (財) 空港環境整備協会 航空環境研究センター

\*\*\* 慶應義塾大学教授（技術アドバイザー兼務）

各測定室についての周辺環境は以下のとおりである。

(A) 勝部大気測定室（豊中市勝部2丁目132番地）

測定室は空港東南端寄りの地点で、B誘導路の中心から最短距離で約200mの位置に設置されており、採気口の高さは地上約3mである。また、周辺は工場や住居が密集混在している地域で、測定室から東方約350mに高速道路（高速大阪・池田線）、西方約30mに道路が南北に走っている。この地点で空港が風上となる風向は南～南西～西～北西方向である。

(B) 西桑津大気測定室（伊丹市西桑津前213番地4）

測定室は滑走路の西側で、B滑走路の中心から最短距離で約250mの位置に設置されており、採気口の高さは地上約3mである。また、周辺は過密な住居地域で、測定室から西方約300mに工場、南方約200mに幹線道路（伊丹-豊中線）が東西に走っている。この地点で空港が風上となる風向は北西～北～北東～東～南東方向である。

## 2.2 測定項目と測定機器

測定項目と測定機器を表1に示す。測定は全て自動計測器である。機器から得られた各汚染物質濃度の経年変化に加えて、大気汚染濃度と気象（風向）との関係を整理した。これらの結果から大阪国際空港周辺における大気環境状況を把握した。

## 3. 結果及び考察

### 3.1 大気汚染常時監視測定結果

図2-1～2-8に勝部、西桑津大気測定室の各大気汚染物質濃度の平均値と全国で継続的に測定されている一般大気測定局及び道路周辺大気測定局の結果を比較した。また、年平均値の推移と環境基準との対応状況は以下のとお

表1 測定項目及び測定機器

平成21年3月現在

測定項目	測定原理	型式
一酸化炭素 (CO)	非分散型赤外線分析法 (NDIR)	APMA-3600 (堀場製作所)
炭化水素 (HC)	差量式水素炎イオン化法 (FID)	APHA-360 (堀場製作所)
窒素酸化物 (NOx)	(1)ザルツマン試薬を用いた吸光光度法 (注) (2)化学発光法	GPH-104 (東亜ディーケー) ML-98410 (米・LSMCC/旧モニター・ラボ)
光化学オキシダント (Ox)	中性ヨウ化カリウム溶液を用いる吸光光度法	GXH-103 (電気化学計器)
オゾン (O <sub>3</sub> )	紫外線吸収法	MODEL1150 (ダイレック)
浮遊粒子状物質 (SPM)	ベータ線吸収法	GFS-146 (電気化学計器)
二酸化硫黄 (SO <sub>2</sub> )	紫外線蛍光法	GFS-146 (電気化学計器)
風向風速 温度 相対湿度	プロペラ法 白金抵抗体法 毛髪湿度計	A-1158 (小笠原計器)

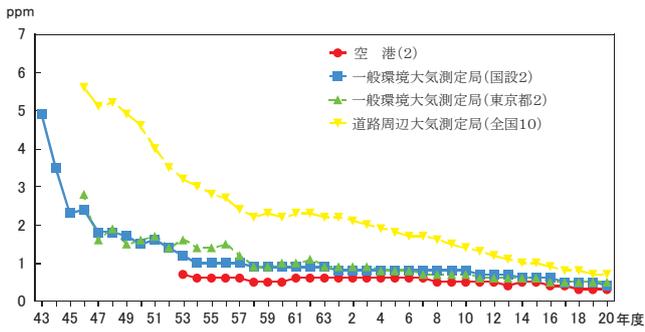
(注) ザルツマン係数 0.84 (酸化率 70%)。

りである。

(1) 一酸化炭素 (CO) 濃度 (図2-1)

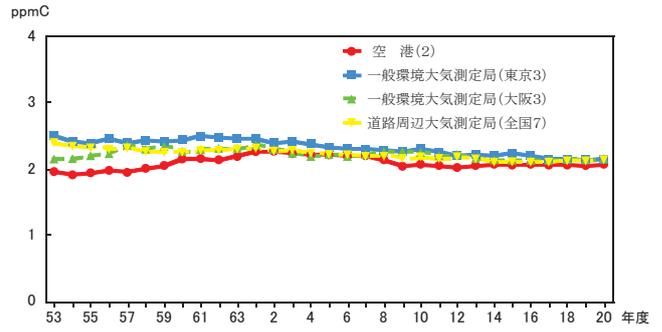
空港周辺の一酸化炭素濃度は、全国の一般大気測定局及び道路周辺大気測定局の測定結果と比較して昭和53年の測定開始当時から低く、近年は、ほぼ横ばい傾向を示していた。

環境基準の対応状況は、短期的評価の基準である1日平均値が10ppm以下であり、8時間値が20ppmを以下であることに対して、全ての測定室で環境基準を達成している。また、長期的評価の基準である1日平均値の2%除外値が10ppm以下であることに対して、各測定室とも環境基準を達成している。



(注) 1. 図中の ( ) 内の数値は測定局数。  
2. 空港は本調査の結果による。

図2-1 一酸化炭素濃度の年平均値の経年変化



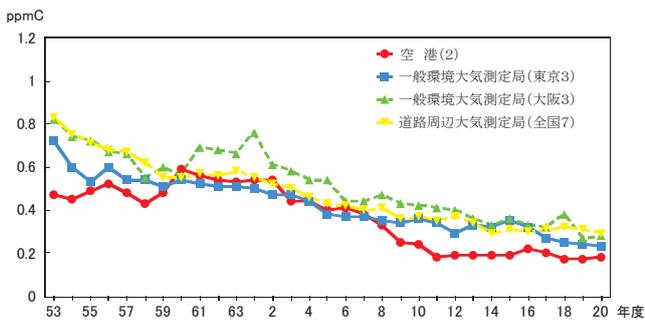
(注) 1. 図中の ( ) 内の数値は測定局数。  
2. 空港は本調査の結果による。

図2-3 全炭化水素濃度の年平均値の経年変化

(2) 非メタン炭化水素(NMHC)濃度 (図2-2)

空港周辺の非メタン炭化水素濃度は、全国の一般大気測定局及び道路周辺大気測定局の測定結果と比較して、昭和59年度までは低く、それ以後平成8年まで同程度の濃度で推移していたが、平成9年以後は低い値となっていた。近年は、横ばい傾向を示していた。

指針値との対応状況は、指針値の午前6時から9時までの3時間平均値が0.20ppmCから0.31ppmCの範囲内またはそれ以下であることに対して、全国の測定局と同様に指針値を超過することがあった。



(注) 1. 図中の ( ) 内の数値は測定局数。  
2. 空港は本調査の結果による。

図2-2 非メタン炭化水素濃度の午前6～9時の3時間平均値の年平均値の経年変化

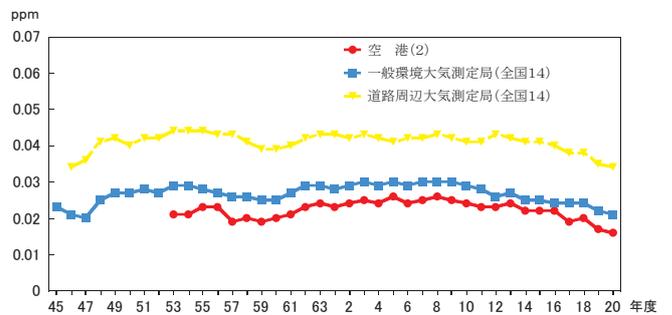
(3) 全炭化水素 (THC) 濃度 (図2-3)

空港周辺の全炭化水素濃度は、全国の一般大気測定局及び道路周辺大気測定局の測定結果と比較してほぼ同程度かやや低い傾向で、ほぼ横ばいか微減傾向を示していた。

(4) 二酸化窒素 (NO<sub>2</sub>) 濃度 (図2-4)

空港周辺の二酸化窒素濃度は、全国の一般大気測定局及び道路周辺大気測定局の測定結果と比較して低い値を示し、経年変化は、平成8年度まで増加傾向にあったが、それ以降減少傾向を示していた。

環境基準との対応状況は、環境基準の日平均値の年間98%値が0.06ppm以下であることに対して、各測定室で環境基準を達成していた。

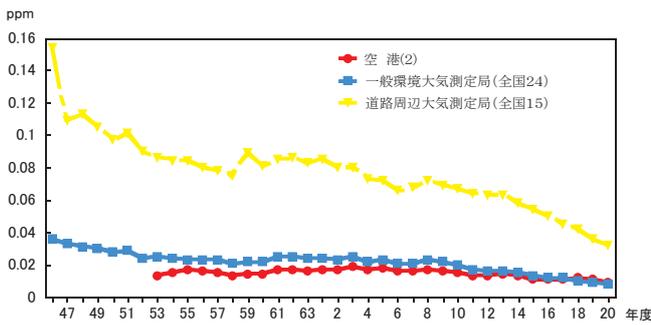


(注) 1. 図中の ( ) 内の数値は測定局数。  
2. 空港は本調査の結果による。

図2-4 二酸化窒素濃度の年平均値の経年変化

(5) 一酸化窒素 (NO) 濃度 (図2-5)

空港周辺の一酸化窒素濃度は、全国の一般大気測定局及び道路周辺大気測定局の測定結果と比較して低い値を示してきたが、ここ最近では、一般大気測定局とほぼ同程度の値を示していた。経年変化は、平成8年度まで増加傾向にあったが、それ以降減少傾向を示していた。



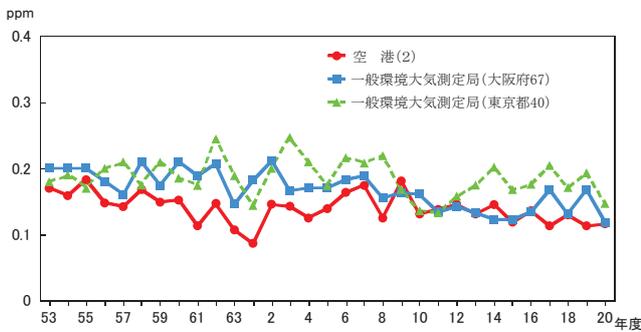
(注) 1. 図中の ( ) 内の数値は測定局数。  
2. 空港は本調査の結果による。

図2-5 一酸化窒素濃度の年平均値の経年変化

### (6) 光化学オキシダント (Ox) 濃度 (図 2-6)

空港周辺の光化学オキシダント濃度の最高値の推移をみると、全国の一般大気測定局及び道路周辺大気測定局の測定結果と比較して年ごとにばらつきはあるもののほぼ同様の傾向を示していた。

全国的に光化学オキシダントの環境基準は、達成されていない状況にあり、空港周辺でも、環境基準の1時間値が0.06ppm以下であることに対して、各測定室とも基準を超える日が年に一日以上あり、環境基準が達成されていなかった。



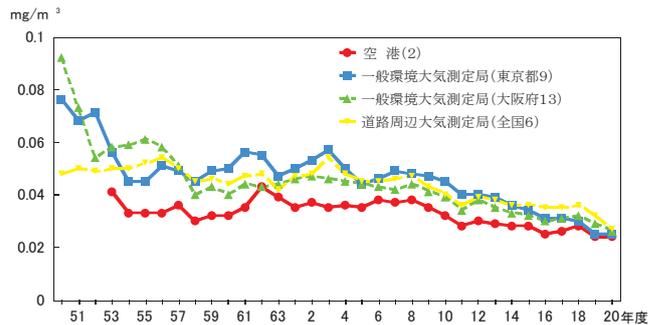
(注) 1. 図中の ( ) 内の数値は測定局数。  
2. 空港は本調査の結果による。

図2-6 光化学オキシダント濃度の最高値の推移

### (7) 浮遊粒子状物質 (SPM) 濃度 (図 2-7)

空港周辺の浮遊粒子状物質濃度は、全国の一般大気測定局及び道路周辺大気測定局の測定結果と比較して低い値を示してきたが、ここ数年は、一般大気測定局とほぼ同程度の値を示していた。経年変化は、平成8年度まで横ばい傾向を示していたが、それ以降やや減少する傾向を示していた。

環境基準との対応状況は、長期的評価の基準である1日平均値の2%除外値が $0.1\text{mg}/\text{m}^3$ 以下であることに対して、環境基準を達成していた。また、短期的評価の基準である1時間値の1日平均値が $0.1\text{mg}/\text{m}^3$ 以下であり、1時間値が $0.2\text{mg}/\text{m}^3$ であることに対して、近隣の野焼きなどのために達成していない日が見られる年があったが概ね環境基準を達成していた。



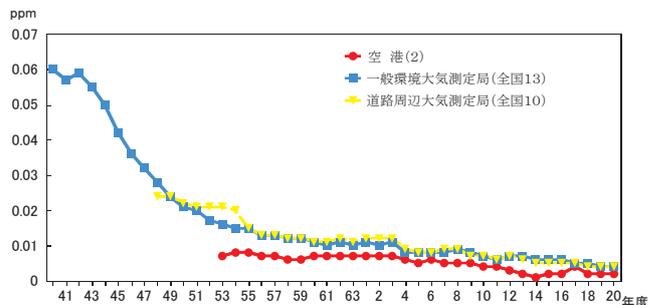
(注) 1. 図中の ( ) 内の数値は測定局数。  
2. 空港は本調査の結果による。

図2-7 浮遊粒子状物質濃度の年平均値の経年変化

### (8) 二酸化硫黄 (SO<sub>2</sub>) 濃度 (図 2-8)

空港周辺の二酸化硫黄濃度は、全国の一般大気測定局及び道路周辺大気測定局の測定結果と比較して昭和53年の測定開始当時から低く、近年は、ほぼ横ばい傾向を示していた。

環境基準との対応状況は、短期的評価の基準である1時間値の1日平均値が0.04ppm以下であり、1時間値が0.1ppm以下であることに対して、各測定室とも環境基準を達成している。また、長期的評価の基準である1日平均値の2%除外値が0.04ppm以下であることに対して、各測定室とも環境基準を達成している。



(注) 1. 図中の ( ) 内の数値は測定局数。  
2. 空港は本調査の結果による。

図2-8 二酸化硫黄濃度の年平均値の経年変化

### 3.2 大気汚染物質濃度と風向の関係

図3-1～3-9に大気汚染物質の風向別の平均濃度とピーク観測率の関係を示す。あまり行われていない解析手法であるが、一酸化炭素、全炭化水素、二酸化窒素、一酸化窒素及び窒素酸化物については、瞬時値の測定も行っていることからチャート用紙から読み取った風向別のピークの回数と測定時間から風向別のピーク観測率を求めた。

勝部及び西桑津大気測定室は、図1に示すように空港をはさんで設置されているため、それぞれの測定室で空港が風上になる風向のときに同時に平均濃度やピーク観測率が高くなっているならば空港の影響が示唆されることになる。

一酸化炭素（図3-1）は、風向別の平均濃度及びピーク観測率ともに空港が風上の時に高くなっている傾向がみられていない。特に平均濃度は、両測定室ともに同じ風向（東南東～南南東）の時に濃度がやや高くなる傾向がみられており、空港以外の排出源の影響が示唆される。

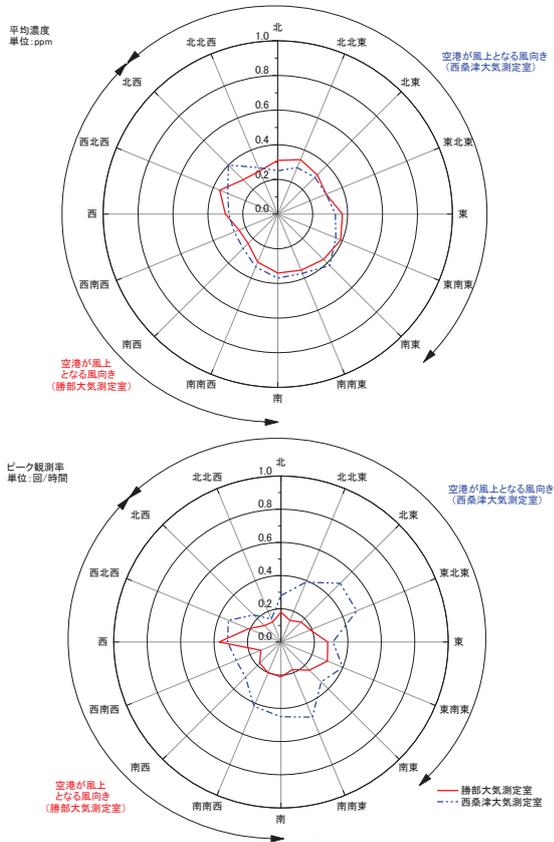


図3-1 風向別一酸化炭素濃度のピーク観測率及び平均濃度  
 (注) 1時間当りのピーク観測回数 (=  $\frac{\text{ピークの総回数}}{\text{測定時間数}}$ )

全炭化水素（図3-2）は、風向別の平均濃度は空港が風上の時に高くなっている傾向がみられていないが、ピーク観測率は、西桑津大気測定室で、空港が風上の時に高くなる傾向がみられるが、勝部大気測定室では、空港と反対の風向の時に高くなる傾向がみられるため、空港の影響と考えにくい。

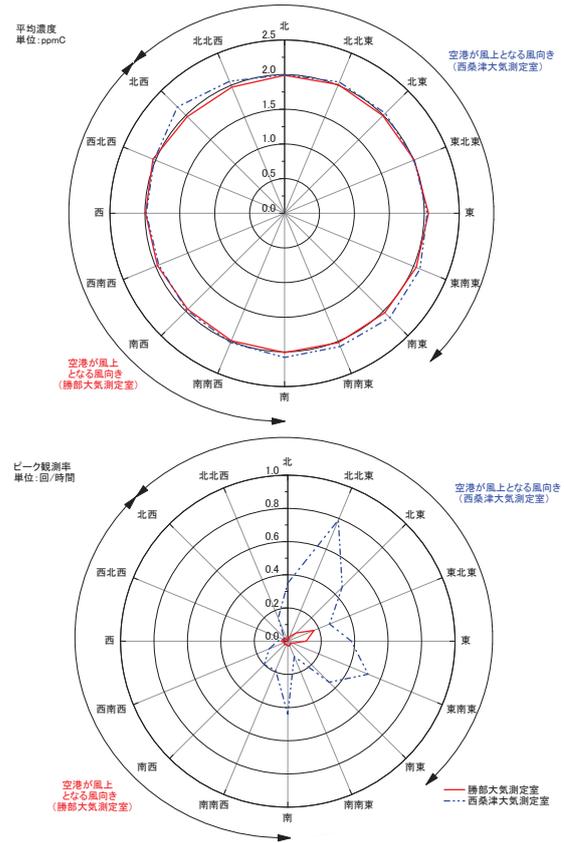


図3-2 風向別全炭化水素濃度のピーク観測率及び平均濃度  
 (注) 1時間当りのピーク観測回数 (=  $\frac{\text{ピークの総回数}}{\text{測定時間数}}$ )

窒素酸化物（一酸化窒素及び二酸化窒素）（図3-3～3-5）は、風向別の平均濃度は両測定室ともに同じ風向（東～南東～南）の時に濃度がやや高くなる傾向がみられており、空港以外の排出源の影響が示唆されるが、ピーク観測率は、両測定室ともに空港が風上の時に高くなる傾向がみられており空港の影響が示唆される。

オキシダント（図3-6）、オゾン（図3-7）、浮遊粒子状物質（図3-8）及び二酸化硫黄（図3-9）は、風向別の平均濃度は両測定室ともに同じ風向（南～南西）の時に濃度がやや高くなる

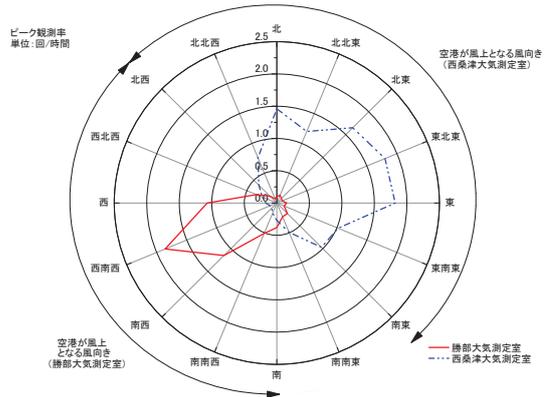
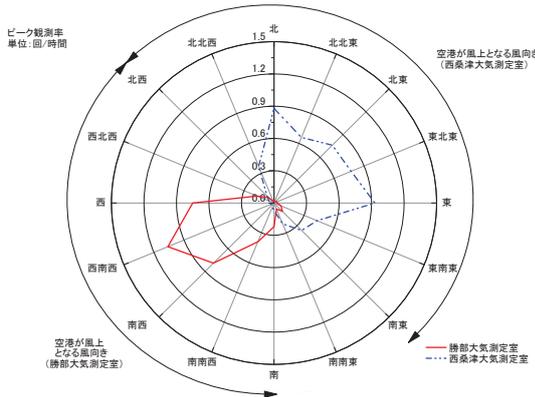
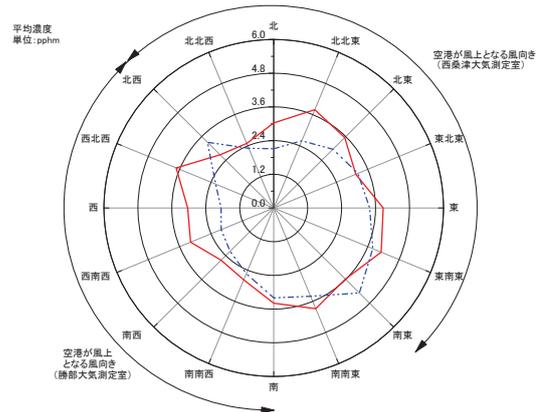
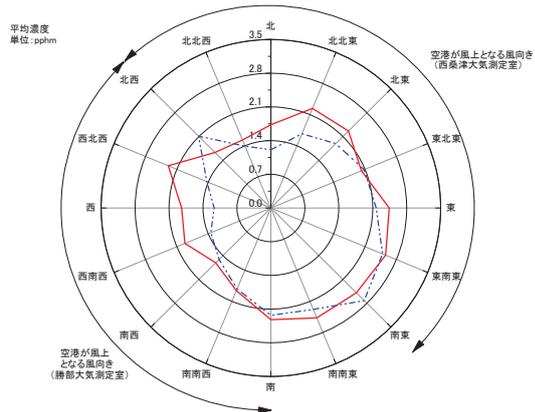


図3-3 風向別二酸化窒素濃度のピーク観測率及び平均濃度

図3-5 風向別窒素酸化物濃度のピーク観測率及び平均濃度

(注) 1時間当りのピーク観測回数  $(= \frac{\text{ピークの総回数}}{\text{測定時間数}})$

(注) 1時間当りのピーク観測回数  $(= \frac{\text{ピークの総回数}}{\text{測定時間数}})$

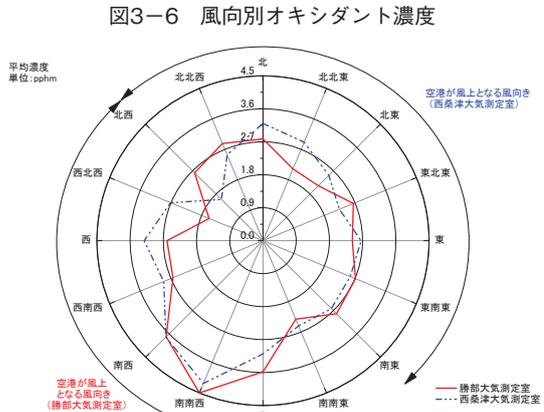
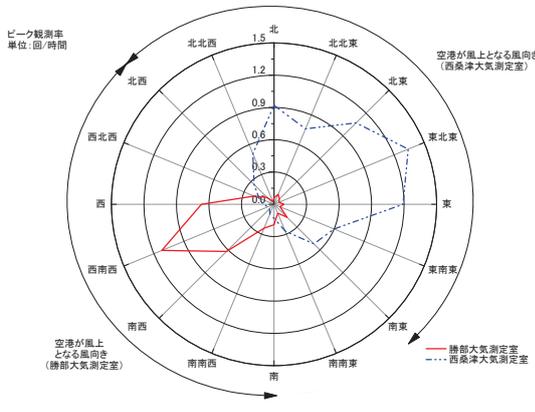
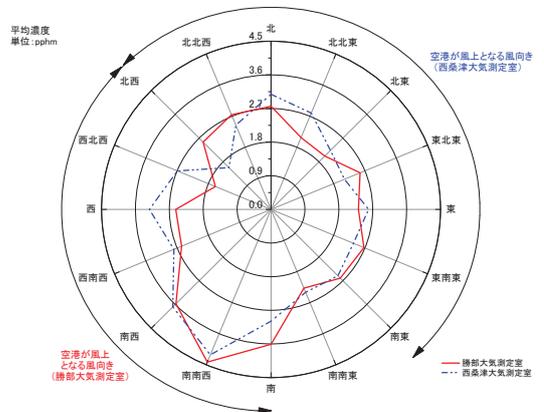
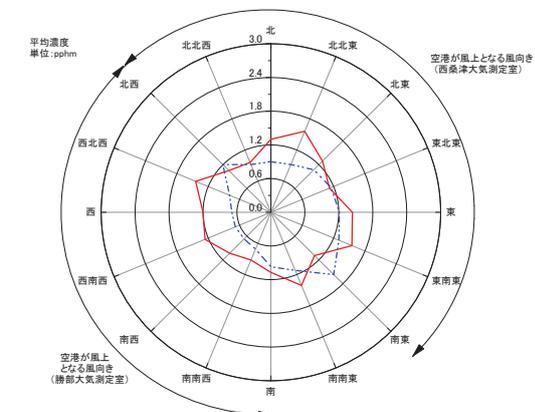


図3-4 風向別一酸化窒素濃度のピーク観測率及び平均濃度

図3-6 風向別オキシダント濃度

(注) 1時間当りのピーク観測回数  $(= \frac{\text{ピークの総回数}}{\text{測定時間数}})$

図3-7 風向別オゾン濃度

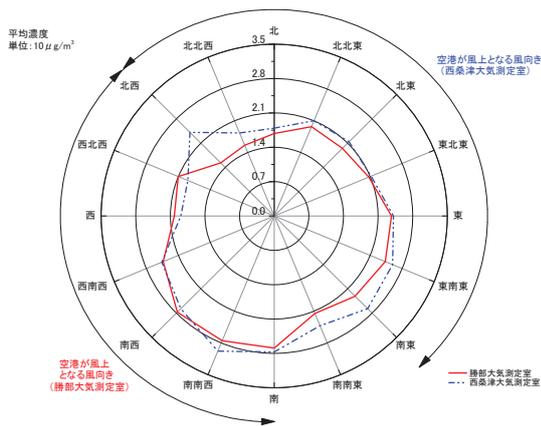


図3-8 風向別浮遊粒子状物質濃度

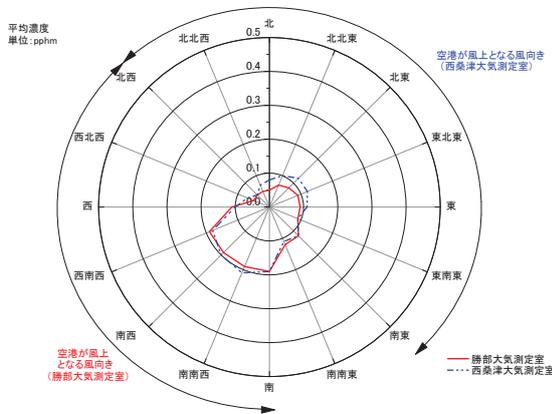


図3-9 風向別二酸化硫黄濃度

る傾向がみられており、空港以外の排出源の影響が示唆される。

#### 4. まとめ

本報告では、大阪国際空港で長期間（昭和53年度～平成21年度）にわたり大気汚染物質の常時監視が続けられてきたが、平成22年3月で終了したことから、改めて大気汚染物質濃度の推移と気象の影響などから航空機排出ガスが空港周辺大気環境に与える影響を検討した。

この結果、空港周辺の大気汚染物質濃度は、全国の一般大気測定局及び道路周辺大気測定局の測定結果と比較して測定開始当時は概ね低く、近年は、一般大気測定局とほぼ同程度の値かやや低い値を示しており、航空機排出ガスが空港周辺大気環境に与える影響は小さいことが

示唆された。また、全国的に環境基準が達成されていない状況にある光化学オキシダントを除外すると、環境基準が定まっている一酸化炭素、二酸化窒素、浮遊粒子状物質及び二酸化硫黄は環境基準を達成していた。

以前に行った調査でも、関西空港開港前後で航空機排出ガス量が大きく変動したものの、空港周辺の大気環境濃度の推移と航空機排出ガス量の変動の間には、明確な関係が認められず、空港周辺の大気環境に航空機排出ガスが与える影響は小さく、その他の要因の影響の方が大きいことが推察されていた<sup>2)</sup>。

一方、大気汚染物質濃度と風向の関係を検討した結果、空港をはさんで設置されている勝部及び西桑津大気測定室において窒素酸化物（一酸化窒素及び二酸化窒素）は、風向別の平均濃度は両測定室ともに同じ風向の時に濃度がやや高くなる傾向がみられており、空港以外の排出源の影響が示唆されるが、ピーク観測率は、両測定室ともに空港が風上の時に高くなる傾向がみられており空港の影響が示唆された。それ以外の大気汚染物質では、このような傾向がみられないため、空港以外の排出源の影響が示唆された。このことは、航空機の離陸時に多く発生する窒素酸化物は、あまり拡散しないままに風に流され両測定室に到達していると思われる。環境基準は、平均濃度で決められているが、あまり行われていない風向別のピーク観測率を解析する手法を用いることで、違った観点から航空機排出ガスの影響を検討することができた。

#### 文献

- 1) 柴田正夫, 古泉政市, 水島実, 勝田信二, 柳沢三郎, 鈴木孝治, “長期間にわたる都市型空港周辺環境大気の変動と航空機排出ガスの影響－大阪国際空港を例として－”, 航空環境研究, No.1 (1997), p30.
- 2) 橋本弘樹, 柴田正夫, 水島実, 鈴木孝治, “関西国際空港開港時を含む大阪国際空港周辺の長期大気環境調査と解析”, 航空環境研究, No.5 (2001), p39.

