

航空環境研究



The Journal of Aviation Environment Research

No. 20, 2016

巻頭言

航空環境研究センターの情報提供	岩崎貞二	1
-----------------	------	---

焦点

ストレスによる循環器疾患発症のメカニズム	堤 明純	3
航空エンジンのPM排出基準について	藤原仁志	13
次世代の航空機の運航に関する世界的動向	山根厚志	18
国産民間旅客機「MRJ」の低騒音化設計	林 賢亮	24

研究報告

航空環境研究センター研究発表会	平薮好行、中村千都世	30
航空機騒音予測技術の研究（5編）	山田一郎、菅原政之、中澤宗康、 吉岡序、高橋英昌	32～46
航空機が空港周辺大気環境に与える影響 －国内空港の大気環境調査結果の解析－	橋本弘樹、鈴木孝治	47
航空機騒音による心身影響に関する疫学的研究	後藤恭一、金子哲也	49

海外の空港周辺における環境施策に関する研究（4編）

……後藤恭一、上田麻理、高橋英昌、山田一郎	51～57
日本における航空機騒音の情報公開システムのあり方について	上田麻理 58
航空機騒音影響の経済評価	高橋 達 59

海外事情

ISO/TC43の2015ミラノ総会及び作業部会の報告	山田一郎	62
インターノイズ 2015	山田一郎、中澤宗康、上田麻理	67
ホーチミンのタンソンニャット国際空港の現状と ロンタイン新空港の建設	山田良平	71
ネットでみる米国シカゴ・オヘア空港の騒音対策	中村千都世	76

エッセイ

ICAO航空委員会について	吉村 源	79
---------------	------	----

活動報告

研究センターの動き（平成27年度）	管理部	85
アンケート		88

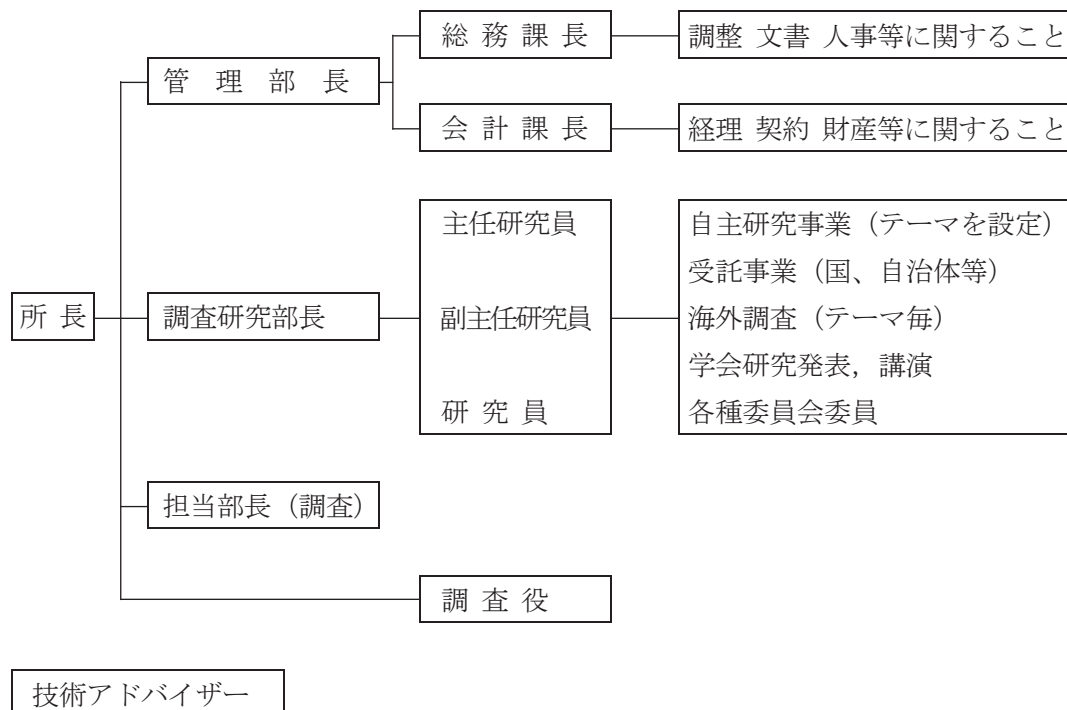
航空環境研究センターの沿革と組織及び業務内容

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

その後、名称を昭和51年10月に航空公害研究センターに改め、平成5年4月、航空公害防止協会が空港環境整備協会に改称されたことにより、当研究センターも現在の航空環境研究センターに改称し、設立以来、航空機の騒音、振動、排ガス及び空港周辺の騒音、電波障害、大気環境、健康影響など、多岐にわたる調査と研究に取り組んでいるところです。

なお、(財) 空港環境整備協会は平成24年4月1日から一般財団法人になりました。

組織及び業務内容は次のとおりです。



巻頭言

航空環境研究センターの情報提供 *

岩 崎 貞 二 **

航空環境研究もこれが最終号になるかもしれません。

航空環境研究センターは騒音はじめ航空の環境問題について現在・過去、国内・海外の情報のプラットフォームになることを目指しています。環境問題について情報を総合的に収集し、整理・分析し、提供できる機関になりたいと思っています。

具体的には、対象とする情報は、航空機騒音が中心です。騒音をどのように評価し、どのようにコンターとしているか、騒音を軽減する飛行方式としてどのような方式を採用しているか、騒音と健康被害の研究はどのようなものがあるか、どのような騒音対策をしているか、そのための財源はどこからえているのか、防音工事はどのようなものをどれぐらいの範囲でやっているか、空港周辺の土地の利用規制はどうしているか、航空機騒音の情報提供をどうしているかなど、航空機騒音に関する情報を網羅したいと考えています。対象とする空港は我が国の主要空港はもちろんのこと、世界の主だった空港の情報を集めてライブラリーを作りたいと思います。更に国際機関でどのような議論がされているか、諸外国の行政当局は何を考えているか、学会の動向は・・などもライブラリーに含めて充実

していきたいと思います。(一挙には難しいので順次ですが・・・)

最近は出張に行かなくてもある程度の情報はネットで集まりますが、より詳しく知るには、また、ネットでは公表されていないことを知るにはコンタクトパーソンを見つけてメールでやりとりをする、さらには出張で出かけて行って聞いてくる必要があります。

過去はどうだったかの情報、現在どうなっているかの情報を整理することも重要ですが、特に新しい情報をえられるように頑張りたいと思っています。

航空機騒音問題は、世界的にも、一応のピークは越えています。航空機が静かになった、先進国ではいろいろな対策が行われたことによります。しかし、我が国でも、運用時間を延長する(地方の空港で少しずつ運用時間が延びています。今後成田、伊丹、福岡などが課題になってくることが予想されます。)、深夜の便数を増やす(道庁と地元の間で新千歳の深夜便の増便の合意が昨年まとまりました。)、便数を増やすために新しい飛行ルートを設定する(羽田で東京上空を飛ばす・・などです。)など、空港の機能を拡充しようとするすると騒音問題の解決が必要となります。世界でも同様です。ヒースローは3本目の滑走路を作る計画がありますが、なかなかまとまりません。まとまりませんが、どういう議論をしているか、どういう対策が求められているかなどの情報は読んでいると参考になります。

* AERC as an information center for aviation environment

** (一財) 空港環境整備協会 会長

す。スキポールは新しい滑走路を作りましたが、飛ばし方は随分工夫しているようです。そうした、最新の情報の取得に力を入れたいと思います。

騒音だけではなく排ガスの情報も収集したいと思います。我が国では空港関係で排ガスの問題はあまりありませんが、ヨーロッパでは規制の見直しも含め議論されているようです。その状況、その背景などもわかるようにウオッチしていきたいと考えています。空港とCO₂の議論も活発化しています。CO₂もセンターで扱う対象とするかは今議論しています。

得られた情報をわかりやすく分析、評価し、あるいは分類し皆さんにタイムリーに提供したいと思います。この雑誌を読んでいる方も多様です。地方公共団体で空港の環境問題にかかわっておられる方、空港の運営、運用に直接関わっておられる方、学術的

にあるいは技術的に騒音を研究しておられる方、騒音測定などの機材の開発を担当しておられる方などさまざまです。どういう方に、どういうタイミングで(定期的に、あるいは随時に)、どういう手段で(こういう雑誌の形でなのか、ネットで配信するか、あるいはもっと別の手段でか?)なども考えていきたいと思います。

やっと、最初のワンフレーズにたどり着きました。雑誌という媒体で情報提供を続けることがニーズとしてあり、合理的ならもちろん引き続きこの雑誌を続けます。別の媒体の方がニーズに合っている、あるいは合理的ならそちらに変えていきます。皆さんがどういう情報をどういう手段で提供されることを望んでおられるか、私どもでも研究します。今回はこの雑誌にアンケートもつけました。ご協力ください。

焦 点

ストレスによる循環器疾患発症のメカニズム *

堤 明 純 **

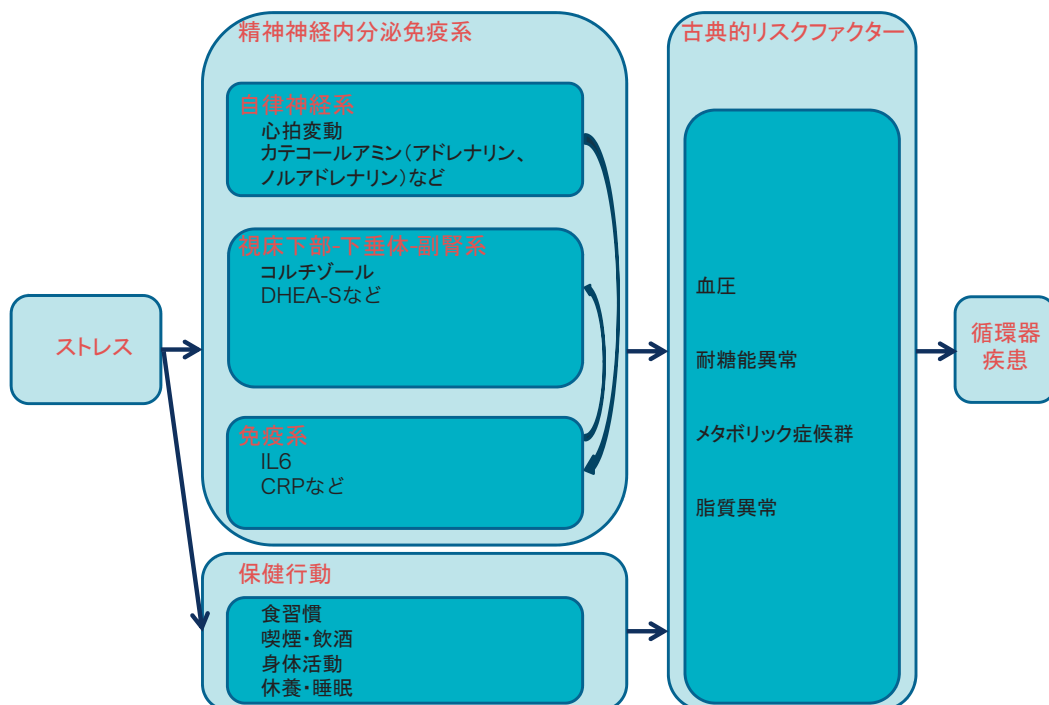
1. はじめに

日中、夜間の航空騒音のレベルが循環器疾患に与える影響が示されており¹⁾、その対策のためのエビデンスの構築が急務となっている²⁾。

航空機騒音と循環器疾患を結ぶメカニズムについては、肥満や脂質異常といった古典的な循環器疾患のリスクファクターに加え、睡眠障害や個人の認知（アノイアンス）の関与が指摘されている²⁾。さらに、サブクリニカ

ルな病態生理学的検討も始まっているが、これらのメカニズムは、いわゆるストレスが循環器疾患を引き起こす機序として検討されているものと類似点が多い（図）。本稿では、ストレス、とくに職業性ストレスモデルを用いて研究が進んでいる仕事のストレスと循環器疾患の関係を検討している研究から、おもに両者を結ぶサブクリニカルなメカニズムについて解説する。

ストレスと循環器疾患を結ぶメカニズム



* Stress and cardiovascular diseases: its potential mechanisms

** 北里大学医学部公衆衛生学単位 教授

2. ストレスと循環器疾患：疫学的知見の オーバービュー

アジアから欧州、中東、アフリカ、オーストラリア、および南北アメリカにおよぼ 262 の多施設における 11119 人の心筋梗塞初発者と年齢・性をマッチさせた 13648 人の対照群を対象として実施されている症例－対照研究 (INTERHEART study) において、ストレスと心筋梗塞発症リスクが検討されている³⁾。この研究では、ストレスを仕事におけるストレス、家庭におけるストレス、経済的ストレスおよび大きなライフイベントの 4 つの側面で測定しており、いずれのストレスも中等度～高度ストレスが心筋梗塞発症のリスクを高めていた。

スウェーデンの一都市 (ヨーテボリ) における心筋梗塞の既往のない 47～55 歳の地域在住男性 6935 人を平均 11.8 年追跡した研究では、知覚されたストレスと冠血管疾患と脳卒中発症、および循環器疾患死亡、がん死亡、総死亡との関連が検討されている⁴⁾。ストレス指標は、職場や家庭事情に関連して起こる緊張感、イライラ、不安、睡眠の障害を「前年もしくは過去 5 年にわたってずっと経験している」と答えたグループを高ストレスグループ、「過去 5 年にわたって何度か経験した～経験していない」と答えたグループを低ストレスグループとして解析が行われた結果、冠血管疾患・脳卒中の発症リスク、循環器疾患死亡・総死亡のリスクともに統計学的に有意であった。がん死亡との関係は明らかでなかった。

我が国においても、知覚されたストレスレベルによる脳卒中と心筋梗塞死亡のリスクを検討した前向き研究がある。45 地区の地域住民健診に参加した 40～79 歳までの日本人男性 30180 人、女性 43244 人に対し、「あなたの日常生活におけるストレスはどれくらいですか？」という質問に「とても高い」「高い」「中くらい」「低い」で回答を求め、高レベルグルー

プ (「とても高い」プラス「高い」)・中レベルグループ (「中くらい」)・低レベルグループ (「低い」) に分類して、その後 8 年間の循環器疾患による死亡を追跡した。とくに女性において、ストレスは循環器疾患死亡リスクを有意に増加させていた⁵⁾。

いくつかの慢性の感情が心血管疾患の発症を予測することが示されており、しばしば、ストレス研究の範疇で扱われる。

頻回の怒りや敵意は心血管イベントを予測することが示されている⁶⁾。中高年における、強い怒りの気質は高血圧と同等に心血管リスクを増加させる⁷⁾。抑うつは健常人の冠血管疾患発症を予測することに加え⁸⁾、心血管疾患の予後を増悪させることも示されている。2 つのメタアナリシスが、抑うつが心筋梗塞後の死亡を予測することを示している^{9, 10)}。成人期によくある慢性ストレス要因として社会的孤立や孤独についても、研究が行われていて、メタアナリシスによると 1.5 のオッズ比をもって、リスクが高いことが示されている¹¹⁾。

一方、感情的なストレス (Emotional stress) などの急性の心理的ストレスが心血管イベントのトリガー (引き金) になることについてもエビデンスがある^{6, 12-14)}。疫学的には、症例の発症前状況を対照とするクロス－オーバーデザインを用いて検証されている¹⁵⁾。発症前 24 時間の状況を対照として、怒りや抑うつは急性心血管イベントのリスクとなることが示されている。ただし、エビデンスは、リスクファクターを多く有する集団でより明らかであった¹¹⁾。一般に慢性ストレスとして検討される職業性ストレスであるが、仕事に関連する高い要求度、競争、葛藤は心筋梗塞発症のトリガーになることが示唆されている。スウェーデンで行われたケース・クロスオーバーデザインによる解析では、仕事の締め切りに関する強いプレッシャーが、引き続く 24 時間における心筋梗塞発症のリスクを有意に高めていたことが示されている¹⁶⁾。

3. ストレスのとらえ方：ストレスの測定と職業性ストレスモデル

対策を念頭に置いてストレスを測定する場合、ストレス要因とストレス反応を分けて考えるとよい。ストレス要因は、環境にある外的なストレスの源を指し、人がストレス要因に曝されると、うつ状態などの気分の不調、食事や嗜好品（飲酒・喫煙）、身体活動など行動上の好ましくない変化に加え、身体的には、心血管系、神経・内分泌・免疫系の制御不全などのストレス反応が引き起こされ、この状態が続くことにより、器質的な疾患が引き起こされるというモデルが想定されている。変更可能なストレス要因を把握することができれば、それらにアプローチすることによりストレス反応の低減を図ることができると考える、予防を念頭に置いたこのストレスの測定方法は疫学的な研究でよく用いられている。

対策を検討する際、特定されない“ストレス”という用語は多義的で情報量が少ない。職業性ストレス研究では、定義が明確な仕事の特徴（構成概念）を組み合わせた理論モデルが開発された。実社会の複雑な事象を少数のコンポーネントの組み合わせとしてまとめることで、多種多様の職業に適用ができ、疫学のみならず実験的研究にも操作化ができ、理論に基づく介入（対策）が可能となった。

職業性ストレスモデルの導入により、仕事に関連するストレスは、ストレス研究の領域でもっとも研究が進んでいる分野と言ってもよい。代表的な職業性ストレスモデルには、仕事の要求度－コントロールモデル¹⁷⁾や努力－報酬不均衡モデル¹⁸⁾といったものがある。仕事の要求度－コントロールモデルは、量的・質的な負荷と労働者が有する仕事への裁量権の不足の組み合わせでストレス要因を把握するもので、職場における支援の不足が加わることでさらにストレスフルな状況と想定する。努力－報酬不均衡モデルは、仕事に費やす労力や責任の度合いに対して、仕事から期待さ

れる金銭や地位、評価といった報酬が釣り合っていない状況をストレスフルととらえるモデルで、両モデルとも職業性のストレス要因を把握するモデルである。職業性ストレス、とくに仕事の要求度－コントロールモデルで規定される高要求度と低いコントロールの組み合わせからなるジョブ・ストレインと心血管疾患の関連性を示す前向き研究については、すでに多くのメタアナリシスがあり、頑健なエビデンスとなっている^{11, 19-22)}。

4. ストレスと循環器疾患を結ぶメカニズム

4.1 古典的な冠血管疾患リスクファクター

ストレスといわゆる生活習慣病を代表とする臨床像が明らかな古典的な冠血管疾患のリスクファクターとなる病態の関連性は、主に疫学研究で観察されている。

高血圧および代謝系の障害は、循環器疾患発症に至る職業性ストレスの媒介過程と目されている。必ずしも頑健なエビデンスではないとする研究もあるが²³⁾、血圧の関与については、測定信頼性が高いとされる自由行動下血圧連続測定をアウトカムとした複数の前向き研究で、ジョブ・ストレインと血圧上昇の関連が観察されている^{24, 25)}。仕事のストレスが2型糖尿病の発症を予測することも確認されていて、この関連は女性において明らかである²⁶⁾。関連の研究では、仕事のストレスは女性の肥満者で糖尿病発症のリスクで非肥満者ではリスクでなく、男性においては非肥満者では発症を抑え、肥満者では関連がないといった、性と肥満との間の交互作用が観察されていて、後述する肥満との関連性も含めて更なる研究の必要性がある²⁷⁾。脂質系の異常についてはややエビデンスが弱いものの²⁸⁾、仕事の要求度が強いと頸動脈硬化の進展が強いことを観察している研究がある²⁹⁾。さらに最近では、職業性ストレスとメタボリック症候群の関連性が注目されており、前向き研究において、仕事のストレスはメタボリック症候

群の発症リスクを高めること³⁰⁾、職業性ストレスに頻回に曝露されるほどメタボリック症候群発症リスクが増加することが示されている³¹⁾。前向き研究で職業性ストレスは肥満³²⁾の発症リスクを高めることが示されている。しかし、肥満のリスクについては、近年のメタアナリシスでジョブ・ストレインが重要なリスクとは言えないとされている³³⁾。例えば、職業性ストレスは抑うつリスクファクターでもあり、うつ状態による体重減少を招く可能性もある。したがって、仕事のストレスと体重の関連はU字型かもしれない可能性もある³⁴⁾。さらに、職業性ストレスが蓄積すると心房細動の発症リスクが上昇することも最近報告されており³⁵⁾、後述する交感神経系のメカニズムの発露として注目されている。

4.2 保健行動（間接的パスウェイ）

必ずしも研究数は多くはないが、仕事のストレスが、好ましくない保健行動を介して循環器疾患のリスクに寄与している可能性がある。仕事のストレスは喫煙やエクササイズに関連している³⁶⁾。職業性のストレスが喫煙行動や問題飲酒を予測すること^{37, 38)}、身体活動の低下や野菜や果物の低摂取と関連すること³⁰⁾を示した前向き研究がある。急性ストレス下では脂肪分の多い食事を選ぶという実験結果もある³⁹⁾。要求度が高くてコントロールの低いストレスフルな状況（ジョブ・ストレイン）のみならず、要求度も低いコントロールも低い状況（パッシブジョブ）でも、余暇の身体活動が低下することが、労働者13万人をプールした解析で示されている⁴⁰⁾。しかし、全体として職業性ストレスと保健行動の関連性は弱いようである⁴¹⁾。

4.3 サブクリニカルな病態生理学的メカニズム

急性のストレスに繰り返し曝露される（慢性のストレス）ことにより、低レベルながら

身体の制御不全が引き起こされる。この機序を説明するのに、アロスタシス（allostasis、動的適応能）、または、アロスタティックロード（allostatic load）の概念が用いられている^{42, 43)}。アロスタシス（動的適応能）とは、適応することで体内環境の安定性（ホメオスタシス）を維持することを意味し、急性のストレスに対して適応していくプロセスを説明する概念である。アロスタティックロードとは、急性ストレスに適応するアロスタシスを制限する因子であり、この負荷が過剰な場合に疾病発症などの不適応がおけると考えられる。

ストレスと循環器疾患を結ぶ病態生理学的メカニズムとして特に重要なものとして、アドレナリン、ノルアドレナリンと関連する交感神経経路の興奮を含む自律神経系と、コルチゾール等の分泌に通じる視床下部－下垂体－副腎皮質系、これに加えて、免疫系の関与が指摘されている⁴⁴⁻⁴⁶⁾。交感神経系の亢進は血圧や脈拍の上昇、心拍変動の低下、血液凝固因子の刺激、免疫機能の制御不全、蓄積されていた遊離脂肪酸の放出、インスリン抵抗性などを起こす。コルチゾールは、性腺刺激ホルモン、成長ホルモン、甲状腺刺激ホルモン等の抑制を含むエネルギー保存に中心的な役割を持つホルモンであるが、肝臓における糖新生、炎症や免疫反応の抑制、体幹への脂質沈着、インスリン感受性低下、血圧上昇作用等を含む身体効果が知られている。以上のような系が慢性のストレスに曝露されて繰り返し惹起される健康影響が想定されている。

自律神経系および視床下部－下垂体－副腎皮質系の関与については、主に実験系の研究でストレスとの関連性が示され、ストレスによる心拍変動の低下^{30, 47)}などの自律神経系の制御不全に関する知見が蓄積している。視床下部－下垂体－副腎皮質系については、仕事のストレスレベルによりコルチゾールの反応性が異なることが示されている⁴⁸⁾。英国公務員の健康評価を追跡している Whitehall II

study では、ジョブ・ストレイン状態の労働者で、起床後の唾液中コルチゾールの上昇が高かった³⁰⁾。また、仕事のストレスとコルチゾール分泌の関連性には男女差が伺われており、ジョブ・ストレインを構成する仕事の要求度はとくに女性のコルチゾール分泌日内変動パターンに、仕事のコントロールは男性のコルチゾールの日内変動パターンに影響を与える可能性が示されている⁴⁹⁾。

自律神経系、視床下部－下垂体－副腎皮質系と並んで、最近注目されているメカニズムが炎症系である。虚血性心疾患をはじめとする疾患の発症に関与する炎症性サイトカインの産生は心理的なストレスと関連していることのエビデンスが集積している⁵⁰⁻⁵²⁾。

ストレス反応に含まれる血管系の炎症 (vascular inflammation) と動脈硬化を刺激する病態生理学的なメカニズムは⁵³⁾、交感神経系を亢進させ視床下部－下垂体－副腎皮質系の制御不全をおこし、アドレナリンやコルチゾール分泌パターンを変化させ、メタボリック症候群の発症に寄与するとされる⁵⁴⁾。実験系では仕事のストレスレベルにより炎症反応 (CRP) のレベルが異なることが示されている⁵⁵⁾。高感度 CRP の測定が可能となり、ライフコースに渡る疫学的な研究も進んでいる⁵⁶⁾。最近の前向き研究では、職場における好ましい心理社会的要因が、追跡中の CRP レベルを低下させることも示唆されている⁵⁷⁾。ストレスは、炎症誘発サイトカイン (Proinflammatory cytokine) と関連がある⁵⁸⁾。CRP の主要なサイトカイン誘導物質で、プラークの破裂に関連して虚血性心疾患の発症を予測するとされるインターロイキン－6 は⁵⁹⁻⁶²⁾、心理社会的要因と循環器疾患のリスクを結ぶ重要な炎症性因子と位置付けされている⁶³⁾。疫学的な観察研究において、炎症系の指標とともに、凝固系因子ともとらえられるフィブリノーゲンも、職業性ストレスと冠血管疾患を結ぶ因子として捉えられている⁶⁴⁻⁶⁶⁾。

自律神経系、視床下部－下垂体－副腎皮質系、および免疫系のメカニズムはそれぞれに影響し合っている。カテコールアミンはインターロイキン－6 の産生を強力に刺激するし、インターロイキン－6 は、強力な視床下部－下垂体－副腎皮質系の刺激要因であり、動脈硬化のプロセスは、自律神経系、視床下部－下垂体－副腎皮質系および炎症性メディエーターの相互的な影響であると考えられている⁶⁷⁻⁷¹⁾。

4.4 急性の心理的ストレスによる循環器疾患発症のメカニズム

冠血管疾患のリスクを負うケースにおいて、強い感情や重い身体的な負荷によって引き起こされる心血管事故の生理学的なメカニズムには、冠動脈における血行動態的なストレス、血流によるずり応力の増加による動脈硬化性プラークの破裂とそれに続く冠動脈内血栓の形成、冠動脈狭窄部位抹消の心筋虚血による心室性不整脈などがある⁷²⁻⁷⁵⁾。とくに冠血管危険因子を有しない女性に多く観察されるものとして、カテコールアミン、冠動脈攣縮、冠微小循環障害、エストロゲン等の関与が指摘されているたこつぼ心筋症 (ストレス心筋症) があり、研究が進められている⁷⁶⁾。

5. そのほかのトピック

5.1 環境の悪さか、認知の歪みか？

これまで述べてきた所見は、ストレス要因を静的に (状態として) とらえたものである。ストレスの心理学的な機序として、状況をいかに認知し、対処するかという一群のダイナミックなセットとした捉え方がある⁷⁷⁾。状況をどのようにとらえるかでストレスの程度が変わってくるというものであるが、関連して、ストレスは健康に悪いと認知しているグループは虚血性心疾患発症のリスクが高いという興味深い成績が最近提出されている⁷⁸⁾。この研究では、参加者は、「あなたの人生で経験するストレスやプレッシャーはどの程度あな

たの健康に影響していると感じますか？」という問いに、「まったくない」「わずかに」「中等度」「大いに」「きわめて」の5つの選択肢で回答し、最終的に「まったくない」「わずか、もしくは、中等度」「おおいに、もしくは、きわめて」と分類され解析された。ストレスは健康に悪いと認知しているかどうかの質問に対して、「おおいに、もしくは、きわめて」健康に影響していると認知しているグループは、「まったくない」「わずか、もしくは、中等度」と認知しているグループに比して虚血性心疾患発症のリスクが有意に高いことが示された。ストレスをどのように認知するかがリスク要因となるということは、認知の仕方を変えることで、疾病の予防につながる可能性を示唆している。

5.2 遺伝子・環境交互作用

ストレスを含む心理社会的要因の健康影響は、神経系の活動を決定する個人の遺伝的素因によって異なる可能性がある。ストレスとの交互作用が抑うつ度および血圧に対して観察されているセロトニントランスポーター（5-HTTLPR）遺伝子多型は有力な候補遺伝子である^{79, 80)}。さらに、DNAメチル化が、ストレスなどの環境上の要因と、人間の行動、認知、生理における個人差を制御しているゲノム間に介在している可能性があり⁸¹⁾、ジェネティックもしくはエピジェネティックな要素が、ストレスに対する個人の脆弱性に寄与する可能性が示唆されている。

5.3 睡眠障害の関与

職業性ストレスに関連することとして、長時間労働が循環器疾患のリスクを高めることについても、最近になってメタアナリシスが提出されている^{82, 83)}。長時間労働が循環器疾患のリスク上昇に影響するメカニズムとしては、不十分な回復と睡眠、食事（食行動）や飲酒に関連する好ましくない健康行動、抑うつ発症、職業性ストレスとの密接な関係が挙げられ^{84, 85)}、それぞれにエビデンスがある。

ここでは、騒音障害との関連から、そのうちの睡眠障害に焦点を当てる。長時間労働は睡眠時間の短縮や寝つきの悪さを誘発すること⁸⁶⁾、および睡眠障害は冠血管疾患のリスクファクターであることは前向き研究で示されている⁸⁷⁾。さらに、循環器疾患のリスクファクターについて、睡眠障害は高血圧有病率⁸⁸⁾、脂質異常⁸⁹⁾と関連し、睡眠時間の制限は、体重の増加を介して糖尿病の発症に寄与する可能性も前向き研究で示されている⁹⁰⁾。病態生理学的なメカニズムとして、不十分な睡眠は食欲を制御するホルモンに影響して空腹感を増長することが指摘されている。すなわち、不十分な睡眠により食欲抑制ホルモン（レプチン）が低下し、食欲亢進ホルモン（グレリン）が上昇する。これによって過食が引き起こされるとされる⁹¹⁾。

6. おわりに

ストレスが循環器疾患に影響するメカニズムには、神経内分泌系を亢進させ動脈硬化を進める直接的なパスウェイと好ましくない保健行動を通して循環器疾患のリスク要因を増加させる間接的なパスウェイがある^{44, 92)}。これらサブクリニカルなメカニズムは、航空騒音および関連する交通騒音による循環器疾患発症のメカニズムとして想定されているメカニズムと近似している^{1, 93)}。騒音に対するアノイアンスはおそらく認知的な要素（心理学的なプロセス）を含んでいる。睡眠障害も冠血管疾患のリスクファクターであるが、必ずしも睡眠時間の不足だけがリスク要因ではなく^{87, 94)}、航空騒音との関連を検討する際には、睡眠の質の問題や中途覚醒による睡眠の分断など、他の視点からの睡眠障害の測定の必要性が示唆される。

未解明な課題はあるが、ストレスによる病態生理学的なメカニズムは徐々に明らかになってきた。ストレス研究の領域で、ストレスの捉え方（測定）の進歩が、関連の研究の

進歩に寄与してきた。航空騒音をどのように把握するか、モデルを形成することは、航空騒音が影響する健康問題の解決に資する研究をさらに発展させる可能性がある。

謝辞

本稿は、科研費（基盤研究 (A) 課題番号 26253042）の成果の一部である。

参考文献

- 1) Hansell AL, Blangiardo M, Fortunato L, Floud S, de Hoogh K, Fecht D, et al. Aircraft noise and cardiovascular disease near Heathrow airport in London: small area study. *BMJ*. 2013;347:f5432.
- 2) 金子哲也, 後藤恭一. 騒音健康影響の動向～ICBEN2014～. 航空環境研究. 2015;19:79-86.
- 3) Rosengren A, Hawken S, Ounpuu S, Sliwa K, Zubaid M, Almahmeed WA, et al. Association of psychosocial risk factors with risk of acute myocardial infarction in 11119 cases and 13648 controls from 52 countries (the INTERHEART study): case-control study. *Lancet*. 2004;364(9438):953-62.
- 4) Rosengren A, Tibblin G, Wilhelmsen L. Self-perceived psychological stress and incidence of coronary artery disease in middle-aged men. *Am J Cardiology*. 1991;68(11):1171-5.
- 5) Iso H, Date C, Yamamoto A, Toyoshima H, Tanabe N, Kikuchi S, et al. Perceived mental stress and mortality from cardiovascular disease among Japanese men and women: the Japan Collaborative Cohort Study for Evaluation of Cancer Risk Sponsored by Monbusho (JACC Study). *Circulation*. 2002;106(10):1229-36.
- 6) Mittleman MA, Maclure M, Sherwood JB, Mulry RP, Tofler GH, Jacobs SC, et al. Triggering of acute myocardial infarction onset by episodes of anger. *Circulation*. 1995;92(7):1720-5.
- 7) Williams JE, Nieto FJ, Sanford CP, Tyroler HA. Effects of an angry temperament on coronary heart disease risk : The Atherosclerosis Risk in Communities Study. *Am J Epidemiol*. 2001;154(3):230-5.
- 8) Rugulies R. Depression as a predictor for coronary heart disease. a review and meta-analysis. *Am J Prev Med*. 2002;23(1):51-61.
- 9) Carney RM, Blumenthal JA, Freedland KE, Youngblood M, Veith RC, Burg MM, et al. Depression and late mortality after myocardial infarction in the Enhancing Recovery in Coronary Heart Disease (ENRICH) study. *Psychosom Med*. 2004;66(4):466-74.
- 10) Carney RM, Freedland KE. Depression, mortality, and medical morbidity in patients with coronary heart disease. *Biol Psychiatry*. 2003;54(3):241-7.
- 11) Steptoe A, Kivimäki M. Stress and Cardiovascular Disease: An Update on Current Knowledge. *Annu Rev Public Health*. 2013.
- 12) Kloner RA, Leor J, Poole WK, Perritt R. Population-based analysis of the effect of the Northridge Earthquake on cardiac death in Los Angeles County, California. *J Am Coll Cardiol*. 1997;30:1174-80.
- 13) Leor J, Poole WK, Kloner RA. Sudden cardiac death triggered by an earthquake. *N Engl J Med*. 1996;334:413-9.
- 14) Strike PC, Perkins-Porras L, Whitehead DL, McEwan J, Steptoe A. Triggering of acute coronary syndromes by physical exertion and anger: Clinical and sociodemographic characteristics. *Heart*. 2006;92(8):1035-40.
- 15) Jaakkola JJ. Case-crossover design in air pollution epidemiology. *European Respiratory Journal*. 2003;40:81s-5s.
- 16) Moller J, Theorell T, de Faire U, Ahlbom A, Hallqvist J. Work related stressful life events and the risk of myocardial infarction. Case-control and case-crossover analyses within the Stockholm heart epidemiology programme (SHEEP). *J Epidemiol Community Health*. 2005;59(1):23-30.
- 17) Karasek R, Baker D, Marxer F, Ahlbom A, Theorell T. Job decision latitude, job demands, and cardiovascular disease: a prospective study of Swedish men. *Am J Public Health*. 1981;71(7):694-705.
- 18) Siegrist J. Adverse health effects of high-effort/low-reward conditions. *J Occup Health Psychol*. 1996;1(1):27-41.
- 19) Fishta A, Backe EM. Psychosocial stress at work and cardiovascular diseases: an overview of systematic reviews. *Int Arch Occup Environ Health*. 2015;88(8):997-1014.
- 20) Fransson EI, Nyberg ST, Heikkila K, Alfredsson L, Bjorner JB, Borritz M, et al. Job strain and the risk of stroke: an individual-participant data meta-analysis. *Stroke*. 2015;46(2):557-9.
- 21) Kivimäki M, Nyberg ST, Batty GD, Fransson EI, Heikkila K, Alfredsson L, et al. Job strain as a risk factor for coronary heart disease: a collaborative meta-analysis of individual participant data. *Lancet*. 2012;380(9852):1491-7.
- 22) Kivimäki M, Kawachi I. Work Stress as a Risk

