

&lt;原 著&gt;

## 幾何学的錯視に対する図形と背景の輝度差の効果

江 草 浩 幸\* 御 領 謙\*\*

## 要 旨

長さに関する幾何学的錯視について、図形と背景の輝度差の錯視量に及ぼす影響が検討された。錯視図形として、Müller-Lyer図形、Ponzo図形、分割距離錯視図形、垂直水平錯視図形の4種が用いられた。図形は緑の背景上に赤で描かれ、CRT画面に提示された。背景の輝度は一定に保たれ、図形の輝度は背景との等輝度を含む13段階に設定された。錯視量の測定には極限法が用いられた。そして、どの図形においても、等輝度を含めたすべての輝度条件で錯視が生じ、錯視量は輝度条件に関わりなくほぼ一定であるという結果が得られた。この結果より、色の差異による輪郭や境界の情報が、錯視を生じる機構において広く有効に利用されていると結論された。

キーワード：幾何学的錯視、色、等輝度、輝度コントラスト

## 1. 序

幾何学的錯視とは、視覚的に提示された平面図形の大きさや形などが客観的な姿とは異なって知覚される現象である。これは例外的なあるいは異常な現象ではなく、視覚的空間知覚の普遍的な性質が特殊な図形において誇張されて現れたものと考えられる。このような幾何学的錯視の研究の主要な目的は、物珍しい現象の研究というよりは、視覚的空間知覚の一般的なしくみの解明にある。幾何学的錯視には様々な種類があるが、それらの生起のしくみを説明する理論にも様々なタイプがある。たとえば、大脳皮質視覚野にある特徴検出細胞間の側抑制など、視覚神経系における生理学的相互作用に起源を求める理論がある。また、神経学的実体には触れず、注意や同化などの高次の認知的過程を重視する理論もある (Coren & Girgus, 1978<sup>1)</sup>)。

後者のタイプの理論の一つに、大きさの恒常性と共通のしくみによって幾何学的錯視を説明しようとするものがあり (たとえば、Gregory, 1963<sup>2)</sup>, 1968<sup>3)</sup>)、遠近法説と呼ばれる。大きさの恒常性とは、同一の対象を異なる距離から見た場合、網膜像の大きさは異なるのに、知覚される大きさはそれほど変わらないという傾向を指す。この知覚的傾向は、対象の大きさの視知覚過程に網膜像の大きさの情報を対象までの距離の情報で補正するしくみが組み込まれていることに起因すると説明されることが多い。この説では、対象までの

距離の変化によって対象の網膜像の大きさの情報が変化しても、距離の情報の変化がそれを相殺するため、知覚上の大きさは一定に保たれると考える。一方、同じしくみによって、網膜像の大きさの情報が一定でも、距離の情報が増加する場合には、知覚される大きさが変化するということが起こる。たとえば、より遠くにあるという情報が与えられれば、網膜像の大きさが同じでも、より大きく知覚される。幾何学的錯視の遠近法説では、ある種の錯視図形に絵画的奥行手がかり<sup>†</sup>が含まれていることに注目する。そして、そのような手がかりの与える距離情報が大きさの恒常性のしくみを作動させることによって錯視が生じると考える。たとえば、図2のBでは、斜め線分のペアが絵画的奥行手がかりの一種である線遠近法パターンと見なされる。そして、この手がかりによって、2本の水平線分のうちの上部にある方が「より遠くにある」という情報が与えられるため、2本の水平線分の長さが実際には同じであるにもかかわらず、上部の線分の方がより長く見えるというわけである。

<sup>†</sup>奥行手がかりとは対象までの距離や対象の奥行の知覚のための情報を与える刺激特徴の総称である。そのうちの単眼網膜像に含まれるものを絵画的奥行手がかりと呼ぶ。その一つに1点に向かって収束する線分群があり、線遠近法パターンと呼ばれる。

所 属： \*国際医療福祉大学 保健学部 (心理学)

\*\*千葉大学 文学部 (心理学)

受 付： 1998年1月20日

一方、Livingstone & Hubel(1987<sup>4)</sup>, 1988<sup>5)</sup>)は神経科学の立場から幾何学的錯視にアプローチした。彼らは、視覚神経系に関する解剖学および生理学的研究に基づいて、網膜から大脳皮質の高次視覚野にいたる視覚神経経路に少なくとも二つの互いに独立した下位経路が存在すると主張した。一つは間脳の外側膝状体の大細胞層に中継点を持つ経路で、M経路(magnocellular pathway)と呼ばれる。この経路の神経細胞には、応答が速く一過的、刺激の動きに敏感でその方向に選択的に応答する、両眼視差に選択的に応答するといった性質がある。そのため、この経路は運動や奥行の知覚に関わっていると見なされる。また、この経路の神経細胞は、刺激の明るさの差異には敏感に応答するが、色には非選択的に応答する。もう一つの経路は、外側膝状体の小細胞層を通過しており、P経路(parvocellular pathway)と呼ばれる。この経路の細胞は、刺激の傾きに選択的に応答したり、刺激の角や線の末端に応答したりする。そのため、この経路は形の知覚に関与すると考えられる。また、この経路の細胞は色に対して選択的に応答したり、色の境界に応答したりする。

