

予習確認プリント (教科書 pp. 110~118)

学年 : _____ 学籍番号 : _____ 名前 : _____

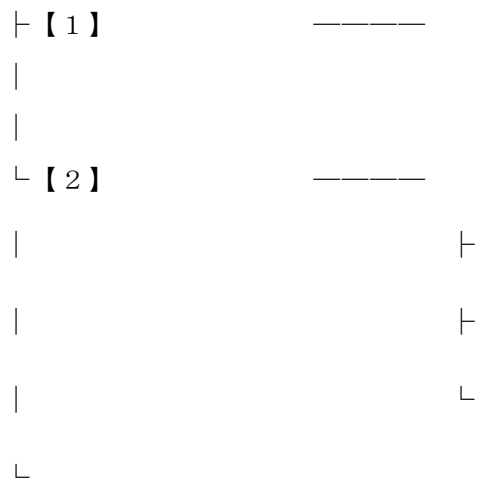
- ・音圧, 周波数, 音響パワーとは, それぞれどのような**意味**を持つものですか?
- ・音の聴感上の 3 要素とは, どのようなものですか? それぞれの内容も説明してください。
- ・(音の) レベル表示とは, どのような**意味**を持つものですか? レベル表示を使うと, どのような**利点**がありますか?
- ・点音源, 線音源, 面音源での音の伝搬 (減衰の様子) は, それぞれどのように**違いますか**?

※予習の段階に比べて, 授業を聞き終わった段階では, 何がわかりましたか? よくわからなかったところは, どこですか? 質問はありませんか?

第 11 回 音の性質 (教科書 pp. 110~118)

※おおよそ板書の 1 面が, 配付資料の半ページに相当

◎ 音環境の全体像



	出し手/受け手の問題 (工夫したいのは?)	出す時の指向性	時間的な変化	人間の反応
光環境				
音環境				

0 今日の内容

1

4

2

5

3

1 音をどのように表すか？ (今日のポイント)

(1)

(2)

+ (プラスして) 音を出した後の基本的なお話 (距離減衰)

注) 光でも, 光を出す側 (光源) と 光を受ける側 (照度) で分けて考えたことを思い出す

2 音を物理的に捉える (音源側): 数字のお話

(1) 音圧とは? (基本):

※波長 = 速度 / 周波数, 周波数 = 1 / 周期

(補足) 音波の伝搬の様子

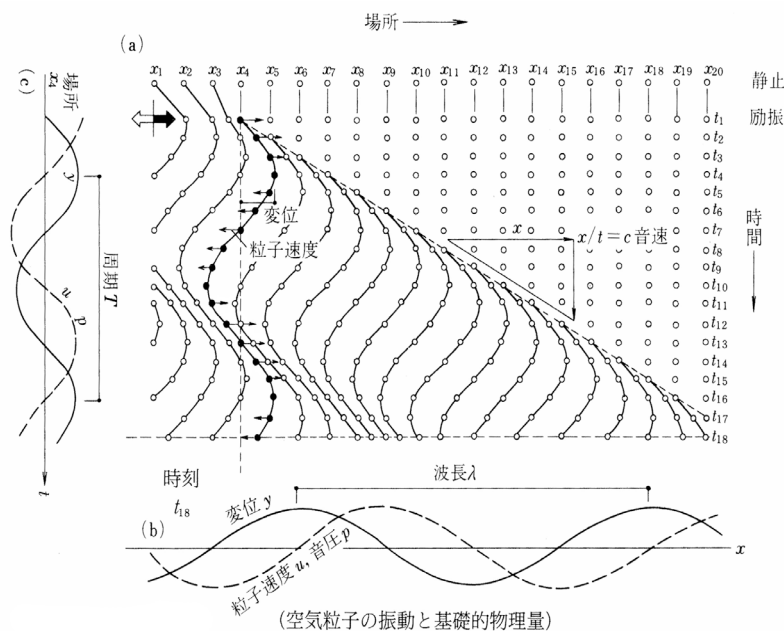


図 音波の伝搬 (出典: 参考文献[1], p. 172)

