

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31日現在

機関番号：82401

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2010～2012

課題番号：22300137

研究課題名（和文） 特徴カラムの組み合わせによる物体像の表現と視覚認識

研究課題名（英文） Object representation and recognition by combinations of feature columns

研究代表者

谷藤 学 (TANIFUJI MANABU)

独立行政法人理化学研究所・脳統合機能研究チーム・チームリーダー

研究者番号：60197530

研究成果の概要（和文）：

覚醒下のサルの高次視覚野から複数の特徴カラムの神経活動を同時に計測できる技術（多電極アレイ）を確立し、それによって、サルに物体像が提示されたときに物体像の特徴カラムの組み合わせによる表現が密から疎に変化することを明らかにした。また、この研究に付随して、特定の物体カテゴリーの特徴を表現しているカラムが集まった構造が高次視覚野にあることを新たに見出した。

研究成果の概要（英文）：

We have developed an electrode array system in which we simultaneously record multiple columnar activities from inferior temporal cortex of awake monkeys. With this array, we found that object representation with combinations of feature columns changes in time: when an object images was presented to monkey, number of feature columns used in representation of the image decreases in time. In addition, we found that columns representing features of a certain object category are clustered together and forming a larger functional structure.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	14,200,000	4,260,000	18,460,000
2011年度	600,000	180,000	780,000
2012年度	200,000	60,000	260,000
総計	15,000,000	4,500,000	19,500,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：脳神経科学・融合脳計測科学

キーワード：下側頭葉視覚連合野、電極アレイ

1. 研究開始当初の背景

物体像を認識するための脳の仕組みを解明するために、私達はサルの高次視覚野において物体像がどのように表現されるかを研究してきた。これまでの研究で、私達はサルの高

次視覚野において、(1) 物体像がカラムの組み合わせとして表現されること、(2) それぞれのカラムは、物体像に含まれる様々な図形特徴（例えば、「突起のある構造」、「湾曲した

輪郭」など)に対応していることを明らかにした。

2. 研究の目的

これらの研究では、麻酔下の動物を用いている。覚醒している動物が実際に物体像を認識する過程で、「特徴カラムの組み合わせによる物体像の表現」はどのように働いているのかが明らかではない。本研究では、(1) 覚醒動物の高次視覚野から複数のカラムの神経活動を同時に計測できる技術(多電極アレイ)を確立して、(2) それによって、「特徴カラムの組み合わせによる物体像の表現」が、認識、特に、物体像(ターゲット)を探索する課題を遂行中に起こる2つの問題にどのように関わっているかを解明することを目的に研究を行った。

3. 研究の方法

多電極アレイの技術の確立においては、インプラントした電極の大多数から、長期間にわたる安定した記録ができることを目標に開発を行った。そのためには、さまざまな要素技術の開発が必要となる。特に、電極をインプラントするための手術法の開発、電極の束が組み込まれた電極ホルダーの固定法、個々の電極の位置の精密なアジャストメント機構の開発、組織からの脳脊髄液の電極ホルダーへの侵入によるシャントの防止機構の開発などを中心に開発を進めた。

(2) 物体像を認識させる課題でサルをトレーニングし、行動中の神経活動の時空間パターンを記録することにおいては、研究計画にある2つの行動動物課題(注意課題と遮蔽物体の認識課題)のほか、固視点への注視課題により動物を訓練した。

4. 研究成果

電極アレイの開発においては、下側頭葉視

覚連合野後部(TEO野)からの記録において大きな成功を収め、その成果をJ. Neurosci. Method誌に発表した(発表論文2)。具体的には、インプラント後、1-2か月にわたり、大多数の電極から安定した神経活動の記録ができるようになった。成功につながった改良点は、(1) 脳表面からの脳脊髄液を外に排出するためのドレインシステムを電極ホルダーに組み込んだこと、(2) 電極の刺入を一時に行わず、数日間かけてゆっくり行ったこと、(3) 電極先端と個々の電極をホルドするためのガイドチューブの間にシリコンオイルの層を設けて、電極ホルダーへの脳脊髄液の侵入を防ぐ工夫を行ったことである。しかし、下側頭葉視覚連合野前部(TE野)からの記録は、手術方法の確立が難しく、現在のところ、安定した長期間記録はできていない。今後の課題として残された。

