

平成23年度東京都区市町村担当者研修
騒音の基礎知識

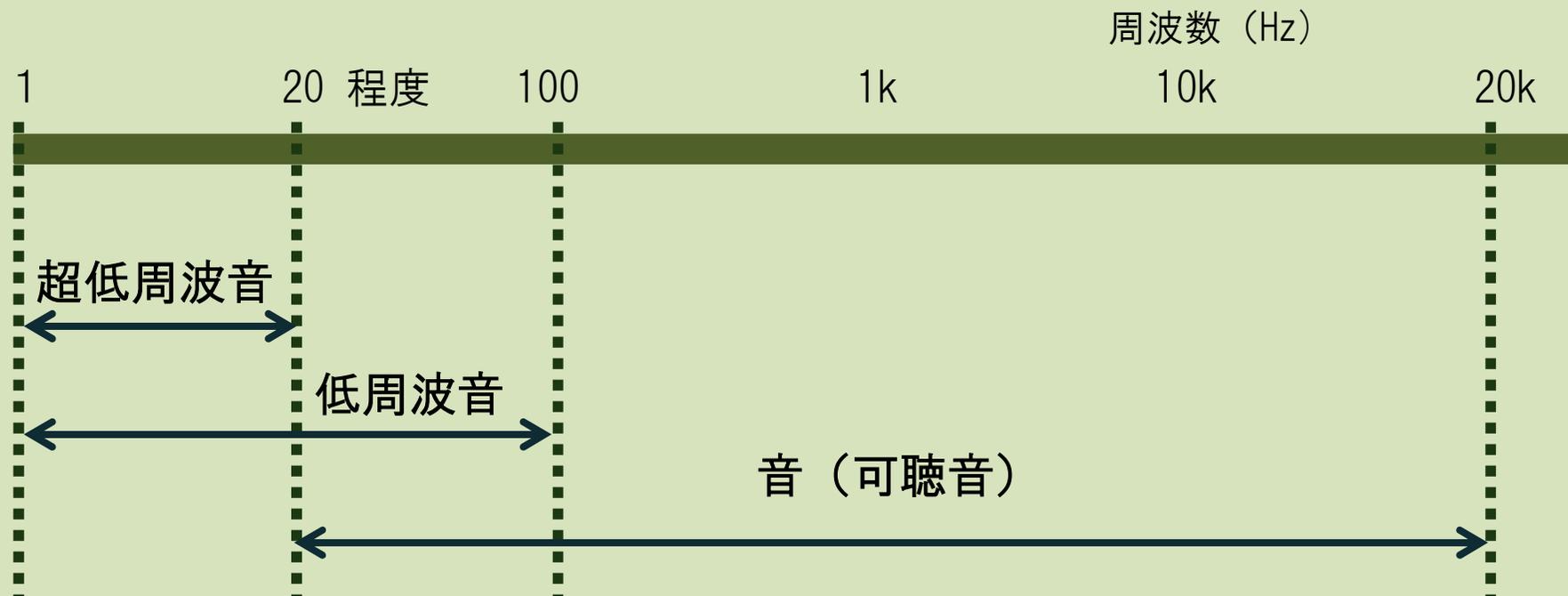
音の性質、測定と評価

音とは…

空气中を伝わる粗密波（縦波）

空气中の粒子の振動が進行方向に対して平行

- ・ 周波数（1秒間に繰り返す回数）
- ・ 大きさ（音の圧力）



※ JIS Z 8106（音響用語）では、超低周波音を「およそ16Hz以下」と定義

音の性質

- 音の大きさ

進行方向と同じ方向に空気分子が振動する

→音の強さ I は圧力 p の強さに比例する

$$I = p v \quad (\text{単位: } W \text{ (ワット)、 } v \text{ は粒子速度)}$$

人が聞き取れる最も弱い音 $10^{-12}W$ 程度 (音圧 $2 \times 10^{-5}Pa$)