## わが国の環境騒音の評価尺度の現状と課題 \*1

山田 一郎\*2 森長 誠\*3 加来 治郎\*4

### 1. はじめに

本稿ではわが国で用いられている環境騒音の評価指標を振り返り、課題について若干の考察を行う。わが国で市街電車や飛行機の発動機の試運転の音が社会問題となったのは昭和初期のことであった<sup>1,2)</sup>。終戦後は、復興に伴う建設工事や宣伝の拡声放送の騒音の被害が訴えられ、東京市は騒音委員会を設立して検討し、騒音防止条例を制定している。騒音評価方法については米国の規格を参考にして騒音計の日本工業規格 JIS (JIS C 1503-1957) が制定され<sup>3)</sup>、また、守田が変動騒音の評価のために提案した指標 (平均:  $L_{50}$ 、変動幅:  $L_5$  と  $L_{95}$ ) を採用して騒音レベル測定方法の JIS が制定された (JIS Z 8731-1957)。このとき周波数/時間重み特性を掛けた音圧レベル (騒音レベル) で環境騒音を評価する枠組みが確立されたといえる<sup>4,5)</sup>。周波数重みには A、B、C の 3 特性が用意され、当初、65dB 以下なら A、60 ~ 85dB なら B、80dB 以上なら C を用いるとされたが、境界付近のレベルではどれを用いればよいか決めるのが難しかったため、次のように改訂された: 1) B で測る、2) 結果が 60dB 未満なら A で測り直す、他方 85dB 以上なら C で測り

直す。しかし、それでも実用的な手順といえず、いつの間にかレベルに関係なく A を用いることとなり、現在に至っている。ちなみに、むかし騒音レベルの測定単位をホンと呼称したが、それは耳で聴いた音の大きさを 1 kHz の純音のラウドネスと較べて評価する方法が使われたためであり、今は評価の対象とする物理量の対数を取って表す尺度の単位として定義されるデシベルである。

### 2. 様々な環境騒音の音源を評価する指標

わが国で環境騒音の評価に用いられて騒音評価の指標を表 1 に一覧する。音源の種類や法律・基準等、評価の目的によって異なるのが現状である。

周波数特性の観点からみると、大半の法律・基準等で A 特性を用いているが、例外が 2 つある。1 つは、航空機騒音や砲撃音に対する教育施設等の防音助成の判定指標として  $L_{CFmax}$  の強度と頻度を用いているもの、もう 1 つは、演習場周辺の民家の防音や移転の判定指標に  $L_{Cden}$  を用いているものである。航空機騒音に係る環境基準は、評価指標に WECPNL を用いている (平成 25 年から  $L_{den}$  に代わる) が、これは、A 特性音圧レベルに時間加重付き飛行回数補正を加えて算出する A 特性の評価指標である。元来の ICAO の定義は、周波数スペクトルから算出するやかましさを指標 PNL に基づくものであったが、算出手順の簡便化を図るため、幾つかの仮定の下に近似して A 特性の評価

\*1 Current situation and issues on noise metrics used for evaluation of environmental noise in Japan

\*2 (財) 空港環境整備協会 航空環境研究センター

\*3 (財) 防衛施設周辺整備協会

\*4 (財) 小林理学研究所

になったものである。ちなみに、周波数スペクトル（バンド）を用いているのは、家屋の防音性能評価だけではないだろうか。

騒音変動の取り扱い方からみると、エネルギー平均レベル $L_{eq,T}$ 、レベル最大値 $L_{max}$ 、レベルの時間率値 $L_X$ 、及びレベル最大値の時間率値 $L_{max,X}$ の4つに分類される。 $L_{eq,T}$ 以外は時間重みを掛けて指数平均して算出する騒音レベルの統計値である。時間重みは鉄道騒音ではS

(SLOW)、工場騒音ではF (FAST) の特性が用いられている。

最後に評価の基準とする時間帯と基準値についてみると、複数の時間帯と基準値を持つもの、複数の時間帯に分けるが単一基準値で評価するもの、単一時間帯かつ単一基準値のものがある。時間帯区分の仕方は評価対象によって異なっている。

本稿の冒頭に述べた通り、当初、わが国は

表 1 - 様々な騒音源の評価に用いられる騒音指標と基準時間帯

騒音の種類		該当する法律・基準等	騒音指標	基準時間帯
道路交通騒音 一般環境騒音		騒音に係る環境基準/環境基本法	$L_{Aeq,T}$	昼間 (06-22) 夜間 (22-06)
鉄道騒音/新幹線		新幹線鉄道騒音に係る環境基準/環境基本法	$L_{A,Smx}$	一日 (06-24) 20 標本中の上 10 個
鉄道騒音/在来線		対応する環境基準はない 在来鉄道の新設及び大規模改良の指針 <sup>1)</sup>	$L_{Aeq,T}$	昼間(07-22) 夜間 (22-07)
航空機 騒音 対策 空港 民家防音等 学校等防音 未然防止	騒音評価指標	航空機騒音に係る環境基準/環境基本法	(WECPNL→) $L_{den}$	一日 時間帯分割 (07-19/19-22/22-07)
		航空機騒音防止法 <sup>2)</sup> 学校等防音に係る強度・頻度 <sup>3)</sup>	WECPNL (→ $L_{den}$ ) $L_{A,Fmax}$ 強度・頻度	一日 時間帯分割 (07-19/19-22/22-07)
		騒特法 <sup>4)</sup>	WECPNL (→ $L_{den}$ )	
道路交通騒音		道路交通騒音の限度/騒音規制法の通達	$L_{Aeq}$	昼間 (06-22) 夜間 (22-06)
建設作業場 工場		騒音規制法	$L_A, L_{A,Fmax}, L_{A5}, L_{A,Fmax,5}$	なし 放射規制
大規模小売店舗		大店法 <sup>5)</sup>	$L_{Aeq,T}, L_{A,Fmax}$	営業時間 夜間
航空機 騒音 防衛施設	騒音評価指標	防衛施設の環境整備法 <sup>6)</sup>	$WECPNL_{Defense}$ (→ $L_{den}$ )	一日 時間帯分割 (07-19/19-22/22-07)
	対策 民家防音等 学校等防音			
演習場の砲撃音		防衛施設の環境整備法 <sup>6)</sup> の通達	$L_{Cden,Defense}/L_{CE}$ 補正值 +6dB/振動感 +12dB/衝撃性	一日 時間帯分割 (07-19/19-22/22-07)

騒音レベル測定の評価指標に $L_{50}$ が用いた（JIS Z 8731）が、1983年にこれを変更し、 $L_{eq,T}$ を導入した。しかし、それが法律基準等における環境騒音の評価指標に用いられ始めるまでに随分と時間が掛かった。今は道路交通騒音の基準が $L_{eq}$ 評価になっており、航空機騒音もそうなりつつある。また、C特性であるが、砲撃音でも $L_{eq}$ 評価が用いられている（表2参照）。なお、新幹線騒音については今も最大騒音レベル $L_{ASmax}$ を用いて評価していることは周知の通りであり、 $L_{eq}$ 化の見通しは立っていない。新幹線の環境基準が告示された頃は東海道新幹線しかなく、列車本数も一定であったため、 $L_{ASmax}$ で沿線の騒音暴露状況を評価しても支障はなかったのだが、今は路線が8つもあり、速度も違えば列車種別や運行本数も路線や区間によって様々であり、 $L_{ASmax}$ と $L_{Aeq,06-24}$ の関係は、路線や区間によって異なる。それ故、現在の $L_{ASmax}$ 基準を $L_{Aeq,06-24}$ による基準へと全国一律に変更すると路線により基準達成状況が大きく異なることになる懸念され、それが新幹線騒音の評価方法と基準を変更することを困難にしている理由である。しかし、繰り返し発生する単発騒音の健康影響を評価する方法として、 $L_{eq}$ 評価に加えて $L_{AE}$ や $L_{ASmax}$ 等の単発騒音の評価指標を併用する手順が検討されており、それがこの困難を打破していく手掛かりとなるかもしれない。

### 3. 防衛施設の航空機騒音と砲撃音の指標

#### 3.1 航空機騒音の評価

防衛施設の飛行場周辺における航空機騒音暴露の評価指標はWECPNLであるが、平均的な運航状況を前提とする民間と異なり、飛行回数の多い日（日別飛行回数の度数分布の80%レンジ上端値）の状況を標準として評価している。飛行状況や騒音暴露状況の変化が大きく、住民反応が騒音暴露の激しい日の状況に強く左右されることを加味し評価するからである。現在、

航空機騒音に係る環境基準の $L_{eq}$ 化に対応する準備が進められているところである。

#### 3.2 砲撃音の評価

わが国には多くの演習場があるが、1980年代の後半、主要な5つの演習場を対象に周辺地域における砲撃音暴露に対する民家防音助成の適否を判定する評価方法と基準に関する指針が防衛省から出されている<sup>7,8)</sup>。この指針では衝撃性と低周波音成分に関する補正を加味した $L_{Cden}$ を評価指標として採用している。砲撃回数は、航空機騒音同様、砲撃の多い日（日別砲撃回数の度数分布の80%レンジ上端値）を標準として評価する。基本の考え方は、航空機騒音に対する防音助成の適否判定の評価指標、基準値と質的に整合するようにしたものである。

演習場の周辺で観測される砲撃音の主要な周波数成分が遠距離のため非常に低い周波数の領域にあり、A特性ではうまく測定できないのでC特性を用いるが、基準値の設定でも周波数の違いによって騒音の大きさの感覚のレベル依存性が異なることを考慮している。演習場が市街地から離れ、砲撃音と航空機騒音が同時に問題となることは少ないので、評価方法に違いがあっても差支えないという考えも根底にある。衝撃性の音に突然暴露されると定常的な騒音より一段とうるさく感じる。騒音苦情の擬音的表現からもそのことが示唆される。衝撃性補正はこれを考慮したものであり、ISO1996-2:1987-Amd.1:1998/4.1.2.1節の記述に基づき、衝撃性の補正として12dB加算することとされている。

低周波音の補正については、住居地域が演習場から少なくとも2-3km以上離れているため、砲撃音の主要成分が100Hz以下の低周波領域に集中し、振動感や建物のガタツキを訴える苦情が多かったことに配慮するものである。時田ら<sup>9)</sup>によれば、この周波数領域では、うるささややかましさよりも振動感や圧迫感をより強く感じるという。これを図で示したのが図1で

ある。図に点線で示した領域40-60Hzの下限が非常にうるささ反応の下限より5-6dB低い。この下限を超えると、半数の人達が大変うるさいと感じる。それ故、うるささの感覚に加えて振動感や圧迫感を感じるという複合的な効果によって人々の不満が増大すると想定して+6dBの補正を加味することとされているものである。

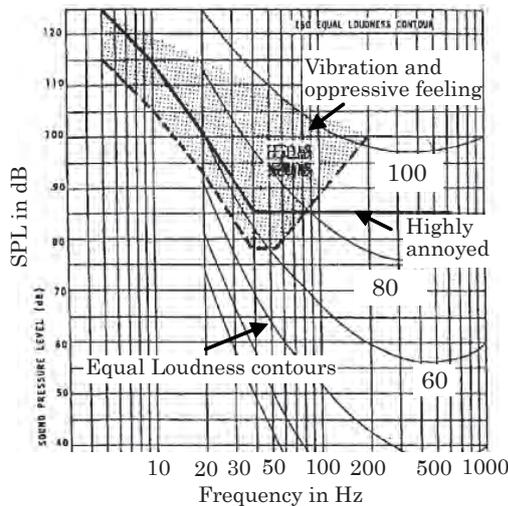


図1 - 低周波音成分により、振動感及び圧迫感が卓越する様子を示す図<sup>9)</sup>。

指針値：演習場周辺の家屋の移転と防音工事の助成の適否を判定するための砲撃音暴露の累積に関する指針値は、航空機騒音の場合の WECPNL の 90/75dB に対応するものとして、 $L_{Cden}$  で 89/81dB とされている。この WECPNL と  $L_{Cden}$  の基準値の対応付けは、以下の方法で導かれた。航空機騒音の防音助成の基準値 WECPNL=75 は、経験式 “WECPNL $\sim$  $L_{Aден}+13$ ” によって  $L_{Aден}=62$  と等価である。他方、 $L_{Aден}=62$  は単発騒音の “ $L_{CE}=L_{AE}+19$ ” によって  $L_{Cden}=81$  と等価である。従って、 $L_{Aден}=62$  は  $L_{Cden}=81$  と等価として、対応付けられた。他方、移転の基準 WECPNL=90dB については、高レベル領域のため、“ $L_{CE}=L_{AE}+19$ ” の関係が当てはまらず、Schomer らの研究成果<sup>10)</sup> に

より、砲撃音の印象に関する主観評価で  $L_{CE}$  の 1 dB の増加が基準音の  $L_{AE}$  の 2 dB の増加に対応する（感覚的に  $2L_{CE} \sim L_{AE}$  となる）とされたことを根拠にして WECPNL=90 は  $L_{Cden}=81+(90-75)/2 \sim 89$  に相当するとして対応付けられた。

### 3.3 学校等の公共施設の防音のための評価

航空機騒音が防衛施設周辺で環境騒音として問題になったのは1950年代からで、いくつかの飛行場で戦闘機の飛行騒音が苦情対象とされたのが最初であろう。対策のため、東京、大阪、福岡で社会調査とC特性最大騒音レベルによる騒音測定が行われ、その結果に基づき、1955年頃から学校や病院等における防音工事が行われることになった。それ以来、航空基地や演習場周辺の学校や病院等の公共施設に防音工事を行う際の助成の適否を判断する騒音の評価は、表1に示した通り、WECPNL及び $L_{CFmax}$ の強度・頻度に基づく基準によって行われるようになった。強度は、 $L_{CFmax}$ の値により評価し、頻度は指定期間内の騒音の発生回数で評価する（F特性の使用は明記されていない）。なお、民間空港も学校等の防音助成は騒音の強度と頻度で判断しているが、周波数・時間重み特性については明確でない（文献12によればA/Sと推測される）。

学校の場合は、聴取妨害や授業への集中力の阻害等を評価するものといえる。そのため基準時間帯は、一日及び授業時間の2分類である。病院等の場合は静寂を重視したものであろうが、8～18時、18～23時、23～翌朝8時の3分類であり、夜間及び深夜は睡眠妨害を念頭に置いたものといえるかもしれない。

C特性の使用は、騒音の激しかった頃のものであるが、今もそのままになっており、WECPNL $\sim$ 70dBという比較的低レベルの騒音暴露の地域の学校等の防音工事の必要性の判定においてもそのまま使われている。基準制定か

ら長い年月が経過し、音源である航空機騒音の性状が変わり、授業の様式や病院等の施設や状況も様変わりしているであろうことを思えば、見直しは不可欠である。こうした現状に鑑みて、昨年来、防衛省は騒音暴露の評価方法や基準見直しの必要性について調査を開始している。予備調査の結果によれば、慣れのためか学校で授業を受ける児童の行動を観察しても明確な反応は見えず、影響を正確に把握することは容易ではないが、児童への聞き取り調査で「わざわざ窓の外を見るなどの反応はしないが、うるさいと感じている」という意見も出ており、学校や病院での騒音の影響評価ではどんな影響があるか、いかに検出すべきかを含めて適切に評価できる指標を開発する必要がある。

#### 4. 騒音規制法における騒音評価

騒音規制法は、発生源側で騒音を制御するための基本法であるが、例外を除き工場や建設現場の敷地境界でA特性に基づくレベル測定・評価を行うことが基本になっている。定常騒音は $L_A$ 、変動騒音は $L_{A,5}$ 、衝撃定常騒音は $L_{AFmax}$ 、衝撃的かつ変動騒音は $L_{AFmax,5}$ である。騒音の状況は耳と目で主観的に判断するため、妥当性や再現性が問題になるし、近年の測定機器とも整合していない。純音や衝撃音の自動検出や客観評価の方法を開発することが必要である。

#### 5. 長期間平均の評価指標についての考察

わが国における環境騒音の評価は、これまで述べた通り、多くがA特性の音圧レベルの長期間平均による評価として行われているが、一部で $L_{Cden}$ や $L_{CFmax}$ の評価が用いられている。理由は、高エネルギー衝撃音であって低周波音成分が顕著であることなどであるが、近年、急速に普及してきたヒートポンプ型温水器や風車発電装置等からの騒音でも、低周波音成分が大きいこと等により、A特性音圧レベルに基づく騒音評価ではうまく対応できないといわ

れている。いうまでもなく、騒音の評価指標は、騒音の心理的な影響等を説明するものであり、A特性による評価で不十分ならば、より適切な指標を目指して改善すべきであり、それはI-INCE/TSG#9の意図もと合致するものであるが、様々な環境騒音に複合的に暴露されることを評価する必要性が認識されつつある中、長い年月を掛けて次第にA特性の $L_{eq}$ 評価に収斂していく形で整備されてきたことを十分に念頭に置いておかねばならない。

なお、A特性では不十分であるといったとき、loudnessベースでの対応が不十分である場合と音質も考慮する必要がある場合の2通りあると考えられる。A特性は、loudnessと関連するもので、noisinessやannoyanceという感覚量とは間接的にしか関連しないが、高エネルギー衝撃騒音や低周波騒音の評価にC特性が適用されていることは、A特性よりC特性を用いる方が適切にloudnessを評価できるという例であるといえよう。後者の事例としては特定の環境騒音のnoisiness評価において純音補正や衝撃音補正をA特性音圧レベルに加えるというものが挙げられる。本稿で紹介した、砲撃音の評価において行われる低周波音・衝撃音の補正等がこれに該当する。

A特性は、必ずしも万能な評価指標ではなく、その代替及び補正等について、今後も引き続き検討することが必要であるが、注意すべきは、1974年の米国環境省のLevel Document<sup>11)</sup>において指摘されている通り、新しい指標や指数の開発を行うときは、代替又は補足的な指標であっても、主観的な印象と高い相関を持つかどうかだけではなく、実用性が高く、容易に利用できるものでなければ、長期間平均の騒音評価の観点から環境騒音を評価する目的にはそぐわないということである。音質評価などの方法を応用して環境騒音の評価指標を開発する際は、こうした要求に適合するか否か検証することが不可欠である。

## 文献

- 1) 五十嵐寿一、環境騒音の推移、小林理研ニュースN. 39-2. <http://www.kobayasi-riken.or.jp/news/>, No.39, JAN 1993.
- 2) 五十嵐寿一、“環境騒音の評価量としてのA特性音圧レベル”<http://www.kobayasi-riken.or.jp/news/>, No.77, JUL 2002.
- 3) JIS C 1503-1957 騒音計、1957.
- 4) S. Morita, Statistical analysis on sound level and loudness, JASJ, 17 (1) , 38-43, 1961.
- 5) JIS Z8731, Methods for Measurement of sound level, 1957, revised in 1966.
- 6) JIS Z8731, Acoustics ? Description and measurement of environmental noise, 1999.
- 7) I. Yamada and J. Igarashi, Criteria for aircraft noise in Japan, Inter-Noise 96, 1996.
- 8) I. Yamada and J. Igarashi, A Procedure to evaluate artillery sound for environmental countermeasures in Japan, Inter-Noise 99, 1999.
- 9) Y. Tokita and S. Nakamura, Frequency weighting characteristics for evaluation of low frequency sound, Inter-Noise 81, 1981.
- 10) P. D. Schomer, L. R. Wagner, L. J. Benson and E. Buchta, Human and community response to military sounds: Results from field-laboratory tests of small arms, tracked-vehicles and blast sounds, Noise Control Eng. J., 42 (2) , 71-84, MAR/APR, 1994.
- 11) Information on Levels of Environmental Noise Requisite to Protect Public Health and Welfare with an Adequate Margin of Safety, EPA/ONAC 550/9-74-004, MAR, 1974.
- 12) 会計検査院決算検査報告書、H18年度第三章第二節 11 (2)

## ICAO CAEPの動向 \*

柳 澤 裕 司 \*\*

### 1. はじめに

ICAOでは、2011年から2013年までの3年間の戦略的目標として、「グローバルな航空安全の向上」、「グローバルな航空セキュリティの向上」及び「環境保全と航空輸送の持続的発展」を掲げている。この3つの戦略的目標の下に合計37のプログラムを設定し、締約国及び国際的な業界団体と協力して取り組んでいる。航空環境分野は「環境保全と航空輸送の持続的発展」という戦略的目標の下に位置づけ、また環境目標として、深刻な航空機騒音に曝される人口の減少、航空機からの排出物が空港周辺の大気質に及ぼす影響の低減、航空機から排出される温暖化物質が地球環境に及ぼす影響の低減の3つを掲げている（図-1）。

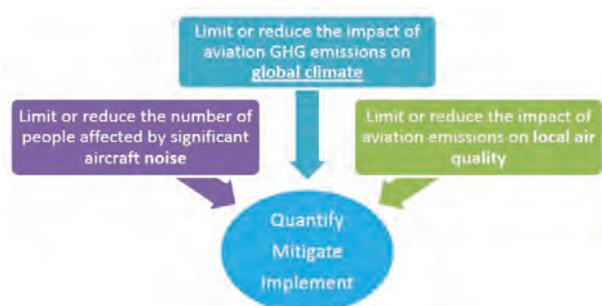


図-1 ICAOの環境目標

上記航空環境分野における活動の大部分は、ICAO理事会により設置された航空環境保全委員会（CAEP）を通じて取組みが行われている。

CAEPには、現在、我が国を含む23カ国のメンバーと国際的な業界団体13団体のオブザーバが参加している。ICAOの環境目標を目指して、航空機騒音及びエンジン排出物の発生源対策、環境影響を低減するための運航上の改善策、航空分野における地球温暖化対策等について幅広く検討している。

CAEPの本委員会は3年に1回開催されており、次回の本委員会（CAEP/9）は約1年後の2012年2月頃に開催される予定である。CAEPの各WGでは、前回の本委員会（CAEP/8、2009年2月開催）で合意された作業プログラムに沿って作業を進めているところ、約2年が経過した現段階における取組状況を概観する。

### 2. WG 1（騒音）

#### (1) 騒音基準強化のオプションの検討

騒音基準については、CAEP/8の合意を受け、3地点の累積マージンをChapter 4より最大10~12dBまでの範囲で基準強化することを検討している。2dB刻みで検討したところ、影響機数は概ね一定割合で増加する傾向があることから、強化幅は3地点の累積マージンでChapter4より3dB、5dB、7dB、9dB、11dBとする計5ケースに絞り、また適用時期は2017年1月と2020年1月の2ケースとして、これらを組み合わせたものを基準強化オプションとして設定している。現在、後述のMDG及びFESGで環境便益及び経済的な分析に係る作業が進められている。

\* Trends of ICAO/CAEP

\*\* 国土交通省 航空局 技術部 航空機安全課 航空機技術基準企画室長

## (2) 二次的な騒音基準強化の検討

上記3地点の累積マージンによる基準強化に加えて二次的な基準強化を検討している。Chapter4基準を採択した際、Chapter 3基準に含まれていたトレードオフを認めず、また任意の2地点の組み合わせによるマージン和は2dB以上という二次的な強化を設定した経緯がある。今回、上述の基準強化を導入するに併せて各地点の基準ラインを全体的に1dB強化することを検討している。

また、近年、小型ジェット機の機材数や運航回数が増加する中、低重量の機材に適用される基準ラインはフラットであり、実態としてこれらの機材の騒音値は基準ラインに対して相当な余裕がある。このため、プロペラ機の騒音基準は最大離陸重量8,618kgで区分されていることを参考に、8,618kg以下はフラットからスロープに変更することを検討している。一方、スロープをどこまで低重量側に延伸するかについては、機材の実態を踏まえながら、一定重量以下ではフラットとすることを検討している。

## (3) 騒音低減技術に関する専門家レビュー

今後の中長期的な騒音低減の見通しを得るため、各国より指名された専門家から構成されるパネルを設けて、技術的なレビューを行っている。我が国からもJAXAの専門家がこれに参加している。2020年頃を中期、2030年頃を長期と見据えて、各時期における要素技術の実現可能性、排出物や燃費との相互関連性をレビューし、騒音低減に関する中長期的な技術目標を得ることにしている。

