

## 焦点

## 航空機騒音測定・評価マニュアル：改訂の経緯と今後の課題\*

山田 一郎\*

## 1. まえがき

日本で民間航空にジェット機が導入されてから70年近く経つ。その導入で空港周辺に深刻な騒音公害が勃発したが、1973年(昭和48年)暮れの「航空機騒音に係る環境基準(以下、環境基準)」告示を契機に国が包括的な騒音対策に取り組み、様々な施策を行った結果、騒音被害は次第に軽減されていき、騒音暴露も低減し、住民の音環境も改善され静穏化が進んだ。しかし、航空機騒音が問題でなくなったわけではない。それどころか、今世紀に入り、航空機騒音のアノイアンス反応が厳しくなったといわれている。また、十年あまり前に広域航法(PBN)に基づく新しい運航方式が導入され、列車が線路を走るがごとくに航空機が決まった経路を高頻度で飛行するようになって、低レベル高頻度の騒音暴露の状況が生じて激しい騒音苦情が起き、今に至っている。欧米も同様である。さらに首都圏の航空交通容量拡大を目指し、羽田では都心上空を通る新たな経路が導入されて騒音と落下物の懸念が訴訟提起に繋がっているし、成田では夜間への運航拡大や第三滑走路の建設が始まり、睡眠妨害や健康影響が懸念されている。このような航空と空港を巡る動きの中、2013年に一部改正された航空機騒音に係る環境基準が施行され、航空機騒音の評価指標が $WECPNL$ から $L_{den}$ へと変わったこともあって航空機騒音を測定評価するためのマニュアルが作られ、「航空機騒音測定・評価マニュアル」として出版された(以下、現行マニュアルと記す)。現行マニュアルは、その後、3回にわたって改訂され、最新版は本年2020年(令和2年)春に発行された第4版である。この最新版は環境省のホームページからダウンロードすることができる<sup>1-3</sup>。

本稿ではこの航空機騒音の測定・評価に関するマニュアルの開発の経緯を回顧し、概要紹介するとともに今後の課題について若干考察した結果を述べる。

## 2. 航空機騒音監視測定マニュアル1988年版

わが国で航空機騒音を監視測定する方法を記した手引きとしてマニュアルが作成されたのは、基準の告示から15年後の1988年(昭和63年)に発行された航空機騒音監視測定マニュアルが最初である<sup>4</sup>(以下、1988年版や旧マニュアルと記す)。その序文によれば「基準告示から15年経ったが、基準の達成されない飛行場が多く残り、引き続き航空機騒音の監視測定を行い、基準の達成遵守を図っていく必要がある。しかし、基準や関連する通達には測定・評価の実務的な手順(測定地点や測定時期の決め方、等々)が示されていないため、様々な飛行場の態様に応じて騒音の状況を適切に評価するうえで不十分なので、航空機騒音の監視測定を実施する方法やデータ整理の方法を記したマニュアルを作った」と策定の趣旨を述べている。ジェット旅客機の騒音対策が喫緊の課題となり、航空機騒音防止法の制定、環境基準の告示を経て、その後十年を目途に国を挙げて様々な施策が推進され、次第に改善されていった。告示後15年とはそんな時期であり、基準の達成を判定するための評価値の測定で混乱することがあって測定評価の手順を明確にすることが求められたからである。訓練飛行などで飛行回数が大きく変化する自衛隊等の飛行場の測定期間は定期便主体で発着回数の安定した民間空港と同じでよいのか、測定点から飛行経路が見通せない場所で測定してもよいのか、一機しか飛ばない

\* Manual for the measurement and evaluation of aircraft noise: Historical review of revisions and future issues," by Ichiro Yamada, (Director of the Organization of Airport Facilitation and Advisor of RION Co. Ltd.

のに複数の騒音イベントが観測されたり、複数機が飛行したのに騒音イベントが一つしか観測されなかったりした時どう処理するべきかといったことが問題になっていた。基準の未達成な飛行場の状況改善を図るうえで不可欠な騒音評価の手順が必ずしも一貫していなかった。旧マニュアルは、そんな状況に対処する手引きとして作成されたもので、飛行場の種別から始めて測定点と測定期間、測定器、短期測定の注意事項、自動監視装置、データ処理方法までの6章立てで記述され、タイプ別飛行場一覧、環境基準と関連通達、測定点の配置の考え方、特殊飛行場の判定手法、その他の注意事項の附録が付された。

1973年に告示された環境基準では航空機騒音の評価指標に  $WECPNL_J$  を使用したが、その定義は、国際航空条約附属書ICAO ANNEX 16（環境保護）附録に記載されていた空港周辺の土地利用計画の評価指標  $WECPNL_{ICAO}$  を近似したものだ<sup>5,6</sup>。 $WECPNL_{ICAO}$  の算出は、航空機騒音を測定録音し、0.5秒毎に1/3オクターブバンド周波数分析をして複雑な手順で計算する必要があり、コンピュータ（ミニコン等）を使って分析しなければならず、現場で簡単に行うことができるものではなかった。そのため、騒音計とレベルレコーダで簡単に算定できる方法としてA特性最大音圧レベルのパワー平均値に騒音機数の補正を加える簡便な近似式を用いて定義された<sup>6</sup>。

その当時、主要空港の騒音状況を監視するため、国等は大規模な騒音監視システムを設置して自動監視を始めていたが、一般には基準達成の確認にそうした装置を使うことはできず、航空機騒音を測定する簡単な方法が強く求められていた。 $WECPNL_J$  であれば、騒音計とレベルレコーダで騒音レベルを記録し、最大騒音レベルを読み取り、電卓で評価値を算出することができる。暗騒音を耳で判断し、航空機の音が聴こえ始める直前の暗騒音のレベルから10dB以上大きければ航空機の騒音と判定する。航空機騒音識別も評価値算定も簡便が第一だった。それでも、有人測定なので、短期間しか続けられないため、連続する1週間

の測定が基本とされた。そうした状況であったため、旧マニュアルには適用範囲や用語、報告事項等の記述はなく、欠測や暗騒音混入等の影響に関する定量的な目安も示すには至らなかった。

旧マニュアルは地方公共団体等に配布されたが、普及啓発を図る講習会が開催されたか分ならず、活用状況も調査していないと思われる。そのため、測定方法の統一や信頼性向上にどれほど役立ったかは分からない。

### 3. 現行マニュアル発行の経緯

#### 3.1 環境基準の一部改正

航空機騒音に係る環境基準の部分的な改正が2007年（平成19年）に行われ、騒音評価指標が  $WECPNL_J$  から時間帯補正等価騒音レベル  $L_{den}$  へ変更された。それを算出する基礎となる単発騒音の評価指標も最大騒音レベル  $L_{A,Sm\max}$  から単発騒音暴露レベル  $L_{AE}$  に代わった。その契機は成田空港における2002年（平成14年）の暫定平行滑走路供用開始後の「W値の逆転問題」である<sup>6</sup>。暫定平行滑走路の供用開始後に、騒音測定したところ、便数が増えたにも関わらず  $WECPNL$  の値が低下した測定点があった。極めて些少な変化だったが不合理な現象として問題視され、それを端緒に、環境基準の騒音評価指標と算出方法が見直されることになった。前述の通り、 $WECPNL_J$  の計算式がICAOの定義の近似表現であり、その条件を満たさないことで起きた些少な誤差とみるべきものであったが、不合理の解消が求められ、近似表現を止めてエネルギーベースの騒音評価を定義通りに行うことになって、新たな評価指標として時間帯補正等価騒音レベル  $L_{den}$  が採用された。昼夕夜の時間帯に分けた補正を行うこと、単一数値で評価することは変わらなかった。まだ基準が未達成の地域を残す飛行場があることから指標は変えても基準値は同じに維持したいという方針があった。騒音評価の観点からみれば、ノイジネス評価からラウドネス評価に変わったが、多数の航空機騒音の総暴露量の評価という点では変わらないし、 $WECPNL_J$  の計算式がA特性最

大音圧レベルに基づく近似表現だったので違和感を持たれることもなかった。等価騒音レベルによる騒音評価は環境基準が騒音測定の方法として引用するJIS Z 8731「環境騒音の表示・測定方法」でもすでに1983年(昭和58年)の改訂で導入されており、基準適用対象から除外されていたヘリポート等の環境保全指針として1990年(平成2年)に策定した小規模飛行場環境保全暫定指針でも $L_{den}$ 評価を採用したこと、等々、騒音評価の趨勢がそうになっていた<sup>7</sup>。なお、空港周辺の航空機騒音の評価は、広範囲を対象とするため、離着陸騒音のみを評価の対象とするのが一般的であったが、2007年の一部改正で航空機の地上運用(タクシーイング・APU稼働・エンジンランナップ)の騒音影響も無視できない場合があるとされ、基準に明記しないが、必要な時は測定・評価対象として考慮することになった。

### 3.2 現行マニュアルの作成と改訂の経緯

新基準はこのような経緯を経て2007年暮れに告示されたが、航空機騒音防止法等の関係法規の改正が必要であったため、施行は6年後の2013年(平成25年)まで先送りすることになった。それゆえ、それに先立ち航空機騒音測定・評価方法を記述するマニュアル(現行マニュアル)を新たに作るようになった。基準の一部改正で航空機騒音測定・評価方法が大きく変化した：単発騒音暴露レベル $L_{AE}$ になり、妨害音の混入の影響が大きくなったほか、地上騒音の測定・評価方法の記述が必要になったためである。マニュアルを作成する目的は、基準達成を判定するための測定・評価の標準的かつ統一的方法を確立し、評価の信頼性と透明性を担保することであり、マニュアル活用の価値を高めるため、参考となる情報や実務事例をできるだけ記述することにした。些少な不合理を切っ掛けに指標を改めたことや地上騒音の寄与も考慮することの他、旧マニュアルの時代から長い年月が経って測定やデータ処理に使用する機器やコンピュータが大幅に進歩し変化していることを踏まえ、航空機騒音を適切かつ効率的に評価することが重要であり、測定・評価の信頼性の

担保について様々な状況での処理の事例を挙げて分かりやすく説明する必要があると考えたからである。

上述した通り、現行マニュアルの作成は2007年から始まり、2009年(平成21年)に本文と附録から成る初版(2009年版)が完成して、地方公共団体に配布して試験活用してもらい、不十分な点について意見が求められた。測定・評価の信頼性を担保する条件(妨害音の取り扱い等)の解析検討、参考となる事例収集も行われた。その結果に基づいて内容を改善し、本文・附録・参考資料の三部構成にした第2版が2012年(平成24年)に公表された(2012年版)。その後、2015年(平成27年)には、計量法の騒音計検定に関する技術基準である特定計量器検定検査規則が改正されて、それを受けて騒音計の取り扱い方法の記述を修正した第3版が作られ、同年公表された(2015年版)。さらに環境省は、2012年版ができた後、2013~2014年の2か年にわたって地方公共団体の担当者らに向けてマニュアルの講習会を開催して普及啓発を図った。その終了時点において、未だ対処し難い場合や分かりにくい点はないか精査し、19項目の課題に整理した。環境省は、2016年以降3か年にわたり、それら19課題の解析、調査、検討を行い、改善策を検討して新たな改訂版を作成した。その改訂版の講習会を2019年(令和元年)に開催し、最後に全体の記述確認を行い、本年3月、第四版(2020年版)として発行した<sup>8</sup>。これが現行マニュアルの最新版で環境省ホームページからダウンロードできるものである。

### 3.3 現行マニュアルの初版と第2版の概要

本節では現行マニュアルの初版(2009年版)と第2版(2012年版)の内容を簡単に振り返る。なお、第3版(2015年版)は、前述した通り、騒音計の取り扱い方法の記述を修正した以外には第2版と変わらないので省略する。

2009年版：現行マニュアルを作成するにあたり、本文の構成は、航空機騒音の無人監視の国際規格ISO 20906に倣い、目的、用語、測定器、測定地点、測定期間と時期、測定・評価方法、取りまと

めの7章仕立てにした<sup>6</sup>。国際規格と同じ方が馴染み易いと考えたものである。このマニュアルの作成時に新幹線と在来線の鉄道騒音の測定マニュアル作成も並行して進められたため、技術的な事項で共通にできることはなるべく揃えるよう配慮した。本文はなるべく簡潔に記述すること、附録を充実することとされた。附録には環境基準等の引用に加え、飛行場一覧、測定地点の選定上の注意事項、年間平均値の推計方法や特殊な場合の取り扱い、改正基準施行前に $L_{den}$ の評価を行う場合の過渡的措置についても記述した。なお、旧マニュアルと異なり、レベルレコーダは、騒音測定システムの表示装置としてJIS C1509-1に適合しないので、レベル変動の監視や暗騒音レベルの確認の目的で使用するように規定された。

2012年版：マニュアルの構成を新幹線・在来線のマニュアルと揃えることになって、本文・附録・参考資料の三部仕立てになった。2009年版からの主な変更点は以下の通りである：本文の第1章の測定・評価の目的が変更された。2009年版は一般的な航空機騒音の状況把握と基準達成状況の把握だったが、2012年版では後者に限定された。2章では航空機騒音に係る用語が航空機に係る用語に改められ、記述内容も見直された。3章ではIII型騒音計(積分型騒音計)が削除されて無くなり、ウィンドスクリーンの記述も変更された。4章は測定地点選定の記述変更、5章は季節ごとの測定・評価を求める通達の廃止に対応するための測定の時期と期間の記述の変更が行われ、マニュアルの重要性が高くなる結果となった。6章では測定・評価手順の記述の大幅な見直し、7章では測定・評価の結果取りまとめの記述を簡素化した。測定項目等の記述は6章に移された。その他、レベル値の取り扱いは四捨五入によることとし、評価の途中のレベルは小数第一位までの数値、最終的な評価値は整数値として表すこととされた。附録は基準等、飛行場一覧、補足用語、測定地点選定の注意事項等、マニュアルの一部を成すものに限定した。年間推計の方法や特殊な場合の扱いは参考資料に移し、事例を増やして実

用性を高めた。改正基準の施行に伴い過渡的措置の記述を削除し、*WECPNL*で評価する場合の取り扱いを記述することとなった。

### 3.4 現行マニュアルの19課題の検討と改訂

現行マニュアルの第二、三版でも分かりにくい点や対応し難い場合として挙げられた19課題は、測定計画に関する6課題(適切な測定環境の判断、暗騒音の状況の判断、測定時期の判断の目安等)、データ処理や評価方法に関する10課題(妨害音取り扱い方法や積分範囲変更の判断、地上騒音の評価方法等)、解説の充実などの3課題であった。これらについて様々な飛行場の監視データを収集して行った解析、シミュレーション計算、自治体へのアンケートを通じた実態把握をして改善策を検討し、新たな改訂版を作成した。19課題の検討とは別だが航空機騒音の常時監視における欠測や測定地点変更の取り扱いについても追加的に検討した<sup>9</sup>。

旧マニュアルは1973年に告示された環境基準に対応したアナログ式の騒音計とレベルレコーダで*WECPNL*を測定・評価する手順を記述したものであったが、現行マニュアルは2007年に一部改正された環境基準に対応してデジタル式の騒音計でエネルギーベースの $L_{den}$ の測定・評価を定義通りデジタルの時代にマッチした手順で行うもので、二度の改訂を経て充実した内容になっていたが、最新の2020年版は、19課題への検討を踏まえてさらに改訂され、信頼性の観点でも完成度の高いものになっている。

### 3.5 現行マニュアル第4版の改訂概要

現行マニュアル第4版(2020年版)への改訂にあたって、基準が引用するJIS Z 8731が改訂され、それと整合性を保ちつつ、本文への追加修正は、必要最小限度に止めることとした。附録は必要に応じて追加・改訂する、参考資料は一層の充実を図ることを基本の方針とした。

2020年版の改訂の主な修正は以下の通りである。

マニュアル本文の改訂：章節単位の追加・削除はなく、一部の記述の最低限の修正・追加に止めた。  
〔はじめに〕：附録4、附録5に測定評価の全体に

わたる手順を示してあることを追記した。個々の事項が記述してある章・節の番号を付記して読みたい記述個所に容易にたどり着ける。

2章の飛行場のカテゴリーの定義の見直し：定期航空便の有無で各カテゴリーの対象を明確化した。関連して附録3のタイプ別飛行場一覧も更新した。

5.1節の測定時期に関する記述変更：「例えば夏と冬」という記述を「例えば季節を変えて」に変更して、夏と冬にこだわらず、飛行場ごとに適切な時期を選択できるように変えた。これに関連して参考資料3.1「測定時期と回数の設定」を追加した。

5.2節の測定期間に関する記述変更：タイプ3のカテゴリーの飛行場の定義の明確化に伴い適切でなくなった記述を削除した。このタイプは基本的には運航頻度が低いので騒音影響の大きな時期に測る。参考資料3.2「飛行場タイプ別の測定時期の考え方」を追加した。

6.3.1 (2) の測定器の動作確認の記述変更：測定の現場で騒音計の正常な動作を確認するために音響校正器により表示値を点検するが、第3版までの記述では表示値の差が $\pm 0.7$ dB以上の場合には性能劣化や故障の可能性があるので「測定に使用しない」と言い切っていたが、第4版ではこれを改め、「使用しないことが望ましい」と表現を緩めた。その代わりに、「差が $0.7$ dBを超える状態で測定した場合は測定結果は参考とする」との注記3を追加し、騒音計は点検修理するよう推奨することにした。これと関連して参考資料4.3「騒音計の動作確認」の記述を追加変更し、この判断目安 $\pm 0.7$ dBの設定の根拠や感度変化をもたらす故障の原因、参考値とする場合の取り扱いについて説明した。

6.4.3 の最大騒音レベル算出の記述変更：最大騒音レベルをII型騒音計の $L_{Aeq,1s,max}$ で算出する方法を測定の信頼性の観点から削除した。

マニュアル附録の改訂事項：改訂の方針に従い、必要なものに限り、記述の追加変更をした。地域類型に係る処理基準の追加、飛行場一覧の見直し、測定・評価手順のフローチャートの変更と

充実を行った(短期測定と通年測定の手順を分けた)他、騒音評価に係る用語説明を参考資料へ移した。

マニュアル参考資料の改訂：以下の事項の解説の充実を図った。測定計画の立案の参考となる資料として、測定地点の選定方法、適正な測定環境の判断目安、測定の時期と期間、タイプ3の小規模飛行場やヘリポートでの測定における留意事項を記述した他、騒音計の動作確認やセミ等自然音の影響や準定常騒音と単発騒音の重畳の取り扱い、 $L_{den}$ の年平均の推計方法の記述追加、騒音評価に関する解説(騒音評価指標の意味や時間帯補正の意義の解説)の追加を行った。

I型とII型の騒音計の違いについての付記事項の追加：飛行経路から離れた地点でII型はI型より $0.5$ dB以上小さくなることがあり、設備更新時にI型へ変えていくよう推奨する記述を追加した。

#### 4. 今後の課題

環境基準が告示された時代から現代まで半世紀近く経ち航空機の運航や騒音暴露の状況は大きく変化した。人が求める生活の質の高さも変化した。今では新たな運航方式の導入で航空機が高頻度で頭上を飛び、昔より $20$ dB以上も低い騒音レベルでも環境基準の対象にならない低騒音暴露の地域からも厳しい騒音苦情が寄せられて騒音の状況の説明が求められ、騒音対策を迫られる。そのため、そうした低騒音暴露の地域でも騒音を測定し評価する必要が生じている。評価に求められる信頼性、透明性も高くなっているため音源の識別や分離も不可欠になってきた。

現行マニュアルは三度の改訂を経て測定評価に関する最新の知見を反映し、完成度の高いものになっている。マニュアル最新版は、印刷物配布に加え、環境省のホームページに電子版が掲載してありダウンロードできる。講習会も繰り返し開催されており、マニュアルに基づく航空機騒音測定・評価方法は広く普及しているとみてよいと思う。

そうした現行マニュアルではあるが、一週間の短期測定を行って、最大騒音レベルが暗騒音から10dB以上大きい騒音のみ測定して評価値を算定することが基本である点ではまだ旧版と変わらず、新旧が入り混じった評価方法にとどまっていると云わざるを得ない。通年監視についても記述してあるが、それを主体とした測定・評価の方法にはなっていないのである。

今は旧マニュアルの時代と異なり、測定機器もデータ処理や通信の技術も格段に発達している。飛行経路の情報も自動収集できるようになった。それらを十分に活用することを前提にして基準や測定・評価の方法を社会情勢や航空交通の発達に応じてニーズに対応できるものに変えていくようさらなる改善が求められるのではないだろうか。

## 5. おわりに

本報告では航空機騒音に係る環境基準の達成と遵守を判定するための測定・評価方法の手引きである航空機騒音測定・評価マニュアルの作成から改訂に至る経緯を振り返り最新版である第4版の改訂概要を示した。このマニュアルに基づく測定・評価の実際的な手順については本誌の解説記事「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」<sup>10</sup>も参照されたい。

今後の課題について若干の考察を述べた。今世紀に入ってはや二十年、航空機騒音のアノイアンス反応が厳しくなったといわれるなか、首都圏では都心上空を通る経路と新たな運航方式の導入で騒音状況が変わっていく。航空機騒音に係る基準や測定・評価方法が適切か見直すことが常に求められるのではないだろうか。

## 謝辞

本稿を執筆するに際し、環境省が令和元年度に公益社団法人 日本騒音制御工学会に委託をした業務のなかで実施された「航空機騒音測定・評価マニュアル改訂 講習会 テキスト」を参考にした。筆者はその改訂作業に委員会委員としてならびに学会の会員として関与した。末尾ながら環境省 水・大気環境局 自動車対策課、騒音制御工学会、委員会委員の皆様には謝意を表す。

## 参考文献

- 1) 山田一郎、航空機騒音測定・評価マニュアルの制定に至る経緯と今後の課題、日本騒音制御工学会秋季研究発表会、2019年（令和元年）。
- 2) 駒形洋介、航空機騒音測定・評価マニュアルにかかる課題の検討について、日本騒音制御工学会秋季研究発表会、2019年（令和元年）。
- 3) 環境省、航空機騒音測定・評価マニュアル改訂 講習会 テキスト、2019年（令和元年）。
- 4) 環境庁大気保全局、航空機騒音監視測定マニュアル、1988年（昭和63年）。
- 5) 五十嵐寿一、環境基準（騒音）の設定経過（その2）Ⅱ．航空機騒音に係る環境基準、小林理研ニュース、No.20、1988年（昭和63年）。
- 6) 山田一郎、航空機騒音の環境基準と測定・評価方法の改定に係る考察、日本騒音制御工学会秋季研究発表会、2009年（平成21年）。
- 7) 山田一郎、航空機騒音の自動監視に関する国際規格の審議における論点あれこれ、騒音制御工学会秋季研究発表会、2008年（平成20年）。
- 8) 環境省、航空機騒音測定・評価マニュアル、2020年（令和2年）3月。
- 9) 環境省、平成30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、2019年（令和元年）3月。
- 10) 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、Vol.24（本誌）。

## 焦点

## 「WHO 欧州騒音ガイドライン」と「ICAO 環境レポート」\* その要点および背景の議論

金子 哲也(航空環境研究センター 技術アドバイザー)

1948年の創設以来、今日ほどWHO:世界保健機構の呼称が人々の日常に入り込んだ時代はなかっただろう。第4代事務局長中島宏氏がAIDS対策に尽力していた時期でさえ、国内では今ほど話題にならなかった。WHOは疫病対策などを実践する一方で、さまざまなビジョンを掲げて普及を図るなど、広く健康に関わる活動をしているが、純粋に医学に基づくばかりでなく、政治・経済に左右される部分も相当に大きい。

WHOにはジュネーブの本部に加えて6つの地域事務局があり、各地域の実情、特性を踏まえて活動している。日本は西太平洋事務局に所属する。表題の『欧州域の環境騒音ガイドライン: Environmental Noise Guidelines for the European Region』<sup>1)</sup>(以下、欧州ガイドライン)はその欧州局が一昨年公表したものだ。同局はそれに先立ち、2009年に『欧州夜間騒音ガイドライン: Night Noise Guideline for Europe』<sup>2)</sup>を公表している。これは1999年にWHO (Geneva)から公表された『地域騒音ガイドライン: Guidelines for Community Noise』<sup>3)</sup>を踏まえたものだ。環境問題に関しては概してオランダ、ドイツ、スイスが積極的である。欧州局の報告はEUの環境政策に一定の影響力を有しており、しばしば具体的な規制に反映される。

一方、WHO同様、国連の15専門機関の一つであるICAO:国際民間航空機関は昨年、上記ガイドラインの発表を受けて、同作成メンバーを含む著者陣で環境レポートを作成し公表した。その記述には端々に上記ガイドラインとは異なるニュアンスが込められている。

WHOとICAO、この両者の報告には、欧州を起

点として世界全体の環境騒音を「規制しようとする側」のWHOと、実際の運用状況を踏まえて調整を図っている「規制される側」ともいえるICAOとの、いわば理想と現実のギャップが投影されているように見える。

本稿ではWHO欧州およびICAO、両者の発表の微妙な相違とその背景にあった議論について概説する。

### 1 WHO 欧州の騒音ガイドライン

前出の欧州ガイドライン<sup>1)</sup>は文字通りWHO欧州局が、欧州地域のために策定・公表したものはあるが、同時にこれを起点として世界的な環境騒音の制御を睨んだものでもある。その焦点は、これまで公表された騒音関連の健康影響報告を一定の評価基準で取捨選択、総合評価することにより、好まれざる主要な騒音源5つについてその上限値を定めたことである。この概要はすでに本誌「航空環境研究」のNo.22 (2018)に紹介し<sup>4)</sup>、またガイドラインの決定過程は本誌別項<sup>5)</sup>に詳しい。ここでは航空機騒音に絞って結論部分とその背景や問題点を紹介したい。

#### 1.1 アノイアンスと睡眠妨害

航空機騒音に関わる推奨値(recommendation)は、平均騒音曝露(average noise exposure)で $L_{den}=45\text{dB}$ 、夜間騒音曝露(night noise exposure)で $L_{night}=40\text{dB}$ である。その根拠となった“健康影響”は、昼間騒音に関してはアノイアンス(annoyance)、夜間騒音に関しては睡眠妨害(sleep disturbance)、で、いずれも質問調査による“自己申告”に基づくものだ。

睡眠障害(sleep disorders)は元来、臨床場面に

\* Opinions around the noise guideline from WHO-euro and a white paper from ICAO

においても自己申告が重視され、質問票には国際的な基準が存在するため、睡眠妨害としての質問調査も、妨害因子に関する設問の妥当性はさておき、一定の医学的根拠を踏まえているといえる。他方、アノイアンスは、環境騒音の分野で長い歴史を持つ重要な影響指標ではあるが、生物医学的な規定はない。まして同ガイドラインで“健康指標”とした重度アノイアンス出現率(percent highly annoyed: % HA)すなわち「極めてうるさい」と回答した者の出現率は、他の疾病や障害の発生率とは全く異質のものである。何の客観的基準もない感覚的評価の最上位出現率を、疫学調査の指標とした意義が問われる。これは譬えて言えば全国の冷房基準設定のために、北海道から沖縄まで各地で「今日は一日、暑かったですか」と質問し、「とっっても」の回答を「健康影響」とみなして、その率を各地の気温と対比するようなものだ。個々人の感受性や体力・耐力、一日の過ごし方、などに加えて、各地域の暑さへの許容度の違いは無視される。これは後述する騒音の**地域寛容**(community tolerance)に関連する問題である。

アノイアンスを健康影響とする解釈は、社会的、精神的良好も健康の要素とする70年余前のWHO健康大憲章に基づくとはいえ、一般的な健康の解釈からは程遠い拡大解釈を含んでいて、強い違和感がある。こうした「健康影響」の対象拡大は、同じくWHO欧州が2011年に公表した『環境騒音による健康負荷－欧州における健康寿命損失の定量: Burden of disease from environmental noise: Quantification of healthy life years lost in Europe』<sup>6)</sup>から着々と積み上げられてきたものである。この報告に関する批評はすでに本誌<sup>7)</sup>に掲載したので本稿では詳述しない。要は、なんの疾病も障害もない「万全な1年」を目盛りとした健康寿命healthy life year が騒音でどれだけ損なわれたか、を論じたものである。

健康寿命の損失はWHOが世界各地・各国の健康上の課題を抽出し、優先課題を決めるため、種々の健康リスクを比較する目安になる。障害調整生存年(Disability Adjusted Life Year: DALY)

は、その計算のために案出された。これは、健康な1年を“1.0”として、疾病や障害がある年はその分の“価値”を割り引いて、全体を合算したものである。この“割引率”は障害負荷(disability weight)とよばれる。死をもたらず障害であれば死亡リスクを基に算出できるが、直接的には死をもたさないような障害については、『専門家』たちの評議・投票によって定められる。結果、同報告では心筋梗塞は0.405、アノイアンスは0.02が用いられた。しかし元来、死亡リスクから“生存の割引率”を求めるのは妥当だが、“不快”をもとに死亡リスクは評価できない。従ってここから導かれる“寿命短縮”は日常生活の妨害、ひいては「健康の棄損」であって、「生命の棄損」には当たらない。原文中の“life”を「生活」と訳すか「生命」と訳すかでその含意の解釈は大きく違ってくる。

## 1.2 閾値とベンチマーク

ガイドラインでは推奨値の決定法も重要な論点である。実験とは異なり疫学調査では騒音曝露量の細かい設定は難しいうえに意味も乏しい。どこが影響出現の“境目”か、など到底検知できない。従来ガイドラインではこの境目：閾値(threshold; 観察悪影響最小量LOAEL)を考察してきたが、当ガイドラインでは量－反応関係曲線をもとに、あらかじめ定めた基準値(benchmark)を超える点をもってガイドラインの推奨値とした。ここでWHO欧州の委員会は“専門家”の意見を基に基準値を、虚血性心疾患は5% (相対的増加)、アノイアンス(% HA)は10% (絶対的増加)、睡眠妨害(% HSD)は3% (同前)と定めた。これらは、社会医学的な意義や住民の許容を基にした、というよりも既存データから有意に検知できる値をもって決めたものと推測される。

この基準から導き出された値について、上述の科学的な一連の**体系的文献評価**(systematic review)では証拠が「中程度レベル」とされながらも、結果的に「強く推奨」されることとなった。科学的根拠が十分とは言えないにも関わらず、推奨レベルが高いのは、その他に利害得失のバランス、制御・防御の可能性、資源関連の諸事情、問

題の優先度等々が考慮されているからである。皮肉な言い方をすれば推奨のレベルは、科学的根拠の次元を超えて、実社会の状況によって決められた、ともいえるだろう。

### 1.3 生物学的騒音影響国際委員会(ICBEN)

騒音の公衆衛生学的問題について1960年代から長らく議論を重ねてきた国際的組織のひとつに『生物学的騒音影響国際委員会；International Commission on Biological Effects of Noise on Man:ICBEN』がある。その国際大会は第9回(2008年)までは5年ごと、第10回以降は3年毎に開催されてきた。当センターからも毎回参加し、概要の紹介が各開催年の本誌に掲載されている。同委員会メンバーは騒音影響の研究歴が長く、WHO等で騒音問題に関わった者が少なくない。上記のガイドラインの作成グループ(GDG)の座長はICBEN古参の重鎮S.Stansfeldで、W.Babisch以下メンバーの多くはICBENでの活動歴が長い。さらにガイドライン作成の根拠となった体系的文献評価チームにも多数のICBENメンバーが含まれている。つまり、WHOの騒音に関するガイドライン作成にはこのICBENでの議論が色濃く反映されることになる。

2009年の夜間騒音基準night noise guidelineの公表以来、更に包括的な騒音規制の策定が進行していることはICBENでも報告されていた。健康影響の集中的な再評価が大きく前進した背景には、2000年以降のW.Babischを中心としたグループによる、高血圧、心疾患などの疫学調査の進展があった。旧来からの騒音ストレス学説を基盤にして、循環器系、神経系から代謝系、免疫系、さまざまな障害、疾病、およびガンに至るまでの健康事象と騒音との関連がコホート調査(群別の個別追跡調査)によって研究されることになった。一部は現在も継続中である。

一方、今世紀に入り、医療分野では効果判定や影響評価においては確たる証拠(evidence)が求められるようになった。EBM (evidence based medicine)は、客観的な証拠をもとに医療を評価する考え方で、疫学および統計学的な評価手法を

基軸として体系化したアプローチに基づく。健康影響を論じる以上、EBMに基づく検証が不可避のものとなってきたのである。

欧州ガイドライン公表の前年に開催されたICBENによる第12回公衆衛生学的騒音問題国際会議(Congress on Noise as a Public Health Problem ICEN2017, Zurich)では、ガイドライン策定に関わった多くの科学者から発表があり、関連する調査・研究データが論議された<sup>8)</sup>が、推奨のレベル決定のプロセスについて深い議論はなかった。

なお、欧州ガイドラインに関わる多くの議論が予定されていた第13回ICBEN2020 (Stockholm)は2021年に延期された。

ちなみにWHOでは住環境(housing environment)を健康に関わる重要な一場面と捉え、積極的な提言を行ってきた。欧州局でも騒音を屋内での重要な健康関連因子として曝露低減を謳ってきたが<sup>9)</sup>、WHO Genevaの最新版<sup>10)</sup>では対象外となった。

## 2 民間航空機管：ICAOの「環境白書」

ICAO(International Civil Aviation Organization)の環境保護部会(CAEP: the Committee on Aviation Environmental Protection)は3年ごとに総括報告を出す。“ICAO2019 Destination Green: The Next Chapter”はその第11回報告に相当する<sup>11)</sup>。greenがしばしば自然環境もしくは理想環境の象徴とされ、同報告冒頭の記事表題にもgreen futureの語があることを踏まえて意識すれば、「理想環境への次章」というところだろうか。その構成は下記の10章(題意簡訳)である。

- 第1章 航空と環境 概観
- 第2章 航空騒音影響
- 第3章 地域大気質
- 第4章 気候変動対応：技術と運用
- 第5章 気候変動対応：持続可能な航空燃料
- 第6章 気候変動対応：二酸化炭素削減方策
- 第7章 気候変動への適応
- 第8章 循環型経済

## 第9章 活動計画と能力向上

### 第10章 他の国際機関等との協力

以上の章立てから、ICAOがいかに航空機による気象への影響を憂慮しているかがわかる。成層圏で直接、排ガスや水蒸気を撒いている現代の航空機が気象変動との関わりを疑われるのは故なきことではない。とくに水蒸気の寄与はプラス／マイナス両面があると議論は棚上げされている。単なる温暖化ではなく、気象の変動・混乱に関わっている危惧もないではないが、この点は他者に譲り、本稿では航空機騒音に関わる第2章を取り上げる。<sup>12)</sup>

この章は文字通り、現時点における騒音影響の科学的知見を取りまとめたものだ。当初、「白書」として2017年に公表されたが、新たな知見を踏まえるものとして、改めて15名の有識者を招集、作成し、公表した。2018年の欧州ガイドライン公表をうけたものと思われる。本編の著者にはWHOガイドライン作成メンバー1名と、その根拠となった体系的文献評価の検討メンバーが3名含まれている。

ここでは騒音影響の検討対象を1)アノイアンス(community noise annoyance)、2)睡眠妨害(sleep disturbance)、3)健康影響(health impact)、4)小児学習(children's learning)に分類し、健康影響ではa.心臓血管系影響<高血圧、虚血性心疾患、脳卒中>、b.代謝影響<糖尿病、肥満、腹囲、代謝指標>、c.出生体重、d.精神健康の4点を取り上げた。

以下、各項目の要点を抜粋し紹介する。

#### 2.1 アノイアンス

アノイアンスは、騒音曝露(推定量)だけでは説明がつかず、感受性や年齢、当局への不信心など、非音響要因の関与が大きいため、この部分の解明が重要だ、と捉えている。騒音発生の変化率が大きい空港と小さい空港ではその程度は異なるという指摘があり、その差は9dB+4dB(Gelderblom et al.)とも6dB(Guski et al.)ともいわれる。アノイアンス調査における対象選出の妥当性についても指摘され、どのような空港を選ぶか、そこからどのような対象を選抜するか、で結果には大き

な差異が生じる。そのため、諸々条件が異なる空港のデータを寄せ集めて、騒音とアノイアンスの関係性を一本の近似式を求めるやり方が妥当なのか、という疑問も呈されている。

この点についてはT.Gjestlandが同報告書同章にAircraft Noise Annoyanceの表題で、各コミュニティの容認レベル(community tolerance level: CTL)の重要性を論じている。そこでは1961~2015年の報告データを解析した結果を示し、騒音とアノイアンスの関係は本質的に25年前も50年前も変わらず、諸々の地域特性を反映する非音響的要因をCTL値としてまとめることで、各対象地域におけるアノイアンスを合理的にシミュレートできると結論している。同著者と前出Guskiらとの間では、後述するように科学誌上でも議論が交わされている。

つまるところ、勧告値の最たる根拠のアノイアンスについて、世界の多空港のデータから単一の関係式を導き出して、単一値による規制を目論むWHOガイドライン作成グループと、各空港周辺の住民の特性や騒音発生状況の違いを踏まえて、それぞれの実情から規制値を求めようとする組織との、立場の相違が現れているように思える。

#### 2.2 睡眠妨害

睡眠妨害については、肥満や糖尿病、高血圧のリスクに関与はするものの、睡眠の時間や質には年齢や生活様式を含む個々人の感受性が大きく反映する、と記している。ある空港周辺で覚醒のほとんどが航空機騒音との関連を認めなかったという調査結果も紹介し、騒音による睡眠妨害は、睡眠時無呼吸症など臨床上問題となる睡眠障害とは異なるものながら、体力回復を阻害し、昼間の眠気や認知力の低下をもたらす、心臓疾患リスクを増す可能性もあるとまとめている。これらを踏まえ、2000年以降のデータに基づく総説で、航空機騒音による睡眠影響は、証拠能力「中程度」で脳の覚醒や騒音による睡眠妨害(自己申告)との関連が認められた、とした。具体的には騒音と睡眠妨害の関連で統計的に有意だった現象は、睡眠が浅くなる(10dBでおよそ30%増、対象61名)と、

強い妨害の訴え (10dBでおよそ2倍、6報告、対象6000名強)だったが、後者は報告間の違いが非常に大きかった、と紹介している。

### 2.3 健康影響

健康影響についてはNORAH<sup>13)</sup>やSIRENE<sup>14)</sup>を中心に主に欧州および北米で行われた疫学調査で2016年12月までに公表されたデータを総括した。

#### (1) 心臓血管系疾患

まず心臓血管系への影響では、高血圧、虚血性心疾患、脳卒中、糖尿病について2015年までに公表されたオランダのデータを紹介している。高血圧についてのメタ分析では、横断的調査の9報告では航空機騒音との関連が示唆されたものの、証拠能力の高いコホート調査では関連が認められず、航空機騒音に対するアノイアンスを訴えていた男性たちの中でのみ有意な関連があった、という。これらより全体の証拠能力は”低い”と判断された。他方、大規模な症例-対照研究では、対象全体では高血圧との有意な関連はないが、元来心疾患リスクの高いグループでは発症増加が認められた、という。アテネでの小規模コホート(420名)では夜間航空機騒音10dB増による高血圧リスクは2.6倍だったが有意でないと報告された。以上から結論として、航空機騒音による高血圧の誘発は、仮に有るとしても統計学的に有意なレベルではなく、現段階では不確定なものとされた。

他方、虚血性心疾患および心不全のリスクについては、高血圧より確かな証左があるとしながら、体系的文献評価により、960万人のデータから $L_{den}$ 10dBあたり“9%”の有意な増加を認めたものの、調査データの証拠能力が”低い”と判定されたことが紹介されている。その後の追加的な報告であるスイスのSIRENE研究における440万人のコホート調査では心筋梗塞による死亡が2.6%増えたが、最も高い相関を示したのは夜間の間歇騒音曝露であった、とした。また、ドイツNORAH研究における83万人余の症例-対照研究では心筋梗塞の診断症例が、24時間騒音ではなく早朝の航空機騒音(55dB超)の曝露群で有意に多かった

こと、追加データでは心不全や高血圧性心疾患は24時間騒音レベルの10dB増加当たりで“1.6%”であったことを紹介した。総じて、航空機騒音と心疾患との関連性はありうるものの、リスク増加推定にかなりの開きがあること、規制すべき対象は $L_{den}$ ではないこと、を指摘しているようだ。

他方、脳卒中についてはスイスのコホートデータを含む7研究の総括では有意な関連は認められない、とされた。

以上、心臓血管系に関わる研究結果は道路交通騒音に関わる諸データとの共通点が多く、騒音による非特異的なストレスは自律神経系や内分泌系に作用して広範な健康影響を生じうると指摘している。

#### (2) 代謝障害

糖尿病、肥満、腹囲、コレステロールなどの代謝指標に関しては、スウェーデンのコホートが紹介されている。8~10年の追跡調査によって、腹囲の増加が航空機騒音曝露と有意に相関したが、BMI(肥満指数)や生活習慣関連度が大きい2型糖尿病の増加との関連は認められなかったという。スイスのSIRENE研究では12dBの航空機騒音増により糖尿病の発症がおおよそ2倍になるが、血糖値のマーカーである糖・ヘモグロビン結合体(HbA1c)の増加は有意ではなかった。韓国の妊娠女性に関する調査では、夜間飛行騒音と糖尿病のリスクに関連が認められたという。

これらのことから、騒音によるストレスや、夜間騒音による睡眠妨害が内分泌系に作用して代謝に変化を及ぼしたという仮説が成り立つが、さらに対象を拡大した調査・解析が必要であると結論付けている。

#### (3) 出生

新生児の出生体重に関しては、地域の騒音曝露レベルが非常に高い(75dB以上)とか、発表年が古く基準適応が難しいなど、メタ分析の対象となりうる研究が少ないため、今後の検討課題とするのが適当だと判断された。

#### (4) 精神保健

NORAH研究では抑うつ症の有意な増加が、24

時間レベル50~55dBの曝露群で報告されているが、より高い群では増加が認められていない。高レベル曝露群の対象を増やさねば確認できない。他方、5~6歳から9~10歳までを追跡したドイツの研究では、精神保健上の問題と航空機騒音の関連は認められていない、と指摘した。

以上、すべての健康影響について騒音曝露との関連が近年、蓄積されつつある。とくに心臓血管系疾患なかでも虚血性心疾患の疫学データがそろいつつある。航空機騒音については、とくに証拠レベルが高いとされる道路騒音のデータと符合する。疫学データからの結論は、心臓血管系疾患に関するヒトや動物を対象とした現地調査や実験データとも一致する内容だ。しかしながらその確からしさは研究によって異なり、推定された諸数値も変わりうる。驚くことに航空機騒音が精神健康に与える負荷についての研究は少ない。一般に健康影響研究では $L_{den}$ 、 $L_{day}$ 、 $L_{night}$ が用いられ、アノイアンス研究でも援用されている。しかし健康影響の評価研究においては他の騒音指標、例えば間歇騒音比(intermittent ratio: IR)、最高音レベル(maximum noise level)や騒音発生時間、とくに夜間についての検討が必要であろう。これらは追加的な指標として検討されるべきだ、とまとめている。

## 2.4 小児学習影響

小児学習については、読解力、記憶力や標準化試験の点数に航空機騒音によって影響を受けることが報告されてきた。ヒースロー(ロンドン)、スキポール(アムステルダム)、バラヤ(マドリッド)の3空港周辺の89校2844人(9~10歳)において、社会的要因や交通騒音を考慮しても、航空機騒音曝露が読解力や認知・記憶の低さに関与すると判定された。5dBの騒音増は読解力を2ヶ月(UK)または1ヶ月(Netherlands)の遅れを招くという。NORAH研究におけるフランクフルト空港周辺の近年のデータでは10dBで読解年齢(reading age)に1カ月の遅れを生じるとされた。RANCHおよびNORAHの両研究では、読解力への影響が非常に低いレベルの航空機騒音から認

められるとしているが、自動車などの他の騒音や暗騒音レベルを鑑みて、過剰に懸念する必要はない、としている。

6年間の追跡調査において、RANCH研究では15~6歳になったときには有意差を認めなかったが、小学校でも中学校でも高騒音曝露は読解力を低める傾向が観察された。これらの研究は対象者が少ないため、有意な差が認められていない、とした。航空機騒音は読解と記憶における認知技能(cognitive skill)に影響する可能性はある。教員の話妨害する、なども含め、コミュニケーションの障害がこれらに影響している可能性がある。また、教員、生徒双方でやる気や注意力の低下をもたらすこともありうる。これらはアノイアンスの原因ともなりうる。航空機騒音の低減は子供たちの学習成果を改善することが知られている。ミュンヘン空港の閉鎖によって子供の長期記憶や読解力の低下が解消したことも報告されており、これら認知技能への影響が回復可能であることを示唆している。同様に防音措置によっても航空機騒音の学習影響は消失する。教室の音響改善で航空機騒音の影響を抑制し、子供の学習を改善させることもできる。ただし会話環境の改善が試験の点数や読み書きの向上に結びつくとは限らない。子供の学習に対する航空機騒音の影響評価はまだ研究途上にある。結局のところ航空機騒音が子供の読みや記憶などの認知技能、標準化テストの点数に影響することは確かである。学習環境整備に有効な騒音評価指標の策定と、学習環境を整備するための解決策決定に必要な研究データが望まれている。

