

色の見えに関する空間的文脈効果における視覚的気づきの影響

堀内 孝治*・栗木 一郎***・松宮 一道***・塩入 諭***

* 東北大学 大学院情報科学研究科

〒 980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6 番 3 号 09

** 東北大学 電気通信研究所

〒 980-8577 仙台市青葉区片平 2 丁目 1-1

1. はじめに

照明光変化に際して物体表面から不変な色知覚がなされる色恒常性の成立要因の一つとして、周辺の色による空間的文脈効果が考えられている¹⁾。空間的文脈効果とは、たとえば同時対比や、ムンカー錯視のように周辺を異なる色で囲まれた場合に中心の色の見えが変化する効果のことを指す。また、実環境において周辺に同じ照明で照らされた色票を多数配置することで、中心の色の見えが色恒常性の成立する方向に変化することが知られている¹⁾。様々な分光反射率を持つ物体表面が多数分布する環境では、照明光の変化は色・輝度変化に相関を与える²⁾。この色輝度相関のある色が周辺に多数分布した場合、中心の色の見えは空間的文脈効果により色恒常性の成立する方向に変化すると考えられる。しかし、この色の空間的文脈効果が低次から高次の視覚経路のどこで生じているかは明らかになっていない。今回、この効果の処理レベルを検討するために連続フラッシュ抑制刺激(Continuous Flash Suppression stimulus; 以後、CFS 刺激)³⁾を用いた。CFS 刺激とは、片眼に高速で連続更新する刺激を呈示することで、他眼に呈示した刺激の知覚抑制を可能にする刺激であり、先行研究では CFS 刺激を用いることで色刺激による陰性残像の減少が報告されている³⁾。CFS 刺激による抑制下で低下する現象は、両眼間情報の統合過程よりも高次の処理の反映であるといえ、抑制下においても生じる現象は、両眼情報の統合に先立つ処理の特性を反映するといえる。

本研究では、CFS 刺激によってもう一方の眼の周辺色刺激のみが知覚抑制された状態(抑制あり条件)で周辺刺激による色の見えの変化を定量的に測定し、CFS 刺激を呈示しない条件(抑制なし条件)と結果を比較し、CFS の影響を調べた。また、色情報を抑制する⁴⁾目的で、本研究では色付き CFS 刺激を用いた。

2. 実験方法

2.1 実験刺激

本実験で用いられた刺激の概略図が図 1 である。被験者は視力・色覚ともに正常な 4 名、実験刺激は CRT ディスプレイ(DELL 製、リフレッシュレート 85 Hz)に呈示した。抑制あり条件では被験者の片眼には周辺色刺激とテスト刺激、もう一方の眼には CFS 刺激が呈示され、抑制なし条件では、両眼に周辺刺激とテスト刺激がそれぞれ呈示された。被験者は立体鏡を用いて刺激を観察し、視距離は 0.40 m であった。背景の色度は $(u',v')=(0.184,0.463)$ 、輝度は 15.567 cd/m^2 とした。以後、抑制あり条件について実験手続きの説明を行う。

色と輝度の間に一定の相関がある場合、人間の視覚系はそれを有彩色の照明光による要因であるととらえる傾向がある²⁾ことから、本実験では周辺刺激として 3 種類の照明(照明光の色度: 緑照明 $(u',v')=(0.163,0.498)$ 、白照明 $(0.198,0.468)$ 、赤照明 $(0.284,0.458)$)を仮定し、その照明に照らされた様々な OSA 色票の色度・輝度を模擬する図形を周辺に配置した。周辺刺激は各照明条件で 10 フレームずつ用意し、ランダムに呈示した。各フレームの平均色度は各照明光の色度と同一、平均輝度は背景の輝度

