

視覚探索における輝度と色による形態情報の役割

北島律之・山下由己男・須長正治

九州芸術工科大学 芸術工学部 画像設計学科

〒815-8540 福岡市南区塩原4-9-1

1. はじめに

形態の知覚は、外界を知る上で、最も重要な機能の一つであると考えられる。一般的に、形態情報は、明るさや色相などの刺激属性が、空間的に変化することで視覚に伝達される。ところが、従来、形態知覚の研究においては、空間的に輝度が変化してつくられる明暗によるものが頻繁に調べられてきた。その中には、視覚探索課題を用いたものがあり、輝度変調による空間周波数や方位が手がかりとなり、ターゲットが前注意的に検索されることが知られている^{1,2)}。

一方、色相変調による形態知覚も調べられているものの、輝度変化と比べれば少ないのが現状である。また、形態知覚と関わりがある知覚現象において、色情報は輝度情報に比べて寄与が少ない。例えば、両眼立体視、主観的輪郭などにおいては、等輝度に設定された色刺激を用いることで、各々の知覚のパフォーマンスは悪くなる^{3,4)}。しかしながら、日常環境の中では多くの場合、物体は色をとまっており、色の変化も輝度の変化と同様に、形態知覚の手がかりとなることは効率的であると思われる。

そこで本研究では、空間周波数と方位といった形態情報が、色変調でも前注意的に処理され、輝度変調と同様に機能するのかを問題とした。そのため、まず、視覚探索課題において、色による形態情報の差がポップアウ

トを引き起こす初期特徴となるかを調べた。さらに、ターゲットとディストラクターの形態情報の差と、反応時間との関係を輝度変調と色変調で比較した。

2. 全体的方法

2.1 被験者

コンタクトレンズで視力の矯正をした、色覚に異常のない2名の20代男性が実験に参加した。

2.2 装置と刺激

被験者の114 cm前方にある、コンピュータディスプレイ(56 Hz, 640×400ドット)に刺激を提示した。実験では、8ビットの階調が出る3つの蛍光体色の内、赤($x = 0.64, y = 0.34$)と緑($x = 0.27, y = 0.61$)の蛍光体色のみを用いた。赤と緑の各々の蛍光体色の輝度を空間的に正弦波状に振動させたものに、ガウス関数を掛け合わせ、位相を180 degずらして重ねたものを色要素、位相をずらさずに重ねあわせたものを輝度要素とした。すなわち、色要素は等輝度の赤-緑変調となり、輝度要素は黄-黒変調となった。ガウス関数の標準偏差は0.5 degで、ディストラクターは常に一定の空間周波数(2 cpd)と方位(垂直)であった。要素は、固視点から半径4 degの円環上に並べられた。また、緑の輝度は平均9.75 cd/m²であり、赤の平均輝度は、実験前に交照法により緑と合わせられた。背景は赤と緑を平均輝度で足しあわせた黄色であった。

3. 予備実験

色変調と輝度変調の形態情報の役割を直接比較するため、各々の変調による弁別閾を、空間周波数と方位で同じにした。空間周波数と方位の弁別閾は、色変調、輝度変調ともに、コントラストと相関をもっていることが知られている⁹⁾。本研究では、両要素で共通な空間周波数や方位の差が弁別閾となるように、コントラストを設定した。先行実験の結果、被験者NKは低周波方向へ0.18 cpdと左方向へ2 deg、被験者TKは同様に、0.33 cpdと3 degを弁別閾にするように決めた。弁別閾を与えるコントラストを決定するため、次のような実験を行った。

円環上に8個の要素を2秒間提示し(図1)、1秒後、もう一度、8個の要素を2秒間提示した。いずれかのインターバルでは、7個がディストラクターで、1個の要素がディストラクターと上述した差をもっていた。もう一方のインターバルは、すべてがディストラクターであった。コントラストを独立変数とし、1つだけ他と異なった要素が含まれていたインターバルを、強制選択2件

