

色に基づいた画像中の影の認識

山縣 陽・内川 恵二

東京工業大学 工学部 像情報研究施設

〒226 横浜市緑区長津田町 4259

1. はじめに

日常シーンを写した自然画像には影が存在し、我々は影の領域を影として正しく認識できる。影の知覚には「画像から得られる3次元構造に基づく要因」と「影と周辺との画像的特性（色・テクスチャ・エッジなど）に基づく要因」があり、各要因それぞれにおいて影と知覚するために必要な制約条件があると考えられる。本研究ではこれらの要因の中で影と周辺との色度に着目した。

影と周辺との色度は照明条件によっては異なる色度になり得るが、我々の視覚的経験からすると影と周辺との色度が近い方が影と知覚しやすい。そこで本研究では影と知覚するために必要な影と周辺との間の色差制約条件を明らかにすることを目的とした。

2. 実験原理

被験者に影を含んだ画像を刺激画像として呈示し、影とその周辺領域との間の色差を変化させ、影と知覚できる色差の範囲を決定する。このとき影と周辺領域との輝度はもとの画像のまま固定した。

影と知覚するための色差制約条件を表すためには、どの表色系が適しているのかということも重要な問題である。そこで本研究では実験1として $u'v'$ 色度図上で色度を変化させる実験を行い、その結果を踏まえて実験2としてマンセル表色系上で色度を変化させる実験を行った。

3. 実験1： $u'v'$ 色度図上での色差変化

3.1 方法

実験には計算機とCRTディスプレイ（21インチ、1152 x 900画素）を用いた。実験は暗室で行なわれCRTディスプレイに照明光が当たらないようにした。呈示した刺激画像はレイトレーシングにより作成した影のあるカラー画像である（図1）。画像の大きさは500 x 400画素でありCRTディスプレイのほぼ中央に呈示された。画像の周りは黒である。

影と周辺との色度が同じであり、影と十分知覚できる画像を元画像と定義する。元画像は影の色度が $u'v'$ 色度図上で適当に分布するように20枚を用意した（図2）。ここでは色度図上なるべく広い範囲の色度点で実験を行うために画像間の影と周辺との輝度条件は指定せずに元画像を作成した。

各画像において輝度を固定したまま影の色度を $u'v'$ 色度図上で8方向に直線的に動かし、色差を作った。実際には8方向の内、十分色を変化できる試行のみを行った。1回の実験で20枚の画像における実験可能なすべての方向に対して試行を行った。

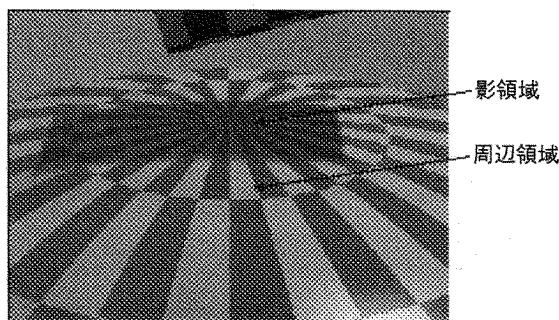


図1 刺激画像の例

試行の開始時には影と周辺との色差が十分大きく設定され、被験者はマウスのボタンを押して色差を減らしていく。そして「影として不自然でない」と知覚した色差を決定する。

被験者は3人（男2 KK,YY,女1 KS: 22-24歳）である。被験者一人につき5回の実験を行った。

3.2 結果と考察

被験者全員のデータを平均した結果を図3に示す。結果は $u'v'$ 色度図上で示される。図中の□が元画像の影の色度であり+で示されているのがその方向に対する結果の点である。したがって影の色度と結果の点とを結んだ直線間

