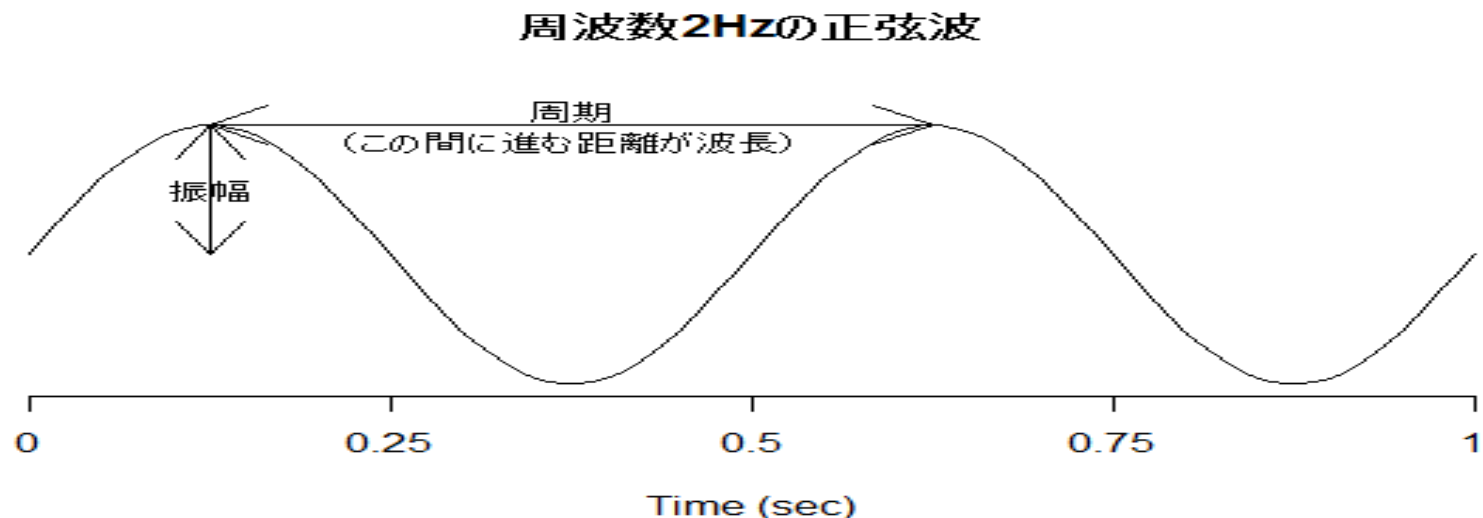


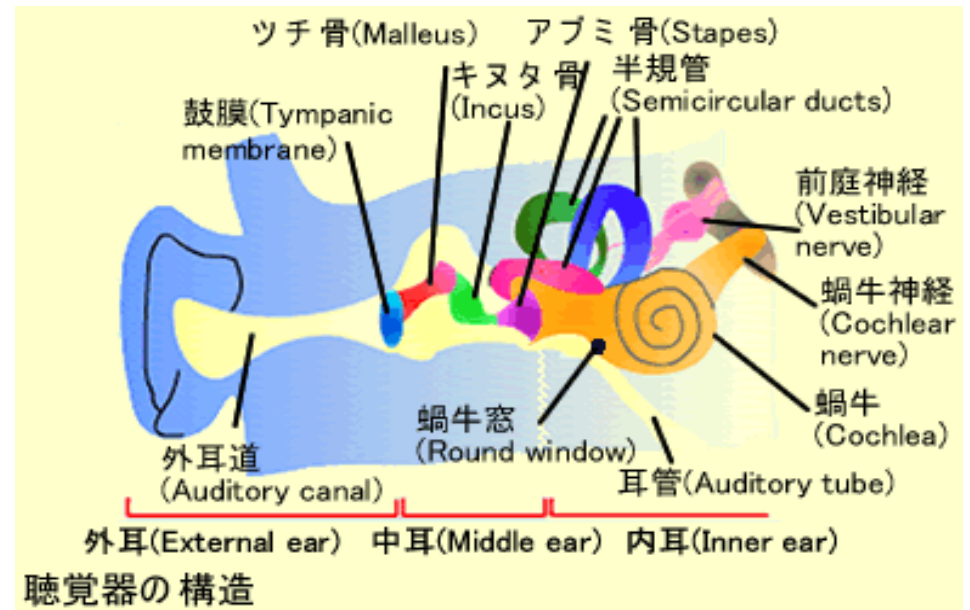
騒音・振動・放射線の基礎

- ▶ 共通点は、どれも波であること
- ▶ 周波数または波長が非常に重要
 - 音では、音速(常温の大気中で340 m/s) = 波長(m) × 周波数(/s)
 - 電磁波では、光速(約30万km/s = 300Mm/s) = 波長(m) × 周波数(MHz)
- ▶ 相違点は媒体
 - 騒音は一般には空気の波
 - 振動は地面(固体または液体)の波
 - 放射線のうち粒子線は原子や電子等の、電磁波は光の波



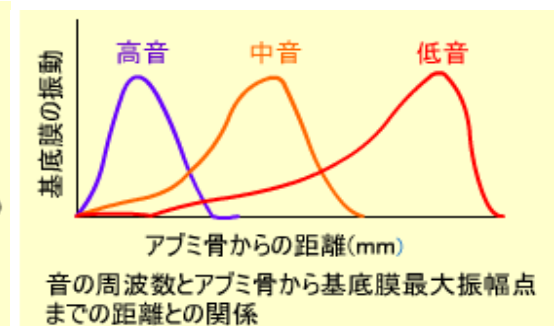
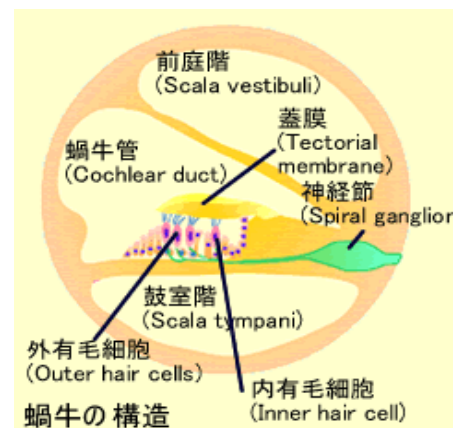
そもそも音とは？

- ▶ 物理量としての音の強弱 = 音波エネルギー (音の強さまたは音圧 = 単位面積当たりの通過エネルギー)
- ▶ 音の感覚量 = 音の強さのレベルまたは音圧レベル
 - 同じ音圧でも周波数により感度は異なる。1,000 Hz (Hzはヘルツと読み1秒間の振動数) より低い周波数の音には鈍感
- ▶ 音波: 音源が振動 → 空気に疎密が生じる → 波として伝播
- ▶ 波長 (λ , m 単位), 周波数 (f , s^{-1} 単位), 音速 (c , 常温では約 340 m/s) の関係式: $c = \lambda f$
 - 周波数が高い音を高音と感じる (ただし脳による認知機能である)



出典「ビジュアル生理学」

<http://bunseiri.michikusa.jp/cyokaku.htm>



TSUTOMU OOHASHI,^{1,2} EMI NISHINA,³ MANABU HONDA,^{4,5} YOSHIHARU YONEKURA,^{4,6}
YOSHITAKA FUWAMOTO,⁷ NORIE KAWAI,^{8,9} TADAO MAEKAWA,¹⁰ SATOSHI NAKAMURA,⁶
HIDENAO FUKUYAMA,⁴ AND HIROSHI SHIBASAKI⁴

