

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 5月15日現在

機関番号：13101

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2011～2012

課題番号：23800026

研究課題名（和文）

皮質脳波 (ECoG) 法を用いた色と顔の知覚と想起の脳内メカニズムの解明

研究課題名（英文）

A study of cerebral mechanisms in the perception and retrieval of color and face using electrocorticography (ECoG)

研究代表者

谷川 久 (TANIGAWA HISASHI)

新潟大学・医歯学系・助教

研究者番号：40373328

研究成果の概要（和文）：

霊長類の色や顔の知覚および想起の脳内メカニズムを理解するために、それらの視覚情報の知覚や想起を必要とする行動課題をサルに学習させ、大脳皮質の下側頭葉皮質と前頭前野から皮質脳波を記録した。その結果、これらの領野において、視覚刺激依存的な皮質脳波活動パターンが、知覚中にも想起中にも生じることが分かった。また機械学習アルゴリズムを用いて、これらの活動から知覚内容や想起内容を解読することができた。

研究成果の概要（英文）：

To study cerebral mechanisms in the perception and retrieval of color and face of primates, we recorded electrocorticographic (ECoG) activities in the inferotemporal and prefrontal cortices of monkey that were performing tasks requiring perception or retrieval of such visual contents. We found that stimulus-specific patterns of ECoG activities in these cortices during perception and retrieval. We were also able to decode visual contents of perception and retrieval only from ECoG activities using a machine learning technique.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2011年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2012年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,500,000	750,000	3,250,000

研究分野：医歯薬学

科研費の分科・細目：神経・筋肉生理学

キーワード：脳機能計測、ブレイン・マシン・インターフェース、皮質脳波法、色覚、顔認知

1. 研究開始当初の背景

霊長類大脳皮質には多くの視覚関連領野が存在している。それらは機能的に分化し階層構造を形成しつつ、相互に連絡をとりながら複雑な視覚情報処理を行っている。また個々の領野内には、カラムと呼ばれる機能構

造が存在し、それらもまた相互に連絡を取り合って視覚情報処理を行っている。過去の多くの研究により、初期視覚野である第1次・第2次視覚野(V1, V2野)における機能構造と視覚情報処理のメカニズムが詳細に分かってきた。

しかしながら、初期視覚野以外の皮質領野の機能構造については詳細には分かっていない。第4次視覚野(V4野)や下側頭葉皮質(IT野)を含む中期・高次視覚野は、物体の視覚認識に不可欠な脳部位である。またこれらの領野は、意志判断や注意・記憶の想起に関係する領野である前頭前野(PFC野)や、記憶の形成に重要な働きを持つ側頭葉辺縁系と強い神経連絡を持ち、注意や記憶、意識などの高次脳機能とも密接に関係している。

過去の機能的磁気共鳴画像法(fMRI)や電気生理学・内因性光計測を使った研究から、IT野に色や顔に選択的に応答する機能構造があることが分かってきた。しかしながら、これらの複数の領野に分散した機能構造が、色や顔の知覚および想起にどのように相互作用しながら働いているのかは詳細には分かっていない。色や顔の知覚および想起の脳内メカニズムを包括的に理解するためには、これらの分散した機能構造を比較的に高い時間・空間分解能で同時に計測する必要がある。

本研究では、マカク属サル大脳皮質において複数の領野に広範囲に分布する機能構造の活動を、皮質脳波(ECoG)法を用いて計測する。ECoG法はヒトの癲癇発生部位の特定などに用いられ、硬膜下脳表面から電場電位を記録する方法である。多数の記録電極を薄いシート上の任意の場所に配置できるため、皮質上の広範囲の脳活動を同時に計測することが可能である。また皮質内に電極を刺入しないので、比較的低侵襲で長期にわたり安定した記録ができる。

2. 研究の目的

本研究では、サルが色や顔を知覚および想起している時に、V4野・IT野・PFC野における機能構造がどのように応答し、また相互作用しているのかを、ECoG法を用いて明らかにすることを目的とする。さらに機能構造間の解剖学的な神経連絡を、神経軸索トレーサーを用いて明らかにする。具体的な目標は次のとおりである。