## 2.5 まとめ

同書ではこの後に、ヘリコプター騒音、無人機、超音速機等の記載があるが省略し、以下、総括と今後の課題を掲げた節を紹介する。

航空機騒音に関わる結論:アノイアンスについては十分な証拠はあるが騒音発生頻度の影響など検討の余地あり。睡眠影響については、量一反応関係の確認、騒音睡眠妨害の長期健康影響の解明、騒音弱者の研究、有効な騒音対策の実証が重

要。健康影響に関しては、虚血性心疾患との関連性は疫学的には明らかで、道路騒音と同等のデータが必要。高血圧、脳卒中との関連は疫学データでは不鮮明。糖尿病、肥満、精神保健、妊娠、出産への影響はさらなる研究が必要。子供の認知技能への影響は明らかで、生涯にわたる研究が必要。

### 3 WHO、ICAO両報告の著者間の議論

前節、両機関の報告における微妙な相違点の背景は、ICAOレポートの著者陣として名前を連ねている研究者間の学術誌上の議論でもうかがい知ることができる。GjestlandとGuskiらとの間の議論は、論文として公表されており、興味深い。

必ずしも原文の表現をなぞったものではないが、要点を書きだすと下記のようなになるだろう。

#### 3.1 GjestlandによるWHOガイドライン批判

ICAOからの上記白書に先立って公表された論文で、WHO航空騒音規制の根底に関わる体系的文献評価<sup>15)</sup>と題されている。要点は以下の通り。

(1) WHOがガイドライン作成に用いた論文はデータ・発表年が古く、ISOの標準手法と相違がある。統計的解析では、地域の騒音が%HAの増加を説明できる分は1/3ほどでしかない。逆から見れば、2/3は非音響影響である。

(2) 分析データの中心となっているHYENA研究は元来、高血圧を対象とした調査であり、対象者の年齢が偏っている。とくに社会調査におけるアノイアンス反応率が最も高い40歳代が多く含まれている。また、ここで用いられたアノイアンスは、ICBENが定めた標準法とは異なり、時間帯別のアノイアンス評価を求めているそれが活かされていない。また、当該調査は空港周辺5年以上在住の住民を対象としているはずだが、実際には運用2年目のアテネ空港周辺の住民も含まれており、その強い住民反応の混在が懸念される。航空機騒音の規制値を求めるために適切な対象者ばかりとは言えないのではないか。

(3) 各調査地点における騒音量と%HAの量-反応関係を求めるに当たって、対象者数の多寡に応じた重みづけが行われているが、その中でアムス

テルダム空港の対象者が40%を占めている。だが、同空港周辺では一貫して%HAがかなり高めであり、全体の量-反応関係がこれに大きく歪められている。

#### (4) 不適格な対象空港：

一般に空港の運用はどこも増加しているが、多くの空港ではその変化は徐々に起きる。だが一部の空港では、滑走路の増設などによって急激な増加が生じている。こうした状況下では社会反応アノイアンスを生じやすいため、騒音影響の量-反応関係を求める標準的データとするのは不適當である。

#### (5) CTL分析法、ISO音響標準の不採用<sup>16)17)</sup>

そもそも、音響影響評価においてISOで標準法と規定されている方式をとっていない。CTLの不採用も同様である。

#### (6) 新たな報告・データを加えた解析結果

WHOは新たなデータを加えて再分析すべきだ。新たな報告を含め、上記に準拠して解析すると、各空港で全く異なる量-反応結果を示す。

#### 3.2 Guskiグループからの反論<sup>18)</sup>

##### (1) 除外研究報告について

対象は適切に取捨選択している、例えば除外した報告3件は、WHOガイドライン検討グループからの問い合わせに対して適切な回答を送ってこなかったものであり、また一件は軍事併用空港であったためである。

##### (2) 非音響影響の寄与について

統計分析の結果から音響による寄与は約33%とされたが、残りの66%が非音響要因であると解釈するのは必ずしも妥当とは言えない。統計量をもとに正しく表現するならば、“非音響33% + 不明33%”とすべきである。

直前に事故があった空港での調査について、その危惧をアノイアンスへの寄与要因と指摘しているが、そうしたケースは稀であり、調査上の単なるエピソードである。直近に起きた事故の影響などはないと考えてよいと思われる。

##### (3) 高感受性年齢について

NORAH研究で年代別のアノイアンスを検討

したが、年齢の影響は微弱であった。

(4) 空港関連工事の影響等について：

機能拡張、関連工事等の影響を以てアテネ、ミラノ両空港を除外すべきとの議論は不適切である。実際、何年も工事が無い空港はない。Gjestlandが唱える標準的な空港とは何を以て判定するのか。

(5) 大数調査データがもたらす影響について

統計学的に信頼しうる有意な結論を得るために一定以上の標本数が必要なのは自明。本件では標本数による重みづけは平方根によっているので、線形モデルで生じるような大きな影響はない。

(6) CTLモデル

各調査地の社会文化的背景は全く違っており、単純な数学的モデルで量-反応関係のシフト量を想定するのは適当でない。

### 3.3 Gjestland の再批判 19)

(1) アノイアンス(% HA)についてノルウェーのトロンハイム空港に関してはISO 1996:2016によりCTLを考慮したクリアな量-反応関係が求められており、単なるロジスティック回帰より優位なモデルである。にも関わらず、Guskiらはこれを考慮していない。

(2) 非音響要因

単変数回帰モデルでは多くの関連要素が無視される。そもそも音響要因には最大音、頻度等々、非音響要因には感受性や音に対する態度等、多くの変数が含まれるが、そのそれぞれに誤差が含まれている。CTL分析では非音響の諸因子をまとめて補正しているので有用と考える。

Guskiらは、当方からの% HA増加への寄与は2/3が非音響要因だという指摘に対して、2/3のうち半分が非音響要因で他は説明不能だ、と反論した。だがこれには根拠がない。

(3) 年齢影響

GuskiらはHYENA研究データを重視しているようだが、そのアノイアンス質問票は標準化されておらず、対象年齢も45~70歳に限定されている。そのため、同研究原典の著者らも自ら、他の

EUデータとの全面的な比較はできない、と記している。特定年齢層を基にしたデータは、一般住民を代表するものとは言えない。Guskiらは自らメタ分析の基準として「一般集団」であること、と明記しているのではない。

(4) HYENA研究の問題点

同調査では昼・夜のアノイアンスを分けて聞いているが、量-反応関係の算出には昼の値のみを「代表値」として用いている。その根拠は、科学的データに基づかないBabischらの論文におけるコメントだけである。そのようなデータがWHOのガイドライン作成におけるデータの28% (推定)も占めている。

(5) HYENA研究では、航空機の騒音問題に関心がある市民等のグループHACAN (Heathrow Association for the Control of Aircraft Noise)が積極的にかかわっている。調査主体である大学からの然るべき通知とは別に、調査への参加を呼び掛ける活動を行っていた。こうした行動が一般住民の反応を知る上でバイアスをもたらした危険はぬぐえない。

(6) 騒音暴露量へ疑問

Babischらは航空機騒音レベル $L_{Aeq,24h}$ で11dB (Stockholm)、24dB (Milan)という極めて「稀有」な値を引用して検討していたが、Guskiらはこれらを約2.6dBという補正值を以て採用している。こうした値を出す測定そのものの信ぴょう性もさることながら、これを用いた騒音暴露推定と、さらにそこから導き出される量-反応関係や閾値等々には疑問を抱かざるを得ない。

(7) CTL分析

CTL分析では、発生間隔を補正した騒音暴露量で% HAの増加をモデル化する。そのため単に傾きや切片で求める回帰モデルと異なり、アノイアンス増加に対して種々の要因を包含した妥当なモデルを提示できる。

Gjestlandは10空港のデータに対して同解析を行い、アノイアンスの増加カーブがそれぞれで異なることを提示した。

#### 4 終わりに

WHO 欧州騒音ガイドラインには、極めて観念的な要素がある。タイムテーブルに沿って提示すること自体に意義がある、と考えたやにも思える。純粋な科学論議のように見えながら、結論部だけでは見えない、覆い隠されているような問題が処々に内包されている。これをそのまま規制と捉えるのは無謀である。そもそも今次のコロナ禍でも明らかのように、欧米と我が国は疾病構造も、それを取り巻く医療保健環境も、多くの点で大きく異なることが改めて明らかになった。WHO 欧州によるガイドラインが欧州で実際にどのように運用されてゆくか、注意深く見守る必要があろう。

#### 文献

- 1) WHO Regional Office for Europe, Environmental noise guidelines for the Europe Region. ([https://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0008/383921/noise-guidelines-eng.pdf](https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0008/383921/noise-guidelines-eng.pdf), accessed 2020.9.30)
- 2) WHO Regional Office, Night noise guideline. ([https://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0017/43316/E92845.pdf](https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0017/43316/E92845.pdf), accessed 2020.9.30)
- 3) WHO Regional Office for Europe, Guidelines for community noise (<https://www.who.int/docstore/peh/noise/Comnoise-1.pdf>, accessed 2020.9.30)
- 4) 金子哲也、WHO ガイドラインの改訂動向と航空機騒音、航空環境研究、22,62-67、2018
- 5) 下山晃司、WHO-EU 環境騒音ガイドラインと社会調査データから見る騒音施策展開への課題、航空環境研究、24 (印刷中)
- 6) WHO Regional Office for Europe, Burden of disease from environmental noise: Quantification of healthy life years lost in Europe ([https://www.who.int/quantifying\\_ehimpacts/publications/e94888.pdf?ua=1](https://www.who.int/quantifying_ehimpacts/publications/e94888.pdf?ua=1), accessed 2020.9.30)
- 7) 金子哲也・後藤恭一、環境騒音と障害調整生存年数、WHO Euro. の視点 - ,航空環境研究、16,38-43,2012
- 8) ICBEN, Proceedings, Congress on Noise as a Public Health Problem ICBEN 2017, Zurich
- 9) WHO Regional Office for Europe, Environmental burden of disease associated with inadequate housing. Summary report,2011 ([https://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0017/145511/e95004sum.pdf](https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0017/145511/e95004sum.pdf), accessed 2020.9.30)
- 10) WHO, Housing and health guidelines (<https://www.who.int/publications/i/item/who-housing-and-health-guidelines>, accessed 2020.9.30)
- 11) ICAO, Destination Green: The Next Chapter. (<https://www.greenaironline.com/news.php?viewStory=2636>, accessed 2020.9.30)
- 12) ICAO, Aviation Noise Impacts White Paper, State of the Science2019, (<https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/ScientificUnderstanding/EnvReport2019-WhitePaper-Noise.pdf>, accessed 2020.9.25 )
- 13) NARAH, <http://laermstudie.de/en/norah-study/>
- 14) SIRENE, <http://www.sirene-studie.ch/>
- 15) Gjestland,T., A Systematic review of the basis for WHO' s new recommendation for limiting aircraft noise annoyance. (Int.J.Environ.Res.Public Health 2018,15,2717; doi:10.3390/ijerph1512217)
- 16) ISO, Acoustics — Description, measurement and assessment of environmental noise — Part 1: Basic quantities and assessment procedures. (<https://www.iso.org/standard/59765.html>),
- 17) ISO, CHF158 (<https://www.iso.org/obp/ui/-iso:std:iso:1996-1:ed-3:v1:en>)
- 18) Guski,R. et al. Comment on Gjestland,T. A Systematic review of the basis for WHO's new recommendation for limiting aircraft noise annoyance. (Int.J.Env.Rev.Pub.Health 2018,15,2717, Int.J.Environ.Res.Public Health 2018,15,2717; doi:10.3390/ijerph16071088)
- 19) Gjestland,T.,Reply to Guski, Schreckenburger, Schuemer, Brink and Stnsfeld: Comment on Gjeestland,T. A systematic review of the basis for WHO's new recommendation for limiting aircraft noise annoyance. (Int.J.Res.Health 2018,15,2717. Int.J.Environ.Res.Public Health 2019,16,1105; doi:10.3390/ijerph16071105 )

## 研究報告

## 海外空港の航空機騒音対策に関する総合的分析\*

篠原 直明(航空環境研究センター 所長)

航空機騒音に対する対策は、大別すると音源側対策、受信側対策のほか空港施設・構造の改良に分けられる。これらは、ICAO（国際民間航空機関）で航空機騒音対策に定めたバランスドアプローチ(Balanced Approach)という概念に基づき、各国がそれぞれの対策を実施している。バランスドアプローチとは空港毎に騒音問題を見定め、最も費用対効果に優れた方法により騒音問題に取り組むことを目標として、1) 航空機自体の騒音軽減、2) 空港周辺の土地利用計画・管理、3) 騒音軽減運航方式、4) 運航制限の4つの要素をバランスよく組み合わせて可能な方策を検討する考え方である。一方で実際の方策は、対策の原理は共通するものの、航空機騒音の評価指標を含め、各国それぞれ異なる。住宅防音工事などに重きを置く場合もあれば、騒音による着陸料金による差別化や騒音軽減運航などで発生源側の低減の工夫に特徴がある空港もある。

本稿では、海外主要空港の航空機騒音評価と航空機騒音対策を調べた結果をもとに、日本の対策とも併せ、評価や対策の考え方やその温度差に関する総合的な分析を行った。

## 1. 航空機騒音対策体系のレビュー

分析検討に先立って、航空機騒音対策のレビューをしておきたい。前述のようにICAOのバランスドアプローチの概念に基づいて、各国は航空機騒音対策を講ずるが、実際に

取りうる対策の体系は大別すると、「発生源対策」、「空港構造・施設改良」、「空港周辺対策(受信側対策)」に分類することができる。図-1にはその航空機騒音対策の一般的な体系図を示す。

発生源対策は、ICAOの騒音証明制度による国際的な低騒音型促進の枠組みのほか、騒音別着陸料金による低騒音機の促進などの機材改良に加え、発着枠上限の設定や夜間運航の規制などの発着規制、騒音軽減のための運航方式などによる運航方法改善に分類される。

空港構造・施設の改良には、滑走路移転や海上空港の新設、防音壁等の設置のほか、エンジン試運転時の消音施設が含まれる。日本では市街地にある空港の騒音問題抜本的解決のために海上空港を建設した例が挙げられる。

受信側対策は、住宅防音工事に代表される補償制度のほか、騒音の大きさに応じた土地利用計画の策定や建築規制などがあげられる。国によって受信側対策の軽重も見られる。

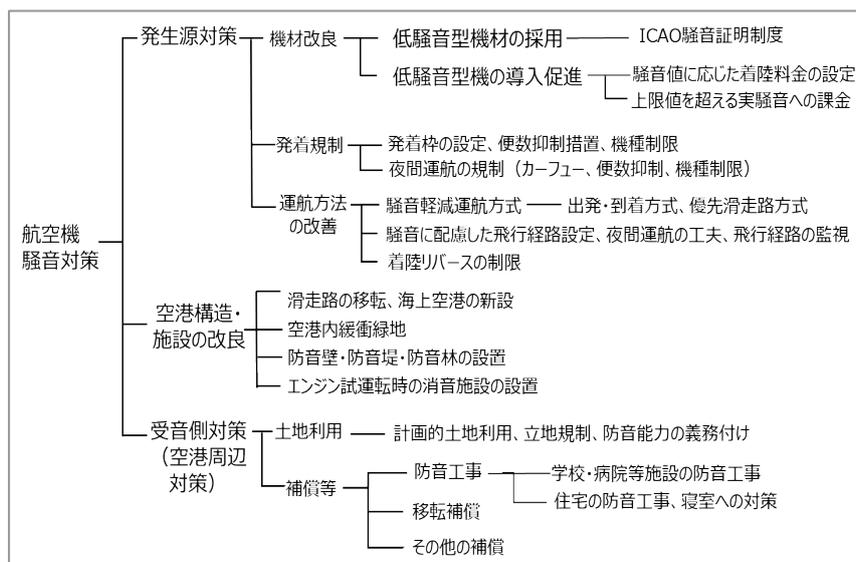


図-1 航空機騒音対策の一般的な体系図

\* Comprehensive analysis of aircraft noise countermeasures at domestic and overseas airports

## 2. 航空機騒音の評価指標

### 2.1 評価の考え方と評価指標

日本で航空機騒音に係る環境基準が制定される以前の昭和40年代、航空機騒音は問題が顕在化したものの、空港周辺の土地利用の在り方や周辺対策についてどのような評価指標を用いて実施するべきかが、国際的にも議論されている最中だった。ICAOでは、包括的な航空機騒音対策と航空機騒音の影響・評価の必要性から検討を重ねた結果、1971（昭和46）年に航空機騒音の評価指標としてWECPNLを提唱した。航空機騒音によるやかましさを（ノイジネス）を考慮するとしてKryterによって提案されたPNL（Perceived Noise Level）をベースとした評価で、これは高音域成分の強いジェット機騒音の不快感が大きいことに着目したものである。しかし、ICAOが騒音対策の指標としてWECPNLを提案したものの、当時の米英などではすでに他の指標を用いていたこともあり、WECPNLを評価や対策の指標としたのは日本などのごく一部にとどまった。

一方、一般的に道路交通騒音や環境騒音を計測するときにはA特性音圧レベルを用いる。航空機騒音の評価でも、A特性音圧に基づく等価騒音レベル( $L_{eq}$ )ベースによる評価指標もある。当初はPNLベースの評価指標を採用していた国も、他の交通騒音との相互比較が可能な等価騒音レベルベースの評価へと転換した例は多い(2.3節参照)。

図2に航空機騒音評価の体系を示す。上段図はPNLとA特性音圧の周波数特性のイメージを、下段図はそれぞれの評価の流れを説明している。PNLは2~4kHzを中心とした帯域を大きく評価する。昔の航空機に顕著だったキーンという高周波のやかましさをより評価する意図である。実際のPNL算出はこのような周波数重み補正を施すのではなく、瞬時値を周波数分析した結果をノイジネスを表すNoy曲線に当てはめ、また、特異音補正を行うなど複雑な処理を施す。このPNLに基づき航空機騒音の最大値を求めたものが、 $L_{PN,max}$ であり、単発騒音の積分値に相当するものがEPNL ( $L_{EPN}$ )、1日の累積騒音として表したものがWECPNLやNEFである。

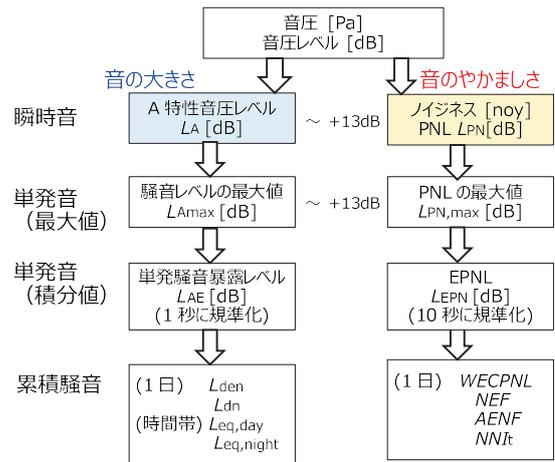
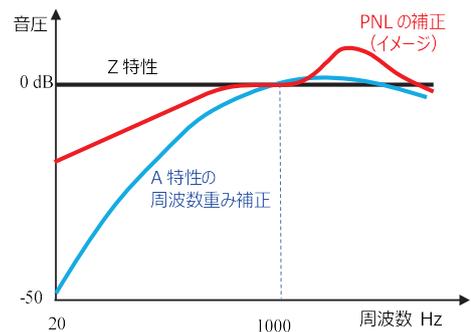


図2 航空機騒音評価の周波数重み補正イメージ(上)および評価体系図(下)

A特性音圧は、人の耳で音の大きさを感じた場合を想定した周波数重み補正を行う。その瞬時値 $L_A$ に基づき求めた航空機騒音の最大値が $L_{Amax}$ 、単発騒音の積分値が $L_{AE}$ となる。累積騒音は、1日の指標で $L_{den}$ や $L_{dn}$ 、時間帯を区切った指標もあり $L_{eq,day}$ や $L_{eq,night}$ としている。

### 2.2 航空機騒音に係る環境基準

日本では、ICAOの提唱したWECPNL受け、昭和48年には「航空機騒音に係る環境基準について」(以下、環境基準という)を制定し、航空機騒音の評価指標はWECPNLとなった。ただし、ICAOの提唱通りの評価式は、PNLをベースとしたもので、かつ測定・評価の手順は、0.5秒ごとの周波数分析を必要とするなど当時の測定機器では複雑すぎた。このため、航空機騒音ではPNLはおおよそ $dBA+13$ の関係となることを利用し、最大騒音( $L_{ASmax}$ )と発生回数を用いた簡略化手順が環境基準のWECPNL評価式に適用された。(WECPNLJと表す。式1)

その後2002年に成田空港で平行滑走路が供用

されたとき、機数が増えたにも拘らず、僅かであるが、WECPNL値が低くなる矛盾が発生した。これは、環境基準のWECPNLが前提とした簡略化の定義に起因するもので「逆転問題」として、指標の改訂を要望する動きが起きた。国際動向や交通モード間の整合性、評価の継続性に鑑みて $L_{den}$ が採用されることになった。航空機騒音に係る環境基準の一部改正を告示、2013（平成25）年4月に施行された。 $L_{den}$ は式2によって算出する。測定日ごとに、昼間、夕方、夜間の各時間帯に測定された航空機騒音の単発騒音暴露レベル( $L_{AE}$ )の値から、測定日ごとの時間帯補正等価騒音レベル( $L_{den}$ )を次式により算出する。式でもわかるように夕方の時間帯には+5dBの重みづけを、夜間の時間帯には+10dBの重みづけをするものである。

2.3 海外で用いられる評価指標

ICAOが騒音対策の指標としてWECPNLを提案したものの、当時の米英ではすでに他の指標

$$WECPNL_J = \overline{L_{Amax}} + 10 \log_{10}(N_w) - 27$$

$$N_w = N_{7-19} + 3N_{19-22} + 10(N_{0-7} + N_{22-24})$$

(式1)

$L_{Amax}$  : 観測した最大騒音( $L_{ASmax}$ )の平均値  
 N : 時間帯ごとの騒音発生回数

$$L_{den} = 10 \log_{10} \left\{ \frac{T_0}{T} \left( \sum_i 10^{\frac{L_{AE,di}}{10}} + \sum_j 10^{\frac{L_{AE,ej}+5}{10}} + \sum_k 10^{\frac{L_{AE,nk}+10}{10}} \right) \right\}$$

(式2)

$i, j, k$  は、それぞれ昼間 d(7:00~18:59)、夕方 e(19:00~21:59)、夜間 n(0:00~6:59、22:00~23:59)の時間帯に発生した単発騒音を表す添え字

を用いていたこともあり、WECPNLを評価や対策の指標としたのは日本などのごく一部にとどまった。その後、各国は等価騒音レベルで評価する $L_{den}$ などへの転換が続き、日本も2013年から指標が変わった。しかし今もなお、用いる評価指標は、国によってさまざまである。環境基準の旧指標であるWECPNLはPNLをベースとしたやかま

表-1 航空機騒音評価指標の分類と採用国

	累積期間	指標	説明	採用国	式の概要
やかましさに基づくもの PNL	日	WECPNL	ICAOで提唱したWECPNL式、EPNLに夕方は5dB、夜は10dBの重みづけ（時間帯区分が昼・夕・夜）、24時間累積の平均	ICAO	$WECPNL = 10 \cdot \log \left[ \sum (10^{(L_{EPN,d}/10)} + 10^{(L_{EPN,e+5}/10)} + 10^{(L_{EPN,n+10}/10)}) \right] - 49.4$
		WECPNL,J	日本式WECPNL、 $L_{Amax}$ 平均と騒音発生回数で評価する。発生回数は夕方3倍、夜間10倍（時間帯区分が昼・夕・夜）、24時間累積の平均	(旧・日本)	$WECPNL_J = L_{ASmax(ave)} + 10 \cdot \log (Nd + 3Ne + 10Nn)$
		WECPNL,K	日本式WECPNLと同じ	韓国	WECPNL_Jと同じ
		NEF	Noise Exposure Forecast EPNL平均と荷重発生回数の24時間平均、夜は22時~で重みづけは16.7倍（+12dBに相当）	カナダ、 (旧・米国)	$NEF = L_{EPN(ave)} + 10 \cdot \log (Nd + 16Nn) - 88$
		ANEF	Australian Noise Exposure Forecast NEFのオーストラリア版、時間帯区分が夜は19時からで重みづけは4倍（+6dB）	オーストラリア	$ANEF = L_{EPN(ave)} + 10 \cdot \log (Nd + 4Nn) - 88$
		NNI	Noise Number Index PNLmaxの平均値と騒音発生回数を用いた指標	(旧・英国)	$NNI = L_{PN,max(ave)} + 15 \cdot \log (N) - 80$
		IP	Psophique Index PNLmax（夜間は重みづけ）し、累積した24時間の分単位の平均を意味する。	(旧・フランス)	$IP = 10 \cdot \log \left[ \sum 10^{(L_{PN,max,d}/10)} + 10^{((L_{PN,max,n+10})/10)} \right] - 32$
騒音の大きさに基づくもの A特性音圧	日	Lden	航空機騒音LAEに夕方+5dB、夜間+10dBの重みづけをし（時間帯区分が昼・夕・夜）、24時間累積した平均	日本、EU、 フランス、オランダ	$L_{den} = 10 \cdot \log \left[ \left( \sum 10^{(L_{AE,d}/10)} + 10^{(L_{AE,e+5}/10)} + 10^{(L_{AE,n+10}/10)} \right) / 86400 \right]$ 時間帯区分は国によって違いますが 7~19/19~22/22~7
		Ldn	航空機騒音LAEに夜間+10dBの重みづけをし、24時間累積した平均	米国	$L_{dn} = 10 \cdot \log \left[ \left( \sum 10^{(L_{AE,d}/10)} + 10^{(L_{AE,n+10}/10)} \right) / 86400 \right]$ 米国の時間帯区分 d: 6:00~22:00、n:22:00~6:00
		LVA	航空機騒音LAEに夜間+10dBの重みづけをし、24時間累積した平均、評価期間が年間を3分割した期間の最繁忙週（のべ21日間）で評価する	イタリア	$LVA = 10 \cdot \log \left[ \left( \sum 10^{(L_{AE,d}/10)} + 10^{(L_{AE,n+10}/10)} \right) / 86400 \right]$ 時間帯区分 d: 6:00~23:00、n:23:00~6:00
	年	Ke	Kosten Unit 年間の累積指標、時間帯で重みづけした $L_{Amax}$ の累積	(旧・オランダ)	$Ke = 20 \cdot \log \left[ \sum nti \times 10^{(L_{ASmax}/15)} \right] - 157$ ntiは時間帯区分で変わる 昼1、深夜10、他は2~8
	時間帯	Lday	昼間時間帯の航空機騒音LAEを累積し、時間帯で平均した等価騒音レベル。時間帯は原則6~22時	英国、ドイツ、 スイス	$L_{day} = 10 \cdot \log \left[ \left( \sum 10^{(L_{AE}/10)} \right) / T \text{時間} \times 3600 \right]$
		Lnight	深夜時間帯の航空機騒音LAEを累積し、時間帯で平均した等価騒音レベル時間帯は原則として22~6時	EU、ドイツ	$L_{night} = 10 \cdot \log \left[ \left( \sum 10^{(L_{AE}/10)} \right) / T \text{時間} \times 3600 \right]$
		Ld	時間帯を7~19時とした、航空機騒音LAEを累積し、時間帯で平均した等価騒音レベル	スペイン	$L_d = 10 \cdot \log \left[ \left( \sum 10^{(L_{AE}/10)} \right) / 12 \text{時間} \times 3600 \right]$
		Le	時間帯を19~23時とした、航空機騒音LAEを累積し、時間帯で平均した等価騒音レベル	スペイン	$L_e = 10 \cdot \log \left[ \left( \sum 10^{(L_{AE}/10)} \right) / 4 \text{時間} \times 3600 \right]$
		Ln	時間帯を23~7時とした、航空機騒音LAEを累積し、時間帯で平均した等価騒音レベル	スペイン	$L_n = 10 \cdot \log \left[ \left( \sum 10^{(L_{AE}/10)} \right) / 8 \text{時間} \times 3600 \right]$
		Lnight,1h	深夜時間帯の1時間ごとのLeq	スイス	

しさを表すが、新指標の $L_{den}$ はA特性音圧による大きさ(ラウドネス)によるものである。各国の評価指標はそのどちらかに分類される。表-1に航空機騒音の評価指標を取りまとめた。1970年代はPNLに基づくものが多かったが、1990年代以降、A特性音圧に基づく等価騒音レベル( $L_{eq}$ )ベースのものへと転換されている。代表例として、米国はNEFから $L_{dn}$ へ、英国はNNIから $L_{eq,16h}$ などへ、フランスはIPから $L_{den}$ に変わった。日本もWECPNLから $L_{den}$ に変わった。現在もなおPNLベースの指標を用いるのはカナダのNEF、オーストラリアのANEF、韓国のWECPNL(算出式は日本式のWECPNLと同じ)である。

等価騒音レベルベースの指標も、24時間の累積騒音を単一指標で表す $L_{den}$ や $L_{dn}$ に対し、時間帯区分ごとに表す $L_{day}$ や $L_{night}$ のマルチインデックスを採用する場合もある。時間帯区分も国によって異なることがある。

### 3. 住宅防音工事などの受音側対策

#### 3.1 日本の対策

航空機騒音対策の根拠法として、昭和42年8月の「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」(略称：騒防法)がある。昭和48年の航空機騒音に係る環境基準(以下、環境基準)の制定に伴い、騒防法も改正され、WECPNLによる騒音区域の決定と、住宅防音工事の実施などを含む、区域ごとに対応する対策を進めた。また、都市化が進むと予想される空港周辺地域には、土地利用に関する規制・誘導により、騒音障害を未然に防ぐための法律「特定空港周辺航空機騒音対策特別措置法」(略称：騒特法)も定められ、昭和57年に成田空港周辺に地区指定を行った。環境省は平成19(2007)年に、航空機騒音に係る環境基準の改正を告示し、評価指標をWECPNLから $L_{den}$ に変更した。基準値と区域の関係は表-2~4の通り。

#### 3.2 海外の対策

ICAO(国際民間航空機関)では1971年に空港周辺対策に用いる評価指標としてWECPNLを提唱したが、それを採用する国が少なかったことなど

表-2 航空機騒音に係る環境基準値

環境基準類型	$L_{den}$ 基準値
I	57dB以下
II	62dB以下

表-3 騒防法区域と基準、対策内容

騒防法区域	$L_{den}$ 基準値	主な内容
第3種区域	76dB以上	緩衝緑地帯等整備
第2種区域	73dB以上	移転補償
第1種区域	62dB以上	住宅防音工事補助

対象は14空港(特定飛行場)

表-4 騒特法区域と基準、制限内容

騒特法区域	$L_{den}$ 基準値	主な内容
防止特別地区	66dB以上	新たな住宅等の建築禁止 既存住宅の移転補償
防止地区	62dB以上	新たな住宅には防音工事が 必要

対象は成田空港のみ

から、現在の版では削除されている。このため、空港周辺の土地利用の目安や受音側対策の基準とする評価指標は各国に委ねられる状況である。EUでは、EU Directive 2002/49/EC (Environmental Noise Directive)という環境騒音の評価と管理に関する指令がある。これは、①環境騒音の暴露状況把握、②環境騒音とその影響を公開、③騒音を低減し良好な環境を保つ、から構成される。参加国は道路・鉄道・工場・航空の騒音源ごとに、騒音の大きさごとの影響面積や人口を5年ごとにノイズマップとともに報告する。また、 $L_{den}$  55dB以上、 $L_{night}$  50dB以上の騒音に暴露されている状況を低減するためのアクションプランを作成する。EU加盟各国はENDをもとに国内法に取り込んだ法律を作成し実行している。しかし、これは騒音影響低減への取組み方針を示すもので、空港周辺の騒音対策(特に受音側対策)については、各国はそれぞれの事情に応じた評価指標・対策基準を用意している。国別の状況を以下に概況する。

英国では環境保全計画案の方針を示すPPG24があった。2012年に廃止され、代わって施行されたものは明確なガイドラインレベルは示されていない。空港周辺の防音工事対策には $L_{eq,16h}$ が指標として用いられるが、対策範囲を決める基準値は空港ごとの状況によって異なる。ロンドン・

ヒースローでは $L_{eq,16h} > 69$ dB範囲の住宅に対し防音工事の対策を実施する。対策基準値としては高い値と言える。一方で、夜間騒音に対する寝室への対策も行っている。こちらは、深夜時間帯に運航される騒音の大きい機種を想定した単発騒音で範囲を指定している。また、政府は空港管理者に対して、防音工事の見直し ( $L_{eq,16h} > 63$ dB) を期待しているようだ。

ドイツでは、航空機騒音対策に用いる法律は、連邦法である航空機騒音防止法で定められる。評価指標は $L_{eq,day}$  (6~22時)と $L_{eq,night}$  (22~6時)である。同法では、zone 1 ( $L_{eq,day} > 60$ 新設・改良空港)に存在する住宅は防音工事の対象となる騒音保護区域を定めるとともに、指定日以降の住宅建築は禁止される。新設・拡張空港は既設空港より5dB厳しい。夜間騒音は、 $L_{eq,night} > 50$ 以上(新設・改良空港)で寝室の防音工事を行うが、深夜時間帯の最大騒音と発生回数(室内で $L_{A_{smax}} 53$ dB×6回)を利用した基準もある。なお、フランクフルトでは、一定の騒音下で、住宅屋外(庭)での生活を享受できないことに対する金銭補償を行い、また、空港に近い着陸経路下で乱気流による屋根被害に対する被害補償と移転区域を行う範囲を指定しているなど、補償に手厚い。

フランスでは、空港周辺対策として補償制度と土地利用規制があり、 $L_{den}$ が用いられている(以前はPNLベースのIP:Psophique Indexという指標だったが、変更された。)補償制度としての住宅防音工事は、Zone I - $L_{den}$  70dB以上、zone II -65dB以上、Zone III -55dB以上で実施され、それぞれ室内での騒音目標値が定められる。住宅防音工事対象が $L_{den}$  55dB以上は世界的に見ても低めの基準である。土地利用規制は、騒音に応じ4つのゾーンに区分される。それぞれで土地利用の基準が示され、これに合致しないと建築許可が下りない。最少はZone Dの50dB以上であり、実質的に50~55dBは居住者が住宅の防音措置を行うことになる。

オランダでは、Ke (コステンユニット)という時間帯で重みづけした最大騒音の累積と騒音発生回数の年間値を利用したものを指標としたが、

2007年には指標が $L_{den}$ に変更されている。Ke 65/ $L_{den}$  71を移転の対象、Ke 35/ $L_{den}$  58を防音工事対象とする。深夜騒音を考慮して $L_{night}$  48dB以上に対する寝室の防音工事を行う。

スペインでは、空港周辺の防音工事対策を、将来を想定して予測した $L_d$  60dB、 $L_e$  60dB、 $L_n$  50dBの昼間・夕方・夜間それぞれの時間帯区別騒音範囲に存在する住居と学校や病院・文化施設に対して行う。別途定められる内部居住空間の騒音目標値(例えば住宅の居室 $L_d$  45dB、寝室では $L_n$  30dB)に合致するように必要な遮音性能が決まる。防音工事は対策範囲を示した日に存在する建物が対象だが、期日以降の建築には防音措置の適用などの土地利用制限が付く。

イタリアでは、 $L_{VA}$ という年間3分割期間の各最繁忙週の3週間を対象とした $L_{den}$ を指標とする。 $L_{VA}$  65dB未満は土地利用制限が付かないが、65~75dBの住宅は防音措置を施した場合を除き禁止となる。防音工事等の対策はケースバイケースで実施されているようだが、積極的でない。

スイスは、連邦騒音保護条例により騒音基準を決めている。騒音感受レベルごとに、計画推奨値、受忍限度値、警告値を定めている。また、さまざまな騒音源に対する基準を定めている。大規模空港で用いる騒音指標 $L_{rt}$ は $L_{Aeq,16h,6-22}$ と同じと考えてよい。夜間時間帯は1時間ごとの $L_{eq,1h}$ に対する基準値が設定される。住宅地の基準値は、昼間 $L_{rt}$ において計画推奨値57dB、受忍限度値60dB、警告値65dBである。防音工事は受忍限度値を超える場合に実施される。夜間騒音に対する寝室への防音も実施している。(夜間受忍限度値は $L_{eq,1h}$  55dB 22時台、 $L_{eq,1h}$  50dB 23時台~6時台)

米国は、連邦航空規則14 CFR Part 150を定め、空港周辺の騒音環境改善のための枠組みを提供している。指標として $L_{dn}$  (DNL)を用い、航空機騒音を軽減するための連邦の基準は65dBである。(カリフォルニア州のみ $L_{den}$  (CENL)を用いる。)空港管理者はPart 150に基づき、航空機騒音を予測して騒音暴露範囲を定め、騒音の程度に応じた土地利用方針、騒音軽減方策を検討し、防音工事を含めた騒音対策計画NCP (Noise Compatible

Plan)を作成する。計画策定時に基準値以上の住宅には防音工事を実施するが、空港ごとに適用範囲は異なる。土地利用方針はあるが、強い規制には結びついておらず、騒音地域内への後住者が悩みでもある。

オーストラリアでは、航空機騒音の評価指標はANEFを用いる。米国で以前用いたNEFを独自に修正したもので、時間帯区分と回数の荷重係数が異なる。ANEFをもとに、航空機騒音と建築容認の目安を示している。ANEFが20未満であればすべての建築物が容認されるが、20～25では条件付き容認、25以上では容認出来ない。防音工事等の補償に基準は、ANEF 40区域の移転、ANEF 30以上の住宅の防音工事だが、すでに対策終了しており、あまり積極的ではない。

### 3.3 対策基準の国内外横断比較

航空機騒音対策に用いる騒音評価指標は各国で異なり、住宅防音をはじめとする対策基準もさまざまである。さまざまな評価指標間で、いったいどのくらい値が違うのだろうか？一般的にはWECPNLと $L_{den}$ の間には約13dB、 $L_{den}$ と $L_{dn}$ では約1dBの差があると理解されている。しかし、各国で採用する評価指標が異なる限り、対策基準を横並びに比較することができない。詳細は省くが、世界の主要な20空港のある日の運航実績をネットから取得し、その時刻別の運航回数を用いて、単発騒音は一定とした指標間の結果比較をした。表-5に $L_{eq,24h}$ を基準とした指標間比較を示す。

Leq,24h相当	国・地域・空港	指標と基準値	対策種別
68	英国(ヒースロー)	$L_{eq,16h}$ 69 dB	住宅防音
63	オーストラリア	ANEF 30 dB	住宅防音
62	米国	$L_{dn}$ 65 dB	(空港によって防音実施)
61	カリフォルニア	$L_{den}$ 65 dB	(空港によって防音実施)
59	英国(ガトウィック)	$L_{eq,16h}$ 60 dB	住宅防音
	ドイツ	$L_{day}$ 60 dB	住宅防音(新設・改良空港)
	スイス	$L_{nt}$ 60 dB	住宅防音 II
	韓国	WECPNL 75 dB	住宅防音(3種区域)
58	日本	$L_{den}$ 62 dB	住宅防音(1種区域)
	スペイン	$L_d$ 60dB	住宅防音
57	ドイツ	$L_{night}$ 50 dB	夜間・寝室防音(新設空港)
	スペイン	$L_n$ 50 dB	夜間・寝室防音
55	オランダ	$L_{night}$ 48 dB	夜間・寝室防音(土地利用規制)
54	オランダ	$L_{den}$ 58 dB	住宅防音(土地利用規制)
53	オーストラリア	ANEF 20 dB	住宅防音(土地利用規制)
51	フランス	$L_{den}$ 55 dB	住宅防音 zone III
46	フランス	$L_{den}$ 50 dB	住宅防音(土地利用規制)

表-5 住宅防音の基準最低値の比較( $L_{eq,24h}$ 基準化)

表-4  $L_{eq,24h}$ を基準とした指標間比較

評価指標	$L_{eq,24h}$ との比較 dB		
	差の平均	標準偏差	
P N L	WECPNL	+16.1	0.6
	NEF	-31.3	0.9
	ANEF	-32.9	0.2
	NNI	-15.6	0.7
	IP	+23.3	0.7
A 特 性 音 圧	$L_{den}$	+3.8	0.6
	$L_{den,France}$	+3.4	1.0
	$L_{dn}$	+3.0	0.7
	$L_{VA}$	+1.2	1.3
	Ke	-10.5	2.1
	$L_{eq,24h}$	0.0	0.0
	$L_{eq,day}$	+1.4	0.2
	$L_{eq,night}$	-6.6	2.1
	$L_d$	+1.5	0.2
	$L_e$	+1.2	0.5
	$L_n$	-7.1	2.0
$L_{eq,night 1h,max}$	-0.4	1.6	

さらにこの結果をもとに、各国の評価指標と基準を $L_{eq,24h}$ 相当に換算したうえで各国の比較を行った。表-5は、住宅防音工事の対策基準または建築制限時の防音義務付け基準の最低値(網掛け)を国別に比較したものである。住宅防音工事で最も低騒音に対して助成しているのはフランスの $L_{den}$  55dB ( $L_{eq,24h}$ 相当 51dB)で、24hの騒音暴露に対する補償として次いで日本の対策基準 $L_{den}$  62dB (同58dB)が続く。ドイツ・スイスの昼間 $L_{day}$  60や韓国のWECPNL 75 (ともに同59dB)と同程度である。米国 $L_{dn}$  65 (同62dB)やオーストラリアのANEF 30(同63dB)は基準値としては高い方で、英国・ヒースロー空港の $L_{eq,16h}$  69dB (同68dB)は最も対策基準値が高い。

夜間騒音に対する基準はドイツとスペインの $L_{night}$  50dB (同57dB)が挙げられる。欧州では夜間騒音に対する対策を実施している例が多い。(ヒースローも夜間騒音対策エリアがあるが、高騒音機の単発騒音( $L_{AE}$ )を対象とした範囲なので、ここでの検討にはない。)

補償としての防音工事対策を総括すると、手厚いのはドイツ・スペインの2国で、1日を通じた平均騒音暴露に対する対策の基準値が低いだけでなく、夜間騒音を想定した寝室防音も実施する。フランスは平均騒音暴露に対しては最も低い基準値で対策するが、夜間の寝室対策は実施して

いない。日本は24h騒音暴露に対する補償は平均的(やや手厚い)なグループに属する。夜間対策は法令にはないが、成田空港の夜間運航禁止時間帯(カーフェュー)の縮小に伴い、寝室防音工事対策を始めた。米国は補償対策の基準値はやや高めであり、積極的な補償対策姿勢は見えない。オーストラリアも同様である。オランダやオーストラリアは、防音工事対策はすでに完了しており、防音工事を義務付ける建築制限の基準値を補償対策よりも低めに設定している。

#### 4. 騒音軽減のための音源側対策

##### 4.1 着陸料金による低騒音型機の促進

航空機騒音の発生源対策のうち、代表的なものとしてICAO(国際民間航空機関)の航空機騒音証明制度が挙げられる。これにより航空機は騒音基準(当初の基準をChapter 2基準という)に適合しなければならず、1971年の発効依頼、Chapter 3, 4, 14と段階的な強化を図り今日に至っている。空港管理者を中心に、騒音証明制度だけでは高騒音型機の退役が加速しないとの懸念もあり、航空機運航の際に徴収する着陸料金に、騒音の大きさに応じて課金や調整を行い、低騒音型機の導入促進と高騒音型機の排除を目論んでいる。

騒音の大きさの判断には、ICAO騒音証明値を利用する方法(マージン量:基準力の余裕値で決定、騒音証明値の大きさで決定に分かれる)と像音実測値を利用する方法に区分される(図3)。

着陸料における騒音の大きさの決定方法

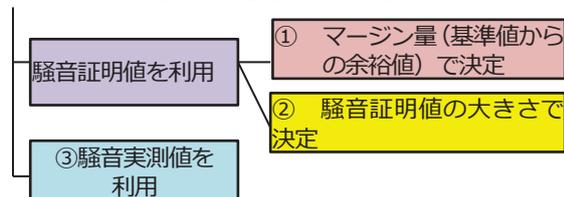


図3 騒音の大きさの決定方法の分類

また、課金の方法に「騒音によって着陸料金を調整する(料金調整型)」と「着陸料金とは別に騒音によって追加課金をする(追加課金型)」に分類される。着陸料金の設定は、国の方針やそれぞれの空港の取り組みによって異なる。騒音を考慮した着陸料金は欧州と日本・韓国等で実施する空港

