

令和 3 年 6 月 23 日現在

機関番号：26402

研究種目：挑戦的研究（開拓）

研究期間：2017～2019

課題番号：17H06268

研究課題名（和文）脳の時空間パターン刺激で記憶を再生する

研究課題名（英文）Reactivation of memory representation by pattern stimulation of the brain

研究代表者

中原 潔（Nakahara, Kiyoshi）

高知工科大学・情報学群・教授

研究者番号：50372363

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 20,000,000円

研究成果の概要（和文）：サル一次視覚野における皮質脳波（ECoG）の視覚応答から視覚像の再構成を試みた。また錯視画像を用い、色の補填によって知覚される錯視面に対するECoG応答を調べた。視覚像の再構成については、現在深層ニューラルネットワークを使った解析を進めている。錯視面に対するECoG応答を解析した結果、刺激提示開始後150msから200msの間に、錯視面の知覚に対する視覚応答を見出した。錯視面に対する視覚応答のV1における空間的な広がり、実際に知覚される錯視の視野角に対して、水平方向はおよそ一致していたのに対して、垂直方向にはより広範囲に広がっていた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現在、サルV1のECoG応答を特徴量として視覚像の再構成を進めている。これが成功すれば、V1における情報のみで視覚像の再構成が可能であることが示され、将来的にはbrain-machine interfaceへの応用が可能となる。またECoG法を使って初めて色の補填による面の錯視に対するV1の視覚応答を明らかにした。錯視による視覚応答のV1における空間的な広がり、実際に知覚される錯視の視野角に対して水平方向はほぼ一致していたのに対して、垂直方向にはより広範囲に広がっていた。これはV1内部の、網膜部位再現において垂直な方向の神経結合が色補填に重要な役割を果たすことを示唆するものである。

研究成果の概要（英文）：We attempted to reconstruct visual images from visual responses of electrocorticogram (ECoG) in the monkey primary visual cortex (V1). We also examined ECoG responses to the illusory surface perceived by color filling-in using one kind of the illusory images, "the neon color spreading". We are currently conducting the reconstruction of the visual image using a deep neural network. As a result of analyzing the ECoG responses to the illusory surface, we found visual responses to the perception of the illusory surface between 150 ms and 200 ms after the stimulus onset. The spatial extent of the visual response to the illusory surface in V1 was approximately the same as the visual angle of the perceived illusion in the horizontal direction, while it was more expanded in the vertical direction.

研究分野：認知神経科学

キーワード：視覚再構成 錯視 一次視覚野 皮質脳波

## 1. 研究開始当初の背景

我々の研究グループは視覚性連合記憶を学習させたマカクザルの内側側頭葉において皮質脳波(EEG)記録を行い、連合記憶が皮質脳波の時空間パターンによって表現されることを見出した(Nakahara *et al.*, Nat Commun 2016)。この結果に基づき、内側側頭葉に対して特定の連合記憶を表現する脳活動を電気刺激によって誘導したとき、その記憶が想起されるのではないかとの着想に至った。

## 2. 研究の目的

本研究の当初の目的は、EEG 電極を使って特定の時間的・空間的パターンをもつ電気刺激をサル内側側頭葉に与えたとき、特定の記憶が想起されるかどうかを検証することであった。しかし、2頭のサルに EEG 電極設置手術を行ったところ、相次いで術後死亡したため、研究目的を変更し、サル一次視覚野(V1)において視覚刺激に対する皮質脳波応答を EEG 法によって記録し、皮質脳波応答を特徴量として視覚像の再構成を試みることとした(京都大学・神谷之康研究室との共同研究)。

## 3. 研究の方法

### (1) サル V1 における EEG 記録

マカクザル1頭に視覚刺激を注視させる注視課題を訓練した。このサルの V1 上硬膜外に 256 チャンネルの EEG 電極を慢性留置した。サルにチェッカーボード刺激等を視覚提示し、その間の視覚応答を解析し、電極設置部位における網膜部位再現を推定した。

本実験として、ImageNet(<https://www.image-net.org/>)より取得した自然画像、単純な幾何学図形、及びいくつかの錯視図形を視覚刺激として提示し、その間の皮質脳波応答を記録した。

### (2) 解析

EEG 法によって記録された視覚応答を特徴量として深層ニューラルネットワークにより、サルの脳活動から見た画像の再構成を試みた。また、錯視画像に対する視覚応答の反応選択性を解析した。