(2) 音のエネルギーの表し方 (出す側 2 種類 + 受ける側 1 種類, 点と面と関係)

① 出す側 (点)	② 出す側 (面)	③ 受ける側 (面)
・ 1 秒間に点から出す音のエネルギー	・ 1 秒間に 1 m^2 の面積から出す音のエネルギー	・ 1 秒間に 1 m^2 の面積を 通過 する音のエネルギー

(3) 面を通過する音のエネルギーと立方体の中にある音のエネルギー (面と立体の関係)

音速を $C[\text{m/s}]$ とする。

① 1 秒間に _____ を通過した音のエネルギーは,

② 単位体積 (1 m^3) あたりにある音のエネルギー

3 音を耳で捉える(「聴く」, 人間側)

(0) 耳の構造

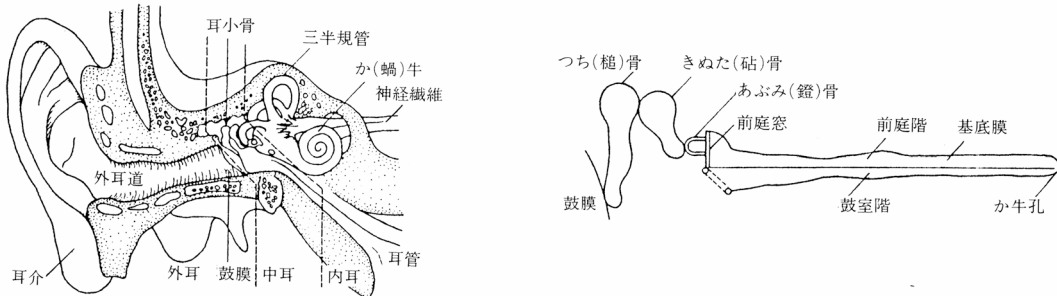


表 耳の構造 (出典: 参考文献[1], p. 174)

(1) 音の大きさ: 基本的には, 「音の強さ」が強いほど(大きいほど), 耳では大きく聴こえる

(参照) 教科書 p. 115 等ラウドネス曲線 (読み取り方をしっかり理解)

(2) 音の高さ:

⇨人間の声は, 数百~約 1,000Hz ぐらい

高音:

低音:

(3) 音色: スペクトルが違う(主たる音以外の高さの音の出力の様子が違う)

私たちが耳で聴く音は, いろいろな高さの音がまじっている

左下図では, ピアノもバイオリンも基音は 440Hz であり, 同じ高さの音に聴こえるが, 倍音成分はバイオリンの方がピアノよりも多い。そのため, 異なる音色に聴こえる

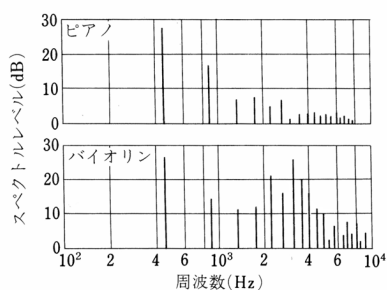


図 ピアノとバイオリンの音のスペクトル (出典: 参考文献[1], p. 175)

テレビのザ〜ッという音(もう聴けない?)

