

京都大学	博士（医学）	氏 名	藤 本 久 貴
論文題目	Neural Coding of Syntactic Structure in Learned Vocalizations in the Songbird (後天的に獲得された音声信号における文法情報の神経内コーディング)		
(論文内容の要旨)			
ヒトの音声言語は、有限個の音素により構成されているにもかかわらず、音素の配列が文法規則に従い、無限に変化する。ヒトは、このように文法規則に従う音声を模倣学習するが、脳がどのように文法規則に関する情報を扱っているかという事は殆ど未解明である。その原因の一つとして、ヒトと同様に文法規則をもった音声を学習する適当な哺乳類モデル生物が存在しないことがあげられる。 一方スズメ目に分類される songbird は、ヒトの言語発達と同様の模倣学習のプロセスにより音声を学習する。その中でもジュウシマツは、有限個の音素と各音素間の遷移ルールにより定義される正規文法というヒトの言語にも見られる文法規則に従う多様な音声パターンを発声する。 songbird の音声制御系神経回路は、哺乳類の脳・基底核・視床と相同な神経回路である。特に皮質部前運動領域（HVC）から線条体（areaX）への経路は、音声制御の獲得のみならず、音声の認識にも関与していると考えられている。音声制御系神経回路が文法規則の情報をどのように処理するか明らかにするために、ジュウシマツの HVC から areaX への投射ニューロン（HVC_Xニューロン）の単一ニューロンレベルの神経活動計測を自由行動下において行った。 音声における正規文法を定義するためには、各音素と、音素間の遷移の情報が必要である。そのため、発声時の HVC_Xニューロンの神経活動の中に、特定の音素あるいは特定の音素間の遷移と相関のある神経活動があるかどうかを調べた。その結果、発声中に出現する HVC_Xニューロンのバースト発火は、前後の音素配列に影響されず特定の音素に選択性を示す「音素選択的」バースト発火と、特定の音素間の遷移に選択性を示す「遷移選択的」バースト発火に分類できる事が明らかになった。このことは、HVC_Xニューロンが、各音素の情報および音素間の遷移の情報という、質的に異なるが共に正規文法の定義に必要な文法属性をコードしている事を示す。 次に、これらの異なる文法属性のバースト発火は異なる神経情報処理によって生成されると予想されるが、それが細胞種などによって規定されているかどうかを明らかにするために、文法属性の分布を細胞ごとに調べた。その結果、多くの HVC_Xニューロンは複数の音素において活動を示すが、異なる文法属性の活動が単一の細胞の中に混在している事が明らかになった。このことは、HVC_Xニューロンにおける文法属性のコーディングの仕方は、あらかじめ決定されているのではなく、後天的に得られたものであることを示す。 最後に、HVC_Xニューロンが文法情報の抽出に関わっているかどうか明らかにするために、聴覚時の活動を計測した。HVC_Xニューロンの一部は、自分の音声を聴いたときにも発声時に類似した活動を示す、ミラーニューロンの性質			

を持つ事が知られている。今回の計測の結果、ミラーニューロンとしての振る舞いを示す神経の一部は、聴覚時にも特定の遷移に志向性を持った活動を示し、その志向性は発声時と相同であることが明らかになった。このことは、今回明らかになった HVC_Xニューロンにおける文法属性のコーディング様式が、聴覚情報より文法規則を抽出して発声に応用する能力に関わっている可能性を示唆する。 以上の結果により、皮質部前運動領域から線条体に投射している神経細胞は、正規文法の定義に必要な文法情報をコードしており、それは後天的に獲得されると考えられる事が明らかになった。さらに、その情報は発声時のみならず、音声学習時等に聴覚情報より文法規則を抽出する際にも利用されている事が示唆される。
(論文審査の結果の要旨) ヒトは、文法規則に従う音声言語を後天的に獲得するが、脳がどのように文法規則に関する情報を扱っているかほとんど未解明である。申請者は、脳が音声における文法規則をどのように処理するか、単一細胞レベルで明らかにするために、ヒトと同様に模倣により文法規則をもった音声を学習するジュウシマツを用いて解析を行った。 ジュウシマツの音声における文法規則は、音素の種類と各音素間の遷移を定義する正規文法に分類される。音声制御中枢である皮質部前運動領域（HVC）から線条体（areaX）へ投射する HVC_Xニューロンの細胞外記録を行ったところ、発声時の HVC_Xニューロンの神経活動が、前後の音素配列に影響をうけず特定の音素に選択性を示す「音素選択的」バースト発火、さらに特定の音素間の遷移に選択性を示す「遷移選択的」バースト発火に分類できることが明らかになった。これは HVC_Xニューロンが各音素の種類および音素間の遷移という正規文法を表現している事を示す。さらに文法規則に従って変化する音声を聴覚刺激とすると、一部の HVC_Xニューロンが発声時と同様の「遷移選択的」な神経活動を示した。これは聴覚情報より文法規則を抽出することで、文法規則をもった音声の獲得や維持している可能性を示唆する。 以上の研究は、音声における文法規則に関する神経情報処理の解明に貢献し、神経科学に寄与するところが多い。したがって、本論文は、博士（医学）の学位論文として価値あるものと認める。 なお、本学位授与申請者は、平成23年8月11日実施の論文内容とそれに関連した試問を受け、合格と認められたものである。