

カニツツア縮小錯視における遮蔽面の色 ならびに輝度の効果[†]

石田 利恵*・須長 正治**・中溝 幸夫***

*九州大学大学院 人間環境学府 行動システム専攻

〒812-8581 福岡県福岡市東区箱崎 6-19-1

**九州大学大学院 芸術工学研究院

〒815-8540 福岡県福岡市南区塩原 4-9-1

***九州大学大学院 人間環境学研究院

〒812-8581 福岡県福岡市東区箱崎 6-19-1

(受付：2004年7月15日；改訂校受付：2004年10月6日；受理：2004年10月13日)

Effects of Color and Luminance Stimuli on Kanizsa Shrinkage Illusion

Rie ISHIDA*, Shoji SUNAGA** and Sachio NAKAMIZO***

Department of Psychology, Graduate School of Human-environment Studies, Kyushu University

Department of Visual Communication Design, Faculty of Design, Kyushu University

Department of Psychology, Faculty of Human-environment Studies, Kyushu University

(Received 15 July 2004; Received in revised form 6 October 2004; Accepted 13 October 2004)

Three experiments examined how color and/or luminance of the occluder affect on Kanizsa amodal shrinkage illusion. In Experiment 1, the perceived width of the occluded square was measured with different colors (blue, red, green, and yellow) of the occluder. In Experiment 2, the perceived width was measured with different luminances of the occluder. In Experiment 3, the perceived width was measured with different colors with equiluminances of the occluder and occluded square. The results with nine observers for each experiment showed that: (a) the illusion occurred irrespective of the changes of color and luminance of the occluder, (b) the illusion was the largest when the color and luminance of the occluder was equal to that of the occluded square, and (c) the illusion disappeared with the equiluminances of the occluder and the occluded square. The illusion cannot be explained by only incorrect operation of the correcting mechanism. Rather, the result is consistent with Livingstone & Hubel's suggestion that the geometrical illusions, such as Zollner illusion and Poggendorff illusion, disappear in the equiluminance condition because cues to depth are difficult to be used in that condition by the visual system.

1. はじめに

カニツツア縮小錯視 (Kanizsa shrinkage illu-

sion^{**}, Kanizsa 自身は、この錯視を非感性的縮小 (amodal shrinkage) と呼んでいる) とは、正方形を遮蔽するようにその中央に縦長の長方

[†] 本研究の一部は、文部科学省「21世紀COEプログラム」、科学研究費・基盤研究(C2) [研究代表者：中溝幸夫 課題番号14510100]の補助を受けた。

^{**} 大きさに関する幾何学的錯視としては、これまでにカニツツア縮小錯視以外にも、例えば、デルブフ (Delboeuf) 錯視、ブント-ジャストロー (Wundt-Jastrow) の錯視、エビングハウス (Ebbinghaus) の錯視、ポンゾ (Ponzo) 錯視などがあり、それらの錯視を生み出す要因については、必ずしも明らかになっているわけではない。本研究では、それらの中でも“遮蔽”手がかりに基づく奥行き印象が生み出す最も代表的な大きさの幾何学的錯視を取り上げた。

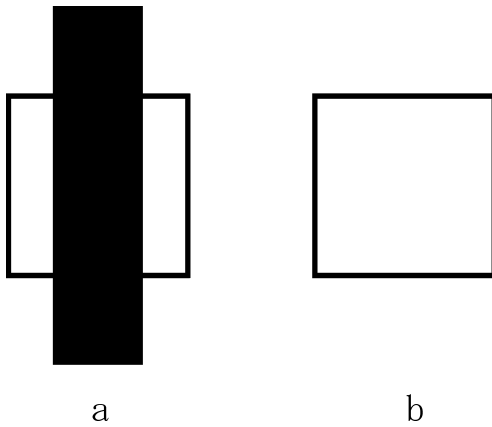


図1 カニツア図形 (a) と正方形 (b).

形を配置した場合 (図 1a), 遮蔽しないコントロール条件 (図 1b) と比較して相対的に正方形の横幅が縮小して知覚される現象である (Kanizsa, 1975, 1979)^{1,2)}. Kanizsa (1979) 自身は, この錯視は知覚的に補完される (非感性的補完) 正方形のエネルギー量が遮蔽されない場合よりも少ないために起こると説明した²⁾. この仮説は, 遮蔽する長方形の幅を増加させると縮小量が増加したり (Kanizsa, 1975)¹⁾, 長方形の知覚的不透明度を減少させると縮小量が減少する (Gerbino, 1975)³⁾ という実験結果によって支持された²⁾. Kanizsa によれば, 前者の結果は, 遮蔽物である長方形の幅の増加が被遮蔽物である正方形のエネルギーをさらに減少させるために幅の知覚的縮小が増加し, 後者の結果は, 遮蔽する長方形の不透明度が減少すると, 被遮蔽物である正方形のエネルギー量が増加するので, 縮小錯視が減少すると解釈された²⁾.

