

色の視覚探索に及ぼす色差の効果

正会員 河合 雅仁 (女子美術大学非常勤講師) 正会員 内川 恵二 (東京工業大学)
名譽会員 川上 元郎 (女子美術大学大学院)

Effects of Color Difference on Visual Search in Color

Member Masayoshi Kawai (Women's College of Fine Arts)

Member Keiji Uchikawa (Tokyo Institute of Technology)

Honorary Member Genro Kawakami (Women's College of Fine Arts ; Graduate School)

ABSTRACT

Reaction time to search for a colored target among some colored distracters was measured. The number of distracters was varied in six steps. Two methods of presenting stimuli fixed area and fixed density were compared. There was no significant difference between these two methods. There was also no difference when the target color was exchanged with the distracter color. When the color difference between target and distracter colors was small, the reaction time increased with increasing number of distracters. This searching function could be approximated using a monotonically increasing function. On the other hand when the color difference was large, there was no influence from the number of distracters. The reaction time remained short. This searching function was approximated using a linear function with zero slopes. The present study on the effect of color difference suggests that a mechanism other than the color discrimination mechanism would contribute to a visual search for a colored target.

KEYWORDS : visual search, color difference, reaction time, OSA uniform color scales, color category

1. はじめに

色を用いて必要な情報を視野の中から探し出す行動は、日常生活の中で頻繁に行われている。この行動は、心理物理学では「視覚探索」とよばれ、研究されてきた。しかし、目標を探し出すためにどのような色覚メカニズムが用いられているのかは、まだほとんど明らかにされていない。

2. 実験原理

視覚探索の実験において、被験者は、「妨害刺激」の散在している中から「目標刺激」をできるだけ速く、正確に探し出せと要求される¹⁾。そして、目標刺激を探し出すまでの時間、すなわち反応時間が測定される。この時、妨害刺激の特徴と目標刺激の特徴が大きく異なると、被験者には目標刺激が妨害刺激の中から飛び出す(pop-out)ように見えるため、反応時間は短くなる。これは「並列探索」と呼ばれている。一方、妨害刺激の特徴と目標刺激の特徴とが良く似ていると、被験者は刺激画面の中で妨害刺激を一つ一つ見ながら目標刺激を探すため、反応時間は長くなる。これは「逐次探索」と呼ばれている。

そこで、並列探索と逐次探索とを実験的に区別するために、画面中に呈示される刺激の総数を変数として反応時間が測定される。目標刺激が妨害刺激の影響を受けない並列探索では、妨害刺

激の総数が多くなっても探索は速いままである。しかし、目標刺激と妨害刺激とが似ている逐次探索では、妨害刺激の総数が多くなると探索が遅くなる。そして、刺激の総数に対する反応時間の関数(探索関数と呼ぶ)をとることで、その傾きが0に近い場合は並列探索、0以上の正の場合は逐次探索として区別可能となる。

3. 目的

当研究では、色の視覚探索がどのような要因によって決まるのかを探る。そのため、色空間内で妨害刺激の色を目標刺激の色から離していく場合、逐次探索から並列探索へと移行する境界での、目標刺激の色と妨害刺激の色との色差や、これらの色が含まれているカテゴリーの違いを調べることが目的である。

4. 実験方法

4.1 実験方針

今回は、色の視覚探索の刺激条件による違いを調べるために、目標刺激の色を一色に限定し、刺激の密度、目標刺激が存在するかしないか、目標刺激の色と妨害刺激の色の入れ替えをパラメータとして、妨害刺激の総数に対する反応時間の変化が測定される。

4.2 装置と刺激

刺激の呈示には、暗室中に設置したカラーCRTモニタが用いられた。被験者とモニタとの視距離は頸台を用いて1mに固定された。また、目標刺激、妨害刺激とも直径視角0.4度の円形であり、一辺が視角9度の正方形の範囲内に、ランダムに配置されて呈示

