

# 第6章 音と聴覚・発音

## 第6章 音と聴覚・発声

### 6.1 音の性質

### 6.2 耳と聴覚

### 6.3 発声

### 6.4 音を利用した機器

## 6.1 音の性質 (1) 音とは何か

音とは空気（または他の媒質）中を  
伝わる振動（波）のこと

➔ 人が聞いている音は、空気中の圧力の変化（縦波）が耳に届いて、鼓膜を振動させ、その信号が脳で処理された結果

音（感覚） = 音波の一種

➔ 気体・液体中は縦波  
固体中は縦波と横波 として伝わる

波の種類	振動方向	伝わる媒質	例	見え方
縦波	進行方向と同じ	固体・液体・気体すべて	音波、P波（地震）	圧縮・膨張が交互に伝わる （見えにくい）
横波	進行方向に垂直	主に固体のみ	水面波、S波（地震）、電磁波（光）	上下に揺れる波形が見えやすい

## 6.1 音の性質 (1) 音とは何か

◎音速 → 音波が媒介中を進む速さ [m/s]

空気中  $V = 331.5 + 0.6t$  [m/s]

$t$  : 温度[°C]

一般式  $V = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M \times 10^{-3}}} \text{ [m/s]}$

温度  $T$  [K]、分子量  $M$ 、比熱比  $\gamma$ 、気体定数  $R$

表6.1

## 6.1 音の性質 (1) 音とは何か

### ◎圧力と音

音波は圧力の極小さな変化が振動として伝わるもの

大気圧  $P = 1013 \times 10^2$  [Pa] = 760[mmHg] = 1[atm]

振動の振幅 (人間が聞き取れる範囲)

$$2 \times 10^{-5} \sim 2 \times 10^1$$
 [Pa]

大気に比べて音波が伝えるエネルギー  
は極めて小さい

## 6.1 音の性質 (2) 音の干渉と共鳴

### ◎波の式表現

波は位置と時間を変数とする周期関数

最も単純なモデル 正弦波

時間を止めて波を位置のみの関数とした場合

正弦波： $y = a \sin kx$

$a$ : 振幅、 $k$ : 波数(単位長さ当たりの波の数)

波長 $\lambda$ ：波1つ分の長さ  $\lambda = \frac{2\pi}{k}$

## 6.1 音の性質 (2) 音の干渉と共鳴

### ◎波の式表現

最も単純なモデル 正弦波

場所を固定し波を時間のみ関数とした場合

正弦波： $y = a \sin \omega t$

$\omega$ : 角振動数、 $t$ : 時間

振動数(周波数) $f$ : 1秒間に振動する回数

$$\omega = 2\pi f$$

波の周期 $T$

$$T = \frac{1}{f} = \frac{2\pi}{\omega}$$

波の速度 $V$

$$V = \frac{\lambda}{T} = \lambda f$$

## CHAPTER6 音と聴覚・発声

### 6.1 音の性質 (2) 音の干渉と共鳴

$$y(x, t) = a \sin(\underbrace{\omega t - kx}_{\text{位相}}) = a \sin 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\omega}\right) = a \sin 2\pi f\left(t - \frac{x}{V}\right)$$



図6.1

山

谷

逆位相

同位相



## 6.1 音の性質 (2) 音の干渉と共鳴

### ◎ 重ね合わせの原理と波の干渉

波は重ね合わせることができ、変位は和になる

#### 振動数の等しい2つの音波の重ね合わせ

強め合う条件  $|l_1 - l_2| = m\lambda$  ( $m = 0, 1, 2, \dots$ )

弱め合う条件  $|l_1 - l_2| = (m + \frac{1}{2})\lambda$  ( $m = 0, 1, 2, \dots$ )

#### 振動数の近い2つの音波の重ね合わせ

1秒間に  $|f_1 - f_2|$  回のうなりが発生する

## 6.1 音の性質 (2) 音の干渉と共鳴

### ◎定常波と固有振動・共鳴

共鳴：合成波があたかもその場に止まっているかのように見える(楽器)