がある。米国は連邦ルールとして、特別な運航制限や課金を行わない。

騒音を考慮した着陸料金を設定する目的は、I. 高騒音機の排除、II. 低騒音機の導入促進、III. 騒音対策費用の捻出と分類することができる。I. 高騒音機の排除では、欧州を中心にICAO Chapter 3基準にしか適合しない高騒音機に対し、高い騒音課金を行うものである。ヒースローでは、このカテゴリーに現実的ではない程の高料金設定をすることによって、実質的な排除をしている。また、イレギュラーな深夜運航に対しても5倍の課金をすることで、余分な深夜騒音の発生を抑えている。このスタンスは騒音実測値を利用するフランクフルトでも全く同じである。また、現時点で高騒音機の典型とするMarginal Chapter 3(累積マージンが5dB以内のもの)は、スペインでは昼間70%増し・夜間140%増しの高負荷を課し、パリではその運航禁止措置を講じている。II. 低騒音型機の導入促進は、より強いメッセージ性を表明する料金システムを採用する空港である。平均的な騒音の機種に対する最も低騒音のカテゴリーにおいて、フランクフルトでは騒音料の0.2倍、ヒースローでは着陸料の0.33倍、アムステルダムでは0.5倍、ブリュッセルでは0.7倍と、優遇を強く打ち出している。III. 騒音対策費用の捻出では、フランクフルトのノイズサーチャージ、フランスの騒音航空税(TNSA)、韓国の騒音負担金などが該当する。

これらのように、空港によって、料金設定において空港管理者の強い意志を明確におき、その代表としてヒースロー、フランクフルト、アムステルダム、ブリュッセルの欧州空港が挙げられる。

日本では、成田で騒音証明のマージン量を利用した騒音インデックス区分に基づき、着陸料の差別化を実施している。羽田では国際線着陸料金に、騒音証明値の大きさで決定される騒音料を付加している。国管理の国内線も同じような仕組みがある。また、大阪(伊丹)は騒音の大小が考慮された機種ごとの着陸料金を定める。ただし、いずれも代表例とした欧州4空港のような、高騒音機～低騒音機間の大きな差別化には及ばない。

## 4.2 夜間運航の規制

夜間の騒音は空港周辺住民への睡眠影響を及ぼすことが懸念される。このため夜間騒音を抑制するために夜間の運航規制をしている空港が多い。その方策には、運航禁止時間帯の設定(カーフェュー)、運航制限時間帯の設定、発着回数規制、運航枠制限などが挙げられる。

夜間運航禁止時間帯(カーフェュー、Curfew)は深夜時間帯における最も厳格な騒音抑制策といえる。フランクフルト(23:00~5:00、0:00までは遅延便を認める)、ミュンヘン(24:00~5:00)、デュッセルドルフ(23:00~6:00)、チューリッヒ(23:30~6:00)などドイツ、スイスの空港に設定される例が多い。このほかパリ・オルリー(23:30~6:00)もカーフェューがある。日本では成田で23:00~6:00のカーフェューが課されている。ただし、2019年にA滑走路は24:00~6:00に変更された。また、A滑走路では0:30まで、B滑走路では24:00までの遅延便(低騒音型に限るなどの条件付き)が認められている。シドニーでも23:00~6:00のカーフェューがあるがリージョナル機(プロペラ機、Bae 146)は例外としている。この結果、23時台~5時台の間に日平均12.0回(2018年実績)の離着陸がある。また、定期便は24時までの離着陸と5時台の着陸を認めている(ともに回数制限あり)。このため、シドニーは緩やかな夜間運航制限にとどまる。

運航制限時間帯の設定は、空港周辺地域との協定や空港と運航者との協力に基づき、ダイヤ設定時間に制限を設けるなどで、実質的な運航制限を設ける。ヒースローでは23:05~4:45の間定期便スケジュールは設定できず、1:00~4:30においては緊急時などの例外を除き離着陸はない。日本では定期便ダイヤ設定時間を設ける場合があり、福岡は7:00~22:00となっている。

発着回数制限(スロット制限)は一定時間あるいは期間内における航空機の運航回数に上限を設ける方式で、スロット制限とも呼ばれる。深夜時間帯の発着回数制限は内容も様々であり、夜間全体の離着陸回数を年間ベースで設定している空港(ヒースロー空港)や、1時間値などの設定方法を採用している空港(シャルル・ド・ゴール、ス

キポール、ブリュッセル空港等)も多くみられる。また、夜間運航制限の実施時に、運航制限前後の時間帯で回数制限を併用する空港がある。日本では新千歳空港で地元との協定により、22時~7時の間の運航回数を30回以下(うち、24時~6時までの間は6回以下)としている。

運航枠制限(Quota Count、ノイズクォータ)は、運航する航空機の騒音を点数化して、一定期間(6か月、1年など)内の上限合計値により運航数を制限する手法である。これには、機種別の騒音エネルギー値、または航空機騒音証明値を基にした個別値が用いられる。総騒音量の維持や削減のために適用されるが、運航者側はより静かな航空機を使用するほど多くのスロットが利用可能になるため、長期的には低騒音機を導入する方向へと促進される。ロンドン・ヒースロー、ガトウィックやマドリード、ブリュッセルなどでQC(Quota Count)という名称でこの方式が採られている。

## 4.3 騒音軽減運航

ICAOでは騒音軽減運航方式として離陸時の運航手順を定めている。日本でも離陸時には急上昇方式や着陸時にはディレイドフラップ方式などが用いられている。本節では、これら標準的に採られる手法以外で、新たな騒音軽減のための運航や工夫について概説する。

高降下角進入方式は、最終進入の最適降下角とされる3.0度よりも高い降下角で進入する方式である。欧州の多くの空港では、多くは障害物を避ける目的で高降下角進入を実施しているが、進入高度が上がって騒音も軽減されることを目的とした導入例は、フランクフルト空港(3.2°)のほか、ロンドンシティ空港(5.5°)がある。ヒースローでも試行期間を経て実運用に向け検討が重ねられている。羽田空港でも南風で好天時に都心上空を経由する進入方式に騒音軽減を目的とした3.45°の進入方式が導入されている。高降下角進入の騒音低減効果について、フランクフルトでは-0.3~-1.3dBと報告されている。

継続降下進入方式(CDA,CDO)は、航空機が着陸のための進入の際、水平飛行を行うことなく降下を継続しながら飛行する方式である。通常の着

陸は、降下区間の途中に一つまたは複数の水平飛行を行う必要があるが、水平飛行をせずに継続降下(Continuous Descend)することで、エンジン推力の低減、ひいては騒音低減と燃料削減を可能にする。これらの効力が発揮できるのは、最終進入経路以前の空港遠方である。欧州や米国でも燃料節減効果も狙って実施していることが多い。ただし、運航数が多い繁忙時間帯の実施に課題もあるので、継続降下進入は夜間や特定の経路に適用されることが多い。日本では関西空港のほか、羽田空港(南風時の一部着陸経路の千葉市付近の区間)で実施されている。

優先飛行経路方式は、飛行経路下で騒音影響が出る場合に際し、特定地域を迂回させたり飛行範囲を限定したりすることで騒音軽減する手法である。①内陸空港などで騒音を広範囲な地域に拡散させないための経路を設定する方法と、②海側や住宅地の少ない陸地の上空に経路を設定するものがある。図4はロンドン・ガトウィック空港の優先出発経路の例である。離陸の際に可能な限り住宅密集地区上空を飛行することを避けるため、離陸の騒音優先飛行経路を定めている。経路の逸脱監視と騒音の測定も行われる。優先飛行経路の取組みは、ロンドン・ヒースロー、ブリュッセル、シアトルなど多くの空港で行われている。

RNAV方式による人口密集地を避けた飛行経路設定は新技術の普及によって騒音軽減手法への適用の例と言える。GPS(全地球測位システム)の環境整備が進んだのに加え、航空機の高精度な測位システムが普及したことにより、GPSに基づ

く方式(RNAV方式)で指定された経路を正確に航空機が飛行することができるようになった。そこで人口密集地を避けて飛行経路を設定し、騒音影響を減らす空港がある(フランクフルト、マドリード空港等、図5はフランクフルトの着陸経路の例)。

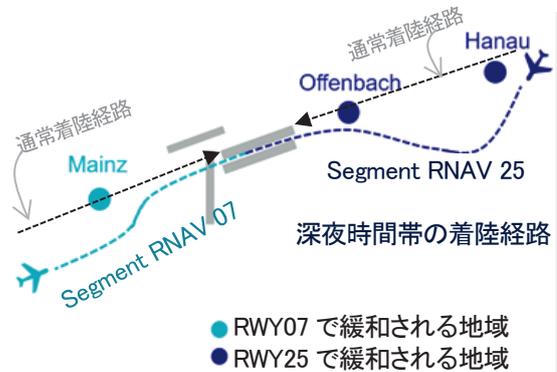


図5 フランクフルト空港のRNAV進入経路

リバース推力制限は、着陸したのち速度を落とすためエンジンを逆噴射させて行う制動(リバース)の使用推力を制限する。リバース推力は連続的に変更可能だが、最も強いフルリバースか、最も弱いアイドルリバースが主に使用されており、騒音軽減のためにアイドルリバースを使用することを求める。ただし、気象条件(風向など)や滑走路の路面状況(雨や雪など)、滑走路長などの条件によっては制限できないため、安全に支障ない範囲で実施される。多くの海外空港で制限を設ける例が多い。多数は夜間時間帯を対象とするが、フランクフルト・ミュンヘン空港などは全日で制限する。日本では、大阪空港で19時以降に制限を課し、福岡でも同様の制限を最近始めた。

#### 4.4 レスパイト・ノイズシェア

レスパイトとは、英語の「respite:一時的な休息を与える」という語からきている方式で、複数滑走路を有する空港において、使用滑走路を時間や曜日で交替しながら運用し、騒音から救済される静穏時間帯を確保する方式である。レスパイトの代表例は、ロンドン・ヒースローで、西風(RWY 27)運用時、6:00~15:00と15:00~最終便までの間で、着陸用と離陸用滑走路を北側と南側で入れ替えをする。ただし、東風(RWY 09)

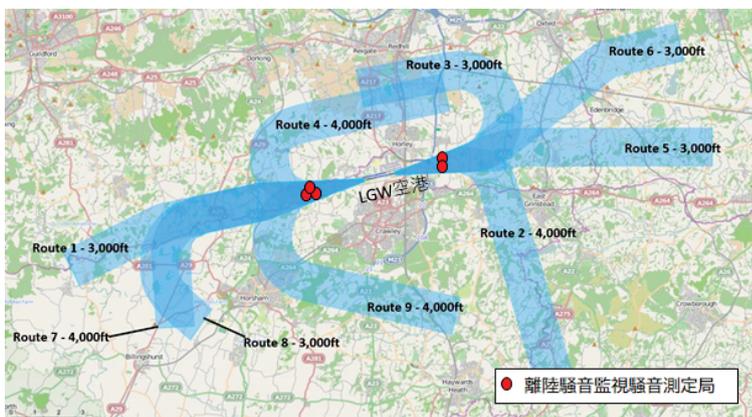


図4 ガトウィック空港の騒音優先出発飛行経路

運用時には着陸は北滑走路、離陸は南滑走路を用いる。深夜時間帯は、運用する滑走路を1本に限定し、4週間サイクルで運用方向と滑走路の入れ替えを行う。深夜の運航の工夫は、フランクフルトでも実施される。夜間運航の原則禁止時間帯は6時間だが、運用の工夫によって静穏時間を7時間とするレスパイト方式を採用している。この方式は、成田空港の機能拡張計画後にも運用される予定である。

ノイズシエアは滑走路の運用を工夫し飛行経路も分散することによって、空港周辺への騒音を多くの地域で分担する考え方である。シドニー空港では、空港を中心とした東西南北の各地域への運航割合目標をあらかじめ設定している（北17%、南55%、東13%、西15%、南が多いのはできるだけ洋上を利用するため）。しかし、実際の運用は、東西方向の滑走路を用いた際に生ずる運航処理能力減の課題から、目標に従ったノイズシエアは実現できていない。深夜時間帯のノイズシエアはシカゴ・オヘア空港でも実施している。

## 5. 空港構造・施設の改良

空港構造の改良には、騒音発生源である空港を、滑走路移転や新空港建設によって影響を受ける市街地から遠ざける方策と、空港から出る騒音を防音壁や防音堤によって遮蔽する方策が含まれる。

騒音対策のために、滑走路や空港を移転する例は、ほぼ日本に限られる。関西および中部空港は伊丹および名古屋空港の騒音問題の抜本的解決のために建設した海上空港である。北九州空港も市街地から、空港島を建設し海上に移転した。羽田空港も、航空需要の増加と騒音問題を解決するために空港の沖合展開事業が進められた。以前にあった3本の滑走路は順次移転拡張され、平成9年3月の新C滑走路が供用したことにより、騒音影響は大きく低下するとともに首都圏の24時間空港が実現した。海外では、香港市街地にあった旧空港(啓徳)の老朽化、拡張困難、騒音の課題から、約30km離れた海上に空港島を建設し新空港(チェクラップコク)を建設した。

空港からの騒音を低減するために、空港周囲に防音壁を建設している例は海外空港にもみられる。フランクフルト、ブリュッセルは空港内地上騒音の周辺への伝搬を遮るために高さ10m程度のものを設置している。滑走路側方に盛土をした防音堤は日本の成田、伊丹が代表例である。ハンブルグにもリバーズ騒音の低減を目的とした土手を滑走路脇に置いている。アムステルダムでは、離陸滑走開始時の騒音を低減するために、滑走路とその側方住居地域の間に高さ3m程度の尾根上の土手を幾層にも配置した防音堤がある。

整備に伴うエンジン試運転の騒音を低減する施設を用意する空港も多い。エンジン試運転騒音が多く空港で問題となっていることの証しでもある。格納庫型で相当な消音能力を持つ施設は、ミュンヘン、デュッセルドルフ、ハンブルグ、チューリッヒ、成田にある。これらの空港では24時間運用が可能になっている。屋根部分はないが、3方向を吸音能力を持った大型のフェンスで囲む施設もある。アムステルダム、マドリード、シカゴ、伊丹に設置されている。

## 6. 地域共生

空港と周辺地域の共生のための方策として、空港および周辺地域のステークホルダーの参加する協議体が設けられる。これらは、空港や住民に対して中立な位置で運営されることが多い。日本を含め欧州・米国でも多くの空港でこのような協議体が設けられ、空港運営および環境対策について協議している。枠組みについて決まったものは無いが、オランダのスキポール空港のORSやフランスのACNUSAなど国の法律上で定義される協議会や行政機関もある。

## 7. 情報公開

情報公開は環境情報全般を周知するためのものと、騒音や経路のリアルタイム情報を見せるものに大別される。前者は空港運営や運航の情報、防音工事などを説明するもので、騒音測定結果などの分析情報もこれに含まれる。空港によって、

現況や将来の騒音コンターを公開している空港も欧米に見られる。後者のリアルタイム情報は騒音・経路・苦情受付をセットにしたものがやはり欧米の空港に多い。日本でも騒音と経路の情報を公開している空港も増えてきたが充実度は前者に譲る。

## 8. 航空機騒音対策の総合分析

ここまで、世界の主要空港の航空機騒音対策を簡単に振り返った。各国および空港で行うその対策は、それぞれの特徴を考慮して、最も費用対効果に優れた方法により騒音問題に取り組んでいる。表-6は世界の主要空港での騒音対策を、発生源対策、空港構造の改良、受音側対策、共生・情報公開に区分して、重点度合いに分類したものである。対策を実施しているもののうち、重点度・注力度に応じて「◎」→「○」→「△」とした。実施していない対策は「×」、実施不明は「空欄」である。なお分類は、調べて得た情報を基に筆者の主観でランク付けした。また、図-5は区分ごとに点数化(◎3点、○2点、△1点)したスコアを図示した。

欧州空港は総じて騒音対策に手厚く取り組んでいる。最も充実しているのはフランクフルト

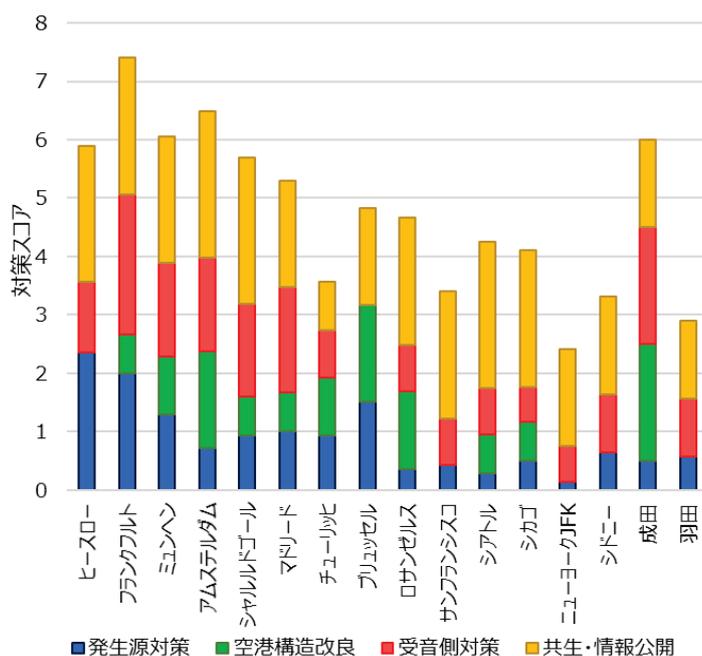


図5 主要空港の騒音対策スコア比較

で、発生源側の対策だけでなく防音工事などの受音側の対策にも手厚く、情報公開も注力している。欧州空港は発生源対策も重点的に実施している。ヒースローは受音側対策よりも騒音別着陸料や夜間運航制限・レスパイトなどで発生する騒音を抑えることに重点を置いているようだ。アムステルダムも同じ傾向があり、受音側対策としての防音工事はすでに終了しており、低騒音型機の促進や運航の工夫によって騒音暴露を抑制する方針が見える。ブリュッセルも同様で、住宅防音工事対策を講じていないものの、音源側対策で可能な限りの騒音低減を図る。

一方、パリ(シャルル・ド・ゴール)は、受音側対策としての防音工事と土地利用に重点を置く。1970年代に郊外に新設された空港で、市街地にあるヒースローなどと様子が異なり、空港周辺地域への後住者(流入者)を防止することに注力していると考えられる。

米国は、連邦が定める騒音対策のガイドラインに基づき各空港が実施する。しかし、騒音による着陸料金や運航規制を行うことはできない。防音工事は $L_{dn}$  65dB(カリフォルニア州は $L_{den}$  65dB)以上の範囲でのみ対策できるが、土地利用規制との連携がうまくできておらず、騒音地域への流入居住者に苦慮している。

情報公開は欧米とも積極的で、細やかな情報公開によって住民理解を得ようとする姿勢が見える。補償対策より、住民理解の促進が空港運営に繋がると考えるのだろう。地域共生のための協議会も、複数の協議体があったり、法律で設置が規定されたりする。

日本はこれまで補償による受音側対策が主だったが、運航数の増大とともに空港遠方地域からの苦情などもあり、補償対策外の居住者の理解を得ることが重要になってきた。このため、さらなる騒音軽減運航方式やより充実した情報公開などにも取り組み始めている。



## 研究報告

## 騒音予測計算における飛行経路条件設定のための平均期間長の検討\*

菅原 政之(航空環境研究センター 副主任研究員)

当研究センターでは $L_{den}$ コンタープログラム AERC<sup>1-5)</sup>を開発し、予測コンター作成作業も担っている。

騒音予測時には飛行経路の実態調査結果をもとに平均的な飛行経路を設定することが多いが、調査期間は通常、一週間程度に限られる。そのため年間平均と一致するとは限らず、その差異がどの程度かは今まで検証されたことがない。

そこで本稿では成田空港の長期間におよぶ飛行経路の観測結果(例・図1)をもとに、期間長や季節を変えて集計した結果が年間値とどの程度の差異を生ずるかを分析した結果を報告する。

## 1. 予測計算における飛行経路設定の考え方

航空機騒音予測コンターでは、運航回数や飛行経路、機種構成等を含む、多岐にわたる条件設定が必要となる。各種の予測条件の中でも飛行経路と分散設定は結果への影響が小さいため、適切な予測条件の設定が重要となる。

具体的には、航空機騒音の評価の対象となる音源について、大別すれば離陸、着陸、駐機、エンジン試運転、ヘリのホバリング等の5つがあり、予

測プログラムのアルゴリズムは、それぞれについて騒音影響を計算して合成するが、なかでも離陸と着陸の飛行音は、コンターの形状の大半を決定するので寄与が大きい。飛行音の予測条件は、飛行経路と、その分散幅、運用種類別の時間帯運航回数から構成されるので、飛行経路と分散幅の結果への影響は小さくない。

空港の発着をとまなう飛行経路は一部計器飛行を除き、同じ目的地であっても複数の機体の経路は完全に同一にならず、変動幅をもったばらつきが生じる。それによる騒音影響の分散を予測コンターの計算において考慮するために、ICAO Doc 9911、ECAC DOC 29<sup>7,8)</sup>といった主要な予測モデルのガイドラインでは飛行経路の水平分散を正規分布として扱っており、我が国の予測計算においてもこれと同様に処理している。

予測プログラムでは計算時に、入力した平均飛行経路を中心として、分散幅に応じた位置に通常は左右3本、合計7本の経路を自動配置する(図2)。設定経路1回の飛行を通常7本に分割することを意味する。このばらつかせた経路別に $L_{AE}$ (単発騒音暴露レベル)を計算し、標準偏差による

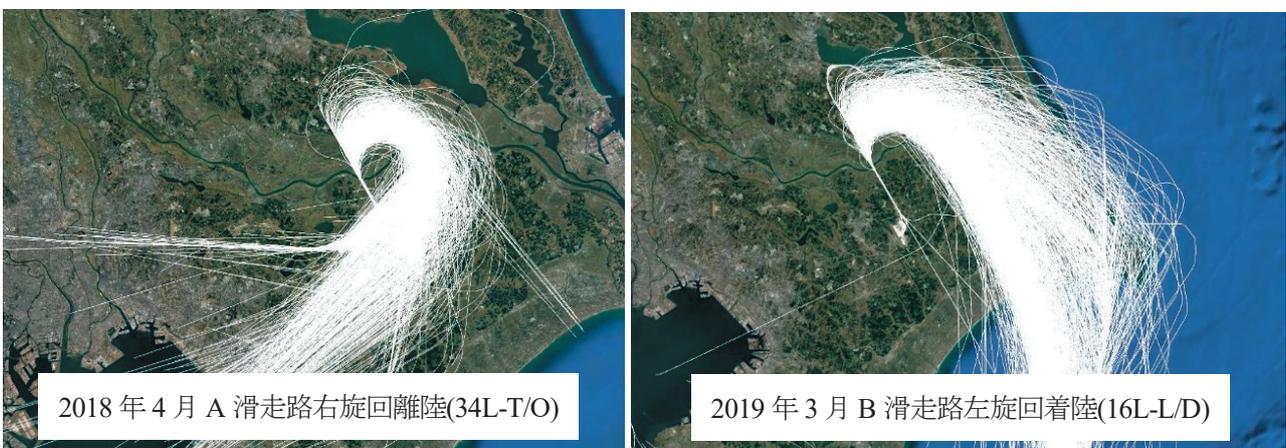


図1 長期間観測による航跡データの一例

\* Assignment of measurement period contributing to flight track settings on an aircraft noise prediction model

分散の重みを掛けて合成する。

こうして一つの運航(便)の騒音が計算されるので、機種、形態、飛行経路、時間帯別回数からなる運航情報を網羅するよう繰り返し計算して合成し、時間帯重みづけをして $L_{den}$  予測値を算出する。

予測条件における飛行経路設定については、1週間程度の測定期間において航跡観測機で得た経路データから平均経路・水平分散を算出することが多い。こうして得られた航跡データは、一運航ごとに時系列における一連の三次元座標データから構成され、平均経路を計算するプログラムに入力して予測モデルに入力可能な平均された飛行経路データと分散幅を生成する処理を行う。プログラムは、グループ化したある飛行方面全ての航跡と断面線の交点座標を検出して平均と標準偏差を計算する。この平均点を繋いだものが平均経路で、経路の予測条件となる。また標準偏差は分散幅とみなし、進出距離と対応づけたテーブルデータにして予測モデルに入力する<sup>6)</sup>。

## 2. 観測期間による平均経路の変化

航空機騒音予測コンターは基本的に通年の騒音暴露を評価するので、予測条件としての飛行経路も、年間を代表するものである必要がある。

一年間を常時観測した航跡データで平均経路を求めることができれば理想的だが、測定可能な期間の長さは、騒音の短期測定によることが多いので、数日から長くても1~2週間となる。

そのため、一年間の平均と差異が少ない航跡データが得られるよう時期と期間長を選択するのが望ましいが、これまで短期間の測定結果と年

間の平均経路の違いは把握できていなかった。今回は一年間を通して観測された航跡データを用いて、観測の時期や期間長、回数を、どのように選択すれば予測条件として良い結果が得られるか検討した。

具体的には、同じ方面で同じ予定経路を用いる離陸ルート1つ、着陸ルート1つを対象と定め、年間全ての航跡から平均経路、および分散幅を求めた。次に同じ対象から今度は期間長を変えた一部分を取り出して平均・分散を計算した。このとき取り出す期間を、測定期間(平均期間長)とみなした。今回の検討では期間長を1週間・1か月とした。一年分の観測データについて、1か月を12回(月)、1週間で52回(週)、平均経路とばらつきを算出した。こうして得られた結果を、最初に計算した年間の結果と比較し、年間との差異を求め、その違いについて分析した。

なお、飛行経路の観測結果は、航空機の自機位置を発出するADS-B信号を長期間受信したものをを用いた。また、航跡データの分析対象として、2018年4月~2019年3月の1年間で、成田空港A滑走路を離陸し、おもに国内や東南アジア方向に向かう右旋回離陸(34L-T/O)と、同方面からB滑走路へ左旋回で着陸(16L-L/D)の2つのルートを対象とした。季節により風向きが変化するため、航跡データ数に変動があるが(離陸は北向き運用、着陸は南向き運用で、それぞれ冬季、夏季に主となる経路である)、平均や分散を計算する上で運航の少ない季節でも十分なデータ数が得られている。

図3は平均経路・分散計算のための断面線の設定方法を例示している。前述の処理手順により経路に直交するように間隔の密な断面線を配置し、プログラムにより経路との交点を計算、集計する。なお、今回の検討に当たっては、平均期間長を変化させても、同じ断面設定で計算をしている。

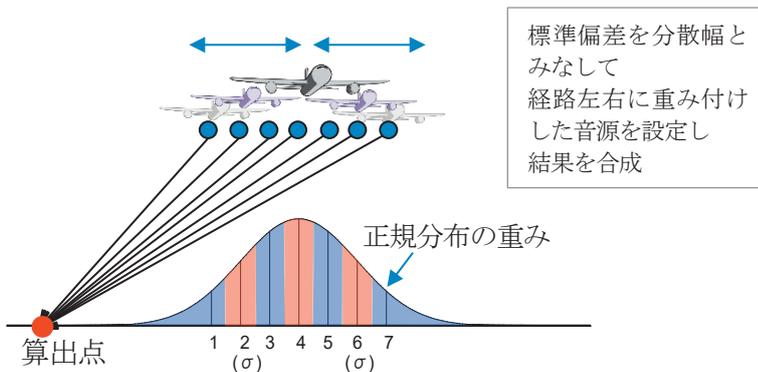


図2 騒音予測計算中の水平経路分散の考え方

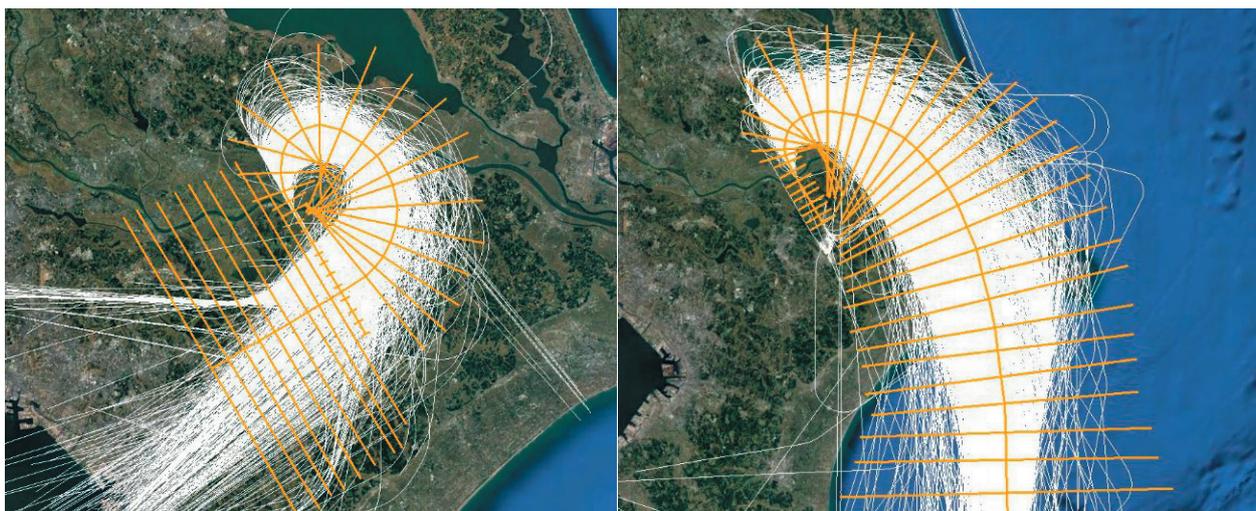


図3 平均経路・分散計算のための断面線の配置設定

## 2.1 4種類の平均期間長による平均結果の比較

平均期間長について以下の4種類の期間長と回数で平均経路・分散を計算した。

①一年間(2018年4月～2019年3月)の平均

②月別の平均(12回)

③7日間(1週間)の平均(52回)

(例) 2018年4月1日～7日、  
2018年4月8日～14日、  
2018年4月15日～21日、

...

④1週間×2季節ののべ2週間の平均(26回)

(例) 2018年4月1日～7日と10月1日～7日を  
合わせて平均、  
2018年4月8日～14日と10月8日～14日  
を合わせて平均、  
2018年4月15日～21日と10月15日～21  
日を合わせ平均、

...

図4は①～④の平均期間長それぞれの結果を示す。②～④について、それぞれ月12回、週52回、週・2季26回の結果と、①の一年間の平均(白線)を重ねて描いている。②～④のなかで、①の年間平均に近く、なおかつバラツキが小さいものが、平均期間長として、また実際の測定の期間長として望ましいということになる。ここでは図4を見る限り、1週間平均の結果は、最も年間値に対し平均のずれもバラツキも大きいことがわかる。

一方、②月別の平均(12本の結果)と、④1週間×2季節の平均(26本の結果)は、結果の数の違いもあり、画像では判断が難しいものの、③1週間だけよりは明らかに年平均との差は小さい。そこで、期間長別にバラツキを数値として評価することを試みた。

## 2.2 断面線を用いた位置とバラツキの数値化

図5に示すような位置に、断面線を配置し、図4に示した結果の平均線との交点をプロットすることで、平均結果のバラツキを調べた。また、分散幅についても年間平均との差異を調べた。以下の3断面を、離陸・着陸それぞれに配置した。

断面A：直進上昇・降下部分

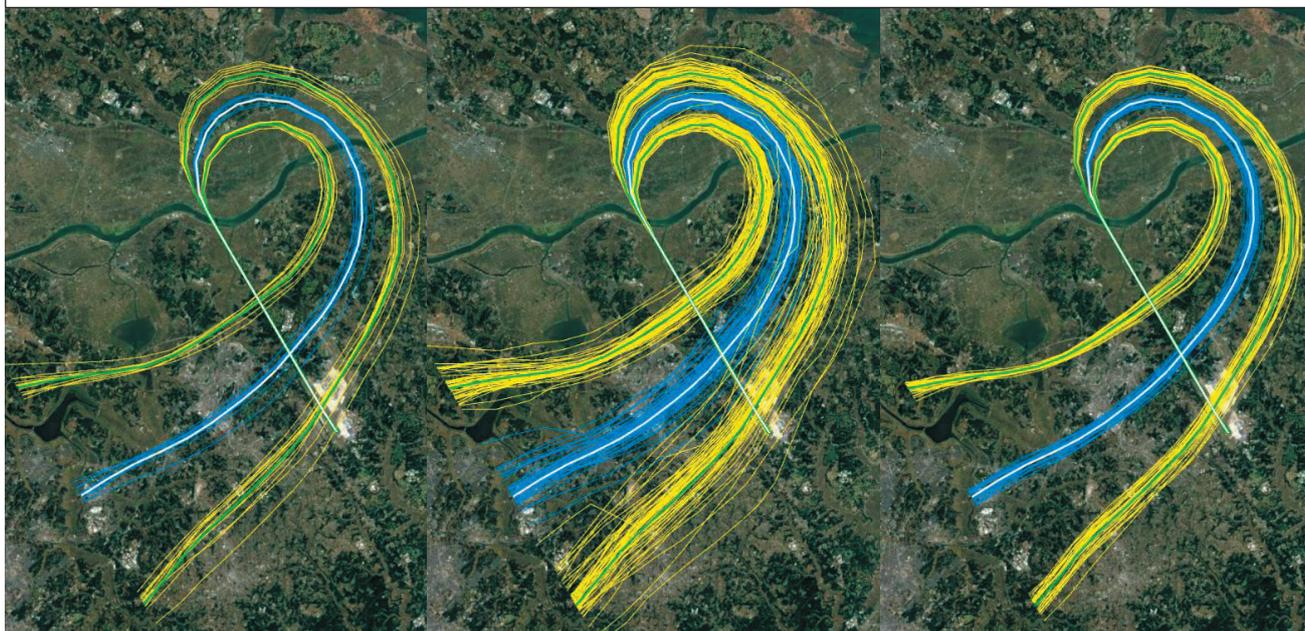
断面B：旋回途中(騒音対策区域の端部付近)

断面C：旋回後(前)経路の代表位置として

図6aのグラフは図4に示した結果のうちの月平均12回の結果について、断面線A、BおよびCとの交点から年間平均経路との水平軸上の相対位置を求めプロットした様子を示す。グラフ左側が旋回の外側になっている。

直進区間の断面Aにおける平均位置の違いは極めて小さく、12回の平均位置は±5m程度に納まる。しかし、旋回部分にかかれば、月平均位置に違いが表れ、断面Bで±400m程度の差が生ずる。旋回以降の断面Cではさらに差が広がり着陸は±700mの範囲におよんでいる。なお、離陸断面B・Cは季節傾向が若干あり、冬季の方が旋回経路の内側かつやや高度が高い。

A 滑走路 右旋回離陸(34L-T/O) 青色：平均経路 黄色：分散幅（標準偏差）



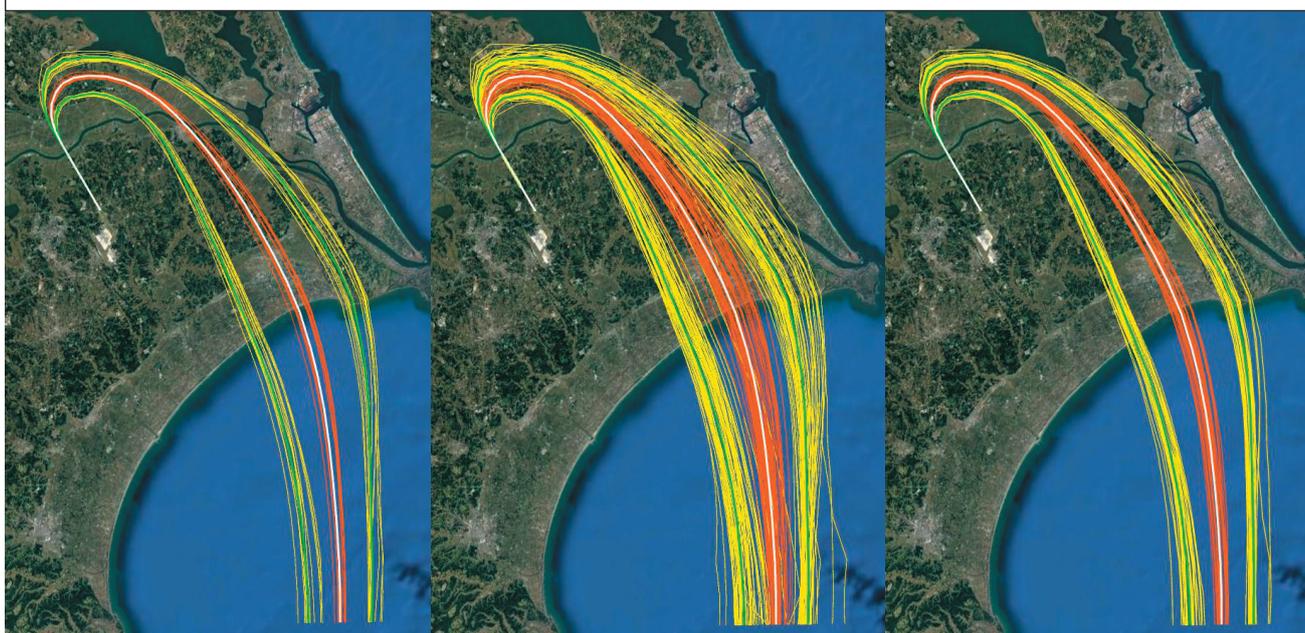
②月平均 x12

③週平均 x52

④週・2季 x26

白線：年間平均、青線：期間平均、黄線：期間標準偏差(分散幅)、緑線：年間標準偏差(分散幅)

B 滑走路 左旋回着陸(16L-L/D) 赤色：平均経路 黄色：分散幅（標準偏差）



②月平均 x12

③7日平均 x52

④7+6月後7日 x26

白線：年間平均、赤線：期間平均、黄線：期間標準偏差(分散幅)、緑線：年間標準偏差(分散幅)

図4 平均経路と経路分散の計算結果(年平均と平均化期間長の結果比較)

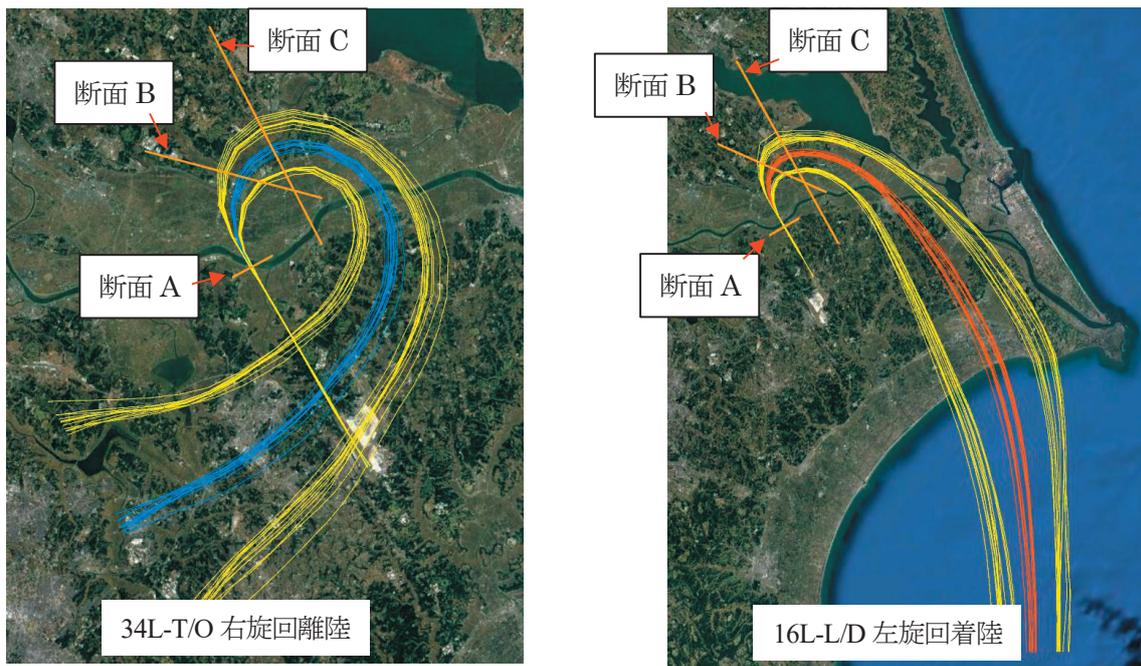


図5 バラツキ検証のための断面線の設定

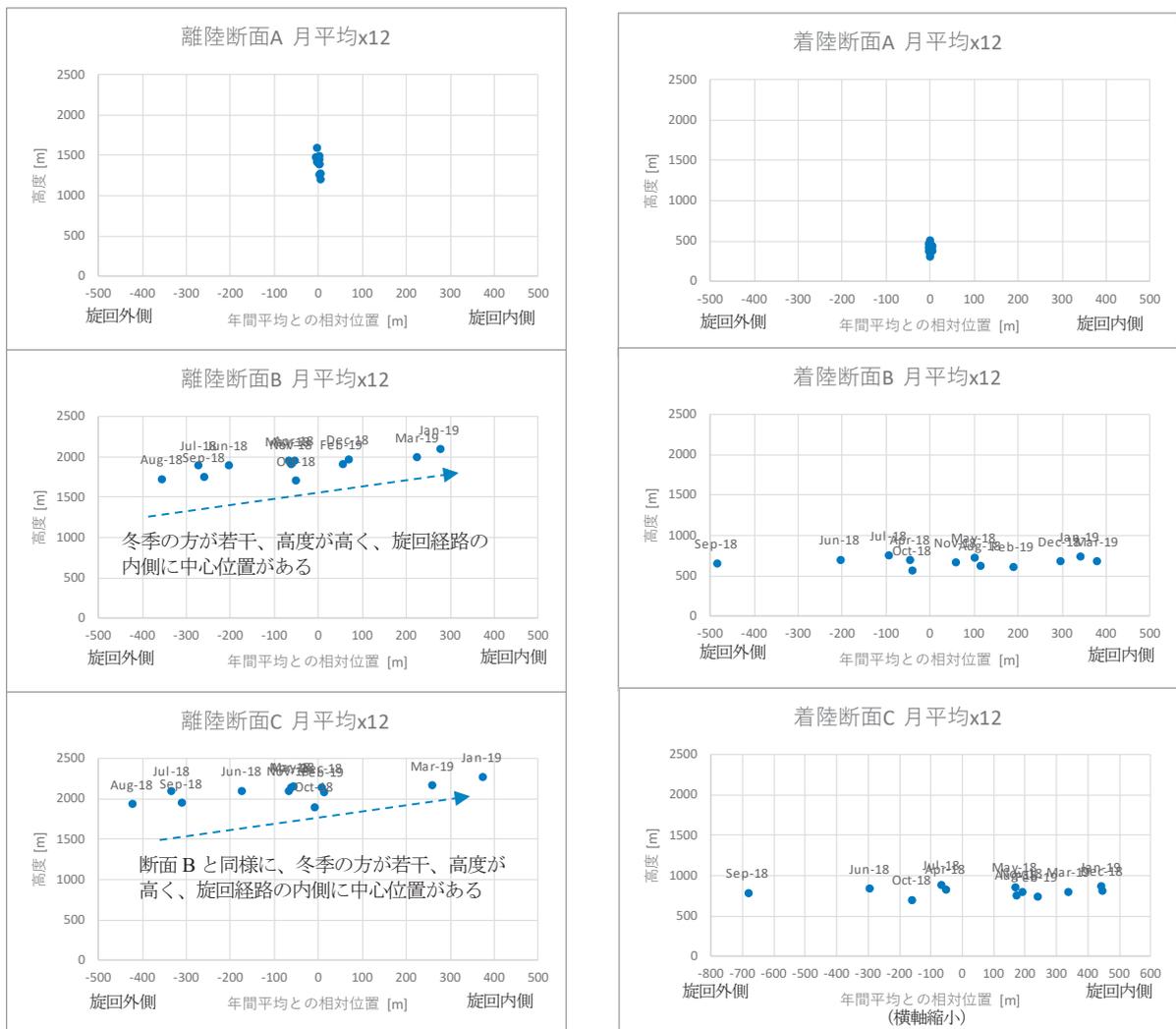


図6a 断面線上の平均経路の交差点の分布(月間平均)

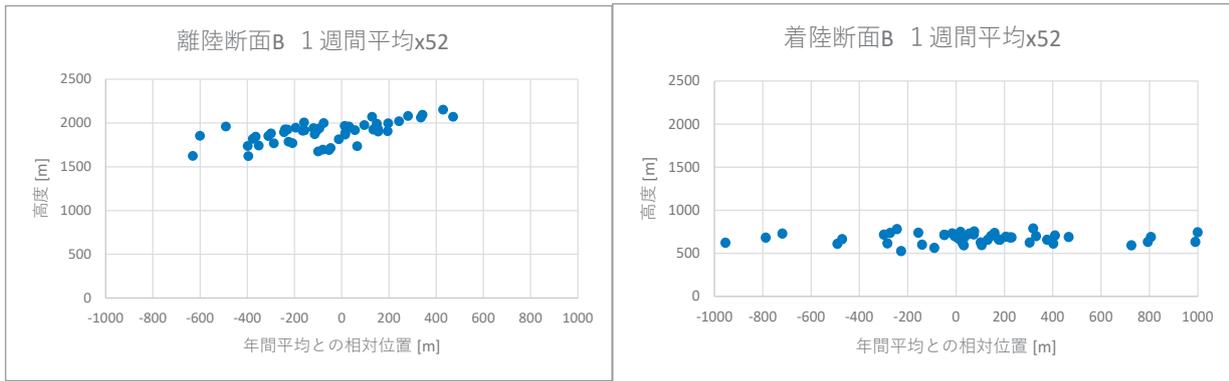


図6b 断面線上の平均経路の交差点の分布(つづき)(断面B・1週間の平均)