しかし近年, 遮蔽する長方形が実際に奥行き方向に飛び出して見えるようにステレオスコープを用いて呈示すると, 正方形のエネルギー量にはほとんど変化がないはずであるのに, 錯視が消失するという結果が観察された (van Ee & Erkelens, 2000; Mitsudo & Nakamizo, 2004; Ohtsuka & Ono, 2002)⁴⁻⁶⁾. これらの事実に基づいて, Ohtsuka & Ono (2002) は, カニツア縮小錯視は, 両眼立体視を行う際に単眼遮蔽領域による図形の知覚的変型を補正するために働く

機構 (以下, 補正機構) が 2 次元的 (2D) カニツア図形を観察するときにも誤って作動することによって起こるという仮説 (補正機構誤作動仮説) を提唱した⁶⁾. さらに彼らは絵画的手がかりの一つである遮蔽手がかり (pictorial occlusion cue), つまり, この図形に含まれている T 型接点の存在が補正機構の誤作動を駆動すると考えた⁶⁾. また, 遮蔽面が透明に見えるように刺激を呈示した場合や, 刺激全体を水平方向に 90° 回転させて呈示した場合, 錯視が減少するという結果も観察されており (光藤・中溝, 2003; Mitsudo & Nakamizo, 2004)^{7,5)}, これらの結果もカニツア縮小錯視に遮蔽手がかりに基づく両眼補正機構の誤作動が関与しているという説を支持する. もし補正機構誤作動仮説が正しいならば, この仮説は遮蔽する長方形 (以下, 遮蔽面) と遮蔽される正方形 (以下, 被遮蔽面) の知覚的奥行き関係の知覚が, カニツア縮小錯視を生み出す重要な要因であることを示唆している.

角度や大きさに関する幾何学的錯視の多くは色情報のみによって刺激を作成した “等輝度色差条件” において, 錯視量が消失または減少することが報告されている (例えば, Livingstone & Hubel, 1987)⁸⁾. Livingstone & Hubel (1987) は, 等輝度色差条件においては線遠近法手がかりが使えなくなることが錯視消失の原因であると考えた⁸⁾. また, 等輝度では, 陰影やテクスチャー, 運動視差, 遮蔽による奥行き感といった, 奥行きに関する知覚特性が大きく減少するとも言われている⁸⁾. 彼女らは, 等輝度色差条件で消失する様々な知覚, 例えば主観的輪郭や図地反転図形は, 視覚像から得られた共通成分の情報を結合して, 一つの知覚に体制化する機能によって処理されていると考えており, それは視覚対象が “どこ” にあるのかを処理するマグノ系の機能による働きであると推測した⁸⁾. このことはまた, 色や輝度といった刺激成分が錯視の生起において重要な役割を果たしており, 色や輝度を操作することによって, 錯視の原因となる視覚処理過程に影響を与え, その結果と

して錯視量が変化するということを意味する。この考えに基づくと、カニツア縮小錯視においても遮蔽面・被遮蔽面に含まれる面の色や輝度情報の操作は、錯視量に影響を及ぼすと推測される。しかし、われわれの知る限り、従来のカニツア縮小錯視の研究において、遮蔽面や被遮蔽面に含まれる奥行き手がかりや透明視などの面情報について検討した研究はあるが、色や等輝度といった基礎的な面情報の影響について検討した研究はない。

そこで、本研究では、カニツア図形において、色や輝度という基礎的な面情報のうちどのような情報が錯視量に影響するかを明らかにするために、色と輝度を変数とした三つの実験を行った。実験1では、遮蔽面と被遮蔽面との輝度差を一定に保ち、遮蔽面の色情報を変化させた。実験2では、遮蔽面と被遮蔽面との輝度差を変化させ、輝度情報が錯視量に及ぼす効果について調べた。さらに、実験3では、遮蔽面と被遮蔽面とを色情報のみが異なる等輝度色差刺激を用い、輝度情報がなく色情報のみによる錯視量を測定した。実験1および実験3から、輝度差がある場合とない場合での錯視を生じさせる過程に対する色情報の寄与の有無を、実験2から、錯視に及ぼす輝度差の効果を検討することができる。そして、これらの三つの実験結果から、カニツア縮小錯視における輝度情報と色情報の寄与の考察を行った。

