

フリッカが空間周波数知覚に与える影響

金子 沙永***・Deborah GIASCHI***・Stuart ANSTIS**

* 日本学術振興会

〒102-0083 東京都千代田区麹町5-3-1

** Department of Psychology, University of California, San Diego

9500 Gilman Drive, La Jolla, California 92093-0109, U.S.A.

*** Department of Ophthalmology and Visual Sciences, University of British Columbia

4480 Oak St. Vancouver, BC V6H 3V4, Canada

sakaneko@ucsd.edu

1. 研究の背景

ある空間周波数（順応周波数）に順応するとその後呈示される刺激の空間周波数（テスト周波数）が順応周波数に影響を受けて知覚される¹⁾。順応周波数がテスト周波数より低い（高い）場合、テスト周波数は実際より高く（低く）見える。この現象は空間周波数に選択性を持つチャンネルが複数存在することを示唆する。順応周波数に選択性を持つチャンネルの応答が順応により低下することにより、近接した周波数に選択性を持つチャンネルとの均衡点がずれ、結果知覚される周波数が順応周波数から離れる方向に歪むと考えられる（図1）。

視覚の空間周波数応答特性と時間周波数応答特性は密接に関わっており、空間周波数選択性チャンネルは時間周波数にも選択性を持つと考えられている。これらは大別して過渡系チャンネルと持続系チャンネルに分けられ、過渡系チャンネルは低空間周波数・高時間周波数に選択性を持ち、持続系チャンネルは高空間周波数・低時間周波数に選択性を持つ^{2,3)}。

見えの空間周波数がこれら時間チャンネル間の応答割合により決定されていると仮定すると、空間周波数順応と同様の効果が時間周波数に順応することにより得られるはずである。

以上の仮説に基づき、本研究では時間周波数が空間周波数と継時的（順応）および同時的（重ね合わせ）に呈示された場合、どのように空間周波数知覚に影響するのかを検討する。

2. 実験1 フリッカ順応の効果

2.1 方法

実験刺激はMac Pro制御環境下、MATLAB・Psychtoolboxを用いて作成・呈示した。刺激は19インチCRT（Sony CPD-G400、リフレッシュレート100Hz）に呈示した。平均輝度は60cd/m²、観察距離は52センチだった。

順応刺激は輝度変調するガウシアンブロップ（ $\sigma=1.75^\circ$ ）で、コントラストは100%だった。テスト刺激（標準刺激および比較刺激）は順応刺激と同サイズのガウス窓を持つガボール刺激で、コントラストは80%だった。順応条件は変調速度10Hz、0.5Hz、順応無し（統制条件）の3条件だった。標準刺激の空間周波数は0.5cpd、4cpdの2条件で、比較刺激の空間周波数は条件により可変だった。

実験では恒常法を用いた。各試行では、まず画面中央の固視点の左または右に順応刺激が一定時間（各セッションの始めに30s、以降5s）呈示された。その後順応刺激と同位置に標準刺激、対側に比較刺激が500ms呈示された。被験者はどちらのガボール刺激の空間周波数が高いか（どちらの縞がより細かいか）を回答した。