¹Department of KANSEI Brain Science, ATR Human Information Processing Research Laboratories, Kyoto 619-0288;
²Department of Network Science, Chiba Institute of Technology, Narashino 275-0016; ³Human Interface Research and
Development Section, National Institute of Multimedia Education, Chiba 261-0014; ⁴Department of Brain Pathophysiology,
Kyoto University School of Medicine, Kyoto 606-8507; ⁵Laboratory of Cerebral Integration, National Institute for
Physiological Sciences, Okazaki 444-8585; ⁶Biomedical Imaging Research Center, Fukui Medical University, Fukui 910-
1193; ⁷Department of Environmental and Information Sciences, Yokkaichi University, Yokkaichi 512-8512; ⁸Institute of
Community Medicine, University of Tsukuba, Tsukuba 305-8577; ⁹Foundation for Advancement of International Science,
Tsukuba 305-0005; and ¹⁰Art and Technology Project, ATR Media Integration & Communications Research Laboratories,
Kyoto 619-0288, Japan

<https://doi.org/10.1152/jn.2000.83.6.3548>

音の分類

▶ 純音と騒音

- 純音は正弦波
- 騒音は多くの場合波が乱れている
 - 純音でも音圧レベルが高ければ騒音になりうる

▶ 超音波

- ヒトの可聴域(通常, 20~20,000 Hzと言われている)より周波数が高い音 (cf. ハイパーソニック・エフェクト, 骨導超音波)
- 年齢が高くなると周波数が高い音への感度が低下する
 - cf.) モスキート音 (他の動物も可聴域は異なる > 次スライド)
- 超音波のうち, 数MHz~数十MHzの周波数は, 生体組織の反射で生じるエコーを利用した診断に使われる。胃, 腸, 肺には空気があるので使えない



