

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25日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22530793

研究課題名（和文） ヒト視覚皮質における色パターン情報の意識化特性の研究

研究課題名（英文） The study of visual awareness mechanisms for colored patterns in the human visual cortex

研究代表者

山本 洋紀（YAMAMOTO HIROKI）

京都大学・大学院人間・環境学研究科・助教

研究者番号：10332727

研究成果の概要（和文）：

ヒト視覚皮質の色縞刺激の視覚意識に関わる脳過程を明らかにする目的で、一連の機能的磁気共鳴画像法（fMRI）研究を行った。第一に、レチノトピー測定実験によって多数の被験者について視覚領野位置を同定し、新たな集団視覚野地図を作成した。第二に、連続フラッシュ抑制状態の脳活動測定に基づき、見えない縞刺激に対する低次視覚野の脳活動特性を明らかにした。最後に、様々な空間周波数の色縞刺激に対する脳活動を測定し、3種の色信号（明暗、赤・緑反対色、青・黄反対色）に対する各視覚野の最適空間周波数を明らかにした。

研究成果の概要（英文）：

To reveal visual cortical processes underlying visual awareness for colored patterns, a series of fMRI experiments were conducted. First, human visual areas were localized for 16 subjects by retinotopy measurements and novel multi-subjects maps of visual areas were constructed. Second, response characteristics of lower visual areas for invisible pattern were revealed by fMRI during continuous flush suppression. Finally, optimal spatial frequency of three types of color signals (luminance, red/green, and blue/yellow opponent signals) was determined for each visual area.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	700,000	210,000	910,000
2011年度	600,000	180,000	780,000
2012年度	600,000	180,000	780,000
総計	1,900,000	570,000	2,470,000

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：fMRI・レチノトピー・視覚的意識・視覚皮質・連続フラッシュ抑制・色覚

1. 研究開始当初の背景

ヒトの視覚的意識（視覚的気づき）を担う脳過程の解明は、視覚研究の中心的課題のひとつである。視覚的意識の脳研究は、従来、視覚的意識に異常をきたした脳損傷患者を対象に行われてきたが、近年の機能的MRI（fMRI）等の脳イメージング技術の発展

により、健常者を対象にした研究が可能になった。その実験パラダイムは、脳損傷患者が体験するような視覚事態を健常者で作り出し、つまり、視覚刺激が物理的には存在するが主観的には存在しない事態を作りだし、その際の脳活動を測定するというものである。そのような研究の結果、視覚的意識と関連す

る（刺激の物理的な有無ではなく、主観的な有無に呼応する）脳活動が高次だけでなく低次を含む多くのヒト視覚野で確認されている（総説、Macknick, 2007）。

応募者も、このパラダイムに、独自に開発してきたヒト視覚野の fMRI 解析技術（Yamamoto et al. in revision; Yamamoto et al. 2008; Ban et al. 2006）を援用して、形態視や色覚の気づきの神経相関（NCC, Neural Correlates of Consciousness）を多くの視覚野で発見している（Maeda et al. submitted; 山城ら, 2008; 山本・江島, 2006）。では、一体、この意識に呼応した脳活動は、意識を伴わない脳活動からどのように生み出されたのだろうか？本応募研究は神経相関(NCC)問題より根本的なこの問題への挑戦の第一歩となるものである。

2. 研究の目的

本研究は、この意識化過程解明の第一歩として、意識化過程の情報処理特性を fMRI による脳機能測定によって明らかにすることを目的としている。具体的には、色パターン（色縞）刺激が意識に昇る時と昇らない時の脳活動を様々な色と空間周波数について比較して、意識の伝達関数と呼ぶものを多数の視覚野で測定し比較する。本研究は従来の神経相関研究では近づけなかった意識化機構の核心に迫るもので、意識化過程と大脳視覚経路との関係構造や視覚的意識の機能的役割の理解に通じると考えられる。

3. 研究の方法

ヒト視覚野の色縞刺激に対する脳活動を刺激が見える時と呈示したにもかかわらず見えない時の両者で比較するために、下記の一連の fMRI 実験を行った。見えない色縞刺激の生成には連続フラッシュ抑制と呼ばれる錯視を利用した。

- (1) 視覚野位置同定実験
- (2) 連続フラッシュ抑制実験
- (3) 空間周波数特性測定実験

4. 研究成果

上述の 3 種の fMRI 実験を行い下記の成果を得た。

(1) 視覚野位置同定実験

ヒト大脳に存在する 10 数個の視覚野の皮質上の位置を表現する 2 種類の地図（図 1）を 16 人の被験者の fMRI 実験に基づいて作成した。1つは視覚野の確率地図で、大脳皮質上の各点における各視覚野の存在確率を示したものである。もうひとつはエントロピー

