

令和 4 年 6 月 27 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2021

課題番号：19K20653

研究課題名（和文）全半球皮質脳波計測による視覚入力から眼球運動にいたる大脳情報ダイナミクスの解明

研究課題名（英文）Cortical neural dynamics from visual input to saccade eye movements investigated by ECoG recording

研究代表者

兼子 峰明（Kaneko, Takaaki）

京都大学・霊長類研究所・特定助教

研究者番号：50744372

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）：視覚系は機能的に異なる腹側と背側の視覚経路から構成されていることが知られている。しかし、自然な視覚行動において、これらの経路がどのような時空間ダイナミクスで機能するのは未解明である。そこで本研究では、マーモセット大脳皮質の外側面全面にわたり96チャンネル皮質脳波記録を用いて、能動的視覚における脳神経ダイナミクスを記録した。これにより、自然な視覚行動における腹側系と背側系の時空間ダイナミクスが明らかとなった。また、自然な視覚行動が視覚系全体の情報ダイナミクスといかに相互に効率化された関係にあるかが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

霊長類の視覚系は皮質計算の原理を理解する上で最も優れたシステムの一つであり、そのモデルは最先端の人工知能アーキテクチャの基礎となっている。しかし自然な視覚行動において皮質全域における情報ダイナミクスは不明であった。本研究では近年開発されたマーモセット脳の外側半球ほぼ全体をカバーすることができるECoGアレイ電極を用いることで、皮質の広域な領野から高い時空間解像度で神経ダイナミクスを観察することに成功した。これにより自然な視覚行動と神経ダイナミクスがどのように協調し効率よく環境を探索するのかを明らかにした。これらの成果は霊長類視覚系における皮質情報伝搬について新たな視点を提供するものである。

研究成果の概要（英文）：Numerous studies have shown that the visual system consists of functionally distinct ventral and dorsal streams; however, its exact spatial-temporal dynamics during natural visual behavior remain to be investigated. Here, we report cerebral neural dynamics during active visual exploration recorded by an electrocorticographic array covering the entire lateral surface of the marmoset cortex. Our results not only revealed the spatiotemporal dynamics of ventral and dorsal systems in natural visual behavior, but also showed the neural dynamics of active vision which are efficiently linked to the natural rhythms of visual exploration.

研究分野：システム神経科学

キーワード：ECoG Natural Vision マーモセット 急速眼球運動 視覚

1. 研究開始当初の背景

霊長類の視覚システムは、大脳皮質の計算原理について最も理解の進んでいるシステムである。大脳では 30 以上にわたる皮質領野が視覚解析に関係しており、複雑な階層的ネットワークを構築している。近年では、皮質における視覚解析に関する計算モデルが人工知能の設計に応用されるなど、視覚システムの理解は、大脳皮質の計算原理を知るうえで極めて重要なモデルシステムとなっている。この複雑なシステムを整理したモデルとして、Dual Stream 説という考え方が提唱されている。これは視覚情報が大脳皮質をどのように伝搬していくのかをモデル化したものである。このモデルでは第一次視覚野に到達した視覚情報が腹側と背側の異なる視覚経路に伝搬されていくとする。このモデルは視覚システムの特徴をよくとらえているが、近年のさまざまな研究から、このモデル以外にも視覚情報処理の伝搬をとらえる相補的な見方はありうるのではないかという知見が集積されてきている。特に能動的な視覚行動において、実際にどのように情報が大脳皮質を伝搬するのか、その詳細は不明であった。

2. 研究の目的

そこで本研究では自然な視覚行動における大脳皮質の情報ダイナミクスを明らかにすることを目的とした。特に、皮質全般にわたる神経活動を高い時空間解像度で観察することで、視覚系における情報伝搬の様相を明らかにすることを目標とした。

3. 研究の方法

これを実現するために、近年開発されたマーモセットの大脳皮質全半球をカバーする事が可能な広域皮質脳波記録システムを用いることで、能動的な視覚行動中における神経活動を皮質の広域な領域から記録した。マーモセットはこのような研究に最適の動物種である。ヒトやマカクザルと皮質視覚領野の多くの部位で相同性が保たれていることが示されており、かつ深い脳溝がほとんどないため

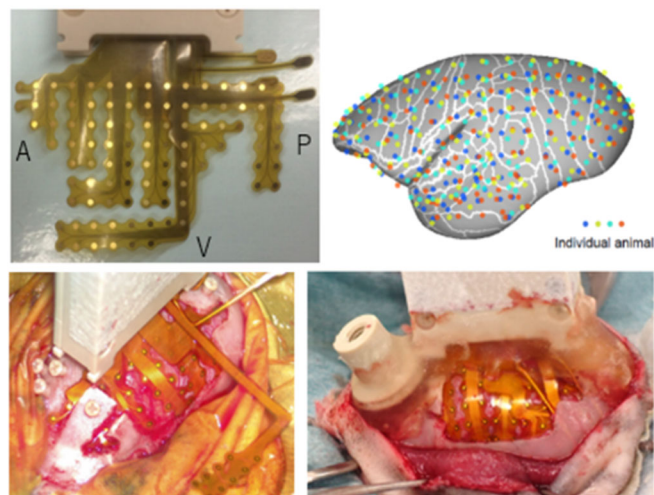


図 1. 記録に用いた皮質脳波記録

に、多くの視覚領野に皮質脳波電極を設置することができる。

我々は、マーモセットの外側皮質のほぼ全域に 96 チャンネルからなる皮質脳波記録電極を埋入した (図 1)。この電極を用いてマーモセットが同種他個体の社会行動な

どさまざまな内容を含んだ動画刺激を観察している際の神経活動を記録した。マーマセットの頭部は固定された状態で、皮質脳波活動と同時に近赤外カメラを用いて眼球運動の計測を行った。

