

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 8 日現在

機関番号：17701

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25750163

研究課題名(和文) 中心視野と周辺視野の機能的差異に注目した初期視覚野における信号の流れの解析

研究課題名(英文) Analysis of information flow in the early visual cortex, which focused on the functional differences between central and peripheral 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) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：視覚的認識において対象の周辺から影響を受ける脳内メカニズムを、大脳皮質視覚野における情報の流れに注目して明らかにすることを目的とした。内因性光計測実験から、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いことを確認した。電気生理実験から、神経細胞活動の相関性を解析する実験系を確立し、神経細胞活動の相互相関の時間的遅延から、対象の周辺から影響を受けるときの皮質における視覚情報の流れを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：The purpose of the present research was to reveal neural mechanisms underlying surround modulation in visual recognition, which focused on the information flow in the visual cortex. We confirmed, by using the optical imaging based on intrinsic signals, that the surround modulation is strong in the cortical area corresponding to the peripheral visual field. In the electrophysiological experiment, we developed a system for analyzing correlations of neuronal activities between different recording sites. The time lags of the correlations suggest the information flow that underlies surround modulation in visual recognition.

研究分野：生体医工学

キーワード：視覚的認識 周辺視野 中心視野 周辺修飾 視覚皮質 内因性光計測 神経細胞活動 相互相関

1. 研究開始当初の背景

視覚的認識の脳内メカニズムを明らかにすることは、より効率的なコンピュータビジョンの開発といった新しい技術への応用につながる。対象を視覚的に認識する際、対象の周辺からの影響を強く受ける。その影響は視野の中心で小さいが、視野の周辺で大きいことが心理物理学的研究から報告されている (Xing and Heeger, *Vision Res.*, 2000)。内因性信号を用いた光学的イメージング法を用いた研究から、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強く表れるが、中心視野に対応する皮質領域ではほとんど表れないことが明らかになった (Uchimura, Okamura, Wang, *Eur. J. Neurosci.*, 2012)。この対象の周辺からの影響は補完知覚と呼ばれ、視野内の盲点を周辺からカバーするように働く。補完知覚が起こるためには、刺激の周辺に対応する皮質領域から、中心に対応する皮質領域に向かう信号の流れが生じると考えられる。本研究は、視覚皮質における信号の流れを可視化する実験系を確立し、補完知覚を引き起こす神経メカニズムを電気生理学的に明らかにすることを目的とする。

2. 研究の目的

視覚的に対象を認識する際、対象の周辺からの影響を強く受ける。この影響は視野の中心で小さく、視野の周辺で大きい。本研究は、対象の周辺から影響を受ける脳内メカニズムを明らかにするため、視覚刺激の中心と周辺に異なる制御下で格子を呈示し、周辺視野に対応する皮質領域において、視覚刺激の周辺から影響を受けることを内因性光学的イメージング法から確認する。さらに、視覚皮質における情報の流れを可視化する実験系を確立させ、5×5の記録点から成る多点記録アレイ電極を周辺視野に対応する皮質領域に配置し、神経細胞の活動を記録して、活動の相互相関解析から、視覚刺激の中心と周辺

に異なる制御下で格子を呈示したときの視覚野における視覚情報の流れを明らかにする。

3. 研究の方法

視野角が30°×40°のCRTモニタの全面に一樣な格子を呈示する全面刺激、CRTモニタの中心の直径5°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一周辺刺激を視覚刺激として呈示した。格子の方位は、0°から22.5°間隔で157.5°まで変え、方位に垂直な方向に動かした。605 nm程度の光を照射し、反射光を測定する内因性光学的計測法、及び5×5のアレイ型多点記録電極を用いた電気生理学的方法を用い、視覚皮質の活動を計測した。ネコの初期視覚野を対象とし、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。