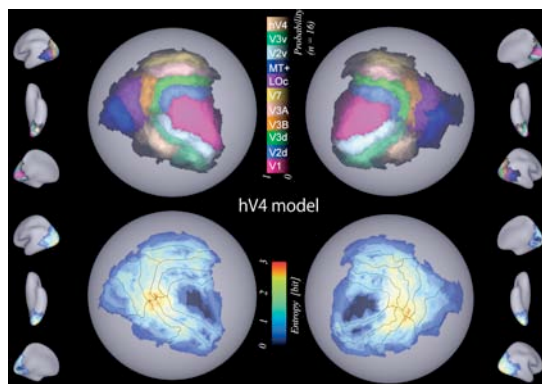


図 1 ヒト視覚野の確率地図とエントロピー地図

地図で、視覚野の確率分布のエントロピーを皮質各点で示したものである。両地図を用いれば、解剖学的な位置だけからその部位の視覚野を確からしさも含めて推測することができる。臨床と基礎の両面で、損傷部位や賦活部位の機能予測の信頼性の向上に寄与するものである。（詳細は下記 5. 雑誌論文②⑥、図書②）

(2) 連続フラッシュ抑制実験

明暗縞刺激が意識に昇る時と連続フラッシュ抑制によって意識に昇らない時の縞刺激に対する脳活動を比較した。解析の結果、見えなくなると脳活動が低下すること、見えない刺激でも比較的低い縞コントラストも含めて良好なコントラスト応答が導出することがわかった。さらに、見えない縞刺激に対する脳活動の大小によって被験者各人のフラッシュ抑制の度合い（抑制時間の長短）が予測できること（図 2）を発見した。（詳細は下記 5. 学会発表④）

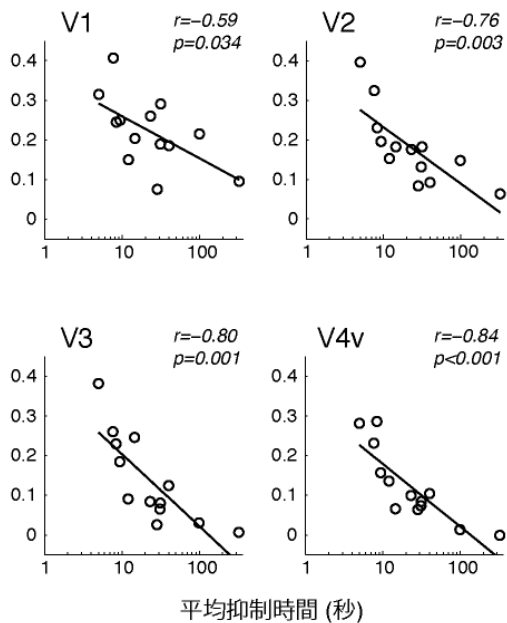


図 2 見えない刺激に対するレチノトピック応答と CFS 実験で測定された抑制時間の関係。各点は各被験者を示す。直線は線形回帰を示す。

(3) 空間周波数特性測定実験

意識に昇っている時の色縞刺激の視覚皮質の空間周波数特性である。多数の視覚野を対象に、輝度変調および色変調刺激に対する最適空間周波数を視野偏心度の関数として測定した。実験では、空間周波数が時間的にゆっくりと繰り返し変化する縞刺激を観察している際の被験者の脳活動を fMRI を用いて測定した。fMRI 応答が最大になる時点に基づき、各視覚野の各視野位置の最適空間周波数を推定した(図 3)。すべての視覚野で最適空間周波数は偏心度が増えると低下した。この低下の度合いは輝度縞より赤/緑縞で大きかった。黄/青縞では、最適空間周波数は他の縞のときよりも低い傾向にあった。視覚野間では、最適空間周波数はどの縞でも高次になるほど低下した。

(詳細は下記 5. 学会発表①⑦)

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 6 件)

- ① Ban H. & Yamamoto H. (in press) A non-device-specific approach to display characterization based on linear, non-linear, and hybrid search algorithms, Journal of Vision. (査読有)

