

令和元年6月7日現在

機関番号：17701

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K16391

研究課題名(和文) 周辺視野において中心視野とは異なる情報が表現される脳内メカニズムの解明

研究課題名(英文) Investigations of neural mechanisms underlying differences in representation of the visual environment between center and periphery of the visual field

研究代表者

岡村 純也 (Okamura, Jun-ya)

鹿児島大学・理工学域工学系・助教

研究者番号：30447594

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：視覚的に対象を詳細に認識する際、視野の中心で捉える。一方、視野の周辺は動きの検出に適している。本研究では中心視野と周辺視野の機能的差異に注目し、内因性光学的計測法、多点記録電極を用いた電気生理学的方法から皮質の神経細胞の活動を調べた。内因性光学的計測法から、中心視野に対応する皮質領域の方が周辺視野に対応する皮質領域よりも高い空間周波数に嗜好性を持つことを示した。周辺視野に対応する皮質領域の方が高い時間周波数に嗜好性を示した。多点記録電極で記録した局所電場電位の位相同期性解析、Granger因果性解析を行う実験系を確立し、位相同期性の周波数特性、及び皮質における視覚情報の流れを解析した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

中心視野と周辺視野の機能的差異に注目し、視覚的認知の脳内メカニズムを調べた本研究の成果は、今後の脳科学の発展に寄与し、新しい視覚ディスプレイの開発といった応用につながる。脳の認知機能を調べることで認知機能の疾患の理解につながる。

研究成果の概要(英文)：Details of the visual target are detected in the center of the visual field, while periphery of the visual field are suited for detecting motions. In the present study, neuronal activities in the early visual cortex corresponding to the center and periphery of the visual field were investigated by using optical imaging based on intrinsic signals and electrophysiological recording with multi-channel array electrodes. Optical imaging found that the cortical areas corresponding to the center of the visual field showed preference to higher spatial frequency than those to the periphery. The cortical areas corresponding to the periphery showed preference to higher temporal frequency than those to the center. Systems for analyzing phase-locking values and Granger causality of local field potentials recorded with the multi-channel electrodes were constructed. Frequency tunings of the features of the phase-locking values, and visual information flows in the early visual cortex were analyzed.

研究分野：生体医工学

キーワード：中心視野 周辺視野 視覚野 内因性光計測 多点電極 電気生理学 局所電場電位 同期性解析

## 1. 研究開始当初の背景

視覚的に対象を認識する際、視野の中心で捉える必要がある。一方、視野の周辺は動き等の検出に適しており、大まかな情報が抽出される。心理物理学的研究から、視野の周辺において対象の周辺からの影響を強く受けることが報告されている (Xing and Heeger, Vision Res., 2000)。本研究は、中心視野と周辺視野の機能的差異に注目し、周辺視野において実際と異なる情報が抽出される神経メカニズムを内因性光学的計測法、及び多点電極を用いて神経細胞活動を記録する電気生理学的方法から明らかにすることを目的とする。これまでに、内因性光学的計測法を用い、ネコの早期視覚野の活動を計測した研究から、周辺視野に対応する皮質領域において、対象の周辺からの影響が大きく、中心視野に対応する皮質領域では対象の周辺からの影響が小さいことが明らかになった (内村、岡村、王, Eur. J. Neurosci., 2012)。多点電極を用いて神経細胞の活動を記録し、スパイク活動の相互相関を解析した研究から、対象の周辺から影響を受ける際の視覚信号の流れを表現する細胞ペアが示唆された (岡村ら、生体医工学, 2014, 2015)。

## 2. 研究の目的

本研究では、内因性光学的計測法を用いて高い時間分解能、空間分解能で脳活動を計測するシステムを構築し、時間経過を追って視覚刺激の周辺から影響を受ける際の皮質活動を計測することを目的とした。さらに、皮質の単一神経細胞の活動に加え、局所電場電位 (Local field potential, LFP) を記録し、位相同期性解析、及び Granger 因果性解析から皮質における同期的な活動を解析するシステムを構築し、皮質における視覚信号の流れを解析することを目的とした。