(1) 色や顔の知覚メカニズムの解明

① 様々な色または顔の視覚刺激に対して選択的に応答する脳部位を同定し、それらの色および顔選択的応答部位が大脳皮質内で空間的に分離しているのかを検証する。

② 同定された色および顔選択的応答部位同士が、それぞれ色または顔の視覚刺激を提示中に活動の相関を示すかどうかを明らかにする。

(2) 色や顔の想起メカニズムの解明

① 様々な色または顔を想起(イメージ)している時に、それらの想起像に選択的に応答する脳部位が存在するのかを明らかにする。また存在した場合、それら想起によって活動

を示す部位が、視覚刺激を実際に知覚しているときの活動部位と一致するのかを調べる。

② 同定された色および顔選択的応答部位同士が、色または顔を想起(イメージ)している時に活動の相関を示すかどうかを明らかにする。

(3) 色や顔選択的応答部位間の神経連絡の解明

① 同定された色および顔選択的応答部位が、神経連絡しているのかどうかを解剖学的に明らかにする。

3. 研究の方法

(1) ECoG電極の設置

2匹のニホンザルのIT野, V4野, PFC野に、192極のECoG電極を麻酔下手術によって設置した。ECoG電極としては、長谷川功らが開発した柔軟メッシュ型ECoG電極(Toda et al., Neuroimage 2011; 電極間距離は縦横2.5mm)を用いた。

(2) 行動課題の訓練・脳活動の記録

① 注視課題

サルにコンピューターモニター上の点を注視するように訓練した(注視課題)。一定期間注視できるようになった後、様々な色や顔、形からなる視覚刺激セットを用意し、注視課題遂行中のサルにランダムに提示した。

② 対連合学習課題

次にサルに、注視課題で用いられた刺激を使って対連合学習課題を学習させた。対連合学習課題では、白黒刺激が手掛かり刺激として提示し、何も提示しない遅延期間(2秒間)後に色刺激(色想起課題)もしくは顔を含む物体刺激(物体想起課題)を選択刺激として提示した。サルが注視点消失後、手掛かり刺激と対となっている刺激(対連合刺激)を選択するように訓練した。

③ 皮質脳波記録

上記の課題が一定の成功率で遂行できるようになった段階で、課題遂行中のサルの皮質脳波を記録した。色や顔・形に選択的な応答を示すECoG電極の応答特性を時間周波数解析などを用いて調べた。

④ 皮質脳波からの視覚情報の解読

視覚刺激提示中、または遅延期間中の皮質脳波の活動にどのような情報が含まれているのか調べるために、個々の電極から記録された特定の周波数帯の応答を特徴量として、サポートベクターマシーン(SVM)と呼ばれる機械学習のアルゴリズムを用いて解析した。

(3) 神経軸索トレーサーの注入

実験の最後に、同定された色や顔選択的応答部位に神経軸索トレーサーを注入し、灌流固定後、脳切片を作成し、同定された部位間の神経連絡を調べる予定であるが、現在もサルから皮質脳波記録を行っているので、トレーサーの注入はまだ行っていない。

4. 研究成果

(1) 色や顔を知覚中の皮質脳波活動

赤・緑・青で色づけされた視覚刺激を提示中の IT 野と PFC 野の皮質脳波活動を記録した。その結果、それぞれの色の刺激を提示中の脳波電位及び特定の周波数応答が、色特異的な空間パターンを持っていることが示された (図 1)。色刺激提示中の皮質脳波活動から提示されている刺激の色情報を、機械学習アルゴリズムを用いて統計的に有意にチャンスレベルより高い成功率で解読することができた。このことは、色の情報が IT 野の複数の部位において分散的に処理されていることを示唆している。顔を含む物体刺激に対する応答についても現在解析中である。

