

聴覚は人間の知覚モダリティーのひとつである。その機能は言うまでもなく音を聞くことである。この音の中には人間のコミュニケーションにとって重要なメディアとなっている音声という対象が含まれる。音声の知覚には、音声特有の興味深い現象が存在するが、この2回の講義ではもう少し一般的な音の知覚と、さらに空気の振動（物理的な音）を神経系の活動（心理的な音）へと変換するための身体の仕組み（聴覚器官）について説明することを中心とする。

音響信号はその特性上、複数の信号源（音源）からの振動が耳元に折り重なって到来する。このようなモダリティーを使用して頑健かつ識別力の高い認識をするために、聴覚系はまずフィルター処理による音エネルギーの分解を試みる。しかし、これだけでは音源の分離にとっては不十分であるため、信号に備わる周期性情報を巧みに利用する。この基本的な仕組みについて理解してもらうことを第1日目の目標とする。講義第2日目には、その理解を前提として、聴覚の基本特性並びに、音源分離の諸現象について概説し、生理学的な仕組みと知覚現象との関連性を理解してもらうことを目標とする。

◆ 聴覚器官と聴覚末梢系

◆ 聴覚器の解剖学と生理学

◆ 外耳

- ◇ 耳介
- ◇ 外耳道

◆ 中耳

◆ インピーダンス整合

- (a) 鼓膜と卵円窓の面積比 $.42 \text{ cm}^2 / 0.012 \text{ cm}^2 = 35$ 倍
- (b) ツチ骨とキヌタ骨の有効長比 $1.15 / 1$
- (c) 変形効果による速度の低下 2倍
- (d) $35 * 1.15^2 * 2^2 = 185$
- (e) 伝達関数はハイパスの特性
- (f) 通常の入力レベルの範囲では線形

◆ 内耳

a) 蝸牛

- (1) 大きさ 幅1cm、高さ5mm (ヒト)

b) 3つの部屋に区切られた管

- (1) 前庭階、中央階、鼓室階

(a) 前庭階、鼓室階には外リンパ

(b) 中央階には内リンパ K^+ のイオン濃度が高い。 Na^+ のイオン濃度低い

前庭階に対して正の電位 (80~120mV)

- (2) $2 \frac{5}{8}$ 回転 (ヒト)

(3) 卵円窓に入力された振動は、前庭階から鼓室階へ伝わる。その過程で中央階、すなわちそれと鼓室階を区切る基底膜上に進行波が生じる。

- (4) 基底膜 35mm (ヒト)

c) コルチ器

- (1) 基底膜上に存在し、有毛細胞がある。ヒトで15000個（片耳で）
- (2) 求心性 ヒトで3万本 ネコで5万本
- (3) 遠心性 1800本（ネコ）（1000 → IHC, 800 → OHC）
- (4) 内有毛細胞 95%が求心性の神経結合
 - (a) 静止膜電位 -75mV
- (5) 外有毛細胞
 - (a) 静止膜電位 -45mV

- ◆ 聴神経繊維

- ◇ 有毛細胞と蝸牛神経核を直結
- ◇ 片耳、ヒトで3万本
- ◆ 自発放電の頻度で2タイプ
 - ◇ 1秒あたり20発以下（その大半は0.5発以下） 全繊維の1/4
 - ◇ 1秒あたり60-80発 全繊維の3/4

- ◆ 蝸牛神経核

- ◇ トノトピーが観察できる

- ◆ 上オリーブ複合体

- ◇ 蝸牛神経核からは3つの出力を受ける
- ◆ 求心性に関連した亜核
 - ◇ 上オリーブ外側核(LSO)
 - 同側の蝸牛神経核からと、MTBを經由して反対側から高い周波数に反応（両耳間の強度差）
 - ◇ 上オリーブ内側核(MSO) 両側の蝸牛神経核から低い周波数に反応（両耳間時間差）
 - ◇ 台形体内側核(MTB) 反対側の情報を同側のLSOに送る

