

学 位 論 文 の 要 旨

氏 名

山口 玲欧奈

学位論文題目

観察角度に依らない物体認識に関わる側頭連合野の情報処理

本論文は、観察角度に依らない物体認識の形成に関わる事前経験およびそれに伴う神経細胞の応答についての研究結果をまとめたものである。

第1章は、本研究の背景について述べたものである。大腦には多くの神経細胞が存在し、さまざまな視覚機能処理している。しかし、そのメカニズムには不明な点が多い。腹側視覚経路の最終段に位置する側頭葉下部皮質は物体認識に深く関連している。側頭葉下部皮質神経細胞の活動を計測することは、視覚機能の解明に役立つと考えられる。本章では、これまでに報告された側頭葉下部皮質における視覚情報の表現についての研究結果をまとめた。

第2章では、同じ観察角度で類似度の高い物体同士の弁別経験に伴う単一神経細胞の応答を調べた。我々はサルを対象とした行動実験から、同じ観察角度で物体同士の弁別を経験すると、観察角度が60度変化しても、物体を弁別できることを発見した。本研究では、事前にサルに同じ観察角度で物体同士の弁別を経験させ、経験した物体画像に対する側頭葉下部皮質の神経細胞の応答を調べた。観察角度が30度離れていても、最適刺激と同じ物体の観察角度像に対する応答は、異なる物体の観察角度像に対する応答よりも有意に大きかった。この結果は、同じ観察角度で類似度の高い物体同士の弁別を経験すると、神経細胞は30度程度の観察角度許容性を示すことを示唆する。

第3章では、観察角度が大きく離れた観察角度像の連合経験を支える脳内メカニズムを明らかにするために、神経細胞集団の応答を調べた。事前に90度間隔までの連合学習を経験した観察角度像に対する単一神経細胞の応答を用いて細胞集団を構成し、観察角度像に対する細胞集団の応答パターンを比較した。刺激呈示後220-280ms間において、90度間隔まで同一物体の観察角度像間の応答パターンの類似度は、異なる物体の観察角度像間の応答パターンの類似度よりも有意に大きかった。これは、90度間隔まで観察角度間隔が大きくなっても、細胞集団の脳内表現によって物体間の弁別ができることを示唆する。

第4章では、神経ネットワークにおける情報処理を理解するために、興奮性神経細胞と抑制性神経細胞のはたらきを調べた。本研究では、物体認識に重要であるニホンザルの側頭葉下部皮質を対象とし、細胞外で記録した活動電位の波形を基に分類した興奮性神経細胞と抑制性神経細胞の反応を調べた。長期的に視覚経験させた三次元物体像に対する興奮性神経細胞の刺激選択性は、抑制性神経細胞の刺激選択性よりも大きく、神経細胞の種類によって刺激選択性は異なっていた。本研究の結果は側頭葉下部皮質における物体認識に関わる神経回路の解明につながると期待される。

第5章では、回転を伴った神経細胞の電気生理学的反応を調べた。日常生活において、観察角度に依らない物体認識は、いくつかの観察角度での物体の弁別によって物体の特徴を認識する経験と、回転の中で異なる観察角度像を連合する経験によって形成されることが考えられる。先行研究では、サルに対して、観察角度を変化させずに物体の特徴を認識する経験を与え、経験した観察角度像に対する神経細胞の応答を調べた。しかし、回転における異なる観察角度像の連合経験が、神経細胞に対してどのような影響を与えるかは明らかになっていない。本研究では、回転を伴った神経細胞の電気生理学的反応を調べることを目的とした。記録した単一神経細胞の応答から細胞集団の振る舞いを調べたところ、細胞集団の応答の変化と視覚刺激の特徴の変化は対応していた。この結果から、回転という経験は、共通する特徴を持つ視覚刺激の表現を結びつけることを示唆する。

第6章では、観察角度に依らない物体認識の形成に関わる事前経験およびそれに伴う神経細胞の応答を総括した。本論文において、観察角度に依らず物体を認識する能力は、いくつかの観察角度での物体の弁別によって物体の特徴を認識する経験と、回転の中で異なる観察角度像を連合する経験によって形成されることを明らかにした。また、これらの経験に伴う単一神経細胞の応答および細胞集団の応答を明らかにした。以上より、観察角度に依らない物体認識の情報処理機構の解明へ新たな見解を示した。

Summary of Doctoral Dissertation

Title of Doctoral Dissertation:

Information processing underlying view-invariant object recognition

Name: Reona Yamaguchi

This thesis mainly summarized the neural activity associated with view-invariant object recognition.

Chapter 1 gives background information of this thesis. The inferotemporal cortex has been thought to play an essential and specific role in visual object recognition. To record the neural activity in the inferotemporal cortex is useful to reveal the visual object recognition process. This chapter introduces the recent experimental findings and theories on the visual object recognition, and then provides the background of current research.

Chapter 2 examines the responses of single neurons to the object images that the monkey had experienced in the training of discrimination among similar objects at each of the multiple viewing angles. Our previous behavioral experiments showed that after experiencing a new set of object stimuli during a task that required only discrimination at each of four viewing angles at 30 deg intervals, monkey could recognize the object across changes in viewing angle up to 60 deg. To reveal the underlying neuronal mechanism, we recorded activities of neurons from the inferotemporal cortex after the prior experience. The author found that there was significant difference between responses to the preferred and non-preferred objects not only at the preferred viewing angle but also at angles 30 deg different from the preferred viewing angle. These results suggest that experience of discriminating new objects in each of several viewing angles increases in tolerance for changes in view.

Chapter 3 analyzes the responses of cell population in the inferotemporal cortex to object views with the experience of association learning. The author have previously demonstrated that the inferotemporal cells responded tolerantly in a certain range of viewing angle to objects even if without any prior experience learning the association between the views. However, the neuronal mechanism underlying the object recognition across largely separated views remains unclear. In this chapter, the author focused on the response similarity of a population of inferotemporal cells to object views with different prior experiences. The author found significant higher similarity in responses to 90 deg separated views at the time period of 220-280 ms after object image presentation than that without any prior discrimination experience across views. The results suggest that the object discrimination across large viewing angle could be explained by the neuronal activity of cell population in inferotemporal cortex.

Chapter 4 examines stimulus selectivity of putative excitatory and inhibitory cells in the inferotemporal cortex. To understand the information processing in a neuronal network, we need to investigate the functions of excitatory and inhibitory cells. In this chapter, the author explored the response of putative excitatory and inhibitory cells in the inferotemporal cortex that were classified by the duration of extracellular spike waveform. The author found that stimulus selectivity of putative excitatory was higher than that for putative inhibitory cells. The results demonstrated a cell-type dependency of stimulus selectivity, which may contribute to the modeling on object recognition in the inferotemporal cortex.

Chapter 5 examines the responses of neurons in the inferotemporal to the object images that the monkey had experienced in succession during rotation. In natural life, capability to recognize objects across changes in viewing angle develops as the viewer discriminates among objects at each of multiple viewing angles and repeatedly sees the object and distractors in rotation. The author have previously demonstrated that single neurons of inferotemporal cortex responding to the object sets that the monkeys had experienced in training of the discrimination between views of 3D artificial objects at each of the multiple viewing angles showed tuning curve width of about 30 deg. However, the underlying neuronal mechanism for the association between views during rotation remains unclear. In this chapter, the author investigated the responses of cell population based on single neurons in the inferotemporal cortex to the object images that the monkey had experienced in succession during rotation. The changes of population activities were similar to the changes of object features. These results suggest that rotation provide that representations for the views which have same features were associated.

In Chapter 6, the results of this study were summarized.