

航空機騒音予測の過去から現在*

吉岡 序**、篠原 直明***

1973年に環境庁より「航空機騒音に係る環境基準」¹⁾が告示されて以来、およそ半世紀が経過した。この間、積極的に発生源対策や周辺対策が進められた結果、現在では空港周辺における航空機騒音の暴露の影響は大幅に軽減されている。これらの環境対策を講じるための基礎となる航空機騒音評価を行う上で、航空機騒音の予測計算が大きな役割を果たしてきた。

ここでは航空機騒音予測手法の開発に係る背景、航空機騒音予測手法のガイドラインの整備について振り返り、我が国の現在の予測モデルについて解説する。

1. 航空機騒音予測に係る背景

(1) 航空機騒音予測の必要性

航空機騒音の予測は、運航や気象の状況について年平均的な条件を設定して統計的処理が可能なることから、将来の土地利用計画の策定はもちろん、新型機の導入、飛行経路の変更、新空港建設などの新たな計画に際し、事前に騒音影響評価を行う場合だけでなく、現状の年平均的な騒音暴露状況を的確に評価するためにも必要なものとなっている。

航空機騒音の予測は、まず所望の点における騒音値を予測計算することが基本であるが、更に空港周辺をメッシュ状に区切った多数点について騒音予測を行い、それらの等レベルの騒音値を線で結んで予測コンターを作成することが一般的である。予測コンターは空港

周辺の騒音暴露状況を面的に評価できるため、点における予測評価よりも有用性が高い。

実測された騒音値によるコンター作成も技術的には可能であるが極めて大規模な測定を必要とするので、コストパフォーマンスを考えると実用的とは言えない。

1970年代初頭に航空局により実測によるコンター作成の試みが行われたことがある。実測は1972年晩秋から1973年早春にかけて大阪国際空港の周辺において、空港を中心にメッシュ状(500m×1000m)に区切って測定点を230～250か所配置し、各点二日間ずつ始発から終便まで行われた。測定は全点同時ではなく一日当たり10地点程度を凡そ3か月もかけて行われた。図1はこの実測結果に基づいて作成されたWECPNLコンター図である。図から何れのレベルのコンター線にも凹凸がありスムーズな繋がりになっていないことが分かる。これは測定点の規模(測定日数、測定点数、測定点間隔)が十分ではなかった事に加え、全測定点同時期の測定ではなかったために測定地点(グループ)ごとに気象状況及び運航状況が異なり、実測騒音値にそれらの影響が含まれて、図1に示すコンターとなった。この結果から実情に整合する実測コンターを作成するためには相当なコストが掛かることが改めて認識されることとなった。それ以後、航空機騒音のコンターは予測計算で行われることになり、実測による騒音値は主として予測コンターの妥当性検証に使われている。