Livingstone & Hubel<sup>4) 5)</sup>は、上述の応答特性に関する知見に基づいて、M経路では刺激の中の明るさが同じで色のみ異なる領域の境界は検出されないと仮定した。そして、明るさの差異を含まず、色の差異のみで構成された刺激パターン(以下、等輝度刺激と呼ぶ)に対しては奥行や運動の知覚は生じえないと推測した。彼らは、等輝度刺激においては、仮現運動などの運動知覚、ステレオグラムによる両眼立体視、絵画的奥行手がかりによる奥行知覚などが消失したり、あるいは著しく減退することを例証した。そして、運動知覚やステレオグラムによる両眼立体視の劣化は他の研究者によっても確認されている。たとえば、ステレオグラムによる両眼立体視に関しては、Lu & Fender(1972)<sup>6)</sup>、Gregory(1977)<sup>7)</sup>、De Weert(1979)<sup>8)</sup>、Egusa & Goryo(1996)<sup>9)</sup>などが等輝度条件下での消失を見いだしている。また、Osuobeni & O'Leary(1986)<sup>10)</sup>、Osuobeni(1991)<sup>11)</sup>、江草・御領(1993)<sup>12)</sup>、Simmons & Kingdom(1994)<sup>13)</sup>、1995<sup>14)</sup>、Kingdom & Simmons(1996)<sup>15)</sup>、Jimenez, Rubino, Hita, & Del Barco(1997)<sup>16)</sup>などは、消失には至らないまでも劣化することを報告している。しかし、Livingstone & Hubel<sup>4) 5)</sup>とは一致しない報告もある。たとえば、絵画的奥行手がかりによる奥行知覚に関して、Troscianko, Montagnon, Clerc, Malbert, & Chanteau(1991)<sup>17)</sup>は、きめの勾配の手がかりが等輝度刺激においても有効であると報告している。また、

Cavanagh(1987)<sup>18)</sup>は重なりの手がかりの有効性を報告している。

さらに、Livingstone & Hubel<sup>4) 5)</sup>は、等輝度条件下での奥行知覚に関する自分たちの観察と幾何学的錯視の遠近法説とを組み合わせ、絵画的奥行手がかりを含む錯視図形を等輝度刺激として描いた場合には錯視は起こらないと予測した。そして、Ponzo図形(図1Bを参照)やMüller-Lyer図形(図1Aを参照)などを用いて予測を例証して見せた。ただし、錯視が生じない場合でも図形自体は明瞭に知覚され、その知覚はP経路の働きによると解釈された。しかし、幾何学的錯視に関する彼らの報告には反証が多い。たとえば、Gregory<sup>7)</sup>はPonzo図形やMüller-Lyer図形を一種のスライド映写像として提示したが、等輝度条件下でも輝度差がある場合と同じように錯視が生じた。また、Pollackらの一連の研究(Pollack, 1970<sup>19)</sup>; Ebert & Pollack, 1972<sup>20)</sup>; Youn, Lambert, & Pollack, 1987<sup>21)</sup>)では、灰色のマンセル色紙上にそれと等明度の有彩色のマンセル色紙でMüller-Lyer図形が描かれたが、明瞭な錯視の生じることが示された。また、Pollack & Jeager(1991)<sup>22)</sup>は、図形と背景の明度が等しい場合の方が、明度差がある場合より、むしろMüller-Lyer錯視の錯視量は大きいことを見出した。最近では、Irtel(1995)<sup>23)</sup>やLi & Guo(1995)<sup>24)</sup>が、やはり、これらの幾何学的錯視が等輝度条件下でも損なわれないことを報告している。

