

輝度と彩度の相関に基づく複数色相のテクスチャー弁別

齋藤 晴美***・竹内 龍人**・佐藤 隆夫*

* 東京大学大学院 人文社会系研究科

〒 113-0033 東京都文京区本郷 7-3-1

** 日本電信電話株式会社 NTT コミュニケーション科学基礎研究所

〒 243-0198 神奈川県厚木市森の里若宮 3-1

1. 研究の背景

自然画像内の輝度と彩度は特定の相関関係を持つことが知られている^{1,2)}。これは、光源と複数の物体の位置関係から起こる。この輝度と彩度の相関関係の情報は、色の見えに影響を与え、色の恒常性を解決する一つの方法となりうると考えられている^{1,2)}。本研究では、従来研究されてきた色の見えに与える影響ではなく、輝度と彩度の相関関係のみを手がかりとしたテクスチャー弁別実験を行うことで、視覚系が領域分割のために輝度と彩度の相関の情報を直接利用することができるかどうかについて調べた。本実験においてテクスチャー刺激を用いた理由は、輝度と彩度の相関関係は3次元空間内で生じる影や相互反射から引き起こされるため、奥行きや物体の形状の情報が存在するときには光の効果の情報が差し引かれて物体の色の見えが変化する³⁾ことを防ぐためである。もし、輝度と彩度の相関関係の違いを利用してテクスチャーが弁別された場合、視覚系において輝度と色の処理経路の相互作用があることを示すものである。また、輝度と彩度の相関関係の違いが3次元空間内の情景に関する情報となりうることを示唆するものであり、空間視における色の役割を示す結果ともなる。

2. 実験手続き

実験には3名の被験者(うち1名はナイーブ)

が参加した。各被験者とも正常な視力および色覚を有していた。

実験刺激は視角 $0.15^\circ \times 0.15^\circ$ の正方形の要素を50個 \times 50個並べた、 $7.5^\circ \times 7.5^\circ$ のテクスチャーとした。テクスチャーの要素の輝度および彩度の相関関係をピアソンの積率相関係数によって操作した。輝度および彩度の変化は錐体分光感度関数⁴⁾に基づく錐体応答量を等間隔に変化させるものと定義した。彩度は無彩色からの変化とした。テクスチャー要素の色相はDKL色空間⁵⁾の二つの色度軸(LM軸, S軸)の端点であるL-M色, M-L色, S色, -S色の4色によって定義した。テクスチャーは、上下あるいは左右の半分の領域で、輝度と彩度の相関係数が異なるように作成した。図1はテクスチャー刺激の例であり、輝度と彩度が相関係数 $R=-1.0$ となるような色の要素をテクスチャーの上半分の領域に空間的にランダムに配置し、一方、相関係数が $R=-0.7$ となるような色の要素を下半分の領域にランダムに配置している。それぞれの領域において輝度と彩度の平均および分散を等しくした。テクスチャー領域の境界線を縦あるいは横にランダムに変化させた。

実験では、テクスチャーの半分の領域を相関係数 $R=1.0$ あるいは $R=-1.0$ によって固定し、残り半分の領域を相関係数にして0.1単位ずつ、6段階で変化させた。実験は恒常法によって行い、各条件をランダムに提示した。被験者の課題はテクスチャーの境界線が縦であるか、横であるかを判断する2AFCとした。

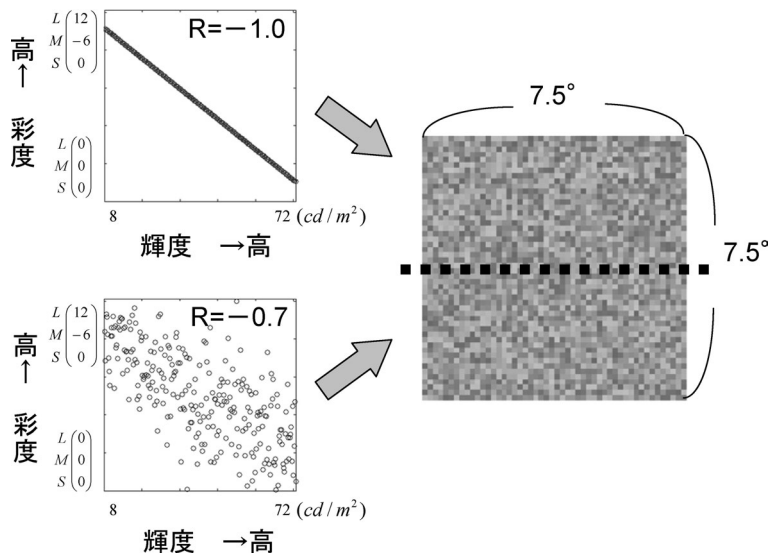


図1 テクスチャー刺激の作成例。

3. 実験 1

単独の色相要素からなるテクスチャーの弁別課題を行った。テクスチャーの色相はL-M色，M-L色，S色，-S色の4条件とした。テクスチャー弁別課題の結果を図2(A)に示した。図2のグラフの横軸はテクスチャー領域間の相関係数の差の値を示している。テクスチャーの片方の領域を相関係数 $R=1.0$ で固定した条件では，もう一方の領域の相関係数が $R=0.9, 0.8, 0.7, \dots$ と変化する。一方， $R=-1.0$ で固定した条件では，もう一方の領域の相関係数が $R=-0.9, -0.8, -0.7, \dots$ と変化する。グラフの縦軸はテクスチャー弁別の正答率である。正答率の近似はWeibull関数によって行った。LM軸の2色，およびS軸の2色において，すべての条件でテクスチャー間の相関係数の差が大きくなるほど正答率が上昇した。すなわち，相関の違いに基づいてテクスチャーを弁別することが可能であったことを示している。

