

形依存性を示す色残像

山下由己男

Chromatic Afterimage Dependence on Similarities between Adaptation and Test Patterns

Yukio Yamashita

Industrial Products Research Institute

Abstract

Strength of chromatic afterimages produced by the visual display terminals (VDT) was measured with the hue cancellation method. Three different grating patterns (negative, positive, and homogeneous modes) were employed for the adaptation as well as the test fields and four colors (green, red, blue, and yellow) for the adaptation field. Results showed that the chromatic afterimages persisted for over 1 hour when subjects adapted for 1 hour, and the strength of the afterimages depended on the combinations of the adaptation and the test patterns. The chromatic afterimages were large for the same pattern of the test and the adaptation fields. The results imply that the afterimage had some properties similar to the aftereffects. The fact that the chromatic afterimages depend on the similarities between the adaptation and the test patterns show a link between usual chromatic afterimages and the McCollough effects.

要 旨

VDT を用いた視作業において生じる色残像の強さを、キャンセレーション法によって測定し、それらの色残像の性質を調べた。順応とテストのパターンに、格子状パターンの3種のモード（陰画、陽画と一様モード）を用い、順応色として1色（緑、赤、青、黄）を用いた。結果は以下の通りである。1時間順応後、その色残像は1時間以上残存し、その強さは順応とテストのパターンの組み合わせに依存する。すなわち、テストパターンが順応パターンに一致するとき、色残像が強く生じる。こうして、それらは、残効に似た性質をもっている。順応とテストのパターンの類似性に依存する色残像は、通常の色残像とマッカロー効果を結びつけるものと考えられる。

1. まえがき

最近、事務作業のオートメーション化に伴い、VDT (Visual Display Terminal) を用いた作業が急速に増大している。そのようななかで、画面の、緑色の文字や記号を見ながら VDT 作業を長時間続けると、無彩色の壁面や紙面がピンク色あるいはオレンジ色を帯びて見えるようになり、しかも、それが長時間残存するといった訴えが多く聞かれる¹⁾。その原因として、補色残像やマッカロー効果が挙げられている。補色残像は、ひとつの色を長時間見続けることによって、視覚系、主に受容器系の感度が、波長に対して不均一に低下するために生じるもので、色残像現象のひとつである。一方、マッカロー効果は格子縞の方位や空間周波数など、パターンの特

徴要素に随伴して色が見える、色残効と呼ばれる現象である^{2,3)}。例えば、緑と黒の縦縞と、赤と黒の横縞とを交互に数秒ずつ、数分間眺めると、その後に見る白と黒の縞の白色縞部分が、縦縞の場合はピンク色、横縞の場合は緑色というように、縞の各方位において、はじめに提示された色の補色が見える。両現象とも、順応した色のほぼ補色が見える^{4,5)}ことや、マッカロー効果が長時間残存する⁶⁾ことから、これらが VDT 作業に伴う補色の見えの原因と考えられてきた。

ところで、VDT 作業において補色の見えが生じるとき、画面に提示されている刺激は、緑色などの単一色の文字や記号であり、これらは、いろいろな方位や空間周波数を含んでいる。このような刺激に対しては、通常、

マッカラー効果は生じにくい。それにもかかわらず、補色の見えが生じ、長時間残存することや、一様な無彩色面よりも、エッジ部分で補色が強く見えることなど、色残効に似た性質があり、これらは、補色残像のみでは説明できない。

そこで、本研究では、格子縞パターンから構成された単一色の VDT 画面を用いて、VDT 作業に伴って生じる色残像の性質について調べた。そして、通常の補色残像と比較するため、順応とテストのパターンのいろいろな組み合わせについて、色残像の強さを測定し、この色残像の形への依存性について考察した。