人の音の感じ方は音の強さや音圧 (実効音圧) の対数と比例関係

$$\text{音圧レベル } L_p = 10 * \log(I / I_0)$$

$$\text{あるいは } L_p = 20 * \log(p/p_0) \quad (\text{単位dB})$$

ただし $I_0 = 10^{-12} (w/m^2)$ 、 $P_0 = 2 * 10^{-5} (Pa)$...基準値

*Pa

圧力の単位

面積 $1m^2$ に $1N$ の力が加わった時の圧力

大気圧 1気圧って何Pa?

$$1013mmbr = 101300Pa \doteq 10^5Pa$$

* 実効音圧

定常な交流信号の強さを表す量

瞬時値の2乗時間平均して平方根をとったもの

$$P = \sqrt{(1/t \int P_i^2 dt)}$$

音の強さと音圧レベル、音圧

音の強さ w/m^2	音圧レベル dB	音圧 Pa
10^2	140	2×10^2
10	130	10^2
10^{-0}	120	20
10^{-1}	110	10
10^{-2}	100	2
10^{-3}	90	1
10^{-4}	80	2×10^{-1}
10^{-5}	70	1×10^{-1}
10^{-6}	60	2×10^{-2}
10^{-7}	50	1×10^{-2}
10^{-8}	40	2×10^{-3}
10^{-9}	30	1×10^{-3}
10^{-10}	20	2×10^{-4}
10^{-11}	10	1×10^{-4}
10^{-12}	0	2×10^{-5}

