

令和 3 年 6 月 4 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K03180

研究課題名（和文）3次元表象更新のために視覚と網膜外信号を利用する適応的な感覚情報処理過程の解明

研究課題名（英文）Adaptive sensory mechanism for processing retinal and extraretinal signals

研究代表者

光藤 宏行（MITSUDO, Hiroyuki）

九州大学・人間環境学研究院・准教授

研究者番号：00426644

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：3次元形状判断に関わる表象更新プロセスを明らかにするために、心理物理学実験および脳活動計測を行う実験を行った。脳活動計測実験に用いる視覚刺激はステレオグラムであり、眼球運動を同時計測した。脳活動を計測するために、大脳皮質活動の時空間的变化を精度高く捉えられる脳磁図を利用した。眼球運動を記録するために、眼筋図を用いた。以前に行った視覚立体判断プロセスを明らかにする研究では、脳磁図センサーの時系列波形に基づく分析を行って論文として発表した。分析では、特定の周波数帯域および関心脳部位を設定して、視覚情報および判断正答率を考慮した分析を行い、立体認識に関わる脳内基盤を部分的に明らかにすることができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

VR機器などの3D情報提示装置を長時間利用すると、疲労感や酔いなどが生じることがある。これはヒトの3次元形状の知覚に関わる感覚情報統合プロセスが、個人差を含めた形では完全には理解されていないからであると考えられる。特に日常場面で3次元形状判断を正しく行うために必要な、新しい入力情報に基づいて表象を更新するプロセスは十分に理解されているとは言えない。本研究では、自動的・自律的な更新のための感覚情報処理と神経情報処理アルゴリズムを明らかにすることを目的とした。心理物理学実験と脳機能計測実験を行い、人間の知覚統合メカニズムの神経基盤を部分的に明らかにすることができた。

研究成果の概要（英文）：To clarify visual updating processes related to 3D shape perception, I conducted psychophysical and neuroscientific experiments. The visual stimuli used in the neuroscientific experiment was a visual pattern with horizontal and vertical image differences, and eye movements were measured simultaneously. In order to measure brain activity, we used a magnetoencephalogram that can accurately capture spatiotemporal changes in neural responses to the stimulus. Electrooculogram was used to record eye movements. We performed an analysis based on the waveform of magnetoencephalography sensors with a specific frequency band and for a brain region of interest. Based on the results, I was able to partly clarify the neural mechanisms underlying stereo vision.

研究分野：知覚心理学

キーワード：視覚情報処理

1. 研究開始当初の背景

3Dの手がかりである両眼網膜像差には、水平像差と垂直像差の2種類がある。先行研究は主に水平像差(左右眼を結んだ線の方位と同方向のずれ)に注目し、多くの心理物理学実験や生理学的実験が行われ、計算論的なモデルが提案されてきた(Howard & Rogers, 2012, *Perceiving in depth vol. II*)。代表的なモデルである像差エネルギーモデルでは、両眼画像間の局所的な対応づけを行うために、左右眼それぞれの受容野の水平方向の位置の違いと位相の違いが利用される(DeAngelis et al., 1995, *Perception*, 24, 3-31)。第1次視覚野(V1)で符号化された局所的な水平像差は、より高次の段階で全体的な立体形状や傾きの表象に統合されると考えられている。しかし、垂直像差を含む視覚パターンによる奥行き知覚は、現在の像差エネルギーモデルでは説明できない。垂直像差の種類には、剪断・回旋・拡大像差がある。射影幾何学に基づく分析では、両眼の視方向と対象までの距離に応じて垂直像差の量は変化する。心理物理学的研究によって、垂直像差は観察位置・距離の手がかりとなり得ることが指摘されている。

現実環境の3次元形状判断を考えると、見過ごされがちなことは、異なるタイミングで得た情報に基づく表象を適切にアップデートする必要性である。これは更新と呼ばれる、異なる感覚情報の対応関係を適切に保ち、さらに視覚的ワーキングメモリ内の表現を適切に変更するプロセスである。ヒトの場合、更新は主に2つの理由によって必要となる。1つは両眼の眼球運動(視方向と位置の変化)で、もう1つはヒトの発達の要因(目の直径や両眼間位置の変化)、眼鏡などの眼光学的装置の着用、眼筋の手術による画像の変化である。日常場面で形状判断が問題なく行えるのは、意識に上らない、自律的な表象更新プロセスが普段から自動的に働いているからであると申請者は考える。

3次元形状判断のための表象更新に関して、2つの大きな未解明の問題がある。第1点は、ヒトの感覚系が表象更新のために用いる情報の種類である。本研究では、感覚入力および網膜外信号に着目する。まず感覚入力として、垂直像差を取り上げる。先行研究から、視覚系は広い視野範囲の垂直像差を足し合わせ、統合していることが示されている(Kaneko & Howard, 1996, *Vision Res*, 36, 1919-1930)。しかし垂直像差の機能についての理解はあまり進んでいない。申請者は近年、更新プロセスにおいて垂直像差の変化(回旋・拡大像差)が用いられていることを示す心理物理学証拠と計算論的モデルを発表した(Mitsudo et al., 2009, *Vision Res*, 49, 348-361; Mitsudo et al., 2013, *Perception*, 42, 385-400)。さらにまた、垂直像差以外にも遠近法手がかりなどの視覚入力も表象更新に用いられている可能性がある。網膜外信号としては、眼位(固視・視線方向)に関する固有位置感覚を取り上げる。水平・垂直像差ともに、近距離では固視位置に応じて大きく変化することが知られており(Backus et al., 1999, *Vision Res*, 39, 1143-1170)、網膜外信号も表象更新に用いられている可能性がある。