- ◆ 下丘

- ◇ LSOからは両側性に
- ◇ MSOからは同側性に
- ◇ 反対側の背側蝸牛神経核から

- ◆ 内側膝状体

- ◇ 腹側、背側、内側の3部に分けられる
- ◇ 聴覚の特殊中継核としては、腹側部
- ◇ 内側部 体性感覚と下丘から聴覚入力
- ◇ 背側部 下丘、上丘からの体性感覚入力

- ◆ 聴覚皮質

- ◇ ヒト（霊長類） シルビウス溝の中に隠れているので研究が困難
- ◇ ネコ 露出しているの実験が多い。
- ◇ AI 垂直方向へコラム構造 周波数局在
- ◇ AII 周波数局在は明瞭でなくなる
- ◇ 同側、反対側の入力に対してEE型、EI型のものが交互に、特徴周波数と直交する形で発見されている

- ◆ 音情報の生体内表現

- ◆ 基底膜

- ◇ 卵円窓側 狭く、薄い
- ◇ 蝸牛頂側 広く、厚い
- ◇ アブミ骨によってリンパ液がドライブされることにより進行波が基底膜に発生
- ◆ 包絡のピークと入力周波数の関係
 - ◇ von Bekecy(1960)による観察

- ◇ Mössbauer法による観察 Sellick(1982)
 - ⁵⁷Coの崩壊の際のγ線のドップラーシフトを利用した観察方法
 - Békécy**よりも鋭い周波数応答特性
- ◇ 基底膜の能動性
 - OHC の役割
 - 耳毒性の抗生物質カナマイシンの投与(OHCを選択的に破壊)
- ◆ IHCにおける受容電位の発生
 - ◇ IHCは-70 mV程度の静止電位
 - ◇ 基底膜の動きによって、細胞体先端の不動毛に変形イオンチャンネルが開き、受容電位が発生
- ◆ 聴神経の活動電位（発火）
 - ◇ 位相固定の存在（4 kHz 以下）
- ◆ 蝸牛神経核でのパターン
 - ◆ 4つのPST ヒストグラム・パターン
 - ◇ 1次神経型応答
 - ◇ オンセット型
 - ◇ チョッパー型
 - ◇ ポーザー型
- ◆ 上オリーブ核
 - ◇ LSO EI型で、両耳間の強度差に応答。
 - ◇ MSO EE型で、両耳間の時間差に応答。

聴覚は人間の知覚モダリティーのひとつである。その機能は言うまでもなく音を聞くことである。この音の中には人間のコミュニケーションにとって重要なメディアとなっている音声という対象が含まれる。音声の知覚には、音声特有の興味深い現象が存在するが、この2回の講義ではもう少し一般的な音の知覚と、さらに空気の振動（物理的な音）を神経系の活動（心理的な音）へと変換するための身体の仕組み（聴覚器官）について説明することを中心とする。

音響信号はその特性上、複数の信号源（音源）からの振動が耳元に折り重なって到来する。このようなモダリティーを使用して頑健かつ識別力の高い認識をするために、聴覚系はまずフィルター処理による音エネルギーの分解を試みる。しかし、これだけでは音源の分離にとっては不十分であるため、信号に備わる周期性情報を巧みに利用する。この基本的な仕組みについて理解してもらうことを第1日目の目標とする。講義第2日目には、その理解を前提として、聴覚の基本特性並びに、音源分離の諸現象について概説し、生理学的な仕組みと知覚現象との関連性を理解してもらうことを目標とする。