- Factor for Cardiovascular Disease. *Current Cardiology Reports*. 2015;17(9):630.
- 23) Kivimäki M, Head J, Ferrie JE, Shipley MJ, Steptoe A, Vahtera J, et al. Hypertension is not the link between job strain and coronary heart disease in the Whitehall II Study. *Am J Hypertens*. 2007;20(11):1146-53.
- 24) Schnall PL, Schwartz JE, Landsbergis PA, Warren K, Pickering TG. A longitudinal study of job strain and ambulatory blood pressure: results from a three-year follow-up. *Psychosom Med*. 1998;60(6):697-706.
- 25) Clays E, Leynen F, De Bacquer D, Kornitzer M, Kittel F, Karasek R, et al. High job strain and ambulatory blood pressure in middle-aged men and women from the Belgian job stress study. *J Occup Environ Med*. 2007;49(4):360-7.
- 26) Heraclides A, Chandola T, Witte DR, Brunner EJ. Psychosocial stress at work doubles the risk of type 2 diabetes in middle-aged women: evidence from the Whitehall II study. *Diabetes Care*. 2009;32(12):2230-5.
- 27) Heraclides AM, Chandola T, Witte DR, Brunner EJ. Work stress, obesity and the risk of type 2 diabetes: gender-specific bidirectional effect in the Whitehall II study. *Obesity (Silver Spring)*. 2012;20(2):428-33.
- 28) Tsutsumi A, Kayaba K, Ishikawa S, Gotoh T, Nago N, Yamada S, et al. Job characteristics and serum lipid profile in Japanese rural workers: The Jichi Medical School Cohort study. *J Epidemiol*. 2003;13(2):63-71.
- 29) Lynch J, Krause N, Kaplan GA, Salonen R, Salonen JT. Workplace demands, economic reward, and progression of carotid atherosclerosis. *Circulation*. 1997;96:302-7.
- 30) Chandola T, Britton A, Brunner E, Hemingway H, Malik M, Kumari M, et al. Work stress and coronary heart disease: what are the mechanisms? *Eur Heart J*. 2008;29(5):640-8.
- 31) Chandola T, Brunner E, Marmot M. Chronic stress at work and the metabolic syndrome: prospective study. *BMJ*. 2006;332:521-5.
- 32) Brunner EJ, Chandola T, Marmot MG. Prospective effect of job strain on general and central obesity in the Whitehall II Study. *Am J Epidemiol*. 2007;165(7):828-37.
- 33) Kivimäki M, Singh-Manoux A, Nyberg S, Jokela M, Virtanen M. Job strain and risk of obesity: systematic review and meta-analysis of cohort studies. *Int J Obesity*. 2015;39(11):1597-600.
- 34) Nyberg ST, Heikkilä K, Fransson EI, Alfredsson L, De Bacquer D, Björner JB, et al. Job strain in relation to body mass index: pooled analysis of 160 000 adults from 13 cohort studies. *J Intern Med*. 2011;272: 65-73.
- 35) Fransson EI, Stadin M, Nordin M, Malm D, Knutsson A, Alfredsson L, et al. The Association between Job Strain and Atrial Fibrillation: Results from the Swedish WOLF Study. *BioMed Research International*. 2015;2015:371905.
- 36) Hellerstedt WL, Jeffery RW. The association of job strain and health behaviours in men and women. *Int J Epidemiol*. 1997;26(3):575-83.
- 37) Landsbergis PA, Schnall PL, Deitz DK, Warren K, Pickering TG, Schwartz JE. Job strain and health behaviors: results of a prospective study. *Am J Health Promot*. 1998;12(4):237-45.
- 38) Bromet EJ, Dew MA, Parkinson DK, Schulberg HC. Predictive effects of occupational and marital stress on the mental health of a male workforce. *Journal of Organizational Behavior*. 1988;9:1-13.
- 39) Oliver G, Wardle J, Gibson EL. Stress and food choice: a laboratory study. *Psychosom Med*. 2000;62(6):853-65.
- 40) Fransson EI, Heikkilä K, Nyberg ST, Zins M, Westerlund H, Westerholm P, et al. Job strain as a risk factor for leisure-time physical inactivity: an individual-participant meta-analysis of up to 170,000 men and women: the IPD-Work Consortium. *Am J Epidemiol*. 2012;176(12):1078-89.
- 41) Siegrist J, Rödel A. Work stress and health risk behavior. *Scand J Work Environ Health*. 2006;32(6):473-81.
- 42) McEwen BS. Protective and damaging effects of stress mediators. *N Engl J Med*. 1998;338(3):171-9.
- 43) McEwen BS, Seeman T. Protective and damaging effects of mediators of stress. Elaborating and testing the concepts of allostasis and allostatic load. *Ann N Y Acad Sci*. 1999;896:30-47.
- 44) Brotman DJ, Golden SH, Wittstein IS. The cardiovascular toll of stress. *Lancet*. 2007;370(9592):1089-100.
- 45) Ulrich-Lai YM, Herman JP. Neural regulation of endocrine and autonomic stress responses. *Nat Rev Neurosci*. 2009;10(6):397-409.
- 46) Cohen S, Tyrrell DA, Smith AP. Psychological stress and susceptibility to the common cold. *N Engl J Med*. 1991;325(9):606-12.
- 47) Vrijkotte TGM, van Doornen LJP, de Geus EJC. Effects of work stress on ambulatory blood pressure, heart rate, and heart rate variability. *Hypertension*. 2000;35:880-6.
- 48) Steptoe A, Siegrist J, Kirschbaum C, Marmot M. Effort-reward imbalance, overcommitment, and measures of cortisol and blood pressure over the

- working day. *Psychosom Med.* 2004;66(3):323-9.
- 49) Kunz-Ebrecht SR, Kirschbaum C, Steptoe A. Work stress, socioeconomic status and neuroendocrine activation over the working day. *Soc Sci Med.* 2004;58(8):1523-30.
 - 50) Maes M, Song C, Lin A, De Jongh R, Van Gastel A, Kenis G, et al. The effects of psychological stress on humans: increased production of pro-inflammatory cytokines and a Th1-like response in stress-induced anxiety. *Cytokine.* 1998;10(4):313-8.
 - 51) Song C, Kenis G, van Gastel A, Bosmans E, Lin A, de Jong R, et al. Influence of psychological stress on immune-inflammatory variables in normal humans. Part II. Altered serum concentrations of natural anti-inflammatory agents and soluble membrane antigens of monocytes and T lymphocytes. *Psychiatry Res.* 1999;85(3):293-303.
 - 52) Lutgendorf SK, Garand L, Buckwalter KC, Reimer TT, Hong SY, Lubaroff DM. Life stress, mood disturbance, and elevated interleukin-6 in healthy older women. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 1999;54(9):M434-9.
 - 53) Black PH. The inflammatory consequences of psychologic stress: relationship to insulin resistance, obesity, atherosclerosis and diabetes mellitus, type II. Medical hypotheses. 2006;67(4):879-91.
 - 54) Black PH. The inflammatory response is an integral part of the stress response: Implications for atherosclerosis, insulin resistance, type II diabetes and metabolic syndrome X. *Brain Behav Immun.* 2003;17(5):350-64.
 - 55) Hamer M, Williams E, Vuonovirta R, Giacobazzi P, Gibson EL, Steptoe A. The effects of effort-reward imbalance on inflammatory and cardiovascular responses to mental stress. *Psychosom Med.* 2006;68(3):408-13.
 - 56) Taylor SE, Lehman BJ, Kiefe CI, Seeman TE. Relationship of early life stress and psychological functioning to adult C-reactive protein in the coronary artery risk development in young adults study. *Biol Psychiatry.* 2006;60(8):819-24.
 - 57) Eguchi H, Shimazu A, Kawakami N, Inoue A, Nakata A, Tsutsumi A. Work engagement and high-sensitivity C-reactive protein levels among Japanese workers: a 1-year prospective cohort study. *Int Arch Occup Environ Health.* 2015;88(6):651-8.
 - 58) Steptoe A, Owen N, Kunz-Ebrecht S, Mohamed-Ali V. Inflammatory cytokines, socioeconomic status, and acute stress responsivity. *Brain Behav Immun.* 2002;16(6):774-84.
 - 59) Moriates C, Maisel A. The utility of biomarkers in sorting out the complex patient. *Am J Med.* 2010;123(5):393-9.
 - 60) Ridker PM, Hennekens CH, Buring JE, Rifai N. C-reactive protein and other markers of inflammation in the prediction of cardiovascular disease in women. *N Engl J Med.* 2000;342(12):836-43.
 - 61) Ridker PM, Rifai N, Stampfer MJ, Hennekens CH. Plasma concentration of interleukin-6 and the risk of future myocardial infarction among apparently healthy men. *Circulation.* 2000;101(15):1767-72.
 - 62) Volpato S, Guralnik JM, Ferrucci L, Balfour J, Chaves P, Fried LP, et al. Cardiovascular disease, interleukin-6, and risk of mortality in older women: the women's health and aging study. *Circulation.* 2001;103(7):947-53.
 - 63) Yudkin JS, Kumari M, Humphries SE, Mohamed-Ali V. Inflammation, obesity, stress and coronary heart disease: is interleukin-6 the link? *Atherosclerosis.* 2000;148(2):209-14.
 - 64) Hirokawa K, Tsutsumi A, Kayaba K. Psychosocial job characteristics and plasma fibrinogen in Japanese male and female workers: the Jichi Medical School cohort study. *Atherosclerosis.* 2008;198(2):468-76.
 - 65) Markowe HLJ, Marmot MG, Shipley MJ, Bulpitt CJ, Meade TW, Stirling Y, et al. Fibrinogen: a possible link between social class and coronary heart disease. *BMJ.* 1985;291:1312-4.
 - 66) Tsutsumi A, Theorell T, Hallqvist J, Reuterwall C, de Faire U. Association between job characteristics and plasma fibrinogen in a normal working population: a cross sectional analysis on referents of the SHEEP study. *J Epidemiol Community Health.* 1999;53(6):348-54.
 - 67) Girod JP, Brotman DJ. Does altered glucocorticoid homeostasis increase cardiovascular risk? *Cardiovasc Res.* 2004;64(2):217-26.
 - 68) Marz P, Heese K, Hock C, Golombowski S, Muller-Spahn F, Rose-John S, et al. Interleukin-6 (IL-6) and soluble forms of IL-6 receptors are not altered in cerebrospinal fluid of Alzheimer's disease patients. *Neurosci Lett.* 1997;239(1):29-32.
 - 69) Bethin KE, Vogt SK, Muglia LJ. Interleukin-6 is an essential, corticotropin-releasing hormone-independent stimulator of the adrenal axis during immune system activation. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2000;97(16):9317-22.
 - 70) Goebel MU, Mills PJ, Irwin MR, Ziegler MG. Interleukin-6 and tumor necrosis factor-alpha production after acute psychological stress, exercise, and infused isoproterenol: differential effects and pathways. *Psychosom Med.* 2000;62(4):591-8.
 - 71) Huang QH, Takaki A, Arimura A. Central

- noradrenergic system modulates plasma interleukin-6 production by peripheral interleukin-1. *Am J Physiol.* 1997;273(2 Pt 2):R731-8.
- 72) Muller JE, Tofler GH, Stone PH. Circadian variation and triggers of onset of acute cardiovascular disease. *Circulation.* 1989;79(4):733-43.
- 73) Muller JE, Abela GS, Nesto RW, Tofler GH. Triggers, acute risk factors and vulnerable plaques: the lexicon of a new frontier. *J Am Coll Cardiol.* 1994;23(3):809-13.
- 74) Kario K, Matsuo T, Kobayashi H, Yamamoto K, Shimada K. Earthquake-induced potentiation of acute risk factors in hypertensive elderly patients: possible triggering of cardiovascular events after a major earthquake. *J Am Coll Cardiol.* 1997;29(5):926-33.
- 75) Yamabe H, Hanaoka J, Funakoshi T, Iwahashi M, Takeuchi M, Saito K, et al. Deep negative T waves and abnormal cardiac sympathetic image (123I-MIBG) after the Great Hanshin Earthquake of 1995. *Am J Med Sci.* 1996;311(5):221-4.
- 76) Watanabe H, Kodama M, Okura Y, Aizawa Y, Tanabe N, Chinushi M, et al. Impact of earthquakes on Takotsubo cardiomyopathy. *JAMA.* 2005;294(3):305-7.
- 77) Folkman S, Lazarus RS, Dunkel-Schetter C, DeLongis A, Gruen RJ. Dynamics of a stressful encounter: cognitive appraisal, coping, and encounter outcomes. *J Pers Soc Psychol.* 1986;50(5):992-1003.
- 78) Nabi H, Kivimäki M, Batty GD, Shipley MJ, Britton A, Brunner EJ, et al. Increased risk of coronary heart disease among individuals reporting adverse impact of stress on their health: the Whitehall II prospective cohort study. *Eur Heart J.* 2013;34(34):2697-705.
- 79) Caspi A, Sugden K, Moffitt TE, Taylor A, Craig IW, Harrington H, et al. Influence of life stress on depression: moderation by a polymorphism in the 5-HTT gene. *Science.* 2003;301(5631):386-9.
- 80) Risch N, Herrell R, Lehner T, Liang KY, Eaves L, Hoh J, et al. Interaction between the serotonin transporter gene (5-HTTLPR), stressful life events, and risk of depression: a meta-analysis. *JAMA.* 2009;301(23):2462-71.
- 81) Meaney MJ. Epigenetics and the biological definition of gene x environment interactions. *Child Dev.* 2010;81(1):41-79.
- 82) Virtanen M, Heikkilä K, Jokela M, Ferrie JE, Batty GD, Vahtera J, et al. Long working hours and coronary heart disease: a systematic review and meta-analysis. *Am J Epidemiol.* 2012;176(7):586-96.
- 83) Kivimäki M, Jokela M, Nyberg ST, Singh-Manoux A, Fransson EI, Alfredsson L, et al. Long working hours and risk of coronary heart disease and stroke: a systematic review and meta-analysis of published and unpublished data for 603,838 individuals. *Lancet.* 2015;386(10005):1739-46.
- 84) Härmä M. Workhours in relation to work stress, recovery and health. *Scand J Work Environ Health.* 2006;32(6):502-14.
- 85) van der Hulst M. Long workhours and health. *Scand J Work Environ Health.* 2003;29(3):171-88.
- 86) Virtanen M, Ferrie JE, Gimeno D, Vahtera J, Elovainio M, Singh-Manoux A, et al. Long working hours and sleep disturbances: the Whitehall II prospective cohort study. *Sleep.* 2009;32(6):737-45.
- 87) Ayas NT, White DP, Manson JE, Stampfer MJ, Speizer FE, Malhotra A, et al. A prospective study of sleep duration and coronary heart disease in women. *Arch Intern Med.* 2003;163(2):205-9.
- 88) Gottlieb DJ, Redline S, Nieto FJ, Baldwin CM, Newman AB, Resnick HE, et al. Association of usual sleep duration with hypertension: the Sleep Heart Health Study. *Sleep.* 2006;29(8):1009-14.
- 89) Kaneita Y, Uchiyama M, Yoshiike N, Ohida T. Associations of usual sleep duration with serum lipid and lipoprotein levels. *Sleep.* 2008;31(5):645-52.
- 90) Ayas NT, White DP, Al-Delaimy WK, Manson JE, Stampfer MJ, Speizer FE, et al. A prospective study of self-reported sleep duration and incident diabetes in women. *Diabetes Care.* 2003;26(2):380-4.
- 91) Spiegel K, Tasali E, Penev P, Van Cauter E. Brief communication: Sleep curtailment in healthy young men is associated with decreased leptin levels, elevated ghrelin levels, and increased hunger and appetite. *Ann Int Med.* 2004;141(11):846-50.
- 92) Perk J, De Backer G, Gohlke H, Graham I, Reiner Z, Verschuren WM, et al. European guidelines on cardiovascular disease prevention in clinical practice (version 2012) : the fifth joint task force of the European society of cardiology and other societies on cardiovascular disease prevention in clinical practice (constituted by representatives of nine societies and by invited experts). *Int J Behav Med.* 2012;19(4):403-88.
- 93) Halonen JI, Hansell AL, Gulliver J, Morley D, Blangiardo M, Fecht D, et al. Road traffic noise is associated with increased cardiovascular morbidity and mortality and all-cause mortality in London. *Eur Heart J.* 2015;36(39):2653-61.
- 94) Sokejima S, Kagamimori S. Working hours as a risk factor for acute myocardial infarction in Japan: case-control study. *BMJ.* 1998;317(7161):775-80.

焦 点

航空エンジンの PM 排出基準について *

藤 原 仁 志 **

1. はじめに

民間航空機のエンジン排気ガス中の微粒子（以下 PM: Particulate Matter）の規制については、30 年以上前の 1970 年代に、航空エンジンから目に見える黒煙を出さないようにするという目的から Smoke Number を用いた規制が制定され、実際に、空港で、黒煙を出しながら離着陸するような民間航空機は一切見当たらなくなった。一方で、あくまで排気の見目が規制の根本にあるため、エンジンの排気ノズルがコアとバイパスに分離されている場合は、コアのみの排気ガスの Smoke Number が規制対象になるのに対し、コアとバイパスを混合して排出する Mixed Nozzle のエンジンでは、コアとバイパス混合後の排気ガスの Smoke Number が規制の対象となっているなど、実際の PM 排出量とは必ずしも対応していないという課題もある。近年、PM に対する人体や大気環境への影響への懸念が高まり、航空エンジンに関しても、見た目に黒煙を出していないというレベルではなく、実際に大気中に排出している PM を詳細に計測し、その量を可能な限り減らしていくことが求められている。また、NO_x や CO といった有害排出気体とは異なり、PM に関しては質量の合計のみならず、粒子数に関しても規制の対象となっていく見通しである。こ

の背景には、航空エンジンの排出する PM の平均粒径が数十 nm と非常に小さいとされていることから、あまり質量の合計に寄与しない小さな PM が大量に発生した場合の人体への影響や、大気中に PM を多数排出することによる飛行機雲その他の気候変動への影響に対する懸念がある。本稿では、ICAO CAEP で検討中の航空機排出 PM 規制に関する現状と、今後の課題や展望について報告する。

2. 現在の航空エンジンの PM 規制

航空エンジンの排気ガス中の PM については、シカゴ条約 Annex 16 Volume 2 に指定の方法によって計測された SN (Smoke Number) の値で評価されている。具体的には、所定の白色フィルタ (Whatman No.4) に 1m² あたり 16.2kg の排気ガスを通過させ、汚れたフィルタの光の反射率を計測し、

R_w : 使用前のフィルタの反射率、

R_s : 排気ガス通過後のフィルタの反射率、

$$SN = 100 \times (1 - R_s/R_w)$$

として SN を求める。SN の範囲は 0 から 100 までで、大きい程 PM の排出量が多い。実際の計測には SAE1179 の規格に対応した専用の計測装置を用いる。一般に、SN は排気ガス中の PM の質量密度 [mg/m³] と強い相関があるとされており、いくつかの理論式も提案されている。概要を把握するため、弊所で航空エンジン用の燃焼器を模擬したモデルを用いた燃焼試験を行って、その排気ガスの SN と、AVL 社製 AVL415S で簡易的に表示され

* Particulate Matter emission standard for aircraft engines

** 国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構 主任研究員

る PM の質量密度の相関を取ったグラフを図 1 に表示する。

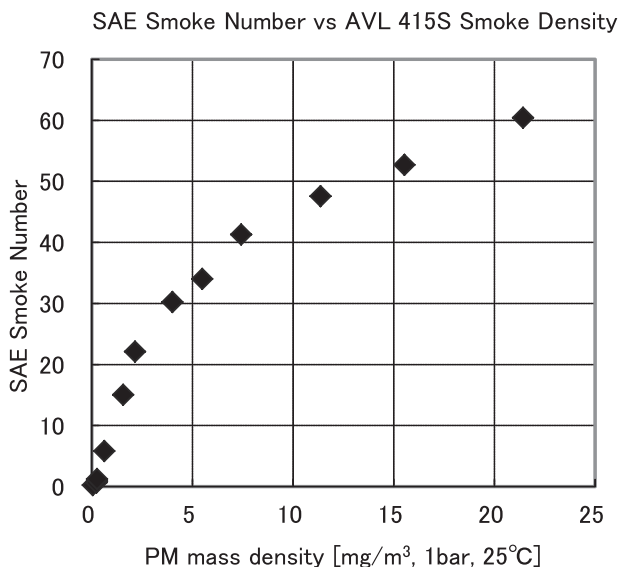


図 1. SN と PM 質量密度の比較

規制値については、地上静止でのエンジン運転出力の LTO サイクル 4 条件（7%, 30%, 85%, 100%）において、定格推力 F_{∞} [kN] に対して、SN が $83.6(F_{\infty})^{-0.274}$ または 50 のどちらよりも小さくならなければならないことになっている。例えば、定格推力が 6 万ポンド（ $F_{\infty}=266$ kN）のエンジンの規制値は

$$SN = 83.6 \times 266^{-0.274} = 18.1$$

となり、SN は 18.1 未満でなければならない。ちなみに、図 1 を見ると、SN=18 の排気ガスの PM 質量密度は 2 mg/m³ 程度と考えられる。

3. 新しい航空エンジン PM 規制に向けた動向

3.1 PM の計測方法

CAEP では Working Group 3 の中に、PM task group という専門チームを設けて、新しい PM の規制に向けた検討作業を行っている。航空エンジンの規制対象となる PM の範囲は“engine generated non-volatile carbonaceous PM mass and number”（エンジンから出る不揮発性の炭素系 PM の質量と数）と明記されており、元素状炭素 EC (Elemental

Carbon) に相当すると思われる。その他、炭素系以外の微粒子や、一般に OC (Organic Carbon) と呼ばれる未燃の炭化水素を主成分とする揮発性の微粒子は規制の対象とならない。なお、PM task group では、米国 FAA や EPA (Environmental Protection Agency)、欧州 EASA などの国の機関や、大学、研究所、製造メーカーが参加して議論を行っており、日本からも委員が技術検討に参加している。まだ解決すべき課題がいくつかあるものの、CAEP10 会合で、概ね最終目標とする航空エンジンの PM 計測手法の全体像が提示されたが、その主要部分については SAE International の発行する AIR6241¹⁾ に掲載されている。

新しい PM の計測システムでも、航空エンジンからの排気ガス採取には、これまでと同様なプローブを用いる。採取された排気ガスは、未燃炭化水素が液化して壁面に付着することが無いよう 160℃ 程度に加熱された配管で運び、これまでと同様な NO_x, CO, THC および SN の計測は、その配管から分岐して得た排気ガスで行う。分岐の後、PM の質量密度が計測可能なように、排気ガスを 10 倍程度に希釈する。希釈後は、航空エンジン排気ガスでは水分凝結による PM への影響が無いとされる下限値の 60℃ を保った配管で、1 μm 以上の PM を取り除くサイクロンへと送られる。

PM の質量密度については、サイクロンを出た排気をそのまま計測する。PM の質量密度については、光音響法 PASS (Photo Acoustic Soot Sensor)、もしくは、LII (Laser Induced Incandescence) を用いた連続計測を行う。

PM の数密度については、径が小さいが数の多い揮発成分を取り除くため、さらに、Volatile Particle Remover (VPR) を通してから、不揮発性の PM のみを Condensation Particle Counter (CPC) に導入して計測を行う。VPR 内では、触媒反応や加熱を行い、揮

発成分を除去すると共に、さらに10倍程度の希釈を行ってCPCで計測可能なように数密度を下げる。航空エンジン排出PMは平均粒径が数十nmとなるとされていることから、CPCの仕様はD50=10nm（直径10nm以上の粒子を50%以上捕捉可能）、D90=15nm（同15nm以上のPMを90%以上捕捉可能）とするよう定められている。

3.2 PM計測時の配管付着による損失

上記のPM計測システムにおいては、エンジンで排気ガスを採取してから計測器に到達するまでの、拡散損失(diffusion loss)と熱泳動損失(thermophoretic loss)の二つのPMの損失を考慮するよう定められている¹⁾。

3.2.1 拡散損失

PMが、配管を移動中に拡散によって管壁に付着して損失する(密度が下がる)効果については図2のように考えられる。

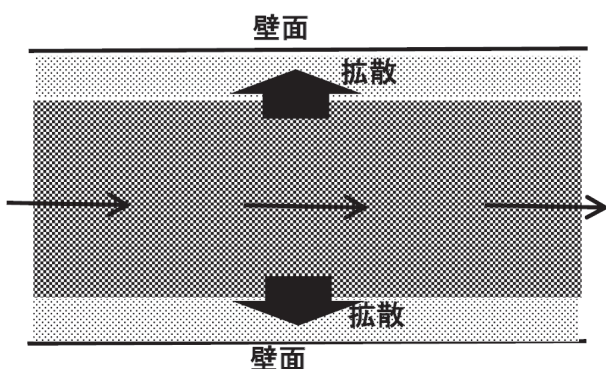


図2. PM密度の拡散

管内の流れが完全な層流であると仮定しても、PM粒子はブラウン運動、すなわち、管内の排気ガス分子がPM粒子への衝突を繰り返すことによる不規則な運動をすると考えられる。ちなみに、PM粒子は20nm程度以上の大きさに対し、ガス分子は0.1nm程度の大きさである。このブラウン運動により、壁面付近を移動していたPM粒子の一部が壁面に衝突・付着し、壁面付近のPM密度(数密度、質量密度)は中心軸付近より小さくなり、図2のような密度差が生じると考えられる。こ

の時、PM密度が濃い方から薄い方にPMが移動するのが拡散現象で、この拡散率の大小によって、壁面への付着量も変化すると考えられる。PM密度 Φ にy方向の分布がある時、拡散係数を D とすると、y方向へ単位面積を単位時間に移動するPMの量 J は、Fickの第1法則より

$$J = -D \frac{\partial \Phi}{\partial y}$$

と書ける。PMの拡散損失は、この拡散係数 D の関数となる²⁾。

拡散係数 D について、今、PM粒子のブラウン運動の流速を V 、PM粒子の粒径を D_p 、排気ガスの粘性係数を μ とすると、レイノズル数が極めて小さいため、速度 V で移動するPM粒子に作用する抗力 F は、ストークスの粘性法則により

$$F = 3\pi\mu D_p V$$

と表せる。ここで、

$$B = F/V = 3\pi\mu D_p$$

を移動度(粒子に加わる力に対する粒子速度の割合)と呼び、Stokes-Einsteinの式によると、上記拡散係数 D は

$$D = kTB = \frac{kT}{3\pi\mu D_p}$$

と求められる($k=1.38 \times 10^{-23}$ [J/K]はボルツマン定数、 T はガス温度[K])。さらに正確には、PMの粒径 D_p が、排気ガスの平均自由行程 λ (常温常圧空気では60~70nm)と同程度以下となる希薄流体の流れでは、ストークスの流れのように壁面で流速0とならず、PM粒子壁面でのすべりを補正するCunningham slip correction factor

$$C_c = 1 + 2.7(\lambda/C_p)$$

を考慮する必要がある、最終的に、

$$D = \frac{kTC_c}{3\pi\mu D_p}$$

となる²⁾。希薄流体では、壁面でのすべりに

よるせん断応力低下の影響で、PM 粒子に作用する抗力係数が実質的に低下することに対応していると考えられる。PM の損失率を拡散係数 D から求める式については省略するが、拡散係数 D 、および、拡散損失率が、PM の粒径 D_p の関数となっている点は重要である。

排気ガスの平均粒径が数十 nm の場合、拡散損失によって、エンジン排気中の PM 数が計測器に到達するまでに、最大で約 9 割減じ、1 割程度しか到達しない場合があるとされている。原因について考えると、まず、エンジン試験での計測に必要な配管の長さが数十 m に達し、極めて長いことや、VPR における揮発性成分の拡散損失が大きいことが挙げられる。拡散損失については、平均粒径が大きくなるほど少なくなる。また、質量密度に関しては、数密度より損失割合が少なめなると見込まれている。

損失率が大きいこと自体は、それを適切に補正すれば問題が無いが、補正には、誤差が多く含まれると考えられる。例えば、計測配管の排気ガス流のレイノルズ数を計算すると、数千程度となり、完全に層流であると言いきれない部分がある。また、配管の壁面粗さや、ちょっとした曲りによっても損失量に変化する可能性があるのではないかと。航空エンジンの PM 数密度を安定して計測できるよう、これから、計測例を増やして経験を積むと共に、それらから得られるデータを元に、損失量の計算方法をよく検証していくことが必要と考えられる。

3. 2. 2 熱泳動損失

温度勾配のある気流中の微小粒子が、高温側の気体から受ける運動量は、低温側の気体から受ける運動量よりも大きくなり、微小粒子が低温側に移動する現象を熱泳動と呼ぶ³⁾。その影響は、粒子の径が、周囲の気体の平均自由行程 λ に比して小さい場合に大きくなるとされており、航空エンジン排出 PM 粒子にはこの影響があると言える³⁾。航空エンジン

の排気ガス温度は、配管温度よりかなり高い場合があると考えられ、その場合、配管内の排気ガス温度の方が配管壁面の温度より高くなる。この時、図 3 に示す通り、PM 粒子は、徐々に壁面の方に押されていく熱泳動力が働き、配管への付着につながると考えられる。

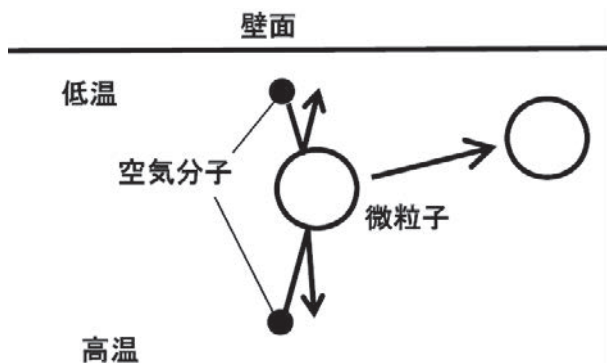


図 3. PM 計測配管内の PM 粒子の熱泳動

この影響による PM 粒子の損失率は、概ね、エンジン排気ガスの絶対温度と、配管の絶対温度の比によって推測されるとされており、比較的単純で、エンジン排気温度による PM 計測値の差異を補正する意味でも比較的安定した補正が可能と考えられる。

4. まとめ

現在、ICAO CAEP の PM task group で検討中の PM の数密度と質量密度の計測システムについて AIR6241 の資料を元に、現在の検討状況をまとめた。PM task group では、最終的に、PM に関しても、NO_x と同様に、Emission Index、つまり単位燃料消費量に対して排出する PM の質量や数で表記し、それを元に LTO サイクルでの質量と数の総排出量での規制が行えることを目標としている。この方法が実現すれば、現在の Smoke Number での規制の方法が抱える課題を解決することが可能であり、今後の PM 排出削減にもつながると考えられる。一方で、航空エンジンは、これまで PM の質量密度のみに着目して燃焼器の開発を行ってきたため、排

出する PM の質量は少ないが、粒径の小さな PM が多量に発生して排出 PM の個数が増えるような燃焼状態があるのかどうかについては、よく分かっていない。また、上記の通り、航空エンジン排出 PM の平均粒径が小さいことから生じる拡散損失の問題を技術的に解決していくことが必須であり、特に数密度に関しては、その点が重要になると考えられる。このためには、壁面への付着が少ない配管の利用、損失の少ない希釈器や揮発性粒子除去方法の開発、もしくは、システム全体としての PM 損失率を計測等によって事前に検定してから、エンジン排気の計測を行うなど、

これまでの検討には無い新たな方向性が必要と考えられ、これらに関して、優れた要素技術を有する我が国の技術的な貢献がなされることが期待される。

参考文献

- 1) "Procedure for the Continuous Sampling and Measurement of Non-Volatile Particle Emissions from Aircraft Turbine Engines", AIR 6241, SAE International, 2013.
- 2) Abhijit Guha, "Transport and Deposition of Particles in Turbulent and Laminar Flow", Annual Review of Fluid Mechanics, Vol.40, pp.311-341.
- 3) 鈴木佐夜香、桑名一徳、土橋律、「すすの熱泳動挙動の予測手法に関する研究」、日本燃焼学会誌、第 52 巻 159 号 (2010), pp.68-75.

焦 点

次世代の航空機の運航に関する世界的動向 *

山 根 厚 志 **

1. はじめに

今日、世界では一日に数万機の航空機が飛行しています。その中には、古いタイプの航空機もあれば最新鋭のジェット旅客機も飛んでいます。世界経済のグローバル化と世界中での人・物の移動の活発化により、航空利用者の数が増え、航空便の運航も増大しています。特に、アジア地域においては航空需要が2030年頃までに毎年7%程度の伸びがあると予想されており、最新鋭のジェット旅客機が増々導入されていくものと思われます。

次世代の航空機は、基本的にはGPS等により自機の位置を確認し、コンピューターで操縦を制御しながら決められた飛行計画に従って運航することができます。今後、更に性能を向上させ、より正確で緻密な運航を目指して研究開発が進められると考えられます。現在は、空間的な位置を制御した運航(3D)となっていますが、更に時間制御を加えた4Dの運航を取り入れて、経済性や安全性、快適性、環境適合性に優れた次世代の航空機の開発が進められると思われます。そして、性能の向上した航空機では、新しい運航方式が可能となり、交通容量を拡大させるとともにより安全で快適、環境にやさしい運航を取り入れようとして各国では研究と実用化が進んでいます。このような最新の航空機による新しい運

航方式について、概要を紹介し世界的な動向を述べてみたいと思います。

2. 航空機の運航の仕組み

航空機の飛行方式には、パイロットが目視により、自機の位置や周囲の状況を確認しながら安全を維持して飛行する有視界飛行方式(VFR)と航空機が航空管制官の与える指示に常時従って飛行する計器飛行方式(IFR)があります。VFRでは、飛行方法を適切に実施するためにある程度良好な気象条件が必要ですが、IFRでは、あらかじめ決められた飛行方法を航空機の機能と航行援助装置(航空管制システムを含む)に従って飛行するので、基本、気象条件には左右されずに運航できます。しかし、決められた飛行方法を守る必要があります。

最近の航空機は、自動操縦の機能が充実しています。パイロットが操縦するというよりはコンピューターで飛行しているという方があっているかもしれません。コックピット(操縦室)内には、以前のように操縦のための計器が所狭しに並んでいるというよりは、操縦装置(ハンドル)等のマニュアル操作に対応する装置もありますが、必要な情報(進路や上昇、降下の状況等)が映し出されるモニターとデータを入力する装置があるというような、一種パソコンを操作するような感じとなっています。もちろん、これらの装置の形状や配置は、人間工学的に改善されて最適な操縦(運航)環境が作られています。

* Worldwide Trend of Advanced Flight Operations of Aircraft

** 一般財団法人航空交通管制協会 空域計画部長

従来は、VOR^{*1}、ILS^{*2}、DME^{*3}と言った地上設置型の航行援助施設を使うので、その施設の種類、位置、能力に応じて限られた飛行経路や飛行の方法をすることしかできませんでしたが、最近では、GPSの電波を受信して自機の位置を絶えず把握できますので、運航管理システム（FMS）を使って任意の経路や位置を繋いで飛行することが可能になっています。

これが、広域航法（RNAV）といわれるもので、RNAVはFMSがあって初めて成り立つ航法です。FMSは、Flight Management Systemが名称で、航法センサー、航空保安無線施設からの電波を受信する装置、並びに航法データベースと航空機の性能データベースを有するコンピューターによって構成され、メーカーにより仕様が若干異なりますが、あらかじめ入力した飛行計画に従って自動で航空機を操縦する装置ということになります。最近のものは、航法センサーが衛星航法にも対応するので、緯度経度（世界共通の座標、航空ではWGS-84座標系が使われます）で表される地点と、そこへ向かう飛行の方法がNAV DATAと言われる共通の仕様で入力される必要があります。こうして、RNAVでは計画した地点を結んだ飛行が可能になります。

^{*1} 超短波全方向式無線標識施設、^{*2} 計器着陸用システム、

^{*3} 距離測定装置

3. 次世代の運航方式の一般的な動向

最近では、RNAV航法は性能準拠型航法（PBN）と呼ばれます。PBNは、Performance Based Navigationと言われるもので、特定経路及び空域において必要とされ

る運航上の要件が規定される航法です。PBNには、航法性能に関する監視警報機能を必要としない運航（RNAV）と監視警報機能を必要とする運航（RNP）に分類されます。ここでいうRNAVは、広域航法（RNAV）という広義の括りの中で、監視警報機能の有無で分類した狭義の意味として扱われます。PBNは、航空機の運航性能にいくつかの要件を定めているので、その要件の違いで飛行可能な方法が決められます。

PBNにおいては、全地球的航法衛星システム（GNSS）を使えば、地球規模でシームレスな航法サービスが受けられます。GNSSは、GPSなどの測位システムや静止衛星型衛星航法補強システム（SBAS）、地上型衛星航法補強システム（GBAS）、または航空機搭載型衛星航法補強システム（ABAS）により構成されますが、現時点では、各国、地域のサービスレベルに差があり、シームレスなサービス提供に取り組んでいる途上になります。我が国や欧米の主要な空域では、サービスレベルが高く、最新の航空機材や高性能なFMSを搭載することで最先端かつ多様なPBNが可能となっています。PBNでは、運航性能要件によって実践可能なRNAV/RNPの種類が決められます。また、該当する種類の実施能力があることを証明する航行許可が必要になります。

現在、ICAOが整理しているPBNの種類は、次図のようになっています。我が国では導入済みのもの（RNAV1、RNAV5、RNP APCH、RNP-AR APCH）と、残りは、今後段階的な導入整備を目指す予定となっています。