2. 実験方法

2.1. 色残像の強さの測定方法

色残像の強さは色キャンセレーション法によって測定した。ある色の順応によって生じる残像の色は、順応色のほぼ補色であることから、この残像色にはじめの順応色を徐々に加えていくことにより、残像色をキャンセルすることができる。このとき、残像色をキャンセルするのに要した順応色光の量は、色残像の強さに対応しているであろう。本研究では、順応の前と後で、被験者がテストパターンの色を、見かけ上、白色に最も近くなるように調整し、そのときに実際に提示されていた色光の間の色の差を色残像の強さとした。

2.2. 実験装置

実験装置を Fig.1 に示す。順応およびテストパターンは、カラーグラフィックディスプレイによって発生し、カラーディスプレイモニターによって、視距離約 80 cm で被験者に提示された。グラフィックディスプレイとモニターを結ぶ色信号線 (C1 から C3) の途中で信号減衰器 (A1 から A4) を挿入し、色信号振幅を 0.1 dB 単位で可変にすることによって、モニター画面上の色を微妙に調整できるようにした。順応を行う色の信号線 (例えば、Fig.1 では C1) には、2 個の信号減衰器を直列に挿入し、それぞれを実験者と被験者の手元に置いた。テストの際、毎回、実験者が減衰器 A1 を用いて減衰量をランダムに設定し、その後、被験者が減衰器 A2 を用いて画面色の調整を行った。

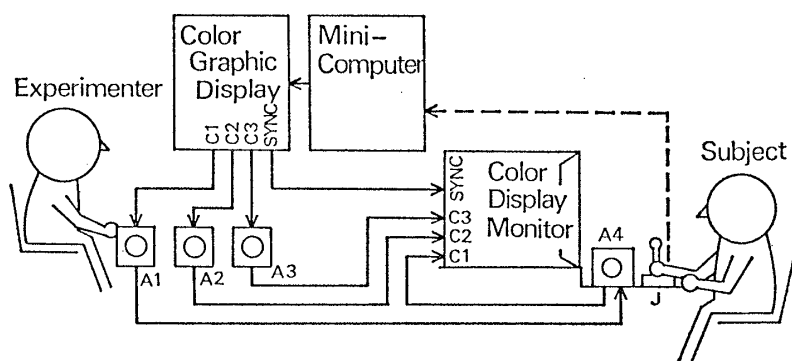


Fig.1 実験装置

2.3. 提示刺激

Fig.2 (a) に、順応およびテストに用いた格子状パターンを示す。これは、約 2 cpd (cycles per degree) の、30 行×50 列の柵形から成るパターンで、その寸法は、Fig.2 (c) のとおりである。テストでは、Fig.2 (b) のように、直径 10 度の円形視野のみを提示し、周囲は黒板で覆った。この格子状パターンを基にした、表示モードの異なる 3 種の刺激パターンを用いた。すなわち、格子部分が明るく、背景が暗い、陰画表示パターン (N パターン)、格子部分が暗く、背景が明るい、陽画表示パターン (P パターン)、および、格子部分と背景が同じ明るさと色の一様な画面 (H パターン) である。

