

〈一般研究課題〉 低周波音による圧迫感・振動感がアノイアンスに
及ぼす影響の定量的評価
助成研究者 大同大学 森長 誠



低周波音による圧迫感・振動感がアノイアンスに 及ぼす影響の定量的評価

森長 誠
(大同大学)

Evaluation of effects of oppressive or vibratory feeling due to low-frequency sound on annoyance

Makoto Morinaga
(Daido University)

Abstract :

This study aims to evaluate the psychological impact of low-frequency components in road traffic noise, a source not previously analyzed in this context. An experiment using paired comparison was conducted in a low-frequency experimental room with 10 participants (aged in their 20s). Original sound stimuli (with LFN) and high-pass filtered versions (with reduced LFN) were presented, and participants were asked which stimulus was more disturbing. Both road traffic noise and helicopter noise were tested at various A-weighted levels. The results demonstrated that, when the LA levels were identical, participants more frequently selected the original (LFN-rich) stimulus as more disturbing. The subjective equivalence point, where original and high-pass stimuli were perceived as equally disturbing, occurred when the high-pass stimuli were approximately 2.1 to 4.5 dB louder than the original stimuli for road traffic noise. These findings are consistent with prior research and confirm that LFN contributes significantly to perceived annoyance, even in a simplified experimental setting. A logistic regression analysis further revealed that the relative dominance of low-frequency components (represented by energy levels at 40–50 Hz) significantly influenced the likelihood of selecting the original stimulus ($p < 0.05$). These results highlight the limitations of LA-based evaluation for LFN-rich environmental noise and suggest that more nuanced indicators that account for low-frequency content are necessary for effective noise policy and regulation.

1. はじめに

現在、我が国において低周波音を含む騒音の評価として推奨されているのは、2002年に環境省が提案した参照値である。低周波音の苦情は1993年度頃から増加の傾向にあり、環境省は2000年に「低周波音の測定方法に関するマニュアル」[1]を作成したが、それ以降さらに低周波音の苦情は急激に増加した。中でも暗騒音が小さい静かな地域の家屋内における、小さい低周波音に関する苦情が多く見られた。これを改善するため、「低周波音問題対応の手引書」[2]が作成され、その中で参照値が提案された。参照値とは建具類のがたつきや室内での不快感などについて苦情申し立てがあった場合に、低周波音によるものかどうかを判断する目安となる値として提案された指標である。これとともに心身に係る苦情に関する参照値はG特性音圧レベルで92 dBともされている。G特性とは、1 Hz～20 Hzの超低周波音のための周波数重み付け特性である。1 Hz～20 Hzにおける超低周波音の感覚閾値に基づいていて、10 Hzを基準に周波数が半分になると、重み付けが12 dB小さくなるような特性となっている。手引書では低周波音の測定を行い、まず発生源側の測定結果と苦情者宅の測定結果の対応関係の有無を確認することを記している。対応関係がなければ推定された発生源以外が原因である可能性があり、対応関係が認められた場合には苦情者宅の測定結果を参照値などと照らし合わせて、苦情の原因が低周波音である可能性について検討する。その適用範囲は工場、事業場、店舗、近隣の住居などに設置された施設等の固定音源(ある時間連続的に低周波音を発生する固定された音源)からの低周波音により、物的苦情及び心身に係る苦情が発生している場合とした。

諸外国の基準に関して、規制基準として国際的に確定したものは無く、いくつかの国で推奨基準値等が定められている。これらは感覚閾値(最小可聴値)に基づき作成している。そしていずれの基準値等も固定音源から定常的に発生する、低周波数成分を主とする音源に用いられるものであり、多くの騒音苦情で対象とするような100 Hz以上に大きな成分を持つ移動音源や、発生時間が短い非定常音源を想定したものではない。また、参照値についてもそれは同じで、固定音源から発生する低周波音について苦情の申し立てが発生した際に、低周波音によるものかを判断するための目安として示したものである。そして参照値はいわゆる基準値(「この値以下に保つことが望ましい目標の値」や「超えてはならない値」)ではないため、規制・要請・目標として使用できる指標ではないといえる。