刺激の提示方式として、Livingstone & Hubel<sup>4) 5)</sup>やLi & Guo<sup>24)</sup>はCRTを用いている。それに対して、Gregory<sup>7)</sup>はスライドの映写像を用いており、Pollackら<sup>19) 20) 21) 22)</sup>は色紙を用いている。また、等輝度の決定に、Livingstone & Hubel<sup>4) 5)</sup>やLi & Guo<sup>24)</sup>は交照法を用いている。一方、Gregory<sup>7)</sup>は輝度計による測定値の一致を等輝度の基準としている。また、Pollackら<sup>19) 20) 21) 22)</sup>はマンセル表色系における明度の一致を基準としている。このように、用いられた刺激の光学的性質がかなり異なるので、幾何学的錯視に関する上記の諸報告を単純に比較することはできない。また、Livingstone & Hubel<sup>4) 5)</sup>は、等輝度刺激における幾何学的錯視の消失のデモンストレーションを行っただけであって、図形・背景間の輝度差と錯視量との関係を組織的に検討したわけではない。さらに、上記の諸研究<sup>4) 5) 7) 19) 20) 21) 22) 23) 24)</sup>では絵画的奥行手がかりを含むと見なされる錯視図形が取り上げられているが、必ずしも絵画的奥行手がかりを含むとは言えない錯視図形も多い。Livingstone & Hubel<sup>4) 5)</sup>の言うように絵画的奥行手がかりを含む図形では等輝度条件下で錯視が消失するとしても、含まない図形では等

輝度条件下でも輝度差がある場合と同様に錯視が生じるかもしれない。たとえば、ある錯視の起源がP経路に属するしくみにあると仮定するならば、先に述べたP経路の神経生理学的特性から、その錯視は等輝度条件下でも生じると推測できる。もし等輝度条件下で減退する錯視と維持される錯視とが確認されたならば、幾何学的錯視の分類や生起のしくみの解明に有力な手がかりを提供することになる。

以上のことを踏まえ、本研究では、CRT画面上に直線要素のみで構成された長さに関する幾何学的錯視図形を提示した。そして、図形と背景との輝度関係として等輝度だけでなく輝度差のある条件を複数設定して、錯視量への影響を調べた。また、線遠近法パターンを含むと見なされる図形と含まないと見なされる図形との比較を通して、幾何学的錯視における絵画的奥行きがかりの役割を検討した。

## II. CRT画面の明るさの測定

Ⅲ節で述べる錯視の測定では、CRTディスプレイの画面上に赤い錯視図形と緑の背景を提示し、各領域の明るさをコンピュータープログラム上の数値によって制御した。その準備として、錯視の測定に先立ち、プログラム上の特定の数値で指定される緑および赤の画面の明るさを別の白色透過面の輝度に換算するための測定を行った。

### 1. 方法

1). 被験者 心理学を専攻する大学生4名(以下、MY、KT、HM、MSと略記する)が参加した。ただし、全員、研究の目的についての知識はなかった。視力はMYが裸眼で左右とも1.5、MSは左右とも1.0、HMは左が1.2で右が0.7、KTのみ矯正で左右とも1.0であった。全員、色覚は正常であった。

2). 装置 刺激の提示にはカラーCRTディスプレイを含む視聴覚刺激提示装置(岩通アイセル製、IS-701C)を用い、その制御および反応の記録はコンピューター(NEC製、PC-9801FA)で行った。CRTの解像度は約200×200mmの表示画面に対して512×512画素であった。赤蛍光体のCIE色度座標は $x=0.62$ 、 $y=0.35$ で、緑蛍光体の色度座標は $x=0.29$ 、 $y=0.60$ であった。各々の明るさは、制御用プログラム上で0から255までの数値を指定することにより、画素ごとに256段階に変化させることができた。また、CRT画面の明るさの換算に用いられる白色透過面の照明光源にはスライドプロジェクター(キャビン工業製、Color Cabin II)が用いられ、明るさの調整には長方形NDウェッジが用いられた。さらに、CRT画面からの光とプロジェクターからの光とを重ね合わせるために、

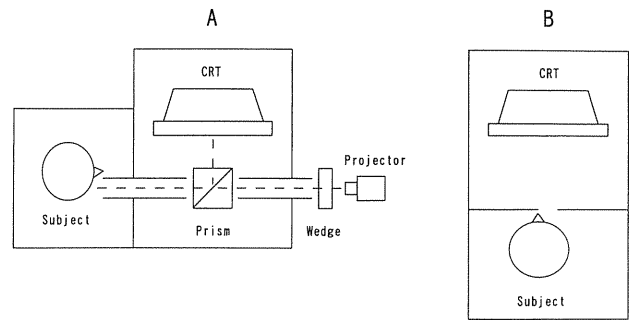


図1 装置の配置

Aは画面輝度の測定の場合、Bは錯視量の測定の場合を示す。

2個の直角プリズムを底面で貼り合わせたものが光路に置かれた。プリズムのCRT側には中央に直径3cmの円形の穴を開け黒く塗ったアルミ板が取り付けられ、プロジェクター側には白色半透明の合成樹脂板が取り付けられた。プリズムの接合面は、中央の楕円形の部分がプロジェクターからの光を被験者の方へ透過させ、他の部分がCRTからの光を被験者の方へ反射するように加工された。プロジェクターからプリズムまで、およびプリズムから被験者の眼までの光路は内部を黒く塗った遮光用の筒で覆われた。装置の配置の概略を図1Aに示す。