第2点は、表象更新プロセスの自動性・自律性であり、感覚入力に基づいて表象更新を行うための統合的情報処理アルゴリズムである。上述のように両眼網膜像差に基づく奥行きは、第1次視覚野(V1)などの両眼網膜像差を処理する神経細胞によって符号化され、その後側頭葉(IT)や(MTを含む)背側経路で階層的に処理がなされると考えられている。しかし視覚入力や体性感覚入力による表象更新に関しては、どのような部位でどのような処理が行われているかはよく分かっていない。さらに、統合されて形成された表象がどのように現実のものと同じになっているかのフィードバック信号がどのように得られ、適宜更新しているかについても明らかになっていない。

2. 研究の目的

申請者は、3次元形状判断のための表象更新プロセスに関する上述の2つの問題を、次に示す方略で解決することを目標とする:(1)視覚入力と固有位置感覚入力の両方が柔軟に表象更新に用いられているという適応的更新仮説を立て、(2)この仮説をテストするために脳活動計測を併用した心理物理学実験を行う。そして(3)表象更新の指標であるそれぞれの感覚入力に対する重みづけ係数を比較することで、表象更新のための感覚情報統合プロセスを解明したい。

上記の目的を達成することで、主に2つの貢献を行う。学術的な特色に関しては、3次元形状判断の表象更新は主に視覚情報処理経路内部で行われているのか、また体性感覚のような他の

感覚入力はその程度必要なのかが明らかになる。この点が明らかになれば、3次元空間知覚についての広範な理論を構築することができ、新しくより深い理解を得ることができる。

3. 研究の方法

3次元形状判断における感覚内・感覚間相互作用に基づく表象更新プロセスを明らかにするために、脳活動計測を併用した心理物理学実験を行う。実験に用いる刺激は、水平・垂直像差や遠近法手がかりをもつ視覚刺激と触覚刺激を組み合わせたものとし、刺激の見えを測定する。脳活動を計測するために、大脳皮質活動の時空間的变化を精度高く捉えることができる脳磁図(MEG)を利用する。このような実験によって、3次元形状判断のための感覚入力(視覚)と網膜外信号(固有位置感覚)に基づく表象更新に関わる脳活動を可視化し、計算論的モデルを提案する。

4. 研究成果

脳磁図を使用して、立体視が得意な人と苦手な人に対し神経磁気反応を測定した。成人の参加者は、水平または垂直像差をもつステレオグラムを観察し、パターンの知覚された傾きを判断することが求められた。視覚皮質の神経活動とアルファ帯域を含む神経振動応答の位相を評価した。立体視が得意な参加者の場合、垂直像差を呈示したときに視覚領域の活動は有意に増加した。時間周波数分析に基づいて垂直像差に対する初期の神経反応を分析したところ、立体視が苦手な参加者と比較して立体視が得意な参加者の方が位相固定の度合いが高いことが明らかになった。これらの結果は、垂直像差処理が立体視において重要な役割を果たしていることを示唆する(Mitsudo et al., 2019, *Vision Res.*, 164, 24-33)。

圧縮格子錯視は、暗いグリッドの交点間の中間点にある明るい円形のパッチが、グリッド線に直交する方向に沿って伸びているように見える視覚現象である。4つの心理物理学実験によって、網膜偏心度と視野内の刺激位置を操作することにより、圧縮格子錯視の空間的特性を検討した。実験1では、中心視野と周辺視野の刺激配置が見かけの大きさに影響するかどうかを調べた。実験2では、グリッドパターンの空間位置を変化させ、パターンが垂直または斜めの位置ではなく、水平方向に提示されたときに圧縮格子錯視の量が増加することを発見した。実験3では、水平線に沿ってパターンの網膜偏心度を変化させ、網膜周辺で錯視が大きくなることを見いだした。実験4では、刺激のサイズを操作し、周辺視による圧縮格子錯視の増強がより大きなパターンで明白に生じることを発見した。本研究で報告した圧縮格子錯視の周辺視による増強は、グリッド誘発錯視の根底にある共通の生起メカニズムについて示唆を与えるものである(Qian & Mitsudo, 2020, *Vision Res.*, 177, 12-19)。

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 0件）

1. 著者名 Mitsudo Hiroyuki, Hironaga Naruhito, Ogata Katsuya, Tobimatsu Shozo	4. 巻 164
2. 論文標題 Vertical size disparity induces enhanced neural responses in good stereo observers	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Vision Research	6. 最初と最後の頁 24 ~ 33
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.visres.2019.08.009	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 -

1. 著者名 Qian Kun, Mitsudo Hiroyuki	4. 巻 177
2. 論文標題 Spatial dynamics of the eggs illusion: Visual field anisotropy and peripheral vision	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Vision Research	6. 最初と最後の頁 12 ~ 19
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.visres.2020.08.008	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1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 光藤宏行
2. 発表標題 あの光は紫外線なのか?人工眼内レンズによる色・明るさ知覚の変化
3. 学会等名 九州心理学会第79回大会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 越智 啓太	4. 発行年 2018年
2. 出版社 創元社	5. 総ページ数 224
3. 書名 意識的な行動の無意識的な理由	

〔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
---------	---------