

カラー画像の色・輝度コントラストの視覚記憶における変化

学生会員 天野 欽治郎[†], 正会員 内川 恵二[†]

Change in Appearance of Chromatic and Luminance Contrast of Colored Pictures in Human Visual Memory

Kinjiro Amano[†] and Keiji Uchikawa[†]

Abstract It is important to understand our color perception in memory because in our daily life we use our memory of the colors of objects when we compare them. So we studied exactly how we recognize the colors of the visual scenes that we have already experienced. A memory identification task was performed using natural scene pictures with various chromatic or luminance contrasts. Our experiment consisted of two stages, a memory stage and a recognition stage. The subjects' task was to judge, in recognition stage, if the picture was the same as that memorized. The results showed that people tend to remember a picture as having higher chromatic contrast than actually presented when they memorized it. This suggests that colors in our visual memory shift toward more saturated or categorically focal colors. This result should be taken into account when establishing the optimal method of estimating colors.

1. まえがき

色表示のマルチメディア化に伴い、カラーディスプレイや印刷物におけるカラー画像間の色の違いが最近問題になっている。メディア間の色の違いを調べるために、まず2つのカラー画像の色を比較して、その違いを評価しなければならない。色の違いの評価には、測色的な色差を用いるもの、あるいは視覚系の色弁別能を直接的に適用するものが考えられるが、これまでの評価法はいずれの方法でも、色を併置して比較するという見方に基づいている。しかし、日常的に色を直接的に併置比較する場合はほとんどなく、2つの

カラー画像を比較するには、1つの画像から他の画像に眼を移すという短い時間的遅れがある比較、あるいは1つの画像を見て何時間後、何日後に他の画像を見るという長い時間遅れがある比較がよく行われる。このように、日常的な画像の比較には必ず視覚的な記憶が介在している。メディア間のカラー画像の色の違いの問題解決にも、記憶を用いた色画像の比較がどのような特性になっているかを考慮することは重要である。もし、記憶によって色の違いがあいまいになってしまふのであれば、画像間に色の違いがあつても実際上は問題にならないだろうし、逆に、記憶によっても色の違いははっきりしているのであれば、色を正確に

キーワード：色の記憶、カラー画像評価、記憶視覚像、色・輝度コントラスト、色弁別

1996年1月30日受付、1996年5月16日再受付

† 東京工業大学 工学部像情報工学研究施設 (〒226 横浜市緑区長津田町4259, TEL 045-924-5453)

† Imaging Science and Engineering Laboratory, Tokyo Institute of Technology (4259 Nagatsuta, Midori-ku, Yokohama 226, Japan)

合わせることが重要になろう。いずれにしても、現在このような疑問に答える実験データはほとんどない。

これまでに色記憶については、色相は正確に再現されるが彩度が上昇するという報告 (Newhall ら¹⁾, Uchikawa and Ikeda²⁾, Uchikawa³⁾)、また、明るさは記憶によって暗い方向に移行するという報告 (Uchikawa and Ikeda⁴⁾) がある。また、日常よく知られている特定の対象に結びつけて思い起こされる色である記憶色と実際の対象の色を比較すると、記憶色の方が彩度が高いという報告もある (Bartleson⁵⁾⁶⁾)。

カラー画像を対象とすると、単一色だけではなく、画像中のすべての色に対する特性を評価しなければならない。そこで本研究では、カラー画像全体の再認という方法を用いて、カラー画像の記憶による変化特性を調べることにした。Harber⁷⁾ は、被験者に 1280 枚のスライド写真を表示し、その 1 時間後にその写真の再認率を調べた結果、正答率が 85~95% に達したことを報告した。しかし、この実験では刺激画像の中に含まれた色については何も調べられていない。このように、これまでにカラー画像の記憶中の色について定量的に調べた研究はほとんどない。

実験 1 では、カラー画像の再認時の色覚特性を調べる。すなわち、被験者が記憶した画像に加えた色あるいは輝度変化に対する弁別能を調べる。ここでは日常的な画像の記憶、再認という状況を、記憶過程、再認過程として作り出した。刺激画像には自然画像を用いた。ここで自然画像とは、自然の山々や街中の人々のような日常我々が出会う場面や風景の写真のことをいう。まず、被験者は順番に 1 枚ずつ表示される複数枚の刺激画像を観察し記憶する(記憶過程)。そして、ある時間後にそれらの画像に色の変化を加えた画像を再び観察したとき、被験者はそれが記憶した画像であるかどうかを判断する(再認過程)。ここで用いる色変化は色コントラスト変化と輝度コントラスト変化である。

実験 2 では、実験 1 の結果に記憶の効果がどの程度であったかを調べるために、できるだけ記憶の効果を取り除いたときのカラー画像の弁別能を測定する。被験者は、テスト刺激と比較刺激を継続的に続けて観察し、この 2 枚の刺激画像が同じかどうかを判断する。実験 1 と同様に、テスト刺激と比較刺激の間に色コントラストあるいは輝度コントラスト変化を加える。実験 1 の記憶実験との違いは、被験者が一度に複数枚の画像を記憶する必要がないということ、刺激画像を観察した後すぐに判断を行うため、被験者の記憶への負担が少ないということである。

実験 3 は、記憶を全く必要としない同時比較実験を行う。ここでは、被験者は並置して呈示された刺激画像を観察し、それが同じかどうかを判断する。

2. 実験 1：記憶実験

2.1 装置と刺激

刺激画像の呈示はコンピュータ (Macintosh IIci) 制御の CRT ディスプレイを用いた (Macintosh 13 inch Color Display)。これを暗黒の実験ブース内に設置した。視距離は 60 cm で、刺激の大きさは視角 18.0° × 12.0° である。被験者の応答はキーボードを介してコンピュータに取り込んだ。

刺激画像の自然画像としては、装置の処理能力の都合から 1677 万色から選ばれた 256 色が同時に呈示可能なカラー画像を用いた。これらは市販の CD-ROM 写真集より引用した PICT 形式の画像である。刺激画像の例を図 1 に示した。また、記憶を用いた実験であるため、被験者に一度呈示した画像は、二度と同じ被験者に用いなかった。

