

音の評価のための心理・神経生理計測法

矢野 肇^{1,a)}

概要: 音の評価尺度は、音の心理的な大きさを表すラウドネスのような単純なものから、好ましきのような複雑なものまで様々であり、その測定には心理計測がよく用いられる。一方で、生理計測に基づく音の評価が注目されており、被験者の主観に基づく心理計測とは異なる、より客観的な評価が期待されている。本講演ではまず、音の評価に用いられる心理計測法について解説する。次に、神経生理指標として脳波や脳磁界を取り上げ、その計測法について解説する。

Methods of physiological and psychological measurements for sound assessment

1. はじめに

音の評価尺度は、音の心理的な大きさを表すラウドネスのような単純なものから、好ましきのような音に対する印象を表す複雑なものまで様々である。これらの測定は通常心理計測によって行われ、その結果は被験者の主観的な報告に基づいている。しかしながら本人の経験や思い込みによる認知バイアスや、時には嘘の報告によって正確な結果が得られない場合もあり得る。

その一方で、音の印象に対応する生理反応を計測することができれば、認知バイアスの影響を受けにくく、より正確で客観的な音の評価ができると考えられる。特に、音に対する認知・判断に関わる脳の活動を捉えることができる脳機能計測に基づいた評価が期待されている。被験者に身体的な苦痛が伴わない非侵襲な脳機能計測法として脳波計測 (electroencephalography: EEG), 脳磁界計測 (magnetoencephalography: MEG), 機能的核磁気共鳴画像法 (functional magnetic resonance imaging: fMRI), 近赤外分光分析法 (near-infrared spectroscopy: NIRS) などが知られている。EEG や MEG は測定環境が静粛であるので、音の評価に適していると言える。

本稿ではまず、心理的な音の評価として、単一の尺度を構成する方法、すなわち音を1つの評価尺度を表す実数軸上の点に割り当てる方法の一つである一対比較法について

述べる。次に、EEG や MEG の特徴と音に対する代表的な脳反応である聴覚誘発反応について述べる。最後に、音の評価のための神経生理指標を構築する方法について簡単に述べる。

2. 一対比較法

一対比較法は、評価者に複数の評価対象から2つずつをある基準で比較してもらい、優劣やその程度に関する判断を繰り返し求める方法である [1]。各評価対象の尺度値は得られた判断を元に算出される。評価対象の差が微妙で、すべての評価対象の評価尺度上の位置関係を同時に決めることが困難な場合でも、2つを比べる判断は比較的容易で、その信頼性が高いため適用可能な範囲は広い。以下ではサーストンの一対比較法とシェッフェの一対比較法について簡単に述べる。

2.1 サーストンの一対比較法

サーストンの一対比較法では、対にした2つの評価対象をある基準の優劣のみで判断する。 n 個の評価対象がある時、組合せの数は ${}_nC_2 = n(n-1)/2$ である。評価対象の対の呈示順はランダムである必要がある。なお、一対比較法で音の評価を行う場合、対となる2つの音は順番に呈示されるが、呈示の順序で判断が変わることが考えられる。このような場合は、呈示の順序を入れ替えた対についても判断を行う必要がある。サーストンの一対比較法の詳細や比較判断からの尺度の作成方法は [1], [2] を参照されたい。

¹ 神戸大学
Kobe University, Kobe, Hyogo 657-8501, Japan
^{a)} h-yano@stu.kobe-u.ac.jp

2.2 シェッフエの一対比較法

シェッフエの一対比較法では、被験者は優劣の2値判断の代わりに数段階の得点の中から選んで判断を行う。この時の得点は例えば{-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3}のように与える。ここで、符号が2つの評価対象の優劣、絶対値がその程度を表しており、0はどちらも同程度であることを意味する。対象の呈示の方法はサーストンの方法と同様である。

シェッフエの一対比較法にはいくつかの変形がある。シェッフエの原法では各評価者はすべての評価対象の組合せを判断する必要はなく、呈示の順序を考慮して尺度値を計算するのに対し、浦の変法は1人の評価者がすべての組合せを評価し、呈示の順序を考慮して尺度値を計算する。また、1人の評価者がすべての組合せを評価するが、呈示の順序は考慮しない方法は中屋の変法と呼ばれている。尺度値の計算方法の詳細については[2]を参照されたい。

