

瞬間呈示の多色視覚探索課題にみる色のカテゴリー性の役割

横井 健司***・内川 恵二*

*東京工業大学大学院総合理工学研究科 〒226-8502 横浜市緑区長津田町 4259

**現所属：独立行政法人産業技術総合研究所人間福祉医工学研究部門 〒305-8566 つくば市東 1-1-1 つくば中央第 6

Role of Color Categorization Revealed by Briefly Flashed Heterochromatic Visual Search

Kenji YOKOI*** and Keiji UCHIKAWA*

*Interdisciplinary Graduate School of Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology, 4259 Nagatsuta, Midori-ku, Yokohama 226-8502

**Present affiliation: National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Tsukuba Central 6, 1-1-1 Higashi, Tsukuba 305-8566

Our previous studies showed that categorical color perception was a crucial factor especially in heterochromatic visual search, although many previous studies claimed that the color difference between a target and distractors was the dominant factor in color visual search. In this experiment, we investigated the temporal properties of briefly flashed heterochromatic visual search to reveal the role of color categorization. Twelve disks were displayed briefly for 50, 100, 200 ms with a target cue. Color categories of disks were identified in separate sessions by categorical color naming. Our results showed that the search performance increased even in 50 ms with fewer a number of disks in the same category as the target while the color difference of all disks was constant. Moreover, our model suggested that color categorization was completed within 100 ms, which means that the role of color categorization is to process enormous color information instantly and efficiently.

Key words: categorical color perception, visual search, heterogeneity

1. 序 論

われわれ人間は外界から得る情報の多くを視覚に頼っているといわれるが、さまざまな刺激が混在する視野内から注目すべき対象を素早く正確に見つけ出す視覚探索のメカニズムは、視覚情報処理にとって欠くことのできない重要な機能のひとつである。この視覚探索についてはこれまでも多数の研究が行われてきているが、その中でも色度特性に関しては、ターゲットとディストラクターの相対的な色差が探索のパフォーマンスを決定するという報告や^{1,2)}、ターゲットとディストラクターが色空間内で線形に分離できることでポップアウトするという線形分離性 (linear separability) が考えられてきた^{3,4)}。しかし、これらの研究で用いられてきた刺激構成は比較的単純なものも多く、われわれの日常のように多彩なディストラクターが混在する状況においても色差に依存するのかどうかは大きな疑問であった。

このような背景から、筆者らは、多彩な刺激が混在する多色視覚探索課題を用い、刺激の色が探索パフォーマンスにどのように影響するのかを検討してきた⁵⁻⁸⁾。実験の結果、ターゲットとディストラクター群の間の相対的な色差関係を等しく保ち、かつターゲットとディストラクターを線形分離可能にしたにもかかわらず、探索時間が大きくばらついたことから、多色視覚探索のパフォーマンスが色差や線形分離性だけでは決まらないことが明らかとなった。そして、さまざまな色を赤や青というようにカテゴリー化して知覚するカテゴリーカル色知覚が、多色視覚探索に大きく影響していることを見出した。具体的には、お互いの色差は一定であってもカテゴリー的には大半が緑と知覚されるような条件では、同じく緑とカテゴリー化されるターゲットは探索が困難であったが、緑以外 (例えば青) にカテゴリー化されるターゲットは容易に検出が可能であった。すなわち、ターゲットと同じ色カテゴリーに分類されるデ

E-mail: k.yokoi@aist.go.jp

イストラクターが刺激内に多数含まれるほど探索時間が長くなり、ターゲットの色カテゴリーに属するディストラクターの数が少ないほど探索時間が短くなる傾向がみられた。

この多色視覚探索に対するカテゴリカル色知覚の影響に対して、筆者らは、カテゴリカル色知覚モデルを提案した^{5,6)}。このモデルでは、(1) 刺激全体の中からターゲットの属する色カテゴリーの刺激を並列的、瞬間的に抽出し、(2) その抽出された対象をもとに逐次的にターゲットを探し出す、という2段階のプロセスを想定している。しかし、これまでの実験では、被験者がディストラクター内からターゲットを探し出すまでの探索時間を測定し、その間は刺激も呈示され続けられたため、特に(1)で仮定しているような色カテゴリーに基づいた刺激の瞬間的な抽出が行われているのかどうか、より詳細に検討する必要がある。

顔や形、文字など物理的には無数の種類がある対象を、「笑顔」や「数字」などのようにカテゴリーとして分類するメカニズムは、人間の脳情報処理の根本でもある⁹⁻¹¹⁾。色のカテゴリー性については、生得的あるいは経験的に形成された高次の色覚メカニズムであるとする考えがある一方¹²⁻¹⁴⁾、そのような色覚メカニズムは存在せず、色名のラベリングという言語的なメカニズムに起因するものであるという主張もある^{15,16)}。したがって、色名のラベリングができないような条件においても色カテゴリーに基づいた瞬間的な刺激の抽出がなされているならば、色のカテゴリー性がまさに色知覚メカニズムに起因することを強く支持するとともに、日常におけるさまざまな視覚刺激の認識や識別に関与していることを示唆することにもなる。