ここで、RNAV/RNPの後の数字は、当該

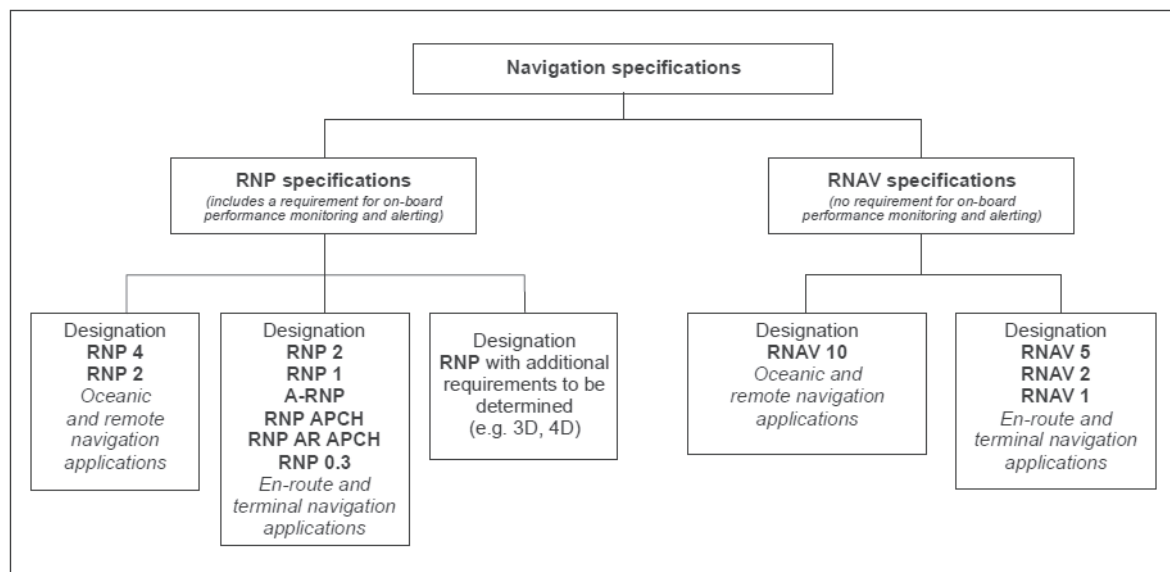


図-1 航法仕様の関係図

航法に求められる精度を表し、全飛行時間の95%において達成される飛行コースのばらつきの範囲を表しています。数字が小さいほど誤差が小さく、決められた経路を飛行する能力が高くなるので、取り扱う交通量の空域密度を上げることが可能になります。また、障害物との間隔を取る幅が狭くなるので、地形条件の影響を受けにくい進入・出発の方式が設定可能になります。特に、RNP-AR APCH（特別な承認が必要な RNP 進入方式）は、曲線経路を含めて経路を精度よく飛行することが可能な場合に許可される飛行の方式です。

4. 空港における最新の進入出発方式

4.1 連続降下運航方式

連続降下運航方式（CDA または CDO と2通りの略語）は、巡航から最終進入まで途中で水平飛行をせずに連続的な降下をする方式で、逆に、出発機が連続的に上昇する連続上昇運航方式（CCO）も研究されています。CDA/CDO は、世界的には、欧米の主要空港で実用化されています。

どちらも効率的な降下、上昇を目指すものですが、空港近傍において安定した交通流を

形成し、相当の交通量进行处理または他の管制対象機との調和を目指すには、正確な通過時間と通過高度の予測が重要であり、航空機の機上監視と FMS で制御することになります。将来的には、四次元軌道ベース運用（4D-TBO）が研究されています。これらの運航方式は、交通状況、空域条件や気象条件等に左右されますが、いずれもコンピューターで計算された支援情報に基づき、管制機関が最適な方法、タイミングを判断することになります。

欧米ではいち早く取り入れられていますが、運用試行中のところが多く、広範囲には実用化されていません。フランクフルト空港では、CDA を騒音配慮のためと航空交通量が少ない夜間の22時以降の到着機に適用しています。我が国では、那覇空港で平成26年6月から、鹿児島空港で平成27年10月からCDOの試行運用が実施されました。

海外の実用例として、ロンドン・ヒースロー空港においては、通常、到着機は4箇所の待機経路の一か所が割り当てられます。何れの待機経路も最低維持高度は7,000フィートとなっており、各待機経路内の航空機の数、繁忙度合いや進入方向によって増減します。



図-2 ロンドンヒースロー国際空港における到着経路

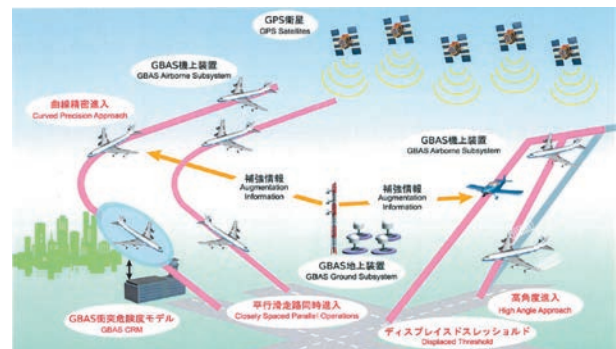
待機経路からの離脱は、管制官からレーダー誘導かCDAによる降下開始の指示が出されることによって始まります。CDA方式では、FMSのV-NAV機能（Vertical Navigation：垂直方向の航法）の利用により、パイロットは操縦負荷も軽減されます。一時的な水平飛行を行うことによる推力の増加が無いことや最終進入経路会合点をより高く設定することが可能となり、騒音を軽減させるメリットにもなったと報告されています。²⁾

米国のアトランタ空港等でも、CDAは、Optimized Profile Descent（最適プロファイル降下方式）として実用化されています。また、サンフランシスコ空港等では、より独創的なTailored Arrival方式と呼ばれる同種の方式が実用化されています。

4.2 GNSSを利用した進入着陸方式

日本のように平野部が少ないところでは、空港が山に近い場所に立地することが多く、運航方式は地形の影響を受けやすい状況にあります。また、利便性の点から都市部に近い場所に空港がある場合にも、環境に配慮した運航が求められます。これら地形や周辺環境の制約に対して柔軟に対応すべく新たな運航方式が検討されています。このように高度な飛行を行うには、GNSS等技術的に可能にするシステムが必要であり、特に、GBASの特徴を十分に生かした飛行方式は開発途上で、今後の進展が期待されています。先進的な運航方式は、制約条件の軽減のみならず、空港や空域の処理容量の拡大、燃料消費や騒音・

排出ガス削減等の効率的な運航を可能にするものでもあります。更には、RFレグという曲線固定経路の飛行により、経路の短縮効果が多く得られたり、住宅地上空を避けるなど環境に配慮した経路を設定するケースが多くなります。

図-3 地上型衛星航法補強システム（GBAS）の概念¹⁾

4.3 地上型衛星航法補強システム（GBAS）

新たな運航方式として世界的にも期待の高いGBASについて、もう少し詳しく説明したいと思います。GBAS（Ground-Based Augmentation Systems：地上型衛星航法補強システム）は、GPS等の衛星測距システムを補強する方法の一つで、地上に設置したGBAS装置からGPS等の電波の状況を確認し、航空に求められる要件を満たすように補強情報を送信します。GBASの電波を受信した航空機は、空港発着時に柔軟な運航が可能になります。GBASは、地上装置と機上装置で構成され、地上装置は複数の基準局、補強情報を生成するGBAS処理装置、VDB（VHF Data Broadcast）送信装置からなりますが、補強情報には、GPS擬似距離補正值、完全性情報及び進入着陸経路の情報が含まれます。¹⁾

GBASの特徴としては、曲線経路を含めた精密進入やDisplaced Threshold（着陸接地点移動進入方式）、高角度進入、同時並行進入等が可能になります。GBASを用いた航空機の進入着陸システムがGLS（GBAS Landing System）と呼ばれるもので、TAP（ターミナルエリアパス機能）により提供さ

れる経路情報を受信して、GBAS 機上装置が FMS とリンクして指定される経路を制御しながら飛行します。GLS 進入方式は、環境負荷の低減、経路短縮効果、最低気象条件の低減、及び空港の発着容量の拡大・安定化にも役立つものと考えられています。

GBAS の開発導入は最近のことであり、世界的にも実用化されている空港は少ない状況です。英国のロンドン・ヒースロー空港、ドイツのフランクフルト空港、オーストラリアのシドニー空港等が代表的です。初期段階では、施設規模や飛行方式の内容も基本的であり、曲線進入など段階的に高度な方式が導入されていくものと考えられます。導入の進展は、GBAS 機上装置の整備状況にも関係しますが、B787 や A350 など最新の航空機には GBAS が標準装備されていますし、搭載機材も増えています。

我が国では、2010 年頃から研究が進み、GBAS 進入方式の試験飛行が関西空港と石垣空港で実施されています。電子航法研究所などが、電波が電離層の影響を受けるなどの課題の研究に取り組まれています。また、GBAS 等の新たな運航方式については、飛行方式設定基準等の運航に必要なルールも未整備であることから、基準の整備も併せて必要になります。

海外の空港での実用例として、フランクフルト空港では、2014 年 9 月 3 日から GBAS 精密進入方式 (GLS) が CAT-I^{*4} で運用されています。また、公示はされていないものの 3.2 度の高角度進入方式も試験的に実施されています。GLS と ILS による同時並行運用を行って、着陸機の間隔を短縮する効果が実践されています。将来的には、RNP 到着方式と組み合わせた CAT-II/III 運用、Segmented landing approach (特定地域を避けた迂回経路を活用した進入方式) への活用が期待されています。いずれにしても、新型機は新たな運航方式に対応できるが旧式の航空機が対応

できないため、空港全体として発着容量拡大などメリットの向上の足かせとなっているようです。²⁾

*4 精密進入方式のカテゴリーは I～III があり、数字が大きいほどシステムの能力のレベルが上がるとともに決心高が低くなり、カテゴリー III では、基本、航空機は滑走路に接地するまで自動着陸を行います。

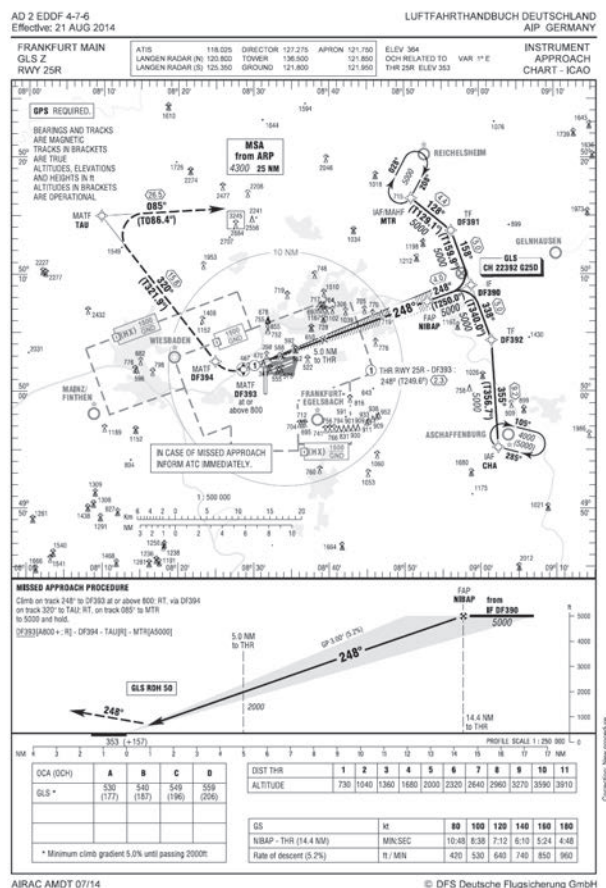


図-4 フランクフルト空港のGLS RWY25R進入方式(降下角3.0°)

シドニー空港においては、最新の運航方式として、GBAS 進入方式 (GLS) が実用化されています。GLS は技術的には CAT II 運用も可能ですが、シドニーは比較的天候に恵まれており、安定性から現時点では CAT I で運用されています。しかし、パイロットの資格や航空機材が十分に適合しておらず、実施できない場合も多いようです。3 本の滑走路の両方向、計 6 つの GLS 進入方式が公示されており、いずれも直線経路を用いた基本的な進入方式です。

6. 今後の動向

我が国では、2010年に国土交通省航空局が「将来の航空交通システムに関する長期ビジョン（CARATS）」を公表しています。これは、ICAOが目指した世界規模の航空交通管理に関する指針に従い、我が国としての長期計画を策定したものです。欧州（SESAR）、米国（NextGen）でも同様な計画が策定され、それぞれが、軌道ベース運用（TBO）、4次元RNAVなど運航に関する新たな技術や施策の開発導入に取り組んでいます。

ICAOでは、2013年にはGlobal Navigation Plan（GANP）が改訂され、2028年までの全世界的なシームレススカイを目指した各国、各地域の整備方針や年次目標等を提言としてまとめています。GANPの具体的な整備内容をまとめたものがAviation System Block Upgrades（ASBU）というもので、分野別の具体的な技術内容、要件及び導入プロセスを整理して、関係各国に達成することを奨励しています。我が国も、国際的な協調の上で、CARATS等の活動に反映されています。また、航空需要と交通量の飛躍的な増大が予想されるアジア太平洋地域においてシームレススカイを実現するため、周辺各国等と歩調を合わせた開発導入や途上国への技術的支援等にも積極的に取り組んでいます。

7. まとめ／おわりに

次世代の航空機による運航について、世界的な動向を概略的にまとめました。航空機材は高価なものであり、最新の運航能力の高い航空機の導入が急激に進むとは考えにくく、PBNなどの高度化した航法またはCNS/ATMシステムと言われるものに対応できない航空機も多く残存して、しばらくは従来型の運航方式と共存すると思われます。新たな運航方式には、それに対応することが可能な航空機に対しては経路の短縮や燃費の向上等メリットと一体化することも必要かもしれません。そうすることで、新型機材の導入または新型の航法機能への改善が進むことも考えられ、航空環境面からは共存のために柔軟な対応ができることになるかもしれません。運航の安全や効率化、航空交通の発展と環境との調和は、どのような技術レベルにおいても考慮されなければならない基本だと思われます。本稿が、航空環境に関係する方々にも何らかの知識として役立つことを願いたいと思います。

参考文献

- 1) 国立研究開発法人電子航法研究所 2015年度要覧
- 2) 海外主要空港周辺における環境に配慮した運航方式の現状と騒音軽減のための調査報告書（空環境 2014年度調査）

焦 点

国産民間旅客機「MRJ」の低騒音化設計*

林 賢 亮**

1. はじめに

2015年11月11日、MRJ (Mitsubishi Regional Jet) が初飛行を迎えた。

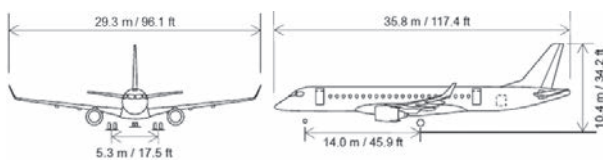
MRJ は 2008 年より開発が始まった、日本にとって約 50 年ぶりの国産旅客機である。



図1 MRJの初飛行

2. MRJの参入するリージョナルマーケット

MRJ は 90 席 型 の MRJ90 と 70 席 型 の MRJ70 で 構 成 さ れ て お り 、 地 域 間 の 運 用 を 想 定 さ れ た 客 席 数 60 ～ 100 席 ク ラ ス の リ ー ジ ョ ナ ル ジ ェ ャ ッ ト と 呼 ば れ る カ テ ゴ リ に 分 類 さ れ る 機 体 で あ る 。



機体諸元	全長	35.8 m (117.4 ft)
	全幅	29.3 m (96.1 ft)
	全高	10.4 m (34.2 ft)
運用範囲	最大離陸重量	42,800 kg (94,358 lb)
	最大着陸重量	38,000 kg (83,776 lb)
	最高運用高度	11,900 m (39,000 ft)
	最大運用マッハ数	0.78
	レンジ @88PAX x 102kg	3,770 km (2,040 nm)
	最大座席数	92 席

図2 MRJ90の機体概形 / 主要性能

このリージョナルジェットであるが、昨今の航空輸送サービスにおいて、小型機による頻度の高い(1機あたり1日4フライト以上の)サービスが要求されるようになったこともあり、マーケットにおけるニーズが高まってきている。今後20年で約5,000機のリージョナルジェットの新規需要が見込まれており、ここがMRJの参入する市場となる。

この新規市場規模を見越して、現在のリージョナルジェット市場を2分しているカナダ、ブラジルに加え、ロシア及び中国も新規に参入してきており、日本においては、完成機の航空機産業を発展させるために、これらの競合機に対して市場競争力を持った機体の開発が必要であった。

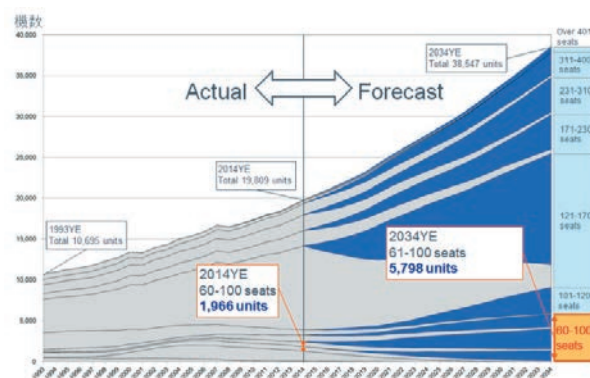


図3 民間航空機市場

機種	MRJ90	CRJ900	EMB190	SSJ100-95	ARJ21-700
					
	三菱航空機 (日本)	Bombardier (カナダ)	Embraer (ブラジル)	Sukhoi (ロシア)	COMAC (中国)
運航開始年	2018(予定)	2003	2005	2011	2016(予定)

図4 MRJと競合するリージョナルジェット

* Low Noise Design for MRJ ** 三菱航空機株式会社

3. MRJ としての新しい価値

リージョナルジェット市場での競争力を持つことを目的に、『乗客』・『環境』・『エアライン』をMRJ開発におけるキーファクターとして採用した。乗客には幹線機に比肩する快適な客室を、環境には優れた燃費・低騒音・低排出物を、エアラインには優れた経済性を提供することをMRJのセールスポイントとしている。



図5 MRJのセールスポイント

4. MRJ の特色 - 低騒音性能 -

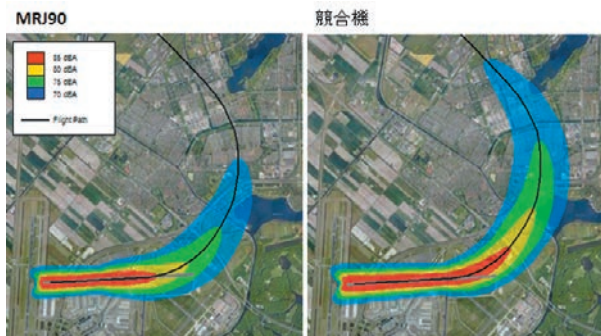


図6 離陸騒音フットプリント（三菱航空機 推定）

MRJは競合機種の中で最も優れた低騒音性能の実現を目指している。図6に示すのは、騒音フットプリントと呼ばれる航空機が離陸する際の騒音影響範囲を可視化した図である。MRJは競合機に対して離陸騒音の影響範囲を40%以上少なくする設計としている。

機外騒音の低減は、空港周辺『環境』の改善を提供できるだけでなく、空港使用料の減

額や空港使用制限を受けなくなるなどの付加価値を『エアライン』に提供できる。そこで、MRJでは開発の初期より低騒音化を目指した『騒音設計』を積極的に組み込んで開発を行った。本稿ではその低騒音化を実現するために実施した『騒音設計』の概要について説明する。

5. MRJ の『騒音設計』

5.1 機外騒音目標値の設定

MRJの設計にあたっては、『型式証明』と『エアライン運航コスト削減』という2つの観点から目標値を設定した。

(1) 『型式証明』の観点

航空機を開発し、市場に投入する際には『型式証明』の取得が必要となる。型式証明とは航空機が国の定める規定を満たしていることを示し、国から認可を受けることである。型式証明には、安全性、騒音、排出ガスに関する3種類の規定があり、その中の騒音規定では離着陸時の空港周辺の機外騒音に対し、ICAO Annex16 Volume Iで騒音評価点(図7参照)及び、騒音基準値が具体的に定められている。そこでMRJでは、現行の規定を満たすことはもちろん、将来に予想されるより厳しい規定までを予測し、それに対応できるよう機外騒音設計の目標を設定した。

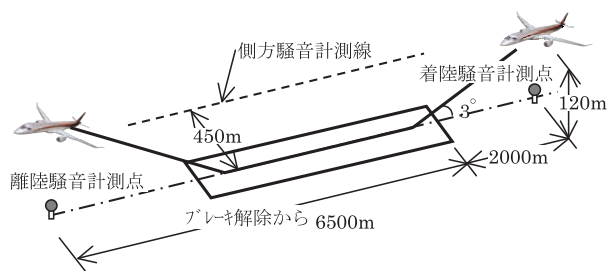


図7 機外騒音規制による騒音評価点¹⁾

(2) 『エアライン運航コスト削減』の観点

型式証明上の騒音規定とは別に、独自の騒音基準を設けている国、自治体、空港などがある。この独自の騒音基準では、機外騒音レベルに応じて空港使用料が課税されたり、空港における離発着数が制限される等の独自

ルールを持っている。

例えば、日本では国土交通省が定める空港管理規則にて、型式証明を受けた離陸騒音値と着陸騒音値の平均値から 83EPNdB を減じた値に対して、1EPNdB あたり 3400 円を空港使用料(着陸料)として納めることが機体運航者に求められている。リージョナルジェットで 1 日に 4 フライトする運用を仮定すると、1EPNdB の低減によって削減される運航コストは 20 年で約 1 億円/機にもなる。そこで MRJ においては、競合機との差別化、エアライン運航コスト削減という付加価値の提供を目的に、機外騒音設計の目標を設定した。

上記の 2 つの観点より、MRJ の機外騒音目標値を現行の型式証明規定である ICAO Annex16 Volume I Chapter4 から 15EPNdB のマージンを持つことを目標として定めた(図 8 参照)。これは、2020 年に施行予定の新規定 Chapter14 に対しても 8EPNdB のマージンを持つ騒音レベルである。

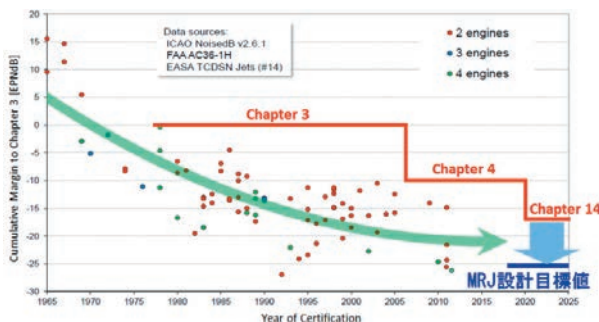


図 8 機外騒音規制と MRJ 目標値²⁾

5.2 騒音源の特定と低騒音化設計

MRJ 開発では機体の概念設計フェーズより『騒音設計』を導入し、機外騒音の音源となるエンジン騒音と機体空力騒音の低騒音化に取り組んできた。本稿では、エンジン騒音と機体空力騒音に関する『騒音設計』及び、機外騒音推算に関するプロセスについて説明する。

5.2.1 エンジン騒音設計

機外騒音の代表的な音源であるのが、エンジンのジェット騒音である。特にエンジンが

最大推力となる離陸時には、機外騒音に対しエンジン騒音が支配的となる。また、着陸時にはエンジン推力は絞られるため、ジェット騒音は離陸時ほど大きくはないが、エンジンのファン騒音が主要な音源の 1 つとなる。なお、このエンジン騒音であるが、ジェットエンジンの登場後、ターボファンエンジンの登場及び、高バイパス化を経て騒音レベルの低減を実現してきている。

静かなエンジンを搭載することは機外騒音の低減に直結するため、MRJ では、従来エンジンに比べて高バイパス化が可能な Pratt & Whitney 社の Geared Turbo Fan (GTF) エンジンを採用した。

GTF エンジンでは、ファンをギヤで減速することで、コア効率を維持したままファンの大口径化(高バイパス化)を可能としている。ファンの大口径化はファン排気流速を下げ、エンジン周囲の気流との間に生じるせん断層を弱めることでエンジン騒音を低減する効果を持つ。ジェット騒音レベルは排気流速の 8 乗に比例するため、高バイパス化によるジェット騒音の低減効果は大きい。また GTF エンジンは MRJ の機体仕様(必要推力、搭載可能なファン径)に合わせてギヤ比を調整できるため、ファン翼端速度を最適化し、ファン騒音を低減する効果も持つ。

またエンジン騒音には、これらの他にもタービン、コンプレッサーなどが音源となる放射音がある。この放射音を吸音するためにエンジンナセルの内側には吸音ライナーが設置されており、各々の放射音の指向性、MRJ の飛行プロファイルを考慮し、吸音ライナーの設置位置を最適化することで、重量増に配慮しながらエンジン騒音の低減を実現している。

5.2.2 機体空力騒音設計

機外騒音のもう 1 つの代表的な騒音源であるのが、機体空力騒音である。これは、離着陸時に用いられる降着装置や高揚力装置(フラップやスラット)などから発生する空力音

である。現代の航空機ではエンジン騒音の低減に伴い、着陸時の騒音に関しては、機体空力騒音の寄与が相対的に目立ってきている。

本項では、機体空力騒音に関する『騒音設計』のプロセスを示す。なお機体空力騒音設計を進めるにあたり、宇宙航空研究開発機構(JAXA)との共同研究も活用した。

(1) 音源の特定

機体空力騒音の低騒音化にあたっては、先ず機体空力騒音の特徴の把握及び、機体設計時に配慮すべき主要な音源となる部位の特定が必要となる。そこで、降着装置、高揚力装置、翼といった機体各部から生じる空力騒音を経験則を用いて推算すると共に、JAXA の持つ音源探査技術を適用した全機模型に対する風洞試験(図9参照)を通して、各音源の特徴、音源寄与を評価した。その結果、機体空力騒音においてスラット、フラップ、主脚が主要な音源になり得ることを確認した。

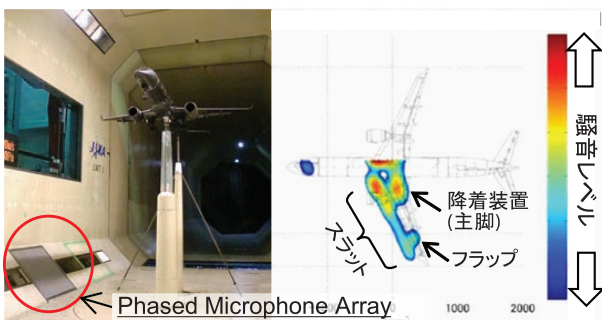


図9 MRJ 機体空力騒音の音源探査風試結果

次に、主要な音源と特定されたスラット、フラップ、主脚については、単体の騒音風洞試験(図10参照)を実施することで、発生する騒音の周波数特性、指向性及び騒音レベルに関するデータを取得し、推算精度を向上させた。複数の構造物で構成される主脚の風洞試験では、脚扉やサイドブレース、車輪等の各々の構造物を取り外した形態でデータを取得することで、各構造物が持つ音源寄与を確認した。

これらの風洞試験結果より、スラット騒音は二次元性を持った中周波数域で発生するブロードバンドノイズであること、フラップ騒音はピーク周波数を持ち、外舷側のフラップ端で発生すること、主脚騒音は扉の寄与が大きいことなどが確認された。

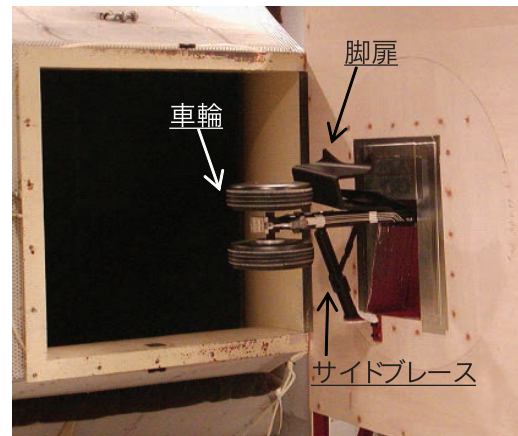


図10 縮尺模型を用いた主脚騒音風洞試験
(主脚を水平方向に設置)

(2) 騒音発生メカニズムの解明と低騒音化

特定された音源に対しては、前述の風洞試験と共に数値流体解析(CFD)の実施を通して、騒音発生メカニズムの解明にも取り組んだ。JAXA にて実施されたCFDを用いたスラット騒音発生メカニズムの検討結果を図11に示す。

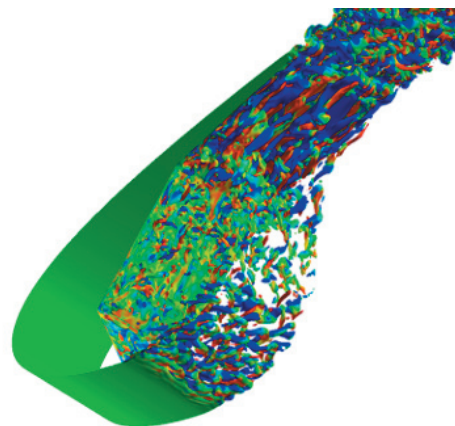


図11 スラット騒音発生メカニズムの検討
(渦度の等値面の瞬時場)³⁾

騒音源及び騒音発生メカニズムを把握することで、騒音増大防止という観点から機体設計へのフィードバックを可能とし、音源となる部位に対しては形状の工夫や後述の騒音低減デバイスの開発を実施した。このようにMRJの開発では、能動的な『騒音設計』を実行することで、騒音に配慮した機体設計を実現している。

5.2.3 機外騒音推算

『騒音設計』を通して得られたエンジン騒音データと機体空力騒音データを加え合わせることで、機外騒音値を推算し、機外騒音目標値に沿った設計であることを確認する（図12参照）。

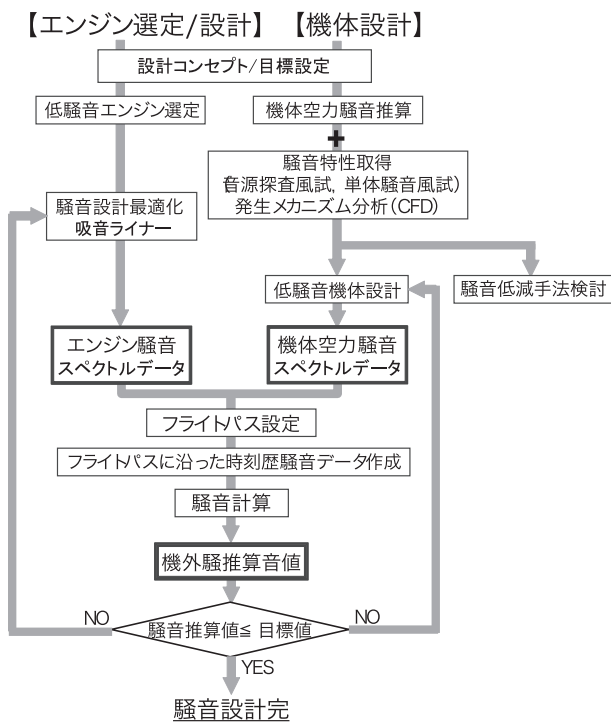


図12 機外騒音値推算の流れ

機外騒音の評価指標には型式証明規定で指定されている Effective Perceived Noise Level (EPNL) を用いる。EPNLとは、騒音の持続時間とスペクトル特性、聴感上の騒がしさを考慮した航空機騒音の評価単位である。EPNL 値の算出にあたっては、先ず型式証明規定に従った条件にて離着陸のフライトパス

を設定する。次に、フライトパス（速度、高度、機体姿勢など）に合わせた時刻歴の音圧レベル（SPL）データを算出する。これに聴感上の補正（noy 補正）、スペクトル特性に対する補正（Tone 補正）、持続時間補正（Duration 補正）を加えることで EPNL 値は算出される（図13参照）。

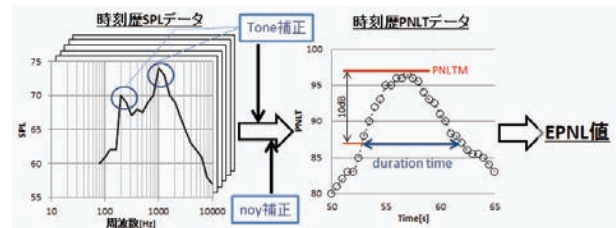


図13 EPNL 値の算出プロセス

5.3 飛行試験による『騒音設計』の実証

今後 MRJ では、飛行試験の実施を通して、『騒音設計』の妥当性検証と低騒音性能の実証を行っていく計画である。

型式証明の取得に必要となる離着陸時の騒音データの取得については、周囲に騒音測定に影響する障害物及び音源がない環境が必要であることから、広大な試験エリアの確保が可能な米国のモーゼスレイク飛行場の周辺で飛行試験を実施する計画である。

また、JAXA による FQUROH プロジェクト (Flight demonstration of Quiet technology to Reduce Noise from High-lift configuration) における共同研究の一環で、機体空力騒音特性データの取得と評価を目的とした実機による音源探査飛行試験と、MRJ のさらなる低騒音化を目指して、JAXA と共同で検討を進めている機体空力騒音の低減手法（騒音低減デバイス）を機体に取り付け、騒音低減効果を飛行実証する試験の実施を国内で計画している。

これら一連の試験で取得するデータが、MRJ の開発のみならず、今後の新たな機体開発における騒音設計に供する基礎データになることを期待したい。

6. おわりに

環境意識の高まっている現代において、低騒音性能を初めとする MRJ の持つキーファクターはまさに時代にマッチしているといえる。しかしながら同時に、現状に甘んじることなく、さらなる競合機との差別化が必要となる技術分野でもある。

MRJ の初飛行のニュースで、見学に来られていた方が「静かだった」と感想を述べている映像を拝見した。10 年後、20 年後も「日本

の飛行機は静かだ」と言ってもらえるよう、航空機の低騒音化技術の発展に努めていきたい。

参考文献

- 1) ICAO: Annex16 VolumeI, Seventh Edition, July 2014
- 2) Norbert Lohl, EASA Noise and Emissions Certification, ICAO COSCAP-GS Conference March 2014 EASA
- 3) T.Imamura et al., Numerical Simulations of Noise Reduction Devices for Leading-edge Slat AIAA paper 2006-2668

研究報告 航空環境研究センター研究発表会

航空環境研究センター研究発表会 *

平藪 好行、中村 千都世

航空環境研究センターは、長年にわたり航空機の騒音、航空機排ガスと大気環境、空港周辺健康等に関する調査研究について取り組んできた。その研究成果は、発刊する冊子や関係学会等において発表してきたが、広く一般に公表する機会は殆ど無かった。そこで、今回、航空環境問題に関係される方々を中心とした公開研究発表会を1月25日(月)に海運クラブ(千代田区平河町)にて開催した。

当日は77名の方にご出席いただいた。私たちの予想を上回る出席者に研究員は緊張した面持ちで発表に臨んだ。発表内容については、まずまず及第点を頂けたのではないかと考えている。

また、研究発表会終了後に開催した意見交換会にも多くの方に出席いただき、研究員との交流や意見交換が活発に行われ大盛況のうちに終了した。

この誌面を通してご出席頂いた方々に感謝申し上げたい。

これからも研究発表会を継続開催していきたいと思っており、今後ともよろしくお願い申し上げますとともに忌憚のないご意見を頂ければ幸いです。

今回、本誌に掲載するにあたり、研究員各人が発表した内容をまとめ直したものを掲載させて頂くので、研究発表会にご出席された方も、そうでない方も興味深く読んでいただけるものと思っている。

掲載は発表会での発表の順序に沿って以下のように掲載した。航空環境問題に関係される方々が日頃お仕事をされるにあたり何らかのご参考になれば幸いです。

(1) 航空機騒音予測技術の研究

①「航空機騒音予測技術の最前線」

航空環境研究センター所長 山田一郎

②「騒音コンター作成の現状、効率向上、クラウド化」

副主任研究員 菅原政之・中澤宗康

③「航空機騒音伝搬シミュレーション技術の開発と活用事例」

副主任研究員 中澤宗康・菅原政之

④「航空機騒音予測の基礎データ作成」

調査研究部長 吉岡序

⑤「スカイゲザー(パッシブレーダー)による飛行航跡観測と性能向上」

調査役 高橋英昌

(2) 空港周辺の大気環境と健康影響の研究

①「航空機が空港周辺大気環境に与える影響」

- 国内空港の大気環境調査結果の解析 -

主任研究員 橋本弘樹、

技術アドバイザー 鈴木孝治

②「航空機騒音による心身影響に関する疫学的研究」

主任研究員 後藤恭一、

技術アドバイザー 金子哲也

(3) 海外の空港周辺における環境施策に関する研究

①「海外主要空港周辺の環境施策の調査のこれまでの成果」

その1. 海外主要空港周辺の環境施策調査の概要

主任研究員 後藤恭一

その2. 欧州4空港の周辺騒音対策の紹介(シャルルドゴール、スキポール、ヒースロー、フランクフルト)

* Report of the presentation meeting for AERC aviation environment studies

副主任研究員 上田麻理

その3. 進入・出発時における騒音軽減方式
調査役 高橋英昌

②「アジア諸国の空港環境保全に係る調査研究と協力」

航空環境研究センター所長 山田一郎

(4) その他の研究

①「日本における航空機騒音の情報公開システムのあり方について」

副主任研究員 上田麻理

②「航空機騒音影響の経済評価」

研究員 高橋達



航空機騒音予測技術の最前線 *

航空環境研究センター所長 山 田 一 郎

本稿は当研究センターの航空機騒音予測技術に係る自主研究の研究発表会報告での序論として話したことを記すものである。

1. 航空機騒音予測の目的

航空機騒音を予測する目的の第一は騒音対策区域の設定や見直しのための騒音評価、滑走路増設等に先立つ騒音影響評価である。多数の航空機が運航する際の総騒音暴露の年間平均の騒音コンター (L_{den} 等)を描くことが多い。第二は飛行経路下の騒音軽減を意図した運航方式の検討や有効性検証、機種や運航方式による騒音の違いの比較である。 L_{den} コンターに加え、単発騒音暴露レベルや最大騒音レベルのコンター(フットプリント)が描かれる。第三の目的には騒音予測の妥当性検証や予測手順の改善、騒音伝搬の説明がある。騒音マップの動画表示等が行われる。第四の目的は道路・鉄道との騒音比較や土地利用計画、住民説明のための騒音評価等が挙げられる。 L_{den}

