McCollough 効果の定量特性測定システム

Development of a Computer-based System for Investigating Quantitative Characteristics of McCollough Effect

岡田 和 宏^{†*}, 米 山 英 彦[†], 黄 小 鷗[†],
堀 場 勇 夫[†], 正会員 杉 江 昇[†]

Kazuhiro Okada^{†*}, Hidehiko Yoneyama[†], Xiao-Ou Huang[†], Isao Horiba[†] and Noboru Sugie[†]

あらまし McCollough 効果の定量特性を調べるための、使い勝手のよいコンピュータベースシステムを開発した。このシステムを用いて、空間周波数特性、方位特性、およびコントラスト特性についての予備的実験を行った。

キーワード：McCollough 効果、空間周波数特性、方位特性、コントラスト特性、コンピュータ計測システム

1. ま え が き

赤（緑）と黒の同一幅のストライプが交互に並んだ縦縞の順応刺激（輝度プロファイルは矩形波）のあちこちを、しばらくの間眺めた後で、順応刺激と同じ間隔の白と黒の縞模様（試験刺激）を見ると、順応刺激の反対色の淡い緑（赤）と黒の縞模様として知覚される。しかし縞の方位が90度異なると白黒の縞模様としてのみ知覚され、順応刺激による色覚残効は生じない。さらに、縞の方位が同じでもその間隔（空間周波数）が順応刺激のそれと著しく異なると色覚残効は生じない。また、この効果は、数日～数週間、さらには、数カ月間持続するとの報告もなされていて、視覚系の高次中枢に由来する現象と考えられている。このように、色・方位・空間周波数の組合せに依存して生じる視覚残効は、その発見者の名にちなんで、McCollough 効果と呼ばれる¹⁾²⁾。McCollough 効果については、多くの研究が行われてきたが³⁾⁴⁾、ディスプレイ設計等に関わる工学的立場から関心の高い、空間周波数特性、方位特性等についての定量的研究結果についての報告は見あたらないようである。

そこで、以下では、定量的特性測定用に開発したコンピュータベースシステムと、これを用いて行った予備的実験により得られた空間周波数特性、方位特性、およびコントラスト特性についての定量的な特性を報告する。

2. 実験システムと予備実験条件

実験システムには、パーソナルコンピュータ本体に FUJITSU FMV-5120T2 を、カラー CRT ディスプレイには表 1 に示す仕様の FMV-DPS 971A を、OS には最も一般的に普及している Windows95 を、開発プログラム言語には Microsoft Visual Basic を用いた。このように、グラフィカルユーザインタフェースによって実験が簡単に行えるようになっている。

図 1 に、ディスプレイへの表示様式を示す。図 2 に実験システムの使用状況を示す。パターン表示部には、順応刺激パターンや試験刺激パターンを表示する。合成色調節部では、RGB 値がそれぞれ 0～255 の 256 段階で調節できるようになっており、このときの数値が RGB の目盛の箇所にそれぞれ表示され、この値により合成された色が合成色表示部に表示される。図 1 の右側には、空間周波数特性、方位特性等の実験条件設定部も示されている。

試験刺激パターンに対して、定量評価を行う予備的実験では、次のようなパターンを用いた。

(1) 空間周波数特性

試験刺激パターンには、順応刺激パターンの空間周波数に対して 0.57, 0.80, 0.91, 1.00, 1.14, 1.43, 1.70, 2.00, 2.29, 2.86, 3.08, 3.50 倍と変化させたパターンを用いた。

(2) 方位特性

試験刺激パターンには、順応刺激パターンの空間周波数に対して、垂直から時計方向に向かって 0, 10, 20, 30, 40, 45° に変化させたパターンを用いた。

(3) コントラスト特性

試験刺激パターンの白色部分の輝度は 60.41(cd/m²)

1998 年 3 月 26 日受付, 1998 年 4 月 17 日再受付, 1998 年 4 月 24 日採録

[†]名城大学 理工学部

(〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口 1-501, TEL 052-832-1151)

* 現在, ソニー幸田株式会社

[†] Faculty of Science and Technology, Meijo University

(1-501, Shiogamaguchi, Tempaku-ku, Nagoya 468-8502, Japan)

* Sony Kouda Ltd.

図 1 ディスプレイへの表示
What is displayed.

表 1 ディスプレイの仕様
Specification of the display.

