

Continuous flash suppression reduces negative afterimages

Naotsugu Tsuchiya & Christof Koch

Nature neuroscience (2005) pp.1096-1101

(この論文を読んだ目的)

CFS の技法や特性（特徴）を探る。研究の内容は専門外なので予備知識程度の取得。

近年、意識的知覚の神経学的要因について盛んに研究されてきた。

- ・この領域では主に錯視を用いたものが使用されてきた。

Backward masking（逆行性マスキング）

強刺激の継時的前後に配置された弱刺激が影響を受ける。

Inattention blindness（非注意性盲目）

注意を向けないことによる見落とし。

Motion-induced blindness（運動誘発盲）

低コントラスト刺激（静止）の周囲に高コントラスト刺激を呈示し、この高コントラスト刺激を動かすと、低コントラスト刺激が点滅や、消失するように見える。

Binocular rivalry（(両眼) 視野闘争）

両眼で異なる刺激を見たときに、どちらか一方の刺激に注意が向き、時間の経過とともに注意が入れ替わる。

Flash suppression

両眼に異なる刺激を呈示。このとき片側を高コントラストにすると、他方の低コントラスト刺激が知覚（認識）されない。

視覚的残効の研究では **binocular rivalry** 用いられてきた。

(どのような研究？→視野闘争の抑制が、神経学的なものの上で起こるか否かを検討する研究。背景に、(ざっくりいうと) このような現象が網膜的なレベルで起こっており、脳内まで信号が届いていないという説が対立説としてある。)

- ・視野闘争が起こる条件下での効果と、視野闘争が起こらない条件下を比較

(**binocular rivalry** の問題点)

- ・確率論的な性質に依存するため統制が困難（闘争のランダム性か？）
- ・**Flash suppression** の方が、刺激呈示タイミングなども統制できる。
- ・しかし、**Flash suppression** は **pre-adapting period** が必要。

→**Continuous Flash Suppression (CFS)**の提案

(CFS の概要)

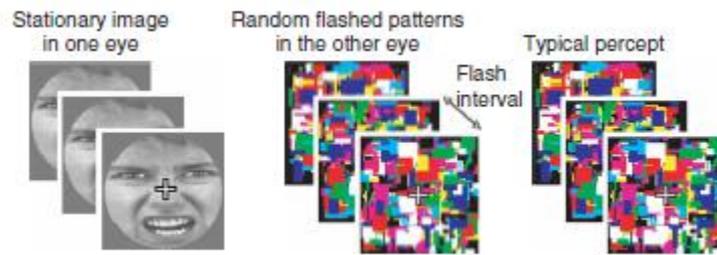


Figure 1 Continuous flash suppression. A stationary gray stimulus was presented in one eye (left) while different, colored Mondrian patterns were flashed in the other eye (center) every 100 ms. Subjects fixated the central cross and pressed a button to report when the gray figure started to become visible. Initial suppression duration in CFS was more than ten times longer than in binocular rivalry, using the same stimulus but with a stationary Mondrian pattern.

手順

- ・片方の眼に対象となる刺激を写す (Fig 1, 左)
- ・他方の眼に連続的に、異なる刺激を写す (Fig 1, 中央)
- ・上記の間隔を短くする

特徴

- ・参加者は長時間この刺激にさらされても、Fig 1 左の刺激に気づかない
- ・Fig 2, Fig 3 のように同時に Fig 1 を複数呈示できる

本研究の内容

- ・CFS を用い、神経学的観点から陰性残像の抑制について検討
 - ・先行研究により、陰性残像は片方から他方への転移がないことが示されている
 - ・また、その強度も抑制されないことが示されてきた
 - binocular rivalry や Motion-induced blindness(MIB)が用いられてきた
- しかし、binocular rivalry や MIB では抑制効果は断続的である (参加者が完全に気づかないことが設定できないから?)