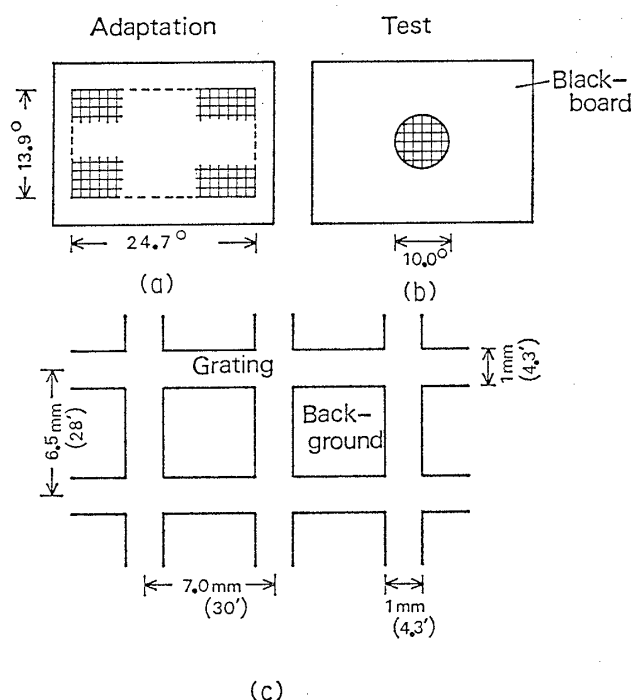


Fig.2 順応とテストのパターン

順応色は、緑、赤、青、黄の 4 色とした。テスト白色とともに、これらの、ディスプレイモニターの発光スペクトルを Fig.3 に、輝度を Table 1 に示す。

Fig.4 は、CIE $u'v'$ 色度図上に、順応色の位置と、テストにおいて被験者が変えることができる色の範囲を示している。Fig.4 (b) は、Fig.4 (a) の長方形に囲まれた部分を拡大したもので、緑、赤および青色信号を変化させると、実線、点線および破線で示された、それぞれの軌跡上での色が変わる。これらの軌跡は色度図上の 1 点 C_p で交差する。この点の色光を標準のテスト白色光とした。なお、提示色光の発光スペクトルや

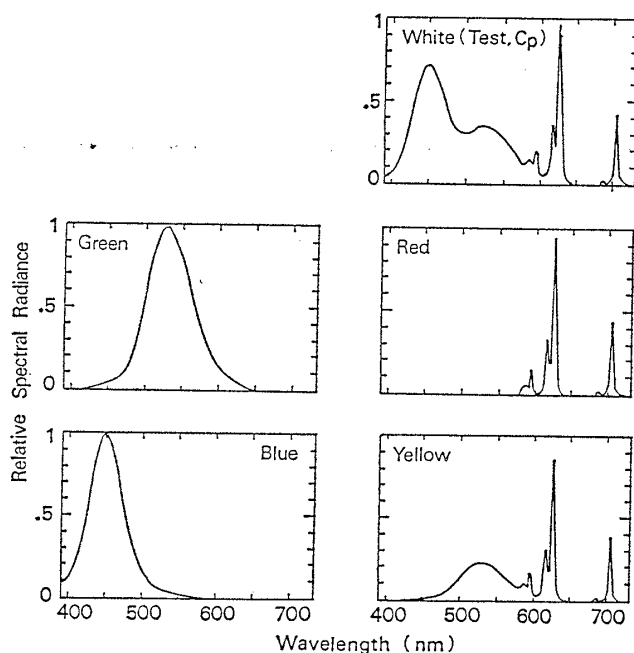
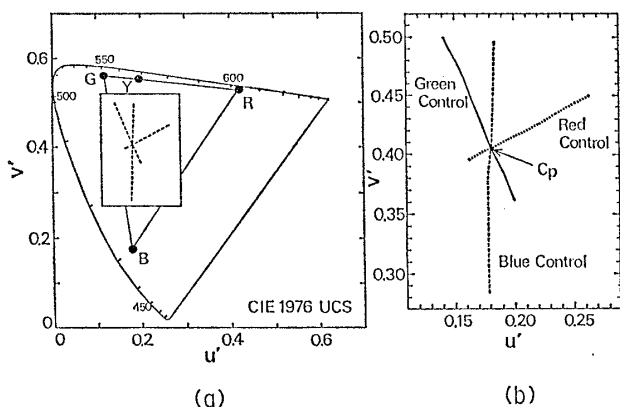


Fig. 3 用いた色の相対発光スペクトル

Table 1 用いた色の標準の輝度

色	輝度 (cd/m ²)
緑	76.7
赤	27.5
青	15.4
黄	117.9
テスト白	7.6

色度座標は, Spectra Scan (Photo Research 社) によって計測した。

Fig. 4 提示色の $u'v'$ 色度座標位置

2.4. 実験手順

実験は暗室で行った。5分間の暗順応ののち、まず、順応前の色の見えをテストした。テストパターンに対して3回の色調整を行い、その平均値を CIE $u'v'$ 色度座