本研究は東京工業大学にて行われた。

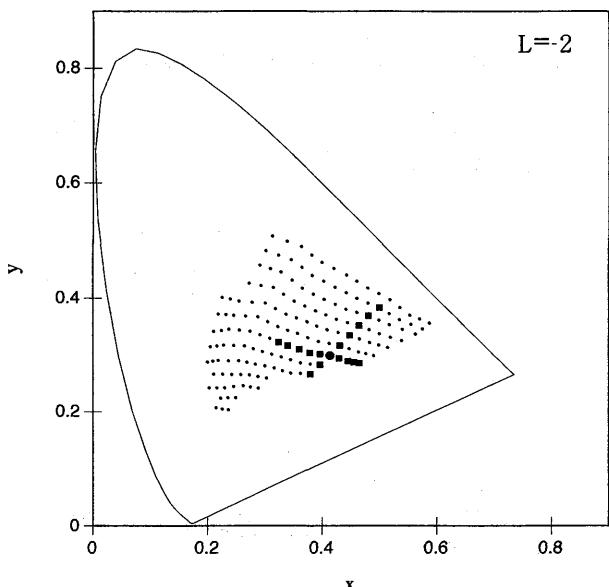


図1 $L=-2$ の色票の色度座標。・：OSA 均等色尺度に存在する色票、■：妨害刺激の色、●：目標刺激の色

Fig. 1 Chromaticity coordinate of color tips in $L=-2$. “・” means color tips which exist in the OSA-UCS, “■” means distracter color, “●” means target color.

された。なお、探索閾数を導出するために変化させる刺激の総数は、9, 25, 36, 49, 100, 144の6段階であった。

当研究では、目標刺激の色と妨害刺激の色との間の色差（刺激間色差と呼ぶ）を変化させ、さらに、カテゴリカルな色知覚と比較、検討を行う。そこで、研究室が多くデータを有しているOSA均等色尺度²⁾から目標刺激の色と妨害刺激の色が選ばれた。なお、OSA均等色尺度は、三つの軸、L軸(明るさ軸)、j軸(ほぼ黄-青方向の軸)、g軸(ほぼ赤-緑方向の軸)から構成され、知覚的な等歩度性が保証されている。目標刺激の色は赤($R: L=-2, j=0, g=-6$)が用いられた。また、妨害刺激の色は、刺激間色差を1単位ずつ変化させながらOSA均等色尺度の中に色票が存在する最大±5単位の範囲内で選ばれた。図1に、目標刺激の色が黒丸、妨害刺激の色が黒四角で示されている。

4.3 手続き

当実験では、目標刺激が存在する試行（目標刺激存在試行）と目標刺激が存在しない試行（目標刺激不在試行）とが半数ずつ混ざられてあった。それは、目標刺激が必ず存在するという被験者の思いこみを避けるためと、目標刺激不在の場合には逐次探索が行われているかどうかを確かめることができるためである。

また、探索非対称性³⁾⁴⁾を調べるために、目標刺激の色と妨害刺激の色とを入れ替えた試行が混ぜられている。妨害刺激が赤の場合を通常試行と呼び、入れ替えた試行を反転試行と呼ぶことにすると、反転試行の中では、目標刺激不在試行は行われなかった。

さらに、刺激の総数を変化させながら刺激を画面に表示するには、二通りの方法が考えられる。一方は、一定の範囲内に刺激を表示し、刺激の総数が増加すると刺激の密度が増す場合（表示範囲一定条件）である。他方は、一定の密度で刺激を表示し、刺激の総数が増加すると刺激を表示する範囲が拡大する場合（刺激密度一定条件）である。したがって、手続きの上では、これら二つの表示条件が同数ずつ混ざられてあった。

