

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*

菅原 政之(航空環境研究センター 副主任研究員)

当研究センターでは L_{den} コンタープログラム AERC¹⁻⁵⁾を開発し、予測コンター作成作業も担っている。

騒音予測時には飛行経路の実態調査結果をもとに平均的な飛行経路を設定することが多いが、調査期間は通常、一週間程度に限られる。そのため年間平均と一致するとは限らず、その差異がどの程度かは今まで検証されたことがない。

そこで本稿では成田空港の長期間におよぶ飛行経路の観測結果(例・図1)をもとに、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する。

1. 予測計算における飛行経路設定の考え方

航空機騒音予測コンターでは、運航回数や飛行経路、機種構成等を含む、多岐にわたる条件設定が必要となる。各種の予測条件の中でも飛行経路と分散設定は結果への影響が小さいため、適切な予測条件の設定が重要となる。

具体的には、航空機騒音の評価の対象となる音源について、大別すれば離陸、着陸、駐機、エンジン試運転、ヘリのホバリング等の5つがあり、予

測プログラムのアルゴリズムは、それぞれについて騒音影響を計算して合成するが、なかでも離陸と着陸の飛行音は、コンターの形状の大半を決定するので寄与が大きい。飛行音の予測条件は、飛行経路と、その分散幅、運用種類別の時間帯運航回数から構成されるので、飛行経路と分散幅の結果への影響は小さくない。

空港の発着をとまなう飛行経路は一部計器飛行を除き、同じ目的地であっても複数の機体の経路は完全に同一にならず、変動幅をもったばらつきが生じる。それによる騒音影響の分散を予測コンターの計算において考慮するために、ICAO Doc 9911、ECAC DOC 29^{7,8)}といった主要な予測モデルのガイドラインでは飛行経路の水平分散を正規分布として扱っており、我が国の予測計算においてもこれと同様に処理している。

予測プログラムでは計算時に、入力した平均飛行経路を中心として、分散幅に応じた位置に通常は左右3本、合計7本の経路を自動配置する(図2)。設定経路1回の飛行を通常7本に分割することを意味する。このばらつかせた経路別に L_{AE} (単発騒音暴露レベル)を計算し、標準偏差による

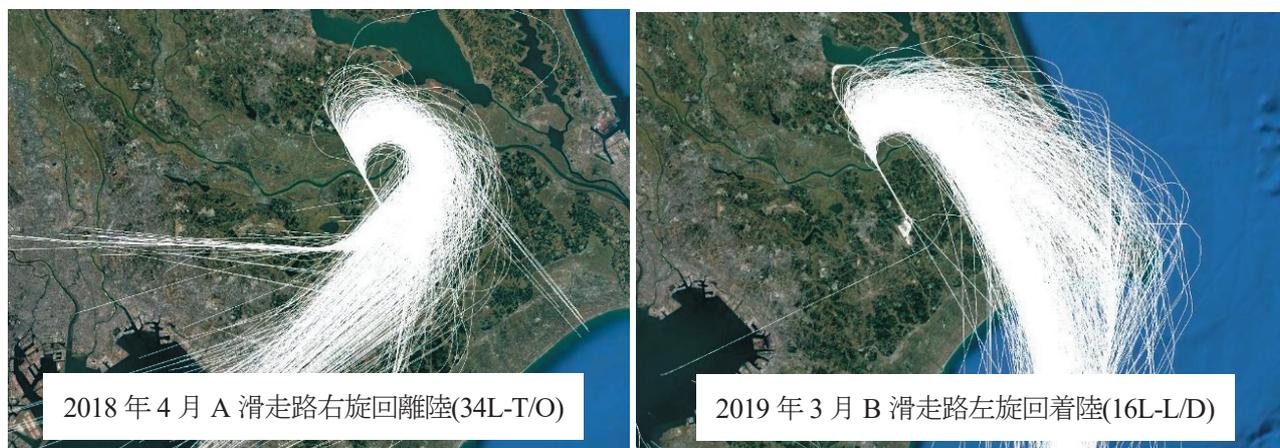


図1 長期間観測による航跡データの一例

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

分散の重みを掛けて合成する。

こうして一つの運航(便)の騒音が計算されるので、機種、形態、飛行経路、時間帯別回数からなる運航情報を網羅するよう繰り返し計算して合成し、時間帯重みづけをして L_{den} 予測値を算出する。