<https://mosquitoloiteringsolutions.com/>

さまざまな実験動物の可聴域

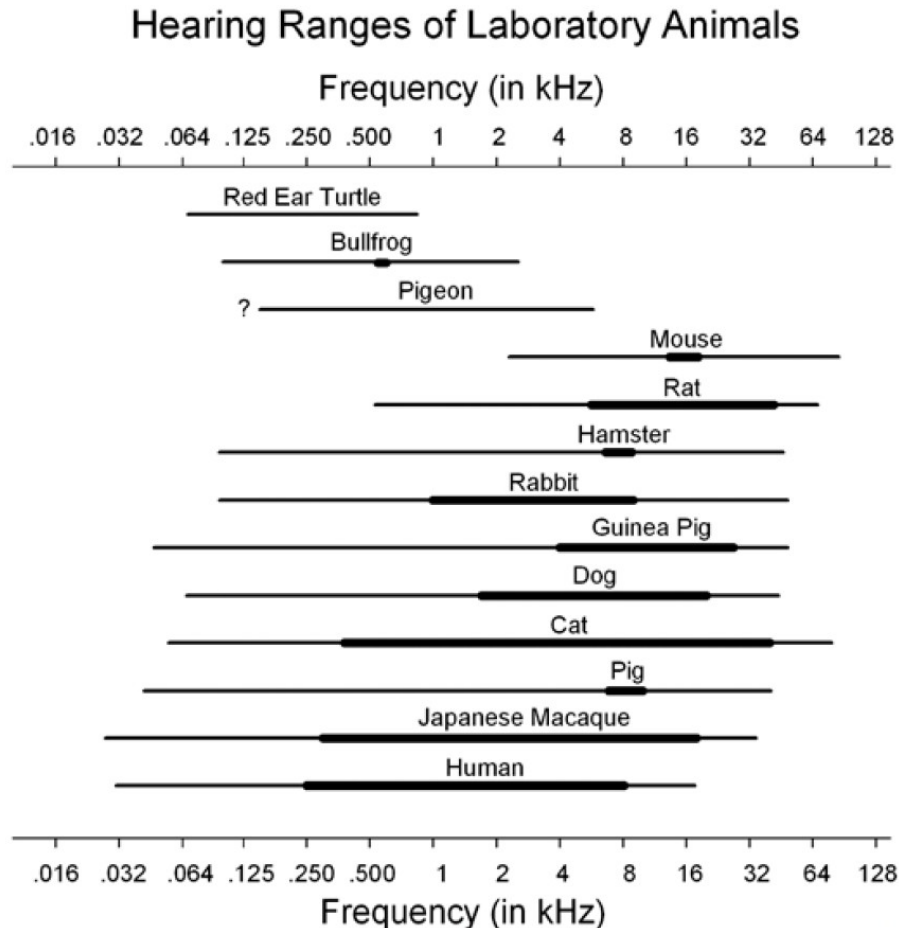


Figure 2. The hearing ranges of laboratory animals compared with those of humans. Thin lines indicate the range of frequencies that can be detected at 60 dB SPL; thick lines indicate the range that can be detected at 10 dB SPL. The low-frequency hearing of the pigeon has not been completely determined (as indicated by ?). Data obtained from references 5, 6, 10, 12–16, 20, 22, and 23.

- 多くの哺乳類はヒトより可聴域が高い
- 鳥類, 両生類, は虫類は低い
- (左図出典) Heffner HE, Heffner RS (2007) Hearing Ranges of Laboratory Animals. *Journal of the American Association for Laboratory Animal Science*, 46(1): 20-22.

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17203911/>

音の分類(続き)

<参考> ジョン・パウエル(小野木明恵訳)『響きの科学』ハヤカワ文庫

- ▶ 音楽の音(cf. ダニエル・J・レヴィティン著, 柏野牧夫解説, 西田美緒子訳『音楽好きな脳』ヤマハ)
 - 一つの波形を何度も繰り返す音
 - 人が認識する音程(ピッチ)は基本周波数(ただし1オクターブ上, つまり周波数が倍の音をピッチ2倍とは感じない。ピッチの単位としてはメルが提案されているが実験により結果が異なっており批判が多い)
 - 絶対音感をもつ人はピッチと音階名が一対一対応していると信じられているが, 実はピアノの最高音より高周波では外れるし黒鍵の音は白鍵の音より外れる→絶対音感は訓練による学習の結果(羽藤, 大串, 1991, 日本音響学会誌 <https://ci.nii.ac.jp/naid/110003110189>)
 - 楽器ごとの音色の違いは倍音成分の入り方
 - 楽器に限らない(eg. チャイコフスキー「序曲1812年」の大砲)
 - 音楽の共有体験は社会的結束とも関連する(<https://gakkai.sfc.keio.ac.jp/journal/.assets/SFCJ20-2-02.pdf>は面白い)
- ▶ 和音とハーモニー
 - 和音とは3つ以上の音が同時に演奏されたときの響き
 - 周波数が整数比だと合成波形が滑らかで心地よい響き(純正律, ピタゴラス音階)
 - 周波数の比がデタラメだと不協和音となる
 - ただし, 和音を「心地良く」感じるかどうかは個人差がある
 - ハーモニーは和音の連続
- ▶ ノイズキャンセリングの原理
 - 音は波なので, 逆位相の音を同じ大きさに重ねれば打ち消しあう
 - 騒音を耳元のマイクで拾い, 人の会話の主な周波数帯域である100-1,000 Hzだけをカットして逆位相にし, イヤホンやヘッドホンへの入力と重ね合わせて再生すれば(実際には調整が必要だが), 航空機内で音楽を聴いたときにアナウンスは聞こえるけれども風切り音やエンジン音などのノイズが消える

音の強さと感覚量

▶ 音の強さと音圧

- 音の強弱は振幅の2乗及び周波数の2乗に比例する。音の強さ(I , 単位 $W/m^2 = kg/s^3$)は進行方向に垂直な面を通過するエネルギー量, 音圧(P , 単位 $Pa = N/m^2 = kg/ms^2$)は通過面への圧力。空気の固有音響抵抗を z ($= \rho \times \text{音速}$: ρ は空気の密度で常温常圧では $1.2kg/m^3$ なので, $z \doteq 400kg/m^2s$)とすると,
 $I = P^2/z \doteq P^2/400$
- 高山では空気の密度が小さいので, 同じエネルギーなら音圧は小

