航空環境研究 No.26 (2022), PP.1 − 2

巻頭言

創立50周年に寄せて
～航空環境政策のこれまでとこれから～*

東田　晃拓**

昭和47年に羽田空港内に設置された「航空公害調査研究センター」を祖とする「航空環境研究センター」が、この度創立50周年を迎えられたことを、心からお慶び申し上げます。

この50年間、我が国航空は、我が国経済とともに飛躍的な発展を遂げて参りました。特に近年は、我が国の国際競争力の強化、インバウンドをはじめとする観光振興、人口減少が加速する各地域・地方の創生など、我が国成長を支える社会基盤として、国民の高い期待が寄せられております。

これら、増加の一途を辿っていた航空交通量については、新型コロナウイルスの影響により短期的には厳しい状況にありますが、中長期的な視点からは、世界経済のけん引役を担うアジアが勢いを盛り返し、再び航空交通量が増加する可能性は極めて高いと考えています。我が国において安定的な航空ネットワークを構築し、また、我が国の航空ビジネスが国際的にも地域的にも調和して持続するために、航空環境対策は、引き続き重要な政策テーマであります。

これまで我が国では、低騒音機材の運航を促進するための高騒音機材の発着規制、防音工事や移転補償等の周辺環境対策、優先飛行経路方式等の運航方法の改善、夜間時間帯における運航制限等の航空機騒音対策を着実に実施してきたところであります。さらに、航空機自体の低騒音化が進展してきたこともあり、航空機の発着回数が増加する中でも、空港周辺地域への航空機騒音による影響が軽減されてきています。

これらは，運航者（エアライン）・航空機メーカー・研究機関といった産学の取組と規制当局・管制業務提供者・空港管理者といった立場からの国の取組の相互連携、さらには、関係自治体や住民の方々との相互理解の構築によって成り立っているものであります。

航空環境研究センターは創設以来、航空環境を専門的に調査研究する国内唯一の機関として、重要かつ高度な行政課題等に対して、技術面での絶え間ない取組を続けてこられており、その調査・研究成果は、国・自治体・民間空港運営者等の航空・空港関係者が施策を実行するにあたって大きな役割を果たされてきたとともに、国際的にもICAO（国際民間航空機関）への参画や音響工学に関する学術会議への積極的な成果発表を通じて、世界の航空環境の発展に大きく寄与されてきました。

近年では、電子航法研究所（ENRI）及び宇宙航空研究開発機構（JAXA）等の国立研究開発法人や航空局を含めた、航空機騒音に関する技術的な交流・勉強会の場において、航空環境研究センターが中核的な役割を果たしていただいております。特に、研究機関が保有する実験機を用いた航空機騒音の発生メカニズムを検証する研究において、航空環境研究センターが長年培ってきた騒音分析・予測の技術的な知見を持ち合わせることで、更なる航空機騒音の評価・分析の高度化が可能となります。音響工学・航空工学の両方の知見を有する航空環境研究センターの今後の活躍を大いに期待するところであります。

---

* Celebrating 50 years of the the airport environment and Aviation Environment Research Center
～corporate efforts to aviation environment policy up to the present and to the future～

** 国土交通省航空局　大臣官房参事官（航空戦略）

また、航空環境研究センターの機関誌「空港環境研究」の特別号にあたる「海外空港の環境対策」(2020年)について、敬意を込めて紹介させていただきます。航空環境対策は、基本的には当該国・空港の特性を踏まえ、総合的かつローカル的に展開される性質のものでありますが、航空機の静穏化が世界的に進む中、空港環境の差異を踏まえた上で、諸外国の取組状況を把握することは、非常に有益であります。2020年に発行された同特別号は、世界各国の主要空港の航空機騒音対策について、インターネット上で公表されている既存情報を整理するに留まらず、半数以上の空港を対象として、研究者各位が現地を訪問し、当該空港関係者へのインタビューを実施し、成果物としてまとめられております。我が国の航空環境対策を検討する上で、網羅的で示唆に富んだ非常に価値のある文献の１つであり、是非、規制当局・空港管理者に限らず、運航者・航空機メーカー・研究機関といった航空に携わるあらゆる関係者にも一読いただきたい内容となっております。

今後、航空行政としては、福岡空港の滑走路増設(2025年予定)・成田空港の滑走路増設(2029年予定)など、我が国の空港周辺の環境変化が見込まれます。空港設置・管理者が周辺住民の方々へ丁寧な説明を果たす上で、精度の高い航空機騒音の予測・分析といった技術的な要素がますます重要となってきます。引き続き航空環境研究センターを中核とした関係者の活動に期待しております。

航空環境研究センターが創立50周年という記念すべき節目にあたり、これまでの調査・研究を通じた我が国航空環境の改善・発展への貢献に深く感謝するとともに、今後とも、先見性を持った長期的な視点から調査・研究への取組を継続され、次の50年の航空環境の進展、ひいては未来へと続く人々のより良い暮らしの実現に向けて、その役割を存分に発揮され、ますます発展されますことを祈念いたしまして、お祝いの言葉といたします。

航空環境研究 No.26（2022）, PP.3 − 4

巻頭言

航空環境研究センターの貢献*

難波　精一郎**

航空環境研究センター設置50周年誠におめでとうございます。

この50年の間に研究センターは多くの貢献をされてきましたが、その道筋は決して平坦なものだけではありませんでした。私が機構および研究センターの過去からの経緯等を承知しているとのことで執筆をご依頼頂きましたが、私が承知しているのはごく限られた範囲です。それもごく浅い理解です。それでも2005年度、当時の（財）空港環境整備協会の理事に就任した丁度その年に、内閣官房行政改革推進事務局より公益法人制度規制改革のための所要の法律案を次期通常国会に提出予定との通知がまいりました。要するに今後新たに供用する空港駐車場は公募制を導入すること、既存の22空港についても、今後の運営のあり方について、民間開放の検討をすべきである、との趣旨でした。

協会は駐車場からの収益によって「空港周辺環境の対策」を行うと共に「航空環境研究センター」の運営に当たり高い実績をあげてきました。この収益がなくなれば環境対策も研究センターの活動も不可能となります。歴代会長、理事長および事務局の大変なご努力で、2012年高橋会長の時に従来の公益法人から一般財団法人に組織替えとなり現在に至っております。この激動の時代に当時の山田一郎所長のもと、研究センターは活発な活動を維持し、現在の篠原所長の時代には活動を維持すると共に、この新型コロナ禍の下、種々の困難な事態がある中で、オンラインで「研究発表会」を実施するなどさらに活動の幅を拡げられました。このオンライン研究会には数百人の参加者があり、私も聴講させて頂きましたがよく整備され準備の行き届いた会合で活発な討議もあり参加して大きな満足感をうることができました。コロナが去ってもこのオンラインの発表会は継続して頂きたいと思いました。

私のもう一つの協会への関与は、1997年度から航空機騒音委員会の委員に加えて頂いたことです。委員長は東大名誉教授の五十嵐寿一先生、センターの所長は時田保夫先生の時代でした。旧知の山田一郎小林理学研究所所長（当時）とご一緒できて心強く感じました。五十嵐委員長より本来のWECPNL（ICAO版）でなく日本版WECPNLjを使用したための問題点と、外国のようにL_{eq}ベースを考えていく場合の対応を考慮しなければならないとのご指摘があり将来を見据えたご発言に感銘を受けました。この問題は後に成田の逆転現象の原因となり環境基準の見直しにつながる重要なご指摘だったと五十嵐先生の先見性に今更のごとく感心する次第です。

その後、アクティブノイズコントロールによる騒音低減技術の問題など議題となりましたが航空機を対象にすることには委員の間で疑問がありました。一方、大阪空港周辺のWECPNLとL_{Aeq}の比較を通じてエネルギベースとの対応関係についてデータの蓄積が行われました。またINM

* Contributions of Aviation Environment Research Center

** 大阪大学名誉教授

モデルなど予測モデルについて検討が行われるなど重要な話題が五十嵐委員長のもとで進められました。またそれに続いて航空機騒音の評価手法の比較や基礎データ検討の問題も加わるようになりました。さらに2002年度には離陸時の騒音の後方指向性に関する話題など今日につながるテーマで審議されています。また単なる予測ではなく精緻モデルとして航空機騒音に関するコンピュータ・シミュレーションなど当時のコンピュータの性能の限界を考慮しながら検討が進められました。またその年度には当時の東大生産技術研究所教授の橘先生が委員として参加され心強く感じました。次年度の2003年度には五十嵐先生がアドバイザーとしてご指導いただくという条件で私が委員長に就任させて頂きました。その後、L_{AE}ベースの基礎データの積み重ね、精緻モデルや予測モデルの性能向上などの検討が行われました。2005年度の第1回委員会は9月に、第2回委員会は年を越した1月20日に開催されました。この委員会の開催された年の1月2日に五十嵐先生が逝去され、委員会の冒頭、委員全員で先生のご冥福をお祈りして黙祷を捧げました。

その後のことは、私に与えられた過去の域を離れると思うのでここで筆を置きたいと思います。ただ2007年(平成19年)に「航空機騒音に係る環境基準について」の一部改正が行われ、航空機騒音の評価量は等価騒音レベルを基本とする時間帯補正等価騒音レベルL_{den}を採用することになりました。これにより、最新の騒音測定技術の活用、国際動向への整合、地上騒音等の寄与を考慮した総暴露量の評価が可能となりました。ただ、騒音測定の実務上、熟練を要する種々の課題に直面することになったと想像します。本研究センターのこれまでのL_{AE}ベースを基礎とする研究の積み重ねが今後の騒音測定、評価にますます貢献することと期待しています。

本研究センターは守田栄先生はじめ歴代の所長、所員に人を得て、成果を挙げ続けられました。これまでと同様、いやそれ以上に発展されることと存じます。

50周年を迎えますますのご飛躍を期待しています。

航空環境研究 No.26 (2022), PP.5 − 8

巻頭言

空港周辺環境と研究センターの50年、これから*

篠原　直明**

最近、航空機騒音について述べるときに、「航空機騒音問題が顕在化してから50年・・・」というキーワードをしばしば用いるようになった。50年といえば、我が航空環境研究センターは今年の12月に創立50年を迎える。これを機に研究センターの50年を振り返ってみようと思う。

1960年代にジェット旅客機が就航してから、空港周辺に激烈な騒音を及ぼしたことに端を発するこの問題への対策の一助を担うべく、空港支援機構の前身・(財)航空公害防止協会は昭和43(1968)年に設立された。その年から、協会内に「航空公害調査委員会」を設置し、五十嵐寿一委員長(東京大学教授・当時)のもとでさまざまな調査活動を始めている。当時は、航空局としても航空公害問題への対応策を懸命に探っている時代であり、「航空機騒音に係る環境基準」が定められる5年も前のことである。当然ながら、基準もない、対策も決まっていない、騒音の人への影響の実態もわかっていないなど、ないないづくしの時代だった。そんな中で、公害対策・航空行政の手助けとなるべき調査・研究が数多く求められ、昭和47(1972)年に航空公害調査研究センターが羽田空港内多摩川べりの3階建て研究所で活動を始めたのである。所長には、音響学の権威として著名な守田栄先生が就任し、騒音振動部、大気汚染部、環境保健部、文献資料室の技術系4部門に加え管理部の体制でスタートしている。航空局や航空会社、大学、NHK総合技術研究所の協力も得て、調査研究を実施した。

最初の航空公害調査研究センター　全景

研究センターはその後、航空公害研究センター、航空環境研究センターと名称を変え、所在地も羽田空港整備地区へ、さらには現在の御成門へと転居し、現在の活動に至っている。

この50年の間、4名の所長が研究センターの運営を担ってきた。初代は前述の通り守田栄先生で昭和63(1988)年まで、その後平成13(2001)年までは時田保夫先生が、さらに山田一郎前所長が平成28(2016)年まで務めている。それぞれ音響分野・騒音制御工学分野で著名な方々で、長きにわたって研究センターの活動を通じ空港周辺環境の改善に貢献されたことに敬意を表する。現在は、小生(篠原)が所長だが、先輩諸氏のようにうまく貢献できているかは、いささか不安なところである。

ところで、研究センターの本部組織である協会も、過去に2度名称変更をしている。平成5(1993)年に(財)空港環境整備協会へ(その後、公益法人改革に伴い一般財団法人へ)、平成30(2018)年には(一財)空港振興・環境整備支援機構(略称・空港支援機構)となった。最初の変更は、激甚な公害への対策を講ずる時代を卒業し空港周辺環境の充実に力を注ぐことを表明したもの、2度目の変更は騒音対策だけでなく空港振興へも着目する

* The past 50 years of the airport environment and Aviation Environment Research Center, and the future

** 航空環境研究センター　所長

ことを示すものであろう。それぞれ世の中の意識が変わりつつあることを受けての変更であり、まさに、研究センターの歩んできた時代の変わり目とも一致するのではないかと思う。

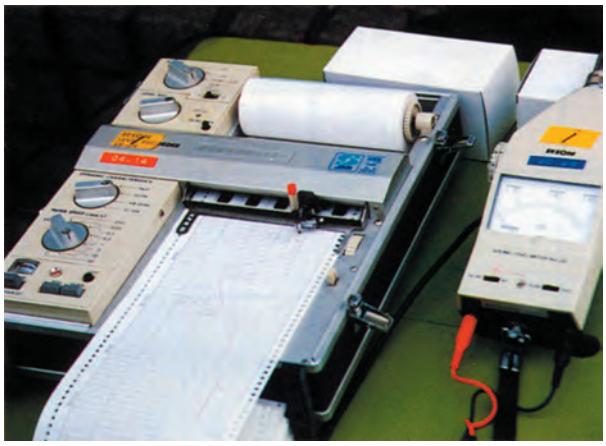
1.最初の四半世紀：航空公害対策の時代

前段でも述べたように航空公害問題への対応策を懸命に探っている時代であり、基準もない、対策も決まっていない、ないないづくしの時代だった。とにかく大きな社会問題となりつつある航空公害に何とか対応しなければならないとの命題から、航空局の手助けになることは何でもやっていたようだ。当時の研究センターの実績を見ると、落下物、騒音、大気、人体影響、航跡、乱流対策（屋根瓦のずれ）、電波障害、土地利用と実に多くの調査を実施している。どんな調査をやるにも人手がかかり、多くの人員と手間を要したようだ。また、住宅防音工事のための効果的な工法も研究されている。騒音軽減運航方式の調査も実際の運航実証などを含め行われた。騒音の影響についても明確ではなかったため（今でもそうかもしれないが）、生活影響・健康影響に関する調査も活発に行われた。その結果を見ると、不満を持つ人、不調を訴える住民があり、このため協会の事業として空港周辺住民に対して無料の健康診断事業も始まった。これらは環境保健部にとって貴重な分析データとなった（個人情報保護が叫ばれるようになってからは、データを利用することが難しくなった）。

航空機騒音に係る環境基準が昭和48（1973）年に定まり、住宅防音工事を実施する法律も改正、その後順次防音工事助成の基準を下げ範囲を拡大する。研究センターの調査研究の結果が、このような対策事業に結びついてきたと言えるだろう。昭和50年代以降は周辺対策が一挙に進展し、昭和時代の終わりには学校や住宅に対する防音工事助成は概成するなど、公害対策の時代は終着に近づいた。低騒音型航空機の導入や騒音軽減運航方式の採用によって騒音の軽減がはかられ、空港周辺での航空機騒音影響は減少し、被害は次第に解消された。

公害対策手法検討以降の研究センターの活動は、いかに効率的に調査を実施するかを目的に、騒音計測システムや飛行経路観測システムの開発・改良に着手している。また、騒音対策範囲を決める際に不可欠な航空機騒音予測モデルの開発にも取り組んでいる。航空機騒音委員会を設け、学識経験者・航空局・空港管理者・航空会社の委員とともに予測方法の研究を行ってきた。

当時の航空機騒音測定の様子、測定者が航空機騒音を特定していた



当時の航空機騒音測定機器、現在のようにメモリー記録などはなく、騒音計と記録計を接続し、記録紙に結果を出力していた

2.次の四半世紀：航空需要増大の時代

次の時代は、平成に入ってからの航空需要の拡大に対応する時代だったと思う。多くの空港で、滑走路の延長、空港拡張、空港移転（新設）などが行われた。このため、実にたくさんの空港について航空機騒音予測作業を実施している。昭和50年

代にきわめて多かった各地の空港の騒音実態調査は落ち着きを見せ、数年に１回程度間隔で調査を行うようになった。このため、研究センターの重点は、予測モデルの精度向上や予測モデルで使用するいわゆる基礎データの整備・充実に移ることになる。

一方、成田空港の暫定B’滑走路の供用開始に伴い露見したWECPNLの逆転問題を機に、体感に応じた評価指標の必要性が望まれるようになった。運航回数の増大とともに、低騒音型の航空機の導入がなされた時代でもある。そのきっかけの最初はB747-400の就航（1989年ころ）、次にB777（1996年ころ）、B787（実質的には2013年ころ）と続く。このため単発騒音は平成に入って以降、確実に低下している。しかし、容量拡大などにより低騒音・多頻度へと騒音暴露の状況も変化した時代でもある。結局のところ、航空機騒音に係る環境基準の指標はWECPNLからL_{den}へと変わり平成19（2007）年に改正告示、平成25（2013）年から施行されている。

研究センターではL_{den}に対応する予測モデルの開発を2000年代初頭より始めており、その成果としてL_{den}予測にも生かされている。

また、騒音予測等の基礎資料とするために空港周辺における航空機の飛行状況を把握することが不可欠だが、当研究センターでは、電子航法研究所・リオン（株）と共同で飛行経路測定装置（スカイゲイザー）を開発し、調査に活用している。

3.現在の研究センター

現在の研究センターは、かつての技術系４部門が、「調査研究部」一つに統合されている。空港周辺環境における航空機運航による大気汚染の程度は低いとしたり、デジタル化の流れにより文献資料を実際に保有しておく意義は薄れてきたり、などの理由による。研究センターの陣容も10名程度で構成され、かつての規模に比べれば小さくなった。騒音や経路調査の現場で人手作業の手法から機器の発達・開発に伴って電子記録データでの取得が容易になってきたことも関係している。しかし、航空環境研究の必要性が薄れてきた

研究センターも開発にかかわった飛行経路観測装置（スカイゲイザー）による測定のようす

とは考えてはいない。むしろ研究重視の姿勢に転換している。かつての公害の時代から、現代は環境の時代に変わり、人々はより良い環境を求める時代になった。法律で定める対策の範囲より遠い範囲で、基準に達しない騒音の領域で対応を求められるようになっている。このため航空局や空港会社は、より分かりやすい説明を地元の方々に行う必要性が高まっている。これらのサポートをすべく研究センターでは、騒音はじめ航空・空港の環境問題について現在・過去、国内・海外の情報のプラットホームになることを指針としている。

このような時代の変化に合わせ研究センターの業務もニーズに合ったものに変えている。代表例は、騒音軽減のための運航方式なども含め海外空港の騒音対策事例を集め、分析していることだろう。その成果を2020年には機関紙「航空環境研究」の特別号として「海外空港の環境対策」を特集して発行し、好評を得た。筆者が2021年に国際学会でキーノートスピーカーを務めたことがある。その際の講演は日本・海外の空港周辺対策に関するものだったが、質疑応答の際に座長から「良くこれだけの情報を集めた」とお褒めいただいたのは、海外空港情報を皆で集めた研究センター全体の成果でもある（自画自賛で恐縮）。

現在の研究センターの活動内容は以下の通り。公益法人として社会に貢献できることを第一に、航空局、空港会社、自治体の方々のサポートと環境行政への貢献を目指して頑張っている。

＜重点研究テーマ＞
・主要海外空港の環境対策情報収集・分析
・航空機騒音の測定評価に関する調査研究：短期測定や常時監視の方法、信頼性のある測定結果を得るための手法を検討
・航空機騒音および経路情報処理のより効率的な手法の検討
・航空機騒音予測技術向上研究
・騒音軽減対策としてのリバース抑制の有効性
・航空機騒音の音質評価に関する研究
＜広報等事業＞
・機関誌「航空環境研究」の発行
（今回で26号目を発行）
・自主研究発表会の開催
（今年度、第6回目を実施）
・空港環境対策関係担当者研修会の実施
（今年度で47回目）
・国内外の学会等で研究成果の発表
＜受託事業＞
・航空機騒音・飛行経路等調査業務委託
・航空機騒音予測に用いる基礎データの整備
・航空機騒音予測作業
・騒音軽減に係る検討業務

4. 将来に向けて

50年後には航空環境研究センターはなくなっているだろう。なぜなら、航空機による音は極限まで軽減されているから（希望的観測かな）。航空機という概念ではなく「空飛ぶXXX」（電動機、マルチコプター、超音速などさまざま？）かもしれない。でも、99％の人がうるさいと感じないときが来るまでは、必ず多数の航空機騒音に悩まされている人は存在する。その時までは研究センターの果たす役割はなくならないだろう。

空港環境対策関係担当者研修会の様子(第44回)

考えてみれば、航空機騒音に係る環境基準は来年（2023年）に50年が経過する。途中で評価指標は変更されたが、環境基準値は実質的には変えていない。環境基準をいまだに達成していない地域があるから、と聞いている。騒音対策の法律は、環境基準を達成できない場合に備え、室内で環境基準を満足すると同等の騒音程度を念頭に置いて作成された。現実の騒音問題は、環境基準以下でも苦情行動につながる地域で発生することも多い。言い過ぎかもしれないが、すでに法律ではカバーできない範囲の問題になっている。

このため、騒音影響の評価に関する研究が求められるだろう。WHO-EU 環境騒音ガイドライン（2018年）など、これまでにない厳しい基準も提案されている。現在の研究センターにはこの分野を専門とする研究員は残念ながらいないが、外部機関との協力も含め研究を継続していきたい。

騒音予測とマッピングも重要なテーマだと思う。欧州のように騒音暴露状況を公開する時代も近いかもしれない。予測モデルの精度向上とともに重点的に取り組んでゆく。

心配事は研究センターの研究員も年齢層が高くなってきたこと。騒音と航空に専門知識を持つ次世代の研究員を養成しなければならない。

最後に研究センター25周年の際に残されたセンター25年史にかかれていた「将来に向けて」の項を振り返ってみる。①技術的レベルアップを図り、航空行政の推進を確実にサポートできる体制、②技術的な国際的協力関係と貢献、③環境面で後発の国への積極的な技術指導、④地球環境という大局的見地に立った取り組み、が必要と書かれており、25年たってどれだけ実現し進歩したのかは少し耳が痛い。でも④以外はそれなりにやっているかとの自己評価でもある。

まずは、この先の四半世紀を頑張りたい。意欲ある若手研究者よ、研究センターに来たれ。

航空環境研究 No.26（2022）, PP.9 − 18

研究報告

海外空港における航空機騒音と根拠法令に関する考察*

武田　修（航空環境研究センター　主任研究員）

はじめに、環境対策には規制的手法、経済的手法のふたつがあるといわれている。規制的手法は法体系を構築し一定の基準を設定して汚染者の行動を直接統制し、行政機関が排出者に与える命令を内容とするものであり、経済的手法は市場を用いて汚染者の活動を間接的に統制するものとされている。

これまで海外空港における航空機騒音対策の状況を共通のテーマを設定して網羅的かつ横断的に調査を行ってきたが、一定のアウトラインを把握することができた。このなかでは、法的位置づけも一定程度調査を行ってきたが、関係国の法体系までは踏み込んでいなかった。

そこで今回は、各国は騒音対策上どのように法定化されたスキームによって汚染者の行動を統制し、また長期的なPDCAサイクルを回しているかという点に注目し考察を試みた。

1. 日本における環境法体系

まずは、日本における環境法体系であるが、主軸をなしているのは1993年に制定された環境基本法（法律第91号）である（図1）。環境基本法の成立以前は公害対策基本法で公害対策が、自然環境保全法（昭和47年6.22法律第85号）で自然環境対策がとられていたが、環境基本法の成立に伴って、それぞれ廃止、改正が行われた。

一方、環境基本法の下位法としては、一般的な騒音（工場騒音、建設作業騒音、自動車騒音、深夜騒音等）に関しては騒音規制法（1968年、法律第98号）が、航空機騒音に関しては、「公共用飛行場周辺における航空機騒音による障害の防止等に関する法律：騒防法（1967年法律第110号）」、「特定空港周辺航空機騒音対策特別措置法：騒特法（1978年、法律第26号）」が定められている。さらにその下位として環境基準である「騒音に関する基準について」（1998.9.30環境庁告示第64号）、「新幹線鉄道騒音に係る環境基準について」（1975.7.29 環境庁告示第46号）、「航空機騒音にかかる環境基準について（、1973.12.27環境省告示第154号）」が告示で指定されている。

図1　日本における環境法体系

* A Study of Aircraft Noise Laws and Regulations in foreign countries

航空機騒音対策については、1973年の環境基準制定以降、2013年4月1日に指標がWECPNLからL_{den}に変更され、現在に至っている。

一方環境基本法では、その第15条で「環境基本計画」を定めるよう規定しており、このなかで「環境の保全に関する多様な施策を総合的・計画的に推進する中心的な手段」を具体化している。

環境基本計画は、1994年の第一次に始まって6年おきに改訂されており、最新のものは2018年4月に発表された第5次環境基本計画である。第5次環境基本計画のなかでは、課題認識として「今後の少子高齢化や人口の地域的な偏在が加速化、気候変動によるCO_2削減課題、WHO基準など、騒音対策を取り巻く環境の変化が発生してきている」としている。