標として記録した。次に、順応パターンにより順応を行い、5分暗順応ののち、再び色の見えをテストした。順応中、被験者は画面上でゲームを行った*。ゲームを用いた理由は、被験者が、注視点を常に移動させながら、長時間、画面を楽に眺めることができるようにするためと、画面を眺めている被験者の状態を実験者がモニターできるようにするためである。テスト結果から、見かけの白色に対する、順応前の色度座標 (u'_0, v'_0) と順応後の色度座標 (u'_1, v'_1) の距離 $\Delta C = \{(u'_1 - u'_0)^2 + (v'_1 - v'_0)^2\}^{1/2}$ を求め、これを色残像の強さとした⁷⁾。被験者が色調整に要した時間は、1回の色調整に約20秒であった。

被験者は、男性7名で、各被験者には実験条件の一部ずつが課せられた。

3. 実験結果および考察

3.1. 見かけの白色への色調整のばらつき

緑、赤、青色の色調整、および3種のテストパターンについて、被験者あるいは測定日の異なる、順応前のテスト結果を集め、それらの平均値と標準偏差を $u'v'$ 色度図上に示したのが Fig. 5 である。白丸が平均値、太い実線が標準偏差を表わしている。細い実線と黒丸 (C_p) は、Fig. 4(b) に示した、被験者が調整できる色の範囲と、色調整の軌跡の交差点である。N, P, および H の3種のテストパターンの結果を別々に示している。ただし、P と H パターンの結果は、 u' 軸正方向に、0.02 と 0.04 だけ、それぞれずらしてある。n はサンプル数である。Fig. 5 に示されるように、見かけの白色への色調整は標準偏差約 0.020 以下でなされており、また、平均値の色度位置は、青色調整でわずかに違いが見られるのを除いて、テストパターンによる違いはほとんどない。

3.2. 色残像の生起と減衰の過程

順応時間と色残像の強さとの関係、および、色残像の減衰過程を、陰画表示パターン (Nパターン) を用いて

* 格子状パターンの柵形背景 (30 行×50 列) に、白色指標 1 個、他の色の的 10 個と障害 30 個の柵形がランダムに配置されたパターンが提示される。被験者は、ジョイスティック (Fig. 1 の J) を用いて指標を動かす。指標が的に重なると的は消え、障害に重なると、その障害は消えるが他の位置に的がひとつ増える。指標の動き方は、ジョイスティックによって上下左右 4 方向のうち 1 方向が指定されると、指標はその方向に 1 柵形分と、さらに、ランダムに選ばれる上下左右のうちの 1 方向かつ 1 柵形分あるいは 2 柵形分だけ動く。指標、的や障害はパターンの格子状部分とは重ならない。被験者は指標を動かして、できるだけ短時間で的を全部消すように指示される。的が全部消えると、次のパターンが提示される。

