

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 11 日現在

機関番号：17701

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23500521

研究課題名(和文) 視覚連合野における皮質神経細胞活動相関性を強調した光学的計測実験法の確立

研究課題名(英文) Establishment of optical imaging in the research of neuronal activity in inferotemporal cortex

研究代表者

王 鋼 (Wang, Gang)

鹿児島大学・理工学研究科・教授

研究者番号：40274831

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円、(間接経費) 1,200,000円

研究成果の概要(和文)：我々は、第1次視覚野に加え視覚連合野である側頭葉下部皮質への適用にも可能な細胞活動相関性を強調した内因性光学的計測システムを開発した。システムの実用性をもたらすために、本研究では、視覚連合野の最も重要な機能である三次元物体認識の神経基盤を調べることを通して、開発したシステムの実用的な実験法を確立した。

研究成果の概要(英文)：We have developed an optical imaging system based on the coherent activities of intrinsic optical signals for the measurement of the neuronal activities in the visual cortex. In the present study, we have applied the system for the investigation of the neuronal basis for object recognition in inferotemporal cortex. Together with the finding on the neuronal mechanism on object recognition and discrimination, as a result, we have successfully established the experimental procedure for the use of the optical imaging system and demonstrated the feasibility of the system in the research of functional organization in inferotemporal cortex.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学・医用生体工学・生体材料学

キーワード：生体計測

## 1. 研究開始当初の背景

物体認識に関わる脳内メカニズムの解明がコンピュータなどによる画像認識などの新しい産業技術にもつながると期待されている。外界視覚世界の形に関する情報は網膜、第1次視覚野、視覚前野のV2及びV4を介して、視覚連合野皮質として知られる側頭葉下部皮質に運ばれる。物体認識の脳内メカニズムを理解するために、この皮質領域における物体に関する情報の表現及びそのはたらきを明らかにすることは不可欠である。内因性光学的計測法は神経細胞活動に伴う脳組織そのものの吸光度特性を利用して開発された方法(Grinvaldら、Nature, 1989)で、広い領域から同時記録が可能で、かつ、マイクロレベルの高空間分解能を持つ *in vivo* 光計測システムとして皮質機能構築の研究において広く使われている。我々が初めて視覚連合野にこの方法を適用して(王ら、Science, 1996)以来、視覚連合野皮質における物体特徴の表現を可視化する論文が多数あり、物体特徴に反応する細胞集団が皮質上に広くわたっていることを示す研究もいくつかあるが、細胞集団の関連性やそのはたらきについての報告はなかった。その一番の原因は、各部位間の反応の関連性を計測及び解析する技術の欠如である。我々は、関連性に着目し、第1次視覚野に加え視覚連合野である側頭葉下部皮質への適用にも可能なシステムを開発した(王ら、J. Neurophysiol., 2003; NeuroReport, 2007; IEEJ, 2009)。本研究の目的は、このような関連性を強調したシステムを実際に物体認識への視覚連合野の関与に関する研究に適用することによって、物体認識の重要な課題の一つである観察角度によらない物体認識への側頭葉下部皮質の関わりを解明しながら、視覚連合野皮質への適用に必要な実験的な手法を確立することである。

## 2. 研究の目的

本研究は、これまでに本研究室によって開発した細胞活動相関性を強調した内因性光学的計測システムを視覚連合野に適応し、観察角度によらない物体認識に関わる視覚連合野皮質の関わりを明らかにすることによって、視覚連合野皮質における相関性を強調した内因性光学的計測システムによる実験法の確立を目的とした。ここ数年、我々は、相関性を強調した光学計測法の開発に専念し、第1次視覚野に加え視覚連合野である側頭葉下部皮質への適用にも可能なシステムを開発した。しかし、システムの実用性をもたすためにも、実験法の確立が不可欠であった。本研究は、視覚連合野の最も重要な機能である物体認識の神経基盤を調べることを通して、開発したシステムを用いたときの実用的な実験法を確立することを目指すものであった。

## 3. 研究の方法

研究目的を達成するために、刺激セットの作成、動物実験、実験法の改良、そして刺激セット構成の改良のような循環で、刺激セットの構成、実験及びシステムの改良を繰り返した。それぞれの詳細については、研究成果の関連する部で述べる。

## 4. 研究成果

(1) 皮質上で記録された光学的信号の相関及び部位間の関係性を利用したノイズ除去

光学的計測には、605nmの波長の光を用いた。刺激画像は8枚の異なる方位の縞模様画像とした。これらの刺激画像に対する皮質の反応画像を主成分分析法を適応し、抽出した主成分画像とそれぞれの寄与率を計算した。図1には計算した結果を示す。