2. 海外主要国の騒音法体系

ここからは諸外国の法体系について触れることとする。今回欧州、米国、オセアニア地域を調べた結果、ほぼ以下3つの法体系をとっていることがわかった。

①日本と同様の基本的環境対策法と下位法の構成に基づく法体系をとる国
例）日本、オランダ、フランスなど

②EU加盟27か国
自国の基本法のほかに、「EU directive 2002/49/EC」（環境騒音の評価と管理に関する指令：以下「欧州環境騒音指令」）というEUが定めた法律に従って、加盟国の国内法整備とともに5年ごとのノイズマップとアクションプラン（騒音管理行動計画）の作成などとEUへの定期的な報告が義務付けられている（図2）。

③基本的環境法のもと、制定法ではない「基本ポリシー」などに基づき環境対策を行っている国
例）英国、オーストラリアなど
＊英国はこれまで欧州環境騒音指令に基づくノイズマップとアクションプランを作成していたが、2020年にEUを離脱し、現在ではEU法は適用されていない。ただ、英国内の対象空港はBREXIT以前にアクションプランを作成しており、国内でのプランとしては存続している形である。また、ヒースロー空港はそのアクションプランの中で、BREXIT以降も定期的なアクションプランによる騒音対策の方針は継続すると明言している。

2.1 EUにおける法体系

(1) EUにおけるガバナンス

EUにおける法体系にふれる前に、簡単にEUのガ

	オランダ	英国（England）	フランス	ドイツ	スペイン
基本法令	環境管理法（Wet milieubeheer-Wm）	・騒音防止法（Noise Abatement Act）1960 ・環境保護法（Environmental Protection Act）1990（「航空機騒音は法定の「迷惑行為」ではない」としている）	環境法（Code de l'environnement）	連邦排出規制法（BImSchG）	環境騒音に関する法律（Ley 37/2003、de 17 de noviembre、delRuido）
EU指令対応	・騒音防止法（Wet Geluidhinder） ・航空法（Wet luchtvaart　8条） ・環境管理法（Wet milieubeheer,11条） ・環境騒音管理規則（Regeling geluid milieubeheer：作成基準など）	「Environmental Noise Regulations 2006」（二次立法、日本でいう省令か）	・Decree n° 2006-361 of 24 March 2006 ・環境法L572-1～11,R572-1～11	・「環境騒音の評価と低減に関するEUガイドラインの実施に関する法律」（2005年6月３０日） ・連邦排出規制法（Para47a～47f）	環境騒音の評価と管理に関する王立令（Ley 37/2003 on Noise, RD 1513/2005）
航空機騒音関係	・航空法 ・スキポール空港交通令（LVB 2002制定） ・民間空港法令（スキポール以外）	・民間航空法（Civil Aviation Act）1982,2006 ・「Aviation Policy Framework」	民間航空法(Code de l'aviation civile)	・航空（LuftVerkehrsGesetz:LuftVG1922年制定、2007年改正） ・航空交通規則（LuftVO） ・航空ライセンス規則（LuftVZO）	騒音に関するゾーニング、指標等に関する王立令（Ley 37/2003, RD 1367/2007）
航空以外	・騒音防止法（産業）、 ・環境管理法（(国道、鉄道）	Noise Insulation Regulations	輸送法（Code des transports）	交通騒音保護条例（Verkehrslärmschutzverordnung、16 BImSchV）	Ley 37/2003, RD 1367/2007
マスタープラン、基準等の見直し	SNM（Strategic Noise Map）、NAP（Noise Action Plan）の見直しは5年ごと	・SNM（Strategic Noise Map）、NAP（Noise Action Plan）の見直しは5年ごと ・CAAは毎年コンターを公開	SNM（Strategic Noise Map）、NAP（Noise Action Plan）の見直しは5年ごと	・SNM（Strategic Noise Map）、NAP（Noise Action Plan）の見直しは5年ごと ・騒音対策基準は10年ごとに見直し	音響領域の見直しは最大10年（1367/2007第６条）
住宅防音	・スキポール空港交通令（LVB） ・スキポール防音規則（BGS09）	空港管理者	「騒音との戦いに関する1992年12月31日の法律番号92-1444」（いわゆるPGS（Plan de Gêne Sonore）））	・航空機騒音防止法（FluLärmG:1971年制定、2007年改正） ・州政府規定	Ley 37/2003, RD 1367/2007
土地政策	スキポール空港レイアウト令（LIB）	「National Policy Planning Framework」（NPPF）	都市計画法(Code de l'urbanisme)（いわゆるPEB）	航空機騒音防止法（FluLärmG） 州政府規定	Ley 37/2003, RD 1367/2007
指標	スキポールはLden Lnight、軍用飛行場はKe	Leq	Lden	Leq,day　Leq,night	Ld,Le,Ln
関係省庁	インフラ・水管理省	運輸省（DfT）：航空 環境食糧農村地域省（DEFRA）：道路、鉄道等	エコロジー移行省（環境政策,交通など）	連邦交通・デジタル・インフラ省（BMVI） 連邦環境・自然保護・原子力安全省（BMU）	運輸・移動・都市アジェンダ省（MITMA）

図2　EU加盟主要国の法体系

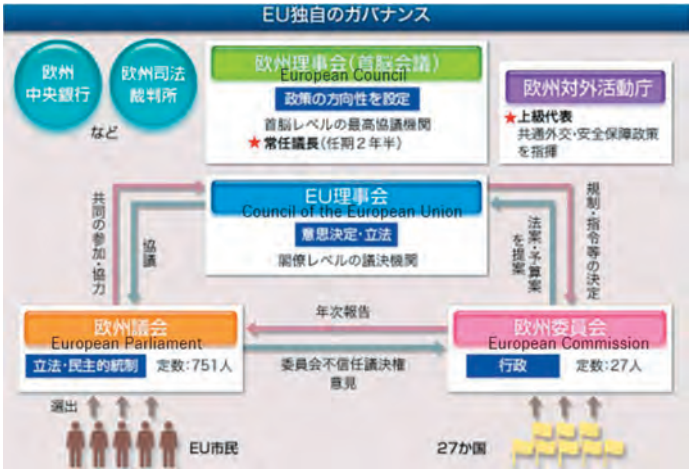


図3　EUのガバナンス　　外務省資料から

バナンス等について述べておきたい。EUは1993年のマーストリヒト条約により設立されたヨーロッパ地域統合体である。現在の加盟国は27か国で、「欧州理事会」「EU理事会」「欧州議会」「欧州委員会」、そして「欧州対外活動庁」による国家の枠を超えた独自の仕組みを築いている（図3）。

欧州理事会（European Council）は、加盟国の首脳で構成され、EUの方向性を決める"サミット"のような会合である。EU理事会（Council of the European Union）は各国の閣僚レベルで構成され、EU市民を代表する欧州議会とともに、法案の議決などを行っている。その法案を提案するのが、執行機関にあたる欧州委員会（European Commission）である。

27か国のEU加盟時期はかなり異なるので、欧州環境騒音指令等に関する国内手続きの時期も異なるが、現在27か国すべて国内法の手続きは終了している。

(2) EUの法体系

EU法の構成はメインのEU基本条約、2次法である規則・指令など、そして判例の3つからなる。（図4）。

現行の基本条約は、2009年12月に発効したリスボン条約により改正されたEU条約及びEU機能条約である。また、両条約の附属議定書及び附属文書も含まれる。これらの条約は加盟国政府による交渉で内容が合意され、改正も含め各国議会によって批准されなければならない。EU Directiveの「Directive（指令）」は、2次法の中の一つであり、ほかにも「Regulation（規則）」、「Decision（決定）」、「Recommendation（勧告）」、「Opinion（意見）」があるが、違いは法的拘束力の有無と範囲である。

「Directive」は、加盟国政府に対する直接的な拘束力を有するものであり、企業や個人には直接適用されない。また、「Directive」には政策目標と実施期限が定められ、指令が採択されると、各加盟国は期限内に政策目標を達成するための国内立

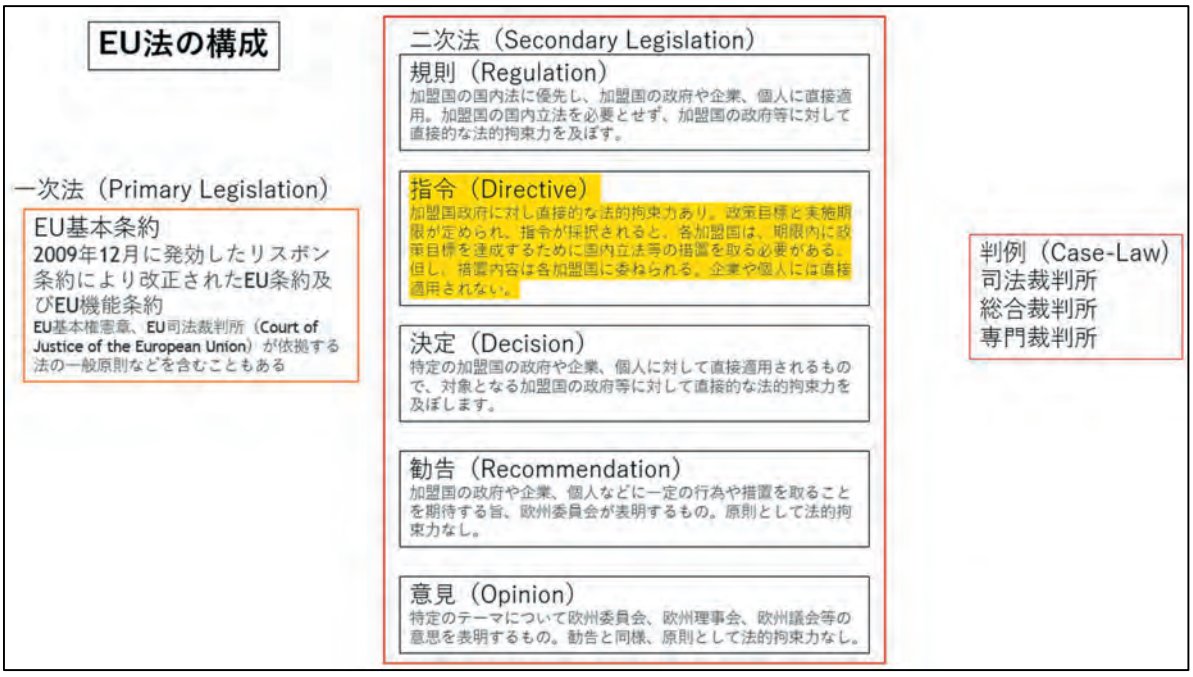


図4　EUにおける法律の構成

法等の措置を取ることが求められる。ただし、どのような措置を取るかは各加盟国に委ねられる。

(3) 欧州環境騒音指令の概要

欧州環境騒音指令は、2002年に施行された指令(図5)であり、その目的は2つある。一つは「環境騒音による有害な影響を優先的に回避、防止、低減するための共通のアプローチを定義すること」、二つ目は「主要な音源、特に道路・鉄道車両やインフラ、航空機、屋外機器、産業機器、移動機器から放射される騒音の低減策の基礎を提供すること」としている。EUの考え方としては、この指令自体が騒音レベルの低減を意図するというよりも、むしろ測定方法やさまざまな定義などに関して共通言語を作り出すということをメインと考えている。

環境騒音指令のポイントは3つである。

①騒音指標と評価方法の統一(L_{den}、L_{night}の使用)

これはEUへの報告としての指標であり、国内で影響範囲を示す目的では従来の指標は使ってよいことになっている。

②5年ごとのノイズマップとアクションプランの作成

加盟国は、まず2007年までに25万人以上の人口密集都市とその領域内の主要道路(年間600万台以上)、主要鉄道(年間6万本以上)、主要空港(年間5万回以上)について騒音曝露状況(※)をマップ化し当該国の主務官庁・機関の承認を得ること、そして2005年までに、またその後5年ごとに欧州委員会にそれらの内容の報告が義務付けられている。さらに、2012年までに、そしてその後5年ごとに人口10万人以上の密集都市と、その領域内の主要道路(年間300万台以上)、主要鉄道(年間3万本以上)について騒音曝露状況(※)をマップ化し当該国の主務官庁・機関の承認を得ること、そして2008年までに、またその後5年ごとに欧州委員会にそれらの内容の報告が義務付けられている。

アクションプランについては、前掲の内容を踏まえた騒音影響の管理計画を加盟国として作成し、期限までに欧州委員会に報告する必要がある。

※L_{den}55dB以上75dBまでの5dB刻み(L_{night}は50～70dB)のエリアに属する推定騒音曝露人口のほか、測定、計算方法、土地利用情報なども義務付け。

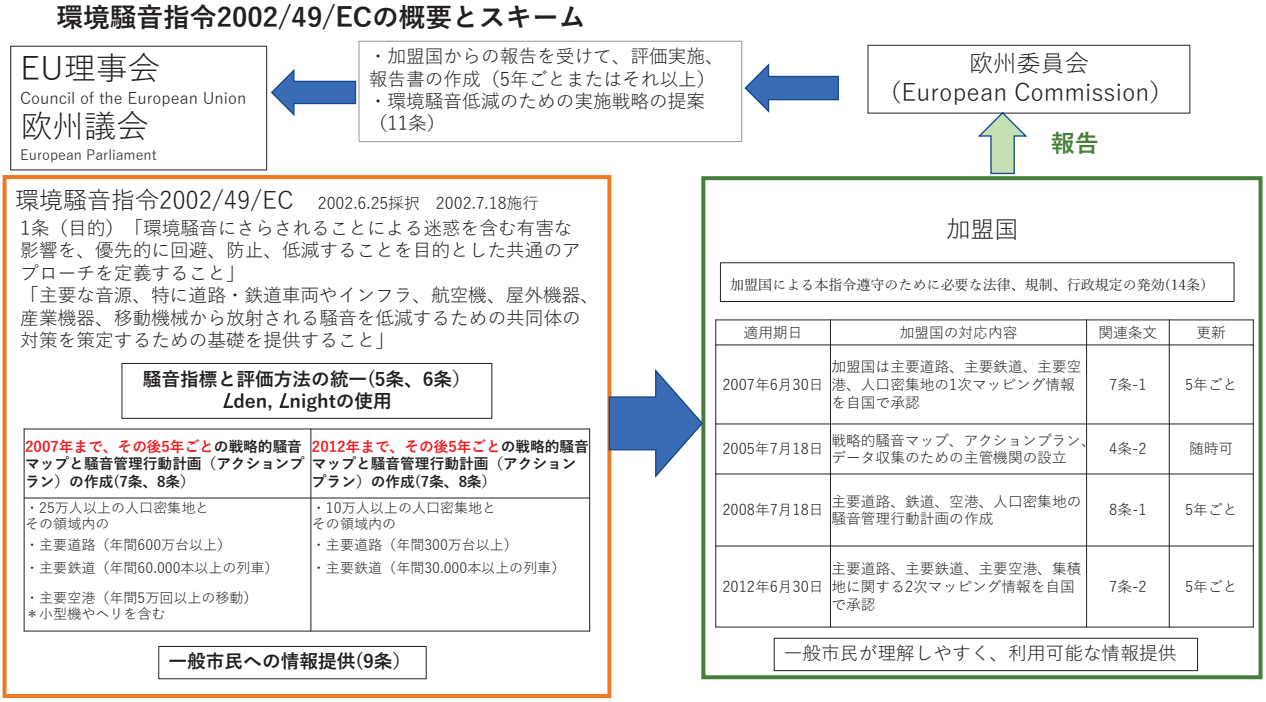


図5　欧州環境騒音指令の概要とスキーム

③一般市民への情報提供

加盟国が作成し報告する内容は、広く国民が利用可能となるよう、明確で、理解しやすく、アクセスしやすいものとし、最も重要な点を示す要約を提供しなければならないとされている。

(4) 欧州環境騒音指令以外の主な航空関係の指令、規則

航空関係に関する法令は欧州環境騒音指令だけではない。航空機の耐空性及び環境認証などの技術要件、管理手順に関するもの、空港での運用制限にかかる規則・手続きに関するものなどは、「Regulation」として制定されている（図6）。例えば、現在EU内の安全基準等を管理している「欧州航空安全機関（EASA）」は「Regulation 216/2008」に基づいている。「Regulation」は加盟国の国内法に優先し、加盟国の政府や企業、個人に直接適用されるものであり、加盟国の国内立法を必要としない。

このほか鉄道騒音、道路騒音に関しても個別の「Directive」などがあり、面白いところでは、屋外での使用機器による騒音放出に関する指令もある。

また、EUでは「環境行動プログラム」（Environment Action Programme: EAP）というものも作っており、日本の環境基本計画みたいなものだが、これもEU法の「Decision」として3年から10年おきぐらいに改訂されている。

(5) 具体的なEUへの報告内容

ここで実際に加盟国からEUに報告された内容を見てみることとする。図7は、2019年に英国から欧州委員会に提出された2017年の内容である。

英国の2017年報告の地図は、道路等に関しては交通流や車種データなどの情報に基づいて、コンピュータモデリング技術を用いて作成され、戦略的マップの作成において実際の騒音測定は行われなかったとのことである。したがって地図データは、当局が優先的に調査すべき地域を特定するのに役立つが、必ずしも任意の地域の現状を正確に表しているわけではないと注釈されている。

一方、EUは2016年8月に欧州環境騒音指令の達成状況を分析・公表した。これによれば、この指令の目的である加盟国共通の騒音問題に対するアプローチを設定することという点については、環境騒音管理や騒音低減のための戦略的アプローチがほとんどの国で促進されているとしている。一方で課題もあり、特にノイズマップ、アクションプランの提出に関して期限が守られておらず、指令の完全かつ効果的な実施を妨げているとしている。その要因は、EU加盟国の調査にあたっての人的・財政基盤の不足、効果的な調整の確保を困難にする過度に複雑な管理体制、特に中央政府から地方レベルへの財政支援に関する政治的意志の欠如があるとしている。そして、EU

騒音源	関連規定	基準内容
航空機騒音	Regulation No 216/2008	総則的なもの、EASA（欧州航空安全機関）の設置など
	Regulation No 748/2012	航空機の耐空性及び環境認証などの技術要件、管理手順
	Regulation No 598/2014	空港での運用制限にかかる規則・手続き
	Directive 2006/93/EC	チャプター３適合機による運航に関する規定

図６　欧州環境騒音指令以外の主な航空関係指令等

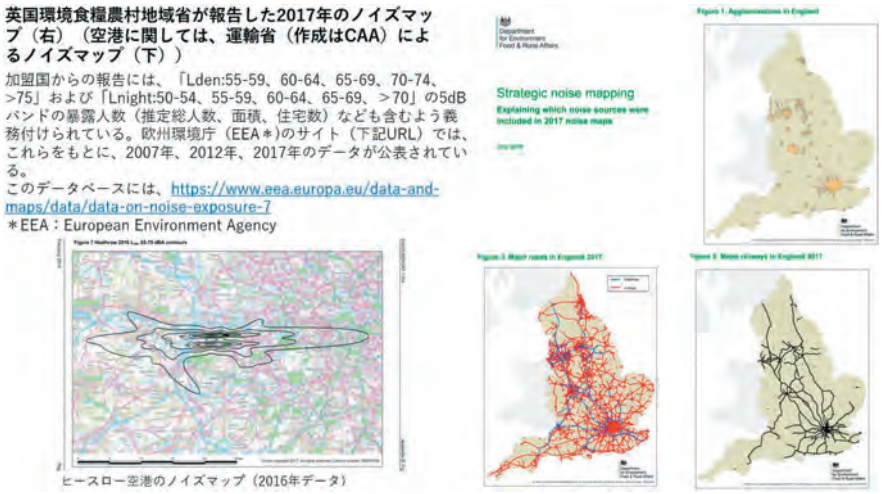


図７　EUへの報告内容

本部としてもこうしたタイムリーな報告を確保するための執行体制が十分に確立されていないなどを挙げており、必ずしもスキーム自体が十分機能しているとは言えないようだ。

(6) EU加盟国の航空機騒音対策の法的枠組

一部だが、EU加盟国がどのように欧州環境騒音指令などを国内法に取り込んでいるかについて、ドイツ、オランダの法体系を例に見てみる。

①ドイツ

ドイツでは、環境対策上の法令規則については、基本的に国際レベルおよびヨーロッパレベルの要件が考慮されており、連邦交通・デジタル・インフラ省(BMVI)と連邦環境・自然保護・原子力安全省(BMU)が主に航空機騒音低減のための監督官庁として責任を負っている。(図8)

BMVIは、民間航空に直接影響を与える法律を所管しており、航空法、航空交通規則(LuftVO)、および航空ライセンス規則(LuftVZO)が含まれる。BMUは、連邦排出規制法と航空機騒音防止法および関連する施行規則を担当している。

欧州環境騒音指令の要件は、連邦排出規制法に法令化されていて、航空機の騒音を含むあらゆる種類の放射物を対象とする。航空関係では、年間5万回以上の航空機の運航がある主要空港周辺のノイズマップを作成する必要があると規定されており、これらのノイズマップに基づいて、アクションプランが作成され、実施されるスキームとなっている。

航空機騒音防止法は、空港周辺の騒音保護区域の定義など、航空交通における騒音保護に関するさらなる規制を定義している。この法律は1971年に発効し、その後2007年に大幅に改正され、10年ごとの騒音対策基準の見直しを規定している。

②オランダ

オランダでは、2004年6月に1979年に制定された騒音防止法(Wet Geluidhinder)を改正し、欧州環境騒音指令の内容を国内法に移項した。騒音防止法の対象となる騒音には、設備と防音施設、工業用地に関連する産業騒音、道路交通、鉄道騒音である。2007年1月には、騒音防止法がさらに改正され、道路交通と鉄道の騒音に関する主要な測定基準としてL_{den}が導入された。2007年に行われた騒音防止法のさらなる改正は、都市部におけるノイズマッピングとアクションプランの策定責任をオランダの自治体や州に分散させるというものであり、合計で約60の自治体がノイズマップとアクションプラン作成に関与している。

オランダの民間空港政策は、メインポート(スキポール)、国の重要な空港(レリスタッド、イールデ、マーストリヒト、ロッテルダム)、地域の重要な空港(前記以外)と3分類して政策を

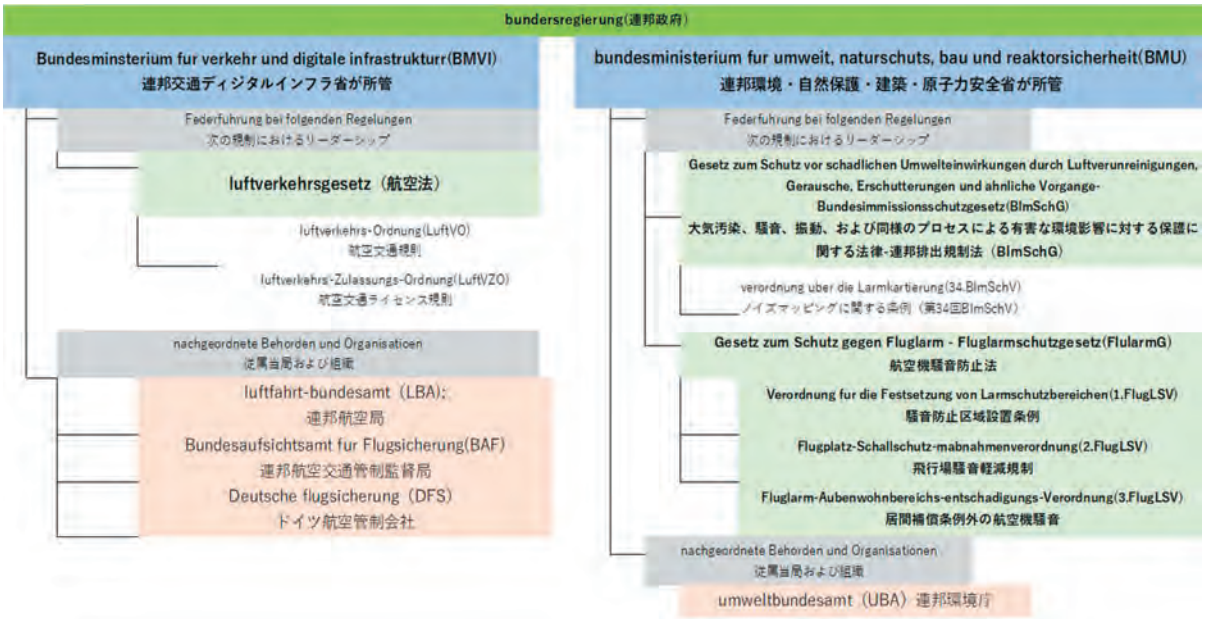


図8　ドイツの航空機騒音関係法体系

行っており、スキポールは空港政策の法令も特別な規定を有する。

土地利用政策についてはオランダ航空法の下位規則である「スキポール空港周辺土地利用規則（Luchthavenindelingbesluit）:LIB」、交通政策（経路や交通量など）に関しては同じく「スキポール空港交通管理規則（LVB）」が設定されている。そして、これらに基づいて州と下位の自治体（スキポールは北ホラント州とハールレンメルメール）が空港の実際の管理監督権限を持つという形である。そして、ILT（Human Environment and Transport Inspectorate）と呼ばれるインフラ及び水管理省の監督官による監査が毎年行われる。

2.2 EU加盟国以外の法体系

ここからは、EU加盟国以外の国の法体系として英国と米国の例を見てみることとする。

(1)英国における法体系

英国は、従前は総合的な国土政策としての法的指針としてPlanning Policy StatementやPlanning Policy Guidance があり、この一つであるPlanning Policy Guidance 24（PPG 24：1994年10月制定）により道路、鉄道、航空機などの交通騒音に対する住宅建設の基準となる騒音レベルを示していた。ただ、PPGは1000ページ以上もあるかなり膨大なものに加え、杓子定規で制限の多いものであったことや地元の意見が十分反映されていないという課題があったという背景があった（2016年EU報告）。

航空機騒音対策については、「Aviation Policy Framework：APF」（2013年3月 制 定 ）および「CAP1616： Airspace change guidance:空域の変更ガイダンス（CAA制定、最新は2021版）」により、具体的な空港周辺の環境対策について方針を示している。