現在、交通騒音の環境基準では、A特性音圧レベルを用いて評価するのが一般的である。しかしながら、低周波数成分を多く含む騒音への評価においては、A特性音圧レベルでの評価が困難とされている。先行研究[3]では、新幹線騒音とヘリコプター騒音を用いた実験を行い、A特性音圧レベルが等しい場合でも、低周波数成分を多く含む音のほうが2.7 dBから5.9 dB程度、不快に感じられると報告している。本研究では先行研究では用いられなかった道路交通騒音を使用した実験を行い、同様の結果が得られるか検討することを目的とする。また、今回は簡易低周波音実験室を用いるため、簡易実験室でも同様の結果が得られるかについても確認する。

2. 道路交通騒音に含まれる低周波音

2024年5月に愛知県名古屋市南区柴田本通り1丁目付近にて騒音計(RION:NL-43)を使用し、道路交通騒音を一時間にわたり測定した。道路交通騒音の測定結果のサンプルを図1に示す。これは

大型車が通行しているときの10秒間の平均的な周波数特性である。わが国では100 Hz以下を低周波音と定義している。図1を見ると道路沿いでは31.5 Hz以上において環境省が定める心身にかかる苦情の参照値を超過していることがわかる。また、morinaga et al. [4]によると、圧迫感・振動感は40 Hz～50 Hzの音で最も生じやすく、70 dB程度の音圧レ



図1 実測による道路交通騒音の周波数特性

ベルで50%の人が圧迫感・振動感を感じ始めるとされている。図1は、屋外での測定結果であるが、低周波数の音は遮音しにくいという性質を有するため、道路沿いの住民の居室内においてもある程度のレベルで低周波音が影響を及ぼしている可能性が考えられる。

3. 音響心理実験

3.1 実験の概要

2024年10月に、大同大学X-0125室内の簡易低周波音実験室で実験を実施した。参加者は音響に関する特別な知識を有していない、10人を対象にした。男性9名、女性1名である。年齢は全員20歳代である。実験は一対比較法を用いて行い、低周波数成分が多く含まれる音刺激(オリジナル)と、オリジナルにハイパスフィルターをかけて低周波数成分をカットした音刺激(ハイパス)とを対にしてスピーカーで再生し、いずれの音が気になるか回答を求めた。いずれの参加者も練習を3回行ってから本実験を行った。

3.2 音刺激

刺激は圧迫感・振動感が最も強くなる40 Hzから50 Hz付近の成分が多い音を用いた。先行研究との比較のため、道路交通騒音(道路)に加え、先行研究で使用されたヘリコプター(ヘリ)の音も使用した。刺激の継続時間は車が10秒間とし、ヘリは15秒間に設定した。道路は2節で述べた測定時に録音した音を用いた。ヘリは普天間飛行場周辺で録音された音である。表1に実験に使用した刺激の音圧レベルを示す。道路、ヘリともに低周波音を含んでいるオリジナルの刺激のA特性音圧レベルは60 dBと70 dBに設定した。ただし、車は L_{Aeq} 、ヘリは L_{AE} の値である。ハイパス刺激は、オリジナル刺激に対して-5 dBから+10 dBまでの5 dB間隔で設定した。また、提示順については「オリジナル → ハイパス」の順と「ハイパス → オリジナル」の順をそれぞれ実施し、合計で32種類の刺激対をランダムに並び替えて再生した。

表1 実験に用いた刺激のA特性音圧レベル

道路 [dB]		ヘリ [dB]	
オリジナル	ハイパス	オリジナル	ハイパス
60	55	60	55
	60		60
	65		65
	70		70
70	65	70	65
	70		70
	75		75
	80		80

3.3 結果と考察

表2に、実験結果を示す。表中の「pair」列における頭文字の「C」は刺激が道路交通騒音であることを意味し、「H」はヘリ刺激を意味する。2文字目の「H」はハイパス刺激であることを意味する。また、数字はA特性音圧レベルの値を意味する。すなわち、C-60は道路交通騒音のオリジナル刺激で60 dBの音、CH-55は道路交通騒音のハイパス刺激であり、55 dBの音である。DLAはオリジナル刺激のA特性音圧レベルから、ハイパス刺激のA特性音圧レベルを引いた値、すなわち一対比較の刺激対のレベル差である。Ratioはオリジナル刺激の方が気になると回答した人の割合であり、その右の列に割合のz値を示す。

