航空環境研究 No.25（2021）, PP.1－10

焦　点

航空機騒音のアノイアンス反応の時代による変化 *

山田　一郎（空港支援機構理事・リオン顧問）

1. はじめに

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ているという[1, 2]。道路騒音は変化がないので航空機騒音の方に原因があることになる。それが何かという疑問をきっかけにして航空機の低騒音化や運航方式の変化がアノイアンス反応に及ぼす影響を考えてみた。航空機は、低騒音化が随分進んでいるにも関わらず騒音の苦情や懸念が絶えない。これは何故かということである。

昨年春から一年半、世界は新型コロナウィルス感染症（COVID-19）パンデミックの渦中にあって社会生活全般にわたり厳しい打撃を受けている。航空交通も例外でなく運航が激減し、空港周辺の音環境には好都合だが、経済的には厳しい状況になっている。いずれは以前の状況に戻り、さらに超えていくと予想するが、今回のパンデミックは生活様式や航空利用の考え方にも一過性ではない変化をもたらすかもしれない。本稿ではこうした状況を想定しながら、まずはパンデミック以前の状況を念頭に、航空機騒音のアノイアンス反応の時代による変化を回顧考察、検討し、次にパンデミックの影響について若干検討する。

2. 航空機の低騒音化とアノイアンス変化

2.1 航空機の低騒音化の進展

民間航空で使用する航空機は、騒音証明制度による騒音基準の導入と強化で騒音の低減が著しく進展している[3, 4]。図1、2の資料で減少の傾向をみると証明値は60年で30dB以上低くなっている。最初の30年（～1990年）でざっと15-20dBの減、次の10年（～2000年）では5-10dBの減、今世紀に入って15年（～2015年）で5-10dBの減である。Chapter-14の採択でそれ以降も低騒音化が進み、次の15年間でLdn=55以上の航空機騒音の影響を受ける人の数は100万人以上減るという[4]。

航空機の低騒音化は空港周辺で観測される騒音レベルの低下でも確認できる。国内の基幹空港の飛行経路直下で観測された騒音データを解析して高騒音機の多かった時代と低騒音機だけになった近年を比べ、観測される騒音レベル範囲がどれ位違うか眺めてみた。図3はある空港の飛行経路の直下付近（空港から7km）で1979年と2014年の同じ時期の一週間に観測された航空機騒音の最大レベルの分布を比較した結果である。(a)図は時間分布、(b)図は度数分布で重ね描きした図である[5]。1979年には90dBを上回る騒音(最大97dB)が観測されていたが、2014年にはイベント数が倍増したものの、騒音レベルの最大は85dBで、ざっと10dB低くなっている。図4はこの期間内に成田空港を離着陸した航空機の機種の変遷を図示したもので、1979年にはターボジェットとターボファンの高騒音機（DC-8、B707、B747-100等）が同じような割合で運航していたが、DC-8やB707は1990年までに退役、2000～2010年にはB747-100なども退役して、2014年には高騒音機は皆いなくなり、小型で静かな機材（A320）が最多になっている。これにより大空港はみな、運航機材の世代交代が進み、観測される航空機騒音は高騒音・低頻度のものから低騒音・高頻度へ変化したとみてよい。

図4の下方に2015年に20～60歳の人が20歳だった年を示してある（たとえば40歳の人が20歳だったのは1995年）。2.2で紹介する成田空港での社会調査（NRT-2016）の回答者は20～70歳代に分布しているが、50歳以下の人はDC-8やB707といった高騒音の旧型機の騒音は殆ど体験していないことが分かる。

航空機の低騒音化は音の性状変化ももたらした。初期のジェット機は、高速排気流の広帯域雑

* Changes of aircraft noise annoyance with the times, by Ichiro YAMADA (Part-time director of AEIF & adviser of RION).

音の寄与が大きく、騒音は斜め後方へ強く放射され、爆音といわれた。それがターボファンエンジンになり、大口径ファンの回転音がジェットノイズと同程度の寄与を持つ騒音に変化した。そういった性状の変化もアノイアンス反応に影響を及ぼしているものと思われる。

2.2 航空機騒音のアノイアンス反応の変化

航空機の低騒音化の飛躍的進展にも関わらず、騒音のアノイアンス反応が厳しくなっている。2018年のWHO欧州の騒音新指針[2]は、今世紀に入ってから実施された社会調査（航空機は2001-2011年の調査）の結果に基づいて、アノイアンス反応が道路騒音は以前と同じだが、航空機騒音は厳しくなっていると指摘し、航空機騒音の指針を前指針[3]（L_{dn}換算で～55dB）より10dB強化して45dBにすることを提案した。航空機騒音への反応激化は米国でも指摘されている。本年開催された騒音の国際会議ICBEN 2021およびINTER-NOISE 2021で発表された米連邦航空局FAAの報告[7-9]をみると、2015-2016年に全米の20空港で調査した航空機騒音のアノイアンス反応は前世紀の調査によるFICON-1992[32]（元はSchultz Curve-1978）から格段に厳しくなっている。

図5にFAA-2021、WHO-2018、FICON-1992の暴露反応曲線の比較を示す。図には欧州の以前の結果（TNO-2001[12]）や日本の調査結果（NRT-201610）、JPN19-2003/6・JPN23-2006・JPN24-1996[11]）も描画してある。文献の図表から数値を読み取って図示しており、L_{dn}とL_{den}の違いも無視しているので、若干正確さを欠くものである。また日本の結果は個別調査、欧米は複数調査の結果を統計処理したものである。それを念頭におきつつ相互の比較を行うと、質問調査の年が2000年より前か後かで明らかに異なり、今世紀の結果の反応の方が高い。反応率10%での騒音暴露量を比較すると、概略、FICON-1992は65dB、TNO-2001/JPN24-1996は55～60dB、FAA-2021とWHO-2018では45dBである。反応率20%でもそれぞれ70dB、60dB、50dBである。JPN19-2003/6とJPN23-2006は、調査年はTNO-2001に近いが、反応率はFAA-2021とWHO-2018に近く、厳しい反応だった。いずれにしても欧米日すべてで2000年を境にして航空機騒音のアノイアンス反応が随分厳しくなり、反応率一定の騒音暴露量レベルでみれば20dBほど低いレベルで同じ程度のアノイアンス反応になっている。この間の航空機の低騒音化の進展を思えば反応の激化に驚かざるを得ない。

この変化は様々な要因が複合的に働いて起きたものと思うが、長い年月が経つうちに世代交代が進んで初期のジェット機の激甚な騒音を体験したことのない人々が調査対象の大半を占めるようになったことや生活の質の重要要素として音環境に求める水準が高くなったことなども影響しているのではないだろうか。前述の通り初期のジェット機はわが国では1990年頃までに飛ばなくなった。その頃20歳台の人が今は50歳台になっている。証拠を示して論じるのは大変だが、普段体験するレベル範囲の上限を超える航空機騒音をうるさく思うとすれば、時代とともにアノイアンス反応が厳しくなっているのは意外なことではないのかもしれない。

晴れた日の物陰は真っ暗に見えるが、照度でいえば曇天の屋外より明るいこともある。また、晴れた日に家に入ると、しばらく真っ暗で何も見えないが、やがて目が慣れて様子が分かり、照明を明るく感じるようになる。航空機騒音のアノイアンスもこれと似ているかもしれない。高騒音のターボジェット機が飛んでいた頃は初期のターボファン機が静かに感じられたが、低騒音機中心の時代になり、それがやかましい飛行機になった。そして、低騒音機も高頻度で繰り返し頭上を飛ぶとうるさく思う。

職業柄、様々な飛行場で騒音測定してきたが、民間機に加え自衛隊のジェット輸送機C1が飛ぶ空港で1980年代半ばと2010年代初頭に測定をしたときの違いを思い出す。最初の測定ではまだ高騒音機が多く、C1は騒音レベルが低くて主要な測定対象でなかったが、二回目の測定ではC1が一番騒音レベルの大きな飛行機となり、その音が随分大きく聴こえた。なお、図6は機種別・就航年代別に騒音証明値を並べたもので、図2と同じだが機種の変遷と静穏化の傾向が把握し易い。

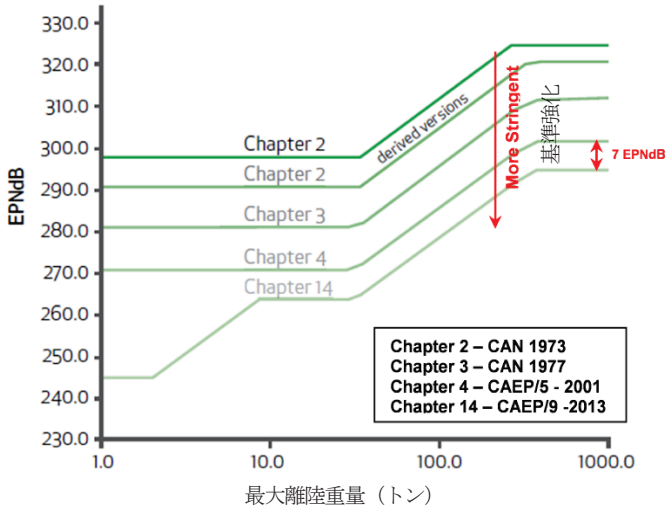


図１　ICAOの騒音基準の強化[4)]

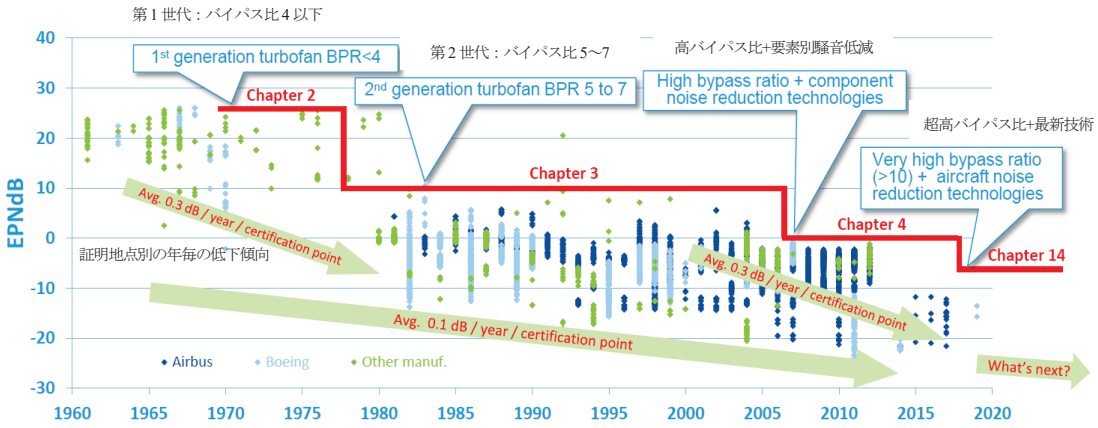


図２　騒音証明値（Chapter 4基準の相対値）の低下と基準強化及びバイパス比の関係[5)]

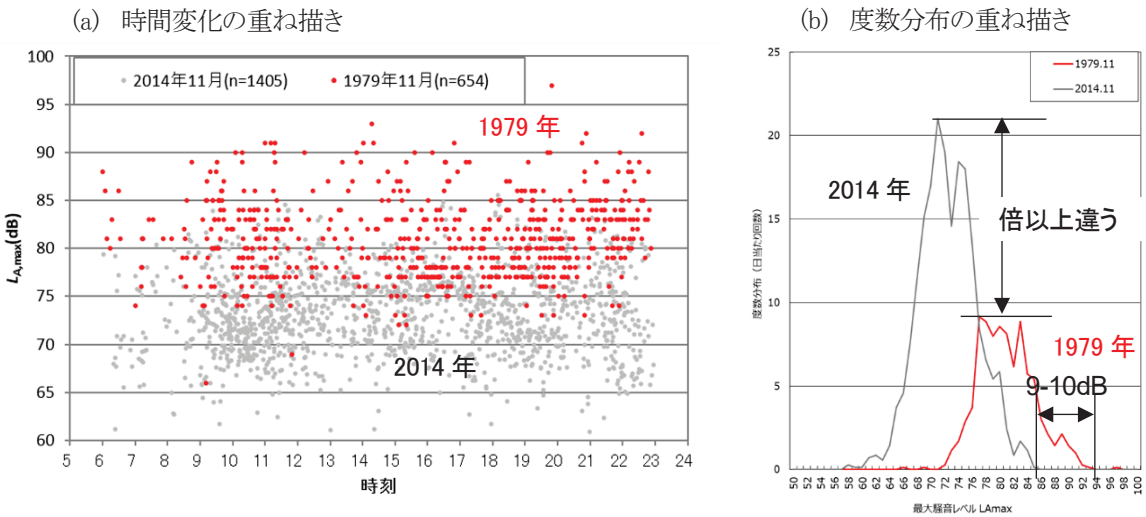


図３　最大騒音レベルL_{ASmax}の観測値の1979年（濃い黒丸）と2014年（薄い黒丸）の２時代間での比較[6)]。(a)図は時間変化の重ね描き、(b)図は度数分布の重ね描きである。ある国内空港の滑走路端から7km地点の監視結果から各年の同時期の一週間の観測データを抽出して解析した。

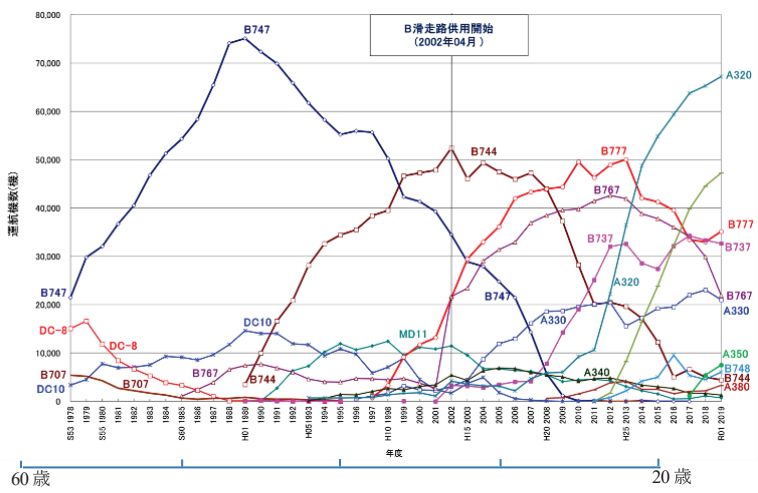


図４　成田空港の機種別年間運航回数の年変化[6)]

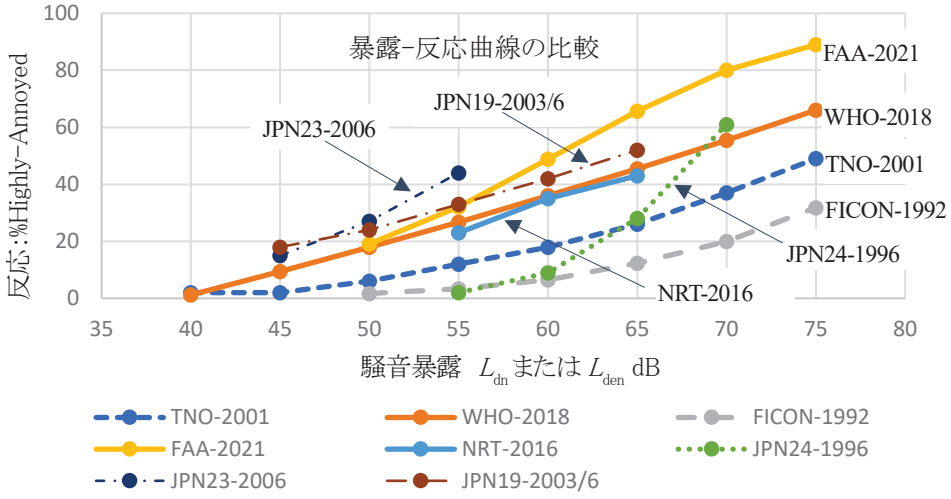


図５　社会調査による航空機騒音の暴露反応関係の比較[2,7,11,12)]

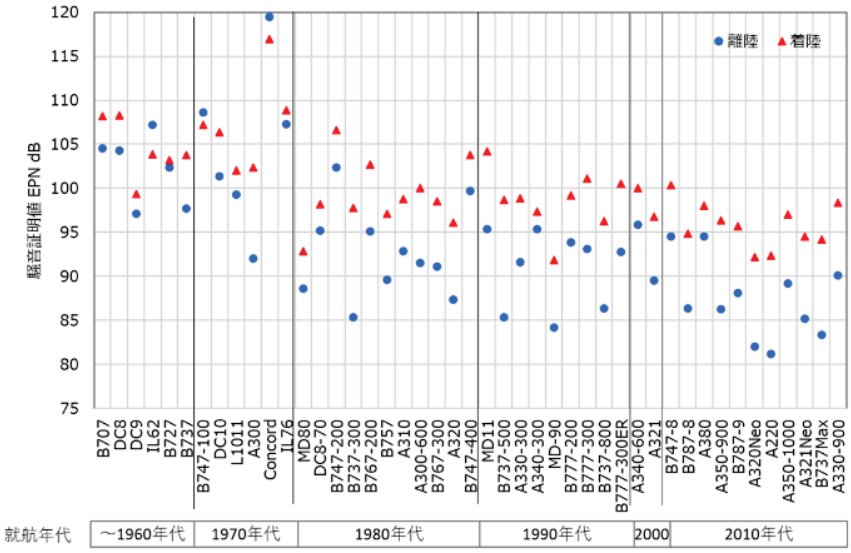


図６　ICAO 等のデータによる機種別・年代別の騒音証明値 L_{EPN} の比較

3. 新たな飛行経路や運航方式の導入等に伴う騒音の苦情とアノイアンス

わが国の航空交通は、高度経済成長以来、右肩上がりで拡大してきた。今世紀の初頭に、テロや戦争、サーズ、経済の低迷があって伸び悩んだが、再び上昇に転じ、現在に至っている。その状況と国際航空の見通しの下、首都圏で（羽田と成田を広域管制する形で）新しい運航方式導入や市街地上空を飛行する離着陸経路の新設により航空容量拡大が進められている。

その一環として十年ほど前に新しい運航方式である広域航法（RNAVやPBNという）が導入され、指定する点を結ぶ経路を外れずに飛ぶようになり始めた。その結果、羽田に向かう航空機が千葉市上空を数分ごとに飛行し、レベルは高くないが高頻度で音が聞こえ、大騒動になった[13, 14]。以前の方が音は大きかったにも関わらず、自治体の長も耐え難い音と言い、「激甚騒音」に変質した。その後数年して欧米でも同じような騒音問題が起きている[14, 15]。しかし、こうした問題は騒音対策区域外で起きるため、対策が取れないのが現状である。そうした状況に鑑み高頻度の上空通過の気づきがアノイアンスの増強を引き起こすと考えて改善の方法を考察した[14, 15]が、実用化は簡単ではない。それから数年経ち、その後の状況を調べてみた。

3.1 わが国の首都圏空港の最近の状況

まず、羽田空港では国際線発着枠の拡大のため、昨年3月末に都心上空を通過する新飛行ルートの運用が始まった。それに先立ち国交省は2015年から繰り返し住民説明会を開いて運用手順や騒音軽減策、被害対策を説明して理解を求めてきた。新ルートは南風好天時の午後にしか使われず、COVID-19パンデミックによる減便が続く中でのスタートとなったが、都心上空を通過して次第に高度を下げ新宿や品川を飛行するため、経路下に住む住民から落下物や騒音を懸念する声が上がり、昨年6月にルート下の住民らが集団訴訟を起こす事態となっている。しかし、訴状では「離発着に伴う騒音による各種生活被害」といっているが、航空機騒音の影響や被害の内容、騒音頻度の考慮方法、騒音対策基準の妥当性などへの疑問は出ておらず、「最短では東側ルートだと2分間隔、西側ルートだと4分間隔で飛ぶ」という頻度の言及があった程度である。新ルートの訴訟の動きと関係するかは不明だが、国交省はルート固定化回避の議論を行う検討会の設置を決め、今年8月までに4回の検討会を開催し、騒音軽減等の観点から、見直し可能な方策がないか検討を重ねている[15, 16]。だが、資料を見る限り、様々なRNPの方式を調べているが、どの程度騒音軽減が見込めるか試算しているかは明確でない。なお、新ルートの運用は南風好天時での午後だけと限定的であり、従来ルートの千葉市側の経路下住民の騒音被害を訴える発信がネット上で続いているのをみれば、新ルートの運用は千葉市側の騒音被害の軽減にも有効に寄与しているといえるか分からない。

次に成田空港は一昨年10月末開始の冬ダイヤから運用時間を1時間延長して零時までとなった。空港会社が実施した説明会が功を奏したからか、COVID-19で運航便数が激減しているためか、夜間運航は減っていないが、ネットでみる限り、運用時間の延長による苦情は起きていないようだ。

3.2 米国の運航方式変更と騒音問題

米国は長年の課題である航空交通の混雑遅延の解消の解決策として広域航法（PBN）による新しい運航管理システムNextGenへの移行が2007年に始まった[18]。PBNでは指定する地点を正確に通過するように航空機を飛行させられるので人口密集地域を避けて経路を設定すれば騒音被害は最小化できるとされている。しかし、筆者が日本の航空環境問題の経緯をINTERNOISEで紹介した2012年には米国ではNextGenに伴う騒音の問題は顕在化していなかったが、数年後、大都市圏の航空混雑解消を意図したMetroplex initiatives（大都市圏管理方式）でPBN運航が始まるとたちまち、空港から遠く離れた（20〜30km以上）経路下の地域で激しい騒音問題が起きた。2016年に報告したサンフランシスコやワシントンの状況はその典型事例だったようだ13)。今回改めて調べてみると2015年暮れ発行のJDA Journalのブログ記事[19]によれば、すでに9以上の

Metroplexで同様の問題が起きている[19, 20]。FAAは、PBNの採用で経路集中を図る結果として広域的には騒音の影響範囲が縮小して改善し、経路直下での影響も許容の範囲だとしていたが、実際は経路直下の地域で騒音発生頻度が増大し、かってない反対が起きていたのである。「ヒューヒューあるいはわんわん泣き続けるかのような航空機騒音のアノイアンスは被害の程度を測定で定量評価できるものでなく、定性評価するしかないが、反応の厳しさは無視できるものではない」とブログには書いてあった。2015年の夏にそうした状況の見直しを求める議案を下院に提出した議員の書簡によれば、「法案は翌年の3月に採決されるが否決されると見直しの機会は三年後、2019年になる。そうすると2019年が基準となり、現状が許容されたことになる。」と懸念していた（結局、そうなったようだ）。この2015年暮れのJDA Journalの記事[19]では、なすべきこととして、次の事項を挙げていた：1）PBN経路直下で騒音測定して環境アセスの予測と比較し、反応が予測より大きい理由を特定する、2）予測が妥当となった場合は発生頻度や地域耐性の影響を考え、L_{dn}値の変化による判定基準を調整する、3）騒音の頻度はL_{dn}値に大きな影響を与えないが、航空機騒音に対する地域耐性には影響する。しかし、FAAのL_{dn}の変化の判定基準20,21) は、航空機騒音に係る基準L_{dn}：65dBに基づき、L_{dn}：65dB以上では1.5dBを超える変化がある場合は重大変化とし、L_{dn}：60～65dBで3dB、L_{dn}：45～60dBで5dBを超える変化がある場合はそれを情報開示することとしており、これに基づく限り、PBNの採用による経路直下の騒音発生の頻度増大は大きな問題ではないと判断されてしまうとブログ記者は危惧し、新たな経路・手順の採択、あるいは既存の経路・手順の変更を決定する前に公聴会などを通じて関係する地域が強力に関与できるようにするのを義務付けること、騒音基準をDNL 65dBから55 dBへと下げる時に補足の評価指標を採用すること、DNL 65dB未満の地域では緩和オプション検討の必要性があることを明確にすること、健康影響の研究を実施することなどを求めていた。

さらにその後の状況を調べたところ、2019年のJDA Journalにも記事があって[20]、PBNの騒音が問題となっている都市圏の一覧を再掲して（問題が未解決ということ）あり、PBN経路直下の苦情地域の状況をしっかり調べるように推奨している。その方がFAAのやり方よりも上手にPBNの影響がL_{dn}変化の判定基準を超えることを明確に示せる可能性が高い。

FAAはNextGenのホームページに地域の関与や環境アセスのページを設けて真剣に対処しているようだが、ワシントンポストをみると「NextGenによる前代未聞の騒音公害だ」と書いてある[22]し、訴訟が起きているとも書いてある。こんな状況がFAAの社会調査のアノイアンス反応の厳しさに反映しているのかもしれない。

3.3 英国の運航方式変更と騒音問題のその後

英国でも2014年頃に空港容量拡大の選択肢としてHeathrowやGatwickを含む首都圏の空港に国際協調の下に広域航法（PBN）採用で経路集中による効率化を図り、経路直下はレスパイトで騒音影響を軽減するという試みを行ったが、空港から遠く離れた経路直下の住民が低レベル・高頻度の騒音曝露が耐え難いと激しく反対し訴訟も起きて早々に中止する結果となっている。PBNの導入に反対してきた（HeathrowとGatwickの中間に位置する地域の）住民団体から「騒音の影響について事前に検討せず、関係地域との協議もせずに実施した」と指摘されている[23]。この資料によれば、英国交通省と航空局は、PBNの初期トライアルに対して沢山の苦情や抗議があったにも関わらず、2017年に空域変更プロセスを見直してPBN展開に道を開くことを目指しているようで、住民団体は警戒をあらわにしている。なお、PBN導入に伴う騒音の問題への反対は、英国以外の欧州諸国でも起きているようである。

4. 新型コロナ感染症パンデミックの影響

昨年初め勃発した新型コロナウィルス感染症（COVID-19）の世界的な流行（パンデミック）は、日常生活や経済活動に深刻な影響を及ぼしている。航空交通も例外ではなく、特に旅客輸送の受

けている打撃が著しい。国際間の人の往来は壊滅的といっても過言でない。しかし、航空機運航に伴う騒音曝露の観点からは運航便数の減少は静けさの回復につながっているという利点もある。

COVID-19のパンデミックが勃発した昨年春の前後での運航便数の推移を眺めてみよう。図7に、海外3空港（シドニー/SYD、ニューヨーク/JFK、ヒースロー/FRA）と国内4空港（成田/NRT、関西/KIX、伊丹/ITM、福岡/FUK）の2019年1月～2021年6月の月別離着陸回数の推移を示した。回数は2019年の年間平均で相対化した。

わが国の空港はNRTとKIXで3月に急減したが30-40%にとどまった。その後の回復は少し鈍い。国内線の多いITMとFUKは緊急事態宣言の影響を受けて運航便数は大きく変化するが、4-5月には30-40%にまで落ち込んでいる。海外空港は2020年3月に急減し、4月に10%前後まで下がった。6月から徐々に回復し、JFKとSYDでは今年に入って夏前には60%以上まで戻っている。

運航便数の減少は当然ながら騒音暴露の減少をもたらしている。国内空港周辺に設置されている常時監視装置の記録をネットから入手し考察してみた。2020年の結果は速報段階のものもあるが、ここでの検討に支障はない。

まず、月別の推移があった伊丹空港をみよう。大阪府のホームページから抽出した府内3局での監視結果[24]は、図8に示すように、2020年5月にコロナ禍以前に比べて騒音値が8dBほど低下している。便数は以前の40%なので騒音は予想以上に低くなったといえる。年別の推移については関西エアポートの9局（1局は移転除外）のデータ[25]から算出した結果を図9に示すが、2020年8月と12月の緊急事態宣言解除による運航回復により、3.6dBの減に止まっている。次に東京/大阪航空局ホームページ情報[26, 27]を用いて、羽田福岡を含む全国10空港27局（羽田の1局を運航状況変化のため除外）のデータで、2019～2020年への年間平均騒音値（L_{den}）の変化を調べると平均で3.0dB減だった。最後に成田空港のホームページ情報[28]で2019～2020年への年間平均値の変化をみると、図10の通り、A滑走路側0.6dB減、B滑走路側7.5dB減で様子が異なっていた。その理由を調べてみると、パンデミック勃発直後の2020年4月中旬から7月下旬に掛けてB滑走路が運用停止になっていた。他方、例年より貨物便の運航が増えたため、運航総便数は図7に示す通り概略30%で下げ止まり、その後は漸増する結果となった。そのため他空港と異なり、A滑走路側の騒音値は例年並み、B滑走路側は大幅減になったと思われる。

総括すれば、2020年の国内空港（成田除外）の航空機運航の騒音暴露量はパンデミックの影響を受けて例年の3dB減になった。大雑把にいえば、運航回数の減少がそのまま暴露量の減少になっているとみてよい。一般に、「3dBの減」は感覚的に明らかに「減少した」と認識できる変化である。空港周辺住民はCOVID-19パンデミックの恐怖に襲われながらも航空機の飛行頻度と騒音暴露量の減少の双方の観点から例年とは異なり静かな年であったと実感しているのではないだろうか。

海外空港の騒音暴露状況変化の情報はネットで見つけられなかったが、ロンドンの状況について英国下院議員投稿のブログ記事があった[29]。「・・・ロックダウンは確かに恐ろしい体験だったが私の選挙区の住民には思いがけないメリットとなった。この地区はヒースローとロンドンシティへの飛行ルート下に位置し、国際線が閉鎖されたために、夜間飛行の恐怖から解放されたのだ。睡眠も改善された。人々の精神的な健康も改善された。・・・」。図7に示した通りヒースローでは2020年4月の便数が10%に減少し、その後も30-40%に止まっている。この地区はヒースローの東27km、シティの南西6kmのところで、ヒースローへ東側から進入する機が南北から来て上空で旋回会合して最終進入に入るところである。羽田空港でいえば北から進入する新都心ルートの最終直進進入に入る高田馬場から中野辺り、あるいは従来ルートの千葉市辺りでの航空機の上空飛行を想起すればよい。ここで日に800回の上空通過が2020年4月には80回に減ったのである。随分静かになった、そう感じたことだろうと想像する。

国際航空運送協会（IATA）とツーリズム・エコノミクスは本年5月にアフターコロナの旅客需要

回復の見通しを発表した[30]。それによれば本年の旅客需要はコロナ禍前(2019年)の52%水準まで回復し、来年は88%となり、再来年にはコロナ前水準を5%上回る、2030年の旅客数は56億人に増加するとの見通しである。コロナ禍以前に予測した2030年の旅客数を約7%下回る数値であり、パンデミックで2〜3年分の成長を失うと修正をしたことになる。リモートワークの定着などの、新たな生活様式、ビジネス様式が浸透したことで、ビジネス渡航等の需要が減退するためとみられる。今後、こうした運航状況や生活様式の変化につれ航空機騒音のアノイアンス反応はどのように変化していくだろうか。

5. 航空機騒音のアノイアンス反応の今後

COVID-19のパンデミックは、空港周辺の地域に思いがけず静穏な音環境をもたらした。だが上述の通り、数年のうちにパンデミックは克服されるだろうし、地球温暖化対策やSDGsへの取り組みが叫ばれる時代になっているにしても航空交通はやがて以前の水準に戻り、超えていくと予想される。短期の静穏な音環境の体験後に騒々しい音環境への揺り戻しを体験することになる。それがアノイアンス反応にどのような影響をもたらすか。

わが国や米欧で広域航法による運航方式が導入され、空港から遠く離れたところでも飛行経路に沿った地域で低レベル・高頻度の騒音曝露が生じ、激しい騒音苦情が発生しているが、対策の基準を下回る地域のため対策の対象に該当しないことが多く、対応の手段がない現状である。対策対象に該当しなければ問題なしとみればそれまでだが、そう結論する前に二つの課題検討が必要ではないだろうか。一つはアノイアンス反応の時代による変化をどうみるか、今一つは低レベル・高頻度の騒音暴露の影響評価はエネルギーベースの方法で適切にすることができるかという課題である。

はじめにで書いたように、今世紀に入ってから航空機騒音のアノイアンス反応が厳しくなったという変化もある。そもそも、環境基本法には環境基準や評価方法の妥当性について定期的に見直すことを求める条項があるが、基準告示から半世紀近くも経過した現在もわが国には見直しの機運は現れていない。今回のパンデミックを好機と捉え、基準や評価方法の妥当性を基本に立ち返って検証する機会は設けられないだろうか。

航空機騒音に係る環境基準は2007年の暮れに改定され、騒音評価量がWECPNLからL_{den}へと変わったが、基幹空港の運用状況で評価値が同じ水準になるように基準値を定められたので、基準強化になっていない。また、単発騒音暴露の繰り返しによる騒音影響をエネルギーベースでの累積計算で評価するという点では最初の基準告示以来変わっておらず、これで低レベル・高頻度の騒音暴露のアノイアンス影響が適切に評価できるかを検証することも必要ではないだろうか。

空港から離れた飛行経路下地域での低レベル・高頻度の騒音に対する苦情について、別の方法でアノイアンス軽減を図り、解決できないかと考え、「航空機の上空通過への気づきがアノイアンスを増すのではないか」と仮定して航空機の運航管理手順の工夫で気づきを減らす方法を考察した[13, 14]。そうした手順を試行し、有効性を確かめることは現実問題して容易でないが、低レベル・高頻度の騒音暴露のアノイアンスの適切な評価とともに、運航手順の工夫などにより騒音影響の軽減を図ることも大切だと考えている。

6. おわりに

民間航空にジェット機が導入されて60年ほど経ち、技術革新で航空機の静穏化が随分進展した。それにも関わらず、航空機騒音へのアノイアンス反応が厳しくなっている。本稿ではまずその時代変化を論じた。次に新たな飛行経路や運航方式の導入に伴う騒音苦情に関連して考察した。さらに、昨年始まったパンデミックの影響を若干考察した。

時代の変化につれ社会経済の発展や生活水準の向上があり、音環境の質に関する見方も変化している。パンデミックも生活様式や価値観に大きな変化をもたらす可能性がある。そんな状況に鑑

み、確立から長年月の経つわが国の航空機騒音に係る環境基準や騒音評価方法の妥当性を検証してこれからの時代にもふさわしいかを見直す良い機会にできないだろうか。

謝辞

本稿は昨年秋の騒音制御工学会秋季研究発表会での講演論文[31]をベースに記述を追加し作成したものである。2章の航空機騒音の低騒音化および4章の運航回数の変化に関するデータ収集に際し、研究センター所長篠原直明氏の協力を得た。また、2章のアノイアンス反応の図を作成するに際し、神奈川大学森長誠氏の助言を得た。両氏に心から謝意を表する。

参考文献

1) ISO 1996-1:2016: Acoustics — Description, measurement and assessment of environmental noise — Part 1: Basic quantities and assessment procedures.
2) WHO EUROPE, Environmental Noise Guidelines for the European Region, 2018.
3) WHO, Guidelines for community noise. 1999.
4) ICAO ENVIRONMENT WEB Pages, Technologies Standards (Reduction of Noise at Source).
5) Arnaud Bonnet (ICCAIA Observer at CAEP), The role of technology in reducing aircraft noise, ICAO Environmental Symposium 2019.
6) 磯部正臣、航空機騒音はどう変わったか？―国際空港の事例―、騒音制御、Vol.31、NO.2、2007.
7) FAA Aviation Noise WEB Pages, Neighborhood Environmental Survey.
8) Sean Doyle et al., U.S. Federal Aviation Administration Research on Aviation Noise: Understanding Challenges, Developing Solution, and Informing Decision Making, Proc. ICBEN 2021.
9) Sean Doyle et al., U.S. Federal Aviation Administration noise research program including the Neighborhood Environmental Survey motivation and results, Proc. INTERNOISE 2021.
10) Masaaki HIROE et al., A questionnaire survey on health effects of aircraft noise for residents living in the vicinity of Narita International Airport: The results of physical and mental health effects, Table 4 in Proc. ICBEN 2017.
11) 森長誠，我が国の曝露反応関係に基づいた航空機騒音の基準についての考察，日本騒音制御工学会秋季研究発表会講演論文集，pp.115-118 (2020.11).
12) Miedema HM, Oudshoorn CG (2001). Annoyance from transportation noise: relationships with exposure Metrics DNL and DENL and their CIs. Environ Health Perspect. 109:409–16.
13) I. Yamada, “Continuing efforts and challenges to reduce the impact of airport noise in Japan.” Proceedings of INTER-NOISE 2012.
14) 山田一郎、航空容量拡大に伴う騒音暴露の増加を抑制する方法に関する一考察、音響学会、秋季講論集、2016.
15) 山田一郎他、音源の視覚的イメージが交通騒音のアノイアンスに及ぼす影響の考察、音響学会、秋季講論集、2018.
16) Aviation Wire, 羽田新ルート、国交省が見直し検討会開催へ 従来経路も活用？ archives/204889, 2020 年 6 月 19 日。
17) 羽田新経路の固定化回避に係る技術的方策検討会資料、国交省ホームページ
18) FAA NextGen WEB Pages, Next Generation Air Transportation System (NextGen).
19) CYNTHIA SCHULTZ, NextGen Noise: RNP’s Concentrated IMPACT May Justify Substantive Change In FAA Policies Under A Proper Study, JDA Journal, DEC 28, 2015.
20) SANDY MURDOCK, Replay From 2015: NextGen Noise: RNP’s Concentrated IMPACT May Justify Substantive Change In FAA Policies Under A Proper Study, JDA Journal, MAR 26, 2019
21) FAA Order 1050.1F, Environmental Impacts: Policies and Procedures, Appendix B. Federal Aviation Administration Requirements for Assessing Impacts Related to Noise and Noise-Compatible Land Use, B-1.4. Environmental Consequences, 7/16/2015.
22) The unheard-of noise pollution from the FAA’s wasteful NextGen program, The Washington Post on 8 March 2018.
23) Teddington Action Group, PERFORMANCE BASED NAVIGATION (PBN), FLIGHT PATHS AND AIRSPACE CAPACITY, 1 6TH MAY 2018.
24) 大阪府、航空機騒音について、大阪府のホームページの環境・リサイクルよりダウンロード
25) 関西エアポート、航空機騒音測定結果、ホームページの大阪空港環境監視よりダウンロード
26) 国交省東京航空局管内特定飛行場の周辺における航空機騒音測定結果、東京航空局ホームページの騒音対策についてよりダウンロード
27) 国交省大阪航空局、航空機騒音測定結果、大阪航空局ホームページの環境情報よりダウンロード。
28) 成田国際空港会社、環境報告書、ホームページよりダウンロード
29) Janet Daby, MP for Lewisham East , In My View, South London Press, 26 AUG 2021, London News WEB Pages.
30) Air Traffic Movement Outlook – Europe August 2021, IATA analysis based on IATA / Tourism Economics Air Passenger Forecast July 2021; EUROCONTROL STATFOR May 2021 ECAC forecast, IATA WEB Pages.
31) 山田一郎、航空機騒音のアノイアンスと時代の変化、日本騒音制御工学会秋季研究発表会、2020
32) FICON, Federal Agency Review of Selected Airport Noise Analysis Issues, August,1992.