また、カニツア縮小錯視は錯視図形に含まれているT型接点が補正機構の誤作動をトリガーするために生じる⁶⁾という補正機構誤作動説の考えに基づけば、等輝度色刺激を遮蔽面、被遮蔽面に用いた場合にもT型接点は存在するため、錯視は生じることが予測される。そこで、もし錯視がT型接点の存在に関係なく、色や輝度といった面情報の操作によって錯視が消失したとすれば、カニツア縮小錯視は補正機構以外の要因からも影響を受けると結論することができる。

2. 実験1：カニツア縮小錯視における遮蔽面の色の効果

実験1の目的は、遮蔽面の色情報が錯視量に及ぼす効果を検討することであった。そこで、被遮蔽面と遮蔽面の輝度差を一定にして、遮蔽面の色度のみを変えて錯視量を測定した。

2.1 方法

被験者 色覚正常で、正常な両眼視力（矯正を含む）を持つ成人10名（男性5名、女性5名）が実験に参加した。

装置 実験装置として、パーソナルコンピュータ（Gateway）制御によるグラフィックシステムを用い、カラーディスプレイ（Iiyama A902MT）上に刺激図形を呈示した。色彩輝度計（Minolta CS-100）を用いて、刺激呈示用カラーディスプレイの輝度および色度特性を測定し、カラーディスプレイのキャリブレーションを行った。

刺激 刺激は、テスト刺激（図1a）とマッチング刺激からなり、これらは、中心間距離が 4.32° （視角、以下同様）で、水平方向に並置して呈示された。テスト刺激は、被遮蔽面と遮蔽面からなる典型的なカニツア縮小錯視図形であった。被遮蔽面は、 $2.16^\circ \times 2.16^\circ$ の正方形であり、遮蔽面は幅 $1.08^\circ \times$ 高さ 4.32° の長方形であった。正方形と長方形の中心を重ねて配置することにより、テスト刺激は、正方形の被遮蔽面が長方形の遮蔽面によって部分的に遮蔽されているように見えた。被遮蔽面の輝度は 60.0 cd/m^2 で、色度はCIE1931xy色度座標で(0.30, 0.35)であった。一方、遮蔽面のテスト色は、無彩色と4種（赤、緑、青、黄）の有彩色であり、それらの色度はCIE1931xy色度座標で無彩色(0.30, 0.35)、赤(0.63, 0.34)、緑(0.29, 0.59)、青(0.14, 0.07)黄(0.40, 0.51)であった。刺激の輝度は無彩色が 9.0 cd/m^2 で、有彩色の輝度は、実験試行の前に各被験者に対して行った交照法による等輝度測定実験の測定結果を用いた。等輝度測定実験では、被験者に 9.0 cd/m^2 の無彩色刺激と有彩色刺激が18.5 Hz

で時間的に入れ替わる刺激を提示し、この刺激の交替によるちらつき感が最小となる有彩色刺激の輝度値を求めた。

これらのテスト刺激のほかに、遮蔽面がない統制刺激（正方形のみ）を用いた。さらに、被験者が刺激ごとに適切な反応をしているかどうかを確かめるために、被遮蔽面の幅が物理的に異なるダミー刺激も用いた。統制刺激とダミー刺激の輝度ならびに色度は、テスト刺激と等しかった。

マッチング刺激は錯視量測定のための刺激であり、高さは視角 2.16° で一定の高さに保持され、幅が視角 1.83° から 2.48° まで調整可能な四角形であった。マッチング刺激の輝度および色度は、テスト刺激の被遮蔽面と同じ 60.0 cd/m^2 の無彩色 ($0.30, 0.35$) であった。刺激の背景は 3.0 cd/m^2 で、($0.30, 0.35$) の無彩色であった。

手続き 被験者は、暗室内で顎台を用いて頭部を固定し、3分間の暗順応、1分間の背景輝度への順応の後、両眼による自然視で刺激を観察した。頭部最前面からディスプレイ面までの距離は 140 cm であった。