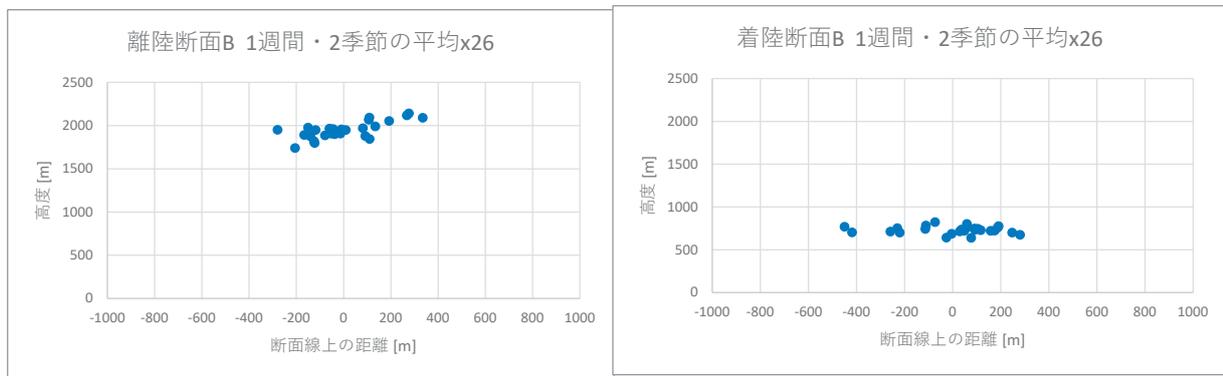


図6c 断面線上の平均経路の交差点の分布(つづき)(断面B・1週間×2季節の平均)

図6bは同様に1週間を期間長とした場合の平均位置について断面Bでの交点を示したものである。月単位の平均位置のばらつきよりさらに大きく広がり、離陸では±600m、着陸では±1,000mの範囲に広がっている。このことは、1週間の経路測定を行っただけでは、年間平均値と相当程度の乖離をきたす可能性を示す。1週間の測定を2回の季節で実施した場合の図6cでは、それぞれの期間通算平均値は年間値に対し±400m程度まで収れ

んし、月平均に相当する程度のばらつきに納まる。

経路分散の状況を図7に示す。1章で説明したように、経路のばらつき幅として対象全データの標準偏差で表す。図は例として、断面Bにおける分散幅を25mの階級区間でヒストグラムにした。図中の赤の縦点線は一年間の全データの分散幅である。1週間の結果が広く分布しその幅も大きい、中心は概ね年間の結果と一致している。平均位置と異なり、期間長の差は少ないようだ。

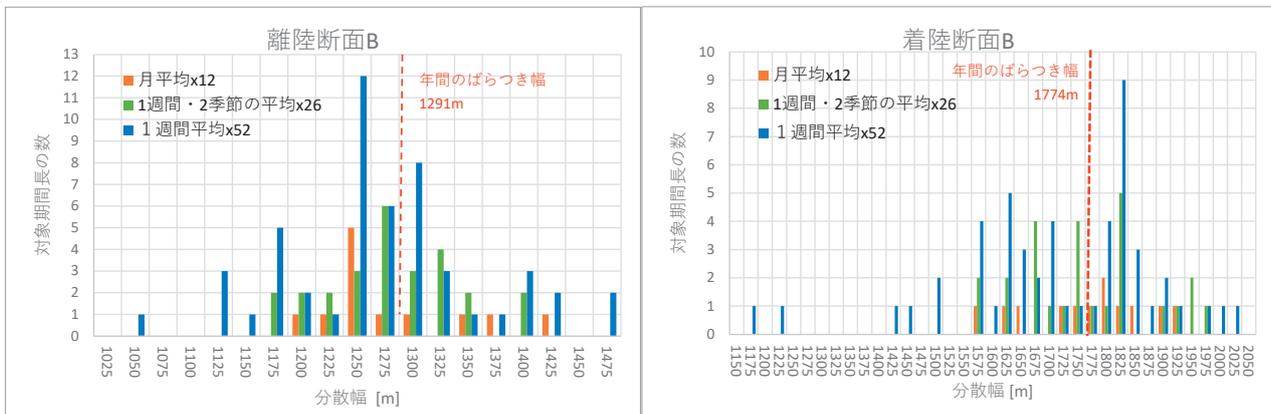


図7 断面線Bにおける経路分散幅の頻度分布

表1 期間長と平均位置・経路分散幅の総括

離着陸	期間長	n	平均位置 (m)						経路分散幅 (m)					
			断面A		断面B		断面C		断面A		断面B		断面C	
			平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差
離陸	年間	1	0		0		0		49		1291		1673	
	月間	12	0.4	3.7	-58	194	-65	230	51	20	1284	66	1694	142
	週間	52	6.2	49	-67	250	-84	330	45	26	1286	141	1684	179
	週×2季節	26	-0.3	4.8	4.1	157	5.9	207	45	16	1281	62	1656	92
着陸	年間	1	0		0		0		27		1774		2666	
	月間	12	0.7	2.9	50	246	61	330	20	27	1768	109	2531	290
	週間	52	0.8	3.4	114	486	158	649	14	25	1720	181	2418	478
	週×2季節	26	0	2	1.9	190	6.8	294	16	22	1768	115	2546	262

平均位置: 断面における期間長に含まれるデータの平均位置  
 平均: その全対象の平均値  
 標準偏差: 全対象の標準偏差

経路分散幅: 断面における期間長を含むデータの位置分散(標準偏差)  
 平均: その全対象の平均値  
 標準偏差: 全対象の標準偏差

表1は平均化期間長と平均位置・経路分散幅の集計結果を、断面A・B・Cごとに整理した総括表である。図6の繰り返しになるが、平均位置は1週間の測定の場合は、年平均に対する差が生まれやすく、週ごとのばらつきも生ずる。1週間を2季節繰り返せば、月間と同程度またはそれより小さい年間値との差となる。しかし、経路分散幅については、期間長にかかわらず年平均と大きな差はなかった。ただし、週ごとの場合は、週単位のばらつきは大きくなる。1週間を2季節繰り返せば、そのばらつきも月単位程度に小さくなる。

### 3. 観測期間による予測コンターへの影響の試算

2章では、飛行経路の測定期間長の違いによって、算出された結果に違いを及ぼすことを示した。本章では期間長による結果のバラツキが騒音予測結果に与える影響を検討した。

具体的には、まず経路設定および分散幅として図4に示した年間平均の結果を適用し、代表的な機種のプロット(単発騒音暴露レベルLAEのコンター)を計算した。その結果から、対象断面付近で、騒音が1dB変化するための距離を調べ、おおよその値として以下のようなだった。

離陸、断面A：300m /dB

断面B：400m /dB

断面C：500m /dB

着陸、断面A：100m /dB

断面B：200m /dB

断面C：200m /dB

表1の結果の平均経路のバラツキ(標準偏差)を、短期測定により起こりうる年平均との差異と仮定し、この値を乗算することで、測定期間長別のレベル変動を求めた結果を表2に示す。騒音影響範囲を予測で算定するときに、多くの場合に、巡回経路の部分が重要な課題となることを考え、断面Bに着目すると、1週間の測定を実施しただけの場合、離陸で0.6dB、着陸で2.4dBの誤差をもたらす可能性があることがわかる。1週間を2回繰り返せば、その差はそれぞれ0.4dBと0.9dBに縮まる。6か月の間隔をあけた1週間のそれぞれを組み合わせたことによって季節性の変化要因を中和することが考えられる。

表2 測定期間長によるレベル変動の試算

34L-T/O 右旋回 離陸

	騒音変動の幅[dB]		
	月間 ×12	1週間平均 ×52	1週間2季節 の平均×26
断面A	±0.0	±0.2	±0.0
断面B	±0.5	±0.6	±0.4
断面C	±0.4	±0.7	±0.4

16L-L/D 左旋回 着陸

	騒音変動の幅[dB]		
	月間 ×12	1週間平均 ×52	1週間2季節 の平均×26
断面A	±0.0	±0.0	±0.0
断面B	±1.2	±2.4	±0.9
断面C	±1.6	±3.2	±1.4

#### 4.まとめ

騒音予測に用いるための飛行経路観測は、短期測定によって実施することがほとんどである。同じような短期測定による騒音実態把握のための測定では、測定の実施時期と期間長・回数によって結果は大きくばらつくことも報告されている<sup>9)</sup>。一方、経路観測時の期間長の違いによる結果のばらつきについて、過去に報告された例はない。

本稿では、成田空港に設置した長期間の経路観測結果(ADS-B)を用い、測定期間長によってどの程度の結果の違いが生ずるかを検証した。

その結果、旋回経路以降(着陸の場合は以前)の地域では、年間の平均経路に対し、7日間(1週間)の測定期間では、その平均位置で相当の差を生ずることが分かった。直進上昇・降下中の平均位置はほとんど変化がなく数十m以内に納まるが、旋回部分では±400m、それ以降(以前)では±700m程度の違いがあった。また、離陸時の旋回は、季節性の違いが若干見られ、冬季にはやや高度が高く、旋回半径が小さい。1週間の測定を2季節にわたって繰り返した場合に、この年間平均との差は小さくなる。

経路分散幅については、年間のすべてを対象とした分散幅と、1週間または1か月と期間を限った分散幅は、その平均値において差はなかった。ただし、1週間の期間とした場合は、分散幅のばらつきが大きいことがあるので注意を要する。これも平均位置と同様に、1週間の測定を2季節繰り返せばばらつきは小さく収まる。

これらのばらつきが、騒音予測結果にどの程度の影響を及ぼすかについて試算した。1週間の経路調査結果を当てはめた場合の結果、直進部分では0.2dB以内だが、旋回以降は離陸では±0.6～0.7dB、着陸では±2.4～3.2dBの差を生ずる可能性がある。これらは、季節を変えて2回繰り返せば離陸では±0.4dB、着陸では±0.9～1.4dBと誤差は収れんする。

これらの結果は、成田空港の一部の経路を対象としたもので、これが全国の空港に同様に当てはめることが可能か否かについては、不明確である。また、短期測定期間を3日間程度とする場合もある。今後、空港の違いを含め、さらに多くのデータ検討を考えたい。

また旋回経路の場合、平均経路を中心とした正規分布とならない場合もあるので、非対称性を考慮した検討も進めてゆきたい。

#### 謝辞

成田空港のADSB長期間観測結果の提供にご協力いただいた一般財団法人成田振興協会の皆様に深く感謝いたします。

#### 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
- 7) PUBLICATIONS RECOMMENDED METHOD FOR COMPUTING NOISE CONTOURS AROUND AIRPORTS DOC 9911 ENGLISH PRINTED, ICAO
- 8) ECAC.CEAC Doc 29 4th Edition, EUROPEAN CIVIL AVIATION CONFERENCE
- 9) 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 No.21 2017

## 研究報告

## 騒音暴露人口を減らすための飛行経路設定の可能性の検討\*

中澤 宗康(航空環境研究センター 副主任研究員)

## 1 はじめに

近年、国内外では騒音対策の一環として、比較的新しいRNAV航法を用いて、人口密集地を回避するような飛行経路の設定がなされている空港がある。

近年は、EUの環境指令2002/49/ECで騒音暴露人口を情報公開することが各国に課され、WHO/EUのEnvironmental Noise Guideline<sup>1)</sup>での健康影響を推計する際の基礎資料とされるなど、騒音暴露人口は政策評価の一指標とされつつある状況にある。

ヨーロッパと違い、日本の都市部の人口密集地域の構造に差があることや、日本の政策的関心がそこに至っていないという事情があるのかもしれないが、人口密集地を避けた飛行経路によって騒音の影響を下げられる可能性、あるいは下げられる程度が評価できるのであれば、騒音軽減策として用い、かつその有効性を適切に評価できる手法となりうる。

そこで、どのような条件下でこういった騒音暴露人口を減らす飛行経路の設定が可能となるか、事例を検討したうえで、実現可能性および実施にあたっての課題を探る。

## 2 航法の改善と騒音軽減

飛行経路は大まかにいえば、航空機の今いる位置から目標とする位置への移動の道筋を複数つなげたものであるが、どうやって自機の位置を知り、どうやって目標を定めるか、そしてそれほどの程度の誤差があるのか、といった要素によって設定できる飛行経路は変わる。この航空機を目的地まで導く方法を航法と呼び、古くは目標視認や天体観測など様々な方法が用いられてきた。現在

の民間航空機の運用では、天候や視界条件に左右されにくい無線電波を用いた従来航法かRNAV航法が用いられるのが一般的となっている(図1)。

前者の従来航法(Conventional Navigation)は、その名の通り従来から用いられてきて、現在も使われており、VOR(超短波全方向式無線標識)といった、地上設置の航空無線施設を用いて、航空機を導く方式である。航空無線施設から発信される電波の方向を頼りに飛ぶため、原則としてこれらの航空無線施設に向かって直進するか、航空無線施設を背にして直進するか、のどちらかでしか飛行経路は設定できない。しかも、その航空無線施設の方向を判定する航空機のレーダーに精度誤差があるため、航空無線施設から離れるほど飛行経路が大きくばらつく。また、航空無線施設は、建設や維持のコスト、周囲に無線妨害の無い環境を必要とするため、あちこちに設置することもできず、結果として飛行経路の設計の自由度もそれほど高くはなかった。

それに対し、2000年ごろから導入されはじめたRNAV航法(aRea NAVigation、広域航法)は、航

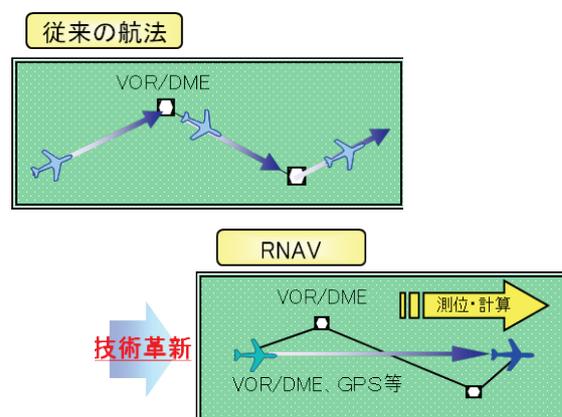


図1. 航空路での従来航法とRNAV航法の違い  
国土交通省資料<sup>2)</sup>より抜粋

\* Examination on flight route setting to reduce population exposed to aircraft noise

空無線施設に頼らず、GPS（全地球測位システム）測位や慣性航法装置を用いる方式である。従来航法での航空無線施設の情報も使用するが、人工衛星が発する電波も用いて自機の位置と移動目標を定めることが特徴である。ご存知の通り、GPSを用いれば、自機の位置も目標(Waypoint)も地球上の緯度経度で示すことができ、従来航法のように無線施設に縛られた経路である必要がない。

最近ではGPS補強信号の受信などによる誤差補正などで測位精度が向上しており、更にRNAV方式に対応した航空機も普及し、RNAV経路も増えた結果、かなり多くの航空機が飛行しても左右ばらつきがほとんどないRNAV飛行経路などもよく見かける。このため遠目には同じ家の上を多数の航空機が延々と通過し続けるような状況も出てきている。この場合は騒音暴露が心配になるところだが、逆にRNAV航法をうまく用いると、航空機を家のない場所の上空を通過させて騒音影響を軽減させるができる。

### 3 RNAVを用いた騒音軽減経路の事例

海外のいくつかの空港では、空港周辺への騒音暴露を減らすという観点から、居住地を避けた飛行経路の設定を行っている。ここでは代表的な海外空港の事例<sup>3)</sup>を紹介する。

#### 3.1 ロンドン・ガトウィック空港

イギリス・ロンドンのガトウィック空港では、騒音軽減を実現する方法の一つとして、P-RNAVと呼ぶ方式を2012年以降実施している。図2

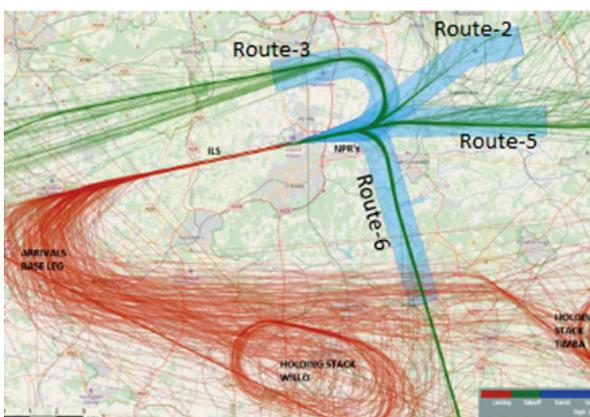


図2 ガトウィック空港 東風運用時の飛行経路  
 緑：離陸航跡、赤：着陸航跡、水：離陸経路幅

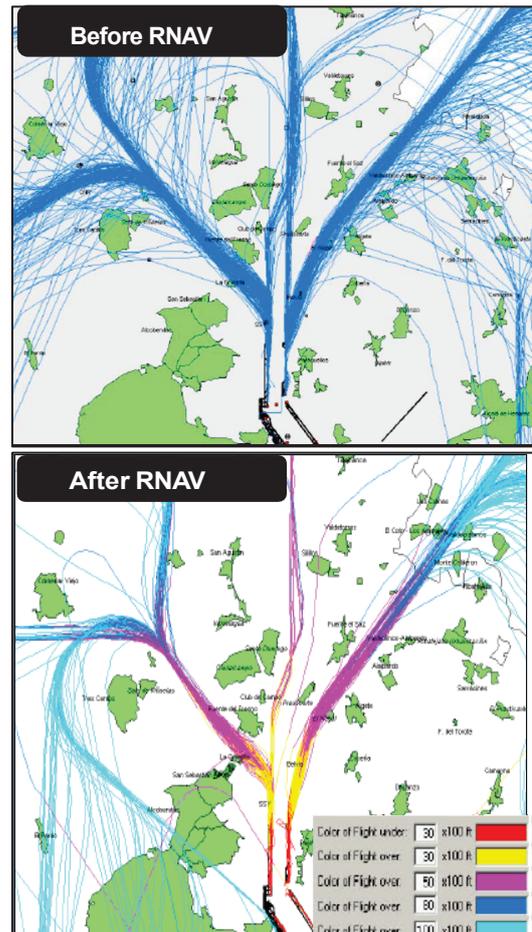


図3 バラハス空港の離陸飛行経路  
 上:従来経路、下:RNAV経路  
 (線:北風時離陸経路、緑背景:住居集落)

の実際の飛行経路のうちRoute-6とあるものがP-RNAVの経路であるが、ほとんど左右のばらつきがない飛行経路となっている。

頭文字のPであるPrecisionの意味は精密ということであるが、その実態はRNAV1方式のことである。RNAV1方式における経路の誤差は規格上では約1NM (=1852m)で、おそらく点在する集落の隙間を確実に航空機が通過するようにすることを念頭においたものであろう。Route-6の離陸後に南旋回した経路付近における集落と集落との隙間は2km程度の距離であり、RNAV1方式を用いると集落上空へ入らないはずであり、図2を見る限りはその通り飛行経路のばらつきは集落から離れた地点で収まっている。

#### 3.2 マドリード・バラハス空港

スペイン・マドリードのバラハス空港では、離陸経路をRNAV化することによって、ばらつきを

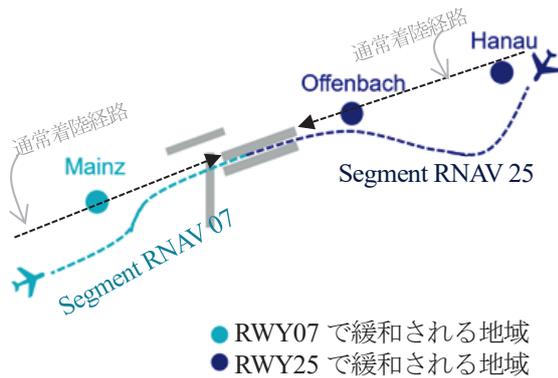


図4 フランクフルト空港の騒音軽減を目的とした深夜時間帯の到着経路(Segment RNAV)

抑え住居集落を外れるように設計し、騒音軽減を行っている。図3を見ると、変更前経路(Before RNAV)では、空港近傍においてもばらつき幅が広いが、RNAV経路化後(After RNAV)では、空港近傍のばらつきはかなり小さくなり、かつ、緑色で区別した住居集落を避けながら飛行している様子がわかる。ある程度の高度が上がった空港遠方でばらつきが出ているが、うまく集落の隙間を航空機が通過するように設計されている。

### 3.3 フランクフルト空港

ドイツのフランクフルト空港では、深夜の運航での空港近傍の居住地への騒音影響を避けるために、図4のようなRNAV経路(Segmented RNAV Approach)を採用している。通常は直線進入がなされるところを、住居地域を迂回させる飛行経路に変更して、住民の騒音暴露を低減させている。この経路は当面、現在は22~0時の着陸便に適用されている。

離陸経路でも同様の検討がされている。図5は、第3滑走路を南向きに離陸する場合、現状のオレンジの直進経路を水色の迂回経路に変更することを検討している。これで経路南側のダルムシュタット北部地域(図中のオレンジ領域)の騒音影響を回避することができる。これまで数年間にわたっていくつかの候補ルートを試験した結果、新しい深夜の騒音軽減経路として2020年から運用する。

## 4 騒音暴露人口・世帯推計の試行

騒音暴露人口を減らすことを主眼とした飛行

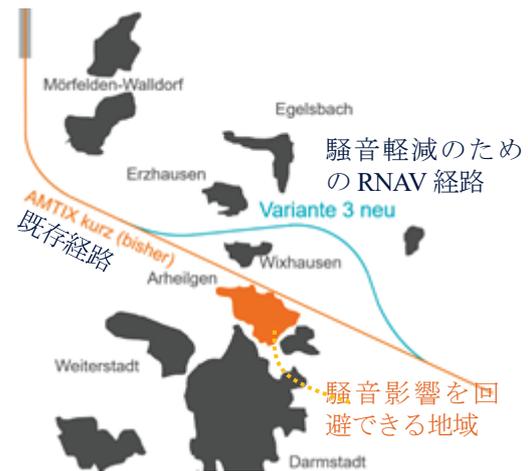


図5 フランクフルト空港の騒音軽減を目的とした離陸経路(計画)

経路設定の手法を検討するため、試みとしてのケーススタディを実施し、実際に経路設計にあたっての課題や条件等を確認しつつ、騒音暴露人口および世帯数の推計を行って、効果の検討を行った。

### 4.1 対象空港の選定

推計の対象とする空港について検討した。この対象の空港に際してはいくつか条件がある。

まず、空港の位置と、空港周辺の人口・世帯分布の情報といった地理情報が得られることが必要である。これは当然のことであるが、逆に言えばこれらの情報があれば海外の空港でも推計は可能である。

また、検討実施の観点からは、騒音暴露人口・世帯に関する有利不利を明確にする必要がある。複数のシナリオ間で差が出ないような空港は実施の意味が薄れる。例えば、飛行経路周辺に

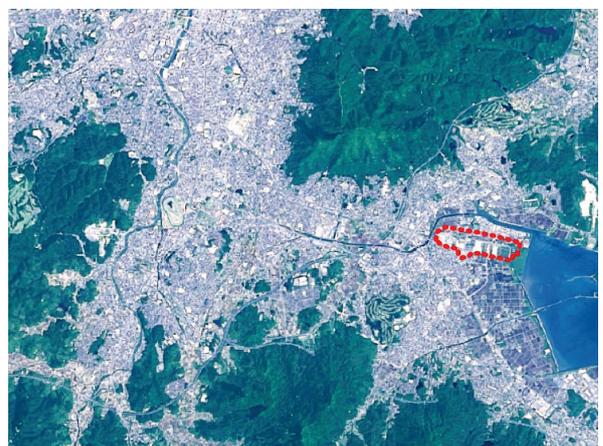


図6 旧北九州空港の周辺状況

誰も住んでいない空港は、そもそも騒音対策の必要性もない。また、滑走路の片側が海となっている場合も、海側の経路については騒音対策の必要がない。逆に空港周辺に人が住んでいても飛行経路周辺に均等に分布していたり、住宅地域が広大であったりして、集落の隙間がない場所では効果は見えにくい。たとえば、羽田空港の34R離陸、福岡空港、のような場所では、どのような経路を設定したとしても、同様に騒音暴露が発生する。

現実の空港運用の場合、滑走路処理容量や自治体との協定による制約を受けることもあるが、今回はそういった要素を考慮しない、あくまで「試み」という位置づけであるため、現実を使用している空港ではなく、既に使用が終わっている旧北九州空港(2006年廃港)を対象とした(図6)。

#### 4.2 飛行経路の設定

次に、飛行経路の設定について検討した。

まず、地理情報として空港滑走路の位置を定めた。旧北九州空港の滑走路は既に解体されているので、位置の特定に際しては、Google Earthの2004年の過去のイメージデータに基づき、トレースした。

滑走路位置が定まった後、飛行経路の変化による暴露状況を比較するため、複数の仮想の飛行経路を作成した。空港東側は海であるため、今回は西側陸域へ離陸する滑走路29方向を対象とし、離陸直進して旋回地点をいくつか変更した経路を作成した。特に細かい制約は考慮していないが、離陸後の直線上に山があるためこれら避けるように南北に旋回して迂回するよう設定した。

- ・経路A 離陸直進後、北西へ旋回する経路
- ・経路B 離陸直進後、北へ旋回する経路
- ・経路C 離陸直進後、南西へ旋回する経路
- ・経路D 離陸直進後、南へ旋回する経路

北側が北九州市の中心地であるため、経路A,Bは人口が多い地域を通過し、経路C,Dは対照的に人口が少ない地域を通過する(図7)。

実際の飛行経路設計においては、運航上の安全要件として障害物との離隔等の制約が飛行経路設計基準<sup>4)</sup>で求められているが、今回は厳密には考慮していない。また、旋回開始点および旋回半

径については、最低限の基準は満たすものの、これも厳密に基準との適合を判定していない。

実際の空港でこのような検討を実施するのであれば、こういった基準への適合をきちんと確認するか、既に適合を確認されている飛行経路を修正することで作成するのがよいだろう。

#### 4.3 航空機騒音の予測

前述の飛行経路を航空機1機が飛行した際の騒音を予測した。今回、騒音の指標は単純な最大騒音値( $L_{Amax}$ )を用い、最大騒音値60~90dBを対象として予測することとした。

本来、騒音評価指標の選択は目的によって変えるべきで、例えば深夜を想定し睡眠妨害や覚醒などの影響を考えるのであれば最大騒音値 $L_{Amax}$ が適切であろうし、平均的な運航で環境基準などを考えるのであれば単発騒音暴露レベル $L_{AE}$ が適切であろうと思われるが、今回は特にこのような意図はない。

手順としては、まず航空機1機が飛行した際に聞こえる騒音コンターを予測し、その影響範囲内に含まれる人口・世帯を条件別に推計した(図8)。

予測の対象機種であるが一応現実的に考え、旧北九州空港の滑走路長1600mの範囲で飛べる機種でそれなりに騒音が広がる機種ということで、旅客機としてはやや小型ではあるがジェット機であるEMB170を対象とした。

実際には、航空機のサイズ等により騒音影響の

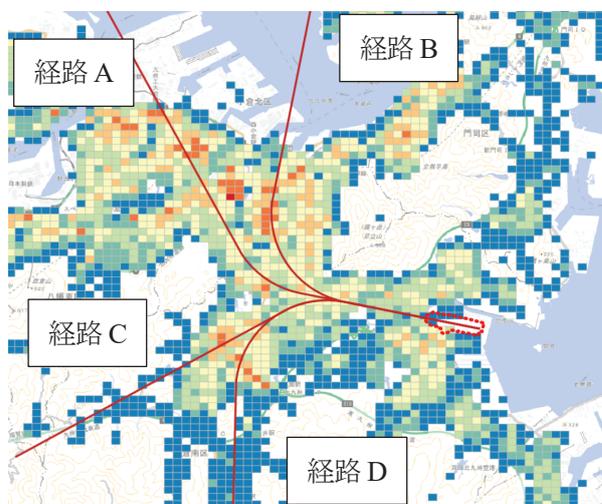


図7 旧北九州空港に設定した飛行経路(赤線)と周辺地域の人口分布(背景色/2015国勢調査)

度合いが様々であり、騒音値自体も異なるほか、高度上昇の度合いによって騒音の広がり方が違う。実在する空港で予測するならば、運航している機種のうち、騒音の影響の大きい機種や運航頻度の高い機種などから選定するのが妥当であろう。

なお予測モデルの制約により、山や谷の起伏による騒音の伝搬の変化については特に考慮せず予測を行っている。特に山の遮蔽を考慮していないことにより、結果の騒音暴露人口・世帯は誤差を生じ、やや過大に評価することになる。

#### 4.4 暴露人口および世帯の推計

人口と世帯の情報は、e-stat 政府統計にある総務省平成27年度(2015年度)国勢調査の調査結果<sup>5)</sup>より得た。旧北九州空港の廃港時点2006年と国勢調査2015年の時差があり、現実的な検討では同時期のデータを用いるべきとは考えるが、今回は試みであるため無視した。

公開されている国勢調査の結果は、一定領域単位(矩形メッシュもしくは行政区域)で集計されているもので、ある領域内に住む人口と世帯数が示されている。誰がどの地点に住むといった点情報ではなく、領域内の合計人口と合計世帯数である。今回は最も細かい250mメッシュによって区切られたグリッドデータを使用した。

騒音暴露人口・世帯数の推計処理にはオープンソース地理情報システムソフトウェアQGIS3.10を用い、条件別コンターおよび国勢調査データをベクター地図に変換して、これらの重複範囲を抽出することで、人口・世帯数の推計処理を実施した。

この際、前述の通り人口・世帯データは各グリッド範囲内に居住する合計数であるため、条件別コンター範囲に完全に重なるグリッド、一部重なるグリッド、重ならないグリッドが生じる。このため、

- ・条件別コンターと完全に重なるグリッドについては、そのグリッドに居住する全人口・世帯を算入
- ・条件別コンターの一部が重なるグリッドについては、重複面積の比率に対応した居住人口・世帯を算入

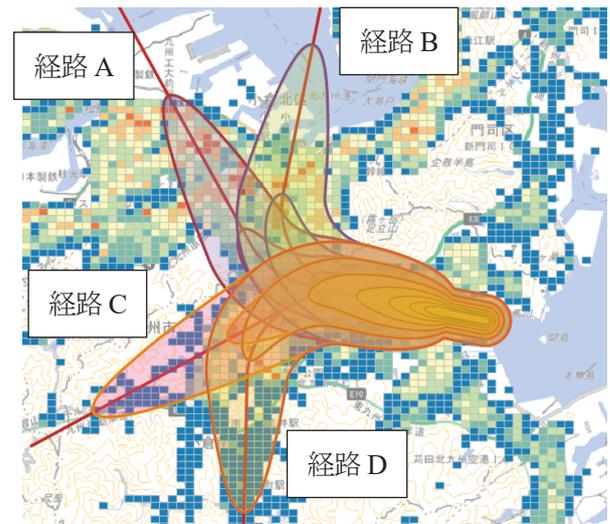


図8 旧北九州空港周辺の予測コンター( $L_{Amax}$ )と人口分布(背景色/2015国勢調査)

をグリッド毎に繰り返すことで、予測した条件別コンター内人口・世帯を推計した。

なお、この算定方法に起因して、騒音暴露人口数には誤差が出ることは予め指摘しておく。例えば、条件別コンター範囲と人口密集地域の間隔によるが、領域内の人口に偏りがある場合(集落が川に近い場合など)などは誤差が大きく、場合によっては数%程度の人口差が出ることがある。

#### 4.5 結果

ここまでの手順により、騒音暴露人口および世帯数を推定した結果を示す。

最大騒音値60~90 dB内の推計人口・世帯数を5dB刻みに分解し、それぞれの範囲内に居住する人口を表1、世帯数を表2に示す。

表1. 推計した最大騒音値内の暴露人口(人)

最大騒音値	経路A	経路B	経路C	経路D
60~65 dB	126,315	91,778	64,638	71,196
65~70 dB	47,325	55,745	48,124	47,444
70~75 dB	20,784	20,686	20,479	20,479
75~80 dB	6,726	6,726	6,726	6,726
80~85 dB	2,994	2,994	2,994	2,994
85~90 dB	986	986	986	986
総計	205,130	178,915	143,947	149,825

まず総計から見る傾向としては、人口と世帯数は同一傾向で、騒音暴露人口が多い経路は騒音暴露世帯数も多い。また人口の多い北側に旋回する

経路A, Bが騒音暴露人口・世帯が多くなり、逆に人口の少ない南側へ旋回する経路C, Dは少なくなる。

表2 推計した最大騒音値内の暴露世帯数(軒)

最大騒音値	経路A	経路B	経路C	経路D
60～65dB	59,732	47,187	28,051	30,964
65～70dB	22,576	27,871	21,000	20,172
70～75dB	8,525	8,489	8,423	8,423
75～80dB	2,728	2,728	2,728	2,728
80～85dB	1,218	1,218	1,218	1,218
85～90dB	433	433	433	433
総計	95,212	87,926	61,853	63,938

しかしその内訳を見ると、4本の経路が重なる直進区間の70～90dBではほとんど人口・世帯数は変わらない。その外側の旋回区間以降に差し掛かる60～70dBで人口・世帯数が変化していることがわかる。

騒音暴露人口と世帯数の多さとしては65～70dBについては経路Bが最も多いが、60～65dBについては経路Aが最も多い。このように人口密集地の状況と騒音値によって影響の大きい経路は変動する。これは対象とする騒音値をどこに定めるかによって結果の評価が変わることを示唆している。今回は適当に最大騒音値60dBまでの範囲を予測したが、目的によっては狭い範囲だけが必要であって経路Bがワーストケースになる可能性もあるし、もっと広い範囲が必要であれば違う結果となる可能性もあることに注意が必要である。

## 5 まとめと考察

### 5.1 まとめ

近年のRNAV航法の普及により、騒音暴露人口を減らすことのできる飛行経路を設定できる可能性がある。そこで、海外の実例を見た上で、実際に騒音暴露人口を減らすことを主眼とした飛行経路設定の可能性を検討した。

その結果、騒音暴露人口を最小化できる可能性がある一方、適切に評価するには、対象空港の選定、飛行経路の設計基準との適合、適切な騒音予測指標や範囲の選択、航空機の選択といった点でいくつか前提条件を必要とする点があった。

さらに人口・世帯のデータ構造、地形の考慮といった要因により、誤差を生じる可能性があることも分かった。

### 5.2 空港周辺の人口分布による騒音軽減経路の適用可能性の考察

ではどういった空港なら対象空港として適切なのか？。3空港ほどヨーロッパでの騒音軽減経路の事例を列挙したが、果たしてこれが日本で適用可能なのか、どういった状況ならば適用可能となるのかは気になるところである。確かに日本は都市部の人口密度が極端に高く、少ない平地に多くの人が住む状況であり、例示したヨーロッパの空港とは状況が違う。人口密集地を避ける経路を設定するためには、人口密集地のいわゆる"隙間"がなければ効力を発揮しない。そこで騒音軽減経路の手法が適用できる空港について、人口分布の観点から定性的な考察をしてみた。

ここでは人口分布の状況を概観するため、都市の人口密集地の集散の疎密度合いがどう違うものなのかを、似たような都市規模にあるいくつかの空港を比較してみた。人口が200万人台中盤の都市圏を選定対象とし、同規模の空港として、日本の福岡、ローマ、フランクフルト、リスボンの人口分布を地図上に描画した。なお、これらの選定には、Wikipediaに記載されている世界の主要都市圏の人口比較表<sup>6)</sup>のDemographia 2010のデータを使用した。若干古いことは注記しておく。また、都市圏の面積は特に考慮していない。

人口密度のデータについてだが、もちろん日本とヨーロッパでは別のデータを用いており、日本は総務省による2015年度国勢調査の250mメッシュデータ、ヨーロッパはEUによる2001年の人口密度データ<sup>7)</sup>を利用した。このヨーロッパのデータはグリッド単位の人口密度ではなく、行政地区単位(いわゆる市町村等)の人口密度である。また、ヨーロッパの人口調査データはもっと新しいものが存在するはずだが、人口分布の状況を概観するのが目的であるため、簡単になるようマップ化済みのデータを用いた。

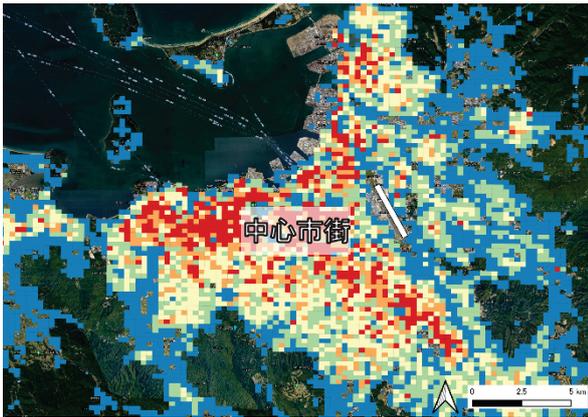


図9 福岡(都市圏人口約260万)

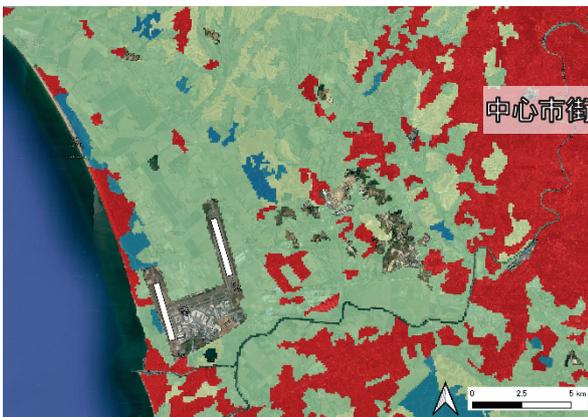


図10 ローマ(都市圏人口約270万)

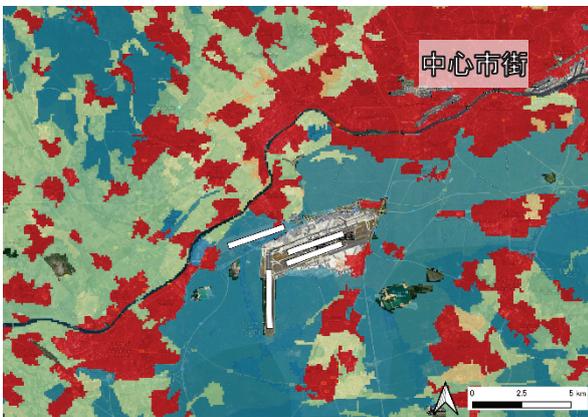


図11 フランクフルト(都市圏人口約220万)

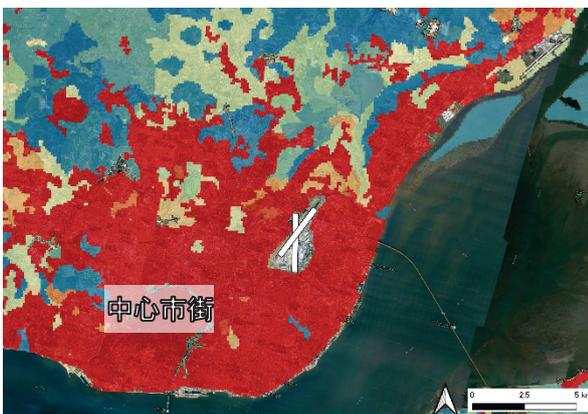


図12 リスボン(都市圏人口約240万)

4都市の人口分布データは、各地域の平面直角座標系へと投影して、同一縮尺で図9～図12のように描画した。各図における白太線が空港滑走路の位置を示し、人口密度が低いほうが青系、密度が高くなるにしたがって赤系の色へとなるよう、マッピングした。ただし、日本の福岡と、ヨーロッパ3都市の間では、元データの構造による違いが原因で、色に対応する人口密度が違うことに留意が必要である。

今回選定した4都市のうちフランクフルトは人口密集地の回避経路を設定しているが、図11を見ると、人口密集地と隙間が点在しているため飛行経路を工夫することにより、騒音影響の改善の余地が充分にある。一方、図10のローマは空港南側の一部集落を除けば空港周辺にあまり人は住んでおらず、図12のリスボンも逆に空港が人口密集地に囲まれている状況であり、経路を工夫することで、騒音影響を劇的に改善できる状況にはない。図9の福岡については空港東側に人口密度の薄いところがあるが、ここは若干標高が高いことから飛行経路は設定しにくく、これを除く残りのエリアは人口密度が高い点では経路設定には不適合で、直進経路以外に工夫する余地は多くない。

結局、都市部の中に空港が位置していると騒音軽減の余地は少ない(福岡、リスボン)か、空港周辺に人口密集地がなければ騒音軽減の必要がない(ローマ)という状況があって、フランクフルト以外は騒音軽減経路の設定は難しい。つまりは、ヨーロッパのように地域全体の人口密度が低いからといって騒音軽減経路の適用ができるわけではなく、「空港の位置」と「周辺人口分布」に依存するということである。そういった意味では、フランクフルト空港は適度に集落が分布している状況であったから騒音軽減経路を用いたのであって、他の空港がそのような人口分布となっているかどうかは個別に見る必要がある。

このあたりの人口密集地の集散の度合いを数値的に表現することができれば、騒音軽減経路の適用可能性について定量的に評価できるかもしれないが、これは今後の課題である。

### 5.3 実施にあたっての課題の考察

騒音軽減目的に限らず、飛行経路の設定や変更の際にはいくつかの制約が存在するが、今回の手法を現実の飛行経路の設定に用いることとした場合、検討すべき課題がいくつか考えられる。想定できるものを、ここに列挙しておく。

#### ・安全性の検討

前述の飛行経路設計基準による旋回経路の制約や障害物との間隔のほか、航空機の性能上限によるメーカーの基準や、エンジン停止といった不測の事態も想定したような航空会社の基準などが存在する。ほかにも滑走路長に対応した制約(旧北九州空港は1600mと短い)もあるなど、様々な点を考慮する必要がある。騒音対策は航空機の安全運航を前提としてなされるべきものであるから、これらは優先して検討する必要がある。

#### ・空域の検討

これも安全性の問題の一部であるが、他空港が近傍にある空港などは、各空港で使用する空域や飛行経路の競合を防ぐため、安全間隔をとる必要が出てくる。このため、飛行経路を設定できない場所が出てくることもあり、事前に検討する必要がある。

#### ・新規経路に対する住民反応

騒音暴露人口を減らせる経路が新たにわかったとして、そちらに移行すればいわゆる苦情や不快感が減るかという点、必ずしもそうではない。

これは状況によるが、これまで騒音に曝されていない人口密集地に新規に航空機を飛ばした場合、通常の苦情発生率よりもかなり高くなる可能性がある。騒音に対する慣れの問題もあるのだろうと思われるが、実例としてはサンフランシスコ空港で新規RNAV経路を導入した際は苦情が10倍にも増えた<sup>8)</sup>。地域の状況や居住人口にもよるので一概にこうなるわけではないが、経路を変更することにより逆に騒音問題を拡大させることがある。

#### ・処理容量

運航便数の多い空港では、滑走路だけでなく飛行経路の設定によっても処理容量に影響が出る。通常は直進経路の方が処理効率は良いのだが、今回のような人口密集地を避けるとなると、旋回によって処理容量が落ちることが避けられない。そうなると、所要の運航便数を処理できない可能性も出てくるため、一つの制約条件として考慮する必要がある。

このように様々な課題があり、現実に騒音暴露人口を減らすには推計以外の検討をかなり加える必要があるそうだが、こういった多面的な検討を加えることで、より現実的に騒音暴露人口の推計手法が空港周辺への騒音影響を見積り問題解決の方策を探るためのツールとして使える可能性はあるだろう。

#### 参考文献

- 1) World Health Organization Regional Office for Europe, Environmental Noise Guidelines for the European Region (2018)
- 2) 国土交通省, "航空路とRNAV経路の概要", [https://www.mlit.go.jp/koku/15\\_bf\\_000343.html](https://www.mlit.go.jp/koku/15_bf_000343.html)
- 3) 一般財団法人空港振興・環境整備支援機構, 航空環境研究特別号「海外空港の環境対策」(2020)
- 4) 国土交通省, 国空制第111号 飛行方式設定基準(2006)
- 5) 総務省統計局, 平成27年国勢調査人口等基本集計, <https://www.e-stat.go.jp/>
- 6) Wikipedia, "世界の主要都市圏の人口比較表," <https://ja.wikipedia.org/wiki/世界の都市圏人口の順位>
- 7) European Environmental Agency, "Population density GIS data," <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/population-density-disaggregated-with-clc2000-1/>
- 8) Stanford University Peninsula press, "New SFO flight paths causing record airplane noise complaints," <http://peninsulapress.com/2015/11/23/sfo>

## 研究報告

## 離陸機の騒音軽減運航方式としての上昇勾配に関する考察\*

武田 修(航空環境研究センター 主任研究員)

国際民間航空機関(ICAO)が定める騒音軽減運航方式は、航空業務方式の一つである「PANS-OPS VOL1 PART1 Section7 :Noise Abatement Procedures」(以下、「PANS-OPS」)にその記載があるが、日本においても次の7つの方式が定義されている。