4.4 刺激呈示の方法

被験者からの応答は以下の三段階で得られる。まず、被験者は、目標刺激が存在したと判断するか、または、その刺激画面には目標刺激が存在しなかったと判断し、判断と同時に手元のキーボードのスペースバーを押す。刺激の呈示からこの応答までの時間を反応時間とする。続いて、応答の種類、すなわち、目標刺激を見つけたのか、目標刺激は存在しないと判断したのかを区別するためと、応答の間違いをキャンセルするために、三つのキーの一つを押す。さらに、「目標刺激を見つけた」という応答に対しては、刺激間色差が小さい場合、被験者が目標刺激の位置を正しく特定できていたのかを確かめるために、目標刺激と思った刺激位置を被験者に指示させる手続きが加えられた。なお、被験者の応答が正解かどうかのフィードバックは行われていない。

当実験に参加した被験者は色覚正常者3名であった。

5. 結果

結果には、1条件10回の試行の繰り返しのうち、8回以上の試行で正しく答えることができた条件が含まれておらず、3回以上誤りが生じた条件は測定不能として含まれていない。ここでは、典型的な傾向として被験者MK(男性、28歳、色覚正常、眼鏡使用)の通常試行の結果が図2に示されている。図では、横軸に刺激の総数、縦軸に反応時間が示されている。また、目標刺激存在と不在試行の探索閾数がそれぞれ黒シンボルと白シンボルとで示され、刺激間色差の大きさの違いはシンボルの形状で示されている。ただし、グラフが重なるのを避けるために、目標刺激不在試行の探索閾数が1000msだけ、上方向にずらされている。なお、刺激間色差の方向は、目標刺激の色を基準として、妨害刺激の色がOSA色空間上の軸に沿う方向で正の方向に存在するならば+、負の方向に存在するならば-と表示されている。

ここでは、大きく分けて4タイプの結果が得られた。

第1のタイプは、目標刺激存在試行、目標刺激不在試行とともに刺激間色差の大きさによって探索閾数が異なり、その傾きが線形に変化している。このタイプは、刺激密度一定条件で、色差がj+方向とj-方向、g+方向の3つの条件で得られた。

第2のタイプは、目標刺激存在試行では刺激間色差の大きさによる探索閾数の違いが見られず、その傾きが零に近づいている。一方、目標刺激不在試行では、第1のタイプと同様、刺激間色差の大きさによって探索閾数が異なり、その傾きが線形に変化している。このタイプは、表示密度一定条件で色差がL-方向の条件で得られた。

第3のタイプは、目標刺激存在試行で刺激間色差の大きさによって探索閾数が異なり、その傾きが線形に変化している。また、目標刺激不在試行でも刺激間色差の大きさによって探索閾数が異なるが、その傾きは非線形に変化している。このタイプは、表示範囲一定条件で色差がj+方向とj-方向、g+方向とg-方向、表示密度一定条件のg-方向の5つの条件で得られた。

第4のタイプは、目標刺激存在試行では刺激間色差の大きさによる探索閾数の違いが見られず、その傾きが零に近づいている。一方、目標刺激不在試行では、第3のタイプと同様、刺激間色差の大きさによって探索閾数が異なり、その傾きは非線形に変化している。このタイプは、表示範囲一定条件で色差がL+方向とL-方向、表示範囲一定条件で色差がL+方向の3つの条件の結果で得られた。