空気の密度

1.2kg/m³

音速 340m/s

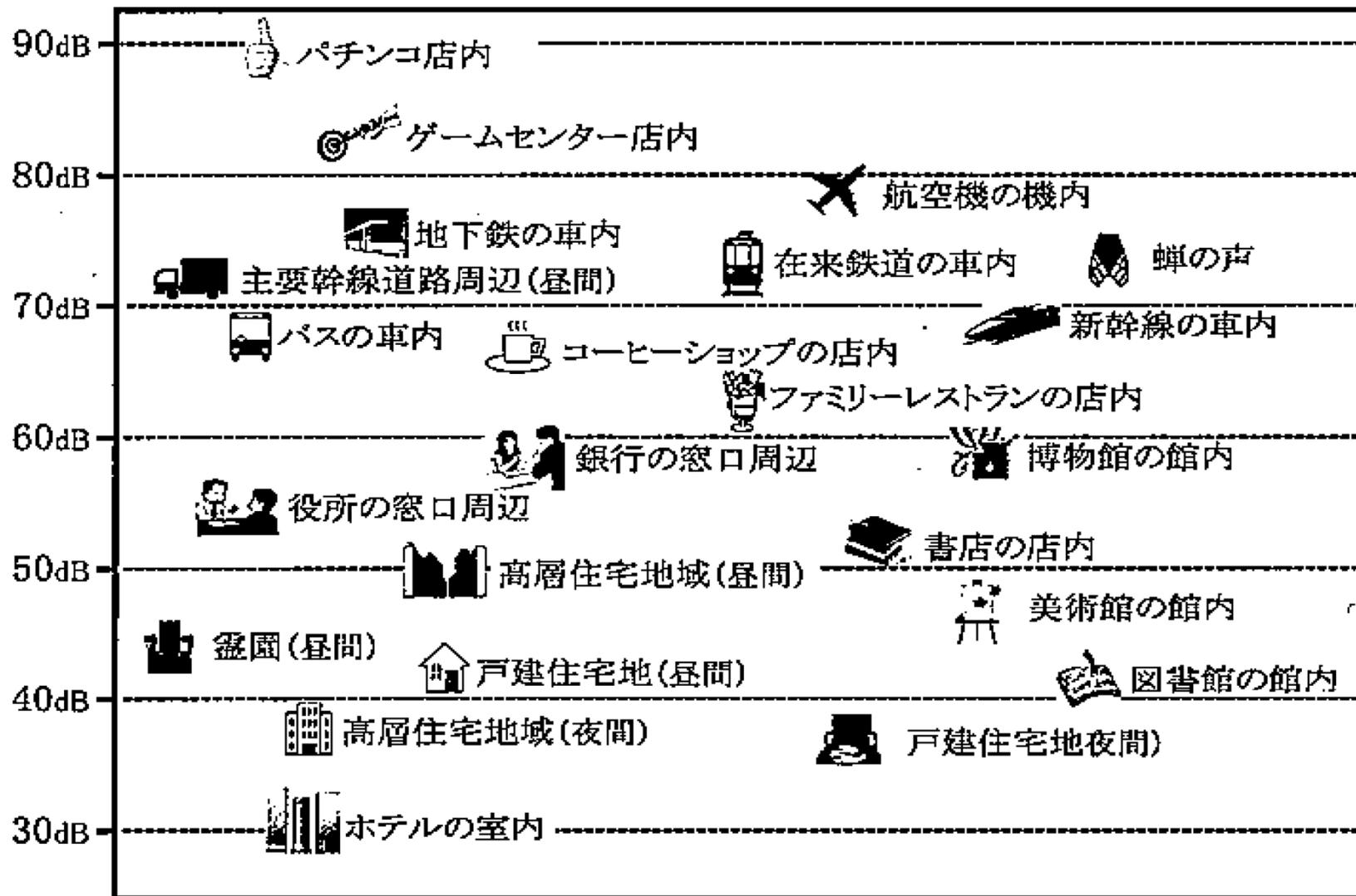
dBって？

デシ (deci-) + ベル (Bel)

ベルの1/10を基本とする計量単位

- レベル $\log(x/x_0)$
ある測りたい量の大きさ x を基準値 x_0 で割ったものに常用対数をとった値
- ベル (B)
レベルの単位
- デシベル (dB)
 $10 * \log(x/x_0)$

騒音の目安（全国：都市部用） 単位：dB (L_{Aeq})



(出展：全国環境研協議会騒音小委員会)
<http://www.env.go.jp/air/ippan/meyasu.pdf> (こちらにも掲載)

レベルの加算(パワー合成)

$$10 * \log(10^{(A/10)} + 10^{(B/10)}) = A + 10 * \log(1 + 10^{((B-A)/10)})$$

例1) 60dBの音源が2つあるとき

$$60 + 10 * \log(1 + 10^{(60-60)/10}) = 60 + 10 * \log 2 = 63 \text{dB}$$

例2) 60dBと55dBの音源があるとき

$$60 + 10 * \log(1 + 10^{(55-60)/10}) = 61.1 \text{dB} \doteq 61 \text{dB}$$

1未満の数字は四捨五入

例3) 10dB差があるとき…小さい方は無視できる

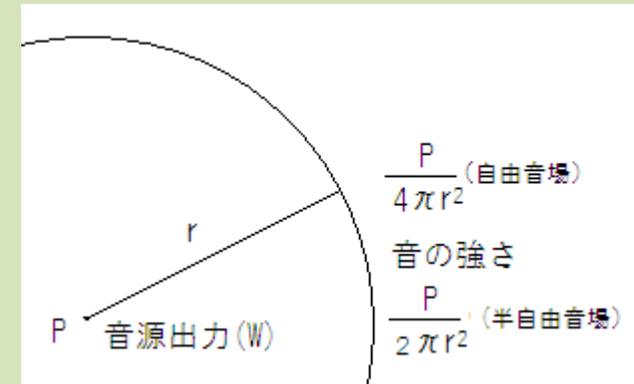
$$A + 0.4 \text{dB} \text{ (影響は小さい)}$$

$$A \text{ と } B \text{ の 差 を 求 め る } \dots 10 * \log(10^{(A/10)} - 10^{(B/10)})$$

- 音響パワーレベル L_w …音源の音響放射能力を測る尺度
音源出力 P （音源から放射される全エネルギー）

音源出力の基準値 P_0

$$L_w = 10 * \log(P/P_0)$$



- 音圧レベルと音響パワーレベルの関係
自由音場 $L_p = L_w - 20 * \log r - 11$ (dB)
半自由音場 $L_p = L_w - 20 * \log r - 8$ (dB)…点音源

