

氏名（本籍）	佐藤 多加之（東京都）
学位の種類	博士（神経科学）
学位記番号	博乙第 2715 号
学位授与年月	平成26年11月30日
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当
審査研究科	人間総合科学研究科
学位論文題目	マカクザル下側頭葉皮質における階層的な機能構造

主査	筑波大学教授	博士（理学）	松本 正幸
副査	筑波大学准教授	博士（医学）	西丸 広史
副査	筑波大学講師	博士（医学）	尾崎 繁
副査	筑波大学教授（連携大学院）		高島 一郎

論文の内容の要旨

（目的）

下側頭皮質は物体認識を担う脳領域として注目されているが、特にその前方部にある TE 野には「カラム」と呼ばれる構造の存在が指摘されている。カラムとは、直径約 500 μm で皮質表面から白質まで届く円柱状の構造で、その中の細胞は似た図形特徴に反応することが示されている。先行研究はこのカラムこそが物体認識を担う基本的な構造単位であることを示唆しているが、近年、カラムの 10 倍程度の大きさ（直径 5mm 程度）を持つ「パッチ」と呼ばれる新たな構造単位が TE 野で報告された。このパッチは、顔など特定の視覚カテゴリーに対して反応する構造である。本研究は、2 つの実験を通して、カラムとパッチという空間スケールの異なる構造が TE 野上でどのように存在するのかを明らかにしようとし、その機能的な役割について考察している。

（対象と方法）

実験 1 では、従来知られていた TE 野におけるカラム構造に関してより詳細に解析を行った。前述の通りカラム内の細胞は似た図形特徴に反応するが、一方で同じカラム内の近傍の細胞であっても、様々なカテゴリーを含む多数の物体像に対する刺激選択性を調べるとその類似度は低く、従来のカラム構造の概念と一見矛盾する結果が得られることも以前から報告されていた。この実験では、3 頭のマカクザル (*Macaca mulatta*) に複数の視覚刺激を呈示し、内因性信号による光計測と電気生理学的手法によって TE 野の神経活動を記録した。まず、光学測定によって TE 野のカラムを同定した。そして、電気生理学的手法により、同じカラムあるいは異なるカラムの細胞から神経活動を記録してその刺激選択性を比較し、カラム内外の刺激選択性の類似度を解析した。

実験 2 では、カラム構造とパッチ構造という大きさの異なる 2 つの機能構造が、いかにして同じ TE 野上に存在しているのかという問題に取り組んだ。そのため、3 頭のマカクザルに視覚刺激を呈示し、

電気生理学的手法を用いて TE 野の広い範囲から神経活動を記録した。そして、各記録部位の刺激選択性を比較することによって、TE 野におけるカラム構造とパッチ構造の分布を推定した。

(結果)

実験 1 では、従来知られていた TE 野におけるカラム構造に関してより詳細に解析するため、近傍の細胞の刺激選択性の類似度に加えて、同じカラム内の近傍の multiple unit activity (MUA) 間の選択性の類似度、カラム内で記録された全ての MUA を平均して得られる反応（平均 MUA）の選択性と、個々の細胞との間の選択性の類似度も調べた。その結果、同じカラム内にある細胞であっても、刺激選択性が完全に一致するわけではなく、その刺激選択性は個々の細胞に特異的な性質と、カラム内の細胞に共通な性質という 2 つの特徴によって説明できることが明らかになった。

実験 2 では、カラム構造とパッチ構造という大きさの異なる 2 つの機能構造がどのように TE 野上に存在しているのかを明らかにするため、TE 野の広い範囲から多数の平均 MUA を記録し、その刺激選択性から記録部位を複数のグループに分けた。その結果、顔や体といったカテゴリーを表現するパッチ構造に類似した領域の存在を確認した（脳血流を反映する fMRI によって同定されたパッチ構造に対し、電気生理学的手法を用いた本研究はこの構造を「ドメイン」と呼称している）。また、ドメイン内の各記録部位は、顔といった特定のカテゴリーに反応するという点では共通であるが、サル顔やヒト顔といった下位の分類に関してはサイト毎に異なる反応性を示し、ドメイン内が均質な構造ではないことが明らかになった。この結果は、ひとつのドメイン構造の内部に複数のカラム構造が存在することを示唆する。

(考察)

本研究は、TE 野が、個々の細胞、カラム、ドメインという 3 段階の階層構造を取ることを明らかにした。この階層構造は空間的な広がりだけでなく、それぞれの階層で異なるレベルの視覚情報が処理されている可能性がある。このような視覚情報処理は、同一平面上で同時進行的に進んでおり、大脳皮質の限られたスペースでしかも限られた時間内に情報処理を行えるように適応した優れたシステムであると言える。

視覚には「弁別」と「カテゴリー化」という 2 つの異なる役割がある。たとえば、ある顔の画像を見たとき、目や鼻などの形や毛の生え方などからそれがヒトの顔かサルの顔かを容易に弁別することができる。一方で種の違いに囚われず顔といった大きなカテゴリーで捉えることによって、顔以外の物体像と見分けることができる。TE 野の階層構造の中で、「弁別」に必要な視覚情報はカラムによってコードされ、「カテゴリー化」に必要な視覚情報はドメインによってコードされており、このような階層構造こそが、我々の視覚機能を支える重要な神経基盤であると推測される。

審査の結果の要旨

(批評)

脳の視覚野では、視覚機能を担う構造単位として、似た視覚刺激に反応するカラム構造の存在が報告されている。本論文は、このカラム内の刺激選択性が、個々の細胞に特異的な性質と、カラム内の細胞に共通な性質という 2 つの特徴によって説明できることを明らかにした。また、TE 野にはカラム構造の他に、パッチ（本論文ではドメイン）と呼ばれるより大きな機能構造が存在する。本論文は、この 2 つの構造が同一平面上に重なって存在し、TE 野が複雑な階層構造を形成していることを明らかにした。

このような階層構造は霊長類が持つ優れた視覚機能を実現する神経基盤であると考えられ、本論文は、その解剖学的・電気生理学的特徴を明らかにした点で高く評価できる。

平成 26 年 4 月 25 日、学位論文審査委員会において、審査委員全員出席のもと論文について説明を求め、関連事項についての質疑応答を行い、学力の確認を行った。その結果、論文の修正を求める意見が出された。提出された修正について審査した結果、平成 26 年 9 月 16 日、審査委員全員が合格と判定した。

よって、著者は博士（神経科学）の学位を受けるのに十分な資格を有するものと認める。