

ラット中脳聴覚中継核における超音波発声への神経応答

上田 慶祐

さまざまな動物種において、音声による社会的コミュニケーションは生存にとって重要であり、音声コミュニケーションを支えるためには、それぞれの種ごとに音刺激を意味のある情報源として捉える機能を獲得してきたと考えられる。ラットでも種特異的な発声行動が見られ、それは超音波帯域で行われるために、超音波発声とも呼ばれる。本研究では、超音波発声の脳内処理を考えるにあたり、ラットの中脳に位置する下丘と呼ばれる脳部位に着目した。下丘は、末梢聴覚神経系からの聴覚情報に加え、より上位の聴覚系や情動に関連する脳部位からの入力を受けるため、様々な情報を統合する場であると示唆されている。また、下丘では超音波発声に特異的に応答するニューロンがみられることから、下丘は超音波発声を受け取る動物での音声情報処理に関与するとともに、超音波発声に対する処理実行にも関与するとされる。しかしながら、他個体が発した超音波発声を受け取って、それを意味のある音声として情報処理するために下丘がどのような役割を担っているのは依然として不明である。そこで、下丘の聴覚応答性ニューロンが超音波発声に対してどのような応答性を持つのか、それらのニューロンにおいて超音波発声への応答と純音刺激への応答にはどのような関連があるのかを明らかとすることを目的とした。

下丘ニューロンにおける聴覚刺激への神経応答性の計測には、細胞外電気記録法を用いた。本手法は、動物の脳内に対して微小な電極を刺し入れることで、電極付近に存在する細胞の活動を記録するものである。そのメリットは、高い時間分解能で神経細胞の電氣的スパイク活動(ユニット活動)の記録が可能となることであり、間隔情報処理を考えるにあたり至適な手法である。また、呈示刺激の超音波発声は録音音声ではなく、同種の生きている動物からリアルタイムに発せられたものを用いた。この手法は動物が実際に生活している場面に近い刺激を与えることができるという利点を持つ。

白色雑音を麻酔下のラットに呈示しつつ、下丘からのユニット活動を記録した結果、107個の聴覚応答性のユニット活動を得た。白色雑音刺激への応答のパターンは、音の開始に同期して一過的なスパイク活動の増加を示す Onset 型、持続的に活動を示す Tonic 型、複数の活動ピークをもつ Multi-Peak 型、音刺激で活動が抑制される Inhibition 型の四つに大別した。その中で、28個が超音波発声のタイミングに同期的してスパイク活動の増加を示した。これらのユニットを USV(+)ユニット、そうでないものを USV(-)ユニットと称した。4つの応答パターンを示すユニット毎に USV 応答の有無で分類し、応答パターンと USV 応答との関係を調べると、USV(+)ユニットでは Multi-Peak 型神経応答を示す割合が有意に多かった。

さらに、記録された細胞が脳内のどの位置に存在したのかを検討した。下丘は、解剖学的に中心核、外側皮質、背側皮質の3つの下位領域に分割されることが知られている。記録された細胞の位置をこの三分類にしたがって分類すると、背側皮質における聴覚応答ニューロンのうち、40%が USV(+)ユニットであり、その割合は三領域の中で最も大きかったが、その割合には領域間での有意な差異はなかった。

また、中心核では、背外側から腹内側へと向けて、高い周波数に反応しやすくなるというトノピー構造が存在することも知られている。そこで、下丘を背外側部と腹内側部に分割し、USV(+)ユニットの占める割合を検討した結果、超音波発声は高い周波数成分を持つにも関わらず、二領域で USV(+)ユニットが含まれる割合には差がなかった。

本研究の結果と考察から以下のことが示唆される。まず、超音波発声への応答ニューロンの存在部位は、トノピー構造から予想されるものと異なっていたので、下丘における超音波発声への情報処理は単

なる周波数検出ではないと考えられる。つまり、音の持つ周波数という物理学的な手がかりを超えた情報を処理することで、超音波発声の処理を行っているということである。

また、USV(+)には Multi-Peak 型神経応答が多いことから、下丘内部に存在する複雑で局所的な神経回路ネットワークが超音波発声の情報処理には寄与している可能性がある。多峰性反応ピークは、下丘の局所回路において時間遅れを伴った複数シナプスに媒介された複数回の入力の原因であると想定されているので、超音波発声への応答特性もそのような下丘での局所神経回路での演算の結果で生成されると示唆される。

一方、認知的処理を行う大脳皮質聴覚野の関与も看過できない。聴覚野は超音波発声の情報処理へ関与し、下丘はその大脳皮質聴覚野から入力を受けている。その大脳皮質聴覚野からの下降性入力は、USV(+)ユニットが多かった下丘の外側皮質に多く終始するからである。また、皮質活動の一時的不活性化によって下丘における周波数選択性や音源定位などが阻害されたという先行研究からも、下丘での超音波発声の処理には大脳皮質からの入力が重要なのであろう。

以上をまとめると、下丘内局所回路での演算によって下丘単独でもある程度の精度で超音波発声を検出しうるが、大脳皮質聴覚野からの下降性入力による修飾を加えることで、より精緻化された超音波発声への神経応答を実現していると示唆される。(行動生理学)