そこで本研究では、多色刺激の呈示時間を50, 100, 200 msの短時間に絞り、その間のターゲット正答率を測定することで、色カテゴリーに基づいた刺激の瞬間的絞り込みの可能性や、その時間的性質について明らかにすることを目的とした。加えて、色のカテゴリー性が果たす役割についても検討した。

2. 実 験

2.1 刺 激

多色視覚探索に対する色のカテゴリー性の影響を求めるためには、色差による影響を統制する必要がある。そのため、本研究では、隣接する色票間の知覚色差が均等であるOSA均等色空間を用いて刺激の色差を統制した^{17,18)}。各試行における多色刺激は常に12色1組で構成されるが、これらの12色はOSA均等色空間内でFig.1のような構造をもつ。図は多色刺激の中心色度(×印)を(L,j,g)=(0,4,0)とした例であり、中心色度の最近傍(色差2)の色度12点が1組として呈示される。これらは色空間内では中心色度から半径2の球体表面を構成するような色度分布となるが、中心色度そのものは含まれない。色度分布の構成は全条件において同じであり、この球体状の色度分布の中心色度を、Fig.2に示すように広範な色相・彩度・明度のもとに網羅的に設定(計50組)することで、色差を統制したままさまざまな色度条件の設定を行った。

刺激は、暗室内に設置された19インチCRT(NANAOFlexScan T765)上に呈示され、被験者は顎台から視距離57cmで観察した。刺激の配置をFig.3に示す。各刺激は直径1°のディスクで、12色1組の刺激が半径4°の円周上

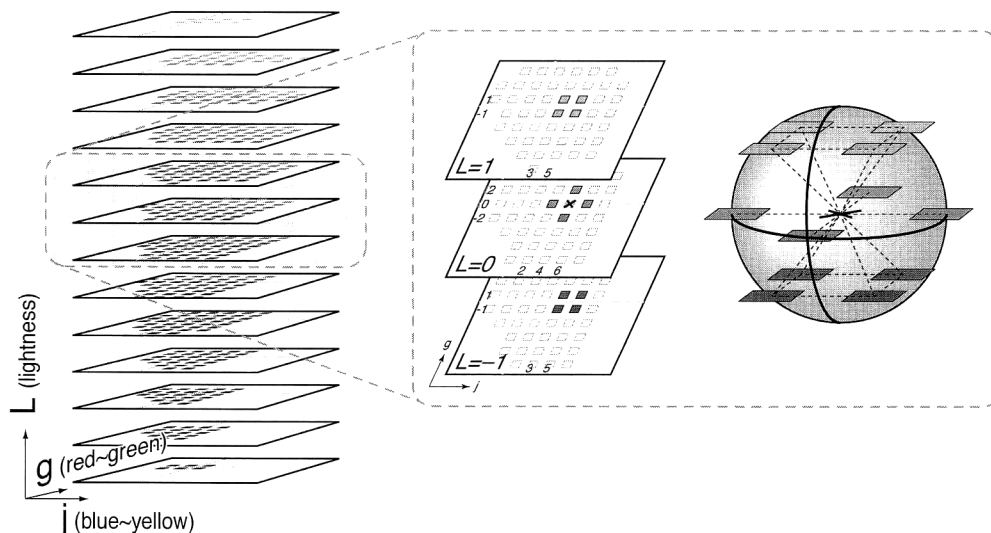


Fig. 1 Structure of a set of stimuli in the OSA UCS. A set of 12 chromaticities (filled squares) constructed a sphere of 2 OSA distance in radius to enclose the central chromaticity (cross symbol).

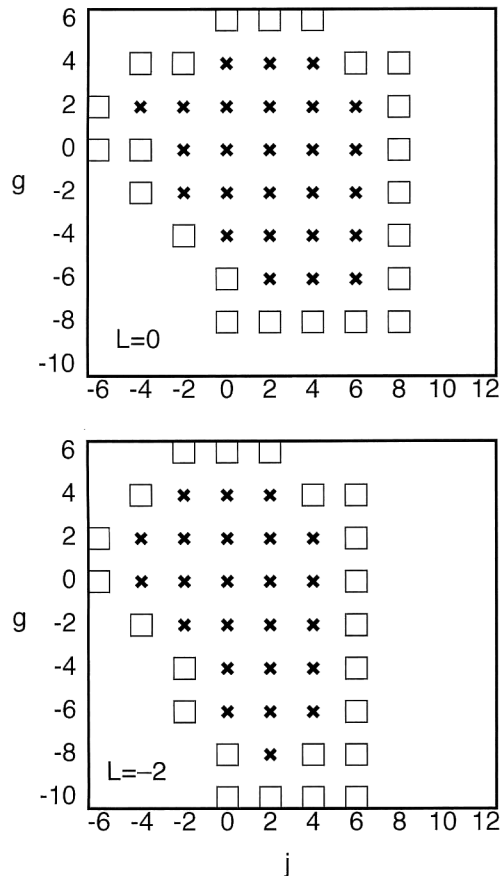


Fig. 2 Tested chromatic conditions. Central chromaticities (cross symbols) for a total of 50 sets are shown in the OSA UCS. Chromatic conditions were selected to cover all hues and saturations.

