

卷 末 資 料

[巻末資料 1] 生活環境中における低周波音発生実態¹⁾

(1) 生活環境中で観測される超低周波音の音圧レベル

生活環境中で観測される超低周波音の音圧レベルを図 1 に示す。

これによると、屋外で観測される超低周波音の音圧レベルは、G 特性音圧レベルで最大でも 130dB 程度である。通常の市街地屋外では G 特性音圧レベルで 55~95dB 程度、住宅内では G 特性音圧レベルで 50~90dB 程度、一般建物内では 65~100dB 程度の音圧レベルが観測されている。また、道路・鉄道・空港・港周辺では 80~115dB 程度、乗り物内では 100~130dB 程度、波・滝・雷等の自然現象

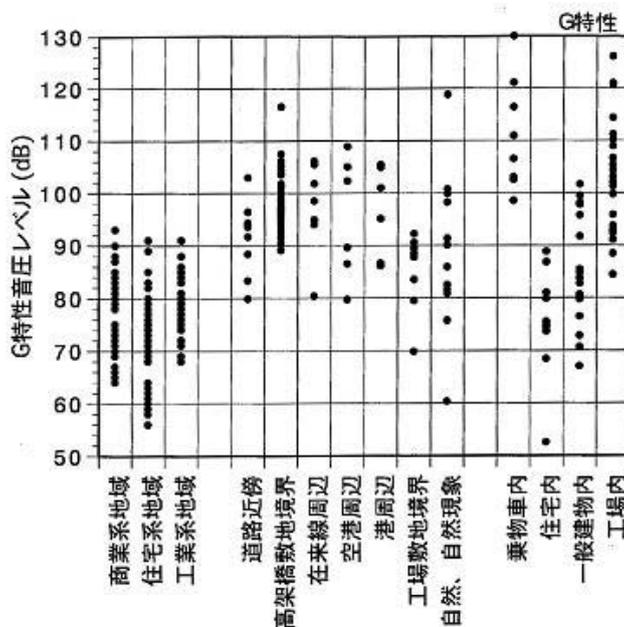


図 1 生活環境中で観測された超低周波音のG特性音圧レベル

では 60~120dB 程度の音圧レベルが観測されている。乗り物内では比較的高い音圧レベルが観測されているが、このうち、最も G 特性音圧レベルが高かったのは、後部窓を少し開けて高速走行した場合の乗用車内で、室内の共鳴により 130dB が観測された。

(2) 生活環境中で観測される低周波音の周波数特性^{2), 3)}

生活環境中で観測される低周波音の周波数特性の測定例を図 2~図 9 に示す。市街地で観測される低周波音は 40~80Hz 付近に主要成分がある。これらは道路交通等の背景騒音によると考えられる。道路・鉄道周辺で観測される低周波音は 20Hz 以上に主要成分がある。乗り物車内では、バス走行時のディーゼルエンジンによる 16Hz の帯域に卓越成分をもつ低周波音が、乗用車窓開け高速走行では室内の共鳴により発生する 16, 20Hz の帯域に卓越成分をもつ低周波音が観測されている。雷の測定例では、可聴域に主要周波数成分がある。また、一般建物内で観測される低周波音のなかには、20Hz 以下に主要成分があるものもみられるが、これは換気用の大型空調機や送風機によるものと考えられる。

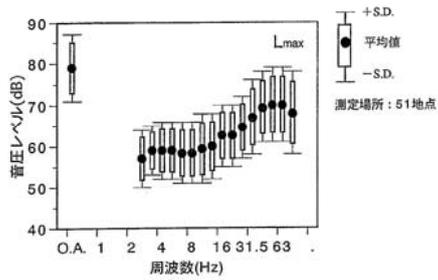


図2 市街地における低周波音の周波数特性の例 (商業系地域)

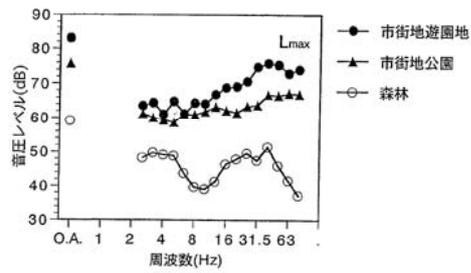


図3 低周波音の周波数特性の例 (屋外; 公園、自然)

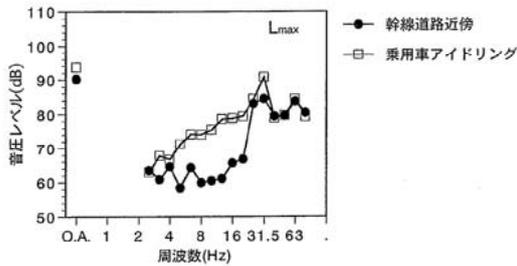


図4 低周波音の周波数特性の例 (道路近傍)

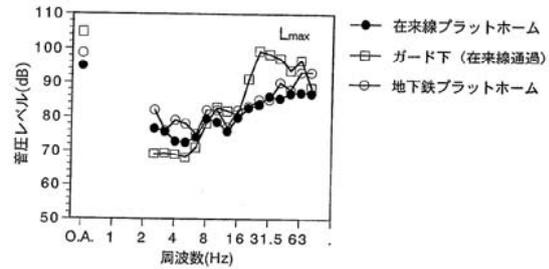


図5 低周波音の周波数特性の例 (鉄道周辺)

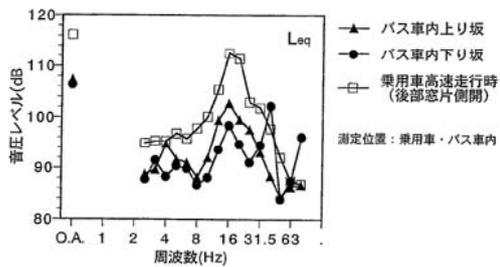


図6 低周波音の周波数特性の例 (乗り物車内)

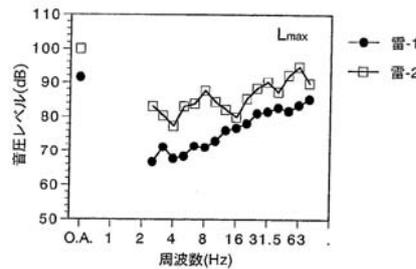


図7 低周波音の周波数特性の例 (雷)

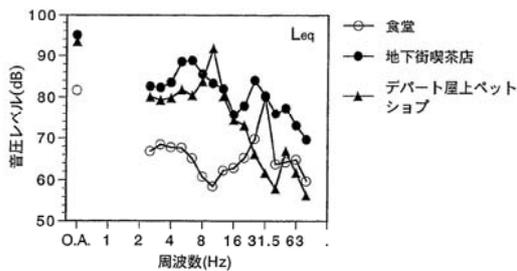


図8 低周波音の周波数特性の例 (一般建物内)

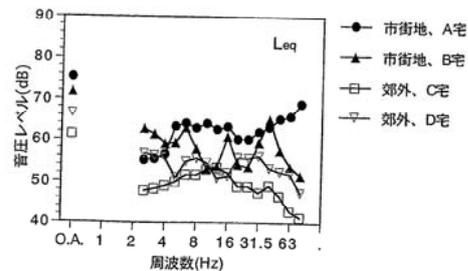


図9 低周波音の周波数特性の例 (一般住宅内)

[参考文献]

- 1) 落合博明、横田明則; G 特性音圧レベルによる低周波音の評価について、日本騒音制御工学会研究発表会講演論文集, (1998.9), pp. 191~194.
- 2) 環境庁大気保全局: 低周波音の測定方法に関するマニュアル, 平成 12 年 10 月; (図 2, 図 6)
- 3) 小林理研データ; (図 3~図 5, 図 7~図 9)