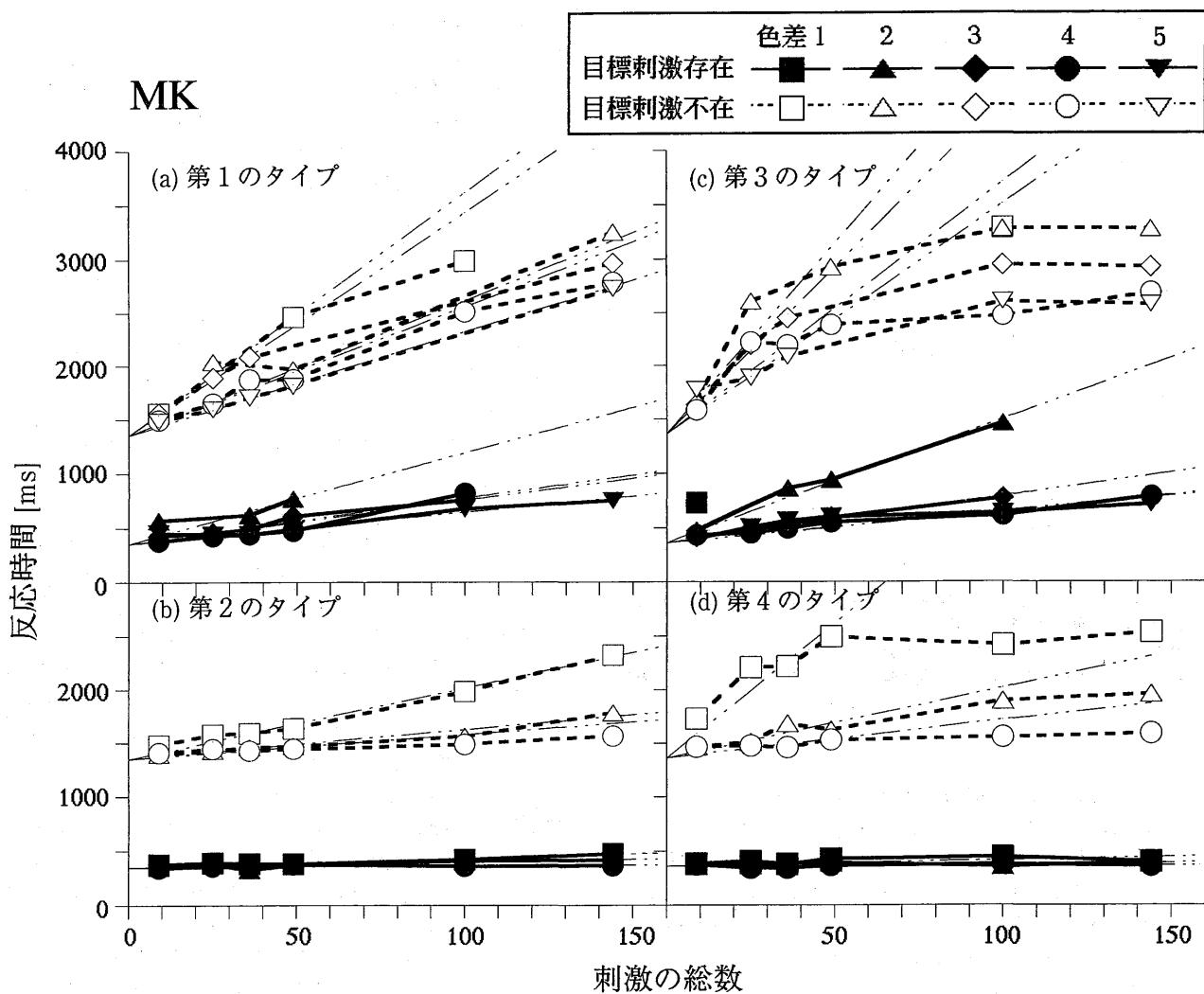


図2 探索関数の代表例(被験者MK)。縦軸は反応時間(単位 ms)、横軸は画面に呈示された刺激の総数。(a)第1のタイプの例: 刺激密度一定条件、色差方向 j^+ ; (b)第2のタイプの例: 刺激密度一定条件、色差方向 L^- ; (c)第3のタイプの例: 呈示範囲一定条件、色差方向 j^+ ; (d)第4のタイプの例: 呈示範囲一定条件、色差方向 L^+

Fig. 2 Examples of search function. (a) Type 1 : Stimulus density constant, color difference direction = j^+ axis, (b) Type 2 : Stimulus density constant, color difference direction = L^- axis, (c) Type 3 : Stimulus range constant, color difference direction = j^+ axis, (d) Type 4 : Stimulus range constant, color difference direction = L^+ axis.