被験者は、キーボードのキー操作により、テスト刺激の被遮蔽面（正方形）の幅と同じ幅に見えるようにマッチング刺激の幅を調整することが求められた。マッチング刺激の幅は視角 0.01° ずつ増加もしくは減少した。マッチング刺激幅の初期値がテスト刺激の被遮蔽面より明らかに狭く見える幅（視角 1.83° ）から始まる上昇系列と明らかに広く見える幅（視角 2.48° ）から始まる下降系列を設定した。テスト刺激はランダムな順序で呈示された。実験試行は、遮蔽面条件 10 試行（テスト刺激色 5 条件 \times 幅 1 条件 \times マッチング刺激幅の初期値 2 条件）、コントロール条件 2 試行、そして、ダミー刺激条件 4 試行の計 16 試行を 1 ブロックとし、テスト刺激とマッチング刺激の配置を入れ替えて各 3 ブロックずつ、合計 6 ブロック（合計 96 試行）を行った。

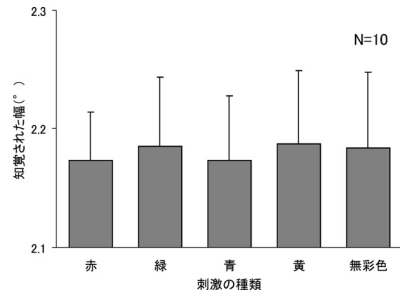


図2 遮蔽面の色の違いによる知覚量の違い（実験1）。縦軸は、知覚された幅の大きさ（視角）を表し、横軸は刺激の種類を表す。テスト刺激の知覚された幅の各色の平均値は、赤 2.17° ($SD=0.04$)、緑 2.19° ($SD=0.05$)、青 2.17° ($SD=0.06$)、黄 2.19° ($SD=0.06$)、無彩色 2.18° ($SD=0.06$) であった。

2.2 結果および考察

結果を図2に示す。図2は各色条件の遮蔽面で、被遮蔽面の幅と等しく見えるように調整されたマッチング刺激幅の平均値をプロットしたものである。被験者ごとに、各テスト刺激に対する12回の試行の平均値を算出し、統計的分析に用いた。一要因（無彩色を含めた5条件の色）の分散分析を行ったところ、色の主効果は有意ではなかった [$F(4, 36)=0.275, p>.05$]。この結果から、カニツア縮小錯視に及ぼす遮蔽面の色の違いによる効果はないと言える。主効果が有意でなかったことは、図2の棒グラフの長さに差がほとんどないことに示されている。

次に、すべてのテスト刺激の幅の知覚量を平均し、統制刺激の平均値と比較した。それぞれの平均値の間で t 検定を行った結果、テスト刺激と統制刺激の平均値の間に有意差が認められた [$t(9)=3.278, p<.05$]。図3は、テスト刺激と統制刺激について被験者間で平均した知覚的幅のグループ平均を示す。テスト刺激は、統制刺激より 1.7% 縮小して知覚されており、カニツア縮小錯視が生じていると言える。

実験の結果、(1) 遮蔽面の色の違いは錯視量の変化に影響しないこと、(2) カニツア縮小錯視は遮蔽面に色刺激を用いても起こることが

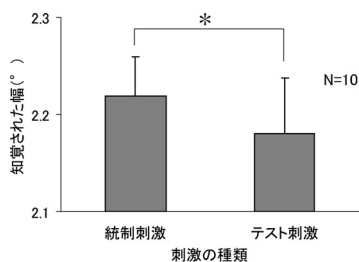


図3 実験1の結果。縦軸は、知覚された幅の大きさ(視角)を表し、横軸は刺激の種類を表す。統制刺激の知覚された幅の平均値は 2.22° ($SD=0.04$)で、テスト刺激の知覚された幅の平均値は 2.18° ($SD=0.06$)であった。

わかった。遮蔽面の色情報を操作しても、刺激中に遮蔽手がかりであるT型接点は存在するため、本実験結果は、補正機構誤作動仮説の予測に矛盾する結果ではないと言える。

3. 実験2：カニツア縮小錯視における遮蔽面の輝度の効果

実験2の目的は、遮蔽面の輝度情報が錯視量に及ぼす効果を検討することであった。そこで、被遮蔽面の輝度を一定にして、遮蔽面の輝度のみを変えて錯視量を測定した。

3.1 方法

被験者 色覚正常で、正常な両眼視力(矯正を含む)を持つ成人9名(男性3名、女性6名)が実験に参加した。

装置ならびに刺激 実験装置は実験1と同じであった。刺激は、テスト刺激の遮蔽面の輝度および色度以外、実験1と同じであった。遮蔽面の色度はCIE1931xy色度座標で無彩色(0.30, 0.35)、輝度は0, 15, 30, 60, 90, および 110 cd/m^2 の6条件であった。以下、輝度 60 cd/m^2 条件の刺激を等色度等輝度刺激と呼び、それ以外の刺激を等色度輝度差刺激と呼ぶことにする。