- (1)急上昇方式
- (2)カットバック上昇方式
- (3)低フラップ角着陸方式
- (4)ディレイド・フラップ進入方式
- (5)リバース・スラスト制限
- (6)優先滑走路方式
- (7)優先飛行経路

このほかに日本の航空情報(AIP)には記載はないが、実際に行われている方法として着陸地点の移設方式(Displaced Thresholds)がある。

この中で、離陸機に関する騒音軽減運航方式は、急上昇方式が一般的であり多くの空港で採用されている。

航空機が離陸する際発出するエネルギー量は着陸時と比較して数段高く、周辺区域への影響も大きい。この部分を改善できる選択肢が広がれば騒音対策として有効性が期待できる。

この点について本稿では、離陸機が用いる標準計器出発方式(SID)の「方式設計勾配」<sup>1)</sup>(PDG:以下、「上昇勾配」という)に着目してみた。上昇勾配は、上昇角とも呼ばれるが、「上昇の飛行経路と水平面とのなす角度で、水平距離に対して獲得する高度の割合」(航空実用辞典)である。上昇勾配は標準値が定められてい

るが、それ以上の値を設定することも可能で、障害物との間隔設定や空域上の制限、管制上の目的等から日本国内や欧米でも標準よりも高い値を指定して運用している空港が見られる。また、欧州では騒音軽減を目的として標準値以上の上昇勾配を設定する空港もみられるが、日本の騒音対策としてはまだ光が当たっていない部分である。このため、国内外の例を参考にしつつ同方式の有効性の検証と具体化を検討することは、今後の周辺対策としての寄与度も期待できることから、種々の角度から考察を試みた。

## 1. 上昇勾配に関する基準

## 1.1 飛行方式設定基準上の記載

航空機の上昇勾配は、機体の上昇性能としての定めに加え、航空機が計器飛行方式による離陸の際に使用される標準計器出発方式(SID)の要素としても定められている。具体的には、「飛行方式設計基準第I部第3編出発方式」(ベースは国際民間航空機関:ICAOが定めた航空業務方式の一つであるPANS-OPS VOL II)にその規定があり、第

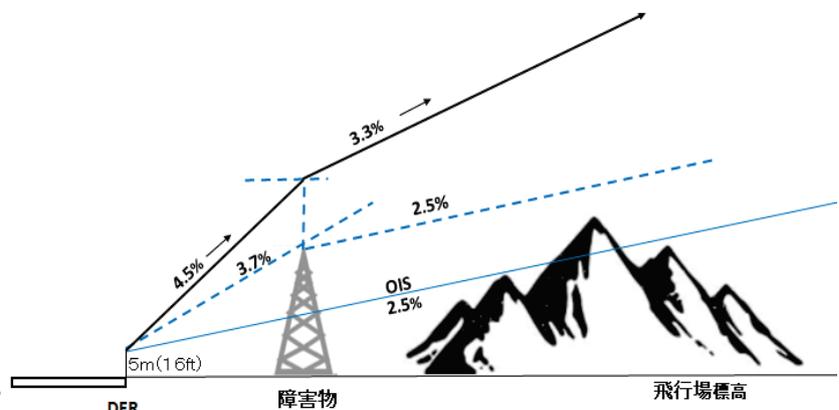


図1 方式設計勾配の概要

\* A consideration of the climb gradient for departure aircraft as noise abatement procedure

2章「出発方式の一般的概念」に、上昇勾配の標準値は3.3% (約1.9°)と規定されている。また、これ以上の上昇勾配を設定することも可能であり、5% (約2.9°)を超える値を設定する場合は運航者との協議が必要とされるが、特に上限値は定められていない (図1及び以下条文参照)。

「飛行方式設計基準」(抜粋)

2.7方式設計勾配(PDG)

2.7.1方式設計勾配(PDG: Procedure Design Gradient)は、OIS (障害物識別表面Obstacle Identification Surface)の起点(DER (滑走路離陸末端: Departure end of the runway)上5m (16ft))より計測したノミナル上昇勾配である。OISに突出する障害物がない場合、方式設計勾配(PDG)はOIS勾配及び0.8%の和(3.3%) (航空機区分Hにあつては4.2%)である。

2.7.2 (中略)PDGは3.3%を標準とする。これを運航者との調整なく5.0%まで引き上げることができる。可能、又は、やむをえない場合にあっては、運航者と調整の上、方式設計者が設定できる勾配として7.0%まで引き上げることができるものとする。それを超える値を使用する場合にあっては運航者との協議を要する。』(下線は筆者)

1.2 急上昇方式との違い

前述したように、現在離陸時に騒音軽減運航方式として広く用いられているものは急上昇方式である。ICAOにおいて規定している急上昇方式は、NADP (Noise abatement departure procedure) 1とNADP2がある。NADP1は離陸後800ftで離陸推力から上昇推力に減じ、3000ftまではフラップとスラットのたたみ込みを遅らせるものであり、比較的空港に近い地域への影響を抑える効果がある。

一方、NADP2はフラップとスラットのたたみ込みを既定された800ftに到達した後に行い、上昇を維持

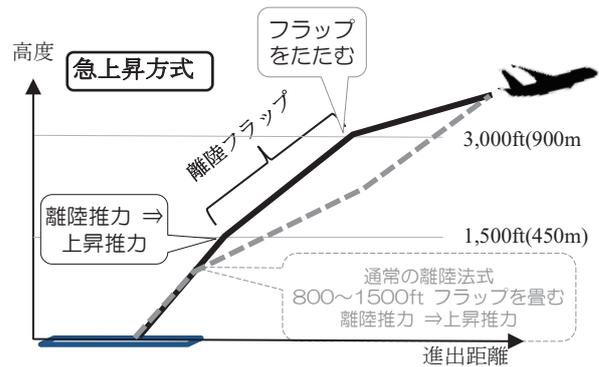


図2 日本での急上昇方式 (イメージ図)

しながら手順に従ってフラップとスラットの畳み込みを行う方式で、空港から離れた地域の騒音を緩和する方式である。

図2はNADP1をベースにした日本の方式であるが、1500ft付近で離陸推力から上昇推力に減じ、3000ftまでフラップとスラットのたたみ込みを遅らせることによって上昇性能をたかめ、騒音軽減効果を高める方式であり、上昇勾配の指定はない。上昇勾配の指定は、あくまでSIDにおける指定であり、AIPに併記されている場合は、指定された上昇勾配で急上昇方式を同時に行う必要がある。

2. 国内の標準値以上の上昇勾配導入状況

では、国内空港のSIDに適用されている標準値以上の上昇勾配の状況がどのようなものか、2020年8月時点のAIPをもとに調査した<sup>2)</sup>。国内で定期便が運航されている82空港全てのSIDを調査

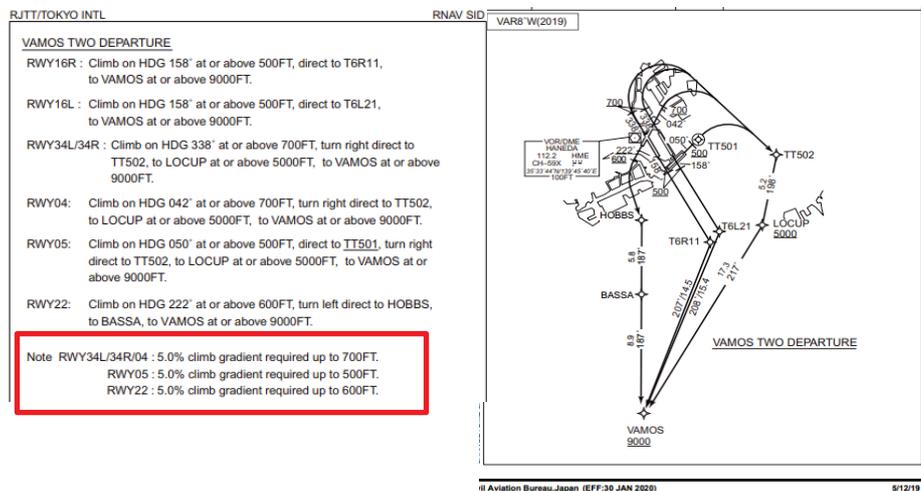


図3 羽田空港のSIDの上昇勾配指定例

表1 日本国内主要空港の上昇勾配適用状況

空港名	指定なし	< 4%	4%	4.1-5%	5.1-6%	6.1-7%
新千歳空港				○		
函館空港			○		○	
仙台空港					○	
東京国際空港				○		
成田国際空港	○					
中部国際空港		○				
小松空港				○		
大阪空港				○		
関西国際空港	○					
広島空港		○		○		
福岡空港					○	○
長崎空港				○		
熊本空港					○	
大分空港				○		
宮崎空港				○		○
鹿児島空港				○		
那覇空港				○		

したところ、SIDが一つでも標準値以上の上昇勾配を指定している空港は、59空港あった。最も多く見られた値は4.1~6.0%台で約8割がこの範囲内であり、特に5%（約2.9°）に集中していた。最も高い上昇勾配が指定されている空港は、福岡空港、宮崎空港、松山空港の7.0%（約4.0°）であり、次いで、与那国空港、壱岐空港の6.7%（約3.8°）、松本空港、高松空港の6.6%（約3.77°）となっている。

表1に主要空港の適用状況を示す。主要空港においても標準値以上を適用している空港はかなりあり、全体の傾向と同様に4.1~6.0%台の上昇勾配が指定されている空港が多く見られる。成田国際空港と関西国際空港は、指定がなかった。

標準値以上の値を適用している理由は、ほとんどが障害物との間隔設定であった。方式設計基準上、空域制限のみによる上昇勾配引き上げの場合は当該理由を明記する必要があるが、調査空港において当該理由を明記している空港は北大東空港と北九州空港であった。

### 3. 海外における標準値以上の上昇勾配導入状況

海外においても、2020年8月時点のAIPに基づき主要空港22空港のSIDを調査したところ、いずれの空港も標準値以上の上昇勾配を適用しているSIDがあり、日本と同様4.0~7.0%程度の適用が多く見られた。表2に適用状況を示す。7%を超える上昇勾配を適用している空港も多く見られ、日本と比較すると適用値の範囲がかなり広い

表2 海外主要空港における上昇勾配の適用状況

	< 4%	4%	4.1-5%	5.1-6%	6.1-7%	7.1-8%	8.1-9%	9.1-10%	10.1-11%	11.1-12%	12.1-13%	13.1-14%	14.1-15%
ヒースロー		○											
ロンドンシティ					○	○	○						
ガトウィック	○	○		○	○	○							
マンチェスター			○	○					○		○		○
シャルルドゴール				○	○								
スキポール	○	○											
フランクフルト	○		○	○	○	○		○		○			
ミュンヘン			○	○	○		○						
ハンブルグ			○	○		○	○						
ブリュッセル		○			○								
マドリード			○	○	○	○							
チューリヒ			○	○	○								
シカゴ・オヘア	○												
ワシントン・ダレス	○						○						
ワシントン・ナショナル							○					○	
ラガーディア	○			○	○		○		○				
ジョン・F・ケネディ			○				○						
サンフランシスコ				○		○	○	○					
ロサンゼルス	○						○	○					
シアトル・タコマ					○		○	○					
シドニー			○	○	○								
オークランド(NZ)	○		○	○						○			

ことがわかった。最も高い上昇勾配を適用している空港は、マンチェスター空港の14.6% (約8.3°) で、次いでワシントン・ナショナル空港の13.6% (約7.7°)であった。

海外の空港においても標準値以上の適用理由は障害物対策が多いが、中には「operational requirement」あるいは、「airspace structure」(フランクフルト、ミュンヘンなど)、「ATS gradient」(シャルルドゴール)「ATC and airspace purpose」(ヒースロー)という理由から設定されている空港のほか、4発機に限った指定がされている空港(チューリヒ)もある。

騒音対策上の理由から設定されている空港もあり、ヒースロー空港は出発機の騒音限界値を順守するため最低4%で4000ftをこえるまで、また、ブリュッセル空港は障害物や空域上の制限に加え、「騒音影響を最低限とするため」として全ての出発機は3200ftを超えるまで最低7.0%の上昇勾配を維持するようAIPで明記されている<sup>2)</sup>。

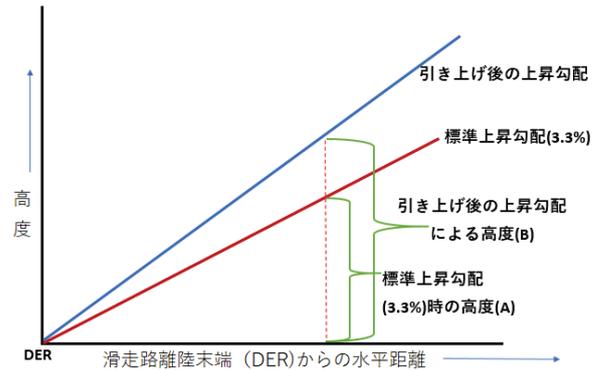


図4 距離減衰のイメージ

フランクフルト空港などの適用理由である「operational requirement」の詳細までは確認できなかったが、騒音対策上の理由も含まれているのではないかと推察される。

#### 4. 上昇勾配の変化による騒音軽減効果

では上昇勾配の変化による騒音軽減効果はどれくらいあるかという点について、航空機の位置を点音源と仮定し計算をおこなった。実際の航空機からの騒音は、伝搬する途中の風、気温、湿度

表3 上昇勾配と騒音減衰量の比較 \*航空機の上昇推力等は考慮していない

上昇勾配と高度	上昇勾配(%)	angle	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10000
	3.3	1.89	108	217	325	433	541	650	758	866	974	1083
4.0	2.29	131	262	394	525	656	787	918	1050	1181	1312	
5.0	2.86	164	328	492	656	820	983	1147	1311	1475	1639	
6.0	3.43	197	393	590	787	983	1180	1376	1573	1770	1966	
7.0	4.00	229	459	688	918	1147	1377	1606	1835	2065	2294	
8.0	4.57	262	524	787	1049	1311	1573	1836	2098	2360	2622	
9.0	5.14	295	590	885	1180	1476	1771	2066	2361	2656	2951	
10.0	5.71	328	656	984	1312	1640	1968	2296	2624	2952	3280	
11.0	6.27	360	721	1081	1442	1802	2163	2523	2884	3244	3605	
12.0	6.84	394	787	1181	1574	1968	2361	2755	3148	3542	3935	
13.0	7.40	426	852	1278	1704	2131	2557	2983	3409	3835	4261	
横軸は距離：m 縦軸は高度：ft												
騒音減衰量	3.3	1.89	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	4.0	2.29	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7
5.0	2.86	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	
6.0	3.43	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2	
7.0	4.00	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	
8.0	4.57	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	
9.0	5.14	8.7	8.7	8.7	8.7	8.7	8.7	8.7	8.7	8.7	8.7	
10.0	5.71	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6	
11.0	6.27	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4	
12.0	6.84	11.2	11.2	11.2	11.2	11.2	11.2	11.2	11.2	11.2	11.2	
13.0	7.40	11.9	11.9	11.9	11.9	11.9	11.9	11.9	11.9	11.9	11.9	

騒音減衰量：dB

などの要素によって変化するため、測定結果はばらつくことがあるが、減衰要素は距離減衰のみと仮定した(図4参照)。また、進出距離の基点は方式設計基準で定義している滑走路離陸末端(DER)である。減衰量は、標準上昇勾配3.3%を基準に、DERから1000m間隔の進出距離における標準上昇勾配の高度(A)と4%から13%まで1%ずつ変化した場合の同地点の高度(B)との差分を計算した。計算式は以下のとおりである。

$$\text{騒音減衰量} = 20 \times \log_{10} (\text{高度B} \div \text{高度A})$$

計算結果を表3に示す。

この計算結果をみると、日本国内で用いられている4%から7%の間でも1.7dBから6.5dBの低減効果が表れることがわかる。さらに、実際の運航にあたってはこれに急上昇方式が加わるため、騒音値としてはもう少し開きが出るのが予想される。なお、基点からの水平距離が変化しても、高度の“比”は一定であるため、上昇勾配の差による音の減衰量は一定である。

## 5. 実際の離陸機の上昇(羽田空港の例)

これまで、上昇勾配に関する規定と標準値以上の適用例、また騒音軽減効果についてみてきたが、実際の航空機の運航状況についても調査を行った。

具体的には、2020年6月の羽田空港の出発機について、空港に独自に設置したADS-B受信機で得られたデータに基づき高度プロファイルの分析を行った。対象は、RWY34Rの出発機のうち運航機種を6機種(A359、B738、A320、B772、B788、

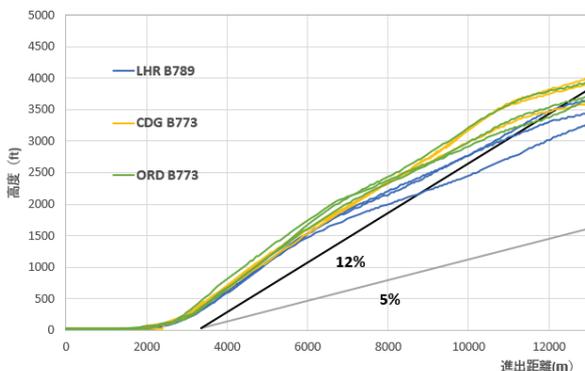


図5 羽田RWY34Rの離陸機(国際線)の上昇

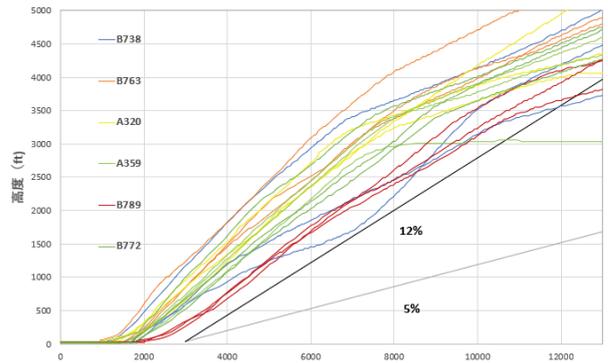


図6 羽田RWY34Rの離陸機(国内線)の上昇

B763)、3便ずつ抽出して離陸滑走開始点から進出距離10km、高度5000ft付近までの上昇を比較してみた。前述のとおり、羽田空港の場合は5%の上昇勾配が各SIDに指定されているほか、RWY34R離陸については北方面の一部時間帯は急上昇もしくはNADP2が指定されている。

また、同月の東京地方の気温は最低気温が17℃～22℃、最高気温は21℃～31℃であった。

RWY34Rからの離陸機については、国際線は長距離便(欧州、北米)が運航されており、国内線とこれらを分けて分析した。

国際線は、3路線(ロンドンB789、パリB773、シカゴB773)それぞれ3便抽出した。RWY34Rからの離陸は、360m内側から離陸滑走を行っている航空機多いが、抽出した3路線はいずれもRWY34R滑走路端から離陸していた。図5に国際線の分析結果を示す。抽出した9便は離陸重量も大きな機体と想定されるが、いずれの機体も12%程度の上昇勾配で上昇をしている。

国内線は、対象機全て滑走路端から360m内側からの離陸であった。結果としては国内線もほぼ12%程度の上昇勾配を維持して飛行しているが(図6参照)、若干上昇プロファイルのばらつきがみられる。比較的高い上昇勾配を示していたのは、A320、B763の機種であった。

この6月のデータはコロナウィルスの影響による緊急事態宣言が解除された直後ということもあり、乗客が少ない時期と推定される。このため、国内線、国際線ともに通常よりも軽量の機体による運航という点は考慮に入れる必要がある。

## 6. 実際の離陸機の上昇(成田空港の例)

そこで、2016年5月のデータではあるが、成田空港の出発機のデータについても調査を試みた。

内容は、欧州等長距離路線クラスのB77W型機と同クラスのB788型機の別で、それぞれ26機と30機について、RWY16からの離陸の状況を調べたところ、図7と図8の結果となった。また、成田空港では急上昇方式が指定されているがSIDには上昇勾配の指定はない。ちなみに同年同月の千葉県気温は最低気温が13℃～20℃、最高気温は22℃～30℃である。

この結果をみると、どちらも標準的な長距離路線の離陸重量であるが、7%程度の上昇勾配では上昇しているようである。

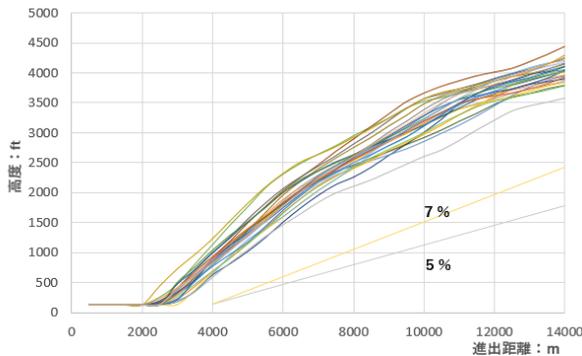


図7 成田空港の離陸機データ(B77W)

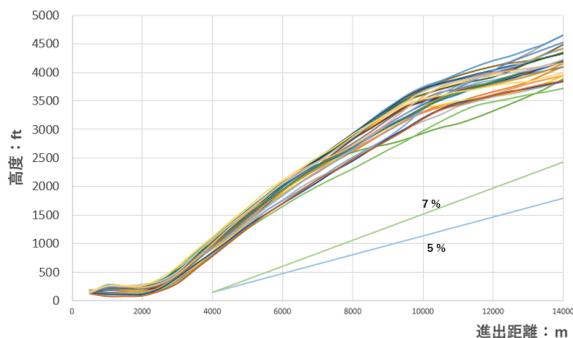


図8 成田空港の離陸機データ(B788)

## 7. 検討課題

ここまで、標準値以上の上昇勾配に関して様々な角度から見てきたが、課題についても検討を加えておく。

### (1) 機体重量による影響

上昇性能に最も影響を及ぼす要素として挙げられるのが離陸時の機体重量である。運航する

路線(搭載燃料)、乗客数、機体自体の重量などが主たる要素となるが、上昇勾配の指定があっても満足できない場合が想定される。実際、諸外国のSIDを見ても、上昇勾配は指定されていても指定された値を満足できない場合は管制機関に報告することとされているものがある。

この点、成田空港では最も離陸重量が大きいと想定されるA380のデータが取得できなかったが、英国民間航空局が出発機の騒音軽減のために行った調査報告(「Departure Noise Mitigation : CAP1691」(2018年6月)<sup>3)</sup>)があり、この中で同型機に関する一定の値が示されている。具体的には、2017年3月から2018年2月の間、シドニー、パリシャルルドゴール、フランクフルト、ロサンゼルス、JFKの5空港でのA380の上昇に関して、ADS-Bデータに基づいた実際の高度プロファイルの分析結果が示されており、その結果をまとめている。図9にその内容を示す。グラフの緑線のプロファイルは5空港で飛行したA380の上昇勾配の平均値で、黒線はそれらの平均値である。このグラフを見る限り、平均の上昇勾配は6%程度で、報告書によれば、一部の便では4%台の上昇勾配の場合もみられたとしている。従って、機体重量の大きい航空機が乗り入れている空港では、標準値程度の上昇性能のケースがあることや同一型式の機体であっても、重量によりばらつきが出ることを念頭に検討する必要がある。

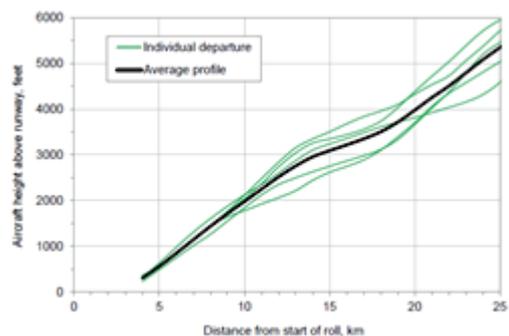


図9 Departure Noise MitigationのA380データ

### (2) 気象条件による影響

気象条件も上昇性能に影響を及ぼすこととなるが、特に空気密度はその影響度が大きいと想定される。一般的に空気密度が高いと低速でも多く

の揚力を得ることができるため、航空機の上昇性能は増すといわれており、空気密度が増えるのは気圧が高いときで、飛行高度が上がると気圧が下がり、比例して密度が下がることとなる。

一方、気温が高くなると空気密度が低くなり上昇性能への影響が大きくなる。最近の夏場の平均気温も上昇傾向にあり、2020年の夏季の気温を見ても、最高気温が40℃近くまで上昇するケースもあり、気温に関する検証を行う際も同程度を想定する必要がある。

### (3) 上昇勾配と離陸推力の関係

航空機のエンジンの運転条件には、その飛行フェーズによっていくつか分けられるが、離陸に際しては「離陸定格」という用語が用いられる。「定格」とは一定の決められた条件で、エンジンを運転する場合に保証されるエンジンの運転条件のことであり<sup>4)</sup>、「離陸定格」は航空機の離陸のために使用できる最大定格出力をいう。ただ、現在の航空機のエンジンは、離陸時の機体重量、滑走路条件、気象条件等により、最大まで推力をあげなくとも、きめ細かく割り引くことが可能となっている。この方式を「Reduced Thrust Takeoff」と呼んで一般的になっており、この効果により騒音影響の減少にも寄与している点がある。このため、上昇勾配を上げることで、離陸推力への影響、そして上昇時の騒音影響の拡大とならないのかという点が懸念される。

## 8. まとめ

航空機の騒音軽減運航方式としての上昇勾配について考察を行ってきたが、ほとんどの空港で標準値以上の上昇勾配値が指定されている状況にあり、海外においても同様である。また、日本では障害物件をクリアすることを主たる目的に用いられているが、海外では上昇勾配の値も幅広いことや騒音軽減という目的でも用いられている状況、そして机上の計算結果ではあるが距離減衰による効果も確認できた。

こうした状況を見る限り、今後日本においても、上昇勾配の指定による騒音軽減方式も検討する

価値と導入の可能性はあると思料する。ただ、前節でのべたように、型式ごとの比較、路線長の違い等も含めた分析、また、季節による運航状況の違いも想定した実際の高度プロファイルデータ等様々な機体のデータの取得を広範に行ったうえで検討を継続する必要がある。特に、日本に乗り入れている航空機の型式の中にはA380等に代表されるようにかなり大型のものもあり、今回こうした型式機のデータは取得できていない。また、実際の騒音軽減効果がどれくらい得られるのかという点についても今後さらに検討を行う必要がある。

一方、今後の可能性も含めていけば、諸外国では離陸直後の上昇勾配のみならず、2000ft～3000ft程度の高度を通過したのちも上昇勾配が指定される2段階方式がとられている例がある。騒音軽減対象の範囲が広い場合は、こうした方式の検討も一考である。

また、ICAOでは「継続上昇運用方式」(Continuous Climb Operations: 以下、「CCO」)の検討も行われている。CCOは、離陸後の上昇フェーズにおいて、水平飛行を行わず巡航高度まで達する運用方式である。降下フェーズでは比較的实施されている空港があるが、CCOについては、ほとんど取り入れられていない。

CCOは、騒音軽減のみならず、二酸化炭素排出量の削減にもつながるため、これらの運用方法との組み合わせも今後の重要なテーマと考えている。

### 参考文献

- 1) 国土交通省、国空制大 111 号 「飛行方式設計基準」
- 2) AIS-JAPAN  
<https://aisjapan.mlit.go.jp/html/AIP/html/20200813/frame/index-en-JP.html#efct=20200813>
- 3) 空港振興・環境整備支援機構。航空環境研究特別号「海外空港の環境対策」、2020
- 4) 英国 Civil Aviation Authority 「Departure Noise Mitigation : Main Report」 CAP1691
- 5) 日本航空広報部 「航空実用辞典」
- 6) ICAO 「Continuous Climb Operations Manual」 Doc9993

## 研究報告

## 航空機騒音測定における深層学習による音源識別の利用と課題\*

大島 俊也(航空環境研究センター 主任研究員)

## 1. はじめに

航空機騒音に係る環境基準に準じた測定は原則として連続7日間行い、騒音レベルの最大値が暗騒音より10 dB以上大きい航空機騒音について、単発騒音暴露レベル( $L_{AE}$ )を計測し、夕方と夜間の補正をしたうえで1日分のデータをエネルギー平均した時間帯補正等価騒音レベル( $L_{den}$ )を基本評価量として算出する。

今日、騒音計は本体内部またはSDカードに大きなデータ保存容量を持ち、騒音レベルの数値データとともに長時間のWAV音声データも保存できる(録音できる)。航空機騒音の測定の様子を図1に示す。測定は基本的に無人で行い、空港周辺に複数の測定点を配置して、測定員がデータ回収やバッテリー交換のため定期的に見回る方法が用いられることが多い。測定者は録音データをあとから聞いて、航空機騒音の測定で対象としない自動車騒音や救急車のサイレンなどの影響を確認しながら分析することができる。しかし、データの容量が大きくなればなるほど音源を手動で識別する作業は膨大となり労力が増大する。

大量のデータから音源を自動的に識別する技術を向上させることは、このような分析作業の労力を軽減するばかりでなく、将来的には、分析作業自体も自動化することで、ある地域の音環境に対して航空機騒音がどの程度その環境の良し悪しに影響しているかを常時監視局の年間を通したデータから評価することにも繋がる。

筆者はこれまで小規模なディープニューラルネットワーク(Deep Neural Network ; DNN)を用いて環境音をリアルタイムに音源識別し測定しながら音源別に仕分けする方法について検討してきた<sup>1)-3)</sup>。これを航空機騒音に特化した音源

識別に応用することを検討する。本論では、深層学習(ディープラーニング)による音源識別の考え方と利点を整理するとともに、実際の空港周辺で得られた測定データに対して、DNN識別器が航空機騒音を精度よく検出しているかどうかを確認し、測定場所の背景音の違いや風雨など気象条件の違いが識別結果にどのように影響しているかなど実用化に向けた今後の課題を整理する。

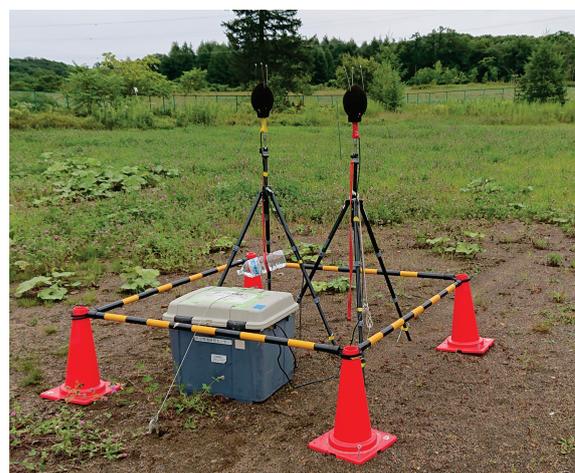


図1 航空機騒音の測定の様子

## 2. 深層学習による自動音源識別の基本的な考え方

図2に示すような生物の神経回路網を模倣したニューラルネットワークによる高度な情報処理を目指した研究は1940年代から始まったが、実際に図2下に示すような多段のネットワークの計算を行おうとすると計算誤差が蓄積して各ノードに繋がる係数(重み)を適切に計算することが難しかった。昨今、Hintonらの研究<sup>4)</sup>をきっかけに多層のネットワークを用いたディープラーニングが再び注目を集め、現在、画像検索、自動翻訳、自動車の自動運転など様々な分野で応用が進ん

\* Advantages and current problems of sound source identification by deep learning in aircraft noise measurement

でいる。Hintonが用いた手法の考え方は、①すべての入力に対して自身を再現しようとする2層のネットワーク(自己符号化器)を多段化した教師なし学習によるプレトレーニングと、②それで得た係数を初期値として教師有り学習であるファインチューニングを行うことで、膨大な入力データに共通する特徴的な部品を中間的な層で抽出しながらそれらの組み合わせとして出力層の各ノードを結びつけるルートが効率よく学習される。

### 2.1. 深層学習による音源識別の特徴

従来から航空機騒音の音源識別で用いてきた線形判別分析(Linear Discriminant Analysis ; LDA)などの古典的な機械学習法では、基本的には識別するために用いる特徴量を人為的に見つける作業が必要であったが、昨今脚光を浴びているディープニューラルネットワーク(Deep Neural Network ; DNN)では、多くの教師データ

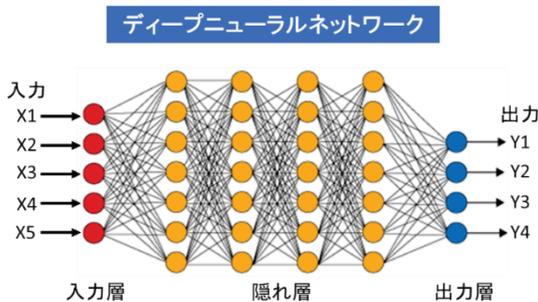
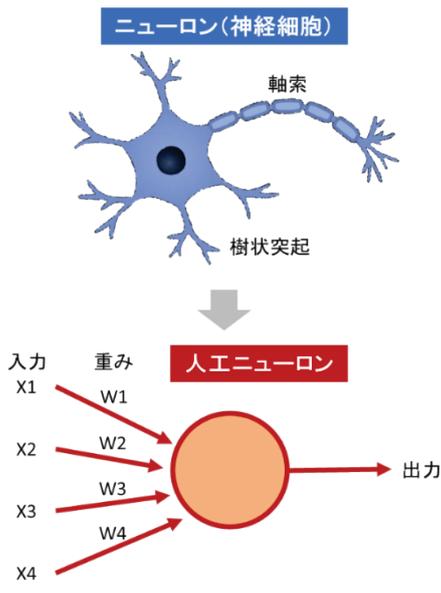


図2 神経細胞とそれを模倣したニューロンとディープニューラルネットワーク(全結合)

に内在する特徴量が学習の過程で自動的に抽出される。この特徴量の抽出能力の高さがDNNによる識別が優位性を示す要因と考えられる。

### 2.2. 主な深層学習の手法

一口に深層学習と言っても種々の手法が開発されており、日々研究が進んでいる。以下に、音源識別に利用できそうな代表的な深層学習の手法の概要を示す。図2下に示した入力層と出力層が複数の隠れ層で結び付いた構造は、各層のノードが次の層の各ノードにすべて結び付いた「全結合型」と呼ばれる。

一方、昨今、画像認識などでよく用いられるDNNの構造は図3に示す「CNN (Convolutional Neural Network)」と呼ばれるもので、画像などの二次元データを入力とする。カメラで用いられる種々のフィルタに相当する畳み込み層のあと、空間的な位置ずれなどの影響を緩和するプーリング層の組み合わせを一つの単位としてこれを何度か繰り返す、入力画像群の特徴量を抽出し、後段の全結合層の出力として識別情報を得る。環境騒音の識別の場合も、ある時刻の周波数スペクトルを一定の時間間隔で並べたスペクトログラム

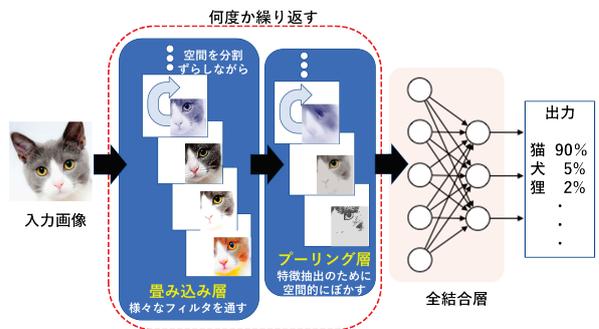


図3 画像認識に用いられるCNNの構造

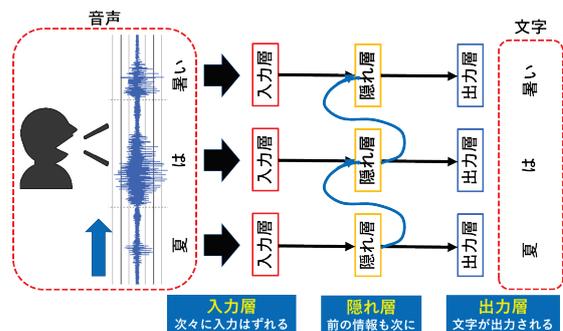


図4 音声認識に用いられるRNNの構造

を画像入力とすることで音源識別の機能を持たせることができる。

他方、音声認識などでは、言葉の一連の時間的な繋がりから次の言葉がある程度推測できることを模擬した「RNN (Recurrent Neural Network)」が頻繁に用いられる。図4にRNNの基本的な構造の概念図を示す。前の文節の情報を次の音節の判定にも一部含めることで自然な音節の繋がり学習される。

全結合だけを用いるより、ある程度の時間間隔の情報を持つCNNの方が識別能力は高い、さらに時間的な繋がり情報も特徴量とするRNNの方がさらに高い識別能力を持つと考えられる。しかし、航空機騒音単独であれば、時間的なスペクトル変化が特徴的に表れる場合でも、予期せぬ自動車騒音やカラスの声などのランダムな重畳が環境騒音の場合は頻繁に現れるため、学習データには出現可能性のあるあらゆる音源と、それらの時間的なずれ具合も含むあらゆる組み合わせのデータが必要となる。またDNNの構造が複雑になればなるほどそれに見合った大量の学習データが必要となる。このようにDNN構造の規模と学習データの量との関係で、どの手法を用いるのが適切かは状況に応じて検討する必要があると考えられる。

たとえば、防災放送が住宅地域にどのように伝搬していくのかを多数の測定点で観測する例<sup>5)</sup>で

は、音を測定している傍からリアルタイムで識別結果を次から次へと表示する必要がある。このような場合にはDNNの構造はむしろ小規模として識別能力を多少抑えたとしてもリアルタイム性をより重視する方が有利と考えられる。また学習データの良し悪しなど様々な検討を行う場合でも小規模なDNNで計算時間を抑えて多くのケースを試算した方が有利な場合もある。

### 3. 一般環境騒音用の音源識別器の作成

航空機騒音を含む環境音には様々な音源が含まれ、複数の音が混在することも少なくない。また、同じ航空機騒音でも、背景に小鳥の声が微妙に含まれる、あるいは風雨の音が重なる場合もあり単純ではない。DNNなどの機械学習による識別器の作成には一般に大量の学習データが必要となるが、長時間の測定後に得られた音データに対して音源種類のラベル付けを行う作業(アノテーションと呼ばれる)は人手で行うため非常に負荷が高く時間が掛かる。このアノテーション作



図5 MIDIキーボードを利用した  
現場アノテーション用ツール

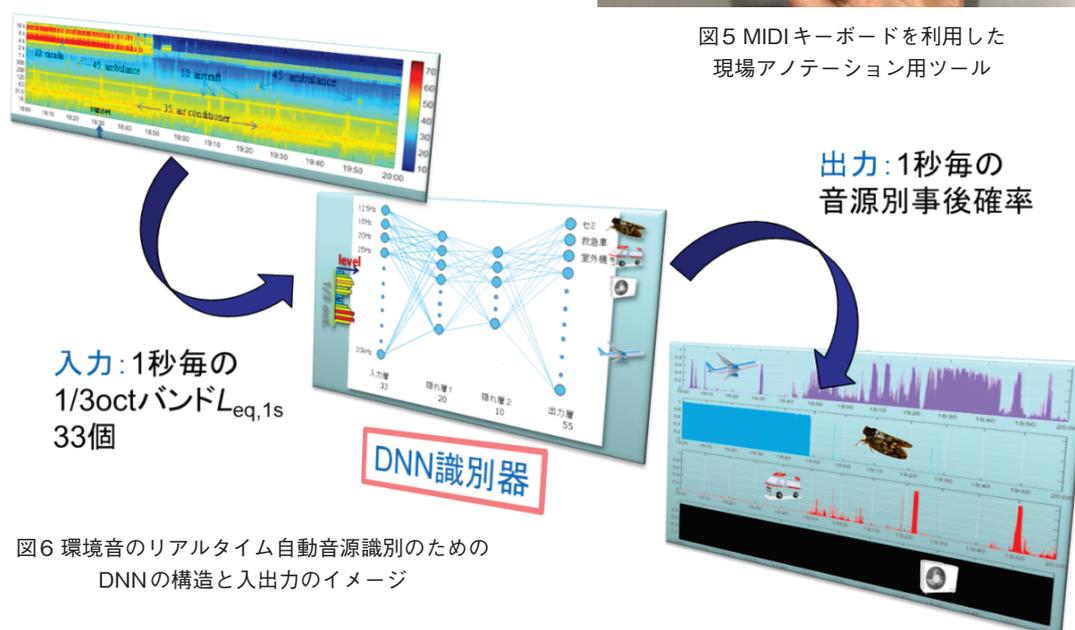


図6 環境音のリアルタイム自動音源識別のための  
DNNの構造と入出力のイメージ

業の負荷を多少なりとも避けるひとつの方法として、現場で数時間程度、実際の音を目と耳で確かめながらその場で教師情報を入力することを検討した<sup>2)</sup>。図5に示すような入力デバイスにテンキー端末あるいはMIDI端末を用い、各キーに音源を対応付けて音源の発生状況に応じてキーを1つまたは複数同時に押すことでそれらの音源のフラグを立ててタイムスタンプとともに記録する。

### 3.1. DNN 音源識別器の作成方法

今回用いた音源自動識別では、初期段階の検討ということで、分析機能付き騒音計本体でリアルタイム演算可能な1/3オクターブバンドレベルを特徴量として入力する全結合型の小規模のDNNを用いる(図6)。DNNの入力層には1/3オクターブバンド毎の短時間 $L_{eq,1s}$ のレベル値を0~1に正規化した値を入力し、出力層には学習時に正解情報として各音源カテゴリの発生有無を表す1または0のフラグを与える。DNNの構造は、入力層33ノード、第一隠れ層20、第二隠れ層10、出力層55の全結合型の4層構造とした。入力データは1/3オクターブ12.5~20 kHzの33バンドの値である。出力層の55ノードには各音源カテゴリ番号が対応する。なお、同時に発生した複数音源の各々を検出させるため、出力層の活性化関数をシグモイド関数としてマルチラベル分類を行う。なお、DNNの構造は全結合型に拘るわけではなく、目的に応じてより識別精度の向上が見込めるCNNやRNNの構造に順次更新していく予定である。

### 3.2. 一般環境騒音の学習データ取得

今回、一般環境騒音の基本的な音源識別器を作成するのに用いた学習データの取得場所4箇所の音源内容を表1に示す。表1の①に示すデータが道路交通騒音、鉄道騒音、航空機騒音、自然音などがバランス良く入ったベースとなる学習データであり、不足する音源データを順次これに追加することになる。

## 4. 航空機騒音測定データへの音源識別の適用と利点

前章に示した一般環境騒音の音源識別用の学習データに、さらに民間空港の飛行経路直下のデータを加えたのち作成したDNNを用いた音源識別を、二つの空港A、Bの周辺の複数の測定点で夏季と冬季に実施した騒音測定の結果に適用し、識別器がうまく機能するかどうかを確認する。なお、測定は夏季と冬季にそれぞれ1週間実施した。

### 4.1. 飛行経路直下の航空機騒音の追加学習

前章で説明した環境騒音全般を対象とする識別器を作成する際に用いた学習データには、民間空港周辺の飛行経路直下のデータがほとんど含まれていなかったため、今回識別対象とした空港とは異なるC空港周辺で過去に測定したデータを既存の学習データに追加して、改めてDNN識別器を作成した。C空港は様々な航空機の機種が飛来するため、航空機騒音の学習データを作成するのに都合が良い。用いたデータは、C空港の南ランウェイ端から2 km程度の飛行経路直下の測定

表1 一般環境騒音用の学習データの取得場所と内容

地域	主な音源	概要
①都立公園を中心としたエリアの外周道路	道路交通騒音、鉄道騒音、航空機騒音、鳥の声等の自然音や話し声等の人の活動に伴う音などの多様な環境音	外周道路(2車線)の歩道上などに設けた計15点(Pt.1~15)の時間を同期した多点測定を実施し、代表する2点で現場アノテーションを行って学習データに用いた。
②民間空港のランウェイ側方	航空機の地上騒音と飛行騒音	①の測定データには空港近傍で観測される騒音レベルの大きい航空機騒音のデータが不足していたため、民間空港の近傍で測定した。測定時期は初夏であったがセミはまだ鳴いていなかった。
③軍用飛行場の飛行経路直下	騒音レベルの大きい戦闘機などの航空機騒音	上記と同様の理由で、特に騒音レベルが極端に大きい軍用航空機の騒音データを取得した。
④セミが多く鳴く林のある地域	複数のセミの声	セミの声が複数聞こえる場所であるが、他の騒音源との重畳データは取得しにくい。

点で10月のある1日分の航空機騒音である。周辺の暗騒音が小さく航空機騒音がS/N良く測定できているため、一日分の測定データのうち、騒音レベル60 dB以上の区間を航空機騒音の単独のデータとしてフラグ付けして既存の学習データに追加した。ここでは詳しく述べないが、一般環境騒音用の識別器に比べて、航空機騒音に対する誤識別は、夏季と冬季双方で大幅に減り正解率が向上した。

#### 4.2. 実測データに対する識別率の算定

飛行経路直下の航空機騒音のデータを追加して新たに作成したDNN識別器を用いて、各空港周辺の測定点に配置した騒音計で昼夜を問わず一週間連続で計測されたデータを1秒毎にすべて識別した。具体的には、時定数1秒 (Slow) とした1/3octバンドレベルの0.1秒毎のサンプル値を10個ずつパワー合成して、 $L_{eq,1s}$ の近似値とした12.5 Hz~20 kHzの33バンドの値を入力としてDNN識別器に通して数十種類の音源に対する存在確率を計算した。結果は、20分毎に分割した時系列データを各音源に対する確率を色分けして整理した。