実験は暗室で行われ、さらに上記の装置全体が内部を黒く塗った遮光箱の中に収められた。被験者は、装置用遮光箱に接続された遮光ブースの中に座り、プリズムの接合面の中心が右眼の正面、眼の高さになるように顔面固定器で頭部を固定した(図1Aを参照)。プリズムの接合面の中心から被験者の眼までの距離は50cmであった。

3). 刺激 刺激パターンは被験者から見ると二重同心円形であり、内円の直径は視角にして $1.13^\circ$ 、外円の直径は $3.41^\circ$ であった。内円部にはプロジェクターによって背後から照明された白色半透明板が見えており、外環部には赤または緑の蛍光体のみが発光しているCRT画面が見えていた。刺激パターンは、暗黒を背景に、中心の位置が被験者の右眼の正面、眼の高さになるように提示された。

4). 手続 刺激パターンの内円部と外環部の輝度が等しい状態をMDB法(minimally distinct border method)で決定し、その際の内円部の輝度を求めた。被験者は遮光筒を通して右眼で刺激パターンを観察した。実験者はNDウェッジによって内円部を外環部より明らかに明るい状態から徐々に暗くするか(下降系列)、あるいは外環部より明らかに暗い状態から徐々に明るくした(上昇系列)。そして、被験者が内円部と外環部の境界が最も不明瞭になったと報告した際の内円部

表1 明るさ指定値に対応する換算された輝度の平均値(cd/m<sup>2</sup>)

被験者	色	明るさ指定値						
		30	60	90	120	150	180	210
MY	緑	0.07	0.15	0.61	2.33	4.52	7.14	11.88
	赤	0.05	0.13	0.40	0.75	1.23	2.24	3.50
HT	緑	0.05	0.16	0.80	2.33	4.82	8.43	13.84
	赤	0.06	0.13	0.35	0.80	1.59	2.42	3.12
HM	緑	0.10	0.22	1.10	2.44	4.07	5.82	8.86
	赤	0.10	0.17	0.57	1.00	1.51	2.49	3.21
MS	緑	0.04	0.34	0.52	1.48	2.05	3.24	4.02
	赤	0.20	0.29	0.51	0.58	0.86	1.24	1.78

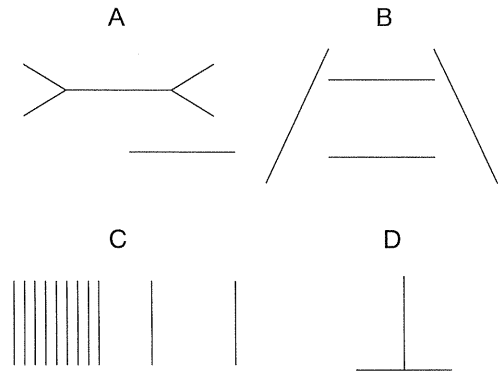


図2 刺激図形

AはMüller-Lyer錯視図形、BはPonzo錯視図形、Cは分割距離錯視図形、Dは垂直水平錯視図形である。

の輝度を輝度計(ミノルタ製、nt-1° p)によって測定した(以下、この輝度を換算された輝度と呼ぶ)。

外環部すなわちCRT画面の明るさとしてプログラム上の指定値の30、60、90、120、150、180および210に対応する7種類が選ばれた。7種の明るさと赤および緑の2色との組み合わせによる14条件の各々に対して上昇下降各1系列の測定が3日間繰り返された。いずれの日も測定に先立って5分間の暗順応が行われた。

## 2. 結果

被験者ごとに14の条件の各々に対する2日目と3日目の計4系列分の測定値の平均を求めた。各明るさ指定値に対応する換算された輝度の平均値を被験者別、色別に表1に示す。さらに、被験者ごと色ごとに明るさ指定値の対数値と換算された輝度の平均値の対数値との直線回帰式を求めた。決定係数は全て0.94以上であった。次節で述べる錯視の測定では、この直線回帰式を用いて、特定の換算された輝度を持つ錯視図形や背景をCRT画面上に表示するのに必要なプログラム上の指定値を算出した。

