

- V 音環境 1 快適な音環境の形成（教科書 pp. 170～171）
- V 音環境 2 物理音響学の基礎（教科書 pp. 172～173）
- V 音環境 3 聴覚と音の生理・心理（教科書 pp. 174～176）
- V 音環境 4 音の伝搬（教科書 pp. 177～179）

1. 今日の目標

- 1) 音圧レベルの合成ができるようになる。
- 2) 音の心理的三属性を知ろう。
- 3) 音の距離減衰について知ろう。

2. 物理音響学の基礎（教科書 pp. 172～173）

2. 1 音波の記述（教科書 pp. 172～173）

_____：物質に伝わる外力が物質内部を慣性と弾性による振動として伝わる波動。

→教科書 p. 172 の図 2-1 を参照。

_____：音波による_____からの
微少な_____成分。
単位は [_____]。

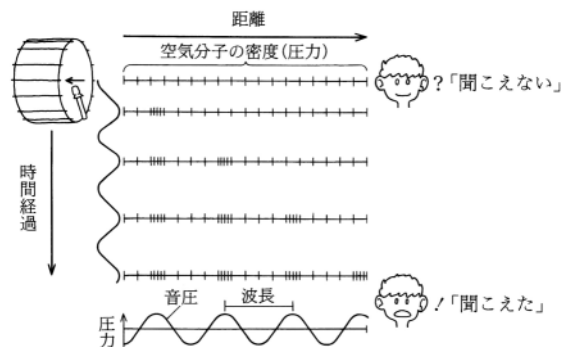


図 音の伝わり方（出典：参考文献 [3]，p. 94）

音速：

空気中の音速 c [m/s] は、次の通りである。

$$c = 331.5 \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{t}{273}\right)} \cong 331.5 + 0.61 \cdot t \quad (1) \text{ (教科書 p. 172 の (2.1) 式)}$$

ここで、

t ：温度 [°C]

→ _____ に関する。ただし、常温では、約 _____ m/s。固体中の音速は、_____ ～ _____ m/s。

2. 2 音波のエネルギー的取扱い（教科書 p. 173）

(1) 音の _____ : 音の伝搬方向に対して垂直な単位断面を単位時間に通過する音の _____。単位は, $[W/m^2]$ 。

$$[\text{_____}] = [\text{_____}]^2 / \{[\text{_____}] \times [\text{_____}]\}$$

(2) (教科書 p. 173 の (2.8) 式)

→音の強さは, _____の_____に_____する。

(2) _____ : 音場（音の伝搬している空間）の単位体積に含まれる音のエネルギー。単位は, $[W \cdot s/m^3] = [J/m^3]$ 。

← 1 秒間に音波が伝搬する距離は音速分の c 。

$$[\text{音響エネルギー密度}] = [\text{音の強さ}] / [\text{音速}] \quad (3) \text{ (教科書 p. 173 の (2.9) 式)}$$

(3) _____ (_____) W : 音源が 1 秒間に放射する音の _____。単位は $[W]$ 。

【補足】

電気回路に対応させて, 音の場合も考えればよい。

電圧 / 電流 = 抵抗

→ 音圧 / 粒子速度 = 媒質密度 × 音速

電力 = 電圧 × 電流 = 電圧 × 電圧 / 抵抗

→ 音の強さ = 音圧 × 粒子速度 = 音圧 × 音圧 / (媒質密度 × 音速)

***** ヌモ*****

2.3 音のレベル表示（教科書 p.173）

(1) レベル表示：音響の分野では、種々の物理量をレベルで表示する。

→ある物理量の値 A と基準値 A_0 との比をとり、その_____ (\log_{10}) を10倍した値。

単位は、[dB] (デシベル)。教科書 p.173 の表 2-2 を参照。

→ \log_e は_____。

→「人間の聴覚が音の刺激の非常に広い範囲を聴き分けられる（可聴範囲の最大，最小のエネルギー比は， $10^{13} : 1$ 以上。）こと」と「感覚の大小は，刺激の強さの対数に比例する（Weber-Fechner の法則）こと」から。

$$L = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{A}{A_0} \right) \quad (4) \text{ (教科書 p.173 の (2.10) 式)}$$

$$A = 10^{\frac{L}{10}} \times A_0 \quad (5) \text{ (教科書 p.173 の (2.11) 式)}$$

(2) 音の強さのレベル

$$L_I = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{I}{I_0} \right) \quad (6) \text{ (教科書 p.173 の表 2-2)}$$

ここで，

$$I_0 : \text{最小可聴音の強さ} = 10^{-12} \text{ [W/m}^2\text{]}$$

(3) 音圧レベル

$$L_p = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{p^2}{p_0^2} \right) = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{p}{p_0} \right) \quad (7) \text{ (教科書 p.173 の表 2-2)}$$