刺激画像の色コントラスト変化、輝度コントラスト変化は L (輝度) 軸と $u'v'$ 平面からなる色空間上で行った。 $u'v'$ 平面 ($u'v'$ 色度図) 上では、2 点間の色差は知覚的に均等となっている。また、 $u'v'$ 平面上で刺激画像の色度のみを変化させると、刺激画像の輝度は変化しないことになる。

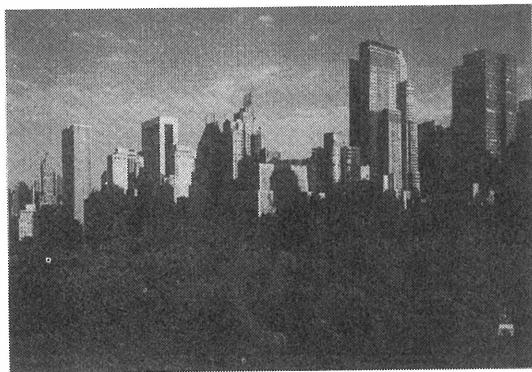
変化画像の色係数 (CI) とは、原画像中に含まれる全画素の色度点の平均値 (MC) から、それぞれの画素の色度点への距離を 1 (= DC) とし、この距離変化の割合とした。変化画像における MC と各色度点との距離を DC' とすると、 CI は次式のようになる(図 2 (a))。

$$CI = \frac{DC'}{DC}$$

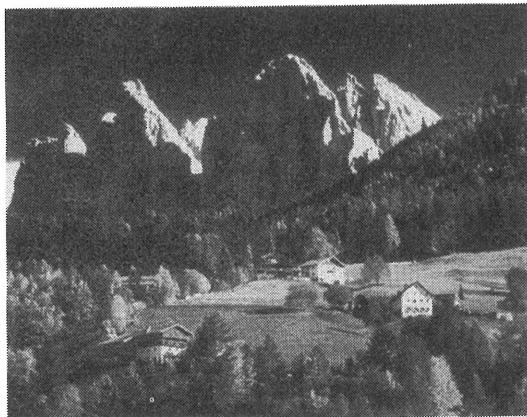
ただし、各画素の輝度値は変化させず、原画像の値のままとした。色係数 1 の画像は原画像となり、色係数 0 の画像は平均の色度で描かれた輝度変化のみの画像である。色係数が減少すると、刺激画像は色みが失われていくように見える。

同様に、変化画像の輝度係数 (LI) とは、原画像の全画素の輝度値の平均値 (ML) を求め、この平均値から各画素の輝度値との差を 1 (= DL) とし、その距離変化の割合により定義した。変化画像における ML と各画素の輝度値の差を DL' とすれば、 LI は次式で表される。

$$LI = \frac{DL'}{DL}$$



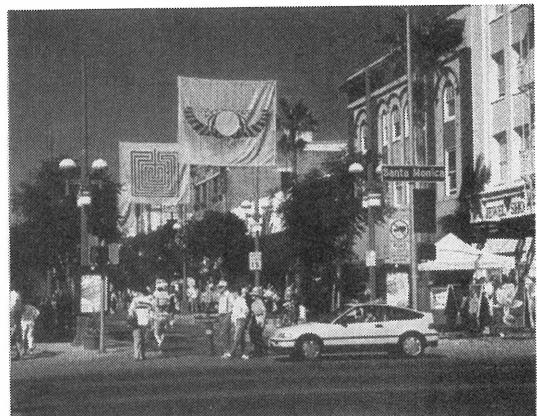
(a)



(b)



(c)



(d)

図 1 実験に用いた刺激画像（原画像）の例
Examples of stimulus pictures used in the experiments.

本実験では、刺激画像を白黒画像に変換してから輝度係数を掛けた場合と、色度の変化は加えずに輝度係数を掛けた色付きの画像の場合の 2 通りの輝度コントラスト変化を用意した。図 2(b)に色付き画像に対する輝度係数の定義を示した。白黒画像の場合、すべての画素の色度点を白色 (0.3127, 0.3290)とした。白黒画像の場合、輝度係数 0 の画像は全画素が等輝度になり一様な画面となってしまうため、実験には用いなかった。色付き画像の場合は輝度係数 0 の画像は画像中の色がすべて等輝度で表現された画像となる。また、色付き画像の場合、輝度係数 1 の画像は原画像となる。

実験に用意した刺激画像の色係数は、0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1 (原画像)、輝度係数は白黒画像の場合、0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1、色付き画像の場合 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1 (原画像) である。これらの刺激画像は、図 3(a)に示すように記憶過程と再認過程にお

いて原画像と組にして呈示される。図中の横軸は記憶過程と再認過程を表し、縦軸は刺激画像の色・輝度係数を示している。過程間を結んだ矢印は刺激画像の組合せを表す。実線は記憶過程から再認過程へ色・輝度係数の増加を示し、点線は減少、波線は係数に変化がないことを示している。また、図 3(b)に示すように色・輝度係数が 1 以下の刺激画像間の組合せも用意した。色係数 0, 0.16, 0.32, 0.48, 0.64, 0.8 の組合せと、0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 の組合せを用いた。これらのコントラスト変化画像の組合せは、記憶過程と再認過程の間で後述するコントラスト変化比が等しくなるように選んだ。

2.2 手続き

実験は、記憶過程と再認過程からなる。1 試行は被験者が暗黒のブースに 3 分間順応した後にはじめられた。記憶過程では、被験者は継続的に呈示される 20 枚の刺激画像を観察した。刺激画像の呈示時間は 2

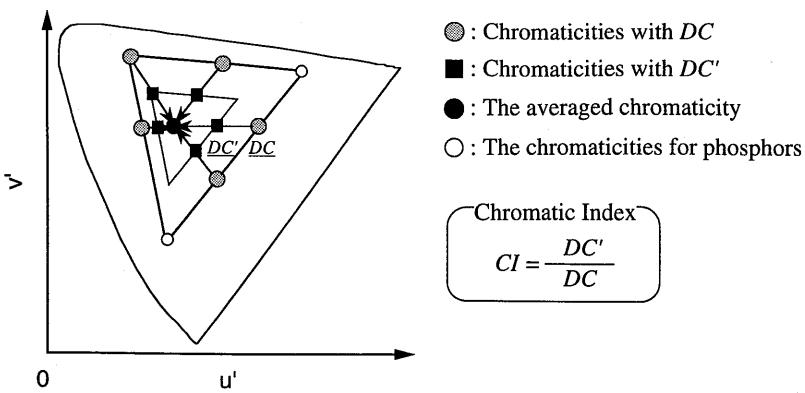


図 2(a) 色係数の定義
 Summary of definition of chromatic index.