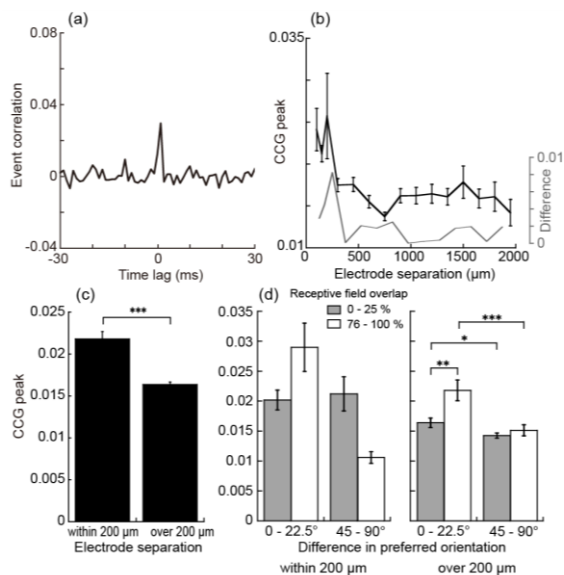
4. 研究成果

(1) 視覚皮質における神経細胞活動の同期性の解析法の確立

皮質の神経細胞の活動の同期性を調べる実験系の確立を目的とした。電極点間の間隔が400 µmで5×5の記録点から成る多点記録電極、及び電極点の間隔が200 µmで16の記録点から成るプローブ電極を視覚野に配置し、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、異なる記録点間の活動の同期性を解析した。スパイク活動の同期性を相互相関解析から調べたところ、相互相関値のピークが0 ms付近に表れた (図1 a)。これは、解析対象とした2つの神経細胞が同期してスパイクを発生させたことを示す。電極点間の間隔に対してこの相互相関値のピーク値を調べたところ、電極点間の間隔が大きくなるほど相互相関値のピーク値は小さくなった (図1 b)。特に、電極点間の間隔が200 µm以下の神経細胞ペアと、それより離れた神経細胞ペアの

間では、有意に相互相関値のピーク値が異なっていた (図 1 c)。電極点間の間隔が 200 μm より離れた神経細胞ペアにおいて、受容野の重なりが大きい、または神経細胞の最適方位の差が小さいほど、有意な相互相関値の違いがあった (図 1 d)。

図 1 スパイク活動の相互相関解析



局所電場電位 (LFP) の位相同期性について調べた。位相同期性の指標として、Phase Locking Value (PLV) を用いた。PLV は以下の式で求めた。

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

ここで、 φ_{ch1} と φ_{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。視覚刺激として用いた格子の方位に選択性を示した記録サイト間の PLV を平均したところ、視覚刺激呈示後約 150 ms に表れる一過性の成分 (早期成分) と、それ以降に表れる持続的な成分 (遅延成分) を見出した (図 2 a)。早期成分をそのピーク値、遅延成分を視覚刺激呈示後 155 ms から 1000 ms の面積で評価した。早期成分、遅延成分を電極点間の距離に対してプロットしたところ、早期成分、遅延成分は共に電極点間の距

離が離れるにつれて減少した (図 2 b)。どちらの成分も記録サイト間の距離が 400 μm 以下のペアにおいて、それより離れた記録サイト間のペアよりも有意に大きな値をとった (図 2 c)。どちらの成分も、最適方位の差が $0^\circ - 22.5^\circ$ の方が、 $45^\circ - 90^\circ$ 離れた記録サイト間よりも大きな値をとった (図 2 d)。

