

視覚探索における応答時間の色差方向依存性

河合雅仁・内川恵二・氏家弘裕

東京工業大学 工学部 像情報工学研究施設
〒227 横浜市緑区長津田町4259

1. はじめに

我々が何か物を探す時、「青い背表紙の辞書」などと、色を cue にして探す場合がある。そのような時、我々がどのような戦略 (strategy) を用いて目的のもの (ターゲット要素) を発見するのかといった知覚過程は、まだ明らかになっていない部分が多い。そこで本研究では、視覚探索課題を用い、探索を妨害するような色 (ディストラクタ色) の中から目的の色 (ターゲット色) を探し出すまでの時間 (探索時間) を測定し、ターゲット色を基準としたときのディストラクタ色との間の色差 (要素間色差) と探索時間との関係を探ることを目的とした。

Nagy¹⁾ は、白のターゲット色を用いて要素間色差と探索時間との関係を調べた。その結果、要素間色差が小さい範囲では、要素間色差が増大するにつれて探索時間が短くなり、ある色差 (臨界色差) を越えると、最も短い探索時間 (最短探索時間) で一定になることを見いだした。しかし、Nagy¹⁾ は、ターゲット色が有彩色の場合については言及していない。一方、D'Zmura²⁾ は、何色かの有彩色のターゲットについて実験を行い、ディストラクタ色の選び方によっては、ディストラクタ要素の数に関わらず探索時間が一定になる (popout する) ことを見いだした。このとき、ターゲット色とディストラクタ色との両方に、4つの反対色のうち1つでも共通の反対色が含まれているような、中間色相のターゲット色でも popout することから、探索が反対色のレベルよりも高次の部位で行われている可能性を示唆した。しかし、

1994年夏期研究会 (8月2日) ポスター

D'Zmura²⁾ は、要素間色差が大きい場合の、要素間色差と探索時間との関係には言及していない。

本実験では、ターゲットに有彩色3色を選び、色空間の3軸に沿って要素間色差を段階的に与えることで、要素間色差が探索時間に与える影響、および、ターゲット色の影響を検討する。

2. 実験方法

2.1 刺激

本実験では、測色的な色差ではなく、見えの上での色差と探索時間との関係に注目したいので、知覚的な等歩度性が保証されている OSA 色空間³⁾ からターゲット色とディストラクタ色を選んだ。実際には、標準光源 D₆₅ をシミュレートした蛍光灯でそれぞれの色に相当する OSA 色票を照明した場合の色度と同じになるように、CRT (Apple 社製 Macintosh 標準13"カラーモニタ) 上に色を出力することで刺激を作成した。

ターゲット色には、赤 (OSA 色空間の記述では $(L = -2, j = 0, g = 6)$)、黄 (同 $(L = 2, j = 8, g = -2)$)、緑 (同 $(L = -3, j = 1, g = 3)$) の3色を選んだ。

要素間色差は、OSA 色空間の3つの軸、L 軸 (明るさ軸)、j 軸 (黄-青方向の軸)、g 軸 (赤-緑方向の軸) に沿った方向に、色が OSA 色空間中に存在する範囲内で最大 ±5 単位まで、1単位ずつ与えた。

さらに、ターゲット色とディストラクタ色とを入れ替える、つまり、ターゲット要素の色にディストラクタ色を用い、ディストラクタ要素にターゲット色を用いることで、検索非対称性の観測もあわせて行った。

ターゲット要素とディストラクタ要素は、一辺が視角9度の正方形の範囲にランダムに配置され、要素は1つの直径が視角0.4度である。実際には、図1に示すように、刺激画面には現れない仮想的なグリッドによって画面を区切り、その中で要素のおかれる場所をランダムに設定した。

ディストラクタ要素は48, 99, 143個の3通りあり、提示される範囲が一定なので、要素の個数が増えると密度が増える。ターゲット要素は必ず1つ存在するが、要素間色差が0の場合も含まれるので、ターゲットが存在しない場合も含まれることになる。その結果、ターゲット要素の数とディストラクタ要素の数の合計を総要素数と呼ぶことにすると、今回用いた総要素数は49, 100, 144の3通りとなる。