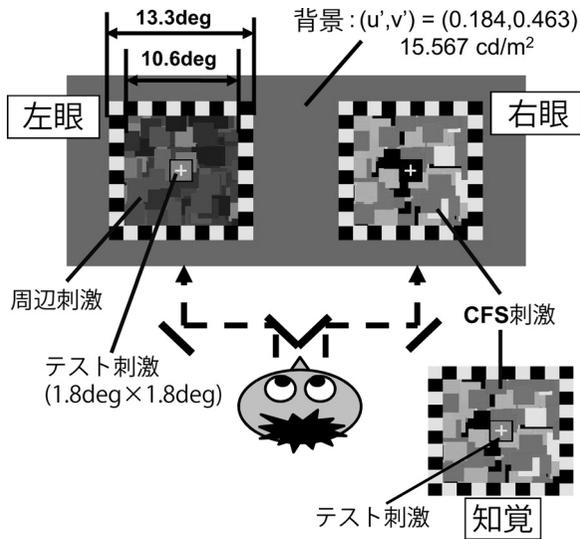


図1 本実験で呈示された刺激。

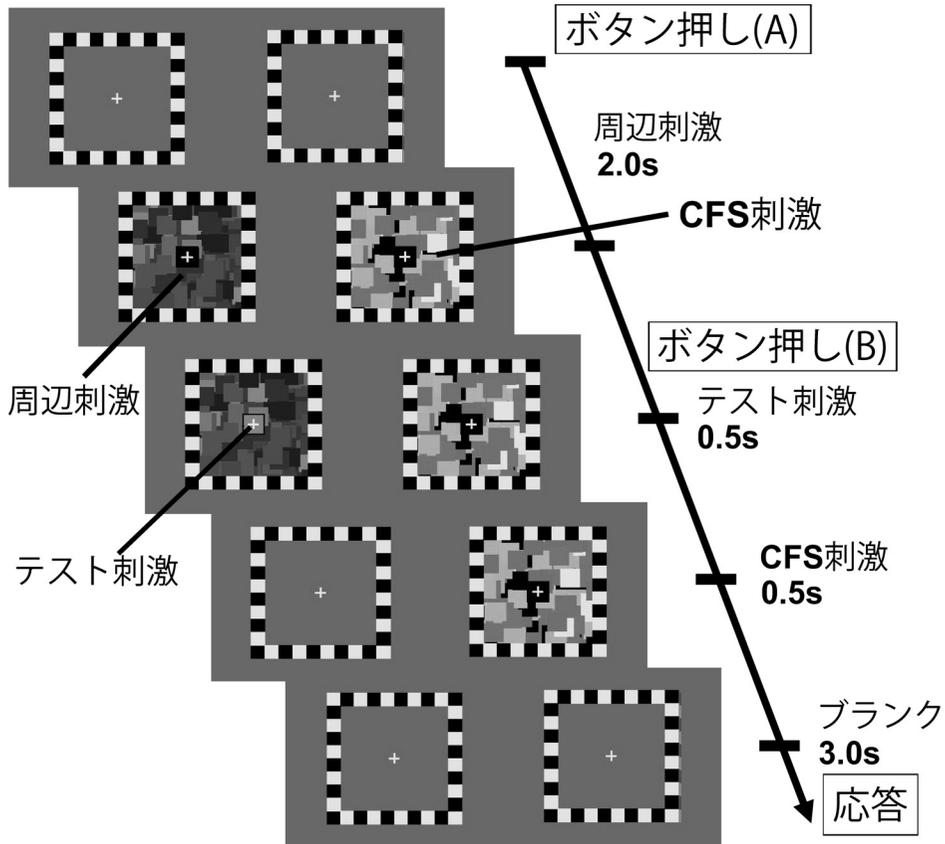


図2 1 試行の流れ。ボタン押し(A)で周辺刺激が呈示され、2.0秒間かけてコントラストが上昇していき、周辺刺激のコントラストが最大になるとトーンが鳴ることでボタン押し(B)が可能になる。被験者は周辺刺激が見えないときにボタン押し(B)を行い、それによりテスト刺激が急激な立ち上がりで呈示された。その後CFS刺激は0.5秒間続き、被験者の応答後3.0秒間のブランクを設けた。また、周辺刺激のコントラストが最大になってから3秒以内にボタン押し(B)が行われなかった場合の試行を破棄試行とした。