一方、EU全体としての環境騒音指令「EU Directive 2002/49/EC」が2002年に発表され、これに基づき英国においても国内法として、「Environmental Noise Regulations 2006」が定められ、ノイズマップ作製等の方針が示されている。ただ、英国においては統一された騒音基準は定められておらず、一定の指針が「The Future of Air Transport, DfT White Paper of 2003」およびNPPFの計画実践ガイダンスとしての「Aviation Policy Framework」で示されているのみで、実質的な閾値の設定は69 dBを移転補償の閾値、63 dBを学校、病院等の防音工事の閾値としている。また、APFのなかでは、57 dB $L_{\mathrm{Aeq16hour}}$を「地域社会に悪影響を及ぼす平均レベル」として位置づけている。

民間航空局（CAA）の環境調査・コンサルティング部（ERCD）は、運輸省に代わって指定空港

主要国の騒音法体系(EU加盟国以外)

	スイス	オーストラリア	米国	日本
基本法令	環境保護法(1983) (Umweltschutzgesetz, USG)	Airport Act 1996（Part5,6） その他各州がさだめている	The National Environmental Policy Act of 1969 (NEPA)	環境基本法（1993、旧法：公害対策基本法1967）
航空機騒音関係	連邦航空法（Bundesgesetz über die Luftfahrt、LFG） 連邦騒音保護条例（Lärmschutz-Verordnung LSV）（法）	Airport Act 1996（Part5,6） Airports (Environment Protection) Regulations 1997（地上騒音のみ）	Aviation Safety and Noise Abatement Act of 1979 (ASNA) and 14 CFR Part 150	騒防法（1967） 騒特法（1978）
航空以外	環境保護法(1983) (Umweltschutzgesetz, USG)	州法	Noise Control Act(NCA 騒音規制法)	騒音規制法（1968）ほか
マスタープラン、基準等の見直し	連邦騒音保護条例45条にもとづく5年ごとの暴露マップ作製と公開	Airport Act 1996（Part5,6）で義務付け マスタープランの見直しは5年または8年	騒音暴露マップの作製：Vision 100-Century of Aviation Reauthorization Act（Public Law 108-176）によって義務付け 各空港が情報の維持更新に責任を負う	環境基本計画は6年ごとに見直しが行われている
住宅防音	窓の防音要件は連邦騒音保護条例	・Airport Act 1996で定められた各空港の防音工事プログラム ・州法 ・Australian Standard 2021-2015: Acoustics – Aircraft noise intrusion – Building siting and construction	14 CFR Part 150 空港毎の騒音対策計画NCP（Noise Compatible Plan）	航空機騒音に係る環境基準（環境庁告示）（1978）
土地政策	under investigation	Airport Act 1996で定められた各空港のマスタープラン 州法	14 CFR Part 150 空港毎の騒音対策計画NCP（Noise Compatible Plan）	騒特法（1978）
指標	Lrt（dBA）	ANEF	DNL	Lden Lnight
関係省庁	環境・運輸・エネルギー・通信省（DETEC）（連邦環境局）	インフラストラクチャー・運輸・地域開発・都市省（DITRDC）	運輸省（DOT） FAA	環境省、国土交通省

図９　EU加盟国以外の主要国の法体系

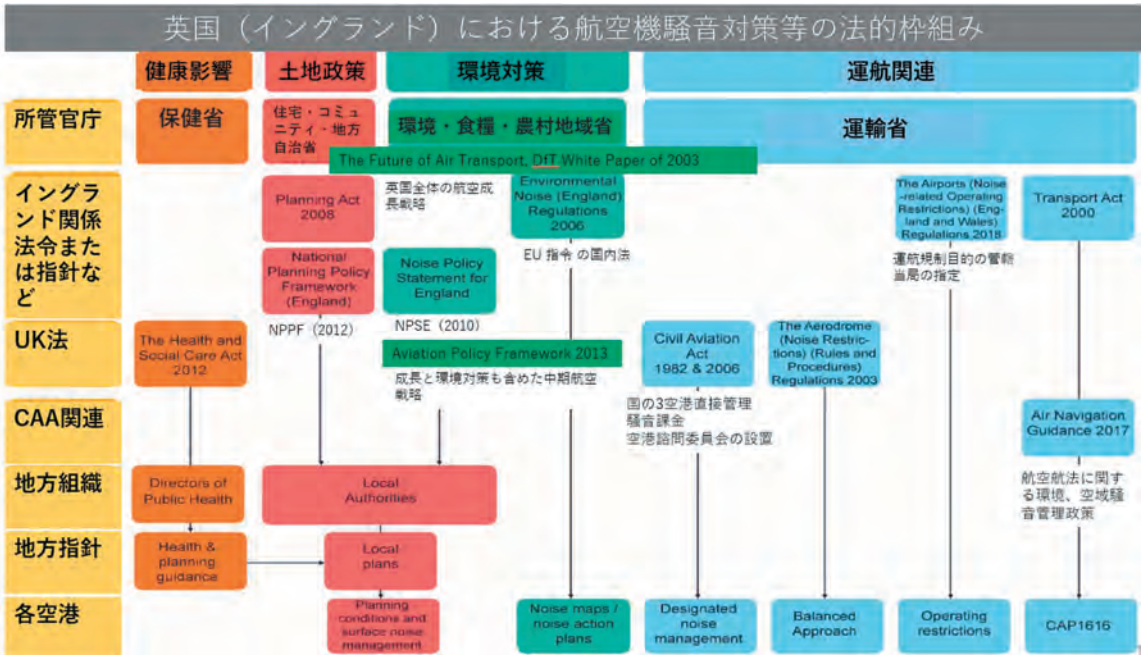


図10　英国（イングランド）における航空関連環境法体系

（ヒースロー、ガトウィック、スタンステッド）周辺の騒音暴露状況を推定している。

英国は2020年にEUを離脱したが、それまでは英国環境食糧農村地域省（Defra）がノイズマップと、ほとんどの騒音源に対するアクションプランの管理行政を担当していた。騒音対策を含めた航空関係の法体系は、そのほとんどが国内法制化されているためか従前とそれほど変わっていない。実際の空港におけるアクションプランの作成責任は関連する空港運営会社が負っている。

(2) 米国における法体系

米国における制定法には、「Act（法律）」、「Joint Resolution（両院合同決議）」、「Public Low（公法律）」、「Private Low（私法律）」があり、このほかに、「Code of Federal Regulations（連邦規則集）」がある。米国では、航空機騒音対策に関しては、CFR14-Part150という規則集にもとづいて対策をとることになっているが、このCFRとは、アメリカ合衆国の連邦政府公報で公示される、一般的かつ永続的な規則・規定を集成したものである。

航空機騒音に関する法的枠組みとしては、1969年にNational Environmental Policy Act（NEPA国家環境政策法）が制定され、人と環境の間で生産的かつ快適な調和が保たれるように国の政策を推進することを宣言し、環境を守り強化することが連邦政府の責任であることを明示した。また、1970年に環境汚染軽減法（Noise Pollution and Abatement Act）が制定され、環境騒音が国民の健康に及ぼす影響を把握するための基本法となっている。さらに、1972年には、Noise Control Act（NCA:騒音規制法）を制定し、国民の健康と福祉を脅かす騒音から国民を保護する目標を定め騒音基準を確立した。この法律に基づき、米国環境保護庁（EPA）は1974年、「Information on Levels of Environmental Noise Requisite to Protect Public Health and Welfare with an Adequate Margin of Safety（1974）」（EPA-550/9-47-004）を作成し、米国における航空騒音の評価として昼夜平均騒音レベルDNL（Day-Noise Average A-Weight Sound Level: L_{dn}）を推奨している。

前述したように、航空機騒音対策に関しては、CFR14-Part150という法律にもとづいて対策をとることになっているが、ノイズマップの公開についても「Vision 100—Century of Aviation Reauthorization Act」という法律で定めており、CFR14-Part150の規定に基づき作成されるコン

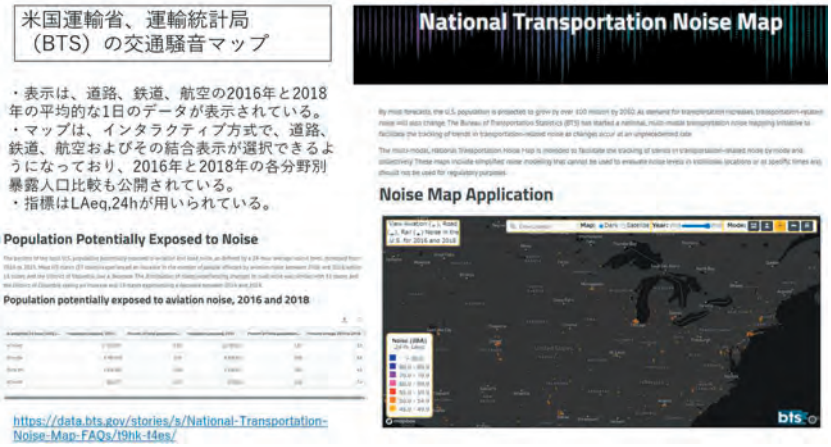


図11　米国におけるノイズマップ公開状況

ターをもとに米国運輸省、運輸統計局が公開している。この公開システムのほかに、FAAのサイトでも各空港のコンターが公開されている。

図11は、道路、鉄道、航空の2016年と2018年の平均的な1日のデータだが、インタラクティブ方式で、道路、鉄道、航空およびその結合表示が選択できるようになっており、2016年と2018年の各分野別暴露人口比較も公開されている。

米国における騒音指標はL_{dn}(DNL)であるがここではノイズマップが年間のデータを提供することを目的とするため、$L_{Aeq,24h}$が用いられている。

3.まとめ

今回の調査内容をまとめると、以下のような点が特徴として挙げられる。

・航空機騒音対策の法体系としては基本法と下位法の構成が多いが、英国、オランダなど主要空港については特別法で対応している国もみられる。また、中には、規制的な法定化をせずに大枠をポリシーとしてまとめ、直接の運営者に対策基準等も含めゆだねている国もみられる。例えば、前述した英国のほか、オーストラリアなどは連邦空港法で運営権がリースされている21空港のうち19空港はマスタープランを作成し、5年から8年ごとに更新が義務付けているほか、防音工事等も各空港のAmelioration Programが設定され、実施されている。

・現在諸外国で用いられている基準、対策等の法定化の時期（改正も含め）が2000年代と比較的最近である。また、EU加盟国に関しては、欧州環境騒音指令の国内法制化が図られ、定期的な騒音対策としての比較と進捗状況が確認できるスキームが確立されている。但し、調査および管理体制が直接国が関与しているものもあれば、地方組織に展開、あるいは空港管理者にゆだねるなど、さまざまである。また、調査関連予算の確保等の課題もあり、各国ともスムーズな調査が行なわれているとまではいいがたい状況もある。

このほか、ドイツの航空機騒音防止法などは、制定は古いが2007年に大幅改定がおこなわれ、10年ごとの騒音対策基準の見直しを規定するなどの動きもみられる。

・EU加盟国以外でも、定期的なノイズマップの作成などについて、法定化されている国がみられる。

4.考察

最後にこれまでの調査結果を踏まえ、一定の考察を試みた。

①海外の例を見るに、航空機騒音に関する法体系については基本法から下位法という統一的な規則・基準設定を用いている国が比較的多く、透明性、公平性、統一性という観点を重視している点がうかがえる。また、環境基準と対策が法体系および行政面でも統一されている国がみられる。一方で、環境対策としての財源の裏付けという点についても法体系と密接なつながりがあるため併せて考察を深める必要がある。

②今後、温暖化対策、人口減少・地域的偏在等が課題となるなかで、騒音対策の達成状況にも変化が訪れる可能性がある。今後はこうした要素

が基準と対策にどのような影響を及ぼすか、さらに内外の状況について調査を深める必要がある。

③騒音対策について法体系として本来統一的に行われるほうが国民目線としてはわかりやすいという側面はある。ただ、空港の抱える条件にも違いがあり、柔軟性の確保という観点も必要である。その点海外にみる空港毎のアクションプランの作成のように、空港運営者の活力を利用し国として定期的に進捗を確認するという手法も興味深い。

④海外では、定期的な騒音暴露状況の把握や情報公開という観点からノイズマップという手法も法定対策の一つとして取り入れられており、今後こうした手法についても調査を深めるべきテーマと感ずる。

参考文献

1) EU Airport Noise Regulations：
https://www.loc.gov/item/2019713400/
2) 航空環境研究センター、航空環境研究特別号「海外空港の環境対策」、2020
3) 武田修、海外空港における航空機騒音苦情の現状と対策に関する考察、航空環境研究2021
4) 米国Congressional Research Service, Federal Airport Noise Regulations and Programs Sep.27,2021
5) EU、Evaluation of Directive 2002/49/EC relating the assessment and management of environmental noise
6) 国立国会図書館、EU法について：
https://rnavi.ndl.go.jp/jp/politics/eu-law.html
7) 「EU directive 2002/49/EC」：
https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2002/49/oj/eng
8) EC、Evaluation of Environmental Noise Directive：
https://ec.europa.eu/environment/noise/evaluation_en.htm
9) UK, Directive 2002/49/EC of the European Parliament and of the Council：
https://www.legislation.gov.uk/eudr/2002/49/contents
10) Environment Action Programmes（EAP）：
https://www.bmuv.de/en/topics/europe-international/europe/environment-action-programmes
11) ドイツ、連邦排出規制法の実施に関する第16条例（交通騒音保護条例-第16回BImSchV）：
https://www.gesetze-im-internet.de/bimschv_16/__2.html
12) ドイツ、Das Fluglarm Portal：
https://www.xn--fluglrm-portal-9hb.de/
13) Heathrow airport action plan 2019-2023：
https://www.heathrow.com/content/dam/heathrow/web/common/documents/company/local-community/noise/making-heathrow-quiter/noise-action-plan/Noise_Action_Plan_2019-2023.pdf
14) 外務省HP、Vol.53 EU(欧州連合)～多様性における統合：
https://www.mofa.go.jp/mofaj/press/pr/wakaru/topics/vol53/index.html
15) Academy of European Law: ERA, Air Quality and Noise Legislation：
http://www.era-comm.eu/Air%20quality%20and%20noise%20legislation/course/module_3/2_Towards_the_adoption.html
Heathrow airport Noise Action Plan 2019-2023,
https://www.heathrow.com/content/dam/heathrow/web/common/documents/company/local-community/noise/making-heathrow-quiter/noise-action-plan/Noise_Action_Plan_2019-2023.pdf
16) スキポール空港LIB概要、
https://www.clo.nl/sites/default/files/infographics/2160_002k_clo_06_nl.png
17) Tjeert ten Wolde、環境騒音に関する欧州の政策と法制、騒音制御Vol30 No2(2006)
18) FAA,騒音対策の歴史：
https://www.faa.gov/regulations_policies/policy_guidance/noise/history
19) 米国運輸省、運輸統計局ノイズマップサイト：
https://data.bts.gov/stories/s/National-Transportation-Noise-Map/ri89-bhxh/
20) 米国、National Archives、法令解説：
https://www.archives.gov/federal-register/cfr#:~:text=What%20is%20the%20CFR%3F,fashion%20in%20a%20single%20publication.&text=The%20CFR%20is%20updated%20by%20amendments%20appearing%20in%20the%20daily%20Federal%20Register.
21) オーストラリア、国立空港保護フレームワークの原則とガイドライン：
https://www.infrastructure.gov.au/infrastructure-transport-vehicles/aviation/aviation-safety/aviation-environmental-issues/national-airports-safeguarding-framework/national-airports-safeguarding-framework-principles-and-guidelines#contents

航空環境研究 No.26（2022）, PP.19 − 29

研究報告

航空機騒音の短期測定に基づく長期間評価値の信頼性 ～騒音暴露に変動がある場合の考え方を含めた総合検討～*

篠原　直明（航空環境研究センター　所長）

「航空機騒音に係る環境基準について」[1)]では、測定は原則として連続7日間と短期測定による評価が示されている。しかし、測定時期としては航空機の飛行状況及び風向等の気象条件を考慮して、測定地点における航空機騒音を代表すると認められる時期を選定する、とのことから評価の原則は年間を通じた平均的な航空機騒音を対象とすると理解されている。また、空港周辺環境対策の根拠法の一つである「公共用飛行場周辺における航空機騒音による障害の防止等に関する法律」（騒防法）では、年間を通じ平均的な航空機騒音を、騒音対策範囲を決定する基準として用いている。

環境省の定める「航空機騒音測定・評価マニュアル」[2)]（以下、「測定マニュアル」という）では、年間を通じた平均的な航空機騒音を評価することを明確に解説し、短期測定の場合、季節を変えて測定を繰り返すことを推奨している。さらに、短期測定の実施回数と実施時期を計画するための参考資料が提示されている。ここには空港・飛行場の種別や運航状況の特性によって実施回数と実施時期を選定することにより、年間平均に相当する測定結果を得ること、さらに年間平均L_{den}推計手法を利用することが示されている。

しかし、このガイダンスに従ったとしても、必ずしも真の年間平均値と一致しているとは限らない。この要因としては測定実施時期や回数・測定期間の設定には計画立案者の裁量の幅が大きいこと、測定計画が前提とする季節や運航方向にかかわらず、実際の測定時には意図した気象状況や運航方向と異なってしまうこともしばしば発生することなどが挙げられる。

実際の測定現場の状況を見れば、実施した短期測定の結果が年間評価値としてどの程度信頼性が置けるものなのかに注意を払うことは少ないと感じている。また測定マニュアルの記載に基づいて実施したのだから、その信頼性は確保されていると理解されてしまうことも多いのではないだろうか。

さらに、測定マニュアルの記述には定性的な説明による部分もあり（例えば、「季節によって運航方向が変化する場合は」との記述があった際に判断基準がない）、定量的な判断に基づく測定計画の立案が望まれている。

筆者らはこれまで、短期測定による航空機騒音評価の信頼性について多くの検討結果を報告[3~17)]してきた。航空機の運用状況や騒音発生状況は空港によってさまざまであり、短期測定の計画をする際に明確な判断基準があることが望ましい。

本稿では、測定マニュアルが示す短期測定計画立案の目安についてもう一度振り返り、その過程における検討のポイントを紹介する。さらに、短期測定を実施した結果として評価値の信頼性をどのように考えればよいのかについて、滑走路運用方向割合の観点から検討した結果を紹介する。さらに、騒音暴露状況に大きな変動がある場合も含め、短期測定結果の信頼性を向上させる方策について、総合的な検討結果を述べる。ここ数年間の「航空環境研究」などでの報告を総合的に取りまとめたものとするため、既出の文章・図表等を再掲する場合もあるがご容赦いただきたい。この原稿が航空機騒音測定を実施する者にとっても参考としていただけることを願う。

* A consideration for the reliability of long-term evaluation of aircraft noise using short-term measurements ～ Comprehensive consideration of measurement planning procedures including for fluctuating noise exposures airports ～

1. 測定マニュアルが示す短期測定の目安

研究の本題に入る前に、測定マニュアルが示す短期測定の測定期間長・回数と実施時期について簡単にレビューする。

マニュアルでは飛行場のタイプを5つに分類している。タイプ1は1日10回を超える定期航空便が運航する空港（民間空港）、タイプ2は自衛隊等の飛行場（防衛施設）、タイプ5は両者の共用飛行場である。運航回数の少ないタイプ3（定期航空便が1日10回以下または定期航空便がない）やタイプ4（ヘリポート）もある。タイプの定義と騒音評価の考え方は筆者の既稿[9]を参考にされたいが、総別すると、タイプ1, 2, 5は航空機騒音の影響が懸念され、環境基準値を超える可能性がある飛行場、タイプ3, 4は運航回数が少なく、騒音影響も相対的に小さく、基準値を超える可能性が低い飛行場、と言えよう。前者は、年間の平均的な騒音を把握するために測定を1回または複数回行い、後者は、最大騒音影響の際にでも基準値を超えないことを確認する測定を行う。仮に、最大影響時の7日間で基準値を超えた場合は、さらに年間平均の騒音を把握（測定の追加、または、年間値推計）したうえで、環境基準値との評価をする。

騒音問題に対処するために短期測定を計画する場合は、タイプ1またはタイプ2、もしくは両者の共用であるタイプ5が中心となるだろう。測定マニュアルでは、タイプ1では原則7日間、タイプ2では原則14日間の測定期間としている。しかし、航空機騒音の発生状況は日々による変動幅が大きく、7日間または14日間の測定を実施しただけで、年間平均にあたる長期間評価値を正しく得ることは難しい。測定マニュアルの策定時には、全国の様々な種別の空港や飛行場・地点における常時監視の実測データを用いて、想定する短期測定の測定期間長に応じて、通年観測の航空機騒音の年間値との差（ばらつき）がどのように変化するか調べ結果を見た[3~4, 6, 12]。図-1は民間空港で、左図は、想定する短期測定期間と年間値との差のばらつき（標準偏差）を、右図は、差の平均を示した。それぞれの空港とともに、全空港を平均した結果を太線で示す。記載した数値は、全空港の平均である。図-2は防衛施設飛行場の同様の図である。空港や飛行場によって、航空機の運航状況や滑走路方向や経路との関係が変化するため、結果は大きく異なるが、概して言えば、右図の差の平均は短期測定期間が短いほどマイナス側の偏りを生ずる。また、左図の差のばらつきは評価期間を長くすれば小さくなる。民間空港（図-1）では環境基準で示す1週間の測定期間だけでは、差のばらつきは2dB、差の平均は-0.6dBと小さくない乖離が残る。防衛施設（図-2）も同様で、マニュアルで標準とする14日間（2週間）の測定結果は、差の平均で-2.2dBとやはりマイナス側の偏りを生じ、差のばらつきでも4dBを超える。年2回の測定を行えば、差の平均におけるマイナス側の偏りはほぼ解消され（民間 -0.2dB, 防衛 -0.7dB）、差のばらつきもそれぞれ1.4dB, 2.3dBと小さくなる。年4回の測定を行うと、さらに年間値との差は小さく、差のばらつき方も小さく、評価値の信頼性が向上する。

図からも分かるように、民間空港・防衛施設ともに、空港によって様子が異なることも理解できるだろう。したがって、対象空港の特性を理解したうえで実施時期と期間長・繰り返し回数を決めなければならない。このような全国の騒音実測データをもとにして測定マニュアルが示す、短期測定の実施目安を表-1に示す。一般に滑走路の運用方向は風向きに依存するが、運航状況の変化が少ない空港や、空港に近くて騒音が大きい地域ならば1週間の短期測定を年1回の実施でも評価値の信頼性が確保できる。季節的な変化が大きい空港なら、年に1回の短期測定では、結果に年平均値に対しマイナス側の偏りが生じていることがある。年に2回の測定を繰り返せばその課題は解消され、年平均値と差のばらつきが小さくなるなど信頼性は向上する。特に充分な評価値の信頼性を望む場合には、季節ごとの年4回の短期測定が望ましい。季節的な変化に加え飛行経路が多岐にわたり、空港から距離が遠い場所では、2回または4回の短期測定を繰返しても信頼性を確保する

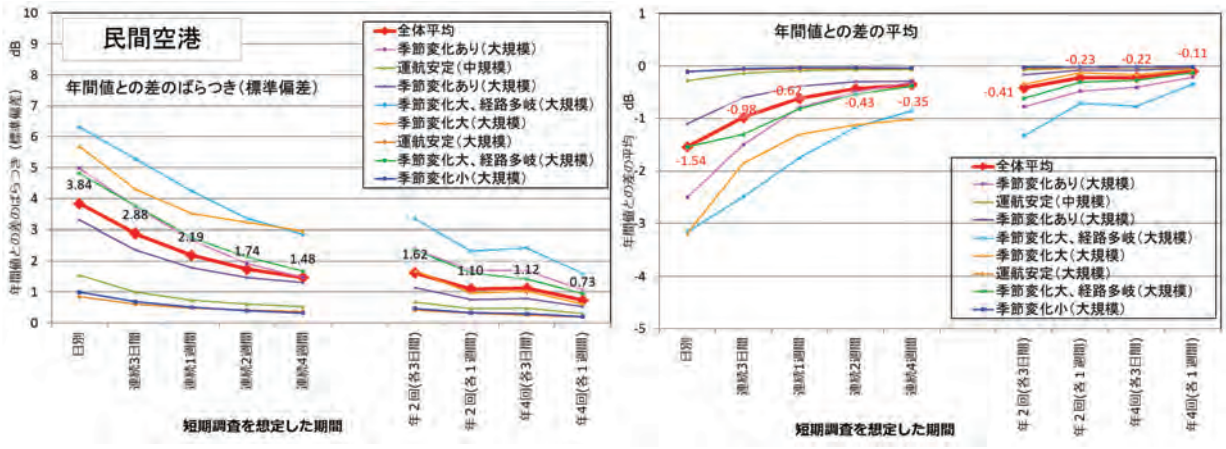


図-1 民間空港における短期測定期間と年間値との差（左：差のばらつき、右：差の平均）
8つの民間空港（対象の常時監視局数 186）の分析結果

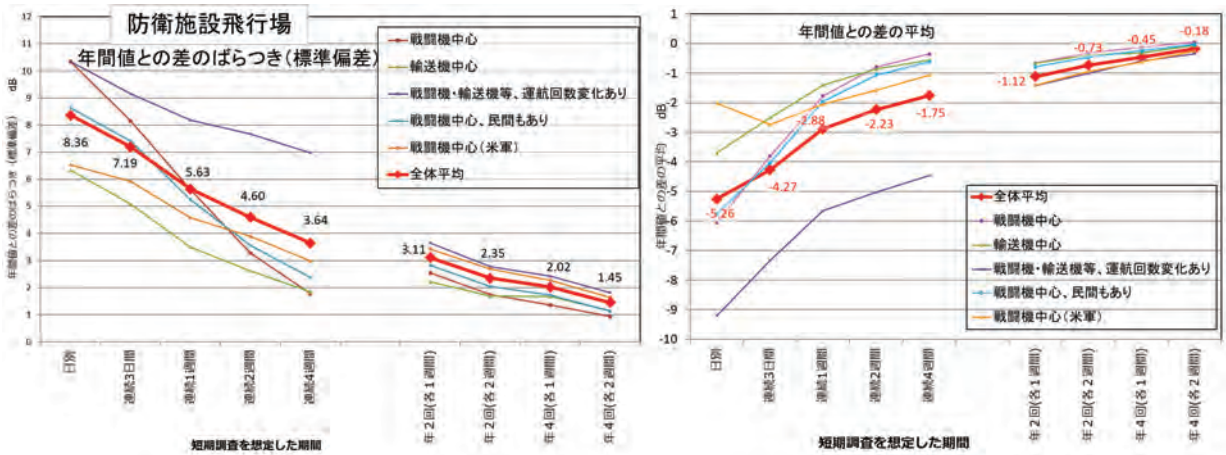


図-2 防衛施設における短期測定期間と年間値との差（左：差のばらつき、右：差の平均）
5つの飛行場（対象の常時監視局85）の分析結果

には注意を要する。特に、対象航空機騒音が小さい場所で測定する際には暗騒音などの測定環境に十分な配慮を施すことが重要である。

なお、複数の季節で測定を行う場合、改訂前の旧版マニュアルでは夏季と冬季を勧めていたが、全国の様々な測定データを再検討した結果、春季と秋季などの組合せでも測定結果の信頼性は変わらないことも分かった。