## 4. 研究成果

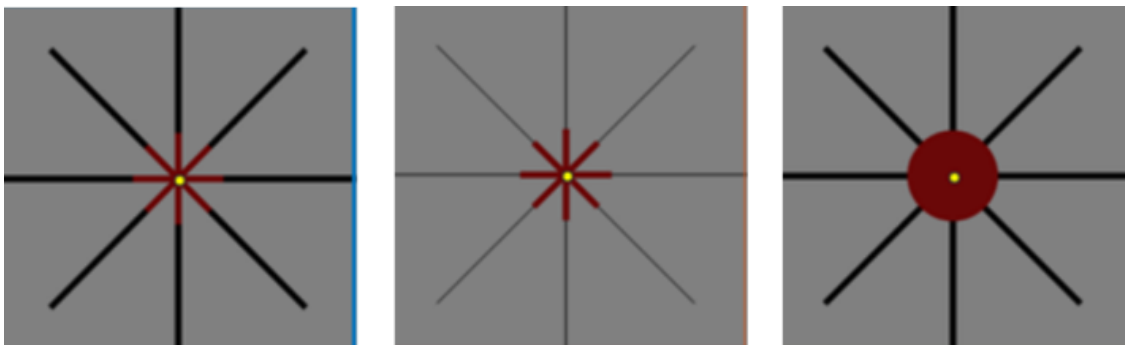


図1：錯視を引き起こすネオン色拡散（左）と非錯視コントロール図形（中、右）

自然画像、自然画像、単純な幾何学図形、及び錯視図形の再構成については、神谷研究室の Liu が中心となって現在解析を進めている。

他の解析の途中経過として、錯視を引き起こす図形の一種であるネオン色拡散に対する V1 視覚応答について、以下に短く報告する。

視覚体験には、網膜から入力される視覚刺激によるものだけでなく、脳において自発的に生成されるものがある。そのような生成的な視覚体験の一つとして錯視がある。例えばネオン色拡散と呼ばれる図形は、色の充填によって物理的には存在しない透明な面(illusory surface)の知覚を生じせしめる(図1左)。機能的磁気共鳴画像法(fMRI)を使った研究によれば、ネオン色拡散

による illusory surface がヒトの V1 を活性化することが報告されている(Sasaki & Watanabe, PNAS 2004)。

本研究では、サル ECoG 法により、ネオン色拡散による illusory surface が V1 の広い範囲でどのように表現されるかを電気生理学的に調べた。

サルが固視点を注視する間、ネオン色拡散画像を 500ms 間提示した。またコントロール画像として、2 種類の画像を提示した。一つは錯視画像と物理的に類似しているが、錯視を生じさせない画像 (図 1 中)、もう一つは、物理的に実在の面を表す画像である (図 1 右)。サルが視覚刺激に対する passive viewing を行う間、V1 より皮質脳波を記録した。

その結果、刺激提示開始後およそ 150ms から 200ms の間に、それぞれの画像に対する視覚応答の間に統計的有意な差が見られた。錯視画像 (図 2 青) と非錯視画像 (図 2 赤) との視覚応答との間に差が見られた一方、錯視画像と実在の面 (図 2 緑) との間に差は見られなかった。

