

研究報告

騒音予測計算における飛行経路条件設定のための平均期間長の検討* －複数空港における高度を含む考察－

菅原 政之(航空環境研究センター 副主任研究員)

当研究センターは L_{den} コンタープログラム AERC^[1-6]を開発し、予測コンター作成作業も担っている。予測計算のための設定経路は、年間の平均に基づいた条件設定が理想的だが、短期測定では結果がばらつく。そのため適切な測定期間長と実施回数を検討する必要がある。前回の報告^[7]では、成田空港(空港Ⅰ)の ADSB 長期間観測結果の提供を受け(成田振興協会)、期間長や季節を変えて集計した結果が、年間値とどの程度の差異を生ずるかを分析した結果を報告した。

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

ICAO Doc9911、ECAC DOC29^[8,9]といった主要な予測モデルガイドラインの考え方に準じている。

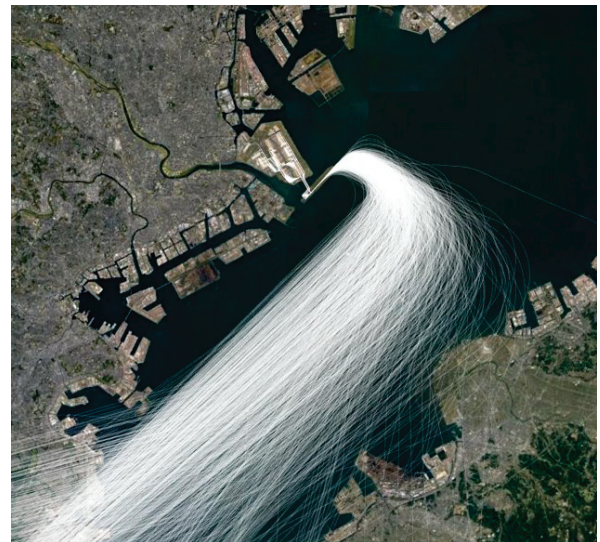


図1 空港Ⅱ 2020年04月右旋回離陸 南ルート

1. 平均経路計算のプロセス

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

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

飛行経路の水平分散を正規分布とみなすのは、

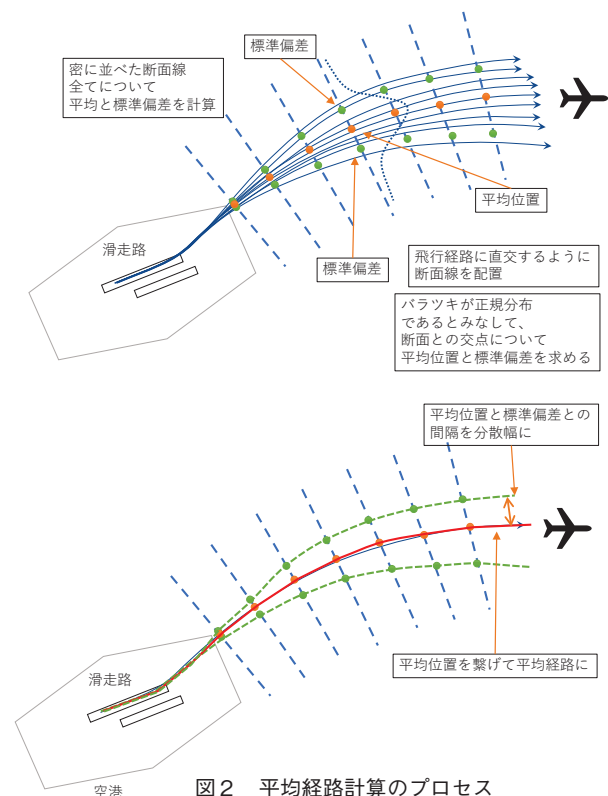


図2 平均経路計算のプロセス

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

- Verification additional track data including flight altitude and a second airport. -