機種名	FMV-DPS971A
表示寸法	330×225 (mm)
解像度	1024×768 ビット
水平周波数	48.4kHz
垂直周波数	60.0kHz
色温度	9300K
RGB 成分比	R:G:B=50:58:77

図 2 システム構成
A setup of experiment system.

であり、黒色部分の輝度は $3.35(\text{cd}/\text{m}^2)$ である。これに対して黒色の部分の輝度を 3.35, 4.13, 6.63, 14.20, 26.08, $42.68(\text{cd}/\text{m}^2)$ と変化させたパターンを用いた (輝度計 MINOLTA LS-100 で測定)。

それぞれに対して、順応刺激パターンの輝度プロファイルが矩形波の場合、矩形波を級数展開したときの基本波のみの場合、基本波+第3高調波成分の場合、基本波+第3高調波成分+第5高調波成分の場合の実験を行った。

3. 予備実験方法

まず、実験を行う前に、被験者には実験に先立ち、合成

色表示部および合成色調節部の使用方法を練習する。(以下、合成色調整の値を例えば白の場合 $(R, G, B)=(255, 255, 255)$ と表す。)

すなわち、実験者がパターン表示部の白色部分 $[(R, G, B)=(255, 255, 255)]$ に様々な色を RGB の値を変えて表示することで、被験者はこれと同じ色を、RGB の値を変えて合成色調節部に表示することを練習する。これにより被験者は、パターン表示部にどのような色が現れるのか、RGB の値をそれぞれ1変化させると、どの程度色が変化するか等を体得できる。

次に被験者は、CRT から 1m 離れた位置で、最初はパターン表示部の中央に呈示される注視点マークの移動と共に、順応刺激パターンと横縞の白 $[(R, G, B)=(255, 255, 255)]$ と黒 $[(R, G, B)=(0, 0, 0)]$ のパターンとを交互に 10 秒ずつ、計 5 分間注視する。この横縞の白黒パターンは、長時間同じ図形を注視することにより図形そのものの残像が生じるのを軽減させるためのものである。この5分間の注視の後、30秒間一様な白色の画面を呈示し、長時間注視による残像をさらに軽減させる。その後、試験刺激パターンをパターン表示部に呈示し、そのとき知覚される色と同じ色を、被験者に合成色調節部を介して、合成色表示部に表示させる。そのときの合成色調節部の RGB の目盛の読み (0~255) から主観的に知覚された色を測定する。合成色表示部の輝度は、輝度計 (MINOLTA LS-100) で測定した。このとき、順応刺激パターンには、空間周波数 $0.87(\text{cycle}/\text{degree})$ の緑 $[(R, G, B)=(0, 255, 0)]$ と黒 $[(R, G, B)=(0, 0, 0)]$ の縦縞を用い、試験刺激パターンには、空間周波数が順応刺激パターンと同じである白と黒の縦縞を基本として、空間周波数特性、方位特性、コントラスト特性を評価する。なお、被験者は正常な色覚を有する4人の20代の学生である。

図 3 空間周波数特性
Spatial frequency characteristics.

3.1 空間周波数特性

図 3 に、4 人の被験者から得られた平均の空間周波数特性を示す。横軸は試験刺激パターンの空間周波数で、順応刺激パターン（緑・黒の縞）の空間周波数が 0.87(cycle/degree)である。

縦軸は試験刺激パターンを呈示した際に知覚された主観的赤の輝度値 (cd/m²) である。この値は、合成色調節部の G の値により求める。輝度の最大値 (G が 255 の時) は 65.61(cd/m²) で、このとき順応刺激は白として知覚されていることになる。(図において輝度値 65.61(cd/m²) の値に—・—の直線を引いた)

G の値を小さくすることで輝度は低下し、表示色はより赤い色となる。図 3 から、順応刺激パターンの輝度プロファイルが矩形波の場合 (···×···), 矩形波を級数展開したときの基本波成分の場合 (—◇—), 基本波+第 3 高調波成分の場合 (---+---), 基本波+第 3 高調波成分+第 5 高調波成分の場合 (- -□- -) の特性がほぼ同じであることがわかる。また、順応効果は、順応刺激パターンの空間周波数が最大、試験刺激パターンの周波数がそれより高周波側、低周波側いずれにもずれるにつれて低下している。また、効果が最大から半減するのは、低周波側での変化が高周波側でのそれより急激であることも見てとれる。このような、低周波側と高周波側との間の非対称性は、順応刺激パターンの空間周波数の前後の周波数の試験刺激パターンを呈示したときに知覚される主観的空間周波数と物理的空間周波数とのずれについても報告されている⁵⁾。これは、接近した空間周波数チャンネル間での相互作用を反映したものではないかと推測される。