## 3. WG 2 (運用面の改善)

### (1) ICAOガイダンスの作成

航空機の燃料消費や排出物の低減等につながる運航上の改善策 (Operational Opportunities) をまとめたICAOサーキュラー303の内容を見直し、サーキュラーではなくガイダンスとして発行する作業を進めている。

また、ATM (航空交通管理) の運用改善による騒音や排出物の低減効果等の環境便益を評価するため、各国に広く適用可能な基本原則、具体的な指標や評価手法、改善効果のケーススタディ等を盛り込んだガイダンスを策定することになっている。これらのガイダンスは、各国において航空機からのCO<sub>2</sub>排出削減活動に関する国別行動計画を策定する際の一助となることが期待されている。

### (2) 運用面の改善に関する専門家レビュー

航空交通管理、空港における場面管理やタキシング、航空機の飛行計画や運航手順といった運用面の改善による騒音や排出物の低減、消費燃料の削減について、今後の中長期的な見通しを得るため、各国から指名された専門家から構成されるパネルが設定されている。前述の騒音低減技術と同様、中期及び長期の“Operational Environmental Goal”をレビューすることになっている。

## 4. WG 3 (排出物)

### (1) 二酸化炭素排出基準の策定

2010年に開催された第37回ICAO総会の決議A37-19に基づき、国際航空分野においても気候変動問題に対応するため、様々な方策の1つとして航空機のCO<sub>2</sub>基準を策定することになり、現在、2013年末の策定を目指して技術的検討を進めている。

CO<sub>2</sub>排出と燃料消費との相関関係を踏まえて燃料効率の観点から評価指標を設定し、次に経済的分析等を行いながら基準値を設定することになっている。評価指標としては、航空機製造メーカーが性能を測る指標として使用している巡航中の燃料消費をベースとしたものをはじめ様々なものが検討されている。また、設定のアプローチとして、まずはCO<sub>2</sub>排出の大部分を占める巡航フェーズに着目する、大型機からのCO<sub>2</sub>排出に着目する等のアイデアも検討された。

現在、①第37回総会決議に沿って2013年中

のCO<sub>2</sub>基準策定に向けて取り組む、②2012年2月末までに評価指標の最終選定を行う、③WG3/CO<sub>2</sub>TGとCAEPメンバーとの緊密なInteractionを行うこと等を確認し、各国当局及び産業界の専門家から構成されるタスクグループで技術的議論が繰り広げられている。

### (2) 不揮発性PMに対する規制の検討

航空機からの排気ガスに含まれる粒子状物質は、現在、煤煙が規制の対象となっている。CAEP/9サイクルでは粒子径が小さい不揮発性の微粒子状物質（PM）に対する規制のあり方を検討している。SAEの分科会でサンプリング測定法等の技術的検討が進められているが、様々な推力設定において安定的に微細な粒子を計測できるかどうか実証するためにフルスケール試験の実施も含めて更に技術的検討が必要な状況である。WG3ではCO<sub>2</sub>基準の策定を最優先に取り組んでいる中、リソースの制約により本件の検討には時間を要している。このため、全体スケジュールを見直し、次のCAEP/10サイクルの早い段階で不揮発性PMの証明方法を、また同サイクルの3年間で基準値を作成することを目指すことにしている。

### (3) 巡航中のNO<sub>x</sub>排出

現在のNO<sub>x</sub>排出基準は、離着陸を模擬した運転（LTOサイクル）で排出されるガス中のNO<sub>x</sub>を評価するものである。気候変動問題への対応を検討する中、巡航中に排出されるNO<sub>x</sub>についても配慮する必要があるのかどうか議論がある。巡航中のNO<sub>x</sub>による地球温暖化への影響度は、巡航高度によっても異なり、不確実性を含んでいるものの、まずは離陸上昇時と巡航時の排出量にどの程度の相関関係があるのか等スタディを行っている。

## 5. MDG及びFESG

モデリング&データベース・グループ及び需要予測・経済分析支援グループ(MDG及びFESG)

### (1) ICAOの燃料削減評価ツール

ICAO事務局では、各国向けに、運航上の改善による燃料削減を定量的に見積もることができるツール（IFSET）の整備を進めている。現在、MDGと協力しながら計算ツールの検証を行っている。将来的には、ICAOは各国がこのツールを用いて得たデータを収集して、運航上の改善による燃料消費の動向等をグローバルに評価することとしている。

### (2) 騒音基準強化オプションの環境便益及び経済的分析

現在、前述した騒音基準強化オプションの各ケースについて環境便益及び経済的分析を進めている。具体的には、世界中の主な空港のデータを用いて一定レベル以上の騒音に曝される面積や人口がどの程度減少するのか、また騒音基準強化に適合させるために機材を入れ替えることにより燃料消費量や空港周辺の大気環境にどのような影響があるのか等の分析を進めている。

## 6. おわりに

ICAOでは、事務局のリソースは非常に厳しい状況であるが、民間航空分野における国際的な次元での取組みの要請と期待に応えるため、パネルやスタディグループを一層活用するとともに、共通目標の達成に向けてIATAやICCAIA等の国際的な組織との連携を強化することとしている。航空環境を巡る諸課題に取り組んでいるCAEPのWG会議には、現在、各国及び各組織より合わせて約200名近くの専門家が参加している。専門家各自が時間と旅費を都合して同会議に出席し検討を行う、まさに”Voluntary Work Force”である。我が国からは、航空局以外にJAXAや産業界より専門家が参加し、積極的に貢献頂いているところである。各WGに参加されている皆様に、この紙面を借りて感謝申し上げたい。

## 国際騒音制御工学会議 インターノイズ2011 \*

吉 岡 序 \*\* 山 田 一 郎 \*\*

### 1. はじめに

大阪において開催された第40回国際騒音制御工学会/インターノイズ2011について報告する。インターノイズは、国際騒音制御工学会(I-INCE)のもとに各国の加盟団体が毎年持ち回りで開催する騒音・振動制御の国際会議で、今年は山田が実行委員長をつとめ、大阪府大阪市の大阪国際会議場において、9月4～7日の4日間にわたり開催された。

会議には40カ国からの参加があり、その総数は953人(正規登録の他、学生、展示関係、同伴者を含む)であった。講演は77のセッションで行われ、口頭発表566件、ポスター発表100件、プレナリ講演2件、キーノート講演6件であった。地域別には、発表件数の多い順に日本270件、韓国55件、米国47件、中国36件、ドイツ35件、英国32件と報告されている。会議に係る開催の経緯や、会議の概要については山田が別稿で紹介しているので、ここでは航空機騒音に関連する講演発表の概要について報告する。

### 2. 講演発表

今回のインターノイズにおける航空機騒音関連の講演発表は次の5セッションで行われた。

「SS07 Aircraft Noise Prediction and Control (航空機騒音予測と騒音制御)」8件、

「SS60 Environmental Management towards Airport Sustainability (空港の持続の可能性に向けた環境マネジメント)」2件、「SS61 Balanced Approach of Airport Noise (空港騒音対策の総合的な取り組み)」7件、「SS62 Managing Noise issues around Airport and Military Facilities (空港と防衛施設周辺の騒音管理)」12件、及び「SS63 Aircraft Noise Modeling and Monitoring (航空機騒音のモデル化と騒音監視)」7件。

当研究センターからの講演発表は3件、また山田が共著者となっている研究センター以外からの講演発表は3件であった。

以降、(1)から(6)に当研究センターからの講演発表、及び山田が共著者となっている講演発表のタイトルと概要を記載した。また、(7)から(37)には当研究センターの研究ではないが航空機騒音関連の講演発表タイトルをセッションごとに記載した。

(1) “Alternative and supplemental noise metrics to A-weighted average sound level used for environmental noise assessment in Japan”. 「日本における環境騒音評価のために使われるA特性平均騒音レベルの代替えと補足的な騒音指標」山田が講演。

[概要] A特性平均騒音レベルに代わるか、またはその補足的な騒音指標に関する説明。学校や病院など公共施設の音環境の評価と改善のためにC特性音圧レベルが指標として使われているが、この指標を環境騒音の評価

\* Inter Noise 2011 “Sound Environment as a Global Issue”

\*\* (財)空港環境整備協会 航空環境研究センター

として使うことの有用性について検討している。

- (2) “Study on noise abatement effect of CDA procedures available for airports in Japan”. 「我が国の空港の実情に即した連続降下方式の騒音軽減に関する検討」吉岡が講演（山田共著）。

[概要] 我が国における連続降下方式の取り組みについての紹介。連続降下方式は騒音及び排出ガスを低減させるための有効な着陸方式であり、世界的に導入が検討されている。我が国においても限定的に運用が実施されているが、環境保全の観点よりも運用上の習熟に重点が置かれている。ここではシミュレータを用いて、我が国の実情に応じた運用手順で騒音と排出ガスの低減効果の高い、実用的な連続降下方式について検討した結果を紹介している。

- (3) “The treatment of noise contribution due to aircraft ground activities on airport noise model”. 「航空機騒音モデルにおける航空機の地上活動による騒音の寄与の扱い」菅原が講演（山田、吉岡共著）。

[概要] 地上騒音の影響も考慮して算出する予測モデルの紹介。2007年に改定された航空機騒音に係る環境基準では、空港周辺の騒音を $L_{den}$ で評価する際、地上音の影響も考慮することになっている。地上騒音を適切に評価するために、誘導路走行時のタクシング騒音、エプロンにおける補助動力騒音（APU）、及びアイドリング騒音等について、音源指向性を考慮した地上騒音の寄与の扱いについて述べている。

- (4) “Improvement of the aircraft noise monitoring and information disclosure system at Narita International Airport in response to the revised guideline for aircraft noise”. 「航空機騒音ための改訂ガイドラインに対する成田国際空港における

航空機騒音監視と情報開示制度の整備」堀氏〔成田地域共生財団〕が講演（山田共著）。

[概要] 成田国際空港は1978年の開港当時から空港周辺において航空機騒音の自動監視を続けている。2007年に航空機騒音に係る環境基準が改定され騒音評価尺度がWECPNLから $L_{den}$ に変更となったため自動監視装置の更新を行った。更新した装置の音源識別方法及び地上騒音の評価の方法、並びに観測データのより効率的で効果的な定期報告方法について紹介している。

- (5) “Review of environmental measures for noise issues around defense facilities in Japan”. 「日本における防衛施設周辺の騒音問題に関する環境対策のレビュー」月岡氏〔防衛施設周辺整備協会〕が講演（山田共著）。

[概要] 防衛省と防衛施設周辺整備協会が長年にわたって実施してきた防衛施設周辺対策に関する説明。一時的な補償としての住居移転、民家、病院、及び学校に対する防音工事の補助、並びに防音壁や防音堤の設置など様々な環境対策を行ってきたが、これらの法的根拠は民間空港とは異なり、この30年で費やした周辺対策費は民家防音工事だけで2兆円に上る。

- (6) “The influence of ground surface conditions on long range propagation of heavy weapon noise”. 「重火器騒音の長距離伝搬における地表面条件の影響」山本氏〔防衛施設周辺整備協会〕が講演（山田共著）。

[概要] 我が国の軍事演習地域は多くの場合山岳地域に位置し、様々な地形となっている。重火器騒音の予測モデルを構築する際には地表面による騒音の吸収や水面からの反射、また丘陵による遮蔽等の影響を適切に考慮する必要がある。ここでは演習場内の様々な地形における騒音伝搬における地表面の影響の検討結果について述べている。

SS07 Aircraft Noise Prediction and Control  
「航空機騒音予測と騒音制御」

- (7) “Aircraft noise modelling and assessment in the IESTA program” . 「IESTA プログラムによる航空機騒音のモデル化と評価」
- (8) “Comparative consideration of airplane class data for aircraft noise analysis” . 「航空機騒音解析のための飛行機のクラスデータの比較考察」
- (9) “Correlation of structural-acoustic testing and finite element analysis of aircraft cabin noise control designs” . 「航空機の機内騒音制御設計の有限要素解析と構造音響試験との相関」
- (10) “Detection, localization and tracking of aircraft using acoustic vector sensors” . 「音響ベクトルセンサーを用いた航空機の位置検出と追尾」
- (11) “EASA study on background noise and noise from en-route aircraft (BANOERAC)” . 「暗騒音と航空機のエンルート騒音に関する欧州航空安全庁の研究」
- (12) “Experimental and numerical study on a two-wheel main landing gear noise” . 「二輪の主脚が発生する騒音に関する実験的及び数値的研究」
- (13) “Jet Noise Reduction by Notched Nozzle” . 「切れ込みを入れたノズルによるジェット騒音の低減」
- (14) “Study of jet noise source modeling and shielding effect for future aircraft” . 「ジェット騒音源のモデリングと将来の航空機の遮蔽効果に関する研究」

SS60 Environmental Management towards Airport Sustainability 「空港の持続可能性に向けた環境マネジメント」

- (15) “ANALYSIS OF A NOISE TRADING SCHEME FOR AIRPORTS -THE MIME

PROJECT” . 「空港の騒音取引スキームの分析: MIME プロジェクト」

- (16) “Noise Panel Report: ICAO CAEP Workshop, Assessing current scientific knowledge, uncertainties and gaps in quantifying climate change, noise and air quality aviation impacts” . 「騒音・パネル報告書: 気候変動、騒音や大気質の航空への影響の定量化、現在の科学的知見、不確実性とのギャップを評価する ICAO CAEP ワークショップ」

SS61 Balanced Approach of Airport Noise 「空港騒音対策の総合的な取り組み」

- (17) “An operational approach for airport capacity expansion at Narita International Airport” . 「成田国際空港における空港容量の拡大のための運用の取組み」
- (18) “DESIGN AND ASSESSMENT OF AN ELECTRODYNAMIC LOUDSPEAKER USED IN A VARIABLE ACOUSTIC LINING CONCEPT” . 「可変音響ライニングの考え方で使われている動電型スピーカの設計と評価」
- (19) “Does the Economic Instrument be Necessary to Abate Aircraft Noise at Bangkok International Airport?” . 「経済的手段はバンコク国際空港で航空機騒音を低減するために必要か？」
- (20) “European Research on Balanced Approach and Management of Noise Impact” . 「騒音影響の管理とバランスドアプローチに関する欧州の調査」
- (21) “Investigation of Noise Management and Noise Mitigation Measures at Selected International Airports in Europe and the U.S.: ICAO Balanced Approach” . 「欧州と米国の国際空港で選択された騒音管理と騒音低減対策の調査」

- (22) “Sound synthesizer tool for on-line sound quality analysis and target sound design of aircraft flyovers”. 「オンライン音質解析と飛行騒音の音響設計のためのサウンドシンセサイザーツール」
- SS62 Managing Noise issues around Airport and Military Facilities 「空港と防衛施設周辺の騒音管理」
- (23) “Comparison study of Annoyances from Military and Civilian aircraft noise”. 「軍用航空機と民間航空機のうるささの比較検討」
- (24) “Environmental communication for noise management and partnership with the local community at Narita International Airport”. 「成田国際空港における地域社会とのパートナーシップと騒音管理のための環境コミュニケーション」
- (25) “Noise attenuation in varying atmospheric conditions”. 「大気状態の変化による騒音の減衰」
- (26) “Real-Time Simulation of Far-Field Rotorcraft Noise with Ground Effects using Efficient Hybrid Method and GIS”. 「効果的なハイブリッド法とGISを用いた地表面効果のある遠距離回転翼機騒音の実時間シミュレーション」
- (27) “To update or not to update noise limits, that is the question”. 「騒音基準を改定すべきか否かそれが問題だ」
- (28) “Research on the Noise Environment and Human Appraisal of the Kadena and Futenma Air Bases on Okinawa”. 「沖縄における嘉手納と普天間空軍基地の騒音評価並びに人間へ影響に関する研究」
- SS63 Aircraft Noise Modeling and Monitoring 「航空機騒音のモデル化と騒音監視」
- (29) “Future environmental trends commercial aviation”. 「民間航空の将来の環境動向」
- (30) “Overview on the development of the airport noise modeling standard DIN 45689”. 「空港騒音モデル規格DIN45689の概要」
- (31) “Sensitivity of aircraft approach noise modeling to aircraft configuration and speed management”. 「航空機の構成と飛行速度管理のための着陸騒音モデルの感度」
- (32) “RNAV Departure Procedures Produce Unexpected Results At John Wayne Airport: Implications For Noise Modeling”. 「RNAV 出発方式はジョンウエイン空港では予期せぬ結果をもたらす：騒音モデルへの含み」
- (33) “Aircraft noise Generation: A neural network model”. 「航空機騒音の発生：ニューラルネットワークモデル」
- (34) “Sound source identification technique for monitoring noise due to aircraft ground activities”. 「航空機の地上騒音を監視するための音源識別技術」
- (35) “Improved monitoring system of airport noise including ground noise at Narita Airport”. 「成田国際空港における地上騒音を含む航空機騒音監視システムの整備」
- (36) “The new standards ISO20906 and DIN45643: what does it mean in praxis for praxis for airport noise monitoring system?”. 「ブラジルの空港におけるバランスド・アプローチの適用を支援するツール」
- (37) “IBANET: A new concept of airport noise monitoring”. 「IBANET: 航空機騒音監視の新しい考え方」

## 環境騒音と障害調整生存年数 —WHO Euro.の視点— \*

金子哲也<sup>\*\*</sup> 後藤恭一<sup>\*\*\*</sup>

2011年、WHO欧州局の共同研究センター（Joint Research Center）よりレポート『環境騒音による疾病負荷』（原題“Burden of disease from environmental noise.”）が出版された。副題は『欧州における健康生存年数損失の定量化（Quantification on healthy life year life lost in Europe）』である。健康生存年数とは、障害を抱えた1年間の生存は割り引いて評価する考え方で、本書ではその損失を『障害調整生存年数disability adjusted life years : DALYs』によって算定している。DALYsは健康に対する脅威を、生活への支障を勘案した寿命の短縮で表そうとする指標で、その大小は人々への負荷を投影する（詳しくは後述）。このレポートで著者らは、「健康影響が小さいと考えられがちな環境騒音だが、その曝露人口の大きさを考えれば欧州全体では非常に重大な疾病負荷である」と主張している。しかしその評価プロセスを読み解くと、間接喫煙や放射線など他の環境因子と同列に扱える質のものであるのか、は議論の余地がある。例えば2007年の国際民間航空機関（ICAO）航空環境保全委員会（CAEP）の最終報告（Final Report: Assessing Current Scientific Knowledge）では証拠不十分（Limited）と

された冠状動脈性心臓病（Coronary Heart disease）だが、本書では心臓血管疾患（Cardiovascular diseases）発症として丸めた騒音曝露量との関係式が提示され、睡眠障害やアノイアンスも「健康障害」とされて「健康生存年数の短縮分」に算入されている。これらの内容とこれまでの関連レポートを読み合わせると、オランダ、ドイツ、イギリスを中心とする環境騒音研究グループの意気込みと戦略がうかがえる。

近年ICAOの環境対策では騒音問題より大気汚染、とくに気候変動に関する取り組みに軸足が置かれているが、おりしも本年1月、EUが温室効果ガス排出規制として2005年から導入している域内排出権取引制度（EU-ETS）を域内離発着の航空機に対して適用する方針が出され、混乱が生ずることとなった。旧共産圏の東欧州諸国や1990年代以降の新規独立国を域内に抱え、種々の環境問題も再興したWHO欧州（上記報告書序文）の内部で、環境政策におけるイニシアティブを握ろうとするEUの意欲。そして数ある環境問題のどれを優先すべきかぶつけ合う各グループの情熱。さまざまな価値観、権益の確保・再編に関わる思惑が絡んでいるようにも見える。

ここではこれまでのレポートをいくつか振り返りながらWHO欧州による騒音の健康影響評価を解説する。

\* Environmental Noise and Disability Adjusted Life Years (DALYs) —A viewpoint of WHO Euro.—

\*\* 杏林大学大学院（技術アドバイザー兼務）

\*\*\*（財）空港環境整備協会 航空環境研究センター

## 1. ICAO・CAEP 2007 Assessing Current Scientific Knowledge・・・Final Report

このレポートで騒音影響の“まとめ”にあたる表は「しきいとなる値の算出computational cut-off」の一覧である。殆ど有害な影響は生じないと推測される数値だが、行政的に用いることを推奨するものではない、と慎重な言い回しで解説している。この表で「証拠十分sufficient」と見なされた環境騒音の影響は「コミュニケーションの妨害、睡眠障害、高血圧、子供における認知行動の妨害、会話の妨害」の5項目で、睡眠妨害のしきいの値としては耳元（屋内）で  $L_{Amax}$  33dBaが提示されている。他方、睡眠構造への影響、心臓の冠動脈疾患（coronary heart disease：CHD）については証拠不十分（limited）とされつつ、後者のしきいの値としては60-65dBa  $L_{eq}$ （戸外）が提示された。しかしながら測定法には  $L_{eq(24)}$  と  $L_{night}$  が併記されており、「発生数/日の効果不明」で「大気汚染が交絡因子」である旨も付記されている。総体として騒音については、環境全般をも睨んで制御の効果と社会的妥当性とに重きを置いた費用対効果分析（cost-effectiveness analyses）や費用便益分析（cost-benefit analyses）による評価と、その損失面を健康と生活・生命に対する脅威として捉える DALYやQALY（quality-adjusted life year）による評価の両側面が併記され、健康影響についてはWHOに下駄を預けた格好となっている。

このレポートは全体で「騒音」「大気質」「気候影響」の3主題を扱っているが、地域レベル（local）と地球レベル（global）の両面に共通する排ガス問題が、その影響スケールの大きさもあって、主要な位置を占めているように見える。

## 2. WHO 2009「欧州夜間騒音規制 Night Noise Guidelines for Europe」

本書のタイトルには“夜間騒音Night

noise”と“欧州のためのfor Europe”とが明記されている。これには2007年のICAO会議、および2008年の騒音生物影響国際会議（ICBEN：International Commission on Biological Effects of Noise）において我々グループが、夜間離発着制限下の空港周辺では高血圧者が有意には見いだせないこと、心臓疾患の最大リスク要因は肥満等であり、日本の虚血性心疾患発症率は米国の半分以下であること、などを主張したことも多少は反映されたのではないかと自負している。それ以前は、日/夕/夜の総曝露（ $L_{den}$ ）基準の心臓疾患リスクと夜間騒音（ $L_{night}$ ）基準の睡眠影響評価が別個に議論されており、心臓疾患リスクを論じる上で不可欠な生活習慣（食生活や喫煙）、遺伝的資質（脂質代謝や体型、気質など）の地域的（民族的）差異が俎上に上ることもなかったからである。

本書についても1.と同様、心臓疾患リスクの記述部分と、議論の集約となる章“Guidelines and recommendation”を中心に概説する。

心臓血管系への影響は健康影響を論じるに当たって最も重要な課題であり、本書では基本的に騒音ストレスモデルを想定しているが、十分なデータや議論がなされているとは言い難い。道路騒音に対しそのリスクが有意に高い（1.05～1.13：95%信頼区間、 $L_{day}$  = 51～70 dB(A)）とする vanKempenらの2つの報告は少数派であり、殆どが有意なリスク上昇を検出していないのが実情である。しかも道路騒音の影響に関しては、大気汚染との交絡も考慮しなければならない。実際、同じくWHO（ただしジュネーブ本部）からのレポート「職業性騒音：Occupational Noise. Environmental Burden of Disease Series No.9」でも vanKempenらの報告が紹介されただけで、議論の対象とした“Outcome”のリストには記載されていない。それは職業性

騒音への曝露では心臓血管系疾患の増加を示す報告がほぼ皆無だからである。職業性騒音の曝露量は甚大であり、昼間曝露による影響が顕著にあるならばその曝露者の心臓血管系疾患は有意に増加するはずである。たしかに、過酷な労働現場で長期間働く者は、その条件に適応した者のみだ、という「健康労働者効果 healthy worker effect」が存在することは否めない。また心臓血管系疾患の危険因子であり、選択的排除の要因となりうる高血圧の増加については、中国の紡績工場などでの報告はいくつかある。だが交代勤務や女性工員の体調管理など、職場環境ストレス全体を考慮すると議論の余地が多々あるところだ。むろん、数あるリスクの一つが増加するというだけで、心臓血管系疾患の増加を主張するのも短絡的過ぎる。いずれにせよこれらの状況を考慮して「職業性騒音」のレポートでは心臓血管系疾患の詳述が避けられているのである。

「欧州夜間騒音規制」では従って、心臓血管系疾患そのものを論じるよりも、その危険因子である高血圧に関する疫学と睡眠影響についての記述が大部分を占めている。とくに環境騒音と高血圧の関連については多くの報告が引用されていた。我々の報告も挙げられていたが、残念ながら年齢や生活習慣などを調整して「見かけの関連性」を否定した再評価結果は紹介されていない。

全体構成から読みとるに、心臓血管系への影響においても睡眠障害を重要な要素だと捉えているようだが、本書でも触れているとおり、これまでの心臓血管系疾患と騒音の関連を検討した研究では殆ど、夜間騒音のみの評価ができおらず、この点が今後の課題であると指摘している。

まとめとなる章の付表『十分な証拠がある騒音影響に対するしきい値の要約：Summary of effects and threshold level for effects where sufficient evidence is available』には大項目の

『生物学的影響 biological effect』の欄に、①心臓血管系の活動変化、②脳波レベルでの覚醒、③睡眠中の体動、④睡眠構造のさまざまな変化、の4項目があるが、①についてはその指標：indicatorおよびしきい値：thresholdが空欄となっている。本書で取り上げた文献はいずれも比較的古いもの（最新文献で10年前）であり、この間このテーマに関して確証を得るだけの進展が無かったためとも思われるが、であればなぜ『証拠十分』なる影響のリストにあるのか、それ自体が疑問である。他の①～③はいずれも睡眠時の変化であるが、大項目の他の3者もほぼ睡眠に関する事項ばかりとなっている。これらを考えると結局このレポートは、睡眠影響についてのまとめに終始していることになる。

要点は、睡眠中の体動 (Motility)  $L_{Amax, inside} = 32dB$ で、航空機騒音に対してはMiedemaら (2003) の反応曲線に基づいている。表中の同項には「睡眠」の語はないが、本書の意図から考えれば睡眠中の体動であろう。なお motilityには本来、胃腸消化管、精子の運動など生物のさまざまな自律的な運動の意がある。同じ睡眠影響でも“自覚”される「睡眠の質 Sleep quality」では  $L_{Amax} = 42dB$ がしきい値となっている。

不眠症についてはわざわざ「医学的症状 Medical conditions」の項に「環境性不眠 Environmental insomnia :  $L_{night, outside} = 42dB$ 」と記載されている。脚註で、ここでは「社会調査での自己申告方式によるもので、構造化・点数化された分類による」となっているが、別項「Well-being」にも「自己申告による睡眠障害」がある。定まった評価法によるデータとそうでないデータが最終章の総括に盛り込まれた意図はなんだろうか。