[卷末資料 2]

○ 聾者の最小可聴値

山田等¹⁾は聾者の最小可聴値を測定した。聾者の最小可聴値は 100Hz 以下の低周波音領域では健聴者の最小可聴値よりも 30~40dB 高く、このことから、健聴者では低周波音も通常の音と同様に耳で感知していると推測される。

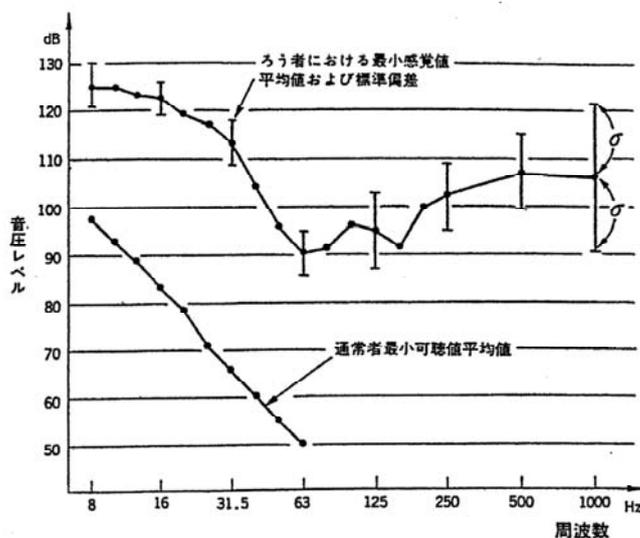


図 1 聾者における最小可聴値の平均値と標準偏差

○ 超低周波音による直接的な生理的影響の限界値に関する提案

超低周波音による生理的影響を現さない限界として、図 2 の直線 A が Johnson²⁾により提案されている。我国におけるこれまでの調査においても、一般生活環境で観測される程度の超低周波音 (120dB 以下) では、直接的な生理的影響は確認されていない。

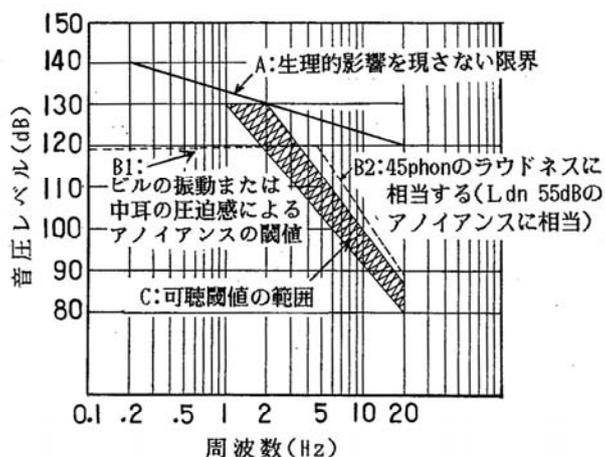


図 2 Johnson の提案基準

○ 低周波音の感覚実験結果

中村等³⁾は低周波音の感覚実験を行い、実験結果をもとに様々な感覚の領域を図示した。結果を図3に示す。図中には、低周波音特有の感覚である「圧迫感・振動感」、「やかましい」、「痛みを感じる」の3つの領域が示されている。これと併せて、「判る—判らない」、「気になる—気にならない」、「よく判る—不快な感じがしない」、「大いに不快—非常に気になる」の境界線が示されている。

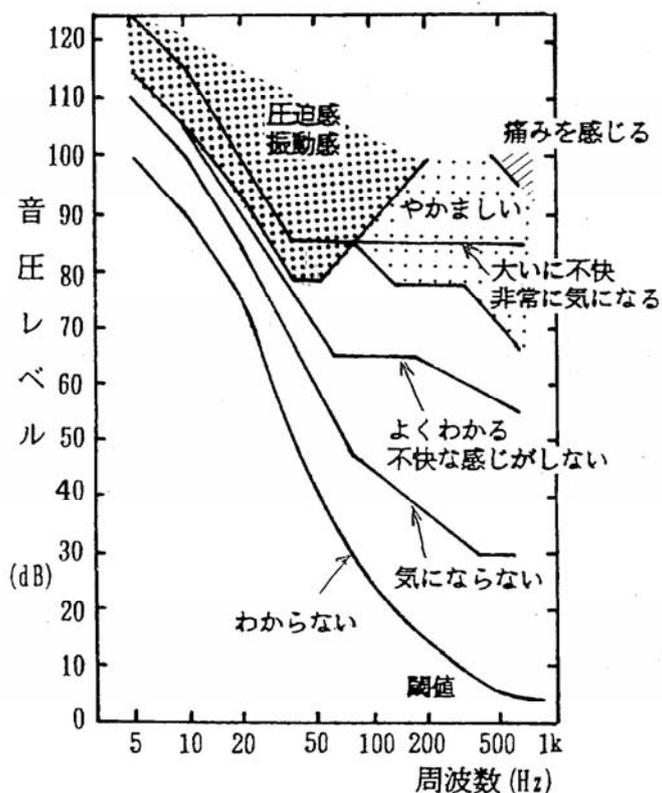


図3 低周波音の感覚実験結果

[参考文献]

- 1) 山田伸志、渡辺敏夫、小坂敏文：低周波音の感覚受容器，騒音制御，Vol.7，No.5，(1983)，pp.36～38.
- 2) D.L. Johnson：Auditory and physiological effects of infrasound，Proceedings of Inter-noise75，(1975)，pp.475～482.
- 3) 中村俊一，時田保夫，織田厚：低周波音に対する感覚と評価に関する基礎研究，昭和55年度文部省科学研究費「環境科学」特別研究，1979