- 距離減衰

点音源の場合（球面波）

距離 r が倍になる度に6dB小さくなる（6dB/octave）

音源が直線の場合（線音源、例：列車騒音）円筒波

距離 r が倍になる度に3dB小さくなる（3dB/octave）

音源が面の場合（面音源、例：壁から音が出てくる）

近傍では距離減衰は見込めない。

- 音の速度 c $c = 331.5 + 0.61t$ (m/s) t は摂氏温度
おおよそ340m/s程度
- 波長 λ $\lambda = c / f$ f は周波数
例) 100Hzの音を防音壁で防ぐには…3.4m以上の高さ
1kHzの音であれば… 0.34m
- 反射
反射面が波長に対して十分大きい時は反射が起こる
* 周波数が異なると反射の程度も違ってくる
- 屈折
温度差のある大気では、その境目で反射か屈折が起こる
(冬になると、遠くの列車の音が聞こえる)
- 回折
隙間があれば、音は回り込んでくる
100Hzよりも低い周波数であれば、1mでも小さな隙間
1kHz以上であれば1cmでも大きな隙間

周波数別の聞こえ方（周波数重み付け補正）

可聴範囲 20~20kHz
年齢、性別により異なる

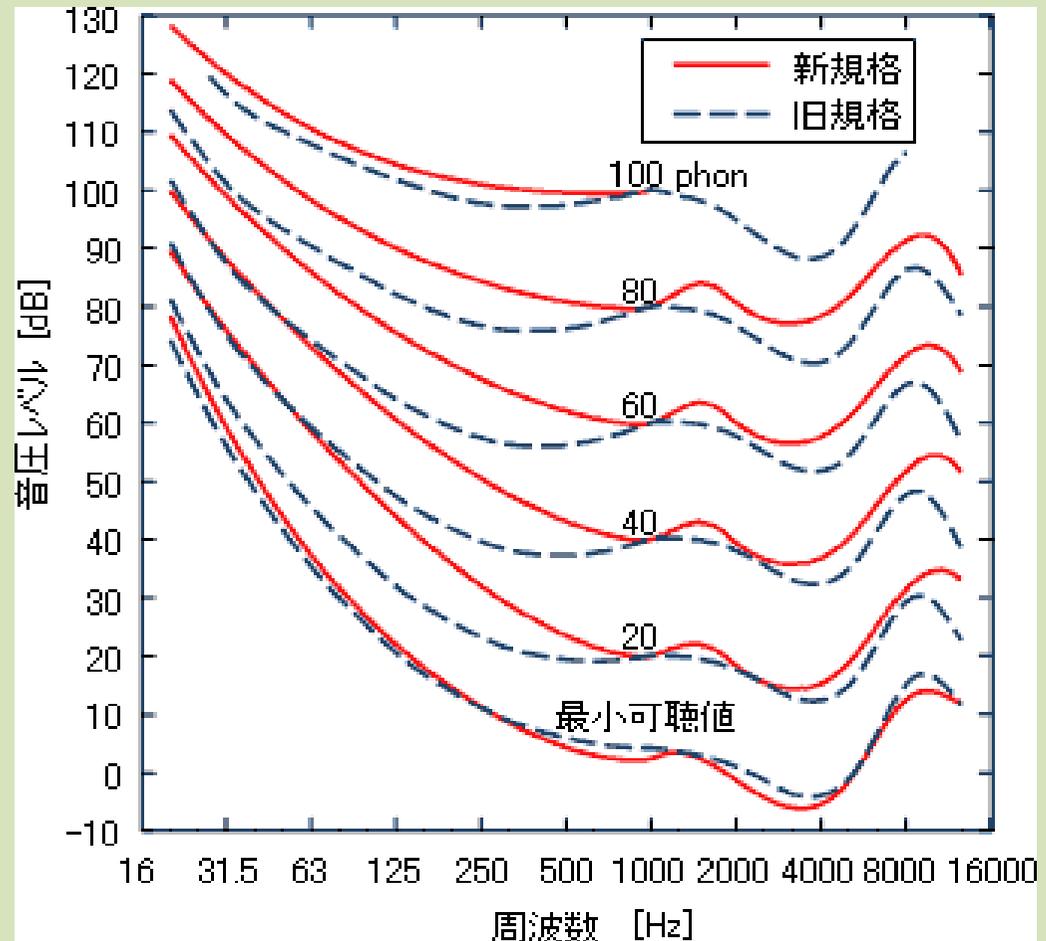
ラウドネスレベル曲線（感覚尺度）（ISO226、2003年に改正）

1kHz、40dBの音の等感曲線に基づいて周波数の重み付け

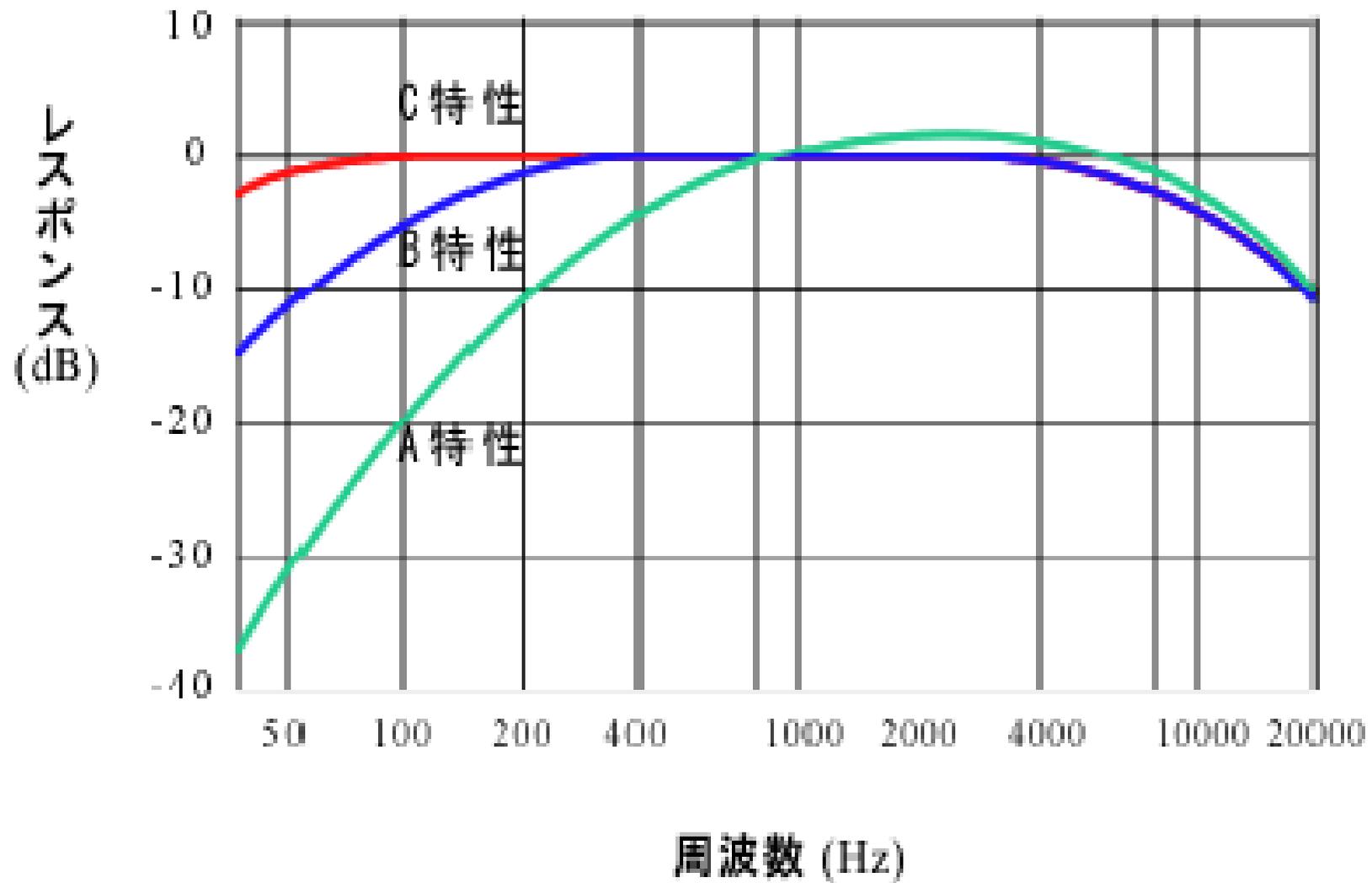


A特性

JIS C 1509-1適用した騒音計には備えなければならぬと規定されている。



周波数重み付け特性



継続する時間の長さと感じ覚（時間の重み付け特性）

時間によって変動する音をどのようにヒトが感じるか？

1 秒以上続く音

一定した大きさを、時間が長い短いと感じ取れる

時間が短い（100ms）