に等間隔で呈示された。この 12 色のうち、中心色度と同一 L 軸面上で j または g 軸の異なる色度 4 点のいずれかひとつをターゲットとし、これを中心にも呈示することでターゲット教示刺激とした。すなわち、Fig. 1 の例 (中心色度 $(L,j,g) = (0,4,0)$) では、 $(L,j,g) = (0,2,0)$, $(0,4,2)$, $(0,4,-2)$, $(0,6,0)$ のいずれかをターゲットとした。したがって、ディストラクター群 (50 組) とターゲット (各 4 種) の組み合わせは、全体では 200 条件となる。12 個のディスクの配置およびターゲット位置は、毎回ランダムに設定された。

刺激の背景は灰色で $(L,j,g) = (-1,0,0)$ 25.2 cd/m^2 とし、これを基準として、OSA 色度を CRT 上にシミュレートして呈示した。

2.2 手 続 き

被験者は、実験開始時に灰色背景に 3 分間の明順応を行った。各試行では、被験者がボタンを押した後、画面中央に固視点が 1 秒間呈示され、固視点が消えてから 1 秒後に、Fig. 3 に示される 12 個のディスクとターゲット教示刺激

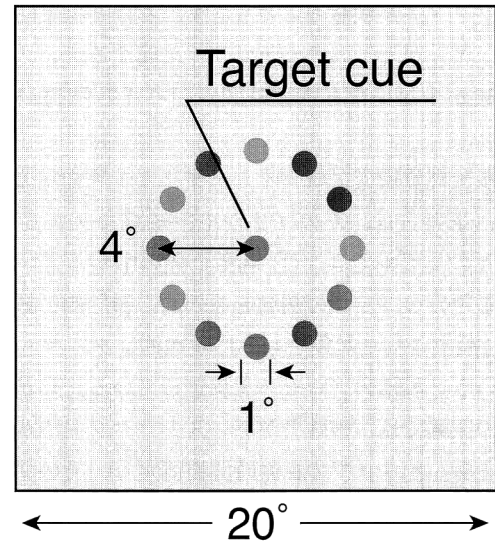


Fig. 3 Stimulus display. A set of 12 chromaticities were presented in circular locations on a gray background. A target cue was shown in the center simultaneously. Each disk was 1° in diameter.

が同時に呈示された。呈示時間は 50, 100, 200 ms の 3 条件がランダムに組み合わせられ、各ディスクを呈示時間後に黒色ディスクによりマスキングすることで残像を抑えた¹⁹⁾。被験者は、中心に呈示されるターゲット教示刺激と同じディスクを円周上に並べられた 12 個のディスクの中から探し出すように教示され、12 個のうちいずれかを強制的に選択応答した。正答に対しては、音声によるフィードバックが与えられた。

なお、通常の視覚探索課題では、ターゲット教示は探索刺激よりも前に呈示されることが多いが、本実験では、ターゲット教示の記憶が色のカテゴリー性に与える影響^{20,21)}を排除するために、探索刺激とターゲット教示を同時に呈示した。

1 セッションは、200 色度条件と 3 呈示時間条件を合わせて 600 試行からなり、これを各被験者 10 セッションずつ行った。なお、全被験者は、本実験の前に十分な練習試行を行った。被験者は男性 3 名 (うち 1 名は筆者) で、視力および色覚正常である。

2.3 カテゴリカルカラーネーミング

視覚探索実験とは別のセッションにおいて、各 OSA 色度がどの色カテゴリーとして知覚されるのかを調べるために、基本 11 色 (赤・緑・青・黄・紫・橙・茶・桃・白・灰・黒)²²⁾によるカテゴリカルカラーネーミング実験を行った。

被験者は、灰色背景への 3 分間の明順応の後、背景中央に短時間 (50, 100, 200 ms : 呈示順はランダム) 呈示され

るディスクを観察し、基本 11 色のいずれかで応答した。呈示されるディスクの色度は、OSA 色度で定義される 424 枚すべてを用いた。各被験者ごとのネーミング結果をもとに、刺激の色カテゴリーの解析を行った。

3. 結 果

実験結果を Fig. 4 に示す。縦軸はターゲットの正答率、横軸は、呈示刺激のうちターゲットと同じ色カテゴリーにネーミングされたディスクの個数を表している（以降、これをカテゴリカルセットサイズと呼ぶ）。例えば、ある刺激組において、12 個のディスクそれぞれに対するカテゴリカルカラーネーミングの結果が緑×6、黄×4、茶×2 であったとき、ターゲットが黄とネーミングされた条件ではカテゴリカルセットサイズは 4 となる。一方、同じ刺激組であっても、ターゲットが茶とネーミングされた条件では、カテゴリカルセットサイズは 2 となる。したがって、カテゴリカルセットサイズ 1 とは、ターゲットの色カテゴリーがターゲット以外には現れなかった条件であり、カテゴリカルセットサイズ 12 では、12 個すべてのディスクが同じ色カテゴリーとして知覚された条件を表している。