睡眠障害国際分類 (ICSD-2) による不眠症の定義では、下記の3条件が揃ってはじめて「不眠症」とみなされる。

- 1) 十分な睡眠の機会（睡眠可能な時間的条件）
- 2) 持続的な睡眠障害（不眠障害）
- 3) 日中の生活上の支障

これらはいずれも患者の自覚症状に基づくものであって、脳波などの検査データを要しない点が重要である。

不眠の原因は5つのPと言われる。

- 1) physical 身体的要因
- 2) physiological 生理的要因
- 3) pharmacological 薬理的要因
- 4) psychological 心理的要因
- 5) psychiatric 精神疾患

ここでは騒音等による睡眠妨害は、環境要因に対する生理的反応と解される。生理的反応であれば客観的な把握も可能なように思えるが、実際には主観的な訴えと客観指標の間はかなりズレがあって、その把握は難しい。とりわけ逆説性不眠症と呼ばれるケースでは、脳波検査などの評価と本人の愁訴の間で乖離が著しい。本邦での不眠についての疫学で有病率に10%から50%と、5倍もの開きがあるのは、その定義（社会調査では、≡聞き方）によるところが大きい。本書が睡眠調査に基づくデータをまとめきれていないのは、その辺りに理由があるのかもしれない。

いずれにせよ、本レポートでは睡眠障害に力点が置かれているように見えるが、夜間騒音から睡眠妨害、そして健康被害へ、という因果のつながりがはっきりと見えない感じは拭えない。

### 3. WHO 2011「環境騒音の疾病負荷 Burden of disease from environmental noise.」

本書は上記2.「欧州夜間騒音規制」の根拠となる部分を、あらたに疾病負荷（burden of disease）という視点からも捉え直そうとしたものである。地球規模で環境からの疾病負荷を数量評価して、環境対策の優先順位を決める根

拠にしようとするWHOの方針に沿ったものである。ただしその論拠となった、騒音に関する学術報告の数はあまり増えていない。

ここでいう疾病負荷とは、地域なり国なり、対象地域の人々にとってどれほど健康上の悪影響をもたらしているかを示す指標である。近年、WHOが指標として算出に取り組んでいるのは「障害調整生存年数（Disability Adjusted Life Year :DALY）」である。これは、単に寿命（生存年数）が長い・短いではなく、障害を負って生活の質（quality of life : QOL）が低下した生存期間も合わせて評価し、「健康に生きる年数」として表そうという指標である。つまり障害を負った生存年は、障害の程度によって「割引き」された年数となるのである。DALYの増加は、対象集団における疾病負荷の増大を意味する。具体的にDALYは

$$DALY = YLL + YLD$$

で求められる。ここでYLLは「早死にすることで失われた生存年数」、YLDは「障害によって低下した生活の質の生存年数換算分」である。「ある病気・事故のリスク」に「それで失われる寿命」の積であるYLLは容易に理解できるだろうが、「障害を負った年月」の生存年数換算はなかなか分かりにくい。それは下記で求められる。

$$YLD = I \times DW \times L$$

この式で、Iは障害の発生数、DWは障害の程度による重み付け、Lはそれを有する期間である。DWは「0：良好な健康状態」から「1：死亡」までの値をとる。Environmental Burden of Disease Series No.1（WHO本部）では、末期がん=0.81、Alzheimer病=0.64、AIDS=0.50、合併症状のない糖尿病=0.01などが例示されている。IやLは定量的に求められるが、ではDWはどのように求めるのだろうか。DALYの評価でしばしば議論の対象となってきたのがこの点である。実際には、「その分野の専門家」や「関係者」が「主観的に」判断して

決められる。DALYに類似したDALE（障害調整健康余命）においても、その重み付け「効用値」が介護現場の専門家によって求められるが、この場合は被介護者を多数診てきた経験から一定の値が出せるのは納得できる。しかし、各国さまざまな生活、医療環境の基で暮らす広域の公衆における生活上の不具合を、誰が、どうやって“標準的な”重みづけ値に反映させられるのだろうか。

WHO 欧州：Quantifying burden of disease from environmental noise: Second technical meeting report.(2005) では、スイスの障害保険会社の医療スタッフ64名による28疾患の序列化が例示され、これを基にした評価では睡眠障害は0.039～0.071に相当すると記載されている。ちなみに0.039は良性の前立腺肥大、0.071は合併症のない糖尿病に相当するとも書かれているが、後者は上段データの7倍である。評価者によって「命」への換算値がこれほどの開きをもってしまう“健康指標”とは何なのか、疑念も湧くが、障害を負った生活の“寿命換算値”が対象地域の社会・経済状況などによって異なるならば、納得できなくもない。前者は本部（ジュネーブ）が“全世界の疾病負荷Global Burden of Disease”を対象としたもので、後者は欧州での値である。求める生活レベルや医療、社会経済状況が異なるためため、ともいえるだろう。

WHO 欧州の Burden of disease from environmental noise: Practical Guidance(2010) では、騒音に関連する健康被害として、重い睡眠障害 DW=0.09、心筋梗塞 DW=0.23 と算出している。これらは疾病として医療者が定量化することに、大きな違和感はない。しかし、環境騒音によるアノイアンスの重み付けは一体、誰が行うのが妥当といえるだろうか。本書「環境騒音の疾病負荷」では、35名の環境物理学者による評価例や42名の医師による評価例が挙げられ、0.02（0.01～0.12：その差2倍）の値が提示されている。これら数

値から、欧州全体での環境騒音による DALYs は、“虚血性心疾患”で61,000年、“子どもの認知障害”で45,000年、睡眠障害で903,000年、“耳鳴り”で22,000年、そして“アノイアンス”で587,000年（!）、早計で1.0～1.6百万年（!!）にものぼるという結論だ。つまりアノイアンスが「騒音の健康影響」のおよそ半分を占めている。ちなみに子どもの“認知障害”が上位にあるのは、「環境改善で子どもの健康を守ろう」を掲げた2010年の『環境と健康・パルマ宣言』に基づくものだ、と書かれているが、実際の宣言では明記されていない。気候変動、水の供給やその他の衛生環境、社会経済環境、非伝染性疾患、いわゆる環境ホルモン、等が優先課題として検討されており、強いて言えば衛生環境の中に入ることだろう。

以上の計算結果をもって、「環境騒音の重大性」は大いにアピールされ、疾病負荷評価スタート時には14の危険因子（表1）の一つに過ぎなかった環境騒音は、重点課題の上位に食い込み、欧州環境疾病負荷プロジェクト（EBoDE project）の第1優先リスト・トップ9の6位となった。ちなみに上位にはベンゼン、ダイオキシン、タバコ等、下位にオゾン、粉塵等があるが、これらのDALYsにはアノイアンスは算入されていない。つまり各々の環境因子については、各専門家が評価対象とした事項だけが“疾病負荷”算出の対象となっているのである。なおHealth and Environment in Europe: Progress Assessment (WHO,2010)では、清浄水、交通事故等の障害、気象変動、局地および屋内の大気汚染などに続く位置づけとなっている。健康影響に対する優先順位から考えて今後、再び問題となるであろう“環境・食品放射線”の件も絡んで、再検証の必要が出てくるものと思われる。

加えて「環境騒音の疾病負荷（WHO、2011）」を読み解く際には、統計学的処理につ

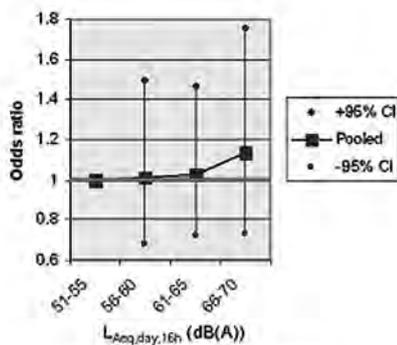
表1：対象危険因子

・大気汚染	・職業性有害因子	・紫外線
・屋内大気汚染	障害	・娯楽用水質
・鉛	騒音	・飲料水フッ素
・水と衛生	発がん因子	・飲料水ヒ素
・気候変動	粉じん	・飲料水硝酸
・栄養問題	人間工学的ストレサー	・地域騒音
	医療関係者の切創	・貧困

Environmental Buren of disease Series No.1: (WHO, 2003) より改訳

いて誤解をせぬよう注意を要する。図1, 2は本書から転載した道路騒音と心筋梗塞の関連を示すグラフで、縦軸は相対危険に相当するオッズ比である。図1では騒音曝露量51-55dB、図2では60dB以下の群を基準(=1.0)としてあり、それ以上の曝露群では平均値が1.0を超えている、つまり危険度が高くなっているように見える。しかしそれぞれに付記された95%信頼区間の直線(縦方向)はいずれの群も1.0を挟んでいて、下方が1.0以下となっている、すなわち有意に増加したとは言いがたいことが分かる。こうした場合でも検定方法を選べば、曝露量の増加に伴ったオッズ比の「増加傾向」が統計学的に「意味がある」ことを検出で

きることがある。この場合の解釈は、「曝露量と危険の間には関連があるものの、増加は有意でない」とするのが妥当である。言い方を変えれば、増えたように見える分は、基準の曝露群におけるバラつきの範囲内で、この騒音曝露のレンジでは心筋梗塞リスクが有意に上がるとは言いがたい、ということだ。いずれにせよ、統計学的には十分とは言えないデータを示しながらも、本書では虚血性心疾患のDALYsが算出、提示されていて、違和感を禁じ得ない。統計的結果はどうあれ「環境騒音は健康を脅かす」ので「規制すべし」というWHO欧州・騒音グループの強い信念の現れ、と読みとるべきなのだろうか。



Source of the data: Babisch et al. 1993 (126)

図1 心筋梗塞の有病率と道路騒音

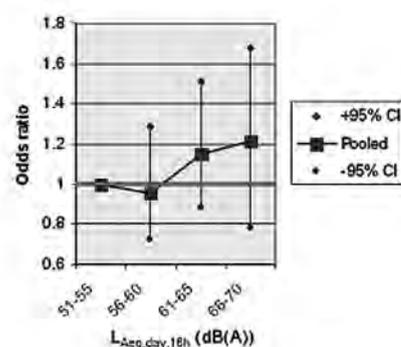


図2 心筋梗塞の罹患率と道路騒音

Burden of disease from environmental noise. (WHO Euro.,2011) より引用

## 公衆衛生問題としての騒音に関する 第10回国際会議 ICBEN2011 \*

山田一郎\*\*

### 1. はじめに

公衆衛生問題としての騒音に関する第10回国際会議10th International Congress on Noise as a Public Health Problem ICBEN 2011が、2011年7月24～28日、英国音響学会主催により英国London/Imperial Collegeで開催された。ICBENは、騒音の生物学的影響に関する委員会International Commission on Biological Effects of Noise on Manの略称である。ICBENは、騒音の影響に関する研究分野を9つに分け、各々、検討チームを組織して3年毎に研究の状況を精査し、結果を取りまとめ、国際会議を開催して討議している<sup>1)</sup>。図1にICBENの組織構成を示す<sup>2)</sup>。以前は5年毎に開催していたが、前回の2008年から3年毎に改められた<sup>3)</sup>。ICBENは、当該分野の主な研究者が一堂に会する会議であり、その報告と討議から最新の研究成果と今後の研究の動向を把握できる。9つの分野には睡眠影響や健康被害のチームT5、交通騒音（航空機・鉄道・道路）を主な対象とする社会反応のチームT6、騒音政策のチームT9等が含まれる。以下、会議の概要を紹介する。なお、人名の敬称は省略する。

### 2. 開催場所について

ICBEN 2011は、ロンドン中心部のSouth

KensingtonにあるImperial College (Albert Hall南側)で開催された。会議の受付とポスター展示は図書館棟のホールで行われ、講演は広場を挟んで100mほど離れたSir Alexander Fleming Buildingという著名な細菌学者の名が付けられた講義室棟で行われた。懇親会は、大学に隣接する国立自然科学博物館のホールで行われたが、スチーブンスンの蒸気機関車が置かれ、夏休みのため、日中は沢山の親子連れで賑わう場所であった。宿から会場まで徒歩10分、Heathrow空港まで地下鉄で一時間と交通の便の良いところであったが、同空港への進入経路に近いため、騒音レベルは低いものの、数分に一の頻度で飛行機が飛んでいた。

### 3. 会議のプログラムと討議概要

会議のプログラムは、チーム別(T1～T9)に編成され、各々、全体講演形式の総合報告と一般講演、2会場分割での一般講演、チーム討論、ポスター展示で構成された。総合報告は、25日にT1/T5、26日にT2/T3/T7、27日にT8/T9、28日にはT6が行った。一般講演は総数89件であった。チーム討論は25日T1/T5/T4、26日T2/T3/T7、27日T6/T8/T9の各チームが行った。ポスター展示は総数87件で、うちT1/27件、T2/2件、T3/11件、T4/9件、T5/4件、T6/27件、T8/4件、T9/3件であった。参加者総数はリストによれば235人、日本人は10人であったが、立ち寄っただけの日本人も数名いたようだ。

\* Tenth International Congress on Noise as a Public Health Problem ICBEN 2011.

\*\* (財) 空港環境整備協会 航空環境研究センター

会議初日24日は午後に参加登録と歓迎レセプションが行われた。25日午前に関会式が行われ、ICBEN会長S. Stansfeld (London/Imperial College教授) が開会の挨拶をした。現在、騒音影響に関する研究の牽引車となっているのは米国FAA (連邦航空局) とEU (欧州連合) であり、いずれにおいても、騒音の健康影響が重要である証拠 (Evidence) を示すことが喫緊の課題となっていること、また費用対効果 (Cost-Benefit) の解析の観点から経済的な評価見積もり (economic valuation) が重要であることなどが述べられた。その後、英国の環境・食料・農村地域省の大気・地域環境担当の Daniel Instoneが歓迎挨拶をし、EU指令に基づくNoise Mapの構築のこと、地球温暖化や自然エネルギー問題と関連する風車騒音の問題に言及した。25日夜には理事会が開かれ、次回の会議ICBEN 2014の奈良開催が決まった。26日夕方に自然科学博物館でバンケットが開催され、あのスチーブンスンの蒸気機関車が展示してある中で食事した。27日のチームT9 (騒音政策) の総合報告のときにリーダーL. Finegoldから同氏の夫人でもあった故荘美知子氏のICBENにおける活動、特に騒音政策や騒音影響の研究への貢献を称え、早世を悼む言葉が述べられた。28日のチームT6 (環境騒音に関する社会調査) ではリーダー矢野隆から研究状況の報告があった後、T. Gjestlandから社会調査の対象には騒音だけでなくサウンドスケープ等も含まれるとして研究名を (環境音に関する社会調査) と変更すること、チーム名を活動内容が分かるように例えば社会調査チームと改めること、チームT9との協力を進めること等が提案された。最終日28日の午後は、次期会長と目されるMatias Basinerが全体総括のメモを読み上げ、その後、閉会式となり、会長S. Stansfeldが閉会の辞を述べた。その後、今後の会議の案内の時間が設けられ、熊本大学矢野

隆教授がICBEN 2014の開催地、奈良を紹介し、ICBENと関連する会議として大阪で9月4日～7日に開催されたINTER-NOISE 2011の紹介を筆者が組織委員長として行った。

今回の報告の内容には興味深い事項が多数あった。幾つか挙げれば、1) 航空機騒音のうるささに関する社会反応が以前より厳しくなっている、2) 航空機騒音による高血圧、CVD (動脈系疾患) のリスク増大が一層確実になった (HYENA研究プロジェクトで、欧州の主要6空港周辺に居住する45-70歳の成人4861人の調査結果として、夜間の航空機騒音レベルの10dB, 24dB上昇によるリスクの増大が有意となった)、3) 交通騒音は学童の高血圧においても重要なリスク要因となっている ( $L_{eq,night}$ で45dB以上,  $L_{eq,day}$ で60dB以上)、4) CVDのリスク増大への騒音と大気汚染の影響に関する相互依存の研究も行われている、5) 高騒音曝露による小児聴力障害の発生のリスクに関する成人の理解と防御知識が不十分であり、情報周知や教育が必要である、6) 鉄道ボーナス (鉄道騒音のうるささに関する社会反応が道路騒音や航空機騒音より緩やかであるとして限度を緩める考え方) を支持する根拠がうすれてきた、7) 水中の環境騒音レベルの増大によって海生動物の聴力障害や通信妨害の発生リスクが高まっている、8) 水中の環境騒音は2000年以前には潜水艦のソナーが主な発生源であったが、その後、様子が変わり、建設工事等による衝撃騒音等の影響が大きくなってきたようだ。

チーム毎に討議した結果は、リーダーが取りまとめ、秋までに最終報告としてホームページに公表されることになっていたが、まだ掲載されてはいないようだ。ここでは、チームT5、T6、T9のみであるが、会議中に筆者が聞いた範囲で研究成果の報告の要点を幾つか紹介する。

#### チームT5 (騒音の睡眠影響)

この3年間、騒音の睡眠に対する影響、特に航空機、鉄道、道路交通の騒音による影響について関心は引き続き高かった。航空交通や高速鉄道の継続的増大に起因するところが大きく、騒音を抑制する技術の進展より交通の増大の方が上回るからといえよう。研究の中心は引き続き欧州であるが、過去2年間、米国FAAが航空機騒音による睡眠影響とannoyanceに関する今後の研究のロードマップ作成に着手してきた。これらの趣旨は、国民に害をなす可能性のある騒音を規制する法制化のための最善の証拠を得ることにある。Evidence、これがキーワードである。WHO-Europeが先般刊行したNight Noise Guidelinesを作成し、環境騒音と睡眠妨害の関連による健康影響(環境騒音による疾病負荷)の判断評価するための国際的な研究会議を計画し、調整する基盤として貢献してきた。睡眠妨害とannoyanceが、何より道路交通騒音と関係づけて、環境騒音による疾病へ主要な負荷を与えるものとされている。環境騒音と睡眠妨害及び健康の関係を明らかにするにはCardiovascular/hormonal measuresを含めた大規模な疫学的実地研究を行うことが依然として必要である。

#### チームT6 (騒音に対する社会反応)

過去3年間のチームT6の活動が概括された。他チームとの協力と8つの個別研究プロジェクトが提案されており、その活動成果を紹介した。1) 騒音に対する社会反応調査の重要情報を報告するやり方の指針策定を優先すること、2) 騒音と振動の結合影響、3) 基準化した5段階言語尺度と11段階数値尺度による反応の違いを検討すること、4) 騒音暴露の算定と暴露-反応関係の構築の方法、5) 社会・音響調査のデータアーカイブを確立すること、6) サウンドスケープの研究とのリンク、7) 異文化間での調査結果の国際比較、8) 騒音暴露の変化の影響、9) チームT9との協力である。

#### チームT9 (騒音政策:規制と基準)

リーダーのL. Finegoldは、総合報告の冒頭で、春先に突然の病で逝去した荘美知子さんを偲び、Noise policyやNoise Effectの研究によるICBENへの貢献について言及し、功績を称えた。A. Bristowの経済的手法による騒音対策評価economic valuationの研究のメタ解析に基づく報告によれば、騒音状況の改善に関する金銭評価(\$/dB)における人の反応は、改善のために金を支払うことを想定して質問されるときよりも、被害への補償金を貰うことを想定して質問されるときの方が高く、反応の厳しさは航空機>道路交通騒音>鉄道騒音の順であるという。N. Sizovは、米国連邦航空局がこの数年行っている航空機騒音の影響(睡眠妨害とannoyance)のevidenceに関する研究プロジェクトについて報告した(ICBEN 2008の直後にその予備的検討のための会議が開かれた)。

#### 4. 終わりに

会議の最終報告は、開催後、昨秋までにチームリーダーらによって取りまとめられ、ICBENのホームページ<sup>1)</sup>に公表されることになっていたが、いまだにアップロードされていない。ただし、しばらく前にあるチームのリーダーから最終報告のための情報の問い合わせを受けたので近いうち決着するのではないだろうか。関心のある方は時々ホームページをチェックしてみてほしい。

#### 参考文献

- 1) <http://www.icben.org/>
- 2) <http://www.icben.org/Congresses.html>
- 3) 金子哲也、ICBEN主催第9回「騒音の公衆衛生学的課題 国際会議」、(財)空港環境整備協会、航空環境研究 (<http://www.aerc.jp/index.php?ID=50&cID=6>)、2009。

## ボーイング787型機の低騒音技術と低燃費技術\*

久野正雄\*\*

### 1. はじめに

2011年9月28日（水）朝9時、胴体に大きく787と書かれたANA特別塗装の航空機が、快晴の中羽田空港滑走路34Rに着陸した。この航空機は、米国時間3日前の9月25日（日）にボーイング社（米国ワシントン州エバレット）から787ローンチ・カスタマーのANAに引き渡された787初号機（製造番号では7番目の機体）であり、多くの関係者が見まもる中での着陸であった。実に、2004年4月26日にANAが787型機50機の発注を表明してから7年5ヶ月が経過してのイベントであった。



図1 2011年9月28日、羽田空港滑走路34Rに着陸した787初号機

このイベントに先立ち、同年7月初旬に787テスト機（製造番号では2番目の機体）が日本

に飛来し、国内就航予定空港である羽田、岡山、広島、伊丹、関西空港で地上機材等のフィットチェックを行った（注1）が、その離着陸に於いて他の機材と較べて低騒音であることが評判となった。但し、テスト機のため客室搭乗者数が制限されており、機体重量が軽く、実際の運航重量とは異なることから、今後の実運航の中での騒音測定結果等を待たねばならないが、787は“環境に優しい”といったキャッチフレーズのもと騒音低減のため多くの新技術、また更には燃料消費量の低減（CO<sub>2</sub>削減）技術が採用されている。

本論に入る前に何故787は“環境に優しい”といったキャッチフレーズを用いるようになったのか、その誕生について若干触れたい。

1990年よりボーイング社は777を新型機として開発、製造する一方で、90年代後半より767、747-400の後継機について検討を開始した。ボーイング社としては今後の運航の主流はハブ・アンド・スポークの運航ではなく、ポイント・トゥ・ポイントの運航と考え、747-400

\* The Boeing 787's technology for lower noise and fuel efficiency

\*\* 全日本空輸株式会社 運航本部 グループフライトオペレーション品質企画室 副室長

注1）SROV（Service Ready Operational Validation）：ANAとボーイング社の共同により、787の就航準備の一環として同型機導入に先んじて日本国内で実施した検証（給油作業、格納庫内のスタンドや空港のゲートとのフィットチェック、トーイング等の作動確認）プログラム。

の様な大型機でなく、767位のサイズで長距離を高速で飛行することが効率的な機材稼動・乗員稼動、路線網の効率向上の面で有利であると、速度を重視した高速輸送機（M.95～M.98、ソニック・クルーザーと呼称）の開発構想を発表した。一方航空会社としては、既に燃料価格が高騰し始めていたこと、更に翼の部分では音速を超える可能性がある為、陸上部上空をその速度で飛行することは難しく、メリットはそれほど無いと判断していた。その後2001年9月11日に同時多発テロが発生し、燃料価格の高騰のみならず旅客需要の激減という事業環境の変化に見舞われたことから、ボーイング社に対し速度よりもむしろ燃費効率を改善し、更なる低運航コストの実現と、また環境保全にも配慮した航空機を製造すべきとの要望が多くの航空会社からあげられた。この為、最終的にはボーイング社は新型機の構想を変更し、航空機の形状を従来型とし、装備機器もオプションを多く揃えず標準化を図って機体価格を抑える一方で、ソニック・クルーザーで使用する予定であった技術を活かして燃料消費を抑え（CO<sub>2</sub>、並びに運航コストの低減）、また環境に配慮した所謂グリーンを前面に押し出した新型航空機を航空会社に提案した。この提案は多くの航空会社に歓迎され、2012年2月末現在で60社から873機の発注<sup>1)</sup>を受けている。これが787の誕生であり、当初2008年の北京オリンピックに間に合う様な開発・製造計画であったが、残念ながら計7回の遅延があり当初計画よりも3年半ほど遅れての導入となった。

本論では、環境面から見た787の新技術について紹介する。

## 2. 環境面から見た787の新技術

### (1) 787の低騒音化技術

ボーイング社は新型機の客室内外の低騒音化を実現する為に2001年頃より、QTD<sup>2)</sup>（注

2) プログラムを推進してきた。ANAもQTD 2と呼称する2005年の飛行試験に協力し、デリバリー予定の777-300ER型機の新造機をボーイング社に貸与し、その結果を共有してきた。

プログラムで確認された技術効果については既に787に取り入れられており、ボーイング社の試算によれば離陸に於ける85デシベル以上の面積を767と比較すれば図2の通り大幅に小さくなっている<sup>3)</sup>とのことである。



図2 787騒音コンター（ボーイング社作）

以下に、787に採用された低騒音の為の新たな技術について紹介する。

### ①、高バイパス比のエンジン<sup>4)</sup>

当社は787のエンジンにロールスロイス社製のTrent 1000を採用した。Trent 1000エンジンはTrentシリーズの5世代目のエンジンで、バイパス比は10：1と更に大きくなっている。エンジンの構造は従来と同じ3軸構造だが、エンジンの長さの短縮、軽量化及び剛性の向上が図られるとともに、Swept（後退翼）形状をしたワイドコード・タイプファン、耐熱タイル

注2) QTD (Quiet Technology Demonstrator) Program；静穏化技術実証機プログラム

2001年11月にボーイング社、ロールスロイス、アメリカン航空（777-200ER）、2005年8月にQTD2としてボーイング社、General Electric社、Goodrich Corporation, NASA（米国航空宇宙局）、ANA（777-300ER）が協力して実施。

を燃焼室の内壁にボルトで固定する構造（整備性および冷却効率の向上、窒素酸化物の低減）、反転高圧ローター（エネルギー効率を高める）等の技術が継承されている。

これらにより、ファン速度の低減とジェット排気流が低く抑えられ、騒音の低減に繋がっている。



Rolls-Royce社製エンジンTrent1000

図3 ANA787の採用エンジン

## ②、エンジン・吸気口の吸音面積拡大<sup>5) 6)</sup>

エンジン吸気口の内側表面はファンから発生する騒音を吸音する音響的な処理が施されている。その表面は、通常、一番上に小さな穴の開いた薄板があり、その下にはハニカム構造のコア材料、最後に無孔板で構成されたパネルが用いられている。従来のエンジン吸気口は、このような音響処理がなされた2枚から3枚のパネル部材を接合してひとつの吸気口バレル（筒）を形成してきた。しかし、この接合部分には接合の為に小さな穴の開いた薄板を用いることが出来ず、結果として吸音面積の減少、音場の構造の変化、吸音効果の低下を招いていた。

このため787では、音響処理のなされた複数のパネルの接合ではなく、ひとつのパネルで一体成形を行い（A one-piece acoustic barrel）、吸音面積を拡大し、騒音低減を実現した。

図4は従来型吸気口と全面吸音処理をして音

響的に滑らかにした改良型吸気口の実効的な音響処理面積の違いを示したものである。



図4 従来型吸気口（左）と改良型吸気口（右）

## ③、シェブロン型排気ノズルの採用<sup>6)</sup>

ジェット排気流は、離陸時および巡航時に騒音源となる。離陸時には、隣接空気流が混合し、それが比較的周波数の低い広帯域騒音を発生させ、主に機外騒音の問題となる。巡航時には、ジェット排気流が超音速に達した際に騒音が発生する。この騒音は、ショックセルノイズと呼ばれている。ショックセルノイズは、エンジンから噴出されたガス（ジェットブルーム）中の下流乱流構造と準周期的ショックセルの相互作用によって生じ、後部客室の機内騒音の主要成分となる。