例えばC-60とCH-55の組み合わせは、オリジナル刺激の方が5 dB大きく、80%の人がオリジナル刺激の方が気になると回答している。C-60とCH-60は、A特性音圧レベルが等しい条件であるが、80%の人が、オリジナル刺激の方が気になると回答している。全体的に、A特性音圧レベルが等しい場合にはオリジナル刺激が気になる音として選択される確率が高い傾向にあり、また、一対比較で後から提示された刺激の方が気になる音として選択される確率が高い傾向にある。

表2 一対比較法による実験結果

pair		DL _A [dB]	Ratio	z-value		pair		DL _A [dB]	Ratio	z-value
C-60	CH-55	5.0	80%	0.842		H-60	HH-55	5.0	100%	-
C-60	CH-60	0.0	80%	0.842		H-60	HH-60	0.0	70%	0.524
C-60	CH-65	-5.0	20%	-0.842		H-60	HH-65	-5.0	30%	-0.524
C-60	CH-70	-10.0	10%	-1.282		H-60	HH-70	-10.0	30%	-0.524
CH-55	C-60	5.0	90%	1.282		HH-55	H-60	5.0	100%	-
CH-60	C-60	0.0	80%	0.842		HH-60	H-60	0.0	70%	0.524
CH-65	C-60	-5.0	40%	-0.253		HH-65	H-60	-5.0	60%	0.253
CH-70	C-60	-10.0	0%	-		HH-70	H-60	-10.0	30%	-0.524
C-70	CH-65	4.9	90%	1.282		H-70	HH-65	4.9	80%	0.842
C-70	CH-70	0.0	30%	-0.524		H-70	HH-70	0.0	60%	0.253
C-70	CH-75	-5.0	60%	0.253		H-70	HH-75	-5.0	20%	-0.842
C-70	CH-80	-10.0	0%	-		H-70	HH-80	-10.0	0%	-
CH-65	C-70	5.0	100%	-		HH-65	H-70	5.0	100%	-
CH-70	C-70	0.0	90%	1.282		HH-70	H-70	0.0	60%	0.253
CH-75	C-70	-5.0	70%	0.524		HH-75	H-70	-5.0	50%	0.000
CH-80	C-70	-10.0	30%	0.524		HH-80	H-70	-10.0	20%	-0.842

次にオリジナル刺激に対して気になる程度が主観的に等しくなるハイパス刺激のA特性音圧レベル(主観的等価点)を検討した。その結果を図2に示す。図の横軸は一対比較した刺激対のA特性音圧レベルの差であり、オリジナルからハイパスのレベルを引いたものである。縦軸は表1で示した気になると回答した割合をz値に変換したものである。刺激対のA特性音圧レベルの差と、z値の関

係とに基づき、線形の回帰分析を行った。 $z=0$ はオリジナル刺激を選択する割合=50%を意味するため、図中の回帰線が $z=0$ と交わる場所での横軸の値が、オリジナル刺激とハイパス刺激に対する気になる程度が等しくなるレベル差(つまり主観的等価点)を意味する。道路の主観的等価点は -2.1 dB, -4.5 dB となり、ヘリは -4.5 dB, -2.3 dB となった。すなわち、オリジナル刺激はハイパス刺激よりも -2.1 dB ~ -4.5 dB 小さい時に、両者の不快感が等しくなることを意味する。先行研究では、この幅が -2.7 dB から -5.9 dB であり、道路交通騒音を用いた本実験の場合であっても概ね同等の結果であるといえ、A特性音圧レベルの差が 0 dB であればオリジナル刺激を選択する割合が高くなるのが改めて確認された。また簡易の実験室であっても先行研究の低周波音実験室での再現性を確認することができた。

オリジナル刺激を選択する確率にどのような要因が関係しているか検討するため

ロジスティック回帰分析を行った。ここでは、オリジナル刺激に含まれる低周波数成分の寄与度の大きさを表す指標として、 40 Hzと 50 Hzのエネルギー合成値 (L_{40_50}) を算出し、A特性音圧レベルとの差をとった指標を説明変数として投入した。結果を表3に示す。説明変数として、1) 刺激対のA特性音圧レベルの差、2) 音源の違い(道路 or ヘリ)、3) オリジナル刺激の低周波数成分の寄与度、4) 一対比較でオリジナル刺激を提示する順番、とした。その結果、1)と4)だけでなく、3)もオリジナル刺激を選択する割合に有意に影響していた ($p < 0.05$)。