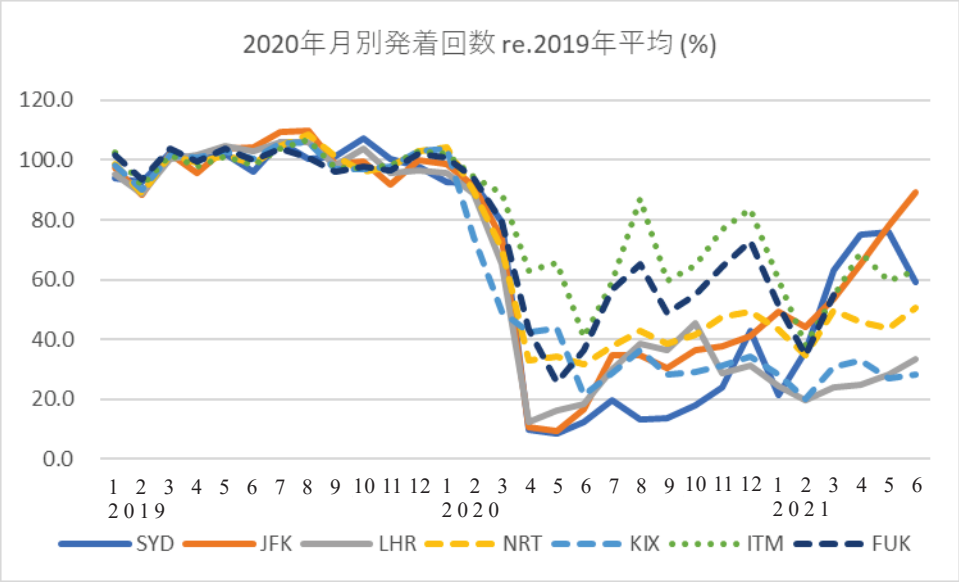


図7　COVID-19パンデミック勃発前後の月別発着回数の変化。図には７空港（シドニーSYD、ジョンFケネディJFK、ヒースローLHR、成田NRT、関空KIX、伊丹ITM、福岡FUK）の2019年1月～2021年7月における推移

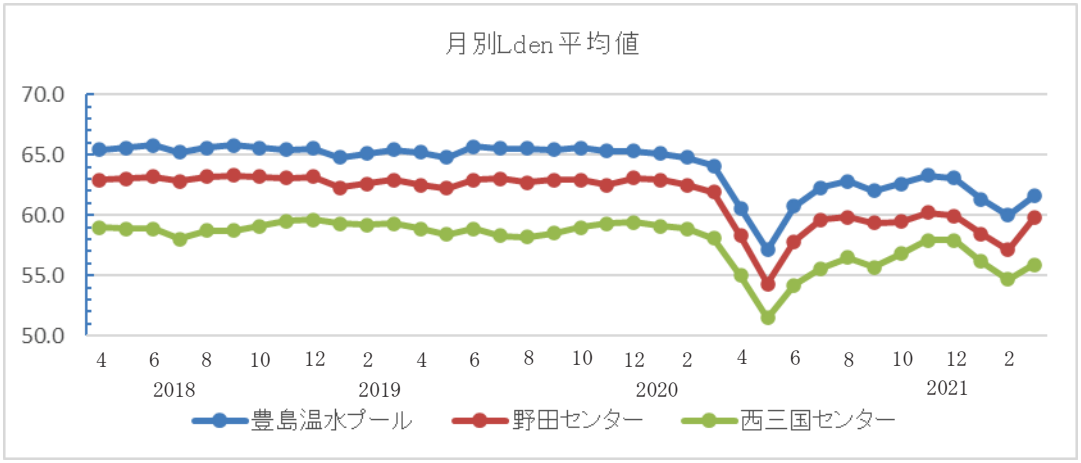


図8　大阪府のデータによる伊丹空港のパンデミック勃発前後の月別騒音値（L_{den}）変化。

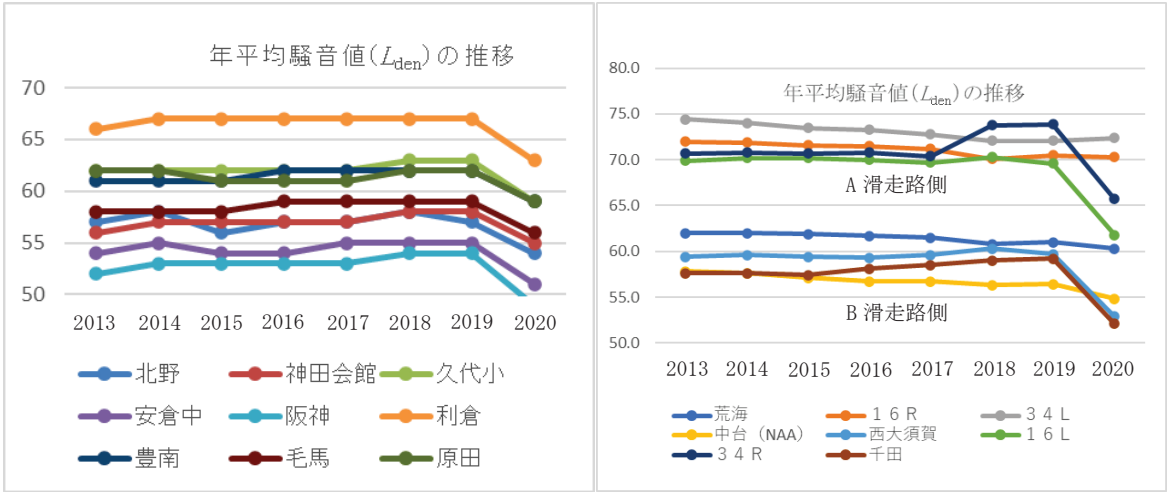


図9　関西エアポート[25]および成田空港会社[28]の騒音監視データによる伊丹空港と成田空港の年別平均騒音値（L_{den}）の推移。

航空環境研究 No.25（2021）, PP.1 − 8

研究報告

航空機騒音測定における音源識別の利用と様々な周辺環境への適応 *

大島　俊也（航空環境研究センター　主任研究員）

1. はじめに

環境基準に準拠した航空機騒音の測定は1週間連続して行う必要があるが、近年の騒音計は機能の進展により自動計測が可能となり基本的に無人で行われることが通例である。測定者は巡回時にしか現場にいないため、航空機騒音の曝露状況や周辺の道路交通騒音などの暗騒音の状態を知るには、測定後のデータ分析で騒音レベル波形や録音データなどの膨大なデータを確認する必要がある。そのため、航空機騒音のデータ分析作業の正確性と効率性の向上のためデータの周波数情報などから自動的に音源を識別し、分析対象となる航空機騒音のイベント区間をわかりやすく提示する技術が求められる。

前報では、昨今様々な分野で応用が進んでいる深層学習（Deep Neural Network ; DNN）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た結果を報告した[1)]。その結果から航空機騒音の発生イベント区間の検出はかなり高い確率で行える可能性があることを示した。また、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検出できること、自動車騒音などと時間的に重なった区間の検出もできることなど、DNNを用いた自動音源識別の有効性を確認できた。一方で、前報では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、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等、周辺環境により識別率が影響されるという問題点が明らかとなった。

本稿では、航空機騒音に対する音源識別器を、様々な音環境に対して汎用的に動作する識別器となるよう形成するために行った検討結果を示すとともに、周辺環境や季節など音環境の異なる様々な測定データに適用した結果を報告する。

2. 深層学習（DNN）による自動音源識別器の作成と汎用化の考え方

2.1 深層学習による音源識別器の作成

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。

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。例えば、画像認識などでよく用いられるCNN（Convolutional Neural Network）や、音声認識などで用いられるRNN（Recurrent Neural Network）が有名である。航空機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を画像入力とすることでCNNなどを利用することは可能だが、環境騒音の場合には予期せぬ自動車騒音やカラスの声などの妨害音のランダムな重畳が頻繁に現れるため、出現可能性のあるあらゆる妨害音の音源と、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り、音源情報フラグを付けた学習データの作成や識別器の係数計算に膨大な時間が必要と

* Effectiveness of sound source identification in aircraft noise measurements and adaptation to various sound environments

なってしまう。そこで本検討では、識別能力は多少劣るかもしれないがDNNの構造はむしろ小規模とし、学習データの良し悪しなど様々な検討を行うことや識別計算の時間を抑えて多くのケースを試算した方が有利であると考え、次のような全結合型の単純な構造を選択した。

今回用いた音源自動識別では、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入力の特徴量としている。図1に今回用いたDNNの構造と入出力のイメージを示す。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。

2.2 音源識別器の様々な音環境への汎用性改善

様々な音環境に対して汎用的に動作する識別器を形成するためには、空港周辺で観測される典型的な音に対する音源情報の分かったフラグ付きの学習データが大量に必要となる。また同じ測定場所でも季節によってセミの声など自然音の混入具合も異なることから、現場収録音だけの学習データ生成には限界がある。そこで、多くの音源情報を含むバランス良い学習データの作成は、現場収録データと幾つかの音源の単独音を測定したデータ同士を計算器内で合成した人工学習データを適宜組み合わせて作成することとした。

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。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。特に複数の音が混在する場合にはアノテーション作業の負荷が極端に大きくなる。航空機騒音の汎用的な識別器の作成を行う場合には、航空機騒音を含む様々な音源に対して如何に多くの有効な教師データを取得できるかがキーポイントとなる。

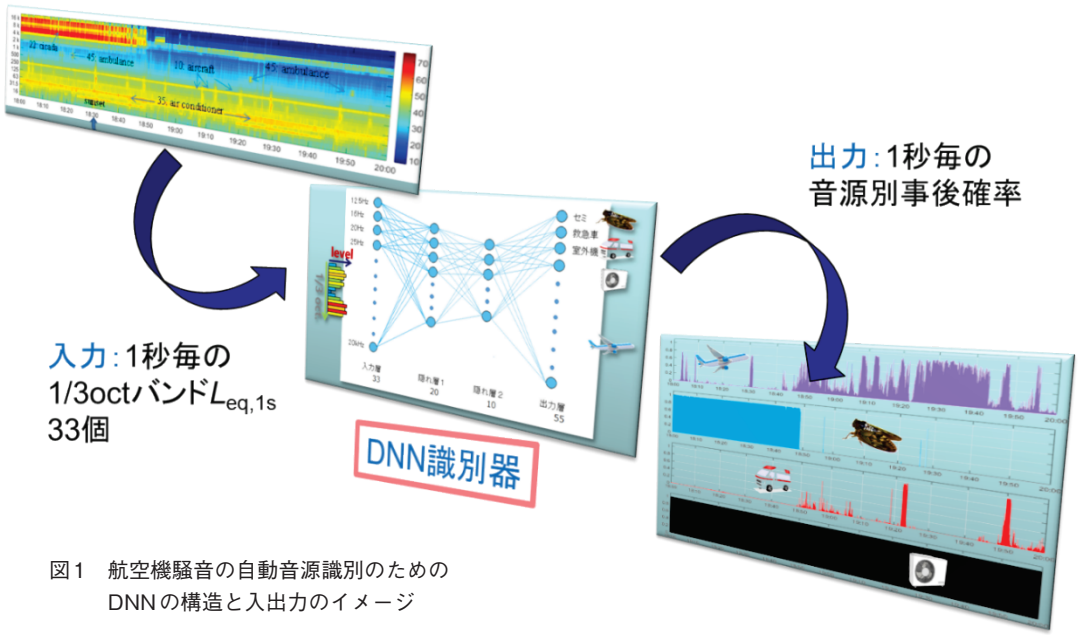


図1　航空機騒音の自動音源識別のための
DNNの構造と入出力のイメージ

3.現場収録データの取得と学習データ化

3.1 現場アノテーション

アノテーション作業の負荷を軽減し、かつ有効な教師データを得るためのひとつの方法として、実際の測定現場で音を目と耳で確かめながらテンキー端末あるいはMIDI端末を用いてその場で教師情報を入力する「現場アノテーション」を一部実施した[2)]。移動する自動車や航空機などの音源の発生状況に応じて各音源に割付けたキーを1つまたは複数同時に押すことで音源のフラグを立ててタイムスタンプとともに記録を行った。

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7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形で汎用化への作業を行った。なお、現場アノテーションを実施したのは表中の①～③である。

3.2 現場アノテーションの洗練化

現場でのアノテーション作業は、目の前の通過車両を見ながらフラグ付けを行うなど、目と耳の確認によりアノテーションの精度は高いと考えられるが、作業が長時間となると疲労からキーの押し間違いなどエラーの混入する可能性もある。また複数人で手分けして行っているため個人による判断の違いもある。①の現場測定では道路沿道に50m程度の間隔で時間を同期した複数の測定点を置いたことで、複数点の識別結果を並べて眺めると自動車の移動の様子などが明瞭に読み取れる。逆に言えば、移動音源の識別が確認できれば、その識別器が正しく動作していることの確認にもなる。そこで、移動音源による確認のできた識別器で、学習データ全体を改めて識別し、閾値を設けて識別確率の高いデータ区間に改めてフラグを付け、そうでない区間のフラグをゼロクリアする、という現場アノテーションの洗練化を行った。

3.3 飛行経路直下の航空機騒音の追加学習

表1の①～③による現場アノテーションデータには、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、⑥の空港周辺で測定したデータを学習データに追加した。この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、南ランウェイ端から2 km程度の飛行経路直下の測定点で10月のある1日分の航空機騒音である。虫の声が多少含まれるが周辺の暗騒音が比較的小さく航空機騒音がS/N良く測定できているため、離陸と着陸をバランスよく含む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既存の学習データに追加した。またこのデータは次節に述べる人工混合音の元データとしても使用した。

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	測定時期	概要
①都立公園を中心としたエリアの外周道路	道路, 鉄道, 航空機, 鳥の声等の自然音などの多様な環境音	冬	外周道路(2車線)歩道上計15点の時間同期多点測定。代表する2点で現場アノテーションを実施。
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	初夏、セミはまだ	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	冬	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	夏	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。
⑤防災放送子局を中心とする路地沿い	防災放送、生活騒音	冬～春	多点を時間同期した防災放送の伝搬状態を調査。
⑥民間空港のランウエイ延長線上	航空機、虫の声	初秋	航空機騒音の離陸着陸音の取得。
⑦民間空港周辺	航空機、道路、自然音、雨風、波浪の音	夏と冬	航空機騒音を対象とした多点の現地調査。長期の調査のため風雨など気象条件の異なるデータもある。

4. 人工混合音による学習データ強化

4.1 人工混合音の対象音源

前節で示した現場実測値を基にした音源識別器を作成するための学習データには、たとえば、夏のセミが背景で鳴く暗騒音レベルが比較的大きい条件での航空機騒音のデータが含まれていない。また学校などの公共施設屋上で航空機騒音の測定を行う場合に、チャイムや防災放送が大きな音を発生することがあるが、これについても当初の学習データに含まれていなかった。そこで、表1に示すように、④のセミの声が主要な林の中で収録したデータと⑤の防災放送のスピーカを中心とした収録データを用意した。これらからセミの鳴き声が単独に近い形で録音できている部分と防災放送のスピーカ直下で録音した部分を、それぞれの単独音として、⑥の航空機騒音とコンピュータ内で人工的に足し合わせることで両者の混合音を作成し学習データとして追加した。また、航空機騒音とセミ及び防災放送の音を合成する際には、現実的にあり得そうなレベル関係で数種類の組み合わせを作成し、識別器が汎用的に動作するよう調整した。なお、二つの音を合成する際には次に述べる人間の聴覚のマスキング効果を考慮したフラグ付けを行った。

4.2 マスキングを考慮したフラグ付け

二つの音が同時に聞こえる場合、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る。特に、一方の音のスペクトル成分にもう一方の音のスペクトル成分が重なっている場合にマスキングの影響が極端に大きくなる。これは人の聴覚に臨界帯域(critical band)と呼ばれる一種の聴覚フィルタが存在するためである。人工混合音を二つの音のレベルバランスを変えながらコンピュータ内で作成する場合、マスキングによってどちらかが聞こえづらくなり、その音源が存在することを示すフラグを付けるべきではない条件が発生する。このフラグ付けをZwickerの

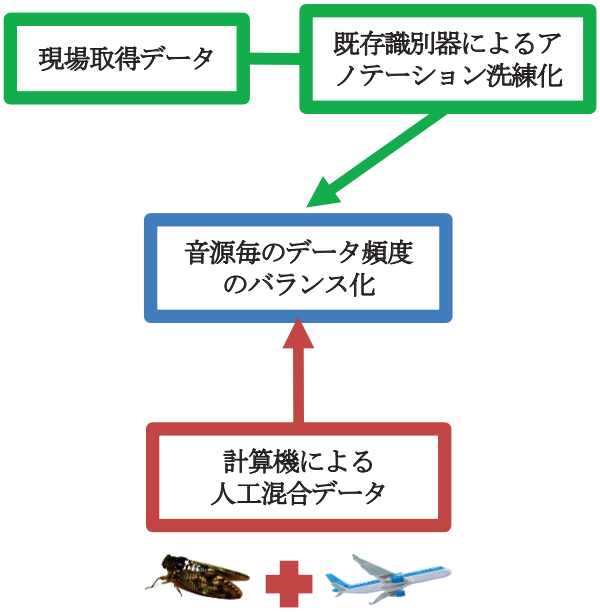


図2　航空機騒音の汎用識別器作成のための学習データ生成の流れ

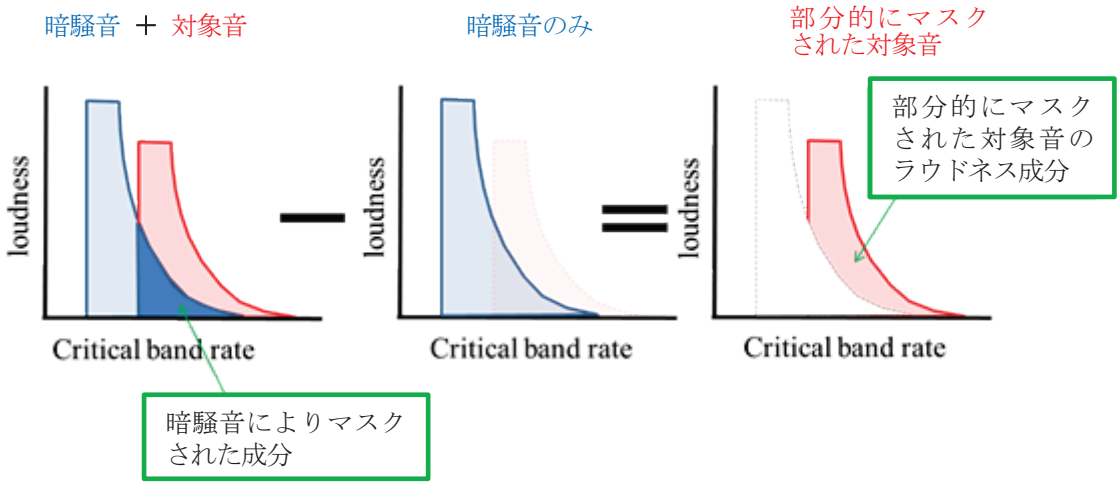


図3　背景騒音に対してある音が加わったときにZwickerラウドネスにより算出できるパーシャルラウドネスの導出イメージ

ラウドネス[3]を計算することで自動化を行った。Zwickerのラウドネス計算は、1/3octバンドレベルを基本として計算することから、ここで用いているDNNの音源識別器と対応が良く、計算負荷も小さいことからリアルタイム処理にも向く。

図3は背景騒音に対してある音が加わったときにZwickerラウドネスにより算出できるパーシャルラウドネスの導出イメージである。Zwickerラウドネスを導入することで、ある音の背景騒音に対するマスキングを考慮したパーシャルラウドネスが簡単に計算できる。

5. 音源識別結果を利用した航空機騒音イベントの抽出アルゴリズム

5.1 識別結果のプロット

作成した識別器により、音源を分類した結果の一例を図4-1に示す。この例では、ADSBにより取得した飛行経路の情報から航空機と受音点を結ぶスラントディスタンス(斜め距離)のデータもグラフの上部にプロットしてある。音源との距離と音速を考慮して計算した航空機騒音のレベルが観測されやすい範囲もグレーの網掛けで示した。

この例では、異なる2測定点について同時刻の8分間の発生騒音を識別し音源毎に色分けして示している。二機の航空機が飛来しておりピンク色で表示してある。たまたまその間に、上の測定点ではヘリコプタが、下の測定点では救急車のサイレンによって大きな騒音レベルが観測されたが、その様子がわかりやすく表現できていることがわかる。なお、識別器の出力には各音源に対する発生確率が1秒ごとに出てくるが、分かり易さのためそれぞれを騒音レベル波形+10 dBの位置が確率1.0になるように大きさを調整して示している。

別の空港の2測定点で観測された7分間の識別例を図4-2に示す。この例ではプロペラ機が2機通過しているが、その他の区間ではカラスが間欠的に鳴いている様子も良く観測できていることがわかる。

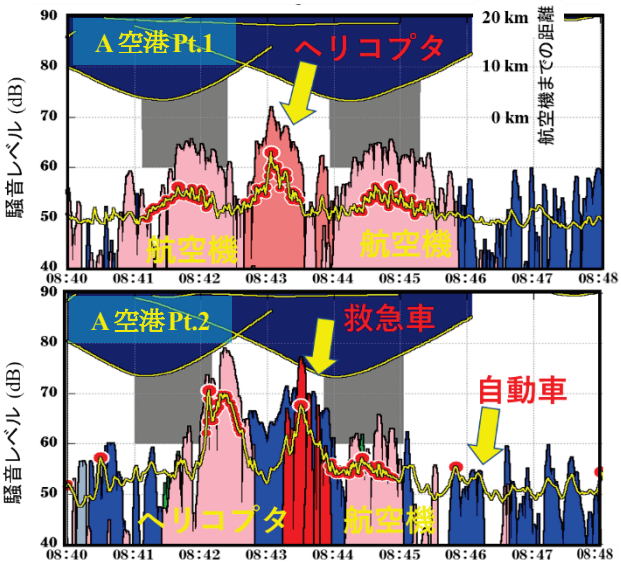


図4-1　航空機騒音を含む識別結果のプロット例1

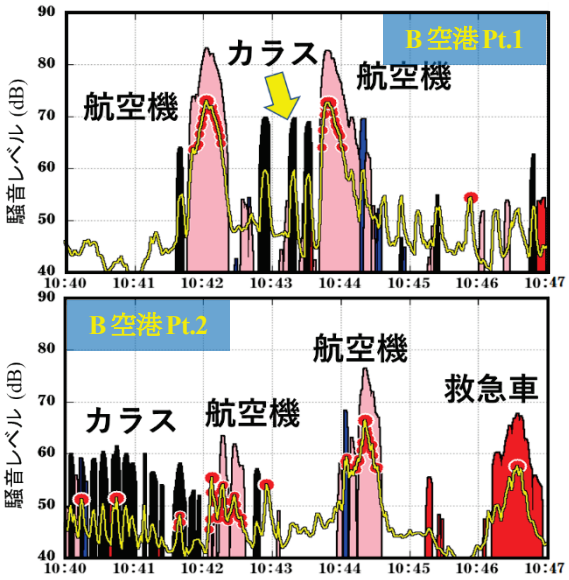


図4-2　航空機騒音を含む識別結果のプロット例2

5.2 人工混合音の付加効果の確認

人工混合音を学習データに盛り込むことにより航空機の識別が改善している例を示す。図5はある空港周辺の夏の測定において夜の20時台に得られた5分間のデータ区間を示している。背景に複数のコオロギの声(マツムシ、エンマコオロギなど)が暗騒音として混在する場合の航空機騒音の識別例である。図5上は虫の声と航空機騒音の混合した音の学習が不足している場合である。20:41頃の航空機騒音が大きいレベル範囲ではう

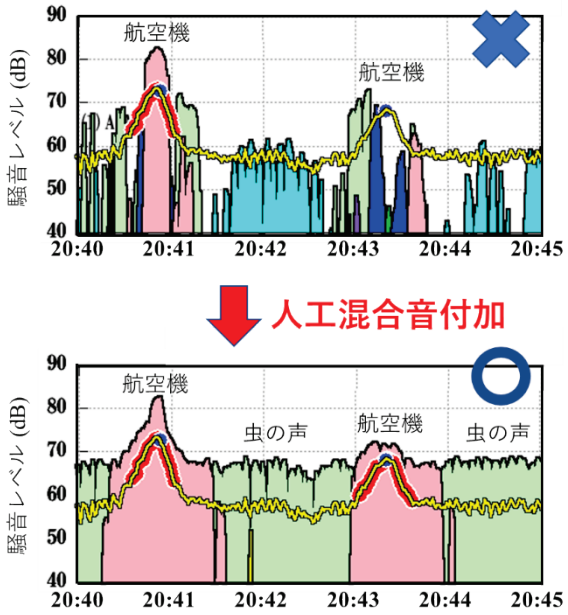


図5　航空機騒音の識別に対する人工混合音の効果の一例

まく識別できているが、レベルが大きくない部分では虫の声と混ざったスペクトルの影響でまったく別の音源と誤って識別され航空機騒音の発生区間をうまく特定できていない。更に20:43頃の航空機騒音はレベルが小さめであることもあり航空機騒音として識別が出来ていない。一方、図5下は、航空機騒音と虫の声の人工混合音を適切に学習データに含めて識別した結果である。二つの航空機騒音イベントとも裾野の方まで正しく識別が出来ており、虫の声だけの暗騒音区間と明確に区別できていることがわかる。

5.3 航空機騒音イベントの抽出アルゴリズム

図4のように騒音レベル波形に識別結果を重ねて表示するだけでも、分析を行う際に航空機騒音の発生区間を探す作業の軽減化になるが、識別結果を基に航空機騒音のイベント区間を算定できればL_{den}等の評価量を自動で計算することが可能となる。図6に識別結果を利用した航空機騒音イベントの抽出アルゴリズムを示す。観測された騒音レベル波形に対して、識別器の出力である各音源の存在確率(0～1)を掛け合わせることで、騒音レベルに対する各音源の寄与(例えば、航空機騒音に対する騒音暴露レベル$L_{AE,air}$)が計算できる。

この値を元の騒音レベルから計算されるL_{AE}と比較し、レベル差がある閾値以上であれば航空機騒音イベントであると判定する。

6. 様々な空港周辺環境への識別器の適用

6.1 テストデータの分類

この識別器を周辺環境の異なる様々な測定データに適用した(6空港、88地点)。なお、同一地点でも夏冬と調査した場合は2地点と数えることとする。これらの測定点の特徴の分類を表2に示す。周辺環境としては様々な環境に分布してい

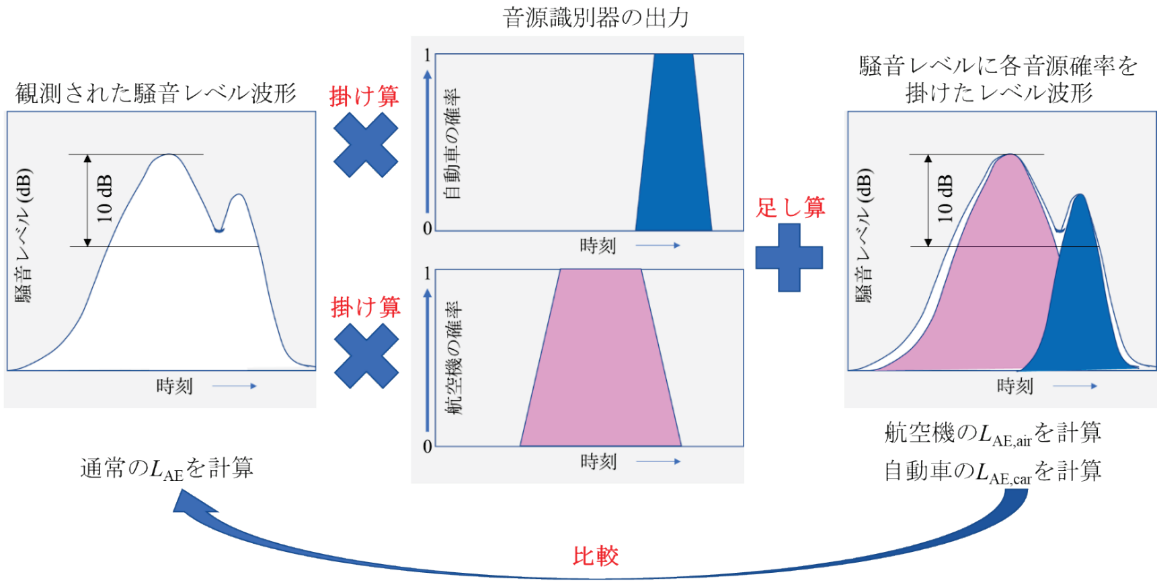


図6　識別結果を利用した航空機騒音イベントの抽出アルゴリズム

るが、住宅地が最も多く26箇所となっている。次に多いのは森林地帯で15箇所、草地14箇所である。また、飛行経路の直下に近いか側方であるか、また空港から近いか遠いかの区分も加えると、飛行経路の直下で住宅地である測定点が16箇所と最も多い。周辺の暗騒音(BGN)の大きさを三段階で分けた場合には、暗騒音の小さい住宅地と森林が最も多いが、住宅地でも暗騒音の大きい場所も8箇所あり、周辺の音の大きさの観点でも様々な測定点を包含していることがわかる。また、各測定点では連続7日間の調査が行われている場合がほとんどで、同じ測定点でも風が強い日や雨の日も含まれる場合もあり、気象条件の違いもデータの中に包含されている。また、同一空港の調査で、夏季と冬季の調査が行われている場合もあり、セミの鳴き声など自然音の違いの情報もデータ群に含まれている。このように、テストデータには周辺環境や気象条件、季節の違いなど多くの情報が含まれるため、これらに対して航空機騒音の識別が高確率で機能すれば、識別器の汎用性が確認できることになる。

6.2 様々な空港周辺環境への識別器の適用結果

前節で示したテストデータ群に対し、作成した航空機騒音の識別器による識別率を計算する。なお、識別率の計算方法は幾つかあり、目的に応じて使い分けられる。識別率の計算は図7に示す混同行列(confusion matrix)を元に行われる。実測結果が目的とする航空機騒音かそれ以外の音源の騒音であるか、に対して識別結果が航空機であるかそれ以外であるかのマトリクスを示す。今回、識別率の計算に用いた指標は図7に示すRecall(再現率)である。航空機騒音イベントの正解データに対して、識別結果が正しく航空機と判定されたものをTrue Positive(TP)、それ以外に誤判定されたものをFalse Negative(FN)と呼び、全航空機騒音イベントに対する正解数の割合がRecallとなる。この指標はFalse Negativeを低く抑えること、すなわち分析対象に対する誤識別を少なくするという考え方の識別率であると言える。

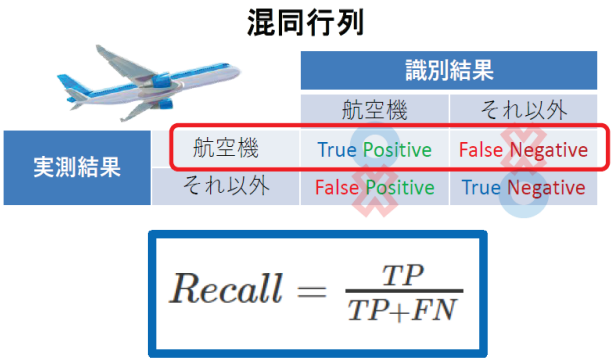


図7　混同行列と識別率Recallの定義

上記のように実際の航空機騒音の分析区間に対する識別できた区間の割合を識別率とした場合の全測定点に対する結果を、その測定点におけるL_{den}(1週間程度)を横軸にして整理した結果を図8に示す。

表2　音源識別を適用し航空機騒音の識別率算出に用いた測定地点の内訳

周辺環境	経路側方	側方遠い	側方近い	経路直下	直下遠い	直下近い	総計
海浜公園		4					4
学校敷地	4						4
公園	2						2
住宅、農地	1						1
住宅地		6		16	4		26
住宅地、森林		2					2
住宅地、農地	2	2					4
森林	8			7			15
森林、農地	2						2
草地	3	4	2	3		2	14
農地	3		2	5			10
放牧地		2		2			4
総計	25	20	4	33	4	2	88

周辺環境	BGN(小)	BGN(中)	BGN(大)	総計
海浜公園		4		4
学校敷地	4			4
公園	2			2
住宅、農地	1			1
住宅地	13	5	8	26
住宅地、森林	2			2
住宅地、農地	2	2		4
森林	13	2		15
森林、農地	2			2
草地	8	2	4	14
農地	8	2		10
放牧地	2	2		4
総計	57	19	12	88

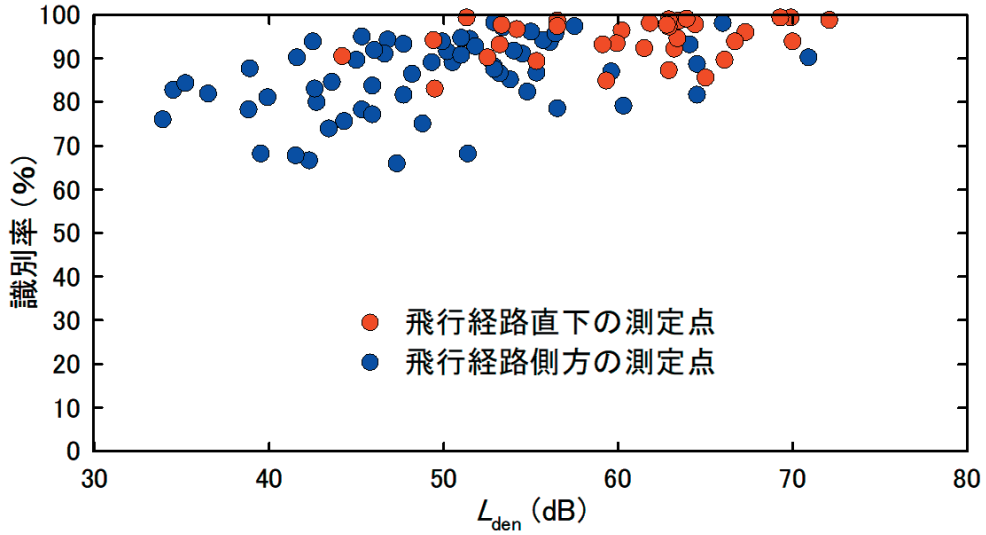


図8　様々な空港周辺環境への識別器の適用結果

その結果、飛行経路の直下で空港に比較的近くL_{den}の値がおよそ60 dBを超える測定点では概ね90～95%程度であった。周辺に道路騒音など妨害音が多い環境では識別率が70%程度に低下する例も見られる。しかし、その場合でも識別プロット図は分析を行う上での補助的な情報として有用であると考える。

6.3 地点に特有の音源に対する対処

測定地点によってはその場所特有の音源が存在し、既存の識別器ではどの音源クラスに対しても確率が上がらない、あるいはまったく異なる音源クラスが反応してしまう場合があり、航空機騒音の検出に影響を与える可能性がある。また、たまたまその音源と航空機騒音と周波数特性が似ている場合には航空機クラスが反応してしまう可能性があり識別率を大きく低下させてしまう原因となる。このような場合の対処方法としては、その地点に特有の音源が単独で存在する区間を切り出してフラグ付けを行い、既存の識別器の学習データに適当な分量を付け加えたうえで再学習を行うことが有効である。

今回の学習データ作成の際にもいくつかの地点で特有に発生する音源のデータを一部加えている。一つの例として、測定現場の近くで測定期間の途中から始まったコンクリートブレーカを用いた工事の例を挙げる。大きな断続的な騒音を発生させていたが、この種の工事騒音のデータは既存の学習データには含まれていなかったため、既存の識別器はその騒音の発生区間ではどの音源クラスも反応せず、航空騒音の発生区間の判定が難しくなっていた。そこで学習データを追加して再学習を行った結果、コンクリートブレーカの音源クラスが反応し、航空騒音の発生区間との違いがわかりやすくなった。

7. おわりに

無人で長時間の自動計測が行われている航空機騒音の測定データに対して、分析作業の正確性と効率性の向上を目的とする音源識別の手法と適用事例について報告した。汎用性を確認するために季節や気象条件の異なる様々な周辺環境での測定データに対して識別を行い、飛行経路の直下であれば識別率が概ね95%程度、飛行経路側方の暗騒音が比較的大きい条件でも70%程度となることがわかった。大量の測定データを分析する際の補助的な情報として十分に利用が可能であると考える。

参考文献

1) 大島, 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、航空環境研究 No.24, (2020)
2) 内藤, 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, 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研究会 N-2019-51 (2019)

航空環境研究 No.25（2021）, PP.1 − 11

研究報告

海外空港における航空機騒音苦情の現状と対策に関する考察 *

武田　修（航空環境研究センター　主任研究員）

航空機の騒音問題は、1960年代のジェット旅客機登場以降深刻な社会問題となり、国や航空業界をはじめ様々な利害関係者を巻き込んで改善に取り組んできている。その成果もあって、音源対策、受音対策ともに相当改善は進んでいるはずであるが、一方で周辺住民の苦情は相変わらず表出しているというのが現状であろう。そして、苦情行動の要因もさまざまで、各空港において決め手となる苦情対策はなかなかみつからないということも現実ではないだろうか。実は、ICAOの騒音対策の基本事項、いわゆる「Balanced Approach」のなかでは、本文には「complaints」という単語は出てこないし、明確な苦情対策の指針は明記していない。従って、各国、各空港での対策が主ということになる。日本においては、航空機騒音もふくめ「騒音」は環境基本法のなかで典型7公害として指定されており、これらの苦情処理スキームが一応決められているが、法廷闘争に準じたスキームであり、一般的とは言えない。空港当局者による苦情受付も行われているが、正直なところ苦情処理対応状況があまり公開されておらず、実態がよく見えてこない。

そもそも論として苦情処理は苦情者の申し出を聞き、意見を聞くか、なんらかの調査ののち回答するなど、それだけの対応で良いのかという疑問がある。そして、航空機騒音をゼロにはできないが、住民と空港当局が互いに議論を重ねることでより良い方向に進める方法はないものだろうか。ここがこの論考の出発点である。今回そうした観点から、諸外国では苦情処理はどのように行われているかについて、欧米の10か国（英、独、仏、蘭、ベルギー、スイス、オーストリア、スペイン、米、豪）、20空港（ヒースロー、ガトウィック、フランクフルト、ミュンヘン、ハンブルグ、ブリュッセル、スキポール、シャルル・ド・ゴール、ウィーン、チューリヒ、マドリッド、シアトル、ロサンゼルス、サンフランシスコ、シカゴ・オヘア、ラガーディア、J・F・ケネディ、ワシントンダレス、ワシントンナショナル、シドニー）を中心に苦情処理に関する法的な建付けの有無、処理ツールや受付窓口、また、苦情の実態とその報告・公開などといった点について横断的な調査を実施した。この調査結果を基に、日本における今後の苦情処理のあり方を考察することとした。

1. 苦情処理に関する法体系とスキーム

苦情処理に関する法体系について調査した国は10か国で、そのうち7か国について内容を確認することができた。その内容を表1, 2に示す。調査のポイントは、①法的な責任機関の有無、②直接の苦情対応者、③関係法令の有無とその具体、④対応内容、⑤その他である。

1.1 英国

英国はその国名にもあるとおり、「イングランド、ウェールズ、スコットランド、北アイルランド」の連合国であり、航空機騒音対策関係の所管官庁は、ロンドン主要3空港（ヒースロー、ガトウィック、スタンステッド）については「Department for Transport（DfT：運輸省）」が直接行うこととなっているが、その他の空港については他国及び地方自治体が担当する。法体系としては、4国共通で適用される「UK法」と各国固有の法律からなっており、航空機騒音関係はUK法の「Civil Aviation Act（CAA：民間航空法）1982」で規定されている。なお、英国では航空機騒音は「Environmental Protection Act（環境保護法）1990」または「Noise

* A consideration on countermeasures and the current situation for aircraft noise complaints at overseas airports

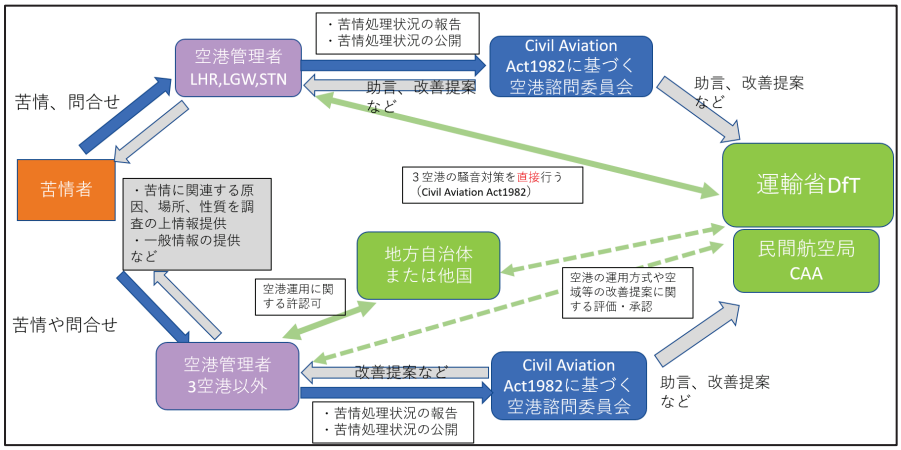


図１　英国における苦情処理の流れ

Act（騒音法）1996」（いずれもUK法）で法定の「迷惑行為」としては定義されていない。これは、おそらく航空行政全体の指針を定めた「Aviation Policy Framework」3.3節のなかで、「騒音によるマイナス影響と運航によるプラスの経済的効果との公平なバランスを取る」との方針を謳っているためと推察される。

具体的なスキームとしては、直接の苦情受付は各空港管理者であり、一般的には苦情者からの内容を確認、調査ののち回答・説明が行われている。一方、前述のCAA1982において全ての民間空港に航空機騒音等の環境問題を議論する「Airport consultative committee（空港諮問委員会）」の設置が義務付けられている。空港諮問委員会は地域コミュニティ、空港の利害関係者、乗客の代表で構成されていて、空港管理者は委員会に対して苦情処理状況を定期的に報告している。諮問委員会自体は空港の運用方法に関する決定権は無いが、運輸省や民間航空局（CAA）などからの空域、管制運用等の提案・意見照会が行われ、同委員会での騒音影響に関する議論と改善提案が可能となっている。

ただし、各空港管理者が定める苦情処理ポリシーで「特定地域からの苦情数のみで、既存の運用方法、経路等を変更することはしない」としており、CAAも「航空機の騒音公害は規則に違反していなければ、運航を制限する法的権限はない」と明言している。

表１　海外空港における苦情処理関係の法体系

	責任機関	直接の苦情対応者	関係法令	対応内容	備考
英国	ヒースロー、ガトウィック、スタンステッド空港：運輸省（DfT） その他の空港：地方自治体および他国 空域関係：英国民間航空局（Civil Aviation Authority:CAA）	空港の離着陸機に関する通常の苦情については当該空港が対応	・Civil Aviation Act（CAA）1982（UK法） ・Aviation Policy Framework（APF）（UK） ・各空港による苦情対応ポリシー ・Guidelines for Consultative Committees（DfT）	・CAA1982§35：全ての民間空港に、環境問題を議論する空港諮問委員会（地域コミュニティと利害関係者で構成）設置を義務付け ・CAA1982§38A~C：空港管理者による空港の騒音制御スキームの規定を明記 ・Guidelines for Consultative Committeesでは、具体的な諮問委員会の運営等に関する指針を明記	・航空機騒音は1990年環境保護法、1996年騒音法の法定の「迷惑行為」としては定義されていない。（CAA）
ドイツ	・連邦交通・デジタル・インフラ省（bundesminsterium fur verkehr und digitale infrastrukturr(BMVI) ・航空機騒音保護委員会（航空機騒音保護官含む）	各空港会社および自治体	航空法（LuftVerkehrsGesetz:LuftVG）セクション32a,b	§32aによる連邦レベルの「諮問委員会」と§32bによる地方レベルの「航空機騒音保護委員会（Fluglärmkommission：FLK）※」を設置、FLKは航空機騒音保護官が管理する。 地元の苦情対策に関しては、FLKが航空機騒音や大気汚染から住民を保護するため、軽減措置を提案する権利を有すると規定されている。	※FLKは全国に30機関
フランス	環境連帯移行省(Ministère de la Transition écologique et solidaire)	Aeroports de Paris（ADP）	Aeroports de Paris（ADP）社に関する2005年7月20日の政令n°2005-828、第48条~52条 環境法(Code de l'environnement)セクション4 L571-13条、R571−70~80条 ※1	ADP関連政令 ADPに航空機騒音公害等について実施した調査結果の公開、環境問題に関する情報と議論の為の公開レセプションセンター設置、航空サービスプロバイダの権限外の住民からの情報要求、苦情調査を義務付けている 環境法 行政当局は都市計画法に言及する空港について、環境諮問委員会（CCE※2）を設置することができるとし、同委員会では環境に影響を与える開発又は運用に関する重要事項について協議するとされている。	※1，2 CCE:Commission consultative de l'environnement 飛行場が所在する地域の省の長による設置