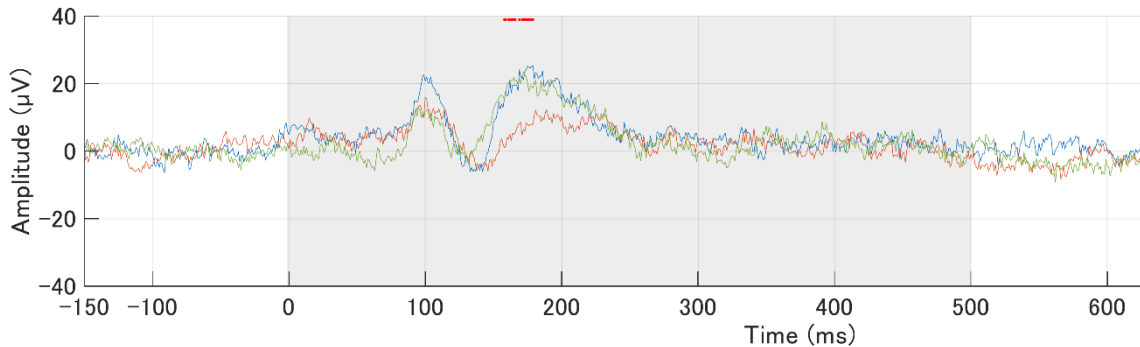


図 2 : 代表的なチャンネルにおけるネオン色拡散とコントロール図形の視覚提示に対する V1 の皮質脳波応答。緑 : ネオン色拡散、赤 : コントロール図形 (図 1 中)、青 : コントロール図形 2 (図 1 右)。上部の赤線は統計的有意差があった時間帯を示す(ANOVA,  $P < 0.05$ )。視覚刺激は time=0 を開始時刻とし、500ms 間提示された。

このような錯視に対する皮質脳波応答の V1 における空間的な分布を調べた。錯視図形、非錯視図形、及び物理的な面刺激に対する視覚応答をそれぞれ、 $R_i$ 、 $R_{ni}$ 、 $R_{ph}$  として、illusion index ( $I-index$ )を次のように定義した。

$$I-index = (R_i - R_{ni}) / (R_i - R_{ph})$$

$I-index$  のチャンネル間の分布を図 3 左に示す。

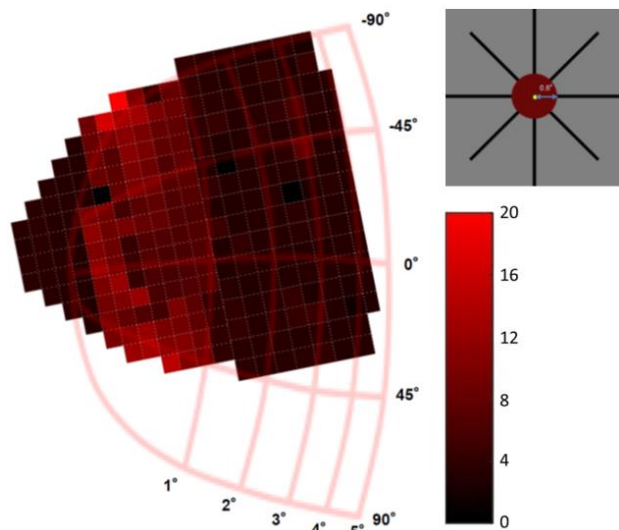


図 3 : (左)  $I-index$  のチャンネル間の分布をカラースケールで表す。推定された視野マップ (網膜部位再現) に重ね合わせ表示する。(右上) 物理的に実在の面を表すコントロール画像。面 (赤い円) の半径は視野角  $0.8^\circ$  である。赤い円の視野角に対して高い  $I-index$  を示すチャンネルの分布は水平方向には概ね一致しているのに対し、垂直方向には広範囲に広がっていることが分かる。

錯視による面の予想される半径は視野角  $0.8^\circ$  である。これに対して、高い *I-index* を示すチャンネルの分布は、水平方向には概ね錯視による面の視野角に一致しているのに対し、垂直方向には広範囲に広がっていることが分かる。

以上の結果より、我々は ECoG 法を使って初めて色の補填による面の錯視に対する V1 の電気生理的な視覚応答を明らかにした。錯視に対する視覚応答の V1 における空間的な広がり、実際に知覚される錯視の視野角に対して水平方向はおよそ一致していたのに対して、垂直方向にはより広範囲に広がっていた。このことは色の補填において V1 皮質内部の、網膜部位再現において垂直な方向の神経結合が重要な役割を果たすことを示唆している。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Toda Haruo, Kawasaki Keisuke, Sato Sho, Horie Masao, Nakahara Kiyoshi, Bepari Asim K., Sawahata Hirohito, Suzuki Takafumi, Okado Haruo, Takebayashi Hirohide, Hasegawa Isao	4. 巻 8
2. 論文標題 Locally induced neuronal synchrony precisely propagates to specific cortical areas without rhythm distortion	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 1-15
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-018-26054-8	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔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 土屋貴大, 飯島淳彦, 川崎圭祐, 鈴木隆文, 長谷川功, 中原潔
2. 発表標題 硬膜上高密度多点電極を用いたサル一次視覚野における網膜視野の再構成
3. 学会等名 第66回中部生理学会
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
研究分担者	川崎 圭祐 (Kawasaki Keisuke) (60511178)	新潟大学・医歯学系・准教授  (13101)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------