近年、ジェットミキシングノイズおよびショックセルノイズの両方を軽減する手段として、シェブロンノズルの研究が行われている。こうしたノズルには、ノズル終端に通常三角形をしたセレーション（鋸歯）が付けられている。ジェット排気流にこうしたノズルを侵入させると、下流の剪断層に水流のような渦が生じる。これによって混合作用が変化し、低周波のミキシングノイズが減少する。787の排気ノズルは、このシェブロンノズルとなっている。



図5 シェブロン型排気ノズル

④、その他の技術

787は777、737NGと同様に航法精度の向上、RNAV（広域航法）の能力向上が図られるとともに、GBAS（Ground Based Augmentation System, 注3）機上装置、CDO（Continuous Descent Operation）、Tailored Approachが可能なFMS及び関連機器を搭載している。

現在、関西空港にはGBAS地上装置が試験設置されており、GBAS機上装置を搭載した787により評価試験が行われている。また、羽田空港、大館能代空港では高規格RNAVとされるRNP AR進入（注4）も行われており、順次各空港に拡大されていくと考えられる。従って、より柔軟な経路設定が可能となることから、将来騒音区域を避けるような出発、進入方式が設定できれば、その経路上を自動的に飛行することで今まで経路下で騒音に悩んでいた地域での騒音軽減に寄与できる。

注3）航空機はGPS（Global Positioning System）信号等を利用して自機の位置を算出するが、空港に設置されたGBASにより位置情報が補強され、ILSが無くても精密進入が可能となる。また、将来的には曲線精密進入も可能になると考えられている。

注4）Required Navigation Performance Authorization Required Approach；  
航法用機上コンピューター（FMS）を利用したRNAV経路の飛行方式の一つでWaypoint間を結ぶ円弧をFMSが計算し、旋回時も経路中心線を飛行する旋回（RF旋回）を考慮した方式。<sup>7)</sup>

(2) 787のCO<sub>2</sub>（燃料消費）低減技術

CO<sub>2</sub>の低減の為にはいかに燃料効率を向上させるかであり、787では以下の技術を採用することで767との比較で約20%の燃料削減をもたらすとともに、また窒素化合物は2008 Industry Limitsに対し約28%のマージン<sup>8)</sup>となる。

①、高性能エンジンの採用

前項の騒音でも説明した通り、ANAでは高バイパス比のロールスロイス社製のTrent 1000エンジンを採用している。高バイパス比を採用することで推進効率の向上が図られるとともに、層流剥離を最小化するエンジン・ナセル（層流ナセル）の採用、更には787では多くの機体システムを電動化しており、エンジン防水を除いてはエンジン・コンプレッサーからの圧縮空気を利用しない方式で燃料効率を向上させている。これらにより、従来エンジンと比較してエンジン単体で約15%の燃料（CO<sub>2</sub>）削減<sup>9)</sup>とされている

②、軽量化による燃料消費の低減

(i) 先進複合材の多用化

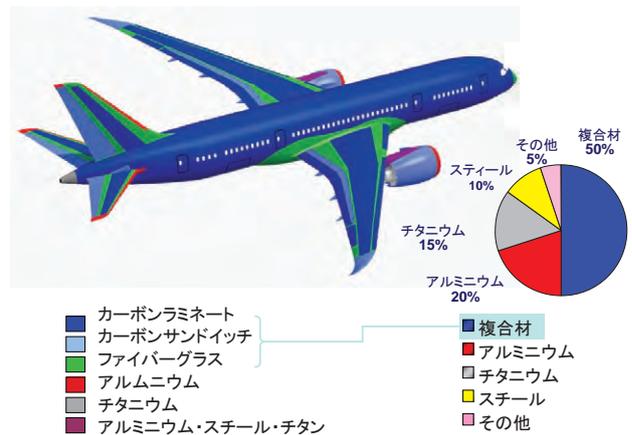


図6 787複合材の割合

金属に比べて軽く、比強度の強い複合材は過去から航空機に使用されていた（いずれも重量比で1982年に就航した767は4%、1995年の

777は12%、2008年のA380は20%の割合で複合材が使用されていた)が、787では更に重量比で50%に拡大されている。この先進複合材の多用により、機体重量が軽くなり燃料消費量の低減、ひいてはCO<sub>2</sub>の削減に繋がっている。

また、直接燃料消費(CO<sub>2</sub>の削減)とは関係ないが、複合材により胴体の比強度が増したことから、高々度飛行における機体内外の差圧を大きくとることが可能となり、客室内の与圧高度として6,000フィート(注5)を超えない様に設計することができた。従来の航空機の客室内高度は全て8,000フィートであることから、例えば富士山の登山で言えば3合目(6,000フィート)と5合目(8,000フィート)に匹敵することから山登りをされる方はその差を実感として判るように、長距離飛行における人体への負担を軽減している。

更に、ボーイング社によれば客室内の高度を6,000フィートにすることで血液中に酸素を約8%多く取り込むことが出来、お客様の頭痛や目眩、疲労感が軽減されるとしている。

客室内湿度についても従来機は金属の腐蝕防止の為湿度を数%に維持することが重要であったが、787では複合材の耐蝕性を利用して、革新的なフィルターを採用することにより客室内空気を浄化して循環させることと、乾燥した機外の空気取り込み量を制限することで10数%の湿度に増すことが可能となった。

また、従来機と比較して大きな客室の窓(767の1.2倍)の設置が可能となったのも複合材によるところが大きい。

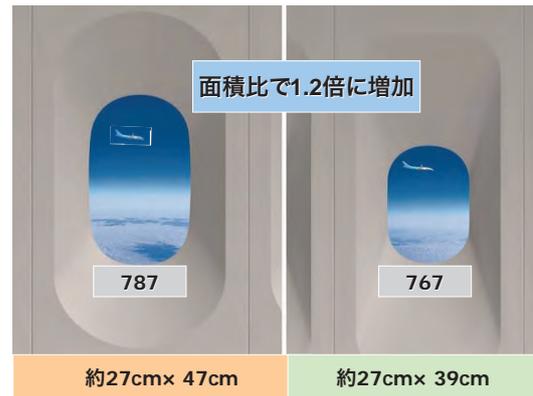


図7 客室窓の大きさ比較

#### (ii) 電動システムの多用等

従来機では、エンジン・コンプレッサーからの圧縮空気を利用した空圧システムや油圧システムが採用されていたが、787では多くの機体システムを電気で駆動させる(表1参照)。787は従来の機体システムと比較して高電圧(235VAC、±270VDC)、可変周波数で駆動させるものも多く、機械的なシステムが減少するとともにモータの小型化や電線を細く出来、軽量化に繋がっている。

また、従来機の油圧は3,000 PSIが多く採用されていたが、787はA380と同様に5,000 PSIとなっている。これらも油圧液量の低減、油圧貯水槽の縮小化等軽量化に繋がっている。

表1 システムの比較(787vs767-300ER)

システム	787	767-300ER
エンジンスターター	電動	空圧
客室与圧システム	電動	空圧
主翼防氷システム	電動	空圧
油圧システム用空圧ポンプ	電動	空圧
主脚ブレーキ・アクチュエーター	電動	油圧
動翼制御	電動&油圧	油圧

注5) ボーイング社とオクラホマ州立大学との共同研究で、気圧高度が7,000フィート未満であれば搭乗されているお客様から変調を訴える方がほとんど出ないとの結果であった為、787では6,000フィートを採用したとのことである。<sup>10)</sup>

### ③、ドラッグ最小化の追及

三次元の空力解析及び設計ツールにより787の特徴である主翼をはじめ層流ナセル、Cruise Flaps System（注6）を採用することで、飛行中のドラッグ最小化が図られ、燃料消費量の低減ひいてはCO<sub>2</sub>削減に寄与している。

## 3. 結び

2011年10月26日の成田—香港線を皮切りに、787の路線投入が始まったが、お客様の評判も良く、高い搭乗率を維持している。ローンチ・カスタマーの宿命（名誉？）として初めての飛行機を世界で初めて飛ばす為、未経験の事象に遭遇することも予想し、数年前から社内の多くの部門がボーイング社、機器メーカー等と準備を続けてきた。当初は不具合修復作業の為機種変更せざるを得ない事象も発生したが、現時点では大きな不具合も無く順調に飛行している。787の構想発表から約10年が経過しての就航であるが、厳しい運航環境下に於いても高い安全性と信頼性の維持、確保が当然の要求である航空機の開発に於いて総数数百万点にも及ぶ部品<sup>11)</sup>の一つ一つを組み合わせたその結果が787の誕生と考えると、その開発、製造に携わったボーイング社、日本の重工を含む協力会社並びに機器メーカー等の努力には改めて感謝の意を表したい。787開発当時のボーイング社社長が787をGame Changerと呼称していたが、低騒音、低燃費の「環境に優しい」、更には高

い安全性、信頼性、快適性、経済性の機体は今の時代にマッチしたものであり、まさにGame Changerであることを実感している。少なからず地球環境に影響を及ぼす航空会社としては、今後とも環境に配慮した新技術には注意を払うとともに、積極的に取り組んでいく努力を続けたいと考えている。

## 参考文献

- 1) Boeing社HP、<http://active.boeing.com/commercial/orders/index.cfm>
- 2) Boeing Commercial airplanes Communications, Backgrounder, 「Boeing Quiet Noise Technology Initiatives」 April 2007
- 3) Boeing社HP、  
[http://www.newairplane.com/787/design\\_highlights/#/EnvironmentalPerformance/QuieterForTheCommunity/QuieterAtNarita](http://www.newairplane.com/787/design_highlights/#/EnvironmentalPerformance/QuieterForTheCommunity/QuieterAtNarita)
- 4) Chrlotte Adams, Green Engines, Aviation Today May 1, 2008
- 5) 笹田榮四郎：「航空機エンジンの騒音低減技術最前線」航空環境研究No.14,2010, P11
- 6) David Reed・William Herkes・Belur Shivashankara:「航空機騒音低減へのボーイングの取り組み（A Boeing Program for Aircraft Noise Reduction）、騒音制御 Vol.31 No.2 2007.4
- 7) 国土交通省：「平成20年度政策レビュー結果（評価書）次世代航空保安システムの構築、参考資料3」
- 8) Boeing社HP、  
<http://www.newairplane.com/environment/#/FuelEfficiencyAndNoise/787Dreamliner>
- 9) Rolls Royce, Trent and the environment
- 10) James M Muhm, MD, MPH The Boeing Company: 「Effects of Aircraft Cabin Altitude on Passenger Comfort and Discomfort」、Clinical Trial. gov
- 11) 日本政策金融公庫総合研究所：「航空機産業における部品供給構造と参入環境の実態」、日本公庫総研レポート No.2010-3、2011年3月8日

注6) Cruise Flaps Systemは、巡航中に自動的に後縁フラップを1時間に1度変化させて翼形を変え、ドラッグを減少させることにより、性能を最適化するシステムである。後縁可変キャンバー（Trailing Edge Variable Camber）機能とも呼ばれる。当該機能は25,000フィート以上の高度で、かつM.54～M.87の速度の間で作動し、重量およびCGを基にドラッグが減少するように作動するが、フラップの動きは外側フラップ：-0.5度～+1.5度、内側フラップ：-1.5度～+1.5度の範囲内となっている。

## INTER-NOISE 2011：開催の経緯と会議の概要\*

山田 一郎\*\*

INTER-NOISEは、騒音・振動制御に関する国際会議であり、国際騒音制御工学会I-INCEの下、世界を3地域に分け、各地域の輪番制で加盟団体が毎年開催している。その2011年の会議、INTER-NOISE 2011が（公社）日本騒音制御工学会INCE/Jと（社）日本音響学会ASJの共催により2011年9月4～7日に大阪国際会議場で開催された。日本での開催は、1975年の仙台、1994年の横浜に続き3回目である。INTER-NOISE 2011の日本開催に際し、立候補から開催地の選定、招致活動、開催決定、会議の企画・準備、開催運営、そして、決算・報告に至るまでに5年の歳月を要した。本稿ではその開催の経緯と会議の概要を紹介する。なお、人名の敬称は省略する。

### 1. 開催の経緯

#### 1.1 日本開催への立候補

2011年のINTER-NOISEをアジア太平洋地域で開くことはI-INCEの2006年のCongress Selection Committee（CSC：INTER-NOISE開催都市を選定する委員会）で決まった。それを受け、当時I-INCE会長をしていた橘秀樹（千葉工大）からINCE/JとASJの関係者に「そろそろ日本の番だと思う」という連絡が入った。I-INCE元会長William Langの強い推薦も受け

たという。2003年が韓国、2008年が中国ということも動機となった。年が明けた2007年1月、INCE-JとASJの役員会に諮られて立候補が正式に決まり、日本招致の活動が始まった。

#### 1.2 開催地と会議場の候補選定

立候補の決定と相前後してLangが国際観光振興機構（JNTO）主催の海外キーパーソン日本視察に参加し、2007年3月に来日し、千葉と大阪を視察した。その最後に、東京で各都市のコンベンションビューローと国際会議の日本招致を話し合う商談会が開催され、Langとともに橘、山田一郎（筆者）がこれに参加した。そのとき、INTER-NOISEの会議の規模等を勘案したJNTOの推薦で名古屋、大阪、神戸、千葉の担当者と面談してこれらの都市と会議場を視察し、開催都市を決めることになった。2007年5月、橘・山田・山本貢平（小林理研）、故瀧浪弘章（リオン）の4名により、4都市を視察し、海外からの渡航の便、ホテルの収容能力・会場との距離・交通の便、会場内の動線、会議室と機器展示場の位置関係、会場周辺施設、都市の知名度・文化・観光面の魅力、財政支援などの項目を比較・検討した。その結果、どの会議場も十分な施設や設備、機能を有し甲乙つけ難い状況であったが、会議場とホテルが隣接していることや過去の開催都市が東北、関東であったことを勘案し、大阪市の大阪国際会議場を選定することに決めた。

\* Review of hosting INTER-NOISE 2011 and Brief Summary of the Congress

\*\* (財)空港環境整備協会 航空環境研究センター

### 1.3 招致提案から開催決定に至る経緯

招致提案は2007～2008年に掛けて行った。2007年は予備提案で、都市と会議場、開催期日（第1案9月4～7日、第2案7月17～20日）、主催（INCE/JとASJの共催）、責任者（委員長山田、事務局長山本）を記したINCE/JとASJの会長署名付き文書をI-INCE に送付し、CSCで説明した。このとき、橋はI-INCE会長として提案を受ける立場であった。また、対抗馬としての香港の立候補が判明した。2008年は本提案で、会場使用計画、宿泊施設、開催期日（9月4～7日）、参加登録費（450ユーロ）と予算計画、会議支援（JTBコミュニケーションズ）等について説明した。I-INCEのCSCと理事会での審議の結果、大阪が選定順位の第一位となり、翌2009年1月14日付でI-INCEとINCE/J・ASJが契約を交わし、INTER-NOISE 2011の大阪開催が正式に決定した。その後直ちに開催準備に掛かり、山田・山本が中心になって橋と相談しつつ組織委員の人選を行った。

### 1.4 開催準備

2009年1月に開催準備を開始し、会議テーマやロゴマークを決め、ホームページを開設した。会議テーマは、騒音・振動問題が世界的に取り組むべき課題であることを示すため、Sound Environment as a Global Issueとすることに決めた。2010年春には原稿募集の日程や特別企画の概要を決めた。その準備状況をインターノイズ2009及び2010の折りに理事会に報告し、チラシの配布やポスター展示、閉会式でのプレゼンにより大阪の宣伝をした。プレゼンはICA 2010/シドニー等でも行った。2010年暮れにアブストラクト受け付けを開始し、年明け2011年3月上旬には予定をはるかに超える960余件の申し込みがあった。それを受け、こんなに沢山の発表をどう捌けばよいかという嬉しい悩みについてまさに3月11日に早稲田大学で実行委員会を開き、相談していたところへ東日本

大震災が勃発した。地震に津波、原発事故と未曾有の出来事が相次いで起こり、開催準備の状況は様相が一変した。今度は講演発表と参加者を如何にして確保するか相談しなければならなくなり、世界に向けてメール発信し、日本支援への感謝と大阪の安全をアピールし、参加を促した。会議直前の8月下旬の参加登録者数は859人で収支の見通しに不確実さが残る状況であった。幸い開催当日になって予想を超える現地登録があり、当初計画に近い講演件数と参加者人数が確保でき、会議の質、運営、収支バランス、いずれの観点からみても健全な状況で終了することができた。

### 1.5 直面した困難

開催決定後の3年間様々な困難に直面した。まずは円高に苦しんだ。開催に当たってI-INCEと交わした契約の参加登録費がユーロ建てであったため、円換算すると大きく目減りし、かつ変化し続けるため、具体的な収入の見通しを立てるのに大変苦勞した。立候補の時点では良好だった経済情勢がリーマンショックを機に急速に悪化し、世界的不況に至り、それに連動して円高が進んだ。5年前1ユーロ167円だった為替レートが2009年の暮れ135円、2010年の秋には110円になった。INTER-NOISE 2010/リスボンのI-INCE 理事会で窮状を訴え、実行委と参加者の負担が相半ばとなる135円で換算した円建て参加登録費への変更を認めてもらえたのは幸いなことであった。

次の困難は自然の災害に端を発した。2011年3月11日に発生した東日本大地震と大津波、原発事故は会議の開催を根底から揺るがしかねないものであった。多くの国際会議が中止・延期を余儀なくさせられるなか、大阪が被災地から遠く離れていたことが幸いし、各国からの参加者や支援者の理解と協力の賜物として、予定通りに会議を開催できたことは幸運であった。開催時に関西地方を直撃した台風も参加者の足

の便を混乱させたが、大きな妨げとなるに至らなかった。

## 2. 会議の概要

### 2.1 会議プログラム

会議は9月4～7日の4日間にわたり開催した。

4日は開会式、プレナリ講演、歓迎レセプション、座長説明会を行った。開会式は、雅楽演奏と舞いで始まり、事務局長（山本貢平）の司会による組織委員長（山田一郎）・大阪府知事代理（楠本政幸）・日本音響学会会長（赤木正人）・組織委名誉顧問（橘秀樹）からの歓迎挨拶があり、最後にI-INCE会長G. Daigleが会議の開会を宣言した。引き続き、プレナリ講演が行われ、米国のWilliam W. LangとスウェーデンのTor Kihlmanが「世界的課題としての音環境—世界的な騒音政策の見通し」と題して講演した。二人が分担して話す異例の構成であったが、第40回という節目の会議を記念し過去の歩みを回顧する内容も盛り込まれた。レセプションではたこ焼き等の軽食と飲み物を提供した。その後、座長説明会を太閤園で実施し、座長やオーガナイザーは論文委員会（西村正治、今泉博之）による講演発表の司会の注意事項の説明を受けた後、バイキング形式で提供された和洋折衷の料理と琴と尺八の演奏を楽しんだ。

5～7日の3日間は毎日2件の基調講演と12会場同時進行の口頭発表のセッションを行った。音響計測技術展示（機器展示）と同伴者プログラム（お茶、いけばな、習字の日替わりメニュー）も行った。基調講演のうち3件は会議テーマに沿う話題として道路交通（Hisashi Sano）、鉄道（Franck Poisson）、航空機（Dominique Collin）の騒音を取り上げたもので最新の規制状況や対策技術を解説してもらったものであるが、鉄道の講演は直前にキャンセルされた。残り3件は、Stephen A. Stansfeldの騒音と健康、D. Keith Wilsonの屋

外騒音伝搬問題に対する最近の取り組み、Neil J. Mansfieldの振動の人体への影響についての解説である。

5～6日にはポスター発表も行った。6日の夜はリーガロイヤルホテルで懇親会を開催し、着席形式での洋食と鏡開きや人形浄瑠璃の実演を楽しんでもらった。7日午後にはI-INCE主催のFCTP（Future Congress Technical Planners）会議が開催され、INTER-NOISE 2011の開催状況報告の後、INTER-NOISE 2012で取り上げるべき特別企画等の議題について参加者から提案を募り、討論した。

7日夕方に2件目のプレナリ講演、閉会式、送別レセプションを行った。プレナリは韓国のYang-Hann Kimによる「音の可視化と制御操作の理論と応用」と題するデモンストレーションを交えた講演であった。閉会式では隅田川の花火の音と映像を披露した後に、組織委員長が会議を総括し、実行委員を紹介した。また昨年の暮れに急逝した組織委員瀧浪弘章氏と今年の春に急逝したオーガナイザー莊美知子氏の貢献を称え哀悼の意を表した。最後にI-INCE会長が組織委員会に謝意を表した後、閉会を宣言した。その後、今後の国際会議がいくつか紹介され、その最後にインターノイズ2012/ニューヨークの実行委員長S. A. Hamblicがプレゼンを行い、サプライズのチンドン屋が登場し、演奏して参加者をハワイエへ誘導し、米国提供のワインや軽食を楽しむ送別レセプションとなって翌年の再開を約束しあいつつ、全行事が終了した。

### 2.2 会議の統計データ

参加登録者総数は40ヶ国953人であった。正規登録は718人、学生登録は196人、同伴者登録は39人であった。なお、これらの参加者にはI-INCEの若手研究者への助成制度により参加登録費の補助を受けた12人（正規2人、学生10人）が含まれている。国別の参加登録者数をみ

ると日本人は447人で全体の47%を占めた。続いて韓国83人、米国56人、中国46人、ドイツ42人、フランス30人、英国29人、台湾26人、オランダとノルウェーが20人である（図1参照）。

論文の総数は38ヶ国674編であった。そのうちプレナリ講演2編、基調講演6編を除く666編の投稿論文のなかの566編が口頭発表、100編がポスター発表であった。アブストラクト投稿数が968編あったことを考えると投稿率は約

70%である。近年のインターノイズは80%ほどであったそうなので、震災・津波・原発事故の風評被害で通常より10%、投稿率が低下したとみることができる。国別の投稿数は日本270編、韓国55編、米国47編、中国36編、ドイツ35編、英国32編、フランス28編、オランダ21編の順であった（図2参照）。なお、今回のプログラムでは発表されなかったものが40編あった（事前に連絡があったキャンセルが基調講演1編を含

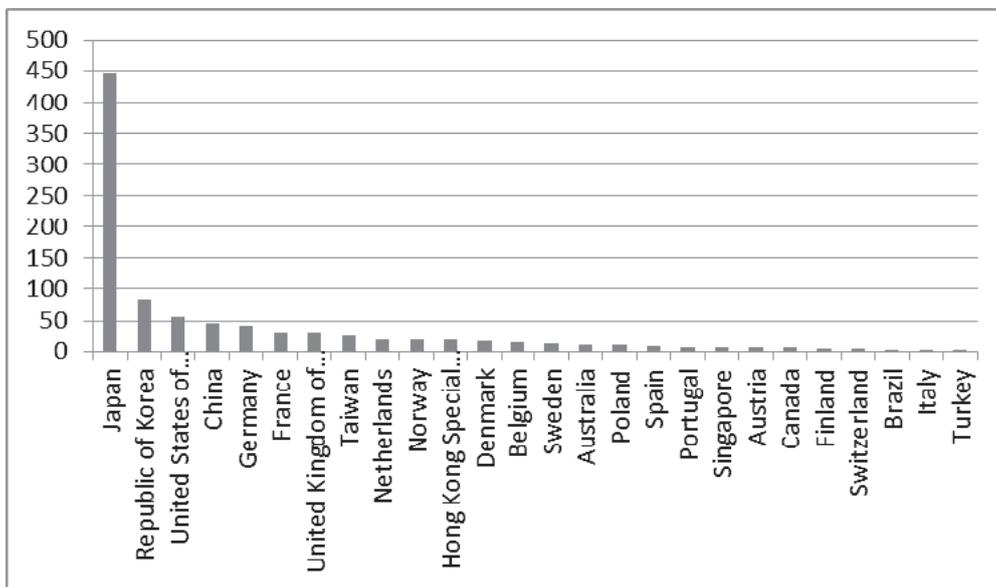


図1 国別参加登録者数

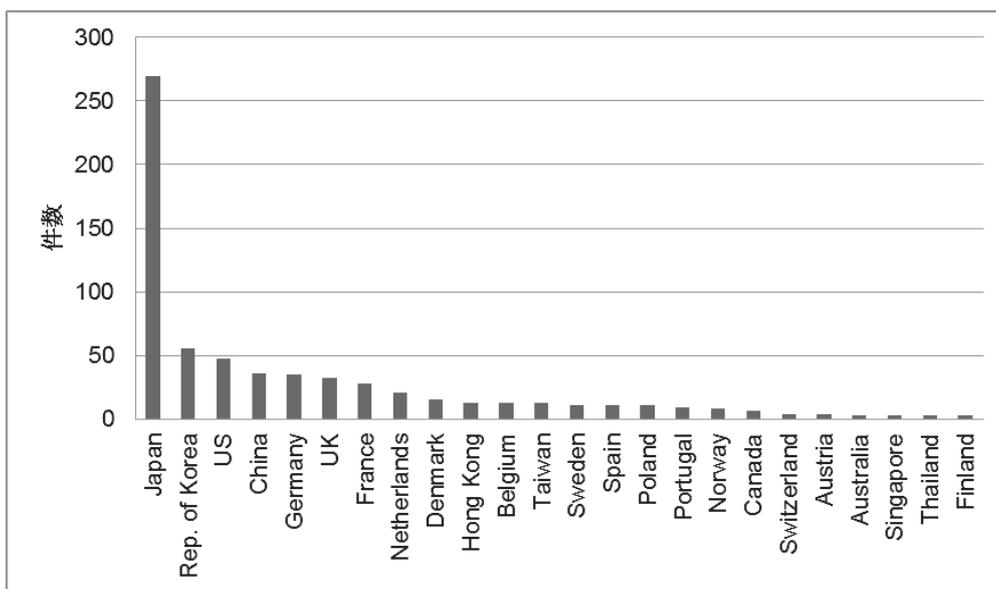


図2 国別の投稿論文数

めた19件、事前に連絡のなかったno-showが21件あった)。これは、発表総数の6%に当たり、近年のINTER-NOISEの実績に比べ、かなり低い数値で参加者の思いの表れと考えて、感謝の意を新たにした。

投稿論文は、66の特別企画と33の一般議題に分けて募集し、得られた666編を特別企画73セッション、ポスター2セッション、2ワークショップに取りまとめた。会議テーマが「世界的課題としての音環境」とされたこともあり、騒音源関連の投稿論文が多かった。振動影響のセッションを新たに設け、30編を超える発表があった。論文の数が20編を越えた特別企画セッションは、空力音響、タイヤ/道路騒音、3D音響再生、能動騒音制御、心理音響に基づく騒音評価、サウンドスケープ、空港騒音の7つである。ワークショップのテーマは、発展途上国・新興国における騒音問題の国際情報連絡網と騒音・振動の若手研究者支援である。

騒音・振動制御に係る最新機器や技術の展示や情報交換は、INTER-NOISEの大切な要素であり収入源である。その場所をどこに設定し如何に多く参加者を来訪させるかに実行委員会は頭を悩ませる。今回は講演会場の集中するフロアの真ん中に機器展示場を設けた。最終的な出展社の数は30社+1団体(INTER-NOISE 2012組織委員会)、38ブースであった。