▶ 感覚量(「心理的な尺度」と川原繁人『ビジュアル音声学』三省堂に書かれている)

- 感覚量は音の強さのレベル(sound intensity level = IL, 単位はdB[デシベル])
- ヒトの感覚は刺激の強さの対数に比例(Weber-Fechner-law)
Dehaene S, 2003 ([https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(03\)00055-x](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(03)00055-x))
 - (cf.) 音の大きさの感覚は刺激の強さのべき乗に比例(Stevensのべき法則) $IL = kI^\alpha$ ($\alpha \doteq 0.27$)
- 若い健康な人の最小可聴値を I_0 (1kHzの純音で $10^{-12}W/m^2$)とし, 観測対象の音の強さを $I(W/m^2)$ として, 音の強さのレベルIL(dB)は,
 $IL = 10 \log(I/I_0)$ 10倍しているので「デシ」(d)が付く
 $\doteq 20 \log(P/2 \times 10^{-5})$ この式では音圧レベル(SPL)という
※(注)このlogは10を底とする常用対数。
- 周波数による感覚量の相違を示すグラフ = 等感度曲線。1 kHzの音の音圧レベルへの換算値が「音の大きさのレベル = 音の感覚量」で, 単位はphon(ホン)

▶ より詳しくは <https://www.gavo.t.u-tokyo.ac.jp/~mine/japanese/acoustics/lecture-07.pdf> が参考になる

騒音レベル

▶ 聴感補正

- 騒音は、通常、複数の周波数の音からなる複合音
- 騒音の強さは、周波数ごとの聴感の違いを考慮する必要
- ヒトの聴感に類似した周波数応答性をもつ聴感補正回路が騒音計に組み込まれている(Aが40 phon, Bが70 phon, Cが85 phonの音についての等感度曲線による補正)。通常Aモードで測定し、単位dB(A)で表す。

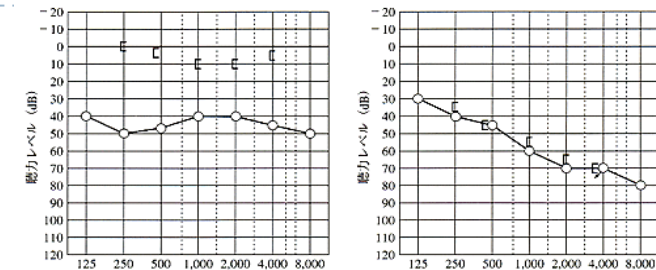
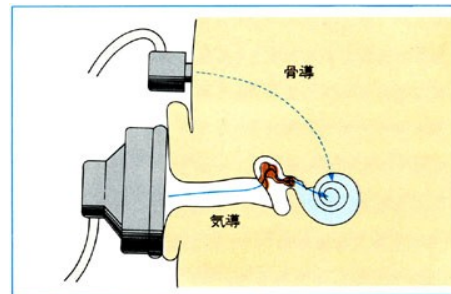
▶ 等価騒音レベル(Leq)

- 音の強さのレベルや音圧レベルは瞬間の値だが、音は変動するので、一定時間(10秒など)の測定値から、それと等しい平均二乗音圧を与える連続定常音の騒音レベルである「等価騒音レベル」(equivalent sound levelでLeqと表記)を計算する。厳密には使用した聴感補正と測定時間も付記
- 積分騒音計はこの値を自動的に計算してくれる

騒音レベルの目安, 周波数

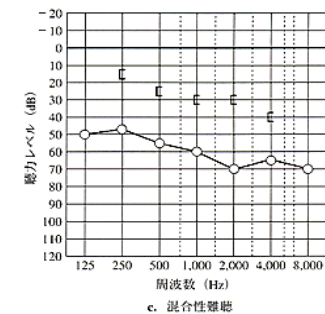
▶ 騒音レベルの目安(大沢・内海[編]環境衛生科学より改変)