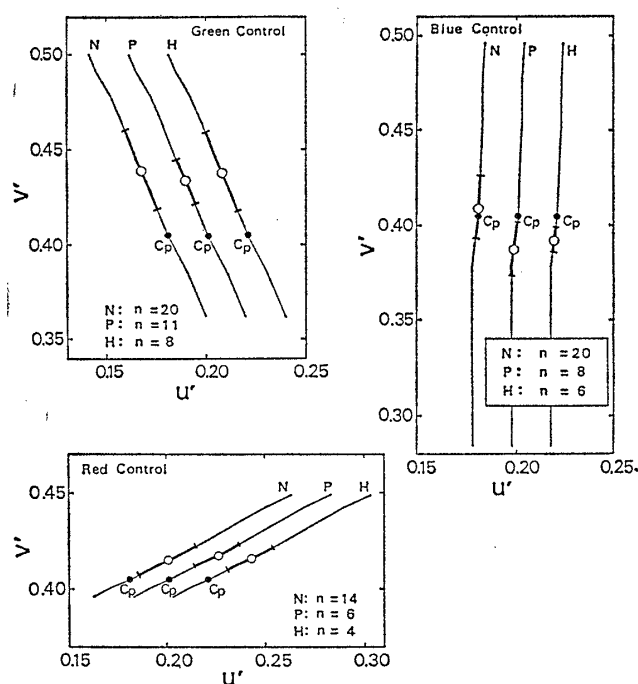


Fig.5 順応前のテストの結果

調べた。順応時間は、15, 30 と60 分とし、また、減衰過程は、60分順応ののち、順応後から5分ごとに、60分まで計測した。

色残像の強さを順応時間に対して示したのが、Fig.6 である。60分順応の結果は、横に数字で示した数の被験者の平均値で、棒が標準偏差を表わしている。15分と30分の値は、各色ごとに、60分順応で平均値に近い値を示した被験者1名の結果である。緑や赤色では、30分間の順応でほぼ一定値に達し、順応時間がそれ以上になって

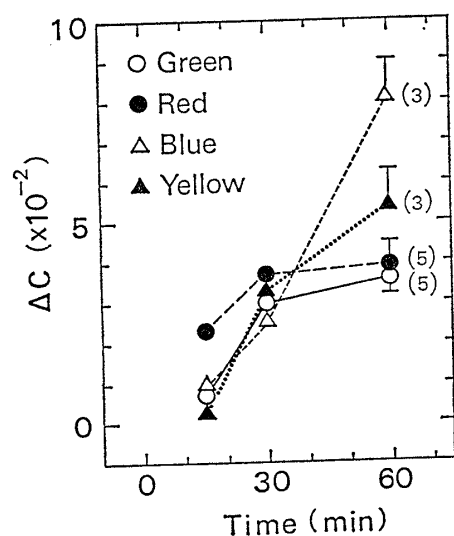


Fig.6 順応時間と色残像の強さの関係

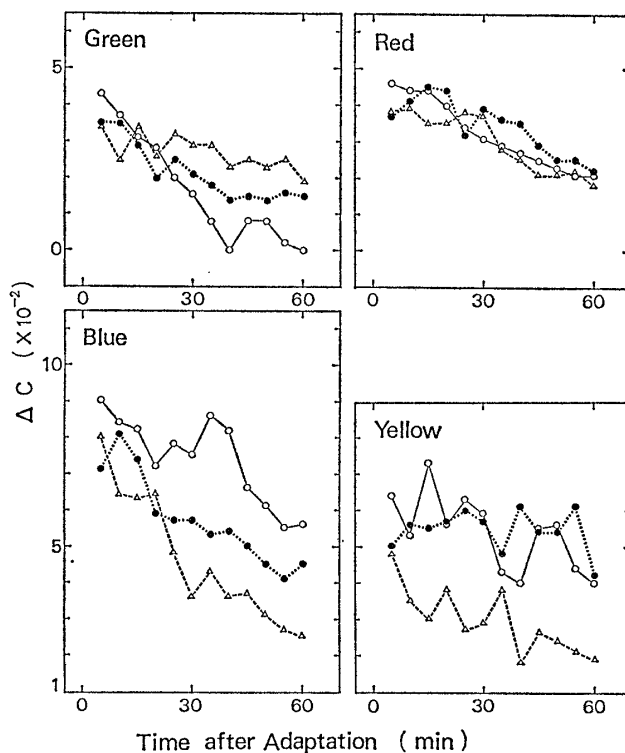


Fig.7 色残像の減衰過程

もほとんど色残像の強さは変わらない。一方、青や黄色では、順応時間とともに、さらに色残像が強くなっている。

Fig.7 は、色残像の減衰過程を、各色について3例ずつ示している。緑や赤色では、色残像の単調な減衰が見られるが、青や黄色では減衰過程にばらつきが大きい。また、Fig.7 に見られるように、生じた色残像は順応後60分経過したのちでも残っており、長時間の残像が確かめられた。