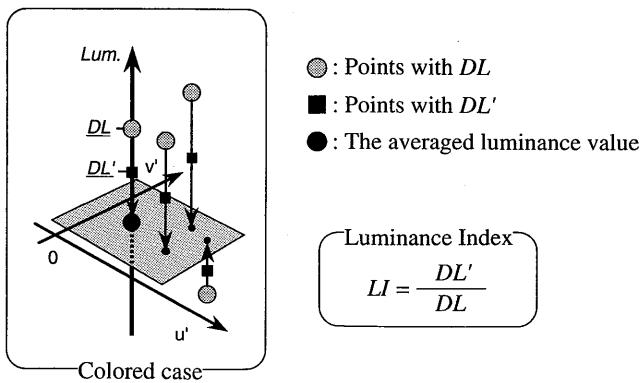


図 2(b) 輝度係数の定義（色付き画像の場合）
 Summary of definition of luminance index.

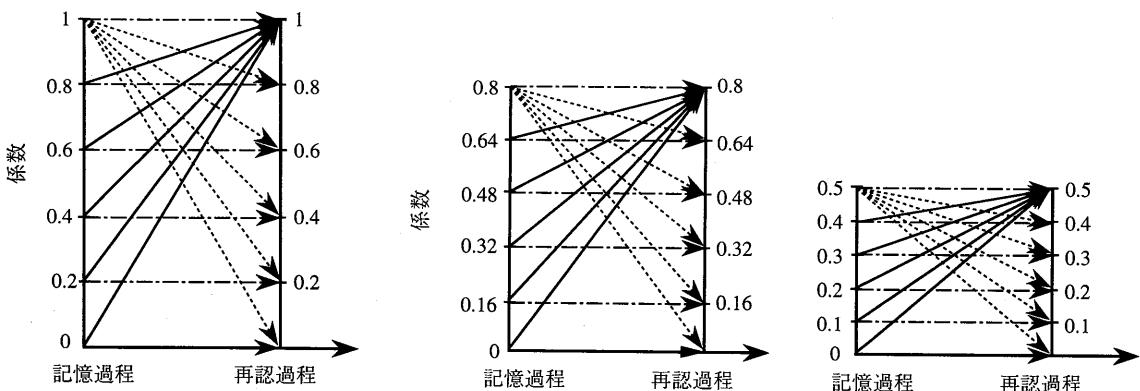


図 3(a) 記憶、再認過程における刺激画像の組合せ（原画像を含んだ場合）
 係数 1 は原画像の位置を示す

Combinations of stimulus pictures in the memory and the recognition phase. (Original pictures are included.) Index 1 means the position of original picture.

図 3(b) 記憶、再認過程における刺激画像の組合せ
 (コントラスト変化画像を含んだ場合)

Combinations of stimulus pictures in the memory and the recognition phase. (Contrast-changed pictures are included.)

秒/枚、表示間隔は1秒である。予備観察により、被験者が刺激画像の内容を把握するためには最少2秒の表示時間が必要であると判断した。記憶過程が終わると30秒後に再認過程に入る。この30秒間に再認過程に対する教示が行われた。再認過程は40枚の画像からなり、そのうち20枚は記憶過程で表示された画像であり、残りの20枚は再認過程で新たに加えた画像である。記憶過程で表示された20枚のうちの10枚に色コントラスト変化あるいは輝度コントラスト変化が加えられる。残りの10枚には何の変化も加えられなかつた。被験者の課題は、再認過程において表示された画像が、記憶過程で観察した画像であるかどうかを判断することである。再認過程では、被験者が判断を終えるまで刺激画像は表示される。応答はキーボードを介して取り入れるが、誤った応答をしてしまったときは口頭で訂正することができる。

試行回数は、原画像との組合せの場合、色コントラスト変化は7~10回、輝度コントラスト変化の白黒画像の場合は10~12回、色付き画像の場合は5~7回であった。色コントラスト変化画像の組合せの場合の試行回数は6~10回であった。輝度コントラスト変化の色付き画像の場合は、結果の傾向をみるとどめたので試行回数が少ないが、その他の条件では、試行回数が10回程度になるまで試行を繰り返した。結果は応答の割合で求まるので、特に試行回数を合わせることはしなかつた。

2.3 被験者

被験者は、MS(男、27歳)、HU(男、27歳)、TY(男、27歳)、YY(男、27歳)、IK(男、27歳)の6名で、全被験者とも視力、色覚は正常である。IKは輝度コントラスト変化のみについて調べられた。全被験者とも著者らの研究室の男子学生であり、本実験の目的もある程度知っていた。このような心理物理実験では通常性差による違いはないので、被験者がすべて男性でも問題はないと考えられる。また、被験者はナイーブではないが、予備実験で、実験についての知識は結果には影響しないことが予測できたので、特にナイーブな被験者を使うことはしなかつた。

2.4 結果

色コントラスト変化条件における被験者の‘Yes’応答の割合を図4、輝度コントラスト変化条件の場合は図5に示す。図4(a)は、図3(a)に示した原画像とコントラスト変化を加えた画像とを比較した場合の結果を示す。図4(b)は、図3(b)に示したコントラスト変化を加えた画像どうしの組合せの2つの条件をまとめた結果を示す。図5(a)は白黒画像、図5(b)は

