

令和元年6月24日現在

機関番号：82636

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K16081

研究課題名(和文) 視線の動きに依らない物体の奥行き運動の脳内処理解明

研究課題名(英文) Investigating neural substrates for object motion-in-depth invariant to eye movements

研究代表者

和田 充史 (Wada, Atsushi)

国立研究開発法人情報通信研究機構・脳情報通信融合研究センター脳機能解析研究室・研究員

研究者番号：10418501

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：視野内(網膜像)の物体の動きは自らの視線の動きでも生じるが、外界を実際に物体が動く場合のみ人はそう感じる。こうした、網膜像運動から自らの眼球運動で生じた成分を差し引くことで真の物体運動を検出する仕組みが、2次元(網膜平面)方向の場合で分かりつつある。本研究では、これまで未解明であった奥行き方向の場合における眼球運動に依らない物体運動の視覚処理に関して、視覚野V3Aが重要な関わりを示すことを初めて明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

眼球運動に依らない物体奥行き運動推定の脳メカニズムの解明は、心理学・神経科学上の重要性のみならず、視線の動きを制約しない自由観視条件において、人がステレオ3D映像中の物体運動をリアルに感じている程度を、脳活動計測に基づき客観的・定量的に評価できる新たな映像評価技術の開発につながる等、工学的にも重要な意義がある。

研究成果の概要(英文)：Vision plays a vital role in sensing an object moving toward or away from self. The retinal motion input can result from either the actual motion of objects in the external world (i.e., 'object motion') or self-originated movements (e.g., eye movements). Here, we revealed for the first time that the visual area V3A shows a higher response to objective compared to retinal motion-in-depth, which suggests significant involvement of V3A in the processing of in-depth object motion.

研究分野：脳機能イメージング，視覚神経科学，心理物理学，認知科学，人工知能

キーワード：物体運動 奥行き運動 輻輳眼球運動 real-motion cell 運動視 fMRI

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

環境中を自身に対して奥行き方向に運動する物体の検出は、自らに接近する物体との衝突を回避する場合など生態学的に重要である(Fajen, Parade, & Matthis, 2013). 視覚に基づいて物体運動を推定する場合、網膜からの視覚情報に、環境中の物体運動だけでなく自らの眼球運動に由来する運動成分が共に含まれるため、原理上、網膜像の運動を物体運動由来および眼球運動由来のそれぞれの成分に分離する必要がある。

脳内におけるこうした視覚処理の実在に関して、real-motion cell と呼ばれる眼球運動に依らず環境中の真の運動(物体運動)に選択的に応答する神経細胞の存在がサル視覚野において報告されている(Galletti & Fattori, 2003). また、ヒトの場合でも視覚野 V3A および V6 において物体運動に選択的な脳活動応答が報告されている(Fischer, Bühlhoff, Logothetis, & Bartels, 2012). しかしながら、これらの実験では網膜面に対応する 2 次元平面上での運動しか考慮しておらず、より一般的な 3 次元空間内での運動を記述するために必要となる奥行き方向の物体運動処理に関しては調べられていない。

一方、奥行き運動の神経処理に関しては、視覚運動野 MT+が奥行き運動刺激への応答を示す結果がサル(Czuba, Huk, Cormack, & Kohn, 2014; Sanada & DeAngelis, 2014)およびヒト(Rokers, Cormack, & Huk, 2009)において報告されている。しかしながら、これらの実験では視線は固定されているため、観察された脳活動が真に物体運動への応答か、単純な網膜像運動への応答かは区別できない。従って、MT+が物体運動の場合にも奥行き運動処理に関わるかは依然として未解明のままである。

### 2. 研究の目的

そこで、未だ明らかでない物体奥行き運動の推定に関わる視覚情報処理の解明に向けて、発表者らはこれまでに奥行き方向の眼球運動と視覚運動刺激を組み合わせた fMRI 脳機能イメージング実験を実施し、(1) はたしてヒト視覚野が物体奥行き運動に対する選択的に応答を示すか明らかにする。このような脳活動応答が同定された場合はさらに(2) 物体奥行き運動に固有の応答を示す視覚野を同定する。

### 3. 研究の方法

(1) 物体奥行き運動に対して選択的に応答する脳部位の同定するため、(Fischer et al., 2012)らの実験パラダイムを転用し、同一奥行き平面上に配置したランダムドット刺激に対して両眼性の往復奥行き運動情報を付加あるいは付加しない条件を設定し、さらにそれぞれに対して視覚刺激と同じ奥行き運動プロファイルの追従性輻輳眼球運動の有無を組み合わせた。これら合計 4 実験条件それぞれに対する脳賦活を計測した。

