

# Continuous Flash Suppression の力学系モデル Dynamical Model for Continuous Flash Suppression

嶋岡大輔 (PY)<sup>1)</sup>, 金子邦彦<sup>1) 2)</sup>

Daisuke Shimaoka(PY) and Kunihiko Kaneko

<sup>1)</sup> 東京大学大学院総合文化研究科

<sup>2)</sup> JST,ERATO複雑系生命

shimaoka@complex.c.u-tokyo.ac.jp

**Abstract** — Binocular Rivalry is often explained by mutual inhibition and spike-frequency adaptation. Are these mechanisms sufficient for Flash Suppression (FS) and Continuous Flash Suppression (CFS)? We found that ① the circuit for BR reproduces FS and ② spatially extended model explained CFS.

**Keywords** — Dynamical System, Binocular Rivalry, Flash Suppression, Continuous Flash Suppression

## 1 導入

意識と神経活動の関係を探る最初のステップとして重要なのは、外部刺激でなく知覚に伴って変化する神経活動を抜き出すことである。Binocular Rivalry (BR 両眼視野闘争)とは、左右眼に異なる視覚刺激を提示した際に、知覚が左右眼で交互に自発的に切り替わるという、外部からの視覚刺激と被験者の知覚が乖離する現象である。BRは各眼からの入力に対し選択的に応答する細胞集団の、発火頻度への順応と、細胞集団間の相互抑制によって説明されてきた。

外部刺激と知覚が乖離する現象の統一的な理解に向けて、まずこの描像がどの程度有効なのかを検討することが重要なのではないだろうか。今回の研究ではその手始めとしてBRを時間方向に拡張して見られる現象であるFlash Suppression (FS)とContinuous Flash Suppression (CFS)に注目した。

FSとは、一方の眼にまず刺激を提示し、ある程度の時間(数百ミリ秒~数秒)の後もう片方の眼に刺激を提示すると、その瞬間に新しく提示した刺激が知覚に昇るとい現象(図1)である。またCFSとは、一方の眼には定常刺激を与え、もう片方の眼にある程度の時間毎に切り替わる刺激を提示すると、その刺激が知覚に生じる時間が、静止した刺激を与えるときに比べて長くなるという現象(図2)である。

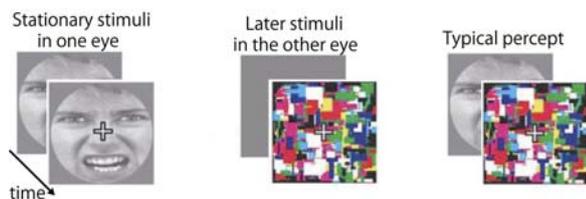


図1 Flash suppressionで使われる刺激の時系列(左列、中央列)と典型的な知覚(右列)。(Tsuchiya & Koch (2005)を改変)

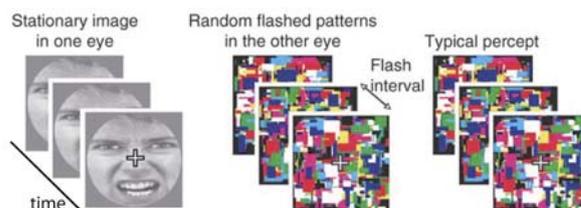


図2 Continuous Flash Suppressionで使われる刺激の時系列(左列、中央列)と典型的な知覚(右列)。(Tsuchiya & Koch (2005)を改変)

時間方向への拡張が力学系として容易であるにもかかわらず、FSやCFSとBRのメカニズムの関係を問う研究は多くない。

## 2 モデル設定

今回の研究では順応と相互抑制というメカニズムから生じるダイナミクスを、(実験結果と対応する)特定のパラメタだけでなく一般に調べるため、順応と相互抑制を最も素直に定式化したWilson(2007)のBinocular Rivalryのモデルを用いて解析を進めた。

$$\tau \frac{dE_L}{dt} = -E_L + M \max(0, L(t) - aE_R + \varepsilon E_L - gH_L)$$

$$\tau_H \frac{dH_L}{dt} = -H_L + E_L$$

$$\tau \frac{dE_R}{dt} = -E_R + M \max(0, R(t) - aE_L + \varepsilon E_R - gH_R)$$

$$\tau_H \frac{dH_R}{dt} = -H_R + E_R$$

ここで、 $E_L$  は左眼への外部入力 $L(t)$ に選択的に応答する興奮性ニューロン集団の活動度(発火頻度など)を表し、 $H_L$ はこの細胞集団への遅い過分極電流を表す。 $E_R, H_R$ も同様に定義される。パラメタ

$\tau (= 20ms), \tau_H (= 900ms)$ 、はそれぞれ、興奮性ニューロン集団と過分極電流の変化の時間スケールを表す。 $a$ は反対側のニューロン集団からの抑制性結合、 $\varepsilon$ は反回性結合の強度をそれぞれ表し、 $g$ は発火頻度への順応の強度を表す。 $M$ は興奮性入力が増加した際の発火頻度の増加をコントロールする定数である。