一対比較法のいずれの方法も、評価対象の数を増やしていくと、組み合わせの数が急速に増加するため、多くの評価対象を扱うのは困難である。また音の評価においては、各音の持続時間が長い場合には適用が困難になる。

3. 音の評価のための神経生理計測

3.1 EEG と MEG

EEG と MEG はいずれも脳の神経細胞の電気的活動に由来し、電気的活動の結果生じる頭皮上の電位差を電極によって計測するものがEEG、頭外に発生する磁場を磁束計によって計測するものがMEGである。比較的緩やかな血流の変化を捉えるfMRIなどの計測法とは異なり、ミリ秒のオーダーで変化する電位や磁場を直接計測するため高い時間分解能を有している。

EEG や MEG は通常、頭皮上や頭部のまわりに多数配置されたセンサで計測され、得られた多チャンネルの波形から脳内の活動源の推定がしばしば解析の対象となる。しかしながら、EEG の場合、頭内の導電率は脳皮質や脳脊髄液、頭蓋骨など組織によって異なり、電気信号は活動源から頭皮上の電極に至るまでに大きく歪んでしまう。一般的に頭内の正確な導電率の分布を得ることは困難であり、EEG を用いた活動源の正確な推定は難しいとされている。

その一方で、MEG では頭内の透磁率が真空の透磁率とほぼ等しく一様と見なせ、活動源からセンサまでの信号の減衰は距離のみを考えれば良いため、活動源の推定を比較的容易に行うことができる[3]。この点で、MEG はEEG に比べて空間分解能が優れていると言える。

脳磁場は地磁気の1億分の1以下のオーダーの微弱な磁場であり、その計測には超伝導量子干渉素子(SQUID)を用いた高感度なセンサが用いられる[3]。そのため、外部からの電磁ノイズを完全に遮断するための磁気シールドルームが必要であり、測定設備は大規模なものとなる。その一方で、脳波の測定環境は小規模で比較的制限が少ないため、

手軽に計測することが可能である。

3.2 聴覚誘発反応

聴覚刺激によって生じる代表的な脳反応として、N1 / N1m 反応がある[4]。N1 反応はEEGで、N1m 反応はMEGで観測される反応であり、刺激音の呈示から約100 ms後に聴覚野から生じる。N1 / N1m 反応は刺激音の音圧や立ち上がり時間、持続時間などの物理特性の影響を大きく受けるとされている。

N1 / N1m 反応などの聴覚誘発反応は計測された信号を加算平均処理することによって得られる。計測された脳波や脳磁場には測定時のノイズやその他の脳活動による波形が重畳しているが、何回も同じ音を呈示し、波形を刺激呈示に同期させて加算・平均することで、ランダムな位相のノイズを打ち消し、誘発反応を取り出すことができる。

3.3 神経生理指標の構築

計測された脳活動を使って音の評価を行うためには、心理量の変化に対応した脳活動の変化を見出す必要がある。したがって、心理計測と神経生理計測の結果を照らし合わせるが必要不可欠である。例えば、一対比較法によって得られた刺激音に対する心理尺度と、心理測定で用いた刺激音に対する脳波/脳磁場との対応関係を調べることが挙げられる。また、心理測定と同時に脳波/脳磁場の計測を行うことで、個々の心理判断と対応した脳活動を計測することができる。しかしながら、1つの条件(音刺激)に対して繰り返し計測を要するため、条件数を多くとるに従って実験時間が増大し、実施が困難になる。また、体動によるノイズが計測波形に重畳する可能性もあるため、大きな手の動きを伴う判断は好ましくない。

4. おわりに

音の評価のための心理計測法として、評価する音の間に僅かな違いしかなくても尺度が得られる一対比較法について解説した。また、神経生理計測法としてEEG / MEGについて解説し、音の評価のための神経生理指標構築のアプローチについて述べた。いずれの評価方法においても測定を行う際は、実験時間を考慮し、刺激音を選定するなどいくつかの工夫が必要である。

参考文献

- [1] 難波精一郎, 桑野園子: 音の評価のための心理学的測定法, コロナ社(1998).
- [2] 佐藤信: 統計的官能検査法, 日科技連出版社(1985).
- [3] 原宏, 栗城真也編: 脳磁気科学—SQUID計測と医学応用—, オーム社(1997).
- [4] Näätänen, R. and Picton, T.: The N1 wave of the human electric and magnetic response to sound: a review and an analysis of the component structure, *Psychophysiology*, Vol. 24, No. 4, pp. 375–425 (1987).