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

2. 分析対象の長期観測結果

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

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

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

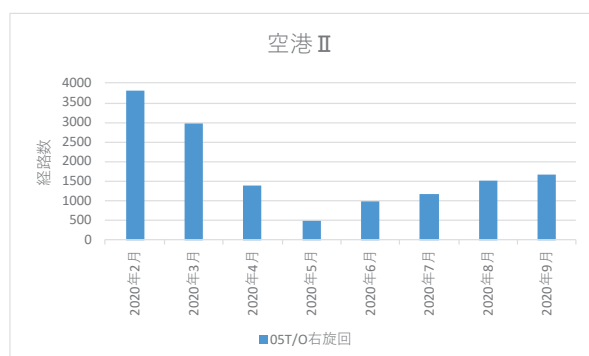


図3 分析対象の長期観測データ(空港Ⅱ)

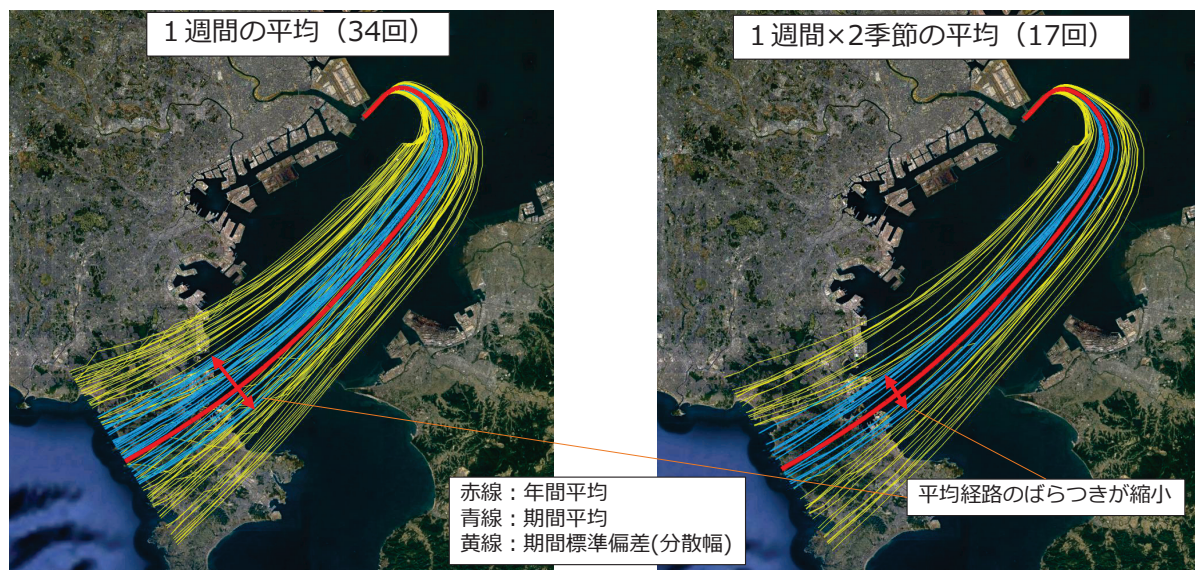


図4 平均経路と経路分散の計算結果

3. 平均期間長による平均結果の比較

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

①全期間(2020年2月～2020年9月)の平均

②月別の平均(8回)

③7日間の平均(34回)

(例) 2020年2月1日～7日、

2020年2月8日～14日、・・・

④7日+4ヶ月後の7日(2季節)の平均(17回)

(例) 2020年2月1日～7日と

2020年6月1日～7日を合わせて平均、

2020年2月8日～14日と

2020年6月8日～14日を平均、・・・

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

4. 断面線による位置とバラツキの数値化

前報において空港Ⅰの航跡に行った分析と同じように、図5に示すような位置に、旋回部分とその前後に断面線を配置し、図4に示した結果の平均線との交点をプロットすることで、平均結果のバラツキ具合を調べた。また、分散幅についても年間平均との差異を調べた。断面は以下の3つを配置した。