3.3. 色残像の強さへの順応輝度の影響

順応刺激の輝度が色残像の強さに及ぼす影響を調べた。陰面表示パターン輝度を変え、60分間順応した。輝度は、Table 1 に示した各順応色の標準輝度から、その約1/10まで変えた。Fig.8 に結果を示す。各色において最も高い輝度は標準輝度で、Fig.6 の60分順応の結果を再プロットしている。標準輝度以下の輝度に対する結果は、各色の標準輝度での測定を行った被験者のうちの1名のものである。緑や赤色では、輝度が約1/10まで低下しても色残像の強さはほとんど変わらないが、青や黄色では、輝度の低下に伴って色残像も弱くなっている。これらの結果は、Fig.6 の結果と関連している。緑や赤色では、標準輝度の30分間順応で、既にほぼ一定値に達しており、順応時間が60分の場合には、1/10の輝度でも色残像の強さはこの一定値まで達しているのであろう。青や黄色では、60分順応でも、輝度の低下が影響し、色

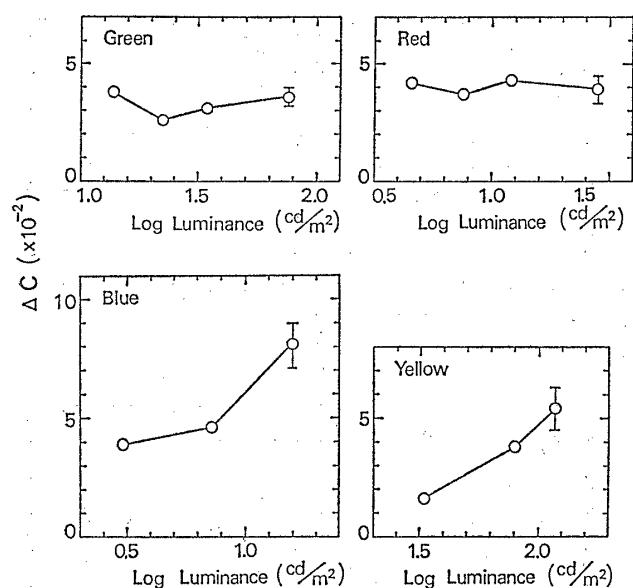


Fig. 8 順応輝度と色残像の強さの関係

残像が弱くなると考えられる。このように、色残像の生起や減衰の過程、順応輝度の影響などに、緑や赤色と、青や黄色とでは異なる傾向が見られる。

3.4. 色残像の強さの形への依存性

順応とテストの 패턴のいろいろな組み合わせに対して、生じた色残像の強さを比較し、色残像の形への依存性について調べた。順応時間60分で、 패턴の各組み合わせについて被験者2名ずつ測定した。結果の平均値を示したのがFig.9である。順応とテストを示す軸のN, P および H が 패턴の種類を表わし、それらの交点に、対応する組み合わせの色残像の強さを示している。Fig.9 に見られるように、色残像の強さは、順応とテストの 패턴の組み合わせによって異なっており、それらの 패턴が一致するときに強くなる傾向がある。各組み合わせ、2名ずつの測定結果に対し、順応色 (A)、順応 패턴 (B)、テスト 패턴 (C) を因子として分散分析を行った結果が、Table 2 である。3 因子交互作用を除いて、すべて有意 ($P < 0.01$) であり、主効果では順応色、交互作用では順応とテストの 패턴の組み合わせが、特に大きな影響を与えていることを示している。

Fig.9 を細かく見ると、各色における形への依存性はわずかに異なっている。すなわち、緑色ではP 패턴を用いた順応、テストでは、 패턴が一致しない場合と同じ程度の強さである。赤色では、 패턴が一致するときに色残像が強く生じ、形への依存性が明瞭である。青色の場合には、P 패턴の順応や、N 패턴

