

## 論文の内容の要旨

論文題目 MEG を用いたヒト聴皮質における音色認知過程の研究

指導教員 山嵜達也教授

東京大学大学院医学系研究科

平成 17 年 4 月入学

医学博士課程

脳神経医学専攻

氏名 水落智美

音は大きくピッチ・ラウドネス・音色の 3 要素にわけられ、更にその中でも最も複雑な側面を持つ音色は、振幅や周波数の比較的長い時間での変化を図示したものの包絡線である **temporal envelope** と、音を周波数分析した結果の包絡線が表す **spectral envelope** にわけられる。この **spectral envelope** は、発音体の物理構造との強固な対応関係から、音色の中でも特に重要な要素であり、話者や楽器によって特有の形をもっており、音色の異なる印象を与えることが知られている。我々が、聴覚情報のみから話者や楽器の特定ができるのも、音色のスペクトル情報から音源の脳内表象を復号化する脳内過程が働いているためだといえる。

音色知覚に関する先行研究は数多くあるが、早期段階における音色処理の神経基盤についての見解は未だ定まっていない。そこで、実験 1 では音色を決める **spectral envelope** に注目し、**F0** と **spectral envelope** 以外の音響要素が全て揃うよう音量や **temporal envelope** を加工した 24 種類の定常複合音を、健聴被験者に対し無視条件下で両耳提示した時の **N1m** を 204 チャンネル全頭型脳磁計を用いて計測した。**F0** は成人男性・女性の声の標準値に基づき 110Hz 及び 220Hz の 2 種類とし、**spectral envelope** は自然音である **vocal** 音と **instrumental** 音、**spectral envelope** が直線となる合成音(**linear** 音)各 4 種の総計 12 種とした。

解析 1 では、計測された **N1m** ピーク潜時、振幅、等価双極子の局在を分析し、**spectral envelope** の情報処理は従来考えられていたよりも早く、潜時 100ms 前後で既に行われており、**nonvocal** か **vocal** かは **N1m** ピーク潜時が **F0** 依存性を持つか否かに、**nonlinear** か

linear か (spectral envelope の山である formant 構造の有無) は N1m の振幅の大小と推定された等価双極子の左半球での前後方向の局在に反映され、音色によって N1m 成分に与える影響が異なるという知見を得た。

上記で示された vocal 音に対する N1m ピーク潜時の F0 非依存性が、vocal 音特異的な性質であるのかを精査するために、解析 2 では同一カテゴリに属する各刺激音の N1m ピーク潜時について分析を行った。その結果、F0 依存性については先行報告同様の知見が得られた。刺激音毎のピーク潜時の有意差は、vocal 音では両半球で、nonvocal 音では右半球のみで認められ、左右半球の優位性は N1m の振幅だけではなく潜時にも反映する可能性が示唆された。更に、N1m 潜時の F0 非依存性は、vocal 音のみでなく一部の nonvocal 音でもみられ、これらの nonvocal 音は、F0 依存性をもつ nonvocal 音より高周波成分 (>1kHz) の相対パワー値が有意に大きかった。以上より、N1m ピーク潜時は同一カテゴリ内の刺激音間でも差が認められ、spectral envelope の傾きが小さい音で潜時が早まる傾向がみられた。ピーク潜時の F0 非依存性は、従来の報告のような vocal 音に特異的なものではなく、nonvocal 音に対しては個々の音の高周波パワー比が関与している可能性が示唆された。

このような音色カテゴリごとの特徴が N1m ピーク潜時以外にも反映されているかを調べるために、解析 3 ではその後の極小値を与える N1m オフセット潜時について潜時と振幅の分析を行った。その結果、vocal 音及び linear 音に対するオフセット潜時はピーク潜時と同様の動態を示したが、instrumental 音は vocal 音同様 F0 依存性を持たず、F0 による N1m 潜時への影響は vocal 音、instrumental 音、linear 音の順で大きくなることがわかった。ピークからオフセットまでの長さは、F0 よりも spectral envelope の影響を受け、特に formant 構造のある音は聴覚情報処理時間が延長することが示された。また、ピーク振幅は解析 1 同様フォルマント構造の有無による差、オフセット振幅は左右差が認められ、オフセット潜時には半球ごとに分化した処理が開始されている可能性が示唆された。