と同一であった。また、CFS 刺激は 14Hz で呈示し、CFS 刺激の各フレームは $L^*a^*b^*$ 色空間から選んだ 10 色から構成した（白と黒： $(L^*,a^*,b^*)=(100,0,0)$, $(0,0,0)$ の 2 色， $L^*=85.2, 64.4$ から $(a^*,b^*)=(32.0)$, $(-32,0)$, $(0,29)$, $(0,-29)$ の 4 色×2 明度）。CFS 刺激は 12 フレーム用意し、色度と輝度が時間平均で背景と同一になるように呈示した。

2.2 手続き

被験者はテスト刺激の色の見えを強制二択選択法（赤もしくは緑）で応答するように教示され、上下法により赤と緑の均衡点を測定した。テスト刺激は CIE $u'v'$ (1976) 色度図上から被験者ごとに 17 色選んだ。1 セッションは最大 180 試行とした（3 照明条件×2（CFS 刺激が呈示される眼，左眼か右眼）×2（上下法の昇順と降順）×最大 30 試行 = 180 試行）。

1 試行の流れは図 2 に示したとおりである。周辺刺激の知覚抑制を促進するため、周辺刺激は 2 秒間かけてゆっくりとコントラストが上昇し、逆にテスト刺激は知覚抑制を防ぐために被験者のボタン押し（図 2，ボタン押し (B)）によって急激な立ち上がりを伴って呈示した。被験者には、周辺刺激が見えないときにボタン押しでテスト呈示してもらうよう教示した。また残像の影響を防ぐため、周辺刺激とテスト刺激が消えた後も CFS 刺激は 0.5 秒間呈示され、その後被験者は応答を行った。また、CFS 刺激による知覚抑制の持続時間はあまり長くないことが知られているため³⁾、周辺刺激のコントラストが最大になってから 3 秒以内にボタンが押されない場合の試行を破棄試行とした。

また、抑制なし条件については表面色判断と開口色判断の 2 つの判断基準¹⁾を設けた。抑制あり条件については、表面色判断が困難であったため、開口色判断のみとした。

3. 実験結果

上下法により得られたデータを心理物理曲線にフィッティングし、各照明条件について赤と緑の均衡点を求めた。

$\Delta u'$ = (赤照明条件の赤と緑の均衡点の u' 値)

− (緑照明条件の赤と緑の均衡点の u' 値)

(1)

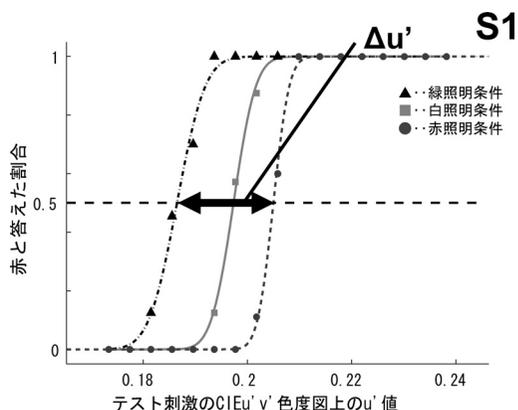


図 3 被験者 S1 の抑制なし（表面色判断）条件の結果。横軸はテスト刺激の CIE $u'v'$ 色度図上の u' 値を表し、縦軸はテスト刺激に対して赤と答えた割合を表している。各照明条件の結果（▲…緑照明条件，■…白照明条件，●…赤照明条件）をワイブル関数にフィッティングし、赤と緑の均衡点を求めた。赤照明条件と緑照明条件の赤緑均衡点の差を $\Delta u'$ とし、比較の指標とした。

を色の見えの変化量と定義し、比較の指標とした（図 3）。

抑制なし（表面色判断）、抑制なし（開口色判断）、抑制あり（開口色判断）の各条件に対して色の見えの変化量を求め、比較を行った（図 4）。実験結果より、表面色判断は高い色恒常性を示すことが示唆され、2 つの判断基準を定義した先行研究¹⁾の結果と一致する。また、CFS 刺激による両眼間抑制により、周辺色刺激のテスト刺激に対する影響が低下したといえる。さらに、CFS 刺激による抑制下でも周辺刺激に依存した色の見えの変化はなくならなかった。