(本研究の結論的なもの)

- ・著者らは CFS を用いることで、陰性残像の強度が約半分に抑制されることを示した
- ・著者らの結果は、陰影残像が (網膜ではなく) 両眼からの刺激により神経的構造を構成するが、知覚的な気づきに直接的に対応していないことを示している

Results

Prolonged invisibility by continuous flash suppression

CFS と binocular rivalry の刺激抑制期間の長さを比較する

- ・CFS では、Fig 1 の要領で刺激を呈示 (binocular rivalry では Random flash は 1 枚だけ?)
- ・Flash interval は 100ms

- ・参加者は gray の刺激が「見えた」ときにボタン押下で報告
 - ・1 試行は 3 分間 (CFS では全 272 試行, 内 40 試行は gray の刺激なし)
- 初期の 16 試行での平均 : CFS 56.0 秒, binocular rivalry 4.3 秒 ($t(16) = 4.81, p < .001$)
 → CFS の方が 13 倍以上長く「見えない」

Pilot experiments on afterimage reduction

CFS が陰性残像を抑制することを検討する

→ 先の実験で 1 人の参加者が gray 刺激のない試行で gray 刺激の陰性残像を報告したことが発端

1 試行は 5 秒間, Fig 2 の手順で実施

- ・片側の眼の左右視野に Gabor パッチ (色つきの刺激) を 2 つ呈示 (Fig 2, 左)
- ・他方の眼の片方の視野に Mondrians パターンを呈示し(CFS), 他の視野には何も呈示しない
 Mondrians パターン (モノクロの刺激) は interval のタイミングで変化 (Fig 2, 中央)
- ・interval は 100ms

参加者あたり 2 ブロック実施 (その後, 陰性残像の強度について言語報告)

- 1 ブロック目 : 2 試行
- 2 ブロック目 : 30 試行

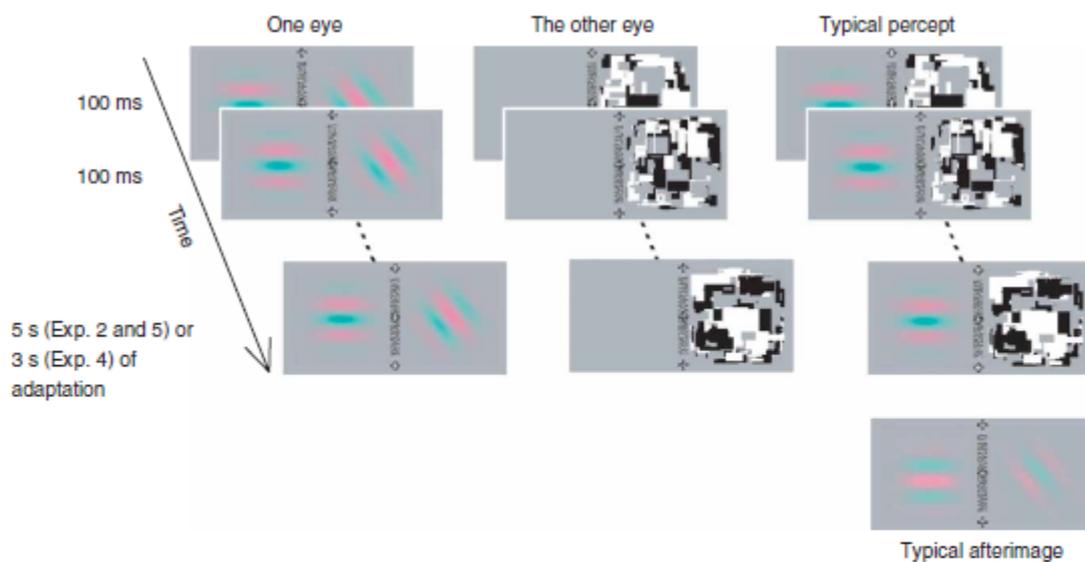


Figure 2 CFS suppresses a Gabor patch and reduces its afterimage. Left: two isoluminant Gabor patches, at 30% contrast and 0.6 cpd spatial frequency, were presented to the left and right of fixation in one eye for 5 s. Center: different Mondrian patterns that changed every 100 ms were projected in one-half of the visual field (here, the right side) of the other eye. Right: typically, subjects saw a Gabor on one side and flickering Mondrians on the other, not perceiving the Gabor on the right. In experiment 2, subjects verbally described their percepts at the end of the adaptation period ('What do you see?'). In experiment 4, subjects reported which afterimage was stronger and whether they saw the suppressed adaptor during a 3-s adaptation in a two-alternative forced choice. In experiment 5, subjects pressed and held a key whenever the suppressed adaptor was visible during the 5-s adaptation period and then reported which afterimage was stronger.