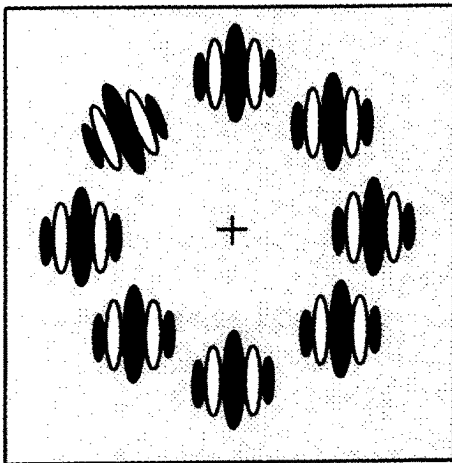


図1 方位が異なる要素を含む刺激の模式図。色要素では黒の部分が赤、白の部分が緑であり、輝度要素では同様に、黄色と黒である。また、背景は赤と緑の平均輝度を重ね合わせた黄色である。実際の刺激は空間的に次第に色や輝度が変化する。

法で求めた。

コントラストの関数として正答率をプロットしたものに、ロジスティック関数をフィッティングした。それから、75%の正答率を得られるコントラストを求め、これを弁別閾を与えるコントラストとし、以後の実験では、すべてこのコントラストを用いた。

4. 実験

4.1 手続き

色要素と輝度要素の各々について、空間周波数と方位に対する探索はすべて別に行われた。提示された要素数は、2、4、6、8個のいずれかであり、半数の試行では、ディストラクターよりも空間周波数が低い、あるいは方位が左向きに異なるターゲットが含まれていた。残りの試行は、要素がすべてディストラクターであった。被験者の課題は、ターゲットの有無に割り当てられたマウスのボタンを、できるだけ速く押すことであった。要素は固視点の出現、ピープ音に続き提示された。ボタンが押されたとき、あるいは被験者が2秒以内に反応できないときには、要素はすべて消失した。

実験の1ブロックは、ターゲットの有無×ターゲット位置×要素数の64試行を1セッションとする4セッションからなっており、最初の1セッションは練習とした。

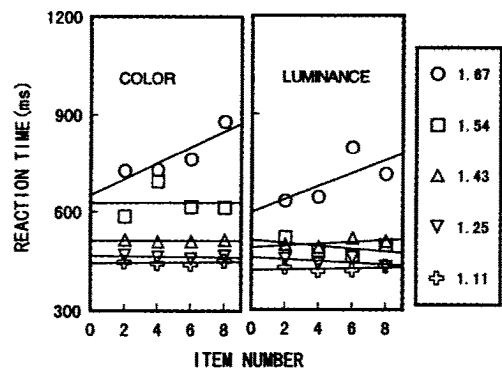


図2 空間周波数に対する探索の反応時間。左図は色変調、右図は輝度変調に対する結果。シンボルは空間周波数(単位はcpd)を表す。

4.2 結果

図2に、被験者NKの空間周波数に対する探索の結果を示す。横軸は出現した要素数を示し、縦軸は被験者がターゲットがあった場合に正解したときの反応時間を示す。シンボルはターゲットの空間周波数を表す。色変調と輝度変調の結果は、類似したものとなった。ターゲットとディストラクター間の差が小さいとき(○1.66 cpd)には、要素数の増加にともない反応時間が増加するが、差が大きくなると反応時間は要素数にかかわらず一定になる傾向が見られた。すなわち、両要素に対してポップアウトが生じていたことになる。また、方位に対する探索も同様な結果であった。さらに、これらのデータをターゲットとディストラクター間の差の関数でプロットしたものが、図3と図4である。シンボルは、要素数を表し、2個と8個のときのデータのみをプロットした。わずかに輝度変調の方が、小さな差で反応時間の減少が見られるものの、グラフの形は類似したものとなった。これらの結果は、もう一名の被験者TKにも共通であった。

5. 考察

実験の結果、色変調の形態情報に対してもポップアウトすることがわかった。方位につ

いては、Lüschow & Nothdurft⁶⁾と一致した見解である。ただし、その報告では、背景と等輝度の長方形の内、1つが他と90 degの差をもっているとき、ポップアウトすることを示したにすぎず、本実験から、ポップアウトのためには数度の差で十分であることが明らかとなった。また、ターゲットとディストラクター間の差に対する反応時間の減少は、色変調と輝度変調で類似していることも明らかとなった。さらに、追加実験において、ターゲットの見えるコントラストをディストラクターのそれと合わせ、同様な視覚探索課題を行った。その結果、見えるコントラストは、探索に、大きな影響を及ぼさないことが示された。以上のことから、色と輝度の形態情報は、前注意的に同様に処理されていると考えられる。