表-1 空港の運用状況と短期測定の実施目安

空港の運用と測定地点				短期測定の期間と回数，評価値の信頼性			
滑走路運用方向	航空機の運航回数	飛行経路	測定点の位置関係	民間 3日間	1週間	1週間を2回	1週間を4回
				防衛 1週間	2週間	2週間を2回	2週間を4回
年間を通じて変化は少ない	曜日や季節による変化は少ない	多くない	空港に近い騒音が大きい	△	○	◎	◎
↓	↓	↓	↓	◆	△	○	◎
季節的な変化が大きい	↓		空港から遠い騒音が小さい	◆	◆	△	○
	曜日や季節による違いが大きい	多岐にわたる		◆	◆	◆	△

信頼性の目安　◎ ＞ ○ ＞ △ ＞ ◆
良←　　→注意

さらに、短期測定による評価値の信頼性を、より向上させる手法として、測定マニュアルには、短期測定結果を利用した年間平均L_{den}推計の方法が2通り示されている。その一つは短期測定点と相関の高い常時監視局を基準局として利用して年間値を推計する方式（基準局方式）であり、他は対象飛行場の年間を通じた運航情報を利用

して、短期測定で得られた離着陸・機種・経路別の平均騒音値から年間値を推計する方式（運航実績方式）である。年間推計の効果として、年間値との差のばらつきを半減することが確認され[8, 15]、短期測定による評価値の信頼性を向上させることができる。

以上のような測定マニュアルの説明は、空港によってケースバイケースで計画立案者が判断することを求めており、例えば「運航状況の変化が少ない」「季節的な変化が大きい」はどの程度の基準をもって判断すればよいのか、「年間L_{den}推計を実施しなければならない」判断基準をどこに求めるのかなど、対象空港に熟知し、航空機騒音評価に長けているものでなければ難しい側面を含むことも否めないだろう。

2. 滑走路運用方向割合から見た短期測定結果の信頼性に関する分析

測定マニュアルに基づき短期測定を実施したとき、時期と回数の選定によって真の年間値との差を小さくすることができるものの、必ずしも年間平均と一致することを保証するものではない。測定計画が意図した季節に期待される滑走路運用方向に対し、実施した短期測定期間では（運悪く？）別の滑走路運用方向の結果が多くなることもしばしばである。この結果として、測定された離陸騒音と着陸騒音の割合が、年間平均割合と異なることによって、年間値と差が生ずるのである。そこで、短期測定結果の年間値との乖離要因について、滑走路運用方向割合の関係を着目し、筆者の既報[10, 17]で報告した。

季節・風向きによって滑走路の運用方向が変化する空港（空港Aという）の運航実績と航空機騒

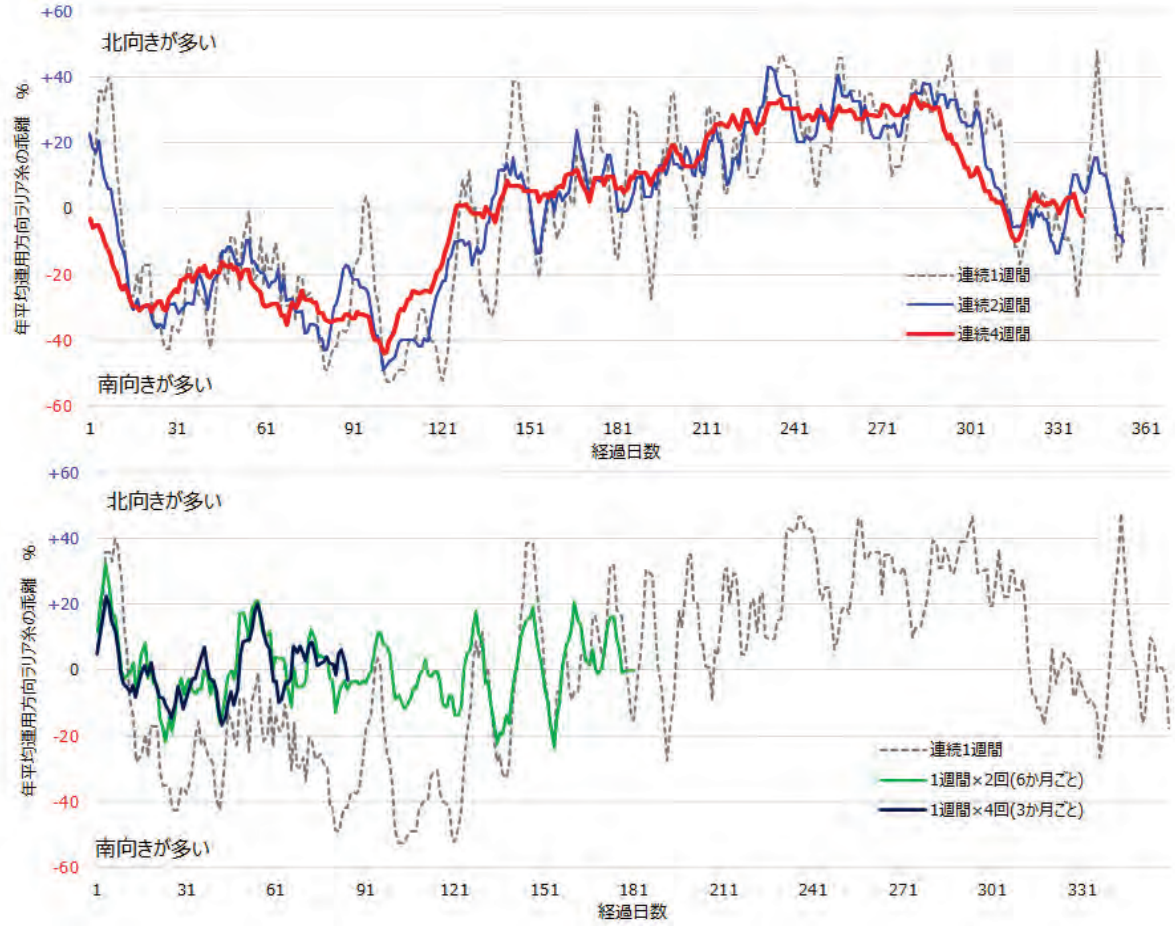


図2 季節で運用方向が変化する空港Aの短期測定期間の年平均運用方向割合との乖離状況
上図）短期測定期間長を変えたとき、下図）短期測定を複数回実施した時

音の常時監視局測定結果を分析した。空港Aは南北方向に滑走路が配置され、風向きによって運用方向が変化する。年間の運用方向割合は南北別におおよそ50:50である。飛行経路は直進上昇・直進降下が基本であり、空港周辺に配置されている航空機騒音常時監視局では、いずれの日でも離陸または着陸による騒音が観測される。ただし、飛行経路への側方距離関係によって、離陸と着陸の騒音差が生ずる。すなわち、飛行経路下では離陸と着陸の騒音差は少ないが、経路の側方に離れるに従い、離陸騒音＞着陸騒音の差が大きくなる。

図2は、空港Aの短期測定期間を想定した滑走路運用方向割合を年平均方向割合との乖離の推移として調べた結果を示す。上図で1週間の測定期間長の場合、季節的な大きな変化のほかにも、細かな変動がみられ、年間を通じ±50％もの大きな幅がある。測定期間長を2週間または4週間と長くしても季節変化の影響は消えず、年間平均に対し±40％と変動は大きい。測定を複数繰り返した場合の図2下図では、季節性の変化はなくなり、複数回の測定の重要性が理解できる。それでも±20％程度のばらつき幅が生ずる。これらのことからも、短期測定を繰り返しても、年間平均の滑走路運用方向割合と一致する測定環境を得ることは難しいことがわかる。

次に空港Aの常時監視局測定結果と年間運航実績を用い、滑走路運用方向割合の年間値差と短期測定期間L_{den}の年間値差の関係を解析した。

図3は例として経路下の地点（左図）、経路側方の地点（右図）を、1週間の測定期間を想定し、その期間の滑走路運用方向割合と年平均運用方向割合の差を横軸に、短期測定期間L_{den}と年間L_{den}の差を縦軸にした散布図である。回帰式も併せて示した。特に右図の経路側方の監視局②の場合、短期測定L_{den}の年間値との差は、短期測定運用方向割合と年間運用方向割合との差に関係し、相関係数0.89とその関連性が高い。この地点で騒音が大きい離陸機が運航する北向きの運用が年平均割合より大きくなれば、L_{den}はそれに比例して年間L_{den}よりも大きくなることを表す。左図の経路下地点①でも、相関は0.61であり、傾きは側方地点②よりも小さいものの、滑走路運用方向割合との関連は無視できない。他の地点も調べたが傾向は同様だった。このように滑走路運用方向割合の違いが、短期測定の年間とのL_{den}乖離に大きく起因することが判明した。

さらに、運用方向割合の変化によるL_{de}への影響を、地点ごとの回帰式からその傾きを用いて推定した。図4は滑走路運用方向割合が年間平均運用方向割合とX％乖離した時のL_{den}変化量の推定である。4つの図は運用方向割合の乖離が5％（左上）、10％（右上）、15％（左下）、20％（右下）の場合で、横軸はL_{den}推定誤差を、縦軸は発生頻度（全監視局に対する該当監視局の割合）を表す。

運用方向割合の乖離が5％の時はL_{den}に与える影響は小さく、ほとんどすべてが0.5dB以内の誤差にとどまり、平均で0.2dB程度にとどまる。想定する期間長や短期測定の回数の違いは見られない。乖離が10％では、平均で0.5dB程度の誤差となるが、1dBを超える地点はほとんどない。乖離

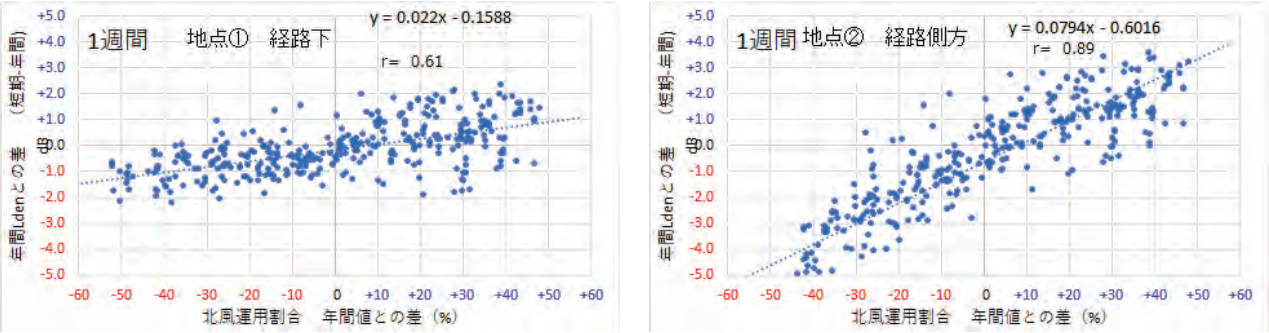


図3 短期測定期間の滑走路運用方向割合とL_{den}の年間値との差の関係
（左：経路下の監視局、右：経路側方の常時監視局）

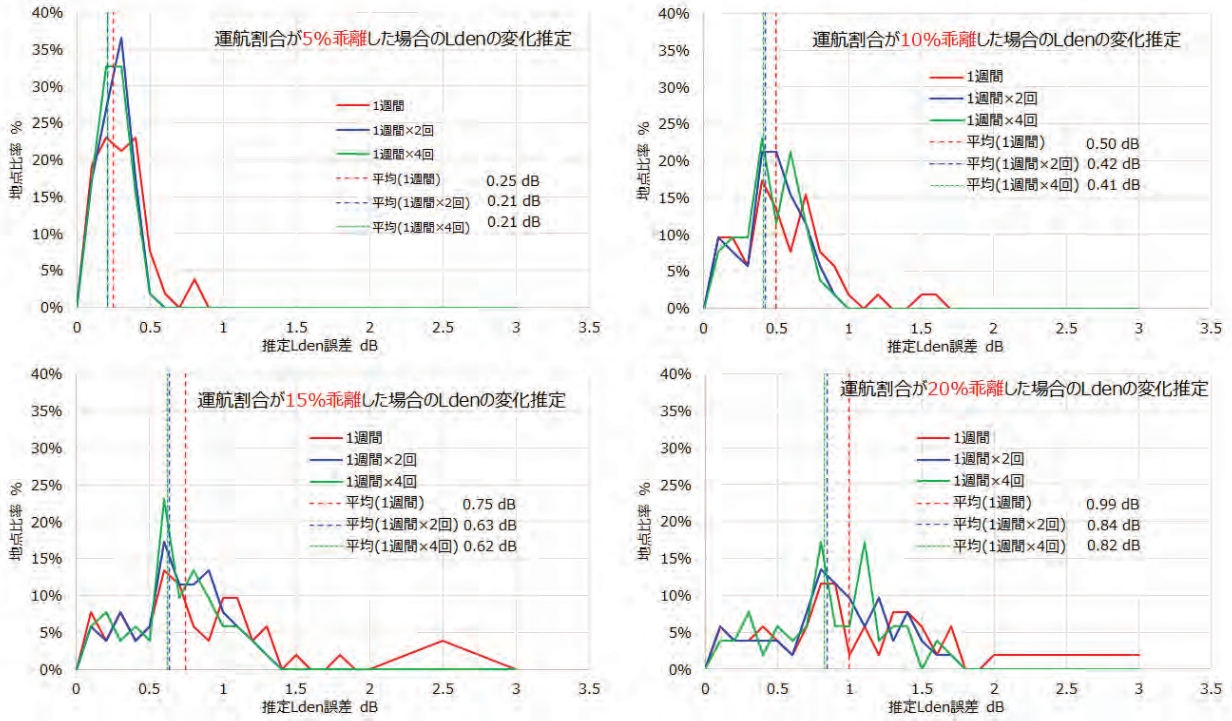


図4 短期測定期間の運用方向割合の年間平均割合との乖離程度によるL_{den}変化量の推定
（左上：運用方向割合が5％乖離した場合、右上：同10％乖離、左下：同15％乖離、右下: 同20％乖離）

が15%では平均誤差は0.7dBと整数単位で整理した評価値に影響を及ぼすことが懸念され、1dB以上の影響をきたす地点も一定程度発生する。20%を超えると平均で1dBの影響を生じるため。評価値の信頼性は低下していると考えられる。

これらの検討の結果から、運用方向割合の乖離が10%を超えると評価値の信頼性に影響を及ぼす可能性に留意し、少なくとも15%を超えると、年間値とは乖離が生じていると考え、短期測定結果をもとに年間平均L_{den}推計を行うことが必要である。

3. 航空機の運航状況が大きく変化する場合の短期測定計画の検討

前節の検討は、季節による風向き等によって滑走路の運用方向が変化する空港で、どちらの運用方向だとしても、一定の騒音負荷がある状況を想定した。本章では、航空機の運航状況が大きく変化し、それに伴う騒音暴露も大きく変化する場合を想定した検討を行った。

図5は別の空港Bのその例で、日別のL_{den}が50dBを超える日があるものの、それ以下の低騒音暴露の日も多く、騒音発生がなかった日もある。この地点の日ごとのL_{den}頻度分布を左図に、1週

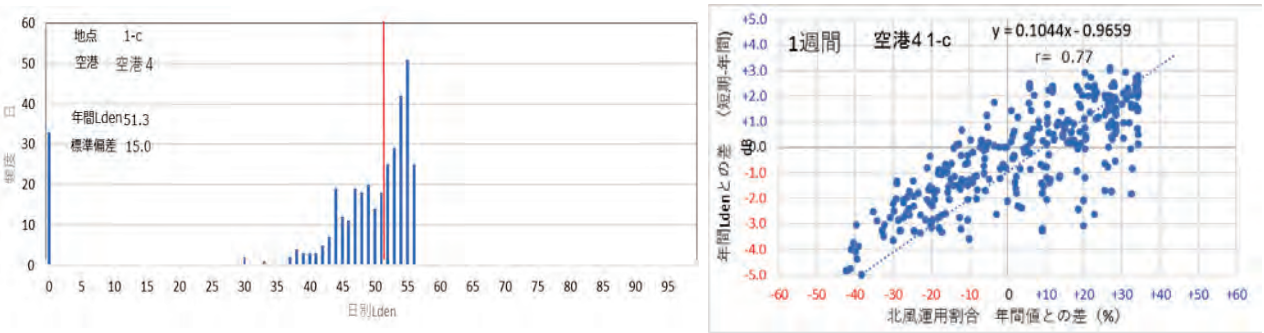


図5 航空機の運航状況が大きく変化する場合の日Lden変動分布（左）と
L_{den}1週間の滑走路運航割合の年間さとの関係（右）

間の短期測定を想定した滑走路運用方向割合の年間との乖離を年間L_{den}との差で右図に表した関係図である。このように、騒音暴露は低くとも多くの日で何かしらの騒音が観測される地点では、やはり滑走路運用方向割合を評価値信頼性の基準と考えることができる。回帰式の傾き（滑走路運用方向割合の影響）が大きいため、割合が10～15％以上乖離する場合は、年間推計等の補完作業を必要とする。

一方、騒音影響のある運航形態がごく一部の時期や天候に限られる場合、特定の運航形態・経路の運航状況に左右される。

図6は騒音影響が一部の運航形態、年間の一部、限られた天候などに限定される場合である。これらの地点では、騒音が発生しない日も多く生ずる。この場合、滑走路の運航方向割合などの大きな括りでは年間値との関係性は表せないことも分かる。このような場合には、その騒音影響を及ぼす特定の形態の運航割合を基にした補正をすることができる。

この補正方式によって、短期測定期間の補正済みL_{den}は年間値との差のばらつきも小さくなり、差の平均も小さくなる。図7はその例で、運航比率による年間L_{den}推定を実施すると、ばらつきの幅が縮小していることが明らかである。

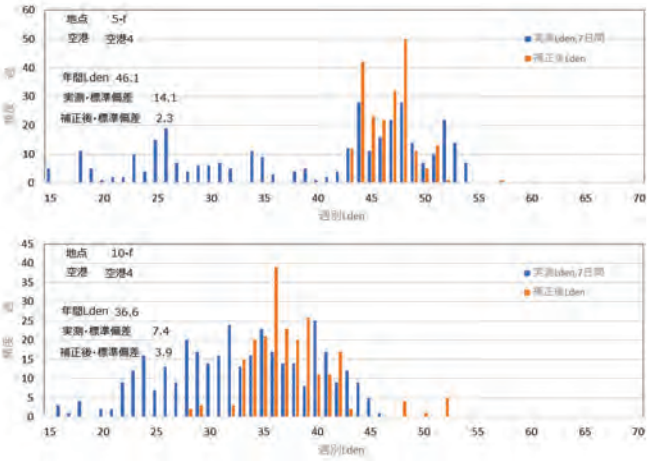


図7 運航比率による年間L_{den}推定の効果（L_{den},7日間による検証）
（青）測定結果のまま、（赤）推定後

運航比率による年間L_{den}推定＝短期測定期間中のL_{den}＋10×Log_{10}（$FA_{\%,年間}$/$FA_{\%,短期測定期間}$）

ここで FA%は当該地点に騒音影響を及ぼす形態・経路の運航割合を指す

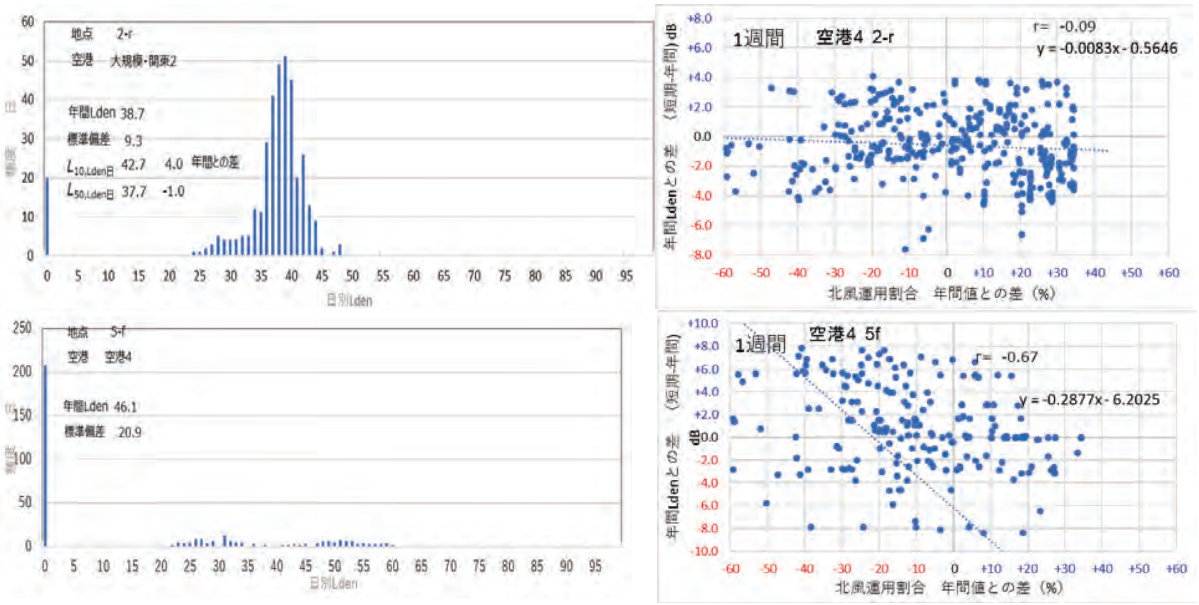


図6 騒音影響のある運航形態が年間の一部や天候の一部に限られる場合
日L_{den}変動分布（左）とL_{den}1週間の滑走路運航割合の年間差との関係（右）

4.短期測定計画立案のために

4.1 滑走路運用方向割合によるケース分類

測定マニュアル参考資料編には様々な空港の月別滑走路使用方向が記載されている。測定・評価の対象とする空港の滑走路運用方向の月推移を把握することが、適切な測定時期の設定に必要不可欠である、とも説明されている。

滑走路の運用方向の変化は大別すると以下に分類される。

① 夏と冬の季節により運用方向が変化
② 季節にかかわらず運用方向割合が半々
③ 季節にかかわらずどちらかの運用方向が主
　a) 主たる滑走路運用方向が90％以上
　b) 主たる滑走路運用方向が90％未満
④ 月によって変化するがパターンが不定

運用方向の変化があるかどうかの判断は、狭義には年間平均の運航割合との変化の幅が±10％以内を目安とし、少なくとも±15％を超える場合は変化有と判断するのが良い。

なお、運用方向の月別変化がないと考える②③において、少ない側の滑走路運用方向割合が年間10％を下回るかどうかでも、測定計画上の考え方が異なるので留意されたい。

4.2 複数回実施の場合の考え方

短期測定を複数回実施する場合、合算した結果が年間平均の滑走路運用方向割合と合致することを念頭に計画することが良い。この場合は①運用方向が極端な季節を組み合わせる、②運用方向が年間平均に近い時期同士を組み合わせる、といった考え方がある。ただし、季節によって変化する暗騒音（時にセミやカエル、虫などの自然音）も考慮する必要がある。

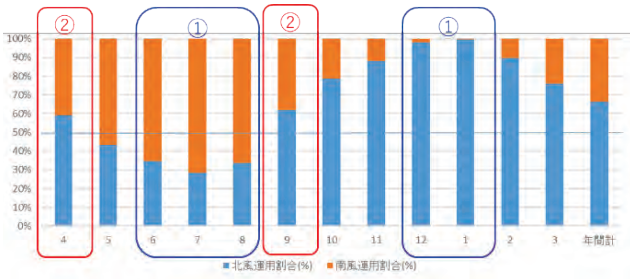


図8 複数回実施する場合の時期選定の方針

4.3 短期測定の計画立案の目安

測定マニュアルには、表1（2章）のような短期測定計画立案時のガイドラインが掲載されている。これに加え、本研究での検討結果を踏まえ、判断基準の数値目安を含めて、短期測定計画時のフローチャート（図9）を提案して本研究のまとめとしたい。