[巻末資料 3] 低周波音の心理反応実験結果

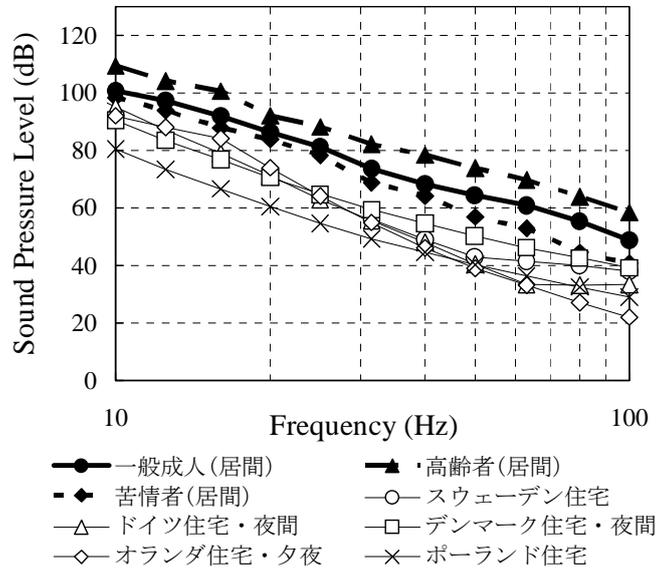


図 1. 一般成人, 高齢者, 苦情者の許容限度音圧レベル平均値と諸外国の基準¹⁾

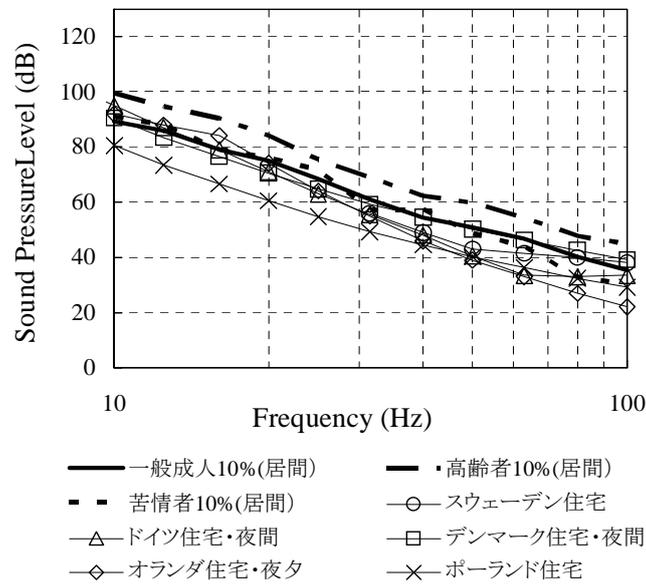


図 2. 一般成人, 高齢者, 苦情者の許容限度音圧レベル 10 %値と諸外国の基準¹⁾

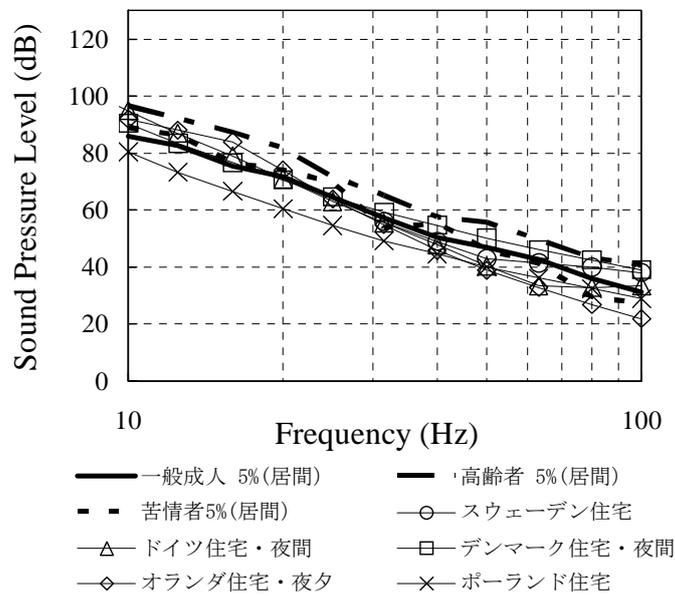


図3. 一般成人，高齢者，苦情者の許容限度音圧レベル5%値と諸外国の基準¹⁾

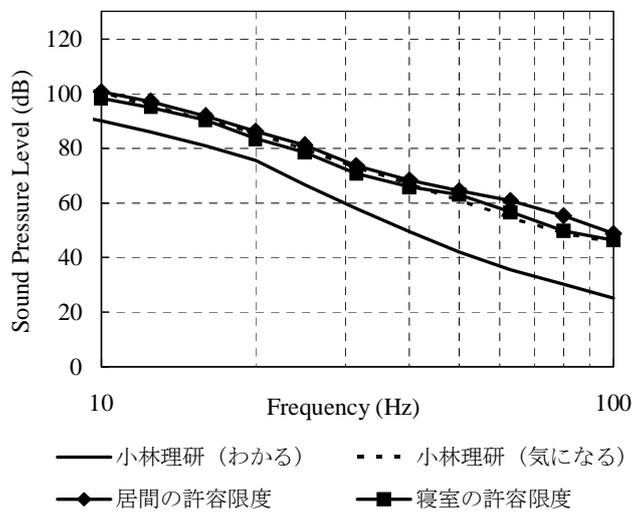


図4. 「居間」・「寝室」の許容値¹⁾と「わかる」・「気になる」の優先感覚²⁾の関係

許容限度測定条件及び被験者

1. 測定場所：産総所・低周波音実験室
2. 刺激音：10～100Hz の純音 11 種.
3. 測定法：被験者調整法（被験者産出法）による．被験者が許容限度と判断する音圧レベルを上・下のボタン操作によって設定.
4. 生活場面：「居間で静かに新聞を読んでいる場面」で、「長時間の継続音」を想定.
5. 被験者：以下の 3 群の被験者.
 - 1) 一般成人群：正常聴力を有する 20～50 歳代 39 人（大学生と主婦）.
 - 2) 高齢者群：シルバー人材センター派遣の 60～75 歳 23 人（男 12, 女 11）.
 - 3) 苦情者群：騒音被害者の会から自主参加した 12 人（男 3 人, 女 9 人）.

<引用文献>

- 1) 犬飼幸夫, 多屋秀人, “低周波音に対する日本人の許容限度評価特性とヨーロッパ諸国のガイドラインについて”, 日本音響学会講演論文集, pp. 901-902, (2003. 3).
- 2) 中村俊一, 時田保夫, 織田 厚: 低周波音に対する感覚と評価－「低周波音計」設計のための基礎的考察－, 音響学会騒音研究会資料, N-8109, pp. 15-24(1981).

[巻末資料 4] 低周波音の生理的影響に関する医学文献レビュー

(1) 検索対象および方法

本文献調査では低周波音による健康影響を医学的な観点から科学的に評価することを目的とし、使用する文献データベースとして1) 医学文献の世界最大のデータベースである MEDLINE、2) わが国最大の医学文献データベースである医学中央雑誌、特に環境と健康影響に関する文献のデータベースとして評価されている米国の国立産業保健安全研究所 (US NIOSH, US National Institute for Occupational Safety and Health) による NIOSHTIC(R)/NIOSHTIC-2 とカナダの産業保健安全センター (Canadian Centre for Occupational Health and Safety) による OSHLINE(TM) を使用した。さらに、これらのデータベースには収載されていないが、低周波音に関する文献を多数掲載している英国の雑誌である Journal Low Frequency Noise, Vibration and Active Control より有用と思われる論文をハンドサーチにて適宜使用した。対象は 1984 年以降に英語または日本語で発表された人を対象とした論文とした。

(2) 文献検索結果

コンピュータによる一次検索では 703 件の論文が検索された。これらを抄録および本文から下記の採用基準で絞込みを行い、基準を満たした論文は、ハンドサーチ分を含めて 10 件のみであった。使用した採用基準は以下のとおりである。

- 1) 1984 年以降に発表された論文であること
- 2) 英語または日本語で発表された論文であること
- 3) 人を対象としたもの
- 4) 低周波音が主たる曝露であること
- 5) 生理的影響の評価がされているもの

(3) レビュー結果

10 件のうち、6 件が実験研究、4 件が症例—対照研究 (1 件)、症例報告 (1 件) および断面調査 (2 件) による疫学研究であった。

Mirowska¹⁾ はポーランド国内での調査において、低周波音による被害を訴えている人の住むアパートの住人と、性、年齢をマッチした被害を訴えている人のいないアパートの住人 (合計約 60 名) について質問票による自覚症状調査とともに曝露量調査を行った。その結果、感覚閾値以下でもイライラ感などの心理的影響とともに、心部不快感や慢性不眠などの影響を示唆する結果が得たとしている。しかしながら、周波数を含む曝露レベルの結果が記載されておらず、また、人数が少ない点など、結論を下すには不十分な点が多い。van den Berg²⁾ は低周波音による被害を訴えている者 19 名 (症例群) と訴えていない者 17 名 (対照群) についての症例—対照研究を行い、両者の間で低周波音の曝露レベルに差があるかどうかにつき検討した。その結果、症例群のうちの

数名においては感覚閾値以上の低周波音の曝露が認められたものの、それ以外は感覚閾値以下であり、両群の曝露レベルには差が認められなかった、としている。著者はこの結果について、1) 低周波音による耳鳴り、2) 症例群に多く認められた可聴域における聴覚障害によるマスキングにより低周波音がより過敏になったこと、3) 聴覚以外からの感覚による感知、の可能性を挙げている。

