

周辺視野におけるコントラスト感度に関する研究

伊藤史織[†] 齋藤豪[†] 内川恵二^{††}

[†]東京工業大学 情報理工学院 ^{††}神奈川工科大学 ヒューマンメディア研究センター

1 研究背景と目的

人間は周辺視野において視覚感度が低下する。その感度変化は視覚刺激の周波数や色によって異なる傾向を示す。種々の空間周波数に対する人間のコントラスト知覚閾値を逆数で表したものをコントラスト感度関数 (Contrast Sensitivity Function, CSF) と呼ぶ。周辺視野における視覚感度の低下の仕方は、周辺視野における CSF の変化を測定することによって得られる。CSF は過去に多くの計測が行われており関数モデルも多数提案されているが、それらは中心視付近でのものに限られており、視角 30 度を超える周辺視野における測定は十分に行われていない。視角 30 度を超える周辺視野において測定される CSF は色収差や歪曲収差などの眼球工学系の影響を受けるため、視覚研究者の求める高次視覚処理過程のモデル化には適さないが、広視角画像の効率的な生成 [1] や符号化、広告 UI などの設計など工学的応用のために、これらの影響や個人差を包含した周辺視知覚特性およびその関数モデルを得ることは有用である。本稿では、4 人の被験者に対し、中心視および 30 度以上の周辺視野を含んだ視角領域での CSF を測定し、結果から導き出される周辺視野の関数モデルを提案する。

2 被験者実験

2.1 被験者と実験環境

被験者は表示し得る解像度に対して上回る視力または矯正視力を持つ 20 代の男女 4 名 (うち 3 名男性、1 名女性) である。被験者には実験に参加する報酬が支払われた。計測は左目で行い、右目は閉じた上で光を通さない眼帯を装着した。刺激は LCD モニタ Display++ (Cambridge Research Systems, Rochester, UK) を用いて提示された。ディスプレイのフレッシュレートは 120Hz、表示画面の大きさは横 710mm、縦 395mm、解像度は 1920 × 1080 pixels である。表示画面の平均輝度は $31\text{cd}/\text{m}^2$ であった。実験は暗室内の白い壁の小部屋で行い、プロジェクターを用いて照明された。ディスプレイから注視点にかけての周辺半径 28 度の輝度を $31\text{cd}/\text{m}^2$ で一定とした。その他の部分の輝度はディスプレイおよび注視点から離れるほど減衰し、視界内の最低でおおよそ $3\text{cd}/\text{m}^2$ である。白色点は標準白色光 D65 に合わせた。中心視 CSF の測定はディスプレイから 228cm、周辺視 CSF の測定はディスプレイから 114cm 離れた位置から行った。周辺視 CSF の測定では、被験者は壁から飛び出たマーカーを注視し、注視点から被験者の左目までの距離が 114cm で一定となるようにした。

2.2 提示刺激

Gabor フィルタにより作られた正弦波の縞模様を提示した。注視点から放射方向の縞刺激が最も感度が良く [2]、本実験では視角耳側の周辺 CSF を測定するため、水平方向の縞模様を用いた。刺激の提示される周辺背景は $31\text{cd}/\text{m}^2$ の標準白色光に色度を合わせたグレーとした。ガボール刺激に用いたガボール関数の標準偏差を視角 5/3 度とした。コントラストは輝度コントラストを使用し、その計算方法は Michelson コントラストを用いた。

2.3 実験手順

実験前に 10 分間の部屋の照明に対する順応時間を設けた。被験者の判断基準の影響を小さくするために、閾値の測定には二区間強制選択法 (2-Interval forced choice task; 2IFC) を用いた。被験者には刺激画像が 1 番目か 2 番目のどちらかの区間にランダムに 1.5 秒間提示された。刺激提示区間は刺激が提示されない場合でも刺激提示と仮定して 0.2~0.5 秒前に音によって示された。時間周波数の影響を低減するため、刺激は徐々に強くなり、目的のコントラストで表示されたのち、徐々に背景色になるようにした。被験者は刺激が 1 番目と 2 番目のどちらに提示されていたか応答し、正解かどうかを音によってフィードバックした。刺激のコントラスト強度は被験者の応答に従って 1up-2down 階段法 [3] によって変化させ、誤答した場合は刺激のコントラストを 1 段階増加させ、2 回連続して正答した場合はコントラストを 1 段階低下させた。また、被験者の推測による影響を小さくするために、各条件について上昇系列と下降系列の階段をランダムに実施した。階段法の終了条件は各系列毎に 75 回の試行回数とした。