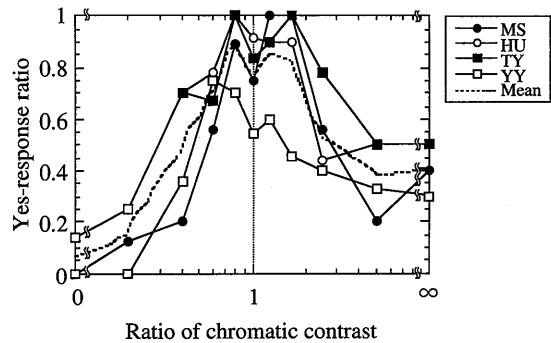


図4(a) 色コントラスト変化比に対するYes応答の割合(原画像を含んだ場合)
Yes-response ratio as a function of chromatic contrast. (Original pictures are included.)

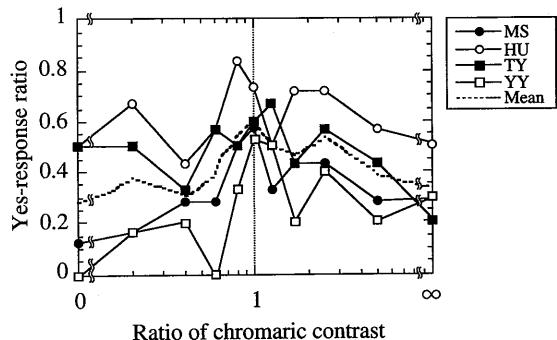


図4(b) 色コントラスト変化比に対するYes応答の割合(コントラスト変化画像を含んだ場合)
Yes-response ratio as a function of chromatic contrast. (Contrast-changed pictures are included.)

色付き画像の場合の結果を示す。

グラフの横軸には次式で示すように、記憶過程で表示した画像に対する再認過程で表示した画像のコントラスト変化比(R)が対数で示されている。記憶過程で表示した画像のコントラストを C_0 、再認過程で表示した画像のコントラストを C とすれば R は次式で定義される。

$$R = \frac{C}{C_0}$$

コントラスト変化比が1のときは、記憶過程で表示された画像と再認過程で表示された画像が全く同じであったことを示す。再認過程で係数0の画像が表示されたときには、コントラスト変化比は0、記憶過程で係数0の画像を観察したときには、無限大(∞)となる。

縦軸は、被験者が再認過程で表示された画像を記憶

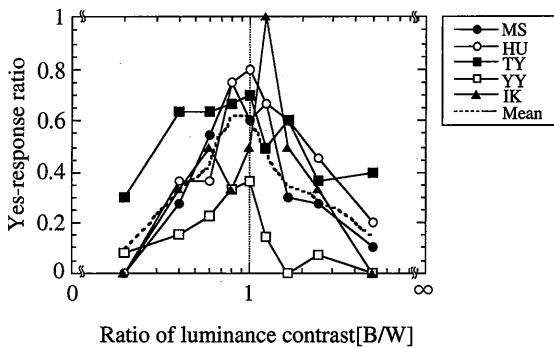


図 5(a) 輝度コントラスト変化に対する Yes 応答の割合 (白黒画像)

Yes-response ratio as a function of luminance contrast. (B/W pictures)

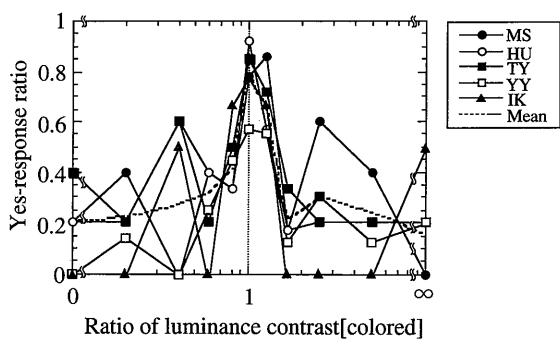


図 5(b) 輝度コントラスト変化に対する Yes 応答の割合 (色付き画像)

Yes-response ratio as a function of luminance contrast. (colored pictures)

過程で観察した画像と同じであると判断した Yes 応答の割合を表す。横軸のコントラスト変化比が 1 でないときの Yes 応答はすべて、両過程間で画像のコントラストが変化しているにもかかわらず、被験者は同じと判断してしまったことを示している。また、グラフ内でのシンボルの違いは被験者の違いを示し、点線は全被験者の平均値を表す。

図 4(a) の色コントラスト変化の場合をみると、被験者による差はあるものの、グラフの形状にはあまり違いはない。色コントラスト変化比が 1.0 より減少すると、Yes 応答率は小さくなる。これは、再認過程での刺激画像の色コントラストが小さくなればなるほど、その変化に気付きやすいということである。色コントラスト変化比が 0、すなわち過程間のコントラスト変化が最大のとき、Yes 応答率は最小になった。ここで平均値の 50% 閾値を求めるとき色コントラスト =

0.51 である。記憶過程で観察した画像は色コントラストを約半分にまで落とさなければ、被験者は再認過程においてその変化に気がつかないということを意味している。また、色コントラスト変化比が 0 の場合でも、Yes 応答率は完全には 0 にならなかった。

色コントラスト変化比が 1.0 よりも増加すると、Yes 応答率はやはり低下する。しかし、色コントラストが 1.0 より減少したときと比べると、Yes 応答率の低下は小さかった。たとえば、色コントラスト変化比が 2.0 に増加した場合、つまり記憶過程で色コントラストが半分の画像を観察し、再認過程で原画像を観察したとき、平均値の Yes 応答率は 0.62 となった。また、色コントラスト変化比が 2.0 よりさらに大きくなつても、Yes 応答率は 0.4 以上の値を保ったままであった。特に色コントラスト変化比が無限大のとき、つまり記憶過程で色みのない色係数 0 の画像を観察したときでさえ、再認過程で原画像を観察すると、その 2 枚の画像を同じ画像と判断する割合が高かつた。これは、被験者の応答に色コントラスト変化の増減に対して非対称な特性が現れていることを示している。