どんな音であったかわからないが、音は小さく短く感じられる

時間に対する特性の補正には、

時間軸の過去($-\infty$)から現在までの指数関数の時間窓で二乗平均値を算出する方法（実効音圧）が用いられている。

$$p_{rms} = \sqrt{p^2(t)}$$

指数平均が平均時間として使われる。

F (fast: 0.125s)…道路交通騒音、工場事業場

S (slow: 1s)…航空機騒音、鉄道騒音

I (impulse: 0.035s) 衝撃騒音のラウドネスや難聴の危険性評価にも適さないが、歴史的に引用文献がある。

騒音計 (JIS C 1509-1)

- 周波数重みづけ特性 (A特性、 (C特性、 Z特性 (Flat)))
- 時間重みづけ特性 (Fast、 Slow、 (I : Impulse))

LAS … A特性、 slow

LAF … A特性、 fast

LAS, max … A特性、 slow、 最大騒音レベル

- **音響暴露レベル**

上記3つのうち1つでも計測可能であれば騒音計

- 用語

A特性時間重み付けサウンドレベル…騒音レベル

A特性時間平均サウンドレベル…等価騒音レベル

A特性音響暴露レベル… (単発) 騒音暴露レベル

- 2つのクラス分け (クラス1、 クラス2)

周波数ごとの許容限度値と使用温度範囲に違い

2005年JIS規格の変更

普通騒音計(JIS C 1502)、精密騒音計(JIS C 1505)の廃止

*ただし、計量法では普通、精密の区分あり

騒音の評価 L_x

統計量

100コの測定値を上位から順番に並べたもの

L_5 上位から5番目 (L_{A5})

L_{10} 上位から10番目 (L_{A10})

L_{90} 上位から90番目 (L_{A90})

エネルギーベース

L_{eq} エネルギー平均値 (等価騒音レベル) (L_{Aeq})

