

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 5月24日現在

機関番号：14301
研究種目：研究活動スタート支援
研究期間：2010～2011
課題番号：22830039
研究課題名（和文）fMRI 順応法による視覚意識を伴う処理過程と伴わない処理過程の神経機構の研究
研究課題名（英文）Neural substrates of conscious and unconscious visual processing using fMRI adaptation technique.
研究代表者
山城 博幸（YAMASHIRO HIROYUKI）
京都大学・大学院人間・環境学研究科・研究員
研究者番号：60582038

研究成果の概要（和文）：両眼に異なる画像が呈示されると、両眼視野闘争と呼ばれる知覚現象が起きる。あるときは右目のみ、あるときは左目の画像のみが見えるというように、視覚意識の内容は切り替わり続ける。この知覚交替の持続時間には大きな個人差がある。本研究の fMRI 実験によって、両眼視野闘争中の視覚意識の抑制の持続時間が、見えなくなった刺激に対する低次視覚野の脳活動から予測できることが示された。これは両眼視野闘争中の視覚意識のダイナミクスに低次視覚野の活動が関与することを示唆している。

研究成果の概要（英文）：When dissimilar images are presented to the two eyes, binocular rivalry (BR) occurs, and perception alternates spontaneously between the images. There are substantial individual differences in perceptual alternation rate during BR. Our fMRI study revealed that the individual's brain activity in early visual areas evoked by the suppressed stimulus during BR predicts the suppression duration during BR. This suggests activity in early visual areas contributes dynamics of visual awareness during BR.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
平成22年度	1080,000	324,000	1404,000
平成23年度	760,000	228,000	988,000
総計	1840,000	552,000	2392,000

研究分野：社会科学

科研費の分科・細目：心理学、実験心理学

キーワード：実験心理学、神経科学、脳・神経

1. 研究開始当初の背景

視覚意識すなわち「見る」という主観的経験の神経基盤の解明は心理学および神経科学の根本的なテーマである。視覚意識の脳過程を探る上で中心的な役割を果たしてきたのは、両眼視野闘争と呼ばれる知覚現象に関する研究と無意識的な視覚処理に関する研究である。両眼視野闘争とは、左右の目に異なる視覚刺激が呈示されると、あるときは右

目の刺激だけが見え、またある時は左目の刺激だけがみえるという現象で、物理的な視覚入力是一定のまま視覚意識の内容のみが変化するというものである。したがって、この意識内容の切り替わりと相関して神経活動が変化すれば、単なる視覚処理ではなく、主観的な視覚意識の内容の表象に関連した活動であると考えられる。従来、サル等の電気生理学的研究の結果から、両眼闘争時の視覚意

識の切り替わりと関連した神経活動は高次視覚野でのみ生じ、低次視覚野では生じないと考えられていた (Logothetis ら, 1989, 1998)。ところが、近年、ヒトの fMRI (機能的核磁気共鳴画像) 研究を皮切りに、意識内容の切り替わりには、高次視覚野だけでなく低次視覚野 (第一次および第二次視覚野など) も関与することがわかってきた (Tong & Engel 2001; Polonsky et al., 2001)。

他方、視覚意識を伴わない、無意識的な視覚過程の研究も視覚意識の神経基盤の理解に大きな役割を果たしてきた。心理学的研究では、物理的には呈示されているにも関わらず主観的には見えない視覚刺激によって順応効果やブライミング効果が生じることから、方位、運動、文字、表情など様々な視覚属性の処理が無意識的に行われていることが示されている。応募者の研究を含む無意識的な視覚処理過程の fMRI 研究からは、低次視覚野と一部の高次視覚野は、見えない視覚刺激に対しても応答することがわかってきた (山城ら, 2008; Fang & He, 2005; Moutoussis & Zeki, 2002)。

以上の研究をまとめると、無意識/意識の機能局在論、例えば、無意識過程は低次、意識過程は高次といった旧来の二分法は成立しないと考えられる。少なくとも、視覚においては、無意識的な視覚処理に関与する神経活動と、視覚意識の内容を表象する神経活動が同一の視覚野内に共存しているのである。

2. 研究の目的

本研究では、この視覚処理の無意識的過程と意識的過程の神経基盤を明らかにするため、以下2つの疑問に答えることを当初の目的としていた。

(1) 無意識的過程と意識的過程には、それぞれ異なる神経細胞群が関与しているのか、あるいは同一の神経細胞群が関与していて視覚意識の生成に伴って活動が増加するのだろうか。