4. 研究成果

本研究では、能動的な視覚行動時の神経ダイナミクスについて、いくつかの特徴的な現象を見出した。急速眼球運動に伴って背側視覚路がV1よりさらに早く活動し、それに続いて抑制 - 興奮の神経活動が腹側視覚路に伝搬されることが確認された (図2)。

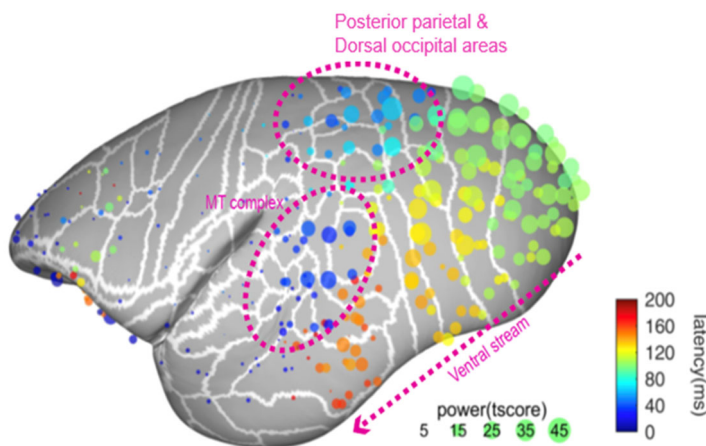


図2. サッカーに伴う興奮信号の応答時間

背側視覚経路の中でも、頭頂領域では遠心性情報 (運動情報)

が、MT 野およびその周辺領域ではより視覚情報(求心性)の信号が強調されている可能性が示唆された。

また、皮質の情報ダイナミクスは、のっぺりとした一様なものではなく局在した情報が背側から腹側系に伝搬していくということが明らかになった。このような神経活動は、平均すると1秒間に5回ほど急速眼球のタイミングにて生じており、このタイミングはちょうど脳全体の活動がバックグラウンドレベルに戻るタイミングと一致していた (図3)。

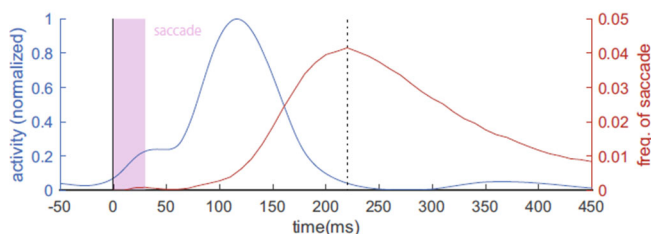


図3. サッカー間隔と全脳の信号強度

一方で、個別の眼球運動は、このような背側から腹側経路に至る情報伝搬のどの段階でも生じており、眼球運動の生成は各視覚領域が平行に貢献するようなシステムになっている可能性が示唆された。

以上のような特徴をもって、視線行動と皮質情報ダイナミクスが調和されており効率的な環境の探索と視覚認知を実現しているものと考えられる。これらの結果は、視覚情報伝搬のあり方について、古典的な Dual Stream 説に対して新規で相補的な視点をもたらすものであり、視覚情報処理の特に能動性を加味したモデルの構築の基盤となることが期待される。より詳しい内容はオープンアクセス誌にて報告しており、誰もが観覧可能となっている (<https://doi.org/10.1038/s42003-022-03052-1>)。

* 図表は上記リンクの論文より転載した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2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 Kaneko Takaaki, Komatsu Misako, Yamamori Tetsuo, Ichinohe Noritaka, Okano Hideyuki	4. 巻 5
2. 論文標題 Cortical neural dynamics unveil the rhythm of natural visual behavior in marmosets	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Communications Biology	6. 最初と最後の頁 1-13
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s42003-022-03052-1	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 -

1. 著者名 Komatsu Misako, Kaneko Takaaki, Okano Hideyuki, Ichinohe Noritaka	4. 巻 144
2. 論文標題 Chronic Implantation of Whole-cortical Electrographic Array in the Common Marmoset	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Visualized Experiments	6. 最初と最後の頁 e58980
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3791/58980	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 1件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 兼子峰明
2. 発表標題 Cortical information dynamics of active vision in the marmoset
3. 学会等名 生理学研究所研究会2020 「行動の多様性を支える神経基盤とその動作様式の解明」（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takaaki Kaneko, Misako Komatsu, Notiraka Ichinohe, Hideyuki Okano
2. 発表標題 Cerebral information dynamics from visual input to motor output with a whole-hemisphere electrocorticography (ECoG)
3. 学会等名 Society for Neuroscience（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kaneko Takaaki、Komatsu Misako、Yamamori Tetsuo、Ichinohe Noritaka、Okano Hideyuki
2. 発表標題 Information dynamics of natural vision investigated by electrocorticographic (ECoG) signal covering the entire hemisphere of a primate brain
3. 学会等名 Neuro 2019 (第42回 日本神経科学大会)
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
---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------