

平成30年6月26日現在

機関番号：82626

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2017

課題番号：15K12134

研究課題名(和文) 知覚が反射性眼球運動に与える影響 - 意識と不随意運動の相互作用 -

研究課題名(英文) The correlation between perception and ocular following

研究代表者

竹村 文 (Takemura, Aya)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・情報・人間工学領域・主任研究員

研究者番号：90357418

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、感覚運動情報処理プロセスにおける認識という主観的な現象と運動の相関を解き明かし、脳の意識的過程と無意識的過程の関係性に迫ることである。

本研究では、物理的な画像シフトの方向とは異なる運動知覚を想起させる2フレーム・ムービーを用いて、眼球運動も物理的な画像シフトの方向とは異なる方向に生じることを、マカクサルを用いて明らかにした。このことは、マカクサルがヒトの良いモデルであることを示している。今後、ヒトで示唆されている「知覚の反転は初期視覚野の情報処理が反映された結果である」という仮説を、マカクサルを用いた電気生理学的実験により神経活動から明らかにしていくことが可能になるだろう。

研究成果の概要(英文)：Two-frame movies presented with an inter-stimulus interval (ISI) between the first and second frames often induce sensation of motion in the opposite direction to the actual image shift. This phenomenon seems due to temporal filters with biphasic impulse response functions embedded in visual system. Recently, it was reported that this two-frame movie induced ocular following responses (OFRs) in the reversed direction in human, and temporal filters based on the observed data was estimated by assuming a motion energy model underlying the OFR-generation. To understand the neural substrates underlying the visual motion detectors to elicit the OFRs, it is critical to have an adequate animal model. In the present study, we applied this experimental paradigm on monkeys to disclose the temporal characteristics of the visual system and studied how similar the visual systems of humans and non-human primates are.

研究分野：神経科学

キーワード：認識 意識 無意識 視覚 不随意運動 反射

1. 研究開始当初の背景

普段、何気なく過ごしている私たちの動きは、動かそうという意識よりも、体が動く方が早い。歩行や腕の到達運動を例にとると、足や指先を意識して動かすことはない。これらの運動は後から認識することは可能だが、体が動く方が早いのである。私たちの認識という意識的なプロセスは時間のかかる情報処理であり、無意識によって導かれていることを近年の脳科学は示唆している。本研究の目的は、オンラインシステムである運動の修正運動を対象に、感覚運動情報処理プロセスにおける認識という主観的な現象と運動の相関を解き明かし、脳の意識的過程と無意識的過程の関係性に迫ることである。

脳の感覚運動機能(sensorimotor behavior)については、健常者と患者の研究から多くの示唆が得られてきた。例えば盲視(blind sight)や失認(agnosia)という症例がある。どちらも“観測者が見えない刺激を検出できる”という能力であり、「見えない」のに「視標に視線をうつす」「動いているものを目で追う」あるいは「適切に手を伸ばす」ことができるのである。これらは自動化された運動制御経路と意識経路が別であることを意味している。その神経情報処理の理解は、無麻酔の動物の実験条件下での研究により急速に進んできているが、健常状態においては“認識と運動の因果関係性”という切り口ではほとんど研究されていない。

これまで申請者は「追従眼球運動(OFR: Ocular Following Response)」とよばれる短潜時(約 50 ミリ秒)で生じる眼球運動制御系を研究対象とし、脳を“感覚入力を処理し、運動指令を出力するシステム”としてとらえ、霊長類を用いて一貫した研究を行ってきた(Takemura et al. 2001, 2002, 2007; Yamamoto et al. 2002)。OFR は、視野が突然動くことで反射的に生じる眼の修正運動で、体が動いても良好な視覚状態を維持するように機能している。視野が動いてから、わずか 50 ミリ秒で生じる OFR は、意識という時間のかかる情報処理に影響されるのだろうか。

視知覚実験では、同一刺激が呈示されているにも関わらず、異なる知覚像が生じる「両眼視野闘争」という現象が知られている。この刺激では、右眼と左眼にそれぞれ見せる像を用意し、同時にそれぞれの目が異なる像を見ているとき、知覚される像が数秒ごとに切り替わる。視覚刺激の動きで誘発される短潜時 OFR は、常に全く同じ物理的視覚刺激が与えられているにも関わらず、認識が切り替わるたびに变化するだろうか？