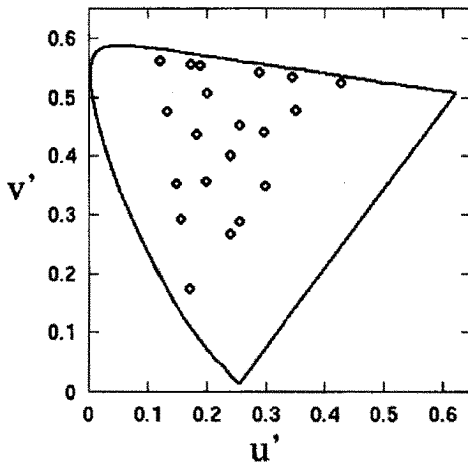


図2 元画像の影の色度点

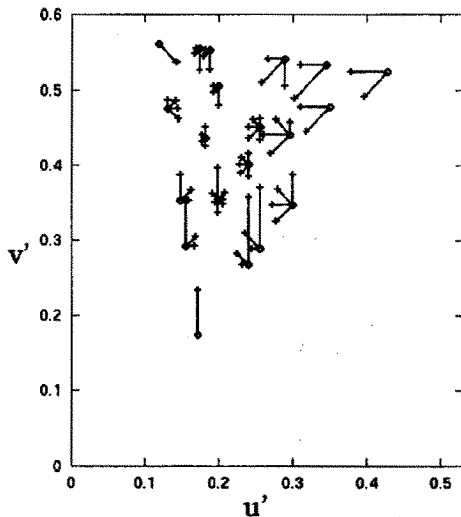


図3 実験1結果

が、その色度の変化方向において被験者が影と知覚した色差の範囲となる。一つの影の色度に注目すると、色度の変化方向により影と知覚する色差範囲に違いがあることがわかる。したがって影の知覚範囲が $u'v'$ 色度で定義される色差とは別の属性により決定されていることがわかる。

色度変化方向と知覚色差を比較してみると、色相方向に色が変化する場合は影の知覚色差が狭いが、彩度方向に色が変化する場合は影の知覚色差が大きくなっているのがわかる。すなわち色相と彩度という二つの属性が影の知覚色差に異なった効果を持っていると考えられる。そこで実験2としてマンセル表色系上で色差を変化させる実験を行った。

4. 実験1：マンセル色空間上での色差変化

4.1 方法

実験の原理は実験1と基本的に同じである。刺激も実験1と同様のCGで作成した影のある画像（500 x 400 画素）である（図4）。

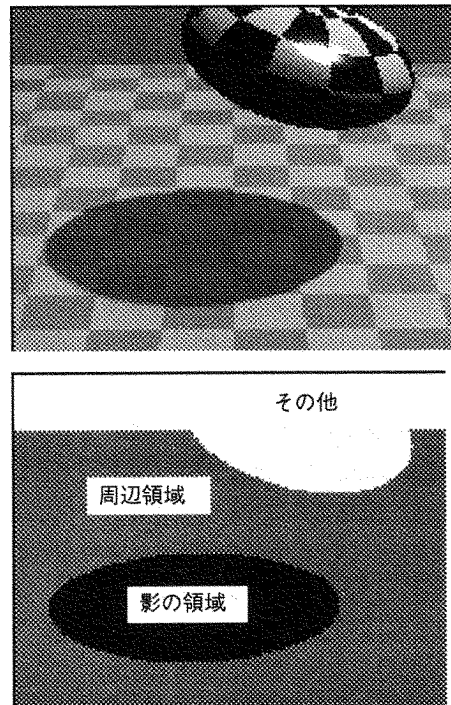


図4 刺激画像（上）とその領域の分割（下）

以下、影のマンセル色度を (Hs, Vs, Cs), 周辺の色度を (Ho, Vo, Co) とし、色差 ($\Delta H, \Delta V, \Delta C$) を

$$\Delta H = H_o - H_s$$

$$\Delta V = V_o - V_s$$

$$\Delta C = C_o - C_s$$

とする。なお刺激画像は図4のように面に輝度のテクスチャがついているので、影と周辺との明度は平均明度 V_s, V_o として表される。本実験では (Hs, Cs) と (Ho, Co) を指定することで、輝度を固定したまま影と周辺との色を変えることが出来るようにした。また元画像を (Hs, Cs) と (Ho, Co) が等しい場合と定義する。本実験では結果から影の色度 (Hs, Vs, Cs) と色差 ($\Delta H, \Delta V, \Delta C$) により色差制約条件を表すために、影の色ではなく周辺領域の色度を変化させた。