## 3. 研究の方法

内因性光学的計測法により高い時間分解能、空間分解能で皮質活動を計測するシステムを構築した。具体的には、605 nm 程度の波長の光を皮質に照射し、反射光を 12 bit の分解能を持つデジタル CCD カメラを用いて撮影した。30 frames/s とし、33 ms 毎に反応画像を保存した。ネコの早期視覚野において反応を計測した。視覚刺激として、視野角が  $30^{\circ} \times 40^{\circ}$  の CRT モニタの全面に一樣な格子を呈示する全面刺激 (図 1 左)、CRT モニタの中心の直径  $5^{\circ}$  の領域、及びその周辺に異なる制御下で格子を呈示する中心-周辺刺激 (図 1 右)、CRT モニタの中心の直径  $5^{\circ}$  の領域を除いて格子を呈示する周辺刺激を呈示した。格子の方位は、 $0^{\circ}$  (水平)、 $45^{\circ}$ 、 $90^{\circ}$ 、 $135^{\circ}$  とし、方位に垂直な方向に動かした。格子の空間周波数は 0.05、0.1、0.15、0.2、0.4、0.8、1.6 cycles/ $^{\circ}$ 、時間周波数は 0.25、0.5、1、2、4、8、16 Hz と変えて呈示した。内因性光学的計測の後、 $5 \times 5$  のアレイ型多点記録電極を皮質に挿入し、神経細胞のスパイク活動、及び局所電場電位を記録した。スパイク活動の相互相関解析、局所電場電位の位相同期性解析、Granger 因果性解析、相互相関解析から、皮質活動の同期的な活動、及び皮質において視覚信号の流れの向きを調べた。動物を扱うすべての手順は日本神経科学学会、及び鹿児島大学動物実験ガイドラインに従った。実験はすべて麻酔下で行い、鹿児島大学動物実験委員会の承認を得て行った。

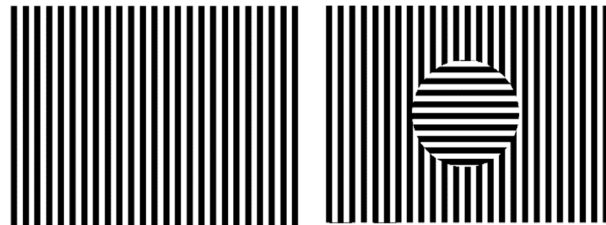


図 1. 全面刺激 (左)、中心-周辺刺激 (右) の例。

## 4. 研究成果

### (1) 内因性光学的計測

構築した内因性光学的計測システムで計測した皮質の反応画像を図 2 に示す。 $0^{\circ}$  の格子への反応画像を  $90^{\circ}$  の格子への反応画像で除算することにより反応画像を得た。暗い領域が  $0^{\circ}$  の格子に反応した領域である。従来の計測システムで計測した画像と比較し、反応領域の大きさを比べたところ、正確に計測できていることを確認した。この画像では視覚刺激呈示中の反応画像を平均しており、フレーム毎の反応画像については現在も継続してノイズ除去等の解析を行っている。



図 2. 内因性光学的計測システムで計測した皮質の反応画像。スケールバーは 2 mm。

検眼鏡で眼底を観察し、中心窩の位置から視野の中心を求めた。視覚刺激呈示用 CRT モニタの画面を 9 分割して各々の領域に格子を呈示し、視野の中心から  $10^{\circ}$  程度離れた周辺視野に対応する皮質領域を求めた。その後、全面刺激を用いて格子の空間周波数、時間周波

