

輝度・色チャンネルの形態情報の前注意的統合

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

視覚シーンの中から物体の形を知ること
は、視覚の重要な機能の一つである。これまで、
物体の形態を知覚する上で、色成分がどれほどの
役割を担っているかについては、輝度成分との
比較において盛んに論じられてきた。最近の
研究では、輝度と色の成分が、比較的対等に
形態知覚に寄与していることが報告されている^{1,2)}。

しかしながら、輝度と色による形態情報を
伝達する過程が独立であるのか、あるいは統
合（伝達された形態情報が、色によるもの
か、輝度によるものかを区別しない）を受け
るかについては良く解ってはいない。例え
ば、等色度で輝度を空間的に正弦波状に変調
させてつくられた格子に順応することは、同
じ方位と空間周波数をもつ輝度格子の検出
閾を上昇させるが、同じ方位と空間周波数の
等輝度色変調格子にはほとんど影響が現れ
ない²⁾。これは、輝度と色による形態情報が
独立の経路で伝達されることを示しており、
他の心理物理学的研究もこの見解を支持する
ものが多い^{3,4)}。一方、生理学的には、V1の
blob間の領域の多くの細胞が、輝度と色、
両方の形態情報に応答することが確認され
ており⁵⁾、比較的低次のレベルで形態情報が
統合されることを示唆する。

ところで、複数個の共通した方位をもつ
格子群の中から、一つだけ異なった方位を
もつた格子を見つけ出す視覚探索課題では、
1999年冬季大会ポスター（1月25日）

格子群が輝度で定義された場合でも、色で
定義された場合でも、ポップアウトを生じさ
せることが知られている^{6,7)}。これは、輝度と
色の方位情報が、前注意段階で既に処理さ
れていることを示唆する。そこで本研究では、
前注意的に処理される輝度成分と色成分の
形態（方位）情報が、注意後の段階まで
独立であるのか、あるいは前注意段階で
統合されるかを調べた。

そのため、黄-黒の輝度格子と、赤-緑
の色格子を、直交するように重ね合わせた
ものを1つのアイテムとし、視覚探索課題
を行った（図1, C+L）。輝度と色の各々の
方位は、ディストラクター間では同じである
が、ターゲットのみは、各格子の方位が
ディストラクターとは反対であった。2つの
格子からの方位情報が、独立に用いられる
なら、色と輝度による方位情報は、効率的
な探索の手がかりとなるので、探索時間
はアイテム数に依存しないことが予想され
た。しかしながら、2つの変調からの方位
情報が、前注意的に統合され、純粋に方位
情報のみが伝達されるのならば、すべての
アイテムが保持している方位情報は等しい
ため、アイテム数の増加とともに、探索
時間も増加する直列探索になるものと思
われた。

2. 実験

2.1 装置と刺激

刺激はCRTモニター上に提示された。3つ
の蛍光体の色の内、赤 ($x=0.64, y=0.34$) と緑

($x = 0.27, y = 0.61$) の蛍光体の色のみを用いた。1つのアイテムは、直径視角 1.7 deg の円形上に区切られた、 1.3 cpd の正弦波格子であった。正弦波格子は、緑の正弦波状の輝度変調パターン（平均輝度 9.75 cd/m^2 、コントラスト 25% ）に、交照法により、それと知覚上等価にされた、赤の輝度変調パターンを重ね合わせてつくられた。赤と緑の変調パターンを同位相で重ね合わせれば、黄-黒の輝度格子となり、逆位相で重ね合わせれば、赤-緑の色格子となった。さらに、輝度格子は、色格子とコントラストの主観的強度を等しくするように、被験者ごとにコントラストの調整を行った。

4×4 のマトリクスの中に、4、8あるいは16個のアイテムが提示された。各アイテムの中心は 2.6 deg を平均の間隔として、 0.3 deg の幅でランダムにずらした。マトリクスの中心には十字型の固視点が提示され、すべての実験において、固視点を見ることを被験者に求めた。背景は、赤と緑の平均輝度を足し合わせた黄色を提示した。モニターの観察距離は 114 cm であった。

2.2 手続き

実験は、次に示す5つの条件（図1）を別々に行った。

- (1) color (C) : アイテムはすべて色格子であった。ターゲットとディストラクターは右上がりあるいは左上がりの 45 deg で互いに直交していた。
- (2) luminance (L) : 方位についてはC条件の場合と同じで、アイテムは輝度格子。
- (3) color and vertical luminance (C + vL) : C条件のアイテムに、垂直方位の輝度格子が重ね合わされた。
- (4) vertical color and luminance (vC + L) : L条件のアイテムに、垂直方位の色格子が重ね合わされた。
- (5) color and luminance (C + L) : アイテムはすべて、 45 deg の斜め方位をもつ輝度格子と色格子が互いに方位が直交するように重ね合