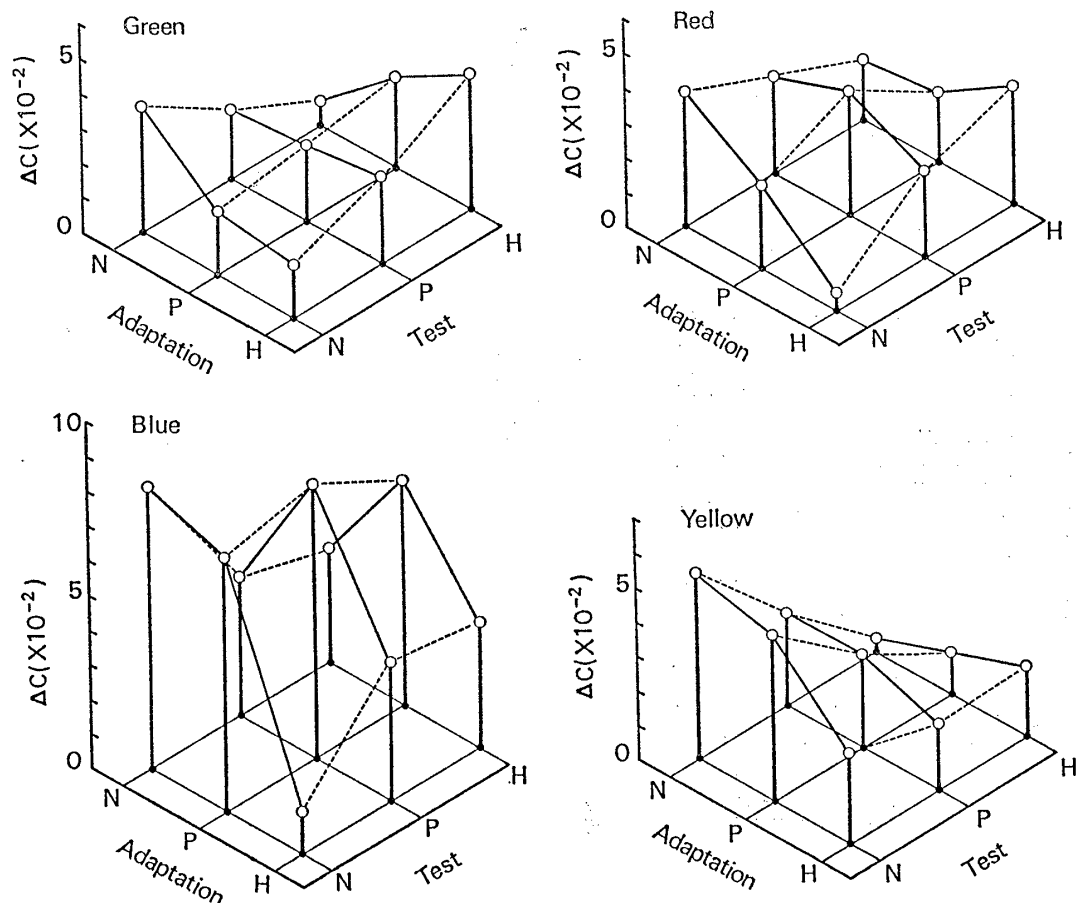


Fig.9 順応とテストの 패턴のいろいろな組み合わせに対する色残像の強さ

Table 2 分散分析表

A : 順応色, B : 順応パターン, C : テストパターン

要因	s. s. ($\times 10^{-4}$)	d. f.	m. s. ($\times 10^{-4}$)	F ₀	F (0.01)
A	88.67	3	29.56	59.12**	4.38
B	20.37	2	10.19	20.38**	5.25
C	11.22	2	5.61	11.22**	5.25
A $\times$ B	41.07	6	6.85	13.70**	3.35
A $\times$ C	23.55	6	3.93	7.86**	3.35
B $\times$ C	62.06	4	15.51	31.02**	3.89
A $\times$ B $\times$ C	7.22	12	0.60	1.20	2.72
E	17.97	36	0.50		
計	272.09	71			