表2　海外空港における苦情処理関係の法体系

	責任機関	直接の苦情対応者	関係法令	対応内容	備考
オランダ	インフラ・環境省 オランダ航空管制：LVNL（Luchtverkeersleiding Nederland）	スキポール空港：（Bewoners Aanspreekpunt Schiphol：BAS）	航空法※1	BAS 住民からの苦情に基づいて、私たちは迷惑行為の全体像（傾向、パターン）を明らかにし、スキポール空港、LVNL、およびスキポール環境評議会に報告（四半期及び年次） スキポール環境評議会（Omgevingsraad Schiphol） 騒音等の環境問題に関する協議体で航空法の規定による諮問委員会と地域フォーラムで構成※2	※1　環境評議会の設置は、8条34項 ※2　メンバーは政府、空港管理者等の航空部門、住民、業界団体
		その他の空港：各空港の苦情受付窓口		各空港の苦情窓口設定は特に法制化されたものは見当たらない 地域環境評議会は、政府、空港当局、企業、地元住民の関与がある	
ベルギー	ブリュッセル空港：運輸インフラ省	airportmediation	ブリュッセル国立空港のオンブズマンサービスを確立する王政令(2002年3月15日)	王政令第5条 サービスの目的は地域住民からの苦情の処理および原因の特定に関連するすべての情報の収集、記録、分析。ディレクター（アドバイザー）は、航空担当大臣に活動の年次報告書を提出	
	ブリュッセル空港以外：各州環境担当	各空港会社	各州から賦与される環境ライセンス	空港会社の方針として、苦情の登録とフォローアップ、また諮問委員会の設置を謳っている※	※公表も含め確認できず。
オーストラリア	インフラ・運輸・地域開発・通信省 エアサービスオーストラリア（AA）※1	エアサービスオーストラリア AAオンブズマン 豪政府	・Air Services Act(ASA) 1995 ・National Aviation Policy White Paper ・Community Aviation Consultation Groups (CACG) Guidelines	・ASA1995でAAの設置、業務が定義 ・White Pでオンブズマンの設置が謳われている ・CACG Guidelinesでコミュニティ航空協議体の設置を奨励※2	※1　オーストラリア全域に対応する航空サービスプロバイダ ※2　現在21空港に設置。参加者は、空港管理者、運航者、コミュニティ代表者、自治体代表、地元ビジネス関係者、議題によってはAAも
アメリカ	FAA FAA本体および地域事務所※	・各空港管理者 ・FAAの地方事務所	FAA_NoiseComplaint Policy_191204_FNL	・空港における航空機騒音に関しては空港管理者に問合せ ・空港が対応していない航空騒音関連の質問や懸念事項については、FAA地域事務所（オンブズマン）が対応 ・FAA地域事務所で解決されない騒音の苦情や問い合わせについては、FAA当局が対応する	※FAAの対応者はオンブズマンと呼ばれている（地方は55機関）

1.2 ドイツ

ドイツの航空機騒音関係の所管官庁は、基本的に連邦交通ディジタル・インフラ省(BMVI)と連邦環境・自然保護・原子力安全省(BMU)があるが、苦情処理関係はBMVIであり、関係法令は「LuftVerkehrsGesetz:LuftVG（航空法、または航空交通法とも表記）」である。航空法§32では、各民間空港所在地に「航空機騒音保護委員会(Fluglärmkommission：FLK)」を設置するよう義務付けており、同じく法定の「航空機騒音保護官(Fluglärmschutzbeauftragte：FLSB)」がこれを管理する規定になっている。

基本的な苦情処理スキームは、空港あるいは自治体(州)に苦情受付窓口が設置されていて、基本的な苦情対応は空港の担当者が行っている（図2)。そして、苦情処理の結果や騒音低減規則(飛行ルートなど)は定期的にFLKに報告されている。FLKは、地域コミュニティの代表者、空港運営者、州の担当者、航空管制担当者、運航者らで構成されており、空港運用に係る重要な課題、運航方式、騒音保護対策、騒音課金、常時監視局の運用などについて話合われる。そして、内容によっては空港管理者、自治体、連邦機関に対して改善提案、助言を

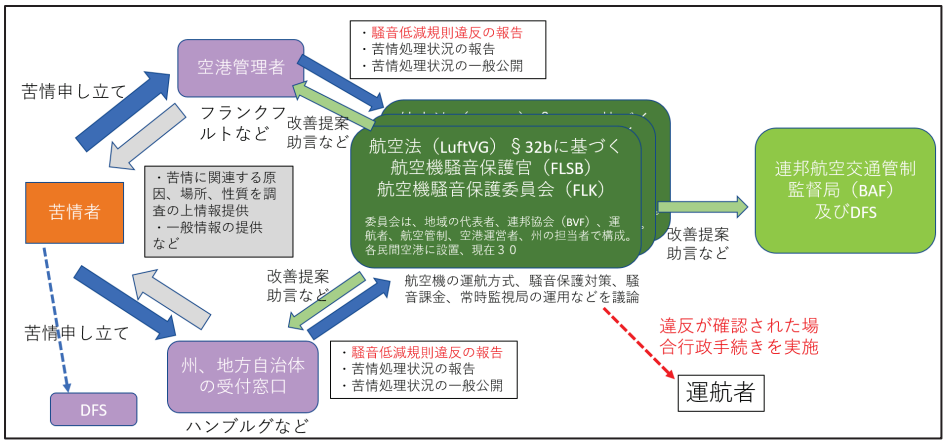


図2　ドイツにおける苦情処理の流れ

行う権利を有しているほか、空港によって騒音低減規則が定められていて、それに違反した運航者がいた場合は行政手続きを行う権限も有している。

1.3 フランス

フランスの航空機騒音関係の所管官庁は、環境連帯移行省である。フランスの空港の騒音対策は、空港管理会社Aeroports de Paris（ADP）が管理運営するパリ周辺の主要3空港（シャルル・ド・ゴール、オルリー、ル・ブルジェ）とその他の空港に分類されるが、法令としては「Aeroports de Paris社に関する2005年7月20日の政令n° 2005-828（ADP政令）」と「Code de l'environnement（環境法）」の二つがあり、ADP政令ではADPに対して管轄する3空港の航空機騒音等について実施した調査結果の公開、空港を取り巻く環境問題に関する情報提供と議論の為の公開レセプションセンター設置、航空サービスプロバイダの権限外の住民からの情報要求、苦情調査を義務付けている。

一方、環境法では「行政当局は都市計画法に言及する空港について、『環境諮問委員会（CCE）』を設置することができる」とし、同委員会では環境に影響を与える開発又は運用に関する重要事項について協議するとされている。

なお、パリ周辺3空港の騒音苦情の処理状況やCCEの活動内容については、確認することができなかったため、苦情処理スキーム等については不明である。

1.4 オランダ

オランダの航空機騒音関係の所管官庁は、インフラ・環境省と航空サービスプロバイダの「Luchtverkeersleiding Nederland :LVNL（オランダ航空管制）」（独立行政法人に相当）である。航空機騒音に関する法令は「Wet luchtvaart（航空法）」であるが、この中ではスキポール空港とスキポール空港以外の国管理空港、州管理の空港に分かれていて、スキポール空港に関しては独自の規定が設定されている。そして、基本的な騒音苦情の窓口は、スキポール空港については専門の「Bewoners Aanspreekpunt Schiphol: BAS」という財団（LVNLとスキポール空港会社が設立）が行っているがその他の空港に関しては、空港が受付窓口になっている。

BASは住民からの苦情に対して基本的に騒音源となっている航空機の情報提供などを行なうほか、苦情内容の分類、分析等を行い、処理状況の報告を空港、LVNL、環境評議会に定期的に行なっている。

また、スキポール空港の騒音問題に関しては、航空法で「スキポール環境評議会（Omgevingsraad Schiphol: ORS）」という協議体の設置が義務付けられており、メンバーは政府、空港管理者等の航空部門、地域コミュニティの代表、利害関係者からなる。スキポール以外の空港に関しては同様の評議会が設置されているようであるが、具体的な活動状況までは確認できなかった。

1.5 ベルギー

ベルギーの航空機騒音関係の所管官庁は運輸インフラ省であり、法令としては航空法も存在するが、騒音管理の法令としてはブリュッセル空港に特化した「ブリュッセル国際空港での騒音公害の管理に関する省令」が整備されている。また、苦情処理関係は「ブリュッセル国立空港のオンブズマンサービスを確立する王政令」という法令で管理されているが、その他の空港は、特に関係法令が見当たらなかった。他の空港については、安全対策は国が権限を有しているが、環境対策については所属する各州が環境ライセンスを発行する規定となっているようで、苦情処理は各空港の管理下にあるものと推察される。なお、具体的な処理状況等の公表も行われておらず、対応状況については確認できなかった。

ブリュッセル空港に関する具体的な苦情処理は、当該法令によって「airportmediation」という運輸インフラ省内の専門機関が処理することとされており、このなかで「オンブズマン」と称される担当者が具体的な処理をおこなっている。そして、処理状況については航空担当大臣に対して年次報告を提出する規定となっている。

また、同法の中では、「airportmediation」は「コ

ンサルテーションフォーラム」と呼ばれる協議体と連携し諸課題を議論するよう定められており、同フォーラムが設置され定期的会合も開催されているようであるが、具体的な活動内容までは確認できていない。

1.6 オーストラリア

オーストラリアの航空機騒音関係の所管官庁は、「インフラ・運輸・地域開発・通信省」である。オーストラリアでは同省がレギュレーターとして位置づけられるが、この外に「Air Services Act 1995」という法律に基づき、オーストラリア全空港・空域に関する航空サービス全般を「エアサービスオーストラリア(AA)」(政府が所有する企業体形式のサービスプロバイダ)が担当しており、騒音苦情処理も同機関が行っている。AA内には、苦情処理状況に関する評価機関としてオンブズマンが設置されており、AAの対応に満足できない場合はオンブズマンに申し立てる制度も確立されている。空港周辺の環境問題について周辺住民参加型協議体について法定のものは無いが、政府のガイドライン(Community Aviation Consultation Groups Guidelines)によって地域コミュニティの設置が奨励されており、現在21空港に設置されている。これには、空港管理者、運航者、コミュニティ、自治体代表者、などが参加しており、空港関連諸課題に関する意見を述べる機会が確立されている。

1.7 米国

米国の航空機騒音対策の所管官庁は連邦航空局(FAA)であり、航空機騒音対策関連の法令は、「Airport Noise Compatibility Planning(14 CFR Part150)」である。この14 CFR Part150は空港設置時及び運用変更時等の騒音対策を規定している法令であり、苦情処理について規定している法令は見当たらない。

苦情対応は基本的には空港管理者が行っており、そのほかにFAA独自に「オンブズマン」と呼ばれる地方機関で空港と直接関連しない苦情を受け付けるスキームも設定されている(図3)。FAAでは苦情処理に当たっては、「FAA Noise Complaint Policy」を定めており、各空港ではほぼこの方針に沿った対応を行っているようだ。

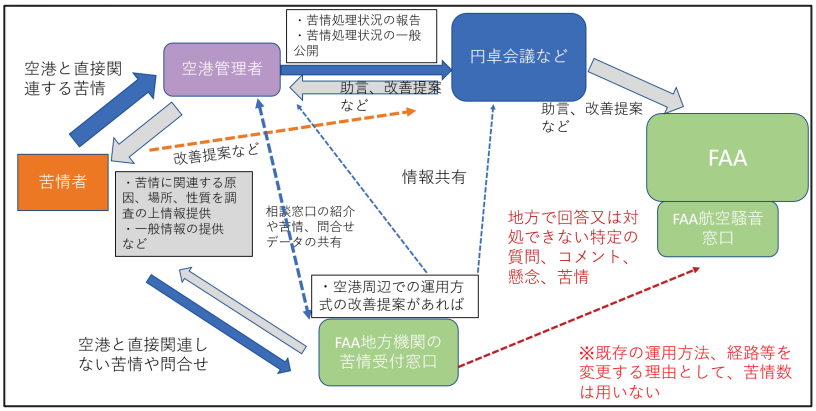


図3　米国における苦情処理の流れ

一方、空港運用に係る諸課題に関する周辺住民参加型の協議スキームについては、アメリカでは「円卓会議」の設置が一般的で、この協議体を介してFAA、空港管理者に意見・提案を発出するスキームが確立されている。ただ、FAA Noise Complaint Policy」でも謳っているが、既存の運用方法、経路等を変更する理由として苦情数は用いないとしている。

2. 苦情処理概要と情報公開状況

ここでは、各空港の苦情処理概要と処理結果に係る情報公開状況を見ることとする。

2.1 苦情処理概要

苦情受付の体制としては、各空港および外部苦情受付機関のホームページに受付案内が掲載されており、電話・FAXに加え、専用のプラットフォームを設定し、必要事項を入力すれば受付窓口に届く仕組みになっている。また、このほかにもEメールや空港管理者が情報公開用に設定している航跡表示機能に騒音値が連動したシステム経由で苦情を申し立てることができる仕組み(図4)や、米国などを中心にモバイル機能を使った申告ツールもみられる。これらのツールを利用して申し立てられた苦情に対して、一義的に行わ

れている対応は騒音源となっている航空機の情報提供だが、騒音制限値が定められている空港では違反事例の有無を調査しているほか、運航状況の説明や空域関係の説明なども行われている。このような対応方法について、多くの空港で苦情対応ポリシーを定めており、ヒースロー空港などのように5営業日以内に対応するなど、具体的な対応日数を定めて明確化している空港もみられる。

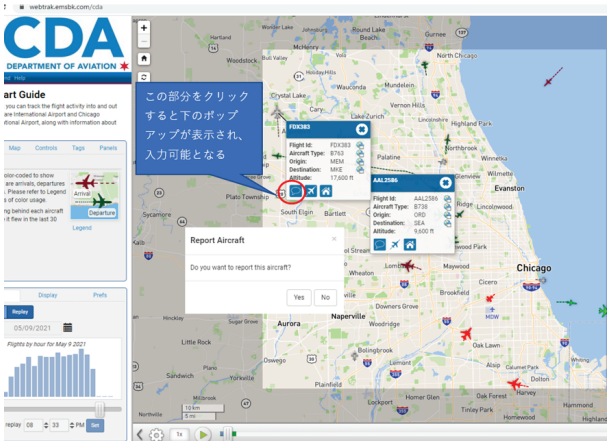


図4　シカゴ空港の航跡表示機能からの申告方法

2.2 苦情処理状況の公開

一方、これらの苦情処理内容については、欧州などでは空港諮問委員会等の協議体に定期的に報告がされるほか、ほとんどの空港で処理状況を定期的(年次、四半期、月次など)にWEB上で公開している。

公開されている内容は、苦情者数、苦情数、地域(市区町村)ごとの苦情者分布図(表)、苦情内容、時間帯別苦情数、リピーター情報、地上騒音苦情者数、などである。

(1) 地域別苦情数等の公開

公開情報の中には単に苦情者数、苦情数という内容だけでなく、苦情者が居住している地域を特定し、その地域ごとに分類している空港がいくつか見られる。例えばガトウィック空港ではそれらを図示して公開している(図5)ほか、ブリュッセル空港では郵便番号に似たジップコードによる分類、また具体的な地域名で分類している空港(シカゴ、ヒースローなど)もみられ、地域割をすることでどこに苦情が集中しているかが理解しやすい資料となっている。また、リピーター情報として、どの地域からどのくらいのリピーターが苦情を申し立てているかを公開している空港もいくつかある。こうした情報公開が可能となる要因は、WEBフォームによる報告時に居住先や電話番号などの個人情報の入力が必須となっており、これらの情報を基に分類が容易になっていると推察される。

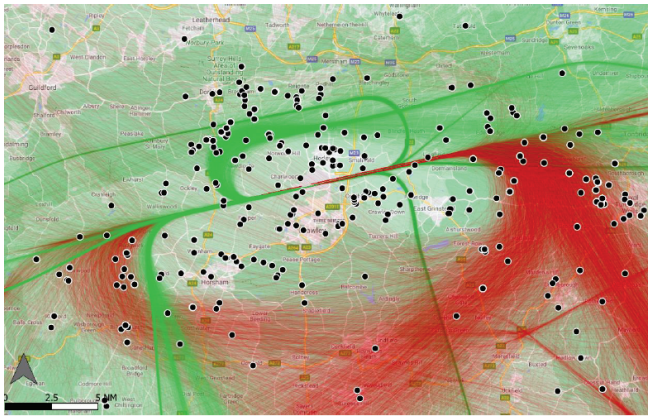


図5　ガトウィック空港の苦情数公開例

(2) 年間の苦情数の状況

一部の空港では年間の苦情者数等を公開しているところもある(図6)。例として示しているのはフランクフルト空港2019年の年間推移だが、これを見ると、夏場(シドニーは南半球なので、12月ごろから、3月ごろにかけて)の苦情数が上がっている状況が見られる。

原因について精査はできていないが、夏場の住宅内での生活は窓を開ける機会が多くなることや欧州では空調設備を伴わない住宅や宿泊施設も多いため、こうした状況になるのではないかと推察される。

(3) 過去一定期間の苦情数の状況

いくつかの空港では2010年または2011年頃からの苦情数の推移を公開している。これらの空港のなかで、特定年に苦情数が上昇している例がみられた。

フランクフルト空港では、2016年1年で届けられた苦情件数約559万件にものぼり、これらは、

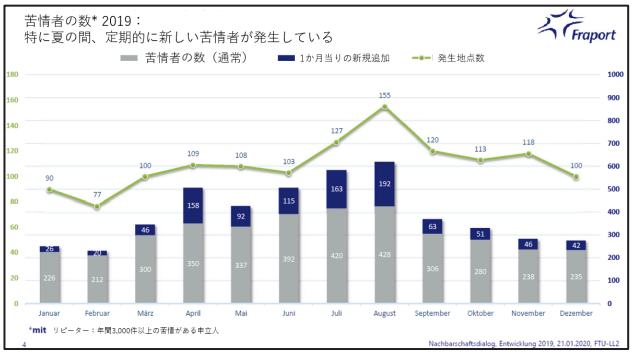


図6　フランクフルト空港の年間苦情数推移

2,339人から寄せられたものであり、更には苦情全体の75％が3人のリピーターから寄せられたものだったことが判明した。この要因は一部の住民がコンピューターを操作して自動的に苦情を発信したことが特定された為、2017年初旬に航空機騒音保護委員会でリピーターのフィルタリング基準を設け対応したとのことである。

ヒースロー空港では、2014年の苦情の数の大幅な増加を示したが、2014年6月から11月に行われた出発経路の変更に関する空域トライアルによるものということである。トライアルは2014年に終了したが、苦情の数は2014年の試験前よりも高いままで推移している。

(4) 苦情内容の状況

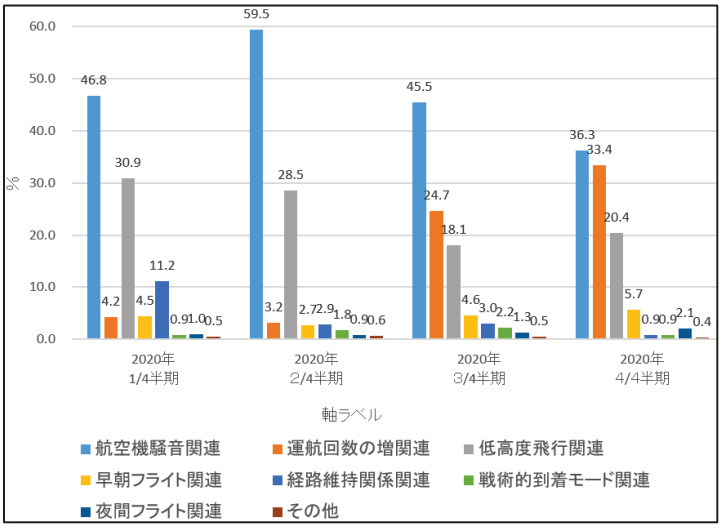
苦情内容は、騒音の大きさや飛行回数・飛行経路・高度等航空機の運航状況に関するものが多く、また、夜間運航、早朝運航、イレギュラー運航などの特定時間帯に集中するもの、滑走路運用、健康影響への懸念に関するものも見られる（図7）。

3. 解説情報の提供

3.1 一般的な解説情報の提供

海外空港では、周辺住民からの苦情に対応する以外に、空港運用への理解を図る目的で、騒音対策や運用方式、騒音関係の用語などに関する解説情報をホームページ上で提供するという取り組みも行われている。表3は各空港のホームページ上に掲載されている解説内容をまとめたものである（◎、△、×はあくまで私見による充実度を示す）。内容としては、滑走路運用方式(気象条件とも合わせて解説している例もいくつか見られる)や飛行経路、騒音軽減方式、騒音監視方法(常時監視局の位置、設置数等の情報など)、基本的な音に関する解説(デシベルとは何かとか、指標に関するものなど)に関するが多く、このほかにも数は多くないが夜間運用を行っている空港では、夜間の騒音軽減方式を解説したものや地上運用(APUやエンジンランナップ)に関する解説が見られる。

また、住宅防音工事に関する情報として、例えば工事を希望する際の問い合わせ先、住宅防音工事の対象基準はどの程度か、などの情報が提供されている。



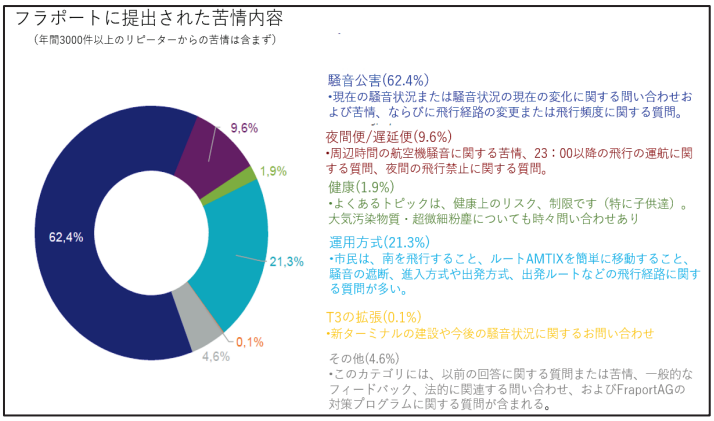


図7　ヒースロー（上）及びフランクフルト(下)空港の苦情例

このほかにも、先に説明した諮問委員会や円卓会議などが設置されている空港ではコミュニティ情報として活動内容、会議開催情報、議事録、当局への提案内容などを掲載している例が多く見られた。

3.2 流動的な情報の提供

前節では一般的な情報提供の状況を紹介したが、いくつかの空港では滑走路の運用状況や最近ではモバイル機能を使った新たな情報提供の取り組みが行われている。

ブリュッセル空港では、現在どの滑走路をどのように使っているかという滑走路運用のリアルタイム情報を提供している。この情報の中には、将来のメンテナンス情報も掲載されており、そのことによって交通流が変化することを事前に周知している（図8）。

また、スキポール空港では、近隣住民への航空交通情報を提供する「Notifly」という新たな情報公開アプリの本格運用を開始した。このアプリは、空港周辺を飛行する航空機を最大 24 時間先まで予測し、現在地の上空で予想される航空機の数を1 時間単位で見ることができるほか、地図上で、航空機のタイプ、使用滑走路、飛行高度または速度などを、携帯やタブレット端末を使ってリアルタイム情報として確認できる。また、気象条件の変化などにより、航空交通が予期せず変化した場合も必要に応じて通知を受け取ることができるしくみとなっている。

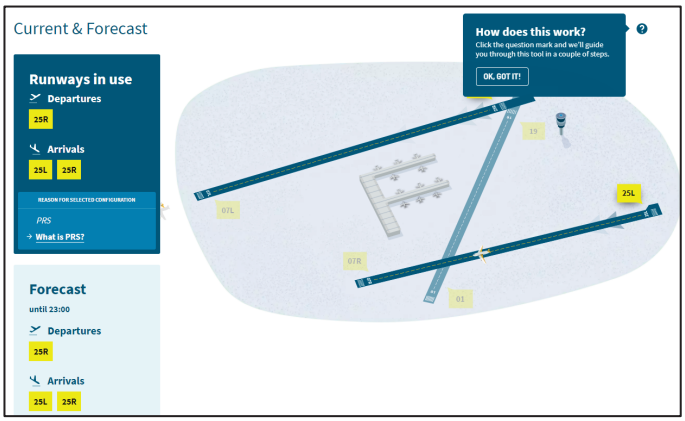


図8　ブリュッセル空港の滑走路運用状況公開例

4. コロナ禍による騒音苦情への影響

国際航空運送協会（IATA）によれば、新型コロナウイルス感染症（COVID-19）の流行による世界の航空需要に関する2020 年1年の影響度について、世界の航空旅客数は18 億人となり、45 億人だった2019 年と比べて60.2％減少したと報告している。

こうしたコロナ禍による航空需要の減少は、空港の騒音苦情にも影響を与えており、2020年の騒音苦情を報告している空港は、前年度比較でみると50％～70％減となっている。この中で、騒音苦情減少理由についていくつかの空港が分析を行っているが、この内容を見ると、運航回数減のほかにも運航機材の変更や滑走路運用の変化等も影響しているとの分析が見られる。

(1) ガトウィック空港

交通量は2020年3月に徐々に減少し始め、第2四半期には英国とヨーロッパの大半の国が国別のロックダウンを実施したことで、大幅かつ長期間減少するに至った。夏季はわずかに増加したが、秋以降は、冬にかけてウイルスの急拡大により、英国および渡航先国で政府による規制がさらに強化され、交通量は減少した。

2020年のガトウィック空港の離着陸回数は79,310回で、これは2019年の27.85％にあたる。旅客数は、前年の4,660万人から1,020万人へと78.2％減少した。

一方騒音苦情に関しては、2019年に報告された苦情数と苦情者数と比較するとそれぞれ74.1％と55％減少した。

航空輸送量の減少は運航機材にも影響を与えており、パンデミックの間、運航会社は燃料効率を重視し、より新しく静かな航空機を選択した。例えば、旧世代のA320ファミリー機の使用率は、2019年に比べて71～87％減少したが、A320「ネオ」ファミリー機の使用率の減少は33～36％にとどまっている。

多くの長距離機（大型機材）は、旅行制限のために使用量が大幅に減少したが、一部は貨物便として使用されたほか、B747-400のよ

うな旧型機の退役を選択した運航会社もあり、ガトウィックの地域社会に騒音低減をもたらすこととなった。

(2) スキポール空港(BASの分析)

2020年3月以降様々な国からオランダへの(一時的な)渡航禁止措置や、その逆も実施されており、2020年のスキポール空港を発着する総離着陸回数は45%減少し、285,911回となった。このように運航回数がほぼ半減したことで、BASに提出された騒音苦情報告の総数にも影響が出ており、2020年の報告者数は2019年と比較して40%減少した。

主な要因は、運航回数の減少のほか、2019年に比べて2020年は優先滑走路が利用できる頻度が高かったことから、2020年はほとんどRWY18R/36LとRWY06/24で処理することができ、RWY18L/36Rと18C/36Cの利用は例年に比べてかなり少なかったことも理由としてあげられるとしている。

(3)シドニー空港(エアサービスオーストラリアによる分析)

コロナ禍による特に国際および州の国境が閉鎖されたことにより運航が大幅に減少したため、2020年のシドニー空港での運航回数は138,232回であり、2019年との比較では60.3%減少となった。

騒音に対する苦情報告は、2020年は328人から報告があり、2019年の620件からかなり減少した(リピーターは一人として計算されている)。

苦情報告の減少は運航回数の減少によるところが大きいが、交通量が3分の1に減少したが苦情報告が半数程度となっている要因としては、コロナ禍による在宅勤務の機会が増えたことで、住民が航空機騒音にさらされる機会が増えたことや、患者の救急活動が増加したことなどによる影響もあるのではないかと分析している。

5. 全体的な総括

5.1 諸外国にみる住民(コミュニティ)対策としての総括

これまで見てきた諸外国の航空機騒音に関する住民(コミュニティ)対策について、特徴的な点をいくつか述べておきたい。

一つ目は、国としての航空機騒音と住民(コミュニティ)対策の基本理念を謳ったうえで、協議体の設置と協議の為のスキームが法制度あるいはそれに準ずる形として確立されている点があげられる。例えば、英国のようにUK法による規定のほかに国策としてのポリシーを定めている。また、欧州の各空港でも住民からの苦情に対して、基本的には空港管理者が苦情処理ポリシーを定めているケースが見られる。また、オランダ・スキポール空港やベルギー・ブリュッセル空港、オーストラリアに見られるように法定の外部組織が住民からの苦情に対して専門に対応を行っているところもみられる。

二つ目は、政策担当である国と住民(コミュニティ)との間に「調停機関」あるいは「諮問機関」としての組織が設定され、空港政策に関して裁断の権限を有するスキームも見られる点である。前者の厳格な例としては、ドイツなどにみられるように「航空機騒音保護委員会」、「航空機騒音保護官」が国と住民の間に調停機関として機能しているし、双方の意見を踏まえて裁断する権限が与えられている。また、そのほかにも調停機能までは保持していないまでも、国からの法定による「諮問機関」として立場を有し、空港の騒音対策について相当意見を具申できるスキームが確立されている空港が多くみられる。航空機運航に対して比較的許容範囲の広い米国でも、苦情の初期的な対応に加え、法定ではないが住民参加型の円卓会議が機能している。そして、これらの組織は、規制当局的な権限は有しないまでも、空港管理者や航空当局に対して一定の提案や意見を述べることもできる仕組みになっている。

そして、三つ目として、これらの協議体は常設機関として定期的に会合を開催し、対策のレビューや年間報告が定期的に行われている点である。日本では、どちらかと言えば国による空港対策を国自らが提案して住民説明をへて裁断し一定期間を過ぎれば住民説明は終了するとい

う、いわゆるトップダウン型の空港対策をとってきた。もちろん様々なルートを通じて、国に対して要望は伝えられるが、政策者と住民(コミュニティ)が常設で同じテーブルで議論を重ねるというスタイルは、欧米の例は非常に参考にすべきではないだろうか。

5.2 具体的な苦情処理方法に関する総括

・苦情受付ツールは、ほとんどの空港がメール、電話に加え、WEB上に専用フォームを設定しているほか、米国等ではモバイルアプリも活用している。苦情対応は、基本的には関係航空機の情報提供だが、空域や運航方式等に関する情報も提供されている。
・苦情理由については、騒音の大きさや航空機の運航状況(飛行回数、飛行高度等)関連が多いが、夜間運航、イレギュラー運航など特定時間帯に集中するものや、滑走路運用、健康への懸念に関するものも見られる。
・苦情処理の対応結果は、ほとんどの空港で報告書としてまとめられ、かつ、公表されている。公表内容は、苦情者数、苦情数(年間、四半期、月次)に加え、地域(市区町村)ごとの苦情者分布図(表)、苦情内容、時間帯別苦情数、リピーター情報、地上騒音苦情者数、などきめ細かく報告されている。これらが可能となる要因は、受付システムの充実によるところが大きいと推察される。
・苦情数の増減には様々な要因が考えられるが、運航数の増加、滑走路運用方式等の変更、深夜早朝便の運航などのほか、季節的な部分では夏場に苦情が多く寄せられる傾向にある。

6. 日本における苦情処理に関する考察

以上の結果を踏まえ、日本における苦情処理に関して何点か考察してみた。

①空港の課題に関する恒常的な協議スキームの構築

空港の運用は設置ののち内外の環境の変化により、その形状、運用方法等様々な観点で変革がおきる。一方で、日本においては、空港の課題に関する恒常的な住民参加型の協議スキームが少なく、どちらかと言えば短期的な住民意見の収集方法が主に思える。2020年の羽田空港の都心上空を飛行する運用に当たっては、きめ細かな住民説明が行われたが、これも一つの方法であろう。しかし、空港の運用は日々変化するし、さまざまな状況の変化が想定される中での今後の空港運営の在り方を考えれば、課題や運用方式の変更等について協議できる法定の常設の協議スキームが検討されても良いのではないか。

②調停機関の設置

前章でも述べたが、日本におけるこれまでのトップダウン型のコミュニティ対策を見直し、国・空港管理者と住民の間に入って、双方の意見調整を図りながら最良方策を裁断する、空港ごとの常設機関の設置を検討すべきであろう。

③苦情処理内容の公開

海外の空港では、航空機の騒音データに加え、苦情処理の状況(苦情数、苦情者数、苦情届出者の分布、苦情内訳とその割合など)を公開している空港が多く見られ、最近はインタラクティブ方式も多い。

周辺住民からの苦情内容を分析し明確化することで、管制運用方式、防音対策、滑走路運用など効率的な騒音対策となるほか、周辺住民の対策への理解につながるのではないか。

④一般的情報と流動的な情報の公開

情報公開の在り方として、飛行経路、騒音軽減方式、騒音監視の方法などの一般的な情報のほか、日々の流動的な運用情報(リアルタイムの滑走路運用状況、期日が明確なメンテナンスによる運用方法の変更、気象条件による運用時間の延長や緊急時など突発的な時間外運航があった場合など)のモバイル機能などを利用した提供は、周辺住民への周知が迅速かつ広範にできる可能性があるため、これらを公開することで、住民への事前情報として役立てることができるのではないか。

表3　海外空港の解説情報の公開状況

空港名	滑走路運用方式	飛行経路、空域	騒音軽減方式	騒音監視方法	夜間運用	防音工事	地上運用	コミュニティ	用語解説	FAQ
ヒースロー	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
ガトウィック	◎	◎	◎	◎	×	◎	×	◎	◎	◎
フランクフルト	△	◎	◎	◎	×	◎	×	×	◎	◎
ミュンヘン	×	×	◎	◎	◎	◎	×	×	△	◎
ハンブルグ	×	◎	◎	×	◎	◎	×	×	×	△
ブリュッセル	◎	◎	×	◎	△	△	×	×	△	△
スキポール	◎	◎	◎	△	◎	×	◎	◎	◎	◎
シャルル・ド・ゴール	×	×	×	△	×	◎	×	△	×	△
ウィーン	◎	◎	◎	◎	◎	△	×	◎	◎	◎
チューリヒ	◎	◎	×	◎	×	◎	×	×	×	△
マドリッド	×	×	△	◎	×	◎	×	×	×	◎
シアトル	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	×	◎
ロサンゼルス	◎	◎	◎	×	◎	◎	△	◎	×	◎
サンフランシスコ	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	×	◎	◎
シカゴ・オヘア	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	×
ラガーディア	△	△	×	◎	×	×	×	◎	△	◎
J.F.ケネディ	△	△	×	◎	×	×	×	◎	△	◎
ワシントン・ダレス	×	◎	△	◎	×	×	×	◎	◎	◎
ワシントン・ナショナル	×	◎	△	◎	◎	×	×	◎	◎	◎
シドニー	△	◎	◎	△	◎	△	△	△	△	◎

◎：広範な説明内容　△:限定的な説明内容　×：記載なし

参考文献

英国「Civil Aviation Act（CAA：民間航空法）1982」：
ドイツ「LuftVerkehrsGesetz:LuftVG（航空法、または航空交通法）」：
ハンブルグ「航空機騒音保護委員会（Fluglärmkommission：FLK）」：
航空機騒音保護官（Fluglärmschutzbeauftragte：FLSB）」：
ベルギー　airportmediation：
https://airportmediation.be/nl/onze-missies.html
フランスADP政令：
https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000000260538/
フランス環境法：
https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000031219642/
オランダBAS：https://bezoekbas.nl/

航空環境研究 No.25（2021）, PP.1 − 10

研究報告

航空機騒音の短期測定に基づく長期間評価値の信頼性 ～滑走路運用方向割合からの分析～ *

篠原　直明（航空環境研究センター　所長）

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

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

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

別の見方をすれば、短期測定期間の運航状況（滑走路運用方向の割合）が、その空港の年間の平均的な運航状況（同）と乖離してしまった場合、その乖離の程度が短期測定結果による評価の信頼性にどの程度の影響を及ぼすかの目安が欲しいところである。しかしながら、これについては測定マニュアルの改訂を議論した際を含め過去に検討されていない。

そこで本研究では、短期測定の滑走路運用方向割合が年間平均のそれと異なる程度が、評価値にどの程度影響を及ぼすかについて分析し、年間平均L_{den}推計を実施する必要の目安を得ることを目的に、典型的に季節による滑走路運用方向変化がある空港の航空機騒音常時監視結果を分析した。

1. 測定マニュアルが示す短期測定の目安

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

マニュアルでは飛行場のタイプを5つに分類している。タイプ1は1日10回を超える定期航空便が運航する空港（民間空港）、タイプ2は自衛隊等の飛行場（防衛施設）、タイプ5は両者の共用飛行場である。運航回数の少ないタイプ3（定期航空便が1日10回以下または定期航空便がない）やタイプ4（ヘリポート）もある。タイプの定義と騒音評価の考え方は筆者の既稿3)を参考にされたい。騒音問題に対処するために短期測定を計画する場合は、タイプ1またはタイプ2、もしくは両者の共用であるタイプ5が中心となるだろう。測定マニュアルでは、タイプ1では原則7日間、タイプ2では原則14日間の測定期間としている。しかし、航空機騒音の発生状況は日々による変動幅が

* A consideration for the reliability of long-term evaluation of aircraft noise using short-term measurements ～ Analysis from ratio of runway operational direction ～

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。したがって、季節によって航空機の運航状況が変化する場合は複数回(2〜4回)の測定を繰り返すことを要求している。

令和2年3月に測定マニュアルが現在のものに改訂発行された2)が、その参考資料編にある「3.測定の時期と期間」では、全国の様々な種別の空港や飛行場・地点における常時監視の実測データを用いて分析した結果が記載されている。短期測定期間の評価値が年間平均値とどの程度の違いを生ずるかについては空港や飛行場のそれぞれの状況によって異なる。この内容についても測定マニュアルのほか、筆者の既稿[3]も参考にされたい。

全国の騒音実測データをもとに測定マニュアルが示す、短期測定の実施目安を表-1に示す。

運航状況の変化が少ない空港や、空港に近くて騒音が大きい地域ならば1週間の短期測定を年1回の実施でも評価値の信頼性が確保できる。季節的な変化が大きい空港なら、年に1回の短期測定では、結果に年平均値に対しマイナス側の偏りが生じていることがある。年に2回の測定を繰り返せばその課題は解消され、年平均値と差のばらつきが小さくなるなど信頼性は向上する。特に充分な評価値の信頼性を望む場合には、季節ごとの年4回の短期測定が望ましい。季節的な変化に加え飛行経路が多岐にわたり、空港から距離が遠い場所では、2回または4回の短期測定を繰返しても信頼性を確保するには注意を要する。特に、対象航空機騒音が小さい場所で測定する際には暗騒音などの測定環境に十分な配慮を施すことが重要である。

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

さらに、短期測定による評価値の信頼性を、より向上させる手法として、測定マニュアルには、短期測定結果を利用した年間平均L_{den}推計の方法が2通り示されている。その一つは短期測定点と相関の高い常時監視局を基準局として利用して年間値を推計する方式(基準局方式)であり、他は対象飛行場の年間を通じた運航情報を利用して、短期測定で得られた離着陸・機種・経路別の平均騒音値から年間値を推計する方式(運航実績方式)である。年間推計の効果として、年間値との差のばらつきを半減することが確認され[4]、短期測定による評価値の信頼性を向上させることができる。

2. 季節的運用方向変化がある空港の検討

測定マニュアルに基づき短期測定を実施したとき、時期と回数の選定によって真の年間値との差を小さくすることができるものの、必ずしも年間平均と一致することを保証するものではない。測定計画が意図した季節に期待される滑走路運用方向に対し、実施した短期測定期間では(運悪く?)別の滑走路運用方向の結果が多くなることもしばしばである。この結果として、測定された離陸騒音と着陸騒音の割合が、年間平均割合と異なることによって、

表-1 空港の運用状況と短期測定の実施目安

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

信頼性の目安　◎ > ○ > △ > ◆
良← →注意

年間値と差が生ずるのである。

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

2.1 1年を通じた滑走路運用方向割合推移

図1は空港Aの短期測定期間を想定した滑走路運用方向割合を年平均方向割合との乖離の推移として示した。横軸は年の経過日数（始まりは4月）、縦軸は年間の北向きの平均運用方向割合と短期測定期間を想定した北向き運用方向割合との差を表す。上図は短期測定期間を1週間、2週間、4週間としたときで、下図は1週間を年2回、年4回繰り返して実施した場合を示す。

上図から、1週間の測定期間長の場合、季節的な大きな変化のほかにも、細かな変動がみられ、年間を通じ±50%もの大きな幅がある。測定期間長を2週間または4週間と長くしても季節変化の影響は消えず、年間平均に対し±40%と変動は大きい。