(2) 視覚野は被験者間で解剖学的位置が異なることが知られているため、各被験者における分析対象の視覚野を精密に同定するための機能的ローカライズ実験を実施し、これらを機能的に同定する。視覚野 hMT+の同定には運動ローカライズ(Huk & Heeger, 2002)を用いた。視覚野 V1, V3A, V3B, および V6 の同定にはレチノトピック・ローカライズ(Warbrick et al., 2002)を用いた。被験者毎に同定したこれら視覚野を本実験で取得したデータと組み合わせることにより、物体奥行き運動固有の脳活動応答を視覚野単位で精密に分析した。

### 4. 研究成果

(1) fMRI 実験に基づく脳計測データに基づき、奥行き方向における物体運動および網膜像運動への脳活動応答を分析した結果、物体運動に対応した脳賦活として、横後頭溝(TOS: transverse occipital sulcus)の内側付近の領域に関して両側に有意なクラスターが同定された(図 2)。同部位は解剖学的位置に基づき視覚野 V3A 付近に位置すると考えられる。一方、網膜像運動に対応した脳賦活として、TOS からその外側にかけての領域、および下側頭溝後端付近の領域、それぞれ

両側に有意なクラスターが同定された。同定されたこれら部位は、解剖学的位置に照らして、それぞれ視覚野 V3B および hMT+ と付近に位置する脳部位と考えられる。

これは、奥行き方向に対する真の物体運動(real-motion)、すなわち網膜像運動ではなく、輻輳眼球運動の有無によらない外界の物体奥行き運動に選択的な脳活動応答を観察した初めての結果であり、従来報告されていた 2 次元平面方向の物体運動と同様に、奥行き方向に関しても眼球運動に由来する運動成分を分離することで物体運動に由来する運動成分を抽出する視覚処理メカニズムの存在を示唆する重要な知見が得られた。

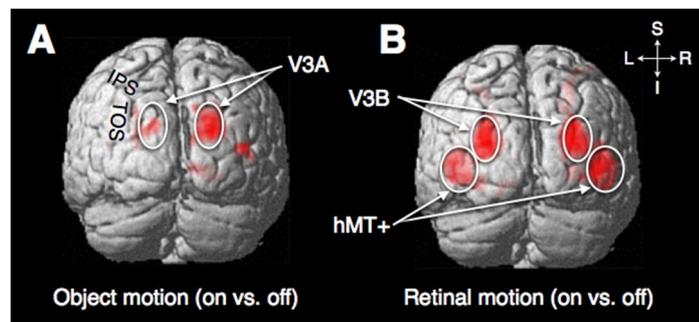


図 1 ヒト視覚皮質における物体奥行き運動および網膜像奥行き運動に対する脳活動応答マップ

(2) 今回分析対象である各視覚野における物体運動および網膜像運動への選択的な応答を分析した結果、視覚野 V3A および hMT+ が物体運動固有の有意な応答を示した (図 2)。とりわけ視覚野 V3A は、網膜像運動への選択的な応答よりも有意に高い物体運動への選択的な応答を示した。一方、網膜像運動への選択的な応答については、視覚野 V3A, V3B, V6, および hMT+ の全てにおいて有意であった。なかでも、hMT+ では物体運動よりも網膜像運動に対する選択性がより高い傾向を示した。一方、初期視覚野 V1 はいずれにおいても有意な選択性は示さなかった。

従って、奥行き運動の場合について、網膜像運動から眼球運動由来の両眼性情報を分離して環境中での真の物体運動を推定する視覚処理には背側視覚経路、とりわけ V3A が関与している可能性が示された。過去の知見では、網膜平面上における 2 次元方向の場合に関して、V3A が、網膜像運動から追従眼球運動由来の運動成分を差し引いて得られる物体運動に対して応答を示すとする結果がサルおよびヒトにおいて報告されている。そこで、今回の結果と合わせると、V3A は網膜平面上の 2 次元方向と両眼性情報に基づく奥行き方向、これら双方の物体運動推定処理に関与している可能性が考えられる。これは、自身を取り巻く外界中における物体の 3 次元運動を脳内視覚処理を解明する上で重要な知見である。