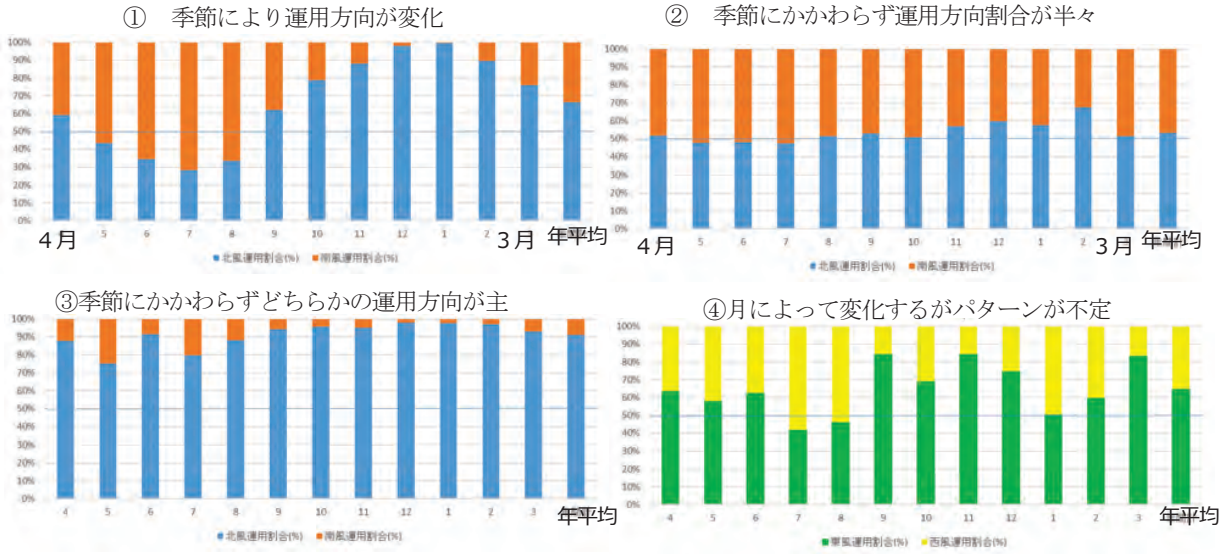
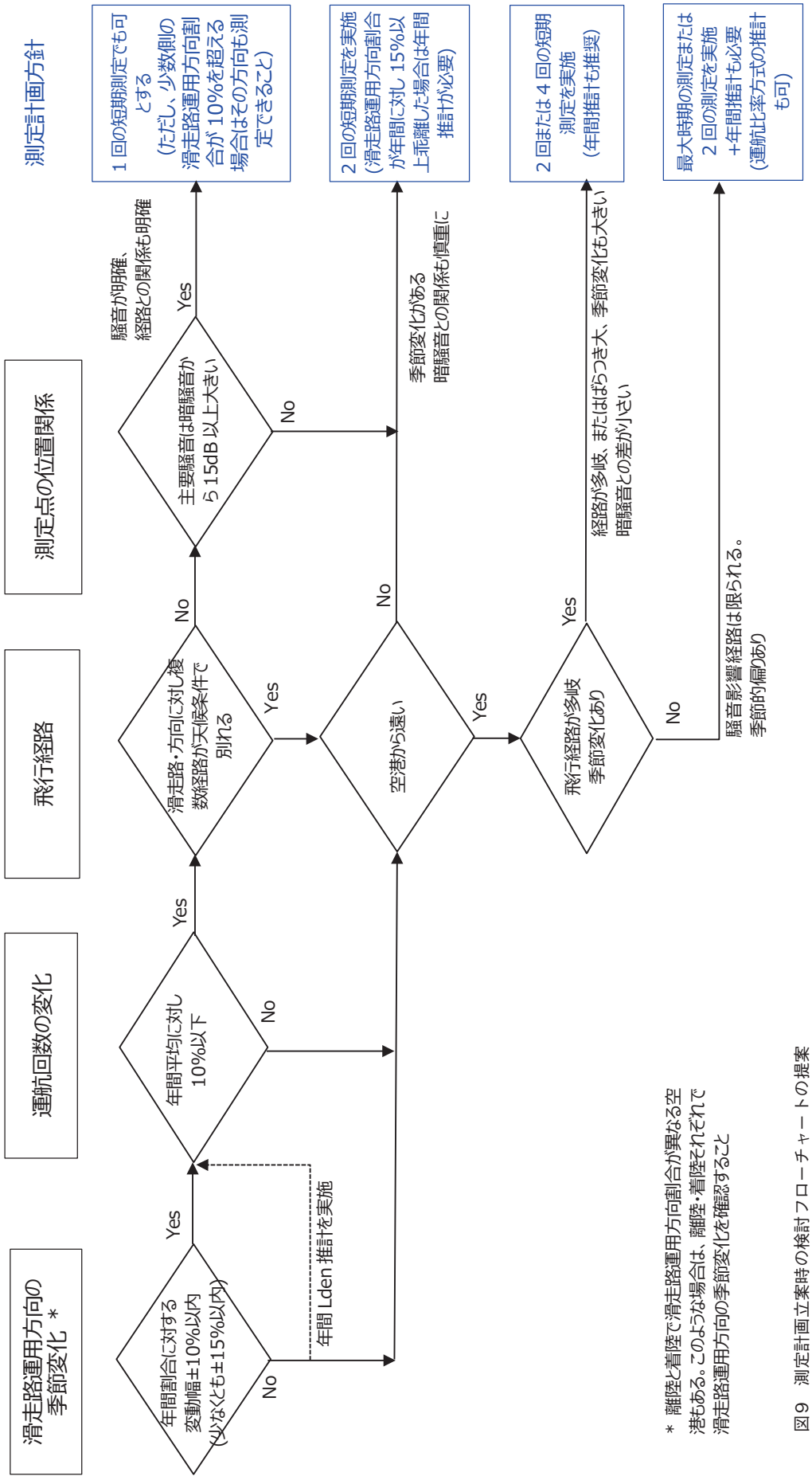


図7 月別の滑走路運用方向の変化のパターン
（左上）①季節により運用方向が変化、（右上）②季節にかかわらず運用方向割合が半々、（左下）③季節にかかわらずどちらかの運用方向が主、（右下）④月によって変化するがパターンが不定、各図とも横軸は月(4～3月、および年平均)



＊ 離陸と着陸で滑走路運用方向割合が異なる空港もある。このような場合は、離陸・着陸それぞれで滑走路運用方向の季節変化を確認すること

図9　測定計画立案時の検討フローチャートの提案

5. おわりに

航空機騒音の評価は、環境基準及び測定マニュアルに従って、年間の平均的な航空機騒音の状況を対象とする。測定マニュアルでは、短期測定の場合、季節を変えて測定を繰り返すことを推奨し、さらに、測定の実施回数と実施時期を計画するための参考資料も提示されている。しかし、このガイダンスに従って測定計画を立案し、短期測定を実施したとしても必ずしも真の年間値と一致するとは限らない。測定計画が前提とする季節や運航方向に対し、実際の測定時には意図と異なってしまうことあるからである。

本稿では、測定マニュアルの策定時に検討したことを振り返り、さらに、測定計画立案時に客観的数値目安としての判断材料を提供するために、季節によって運航方向が変化する空港の常時監視結果を分析・再検討を行った。その結果、短期測定時の滑走路運用方向割合と年間の運用方向割合と乖離が、評価値L_{den}に影響を及ぼすことが判明した。その乖離が10%未満ならその影響は無視できるが、20%を超えると平均で1dB以上の影響を生じることも分かった。少なくとも15%を超えると短期測定結果をもとに年間平均L_{den}推計を行うことが必要である。

さらに、騒音影響の主要因が、ある一部の運航形態、年間の一部、限られた天候などに限定される場合の測定地点では、騒音が発生しない日も多く生ずる。この場合滑走路の運航方向割合などの大きな括りではその関係性は表せない。この際には、その騒音影響を及ぼす特定の形態の運航割合を基にした補正をすることができることも報告した。

これらの検討結果をもとに、短期測定の測定計画立案の際に、数値目安を伴った判断材料とともに、検討のフローチャートも整理した。今後の短期測定計画に役立てていただければありがたい。

最後に、航空機騒音の測定・評価の種類として、通年測定を含め、評価量の信頼性の高い順に並べ替えた測定・評価方法を表-2に示しておく。二重囲み線は測定マニュアル参考資料に記載の表だが、測定評価の信頼性の根拠となった検討結果も併せて示す。短期測定で信頼性を確保した評価量を得るために、測定時期と回数を慎重に計画することが必要だが、年間平均L_{den}推計は信頼性向上に重要な役割を果たすので、活用を是非お勧めしたい。(「年4回の短期測定」と「年2回の測定+年間推計」は同程度の信頼性であり、例えば、短期測定の回数を少なくし、年間推計を実施すれば、経費と効率の改善につながることも利点として挙げられる。)

表-4 測定・評価の種類と評価量の信頼性、その根拠とする検討結果

マニュアル参考資料に記載の表　参表6.2		年間平均L_{den}との差のばらつき 標準偏差 dB		年間平均L_{den}との差の平均 dB	
信頼性	測定・評価の種類	民間空港	防衛施設	民間空港	防衛施設
高い	通年測定	---	---	---	---
↑	短期測定（4回／年）と年間推計の併用	0.4	0.9	0.0	-0.1
	短期測定（4回／年）	0.7	1.5	-0.1	-0.2
	短期測定（2回／年）と年間推計の併用	0.7	2.0	0.0	-0.4
	短期測定（2回／年）	1.1	2.4	-0.2	-0.7
	短期測定（1回／年）と年間推計の併用	1.0	3.8	-0.1	-1.3
↓	短期測定（1回／年）（14日間）	1.7	4.6	-0.4	-2.3
低い	短期測定（1回／年）（7日間）	2.2	5.6	-0.6	-2.9

参考文献

1) 航空機騒音に係る環境基準について、環境省告示、改正　平成19年環告第114号
2) 航空機騒音測定･評価マニュアル、環境省、令和2年3月、URL　http://www.env.go.jp/air/noise/airplane/manual.html
3) (公社)日本騒音制御工学会、環境省請負業務「平成28年度航空機騒音測定・評価方法に関する検討調査業務」報告書, 平成29年3月
4) (公社)日本騒音制御工学会、環境省請負業務「平成29年度航空機騒音測定・評価方法に関する検討調査業務」報告書, 平成30年3月
5) 篠原直明, 航空機騒音測定・評価の信頼性に影響を及ぼす要因について～測定量の違いによる単発騒音算定の課題～, 航空環境研究2017
6) 篠原直明, 航空機騒音の短期測定に基づく長期間評価値の信頼性向上検討, 航空環境研究2018
7) 篠原直明, 航空機騒音の測定・評価に及ぼす季節で変化する要因の考察～セミなどの自然音の実態と評価値への影響～, 航空環境研究2018
8) 篠原直明,　航空機騒音の短期測定結果に基づく年間推計L_{den}の活用, 航空環境研究2019
9) 篠原直明, 航空機騒音測定・評価マニュアルに基づく短期測定の実際, 航空環境研究2020
10) 篠原直明, 航空機騒音の短期測定に基づく長期間評価値の信頼性～滑走路運用方向割合からの分析～, 航空環境研究2021
11) 篠原直明ほか,航空機騒音評価量の信頼性に影響を及ぼす要因の検討－単発騒音算定方法の課題－, 日本音響学会騒音振動研究会2015年3月
12) 篠原直明ほか,航空機騒音測定・評価の課題－短期測定による長期間評価の信頼性－,日本騒音制御工学会2017年秋季研究発表会講演論文集
13) 篠原直明ほか,航空機騒音測定・評価の課題－セミなどの自然音の実態と評価値への影響－,日本騒音制御工学会2017年秋季研究発表会講演論文集
14) 篠原直明ほか, セミなどの自然の音の地域別比較と航空機騒音評価値への影響, 日本音響学会騒音振動研究会2018年5月
15) 篠原直明ほか, 航空機騒音測定・評価の課題－短期測定に基づく年間Lden推計の妥当性－, 日本騒音制御工学会2018年秋季研究発表会講演論文集
16) 篠原直明ほか, 航空機騒音評価値の信頼性を確保するための短期測定の方法に関する検討, 日本騒音制御工学会2019年秋季研究発表会講演論文集
17) 篠原直明, 航空機騒音の短期測定による長期間評価の信頼性に関する検討～滑走路運用方向割合からの分析～, 日本騒音制御工学会2021年秋季研究発表会講演論文集

航空環境研究 No.26（2022）, PP.30 − 35

研究報告

航空機騒音の変遷と音質評価に関する考察*

下山 晃司（航空環境研究センター）　森長 誠（神奈川大学）　小林 知尋（小林理学研究所）

1. はじめに

環境基準の制定以降、航空機騒音の低減に関して行政、機体メーカー、空港管理者等の努力により単発騒音としては相当の低騒音化が進んだ。一方で、運航需要の増大により多頻度化するなど、空港周辺における騒音暴露の状況は激甚騒音と呼ばれた当時と比べると大きく変わっている。ここでの航空機の低騒音化とは、環境基準で用いられる騒音評価指標のような数値が低減していることを意図しているが、ヒトが感じるのは大きさ以外にもその音色に対して生じる印象などもある。筆者らは、現在の航空機騒音は激甚騒音と呼ばれた当時と比べて「マイルド」になっていると感じており、そのような印象を想起させる要因の定量化について検討を進めている。

そこで、本稿では航空機騒音の変遷を振り返り、過去と現代の航空機騒音の特徴を述べると共に音の大きさだけでは表せない航空機騒音の印象評価（音質評価）について考察する。

2. 本稿で用いる用語について

本稿では、音の物理的・主観的特徴を評価／定量化する用語を以下の様に取り扱う。

- **物理指標**：音の物理特性のうち、最も基本的な量である大きさ（音の強さ）を表す。主な評価指標には周波数重み付けをしない音圧レベル（Z特性）があり、これに類する評価指標を本稿では物理指標と総称する。
- **ラウドネス指標**：ヒトが感じる音の大きさを表現する指標のひとつ。1930年代にFletcherとMunsonは1 kHzの純音を基準とし、高い音／低い音の純音をそれぞれ被験者に聴かせて同じ大きさに聞こえる様に音量調整させる実験を行った。その結果、異なる周波数の純音では同じ音の大きさに聞こえる音圧レベルが周波数によって異なることを示した（等ラウドネス曲線）。騒音計測で良く用いられる騒音レベル（A特性音圧レベル）は、等ラウドネス曲線の特性を考慮し、ヒトが感じる音の大きさを近似的に表したものである（なお、ヒトの聴覚を詳細にモデル化した理論を用いて、ヒトが感じる音の大きさを精緻に計算するLoudnessという指標がISO 532シリーズで規格化されているが、本稿では紹介だけに留めておく）。航空機騒音の測定・評価では、航空機1機当たりの単発騒音暴露レベルL_{AE}や、騒音の発生時間帯によるペナルティを加算したL_{AE}を累積して算出するL_{den}等が用いられる。これに類する評価指標を本稿ではラウドネス指標と総称する。
- **ノイジネス指標**：ヒトが感じる聴感的な不快感（やかましさ）を表現する指標のひとつ。その代表例として、Kryterらが激甚騒音の時代と呼ばれた1960年代の民間旅客機（従来機）の飛行音を被験者に聴かせてやかましさが同程度となるように音量調整させる実験を行った。その結果（等ノイジネス曲線）から周波数重み付け特性D（D特性）や感覚騒音レベル（PNL, Perceived Noise Level）が提唱された。さらに、純音補正等の複雑な処理を施した上でPNLを累積して算出する加重等価平均感覚騒音レベル（WECPNL）等は航空機騒音の評価に用いられてきた。本稿では上記の範囲に限定してノイジネス指標と総称する。
- **音質評価指標**：音の変動感など音色に対する印象を構成する様々な要因を定量化する指標。同じ音の大きさであっても、音質により心理的影響は異なる。このような詳細な観点に着目するため、評価対象とする音の特性により様々な指標があるが、本稿では音の鋭さを定量化するSharpnessと、純音性成分の可聴度を定量化するTonal Audibilityについて言及する。

* A transition of aircraft noise and consideration on sound quality evaluation

ここで、Z特性およびA特性、D特性を図1に示す(Z特性およびA特性は騒音計に関するJIS規格：JIS C 1509-1:2017 [IEC 61672-1:2013]に規定されているが、D特性はかつて使用されていた周波数重み付け特性であり現在は規定されていない)。これより、ノイジネス指標のD特性はラウドネス指標のA特性と比較すると、従来機の特徴的な高周波数成分(2～4 kHz)を大きく評価する指標であることがわかる。

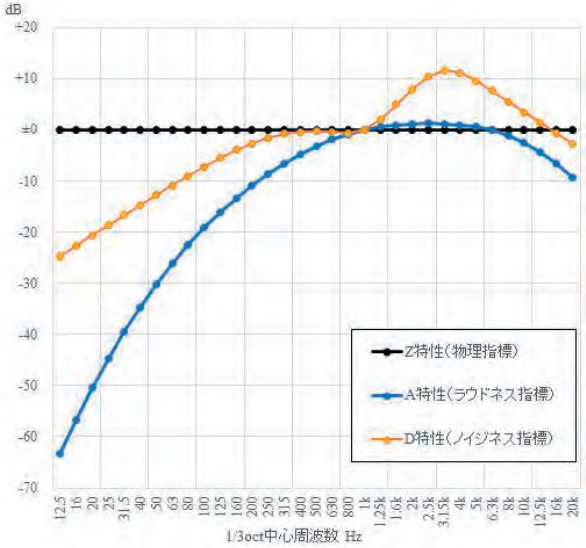


図1　周波数重み付けZ特性およびA特性、D特性

3.航空機騒音の変遷と評価指標

3.1 航空機騒音の評価指標の変遷

我が国では1967年に公害対策基本法が制定され、1973年には航空機騒音に係る環境基準(以降、環境基準)が制定された。環境基準では生活環境を保全し、人の健康の保護に資するうえで維持することが望ましい基準として、地域類型別に基準値が示された。当時、国際民間航空機関(ICAO)が国際民間航空条約の第16附属書第1巻(1971年)にて空港周辺の騒音対策に用いる評価指標としてWECPNLを提唱していたことや航空機の国際性を考慮してWECPNL(ノイジネス指標)が採用された。しかし、WECPNLを算出するには純音補正等の複雑な処理が必要となり騒音計によって簡単に測定することができないため、幾つかの仮定を基に、騒音計で測定したA特性音圧レベルから近似的にWECPNLを求める日本独自の方法が採られた(図2に測定結果から各評価指標を算出するまでの簡単なフロー図を示す)。つまり、ノイジネス指標であるWECPNLが採用されたものの、本質的にはラウドネス指標で評価が行われることとなった。

その後、2002年に成田空港のB滑走路が供用されたことが契機となりWECPNLの逆転現象(遠方の滑走路を離着陸する騒音を評価に加えると、近い滑走路だけの騒音より小さく評価される現象)が指摘された。これは日本独自の近似計算での仮定条件と騒音の実態に乖離が生じたためであり、環境省は様々な検討や測定技術の進歩等を踏まえL_{den}を評価指標とすることを2007年に告示、2013年から施行された。これにより仮定条件が必要無くなったため、より実態に近い航空機騒音の評価が可能になると共に騒音測定から評価指標に至るまでラウドネス指標が用いられることとなった。

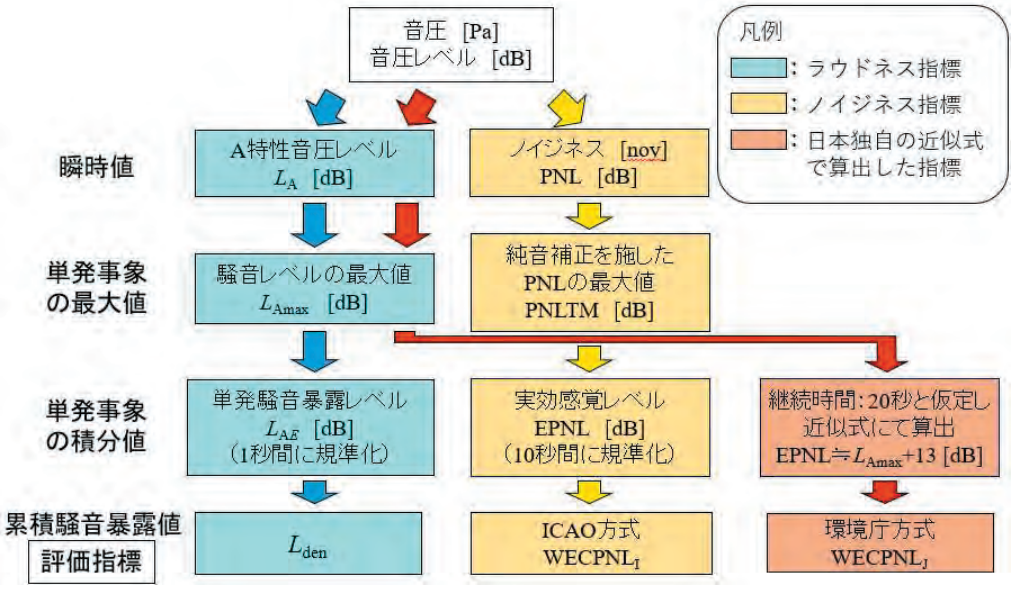


図2　航空機騒音評価指標の簡易算出フロー図

3.2 航空機の低騒音化と周波数特性の変遷

航空機騒音を取り巻く環境は環境基準制定時から大きく変化しており、当機関誌では既報[1), 2)]でこれらについて解説を行っている。そこで本稿では、騒音発生源対策つまり航空機の技術改良の成果としてどれだけ低騒音化が達成されたか、その周波数特性について簡単に振り返る。

航空機のエンジンは、従来機に使用されていたターボジェットエンジンとその後改善が施されたターボファンエンジンに大別される（図3）。ターボジェットエンジンはシンプルな構造で軽量だが、民間旅客機の飛行速度を考慮するとコア噴流の流速が早すぎるため無駄が多く、推力も余分に必要とするため、結果として騒音も大きくなる。騒音は空気の流速の8乗に比例する。（例えば速度が1/2倍になった場合、騒音のエネルギーは1/256倍になりデシベルに換算すると24dBも小さくなる。）現在の民間旅客機ではここを改善したターボファンエンジンが使用されている。前方から取り込んだ空気を燃料と混合して点火して後方より吹き出すことで推力を得る原理は同じであるが、前方のファンから取り込んだ空気を燃焼用に取り込むコア噴流と、そのまま後ろへ押し流して推進力にするバイパス噴流に用いる点が大きく異なる。コア噴流の推進力の一部をバイパス噴流の駆動力に分けたのち後部で混合することで、全体の流速を落としつつバイパス噴流に多くの空気を流して推力として使用することができる。単純にいうと、エンジンの推進力＝空気量×噴流速度であるが、騒音に影響する噴流速度を抑えても、騒音に影響しにくい空気量を増やせば充分な推進力を得ることができるので、結果として騒音は劇的に減り、なおかつ推進効率も高めることができる。コア噴流とバイパス噴流の空気量の比率をバイパス比（BP比、BP比=バイパス噴流÷コア噴流）という。

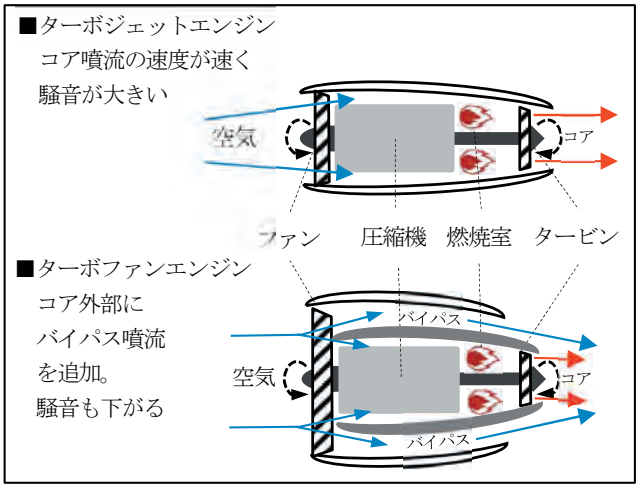


図3　エンジンの簡略断面図

民間旅客機の騒音に対する国際的な統一基準としてICAOの騒音証明制度がある。騒音証明制度では、着陸直下、離陸直下及び側方の3地点での騒音測定結果を基に騒音証明値としてノイジネス指標のEPNLが算出される。離陸直下の騒音証明値の変遷を図4に示す。これより1960年代と現在で比較すると、約50年で高バイパス化（高BP化）が進むとともにEPNLで20 dB以上もの低騒音化が達成されていることがわかる。しかし、その変化は鈍化している傾向も見られる。これは、高バイパス化したエンジンは構造が複雑化して重量が増加するデメリットや、エンジン口径が大きくなり、機体に取り付けると地面を擦るリスクがある等、高BP化には限界があるためである。