ここで，

$$p_0 : \text{最小可聴音の音圧} = 2 \times 10^{-5} \text{ [Pa]}$$

◇ 人間の耳で聞こえる音圧の範囲は， 2×10^{-5} (=0.00002) ～20 [Pa] 位までと非常に広い。これを音圧「レベル」で表すと，0～120 [dB] 位になり，扱いやすい数値の範囲になる。

→教科書 p.175 の図 3-2 を参照。

(4) 音響エネルギー密度レベル

$$L_E = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{E}{E_0} \right) \quad (8) \text{ (教科書 p.173 の表 2-2)}$$

ここで,

$$E_0 : \text{最小可聴音の音響エネルギー密度} = 2.94 \times 10^{-15} \text{ [J/m}^3\text{]}$$

注) 一般の音場では, $L_l = L_E = L_p$ とみなせる。

(5) 音響パワーレベル

$$L_W = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{W}{W_0} \right) \quad (9) \text{ (教科書 p.173 の表 2-2)}$$

ここで,

$$W_0 : \text{最小可聴音の音響パワー} = 10^{-12} \text{ [W]}$$

(6) レベルの合成・平均

L_1 [dB] と L_2 [dB] の音が同時に存在するときのレベル L [dB] は, 次式で計算される (レベルの合成)。

(10) (教科書 p.173 の (2.12) 式)

n 個のレベルの合成は, 次式で計算される。

$$L_n = 10 \cdot \log_{10} \left(\sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_i}{10}} \right) \quad (11) \text{ (教科書 p.173 の (2.13) 式)}$$

n 個のレベルの平均は, 次式で計算される。

$$L'_n = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{\sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_i}{10}}}{n} \right) \quad (12) \text{ (教科書 p.173 の (2.14) 式)}$$

→この平均は, レベル値の単純な算術平均と区別して, エネルギー平均と呼ばれる。

3. 聴覚と音の生理・心理（教科書 pp.174～176）

(1) 耳の構造→教科書 p.174 の図 3-1 を参照。

(2) 音の心理的3属性

1) _____ : _____ が大きくなるほど単調 _____ するが、周波数にも依存する。
→教科書 p.175 の図 3-2 を参照。人間は、およそ _____ dB～ _____ dB を聞くことができる。

2) _____ : 主として音の _____ (1秒間における往復運動の数) によって決まる。人間は、
およそ _____ Hz～ _____ Hz の周波数の音を聞くことができる。
→下図を参照。

3) _____ : 音の _____ の違いによる。人間は、強さも高さも同じバイオリンの音とピアノの音を聞き分けることができる。
→下図や教科書 p.175 の図 3-4 を参照。

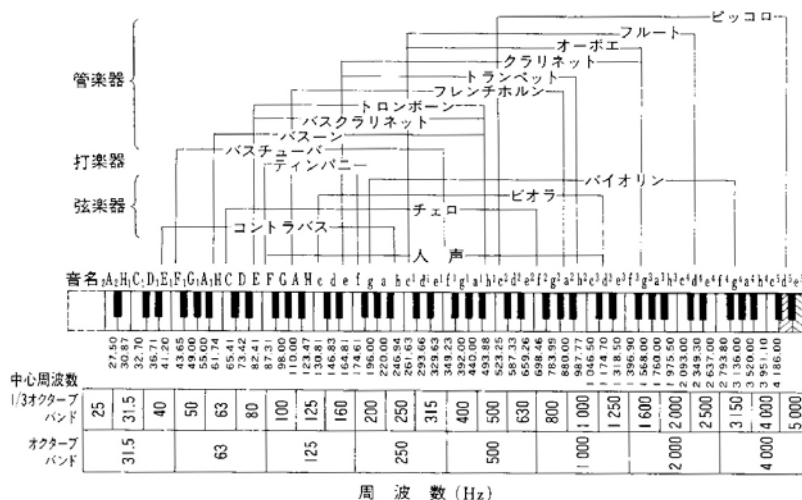


図 楽器の音域とオクターブ, 1/3 オクターブバンド (出典: 参考文献 [1], p.6)

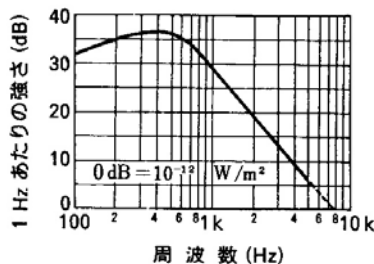


図 話声の長時間平均スペクトル (出典: 参考文献 [2], p.21)

(3) 基本的な音の波形とスペクトル

- ・教科書 p.175 の図 3-5 を参照。

スペクトル：非常に狭い周波数バンドごとに音のエネルギーを表示したもの。

- ・ _____：スペクトルレベルが周波数の全域に渡って等しく、一様に連続している場合。「ザー」という雑音。放送終了後のテレビの騒音がこれに近い。

(4) 音の生理的・心理的効果

- ・ _____効果：ある音が別の音の存在によって聴き取りにくくなる現象
- ・ _____効果：周囲が騒がしくても、選択的注意によって聴きたい音だけを聴くことができる現象



