

研究報告

騒音暴露人口を減らすための飛行経路設定の可能性の検討*

中澤 宗康(航空環境研究センター 副主任研究員)

1 はじめに

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

近年は、EUの環境指令2002/49/ECで騒音暴露人口を情報公開することが各国に課され、WHO/EUのEnvironmental Noise Guideline¹⁾での健康影響を推計する際の基礎資料とされるなど、騒音暴露人口は政策評価の一指標とされつつある状況にある。

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

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

2 航法の改善と騒音軽減

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

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

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

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

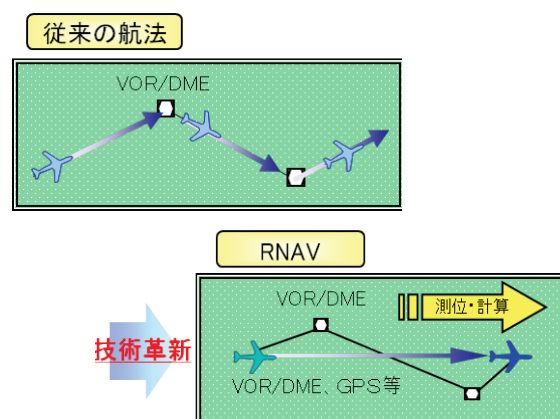


図1. 航空路での従来航法とRNAV航法の違い
国土交通省資料²⁾より抜粋

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

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

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

3 RNAVを用いた騒音軽減経路の事例

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

3.1 ロンドン・ガトウィック空港

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

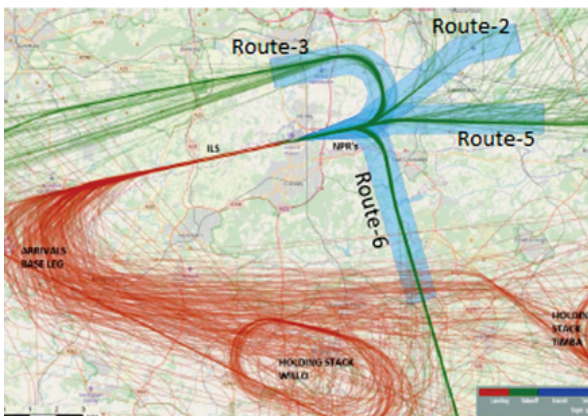


図2 ガトウィック空港 東風運用時の飛行経路
緑：離陸航跡、赤：着陸航跡、水：離陸経路幅

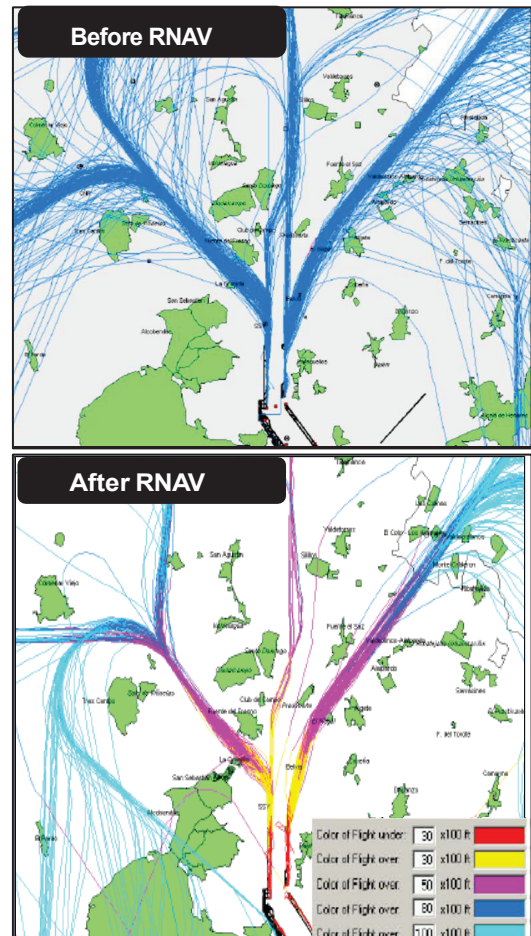


図3 バラハス空港の離陸飛行経路
上:従来経路、下:RNAV経路
(線:北風時離陸経路、緑背景:住居集落)

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

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

3.2 マドリード・バラハス空港

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

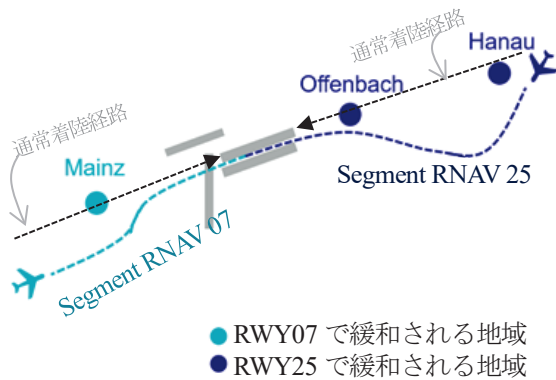


図4 フランクフルト空港の騒音軽減を目的とした深夜時間帯の到着経路(Segment RNAV)

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

3.3 フランクフルト空港

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

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

4 騒音暴露人口・世帯推計の試行

騒音暴露人口を減らすことを主眼とした飛行



図5 フランクフルト空港の騒音軽減を目的とした離陸経路(計画)