予測条件における飛行経路設定については、1週間程度の測定期間において航跡観測機で得た経路データから平均経路・水平分散を算出することが多い。こうして得られた航跡データは、一運航ごとに時系列における一連の三次元座標データから構成され、平均経路を計算するプログラムに入力して予測モデルに入力可能な平均された飛行経路データと分散幅を生成する処理を行う。プログラムは、グループ化したある飛行方面全ての航跡と断面線の交点座標を検出して平均と標準偏差を計算する。この平均点を繋いだものが平均経路で、経路の予測条件となる。また標準偏差は分散幅とみなし、進出距離と対応づけたテーブルデータにして予測モデルに入力する⁶⁾。

2. 観測期間による平均経路の変化

航空機騒音予測コンターは基本的に通年の騒音暴露を評価するので、予測条件としての飛行経路も、年間を代表するものである必要がある。

一年間を常時観測した航跡データで平均経路を求めることができれば理想的だが、測定可能な期間の長さは、騒音の短期測定によることが多いので、数日から長くても1~2週間となる。

そのため、一年間の平均と差異が少ない航跡データが得られるよう時期と期間長を選択するのが望ましいが、これまで短期間の測定結果と年

間の平均経路の違いは把握できていなかった。今回は一年間を通して観測された航跡データを用いて、観測の時期や期間長、回数を、どのように選択すれば予測条件として良い結果が得られるか検討した。

具体的には、同じ方面で同じ予定経路を用いる離陸ルート1つ、着陸ルート1つを対象と定め、年間全ての航跡から平均経路、および分散幅を求めた。次に同じ対象から今度は期間長を変えた一部分を取り出して平均・分散を計算した。このとき取り出す期間を、測定期間(平均期間長)とみなした。今回の検討では期間長を1週間・1か月とした。一年分の観測データについて、1か月を12回(月)、1週間で52回(週)、平均経路とばらつきを算出した。こうして得られた結果を、最初に計算した年間の結果と比較し、年間との差異を求め、その違いについて分析した。

なお、飛行経路の観測結果は、航空機の自機位置を発出するADS-B信号を長期間受信したものをを用いた。また、航跡データの分析対象として、2018年4月~2019年3月の1年間で、成田空港A滑走路を離陸し、おもに国内や東南アジア方向に向かう右旋回離陸(34L-T/O)と、同方面からB滑走路へ左旋回で着陸(16L-L/D)の2つのルートを対象とした。季節により風向きが変化するため、航跡データ数に変動があるが(離陸は北向き運用、着陸は南向き運用で、それぞれ冬季、夏季に主となる経路である)、平均や分散を計算する上で運航の少ない季節でも十分なデータ数が得られている。

図3は平均経路・分散計算のための断面線の設定方法を例示している。前述の処理手順により経路に直交するように間隔の密な断面線を配置し、プログラムにより経路との交点を計算、集計する。なお、今回の検討に当たっては、平均期間長を変化させても、同じ断面設定で計算をしている。