測定を複数繰り返した場合の下図では、季節性の変化はなくなり、複数回の測定の重要性が理解できる。それでも±20%程度のばらつき幅の中にあることも分かる。

これらのことからも、短期測定を繰り返しても、年間平均の滑走路運用方向割合と一致する測定環境を得ることは難しいことがわかるだろう。

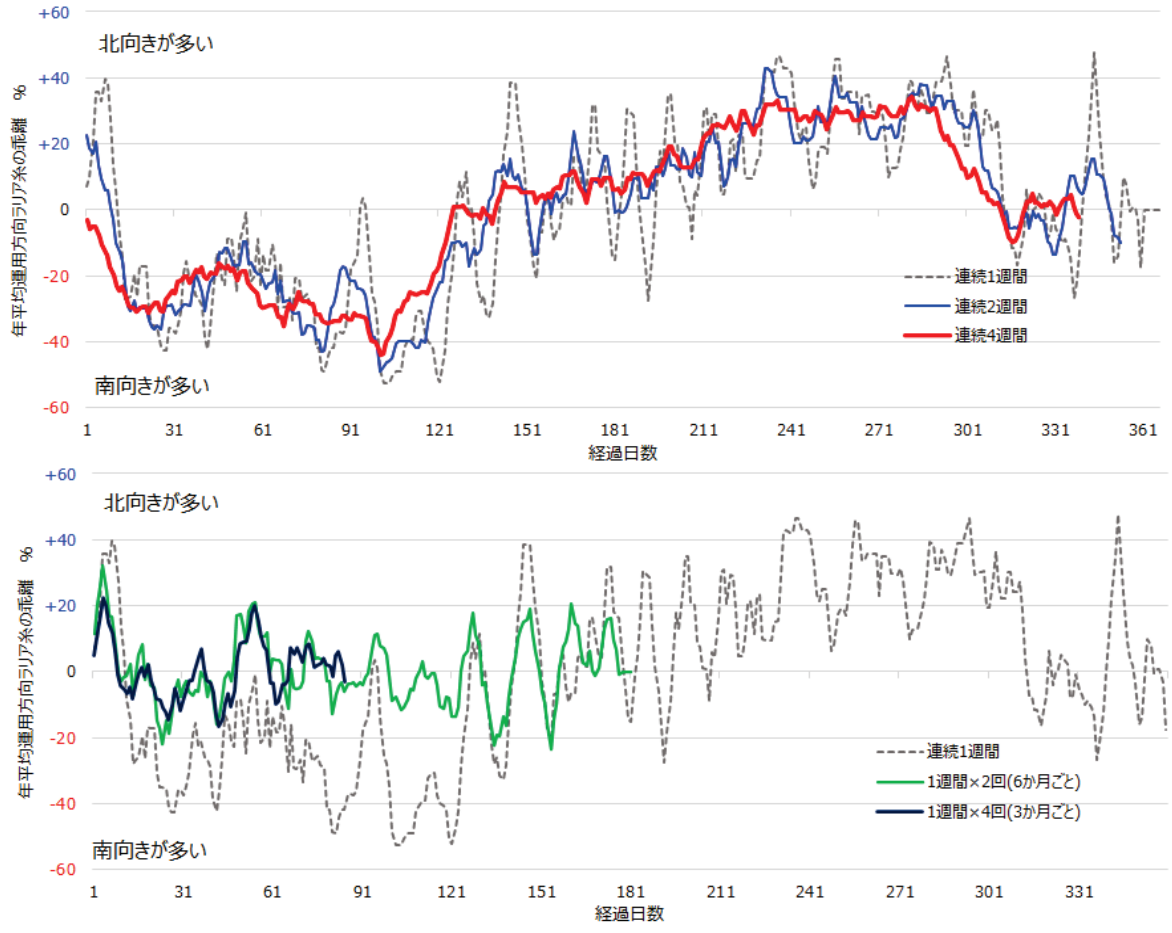


図1 季節で運用方向が変化する空港Aの短期測定期間の年平均運用方向割合との乖離状況
上図）短期測定期間長を変えたとき、下図）短期測定を複数回実施した時

2.2 騒音常時監視局のL_{den}分布

図2は空港Aの経路下と経路側方に位置する航空機騒音常時監視局の短期測定期間と年間値との差を示したものである。

左図の経路下の監視局の場合、1週間の短期測定だけでも年間L_{den}との差はさほど大きくなく ±2dBの幅に収まる（ばらつき：標準偏差は0.95dB)。短期測定を2回繰り返したときは1週間だけの場合に比べばらつきは小さくなるが、4回の場合はさらに年間L_{den}と近く±1dB（標準偏差は0.37 dB)と収束する。

右図の経路側方の監視局では、1週間の測定期間の場合、年間L_{den}に対する短期L_{den}の乖離は-8～+4dBに及び、標準偏差でも2.4dBのばらつきが生じている。2回または4回の複数期間の場合乖離の幅は明確に縮まるが±2dB程度、標準偏差で1.0dB/2回、0.7dB/4回と一定の乖離が残ってしまう。

民間航空が定期運航するこの空港Aでは、ダイヤ便数に季節間や曜日間の差は小さい。図例の経路下の監視局では離陸騒音と着陸騒音の差は小さく、経路側方の監視局では離陸騒音は着陸騒音より約5dB程度大きい。運用方向割合の違いは、すなわち、離陸騒音と着陸騒音の割合の違いに通ずる。経路下では少ない短期L_{den}の年間L_{den}との差が経路側方では拡がることは滑走路の運用方向割合の年間との差によって生ずる可能性が高い。

2.3 短期測定の滑走路運用方向割合・L_{den}の年平均との差の分析

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

図3は例として経路下の地点（左図)、経路側方の地点（右図、ともに図2と同じ地点）を、1週間（上段)、1週間×2回（中段)、1週間×4回（下段）の測定期間を想定し、その期間の滑走路運用方向割合と年平均運用方向割合の差を横軸に、短期測定期間L_{den}と年間L_{den}の差を縦軸にした散布図である。回帰式も併せて示した。

1週間の短期測定の場合、特に右図の経路側方の監視局②の場合、短期測定L_{den}の年間値との差は、短期測定運用方向割合と年間運用方向割合との差に関係し、相関係数0.89とその関連性が高い。この地点で騒音が大きい離陸機が運航する北向きの運用が年平均割合より大きくなれば、L_{den}はそれに比例して年間L_{den}よりも大きくなることを表す。左図の経路下地点①でも、相関は0.61であり、傾きは側方地点②よりも小さいものの、滑走路運用方向割合との関連は無視できない。

なお、短期測定を複数回実施すれば（中段図、下段図)、回帰式に対するばらつきは収束すること（短期測定を複数回実施すれば、年間値に対する差のばらつきが小さくなる）も見て取れる。

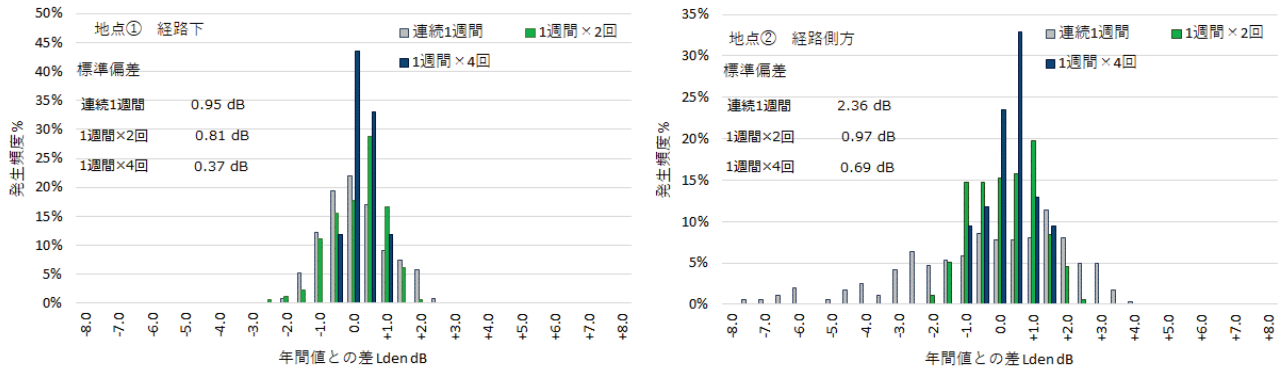


図2 短期測定期間の年間値Ldenとの差の例（左：経路下の監視局、右：経路側方の常時監視局）

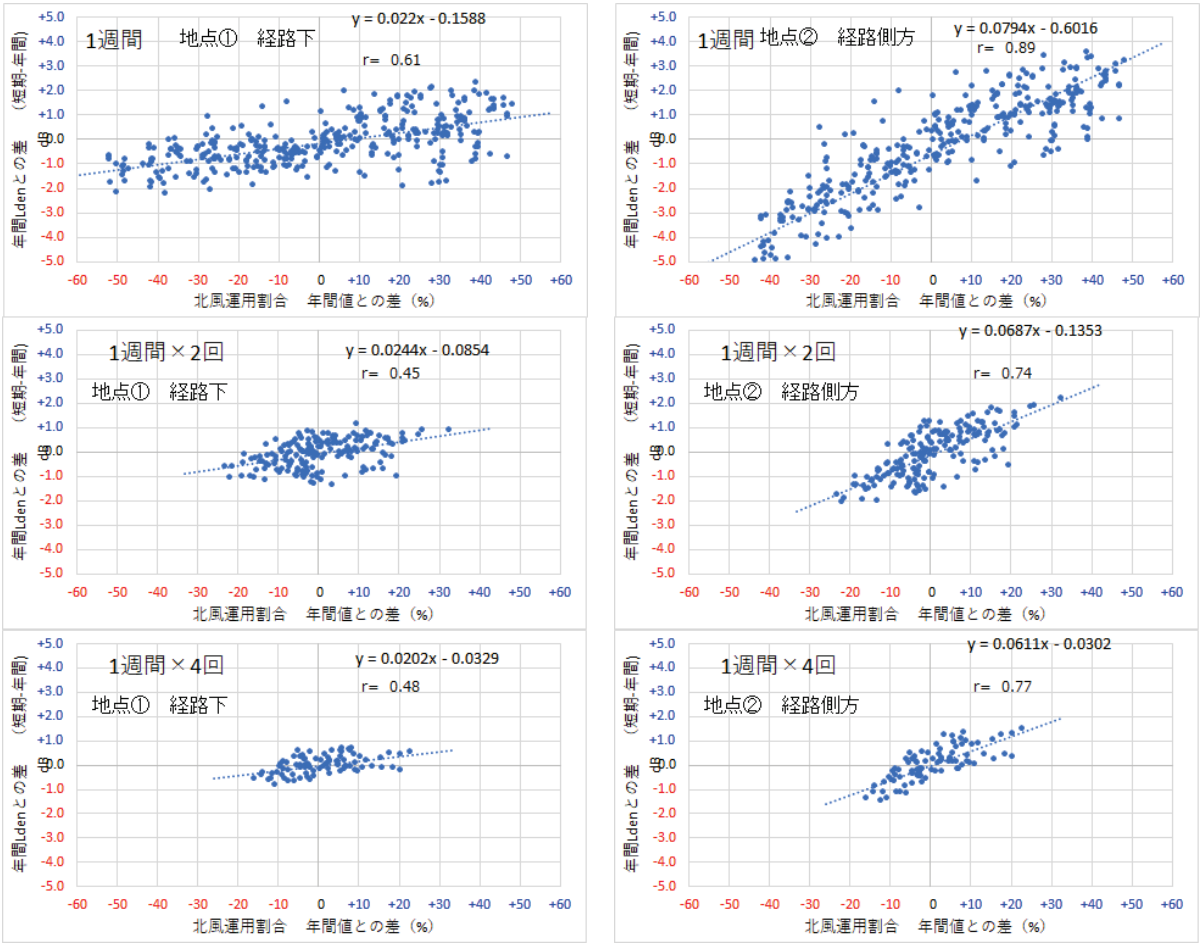


図３ 短期測定期間の滑走路運用方向割合とLdenの年間値との差の関係
（左：経路下の監視局、右：経路側方の常時監視局）

図3の例では経路下と経路側方の２か所のみを示したが、他の常時監視局の結果も含め、回帰式の傾きは測定地点によって異なる。図4は分析対象としたすべての常時監視局について、滑走路運用方向割合とL_{den}変化に関連する回帰式の傾きを短期測定の想定期間長とともに示したものである。傾きは空港との関係によって（例えば空港北側か南側か）プラスマイナスの符号が異なるので、ここではすべて絶対値で扱っている。図からも理解できるように、傾きは地点によって大きく異なる。概して言えば、運航形態（離陸・着陸）間の騒音差が大きいほうが回帰式の傾きは大きい。その傾きは、期間長を長くとれば少し小さくなる。また測定回数を年１回、年2回、年4回とすればやや小さくなるものの、ほとんど変化はない。

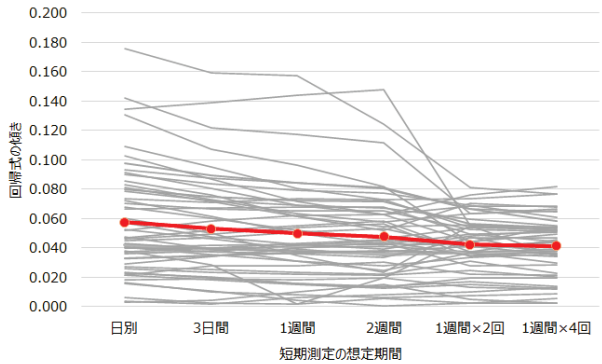


図４　運航方向割合とL_{den}変化の回帰式の傾きの比較
（地点別と平均、期間長別）

図5は、監視局におけるその回帰式の傾きと日別L_{den}の年間に対する差の変動幅（差の標準偏差）の関係を図示したものである。一部の例外を除けば、日L_{den}の変動幅（監視局の日々のL_{den}の変動の幅がどの程度あるか）と、運航方向割合の変化による回帰式（滑走路運用方向割合の変化がL_{den}観測値へ及ぼす影響）の傾きは、明確な関係を有している。簡単に言えば、日別L_{den}のばらつきが大きい地点では、滑走路運用方向割合の変化の影響を大きく受けることとなる。

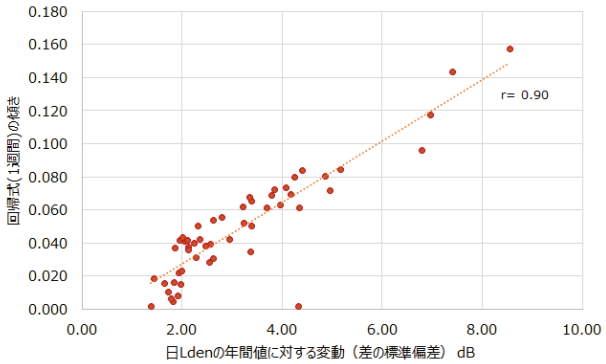


図5　監視局の日L_{den}変動幅と運航方向割合対Lden変化の回帰式の傾きの関係

2.4 何が日L_{den}の変動に寄与するのか

前節の結論として、日L_{den}の変動が大きいほど運用方向割合の変化の影響を受けることが分かった。本節では、何が日L_{den}の変動に寄与するのかについて分析した。

運用滑走路方向の違いは、すなわち離陸と着陸の違いでもある。図6は離陸と着陸の平均騒音値の差を日L_{den}の変動幅に対する説明因子として示したものである。関係性は見えるが、相関は0.36とゆるやかなものにとどまっており、これ以外の要因もあることが分かった。

図7は日L_{den}変動幅の関係因子として、形態別騒音レベル差と測定回数ばらつき幅の複合指標を検討したものである。図6の離着離別騒音値差だけでなく、騒音観測回数の変化・ばらつきも考慮に入れた複合指標としている。指標は形態間騒音レベル差にばらつき割合を乗じた指数で、騒音レベル差は離陸と着陸の平均騒音値の差（絶対値）、ばらつき割合は日別騒音測定回数の年間のばらつき（標準偏差）を利用している。この結果

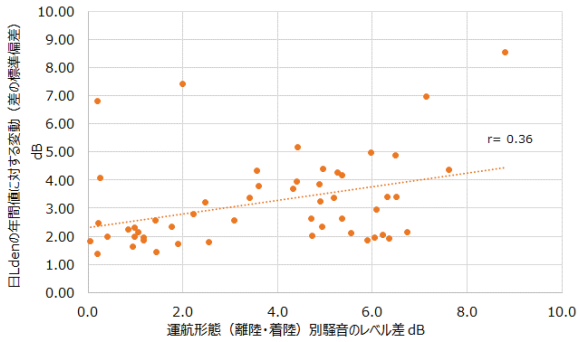


図6　実測の日L_{den}変動幅への関係因子の検討（運航形態別騒音レベル差）

として、日L_{den}の変動幅に対する説明は相関係数0.77と向上している。これらのことから、日別L_{den}の変動の大きさは、運航形態（離陸・着陸）間の騒音値の差と、日々の測定回数のばらつきの大きさに起因することが分かった。

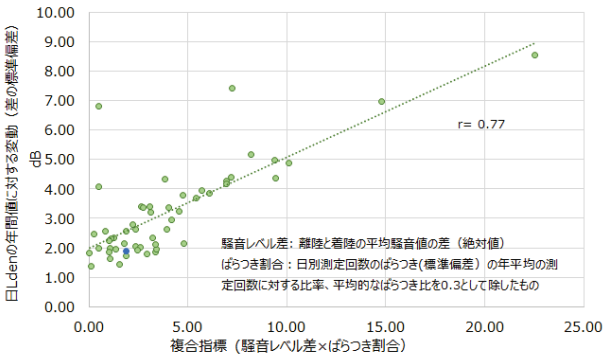


図7　実測の日L_{den}変動幅の関係因子の検討（形態別騒音差と回数ばらつき幅の複合指標）

2.5 運用方向割合差による評価値への影響推定

本節では、2.3節の運用方向割合の変化によるL_{den}への影響の地点ごとの回帰式からその傾きを用いて、L_{den}への影響を推定した。

まずは、滑走路運用方向割合が年間平均運用方向割合とX％乖離した時のL_{den}変化量の推定を行った。図8の4つの図は運用方向割合の乖離が5％（左上）、10％（右上）、15％（左下）、20％（右下）の場合で、横軸はL_{den}推定誤差を、縦軸は発生頻度（全監視局に対する該当監視局の割合）を表す。各図には3本の分布があり、それぞれ赤は短期測定期間を1週間としたとき、青は1週間を2回、緑は1週間を4回繰り返した時を試算している。

運用方向割合の乖離が5％の時はL_{den}に与える影響は小さく、ほとんどすべてが0.5dB以内の誤差にとどまり、平均で0.2dB程度にとどまる。想定する期間を1週間、1週間×2回・×4回と変えても結果はほぼ同じであり、短期測定の回数の違いは見られない。乖離が10％では、平均で0.5dB程度の誤差となるが、1dBを超える地点はほとんどない。乖離が15％では平均誤差は0.7dB、1dB以上の影響をきたす地点も一定程度発生する。20％を超えると平均で1dBの影響を生じる。

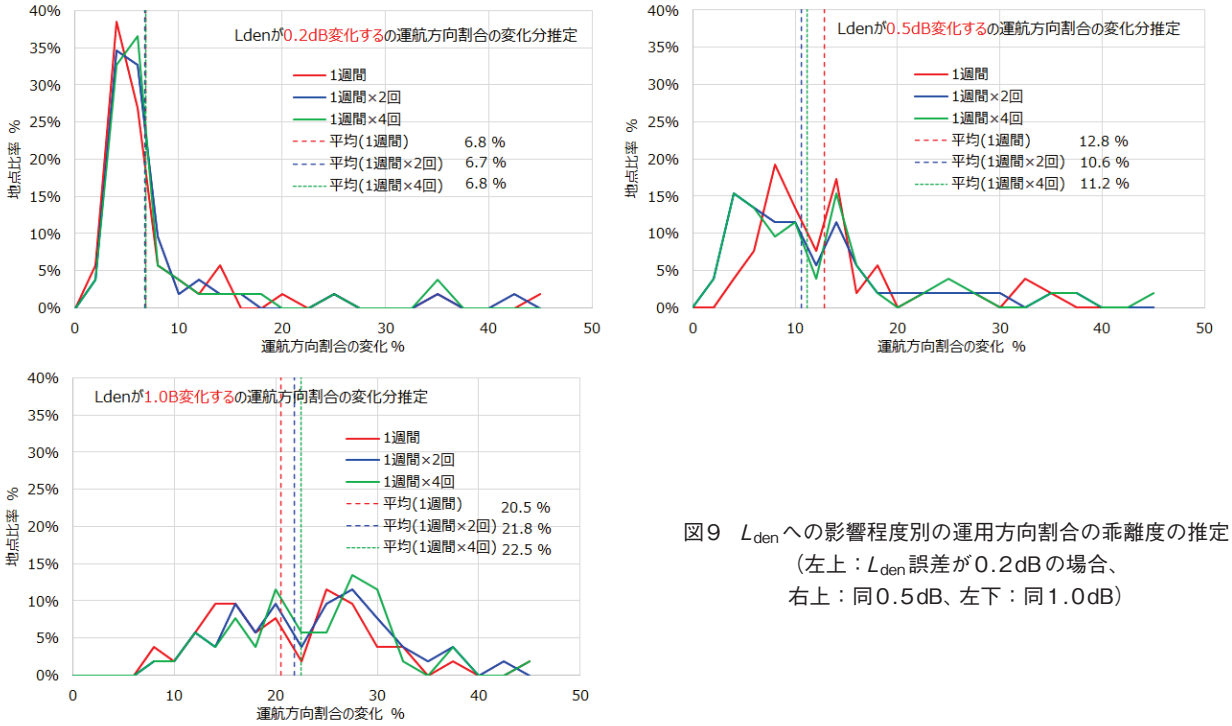


図9　L_{den}への影響程度別の運用方向割合の乖離度の推定
（左上：L_{den}誤差が0.2dBの場合、
右上：同0.5dB、左下：同1.0dB）

図9は回帰式の傾きを利用し、L_{den}がX dB変化する運用方向割合の乖離度を推定したものである。L_{den} 0.2dBの差を生ずる場合（左上）、同0.5dB（右上）、同1.0dB（左下）で、横軸は運用方向割合の乖離度を、縦軸は発生頻度を表す。

L_{den}が0.2dB変化する短期測定期間の運用方向割合の年平均に対する乖離は全地点平均で約7%で、ほとんどが10%以下の乖離である。L_{den}が0.5dB変化する乖離度は平均で約12%、L_{den}が1.0dB変化する乖離度は約22%だった。ただし、地

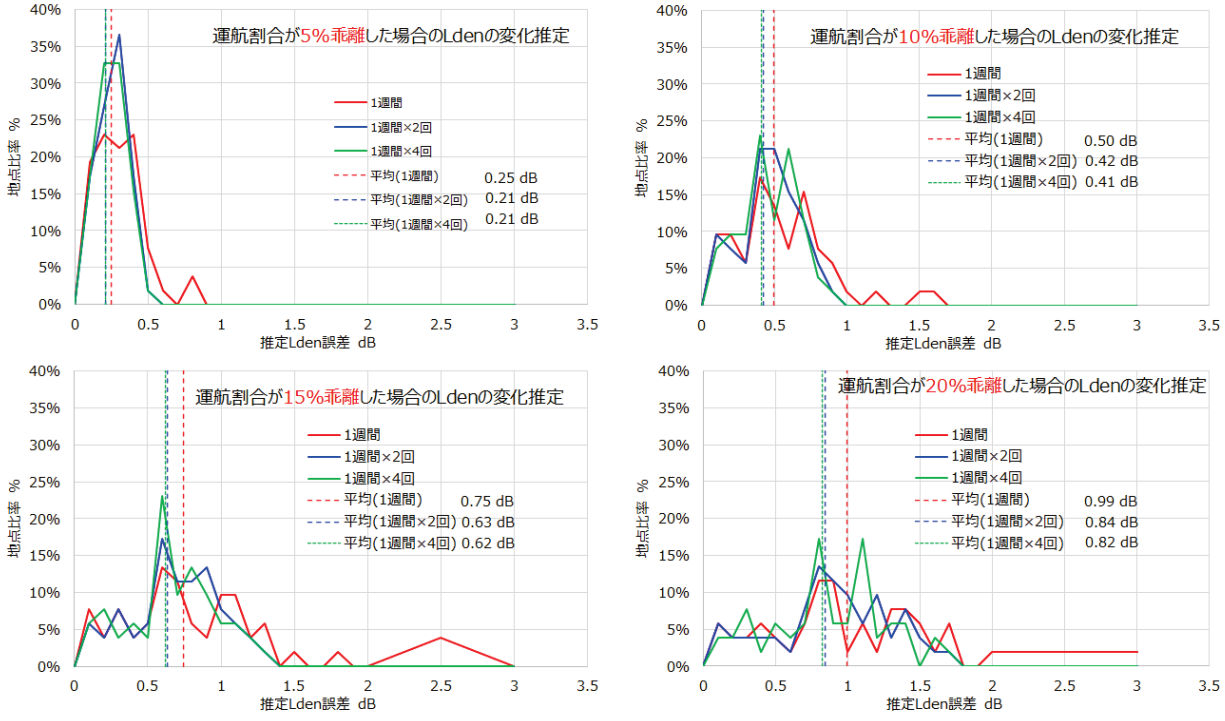


図8　短期測定期間の運用方向割合の年間平均割合との乖離程度によるL_{den}変化量の推定
（左上：運用方向割合が5%乖離した場合、右上：同10%乖離、左下：同15%乖離、右下: 同20%乖離）

点による差異が大きく、0.5dB以上の変化を及ぼす運用方向割合の乖離度にはばらつきが大きい。

2.6 運用方向割合差の許容と年間推計の目安

これまでの検討の結果から、運用方向割合の乖離が10％未満なら、L_{den}に及ぼす影響は平均で0.5dB程度以下であり、かつ1dBを超える地点はほとんどない。乖離が15％を超えると1dB以上の影響をきたす地点も発生する。20％を超えると平均で1dB以上の影響を生じる。これらのことから、運用方向割合の乖離が10％を超えると評価値の信頼性に影響を及ぼす可能性に留意し、少なくとも15％を超えると、年間値とは乖離が生じていると考え、短期測定結果をもとに年間平均L_{den}推計を行うことが必要である。

3.運航実績から見た滑走路運用方向の対年間平均の差の状況

前章の検討から、短期測定期間における年平均運航方向割合との差が、10％以下なら騒音評価値L_{den}への影響が少なく、一方で15％を超えると年間値とは乖離が生じていると考える目安とすることを報告した。では、その許容範囲に入る頻度はどの程度であろうか？

まずは、空港Aの結果を図10に示す。横軸は短期測定期間と年間の運用方向割合との差で、縦軸は発生頻度分布を表す。1週間の測定だけの場合は大きくばらつくことは言うまでもない。測定を2回、4回と繰り返したときに年間平均割合に近づくが、許容範囲目安である±15％以内にあるのは年2回の測定の場合83.6％、年4回の測定では91.8％だった。逆に言えば、1週間の測定を2回実施したとしても16.4％が、4回実施したとしても8.2％が想定した範囲を超えてしまうことが分かる。このような場合、年間平均L_{den}推計を実施することにより、評価値の信頼性を改善するべきであろう。

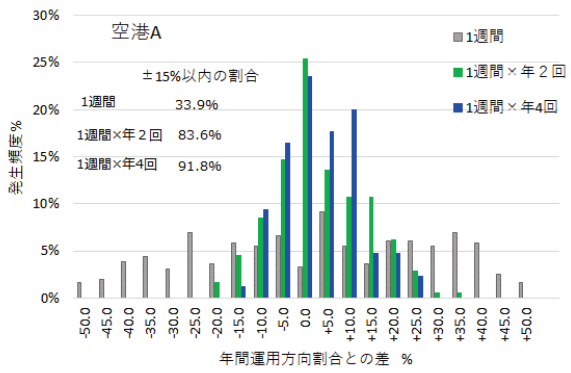


図10　短期測定期間の年間運用方向割合との差の頻度分布（空港A）

次に、季節的な変化がある各地の空港を対象に、運航実績をもとに、短期測定期間と年平均の運用方向割合乖離状況推移と頻度分布を集計した。図11にその結果を示す。

空港B、空港C、空港Dは滑走路が南北方向に、空港Eは東西方向に配置される空港である。滑走路運用方向が卓越する側が6～7割と少し偏りはあるが、いずれの空港も季節で典型な風向に対し航空機の運用方向を変えている。左図は、年平均運用方向割合に対する短期測定期間の差の推移、右図は差の頻度分布を表す。

空港B、空港C、空港Dは空港A（図1参照）と同様に、1週間の測定では季節性の大きな変化に加え、細かな変動もある。空港Eでは季節性変化は顕著だが細やかな変化は少ない。いずれの空港も年間を通じ±50％もの大きな幅がある。測定期間長を2週間・4週間と長くしても季節変化の影響は消えず、年間平均に対し大きな変動がある。複数回の測定を繰り返せば、どの空港も年間平均運用割合に対する変化幅は小さくなる。特に空港Eは±10％程度と他空港より小さい。

表2にはそれぞれの空港の短期測定期間での許容範囲内の割合を総括した。許容範囲の目安は10％と15％とした。単純にすべての空港を平均した結果では、1週間の測定では乖離±10％以内が28.8％、同±15％以内が44.1％と低い。1週間の測定を2回実施すれば、10％以内が67.6％、15％以内が83.8％と高くなり、複数回実施の効果を確認できる。4回実施の場合はさらに高く、15％以内は94.7％に達する。空港によって少し特性の違いも見られる。空港A,B,Cはほぼ平均と同じだが、空港Dは低め（±15％以内が2回実施で66.9％、4回で81.4％）、空港Eは少し高め（同100％、100％）となっている。

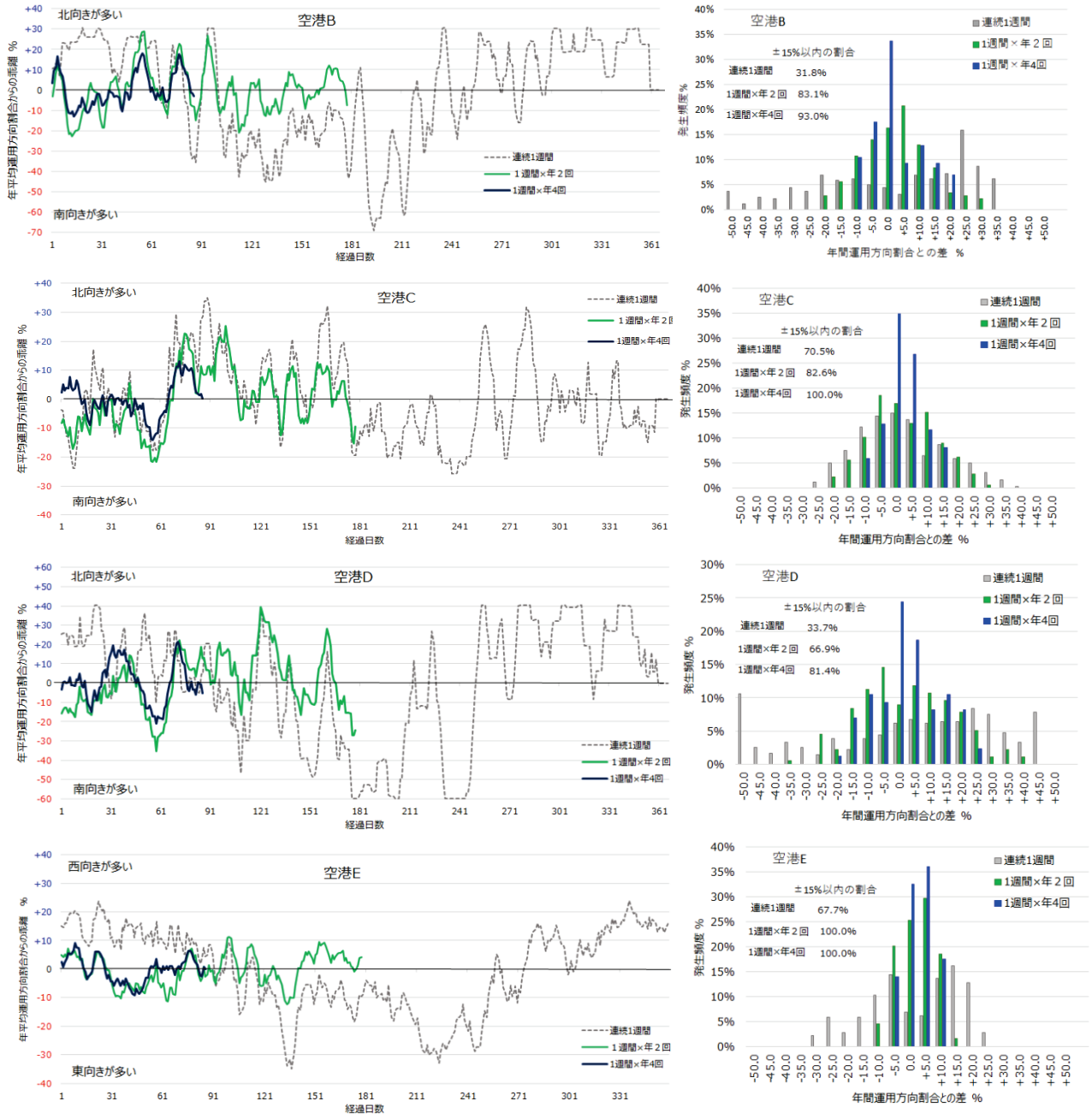


図11　季節変化がある各地の空港の短期測定期間と年平均の運用方向割合乖離状況推移と頻度分布
空港B～E、左）乖離状況の推移、右）乖離の頻度分布

表2　各地の空港の短期測定期間と年平均の滑走路運用方向割合の差と許容範囲内の割合

空港	年	卓越する特定方向へ運用割合	短期測定期間による滑走路運用方向割合の年平均割合に対する差								
			1週間			1週間×２回(6ヶ月ごと)			1週間×4回(３ヶ月ごと)		
			標準偏差	10%以内の割合	15%以内の割合	標準偏差	10%以内の割合	15%以内の割合	標準偏差	10%以内の割合	15%以内の割合
空港A	年１	約5割	26.3	24.7	33.9	10.5	64.4	83.6	8.7	77.6	91.8
	年２	約5割	26.8	20.1	34.0	10.2	65.9	84.1	5.8	89.3	100.0
空港B	年１	約7割	25.0	19.5	31.5	10.9	64.0	83.1	8.4	73.3	93.0
	年２	約7割	23.5	23.4	37.6	9.7	75.3	86.5	6.9	90.7	96.5
空港C		約7割	13.9	49.6	70.5	10.6	63.5	82.6	6.2	86.0	100.0
空港D		約6割	30.5	23.4	33.7	14.9	46.1	66.9	10.4	60.5	81.4
空港E		約7割	14.6	41.2	67.7	5.6	93.8	100.0	4.4	100.0	100.0
全平均			22.9	28.8	44.1	10.3	67.6	83.8	7.3	82.5	94.7

4. おわりに

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

このように、短期測定期間の運航状況(滑走路運用方向の割合)が、その空港の年間の平均的な運航状況と乖離してしまった場合、その乖離の程度が短期測定結果による評価の信頼性にどの程度の影響を及ぼすかの目安はこれまでに示されてなかった。

本研究では、季節による滑走路運用方向の変化がある空港の航空機騒音常時監視結果をもとに、短期測定の滑走路運用方向割合が年間平均のそれと異なる程度が、評価値L_{den}に及ぼす影響の程度を分析した。

その結果、日L_{den}の変動が大きい地点ほど、運用方向割合の乖離の影響は強くなることが分かった。日々のL_{den}の変動が大きい地点とは、「離陸と着陸の騒音値差が大きいこと」と「日々の測定回数の変動が大きいこと」の複合的な要因と関連性が高いこともわかった。さらに、騒音常時監視局との分析結果から、運用方向割合の乖離が10%未満なら、L_{den}に及ぼす影響は平均で0.5dB程度以下であり、かつ1dBを超える地点はほとんどないこと、15%を超えると1dB以上の影響をきたす地点も発生すること、20%を超えると平均で1dB以上の影響を生じることが分かった。これらのことから、運用方向割合の乖離が10%を超える場合には評価値の信頼性に影響を及ぼす可能性に留意し、少なくとも15%を超えると短期測定結果をもとに年間平均L_{den}推計を行うことが必要である。

各地の季節的な運用方向変化がある空港の運航実績を分析したところ、1回の測定期間で期間長を長くしても運用方向のばらつきは収束せず、複数回の測定を繰り返すことによって、その変化を一定程度吸収することができるがわかった。年間平均運用方向割合との乖離について、すべての空港を平均した結果では、1週間の測定では10%以内の乖離が28.8%、同15%以内が44.1%と低いものの、1週間の測定を2回実施すれば、10%以内が67.6%、15%以内が83.8%と高くなり、複数回実施の効果を確認できた。4回実施の場合はさらに高く、15%以内は94.7%に達する。それでも、評価値信頼性低下の目安である15%を超えるものが出現する場合もあり、このような時には年間平均L_{den}推計を実施するべきである。

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) 篠原直明, 航空機騒音測定・評価マニュアルに基づく短期測定の実際, 航空環境研究2020
4) 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

航空環境研究 No.25（2021）, PP.1 − 7

研究報告

航空機騒音の離陸滑走開始時の後方指向性 *

中澤　宗康（航空環境研究センター　副主任研究員）

1 はじめに

航空機は、停止状態から離陸速度まで加速する際に離陸時に推力が最も大きくなるため、それに応じて騒音も非常に大きくなる。そのため、離陸時の滑走路周辺への騒音影響は特に大きい。この影響を評価するために、航空機騒音の実測に加えて予測も行われているが、音の伝搬は単純な球面状ではなく、騒音の側方過剰減衰や放射指向性の変化などのいくつかの影響要因がある。本研究ではこのうち、騒音の指向性に着目した調査を行った。

1.1 騒音の放射指向性

航空機に限らず現実の騒音源となる物体は騒音の指向性、いわゆる音の広がり方にそれぞれ特有の形状を持っている。自由空間上の点音源であれば、幾何学的な球面状に音は広がっていくが、航空機騒音はそのようにはなっていない。

航空機の場合、主な騒音源はメインエンジンであり、現代の旅客用航空機で多いジェット機であれば左右主翼に懸架されているターボファンエンジンが該当する。本研究では、数も多く騒音影響も大きいジェット機に着目して調査するが、ターボファンエンジンの場合は、円筒形のケースがあり、給排気の方向の影響により、前後方向に騒音が出る。ただし後方へのエンジンの噴射については、真後ろに出た騒音はそのまま進むのではなく、斜め後ろ方向に向かうことが知られている。なぜ、真後ろに出た音が斜め方向に曲がるかというと、エンジン後方ではエンジンのコア噴流、バイパス噴流、周辺大気と速度の違う空気が流れるため境界層ができ、この境界層により音の屈折が発生することが理由である[1)]。このため、航空機の騒音の指向性は真後ろに最も小さく、斜め後ろ方向に行くにしたがって徐々に音が大きくなるという形状となっている。

こういった航空機騒音の指向性を細かく実測調査したような事例はあまりないようだが、一例として米軍の軍用機F-35の地上静止状態でのエンジン後方の指向性の例[2)]を紹介する。エンジン騒音の後方指向性の測定結果を図1に示す。これはエドワーズ空軍基地で騒音計235台を同心円状に6列（63, 94, 125, 250, 500, 1000 ft）、機体の左半分180度にわたってほぼ5度刻みで配列して測定した結果の一つである。後方エンジンブラストを避けるために機体真後ろの領域には騒音計は設置できなかったようだが、それでも機体斜め後方に強く指向性が出ていることがよくわかる。

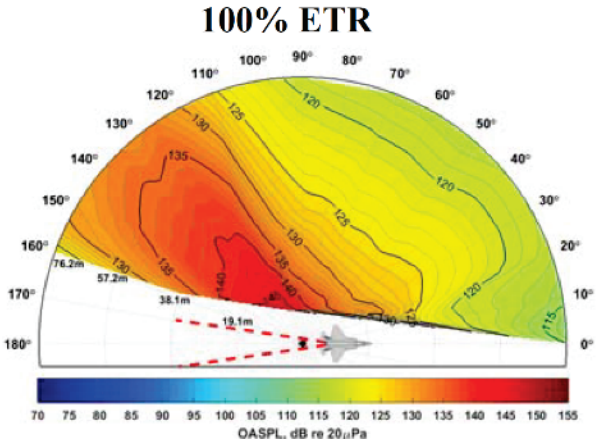


図1　静止ランナップ時のジェットエンジン（F35）の騒音の指向性の例。文献2）より引用

また、測定された騒音指向性の形状は条件によって変動し、エンジン推力の強さによって変動するということや、周波数解析を行うと周波数間でも指向性の形状に違いがあることが示されている。このことから、エンジンの騒音指向性はエンジンの種類や状態で違いがある可能性が示唆され、ここで示された結果を他機にそのまま適用できるとは限らないこともわかる。

* Study on aircraft noise directivity of behind the start of takeoff roll

この結果からは、騒音指向性の違いを生む条件としては、コア噴流/バイパス噴流間の速度差、騒音の周波数構成などがありそうだことは推察できる。では、これらの条件が異なる民間用航空機の場合はどのような指向性となるだろうか？これについては、参考となるものが既存の騒音予測に用いられるガイドラインの中に騒音指向性モデルが含まれるのでそれを紹介する。

