

令和 3 年 5 月 24 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2017～2020

課題番号：17H00742

研究課題名（和文）視覚世界安定化の神経機構 楔前部仮説の検証

研究課題名（英文）Neural mechanisms for visual stabilization: testing a precuneus hypothesis

研究代表者

北澤 茂 (Kitazawa, Shigeru)

大阪大学・生命機能研究科・教授

研究者番号：00251231

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 34,500,000円

研究成果の概要（和文）：我々は毎秒3回も目を動かすのに、周囲の世界は動かない。脳はいかにして視覚世界を安定させるのか。我々は、ずれた網膜像が「背景」を基準にして統合されるという「背景座標仮説」を提唱して、検証した。本研究では、1)「背景座標ニューロン」がサルの楔前部に存在することを神経生理学的な研究により実証し、2)楔前部の外乱により視覚世界の安定性が損なわれること、を示した。本研究を通じて、1000年以上にわたって議論が続いてきた知覚の基本問題に新たな視点から実質的な回答を与えることに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

目を動かしても世界が動かないのはなぜか、という問題はすぐに体験できるだけでなく、1000年にわたって繰り返し議論されてきた「基本的な」問題である。「サッケード抑制」が標準的な回答とされてきたが、これは問の1/3程度を説明するに過ぎない。我々は先行研究を総合して、「脳のネットワークの中心である楔前部に背景を中心とする座標系が在ること」が回答であるという仮説を提案して、検証に成功した。この研究成果は、1000年来の問題に実質的な回答を与えたという意義があると考えている。

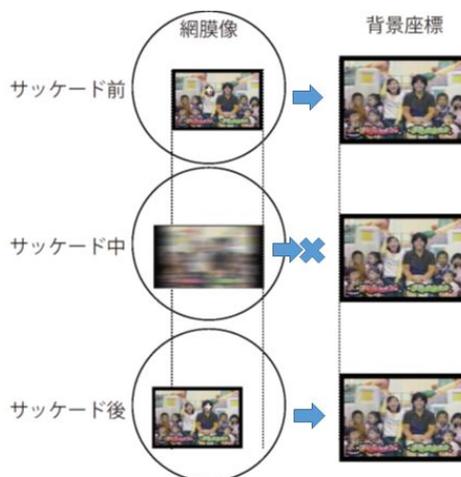
研究成果の概要（英文）：We move our eyes three times a second, but the world around us remains stable. How does the brain stabilize the visual world? We proposed and tested a "background coordinate hypothesis" that the displaced retinal images are integrated relative to the background". In this study, 1) we demonstrated that "background coordinate neurons" do exist in the precuneus of monkeys, and 2) the stability of the visual world was impaired by disturbing the precuneus. The results of this research have provided a solid answer to the basic question of visual stability, which has been debated for more than 1000 years.

研究分野：システム神経科学

キーワード：視覚安定化 背景座標系 網膜座標系 楔前部

1. 研究開始当初の背景

(1) 私たちは1秒に3回も高速な眼球運動(サッケード)を行って外界の情報を取り入れている。しかし、我々は網膜像の流れに気づかず、外界は常に安定している。400年前にデカルトは、目を指で押すと外界が揺らぐことに気づき、眼を動かすための信号が世界の安定に寄与していると考えた。現代では、サッケードの運動指令の遠心性コピーを使ってサッケードによる網膜像の「流れ」が抑制される、という図式にまとまっている。しかし、このモデルは問題の一部を説明するに過ぎない(図1×印)。サッケード前後のずれた網膜像からどうやって1つの外界の知覚が作られるのかという大問題が残る。



ずれた網膜像は「背景座標」で統合される

図1 背景座標仮説

(2) 我々は、心理学的な研究から網膜像更新から150ms以内に網膜像が背景座標に統合されること(Uchimura M and S Kitazawa 2013; Chakrabarty M et al. 2017)、さらに、機能画像研究から右の楔前部が背景座標系の有力な表現部位であること(Uchimura M et al. 2015)、を示すデータを得ていた。これらの成果をもとに、我々は、網膜像から抽出される「背景」を基準にして世界が統合されるという「背景座標仮説」を独自に提唱した(図1)。