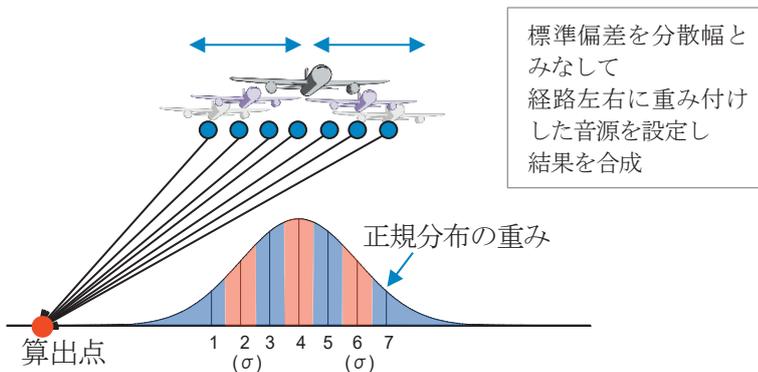


図2 騒音予測計算中の水平経路分散の考え方

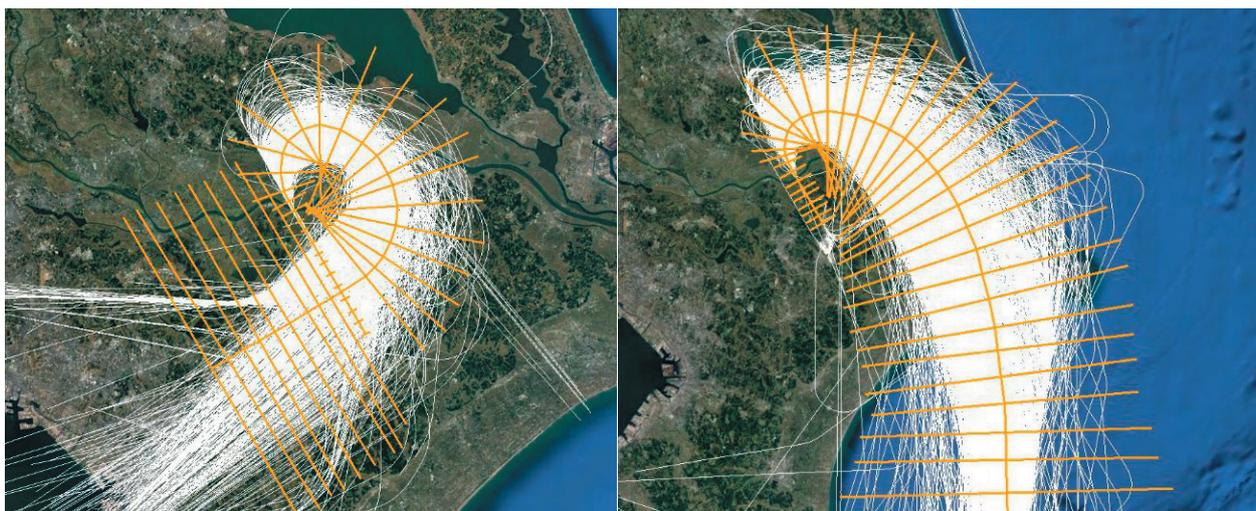


図3 平均経路・分散計算のための断面線の配置設定

2.1 4種類の平均期間長による平均結果の比較

平均期間長について以下の4種類の期間長と回数で平均経路・分散を計算した。

①一年間(2018年4月～2019年3月)の平均

②月別の平均(12回)

③7日間(1週間)の平均(52回)

(例) 2018年4月1日～7日、
2018年4月8日～14日、
2018年4月15日～21日、

...

④1週間×2季節ののべ2週間の平均(26回)

(例) 2018年4月1日～7日と10月1日～7日を
合わせて平均、
2018年4月8日～14日と10月8日～14日
を合わせて平均、
2018年4月15日～21日と10月15日～21
日を合わせ平均、

...

図4は①～④の平均期間長それぞれの結果を示す。②～④について、それぞれ月12回、週52回、週・2季26回の結果と、①の一年間の平均(白線)を重ねて描いている。②～④のなかで、①の年間平均に近く、なおかつバラツキが小さいものが、平均期間長として、また実際の測定の期間長として望ましいということになる。ここでは図4を見る限り、1週間平均の結果は、最も年間値に対し平均のずれもバラツキも大きいことがわかる。

一方、②月別の平均(12本の結果)と、④1週間×2季節の平均(26本の結果)は、結果の数の違いもあり、画像では判断が難しいものの、③1週間だけよりは明らかに年平均との差は小さい。そこで、期間長別にバラツキを数値として評価することを試みた。

2.2 断面線を用いた位置とバラツキの数値化

図5に示すような位置に、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。以下の3断面を、離陸・着陸それぞれに配置した。

断面A：直進上昇・降下部分

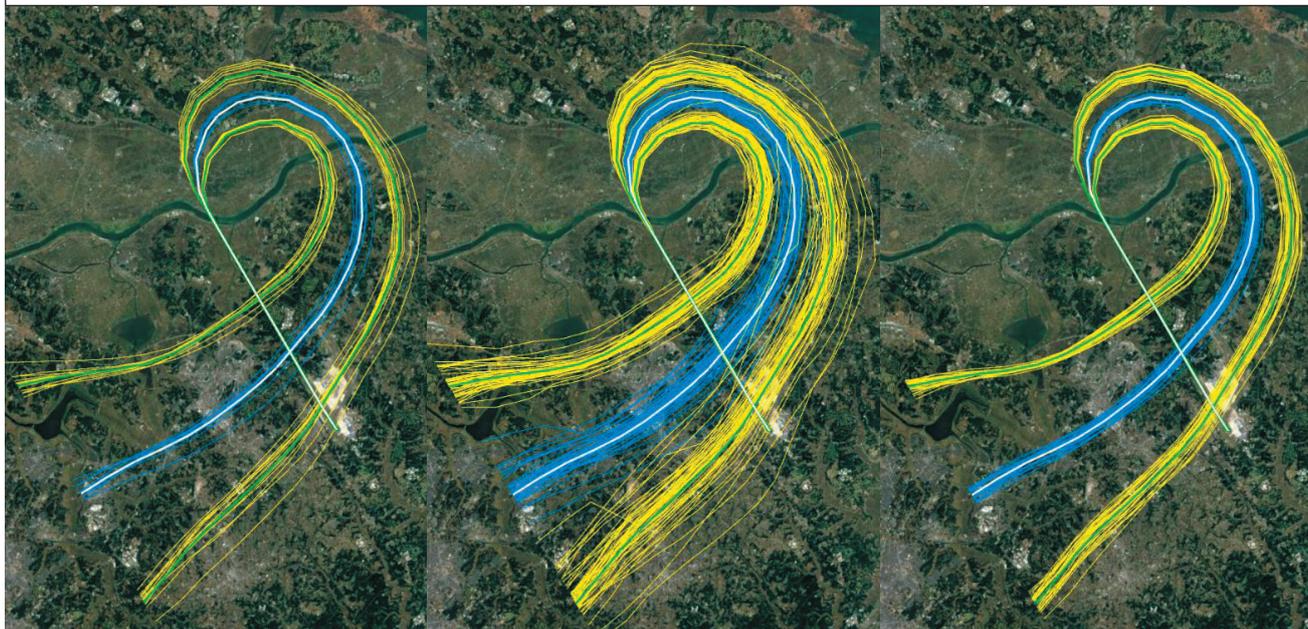
断面B：旋回途中(騒音対策区域の端部付近)