(2) 同一の脳部位内に存在している無意識的過程と意識的過程には、どのような機能的な違いがあるのだろうか。意識的過程は、無意識的な視覚処理過程と同等の刺激選択性を持つのか、あるいは純粹に視覚意識の有無のみを表象しているのだろうか。

本研究では、これらの当初の目的とは異なり、低次視覚野が両眼視野闘争の知覚交替に寄与するかを検証するため、知覚交替のダイナミクスの個人差と低次視覚野の活動の関係を解析した。

3. 研究の方法

(1) fMRI 実験の概要

両眼視野闘争を引き起こす視覚刺激を観察中の被験者の脳活動を fMRI によって測定

した。同時に視覚意識の状態を被験者自身のボタン押しによって記録した。

(2) 被験者

被験者として13名の健常成人が参加した。全被験者は正常または矯正正常視覚を有していた。被験者の利き目は Miles および Porta 法で測定した。左が利き目の被験者は8名、右は5名だった。

(3) 刺激呈示装置

視覚刺激はノート PC 上の OpenGL ベースの自作ソフトによって生成された。作成された刺激画像は、望遠レンズを装着した DLP プロジェクタによって、スキャナ内の被験者の顎上に設置された半透明スクリーンに投影された。両眼に異なる刺激画像を呈示するため、スクリーンの右半分には右目への刺激を、左半分には左目への刺激を呈示した。この両眼分離刺激を、被験者はプリズムメガネをかけて、目の上に角度をつけて設置された表面鏡を通して観察した。

(4) 視覚刺激

被験者の利き目には、高速で変化し続ける高コントラストなランダムパターンが呈示され (フラッシュ刺激)、非利き目には、扇型のチェッカーパターンが呈示されゆっくりとスムーズに回転した (回転刺激)。これによって、連続フラッシュ抑制 (Continuous flash suppression, CFS) と呼ばれる一種の両眼視野闘争が引き起こされ、回転刺激への視覚意識は抑制されやすくなった。被験者の知覚は変動し続け、あるときは回転刺激が見え、またあるときは見えなくなることを繰り返した (図1)。回転刺激は、白黒のチェッカー模様で、輝度コントラストは60%、扇の角度は24°、偏心度は1.5-4.5°だった。回転刺激は注視点の周りを6°/sの速度で反時計回りにスムーズに回転した。CFSを誘発するため、利き目には異なるランダムパターンが、7.5Hzの速度で連続的に呈示された。各々の

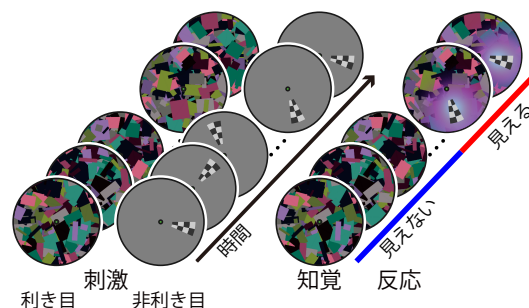


図1 視覚刺激と知覚

ランダムパターンは、ランダムなサイズ (0.25-2.5°)、ランダムな方位、ランダムな

色（輝度コントラスト 92%）の 256 個の四角形で構成されていた。両刺激とも、6 分 10 秒の測定の間、常時呈示されていた。

(5) 被験者の課題

測定中、被験者は注視を維持すると同時に、回転刺激が全く見えないか、あるいは一部でも見えるかをボタン押しによって報告し続けた。

(6) 脳画像の取得

脳画像の取得には、明治国際医療大学所有の臨床用 1.5T MR 装置を用いた。fMRI 実験では、刺激観察中の被験者の脳機能画像（fMRI 画像）を、後頭部に設置したサーフェイスコイルを用いて撮像した(T2*-weighted gradient-echo echo-planar imaging; TR = 2000 ms; TE = 50 ms; Flip Angle = 90°; FOV = 200 × 200 mm; matrix = 128 × 128; slice thickness = 4 mm; 鳥距溝に垂直に 16 スライス)。

(7) fMRI データ解析

fMRI 解析には、MATLAB 及び、VTK ライブラリを用いた C/C++ 言語、TCL 言語で書かれた自家製ソフトウェアを使った。本実験のデータ解析に先立って、レチノトピックマッピング実験を行い、視覚野の同定と、視覚皮質上の各点の集団的受容野（population receptive field, pRF）の推定を行った。