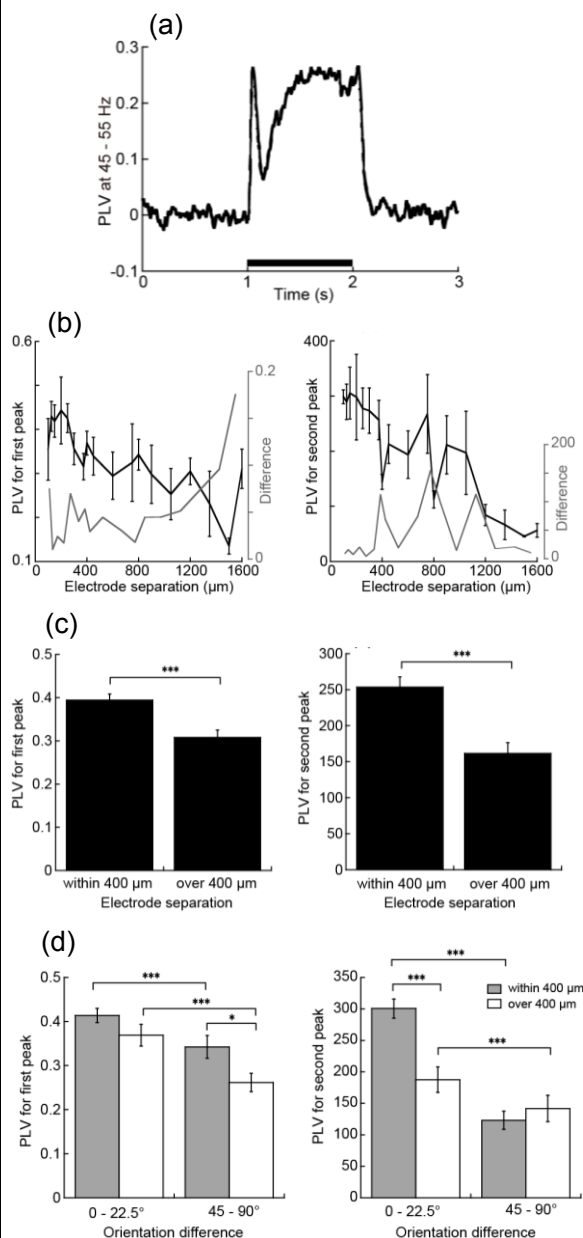


図 2 局所電場電位の位相同期性解析

(2) 内因性光計測法を用いた皮質の活動計測

視野の中心から 10° 下方の周辺視野に対応する皮質領域を同定した。図 3 a は計測した皮質領域で、内因性光計測後に 5×5 のア

レイ型多点記録電極を配置し、神経細胞の受容野を調べた (図 3 d)。図 3 d のそれぞれの数字は、図 3 a の電極配置内の数字に対応し、それぞれの記録点で記録した神経細胞の受容野を示す。受容野を調べた結果、図 3 b, c の四角で囲んだ領域内の神経細胞は、視野の中心から 10° 下方の周辺視野に受容野を持つことを確認した。

視野の中心から 10° 下方の、周辺視野に視覚刺激を呈示し、内因性光計測実験を行った。周辺視野に対応する皮質領域において、全面刺激、中心一周辺刺激を呈示したときの反応を図 3 b, c にそれぞれ示す。605 nm 程度の光を皮質に照射すると、反応領域が非反応領域よりも多くの光を吸収し、反応領域が暗く表示される。図 3 b は、垂直な格子への反応画像を水平な格子への反応画像で除算した画像である。暗い領域が垂直な格子への反応、

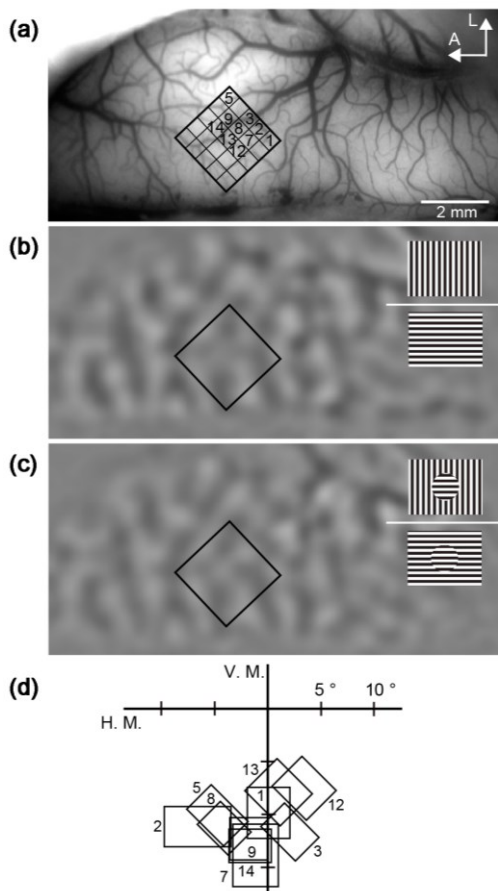


図 3 内因性光計測実験、及び神経細胞の受容野

明るい領域が水平な格子への反応である。図 3 c では、視覚刺激の中心に、周辺とは異なる格子を呈示しているが、周辺に呈示した格子を全面に呈示したとき (図 3 b) と同じ反応が表れ、中心に呈示した格子への反応は表れていなかった。このことより、視覚刺激の中心が周辺によって補完されていることが考えられた。