断面C：旋回後(前)経路の代表位置として

図6aのグラフは図4に示した結果のうちの月平均12回の結果について、断面線A、BおよびCとの交点から年間平均経路との水平軸上の相対位置を求めプロットした様子を示す。グラフ左側が旋回の外側になっている。

直進区間の断面Aにおける平均位置の違いは極めて小さく、12回の平均位置は±5m程度に納まる。しかし、旋回部分にかかれば、月平均位置に違いが表れ、断面Bで±400m程度の差が生ずる。旋回以降の断面Cではさらに差が広がり着陸は±700mの範囲におよんでいる。なお、離陸断面B・Cは季節傾向が若干あり、冬季の方が旋回経路の内側かつやや高度が高い。

A 滑走路 右旋回離陸(34L-T/O) 青色：平均経路 黄色：分散幅（標準偏差）



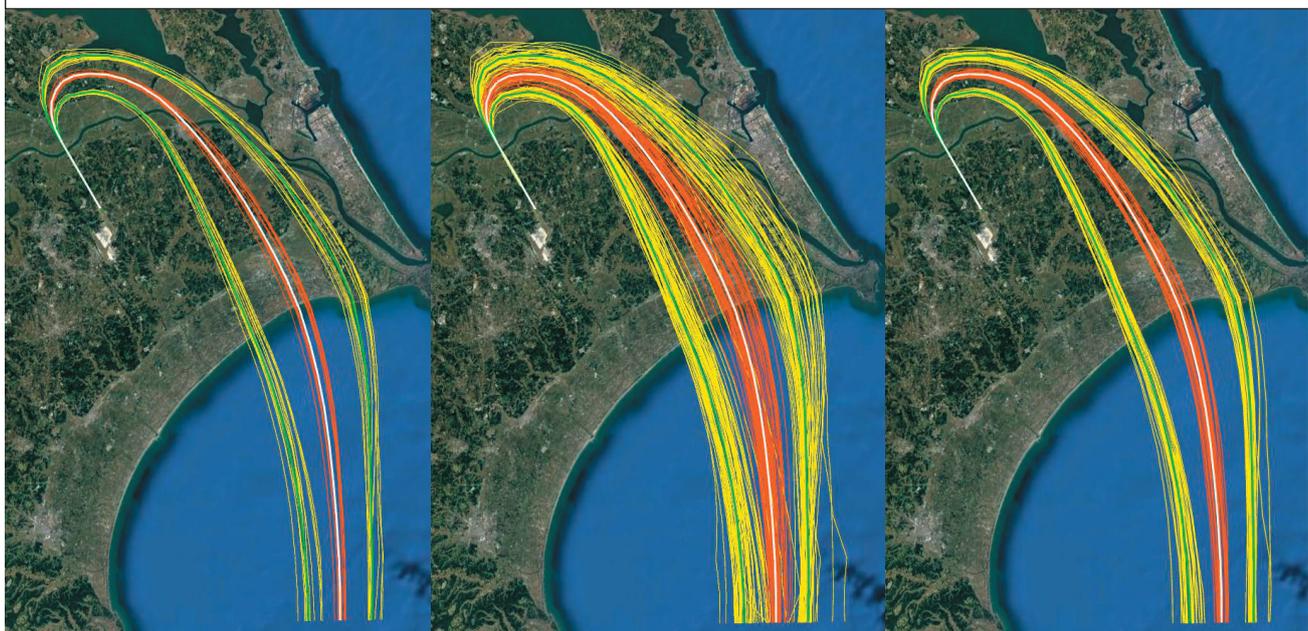
②月平均 x12

③週平均 x52

④週・2季 x26

白線：年間平均、青線：期間平均、黄線：期間標準偏差(分散幅)、緑線：年間標準偏差(分散幅)