## III. 錯視の測定

### 1. 方法

1). 被験者 CRT画面の明るさの測定に参加した4名が錯視の測定にも参加した。

2). 装置 刺激の提示と反応の記録用に前述のコンピューターと視聴覚刺激提示装置のみが用いられ、他の器具は除かれた。被験者用遮光ブースはCRTディスプレイの正面の位置で装置用遮光箱に接続された。被験者は、遮光ブースの中でCRTディスプレイに向かって座り、その画面の中心が右眼の正面、眼の高さになるように顔面固定器で頭部を固定した(図1Bを参照)。観察距離は57cmであった。

3). 刺激 用いられた4種の幾何学的錯視図形を図2に示す。これらの図形では客観的には同じ長さの部

分間に以下のような知覚的關係が生じることが知られている。Müller-Lyer図形(図中のA)では斜め線付きの水平線分が斜め線なしの水平線分比べて過大視される。Ponzo図形(B)では上の水平線分が下の水平線分比べて過大視される。分割距離錯視図形(C)では分割された距離(左側の9本の垂直線分の列の両端の線分間の距離)が分割されない距離(右側の2本の垂直線分間の距離)に比べて過大視される。垂直水平錯視図形(D)では垂直線分が水平線分比べて過大視される。本研究では、Müller-Lyer図形とPonzo図形は線遠近法パターンを含み、分割距離錯視図形と垂直水平錯視図形は含まないと仮定した。

Müller-Lyer図形の水平線分の長さは視角にして3.20°であった。斜め線分はいずれも1.60°の長さで水平線分と150°の角度で交わっていた。さらに、錯視図形の水平線分の左端の2.00°下、2.00°右の位置から始まる比較用の水平線分が描かれた。その長さは2.56°から4.80°まで0.16°の間隔で15段階に変化させることができた。Ponzo図形の斜め線分は長さが5.04°で垂直方向から30°傾いていた。上の水平線分は、両端が左右の斜め線分の上端の0.84°真下にあり、長さが3.20°であった。下の水平線分は上の水平線分の2.80°下方にあり、その長さは2.40°から4.64°まで0.16°間隔で15段階に変化させることができた。分割距離錯視図形は、等間隔に並んだ長さ3.20°の垂直線分9本からなり、両端の線分間の間隔は3.20°であった。その右側の同じ高さに2本の長さ3.20°の垂直線分が比較用に描かれた。錯視図形の右端の線分と左端の比較用線分との間隔は1.76°であった。また、2本の比較用線分の間隔は2.40°から4.64°まで0.16°間隔で15段階に変化させることができた。垂直水平錯視図形の水平線分の長さは3.20°で、水平線分の中点に接続する垂直線分の長さは1.44°から3.68°まで0.16°間隔で15段階に変化させることができた。

図形は幅 $0.04^\circ$ の線で描かれ、背景の大きさは縦 $5.12^\circ$ 、横 $10.2^\circ$ であった。図形および背景は、背景の中心が被験者の右眼の正面、眼の高さになるように提示された。

図形は赤の蛍光体のみを発光させて描かれた。明るさは、換算された輝度 $0.8\text{cd}/\text{m}^2$ を中心に、その上下に対数値にして $0.05$ の間隔で6種類ずつ、計13の条件が設定された。背景の部分は緑の蛍光体のみが発光しており、明るさは換算された輝度 $0.8\text{cd}/\text{m}^2$ に固定された。これらの明るさを実現するためのプログラム上の指定値はⅡ節で述べた直線回帰式を用いて算出された。背景の周囲は暗黒であった。

4). 手続 極限法を用いて、Müller-Lyer図形の水平線分、Ponzo図形の上の水平線分、分割距離錯視図形の両端の線分間の間隔および垂直水平錯視図形の水平線分(以下、これらを標準刺激と呼ぶ)の長さの主観的等価値を求めた。比較刺激は、Müller-Lyer図形の下方の水平線分、Ponzo錯視図形の下の方の水平線分、分割距離錯視図形の右側の2本の垂直線分の間隔、垂直水平錯視図形の垂直線分であった。被験者は、右眼で図形を観察し、標準刺激に比べて比較刺激が「より長く見える」か、「同じに見える」か、あるいは「より短く見える」かを口頭で報告した。被験者には観察中は背景の中心部を凝視するように教示した。判断時間は制限しなかった。

図形ごと輝度条件ごとに上昇系列と下降系列を4回ずつ実施した。1日に1種の図形について測定を行い、13種の輝度条件はランダムな順序で実施した。4種の図形の実施順序は被験者間でカウンターバランスさせた。各図形の測定に先立ち、5分間の暗順応を行った。また、最初の輝度条件のみ上昇下降各1系列の練習を行った。輝度条件間には数分の休憩が挿入された。