2. 研究の目的

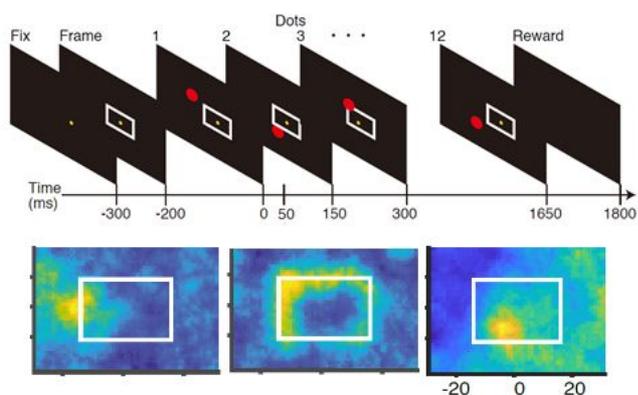
背景座標系仮説を以下の2つの研究を通じて検証することが研究の目的である。

(1) 神経生理学的な手法を用いて、サルの楔前部に、受容野が背景に固定されている「背景座標系ニューロン」が存在することを示す(図2)。

(2) ヒトを対象として、楔前部に外乱を与えることで視覚世界の安定性が損なわれることを示す(図4)。

3. 研究の方法

(1) 固視点を見るように訓練したサルの楔前部から、個別のニューロンの活動を記録した。視野には大きな四角(背景)と丸を提示して、各々のニューロンの活動が網膜上の特定の部位に丸が提示されたときに上昇するのか(網膜座標系で丸の位置を表現する網膜座標系ニューロンなのか)、背景に対して特定の部位に提示されたときに上昇するのか(背景座標系で丸の位置を表現する背景座標系ニューロンなのか)、を解析した(図2)。



(2) ヘッドマウントディスプレイを装着したヒト被験者に対して、全周動画を広視野角(110°)で提示した。10秒間の動画提示の間に、サッケードに相当する100ms間のブランクを挿入して、挿入の前後で、様々な角度で全周動画の位置を動かして、「視覚世界が動いたかどうか」の回答を求めた。1/8の試行では画面は動かない。楔前部に近い頭皮上にネオジウム磁石または磁性のない金属円筒を置いて、「動いた」と判断する確率が楔前部に対する外

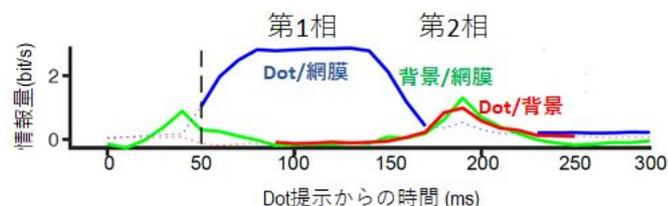


図2 神経生理学的研究の方法と楔前部の背景座標ニューロンの例上：サルは黄色い固視点を見る。大きな背景(長方形)が提示され、その周辺を覆うように赤丸(Dot)が様々な場所にフラッシュ提示される。中：我々はサルの楔前部で受容野が背景に対して固定されている背景座標系ニューロンを発見した。下：網膜座標系でのDotの位置情報(青)と背景の位置情報(緑)は時分割で出現する。背景のphaseで背景に対するDotの位置情報(赤)がデコードされる。(Uchimura, Kumano, Kitazawa, 投稿準備中)

乱で上昇するかどうかを検定した。

4. 研究成果

(1) 検討した 998 個の楔前部のニューロンのうち、158 個が網膜座標系ニューロンで、57 個が背景座標系ニューロンだった。図 2 の中段に示した 3 例の背景座標系ニューロンでは、受容野が背景の資格の左外側、左上の角と角を構成する 2 辺の上、内側左下方、にそれぞれ固定されていた。面白いことには、背景座標系ニューロンの 7 割以上 (43 個) は背景座標で丸の位置を表現する前に、網膜座標系で丸の位置を表現していた (図 2 下段)。また背景の網膜上の位置を表現するニューロンも多数存在することが明らかになった (585 個)。網膜座標系における丸の位置の情報 (図 2 青線)、網膜座標系における背景の位置の情報 (緑線)、背景座標系における丸の位置の情報 (赤線) の関係を解析したところ、丸の提示後 50-150 ms の間に丸の網膜座標位置の情報が表現されたのち、200 ms 後のあたりで網膜座標系における背景の位置の情報に切り替わり、同じ時間帯に背景座標系における丸の位置の情報が出現することが明らかになった。これらの結果から、網膜像は図と背景 (地) の情報に時分割的に分解されたうえで背景のフェーズで背景に対する図の位置として楔前部で統合されるものと考えた。