B 滑走路 左旋回着陸(16L-L/D) 赤色：平均経路 黄色：分散幅（標準偏差）



②月平均 x12

③7日平均 x52

④7+6月後7日 x26

白線：年間平均、赤線：期間平均、黄線：期間標準偏差(分散幅)、緑線：年間標準偏差(分散幅)

図4 平均経路と経路分散の計算結果(年平均と平均化期間長の結果比較)

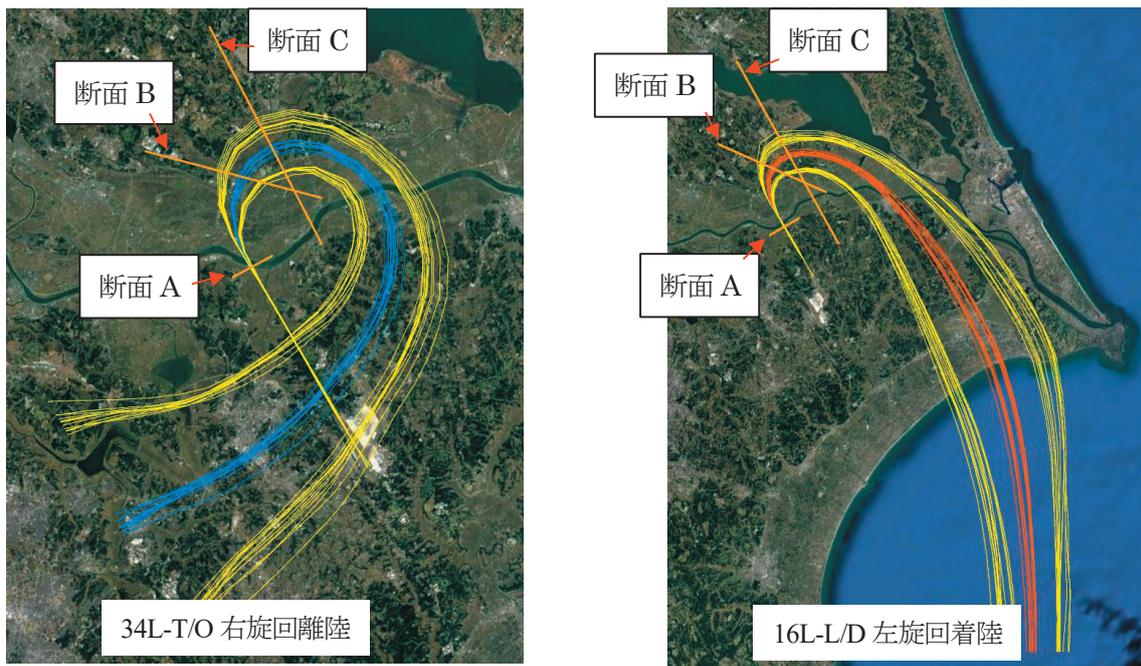