### 3. おわりに

INTER-NOISE 2011は、会議テーマにSound Environment as a Global Issue世界的課題としての音環境を掲げ、開催した。騒音・振動の制御は、世界の人々の生活の質や健康・福祉の維持向上、並びに自然保護にまでも関わる重要課題であり、本会議の討議を通じ、学術・技術・政策等の幅広い観点から各国が協調、協力して取り組むべき課題であることが参加者に再認識されたことは大きな意義を持つものであるといえる。また、発展途上国・新興国の騒音・

振動問題にも重点が置かれたこと、わが国の騒音・振動の制御に係る技術水準を世界に知らしめるよい機会となったことも成果といえる。

本会議の開催に当たり、国土交通省・環境省・大阪府・大阪市の後援、国際観光振興機構・大阪観光コンベンション協会の協力、諸学会や空港環境整備協会など20団体の協賛、7団体からの助成、37団体・企業からの寄附を得たことを記し、深謝する。

インターノイズ2011の準備・運営に当たり、下記メンバーから成る組織委員会の外、論文・論文集・現地・機器展示・広報・財務・募金・助成の各委員会を設けた。また、国際諮問委員会を設け、下記の顧問28名(アジア・太平洋地域6名、全米州7名、欧州・アフリカ15名)を任命して会議の運営や特別企画、プログラム編成等についてアドバイスを受けた。さらに特別企画の立案や論文勧誘のため、120名を越える方々にセッションオーガナイザを依頼し、座長も務めてもらった。最後に、本会議の準備・運営を円滑に行うため、JTBコミュニケーションズ、JTB西日本等に業務委託した。

### 付記事項

組織委員会：(名誉顧問) 橋 秀樹、(委員長) 山田一郎、(論文・論文集) 今泉博之、(広報) 宇佐川毅、(参加登録) 大久保朝直、(現地担当) 阪上公博、(広報) 坂本慎一、(機器展示) 佐藤利和、(助成金担当) 戸井武司、(論文担当) 西村正治、(募金担当) 平松友孝、(現地担当) 福島昭則、(現地担当) 前田節雄、(財務担当) 矢野博夫、岩瀬昭雄・森本政之(監事)、山本貢平(事務局長)

国際諮問委員会：Marion Burgess (Australia) Jean-Pierre Clairbois (Belgium) , Samir Gerges (Brazil) Gilles Daigle (Canada) , Trevor Nightingale (Canada) Jing Tian (China) , Ondrej Jiricek (Czech Republic) Douglas Manvell (Denmark) , Jean Turret

(France) Hugo Fastl (Germany) , Joachim Scheuren (Germany) Maurice Yeung (Hong Kong) , Luigi Maffei (Italy) Sonoko Kuwano (Japan) , Yôiti Suzuki (Japan) Yang-Hann Kim (Korea) , Truls Gjestland (Norway) Jorge Patricio (Portugal) , António Pérez-

López (Spain) Tor Kihlman (Sweden) , Ulf Sandberg (Sweden) H. Temel Belek (Turkey) , Bernard Berry (UK) Philip A. Nelson (UK) , Robert J. Bernhard (USA) Patricia Davies (USA) , William W. Lang (USA) Rajendra Singh (USA)



開会式



Registration Desk  
参加登録の様子



Closing Reception  
閉会式後のレセプションで  
INTER-NOISE 2012の実行委員とエール交換

## 騒音計の歴史：1928年から2012年まで\*

Alan Marsh\*\*

### 1. はじめに

本稿では騒音計の発展の歴史について概説するとともに、騒音計の電気音響性能の主要な特性と騒音計の発展に国際規格が果たした役割について述べる。

騒音計の活用範囲は非常に広く、屋外のみならず屋内でも用いられ、様々な状況下における音の客観的な定量評価を行うために利用される。応用事例を挙げれば、例えば製品開発においては機器が出す音のレベルが契約上の満たすべき条件に係る問題であったり、販売上の特長であったりする。機械や道路交通あるいは航空機の上空飛行の音の監視という応用もある。また、地域騒音条例や規制への適合判定に使用するという応用もある。さらに、騒音計を使って、建物や事務所またはその暖房・換気・空調システムの構造要素の音響性能を評価することも行われている。

本稿では、騒音計の設計について、初期の概念設計から2012年時点での最新の入手可能な多機能型計測器の設計に至るまでの進化の過程をたどりつつ説明する。騒音計という計測器のデザインの進化に伴い、騒音計の設計に係る特性についての規格も最初は国家標準としてやがては国際標準として整備されてきた。

騒音計の性能の規格開発の努力は、1930年

代の初頭に米国で始まった。その後、多くの国々が騒音計の国家規格を独自に開発した。本稿では主に国際規格について記述するが、その最初のもは国際電気標準会議（IEC）の技術委員会が1950年代後半に開発し、1961年に出版した騒音計のIEC規格である。

本稿には過去80年の長きにわたり開発されてきた多数の騒音計から適宜選定したものの写真を掲載してある。騒音計の発展を示すために掲載したそれらの写真は、騒音計の様々なデザインや機能が国家規格や国際規格の性能要件に適合するものであることを示すために選んだものであるが、それは、取りも直さず、規格が設計や製造の能力範囲を反映するべく進化してきたということである。

### 2. 1928年から1929年まで：最初の騒音計（ノイズメータ）

#### 2.1 ラウドネス

1920年代、音の知覚の研究において騒音のラウドネス特性を記述する方法が調査され、人間の聴力や音に対する反応について研究する手段としてオーディオメータが開発された。ちなみにオーディオメータには被験者に聞かせる試験音のレベルをコントロールする手段として、ちょうどその頃開発された「真空管（valveという国も幾つかある）」が使われている。また、この研究の多くはニューヨーク市にあったBell Telephone 研究所で行われている。

音の測定は「音が聴こえなくなる効果

\* Sound level meters: 1928 to 2012

\*\* Marsh & Nustad Enterprises

Alan Marsh氏の略歴は文末を参照のこと。

（deafening effect）法」あるいは「両耳バランス（ear balance）法」と呼ばれる方法で行われた。この方法では、観測者は測定対象とする音源から聴こえてくる音を聴き、次に特定の機械音源（例えばブザー）で音を出し、そのレベルを調整して次第に大きくしていき、対象音源の音がマスクされて分らなくなる時のレベルとして対象音の大きさを特定する。

音のラウドネス感覚は、音の振幅ならびに周波数成分によって変化することが知られていた。この感覚は音圧の非常に広い範囲に渡って変化するので、ラウドネス感覚の単位は音の振幅の変化に対して直線的でなく、対数的であることが推奨された。

図1は、代表的な音源をいくつか取り上げてこの感覚単位を目盛りでどれ位になるかを示したものである。1929年1月に発表されたWallace Waterfallの論文<sup>1)</sup>はこれを温度計の様式で表し、（多数の被験者の聴力テストで決めた）平均的な聴覚閾値（最小可聴値）のレベルを下限の感覚単位0とし、上限を感覚の平均的な閾値として感覚単位108であるとしている。

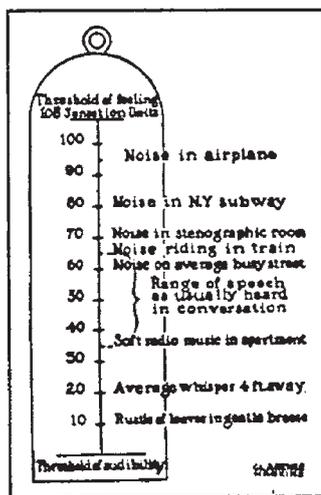


図1—典型的な騒音源を並べた、ラウドネスの温度計と呼ばれていた目盛り。「感覚単位」の目盛りは、一番下の0にある最小可聴値から最大可聴値の108までである。そよ風による木の葉擦れの音は10の単位。航空機内の騒音は約96単位。「Engineering News Record」の1929年1月10日号のWallace Waterfallの記事からイラストを拝借した。

## 2.2 1928年から1929年の間の騒音調査

1920年頃から1929年半ばあたりまでの期間は、米国では「狂乱の1920年代（ジャズと好景気の狂乱の時代）」として知られているが、ニューヨーク市の環境騒音の状況は建設工事や自動車交通、高架鉄道（地下鉄のもの）、その他多数の音源からの騒音により高いレベルのままとなり、市の健康部局に騒音のうるささと生活の質への影響に関する苦情が寄せられるまでになった。当該部局は1928年に騒音対策委員会を設置し、幾つもの下部委員会を設けたが、その一つである騒音測定調査委員会は市内何ヶ所かの室内及び戸外の地点において24時間連続の騒音測定を1年間にわたり幾度か行う業務を託された。

ニューヨーク市はこの委員会の業務を遂行するためにBell Telephone研究所とJohns-Manville社（建設産業用製品のメーカーで現在も騒音制御用の音響製品も扱っている）の技術者を雇用した。

しかし、音のどんな様相がどのような機器で測定されるべきなのか？

1928年当時、現在は環境騒音と呼ばれるようになってきている音の特性を表すための測定に使用する量について広く合意されたものは無かったし、音の物理特性を客観的に測定することを目的に設計された計測器として商業的に流通している機器も無かった。もちろん、そうした計測器の電気音響性能の設計目標を記す規格として確立したものも無かった。

ラウドネスメーターというものは、その当ても無かったし現在もない。なぜなら、音のラウドネスは音の振幅や周波数成分によって異なるし、人の判断の仕方によっても異なるからである。

騒音測定委員会は、騒音調査で測定すべき量について取り決めを行ったが、その主要内容は以下の通りである。

- ・測定量は周波数重み付けした音圧信号のレ

ベルとする。周波数重みについては、聴力が正常な人の純音に対する等ラウドネスカーブ（周波数に対するラウドネスの等高線）の感覚単位30の等高線とされた。図1によれば、感覚単位35はアパートの室内でラジオからの静かな音楽を聞く時のラウドネスに相当する。

- ・周波数重み付けした音圧レベルの基本単位が、電話の発明者であるAlexander Graham Bellに敬意を表して命名されたbelであっても、騒音調査の結果は、騒音レベルの指示値をより分かり易い分解能で表すためにデシベルで算出し、報告されることだろう。
- ・騒音レベルのデシベル表示の指示値の違いの大きさはラウドネス判断の違いの大きさと対応すると仮定された。

### 2.3 騒音調査に用いられた装置

図2は、1928年から1929年にかけて行われたニューヨーク市の騒音調査で使用されたトラックと測定装置の写真である。トラックの側面の掲示には「公式測定装置；騒音対策委員会」と書いてある。



図2－1929年のニューヨーク市で「騒音」の調査に使用されたトラックと機器。トラックの側面の掲示には「公式測定装置；騒音対策委員会」とある。；“noise meter”と呼ばれていた当時の騒音計の重量は、電池と合わせて25kgを超えていた。

操作員が一人、トラック後部の角に立ち、マイクロホンの位置でブザー音と環境騒音を同時に聴いている；ブザー音のレベルは環境騒音がちょうどマスクされ、聞こえなくなるように調節された。トラックの中にもう一人、操作員がいて、マイクロホンからの信号を録音している。

ノイズメーターは、Bell研究所において、被験者の聴力閾値（最小可聴値）より高い55dBのレベルで、街頭騒音、室内騒音及び震音（warbled tones）のラウドネスの判定値と比較して「校正」された。このようなやり方で、ノイズメーターで指示されたレベルは、ラウドネス判定による感覚と3dB以内で対応するようにされた。

街頭騒音及び室内騒音は、蓄音機に記録して研究所まで持ち帰り、再生された。マイクロホンはラジオ放送用に開発されたものであった。

「ノイズメーター」の重量は、電池も含め、25kgを超えた。

### 2.4 米国音響学会

1928年12月27日、音響学に関心を持つ科学者と技術者、約40名がニューヨーク市のBell Telephone研究所で会合を持ち、音響学に関する学術団体の結成を検討することを検討した。その結果、1929年には米国音響学会（Acoustical Society of America；ASA）が認可され、第一回会議が1929年5月10～11日にかけてニューヨークで開催され、約450名の創立会員が出席した。

この新たな学会の主要な目的は3つあり、(1)音響学の様々な分野の研究論文を発表する会議を開催すること、(2)技術論文やその他の情報を掲載する（記録保管的趣旨の）雑誌を出版すること、そして(3)音響分野における規格の開発をバックアップすることであった。米国音響学会誌JASAの第1巻第1号は1929年10月に発行された。前述の第3の目的のために音響規格委員会が1929年12月に結成された。

### 3. 1930年代

#### 3.1 騒音計の性能に関する世界で最初の規格 Z24.3-1936

米国音響学会は、1930年に音響に関する業務のための用語定義、規格、仕様を準備するための分科委員会の設立許可を求めて米国規格協会に請願した。

その結果、米国規格協会の許可を得て、V. O. Knudsenを委員長とする分科委員会Z24が創立されることとなり、設立会議が1932年5月に開催されている。分科委員会には音響用語、騒音測定、音響学的基本量の測定、そして音の吸収及び遮音の測定に関する4つの小委員会が設けられた。ちなみに、その後、米国規格協会は米国国家規格協会（ANSI）となっている。

騒音測定小委員会の下に騒音レベルと騒音計に関する技術委員会が組織され、1932年～1933年に掛けて騒音計の性能に関する規格の草案が作成され、1934年5月に分科委員会Z24の会議で検討されている。

草案は、意見や批評を求めてガリ版刷りのコピーを作成して広く配布され、その結果をもとに改訂版が技術委員会によって作成され、Z24分科委員会での再検討を経て米国規格協会が出版を承認し、1936年2月17日に正式な規格として発行されている。この規格の写しが、米国音響学会誌の1936年10月号においても公表されている。

図3はこの規格Z24.3-1936<sup>2)</sup>の表紙を示したものである。規格には騒音計の限界特性の設計目標が記述されている。最初の草案の作成から出版まで3年も掛からなかったという驚くべき速さは、しばしば非常に長い審議期間を要する現在の状況とは対照的である。

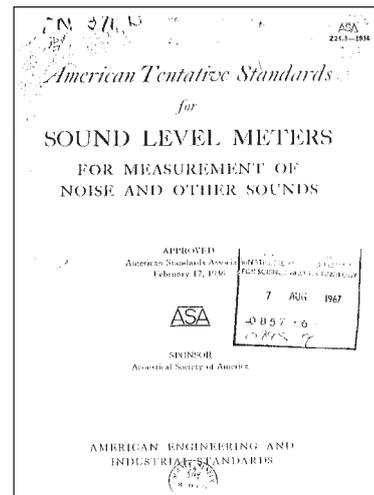


図3－騒音計の電気音響学的性能について設計目標と許容誤差を規定した最初の規格の表紙。この規格は米国規格協会のために米国音響学会（設立1929年）がバックアップして作成されたものであった。規格の草案作成用に設置する委員会のために、1932年5月、会合が行われた。規格の草案は、米国規格協会によって1934年5月に審議され、1936年2月17日に改訂され、承認された。規格Z24.3-1936は1936年の米国音響学会誌上で公開された。

#### 3.2 特性の設計

騒音計の規格Z24.3 1936において確立された重要な先例には以下のものがある。

- ・騒音計にはデシベル目盛りの尺度を持たせる。
- ・騒音計で測定する量は騒音レベルとして参照する。たとえば「60デシベルの騒音レベル」というふうにする。ラウドネスレベルではなく、感覚レベルでもなく、ノイズレベルでもなく、音圧レベルでもなく、騒音レベルである。騒音レベルの測定値の試験報告書には選択した周波数重み特性を明確に記すべきである。
- ・周波数重み特性はAとBの2通りが明記され、そのうち周波数重みAが騒音計に必須のものとされた。「平坦flat」な周波数特性を持たせることも許容されたがこれは後に周波数重み特性Cへと発展した。
- ・騒音レベルの基準値は、周波数1000 Hzでの音の強さ $10^{-16}$  W/cm<sup>2</sup>である自由進行音波のときの値0.0002 dynes/cm<sup>2</sup>とされた。基準

値にこのような客観的な値を選定した結果、首尾一貫した形で騒音レベルを測定することが可能になった。なお、この1936年版の規格で選定された基準値はSI単位では20マイクロパスカル (20  $\mu\text{Pa}$ ) に相当する。ここに、 $1\text{ Pa} = 1\text{ N/m}^2 = 0.1\text{ dynes/cm}^2$  である。

この1936年版の規格における周波数重み特性Aのレスポンスは、ニューヨーク市の1929年の騒音調査で使われた周波数重み特性のものと似ていたが、重大な修正が施されていた。これについて、Z24.2-1936<sup>3)</sup>の記述を引用すれば、周波数重み特性Aは、40dBの等ラウドネス曲線からとったものであるが、自由音場における閾値の垂直入射とランダム入射の違いを補正したものであった。周波数重み特性Bのレスポンスは、周波数重み特性Aのレスポンスと平坦flatな周波数レスポンスの中間的なものであった。

1936年版の規格が意図したところは、周波数重み特性Aは低レベルから中程度までの騒音レベルの測定に使用し、周波数重み特性Bは中程度から高レベルまでの騒音レベルの測定に使用する、また、平坦特性は高レベルの騒音レベルを測定するためのオプションの周波数重み特性として使用するというものであった。

## 4. 1940年代から1950年代

### 4.1 Z24.3-1944

1940年代初期の間、米国音響学会は、騒音計の規格Z24.3の1936年版の更新を含む、音響規格に関する作業を引き続き行った。

Z24.3の1944年版<sup>4)</sup>では、A及びBの周波数重み特性に若干の改訂が加えられたほか、周波数重み特性Cの設計目標が付け加えられた。

### 4.2 1947年のシカゴ騒音調査

1930年代の遅くに、イリノイ州シカゴ市の市民が市内の騒音の一般的なレベルについて苦情申し立てを行った。その結果、騒音レベルの調査が1941年に許可されたが、1946年まで延期と

なり、イリノイ工科大学のArmour Research Foundationの指導の下に再始動された。

図4は1947年に実施された騒音調査で使われた計測機器を示したものである。機器はステーションワゴン内の後方に据え付け、低くした後部扉から入れるようになっていた。機器は大きく、重く、電力供給のために巨大なバッテリーが必要であった。

図4に示したオクターブバンドフィルターセットは、本質的に定常な騒音のスペクトル測定に使用することを意図したものであった。フィルターセットは、オクターブバンドの音圧レベル測定値を与えるものだったが、一回につき1バンドの測定しかできなかった。騒音は測定現場で磁気記録式ワイヤーレコーダに記録し、研究所に持ち帰って解析した。目的は、オクターブバンド音圧レベルから、ラウドネスレベルを計算することであった。

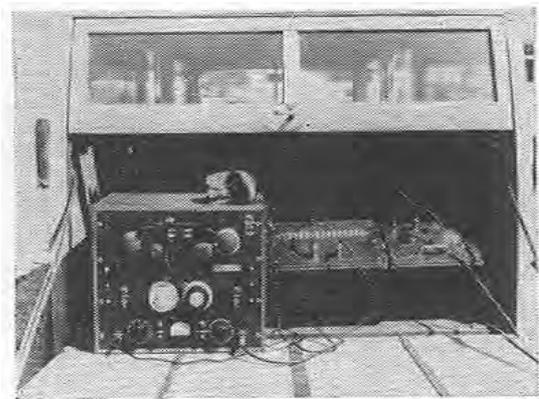


図4—シカゴにおける1947年の騒音調査で使用された騒音計、オクターブバンドフィルターのセット、そして磁気録音機である。機器はステーションワゴンの後部に積載した。

### 4.3 General Radio社の計測器

1947年、米国マサチューセッツ州ケンブリッジに所在したGeneral Radio社は、携帯型音響計測器、特に騒音計と音響校正器の開発を決定した。音響校正器は、マイクロホンの感度を検査し、調整するために使用するものであった。



図5 - 1950年代初期に General Radio Company (USA) が導入した、1551A型携帯型小型騒音計である。目盛りの間隔はデシベルである。

図5は、1950年代初期に導入されたGR社製1551-A型騒音計を示したものである。このGR1551-Aは、図2及び図4に例示した騒音計に大幅な改良を取り入れたものであった。この機器は、性能規格の性能要件に適合するように設計された、恐らく世界初の、携帯型騒音計であった。バッテリーを含めた機器の重量は約5kgであった。

マイクロホンは、センサー素子にロッシェル塩の結晶を用いたShure社製98-98型で、マイクロホン感度が温度と湿度の変化とともに激変した。

騒音レベル表示盤の下部左側に設けられたつまみを使用して指数応答型の時間重み特性FAST或いはSLOWの選択を行い、真空管のフィラメントに電力供給する内部バッテリーのチェックを行うようになっていた。この真空管は、マイクロホンのプリアンプに使用するとともにマイクロホン出力信号のレベル増幅に使用するものであった。中央の大きなつまみの下部右側に設けられたつまみは、広帯域周波数レスポンス(A、B、或いはCの周波数重み特性)の選択、或いは内部電気信号による「校正」の設定の選択を行うものである。右側中央の大きなつまみはレベルレンジの制御を行うものであった。

表示装置の指示計の目盛りはデシベル表示し

た騒音レベルを一定増分毎に目盛定めしてあり、目盛り範囲の全体を通じて騒音レベル指示値の分解能が同一になっている。

図6はメーカーが推奨する騒音計の使用法を示したもので、観測者は計測器の後部を身体に向け、その重量を計測器本体の右側に取り付けたストラップを右手に掛けて支え、表示装置の目盛りの上を揺れ動く指針の平均的な傾向を観察する間、左手で調整つまみを操作する。

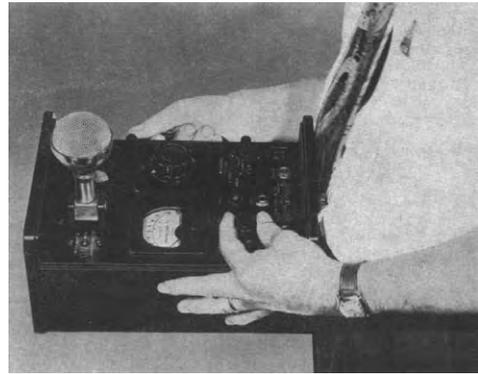


図6 - GR1551A 騒音計の模範的使用法の実例。右腕にかけたひもで機器を支え、左手で操作した。

図7はもっと安価なGR 1555-A型簡易騒音計を示したものである。図6のGR 1551-A型騒音計の線形表示盤が非線形な目盛りに置き換えられ、表示される騒音レベルの分解能は目盛りの右端では高いものの左端では低い。線形表示の等間隔目盛りに代え、対数間隔で刻んだ目盛りによる非線形尺度を採用したことにより、レベルを表示する前に周波数重み付けした音圧信号の対数をとる必要性がなくなり、製造コストが下がった。



図7 - 1950年代半ばに導入されたGR1555A型の、当時は“sound survey meter”と呼ばれていた騒音計。インジケータのダイヤルに対数的に配置された印は、周波数に重み付けした騒音レベル(デシベルで表示)を表すが、解像度を変えられる。

#### 4.4 Rion社の騒音測定器

日本のメーカーであるリオンは、1950年代に、小型の騒音計N1101を売り出した（図8参照のこと）。設計者が、ホン表示でラウドネスレベルを算定する1942年のドイツ国家規格を設計のよりどころとしたため、目盛りは騒音レベルをホン表示で表すようになっている。



図8－1950年代に導入されたりオンN1101型騒音計。1942年のドイツの国家規格に示された要件のために、表示盤は周波数に重み付けした騒音レベル（ホンで表示）を表す。

#### 4.5 IEC及びその技術委員会29（IEC/TC29）

国際電気標準会議（IEC）は1905年に設立され、スイスのジュネーブに本部がある。加盟各国の国内委員会からの請願に応じ、IECは音響機器や装置のための国際規格を準備する技術委員会の設立に合意し、電気音響に関する技術委員会29（IEC/TC29）が設立された。TC29は、1953年にパリで第一回会議を開催し、作業部会の1つに、音響機器、特に騒音計に関するIEC規格の草案作成の任務を課した。

### 5. 1960年代から1990年代

#### 5.1 IEC 出版物123（Publication 123）

IEC/TC29の騒音計の作業部会の第一の優先事項は、汎用騒音計の特性について記述する文書を（規格ではなく）勧告として準備することであった。この勧告は、周波数重み付き騒音レベルの測定に関する設計目標を示す出版物、IEC Publication 123<sup>5)</sup>として1961年に発行された。設計目標からの偏差の許容差は大きなものであったが、簡易騒音測定のパフォーマンス要件と整合す

るものであった。

図9はIEC Publication 123:1961の表紙を示したものである。

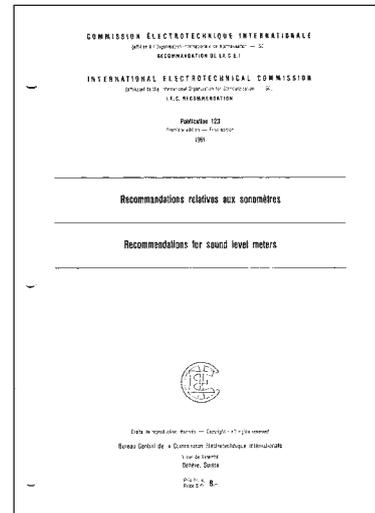


図9－周波数と時間に重み付けした騒音レベルを測定する、汎用騒音計の電気音響学的性能の設計目標と許容誤差についての勧告を示した、1961年に発行された最初の国際文書、国際勧告 IEC123:1961 の表紙

#### 5.2 1960年代の機器

図10は、フランスのメーカーLEA（Laboratoire Electro-Acoustique）の手持ち式騒音計の興味深い概念設計を示したものである。計測器は音源に向けて置かれ、表示盤は周波数と時間の重み付けをした音圧のレベルを示すようになっている。表示盤の目盛りは、分解能可変の、非線形対数目盛りになっている。



図10－1960年代に導入された、フランスのLEAによるS.S.T.1型騒音計。ハンドルを持って機器を支え、表示盤は観察者側にして、騒音源へと向けて使用した。マイクロホンはデシベル表示の騒音レベル表示盤の反対側のケースに入っていた。表示盤上に対数的に目盛りが配置された。

図11は、オクターブバンドの音圧レベルを測定する手持ち式計測器の図10とは異なる概念設計を示したもので、1バンドずつ測定する。オランダのPeekel社が設計し、英国のAdvance社が製品として販売した。マイクロホンは、ボタンを押すとばねが外れ、計測器本体のケースから延伸するロッド（棒）に取り付けられている。



図 11 ー設計はオランダの Peekel 社だが、1960 年代に英国の Advance 社が SPM1 型として包装し販売した。周波数の重み付けはされていない。オクターブバンド音圧レベルを測定するだけであった。本体から短く棒を伸ばした先にマイクロホンが据えられ、使用しない時は本体の中にしまい込んだ。本体左側上部近くの「マイクロホン」の単語の上のボタンを押すと、マイクロホンを伸ばすためのばねが解放された。表示盤上に対数的に目盛りが配置された。