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

4.1 対象空港の選定

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

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

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



図6 旧北九州空港の周辺状況

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

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

4.2 飛行経路の設定

次に、飛行経路の設定について検討した。

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

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

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

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

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

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

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

4.3 航空機騒音の予測

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

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

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

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

実際には、航空機のサイズ等により騒音影響の

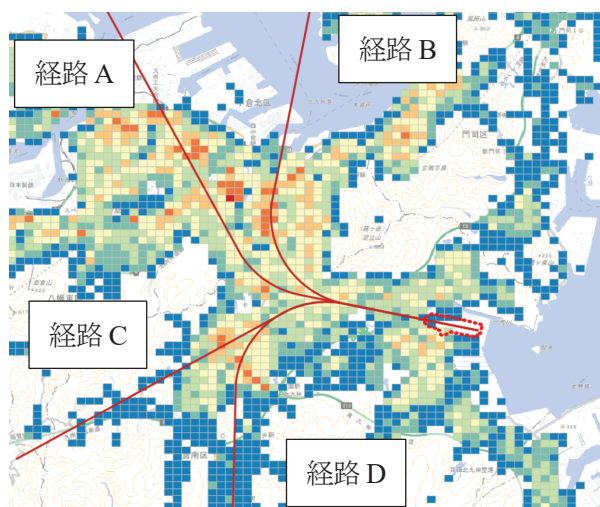


図7 旧北九州空港に設定した飛行経路(赤線)と周辺地域の人口分布(背景色/2015国勢調査)

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

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

4.4 暴露人口および世帯の推計

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

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

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

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

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

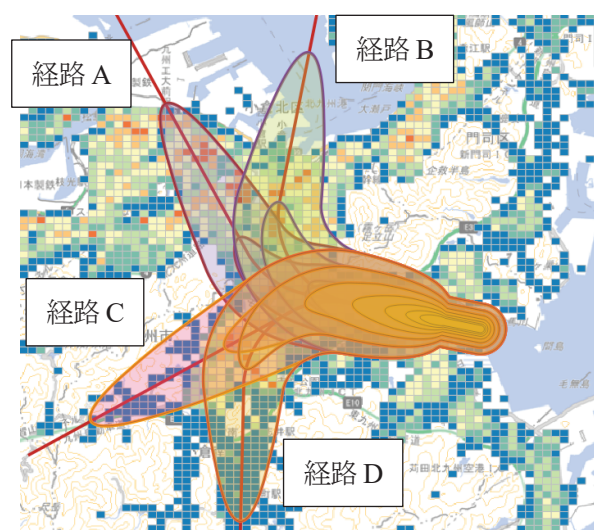


図8 旧北九州空港周辺の予測コンター(L_{Amax})と人口分布(背景色/2015国勢調査)

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

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

4.5 結果

ここまでの手順により、騒音暴露人口および世帯数を推定した結果を示す。

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

表1. 推計した最大騒音値内の暴露人口(人)

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

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

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

表2 推計した最大騒音値内の暴露世帯数(軒)

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

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

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

5 まとめと考察

5.1 まとめ

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

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

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

5.2 空港周辺の人口分布による騒音軽減経路の適用可能性の考察

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

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

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

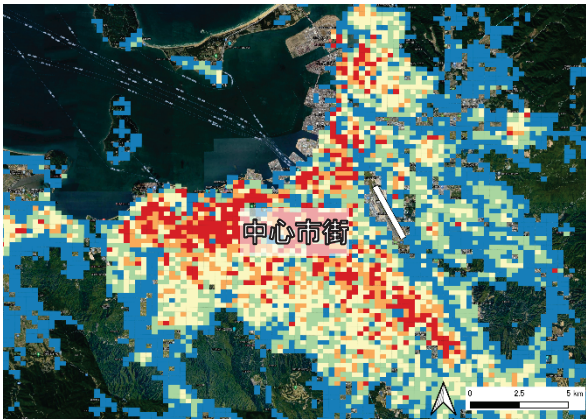


図9 福岡(都市圏人口約260万)



図10 ローマ(都市圏人口約270万)

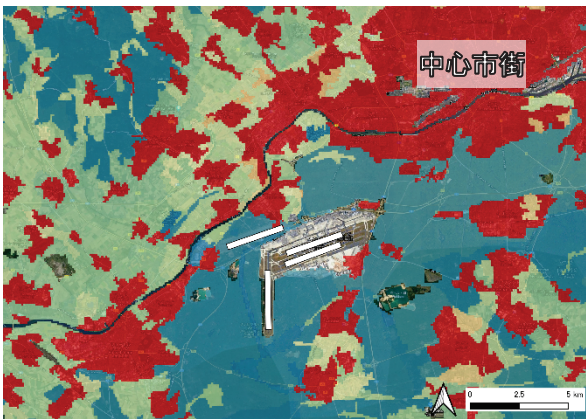


図11 フランクフルト(都市圏人口約220万)

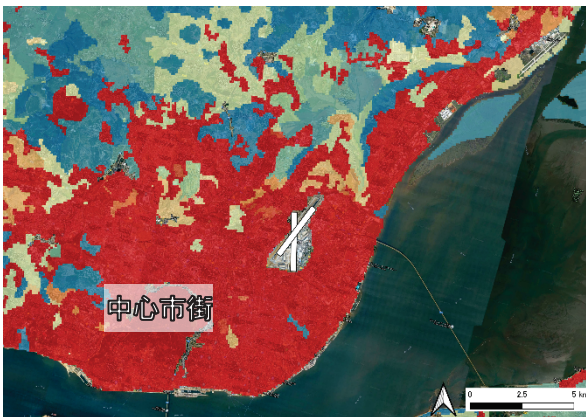


図12 リスボン(都市圏人口約240万)

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

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

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

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

5.3 実施にあたっての課題の考察

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

・安全性の検討

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

・空域の検討

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

・新規経路に対する住民反応

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

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

・処理容量

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

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

参考文献

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