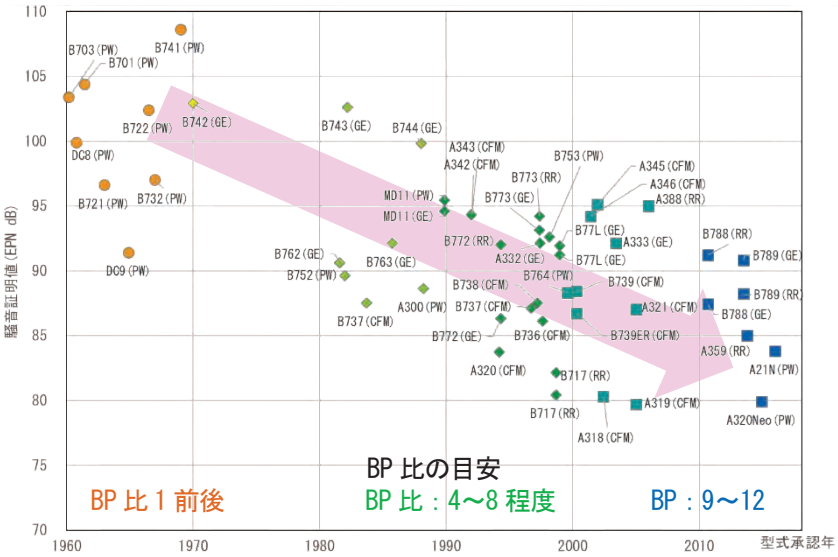


図4　騒音証明値（離陸直下）の変遷

図5に空港から2～2.5km程度離れた測定点における離陸騒音の測定結果から算出した最大騒音レベル（L_{Amax}）と、周波数別の最大音圧レベルを示す。離陸機1機の騒音データから得た結果ではあるが、従来機（DC8、B747-200、L1011）と図5の中で最も新しい機種（A359）を比較すると、L_{Amax}は図4のEPNLと同程度に低騒音化されていることが伺える。また、周波数別の音圧レベルに着目すると、その差は一様ではなく、主に500 Hz帯域以下と2 kHz以上で大きく低減されている。後者はノイジネス指標で大きく評価される、従来機に特徴的な周波数成分とちょうど一致する。

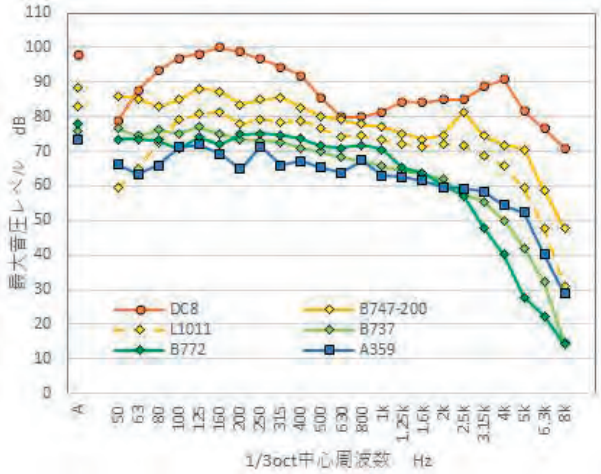


図5　航空機騒音の周波数特性の変遷

4. 航空機騒音の音質評価に関する考察

前章で従来機と比べるとエンジンの高BP化等により低騒音化が実現されたといわれているが、詳細にみると、高周波数成分についても大きく低減さていることが確認できた。このような違いを筆者らは、「マイルド」になったと感じているのではないかと考えられる。そこで本章では、この違いがノイジネス指標やラウドネス指標には表れない航空機の音の印象改善に関与していると言えるか、音質評価指標を用いて定量化でもないか検討・考察する。

今回の検討では、従来機に特徴的な高周波数成分の違いを評価することができる、Sharpnessという音質評価指標を選定した。Sharpnessは主観的な音の鋭さを評価する音質評価指標であり、単位はacumである。数値が大きくなるほど主観的に音の鋭さが強いことを示す。

従来機と現在も運航されている機種の経路直下の離陸騒音測定データを収集し、算出した機種別ラウドネス指標L_{AE}と、Sharpnessの対応関係を図6に示す。これより、従来機（DC8、B747-200、L1011）はSharpnessが大きい範囲に分布しており、比較的新しい機種（目安としてBP比4以上の機種。以降、現代機と呼ぶ）はL_{AE}で90 dB以下、かつSharpnessは1 acum以下の範囲にその殆どが納まっている傾向が見られる。L1011とB772に着目すると、ラウドネス指標L_{AE}では殆ど同じ90 dB前後に分布しているが、L1011の方がSharpnessは大きい。図5の周波数特性と合わせて考えれば、Sharpnessを用いれば激甚騒音時代の民間旅客機に特徴的な音質を定量化できる可能性があると考えられる。

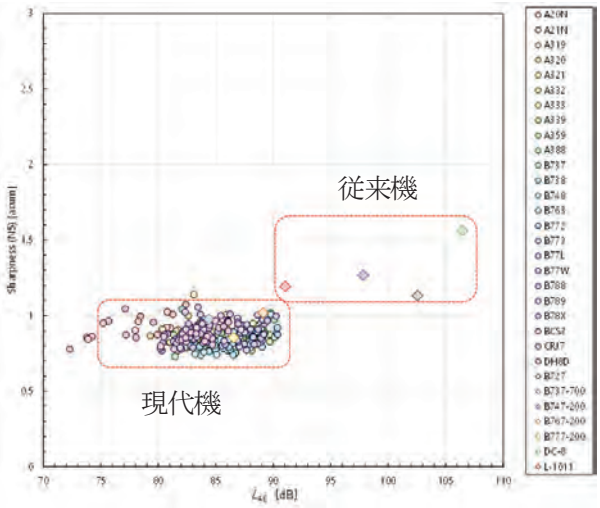


図6　音質評価指標とラウドネス指標の対応関係例
（離陸音のL_{AE}とSharpnessの対応関係）

5. 航空機騒音の特異事例と音質評価

4章では、激甚騒音と呼ばれた時代から現在までの航空機騒音の低騒音化について、エンジンの高BP化などの発生源対策によって、ラウドネス指標やノイジネス指標に表れない音質の改善効果を定量化できないか検討・考察を行った。一方で、エンジンの高BP化による低騒音化の限界が近いため、今後のより好い航空環境の発展の一助として音質評価の観点からアプローチできないか検

討を行った。本章では着陸時に特徴的な飛行音が発生する事例に着目し、音質評価指標を用いて定量化できないか検討した結果について報告する。

空港周辺の着陸経路下において、通常の着陸騒音とは異なる純音成分が卓越した音（以降、卓越純音成分と呼ぶ）が聞こえる事例が報告されている。この事例は、1990年頃に導入が進んだ機種（B777-200、B767-300等）や2010年以降に導入が進んだ機種（B787-8、B787-9、A321-200neo等）で報告されているが、その発生率は非常に低く（発生率が高い測定地点でも全体の数％程度）、場所によっては全く観測されない。

図7に卓越純音成分が観測された時の騒音レベルの時間変動を示す。この図を見ると、本来は最大騒音時から徐々に騒音レベルが小さくなるはずが、1回目のピークの後で再度騒音レベルが上昇し2回目のピークが観測されていることがわかる。そこで、1回目及び2回目の最大騒音時の周波数分析を行った結果を図8に示す。

図7　特異音発生時の騒音レベル変動図

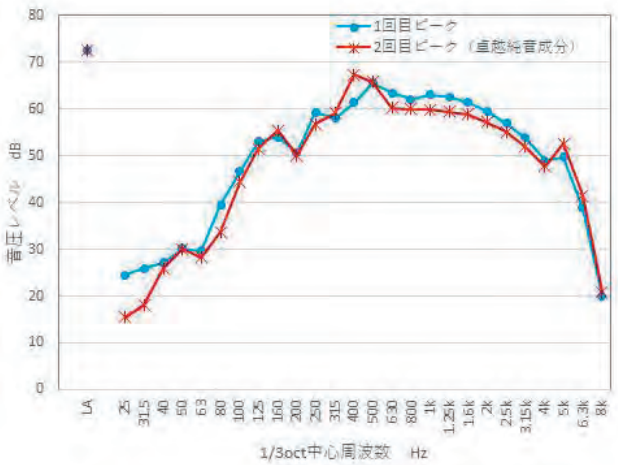


図8　ピーク時（1回目、2回目）の周波数特性

これより、2回目は1回目と比べて400 Hz帯域の音が卓越していることがわかる。今回は、卓越純音成分によってピークが2回観測される事例を紹介した。1回目のピークと2回目のピークの大小関係により航空機騒音の評価対象である継続時間の算定範囲（L_{Amax} -10 dB、図7赤線の範囲）が短くなることもあるため、卓越純音成分が発生してもL_{AE}は必ずしも増加しない。さらに、発生率が低いこともあり、卓越純音成分を評価した場合と評価しない場合で評価指標L_{den}への影響は殆どない（影響しても0.1 dB以下）。

実際に音を聞いてみると、卓越純音成分が騒音レベルの時間変化に表れない場合でも聞き取れるケースもある。このような音について、音質評価指標を用いれば、音色の印象を定量化できる可能性はある。純音性成分の可聴度を定量化する音質評価指標としてTonal Audibility（TA）が挙げられるが、航空機騒音は通常の着陸音でもエンジンのファン回転数に応じた純音性成分を含むため、TAで適切に評価できるかはする今後慎重に検討を進めて行きたい。

6. まとめ

本稿では、激甚騒音と呼ばれた時代から現在までの航空機騒音に関する評価指標とその変遷について確認した。さらに、航空機の低騒音化（高BP化）などの発生源対策により、ラウドネス指標やノイジネス指標に表れない音質の改善効果を定量化できないか検討を行った。その一例として、従来機と比較として、音質評価指標であるSharpnessを用いた検討・考察を行った。また、航空機騒音の卓越純音成分が発生する事例を紹介すると共に音質評価指標TAを用いた検討の可能性を述べた。

音質評価指標を用いて航空機の音を評価するには、音質評価指標での定量化だけでなく、定量化した結果とヒトの感じ方を対応付けることが重要なため、今回検討した結果等を用いて今年度、被験者実験を行う予定である。

文献

1) 航空環境研究(2018)：中澤、騒音発生源対策と航空機の技術改良
2) 航空環境研究(2019)：篠原、航空機騒音の特徴と伝搬特性

航空環境研究 No.26（2022）, PP.36 − 39

研究報告

航空機の離陸滑走時騒音の予測精度向上*

中澤　宗康（航空環境研究センター　主任研究員）

1 はじめに

航空機は離陸滑走において最も推力を必要とするため、離陸滑走での騒音が最も大きくなる。そのため、滑走路周辺での騒音影響は大きく、これまで様々な対策がなされている。その一環として騒音予測が行われており、主に現状の影響評価や、対策を施した際の効果の検証などに用いられている。ただし、離陸滑走に関する航空機騒音では、滑走路上での航空機の動き、ならびに騒音の伝搬において固有の特徴が存在する。例えば、離陸滑走時は飛行時に比べて、かなり速度が遅く、前述のとおり推力は高いため、大きな騒音が長時間続くことになる。また、低高度であることから、騒音の伝搬についても近傍の地面反射や吸音、建物の影響を強く受ける。このため、普通に飛行騒音と同じように予測を行った場合、その予測結果は精度を欠いたものになってしまう。そこで、航空機騒音予測ではこれらの要因について複数の補正を加えることで予測精度を確保しているが、当然ながらその補正方法についても精度を確保することが必要であり、当研究センターでは継続的に調査を実施しながら精度向上の取組みを行っている。

特に、航空機騒音の変化に関するところでは、近年は航空機の機材更新が進んでおり、主にジェットエンジンの改良により1機あたりの騒音が減少したものの、そのジェットエンジンの周波数構成・音質が変わるなどの継続的な推移は起きている。さらに運航面の変化として、離陸時には最大推力ではなく減格推力を用いて経済性・排出抑制を考えた運航も行われていることから、これらの要因が騒音にどう影響しているかを確認するためにも、妥当性の確認が必要な状況である。こういったことを念頭に、近年行ったいくつかの調査および精度向上の取組みについて紹介する。

2 防音堤・防音壁

住宅地が近傍に存在する空港の一部では、騒音影響を抑えるために防音堤や防音壁といった建築物を設置している場合がある。これらは通常は地上騒音や地上走行の住宅地への伝搬を防ぐようは配置となっている。なお、安全性の観点から滑走路や飛行経路間際には建造物を建てられず、飛行騒音の防音については難しい。また、防音用ではないものの空港ターミナルビルも駐機場に近いため、駐機中の地上騒音を防ぐ効果がある。これらの効果をAERCモデルでは考慮することができる。この方法には、日本音響学会の道路騒音モデル[1)]に含まれる防音壁の計算方法を応用して適用しており、回折効果のみを考慮することが

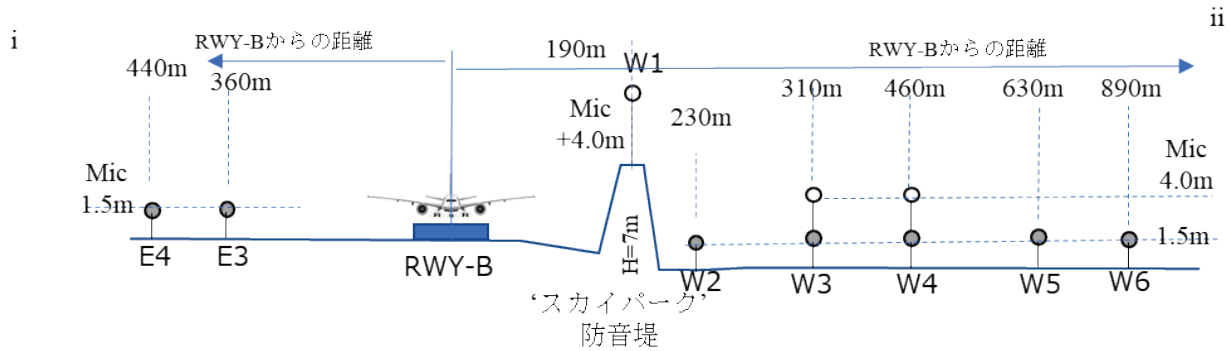


図1. 大阪国際空港での防音堤の影響調査での騒音計配置

* Brief review of improvements on aircraft takeoff noise calculation around the runway

できるようになっている。しかしながら、道路騒音と航空機騒音には差異があるほか、騒音の伝搬距離についてもかなり違いがあるため、妥当性の確認が必要であった。

そこで滑走路付近に存在する防音堤の効果を検証するため2017年12月に大阪国際空港の32L滑走路において騒音の調査を実施した[2)]。32L滑走路には伊丹スカイパークという展望公園があり、その中に高さ7mほどの防音堤が存在する。この防音堤の側の6地点(W1-W6)を騒音測定し、滑走路対岸の防音堤のない側の2地点(E3, E4)を騒音測定して(図1)、防音堤の有無による航空機騒音を比較した。この結果より、防音堤の挿入損失を推定することができ、これらのデータをもとに予測モデルの改良を行っている。

3 滑走開始時の後方指向性

航空機用ターボファンエンジンの騒音の放射特性は同心円ではなく指向性を持っている。これは給排気の方向である前後方向に騒音が出るとともに、後方へのエンジンの噴射については、コア噴流、バイパス噴流、周辺大気と速度の違う空気が流れるため境界層ができ、この境界層により音の屈折が発生することが理由である[3)]。このため、航空機の騒音の指向性は真後ろに最も小さく、斜め後ろ方向に行くにしたがって徐々に音が大きくなるという形状となっている。

これらを考慮するため、既存の騒音予測ガイドラインであるECAC Doc.29[4)]やICAO Doc.9911[5)]では、飛行騒音の指向性(90度ダイポール)や離陸滑走開始時の後方指向性(別途用意されたモデル)が利用されている。特に後方指向性については、機体の真後ろ、滑走路延長線方向に最大で10dB以上も減少することがあり、滑走路周辺の騒音予測においても適切に反映する必要がある。

そこで、後方指向性を測定するために、成田空港の34L滑走路において2020年10月の1週間、滑走開始する航空機を同心円状に3列で取り囲むように騒音計を配置して測定を実施した[6)](図2)。円ごとのレベル差を見ることで離陸滑走時の後方指向性を確認することができる。既存の騒音予測ガイドラインの傾向は確認できたものの、機体から離れた地点での指向性の形状の変化で測定結果と違っていることなどが確認でき、モデルの改良を検討しているところである。

4 速度の正味推力への影響

航空機のジェットエンジンの騒音値は、エンジン回転数や速度、温度等によって変化する。そのため、民間旅客に用いられるターボファンエンジンでは、これらを考慮している修正正味推力(Corrected Net Thrust)との対応が良いと考えられており、既存の騒音予測ガイドラインであるECAC Doc.29やICAO Doc.9911においても修正正味推力を用いた予測方法が記述されている。しかし、稼働中の航空機の推力そのものを測定することは難しいため、エンジンパラメータ(回転数N1%、圧力比EPR)、速度、気象等から計算により推定する必要が

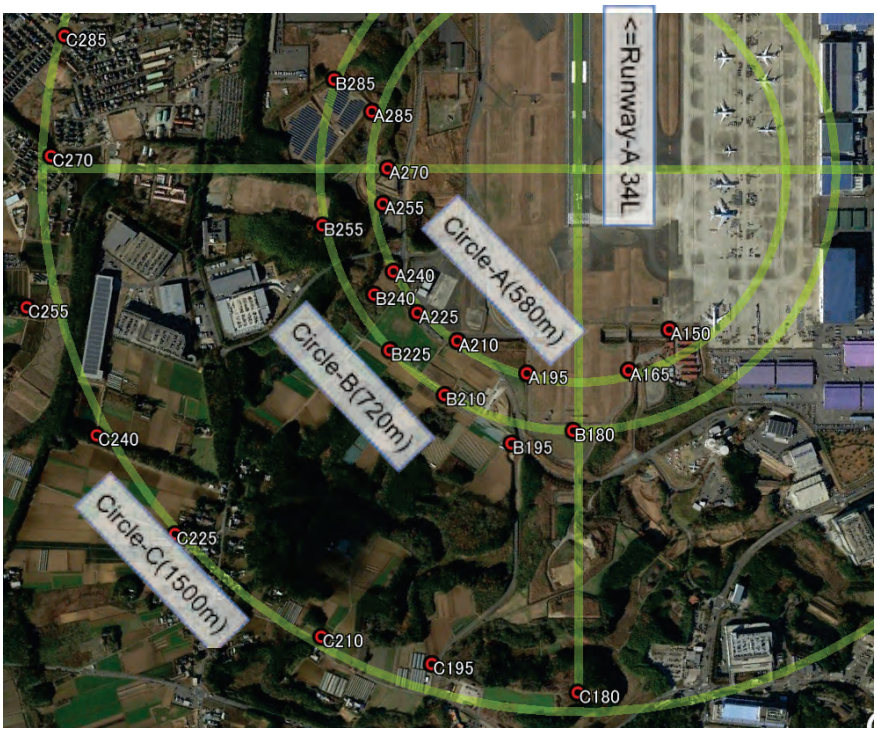


図2. 成田空港での後方指向性調査での騒音計配置

図3. 成田空港での速度の正味推力影響調査での騒音計配置

ある。とはいえ、この計算推定においても、機種別・エンジン別の計算用係数を必要とするが、最近の航空機によってはこれらの係数そのものも得ることが難しい状況にある。そこで予測精度を担保するためには、現状で得られる観測値をもって、騒音値を補正する必要性があると考え、そのための検証が必要と考えた。特に離陸滑走中は速度、エンジンパラメータの変化が大きいため、それらの騒音への影響を検証した。

そこで、成田空港の34L滑走路において後方指向性を測定したのと同期間の2020年10月の1週間に近傍にて別調査を行った[7](図3)。滑走中の騒音の変化を確認するために、滑走路と平行に騒音計を配置し150m間隔で、1500mにわたって騒音を測定した。通常、滑走開始後早々にエンジン回転数が安定、速度は継続して加速するので、主に速度変化と騒音の関係性を見ることができる。結果としては、機体の速度が上昇するのにしたがって、L_{Amax}で数dB程度下がっていく傾向が確認できた。これは速度変化に応じて修正正味推力が下がった影響ではないかと推測することができ、この結果に基づいた予測精度の改良について検討しているところである。

5 地表面の過剰減衰

騒音の伝搬経路に地面が近い・受音点に対して航空機の仰角が低いといった場合は、地表面の音の吸収・翼面反射等の影響がある。この影響は、距離減衰、空気吸収減衰とは別の、地表面の過剰減衰として知られ、これを適切に予測するためのモデルとして、SAE AIR1751[8]やその更新版のAIR5662[9]が広く使われている。これらのモデルでは仰角をパラメータとした空中－地上伝搬と水平距離をパラメータとして地上－地上伝搬の2つの要素から過剰減衰量を算定しているが、これらの両方において、常時監視局等の結果との差

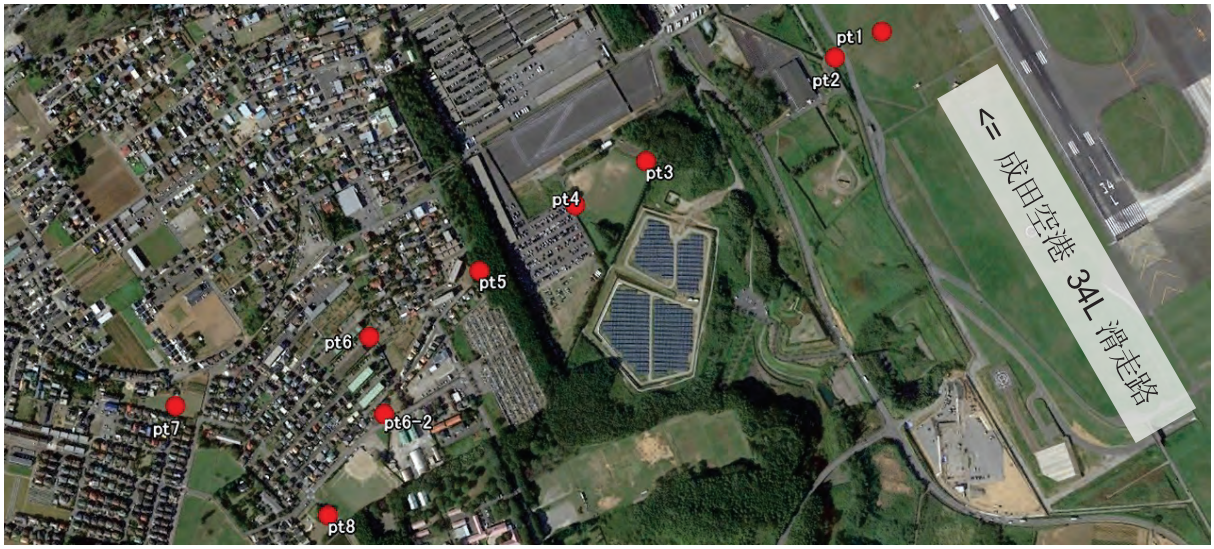


図4. 成田空港での過剰減衰の調査での騒音計配置

異が存在する場合があったため、他機関との共同研究により2000年ごろから継続的に成田、仙台、新千歳、鹿児島などでの調査およびモデルの検討を行ってきている。比較的近年に行った中長期の調査としては、成田の34L滑走路付近において2015年から2016年にかけて4季節にそれぞれ7日間の測定を行っている[10](図4)。測定結果として過剰減衰の発生は確認できたが、既存のモデルに比べて減衰量がやや少ない傾向が見られ、他調査の結果も合わせた予測モデルの改良について検討しているところである。

6 まとめ

当研究センターではこれまで騒音影響の大きい滑走路周辺について、防音壁、後方指向性、正味推力、地表面過剰減衰といった補正要因について予測精度を改善すべく調査とそのデータに基づく予測モデルの改良を進めてきた。一部の補正要因については補正量のオーダーが10dB以上にもなる上に、近年の航空機の技術改良および機材更新により航空機騒音の周波数構成やそれに基づく伝搬量が変わっていたりするので、精度を継続的に確認することが求められている。補正要因ごとにそれぞれ適した調査を実施しているが、結果と照らし合わせると既存のモデルに整合はするもののやや違いが見られる場合があり、モデル改良の余地がある可能性が示唆されている。モデル改良には調査データを積み重ねる必要があるため、今後も予測精度を向上させるための取組みを引き続き継続していきたい。

謝辞

現地騒音測定にご協力いただいた成田国際空港株式会社の皆様に感謝いたします。

参考文献

1) The Research Committee on Road Traffic Noise in the Acoustical Society of Japan. "ASJ Prediction Model 2008 for Road Traffic Noise: Report from the Research Committee on Road Traffic Noise in the Acoustical Society of Japan," J. Acoust. Soc. Jpn. 65, 4 (2009)
2) 篠原, 中澤, 川瀬, 横田. "滑走路側方の防音堤による騒音低減効果の検証," 日本騒音制御工学会秋季研究発表会講演論文集, 2018年10月
3) 鈴木崇夫. "剪断層内で発生する音の伝播について," ながれ 第24巻4号, 日本流体力学会, 2005年8月
4) International Civil Aviation Organization, Recommended Method for Computing Noise Contours Around Airports, ICAO Doc 9911 2nd edition, 2018.
5) European Civil Aviation Conference, Report on Standard Method of Computing Noise Contours Around Civil Airports, ECAC Doc 29 4th Edition, 2016.
6) Nakazawa T., Shinohara N., Study on aircraft noise directivity of behind the start of takeoff roll, Proc. INTERNOISE 2021, (2021)
7) Nakazawa T., Shinohara N. and Hanaka K., "Method for Estimating Aircraft Noise Corresponding to Changes in Thrust and Speed during Start of Takeoff Roll", Proc INTERNOISE 2022 (2022)
8) AEROSPACE INFORMATION REPORT, Prediction method for lateral attenuation of airplane noise during takeoff and landing. , SAE AIR 1751; (1981).
9) AEROSPACE INFORMATION REPORT, Method for Predicting Lateral Attenuation of Airplane Noise., SAE AIR 5662; (2006).
10) Shinohara N. et al. Study of lateral attenuation under meteorological conditions for airport noise modeling. Proc INTERNOISE 2016; (2016).