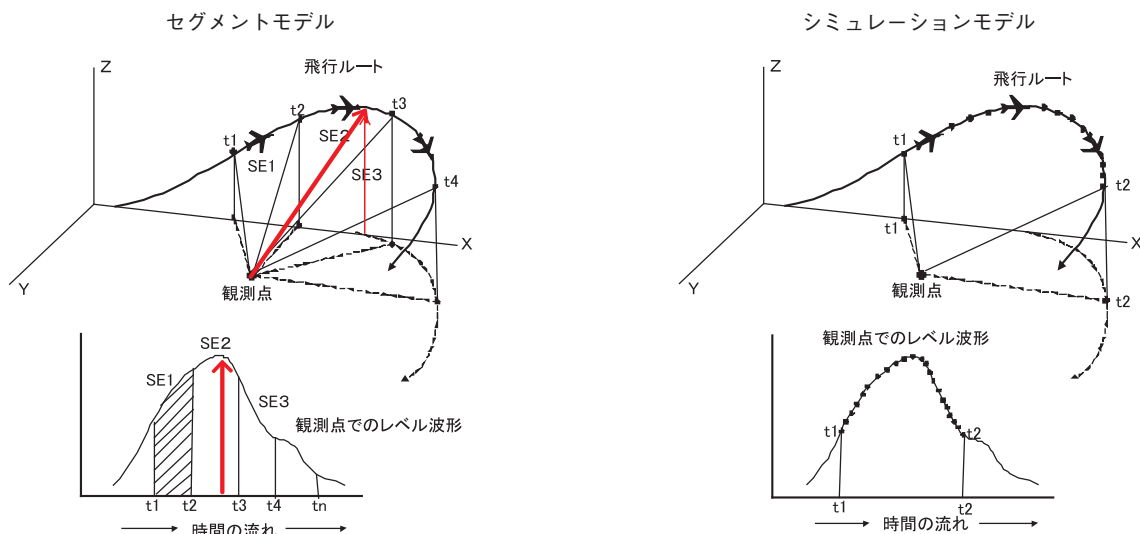
や N_{above} (所定レベルより大きな騒音の発生回数)等によるコンターを描いたり、コンター面積やコンター内居住人口を算出したりする。

2. 航空機騒音予測の基本的な考え方

多数の航空機運航に伴う空港周辺の騒音暴露を予測し、騒音コンターを描くには様々な情報を使い、膨大な計算を行わねばならない。そのため航空機の運航や騒音の放射から受音に至る過程を仮定に基づいて簡略表現し、経験的な関係式を活用して L_{den} 等を算定し騒音コンターを描く手法を用いる。その手法としてセグメントモデル、シミュレーションモデルの2通りがある。図1にそれらの基本的な考え方の概念図を示す。

セグメントモデルは、飛行経路を多数の有限長セグメント(線分)に分割・近似し、個々のセグメントを航空機が飛行する間に受音点にもたらす騒音エネルギーを求め、全セグメントの寄与を合算して1機が飛行する際の単

図1 航空機騒音予測の基本的な考え方



* Review of the latest situation of airport noise modeling technologies

発騒音レベルを算定する。

それに対し、シミュレーションモデルは航空機が時々刻々の飛行位置から放射する騒音が受音に至る過程を忠実にトレースし、時々刻々観測される騒音レベルを算定する手法で、騒音マップの動画にはこの手法を用いるが、 L_{den} コンター計算には向かない。

3. 予測か実測か

予測モデルは将来予測にも現状評価にも使え、暗騒音の影響を受けることもないが、仮定を設け、簡略化を図って実現するため、モデルの優劣や入力条件等の設定の仕方により計算精度が左右される。他方、実測は、事実として信頼されやすいが、実測結果は運航状況や暗騒音、気象等の影響を受けて変動するし、実測結果の信頼性は測定技術にも左右される。実測だけでは空港周辺の全域をカバーして騒音コンターを描くのは難しいし、将来状況の実測は不可能である。

それ故、各々の特長を活かし、予測で影響評価や騒音軽減運航方式の検討等を行い、実測で予測の妥当性を検証し、状況推移を監視するのがよい。 L_{den} 予測の計算精度は、年間平均評価を前提とし、環境基準遵守の実測評価に合わせ、標準偏差で $\pm 1 \sim 2\text{dB}$ の信頼区間を目指すところと考える。

4. わが国の予測モデル開発の経緯

わが国で航空機騒音予測モデルの開発が始まったのは基準告示の2年後でその3年後の1978年にWECPNLモデルの初版ができた。 L_{den} モデルの方は、1990年に出版された小規模飛行場環境全暫定指針を受け、1994年に作ったヘリポート騒音モデルを土台に2000年から開発を始め、基準が一部改正された2007年に飛行騒音のみの初版、2009年には地上騒音も考慮したモデルの初版が完成した。その後、建物や防音壁の遮蔽、地形による高低差の影響を考慮する手順を追加し、現在に

至っている。作ったモデルは計算結果を実測と比較し妥当性を確かめつつ実用に供し始めているが、地上騒音の計算手順や地形・地物の影響の補正方法の精度を検証し、性能向上を図るため、並行してシミュレーションモデルの開発も行っている。 L_{den} モデルは航空局のコンター作成に用いられている。

L_{den} コンターは、騒音評価指標の変更に係わらず、航空機騒音対策を継続的に実施できるようにWECPNLモデルと整合する考え方で作成する必要がある、既存の公開モデル（米国のINM¹⁾等）を用いず、自前のモデルを開発することにした。それによりWECPNLモデルで蓄積した基礎データやノウハウを活用できるし、新基準が求める航空機の地上騒音の考慮にも対応できる。予測技術のポテンシャルの維持もできる。騒音コンターモデルの作り方に関する国際指針ICAO DOC.9911²⁾と基本的には整合している。ただし、この指針は地上騒音を考慮するようになっていない。なお、基礎データは主要空港の騒音コンターに必要な機種、運航形態はカバーできている。

5. 海外の予測モデルの現状

騒音コンター作成方法の国際指針ICAO DOC.9911について今少し述べると、ICAO（国際民間航空機関）は当該趣旨の文書として1986年にCircular 205³⁾を発行したが、時代の変化に合わせて内容を改めることとなり、まず、欧州版ICAOの欧州民間航空会議（European Civil Aviation Conference）がECAC Doc.29⁴⁾を出版した。次にその最新の第3版をICAO文書として出版したのがDoc.9911である。ICAOは国際航空の環境影響として地球温暖化と地域環境の騒音・大気を取り上げて対策の費用対効果の最大化を図るべく検討する中、騒音予測のツールについてはDoc.9911に整合させることを求めている。海外の主要騒音予測モデルの特徴をみてみよう（表1）。米国連邦航

表 1 海外の主要騒音予測モデルの特徴

ローカル：個々の空港の騒音コンターを描くモデル

リージョナル：全交通機関・工場の寄与を含めた地域の騒音マップを描くモデル

グローバル：全世界を対象に CO₂・騒音・大気質の影響を一元評価するモデル

予測モデル	AERC (JCAB2)	AEDT (INM)	CNOSSOS-EU	IMPACT	指針のみ	ANCON-2
国・地域	日本	米国	欧州		独国	英国
所管/所有	JCAB	FAA	EU	EURO CONTROL (+EC, EASA)	ソフトメーカー	CAA
作成機関	AERC 航空環境 研究センター	DOT/Volpe Center 他	Inst. of Health and Consumer Protection	EURO CONTROL (+EASA, UK-CAA)	CadnaA/ICAN SoundPLAN 等	ERCD/DfT
基準等または 根拠文書	環境基準 騒防法等	ICAO/DOC-9911 ECAC-DOC.29	ECAC-DOC.29	ECAC-DOC.29	連邦政府/AzB	(PPG24)
ローカルか グローバルか	ローカル	グローバル& ローカル	リージョナル& ローカル	ローカル 欧州域内の多数の 空港をカバー	ローカル& リージョナル	ローカル
騒音評価量	L_{den}	L_{dn} , TA_{LA} その他	L_{den} , L_{night}	L_{den}	$L_{Aeq,T}$, L_{den} その他	$L_{Aeq,day}$ $L_{Aeq,night}$
評価時間帯	7-19/19-22/22-7	6-22/22-6	7-19/19-23/23-7		7-19/19-23/23-7	6-24/0-6
地上騒音	TAXI, APU, Engine Run-up	なし Taxiについて検討中	Engine Run-upを 重視。END次第、 工場騒音に準じる	なし	Taxi, APU	なし
遮蔽効果	有限長障壁	地形の遮蔽のみ 無限長障壁で	記述なし	不明	不明	なし
備考	民間機のみ 騒音コンター用	コンターはINM 軍用機もカバー	騒音マップ用	騒音モデルは STAPESという	騒音コンター用	騒音コンター用

空局 FAA は公開騒音モデルとして INM を出版してきたが、その第 7 版から Doc.9911 に整合している。昨年この INM を排出物モデル EDMS⁵⁾ 及び温暖化モデル AEDT2a と一体化した AEDT2b を出版した⁶⁾。欧州も管制機関 EUROCONTROL と航空安全機関 EASA が一緒になって INM に相当する騒音モデル STAPES⁷⁾ 及びそれと排出物モデルを統合した IMPACT⁸⁾ を出版している。欧州ではその他に環境騒音指令 2002/49/EC⁹⁾ に基づき騒音マップを作成する方法を定めた文書 CNOSSOS-EU¹⁰⁾ があるが、航空機騒音は ECAC Doc.29 により予測することとされている。欧州各国は、英国 ANCON¹¹⁾ や北欧 NORTIM¹²⁾ 等、自国の騒音対策のツールとして自前のコンターモデルを所有する国が多い。ドイツでは連邦政府が 2007 年改正の航空機騒音対策法に基づき騒音コンターを作成する方法について定めた文書として AzB2008

13) を出版している。

シミュレーションモデルについては海外では米国の NMSIM¹⁴⁾ やカナダの CANM¹⁵⁾ の他、スイスの FLULA2¹⁶⁾ や sonAIR¹⁷⁾ がある。わが国では当研究センターの精緻モデルや宇宙航空研究開発機構の DREAMS¹⁸⁾ がある。

6. 海外における地上騒音の取扱いの現状

海外のコンターモデルは未だ地上騒音を考慮しているといい難く、建物等の遮蔽の影響を補正する考え方も採用していない。ICAO DOC.9911 や ECAC Doc.29 にも記述はないが、地上騒音の考慮の必要性は次第に認識され始めているようだ。

米国の 2009 年の研究報告¹⁹⁾ ではタクシーイング騒音を考慮すると L_{dn} が 1.5dB 程高くなる可能性があるとして INM や AEDT への組込みを検討するとしている。欧州でも CNOSSOS-EU はエンジン試運転の騒音を重

視し、工場騒音に準じて取り扱おうと記述するが、実施しているか明確ではないし、タクシーイングやAPU（補助動力）の騒音には全く言及していない。逆に、ドイツのAzBではタクシーイングの騒音を考慮することになっていてメーカーのソフトCadnaA²⁰⁾やSoundPLAN²¹⁾に組み込まれているようだがAPUやエンジン試運転の騒音は何も言及していない。スペインの研究報告²²⁾では騒音マップでタクシーイングの騒音を考慮するための音源特性が調べられている。

7. わが国の予測モデルの課題

改正された環境基準に対応するための L_{den} モデルのプログラムと基礎データ等を整え実測で妥当性を検証しつつ実用に供し始めている。地上騒音を考慮し、建物等の遮蔽の影響を補正できるようになっている。

しかし、取り扱える建物形状は直方体に限られるし、厚みのある構造物の遮蔽効果算定方法の妥当性や地面の過剰減衰補正式との両立性について十分には検証ができていない。しかし、空港の周辺で観測される地上騒音は低レベルのことが多く、しかも多数の駐機場から同時に聞こえてくるため、測定による検証には限界がある。そのため、当研究センターでは騒音シミュレーション（PE法やFDTD法）を使用して検討、解析する手法の開発を進めているところである。地形・地物の遮蔽と気象影響の相互作用の検討も行わなければならない。さらに地上騒音の考慮に伴い、取り扱わなければならない航空機運航データの規模が倍以上に膨れ上がり、膨大な計算時間が掛かるため、コンター計算の効率化・高速化を促進する必要がある。そのためWINDOWSアプリの活用やクラウド化の導入によって効率化・高速化の実現を心掛けている。

その他の課題としては、低レベルの騒音暴露領域での予測精度の向上を図る必要がある。

衛星航法の採用等によって進入機の飛行経路が安定し、数分ごとに頭上を通過するようになり、低レベル・高頻度の騒音暴露が問題になるようになった。航空機の型式も次第に新しくなり、基礎データ構築手法の確立や機種代替の考え方を整理していく必要が生じている。さらにコンター線描画だけではなく、コンター面積の算出や影響人口や N_{above} 等の補足的な評価指標によるコンター作成にも対応する必要が出てきた。平均飛行経路とその周りのばらつきなども高精度で観測、推計しなければならなくなった。

文献

- 1) Integrated Noise Model (INM) Version 7.0, 2013 (https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/apl/research/models/inm_model/).
- 2) ICAO DOC 9911: Recommended Method for Computing Noise Contours Around Airports (<http://www.icao.int/environmental-protection/Pages/environment-publications.aspx>).
- 3) ICAO, "Recommended Method for Computing Noise Contours around Airports", Circular 205-AN/1/25, 1987.
- 4) ECAC/CEAC DOC.29: Report on Standard Method of Computing Noise Contours Around Civil Airports, 3rd Edition, Vol.1: Applications Guide, Vol.2: Technical Guide, 2005 (<https://www.ecac-ceac.org/ecac-docs/>).
- 5) Emissions and Dispersion Modeling System (EDMS) (https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/apl/research/models/edms_model/).
- 6) Aviation Environmental Design Tool (AEDT) 2a & 2b, (<https://aedt.faa.gov/>).
- 7) The SysTem for AirPort noise Exposure Studies (STAPES), developed by EUROCONTROL in 2009 (https://www.eurocontrol.int/eec/public/standard_page/proj_STAPES.html).
- 8) An Integrated Aircraft Noise and Emissions Modelling Platform (IMPACT), created in the context of the SESAR WP16 transverse-area work programme in 2014 (<http://www.eurocontrol.int/services/impact>).
- 9) Directive 2002/49/EC - the assessment and management of environmental noise: Environmental Noise Directive (END) (<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32002L0049>).
- 10) Common Noise Assessment Methods in Europe (CNOSSOS-EU), 2012 (<https://ec.europa.eu/jrc/sites/default/files/cnossos-eu%2520jrc%2520reference%25>

- 20report_final_on%2520line%2520version_10%2520august%25202012.pdf).
- 11) The UK Civil Aircraft Noise Contour Model ANCON - Improvements in Version 2, R&D Report 9842 CAA/ERCD, 1999 (<https://publicapps.caa.co.uk/modalapplication.aspx?catid=1&pagetype=65&appid=11&mode=detail&id=784>).
 - 12) H. Olsen et al., Topography influence on aircraft noise propagation as implemented in the Norwegian prediction model – NORTIM, SINTEF DELAB Report SFT40 A95038, Trondheim 1995.
 - 13) Instructions on the Acquisition of Data on Flight Operations and the Calculation of Noise Protection Areas (航空機運航データ取得 (AzD) 騒音保護区域計算 (AzB) の指針、2008, 独連邦官報).
 - 14) Plotkin, K.J., "The Role of Aircraft Noise Simulation Models," Inter-Noise 2001 Proceedings, 2001.
 - 15) Neil M. Standen, "SOME APPLICATIONS OF THE CANADIAN AIRCRAFT NOISE MODEL (CANM)," Proceedings of ICA 2004.
 - 16) Empa, FLULA2, Ein Verfahren zur Berechnung und Darstellung der Fluglärmbelastung, Technical Documentation, Version 4. (Empa, Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology, Laboratory for Acoustics/Noise Control, Dübendorf, 2010).
 - 17) C. Zellmann et al., sonAIR, sonAIR – data acquisition for a next generation aircraft noise simulation model, INTERNOISE 2013.
 - 18) Using Weather Conditions to Reduce Aircraft Noise H. Ishii Noise Abatement Technology Section, DREAMS Project Team (<http://global.jaxa.jp/article/2015/special/dreams/ishii.html>).
 - 19) J. Page et al., Enhanced Modeling of Aircraft Taxiway Noise – Scoping, ACRP Web-only Document 9, TRB.
 - 20) CadnaA: Computer Aided Noise Abatement) is the leading software for calculation, presentation, assessment and prediction of environmental noise (<http://www.datakustik.com/en/products/cadnaa>).
 - 21) SoundPLAN: Noise modeling software (<http://www.soundplan.eu/english>).
 - 22) C. Asensio et al., Aircrafts' taxi noise. Sound power level and directivity frequency band results, Applied Acoustics 70(2009) 986-1008.

研究報告 航空環境研究センター研究発表会

騒音コンター作成の現状、効率向上、クラウド化 *

副主任研究員 菅原 政之、副主任研究員 中澤 宗康

1. はじめに

当協会が開発した L_{den} コンタープログラム AERC^{1,2)} の紹介と、それを使ったコンター作成の流れについて述べる。本プログラム作成の経緯は前の記事の通りであり、セグメントモデルの計算手順を用いている。また自主的に進めている効率化の取り組みも紹介する。

2. 対象とする空港騒音

空港周辺において航空機が発する騒音として、離陸、着陸、駐機、エンジン試運転、回転翼機の五種類の騒音の寄与を計算する。例えば離陸騒音は、エプロンからプッシュバック、誘導路の地上走行 (TAXI)、最大推力による離陸滑走開始、浮上した後の上昇、加速といった段階があり、各段階で大きさも性質も異なる騒音が発生する。同様に着陸にも各段階があり、他にも駐機、エンジン試運転、回転翼機の騒音も一様でなく機種による違いがある。プログラムは、このような様々な騒音の寄与を、機種の違いも含めて全て計算し L_{den} 値から等高線 (コンター) を出力する。

3. ソフトウェアの概要

AERC プログラムは計算エンジンとデータベース (DB)、ユーザーインターフェース (UI) の三モジュールで構成される。ユーザーは予測条件として運航・運用情報や飛行経路を UI を用いて入力する。また、防音壁やターミナルビルの遮音効果も考慮するので、それらの位置形状の情報を入力する。それとは別にプログラムが内部で持っている DB (基礎

データ) がある。これは L_{den} 計算の基礎となる情報で、機種別に騒音レベル情報を格納した騒音基礎データ・飛行の仕方を格納したパフォーマンスデータ・音源としての指向性データが格納されている。プログラムは、ユーザー入力情報と基礎データの両方を用いてコンターを計算する。

4. コンタープログラム AERC の特徴

本プログラムの三つの特徴 (図 1) を述べる。

① Windows 用 L_{den} コンター日本語ソフトウェア

日本語インターフェースを持ち L_{den} コンターを計算できる PC ソフトは本プログラムにより初めて実現された。また計算結果の形式については国内の利用を考えて作られており、GIS や CAD をサポートしている。

②実績ある経験モデルの計算方式

既存の予測プログラムである米国連邦航空局の INM³⁾ (現在は他ツールに統合) の計算方法が ICAO Doc9911⁴⁾ として国際的なガイドラインとなっている。本プログラムはこれらと矛盾しない計算を行うことができる。

③環境基準により地上運用の影響を計算

日本の環境基準では、地上走行、補助動力電源 (APU)、エンジン試運転といった地上運用の音も考慮に入れる必要があるが^{5,6)}、本プログラムはこのための計算機能を有している⁷⁾。なお欧米では、現時点で地上運用を考慮する予測モデルは無い。

また、地上運用の騒音は、地物による遮蔽、回折の影響を受けやすく、予測計算においても考慮する必要がある。本プログラムでは入

* The summary of an airport noise model: the steps for creating noise contours, developing cloud computing for the model and improvements in convenience for users

力された地物の形状情報を用いて影響を計算し結果コンターに反映する機能をもつ。

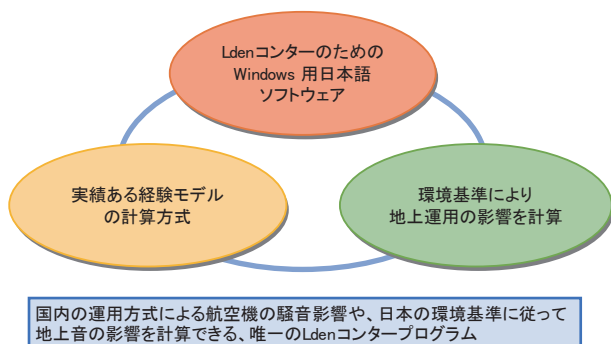


図1 コンタープログラム AERC の特徴

5. コンター作成の流れ

コンター作成の流れは大別すれば二通りになる（図2）。一つは現況予測であり、現在の騒音状況を表したコンターを作成する。一方将来予測は、たとえば運航を増減したり滑走路を増設したりした未来の騒音影響を予想するための騒音コンターを作成する。

現況予測においては結果の検証作業が重要となる。この作業ではコンターの計算結果と、現場における実測値や、過去の結果と比較をしてコンターの妥当性を確認する。

将来予測においては、最初の予測条件の作成段階で、経験的な推測を活かすことができる。これは運航便数の変化による大体の結果予想ができることによる。また、結果の分析が特に重要であり、結果のコンターを説明する際は、予測条件のどの要素が結果のコンターの形状に影響するのかの理解が必要になる。例えば、予測条件の特定の飛行経路の使用量や、特定の機種種の増加がコンターの一部を膨らませることがある。結果のコンターを作成し提出する際には、必ず変化の理由をつきとめておく。

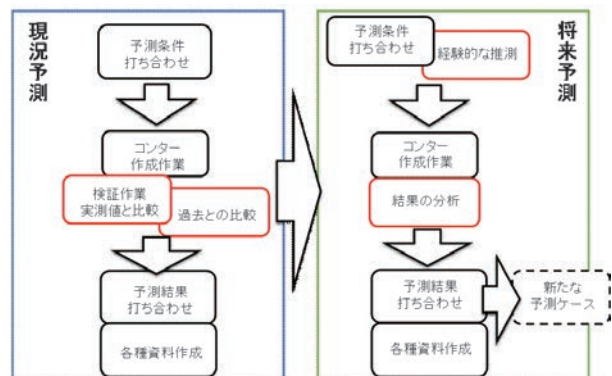


図2 コンター作成の流れ

6. 予測モデルの精度向上

精度向上の取り組みとして以下の二つを進めている（詳細は続く後の記事を参照）。

①地上音の影響や地物の遮蔽効果の計算方法

地上走行やAPU、エンジン試運転の騒音影響の計算手順や地物による遮蔽効果の計算はICAOやECACのガイドライン⁸⁾に記載がないため、前者は独自に、後者は道路や建築の計算手順を取り入れた⁹⁾。そのため、実測値やシミュレーションで検証し根拠としたい。

②計算の基礎となるデータベースの整備拡充

前述のようにプログラムは騒音基礎データとパフォーマンスデータを用いる。基礎データの整備拡充を進め多くの機種に対応できればより予測精度を向上させることができる。

7. 効率化の取り組み

コンター作成作業を効率化するために、取り組んでいることを二つ紹介する。

①データ処理や入力作業を省力化

運航情報を、予測条件にするには、データの加工が必要となる。ある中規模空港の例では、離陸80機、着陸80機ほどの運航ダイヤが、将来予測のために滑走路使用割合、飛行経路の割合、地上走行のための誘導路の割合、と掛けて按分していくと約1200の運航情報になる。これをプログラムインターフェースから手入力するには作業量的に困難を伴う。改善のための改修として、運航データの処理に

用いる表計算に自動処理の数式を組み込みそのワークシートファイルをそのまま入力に活用できるよう改修を進めている。

② L_{den} コンターの計算負荷が大きい理由とクラウド計算システムの開発

前述の中規模空港の例では滑走路方向に 20 数 km、垂直方向に 6km の大きさのコンターの計算をした。格子点の間隔を 50m としたので 6 万点の各点において 1200 の運航の騒音暴露をエネルギーベースで七千二百万回行う計算になった。これは事務用の通常の PC では数時間かかる計算負荷となった。

そこで計算時間の改善として、利用者がインターネットを通して高性能のサーバーに計算を依頼できるシステムの構築を進めている。数時間かかる中規模空港コンターを数十分に、羽田のような大規模空港では数日分の負荷を数時間に短縮できる。28 年度中に運用可能な状態を目指している。

8. おわりに

当協会が開発した L_{den} コンタープログラム AERC の概要と、それを使ったコンター作成作業の流れについて述べた。そのあとで自主

的に進めている効率化の取り組みを紹介した。そのなかで入力作業にデータ処理と煩雑な作業が必要なこと、 L_{den} コンターにかかる計算負荷が小さくないこと、改善のための改修を進めていることを述べた。

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ー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) Integrated Noise Model (INM), Version 1, User's Guide, FAA (1978).
- 4) Recommended Method for Computing Noise Contours Around Airports, ICAC Doc 9911, International Civil Aviation Organization
- 5) 航空機騒音測定・評価マニュアル第一版 (2009)、環境省
- 6) 航空機騒音測定・評価マニュアル第二版 (2012)、環境省
- 7) 山田一郎、航空機騒音の予測における地上騒音の取り扱い、航空環境研究 No.18 (2014), PP. 26 - 34
- 8) Report on Standard Method of Computing Noise Contours Around Civil Airports, ECAC.CEAC Doc No.29, 3rd Edition, European Civil Aviation Conference.
- 9) 道路交通騒音の予測モデル "ASJ RTN-Model 2008" の解説と手引き 2009、日本音響学会

研究報告 航空環境研究センター研究発表会

航空機騒音伝搬シミュレーション技術の開発と活用事例 *

副主任研究員 中澤 宗康、副主任研究員 菅原 政之

1. はじめに

現在、当センターでは AERC プログラムの予測精度改善を目的として、シミュレーション技術開発に取り組んでいる。

AERC プログラムはセグメントモデルによる予測手法¹⁾を用いており高い実用性を持つが、近似計算を用いるので予測精度の確認が欠かせない。そのため、時々刻々の音響伝搬を精緻に計算できるシミュレーションモデルを用いることで、特定の気象、特定の地形といった個別要素の予測精度検証に取り組んでいる。

近年では、地上騒音予測を国際的にもいち早く AERC プログラムに追加したが、独自に検証を実施する必要があるため、検証用のシミュレーション技術開発に取り組んでいる。本稿では過去のシミュレーション技術開発の取り組みから、最近の地上騒音予測の事例までを取り上げる。

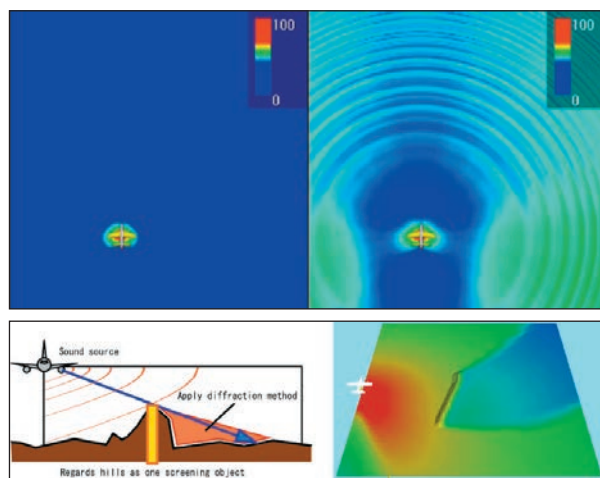
2. シミュレーションによる精度向上の取り組み

これまでのところ、シミュレーション技術については、PE (Parabolic Equation) 法と FDTD (Finite Difference Time Domain) 法という2つの音響シミュレーション手法を採用して、予測精度について検討してきた。どちらも波動方程式を展開した近似式により音圧を予測する手法である。

PE 法を用いたシミュレーションでは、気象と地形の影響の検討を行った。気象の影響²⁾については、上空と地上の温度勾配と騒音伝搬の関係、地形・建物の影響³⁾については

地形起伏と騒音伝搬の関係について、解析を行ってきた。しかし、周波数の拡大や、計算領域のサイズ拡張に応じた計算量の増加に対応できず、開発を中断せざるを得なかった。

しかし、2013 年の航空機騒音に係る環境基準の改訂により、地上騒音を考慮する必要が発生した。地上騒音の伝搬は、その経路が防音壁・建物・地形の起伏といった地物に接近するため、反射・回折・吸収等の変動、地表面による減衰といった音の変動が発生することが特徴であり、予測精度を確保することが難しい。



図：PE 法による騒音伝搬予測の可視化例

上：温度勾配による通減(左)と逆転(右)の騒音伝搬比較
下：地形建物による騒音伝搬の変動

この状況に対応するため、地形・建物の表現力に優れた FDTD 法の検討を 2008 年から開始し、2014 年には 3 次元 FDTD 法を用いて地形・建物の影響の検討を行うに至った。

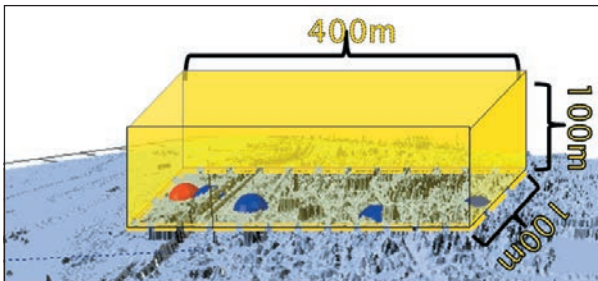
* Development of Computer simulation technology on aircraft noise propagation and a case-study

3. APU 騒音のシミュレーション事例

シミュレーションプログラムの検証を目的として、都市部にある民間空港で実際の航空機の地上騒音を実測し、3次元FDTD法シミュレーションの予測⁴⁾との比較を試みた。

実測については、空港ターミナル前で駐機した航空機のAPU（補助電源装置）騒音を対象とし、ほぼ直線上に位置するターミナル屋上1地点とターミナルを超えた民有地3地点に騒音計を設置してAPU騒音を測定した。

一方、予測については、同様の状況をコンピュータ中に再現し3次元FDTD法によりシミュレートした。計算領域は、実測地点を含んだ横400m×縦100m×高さ100mの直方体に設定し、あわせて航空測量による2m間隔のレーザースキャンデータを用いて地形地物を設定した。この領域を0.2m間隔の立方格子で離散化し、音源から領域末端に至るまでの、約1.3秒程度のシミュレーションを実行し、音圧を予測した。

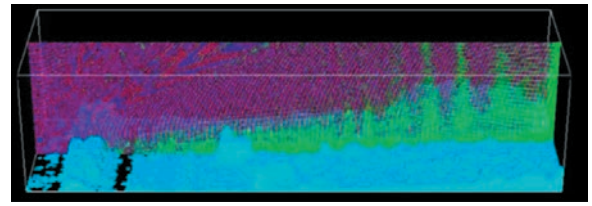


図：3次元FDTD法シミュレーションの予測状況

灰：地形建物データ、黄枠：予測範囲

赤：APU音源、青：受音点

現状では、結果の可視化等により騒音伝搬の状況を確認することができたが、実測値との比較すると予測の精度の不足が浮き彫りとなっている。その原因としては、計算において考慮できていない実測環境の要素が様々な存在することが挙げられる。



図：3次元FDTD法での騒音伝搬の可視化例（中央断面）

実際の音源は、複数周波数が混在し変動するものであるが予測では単一周波数の純音であるし、木造建築、アスファルト舗装といった地形地物の音響吸収／反射特性も個別設定できていない。風向、風速、気温、湿度といった気象条件についても、無風で一樣としている。こういった不足要素を補うことで妥当性は向上していくと考えられるため、追加開発を行うことが当面の課題となっている。

4. あとがき

現状の3次元FDTD法によるシミュレーションは単純条件のみ計算可能だが、最終的には計算可能範囲の拡大と計算要素の追加により、地表面減衰、防音壁・建物・地形起伏の影響に関するAERCプログラムの予測精度を向上させることが目標である。

最終的には要求計算量がおおよそ現状の100～200倍に増加すると見込んでいる。この数値は簡単に達成できるものではないため、現時点ではGPUによる演算高速化、並列計算による計算資源の拡張について基盤を整備しているところである。

参考文献

- 1) 山田一郎, “航空機騒音予測技術の最前線”, 航空環境研究 (2016)
- 2) M. Sugawara, H.Yshioka, I.Yamada, "Aircraft Noise Prediction Model Considering Meteorological Effects Using PE Method," INTER-NOISE 2006 (2006)
- 3) M.Sugawara, N.Shinohara, "Aircraft noise prediction model taking meteorological and terrain effects into account," INTER - NOISE 2009 (2009) .
- 4) T.Nakazawa, M.Sugawara, H.Yoshioka, I. Yamada, "Study on the validity of an airport noise model considering aircraft ground operation noise," INTER-NOISE 2015 (2015)

研究報告 航空環境研究センター研究発表会

航空機騒音予測の基礎データ作成 *

調査研究部長 吉 岡 序

1. はじめに

空港の拡張や運航便の増強、及び現状飛行経路の変更に際して事前に航空機騒音の影響を評価する必要がある、航空機騒音の予測計算が不可欠となっている。航空機騒音の予測には種々の手法¹⁾があるが、何れの手法においても、航空機騒音と運航の実情を的確に予測結果に反映するためのデータベース、所謂基礎データが必要となる。ここではセグメントモデル^{1) 2)}を想定した航空機騒音予測の基礎データ作成 / 整備について述べる。

2. 基礎データとは？

航空機騒音を予測する際、まず航空機が1機飛んだ時の音の大きさ (L_{AE}) を計算することが基本となる。航空機の音の大きさを左右する要素は、①音源における騒音の大きさ(航空機の型式やエンジン推力、指向性により異なる)、②音源からの騒音の伝搬の仕方(距離や空気吸収の減衰により異なる)、及び③大気の状態(風向風速や温度勾配により異なるが、無風・標準大気状態 [25℃ / 70%] と仮定)に大別できる。これらの要素を距離の関数で表現しデータベース化したものが基礎データと言われる。

図1は離陸時の予測点Pにおける騒音予測に必要なデータを示したイメージ図である。予測点Pにおける騒音値の算出手順は、まず航空機が予測点Pに最接近した時の飛行高度(H)、速度(V)、エンジン推力(Th)を特定し、その時の航空機から予測点Pまでの最短距離SD(以後スラントディスタンスと言う)を算出する。次に特定した速度(V)、エンジン推

力(Th)状態で、そのスラントディスタンスに相当する騒音値を後述のNPDデータから求める。

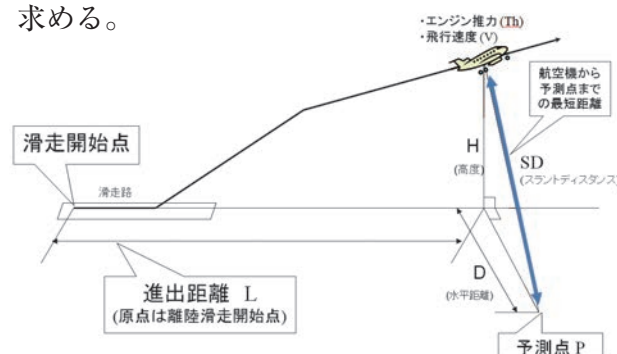


図1 離陸時の予測点Pにおける騒音予測に必要なデータのイメージ

基礎データは、フライトパフォーマンスデータ (Flight Performance Data) と、NPDデータ (Noise Power Distance Data) から成る。

フライトパフォーマンスデータとは、進出距離(離陸滑走開始又は着地点から航空機までの飛行経路を地上に投影し、それに沿った距離)に対する飛行高度・エンジン推力・飛行速度の関係を、航空機別・運航形態別・運航重量別に表したデータである。図2にフライトパフォーマンスデータの例を示した。図中横軸は進出距離を表し、縦軸は(1)では高度、(2)ではエンジン推力、そして(3)では速度を表している。

またNPDデータとは、航空機が基準速度(130kt [着陸]、160kt [離陸]、25kt [タクシング])で飛行 / 移動した時の、航空機から予測点までの最短距離SD(スラントディスタンス)に対する騒音値 (L_{AE}) の関係を、機種別・エンジン推力別に表したデータである。図3にNPDデータの例を示した。横軸は航空機から予測点までの最短距離SD(ス

* Basic data development for aircraft noise prediction

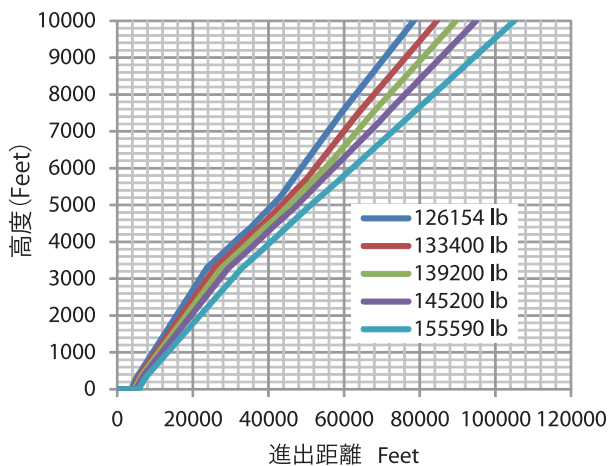


図 2 (1) フライトパフォーマンス例 [高度]

(出典: INM 6.1(統合騒音モデル 6.1 版) データベース)