1.2 騒音予測における指向性モデル

前述のとおり、航空機の離陸開始時の推力の強さに起因して滑走路付近の騒音影響が大きいため、より適切に評価するべく、騒音予測ガイドラインにおいてもいくつかの補正を加えることとなっている。

既存の騒音予測ガイドラインであるECAC Doc.29やICAO Doc.9911では騒音の指向性モデルが含まれており、その中でも飛行騒音の指向性モデルと離陸滑走開始時の後方指向性のモデルが別々に用意されている。図2にガイドライン中で使用されている指向性を示す。飛行騒音は90度ダイポールを利用し、離陸後方の指向性は別途専用の形状が用意されている。既存の予測モデルSAE-AIR1845[3]、ICAO Doc.9911第1版[4]、ECAC Doc.29 第3版[5]で使用される離陸後方滑走指向性は、以前までは機体の真後ろがかなり小さく、形状がきついモデルを使用していた。現在の予測モデルICAO9911 第2版[6]、ECAC Doc.29第4版[7]では、2004年に実施されたアメリカ運輸省のVolpe Centerの測定報告[8]に基づいて新しい指向性計算式に変更し、形状が緩やかになった。

Volpe Centerの測定は、ワシントンダレス空港の滑走路30方向の周辺に、滑走路端を中心とした同心円状に騒音計を配置して実施された。騒音計はおよそ半径900 ftと、1950 ftの2つの同心円状に15度刻みで配置されたが、900 ft円は180度にわたるのに対し、1950 ft円は設置エリアの関係で90度程度の範囲であった。追加で機体真後ろ180度方向に1500 ft、3600 ft、4600 ftの3地点に検証用の騒音計を設置したものである。13機種分測定し、騒音のばらつきがやや大きいものの、予測用の指向性としてジェット機用とプロペラ機用の2種に平均してまとめており、その結果が先のガイドラインに採用されている。

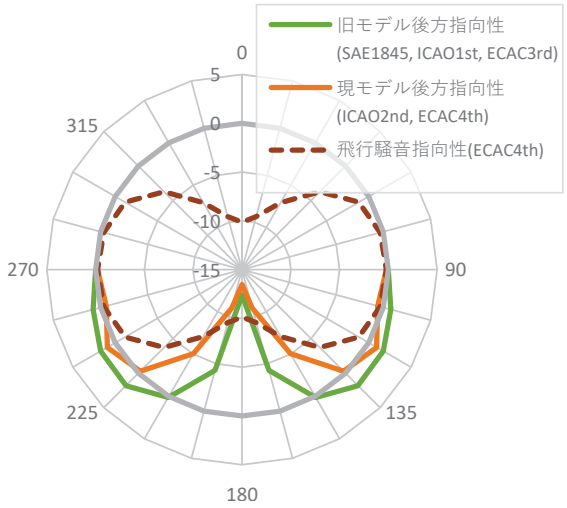


図2． 騒音予測ガイドライン中の各指向性モデルの形状

一方、日本でも過去には、この指向性モデルの確認を目的として、磯部ら[9]が離陸騒音の後方指向性の実地計測を成田空港で行っている。結果としては、真後ろで小さく斜め後ろで大きくなるものの、極端な指向性までは計測されないという結果であった。また測定当時は、着陸騒音や滑走路反対方向からの離陸騒音など、他の航空機運航と混合すると、離陸滑走時の後方指向性の影響は全体の騒音影響に対してそれほど大きくはない状況であり、あまり重要視されていなかった。しかし、近年は航空機の飛行騒音、特に離陸騒音が小さくなり、離陸滑走指向性の影響が無視できなくなりつつある。このため、妥当性の確認が必要になった。

加えて、Volpe Centerの測定以降15年が経つが、この間に、B787やA320neoといった新型機種の登場および就航が進んできている。特に航空機エンジン回りでは、バイパス比の上昇や、ギヤードターボファンエンジンのような構造の変化といった改良がおこなわれてきている。この影響により、航空機の後方指向性が既存の指向性モデルに比べて変化している可能性がある。

そこで妥当性を確認する目的で、航空機の離陸滑走時の後方指向性について、測定を実施し、現

在のモデルとの違いについて比較した。

2 測定

航空機騒音の離陸滑走時の後方指向性を検証するため、日本の成田空港の滑走路周辺で騒音測定を実施した。

2.1 測定状況

測定対象は、A滑走路34L方向の離陸で、測定期間は2020年10月28日～11月3日であった。

A滑走路から航空機は866機離陸したが、34L方向の離陸機は576機で、これらはすべてジェット機であった。しかし、ビジネスジェット等小型機も21機あったため、対象から除外した。

留意点として、これらの期間はあいにく、コロナウイルス感染拡大の影響により旅客数が減っている状況であり、やや離陸重量が軽い可能性はあったが、それ以外は通常の離陸手順であった。

2.2 騒音計の配置

騒音計は、機体が滑走開始すると想定される位置である滑走路端から100 m内側の地点を中心として、同心円状に3列配置した。円の距離は、滑走路周辺で騒音計が設置可能な場所から決定し、A列は580 m、B列は720 m、C列は1500 mを目安に計画した。しかし、実際の滑走路周辺のフィールドは、平坦で開けた土地ばかりではなく、起伏もあれば建物もあり、土地管理者の設置可能エリアの指定もある。このため、必ずしも計画した位置に設置せず、場所に応じて修正を行った。

また、指向性は左右対称であると仮定したが、機体の右側は空港施設が多いために騒音計がほとんど設置できる場所が無く、機体の左側を中心に配置した。ただし、左右対称の確認のためにA列のみ2地点を配置した。

さらに、A-180度地点は空港の規制区域で、B-270度地点は崖であったため、重要な地点であったが設置を断念した。他にも、窪地や建物の影になりそうな場所は音響伝搬の影響が少なくなるように、計画位置から若干動かした。このため、完全な同心円状にはなっていない。

最終的にA列で9地点、B列は7地点、C列は8地点の合計24地点を、図3のように配置した。これらの地点は、基本的に騒音計のマイクの高さ1.5 mで設置した。ただし、やや窪地となっているB285地点はマイク高さ4 mに、B210地点はマイク高さ2 mに変更した。騒音レベルは100 msごとに騒音計のメモリーカードに記録した。

他にもいくつかのデータを追加で取得した。航空機の位置を得るため、航空機から発せられるADSBを受信して、そのうちの位置情報を使用した。また運航記録を得て、騒音計に記録された個々の航空機の離陸時刻、便名、機種名を識別した。最後に気象庁ホームページより、千葉測候所の10分単位の気温、気圧、風向、風速、降水量の気象データを取得した。

図3　成田空港での後方指向性騒音の測定地点

3 分析

測定された騒音データは個別の便ごとに分解し、時刻等をもとに運航記録と照合した。同様に、気温・風向・風速の気象データとも照合した。この際、風向および風速は区分しやすいよう、滑走路延長方向および直交方向のベクトル風速へと変換した。

これら測定データを、機種別、同心円別、角度別に分類し、レーダーチャートに表し騒音の放射状態を確認した。また、既存の指向性モデルとの比較ができるように、各列の地点の騒音値から、A,C列については270度地点とのレベル差を計算し、これを測定された指向性として確認した。なお、B列については、270度を設置できなかったので、代わりに285度地点とのレベル差を計算している。

3.1 分析にあたっての課題

離陸滑走時の騒音の後方指向性の作成においては、算定するにあたってのいくつかの課題を検討する必要がある。

今回、算定する騒音指標はL_{Amax}とL_{AE}とし、L_{Amax}については測定された騒音の最大の値、L_{AE}については最大の時点から10dB小さくなるまでの一連の積分値とした。問題は、通常の飛行騒音の測定とは違い、この最大騒音値の時点は航空機と騒音計が最も接近した時点とは限らない、という点である。というのは、離陸滑走時は推力を上げながら前進する一方、機体後方に設置した騒音計からは離れていくため、推力上昇による騒音上昇と、機体前進による騒音の距離減衰が同時に起こる。一方、今回の測定結果と比較する相手となる既存の騒音予測ガイドラインでは、航空機騒音は一定距離の直線区間の移動をまとめた単位で算定する。このため、予測で用いられる初期滑走区間のL_{Amax}とL_{AE}であれば、整合性に問題は生じない。このため、そのまま離陸開始区間の騒音指標として分析を実施した。ただ、今回の結果は、滑走開始の瞬時の指向性ではなく、滑走開始後の一定滑走区間の幅をもった指向性であるということには留意する必要がある。

また同様に航空機の位置についても留意点がある。実際の航空機は滑走路に走行進入した後、滑走路方向に正対して離陸開始するが、その際に必ずしも決まった地点で必ず停止するものではなく、ブレーキを踏んで停止する機体もあれば、ブレーキを踏まず緩やかに移動したあとそのまま推力を上げる機体もいる。このため、推力を上げ始める地点は想定した滑走路端から100 m地点とは限らず、機体と騒音計の間の角度は、計画方位との若干の角度のずれが生じるが、これについては無視している。最も内側の円の側方であるA270地点が、角度のずれの影響が大きくなるが、機体位置等を見ると概ね10度以下ぐらいの誤差であった。この際、ADSBデータから離陸を判別したが、インターセクション離陸はなく、滑走路端の誘導路から滑走路に入って離陸開始した機体のみであった。

最後に、機体後方の150度から210度方向は、指向性の影響により騒音値が小さくなるため、暗騒音+10dBを超えないデータが多く、測定率が低かった。B180地点で対象運航の23%、C180地点で対象運航の2.2%しかなかった。しかし2地点離れたB210では82%、C210では48%と大幅に増えることから、かなり極端な指向性による騒音低下があることがうかがえる。また、騒音が小さく欠測扱いとした騒音を含めると、B,C列の機体真後ろ方向の騒音は、実際には平均としてはさらに小さい騒音値である可能性がある。ただ、これを検証するには同様に位置関係でかなり暗騒音の小さい地点を見つける必要があり、今回の測定結果からの検討は難しいといえる。

4 結果

結果は、個別便あるいはカテゴリー分類に平均したデータを、列別および角度別の地点ごとにレーダーチャートに記述した。データは測定騒音値そのものと、機体側方270度あるいは285度との騒音差から作成した指向性の2種類を用意し、それぞれの傾向を、要素別に確認した。

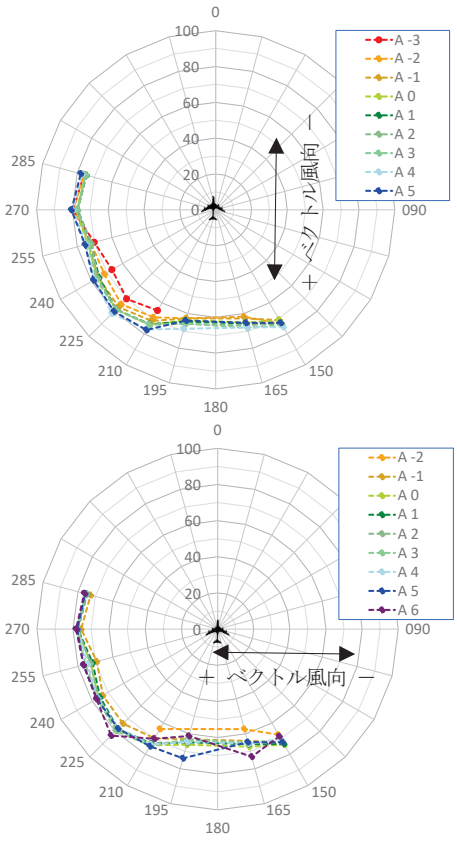


図４　ベクトル風速別の騒音値の変化（A列）
上段：滑走路方向ベクトル、下段：滑走路直交ベクトル

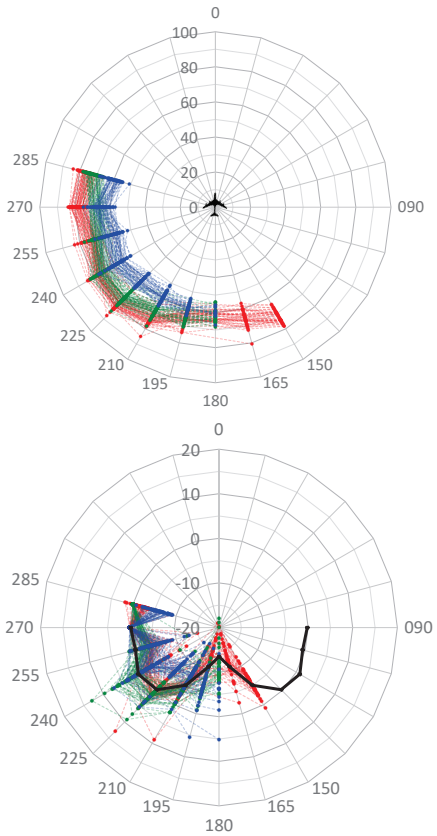


図５　騒音測定結果（L_{Amax}）
上段：測定値、下段：算出した指向性
赤：A列、緑：B列、赤：C列

4.1 気象の影響

気象の影響を確認するため、気象データのうち風向および風速から、滑走路方向および滑走路直交方向のベクトル風速を算定し、両方向のベクトル風速1 m/s単位に騒音値を平均した。まず、測定期間中の状況であるが、ベクトル風速は滑走路方向、滑走路直交方向とも最大6 m/sであった。これを分類すると、傾向としては、やはり風速に比例して騒音が増減していた。しかし、指向性の形状全体が風の影響で同方向に移動するため、指向性の形状の変動は大きくはなかった。また、風の強かった際の運航便数はそれほど多くはなく、微風ともいえるベクトル風速±3 m/sに運航全体の95%近くが収まる結果であった。このため以降の分析においても、特段の配慮はせず、全体を平均して騒音指標および指向性の算定を行った。

4.2 指標の影響

騒音の指標L_{Amax}およびL_{AE}、さらに測定騒音値および機体側方騒音との差分である指向性、のそれぞれについて結果を比較した。測定した個別便の騒音値を角度別にプロットし、列別に色分けしたレーダーチャートを作成した。

まずL_{Amax}で、騒音値と指向性のレーダーチャートを図5に示す。左の騒音値であるが、ややばらつきがあるが、列別に形状は揃っている。A列B列は比較的近い形状だが、青のCだけ若干形状が違う。これは後述する減衰の影響かと思われる。また右の指向性についてはECACと比較すると全体的に音が小さい。

他にも同様にL_{AE}について分析したが、騒音値、指向性ともにL_{Amax}との極端な差はほとんどなかったため詳細な説明は割愛する。これは騒音の継続時間がある程度一定しているからだろうと思われる。

4.3 機種・世代・サイズの影響

航空機種の世代による離陸滑走開始時の指向性の違いを確認するために、ロールアウト年を基

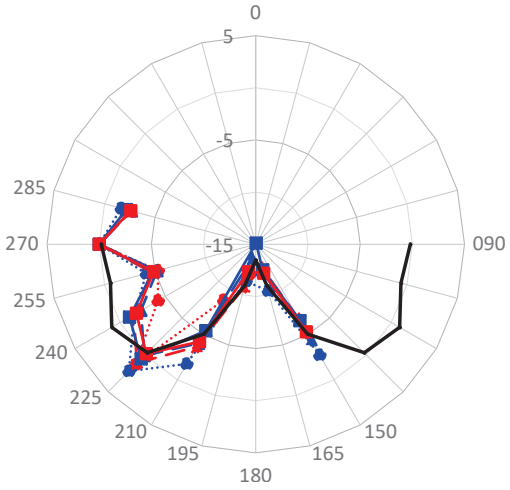


図6　機種世代/サイズ別のL_{Amax}指向性
青：2000年以前、赤：2000年以降ロールアウト
●：小型機、▲：中型機、■：大型機
●(A320/321ceo, B737)、●(A320/321neo)、▲(B767, A330ceo)、▲(B787、A330neo、A350)
■(B777、B747-400)、　■(B747-8)

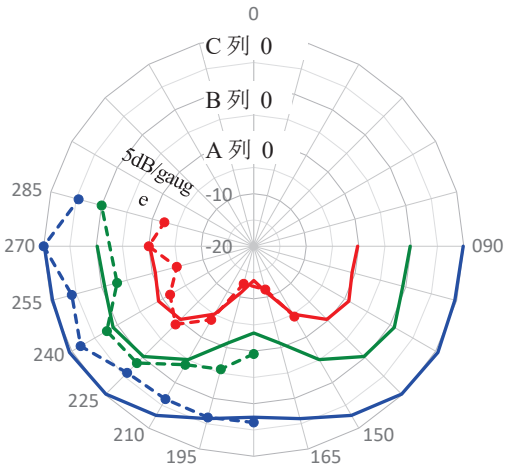


図7　距離による指向性形状の違い
赤：A列(580 m)、緑：B列(720 m)、赤：C列(1500 m)
点線：実測結果、実線：指向性モデル
※注：見やすくするためB列に+10dB、C列に+20dBしてずらした

準として古い機種と新しい機種に分けた指向性を算出した。便宜的に2000年より前にロールアウトした航空機種を古い機種、2000年以降にロールアウトした機種が新しい機種として分類した。加えて、機種サイズの違いも影響を与える可能性があるので、単通路機が小型機に、300席程度より少ない双通路機が中型機に、多い双通路機を大型機と分類した。これらの分類を平均した指向性を図6に示す。

赤は新世代機、青は旧世代機であるが、世代間の違いは明確ではない。ほんの少し、旧世代機に対して新世代機の方が指向性は小さいが、1-2dB程度しかないため差は無いといえる。また、機体サイズの違いも目に見える違いは見えない。

4.4 指向性の減衰

予測モデルでは、2500 ft(762 m)以遠で指向性を減衰させる。この減衰状況を確認するため、列別に平均した指向性を図7に示す。

遠方であるC列は1500 m=4921 ftであるため、比較すべき指向性モデルの形状を、該当距離に合わせて変えている。なお図は見やすくするために、B列は+10 dB、C列は+20 dBして、円の外側にずらしてある。

結果として、2500 ft以内のAB列は、実測とモデルの指向性がほぼ合致した。

また、BC列の後方がやや大きいが、欠測により大きい騒音しか補足できていない影響もあると思われる。

2500 ftより遠いC列は、斜め後ろの210-255度において、モデルに対して実測の指向性が全体的に減ってしまっている。C225では5 dB近く乖離している。距離が離れているため評価が難しいが、モデルが違っている可能性を示唆している。

5 まとめと考察

騒音計算に用いられる離陸滑走開始時の後方の指向性を確認するため、成田空港の周辺で滑走路端を中心とした同心円状に騒音計を配置し、騒音の測定を行った。さらに、機体側方を基準とした相対騒音値を指向性として算出し、形状の違いを検討した。

航空機騒音予測で用いられるL_{Amax}とL_{AE}の2指標での指向性を算出したが、これらの間の違いがほとんど現れなかった。また、機種別に指向性を算出したが、機体サイズによる違いも明確ではなく、機種世代による違いも明確には現れな

かった。最後に機体からの距離による指向性の形状の変化を確認した。機体から2500 ft以内の指向性についてはほぼ騒音モデルと同じ結果となったが、2500 ft以遠の指向性については騒音モデルで示すものと若干違いが見られ、斜め後方において騒音モデルよりも実測値がやや過大であった。これは指向性の形状の変化モデルが適切でない可能性を示唆する結果である。

これらの結果からは、現在の指向性モデルがほぼ正しいということがわかったが、距離による指向性の形状変化だけは、変化のための補正方法について、さらなる検討の必要があるといえるだろう。ただ、分析においても述べたが、今回の測定結果ではC列の距離は大体1500 m=4921 ftで、この距離まで離れてしまうと、かなり騒音値が小さくなることが測定上の課題として存在する。このため、特に真後ろの地点で暗騒音に対して充分な大きな航空機騒音イベントを測定することができなかったこともあり、データ量という点で指向性モデルを変えるべきというにも、やや証拠が不足している状況である。特に距離に伴う指向性の変化を検証するにしても、騒音の伝搬経路が地面に近い状況であり、この場合は地表面や気象の影響を大きく受けるため、地表面性状や気象状況といった条件が違う状況の検証も必要となる。つまり、今回の成田空港での測定だけでなく、他滑走路や他空港のような違う地点であったり、他の時期の違う気象状況下であったりした際のデータを総合的に分析する必要がある。

とはいえ、騒音値が小さいということは、空港周辺住民などへの影響も少ないということもあるため、早急に指向性モデルの向上が必要という状況ではない。このため、測定を行うのであれば良好な地点の選定、あるいは別途のデータが用意できるのであればデータの蓄積をかさねることが、今後の適切なモデル構築の道筋となると思われる。

謝辞

現地騒音測定にご協力いただいた成田国際空港株式会社の皆様に感謝いたします。

参考文献

1）鈴木崇夫. "剪断層内で発生する音の伝播について," ながれ 第24巻4号, 日本流体力学会, 2005年8月
2）Michael M. James1 et al., "Acoustic Emissions from F-35 Aircraft during Ground Run-Up, " Proceedings of the 21st AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference, AIAA AVIATION Forum, June 2015.
3）Society of Automotive Engineers, Committee A-21, Aircraft Noise, Procedure for the Calculation of Airplane Noise in the Vicinity of Airports, Aerospace Information Report No. 1845, Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, January 1986.
4）International Civil Aviation Organization, Recommended Method for Computing Noise Contours Around Airports, ICAO Doc 9911 1st edition, 2008.
5）European Civil Aviation Conference, Report on Standard Method of Computing Noise Contours Around Civil Airports, ECAC Doc 29 3rd Edition, 2005.
6）International Civil Aviation Organization, Recommended Method for Computing Noise Contours Around Airports, ICAO Doc 9911 2nd edition, 2018.
7）European Civil Aviation Conference, Report on Standard Method of Computing Noise Contours Around Civil Airports, ECAC Doc 29 4th Edition, 2016.
8）Behind Start of Take-off Roll. Aircraft Sound Level Directivity Study- Revision 1. Final Report, U.S. Department of Transportation; DOT-VNTSC-NASA-12-01 NASA/TM-2012-217783, April 2015.
9）磯辺正臣, 篠原直明, 吉岡序, 山田一郎 "離陸滑走時の航空機騒音の指向性," 日本騒音制御工学会研究発表会講演論文集, 日本騒音制御工学会, 2002年9月

航空環境研究 No.25（2021）, PP.1 − 6

研究報告

航空機騒音の住宅内外レベル差に関する簡便な測定方法の提案 *

下山　晃司（航空環境研究センター　研究員）

1. はじめに

空港周辺では航空機騒音対策として住宅防音工事が行われており、その効果の確認のために住宅内外レベル差測定が行われる。また、同じ住宅で定期的に調査を行えば経年劣化も把握可能であるが、調査事例は多くない。

そこで、本稿では住宅防音工事の目的及び住宅内外レベル差測定の課題点について整理した上で、簡便かつ測定精度を確保できる現場測定法を、木造平屋建てのオープンハウスでの実測結果から検討・提案する。さらに、測定結果の活用方法についても考察を行う。

1.1 環境基準と住宅防音工事

航空機騒音に係る環境基準（以降、環境基準）では、「生活環境を保全し、人の健康の保護に資するうえで維持することが望ましい基準」として、地域類型ごとに基準値が掲げられている。併せて、新設飛行場／既設飛行場等の飛行場の区分ごとに達成期間及び改善目標が掲げられている。既設飛行場では室外で環境基準を達成できない地域において、その騒音の程度に応じて室内で環境基準相当を実現する様に改善目標（以降、室内環境基準）が定められている。これを表-1に示す。

住宅防音工事は、公共用飛行場周辺における航空機騒音による障害の防止等に関する法律（以降、騒防法）に基づき、「航空機の騒音により生ずる障害の防止等を目的」として、騒音対策区域指定の際、現に所在する住宅を対象に実施されている。当該住宅の所在する地域の航空機騒音の程度に応じて工法名称及び計画遮音量（500Hz帯域における総合透過損失値）が規定されている。表-2に住宅防音工事の概要を示すと共に、住宅防音工事における室外の騒音の程度と計画遮音量から試算した室内の騒音の程度（室内相当L_{den}）を示す。

表-1及び表-2より、室内環境基準が切り替わる室外L_{den}70dBのとき住宅防音工事を実施した住宅の室内相当L_{den}は45dBであること等から、室内環境基準を遵守する様に設計されていることがわかる。つまり、住宅防音工事の目的は、室外で環境基準を達成できない代わりに室内環境基準達成時と同等の室内環境を実現することにあると考えられるので、その効果を評価する際には、計画遮音量を満足できているかだけではなく、航空機騒音に曝露された時の室内の騒音レベルについて評価することが必要ではないかと考える。

1.2 住宅内外音圧レベル差の測定方法

住宅内外音圧レベル差の測定方法は、日本産業規格「建築物の外周壁部材及び外周壁の空気遮断性能の測定方法」（JIS A 1430:2009 [1]、以降、JIS）で、室全体の総合的な内外音圧レベル差を求める「全体法」として、外部にスピーカを設置する方法（以降、外部音源法）が規定されている。しかし、こ

表-1　既設飛行場の改善目標

騒音の程度（室外）	室内環境基準
70dB≦L_{den}	室内 L_{den} 50dB以下
62dB≦L_{den}	室内 L_{den} 47dB以下

表-2　住宅防音工事の概要騒音工事

騒音の程度（室外）	住宅防音工事		室内相当 L_{den} *
	工法名称	計画遮音量	
73dB≦L_{den}	A工法	30dB以上	43dB～
66dB≦L_{den} <73dB	B工法	25dB以上	45～48dB 41～45dB
62dB≦L_{den} <66dB	C工法	20dB以上	42～46dB

*騒音の程度（室外）- 計画遮音量 で試算。

* Proposing a field measuring method of difference between indoor and outdoor sound pressure level by aircraft noise

の結果得られた周波数別の室内外レベル差だけでは、実際の航空機騒音に対する効果を直接評価することができず、また、実質的には外周壁開口部(窓)の遮音性能に大きく影響されるため、上空から放射される航空機騒音による家屋全体の遮音性能を評価することとは趣旨が異なる。さらに、実際に居住される家屋で現場測定を行う場合、室内で十分なS/N比を確保するため大音量で音源を再生することで周辺住民へ迷惑を掛ける、大掛かりな測定機材が必要になる等、家主及び測定者の負担は大きい。

JISには付属書D(参考)で実騒音を用いる「航空機騒音または鉄道騒音による測定方法」(以降、実機音源法)が示されている。この測定法であれば、家主及び測定機材の負担を軽減できる上、航空機騒音による家屋全体の遮音性能を直接評価できるが、その結果の妥当性は検証されていない。

ちなみに、外部音源法と実機音源法の測定点はいずれも室内5点、室外1点であり、その要件も同じである。

以上より、本稿では家主及び測定機材の負担を軽減でき、航空機騒音による影響を直接評価できる実機音源法を基に、簡便かつ測定精度を確保できる現場測定法を検討する。

2. 測定状況と検証概要

今回測定を行った木造平屋建てのオープンハウスは、滑走路端から約0.8km、側方へ約0.4kmに位置し、航空機騒音が顕著な経路直下の測定点である。外部音源法及び実機音源法にて住宅内外音圧レベル差測定を行った。測定は、時間帯重み付け特性S(Slow)で100ms毎に1/3オクターブバンド周波数分析結果(以降、1/3oct.)及びA特性音圧レベルを記録した。図-1に測定点の平面配置図を示す。

室内測定点はJIS準拠の5点としたが、JISの室外測定点では上空を移動しながら曝露される航空機騒音に対して住宅自身の遮蔽や反射の影響を受けるため、見通しが良い場所に設置した。具体的には以下3点の室外測定点を設けた。括弧内に選定理由を合わせて示す。

・高さ1.5m点(設置が容易)
・高さ4m点(地面反射の影響を受けにくい)
・屋根面(反射の影響を定量化しやすい)

人工音源法は音圧レベルが安定した状態を40秒程度維持し、実機音源法は17機の離陸騒音から実測結果を得た。これらから、以下に示す3つ検討を行った。

・検討①:人工音源法と実機音源法で同様の室内測定結果のばらつきがあるのか
・検討②:測定精度を確保した室内代表点を選定できないか
・検討③:実機音源法の室外測定点として適切な測定点はどこか

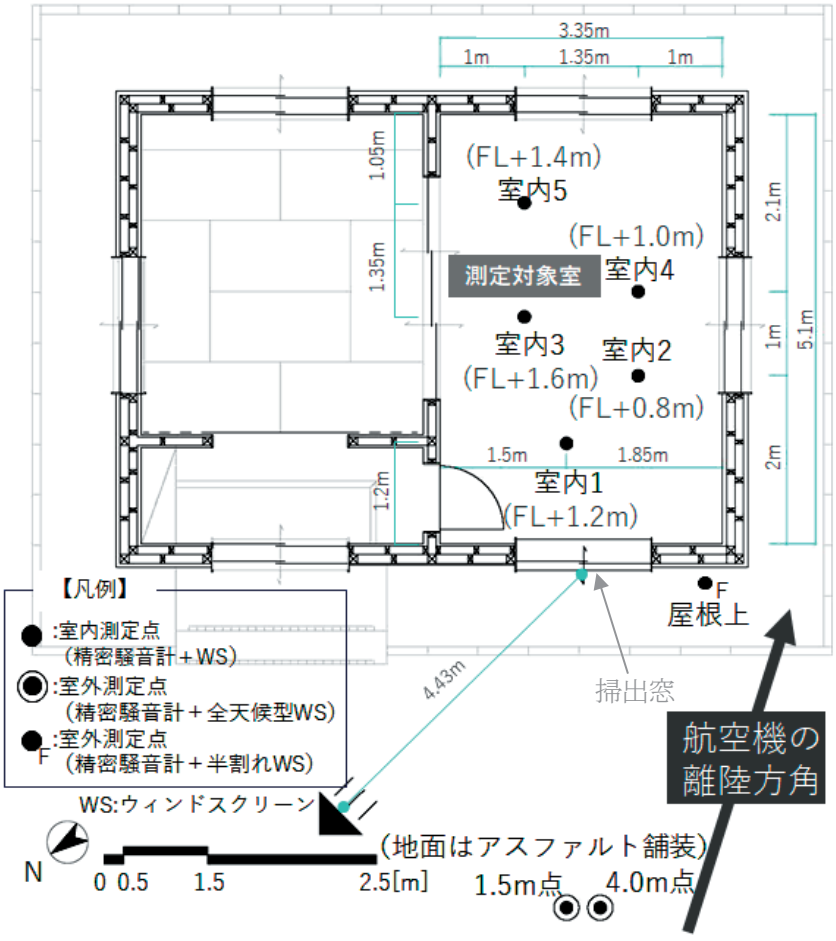


図-1　オープンハウス測定の測定点平面配置図

3. 室内測定結果の検討

3.1 室内測定結果のばらつき

室内における1/3 oct.測定結果から、室内平均音圧レベル(エネルギー平均、以降5点平均)を算出し、測定点別に5点平均との差を測定手法別(外部音源法、実機音源法)に算出した。人工音源法は室内音圧レベルが安定した時のL_{Band}、実機音源法は航空機通過ごとの周波数別最大値$L_{\mathrm{Band,max}}$を離陸機17機すべてエネルギー平均した。実機音源法の5点平均と各測定点の音圧レベル差を図-2に示す。これより、315Hz以下の低周波数帯域では測定点毎のばらつきが大きく、500Hz以上中高周波数帯域ではばらつきは小さく安定している傾向が見て取れる。これは、人工音源法でも同様の傾向であった。

各測定点の1/3 octそれぞれの5点平均との音圧レベル差について算術平均と標準偏差(σ)を算出し、測定手法別の算術平均と±1σ範囲を図-3に示す。これより、実機音源法の方が人工音源法よりも室内測定点毎のばらつきは小さいことがわかる。したがって、実機音源を用いる場合、室内測定点を減じた室内代表点で測定を行っても適切な結果を得ることができる可能性を示した。

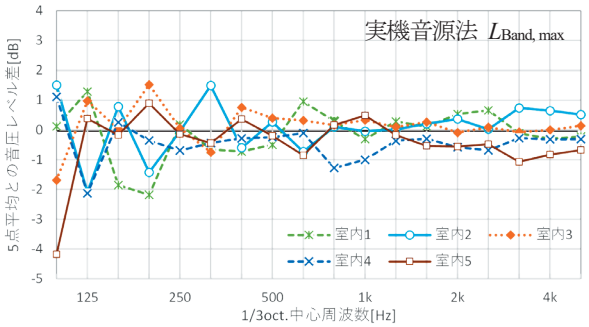


図-2　各測定点の5点平均との音圧レベル差

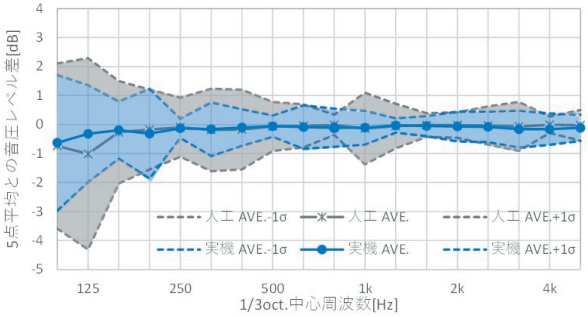


図-3　各測定点における5点平均との差の算術平均(AVE)と±1σ範囲(測定手法別)

3.2 室内代表点に関する検討

実機音源法の5点平均と各測定点の音圧レベル差(図-2)から、室内2と室内3、室内4と室内5の組み合わせでは、特定の周波数(100Hz、125Hz、200Hz等)で相反関係にあることわかる。

これらの測定点は全て内壁面から1mの測定点で、特に2と3は部屋中央を起点とした対称関係にある。200Hzの1/2波長は0.8~0.9mであること、その倍音に近い100Hz、125Hzでも同様のピークが見られることから、壁面からの反射波または定在波の影響を受けた結果ではないかと考えられる。また、室内2は測定点高さを0.8mと低めにしたことから、床面反射の影響で315Hzに差が出た可能性が考えられる。

相反関係にある室内2と室内3の1/3 oct.測定結果をエネルギー平均(以降、2点平均)し、5点平均との音圧レベル差を算出した結果を図-4に示す。これより、2点平均は各1点の測定結果よりも周波数ごとのばらつきが安定しており、室内平均値(5点平均)との差も小さいことがわかる。

また、航空機騒音の測定評価に用いられる最大騒音時-10dBの範囲を積分対象とした結果($L_{\mathrm{E,Band}}$)でも測定点ごとの相反関係は変わらず、むしろ$L_{\mathrm{Band,max}}$よりもばらつきは小さかった。

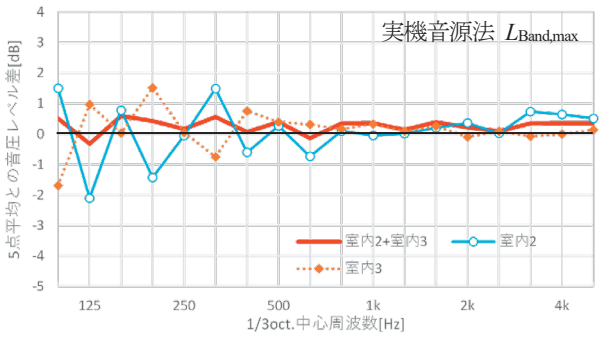


図-4　各測定点(室内2、室内3)及び2点平均の5点平均との音圧レベル差

次に、A特性の測定点ごとのばらつきを、最大騒音レベルL_{Amax}、単発騒音曝露レベルL_{AE}について確認した。L_{AE}の積分対象は最大騒音時-10dBの範囲とした。L_{Amax}の測定結果からは室中央に近い測定点(室内3)で1機毎の測定結果のばらつきが小さい傾向、L_{AE}の測定結果(図-5)か

らは音が透過しやすい部分(図-1の掃出窓)から見て室中央に近い点(室内2、室内3)で5点平均と近い傾向が見られた。また、1/3 oct.の測定結果が相反関係を示した室内2と室内3のL_{AE}をエネルギー平均すると、5点平均との差は0.3dB以内に収まった。

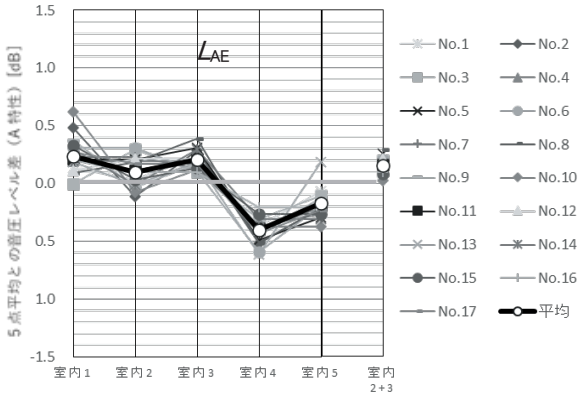


図-5　5点平均とのA特性音圧レベル差

以上より、実機音源法で測定を行う場合、音が透過しやすい部分から見て室中心に近く、室内周壁から1m以上離した位置のマイク高さ1.5mに室内代表点を設置することでJISに規定される室内平均(5点平均)に近い結果を得られると考えられる。また、その際は室中央から対称関係に近い2点を選定するとより信頼性が高まる。

4. 室外測定点に関する検討

2章で示した通り、見通しの良い場所(住宅から5m程度)に設置した高さ1.5m点及び4m点と、屋根面上に直置きしたマイクロホン(屋根上)の計3か所にマイクロホンを設置し、どの測定点を用いるべきか検討を行った。

室内と同様に航空機通過ごとの周波数別最大値$L_{Band、max}$を離陸機17機すべてエネルギー平均した結果を図-6に示す。

これより、マイクロホン高さ4m点と屋根上の1/3oct.周波数特性は一貫して約3dB屋根上の方が大きいが、部分的(1kHz)にその差が1.0dBと小さくなっている。屋根上は屋根面からの反射の影響を表すので補正を行う(今回の場合は約3dBの補正を施す必要がある)が、その補正値は周波数ごとに異なるため、今回の測定結果から補正値を求めることは難しく(屋根の形状および材質は各住宅で異なるため)、航空機との位置関係によっては屋根が遮蔽物になってしまうこともあり、屋根上を室外測定点として扱うことは難しい。

1.5m点では100Hz、200Hz帯域で4m点と異なる結果を示している。一般的に上空を通過する航空機騒音の地面反射による影響は100～300Hz付近に表れやすい。図-5は17機の平均値なので、差の現れ方は小さいものの、地面反射の影響を受けていると考えられる。なお、500Hz以上の帯域は4m点と変わらない。

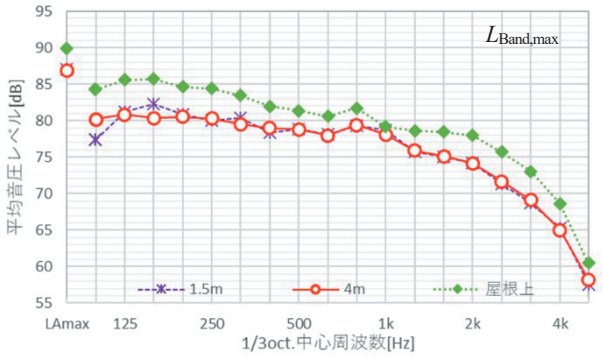


図-6　室外測定点の1/3oct.平均音圧レベル

次に、航空機通過ごとのL_{AE}とその平均値を算出した結果を図-7に示す。測定点間の関係性として、4m点と比べて屋根上は3dB、1.5m点は0.3dB大きい。

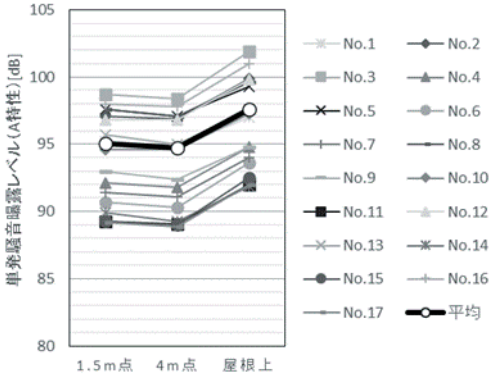


図-7　航空機通過ごとのL_{AE}とその平均値

以上より、屋根上を室外代表点とすることは難しく、4m点、1.5m点はどちらも同程度の結果を得られるが、1.5m点は地面の反射の影響を受けやすいため、原則として4m点を室外測定点とすることが好ましい。

5. 現場測定法の提案

木造平屋建てのオープンハウスでの実測結果から、航空機実機による室内外レベル差測定について、実機音源法を基とし簡便かつ測定精度を確保できる現場測定法を検討した結果、以下の方法を提案したい。

5.1 現場測定法の室内測定点

・室内代表点として1～2点を選定する。
・室外から音が透過しやすい部分(外周壁の建具等)から見て室内中心に近く、室内周壁から1m以上離した位置を選定する。
・測定対象室の中心から対称関係にある2点を選定すると室内平均と比べて安定した結果を得られる。測定の簡便性を鑑み1点とする場合は定在波の影響を考慮して室内中心は避けること。

5.2 現場測定法の室外測定点

・室外代表点として1点を選定する。
・建物の遮蔽や反射の影響を避け、航空機の見通しがきく場所に、マイクロホン高さ4mに設置することが好ましい。
・マイクロホン高さ1.5mを選定するときは、飛行経路と建物位置関係、地面反射の影響について総合的に考慮する必要がある。

6. 現場測定法の注意点

現場測定法は、航空機騒音が明確な場所に限られる。図6から航空機騒音は高周波数帯域で音圧レベルが低下する傾向が見られるため、航空機騒音が小さいと高周波帯域における測定結果の信頼性が劣ることとなる。そこで、測定要件として室外における騒音レベルの目安を検討した。