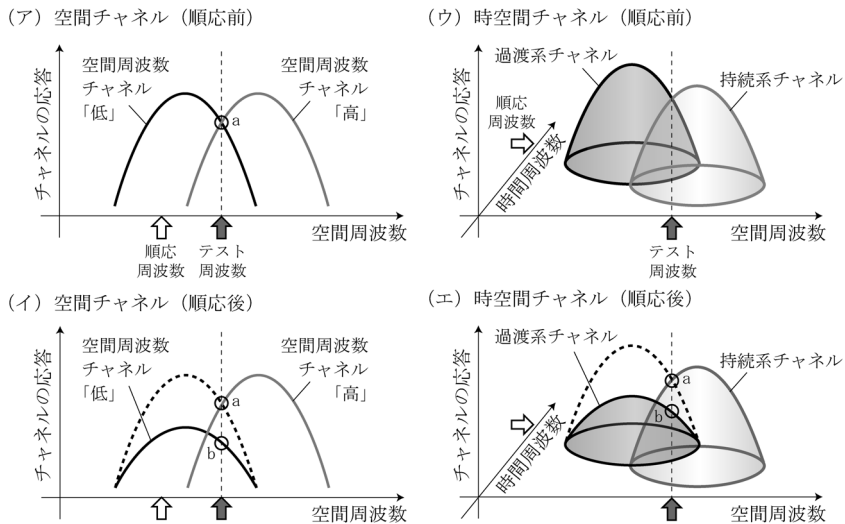


図1 周波数チャンネルと順応の効果. やや低い周波数に選択性を持つ空間周波数チャンネル「低」とやや高い周波数に選択性を持つ空間周波数チャンネル「高」が、あるテスト周波数に対して同程度(a) 応答する状況を仮定する(ア). 白矢印で示したような周波数に順応した場合、「低」のみの応答が順応により全体的に弱まり、テスト周波数に対する応答レベルもaからbに下がる. このため「高」の応答が相対的に強まり、テスト周波数は順応前よりも高い周波数として知覚される(イ). 実際には「低」空間周波数チャンネルは高時間周波数、「高」空間周波数チャンネルは低時間周波数にも選択性を持つと考えられている((ウ), それぞれ「過渡系チャンネル」, 「持続系チャンネル」). この仮説に基づき、高時間周波数に順応した場合、低空間周波数に順応した場合と同じ順応効果が得られる(エ)と予測した.

各試行での比較刺激の空間周波数は標準刺激の空間周波数を中心とした約 $0.04 \log$ unit 間隔の9条件からランダムに決定された. 空間周波数条件はセッション内でランダムな順序で行われ、各順応条件は独立したセッションで実行された.

実験には正常視力または矯正正常視力を持つ被験者が参加した. 筆者以外の被験者は実験の目的を知らされていなかった.

2.2 結果と考察

心理物理曲線の主観的等価点(PSE)を見えの空間周波数と定義した. 見えの空間周波数の変化量(錯視量)は各フリッカ条件でのPSEが統制条件でのPSEからどれだけ変化したかの割合で定義した.

予備実験1-1には被験者3名が参加した. 実験1-1の結果、すべてのフリッカ条件で空間周波数が実際よりも高く知覚される傾向が見られた(図2, 明灰). しかし被験者の報告から、フリッカ順応した位置に呈示される標準刺激が

実際よりも低コントラストに見えていたことが示唆された. 低コントラストの刺激は高コントラストの刺激よりも空間周波数が高く見える効果が知られている³⁾. 得られた錯視量がフリッカ順応そのものの効果か、フリッカ順応による見えのコントラスト変化による効果かを確認するため、テスト刺激の見えのコントラストを等しくした追加実験1-2を行った. この実験では、事前に測定した各フリッカ条件での順応による見えのコントラスト変化値を基準に比較刺激のコントラストを調整(低く)した. その他の条件は実験1-1と同様であった. 被験者4名(うち1名筆者)が参加した. 実験1-2の結果、0.5cpd条件でのみ有意な錯視量が得られた(図2, 暗灰). また実験1-3として、順応刺激として輝度フリッカではなく等輝度色フリッカを使用した実験も行った. 各被験者(筆者含む4名)での等輝度点を交差法により調整した赤緑フリッカ(DKL空間でのL-M軸に沿う)を順応刺激として用いた以外、実験1-1と同様の実験

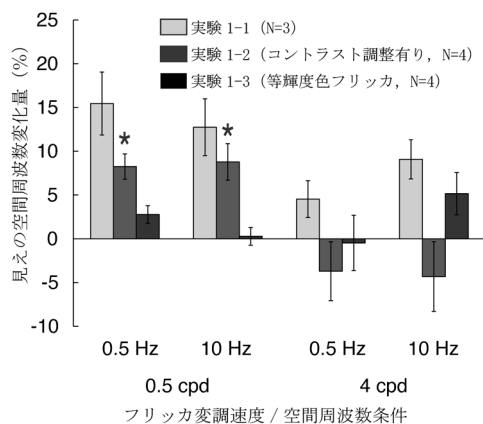


図2 フリッカ順応による見えの空間周波数の変化量。明灰色が実験1-1、暗灰色が実験1-2、黒色が実験1-3の結果、エラーバーは標準誤差。

だった（テスト刺激は輝度変調のガボール刺激のまま）。図2（黒）に示す通り、色フリッカ順応による見えの空間周波数の変化はどの条件でも確認できなかった。

以上の実験から、輝度フリッカ順応は低空間周波数刺激に限って空間周波数を高く見せる効果を持つことが示唆された。

3. 実験2 重ね合わせフリッカの効果

3.1 方法

実験環境は実験1と同様のものを用いた。

テスト刺激には横40°、縦4°の正弦波縞を用いた。比較刺激のコントラストは20%（固定）だった。標準刺激はコントラスト40%かつ透過率50%で、コントラスト100%の輝度フリッカと重ね合わせて呈示された。標準刺激の輝度変調は10Hz、0.5Hz、フリッカ無し（統制条件）の3条件だった。標準刺激の空間周波数は0.5cpd、4cpdの2条件で、比較刺激の空間周波数は可変だった。