* From past to present of Aircraft noise prediction model

** 航空環境研究センター調査研究部 調査役

*** 航空環境研究センター 所長

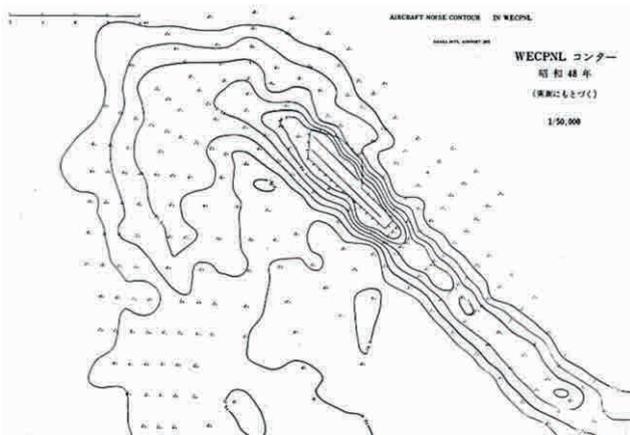


図1 実測 WECPNL コンター図の例

(2) 航空機騒音予測に係る世界の動き

世界における航空機騒音予測に係る動きは古くからある。1950年代後半に K.D.Kryter により空港周辺の騒音暴露量を計算で求める試みが行われたことが文献²⁾で紹介されている。1960年頃から主要な航空機製造国では航空機が一機飛行した時のやかましさを基本にして騒音評価が行われていた。1970年代に入ると、世界の各国で自国の空港周辺対策や、土地利用計画を策定するためのツールとして騒音予測モデルが開発されはじめ、中でも FAA(Federal Aviation Administration) が公表した INM(Integrated Noise Model)³⁾ が広く知られている。また1980年代になると、SAE(Society of Automotive Engineers)、ECAC(欧州民間航空協議会)、及び ICAO/CAEP(国際民間航空機関/航空環境保全委員会)において、新たに予測モデルを開発する際の支援を目的として、航空機騒音の予測計算手法のガイダンスが作成されたが、各国の予測モデルは様々な手法が使われていた。すなわち同じ条件で計算しても予測手法が異なるため予測結果はまちまちであった。1990年代後半には、予測モデル間の計算結果の整合性を考慮し、予測手法のガイダンスの見直しが進められた。詳細については後述する。

(3) 我が国における予測モデル開発の経緯

1973年に環境庁(当時)より「航空機騒音

に係る環境基準」が告示され航空機騒音の評価量は WECPNL と決められた。その頃、NHK 技研には放送番組の視聴改善に関する研究部門があり、そこで後の WECPNL モデルの原型にあたる予測モデルが開発されていた。NHK 技研と空港環境整備協会(当時航空公害防止協会)は技術協力協定を結んでいたこともあり、計算時間のかかる予測計算はすべて NHK 技研の大型電子計算機上で行われていた。その予測モデルの入力データは機種、飛行形態、及び朝昼夕の時間帯の飛行回数をパンチカードで作成して入力し、計算結果は直線飛行した際の WECPNL 値が 1000m × 500m のマトリックス状にラインプリンターで印刷されるものであった。その印刷された WECPNL 値を読み取り地図にプロットしてコンターを作成した。

1978年になると上述のモデルより精緻な計算手法による WECPNL モデルが航空局により開発されることになった。開発しようとする予測モデルは、航空行政を担う重要なツールとなることから、開発にあたっては航空局、航空会社、学識経験者、及び空港環境整備協会(当時航空公害防止協会)等の委員により構成される騒音専門委員会(航空機騒音委員会)を設置して行われ、翌年に航空局の WECPNL モデル第一版が完成した。この予測モデルは2001年まで幾多のバージョンアップがなされ、その後も長きにわたり使われてきた。この頃から航空機騒音評価量は世界的に L_{Aeq} ベースに基づく騒音評価量に移行していた。このため、わが研究センターでは、2000年から L_{den} 予測モデル開発の研究に着手している。

我が国においても2007年12月に「航空機騒音に係る環境基準」が改訂⁴⁾され、2013年4月からは、航空機騒音の評価量が WECPNL から L_{den} に変更となった。このため新たな指標で予測することが必要となり、2010年には航空局より L_{den} モデルの作成業務を受注し第

一版を納入した。この L_{den} モデルについては 3 章で述べる。

2. 航空機騒音予測手法ガイドラインの整備

空港周辺の土地利用計画を目的とした航空機騒音の予測計算方法のガイドラインが、1988 年に ICAO から CIRCULAR 205⁵⁾ として発行された。これより少し前から、アメリカとヨーロッパでも L_{Aeq} ベースに基づく騒音評価量の航空機騒音予測手法のガイドラインの開発が進められていた。1986 年にアメリカでは SAE の航空機騒音担当部署 SAE Committee A-21 により、「空港周辺の航空機騒音の計算手順」SAE AIR 1845⁶⁾ が、また同年 ECAC (European Civil Aviation Conference) からは「民間空港周辺の騒音コンターの標準的な計算方法」ECAC.Doc. 29 first edition が発行された。これらは、これから予測モデルを新たに開発しようとする国にとっては有用なツールとなり、 L_{Aeq} ベースに基づく騒音評価量の航空機騒音予測モデルが開発し易くなった。

1997 年になると ICAO において予測手法のガイダンス CIRCULAR 205 の見直しが始まった。その一環として、まず、世界各国の予測モデルの情報を収集し、次に仮想空港を構築して、各国が所有している騒音予測モデルにより計算条件をそろえ、その仮想空港周辺の $L_{Aeq,24h}$ を予測計算して、各国の計算結果を比較検討された。この計画には我が国を含めて 9 カ国が参加した。当時の我が国の航空機騒音モデルの騒音評価量は WECPNL を計算するものであったため、実測した ECPNL と L_{Aeq} の関係から、求めようとする L_{Aeq} 値に相当する ECPNL を算出して代用した。 L_{Aeq} 55dB のコンター面積が比較されたが、国名は明かされず A ~ I のアルファベットで表記された。その面積は最小と最大では凡そ 3.5 倍の違いがあったが、我が国の結果は ECPNL からの換算値であるにもかかわらず