図 4(b) は色コントラスト変化画像どうしの組合せの場合の結果である。試行回数が少なく測定点のばらつきが大きいために、結果の詳しい解析は難しい。しかし、色コントラスト変化比が 1 より減少および増大するにつれて Yes 応答は減少し、平均値には応答の非対称性の傾向が現れているといえよう。

次に、輝度コントラスト変化の場合の結果をみる。図 5(a) より白黒画像の場合、輝度コントラスト変化比が 1.0 より減少したときも増加したときも、その変化の大きさが大きくなるにつれて同様に Yes 応答率は低下している。ここでは色コントラスト変化の場合にみられた応答の非対称性は現れなかった。図 5(b) の色付き画像の場合も、過程間の輝度コントラスト変化が 1.0 よりも減少しても増加しても Yes 応答率は低下した。また図 5(a), (b) のどちらの場合も、輝度コントラスト変化が最小および最大であっても平均値の Yes 応答率は 0 よりも大きい値となった。これは記憶によって判断が曖昧になっていたと考えることができる。

2.5 考 察

輝度コントラスト変化に対する被験者の Yes 応答率は、色コントラスト変化の場合に比べて全体的に低かった。これは、輝度コントラストが変化することによって画像中の対象物の輪郭がはっきりしなくなり、その画像に何が描かれているのかがわかりにくくなることが要因のひとつと考えられる。特に白黒画像の場

合には、その輪郭だけが再認時の手掛かりになるために効果が大きく現れたと考えられる。

ここで、色コントラスト変化に対する応答と輝度コントラスト変化に対する応答を比較してみる。まず、応答の非対称性が色コントラスト変化の場合にのみ現れた。これは再認時の色コントラストが記憶時のものよりも増加したときの方が、減少したときよりその変化に気がつきにくいという特性であった。このひとつの解釈として、記憶することによって画像の色みがあざやかになっていくために、再認過程で色コントラストが高い画像を観察すると、それが記憶した画像と同じであると判断してしまうことが考えられる。

記憶によって色みがあざやかになるという結果は、先に示した Newhall ら¹¹ の色記憶、Bartleson^{5,6)} の記憶色の実験結果とも矛盾しない。この現象は、色記憶のカテゴリー特性と関係しているかもしれない。Uchikawa and Shinoda⁸⁾, Uchikawa^{9,10)} は色は脳内の色覚情報処理において 11 の基本色にカテゴリー化され、各カテゴリーの中の色はそのカテゴリーの色を代表する色（これをフォーカル色と呼ぶ）に向かってシフトするという実験結果を示した。フォーカル色は一般にあざやかな色であることから、今回の実験結果は、記憶中の画像の各色がフォーカル色に向かってシフトしたと考えることもできる。

また、視覚記憶が記憶対象の最も典型的なイメージ、すなわちプロトタイプに近づくという説明も可能であろう。この実験の場合では、原画像が最も自然に見える画像であり、コントラスト変化画像中のプロトタイプと考えられる。たとえば、記憶過程で観察したコントラスト変化の薄い緑の山々の風景は、被験者が思う最も山らしい山に見えるコントラスト無変化（原画像）の濃い緑の山々の風景に近づいていくと考えることができる。この考えも本実験の結果を説明する上で可能であるといえる。

記憶の中では画像の色はあざやかな方向に変化する、あるいはより自然なプロトタイプ的な色に変化するといった 2 つの説明のどちらが適当かを決めるには、色係数が 1 以上の刺激画像、すなわち、あざやかな方向に変化することがより不自然な見えになるような刺激画像を作製して実験を行うべきであろう。しかし、本実験では原画像を CD-ROM の写真集から取ったため、ほとんどすべての画像はコントラストが高い画像であり、CRT の限界のためにそれ以上にはコントラストを高めることはできなかった。このような実験を行うためには、あらためて刺激画像を集め必要がある。これは今後の課題としたい。

次に、色コントラストの増減を原画像との組合せによって実現した場合(図 4(a))と、色コントラスト変化画像どうしの組合せによって実現した場合(図 4(b))の応答特性の違いを検討する。両グラフを比べると、図 4(b)の方の Yes 応答率がフラットになり全体的に低くなっている。特にコントラスト変化比が 1.0 であっても、Yes 応答率は高くなっていない。これは、被験者の判断がかなり曖昧になっていることを示している。コントラスト変化画像どうしの組合せは、原画像の組合せの場合とコントラスト変化比が一致するようにコントラストを選んだ。つまりコントラスト変化比が同じであっても、画像間のコントラスト差は図 4(a)と(b)とではかなり違っている。例えば、記憶過程で原画像、再認過程で係数 0.8 の画像を観察した場合も、記憶過程で係数 0.5、再認過程で係数 0.4 の画像を観察した場合もコントラスト変化比はともに 0.8 となる。しかし、前者の場合はコントラストの差は 20%，後者は 10% で 2 倍の違いがある。被験者は 20% のコントラスト差は弁別できたが、10% の差は判断できなかつたということは充分考えられる。したがって、コントラスト差による検討が必要であるが、本研究ではコントラスト変化画像どうしの組合せのデータはコントラストの差をとるために不充分であったため、適切な解析ができなかつた。

3. 実験 2：継時比較実験

3.1 装置と刺激

実験装置と刺激画像は実験 1 と同じものを用いた。用意した画像の色係数、輝度係数は 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1 である。ただし、輝度コントラストの白黒画像の場合は係数 0 の画像は用いなかつた。ここでは、原画像と組にしてコントラスト変化の増減を実現した。刺激の大きさ、およびその他の条件は実験 1 と同様であった。

