

第 3 回 感覚と認知 I

聴覚情報処理

耳の役割

- 聴覚
 - 「聞く」こと
 - 耳の機能と聴覚の神経が音源の振動によって刺激されることに起因する感覚
- 平衡感覚
 - バランス感覚
 - 内耳にある三半規管と呼ばれる箇所のリンパ液の傾きと量で平衡感覚は保たれる

耳のメカニズム

- 外耳 (outer ear)
 - 耳介 (pinna)
 - 空気の振動を取り入れる
 - 外耳道 (ear canal)
 - 耳介から入ってきた空気の振動を鼓膜に伝達
 - 中音域 (周波数 2~5kHz) に共鳴
- 中耳 (middle ear)
 - 鼓膜 (ear drum / tympanic membrane)
 - 直径約 1cm、厚さ約 0.1mm の薄い膜
 - すべての音に共鳴して、微小な振動をする
 - 耳小骨 (auditory ossicles)
 - 槌骨 (malleus / hammer)
 - 砧骨 (incus / anvil)
 - 鐙骨 (stapes / stirrup)

- 内耳 (inner ear)
 - 三半規管 (semicircular canal)
 - 平衡感覚をつかさどる
 - リンパ液で満たされていて、リンパ液の動きを有毛細胞が感知
 - 蝸牛 (cochlea)
 - リンパ液で満たされている (蝸牛管: 内リンパ液、前庭階・鼓室階: 外リンパ液)
 - 大きさは長さ 5mm、幅 10mm 程度
 - 2 と 3/4 回転した管
 - 伸ばすと約 35mm
 - 基底膜 (basilar membrane)、前庭階 (scala vestibuli)、鼓室階 (scala tympani) で構成されている
 - コルチ器 (organ of corti)
 - 基底板上に存在
 - 内毛細胞と外毛細胞があり、それぞれに聴毛が生えており、細胞内のイオン濃度の変化に反応し、電位変換する

音の認知の流れ

- ① 鼓膜が振動
- ② 槌骨が回転運動
- ③ 砧骨が連動
- ④ 鐙骨が前庭窓をたたく
- ⑤ 蝸牛内のリンパ液が振動
- ⑥ コルチ器が振動を電位に変位
- ⑦ 聴覚神経に伝達
- ⑧ 脳で情報処理

「音」とは？

2つの意味

- 物理的な意味：弾性波
- 聴覚的感觉

JIS Z 8106 音響用語（一般）の定義

- 音あるいは音響（sound）の意味
 - 音波（弾性波）またはそれによって起こされる聴覚感觉
 - 参考
 - すべての音波（弾性波）が聴覚的感觉を起こすとは限らない（例：超音波）

音波とは？

音波は、物体の振動に起因する分子群の収縮と拡散の反復。

音波が伝わる速度は、媒体に依存し、空気中では1秒間に約 340m の速度で伝搬する。

水中ではより早い速度となり、金属中ではさらに早くなる。

音の物理的性質

- 音の大きさ（sound intensity）
 - 空気の圧力
- 周波数（frequency）
 - 空気の振動（圧縮と開放）の繰り返し頻度

音の強度と聴覚

聴覚器官が受け入れることのできる音の強さには一定の範囲がある。

聞き取れる最小の音の強さと、身体的に苦痛を与えるほど強い音の隔たりはきわめて大きい。

音の記述には、対数表示を用い、単位はデシベル（dB: decibel）で表す。

人間の可聴閾

周波数：20～20,000Hz

音圧：0～120dB

- 周波数に着目
 - 最低可聴限 (lower limit of hearing)：聴覚の生じる最低の周波数
 - 最高可聴限 (upper limit of hearing)：最高の周波数
 - 人間の最高可聴限以上の音は、超音波 (supersonic)
- 音の強さに注目
 - 最小可聴限 (threshold of hearing)：知覚できる最低の音圧レベル
 - 最大可聴限 (threshold of feeling)：知覚できる上限
 - 最大可聴限を超える音には、痛覚が生じる (痛覚閾)。

音の記述

通常音の場合、音圧あるいは単位面積あたりの力で測定し、 $\text{ダイン}/\text{cm}^2$ で示す。

- 周波数 (frequency)
 - 単位：Hz (Hertz)
- 振幅 (amplitude or intensity)
 - 音波のピーク (トップ) ～ピーク (ボトム) の距離
 - 数学的に記述する場合はその値の 1/2 で表現

音 (聴覚刺激) の記述

音は空気圧の振動によって生じる (分子)

音波の物理的性質の記述

- $A \sin(2\pi ft + \theta)$
 - 周波数：圧力が変化する早さ f
 - 振幅：圧力の大きさ A
 - 位相：刺激が始まる位置 θ

音の表現

すべての音 (の波形) は正弦波の集合で示す。

正弦波に分解することが可能なため、フーリエ解析で分析することができる。

蝸牛内の基底膜に、位置によって特定の「周波数」を抽出する機構があり、その機構が働くことで、音を分解している。

音の心理的 3 要素

- 大きさ (loudness)
 - 音の大きさは音の強度と周波数の両方に依存
 - JIS による「音の大きさ」の定義
 - 音の強さに関する聴感上の属性で、小から大にいたる尺度上に配列される
- 音の高さ (pitch)
 - 音の高さは「低い」から「高い」まで 1 次元的に変化する性質がある。
 - 音の高さは心理量で示される
 - 単位：メル (mel)
- 音色 (tone)
 - 音色は音波の波形によって決定
 - どんな波形も正弦波の集合で表現できる (Fourier Analysis)
 - 音色は音波のスペクトル分布に依存