2. 結果と考察

標準刺激の長さの主観的等価値から標準刺激の物理的な長さを引いて錯視量を求めた。各輝度条件における錯視量の平均値を被験者別、図形別に図3に示す。いずれの被験者においても、Müller-Lyer図形、Ponzo図形、分割距離錯視図形においては錯視量が正の値となり、垂直水平錯視図形では負の値となった。これら結果は、先に述べた、従来知られている錯視の傾向と一致する。

被験者ごとに図形の輝度と種類を要因とする2要因分散分析を行ったところ、錯視量に対する図形の輝度の主効果について、被験者KTとHMでは統計的に有意となり ( $F(12, 364) = 3.92, P < 0.01$ ;  $F(12, 364) = 8.23, p < 0.01$ )、MYとMSでは有意とならなかった ( $F(12, 364) = 0.98, P > 0.50$ ;  $F(12, 364) =$

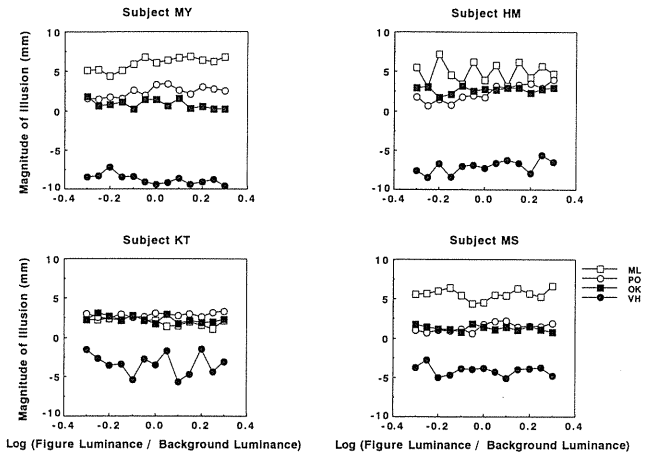


図3 各被験者における図形の輝度と錯視量との関係

図形の輝度(横軸)は背景の輝度に対する比の常用対数値として表してある。0.0は図形と背景が等輝度であることを、プラスの値は図形の方が輝度が高いことを、マイナスの値は図形の方が輝度が低いことを示す。錯視量(縦軸)は標準刺激の長さの主観的等価値から標準刺激の客観的な長さを引いた値として定義されている。図中のML(□)はMüller-Lyer錯視図形、PO(○)はPonzo錯視図形、OK(▲)は分割距離錯視図形(Opper-Kundt錯視図形とも呼ばれる)、VH(●)は垂直水平(vertical-horizontal)錯視図形の場合を示す。

1.05,  $P > 0.40$ )。また、輝度と図形の種類との交互作用が全員において有意となった(MY:  $F(36, 364) = 2.46, P < 0.01$ ; KT:  $F(36, 364) = 3.80, P < 0.01$ ; HM:  $F(36, 364) = 4.27, P < 0.01$ ; MS:  $F(36, 364) = 3.36, P < 0.01$ )。しかし、図3から明らかのように、どの被験者、どの図形においても、図形の輝度によって錯視量は不規則に増減しており、特定の輝度条件において錯視量が特に大きく減少するという傾向は見られなかった。

IV. 一般的考察

本研究では、長さに関する4種の幾何学的錯視図形を用い、図形と背景との輝度関係を等輝度も含めて13段階に変化させた。その結果、いずれの図形、いずれの輝度条件でも従来から知られている通りの錯視が生じ、錯視量もほぼ一定となった。Müller-Lyer図形やPonzo図形に関する結果はLivingstone & Hubel<sup>4) 5)</sup>を除く多くの研究者の報告<sup>7) 19) 20) 21) 22) 23) 24)</sup>と一致する。ただ、錯視の減退が見られなかったことに対しては、等輝度条件の設定が不適切であったからという批判がありうる(Livingstone & Hubel<sup>4)</sup>)。なぜなら、等輝度で減退する現象でもわずかな輝度差があれば完全に生じること(たとえば、Gregory<sup>7)</sup>)や、ある現象が最大の減退を示す輝度関係と交照法などで定義される等輝度とがずれうること(たとえば、Osuobeni &

O'Leary<sup>10)</sup>; Livingstone & Hubel<sup>4)</sup>) が知られているからである。しかし、本研究に関しては、図形の輝度をMDB法で決定された等輝度点の上下に0.05対数単位で6段階ずつ設定しているの、この批判は当てはまらないと考えられる。