L_E 全エネルギー値 (ISO1996-1の2003年改訂後) (L_{AE})

- ・ 時間1秒で基準化したもの (単発暴露)
- ・ 総暴露量の評価

* 航空機騒音の評価量 L_{den} (day evening nightの意味)
evening +5dB night +10dB

騒音とは？

不快な又は望ましくない音（定義するのは難しい）

個人の感受性

社会的、文化的背景

時間帯（早朝、昼、夜、深夜）

長さ（ほんの短い間、数分、連続）

場所（繁華街、住宅街）

音色（レベルによらない）

感覚尺度と悩ましさ

健康への影響

睡眠への影響

騒音になりやすい音

大きな音（極端に大きな音は難聴の原因に）

テレビやラジオの音の妨げになる音

会話や電話の妨げになる音

仕事、読書の邪魔になる音

睡眠を妨げる音

純音（特定の周波数の音）を含んだ音

本来そこには存在しないはずの音（ひゅ～ドロドロドロ）

騒音の人体への影響

- ・ **生理機能に及ぼす影響**

疲労、中枢神経、自律神経、内分泌

高血圧、心疾患、低体重児の出生割合の増加等の報告あり

＊嘉手納基地周辺の騒音に対する健康調査（松井ら）

- ・ **睡眠影響**

- ① Night noise guidelines for Europe(2009.10)WHO

夜間屋外40dB以下の騒音レベルを推奨

夜間屋外55dB 以上では、睡眠を妨害されることにより虚血性心疾患のリスクが増大する。

- ② Healthy people 2010（アメリカ）

6時間に満たない睡眠を続けると、心臓病，高血圧，糖尿病など生活習慣病になりやすい。

- 睡眠の深さと脳波の関係
 - 屋内で40dBを超えると連続音でも間欠音でも睡眠に影響を与える。
 - 若い人より高齢者、男性よりも女性が睡眠妨害を受けやすい。