識別結果から航空機騒音の識別率を算定する際のルールを以下に示す。なお、あるイベント区間が航空機騒音であるかどうかの正解値は、レベル波形の形状や実際に録音データを耳で確認するなどの作業を行って判定している。

- (1) 航空機騒音イベント区間の航空機騒音の識別確率が概ね0.8以上である場合を○とする。
- (2) 航空機騒音の識別確率が0.5程度である場合を△として○とともに正解とする。
- (3) 航空機騒音の識別確率がそれ以下の場合は×として不正解とする。

このルールに従ってA、B空港のデータを識別した結果をそれぞれ表2.1と表2.2に示す。表中でグレーに網掛けしたデータ総数が10個に満たない測定点を除いてみると、ほとどの測定点でも正解率が95%を超えている。ただし、A空港の測定点bとdだけは正解率がそれぞれ81.3%と71.4%と低い値となっている。これは後で課題として述べるが、背景騒音としてセミの声の騒音レベルが大きい条件である。

表2.1 A空港測定データに対する航空機騒音識別結果

測定点	夏季のある1日				冬季のある1日			
	○	△	×	正解率	○	△	×	正解率
a	—	—	—	—	37	1	0	100.0
b	23	3	6	81.3	33	1	0	100.0
c	49	2	0	100.0	59	0	3	95.2
d	6	4	4	71.4	46	3	1	98.0
e	18	0	0	100.0	—	—	—	—
f	15	0	0	100.0	34	0	0	100.0
g	—	—	—	—	30	0	0	100.0
h	3	0	0	100.0	16	0	0	100.0
i	3	0	0	100.0	0	0	0	—

表2.2 B空港測定データに対する航空機騒音識別結果

測定点	夏季のある1日				冬季のある1日			
	○	△	×	正解率	○	△	×	正解率
a	0	0	0	—	6	1	0	100.0
b	15	1	0	100.0	14	1	0	100.0
c	16	1	1	94.4	20	1	0	100.0
d	12	2	0	100.0	15	1	0	100.0
e	5	0	0	100.0	1	2	0	100.0
f	15	1	0	100.0	0	2	1	66.7

注記: ある測定点でデータ数が10個に満たないときはグレー網掛け  
○が10個以上のとき青の網掛け

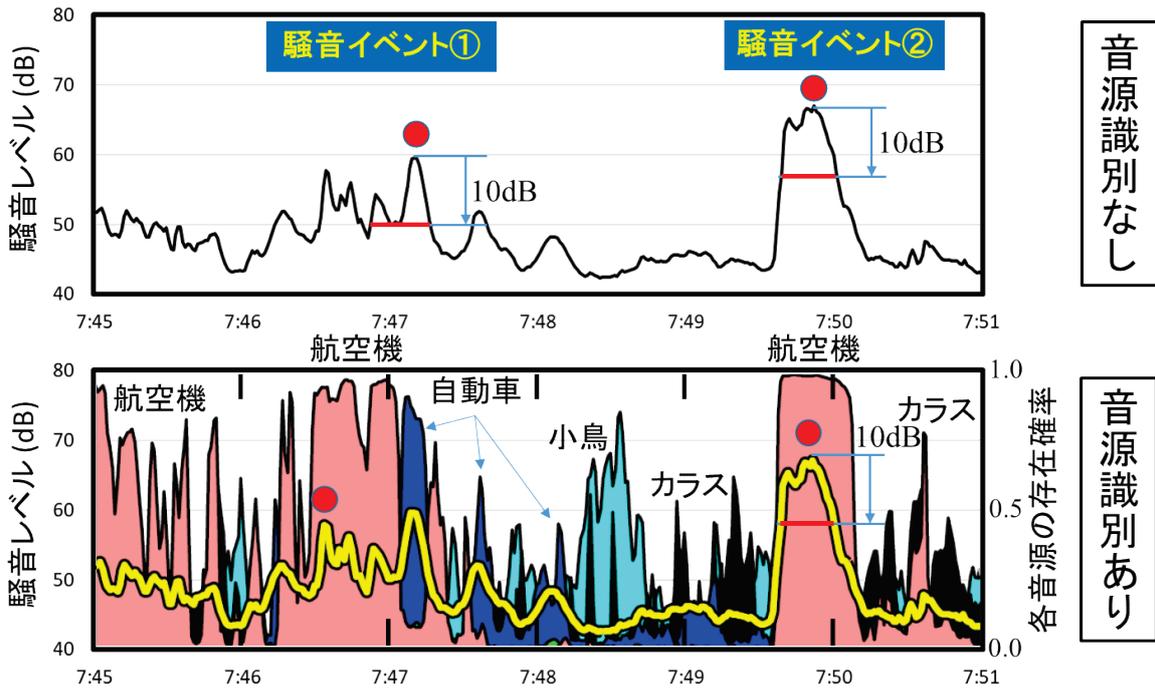


図8 航空機騒音と近接して自動車騒音が発生している結果の一例

2空港に対する識別が間違っているデータの誤識別の理由については次章で整理し、識別率を向上させるための今後の課題についても述べる。この章ではDNNによる音源識別を用いることの利点を以下に整理する。

#### 4.3.DNN 識別の利点①：他の騒音との重なり具合の可視化

航空機騒音と自動車騒音やカラスの声などの発生区間を時間的に区別することが容易に行える。また録音データを確認しなくても航空機騒音区間の検出が効率的に行える。図8は、航空機騒音の発生時刻に近いタイミングで自動車騒音が発生し、両者の区別が騒音レベルの時間変化を見ただけでは困難な例である。図8下に示すように音源識別の存在確率を色付けして加えることにより、航空機騒音による騒音発生個所の途中で自動車騒音があることが容易にわかり、騒音イベント①の最大位置の読み取りの誤りを検出している。

#### 4.4.DNN 識別の利点②：エンジンテストなど長時間にわたる地上騒音区間の検出

エンジンテストなど長時間にわたる地上騒音があり、背景騒音との騒音レベルが10dB以上なく、イベント検出が難しい区間でも、航空機騒音の識別結果を色分けして他と区別することで検

出が可能である。また、自動車のアイドリングなども同じように比較的定常的な騒音であるが、音源識別することによりその発生区間も容易にわかるようになる。一例を図9下に示す。図9上は航空機騒音の発生区間を比較するための比較的近い測定点の結果である。

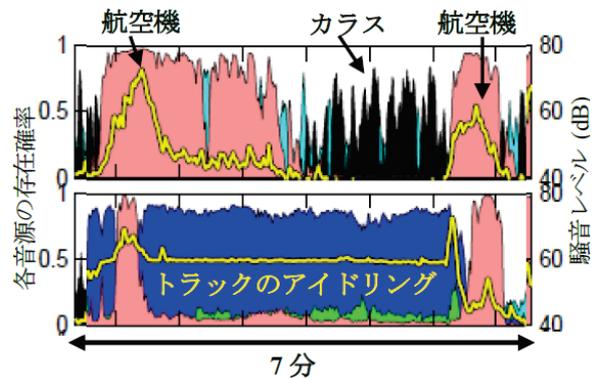


図9 自動車のアイドリング音の識別結果の一例

#### 4.5.DNN 識別の利点③：調査データ全体を概観して航空機騒音区間の検索支援

たとえば昼夜を含む1週間の調査データ全体を概観して航空機騒音がどこに含まれているかを比較的簡単に検索できる。測定時の周辺状況などを書き込む野帳の代わりのようなイメージで用いることができる。たとえば12時間分の識別結果を1ページに凝縮して一覧したデータを概観す

ることで、日中の航空機騒音の発生状況がおおよそわかり航空機の発着が多い時間帯が何時頃であるかなどの情報を読み取ることができる。

#### 4.6.DNN 識別の利点④：多点測定データによる航空機騒音の可視化

観測された騒音レベル波形を識別結果とともに地図上の位置に対応させて並べて表示することにより、航空機騒音が各測定点に時間的にずれて移動していく様子をわかりやすく可視化することができる。D空港の複数の測定点(a~h)のデータを南北の順番に並べて表示した例を図10に示す。航空機騒音と識別された区間はピンク色で示されており、その高さは航空機騒音である確率の大きさを表している。この例では、航空機が北から南方向にレベルフライトしているデータであるが、航空機の移動の様子を識別結果からおおよそ読み取ることができる。逆に言えば、複数点を並べた多点の識別結果の時間的な連続性の情報を、航空機騒音の飛行経路データとともに識別情報として利用できる可能性があると考えられる。

また、情報公開のわかりやすい表示手法としてもDNNによる音源識別の機能が利用できると考える。空港周辺の多点の監視データにこの自動音源識別機能を追加することにより、マップ上に示された騒音レベルだけでなく、どの音源の音が主要であるかを色分けして表示することができる。

### 5. 誤識別の傾向と今後の課題

表3に、表2.1と表2.2に示したA空港とB空港

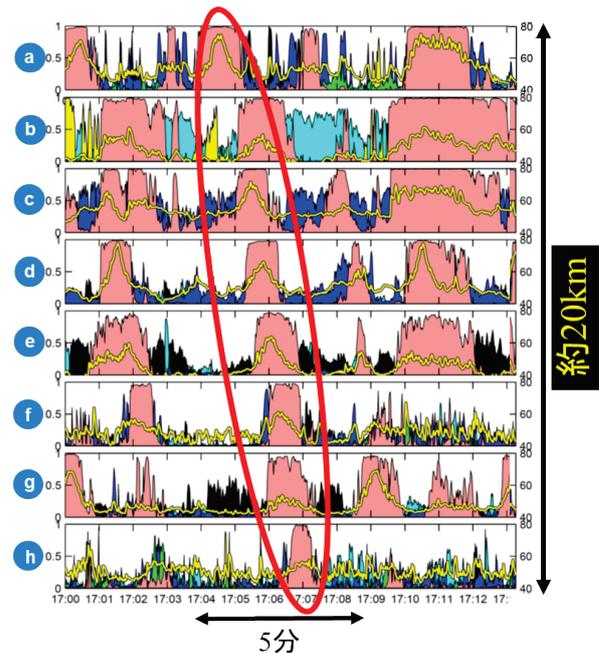


図10 音源識別結果と飛行経路の対応の一例  
(約20kmある測定点a~h間のレベルフライト)

に対する識別結果のうち、航空機騒音区間を他の音源と誤識別していたデータの詳細を示す。A空港の夏季の調査結果のうち、測定点bとdの正解率が他の測定点と比較して低い値となっている原因は、この2地点の周辺に緑が多いためセミの声が背景騒音として含まれているからであった。図11に両測定点を含む4箇所について、航空機が通過した区間の識別結果を示す。セミの声を示す黄色が多い測定点bとdでは航空機騒音が自動車騒音と誤識別されている。対処法としては、航空機騒音とセミの声が含まれるデータを学習データに追加することであるが、両者の相対的なレベルが様々に異なるデータを準備する必要がある。そ

表3 識別が誤判断だった音の内容

空港	季節	Pt	時刻	機種	態様	他の音	誤判断の原因と考えられる要因
A 空港	夏	c	12:10	B-737	T/O	セミ	セミの声BGN大
〃	〃	〃	14:49	B-737	T/O	アブラゼミ	セミの声、航空機キーンという高い音
〃	〃	〃	17:34	B-737	L/D	セミ	セミの声BGN大
〃	〃	〃	18:10	B-767	T/O	セミ	セミの声BGN大
〃	〃	〃	18:23	B-787	L/D	セミ	セミの声BGN大
〃	〃	〃	18:36	B-737	L/D	セミ	セミの声BGN大
〃	夏	e	17:21	B-767	L/D	セミ	セミの声BGN大
〃	〃	〃	17:29	単発ターボプロップ	T/O	セミ	セミの声BGN大
〃	〃	〃	18:10	B-767	T/O	セミ	セミの声BGN大
〃	〃	〃	20:23	A-320	L/D	特になし	航空機低レベル約60dB、周波数ディップ
〃	冬	d	9:22	小型双発ジェット	L/D	特になし	L/D後のTAXI音
〃	〃	〃	13:31	小型双発ジェット	L/D	特になし	L/D後のTAXI音、ヒーンという高い音
〃	〃	〃	15:05	単発ターボプロップ	L/D	特になし	プロペラ機TAXI音、ブィーンという純音性
〃	冬	e	14:48	B-767	L/D	小鳥	小鳥の声
B 空港	夏	d	14:09	双発ターボプロップ	L/D	雨音、カラス	プロペラ機100Hz純音、雨音
〃	冬	f	12:54	A-320	T/O	風、波浪	風、波浪の音

のための有効な方法として、2種類の音の単独音同士をコンピュータ内で人工的に混合することで不足する学習データを増強する方法について過去に報告している<sup>5)</sup>。二つの音を混合する場合、どちらかが極端に小さいときは当然のことながらマスキングによって人間の耳には聞こえなくなる場合があり、これを、マスキングを考慮したラウドネスの計算により自動化するものである。

なお、今回の識別結果のうち、航空機騒音とスペクトルの形状が似ている風雨や波浪の音がある時、航空機騒音の有無に関わらず常に航空機騒音の確率が高い状態となる傾向があった。このような気象条件による背景騒音の影響についても、人工的な学習データを増強することで改善が可能かを今後検討する必要がある。

## 6. まとめ

近年の騒音測定は騒音計の機能の進展により無人で大量のデータを取得できるようになった。しかし得られた膨大なデータを分析するにはその分労力が掛かるため、分析対象とする航空機騒音のイベント区間の瞬時検索の機能を持つ作業支援ソフトが必須と考える。また、騒音測定にあまり精通していない人でも、データの取捨選択が容易となるような分析ツールも必要だと考えられる。

今回、深層学習を用いた自動音源識別を実際の航空機騒音の測定データに適応してみた結果、航空機騒音の発生イベント区間の検出はかなりの高い確率で行える可能性があることがわかった。DNNの構造を小規模としたこともあり、大量のデータを比較的短時間で音源識別することができるため、調査データ全体を概観して航空機騒音が発生している区間を瞬時に見つけることができる。また自動車騒音と時間的に重なった区間の検出にも利用できるため、分析データとして採用できるかどうかを判断する際にも有効と考えられる。このように、DNNを用いた自動音源識別は前述の目的の達成のため非常に有用であることがわかった。

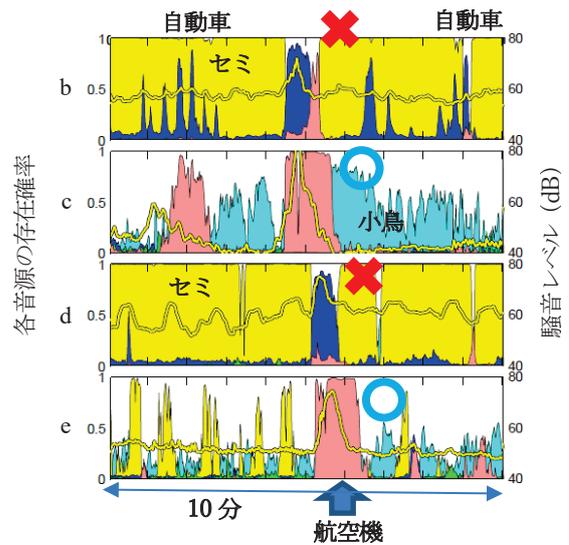


図11 航空機飛来区間の背景騒音の異なる4箇所の識別結果の一例

現状では、まだ学習データが様々な環境に対応するほどに充実しているとは言えず、更なる航空機騒音データの追加も必要と考えられる。また、背景騒音が夏のセミの声や風の強い時の風雨、波浪の音が重なった場合に識別率が低下する傾向があるため、人工的な混合音の導入も含めて学習データを充実させるなど、更なる識別率の向上のための検討を進めていきたい。

## 謝辞

本報告のうち、一般環境騒音のDNN識別器の設計、学習に係る項目は、著者がリオン株式会社に所属したときに検討したものである。リオン株式会社技術開発センターとともに研究開発に携わった関係諸氏に感謝いたします。

## 参考文献

- 1) 大島ら, 線形判別分析とディープニューラルネットワークを用いた環境音の識別, 騒音振動研究会 N-2016-10 (2016)
- 2) 内藤ら, 音源別環境音可視化に向けた機械学習による多点同期音源自動識別の試み, 音響学会 平成29年春季研究発表会 (2017)
- 3) 大島ら, 長時間多点同期モニタリングによる地域の音環境の可視化, 音響学会誌 76巻8号 (2020)
- 4) Hinton et al, A fast learning algorithm for deep belief nets, Neural Computation 18 (2006)
- 5) 大島, 防災拡声音のリアルタイム音達可視化に向けた基礎検討, アコースティックイメージング・騒音・振動研究会 N-2019-51 (2019)

## 研究報告

WHO-EU 環境騒音ガイドラインと社会調査データからみる  
騒音施策展開への課題\*

下山 晃司(航空環境研究センター 研究員)

## 1. はじめに

2018年10月にWHO-EU環境騒音ガイドライン<sup>1)</sup> (Environmental noise guidelines for the European Region, 以降、ガイドライン)がWHO欧州事務局によって公表され、世界中の調査・研究機関で様々な議論が行われてきた。

そこで、本稿ではガイドラインの目的及び策定プロセスについて概説したうえで、ガイドラインに関する議論について根拠となった文献に立ち戻って整理・考察を行うと共に、日本での社会調査結果と比較することで、日本の騒音施策に展開するための課題を探る。

## 2. WHO-EU環境騒音ガイドライン

## 2.1 ガイドライン策定の背景と目的

1999年にWHOより環境騒音ガイドライン<sup>2)</sup> (Guidelines for community noise)、2009年にWHO欧州事務局より夜間騒音ガイドライン<sup>3)</sup> (Night noise guidelines for Europe)が公表された。これらは環境騒音と健康影響に関する調査・研究の契機となり、以降重要な科学的知見が蓄積されてきた。

一方、2010年にWHO欧州事務局管轄エリアの各国を対象とした環境・健康に関する大臣会合 (the 5th Ministerial Conference on Environment and Health in Parma, Italy)にて、いくつかの国から従前のガイドラインの更新及び対象とされていなかった環境騒音(個人用電子機器や風車等)に対するガイドラインの策定が求められた。

このような経緯から、WHO欧州事務局によって2000年以降に世界中で行われた調査・研究結果を対象として、交通騒音(航空機騒音、道路交通騒音、鉄道騒音)に関するガイドラインを更新すると共に、新たに風車騒音、レジャー騒音についてのガイドラインが策定されることとなった。

このガイドラインの目的は「環境騒音から人々の健康を保護する」ことであり、重要な問い (key questions, 表-1)を念頭に策定が行われた。

また、ガイドライン策定グループ(GDG)によると、このガイドラインで得られた科学的結論は世界中の知見を基にしているため「欧州のみではなく全世界に通用するものである」としている。

表-1 ガイドライン策定における重要な問い

- ・ 環境騒音に曝露される一般の人々において、環境騒音を実用的な指標を用いて示し、健康影響を適切な尺度で評価したとき、どのような曝露-反応関係が得られるか？
- ・ 環境騒音に曝露される一般の人々において、環境騒音曝露や健康影響を低減させる対策は効果的なのか？

## 2.2 ガイドラインの策定方法

ガイドライン策定のプロセスではGRADEシステム(Grading of Recommendations Assessment, Development and Evaluation)と呼ばれるエビデンスの質と推奨の強さを系統的に評価する手法が採用された。これによりシステマティックレビュー(系統的に抽出した文献に基づき課題に関するエビデンスについて評価/結論を示す手法)の結果だけでなく、利害関係者を含めたレビューグループによる社会的価値に関する意見(各交通機関が担う社会における役割や利益等)が考慮され、勧告値とその強さが決められていることが特徴である。

策定の主な流れは、まず環境騒音に関する健康影響として6つ健康リスクと各健康リスクに対して基準とする変化(量)(表-2)を定義する。

次にシステマティックレビューを行い、得られた環境騒音と健康影響に関する曝露-反応関係から、基準とする変化(量)を示す騒音曝露量(ガイ

\* Discussions on applying WHO-EU guidelines for Japanese noise policy with socio-acoustic surveys.

ドライン曝露レベル)を特定する。このとき対象文献の調査デザイン(横断/縦断/地域相関)等の様々な格上げ・格下げ要因を考慮して、エビデンスの質(表-3)が決定されている。

また、欧州連合の環境騒音指令<sup>4)</sup>(Environmental Noise Directive, 以降、END)に準拠し、高度睡眠妨害は夜間の等価騒音レベル $L_{night}$ 、その他の健康影響リスクは時間帯補正等価騒音レベル $L_{den}$ が騒音指標として採用されている。

最後に、騒音曝露・騒音対策に関する有効性や利益と損失のバランス、価値判断、公平性、必要資源と実現可能性等の社会的価値に関する意見とエビデンスの質を含めた勧告の強さの決定要因について考慮したうえで、勧告値と勧告の強さ(表-4)が決定される。

### 2.3 航空機騒音による健康影響

航空機騒音による健康影響に関するシステムティックレビューの結果概要(表-5)を示す。これより基準とした変化(量)から、ガイドライン曝露レベルは「高度不快感」で $L_{den}$  45dB、「高度睡眠妨害」で $L_{night}$  40dBと特定された。

続いて、考慮された勧告の強さの決定要因とガイドライン策定グループの主な見解を表-6、表-7に示す。

表-2 健康影響リスクと基準とした変化(量)

健康影響リスク	基準とした変化(量)
虚血性心疾患の罹患	リスク比が5%上昇
高血圧の罹患	リスク比が10%上昇
高度不快感	住民の10%が反応を示す
読解・口頭能力	1か月の遅れが認められる
永久聴力障害	リスク増加なし
高度睡眠妨害	住民の3%が反応を示す

表-3 エビデンスの質の評価とその概要

エビデンスの質	概要
高い	今後の研究により影響を推定する確かさが変化することは殆どない
中程度	今後の研究により影響を推定する確かさに重要な影響が生じる可能性があり、その値は変化するかもしれない
低い	今後の研究により影響を推定する確かさに重要な影響が生じる可能性が高く、その値は変化する可能性がある
非常に低い	どんな影響の推定値も不確かである

表-4 勧告の強さとその概要

勧告の強さ	概要
Strong	<ul style="list-style-type: none"> <li>・たいいての場合、政策としてそのまま採用できる。</li> <li>・ガイドラインはこの勧告を遵守することによる望ましい影響が、望ましくない影響を上回るという確信に基づいている。</li> <li>・費用、効果及び必要資源を複合的に鑑みた正味の利益に関するエビデンスの質は、この勧告の強さに相当する。そのため、ほとんどの状況において実施すべきである。</li> </ul>
Conditional	<ul style="list-style-type: none"> <li>・政策として採用するには、様々な利害関係者を含めて議論が必要である。</li> <li>・個人/集団に対する費用、効果または必要資源が多である等により、正味の利益に関するエビデンスの質が低いためその効果は不確かである。そのため、適応できない状況もあるかもしれない。</li> </ul>

表-5 航空機騒音による健康影響に関するシステムティックレビューの結果概要

健康影響リスク	対象研究数	対象参加者数	エビデンスの質	ガイドライン曝露レベル	備考
虚血性心疾患の罹患	2	9,619,082	非常に低い	$L_{den} = 52.6\text{dB}$	騒音曝露量10dB上昇によるリスク比は1.09
高血圧の罹患	1	4,712	低い	-	騒音曝露量増加によるリスクの有意な増加はみられなかった
高度不快感	12	17,094	中程度	$L_{den} = 45.4\text{dB}$	
読解・口頭能力	4	-	中程度	$L_{den} = 55\text{dB}$	対象患者数は不明
永久聴力障害	0	0	-	-	基準に合致する研究なし
高度睡眠妨害	6	6,371	中程度	$L_{night} = 40\text{dB}^*$	*40dBで約11%の患者が高反応

表-6 勧告の強さの決定要因と主な見解(騒音曝露・騒音対策に関する有効性)

健康リスクと対策の種類	参加者数(研究数)	対策の効果	エビデンスの質と格上げ・格下げ要因
高度不快感 空港周辺住宅への防音工事の実施	689(1)	・騒音レベルの変化は報告されていない ・防音工事実施により不快感は低減される	非常に低い 格下：研究の限界 非一貫性 不正確さ
高度不快感 滑走路の開設／閉鎖 または飛行経路の変更	2,101(3)	・騒音レベルの変化量の幅が大きかった (-12dB～+13.7dB：多くは±1dBか2dB異なる騒音指標が使用されていた。) ・全ての研究で不快感の変化が認められた	中程度 格下：研究の限界 格上：曝露-反応関係
高度睡眠妨害 飛行経路の変更	1,702(2)	・騒音レベルの変化量は殆ど±1dBか2dB ・両研究で睡眠影響の変化が認められた	低い 格下：研究の限界
子どもの認知能力発達 滑走路の開設／閉鎖 または飛行経路の変更	326(1)	・騒音レベルの変化量は新しい空港で+9dB、古い空港で-14dBであった ・騒音曝露量が増加・減少した場合ともに、子供の認知能力へ様々な影響が認められた ・古い空港の閉鎖で影響が無くなり、新しい空港の開設で影響が現れた	中程度 格下：非一貫性

表-7 勧告の強さの決定要因と主な見解(利益と損失のバランス、価値判断、公平性、必要資源と実現可能性)

<p><u>利益と損益のバランス</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・航空機騒音は空港周辺や飛行経路下の限られた地域にしか影響しないため、影響を受ける人々の数は道路交通や鉄道騒音よりも少ない。しかし、今後も局所的な騒音公害の主要な要因であり続け、その数は増加が見込まれる。また、航空機騒音は他の交通騒音よりも不快であるとされている。</li> <li>・介入(夜間飛行禁止など)を実施することで、健康上だけでなく大気汚染や二酸化炭素排出削減等の環境問題にも効果があり、持続可能な経済発展に繋がると考えられる。</li> <li>・一方、介入を実施すると物流や個人の移動に支障し、国内／国際経済に影響を与える可能性がある。</li> </ul> <p><u>価値判断</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・空港や政府への信頼の欠如は、空港や航空機騒音に対する否定的態度を助長する可能性がある。</li> <li>・過去の運航便数が安定し、将来的にその数が変化しない空港では、運航便数が年々増加している空港とは住民評価が異なると考えられる。(滑走路の新設や運航便数の増便により、地域住民の騒音曝露環境が大幅に変化する。騒音曝露環境の変化自体がひとつの迷惑な要素の可能性もある。)</li> <li>・空の旅は公共性、経済性、事業性において重要な交通手段である。</li> <li>・一般の人々は、飛行機での旅行の利便性を重視する傾向がある。</li> <li>・空港周辺に住む人々は、同様に騒音負担をしない一般の人々とは異なる評価すると考えられる。</li> </ul> <p><u>公平性</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・航空機騒音に曝露されるリスクは社会全体に公平に分配されていない。</li> <li>・社会／経済的地位の低い人々は空港周辺等、より騒音に曝露される地域に住んでいることが多い。</li> </ul> <p><u>必要資源と対策実現の可能性</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・空港周辺への新規住民の流入禁止は、都市計画により実施可能であり、費用効果の高い介入である。同様に、人口の少ない地域の上空に飛行経路を設定すると騒音曝露人口減少につながる。原則としてこれらの介入には直接的なコストは掛からないが、安全上観点から実現可能性は限定的である。</li> <li>・住宅に防音窓を設置する等のパッシブな騒音対策は、実現可能かつ経済的に妥当な対策である。</li> <li>・国際民間航空機関(ICAO)によって提唱された「バランスド・アプローチ」は有効な対策であると考えられる。低騒音機材の導入推進や騒音低減運航方式等の発生源対策をバランスよく進めることで、勧告値を妥当なコストで達成できる可能性がある。</li> </ul>
--

ガイドライン策定グループは、勧告の強さの決定要因とその見解を総合して、

- ・ 航空機騒音曝露による健康リスクへの影響を最小限に抑えることで得られる便益は起こり得る経済的損失を上回ると推測される。
- ・ 様々な価値判断の違いは認められたが、より多数への健康影響の最小化が最優先である。
- ・ 航空機騒音に曝露されるリスクは社会全体に公平に分配されていない。
- ・ 曝露範囲は他の交通騒音に比べて限定的であり、その介入には様々な対策が考えられる。

等と結論付けた。以上より、社会的価値に関する意見とエビデンスの質が考慮されても、航空機騒音に関する勧告値はガイドライン曝露レベル ( $L_{den}$  45 dB、 $L_{night}$  40 dB) のまま変更されず、その勧告の強さは「Strong」とされた。

### 3. ガイドラインに対する議論

ガイドラインが公表されてから世界中の調査・研究機関で様々な議論が行われているが、その中でも特に曝露-反応関係について活発な議論が行われている。そこで、曝露-反応関係の導出方法とその留意点を概説し、導出根拠となった調査・研究について考察を行う。

#### 3.1 曝露-反応関係の導出方法とその留意点

環境騒音に対する曝露-反応関係とは騒音曝露量 ( $L_{den}$ 、 $L_{night}$ ) と住民反応との関係を示したものであり、交通騒音に対する社会反応を把握する手法として広く用いられている。

具体的には、特定の交通騒音に曝露される人々を母集団として、その中から抽出した個人に対して騒音曝露量の推定とアンケート調査を行い、そ

の結果を集積し回帰分析と呼ばれる統計的手法によりひとつの曲線に集約する。

これにより、ある騒音に曝露される人々のうち何%の人々が高度不快感反応を示すか (%HA, %Highly Annoyed)、何%の人々が高度睡眠妨害を受けるか (%HSD, % Highly Sleep Disturbed) という住民反応の指標と騒音曝露量の対応付けが可能になる。

以下に (1) 騒音曝露量の推定と (2) アンケート調査それぞれについて概説する。いずれも曝露-反応関係に大きな影響を与え得るため、その質を確保することは非常に重要である。

#### (1) 騒音曝露量の推定

騒音曝露量の推定方法は、実測と予測に大別される。表-8に航空機による騒音曝露量推定方法とその主なメリット・デメリットを示す。

実測による場合、航空機は他の交通騒音(道路交通騒音、鉄道騒音)とは異なり、気象条件等により日々の騒音曝露状況が大きく異なる。特に短期測定による場合、測定した騒音曝露量が1年間を通じた騒音曝露実態を代表していると言えるか(例えば、年平均の滑走路使用割合が北風運用:南風運用=6:4である空港で夏季のみ調査を行うと南側運用の割合が多い可能性がある等)に注意が必要である。

予測による場合は、運航情報や飛行経路等の予測に必要な情報は得難いが、航空機による騒音に限定して様々な状況に応じた曝露量を面的に推計することができる。

システムティックレビューでは、質の高い情報に基づく予測結果の方がエビデンスの質が高く評価されている。

表-8 航空機による騒音曝露量推定方法の主なメリットとデメリット

推定方法	メリット	デメリット
予測	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 測定環境(暗騒音等)の影響を受けない。</li> <li>・ 設定条件により、1年間を通して平均的な運航時、繁忙期の運航時等の様々な状況下での騒音曝露量を算出できる。</li> <li>・ 騒音コンターによる面的評価が可能である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 運航情報や飛行経路等の必要な情報を得難い。</li> <li>・ 設定条件が適切でないと、実態と乖離する可能性がある。</li> </ul>
実測	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 測定された曝露量は事実である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 測定環境の影響を受ける可能性がある。</li> <li>・ 短期測定(7日間連続測定等)の場合、測定された騒音曝露量が実態として適切でない可能性がある。</li> </ul>

## (2) アンケート調査

交通騒音による高度不快感反応は、International Commission on Biological Effects of Noise (ICBEN) Team 6 により、標準的な質問文と5段階の言語尺度と11段階の数値尺度の両方(表-9)を使用することが提案<sup>7)</sup>され、ISO TS 15666<sup>8)</sup>に採用されている。これを用いて多くのアンケート調査が行われているが、5段階尺度の上位2段階(カットオフ:上位40%)と11段階尺度の上位3段階(同:上位27%)では高度不快感反応の定義が異なる(Highly Annoyedのカットオフ値が違う)ことに注意が必要である。

睡眠妨害も同様に5段階の言語尺度で質問され、上位2段階と回答した回答者の割合が高度睡眠妨害を受けているとみなされる。(ポリグラフによる実験室実験の睡眠影響と区別するために「自己申告による睡眠妨害」とも言われる。)但し、調査者によって睡眠妨害(Sleep Disturbance)と、入眠妨害(Falling Asleep)及び覚醒(Awaking)に区分される場合があるので注意が必要である。

高度不快感や睡眠妨害は、非音響的要因(回答者の年齢、性別等の人口統計学的要因、騒音源に対する態度、音に対する敏感さ等の個人要因、住宅構造等の住宅要因等)が影響すると言われるため、これらについても合わせて調査を行うのが一般的である。しかし、質問票が長くなるとアンケートの回収率は低下し回答者の偏りが生じやすい。回収率は調査方法にも左右される。したがって、考慮すべき非音響要因を取捨選択し、回答しやすいアンケート質問票を作成する等、調査全体をデザインすることが重要である。

表-9 標準質問と5段階言語尺度及び11段階数値尺度の回答肢例(ICBEN Team6, 航空機騒音に関する不快感)

Q: 過去(12ヶ月くらい)を振り返って、あなたは自宅で航空機からの騒音でどの程度悩まされる、あるいは、じゃまされる、うるさいと感じていますか?										
1	2	3	4	5						
まったく...ない	それほど...ない	多少	だいぶ	非常に						
Q: 過去(12ヶ月くらい)を振り返って、あなたが航空機の騒音で悩まされたり、あるいは、じゃまされたり、うるさいと感じる程度を最もよく表すのは0から10までのどの数字でしょうか?										
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
まったく...ない										非常に

※太字の回答肢を選択した者が高度不快感反応(Highly Annoyed)を示したとみなされる。

## 3.2 曝露-反応関係導出根拠への考察

### (1) 高度不快感反応の導出根拠となった調査

システマティックレビューの対象となった研究については、ガイドラインとは異なる文献<sup>9)-10)</sup>にレビュー結果がまとめて報告されている。このうち曝露-反応関係導出の根拠となった12空港周辺での調査、6つの研究<sup>11)-16)</sup>についてその概要を表-10に示す。ひとつの研究で複数の調査について報告されているため、曝露-反応関係導出の根拠となった調査には有効回答数欄に○を付し、括弧内にその有効回答数が全体に占める割合を示す。

騒音曝露量の推計及び実測方法に着目すると、ベトナムで行われた調査以外では予測による推計結果を用いているが、その条件は年間の運航情報と繁忙期6か月間の運航情報に基づくものがあり、予測に用いるソフトウェアを含めて予測条件が統一されていない。さらに、騒音予測結果に大きな影響を与え得る飛行経路については明記されていない。実測と予測による曝露量の推計手法及び予測条件が統一されていないことによりどれだけ誤差が生じるかは不明であるが、曝露-反応関係導出に用いられている騒音曝露量にはこれらによる誤差が内包されていることに注意が必要である。

騒音曝露量の欄に着目すると、ガイドラインで勧告値とされた $L_{den}$  45dBは、実測により騒音曝露量を算出しているベトナムの3空港における騒音曝露量の範囲外であることがわかる。したがって、ガイドラインの勧告値は騒音予測結果のみに基づいていると言える。 $L_{den}$  45dBが予測されている9空港は全て欧州の大規模空港であり、この

規模の空港で $L_{den}$  45 dBを達成するための1機当たりの最大騒音レベル $L_{Amax}$ は約55 dBと試算される。(時間帯別の運航回数を滑走路本数によって区分される騒音曝露エリア数で除算して1機当たりの最大騒音レベルを試算した。)

$L_{Amax}$  55 dBとは、直進離陸を仮定した飛行経路直下の地区であれば空港から約40~50 km程度離れた地点で観測される騒音レベルである。これだけ遠方の地区を対象として社会調査を行うとは考えにくい。経路直下の地区ではなく空港側方や飛行経路側方の地域での調査結果ではないかと考えられる。航空機の運航は気象条件等により日々の曝露状況が変化することに加え、空港及び経路側方への騒音曝露は風向等に影響されやすいため、年平均の予測条件による予測結果でその実態をどれだけ捉えることができるかは疑問である。

さらに、日々の曝露状況が大きく変化する地区では、主たる環境騒音源(航空機騒音)とは別の環境騒音(例えば道路交通騒音)にも曝露されていないか、もし複数の環境騒音に曝露される場合は複数の環境騒音に曝露されることにより、不快感が増加する可能性がある。注意が必要である。

一方、航空機騒音に曝露されているのは大規模空港周辺のみではないので、大規模空港以外での調査結果も含める必要があるのではないだろうか。

次に、調査時期に着目すると、6つの調査が新滑走路の運用開始等の段階的な運航状況変化時や空港拡張計画の発表後に行われ、その回答者の割合は全体の約72%を占めている。騒音曝露状況が大きく変化する過剰に高い反応を示す傾向があること<sup>17-18)</sup>を考慮すると、変化前であっても空港拡張計画等騒音曝露状況が大きく変化する可能性について公表されていれば、その不安感から高い不快感反応を示す可能性は否定できない。

最後に、調査No.1~6はHYENA(Hypertension and Exposure to Noise near Airports) studyと呼ばれる限定された年齢層(45~70歳)への調査であり、その回答者の割合は全体の約28%を占める。中高年層は若年層に比べて高い不快感反応を示しやすいと言われているので、年齢の偏りによ

り不快感反応が高くなっている可能性がある。航空機騒音に曝露される人々の年齢構成や性別等を含めた非音響的要因について偏りが無い結果を根拠とすることが重要ではないだろうか。

### (3) 高度睡眠妨害の導出根拠となった調査

高度睡眠妨害の導出根拠についても高度不快感反応と同様の問題を抱えている。そこで、高度睡眠妨害のシステマティックレビュー結果<sup>19)</sup>から、曝露-反応関係導出の根拠となった6調査、7研究<sup>20-25)</sup>について、主な論点となる概要を表-11に示す。

ひとつの調査で、入眠妨害、覚醒、睡眠妨害について複数質問されているため、ガイドラインではこれらを平均した結果を用いている。しかし、異なる睡眠妨害に関して調査しているため、その結果を平均してひとつの結果に集約するのではなく、各睡眠妨害の曝露-反応関係を導出し、どの睡眠妨害に対して対策を行うか取捨選択できるように提示してもいいのではないだろうか。

高度睡眠妨害の導出根拠の内5調査がベトナムで行われた調査であり、その回答者の割合は全体の約65%を占めている。騒音曝露量は屋外の曝露量がそのまま使用されているが、ベトナムとドイツでは、屋外が同じ騒音曝露量であっても室内の騒音曝露状況は異なるのではないだろうか。具体的には、外気温やエアコンの普及率が異なることで日常的に窓を開けた状態で就寝するかどうか、一般的な建築構造や窓(2重窓か、木枠・金属枠等)が異なることにより室内外レベル差は変わると考えられるがこれらは特に考慮されていない。

発展途上国であるベトナムの主要空港と、欧州の主要空港であるフランクフルト空港では、その離発着機数は大きく異なる。離発着機数が異なれば、同じ $L_{night}$ でもその強度( $L_{Amax}$ )と頻度が大きく異なる。例えば、運航機数が5分の1であれば $L_{Amax}$ は7 dB大きくても $L_{night}$ は同じ数値となる。END付属書Iでは $L_{Amax}$ は補助的な騒音指標と位置付けられ、「覚醒等の特定の健康影響に関する研究や騒音規制で考慮されることがある。」とされているが、ガイドラインでは特に考慮されていない。

表-10 航空機騒音の高度不快感反応に関する曝露-反応関係導出の根拠となった研究の概要

No	空港	調査年	著者/年	予測/実測	予測手法/実測手法及びアンケート調査手法	騒音曝露量	アンケート調査手法	有効回答数	回収率	年齢構成	男女比	備考
1	ヒースロー空港 (イギリス)			予測 (Ancon)	予測手法は、住戸のフアサード(最も曝露される面)にマイクロホンを設置して、2002年と2003年の年間騒音レベルを測定した。予測 (騒音予測)を行った年と2002年と2003年の騒音レベルを比較した。予測 (騒音予測)を行った年と2002年と2003年の騒音レベルを比較した。	$L_{den}$ 45-49.9dB 50-54.9dB 55-59.9dB 60-64.9dB 65-69.9dB	面談法	○ 600 (4%) ○ 972 (6%) ○ 898 (5%)	30%以上 30%以上 46%	45歳~70歳 ※年齢構成は不明	男: 49.3% 女: 50.7% (2467)	2003年に第3滑走路運用開始 (2404) 2001年3月開港 (旧空港から移転) 2005年8月に空港周辺で機体事故 1998年に空港拡張 その後も拡張計画の議論が続く
2	チューガル空港 (ドイツ)	2003	Babisch et al. 2009 <sup>10)</sup>	予測 (INM)	予測点は、不明。 ・ 2001年11月まで世界の運航実績に基づき予測 (2001年11月まで世界の運航実績が減少していたため) ・ 2003年は年間の運航実績に基づき予測 ・ 各住戸の住所とGISを用いて紐づけ ・ 予測のクリットサイズは250m×250m ・ 5年以上居住している住戸を対象に、住民票、騒音コンタクトの予測結果から層別にランダム抽出	$L_{den}$ 30dB 35dB 40dB 45dB 50dB 55dB 60dB 65dB 70dB 75dB に分類	面談法	○ 1816 (11%)	54% (自治体別: 32~90%)	15歳~98歳 平均: 43.37歳 20歳以下: 4% 20-40歳: 33% 40-60歳: 41% 60歳以上: 22%	男: 49.6% 女: 50.4%	2001年と2003年の間に段階的な運用の変更が行われている。 (夕方遅くや早朝の運用が変更されている)
3	アムステルダム空港 (オランダ)	2003	Brink et al. 2008 <sup>13)</sup>	予測 (FLURAL)	・ 各調査地区(住宅を測定し、屋上1.5m点で測定、マイクロホンを設置して、年間連続測定、航空機騒音予測を特定し、騒音量を推計、推計された騒音量を各調査地区の代表値とする、飛行経路直下地区を対象とし、各地区100件調査、ノイバイ、9地区、ランソニヤット: 10地区)	2001年: 35~70dB 2003年: 29~68dB	電話法 (追加調査)	1209 510	36% (自治体別: 20~50%) 不明	18歳~95歳 平均: 50.89歳 20歳以下: 1% 20-40歳: 28% 40-60歳: 41% 60歳以上: 30%	男: 42.2% 女: 57.8%	道路交通騒音との複合騒音調査も行われているが、航空機騒音による結果のみ記載している。
4	ノイバイ国際空港 (ベトナム)	2009	T.L.Nguyen et al. 2011 <sup>19)</sup>	実測	・ 各調査地区(住宅を測定し、屋上1.5m点で測定、マイクロホンを設置して、年間連続測定、航空機騒音予測を特定し、騒音量を推計、推計された騒音量を各調査地区の代表値とする、飛行経路直下地区を対象とし、各地区100件調査、ノイバイ、9地区、ランソニヤット: 10地区)	$L_{den}$ 48~61dB $L_{den}$ 53~71dB	訪問面接	○ 824 (5%) ○ 880 (5%)	84% 87%	20-39歳: 47% 40-59歳: 41% 60歳以上: 12% 20-39歳: 55% 40-59歳: 34% 60歳以上: 11%	男: 46% 女: 54% 男: 47% 女: 53%	道路交通騒音との複合騒音調査も行われているが、航空機騒音による結果のみ記載している。
5	タンソンニャット国際空港 (ベトナム)	2008	T.L.Nguyen et al. 2012 <sup>14)</sup>	実測	・ 実測手法及びアンケート調査手法はノイバイ国際空港及びタンソンニャット国際空港と同じ ・ 調査対象地区は、飛行経路直下6地区	$L_{den}$ 52~64dB	訪問面接	○ 528 (3%)	84%	20-39歳: 48% 40-59歳: 39% 60歳以上: 13%	男: 47% 女: 53%	
6	アムステルダム空港 (オランダ)	2002	Breugelmans et al. 2004 <sup>15)</sup>	予測/実測	・ 空港から半径40km圏内の66エリア ・ 2005年の最も忙しい6か月間の運航に基づき予測 ・ 対象住宅は各エリア内で層別にランダム抽出	$L_{den}$ 33~72dB	面談法	○ 5873 (34%)	46.10%	18歳以上 ※年齢構成は不明	男: 52.7% 女: 43.3%	2003年に第6滑走路運用開始 空港拡張計画発表後 (1998~2000年に議論された計画が承認された)
7	フランクフルト空港 (ドイツ)	2005	Schreckenbergs, Meis 2007 <sup>16)</sup>	予測 (AZB)	・ 空港から半径40km圏内の66エリア ・ 2005年の最も忙しい6か月間の運航に基づき予測 ・ 対象住宅は各エリア内で層別にランダム抽出	$L_{den}$ 41~62dB (平均: 52dB)	面談法	○ 2312 (14%)	61%	17歳~93歳 平均: 53歳 ※年齢構成は不明	男: 52.7% 女: 43.3%	