ほとんどの参加者が、CFS が呈示されたところの陰性残像が弱められたと報告

1 ブロック目：87%

2 ブロック目：83%

Mondrians パターンの陰性残像を見た報告はなし

retinal origin hypothesis では、他方の眼から入った刺激は、陰性残像の形成に影響を与えない

しかし、CFS を呈示した場所 (Fig 2 では右視野) では、陰性残像が弱められた

→これは両眼の情報が集中された (脳内の) 場所で、弱められたと考えられる

Ruling out nonspecific effects of the flashes

CFS が残像を抑制したのか、あるいは Mondrians パターンが残像を抑制したのかを明らかにする

1 試行は 30 秒, Fig 3 の手順で実施

- ・ 呈示領域を 3 領域設定

Control / Synchronous / Asynchronous

- ・ 2 秒ごとに On と Off の刺激セットを交互に呈示

- ・ On では 3 か所の Gabor パッチと, 1 か所の Mondrians パターン

- ・ Off では Gabor パッチを呈示せず, 1 か所の Mondrians パターン

- ・ Control の残像強度を 10 として, Synchronous と Asynchronous の残像強度を主観評定 (条件をまとめると)

Synchronous : On で Mondrians パターンが呈示された領域の残像

Asynchronous : Off で Mondrians パターンが呈示された領域の残像

Control : Mondrians パターンが呈示されなかった領域の残像

参加者あたり 20 試行

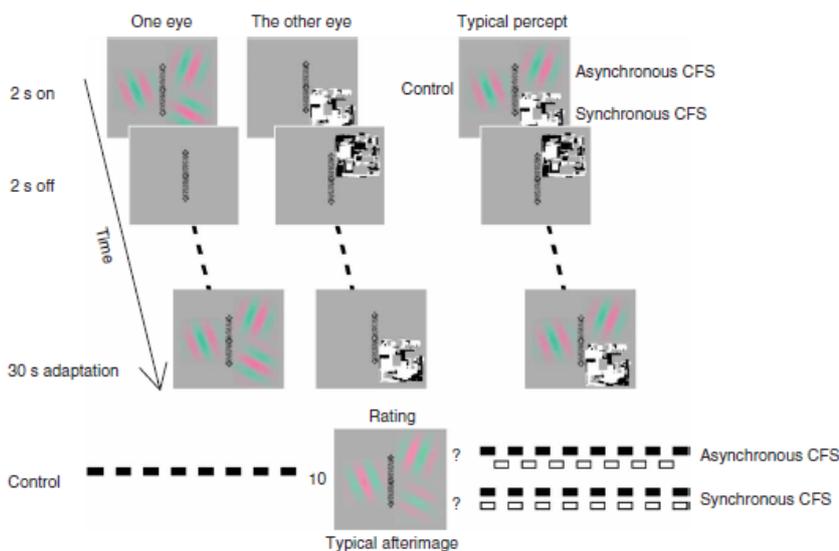


Figure 3 Mondrian flashes themselves do not reduce the afterimage of the Gabor. Left: three adaptors were presented to the left, upper right and lower right of fixation during 2-s 'on' periods and were removed during 2-s 'off' periods. The contrast of the adaptors was 50%. The position of the adaptors and Mondrians was balanced between top and bottom and between left and right across 20 trials (five trials for each configuration). Center: Mondrian flashes were presented synchronously with the adaptors during 2-s 'on' periods at the lower right and asynchronously during 2-s 'off' periods at the upper right. Right: during 2-s 'on' periods, subjects perceived two adaptors and a stream of Mondrians at the lower right, whereas during 2-s 'off' periods they saw only a stream of asynchronous Mondrians at the upper right. Bottom: after 30 s of adaptation, subjects rated the intensity of the afterimage relative to that at the left visible location (control), which was pegged at 10. Next to the expected afterimage, the time course of adaptors and Mondrians is shown for each location. Filled squares indicate the eight 2-s 'adaptor-on' periods, and open squares denote the 2-s 'CFS-on' periods.

Asynchronous では残像の抑制は確認できなかった(11.1 ± 1.13)が, Synchronous では残像の抑制が確認された(5.85 ± 1.63, $p < .02$)

CFS で残像を抑制するためには対象刺激と同時に呈示することが重要であり, Mondrians パターンが残像を抑制した訳ではないことが示された

Reliable suppression reduces afterimage intensity

MIB や binocular rivalry では残像の強度や効果時間を抑制できないとされているが, なぜ CFS では残像の強度を抑制できたのか?

- 考えられることは, CFS は他の技術より, より完全に刺激を統制できており, ほとんどの参加者は刺激が「見えて」いない

→ では, 刺激の見えやすさと残像の関係はどのようなになっているか?