(2) 非磁性金属条件では、動かない試行に対して動いたと判断する確率は 3% 未満だったが、磁性外乱条件ではおよそ 25% に有意に上昇した。この結果は、楔前部が視覚世界の安定化に貢献していることを強く示唆する。

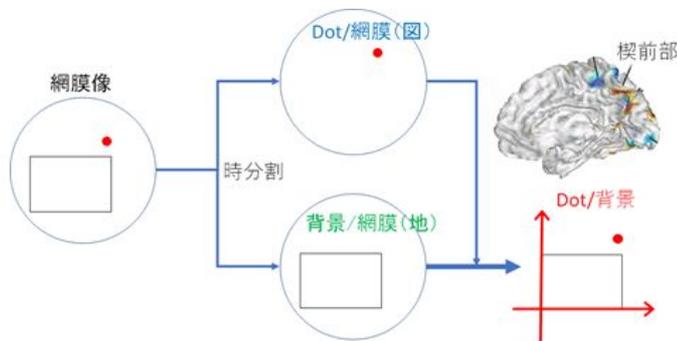


図 3 背景座標系の時分割生成モデル
網膜像は図 (○) と地 (背景) の情報に時分割的に分解されたうえで、地 (背景) のフェーズで地に対する図の位置として楔前部で統合されるのではないか。

背景座標系における丸の位置の情報 (赤線) の関係を解析したところ、丸の提示後 50-150 ms の間に丸の網膜座標位置の情報が表現されたのち、200 ms 後のあたりで網膜座標系における背景の位置の情報に切り替わり、同じ時間帯に背景座標系における丸の位置の情報が出現することが明らかになった。これらの結果から、網膜像は図と背景 (地) の情報に時分割的に分解されたうえで背景のフェーズで背景に対する図の位置として楔前部で統合されるものと考えた。

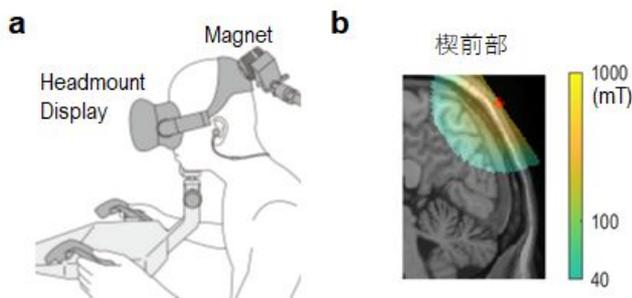


図 4 全周動画自由視パラダイムと静磁場抑制法

< 引用文献 >

Chakrabarty M, Nakano T, Kitazawa S. 2017. Short-latency allocentric control of saccadic eye movements. *J Neurophysiol.* 117:376-387.

Uchimura M, Kitazawa S. 2013. Cancelling prism adaptation by a shift of background: a novel utility of allocentric coordinates for extracting motor errors. *J Neurosci.* 33:7595-7602.

Uchimura M, Nakano T, Morito Y, Ando H, Kitazawa S. 2015. Automatic representation of a visual stimulus relative to a background in the right precuneus. *Eur J Neurosci.* 42:1651-1659.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Moharrampour Ali, Kitazawa Shigeru	4. 巻 2
2. 論文標題 What Underlies a Greater Reversal in Tactile Temporal Order Judgment When the Hands Are Crossed? A Structural MRI Study	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Cerebral Cortex Communications	6. 最初と最後の頁 1-12
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1093/texcom/tgab025	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 Prablanc C., Panico F., Fleury L., Pisella L., Nijboer T., Kitazawa S., Rossetti Y.	4. 巻 153
2. 論文標題 Adapting terminology: clarifying prism adaptation vocabulary, concepts, and methods	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Neuroscience Research	6. 最初と最後の頁 8~21
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.neures.2019.03.003	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 該当する
1. 著者名 Nijboer Tanja, Kitazawa Shigeru, Rossetti Yves	4. 巻 126
2. 論文標題 Prism adaptation: Reflections and future shifts for circular translational research?	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Cortex	6. 最初と最後の頁 213~216
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.cortex.2020.01.001	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 該当する
1. 著者名 Nishimura Nobuyuki, Uchimura Motoaki, Kitazawa Shigeru	4. 巻 122
2. 論文標題 Automatic encoding of a target position relative to a natural scene	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Neurophysiology	6. 最初と最後の頁 1849~1860
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1152/jn.00032.2018	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 Inoue M, Kitazawa S	4. 巻 28
2. 論文標題 Motor Error in Parietal Area 5 and Target Error in Area 7 Drive Distinctive Adaptation in Reaching	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Current Biology	6. 最初と最後の頁 2250-2262
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cub.2018.05.056	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19件(うち招待講演 12件/うち国際学会 11件)