Livingstone & Hubel<sup>4)</sup> <sup>5)</sup> と本研究を含めた多くの研究との結果の食い違いは何に起因するのであろうか。Pollack & Jaeger<sup>22)</sup> は刺激の提示法の差異を挙げているが、本研究やLi & Guo<sup>24)</sup> の刺激提示法はLivingstone & Hubel<sup>4)</sup> <sup>5)</sup> と類似しており、必ずしもこのことが原因とは言い難い。また、Cavanagh(1991)<sup>25)</sup> は、等輝度条件における視覚の解像度の低さを根拠に、錯視図形を構成する線が細すぎたため等輝度条件下では図形の細部が見えにくくなり、それが錯視を減退させたのではないかと推論している。しかし、Livingstone & Hubel<sup>4)</sup> <sup>5)</sup> は図形の全ての要素が完全にはっきり見えていたと述べている。

このように、Livingstone & Hubel<sup>4)</sup> <sup>5)</sup> の報告の特異性の原因は明らかではない。しかし、彼ら以外の多くの研究が一致して示すところからして、線遠近法パターンを含むと考えられる幾何学的錯視図形であっても、錯視は等輝度条件下で輝度差がある場合と同様に生じると結論するのが妥当であろう。また、今回、線遠近法パターンを含まないと考えられる垂直水平錯視図形や分割距離錯視図形においても等輝度条件下で錯視が生じることが確認された。垂直水平錯視に関してはCavanagh(1989)<sup>26)</sup> が同様な報告をしている。さらに、本研究で取り上げなかった、方向や形に関する錯視図形(Zöllner図形など)や曲線成分を含む図形(Delboeuf図形など)においても錯視は等輝度条件下で損なわれないことが報告されている(たとえば、Gregory<sup>7)</sup>; Cavanagh<sup>26)</sup>; Li & Guo<sup>24)</sup>)。したがって、色の差異による境界や輪郭の情報は、幾何学的錯視を生じる機構において広範に利用されており、輝度差の情報がなくとも十分有効であると考えられる。

線遠近法パターンを含むと見なされる幾何学的錯視図形において等輝度条件下でも錯視が生じたという結果は、Livingstone & Hubel<sup>4)</sup> <sup>5)</sup> の仮説との関連では、幾何学的錯視の遠近法説に対する反証のように見える。しかし、彼らの仮説は絵画的奥行手がかりに基づく奥行知覚のしくみが等輝度条件下では有効に働かないことを前提としているが、この前提自体が疑わしい。たとえば、既に述べたように、絵画的奥行手がかりは等輝度刺激においても有効との報告がある(Cavanagh<sup>18)</sup>; Troscianko et al.<sup>17)</sup>)。また、絵画的奥行手がかりによる奥行知覚が必ずしもM経路に依存しないことを示す結果が、等輝度刺激の替わりに残像

を利用した研究から得られている(Ingling & Grigsby, 1990<sup>27)</sup>)。奥行知覚機構が等輝度刺激に対しても有効に働くのならば、遠近法説から等輝度条件下での錯視の生起が予測されることになる。したがって、本研究の結果は、必ずしも幾何学的錯視の遠近法説自体を否定するものではないと言える。ただ、幾何学的錯視の遠近法説には、別の根拠や観点から、様々な批判が投げかけられていること[Coren & Girgus<sup>1)</sup>や山上・牧野(1982)<sup>28)</sup>などを参照]を指摘しておこう。

謝辞

実験の実施にあたって協力いただいた清水亜也氏(千葉大学自然科学研究科)に深く感謝いたします。

#### 【引用文献】

- 1) Coren, S. & Girgus, J. S. Seeing is deceiving: The psychology of visual illusions. Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, NJ (1978).
- 2) Gregory, R. L. Distortion of visual space as inappropriate constancy scaling. *Nature*, 199, 678-680 (1963).
- 3) Gregory, R. L. Visual illusion. *Scientific American*, 219(5), 66-76 (1968).
- 4) Livingstone, M. S. & Hubel, D. H. Psychological evidence for separate channels for the perception of form, color movement, and depth. *Journal of Neuroscience*, 7, 3416-3468 (1987).
- 5) Livingstone, M. S. & Hubel, D. H. Segregation of form, color, movement, and depth: Anatomy, physiology, and perception. *Science*, 240, 740-749 (1988).
- 6) Lu, C. & Fender, D.H. The interaction of color and luminance in stereoscopic vision. *Investigative Ophthalmology*, 11, 482-490 (1972).
- 7) Gregory, R. L. Vision with isoluminant colour contrast: 1. A projection technique and observations. *Perception*, 6, 113-119 (1977).
- 8) De Weert, C.M.M. Colour contours and stereopsis. *Vision Research*, 19, 555-564 (1979).
- 9) Egusa, H. & Goryo, K. The role of color and luminance in stereoscopic depth perception. *International Journal of Psychology (Abstracts)*, 31, 415 (1996).
- 10) Osuobeni, E.P. & O'Leary, D.J. Chromatic