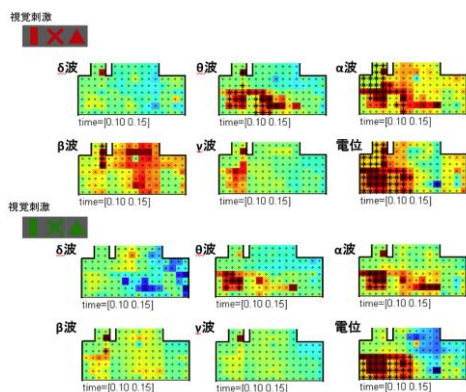


図 1 IT 野に設置された ECoG 電極 (128 極、3.75 mm X 1.75 mm) を使って計測された皮質脳波 (δ 波、 θ 波、 α 波、 β 波、 γ 波、電位) 変化の地図。より赤色は正方向への、より青色は負方向への変化を示す。左上には提示された色刺激が示されている。刺激提示前より有意に値が変化した電極位置には*印がついている。

(2) 色や顔を想起中の皮質脳波活動

対連合学習課題において、色を想起させる手がかり刺激を提示後の遅延期間中の皮質脳波活動を記録したところ、想起している色に特異的な脳波活動が計測された (図 2)。皮質脳波の時間周波数成分についても解析を行い、刺激色に特異的な空間パターンを示す周波数バンドがあることを見いだした。また想起に関しては、刺激に非特異的な強い δ 波の応答が想起中に観察された。また遅延期間中の皮質脳波活動についても、機械学習アルゴリズムを用いて想起しているとされる色情報を、チャンスレベルより統計的に有意に高い成功率で解読することができた。

このことは、どのような色や顔・文字を知覚・認識しているのかを脳神経活動だけで解読できるようするブレインマシンインターフェイス技術の確立に向けた大きな前進である。顔を含む物体刺激の想起における応答

についても現在解析中である。

上記の結果の一部については、2013 年の日本神経科学大会 (京都) にて報告される予定である。

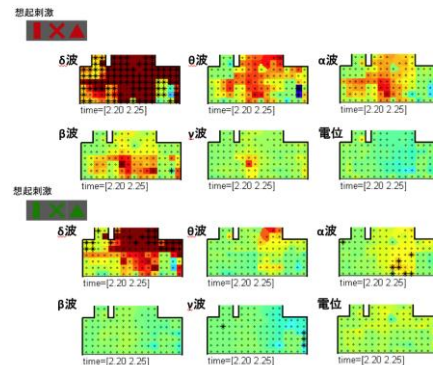


図 2 手がかり刺激を提示し、消失後の遅延期間 (2 秒) 中の皮質脳波変化。他は図 1 と同様。

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 1 件)

- ① 谷川 久、内因性光計測法を用いたサル第 4 次視覚野の機能構造の解明、日本神経回路学会誌、査読無、Vol. 19、2012、16-27

[学会発表] (計 3 件)

- ① 安達 賢、川寄 圭佑、澤畑 博人、松尾 健、鈴木 隆文、谷川 久、飯島 淳彦、長谷川 功、中原 潔、Cortical theta waves associated with a visual long-term memory task in the monkey medial temporal lobe、Society for Neuroscience Annual Meeting、2013 年 11 月 9 ~ 13 日、San Diego, USA
- ② 谷川 久、間島 慶、川寄 圭佑、澤畑 博人、中原 潔、鈴木 隆文、神谷 之康、長谷川 功、Decoding recalled visual memory using electrocorticographic (ECoG) signals in macaque inferior temporal and prefrontal cortices、日本神経科学大会、2013 年 6 月 21 日、京都
- ③ 安達 賢、川寄 圭佑、澤畑 博人、松尾 健、鈴木 隆文、谷川 久、飯島 淳彦、長谷川 功、中原 潔、Cross-frequency coupling of cortical oscillations during long-term memory retrieval in the monkey medial temporal lobe、日本神経科学大会、2013 年 6 月 21 日、京都

[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

該当なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

谷川 久 (TANIGAWA HISASHI)

新潟大学・医歯学系・助教

研究者番号：40373328

(2) 研究分担者

該当なし

(3) 連携研究者

該当なし