わされた。例えば、ターゲットを右上がり 45 deg の色格子と左上がり 45 deg の輝度格子を重ね合わせたものにする、ディストラクターは左上がり 45 deg の色格子と右上がり 45 deg の輝度格子を重ね合わせたもので、ターゲットは両格子とも、ディストラクターの各々の格子と直交していた。

C, L条件は、単独の成分で並列処理が生じるかどうかを確認するため、また、C + vL, vC + L条件は、異なった成分が重なることで、手がかり成分がマスクを受けるか否かを調べるために行われた。一方、C + L条件において、色と輝度の方位情報を独立に用いることができれば、両方の格子が探索の手がかりとなるはずであるが、統合が生じるのであれば、ターゲットとディストラクターがもつ方位情報に違いがなく、探索は困難になること

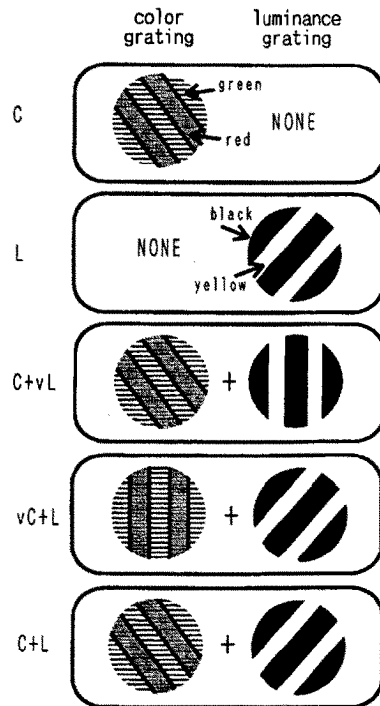


図1 各条件におけるアイテムの作成。色格子は赤-緑変調、輝度格子は黄-黒変調によりつくられた。C + vL, vC + L, C + L条件では、色格子と輝度格子を重ね合わせて1つのアイテムとした。

が予想された。また、1 試行の中で、格子の位相をランダムに 180 deg ずらすことにより、ローカルな輝度や色の変化が手がかりとはならず、各成分の方位情報のみが手がかりとなるようにした。

実験の 1 セッションには、ターゲットがある場合を 48 試行 (位置 (16ヶ所) × アイテム数のパタン(3)) と、それと同数回のターゲットが存在しない試行を含み、各条件とも 3 回のセッションを行った。ただし、最初のセッションは練習とした。被験者の課題は、出来るかぎり速く正確に、ターゲットの有無を割り当てられたマウスのボタンを押して判断することであった。被験者は 4 名の学生であり、1 名がコンタクトレンズで視力の矯正を行っていた以外は、全員、視力、色覚は正常であった。

2.3 結果と考察

結果は被験者全員で類似した。2 名の被験者の結果を図 2 に示す。各グラフの横軸は、アイテム数を示し、縦軸はエラーを取り除いた全試行の反応時間を幾何平均したものである。シンボルは条件を表し、左のグラフはターゲットが存在したとき (positive) の反応時間、右はターゲットが無かったとき (negative) の反応時間である。

C, L, C+vL, vC+L の各条件では、アイテム数の増加にかかわらず、反応時間はほぼ一定であった。このことより、色格子の方位差、輝度格子の方位差は十分に並列処理を引き起こす要因になることが確認された。しかし、C+L 条件では、反応時間は全体的に長く、アイテム数に依存して増加していた。このことから、色と輝度の方位差を手がかりとする探索は、各々の方位差が単独で手がかりとなる場合には並列になされるが、重ね合わされると、直列になされることが明らかとなった。すなわち、前注意的な段階で、二つの方位情報には統合が生じることが推測される。

ところで、この実験結果について、色格子

の等輝度設定が不十分である可能性もあるため、色格子の輝度設定にずれがある場合について検討した。まず、C+L 条件の結果を、色格子が等輝度からずれていたことで説明するために必要な、ずれのコントラスト量を測定した。C+L 条件のアイテムにおいて、色格子の代わりに、低いコントラストをもつ輝度格子を直交するように重ねて、視覚探索課題を行った。被験者 KA の positive 応答の結果が図 3 (a) である。C+L 条件と同様に行った結果 (●) と同等な反応時間になるためには、9% 以上の輝度コントラストをもつ格子を重ねなければならないことが示された。よって、等輝度設定が不十分である場合、少なくとも 9% 以上の輝度コントラストがなければ、C+L 条件の結果に一致しないことがわかった。