この電極アレイを用いて、固視点への注視課題を訓練した動物のTEO野の神経活動を覚醒と麻酔下で行い両者の比較検討を行った。その結果、時間平均の発火応答をベースにした物体像に対する特徴カラム応答は麻酔下と覚醒下においてほぼ同じであること、しかし、応答の時間経過をみると、覚醒時の応答には刺激選択性の低い早い成分と刺激選択性の高い遅い成分があるのに対し、麻酔下においてはそのような時間的な区分がはっきりしなかった。このことから、これまでの麻酔動物の研究は、応答の初期応答を反映していることが明らかとなった。覚醒下においては、個々の特徴カラムの応答の選択性的変化に対応して、特徴カラムの空間パターンにおいても、多くの特徴カラムの活動から少数のカラムの活動のパターンに時間的に変化することが明らかになった。覚醒下において早い応答と遅い応答に区分した時に分けるときにどのようにみえるかという問題が今後

の課題として明らかになった。これらの結果については、日本神経科学学会において発表し(学会発表9)、現在論文を準備中である。2つの行動動物課題(注意課題と遮蔽物体の認識課題)については、現在、動物をトレーニング中であり、まだ、成果を生み出すには至っていない。

この他、主テーマに付随したいくつかの発見があった。主なものとしては、物体に対する応答が類似した特徴カラムが空間的に集まっていることが分かったので、これを、麻酔下の動物において詳細に検討した。その結果、特定の物体カテゴリーの特徴を表現しているカラムが集まった構造が高次視覚野にあることを明らかにし、この構造にモザイクという名前を付けた。モザイク全体が物体像を、モザイクの一つ一つのピースが図形特徴カラムに相当する。この結果は、J. Neurosci. 誌において現在審査中である。

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 7 件)

1. 内田 豪, 佐藤多加之, 北園 淳, 岡田真人, 谷藤学: "L1正則化ロジスティック回帰によって明らかにされた下側頭葉視覚連合野における階層的視覚情報表現" 電子情報通信学会論文誌 D, 受理, (2013) (査読あり)
2. N. Miyakawa, N. Katsumata, D. Blake, M. Merzenich, and M. Tanifuji: "High-density multielectrode array with independently maneuverable electrodes and silicone oil fluid isolation system for chronic recording from macaque monkey." J Neurosci Meth, 211, 114-124 (2012) (査読あり)
3. K. Igarashi, N. Ieki, M. An, Y. Yamaguchi, S. Nagayama, K. Kobayakawa, R. Kobayakawa, M. Tanifuji, H. Sakano, W. Chen, and K. Mori: "Parallel mitral and tufted cell pathways route distinct odor information to different targets in the olfactory cortex." J Neurosci, 32, 7970-7985 (2012) (査読あり)
4. Hayashi R, Tanifuji M: "Which image is in awareness during binocular rivalry?"

Reading perceptual status from eye movements." J. Vis. 12, 1-11 (2012) (査読あり)

5. G. Hanazono, K. Tsunoda, Y. Kazato, W. Suzuki, and M. Tanifuji: "Functional topography of rod and cone photoreceptors in macaque retina determined by retinal densitometry." Invest Ophthalmol Vis Sci, 53, 2796-2803 (2012) (査読あり)
6. Watanabe H, Rajagopalan UM, Nakamichi Y, Igarashi KM, Madjarova VD, Kadono H, and Tanifuji M: "In vivo layer visualization of rat olfactory bulb by a swept source optical coherence tomography and its confirmation through electrocoagulation and anatomy." Biomed Opt Express, 2, 2279-87 (2011) (査読あり)
7. Watanabe H, Rajagopalan UM, Nakamichi Y, Igarashi K, Kadono H, Tanifuji M: "Swept source optical coherence tomography as a tool for real time visualization and localization of electrodes used in electrophysiological studies of brain in vivo." Biomedical Optics Express, 2, 3129-3134 (2011) (査読あり)