2.2 実験手続き

実験はコンピュータ (Apple 社製 Macintosh II) でコントロールされている。1試行の中では、まず、被験者が自発的に試行の開始を知らせると、その試行で探すべきターゲット色が画面の中心に1秒間提示される。その後、ランダムな時間をおいて刺激画面が提示される。被験者には、できるだけ正確に、かつ、なるべく早くターゲット要素を探し出すことが求められている。被験者は、ターゲット要素が見つかったと思ったら、もしくは、その刺激画面にはターゲット要素が存在しないと思ったら、キーを押す。刺激の提示からこの応答までを探索時間とした。続いて、今の応答が、ターゲットを見つけたのか、ターゲットは存在しないと判断したのか、ミスだったのかを3つのキーで区別し、次の試行へ移る。1つのブロックの中では、要

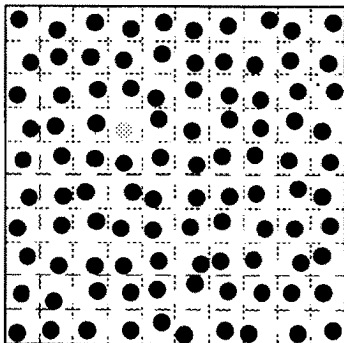


図1 実験刺激 (グリッドは実際には表示されない)

素間色差の大きさが変わり、さらに検索非対称性をみるためにターゲット色とディストラクタ色との組み合わせが入れ替えられた試行が、ランダムな順番で設定されている。この1ブロックを、5つに分けて1つのセッションとした。1つのセッションは、約15分を要する。1つのターゲット色について、総要素数を3段階に変化させた3ブロックを、5回繰り返した。

2.3 被験者

被験者は色覚正常、視力矯正済みの男性MK (28歳) 1名である。

3. 結果

3.1 明るさ方向の要素間色差

図2に、ターゲット色が赤で、要素間色差がL軸方向に与えられた場合の結果を示す。シンボルの違いは総要素数の違いである。この結果から、L軸方向に要素間色差を与えると、要素間色差の絶対値が大きくなるにつれて探索時間が短くなり、要素間色差の絶対値が2を越えると、500ms程度の最短探索時間に収束していることがわかる。この傾向は、ターゲット色が黄の場合や、緑の場合でも同様であった。

3.2 等明るさ面における要素間色差

図3に、ターゲット色が黄で、要素間色差がg軸方向に与えられた場合の結果を示す。ここでも、シンボルの違いは総要素数の違いである。この結果から、要素間色差の絶対値が大きくなるにつれて、探索時間が短くなっていることがわかる。また、要素間色差が±3単位を越えると、500ms程度の最短探索時間に達することがわかる。これは、Nagyらの結果を支持している。

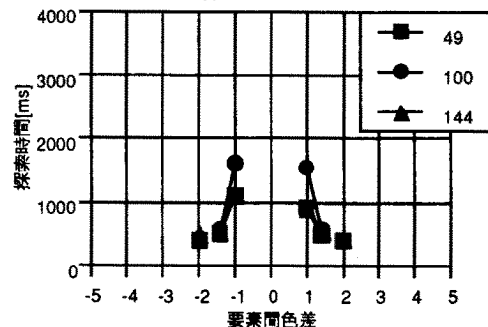


図2 ターゲット色=赤 (L=-2, j=0, g=6)、要素間色差=L軸方向の結果

ところが、図4に示すように、ターゲット色が赤で、要素間色差をg軸方向に与えた場合の結果は、要素間色差の大きさと探索時間との関係が、与える色差の方向によって異なることを示している。ディストラクタ色が、ターゲット色に対してg軸上の正の方向で与えられている場合（彩度が落ちる方向）では、要素間色差と探索時間との関係が、図3の結果と似たような傾向を示し、要素間色差の絶対値が3を越えれば、最短探索時間へ収束している。しかし、ディストラクタ色が、ターゲット色に対してg軸の負の方向で与えられている場合（彩度が上がる方向）では、要素間色差の絶対値が4を越えても、最短探索時間へ収束しない。同様のことが、図5に示す、ターゲット色が緑で要素間色差がj軸の正の方向に与えられた場合（彩度が上がる方向）でも見られる。ターゲット色が緑で、要素間色差がj軸の負の方向に与えられた場合（彩度が落ち、さらに無彩色軸を越えて青緑の色相方向へ変化する場合は、図3の結果と似たような、最短探索時間へ収束する傾