4. 実験 2

実験2では，実験1で用いたテクスチャー刺激に表されるような単色の場が自然界におい

ては起こりにくいことを踏まえて，テクスチャー要素の色相を複数にした実験を行った。テクスチャーを構成する色相の数が増えた場合に，テクスチャー弁別課題の成績に影響があるかどうかを調べ，視覚系がより自然情景に近い，複数の色相が存在した条件で輝度と彩度の相関の情報をどのように利用するかを検討した。

刺激は，DKL色空間における2本の色度軸の，端点の2色相を用いて作成したもの（180°条件：L-M色とM-L色，S色と-S色）と，DKL色空間において90°間隔にある2色相を用いて作成したもの（90°条件M-L色とS色，M-L色と-S色）を用いた。後者を90°条件と呼ぶ。それぞれの色相要素は半数ずつとなり，ランダムな位置に配置された。テクスチャーの半分の領域において，テクスチャーに使用されている2色相がそれぞれ同じ相関係数を持つように作成した。実験1と同じく，テクスチャーの上下あるいは左右の半分の領域で輝度と彩度の相関係数が異なるようにした。色相が増えることで，輝度と彩度の相関の情報が捉えられやすくなると仮定し，確率加重による予測を行った（図2(B)の細い実線は180°条件の正答率の予測）。実験1の単色条件よりも，2

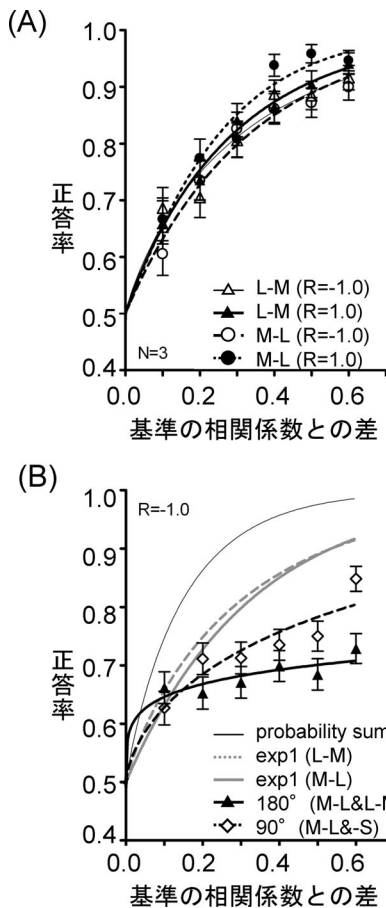


図2 (A) 実験1の結果 (L-M色条件とM-L色条件)
(B) 実験2の結果 (基準の相関係数 $R=-1.0$ 条件の結果).

色を使用したテクスチャーでは正答率がより高くなると予測される。

実験2の結果を図2(B)に示した。2色相からなるテクスチャーの弁別の正答率は予想に反して低くなった。180°条件では、LM軸とS軸条件それぞれにおいて、単色条件の正答率を下回った。また、90°条件は、180°条件よりも正答率が高くなったが、単色条件よりは低い正答率となった。結果より、複数の色相を使用したテクスチャーでは、輝度と彩度の相関に基づいた弁別が困難になることが分かった。180°間隔の2色よりも、90°間隔の2色において、テクスチャー弁別はより容易になった。

4. 実験 3

実験2においてテクスチャー弁別の正答率が下がった要因として、ある色相のテクスチャー要素に注目した場合に、もう一方の色相要素が存在するために空間的に分離していることがあげられる。この点を検討するために、実験2の刺激の一方の色相要素を無彩色、平均輝度とした刺激を用いたテクスチャー弁別実験を行った。図3(A)に示したように、実験3の正答率は180°間隔の2色相を用いた実験2よりも低くなった。この結果から、他色相であっても、同じ相関を保つ要素の存在は、輝度と彩度の相関の情報の獲得を促進しているということが分かる。また、刺激の特徴から、要素が空間的に連続していない場合は、相関の情報を利用することが困難になることが分かった。

なお、複数の色相を使用したテクスチャーでは、単色の条件と比較して、ある色相を持った要素の数が半減している。この影響について、テクスチャー要素の数を実験1の半数個とした単色テクスチャーの弁別実験を行った。結果、テクスチャー要素が半減しても正答率に差は見られず、ある色相の要素が半減したことで正答率が低下したのではないことが示された。