- 予備実験をとおして, 以下のことが刺激の見えやすさに影響を与えていることがわかっている

- (空間) 周波数 (単位は cpd: Cycle per degree)
- コントラスト

以下の実験条件を設定

- ・ 周波数 : 0.60 / 0.84 / 1.2 / 1.7 / 2.5 cpd
- ・ Gabor パッチと Mondrians パターンのコントラストの組み合わせ: 30% vs. 100% (三角) / 100% vs. 100% (円) / 100% vs. 5% (四角)
 - さらに CFS (実線) だけでなく, binocular rivalry (破線) でも実施
 - 手順等は実験 2 に準じる

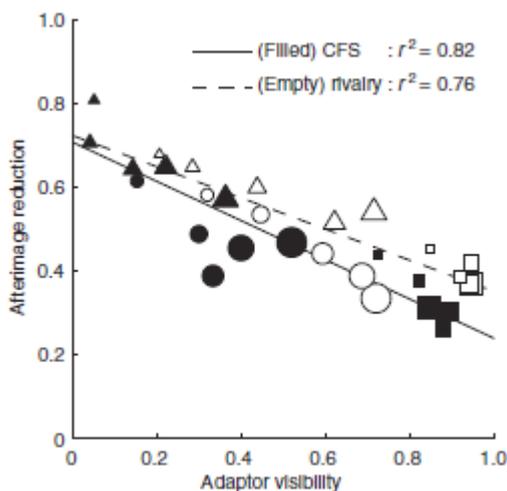


Figure 4 Relationship between afterimage reduction and the reliability of suppression. We used two different dichoptic suppression protocols: CFS (as in Fig. 3, except that the adaptation period was shortened to 3 s) and binocular rivalry with moving stimuli. Subjects reported which of the afterimages was stronger and whether or not they saw the suppressed Gabor patch during adaptation. To modulate the reliability of suppression, three combinations of contrasts for adaptors and Mondrians were used: 30% and 100% (triangles), 100% and 100% (circles) or 100% and 5% (squares). The Gabor had one of five different spatial frequencies. Subjects compared the intensity of the afterimage from two adaptors with the same contrast and spatial frequency. Increasing symbol size represents increasing spatial frequency of the adaptors: 0.60 through 0.84, 1.2, 1.7, to 2.5 cpd. In total, 30 different experimental conditions were evaluated. Filled symbols represent data obtained from CFS and open symbols, data from binocular rivalry. Each data point represents the average across five subjects. The y-axis is the proportion of trials in which the afterimage from the suppressed adaptor was weaker than the afterimage from the plainly visible Gabor patch, representing the degree of afterimage reduction. The x-axis is the fraction of trials during which any part of the adaptor was visible, representing the reliability of complete suppression in a statistical sense. The data clearly show that for both CFS and binocular rivalry, the less frequently the adapting stimulus is seen, the weaker its associated afterimage.

Fig 4 の読み方

縦軸

Gobar パッチだけの領域よりも残像が弱くなったと方向された試行の割合

横軸

アダプタ (Mondrians パターンが表示される領域の Gabor パッチで、通常は Gabor パッチが見えないことが期待される) が見えたと報告された試行の割合

結果

(アダプタにおいて) Gabor パッチが「見えない」方が、より残像が抑制されていたつまり、十分に刺激の抑制がなされれば、残像は抑制される

Trial-by-trial visibility and afterimage intensity

実験 4 では空間周波数かコントラストが残像を抑制することが示された

→ どちらが残像を抑制するのかを同定する

- 実験 4 の一部条件を使用
- コントラストマッチングという手法を用いて「見えのコントラスト」を統制

マッチングコントラストによる要因 (2 水準)

- ・ Low SF (low-spatial frequency) (*Mondrians* については読み間違えているかも)
 - Gabor: 0.6 cpd / Mondrians: 100%
- ・ High SF (high-spatial frequency)
 - Gabor: 2.0 dpd / Mondrians: 2-4%

マッチングコントラストの summary (Fig 5a-c)

- ・ a: 統制刺激を用いたマッチングコントラストの値
- ・ b: アダプタが表示された時間の平均
- ・ c: 参加者が、アダプタが見えなかったと報告した試行の割合

(Fig 5d)

- (High SF を用いたマニピュレーションチェックの様だが、専門的すぎて詳細不明のため略)

結果

- ・ Fig 5e は High SF のマッチングコントラストとアダプタが表示された時間の相関
 - 有意差は認められず
 - Low SF も類似した結果
 - これらは独立である (関連がない)