色度の変化方向は彩度(クロマ)のみまたは色相のみが変化する4方向を設定した。各方向は次のように定義される。

CUP: 周辺の彩度が影の彩度よりも大きい

CDOWN: 周辺の彩度が影の彩度よりも小さい

HUP: 周辺の色相が影の色相よりも大きい

HDOWN: 周辺の色相が影の色相よりも小さい

元画像としては表1, 2で示されるものを設

表1: 明度条件

	V_s	V_o
VC1	2.962	6.129
VC2	3.888	6.129
VC3	4.820	6.129
VC4	2.205	3.718

表2: 色相と彩度

色相: 5R, 5YR, 5Y, 5GY, 5G, 5BG, 5B, 5PB, 5P, 5RP

彩度: 3, 6, 9, 12

定した。まず影と周辺との明度条件として VC1-VC4 を設定し、それぞれの明度条件において色相 10 点、彩度 4 点を設定し、それらの組合せで元画像を設定した。それぞれの値は表 1, 2 の通り。

これらの組み合わせで出来た元画像に対して 4 方向のうち色差を十分作ることが出来る方向について試行を行った。被験者は実験1と同じ 3 人で各トライアルにつき 5 回ずつ実験をした。被験者のタスクも実験1と同じで、色差を減らしていき、影として不自然でない色差を決定した。

4.2 結果と考察

まず特定の彩度と明度条件において、影の色相の違いが知覚範囲に与える影響を調べた結果、システムティックな違いは見られなかつ

た。そこで影の色相については省略し、影の彩度と明度条件により結果を表した。図5, 図6は被験者全員のデータを平均したものである。

図5が彩度差(CUP, CDOWN)に関する結果であり、図6が色相差に関する結果である。各図には明度条件の違いで4枚ずつグラフがある。横軸は影の彩度 C_s である。縦軸は色差であり、図5の

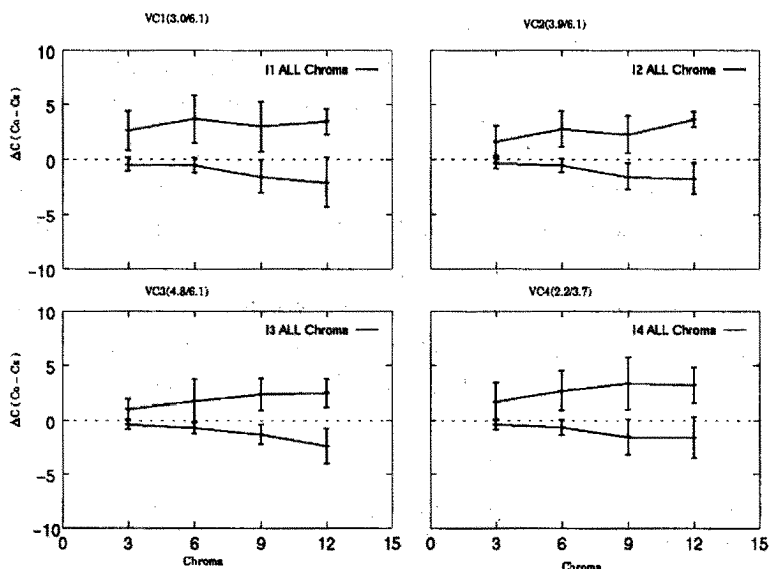


図5 実験2結果 彩度差 (CUP, CDOWN)