断面A：直進上昇・降下部分

断面B：旋回途中

(中小規模空港の対策区域線付近想定)

断面C：旋回後の代表位置として

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

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

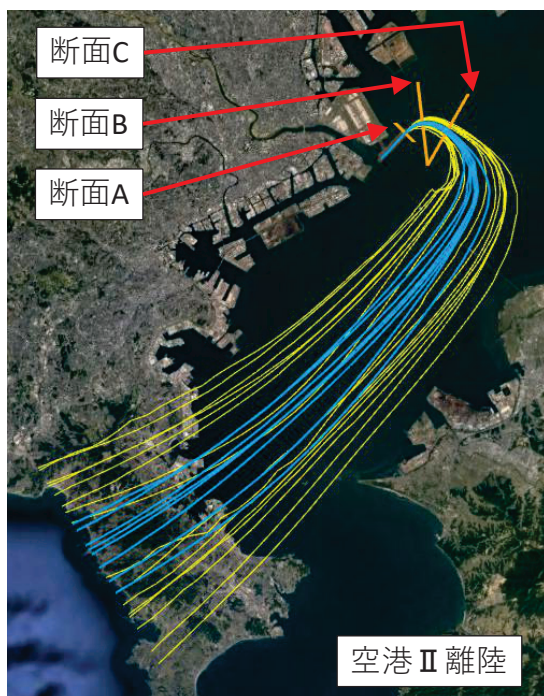


図5 平均経路・分散計算のための断面線の配置設定

図6中段の1週間平均34回の結果ではさらに差が広がり $\pm 200\text{m}$ の範囲におよぶ。このことは1週間の経路測定を行っただけでは、年間平均値と相当程度の乖離をきたす可能性を示している。

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

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

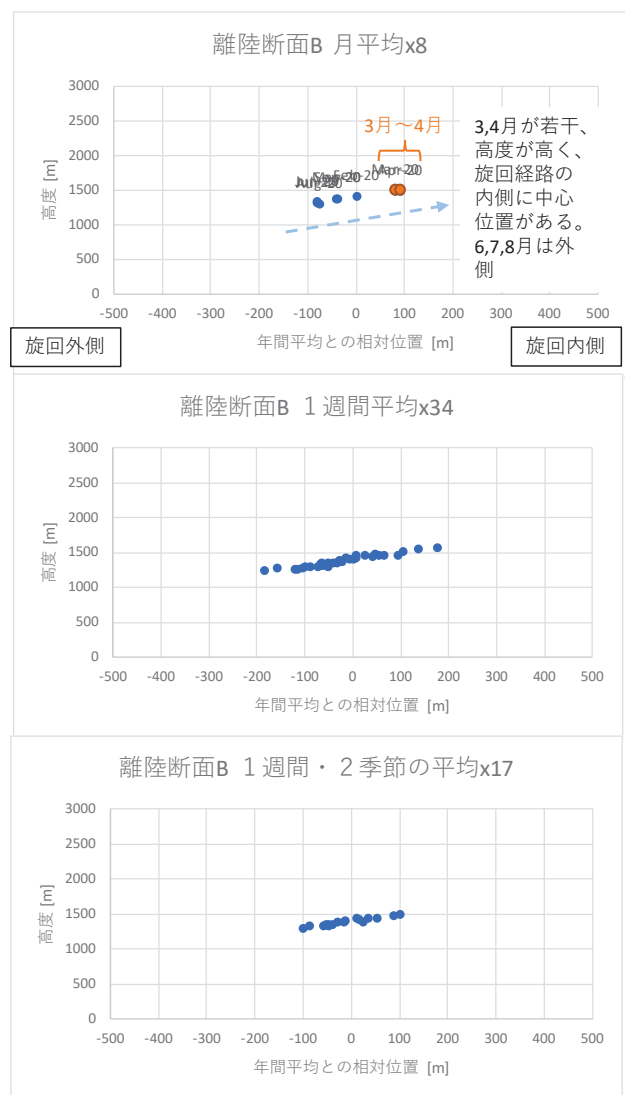


図6 断面線上の平均経路の交差点の分布(空港Ⅰ 断面B)