本研究では、認識(意識に上った視覚刺激)と自動化された運動(無意識)が、どのように影響し合っているのかを追求することで、意識と無意識についての新たな知見が得られる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、常に見えている物理的刺激は同じ刺激を用いて眼球運動を誘発し、認識(意識に上った視覚刺激)と自動化された運動(無意識)が、どのように影響し合っているのかを追求することであった。

3. 研究の方法

目的を達成するために、常に見えている物理的刺激は同じなのに知覚される像が切り替わる「両眼視野闘争」の刺激、や、動きの知覚を反転させる視覚刺激(Two-frame movie)を用いて、マカクサルスの眼球運動を誘発し、詳細に解析した結果を、げっ歯類およびヒトの結果と比較検討することで、系統発生的に異なる脳機能を持つ種(げっ歯類、マカクサル、ヒト)をまたいだ解析を可能にし、仮説をたて、モデルを構築した。

OFR(追従眼球運動)は、背側皮質を經由する反射的な運動で、定型的で即時的に早く実行される運動である。このような最適に自動化された運動制御系はフィードフォワードで情報処理が行われ、最短に実行される。一方、意識的知覚には、新皮質の前部から後部への大域的なフィードバックを経て、時間のかかる持続的な情報処理が必要であると考えられる。この仮説の検証のためには、将来的にはサルを用いた複数の脳領域における単一ニューロン活動の記録実験や薬物注入実験による特定脳領域の不活化実験が必要である。そのため、ヒト実験で得られた知見をもとに、視覚刺激のパラメータを厳選して、動物実験へと移行することを検討した。

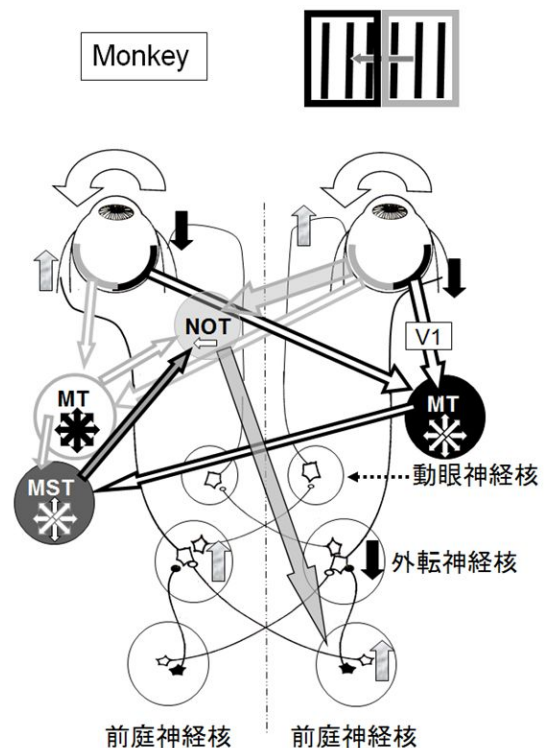


図 動きの情報を処理する領域の特異性

図に示すように、頭頂後頭連合野のニューロンが受容野（MT:対側視野のみ、MST:両側視野）を持つことや皮質下のニューロンが方向選択特異性（同側へ向かう動きのみ）をもつことから、視覚情報統合処理の流れを考慮した視覚刺激の条件（呈示する視野位置、動きの方向）を設定することで、各脳領域の知見が得られると考えた。

4. 研究成果

本研究の目的は、常に見えている物理的刺激は同じなのに知覚される像が切り替わる「両眼視野闘争」の刺激を用いて、眼球運動を誘発し、認識（意識に上った視覚刺激）と自動化された運動（無意識）が、どのように影響し合っているのかを追求することである。そのために、初年度はヒト実験システムを構築し、連携研究者とともに、高精度な眼球運動計測システムを開発した。本計測装置は、時間的にも空間的にも精度の高い両眼の眼球運動計測システムであり、独自のアルゴリズムによって、サンプリング周波数:500Hz（時間解像度 2 ミリ秒）精度:0.2 度以下で両眼計測を同時に行いヒトの短潜時で生じる眼球運動を検出できる。