- and luminance difference contribution to stereopsis. *American Journal of Optometry & Physiological Optics*, 63, 970-977 (1986).
- 11) Osuobeni, E.P. Effect of chromatic aberration on isoluminance stereothreshold. *Optometry and Vision Science*, 68, 552-555 (1991).
  - 12) 江草浩幸・御領謙. 両眼立体視に対する刺激波長の影響. 関西心理学会第105回大会発表論文集, 69 (1993).
  - 13) Simmons, D.R. & Kingdom, F.A.A. Contrast thresholds for stereoscopic depth identification with isoluminant and isochromatic stimuli. *Vision Research*, 34, 2971-2982 (1994).
  - 14) Simmons, D.R. & Kingdom, F.A.A. Differences between stereopsis with isoluminant and isochromatic stimuli. *Journal of the Optical Society of America, A* 12, 2094-2104 (1995).
  - 15) Kingdom, F.A.A. & Simmons, D.R. Stereoacuity and colour contrast. *Vision Research*, 36, 1311-1319 (1996).
  - 16) Jimenez, J.M., Rubino, M., Hita, E., & Del Barco, L.J. Influence of the luminance and opponent chromatic channels on stereopsis with random-dot stereograms. *Vision Research*, 37, 591-596 (1997).
  - 17) Troscianko, T., Montagnon, R., Clerc, J.L., Malbert, E., & Chanteau, P. The role of colour as a monocular depth cue. *Vision Research*, 31, 1923-1930 (1991).
  - 18) Cavanagh, P. Reconstructing the third dimension: Interactions between color, texture, motion, binocular disparity, and shape. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, 37, 171-195 (1987).
  - 19) Pollack, R.H. Mueller-Lyer illusion: Effect of age, lightness contrast, and hue. *Science*, 170, 93-95 (1970).
  - 20) Ebert, P.C. & Pollack, R.H. Magnitude of the Mueller-Lyer illusion as a function of hue, saturation, and fundus pigmentation. *Psychonomic Science*, 26, 225-226 (1972).
  - 21) Youn, G., Lambert, A.M., & Pollack, R.H. The life-span trend in the magnitude of the Mueller-Lyer illusion as a function of hue and age. *Experimental Aging Research*, 13, 53-56 (1987).
  - 22) Pollack, R. H. & Jaeger, T. B. The effect of lightness contrast on the colored Müller-Lyer illusion. *Perception & Psychophysics*, 50, 225-229 (1991).
  - 23) Irtel, H. Figural interactions in isoluminant stimulus patterns. *Perception (Supplement)*, 24, 15-16 (1995).
  - 24) Li, C. & Guo, K. Measurements of geometric illusions, illusory contours and stereo-depth at luminance and colour contrast. *Vision Research*, 35, 1713-1720 (1995).
  - 25) Cavanagh, P. Vision at equiluminance. In J.J. Kulikowski, V. Walsh, & I.J. Murray (Eds.), *Vision and visual dysfunction. Vol.5. Limits of vision*. Mcmillan, London, 234-250 (1991).
  - 26) Cavanagh, P. Multiple analyses of orientation in the visual system. In D.M. Lam & C.D. Gilbert (Eds.), *Neural Mechanisms of visual perception*. Portfolio Publishing, Woodland, TX, 261-279 (1989).
  - 27) Ingling, C.R. Jr & Grigsby, S.S. Perceptual correlates of magnocellular and parvocellular channels: Seeing form and depth in afterimages. *Vision Research*, 30, 823-828 (1990).
  - 28) 山上暁・牧野達郎. 幾何学的錯視の遠近法理論. サイコロジー, No.29, 21-29 (1982).

## Effect of Luminance Contrast on Geometrical-Optical Illusions

Hiroyuki EGUSA\* and Ken GORYO\*\*

\*Psychology, School of Health, International University of Health and Welfare

\*\*Psychology, Faculty of Letters, Chiba University

### ABSTRACT

We investigated the effect of figure-background luminance difference on the magnitude of geometrical-optical illusions. Four types of figures were used: Müller-Lyer, Ponzo, Oppel-Kundt, and Vertical-horizontal. A red figure was displayed against a green background on a color monitor. The background luminance was held constant. Thirteen levels of figure luminance around the background level were chosen, making one of them equal to the level. The magnitude of illusion was measured with the method of limits. Results showed that illusion appeared for each type of figure at all the figure-luminance levels, including isoluminance, and that the magnitude remained almost the same for every level. We concluded that color boundary information contributed effectively to many types of geometrical-optical illusions.

**Key Words** : geometrical-optical illusion, color, isoluminance, luminance contrast