

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

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

Performance of Heterochromatic Visual Search Depended on the Set-Size of Target's Color Category

Kenji YOKOI and Keiji UCHIKAWA

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

It has been argued that in visual search, relative color difference between a target and distractors is a dominant factor, not the absolute chromaticities of the stimuli. We used heterochromatic stimuli with various chromaticities to investigate chromatic characteristics of visual search. It was found that the search time did not depend on the total set-size, but on the set-size of stimuli in the same category as the target. The present results suggest that heterochromatic visual search is mediated by the categorical color mechanism. Our categorical color search model can predict the present results.

Key words: categorical color perception, visual search, set-size effects, heterogeneity

1. はじめに

われわれは、日常生活において多彩な刺激の中から目標を探し出すという作業を頻繁に行っている。この視覚探索に関してはこれまでも多数の研究が行われてきているが¹⁾、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度の違い（色差）が重要であり、赤や緑といったいわば絶対的な色度については探索に与える影響はほとんどないと考えられてきた^{2,3)}。

一般的な視覚探索課題としては、一定のディストラクターの中から1つだけ異なるターゲットを探し出すという課題が多く用いられてきたが、このような刺激構成では1つだけ異なる刺激がすなわちターゲットであるため、純粋にターゲットを探し出すのではなく、単に刺激の中の特異点の検出を行っているにすぎないという指摘もある⁴⁾。冒頭にも述べたように、われわれの日常環境は多彩な刺激から構成されており、より日常的にわれわれが行っている視覚探索の特性を明らかにするためには複数のディストラクターが混在する多色不均一刺激を用いる必要がある。このよ

うな背景から、筆者らはこれまで、多色不均一刺激による視覚探索特性について実験を進めてきた^{5,6)}。その結果、OSA (Optical Society of America) 均等色空間内でターゲットとディストラクター群の相対的な色度構造を一定にすることで色差の要因を統制したにもかかわらず、色空間内の絶対的な色度により探索時間に大きな差が生じた。

不均一な刺激による視覚探索に関して近年いくつかの報告がなされてはいるが、やはり色差構造が重要であるとされる線形分離性モデルも提案されている一方⁷⁾、Nagy と Winterbottom はより高次の色覚処理の関与を示唆している⁸⁾。彼らの報告では、具体的な高次色覚処理の特性については明らかになっていないが、色覚に関する他の心理物理学^{9,10)} および生理学研究¹¹⁾ などにより、高次の処理メカニズムとして色をカテゴリーに分けるといふカテゴリーカル色知覚メカニズムの存在が示唆されている。筆者らは、OSA 色空間の全色票に対して、基本 11 色（赤・緑・青・黄・紫・橙・茶・桃・白・灰・黒）によるカテゴリーカルカラーネーミング実験と視覚探索課題を行うことでカテゴリーカル色知

E-mail: yokoi@ulab.ip.titech.ac.jp

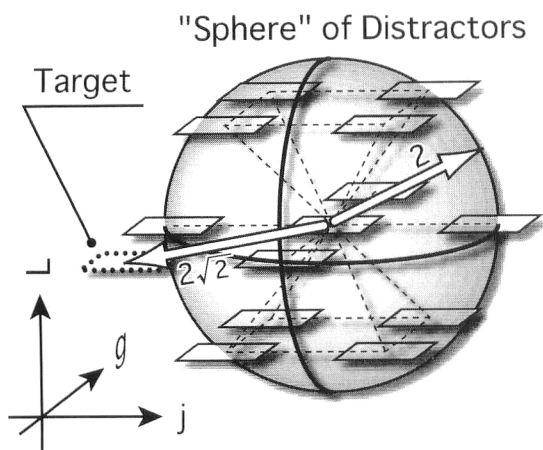


Fig. 1 Structure of stimuli in the OSA uniform color scales (UCS). 13 chromaticities in a set construct a spherical structure. A target is located outside of this sphere.