Lundin ら³⁾ は引越し直後から低周波音によると思われる不調を訴えている夫婦についての症例報告をしている。その中で低周波音レベルの変動と自覚症状の大きさとの関係を調べたが、低周波音のレベルは卓越周波数であった 49Hz で 30~40dB を記録し、感覚閾値を下回るレベルがほとんどを占めた。そのような環境の中でも愁訴を訴えたが、騒音レベルと症状の愁訴の大きさに相関は認められなかった。著者らはこの結果について、調査以前の低周波音レベルは調査時より大きく感覚閾値以上であり、その当時の経験のために、低周波音のレベルに関わらず愁訴を訴えてしまうのではないかとしているが、感覚閾値以下で愁訴を訴えているかどうかについては言及していない。

わが国から報告された疫学研究では、Nagai ら⁴⁾ が、高速道路沿線の居住者を対象にアンケート調査を行い、自覚症状と高速道路からの距離との関係を調べている。高速道路の近くほど建具のがたつきが大きく、疲労感、睡眠妨害、めまい、などの有訴率が高い、という結果を得ている。この研究はすでに住民からの被害の訴えがでていた地域を対象としたものであり、自覚症状の回答にはバイアスが存在する可能性があり、解釈は慎重に行う必要がある。

実験研究では、単一周波数の感覚閾値周辺の低周波音曝露により、感覚閾値と生体の反応や影響の関係について調べてものがわが国の研究者によりいくつか報告されている。Yamada ら⁵⁾ は皮膚電位反射などの生理反応が感覚閾値以下では認められなかったとしている。一方、Okai⁶⁾ は周波数 10Hz の超低周波音において、聴覚閾値以下で脈波および呼吸数変化、皮膚電位反射などの生理反応が認められたとしている。また、Inaba ら⁷⁾ は睡眠中の者に対しては感覚閾値以上の音でも睡眠への影響は認められないとの報告をしており、低周波音による大きな訴えの一つである睡眠障害は聴覚を介した反応であることを示唆している。その他に、岡本ら⁸⁾、Takigawa ら⁹⁾ が、身体動揺への影響をみるための実験を行っているが、短時間の急性曝露によるものであり、いずれも曝露の強さと影響との関連を見ようとしたものではなかった。

以上のように、これまでの知見は Okai らの報告を除き、全体としては低周波音による生理反応あるいは影響は聴覚・感覚閾値以下では起りにくいことを示唆するものであるが、そのことの強い根拠を示したものは未だないといえる。このリサーチ課題に対し明確に答え得るような、より良くデザインされた調査・研究の実施が望まれる。

[調査文献一覧]

- 1) Mirowska M. Evaluation of low-frequency noise in dwellings. New Polish recommendations. J Low Frequency Noise, Vibration, 20(2), 67-74, 2001
- 2) van den Berg G. P. Low frequency sounds in dwellings: A case control study. J Low Frequency Noise, Vibration, 19(2), 59-71, 2000
- 3) Lundin A, Ahman M. Case report: Is low-frequency noise from refrigerators in a multi-family house a cause of diffuse disorders? J Low Frequency Noise, Vibration, 17(2), 65-70, 1998
- 4) Nagai N, Matsumoto M, Yamasumi Y, et al. Process and emergence on the effects of infrasonic and low frequency noise on inhabitants. J Low Frequency Noise and Vibration, 8(3), 87-99, 1989
- 5) Yamada S, Watanabe T, Kosaka T et al. Physiological effects of low frequency noise. J Low Frequency Noise, Vibration, 5(1), 14-25, 1986
- 6) Okai O. Effects of infrasound on respiratory function of man. J Low Frequency Noise, Vibration and Active Control, 5(3), 94-99, 1986
- 7) Inaba R, Okada A Study on the effects of infra- and low frequency sound on the sleep by EEG recording. J Low Frequency Noise, Vibration, 7(1), 15-19, 1988
- 8) 岡本 健、吉田昭男、井上仁郎、田丸浩志. 超低周波音の人体に及ぼす影響. J UOEH, 82 suppl, 135-149, 1986
- 9) Takigawa H, Hayashi F, Sugiura S, et al. Effects of infrasound on human body sway. J Low Frequency Noise, Vibration and Active Control, 7(2), 66-74, 1988

[巻末資料 5] 諸外国のガイドライン（抜粋）

以下に示すものは、諸外国のガイドラインを記した資料を翻訳したものである。資料の中の、低周波音に関係する部分のみを掲載する。主要内容については、本文の第5章、諸外国のガイドラインに示している。

なお、出来る限り本文に忠実なように、直訳を行っている。そのため、資料の掲載の形式等は統一されていない。

1. アメリカの規準

American National Standard : ANSI S12.9-1996-Part 4

"Quantities and procedures for description and measurement of environmental sound - Part 4: Noise assessment and prediction of long-term community response

概要

この規準は、1個あるいは複数の音源による長時間の環境騒音に対するアセスメントと、アノイアンスの反応を規定するための方法である。音源は、個々の音源あるいは、それらの複合されたものである。この規準の適用は、人間が住んでいて、長期間の土地利用がされている地域についてである。この規準は、公園あるいは荒地のように、一時的に人間が入り込む地域への音の影響を示すものではない。また睡眠影響あるいは、健康影響を明らかにする目的ではない。この規準は、短時間、回数の少ない場合、繰り返しのない音源に対する住民反応を予測するものでもない。

目次

前書き

- 0 前書き
- 1 全体概要
- 2 関係する規格
- 3 定義
- 4 環境騒音のための表示値
- 5 測定位置
- 6 暗騒音の補正
- 7 単一音源あるいは複合音源における環境騒音のアセスメントの方法
- 8 環境騒音のアセスメントと長期間暴露におけるアノイアンス反応の報告書

付録

- A 暗騒音の補正
- B 高エネルギーの衝撃音
- C 純音成分を持つ音
- D 強い低周波音成分を持つ音
- E 航空機の直近通過による波形の立ち上がり率
- F 昼夜補正平均音圧レベルの関数としてのアノイアンスの大きい人口のパーセント
- G 文献

付録D (informative: 情報の提供の意味)

強い低周波音成分を持つ音

D 1 緒言

強い低周波音成分を持つ音は、A特性で予想されるよりも大きなアノイアンスを引き起こす。アノイアンスの増加は以下のような因子によって引き起こされる。

- 1) 低周波音は高周波音よりも建物の遮音が小さい。
- 2) 低周波数になるほどラウドネスが大きくなる。さらに 16、31.5、63Hz において、75~80dB を越すとはっきりした建物のガタツキが発生する。ガタツキが発生するとアノイアンスが増加する。この付録は、強い低周波音成分を持つ音のアセスメントに適用できるであろう。

D 2 考慮すべき点

強い低周波音成分を持つ音の分析は、以下の3つの観点で行われる。

- 1) 一般に中心周波数 16、31.5、63Hz において、音圧レベルが 65dB 以下であれば、アノイアンスは小さい。しかし、振幅が急激に変動する場合、例えばポピュラーミュージックのリズム楽器などでは、65dB 以下でもアノイアンスが発生する。
- 2) 非常に低い周波数では、音圧レベルの上昇によって、アノイアンスが非常に増加する。
- 3) 強い低周波音成分によるアノイアンスは、実際上は、室内だけである。高い周波数では、家の窓や壁は大きな遮音量を持つが、16、31.5、63Hz の低周波音は、簡単に通り抜けてしまう。最低の遮音量と室内の共振モードによって、室内と室外では音圧レベルはほとんど同じである。

