

## 追従眼球運動を手がかりとした生理的等輝度点推定

## The estimation of the physiologically isoluminant point by means of ocular following responses

松浦清人(PY)<sup>1)</sup>, 三浦健一郎<sup>1)</sup>, 河野憲二<sup>1)</sup>

Kiyoto Matsuura(PY), Kenichiro Miura and Kenji Kawano

<sup>1)</sup>京都大学医学研究科

kmatsu@brain.med.kyoto-u.ac.jp

**Abstract** - We estimated the physiologically isoluminant point by means of ocular following responses (OFRs), which are elicited with ultra-short latencies by sudden movements of the visual scene. We characterized the OFRs elicited by the physiologically isoluminant color sinewave grating.

**Keywords** – isoluminant stimulus, Color motion, Ocular Following Responses (OFRs)

## 1 はじめに

等輝度色刺激を作成するとき、被験者ごとに生理的等輝度点を測定する必要がある。このとき用いられる方法の一つとして輝度成分を抽出する運動機構の特性を利用した最小運動法[1]がある。この方法はこれまででは知覚を手がかりとして求められてきた。だが、本研究では、より生理的な反応である眼球運動を手がかりとして生理的等輝度点を求めることにした。手がかりとする眼球運動として、広い視野全体が突然動くことによって生じる短潜時の追従眼球運動[2]を使用する。さらに、この生理的等輝度色刺激によって生じる追従眼球運動について調べた。

## 2 実験方法

被験者(3人)は目の前63.4cmのCRTモニタ(1280×1024 pixel, refresh rate: 100Hz)を見ており、そのモニタ上の視覚刺激が動いたときに生じる眼球運動の計測を行った。被験者の眼位はDual-Purkinje Image Eye Tracker (Fourward technology)を用いて計測した。

## 2.1 視覚刺激

視覚刺激は黒(B)と白(W)からなる輝度正弦波縞および赤(R)と緑(G)からなる色度正弦波縞で、それぞれ輝度コントラスト(LC: Luminance Contrast)および色度コントラスト(CC: Color Contrast)で決まり、それぞれの値を次のように定義する。

$$LC = \frac{L_{\max} - L_{\min}}{L_{\max} + L_{\min}} \quad (L_{\max}, L_{\min}: L+M \text{ 値の最大、最小})$$

$$CC = \frac{C_{\max} - C_{\min}}{C_{\max} + C_{\min}} \quad (C_{\max}, C_{\min}: L-M \text{ 値の最大、最小})$$

L+M, L-MはそれぞれDKL色空間における輝度軸、色度軸を表している。また、色度と輝度の位相差が0の場合、LC値は正、位相差が $\pi$ の場合、LC値は負の値と決める。

## 2.2 実験1

試行が始まると注視点とともに輝度正弦波縞または色度正弦波縞(13.0×12.2 deg, 空間周波数0.313 cycle/deg)のいずれかが現れる。被験者が注視点を350~500ms注視すると注視点は消え、図1のように輝度正弦波縞、色度正弦波縞が交互に1/4周期ずつシフトして提示される。各正弦波縞は10msごとに20枚、計200ms提示された後、一様なグレイに戻る。輝度正弦波縞のCCは0%、LCは4%であるのに対し、色度正弦波縞はCC(10, 20, 30%の3種類)およびLC(-8%~6%を1%ごとに15種類)の値の異なる45種類を使用した。

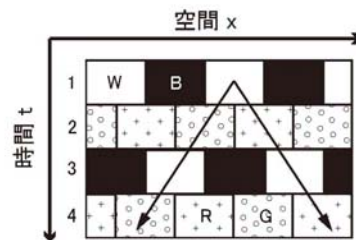


図1 生理的等輝度点推定のための刺激

## 2.3 実験2

試行が始まると注視点とともに色度正弦波縞が現れる。被験者が注視点を注視すると注視点は消え、色度正弦波縞が1/8周期ずつシフトして提示される。各正弦波縞は10msごとに20枚、計200ms提示された後、一様なグレイに戻る。色度正弦波縞はCC(10, 20, 30%の3種類)およびLC(±8, ±4, ±2, ±1, 0%の9種類)の値の異なる27種類を使用した。

## 3 結果と考察

## 3.1 実験1

図2はCCが10%、LCが+3, -1, -2, -3, -7%のときの被験者Aの追従眼球運動をそれぞれ示している。LCが+3%のときは左(正)方向に眼球運動が生じている。LCが減少し、-1%となると、眼球運動が小さくなり、-2%で眼球運動はほぼ0となる。さらにLCが減少し、-3%となると眼球運動は逆転し、右(負)方向に生じている。LCが+3, -1%で左方向の眼球運動が生じるのは、図1の色度正弦波縞で緑が赤より輝度が高いからであり、LCが-3, -7%で右方向の眼球運動が生じるのは、赤が緑より輝度が高いからだと考えられる。つまり、眼球運動が0に近い-2%のときが赤と緑の輝度が等しい点、生理的等輝度点だと推定できる。