5. 実験 4

実験3において、テクスチャー要素が空間的に連続していることがテクスチャー弁別の正答率に影響を及ぼしていると示唆されたため、実験4では、実験2と同様のLM軸上の端点の2色(L-M色とM-L色)を使用しているが、それぞれの色相要素が空間的に連続しているテクスチャーの弁別課題を行った。刺激は、L-M色、M-L色の要素がそれぞれ8個×8個の大きさに連続した範囲(以下ブロックと呼ぶ)を、それぞれの色相について18カ所、ブロックの位置によってテクスチャーが弁別されることのないよう、偏らない位置に配置したものをを用いた。刺激全体の大きさは7.2°×7.2°であった。実験2のLM軸上の2色相による刺激と実験4の刺

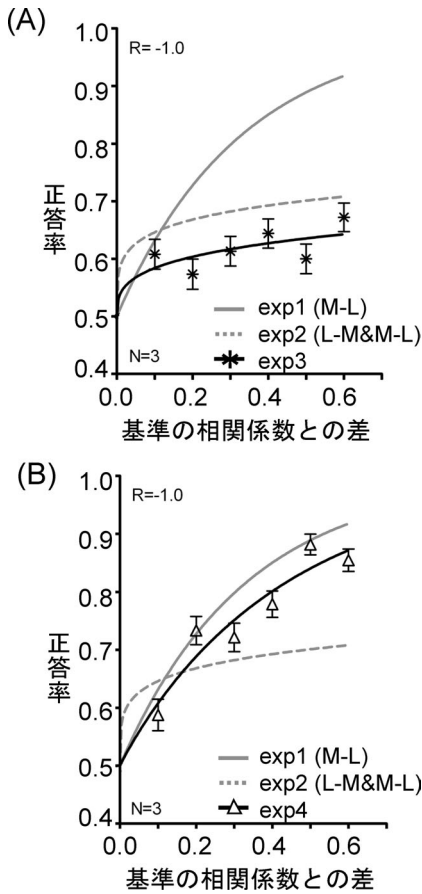


図3 (A) 実験3の結果(基準の相関係数 $R=-1.0$ 条件の結果) (B) 実験4の結果(基準の相関係数 $R=-1.0$ 条件の結果)。

激では、テクスチャー要素に使用されている色は同じものである。

図3(B)は実験4のテクスチャー弁別の正答率と、単色条件である実験1の正答率(L-M色)およびLM軸上の2色を用いた実験2(180°条件)の正答率(近似曲線は灰色の破線)を比較したグラフである。実験の結果、実験2と同じLM軸上の2色を用いたにもかかわらず、各色相の要素をブロック状に連続させて配置した実験4において弁別の正答率が高くなることが分かった。しかし、単色のテクスチャーを用いた実験1の正答率を上回らなかった。このことから、複数の色相からなるテクスチャーについて輝度と彩度の相関に基づいた弁別を行う場合、単色のテクスチャーよりは弁別の感度が落

ちるが、同じ色相の占める空間的範囲が広い場合は弁別の感度が良くなることが示された。

6. 総合考察

本実験では、輝度と彩度の相関の違いに基づいたテクスチャーの弁別が可能であることを示した。このことは、視覚系が輝度と色の両方の情報を利用したテクスチャー弁別を行うことを示している。ただし、テクスチャーがより弁別できたのは、テクスチャーが単色あるいは類似した色相から構成され、かつ空間的に連続した領域となっている場合であった。また、齋藤・竹内⁷⁾は、テクスチャー要素が空間的に不連続である場合は、輝度と彩度の相関に基づいた弁別は困難であるとし、本実験でもその見解を支持する結果が得られた。本実験で得られた結果を生理学的メカニズムの観点から考察すると、テクスチャーを弁別するために、輝度と彩度の情報が空間的に連続した広い領域から得られなければならないということや、輝度と色の両方の情報を処理しなければならないことから、本実験でのテクスチャー弁別は視覚の初期の段階で行われるものではなく、比較的高次の段階で処理されていることが予想される。

文 献

- 1) J. Golz and D. I. A. MacLeod: Influence of scene statistics on colour constancy. *Nature*, **415**, 637-640, 2002.
- 2) E. Adelson: Textural statistics and surface perception. *Journal of Vision*, **3**, 48a, 2003.
- 3) M. G. Bloj, D. Kersten and A. C. Hurlbert: Perception of three-dimensional shape influences colour perception through mutual illumination. *Nature*, **402**, 877-879, 1999.
- 4) V. C. Smith and J. Pokorny: Spectral sensitivity of the foveal cone photo-pigments between 400 and 500 nm. *Vision Research*, **15**, 161-171, 1975.
- 5) A. M. Derrigton, J. Krauskopf and P. Lennie: Chromatic mechanisms in lateral geniculate nucleus of macaque. *Journal of Physiology*, **357**, 241-265, 1984.
- 6) 齋藤晴美, 竹内龍人: 輝度と彩度の相関に基づくテクスチャー弁別. *光学*, **34**, 154-161, 2005.