6. 考察

6.1 被験者固有の方略

結果の項で示したとおり、探索関数は4つのタイプにまとめられた。これは、それぞれのタイプの中で被験者が固有の方略を用いている可能性が考えられる。しかし、被験者に対して、「目標刺激の色を憶える」、「刺激画面が呈示されたら、目標刺激ができるだけ早く、かつ正確に探し出す」という教示が全ての試行で与えられているので、その可能性は否定されると考えられる。むしろ、4つのタイプにまとめられたとはいって、そのまとまり方が系統的ではないことから、被験者の方略はどの条件でも共通していると考えられる。

6.2 呈示方法の差異

また、呈示範囲一定条件と呈示密度一定条件との違いは、刺激間の距離の違いである。従って、刺激同士の色対比の度合いの違いなどとして表れることが予測される。しかし、両条件の間で系統的な差は見いだされなかったので、呈示の方法による差は無

いと考えられる。

6.3 探索非対称性

さらに、通常試行と反転試行との間においても系統的な差は見いだされなかった。従って、探索非対称性も無いと考えられる。

6.4 反応時間の検討

ここで、反応時間の特性を定量的に検討するために、探索関数の直線近似を行うことが考えられた。まず、3名の被験者それぞれについて、並列探索となった条件の探索関数を傾き0の直線で近似し、そのy切片を求めた。このy切片はそれぞれの被験者が最も速く応答した場合の反応時間(最短反応時間と呼ぶ)と考えられる。次いで、切片を最短反応時間に固定して、目標刺激存在試行と目標刺激不在試行それぞれの探索関数の直線近似を行った。

その結果、目標刺激存在試行では、全ての条件で探索関数はほぼ直線で近似できた。その場合、刺激間色差が小さければ探索関数が正の傾きを持ち、刺激間色差が大きくなるにつれ、傾きが小さくなつた。これは、刺激間色差が小さい場合は逐次探索となり、

刺激間色差が大きい場合は並列探索となつたためと考えられる。これは、Nagy & Sanchez⁵⁾の結果と一致する。

一方、目標刺激不在試行では、刺激間色差が大きい場合、直線では近似できない場合が多かった。一般には、目標刺激不在試行では呈示された全ての刺激の探索が必要なため、探索関数は逐次探索となるといわれている¹⁾。しかし、今回の結果では刺激総数が49の場合を境にして探索関数の傾きが小さくなつた。これは、刺激総数が増すと被験者は必ずしも刺激を1つ1つ探索するのではなく、ある数の刺激をまとめて見るためと考えられる。したがつて、直線で近似はできないものの、一種の逐次探索となっていると考えられる。

さらに、刺激間色差が大きい場合、目標刺激不在試行であっても探索関数が並列探索となる結果がしばしば見受けられた。これは、実験手続きとして、被験者が目標刺激の色を記憶しているため、探索すべき画面が呈示されるとすぐに、目標刺激が存在しないとわかるためと考えられる。

6.5 OSA 均等色尺度による検討

色による探索の場合、目標刺激の色と妨害刺激の色との色差が考えられる。この場合は、色差が大きい時は並列探索となり、色差が小さい時は逐次探索となることが予測される。また、色の視覚探索では、必ずしも色差弁別の作業とは同じメカニズムが用いられているのではないことも明らかにされている⁵⁾ので、色相や