生理学的には、色の形態情報は、parvo系のblob間の領域を通して伝達されると考えられている⁷⁾。本実験における色の形態情報も、その経路を通ったものと思われる。さらに、V1野で、輝度と色の空間周波数や方位の情報がまとまることも報告されており⁸⁾、色と輝度の形態情報が、視覚探索における役割に差がなかったことは、このことと関係があるのかもしれない。

ちなみに、色要素において、色収差などに

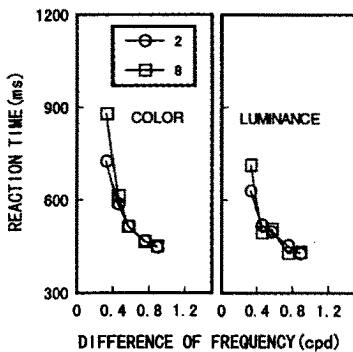


図3 ターゲットとディストラクターの空間周波数差の関数として表した反応時間。左図は色変調、右図は輝度変調に対する結果。シンボルは要素数を表す。

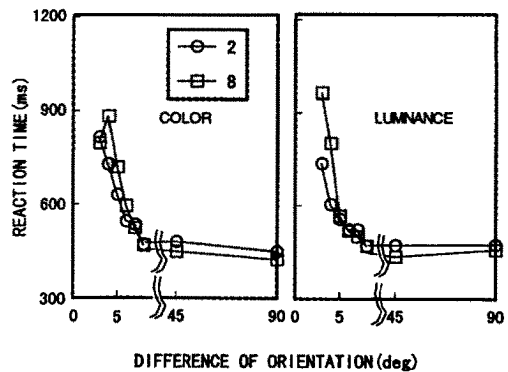


図4 ターゲットとディストラクターの方位差の関数として表した反応時間。左図は色変調、右図は輝度変調に対する結果。シンボルは要素数を表す。

よる輝度の副次的要因が存在したことも考えられる。このことを探るため、さらに追加実験が必要である。しかしながら、色収差が大きな問題になるとされる空間周波数より、低い空間周波数を用いたことや、輝度要素に対する反応時間の方が、わずかではあるが、一貫して小さな差で短くなる傾向にあることから、色要素における輝度の副次的要因が大きなものではないことが間接的に推測される。

文 献

- 1) G. Moraglia: Visual search: Spatial frequency and orientation. *Perceptual and Motor Skills*, 69, 675-689, 1989.
- 2) M. Carrasco, T. L. Mclean, S. M. Katz and K. S. Frieder: Feature asymmetries in visual search: Effects of display duration, target eccentricity, orientation and spatial frequency. *Vision Research*, 38, 347-374, 1998.
- 3) C. Lu and D. H. Fender: The interaction of color and luminance in stereoscopic vision. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 11, 482-489, 1972.
- 4) R. L. Gregory: Vision with equiluminant colour contrast, 1. A projector technique and observations. *Perception*, 6, 113-119, 1977.
- 5) M. A. Webster, K. De Valois and E. Switkes: Orientation and spatial-frequency discrimination for luminance and chromatic gratings. *Journal of the Optical Society of America*, A 7, 1034-1049, 1990.
- 6) A. Lüschow and H. C. Nothdurft: Pop-out of orientation but no pop-out of motion at isoluminance. *Vision Research*, 33, 91-104, 1993.
- 7) E. A. De Yoe and D. C. Van Essen: Concurrent processing streams in monkey visual cortex. *Trends in Neurosciences*, 11, 219-226, 1988.
- 8) L. G. Thorell, R. L. De Valois and D. G. Albrecht: Spatial mapping of monkey V1 cells with pure color and luminance stimuli. *Vision Research*, 24, 751-769, 1984.