航空環境研究 No.26（2022）, PP.40 − 44

研究報告

航空環境デザインツール（AEDT）による空港騒音予測作業における課題*

菅原　政之（航空環境研究センター　副主任研究員）

当研究センターはL_{den}コンタープログラムAERC[1-6]を開発し、予測コンター作成作業も担っている。また、AERCモデルの開発運用だけでなく、海外のモデルについても動向を調査し、新しい知見への対応や国際整合性にも注力している。

米国FAAの予測モデルAEDT[7]は本質的に米国内の空港騒音を予測することを前提としたものであり、これを用いて国内空港の騒音予測をしたとしても必ずしも現実と一致するとは限らず、国内空港の運用や周辺状況について実態を十分に反映できない課題がある。

国内での実態と乖離を生じさせる理由として、幾つかの要因があるが、それはモデルの優劣でなく考え方の違いであり、整備されてきた経緯により、幾つかの計算機能、計算手順などを熟知しなければ予測精度を向上させることは難しい。本稿では、多岐にわたる違いの要因について主なものを具体的に調べ、AEDTを国内空港の騒音予測に用いるとした場合に、適切な予測精度を得られるのかという点について検討し、さらにその中で気づいた課題を報告する。

1. AEDT (Aviation Environmental Design Tool) の概要

AEDT (Aviation Environmental Design Tool) とは、FAA（米国連邦航空局）によって開発、販売されている、騒音、排出ガス、燃料消費量モデルの複合ツールである（図1）。

騒音予測ツールとしては騒音モデルガイドラインICAO Doc 9911[8]やECAC Doc29 3rd[9]に準拠している。前身にINM（Integrated Noise Model）があり、この後継ソフトウェアとなっている。メジャーバージョン2が2014年、3が2019年にリリースされ、その後もa,b,c…のマイナーバージョンにより更新を続けており2022年8月現在ではバージョン3eが最新リリースとなっている。

一般的に航空機騒音の予測計算では、精度と計算速度の実用性の観点から基本的にセグメントモデルが主流である。我々が国内空港のために開発した予測モデルAERCもセグメントモデルを採用しており、古くから存在するINMの以前のバージョンも参考にしている。しかし国内空港での予測精度を向上させるために、国内空港で収集したデータに基づいた様々な補正機能を実装し整備してきており、今日のAEDTとは機能的な違いがある。このような経緯から両者モデル間に違いがあっても、それはモデルの優劣ではない。後述のAEDTにおける課題点の検討において幾つかはAERCの機能の実装を参考として述べる。

2. 国内仮想空港の予測計算

まず、AEDTを用いた予測を通じて検討を進めることとし、仮想の国内空港のL_{den}予測コンターを作成することを最初の目標とした。

その過程で、予測条件の入力について、さらに結果の予測コンターについて検討することとした。

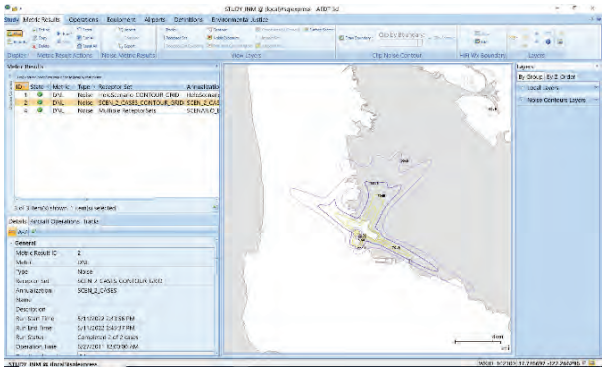


図1　AEDTのコンター表示画面

* Discussion methods and issues of aircraft noise prediction using AEDT for Japanese airports.

2.1 予測条件の入力

仮想の国内空港として、中～大規模の空港を参考に仮想条件を作成し、予測条件の機種、時間帯回数、飛行経路について、そのままをAEDTへ入力した。

機種データについては、AEDTのデータベースには、国内で運用されている多数の機種が収録されている。ただし、AEDTのデータベースに登録されているものと実際に日本国内で運用されているものでは、名前が同一であっても、エンジン型式が違っていたり、離陸上昇高度や、推力や速度変化といったプロファイルに違いがある。このため、機種の選択は国内で使用される機種とエンジン型式がなるべく近いAEDT収録機種を選択した。またプロファイルについては基本的に急上昇方式に近いものを選択し、内容を変更しないこととした。これについては課題点の一つであり後述する。エンジン試運転も機種、場所、運用時間をそのまま入力した。

AEDTでは日米の環境基準の違いからAPUや地上走行の騒音予測をする機能が無い。また地上構造物による遮音の影響を考慮する機能についても実装が無い。そのためこれらについては入力できない。このことも課題点の一つであり後述する。

この入力の段階で、機能やモデル、基礎データに違いがあることから、予測結果について、ある程度、国内モデルとの差異が予想された。

仮想の国内空港の予測条件としては、以下のように設定した。

- 離陸190回、着陸190回 程度
- 一方向(図2上向き)の離陸着陸運用が主となる2本滑走路の中規模空港。

2.2 AEDT出力コンター

AEDTによるL_{den} 57, 62dBのコンター出力結果を図2に示す。この結果を、一般的な国内空港のコンターと比べると、主に3点の特徴が課題として確認できる。

(A) 離陸滑走機体の斜め後方への音源指向性が強く、それにあたる場所の騒音暴露が大きい。

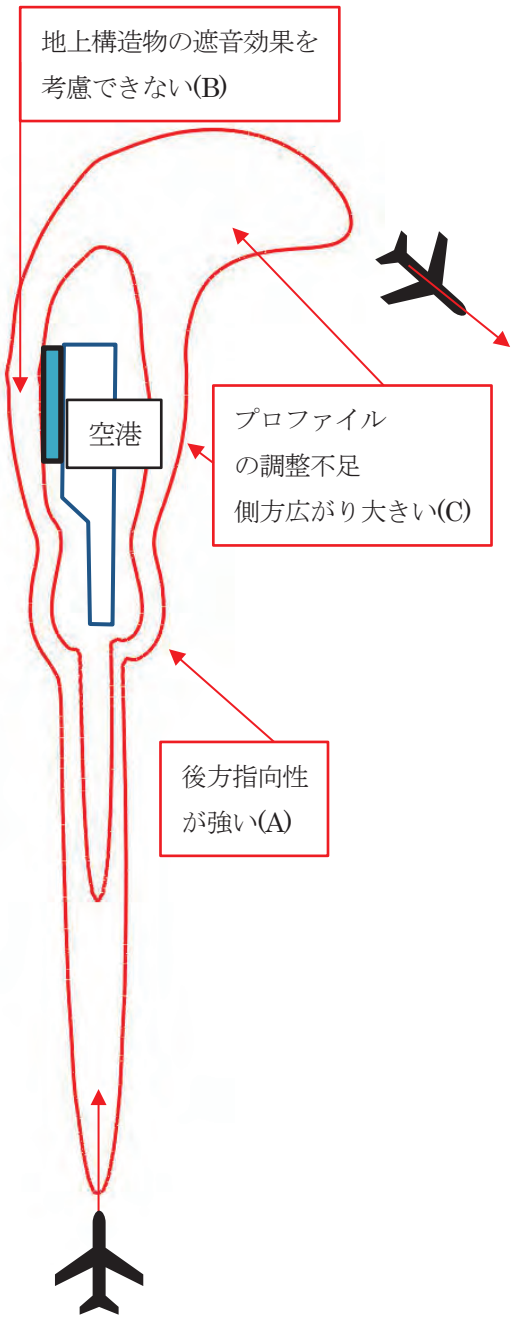


図2　AEDTによる仮想国内空港コンター
L_{den} 57, 62dB

(B) 地上構造物の遮蔽効果を考慮する機能がないので、ターミナルや格納庫の背後に、建造物の挿入損失による減衰(コンター線の凹み)が現れない。

(C) 離陸側の側方(飛行経路の左右方面)の広がりが大きい。(プロファイルの調整不足)

3. 予測結果の検討

予測結果についての3つの課題について、それぞれ要因を検討した。

3.1 セグメント計算式（課題A）

予測モデルを構成する計算式は、セグメント計算式と、幾つかの補正要因の項からなる。セグメント計算式は、基本的に有限長補正式であり、ダイポール指向性を実現する[8,9]。AEDTはECAC29 3rd edition記載の計算式を採用している。一方、AERCモデルはINM ver5の計算式に基づく。両者の計算式は違うものであり、ECACのものは継続時間を考慮するが計算負荷が大きい等の違いがある。しかし計算結果に大きな差異は無く、本質的には同等のものと考えている。

ECACの計算式だけの特徴としては、離陸滑走時に特別な指向性の補正式に切り替わる仕組みがあり、このときは特に斜め後方に強い指向性を持つ。この斜め後方は滑走路端の側方となるため、この場所に、AERCモデルによるコンターでは見られないような大きな暴露領域が生じている。

しかしECACのドキュメントとしては次の改定となる4th editionが既に発行されており、そちらの計算式では後方指向性が幾分弱くなるよう変更されていることから、AEDTの実装は過渡的な側面があると考えている。

どのような計算方法が国内の実態に近いかは、別に関連するテーマを設けて検討を進めているが[10]、国際整合性の理由から、AERCモデルにおいても選択式でECAC29 3rdや4thと同等の計算ができる機能の実装を進めている。

3.2 地上構造物の遮蔽効果（課題B）

AEDTには地上構造物の遮蔽効果を考慮する機能が無い。一方、AERCモデルは道路交通騒音で用いられるASJモデル[11]の壁の挿入損失を計算する手法を参考にした機能を組み込んでいる。大きな建造物や、防音壁、防音堤の裏側で遮音による減衰を考慮しない場合は、過大な騒音予測になるが、ECACやICAOのガイドラインには関連する考え方は無く、現在のところ、航空機騒音にそのまま適用可能な遮蔽物の計算方法も無いため、AERCモデルでは道路交通騒音としての違いはあるがASJモデルの計算方法を参考とした。

離陸や着陸滑走時、低高度の飛行中、駐機時などの複数の状態において、地上構造物の影響を考慮することができる。ただし、地上に近い領域を伝搬する騒音については、構造物以外にも様々な要因の影響を受けるため、適切な予測を行うためには遮蔽以外にも補正計算を行う必要がある。また、道路交通騒音と航空機騒音の違いもあり、精度向上の余地があると考えている。そこで、地上騒音を適切に取り扱うために、研究センターでは近年、国内空港での地上騒音測定などを通じて、精度向上の取組みをおこなっている。

一方、今回は整理するに至っていないが、AEDTには地形の起伏による遮蔽効果を計算する機能があり、地形に限っては類似の機能を持っていることが分かっている。これらのAEDTの機能や、他の海外モデルの機能や動向を調査する必要がある。

3.3 プロファイルの設定（課題C）

AEDTの機種別のプロファイルデータ（上昇や降下の仕方、推力や速度の変化）は初期状態では米国の空港におけるものなので、日本国内での現状には必ずしも適合しない。AEDTにはユーザーが変更を加えることを可能とするプロファイル調整機能があり、それの活用が必要となる。しかし難解なうえにライセンスや、データベース仕様で使いにくさを感じる。

AEDTでプロファイル調整を行うためにはユーザーに上昇方式などの基本的な知識の他、空港ごとの離陸方式や着陸方式に対する機体側の操作手順、離陸重量などの運用に関する知識など、詳しい知識が必要になる。そのうえでICAOと国内両方のプロファイルの内容を理解し、運用種別ごとに段階別に目標高度や速度を設定しなければ、適切なプロファイルを構築することができない。

このため、通常は標準のプロファイルを使用することになるが、機種別に用意されているプロファイルデータとしては、ECACが整備するANP (Aircraft noise and performance)データと、EUROCONTROLが整備しているBADA (Base

of Aircraft Data))version 3およびversion 4を選択式で使用することができる。

最も新しいデータであるBADA4については、機体メーカーとの守秘が課せられているのだと思うが、ライセンス上UI(ユーザーインターフェース)で表示禁止となっている。そのため、実質的にユーザーは新しいBADA4基礎データのプロファイルを調整して使うことができない。

また、AEDTでは騒音モデルと排出ガスモデルと統合されていることもあり、排出ガスモデルのためにエンジン種別が細分化された同型機が沢山並んでおり煩雑さがある。機種の選択は予測条件の重要な部分なので作業だけでなく条件の管理も難点がある。

4.その他の違いや使い勝手

4.1 地面の過剰減衰計算

AEDTは米国SAE (Society of Automotive Engineers)規格のAIR-5662により地表面減衰を計算する。一方国内のAERCモデルはAIR-1751に基づいた計算を行う。以前の国内モデルとの継続性を重視して同じAIR-1751の計算式を採用している。なおINM ver. 5もAIR-1751を用いるが、INM ver.7ではAIR-5662が採用された。

AIR-5662はAIR-1751のアップデートであり、3種類のエンジンマウントとバンク角による指向性の変化を考慮する仕組みが計算式に追加されている。計算負荷がそのぶん大きくなるデメリットも有るが、本質的には同じ性質の計算を行うものである。

予測範囲や空港規模にもよるが、地表面減衰計算の違いは、前述の3点のような違いほどではないが、空港側方の予測結果などにある程度影響する。

AERCモデルとしては、継続性のことと、現行の計算方法でモデル検証が行われてきたことを考えると、当面は現行の方式が用いられると思われるが、国際整合性の観点からAERCモデルでも複数の過剰減衰方式の選択を行えるよう準備を進めている。

4.2 運航情報の入力

AEDTでは運航情報の入力画面がウィザード方式であり、リストやテーブルデータによる情報を一括入力する手段がUIに備わっていない。

国内空港での運航情報の入力条件は、多くの場合、機種、飛行経路、時間帯別回数別で集計したものが用いられるが、大規模空港では数百から数千単位にもなる。さらに、AEDTでは、時間帯別に集計した運航回数でなく、ダイヤ上の発着の時刻指定で入力するウィザード方式のUIとなっている。そのため同じ予測条件を入力しようとしても他モデルに比べ入力回数が多くなる。

そのうえ一つの便の運航の入力に10段階ほどの入力画面からなるウィザードで回数やプロファイル、使用経路、APU(補助動力)などを設定していくため、作業量が膨大なものとなる。特に大規模空港の運航情報入力は困難となる。

別の方法としてSQL データベースを直接操作してリストから一括入力する方法があるが、データベース構造が複雑で難しさを伴う。

4.3 計算負荷・飛行分散

AEDTが採用しているECACの計算式は、前述のセグメント計算式や地面の過剰減衰のように、AERCモデルが採用したものより計算負荷が大きいものが多い。他にもAEDTではデータベースサーバーの動作が前提となっている仕様により、簡単に言うと計算が重い上に、時間がかかる。

また飛行経路のばらつきを考慮する飛行分散[12]についてはAERCモデルと同等の計算を行う機能を持つが、サブトラックによる計算量の増大から計算負荷がさらに大きくなり特に大空港の予測が困難となる。精度良く計算するように細分化した条件を設定してしまうと、高性能なPCで計算に数日かかることも予想される。

4.4 地上運用やその他の使い勝手

AERCモデルでは地上運用による騒音影響としてエンジン試運転、APU(補助動力)、誘導路の地上走行を予測計算する[4]。現時点でわかっている範囲では、AEDTではAPUと地上走行については条件設定できるものの、計算されるのは排出

ガス予測のみであり騒音予測はできないようである。

ほかにセグメント計算に関わるものは、離陸上昇時や旋回のセグメント分割ルール、推力テーブルの補完計算等に違いがある。これらは結果に大きな違いを生じないが、AEDTが用いるものはECAC記載のアルゴリズムであり、AERCモデルでも国際整合性のために選択式で同等の計算処理を行えるように準備を進めている。

評価量の種類については、AEDTは多種多様なものを備えているが、よく使われるものについてはAERCモデルでも準備を進めている。

5.まとめ

AEDTを用いて国内空港の騒音影響を予測する場合ついて、機能や計算内容を調査した。その中で、予測精度に関わりがあると思われるいくつかの課題が見受けられた。

主な課題として、

- モデル計算内容(セグメント計算式(有限長補正や後方指向性)、地表面減衰計算式等)により、ある程度国内モデルの結果との差異が生じる。
- 機能がないので計算不可能な要素がある。地上構造物の遮蔽効果や誘導路の地上走行、APU等。
- 使い勝手として、運航情報入力の作業量や、経路分散設定時の計算負荷が大きい等。
- 基礎データ、プロファイル調整機能などは難解かつ整備に課題。

AEDTはECACおよびICAOのガイドラインに準拠する国際モデルだが、継続して更新を重ねており現在も変化を続けている。地形機能等、今回整理するに至らなかった機能がある。引き続き内容を調査するとともに最新版の動向を追いたい。

参考文献

1) 吉岡序、山田一郎、エネルギーベースの航空機騒音予測モデルの妥当性に関する検討」日本騒音制御工学会講演論文集、2005.11
2) 岩崎潔、吉岡序、山田一郎、等価騒音レベルに基づく航空機騒音予測の考え方 – パイロットプログラムの作成、日本騒音制御工学会技術発表会講演論文集、2003.
3) L_{den}を評価指標とする航空機騒音予測モデルの開発 菅原政之、中澤宗康、吉岡序、山田一郎 航空環境研究 No.19 2015.
4) 航空機騒音予測における地上音の取り扱い 菅原政之、中澤宗康　航空環境研究 No.21 2017
5) 騒音予測コンターの信頼性を確保する予測条件の設定方法　菅原政之、中澤宗康、橋本弘樹 航空環境研究 No.22 2018.
6) 騒音予測コンターの信頼性を確保するための予測条件設定の検討 －飛行経路分散の考え方－ 菅原政之、中澤宗康　航空環境研究 No.23 2019.
7) AEDT 3d User Manual, AEDT 3d Technical Manual https://aedt.faa.gov
8) International Civil Aviation Organization, Recommended Method for Computing Noise Contours Around Airports, ICAO Doc 9911 2nd edition, 2018.
9) European Civil Aviation Conference, Report on Standard Method of Computing Noise Contours Around Civil Airports, ECAC Doc 29 4th Edition, 2016.
10) 航空機騒音の離陸滑走開始時の後方指向性 中澤宗康、航空環境研究 No.25 2021
11) 道路交通騒音の予測モデルASJ RTN-Model 2008の解説と手引き　平成21年7月　日本音響学会
12) 菅原政之、中澤宗康、騒音予測コンターの信頼性を確保するための予測条件設定の検討－飛行経路分散の考え方－、航空環境研究 No.23 2019

航空環境研究 No.26（2022）, PP.45 − 49

解　説

航空機運航と大気環境*

橋本　弘樹**

はじめに

地球上では自動車や工場の排ガスに伴う大気汚染、光化学反応により起きる光化学スモッグ、オゾン層の破壊や地球温暖化といった様々な大気環境問題がある。

航空機は車などと同様に化石燃料を燃焼して運航されていることから、空港周辺に大気汚染物質を排出するため空港周辺の大気環境問題があげられる。一方、航空機は自動車などと異なり高度13kmの上空を飛行し、その際も大気汚染物質を排出するため高高度の上空で大気汚染物質を排出する唯一の存在である（宇宙ロケットを除く）。その他、化石燃料の燃焼により気候変動の原因物質である二酸化炭素（CO_2）も発生する問題があげられる。

本解説では航空機の運航に伴う排ガスは地上3000フィート（915m）までは、空港周辺の大気汚染に係る地域環境問題として取り扱い、3000フィート以上で排出されるものは気候変動、地球温暖化の地球環境問題として取り扱うことにした。

また、新型コロナウイルス感染症（COVIT-19）の影響により2020年から航空需要が大きく減少していることから本報告では航空需要に影響がない2019年までのデータを用いて解説を行った。

図1に国土交通省の「交通関連統計資料集」[1)]を基に作成した日本国内の輸送機関別のエネルギー消費割合を示す。エネルギーの消費割合の約92％を乗用車、貨物車などの車が占めているが、航空機はジェット燃料として原油換算で5.1％消費しており、これが燃焼されると（エンジンや燃料により異なるものの）生成される大気汚染物質も概ねこれに相当する排出割合を占めることが推定される。

図1　輸送機関別エネルギー消費割合(平成30年度)

表1　航空機から排出される大気汚染物質と健康影響

大気汚染物質	地域環境(空港周辺)への影響 健康影響	ICAO規制
窒素酸化物(NOx)	呼吸器障害、発がん	あり
炭化水素(HC)	目、呼吸器障害、発がん	あり
一酸化炭素(CO)	めまい、吐き気、酸欠	あり
PM10、PM2.5（PM2.5よりも粒径が小さいPMの健康影響懸念）	呼吸器障害、発ガン	あり
硫黄酸化物(SOx)	呼吸器障害	なし
VOCs(揮発性有機化合物)ベンゼン等	呼吸器障害、発ガン	なし

1　地域環境問題（空港周辺）

1.1 航空機から排出される大気汚染物質と健康影響

航空機は化石燃料を燃焼させることから排出される大気汚染物質は車と同様な健康に影響がある物質となる。

表1に航空機から排出される大気汚染物質と健康への影響及びICAO（国際民間航空機関）による規制状況をまとめた。ICAOでは、一部の物質において航空機エンジン排出物の規制を行っている。

空港周辺における大気汚染は、空港のそばにあるからと言って特別な規制は行っておらず、人の健康を保護するうえで維持することが望ましい基準として定められている大気汚染に係る環境基準[2)]が適用される。大気汚染に係る環境基準を表2に示す。

* Aircraft Operation and Atmospheric Environment
** 航空環境研究センター　調査研究部　主任研究員

表2　大気汚染に係る環境基準

大気汚染物質		環境上の条件	
二酸化窒素	NO_2	1時間値の1日平均値が0.04 ppmから0.06 ppmのゾーン内またはそれ以下であること。(S53.7.11告示)	0.04～0.06ppm
一酸化炭素	CO	1時間値の1日平均値が10 ppm以下でありかつ，1時間値の8時間平均が20 ppm以下であること。(S48.5.8告示)	10ppm
浮遊粒子状物質	SPM	1時間値の1日平均値が0.10 mg/m^{3}以下でありかつ，1時間値が0.20 mg/m3以下であること。(S48.5.8告示)	0.1mg/m^3
微小粒子状物質	PM2.5	１年平均値が15μg/m^{3}以下であり、かつ、１日平均値が35μg/m3以下であること。(H21.9.9告示)	15μg/m^3
光化学オキシダント	Ox	1時間値が0.06 ppm以下であること。(S48.5.8告示)	0.06ppm
二酸化硫黄	SO_2	1時間値の1日平均値が0.04 ppm以下でありかつ，1時間値が0.1 ppm以下であること。(S48.5.16告示)	0.04ppm
ベンゼン	VOCs 揮発性有機化合物	年平均値が3 μg/m^{3}以下であること。(H9.2.4告示)	3 μg/m^3
ジクロロメタン		年平均値が0.15 mg/m^{3}以下であること。(H13.4.20告示)	0.15 mg/m^3
トリクロロエチレン		年平均値が0.13 mg/m^{3}以下であること。(H30.11.19告示)	0.13 mg/m^3
テトラクロロエチレン		年平均値が0.20 mg/m^{3}以下であること。(H9.2.4告示)	0.20 mg/m^3
ダイオキシン	Dioxine	年平均値が0.6 pg–TEQ/m^{3}以下であること。(H11.12.27告示)	0.6 pg–TEQ/m^3

1.2 航空機から排出される大気汚染物質の算出方法

空港周辺に影響する高度3000フィート以下で排出される航空機エンジン排出量の算出方法の一例を示す。図2にICAOで規定されている航空機の運航モード(LTOサイクル)を示す。LTOサイクルでは航空機の運航モードをアプローチ(着陸)、テイク・オフ(離陸)、クライム(上昇)、タキシング・アイドル(地上走行)の4つに定義し、それぞれエンジンパワーを30%、100%、85%、7%としている。ICAOの運航モードの時間を表3に示す。

ICAOではNOx、HC、COについて航空機エンジン排出規制を行っており、エンジンごとのLTOサイクル当たりの排出量をまとめたデータベースを作成している[3)]。このデータベースからB777-300などに搭載されているプラット・アンド・ホイットニー社製のPW4000型のLTOサイクル当たりの汚染物質の排出量が記載された部分を表4に示す。B777-300は2機のエンジンを搭載しているため1回着陸し、1回離陸するとNOxは63.3kg排出されたことになる。空港全体からの排出量は様々な機種の航空機1機あたりの排出量を求めて運航回数を掛け合わせると算出できる。

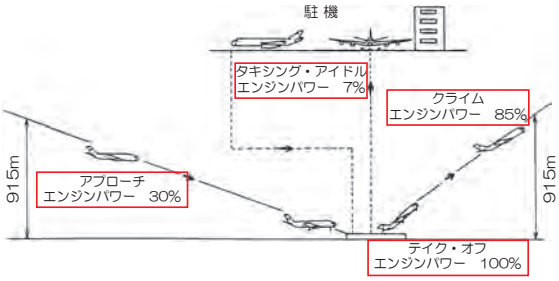


図2　航空機の運航モード(LTOサイクル)

表3　ICAOにおけるLTOサイクル時間(分)

テイク・オフ	0.7
クライム	2.2
アプローチ	4.0
タキシング・アイドル	26.0

表4　航空機エンジンからの排出量

運航モード	エンジンパワー設定(%F_{oo})	時間(分)	燃料流量(kg/s)	排出原単位(g/kg)		
				HC	CO	NOx
テイク・オフ	100	0.7	3.898	0.03	0.19	61
クライム	85	2.2	2.977	0.03	0.23	42.8
アプローチ	30	4.0	0.957	0.06	0.44	13.19
アイドル	7	26.0	0.268	2.3	20.63	4.29
LTOサイクルあたりの燃料(kg)と排出量(g)			1,204	992	8,848	31,629

1.3 国内空港の大気汚染状況

国内空港周辺の大気汚染状況を調査するにあたって調査期間によって2つに大別される。

1つ目は、環境省や自治体が行っているのと同様に24時間、365日連続で空気をサンプリングし

て自動分析機で測定を行うもので、空港周辺では成田国際空港株式会社（NAA）で実施されている。もう1つは国土交通省航空局が空港の大気汚染状況を把握するために7日間の短期連続測定を行っている。この測定は年間の大気汚染状況を把握できないものの、コストを抑えてある程度、空港周辺の大気汚染状況を把握することができる。