2 年目は、眼球運動を引き起こすのに適切な視覚刺激の検討を初年度から引き続き行った。眼球運動を誘発する両眼視野闘争の刺激を作成したが、実験パラメータを決定するに至らなかった。一方で、特定の条件下での視覚刺激では、動きの知覚が反転することが心理物理学的に知られている。動きの知覚を反転させる視覚刺激（Two-frame movie）を作成し、誘発された眼球運動も反転することを明らかにした。また、意識に上らない運動学習について論文化した。

最終年度は、2 年目に開発した視覚刺激によって視覚運動を知覚する意識との関係を探るため、Two-frame movie を用いてマカクサルスの眼球運動を誘発し、初期視野に潜む時空間解像度を詳細に解析した。その結果を、げっ歯類およびヒトの結果と比較検討し、モデルを構築した。本研究成果は、日本神経科学学会と北米神経科学学会で発表した。さらに、実験動物に眼球運動を誘発しているときに、眼球運動計測と同時に大脳皮質 MST 野の単一ニューロン活動を記録した。

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 2 件)

- 1) A Widely Applicable Real-time Mono/Binocular Eye Tracking System Using a High Frame-Rate Digital Camera. , 松田 圭司、永見 武司、菅生 康子、竹村 文、河野 憲二 ,Human-Computer Interaction. User Interface Design, Development and Multimodality 19th International

Conference, HCI International 2017, Vancouver, BC, Canada, July 9-14, 2017, Proceedings, Part I , 1 , pp.593-608、2017/07

- 2) Neural activity in the dorsal medial superior temporal area of monkeys represents retinal error during adaptive motor learning, 竹村 文、大藤 智世、三浦健一郎、河野 憲二 ,Scientific Reports , 7- , pp.40939-、2017/01

〔学会発表〕(計 5 件)

- 1) Temporal resolution of early visual processing in macaque monkeys estimated from short-latency ocular following responses , 竹村 文、三浦 健一郎 , Neuroscience 2017 , Washington DC、2017/11/12
- 2) Macaque monkeys show the reversed ocular following responses to two-frame movie stimulus presented with inter-stimulus intervals , 竹村 文、河野 憲二、三浦 健一郎 ,第 40 回神経科学大会 ,幕張メッセ、2017/07/22
- 3) A Widely Applicable Real-time Mono/Binocular Eye Tracking System Using a High Frame-Rate Digital Camera. ,松田 圭司、永見 武司、菅生 康子、竹村 文、河野 憲二 , 19th International Conference on Human-Computer Interaction , Vancouver, Canada、2017/07/1
- 4) Vergence eye movements elicited by a new real 3-D display system for presenting visual stimuli of both near/far distances ,松田 圭司、竹村 文、三浦 健一郎、河野 憲二 , 第 39 回日本神経科学大会 ,パシフィコ横浜、神奈川県横浜市、2016/07/22
- 5) 新しいリアルタイム両眼眼球運動計測システムによる輻輳開散運動の計測 Vergence Eye Movements Measured by An Advanced Real-Time Binocular Eye Tracking System , 松田 圭司、竹村 文、河野 憲二 ,第 38 回日本神経科学大会 ,兵庫県神戸市中央区港島中町 6 丁目 1 1 - 1、2015/07/28

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

6. 研究組織

- (1) 研究代表者

竹村 文 (Aya Takemura)
産総研・人間情報研究部門・システム脳科
学グループ・主任研究員
研究者番号：90357418

(2)研究分担者
()

研究者番号：

(3)連携研究者

松田 圭司 (MATSUDA Keiji)
産総研・人間情報研究部門・システム脳科
学グループ・主任研究員
研究者番号： 50358024

三浦 健一郎 (MIURA Kenichiro)
京都大学・医学研究科・助教
研究者番号： 20362535

(4)研究協力者
()