◆ 聴覚の基本特性

◆ 大きさ

◇ 絶対閾 MAF と MAP

1~5 kHz で感度が高い 外耳の周波数応答特性によるもの

等感度曲線

ラウドネス・レベル 単位 phon

1 kHzの純音で大きさのマッチング

大きさの尺度構成

ベキ法則 ベキ指数は0.3

強度の10 dB上昇 強度が10倍 sone値は2倍

◆ ピッチ

◇ 純音の高さ

尺度構成 メル尺度

◇ 場所説対時間説

ミッシング・ファンダメンタル

微細構造説とvirtual pitchのずれ

◇ ピッチの多次元性

◆ ピッチ（周波数）弁別と周波数分解能

◇ マスキング実験などから得られる2音に必要な周波数分離のオーダーが10%程度であるのに対して、周波数差の弁別閾1~2%の間には大きな乖離がある。

◆ 周波数分解能

◆ 音響オームの法則 (Ohm, 1843)

◇ Plomp(1963)の実験

◇ 矩形フィルターモデルとマスキング実験

◇ 矩形フィルターを使用したモデル化

◇ 臨界的なバンド幅の推定

スペクトル密度を一定にしてバンド幅を増加させていく

$$\frac{P}{WN_0} = K$$

2つの未知数

Fletcherは $K=1$ を仮定して臨界帯域幅を推定

$K=1$ は十分に狭い帯域を持つ雑音を使用して推定。

- ◆ 聴覚フィルターの形状の推定
 - ◇ 精神物理学的同調曲線
 オフ周波数受聴の影響
 - ◇ ノッチ雑音法による実験
 Patterson (1976)
 - ◇ 聴覚フィルターの非線形特性
 レベル依存したフィルター形状の変化 (Moore & Glasberg, 1987)
- ◆ 継時マスキング
 - ◇ 順向と逆向の2種類
 - ◇ 逆向については聴覚フィルターの特性との関連性は低いとされる
 練習効果によって逆向マスキングの効果が減少する
 - ◇ 順向マスキングと同時マスキングの違い
 同時マスキングでは抑圧効果を観察しにくい。信号音がマスキャーを
 抑圧する相互抑圧状態になってしまうためと考えられる。

◆ 時間分解能

- ◆ Hirsh(1956)の実験
 - ◇ 2つの周波数の異なる音の順番の弁別
 - ◇ 20-30msの時間差の存在で弁別可能
- ◆ Warren(1970)の実験
 - ◇ 3種類の音(トーン, ブザー, ノイズ)の順番の同定または弁別
 - ◇ 順番の同定には1音当たり200msの持続時間が必要
 - ◇ 弁別についてはHirshの結果と一致
 - ◇ 順番の同定については分析的な処理, 弁別の場合は全体的な処理
- ◆ Plomp(1964)のギャップ検出課題
 - ◇ 2つの純音の間にギャップが存在するかを検出させる課題
 - ◇ 先行音と後続音のレベルを変数
 - ◇ ギャップを知覚できる最小のギャップの時間を測定.
 - ◇ 後続音のレベルが大きくなる程より短いギャップで検出が可能となる.
 - ◇ 先行音のレベルが小さくなる程より短いギャップで検出が可能となる.
 - ◇ この時間特性は聴覚系において, 興奮のパターンの減衰の時間特性を反映
 すると考えられている.
 - ◇ 横軸を時間の対数, 縦軸を後続音の感覚レベル(dB単位)とした場合, ほ
 ぼリニアな関係.

◆ 聴覚的情景分析

- ◇ 音脈分凝(stream segregation)
- ◆ 聴覚的対象と視覚的対象の対比
 - ◇ 音源と反射光
 - ◇ 受容点における混合
- ◆ 4つのヒューリスティクス
 - ◇ 同時性(同期性)
 - ◇ 変化の緩やかさ
 - ◇ 調波性
 - ◇ 共通変化

- ◆ 原始的分凝とスキーマ依存的分凝
 - ◆ 交替速度と周波数差
 - ◇ 一連性境界と分裂境界
 - ◇ 交錯旋律
 - ◇ 音楽的場面での音脈分凝
 - ◇ 音脈分凝に於ける捕獲現象
- ◆ 音韻修復と連続聴錯覚
 - ◇ マスキングとの関連（パルセーション行き）
- ◇ 変化の急峻さ
- ◇ 調波性
- ◇ 共通の変化