4. 考察

実験中に被験者が周辺刺激を知覚していた可能性があるが、予備実験として、CFS 刺激による抑制下において周辺刺激の照明条件を赤・緑の強制二択で弁別する実験を行ったところ、全被験者の正答率の平均がチャンスレベル（50%）に近い値となった。このことから、CFS 刺激による視野闘争が周辺刺激の見えを確実に抑制していたと考えられる。

また、今回 CFS 刺激を構成する際に用いた図形は、白照明下にある色票を模擬した図形と考

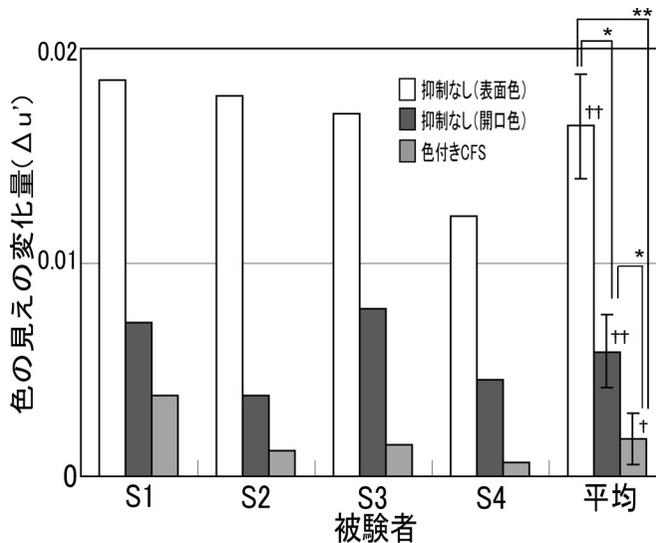


図4 色の見えの変化量の比較. Ryan's method: *, $p < .05$; **, $p < .01$ (条件間の有意差), †, $p < .05$; ††, $p < .01$ (0との有意差). エラーバーは標準誤差を表す.

えることもでき、実験で得られた周辺刺激が赤・緑照明条件のときの色の見えの変化量の減少が、照明光の足し合わせによるものだと考えることもできるが、予備実験として一方の眼に周辺刺激とテスト刺激、もう一方の眼に背景と同じ様の灰色の刺激を呈示する実験を行い、その結果が本実験で行った抑制なし条件の結果とほとんど変わらないという結果が得られていることから、照明光の足し合わせの色の見えの変化量の減少に対する影響はほとんどないと考えることができる。

CFS 刺激による抑制下でも色の見えの変化がわずかに生じたことから、開口色判断による色の見えには両眼間抑制の影響を受けるメカニズムと受けないメカニズムが関与しているといえる。今回用いた周辺刺激は色輝度相関を考慮した色度変化を持つことから、色輝度相関を計算し、色の見えに反映させるメカニズムは、両眼間抑制の影響を受けることが示唆される。この点は、平均色度は同一であるが色輝度相関を無視した周辺刺激を用いた実験と比較することで明らかにできると考えられるため、今後そのような条件についての実験を検討する。一方、両眼間抑制の影響を受けないメカニズムとしては、低次神経回路における空間的対比や細胞の順応などが考えられるため、単純な一様刺激を用い

た実験も行う必要がある。また、今回用いた CFS 刺激自体の特性や、色恒常性についてのより深い知識を得ることが今後の課題として挙げられる。

謝辞 本研究の発表を行うにあたりまして、徳永留美さんから多くのご助言をいただきました。また、学会会場でコメントをくださった方々にこの場を借りて感謝の意を表したいと思います。

文 献

- 1) I. Kuriki and K. Uchikawa: Limitations of Surface-Color and Apparent-Color Constancy. *Journal of the Optical Society of America A*, **13**(8), 1622–1636, 1996.
- 2) J. Goltz and D. I. MacLeod: Influence of scene statistics on color constancy. *Nature*, **415**, 637–640, 2002.
- 3) N. Tsuchiya and C Koch: Continuous flash suppression reduces negative afterimages. *Nature neuroscience*, **8**, 1096–1101, 2005.
- 4) S. W. Hong and R. Blake: Intocular suppression differently affects achromatic and chromatic mechanisms. *Attention, Perception, & Psychophysics*, **71**(2), 403–411, 2009.