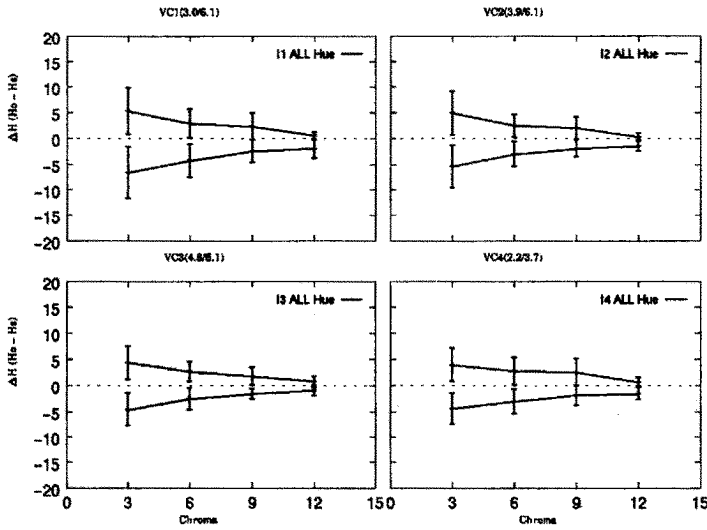


図6 実験2結果 色相差 (HUP, HDOWN)

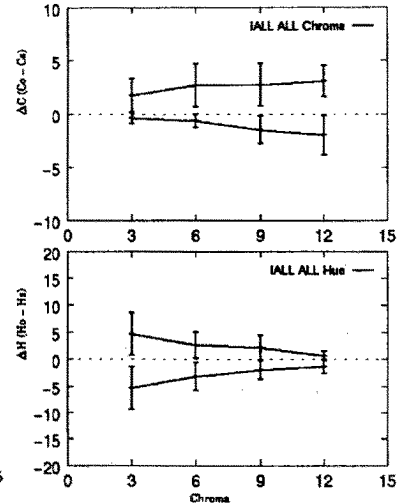


図7 実験2結果

場合は彩度差 ΔC であり+軸がCUPの結果、-軸がCDOWNの結果である。図6の場合、縦軸は色相差 ΔH であり、+軸がHUPの結果、-軸がHDOWNの結果である。

結果から次のことがわかる。まず明度条件による結果の差異が、彩度差についても色相差についても見られなかった。また影の彩度が上がると、影と知覚する彩度差の範囲が大きくなる。一方、影と知覚する色相差は逆に狭くなっている。またCUPとCDOWNを比べるとCDOWNの方が影と知覚する範囲が全体的に狭かった。すなわち周辺の彩度が影の彩度よりも低い場合には影と知覚しにくいということがわかった。HUPとHDOWNに関してはそのような違いが見られなかった。

以上のことから、明度条件による結果の違いが見られなかったので、結果を影の彩度のみで表すと図7のようになる。

これらのグラフにおける各曲線をエクポネンシャル関数でフィッティングすると下のようになる。

$$\Delta C \leq 1.664 \exp(0.055 C_s), (C_s \leq C_o)$$

$$\Delta C \geq -0.187 \exp(0.204 C_s), (C_s > C_o)$$

$$\Delta H \leq 9.631 \exp(-0.207 C_s), (H_s \leq H_o)$$

$$\Delta H \geq -8.263 \exp(-0.156 C_s), (H_s > H_o)$$

この式が本実験から得られた人間が影の知覚

に利用している影と周辺との色差制約条件であると考えられる。

5. 結論

色差制約条件の有効性を調べるため、実際の自然画像中の影と周辺との色差と色差制約条件とを比較した。その結果、自然画像には求めた色差制約条件よりも色差の大きいものが多くあることがわかった。これらの画像中の影は影として十分知覚できるものであり、したがって本実験で求めた色差制約条件が狭いものと考えられる。

本実験では、影と周辺との明度条件を複数設定したが、被験者が刺激画像から感じる照明光の強さや色、あるいは面(周辺領域)の反射光などについては調べていない。したがって実験では影と知覚できなかった色差でもこれらの条件次第では、影を知覚できた可能性もある。したがって色差制約条件をより明らかにするためには被験者の照明光の知覚を様々に設定した上で実験を行なう必要があるものと考えられる。

文献

- 1) P. Cavanagh and Y. G. Leclerc: Shape from shadows. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 15, 3-27, 1989.