(1) 成田国際空港の常時監視測定結果

成田国際空港の常時監視測定結果の経年変化を図3に示す。すべての汚染物質も長期的傾向は減少傾向にあり、環境基準に適合していた。

(2) 航空局実施の短期測定結果

航空局はこれまで羽田空港を含め6空港で連続した7日間の短期調査を行ってきている。直近は令和3年12月17日～12月24日に羽田空港で行われた[4)]。図4に調査地点を示す。調査項目は環境基準が定められているSO_2、CO、SPM、NO_2、PM2.5の5種類と臭気を測定した。

大気汚染に係る環境基準では「工業専用地域、車道その他一般公衆が通常生活していない地域または場所」は適用外であり、羽田空港内は対象外であるが、測定した5種類の大気汚染物質についてすべての地点で環境基準以下であった。

臭気についても悪臭防止法では、自動車・航空機等の移動発生源は規制の対象外であるが、臭気指数の規制基準以下であった。

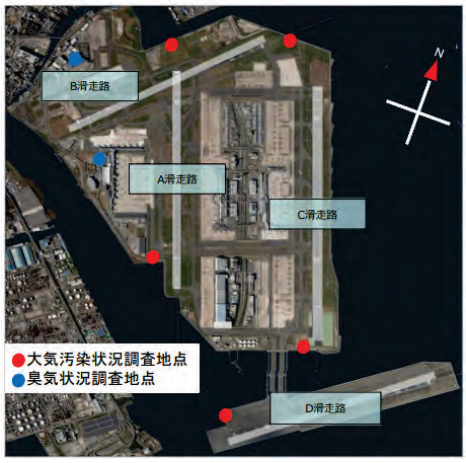


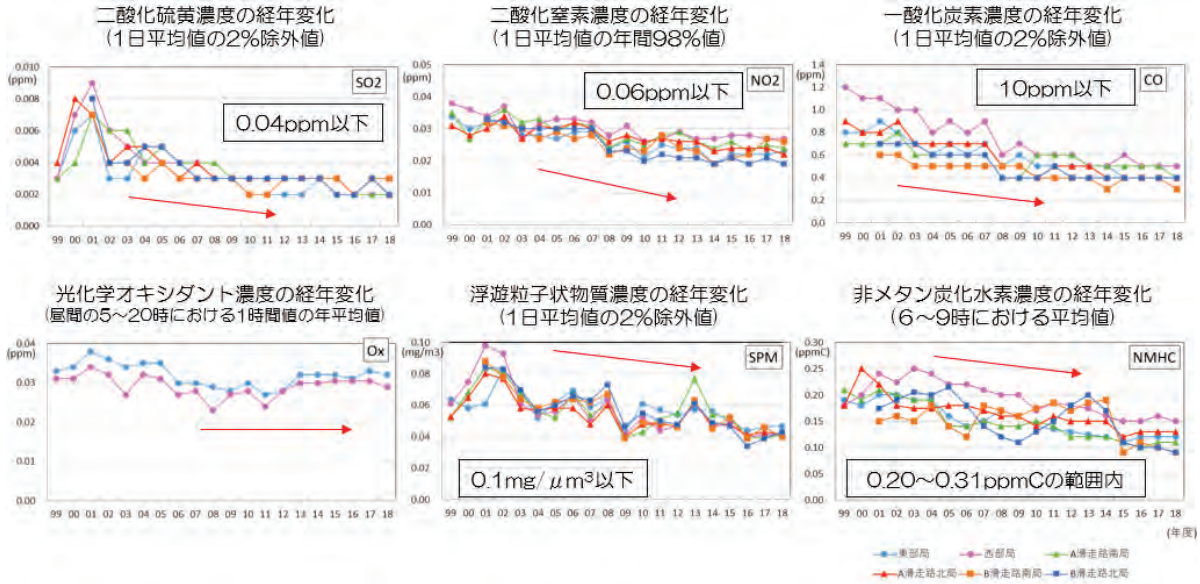
図4　羽田空港の調査地点

1.4 海外空港の地域環境問題

海外空港周辺の大気汚染状況の一例としてイギリスロンドンヒースロー空港の事例を示す[5)]。

図5にヒースロー空港周辺のNO_2濃度の経年変化を調査地点とともに示す。空港周辺にこれだけ多くの大気測定局を設置していることは空港の大気環境に関心が高いことの現れかもしれない。

EU及びUKの基準は日本と同程度であるが、空港周辺のNO_2濃度は、基準値を超えている測定局 がある。London Hillingdon局 やHayes局 では、道路のそばの測定局で自動車の影響が大きいと思われるが、空港内に設置しているHeathrow LHR2局で基準を超えていること及びすぐ近くの



□に示した数値は長期的評価の基準である。光化学オキシダントには長期的評価値はない。

図3　成田国際空港の常時監視結果

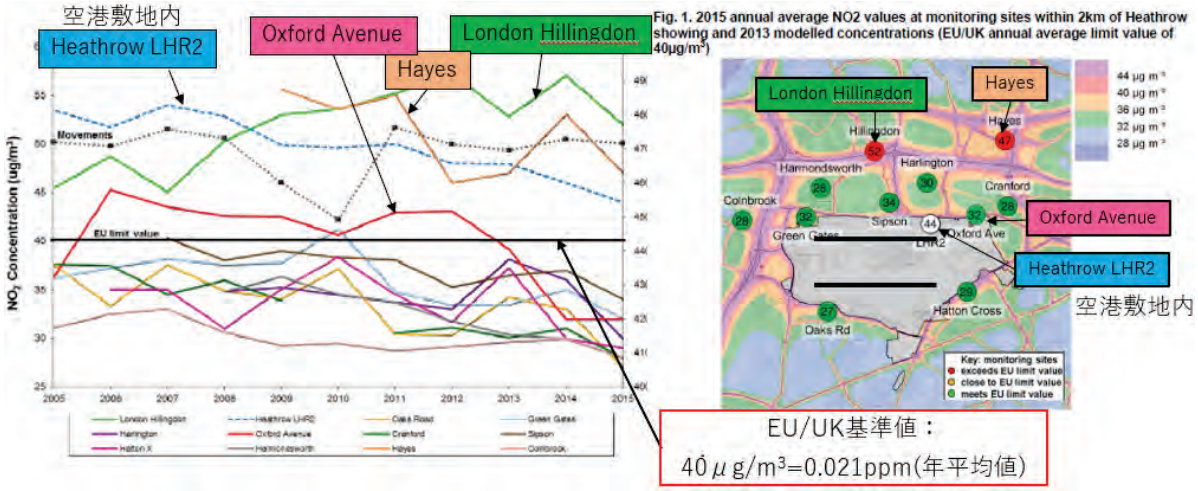


図5　ヒースロー空港周辺のNO_2濃度の経年変化

Oxford Avenue局より濃度が高いことは、航空機排出物の影響も無視できないと考えられる。

1.5 地域環境問題に対する対策

日本の空港では空港周辺の環境基準が定められた大気汚染物質は環境基準以下で問題がみられていない。一方、海外では、ヒースロー空港のNO_2濃度のように基準超過しており、航空機からのNOx排出を削減する必要がある。そこで、ICAOでは、図6に示すように航空機エンジンからのNOx排出物規制を1981年に導入し、それ以降4回にわたり規制を強化している[6)]。

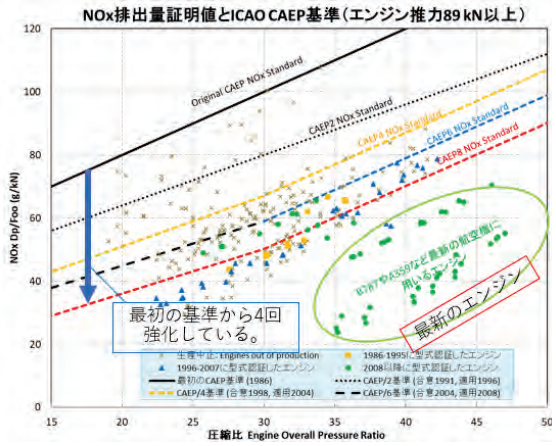


図6　ICAOによるNOx基準強化の状況

2 地球環境問題

2.1 航空機が占めるCO_2排出割合

図7に日本の運輸部門におけるCO_2排出量を示す。航空機からのCO_2排出量は1,054万トンで運輸部門の排出量の5.0%を占め、全国の排出量の0.93%を占めている。運輸部門の排出量は1990年度（2億600万トン）から2018年度（2億1000万トン）に1.9%増加していた。それに対し航空機からの排出量は1990年度（716万トン）から2018年度（1054万トン）に47%増加しており、航空需要の増加が著しい。

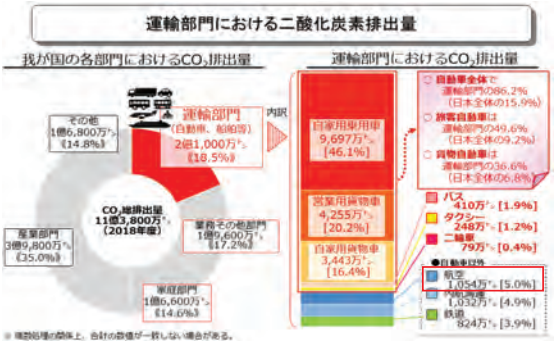


図7　運輸部門におけるCO_2排出量
（航空は国内線のみ）

2.2 国際的なCO_2削減対策

国際航空からのCO_2排出量抑制・削減対策は、国際的な枠組み（京都議定書）の中でICAOに任されている。

ICAOでは、2010年及び2013年に開催されたICAO総会において国際航空からのCO_2排出削減に係る目標を以下のとおり決定し、具体的対策を検討していくことになった。

①燃料効率を毎年2%向上させること。

②2020年以降総排出量を増加させない。

図8に国際航空からのCO_2排出量予測と排出削減イメージを示す。対策を全くとらない場合は、航空需要の増加によりCO_2排出量は増加してしまう。2020年以降にCO_2排出量を増加させないという目標を達成するためには1つの手法だけでは困難で様々な手法を活用する必要がある。そこで、ICAOでは、①運航方式の改善、②新型機材等の新技術の導入、③代替燃料の活用、及び④経済的手法の活用の4つの対策手法を取り入れることを検討した。将来的には、コストが低い代替燃料が大量に手に入れることが可能になるかもしれないが、当面①から③だけでは目標を達成することは困難なため経済的手法の排出権取引を利用することで実質的にCO_2を削減していくことにし、2016年のICAO総会で採択された。採択された排出権取引の詳細は、航空環境研究No.21（2017年）に解説記事を掲載しているので参照されたい[7]。

3 まとめ

日本の空港周辺の大気汚染の状況は、成田空港の常時監視測定結果から汚染物質濃度の推移をみると長期間のトレンドとして光化学オキシダントを除いてすべての汚染物質で低下傾向がみられ、すべての物質で環境基準を達成していた。また、航空局が実施している短期間の観測結果から、全国の主な空港の大気汚染物質濃度は、環境基準に対して適合していた。国内空港周辺では航空機の影響があまり見られていない。一方、海外の空港ではヒースロー空港のようにNO_2濃度が基準値を超過している例がみられ航空機の影響が考えられる。このため、ICAOではNOx排出量削減のために航空機エンジンからのNOx排出量の基準を段階的に4回も強化している。

地球環境問題の観点から、航空機からのCO_2排出削減に向けたICAOの取り組みは将来の代替燃料活用までは、経済的手法（排出権取引）を活用して行くことになっている。

参考文献

1) https://www.mlit.go.jp/k-toukei/kotsukanrensiryo.html（2022年10月6日閲覧）
2) https://www.env.go.jp/kijun/taiki.html（2022年10月6日閲覧）
3) https://www.easa.europa.eu/en/domains/environment/icao-aircraft-engine-emissions-databank（2022年10月6日閲覧）
4) https://www.cab.mlit.go.jp/tcab/haneda/post_329.html （2022年10月6日閲覧）
5) UK Aviation and Air Quality Report（www.sustainableaviation.co.uk）（2022年10月6日閲覧）
6) European Aviation Environmental Report 2016
7) 航空環境研究 No.21（2017）

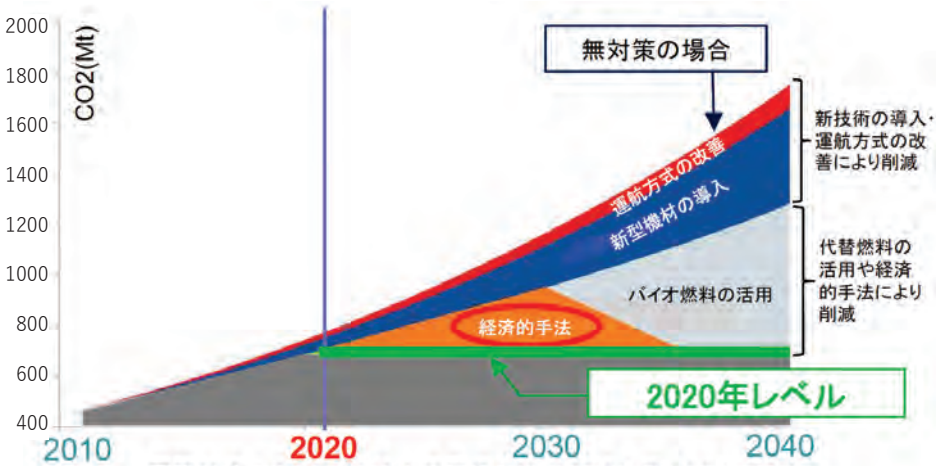


図8　国際航空からのCO_2排出量予測と排出削減目標のイメージ

航空環境研究 No.26（2022）, PP.50 − 51

追　悼

時田保夫先生の思い出*

山田　一郎**

本年5月9日未明、当機構（旧空港環境整備協会）理事並びに航空環境研究センター所長を務められた 時田 保夫 先生 が心不全のためお亡くなりになられました。享年97歳でした。心からお悔やみ申しあげるとともにご冥福をお祈りします。

時田先生は昭和63年に研究センター所長に就任され、平成13年まで13年間にわたり研究センターの運営に携わられました。ご在任中、航空局から委託された航空機騒音測定調査に参加したり、予測モデルの性能向上の委員会を主催したりされました。成田空港の飛行経路に関する委員会の委員長なども務められました。ご退任後は週1回ほどの割合で古巣である小林理学研究所（以下小林理研）に出向いて論文を読まれたり、外部からの相談に応じたりして、元気に過ごしておられました（小林理研で歓談されいる時田先生のお姿を写真1に示す）が、一昨年春からはコロナ禍でそれもままならず自宅で過ごしておられました。

写真１　小林理研にてご歓談中の時田先生、
テーブル上に筆談用の筆記具が置いてある
（落合博之氏提供：2019年６月７日撮影）

そのような状況の中、本年2月中旬に体調を崩して入院、治療を受け、さらに3月にリハビリが必要になって転院し、療養を開始されたそうです。小林理研ニュースの執筆記事に「研究所の創立85周年とともに百歳を迎え祝いたい気持ちでおります」と書かれ[1)]、百寿を目指す心意気を示されていたのですが、ご訃報に接することとなりました。残念です。

時田先生が研究センターの所長になられたきっかけは、小林理研を定年で退任される頃に、航空公害防止協会（当機構の設立時の名称）の研究センターの所長（初代）を務められていた故守田栄先生から後任を引き受けて欲しいと依頼されたからでした。それは研究センターが羽田空港の旧Ｂ滑走路端付近の多摩川べりにあった頃のことですが、その当時は小林理研に勤めていた筆者が研究センターに行って時田先生とお会いすると何だか不思議な気がしたものです。実はさらに昔、筆者は大学卒業後に宇宙航空研究所の五十嵐・石井研究室の助手をしていたのですが、週に一度、研究センターに出向いてミニコンを動かし、研究員の皆さんと論文輪読をしたり、騒音測定に参加したりしていました。時田先生が研究センター所長に就任される少し前小林理研に移っていたのですが、それ以降も時々、研究センターに行っており、時田先生と羽田でお会いすることになったのです。さらに、その後、筆者は平成7年に小林理研の所長となり、平成13年に研究センター所長職を時田先生から引き継いだのですから、随

* Memories of the former Director Dr. Yasuo TOKITA by Ichiro YAMADA (Part-time director of Airport Facilitation and Environment Improvement Organization, and Technical adviser of RION Co., Ltd.).

** 空港振興・環境整備支援機構理事 リオン顧問

分長い間、先生のおそばで後を追いかけつつ仕事をさせていただいてきたことになります。

先生のお若い頃に遡ってご経歴を振り返りましょう。先生は北海道のご出身で、昭和16年12月に海軍兵学校に入校、その一週間後の真珠湾攻撃からアメリカとの戦争が始まって就業短縮となって昭和19年3月に兵学校を卒業、海軍で飛行機の操縦を学び（初めての航空との関わり）、海軍中尉となって特攻隊最前線基地まで行かれたそうですが、出動前に終戦となり、無事復員されました。余談ですが、音響学会で活躍した某大学教授が兵学校での時田先生の後輩と分かり、先生の前では常に恐縮していたので微笑ましく思ったものです。さて、戦後、時田先生は昭和21年に北海道大学に入り直し、卒業後に上京して就職されましたが、ご令兄が小林理研に在籍されていた関係で小林理研に繋がりができ、昭和25年に小林理研に転職をされました。縁とは不思議なものだと回顧しておられます[1)]。小林理研に入ると、同所開発の圧電セラミックスを使って加速度振動ピックアップを設計して製品化する仕事に携わられました。昭和20年代後半、音響学会が委託を受けて立川基地周辺の学校の騒音調査を行いました。それが時田先生が航空機騒音の問題に関与した最初の機会です。その時に音響学会の騒音部会長をされていたのが守田栄先生です。ちなみにその当時は教室内の騒音の大きさがどれくらいか何回かということで先生の話がどれ位聞き取りにくいか判定したそうです。

昭和30年代にはいると、公害が大きな社会問題として取り上げられることになり、騒音と振動の計測や対策の仕方の講義や指導のため、時田先生達は全国を駆けめぐられたそうです。さらに先生は、低周波音問題にも取り組まれ、圧電素子を使って低周波領域まで測定できるマイクロホンを開発し、ダムや高速道路周辺で測定し、建具のがたつきや圧迫感振動感の評価方法の確立にも尽力されました。環境庁の振動規制法の制定にも貢献しておられます。昭和55年には先生はデンマークのAalborg大学で開催された低周波音の国際会議に出席し、その時に見学した大学の研究室の実験室を参考にして、帰国後、小林理研の残響室群の一角に複数人が同時に実験参加できる低周波音実験室を作り心理・生理実験を行ってデータ集積に活用されました。その成果（いわゆる圧迫感・振動感の閾値特性）は現在でもしばしば活用されています。

時田先生は、昭和56年に小林理研の所長・常務理事に就任され、研究所運営にも携わられました。前述した通り、その前年に筆者が小林理研に入所、時田先生が航空局から依頼されて小林理研で行うことになった大阪空港の航空機騒音監視システムの設備更新の基本設計や実施設計等を担当しました。大仕事でしたが、今は懐かしく思い出されます。

時田先生は、いつからか記憶にありませんが、難聴になられ、リオンの補聴器を使っておられました。音響学の専門家である時田先生の装用経験のフィードバックはリオンの補聴器性能向上にも随分役立ったのではないでしょうか。しかし、晩年は補聴器を装用しても聴こえなくなって筆談を併用されるようになりましたが、それでも時折り小林理研で過ごすひとときを楽しみにされていました。この記事が航空環境研究に載る頃、小林理研ニュースも追悼記事を掲載するようです[2)]。時田先生の小林理研での様子も紹介されるようですので、機会があれば、ご一読されると良いのではないでしょうか。

参考文献

1) 時田保夫、小林理研との繋がり、小林理研ニュース、No.149, JUL. 2020.
2) 落合博明、時田先生を偲ぶ、小林理研ニュース、No.158 OCT. 2022.

活動報告

研究センターの動き *

航空環境研究センターでは、令和３年度、主に次の自主研究、受託事業、研究発表・講演及び広報活動等を実施した。

1．自主研究

【研究テーマ】

(1) 主要海外空港の環境対策情報分析
(2) 航空機騒音予測モデルの機能向上に関する研究
(3) 騒音予測技術に関する海外モデルとの比較検討
(4) 離陸滑走時の騒音指向性に関する研究
(5) 予測用基礎データ最適化に関する検討
(6) 空港周辺騒音測定への自動音源識別の適用に関する研究
(7) 航空機騒音測定・評価手法に関する研究
(8) 騒音影響評価の海外動向分析
(9) 航空機騒音の音質評価に関する研究

2．受託事業

(1) 航空機騒音基礎検討業務
(2) 空港周辺航空機騒音等実態調査
(3) 航空機騒音予測計算作業
(4) その他航空環境に関する調査

委託者別件数	公的機関等	7件
	民間	3件

3．研究発表・講演等

【学会発表】

(1) 50th Inter-noise 2021（第50回国際騒音制御工学会議）［米国／ワシントンＤＣ］
<Keynote Lecture>
Efforts for reducing the impact of aircraft noise at Japan and worldwide airports and a suggestion for the improvement to the next generation
篠原 直明（Naoaki Shinohara）
キーノートレクチャーとして、日本および世界の空港における航空機騒音影響軽減の取り組み、ならびに今後の改善に向けての提言を講演した。（web開催）
(2) 50th Inter-noise 2021（第50回国際騒音制御工学会議）［米国／ワシントンＤＣ］Study on aircraft noise directivity of behind the start of takeoff roll,
中澤宗康、篠原直明（Toshiyasu Nakazawa、Naoaki Shinohara）
(3) 日本音響学会、騒音振動研究会
航空機騒音を音源とした室内外音圧レベル差測定手法の検討
下山晃司、篠原直明、大島俊也
(4) 日本騒音制御工学会、秋季研究発表会
篠原直明、航空機騒音の短期測定による長期間評価の信頼性に関する検討
～滑走路運用方向割合からの分析～
(5) 台湾声楽学会
Monitoring changes in aircraft noise during the COVID-19 attacks in Japan,
山本貢平*、篠原直明（Kohei Yamamoto and Naoaki Shinohara）

【論文】

(1) Internatioal Journal of Environmental Research and Public Health,
Representative Exposure–Annoyance Relationships Due to Transportation Noises in Japan, 横島潤紀*、森長誠*、辻村壮平*、下山晃司、森原崇*（Shigenori

* Annual activities of Aviation Environment Research Center

Yokoshima, Makoto Morinaga, Sohei Tsujimura, Koji Shimoyama and Takashi Morihara）

(2) Internatioal Journal of Environmental Research and Public Health, The Effect of an Alternative Definition of "Percent Highly Annoyed" on the Exposure–Response Relationship: Comparison of Noise Annoyance Responses Measured by ICBEN 5-Point Verbal and 11-Point Numerical scales, 森長誠*、グイエン・ツ・ラン*、横島潤紀*、下山晃司、森原崇*、矢野隆*（Makoto Morinaga, Thu Lan Nguyen, Shigenori Yokoshima, Koji Shimoyama, Takashi Morihara and Takashi Yano）

注）*は外部研究者

【執筆】

(1) 日本騒音制御工学会、
騒音制御46巻3号
技術資料 地域の音環境評価のための機械学習による航空機騒音の識別
執筆者：大島俊也

【講演】

(1) 日本騒音制御工学会、
第128回技術講習会「騒音・振動の法規制と苦情への対応・対策」
講演名：航空機騒音対策と苦情要因
講演者：篠原直明

(2) 日本騒音制御工学会、
第130回技術講習会「環境騒音の測定方法マニュアル・ノウハウを学ぶ」
講演名：航空機騒音測定マニュアル・ノウハウを学ぶ
講演者：篠原直明

(3) 環境省環境研修所
令和3年度騒音・振動防止研修
講演名：航空機騒音の現状と課題

(4) 日本騒音制御工学会
環境省請負業務、令和3年度新幹線鉄道騒音・航空機騒音に関する講習会実施運営業務
講演名：航空機騒音測定・評価マニュアルに基づく航空機騒音の測定・評価方法
講演者：篠原直明

4．広報事業

(1) 第5回自主研究発表会
令和3年6月3日（木）、オンライン（ZOOM）方式で開催
研究発表　6件、参加者　250名

(2) 第46回空港環境対策関係担当者研修の開催
空港周辺地域を管轄する関係自治体等職員を対象にオンデマンド方式の動画配信による研修を行った。
（申込者数237名）

(3) 機関誌「航空環境研究」No25号発行。

(4) 航空環境に関する国内外の多岐にわたる情報の関係機関への提供。

5．委嘱状況（委員会委員・組織等）

(1) 公益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）
篠原直明［任期R3.4～R5.3］

(2) 公益財団法人成田空港周辺地域共生財団
航空機騒音評価委員会　委員
篠原直明［任期R2.4～R4.3］

(3) 公益財団法人防衛基盤整備協会
防衛省委託業務、航空機騒音の評価方法等の検討に関する調査業務（その２）
委員、篠原直明　［任期R3.12～R4.3］

(4) 中央復権コンサルタンツ㈱
環境省委託業務、我が国の環境騒音に係るあり方に関する検討会　委員
篠原直明　［任期R3.12～R4.3］

(5) 日本エヌ・ユー・エス㈱
環境省委託業務、船舶・航空機排出大気

汚染物質の影響把握に関する検討委員会
委員　橋本弘樹　［任期R3.10～R4.3］

(6) 公益財団法人日本騒音制御工学会
会誌編集部会　委員
中澤宗康　［任期：R2.6～R4.6］

(7) 公益財団法人日本騒音制御工学会
事業部会　委員
下山晃司　［任期：R2.6～R4.6］