D 3 応用

この付録の利用は、強い低周波音成分をもつ本質的に連続的な音に適用される。

D 4 記号

強い低周波音成分を持つ音としては、16、31.5、63Hz のオクターブバンドの時間平均音圧の合計である。対応する低周波音圧レベルは L_{LF} で表される。

D 5 強い低周波音成分を持つ音の補正騒音暴露

強い低周波音成分を持つ音に対して、補正騒音暴露レベル L_{NE} は低周波音圧レベル L_{LF} から以下の式で計算される。

$$\begin{aligned} L_{NE} &= 2(L_{LF} - 65) + 55 + 10\log(T/1) \\ &= 2L_{LF} - 75 + 10\log(T/1) \end{aligned} \quad (D 1)$$

ここで、 T は秒で表し低周波音が存在する継続時間である。式(D 1)の2(2倍)という数字は、低周波音ではアノイアンスが急激に増加することに対応している。また式(D 1)は、低周波音圧レベルが 75dB を越すとがたつきが発生し、それによるアノイアンスの増加も含んでいる。

D 5. 2 低周波音圧レベルからの補正騒音暴露量

強い低周波音成分を持つ音に対しては、補正騒音暴露量 N は、低周波音圧レベル L_{LF} から以下の式で計算される。

$$\begin{aligned} N &= T [10^{0.1(2LLF-75-94)}] \\ &= T [10^{0.1(2LLF-169)}] \end{aligned} \quad (D 2)$$

2. オランダの推奨基準 (低周波音苦情のアセスメント)

Assessment of Low Frequency Noise Complaints

G. P. van den Berg, W. Passchier-Vermeer

pp1-4, Inter-Noise 99 in Florida

苦情者

オランダにおいて、最近、役所、医師、音響専門家へ、低周波音についての苦情が持ち込まれている。1998～1999 にかけて、オランダでいくつかの研究が行われた。そのひとつは、苦情者たちの、年齢、性、職業、聴覚閾値、音に対する感受性、家で過ごす時間、心理状態、健康状態の調査である。その調査によると、苦情は数年間続き、苦情者の QOL (生活の質) と健康を脅かしている。

測定

オランダの基準に従って、室内外で A 特性の L_{eq} が測定された。

いくつかのケースでは、苦情者は、音がエアコンユニット、送風機、近所あるいは離れたオフィスもしくは工場から来ると思っている。他の多くの場合は、音源はわかっていない。

第2の研究では、苦情者の住居内で苦情者が知覚しているという時刻に低周波音圧レベ

ルが測定された。その結果は、苦情者でない通常の人たちの住居内の測定値と比較された。

アセスメント

役所に訴えがあった場合は、低周波音があるかどうかを判断しなければならない。そこで、第3の研究として、どのレベル以上であれば知覚されるか、それゆえに、ストレスあるいはアノイアンスの原因として作用するかどうかを判定しなければならない。

測定法とアセスメントの手順が、低周波音に対するガイドラインを含めて、オランダ騒音アノイアンス協会(NSG)で発行され、オランダの政府機関である住居空間環境省で承認された。このガイドラインは音源を明らかにする方法は含んでいない。

知覚

苦情者は、通常うなるようなハムの音、エンジンのような音、圧迫感・振動感を訴える。数日間、数週間知覚され、強くなったり弱くなったり、消えたりする。何年間も続けて知覚されることもある。全ての苦情者は、睡眠に障害を受ける。望まれない音に暴露されると苦情者の健康を脅かす。夜間に低周波音を知覚すると重要なストレスナーになり、昼間になっても通常有害な感覚が続く。そのことによって、精神安定剤(トランキライザー)、睡眠薬の使用の増加をもたらす。他の人々(伴侶、訪問者、研究者)が低周波音を知覚しないことにいらいらしたりする。

苦情者は、その音は連続で、音の大きさは一定かあるいは数秒間で変化するという。測定は、苦情者が知覚していると主張する時間に行う。

アセスメントの方法

研究によると、レベルに対して強い相関がなく、知覚されればアノイアンスが起こり、苦情を引き起こす。だから、個人個人の聴覚閾値を超して知覚されると問題となる。大部分の苦情者は、年長の人であり、苦情者の平均年齢は54歳である。だから、50-60歳の一般の人の可聴閾値を基準として使う。両耳での最小可聴値で感度のいい方から数えて10%目の人の値が使われる(周波数は、1/3オクターブである)。表1にその値を示す。ISO226によると、若い人においては、10%目の人の最小可聴値は、平均値から4.5dB下がった値である。

表1 低周波音の最小可聴値（平均値及び10%レンジの値）

50-60歳の人の20-100Hzの10%レンジの値は、NSGの基準カーブである。

	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200
50-60才の平均値	103	99	95	85	75	66	58	51	45	39	34	29	25	22
50-60才の10%値	92	88	84	74	64	55	46	39	33	27	22	18	14	10
若者の平均値	96	92	88	78	66	59	51	44	38	32	27	22	18	15
若者の10%値	89	85	81	71	59	52	43	36	30	24	19	15	11	7

推奨される測定法とアセスメントの手順

ガイドラインの目的は、知覚されている低周波音が検出可能であるかどうかを調べることである。低周波音の存在が明瞭である場合は、苦情者自身が妥当と思われる時間（通常は夜間）と場所で音を録音する事がすすめられる。記録の再現性を調べるために、少なくとも異なる日の夜間に2回以上測定される。可能ならば、苦情者によって低周波音が知覚されていない時にも録音しておくことが望ましい。測定場所も苦情者によって知覚される場所で行う。標準的には、地上1-1.5mの高さで、寝室で、両側の壁から0.4-0.5m離れたコーナーで行う。平坦特性で測定し、20Hz以上で内部雑音レベルが推奨基準のカーブよりも10dB以上低い測定器で行う。録音中は、調査者には聞こえない可能性があるため、混乱を避けるために、その場にいない方がいい。ただし、音源に対する法的な測定を考えるなら、調査者がいた方がいい。測定時間は、10-15分である。測定は、被験者の感じる音の強さに従って、何回か録音する。

解析

考える周波数範囲は、20-100Hzである。1/3オクターブバンドで複数のバンドが基準値を超すならば、1/12、1/24オクターブの分析、あるいは線スペクトルによる分析が行われる。

アセスメント

1/3オクターブバンドのレベルが基準値を超していたら、低周波音は可聴であり、潜在的にアノイアンスを起こすと考える。もし、1/3オクターブバンドの等価騒音レベルが基準値以下であるならば、苦情者は、10%以下の閾値を持っているか、あるいは20Hz以下か、100Hz以上であるか、あるいは、耳の中の音（例えば、血流の流れの音、もしくは、耳鳴り）と考える。

3. ポーランドの新しい推奨基準

Evaluation of Low-Frequency Noise in Dwellings. New Polish Recommendations, Marianna Mirowska, Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control, pp67-74, vol.20, No.2, 2001.