3.2 手続きと被験者

被験者は、テスト画像 1 枚を 2 秒間観察し、0.5 秒の間隔をおいて比較画像 1 枚を観察し、比較画像がテスト画像と全く同じかどうかを判断する。比較画像は、被験者の判断が終わるまで呈示される。被験者の判断が終わると、続いて次のテスト画像が呈示される。1 試行は 20 組 40 枚の画像からなり、1 組の画像は色コントラスト変化、輝度コントラスト変化、あるいは全く同じ画像からなつた。試行回数は、色コントラスト変化の場合 8~15 回、輝度コントラスト変化の白黒画像の場合 9~12 回、色付き画像の場合 4~13 回であった。

被験者は、実験1に参加したMS, HU, TY, YYの男性4名である。

3.3 結果と考察

結果を図6, 図7に示した。グラフの縦軸、横軸は図4, 図5と同様である。横軸はコントラスト変化比、縦軸は被験者のYes応答率を示す。グラフの中のシンボルの違いは被験者の違いを表し、点線は全被験者の応答の平均値を示す。

図6の色コントラストの場合は、Yes応答率がコントラスト変化比1のときを頂点にして、実験1の結果と比べて急峻になった。これは、色コントラスト変化に対する応答の精度が良くなつたことを示している。つまり表示された画像が先に表示された画像と同じかどうかの判断が正確になされたことがわかる。50%閾値は0.69と1.73になり、コントラスト弁別能が実験1よりも良くなつた。また、実験1にみられた応答の非対称性が、ここでは現れなかつた。図10に実験1の全被験者の平均値(実線)と実験2の全被験者の平均値(破線)を比べて示す。実験1との違いは被験者の記憶への負担の違いであるから、実験2で応答の非対称性が現れなかつたことは、応答の非対称性が記憶の負荷による効果であると考えられる。

次に、輝度コントラストの場合も(図7(a), (b))実験1と比較して、応答特性が急峻になり判断が明確になっている。コントラスト変化比が1よりも減少するときの50%閾値は、白黒画像の場合、色付き画像の場合それぞれ0.75, 0.76であり、増加するときはそれぞれ1.16, 1.17であった。これらはおおよそ係数0.75の画像と原画像、原画像と係数0.85の画像を観察した場合に相当する。図11(a), (b)に平均値を示した。

以上のように記憶をある程度排除することにより、実験1の応答特性に比べて、判断がかなり正確になつた。しかし、継時比較実験であるため、テスト刺激と比較刺激の間に時間的な間隔があり、完全に記憶の効果を排除できたわけではなかつた。したがつて、次に、完全に記憶の効果を排除した同時比較実験を行つた。

4. 実験3：同時比較実験

4.1 装置と刺激

実験装置は、実験1の記憶、再認実験と同じである。実験に用いた色コントラスト、輝度コントラストは実験1と同じである。ただし、今回の同時比較実験には、記憶過程、再認過程という時間的な段階が存在しないので、ここでは、コントラスト変化を並置した

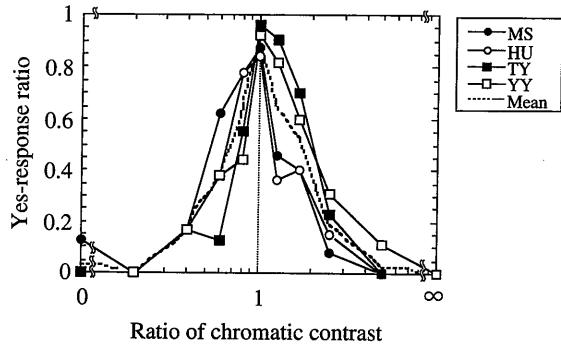


図6 継時比較において色コントラストを変化させたときのYes応答の割合
Yes-response ratio as a function of chromatic contrast in the successive comparison.

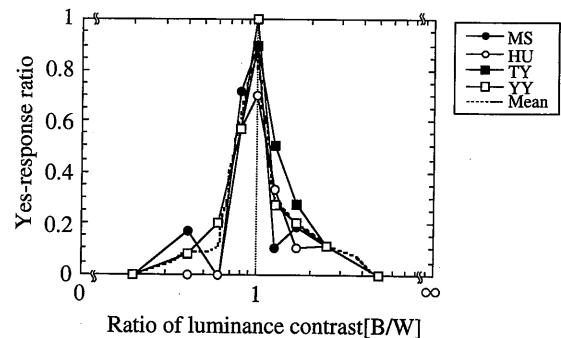


図7(a) 継時比較において輝度コントラストを変化させたときのYes応答の割合(白黒画像)
Yes-response ratio as a function of luminance contrast in the successive comparison. (B/W pictures)

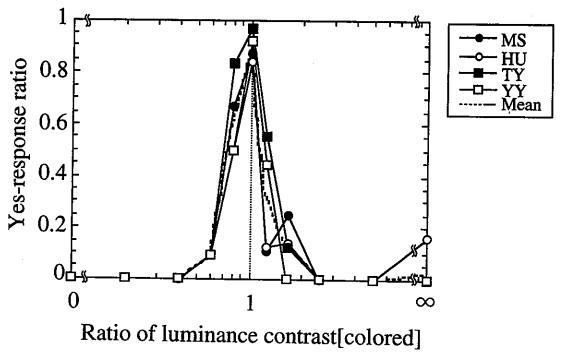


図7(b) 継時比較において輝度コントラストを変化させたときのYes応答の割合(色付き画像)
Yes-response ratio as a function of luminance contrast in the successive comparison. (colored pictures)

2枚の刺激画像のコントラストの比によって定義した。コントラストの高い方で低い方を正規化したため、コントラスト変化比の範囲は0.0～1.0の間である。

CRT画面の中央に刺激画像を2枚を並置して表示した。刺激の大きさは画像1枚あたり縦5.1°×横2.6°である。この画像は実験1,2で用いた画像のほぼ中央部分を切り取って採用した。この切り取った小領域内で改めて刺激画像の色度の平均値、輝度値の平均値を求め、色コントラスト、輝度コントラストの変化を加えた。