ず、最大と最小のほぼ中間であった。その際の結果を図 2 に $L_{Aeq,24h}$ 55dB のコンター、図 3 にコンター面積の比較として示した。

このような結果のばらつきは、すべてのモデルが同じ計算手法ではないこと、データベースが異なるなどにより、当初から予想されていたことであった。

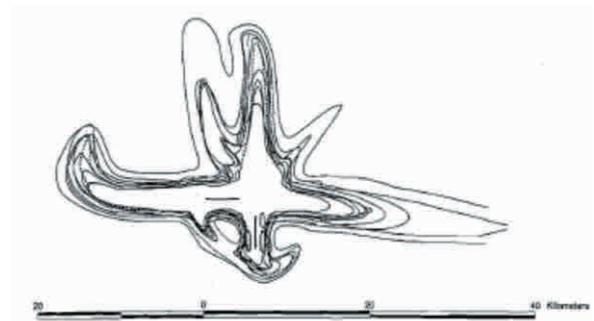


図 2 $L_{Aeq,24h}$ 55dB のコンター比較

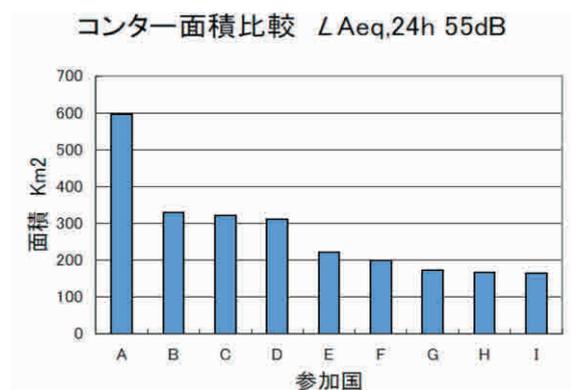


図 3 $L_{Aeq,24h}$ 55dB コンター面積比較

このことから予測手順のガイドライン間においても整合性をとる必要性が認識された。ECAC Doc.29⁷⁾ は 2016 年には第四版となっている。CIRCULAR 205 は 2008 年に改定され ICAO Doc.9911 となった。いずれのガイダンスも基本的な予測手法は SAE AIR 1845 に整合した内容となっている。

3. 我が国の現在の予測モデル

(1) L_{den} モデルの概要

我が国の予測モデルは、当初は WECPNL モデルであり、現在は「航空機に係る環境基準」の改定に伴い評価量が変更されたた

め L_{den} モデルとなったことは前章でも記したとおりである。両者の大きな相違は評価量が異なる他、地上騒音も考慮されることがあげられる。 L_{den} モデル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、国際指針 ICAO DOC.9911 とともに基本的には整合しつつ自前のモデルを開発したものである。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たのである。

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 L_{den} モデルでは、セグメントモデルと呼ばれる方法を用いる。

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発騒音レベルを算定する（図4）。

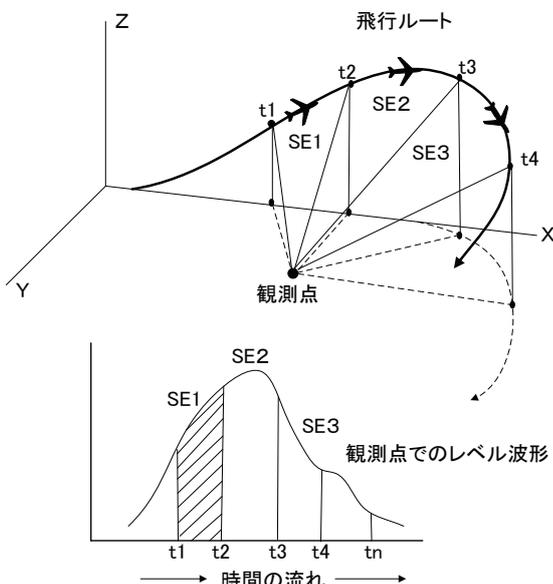


図4 セグメントモデルの計算概念図

個々の単発騒音の基本的な計算は、航空機が所定の運航条件下で直線飛行するときの有限長区間（有限長セグメント）からの騒音暴露の寄与を表わす単発騒音暴露レベル L_{AE} を算定する式に基づいて行われる。

$$L_{AE} = L_{AE}^0 + \Delta L_{NF} + \Delta L_{airspeed} + \Delta L_{G-direct} + \Delta L_{EGA} + \Delta L_{other}$$