睡眠影響を考える…

覚醒（途中で起きる）

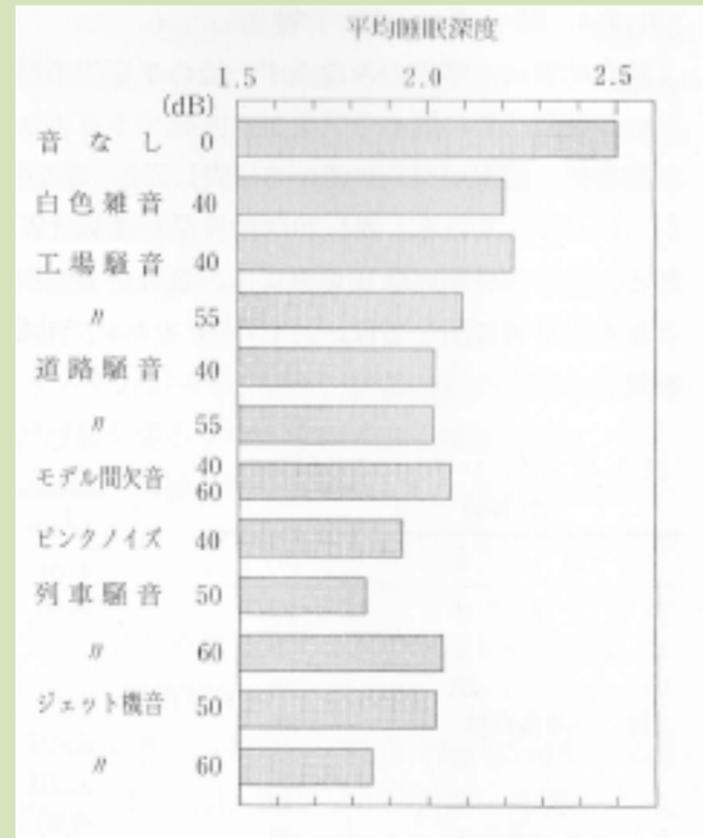
入眠妨害（なかなか寝付けない）

- * 道路交通騒音を対象とした住民意識調査では、昼間 L_{Aeq} と睡眠に影響を受ける割合との相関が高い傾向

- 聴覚に及ぼす影響

騒音性難聴、騒音性突発難聴

労働安全 等価騒音レベル85dB (A) (8時間)



感覚尺度と心理影響

ラウドネス（音の大きさ）と心理的な反応とは一致しない



騒音暴露量と住民意識調査（アノイアンス）

- ・ 音源別（発生源によって感じ方が違う）
- ・ 会話妨害、睡眠妨害についても同時調査
- ・ 騒音だけでなく他の要因も影響
 - *アノイアンスとは邪魔、悩ましさ

騒音暴露量を独立変数として、騒音に対する悩ましさを従属変数とした場合の反応について量－反応関係を調査する。

評価量 感覚尺度と悩ましさを結びつけるには…

- ① 主観的な印象と対応関係が良い
- ② 算出が簡単
- ③ 任意の時間で測定できる
- ④ ある地域の騒音源の状況が変化した場合の予測が可能
- ⑤ 多種の音源に適用できる
- ⑥ 異なる音源間の比較、音源によって構成される環境騒音全体の評価が可能
(相互影響の評価が推定できる方法)

例)