図 マスキング効果

(出典：参考文献 [3], p.98)



図 カクテルパーティー効果

(出典：参考文献 [3], p.98)

4. 音の伝搬 (教科書 pp.177～179)

_____：音源から放射された音は幾何学的に拡散するため、音のエネルギーの密度は音源から離れるに従って次第に小さくなる現象。

(1) 点音源 (教科書 p.178 の図 4-3 を参照)

- ・音源の寸法が受音点での距離に比べて十分小さい場合など。
- ・音源からの距離が _____ 倍になると (音圧) レベルは, _____ dB ずつ減衰する。

←音の _____ が音源からの _____ の _____ に _____ することによる。

【補足】

音響出力 W [W] の点音源から距離 r だけ離れた点での音の強さ I [W/m²] は, 半径 r [m] の球面全体 (球の表面積: $4\pi r^2$ [m²]) を単位時間に通過するエネルギーの総和が W [W] であることから, 次式で表される。

$$I = \frac{W}{4\pi r^2} \quad (13) \text{ (教科書 p. 177 の (4.1) 式)}$$

音響出力を音響パワー(音響出力)レベルで表すと、次式のようなになる(配付資料 pp. 107～108, 教科書 p. 173 の表 2-2 を参照。)

$$L_w = 10 \cdot \log\left(\frac{W}{W_0}\right) = 10 \cdot \log\left(\frac{W}{10^{-12}}\right) \quad (14) \text{ (教科書 p. 173 の表 2-2)}$$

したがって、この点の音の強さのレベル L [dB] (教科書 p. 173 の表 2-2 を参照。)は、次のように計算できる。

$$\begin{aligned} L &= 10 \cdot \log\left(\frac{I}{10^{-12}}\right) = 10 \cdot \log\left(\frac{W}{10^{-12} \times 4\pi r^2}\right) \\ &= 10 \cdot \log\left(\frac{W}{10^{-12}}\right) + 10 \cdot \log\left(\frac{1}{4\pi r^2}\right) \\ &= 10 \cdot \log\left(\frac{W}{10^{-12}}\right) + \{-10 \cdot \log 4\pi - 10 \cdot \log r^2\} \\ &= L_w - 11 - 20 \cdot \log r \quad (\text{Q}10 \cdot \log 4\pi \cong 10.9921) \end{aligned} \quad (15) \text{ (教科書 p. 177 の (4.2) 式)}$$

同じ点音源から距離 $2r$ だけ離れた点の音の強さのレベルを L' [dB] とすると、

$$\begin{aligned} L' &= L_w - 11 - 20 \cdot \log 2r = L_w - 11 - 20 \cdot \log r - 20 \cdot \log 2 \\ &= L - 20 \cdot \log 2 \cong L - 6 \quad (\text{Q} \log 2 \cong 0.30103) \end{aligned}$$

(2) 線音源 (教科書 p. 178 の図 4-3 を参照)

- ・交通量の多い道路などは、近似的に線音源として見なすことができる。
- ・無限長線音源では、音源からの距離が _____ 倍になるごとに (音圧) レベルは、 _____ dB ずつ減衰する。

(3) 面音源 (教科書 p. 178 の図 4-3 を参照)

- ・室内の騒音が外壁面を通過して屋外に放射される場合など。
- ・無限大の面音源では、距離による減衰 _____。

5. 参考文献（〔〕内は、熊本県立大学附属図書館所蔵情報）

- [1] 『建築環境工学用教材 環境編』（日本建築学会編，日本建築学会（丸善），1995年2月，
¥1,845+税，ISBN：4-8189-0442-2）〔開架2，525.1||N 77，0000236338〕
- [2] 『建築・環境音響学（第2版）』（前川純一・森本正之・阪上公博，共立出版社，2000年9
月，¥3,500+税，ISBN：4-320-07655-9）〔開架2，524.96||Ma 27，0000248125〕
- [3] 『図説テキスト 建築環境工学』（加藤信介・土田義郎・大岡龍三，彰国社，2002年11月，
¥2,400+税，ISBN：4-395-22127-0）〔開架2，525.1||Ka 86，0000274786〕

6. 参考URL

- [1] 講義資料のダウンロード
<http://www.pu-kumamoto.ac.jp/~m-tsuji/kougi.html/genron.html/setubigen.html>

▽次回の講義予定

- V 音環境 5 室内音響学の基礎（教科書 pp.180～181）
V 音環境 6 吸音と吸音材料（教科書 pp.182～184）
V 音環境 7 遮音と遮音材料（教科書 pp.185～187）