図6.2

## 6.1 音の性質 (2) 音の干渉と共鳴

### ◎弦の振動

- 固体中を伝わる音波
- 横波として伝わる
- 弦の両端は固定  
(固定端の条件)  
⇒ 端での反射により  
定常波となる

図6.3



## 6.1 音の性質 (2) 音の干渉と共鳴

### ◎弦の振動

#### 定常波の固有振動数

$$f_m = \frac{V}{\lambda_m} = \frac{mV}{2l} = mf_1$$

$$(f_1 = \frac{V}{2l}, m = 1, 2, 3, \dots)$$

基本振動数

#### 弦を伝わる音速

$$V = \sqrt{\frac{T}{\sigma}} \quad \begin{array}{l} T: \text{弦の張力,} \\ \sigma: \text{弦の線密度[kg/m]} \end{array}$$

太い弦  $\Rightarrow$  低い音

強く張る  $\Rightarrow$  高い音

図6.3

## 6.1 音の性質 (2) 音の干渉と共鳴

### ◎管の振動

閉管

定常波の固有振動数

$$f_m = \frac{V}{\lambda_m} = \frac{mV}{4l} = mf_1$$

$$(f_1 = \frac{V}{4l}, m = 1, 3, 5, \dots)$$

基本振動数

開管

$$f_m = \frac{V}{\lambda_m} = \frac{mV}{2l} = mf_1$$

$$(f_1 = \frac{V}{2l}, m = 1, 2, 3, \dots)$$

図6.4

## 6.1 音の性質 (3) フーリエ級数とスペクトル

周期的な波はsinとcosの和で表現できる

$$F(t) = A_0 + A_1 \sin 2\pi(ft) + A_2 \sin 2\pi(2ft) + A_3 \sin 2\pi(3ft) + \dots \\ + B_1 \cos 2\pi(ft) + B_2 \cos 2\pi(2ft) + B_3 \cos 2\pi(3ft) + \dots$$