(Recommendation No 358/98 of the Building Research Institute, "Assessment of the low-frequency noise in dwelling")

建物の内外に設置された装置から住居内へ侵入する低周波音に対する、ポーランドの推奨基準である。

低周波音の苦情あるいは健康被害は、検知限程度か、暗騒音を少し上回るだけで苦情になる。

バックグラウンドの低周波音と比較して、純音性の場合には 10dB を超えたときに、広帯域の低周波音の場合は 6dB を超えたときに、住民を悩ませる。

音源は、たとえば、ポンプ、変圧器、送風機、冷凍機等である。

疫学的調査の結果

閾値に近いレベルでも潜在的な健康被害をもたらす。低周波音への暴露は、憂鬱な状態を引き起こすようである。

低周波音の閾値の測定

複合音では、各純音成分が純音の感覚閾値よりも 10dB 低くても知覚されるであろう。純音性の低周波音の場合、マスキングの低周波音よりも 12-16dB 大きいと、検出される。複数の純音成分を含む場合は、マスキング音の 7-11dB 大きいと、検出される。

低周波音の見積もりのための、基本的な限界値

$$L_{A10} = 10 - k_A$$

L_{A10} は、10dB(A) に相当する 1/3 オクターブバンドの音圧レベル

k_A は、A 特性の補正值 $L_{AF} = 10\text{dB}$

上記の基準は、以下の条件を満たす。

1. この基準以下では、問題が起こらず、これを越すと多分住人にアノイアンスを起さずであろう。
2. 夜間におけるバックグラウンドの 50Hz 以上のレベルの平均値は、 A_{10} と同じか、それより低い値である。50Hz より低い周波数では、バックグラウンドのレベルはこの基準より通常低いレベルである。

3. 80Hz 以上では、 A_{10} は 10phon のカーブと同等であり、63Hz 以下では、閾値よりも低い値である。
4. 全ての超低周波音領域 (10Hz 以上) 成分が A_{10} カーブにのっている場合は、 $L_G = 83\text{dB}$ である。
5. 全周波数成分 (20–20000Hz) が A_{10} カーブにのっている場合は、 L_{AF} は約 21dB で、A特性音圧レベルは約 25dB である。
6. A_{10} 特性は、等価修正音圧レベル $L_{AF} = 10\text{dB}$ に相当する。実用的には、1/3 オクターブバンドでの A特性音圧レベルは、評価に使える。
7. A特性はよく使われているので、A特性で修正されたスペクトルを読むことは可能である。現場で低周波音被害の概略を予測することが可能である。

A_{10} カーブは、50Hz 以下では、閾値よりも下にある。研究所で行った実験では、純音の閾値に比べて、多数の純音成分を同時に含んだ場合では、10dB も低くなることもある。夜間では、バックグラウンドの低周波音は、 A_{10} カーブよりも低いレベルであり、日中では、 A_{10} と A_{20} との間である。

アノイアンスがあると考えられる場合は、

$\Delta L_1 =$ 測定された音圧レベルと A_{10} カーブとの差

$\Delta L_2 =$ 測定された音圧レベルとバックグラウンドの音とのレベル差としたとき、

$\Delta L_1 > 0$

$\Delta L_2 > 10\text{dB}$ (純音の場合)、 $\Delta L_2 > 6\text{dB}$ (広帯域音の場合) の状態でアノイアンスがあると考えられる。

低周波音アセスメントの原則

予備調査：グラフを使ったアセスメント

10–250Hz の 1/3 オクターブ分析を行い、 A_{10} カーブと比較する。どれかの成分が A_{10} カーブを越えていれば、低周波音のアノイアンスが起こっていると考えられる。

完全な調査

L_H ：低周波音の測定値

L_T ：バックグラウンドの値

$\Delta L_1 = L_H - L_{A_{10}}$ ：1/3 オクターブバンドの騒音の音圧レベルと A_{10} カーブの音圧レベルとの差

$\Delta L_2 = L_H - L_T$ ：騒音の音圧レベルとバックグラウンドのレベルとの差

上記について、10–250Hz の 1/3 オクターブバンド全てについて計算する。

表1 低周波音の完全なアセスメントのための一例

周波数(Hz)	L_T	L_H	L_{A10}	ΔL_1	ΔL_2
10	26.0	26.4	80.4	-54.0	0.4
12.5	22.1	22.2	73.4	-51.2	0.1
16			66.7		
20			60.5		
25			54.7		
31.5			49.3		
40			44.6		
50			40.2		
63			36.2		
80			32.5		
100	23.4	43.8	29.1	+14.7	20.4
125			26.1		
160			23.4		
200			20.9		
250	13.0	12.9	18.6	-5.7	-0.1

4. ポーランドの産業職場内における超低周波音の提案

Proposal of New Limit Values for Occupational Exposure to Infrasonic Noise in Poland, Malgorzata Pawlaczyk-Luszczynska, Anna Kaczmarska-Kozlowska, Danuta Augustynska, Maria Kamedula, Journal of LFNV and Acitive Control, vol.19, No. 4, pp183-193, 2000

産業職場内の超低周波音の提案

一般の労働者

L_G (8時間の等価レベル) 102dB 以下

瞬時値は 145dB 以下(平坦特性)

102dB(L_G)は、スウェーデンの産業職場の基準とほとんど同じである。

妊娠中の女性、青少年について

L_G (8時間の等価レベル) 86dB 以下

瞬時値は 145dB 以下(平坦特性)

5. スウェーデンの推薦基準

「室内騒音と大音圧レベル騒音」

SOSFS 1996:7/E

General Guidelines issued by the Swedish National Board of Health and Welfare (スウェーデン国立健康福祉省による一般的ガイドライン)

Indoor Noise and High Sound-Levels

1996年5月15日より適用

- 1 緒言
- 2 法律
- 3 音響用語
- 4 音源
 - 4.1 固定された装置からの騒音
 - 4.2 生活あるいは業務活動に伴う騒音
 - 4.3 産業活動、レジャー活動等に伴う騒音
- 5 騒音の影響
 - 5.1 緒言
 - 5.2 騒音による直接的生理影響
 - 5.3 聴力損失
 - 5.4 会話、仕事、学習への影響
 - 5.5 睡眠影響
 - 5.6 社会心理的影響と医学的影響
 - 5.7 騒音によって引き起こされた妨害
 - 5.8 低周波音と純音成分による特別な影響
- 6 ガイドラインと推薦レベル
- 7 応用範囲
- 8 参考資料
 - 8.1 文献
 - 8.2 測定法、ガイドラインについての資料

1 緒言(一部のみ翻訳)

騒音とは、望まれない音であって、一定の定義があるわけではない。騒音レベルの大きさだけがいつでも最大の原因ではない。種々のパラメータを考慮して考えなければならない。

ガイドラインを越えるならば、(広い意味での)健康影響があるであろう。推薦レベルを越えるならば、潜在的に騒音による妨害の可能性を示している。推薦レベルは、種々の不確実性を含んでいるが、健康妨害の程度の判定に使われる。推薦レベルは、また計画段階における目標値と

しても使われるべきである。

中略

特別な注意が低周波音に払われている。高出力の音響装置、送風機、ヒートポンプが地域で使われている。低周波音は dB(A) の値が小さくても妨害を引き起こすと言える。この推薦書では、低周波音をどの様にアセスするかが述べられている。この推薦レベルは、家屋建物に関する基準とは異なっている。建物を建てる場合については、この推薦レベルは、単なる目標値と考えればよい。

4 音源

4. 1 固定された装置から発生する騒音

送風機、換気装置、エレベータ、ヒートポンプ、地域暖房システム等固定された装置から発生する騒音がある。多くの固定された装置は低周波音を発生する。

換気装置は、低周波音と共に、時には「ブーブー」という高い音も発生する。送風機は固体伝搬音も発生する。ヒートポンプはよく知られた低周波音源であり、空気伝播あるいは固体伝播で伝わる。洗濯室も振動を発生し固体伝播音を起こす。多くの音源は、昼も夜も音を発生する。これらの音は、静かな地域、あるいは、夕方特に夜間において知覚され易い。

5. 2 騒音による直接的生理影響

直接的な生理反応として、注目反応と防御反応がある。心拍数、血圧が瞬間に減少し、毛細血管の血流の減少が起こる。強い音の場合は、筋肉が反射的に収縮し、驚愕(びっくり)反射と呼ばれる反応がある。