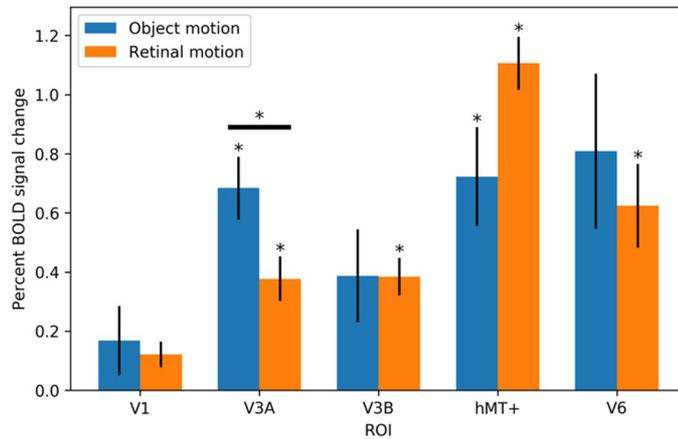


図 2 各視覚野を関心領域とした物体運動および網膜像奥行き運動に対する脳活動応答量 (BOLD 信号変化率)

#### < 引用文献 >

1. Czuba, T. B., Huk, A. C., Cormack, L. K., & Kohn, A. (2014). Area MT encodes three-dimensional motion. *The Journal of Neuroscience: the Official Journal of the Society for Neuroscience*, *34*(47), 15522-15533. <http://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1081-14.2014>
2. Fajen, B. R., Parade, M. S., & Matthis, J. S. (2013). Humans perceive object motion in world coordinates during obstacle avoidance. *PLoS ONE*, *8*(8), 25-25. <http://doi.org/10.1167/13.8.25>
3. Fischer, E., Bühlhoff, H. H., Logothetis, N. K., & Bartels, A. (2012). Human Areas V3A and V6 Compensate for Self-Induced Planar Visual Motion. *Neuron*, *73*(6), 1228-1240. <http://doi.org/10.1016/j.neuron.2012.01.022>
4. Galletti, C., & Fattori, P. (2003). Neuronal mechanisms for detection of motion in the field of view. *Neuropsychologia*, *41*(13), 1717-1727.
5. Huk, A. C., & Heeger, D. J. (2002). Pattern-motion responses in human visual cortex. *Nature Neuroscience*, *5*(1), 72-75. <http://doi.org/10.1038/nn774>
6. Rokers, B., Cormack, L. K., & Huk, A. C. (2009). Disparity- and velocity-based signals for three-dimensional motion perception in human MT+. *Nature Neuroscience*, *12*(8), 1050-1055. <http://doi.org/10.1038/nn.2343>
7. Sanada, T. M., & DeAngelis, G. C. (2014). Neural Representation of Motion-In-Depth in Area MT. *The Journal of Neuroscience*, *34*(47), 15508-15521.
8. Warnking, J., Dojat, M., Guérin-Dugué, A., Delon-Martin, C., Olympieff, S., Richard, N., et al. (2002). fMRI retinotopic mapping--step by step, *NeuroImage*, *17*(4), 1665-1683.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計0件)

該当無し.

〔学会発表〕(計3件)

### 1. 国内発表

和田充史, 坂野雄一, 水科晴樹, 安藤広志 (2017)

輻輳眼球運動に依らない物体奥行き運動推定に関わる視覚野の同定

電子情報通信学会ヒューマン情報処理研究会, 2017年10月, 京都市 (信学技報, vol. 117, no. 259, HIP2017-62, pp. 31-34)

### 2. 招待講演

Atsushi Wada (2017)

Human cortical processing for estimating self and object motion from visual inputs. Cognition and Computation MOU Meeting - CiNet-Haifa, Feb 2017, Haifa, Israel.

### 3. 国際会議発表

Atsushi Wada, Yuichi Sakano, Haruki Mizushina, Hiroshi Ando (2016)

Neural response to object motion-in-depth independent of vergence eye movements.

46th Annual Meeting of the Society for Neuroscience (SfN2016), Nov 2016, San Diego, USA.

〔図書〕(計0件)

該当無し.

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

該当無し.

取得状況(計0件)

該当無し.

〔その他〕

該当無し.

## 6. 研究組織

(1)研究分担者

該当無し.

(2)研究協力者

研究協力者氏名: 坂野 雄一

ローマ字氏名: Yuichi Sakano

研究協力者氏名: 水科 晴樹

ローマ字氏名: Haruki Mizushina

研究協力者氏名: 安藤 広志

ローマ字氏名: Hiroshi Ando

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。