数を変えて呈示した。中心視野に対応する皮質領域と、周辺視野に対応する皮質領域において内因性光計測で得られた反応強度の空間周波数、時間周波数特性を調べたところ、中心視野に対応する皮質領域は 0.4 cycles/°、周辺視野に対応する皮質領域は 0.15 cycles/° に最大の反応を示し、中心視野に対応する皮質領域の方が大きな空間周波数に嗜好性を示した。このことは、中心視野において視覚対象を詳細に検出する特徴を表すと考えられる。また、周辺視野に対応する皮質領域の方が高い時間周波数に嗜好性を示し、周辺視野において動きを検出する特徴を表すと考えられる。周辺視野に対応する皮質領域の方が中心視野に対応する皮質領域よりも鋭い空間周波数、時間周波数チューニングを示し、中心視野と周辺視野の機能的差異を表していると考えられる。以上の結果は、インパクトファクターが 2.941 の国際誌に査読付論文として発表した。

視覚刺激の周辺からの影響について、全面刺激への反応と、中心-周辺刺激への反応を比較した。周辺視野に対応する皮質領域において、視覚刺激の中央に対応する皮質領域で刺激の周辺からの影響が強く表れ、中心視野に対応する皮質領域では刺激の周辺からの影響が少なかった。この結果は、先行研究の結果と一致した。本研究ではさらに、全面刺激への反応と、視覚刺激の中心の直径 5°の領域を除いて視覚刺激を呈示する周辺刺激への反応画像を比較し、反応画像間の相関係数を解析した。視覚刺激の中心に対応する皮質領域において、全面刺激への反応画像と、周辺刺激の反応画像との相関係数が、中心視野に対応する皮質領域において低く、周辺視野に対応する皮質領域において高かった。この結果は、周辺視野に対応する皮質領域において、刺激の周辺からの影響が強く表れていることを示す。また、水平、垂直という主方位に対する反応よりも、斜め方位に対する反応の方が相関値が高く、視覚刺激の周辺からの影響が強いことが示唆された。斜め方位よりも主方位の方が解像度が高い方位異方性という視覚機能が知られている。今後は、主方位（水平、垂直）と斜め方位の脳内表現の違いという方位異方性の基礎となる神経機構にも注目し、中心視野と周辺視野の機能的差異に関する解析を進める。

## (2) 多点電極を用いた電気生理学的実験

多点記録電極を早期視野に挿入し、単一神経細胞のスパイク活動、及び局所電場電位 (Local field potential, LFP) を記録した。局所電場電位の位相同期性 (Phase-locking value, PLV) を以下の式で求めた。

$$PLV_{(ch1, ch2)} = \left| \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T e^{j(\varphi_{ch1} - \varphi_{ch2})} \right|$$

ここで、 $\varphi_{ch1}$  と  $\varphi_{ch2}$  はそれぞれ記録サイト 1 と記録サイト 2 における LFP の瞬時位相である。瞬時位相は LFP をヒルベルト変換して求めた。t は視覚刺激呈示の回数で、T は全ての回数を示す。位相同期性が高いほど PLV は 1 に近い値を示す。先行研究では、局所電場電位の 45-55 Hz の帯域に注目して PLV を解析し、時間的に早く起こる一過的な成分、遅い時間に起こる持続的な成分の 2 つの成分が報告されていた。本研究では、5 Hz から 95 Hz まで 10 Hz 間隔で局所電場電位の PLV を求め、周波数チューニングを解析した。PLV には、視覚刺激呈示後約 150 ms に起こる一過的な早期成分、150 - 1000 ms に起こる持続成分に加え、刺激呈示終了直後に起こるの終期成分の 3 つの成分があった。それぞれ周波数チューニングを示し、早期成分は 25 - 35 Hz、持続成分と終期成分は 45 - 55 Hz に最大値を示した。早期成分は視覚刺激呈示に伴うボトムアップの信号を表現し、持続成分、終期成分は高次領域で処理されたフィードバック信号、及び領域内の神経細胞間のリカレント回路を表現している可能性が考えられ、それぞれ異なる役割を果たしている可能性が考えられた。