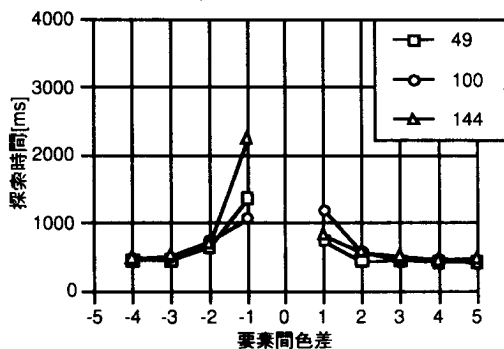


図3 ターゲット色=黄 (L=2, j=8, g=-2), 要素間色差=g軸方向の結果

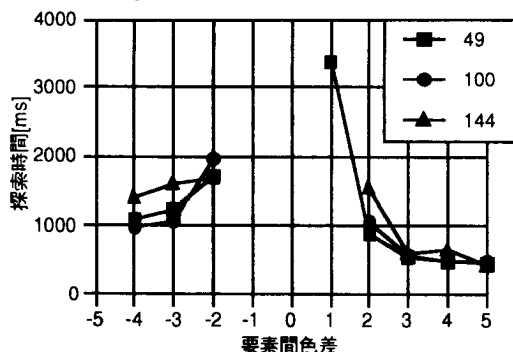


図4 ターゲット色=赤 (L=2, j=0, g=6), 要素間色差=g軸方向の結果

向が見られる。

3.2 検索非対称性

ターゲット色とディストラクタ色とを入れ替えて、同様の実験を行った。その結果、通常の実験と検索非対称性を調べる実験との間で応答時間に差はなく、検索非対称性は見いだされなかった。しかし、被験者の内観として、例えば、くすんだ黄の中から、より鮮やかな黄を探す場合と、その逆とでは、異なる印象を受けたことが報告されている。具体的には、鮮やかな色がディストラクタ色となっている場合には画面全体が光る感じを受け、その中からくすんだ色を探し出すには、若干の困難さが感じられていた。

4. 考察

4.1 明るさ方向の要素間色差

明るさ方向の要素間色差と探索時間との関係は、ターゲット色に依存しないという点で、j軸やg軸に沿う方向の、色相・彩度の変化とは異なる性質を有し、OSA色空間の上で表現する場合には、より小さい色差で目立つと考えられる。このことは、視覚のメカニズムが輝度チャンネルと色チャンネルとに分かれているため、それぞれの特性が表れていると考えられる。

4.2 等明るさ面内での要素間色差

一方、等明るさ面内における要素間色差と探索時間との関係は、一見複雑である。しかし、今回の結果をOSA色空間の等明るさ面上に表すと、図6のようになる。図6では、総要素数が144の場合について、黒丸で表したターゲット色を探し出すのに要した探索時間を、ディス