4.2 手続きと被験者

被験者は呈示された2枚の画像が全く同じかどうかを判断し、キーボードにより応答した。刺激の呈示は被験者の判断が終わるまで続けた。1試行は34組68枚の刺激画像からなり、6試行を繰り返した。1つのコントラスト変化あたり、色コントラスト変化の場合14回、輝度コントラスト変化の場合は白黒画像のとき、色付き画像のときもともに11回の試行を行った。

被験者はMS, HU, TY, IKの男性4名で、MS, HU, TYは実験1,2に、IKは実験1のみに参加していた。

4.3 結果と考察

色コントラスト変化の結果を図8に示す。グラフの横軸、縦軸はこれまでと同様である。横軸は色コントラスト変化比、縦軸は被験者のYes応答率を示す。シンボルの違いは被験者の違いを示し、点線は全被験者の平均値を表す。

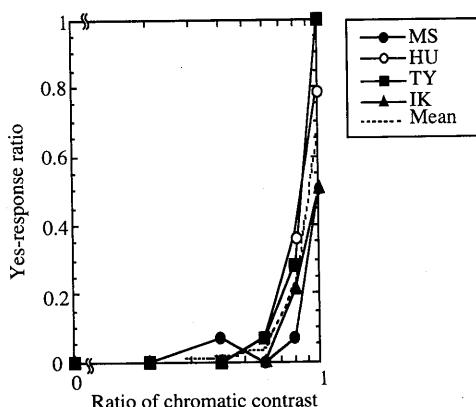


図8 同時比較において色コントラストを変化させたときのYes応答の割合
Yes-response ratio as a function of chromatic contrast in the simultaneous comparison.

結果をみると、応答はコントラスト変化比1.0から実験2よりかなり急峻に減少し、被験者の判断がかなり正確であることがわかる。色コントラスト変化の場合の50%閾値は、全被験者の平均値から求めると0.92であった。実験2の継時比較実験と比べてもさらに感度が上昇した。また、被験者によって横軸が1.0のとき、つまり、全く同じ画像が2枚呈示されたときのYes応答率に差があることがわかる。

輝度コントラスト変化の結果をみると(図9(a), (b))、白黒画像、色付き画像の場合も、色コントラ

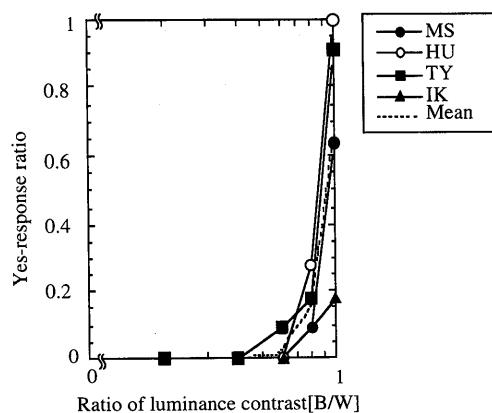


図9(a) 同時比較において輝度コントラストを変化させたときのYes応答の割合(白黒画像)
Yes-response ratio as a function of luminance contrast in the simultaneous comparison. (B/W pictures)

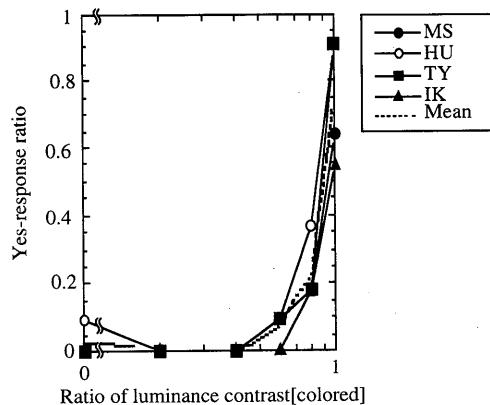


図9(b) 同時比較において輝度コントラストを変化させたときのYes応答の割合(色付き画像)
Yes-response ratio as a function of luminance contrast in the simultaneous comparison. (colored pictures)

スト変化のときと同様の結果が現れた。50%閾値もそれぞれ0.93, 0.90とほぼ同じ値であった。

同時に比較することによって、極めて正確に画像間の違いを弁別することができるということがわかった。これは、実験1の記憶実験の結果が記憶による効果であることを示し、さらに実験2の結果にも記憶の効果がかなり含まれていたことを示している。実験1, 2との比較を図10, 図11に示した。図中で実線は実験1の結果を、点線は実験2、破線は実験3の結果をそれぞれ示している。記憶を用いた場合とそうでない場合とで、応答特性がかなり異なることがわかる。

5. む す び

実験1の記憶実験から明らかになったことは、画像の色コントラスト変化に対する応答の非対称性であった。つまり、画像の色コントラストが増加したときの方が、減少したときよりもその変化に気がつきにくいうことである。色みのない画像を記憶した後に色みがあざやかな画像を見ると、これらの2枚の画像を同じものと判断してしまう。このことは、カラー画像は記憶することにより、その中の色みが増大するような変換を受けることを示唆している。また、継時比較実験、同時比較実験から、記憶を介さないときの被験者のコントラスト弁別感度は、かなり高いことがわかった。したがって、色コントラスト変化に対する応答の非対称性は、記憶による効果であることが確認できた。

我々は画像に実際にはない色みをイメージして付け加えるということを日常よく行う。たとえば、白黒写

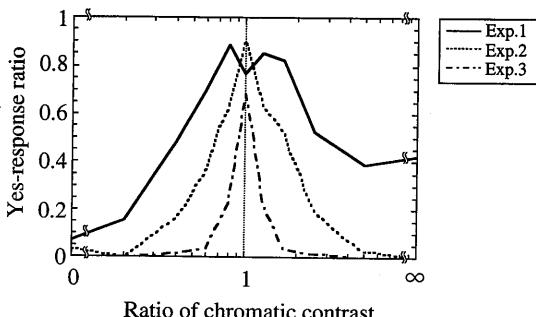


図 10 記憶比較（実験1）、継時比較（実験2）、同時比較（実験3）実験間の応答特性の比較（色コントラスト変化の場合）

Comparison of response characteristics among the memory comparison (exp. 1), the successive comparison (exp. 2) and the simultaneous comparison (exp. 3) experiments. (chromatic contrast)