** $p < 0.01$

の順応, テストで色残像が強く, 黄色では, NやPパターンの順応, Nパターンのテストという組み合わせで色残像が強い。

以上のように, 各色について, わずかな相違はあるが, 色残像の強さが順応とテストのパターンの組み合わせに依存していることがわかった。順応中, 眼は固視せず, 常に動いているため, このような, 形への依存性が, 順応網膜位置に依存する通常の補色残像によって生じるとは思われない。従って, この色残像は, 色残効の一種とも考えられる。

3.5. 形依存性を示す色残像とマッカロー効果

色残像には2種類あり, 急速に減衰し, 順応色の補色が見える, 通常の補色残像に相当する成分と, 長時間残存し, マッカロー効果のように, 補色よりピンク色あるいは緑色にわずかに片寄った色が見える⁹⁾成分とがあることは, これまでも指摘されている⁹⁾。今回の測定では, 順応後5分間は暗順応したため, 第2の成分のみが測定されたと考えられるが, この第2の成分が形依存性を示すことは, これまで報告されていない。

この色残像が, 緑や赤色と, 青や黄色とではわずかに異なる性質を示す理由については明らかではない。マッカロー効果においても, 緑や赤色と, 青や黄色とでは, 強く残効を生じるパターンが異なるとされており⁹⁾, 今回用いたのが, 約2 cpdの格子状パターンを基にした3種のパターンであるためかもしれない。視覚系における生起のメカニズムの面から見ると, この色残像は, 単一色によって生じ, 形への依存性を示すことから, 補色残像とマッカロー効果の間を結びつける現象ではないかと思われる。

4. あとがき

格子状パターンを用いて, VDT作業に伴って生じる補色の見えの性質について調べた。その結果, このような色残像が形への依存性を示すことが明らかとなった。線刺激である文字や記号を眺めたことによって生じた補

色の見えが, エッジ部分で強く見えるのは, このような色残像の形への依存性のためと考えられる。今回実験に用いたのは, 約2 cpdの格子状パターンを基にした3種のパターンのみである。空間周波数や方位を含めて, いろいろな, 形の特徴要素への色残像の依存性や, さらに, このような色残像が複数個生起するときの相互作用などを系統的に調べることによって, この色残像の性質のみでなく, 補色残像やマッカロー効果との関連も明らかになるであろう。

5. 謝辞

実験を遂行するうえで, 有益な討論をして戴いた, 筆者の所属する製品科学研究所基礎人間工学部感覚情報工学課の皆様へ深謝します。

参考文献

- 1) 細川汀, 西山勝夫, 中迫勝, 田井中秀嗣: VDT 労働入門, 労働基準調査会 (1984) 66-75
- 2) C. McCollough: Color adaptation of edge detectors in the human visual system, *Science* 149 (1965) 1115-1116
- 3) 総説として
C. F. Stromeyer: Form-color aftereffects in human vision, In: R. Held, H. W. Leibowitz, H. -L. Teuber(ed.): *Handbook of Sensory Physiology, vol. VIII, Perception*, Springer-Verlag (1978)
三浦佳世: 視覚系における色と形の相互作用; 随伴残効に関する最近の知見を中心に, *光学* 第13巻第4号 (1984) 270-279
- 4) M. H. Wilson and R. W. Brocklebank: Complementary hues of after-images, *J. Opt. Soc. Am.* 40 (1950) 293-299
- 5) C. F. Stromeyer: Further studies of the McCollough effect, *Perception and Psychophysics* 6 (1969) 105-110
- 6) P. D. Jones and D. H. Holding: Extremely long-term persistence of the McCollough effect, *Journal of Experimental Psychology* 1 (1975) 323-327
- 7) 山下由己男: マッカロー効果の生起における輝度コントラストの寄与, *光学* 第11巻第4号 (1982) 405-412
- 8) C. E. M. Hansel and S. H. Hahmud: Comparable retention times for the negative colour afterimage and the McCollough effect, *Vision Res.* 18 (1978) 1601-1605
- 9) C. F. Stromeyer: Edge-contingent color after-effects: spatial frequency specificity, *Vision Res.* 12 (1972) 717-732

(受付: 昭和60年5月10日)