図12は、1960年代に販売されたRion社製NA-07型の汎用騒音計で、周波数と時間の重み付けした騒音レベルをデシベル表示で測定する。当初ラウドネスレベルをホン表示で測定する予定であったが、後に変更された。この機器も、表示の目盛りは表示範囲全体にわたって分解能が可変な、非線形対数目盛りになっている。



図 12 ー周波数に重み付けし、ホンで表す騒音レベル測定のために、1960 年代から使用されたりオン NA-07 型騒音計（日本製）。後にデシベル表示で騒音レベルを示すように改良された。表示装置の上のトグルスイッチで F 又は S の時間の重み付けを選択する。

図13は、1960年に導入されたBrüel & Kjær (B&K) 社製の2203型騒音計である。長さ約30cm、重さは単一電池込みで約3kgであった。表示盤は非線形対数目盛りで、分解能可変である。この機器は、当時IEC/TC29の作業部会で審議中であった、周波数と時間の重み付けをした騒音レベルの測定に使用する精密騒音計<sup>6)</sup>の性能要件に適合するように設計されていた。

2203型騒音計の特徴には以下のようなものがあった。：

- ・増幅器は、真空管に代えて半導体素子トランジスタを採用していた。
- ・マイクロホンプリアンプのカソードホロワには特殊な小型真空管を使用していた。真空管は、管内素子振動を引き起こし、それが出力信号に等価な変動となって表れるマイクロフォニック効果の影響を最小化するために、ばねで支えられていた。
- ・マイクロホンより下の機器本体ケースは、機器本体ケースからマイクロホンへと反射してくる音の影響を最小化するために先細型の形状にしてあった。後に直径25-mmのコンデンサマイクロホンを、本体ケースから離して取り付けるための、フレキシブルアダプタ（ガチョウの首型の可撓式アダプタ）が供給された。



図13－B&Kの2203型騒音計（デンマーク製）。重量約3kg（1960年代）。直径25mmのコンデンサマイクrohン。表示盤上に対数的に目盛りが配置されている。時間の重み付けのFとSが選択できる。

- ・通常の周波数重み特性に加えて、2203型では、プリアンプの入力から電気出力までの電氣的な応答が2Hzから20kHzまで平坦flat（名目上0dB）という性能を実現した。

### 5.3 1970年代の規格

1965年版の精密騒音計IEC規格は、1973年発行の文書で更新され、10Hz～80Hzの領域における周波数重み特性の設計目標値周りの許容差は一段と厳しいものになった<sup>7)</sup>。

1970年代を通じ、IEC/TC29の騒音計の作業部会は、IEC123で仕様を示した汎用計測器（騒音計）とIEC179で仕様を示した精密型の騒音計を統合した統合版へ改訂する作業を行った。その統合改訂版は、性能仕様を3クラスに分けて記載したIEC 651:1979<sup>8)</sup>として発行された。なお、それ以前は、クラスでなく、性能の型「タイプ」と呼ばれていた。

図14は、IEC651:1979の表紙を示したものである。IEC651:1979の仕様に適合する騒音計は、周波数重み付けと時間重み付けをした騒音レベルの測定に供するものである。

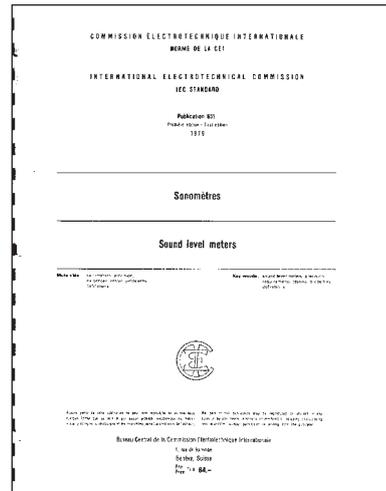


図14－周波数と時間に重み付けした騒音レベル測定のための、3種類の騒音計の電気音響学的性能に関する設計目標と許容誤差を示した、1979年に発行された国際規格IEC651:1979の表紙。

### 5.4 1970年代の機器

1970年代には、周波数重み付けと時間重み付けをした騒音レベルを測定するための騒音計の国際規格の性能要件に適合する様々な騒音計が設計された。

図15は、1970年代に導入されたクラス2騒音計2種類（Cirrus社製2.21型とRion社製NA-09型）のデザインを示したものである。両騒音計



図15－1970年代からのクラス2騒音計。Cirrus 2.21（英国）とRion NA-09（日本）。両方ともデシベル表示で周波数に重み付けした騒音レベルを表示し、目盛りは対数的に配置されていた。FかSの時間の重み付けが使用できる。Cirrus 2.21は本体上部左側にくぼみがあり、細長い管の先についたマイクロホンが収納できるようになっていた。くぼみにはスピーカがあり、音圧信号を出して音響感度のチェックに使用できた。多くの顧客は音響校正器を購入したがらなかったために備え付けたものである。

とも騒音レベルをデシベル表示する方法として対数間隔でマーキングした目盛りを使用していた。Rion社製NA-09型の先細形本体ケースに注目のこと。

Cirrus社製 2.21型は、本体ケースの上部に窪みがあり、その窪みにガチョウの首型延長装置に取り付けたマイクロホンを差し込むことができるという面白い特徴のある騒音計であった。窪みの底に小型のスピーカがあり、マイクロホンが機能していることを示す音響信号を出すようになっていた。多くの顧客が購入したがいなかった音響校正器からの信号を使う代わりにこのような方法が採用されたものである。

### 5.5 時間重み付けした騒音レベルの意味するところ

デジタル技術の出現までは、時間平均した音圧信号のレベルを騒音計で作成・表示することは実用レベルになかった。それまでの表示装置は、多くの場合、マイクロホンからの音圧信号の変動に応じて表示盤の目盛り範囲を細い針が動く検流計方式のものであった。

針に印加される信号に幾分かの制動を掛けないと、針の動きが速すぎて観察をしても、有意義かつ平均的な指示値を信頼できる形で読み取れないことが多かった。そのために、時々刻々の周波数重み付けした信号に制動を掛けるか指数応答形の時間重み付けをすることが必要であった。表示される騒音レベルが変動する程度は、指数応答形重み付け関数の時定数の選択によって変わる。

時間重み付けと周波数重み付けした2乗音圧信号（単位はパスカル2乗）の移動平均は以下の式で表すことができる。なお、便宜上、周波数重み特性Aを仮定している。

$$\langle p_A^2(t) \rangle = (1/\tau) \int_{-\infty}^t p_A^2(\xi) e^{-(t-\xi)/\tau} d\xi \quad (1)$$

式(1)は、右辺の数式で記述された動作を

実行した結果が左辺の量になるという関係を表すものである。左辺のかぎ括弧<>は移動平均を表し、過去のある時刻（便宜上 $-\infty$ の記号で表してある）から観測時間tまで、時々刻々の音の積分への寄与分を連続加算することを意味する。

積分期間の各瞬時において、周波数重み付けした時々刻々の音圧信号を2乗した結果を指数関数で修正（言い換えれば重み付け）する。数式(1)において、記号 $t$ は時間積分するためのダミーの変数を表す。記号 $\tau$ は指数関数の時定数を表す。

この指数関数の時定数として2つの値が標準値として決められた：125 msと1000 msである。125 msは、元来、FASTとして知られるものであり、1000 msの時定数はSLOWと呼ばれたものである。後に規格の国際化にあたり、英単語の使用を避けてFとSという文字表記に改められた。

時定数Fを用いると、観測時刻の約2秒前より前に起きた音圧信号は本来的に無視される。時定数Sを用いると、観測時刻の約5秒以前の信号は無視される。時定数は表示装置の針が振られて変動する速さを遅くするものである。

時間重み付けとA特性で周波数重み付けした騒音レベル $L_{A\tau}(t)$ は、次式で表される：

$$L_{A\tau}(t) = 10 \lg \left( \frac{\langle p_A^2(t) \rangle}{p_0^2} \right) \quad (2)$$

式(2)において、10を底とする対数（常用対数といい、記号lgで表す）の引数における、分数関数の分子は式(1)によって表される。分母の方は国際的に基準の値と決められた数値 $20 \mu\text{Pa}$ （20マイクロパスカル）の2乗である。この分数の対数を取った結果は、デシベル表示の騒音レベルとするために10倍する。なお、周波数重み付けとして何を選択したかは必ず明記することが必要である。

## 5.6 1980年代の計測器

これ以前のアナログ技術のときとは対照的に、デジタル技術（テクノロジー）は騒音計のメーカーに急速に取り入れられた。

図16に、1980年代に導入された2種類の測定器を示す。いずれも、積分-平均型の騒音計であり、「時間平均・周波数重み付き音圧」のレベルを算出して表示するものである。[この量、時間平均・周波数重み付き音圧は、等価連続周波数重み付き騒音レベルとしても知られるものである。等価連続の意味は時間的に変化する音圧の指示値が定常的な音のレベルと等価的に等しいというものであった。]

図16に示した機器は、いずれも、ケースからマイクロホンに向けて反射して来る音の影響を減らすためにマイクロホンより下の部分のケースの形状にテーパを付けた形にしてある。機器ケースの形状は、アナログ信号をデジタル信号に変換し、その信号を表示装置に供給するために必要な素子を取り付けたプリント回路基板を使っているため非常に薄くできている。（もっと大きな電流を流す必要のある機器設計のときに必要であった）単一電池に代えて単三電池を使用したこともケースの厚みを薄くするのに貢献している。

さらに付記しておきたいのは、マイクロホンの直径が、以前の機器設計で使われたものより小さいことである。1980年代の設計では、しばしば古い設計の直径25mm（1インチ）の代わりに直径13mm（1/2インチ）のマイクロホンを使用した。技術の進歩によって、以前はより大きな径のマイクロホンでしか実現できなかった感度と同じか同程度の感度をより径の小さなマイクロホンでできるようになったのである。

幾つかの機種、例えばCesva社製SC-10は騒音レベルのデジタル表示を採用した。他の機種は、旧来の（当時、あまり高価ではなかった）針とダイヤルによるアナログ表示を維持した（例えばCirrus社製2.22型）。



図16 - 1980年代終わりからの積分平均型騒音計。左：Cesva SC-10（スペイン製）。右：Cirrus 2.22（英国製）。SC-10型はA特性騒音レベルを測定するだけであった。2.22型はA特性、C特性、或いは時間平均した騒音レベルまたは騒音暴露レベルとしての、平均的に重み付けした騒音レベルを測定した。SC-10はデジタル式表示目盛りである。2.22型の表示盤は、等間隔にデシベルで刻んだ目盛りである。機器の厚みは単三乾電池の直径で決まった。マイクロホンとプリアンプは比較的、先細の機器本体に接近している。

## 5.7 時間平均サウンドレベルとはどういう意味か？

1970年代後半から1980年代初頭にかけて、デジタル技術が容易に利用できるようになり、騒音計（騒音計）メーカーは、マイクロホンで観測された変動する音圧信号の時間平均を算出することができる装置を開発し、ユーザーが指定する平均時間にわたる平均値を算出した。

デジタル技術により周波数重みを掛けた音圧信号の二乗の時間平均の近似値を算出することができるようになった。次の式は、実用的な騒音計の動作の基礎となる計算過程を示す。

時間平均・周波数重み付き音圧は次式により算出される。

$$\overline{p_A^2} = (1/T) \int_{t-T}^t p_A^2(\xi) d\xi \quad (3)$$

A特性重み付き音圧信号の瞬時値の二乗の時間積分は時刻t-Tから観測時刻tまでの区間について行う。ここにTは事前に設定した平均化の時間間隔である。シンボルξは、式（1）同様、

時間積分のダミー変数である。

時間平均（あるいは二乗値の時間平均）したA特性周波数重み付き音圧は時間積分の結果を平均化時間Tで除することによって得られる。の単位は、音圧の単位がパスカルである場合、パスカルの二乗である。

原理的に、時間平均A周波数重み付き音圧レベル $L_{A,T}$  または  $L_{Aeq,T}$  は、次式によりデシベル値として算定される。

$$L_{A,T} = 10 \lg \left( \frac{\overline{p_A^2}}{p_0^2} \right) \quad (4)$$

式 (4) において、対数を取る前の比の分子は、式 (3) で与えられるものである。分母は音圧基準値 $20 \mu Pa$ の二乗である。測定の結果を報告するときは、常に平均化時間と周波数重みを明記することが必要である。

時間平均・周波数重み付きサウンドレベルを表示する騒音計は、式 (3) で記述される基本的な操作を考慮し、積分平均型騒音計と呼ばれる。そのような計測器に関する最初のIEC規格は1985年に発行されたIEC804:1985である<sup>9)</sup>。参考までに、図17にその表紙を示す。



図 17 一周波数と時間に重み付けした騒音レベル或いは、周波数に重み付けした騒音暴露レベルを測定するための、3種類の騒音計の電気音響学的性能に関する設計目標と許容誤差を示した、1985年に発行された国際規格 IEC804:1985 の表紙。

## 5.8 1980年代の積分平均型および積分型騒音計

1980年代半ばに、B&K社が積分平均型騒音計、モデル2231という製品を発表したが、この機器は音圧暴露レベルを測定するための積分型騒音計の機能も提供するものであった。図18にこのB&K 2231の写真を示す。測定量を選択したり様々な制御設定を指定したりする方法としてプッシュボタンが使用された。



図 18 - B&K の多機能型で 1980 年代のクラス 1 騒音計である 2231 モデルである。直径 13mm のマイクロホンとプリアンプが、先細の機器本体から離して据え付けられている。選択した内容の騒音レベルがデジタル表示される。装置は時間平均した騒音レベル、F か S の時間に重み付けした騒音レベル、時間に重み付けした騒音レベルの、一定時間内の最大レベル、そして騒音暴露レベルを測定し、すべて A か C かフラットの周波数の重み付けが選択できる。

この2231モデルの最も特徴的な点はマイクロホンプリアンプを入れた円筒部分の長さであった。この円筒の長さは、機器本体のケースからマイクロホンにはね返ってくる反射音の影響を減らす方策として、デジタルの表示装置から上側の部分にテーパを付けて反射を減らしたことに加え、採用したものである。

## 5.9 音圧暴露レベルとはなにか

時間平均サウンドレベルは、ある場所の所定の平均時間（例えば、1時間あるいは24時間）にわたる音のレベルを特徴づける量として有用である。そうした測定においては、そのマイクロホンの位置で観測される全ての音の寄与が時間積分に含まれることになる。

しかしながら、継続時間の短い音の特徴を把握したい場合は、しばしば、周波数重み付き音圧暴露レベルの測定を検討するとよい。この物理量は、短時間しか続かない音の振幅と継続時間を説明する。そうした音として、武器の発射音やオートバイの走行音、航空機の上空飛行音などがある。音圧暴露レベルを測定する機器は積分型騒音計として知られるものである。

継続時間の短い音源による音の音圧暴露は、時間平均音圧と似ているが、式(5)に示すように、時間平均をしない点で異なる。式(5)で、 $E_{A,T}$ は、時刻 $t_1$ から始まり時刻 $t_2$ で終わる積分時間 $T$ 内で発生したA特性の周波数重み付き音圧暴露を表す。

$$E_{A,T} = \int_{t_1}^{t_2} p_A^2(t) dt \quad (5)$$

音圧をパスカル単位、時間を秒単位で表すとき、周波数重み付き騒音暴露の単位は、パスカル二乗と秒の積 $\text{Pa}^2\text{s}$ となる。積分時間の長さは、継続時間の短い音の主要な寄与部分がすべて時間積分の中に確実に含まれるよう、音源に応じて、適切な長さを選択する必要がある。なお、積分時間の長さは、積分範囲内に確実に納まっていればよく、明示的に報告する必要はない。

周波数重み特性Aを掛けた騒音暴露レベル $L_{AE,T}$ は次式により算出する。

$$L_{AE,T} = 10 \lg \left( \frac{E_{AE,T}}{E_0} \right) \quad (6)$$

式(6)において、騒音暴露レベルの基準値 $E_0$ は、音のレベルの基準値 $P_0^2$ の二乗と時間の基準値 $T_0 = 1\text{s}$ の積として定義され、 $E_0 = P_0^2 T_0 = 400 \times 10^{-12} \text{Pa}^2\text{s}$ として与えられる。

### 5.10 1990年代の多機能型騒音計

図19は、1990年代に導入された多機能騒音計、B&Kモデル2250である。長い先細にした

機器本体が、マイクロホンの位置における反射音の影響を軽減するのに役立っているが、手で持ち続けることが困難であった。このモデル2250の重要な特徴は、周波数重み付きであるいは無しで測定音の1/3オクターブバンド音圧レベルを表示できることであった。

一種類の表示パネルのままでどの国でも販売できるように、様々なボタンを、言葉や文字ではなく、シンボルで示してある。オンライン取扱説明書により、様々な言語で取扱説明書や情報の提供が行われるようになった。



図19 - 1990年代に導入されたB&Kの多機能モデルでクラス1の騒音計であるモデル2260である。長い先細型の本体デザインが、機器本体からマイクロホンへの音の反射の影響を最小限にし、国際的な性能基準の指向性の要件に適合するのを助ける。直径13mmのコンデンサマイクロホンとプリアンプ。画面に1/3オクターブバンド音圧レベルを周波数の重み付けあり、又は無しで表示できる。

## 6. 2000年代から現在

### 6.1 騒音計の国際規格であるIEC61672

1990年に、時間重み付き騒音計を規定する規格IEC651:1979と積分平均型及び積分型騒音計IEC804:1985を統合した版を開発する作業が始められた。

十年にわたる開発作業の結果、あらゆる種類の騒音計に関する3部構成の国際規格IEC61672が完成した<sup>10)</sup>。

第1部は、2002年にIEC61672-1:2002として発行された。この第1部は性能の設計目標となる仕様を提供したものである。設計目標からの偏差の許容範囲が、クラス1及びクラス2の

性能として設定された。第2部及び第3部は、各々、検査の手順及び報告について規定するものである。

図20は、IEC61672-1:2002の表紙を示す。

2012年現在、このIEC61672シリーズ3部すべてを改訂する作業が進行中である。



図20 一周波数と時間に重み付けした騒音レベル、周波数に重み付けして時間平均した騒音レベル、及び周波数に重み付けした騒音暴露レベルを測定する、クラス1と2の騒音計の電気音響学的性能の仕様を載せた、2002年5月に国際電気標準会議が発行した国際規格 IEC61672-1 の表紙。

## 6.2 IEC 61672-1に適合する多機能型騒音計の最新版について

図21～図24にメーカー8社のクラス1の多機能型手持ち式騒音計の写真を示す。これらは、2012年現在、市場で入手可能な機器である。機器機能に関する情報は、各メーカーのウェブサイトから入手可能である。

いずれの機器設計も機器本体は先細形になっており、コンデンサマイクロホンとプリアンプを収納する円筒形パーツはマイクロホンを機器本体から離して取り付けるため、かなり長いものになっている。この設計上の特徴により測定器を無指向性応答に関する設計目標からの許可偏差に納めるといった要件に適合することができる。

デジタル技術は、音源あるいは音のイベント

の音響的特徴を把握するために、様々な音響量を測定することを可能にする。

機器の表示を屋外で読み取ったり、屋内であっても表示用バックライトに電力を使うことなく読み取ったりできるような表示設計を取り入れることも可能になっている。



図21 多機能のクラス1騒音計の近代的なデザイン。Larson Davis社の831型(米国ユタ州 Provo、左側)。Quest Technologies社/3MのSoundPro型(米国ウィスコンシン州 Oconomowoc、右側)。



図22 多機能のクラス1騒音計の近代的なデザイン。Cirrus Research社171B Optimus型(英国ノースヨークシャー、左側)。Svantek社Svan979型(ポーランド国ワルシャワ、右側)。



図23 多機能のクラス1騒音計の近代的なデザイン。Cesva社のSC310型(スペインのバルセロナ、左側)。Rion社のNL-62型(日本の東京、右側)。



図24 ー多機能のクラス1騒音計の近代的なデザイン。  
Norsonic社のNor140型(ノルウェーのオスロ、左側)。  
B&K社の2270型(デンマークのNaerum、右側)。

### 6.3 IEC 61672-1における電気音響性能の仕様で重要なものは何か

様々な応用への活用を念頭に置いた騒音計の設計に重要な幾つかの特徴に関する設計目標と設計目標からの許容偏差が、IEC 61672-1に規定してある。設計目標は次のとおりである。

- ・すべての音の入射角からマイクの音を入射するための関心の範囲内の任意の周波数での無指向性応答
- ・周波数重み特性A、Cの応答、およびZの応答
- ・電気入力信号にตอบสนองして示された音のレベル・リニアリティ
- ・時間重み付けFとS
- ・4 kHzのトーンバーストへの応答

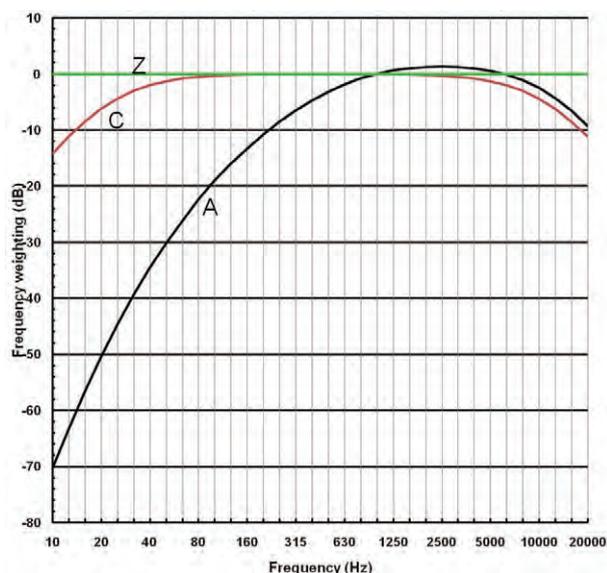


図25 ー騒音計の規格IEC61672-1に示されたA、C、及びZの周波数重み付けについての設計目標の応答特性。

図25は、周波数重み特性A、Cおよび新たなZ(10 Hzから20 kHzの範囲の全周波数で重みがゼロである周波数重み特性)について設計目標とする応答特性を示している。

クラス1の騒音計に使われるコンデンサマイクロホンの多くは、約16 Hz未満または約16 kHz超の周波数において実用的レベルの出力は出せないが、設計目標からの偏差の許容差は、これらの制限を認識して決められている。

図26は、仮想的な騒音計の応答の直線性を示す。マイクロホンプリアンプの入力に付加される定常的電気信号のレベルの変化は、指示される騒音のレベルの変化と等価となる主要な範囲が見られる。

図26はまた、機器出力が意図した線形応答から外れる領域も示している。図の領域2では自ら発生する電気的な雑音が暗騒音となっ

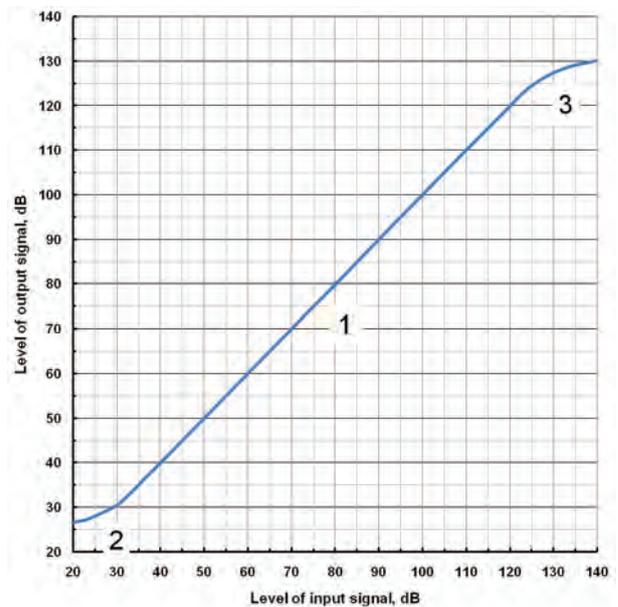


図26 ー電気信号の入力レベルの範囲に対応する出力信号のレベルの、示されたレベルの直線性の例。領域1では、出力信号レベルの設計目標は入力信号レベルの変化に対応する線形応答である。線形応答の範囲が線形動作領域である。領域2では、騒音計内で自己発生する騒音が、表示される出力信号のレベルを制限する。領域3では、騒音計内の諸要素が(過負荷状態を引き起こす要素を含む)、出力信号の表示されるレベルを制限する。IEC61672-1によれば、1kHzでの線形動作領域の範囲は少なくとも60dBは必要である。

て線形領域の下限のフロアを形造っている。領域3では、機器の様々な部分が原因となって過負荷条件を引き起こし、線形領域の上限を決めている。

最新の設計において重要視されている目標のひとつは、騒音計としての性能のクラスに適用できるものとして、線形動作範囲を機器の設計範囲内の任意周波数で、実用可能な最大のレベル範囲となるようにすることである。

図27は、継続時間1000ミリ秒～0.25ミリ秒の4-kHzのトーンバーストの、最初のゼロから最後のゼロ交差までの1周期に対する設計目標応答を示している。トーンバースト応答は、バーストの音圧暴露レベルと、そのトーンバーストを抽出する元となった定常正弦信号の時間平均サウンドレベルの差として規定される。

音圧暴露レベルに関する式 (6) と (5)、及びこれと対応する時間平均サウンドレベルに関

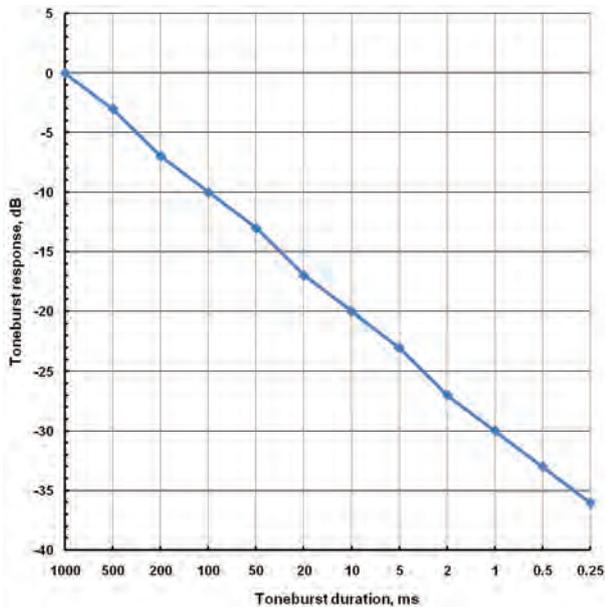


図 27 一様な継続時間の、4kHz の正弦曲線の電気入力信号の突出に対応する騒音計の設計目標反応。継続時間 0.25ms の突出には、最初のゼロ交差から最後のゼロ交差までに 4kHz 信号の完全な 1 周期を含んでいる。トーンバースト応答は、トーンバーストの表示された、周波数重み付け騒音暴露レベルと、トーンバーストを抽出する元となった定常信号の時間平均された周波数重み付け騒音レベルとの間の差として定義される。