3 結果

コントラストの閾値は、階段法で得られた正答率をプロビット法でカーブフィッティングし、75% の正答率を示す値とした。図 1, 2 のグラフ上の点の実験により得られた結果であり、中心視 CSF の測定では、過去の研究と比較して同様の結果が得られていることがわかる。

上野ら [1] の定義した CSF モデルを修正したものを用いて求めた視角ごとの CSF を図 2 左に示す。この手法による CSF モデルでは、周辺視野になるほど実際の測定データよりも大幅に閾値が低下してしまっていることがわかる。Watson ら [4] の提案した視角ごとの CSF モデルを図 2 右に示す。このモデルでは、視角ごとにコントラストの強度方向のスケーリングを行っていない。なお、スケーリングとはデータに合わせるための一般的な操作のことを指す。また、周波数方向のスケーリングも、周辺視野になるほど一致していないことがわかる。

我々は、中心視 CSF のモデルに Mannos ら [5] の提

The contrast sensitivity of human peripheral vision

[†] Shiori Ito

[†] Suguru Saito

^{††} Keiji Uchikawa

School of Computing, Tokyo Institute of Technology ([†])
Human Media Research Center, Kanagawa Institute of Technology (^{††})

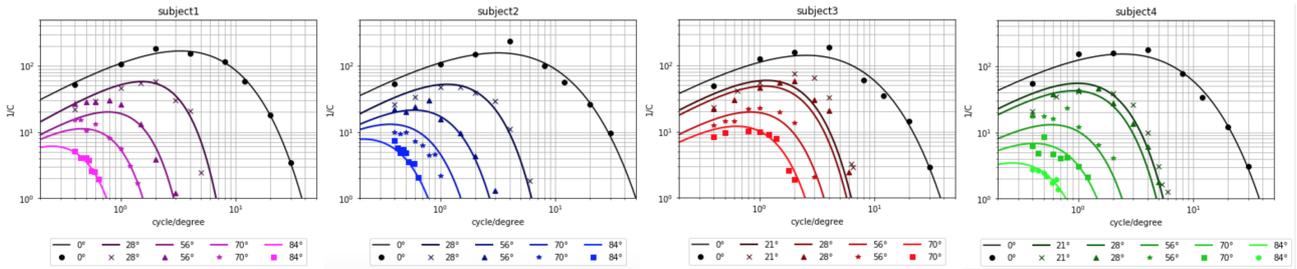


図 1: 被験者ごとの視角 0,21,28,56,70,84 度 (ただし、被験者 1,2 の視角 21 度、被験者 3 の視角 84 度は除く) での測定結果と中心視 CSF のスケーリングから得た周辺視 CSF

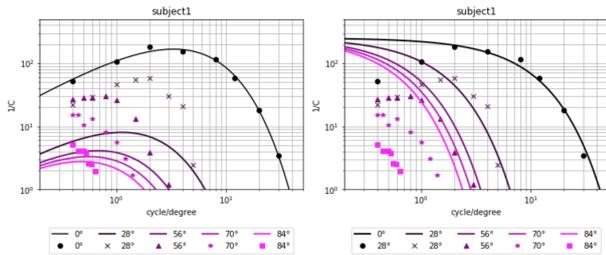


図 2: 被験者 1 の視角 0,28,56,70,84 度での測定結果と (左) 上野らの提案した CSF モデルとの比較, (右) Watson らの提案した CSF モデルとの比較