覚と探索時間との関係を調べた結果、ターゲットの色カテゴリーと同じカテゴリーに属するディストラクターが刺激中に占める割合が多くなるほど探索時間が増す傾向を見出した^{5,6)}。

この実験結果をもとに、筆者らは、多色不均一視覚探索のプロセスモデルとして categorical color search model を提案している。本モデルでは、(1) 刺激全体の中からターゲットを含む色カテゴリーの刺激を並列的に抽出し、(2) 抽出されたカテゴリーの刺激の中から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。そのため、ターゲットの属する色カテゴリー内のディストラクターが多くなるほど2段階目の探索処理が困難になるが、それ以外の色カテゴリーのディストラクターは探索時間にほとんど影響しないことが予測される。しかし、これまでの実験では刺激の総数（セットサイズ）が一定であったため、上記の予測を十分に検証することができなかった。

そこで本研究では、刺激のセットサイズを変えて探索実験を行うことで、多色不均一視覚探索とカテゴリーカル色知覚の関係についてより詳細に調べるとともに、提案モデルの妥当性について検討した。

2. 実 験

2.1 刺 激

本実験では、色差を統制するために、隣接する色票間の知覚色差が等しい OSA 均等色空間を用いた¹²⁾。刺激の相対的な色度構成は Fig. 1 のようになっている。ディストラクターはある一点を中心とし、最近傍（色差 2）の 12 色度とあわせて計 13 色度からなる。これらは、色空間において図のような球体状の色度分布を構成し、この中心から色差

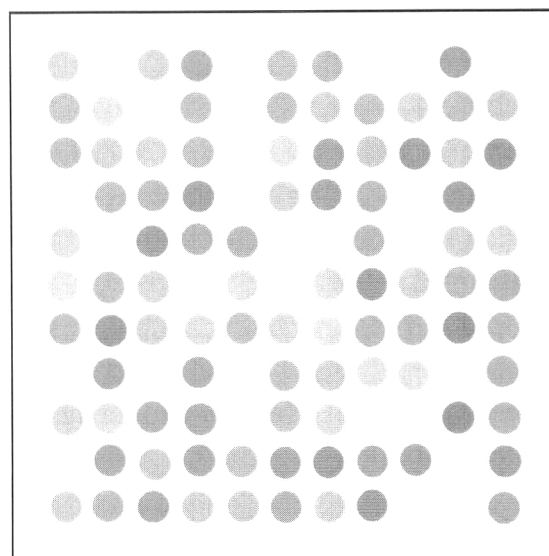


Fig. 2 Stimulus display. 66, 92, or 118 disks are displayed randomly in a virtual 11×11 array.

$2\sqrt{2}$ に位置する第 2 近傍の色度のひとつをターゲットとする。この構成を色空間内のさまざまな色相、彩度、明度に設定することで、ターゲットやディストラクター群の色差関係を常に一定に保ちつつ絶対的な色度を変えることが可能となる。

刺激は暗室内の CRT (NANA O FlexScan T765) 上に呈示され、被験者は顎台により視距離 57 cm で観察した。セットサイズ条件として 66, 92, 118 の 3 条件を用いた。刺激画面はそれぞれ 13 種のディストラクター 5, 7, 9 枚ずつとターゲット 1 枚により構成され、11×11 の格子状にランダムに配置された (Fig. 2)。各刺激の形状は直径 1° のディスクであり、隣接するディスク間の距離は $0.3\sim 0.5^\circ$ である。また、背景は一辺 17.1° の灰色正方形で OSA 色度 $(L, j, g) = (-1, 0, 0)$, 25.5 cd/m^2 に相当する。

色度条件については、明度 $L = -3\sim +1$ の中からさまざまな色相、彩度を網羅するようにディストラクター群を 24 条件設定し、それぞれに対してターゲットの相対位置関係を 4 条件ずつ設定した。合計 96 の組み合わせのうち、ターゲット色度が OSA 色空間外になる 6 条件を除いて、全体としては 90 の色度条件を設定した。

2.2 手 続 き

実験開始時に灰色背景に 3 分間の明順応を行う。各試行では最初に固視点が画面中央に 1 秒間呈示され、続けてターゲットが 1 秒間呈示される。ターゲットが消えてから 1 秒後に刺激が呈示され、被験者はターゲットを見つけた時点でマウスボタンにより応答する。刺激呈示から応答までの時間が探索時間として記録され、続けて被験者はターゲ

ットの位置をマウスにより応答する。この位置応答が正答した試行のみデータとして保存され、誤答した試行についてはそのセッション中に再度呈示される。応答後、5秒間の再順応を経て次の試行へと移る。