手続き 手続きは実験1と同じであった。独立変数は、遮蔽面の幅要因と輝度要因であった。実験試行は、遮蔽面条件12試行(テスト刺激輝度6条件×幅1条件×マッチング刺激幅の初期値2条件)、コントロール条件2試行、

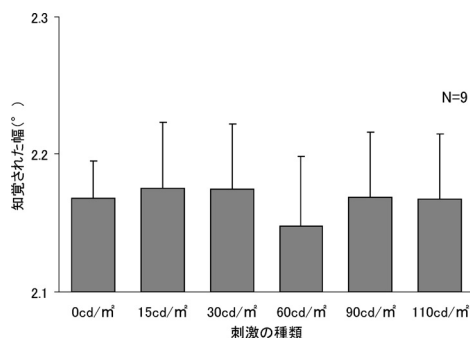


図4 遮蔽面の輝度の違いによる知覚量の違い(実験2)。縦軸は、知覚された幅の大きさ(視角)を表し、横軸は刺激の種類を表す。テスト刺激の知覚された幅の各輝度の平均値は、遮蔽面の輝度が 0 cd/m^2 のとき 2.17° ($SD=0.05$)、 15 cd/m^2 のとき 2.18° ($SD=0.05$)、 30 cd/m^2 のとき 2.17° ($SD=0.05$)、 60 cd/m^2 のとき 2.15° ($SD=0.05$)、 90 cd/m^2 のとき 2.17° ($SD=0.05$)、 110 cd/m^2 のとき 2.17° ($SD=0.04$)であった。

そして、ダミー刺激条件4試行の計18試行を1ブロックとし、テスト刺激とマッチング刺激の配置を入れ替えて各3ブロックずつ、合計6ブロック(合計108試行)を行った。

3.2 結果および考察

結果を図4に示す。図4は6種類の各遮蔽面輝度で、被遮蔽面の幅と等しく見えるように調整されたマッチング刺激幅の平均値をプロットしたものである。被験者ごとに、各テスト刺激に対する12回の試行の平均値を算出し、統計的分析に用いた。一要因(6種類の輝度)の分散分析を行ったところ、輝度の主効果は統計的に有意であった [$F(5, 40)=2.594, p<.05$]。この結果から、遮蔽面の輝度の違いがカニツア縮小錯視に影響を及ぼすことがわかった。下位検定の結果、 60 cd/m^2 と 15 cd/m^2 、 60 cd/m^2 と 30 cd/m^2 の間に有意差が見られた [それぞれ、 $t(8)=2.563, t(8)=3.113, p=.05$]。この有意な主効果は、図4の棒の長さの差に示されている。等色度等輝度刺激は統制刺激より2.8%縮小して知覚された。遮蔽面が 60 cd/m^2 の等色度等輝度刺激では、非遮蔽面も 60 cd/m^2 であるから、遮蔽面と非遮蔽面との間には、遮蔽面の輪郭は

存在せず、他の条件とは形状そのものが異なる。このことが錯視量へ影響を及ぼしたことも考えられる。

次に、本実験でカニツア縮小錯視が生じていたかどうかを検討するために、他の刺激と有意な差が認められ、形状が他の条件とは異なる等色度等輝度刺激の結果を除いた他の5条件の等色度輝度差刺激に対する結果を平均し、統制刺激の平均値と比較した。テスト刺激と統制刺激の平均値の間でt検定を行った結果、これらの平均値の間に有意差が認められた [$t(8)=3.478, p<.05$]。また、等色度等輝度刺激の結果と統制刺激の結果間のt検定においても有意差が認められた [$t(8)=5.061, p<.05$]。さらに、遮蔽面輝度の効果をまとめて検討するために、全条件のテスト刺激幅の知覚量を平均し、統制刺激の平均値の間でt検定を行ったところ、テスト刺激と統制刺激の平均値の間に有意差が認められた [$t(8)=3.862, p<.05$]。以上の検定結果から、遮蔽面の輝度によらず、また、等色度等輝度刺激のように輪郭がない場合でも、遮蔽面の存在によって被遮蔽面幅の知覚量に有意差が見られた。このことによって、輝度によって錯視量に差はあるものの、カニツア縮小錯視はテスト刺激すべてにおいて生じることが明らかになった。図5に、テスト刺激と統制刺激について被験者間で平均した知覚的幅のグループ平均を示す。等色度輝度差刺激は、統制刺激より1.7%縮小して知覚された。また全テスト刺激は、統制刺激より1.9%縮小して知覚された。