(8) 前処理と fMRI 信号サンプリング

機能画像に対して、①AIR ソフトウェアを用いてスキャン中の頭部運動を補正し、②3 点ハニングフィルタを使って各スライスの撮像タイミングを補正し、③各被験者の標準脳皮質表面との位置合わせを行った。次に、各視覚野の皮質表面から 3 mm 以内に存在するボクセルをサンプリングし、各ボクセルの信号に対して、④magnetic saturation effect を最小化するため、最初の 10 秒間の信号を除去し、⑤線形トレンドを除去し、⑥そのボクセル時系列信号をその時間平均値で割ることで、パーセントシグナルチェンジに変換した。

(9) 角位置関心領域

各視覚野の fMRI 時系列信号は、視野の角位置表象にもとづいて解析された。具体的には、推定した pRF 中心の角位置にもとづいて、各視覚野の脳表面を、視野の 12° の角度領域を表象する 30 の下位領域に分割した。さらにこの領域を、pRF 中心の偏心度位置にもとづいて、回転刺激が通過する領域(1.5 - 4.5°)に制限した。以降これを角位置関心領域 (angular regions of interest, aROI) と呼ぶ。

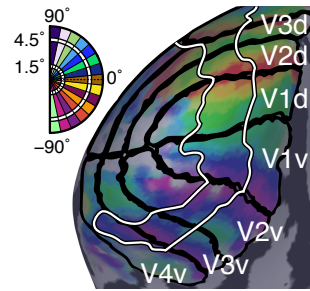


図 2 視覚野と関心領域

ある被験者の膨らまし表面上に表示した関心領域。黒い線は視覚野の境界を示す。白線で囲まれた領域は、回転刺激の移動する視野位置をレチノトピックに表象する領域を示す。表面上の色は推定された pRF 中心の角位置を示す。

(10) 見えない刺激に対するレチノトピック応答の抽出

本研究では、見えない刺激に対するレチノトピックな応答に着目した。これは、回転刺激が皮質表面上のある点の pRF に入った時に誘発される一過性の応答で、これまでの多くの視野闘争の fMRI 研究のように、刺激が常に pRF 内部に含まれている状況で測定される fMRI 応答とは異なっている（例えば Polonsky et al., 2000）。この点で、本研究の fMRI 測定は、抑制中のプローブ検出感度を測定する心理物理学的なサプレッションデプスの測定に、神経科学的に対応するものといえるだろう。

レチノトピックなオンセット応答は、デコンボリューション法 (Dale, 1999) を用いて抽出した。デザインマトリクスは、見えない刺激のオンセットに対する応答と、その他の要因によって誘発される応答（平均成分と、見える刺激のオンセットに対する応答）を分離するように定義された。この定義では、ある aROI の回転刺激のオンセットのタイミングは、回転刺激の中心がその aROI の中心に入った時点とした。このオンセットは、回転刺激がその aROI が表象する視野位置を通過している間の、被験者の「見え」（「見える」、「見えない」）のレポートにもとづいて、「見えない」、「見える」、「混在」の 3 種のイベントに分類された。もしその期間中に回転刺激の「見え」が変わった場合は、「混在」イベントとした。デコンボリューションの時間窓は、オンセットの 20 秒前から 40 秒後とした。

(11) 相関解析

両眼視野闘争のダイナミクスと、初期視覚野の活動との関係を調べるため、相関解析を

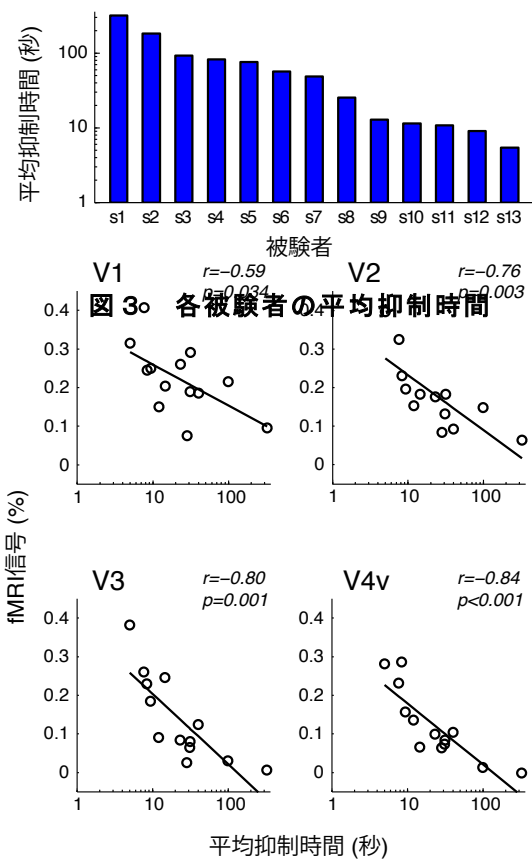


図3 各被験者の平均抑制時間

図4 低次視覚野の見えない刺激に対するレチノトピック応答の振幅と平均抑制時間の関係

見えない刺激に対するレチノトピック応答とCFS実験で測定された抑制時間の散布図。各点は各被験者を示す。直線は線形回帰を示す。相関解析の前に抑制時間は分布の歪みを補正するため対数変換された。