- 飛行機エンジン近くで120~130dB(A)
- 警笛を直近で110dB(A)
- ガード下電車通過, 救急車サイレン100dB(A)
- 大声独唱90dB(A)
- 車の多い街頭が70dB(A)
- 普通の会話60dB(A)
- 図書館内40dB(A)
- 郊外の深夜, ささやき声30dB(A)
- 置き時計の秒針の音を1mの距離で測ると20dB(A)



a. 伝音難聴

b. 感音難聴



c. 混合性難聴

▶ さまざまな音の周波数

- 虫の鳴き声は, スズムシが4000~5000Hz, キリギリスが9500 Hz。カンタンは2000Hz
- ヒトの話し声は1000Hz前後。アナログ電話は300~3,400Hzの音しか通さないのので, 多くの虫の鳴き声は電話で伝わらない(ひかり電話100~7,000Hz, PHSは50~14,000Hz?)
- 救急車のサイレンは960Hzと770Hz

▶ 標準純音聴力検査では, オージオメータで125Hz~8,000Hzの7種類の周波数で聴力(dB)を検査(注:0 dBは人の最小可聴値) / 感音性難聴は骨導で調べる→オージオグラム(右上図:奥村新一:難聴. 看護実践の科学, 27: 49-56. 出典は, <http://www.orh.go.jp/oto/>)

▶ 健診での聴力検査は, 一般に選別聴力検査と呼ばれ, 1,000Hz 30dBと4,000Hz 40dBが聞こえれば「所見なし」, つまり正常と判定される。音色や和音の聞き分けは検査しない。

▶ 視覚についてはなぜ視力だけでなく色覚検査がされてきたのだろうか?

騒音の健康影響

▶ 騒音による難聴

- NITTS (Noise Induced Temporary Threshold Shift)
- NIPTS (Noise Induced Permanent Threshold Shift) = 騒音性難聴 = c⁵-dip
 - https://ibarakis.johas.go.jp/wp/wp-content/uploads/2018/11/souon_20181128c.pdf
 - 90dB(A)に毎日8時間曝露すると3,000~4,000 Hzの音が捉え難くなる(一番聞こえにくくなるのは5,000 Hz付近)。c⁵はドイツ式音階で、日本式では5点八、国際式(米式)ではC8と表記する。ピアノ鍵盤の最高音。

▶ 騒音にかかわる環境基準

- 騒音規制法
<https://elaws.e-gov.go.jp/document?lawid=343AC0000000098>
 - 都道府県知事の指定地域(住居が集合している地域、病院や学校の近く)における、特定工場、特定作業現場、自動車騒音を規制
 - 概要(環境省サイト): <https://www.env.go.jp/air/noise/low-gaiyo.html>
- AA地域(療養施設や社会福祉施設が集合しているなど特に静穏を要する)では昼間50dB以下、夜間は40dB以下。A(住専)及びB(住宅地)ではAA基準+5dB, C(商業・工業地)ではAA基準+10dB。道路に面している場合Aで昼間60, 夜間55, BとCで各+5。幹線道路沿いは昼間70dB以下、夜間65dB以下
- 航空機騒音は発着回数を加味し加重等価平均感覚騒音レベル(WECPNL、通称「うるささ指数」)で規制していたが、航空機騒音防止法の2013年改訂でLden¹=時間補正Leq]に
<https://www.eic.or.jp/ecoterm/?act=view&serial=3349>
<https://www.mlit.go.jp/common/000234735.pdf>