※ひとつの研究で複数の調査報告がされているため、曝露-反応関係導出の根拠となった調査には、有効回答数の欄「○」を付し、括弧内にその構成比率を示す。

表-11 航空機騒音の高度睡眠妨害に関する曝露-反応関係導出の根拠となった研究の概要

No	空港	調査年	著者/年	予測/実測	予測手法/実測手法	騒音曝露量			各設問への回答数			備考
						有効回答数	入眠妨害	覚醒	睡眠妨害	有効回答数	入眠妨害	
1	ノイバイ国際空港 (ベトナム)	2014	Nguyen et al. (2015) <sup>20)</sup>	実測	・ 各調査地区(住宅を測定し、屋上1.5m点で測定、マイクロホンを設置して、年間連続測定、航空機騒音予測を特定し、騒音量を推計、推計された騒音量を各調査地区の代表値とする)	$L_{night}$ 45~58dB (参照地区: 36dB) $L_{night}$ 46~58dB (参照地区: 38dB) $L_{night}$ 40~55dB	1121 (17%) 890 (14%) 528 (8%)	1095 (9%) 780 (6%) 512 (4%)	1093 (9%) 776 (6%) 511 (4%)	新ターミナル運用開始前 新ターミナル運用開始直後		
2	ノイバイ国際空港 (ベトナム)	2015	Yano et al. (2015) <sup>21)</sup>	実測	・ 各調査地区(住宅を測定し、屋上1.5m点で測定、マイクロホンを設置して、年間連続測定、航空機騒音予測を特定し、騒音量を推計、推計された騒音量を各調査地区の代表値とする)	$L_{night}$ 40~54dB	824 (13%)	805 (6%)	804 (6%)	道路交通騒音との複合騒音調査も行われているが、航空機騒音による調査結果のみ記載している。		
3	タンソンニャット国際空港 (ベトナム)	2009	Nguyen et al. (2011) <sup>24)</sup>	実測	・ 各調査地区(住宅を測定し、屋上1.5m点で測定、マイクロホンを設置して、年間連続測定、航空機騒音予測を特定し、騒音量を推計、推計された騒音量を各調査地区の代表値とする)	$L_{night}$ 45~62dB $L_{dBN}$ ~22dB	880 (13%) 2312 (35%)	868 (7%) 2308 (18%)	870 (7%) 2309 (18%)	空港拡張計画発表後		

※有効回答数はアンケート調査全体を通しての回答数を示す。また、有効回答数及び各設問への回答数の括弧内にはその構成比率を示す。

以上より、ガイドラインの曝露-反応関係導出根拠には様々な不確かさが内包されており、そのまま騒音施策に展開するのではなく、日本国内延いては空港ごとの状況に応じた調査・研究結果に基づいて検討を行う必要があるのではないだろうか。

#### 4. 日本での騒音施策展開における課題

日本国内で行われた社会調査結果から得た交通騒音に対する曝露-反応関係とガイドラインについて比較・検討を行うことで、騒音施策展開における課題について考察する。

##### 4.1 日本における交通騒音に対する社会調査

日本騒音制御工学会の社会音響調査データアーカイブ(SASDA)にはアジア諸国で行われた交通騒音に対する社会調査の結果が寄贈・集積されている。横島ら<sup>26)</sup>はSASDAに集積されたデータセットに近年の調査結果を加え、日本の各交通騒音の高度不快感に関する曝露-反応関係を導出した。(データセットとは各個人のアンケート回答と騒音曝露量が個人情報の特記不能なフォーマットで対応付けられ調査単位でまとめられたデータであり、ガイドラインでのシステマティックレビューにおける対象研究数に当たるものである。)

SASDAに集積されている社会調査では、睡眠妨害に関するアンケート調査の結果も集積されているが、調査手法(アンケートの設問及び回答)が統一されていない、そもそも夜間運航がない等で導出が難しいため、高度不快感反応(カットオフ値：上位28%)についてのみ比較・検討を行う。

##### 4.2 各交通騒音に対する高度不快感反応

交通騒音別の曝露-反応関係導出に用いたデータセット数とデータ数を表-12に示す。合わせてガイドラインの対象研究数と参加者数を示す。

表-12 高度不快感に関する曝露-反応関係導出に用いたデータセット数とデータ数

騒音源	日本の社会調査結果		WHO-EU 環境騒音ガイドライン	
	データセット数	データ数	対象研究数	対象参加者数
航空機	3	998	12	17,094
道路交通	9	4,805	25	34,112
在来鉄道	10	7,626	10	10,970

これより、日本の社会調査結果はガイドラインに比べると限られたデータに基づいていることが分かる。特に、航空機騒音が顕著である。曝露-反応関係導出に用いるデータ数が少ないと非音響的要因等の様々な影響を受けやすくその確かさの検討が必要である。

そこで、日本の社会調査結果には95%信頼区間(95%CI)を併記することとし、まずは比較的多くのデータに基づいた結果である在来鉄道騒音についてガイドラインと比較を行い、それを踏まえて限られたデータに基づいた結果である航空機騒音に対する社会調査結果について考察する。

##### (1) 在来鉄道騒音に対する曝露-反応関係の比較

日本の社会調査に基づく在来鉄道騒音に対する曝露-反応関係及びガイドラインで示された曝露-反応関係を示す。(図-1)

日本の曝露-反応関係から%HAが10%を示す時の $L_{den}$ は53.4dBであり、ガイドラインの勧告値( $L_{den}$ 54dB)とほぼ一致する。このとき95%CIの上限及び下限の範囲は49.6~57.2dBである。

日本とガイドライン(WHO full dataset)の曝露-反応関係は $L_{den}$ 54dB程度(%HA=10.3%)まで同様の反応を示しているが、騒音曝露量が増加するにつれて日本の方が高い反応を示すという傾向が見られる。

以上より、ガイドラインと同様の手法・目的で在来鉄道騒音に対して騒音施策を展開するのであれば、そのまま日本でも適応できる可能性があることが示唆された。但し、%HAが10%を示すとき95%CIは約7.6dBの幅があること、その根拠となった曝露-反応関係もガイドラインと日本の調査結果では%HAが10%を超える範囲では異なる傾向を示していることについては、日本の独自の知見に基づいて検討が必要ではないだろうか。

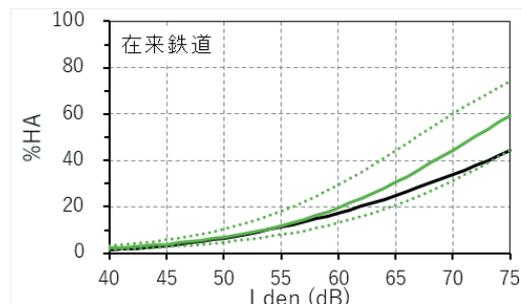


図-1 在来鉄道騒音に対する曝露-反応関係の比較

## (2) 航空機騒音に対する曝露-反応関係の比較

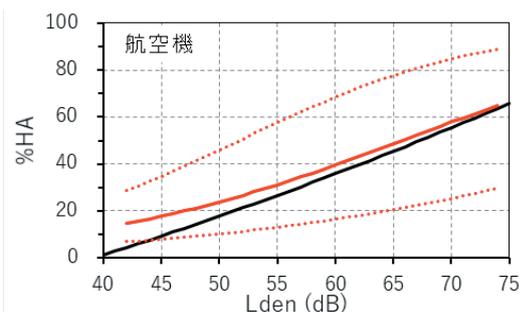
日本の社会調査結果に基づいた航空機騒音に対する曝露-反応関係及びガイドラインで示された曝露-反応関係を示す。(図-2)

日本の航空機騒音に対する曝露-反応関係は在来鉄道騒音に比べて95%CIがかなり幅広いため、基となる社会調査データが不足していると考えられるが、一定の考察は行える。

日本の曝露-反応関係では、最も騒音曝露レベルの低い $L_{den}$  42dBでも%HA14.8%であり、ガイドライン策定の基準とした変化(量)である%HA10%の時の騒音曝露量は算出できない。ガイドラインの睡眠妨害の導出方法に倣えば $L_{den}$  42dBがガイドライン曝露レベルとして適応されることとなる。

今回導出根拠としたのは、1995年から2006年に行われた、大阪国際空港、羽田空港、福岡空港、仙台空港、調布飛行場、熊本空港の計6空港周辺の社会調査結果である。いずれも実測により曝露量を算出している。大阪国際空港のみ常時監視局の測定結果を用いているが、他の空港は短期測定の結果を用いている。このうち $L_{den}$  42dBの地域を調査対象としているのは熊本空港周辺の調査結果のみである。

また、これらは14~25年前の調査結果であり、当時と現在では就航している機材のも異なるため、同じ曝露量であっても、その曝露状況は異なるかもしれない。つまり、新機材導入が進み1機当たりの $L_{Amax}$  が小さくなった代わりに、航空需要の拡大により曝露される回数・頻度が多くなっている可能性がある。一方で、住民の騒音に対する関心は高くなっており、許容される騒音レベルは低下しているかもしれないが、今回のデータではその検証はできない。



※赤:日本の社会調査結果(破線は95%CI)黒:WHO full dataset

図-2 航空機騒音に対する曝露-反応関係の比較

## 5. まとめ

WHO-EU環境騒音ガイドラインには、「環境騒音から人々の健康を保護する」ことを目的にした勧告値とその策定方法が示されている。本稿ではこのガイドラインについて概説し、日本の社会調査結果から騒音施策展開における課題について考察した。

その結果、ガイドラインで示されている勧告値には様々な要因による誤差が含まれており、そのまま日本の騒音施策とすることは難しいと考えられる。そこで、日本の航空機騒音に対する社会調査結果から高度不快感に関する曝露-反応関係を導出しガイドラインで示された結果と比較を行ったが、その根拠となる日本の社会調査はガイドラインと比べると限られた数しか行われておらず、これだけでは日本の科学的知見の根拠としては不足しているのが現状である。したがって、まずは、日本国内の出来るだけ多くの空港において社会調査を実施し、その科学的知見を蓄積することが大きな課題であると言えるだろう。

また、当時は夜間運航が殆ど行われていなかったこともあり、SASDAに寄贈・集積されている日本の社会調査結果では、睡眠妨害に関するガイドライン勧告値とは比較も行えないのが現状である。しかし、現在は夜間運航が行われている空港もあり、今後もその数は増えていく可能性がある。睡眠妨害は、生活スタイル(就寝時間や起床時間等)の影響を受けやすいため、日本と欧州では不快感反応よりも大きく異なる可能性があるため、ガイドラインで示された結果に対して慎重に検討を行う必要がある。日本では統一された夜間騒音対策は行われておらず、空港ごとに対策が行われているが、その根幹である科学的知見については空港ごとに行われた調査を集積・分析して日本独自の知見として纏めたいと一定の見解を示し、その見解に対して空港ごとの状況を鑑みて騒音施策が展開されることが好ましいのではないだろうか。

現在、日本では空港民営化が進んでおり空港運営の形態は変わってきている。これは空港ごとに適切な対策が見直される契機となり得るのではないだろうか。

参考文献

- 1) WHO Regional Office for Europe, Environmental noise guidelines for the European region (2018)
- 2) WHO, Guidelines for community noise, Geneva: World Health Organization (1999)
- 3) WHO Regional Office for Europe, Night noise guidelines for Europe, Copenhagen: WHO Regional Office for Europe (2009)
- 4) EC, Directive 2002/49/EC of the European Parliament and of the Council of 25 June 2002 relating to the assessment and management of environmental noise (2002)
- 5) Schultz, T. J. "Synthesis of social surveys on noise annoyance," J. Acoust. Soc. Am. 64(2), 377-405, 1978
- 6) Miedema H. M. E. and Vos H. "Exposure-response relationships for transportation noise," J. Acoust. Soc. Am. 104, 3432-3445, 1998
- 7) Fields JM et al., Standardized general-purpose noise reaction questions for community noise surveys: Research and a recommendation, J Sound Vib., 242(4), 641-179, 2001
- 8) ISO/TS 15666:2003 Acoustics - Assessment of noise annoyance by means of social and socio-acoustic surveys.
- 9) R.Guski et al., WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A Systematic Review on Environmental Noise and Annoyance, Int. J. Environ. Res. Public Health, 14(12),1539, 2017
- 10) T.Gjestland, A Systematic Review of the Basis for WHO' s New Recommendation for Limiting Aircraft Noise Annoyance, Int. J. Environ. Res. Public Health, 15, 2717, 2018
- 11) Babisch et al., Annoyance due to aircraft noise has increased over the years—Results of the HYENA study. Environ. Int., 35, 1169-1176. 2009
- 12) Brink.M et al., yance response to stable and changing aircraft noise exposure. J. Acoust. Soc. Am., 130, 791-806. 2011
- 13) Nguyen.T.L et al., Comparison of models to predict annoyance from combined noise in Ho Chi Minh City and Hanoi. Appl. Acoust, 73,952-959.2012
- 14) Nguyen.T.L et al., Aircraft and road traffic noise annoyance in Da Nang City, Vietnam. Internoise2012, 2023-3014, 2012
- 15) Breugelmans.O.R.P. et al., Tussenrapportage Monitoring Gezondheidskundige Evaluatie Schiphol, Report 630100001, Rijksinstituut voor Volksgezondheit en Milieu, Amsterdam, The Netherlands, 2005.
- 16) Schreckenber and Meis, Noise annoyance around an international airport planned to be extended, Internoise2007, 3351-3360, 2007
- 17) Nguyen.T.L et al., Does the community response to noise change? A follow-up investigation on the impact of aircraft noise around Tan Son Nhat Airport after 11 years, Internoise2020, 730, 2020
- 18) Nguyen.T.L et al., Community response to a step change in the aircraft noise exposure around Hanoi Noi Bai International Airport, The Journal of the Acoustical Society of America 143, 2901 (2018); doi: 10.1121/1.5037567, 2018
- 19) M.Basner and S.McGuire, WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A Systematic Review on Environmental Noise and Effects on Sleep, Int. J. Environ. Res. Public Health, 15(3), 519, 2017
- 20) Nguyen.T.L et al., Social surveys around Noi Bai Airport before and after the opening of a new terminal building. In Proceedings of the 44th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering, InterNoise, 2015
- 21) Yano, T. et al., Community response to a step change in aircraft noise exposure: The first socio-acoustic survey around Noi Bai Airport in Hanoi. In Proceedings of the International Congress on Sound and Vibration (22ICSV), 2015
- 22) Nguyen.T.L et al., Aircraft and road traffic noise annoyance in Da Nang City, Vietnam. In Proceedings of the 41th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering, InterNoise, 2012
- 23) Nguyen.T.L et al., Community response to aircraft and combined noises in Hanoi. In Proceedings of the 39th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering, InterNoise, 2010
- 24) Nguyen.T.L et al., Social survey on community response to aircraft noise in Ho Chi Minh city. In Proceedings of the 38th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering, InterNoise, 2009
- 25) Schreckenber et al., Aircraft noise and health of residents living in the vicinity of Frankfurt airport. In Proceedings of the Euronoise, 2009
- 26) 横島ら、交通騒音の曝露 - 反応関係に基づく基準値導出に関する基礎的検討、日本音響学会講演論文集 (2019年9月) pp417-420

## 研究報告

## 航空機の二酸化炭素排出量推計の空港間比較\*

橋本 弘樹(航空環境研究センター 主任研究員)

ICAO(International Civil Aviation Organization: 国際民間航空機関)では、2010年の第37回総会で①燃料効率を2050年まで毎年2%ずつ改善すること、②2020年以降はCO<sub>2</sub>の総排出量を増加させない(CNG2020: Carbon Neutral Growth 2020)ことをグローバルなCO<sub>2</sub>削減目標として採択した。

この目標を達成するためには、一つの方策では不十分であり、複数の方策を組み合わせることで総合的に実施していくことになった。その方策は、①新技術の導入(新型機材等)、②運航方式の改善、③バイオ燃料の導入、④経済的手法の活用(排出権取引)である。

また、機体及びエンジンメーカーは、これまでも燃料効率の良い航空機を開発するために努力を重ねてきているが、2016年の第39回総会で航空機の技術的な効率化を促進するためにCO<sub>2</sub>の排出基準が決められた。

航空関連のCO<sub>2</sub>は航空機以外にも空港内の地上支援機材(GSE: Ground Support Equipment)や空港施設等からも排出されているが、本報告では、時刻表やインターネット等で収集した運航情報を基に国内外の空港における航空機主エンジンからのCO<sub>2</sub>排出量を推計した。

まず、航空機の機種別の1機当たりのCO<sub>2</sub>排出量を比較するとともに、機体サイズで標準化するために最大離陸重量(MTOW)1t当たりのCO<sub>2</sub>排出量を求め比較した。次に、国内空港の長期間にわたるCO<sub>2</sub>排出量の推移とその変動要因を探った。

また、海外の主要な空港の近年のCO<sub>2</sub>排出量を推計し、国内空港の状況と比較を行うとともに、1機当たりのCO<sub>2</sub>排出量を機種別に空港間で比較を行い空港の特性の検討を行った。

1. 機種別CO<sub>2</sub>排出量1.1 機種別CO<sub>2</sub>排出量の算出方法

航空機から排出される大気汚染物質は、空港近くで地上への影響が大きいと考えられることから、高度3000ft(915m)以下に発生した航空機排出物の量を推計して影響を評価する手法がある。ICAOでは、空港離着陸に関する航空機の運航モードを図1に示すLTO(Landing and Take-off)サイクルと呼び、表1に示す運航モードごとに時間設定とエンジン推力設定を決めている。また、航空機エンジン種別ごとの運航モードに応じた単位時間当たりの燃料流量がICAOエミッションデータバンク<sup>1)</sup>にまとめられている。但し、ターボプロップ機のエンジンはICAOで規制していない小型エンジンのためICAOエミッションデータバンクに排出データが記載されていない。このため、ターボプロップ機の排出量は、RJ機で排出量が一番少ない機種を適用した。

航空機1機当たりのCO<sub>2</sub>排出量は、航空機に装着されているエンジン種別を特定し、その排出原単位とエンジン基数を合わせることで求めることができる。同じ機種でも異なるエンジン種別を装着できる航空機があるが、本稿では、航空機種別は特定できたが装着しているエンジン種別までは特定できなかったことから、当該航空機機種に装着可能なエンジンの単位時間当たりの燃料流量を平均して用いて算出した。空港全体からの

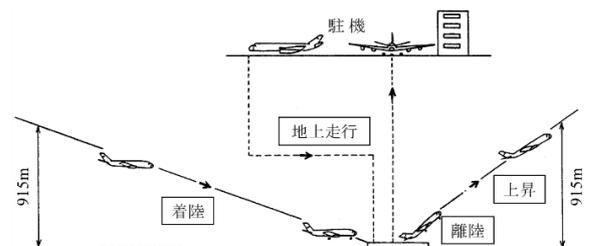


図1 LTOサイクル

\* Comparison between airports of estimated CO<sub>2</sub> emissions from aircraft

航空機のCO<sub>2</sub>排出量は、機種別CO<sub>2</sub>排出量と空港の機種別LTOサイクル回数(離着陸回数の半分:以下運航回数とする)を掛け合わせることで推計できる。

### 1.2 機種別CO<sub>2</sub>排出量の比較

図2に推計した機種別の1LTOサイクル当たりのCO<sub>2</sub>排出量(上図)及びMTOW1t当たりのCO<sub>2</sub>排出量(下図)を示した。MTOWを基準として機体サイズを超大型機(360t以上)、大型機(200~360t)、中型機(100~200t)、小型機(60~100t)及びリージョナルジェット機(RJ機)(60t以下)に分けて示した。さらにそれぞれの機体サイズごとに就航年が古い順から並べた。

この結果を見ると機体サイズが大きいほど1LTOサイクル当たりのCO<sub>2</sub>排出量が多いことが分かる。また、航空機の大きさを基準化するために示したMTOW1t当たりのCO<sub>2</sub>排出量を見ると、近年就航した航空機は同じ機体サイズ同士で見比べると1LTOサイクル当たりのCO<sub>2</sub>排出量は少なく燃費が良いことが分かった。特に新し

表1 ICAOにおけるLTOサイクル時間(分)とエンジン推力設定

運航モード	時間(分)	エンジン推力設定
離陸	0.7	100%
上昇	2.2	85%
着陸	4	30%
地上走行	26	7%

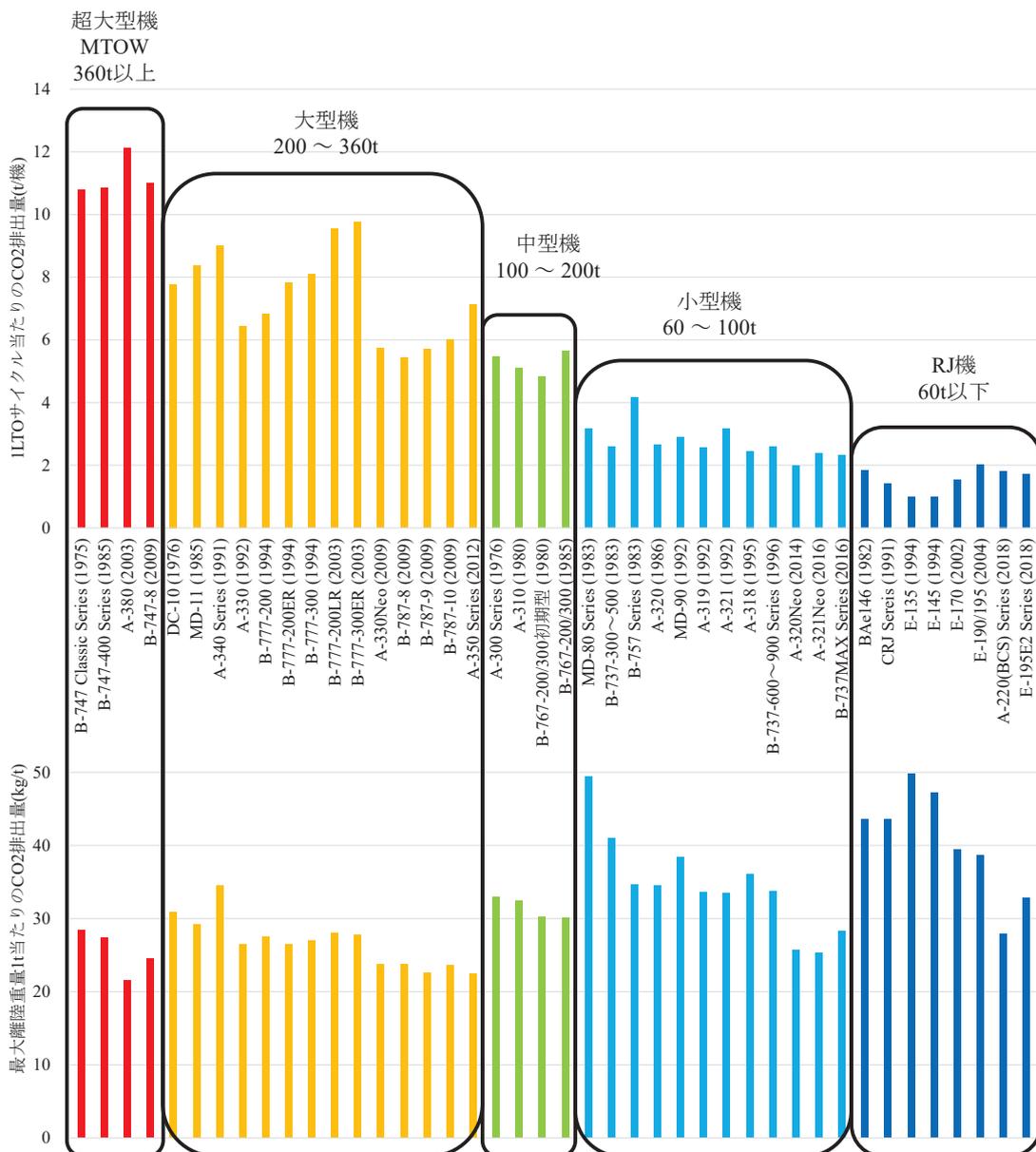


図2 LTOサイクル当たり及びMTOW1t当たりの機種別CO<sub>2</sub>排出量

く開発されたエンジンを搭載したエアバス社のA320/321/330neoシリーズやA350シリーズ及びボーイング社のB737MAXやB787シリーズは、同じ機体サイズの中で他の機種に比べてCO<sub>2</sub>排出量が少ないことが分かる。CO<sub>2</sub>排出量が少ないということは燃料消費量が少ないことを意味するため、航空会社からの要求もありエンジンメーカーは燃料消費量ができるだけ少ない燃費の良いエンジンを開発してきている。

## 2. 国内空港における長期間にわたるCO<sub>2</sub>排出量の推移と要因分析

### 2.1 運航状況

当センターでは、航空機の騒音暴露量の経年的な変化を調査するため、日本国内の主要な空港の国内定期便の機種別・運航回数を4月1日の時刻表ダイヤを読み取って分析対象とした。また、成田空港は年度ごとの機種別・運航回数を「成田国際空港航空機騒音測定結果(年報)」<sup>2)</sup>から取得して機種別の日平均運航回数を求めた。時刻表ダイヤから国内定期便の運航情報を取得した空港は、8空港(羽田空港、新千歳空港、伊丹空港、福岡空港、那覇空港、鹿児島空港、仙台空港、熊本空港)である。成田空港以外は国内定期便のみの運航情報であることに留意する必要がある。

1997年度～2019年度までの1日当たりの着陸回数の経年変化を図3に示す。空港の規模により運航回数に大きな差がみられていることが分かる。ずっと横ばい傾向にある鹿児島空港を除き2002年度以降は増加傾向にあったが、近年は横ばい傾向で推移している。

### 2.2 CO<sub>2</sub>排出量の推計結果

国内空港9空港(羽田空港、成田空港、新千歳空港、伊丹空港、福岡空港、那覇空港、鹿児島空港、仙台空港、熊本空港)の機種別・運航回数から1.1項の方法により1日当たりのCO<sub>2</sub>排出量を推計した結果を図4に示す。当然のことであるが運航回数の多寡により1日当たりのCO<sub>2</sub>排出量が左右されていることが分かる。このため運航回数に左右されないように1機当たりのCO<sub>2</sub>排出量を算出し

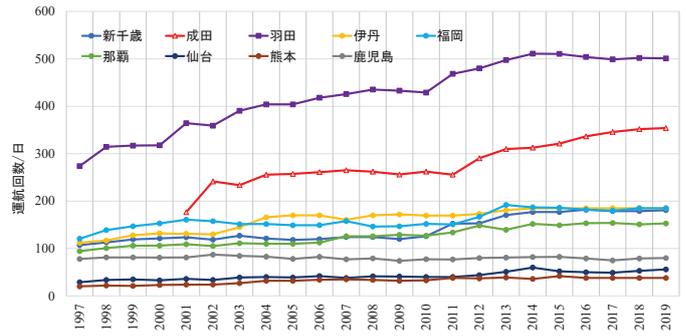


図3 運航回数の年次変化

た結果を図5に示す。1機当たりのCO<sub>2</sub>排出量も空港により異なることが分かる。これは、空港ごとに機種構成が異なり、成田空港や羽田空港のように比較的機体サイズの大きな機種の運航が多い空港では1機当たりのCO<sub>2</sub>排出量が多く、小型機やRJ機、ターボプロップ機が中心となる仙台空港や鹿児島空港では少ない傾向がある。

鹿児島空港では基準年の平成14年度～平成21年度までは横ばい、そこから平成24年度まで減少傾向でその後は再び横ばい傾向を示している。

那覇空港では平成18年まで増加傾向、その後平

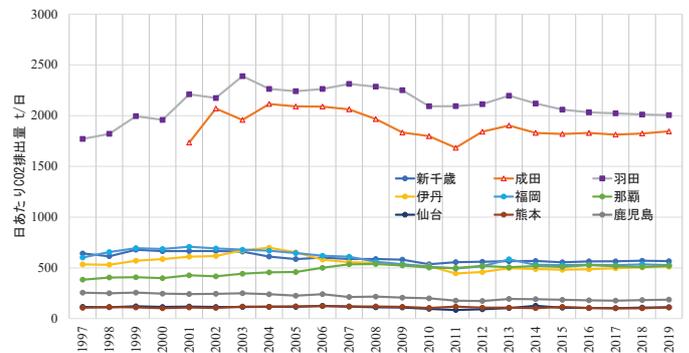


図4 1日当たりのCO<sub>2</sub>排出量の年次変化

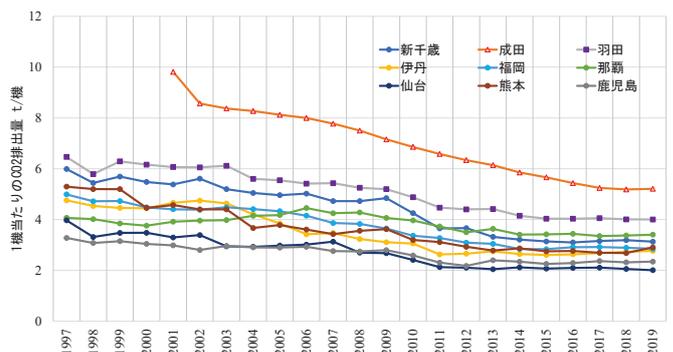


図5 1機当たりのCO<sub>2</sub>排出量の年次変化

成26年度まで減少傾向でその後横ばい傾向を示している。

その他の空港は、平成26年度までは減少傾向でその後横ばい傾向を示している。

### 2.3 国内空港CO<sub>2</sub>排出量の変動要因分析

空港によって1日当たり及び1機当たりのCO<sub>2</sub>排出量の推移が異なることから、その要因を検討するため図6～図8に運航回数や1機当たりのCO<sub>2</sub>排出量の年次変化に特徴が見られた鹿児島空港、那覇空港及び羽田空港の運航回数と1日当たり及び1機当たりのCO<sub>2</sub>排出量の推移を機種別に色分けして示す。

図6に鹿児島空港の運航回数と1日当たり及び1機当たりのCO<sub>2</sub>排出量の推移を示す。1日当た

りのCO<sub>2</sub>排出量は、1997年から2002年にかけてやや減少している。その後2009年までは横ばい傾向で推移し、2012年まで減少傾向を示し、近年は横ばい傾向を示している。この変動傾向は、1機当たりのCO<sub>2</sub>排出量の変動と同じ傾向を示している。これは、鹿児島空港の運航回数が1997年以降横ばい傾向にあるためである。

1機当たりのCO<sub>2</sub>排出量の変動要因を分析すると1997年から2002年までの減少傾向は、B747の運航が少なくなった結果である。2002年から2009年までの横ばい傾向は、機種構成に大きな変化がみられないためである。2009年から2012年までの減少傾向は、MD80の退役に伴い1機当たりのCO<sub>2</sub>排出量が少ないB738の運航回数の増加が寄

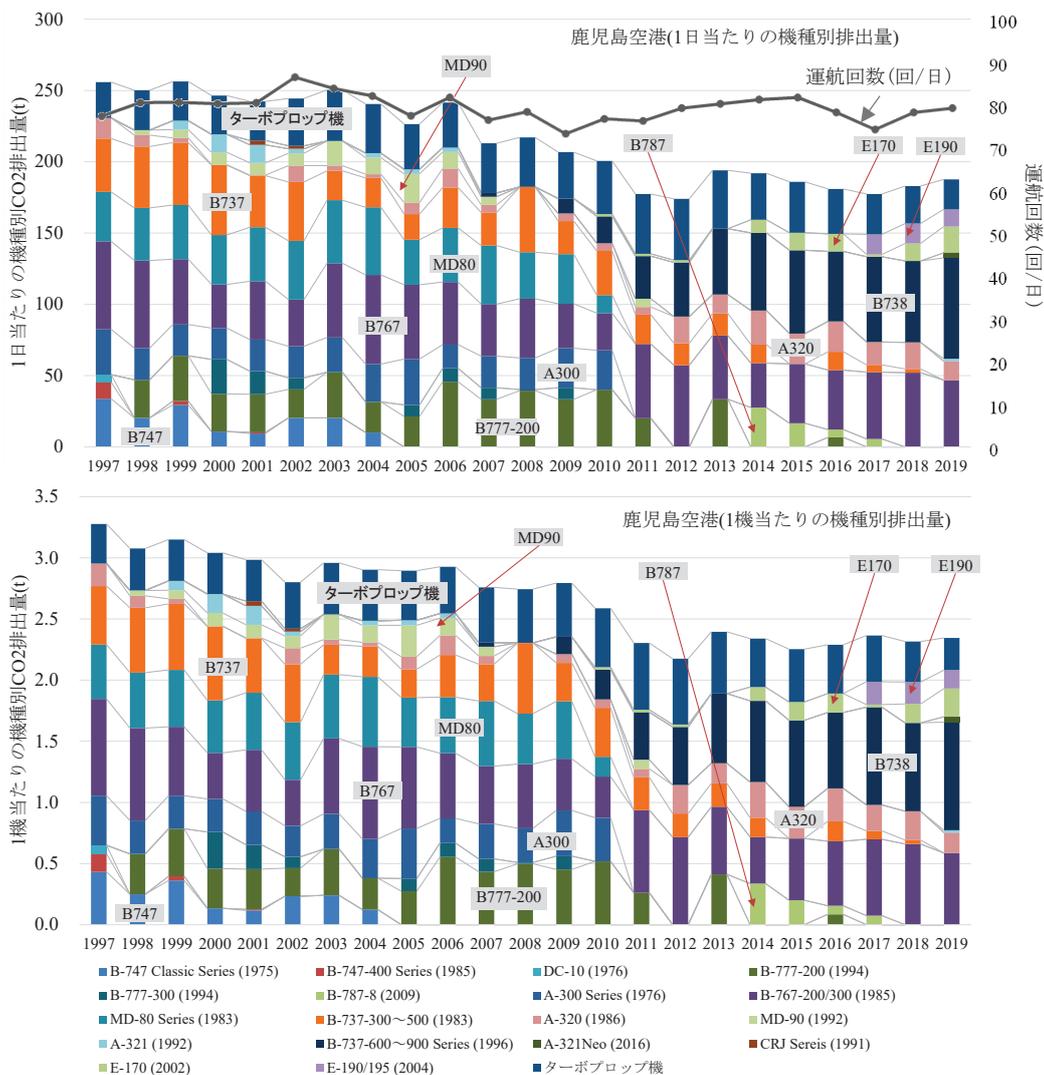


図6 鹿児島空港の1日当たり及び1機当たりの機種別CO<sub>2</sub>排出量の推移

与している。その後横ばい傾向で推移している。

図7に那覇空港の運航回数と1日当たり及び1機当たりのCO<sub>2</sub>排出量の推移を示す。1日当たりのCO<sub>2</sub>排出量は、1997年から2007年までは増加傾向にあったが、その後はほぼ横ばい傾向にあった。この変動要因は、B744の運航回数の増加が寄与している。その後も運航回数が増加しているが1機当たりのCO<sub>2</sub>排出量が減少しているため横ばい傾向を示している。

1機当たりのCO<sub>2</sub>排出量の変動要因を分析すると1997年から2000年までの減少傾向は、ジャンボジェット機(B747,B744)の減少が寄与している。2000年から2006年までジャンボジェット機の運航回数の増加が大きく寄与している。2006年

から2014年までの減少傾向もジャンボジェット機の運航回数の減少が寄与している。近年の横ばい傾向の要因はB737-300~500 (B737)がB737-600~900 (B738)に置き換わっているものの両機の1機当たりのCO<sub>2</sub>排出量はほぼ同程度のためである。

図8に羽田空港の運航回数と1日当たり及び1機当たりのCO<sub>2</sub>排出量の推移を示す。1日当たりのCO<sub>2</sub>排出量は、1997年から2003年まで増加傾向にあったが、これは運航回数の増加によるものである。その後2012年ごろまで運航回数は増加していたが、1機当たりのCO<sub>2</sub>排出量の減少により横ばいからやや減少していた。近年は運航回数も横ばい傾向で1機当たりのCO<sub>2</sub>排出量も横ばい傾

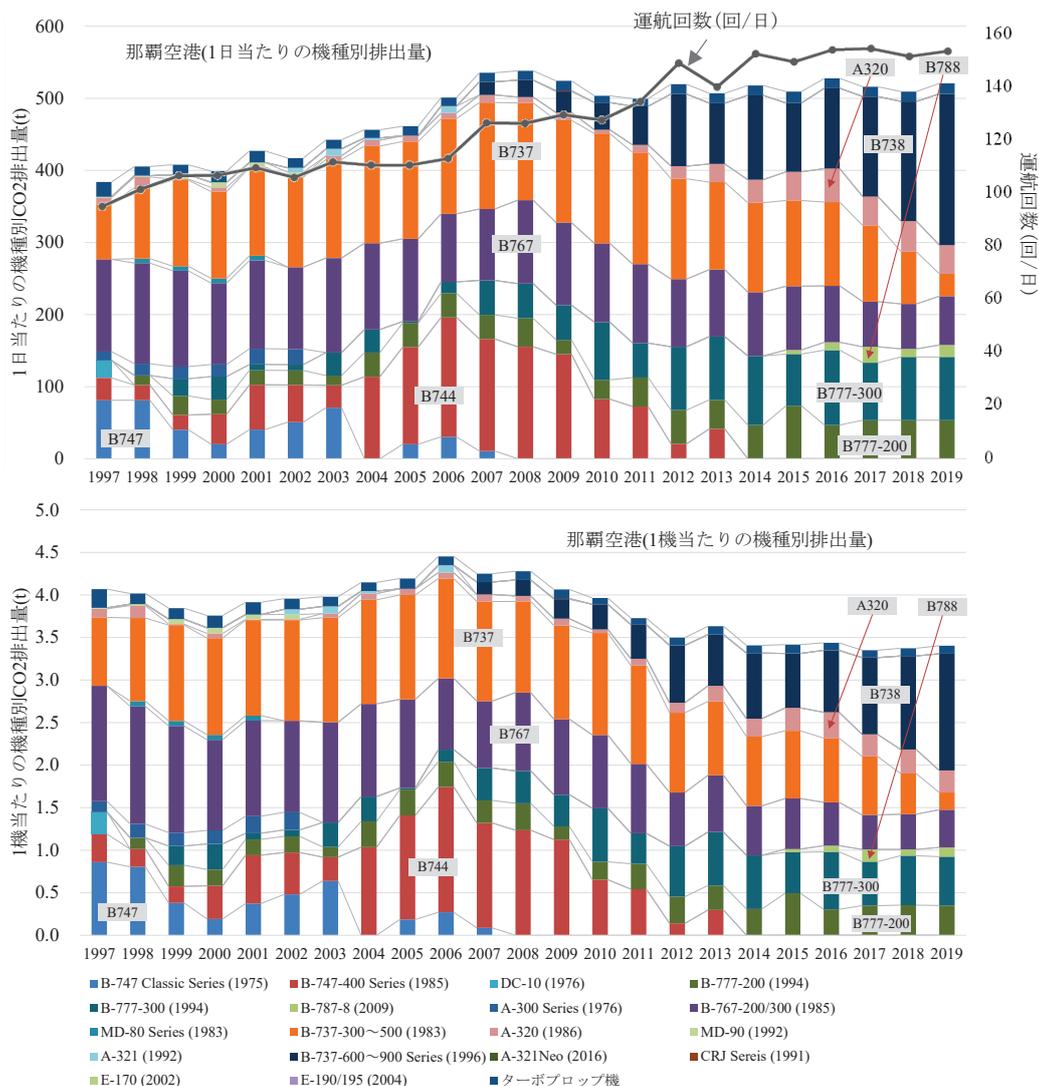


図7 那覇空港の1日当たり及び1機当たりの機種別CO<sub>2</sub>排出量の推移

向のため1日当たりのCO<sub>2</sub>排出量も横ばい傾向となっている。

1機当たりのCO<sub>2</sub>排出量の変動要因を分析すると1997年から2003年までの横ばい傾向は、ジャンボジェット機の運航が少なくなっている一方で、B777-200,300の運航が増加しているためである。2003年から2013年までの減少傾向は、ジャンボジェット機の運航回数の減少が寄与している。近年は機種構成に大きな変化がみられないため横ばい傾向を示している。

このように、1日当たり及び1機当たりのCO<sub>2</sub>排出量の長期間の変動は空港ごとにその要因が異なることが分かった。

### 3. 海外空港を含めたCO<sub>2</sub>排出量の比較

#### 3.1 運航状況

国内の空港では、すべての空港において近年は1機当たりのCO<sub>2</sub>排出量は横ばい傾向にあることが分かった。そこで海外空港ではどうなっているかを確認するために、各空港の2017年2月23日、2018年12月13日及び2020年2月6日に運航された航空機の機種及び離着陸時刻の運航情報をflightradar24.comから取得し、検討した。運航情報を取得した空港(18空港)の一覧をIATA(International Air Transport Association:国際航空運送協会)の3レターコードも併せて表2に示す。

各空港の3年間の着陸回数を図9に示す。国内の空港と同様に空港の規模により空港の着陸回数は大きな違いがみられている。

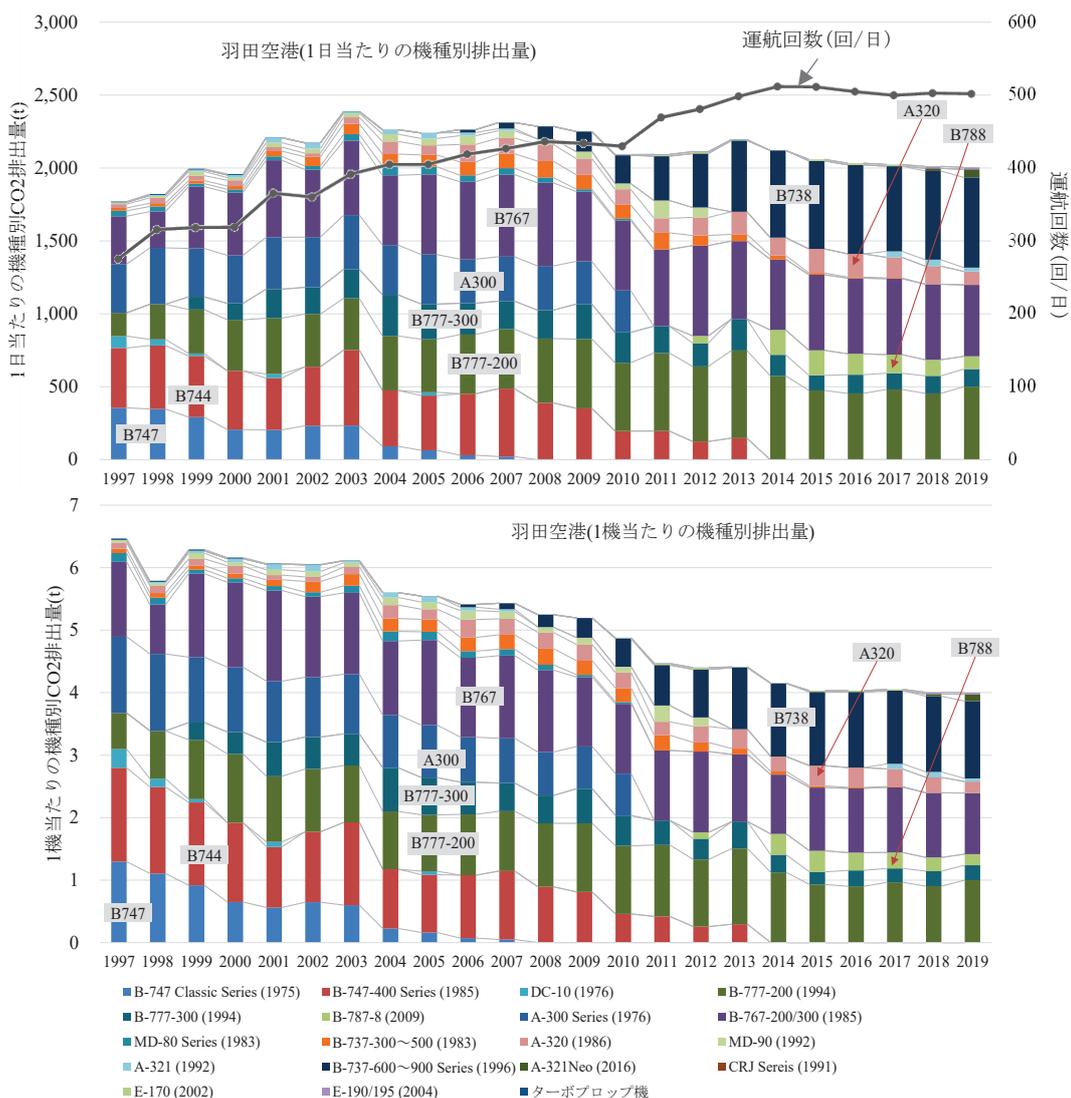


図8 羽田空港の1日当たり及び1機当たりの機種別CO<sub>2</sub>排出量の推移

### 3.2 CO<sub>2</sub>排出量の推計結果

取得した18空港の機種別・運航回数から1.1項の方法により1日当たりのCO<sub>2</sub>排出量を推計した結果を図10に示す。国内の空港と同様に、当然のことであるが運航回数の多寡によりCO<sub>2</sub>排出量が左右されていることが分かる。また国内空港と同様に1機当たりのCO<sub>2</sub>排出量を算出した結果を図11に示す。これも国内空港と同様に1機当たりのCO<sub>2</sub>排出量も空港により異なることが分かる。