局所電場電位を用いて Granger 因果性解析を行った。20 回の刺激呈示それぞれにおいて Granger 因果性解析を行い、記録サイト間の情報の流れる向きを解析した。Granger 因果性解析で得られた信号の流れの向きと、局所電場電位の相互相関解析の時間的遅延から得られた信号の流れの向きが一致する記録サイトのペアがあり、方法の有効性を確認した。これらの皮質における局所電場電位の同期性を解析する方法、及び単一神経細胞のスパイク活動の相互相関を解析する方法を活用し、中心視野と周辺視野の違いについてさらに解析を進めている。

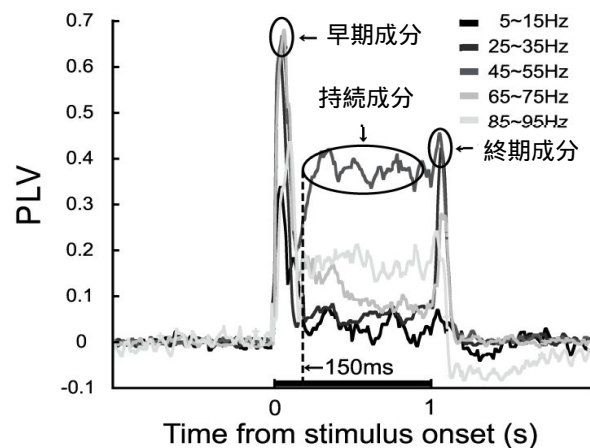


図 2. 位相同期性 (PLV) の例

## 5 . 主な発表論文等

### 〔雑誌論文〕(計5件)

Jun-ya Okamura, Koki Uemura, Shintaro Saruwatari, Gang Wang, Difference in the generalization of response tolerance across views between the anterior and posterior part of the inferotemporal cortex ,European Journal of Neuroscience , Vol. 48, No. 12, pp 3552-3566 ,2018. 査読有. doi: 10.1111/ejn.14162

福留啓太, 藺田崇弘, 岡村純也, 王鋼, 早期視覚野における局所電場電位の位相同期とその時間経過, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 116, No. 35, pp. 31-34, 2017. 査読無

Chunzhen Zhao, Ryosuke Hata, Jun-ya Okamura, Gang Wang, Differences in spatial and temporal frequency interactions between the central and peripheral cortical areas in cat area 18 , European Journal of Neuroscience , Vol. 44, No. 8, pp. 2635-2645 , 2016. 査読有. doi: 10.1111/ejn.13372

山口玲欧奈, 岡村純也, 本田寿成, 大島仁, 猿渡真太郎, 王鋼, 連合学習を経験した三次元物体の観察角度像に対する側頭葉下部皮質神経細胞集団の応答, 電気学会論文誌C, Vol. 136, No. 9, pp. 1254-1260, 2016. 査読有. doi: 10.1541/ieejieiss.136.1254

Reona Yamaguchi, Jun-ya Okamura, Gang Wang, Dynamics of population coding for object views following object discrimination training , Neuroscience , Vol. 330, pp. 109-120 , 2016. 査読有. doi: 10.1016/j.neuroscience.2016.05.039

### 〔学会発表〕(計3件)

山本悠介, 岡村純也, 王鋼, 視覚連合野細胞活動を用いた機械学習による弁別パフォーマンス, 日本生体医工学会九州支部学術講演会, 2019年3月, 福岡.

岡村純也, 王鋼, 下側頭葉皮質における三次元物体の表現, 視覚科学技術コンソーシアム, 2018年11月, 鹿児島.

福留啓太, 藺田崇弘, 岡村純也, 王鋼, 早期視覚野における局所電場電位の位相同期とその時間経過, ME とバイオサイバネティックス研究会, 2017年1月, 福岡.

### 〔その他〕

ホームページ等

## 6 . 研究組織

- (1) 研究分担者 なし
- (2) 研究協力者 なし

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。