▶ 低周波騒音

- 苦情が多いエアコン室外機は100Hz以下の鈍重な音

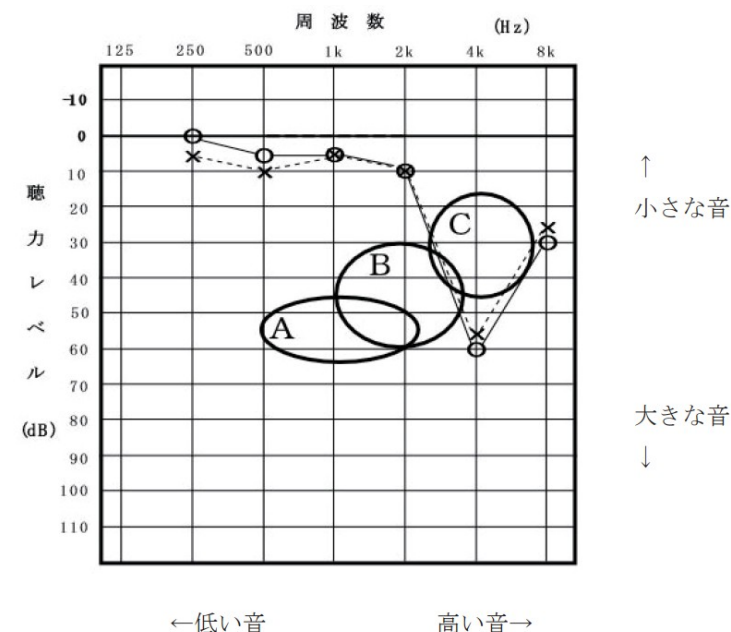


図 1-3 日常会話を構成する音の種類と特徴

○右耳、×左耳
線より下が聞こえる音
A母音、B有声子音、C無声子音

$$\overline{\text{WECPNL}} = \overline{\text{dB(A)}} + 10 \log_{10} N - 27$$

$\overline{\text{dB(A)}}$: 1日に測定した全ての騒音の最大値を足し合わせ、発生回数で割ったもの

N : $N_2 + 3N_3 + 10(N_1 + N_4)$

$\left(\begin{array}{ll} N_1: 0\sim7 \text{ 時の騒音発生回数} & N_2: 7\sim19 \text{ 時の騒音発生回数} \\ N_3: 19\sim22 \text{ 時の騒音発生回数} & N_4: 22\sim24 \text{ 時の騒音発生回数} \end{array} \right)$

振動(vibration)

▶ 振動数と振動の強さ

- 振動数: Hz単位。1秒間の振動回数
- 振動の強さ: 振動加速度レベル(単位dB)

▶ 局所振動と全身振動

- 局所振動の健康障害: eg. レイノー病
- 全身振動の健康障害: eg. 悪心, 嘔吐, 胃腸障害, 月経異常等

▶ 環境基準

- 振動規制法(<https://elaws.e-gov.go.jp/document?lawid=351AC0000000064>, 概要: <https://www.env.go.jp/air/sindo/low-gaiyo.html>)により, 道路交通振動が規制されている(第1種区域で昼間65dB, 夜間60dB未満, 第2種区域では各+5dB)
- 測定は振動計または振動レベル計による
- 体感される振動周波数: 0.1~500Hz
- 公害振動として問題になるのは60~80dBの強さが多い
- 地震の震度でいうと, 70dBが震度2, 震度6~7だと110~115dB相当



総務省の参考情報

- <https://www.soumu.go.jp/kouchoi/knowledge/how/e-dispute.html>
「公害」とは？
- 振動シリーズ解説
 - 第1回「振動苦情処理と必要な振動に関する知識」
https://www.soumu.go.jp/main_content/000674405.pdf
 - 第2回「振動の基礎：振動の発生と伝搬」
https://www.soumu.go.jp/main_content/000674406.pdf
 - 第3回「振動の基礎：振動の影響と評価・規制方法」
https://www.soumu.go.jp/main_content/000674407.pdf
 - 第4回「振動の基礎：振動の測定方法と対策方法」
https://www.soumu.go.jp/main_content/000674408.pdf
 - 第5回「建設作業振動」
https://www.soumu.go.jp/main_content/000674409.pdf
 - 第6回「鉄道、道路、工場・事業場」
https://www.soumu.go.jp/main_content/000674410.pdf
 - 第7回「歩行振動(内部振動源)」
https://www.soumu.go.jp/main_content/000674411.pdf