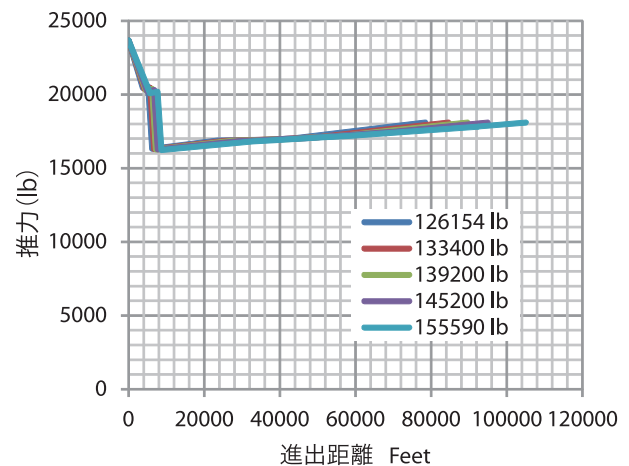


図 2 (2) フライトパフォーマンス例 [推力]

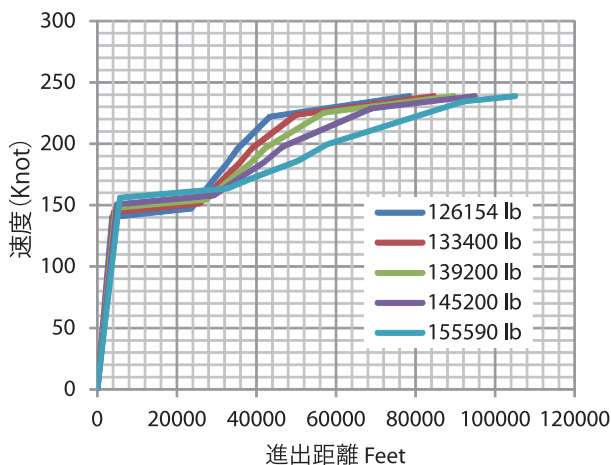


図 2 (3) フライトパフォーマンス例 [速度]

(出典: INM 6.1(統合騒音モデル 6.1 版) データベース)

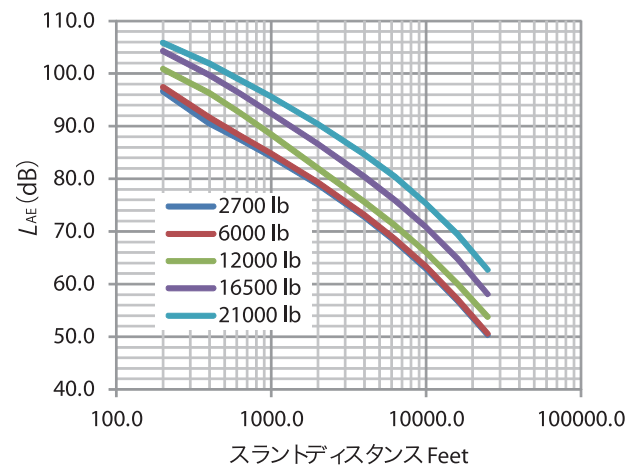


図 3 NPD データ例

ラントディスタンス)、縦軸は騒音値 (L_{AE}) をエンジン推力値別に表している。

3. 基礎データの作成 / 整備方法

基礎データの入手方法は、航空機製造メーカーから提供を受ける (方法 1)、ECAC (欧州民間航空会議) の WEB サイト³⁾ からダウンロードする (方法 2)、及び実測により基礎データを作成する (方法 3) の 3 通りある。方法 1 は、最近ではメーカーの企業情報保護等の問題もあり入手が困難であり、また方法 2 は登録制で比較的容易に入手できるが、データベースは INM6.1 (統合型騒音モデル 6.1 版) であり、その更新時期が必ずしも実運航の状

態に追従していないと言った課題がある。方法 3 はコストと手間はかかるものの、我が国での運航状態に基づいた基礎データの整備が可能である。

以下に方法 3 の実測による基礎データ (フライトパフォーマンスデータ及び NPD データ) の作成方法について述べる。

(1) フライトパフォーマンスデータ

フライトパフォーマンスデータの作成にあたり、QAR 等の機上データから、①速度 (対気速度、対地速度、マッハ数)、②エンジンパラメータ (N1 (タービン回転数)、又は EPR (エンジン圧力比))、③外気温 (SAT、TAT) について運航者から提供してもらう必要がある。

フライトパフォーマンスデータとして定義するエンジン推力は、基本的に前述①②③を基に修正エンジン推力 (F_n / δ) を算出する。そのためには機上データから求めた N1 又は EPR から修正エンジン推力を換算するための航空機メーカーが作成した換算チャートが必要である。換算チャートの入手が困難な場合は、N1 或は EPR のまま代用することとしている。最後に適切な進出距離の間隔でエンジン推力等に対応づけてパフォーマンスデータとする。なお、これら機上データが入手できない場合は、後述する騒音測定点における平均的なエンジン推力や、飛行速度について運航者から聞き取り調査を行って入手する必要がある。

(2) NPD データ

ア) 測定地点の配置

・飛行騒音 (固定翼機)

NPD データ作成のための測定点は、図 4 に示すように基本的に①離陸推力、②上昇推力、及び③着陸推力で航空機が通過する飛行経路直下 (原則測定点からの仰角 60 度以上) とする。また、必要に応じて③より遠方での④着陸推力、又は⑤レベルフライト推力で通過する測定点を設ける。なお、③着陸推力で通過する測定地点は騒音証明時の位置と同じであるが、他は異なる。

データ解析の際にスラントディスタンスも必要となるため、騒音測定と同時に航跡観測

を行う。

・地上走行騒音 (タクシング)

地上走行に係る NPD データ作成のための測定点は、図 5 に示すように直線で一定走行する誘導路に対し直角に設置する。測定は対象航空機が遠方から接近し騒音が暗騒音レベルを超え始めてから (T1)、真横 (T2) を通過して遠ざかり、騒音が暗騒音レベルと同レベル (T3) となるまで測定する。

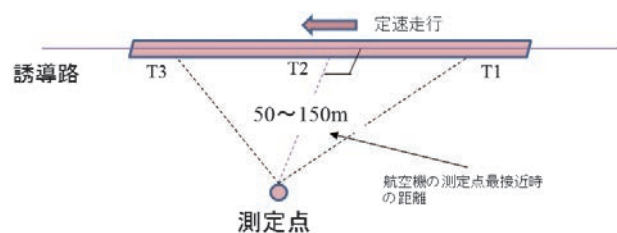


図 5 地上走行騒音の測定地点配置

・地上騒音 (APU/ エンジンテスト)

APU/ エンジンテストに係る NPD データ作成のための測定点は、図 6 に示すように予測プログラムが有する指向性の計算方式に合わせ、機体周囲の半径 (機体中心から 50 ~ 100m) の円周上に、30° 間隔で 12 か所とする。ただし、機体後方の R6 ~ R8 についてはブラストのハザードエリアに掛からぬよう安全な距離とする。エンジン出力は APU、アイドルの他、通常整備として使われるエンジン出力とする。

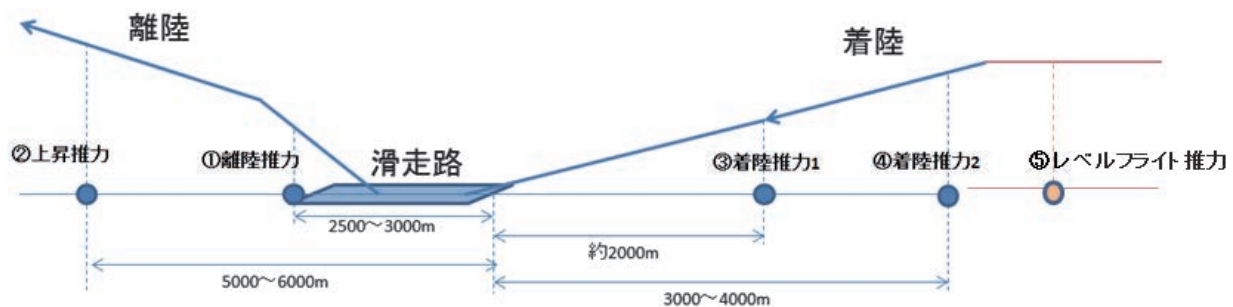


図 4 飛行騒音の測定地点配置

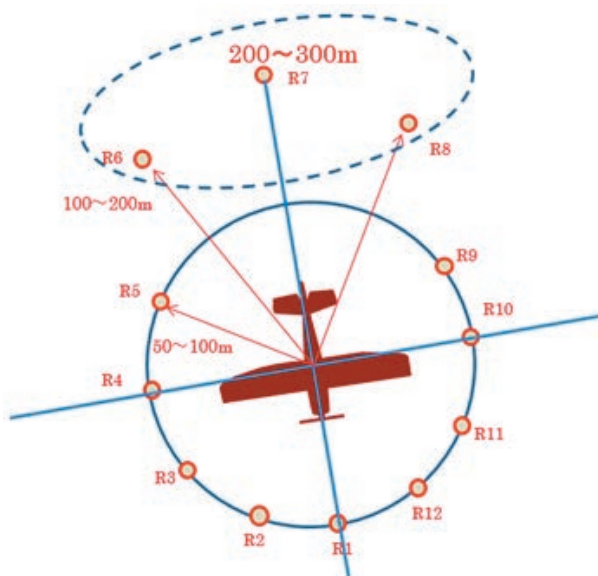


図6 地上騒音（APU/エンジンテストの測定地点配置）

イ) NPD データ解析の方法

NPD データ解析の方法は、まず (2) で示した騒音測定点で得られた騒音値を、0.1 秒間隔で 1/3 オクターブバンド分析し、その各バンドレベルについて距離減衰量と大気吸収減衰量の計算を行う。次に実測 L_{Amax} と L_{AE} の関係、及び基準スラントディスタンスに基づき、所定のスラントディスタンスに対する騒音値 (L_{AE}) を算出して、NPD データとする。

以上、基礎データの作成 / 整備方法について述べたが、いずれの方法を利用するにせよ、事前に、空港周辺に設置されている航空機騒音監視システム等の結果を基に、実測値と予測値との妥当性の検討を行う必要がある。

4. 航空機の航跡観測方法の変遷

航空機騒音の予測計算を行う上で実際の飛行経路の把握が必要である。また基礎データを作成する際にも、正確なスラントディスタンスを算出する必要がある。これらに適切に対応するため、昭和 50 年初頭より航空環境研究センターでは独自に航跡観測方法を考案 / 導入してきた。初期のころはフィルム式カメラを使用したもので、焦点距離とフィルムに写された機影のサイズから距離を算出する

方法、次に十分離れた 2 個所から航空機を方位角仰角エンコーダー付ビデオカメラで追跡して 3 次元三角測量の要領で位置を観測する方法、続いては 3～4 か所で対象航空機から発信されるモード S 信号を受信しその時間差で航空機の位置を観測する方法を考案 / 導入してきた。そして現在は当研究センターと電子航法研究所、及びリオン(株)と共同開発された技術で、空港に設置されている二次レーダの質問信号と応答信号を傍受して対象航空機の位置を算出する方法⁴⁾である。この方法は、スカイゲザーと命名して航空機騒音実態調査や基礎データ作成のための調査に活用されている。

5. まとめ

以上航空機騒音予測の基礎データ作成 / 整備について述べた。基礎データは、航空機の進出距離に対する高度・速度・推力の関係を表すフライトパフォーマンスデータと、航空機から予測点までの距離に対する騒音値の関係を表す NPD データから構成されている。

基礎データの作成 / 整備方法について、3 通り述べたが、コストと手間は掛かるものの、方法 3 として述べた「実測により基礎データを作成 / 整備」が、我が国における運航の実情を適切に反映した基礎データと言える。

また、NPD データの作成や騒音予測計算を行う上で飛行経路把握が必要であり、独自の方法を考案しながら航跡測定を実施してきた。現在はパッシブレーダー方式のスカイゲザーを開発して活用している。

参考文献

- 1) 山田一郎、「航空機騒音予測技術の最前線」、航空環境研究 No20 (2016)
- 2) 菅原政之、中澤宗康、「騒音コンター作成の現状、効率向上、クラウド化」、航空環境研究 No20 (2016)
- 3) 「ECAC Doc.29 第 3 版」、欧州民間航空会議 (2005)
- 4) 高橋英昌、「スカイゲザー (パッシブレーダー) による飛行航跡観測と性能向上」、航空環境研究 No20 (2016)

研究報告 航空環境研究センター研究発表会

スカイゲザーによる飛行航跡観測と性能向上 *

調査役 高 橋 英 昌

1. はじめに

(1) 飛行経路を観測する理由

騒音コンターを描くには個々の飛行航跡を観測して平均的な飛行経路を算出する必要がある。

(2) 他の観測手法との比較

- ・マルチラレーションと比較して機器の設置数が少なく、空港近傍への設置が可能
- ・ビデオカメラ・トラッキング法等のアナログ機器を使用した場合と比較してデジタルデータの為解析が容易



図1 スカイゲザー本体

2. レーダーとスカイゲザーの原理

レーダーは航空機からの応答波を受信した時のアンテナの方向から方位を検出し、質問波の発信から航空機の応答波を受信する迄の時間からレーダーと航空機との距離を算出する。スカイゲザーは受動型レーダーとも呼ばれる。まず、レーダーの質問波を受信し、質問間隔をカウンターとして航空機からの応答波の受信を待つ。例えば、空港監視レーダーは4秒に1回転するので、毎秒90発の質問波を発信する場合、90発目のタイミングで応答波を受信すればレーダーとスカイゲザーを軸線として時計回りに90°の方向に航空機が存在することになる。さらに、レーダーと

スカイゲザー、レーダーから航空機を経由してスカイゲザーに至る電波の伝搬時間に差が生じる。パルス間隔の整数倍の時間とのギャップから、レーダーから航空機を経由したスカイゲザー迄の距離を算出し、航空機の位置を決定する(図2参照)

3. 性能向上にむけた取り組み

リオン㈱と共同で電子航法研究所に対して、スカイゲザーの性能向上を図るために下記テーマで委託研究を行っている。

(1) H26年度の成果

最尤航跡の推定、隣接ターゲットの分離。

具体的には、応答パルスのビット落ちの補完等によるスムーズな航跡データの取得が可能となった。

(2) H27年度 連接運用によるデータ補完

同時に観測した複数のデータを融合して相互補完を行うことにより、航跡データの欠落(ブラインド・エリア)の解消を図る。

(3) H28年度 1200 応答機の識別、処理プログラムの高速化

低高度を飛行することが多く、識別符号が同じセスナ等の小型機の航跡分離及び処理の高速化。

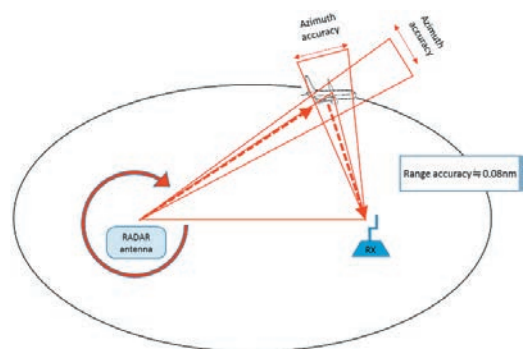


図2 スカイゲザーの測位原理

* Flight path observation using SkyGazer and its performance increase

研究報告 航空環境研究センター研究発表会

航空機が空港周辺大気環境に与える影響 —国内空港の大気環境調査結果の解析— *

主任研究員 橋本 弘樹、技術アドバイザー 鈴木 孝治

1. はじめに

大阪国際空港で長期間（昭和53年度～平成21年度）にわたり行われてきた大気環境調査、及び航空局が平成19年度から全国の空港で行ってきた短期間（1週間）の大気環境調査の結果を取りまとめ、航空機が空港周辺大気環境に与える影響を検討した。

2. 解析

2.1. 対象の大気環境調査

解析に用いた大気環境調査は、大阪国際空港の長期間の常時監視結果¹⁾と国内6空港（福岡・鹿児島・高知・那覇・新潟及び羽田空港）の短期（一週間）大気環境調査結果²⁾を用いた。

2.2. 測定地点・測定項目

空港における測定地点は、滑走路を離着陸する航空機からの影響を把握するため、滑走路を挟んだ四方に測定地点を配置した。

長期間調査の測定項目は、主として環境基準が決まっている大気汚染物質である。短期間調査の測定項目は表1に示す。空港とその周辺地域の大気汚染状況調査として環境基準が定められている物質のほか、空港とその周辺地域の臭気の現況把握調査として揮発性有機化合物（VOCs）などの臭気成分および臭気濃度、さらには航空機由来と考えられる化学物質の風向別濃度調査を行った。

2.3. 解析方法

長期間調査では、各汚染物質濃度の経年変化を一般大気測定局や道路周辺大気測定局と比較した。また、風向別の平均濃度とピーク観測率を取りまとめた。ピーク観測率につい

てはあまり行われていない解析方法であるが、測定された汚染物質濃度の経時変化チャートから読み取った風向別のピークの回数と測定時間に基づいて風向別ピーク観測率を求めた。

短期間調査では、大気汚染物質に関する環境基準の適合状況、空港周辺大気監視局データとの比較および航空機運航時および非運航時の濃度を比較した。

臭気調査については、悪臭防止法で自動車・航空機等の移動発生源は規制対象となっていないために、規制基準ではないが、臭気成分濃度の規制値と臭気指数の規制値を一番厳しい規制基準とみなして比較した。

風向別調査については、滑走路を挟んだ2か所の測定地点で滑走路側から風が吹いたときに採取した試料濃度と滑走路の反対側から風が吹いたときに採取した試料濃度との差を求めて航空機の影響を解析した。

表1 短期調査における測定項目

測定項目	①空港とその周辺の大気汚染の現況把握調査											②空港とその周辺地域の臭気成分及び臭気濃度の現況把握調査					
	大気汚染の現況把握調査																
	自動計測器による測定					キャニスターによる採取・分析		気象観測調査									
	二酸化硫黄	浮遊粒子状物質	一酸化炭素	一酸化窒素(*)	二酸化窒素	窒素酸化物	微小粒子状物質(*)	ベンゼン	トリクロロエチレン	テトラクロロエチレン	ジクロロメタン	風向	風速	温度	湿度	臭気成分	臭気濃度(3点臭濃度)
測定項目	③航空機由来化学物質の風向別濃度調査																
	風向別(2方向)濃度調査																
	アルデヒド類		揮発性有機化合物														
		ホルムアルデヒド	アセトアルデヒド	トリクロロエチレン	ベンゼン	ジクロロメタン	テトラクロロエチレン	1,3-ブタジエン	キシレン	トルエン	ヘプタン	イソオクタン	ノナン	デカン	ウンデカン		

(*) 羽田空港のみ測定

* The impact of aircraft emissions to the atmospheric environment around airports –Analytical study of domestic airports air quality measurements–

3. 結果と考察

3.1. 長期間調査結果と考察

長期間調査の結果から空港に起因する大気汚染物質の濃度は、全国の一般環境大気測定局や道路周辺大気測定局のデータと比較してやや低い値を示していた。このことから、空港からの影響は小さいと推察される。

一酸化窒素、二酸化窒素の風向別のピーク観測率は空港をはさんで設置されている2つの測定室とともに空港が風上の際に高くなる傾向がみられ、空港の影響が示唆された（図1）。その他の物質については、空港が風上の際に平均濃度とピーク観測率が高くなることはなく空港の影響がみられなかった。

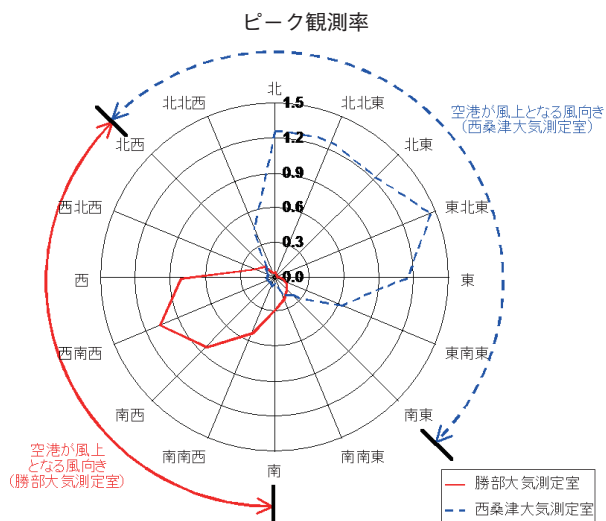


図1 二酸化窒素濃度(NO₂)の風向別平均濃度及びピーク観測率

3.2. 短期間調査結果と考察

空港およびその周辺の大気汚染物質濃度の環境基準適合状況をみると、ベンゼンを除いては環境基準を満たしていた。新潟空港、羽田空港で一部の測定地点および一部の測定日において、ベンゼンが環境基準値を超過していたが、ベンゼンの環境基準は年平均値で定められているため、短期間の測定結果だけでは年間で環境基準を満たしているかどうかを判断することはできない。

臭気調査の結果から、主な臭気成分の濃度はすべての空港で規制基準を満たしていたが、臭気指数は福岡空港、鹿児島空港、高知空港、

新潟空港で厳しい地域での規制基準を満たしていなかった。実際に空港内で大気汚染物質を測定していると、近くを航空機がタクシングする際、風が航空機側から吹いている時にはすごいエンジン燃焼臭がするので、基準を満たしていた那覇空港や羽田空港でも場所や時間を変えて試料採取を行えば基準を超えていた可能性がある。

風向別調査の結果から、滑走路を挟んだ2か所の測定地点において、滑走路側の風向の試料濃度が高い物質が観測されることもあった。しかし、すべての測定日で常に滑走路側の風向の試料濃度が高い物質はなかったため、滑走路を離着陸する際の航空機の影響は少ないと考えられる。但し、この風向別調査は、24時間で風向別に採取した試料を用いているため、風向別の平均濃度となっている。前述のNO_x等や臭気のように平均的な濃度でなく瞬時値を測定・解析できる手法で調査を行えば空港の影響が観測できる可能性はあると思われる。

4. まとめ

長期間及び短期間の大気環境調査結果から航空機排出ガス等が周辺の大気環境に与える影響を検討した。

検討の結果、環境基準の適合状況並びに周辺の大気監視局との比較結果や風向別濃度調査結果から、航空機が空港周辺大気環境に与える影響は小さいと推察される。

但し、窒素酸化物や臭気に関しては、航空機から排出された高濃度の汚染物質が風に流されて空港敷地外まで影響が及ぼされている可能性があることがわかった。

文献

- 1) 大阪国際空港周辺大気汚染監視測定室における常時測定報告書 第1報～第32報、国土交通省航空局及び空港環境整備協会
- 2) (福岡、鹿児島、高知、那覇、新潟、東京国際) 空港大気環境調査報告書、国土交通省航空局及び東京航空局

研究報告 航空環境研究センター研究発表会

航空機騒音による心身影響に関する疫学的研究 *

主任研究員 後藤 恭一、技術アドバイザー 金子 哲也

はじめに

騒音は、“不快な、または望ましくない音”と定義されている。1859 年末に出版されたフロレンス・ナイチンゲールの『看護覚え書』でも、騒音を不必要な音と定義、音も含む環境への配慮の重要性が記述されており、その指摘は現在にも通用する。騒音は、不快感といった感覚的被害に留まらず、健康や生活環境にも様々な影響を生じ、時に訴訟にさえ発展する。

騒音影響の検討は多くの分野で行われ、作業能率の低下、聴取妨害の他、いらいらや不快感などの心理影響、精神、身体両面における影響を引き起こすと報告されている。当航空環境研究センターも長期にわたり航空機騒音による心身の影響評価に取り組んできた。本稿では、騒音による心身影響研究の経緯を踏まえると共に、収集したデータに基づいた成果の一端を報告する。

1. 航空機騒音による心身影響について

騒音による心身影響の検討は古くから行われている。騒音による聴力への影響については、臨床医学的観察が 150 年も前から報告されていたが、1950 年頃から産業職場において多くの調査研究が行われ、音量との関連性について知見が蓄積された。1970 年代頃から騒音職場から生活環境へと対象が移り、多くの疫学研究が実施された。同時に、この頃から聴覚以外の影響、例えば、身体の正常機能を維持するための内分泌系や、血液やリンパ液などの体液を体内で循環させる循環器系への影響が多く研究されるようになった。1990 年

代には、環境騒音による健康影響の懸念から世界保健機関は専門委員会を設立、1999 年に「環境騒音のガイドライン」ⁱを公表した。2000 年代に入ると、それまで安眠妨害など日常生活の妨害として取り扱われていた睡眠影響が、身体影響へと繋がる二次影響としての睡眠障害に着目されるようになり、2009 年に世界保健機関欧州地域事務局 (WHO Euro) は「欧州のための夜間騒音ガイドライン」ⁱⁱを発行している。さらに WHO Euro は、騒音影響を個人の健康リスクだけではなく、社会全体に対してもリスクであるとして、2011 年に「環境騒音による疾病負荷」ⁱⁱⁱを報告した。

こうしたように、航空機騒音の検討テーマは、聴覚器、非聴覚器としての身体影響から精神、睡眠、社会的影響へと変遷したが、その背景には、検討すべき騒音が高レベルから低レベルへと変化したことや、より質の高い生活をもとめる意識の高揚が反映しているとも考えられる。

航空機騒音の健康影響は、WHO Euro をはじめ、全米科学アカデミーの運輸研究委員会も重視する課題となり、2008 年には空港共同研究プログラム (ACRP) のプロジェクト Effects of Aircraft Noise: Research Update on Selected Topics.^{iv} のひとつとなった。

i World Health Organization, Guideline for community noise., 1999

ii World Health Organization Regional Office for Europe, NIGHT NOISE GUIDELINES FOR EUROPE., 2009

iii World Health Organization Regional Office for Europe ,Burden of disease from environmental noise.,2011

iv Transportation Research Board; Airport Cooperative Research Program Synthesis Program,2008

* Effects of aviation noise on health

2. 福岡空港周辺における疫学(フィールド)調査

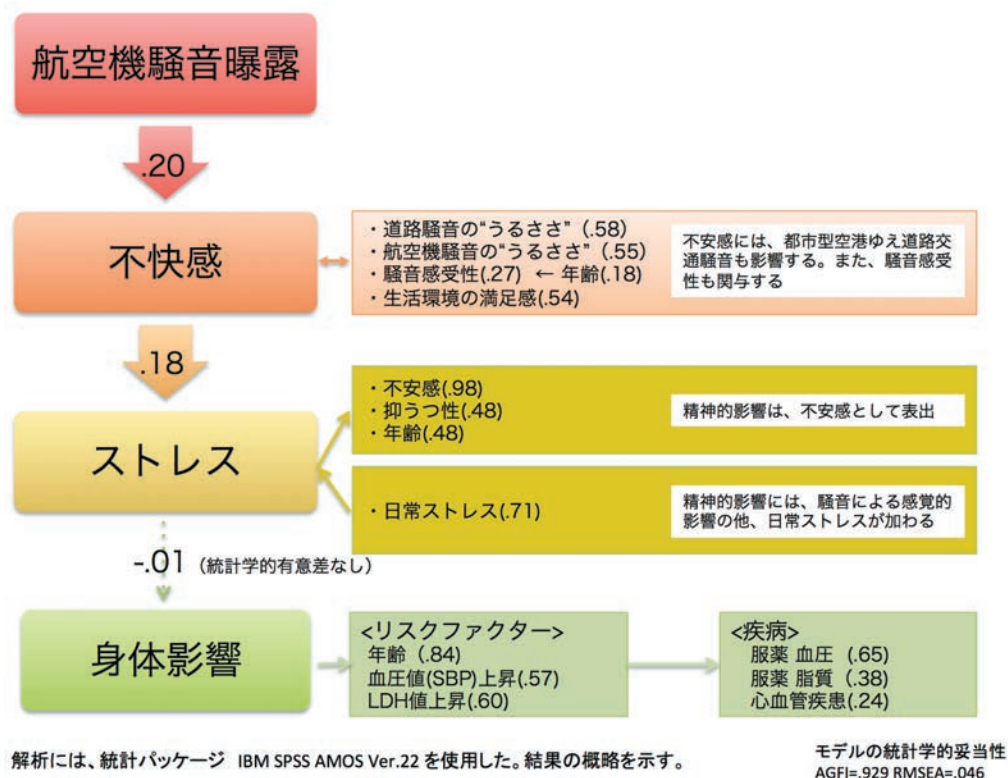
実態調査のデータに基づき、航空機による「非聴覚系影響」を検討した。解析対象は福岡空港周辺に居住している女性 1,005 名である。福岡空港は、滑走路 1 本あたりの着陸回数が全国 1 位であり、空港周辺の居住地にとっては最も騒音曝露が多い空港となっている。

解析には、複雑なデータの相互関連を分析する統計手法のひとつ、共分散構造分析を用いた。結果の概略を図に示す。図中の数値が大きい程、項目同士の関係が強いことを意味

する。数値からは、航空機騒音と感覚および精神影響との関連性は認められるが、身体影響の関連性は認められない。これらは、成田空港周辺で実施された健康影響調査^vの結果とも一致し、我が国における民間空港周辺における心身影響の実態が同様であることを推測させる。

航空機騒音による健康影響は、航空機の機材、運航頻度、経路設定などの条件や、影響の受け手である住民の年齢構成、生活スタイル等の変化によって変わりうる。今後更なる証左の蓄積が必要であろう。

航空機騒音による非聴覚器影響に関する検討



^v 成田国際空港航空機騒音健康影響調査 二次調査報告書 一般財団法人小林理学研究所 <http://www.naa.jp/jp/common/pdf/kenkou150615.pdf>

研究報告 航空環境研究センター研究発表会

海外主要空港周辺の環境施策の調査のこれまでの成果

その１ 海外主要空港周辺の環境施策調査の概要 *

主任研究員 後 藤 恭 一

1. 研究の背景と目的

航空機騒音軽減に向けた各分野の弛まぬ努力の成果、空港周辺の住宅地における騒音レベルは相当低くなった一方、運航頻度の増加に伴う発着回数の増加や、新たな経路設定による騒音影響範囲の拡大への懸念など、従来とは異なる航空環境の課題に直面している。そうした状況は諸外国においても同様、環境対策について様々な取り組みが行われている。

そこで、当協会では、海外動向、例えば、問題解決方法、制度設計までのプロセス等の事例を把握し、情報を共有化することを目的とした調査を行っている。

2. 調査方法

調査対象国の関係省庁及び対象とする空港会社等を訪問して聞き取り調査を行った。

なお、2013 年度は国土交通省航空局の支援を受けて実施した。

調査の手順は、まず、調査空港の選定し、対象空港について事前情報収集した。次に、調査項目を選出して、質問票を作成した。作成した質問票は事前に対象機関に送付して、現地におけるインタビュー調査を行った。

調査内容は、空港容量拡大のニーズと将来プラン、運営形態・役割分担、空港周辺対策（主に騒音対策）の内容・財源・根拠となる法令等、土地利用、防音対策以外の騒音低減化の方策。着陸料や税等、さらに空港から離れた遠方地域の苦情の有無とその対策、情報公開・情報共有の有用性、騒音の公平負担等多岐にわたる。

3. これまでに実施した国・空港を下表に示す。

年度	訪問国	対象空港	訪問先（機関）
2013	フランス	シャルルド ゴール空港	航空局（DGAC） 空港騒音規制局 （ACNUSA）
	オランダ	スキポール 空港	環境省（Ministry of Infrastructure and Environment） スキポール空港公社 （Schiphol Group）
	イギリス	ヒースロー 空港	イギリス航空局 （CAA） ヒースロー空港株式 会社（HAH）
	アメリカ	シアトルタ コマ空港	シアトル空港当局
		サンフラン シスコ空港	サンフランシスコ空 港当局
		ロサンゼル ス空港	ロサンゼルス空港当 局
2015	ドイツ	フランクフ ルト空港	フラポート株式会社 （Fraport AG）
	イギリス	ヒースロー 空港	ヒースロー空港株式 会社（HAH） 航空交通管制サービ ス（NATS）

4. 今後の計画

調査は今後も継続して行う。これまで実施した空港について情報をフォローするとともに、新たな空港を対象に調査を行う。現在、米国東海岸の空港の調査実施に向けて準備を行っている。また、これまでに得られた情報をライブラリ化して Web を介して情報提供する作業を目下進めている。完成次第、航空環境研究センターの HP で公開する予定でいる。

* Past achievements of our study about major airports in foreign countries

1. Outline of our study about major airports in foreign countries

研究報告 航空環境研究センター研究発表会

海外主要空港周辺の環境施策の調査のこれまでの成果

その2 欧州4空港の周辺騒音対策の紹介*

(シャルルドゴール、スキポール、ヒースロー、フランクフルト)

副主任研究員 上 田 麻 理

2016年1月25日に開催された当該研究センターの研究発表会では、欧州4空港（シャルルドゴール空港、スキポール空港、ヒースロー空港、フランクフルト空港）の空港周辺騒音対策における4つのトピックについて紹介した。2015年度の航空環境研究と併せて参照されたい。

1. 空港周辺の騒音対策の実施体制は、4空港共通して以下の通りである。

- (1) 法律・制度設計、規制の作成及び、全ての監督：国
- (2) ゾーン設定：国
- (3) 騒音コンター：空港管理者（空港会社）
- (4) 周辺対策：空港管理者（空港会社）

前報にも示した通り、欧州は基本的に汚染者負担（Polluter-Pays-Principle: PPP）の考えを騒音対策に取り入れている。

2. 騒音コンターの例 - シャルルドゴール空港 -

シャルルドゴール空港では、PGS (Noise Disturbance Maps: 騒音不快区域) と PEB (Noise Exposure Maps: 騒音曝露区域) の2種類の騒音コンターが設定されている。PGSは、主に防音工事区域であり、以下の3つのゾーンに設定されている。

- ・Zone I: $L_{den}=70$ dB 以上 計画防音量 45 dB (SPL)

- ・Zone II: $L_{den}=65$ dB 以上 計画防音量 40 dB (SPL)

- ・Zone III: $L_{den}=55$ dB 以上 計画防音量 35 dB (SPL)

PGSは5年毎に更新されるというものである。PEBは、主に土地利用規制であり、以下の4つのゾーンに設定されている。

- ・Zone A: $L_{den}=70$ dB 以上 空港関係施設以外の建設禁止区域であり、建物建設条件は計画防音量が45 dB (SPL) である。

- ・Zone B: $L_{den}=62-65$ dB 以上 空港運営に必要な宿舎以外の建設禁止区域であり、建物建設条件は計画防音量が40 dB (SPL) である。

- ・Zone C: $L_{den}=55-57$ dB 以上 空港に必要なホテル、農業以外の建設禁止区域であり、建物建設条件は計画防音量が40 dB (SPL) である。

さらに、2013年4月から下記ZoneDが新たに設定された。

- ・Zone D: $L_{den}=50$ dB 以上 防音措置さえすれば住宅の建設が可能な区域である。建物建設条件は、計画防音量が32 dB (SPL) である。なお、2015年に計画防音量が30 dB から 32 dB に変更になった。

日本における住宅防音工事エリアは $L_{den}=62$ dB 以上であるが、シャルルドゴール空港ではかなり広いエリアを設定していることが分かる。

* Past achievements of our study about major airports in foreign countries

2. Airport noise control scheme around 4 airports in Europe (Aéroport de Paris-Charles-de-Gaulle, Amsterdam Airport Schiphol, London Heathrow Airport, Frankfurt Airport)

3. 騒音課金

欧州では、汚染者負担（PPP）の考え方から着陸料に騒音課金（航空機の騒音レベルに応じた料金設定）の考えを取り入れている空港が多く、それらは各種騒音対策に充当されている。以下に示すように当該4空港でも騒音課金が取り入れられている。

- ・シャルルドゴール空港：TNSA（Tax on air noise pollution：航空騒音税）
→基本着陸料（重量別）＋TNSAを徴収
- ・スキポール空港（Civil Aviation Noise Disturbance Levy：民間航空機騒音妨害税）
→基本着陸料（重量別）に加えて騒音妨害税を徴収
- ・ヒースロー空港（Noise Limit Penalty：騒音超過罰金）
→基本着陸料（重量別）に加えて罰金として騒音超過罰金を徴収
- ・フランクフルト空港（Noise-related Charges：騒音関連課金）
→重量及び騒音値により16のカテゴリに分けられた着陸料として徴収

4. その他のトピック

その他特に注目すべきトピックとして2項を紹介する。

- ・英国政策指針計画（Planning Policy

Guidance:PPG24）の廃止

PPG24は1994年に英国環境省によって発行されたもので、地域計画当局による環境保全計画の方針及び、航空機騒音を含む様々な騒音に曝露されている地域を保全するための指標が記載されている。英国の土地利用は2012年までこのガイダンスに基づき規制されてきたが、2013年3月を持って廃止されたことが2014年に実施した調査の際に明らかになった。現在は、Aviation Policy Framework2013に変更されている。空港周辺の環境対策等は規模や地域性に大きく依存するため、国では規制をかけずに状況に応じた対策を各空港で行なうというものである。

- ・比較的離れた地域からの苦情

我が国でも、羽田便の航空機騒音の苦情が千葉等の比較的対象空港から離れた地域で発生していることが近年問題となっているが、フランクフルト空港では、マインツやオフエンバッハ等の空港から20～30 kmは離れた地域からの苦情が増加しているとのことであった。その他シャルルドゴール空港やヒースロー空港でも同距離の地域での苦情が発生している。どの空港においても具体的な解決方法は模索中であり、情報公開や地域振興等で住民の理解を得ようと考えているようであった。