行った。平均抑制時間の対数を取り、見えない刺激に対するレチノトピック応答の振幅とのスピアマンの順位相関係数を計算した。

4. 研究成果

(1) 平均抑制時間の個人差

実験中の被験者の視覚意識の状態のボタン押しによる報告にもとづいて、回転刺激が見えない期間の平均持続時間（抑制時間）を算出した。回転刺激が見えない期間の平均持続時間（抑制時間）は、最短で5秒、最長で323秒と60倍以上の大きな個人差があった（図）。当初の目的とは異なるが、本研究では平均抑制時間の個人差に注目して、脳活動との関係を解析した。

(2) 平均抑制時間と見えない刺激に対するレチノトピック応答の相関関係

見えない刺激に対するレチノトピックな

応答と、平均抑制時間の相関解析を行ったところ、第一次視覚野(V1)以外の第2・3・4次視覚野(V2, V3, V4v)のfMRI応答振幅と統計的に有意な負の相関を示した(V1: $r=-0.59$, $p=0.053$; V2: $r=-0.84$, $p<0.001$; V3: $r=-0.84$, $p<0.001$; V4v $r=-0.84$, $p<0.001$)。見えない刺激に対する応答が弱いほど、抑制時間が長いという関係が見られた。

(3) 議論

本研究によって、両眼視野闘争の知覚交替のダイナミクスと相関する脳活動が初めて発見された。この活動が低次視覚野で見られたことは、低次視覚野が知覚交替に深く関わっていることを示唆している。これまでの両眼視野闘争に関するイメージング研究では、知覚交替には前頭・頭頂領域が関与していることが示されていた。本研究の結果と合わせると、両眼視野闘争の知覚交替には、低次の視覚皮質と、高次の頭頂・前頭領域が関与していると考えられる。本研究で得られたこれらの知見を国内外の学会で発表し、英語論文としてまとめて国際誌に投稿した。

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)

[学会発表] (計6件)

- ① 川島康裕、山城博幸、山本洋紀、村瀬智一、市村 好克、梅田雅宏、樋口敏宏、照明強度のヒト大脳視覚野活動への影響:fMRI研究、平成24年度照明学会全国大会、2012年9月6-8日、山口県山口市 山口大学
- ② 金津将庸、山城博幸、山本洋紀、澤本伸克、福山 秀直、齋木潤、fMRIによるヒト頭頂間溝視覚野の集団受容野推定、日本視覚学会2012年冬季大会、2012年1月19-21日、東京都新宿区 工学院大学
- ③ 川島康裕、山城博幸、市村好克、村瀬智一、梅田 雅宏、樋口敏宏、山本洋紀、非磁性超音波モータを用いた fMRI 用印刷物呈示装置の開発、第13回日本ヒト脳機能マッピング学会、2011年09月1-2日、京都府京都市 京都国際会館
- ④ 山城博幸、川島康裕、村瀬智一、山本洋紀、市村 好克、梅田雅宏、樋口敏宏、非磁性超音波モータを用いた実物体刺激呈示装置のfMRI適合性評価、日本視覚学会2011年夏季大会、2011年08月3-4日、福岡県福岡市 九州大学
- ⑤ 川島康裕、山城博幸、山本洋紀、市村好克、村瀬 智一、梅田雅宏、樋口敏宏、印刷物知覚時のヒト視覚野におけるfMRI応答:照明レベル依存性、日本視覚学会2011年夏季大会、2011年08月

3-4 日、福岡県福岡市 九州大学

- ⑥ Yamashiro H., Yamamoto H., Saiki J.,
Mano H., Umeda M., Tanaka C.,
Retinotopic activities in extrastriate
visual areas predict individual
variations in binocular rivalry
dynamics., 15th annual meeting of
the Association for the Scientific
Study of Consciousness, 2011 年 06 月
9-12 日, Kyoto University, Kyoto,
Japan

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山城 博幸 (YAMASHIRO HIROYUKI)

京都大学・大学院人間・環境学研究科・研
究員

研究者番号 : 60582038