

予習確認プリント

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，どの意味を持つものですか？レベル表示を使うと，どんな利点がありますか？

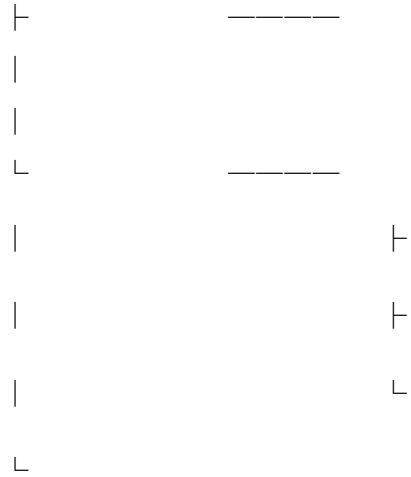
・点音源，線音源，面音源での音の伝搬（減衰の様子）は，それぞれどのように違いますか？

※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？

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



□ 0 今日の内容

□ 1

□ 2

□ 3

□ 4

□ 5

1 音をどのように表すか？

(1)

(2)

+

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

2 音を物理的に捉える (音源側)

(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

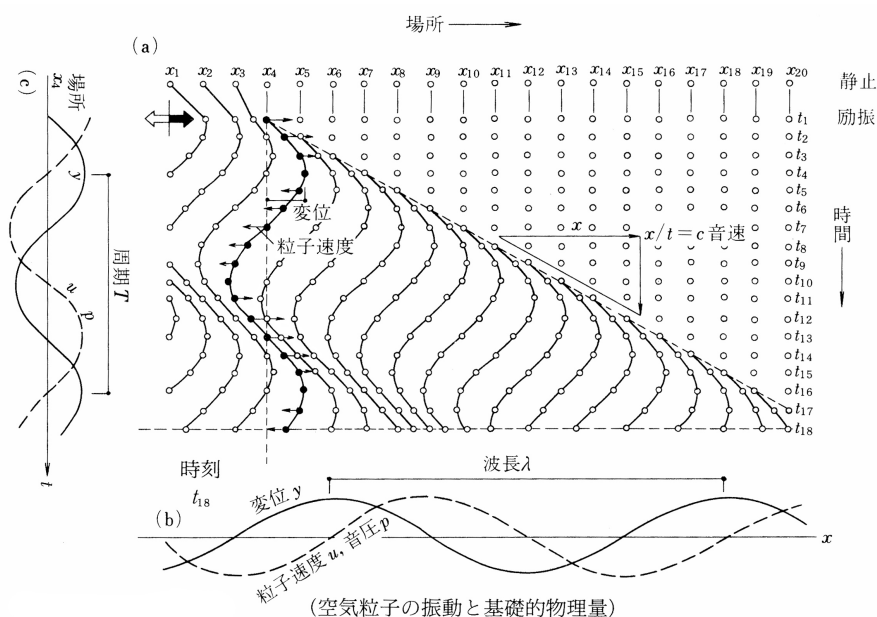


図 音波の伝搬 (出典: 参考文献[1], p. 172)

(2) 音のエネルギーの表し方 (動 2種類 + 静 1種類)

①点で考える	②面で考える	③立体で考える
・ 1 秒間に出すエネルギー	・ 1 秒間に 1 m^2 の面積を通過する音のエネルギー	・ 1 m^3 の立方体の中にある音のエネルギー

(補足) ②と③の関係

音速 $C[\text{m/s}]$ の時,

3 音を耳で捉える (「聴く」, 人間側)

(0) 耳の構造

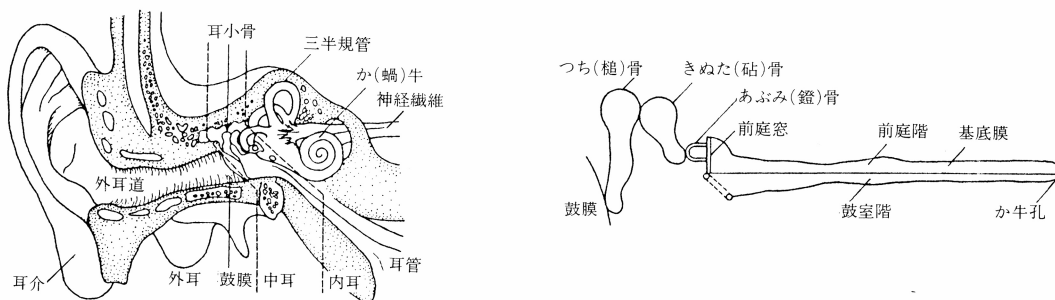


表 耳の構造 (出典: 参考文献[1], p. 174)

(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

教科書 p. 115 等ラウドネス曲線

(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

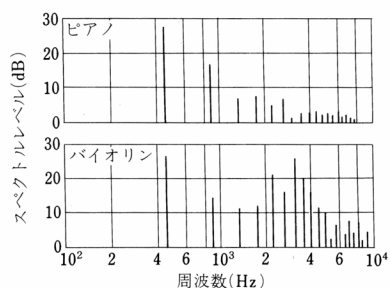


図 ピアノとバイオリンの音のスペクトル
(出典：参考文献[1], p. 175)

テレビのザ〜ツという音

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 ≠ 人間の感覚の増え方

(1) 桁(ケタ)で考える

$$10 = 1 \times 10$$

$$100 = 1 \times 10$$

$$1000 = 1 \times 10$$

$$10000 = 1 \times 10$$

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)

(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

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

人間が聴くことができる最大の音の強さ

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

⇒割合をとる

要確認 教科書 p. 113 の式

(補足) 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、「エネルギー平均」や「パワー平均」、「デシベル平均」などと呼ばれる。それに対し、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。

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」とみなしても良い。

5 音の減衰

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

重要もとの音の強さに関係なく、いくら減衰するかは、距離だけに関する

(1) 点音源

- ・音のエネルギーは、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、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）。

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

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_l [dB] は、次のように計算できる（教科書 p. 112 の一番下参照）。

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

ここで、 $\langle 2 \rangle$ 式から、

$$L_l = L_w - 11 - 20 \cdot \log r \quad (\because 10 \cdot \log 4\pi \cong 10.9921) \quad \langle 3 \rangle$$

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'_l [dB] とすると、

$$\begin{aligned} L'_l &= L_w - 11 - 20 \cdot \log 2r = L_w - 11 - 20 \cdot \log r - 20 \cdot \log 2 \\ &= L_l - 20 \cdot \log 2 \cong L_l - 6 \quad (\because \log 2 \cong 0.30103) \end{aligned} \quad \langle 4 \rangle$$

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。〔〕内は熊本県立大学学術情報メディアセンター図書館所蔵情報）。

- [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（2F）、525.1||Ka 56, 0000275620, 0000308034〕

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。