表3 ロジスティック回帰分析の結果

	オッズ比	係数	p
切片	0.236	-1.45	0.101
刺激対のA特性音圧レベルの差	1.333	0.29	0.000
音源の違い(ヘリ)	2.314	0.84	0.051
オリジナル刺激の L_{40_50} と L_A の差	1.094	0.09	0.024
一対比較における提示順(後半)	2.353	0.86	0.003

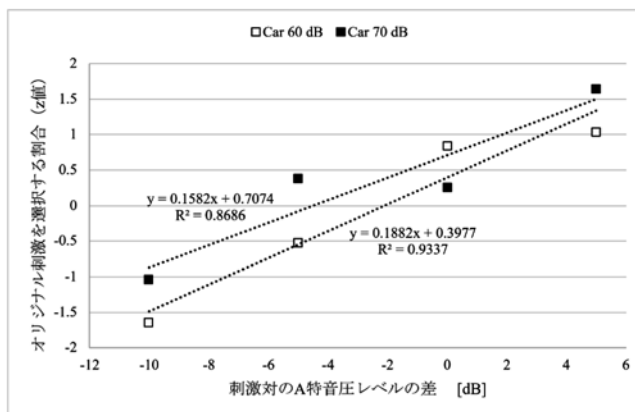


図2 刺激対のA特性音圧レベル差とオリジナル刺激を選択する確率の関係(道路)

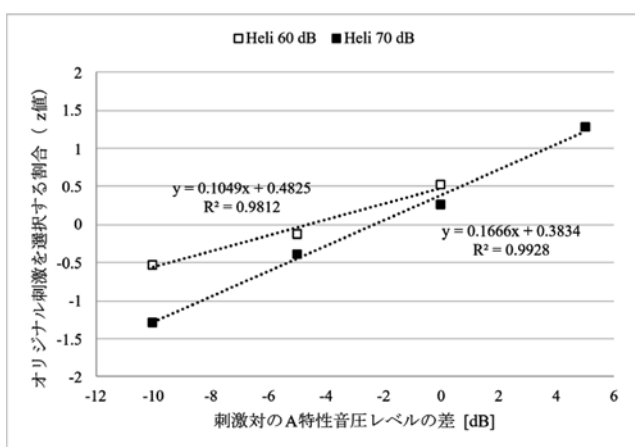


図3 刺激対のA特性音圧レベル差とオリジナル刺激を選択する確率の関係(ヘリ)

4. まとめ

本研究では、低周波数成分が含まれる交通騒音への評価指標を検討することを目的にオリジナル刺激とハイパス刺激による一対比較法実験を行った。その結果、主観的評価点となるときのオリジナル刺激とハイパス刺激の差が道路は -2.1 dB、 -4.5 dBとなり、ヘリは -4.5 dB、 -2.3 dBとなり、A特性音圧レベルの差が0 dBであればオリジナル刺激を選択する割合が高くなることが改めて確認された。ロジスティック回帰分析の結果、オリジナル刺激の周波数特性で低域が優勢であるほど、オリジナル刺激が選択されやすいことも確認された。

参考文献

- [1] 低周波音の測定方法に関するマニュアル，環境省(2000.10)
- [2] 低周波音問題対応の手引書，環境省(2004.6)
- [3] 森長 誠, 横島 潤紀, 小林 知尋, 横山 栄, 牧野 康一, 土肥 哲也, 山崎 徹, 低周波数成分を含む交通騒音の主観評価・その2 -低周波数成分による「気になる」印象の違い-, 日本音響学会秋季研究発表会講演論文集(2023)
- [4] Makoto Morinaga, Shigenori Yokoshima, Tomohiro Kobayashi, Sakae Yokoyama, Koichi Makino, Tetsuya Doi, Toru Yamazaki, Experiments on the peculiar region and threshold of oppressive or vibratory sensation caused by low-frequency pure tones, *Acoustical Science and Technology*, 46(2), 136-145 (2025).