研究報告 航空環境研究センター研究発表会

海外主要空港周辺の環境施策の調査のこれまでの成果

その3 進入・出発時における騒音軽減方式*

調査役 高 橋 英 昌

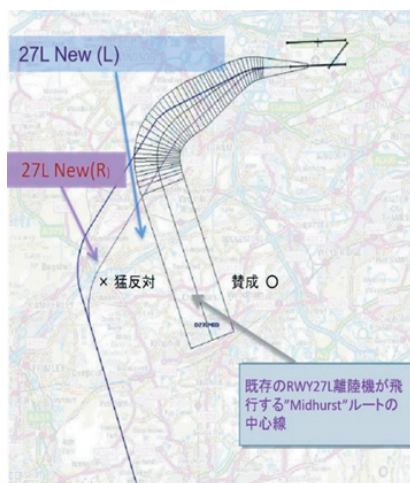
1. 滑走路の運用方法

ロンドンのヒースロー国際空港（LHR）は東西方向に伸びる2本の平行滑走路を有している。進入及び出発方向は風向によるが、弱い場合は西向きの運用（使用率7割）が行われる。離着陸は別々の滑走路を使用して行われるが、毎日午後3時に左右の滑走路の役割を交代させている。

しかし、離陸に使用する滑走路にも着陸させることがある。それは、羽田空港を上回る交通量があり、大型機が発生する後方乱気流の影響を最小限に留めるためである。

2. 出発経路の分散化

LHRの西向きの運用では、平行する2本の出発経路を新規に設定し、東向きの運用では既存の経路の両側に平行する2本の経路（下図）を設定して運用評価を2013年12月から翌年の6月にかけて実施したが、新規に設定した経路直下の住民からの反対にたい評価を中断したとのことである。一方、既存の経路を分散させた経路（右上図）では特に住民の反応は無かった様である。



3. 連続降下方式

フランクフルト国際空港：FRAでは夜間に本来の計器進入開始点より遠方からより高高度で進入を行うように指導されている。LHRでは待機区域から進入開始点迄を水平飛行しないような誘導が行われている。

4. 高降下角進入

計器着陸装置（ILS）による進入では降下角 3° が国際標準となっている。FRA及びLHRでは降下角 3.2° での運用を開始した。これにより、滑走路から17kmの地点で30m程度（915m→948m）高さを上げることができた。この地点の騒音軽減効果は0.5～1.5dB程度であるとされている。但し、自動着陸が必要とされる気象条件や十分な向い風が得られない条件では従来の 3° の角度の進入ができるようになっている。また、ロンドン・シティ空港では 5.5° の角度での進入を行っているが、当空港の滑走路は1,500mしかなく、進入速度の遅い小型のジェット旅客機（A318以下）やプロペラ機に限られる。

* Past achievements of our study about major airports in foreign countries

3. Noise abatement procedure for approach and departure

研究報告 航空環境研究センター研究発表会

アジア諸国の空港環境保全に係る調査研究と協力 *

航空環境研究センター所長 山 田 一 郎

1. 研究の動機と調査対象

アジア諸国では経済の発展とともに航空交通も拡大し、騒音等の環境課題が顕在化してきたが、その影響評価や対策に必要な知識、技術が整っていない。そこでわが国、当研究センター等の経験を活かし、各国の空港環境保全に寄与したいと考えた。一方、環境騒音の評価基準や対策等は騒音暴露と住民反応（例えばアノイアンス）の関係に基づいて立案されるが、基礎資料の大半は欧米の調査結果であり、生活様式や環境、文化習慣が異なるアジアにも当てはまるか調べる必要がある。欧米やわが国とアジア諸国では環境意識はどう違うだろうか。

調査の対象国はベトナムとタイとした。ベトナムは同国の航空局（Civil Aviation Authority of Viet Nam : CAAV）から騒音コンター作成協力要請を受けたこと、熊本大学のハノイ / ノイバイ空港周辺の航空機騒音の社会調査に協力を依頼されたことを契機として選定した。タイは十余年前にバンコックの新空港（スワナブム空港）の建設時に JICA 派遣されていた航空局職員から騒音コンターの研修に協力依頼されたことを契機に知り合った同国研究者と交流するなかベトナム同様の調査を行うことにしたものである。

2. 調査事項

ベトナム：① CAAV 及び空港会社の職員を対象に 2 回騒音コンター作成に係る研修講座を開催した。2014 年 9 月にハノイ CAAV 会議室で、2015 年 9 月にホーチミンの空港事務所会議室で開催した。熊本大学 Thu Lan

Nguyen 氏が通訳として協力してくれた。② CAAV が同年 9 月にハノイで開いた講演会で講演した。③ CAAV 職員を東京に招聘し、航空局や成田空港を訪問し施設の見学と情報交流を実施した。④ 熊本大学の矢野隆教授や Thu Lan Nguyen 氏との共同研究としてハノイ / ノイバイ空港周辺での航空機騒音に関する社会調査に協力した。また、心理学手法 PF Study 法（後述）による環境意識調査を実施した。



写真 1 ハノイにおける騒音コンター作成研修



写真 2 ベトナム航空局職員と成田空港会社との意見交換

* Study and collaboration on airport environment preservation with Asian countries

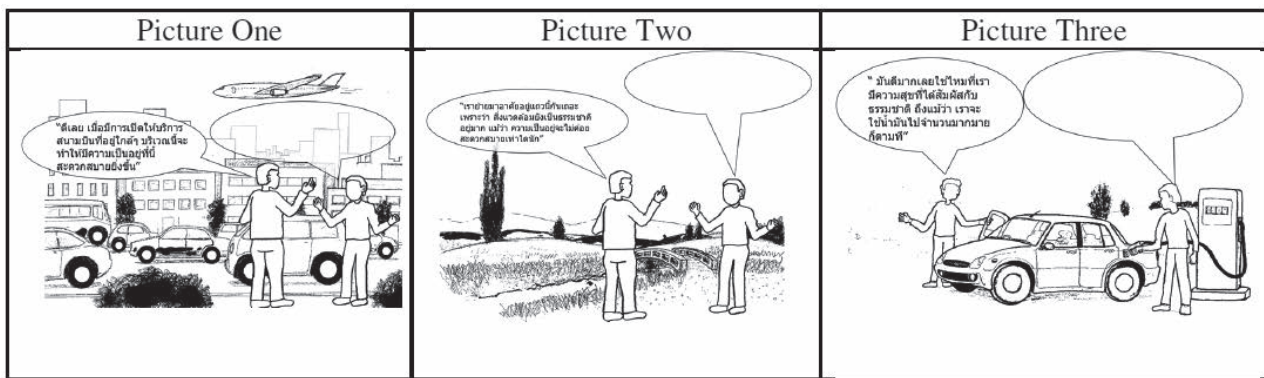


図 1 紙ベースの実験で用いた漫画

タイ：①同国研究者 Krittika LERTSAWAT 氏との共同研究としてバンコック / スワナブム空港の航空機騒音に関する社会調査と PF Study による環境意識調査を実施した。②社会調査で使用するタイ語の程度表現を決める実験と解析も行った。

協力者等：本研究の実施に際し上述の組織、方々の他、ベトナムで JICA の事業に関係されている航空局や成田空港会社の方々、タイ国の非営利法人 ENLAW THAI 財団や Thammasat 大学の研究者、タイ空港会社職員の協力、支援を得た。PF Study では大阪大学 桑野園子名誉教授、防衛施設協会 森長誠氏の助言を得た。当研究センターでこの業務に参加したのは、筆者の他、中澤宗康研究員、高橋英昌調査役である。

PF Study (Picture Frustration Study)：簡素なイラスト、漫画に二人の登場人物を描き、一人に葛藤的な内容での発言をさせ、それに応える形で（被験者に対して）もう一人の登場人物になり代わって自由記述で回答させて、被験者の意識や考え方を探る心理学的手法。米国の心理学者 Saul Rosenzweig が開発した手法。他人に仮託することで被験者が本音を語り易くなるという。

3. ベトナムの調査研究の状況

2013 年度に熊本大学と共同研究契約を結び、用紙に描いた漫画で PF study の予備実験を行った。JICA 派遣専門家を通じ、CAAV と交流を始めた。2014 年度は CAAV との面談・講演を実施し、騒音コンターの研修講座

を開催した。熊本大学のノイバイ空港での社会調査及び騒音測定、騒音予測用の基礎データ作成に協力した。ノイバイ空港の運航情報収集についても指導協力し、騒音コンターを作成した。既存漫画での PF study 実験の実施、結果の一次解析、新漫画の検討を行った。CAAV 職員を東京に招聘し、わが国の空港環境保全について見学、意見交換の機会を提供した。2015 年度はホーチミンのタンソニエット空港での騒音コンター研修講座の開催、ハノイでの CAAV 主催の講演会での講演等を行った。新漫画を用いた PF study 実験も実施した。現在、年度末の研究成果取りまとめに向けてタンソニエット空港のコンターの作成を急いでいる。PF study 解析も行っており、生活の利便性と環境影響のどちらを優先するか意識に日本と違いがあると示唆されている。

4. タイの調査研究の状況

2012 年度に ENLAW THAI 財団を介し、LERTSAWAT 氏と共同研究契約を結んで研究を開始、既往研究の文献をレビューし、調査計画を立てた。社会調査用のタイ語の程度表現選定実験を行った。2013 年度にはタイ語程度表現の追加実験を、WEB を活用して実施した。スワナブム空港での騒音の社会調査の予備調査を行った。騒音暴露の測定や社会調査用の地図情報処理の準備も行った。ベ

トナムと同じ漫画を使用した PF study も実施した。2014 年度はタイ語程度表現の選定実験結果を解析し、成果を学会発表した。スワナBUM空港での騒音測定の結果を解析し社会調査データ解析ツールの準備を行った。PF study を WEB で行った。

2015 年度はスワナBUM空港の社会調査の本調査を実施した。現在、年度末の研究成果の取りまとめに向け、解析を急いでいるところであり、騒音暴露評価に用いる騒音コンターの作成等を行っている。PF Study 実験の結果解析も併せて行っている。



写真3 タイ／スワナBUM空港における面接インタビュー

末尾ながら、この調査研究に関し、これまでに以下に示す研究発表が行なわれている。

1. Thu Lan Nguyen, Thao Linh Nguyen, Takashi Yano, Makoto Morinaga, Ichiro Yamada, Tetsumi Sato and Tsuyoshi Nishimura, Social surveys around Noi Bai Airport before and after the opening of the new terminal building, Proc. 44th INTERNOISE 2015.
2. Thu Lan Nguyen, Takashi Yano, Ichiro Yamada, Sonoko Kuwano and Huy Quang Nguyen, Picture Frustration Study on attitudes towards life convenience and natural environment in Hanoi , Proc. 44th INTERNOISE 2015.
3. Takashi Yano, Thao Linh Nguyen, Thu Lan Nguyen, Masahito Takada, Ichiro Yamada, Makoto Morinaga, Tetsumi Sato and Tsuyoshi Nishimura, Community response to a step change in aircraft noise exposure: The first socio-acoustic survey around Noi Bai Airport in Hanoi, Proc. 22nd ICSV, Florence, 2015.
4. Krittika Lertsawat, Web-based Thai Modifiers Study for Noise Annoyance Scales in Thailand, ICBEN 2014.
5. T. Yano, T.L. Nguyen, S. Yokoshima and I. Yamada, Toward the establishment of Asian Socio-Acoustic Survey Data Archive, Proc. 6th International Symposium on Temporal Design, 2013.
6. Krittika Lertsawat, Ichiro Yamada, Takashi Yano, Lalin Kovudhikulrungsri, Supaporn Malailoy, Surocha Phoolsawat, Initial of Noise Annoyance Scales Study for Preparation of the Social Survey around Airport in Bangkok” PROC. INTERNOISE 2013.

研究報告 航空環境研究センター研究発表会

日本における航空機騒音の情報公開システムのあり方について *

副主任研究員 上 田 麻 理

近年、国内外における主要空港では増大する空港需要に対応するために、空港容量の拡大が喫緊の課題である。その実現のネックの一つが騒音問題である。航空機自体の騒音レベルが下がりつつある現代では、発生源対策だけでの問題解決は難しく、デメリットの圧縮と地域リソースとしてのメリットを積極的にアピールし、地域共生を図っていくことが重要となっている。その地域共生の手段として、飛行情報や騒音レベルなどの情報公開や情報周知がある。情報公開はこれまでも様々な方法で実現されてきた。騒音や大気などの監視結果を定期的に報告書として取りまとめる、閲覧場所を定めて公開する、環境レポートや広報誌として発行・配布する方法が一般的であった。また、最近では騒音や飛行経路の実時間変化を動画としてビジュアルに示すような web 公開を空港管理者のホームページ内に導入することが多くなっている。

しかしながら、どのような情報公開が良いかは一律に決まるものではなく、国や空港、地域の状況、国民性や文化、生活スタイルによっても異なる。より社会的に確立した情報

公開の内容や方法その運用について、根拠等が求められている^{1)、2)、3)、4)}。

そこで、本研究では、日本にマッチした情報公開方法を構築することを目的として、その基礎的知見を得るために、その第一段階として国内外の情報公開システムの事例を調査した(表1)。その結果、情報提供の内容や方法は国や空港によっても様々であり、未だ一般化した主張は確立されていないことが分かった。情報提供までの遅れ時間についても、最短5分から24時間以上と様々であった。また、シャルルドゴール空港(フランス)では、区役所や特定の施設のみで閲覧可能というものであった。フランス航空局における担当者は、「情報がライブ過ぎても苦情の元となる。30分程度の適度な遅れ時間があること、特定の場所に行かなければ閲覧できないことが、(科学的根拠はないが)ちょうどいいと考えている」と述べていた。情報を出しすぎずにセーブするという考え方もあるようだ。今後は、より確立された情報公開に対する考え方及び、手法について検討する予定である。

表1 国内外の web による情報公開システムの公開内容

	フランクフルト	ヒースロー	ガトウィック	スキポール※1	ロスアンゼルス	シアトル	成田※2	羽田	中部
1. 遅れ時間	5 min.	24-48 h.	20 min.	15 min.	7 min.	10 min.	24 h.	24 h.-	10 min.
2. 騒音レベル	○	○	○	○	○	○	○	○	○
3. 位置	○	○	○	○	○	○	○	×	○
4. 高度	○	○	○	○	○	○	○	○	×
5. 発着地	○	○	○	○	○	○	○	○	○
6. 機種	○	○	○	○	○	○	○	○	○
7. 便名/エアライン名	○	○	○	×	○	○	○	×	×
8. 使用滑走路	○	○	○	○	○	○	○	○	-
9. 気象(風向き/天候等)	○	○	○	×	○	○	○	○	×
10. ヘリ/オーバーフライト	×	○	×	×	◎	○	×	×	×
11. アーカイブ	○	○	○	○	○	○	○	○	○

※1、※2 騒音レベルのみリアルタイムで公開している。

参考文献

1) 山田一郎：国際規格などにみる環境騒音の監視と情報公開の考え方、騒音制御 Vol. 33 No.1 2009.2

2) P. Hooper, et al., Proc. Inter Noise 2013, Innsbruck(2013) .

3) D. Manvell, et al., Proc. Inter Noise 2015, San Francisco (2015) .

4) M. Ueda, et al., Proc. Inter Noise 2015, San Francisco (2015) .

* How to establish a better information disclosure system on noise and environment around the airport in Japan.

航空機騒音影響の経済評価 *

研究員 高 橋 達

1. はじめに

本論では空港周辺の航空機騒音に対して人々が抱えている負担感（コスト）の金銭評価を行う。我が国の空港周辺における航空機騒音対策は「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」（航空機騒音防止法）に基づき、多くの国指定空港において騒音暴露状況に応じて対策区域を設け、区域に応じた対策が行われてきた。近年、空港周辺の騒音対策予算は減少傾向にあり、国による従来の航空機騒音対策は転換期を迎えている。

環境規制や安全規制は感情的な議論に陥りやすく、非効率な政策が採用されがちであるとの指摘（金本・蓮池・藤原，2006）もなされているように、近年環境規制や対策の政策評価が盛んにおこなわれている。航空機騒音防止法についても効率的な対策が行われているのか、つまり航空機騒音外部性の大きさを基準にした補償が行われているのかを検討することには意義があろう。本論ではその基礎的な試みとしてヘドニックモデルにより福岡空港周辺における航空機騒音影響のコストを推計する。

本論は以下のように構成される。環境特性の価値を測る代表的な手法の一つであるヘドニック法について簡単に説明し、諸外国の空港における航空機騒音影響のコストを整理する。続いて、福岡空港周辺における賃貸物件データを利用して、同空港周辺の騒音影響コストを推計する。

2. 環境の価値を計測する手法と先行研究

騒音、大気汚染などの環境汚染は市場において明示的に取引がなされておらず、その価値を価格でもって評価することが難しい。そのため、環境の価値を測る手法として経済学において大きく分けて2つの手法が考案されてきた。一つ目はアンケートやインタビューなどにより環境への支払意思額（Willingness to pay）を尋ねる方法であり、二つ目は他の財・サービスの価格を用いて間接的に推計する方法である。後者の手法はヘドニック法と呼ばれており、Rosen（1974）により理論的な基礎が与えられ、多くの環境価値の推計に用いられてきた。ヘドニック法により環境の価値を測る場合、住宅の取引価格や賃貸住宅の家賃を用いることがおおい。これは、環境汚染の多くは土地と結びついているので、居住環境の価値として住宅の価格や家賃に反映されると想定できるからである。直観的にはうるさい地域に存在する物件と静かな地域に存在する物件の間で家賃が異なるとき、その価格差を環境の価値として解釈する手法である¹。

諸外国の空港を対象として、ヘドニック法を用いて航空機騒音が家屋の取引価格に与える影響を分析した研究はいくつか存在する。表1は先行研究の結果である。ここで、NDI（Noise Depreciation Index）とは航空機騒音1dBの上昇により物件価格（家賃）が減少する割合（%）を示している。騒音レベル1dBの上昇は0.15%から0.77%程度物件価格を下げる効果を有している。

1 詳細は金本（1997）第11章を参照されたい。

* Monetary valuation of aircraft noise annoyance

表 1: 先行研究における NDI

	NDI	空港・地域
Branzini, Ramirez (2005)	0.7	ジュネーブ、スイス
Dekkers, Straaten (2009)	0.77	アムステルダム空港、オランダ
Boes, Nüesch (2011)	0.15-0.45	チューリッヒ空港、スイス

3. 福岡空港周辺における航空機騒音影響の分析

本章では福岡空港周辺を対象に航空機騒音が家賃に与える影響を分析する。

3.1 データ

物件データは不動産住宅情報サイトのスマイティ²において2014年12月から2015年4月までに掲載されていた福岡空港周辺地域³の賃貸住宅79,377件分のデータを用いる。データには物件の家賃、間取り、面積、構造、築年数などの他に、室内洗濯機置き場、バス・トイレ別などの設備条件などが含まれている。

騒音データは航空環境研究センターが予測した福岡空港周辺の L_{den} 値を用いる。50×50mのメッシュでの予測計算の結果を用いており、最も近いメッシュポイントの騒音値を物件に対応付けしている。その他に物件のアクセス特性として博多駅、天神駅、最寄り駅、空港までの距離を説明変数に加えている。

3.2 モデルと結果

以下のモデルを推計する。

$$\ln P_i = \alpha + \sum_m^M \beta_{im} X_{im} + \gamma_i noise_i + u_i.$$

ここで、 $\ln P_i$ は第*i*サンプルの家賃の対数値、 X_{im} ($m = 1, \dots, M$)は第*i*サンプルの物件特性、 $noise_i$ は第*i*サンプルの L_{den} 値、 u_i は攪乱項である。

表2は上のモデルをOLSにより推計した結果である。 L_{den} のパラメーターは負に有意に推計されており、福岡空港周辺においても航空機騒音は負の外部性として評価されている。また、 $NDI=0.125$ は先行研究の推計値と比較しても大きな違いがない。

家賃のサンプル平均(55,000円)にNDIを乗ずると、 $55,000 \times 0.00125 = 68.75$ である。つまり、平均的な物件において騒音値が1dB増加(減少)することは70円程度家賃を下落(上昇)させる。

第1種区域の基準である L_{den} 62dB以上の物件において騒音値が L_{den} 62dBまで減少する場合の効果を試算する。基準値以上の物件は3,196件存在している。それぞれの家賃とNDIの積にそれぞれの L_{den} 値と基準値との差を乗じた値の総和を計算する。これは基準値以上の物件において騒音値が基準値の水準まで減少する便益と解釈できる。

計算の結果、騒音値が基準値の水準まで減少すると、1か月あたり473,367円の便益を生じる。また、割引率が0.5%であるとする、20年間で108,370,000円の便益が生じる。

表 2: 結果

		係数	標準偏差	t	P>t
環境特性	L_{den}	-0.00125	0.000118	-10.53	0
	新幹線駅距離	-0.0832	0.001211	-68.69	0
	空港距離	0.01149	0.00211	5.45	0
	最寄り駅距離	-0.02678	0.000741	-36.12	0
物件特性	1R	-0.01985	0.001816	-10.93	0
	1DK	0.003831	0.002003	1.91	0.056
	1LDK	0.090138	0.001705	52.87	0
	2K	0.016293	0.003111	5.24	0
	2DK	0.10155	0.002815	36.08	0
	2LDK	0.079611	0.002268	35.11	0
	3K	0.133952	0.01534	8.73	0
	3DK	0.072544	0.003714	19.53	0
	3LDK	0.057413	0.002888	19.88	0
	広さ	0.013321	0.000055	242.23	0
	鉄筋コンクリート		BASE		
	鉄骨	-0.00731	0.002722	-2.69	0.007
	その他	-0.03718	0.003488	-10.66	0
	階数	0.00914	0.000207	44.19	0
	3年未満	0.249217	0.002619	95.17	0
	3-5年	0.244533	0.002901	84.28	0
	5-10年	0.221582	0.003048	72.7	0
	10-15年	0.193303	0.001935	99.88	0
	15-20年	0.149884	0.001753	85.51	0
	20年以上		BASE		

2 <http://sumaity.com/>

3 福岡県福岡市東区、博多区

4. まとめと課題

本論では環境価値を推計する代表的な手法であるヘドニック法を用いて福岡空港周辺における航空機騒音影響のコストを推計した。推計の結果、福岡空港周辺において L_{den} 1dB上昇(減少)が周辺の家賃を0.125%減少(上昇)させることが明らかになった。これは1dBの上昇はおよそ70円のコストを生じさせることを意味している。

最後に本論の課題を述べる。ヘドニック法における課題の一つに、本来加えるべき要因を説明変数に加えないことによる推計バイアスが挙げられる。本論においても新幹線や空港距離により考慮しているものの地域性の効果が十分に考慮できていない可能性がある。また、分析の簡便さを理由に騒音の効果を線形であること仮定しているが、先行研究にお

いて非線形であることが示唆されている。これら点を検討することが今後の課題である。

参考文献

- ・ 金本良嗣 (1997)『都市経済学』、東洋経済新報社
- ・ 金本良嗣・蓮池勝人・藤原徹 (2006)『政策評価ミクロモデル』、東洋経済新報社
- ・ Baranzini, A., Ramirez, J. (2005) "Paying for Quietness: The Impact of Noise on Geneva Rents" , Urban Studies, Vol.42, No.4, pp.633-646.
- ・ Boes, S., Nüesch, S. (2011) "Quasi-experimental evidence on the effect of aircraft noise on apartment rents" , Journal of Urban Economics, vol.69, pp.196-204.
- ・ Dekkers, J. E. C., van der Straaten, J. W. (2009) "Monetary valuation of aircraft noise: A hedonic analysis around Amsterdam airport", Ecological Economics, Vol.68, pp.2850-2858.
- ・ Rosen, S. (1974) "Hedonic Prices and Implicit Markets: Product Differentiation in Pure Competition" , Journal of Political Economy, Vol.82, No.1, pp.34-55.

ISO/TC43 の 2015 ミラノ総会及び作業部会の報告 *

山 田 一 郎 **

1. はじめに

音響関連の国際規格の策定改廃の審議を行う国際標準化機構 ISO の技術委員会 TC43 は、常々、TC43 本体（基礎音響）、分科委員会 SC1（騒音）、SC2（建築音響）、SC3（水中音響）に分かれて活動しているが、本体及び SC1、SC2 は総会とそれに先立つ WG の会合を時期と場所を揃えて合同開催することが多く、今回は 2015 年 9 月 14 ～ 18 日にミラノのイタリア規格協会で開催した。

航空機騒音に関係する測定・評価の観点から今回の総会を振り返れば、① ISO 1996-1（環境騒音の記述・測定・評価 第 1 部：基本量と評価手順）を FDIS（国際規格最終案）投票に掛けることになったこと（前回総会の時点では FDIS 投票を省略して正式規格にできる見込みと説明されていたが、中央事務局が方針を変更した）。② ISO 1996-1（同上 第 2 部：環境騒音レベル算定）を日本等の意見に応じて修正し、暮れに FDIS 投票に掛けることになったこと、③ トーン（純音的な成分）の検出方法を公開仕様書 PAS（正式規格とする前に作成し周知する文書）として発行することを決め新しい WG を発足すること、④ WG45 で衝撃音成分の検出方法を記述する添付書の作成作業を促進すること、⑤ WG54 のサウンドスケープに関する規格の第 2 部の題目を

データ収集と改め内容を見直すこと、第 3 部として評価方法を記述する規格を新たに作成することなどが決まった。さらに、SC1 の議長 H. Jonasson 氏（スウェーデン）が今年一杯で任期満了となり、後任には D. Manvell 氏（デンマーク）に決まった。一年半後に開催予定の次期総会はデンマークで開催することとなった（次々回総会は日本開催を提案せざるを得ない見込み）。以下、TC43/SC1 総会及び WG45、WG51、WG54 の会合の要点を述べる。

2. TC43/SC1 総会

総会は 17 日午後から 18 日午前にかけて開催された。前の 2014 年ベルリン総会以降、今回の総会までに 6 件の IS（国際規格）と 2 件の TR（技術報告書）を発行した。また、1 件の FDIS、6 件の DIS（国際規格案）、1 件の DTS（技術仕様書原案）、1 件の CD（国際規格委員会案）、2 件の NWIP（新規業務項目提案）を回付した。現在、29 件の WI（作業項目）と 2 件の PWI（予備作業項目）が進行中である。以下、環境騒音関連の総会決議事項を示す。

決議 2：ISO/PAS 20065「騒音中のトーンの可聴性を客観的に評価する方法の実用法」の発行を、各国からの意見に対する訂正と総会で合意した軽微な修正を条件に承認する。

決議 3：ISO/PAS 20065 との置き換えを意図して、新たな国際規格「騒音中のトーンの卓越を客観的に評価する方法の実用法」の作成

* Report of ISO/TC43 2015 MILANO General Assembly and Working Group meetings

**（一財）空港環境整備協会 航空環境研究センター 所長

をNWIPとする。L. Schmidt氏をプロジェクトリーダー(PL)兼コンビーナとして新WG「トーンの卓越」を設立する。

決議4: ISO 3744:2010「音圧を用いて騒音源の音響パワーレベル及び音響エネルギーレベルを算定する方法—反射面上の本質的には自由音場とみなせる音場における実用法」の存続を確認。TC43/SC1文書N2063に記載されている意見は、将来の改訂で対応するため登録。

決議5: ISO 3746:2010「音圧を用いて騒音源の音響パワーレベル/音響エネルギーレベル算定方法—反射面を覆う測定表面を用いるサーベイ(概観)法」の存続確認。TC43/SC1/N2064に記載された意見は将来の改訂対応のため登録。

決議9: ISO 17201-3:2010「射撃場騒音 第3部: 音響伝搬計算の指針」の軽微な改訂を決定し、WG51に付託。独国D. Kühner氏をPLとする。用意された文書をFDIS回付する。適用範囲は変更しない。

決議10: 「TC43/SC1が用意する規格中の測定の不確かさの取り扱いに関する方針」の指針2の第2版の改訂文書を用意し、意見と投票を求め、回付するよう要請。

決議11: 「TC43/SC1が用意する文書に記載する計測に係る要求事項の文案作成」の指針1の第3版の改訂文書を用意し、意見と投票を求め、回付するよう要請。

決議12: 事務局に対し、IEC/TC29電気音響と連絡を取りコンピュータベースの多チャンネル計測に関する指針又は規格をISO/TC43/SC1と協力し、開発するよう要請。

決議15: ISO技術管理委員会TMBにISO 11819-2「道路路面が交通騒音に及ぼす影響の測定方法 第2部: 近接法CPM」の開発計画の全体期間の9か月延長を要請。

決議16: ISO中央事務局に、ISO/PAS 11819-4: 2013「交通騒音に対する路面の影響を測定する方法第4部: 裏当て板を用いる

SPB法」の有効期限の更なる3年延長を要請。
決議18: デンマークに対し、PAS「環境騒音の衝撃成分の卓越の客観的測定方法」のNWIPを準備するように要請。作業はWG45に付託し、D. Manvell氏をPLとし、開発期間を48か月に拡張する。

決議19: ISO 12913-3「サウンドスケープ第三部: 評価」の準備をPWI登録し、WG54に付託。

決議20: ISO 12913-2の題目を「サウンドスケープ第2部: データ収集」と改める。

3. TC43/SC1/WG45

WG45はISO 1996の改訂を行うWGである。ISO 1996は環境騒音の測定・評価に関する基盤的な国際規格でわが国の航空機騒音に係る環境基準に引用されている日本工業規格JIS Z 8731(環境騒音の表示・測定方法)の原国際規格の最新版(第1部:2003年、第2部:2007年)の更なる改訂を行っている。航空機騒音測定評価マニュアルとの関連からも重要であり、改訂に当たって不都合が生じないよう内容をチェックして対応している。

今回の会合は16日9~17時及び17日9時~12時の一日半に掛けて5つの案件を討議した。日本の出席は筆者(WG委員)のみであった。

一日目午前は第2部(環境騒音の測定による評価方法)のPLのH. Jonasson氏が、DISに対する各国意見への対応を検討し、作成した案が説明され、全員で討議し対応を確定した。日本からの修正意見は概ね了承採択されたが、大気安定度やベクトル風速の直接測定方法の文献を示すべきだとの指摘に対する情報が手元になく困っていた。その修正を加え11月中にはISO/中央事務局にFDISの案として送付することとなり、総会でその旨決議された。

午後は第1部(基本量と評価手順)添付書として作成することになっている衝撃音

補正用の衝撃成分卓越の検出手順案を PL の D. Manvell 氏が説明し、討議した。前回総会で北欧規格を基本とすることが決まり今回それが提示された（前回出版前のため提示できなかった）。騒音レベルが急速に大きくなるとうるささが増すとされ、上昇率（毎秒 10dB 等）に基づいて評価される。射撃や爆破だけでなく自動車や鉄道が近傍を通過する音や航空機が低空飛行する音も衝撃音とみなされる時がある。北欧規格は納得できる内容であったが、今回は衝撃性が顕著な場合の検出方法を参考手順として示すことのみ目的とし、補正方法は除外することとなった。提案された検出方法がわが国でも適切かどうか、手元のデータで検討してみるとよいと感じた。

第 1 部の FDIS 案に追加する修正事項の討議に移り、D. Manvell 氏の要点説明の後、討議した。一つは環境騒音の分類に関する事項で環境騒音全体から音源の識別可能な特定騒音を全て除外した残りを Remaining residual sound として定義するものである。風車騒音の評価に必要と PL の P. Schomer 氏と橘委員がメール討論して追加を決めたもので、筆者も補足説明したが、会合に出席した各国の委員には理解されず、FDIS 案の回付の過程で議論することになった。

衝撃音同様、第 1 部の添付書として作成する予定の、風車騒音に対する補正手順の案作りの進展に話が移り、PL の B. Berry 氏からの報告がないため、督促することとなった。

WG45 の二日目の会合では第 1 部の添付書として作成予定の、純音成分の卓越の検出手順の公開仕様 PAS の案として回付された文書の修正仕上げに関する対処の案を PL の L. Schmidt 氏が説明し、討議した。FDIS 1996-2 でこの PAS が参照されており、FDIS 回付の前に PAS 公布が必須であるため、時間の掛かる改訂意見への対応は先送りされたが、反対はなかった。

4. TC43/SC1/WG51 射撃場からの騒音

WG51 の日本の委員が参加しなかったため、筆者がオブザーバー参加した。議題承認の後、DIS 17201 第 2 部への意見の対処案を審議した。編集的な指摘が多く、大きな問題はなかった。次に ISO 17201-3「射撃場からの騒音—第 3 部：音響伝搬計算の指針」の定期見直しの結果を審議し、改訂することとなった。コンビーナの D. Kühner 氏を PL とし、用意された文書を適用範囲の変更なしで FDIS 回付することを提案することになった。

5. TC43/SC1/WG54 サウンドスケープ

この規格は WG45 の環境騒音評価に関する規格 ISO 1996 の改訂にも関わる新たな騒音評価方法を記述するものとして注目される。WG54 の日本の委員が参加できず、筆者がオブザーバー参加した。今回は、第 2 部の WD に寄せられた意見への対処の方針を討議した。この規格は音環境を景観として把握し、評価する手法の統一的な記述を意図するものである。第 1 部は用語や手法の概念、定義を規定するもので、すでに正式規格になっている。第 2 部は、独国 B. Schulte-Fortkamp 氏が PL となり、音景観の把握方法の詳述を目指すものであるが、現在の WD は素材を集めただけで完成度が低く、進展が大幅に遅れている。そのため、会議冒頭でコンビーナと PL が厳しくやり取りし、戸惑ったが、各国の意見への対処案を考える段になってから落ち着いた。PL が頑張れば間に合うようである。

現在の第 2 部の WD は音景観を把握するためのデータ収集と評価方法が入っていることが案の構成を混乱させるので、評価方法を独立させ、第 3 部として作成するよう総会に諮ることとした。第 2 部は内容をデータの収集方法に絞ることとし、題目を Data Collection と改める。

今後、早急に CD 案を作成し、回付して各国から意見を募る。次の会議は、来年三月に

アーヘンで開催されるドイツ音響学会 DAGA の研究発表会の折に開催する。

6. 総会・WG 会合の詳細と感想

今回の SC1 総会には筆者のほか、井上仁郎氏（産業医科大学）、君塚郁夫氏（日本アイ・ビー・エム）、白橋良宏氏（日産自動車自動車・道路）、倉片治氏（産業技術総合研究所、本体幹事）の 5 名が参加した。なお、筆者は SC1 総会に日本代表として、WG45（環境騒音）には委員、WG51（射撃騒音）と W54（サウンドスケープ）にはオブザーバーとして参加した。TC43 顧問会議にも国内委員会委員長代理として参加した。

総会はイタリア規格協会の会議室で開催され、17 日 14 時に始まり 18 日 11 時に終了した。TC43 では独国が 2015 年 1 月から本体と SC1 の幹事国を務めており、本総会は独国規格協会の H. Komprobst 氏が新事務局長として采配を揮った最初の会議である。他方、H. Jonasson 氏は議長采配する最終会議となった。

議事は、議長の開会挨拶と各国代表・委員の出席確認の後、事前送付された議事次第に従い、進められた。議事録作成は恒例で英語圏代表として加国 S. Keith 氏、仏語圏代表として仏国 H. Younes 氏に依頼された。

議事の最初は事務局報告で、TC43 の活動の枠組みや活動中の WG、及び審議中の作業項目、前回総会以降の一年半に作成・改廃された規格一覧等の説明があった。ISO と協力・協働する欧州規格の審議機構 CEN の状況報告もあった。次に、今後、規格案作成が提案されている作業項目の説明、投票のため回付されている案件、現行規格の改廃等の必要性の定期見直しの投票結果、規格に記載する測定の不確かさの記述に関する内部指針の改訂、WG の活動状況報告が順次行われた。17 日は 17 時で審議を終了し、18 日 9 時に審議再開、10 時頃に全議題の審議を終えた。コーヒブレイクの後、審議に基づき作成された

21 の決議事項の内容を順次、確認・修正し、11 時頃に討議を終了し、散会となった。議長 H. Jonasson 氏の閉会宣言の後、その長年にわたる規格審議への貢献を称え、事務局長 H. Komprobst 氏から記念品と参加者の寄せ書きが手渡された。さらに昨年末に TC43 事務局長を退任したデンマークの Leif & Lotte Nielsen 夫妻にも議長から記念品が手渡され、長年にわたる貢献を称えられた。

次回総会は、前述の通り、2017 年の春にデンマークで開催する予定となったが、その決定に先立ち、欧州が続いたので次は日本でどうかと打診されたが、日本は委員長交代期で過渡的な状況なので次々回がよいと答え、了解された。次期議長の意向は、前事務局長 L. Nielsen 氏の退役の見通しを踏まえ、次はデンマークで開催したいというものだったので、当方の申し出はすんなり受け入れられた。日本は次々回総会の開催引き受けの心積もりが必要と考える。