(3) スパイクの相互相関解析を用いた視覚野における情報の流れの解析

視覚刺激の中心が周辺によって補完されて知覚されるとき、視覚刺激の周辺に対応する皮質領域から、中心に対応する皮質領域に向かう視覚情報の流れが起こると考えられる。この情報の流れを明らかにするため、多点記録電極で記録した神経細胞のスパイク信号の相互相関解析を行い、相互相関の時間的遅延から、視覚情報の流れの向きを調べた。解析した 436 の細胞ペアのうち、11 ペアと少数ではあったが、全面刺激には有意な相互相関値を示さず、中心一周辺刺激に有意な相互相関値を示す細胞ペアを見出した (図 4)。これらの細胞ペアは、視覚刺激の中心が周辺によって補完されるとき

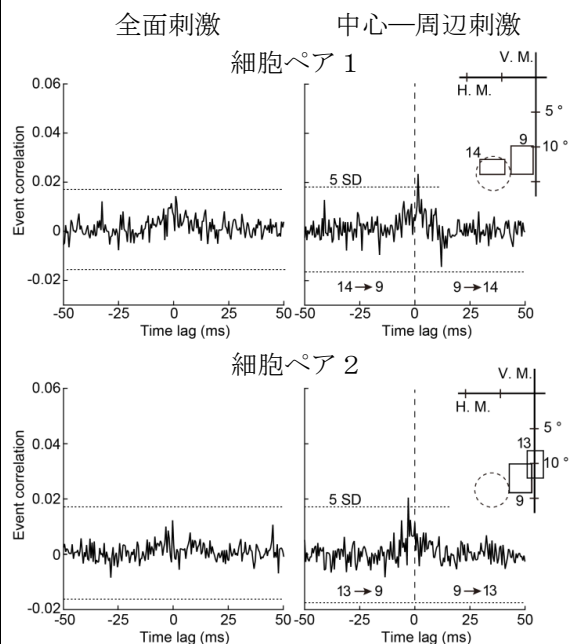


図 4 全面刺激、中心一周辺刺激を呈示したときのスパイク活動の相互相関解析

を表現していると考えられる。本研究では、初期視覚野に存在する膨大な数の神経細胞のうち少数の活動を記録し、そのうち幾つかが情報の流れを表した。実際の脳内においては膨大な細胞数に応じた数の細胞が相互相関、及び相互相関値の時間的遅延を示し、信号の流れを表現すると考えられる。また、少数の細胞の同期的な発火の計測は、それらの細胞に関わる神経ネットワークにおける信号の流れを表すと考えられ、本研究で得られた細胞ペアの相互相関は、視覚野における情報の流れの一端を、電極によってとらえたものと考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計6件)

- ① 岡村純也、藺田崇弘、内田晃平、福留啓太、王鋼、視覚刺激の周辺修飾における視覚野の情報の流れの解析、生体医工学、査読有、53巻、270-275、2015
DOI: 10.11239/jsmbe.53.270
- ② Megumi Niina, Jun-ya Okamura, Gang Wang, Electrophysiological evidence for separation between human face and non-face object processing only in the right hemisphere, International Journal of Psychophysiology, Vol. 98, No. 1, pp. 119-127, 2015. 査読有
DOI: 10.1016/j.ijpsycho.2015.07.008
- ③ 岡村純也、里中俊太、永江恒大、秦良佑、田中智康、王鋼、ネコ初期視覚野における神経細胞の同期的な活動、生体医工学、査読有、52巻、288-295、2014
DOI: 10.11239/jsmbe.52.288
- ④ Jun-ya Okamura, Reona Yamaguchi, Kazunari Honda, Gang Wang, Keiji Tanaka, Neural substrates of view-invariant object recognition developed without experiencing rotations of the objects, Journal of Neuroscience, Vol. 34, No. 45, pp. 15047-15059, 2014. 査読有
DOI: 10.1523/JNEUROSCI.1898-14.2014
- ⑤ Miki Jitouzono, Jun-ya Okamura, Gang Wang, Separation of stimulus selective and non-selective components in intrinsic optical signals, IEEE Transactions on Electrical and Electronic Engineering, Vol. 9, No. 3, pp. 267-274, 2014. 査読有
DOI: 10.1002/tee.21966
- ⑥ Reona Yamaguchi, Kazunari Honda, Jun-ya Okamura, Shintaro Saruwatari, Jin Oshima, Gang Wang, Dynamics of neuronal responses in the inferotemporal cortex

associated with 3D object recognition learning, Proceedings of the 20th International Conference on Neural Information Processing (ICONIP 2013), Part III, LNCS 8228, 193-199, 2013. 査読有

http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-642-42051-1_25

〔学会発表〕(計13件)

