

令和 2 年 5 月 28 日現在

機関番号：82401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K01995

研究課題名(和文) 下側頭葉視覚連合野における階層的情報表現の解明

研究課題名(英文) Hierarchical representation of visual information in inferior temporal cortex

研究代表者

内田 豪 (UCHIDA, Go)

国立研究開発法人理化学研究所・脳神経科学研究センター・専門職研究員

研究者番号：50321732

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：物体の視覚的認識には、提示された物体像が属するカテゴリーを判定する分類と、物体像がある特定の物体と同一か否かを判定する同定がある。下側頭葉視覚連合野(IT野)は物体像の視覚的認識に不可欠な領野である。IT野には顔に選好的に応答する顔細胞がある。本研究では顔細胞が顔の分類と顔による個体識別に十分な情報を表現しているか否かを調べた。その結果、顔細胞のみならず、顔よりも顔以外の物体像により強く応じる非顔細胞も情報表現に寄与していることが分かった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

従来、顔の視覚情報処理は顔細胞のみで行われていると考えられていた。これは、顔細胞のみを調べて出てきた考えである。しかし、IT野には非顔細胞も存在する。本研究の意義は、非顔細胞も調べ、非顔細胞も顔の視覚情報処理に寄与すること、また非顔細胞が寄与する場合の方がより効率的な情報処理が可能であることを示したことにある。

研究成果の概要(英文)：There are two types of visual recognition of objects: classification and identification. Classification is to assign an object to the category to which the object belongs. Identification is to determine whether or not an object is the same as a specific object. The inferior temporal (IT) cortex is essential for visual perception and recognition of objects. In the IT cortex, there are neurons that preferentially respond to faces (face neurons). In this study, I investigated whether face neurons represent enough information for face classification and identification by faces. I found that not only face neurons but also neurons that respond more strongly to objects other than faces contribute to face classification and identification by faces.

研究分野：神経科学

キーワード：下側頭葉視覚連合野 顔 分類 同定 視覚情報表現 L1正則化ロジスティック回帰 機能コラム

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

ヒトは何ら努力することなく物体の形を見分けられるなど、優れた視覚情報処理能力を持つ。このような視覚情報処理の仕組みを探るために、ヒトと良く似た視覚系を持つサル（サルの脳）を用いた研究が広く行われている。特に、下側頭葉視覚連合野（IT 野）は、脳の中で視覚情報を処理する経路の最終段に位置し、物体の形の知覚および認識に不可欠な領域である。IT 野の多くの神経細胞は、物体像そのものではなく、その像に含まれる中程度に複雑な図形特徴に応じる。また、似たような図形特徴に応じる細胞は円柱状に集まっており、機能コラムと呼ばれる機能構造を形成している。機能コラムは IT 野における情報処理の 1 つの機能単位であり、物体像は IT 野に分布している複数の機能コラムの活動で表現されており、その組み合わせは物体像ごとに異なる。

これまで機能コラムは IT 野における唯一の機能構造として知られてきたが、最近の研究で私たちは IT 野により大きな機能構造があることを発見し、その構造を機能ドメインと名付けた。機能コラムの大きさは、直径 500 μ m 程度であるが、機能ドメインは数 mm から 10mm 程度の大きさを持つ。また、機能ドメインには複数の機能コラムが含まれており、それぞれのドメインに属する機能コラムは互いに似た物体像選択性を持つ。特に重要なのは、ドメインによって顔により強く応じる傾向のある機能コラムが集まっていたり、動物により強く応じる傾向のある機能コラムが集まっていたりすることである。これは、機能ドメインが物体のカテゴリーを表現している可能性を示唆している。一方、それぞれのドメインに含まれる機能コラムの物体像選択性は完全には一致していない。例えば顔により強く応じる傾向は同じでも、あるコラムは顔 A、顔 B、顔 C の順に良く応答するが、別のコラムは顔 B、顔 C、顔 A の順に応答するなどの違いがある。このことは、個々の顔が例えば顔に強く応じるドメインに含まれる機能コラムの異なる組み合わせで表現されていることを示唆している。以上のことをまとめると、IT 野の機能構造には階層性があり、物体のカテゴリーの階層性がそれに対応して表現されている可能性があるということが導ける。

2. 研究の目的

本研究の目的は、サルの IT 野の機能ドメインが物体のカテゴリー、特に社会的関係において重要である顔を他のカテゴリーから区別するのに本質的な情報を表現している一方、機能コラムが顔によって個体を識別するのに重要な情報を表現していることを実証し、物体のカテゴリーにおける階層性（個体は一番下の階層）が、機能構造の階層性に反映されていることを明らかにすることである。また、IT 野における顔カテゴリーの表現と、個体の顔に関する表現との間の関係、具体的には、顔に強く応答するドメインに含まれる機能コラムだけの組み合わせで、顔に基づく個体の識別が可能なのか否かを明らかにすることである。

3. 研究の方法

研究には複数のサルを用いた。それぞれのサルについて IT 野を広く露出し、多くの場所で細胞外電気記録を行い、記録箇所にある多数の神経細胞の様々な物体像に対する応答を記録した。物体像は、819 枚の顔画像および 731 枚の顔以外の物体像からなる。顔画像には 287 枚のサルの顔画像が含まれている。そのうち、6 個体についてはそれぞれ向きの異なる 20 枚の顔画像（個体セット）を用意した。また、顔以外の物体像は様々なカテゴリーから選ばれた。記録箇所は合計 288 か所である。