実験 1 より、spectral envelope の形は事象関連電位の早期成分である N1m に反映されることが示された。Spectral envelope の形が linear か nonlinear かは N1m 振幅と推定された等価双極子の局在、及び N1m 下降脚の長さに、nonvocal か vocal かは個々の音に対する N1m のピーク潜時の差が現れる半球 (右半球のみか両半球か)、及びピーク潜時が F0 依存性を持つか否かに反映されると考えられるが、このピーク潜時の F0 依存性は音色カテゴリの違いのみではなく個々の音の高周波成分の大きさも関与している可能性がある。

音色の知覚、すなわち音源の脳内表象を復号化し「聞こえた音が何の音であるか」を知覚するためには、聞こえた音と脳内で予測された音 (内的モデル音) とを対応付けるパターンマッチングのプロセスが必要である。実験 1 の結果をはじめ、音声特異的な反応についての報告はあるが、聴覚系は音声のみならず、多様な時間的、周波数変化を伴う自然界に存在する様々な音へも対応しなければいけない。このため、音の処理は非常に効率的に行われていることが考えられ、非音声に対しても音声と類似した処理が行われていることが推測される。音声については、母国語に含まれる母音に対して現れる特異的な MMN

反応は、左半球に存在する記憶痕跡を参照したマッチングの結果生じるという報告がある。そこで、実験2では非音声に対しても音声と類似したパターンマッチング機構が存在するかを調べるために、視覚刺激として2種類の長さの異なる素材（竹・金属）でできた筒を木製の小槌で叩いているように見える仮現運動画像を、聴覚刺激としてそれぞれの筒を実際に叩いた音を用いた視聴覚課題を提示した時の脳磁場を計測した。被験者は画像と音刺激が一致しているかをボタン押しで判断した。

同じ条件（AV 一致、F0 不一致、材質不一致、F0・材質不一致）ごとに加算平均した得られた波形のうち潜時 50-200 ms における RMS 値に対し解析を行った結果、潜時 51-55ms で条件間のばらつきと右半球の有意に大きい反応が、潜時 81-114ms で右半球の有意に大きい反応が、潜時 140-150ms では F0・材質不一致条件が AV 一致条件より有意に大きい反応が示された。潜時 50ms 頃では右半球の MT 野、後頭頂葉で行われる一番初期の視聴覚における相互作用が反映され、視覚刺激と聴覚刺激の一致／不一致を弁別するための前段階の処理が行われている可能性が考えられる。潜時 80-114ms は N1m ピーク前後であるが、これは非音声に対する右半球優位の反応が示されていると考えられる。そして、潜時 140-150ms で示された有意差は MMN 様の反応が反映していると考えられる。

実験2より、非音声に対しても音声同様なパターンマッチング処理機構が存在し、潜時 150ms 頃という早い段階で処理が行われていることが示唆された。このパターンマッチング機構の神経基盤として2つの可能性が考えられる。1つ目は、補足運動野や聴覚連合野を介しトップダウン入力された聴覚イメージを参照している可能性、2つ目は母国語の習得や視覚と音の対応付けなど潜在的な学習の結果として A1 に保持された音のパターンの長期記憶痕跡を参照している可能性である。

以上より、音色認知過程の初期段階である潜時 100ms 頃においてスペクトル情報を基にしたパターン抽出が意識前過程として行われていること、その直後の潜時 150ms 頃において抽出されたパターンによるマッチング処理が行われていることが示され、この処理には A1 が大きく関与していることが示唆された。また、この処理には既に音声／非音声や、音への注意の有無による違いが反映されており、早い段階から複合的な処理が行われている可能性が考えられる。しかし、聴覚伝道路の神経核のトノトピー構造による周波数選択的な処理や、A1 から蝸牛外有毛細胞へと投射される蝸牛基底膜振動を制御する遠心性フィードバック機構の存在を考えると、このパターン抽出処理は皮質投射前から行われ、そのパターンを基にしたスペクトル分析が皮質投射後に行われている可能性が示唆される。この著しく早い段階からの処理機構の存在は、太古より動物たちが敵から逃れるために音色から瞬時に音源を同定する事が極めて重要であったと想像されることから妥当であり、spectral envelope は聞こえた音が何の音なのかを瞬時に識別するためのマーカーとして利用されてきたと考えられる。