- ① 岡村純也、藺田崇弘、内田晃平、福留啓太、王鋼、視覚刺激の周辺修飾における視覚野の情報の流れの解析、生体医工学シンポジウム 2015、2015年9月25日、岡山国際交流センター(岡山県・岡山市)
- ② 岡村純也、藺田崇弘、内田晃平、福留啓太、王鋼、視覚刺激の周辺修飾における視覚野の情報の流れの解析、鹿児島神経科学研究会、2015年8月8日、鹿児島大学(鹿児島県・鹿児島市)
- ③ 山口玲欧奈、岡村純也、本田寿成、吉満美沙希、猿渡真太郎、大島仁、王鋼、側頭葉下部皮質における興奮性神経細胞及び抑制性神経細胞の刺激選択性、MEとバイオサイバネティクス研究会、2015年1月22日、熊本大学(熊本県・熊本市)
- ④ 猿渡真太郎、岡村純也、山口玲欧奈、大島仁、吉満美沙希、王鋼、三次元物体に対する側頭葉下部皮質後半部の神経細胞集団の応答、MEとバイオサイバネティクス研究会、2015年1月22日、熊本大学(熊本県・熊本市)
- ⑤ 岡村純也、里中俊太、永江恒大、秦良佑、田中智康、王鋼、ネコ初期視覚野における神経細胞の同期的な活動、生体医工学シンポジウム 2014、2014年9月26日、東京農工大学(東京都・小金井市)
- ⑥ 猿渡真太郎、岡村純也、山口玲欧奈、大島仁、吉満美沙希、王鋼、三次元物体認識の脳内メカニズム、平成26年度電気・情報関係学会九州支部連合大会、2014年9月18日、鹿児島大学(鹿児島県・鹿児島市)
- ⑦ 岡村純也、里中俊太、永江恒大、秦良佑、王鋼、初期視覚野において異なるサイトで記録した局所電場電位の位同期性、及びスパイク活動の相互相関第53回日本生体医工学会大会、2014年6月26日、仙台国際センター(宮城県・仙台市)
- ⑧ 猿渡真太郎、本田寿成、山口玲欧奈、大島仁、岡村純也、王鋼、多次元尺度構成法による側頭葉下部皮質神経細胞集団活動の解析、平成26年度日本生体医工学会九州支部学術講演会、2014年3月1日、九州工業大学(福岡県・飯塚市)
- ⑨ 大島仁、山口玲欧奈、本田寿成、猿渡真太郎、岡村純也、王鋼、物体認識の観察角度不変性の形成に関する心理物理学的研究、平成26年度日本生体医工学会

九州支部学術講演会、2014年3月1日、九州工業大学（福岡県・飯塚市）

- ⑩ 乾智成、岡村純也、王鋼、脳波による Quadcopter 操作の試み、平成 26 年度日本生体医工学会九州支部学術講演会、2014年3月1日、九州工業大学（福岡県・飯塚市）
- ⑪ Jun-ya Okamura, Ryosuke Hata, Tomoyasu Tanaka, Shunta Satonaka, Gang Wang, Interaction of spatial and temporal frequency maps in visual cortex, 第30回日本脳電磁図トポグラフィ研究会, 2014年1月12日, 福岡山王ホール（福岡県・福岡市）
- ⑫ Gang Wang, Jun-ya Okamura, Surround modulation in cortical orientation map revealed by optical imaging based on intrinsic signals, The 91st annual meeting of the physiological society of Japan, 2014年3月18日、鹿児島大学（鹿児島県・鹿児島市）
- ⑬ 本田寿成、山口玲欧奈、岡村純也、王鋼、側頭葉下部皮質細胞集団における三次元物体観察角度像の表現、生体医工学シンポジウム 2013、2013年9月21日、九州大学（福岡県・福岡市）

6. 研究組織

(1)研究代表者

岡村 純也 (OKAMURA Jun-ya)
鹿児島大学・理工学域工学系
研究者番号：30447594