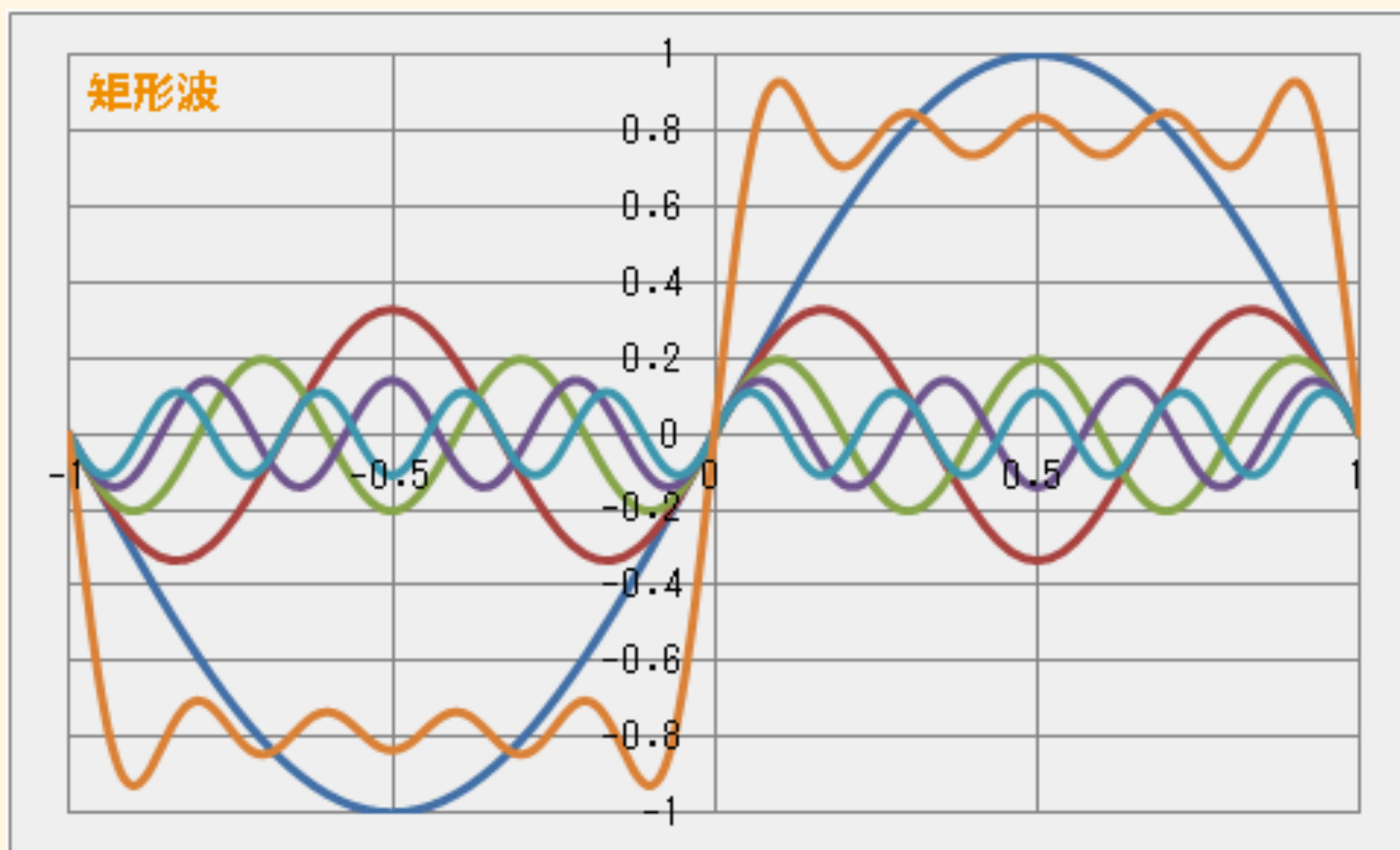
図6.5

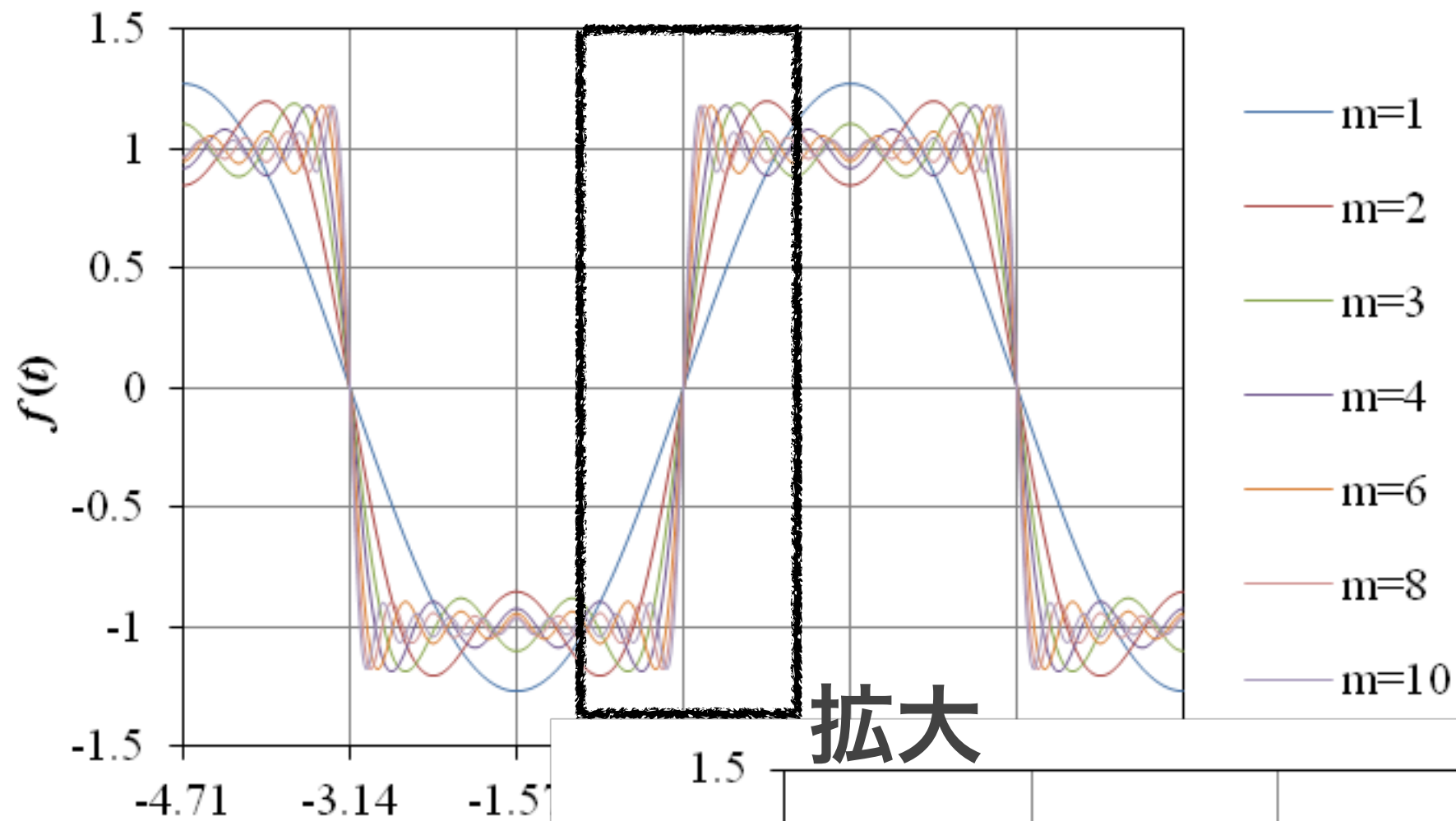


## 6.1 音の性質 (3) フーリエ級数とスペクトル

周期的な波はsinとcosの和で表現できる

$$F(t) = A_0 + A_1 \sin 2\pi(ft) + A_2 \sin 2\pi(2ft) + A_3 \sin 2\pi(3ft) + \dots \\ + B_1 \cos 2\pi(ft) + B_2 \cos 2\pi(2ft) + B_3 \cos 2\pi(3ft) + \dots$$