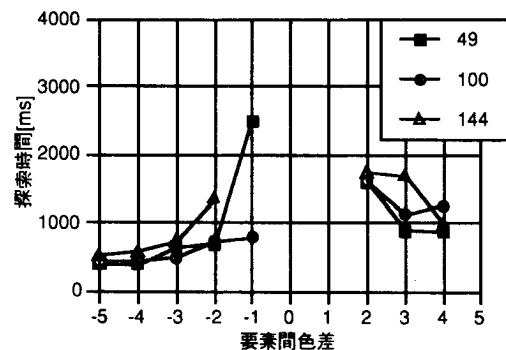


図5 ターゲット色=緑 (L=-3, j=1, g=3), 要素間色差=j軸方向の結果

トラクタ色に相当する j , g 座標を中心とした円の直径として表している。これを見ると、最短探索時間（直径が最も小さい円）に達するための要素間色差は、必ずしも一定ではないことが見いだされる。さらに細かく見ると、ターゲット色とディストラクタ色との間で色相の変化が生じるような要素間色差の場合、要素間色差が ± 3 単位を越えると最短探索時間に収束しているが、色相の変化がない場合には、 ± 3 単位以上であっても最短探索時間に収束しないことがわかる。例えば、ターゲット色が $j=0$, $g=-6$ にある赤の場合を例にとると、ディストラクタ色が g 軸の負の方向にある時は最短探索時間に収束しない。これらのディストラクタ色は、ターゲット色と比べると、同じ赤の色相で、彩度だけが上がる色である。これとは反対の、 g 軸の正の方向にディストラクタ色がある場合は、要素間色差が 3 以上の時に最短探索時間へ収束している。この場合は、ディストラクタ色は、ターゲット色に比べて彩度が下がるだけではなく、灰色へ近づき、色相が変化していることに気づく。同様のことが、 $j=8$, $g=-2$ の黄がターゲット色の場合や、 $j=1$, $g=3$ の緑がターゲット色の場合の、 j 軸に沿った方向の要素間色差についてもいえる。これらのことは、色を cue とする視覚探索において、色のカテゴリー性が反映していることを示唆する。その一方で、要素間色差が ± 3 単位以下の場合には、要素間色差を与える方向に関わりなく、探索時間は要素間色差の大きさと反比例する。つまり、

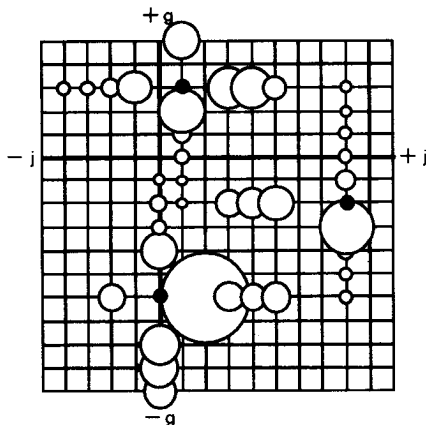


図6 OSA色空間の等明るさ平面上での探索時間

要素間色差が ± 3 単位以下の範囲では、色のカテゴリー性は反映されていないと考えられる。

4.3 視覚探索における strategy

以上のことから、 ± 3 単位の要素間色差を境にして、異なる strategy が用いられていると予測される。このことは、実験手続きの中で、探すべきターゲット色が予め提示され、被験者がこれを（短期）記憶する、という手順に起因すると思われる。つまり、被験者は、探すべきターゲット色を覚える段階で、ある程度カテゴリー性をもって覚えている。そして、それに続く刺激画面の中で、要素間色差が ± 3 単位以上であり、ディストラクタ色の中からターゲット色が popout して知覚される場合は、即座に応答可能であるが²⁴⁾、要素間色差が ± 3 単位以下であったり、 ± 3 単位以上であっても同色相で popout しない場合は、「仲間はずれ (singlton)」を探し始め、ディストラクタ色と異なると思われる要素が見つかり、覚えた色と同じか照合し、応答するという strategy をとっていると思われる。

5. 結論

色を cue とした視覚探索課題において探索時間に影響を与える主な要因は、ターゲット要素とディストラクタ要素との間の色差の絶対量ではなく、色の属性の違い、とりわけ色相の違いである。このことは、色を探す行動が、色のカテゴリー性に強く影響されていることを示唆している。また、明るさ方向の色差については、ターゲット要素とディストラクタ要素との間の色差の絶対値が小さくても、探索時間が最短探索時間に収束する。

文献

- 1) A. L. Nagy and R. Sanchez: Critical color difference determined with a visual search task. *Journal of the Optical Society of America A*, 7, 1209-1217, 1990.
- 2) M. D'Zmura: Color in visual search. *Vision Research*, 31, 951-966, 1991.
- 3) D. L. MacAdam: Uniform color scales. *Journal of the Optical Society of America*, 64, 1691-1702, 1974.
- 4) 横澤一彦：一目でわかること. *科学*, 62, 356-362, 1992.