実験2の結果から、(1) 遮蔽面と被遮蔽面とが等色度等輝度である場合を除いて、遮蔽面の輝度は、色情報と同様、錯視量の変化に影響しないこと、(2) 遮蔽面の存在は、その輝度によらずカニツア縮小錯視を生じさせることがわかった。また、本実験結果は、等色度等輝度刺激を除き、実験1と同様に補正機構誤作動仮説による解釈に矛盾する結果ではない

本実験では、遮蔽面と被遮蔽面がどちらも60 cd/m²の刺激のとき、錯視量が有意に大きかった。これは、遮蔽面と被遮蔽面の輝度が等

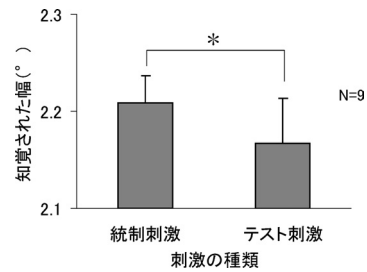


図5 実験2の結果。縦軸は、知覚された幅の大きさ(視角)を表し、横軸は刺激の種類を表す。統制刺激の知覚された幅の平均値は2.21°(SD=0.03)で、テスト刺激の知覚された幅の平均値は2.17°(SD=0.05)であった。



図6 遮蔽面と被遮蔽面が等輝度(60 cd/m²)のときの刺激例。

しく、輝度コントラストの全くない図6のような刺激が、他の刺激よりも縮小して見えたためである。図6のような刺激は形態が典型的なカニツア縮小錯視と異なっている。この形態的特徴が錯視量に影響を与えている可能性がある。Vezzani (1999)は、このような遮蔽面と被遮蔽面の間に境界を持たない形態的特徴を持つカニツア図形によって幅の縮小が起こることを示している⁹⁾。本実験で用いられた図6のような刺激において錯視が生じたことは、Kanizsa (1979)によって説明された非感性的補完²⁾や、T型接点の作用を説く補正機構説⁶⁾などによっては説明されず、カニツア縮小錯視において境界や面情報が錯視量に重要な影響を与えていることを示唆している。

4. 実験3：カニッツア縮小錯視に及ぼす等輝度色刺激の効果

実験3の目的は、遮蔽面と被遮蔽面の間に輝度差をなくし、色差のみを与えたとき、錯視量が変化するかどうかを検討することであった。被遮蔽面と遮蔽面に色度が異なる4種類の等輝度色差刺激を用いて実験を行った。

4.1 方法

被験者 色覚正常で、正常な両眼視力（矯正を含む）を持つ成人9名（男性6名、女性3名）が実験に参加した。

装置ならびに刺激 実験装置は実験1と同じであった。刺激は、テスト刺激およびマッチング刺激の輝度と色度条件以外は、実験1と同じであった。テスト刺激の色条件は、遮蔽面の色4種類（赤、緑、青、黄）と被遮蔽面の色4種類（赤、緑、青、黄）を組み合わせ、遮蔽面と被遮蔽面が同じ色になる4条件を除いた計12種類であった。これら4色の輝度は、それぞれ、(0.30, 0.35)の無彩色9.0cd/m²との交照法により等輝度となる輝度値を用いた（実験に先立って被験者ごとに交照法による等輝度測定を行った）。これら4色の色度は、実験1と同じであった。マッチング刺激の色度ならびに輝度は、テスト刺激の被遮蔽面と同じであった。

手続き 手続きは実験1と同じであった。テスト刺激は、被験者一人当たり12種類の刺激からランダムに6ないし7種類の刺激条件を選択し、それらに対応した統制刺激、およびダミー刺激を用いた。各被験者にすべての刺激を呈示しなかった理由は、試行数の増大による疲労を防ぐためであった。

4.2 結果および考察

被験者ごとに、各テスト刺激の12回の試行について幅が等しく見えるように調整された被遮蔽面の幅の平均値を算出し、統計的分析に用いた。一要因（色の組み合わせ）の分散分析を行ったところ、等輝度色差刺激の主効果は、有意ではなかった [$F(11, 48)=1.679, p>.05$]。この結果から、等輝度である刺激の色の組み合わ