第1の主成分画像と全刺激に対する反応画像の平均との類似性から、第1主成分を選択性の高い皮質光学的反応として抽出した。図2の上段は、第1主成分を除いて、再構築し

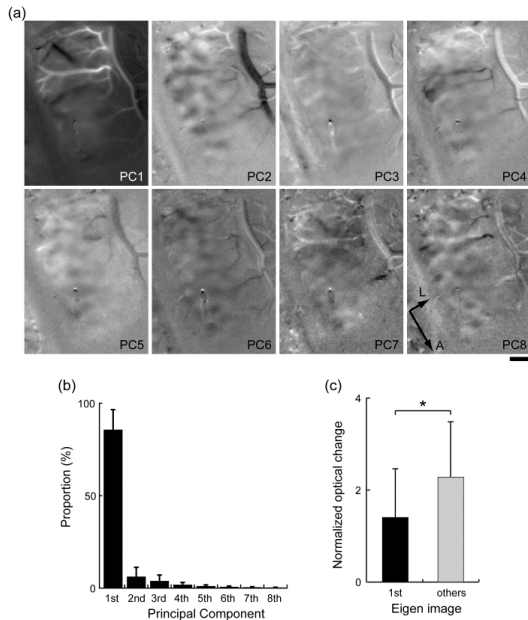


図1 主成分画像及びそれぞれの寄与率

た反応画像である。

第1主成分を除いて再構築した反応画像は、オリジナル画像に比べ、反応の光学的ス

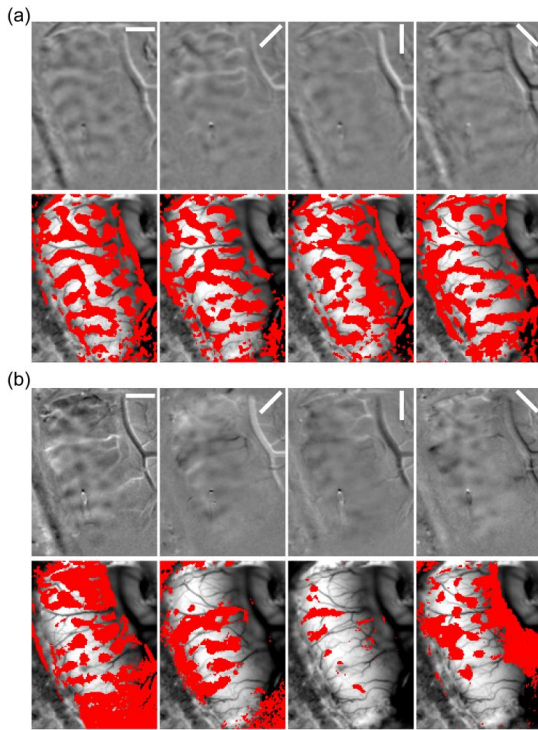


図2 主成分解析法を用いたノイズ除去法の評価

ポットが鮮明になった。(a)は主成分解析法を用いたノイズ除去法の結果を示し、(b)は従来の方法による結果を示す。従来の方法に

比べ、提案方法によってより局在した反応スポットを抽出していることを示した。これにより、提案方法が光学的計測に特有な刺激選択性を示さないグローバル光学的変化の除去に有効であることは証明された。

(2) 刺激の中心と周辺に対応する皮質領域における光学的反応の相関性

本研究には、図3のような刺激画像を用いた。刺激中心の方位が45°間隔の4方位、周辺が22.5°間隔の8方位を呈示した。

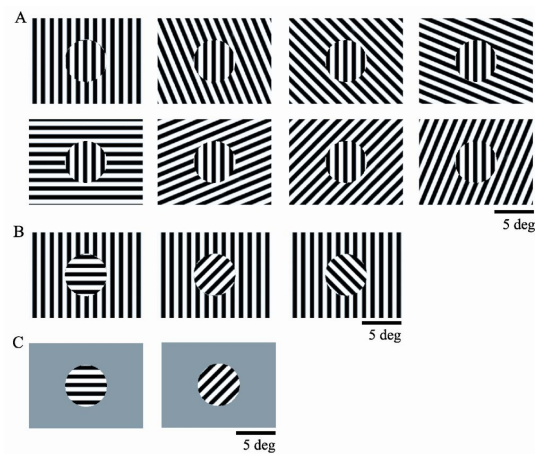


図3 刺激画像の例

図4は結果の一例を示す。Aは中心視野で計測したときのもの、Bは周辺視野で計測したときのものを表す。A、Bそれぞれにおいて一段目は刺激の中心のみを呈示したときの差分画像である。二段目は同じ領域に全面刺激を呈示したときの差分画像、三段目から六段目はcenter-surround刺激を呈示したときの差分画像で、七段目は計測領域の血管パターンを示したものである。一段目の図において下向きの矢印は刺激の中心部分に反応したパッチをマークしたものであり、二段目から三段目の図にも同じ位置にマークをおいた。また上向きの矢印は二段目の全面刺激で反応が見られたパッチのうち刺激の中心部分に対応するパッチ以外のものをマークしたもので、これは刺激の周辺に対応する皮質領域と考えられる。一段目から三段目の刺激