図5 バラツキ検証のための断面線の設定

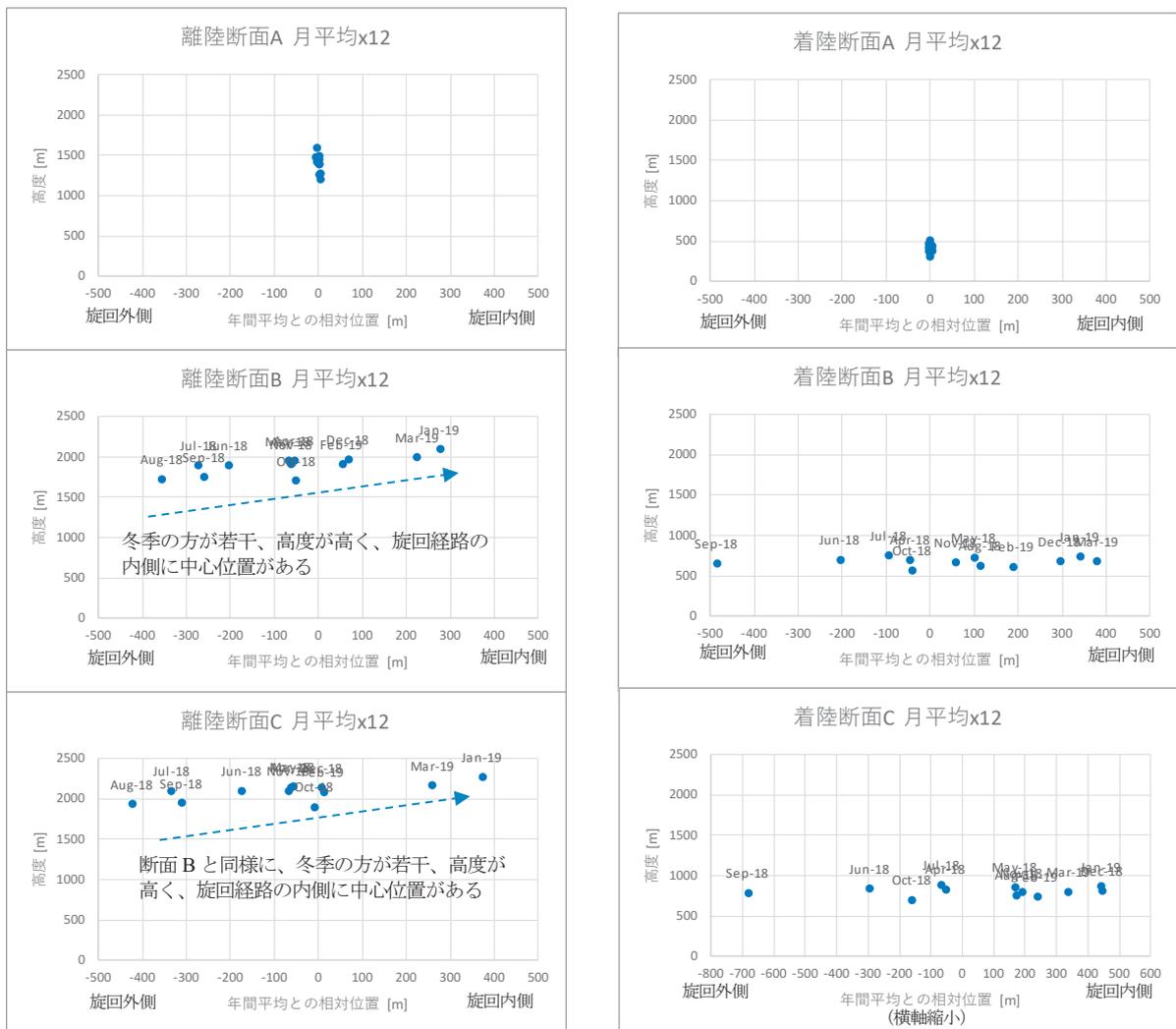


図6a 断面線上の平均経路の交差点の分布(月間平均)

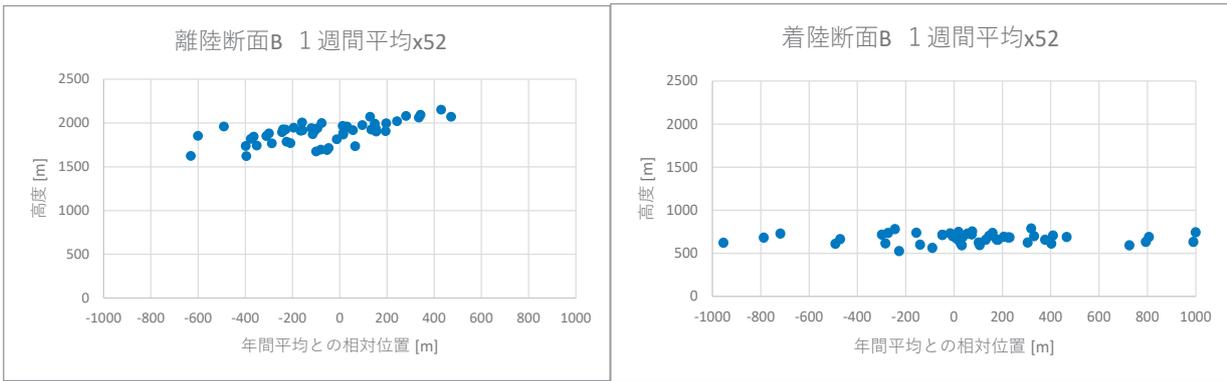


図6b 断面線上の平均経路の交差点の分布(つづき)(断面B・1週間の平均)