5. 飛行高度のばらつきの考察

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

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

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

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

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

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

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

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

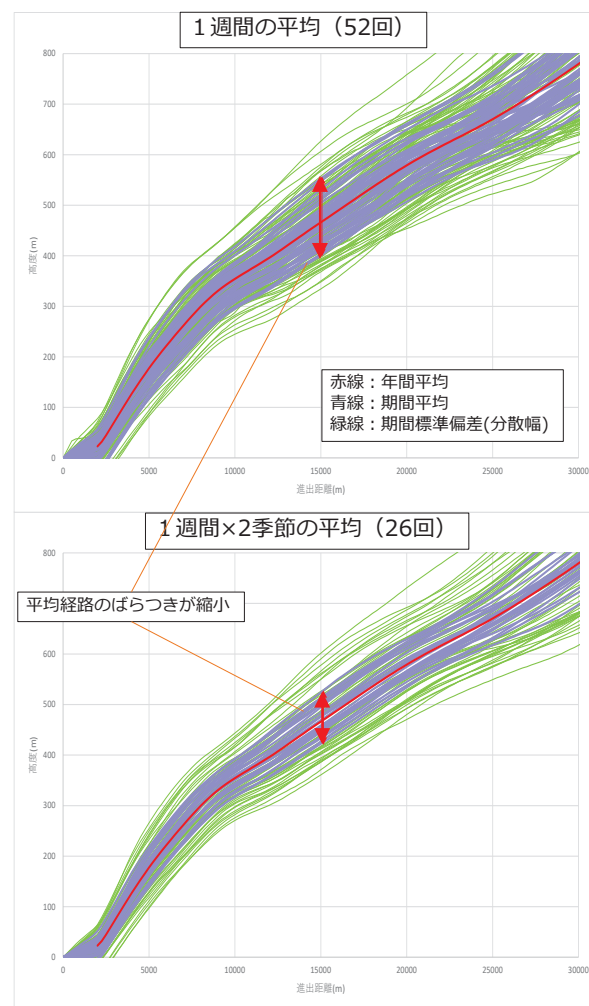


図7 平均飛行高度の計算結果

6. 平均経路のばらつきと予測への影響の総括

平均化期間長と平均位置・経路分散幅の集計結果を、断面A・B・Cごとに総括表として整理した。今回の空港Ⅱと前報の空港Ⅰの結果を合わせて、同じ表に整理した(表1)。

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

繰り返しになるが、平均位置は1週間の測定の場合は、年平均に対する差異が生じやすく、週ごとのばらつきも出やすい。1週間を2季節繰り返せば、月間と同程度またはより小さい年間値との差異に収まる。しかし経路分散幅については、期間長にかかわらず年平均と大きな差はない。ただし、週ごとの場合、週単位のばらつきは大きくなる。1週間を2季節繰り返せば、そのばらつきも月単位程度に縮小する。

表1 期間長と平均位置・経路分散幅の総括

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

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

平均：その全対象の平均値

平均：その全対象の平均値

標準偏差：全対象の標準偏差

標準偏差：全対象の標準偏差

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

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

観測期間による予測への影響の試算

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

手順の概要としては、経路設定および分散幅として図4に示した年間平均の結果を適用し、代表的な機種のプロットプリント(単発騒音暴露レベル L_{AE} のコンター)を計算する。その結果から対象断面付近で騒音が1 dB 変化するための距離をおおまかに調べ、表1の結果の平均経路のバラツキ(標準偏差)を、短期測定により起こりうる年平均との差異と仮定し、この値を乗算することで、測定期間長別のレベル変動を求める。