### 3.1 Wilsonモデルの基本的な振る舞い

定常入力に対して、このモデルは大まかに分けて3つの異なる振る舞いをするパラメタ領域がある(図3)。

WTAの領域ではL, Rどちらかのdominanceが永久に続き、他方に切り替わることはない。力学系としては双安定系の安定固定点である(ただしBRに近い領域ではノイズがあると切り替わる)。BRの領域ではL, Rのdominanceが一定の時間で切り替わる。つまりリミットサイクルである。FUSEの領域ではL, R両方が同時に発火する。

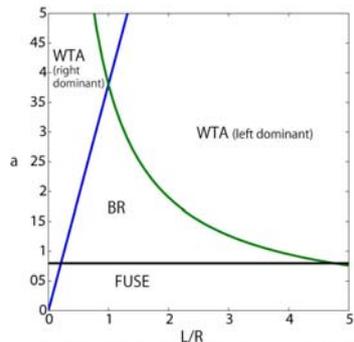


図3 定常入力へのWilson (2007)モデルの振る舞い  
WTA: Winner-take-all, BR: Binocular rivalry  
parameters:  $a=3.8, \epsilon=0.2, g=3.0, M=1.0$

### 3.2 Flash Suppression

モデルに時間差のある刺激を入れ、二つ目の刺激の後にdominanceが切り替わるかどうかを数値計算で調べたところ、FSが起る領域はBRが起る領域を含んでいた。このことから、順応と相互抑制のメカニズムはFSを起こすのに十分であることがわかった。さらにFSが起る領域での線形安定性を調べたところ、二つ目の刺激前後で固定点の安定性が安定から不安定へと切り替わることが分かった。

### 3.3 Continuous Flash Suppression

CFSの実験で使われる刺激を模した、矩形波刺激をモデルに入れたところ、FSの起る領域でも定常入力のときに比べて、dominance durationが長くなることはなかった。刺激やモデルの種々のパラメタ(ノイズ、 $\min(L)$ , flash interval)を変えてシミュレーションを行ったが、やはり長くなる傾向は見出されなかった。そこで我々はCFSの実験で使われる刺激が空間に依存していることに注目し、元のモデルに空間次元を取り入れてシミュレーションを行った結果、dominance durationが長くなることを見出した(図4)。これは空間次元を考えることで、定常入力を受ける細胞集団が、flash入力を受ける細胞集団から常に抑制を受けるためと考えられる。

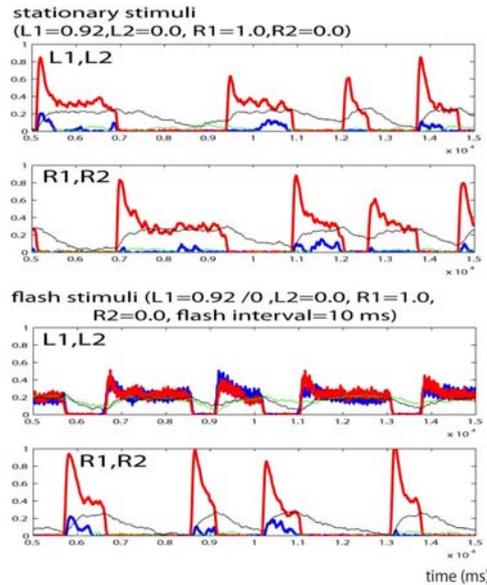


図4 空間次元に拡張したモデルのstationary stimuliと flashing stimuliに対する応答  
parameters:  $a=3.8, g=3.0, \epsilon=0.2, M=1.0, a_2=1.9, \epsilon_2=0.1$

さらに、刺激のflash intervalとdominance durationの関係性を調べたところ、実験結果とシミュレーション結果が定性的に合うことも分かった。

## 4 まとめ

今回の研究で、順応と相互抑制という、両眼視野闘争で基本と考えられているメカニズムが、BRを時間方向に拡張した現象であるFSを起こすのに十分であることが明らかになった。さらにこのメカニズムを空間方向に拡張することで、CFSを再現することもできた。このようにして、本研究は順応と相互抑制のメカニズムを基本として、BRを一般的に理解できる可能性があることを示した。

## 参考文献

- [1] JM. Wolfe (1984) "Reversing ocular dominance and suppression in a single flash." *Vision Research*, **24**, 471-478.
- [2] N. Tsuchiya and C. Koch (2005) "Continuous flash suppression reduces negative afterimages." *Nature Neuroscience*, **8**, 1096-1101.
- [3] LA. Gilroy and R. Blake (2005) "The interaction between binocular rivalry and negative afterimages" *Current Biology*, **15**, 1740-1744
- [4] HR. Wilson (2007) "Minimal physiological conditions for binocular rivalry and rivalry memory." *Vision Research*, **47**, 2741-2750.