[学会発表] (計 26 件)

1. Tanifuji M: "Neural mechanisms to represent information about face category and visual features simultaneously in inferotemporal cortex." 43rd NIPS International Symposium, Okazaki, Nov.1 (2012)
2. Owaki T, Vidal-Naquet M, Sato T, Uchida G, Cateau H, Ullman S., Tanifuji M: "Computational approach to estimate visual features represented by face selective cells in macaque anterior inferior temporal cortex." 43rd NIPS International Symposium, Okazaki, Nov.1 (2012)
3. Lin C-P, Sato T, Hung C. P., Tanifuji M: "Continuous mapping of mirror face rotation in macaque inferior temporal cortex." Neuroscience 2012, New Orleans, Oct. 15 (2012)
4. Sato T, Uchida G, Lescroart M., Kitazono J., Okada M., Tanifuji M: "Cortical organization linking object features and categories." Neuroscience 2012, New Orleans, Oct 15 (2012)
5. Owaki T, Vidal-Naquet M, Sato T, Cateau H, Ullman S., Tanifuji M: "Diversity of visual features represented in a face selective sub-region of macaque anterior inferior temporal cortex." Neuroscience 2012, New Orleans, Oct 15 (2012)
6. 中道友, Kalatsky Valery A., 渡邊 秀行, 佐藤多加之, Rajagopalan UM, 谷藤学: "The