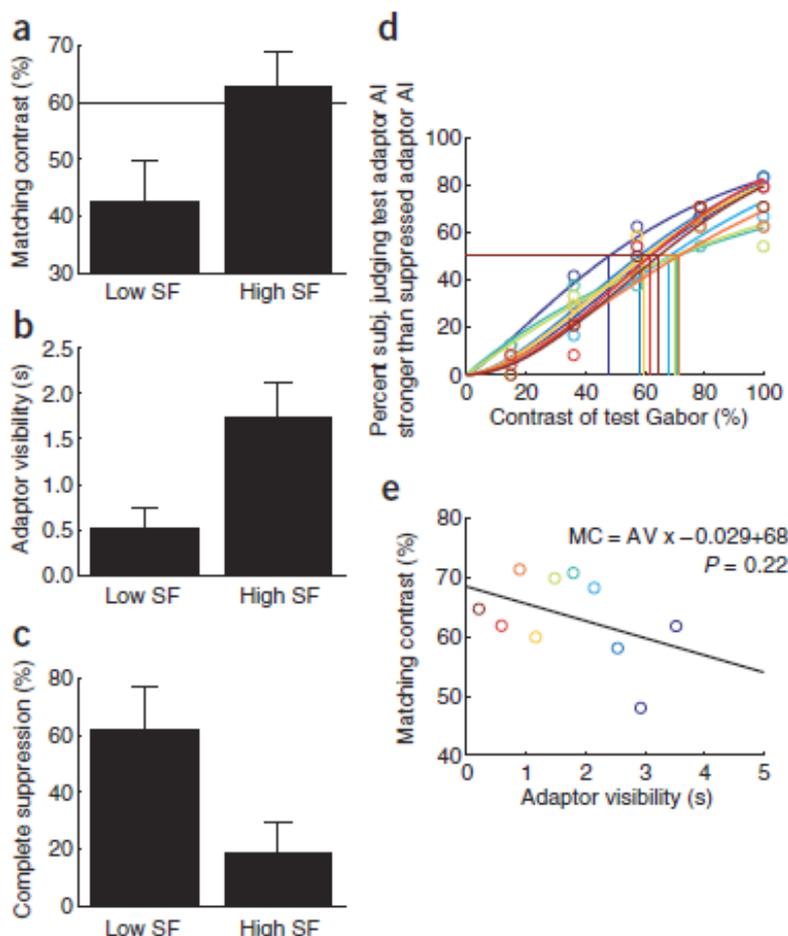


Figure 5 Visibility and afterimage reduction. We repeated three conditions of the fourth experiment. Subjects reported the visibility of the suppressed Gabor by holding a key during the 5-s adaptation period and then compared the afterimage intensity. (a-c) We used low- (0.6 cpd, left) and high-spatial frequency (2.0 cpd, right) Gabor patches. (a) Matching contrast (estimated by the method of constant stimuli), showing a significant reduction of contrast in the low spatial frequency condition (error bars represent s.e.m.). (b) Mean duration that the adaptor was visible. (c) Proportion of trials where subjects did not see the adaptor at all. (d) We divided 60 trials at each test contrast for each subject into ten bins based on the adaptor visibility duration in the high spatial frequency condition (a-c, right). Six trials from each of four subjects were pooled to fit a Weibull function, which was used to estimate the matching contrast for which the afterimage (AI) induced by the test adaptor was stronger than the afterimage induced by a suppressed Gabor in 50% of trials (vertical lines in d). (e) The duration for which the adaptor was visible was weakly but negatively correlated (one-tailed *t*-test; $P = 0.22$) with the matching contrast. Different colors in d and e represent different durations of mean adaptor visibility.

Discussion

本研究では両眼分離視による逆行性残効の抑制の解明について CFS を適用した

- ・残像は広く網膜神経に由来するものであると考えられてきた
- ・しかし、本研究のいくつかは皮質上の処理で行われていることを暗示した

Mondrians パターン自体が残像を抑制する可能性は実験 3 で排除した

- ・非同期的に呈示した **Mondrians** パターンは残像を抑制できなかった
- ・一方で同期的に呈示した **Mondrians** パターンは残像を約 50%低減した
 - ・このことは、単に短い刺激を連続的に呈示することが残像を抑制することにはならず、刺激を他方の眼から同時に呈示することが重要であることを示唆している