

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 2 日現在

機関番号：82401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24700270

研究課題名(和文) 下側頭葉における脳の内部状態に依存した動的情報表現の検証

研究課題名(英文) Behavioral task demands modulate object tuning of neurons in the inferior temporal cortex.

研究代表者

大橋 一徳(O'Hashi, Kazunori)

独立行政法人理化学研究所・脳科学総合研究センター・研究員

研究者番号：90617458

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：外部からもたらされる視覚情報は神経細胞集団によって脳の内部状態に依存して動的に表現されているという仮説の検証を行うため、3つの行動課題に習熟したマカクザル下側頭葉における神経細胞集団の同一視覚刺激セットに対する視覚応答を計測した。その結果、同一視覚刺激に対する、コラム構造の刺激選択性は遂行中の課題に応じて変化することが明らかになった。また、課題の違いによる影響は視覚刺激に対する時間応答特性の変化にも現れていた。さらに、皮質層間における情報の流れを電流源密度解析を用いて調べたところ、コラム構造反応の脳状態依存性は皮質層間における視覚情報の流れ方の違いによって決定されている可能性が示された。

研究成果の概要(英文)：To verify a hypothesis that neural representation dynamically alters with mental state, we recorded spike activities and local field potentials (LFPs) from the inferior temporal object columns in a monkey performing three different tasks with identical visual stimuli: fixation, attention and memory tasks, using a multi contact electrode. I observed that the identical stimulus set elicited different columnar object responses, depending on the task demands: mental states. Particularly, task demands affected on neural response dynamics to visual stimuli. To investigate how the task dependency occurs, I applied current source density (CSD) analysis to LFPs obtained from each task. CSD results demonstrated that information flow among cortical layers changed with task demand, although the flows just after visual input were consistent among tasks. These results suggest that task dependent responses would result from the difference of visual information flow among cortical layers.

研究分野：システム神経科学

キーワード：情報表現 多点電極

1. 研究開始当初の背景

脳の情報表現方式を理解するにあたり、動物に様々な刺激を与え、個々の神経細胞がどの刺激に対してどう反応するのか、つまり神経細胞の刺激選択性を調べるということが神経科学の黎明期以降、繰り返されてきた。しかしながら近年、脳は外部からの入力をただ受動的に受け取って処理しているのではなく、入力を受けた時点の脳の内部状態に応じて処理方式を変化させることが明らかになってきた。これら一連の報告は、脳の情報表現方式を理解する際、“刺激に対する神経細胞の選択性”と“その刺激が呈示されたときの脳の状態”という二つのパラメータを同時に考慮する必要があることを示唆している。他方、大脳皮質は脳表面から垂直に層構造をもち、層ごとに異なる情報処理をしている。また、脳内において情報は単一神経細胞ではなく神経細胞集団による3次元ネットワークとして分散表現されている可能性が高い。以上のことから、“情報は神経細胞集団によって脳の内部状態に依存して動的に表現されている”という仮説が提唱されている。

2. 研究の目的

本研究は、“刺激に対する神経細胞の選択性”と“その刺激が呈示されたときの脳の状態”という二つのパラメータをまとめた“脳の内部状態に依存した動的情報表現”という脳の情報表現に関する仮説を神経細胞集団レベルで検証することを目的としている。

3. 研究の方法

マカクザル視覚野下側頭葉は複雑な物体情報を単純な物体を表現するコラム構造の組合せによって表現していることが知られている。その性質により本研究ではマカク下側頭葉を研究対象として選んだ。まず、サルの脳内部状態を操作するために、3つの行動課題（注視、注意、記憶(図1)）を実行出

来るように訓練し、それぞれの課題正答率が80%を越えるまで訓練を繰り返した。

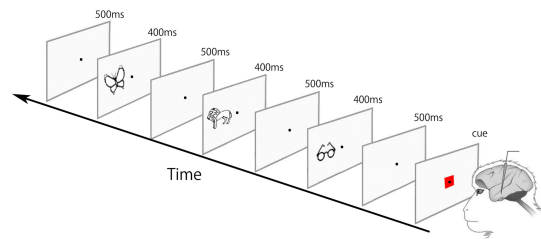


図1：行動課題の模式図

注視：注視点を見る。

注意：物体が歪めばボタンを離す。

記憶：最初に呈示された物体と同じものが現れたときボタンを離す。

訓練完了後、研究に使用する一部の視覚刺激セットに対する下側頭葉コラム構造を内因性光学計測法によって麻酔下の動物から可視化、同定した(図3左)。次にこの同定したコラム構造をターゲットとして多点電極を視覚野皮質浅層から深層すべてをカバーするように刺入し、視覚刺激に対する神経活動として、活動電位と局所電位を計測した。これらの手順を通して、皮質コラム、層に分散して存在する神経細胞集団の各視覚刺激に対する反応および細胞間の関係性を脳の内部状態別に分類した。