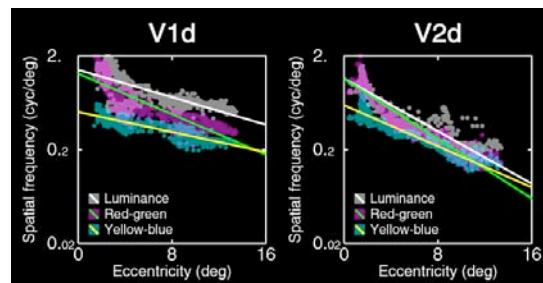


図 3 輝度・赤緑・黄青の各縞刺激に対する最適空間周波数の視野偏心度依存性

- ② Yamamoto H., Fukunaga M., Takahashi S., Mano H., Tanaka C., Umeda M., and Ejima Y. (2012) Inconsistency and Uncertainty of the Human Visual Area Loci following Surface-based Registration: Probability and Entropy Maps. Human Brain Mapping, 33(1), pp 121-129, 2012/1, doi: 10.1002/hbm.21200, KURENAI: <http://hdl.handle.net/2433/152357>. (査読有)
- ③ 山本洋紀 (2011) 表面の色と質感の知覚: 脳研究の展開, 繊維機械学会誌 せんい, 64(8), pp. 13-19, KURENAI, <http://hdl.handle.net/2433/152404> (査読無)
- ④ Saiki J., Yoshioka A., and Yamamoto H. (2011) Type-based associations in grapheme-color synaesthesia revealed by response time distribution analyses. Consciousness and Cognition, 20(4), 1548-1557, doi:10.1016/j.concog.2011.07.005. (査読有)
- ⑤ 前田青広・山本洋紀・江島義道 (2011) メタコントラストにおける色選択性の一対比較法による解析, VISION, 23(3), pp. 135-142, KURENAI, <http://hdl.handle.net/2433/147081> (査読有)
- ⑥ 山本洋紀 (2010) 脳画像正規化の限界に関する情報理論的解析, 信学技報 (NC), 110(149), pp. 19-24. (査読無)

[学会発表] (計 9 件)

- ① 山本哲也・山本洋紀・三浦健一郎・澤本伸克・福山秀直・河野憲二(2013) ヒト視覚皮質における輝度・反対色チャンネルの最適空間周波数の視野位置依存性, 日本視覚学会 2013 年冬季大会, 2013/1/25, 東京
- ② 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(2012) 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，2012/9/6-8，山口市，山口大学。

- ③ Yamamoto H. (2011) BAVIEW: software for visualization and analysis of probabilistic atlases of human visual areas. ESMRMB 2011, Leipzig, Germany, 2011/10/6, Presentation Number: 767, Software Exhibition.
- ④ Yamashiro H., Yamamoto H., Saiki J., Mano H., Umeda M., Tanaka C. (2011) Retinotopic activities in extrastriate visual areas predict individual variations in binocular rivalry dynamics. The 15th annual meeting of the Association for the Scientific Study of Consciousness, Kyoto, Japan, June 10 2011, Poster P1-16.
- ⑤ Yamamoto H. (2011) BAVIEW: a software for displaying the probability and entropy atlases of Human Visual Cortex., 第 1 回 東北大学脳科学国際シンポジウム 2011, 2011/1/21, 仙台.
- ⑥ Yamamoto H. (2011) 3D visualization and probing of the probabilistic atlases of human visual cortex. The 34th Annual Meeting of the Japan Neuroscience Society, Yokohama, Japan, 2011/9/15, Neurosci. Res., 71(Suppl.), e149.
- ⑦ Yamamoto T., Yamamoto H., Miura K., Sawamoto N., Fukuyama H., Kawano K. (2011) Intra- and Inter visual area differences in optimal spatial frequency: a human fMRI study. The 34th Annual Meeting of the Japan Neuroscience Society, Yokohama, Japan, 2011/9/17, Neurosci. Res., 71(Suppl.), e350.
- ⑧ 山本洋紀・山城博幸・川島康裕・市村好克・村瀬智一・梅田雅宏・樋口敏宏 (2010) カラー印刷物知覚時のヒト視覚野における fMRI 応答, 日本視覚学会 2010 年夏季大会, 2010/8/2, 横浜, Vision, 22(3), p. 191.
- ⑨ 山本哲也・山本洋紀・眞野博彰・梅田雅宏・田中忠蔵・河野憲二 (2010) 位相符号化法と追跡眼球運動を用いたヒト MT/MST 野のレチノトピー構造の測定再現性及び機能的裏付け, 日本視覚学会 2010 年夏季大会, 2010/8/2, 横浜, Vision, 22(3), p. 188.

[図書] (計 3 件)

- ① 山本洋紀 (印刷中) 色の知覚, 誠信心理学事典, 誠信書房.

- ② Yamamoto H. (in press) A probabilistic atlas of human visual areas and an information-theoretical analysis of individual variability in their loci. In: Papageorgiou D., editor. Advanced Topics in Brain Neuroimaging: Methods and Applications. 26 pages, Rijeka, Croatia: INTECH.
- ③ 山本洋紀 (2011) 感覚と知覚の基本法則, 心理学概論, 京都大学心理学連合編, 第 3 章 1 節, ナカニシヤ出版, pp 49-54.

[その他]

ホームページ等

http://www.cv.jinkan.kyoto-u.ac.jp/site/people_/yamamoto/

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山本 洋紀 (YAMAMOTO HIROKI)

京都大学大学院人間・環境学研究科・助教

研究者番号：10332727