論 文 □ カラー画像の色・輝度コントラストの視覚記憶における変化

真や白黒テレビを見たとき、その画面は白黒であっても、そこに映し出されている対象の色をイメージできる。このようなことを考えると、今回の実験結果は視覚系から入力された色みが記憶を介すことによってあざやかになるという解釈の他にも、もともと記憶に蓄えられていたあざやかな色が引き出されたという可能性も考えられる。

このような特性がどのような視覚系のメカニズムに

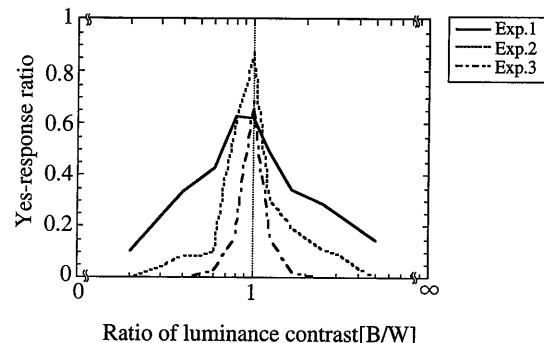


図 11(a) 記憶比較(実験1)、継時比較(実験2)、同時比較(実験3) 実験間の応答特性の比較
(輝度コントラスト変化、白黒画像の場合)

Comparison of response characteristics among the memory comparison (exp. 1), the successive comparison (exp. 2) and the simultaneous comparison (exp. 3) experiments. (luminance contrast, B/W pictures)

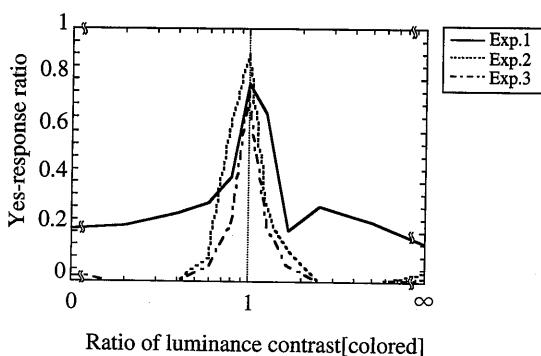


図 11(b) 記憶比較(実験1)、継時比較(実験2)、同時比較(実験3) 実験間の応答特性の比較
(輝度コントラスト変化、色付き画像の場合)

Comparison of response characteristics among the memory comparison (exp. 1), the successive comparison (exp. 2) and the simultaneous comparison (exp. 3) experiments. (luminance contrast, colored pictures)

よって生じるのかを突き止めることは今回の実験だけでは不充分であるが、色のカテゴリカルな処理メカニズムは、生理学的知見ともあいまって最も有力といえる。記憶実験においてカテゴリー変化を行った刺激画像を用いることにより、より確実な根拠が得られるかもしれない。これは今後の課題である。

本研究では、記憶によって色みが変換されていることが示唆された。これは、実際に見た色と後に想起した色は異なることを示している。しかし、同時に比較したときには正確な色の比較ができる。色を見比べて色を評価することはよく行われているが、色の比較に記憶が介在する場合は、このような特性を充分に考慮する必要がある。今後、色みがあざやかになって想起されるメカニズム、さらに記憶色の構造が解明できれば、さらに詳細かつ厳密なカラー画像の評価方法の定義が可能となるであろう。

[参考文献]

- 1) S. M. Newhall, R. W. Burnham and Joyce R. Clark : "Comparison of Successive with Simultaneous Color Matching", J. Opt. Soc. Am., **47**, 1, pp. 43-56 (1957)
- 2) K. Uchikawa and M. Ikeda : "Temporal Detection of Wavelength Discrimination with Successive Comparison Method", Vision Res., **21**, pp. 591-595 (1983)
- 3) K. Uchikawa : "Purity Discrimination: Successive vs Simultaneous Comparison Method", Vision Res., **23**, pp. 53-58 (1983)
- 4) K. Uchikawa and M. Ikeda : "Accuracy of Memory for Brightness of Colored Lights Measured with Successive

Comparison Method", J. Opt. Soc. Am., **3**, 1, pp. 34-39 (1986)

- 5) C. J. Bartleson : "Memory Colors of Familiar Objects", J. Opt. Soc. Am., **50**, 1, pp. 73-77 (1960)
- 6) C. J. Bartleson : "Color in Memory in Relation to Photographic Reproduction", Photographic Sci. and Eng., **5**, 6, pp. 327-331 (1961)
- 7) R. N. Haber : "How We Remember What We See", Psychology Progress, Freeman, SanFrancisco, pp. 155-162 (1971)
- 8) K. Uchikawa and H. Shinoda : "Effects of Color Memory on Color Appearance", Color Vision Deficiencies, pp. 35-43, Kugler & Ghedini Publications (1990)
- 9) K. Uchikawa : "Categorical Characteristics of Color Discrimination in Memory", Advantages in Color Vision Technical Digest series, pp. 192-194 (1992)
- 10) K. Uchikawa : "Categorical Nature of Color Memory", OSA Annual Meeting Technical Digest, p. 112 (1993)



あまの
天野 欽治郎 1995年、東京工業大学大
学院総合理工学研究科知能科学専攻修士課程
修了。現在、同大学院博士後期課程に在学
中。視覚像記憶時の色覚認識の研究に従事。
学生会員。



うちかわ けいじ
内川 恵二 1974年、東京工業大学工学
部電子物理工学科卒業。1975~1976年、英
国・キール大学コミュニケーション神経科学
科留学。1980年、東京工業大学大学院総合
理工学研究科物理情報工学専攻修了。
1980~1982年、カナダ・ヨーク大学心理学科
博士研究員。1982年、東京工業大学大学院
総合理工学研究科助手。1989年、同助教授。
1994年、同大学工学部像情報工学研究施設
教授。視覚情報処理、色覚、色彩工学などの
研究に従事。工学博士。正会員。