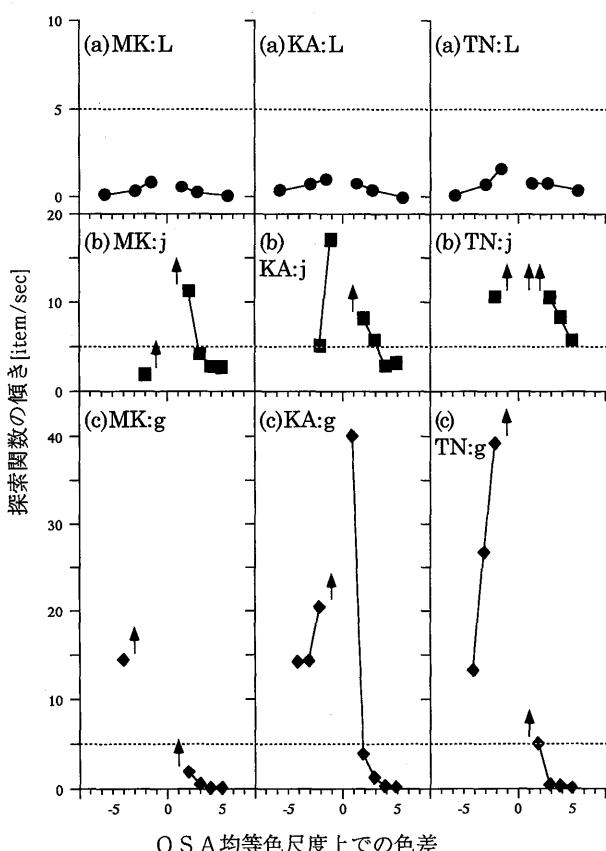


図3 刺激間色差の大きさに対する探索関数の傾き（被験者 MK, KA, TN）。実験条件は通常試行で呈示範囲一定条件。縦軸は探索関数の傾き、横軸は OSA 均等色尺度上での色差。

Fig. 3 Slope of search function derived from stimulus range constant status, as a function of color difference in the OSA-UCS. Subject=MK, KA, TN. (a) Color difference direction = L axis, (b) j axis, (c) g axis.

明度、彩度などの属性の違いが影響しているとも考えられる。

図3に、各条件での探索が逐次探索となっているか並列探索となっているかを見るため、刺激間色差の大きさに対する探索関数の傾きの変化が示されている。ここでは、通常試行における呈示範囲一定条件の結果が、3名の被験者別 MK, KA および TN について、色差の方向が OSA 色空間の L 軸, j 軸, g 軸の方向別に示されている。また、横軸は正で+方向、負で-方向を意味している。探索関数の傾きが0であれば並列探索、正の値をとれば逐次探索である。しかし、必ずしも探索関数の傾きが0とならなくても、5 ms/item 以下の探索は並列探索と考えられるので¹⁾、逐次探索から並列探索への目安として 5 ms/item の位置が点線で示されている。さらに、測定不能となった条件が矢印で示されている。なお、L 軸方向の色差 1 単位は他の軸の $\sqrt{2}$ 倍の色差に相当するので、シンボルが他の軸の $\sqrt{2}$ 倍にずらして表示されている。

図3より、L 軸方向では刺激間色差が実験で用いた最小値の1の場合でも並列探索となつた。しかし、j, g 軸方向では刺激間色差が小さい場合は逐次探索となつた。さらに、逐次探索から並列探索へ移行する「臨界色差⁵⁾」は、L, g 軸の方向によって異なり、均等色尺度とは比例しなかつた。これは、色の視覚探索において用いられるメカニズムは、均等色尺度の基となっている色弁別メカニズムだけではないと考えられる。これは、Nagy & Sanchez⁵⁾の結果とも一致する。

6.6 色の見えによる検討

ここで、刺激間色差の各方向における、目標刺激の色と妨害刺激の色との色みの違いを考えると、j+方向、j-方向では赤とは異なる色相へ変化し、g+方向では、彩度が下がって無彩色へと変化する。しかし、g-方向では、彩度が上がるものの、色相の変化はない。この色みの違いが視覚探索に影響を与えているとも考えられる。

ところで、色は範疇（カテゴリー）的にまとまりとして知覚されることが指摘されている^{6,7)}。前述の色みの違いは、すなわちカテゴリーの違いとも考えられる。したがつて、色の視覚探索においても色をカテゴリカルに知覚する視覚メカニズムが機能している可能性が考えられる。この可能性は Smallman & Boynton⁸⁾によって否定されているが、彼らの結果は逐次探索の結果を検討しただけなので、並列探索では、カテゴリカルな色知覚の影響を受けることも考えられる。この点については、目標刺激色を増やして調べる必要がある。