7. ISO/TC43 顧問会議

TC43/Advisory Panel 顧問会議は 15 日 18 ～ 20 時の間、伊国規格協会から数百米離れたところにある伊国自動車工業会の会議室で開催され、議長 H. Jonnason 氏、事務局長 H. Komprobst 氏他、米英仏独加・デンマーク・ノルウェー等の十余名が参加した（筆者は橘秀樹 TC43 国内委員長代理として参加した）。他国で委員交代があり、米国は P. D. Schomer 氏から B. Hellwig 氏に、独国は G. Hubner 氏から V. Wittstock 氏に交代した。さらに、会合冒頭、議長が D. Manvell 氏に交代する予定と報告された。総会並びに TMB の承認を得る必要があるとのことである。その後、総会議題について順次、説明があり、対処方針を確認し、討議した。ISO 5135 の改訂は、新たな専門家の参加を視野に新規 WG 設立を目指し、駄目ならば WG28 に委ねる方針とする。加国から話の出た新規作業項目

(ヘッドセット装着時の騒音暴露の測定評価)はWG17の取り扱いとし、加国の提案を待つ。雪上車の業界団体ISMAから騒音許容限度に関する新規格作成依頼があり、WG42での取り扱い又は新規WG設立、専門家確保等について検討したが、総会でのISMAのプレゼンを待つこととなった(ただし、総会でのプレゼンはなかった)。ISO 17201 第6部(評価)の提案に問題はないが、TC43 本体からも専門家を招くべきでないかという意見が出たがWGからの提案を待つこととなった。PAS 20065, FDIS 1996-2 の案件は特に問題ない。ISO 11601 の存続についてノルウェー等から

ISO 7235 でカバーされ、必要性は低いとの意見が出たが、議長から今も役立つという考えが示され、改訂を提案することとなった。

次回総会開催の招聘提案がどの国からもなく、欧州が2回続いたのでアジア太平洋地域の開催はどうかという話が出た。以前、日本が打診された時に韓国に振った経緯があるため、日本にやれと言われるのではないかと危惧したが、顧問会議の時点では次期議長のD. Manvell氏からデンマーク開催はどうかと積極的な示唆があり、日本の話は出なかった(前述通り、総会直前に内々の打診があった)。

インターノイズ 2015 *

山田 一郎、中澤 宗康、上田 麻理 **

1. はじめに

インターノイズは国際騒音制御工学会 I-INCE のスポンサーシップの下に毎年各国の学会が持ち回り開催する騒音振動制御に関する国際会議である。インターノイズ 2015 は米国騒音制御工学会 (INCE-USA) と韓国騒音制御工学会 (KSNVE) が主催し、「騒音制御技術の実践 Implementing Noise Control Technology」をテーマに掲げ、サンフランシスコ市のホテル MARRIOTT MARQUIS の会議場で 8 月 9 日 (日) ~ 12 日 (水) の 4 日間にわたって開催された。米国機械学会騒音制御部門 (ASME-NCAD)、TRB/ADC40 (米国交通研究機関) も共催した。会場はサンフランシスコ市内の中心部にあって便利だが、宿泊費が非常に高かった。

2. 会議の概要

参加者：会議には 44 か国から 1112 人の参加があった。正規登録 1035 人、同伴 77 人であった。国別でみると米国、韓国、日本、中国、独国、仏国、加国の順であった。

発表数：発表は 726 編で、うちプレナリー講演 5 編、一般講演は口頭発表が 690 編、ポスター 30 編であった。申し込みでは 925 編あったので、実質投稿率 8 割で平均的といえる。論文総数も平均的といえるが、2012 年のニューヨークでは 1000 件を超えていたこと

を思えば少なかった。近年、発表の申し込みや論文提出の期限を延長することが多く、意味が曖昧になっていたため、論文委員長が「今年は絶対に延長はしない」と宣言したことが影響したかと考えるが、次年度以降も今年に倣うと予想され、期限厳守が定着するのではないだろうか。なお、口頭発表は 16 室並列で行われ、セッション総数は 73 であった。機器展示は 94 社あり、盛会であった。

研究センターの発表：筆者等 3 人が各 1 件発表した。中澤は JCAB2 モデルによる地上音を含む予測と実測の比較結果を報告し、考察を述べた。上田は国内外の航空機運航と騒音の WEB での情報公開システムの現状を調べた結果を報告し今後の課題を論じた。山田は国内 3 空港の騒音暴露状況と対策区域内の家屋数の変遷を調べた結果を報告し、土地利用規制の効果を考察した。

航空機騒音関連の発表：航空機騒音関連のセッションは空港騒音 (11 編) や航空機騒音 (9 編) 等 4 つあった。騒音マップや騒音政策・法規制等のセッションでも航空機騒音の講演があった。

プレナリー講演：例年、開会式の直後と閉会式直前にプレナリー講演が行われる。開会式後の講演はサンフランシスコ湾に架かるベイブリッジの走行車両の騒音低減の設計の話であった。閉会式前はインターノイズの創始以来の運営と発展に貢献してきた W.W. Lang 氏と G. Maling, Jr 氏のデュオ講演で、米国の騒音制御に関する今後のあり方を話された。

* Report of INTERNOISE 2015

** (一財) 空港環境整備協会 航空環境研究センター

両氏のご高齢（Lang氏は初日9日に89歳の誕生日を迎えられ、座長会議で主催者から祝福を受けた）だが、騒音の制御に掛ける気概は今も誰にも負けないものを持たれ、米国の産学だけでなく議会関係者まで働きかけている。プレナリー講演は他にも3件あり、月～水の毎日1件ずつ行われた。月曜は聴講しなかった。火曜は鉱山等で使用する大型機械の作業者の聴力保護を趣旨とする現場騒音対策の話で、筆者がNoise News Internationalのアジアパシフィック地域のニュースネタ提供でやり取りしている編集主幹J. K. Thompson氏が講演した。水曜は道路交通騒音の発生源対策に関する欧州の取り組みの報告で、デンマークJ. Kragh氏が講演した。

開会式：開会式は9日午後4時から行われた。最初は韓国KSNVE提供のアトラクションで、数人の女性演者による太鼓や笛の演奏と踊りが披露された。その後、組織委員長P. Donaban氏から歓迎挨拶、委員紹介、参加者数や論文数の説明があった後、I-INCE会長(J. Scheuren氏)が開会を宣言した。式典後は歓迎レセプションで飲み物とスナックが振る舞われた。

閉会式：閉会式は、プレナリー講演の終了後、直ちに行われ、組織委員長の挨拶、プログラム委員長の会議総括の後、I-INCE会長が閉会宣言して終了となった。その後、翌年の主催予定者独国提供で「さよならレセプション」が行われ、飲み物とスナックが振る舞われた。

座長会議：座長会議は開会式の直後に会議場の一室で開催され、セッションの進行や発表手順等について説明があった。

その他：若手研究者の研究奨励表彰の受賞者は18名であったが、日本からの受賞はなかった。バンケットは本会議の3日目11日の夜6時から湾内クルーズの船上で行われた。

3. 理事会及び定時総会、開催地選定委員会 本会議に先立ち開催された会合について記す。

理事会：2回開催され、1回目は本会議前日の8日午後、2回目は最終日12日の夕方であった。筆者はアジアパシフィック担当の理事を務めている。橘秀樹先生が2015年末で退任され、2016年から日本は山本貢平氏と筆者の二人となった。事務局長を長年にわたり務めてきた米国のR. Bernhard教授も退任し、同じ米国のP. Donaban教授が着任した。会計もベルギーのJ. P. Clairbour氏が退任、デンマークD. Manvell氏が着任した。なお、BernhardとClairbourの両氏は円滑に引き継ぐため少なくとも1年間理事会に留まる。LangとMaling, Jrの両氏も理事留任。

開催地選定委員会 (Congress Selection Committee: CSC)：CSCは今後の会議開催地を選定する委員会で、本会議前日8日午前に開催された。日本からの出席は山本氏と筆者である。筆者はアジア太平洋担当理事として委員になり、今回の会議直後から幹事を務めることとなった。各国の開催希望者と頻繁に連絡するため、緊張している。現在決まっている今後の開催地は、2016年がハンブルク、2017年が香港、2018年シカゴである。2019年は候補となっているのがマドリードとグラスゴーで2016年に決定する。

定時総会：総会は本会議の初日9日の開会式に先立って開催された。日本代表はINCE-J上田氏、ASJリオン大屋氏であった。橘氏と山本氏及び筆者もI-INCE理事として出席した。定例的議事その他、CSC委員の選挙（アジア・太平洋、南北米州、欧州・アフリカの各々）が行われた。アジア・太平洋地区の選挙では香港のM. Yeung氏が委員に当選した。

4. その他

ノルウェーI. Granøien氏と2016年ハンブルグでの航空機騒音予測に関する討議に向け下打合した。近年の航空機の基礎データ作成についてエンジン出力換算チャートが入手できず困っていることを話し、欧州での対応を

尋ねたところ、類似機種の代用で対応しているといった。欧州の航空機騒音予測手法の指針文書である ECAC DOC.29 の改訂にも関与しているようで、今後の活動について情報提供を依頼した。

5. 航空関連の発表

航空機騒音のセッション (Aircraft noise)

1. Antoine Minard et al., Controllable sound simulations of aircraft flyovers (in15_586)
航空機の飛行騒音の制御可能な音響シミュレーション
2. Yong Woo Lee et al., BEM technique for acoustic field analysis of a turboprop aircraft in cruise flight (in15_128)
BEM (境界要素法) 技術による巡航中のターボプロップ機の音場解析
3. Olivier Doutres et al., Experimental assessment of the structure-borne noise in an aircraft cabin due to vibrating equipment (in15_417)
振動を伴う装置による航空機キャビン内固体音の実験的評価
4. Gerard Borello et al., Analysis of acoustic and vibration transfers in an aircraft cockpit using energy method (in15_542)
航空機操縦室内の音響振動伝達のエネルギー手法を用いた解析
5. Denis Gely et al., Recent aeroacoustics research on airframe noise applications (in15_583)
機体フレーム騒音への応用に関する最近の空力音響的研究
6. Kenichi Morio et al., The method of identification for the type of aircrafts (in15_522)
航空機の機種識別の方法
7. Arthur Pate et al., Influence of temporal aspects of aircraft sound signature on perceived unpleasantness (in15_102)
航空機の音響的特徴の時間面の様相が感知される音の不快さ (不快感) に及ぼす影響
8. L. Brocolini et al., Influence of tonal components on the unpleasantness of airplane noise at take-off (in15_504)
トーン (純音性) 成分が離陸時の航空機騒音の不快感に及ぼす影響
9. Diana Sanchez et al., Key issues in aviation noise management (in15_097)
航空交通騒音の管理における基本的論点

空港騒音のセッション (Airport noise)

10. Katja Hein et al., Measurement method for the acoustic evaluation of benefits from innovative dispatch towing technologies At Frankfurt Airport (in15_041)
フランクフルト空港における革新的発送牽引技術からの恩恵の音響的評価の測定法
11. Jan Anders Marheim et al., Sound emission of heavy helicopters (in15_249)
大型ヘリコプタの音響放射
12. Naoaki Shinohara et al., Effects of measurement quantities in the evaluation of aircraft sound events (in15_718)
航空機騒音イベントの評価における測定量の影響
13. Christophe Rosin et al., Aircraft noise monitoring: Comparison of aircraft noise indexes calculated with two different methods of aircraft noise detection (in15_521)
航空機騒音の監視: 二通りの航空機騒音検出法で計算した航空機騒音指標の比較
14. Jae Sik Park et al., A study on the comparison between WECPNLk and Lden for military aircraft noise assessments (in15_788)
軍用航空機騒音の評価のための WECPNL と Lden の比較研究
15. Saburo Ogata et al., Impact of relaxing curfew conditions on acoustical environment at Narita International Airport (in15_443)
成田空港における音環境に関する飛行禁止条件の緩和の影響
16. Ichiro Yamada et al., Changes in sound exposure and residential situation around a few airports in Japan (in15_458)
日本の二、三空港における騒音暴露と居住状況の変化
17. Mari Ueda et al., How to establish a better information disclosure system on noise and environment around the airports in Japan (in15_465)
日本の空港における騒音と環境に関する情報周知システムの改善を如何にして実現するか
18. Takatoshi Yokota et al., Database of correction for meteorological and ground effects developed

for the aircraft noise prediction model in JAXA's DREAMS project (in15_524)

JAXA/DREAMS プロジェクトの航空機騒音予測モデルのために開発された気象と地面影響の補正のデータベース

19. Chan-Hoon Haan et al., Acoustic design of new terminal building at Incheon International Airport using computer modeling (in15_200)
計算機モデルを用いたインチョン国際空港の新ターミナルビルの音響デザイン
20. Hirokazu Ishii et al., Verification of an aircraft noise prediction model developed for JAXA's DREAMS project (in15_748)
JAXA/DREAMS プロジェクトのために開発された航空機騒音予測モデルの検証
21. Toshiyasu Nakazawa et al., Study on the validity of an airport noise model considering aircraft ground operation noise (in15_759)
航空機の地上運用騒音を考慮した航空機騒音モデルの有効性の研究
22. Michael Arntzen et al., Noise computation for future urban air traffic systems (in15_585)
将来の都市内空輸システムの騒音計算
23. Chanil Chun et al., Subjective loudness of aircraft noise in the existence of background noise (in15_932) 暗騒音存在下での航空機騒音の主観的ラウドネス

騒音政策・法・規制のセッション

(Noise Policies, Legislation and Regulations)

24. Marion Burgess, Meeting the needs with

environmental noise policies (in15_225)

環境騒音政策の要求事項への適合について

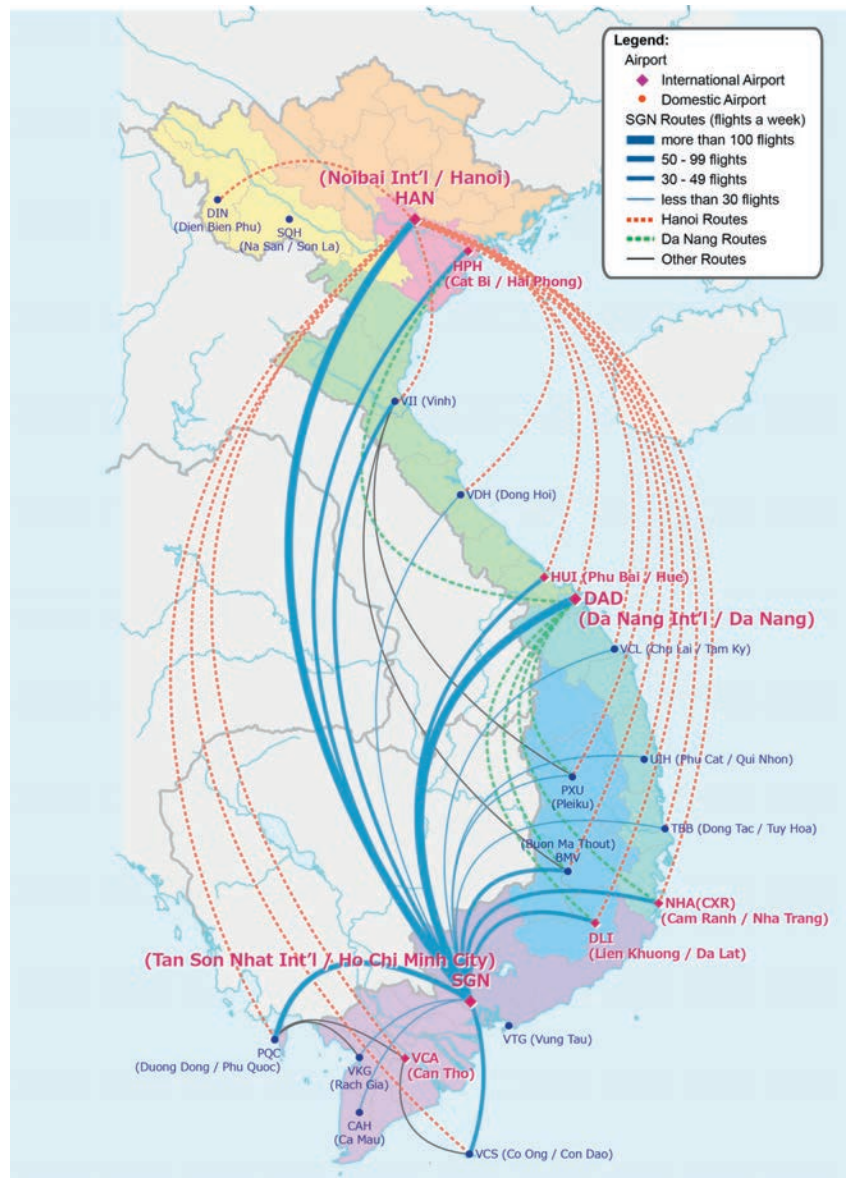
25. Christian Fabris, German policy for new noise nuisance in sensitive areas (in15_347)
騒音敏感地域における新たな騒音公害に対するドイツの政策
26. Nicholas Sylvestre-Williams, Acoustics and the Public-Private Partnership (P3) process (in15_169)
音と公私の協力関係 (P3) の過程
27. J. Maeck et al., Developing innovative solutions for traffic noise control in Europe (in15_960)
欧州における交通騒音制御の革新的解決法の開発
28. Percy Appel et al., Public participation in the legal definition of flight procedures in Germany (in15_245)
ドイツの運航手順の法的定義への市民参画
29. Rainer Friedrich et al., Strategies for the effective reduction of aircraft noise exposure at German airports (in15_092)
ドイツの空港における航空機騒音暴露の効果的削減に向けた戦略
30. Annett Zeisler et al., Legal adaptation of the establishment of flight routes - Deficit analysis and reform proposals (in15_244)
飛行経路の確立に向けた法的適応化：欠陥解析と改革提案
31. Chi-wing Law et al., Comparative study of sound power level measurements under the quality powered mechanical equipment system in Hong Kong (in15_195)
香港における品質強化した機械装置系における音響パワーレベル測定値の比較研究

海外事情 空港事情紹介

ホーチミンのタンソンニャット国際空港の現状と ロンタイン新空港の建設 *

山 田 良 平 **

ベトナム社会主義共和国はインドシナ半島の東岸に位置し、日本よりやや小さな国土と南北に長い海岸線を持つ国である。国土は大きく北部、中部、南部の3つの地域に分かれ、北部は首都のハノイ、中部はダナン、南部はホーチミンがそれぞれの中心都市となっている。ベトナムの航空路線はこの3都市、ハノイのノイバイ国際空港、ダナンのダナン国際空港、ホーチミンのタンソンニャット国際空港とその他地方空港が結ばれているという構成となっている。需要の伸びにともない、地方空港同士の路線も増えてきている。ベトナム全土では22の空港があり、すべて Airports Corporation of Vietnam (ACV) が運用している。



(出典：ロンタイン国際空港プレ FS 報告書)

* Present Conditions of Tan Son Nhat International Airport and Development of Long Thanh International Airport

** 株式会社 日本空港コンサルタンツ 国際営業本部長



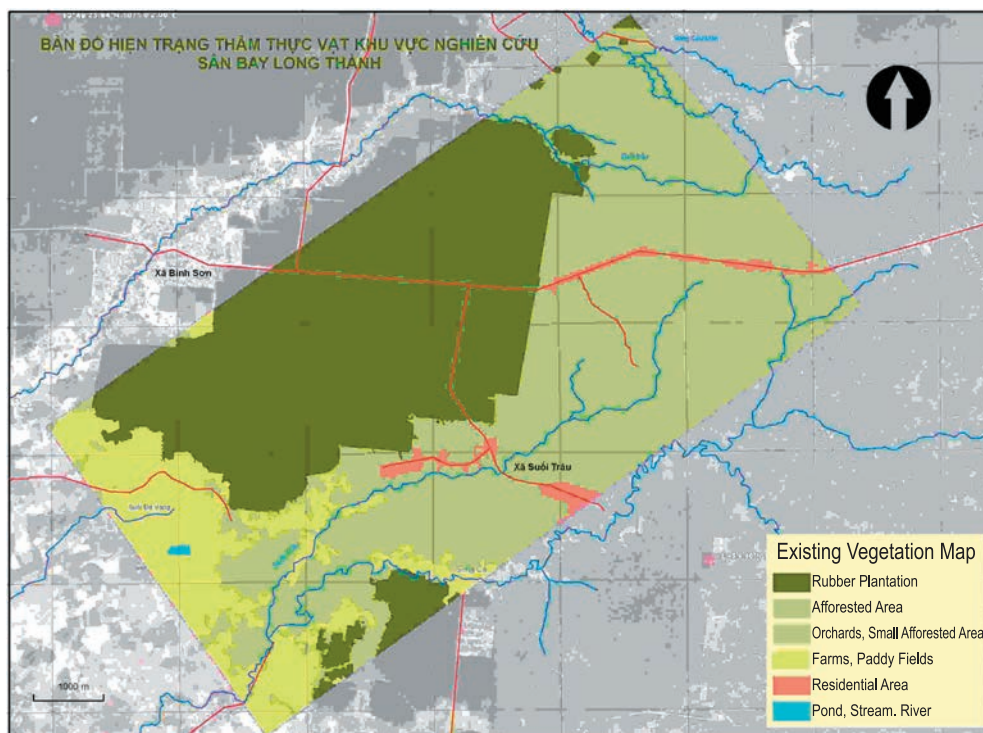
(出典：Google Earth)

南部の中心都市ホーチミンはベトナム最大の都市で、人口は約 800 万人、政治の中心ハノイ市に対して、経済の中心地となっている。現在ホーチミンにあるタンソンニャット国際空港は 1930 年代にフランス植民地政府によって建設され、1950 年代の米軍基地を経て国際空港として整備されてきた。市の中心部から 7km ほどと近く、ホーチミン市の拡大に伴い、現在では市街地にとり囲まれている。

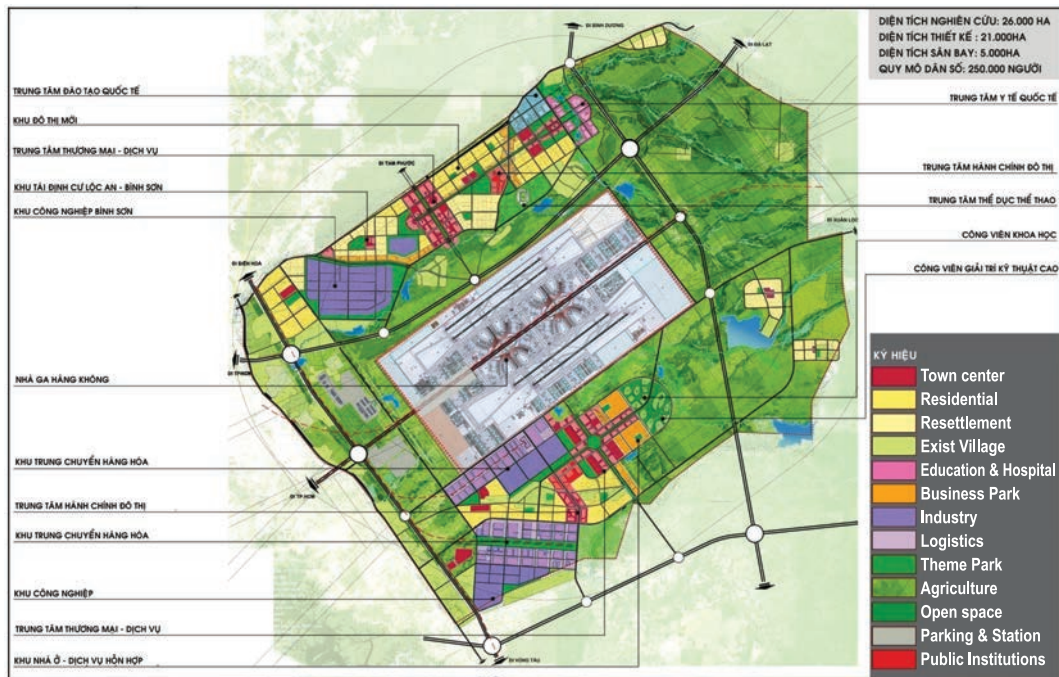
2015 年には旅客数が 2600 万人を超え、滑走路、旅客ターミナルビル、駐機場などの施設が容量の限界近いと言われている。ベトナム政府は市街地に囲まれ、拡張が困難であるタンソンニャット国際空港とは別に、ホーチ

ミン市の 35km ほど東に位置するドンナイ省のロンタイン地区を新空港用地として定め、2000 年代当初より、新空港の計画を進めてきている。しかし、新空港の規模は大きく、相当な建設資金が必要なことから、ベトナム国内でその建設の是非をめぐって議論が戦わされてきた。2010 年にはマスタープランが完成、翌 2011 年には首相がマスタープランを承認、2012 年からはプレフィージビリティ調査が始まり、新空港の建設について国会の承認が得られたのが 2015 年であった。

新空港の計画と平行して議論されたのが、現タンソンニャット国際空港の拡張と、ホーチミン市中心部から北東 30km ほどの位置にあるビエンホア空軍基地の民間空港への転用である。タンソンニャット国際空港には現在 2 本の滑走路があり、その処理能力は時間 36 回、年間 191,000 回と言われている。2015 年のピーク時にはすでに 39 回の離発着が行われていて、年間の発着回数も 140,000 回に達している。管制能力を高め、発着時間帯の調整をしても、2020 年までには限界に達すると考えられる。つまり、滑走路を増設しない限



(出典：ロンタイン国際空港プレ FS 報告書)



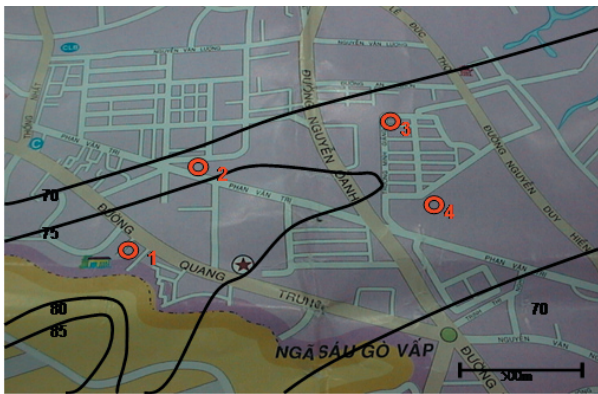
(出典：ロンタイン国際空港ブレFS 報告書)

り、ターミナル施設をいくら増設しても処理できないことになる。タンソンニャット国際空港の用地はひし形で、最も長い対角線に滑走路が位置している。滑走路を増設するのは現用地内では無理である。しかし、現在空港は稠密な住宅、商業地域に囲まれていて、用地の取得や住民移転には膨大な資金が必要となる。これはビエンホア市の市街地に位置しているビエンホア空軍基地も同様で、ベトナム政府が望む年間旅客1億人対応の空港とするには、新空港以上の資金と時間が必要となる。市街地の空港では、航空機騒音や、事故が発生した場合の被害も甚大と考えられる。一方ロンタイン新空港用地はなだらかな丘陵地帯のゴム林が広がる地域にあり、用地として指定された5km x 10kmの用地内には約5400戸、30000人が生活している。

域内に生活している人達は、域内の道路沿いに小規模な商店を開いていたたり、小規模な農業を営んでいる。何度か実施した公聴会では、空港ができることで雇用機会が増えることに期待が寄せられている。ゴム林を空港とすることで、ゴムの採取を行っている人たち

の雇用が奪われることになるが、すでにドンナイ省で住民を対象とした職業訓練が始まっている。用地収用と住民移転は用地が位置するドンナイ省が責任を持って行うことになっている。その移転用地は空港用地周辺に計画され、その整備が進められようとしている。

現空港を拡張するのか、新空港を整備するのかの決定については、環境も大きな要素になるわけであるが、ベトナムにおいては、あまり議論がなされない。現タンソンニャット国際空港は住宅地に囲まれた空港であり、進入出発経路直下に稠密な市街地が広がっている。そんな中でも航空機騒音が問題であるという声は聞かれない。現タンソンニャット国際空港に国際線旅客ターミナル（T2）を建設する際、騒音、水質、大気質などのモニタリングを実施した。工事による変化はあまり見られなかったが、工事前の状況をモニターした際、市街地の騒音がすでに基準を超えており、工事中も運用後も航空機の騒音が問題となることはなかった。騒音モニタリングは空港の出発、到着経路直下付近で実施された。



(出典：タンソンニャット国際空港国際線旅客ターミナル建設プロジェクト環境報告書)

その当時は TCVN5949-1995 という騒音の基準値が定められていて、商業地域でも日中 75dB (A)、深夜 50dB (A) を超えてはならないとされていた。モニタリングポイントでの騒音実測値は 65.6~83.7dB (A) となり、特に道路に近い場所での騒音が高い結果となった。暗騒音がこれだけ高い数値を示している、工事中、運用後も同様の高い数値を示したが、空港の運用によるものというよりは道路の騒音が主たる騒音源ということで、問題とはならなかった。

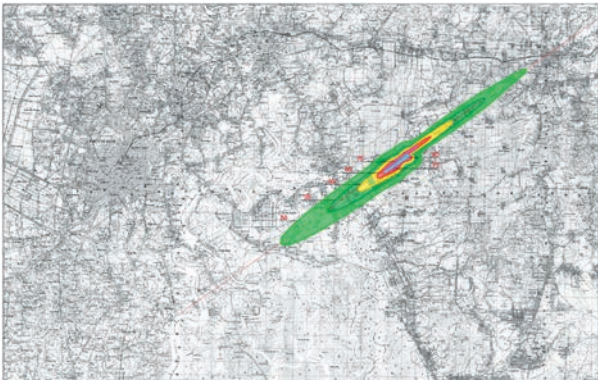
空港は 1930 年代からあったので、周囲の住宅なり商業地域は空港の周囲ということを承知で立地している。そのことも空港騒音が問題になっていない理由の一つではあるが、静穏をそれほど求めないというベトナム人の気質も理由の一つであろうかと思われる。ここで生活していると、カラオケをこれでもかという大音量で楽しみ、子供を叱りつける声、叫んでいるかのような会話であふれていることが実感される。そんな中で飛行機が上空を飛んだところで、気づきもしないというわけである。

ベトナムでは、Ministry of Natural Resources and Environment (MONRE) が環境を担当する省となっている。プロジェクトごとに環境影響評価書 (EIA) を提出し、承認を受けなくてはならないことになっている。ロンタイン国際空港プロジェクトにおいても、マス

タープラン時からこの EIA の作成を始め、何度か改訂を行ってきているが、現在要求されているのは、土取場の位置と土量である。まだプレフィージビリティ調査段階であるが、土取場の情報が EIA に入っていないことで、MONRE からの承認は得られていない。今後設計が進められ、その情報が EIA に含まれた時に承認がなされるものと思われる。

2000 年代当初に用地が選定されて以来、すでに 15 年ほどが経過しているが、新空港計画はようやく設計段階を迎えようとしている。用地はなだらかな丘陵地帯であるが、面積が大きいため、用地造成の切盛土量は 5000 万立米にも達する。今年から設計を始め、工事が始まるのは早くて 2019 年と考えられる。新空港が運用できるのは 2025 年以降であるから、さらに 10 年間は現タンソンニャット国際空港を使用しなくてはならない。ベトナムは IATA によると最も航空成長率の高い国の一つであり、近々 ASEAN 域内の空の自由化がなされることになっているなど、今後も相当の伸びが期待されるため、新空港の建設が急がれるわけである。当初は 5000ha 全域の用地収用、2 本の滑走路設置が第一期の計画であったが、国の財政状況が厳しい中、多額の建設費用がかかることから、国会で最小限の第一期計画とするよう提言されている。現在の第一期計画は滑走路 1 本、年間旅客 2500 万人対応のものである。最終的には 4 本の滑走路を持ち、年間旅客 1 億人に対応する空港となるが、整備が急がれる第一期は最小限の施設の整備を行う予定となっている。しかし、この最小限の整備であっても、民間施設を含めて約 5000 億円以上が必要とされ、その資金調達について準備がなされている。

マスタープランやプレフィージビリティ調査の中で環境影響評価も行われ、騒音については、あまり問題にはならない国ではあるが L_{den} の騒音コンターを作成した。



(出典：ロンタイン国際空港マスタープラン)

この騒音コンターは、空港周辺整備計画を行っているドンナイ省に提示され、 L_{den55} を超える区域については、病院、学校などの施設を計画しないよう提言を行った。ドンナイ省側も航空機騒音が大きくなる区域は貨物施設、倉庫などを計画し、騒音被害がないよう日本での空港計画と同様の配慮している。

第一期に建設される施設はほとんど現在のゴム林に位置している。このゴム林は国営のゴム会社が土地所有権を持っているもので、個人が土地所有権を有している場合に比べて土地の収用は時間がかからないと見られている。しかし、用地となっている5000haの中で生活している人の財産についてはすでに査定がなされ、所有権の売買などができないことになっている。この状態が長く続いているため、用地内の人々はプロジェクトの早期実

施を希望している。先述したように、第一期の運用が開始されるのが2025年以降であるから、第二期の工事も第一期完成後すぐに行わなくてはならない。土地収用を行うドンナイ省としても、用地の収用と住民移転は第一期で実施する意向である。

騒音については先述したように特に問題視されていないが、地球温暖化対策については、新空港でも検討するよう求められている。近年南部のメコン河の流量が減り、海水面が上昇していることで、海水がメコン河下流の農地に浸水し、農地が次第に耕作不能となっていることを受けて、空港計画においてもできることをやるようにとの政府の意向である。マスタープラン段階から、バックアップ用の発電機を利用したコジェネシステムの採用、雨水を再利用する旅客ターミナルビル、太陽光発電など、現在の技術で可能なものは取り入れて計画を行っている。エネルギー消費を極力抑えけるとともに、発電できる場合には発電し、それを効率的に配電するスマートエアポートとして計画がなされている。今後、CO₂排出削減ができる建材や技術が利用可能になった場合にはそれらも積極的に取り入れて、スマートエアポートであるとともに、エコエアポートでもある空港を目指して設計を進めていくことになろう。

ネットでみる米国シカゴ・オヘア空港の騒音対策 *

中村 千都世 **

1. はじめに

前号(19号)では英国ロンドン・ヒースロー空港の騒音対策について書いた。今号では米国シカゴ・オヘア空港について、ネットから収集した情報を元にして書いてみようと思う。

2. シカゴ空港の概要

1945年にエドワード・ケリー市長に任命された用地選定委員会がオーチャード・フィールドを新シカゴ空港の建設地として選定した。シカゴの北西に位置し、ダグラス航空機の組み立て工場がある場所だった。ここにはコンクリート製滑走路が4本あった。

1949年にシカゴ市議会によってオーチャード・フィールドからシカゴ・オヘア国際空港へと名称変更された。これは海軍飛行士であるエドワード・H・「ブッチ」・オヘア海軍少佐(注:アル・カポネを裏切った弁護士として有名な父親もファーストネームがエドワードなので、その父と区別するためのニックネームとして「ブッチ」が使われているらしい。)にちなんだ名である。彼は第二次世界大戦で戦死したシカゴ市の名誉勲章受章者である。

オヘア国際空港が公式に民間航空用としてオープンしたのは1955年で、最初の年には176,902人の旅客を扱った。1956年にこの空

港を利用したエアラインはアメリカン航空等13エアラインだった。

1961年の終わりにはフライトの離着陸回数が86,495まで増加した。1962年までにミッドウェー空港の全定期便がオヘア空港に移され、これにより旅客数がこの年の終わりまでに1,000万に増加して、オヘア空港は「世界で最も繁忙な空港」になった。

騒音との両立に係るオヘア・ミッドウェー空港委員会が1996年に設立されたが、この組織は近隣の地域社会に航空機騒音影響削減のための資金提供を行うなど、航空機騒音対策の方向性を決めるための舵取り役の役割を果たすこととなる。

1997年にオヘア国際空港は主要な米国空港として初めて「ハッシュハウス型エンジン試運転施設」をお披露目した。この施設は航空機の地上でのエンジン試運転騒音を削減するための最新技術を用いた施設である。

2001年6月に当時のシカゴ市長がオヘア近代化計画(O'Hare Modernization Program, OMP)を公表した。2006年にFAA(米国連邦航空局)はOMPフェーズ1の騒音プログラムのための旅客施設料の適用を承認し、空港の運航便数の上限設定を行った。2008年にFAAは運航便数の上限設定は2008年10月末までとすることを許可した。

出典 URL:<http://www.flychicago.com/OHare/EN/AboutUs/Pages/History.aspx>

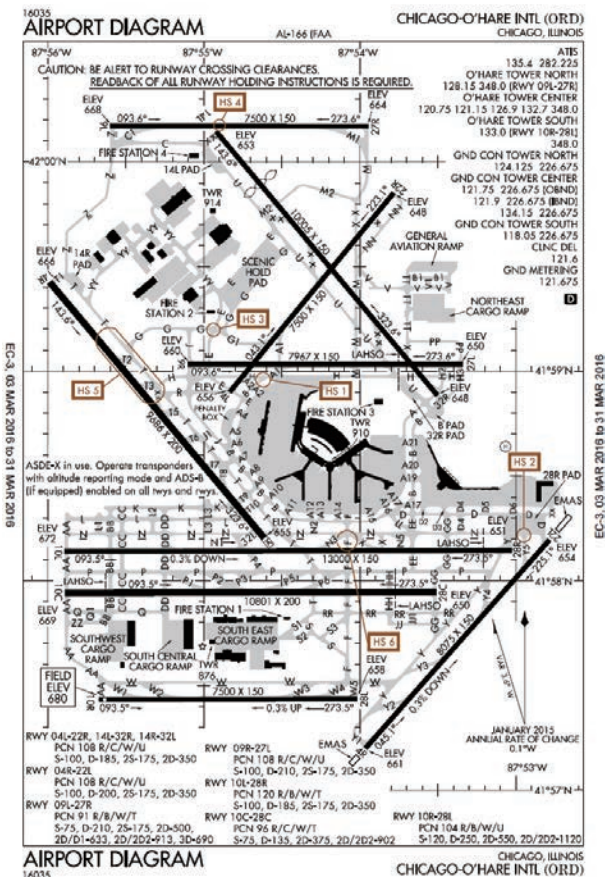
ちなみに、2015年の航空機の離着陸回数は国内便が794,684回、国際便が80,452回