記録終了後、機能コラムの物体像選択性を求めた。そして、物体像選択性の相関を尺度としてコラムに対してクラスタリング解析を行い、サル毎に機能ドメイン、特に顔により強く応答する機能ドメイン（顔ドメイン）を同定した。次に、L1 正則化ロジスティック回帰という機械学習の分類アルゴリズムを用いて、顔と顔以外の物体像の識別に必要なコラムの集合を同定した。L1 正則化ロジスティック回帰は単純パーセプトロンと等価である。機械学習には複数の分類アルゴリズムがあるが、L1 正則化ロジスティック回帰は分類に最低限必要な要素以外の重みが 0 になるという特徴がある。最後に、個体セットを用いて、特定のサルの顔と他の特定のサルの顔の識別に必要な機能コラムの集合を、L1 正則化ロジスティック回帰により同定した。

4. 研究成果

クラスタリング解析の結果、一頭のサルから一つの顔ドメインが見つかったが、他のサルからは見つからなかった。そこで、着眼点を変えて記録したすべてのコラムについて、顔選好性の強さと L1 正則化ロジスティック回帰によって得られた重みとの関係を調べることにした。

各コラムの顔選好性の強さは、顔に対する応答が 1、顔以外の物体像に対する応答が 0 の人工コラムとの間の物体像選択性に関する相関係数で定義した。

分類に関しては顔選好性の強さと重みとの間に相関があった（図 1）。特に、顔よりも顔以外の物体像により強く応じるコラム（非顔コラム）も負の重みで分類に寄与することが分かった（図 1）。

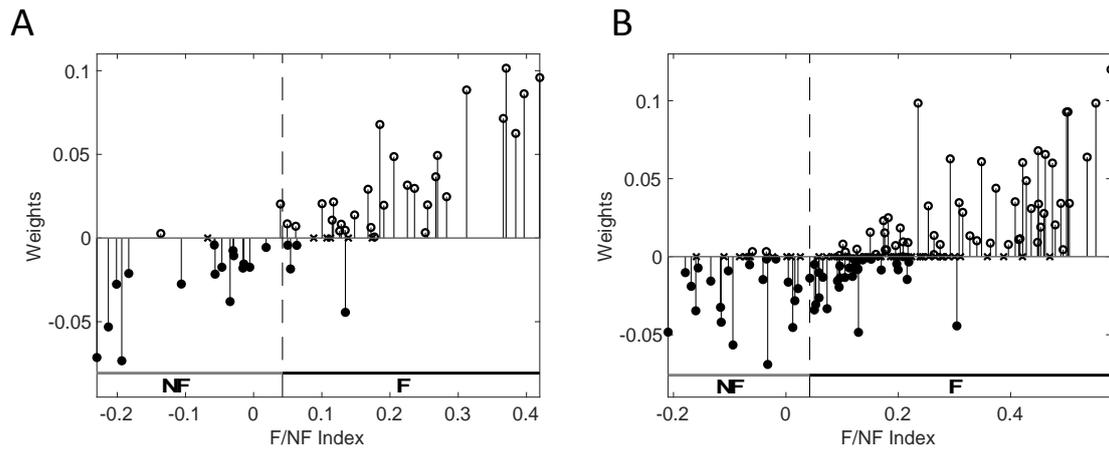


図1 二頭のサル（それぞれAとB）の分類に関するコラムの重みと顔選好性の強さとの関係

一方、同定に関しては顔選好性の強さと重みとの間に相関はなかった（図2）。特に、非顔コラムも負の重みのみならず、正の重みでも同定に寄与することが分かった（図2）。

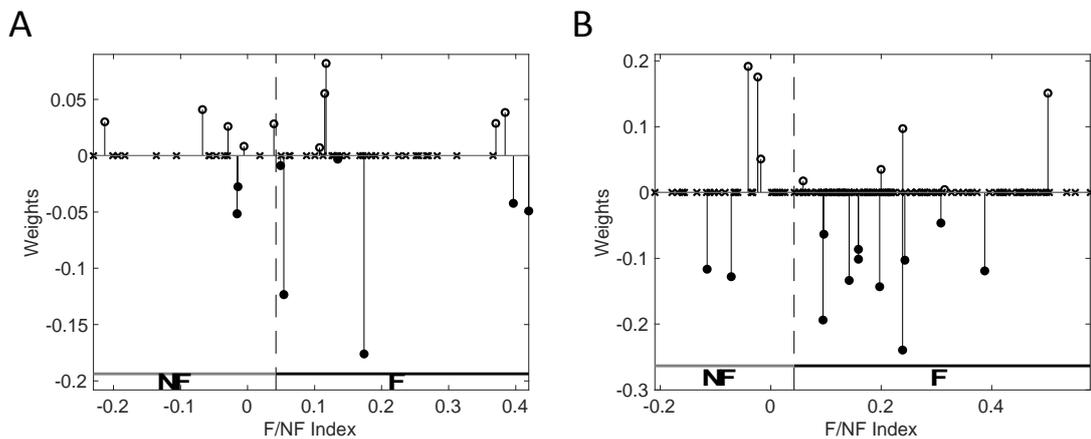


図2 二頭のサル（それぞれAとB）の同定に関するコラムの重みと顔選択性の強さとの関係

従来、顔の視覚情報処理は顔以外の物体像よりも顔により強く応じる細胞（顔細胞）のみで行われていると考えられていた。これは、顔細胞のみを調べて出てきた考えである。しかし、IT野には顔細胞だけでなく、非顔細胞も存在する。本研究の意義は、非顔コラムも調べ、非顔コラムも顔の視覚情報処理に寄与すること、また非顔コラムが寄与する場合の方がより効率的な情報処理が可能であることを示したことにある。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 榆井優子、内田豪、谷藤学
2. 発表標題 顔と顔以外の分類および顔による個体の識別に必要なサル下側頭葉視覚連合野の神経集団の違い
3. 学会等名 第42回日本神経科学大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----