2.3 解 析

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。各条件についてそれぞれ10回ずつ実験を行ったが、本実験の前に十分な練習試行を行っている。

カテゴリカル色知覚との関係を調べるために、探索実験とは別に、OSA色票全424枚についてカテゴリカルカラーネーミングを日をおいて2回行った。刺激のサイズは探索実験と同じ直径1°のディスクを用いた。各被験者のカラーネーミング結果に基づいて、個々の条件におけるターゲットの色カテゴリとディストラクター群の色カテゴリ

の構成を計算することで、各試行の刺激内にターゲットと同じ色カテゴリの刺激がいくつあったのか（以降、これをカテゴリカルセットサイズとよぶ）を求めた。例えば、ターゲットの色カテゴリが緑で、刺激内のディスク数が青=28、緑=57、黄=7であれば、物理的なセットサイズは92であるが、カテゴリカルセットサイズは57となる。

3. 結果と考察

結果をFig. 3に示す。各グラフの横軸にカテゴリカルセットサイズ、縦軸に各色度条件ごとの平均探索時間をプロットしている。各行は被験者の違い、各列は3つのセットサイズ条件を表している。どのグラフにおいても、カテゴリカルセットサイズが大きくなるにつれて探索時間が長くなる傾向が有意に表れている ($p < 0.001$)。すなわち、ター