今回の実測結果から室内の暗騒音レベルは約30dB、単発騒音曝露レベルを安定して算出するために必要なSN比は10～15dB、住宅防音工事の計画遮音量は20～25dBとすると、室外での騒音レベルは60～70dBとなる。周波数帯域によって一概には言えないが、L_{Amax} 60～70dBが一つの目安となるだろう。但し、現実には測定現場の周辺環境や飛行経路との位置関係、気象条件等、測定現場の実情に応じて判断することが重要である。

7. 現場測定法の活用方法に関する検討

現場測定法には、実際の航空機騒音を利用した測定ならではの利点がある。そこで、現場測定法の活用方法について検討を行った。

7.1 住宅防音工事の目的とその評価

住宅防音工事の目的は、室内環境基準を達成することであるが、その仕様は500Hz帯域における総合透過損失を基準として規定されている。一方、環境基準の評価指標はA特性周波数重み付け(以降、A特性)を行った上で時間帯重み付けを加味して算出されるL_{den}である。

そこで、今回測定した17機の離陸騒音の室内測定結果から、500Hz帯域における室内外レベル差とL_{den}を算出する基となるA特性の室内外レベル差の違いについて検討を行った。各室内測定点及びに室内代表点2点(室内2+室内3)について、A特性室内外レベル差を基準とし500Hz帯域における室内レベル差を示した比較図を図-8に示す。これより、今回の測定結果ではA特性の室内外レベル差に対して500Hz帯域の室内外レベル差の方が大きかった。今回の検討は離陸機のみ結果であり、着陸機の場合は異なる可能性があるが、住宅防音工事の目的を考えると、500Hz帯域における総合透過損失のみでなく、A特性延いては年間L_{den}の推計結果と併せて評価することも重要ではないかと考える。

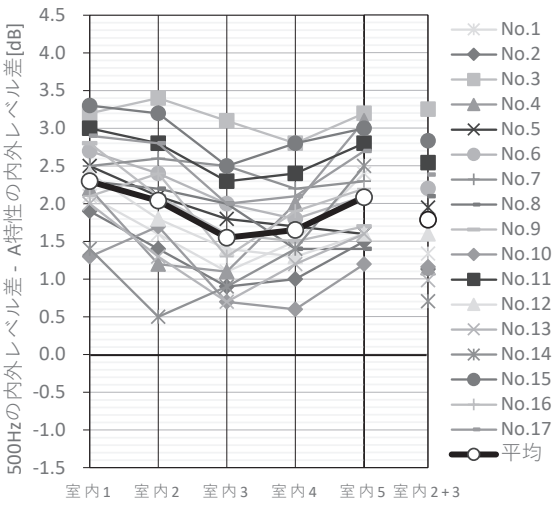


図-8　500HzとA特性の室内外レベル差の比較

7.2 室内環境基準の達成状況推計

現場測定法を用いれば比較的簡便にその住宅の室内外レベル差を把握することが可能である。その結果と近隣での騒音実態調査や常時監視局での航空機騒音測定結果から、その住宅内で室内環境基準がおおよそ達成できているかを確認できる。そこで、実際に室外で行った騒音測定結果から室内環境基準の達成状況について、その確認に至る手順を含めて整理、検討を行った。

検討に用いたのは、L_{den} 62 dB 以上の飛行経路直下に位置する地域で、マイクロホンは見通しの良い空き地、高さ4mに設置し、時間帯重み付け特性S、100ms毎にZ特性の1/3oct.周波数分析結果を1日記録した結果である。L_{AE}やL_{den}の算出方法は航空機騒音測定・評価マニュアル[2]に準拠した。また、室内外レベル差は過去の測定実績を基にC工法の計画遮音量20dBを想定した仮想遮音量(図-9)を用いた。以下に示す手順で室内L_{den}の推計を行った。

① 100ms毎の室外1/3oct.周波数分析結果から、各周波数帯域において住宅内外レベル差を減算し、室内の1/3oct.音圧レベル(Z特性)を推計する。
② 推計結果にA特性重み付けを行い、100ms毎の室内騒音レベルを推計する。
③ 当該空港に離着陸した航空機騒音を対象とし、運航情報や飛行航跡情報を基に通過機毎の室外L_{Amax}を特定する。
④ ③を基に通過機毎の室内L_{Amax}を特定する。
⑤ 室外及び室内の通過機毎のL_{AE}を算出する。
⑥ L_{AE}に時間帯重み付けを行い、室外L_{den}及び室内L_{den}を算出する。

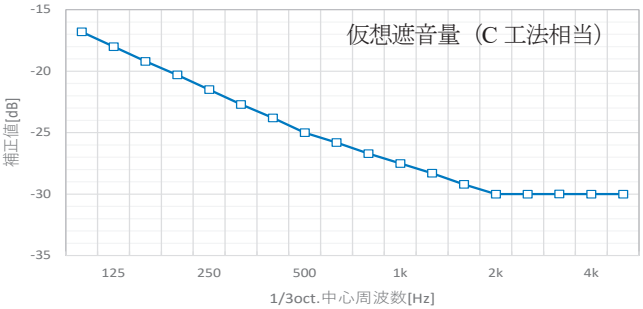


図-9　室内L_{den}推計に用いた仮想遮音量

推計の結果、当該測定地点でのこの日の室外L_{den}は64.3dB、室内L_{den}は44.1dBであった。測定地の室内環境基準は表-1より室内L_{den} 47dB以下であるため、この日は室内環境基準を達成できていることが確認できた。

今回は1日の騒音測定結果をもとに推計例を示したが、防音工事の目的を考えれば年間を通して平均的な1日について評価するべきである。つまり、1年間の運航実績や1週間×2季節の騒音実態調査結果と、室内外レベル差測定結果から年間平均の室内L_{den}を推計することで、その住宅内で室内環境基準が達成できているかを確認できる。

8. まとめ

木造平屋建てのオープンハウスでの実測結果から、実機音源法を基に簡便かつ測定精度を確保できる現場測定法を提案した。この測定方法であれば、室内の測定点は1～2点と少ないため、測定者及び家主の負担を比較的低減できる。さらに、航空機騒音を音源とするので、近隣住民にも迷惑を掛けないで測定を行える等の利点もある。一方、この測定法は、航空機騒音が明確な場所(L_{Amax} 60～70dBが一つの目安)に限られる測定法であり、航空機の運航は風向きにより変更される等のなど実際に測定を行う際には注意が必要な点もある。

本稿では、現場測定法の活用方法についても検討を行った。航空機実機による室内外レベル差測定を行うだけでなく、その結果を基に年間平均の室内L_{den}を推計し、その住宅内での室内環境基準の達成状況を評価する等に活かされれば幸いである。

参考文献

[1] JIS A 1430 : 2009 、建築物の外周壁部材及び外周壁の空気遮断性能の測定方法
[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 https://www.env.go.jp/air/noise/airplane/manual.html

航空環境研究 No.25（2021）, PP.1 − 6

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 *
− 複数空港における高度を含む考察 −

菅原　政之（航空環境研究センター　副主任研究員）

当研究センターはL_{den}コンタープログラムAERC[1-6]を開発し、予測コンター作成作業も担っている。予測計算のための設定経路は、年間の平均に基づいた条件設定が理想的だが、短期測定では結果がばらつく。そのため適切な測定期間長と実施回数を検討する必要があった。前回の報告[7]では、成田空港（空港Ⅰ）のADSB長期間観測結果の提供を受け（成田振興協会）、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した。

今回は続報として、羽田空港（空港Ⅱ）のADSB長期間観測結果（図1）を用いた分析事例を追加し、さらに課題であった飛行高度の期間長によるばらつきの変化を分析した結果を報告する。

1. 平均経路計算のプロセス

前回の報告では「予測計算における飛行経路設定の考え方」として、予測条件としての飛行経路設定、また飛行経路分散の考え方と、予測における計算手順について述べた。ここでは追記事項として予測のための経路設定に必要な、飛行経路の平均（平均経路）を計算する手順を述べる。

空港から離陸するケースを考えたとき、同じ目的地のルートでも、一般的に機体ごとに、ばらつきが生じる。その航跡の束に直交するように、断面線を配置する。バラツキが正規分布であるとみなして、断面との交点について平均位置と標準偏差を求める（図2上）。この計算を密に並べた断面線、全てについて行う。その結果の平均位置を繋げて平均経路に、平均位置と標準偏差との間隔をバラツキ幅として予測の経路条件が求まる（図2下）。着陸についても同様の手順を適用する。

飛行経路の水平分散を正規分布とみなすのは、ICAO Doc 9911、ECAC DOC 29[8, 9]といった主要な予測モデルガイドラインの考え方に準じている。

図1　空港Ⅱ　2020年04月右旋回離陸 南ルート

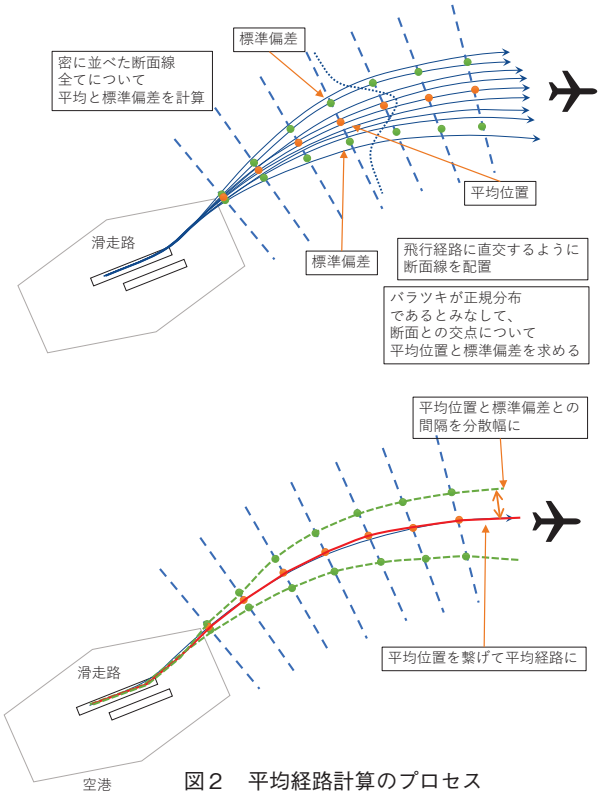


図2　平均経路計算のプロセス

* Assignment of measurement period contributing to flight track settings on an aircraft noise prediction model.
- Verification additional track data including flight altitude and a second airport. -

断面線を適切に直交するよう配置することが重要で、ばらつきのある航跡の束の重心を、長期間の傾向やAIP(航空路誌)の設定経路を考慮して、よく見極めて作業することが必要となる。

2. 分析対象の長期観測結果

今回の検討では空港Ⅱにおいて8カ月にわたって観測した航跡データから、D滑走路で離陸後右旋回するもので南へ向かうルートを取り出したものを用いた。図1にはその一月分を示した。

図3に月別の経路数の棒グラフを示した。季節によって風向きが変動して、使用滑走路(飛行方向)が切り替わるので、経路数に変動が生じているが、月500本から数千本と、平均経路の計算には十分なデータ数があることを確認した。

対象ルート	右旋回離陸・南方面
観測時期	2020年2月～2020年9月
観測期間	8ヶ月間

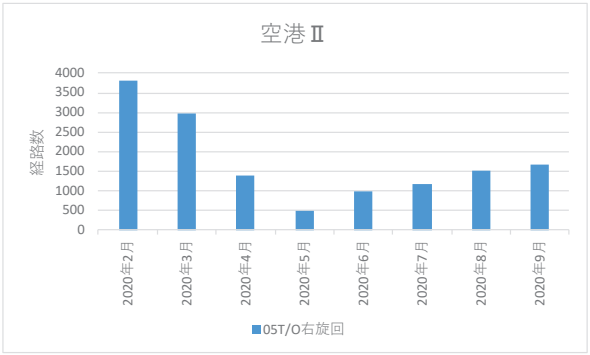


図３　分析対象の長期観測データ(空港Ⅱ)

3. 平均期間長による平均結果の比較

平均期間長について前報と同じく以下の４種類の期間長と回数で平均経路･分散幅を計算した。

①全期間(2020年2月～2020年9月)の平均
②月別の平均(8回)
③7日間の平均(34回)
(例) 2020年2月1日～7日、
　　2020年2月8日～14日、・・・
④7日＋4ヶ月後の7日(2季節)の平均(17回)
(例) 2020年2月1日～7日と
　　2020年6月1日～7日を合わせて平均、
　　2020年2月8日～14日と
　　2020年6月8日～14日を平均、・・・

①全期間の平均経路と、③1週間＝7日間の平均34回を重ねて図４左に示した。期間平均の青線に、年平均経路を赤線で重ねて年間平均との違いを見ている。結果は前報の空港Ⅰと同じ傾向となり、年平均は中央に位置するものの、期間平均は、ややばらつく。通常の短期測定が、数日から1週間程度なので、測定時期によって結果がばらつき、年平均と乖離した結果になってしまう可能性があることを示唆している。そこで図４右に示す改善案の、④1週間×2季節17回では、2季節観測して平均することで、だいぶバラツキが収束することも空港Ⅰと同様の傾向となった。

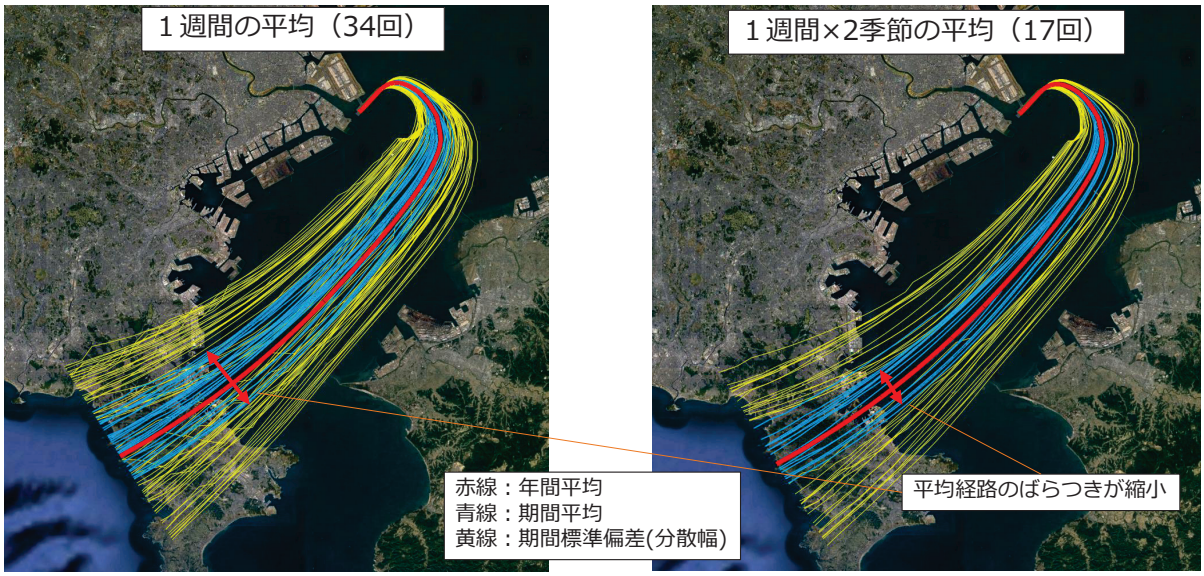


図４　平均経路と経路分散の計算結果

4. 断面線による位置とバラツキの数値化

前報において空港Ⅰの航跡に行った分析と同じように、図5に示すような位置に、旋回部分とその前後に断面線を配置し、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具合を調べた。また、分散幅についても年間平均との差異を調べた。断面は以下の3つを配置した。

断面A：直進上昇・降下部分

断面B：旋回途中

（中小規模空港の対策区域線付近想定）

断面C：旋回後の代表位置として

各平均期間長について、上記の断面との交点を、水平位置を横軸に、高度を縦軸にしてプロットし、断面Bの結果だけを取り出したものを図6のグラフに示す。横軸は年間平均経路との水平軸上の相対位置としている。グラフ左側が旋回の外側になっている。

平均期間長による変化は前報の空港Ⅰと同様の傾向となった。図6上の月平均8回では位置に違いが表れ、±100m程度の差が生ずる。3,4月が若干高度が高く旋回が小回りなど、季節性が生じた影響がでている。

図6中段の1週間平均34回の結果ではさらに差が広がり±200mの範囲におよぶ。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している。

図6下の散布図は1週間の測定を2回の季節で実施した場合の結果を並べた。それぞれの期間通算平均値は年間値に対し±200m程度まで収束し、月平均に相当する程度のばらつきに納まる。測定期間が1週間でも2季節実施すれば年間平均との乖離も改善されることを示している。

これらの傾向は前報の空港Ⅰでの検討と同様であり、1週間の測定を2季節実施することの有効性は、空港によらず適用できる可能性が高まった。

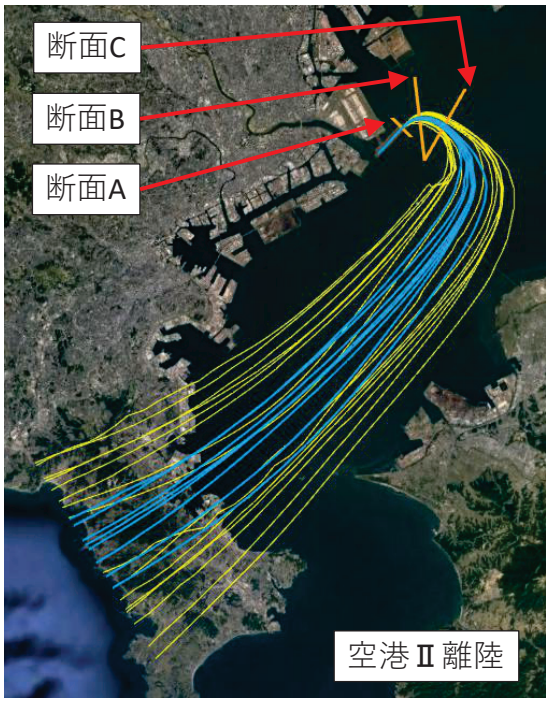


図5　平均経路・分散計算のための断面線の配置設定

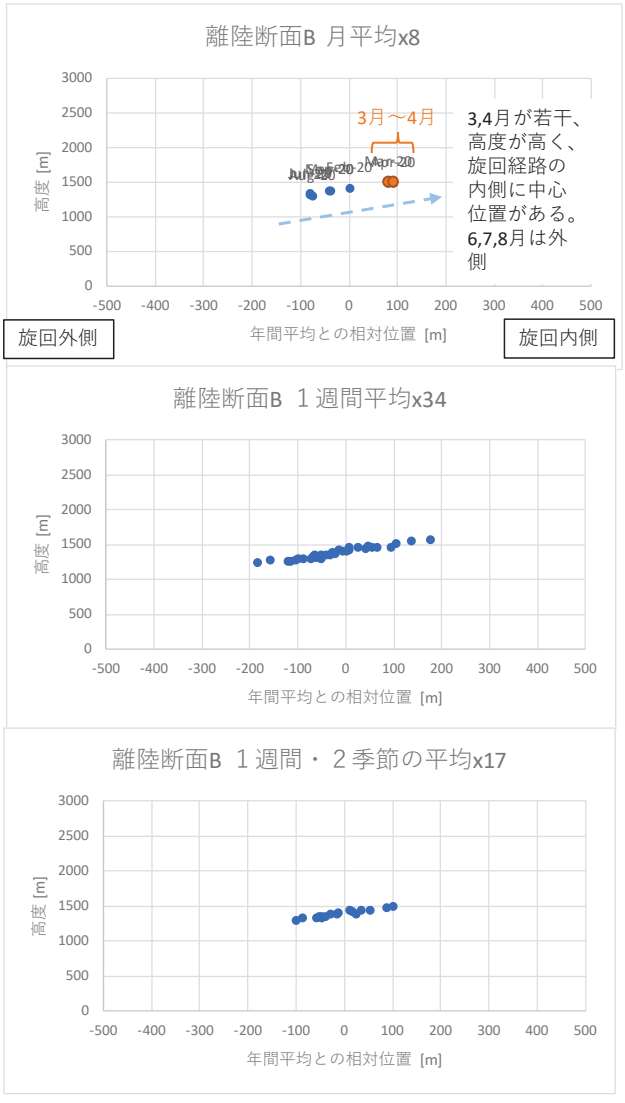


図6　断面線上の平均経路の交差点の分布（空港Ⅰ　断面B）

5. 飛行高度のばらつきの考察

前報および、今回追加した空港Ⅱのこれまでの検討は、すべて飛行経路の水平方向の変動を対象としており、高さ方向の検討が課題であった。

今回は前回の検討で用いた空港Ⅰの航跡データにおいて、平均経路を求める過程で、水平位置だけでなく、高さ方向についても同じ考え方で平均を算出した。その飛行高度変化を、平均期間長別にグラフとして可視化したものを図7に示す。

飛行高度の変化をグラフ化したものを、図4の平均経路と同じ見方ができるよう重ね書きしている。グラフは縦軸が飛行高度で、横軸が進出距離としている。左端が滑走路となり、グラフ右に進むにつれ上昇していく。

対象とした機種はB763で中型サイズの機体となる。国際線近距離のものを抽出しており一年間分約1500回の離陸データとなる。

飛行高度も季節によって変動要因があり、季節風や気温で上昇率に変化が生じる。分析対象としているルートは滑走路が冬季に向かい風となる位置関係であり推力方向に高度が上がりやすいなど、複数の変動要因があるが最終的に同じような飛行になるようにコントロールされる。

青い線で期間平均、赤線で年間平均を描いている。平均経路図の検討とおなじように、図7上の1週間の平均では結果がばらついているが、図7下の1週間を2季節の平均では、おなじ進出距離の分布を比べると収束している（赤の矢印）。ほかに幾つか主要な機種について国内線も含め同様の確認を行ったが同じ傾向となった。

平均のばらつきは、飛行高度についても、水平方向の変化を計算した平均経路と同じ傾向で、1週間の測定を2季節おこなうことで、年間平均との乖離を改善する効果は、飛行高度についても有効であることがわかった。

なお主要な予測モデルでは離陸機の高度は離陸重量により決定されるという考え方により、ばらつきは扱わないこととされている。またその妥当性の検討として、前報[10]で検証用プログラムにより、高度ばらつきの影響の試算している。

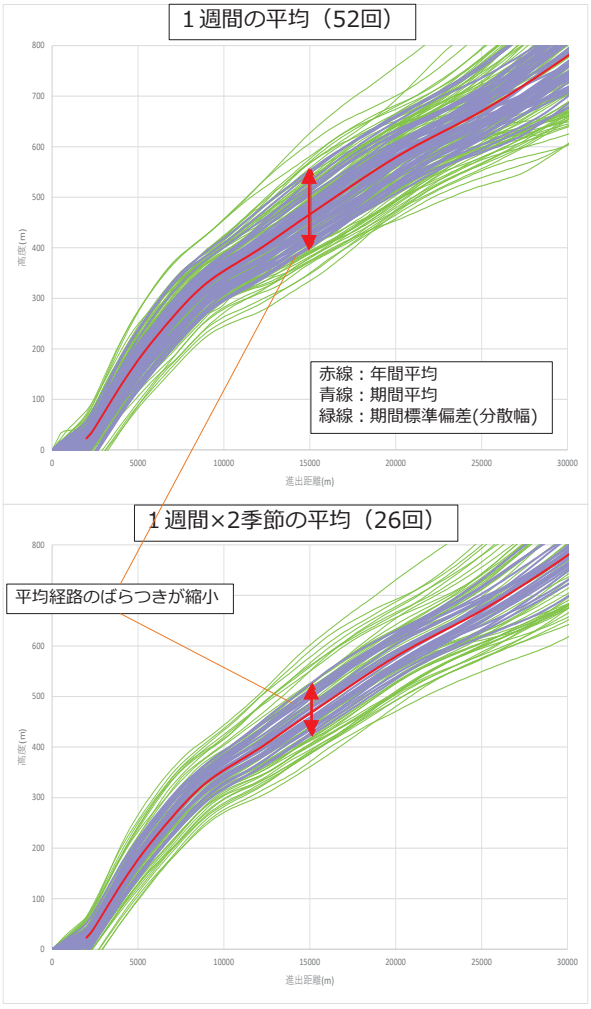


図7　平均飛行高度の計算結果

6. 平均経路のばらつきと予測への影響の総括

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ごとに総括表として整理した。今回の空港Ⅱと前報の空港Ⅰの結果を合わせて、同じ表に整理した（表1）。

今回わかったことは、期間長別の結果の傾向が、空港が変わっても同様の傾向となったことである。

繰り返しになるが、平均位置は1週間の測定の場合は、年平均に対する差異が生じやすく、週ごとのばらつきも出やすい。1週間を2季節繰り返せば、月間と同程度またはより小さい年間値との差異に収まる。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い。ただし、週ごとの場合、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縮小する。

表1　期間長と平均位置・経路分散幅の総括

空港/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
空港Ⅰ離陸	年間	1	0		0		0		49		1291		1673	
	月間	12	0.4	3.6	-58	186	-65	230	51	20	1284	66	1694	142
	週間	52	6.2	49	-67	248	-84	326	45	27	1286	141	1684	179
	週×2季節	26	-0.3	4.7	4.1	154	5.9	203	45	17	1281	62	1656	92
空港Ⅰ着陸	年間	1	0		0		0		27		1774		2666	
	月間	12	0.7	2.8	50	236	61	330	20	27	1768	109	2531	290
	週間	52	0.8	3.3	114	482	158	643	14	25	1720	181	2418	478
	週×2季節	26	0.0	1.9	1.9	186	6.8	289	16	22	1768	115	2546	262
空港Ⅱ離陸	8ヶ月間	1	0		0		0		24.5		277.0		494.7	
	月間	8	-1.9	5.2	-18.0	65.7	-11.1	105.7	19.3	8.2	261.8	27.6	479.4	33.4
	週間	34	-2.5	6.1	-22.9	80.2	-19.0	138.1	18.1	9.4	255.3	36.0	472.8	40.5
	週×2季節	12	-1.0	4.2	-8.9	55.5	-3.9	99.7	21.6	7.5	267.8	27.5	482.3	27.5

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経路分散幅：断面における期間長に含まれるデータの位置分散（標準偏差）
平均：その全対象の平均値　　平均：その全対象の平均値
標準偏差：全対象の標準偏差　　標準偏差：全対象の標準偏差

空港Ⅱでは経路の旋回部分の形状から、空港Ⅰよりも設置した断面線が滑走路に近くなった。そのためばらつきの幅が空港Ⅰよりも小さめの値となっているが、測定期間長を変えた場合の変化の傾向は空港Ⅰと同様となっている。

前回の報告の空港Ⅰと同じ傾向となったことで、空港によらず1週間の測定を2季節実施することで、年間平均との乖離を改善する効果があることがわかった。

観測期間による予測への影響の試算

前回の報告では期間長による結果のバラツキが騒音予測結果（予測コンター）へ与える影響を試算した。今回の空港Ⅱにおいても同じ試算を行い、空港Ⅰの結果と合わせて、同じ表に整理した。

手順の概要としては、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、代表的な機種のフットプリント（単発騒音暴露レベルL_{AE}のコンター）を計算する。その結果から対象断面付近で騒音が1 dB変化するための距離をおおまかに調べ、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る。

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、旋回経路の部分が重要な課題となることを考えて断面Bに着目すると、1週間の測定を実施しただけの場合、空港Ⅱでは0.3 dB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0.2 dBに縮まる。空港Ⅰでも離陸で0.6 dBから0.4 dBへ縮小していた。空港Ⅰでは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と考察したが、空港Ⅱにおいても2季節に相当する4ヶ月を隔てた結果に同じ傾向を見ることができた。

表2　測定期間長によるレベル変動試算の総括

空港/離着陸	断面	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
空港Ⅰ離陸	断面A	±0.0	±0.2	±0.0
	断面B	±0.5	±0.6	±0.4
	断面C	±0.5	±0.7	±0.4
空港Ⅰ着陸	断面A	±0.0	±0.0	±0.0
	断面B	±1.2	±2.4	±0.9
	断面C	±1.7	±3.2	±1.4
空港Ⅱ離陸	断面A	±0.0	±0.0	±0.0
	断面B	±0.3	±0.3	±0.2
	断面C	±0.4	±0.5	±0.3

7. まとめ

騒音予測条件を得るための航跡観測は、短期の測定によって実施することがほとんどである。同じく短期測定による騒音実態把握の測定では、測定の実施時期と期間長・回数によって結果が大きくばらつくことが報告されている[11]。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は過去に報告された例はなかったため、前回からの検討をおこなうこととなった。

今回は追加の空港1ルートの長期観測データを加えて前回と同じ4種類の平均期間長について比較し、ばらつきと予測への影響を検討した。さらに飛行高度のばらつきについても検証した。

期間長別のばらつきも予測への影響も、同じ傾向の結果となっており、前回の検討結果を裏付けることとなった。1週間の測定を2季節実施することで季節性の影響が平均化され、年間平均との差異を縮小する効果が期待できる。

さらに飛行高度のばらつきについても、水平方向の変動と同じ傾向となることを確認できたので、1週間の測定を2季節実施する効果は高さ方向においても適用される。すなわち年間に近い結果を得られやすく予測条件を得るのに適している。

今後もより多くの空港、ルート経路を検討したい。またICAO Doc 9911、ECAC DOC 29といった主要な予測モデルガイドラインの考え方に準じて飛行経路の水平分布を正規分布とみなして検討を進めてきたが、旋回経路の場合は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成田空港株式会社および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) 菅原政之、中澤宗康、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、航空環境研究 No.24 2020
8) PUBLICATIONS RECOMMENDED METHOD FOR COMPUTING NOISE CONTOURS AROUND AIRPORTS DOC 9911 ENGLISH PRINTED, ICAO
9) ECAC.CEAC Doc 29 4th Edition, EUROPEAN CIVIL AVIATION CONFERENCE
10) 菅原政之、中澤宗康、騒音予測コンターの信頼性を確保するための予測条件設定の検討－飛行経路分散の考え方－、航空環境研究 No.23 2019
11) 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

航空環境研究 No.25（2021）, PP.1 − 9

研究報告

海外事例にみる騒音軽減のための到着経路と可能性 *

深野　賢治（航空環境研究センター　調査役）

1. はじめに

技術の進歩により航空機の低騒音化が進み単発騒音は小さくなったが近年の航空需要の高まりによる交通量の増大から、空港周辺住民からの苦情は増大している。また、GPS等を利用したRNAV航法の普及により、従来の地上無線施設を利用した航空路と比較して柔軟な飛行経路が設定可能となり、騒音の軽減、温室効果ガス排出量の削減、管制処理能力の向上に貢献している。一方で航法精度が向上し飛行経路のばらつきが少なく空港周辺のみならず遠方でも苦情が発生している。空港ではいろいろな騒音軽減方式に加え住宅密集地上空を避けて飛行するなどの対策が取られているが混雑時の適正な管制間隔維持等の問題もあり解決すべき課題も多く残されている状況である。少しでも騒音軽減に役立つ運航方式、特に柔軟な飛行経路について、内外の実状を比較し今後の方向性について考察したい。

2. 航空機騒音対策の分類

航空機騒音対策を大別すると発生源対策、空港構造・施設の改良、受音側対策（空港周辺対策）に分類される。発生源対策には航空機メーカーによる航空機そのものの機材改良だけでなく、発着枠を設定するなどの運航規制、運航方法の改善がある。航空機の運航方法を改善する方策である騒音軽減方式や騒音に配慮した飛行経路設定を筆者の独断により図1に示す通り、高度を高くとり音源を遠ざける方法、時間帯を分けて飛行経路を振り分ける方法、住宅密集地を避ける飛行経路を設定する方法の3つに分類してみた。

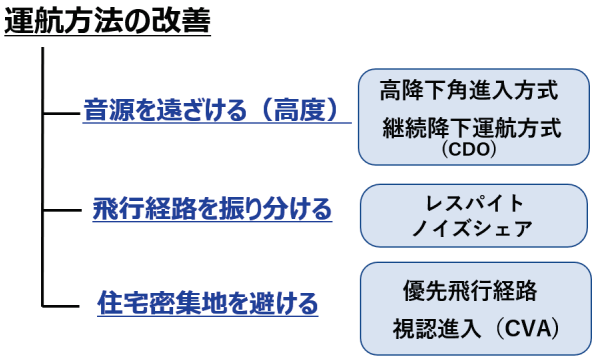


図1　運航方法の改善の分類

3. 運航方法の改善

3.1 音源を遠ざける

到着機の高度を高くする方式として高降下角進入方式と継続降下運航方式等がある。

(1) 高降下角進入方式

高降下角進入方式は、最終進入経路の降下角を最適角度である3.0度よりも高い降下角で進入する方式であり、国際民間機関のICAO Doc 8186 PANS-OPS[1)]ではILS進入の場合はCAT Ⅰについてのみ3.5度まで標準方式として設定することが可能とされている。低視程でも着陸が可能なCAT Ⅱ、Ⅲでは最大3.0度とされている。本来は地上の障害物を避けるために設定される方式であり、欧州では同目的で高降下角進入方式を実施している空港がある。3.5度を超える降下角を用いる場合もあるが、その場合は非標準方式として位置づけられる。進入角度を高くすることで、地上から音源（航空機）までの距離が遠くなることにより騒音軽減効果がある。騒音軽減目的で実施されている具体例としては、イギリスのロンドンシティ空港で最終進入経路がロンドン市街上空を通過することもあり、ILS進入を含めたすべての進入方式の降下角が5.5度で設定されている。視

* Arrival route and possibilities for noise abatement with reference to overseas cases Arrival routes and possibilities for noise reduction seen in overseas cases

認進入も最終進入の進入角度を5.5度とするプロファイルがVISUAL APPROACH PROFILEという名称で公示されている[2)]。ドイツのフランクフルト空港において3.2度の降下角によるILS進入やGLS（GBAS Landing System）進入が設定されている[3)]。日本では、羽田空港で南風運用の好天時に騒音軽減を目的として3.45度のRNAV進入方式が滑走路16L/Rへの着陸で実施されている。（図２）

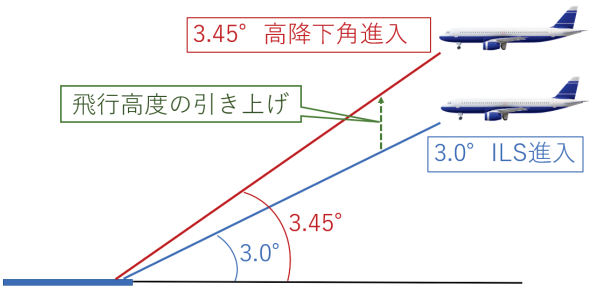


図２　羽田空港の例

(2) 継続降下運航方式

海外の空港では多く検討・導入されている継続降下運航方式（CDO:Continuous Descent Operation）について、国際民間機関のICAO Doc 9931では「最適な継続降下運航は、巡航高度からの降下開始から水平飛行区間を少なくした降下を行うことにより、パイロットと管制官の降下予測を容易にし、騒音、燃料消費、排出ガス及びパイロットと管制官の通信を軽減する。」と定義されている[4)]。図3の赤い線がCDOのイメージである。エンジンの回転数をアイドリング（最小推力）に近い状態でグライダーのように静かに降りてくることにより消費燃料を削減できる。通常は

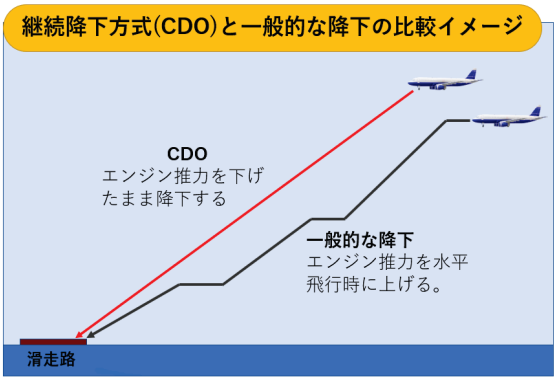


図３　継続降下と一般的な降下

黒い線のように空域の制限を受ける。また、他の航空機と安全な間隔を維持するために、階段状に降下することになる。国内では燃料消費削減を主な目的として関西空港、鹿児島空港、那覇空港で交通量の少ない時間帯に実施されている。

巡航高度から着陸までの一連の降下において騒音として問題になるのは少なくとも10000ft以下の飛行ではないかと思われる。特に空港に着陸する直前の最終進入といわれる到着経路付近の継続降下が騒音対策として効果がある。着陸直前の低い高度で水平飛行をすると一定程度エンジン推力を上げなければならないからである。空港周辺からの継続降下方式はCDOの代わりにCDA（Continuous Descent Approach）とも呼ばれている。FAA（Federal Aviation Administration：アメリカ連邦航空局）では安全性の面からも非精密進入で積極的な継続降下（CDFA：Continuous Descent Final Approach）を推奨している[5)]。CDAはパイロットのワークロード軽減にもつながる。ICAOでは以下の２つの経路設定の方式を紹介している。

① クローズド・パス方式

標準到着経路を指定して飛行する。継続降下が可能なように各地点の通過高度を指定する。

アメリカでは計器進入方式でこの方式による経路設定が多い。図4はロサンゼルス空港のILS or LOC RWY25という名称のILS進入図である。

少し見づらくて恐縮だが、高度10,000ft（約

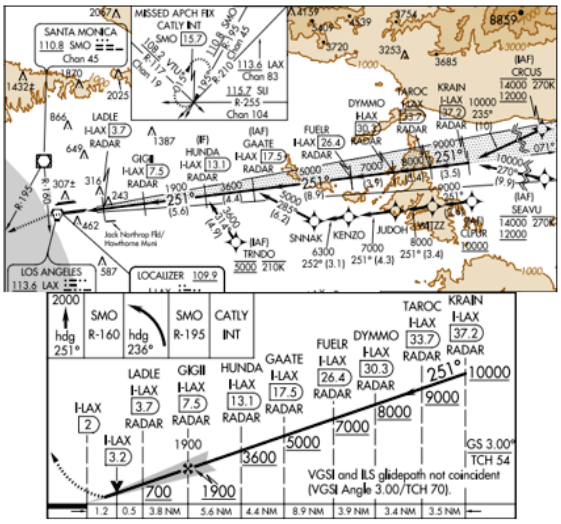


図４　ロサンゼルス空港のILS or LOC RWY25L

3,000m)から着陸まで滑走路からの距離と通過高度が細かく明示されている。到着機は図の指示通りに飛行することで3度の降下角で進入を続けることができる。図にはCDO方式との記載はないが、結果として継続した降下をすることとなる。

② オープンCDO方式

進入経路の一部をレーダー誘導により飛行する。管制官によるレーダー誘導が行われる場合、管制官からパイロットに着陸までの予想飛行距離が通報される場合がある。イギリスのロンドン・ヒースロー空港では航空路誌(AIP)にその旨の記載がある。管制官からパイロットへの降下指示に着陸までの予想飛行距離が通報される。降下指示を受けたパイロットは、継続降下達成に最も適している降下率で降下し、水平飛行することなく、距離に対し適切な高度でグライドパスに会合しなければならない[2)]。

国内の進入方式で騒音対策として導入されている例として羽田空港のLDA W RWY 22という名称の進入方式がある。羽田空港D滑走路(RWY23)供用開始時(2006年)に千葉市上空を通過する経路の運用が始まった。当時はB滑走路(RWY22)へは、5000ft、RWY23へは4000ftをそれぞれ維持しながら飛行経路が交差し擦過する運用であった。これに対し騒音苦情が相次いだことから一部経路の見直しや通過高度の引き上げを実施した。その結果、現在の飛行経路は、RWY22への着陸はCDAが適応され2015年4月から実施されている。図5はCDAを行うLDA W RWY22とCDO適応以前からあるLDA Z RWY 22という名称の進入方式の2つの進入方式図の断面図を比較している。上がCDAを行う経路、下が水平飛行を必須とする経路。同じ経路上のBEASTというフィックスで高度差が500ftある。BEAST以前では2000ft近くの高度差があり距離減衰だけを考えても1～2dBの騒音軽減効果があるが、水平飛行によるエンジン推力の増加を考慮すると更なる騒音軽減効果があると考えられる。

3.2飛行経路を振り分ける

レスパイト方式やノイズシェア方式とは複数の滑走路を有する空港で滑走路の使用パターンを時間や曜日を決めて交替させることによって、騒音をシェアし騒音影響の少ない時間帯を設ける方式である。

ロンドン・ヒースロー空港ではレスパイト方式として、西風運用(RWY27L/R)時に滑走路を南北で着陸専用と離陸専用に分けて午後3時に南北の着陸と離陸を入れ替えている。北側の滑走路を6:00～15:00の間着陸専用とした場合、15:00～最終便まで離陸専用として使用する。南側の滑走路はその逆である。南北滑走路の着陸用と離陸用のパターンは隔週で入れ替える[6)](図6)。ところが東風運用時は入れ替えが実施されていない。常に北側滑走路が着陸用、南側滑走路が離陸用である。