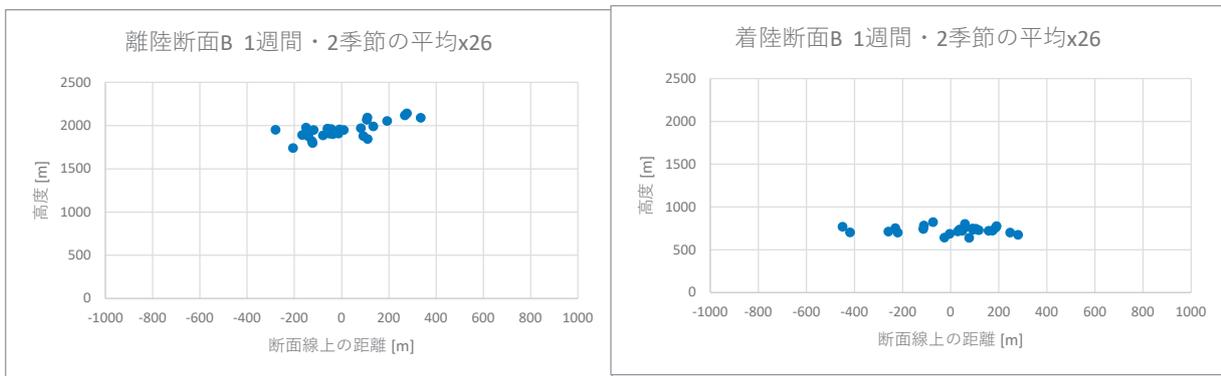


図6c 断面線上の平均経路の交差点の分布(つづき)(断面B・1週間×2季節の平均)

図6bは同様に1週間を期間長とした場合の平均位置について断面Bでの交点を示したものである。月単位の平均位置のばらつきよりさらに大きく広がり、離陸では±600m、着陸では±1,000mの範囲に広がっている。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す。1週間の測定を2回の季節で実施した場合の図6cでは、それぞれの期間通算平均値は年間値に対し±400m程度まで収れ

んし、月平均に相当する程度のばらつきに納まる。

経路分散の状況を図7に示す。1章で説明したように、経路のばらつき幅として対象全データの標準偏差で表す。図は例として、断面Bにおける分散幅を25mの階級区間でヒストグラムにした。図中の赤の縦点線は一年間の全データの分散幅である。1週間の結果が広く分布しその幅も大きい、中心は概ね年間の結果と一致している。平均位置と異なり、期間長の差は少ないようだ。

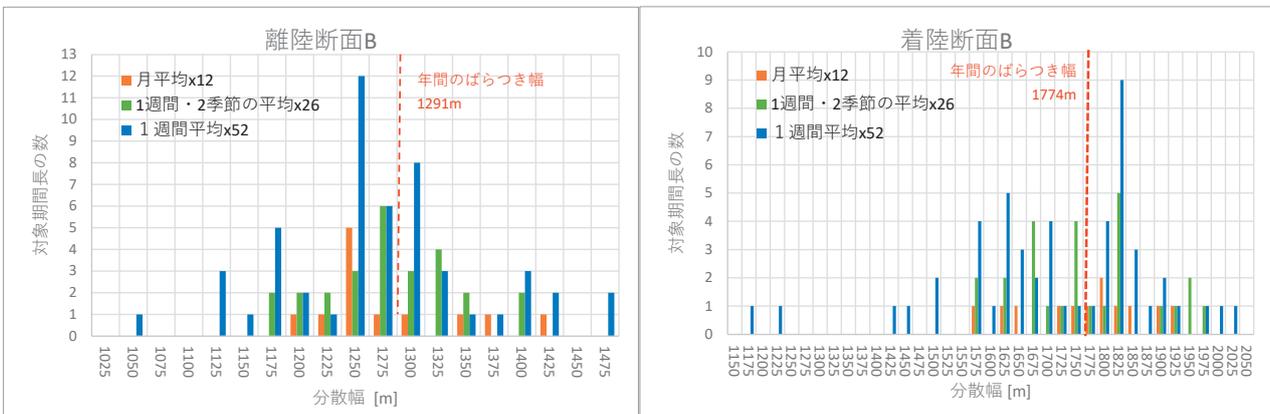


図7 断面線Bにおける経路分散幅の頻度分布

表1 期間長と平均位置・経路分散幅の総括

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
離陸	年間	1	0		0		0		49		1291		1673	
	月間	12	0.4	3.7	-58	194	-65	230	51	20	1284	66	1694	142
	週間	52	6.2	49	-67	250	-84	330	45	26	1286	141	1684	179
	週×2季節	26	-0.3	4.8	4.1	157	5.9	207	45	16	1281	62	1656	92
着陸	年間	1	0		0		0		27		1774		2666	
	月間	12	0.7	2.9	50	246	61	330	20	27	1768	109	2531	290
	週間	52	0.8	3.4	114	486	158	649	14	25	1720	181	2418	478
	週×2季節	26	0	2	1.9	190	6.8	294	16	22	1768	115	2546	262