7. おわりに

OSA 均等色尺度上での刺激間色差の方向によって、同じ色差の大きさでも妨害刺激の中から目標刺激を見つけだす時間は異なり、均等色尺度とは比例しないことがわかった。

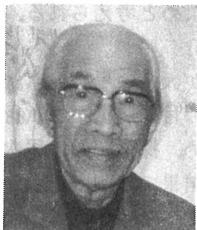
また、Nagy & Sanchez⁵⁾が有彩色の目標刺激の色と白色の妨害刺激を用いて定めた臨界色差が、目標刺激、妨害刺激とも有彩色の場合でも、刺激間色差の方向によっては求めることが可能であることがわかった。

参考文献

- (1) A. M. Treisman and G. Gelade : A Feature Integration Theory of Attention, Cog. Psy., 12 (1980), pp.97-136
- (2) D. L. MacAdam : Uniform Color Scales. J. Opt. Soc. Am., 64-12, pp.1691-1702 (1974)
- (3) A. M. Treisman and S. Gormican : Feature Analysis in

- Early Vision : Evidence From Search Asymmetries, Psy. Rev., 95-1, pp.15-48 (1988)
- (4) A. M. Treisman and J. Shouther : Search asymmetry : A diagnostic for preattentive processing of separable features, J. Exp. Psy. : General, 114-2, pp.285-310 (1985)
 - (5) A. L. Nagy and R. Sanchez : Critical color difference determined with a visual search task, J. Opt. Soc. Am. A, 7-7, pp.1209-1217 (1990)
 - (6) K. Uchikawa and R. M. Boynton : Categorical color perception of Japanese observers : Comparison with that of Americans, Vision Res., 27, pp.1825-1833 (1987)
 - (7) 小松英彦 : 大脳高次レベルでの色情報処理, VISION, 5, 183-189 (1993)
 - (8) H. S. Smallman and R. M. Boynton : Segregation of basic colors in an information display, J. Opt. Soc. Am. A.7-10, pp.1985-1994 (1990)

(受付日1997年7月16日／採録日1997年9月4日)



かわかみ げんろう
川上 元郎 (名誉会員)

女子美術大学大学院

〒228 神奈川県相模原市麻溝台1900

大正9年4月8日生まれ。昭和16年長岡工業学校電気工業科卒業、通信省電気試験所、財団法人日本色彩研究所、東京工芸大学教授を経て、現在、女子美術大学大学院教授。色の感情表現、色光の描写、カラーオーダーシステムの研究に従事。照明学会、色彩学会、日本照明委員会、ISCC等所属。工学博士、東京工芸大学名誉教授。昭和55年照明学会賞、昭和60年藍綬褒章、平成2年勲五等双光旭日賞受賞。



かわい まさよし
河合 雅仁 (正会員)

昭和41年3月15日生まれ。平成3年東京工芸大学工学部卒業、平成5年同大学大学院電子工学専攻修了、平成8年東京工業大学大学院総合理工学研究科博士後期課程単位取得退学。現在、女子美術大学芸術学部非常勤講師。

修士(工学)、照明学会、色彩学会会員。



うちかわ けいじ
内川 恵二 (正会員)

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

昭和25年12月30日生まれ。昭和49年3月東京工業大学工学部電子物理工学科卒業、50年～51年英国キール大学コミュニケーション神経科学学科留学、55年3月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博士課程修了。カナダ、ヨーク大学博士研究員を経て、現在、東京工業大学工学部像情報工学研究施設教授。専門は視覚情報処理、色覚認識。日本視覚学会、日本光学会、色彩学会、OSA、ARVO等所属。工学博士。昭和60年照明学会研究奨励賞、昭和62年光学論文賞受賞。