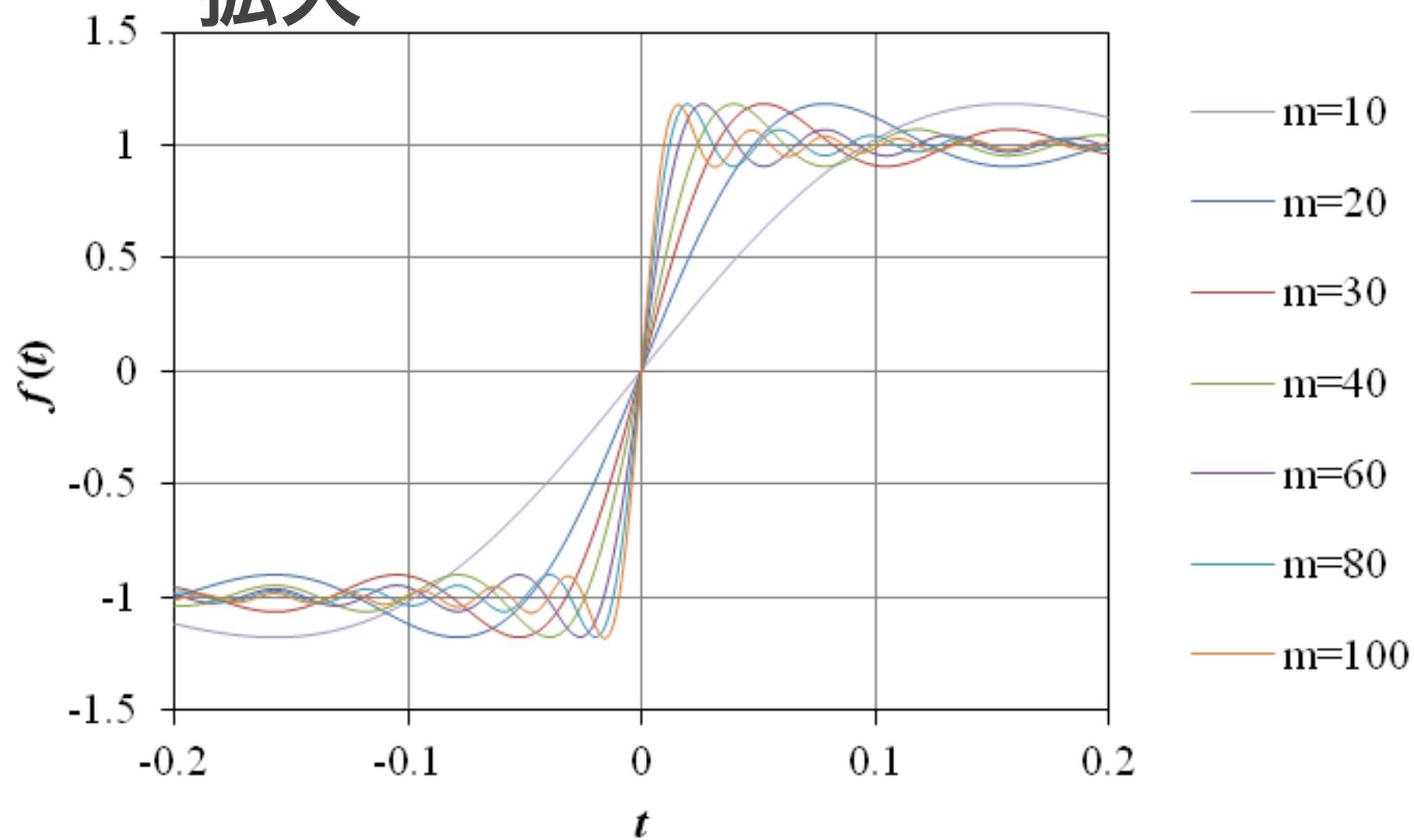
ル

る

$$\sin 2\pi(3ft) + \dots$$

$$\cos 2\pi(3ft) + \dots$$

拡大





## 6.2 耳と聴覚 (2) 音の三要素

### 音の三要素・・・高さ，強さ，音色

#### 音の高さ：周波数（振動数 [Hz]）

基本周波数 (f)：音の高さを決める最も低い周波数  
(例：440 Hzなら「ラの音」)

超音波：人には聞こえない20kHz以上の音波

#### 音の強さ：音がどれだけ大きいか エネルギーがどれだけあるか [W/m<sup>2</sup>]

#### 音 色：波形と倍音構成

倍 音：基本周波数の整数倍の周波数の音 (2f, 3f, 4f, ...)

楽器	倍音構成の特徴
ピアノ	幅広く多くの倍音が含まれる
フルート	倍音が少なく、純音に近い
バイオリン	偶数・奇数倍音ともに多く含まれる
ギター	倍音が特徴的で、弦の材質や弾き方で変化

## 6.2 耳と聴覚 (2) 音の三要素

音の強さ：音がどれだけ大きいか

エネルギーがどれだけあるか [W/m<sup>2</sup>] [dB]

音圧：音の振動による圧力の変化分

音圧レベル (SPL:Sound Pressure Level)

$$L_{SPL} = 20 \log_{10} \frac{p}{p_0} \text{ [dB SPL]}$$

$$p_0 = 2 \times 10^{-5} \text{ [Pa]} \quad \begin{array}{l} \text{基準} \\ \text{1kHzを聞き取れる最小音圧} \end{array}$$

音の強さレベル (IL:Intensity Level)

$$L_{IL} = 10 \log_{10} \frac{I}{I_0} \text{ [dB]}$$

$$I_0 = 10^{-12} \text{ [W/m}^2\text{]}$$

## 6.2 耳と聴覚 (2) 音の三要素

## 音の強さレベル (IL: Intensity Level)

$$L_{IL} = 10 \log_{10} \frac{I}{I_0} \text{ [dB]} \quad I_0 = 10^{-12} \text{ [W/m}^2\text{]}$$

音の例	音の強さレベル (dB)
聞こえる限界 (静寂)	0 dB
図書館	30 dB
普通の会話	50 dB
都会の喧噪	70-90 dB
車のクラクション (近く)	100 dB
連続して聞くと難聴になる目安	120 dB
ジェット機のエンジン (近距離)	130 dB (痛みを感じるレベル)
ロケットの打ち上げ時 (近距離)	160 dB (鼓膜破れるレベル)

## 6.2 耳と聴覚 (2) 音の三要素

人間の聴覚：2~6kHzが最も感度が良く、  
低周波数(低音)では感度が低下

等ラウドネス曲線：同じ音の大きさと感じる  
音圧レベルを結んだ線

図6.8

## 6.4 音を利用した機器

### (1) 聴診器 体内から発生する微弱な音を聴く



ダイヤフラム面：低音域カット高音域のみ  
ベル面：全音域

### (2) 補聴器 聴力を補うための音の増幅器 45 dB HL以上の難聴が使用の目安

### (3) マイクとスピーカー

音波の振動を電気信号に変換	静電力 / 電磁気力
電気信号を音波振動に変換	電磁気力