* Chicago O'Hare International Airport Noise Control Measures: Internet-based research

** (一財) 空港環境整備協会 航空環境研究センター 調査研究部長付主任

の合計 875,136 回である。旅客数は国内線が 65,943,490 で国際線が 11,006,014 の合計 76,949,504 である。

出典 URL:<http://www.flychicago.com/OHare/EN/AboutUs/Facts/Pages/Air-Traffic-Data.aspx>



クック郡およびオヘア空港近傍の 16 学区が含まれる。それら 56 加盟団体の代表者は市長、市議員およびクック郡と学校の教育長であり、ONCC と関連委員会が主催する公聴会が年 20 回以上開催される。

出典 URL: <http://www.oharenoise.org/about-oncc/about-us>

ONCC はシカゴ市、シカゴ市航空課、オヘア国際空港、FAA、エアライン、パイロット、航空交通管制官、他の航空の利害関係者らと協調して、静かな空を実現するための取り組みを行っている。この機関は航空機騒音軽減に係る FAA の指針の意図を読み取り、自主的なオヘア静穏飛行計画などを実施することで、オヘア近辺で生活し、勤務する住民の生活の質の改善を目指している。

FAA がオヘア近代化計画（OMP）を 2005 年 9 月に承認した時、防音対策プログラムと航空機騒音削減のための技術関連の取り組みに関する監督責任を特に任務として ONCC に課した。これらのプロジェクトには FAA が資金を提供し、シカゴ市の資金も 20% 含んでいる。

出典 URL: <http://www.oharenoise.org/resources/publications/303-oncc-trifold-04-15-final-web/file>

4. 1. 学校の防音工事計画

オヘア学校防音工事プログラム（SSIP）はこの種のものでは世界でも最大規模のものである。1982 年に開始されたこの計画の目標は、最も騒音軽減対策を必要とする地域の学校に防音工事の資金を公正に提供することである。

シカゴ市航空課と協力して、ONCC はこれまで学校の防音工事に 3 億 5,000 万ドルを超える資金を投入しているこのプログラムを監督している。設計・施工に関する学校への助成は、FAA が空港改善プログラム基金を使って 80 パーセントを賄い、残り 20 パーセントはシカゴ市が承認済み航空旅客施設使用料およびその他の承認済み財源を使って賄う。

出典 URL: <http://www.oharenoise.org/noise-mitigation/schools>

5. 最後に

安全かつ効果的な新型の装置や手順を用いて米国の空域システムを更新する NextGen の取り組みが米国で進行しているが、シカゴ・オヘア空港ではこの取り組みによる飛行経路の変更が 2013 年 10 月に始まって以来、航空機運航の大部分は、空港南北の郊外住宅地の上空を通過するものから空港東西の地域の上空を通過するものに移行したという。同空港では多数の夜間便が運航され、毎晩 pm11:30 ~ am6:00 の間に 19 便ほど飛ぶため、住民は航空機騒音で睡眠を度々妨害されて怒り、シカゴ市航空委員が ONCC の会議で毎回、一般からの意見を聞く時間になると退席するので、騒音影響の及ぶ地域からの苦情に耳を貸さないと批判されたという。

出典 URL: <http://www.airportwatch.org.uk/2016/01/continuing-anger-in-chicago-about-large-number-of-night-flights-over-new-areas-due-to-new-runway/>

エッセイ

ICAO 航空委員会について *



吉 村 源 **

1. はじめに

本年2月1日から12日までモントリオールにて国際民間航空機関（ICAO）の航空環境保全委員会第10回会合（CAEP/10）が開催され、新たに航空機のCO₂排出物基準を国際民間航空条約第16附属書第3巻として定めることをICAO理事会に勧告することが合意された。余り知られていないが日本は本CO₂基準策定に関して多大な貢献をしており、これまで貢献いただいた関係者の方々に感謝を申し上げたい。さて、読者の皆様はICAOのことはご存じの方が多いと察するが、今回CAEP/10で合意されたCO₂基準等の国際標準が今後どのようなプロセスによって最終的に国際標準化されるか、また、自身が航空委員を務める航空委員会の概要と国際標準化のプロセスへの関わりについてご紹介したい。

2. ICAO の概要

まず簡単に国際民間航空機関（ICAO）についてご説明したい。ICAOは、1944年に米国シカゴで署名された国際民間航空条約（通称「シカゴ条約」）に基づき設立された国連の専門機関であり、国際民間航空の安全、効率性、保安、持続的発展及び環境保全を確保するための政府間の協力機関である。本部を

カナダのモントリオールにおき、2016年2月現在、191カ国が加盟している。地域事務所としては、アジア太平洋地域：バンコク（北京支所（2013年開設）を含む）、北米・カリブ海地域：メキシコシティ、南米地域：リマ、中東地域：カイロ、東南アフリカ地域：ナイロビ、西・中央アフリカ地域：ダカール、ヨーロッパ・北大西洋地域：パリの7事務所がある。2014年から2016年までの3カ年予算についてみると、約286百万カナダドル、そのうち各国の拠出金は約267百万カナダドルであり、各国の分担金は国民総所得（GNI）、国際航空運送の実績等に基づき計算され、分担率は、米国：22.07%、日本：8.07%、ドイツ：6.06%等で日本は2番目に多い額を負担している。



図1 ICAO 本部の外観

3. 組織

(1) 総会（Assembly）

総会は全締約国よりなる最高の議決機関であり、通常は3年毎に開催される。今年はちょうど総会の年であり、9月27日から10月7

* ICAO Air Navigation Commission

** 国際民間航空機関（ICAO）日本政府代表部一等書記官（ICAO 航空委員）

*** 航空委員会のシンボル。スペイン語で Vuelo と呼び、飛行を意味する。

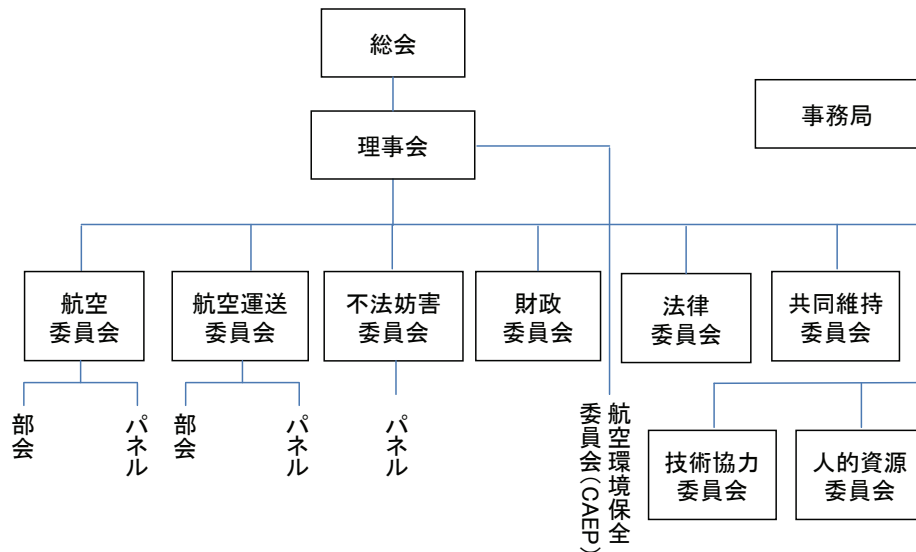


図2 ICAOの組織図

日にかけて第39回 ICAO 総会が行われる予定である。191の締約国から約1500名が参加し、理事国選挙や、向こう3年間の予算や戦略、優先事項等が全体会議、実行委員会、技術委員会、経済委員会、法律委員会、管理委員会にて議論され、総会決議として採択される。総会期間中は、参加者らは昼間は会議に集中し、夕方からは連日様々な締約国が主催するレセプションを梯子しつつ情報交換等と忙しいが、迎える側のICAO事務局や各国代表部にとって3年に1度のビッグイベントであり、周到に準備が行われる。

(2) 理事会 (Council)

総会に対して責任を負うICAOの常設会議体。総会で選出された36カ国により構成され、理事国は3年毎に改選される〔シカゴ条約第50条〕。我が国は、理事国が1956年にパート1～3で分けられることとなった際に、パート2理事国（国際民間航空のための施設の設置に最大の貢献をする国）として選ばれ、1968年にパート1理事国（航空運送において最も重要な国）に昇格した後はパート1理事国を維持している。

なお、理事会議長は3年の任期（再選可）で、理事会が選出し、任務は理事会、航空運送委

員会、航空委員会の招集、理事会の代表者となること等である〔条約第51条〕。現在の議長はナイジェリア出身のオルムイワ・ベナード・アリウ氏である。

(3) 航空委員会 (Air Navigation

Commission (以下「ANC」と呼ぶ))

ANCは締約国により指名され、理事会が任命した19委員からなっている〔条約第56条〕（私はこの委員の1人である）。ANCの任務は次のとおりである〔条約第57条〕。

- ①シカゴ条約の附属書の改正を審議し、理事会に勧告する。
- ②締約国が出席できる専門部会を設置する。
- ③航空の進歩に必要なかつ有用な情報の収集及び締約国への通知に関して理事会に助言する。

現在の委員の出身国は次のとおりである。（米国、イギリス、フランス、ロシア、日本、ドイツ、カナダ、中国、オーストラリア、ブラジル、アルゼンチン、ニジェール、ガーナ、アイスランド、スペイン、スイス、韓国、シンガポール、サウジアラビア）

委員の任期は3年で、通常総会が開かれた後の理事会で改選される。ANC議長は理事会により毎年任命され〔条約第56条〕、現在は仏出身のファリッド・ジジ氏が務めている。

る。また、委員の中から第1副議長（私自身）、第2副議長（カナダの委員）が選出され、議長を補佐する他、議長の不在の際などに議長を務めることとなっている。



図3 航空委員会のメンバー（上）及び会議場（下）

ANC 委員は理事会代表と違い、特定の国や地域を代表するものでなく、国際民間航空のコミュニティー全体の利益を代表するため、純粋に専門家の立場から個人の意見を述べる必要がある。

（4）航空運送委員会（Air Transport Committee）

条約第54条（d）に基づき、理事会が1948年に設立したもので、航空運送に関わる定期、不定期の問題、運送の容易化、保安、統計の活用等を検討している。

（5）ICAO 事務局

理事会で任命された事務局長（現在は中国出身のファン・リウ氏）及び約700人の職員から成っており、これらの職員は国際公務員である。我が国出身の職員は現在、本部に8名、バンコク事務所に1名、北京支所に1名勤務している。分担金の負担割合と比較して、邦人職員数の割合はまだ低い状況であり、

日本の貢献及びプレゼンスを向上するためにも邦人職員数を増やすことやハイレベルなポストを獲得することが長期的な課題の一つである。

4. シカゴ条約附属書の改正プロセス

シカゴ条約は、2013年に第19附属書（安全管理）が追加され、全部で19の附属書からなる。附属書の基準には、標準と勧告があり、標準は“shall”の表現が、勧告は“should”の表現が使用され、合わせて国際標準及び勧告方式（Standards and Recommended Practices、SARPs）と呼ばれている。このSARPsができるまで、または改正されるまでの一般的な流れを図4に示す。

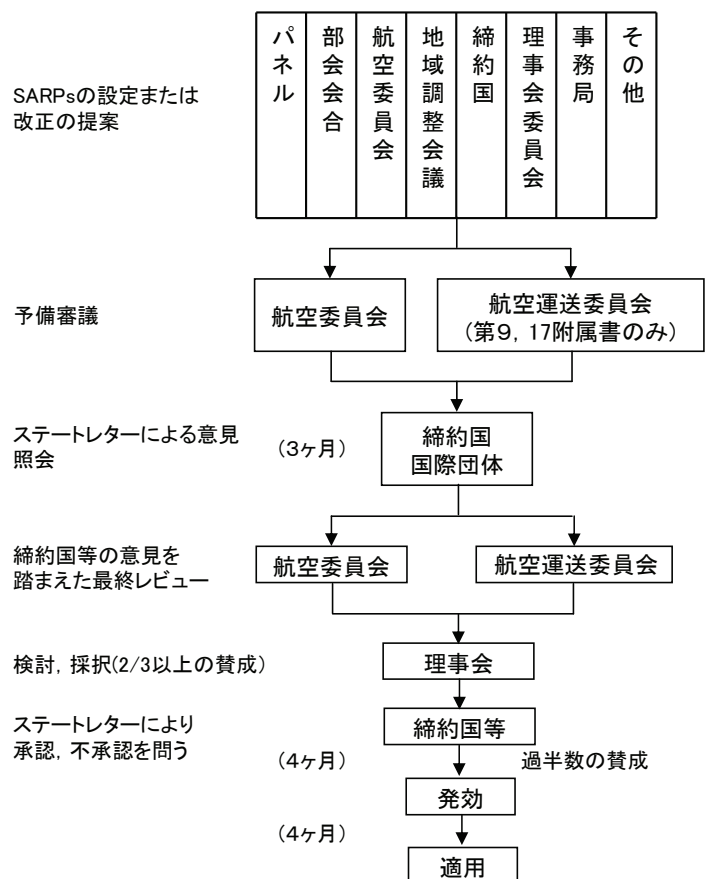


図4 附属書改正プロセス

(1) 予備審議

各国や産業界の専門家から構成されるパネル、部会会合、CAEP 等において附属書改正案が合意されると、ICAO 事務局が改正の背景や理由、安全性への影響度、導入期間の目安を加えた作業文書を作成し、航空委員会に提出する（第 9 附属書（出入国の簡易化）及び第 17 附属書（保安）は航空運送委員会が審議）。ICAO のプロセスではこれを予備審議（Preliminary Review）と呼び、航空委員は自身の技術的知見、SARPs 全体の観点、安全性等への影響度を鑑み、改正案の必要性、実現性を判断する。冒頭にも述べたが ICAO は“政府間の協力機関”であるため、一方的に 1 つの国や地域の利害を押し通すことはできず、全てコンセンサスで決定される必要があり、必要に応じて改正案を修正する場合もある。また、改正案が他の附属書等と整合性がとれていない場合や内容が不十分な場合等は提案したパネル等に差し戻すことも多々ある。

(2) ステートレターによる意見照会

無事に予備審議を通過した附属書改正案は、すべての締約国、及び国際航空運送協会（IATA）、国際定期航空操縦士協会連合会（IFALPA）、国際空港評議会（ACI）等の国際団体にステートレターという形で広く意見

照会がなされる。意見照会の期間は通常 3 ヶ月である。

(3) 最終レビュー

締約国等からは、賛成、コメント付き賛成又は反対及びその理由という形で意見が返され、ICAO 事務局はこれらの意見と、意見を踏まえた修正案をまとめた作業文書を航空委員会に提出する。航空委員会は、改正案に対する締約国からの意見と事務局から提案された修正案の適切性を判断するとともに、各国の導入に対する意見を踏まえて改正案の適用日を決定する。

(4) 理事会での採択から適用まで

最終レビューを通過した附属書改正案は、締約国の導入に必要なタスクリストや安全性等への影響評価が追加され、理事会に提出される。理事会で検討の上、採択（2／3 以上の賛成）されると、事務局がステートレターにより締約国に承認、不承認を問い、過半数の賛成が得られれば発効（Effective）となり、その後適用（Applicable）となる。

冒頭の CAEP/10 で合意された第 16 附属書改正案は、通常であれば、2016 年の春に開催される航空委員会会期で予備審議され、夏の間、各国等にステートレターにより意見照会され、2016 年の秋に最終レビューが行われ、



図5 航空委員会パネル

2017年の冬の理事会に採択されるものと想定しているが、審議の過程によりスケジュールの変更の可能性はありうる。

5. 航空委員会のワーキングメソッド

折角の機会なので、自身が務めるANCのワーキングメソッドについてご紹介したい。ANCは、自ら及びICAO事務局だけでは解決できない技術的問題を扱うためにパネルを設置する権限を理事会から委譲されている。最近の航空を取り巻くニーズに戦略的に対応するために、ANCでは直近の2年間で既存パネルや各種スタディグループを17のパネルに統廃合した。

ANCではパネルを設立する際、当該パネルの目的、メンバーの必要な専門性等を定めた委任事項(Terms of Reference、TOR)とともに、特定の課題及び期待される成果物、期日、調整すべきパネル等を定めたジョブカードを作成する。パネルはジョブカードに基づき検討を行い、通常毎年1回パネル会合を開催し、附属書改正案やガイダンスマテリアルを作成する。ANCではパネル会合の報告書をレビューするとともに、最近ではパネルの最終日にパネルの議長から直接ブリーフィングを受け、内容の把握に努めることと

している。

ANCの主な仕事は、前述のとおり、附属書改正案を審議することであるが、1つ1つの改正案には様々な論点があり、1回の会合でコンセンサスを得ることは容易ではない。一方、ANCの本会議は、国連の機関でもあるため、6カ国語（英語、フランス語、スペイン語、ロシア語、アラビア語、中国語）の同時通訳が提供される。つまり時間当たりの会議単価が高いため、効率的な審議を進めるためユニークなシステムを構築している。19名いる委員を専門分野毎に6つのグループに分け、少人数（6名）で改正案の論点整理や誤記修正等を精査する。このグループを昔はチャンピオンチームと呼んでいたが、数年前に某パネルから、“その分野の本当のチャンピオンでもないのに何がチャンピオンだ”というクレームを受け、より中立的な名称である航空委員グループと変更した経緯がある。航空委員グループ(CG)で議論した後、すぐには航空委員会で審議せず、プログラム成果プロダクション(PDP)といわれる常設のワーキンググループで19名の委員全員と産業界オブザーバーとでコンセンサスが得られるまで何時間も議論する。こうしてやっと航空委員会の本会合が開催され、本会合では専

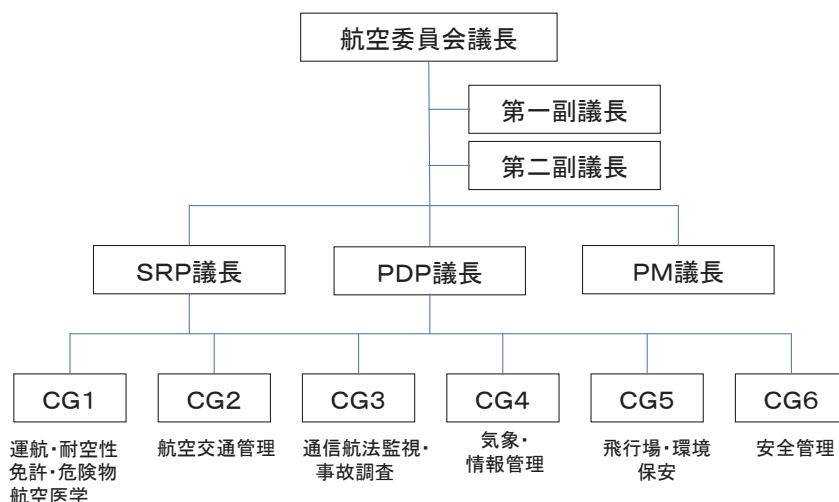


図6 航空委員会の体制

ら PDP の勧告に合意するのが一般的である。自身も昨年 1 年間はこの PDP 議長を務めたが、まずは全員の委員の意見をしっかり聞き、どの辺りがコンセンサスを得られる落としどころか見極め、結論に持って行くことがどれほど重要かということを身にしみて理解した。また、ANC には、PDP の他に、パネルの報告書等をレビューし、航空技術分野の作業計画をレビューする戦略的レビュー計画（SRP）ワーキンググループ、ANC の手続き等をレビューする手続規則（PM）ワーキンググループがある。

ICAO という組織はコンセンサスビルディングが大切であり、常日頃から、航空委員同士、事務局職員と良好な関係を構築する必要がある。朝から晩まで大小多数の会議で顔を合わせる以外に、休日には自宅に招いて会食をしたりすることもよく行われている。また、ICAO 本部内に各代表部も事務局も同居しているので、何か用事があれば、数分以内にすぐに会って話をできる近さも、合意形成の観点から大変便利である。

6. モントリオールの冬の楽しみ

モントリオールは北海道の稚内と同じ緯度に位置し、北極圏から冷たい空気が流れ込むため、冬は長くめっぽう寒い。今年は世界的な暖冬のためか、ここ数年のうちで比較的暖かいと言われているが、通常 1 月、2 月は昼中でも気温が摂氏ゼロ度を超える日はほとんどない。しかし、モントリオールっ子（ここ

ではモントリオールと呼んでいる）は、公園の中に簡易的に作ったスケートリンクや 30 分ぐらい車で走れば気軽に行けるスキー場でウィンタースポーツを楽しむ。もちろん寒さ対策は完璧にしなければならず、目出し帽の上に、分厚い発泡スチロールの詰まったヘルメットを被り、ゴーグルをして完全防備でマイナス 20 度の冬を楽しむ。

また、セントローレンス川の一部やその支流は厚い氷に覆われるため、人々はアイスフィッシングを楽しむ。極寒のアイスフィッシングと言っても、氷の上に建てられストーブが焚かれた小さな掘っ立て小屋の暖かい室内で、床に開いた氷の割れ目に、天井から吊り下げられた釣り糸を垂らす。冬のある時期大西洋から産卵のため遡上してくる鱈を短時間で何十匹も釣り上げることができ、天ぷらにすると大変旨い。

以上思いつくままに個人的見解を書いたが、今後も航空の安全向上、環境改善、日本のプレゼンス向上のために頑張っていきたい。



図7 韓国の航空委員の家族とアイスフィッシング小屋の前で

活動報告

研究センターの動き *

平成27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) 海外主要空港周辺における環境に配慮した運航方式の現状と騒音影響軽減のための調査
- (2) ICAO/CAEPの動向調査
- (3) ①航空機騒音予測技術検討調査 その1
航空機騒音予測コンタープログラムの改良
②航空機騒音予測技術検討調査 その2
コンター検証地形地物騒音伝搬シミュレーション計算ツール
- (4) 空港周辺における環境と健康に関する疫学的研究
- (5) 航跡観測装置に関する性能向上
- (6) 航空関連の大気環境調査の動向調査
- (7) アジア諸国との航空環境に係る情報交流網構築に関する調査
- (8) 情報公開システムのユーザビリティ向上のための基礎的検討
- (9) 空港周辺地域における航空機騒音の経済評価
- (10) 航空機騒音技術勉強会の実施
- (3) 東京・仙台・新千歳空港周辺航空機騒音等実態調査
- (4) 東京国際空港氷塊調査
- (5) 燃料譲与税法に係る L_{den} コンター作成業務
- (6) 富山きときと空港航空機騒音予測コンター図作成業務
- (7) 丘珠空港騒音実態調査

*注)事業主体から直接委託を受けた事業に限る

3. 研究発表・講演・受賞実績

【騒音振動関係】

- (1) 国際騒音制御工学会 INTERNOISE 2015
[アメリカ/サンフランシスコ]
①Changes in sound exposure and residential situation around a few airports in Japan.
(我が国の2,3の空港周辺における騒音暴露量と居住状況の変化について)
山田一郎、後藤恭一、平栗靖浩(徳山高専)
- ②Study on the validity of an airport noise model considering aircraft ground operation noise.
航空機の地上騒音予測の妥当性の検証
中澤宗康、菅原政之、山田一郎

* Annual activities of Aviation Environment Research Center

- ③How to establish a better information disclosure system on noise and environment around the airport in Japan.

(日本における情報公開システムのあり方について)

上田麻理、尾形三郎 (NAA)、佐藤利和 (B&K)、山田一郎

- (2) 日本騒音制御工学会 2015 年秋季研究発表会
ハノイ・ノイバイ国際空港周辺における航空機騒音予測
坂井潤、矢野隆、Thu Lan Nguyen (熊本大)、山田一郎、森長誠 (防衛施設協会)

【環境保健関係】

- (1) 日本音響学会 2015 年秋季研究発表会
(招待講演)「航空機騒音と健康影響 - 近年の知見と今後の課題 -」
金子哲也 (杏林大兼センター技術アドバイザー)、後藤恭一

- (2) 国交省東京航空局
「平成 27 年度東京国際空港環境研修会 (第 1 回)」(講師派遣依頼)
講義名「航空環境と健康」後藤恭一

【その他】

日本交通学会
2015 年度日本交通学会賞 論文の部受賞
高橋 達
「道路に関する投資分配の変更がマクロ経済に与える影響」
(『交通学研究』第 58 号)

4. 広報事業

- (1) 釧路空港「空の日」イベントへの参加
「大声コンテスト」で大声の実測体験。

- (2) (一財) 航空振興財団／航空少年団 第 39 回『航空教室』(宮崎)
講義「音と航空機騒音の話」と大声の実測体験。
(3) 第 40 回空港環境対策担当者研修の開催
空港周辺地域を管轄する関係自治体等の職員を対象に研修を実施した
(36 団体、54 名の参加)。
(4) 航空環境研究センター 研究発表会の開催
調査・研究成果の発表。
(5) 機関誌「航空環境研究」No. 20 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。

5. 各委員会委員等の委嘱状況

- (1) 平成 27 年度航空機騒音測定・評価方式に関する検討調査業務検討委員 (環境省水・大気環境局)
[任期: H27.11.2 ~ H28.3.31] (山田一郎)
(2) 成田空港の離発着制限の弾力的運用に関する検討小委員会委員 (千葉県)
[任期: H27.12.7 ~ H28.3.31] (山田一郎)
(3) 公益財団法人成田空港周辺地域共生財団 航空機騒音研究所所長 (非常勤)
[任期: H27.4.1 ~ H31.3.31] (山田一郎)
(4) 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: H27.6.22 ~ H29.3.31] (山田一郎)
(5) 放送受信事業調査業務検討委員会委員 (一般財団法人防衛施設協会)
[任期: H27.6.3 ~ H27.12.25] (山田一郎)
(6) 嘉手納飛行場周辺騒音度調査業務 (その 2) 検討委員会委員 (一般財団法人防衛施設協会)
[任期: H27.4.21 ~ H27.11.30] (山田一郎)
(7) 新田原飛行場周辺騒音度調査業務 (その 2) 検討委員会委員 (一般財団法人防衛施設協会)
[任期: H27.4.21 ~ H27.12.28] (山田一郎)

6. その他（学会等への出席）

（1）国際標準機構（ISO）

- ・第43技術委員会（TC43）国内委員会幹事（山田一郎）
（TC43：音響に関する基盤的な国際規格を審議する技術委員会）
- ・第43技術委員会第一分科会（TC43/SC1）第45作業部会（WG45）委員（山田一郎）（TC43/SC1：騒音に係る規格を扱う分科会、WG45：環境騒音測定・評価方法）
- ・第43技術委員会ISO／TC43第一分科委員会SC1騒音定例総会及び作業委員会WG45（環境騒音）等への参加
（山田一郎）[イタリア／ミラノ]

（2）国際騒音制御工学会（I-INCE）

アジア・太平洋地区副会長（山田一郎）

（3）日本騒音制御工学会

- ・理事（上田麻理）
- ・監事（山田一郎）
- ・2015年春季研究発表会（山田一郎）

（4）ICAO/CAEP/10 第6回ワーキンググループ2会議

（橋本弘樹、高橋達）[フランス／パリ]

（5）アジア諸国との航空環境に係る情報交流網構築に関する調査

- ・ベトナム国航空局への騒音予測コンタクト講義

（山田一郎、高橋英昌、中澤宗康）

[ベトナム／ホーチミン]

- ・ベトナム国航空局主催ワークショップでの講演

（岩崎貞二、山田一郎、高橋英昌、中澤宗康）[ベトナム／ハノイ]

①Japan's experience in managing airport noise: noise policy framework and implementation.

日本における空港騒音対策の歴史：騒音政策の枠組みと実施
岩崎貞二

②Airport noise management worldwide, especially in US and EU. 世界的な空港騒音対策 - 米国とEUを重点に
山田一郎

お陰様で、本機関誌も皆さまのご協力により第20号の発行となりました。お礼申し上げます。

ご記入頂きましたら、下記連絡先のFAXまでお送り下さい。(恐れ入りますがコピーをしてご利用ください。)

4/25以降 <TEL>03-6721-5271
<FAX>03-6721-5272

- 騒音対策担当者（国、地方公共団体、関係団体）
 研究者・技術者（大学、研究機関、学会関係）
 関係財団、社団、独立法人担当者
 その他（個人、団体）
 空港運営・運用担当者（国、地方公共団体、関係団体）
 測定器等のメーカー担当者（製造、開発）
 関係民間会社担当者（航空会社、コンサルタント等）

2. 「航空環境研究」を読まれてますか。

ふなまき

- C 冊子版と電子ファイル版の両方

- B** 堯棄

- C 電子ファイル版があるので冊子版はなくても良い

(コメント)

(ドメイン)

(コメント)

【NO.20号について】

6. 航空環境研究の記事で何を読みましたか。読んで面白かったのはどれですか。（○をつけてください。複数回答可）

記事	読んだ記事	面白かった記事	コメント
巻頭言 航空環境研究センターの情報提供			
焦点	ストレスによる循環器疾患発症のメカニズム		
	航空エンジンのPM排出基準について		
	次世代の航空機の運航に関する世界的動向		
	国産民間旅客機「MRJ」の低騒音化設計		
	航空環境研究センター研究発表会 (航空機騒音予測技術の研究)		
研 究 報 告	航空機騒音予測技術の最前線		
	騒音コンター作成の現状、効率向上、クラウド化		
	航空機騒音伝搬シミュレーション技術の開発と活動事例		
	航空機騒音予測の基礎データ作成		
	スカイゲーターによる飛行航跡観測と性能向上 (空港周辺の大気環境と健康影響の研究)		
	航空機が空港周辺大気環境に与える影響		
	航空機騒音による心身影響に関する疫学的研究		
	(海外の空港周辺における環境施策に関する研究)		
	①海外主要空港周辺の環境施策の調査のこれまでの成果 その1 海外主要空港周辺の環境施策調査の概要		
	その2 欧州4 空港の周辺騒音対策の紹介 その3 進人・出発時における騒音軽減方式		
海外事情	②アジア諸国の空港環境保全に係る調査研究と協力 (その他の研究)		
	日本における航空機騒音の情報公開システムのあり方について		
	航空機騒音影響の経済評価		
	ISO/TC43の2015ミラノ総会及び作業部会の報告		
	インターノイズ2015		
エッセイ ICAO航空委員会について	ホーチミンのタンソンニャット国際空港の現状とロンタイン新空港の建設 ネットのみる米国シカゴ・オヘア空港の騒音対策		
	活動報告 研究センターの動き (平成27年度)		
	編集後記		

7. そのほか、ご意見、ご感想等お気付きの点がございましたらお聞かせ下さい。

編集後記

3月22日にベルギーの空港と地下鉄でテロにより多くの死傷者が出ました。昨年11月にはパリでレストランバーとコンサート会場が同じくテロ攻撃を受け、多くの死傷者が出ました。シリアでは内戦が続き、逃げ出した難民が欧州に流れ込んで、欧州が対応に苦慮している状況が続いています。人道的な立場からすれば内戦で普通の生活ができない人々に落ち着いた生活を提供すべきなのでは、それぞれ国の事情があつて、容易には解決できない問題のようです。宗教や、人種の違い等によって生まれる軋轢は話し合いによって平和的に解決できないのでしょうか。

相互理解という意味では、航空機騒音問題も空港運営者、エアライン、航空航法業務プロバイダー、騒音に悩まされる空港周辺住民の間の調整によって解決できるのが理想なのでしょうが、それぞれの立場の違いが絡みあってなかなか難しい状況もあるかもしれません。

ところで、話は変わりますが、今年の2月にICAOの環境保護委員会(CAEP)の会議が開催されました。国際航空に関して国際規模の規制を実施するための様々な話し合いが行われたようです。最終的には秋のICAO総会で合意を得て実施されることになると思います。

今号では、ちまたで話題になっているテーマに関する外部の執筆者による原稿が集まりました。一方今回から研究センターが1月に開催した研究発表会の内容を載せることが出来、従来より多彩な内容となったのではないかと思います。

「焦点」としてはストレスと循環器疾患について、航空エンジンのPM排出基準について、次世代の航空機の運航について、国産民間旅客機MRJについての計4編、「研究報告」では、研究センターの研究発表会での発表に関する

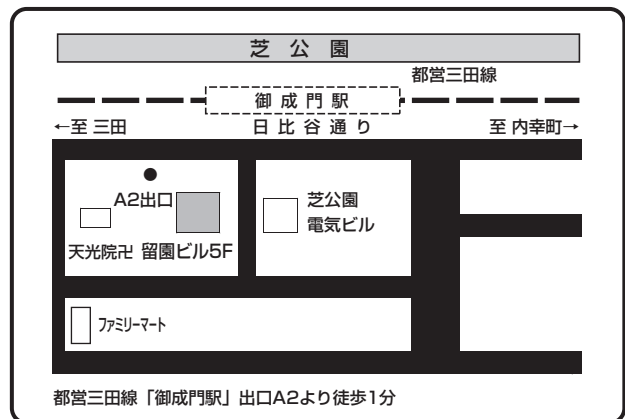
14編(発表会の概要1編、航空機騒音予測5編、空港周辺大気環境1編、航空機騒音の心身影響1編、海外空港の環境施策4編、情報公開1編、経済評価1編)、「海外事情」にはISOの動向について、インターノイズ2015について、ベトナムの空港について、シカゴ・オヘア空港についての計4編、「エッセイ」にはICAO航空委員会についての1編を掲載し、合計23編となりました。

お忙しいところ、ご執筆いただきました各執筆者の方々に深く感謝申し上げます。

なお、「航空環境研究」の今後の方向性について皆さまのご意見を参考にさせていただきたくアンケートをつけました。ご多忙とは思いますが、ご協力をよろしくお願い致します。

また、研究センターは4月末に本部と同一フロアに引っ越しますので、4月25日(月)から以下の住所となります。今後ともよろしくお願い申し上げます。

〒105-0011 東京都港区芝公園1-3-1 留園ビル5階
TEL 03-6721-5271 (代表) FAX 03-6721-5272



新航空環境研究センター案内図

航空環境研究 第20号 平成 28年 4 月 22 日発行 ©2016

発行人 山 田 一 郎

発行所 一般財団法人 空港環境整備協会 航空環境研究センター

144-0041 東京都大田区羽田空港 1-6-5 第五綜合ビル4階

電話 (03) 3747-0175 FAX (03) 3747-0738

URL : <http://www.aerc.jp/>

無断転載を禁じます

CONTENTS

PREFATORY NOTE

AERC as an information center for aviation environment	Teiji Iwasaki	1
--	---------------	---

FOCUSES

Stress and cardiovascular diseases: its potential mechanisms	Akizumi Tsutsumi	3
Particulate Matter emission standard for aircraft engines	Hitoshi Fujiwara	13
Worldwide Trend of Advanced Flight Operations of Aircraft	Atsushi Yamane	18
Low Noise Design for MRJ	Kensuke Hayashi	24

RESEARCH REPORTS

Report of the presentation meeting for AERC aviation environment studies	Yoshiyuki Hirayabu, Chitose Nakamura	30
Study of aircraft noise prediction technology		
Review of the latest situation of airport noise modeling technologies	Ichiro Yamada	32
The summary of an airport noise model: the steps for creating noise contours, developing cloud computing for the model and improvements in convenience for users	Masayuki Sugawara, Toshiyasu Nakazawa	37
Development of Computer simulation technology on aircraft noise propagation and a case-study	Toshiyasu Nakazawa, Masayuki Sugawara	40
Basic data development for aircraft noise prediction	Hisashi Yoshioka	42
Flight path observation using SkyGazer and its performance increase	Hidemasa Takahashi	46
The impact of aircraft emissions to the atmospheric environment around airports		
–Analytical study of domestic airports air quality measurements–	Hiroki Hashimoto, Koji Suzuki	47
Effects of aviation noise on health	Kyoichi Goto, Tetsuya Kaneko	49
Study of environmental scheme for communities surrounding overseas airport		
Past achievements of our study about major airports in foreign countries		
1. Outline of our study about major airports in foreign countries	Kyoichi Goto	51
2. Airport noise control scheme around 4 airports in Euro	Mari Ueda	52
3. Noise abatement procedure for approach and departure	Hidemasa Takahashi	54
Study and collaboration on airport environment preservation with Asian countries	Ichiro Yamada	55
How to establish a better information disclosure system on noise and environment around the airport in Japan	Mari Ueda	58
Monetary valuation of aircraft noise annoyance	Toru Takahashi	59

OVERSEAS CIRCUMSTANCES

Report of ISO/TC43 2015 MILANO General Assembly and Working Group meetings	Ichiro Yamada	62
Report of INTERNOISE 2015	Ichiro Yamada, Toshiyasu Nakazawa, Mari Ueda	67
Present Conditions of Tan Son Nhat International Airport and Development of Long Thanh International Airport	Ryohei Yamada	71
Chicago O'Hare International Airport Noise Control Measures: Internet-based research	Chitose Nakamura	76

ESSAY

ICAO Air Navigation Commission	Hajime Yoshimura	79
--------------------------------	------------------	----

ACTIVITIES OF AERC

Annual activities of Aviation Environment Research Center	Management Division	85
---	---------------------	----

QUESTIONNAIRE

88