ターゲット正答率については、刺激呈示時間ごとに同じ呈示時間でのカテゴリカルカラーネーミング結果を用いて、各 200 色度条件のカテゴリカルセットサイズを求め、それによりカテゴリカルセットサイズごとの正答率を求めた。また、刺激呈示時間とカテゴリカルセットサイズを因子として分散分析を行った。

全被験者に共通してみられる傾向として、まず呈示時間が長くなるほど、ターゲット正答率が全体的に増加していることがわかる ($F_{2,22}=49.23, p<0.001$)。今回の条件では最大でも 200 ms と短時間であり、眼球を動かしてターゲットを積極的に探すことはできないが、それでも、呈示時間が長いほどより正確にターゲットを検出できることを示している。

色のカテゴリー性に関しては、非常に興味深い傾向として、カテゴリカルセットサイズが少ない (1~2) 条件で正答率が高く、それ以降カテゴリカルセットサイズが増加するにつれて、正答率も徐々に低下する傾向が有意に得られている ($F_{11,22}=12.83, p<0.001$)。もし色のカテゴリー性が探索に対してまったく影響しないならば、カテゴリカルセットサイズは正答率に対して無相関な軸となるため、グラフは水平になるはずである。また、刺激間の色差もすべて一定で線形分離も可能であるため、色差や線形分離性が要因となりこのような減少傾向が現れるとも考えられない。このカテゴリカルセットサイズに対する正答率の減少

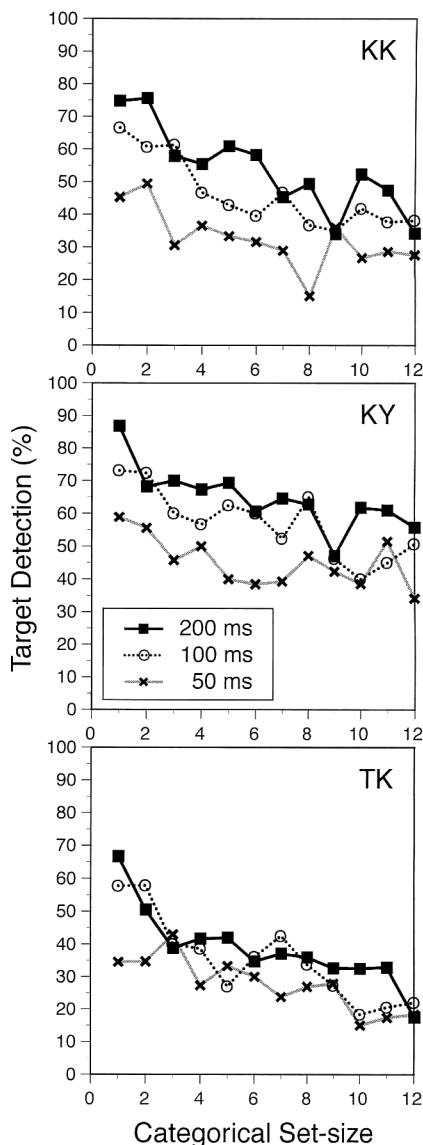


Fig. 4 Performances of target detection for three subjects as a function of the categorical set-size (the number of disks as the same color category as the target). Color categories of disks were identified by categorical color naming in separate sessions. Each symbol indicates the stimulus duration.

傾向がいずれの被験者、呈示時間においてもほぼ同様に現れていることは、色カテゴリーに基づいた刺激の瞬間的分離・抽出が行われていることを端的に示すものであり、わずか 50 ms の呈示時間においても、少なからず色のカテゴリー性が影響していることを意味している。

