

連続的に変調する視覚刺激を用いた fMRI 計測による ヒト低次視覚野における相反する周辺文脈効果の検出

Opposing Effects of Contextual Surround in Human Early Visual Cortex Revealed by fMRI with Continuously Modulated Visual Stimuli

田嶋達裕(PY)¹⁾, 渡辺正峰²⁾, 今井千尋²⁾, 上野賢一³⁾, 浅水屋剛³⁾, 田中啓治³⁾, 程康³⁾

Satohiro Tajima(PY), Masataka Watanabe, Chihiro Imai, Kenichi Ueno, Takeshi Asamizuya, Keiji Tanaka and Kang Cheng

¹⁾東京大学大学院新領域創成科学研究科, ²⁾東京大学大学院工学系研究科, ³⁾理化学研究所脳科学総合研究センター
tajima@mns.k.u-tokyo.ac.jp

Abstract — Spatial context in vision has profound effects on neuronal responses and perception, and recent studies suggest that the effect of surround on a central stimulus dramatically changes its character depending on the center stimulus contrast. To examine the dependency of the surround effect on the center contrast, we conducted a functional MRI experiment by employing a low or a high center contrast while the surround contrast was sinusoidally modulated between the two contrasts. We found that the BOLD response in V1 corresponding to the center region was differentially modulated by the surround contrast, depending on the center contrast: whereas a suppressive effect was observed in high center contrast conditions, a facilitatory effect was observed in low center contrast conditions. These results provide the first evidence of opposing contextual effects in human early visual cortex.

Keywords — Vision, Surround Modulation, Contrast, fMRI

1 はじめに

視覚において対象物を囲む空間的な文脈が対象の知覚やその神経活動に対して強く影響する(「周辺効果」). この効果は, 対象と文脈の間の類似性や差異に応じて性質を変化させることが知られている. これまで, ヒトでの心理物理実験[1]や動物での電気生理・光学計測[1]により, 周辺刺激(文脈)の効果は中心刺激(対象)との相対的なコントラスト比に依存することが示唆されている; 即ち, 中心刺激よりも高いコントラストの周辺刺激は抑制的にはたらき, 中心刺激よりも低いコントラストの周辺刺激は促進的にはたらき. ヒトでの fMRI 研究に[3][4]があるが, 前述の相反する変調効果に関して, 神経生理学的な証拠は現在まで見出されていなかった.

今回我々は新たな手法を用い, 中心を高/低2通りのコントラストに固定して周辺刺激のコントラストを連続的かつ緩やかに変化させることにより, 周辺効果を fMRI 実験により検証した. 一般に, 中心刺激が低いコントラストで呈示された場合, 直接的に誘起される賦活は高コントラストのときに比べて小さくなるが, その賦活の大きさに関わらず周辺刺激の変化に対応した変調成分を抽出できる. さらに, 刺激コントラストを連続的に

変化させるため, 単一の実験で様々な周辺コントラスト

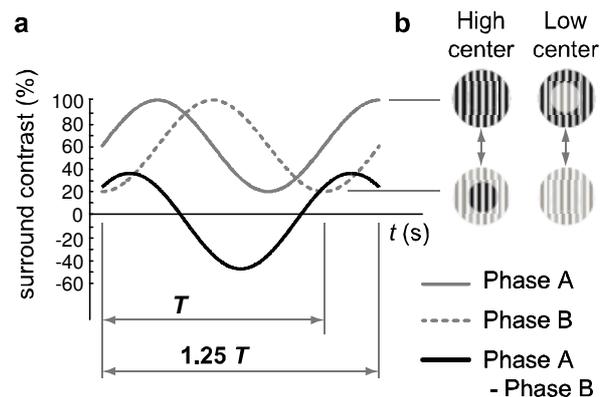


図1 刺激の概要. a: 刺激提示中の周辺コントラストの時間変化. b: 2種類の中心コントラスト条件.

条件での応答を記録できる点で効率的である. 実験の結果, 我々はヒトの第一次視覚野において, 中心コントラストに依存して促進的/抑制的な相反する2種類の周辺効果を検出した.

2 方法

前述の通り, 時間的構造を含んだ刺激を用いて, 3名の被験者の第一次視覚野を調べた(図1). 刺激画像はサイン縞(1 c/deg, 5Hz で点滅)の円形窓を視野の4象限にひとつずつ, 注視点から約 6.4deg 離れた位置に呈示した. それぞれの円形窓は中心部の円(直径 4 deg)とそれを取り囲む輪(外径 8 deg, 中心部と同位相・同方位の縞)とから成る(図1b). 中心の縞コントラストは低, 高コントラスト条件でそれぞれ 20%, 100%で呈示中一定に保った. 一方, 周辺コントラストは周期 40s または 48s(図1aの「T」), 変化域20%から100%のサイン波に従い1.25周期, ゆっくりと変化させた(撮像頻度は約 0.25 volume/s).