結果を表2に示す。騒音影響範囲を予測で算定するときに、多くの場合に、旋回経路の部分が重要な課題となることを考えて断面Bに着目すると、1週間の測定を実施しただけの場合、空港 II では0.3 dBの誤差をもたらす可能性があることがわかる。1週間を2回繰り返せば、その差はそれぞれ0.2 dBに縮まる。空港 I でも離陸で0.6 dBから0.4 dBへ縮小していた。空港 I では6か月の間隔をあけた1週間のそれぞれを組み合わせることによって季節性の変化要因を中和すると考察したが、空港 II においても2季節に相当する4ヶ月を隔てた結果に同じ傾向を見ることができた。

表2 測定期間長によるレベル変動試算の総括

空港/ 離着陸	断面	騒音変動の幅 [dB]		
		月間 ×12	1週間平均 ×52	1週間2季節 の平均×26
空港 I 離陸	断面A	±0.0	±0.2	±0.0
	断面B	±0.5	±0.6	±0.4
	断面C	±0.5	±0.7	±0.4
空港 I 着陸	断面A	±0.0	±0.0	±0.0
	断面B	±1.2	±2.4	±0.9
	断面C	±1.7	±3.2	±1.4
空港 II 離陸	断面A	±0.0	±0.0	±0.0
	断面B	±0.3	±0.3	±0.2
	断面C	±0.4	±0.5	±0.3

7. まとめ

騒音予測条件を得るための航跡観測は、短期の測定によって実施することがほとんどである。同じく短期測定による騒音実態把握の測定では、測定の実施時期と期間長・回数によって結果が大きくばらつくことが報告されている^[11]。一方、経路観測時の期間長の違いによる結果のばらつきについては過去に報告された例はなかったため、前回からの検討をおこなうこととなった。

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

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

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

今後もより多くの空港、ルート経路を検討したい。またICAO Doc9911、ECAC DOC29といった主要な予測モデルガイドラインの考え方に準じて飛行経路の水平分布を正規分布とみなして検討を進めてきたが、旋回経路の場合は平均経路を中心とした正規分布とならない場合もあるので、非対称性を考慮した検討も進めたい。

謝辞

成田空港のADSB長期間観測結果の提供にご協力いただいた成田空港株式会社および成田振興協会の皆様に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 吉岡序、山田一郎、エネルギーベースの航空機騒音予測モデルの妥当性に関する検討」日本騒音制御工学会講演論文集、2005.11
- 2) 岩崎潔、吉岡序、山田一郎、等価騒音レベルに基づく航空機騒音予測の考え方－パイロットプログラムの作成、日本騒音制御工学会技術発表会講演論文集、2003.
- 3) L_{den} を評価指標とする航空機騒音予測モデルの開発 菅原政之、中澤宗康、吉岡序、山田一郎 航空環境研究 No.19 2015.
- 4) 航空機騒音予測における地上音の取り扱い 菅原政之、中澤宗康 航空環境研究 No.21 2017
- 5) 騒音予測コンターの信頼性を確保する予測条件の設定方法 菅原政之、中澤宗康、橋本弘樹 航空環境研究 No.22 2018.
- 6) 騒音予測コンターの信頼性を確保するための予測条件設定の検討－飛行経路分散の考え方－ 菅原政之、中澤宗康
- 7) 菅原政之、中澤宗康、騒音予測計算における飛行経路条件設定のための平均期間長の検討、航空環境研究 No.24 2020
- 8) PUBLICATIONS RECOMMENDED METHOD FOR COMPUTING NOISE CONTOURS AROUND AIRPORTS DOC 9911 ENGLISH PRINTED, ICAO
- 9) ECAC/CEAC Doc 29 4th Edition, EUROPEAN CIVIL AVIATION CONFERENCE
- 10) 菅原政之、中澤宗康、騒音予測コンターの信頼性を確保するための予測条件設定の検討－飛行経路分散の考え方－、航空環境研究 No.23 2019
- 11) 篠原直明、航空機騒音の短期測定に基づく長期間評価値の信頼性向上検討、航空環境研究 No.21 2017