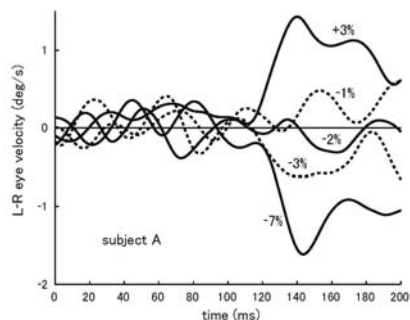


図2 眼球運動の輝度コントラスト依存性

図3はCCが10, 20, 30%それぞれのケースで被験者Aの眼球運動の位置変化(刺激開始後100msから200msまで[open loop])の輝度コントラスト依存性を示している。CCが20, 30%のときも10%のときと同様、あるLC値を境に眼球運動の方向が反転しており、そのLC値が生理的等輝度だと考えられる。この被験者では、物理的等輝度(LC: 0%)では正(左)方向に眼球運動が生じており、生理的には等輝度でないことがわかる。

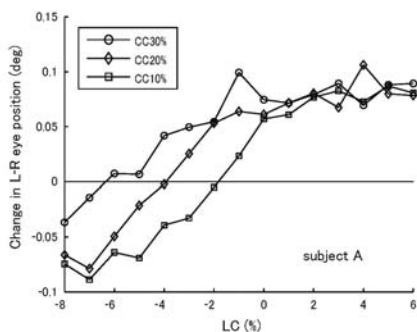


図3 眼球運動位置変化量の輝度コントラスト依存性

次に生理的等輝度点を求めるため、図3のそれぞれのプロットをシグモイド曲線でフィッティングし、眼球運動が0となるLC値を求めた。図4は3人の被験者それぞれに対して、3種類の色度コントラストごとに得られた生理的等輝度となるときのLC値をプロットしたものである。被験者A, Bでは生理的等輝度点は物理的等輝度とかなり異なっているのに対し、被験者Cでは生理的等輝度点が物理的等輝度と比較的近いことがわかる。また、被験者ごとにプロットしたデータを線形フィッティングすると、被験者によらず、色度コントラスト値と生理学的等輝度点における輝度コントラスト値は比例関係にあることがわかる。

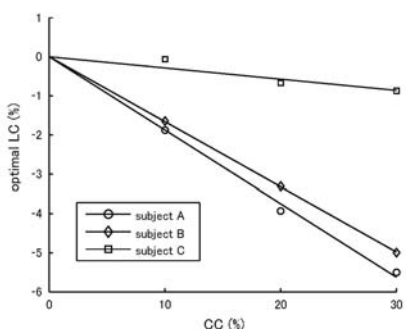


図4 生理的等輝度となる輝度コントラスト値の色度コントラスト依存性

### 3.2 実験2

次に、追従眼球運動が色度パターンの運動を検出で

きるか否かについて調べた。図5はCCが10, 20, 30%それぞれのケースで被験者Aの眼球運動の位置変化の輝度コントラスト依存性を示している。CC値によらず、LCが8%から減少するにつれ、眼球運動も小さくなり、あるLC値(-2% [CC: 10%], -4% [CC: 20, 30%])で眼球運動が最小となる。さらにLC値が減少すると、逆に眼球運動は増加して行く。これまでの研究[2]で、輝度正弦波縞を動かしたときに生じる追従眼球運動は輝度コントラストが増加するにつれて大きくなることが知られている。従って、図5で眼球運動が最小となる点は色正弦波縞に含まれる輝度コントラストが最も少ない点、つまり生理的等輝度点に相当すると考えられる。実験1で眼球運動が0となるLC値はCCが10%のとき-1.88%、CCが20%のとき-3.93%、CCが30%のとき-5.50%であり(図4のプロット参照)、実験2の結果と合致する。他の二人の被験者でも同様の結果が得られた。また、図5でCC値に関わらず、生理的等輝度点でも追従眼球運動が生じていることから、この眼球運動の制御系は輝度パターンの運動のみならず、色度パターンの運動も検出できることがわかった。

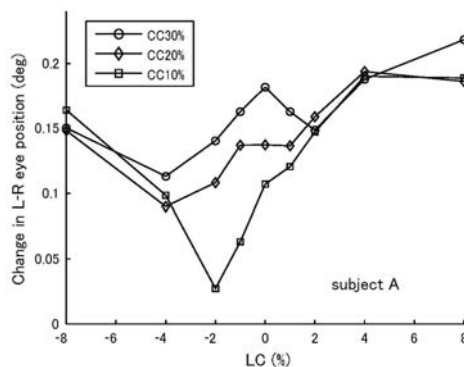


図5 眼球運動位置変化量の輝度コントラスト依存性

### 4 まとめ

輝度、色度正弦波縞を組み合わせた刺激によって生じる追従眼球運動を手がかりとして、生理的等輝度点を推定することができた。この生理的等輝度点は色度正弦波縞のみからなる刺激によって生じる追従眼球運動を使って推定した生理的等輝度点とよく一致しており、等輝度色刺激の妥当性を示せた。得られた生理的等輝度点は物理的等輝度点とは異なり、また、個人差があることがわかった。さらに、生理的等輝度色刺激でも追従眼球運動は生じることがわかり、今後色度パターンの動きを検出する神経機構について詳細に調べられる可能性を示唆している。

### 参考文献

- [1] 視覚情報処理ハンドブック 日本視覚学会 朝倉書店
- [2] Sheliga BM, Chen KJ, Fitzgibbon EJ, Miles FA. (2005) "Initial ocular following in humans: a response to first-order motion energy." Vision Res. 45 (25-26), 3307-21.