4. 研究成果

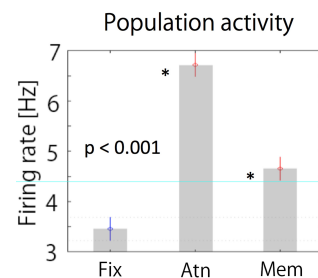


図2：神経活動の脳内部状態依存性各行動課題時に計測された平均神経活動の比較。

脳の内部状態の違いが神経細胞の反応性に影響を与えるかどうかを検証するため、各課題実行時に計測された全神経活動の平均値を比較した。その結果、各課題で得られた神経活動は各々有意に異なることが明らか

になった(図2)。神経活動を得るために使用された視覚刺激は各課題で共通であることから、活動の違いは脳の状態の違いを反映した結果だと思われる。次に、各神経細胞の刺激選択性を課題別に調査したところ、個々の神経細胞においても課題の影響が有意に見られた。この結果は各神経細胞の視覚情報表現が脳の内部状態に応じて動的に変化することを示唆している。

同一コラム構造内に存在する神経細胞集団は類似した刺激選択性を持つことが麻酔下動物の研究によって明らかにされている。この知見が課題遂行時の動物においても正しいかどうかを検証した。その結果、麻酔下と同様、各課題において同一コラム構造内の神経細胞集団は類似した刺激選択性を持つことが確認された。この結果をふまえ、コラム構造内神経細胞集団の平均刺激選択性をそれぞれのコラム構造ごとに調査したが、コラム構造の刺激選択性も課題に応じて変化することが観測された(図3右)。

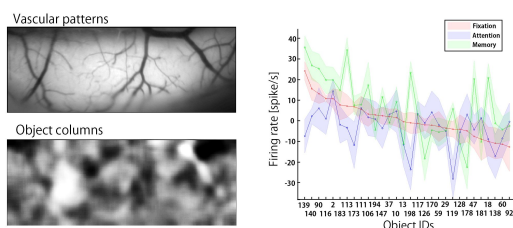


図3：物体コラム構造と刺激選択性
左図：下側頭葉の脳血管パターン(上)と物体コラム構造(下)。物体コラムは黒いパッチ状の構造として内因性光学計測法によって可視化されている。
右図：特定コラムにおける刺激選択性。

脳内部状態のコラム構造に対する影響を詳しく調べたところ、視覚刺激に対する時間応答特性に大きな変化が現れていることが分かった。すなわち、注視状態における視覚応答の時間応答は刺激ごとに異なっているが、注意、記憶課題遂行時になると、呈示刺激が異なっているにもかかわらずお互いの時間応答が相関を持つようになった。特に記

憶課題時では記憶対象の時間応答と他の刺激に対する応答に強い相関が現れることが明らかになった。また、記憶対象の違いは他刺激との相関の強度に反映されていることも同時に明らかとなった。

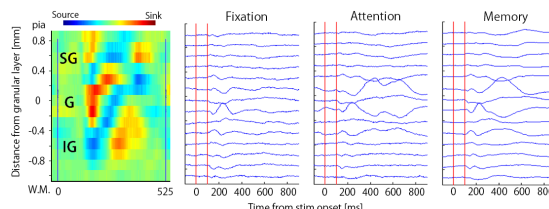


図4：脳内部状態に応じた皮質層における情報の流れ

左図：CSD プロファイル
SG: supragranular layer
G: granular layer
IG: infragranular layer
右図：CSD プロファイルの脳内部状態依存性

脳内部状態に依存したコラム内における皮質層間の視覚情報の流れを明らかにするため、皮質層別に計測された局所電位を用いて、電流源密度解析(CSD)を行った。まず、計測が浅層から深層の全てに渡って行われていることを確認した後(図4左)、注視状態を基準として情報の流れの解析を行った(図4右)。注視状態と比較して、注意、記憶課題遂行時は層間での情報の伝播が刺激呈示後も長時間続き、注意と記憶状態間では情報伝播が起こる層において違いが見られた。これらの結果は、コラム構造の刺激選択性の脳状態依存性は皮質層間における視覚情報の流れ方の違いによって決定されている可能性を示唆している。

最後に、脳内部状態に依存したコラム構造における神経活動の時間応答は注視状態、注意状態、記憶状態それぞれ3つの状態に関連する独自の神経活動の線形和で形成されている、という仮定のもとで、コラム構造神経活動の時間応答特性に関するモデルを作成した。その結果、各脳状態におけるコラム構造刺激選択性をうまく再現することが出来た。これは、各脳状態で共通な神経活動成分

が存在していることを示唆していると思われる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 1 件)

1. 大橋 一徳、小原 慶太郎、谷藤 学
「下側頭葉神経活動の刺激選択性は行動タスクに応じて変化する」
第37回 日本神経科学大会、神奈川県、横浜、パシフィコ横浜
2014年9月12日

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者

大橋 一徳(Kazunori O'Hashi)
独立行政法人理化学研究所・脳科学総合研究センター・研究員
研究者番号:90617458