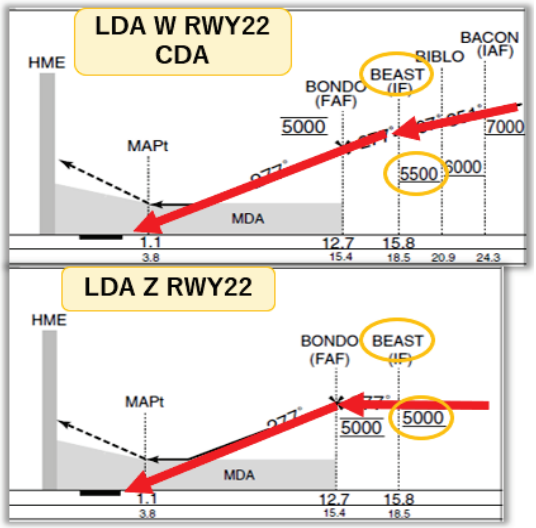


図5　羽田空港のCDAと水平飛行必須経路

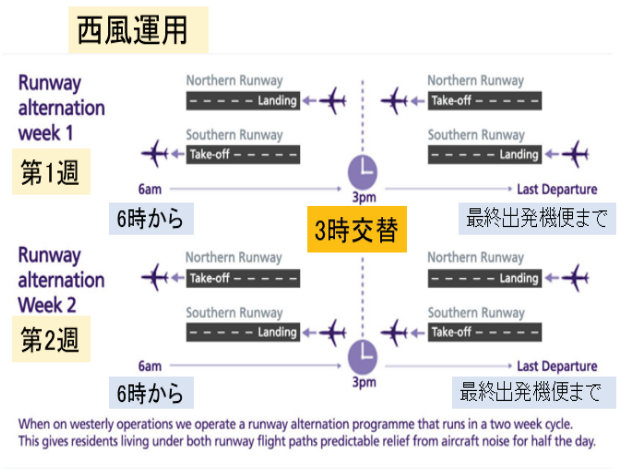


図6　ロンドン・ヒースロー空港レスパイト運用

これは2009年以前の空港東側・北地区にあるクランフォード地区との「日中は北側滑走路から東向きの離陸を禁止する」という協定を受けてのことである。現在はその協定は終了しているが誘導路の整備など空港インフラの問題があり未だに実施されていない。

シドニー空港では、南北平行滑走路の運用開始(1994年)にあたり、空港北側に居住する住民からの反対運動を受け、滑走路の長期的運用計画が策定(1997年)された。その中でノイズシェアの目標として図7のような10個のフライトモードを設け、東西南北別の滑走路使用割合を定めた[7]。その目的は、できるだけ空港南側の海上エリアを多く利用し空港北側の市街地上空を避けること、そして東西のエリアでも一定の割合で騒音を受け持つことである。環境対策に関する業務はオーストラリア政府機関のサービスプロバイダーであるエアーサービス オーストラリア(AA：Air Services Australia)が実施している。AAは月間の使用滑走路と飛行経路と年間使用実績をレポートとして公表している。それによると、実際の運用は計画通りにノイズシェアが実現できてはいない。東西の滑走路を使用すると処理能力が落ちるため、処理能力の高い南北方向のパラレル滑走路を使用する時間帯が多くなっている。結果として西側エリアに騒音を負担してもらい北側のエリアの負担を減らす目標は達成されていない。

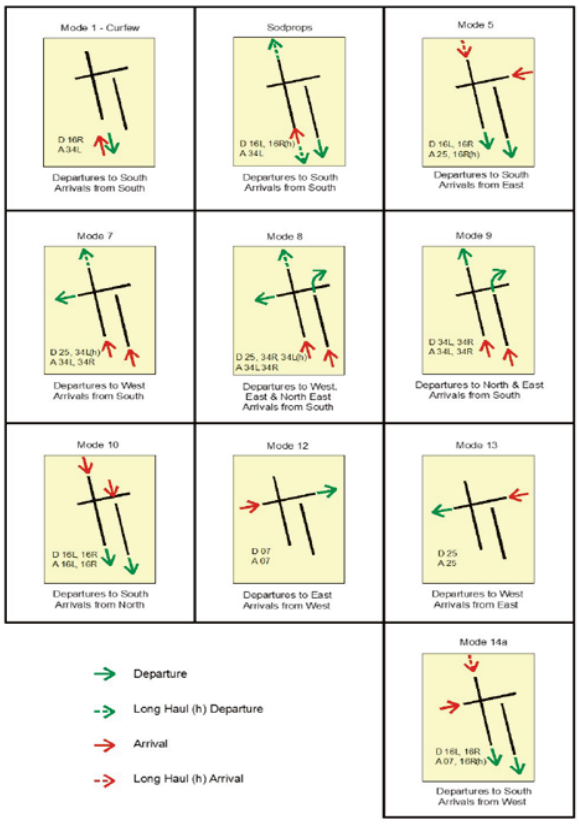


図7　シドニー空港・フライトモード

3.3住宅密集地を避ける

騒音軽減を目的とした着陸経路の国内例として羽田空港で最終進入経路を東京湾上を飛行するHIGHWAY VISUAL RWAY34Rという名称のCVA(Charted Visual Approach)とほとんどの経路を東京湾上空を飛行し着陸するILS X RWAY34Lという名称の進入方式がセットで深夜時間帯を除く北風運用の好天時に実施されている。深夜時間帯は極力東京湾上空を飛行し着陸する経路が設定されている。海外の騒音軽減に有効と思われる柔軟な飛行経路を設定している事例を紹介する。

(1) フランクフルト空港のセグメントRNAV

ドイツのフランクフルト空港では、深夜の運航による空港近郊の居住地域への騒音影響を軽減するために図8のようなセグメント化されたRNAV経路(Segmented RNAV Approach)を実施している[8]。通常経路は滑走路に対して直線的な進入を行っているが、直線進入経路下にある居住地域を迂回する経路を飛行させることによって住民の騒音暴露を低減している。この経路は当初23時以降の遅延便に適用していたが、現在は22時以降の遅延便に適用している。

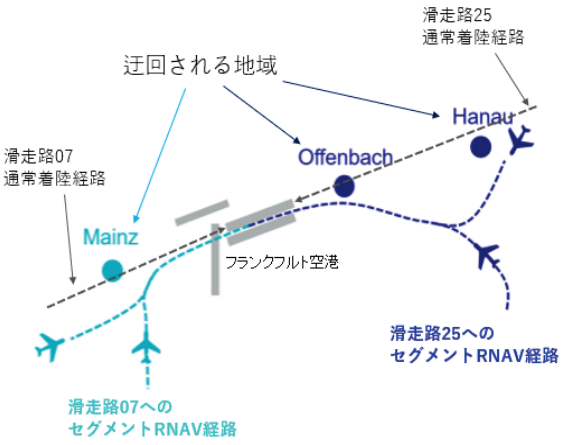


図8　フランクフルト空港セグメントRNAV

(2) ウェイポイントを設定してあるCVA

① ニューヨーク・ラガーディア空港のEXPRESSWAY VISUAL RWY31（図9）という進入方式は滑走路31に進入するCVAである。通称ツインタンクと呼ばれる建造物、公園、野球場を視認しながら高速道路上を飛行する経路設定。ツインタンクまでの直線経路の進入はVORを標準としているがバックアップとしてRWY 04 ILS LOCを使用できる。悪天時は使用できない。

図9　EXPRESSWAY VISUAL RWY31

② 同じくニューヨーク・ラガーディア空港のRIVER VISUAL RWY13（図10）という進入方式はハドソン川上空を飛行することが義務付けられている。自由の女神、エンパイヤ―ステートビル、セントラルパークを視認しながら、ウェイポイントを参照して進入し、滑走路13に着陸する。自由の女神横で4000FTの高度指示がついている。やはり悪天時は使用できない。

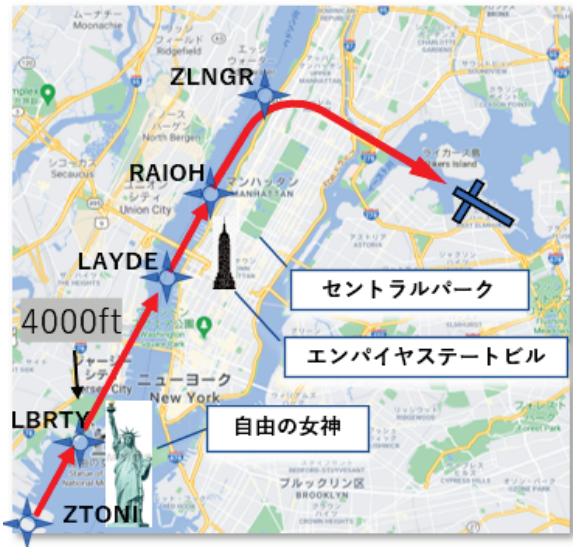


図10　EXPRESSWAY VISUAL RWY31

(3) RNAV進入とウェイポイントを組み合わせた進入

ジョン・F・ケネディ空港の進入方式RNAV（GPS）Z RWY13L（図11）は海上からジャマイカ湾海岸線及び高速道路上空を飛行して滑走路13Lに着陸する方式である。極力陸域を避けて飛行することにより騒音影響を抑えている。RNAVにより直線的に進入後パイロットが目視により滑走路を確認しながら旋回し着陸する。目視による旋回経路上（曲線部分）にウェイポイントを設定している。ウェイポイントにより航空機は正確に経路上を飛行することができる。曲線部分には航空灯火もガイダンスとして設置されている。

図11　RNAV(GPS) Z RWY13L

(4) CVA,RNP AR両方の進入方式がある事例

① サンフランシスコ空港

サンフランシスコ空港では着陸はほとんど海側からでその9割以上が滑走路28L/Rを使用している。QUIET BRIDGE VISUAL RWY 28L/R（図12）という名称のCVAはILS進入経路から北側に11°オフセットしてILS進入経路の直下にある市街地上空を避けている。CVAは運航効率が高く好天時には有効な進入方式であるが、悪天時には使用できない。そのためCVAとほぼ同じ経路を飛行するRNAV（RNP）RWY 28R（図13）という名称の進入方式を設定している。この進入方式はRNP AR（Required Navigation Performance

Authorization Required)という航法精度が高く曲線経路が設定可能な進入方式である。RNP ARは現在対応可能な機種が限られており、乗員の訓練等が必要で、国の特別な許可を必要とする。しかし、着陸までの経路を短縮し燃料を節約することや市街地上空をできるだけ避けた経路を飛行することによる騒音軽減効果が期待できる。

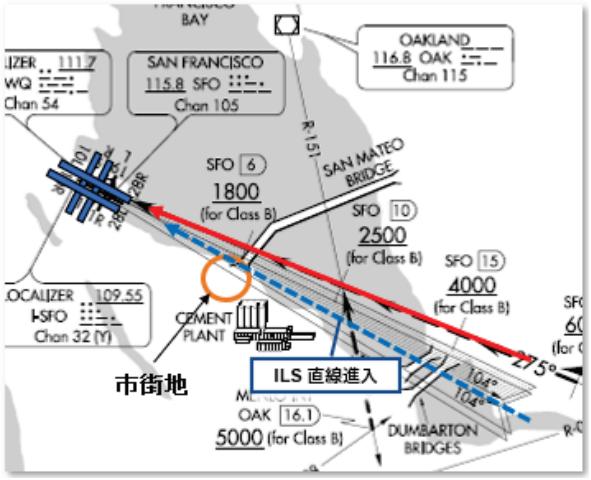


図12　QUIET BRIDGE VISUAL RWY 28L/R

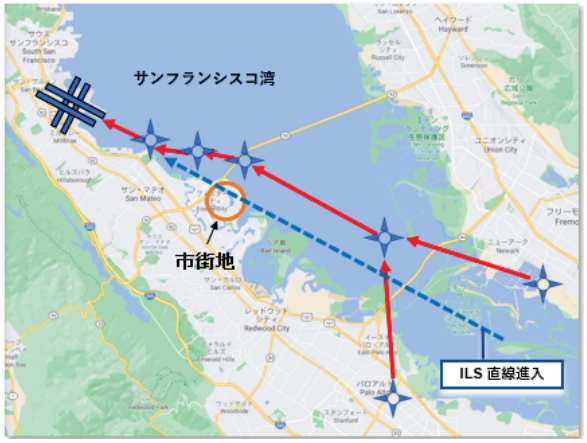


図13　RNAV(RNP)Y RWY 28R

航空機の着陸方法の一般的な例として天候が良好な場合はパイロットが目視で滑走路を確認して着陸する視認進入(Visual Approach)が行われ、天候が悪く視界不良の時はILSによる着陸が行われる。ILSによる着陸は地上から滑走路の直線的な延長線上に電波を発射し航空機はこの電波を受信し直線的に着陸が行われる。これに対しRNAV航法の一種であるRNP ARは着陸のために通過すべき点(ウェイポイント)を結んだ経路を飛行して着陸することができる。新たな地上設備も必要ない。空港周辺の山など複雑な地形の間を縫うような旋回をして着陸することもできる。空港周辺の地形、住宅地の配置等を考慮してそれぞれの空港の特性に合ったオーダーメイドな経路設定が可能となる。

② ワシントン・ナショナル空港

ワシントン・ナショナル空港は小型機を中心に運用が行われているが、空港近傍に政府機関などの重要施設があるため飛行禁止区域が設定されおり飛行経路の制約が大きい。

そのためポトマック川上空を飛行することで、飛行禁止区域、人口密集地を避ける飛行経路を設定している。図14は南風運用時の飛行航跡である。多くの航空機がポトマック川上空を通り飛行禁止区域及び市街地上空を回避して飛行していることがわかる。

図14　ワシントン・ナショナル空港

進入方式としてはRIVER VISUAL RWY 19という名称のCVAが設定されている(図15)。ポトマック川をきれいにトレースする経路となっており飛行禁止区域及び市街地上空を避け住民の騒音暴露を軽減している。空港から4NMで1200ft、3NMで900ftと目視による進入での推奨高度もチャートに記載されている。騒音軽減が目的の一つであると推察される。また、悪天でも使用可能なRNAV(RNP) RWY 19という名称のRNAV経路をCVAの飛行経路とほぼ同じ経路で設定している(図16)。ポトマック川上空を飛行し

飛行禁止区域や市街地上空を避けるために曲線経路が設定されている。高度指示もあり降下角は3度に設定されている。

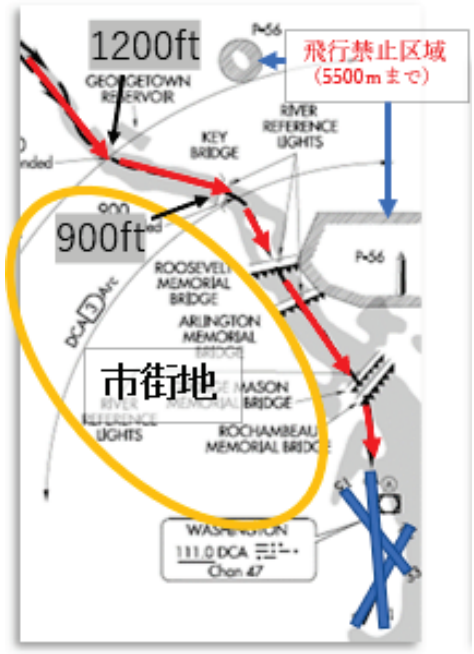


図15　RIVER VISUALRWY19

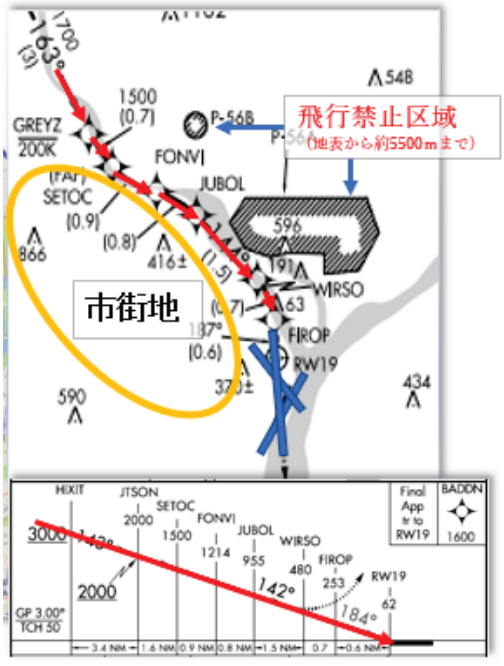


図16　RNAV(RNP)RWY19

4. 考察

4.1 音源を遠ざける

・高降下角進入については進入角度を高くすることで、地上から音源(航空機)までの距離が遠くなることにより一定程度の騒音軽減効果があるが、ICAOの基準では最終進入の降下角はILS CAT Ⅱ、Ⅲで最大3度とされている。低視程の気象条件が想定される空港においては3.0度のILS CAT Ⅲを設置した場合、高降下角進入の3.0度以上のCAT Ⅰ ILSを設置するには別にアンテナ等を設置する必要があり、複数の滑走路がないと設置できない。複数のILSを設置する代わりにGBAS（Ground-Based Augmentation System：地上型衛星航法補強システム）を利用する方法もある。フランクフルトではILS進入のほかにもGBASを利用したGLS（GBAS Landing System）3.2度進入方式が設定されている。しかし、GBASに対応している航空機は現時点では多くはない。また、同空港の3.2度GLS進入の運用にあたっては、気象条件として追い風成分が5ktを超えない状況が30分以上継続すると予測される場合にのみ実施されている。また、パイロットから安全上の理由から同方式による進入が実施できない旨の通報があった場合は他の進入方式が適応されるなど制限がある。

日本では騒音対策として羽田空港において南風運用の好天時に3.45度のRNAV進入方式が滑走路16L/Rで実施されている。同滑走路には3度の降下角のILSが設定されている。視覚的にパイロットに進入角を知らせる進入角指示灯はILSに合わせて3度に設定されているため、RNAV進入の進入角と一致しない。これはどこの空港でも同じように起こる問題である。

・一般的な進入方式としてはILSによる着陸が実施されている。ILS進入では降下角の情報を示すグライドパス会合後は当然継続降下となるが、グライドパスへの会合は降下パスよりも低い高度から会合する必要がある。そのために水平飛行をすることが多い。実際の降下率について、ある空港でILS進入を実施している航空機の高度情報をグラフにした。横軸が時間、縦軸が高度である。一般的飛行として多くの航空機は図17-1のように1～2分水平飛行をしている。図17-2のように数十秒間ぐらいしか水平飛行をしない場合もある。図17-3は降下率を調整して

グライドパスに会合している。図17-4のようにほとんど一定の降下率で降りている航空機もある。これらの違いはいろいろな要因が影響していると考えられるが、その一つとして空港の混雑状態がある。航空会社も燃料を節約できるのでできれば継続降下をしたいはずである。しかし、多くの航空機が輻輳する空港周辺では安全を保ちつつ空港の処理能力を最大限に引き出すために着陸機の間隔を一定に整える必要がある。そのためレーダー誘導等が実施され降下開始後の飛行経路(距離)が航空機によって変わってしまう。パイロットが降下率を計算しCDAを実施するためには降下開始時にできる限り正確な飛行距離を知る必要がある。混雑した空港でより多くの航空機に対してCDAが実施される環境を整える必要がある。

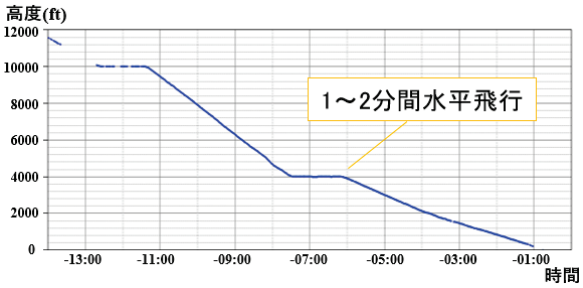


図17-1　1～2分間水平飛行

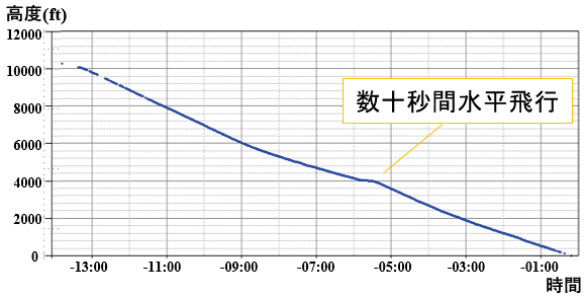


図17-2　数十秒間水平飛行

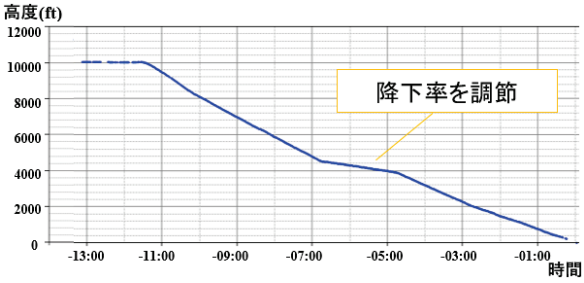


図17-3　降下率を調整

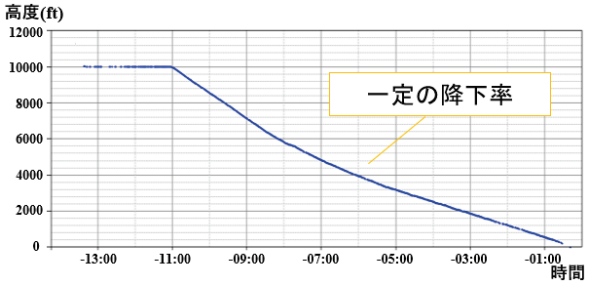


図17-4　一定の降下率

高降下角進入もCDAも実際の運用においては騒音対策として活用されているが、課題も多く継続的な検討が必要である。高降下角進入とCDAは両立する進入方式である。今後も導入が進むことを期待したい。

4.2飛行経路を振り分ける

ロンドン・ヒースロー空港は内陸に位置しており、東側を中心に周辺に住宅地が広がっている。環境対策が不可欠でその歴史も古くから行われていたが、1950年代に北側滑走路東側にあるクランフォード地区と滑走路09Lからの離陸を実施しないという協定を結んだ。ジェット機の飛行が始まったころである。現在はその協定は終了しているが、第三滑走路新設計画に対する訴訟などにより誘導路の整備等空港インフラの問題が解決されず、滑走路09Lからの離陸は未だに実施されていない。

シドニー空港の場合は南側に広がるボタニー湾上空を利用した海上経路を主体としたノイズシェアリングの考え方を取り入れているが、目標は達成されていない。パラレル滑走路が南北方向にしかなく、交通量の多い時間帯は南北方向の運用が中心となる。また東西方向の滑走路07/25は滑走路長が2530mしかないことから長距離路線の出発機の使用に制限が発生し、ノイズシェアが目標通り達成されていない。

飛行経路の分散については、ロンドン・ヒースロー空港のように歴史的に特定地域の住民からの反対により飛行できない経路が存在する場合、すべての経路に平均して分散させることは難しい。また新たな飛行経路を設定することも騒音暴露人口を増やすことになり、苦情の数を増やす結果となる。空港の運用方法についてはその他の問題と同様に空港周辺の住民との合意形成にあ

たって計画段階からの透明性の高い手続きや継続的な説明が必要で長い時間を必要とする。

4.3住宅密集地を避ける

海外特にアメリカでは交通量が多くまた小型機も多いことから、CVAが多く導入されている。地上物標を目視で確認しながら住宅地上空を避けて高速道路等の上空を飛行して着陸するルートをチャートとして定めてCVAとして公示している。3.3で紹介した例はほんの一部である。パイロットにとって安全で飛行しやすい経路が結果として騒音軽減対策に繋がっている。悪天候時の対応としてRNP AR進入も同じ経路で設定し騒音対策として効果を上げている。CVAと比較すると航空交通処理容量は少なくなるが、騒音対策としては有効である。日本の空港の多くでも好天時にはILS進入やVOR進入によらずパイロットが空港や地上物標を目視で確認しながら着陸する視認進入を実施している。それにもかかわらず、国内ではCVAとして公示され導入されているのは羽田空港と鹿児島空港だけである。CVAとして少しでも騒音軽減になる適切な進入経路を図に表してして公示することはパイロットと管制官の共通の飛行経路認識が形成され双方の負担を減らすことができるとともに騒音対策の面から有効だと考えられる。RNP AR進入は対応する機材がまだ少ないが、柔軟な飛行経路を設定できる方式として騒音軽減対策としても今後導入が進むべき方式である。

5. まとめ

空港周辺でのCDAは実運航の中で実施されている状況がみられることから、騒音対策として今後も期待できる手法である。例えば7000ft以下を連続的に降下する手法を取り入れるだけでも対策効果を発揮するだろう。羽田空港の南風運用時に実施されている滑走路22へのCDA及び滑走路16L/Rへの降下角3.45度のRNAV進入も騒音対策として効果を発揮している。航空交通流管理の精度が更に向上し、空港周辺の航空機の流れが円滑になり、パイロットがCDAを実施する環境が増える必要がある。CDOまたはCDAが適用されるべく交通流管理の更なる精度向上など国土交通省の「航空交通システムに関する長期ビジョン（CARATS）」[9]に沿った導入に期待したい。

レスパイト方式については、導入されているものの必ずしも計画どおりには進んでいない。経路分散によるノイズシェアについては積極的に導入されている状況は見られない。今後も調査・研究が必要である。

・海外では騒音対策として人口密集地を避けるCVA、RNAV航法を利用した柔軟な経路が多く導入されている。好天時はCVAの運用。そして RNAV航法を利用（RNAV+CVA）した経路設定。悪天時は、RNP AR等の航法精度が高く曲線経路を設定することが有効である。国内ではCVAは羽田空港と鹿児島空港で導入されている。RNP AR進入は34空港において導入されている（2021年8月12日現在）。それらの騒音軽減効果について今後、調査・研究が必要である。

参考文献

1) ICAO: PANS Aircraft Operations. ICAO Doc 8186 vol2 6th,2014.
2) United Kingdom-NATS-AIS Package https://www.aurora.nats.co.uk/htmlAIP/Publications/2021-07-15-AIRAC/html/index-en-GB.html
3) EUROCONTROL HP The European AIS Database https://www.ead.eurocontrol.int/cms-eadbasic/opencms/en/login/ead-basic/
4) ICAO: Continuous Descent Operations (CDO) Manual. ICAO Doc 9931, 2010.
5) FAA Advisory Circular CDFA Date：1/20/11 FAA Order 8260.3D
6) Heathrow Our Company Noise Operations Runway alternation https://www.heathrow.com/company/local-community/noise/operations/runway-alternation
7) Sydney Airport Noise abatement operational procedures https://aircraftnoise.sydneyairport.com.au/noise-abatement-operational-procedures/
8) フランクフルト空港HP フラポートAG／アクティブノイズプロテクション https://www.fraport.com/de/umwelt/schallschutz/schallschutzprogramme/aktiver-schallschutz.html
9) 国土交通省　第11回将来の航空交通システムに関する推進協議会 https://www.mlit.go.jp/koku/koku_tk13_000033.html
10) 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)

航空環境研究 No.25（2021）, PP.1 − 11

解　説

航空機騒音測定で用いる測定器の基本と保守管理 *

大島　俊也（航空環境研究センター 主任研究員）

航空機騒音に係る環境基準[1]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。

航空機騒音測定・評価マニュアル[2]による航空機騒音の測定には、計量法第71条の条件に合格し、JIS C 1509-1[3]の仕様に適合する騒音計（サウンドレベルメータ）を使用することとなっている。

航空機騒音の測定に用いられる典型的な計測器を図1に示す。騒音計は、航空機騒音の測定を行う際に必須の計測器である。騒音計は三脚に取り付ける。数日にわたる長期間の測定では風雨を避けるため騒音計の本体はボックスの中にバッテリー等とともに収納し、本体からマイクロホン延長コードで三脚の先端に取り付けたマイクロホンに接続し、全天候型のウインドスクリーンを装着することもある。また、データの精度を担保するため測定の前後で音響校正器による校正を行う。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波形データも保存できる（録音できる）。

図1　航空機騒音の測定に用いる典型的な計測器

本稿では、まず騒音測定の基本となる騒音計の基本構造の概略を説明する。続いて、騒音計内部の機構がマイクロホンで捉えられた音をどのように騒音レベルに変換しているのかを、具体的な騒音に対する試算例を示しながらその意味と導出方法を解説する。次に、L_{den}の導出の基本となる単発騒音暴露レベルL_{AE}の算出についても具体的な実例を示して説明する。また、一部の騒音計のオプションとして搭載される周波数分析機能についてもその算出の考え方と具体的な算出例を示す。最後に、騒音計で計測される騒音レベルの値を校正するための音響校正器について解説するとともに、測定精度を担保するための校正と保守点検についての注意点についても言及する。

1. 音から騒音レベルへの変換

1.1 音とは何か？

「音」は空気の振動である。太鼓を思い浮かべるとわかりやすいが、太鼓を叩くと振動する面が前面の空気を押したり引いたりする。そのたびに空気の粒子は密になったり逆に疎になったりを繰り返す。この空気粒子の疎密が圧力の変化を生み、これが音圧となって遠方に伝搬する。音源の近くではこの圧力変化は球面的に広がるが、航空機騒音のように遠方から伝わってくる場合には平面的な伝わりに近似できる。球面波では、音のエネルギーは音圧と空気の粒子速度も関係して複雑であるが、平面波の音のエネルギーは音圧のみの測定で求めることができ、人に対する騒音曝露量を把握できる。航空機騒音の測定で用いられる騒音計の基本は、この「音圧」を正確に測定することである。

* asics and maintenance of measuring instruments used for aircraft noise measurement

図2　騒音計の基本的な構成

1.2 騒音計の基本的な構造

音圧から騒音レベルへの変換方法を具体的に説明する前に、騒音計の基本的な構造を概観する。図2は騒音計の構成の概略を示したものである。各部の説明はこの後述べるが、全体の構成は、①音圧のセンサーであるマイクロホン、及びマイクロホンの信号を増幅するプリアンプ、②人の聴覚に合わせるための周波数補正回路、③音圧波形を人の目で読み取り易いレベル波形に変換するための時定数回路、④騒音レベルを表示するための表示器となっている。これらの構成は騒音計がアナログ回路で設計されていた時代のイメージであるが、近年はデジタル信号処理の発達により騒音計の内部もデジタル化されているのが通例である。その場合、マイクロンから入力された音圧信号は、まずAD変換器(アナログデジタル変換器)によりデジタル信号に変換され、それ以降の処理はデジタル信号処理によって、アナログ回路で設計された騒音計と同様な処理がなされる。

1.3 マイクロホンの構造

騒音計のセンサー部であるマイクロホンはコンデンサ型と呼ばれるタイプが用いられる。図3に騒音計のマイクロホンの構造の概略を示す。

振動膜と背極がコンデンサを形成し、音圧信号により振動膜が振動するとコンデンサの電荷が変化して電気信号に変換される。背極には半永久的に電荷を蓄えるエレクトレット素材が使用されることが多く、そのメリットは電源を必要としないことである。振動膜は一定の張力を掛けて取り付けられている。普通騒音計と比べて精密騒音計の振動膜の方がより張力を掛けて取り付けられており周波数特性が高域まで伸びて高い周波数まで精度良く測定ができる。

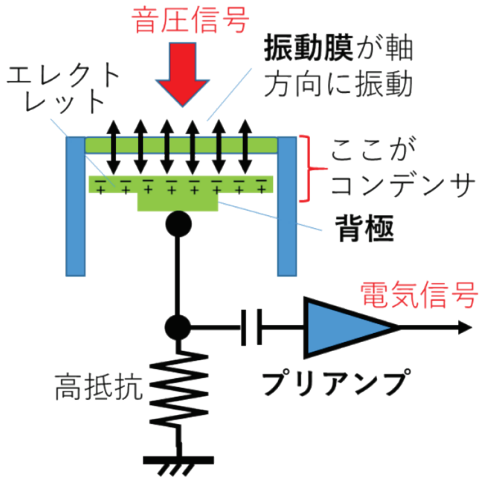


図3 騒音計のマイクロホンの構造

1.4 周波数重み付け特性(A特性)

人が感じる音の大きさと物理的な音圧レベルが一致しない事実(低い周波数では音圧レベルが大きくても人の耳は鈍感で大きく感じにくいなど)は古くから知られており、音の大きさ(ラウドネス)に関する研究は1920年代に始まった。図4は「等ラウドネス曲線」と呼ばれる周波数が異なる純音の間でラウドネス(音の大きさ)が等しくなる音圧レベルを結んだ曲線である。人の音の大きさ感覚の特性を表現するものと考えられる。ここで注目すべきは等ラウドネス曲線の上下方向の間隔が周波数によって異なることである。騒音

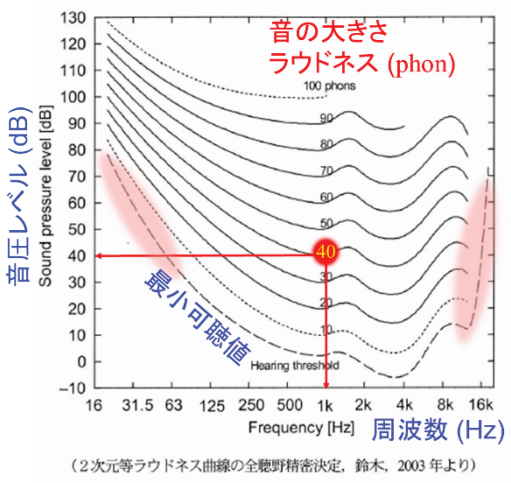


図4　等ラウドネス曲線

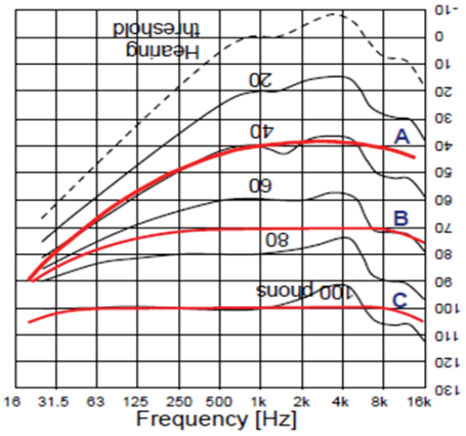


図5　等ラウドネス特性の上下反転とA,B,C特性の関係

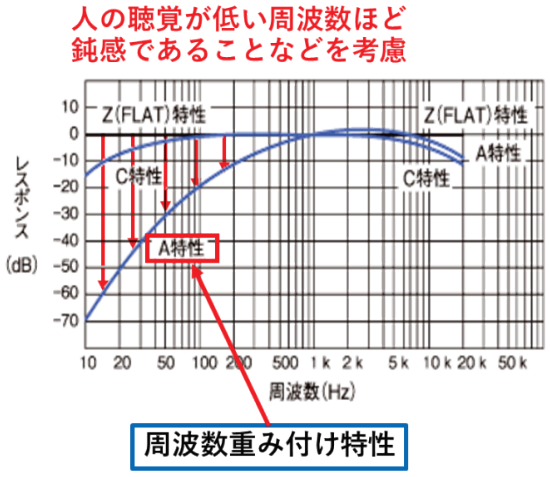


図6　航空機騒音測定で用いられるA特性と平坦はZ特性の関係

計の校正信号にも用いられる1 kHzでは、音圧レベル10 dBの差が音の大きさ10 phoneに対応するが、たとえば、周波数の低い31.5 Hzの音では10 dBの違いが20 phone程度となり、音圧レベルの少しの変化がより音の大きさに影響することになる。なお、図中ピンクで網掛けした部分は個人差が大きい領域である。周波数重み付け特性Aは、図5に示すように1930年代に発表された等ラウドネス曲線の40 phoneの曲線を上下逆さまにしたものに近くなるように設計された。騒音計はマイクロホンが捉えた音圧をこのA特性（聴感補正とも呼ばれる）を通すことにより人が感じる音の大きさの近似値を求めている。なお、図5に示すように、等ラウドネス曲線は音圧レベルが大きくなる程より平坦な特性となるため、A特性とは別に、中位の音の大きさに対してB特性、大きな音に対してC特性が用意され、昔の騒音計はそれらを切り替えながら測定を行っていたようだ。その後の研究によりA特性音圧レベルが人のうるささ感覚とも良い対応を示すことが確認された。現在の騒音計では、B特性はなくなり、C特性は音圧レベルの近似値を測定する際に用いられる。図6に、Z特性（平坦特性）、C特性、及びA特性を比較して示す。

1.5 時間重み付け特性（slow, fast）

音圧は縦波であるが、これを表示する場合にはわかりやすさのため横波として表される。図7に示すように、音圧波形を横波で表すと上下に振動する波形となり、音の大きさはその包絡に近い変化をするがこのままでは読取りができない。そこでこれを読み取り易くするためにレベルに変換する処理を行う。このとき用いられるのが時間重み特性で、人の耳の特性に近い早い変化をするのがfast、遅い変化をするのがslowである。航空機騒音の評価では騒音レベルの山の最大値が重要となるため、その読み取り易さを重視して時間重み付け特性はslowを用いる。

音圧波形を騒音レベルに変換する手順を以下に示す。(a)～(d)は図7に基本的に対応している。

(a) 元の音圧波形
(b) 音圧波形にA特性を掛ける（周波数重み付け）
(c) 2乗する（プラス側だけにする）
(d) 時定数回路に通して平滑化する
(e) 対数変換して騒音レベルを得る

時間重み付け特性は、図8に示す抵抗とコンデンサが1個ずつ直列に連結された電気回路で表される。図8の下図に示すように、コンデンサの性質として、急に電圧が加わっても徐々にしか充電されない。逆に、急に電圧がゼロになっても蓄えられた電荷は徐々にしか放電されない。この性質によってこの回路を通すと音圧の2乗値の細かなリップルは平滑化されて滑らかに変化するレベル波形が得られることになる。この充電・放電の速さは$\tau = CR$で表される時定数（単位s）で決まる。fastの時定数は0.125秒、slowの時定数は1秒である。

1.6 音圧波形と騒音レベルの関係

音圧波形と騒音レベル波形がどのような関係になっているかを、具体的な音の例で眺めてみる。

図9に間欠的な騒音の例として、カラスが一鳴きしたA特性音圧波形と騒音レベル波形を比較する。なお、図9 (1)は表示時間区間を広げてslowの騒音レベル波形がfastよりも長く尾を引いている様子を示している。カラスの声は0.6秒程で終わってしまうが、slowの騒音レベルは10秒程度尾を引いている様子がわかる。図9 (2)はカラスの声の部分を拡大したものである。slowに比べてfastの方が立ち上がりの時間が早い分、騒音レベルの最大値の値が大きくなっていることがわかる。

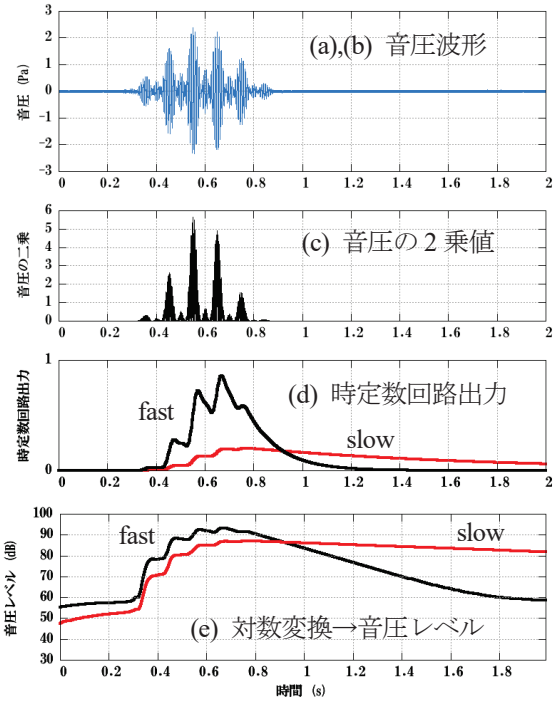


図7　音圧波形から音圧レベルを計算する流れ

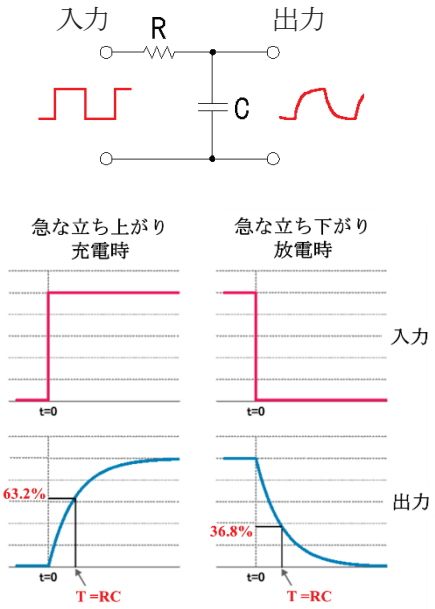


図8　時定数回路とコンデンサの充電と放電の特徴

また、図10に航空機が直上を通過した際の騒音の例を示す。航空機騒音の場合は、航空機が遠方から接近して通過していくまで数十秒程度継続する。そのため騒音レベル波形はこのように滑らかな山形になる。この例では明確ではないが、fastの騒音レベル波形は細かな変動が多く、slowの方が騒音レベルの最大値を読みやすい。

図11(a)～(c)はこの航空機騒音に図9のカラスの声が重なった場合の騒音レベル波形である。カラスが近接で鳴いて航空機騒音と同等程度のレベルとなり航空機騒音の最大値付近に重なってしまう場合は、航空機騒音の評価ができなくなってしまうことがある。図11(a)はカラスの声が航空機騒音の最大値よりも明確に前にあり、妨害音として削除が可能な例である。図11(b)はカラスの声が航空機騒音の最大値付近にあり欠測となる例である。

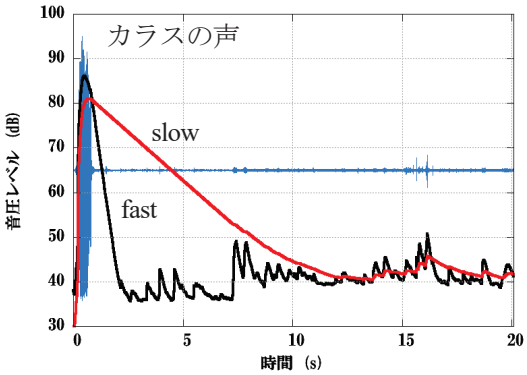


図9(1)　カラスの声のA特性音圧波形と
騒音レベル波形 (fast・slow)