図 ホワイトノイズ

4 2と3をつなぐレベル表示

音のエネルギーの増え方 ≠ 人間の感覚の上での音の大きさの増え方

(1) 人間にとっては、桁(ケタ)が大切：桁で考える

0 が何個あるか？を考えると人間の感覚の上での増え方に近くなる

$$10 = 1 \times 10$$

$$100 = 1 \times 10$$

$$1000 = 1 \times 10$$

$$10000 = 1 \times 10$$

指数・対数の復習をしっかりと！

教科書 p. 113 『ウェーバー・フェフナーの法則』

⇒エネルギーの量の「桁」が変わらないと、人間は、大きくなった／小さくなった、と思わない

※マグニチュード(地震の時)と同じ

M6 → M7: 数字が1つ大きくなるとエネルギーは $10^{1.5} \approx 32$ 倍になる

※※教科書 p. 114 の式の展開は必ず自分で手を動かして、解いてみておくこと

例) 50dB の強さの音と 60dB の強さの音があるとき、

(2) 基準にするのは、人間が聴くことができる最小(最弱)の音

人間が聴くことのできる最小の音の強さ (≡音のエネルギーの大きさ)

$$0.000000000001 \text{ W/m}^2 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$$

人間が聴くことのできる最大の音の強さ (≡音のエネルギーの大きさ)

$$100 \text{ W/m}^2 = 10^2 \text{ W/m}^2$$

⇒割合をとる

要確認 教科書 pp. 112~113 の式

また、一般の音場では、「音圧レベル」≡「音の強さのレベル」≡「音響エネルギー密度のレベル」とみなせるように、それぞれのレベルを定義している。

注) 音の強さは、音圧の 2 乗に比例するので、音圧レベルだけ、音圧の 2 乗を使う

【教科書の訂正】

p. 113 「3-2 音圧レベル」

「2つの音圧の比」の四角の中

$$\text{誤} \left[\frac{P}{P_0} \right] \quad \rightarrow \text{正} \left[\frac{P^2}{P_0^2} \right]$$

(補足)

常用対数 : \log_{10} \leftrightarrow 自然対数 : \log_e

e : ネイピア数。自然対数の底。 $e = 2.7182818284\cdots$

→高校で学修していない人は、自分で調べておくこと。1年次に履修した(?) 数学 I と数学 II の教科書『基礎 微分積分』では、pp. 14~16 に掲載されている(解説は、p. 16)。

$$\lim_{x \rightarrow \pm\infty} \left(1 + \frac{1}{x}\right)^x = e \quad , \quad \lim_{x \rightarrow 0} (1 + h)^{\frac{1}{h}} = e$$

⇒言いかえると, 50dB の音は, 基準の音に対して 10^5 倍大きい音ということ

(3) レベルの合成の際の注意

複数の音の強さのレベルを合成するような場合は, 「エネルギー加算」や「パワー加算」, 「デジベル加算」などと呼ばれる。さらに, レベルの平均は, 「エネルギー平均」(「パワー平均」, 「デジベル平均」) などと呼ばれる。一方, 一般的な平均は, 「算術平均」や「単純平均」などと呼ばれることもある。

(補足) 教科書 p. 114 のレベルの合成を「音圧レベル」で行うと

音圧レベル L_{p1} と L_{p2} を合成する。

$$L_{p1} = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{P_1^2}{P_0^2} \right), \quad L_{p2} = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{P_2^2}{P_0^2} \right) \text{ であるので,}$$

$$\frac{P_1^2}{P_0^2} = 10^{\frac{L_{p1}}{10}}, \quad \frac{P_2^2}{P_0^2} = 10^{\frac{L_{p2}}{10}} \text{ である。}$$

したがって,

$$L_{p1+2} = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{P_1^2 + P_2^2}{P_0^2} \right) = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{P_1^2}{P_0^2} + \frac{P_2^2}{P_0^2} \right) = 10 \cdot \log_{10} \left(10^{\frac{L_{p1}}{10}} + 10^{\frac{L_{p2}}{10}} \right)$$

となる。この後, L_{p1} と L_{p2} が等しいときは, 教科書と同じである。

$$L_{p1+2} = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{P_1^2 + P_2^2}{P_0^2} \right) \neq 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{P_1 + P_2}{P_0} \right) = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{P_1 + P_2}{P_0} \right)^2 \text{ である点に注意。}$$

5 音のエネルギーの距離による減衰

①音源から遠くなれば、音のエネルギーは弱くなる (教科書 pp.117~118 を参照)

