

(論文内容の要旨)

霊長類は視覚への依存度が高く、視覚機能が良く発達している。視覚機能の中で特に形の知覚は、対象が何であるかを識別するときに重要な役割を果たしている。形は色、明るさ、表面性状(テクスチャー)、奥行、動きなど様々な特徴の違いを手がかりに知覚される。一方、サルの大脳皮質においては、運動情報と形態情報は別々の脳領域で処理されることが知られている。しかしながら、特定の対象を一つの統一した対象として認知するためには、別々に処理された運動情報と形態情報の統合が必要である。特に、動きが手がかりとなる形の知覚(Shape-From-Motion, SFM)の条件では、形と動きの知覚の統合過程が不可欠である。先行研究によれば、SFM 条件での図形識別は、運動情報を担う第五次視覚野(middle temporal area, MT)、形態情報を担う第四次視覚野(V4)のどちらを破壊しても悪くなることが報告されている。しかし、SFM 条件の形の処理に MT と V4 がどのように関わるかは明かにされていない。本研究では、サルが SFM 条件の図形弁別課題を遂行中に、MT と V4 から単一ニューロン活動を記録し、SFM 条件での図形識別時のニューロン応答から情報処理の仕組みを明らかにすることを目指した。MT は SFM 条件で図形の違いを反映した応答を示し、一方明るさの違いを手がかりとした形知覚(Shape-From-Luminance, SFL)の条件では、その様な応答を示すニューロンは少なかった。V4 は SFM 条件と SFL 条件の両方で図形の違いを反映した応答を示した。SFM 条件では、動きの方向に選択性を示す MT ニューロンの活動が先行し、図形に選択的な MT と V4 のニューロンはやや遅れてほぼ同時に活動し、その後前部上側頭溝の下壁で図形が識別されることが示唆された。一方、SFL 条件では主として下部側頭連合野を含む腹側経路で処理が行われることが示唆された。

(論文審査の結果の要旨)

脳内における視覚情報処理の初期過程では、視覚情報を要素へと分解し別々に処理されることが知られている。しかし、その一方で、外界の統一した対象の理解には、分解された情報の統合が不可欠であり、また、分解された情報の処理過程の中間段階においても、同じ対象の情報を処理していることの「理解」を異なる脳領域間、あるいは、同じ脳領域内の異なる細胞同士で共有する必要がある。視覚情報処理の分析的過程についての研究は多いが、こうした情報統合の過程についての研究は少ないのが現状である。申請者は、情報統合の必要な視覚情報処理過程として、動きを手掛かりとした図形識別(SFM)条件を設定し、その脳内機構解明を目指した。2つの学習課題、図形識別課題と方向弁別課題を複数のサルで訓練するとともに、SFM条件のみでなく、明るさの違いを手掛かりとした図形識別(SFL)条件を設定しテストした。さらに、2つの脳領域、動きの情報処理を行うMTと図形要素の処理を行うV4から単一ニューロン活動を記録し解析した。その結果、MTはSFM条件で図形の違いを反映した応答を示し、SFL条件では、図形の違いを反映した応答を示すニューロンが少なかった。また、SFM条件の方がSFL条件よりも大きな応答を示した。一方、V4はSFM条件とSFL条件で図形の違いを反映した応答の比率も応答の大きさも同程度であった。視覚応答や図形選択的応答の潜時を比較すると、SFM条件では、動きの方向に選択性を示すMTニューロンの活動が先行し、図形選択的応答を示すMTニューロンとV4ニューロンがやや遅れてほぼ同時に活動した。先行研究で記録した前部上側頭溝の下壁の図形選択性はこれらの活動からさらに遅れていた。以上の結果から、SFM条件では、MTが動きを検出し、その情報がV4に送られ、その情報を使って図形要素が検出される。さらに、この情報が下部側頭連合野にある前部上側頭溝の下壁に送られ、図形が識別されることが示唆された。一方、SFL条件ではMTは積極的な役割は果たさず、V4から下部側頭連合野を含む腹側経路で処理が行われることが示唆された。

以上のように、申請研究は動きを手掛かりとした図形識別(SFM)の脳内機構解明を目指し、複数の学習課題を設定し、複数の領野からニューロン活動を記録・解析した。その結果、動きの情報処理を担うMTと図形処理を担うV4の連携した働きについて、細胞レベルで多くの新しい知見を示した。以上の評価に基づき、申請論文は博士(理学)の学位論文として価値あるものと認めるとともに、論文内容とそれに関連した試問の結果合格と認めた。