道路交通騒音、航空機騒音と一般地域の環境基準

L_{Aeq} (等価騒音) レベルの採用

新幹線鉄道騒音の測定評価

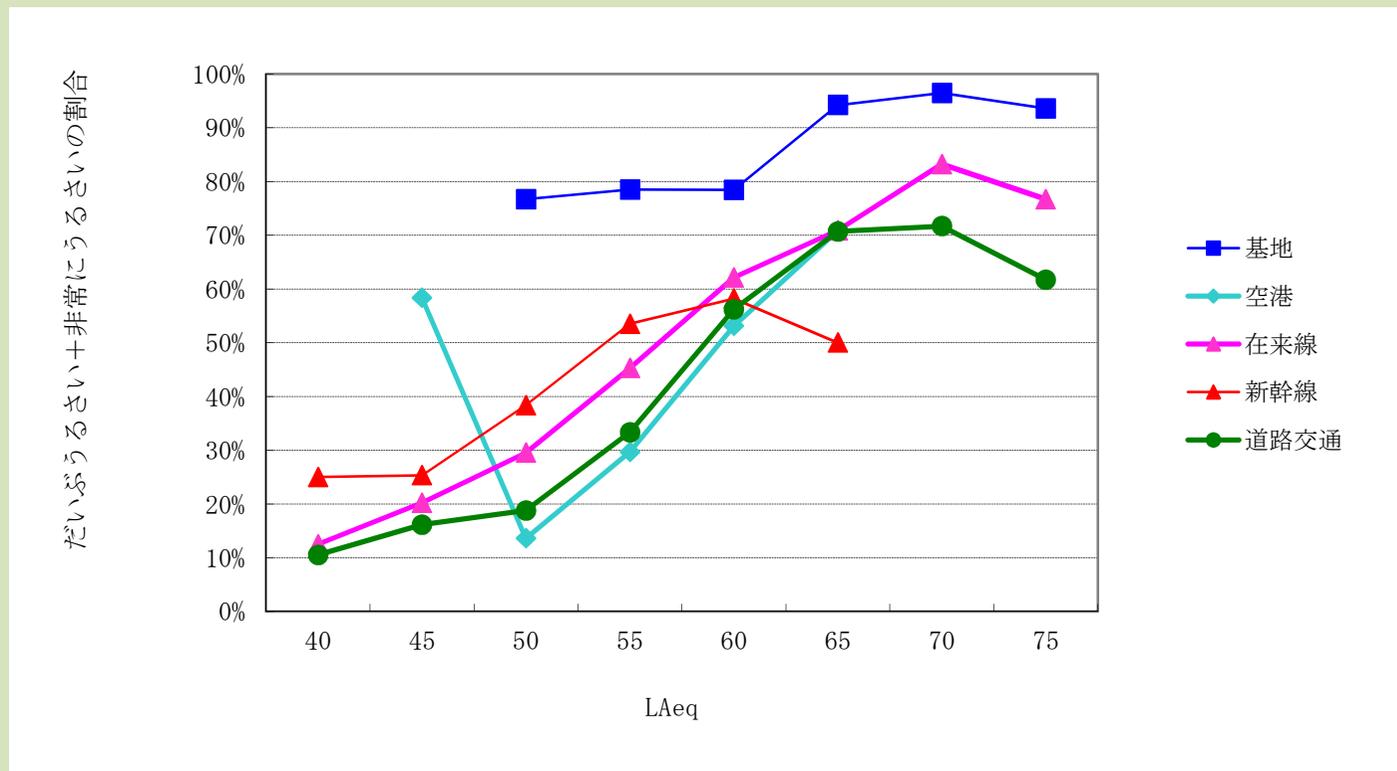
L_{AE} を元に L_{Aeq} の算出

等価騒音レベルの長所…主観量との対応関係が優れている

社会反応調査（対象約6300人）

単一の調査対象音にのみ影響を受けている地域の住民に、その調査対象音について、日常どの程度悩まされているか質問し、回答者の騒音レベル（推計値）と回答の関係についてまとめた（量-反応曲線）。

（まったくない、ほとんどない、多少、だいぶ、非常に 5段階評価）



（出典：東京都環境科学研究所年報2006）

等価騒音レベルの特徴

- ・ エネルギー平均
$$L_{Aeq, T} = 10 * \text{LOG}(1/t (\int P(t)^2 / P_0^2 dt))$$
- ・ 加算、減算が容易
複合的な騒音の影響に対応できる
- ・ 騒音計で計測が可能
- ・ Tは評価時間

課題

- ・ 変動及び瞬時的に変化する騒音の心理的反応は評価できない。
- ・ 発生時間が限られている騒音について適用は難しい
- ・ 長時間暴露の影響も検討が不十分
- ・ 評価時間の設定、時間区分の重み付けは???
- ・ 卓越純音成分が含まれる場合は？

Leqだけですべてを表すことはできない