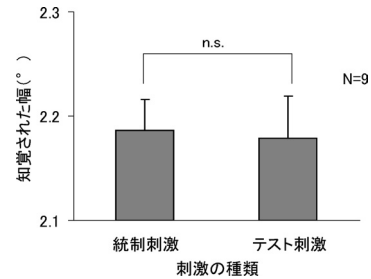


図7 実験3の結果。縦軸は、知覚された幅の大きさ（視角）を表し、横軸は刺激の種類を表す。統制比較刺激の知覚された幅の平均値は2.19° ($SD=0.03$)で、テスト刺激の知覚された幅の平均値は2.18° ($SD=0.04$)であった。

せがカニッツア縮小錯視に影響を及ぼすことを示す証拠は示されなかった。また統制刺激において各色条件間で分散分析を行った結果、色による知覚量に有意な差が見られなかった [$F(3, 27)=0.239, p>.05$]。

次に、すべてのテスト刺激の幅の知覚量を平均し、統制刺激の平均値と比較した。これらの平均値の間で t 検定を行った結果、テスト刺激と統制刺激の平均値の間でも有意な差は認められなかった [$t(8)=0.646, p>.05$]。図7に、テスト刺激と統制刺激について被験者間で平均した知覚的幅のグループ平均を示す。

色差存在下での輝度差の効果を検討するために、無彩色を遮蔽面に用いた刺激を除く実験1の錯視量と実験3の錯視量の差を比較した。被験者ごとに、各テスト刺激の12回の試行について幅が等しく見えるように調整された被遮蔽面の幅の平均値から、それに対応する統制刺激の幅の平均値を引いて錯視量を算出し、分析を行った。実験条件とテスト刺激の遮蔽面の色条件について2元配置の分散分析を行った結果、実験1と実験3の錯視量の間には有意差が見られ [$F(1, 3)=12.352, p<.001$]、実験1で用いた輝度差刺激の方が錯視量が有意に大きいことが示された。しかし、色による違いや交互作用は有意ではなかった [それぞれ $F(1, 3)=.235, F(1, 3)=.721, p>.10$]。つまり、遮蔽面の色の違いは錯視量に影響しないが、輝度差の存在は錯視量

に影響を及ぼすと言える。

以上の結果から、遮蔽面と被遮蔽面に等輝度色を用いたとき、カニツア縮小錯視は生じないことが明らかになった。本実験において、刺激の等輝度色情報を操作しても遮蔽手がありである T 型接点は存在しているため、この錯視の消失は補正機構誤作動仮説の予測に矛盾すると考えられる。あるいは、誤作動を生じさせる T 型接点は輝度情報のみに基づくと限定する必要があると考えられる。

5. 全体的考察

三つの実験結果は、次の三つに要約できる。

(1) 遮蔽面の色によらず、輝度差があれば、カニツア図形において錯視が生じた（実験 1 と 2）。(2) 遮蔽面の色や輝度の違いは基本的には錯視量に影響しなかった（実験 1 と 2）。ただし、輝度が二つの面で等しい刺激条件の場合（遮蔽面と被遮蔽面との間の輪郭線がない等輝度等色度刺激の場合；図 6 参照）、錯視量が最大であった（実験 2）。(3) 遮蔽面と被遮蔽面を等輝度色差刺激にした場合、錯視が消失した（実験 3）。

遮蔽面と被遮蔽面が等輝度色差刺激で構成された場合、カニツア縮小錯視が消失したという本研究の発見は、カニツア縮小錯視が補正機構誤作動仮説だけでは説明できないことを意味する。仮説によれば、遮蔽手があり（T 型接点）の存在が、補正機構をトリガーし、被遮蔽面の知覚的収縮（錯視）が起こると説明されている⁶⁾。しかし、等輝度色差刺激を用いた場合に T 型接点が存在しているにもかかわらず錯視は消失した。この事実は、カニツア縮小錯視が補正機構以外のメカニズムからも影響を受けていることを意味する。補正機構誤作動仮説は、新たな仮定を設けるか、それともこれらの事実を説明する新しい仮説が必要である。

本研究の結果は、等輝度色差条件において幾何学的錯視は消失するという Livingstone & Hubel (1987) の主張⁸⁾の新たな証拠とみなすことができる。彼らの実験では、Zöllner 錯視、

Hering 錯視、Ponzo 錯視、Müller-Lyer 錯視、Poggendorff 錯視、奥行き表現を持つ Poggendorff 錯視において、等輝度色（赤／緑）を用いたとき、錯視が消失している⁸⁾。Livingstone & Hubel (1987) は、錯視の消失は線遠近法手がかりが等輝度でその効果を失うためであると考へた⁸⁾。本研究の結果に基づいて考察すると、線遠近法手がかりばかりでなく、“遮蔽手があり”を含む幾何学的錯視図形の場合（Poggendorff 錯視もこれに含まれる）にも、等輝度色差条件で錯視量が消失するもしくは減衰すると一般化することができるかもしれない。