次に、色格子が実際、どのくらいの輝度の

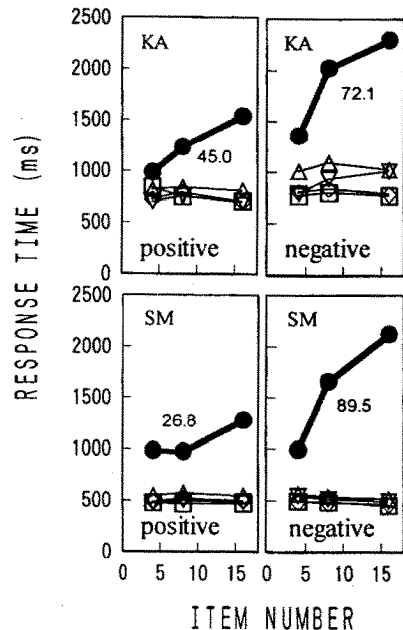


図 2 C (□), L (◇), C+vL (△), vC+L (▽), C+L (●) 条件における反応時間。横軸は提示されたアイテムの数。上段は被験者 KA, 下段は被験者 SM であり、左側は positive 応答の結果を、右側は negative 応答の結果を示す。各グラフ内の数字は C+L 条件での傾き (ms/item) を表す。

コントラストをもつかを調べた。そのため、色格子のフリッカー(14Hz)パターンと、低コントラスト(3,5%)の輝度格子のフリッカーパターンに対する反応時間を測定した。フリッカーパターンとしたのは、高時間周波数領域では色成分はほとんど融合してしまい、各格子がもっている輝度成分を純粋に比較することができるためであった。KAのpositive 応答の結果が図3(b)である。色格子のフリッカーに対する反応時間はコントラストが3%と5%の輝度格子の反応時間の間に位置しており、等輝度の設定が不十分であるとしても、色格子がもっている輝度の副次的要素は5%以下であると考えられる。

すなわち、図2の結果を、色格子の輝度コントラストに原因があるとするためには、9%以上の輝度コントラストが必要であるにもかかわらず、実際には5%以下しかなかったと考えられる。そのため、C+L条件で直列探索となった結果は、等輝度設定のずれでは説明できない。また、他の被験者も類似した傾向となった。

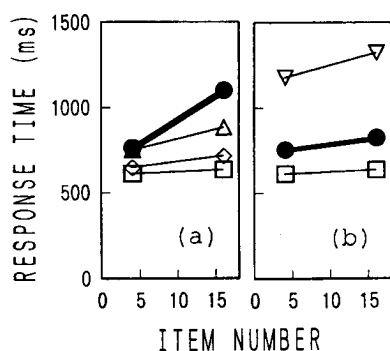


図3 等輝度のずれによる可能性を排除するために
行われた実験の結果(被験者 KA)。(a) C+L
条件と同様な場合の反応時間(●)と、色格子
の代わりに5%(□)、7%(◇)、9%(△)の
輝度格子を重ね合わせた場合の反応時間。(b)
C条件の色格子をフリッカーさせた場合(●)、
あるいは、3%(▽)、5%(□)の輝度格子を
フリッカーさせた場合の反応時間。

3. まとめ

色格子と輝度格子が直交した場合のみ、探索は直列的な様相を示した。これは、前注意段階において、色格子と輝度格子が持つ方位情報に差が無くなり、方位情報のみ結合して、探索の手がかりとされたためと考えられる。

一般的に、外界にある物体は、輝度と色の両方の成分が、1つの共通の形を定義している。そのため、人間がその形を知る際、2つの成分を別々に用いる必要はほとんどない。むしろ、それらからの形態情報が統合して使われることは効率的である。本研究は、効率的な輝度と色による形態情報の統合が、前注意段階で既に生じていることを示した。

文献

- 1) M. A. Webster, K. K. De Valois and E. Switkes: Orientation and spatial-frequency discrimination for luminance and chromatic gratings. *Journal of the Optical Society of America*, A7, 1034-1049, 1990.
- 2) A. Bradley, E. Switkes and K. De Valois: Orientation and spatial frequency selectivity of adaptation to color and luminance gratings. *Vision Research*, 28, 841-856, 1988.
- 3) O. E. Favreau and P. Cavanagh: Color and luminance: independent frequency shifts. *Science*, 212, 831-832, 1981.
- 4) K. T. Mullen, S. J. Cropper and M. A. Losada: Absence of linear subthreshold summation between red-green and luminance mechanisms over a wide range of spatial-temporal conditions. *Vision Research*, 37, 1157-1165, 1997.
- 5) 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.
- 6) G. Moraglia: Visual search: Spatial frequency and orientation. *Perceptual and Motor Skills*, 69, 675-689, 1989.
- 7) A. Lüschow and H. C. Nothdurft: Pop-out of orientation but no pop-out of motion at isoluminance. *Vision Research*, 33, 91-104, 1993.