### 3.3 海外空港CO<sub>2</sub>排出量の空港間比較

1機当たりの排出量が空港間で異なることからその要因を探るため運航回数が同程度の4空港(LHR, FRA, JFK, ICN)を選び2019年の1機当たりの機種別排出量を比較したものを図12に示す。

ICN空港は他の3空港に比べて超大型機の寄与が大きく、大型機の中でも比較的1機当たりのCO<sub>2</sub>排出量が多いB777シリーズの寄与も大きいことから1機当たりのCO<sub>2</sub>排出量が他の3空港よりも大きい結果となっている。この要因として、韓国は、国土が狭いため国内線需要が極めて少なく、国際線が多いという特徴が挙げられる。特に欧米路線では航続距離が長い機種を使う必要があることや需要があれば運航の頻度より1回あたりの旅客や貨物を多く運ぶ方が経済的と考えられるため超大型機の運航が多いと考えられる。

LHR空港の超大型機の寄与はFRA空港と同程度であるが、B777シリーズの寄与が大きいこと1機当たりのCO<sub>2</sub>排出量が多くなっている。これは、LHR空港は混雑空港で運航回数が制限されていることもあり需要が高い長距離路線は大型機を使用しているためと考えられる。

JFK空港は、1機当たりのCO<sub>2</sub>排出量がFRA空港と同程度であるが、国際線に用いられる機種として超大型機の寄与は小さく大型機の寄与が比較的大きいことが分かる。

表2 運航情報取得空港リスト

空港	IATAコード
ヒースロー空港	LHR
フランクフルト空港	FRA
ブリュッセル空港	BRU
スキポール空港	AMS
シャルル・ド・ゴール空港	CDG
チューリッヒ空港	ZRH
フィウミチーノ空港	FCO
ヘルシンキ空港	HEL
ジョン・F・ケネディ空港	JFK
ミネアポリス空港	MSP
ロサンゼルス空港	LAX
サンフランシスコ空港	SFO
仁川空港	ICN
北京首都空港	PEK
ドバイ空港	DXB
成田国際空港	NRT
東京国際空港	HND
関西国際空港	KIX

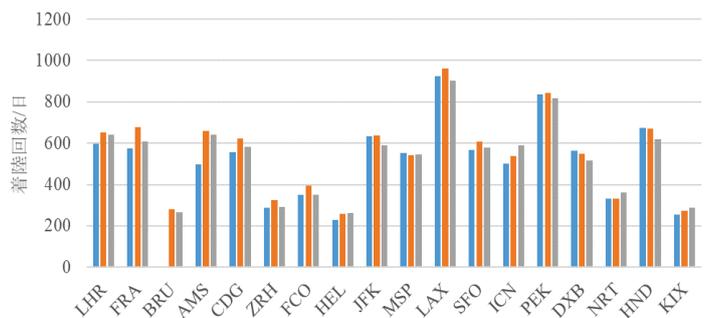


図9 運航回数

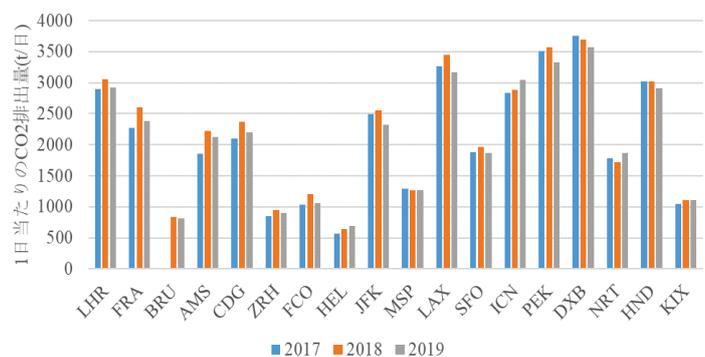


図10 1日当たりのCO<sub>2</sub>排出量

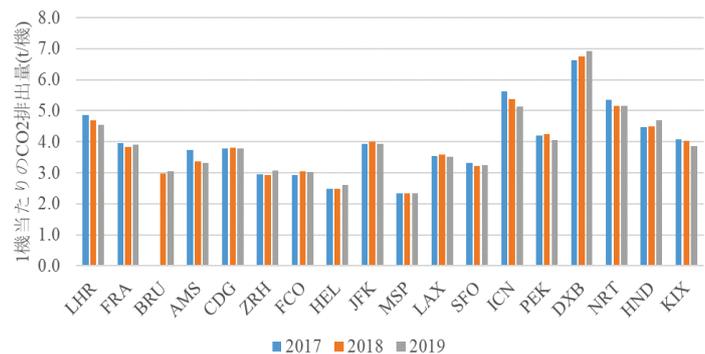


図11 1機当たりのCO<sub>2</sub>排出量

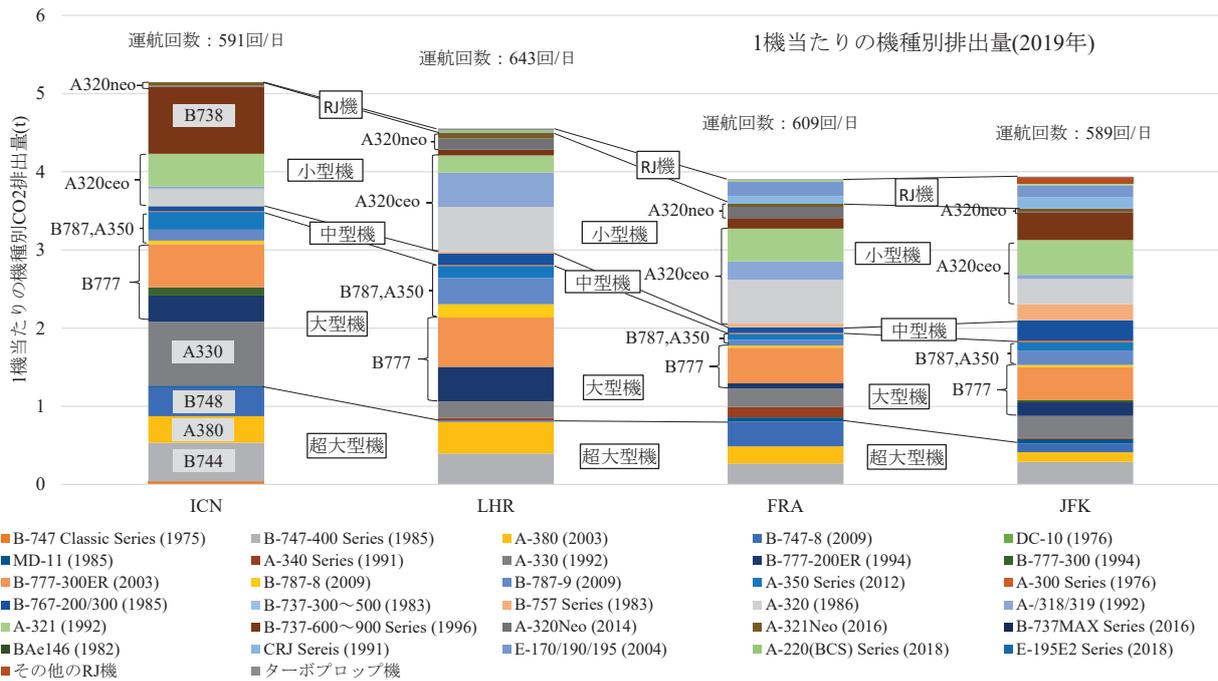


図12 海外空港の1機当たりの機種別CO<sub>2</sub>排出量(2019年)

#### 4. まとめ

本報告では、取得した国内及び海外空港の機種別の運航回数からICAOの方法により空港ごとの航空機からのCO<sub>2</sub>排出量を推計し分析を行った結果、空港の規模や運航される機種構成によって空港のCO<sub>2</sub>排出量は異なることが分かった。また、国内空港の長期間のCO<sub>2</sub>排出量の変動要因として、ジャンボジェット機の運航の減少や小型機の増加などの機種構成の変化によって要因が異なることが分かった。特に鹿児島空港において同じ機体サイズの航空機であるMD80の運航がB738に置き換わることで1機当たりのCO<sub>2</sub>排出量が減少していることが確認された。このことは、同じ機体サイズの航空機の中で1機当たりのCO<sub>2</sub>排出量が多い機種から少ない機種への転換が進むことで運航回数、旅客数や貨物量を減少させることなく空港のCO<sub>2</sub>排出量を減少させることが可能になることを示している。

海外空港においては、空港の機種構成に特徴がみられ、これによって1機当たりのCO<sub>2</sub>排出量に影響を与えていることが分かった。

新しいエンジンを搭載した1機当たりのCO<sub>2</sub>排出量が少ない航空機はまだ運航される回数が少ないが、今後これらの航空機の導入が進むことで空港のCO<sub>2</sub>排出量を減少させることが可能になる。これらの航空機の導入促進のために航空機のCO<sub>2</sub>排出量に着目した課金などの経済的手法も有効となる可能性があると考ええる。

また、本推計では、LTOサイクルの運航モードごとの時間にICAOが示す標準時間を用いたが、実際には空港ごとに異なると考えられる。特に、地上走行時間は、空港の混雑状況によって大きく異なることが予想され、CO<sub>2</sub>排出量にも大きな影響を与える。地上走行時間の短縮など空港が行なえる方策もあると考えるが、海外空港の地上走行時間を把握することは困難であり、今後検討していく課題と考える。

#### 参考文献

- 1) ICAO Aircraft Engine Emissions Databank, (<https://www.easa.europa.eu/document-library/icao-aircraft-engine-emissions-databank>)
- 2) (公財)成田空港周辺地域共生財団 成田国際空港航空機騒音測定結果(年報)

## 解説

## 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\*

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」<sup>1)</sup>(以下、環境基準という)が改正され、2013年からその評価指標がWECPNLから時間帯補正等価騒音レベル $L_{den}$ に変わった。単発騒音の評価指標が最大騒音レベル $L_{A_{smax}}$ から単発騒音暴露レベル $L_{AE}$ になり、評価の対象も離着陸騒音だけでなく、地上の航空機による騒音、例えば自走(タクシーイング)やエンジン試運転なども含めることになった。当然ながら、測定は複雑になり、環境省は自治体が環境基準の達成状況を把握する際の統一かつ実務的な測定・評価方法を確立し提供して航空機騒音の実態を適切に把握し、信頼性の高い測定結果・評価値を得られるよう、「航空機騒音測定・評価マニュアル」(以下、マニュアルという)を発行した。2009年に初版を出版、自治体等の試行測定により意見を得て改訂し、基準施行に時期を定めて2012年に第二版を出した。このマニュアルに基づいて基準改正後の $L_{den}$ による測定評価を実施してきた。その後計量法の一部改正を取り込んだ修正版マニュアルを2015年に出したが、測定・評価の内容は変わっていない。改正施行後7年がたち、マニュアルには示されない課題や説明記述が足りない部分もあり、実務を行う測定者には、「こんなときどうすればよいのか」といった疑問や課題も多かった。環境省は、マニュアルの課題や不足を改善・拡充するために、検討を重ねた結果、2020年3月に改訂版マニュアルを発行した<sup>2)</sup>。

ここでは、改訂されたマニュアルに基づき、短期測定による航空機騒音の測定・評価を行う際の着目点および留意点を、主に測定の計画立案の際に考慮すべきことを中心に解説していきたい。

## 1. 航空機騒音測定の難しさ

率直に言えば、正確な航空機騒音の評価をするための測定は、正しい知識と目的をもって行わなければ難しい。以下のように、他の交通騒音の騒音発生状況と大きく異なる要因のために、環境基準に従い7日間の測定を実施しただけでは正確な評価値にはならない。

- ・他の交通騒音に比べると騒音源の大きさが格段に大きく、その影響範囲が広い。広い地域を測定評価の対象としなければならない。
- ・風向きや天候によって運航の方向や使用する経路が変わる。このため、騒音発生状況の偏りや、騒音暴露の大小が生ずる。
- ・離着陸や機種によっても騒音のばらつきが大きい。
- ・気象条件によって騒音伝搬状況が異なり、観測される騒音は大きくばらつく。
- ・航空機騒音の発生時に混じる他の妨害音(車両・鳥・犬など)の扱いが複雑で難しい。
- ・評価は測定期間の航空機騒音のすべてを計測して行わなければならない。一定本数または一定時間を対象とする新幹線鉄道騒音、統計上十分なサンプル数を対象とする在来線鉄道騒音とは異なる。これらの騒音源の測定の場合、騒音のばらつきが少ないので、できるだけ良質な測定結果のみを評価の対象とすることができるが、航空機騒音は大きく変動するゆえに、全数を測定・評価の対象とし、欠測データを少なくすることが鍵となる。
- ・環境基準では対象を、年間を代表する時期としている。これは測定により長期間の代表値(年間を通じた平均的な値)を得ることが求められ

\* Explanation for rudimentary knowledge of short-term measurement based on aircraft noise measurement and evaluation manual

るが、季節や気象条件によって測定結果が大きく変化する中で、代表する時期を選定する難しさがある。

## 2. 航空機騒音測定のための目的

航空機騒音の測定は、目的に応じて適切な方法と手段を選び、実施することが大切である。

環境基準の達成状況の確認を目的とする場合や空港周辺における航空機騒音の実態把握は、自動観測装置を利用した常時監視(通年測定)によることも多い。しかし、常時監視は、費用面からも制約があるし、通年測定点をどこにでも設けられるものではない。そのため、短期測定で空港周辺の騒音実態を把握する方法が取られる。また、騒音苦情の申し立てに対応するため測定を行うことも多い。これらの場合、マニュアルに基づいて短期測定を行い、必要に応じ季節を変えて繰り返し実施する。

3章以降にはマニュアルに基づいた短期測定の方法を解説する。

学校や公共施設などの防音工事の基準に該当するか否かの測定を行う場合もある。また、防音工事済みの住宅の遮音性能を確認することを目的とする測定や住宅の設計資料作成のために測

定することなどもあるが、これらは、マニュアルとは違った方法で測定を行うため、この解説の対象には含めていない。

## 3. 飛行場のタイプと測定・評価の考え方

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。

表-1にタイプの定義と騒音評価の考え方を示した。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。

表-1 飛行場のタイプと測定・評価の考え方

	定義	特徴	評価の考え方	短期測定の実施	注意
タイプ1	定期航空便が運航する空港で1日当たりの平均離着陸回数が10回を超える空港	気象条件の変化や季節間などの違いで航空機騒音の暴露状況に大きな変動がある(環境基準値を超える可能性がある騒音影響が考えられる)	年間の平均的な航空機騒音の状況を把握する必要	原則7日間の測定を、1回または季節を変えて騒音測定を繰り返し、長期間平均として信頼性を確保した評価値を得ること	飛行場の運航状況や騒音発生状況の特徴に基づき、適切に設定する
タイプ2	自衛隊等専用の飛行場	航空機の運航状況が大きく変化し、騒音暴露の状況も日ごと季節ごとに大きく変化する。(環境基準値を超える可能性がある騒音影響が考えられる)	年間の平均的な航空機騒音の状況を把握する必要がある飛行場	原則14日間の測定 以下はタイプ1と同様	同上
タイプ3	定期航空便が運航する空港で1日当たりの平均離着陸回数が10回以下の空港、または定期航空便が運航しない空港、非公共共用飛行場	定期便の運航回数が少ない、または、事業用・自家用の小型機が運航する空港。(騒音影響は大きくない状況を前提とする)	影響が最も大きい時期でも環境基準値を超えないことを確認する。超えた場合は、年間の平均的な騒音状況を把握して確認	運航頻度の大きい時期に1回、7日間の測定。	その結果として環境基準を超えた場合は、タイプ1の飛行場に準じ、複数回の測定または年間推計 $L_{den}$ を実施
タイプ4	ヘリポート	ヘリコプターのみが運航する。ヘリポート、大多数は運航回数が少ない。	タイプ3の飛行場に準ずる	タイプ3と同様	同左
タイプ5	民間航空と自衛隊等が共用で使用する飛行場、共用空港	民間航空と自衛隊等の運航がともにあり、どちらも騒音影響を及ぼす空港・飛行場	どちらの運航頻度もしくは騒音影響が大きいかを考慮し、タイプ1またはタイプ2に準じる	タイプ1またはタイプ2に準じて考える	同左

### 4. 短期測定はいつ頃何回実施するか

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。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<sup>3~6)</sup>。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ため、評価値の信頼性としては不十分かもしれない。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ことが分かる。

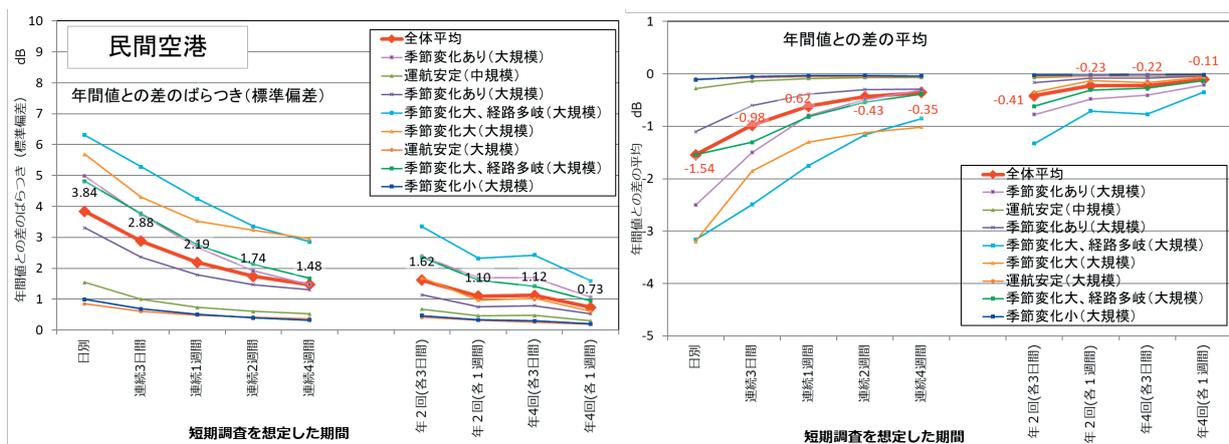


図-1 民間空港における短期測定期間と年間値との差(左: 差のばらつき、右: 差の平均)  
8つの民間空港(対象の常時監視局数 186)の分析結果

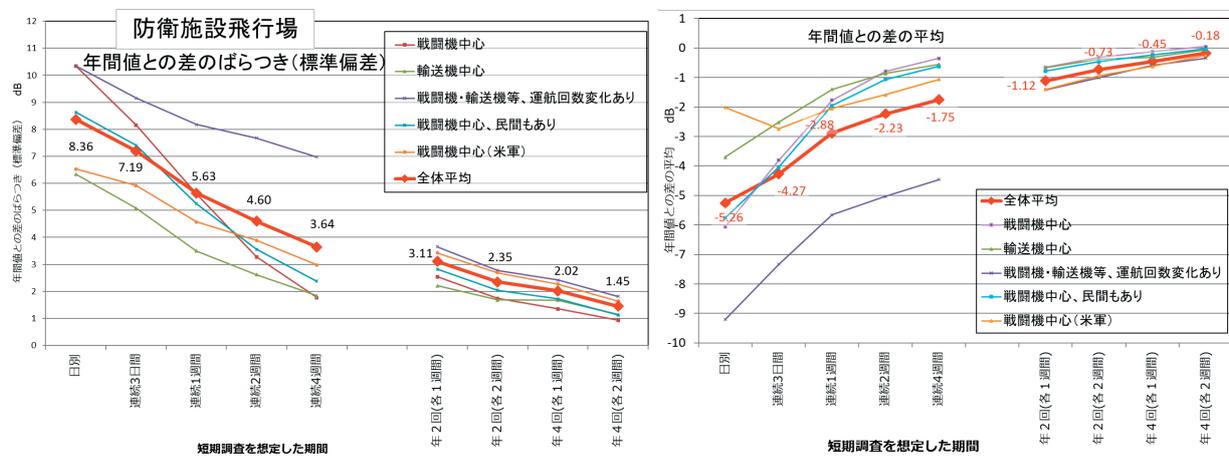


図-2 防衛施設における短期測定期間と年間値との差(左: 差のばらつき、右: 差の平均)  
5つの飛行場(対象の常時監視局 85)の分析結果

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。表-2の目安を参考にいただければわかりやすい。一般に滑走路の運用方向は風向きに依存する。滑走路が南北方向に設置されている場合、夏は南風が卓越するので南向きの滑走路を用い、冬は北風により北向き滑走路を用いることが多い。このような季節変化が顕著な場合は、少なくとも2回以上の短期測定を実施することが良い。なお、改訂前のマニュアルでは夏季と冬季をお勧めしていたが、全国の様々な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。

また、季節による滑走路方向の変化が顕著ではなく、年間を通じて同じ向きの滑走路を使う割合があまり変化しない場合もある。空港と測定地点の位置関係などの他条件にもよるが、このような場合には年1回の短期測定でも十分な信頼性を得ることができる。

短期測定結果を利用した年間 $L_{den}$ 推計値を用いる方法もお勧めしたい。マニュアルが示す「近傍の通年測定の結果を用いる方法」と「対象飛行場の運航情報を用いる方法」はともに、測定結果の信頼性をより向上させることができる。(11章を参照されたい)

空港によっては、天候が悪いときのみ使用する飛行経路(運航方式)や、特定の風向のみを使用する滑走路などの運用も考えられる。これら使用頻度が少ないが騒音影響の大きい場合を前提とした騒音把握をどうすればよいかは難しい課題となる。筆者の案では、①特定時期・高騒音影響を想定して測定、②通常の時期でも測定を実施、③前者の結果は、影響が大きい時期の結果を表す参考値と扱い、①②の結果を利用した年間 $L_{den}$ 推計を行い、それを年間を代表する騒音として扱う。

### 5. 測定地点の選定は

測定地点の選定に当たっては事前検討を行い当該飛行場の航空機運航や主要飛行経路の利用状況、周辺地域の土地利用状況を把握し地図等で予め候補地域を選んでおく。飛行場周辺で専ら住居用途に供されている地域、およびそれ以外でも生活を保全する必要がある地域を対象とし、空港周辺の地域全体を眺め、配置のバランスを考えて決める。

騒音の状況を把握する場合や苦情対応等の目的で行う測定ではそれに適した場所を選定して測定する。

そのうえで現地踏査を実施し対象騒音の大きさと暗騒音の状況を把握し、測定に適した場所であることを確認する。地上騒音を評価する必要性(12章参照)についても検討し測定地点を決定する。

### 6. 適切な測定環境とは？

測定地点における適切な測定環境としてマニュアルには、観測される主要な航空機騒音の最大騒音レベルが暗騒音から少なくとも10dB以上、可能であれば15dB以上確保できる地点と書かれる。様々な事情で測定場所を道路交通騒音など単発的な暗騒音が懸念される場に決めざるを得ないときがあり、そのような場所で測った結果の妥当性に不安も感ずる。マニュアル改訂にあたって

表-2 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	測定地点の位置関係	民間	1週間	1週間を2回	1週間を4回
				防衛	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	多岐にわたる	空港に近い騒音が大きい	△	○	◎	◎
			空港から遠い騒音が小さい	◆	◆	△	○
季節的な変化が大きい	曜日や季節による違いが大きい	多岐にわたる	空港から遠い騒音が小さい	◆	◆	◆	△

信頼性の目安 ○ > △ > ◆  
良 ← → 注意

検討を行った結果、単発的な妨害音と航空機騒音の重畳割合が重要な意味を持つことが明らかになった。それによれば、重畳割合が20%を超える測定環境では $L_{den}$ に1dBを超える誤差をもたらす可能性が高く、このような地点は避けるべきである。重畳割合が10%以下ならば $L_{den}$ への影響は0.5dB未満にとどまる。表-3に判断目安の総括を示す。

表-3 測定環境の適切さの判断目安

	定常的な暗騒音との関係	単発的な暗騒音との関係
良好な環境	主要な航空機騒音が15dB以上大きい	航空機騒音と重畳する*割合が10%以下
避けるべき環境	航空機騒音と暗騒音の差が10dB未満	航空機騒音と重畳する*割合が20%以上

\*航空機騒音の $L_{AE}$ 積分範囲において単発的な妨害音と重なりが生じ、 $L_{AE}$ が算定できなかつたり(欠測)、算定 $L_{AE}$ が不確かなものになること

しかし、上記の目安は、測定実施後にその結果の妥当性を算定する場合に用いることになる。このため、測定前に事前踏査を実施して測定環境の適切さを判断する目安もマニュアルに示された。

- 航空機騒音の平均的な $L_{ASmax}$ よりも暗騒音の上端値( $L_{A5}$ )が10dB以上小さいこと。
- 航空機騒音の $L_{Aeq,T,air}$ を暗騒音の $L_{Aeq,T,BGN}$ が下回ること。

## 7. マイクロホンの設置場所と高さ

マニュアルでは、騒音計のマイクロホンは、測定対象となる航空機の飛行経路の主要な部分が見渡せ、建物などの反射物から少なくとも3.5m以上離れた位置に設置すると説明している。実際には、測定地点はできるだけ平坦な場所で、建物が密集しているところや山陰げや窪地のような場所は避けたい。反射物から3.5m以上離すとされるが、航空機騒音測定の場合はこれでは不十分なことが多く、少なくとも10m程度は遠ざけておきたい。特に、測定地点から航空機を見上げた仰角が10~15°以下の場合には、建物や気象条件の変化、地表面の影響を受けやすいため、航空機騒音が到来する方向の見通しや遮蔽物に十分注意する必要がある。

マイクロホンの高さは、これまでの環境基準、

また、鉄道や環境騒音など他の騒音源を調査する際と同様に、地上1.2~1.5mとする。ただし、設置場所の制約があつて建物屋上等に設置する場合には、設置面からの反射音の影響を抑えるために床上4m以上に設置する。これは、生活面の高さである地上1.2~1.5mを離れるなら、できるだけ地面反射の影響を少なくして、より高い信頼性が得られる状態で測るべきとの考えに基づいている。マニュアルでは、屋上等の場合でも周囲からの暗騒音影響を大きく受ける恐れがある場合には1.2~1.5mまで下げてもよいと記述されている。しかし、設置面からの反射で顕著なレベル変化が生じることがあるので、筆者は推奨しない。

航空機騒音の自動監視の国際規格ISO 20906<sup>7)</sup>は設置面から6m以上の高さを推奨する。諸外国では測定の妥当性を担保する一つが、国際規格に従って測定していることで、それを情報として周知する空港もある。このため、海外空港の自動監視装置のマイクロホンは少なくとも高さ6mに設置している。

## 8. 測定体制を検討する

短期測定の実施に当たって、測定体制を考える必要がある。航空機騒音をしっかりと識別するために有人で行うのか、何らかの識別機能を持った自動監視装置を用いるのか、無人で騒音レベル記録を行うのかなどである。

有人で行う調査は、測定員によって航空機騒音と他の騒音源との区別(航空機騒音をしっかりと識別し、発生要因を特定する)ができることが最大の利点である。AC電源がとれない場所などでも実施可能である。また、建設工事・農作業など人為的な音やセミや虫などの自然音による騒音環境の変化(航空機騒音測定への影響)に素早く対応できる。また、機器故障の際の迅速な処置により、航空機騒音データの欠測を最小限にとどめることにもメリットがある。その一方で、測定要員の確保やそれに伴うコストなどの課題もある。

一方、無人で行う場合はさまざまな制約がある。第1に騒音レベル記録・変動だけでは必ずし

も騒音源を特定できない。航空機騒音を識別する機能を持った自動監視装置を用いると良いが、一般的にはAC電源が必要であり、設置場所の制約を受けることが多い。機器コストが課題で、設置の手間もかかる。

識別装置がない騒音計の場合には、騒音レベル記録だけでなく、一定レベル以上を実音記録する機能を用いると、測定後の処理で実音再生によって航空機騒音か否かを判定することが可能である。ただし、1機ごとの実音再生・確認作業には相応の時間を要することは言うまでもない。周波数分析結果が同時に記録できる騒音計もあり、後の整理の際に周波数特性を確認することで航空機か他の音かを仕分ける手助けになる。無人測定の場合、機器故障や暗騒音の上昇による測定環境の変化などの欠測のリスクがつかまとう。少ない要員ですむため、測定コストを抑えられるがデータ欠測をどう考えるかが焦点になる。

これらを勘案し、測定計画の作成時にどのような測定体制とするかを総合的に検討する。単にコスト面の理由だけから「無人測定」を選択すると、集計時に苦勞し、また、測定結果の信頼性を落とすので注意されたい。以下に要点を示す。

○有人測定が望ましい場所

- ・ 飛行経路がばらつくため見極めを必要とする
- ・ 航空機騒音が小さく暗騒音との差が充分でない
- ・ 道路騒音などの航空機以外の音が多く発生する
- ・ 特に航空機騒音問題に対応すべき場所(苦情等)

○騒音計と実音記録(および周波数特性の記録)で無人測定が可能な場所

- ・ 飛行経路との関係が一定で、航空機騒音をはっきり聞こえ、暗騒音が低く妨害音の発生が少ない
- ・ 有人測定点や経路直下の地点と関連性が深い(これらの結果と同期して比較することが可能)

### 9. 自然の音に邪魔される

郊外の測定地点では、夏のセミや秋の虫などの自然音によって暗騒音が増し、航空機騒音が区別できないことが多く発生している。そこで、全国各地の航空機騒音常時監視結果をもとに季節

によって変化する暗騒音の実態を調べ、航空機騒音の評価値への影響を検討した<sup>3,7,8)</sup>。春から初夏には水田でカエルが活発に鳴き始める。雨が降っていない日は、日が暮れるとカエルの合唱が始まる。日没後1時間程度が最も活発で、その後少しずつ収まっていくが朝まで鳴きやむことはない。夏にはセミだが、地域によって様相が異なる。北日本地域ではセミの大合唱になることは少ないが、関東地方は様々な種類のセミが日の出から日没後まで活発に鳴くため、航空機騒音測定への影響が懸念される。東海地方以西(以南)の地域ではクマゼミが活発に鳴く。日の出と同時に大合唱が起こるが、猛暑になる午前11時ころには治まることが多く、航空機騒音測定への影響時間帯は関東地方の場合より短い。秋の夜にはコオロギや鈴虫などの鳴き声が観測される。これらの古来種に加えアオマツムシなど樹木で鳴く虫もあり暗騒音は大きく上昇することがある。その時間変化は日没後1時間程度を最高に徐々に治まる。

自然音の影響が最も大きい関東地方郊外での測定結果をもとに、セミや虫の音による影響を検討した結果、多くは $L_{den}$ に対して0.5 dB以下の影響だった。このため、改訂版マニュアルには、自然の音に近接した場所で測定することは避けること、現地踏査時に季節や時間帯による暗騒音状況の変化を想定しておくことが付け加えられている。

### 10. 明確な単発騒音でない場合は？

データ集計時のことにも少しだけ触れておきたい。航空機1機ごとの単発騒音データは、その最大騒音レベル( $L_{ASmax}$ )が暗騒音( $L_{BGN}$ )より10dB以上大きいものを対象に、単発騒音暴露レベル( $L_{AE}$ )を算出する。それは、 $L_{ASmax}$  から10dB小さいレベル( $L_{ASmax} - 10dB$ )を超えている範囲をエネルギー積分して1秒に規準化する(図-3)。

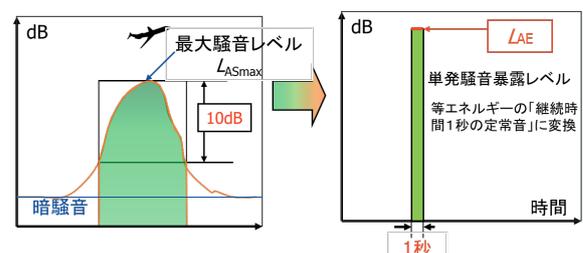


図-3 単発騒音暴露レベル(LAE)の算出

しかし、特殊な状況の場合、標準的な $L_{AE}$ 算定手順では正しく処理できない場合がある。マニュアルが示す参考図を図-4に引用する。測定地点が旋回経路の内側にあり、旋回飛行した際に観測された騒音のレベル変動事例である。騒音レベルが長い時間にわたって変動し、明確な単発騒音ではない3つの区間に分かれる。図中の区間A、区間B、区間Cとなり、それぞれ $L_{AE,A}=69.0$  dB、 $L_{AE,B}=72.2$  dB、 $L_{AE,C}=71.0$  dBとなる。このとき、積分範囲を拡大して「 $L_{A,Smax} - 15$ 」dB以上の範囲を単発騒音の区間とすれば、 $L_{AE}=75.9$  dBとなる。これを正と考えれば、3つの区間 $L_{AE}$ をすべて合算評価すれば合計 $L_{AE}$ が75.7dBと差は小さい。しかし、飛行1機に対し騒音イベントを1つ関連付ける場合には、区間Bを採用しても3.7dBの $L_{AE}$ 算定誤差が生ずる。このように積分範囲を拡大して $L_{AE}$ を算定したほうが良いケースも発生する。

積分範囲を変更したほうが良い特殊ケースの基準は、通常の算出方法で2dBを超える誤差がある場合と考えればよい。これは、民間空港では、図例の旋回経路の内側や着陸時に突出した変化を伴う特異な騒音発生が、防衛施設では戦闘機が連続離陸する場合は該当する。

改訂マニュアルに際した検討結果<sup>10)</sup>では、通常の算出方法で2dBを超える誤差を含んだ $L_{AE}$ が全体の20%を上回る場合、評価値 $L_{den}$ に対して0.5dB以上の誤差を生じさせる可能性がある。このような場合は算定範囲を拡大するなどが良い。しかし、民間空港の事例では、特殊ケースが20%を超えることはなく、防衛施設の場合に一部該当例があった。

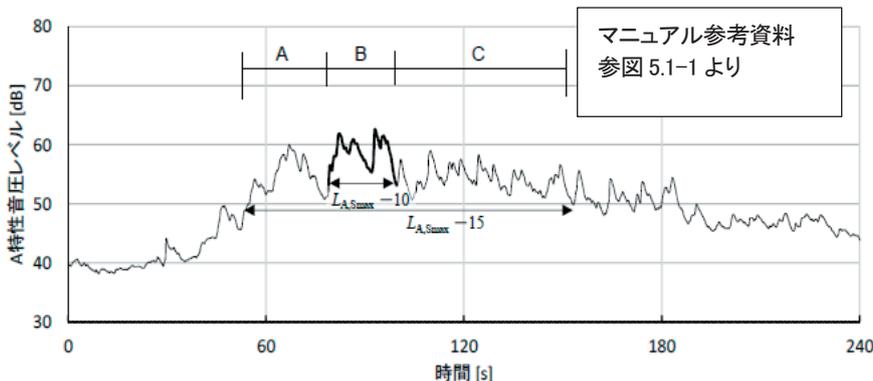


図-4 通常の $L_{AE}$ 算定基準では処理が難しい例(マニュアルより)

## 11. 地上騒音は考慮しなければならない？

平成25年から環境基準に基づく評価指標はWECPNLから $L_{den}$ に変更され、離着陸に伴う騒音に加え、地上で発生した航空機騒音も評価の対象に含めることになった。これによって地上走行時の騒音やAPU(航空機補助動力)や整備時のエンジン試運転の騒音も測定・評価の対象になった。(対象騒音はマニュアル参考資料4.1節を参照)

単発騒音として観測される地上騒音の処理は飛行騒音と同様で良いが、継続時間が長い準定常騒音はその扱いに困ってしまうことも多い。航空機運航頻度が高い時間帯に、地上の航空機によるAPU、地上走行などが複合的な音源となって、バックグラウンドが上昇するケースもある。整備のためにエンジン試運転を行う場合には、それによる騒音の始まりと終わりが区別できるが、複合的な騒音の場合は、評価対象とする区間を特定することが難しいことも多い。

さまざまな空港・飛行場での地上騒音の状況を調べた結果、測定時における地上騒音の考慮方針は以下を参考にされたい。

- ・ 明らかな地上騒音(地上走行など)であり、単発騒音として観測されるものは対象とする。
- ・ 準定常騒音として観測される地上騒音について、エンジン試運転、ヘリコプターのホバリングなどによってその騒音発生区間が明確なものは対象とする。
- ・ 複合的な地上騒音については、評価の対象としなくても日の $L_{den}$ に対する寄与は0.5dB程度以下にとどまる<sup>10)</sup>。
- ・ 地上騒音の騒音源に近い測定地点(例えば、誘導路脇、エンジン試運転施設付近、エプロン付近)は地上騒音の影響を無視できない。

一方、空港から一定以上の距離が離れた地点では地上騒音の寄与は小さい。マニュアル参考資料 参図4.1-8を参照のこと。

## 12. 年間推計はどうやって実施する？

短期測定による航空機騒音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(以下、基準局方式という)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(以下、運航実績方式という)である。

基準局方式は、短期測定点と関係性の高い通年測定点を基準地点とし、その年間と短期測定期間の差を、短期測定の補正值として用いる式である。基準地点を適正に選択できれば、以下の簡便な方式で誰にでも使いやすい。

$$\text{年間推計 } L_{den} = \text{短期測定 } L_{den} + \text{基準地点補正值}^*$$

$$^* \text{ 通年測定点の年間 } L_{den} - \text{短期測定期間 } L_{den}$$

基準地点として適否を判断するための定量的なガイドラインを検討の結果、対象測定点と通年測定点の位置関係などを踏まえたうえで、民間空港の場合、両者の相関関係はできれば0.85以上、少なくとも0.7以上がその判断目安とすることができる。また、防衛施設の場合、相関係数0.8以上が望ましいものの、相関係数で0.6以上としても評価値の信頼性向上に資することが分かった<sup>10-12)</sup>。

運航実績方式は、短期測定で得られた離着陸・機種・経路別の平均騒音値に、対象飛行場の年間運航実績から算定した滑走路・離着陸・機種・方面別の日平均運航回数(時間帯別)を乗じて年間値を推計する。詳細な運航情報を必要とするため、空港管理者等限られた場合にしか対応できない。詳細な情報が得られない場合でも、離着陸の分類程度でも効果がある<sup>10-12)</sup>。

$$\text{年間推計 } L_{den} = 10 \log_{10} \left( \sum (\text{区分毎の平均騒音値(時間帯重付けあり)} \times \text{騒音発生割合} \times \text{区分毎の日平均運航回数}) / 86400 \text{ 秒} \right)$$

区分とは：離着陸別(必須)、飛行経路別、機種別に分類

## 13. 測定・評価の種類と評価量の信頼性

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-4に示す。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である。また、年間平均 $L_{den}$ 推計は信頼性向上には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		根拠とする検討結果			
		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
低い ↓	短期測定(1回/年)(14日間)	1.7	4.6	-0.4	-2.3
	短期測定(1回/年)(7日間)	2.2	5.6	-0.6	-2.9

## 14. 騒音計の管理と校正

環境基準では「測定は、計量法第71条の条件に合格した騒音計を用いて行うものとする。」としており、この条件を満たさない騒音計で測定した結果は環境基準の基準値と比較して評価することはできない。すなわち、計量法の検定に合格している騒音計を測定に用いる必要がある。

ただし、このことだけで、騒音計の精度管理が担保されるわけではなく、測定にあたっては校正や動作確認が正しくなされていなければならない。以前のマニュアルでは、「音響校正器を用いて騒音計の値を点検し、所定の値との差が $\pm 0.7$ dB以上であった場合は、その騒音計は使用しない」としていた。この $\pm 0.7$ dBは騒音計が故障している可能性を示す目安値として設定されたが、これを超えた場合に一律に使用を禁じてしまうのは厳しすぎる、との意見を受け、改訂マニュアルでは、「 $\pm 0.7$ dB以上であった場合は、その騒音計は使用しないことが望ましい」とし、「 $\pm 0.7$ dB以上の状態で測定を行った場合、その結果は参考とする」と規定した。

校正値に差を生ずる要因についても改訂版マニュアルに補足説明がある。マイクロホンの経年による感度変化(0.2~0.3dB程度)、温度などの環境による変化(0.3~0.4dB)、音響校正器のばらつき(0.1~0.2dB程度)の要因それぞれを総合したばらつきは0.6dB程度となり、これを勘案して故障の可能性の目安値を0.7dBとした。マニュアル改訂版で、目安値以上の騒音計の使用を条件付き(参考値として扱う)で認めた格好だが、騒音計の取り扱いに関する考え方は変わっていないので、以前と同様に目安値を超えるものは使わない方が良い。なお、校正の実施についても、作業環境として不安定な現場で校正作業を行うのではなく、音響校正器に値を合わせる校正作業は、室内の安定環境で作業すること。測定現場では、音響校正器で騒音計の値を確認するだけにとどめる。校正や管理方法についてマニュアル参考資料編とともに関係文献<sup>13)</sup>も参照されたい。

## 15. 欠測があった場合の対応

マニュアルでは欠測の定義は明確でないが、欠測とは「本来は測定・評価の対象であった航空機騒音が、何らかの要因によって、測定データが記録できなかった」ことと言える。「何らかの要因」とは、測定機器の故障のほか、対象測定地点を含む地域に共通して通常に存在する音以外の音が測定の妨害となること、が該当する。すなわち、測定のマイクロホン近辺で発生する音(例えば、道路工事、建築作業、車両通過音、農作業など)は欠測原因となりうる。強風や大雨でも背景騒音は上昇するが、よほどの特異な事象でない限りは、単なる暗騒音として取り扱う方が良い(雨音によって飛行機の音がかき消されたので欠測として扱う、とは考えない)。

年間を通じて極めて特異と考えられる天気現象(台風、めったにない大雨や大雪)の場合は、短期測定の評価対象に含めないほうが良い。まず、台風・大雨などで測定そのものに危険がある場合は迷わず中止することが良い。なお、中止した日は別の日で補う。

欠測への対応について、マニュアルでは次のように示す。

日ごとのデータのうち、欠測が10%未満ならば、日の $L_{den}$ への影響は0.5dB未満なので、許容できる。なお、当該地点で有効に観測された別の同一機種・同一運航形態の測定データの平均( $L_{AE}$ のエネルギー平均)をもって代用すると欠測影響は無視できるほど小さくなる。欠測率が20%を超える場合は、その影響が無視できないので欠測日として扱う(たとえ、有効結果の同一形態の平均値で補ったとしても影響が残るので不可)。

測定期間中に欠測日がある場合、欠測割合が10%未満なら、評価量(測定期間の $L_{den}$ )への影響は0.5dB未満であり、評価の信頼性は変わらない。よって、欠測日を除外した残りの期間から評価量を算出する。日単位の欠測率が10%以上の場合は、評価量への影響が無視できず、別の日に追加測定を行い補完する。すなわち、測定期間が7日間では1日の欠測も許容されず、14日間では2日の欠

測は許容されないことを意味する。

追加測定日はいつとすれば良いかについては、マニュアルには説明がないが、考え方として、日ごとの運航回数に大きな変化がない空港・飛行場の場合、測定予定期間に続いて追加測定日进行ける(曜日は気にせずとも良い)。日ごとの回数に大きな変化がある場合は、測定予定期間に続く同じ曜日または同じような運航回数の日に追加測定を実施することが良い。なお、測定予定期間から時期を空けて追加測定日进行けざるを得ない場合は、少なくとも1か月以内の時期に実施する。

特異な天候などで運航に遅延や欠航などの乱れが生ずる場合はどのように取り扱うべきか、これもマニュアルには示唆がない。しかし、マニュアルには欠測に対する対応の考え方が示されており、原則を言えば欠測率10%以下は許容(信頼性に与える影響は小さい)、20%を超える場合は不可(参考値扱い)とする。これを適用すれば、欠航が10%以下は許容し、20%を超える日は参考扱いとし、できれば追加測定日进行けることが良い。遅延便の発生は、 $L_{den}$  評価の時間帯重みづけに影響するが、平常との比較などにより、その影響度合を分析することができる。また、年間 $L_{den}$  推計により、短期測定期間の特異性を薄めることができる。このため、遅延便が多いことにより欠測日や参考値とする必要はない。いずれにせよ、短期測定期間中に特異な天候などが含まれる場合は、年間 $L_{den}$  推計を併用するのが良い。

## 16. おわりに

本稿では、改訂されたマニュアルに基づき、短期測定による航空機騒音の測定・評価を行う際の着目点および留意点を、主に測定の計画立案の際に考慮すべきことを中心に解説した。測定・評価

マニュアルと併せて本稿をご覧いただきたい。この記事役立てていただく読者は、実際に騒音測定を行う方だけでなく、測定業務を発注しその出来栄を監督する立場の方も含まれるだろう。測定現場やデータ集計等の際に課題に直面した時、適切な判断を下す必要もあるだろう。この解説記事が、そのような状況の際の解決の手助けになることを願っている。

## 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) 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
- 5) 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
- 6) 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
- 7) ISO 20906: Acoustics- Unattended monitoring of aircraft noise in the vicinity of airports
- 8) 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
- 9) 篠原直明ほか、セミなどの自然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
- 10) (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
- 11) 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 $L_{den}$  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
- 12) 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
- 13) 大屋正晴ほか、航空機騒音測定における騒音計の校正と管理について、日本騒音制御工学会 2019 年秋季研究発表会講演論文集