の中心に対応するパッチに注目する（下向きの矢印）。一段目と二段目は刺激の中心の方位は変化していないため同一の領域が応答している。一方の三段目は、刺激の中心を 0 [deg] に固定したときの差分画像である。応答が仮説に従うならば刺激の中心に反応する部分は一定であるため、差分をとると打ち消しあい反応が確認できないはずである。A の中心視野に対応する皮質領域において center-surround 刺激を呈示した場合には反応が打ち消されパッチは確認できなかった。しかし B の周辺視野に対応する皮質領域では、はっきりとしたパッチが確認できた。さらに確認したパッチの位置は刺激の中心部分に呈示した 0 度刺激のパッチでなく、刺激の周辺部分に呈示した 45 度刺激のパッチに近かった。よって center-surround 刺激の周辺の差分画像と全面刺激の差分画像は、かなり類似した空間構造を持っていた。刺激の周辺部分に呈示する刺激の方位を変化させても、この傾向に変化は見られなかった。

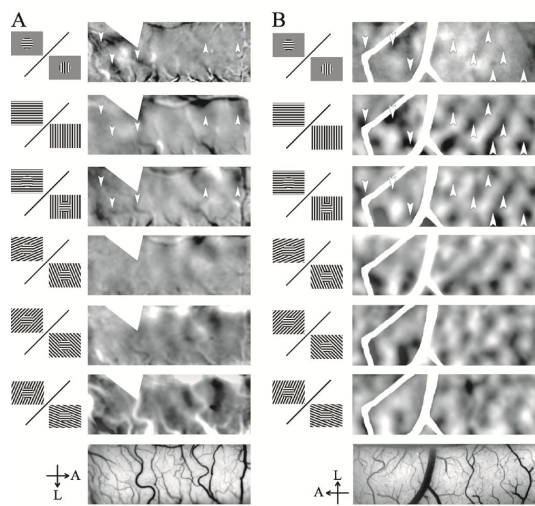


図 4 反応領域の差分画像

### (3) 微小電極による下部側頭葉細胞集団活動の相関性の評価

オスのニホンザル (*Macaca fuscata*) 2 頭 (Monkey K : 8.0 kg, Monkey H : 6.0 kg) を実験の対象とした。ニホンザルを扱うすべての手順は、日本神経科学学会および鹿児島

大学動物実験ガイドラインに従ったものである。実験は、鹿児島大学動物実験委員会によって承認を受けた。

視覚刺激としては、図 5 に示すような 6 つの物体セットを用いた。それぞれの物体セットには、類似した 4 つの物体を含み、各物体の観察角度を 30 度間隔で 90 度まで変化させ、合計 16 枚の物体画像を含んだ。

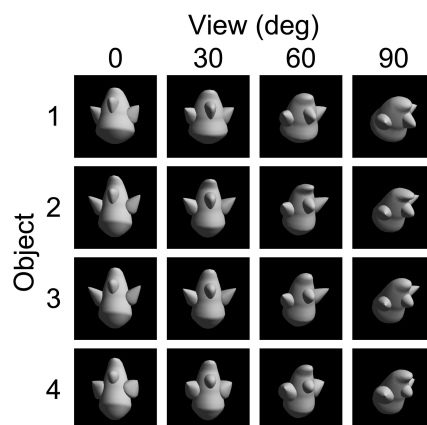


図 5 刺激物体セットの一例

本研究では、異なる物体セットの物体同士の単純な物体弁別 (Exposure task), 同じ観察角度で同じ物体セット内の物体の弁別 (Image task), 異なる観察角度で同じ物体セット内の物体の弁別 (Object task) の 3 種類の物体弁別タスクを使用した。Monkey K から 140 個, Monkey H から 213 個, 合計 353 個の単一 IT 神経細胞の応答を記録した。

Exposure task で事前経験した物体画像において、細胞集団は、ある物体画像から観察角度が 30 度異なる同じ物体の観察角度像と異なる物体の観察角度像に対して同じような応答パターンを示した。Image task で事前経験した物体画像において、細胞集団は、ある物体画像と観察角度が 30 度異なる同じ物体の画像に対して、同じような応答パターンを示した。一方で、観察角度が 30 度異なる別の物体の観察角度像に対して異なる応答パターンを示した。Object task で事前経験した物体画像において、細胞集団は、ある物体画像と、観察角度が 30 度異なる同じ物体

の画像に対して、同じような応答パターンを示した。一方で、観察角度が 30 度異なる別の物体の観察角度像に対して異なる応答パターンを示した。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 8 件)