②**重要**いくら (何 dB) 減衰するか (減る割合) は、もとの音の強さに関係なく、音源からの距離だけに関係する

(1) 点音源 :

・音のエネルギーは、音源からの距離の 2 乗に反比例して小さくなる

(2) 線音源 :

・音のエネルギーは、音源からの距離に反比例して小さくなる

(3) 面音源

減衰なし

※ただし、理想的な場合のみ

(補足) 点音源での減衰に関する式の展開

→あわせて、教科書 p. 117 と p. 118 の式も自分の手で展開しておくこと

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。(→球の体積は $4/3 \cdot \pi r^3$)

$$I = \frac{W}{4\pi r^2} \quad \langle 1 \rangle$$

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 (教科書 p. 113 の一番下参照)。

$$L_w = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{W}{W_0} \right) = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{W}{10^{-12}} \right) \quad \langle 2 \rangle$$

したがって、音響出力 W [W] の点音源から距離 r だけ離れた点の音の強さのレベル L_I [dB] は、次のように計算できる (教科書 p. 112 の一番下参照)。

$$\begin{aligned} L_I &= 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{I}{10^{-12}} \right) = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{\frac{W}{4\pi r^2}}{10^{-12}} \right) = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{W}{10^{-12} \times 4\pi r^2} \right) \\ &= 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{W}{10^{-12}} \right) + 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{1}{4\pi r^2} \right) \\ &= 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{W}{10^{-12}} \right) + \{-10 \cdot \log_{10} 4\pi - 10 \cdot \log_{10} r^2\} \end{aligned}$$

ここで、 $\langle 2 \rangle$ 式から、

$$L_I \doteq L_w - 11 - 20 \cdot \log_{10} r \quad (\because 10 \cdot \log_{10} 4\pi \doteq 10.9921) \quad \langle 3 \rangle$$

よって、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'_I [dB] とすると、

$$\begin{aligned} L'_I &\doteq L_w - 11 - 20 \cdot \log_{10} 2r = L_w - 11 - 20 \cdot \log_{10} r - 20 \cdot \log_{10} 2 \\ &= L_I - 20 \cdot \log_{10} 2 \doteq L_I - 6 \quad (\because \log_{10} 2 \doteq 0.30103) \end{aligned} \quad \langle 4 \rangle$$

となり、教科書 p. 117 の結果と同じ結果が導ける。

注意)

例えば、「音源の寸法が受音点までの距離に比べて十分に小さい場合」などは点音源とみなせる。また、線音源の例 (5-2, 教科書 p. 117) では、本当は「無限に長い線音源」(点音源が無数に連続している状態) を考えており、面音源の例 (5-3, 教科書 p. 117) では、本当は「無限大の面音源」(点音源が無数に分布している状態) を考えている。

【参考文献】(順に, タイトル, 編著者名, 出版社, 発行年月, 価格, ISBN。[] 内は熊本県立大学図書館所蔵情報)。

- [1] 『環境工学教科書 第二版』(環境工学教科書研究会編著, 彰国社, 2000年 8 月, ¥3,500+ 税, ISBN: 4-395-00516-0) [和書 (2 F), 525.1 ||Ka 56, 0000275620, 0000308034]
→第三版(2020年 2 月, ISBN: 978-4-395-32146-9) [和書 (2 F), 525.1 ||Ka 56, 0000387929] もあり。

学年：_____ 学籍番号：_____ 名前：_____

【演習問題】 下記の問いに答えよ。

- (1) 音圧レベルが 60 [dB] と 50 [dB] の 2 音を合成したときの音圧レベルを求めよ。
- (2) 音圧レベルが 90 [dB], 80 [dB] ならびに 78 [dB] の 3 音を合成したときの音圧レベルを求めよ。
- (3) 音圧レベルが等しい 2 音を合成したときの 1 音に対する音圧レベルの増分を求めよ。