防御反応は、音圧ばかりでなく音に対する個人の関わりにも関係がある。例えば、予期せぬ音、見知らぬ音、恐怖を感じる音等である。この場合には、緊張の増大、心拍数、呼吸数の増大、ホルモン分泌が増大する。これらの反応は、睡眠中には低いレベルで起こる。

5. 8 低周波音と純音による特別な影響

高周波音と違って、低周波音は疲労あるいは集中力への影響などで知覚される。連続的低周波音は、その音源が止まり解放感があるまでは気が付かないことが多い。送風機の音は停止するまでは気が付かない事がある。高周波音と違って、低周波音は最小感覚閾値のごく僅か上で、不快感・症状を引き起こす。症状としては、疲労、集中力減少、頭痛、耳の周りの圧迫感、場合によっては眠気、船酔いである。低周波音によって一旦妨害が起こると、妨害されたという感覚は、なかなか静まらないようである。

色々の活動で引き起こされた 20~40Hz の周波数範囲の音による妨害

は、充分には調べられていない。しかし、いくつかの現場調査によって、より低い周波数では妨害が増加することが見られている。25～31.5Hzでは、妨害の起こるレベルは、最小感覚閾値と同じかすぐ上のレベルで発生する。例えば、125Hzでは最小感覚閾値より10～15dB程度上のレベルまでであれば、妨害は起こらないであろう。

最小感覚閾値と受忍不可能として知覚されるレベルとの差は、高周波音の場合よりも低周波音の場合の方が小さい。63Hzにおける6dBの差は、1000Hzにおける10dBの差に相当する。このことは、低周波音におけるレベルの増加はより強く感じられ、多分高周波音におけるレベルの増加よりも強く感じられる。

自宅において間欠的な低周波音に暴露される人の場合に、25dB(A)でも妨害されると感じる。そのような妨害は、建物を通して伝播するライブ音楽あるいはディスコの音で通常起こる。

聴力損失のある人でも、小さいレベルの低周波音で妨害される。このことは、高周波領域の聴力損失は、音の歪んだ知覚を引き起こし不自然な感覚を起こすからである。

純音成分を含む騒音は、純音成分が無い場合に比べてより妨害を起こす。(Naturvardsverket, meddelande 6/1984, Externt industribulle r 参照)

6. ガイドラインと推薦レベル

騒音のガイドラインは、まず第1に音響的特性から決定される。ガイドラインの値は、騒音の最大値(間欠的な音に対して)と等価騒音レベル(連続的な音)で規定される。低周波音に対する推薦レベルは、等価騒音レベルについてのみ規定される。聴力への予防的測定としての推薦レベルでは、最大値と等価騒音レベルの両方が与えられる。

表1 室内での健康妨害としての騒音のアセスメントのためのガイドライン

	音圧レベル	dB
最大値	L_{AFmax}	35 - 45
等価レベル	$L_{Aeq,T}$	30

最大騒音レベルとして、より高い騒音レベルのガイドラインとして、45dB(A)が睡眠妨害、目覚め、目覚め後の影響と、会話了解度への繰り返し妨害に対して考えられている。健康妨害に対しては、例えば一晩に数回ガイドライン値を越える程度ならばよい。

最大騒音レベルに対するより低いガイドラインの値は、35dB(A)である。この値は、いくつかのケースに於いて、経験的あるいは個人を考慮して健康被害を起こすかどうかをアセスメントするために使われるべ

きである。健康被害を考える限り、この妨害が繰り返し起こる場合に適用する。

ガイドラインとして、30dB(A)は、妨害の継続時間Tを考え、睡眠妨害、会話のマスクング、知覚される個々人の妨害に対する予防的測定として考えられている。

騒音測定は、スウェーデン規格 025263 に従って、現場の室内で行われる。

表2 室内の健康妨害に対する等価低周波音レベルによるアセスメントのための推薦レベル

1/3 オクターブ周波数 Hz	等価音圧レベル
31.5	56
40	49
50	43
63	41.5
80	40
100	38
125	36
160	34
200	32

上記推薦レベルは、等価低周波音レベルから知覚される妨害が健康被害を起こすかどうかをアセスメントをするときに使えるであろう。

低周波音レベルの測定は、国立検定研究所：National Testing and Research Institute, SP-INFO 1996:17, Vagledning for matning av ljudniva i rum vid laga frekvenser - faltprovning に従って行わなければならない。

表3 公共への妨害に対する高音圧レベルのアセスメントのための推薦レベル

$$\begin{aligned} \text{最大値} & L_{AFmax} = 115 \\ \text{等価騒音レベル} & L_{Aeq,T} = 100 \end{aligned}$$

上記推薦レベルは、ディスコテック、コンサート等での、室内あるいは室外で利用される。

7. 応用範囲

表1及び表2は、住宅における居住用の部屋に対する健康妨害に対するアセスメントのためのガイドラインあるいは推薦レベルである。居住用の部屋としては、寝室、居間を含む。台所、風呂など直接居住に使わない場合は、このカテゴリーには入らない。このレベルは、学習・健康ケアその他の福祉サービスへの基準としても使われる。またホテル、政府建物、あるいは同様の建物へも使われる。測定は窓を閉めて室内で行われる。

これらのガイドラインは、間欠的な騒音の場合は含まない。回数の多い現象においては35dB(A)が、単発あるいは回数の少ない場合は45dB(A)が使われる。35-45dB(A)の間で変化する騒音の場合は、ケースバイケースでアセスメントされる。

より高いレベルのガイドラインである45dB(A)は、睡眠妨害あるいは入眠における予防的測定で使われる。このレベルは、一日のどの時間帯でも使われる。何回越えてもよいかは地域の状況を考慮して決められる。

固体伝播音は、低周波音成分が卓越している場合は妨害として知覚される。このタイプの騒音は、より厳しく解釈されるべきである。等価騒音レベルで、25dB(A)でも妨害が起こる。しかし、音楽による妨害に対しては地域の状況を考慮してアセスメントが考えられる。

可聴純音成分がある場合はより厳しく適用される。25dB(A)のレベルでも妨害として考えられる。可聴純音成分を含む音については、地域の状況に応じてアセスメントが行われる。

可聴純音成分を伴った音の場合には、異なる方法でアセスメントされる。おそらく、個人を意識した測定でアセスメントが行われるであろう。音圧レベルは、多分室内の位置によって大きく異なるであろう。純音のアセスメントでは、レベルが最大の位置で測定が行われるべきである。

中略

連続音が妨害を起こしている場合は、多分低周波音領域の分析も必要である。低周波音を含んでいるかどうかは、一般的な指針にしたがってA特性及びC特性で行われる。この方法は、簡易的な方法であって本質的に低周波音成分を含むかどうかの判定ではない。経験のある人は、その音を聞くだけで低周波音成分があるかどうかを識別できる。もし低周波音成分があれば、1/3オクターブ分析を行うべきである。分析によって、どれかのバンドにおいて要求される値を越えていれば、その騒音は潜在的に健康妨害を起こすと見なされる。

後略

6. 低周波音、超低周波音、振動に関するデンマークの推奨基準

(Jorgen Jakobsen, Danish guidelines on environmental low frequency noise, infrasound and vibration, Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control, vol.20 No.3, pp141-148) より

“Information from the Danish Environmental Protection Agency no.9/1997” (Miljostyrelsen) として、デンマークの騒音・振動・低周波音に関する推奨基準が出版された。

騒音に関しては、産業騒音については、1974年に決められたものがあった。A特性のみの利用であった。また振動については、1983年に決められたものがあったが、今回はそれを新しくしたものである。