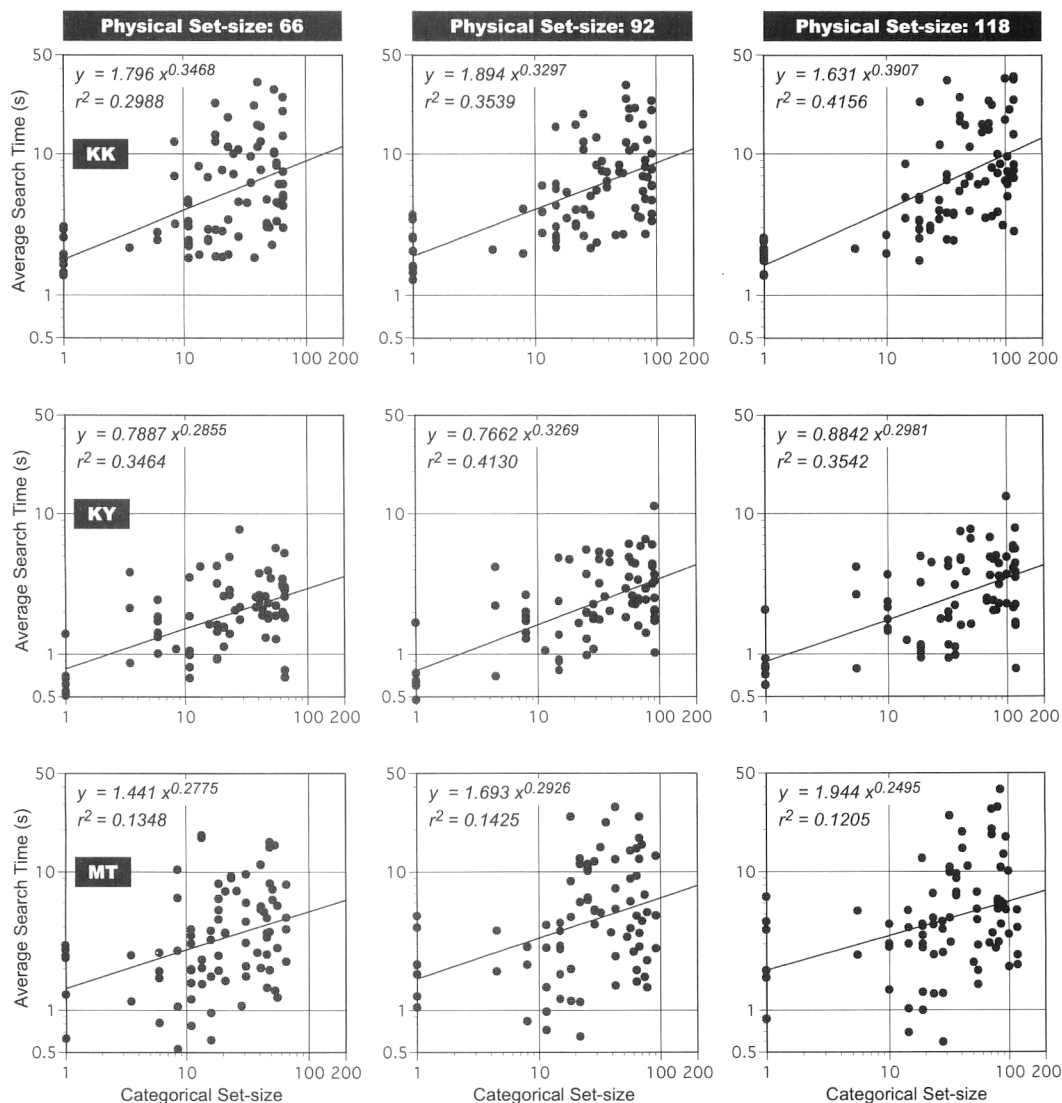


Fig. 3 Average search time as a function of the categorical set-size. Subject KY is the author and highly experienced in visual search. The straight lines were drawn by the least-squares method.

ゲットと同じ色カテゴリーのディスクが少なければ短時間で探索可能であるが、同じ色カテゴリーのディスクが多くなるほど探索が困難になっており（セットサイズ効果）、色カテゴリーに基づいて探索の対象となる刺激を絞り込んでいることが強く示唆される。

さらに興味深い点として、この傾向に対して物理的なセットサイズによる違いがあまりみられないことが挙げられる。このことは、探索時間に対してターゲットと同じ色カテゴリーのディスクは影響するが、それ以外の色カテゴリーに知覚されるディスクはあってもなくてもほとんど影響していないことを表している。これらの結果は、categorical color search model から予測されるように、カテゴリーカル色知覚に基づく2段階の探索プロセスが存在することを強く支持しているといえる。

色による刺激の分離に関してはいくつかの研究がなされているが^{13,14)}、赤や緑というようにフォーカル色を用いているなど、色差との関係が十分に区別されていない。これまでの研究ではもっぱら色差によって刺激が分離されると考えられてきたが、今回の実験ではすべての条件で色差を一定に統制しているため、色差による分離では説明できない。また、色空間内のさまざまな色相、彩度を用いているので、フォーカル色のようにきわめて明瞭なカテゴリー色を用いているわけでもない。それにもかかわらず、カテゴリーカル色知覚による分離が行われていることから、多彩な刺激が混在するより日常的な環境においては色差などの比較的低次な色知覚だけではなく、より高次のカテゴリーカル色知覚が大きな役割を果たしていると考えられる。

今回は基本11色により色カテゴリーを解析したが、この11色が最適なのかどうか、あるいはタスクや刺激の構成に応じてカテゴリー分割が動的に変化するのかがどうかと

いうことについては、今後検討を続ける必要がある。

文 献

- 1) J. Palmer, P. Verghese and M. Pavel: "The psychophysics of visual search," *Vision Res.*, **40** (2000) 1227-1268.
- 2) R. C. Carter and E. C. Carter: "Color coding for rapid location of small symbols," *Color Res. Appl.*, **13** (1988) 226-234.
- 3) 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.
- 4) W. F. Bacon and H. E. Egeth: "Overriding stimulus-driven attentional capture," *Percept. Psychophys.*, **55** (1994) 485-496.
- 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) 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.
- 8) A. L. Nagy and M. Winterbottom: "The achromatic mechanism and mechanisms tuned to chromaticity and luminance in visual search," *J. Opt. Soc. Am. A*, **17** (2000) 369-379.
- 9) R. M. Boynton and C. X. Olson: "Locating basic colors in the OSA space," *Color Res. Appl.*, **12** (1987) 94-105.
- 10) K. Uchikawa and R. M. Boynton: "Categorical color perception of Japanese observers: Comparison with that of Americans," *Vision Res.*, **27** (1987) 1825-1833.
- 11) 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.
- 12) D. L. MacAdam: "Uniform color scales," *J. Opt. Soc. Am.*, **64** (1974) 1691-1702.
- 13) B. F. Green and L. K. Anderson: "Color coding in a visual search task," *J. Exp. Psychol.*, **51** (1956) 19-24.
- 14) H. S. Smallman and R. M. Boynton: "Segregation of basic colors in an information display," *J. Opt. Soc. Am. A*, **7** (1990) 1985-1994.