4. 考 察

4.1 時間特性のモデル解析

実験結果から、短時間呈示刺激に対しても色カテゴリーに基づいた刺激の絞り込みが行われていることは示された

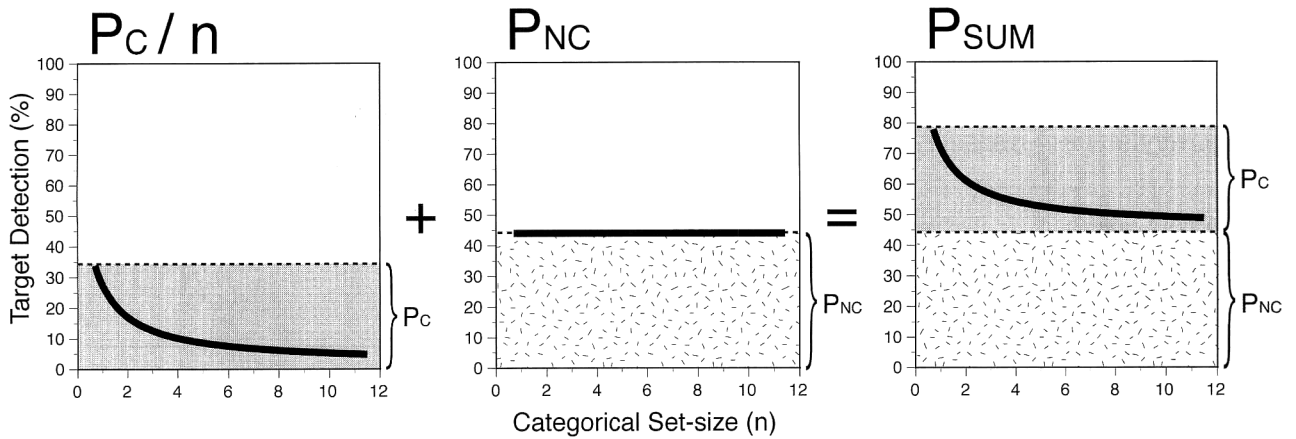


Fig. 5 Schematic model to analyze the temporal properties. A total performance of target detection (P_{SUM}) was assumed to be resolved into the categorical factor (P_C/n) and the non-categorical factor (P_{NC}) (e.g. color difference).

が、この色カテゴリーによる瞬間的絞り込みが多色視覚探索全体のパフォーマンスに対してどの程度寄与しているのか、また、それは時間的にどのような特性をもつのかということについては、本結果から直接的に議論することは難しい。そこで、簡単なモデルを立てて解析することとする。Fig. 5 にモデルの概要を示す。各被験者、呈示時間に対するターゲット正答率に対して、色のカテゴリー性が寄与する割合を P_C 、色のカテゴリー性以外の手掛かり（色差など）が寄与する割合を P_{NC} とし、これらの足しあわせにより全体のターゲット正答率 P_{SUM} が得られるとする。

最初に、色のカテゴリー性に基づく P_C について考える。仮にターゲットの並列的な抽出が色カテゴリーにのみ基づいて完璧に行われ、それ以外の手掛かりが一切使えないとした場合、カテゴリーカルセットサイズ 1 の条件ではターゲットの色カテゴリーはターゲット以外には現れないため、色カテゴリーによる刺激分離が行われればターゲットが確実に検出でき、正答率は 100% となる。同様に、カテゴリーカルセットサイズが 2 の条件では、色カテゴリーによる刺激の並列的分離の結果ターゲットに加えて、それと同じ色カテゴリーのディストラクターの計 2 つが候補として抽出される。しかし、色カテゴリー以外の手掛かりを使えないため、ランダムにいずれかが選択されるとすると、正答率は 50% となる。以下同様にして、カテゴリーカルセットサイズ n では正答率 $100/n$ (%) となる。ただし、これは色カテゴリーによる並列的抽出が常に完全に行われた場合の上限值であるので、色カテゴリーの寄与率 P_C で表現すると、色のカテゴリー性に基づく正答率は P_C/n (%) と表される。

次に、色のカテゴリー性以外に基づく要因 P_{NC} について考える。本実験では色差の条件をすべて一定に統制しているが、これは、色差が多色視覚探索に対して何ら影響しないことを意味するものではない。ターゲット教示刺激をも

とに 12 個のディスクの中からターゲットを探すということは、むしろターゲット教示刺激との色差が最も少ないディスクを探すことでもある。そのため、色差など色のカテゴリー性とは関係ない特徴量により、ターゲットは検出可能である。しかし、これら色カテゴリー以外に基づく正答率は、カテゴリーカルセットサイズとは独立なパラメーターであるため、Fig. 5 のように、横軸に対しては常に一定の割合を占めることになる。

以上 2 つのパラメーターに基づき、モデルから予測されるターゲット正答率 P_{SUM} (%) は次式で表される。

$$P_{SUM} = (P_C/n) + P_{NC} \quad (1)$$

なお、 n はカテゴリーカルセットサイズを表す。この式を χ^2 乗値でフィッティングした結果を Fig. 6 に示す。グラフの見方は Fig. 4 と同じである。そして、フィッティングにより得られたパラメーター P_C 、 P_{NC} を、刺激呈示時間の関数としてプロットしたものを Fig. 7 に示す。シンボルは被験者の違いを表す。

まず、色差など色カテゴリー以外に基づくターゲット正答率 P_{NC} (Fig. 7 右) については、被験者によって傾きや値の大きさに差はあるものの、呈示時間の増加に伴いほぼ一樣に上昇している。このことから、呈示時間が増えるのに従い、色差など色カテゴリー以外によるターゲットの絞り込みが徐々に正確になってくることがわかる。また、このことが、Fig. 4 でみられたように、呈示時間が増えるに従い全体的にターゲット正答率が上昇したことのおもな要因とも考えられる。

一方、色カテゴリーに基づくターゲット正答率 P_C (Fig. 7 左) に関しては、興味深い傾向がみられる。呈示時間が 50 ms から 100 ms へと長くなるのに伴い P_C も上昇していることから、この間に刺激の色カテゴリーによる分離が促進