(式1)

ここに、 L_{AE}^0 は直線飛行経路全体からの騒音暴露の寄与を表す単発騒音暴露レベルで、別に用意した基礎データと呼ばれる距離と L_{AE} （単発騒音暴露レベル）の関係から引用したものに、様々な要因を補正して単発騒音 L_{AE} が計算される。 ΔL_{NF} はセグメントが有限長であるため騒音暴露が減少することを補正するもので音源の指向性に依存する。 $\Delta L_{airspeed}$ は飛行速度が基準と異なるときの補正、 ΔL_{EGA} は地面の過剰減衰、 $\Delta L_{G-direct}$ は離陸の滑走路後方での指向性の補正、 ΔL_{other} はその他、防音壁等の影響に関する補正などである。

地上騒音の予測方法については、本誌の別原稿⁸⁾を参考にしていきたい。

(2) 予測計算に必要なデータの概要

L_{den} モデルによる計算に必要な入力データは、基礎データと予測条件設定データに大別される。

基礎データは、航空機から観測点までの距離に対する L_{AE} （単発騒音暴露レベル）の関係を、機種別・エンジン推力別に記述した NPD データと、航空機の進出距離（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・飛行速度の関係を機種別・運航形態別・運航重量別に記述したパフォーマンスデータから構成されている。この基礎データは、機種別に整備しておけば基

本的には予測対象空港が変わっても共通に使用できるものである。

一方、予測条件設定データは予測対象空港ごとに作成されるもので、データの構成は、まず空港情報として滑走路長、滑走路方向、使用滑走路割合、次に滑走路ごとの飛行経路と経路分散、地上走行経路、地上静止運転位置、地上静止運転の稼働時間、及び機種構成と時間帯別離着陸回数である。なお、国際線などで行先が多様な場合は、離陸重量がそれぞれの路線長で異なるので、重重量（遠距離）・中重量（中距離）・軽重量（近距離）くらいの分類は最低でも必要である。

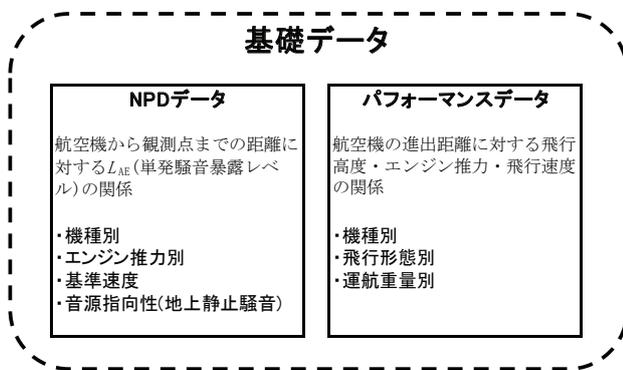


図4 基礎データの構成

表1 測条件設定データ

情報の種類	項目
空港情報	・滑走路の長さ ・滑走路の方向 ・滑走路使用割合
飛行経路情報	・滑走路ごとの飛行経路 ・ " 飛行経路分散
運航情報(飛行)	・機種構成 ・時間帯別離着陸回数
地上運用情報	・地上滑走路 ・エンジン試運転/APU稼働位置 ・ " " エンジン出力 ・ " " 稼働時間

(3) L_{den} の計算とコンターラインの作成

ここまで説明したように、予測条件として設定した全ての機種・飛行形態・飛行経路について L_{AE} を計算し、夕方・夜間の L_{AE} に

所定の時間帯補正してからエネルギー加算し、24時間で平均すれば、式2に示す L_{den} が得られる。

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

(式2)

コンターラインを求めるための処理手順として、メッシュ方式と呼ばれる以下の手順で処理を行う。(1) 計算機のメモリに通常50m以下の間隔で格子状に配置した受音点の全てにおいて L_{den} 値を計算する。(2) 57、62dBといったコンターラインを描くレベルを閾値として、隣接しかつ上下に挟むレベル値となる格子点のペアを検索し、その格子点が結ぶ線上において閾値となる位置座標を線形補間によって求める。(3) こうして得た、格子線上に見つかる全ての閾値の位置座標を、一筆書きの要領で線に繋いだものがコンターラインとなる。