実験2は調整法で行われた。被験者は画面中央の固視点の上または下に呈示される標準刺激と等しく見えるよう対側の比較刺激の空間周波数を調整した。調整幅は標準刺激の空間周波数の2.5%だった。

実験には正常視力または矯正正常視力を持つ4名の被験者が参加した。被験者は実験の目的

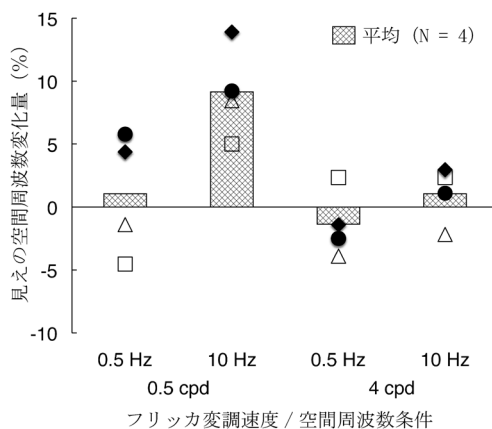


図3 重ね合わせフリッカによる見えの空間周波数変化量。棒グラフは被験者4名の平均、点は各被験者のデータ。0.5cpd/10Hz条件でのみ有意な錯視量が得られた。

を知らされていなかった。

3.2 結果と考察

各条件は16回繰り返された。得られた16点の調整値の平均を見えの空間周波数と定義し、錯視量（見えの空間周波数変化量）を実験1と同様に求めた。被験者4名の見えの空間周波数変化量を図3に示す。0.5cpd/10Hz条件のみ有意な錯視量を示した($t(3)=4.98, p<.05$)。この条件では空間周波数が約9%高く知覚されていた。

4. 総合考察

本研究では空間的に一樣なフリッカがその後呈示される（実験1）、また重ね合わせて呈示される（実験2）正弦波縞の見えの空間周波数にどのような影響を与えるか検討した。両実験の結果は、フリッカが低空間周波数(0.5cpd)にのみ限定して、空間周波数を高く知覚させることを示した。

本研究では過渡系・持続系チャンネルという時間周波数選択性を持つチャンネルが見えの空間周波数を決定するという仮説を検証した。仮説に基づき、高時間周波数・低空間周波数に選択性を持つ過渡系チャンネルを時間周波数順応させることで空間周波数順応と同様の効果が見られるはずであるという予測を立てたが、実験1の

結果はこの予測に合致する。

実験2ではフリッカが同時に空間周波数に与える影響について検討した。その結果、順応の効果と同様、低空間周波数刺激のみ重ね合わせ呈示されたフリッカにより空間周波数が高く見えることが示された。この結果は空間周波数特異的なマスキング効果の一種であると考えられる。GelbとWilson⁵⁾はグレーティング刺激に重ねて呈示したDifference of Gaussianパターン(DOG)の空間周波数が、重ねて呈示される正弦波縞(マスク刺激)の空間周波数に影響を受けることを示した。この実験ではマスク刺激の周波数がDOGのピーク周波数よりも低い場合、DOGの見えの周波数が高くなっていた。過渡系・持続系チャンネル仮説に基づくと、低空間周波数と高時間周波数はどちらも過渡系チャンネルにより符号化される。したがって高時間周波数刺激を重ねて呈示することは低空間周波数刺激を重ねて呈示することとほぼ同じ意味を持つと言え、本研究の実験2のフリッカ刺激はGelbとWilson⁵⁾のマスク刺激と同じ効果をもたらしたと考えることが出来る。

実験1,2から時間周波数に対する順応あるいは時間周波数によるマスキングにより空間周波数知覚が変化することが示された。このことか

ら空間周波数および時間周波数に選択性を持つ、過渡系・持続系チャンネルの働きにより見えの空間周波数が決定されることが示唆された。

文 献

- 1) C. Blakemore, J. Nachmias and P. Sutton: The perceived spatial frequency shift: Evidence for frequency-selective neurones in the human brain. *The Journal of Physiology*, **210**, 727-750, 1970.
- 2) J. J. Kulikowski, and D. J. Tolhurst: Psychophysical evidence for sustained and transient detectors in human vision. *The Journal of Physiology*, **232**, 149-162, 1973.
- 3) G. E. Legge: Sustained and transient mechanisms in human vision: Temporal and spatial properties. *Vision Research*, **18**, 69-81, 1978
- 4) M. A. Georgeson: Apparent spatial frequency and contrast of gratings: Separate effects of contrast and duration. *Vision Research*, **25**, 1721-1727, 1985.
- 5) D. J. Gelb and H. R. Wilson: Shifts in perceived size due to masking. *Vision Research*, **23**, 589-597, 1983.