超低周波音について

知覚されない超低周波音は、アノイアンスはないし、健康被害もなく、問題が起こらないと考える。また、超低周波音に関しては、感覚閾値を少し超えるとすぐアノイアンスが発生し、人間を煩わしく感じさせる。純音性の超低周波音の平均最小感覚閾値は、G特性では、96dBに相当する。

20-150Hzの範囲は、超低周波音と中間周波数との遷移周波数領域と考える。A特性は、低周波音の領域で、ラウドネスについて過剰評価になり、アノイアンスについて過小評価になっている。

また1-150Hzは、1つの臨界帯域内に入っていると見なすことが出来る。

推奨基準

超低周波音について許容できるレベルは感覚閾値以下でなければならない。感覚閾値の個人差が10dB程度であることを考慮し、超低周波音についての推奨レベル L_{pg} は、85dB以下とする。

10-160Hz間の低周波音レベルとして、A特性で測定し、 $L_{pA,LF}$ とする。通常の騒音レベルの基準よりも、5-15dB低い値とする。最小の推奨基準値は、 $L_{pA,LF}=20dB$ は、 $L_{pg}=85dB$ と近い値である。

推奨値	L_{pG}	$L_{pA,LF}$	通常の騒音基準
住宅内、夕方と夜間	85dB	20dB	30dB/25dB
住宅内、日中	85dB	25dB	30dB(日中と夕方)
教室内、オフィス内	85dB	30dB	40dB
職場内の他の部屋	90dB	35dB	50dB

この限度値は、10 分間の測定で得られた値と比較する。

衝撃的な音の場合は、推奨値は、5dB 減じられる。

部屋の中で 3 点以上の測定

1 点は、壁から 1-1.5m 離れ、床上 1-1.5m でコーナーの近く、他の 2 点は、部屋を代表する点で、壁あるいは大きな家具から 0.5m 以上離れ、床上、1-1.5m の点。もし、住民がレベルの大きい点を指摘できるなら、その点を測定する。

窓は閉めて測定する。もし、住人が窓を開けた方が、低周波音が強いというならば、窓を開けた測定もする。5 分以上のデータを平均する。1 つの部屋内のデータはエネルギー平均をする。

[巻末資料 6] 低周波音が問題とされた公害紛争事件の処理事例

総務省公害等調整委員会 報道資料

平成15年3月11日

「清瀬・新座低周波騒音被害等調停申請事件」の調停成立

標記事件について、本日開催された第3回調停期日において、当事者双方の合意が整い、調停が成立しましたので、お知らせします。

1. 経緯

平成13年10月、埼玉県及び東京都の住民10名から、同人らの住居に隣接する土地に建設された医療施設の運営法人に対して、同施設屋上に設置された空調室外機、変電装置等から発生する低周波音を含む騒音に対して、実効的な防音対策等を求める調停申請が埼玉県知事に対してなされた。本事件は、埼玉県と東京都にまたがるいわゆる県際事件であり、同年11月に埼玉県から公害等調整委員会に送付された。

2. 事件処理の経過

公害等調整委員会では、直ちに調停委員会（調停委員長・田辺淳也）を設置し、現地調査を実施するなど調停手続を進めた。

本件は、低周波音を含む騒音の改善が要請された事件であるが、近年、本件のように住宅地域において空調室外機等から生じる低周波音等が問題となる事例は増加している。しかしながら、従来の騒音対策だけでは対応しきれない面もあり、効果的な対策の確立が求められている状況にある。

このため、調停委員会としては、低周波音に係る音響分野及び対策分野の各専門家を専門委員として委嘱するとともに、本件病院施設の設計業者、施工業者、空調室外機メーカー、空調室外機設置業者の参加の下に、低周波音を含む騒音の低減を図るための対策について、専門委員の助言を得て検討を進めてきた。

検討の過程では、調停委員会として低周波音を含む騒音測定を実施し、その周波数分析の結果から問題となる周波数成分が100ヘルツ及び50ヘルツを中心としたものであることを確認した。その上で、考えられる低減対策を幅広く検討し、必要に応じ実験等で効果を確認することにより効果的な対策を見出すことに努めた。

こうした対策に係る検討結果を踏まえ、3月11日の第3回調停期日において当事者双方の合意が整い、調停が成立した。

なお、本件では、既設置の機器の移設が建物の構造上困難という制約の下で、技術関係

者らの努力により、低周波音を含む騒音の低減対策が講じられることとなったが、およそ建物の建設に当たっては、建物設計関係者と設置機器関係者との間で事前に低周波音を含む騒音の周辺住宅地への影響を可能な限り小さくするための検討をすることが必要であり、本件調停手続を通じて、そのことの重要性が再認識された。

3. 合意された対策の概要

(1) 空調室外機について、ファンの気流の排出口の改良、ファン相互の間仕切板の設置等により、100ヘルツを中心とした騒音の低減を図る。

(2) 変電装置の排風機について、低周波成分も含めた低騒音型の機種に交換する。

(3) 空調室外機の周囲に50ヘルツ及び100ヘルツに対し音の干渉による低減効果を持つ防音壁を新たに設置する。

総務省公害等調整委員会 報道資料

平成15年3月31日

「横浜市における振動・低周波音被害責任裁定申請事件」の裁定

公害等調整委員会の裁定委員会（裁定委員長加藤和夫）は「横浜市における振動・低周波音被害責任裁定申請事件」について、本日付けで裁定を行い、裁定書を当事者に送達しましたので、お知らせします。

1. 当事者

申請人ら横浜市の住民（同一世帯の3名）

被申請人横浜市

2. 主文

本件裁定申請をいずれも棄却する。

3. 事案の概要

(1) 申請の趣旨

被申請人は、申請人らに対し、合計金5,000万円を支払え。

(2) 申請の理由

被申請人の運行する市営地下鉄が申請人らの店舗兼住居の真下を通過して引き起こす振動と低周波音によって、申請人らが自律神経失調症等の健康被害を受けたことを理由として、国家賠償法2条1項に基づき前記の損害賠償を求める。

4. 裁定委員会の判断（骨子）

本件地下鉄の列車通過時の測定結果から本件地下鉄の列車が通行することにより本件建物内において、振動及び低周波音が発生していたものと認められる。

しかしながら、発生している振動レベルは、最大で47デシベル程度であり、申請人らが振動を感知したとしても、健康影響を及ぼす程度のものとは認め難い。

また、本件建物2階で発生している低周波音圧レベルは、10ヘルツで62～63デシベル程度であり、感覚閾値から20数デシベルも下回り、最小可聴値最低値からも10数デシベル下回っていることから、申請人らが上記の周波数領域の音を感知したと認めることは困難である。また、現時点において、感覚閾値以下の低周波音による健康影響を示す明確な知見がないことに照らすと、上記の周波数領域の低周波音により申請人らが心理的、生理的影響を受けたと認めることはできない。

以上のとおり、本件地下鉄の列車の通過によって本件建物内に発生する振動、低周波音と申請人らの健康不調との間に因果関係を認めることはできない。よって、その余の点を判断するまでもなく、申請人らの申請は理由がない。

5. 事件処理の経過

公害等調整委員会は、平成13年12月27日、本件申請を受け付けた後、直ちに裁定委員会を設け、申請人及び参考人の尋問を行い、平成15年1月28日の第9回審問期日をもって終結した。

なお、公害等調整委員会では、今般「低周波音の健康影響に係る文献評価調査」を実施し、低周波音の健康影響に関する国内外の医学文献等を検索し、その評価を取りまとめた上、これを本件の証拠とするという徹底した証拠調べを行ったものであり、この点に本件手続の特色がある。