また実験中, 周辺縞のコントラスト変化は2種類の異なる位相条件で呈示された(それぞれ位相条件 A, Bとする). 即ち, 周辺コントラスト $C_s(t)$ は,

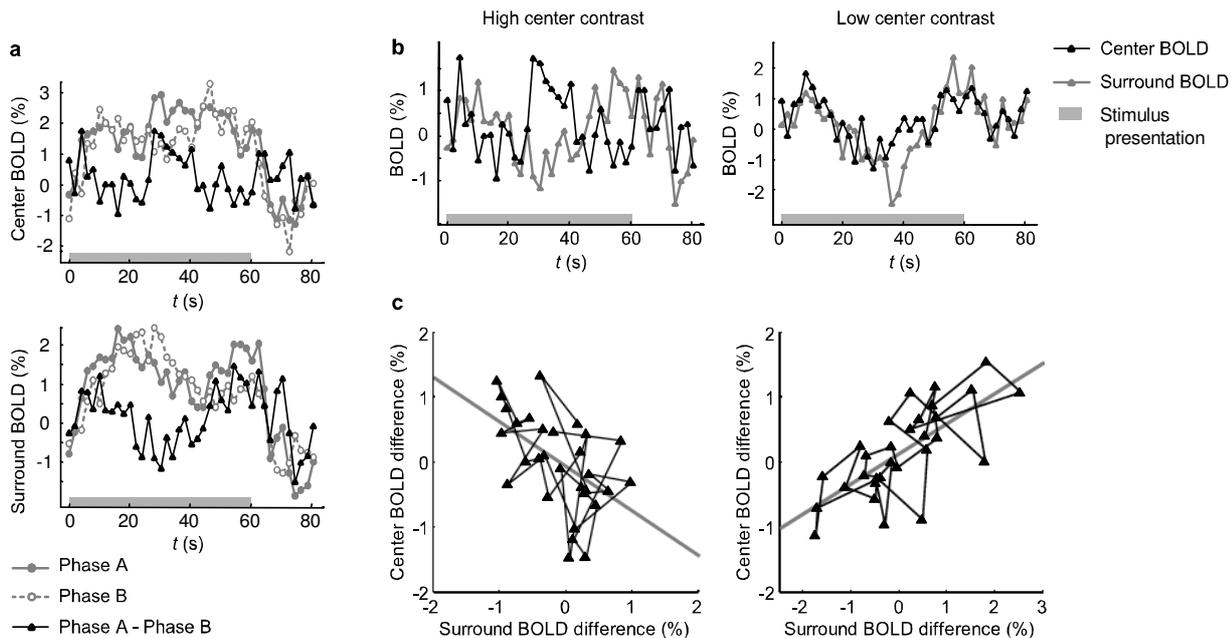


図2 ある被験者についての計測結果. **a**: 高中心コントラスト条件下における, 中心(上)および周辺(下)に対応する V1 の BOLD 応答時間変化. **b**: 周辺刺激の変調に由来する BOLD 応答を重ねて描いたもの, 中心高コントラスト条件(左), 中心低コントラスト条件(右). **c**: 中心, 周辺 BOLD 応答空間での表示. 灰色の直線は中心部位に直接対応する脳領域の BOLD 応答を従属変数とした線形回帰の結果を表す.

$$C_s(t) = 0.6 + 0.4 \sin 2\pi \frac{t - \Delta t}{T}$$

ただし, t は刺激を呈示し始めてからの時間 ($0 < t < 1.25$), Δt は位相条件 A で 0, 位相条件 B で 0.25 とした. 2つの位相条件を設けたのは, 後の解析の際に両位相条件間の差分をとり, 定常的な中心刺激の呈示や刺激のオン/オフにより生じる BOLD 応答成分を打ち消し, 純粋に周辺コントラストによる変調を抽出するためである.

3 結果

図2a に, 変調の効果が最も顕著であった被験者について, 中心高コントラスト条件での結果を示す(他2名の被験者も同様の傾向を示した). 図中の灰実線, 灰破線はそれぞれ位相条件 A, B での BOLD 応答を表している(上: 中心刺激, 下: 周辺刺激に対応する部位の応答を表す). 両位相条件の差異を示す黒実線が周辺コントラストの変化を反映した応答成分と見なせる. ここで, 周辺部位に直接対応する脳領域の BOLD 応答変化は周辺コントラストの変化(図1a 実線)とよく対応しており直接的な効果は明瞭である. 一方, 中心部位に直接対応する脳領域の BOLD 応答変調は, コントラスト変化と逆位相であることが見て取れる. 今, 中心コントラストは呈示中一定に保たれているため, これは周辺刺激の変調に起因する間接的な効果(周辺効果)である. すなわち, 高コントラスト下では周辺刺激から抑制的な影響を受けている. 図2b 左は図2a の黒実線をひとつに重ねて描いたものである.

興味深いことに, 中心低コントラスト条件で同様の解析を行うと, 対照的な結果が得られた(図2b 右). 中心低コントラスト下では, 周辺効果は抑制的でなく, 促進的である. 以上を中心部/周辺部 BOLD 応答の相関の形で捉え直したものが図2c である. 中心が高コントラストの時には両応答は負の相関を持つものに対し, 高コントラスト下では正の相関を持つ. 実験条件として中心コントラスト以外の条件には差がないことに注意すれば, 上記の周辺効果の性質変化は中心コントラスト強度に起因していることが結論付けられる.

今回の実験により, 中心刺激が低コントラストで呈示された場合にも, 中心刺激に対する第一次視覚野の BOLD 応答が周辺刺激により明確な変調を受けることが示された. さらに, この効果は中心刺激コントラストを操作することで性質を変えることが分かった: 中心が高コントラストの条件下では周辺効果は抑制的であるのに対し, 中心が低コントラストの条件下では促進的性質を持つ. これらの結果から, ヒトの低次視覚野において, 中心コントラスト依存的な2種類の相反する周辺効果の存在が初めて証明された.

参考文献

- [1] C. L. E. Paffen et al. (2006) *Vis. Res.*, **46**, 599-604
- [2] L. J. Toth et al. (1996) *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **93**, 9869-9874.
- [3] A. L. Williams, K. D. Singh and A. T. Smith (2003) *J. Neurophysiol.* **30**, 6884-6893.
- [4] B. Zenger-Landolt and D. Heeger (2003) *J. Neurosci.*, **89**, 525-533.