3.2 方位特性

図 4 に方位特性を示す。横軸は、垂直方向を 0(degree)としたときの試験刺激パターンの縞の方位 (degree) であり、縦軸の表記法は、図 3 と同じである。

方位のずれが大きいほど、順応効果がほぼ直線的に低下

すること、順応刺激の輝度プロファイルが矩形波の場合、矩形波を級数展開したときの基本波成分のみの場合、基本波成分+第 3 高調波成分の場合、基本波成分+第 3 高調波成分+第 5 高調波成分の場合、効果はほぼ同じであることがわかる。

3.3 コントラスト特性

図 5 にコントラスト特性を示す。横軸はコントラスト比であり、縦軸の表記法は、図 3 と同じである。

ここで用いたコントラスト比 C は、次式 (1) で示される。

$$C = \frac{Y_1 - Y_2}{Y_1} \quad (1)$$

ここで、

Y_1 : 白色部分の輝度値 (cd/m²)

Y_2 : 黒色 (可変) 部分の輝度値 (cd/m²)

この図 5 から、順応刺激が基本波成分のみでも、高調波成分を含む場合でも、特性に大差ないことがわかる。

4. む す び

McCollough 効果に関する定量的特性を調べるためのコンピュータ制御の実験システムを開発し、予備の実験として空間周波数特性、方位特性、およびコントラスト特性について調べた。実験データには、かなりのばらつきがあり、今後さらに実験を重ねることにより、McCollough 効果の特性をさらに明らかにする必要がある。

本研究は、学術フロンティア「量子情報論からの生命への接近」の支援を得て行われた。

【文 献】

- 1) C.McCollough: "Color Adaptation of Edge-Detectors in the Human Visual System", Science 149, pp.1115-1116 (3 Sep., 1965)
- 2) O.E.Fabreau, M.C.Corballis: "Negative Aftereffects in Visual Perception", Scientific American 235, pp.42-48 (Dec., 1976)
- 3) 大山 正, 今井省吾, 和気典二: "新編感覚・知覚心理学ハンドブック—色の知覚に及ぼす形の影響", pp.488-493, 誠信書房 (1994)

図 4 方位特性
Orientation dependence.

図 5 コントラスト特性
Contrast characteristics.

- 4) F.H.Durgin, D.R.Proffitt: "Visual Learning in the Perception of Texture: Simple and Contingent Aftereffects of Texture Density", Spatial Vision, 9/4, pp.423-474 (1996)
- 5) Blakemore, C., Nachmias, J., and Sutton, P.: "The perceived spatial frequency shift: Evidence for frequency-selective neurons in the human brain", Journal of Physiology, 210, pp.727-750 (1970)

おかだ かずひろ
岡田 和宏 1997年, 名城大学理工学部電気電子工学科卒業。現在, ソニー幸田株式会社に勤務。

よねやま ひでひこ
米山 英彦 1997年, 名城大学理工学部電気電子工学科卒業。現在, 同大学大学院電気電子工学専攻修士課程に在学中。

こう しょうおう
黄 小鷗 1996年, 名古屋大学大学院情報工学科修士過程修了。現在, 名城大学大学院理工学研究科研究生。

ほりば いさお
堀場 勇夫 1974年, 名古屋大学工学部電気工学科卒業。同年, (株)日立メディコ入社。1987年, 名城大学理工学部電気電子工学科講師。1991年, 同助教授。1998年4月より愛知県立大学情報科学部教授。交通系における画像処理応用, 生体情報の計測および医用画像処理に関する研究に従事。工学博士。

すぎえ のぼる
杉江 昇 1957年, 名古屋大学工学部電気学科卒業。同年, 通商産業省電子技術総合研究所入所。1962~1964年, カナダ・マギル大学客員研究員。1979年, 名古屋大学大学院工学研究科情報工学専攻教授。1994年, 名城大学理工学部電気電子工学科教授。バイオニクス, 医用工学, コンピュータビジョン, 自然言語処理などの研究・教育に従事。工学博士。正会員。