1. 発表者名 Yoshiaki Yamazaki
2. 発表標題 Transcranial static magnetic stimulation to the precuneus disrupts visual stability in the human.
3. 学会等名 The 43rd Japan Neuroscience Meeting (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 北澤 茂
2. 発表標題 「今」と「ここ」は脳のどこにあるのか
3. 学会等名 第30回日本神経回路学会全国大会(招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 北澤 茂
2. 発表標題 「今」と「ここ」は脳のどこにあるのか
3. 学会等名 第4回日本脳神経外科認知症学会学術総会(招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Shigeru Kitazawa
2. 発表標題 The here and now in the default mode network.
3. 学会等名 Elsevier/NSR Symposium, The 43rd Japan Neuroscience Meeting (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Shigeru Kitazawa
2. 発表標題 The here and now in the default mode network
3. 学会等名 The 20th RIES-Hokudai International Symposium (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shigeru Kitazawa, Masato Inoue
2. 発表標題 Sophisticated neural networks for generating error signals that drive adaptation in reaching
3. 学会等名 The 10th IBRO World Congress of Neuroscience (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Motoaki Uchimura, Hironori Kumano, Sshigeru Kitazawa
2. 発表標題 Direct coordinate transformation from the retinotopic to the allocentric in the monkey precuneus
3. 学会等名 The 10th IBRO World Congress of Neuroscience (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 北澤 茂
2. 発表標題 目を動かしても世界が動かないのはなぜか
3. 学会等名 第55回日本臨床分子医学会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kitazawa S
2. 発表標題 In search of allocentric coordinates :where they are and how they emerge
3. 学会等名 IDG/ McGovern Institute for Brain Research, Peking Univ（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 北澤 茂
2. 発表標題 「今・ここ」とデフォルトモードネットワーク
3. 学会等名 電子情報通信学会 NC研究会・MBE研究会・計測自動制御学会 生体・生理工学研究会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kitazawa S
2. 発表標題 The here and now in the default mode network
3. 学会等名 Consciousness Research Network 2019（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kitazawa S
2. 発表標題 Error signals in reaching: neural representations and their roles in optimizing the movement
3. 学会等名 Neuronal circuits in motor behavior, OIST workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Motoaki Uchimura, Hironori Kumano, Shigeru Kitazawa
2. 発表標題 Ego- and allocentric information encoded by neurons in the monkey precuneus.
3. 学会等名 Cold Spring Harbor Asia Conference-Primate Neuroscience: From Perception to Cognition & Disease Models (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Motoaki Uchimura, Hironori Kumano, Shigeru Kitazawa
2. 発表標題 Rapid allocentric coding in the monkey precuneus
3. 学会等名 Neuroscience 2017, annual meeting of society for neuroscience (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 内村元昭, 熊野弘紀, 北澤茂
2. 発表標題 サル楔前部の外部座標系ニューロン
3. 学会等名 第40回日本神経科学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Shigeru Kitazawa
2. 発表標題 In search of allocentric coordinates; where they are and how they emerge
3. 学会等名 RIKEN BSI Summer Program 2017 “Exploring and Emulating the Brain” (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 北澤 茂	4. 発行年 2020年
2. 出版社 中外医学社	5. 総ページ数 192
3. 書名 医師・医学生のための人工知能入門	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>自分が間違えたのか、相手が動いたのか！？ http://www.fbs.osaka-u.ac.jp/jpn/events/achievement/kitazawa-20180706/</p>
--

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
研究協力者	内村 元昭 (Uchimura Motoaki)		

6. 研究組織（つづき）

	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
研究協力者	熊野 弘紀 (Kumano Hironori)		

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