Miki Jitouzono, Jun-ya Okamura, Gang Wang. Separation of Stimulus Selective and non-Selective Components in Intrinsic Optical Signals. IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering, Vol. 9, pp. 267-274, 2014. 査読有

山口玲欧奈、本田寿成、池尻祐大、岡村純也、王鋼、長期的に視覚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の応答、生体医工学、査読有、51巻、2013、9-16

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. M. Lee et al. (Eds.): ICONIP 2013, Part III, LNCS 8228, pp. 193-199, 2013. 査読有

Kanami Uchimura, Jun-ya Okamura, Gang Wang. Surround modulation in cortical orientation map revealed by optical imaging and its dependency on receptive field eccentricity. European Journal of Neuroscience, Vol. 36, pp. 3344-3355, 2012. 査読有

Wataru Tokudome, Gang Wang. Similarity dependency of the change in ERP component N1 accompanying with the object recognition learning. International Journal of Psychophysiology, Vol. 83, pp.102-109, 2012. January, 2012. 査読有

Gang Wang, Midori Nagai, Junya Okamura. Orientation dependency of intrinsic optical signal dynamics in cat area 18. NeuroImage, Vol. 57, Issue 3, 1140-1153, August 1, 2011.

永井翠、岡村純也、井上雄太、王鋼、ネコ第二次視覚野における内因性光学的信号の時間的变化とその傾き方位の依存性、生体医工学、査読有、49巻、2011、485-489

Gang Wang, Katsutoshi Miyahara, Masaru Kuroiwa. A statistical parametric method for the extraction of stimulus dependent activity from intrinsic optical signals. Proceedings of International Joint Conference on Neural Network (IJCNN 2011), pp. 933-936, 2011. 査読有

〔学会発表〕(計 15 件)

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視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、福岡県飯塚市

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、福岡県飯塚市

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、福岡県飯塚市

Gang Wang, Jun-ya Okamura. Surround modulation in cortical orientation map revealed by optical imaging based on intrinsic signals. The Journal of Physiological Sciences, Volume 64, Supplement 1, 2014. S87.

Jun-ya Okamura, Ryouyuke 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 11-12 日、福岡

森主宜延、瀧川守国、王鋼、タスクを課す脳波採取における自閉症スペクトラム被験者の適正査定における予備的検討、第 43 回日本臨床神経生理学学会学術大会、2013 年 11 月 7-9 日、高知、

本田寿成、山口玲欧奈、猿渡真太郎、大島仁、岡村純也、王鋼、三次元物体認識に関わる側頭葉下部皮質神経細胞集団の応答、生体医工学シンポジウム 2013、2013 年 9 月 20-21 日、福岡、

池田直人、岡村純也、王鋼、顔弁別学習に伴う脳波信号の時間周波数的変動、平成 24 年度日本生体医工学会九州支部学術講演会、2012 年 12 月 15 日、鹿児島

本田寿成、山口玲欧奈、徳田直樹、岡村純也、王鋼、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の応答、平成 24 年度日本生体医工学会九州支部学術講演会、2012 年 12 月 15 日、鹿児島

山口玲欧奈、本田寿成、池尻祐大、岡村純也、王鋼、観察角度に依らない物体認識の形成および側頭連合野の関わり、生体医工学シンポジウム 2012、2012 年 9 月 7-8 日、大阪、

内村華奈美、岡村純也、地頭蘭美紀、秦良佑、王鋼、視覚刺激の中心に対応する皮質領域における刺激周辺からの修飾、第 51 回日本生体医工学会大会、2012 年 5 月 10-12 日、福岡



本田寿成、山口玲欧奈、池尻祐大、岡村純也、王鋼、側頭葉下部皮質における三次元物体の表現、平成 23 年度日本生体医工学会九州支部学術講演会、2011 年 12 月 3 日、熊本

内村華奈美、地頭菌美紀、岡村純也、王鋼、刺激中心部分に対応する皮質領域における周辺刺激の影響、平成 23 年度日本生体医工学会九州支部学術講演会、2011 年 12 月 3 日、熊本

岡村純也、池尻祐太、山口玲欧奈、王鋼、田中啓治、異なる観察角度像の連合学習無しで観察角度に依らない物体認識が形成される神経基盤、第 3 4 回日本神経科学大会、2011 年 9 月 14-17 日、横浜  
山口玲欧奈、池尻祐大、岡村純也、王鋼、側頭葉下部皮質における三次元物体の表現、第 50 回日本生体医工学会大会、2011 年 4 月 29 日-5 月 1 日、東京

## 6 . 研究組織

### (1)研究代表者

王 鋼 (WANG, Gang)  
鹿児島大学・理工学研究科・教授  
研究者番号：40274831

### (2)研究分担者

岡村 純也 (OKAMURA, Jun-ya)  
鹿児島大学・理工学研究科・助教  
研究者番号：30447594