- singularity string: a revised structure of singularity of orientation columns in primary visual cortex.” 第 35 回日本神経科学大会, 名古屋, 9 月 21 日(2012)
7. 林佳霈, 佐藤多加之, Chou Hung P., 谷藤学: “Fine scale functional organization in face-selective region of primate inferior temporal cortex.” 第 35 回日本神経科学大会, 名古屋, 9 月 18 日(2012)
 8. 佐藤多加之, 谷藤学: “Optical intrinsic signal imaging from macaque inferotemporal cortex reveals functional structures in different spatial scales.” 89th Annual Meeting of the Physiological Society of Japan, Matsumoto, Mar. 30 (2012)
 9. Sato T, Tanifuji M: “Optical intrinsic signal imaging from macaque inferotemporal cortex reveals functional structures in different spatial.” Neuroscience 2011, Washington DC, Nov. 14 (2011)
 10. Katsumata N, Miyakawa N, Tanifuji M: “Consistency of visual response properties of cells in awake and anesthetized macaque inferior temporal cortex.” Neuroscience 2011, Washington DC, Nov. 14 (2011)
 11. Owaki T, Vidal-Naquet M Sato T, Cateau H, Ullman S., Tanifuji M: “A computational model reveals that the face domain of macaque inferotemporal cortex (IT) represents multiple visual features.” Neuroscience 2011, Washington DC, Nov.14 (2011)
 12. Tanifuji M: “The functional optical coherence tomography (fOCT): a technique to visualize 3D cortical functional structures.” KSBNS-MCCS-Asia Conference 2011, Seoul, Sept.20 (2011)
 13. 佐藤多加之, 谷藤学: “Optical intrinsic signal imaging from macaque inferotemporal cortex reveals functional structures in different spatial scales.” 第 34 回日本神経科学大会, 横浜, 9 月 17 日(2011)
 14. 大脇崇史, Vidal-Naquet M, 佐藤多加之, 加藤英之 Ullman S., 谷藤学: “A computational model reveals that the face domain of macaque inferotemporal cortex (IT) represents multiple visual features.” 第 33 回日本神経科学大会, 横浜, 9 月 16 日(2011)
 15. 勝亦憲子, 宮川尚久, 谷藤学: “Consistency of visual response properties of cells in inferior temporal cortex (IT) in awake and anesthetized macaque.” 第 34 回日本神経科学大会, 横浜, 9 月 15 日(2011)
 16. Hayashi R, Tanifuji M: “A new binocular rivalry stimulus for reading out perceptual alternation of object image from reflexive eye movement.” Neuroscience 2010, San Diego, Nov. 16(2010)
 17. Suzuki W, Hanazono G, Ito K., Nishiyama J., Tanifuji M, Tsunoda K: “Intrinsic signals in different layers of macaque retina revealed by optical coherence tomography (OCT).” Neuroscience 2010, San Diego Nov. 14 (2010)
 18. Tanifuji M, Uchida G, Sato T, Kitazono J., Okada M: “Visual information represented at different levels of functional hierarchy in inferior temporal cortex of monkeys revealed by machine learning.” Neuroscience 2010, San Diego, Nov.14 (2010)
 19. 渡邊秀行, Rajagopalan UM, 中道友, Madjarova V. D, 門野博史, 谷藤学: “In vivo imaging of rat olfactory bulb structure by swept source OCT” 日本光学会年次学術講演会(OPJ2010), 11 月 10 日(2010)
 20. 内田豪, 佐藤多加之, 北園淳, 岡田真人, 谷藤学: “視覚連合野の視覚情報表現は階層的である—多数の細胞の応答により張られる空間の中における物体像の分布の解析.” 第 48 回日本生物物理学会年会, 仙台, 9 月 22 日(2010)
 21. 内田豪, 佐藤多加之, 北園淳, 岡田真人, 谷藤学: “Visual information represented in different levels of functional hierarchy in monkey inferior temporal cortex revealed by machine learning.” 第 33 回日本神経科学大会, 神戸, 9 月 4 日(2010)
 22. 大脇崇史, Vidal-Naquet Michel, 佐藤多加之, 谷藤学, 加藤英之: “Different coding schemes coexist in the inferior temporal cortex of the brain.” 第 33 回日本神経科学大会, 神戸, 9 月 4 日(2010)
 23. Vidal-Naquet Michel, 谷藤学, Maldonado Pedro, Ullman Shimon, Gruen Sonja: “Time resolved extraction of receptive fields” 第 33 回日本神経科学大会, 神戸, 9 月 4 日(2010)
 24. 林隆介, 谷藤学: “A new psychophysical method measuring perceptual dominance of object image during binocular rivalry.” 第 33 回日本神経科学大会, 神戸, 9 月 3 日(2010)
 25. Tanifuji M: “Cortical columnar organization is reconsidered in inferotemporal cortex.” 2010 Asia-pacific conference on vision, Taipei, July 23 (2010)
 26. 谷藤学: “下側頭葉視覚連合野 (TE) における階層的機能構造とそれぞれの階層の役割の機械学習による解析” 生理学研究所研究会「視知覚の理解へ向けて: 生理, 心理物理, 計算論による探求」, 岡崎, 6 月 11 日(2010)

[その他]

ホームページ等

<http://www.riken.jp/lab-www/ins/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

谷藤 学 (TANIFUJI MANABU)

独立行政法人理化学研究所・脳統合機能研究

チーム・チームリーダー

研究者番号：60197530

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

理化学研究所：内田 豪, 佐藤多加之, 宮川尚久, 勝亦憲子, 渡邊秀行, Rajagopalan UM, Lin C-P, 中道友, 五十嵐啓, 大脇崇史, 林隆介, 花園元, 角田和繁, 鈴木航.

他：門野博史, 岡田真人, 北園 淳, 風戸陽子, 加藤英之, Maldonado P., Ullman S., Gruen S., Madjarova V.D., Blake D., Merzenich M., Ieki N., An M., Yamaguchi Y., Kobayakawa K., Kobayakawa R., Sakano H., Chen W., Mori K., Hung C. P., Lescroart M., Vidal-Naquet M.