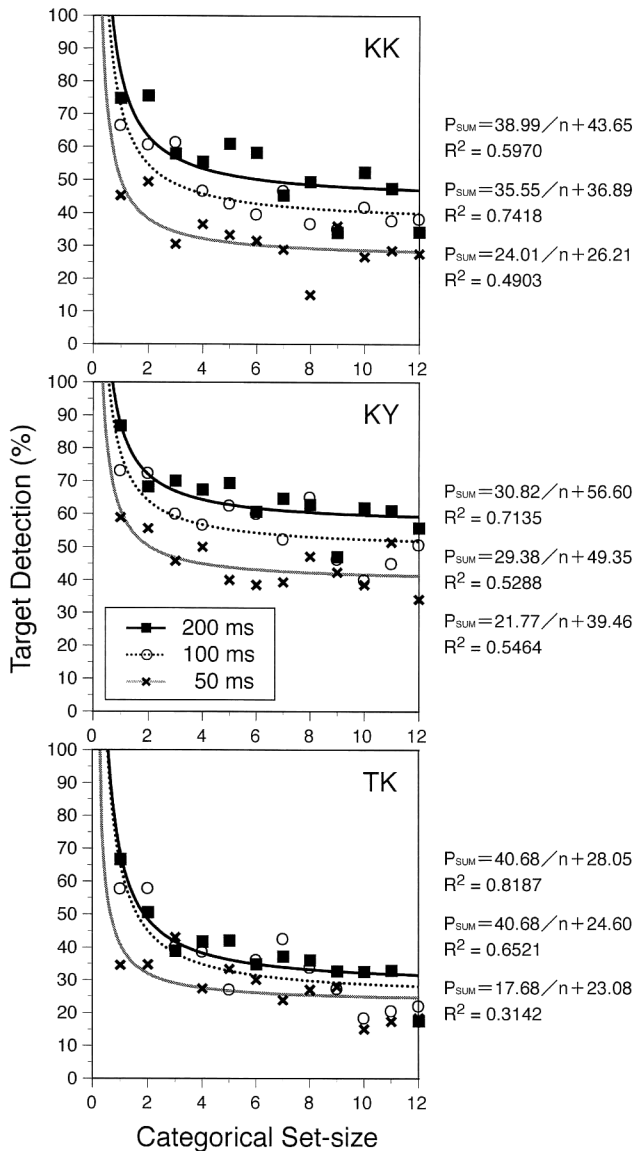


Fig. 6 Model fitting for obtained results. Model curves were fitted to minimize the χ^2 merit function. Each symbol indicates the stimulus duration.

されていることがうかがえるが、100 ms から 200 ms への変化では、被験者 KY, TK の P_c にほとんど差がみられない。すなわち、100 ms の段階ですでに、200 ms の条件と同等の色カテゴリー分類がなされていることになる。被験者 KK においても、上昇はしているものの、その傾きは緩やかになっている。以上の結果から、色カテゴリーによる刺激の分離・抽出がわずか 50~100 ms で（少なくとも一定の処理段階が）、すでに完了している可能性が示唆される。

Thorpe らは、自然画像を短時間呈示し、その中に動物が含まれるか含まれないかという分類課題を用いて事象関連電位 (ERP) を測定している^{23,24}。未知のさまざまな自然画像の中から動物の有無を判断するためには、単純な刺激

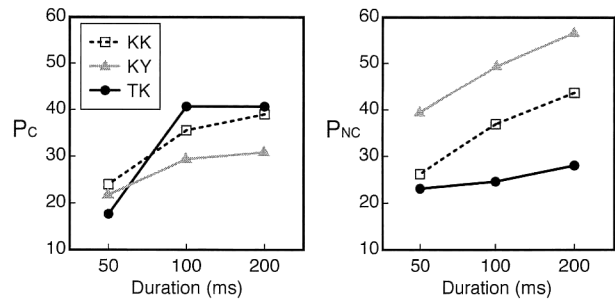


Fig. 7 Predicted temporal properties for the categorical factor (P_c) and the non-categorical factor (P_{NC}) as a function of the stimulus duration. Each symbol indicates the subject.

光の検出などとは異なり、高次の判断に必要な色の認識、形状の抽出など、さまざまな視覚処理が必要となるはずである。それにもかかわらず、有無判断に対する脳活動の差が刺激呈示からわずか 150 ms 程度で生じたことから、色の認識などの個々の処理も、150 ms 以内という短い間にフィードフォワード的に行われている可能性を報告している。刺激の種類や課題が異なるため、双方の時間特性を単純に比較することは難しいが、比較的高次の処理と考えられる色のカテゴリー判断がわずか 100 ms 以内で完了しているとしても、不思議ではないといえるだろう。