図5に仮想空港による計算例を示した。左右に長く伸びるラインは離着陸によるものであり、予測の運航条件として、この例では左から着陸機が到来し、右に離陸機が飛び立つ割合（滑走路使用割合）が主と仮想しているので、左に着陸機特有の滑走路延長方向に細長く伸びる騒音影響が、右には離陸機特有の側方に広がる影響がコンターラインに表れている。また地上騒音の影響としてAPUの稼働やエンジン試運転の影響がターミナル前のエプロン内に横に並ぶ複数のスポットを中心に広がるが、場所によってターミナルビルに遮蔽される様子が表れている。

4. むすび

航空機騒音予測モデルの開発に係る背景や航空機騒音予測手法のガイドラインの整備について振り返り、我が国の現在の予測モデルについて解説した。空港周辺環境対策を講

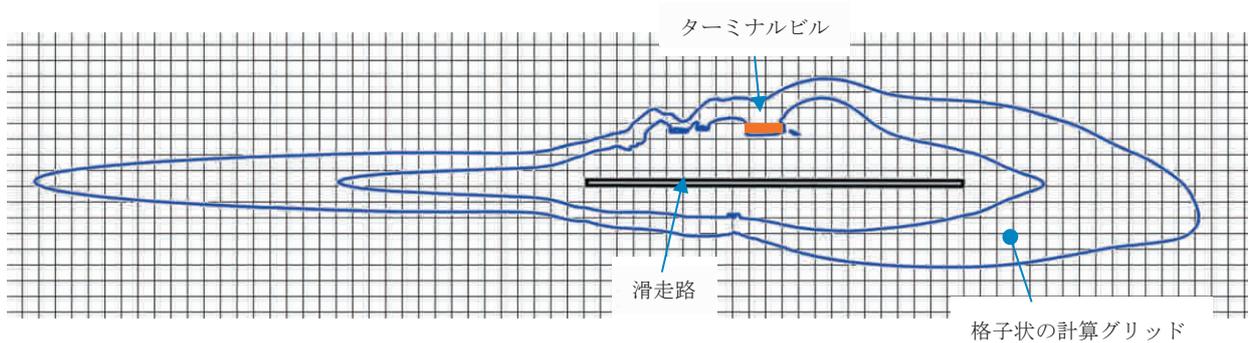


図5 仮想空港における計算例

ずるための基礎となる騒音予測計算は、過去・現在ともに大きな役割を果たし、未来においてもその重要さは変わらないだろう。環境基準の改定により航空機が地上で発する騒音も考慮しなければならなくなった。このため、取り扱わなければならない航空機運航データの規模が膨れ上がり、膨大な計算時間が掛かる。地上運用騒音の考慮は、わが国は基準改正により取り入れているが、海外では検討の緒に就いた段階である。日本の経験や情報を提供し国際整合性を担保しつつモデルの性能向上を図っていくことが望ましいと考えている。

近年では、航空機運航の技術発展に伴い衛星航法の採用等によって飛行経路のばらつきが小さくなった。それにより低騒音レベルでも多頻度運航による騒音暴露も問題視されている。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も今後の研究開発の課題として挙げられる。

文献

- 1) 「航空機騒音に係る環境基準」環境庁告示、昭和48年12月
- 2) 空港環境アセスメントに関する調査報告書(航空公害防止協会,S51)
- 3) Integrated Noise Model (INM) Version 1 User's Guide, FAA-AEE-72-02, 1972
- 4) 「航空機騒音に係る環境基準」改定 環境省、平成19年12月
- 5) ICAO Circular 205 “Recommended method for computing noise contours around airports”, 1988
- 6) SAE AIR 1845 “Procedure for the Calculation of Airplane Noise in the Vicinity of Airport”, SAE A-21, 1986
- 7) ECAC Doc.29 3rd Edition: Report on Standard Method of Computing Noise Contours Around Civil Airport, ECAC 2005
- 8) 菅原政之, 中澤宗康, 航空機騒音予測における地上音の取り扱い、航空環境研究 No21(2017) p35-39