等輝度色差条件において幾何学的錯視は消失するという Livingstone & Hubel (1987) の主張に対する反証も提出されているが、それらは十分ではない。例えば、Li & Guo (1995) は、数種類の幾何学的錯視（Zöllner 錯視、Müller-Lyer 錯視、Ponzo 錯視、Delboeuf 錯視）図形において、等輝度色差刺激の場合でも錯視が起こったという結果に基づいて、等輝度色差条件においても錯視は生じるという考えを主張した¹⁰⁾。しかし、彼らの実験においても、境界の錯視や主観的輪郭では、刺激に等輝度色を用いると錯視が消失している¹⁰⁾。Rogers-Ramachandran & Ramachandran (1998) では、フレーム内で上下に呈示される等輝度（赤／緑）のスポットによって生じるファントム輪郭（phantom contour）においても、境界の知覚が消失している¹¹⁾。

本実験において、無彩色の等輝度刺激条件（実験 2）では、他の条件と比較して有意に錯視量が大きかったが、等輝度色条件（実験 3）では、錯視が生じなかった。これは、前者の刺激の輝度は 60 cd/m^2 で、背景 (3 cd/m^2) に対してコントラストが高かったが、後者の刺激の輝度は 9 cd/m^2 と背景 (3 cd/m^2) に対してコントラストが低かったことが起因しているのかもしれない。

等輝度色差刺激においてカニツア縮小錯視が消失したという結果は、カニツア縮小錯視には輝度情報が重要であることを意味する。輝

度情報は、パルボ系とマグノ系の両経路で処理される情報の一つであると考えられるので、本実験結果からカニッツア縮小錯視がどちらの系の処理結果であるかは結論できない。二つの経路とカニッツア錯視との機能的関係について理解を深めるためには、脳機能イメージング法などを用いた脳内基盤についての研究が必要であると考えられる。

謝辞 実験の方法についてアドバイスをいただいた ATR (学術振興会特別研究員 PD) の光藤宏行氏, 原稿の段階でコメントしていただいた九州大学大学院人間環境学府の齋藤崇子氏ならびに河邊隆寛氏に深く感謝いたします。また編集者, 査読者の方から有意義なコメントをいただきました。ここに深く感謝いたします。

文 献

- 1) G. Kanizsa: The Role of Regularity in Perceptual Organization. *G. B. Flores d' Arcais (eds): Studies in Perception*. Aldo Martello-Giunti, Milano, 48–66, 1975.
- 2) G. Kanizsa: Organization in Vision: Essays on Gestalt Perception. Praeger, New York, 1979.
- 3) W. Gerbino: Perceptual transparency and phenomenal shrinkage of visual objects. *Italian Journal of Psychology*, **2**, 403–415, 1975.
- 4) R. van Ee and C. J. Erkelens: Is there an interaction between perceived direction and perceived aspect ratio in stereoscopic vision? *Perception and Psychophysics*, **62**, 910–926, 2000.
- 5) H. Mitsudo and S. Nakamizo: Evidence for the correcting-mechanism explanation of Kanizsa amodal shrinkage. *Perception*, 2004 (in press).
- 6) S. Ohtsuka and H. Ono: Correct 3D but illusory 2D percepts linked to binocularly unpaired regions. *Three-Dimensional TV, Video, and Display*, **4864**, 167–174, 2002.
- 7) 光藤宏行・中溝幸夫: カニッツア縮小錯視への両眼補正機構の関与: 両眼網膜像差量と遮蔽物の方位の効果. *Vision*, **15**, 216–217, 2003.
- 8) M. S. Livingstone and D. H. Hubel: Psychophysical evidence for separate channels for the perception of form, color, movement, and, depth. *The Journal of Neuroscience*, **7**, 3416–3468, 1987.
- 9) S. Vezzani: Shrinkage and expansion by amodal completion: a critical review. *Perception*, **28**, 935–947, 1999.
- 10) C. Y. Li and K. Guo: Measurements of geometric illusions, illusory contours and stereo-depth at luminance and color contrast. *Vision Research*, **35**, 1713–1720, 1995.
- 11) D. C. Rogers-Ramachandran and V. S. Ramachandran: Psychophysical evidence for boundary and surface systems in human vision. *Vision Research*, **38**, 71–77, 1998.