なお、解析に用いたモデルはかなりシンプルなものであり、色のカテゴリー性の効果や時間特性を明確にするために、色のカテゴリー性とそれ以外の手掛かりが互いに独立に用いられていることを前提としている。これらの手掛かりが相補的に作用し合う可能性も考えられるが、どのような相互作用があるのか今後検討することで、モデルの改良を行い、色カテゴリーメカニズムの特性について明らかにしていきたい。

4.2 視覚性の色カテゴリー化プロセスについて

われわれ人間は色をカテゴリー化して処理しているということが、これまでもカラーネーミング^{25,26} や弁別・同定実験²⁷、色記憶実験^{20,21} などで示唆されている。また、近年の生理学的実験からも、輝度や空間周波数などは独立に、さまざまな色相を処理している皮質ニューロンの存在が示唆されている^{13,14}。しかし、弁別課題に対して言語的な干渉を行うと色のカテゴリー性が消失するといった実験などから^{15,16}、色のカテゴリー性は色そのものをカテゴリー分類する色覚メカニズムによって生じるのではなく、色に対して「赤」といった色名をラベリングする言語的メカニズムにより現象的に現れるだけであり、そのために言語的干渉によりラベリングが阻害されるとカテゴリー性がなくなるとする主張もある。

色のカテゴリー性がどのようなメカニズムにより生じるのかという問題に対して、従来のカラーネーミング実験^{25,26)}は、まさに色の見えに対して色名をラベリングする課題そのものであり、色処理のメカニズムなのか言語的なメカニズムなのかを区別することはできない。また、Guestらの色同定実験²⁷⁾では、基本色に対応した色票の同定が非基本色よりも容易であるという結果が得られているが、刺激となる色票の選定にネーミングのしやすさ (nameability) という尺度を用いているため、これも色カテゴリーのメカニズムについては区別できない。

本実験では、解析の手段として別のセッションでカテゴリカルカラーネーミングを行ってはいいるが、探索課題においては色名のネーミングは関係していない。ターゲットとディストラクターの違いは OSA 色空間における色度の差 (色差) であり、また、nameability のように色カテゴリーをあらかじめ考慮した刺激設定ではなく、Fig. 2 に示すとおり一定の色差で網羅的に設定している。そのため、そもそも色名によりターゲットを絞り込む必然性はまったくない。また、あえて色名をラベリングしようと試みたとしても、わずかな呈示時間の間に、12 色ものディスクをネーミングするのはきわめて困難である。したがって、本実験で得られた色のカテゴリー性は、言語的なメカニズムでは説明できない。

また、色記憶実験などにおいては、時間的に色を記憶することでカテゴリー性が生じるという報告もある^{20,21,28)}。視覚探索課題においても、最初にターゲット教示刺激が呈示され、その後探索刺激が呈示される場合には、記憶されたターゲット手掛かりに色のカテゴリー性が付加されて、探索結果にもカテゴリー性が現れる可能性はある。しかし、本実験では、ターゲット教示手掛かりと探索刺激が同時に呈示されるため、記憶のメカニズムにより色のカテゴリー性が現れたとも考えられない。

以上のことから、本実験で得られた色のカテゴリー性は、言語的なメカニズムや記憶の影響ではなく、色知覚のカテゴリー化メカニズムそのものの存在を強く支持するものである。色に限らず、外界からのさまざまな情報をすべて細かく処理するのではなく、まず素早く大まかにカテゴリー分類し、必要に応じてより詳細に処理するということが、カテゴリー化メカニズムの本質であると考えられる。例えば、信号を見た場合、それが赤なのか青なのかということが重要であり、鮮やかな赤なのかオレンジに近い赤なのか、あるいは他の信号と同じ赤なのかということは、この場合必要のない情報である。本実験で示されたように、課題に対して必ずしも必要ではないのに刺激の絞り込みに色

のカテゴリー性が用いられ、かつ、それが非常に短時間に行われているという結果は、色情報を効率的に扱うための大脳情報処理システムとしてのカテゴリカル色知覚メカニズムの性質を表していると考えられる。視覚探索に限らず、色覚に関する研究は多数行われているが、色数や刺激構成が限られた実験室的な条件ではなく、さまざまな刺激が混在する現実的状况においてこそ、対象の認識や形状の切り出しなどに色のカテゴリー性が強く作用し、また、そのような実験条件を用いることで、カテゴリカル色知覚のメカニズムがより顕在化するのではないだろうか。

なお、色のカテゴリー性を扱った従来の実験では、おもに Berlin と Kay の基本 11 色²²⁾を用いて実験、解析が行われているが、この 11 色のカテゴリーが最適なのかどうか、あるいは探索刺激の構成や全体の色度分布に応じて動的に変化するかどうか、ということについては、今後の検討が必要である。

5. 結 論

瞬間呈示刺激により多色視覚探索に対する色のカテゴリー性の影響について実験を行った結果、わずか 50 ms の呈示刺激においても色カテゴリーに基づいた刺激の抽出が行われており、また、この抽出処理が 100 ms 以内に完了している可能性を示した。また、このような色のカテゴリー性は、言語的なメカニズムや記憶メカニズムにより生じるのではなく、色をカテゴライズする色知覚メカニズムから生じることが支持された。