唱したモデルから 1 変数を除外した以下の式を用いた。

$$s(f_r) = a_I b_I f_r \exp(-b_I f_r)^{c_I} \quad (1)$$

ただし $s(f_r)$ はコントラストの逆数、 f_r は空間周波数、 a_I, b_I, c_I は係数である。この係数を最小二乗法で求めることで被験者毎の周波数を引数とする中心視輝度 CSF のモデルを作成した。また、得られた結果より、中心視輝度 CSF から視角 E での輝度 CSF を求めるスケーリング関数を以下のように定義した。

$$s(E, f_r) = s_1(E) a_I b_I (s_2(E) f_r) \exp(-b_I s_2(E) f_r)^{s_3(E) c_I} \quad (2)$$

$$s_1 = \frac{CMF(A(E))}{CMF(A(0))} \left(\frac{1}{A(E)} \right)^{d_I E + 1} \quad (3)$$

$$s_2 = e_I \left(\frac{1}{A(E)} - 1 \right) (E^{f_I + g_I} + 1) \quad (4)$$

$$s_3 = \frac{A(0) + 1}{A(E) + 1} \quad (5)$$

$$A(E) = (\sqrt{h_I E^2} + 1)^{-1} \quad (6)$$

$$CMF(E) = \left(-0.035 + 0.101 \frac{1}{A(E)} \right)^{-1} \quad (7)$$

ただし、 d_I, e_I, f_I, g_I は被験者ごとの係数である。Rovamo ら [6] の研究において、周辺視野の CSF は中心視での CSF と同形になり、皮質拡大係数 (Cortical Magnification Factor, CMF) でスケーリングできることが示唆されている。そのため、本手法では上野らと同様、スケーリングに CMF を用いている。CMF は Cowey と Rolls らのモデル [7] により求めている。視角 E での中心視に対する相対視力 $A(E)$ は Wertheim の実験結果 [8] の視角鼻側と耳側の視力を対象として近似した曲線を描くものとして定義した。ただし、 h_I は定数である。定義によって得られた視角ごとの CSF の曲線を図 1 に示す。

4 結論

本研究では、中心視から 84 度までの周辺視野を含んだ視覚領域での輝度 CSF を測定し、中心視輝度 CSF から周辺視 CSF へのスケーリング関数を定義した。上野らや Watson らの周辺 CSF のモデルは、視角 35 度以内のデータを参考にして作成されたものであるため、視角 56 度以降の測定データとは一致しないことがわかった。また、今回使用した CMF のモデルは視角 30 度以内でのデータのみから提案されたものであり、CMF を使用せず視角ごとの視力を用いることで、より単純なモデル化が望めると考えられる。今後の課題として、より多くの測定実験データを収集し係数の決定を行うことやフィッティング関数のさらなる検討、輝度 CSF だけでなく色 CSF の測定、加えて刺激の時間的特性を変化させた場合の CSF の測定や背景輝度による CSF への影響を測定することが挙げられる。

参考文献

- [1] 上野真実, 齋藤豪. 広視覚域 CSF の計測とその画像への適用. 情報処理学会全国大会第 80 回, 3Y-07, 2018.
- [2] J.Rovamo P.Laurinen, V.Virsu and L.Hyvarinen. Resolution of gratings oriented along and across meridians in peripheral vision. *ophthalmology & visual science*, Vol. 23, No. 5, pp. 666–670, 1982.
- [3] 内川恵二 (編). 感覚・知覚実験法. 朝倉書店, 2008.
- [4] A.B.Watson. The field of view, the field of resolution, and the field of contrast sensitivity. *Journal of Perceptual Imaging*, No. 1, pp. 010505–1–010505–11, 2018.
- [5] J.L.Mannos and D.J.Sakrison. The effects of a visual fidelity criterion on the encoding of images. *IEEE Transactions on Information Theory*, Vol. 20, No. 4, pp. 525–536, 1974.
- [6] J.Rovamo V.Virsu and R.näsänen. Cortical magnification factor predicts the photopic contrast sensitivity of peripheral vision. *Nature*, Vol. 271, pp. 54–56, 1978.
- [7] A.Cowey and E.T.Rolls. Human cortical magnification factor and its relation to visual acuity. *Experimental Brain Research*, Vol. 21, No. 5, pp. 447–454, 1974.
- [8] T.Wertheim. über die indeirekte sehschärf. *Zeitschrift für Psychologie und Physiologie der Sinnesorgane*, Vol. 7, pp. 172–187, 1894.