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
 平均: その全対象の平均値
 標準偏差: 全対象の標準偏差

経路分散幅: 断面における期間長を含むデータの位置分散(標準偏差)
 平均: その全対象の平均値
 標準偏差: 全対象の標準偏差

表1は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ごとに整理した総括表である。図6の繰り返しになるが、平均位置は1週間の測定の場合は、年平均に対する差が生まれやすく、週ごとのばらつきも生ずる。1週間を2季節繰り返せば、月間と同程度またはそれより小さい年間値との差となる。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かった。ただし、週ごとの場合は、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小さくなる。

3. 観測期間による予測コンターへの影響の試算

2章では、飛行経路の測定期間長の違いによって、算出された結果に違いを及ぼすことを示した。本章では期間長による結果のバラツキが騒音予測結果に与える影響を検討した。

具体的には、まず経路設定および分散幅として図4に示した年間平均の結果を適用し、代表的な機種のフットプリント(単発騒音暴露レベルLAEのコンター)を計算した。その結果から、対象断面付近で、騒音が1dB変化するための距離を調べ、おおよその値として以下のようなだった。

離陸、断面A：300m /dB

断面B：400m /dB

断面C：500m /dB

着陸、断面A：100m /dB

断面B：200m /dB

断面C：200m /dB

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た結果を表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、巡回経路の部分が重要な課題となることを考え、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、離陸で0.6dB、着陸で2.4dB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0.4dBと0.9dBに縮まる。6か月の間隔をあけた1週間のそれぞれを組み合わせたことによって季節性の変化要因を中和することが考えられる。

表2 測定期間長によるレベル変動の試算

34L-T/O 右旋回 離陸

	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
断面A	±0.0	±0.2	±0.0
断面B	±0.5	±0.6	±0.4
断面C	±0.4	±0.7	±0.4

16L-L/D 左旋回 着陸

	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
断面A	±0.0	±0.0	±0.0
断面B	±1.2	±2.4	±0.9
断面C	±1.6	±3.2	±1.4

4.まとめ

騒音予測に用いるための飛行経路観測は、短期測定によって実施することがほとんどである。同じような短期測定による騒音実態把握のための測定では、測定の実施時期と期間長・回数によって結果は大きくばらつくことも報告されている⁹⁾。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、過去に報告された例はない。

本稿では、成田空港に設置した長期間の経路観測結果(ADS-B)を用い、測定期間長によってどの程度の結果の違いが生ずるかを検証した。

その結果、旋回経路以降(着陸の場合は以前)の地域では、年間の平均経路に対し、7日間(1週間)の測定期間では、その平均位置で相当の差を生ずることが分かった。直進上昇・降下中の平均位置はほとんど変化がなく数十m以内に納まるが、旋回部分では±400m、それ以降(以前)では±700m程度の違いがあった。また、離陸時の旋回は、季節性の違いが若干見られ、冬季にはやや高度が高く、旋回半径が小さい。1週間の測定を2季節にわたって繰り返した場合に、この年間平均との差は小さくなる。

経路分散幅については、年間のすべてを対象とした分散幅と、1週間または1か月と期間を限った分散幅は、その平均値において差はなかった。ただし、1週間を期間とした場合は、分散幅のばらつきが大きいことがあるので注意を要する。これも平均位置と同様に、1週間を2季節繰り返せばばらつきは小さく収まる。

これらのばらつきが、騒音予測結果にどの程度の影響を及ぼすかについて試算した。1週間の経路調査結果を当てはめた場合の結果、直進部分では0.2dB以内だが、旋回以降は離陸では±0.6～0.7dB、着陸では±2.4～3.2dBの差を生ずる可能性がある。これらは、季節を変えて2回繰り返せば離陸では±0.4dB、着陸では±0.9～1.4dBと誤差は収れんする。

これらの結果は、成田空港の一部の経路を対象としたもので、これが全国の空港に同様に当てはめることが可能か否かについては、不明確である。また、短期測定期間を3日間程度とする場合もある。今後、空港の違いを含め、さらに多くのデータ検討を考えたい。

また旋回経路の場合、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てゆきたい。

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一般財団法人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) PUBLICATIONS RECOMMENDED METHOD FOR COMPUTING NOISE CONTOURS AROUND AIRPORTS DOC 9911 ENGLISH PRINTED, ICAO
- 8) ECAC.CEAC Doc 29 4th Edition, EUROPEAN CIVIL AVIATION CONFERENCE
- 9) 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