文 献

- 1) R. C. Carter and E. C. Carter: "Color coding for rapid location of small symbols," *Color Res. Appl.*, **13** (1988) 226-234.
- 2) A. L. Nagy and R. R. Sanchez: "Critical color differences determined with a visual search task," *J. Opt. Soc. Am. A*, **7** (1990) 1209-1217.
- 3) M. D'Zmura: "Color in visual search," *Vision Res.*, **31** (1991) 951-966.
- 4) B. Bauer, P. Jolicoeur and W. B. Cowan: "Visual search for colour targets that are or are not linearly separable from distractors," *Vision Res.*, **36** (1996) 1439-1466.
- 5) 横井健司, 内川恵二: "不均一多色刺激を用いた視覚探索への高次色知覚の影響", *映像情報メディア学会誌*, **55** (2001) 1534-1538.
- 6) 横井健司, 内川恵二: "多色不均一ディストラクタ上の視覚探索における色カテゴリーの役割", *Vision*, **14** (2002) 1-12.
- 7) 横井健司, 内川恵二: "ターゲットの色カテゴリー内のセットサイズに依存した多色不均一視覚探索の効率", *光学*, **32** (2003) 629-632.
- 8) K. Yokoi and K. Uchikawa: "Categorical color mechanism mediates heterochromatic visual search," *J. Vision*, **3** (2003) 68a.
- 9) J. S. Bruner: "On perceptual readiness," *Psychol. Rev.*, **64**

- (1957) 123-152.
- 10) A. J. Calder, A. W. Young, D. I. Perrett, N. L. Etcoff and D. Rowland: "Categorical perception of morphed facial expressions," *Visual Cognition*, **3** (1996) 81-117.
 - 11) R. Campbell, O. Pascalis, S. B. Coleman, B. Wallace and P. J. Benson: "Are faces of different species perceived categorically by human observers?" *Proc. R. Soc. London B*, **264** (1997) 1429-1434.
 - 12) M. H. Bornstein: *Categorical Perception: The Groundwork of Cognition* (Cambridge University Press, Cambridge, 1987) pp. 287-300.
 - 13) H. Komatsu, Y. Ideura, S. Kaji and S. Yamane: "Color selectivity of neurons in the inferior temporal cortex of the awake macaque monkey," *J. Neurosci.*, **12** (1992) 408-424.
 - 14) Y. Xiao, Y. Wang and D. J. Felleman: "A spatially organized representation of colour in macaque cortical area V2," *Nature*, **421** (2003) 535-539.
 - 15) D. Roberson and J. Davidoff: "The categorical perception of colors and facial expressions: The effect of verbal interference," *Mem. Cognition*, **28** (2000) 977-986.
 - 16) M. Pilling, A. Wiggett, E. Ozgen and I. Davies: "Is color categorical perception really perceptual?" *Mem. Cognition*, **31** (2003) 538-551.
 - 17) D. L. MacAdam: "Uniform color scales," *J. Opt. Soc. Am.*, **64** (1974) 1691-1702.
 - 18) T. Indow: "A test of uniformities in the OSA-UCS and the NCS," *Color Res. Appl.*, **28** (2003) 277-283.
 - 19) E. S. Olds, W. B. Cowan and P. Jolicoeur: "The time-course of pop-out search," *Vision Res.*, **40** (2000) 891-912.
 - 20) R. M. Boynton, L. Fargo, C. X. Olson and H. S. Smallman: "Category effects in color memory," *Color Res. Appl.*, **14** (1989) 229-234.
 - 21) K. Uchikawa and H. Shinoda: "Influence of basic color categories on color memory discrimination," *Color Res. Appl.*, **21** (1996) 430-439.
 - 22) B. Berlin and P. Kay: *Basic Color Terms: Their Universality and Evolution* (University of California Press, Berkeley, 1969).
 - 23) S. Thorpe, D. Fize and C. Marlot: "Speed of processing in the human visual system," *Nature*, **381** (1996) 520-522.
 - 24) M. F. Thorpe, A. Delorme, C. Marlot and S. Thorpe: "A limit to the speed of processing in ultra-rapid visual categorization of novel natural scenes," *J. Cognitive Neurosci.*, **13** (2001) 171-180.
 - 25) R. M. Boynton and C. X. Olson: "Locating basic colors in the OSA space," *Color Res. Appl.*, **12** (1987) 94-105.
 - 26) K. Uchikawa and R. M. Boynton: "Categorical color perception of Japanese observers: Comparison with that of Americans," *Vision Res.*, **27** (1987) 1825-1833.
 - 27) S. Guest and D. VanLaar: "The effect of name category and discriminability on the search characteristics of colour sets," *Perception*, **31** (2002) 445-461.
 - 28) J. Huttenlocher, L. V. Hedges and J. L. Vevea: "Why do categories affect stimulus judgement?" *J. Exp. Psychol.: General*, **129** (2000) 220-241.