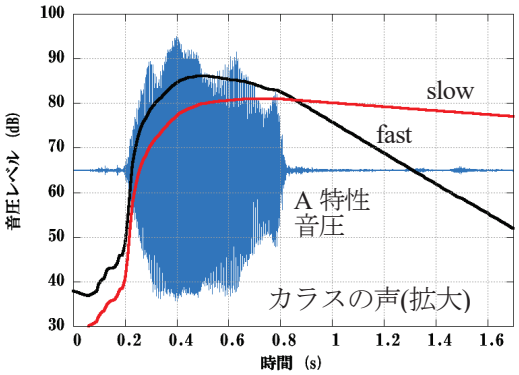


図9(2)　カラスの声のA特性音圧波形と
騒音レベル波形(拡大)

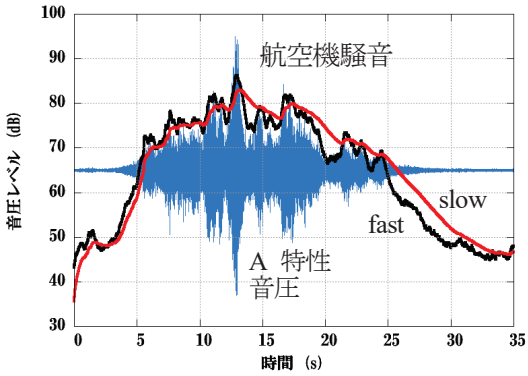


図10(1)　航空機騒音のA特性音圧波形と
騒音レベル波形(fast・slow)

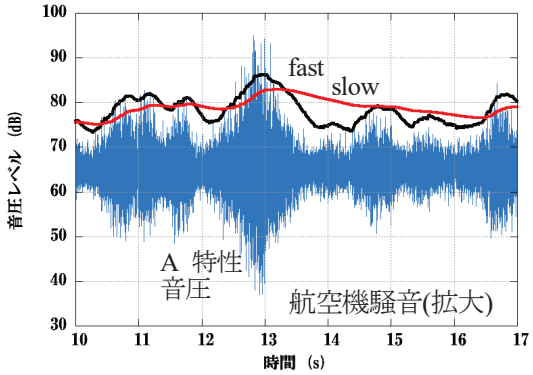


図10(2)　航空機騒音のA特性音圧波形と
騒音レベル波形(最大値付近拡大)

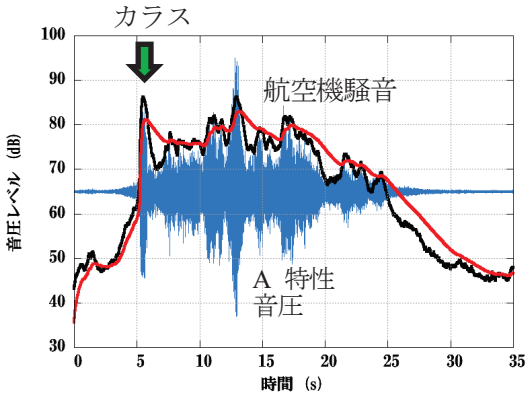


図11(a)　航空機騒音とカラスの声が最大
値とずれて重なった場合

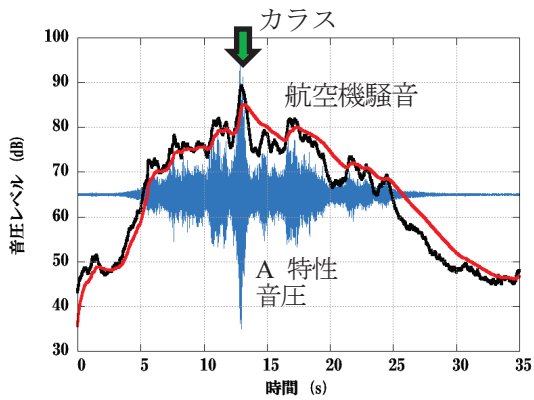


図11(b)　航空機騒音とカラスの声が最大
値付近で重なった場合

2.単発騒音暴露レベルLAEの計算

2.1 単発騒音暴露レベルの意味

単発騒音暴露レベルLAEは次のように計算される。0.1 s以下のサンプリング間隔Δtで測定された騒音レベルのデジタル記録から単発騒音の区間を抽出し、単発騒音暴露レベルL_{AE}を次式により算出する。ただし、単発騒音の区間は、騒音レベルが「$L_{A,Smax}-10$」dB以上の時間範囲とする。

$$L_{AE}=10\log_{10}\left(\frac{\Delta t}{T_0}\sum_k 10^{\frac{L_{A,S,k}}{10}}\right)$$

※ LA,S,kは騒音レベルのk番目のサンプル値、T0は基準の時間(1 s)

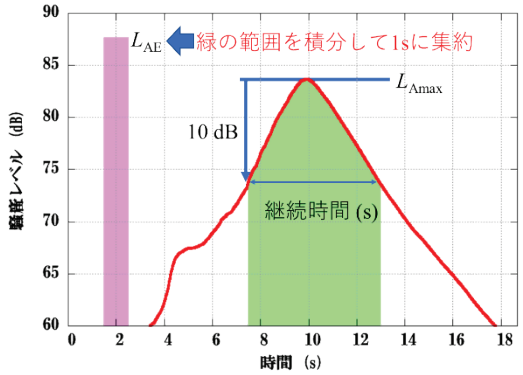


図12　単発騒音暴露レベルL_{AE}の意味

なお、航空機騒音測定･評価マニュアルでは、上記のLAEの定義式通りに騒音レベルのサンプル値を連続記録する機能を持つ騒音計をⅠ型騒音計と呼び、1秒間平均騒音レベル($L_{Aeq,1s}$)を連続記録するタイプの騒音計をⅡ型騒音計と読んで区別している。実環境の暗騒音が存在する環境下では両者の処理の違いによって測定結果に違いが生じることがある。マニュアルでは、今後の設備更新時にⅠ型を使用することを推奨している。

2.2 単発騒音暴露レベルの具体的な計算例

図13に単発騒音暴露レベルL_{AE}の具体的な計算例を示す。(a)は航空機騒音がSN良く測定された場合に$L_{A,Smax}$-10 dBの範囲を緑で示したものである。この範囲を積分して求めたLAEをピンクのバーで記入した。(b)は航空機騒音の最大値発生位置よりもかなり手前でカラスの声が重畳した例である。この場合、航空機騒音の最大値は正しく読み取れるため、カラスの声の発生部分を削除したうえで、改めて積分区間を設定してL_{AE}を計算する。一方、(c)は航空機騒音の最大値発生の直前にカラスの声が重畳してしまった例である。この場合は、航空機騒音の最大値が正しく読み取れないため、データは欠測として扱う。

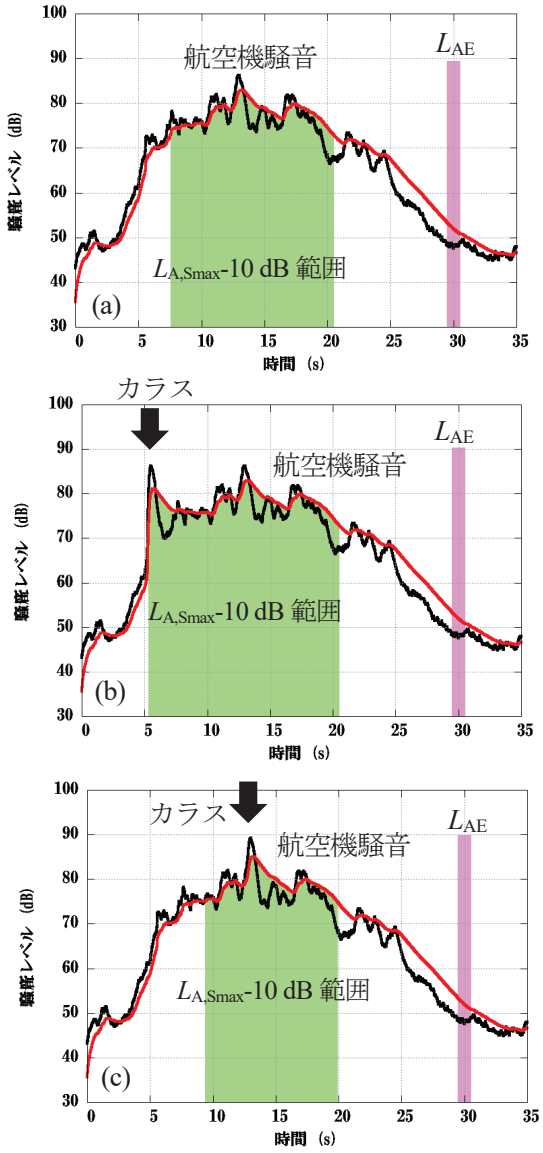


図13　L_{AE}の具体的な計算例

3. 周波数分析

周波数分析は騒音の特徴を見る手段として非常に有効である。図14はある音圧波形(左下)とその周波数成分(右下)の関係を示したものである。どのような音圧波形でも、低い周波数から高い周波数まで幾つかの周波数成分の単純な波形に分解でき、それらの重ね合わせで表される（フランスの数学者フーリエによるフーリエ変換)。分解された周波数成分の大きさを、横軸を周波数としてプロットしたものが周波数分析である。このフーリエ変換を高速アルゴリズムで計算したFFT分析は狭帯域分析とも呼ばれ、周波数特性の細かな特徴を見るときに用いられる。図15の上段は女性の声をFFT分析した結果であるが、横軸をリニアで見ると、基本周波数(250 Hz)の整数倍の周波数成分が並ぶ声の特徴が良くわかる。ヘリコプタ騒音なども同じような特徴を持っている。一方、騒音測定で良く用いられるのは1/3octバンド分析(オクターブは倍の周波数、ピアノの鍵盤のドから次のドの幅)で、周波数成分の全体的な

特徴を掴むのに都合が良い。低い音が強い、高い音が強い、など人の感覚と対応が良い。図15下段は上段と同じ人の声を1/3oct分析した結果であるが、FFT分析とはかなり違った見え方であることがわかる。これらは分析の目的によって使い分けられる。

図16は、生活環境でよく耳にする音源の1/3octバンドレベルの周波数特性を示したものである。セミや小鳥の鳴き声は数kHzと高い周波数で狭い帯域に限定されることがわかる。また、救急車のサイレンは人の耳に付きやすい800 Hzと1 kHzの純音が交互に繰り返される音源を用いている。これらに対して、バイクや航空機騒音の周波数特性は広帯域でより低い周波数に音のエネルギーの主要成分があることがわかる。

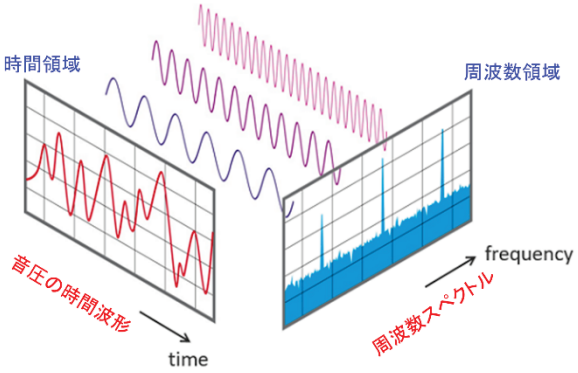


図14　音圧波形と周波数分析の関係

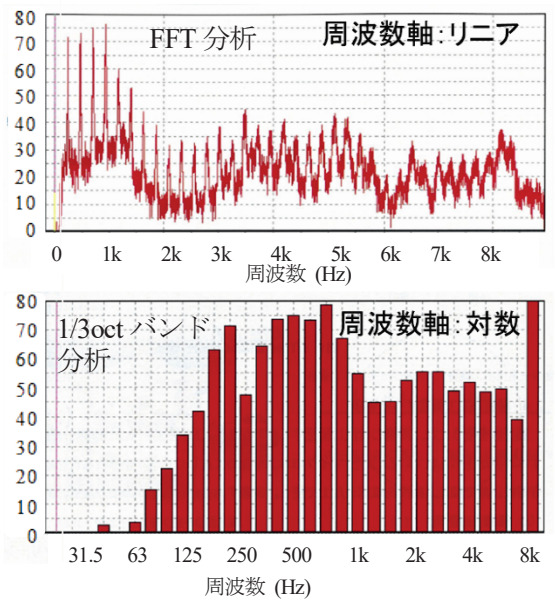


図15　人の声（あー）に対する二種類の周波数分析の例

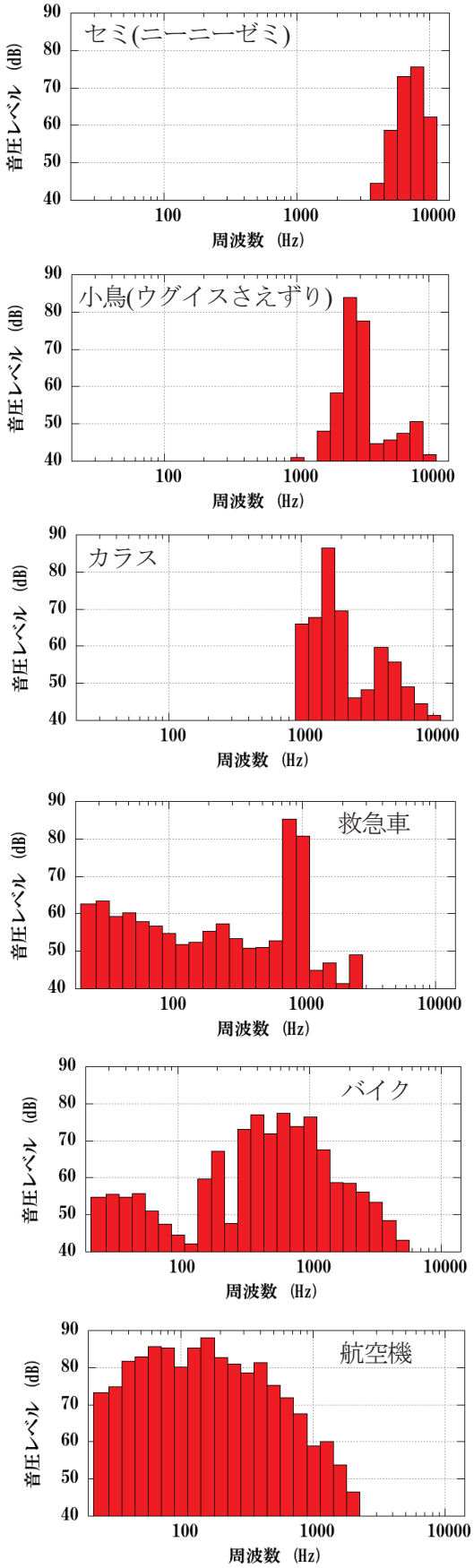


図16　様々な音の周波数特性の違い

4.騒音測定で用いられるその他の機器

4.1 ウインドスクリーン

航空機騒音測定・評価マニュアルでは、風雑音の影響を低減するために、騒音計のマイクロホンには必ず全天候型のウインドスクリーンを装着することとなっている。騒音計を長時間連続稼働させるため、降雨の場合も想定し、全天候型のウインドスクリーンを装着する。

一般的に使用されている全天候型のウインドスクリーンを装着した際の風雑音は、風速10 m/sの定常的な風に対して騒音レベルで55～60 dB程度である。なお、騒音計に通常附属しているウインドスクリーンを装着した際は、同様の条件において65 dB 程度である。

図17　ウインドスクリーンの使用例

4.2 音響校正器

マイクロホンも含めて騒音計が正常に動作することを音響的に確認するために、騒音計の取扱説明書に記載された形式の音響校正器を使用する。音響校正器はJIS C 1515のクラス1に適合するものを使用する。図18に音響校正器の現場での使用例を示す。

音響校正器の音の発生機構は,大きく分けてスピーカ方式とピストン方式の2種類がある[4]。ピストン方式の音響校正器を,特にピストンホンと呼ぶ。スピーカ方式の音響校正器は、イヤホン型のスピーカによりカプラ内に音圧を発生させる。校正音は1 kHz、94 dBのものが多く、カプラ内でのマイクロホンのぐらつきの影響を受けにくい利点がある。ピストン方式(ピストンホン)は、内部に精密モータの軸に直結したカムとピストンが配置され、カムの回転に伴いピストンが上下運動をすることで一定音圧を発生させる。校正音は250 Hz、114 dB又は124 dBのものが多い。スピーカ方式と比べ温度・湿度の影響を受けにくいが、気圧補正が必要となる。

図18　音響校正器の使用例

5.測定精度確保のための検定と保守点検

5.1 騒音計の検定

航空機騒音の環境基準に準じた騒音測定は、計量法第71条の条件に合格した騒音計を用いて行うこととなっている。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た評価を行うことができない

騒音計は、計量法の「特定計量器」に指定されており、取引または証明に使用する騒音計は検定に合格し、有効期限内のものでなければならない。「検定に合格している」ことは、有効期間内の検定証印又は基準適合証印により確認できる(図19参照)。有効期限5年である。

騒音計の検定は、財団法人 日本品質保証機構(JQA)で行われており、検定に合格した騒音計には有効期限を記入した合格証 (検定証印)が貼付される。また、計量法には、「指定製造事業者制度」が設けられている。優れた品質管理能力を有する製造業者については、その製造する騒音計に対し

検定検査規則の基準に基づく自主検査を行ない「基準適合証印」を付すことが許可される。基準適合証印が付された騒音計を購入した場合は、初回の検定を受けずに取引または証明に使用することができる。

検定証印　　基準適合証印

図19　騒音計の裏面に付された検定証印

なお、騒音計に関する従来の規格は、JIS C 1502「普通騒音計」とJIS C 1505「精密騒音計」の二つの規格に分かれていたが、現行の規格は一つの規格JIS C 1509-1 にまとめられており、精度の等級はクラス1（従来の精密騒音計に対応）とクラス2（従来の普通騒音計に対応）への分類に改められている。騒音計の性能は、クラスにより許容される信頼性の範囲が異なるが、基本的にはJIS C 1509-1の仕様に適合する騒音計である限りは必要な電気音響性能を保持している。

検定の技術基準は、特定計量器検定検査規則（以下「検則」という。）で規定されているが、検則が平成27年11月1日に改正された[5)]。これにより、この日以降に型式承認を受ける騒音計は、改正された検則（以下「改正検則」という。）に合格していることとなる。ただし、改正検則には経過措置が設定されており、平成27年10月31日までに型式承認を受けた騒音計は平成29年10年31日までは製造可能である。改正前の検則により型式承認を受けた騒音計（旧型式騒音計）は、令和9年10月31日までは、改正前の検則の基準により検定に合格することが可能である。この期限の直前に検定に合格した騒音計は、検定の有効期限は5年であるので、最長で令和14年10月31日まで使用可能である。それ以降については、旧型式騒音計は、改正後の検則の検定方法に基づき検定公差を満たせば引き続き検定に合格して使用することが可能である。

平成27年4月1日の改正以前の検則においては、音響校正器を用いて校正する場合は騒音計1台に対して1台の音響校正器を特定する必要があった。この問題を回避するために騒音計内部の（電気校正用）信号発生器を校正装置と見なすことが認められており、型式承認を受けている騒音計のほとんどはこの内部信号発生器を校正装置としていた。平成27年4月1日の検則改正により、校正は音響校正器を用いた音響校正のみが認められることとなり、騒音計の取扱説明書に当該騒音計に使用可能な音響校正器の型式を記載することが義務付けられた。したがって、平成27年10月31日以前に型式承認を受けた騒音計では電気信号に基づく内部校正により、平成27年11月1日以降に型式承認を受けた騒音計では取扱説明書に記載されている音響校正器に基づく音響校正により、レベル指示値を調整し、騒音計が正確な値を示していることを点検及び維持する必要がある。

5.2 音響校正器の検定

JIS C 1515:2020 では、音響校正器が発生する音圧レベルの設計目標値に対する受容限度値をクラス1 で± 0.25 dB、クラス2 で± 0.4 dB と規定している。

音響校正器は、測定現場における騒音計の動作確認に使用するとともに、平成27年11月1日以降に型式承認を受けた騒音計に対しては、レベル指示値の調整の基準となる。

ISO 1996-2 においては、一年に一度、音響校正器を校正することが推奨されている。しかし、日本においては、3年以内であれば大きな器差は生じていないという校正実施時の器差の実績があることを踏まえ、JIS Z 8731:2019[6)]では、3年を超えない周期で校正されているものを使用すると規定されている。

音響校正器の校正は、通常、製造事業者等で行

うものであり、使用者が独自に行うことはできない。また、校正に使用するマイクロホンの標準器は、国家計量標準にトレーサビリティが確保できる計量器であるべきであり、国家計量標準にトレーサビリティが確保できる標準器による校正は、以下の二つの場合が考えられる。

① JCSS登録事業者またはそれと同等とみなせる海外の登録事業者による校正であること。

② 国家計量標準にトレーサビリティが確保できる標準器を所有する製造事業者による校正であること。

5.3 データ信頼性確保のための騒音計の取り扱い

この節では測定データの信頼生成確保のための騒音計の動作確認について、短期測定を行う場合を想定して述べる。

まず、測定に先立って室内の環境の安定した場所で、音響校正器を用いた騒音計のレベル指示の点検を行う。その値と騒音計の取扱説明書に記載されている値との差が±0.7 dB以上であった場合には、その騒音計は故障している可能性があるため測定に使用しない。必要に応じて、製造事業者において点検調整(場合によっては修理)を行う。

測定開始時と終了時にも、音響校正器による確認を行う。その値と騒音計の取扱説明書に記載されている値との差が±0.7 dB以上ある場合は、使用を中止し、予備の騒音計に交換する。仮に、その状態で測定を継続しなければならない場合は、測定評価マニュアルに従って、測定結果は「参考」とする。

騒音計の故障を判断するための±0.7 dBの根拠を以下に示す。騒音計の校正値に差を生じる要因としては大きく分けて3つある。①環境による要因、②経年変化による要因、③音響校正器の精度に関する要因、である。図18に、騒音計が表示すべき値と実際に表示する値に差異を生じる三つの要因を整理して示す。

環境による要因[7]は、温度の影響、湿度の影響、気圧の影響の3つに分けられる。温度の影響はエレクトレットコンデンサマイクの感度変化に起因し、使用環境における温度差が20℃以内であれば感度変化は精密騒音計で0.1 dB程度、普通騒音計で0.2 dB程度である。湿度に対しては、精密騒音計、普通騒音計のマイクロホンで共に0.1 dB以内である。通常の気圧の変化は感度に換算して0.2~0.3 dB程度である。これらの環境要因を総合すると0.3~0.4 dB程度となる。

経年変化の要因は、主に騒音計のコンデンサマ

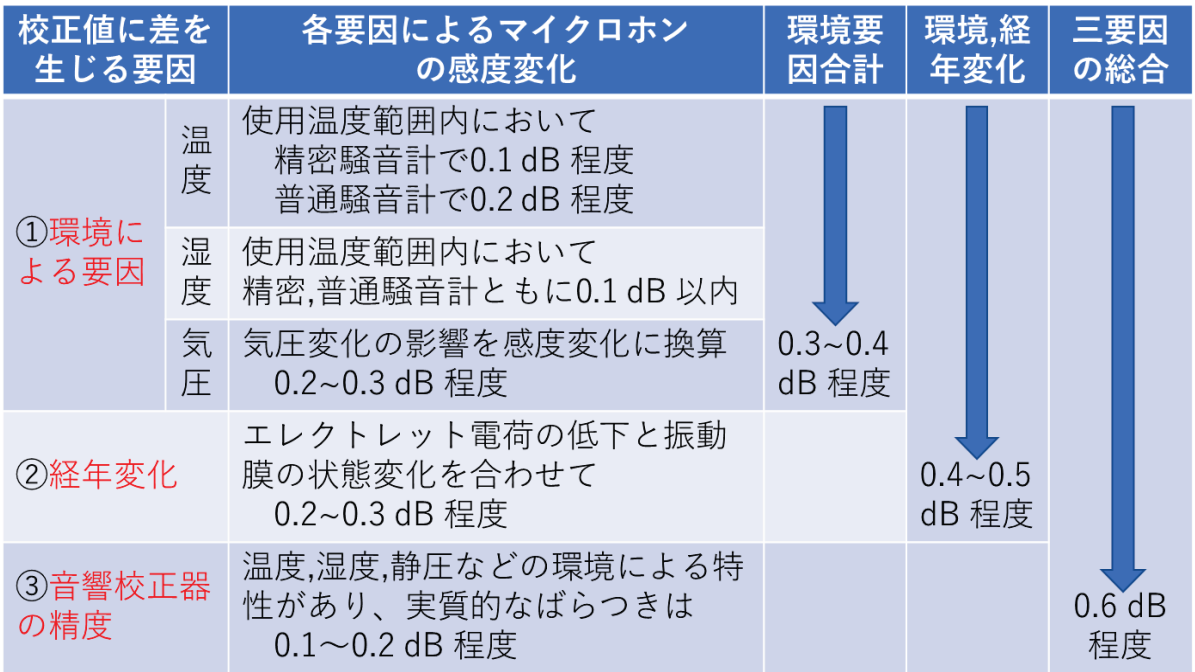


図18　騒音計が表示すべき値と実際に表示する値に差異を生じる三つの要因

イクロホンに起因する。エレクトレット電荷の低下によるマイクロホンの感度変化は徐々に低下する傾向がある。一方、振動膜の張力変化については感度の上下変化の一定の傾向はないといえる。経年変化の要因を総合すると0.2～0.3 dB程度となる。

最後に、音響校正器の精度による要因については、温度、湿度、静圧などの環境による特性があり、実質的なばらつきは0.1～0.2 dB程度と見積もられる。

騒音計の校正値に差を生ずる三つの要因を勘案すると、騒音計と音響校正器を合わせた総合的なばらつき0.6 dB程度以内であれば正常なばらつきの範囲ということになる。このことから、騒音計が表示すべき値と実際に表示する値の差が異常かどうかを判断するための目安を±0.7 dB以上と考える。測定評価マニュアルによると、もし騒音計が表示した値が音響校正器と±0.7 dB以上の差がある状態で測定を行った場合であって、短期測定期間において、測定期間中の20％以上に相当する日数が参考の場合、その短期測定期間のL_{den}は参考とする。

5.4 騒音計と音響校正器の日常的な管理

測定データの信頼性を確保するためには、測定期間中だけではなく、騒音計と音響校正器の日常的な管理が重要である。具体的には、定期的に騒音計の内部校正信号と音響校正器の表示値の差をチェックすることが基本となる。この差が±0.7 dB未満であるかを確認する。このような騒音計の定期的な点検は、少なくとも年に1回以上行う。なお、音響校正器が複数台ある場合は、器差を考慮して、代表する一台(基準器)を決めて毎回同じもので行う。その音響校正器は定期的に校正されているものを用いる。騒音計の定期的な点検結果の推移を把握することで、マイクロホン感度変化(-0.1 dB/年程度)を判断できる。それ以上の急激な変化があれば故障の可能性があるため、それまでの使用過程と照らし合わせて故障の原因を考察することが必要である。図19にその例を示す。

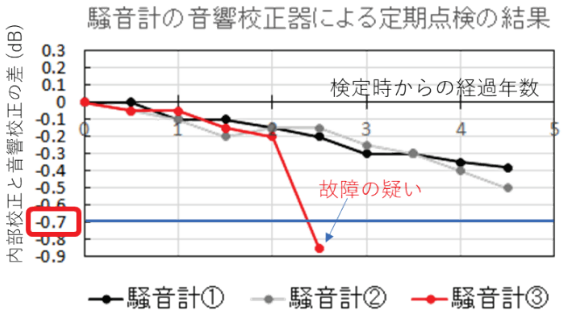


図19　騒音計の定期点検の結果の一例

6. おわりに

本稿では、騒音測定の基本となる騒音計の基本構造やマイクロホンで捉えられた音をどのように騒音レベルに変換されるのかを具体的な騒音に対する試算例とともに解説した。また、騒音計で計測される騒音レベルの値を校正するための音響校正器について解説するとともに、測定データの信頼性を担保するための騒音計や音響校正器の検定、測定時を含む計測器の日常的な管理についても述べた。

参考文献

1) 航空機騒音に係る環境基準について、改正 平成19年環告114 (2007)
https://www.env.go.jp/kijun/oto2.html
2) 環境省、航空機騒音測定・評価マニュアル 令和2年3月 (2020)
3) JIS C 1509-1 電気音響－サウンドレベルメータ(騒音計)第1部：仕様 (2017)
4) 森川、音響計測とキャリブレーション 日本音響学会誌76巻6号 pp.351-356 (2020)
5) 大屋、騒音計・振動レベル計に関する計量法の検則改正の解説 騒音制御 Vol.39 No. pp.176-181 (2015)
6) JIS Z 8731:2019 環境騒音の表示・測定方法 日本規格協会 発行
7) 瀧浪、騒音計の性能に影響を与える様々な要因 騒音制御 Vol.29 No.5 pp.323-338 (2005)

航空環境研究 No.25（2021）, PP.1 − 3

国際学会参加報告

Inter-Noise 2021 参加報告 *

篠原　直明（航空環境研究センター　所長）
武田　修　（航空環境研究センター　主任研究員）
中澤　宗康（航空環境研究センター　副主任研究員）

1 Inter-Noise 2021の概要

Inter-Noise 2021（2021年国際騒音制御工学会）は、記念すべき第50回大会として実施された。開催地は1972年の第1回が行われたワシントンDCが開催ホストとしてオンライン開催で開催された。今回のテーマは “Next 50 Years of Noise Control” と設定され、過去50年の歩みと今後の50年を見据えた基調講演等を中心に、騒音制御および音響学に関する幅広いトピックが発表された。今回は、昨年のInter-Noise 2020（開催地：韓国ソウル）に引き続き、コロナウィルス感染拡大の状況を鑑み、オンラインのVirtual Congressとして、例年より会期を1日伸ばした5日間（8月1日〜5日）にわたり、アメリカ・ヨーロッパの昼間時間帯、日本では夜間から早朝にかけた時間帯で開催された。46ヵ国から1,000人を超える参加があった。発表論文としては650以上、7つのプレナリー/基調講演があった。また、いくつかのワークショップと特別セッション、および65を超えるネットワーキングセッションがあり、大会後の調査では、「これまでに参加した中で最高のオンライン学会」などのコメントが寄せられた。基本的に各発表者は事前に発表動画を作成し、当日は動画の再生の後に各セッションオーガナイザーが聴講者からの質問を整理して発表者に投げかける形式であった。これらの一連のセッションの模様はビデオ録画されており、参加登録者セッション終了後もオンラインで再生することができた（現在は公開終了）。

学会初日の8月1日には、オープニングセレモニーとして、Inter-Noise 2021実行委員会プレジデントのRaj Singh氏、I-INCE（国際騒音制御工学会）のプレジデントRobert Berhard氏、INCE-USA（アメリカ騒音制御工学会）のプレジデントMike Bahiarianの挨拶があった。オープニングセレモニーに引き続き、本発表会のテーマである「騒音制御の次の50年」のプレナリーレクチャーとして、イギリスのJian Kang氏が「サウンドスケープ：過去50年間の進歩と今後50年間の課題」と題して、これまでの50年間のサウンドスケープをレビューし、単なる騒音制御に対してサウンドスケープのニーズが段階的に変化してきたことなどが述べられた。また今後50年間で解決すべきいくつかの主要な課題が提示された。

当センターからは、所長の篠原と副主任研究員の中澤が発表を行った。篠原は3日目のキーノートレクチャー、中澤は、5日目のAirport Community Noise (part 1)のセッションで発表であった。

2 研究発表

2.1 当センター関連の発表

Efforts for reducing the impact of aircraft noise at Japan and worldwide airports and a suggestion for the improvement to the next generation (Naoaki Shinohara)

「日本および世界の空港における航空機騒音影響軽減の取り組み、ならびに今後の改善に向けての提言」　(Keynote Lecture)

概論として、ICAOのバランスドアプローチに代表される航空機騒音対策のフレームワークに基づき、実際の空港周辺でどのような対策手段が用いられているかを説明した。まず、過去50年以上に渡る日本での航空交通の発展と騒音対策の変遷について紹介した。次いで現在の日本の状況として、羽田空港などの最近の状況などを交えながら、どういった形で騒音低減を実施しているか

* International Conference Participation Report - Inter-Noise 2021

についても紹介した。さらにCOVID19による影響や、日本以外の各国で実施されている対策として、騒音対策区域によるゾーニング・飛行経路や着陸料の変更・深夜運航時の対策といった騒音対策の手法を比較検討した。その上で、今後考えられる事象として、飛行経路の集中と分散、深夜運航と睡眠影響、空港周辺住民の苦情や対話などの点についていくつかの提言を行った。

Study on aircraft noise directivity of behind the start of takeoff roll (Toshiyasu Nakazawa, Naoaki Shinohara)

「離陸滑走開始時後方の航空機騒音の指向性」

(Session: Airport Community Noise)

離陸開始時の後方の航空機の騒音指向性について空港周辺での測定を行い、その結果と既存モデルとの比較考察した結果を発表した。既存の航空機騒音予測ガイドラインでは、水平方向の離陸滑走時後方の騒音指向性を加えることとなっている。離陸滑走に代表される滑走路内から発する騒音は空港周辺の航空機騒音に大きく寄与するため、この指向性を適切に評価することは重要である。そこで、日本の成田空港の34R滑走路周辺に騒音計を半同心円状に配置し、離陸滑走開始後の航空機騒音を測定した。その結果を評価指標、風向の気象条件の影響、機種世代などの観点から検討した。最後に、既存のモデルとの違いを比較検討した。

2.2 共著者の発表

以下に共著者の発表について概要を示す。

Sound arrival direction and acoustic scene analysis for the monitoring of airport noise (Keishi Sakoda, Ichiro Yamada, Kenji Shinohara)

相互相関法に基づく音の方向検出法を開発し、航空機騒音の自動監視と音源識別に適用している。航空機の性能が向上するにつれて騒音は減少し、特に都市部では低レベルの航空機騒音が苦情の対象となることがある。そのため、航空機の騒音だけでなく、その他の環境騒音も併せて監視・測定する必要が出てきた。ヘリコプターの例と高高度航空機への音響シーン分析の応用例を示し、音響環境モニタリングの最新の状況と将来的な見通しを報告した。

Daily fluctuations in aircraft noise exposure around civil airports and military airfields in Japan (Koichi Makino, Naoaki Shinohara)

民間空港および軍用飛行場周辺の航空機騒音監視データを用いて、騒音評価量Ldenの毎日の変動、度数分布、および偏差の例を示した。民間空港の場合、年平均が約55 dB以上の監視局での1日あたりの標準偏差は5dB未満であった。ただし、年平均が55 dB未満の地点では、1日あたりの標準偏差が10dB以上増加する場合があった。さらに、軍用飛行場の場合、毎日の標準偏差はすべての監視局で5dB以上であった。

3 その他の特筆すべき発表

以下に、航空機騒音に関連する発表について概要を示す。

(1) FAAによる大規模な空港周辺住民反応調査

米国連邦航空局(FAA; US Federal Aviation Administration)は、航空機騒音曝露が米国の民間空港周辺の地域社会に与える影響を定量化するため、2015年から複数年にわたって全国規模の「Neighborhood Environmental Survey：近隣住民環境調査」を実施した。今回の発表は、この大規模なアンケート調査の考え方や方法、結果の概要を述べたものである。

現在の米国の騒音政策は、1970年代までに行われた社会調査結果を総合して導出した「シュルツ曲線」と呼ばれる曝露-反応曲線に基づいており、その後1992年 にFICON（Federal Interagency Committee On Noise)の調査で、シュルツ曲線との対応を確認している。しかし、時代の変化により近年このデータが航空機騒音曝露によるアノイアンスを過小評価している可能性があると指摘されていることから、FAAはその妥当性を確認するために今回の全国調査を行なった。その結果は、シュルツ曲線よりもかなり反応の厳しいものとなっている。

なお、今回のFAAの調査結果は、現在、5年ごとの見直し作業が行われているISO 1996-1:2016の内容とも関係があり、ワーキンググループのWG 45でも今後審議対象となるようである。

(2) アーバン・エア・モビリティ等に関する騒音予測に関連した発表

日本では有人型のドローンの開発も徐々に進み始めているが、今回の研究発表の中には、これら有人型のドローンを総称した「アーバン・エア・モビリティ：UAM（Urban Air Mobility）」の騒音予測に関する研究がいくつか見られた。UAMは、都市型エアモビリティーとして期待も大きいが、都市部のこれまで航空機騒音が観測されていなかった地域への新たな騒音影響が懸念される。これに対する対策として、騒音暴露状況を予測するツールの研究が始まっており、ドイツなどでは国家出資の研究プロジェクトが立ちあがっている。また、この他にも電動ローターによる人間への知覚変化に関する研究や、騒音以外に惹起されるであろう課題に関する研究発表なども見られた。

4 感想

研究内容の傾向としては、例年と似たような発表が多かったような感じではあるが、航空機に関連する話題としては、UAV (Unmanned Air Vehicle), UAM (Urban Air Mobility)といった小型ドローンや小型空中タクシーに関する発表が増えてきた印象がある。実用化はまだ先の話で、まだ実機の研究段階であるにもかかわらず、騒音影響についても検討がなされているという点では関心の高さが伺え、興味深い状況にあるといえる。

今回も昨年に引き続きオンラインでの開催となり、対面での学会でもあることだが、機器のトラブルなどは目についた。

実際、Webサイトのトラブルにより、Airport Community Noiseのセッション序盤では、視聴者が視聴者用Webサイトに入ることができず、しばらくの間、無観客開催となってしまった。幸い発表者は発表者用Webサイトに入ることができていたので発表者のみによるセッションは進行していたが、発表者、進行役ともに冷や汗をかいたのは言うまでもない。オンラインシステムでのトラブルは、対面学会のマイクやプロジェクターのトラブルに比べれば、故障状況やいつ復旧するのかを外形的に確認するのが難しく、運営スタッフの対応状況の情報もなかなか見えず、信じて待つしかないという歯がゆい状況となるというのを実感した。

開催時刻も日本時間の夜から早朝であったが、オンライン開催としたためか1日あたり15時間開催となっており、これを開催期間5日間続けるのは体力的にはなかなかつらいものがあった。実際のところは昼間の仕事に影響しないよう関心の薄いセッションしかない時間は就寝してしまっていたため、セッションビデオをあとから追いかけることとなった。

航空環境研究 No.25（2021）, PP.1 － 2

活動報告

研究センターの動き *

令和２年度航空環境研究センターでは、主に次の自主研究、受託事業、研究発表・講演及び広報活動等を実施した。

1. 自主研究

【テーマを設定】

（１）予測コンタープログラムの機能追加に関する検討
（２）騒音予測技術比較検討調査
（３）離陸滑走時の推力と騒音・指向性に関する研究
（４）予測用基礎データの最適な作成方法に関する検討
（５）主要海外空港の環境対策情報分析
（６）空港周辺騒音測定への自動音源識別の適用に関する研究
（７）騒音影響評価の海外動向分析
（８）騒音軽減運航方式の海外事例と国内への適用可能性
（９）航空機騒音の音質評価に関する研究

2. 受託事業

（１）航空機騒音基礎調査
（２）空港周辺航空機騒音等実態調査
（３）航空機騒音予測計算作業
（４）その他航空機騒音に関する調査

・委託者別件数　公的機関等　３件
　　民間　５件

3. 研究発表・講演等

（１）第４９回国際騒音制御工学会議ＩＮＴＥＲ－ＮＯＩＳＥ２０２０
［韓国／ソウル］オンライン開催
Latest trends in noise issues related with the progress in airport and air transportation in Japan
「日本の空港・航空輸送の進展に伴う騒音問題の最新動向」
発表者：篠原直明

（２）日本音響学会 2020 年秋季研究発表会
①（基調講演）「航空機騒音の評価と騒音対策の国内外比較に関する考察（その１・その 2）
講演者：篠原直明
②「航空機騒音軽減のための運航方式等に関する考察」
発表者：中澤宗康
③「航空機騒音による室内外音圧レベル差の現場測定手法に関する検討」
発表者：下山晃司

4. 広報事業

（１）第５回自主研修発表会
コロナウィルスの影響で次年度に延期となった。

（２）第４５回空港環境対策関係担当者研修の開催
空港周辺地域を管轄する関係自治体等職員を対象にオンデマンド方式の動画配信による研修を行った。
（４９団体、申込者数２９１名）

（３）機関誌「航空環境研究」Ｎｏ２４号の発行。
航空環境に関する国内外の多岐にわたる情報の提供。

* Annual activities of Aviation Environment Research Center

5. 各委員会委員等の委嘱状況

（１）航空機騒音監視評価委員会委員
（公益財団法人成田空港周辺地域共生財団）
［任期：～ R3.3.31］
篠原直明

（２）事業部会委員（日本騒音制御工学会）
［任期：R2.6.1 ～ R4.5.31］
下山晃司

（３）研究部会騒音伝搬分科会委員
（日本騒音制御工学会）
［任期：R2.7 ～ R4.5］
中澤宗康、大島俊也

（４）船舶・航空機排出大気汚染物質の影響把握に関する検討委員会（環境省 水・大気環境局）
［任期：R2.9 ～ R3.3.5］
橋本弘樹

6. その他 (学会等への出席)

（１）日本騒音制御工学会第 123 回技術講習会
「騒音・振動技術の基礎と測定実習」
（オンライン開催）

（２）日本騒音制御工学会 2020 年秋季研究発表会

（３）日本音響学会春季・秋季研究発表会