する式 (4) と (3) を吟味すると、両者の差が次式で与えられることが分かる。

$$L_{AE} - L_{A,T} = 10 \lg \left( \frac{T}{T_0} \right) \quad (7)$$

たとえば、4 kHz のトーンバーストの 1 サイクルは、継続時間の合計が 0.25 ミリ秒となる。時間平均サウンドレベルの  $T_0 = 1000$  ミリ秒という基準値については、音圧暴露レベルと時間平均サウンドレベルの差は図 27 に示す通り  $10 \lg(0.25/1000)$ 、または -36.0 デシベルである。

## 7. おわりに

騒音計の機能は、1930 年頃にそうした機器の必要性が認識されて以来、著しく進化してきた。騒音計の重量は、最初の機器が 3 kg もあったのに対し、今は 0.5 kg ～ 1 kg のオーダーになっている。手持ち式騒音計は、機器機能が増大する一方で、大きさは著しく小型化されている。

センサー素子として水晶を使用するマイクロホンがコンデンサマイクロホンに置き換わったが、以後コンデンサマイクロホンの設計に大幅な変更はされていない。

騒音計の応答が入力信号の線形な関数である範囲の程度は、それが 1980 年代に導入された機器に比べてはるかに大きい。同様に継続時間の短い信号に対する応答も大幅に改善された。

騒音計の電気音響性能の国際規格は進化しており、あらゆるタイプの騒音計の、そしてその製品として様々な実現される機器は今も進化し続けている。

## 謝辞

本稿で示した写真の多くの原版のデジタルファイルは騒音計メーカーの代表者らの好意により提供されたものであり、その受領に当たり心から謝意を表す。

## 参考文献

- 1) Wallace Waterfall, "A loudness scale; How the audiometer scale can be applied to problems of practical acoustics in buildings," Engineering News Record, 1929 January 10.
- 2) Z24.3-1936, "American Tentative Standards for Sound Level Meters For Measurement of Noise and Other Sounds," J. Acoust. Soc. Am. 8, 147-152, October 1936.
- 3) Z24.2-1936, "American Tentative Standards for Noise Measurement," J. Acoust. Soc. Am. 8, 143-146, October 1936.
- 4) Z24.3-1944, "American Standard Sound Level Meters for Measurement of Noise and Other Sounds, American Standards Association, Inc., New York, N.Y. (1944 July 28).
- 5) IEC 123:1961, "Recommendations for sound level meters" [Intended for general purpose (survey) instruments; frequency weightings were revised from those given in Z24.3-1944.]
- 6) IEC 179:1965, "Precision sound level meters" [tighter tolerances than for survey meters]
- 7) IEC 179:1973 [Revision of 1965 issue with tighter tolerance limits around design goals for frequency weightings in the range from 10 Hz to 80 Hz.]
- 8) IEC 651:1979, "Sound level meters" [Consolidated revision of IEC 123 and IEC 179 for sound level meters measuring frequency-weighted and time-weighted sound levels.]
- 9) IEC 804:1985, "Integrating-averaging sound level meters" [For sound level meters designed to measure time-averaged sound levels and sound exposure levels.]
- 10) IEC 61672-1:2002, "Electroacoustics · Sound level meters · Part 1: Specifications"

## 著者紹介

Alan Marsh氏は、国際電気標準会議の技術委員会29 (IEC/TC29:Electroacoustics) の規格作成に携わっており、騒音計の保守チーム4のコンビーナー（主査）を務め、バンドパスフィルターの保守チーム19、音響校正器の作業部会17、空港周辺における航空機騒音測定のための機器に関する保守チーム23のメンバーである。音響機器関連IEC規格への貢献に対してIEC1906メダルを授章している。

国際標準化機構の技術委員会43（音響）の分科委員会1（ISO/TC43:Acoustics;SC1:Noise）の規格作成にも携わっており、現在、航空機内騒音測定のための作業部会37のコンビーナー（主査）で、空港周辺における航空機の運航による騒音の無人監視のための作業部会のメンバーである。

Alan Marsh氏はまた、米国航空局の音響工学における技術代表に任命されている。米国音響学会の特別会員（Fellow）であり、騒音に関する業績でシルバーメダルを授章している。米国騒音制御工学会の特別会員（Fellow）でもあり、INCE/USAの騒音制御優秀技術者賞を授章している。

## 注記

原文は航空環境研究センターのホームページ (<http://www.aerc.jp/>) に掲載しています。

翻訳：中村千都世・山田一郎

## 飛行機とのつながり \*

時 田 保 夫 \*\*

この本が出るときは3.11の東日本大震災から一年経過していることと思います。あの惨状を眺めた時には、太平洋戦争の戦災が一気に押し寄せたというくらいに思いました。地震、津波、また原発事故で被災された方々を心からお見舞い申し上げます。また事後の処理に当たられている方々のご尽力にも深く感謝いたします。

### はじめに

かつて戦争に参加して飛行機の操縦をし、多くの戦友を亡くしながらも生き残って、何とか戦後の復興にも少しでもお役に立つことができたかと、残務整理をしているところにこの原稿依頼が参りました。記憶も定かではありませんが、昭和の時代の私と飛行機との縁を断片的に書いてみようと思いました。自分史のようなもので申し訳ありませんが、このような人生もあるのかと読んでいただくと幸いです。

### 1 飛行機とのご対面

私は小樽で生を受け、小学校3年からは札幌で育ちました。ライト兄弟が初飛行に成功したのが2003年ですが、私が生まれた時（1925年）には既にエンジンを付けた飛行機が生まれてから20年以上を経過していたわけ

です。私が身近に飛行機を見たのは小学校に入る前に、小樽の西郊外にある手宮公園というところのグラウンドで、飛行機のデモンストレーションがあるというので、父に連れられて見に行った時でした。二機の複葉のプロペラ機で、宙返りやきりもみ飛行などをやっていたのを覚えています。すでに第一次世界大戦で飛行機の実用性が確かめられて、日本でも造られるようになって、軍用機をはじめ民間の輸送機などが実用化されはじめた時代です。その時にはまさか将来自分が飛行機と関係するとは思っていませんでした。

### 2 戦争への足音

昭和6年（1931）小学校に入学した年に満州事変が勃発し、それからの日本は国際的に孤立して行くのですが、上海事変と続き、国内では昭和11年の2・26事件などで不安が広がってきた時代です。昭和12年（1937）中学校に入学した年には、北京郊外の盧溝橋事変から支那事変（日中戦争）へと拡大し、世の中も落ち着かなくなってきました。このころから防空演習が始まったのですが、各家庭ではせいぜい電燈に黒い布をかぶせて、夕涼みがてら様子を見に外に出て、サーチライトが夜空を照らしているのを皆で眺めていたというのんびりしたものであったのを思い出します。

しかし私が中学に入った年から、生徒の服装がゲートル（巻脚絆）をつけてズックの背囊、編み上げ靴というすっかり軍国調に代わってし

\* Relation with an aircraft

\*\* 前（財）空港環境整備協会 航空環境研究センター所長

まって、上級生とは違った格好で、戦時色が強まってきた時代でありました。中学校にも部活動の中に航空部というのが出来て、運動会のイベントに、校庭で初級グライダーを太いゴム紐で引っ張って数メートル飛び上がったのを見た覚えがあります。

朝日新聞社の神風号が東京-ロンドン間の飛行時間新記録を作ったり、東京大学の航研機が長距離飛行の世界新記録を達成したりして、飛行機熱が段々盛んになって来て、さらに民間の募金による軍用機の献納というのも盛んになり、陸軍機は愛国号、海軍機は報国号と名付けて献納したのを、札幌飛行場に見に行った覚えがありました。

### 3 海軍から終戦まで

私は特に軍国少年であったわけではないのですが、中学5年の時に友達に勧められて、江田島の海軍兵学校（現在の海上自衛隊術科学校の場所）を受験し、これに合格して昭和16年12月1日に入校しました。その一週間後の8日には真珠湾攻撃から太平洋戦争（当時は大東亜戦争と言った）が始まり驚きました。私たちの年代が戦争に縁があったのか、小学校に入った年は満州事変、中学校では支那事変、兵学校では大東亜戦争と学校が変わるたびに戦争が拡大して行きました。入校時には3年就業の予定だったのが、戦局が逼迫するにしたがって短縮されて2年4ヶ月で卒業となりました。

卒業前には岩国で航空実習があり、初級練習機のユングマンに搭乗して操縦桿を握ったのが飛行機と繋がる始まりでした。エンジンが僅か100馬力の飛行機で、今の軽自動車並みです。宙返りをして天地がひっくり返るのを初めて経験しました。適性検査の結果飛行機の操縦に進むことになって昭和19年3月に卒業しました。かつては兵学校を卒業後、海軍少尉候補生として遠洋航海に出て、世界の国々を見て見聞を広げることもあったのですが、戦局の逼迫

によって遠洋航海の実習もなく、直ちに艦船と航空機に分かれて実戦配備に就くことになりました。航空の操縦組は霞ヶ浦海軍航空隊でいわゆる赤とんぼと称する93式中間練習機で訓練をし、実用機は百里が原海軍航空隊で、97式艦上攻撃機で訓練をして昭和20年の3月には海軍中尉となって宇佐海軍航空隊に赴任しました。着任して間もなく、4月には沖縄戦が始まって、宇佐航空隊でも特攻隊が編成され、4月6日の第一次特攻から前線の大隅半島の特攻基地串良へ進出、次々と出撃しました。私も串良基地で多くの人達を見送りました。5月の下旬に転勤命令が出て、最後は現在の百里が原基地で天山（最後の実用艦上攻撃機）とともに終戦を迎えたのですが、卒業から僅か1年半足らずの間に同期生の三分の一が海や空で亡くなりました。最も重い飛行機との繋がりの時でした。私も何度か危ない目にあいましたが、かろうじて生き残り復員することが出来ました。

### 4 騒音との出会い

復員後、大学に入り直して新たな人生を始めましたが、大学卒業後の職場として小林理学研究所に入ったのが昭和25年でした。音響計測の研究室でしたが、日本音響学会の都市騒音計測に参加したのが騒音との繋がりでの始まりでした。自動車の走行音とクラクションやスピーカによる街頭放送が大きな問題であった都市騒音という変動騒音を対象に、どのように計測し評価するかが大きな課題でした。これを機会に守田先生や五十嵐先生と一緒に仕事をする機会が生まれました。

また朝鮮動乱の時以来のジェット軍用機の騒音が福岡や立川基地周辺で大きな社会問題になって来ていて、東京大学の平山教授を中心に、音響学会の研究者の多くが参加して、立川基地（現在の昭和記念公園）周辺の騒音を測定に行ったのが航空機騒音との繋がりでの始まりでした。学校における授業が航空機騒音によってし

ばしば途切れてしまうのと、落ち着いて授業ができないというのが問題となり、騒音の大きさと頻度、継続時間が対象になりました。騒音計のJIS規格が出た時にはA, B, Cの特性があって、大きさによって特性を切り替えるのですが、航空機騒音にはC特性で計ることになっていた時代です。

敗戦後禁止されていた日本の航空事業が再開されたのが昭和26年だったのですが、飛行場周辺の騒音が問題になるほど飛行機も飛んでいなかった時代です。空港も閑散としていて、羽田空港で乗客が搭乗前にかんかん秤に乗って体重測定をし、座席の指定をしていたのを思い出します。航空事業の拡大とともに飛行機の便数もだんだん増えてきて、且つ昭和30年代にジェット旅客機が登場するようになってから航空機騒音の評価が大きく様変わりするようになりました。生活環境での騒音苦情の比重は非常に高く、発生源としては工場機械のような固定発生源と、戸外移動音源の自動車、鉄道、飛行機が大きな問題となりました。昭和37年には日本音響学会のDC-8の騒音測定が羽田空港周辺で行われ、それに参加したのが羽田空港と航空機騒音とを結ぶものでした。ボーイング707、コンベア880などの大きな騒音を出していたジェット機が主流でまだジャンボB-747が出る前のことでした。

## 5 航空公害防止協会との接点

昭和43年に財団法人航空公害防止協会が設立されて、空港周辺の環境整備に寄与することになりましたが、その調査事業の一つとして航空機騒音による家屋の振動調査を行うことにな

り、小林理研にお呼びがかかり小生が担当して調査を行いました。これが現協会との縁の始まりでした。さらに協会内に設置された航空機騒音委員会にも委員として参加し、日本航空の川田さんや大成道路の石野さんとも懇意になることができました。このご縁が昂じて昭和63年には、所長をされていた守田先生から推薦されて研究センターの所長に就任いたしました。

これが縁で航空局をはじめとして、成田国際空港、中部国際空港、羽田国際空港などの環境問題で委員会に参加し、また研究センターの現場での仕事や研修にも深く付き合うことになりました。全く予期していなかった人生であったと言っても過言ではありません。

## 6 終わりに

このようにして100年の航空機の進歩を実感しましたが、また色々なことも学びました。人間が何かを評価をするときに、表と裏の二面があるということも知りました。航空機騒音問題はまさにその典型的な課題で、被害者と加害側とでは全く考え方が違うことを実感した次第です。現代社会は非常に便利にはなってきましたが、一面人それぞれには、完全には噛み合わない点が非常に多く歪んでいる社会です。そこで生きてゆくには共に生きる「共生」という気持ちがなければ不満がたまる一方ではななろうかと、この世界ばかりでなく、世界中がこの共生の気持ちにならないものかと思い、念じながら筆を閉じたいと思います。まことに縁とは不思議なもので、大切にしたい土産の土産に持ってゆきたいと思っている次第です。

## 研究センターの動き \*

平成 23 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・飛行経路・コンター関係】

- (1) 航空機燃料譲与税法第 2 条第 1 項第 2 号に規定する空港に係る WECPNL75 以上の騒音予測コンター図作成に係る請負業務
- (2) 大分空港周辺飛行経路実態調査
- (3) 航空機騒音予測コンター作成業務 (H23-1) (成田空港)
- (4) 普天間飛行場における航空機の飛行状況調査業務
- (5) 航空機騒音予測コンター作成業務 (H23-2) (成田空港)
- (6) DREAMS 低騒音運航技術の研究開発に係る音源モデルの検討等業務
- (7) 航空機騒音予測コンター作成業務 (H23-3) (成田空港)
- (8) 航空機騒音基礎調査 (WECPNL 予測計算及び飛行経路測定等)
- (9) 航空機騒音基礎データ整備作業
- (10) 県営名古屋空港航空機騒音基礎調査業務委託
- (11) 東京国際空港周辺航空機騒音実態調査 (北風運用時)
- (12) 山口宇部空港コンターライン作成業務
- (13) 東京国際空港騒音コンター図作成業務
- (14) 航空機騒音予測プログラム性能向上

### 2. 自主研究

当研究センターの自主事業としての調査研究を次のとおり実施した。

#### 【騒音・飛行経路・コンター関係】

- (1) 航空環境の保全に関する動向調査
- (2) 航空機騒音予測技術検討調査
- (3) 次期航跡観測装置に関する基礎調査 (実用機の評価及び運用方法の確立)

#### 【大気環境関係】

航空機温室効果ガス排出量算定モデルの開発

#### 【環境と保健関係】

空港周辺における環境と健康に関する疫学的研究

### 3. 研究発表

#### 【騒音振動関係】

- 日本騒音制御工学会平成23 (2011) 年春季研究発表会 (講演)  
「交通騒音に対する社会反応のばらつきに関するISOでの論議」  
山田 一郎 (空環協・航空環境研究センター)、森長 誠 (防衛施設周辺整備協会)、加来 治郎 (小林理学研究所)  
[東京・2011-4]
- 第40回国際騒音制御工学会/インターノイズ 2011における研究発表  
(1) Alternative and supplemental noise metrics to A-weighted average sound level used for environmental noise assessment in Japan  
山田 一郎 (空環協・航空環境研究セン

\* Annual activities of Aviation Environment Research Center

ター)、森長 誠(防衛施設周辺整備協会)、加来 治郎(小林理学研究所)

[大阪・2011-9]

- (2) The influence of ground surface conditions on long range propagation of heavy weapon noise

連名: 山田 一郎(空環協・航空環境研究センター)

[大阪・2011-9]

- (3) Improvement of the aircraft noise monitoring and information disclosure system at Narita International Airport in response to the revised guideline for aircraft noise

連名: 山田 一郎(空環協・航空環境研究センター)

[大阪・2011-9]

- (4) Review of environmental measures for noise issues around defense facilities in Japan

連名: 山田 一郎(空環協・航空環境研究センター)

[大阪・2011-9]

- (5) Study on noise adatement effect of CDA procedures available for airports in Japan  
吉岡 序、山田 一郎(空環協・航空環境研究センター)、小山 雅夫(ATEC)、  
咩野 一理(CAB)

[大阪・2011-9]

- (6) The treatment of noise contribution due to aircraft ground activities on an airport noise model

菅原 政之、岩崎 潔、吉岡 序、山田 一郎(空環協・航空環境研究センター)、  
篠原 直明(成田国際空港振興協会)

[大阪・2011-9]

- 日本騒音制御工学会2011年秋季における研究発表

- (1) 環境騒音の評価尺度の現状と課題について

山田 一郎(空環協・航空環境研究センター)、森長 誠(防衛施設周辺整備協会)、加来 治郎(小林理学研究所)

[東京・2011-9]

- (2) 海外における航空機騒音軽減運航方式の取り組みと我が国の状況

吉岡 序、山田 一郎(空環協・航空環境研究センター)

[東京・2011-9]

- 日本音響学会2011年秋季における研究発表

山田 一郎(空環協・航空環境研究センター)

[島根・2011-9]

#### 【環境保健関係】

- 日本ウーマンズヘルス学会における研究発表  
「オープンスクール統計講座」データの可視化-統計量だけではデータ特性を正しく把握することは出来ない-

後藤 恭一(空環協・航空環境研究センター)

[東京・2011-7]

#### 4. 広報事業

- (1) 宮崎空港「空の日」イベントへの参加

[宮崎・2011-9]

宮崎空港「空の日」イベントの「大声コンテスト」に、当研究センター管理部長他が参加・協力した。

- (2) 第36回空港環境対策担当者研修の開催

[東京・2011-11]

空港周辺地域を管轄する関係自治体等の職員を対象に研修を開催した。

(33名の参加)

- (3) 研究誌「航空環境研究」No16号を発刊した。

[2012-3]

#### 5. 平成23年度各委員会委員の委嘱状況

(別紙のとおり)

## 6. その他

- ・日本騒音制御工学会平成23（2011）年春季研究発表会  
吉野調査研究部長、永里調査研究部主任研究員、菅原調査研究部副主任研究員  
〔東京・2011－4〕
- ・本部主催全国事務所長会議に出席  
横森管理部長  
〔東京・2011－5〕
- ・ICN（International Conference nurses）における共同研究の報告  
〔東京・2011－5〕
- ・ICAO/CAEP MDG会議に出席  
橋本調査研究部副主任研究員  
〔イタリア国・リミニ・2011－6〕
- ・日本ウーマンズヘルス学会における市民講座の講師（統計学）  
後藤調査研究部副主任研究員  
〔東京・2011－7〕
- ・ICBEN主催「公衆衛生問題としての騒音に関する第10回国際会議」に出席  
山田所長  
〔英国・ロンドン・2011－7〕
- ・日本音響学会第19回音響技術セミナーに参加  
橋本調査研究部副主任研究員  
〔東京・2011－7〕
- ・宮崎空港の空の日イベント「大声コンテスト」に協力・参加  
横森管理部長、平薮管理部長代理  
〔宮崎・2011－9〕
- ・本部主催全国事務所長会議に出席  
横森管理部長  
〔東京・2011－9〕
- ・日本騒音制御工学会平成23（2011）年春季研究発表会に参加  
山田所長、吉野調査研究部長、永里調査研究部主任研究員、菅原調査研究部副主任研究員、吉岡調査研究部調査役  
〔大阪・2011－9〕
- ・第40回国際騒音制御工学会／インターノイズ2011に参加  
山田所長、吉野調査研究部長、永里調査研究部主任研究員、後藤調査研究部副主任研究員、菅原調査研究部副主任研究員、  
〔大阪・2011－9〕
- ・日本騒音制御工学会2011年秋季に参加  
吉野調査研究部長、菅原調査研究部副主任研究員  
〔東京・2011－9〕
- ・日本母性衛生学会に参加  
後藤調査研究部副主任研究員  
〔東京・2011－9〕
- ・日本公衆衛生学会に参加  
後藤調査研究部副主任研究員  
〔秋田・2011－10〕
- ・日本ウーマンズヘルス学会誌における共同研究の報告  
〔東京・2011－10〕
- ・日本女性医学会に参加  
後藤調査研究部副主任研究員  
〔神戸・2011－11〕
- ・第36回空港環境対策関係担当者研修開催  
山田所長、調査研究部 他  
〔東京・2011－11〕
- ・監事による監査実施  
〔2012－2〕
- ・監事による監査実施  
〔2012－3〕
- ・日本音響学会2012年春季研究発表会に参加  
山田所長  
〔2012－3〕
- ・研究誌「航空環境研究」No16号刊行  
〔2012－3〕

平成23年度委員の委嘱状況

(平成23年12月15日現在)

件数	件名	承認日	任期	氏名	主催者
1	地域環境委員会委員	H22.5.10	H22.5.10～ H24.3.31	山田一郎	成田国際空港(株)
2	環境影響評価におけるアドバイザー	H21.8.7	H21.8.8～ H22.8.7	山田一郎	沖縄防衛局
		H22.7.14	H22.7.15～ H23.7.14		
3	南関東防衛施設地方審議会委員	H21.11.2	H21.11.13 ～H22.6.14	山田一郎	南関東防衛局
		H22.6.7	H22.6.15～ H24.6.14		
4	航空機騒音調査に係る検討委員会委員	H22.8.13	H22.8.13～ H25.3.31	山田一郎	東京都環境局
5	(社)日本騒音制御工学会委員会委員 (社会貢献委員会委員他2件)	H22.8.27	H22.8.27～ H24.5.31	吉岡 序	(社)日本騒音制御工学会
	①社会貢献委員会委員		H22.8.27～ H23.5.31		
	②研究奨励賞選定委員会委員		H22.8.27～ H24.5.31		
6	財団法人成田空港周辺地域共生財団航空機騒音調査研究所所長 (非常勤)	H23.3.23	H23.4.1～ H25.3.31	山田一郎	(財)成田空港周辺地域共生財団
7	「長崎空港A滑走路地区周辺航空機騒音調査結果の見直し及び検証業務に係る検証委員会」の委員	H23.5.31	H23.5.31～ H23.6.30	山田一郎	(財)防衛施設周辺整備協会
8	「防府飛行場周辺及び小月飛行場周辺(23)航空機騒音調査業務」における委員	H23.6.7	H23.6.7～ H23.8.31	山田一郎	東和环境科学(株)
9	環境影響評価におけるアドバイザー	H23.7.15	H23.7.16～ H24.7.15	山田一郎	沖縄防衛局

件数	件名	承認日	任期	氏名	主催者
10	「平成23年度 学校等の防音工事における採択基準の検証調査業務検討委員会」委員	H23.9.5	H23.8.31～ H24.3.31	山田一郎	(財)防衛施設周辺整備協会
11	「船舶・航空機排出大気汚染物質削減に関する検討会」委員	H23.9.5	H23.9.5～ H24.3.23	橋本弘樹	(株)環境計画研究所
12	「平成23年度航空機騒音コンタナー作成方法に関する調査業務に係る検討委員会」委員	H23.10.7	H23.10.7～ H24.3.23	山田一郎	(財)防衛施設周辺整備協会
13	「温室効果ガス排出量算定方法検討会－運輸分科会－」委員	H23.11.28	H23.11.28 ～H24.3.31	橋本弘樹	(株)数理計画
14	「平成23年度 航空機騒音測定・評価に関する検討調査」検討委員会委員	H23.12.15	H23.12.15 ～H24.3.23	山田一郎 吉岡 序	環境省水・大気環境局

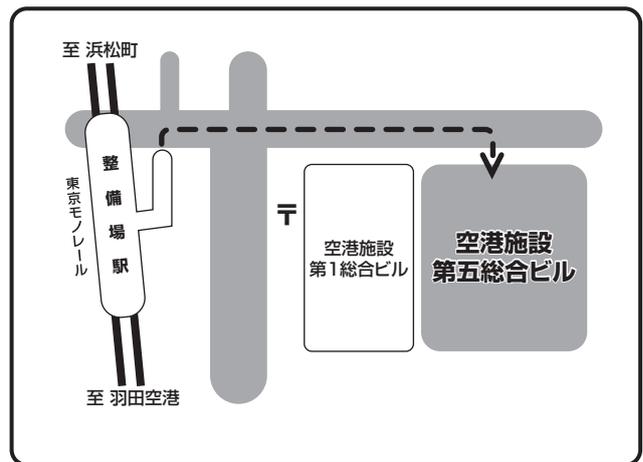
## 編集後記

昨年春東日本をおそった地震「平成23年3月11日・東北地方太平洋沖地震」から1年が経過しました。犠牲者の冥福を祈ると共に、復興に立ち向かう被害者の皆様に対しては改めてお見舞い申し上げます。

筆していただきました。各執筆者の皆様に深く感謝申し上げます。

編集：航空環境研究センター  
水島 実

さて、本誌第16号では「焦点」として外部から2編執筆していただきました。研究報告は、当研究センターが進めている研究から2編掲載しました。「内外報告」では、今年ICAO/CAEPの最新の動向を1編執筆していただきました。又当研究センターが毎年参加しているインターノイズ国際会議における2011年の報告を2編掲載しました。「航空環境を取り巻く話題」では、3編を執筆していただきました。「エッセイ」では、1編を執



航空環境研究センター案内図

---

航空環境研究 第16号 平成24年3月27日印刷 平成24年3月30日発行 ©2012

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 第五総合ビル5階

電話 (03) 3747-0175 FAX (03) 3747-0738

---

無断転載を禁じます

## CONTENTS

### FOCUSES

The forefront of the sonic-boom reduction technology	Yoshikazu Makino	
	Yusuke Naka	1
Recent situation on global environmental issues in international air transportation	Katsuya Hihara	10

### RESEARCH REPORTS

Long-term air quality study of the environmental air around the Osaka International Airport	Hiroki Hashimoto	
	Minoru Mizushima	
	Koji Suzuki	18
Current situation and issues on noise metrics used for evaluation of environmental noise in Japan	Ichiro Yamada	
	Makoto Morinaga	
	Jiro Kaku	25

### DOMESTIC AND FOREIGN REPORTS

Trends of ICAO/CAEP	Yuji Yanagisawa	31
Inter Noise 2011 "Sound Environment as a Global Issue"	Hisashi Yoshioka	
	Ichiro Yamada	34
Environmental Noise and Disability Adjusted Life Years (DALYs) —A viewpoint of WHO Euro.—	Tetsuya Kaneko	
	Kyoichi Goto	38
Tenth International Congress on Noise as a Public Health Problem ICBEN 2011.	Ichiro Yamada	44

### CURRENT TOPICS

The Boeing 787's technology for lower noise and fuel efficiency	Masao Hisano	47
Review of hosting INTER-NOISE 2011 and Brief Summary of the Congress	Ichiro Yamada	53
Sound level meters: 1928 to 2012	Alan Marsh	59

### ESSAY

Relation with an aircraft	Yasuo Tokita	76
---------------------------	--------------	----

### ACTIVITIES OF AERC

Annual activities of Aviation Environment Research Center	Management Division	79
---	---------------------	----