



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	輪郭線輝度分布の明るさ知覚に及ぼす影響
Author(s)	濱田, 治良
Citation	北海道大学人文科学論集, 14, 1-16
Issue Date	1977-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/34332
Type	departmental bulletin paper
File Information	14_PL1-16.pdf



輪郭線輝度分布の明るさ知覚に及ぼす影響¹⁾

The effect of
contour luminance gradients on the apparent brightness.

Jiro Hamada

濱 田 治 良

序

特定視野に対する見えの明るさは、それに隣接する視野の物理的輝度ならびにその物理的配置に依存しながら、しかもこれら物理的側面からだけでは予測出来ない多様な心理的变化を示す。即ち、明るさ知覚に関する心理物理的実験は適当な輝度と適当な空間的配置をとることにより、明るさの同化または対比現象が生起すること、明るさの恒常性が同時対比の起る条件において生起することを示している。また輪郭線強調効果としてのマッハ・バンドが明るさの対比と密接に関連していること、一方、輪郭線知覚に関する実験はある特殊な輝度分布を有する輪郭線がそれに隣接する広い視野領域全体の見えの明るさに強い影響を及ぼすことを示している。さらには物理的には何ら不連続性が存在しないにもかかわらず、見えの上では主観的な輪郭線が現われ、かつ、明るさの対比効果が現われるという極めて逆説的な現象すら存在する。このような物理的刺激と人間の視知覚行動との間に現われる矛盾・不一致は、とりもなおさず人間の視覚系における神経生理的、心理行動的機構の所産であり、視覚系の機能を知る上で極めて有用な手掛りを与えるものと考えることが出来る。

ところで、このような多様な心理行動的变化も明暗知覚に限れば、より明るいあるいはより暗いという判断が可能な一次元的変化として捉えることが出来る。さらに、上述の種々なる明るさ知覚現象は、各々、相異なる特徴を有しているが、いずれの現象も相互に強い関連性を持ちその基礎となる機構は同一のものであると推論することは妥当な仮定であろう。むしろ、これらの矛盾し、逆説的にさえ見える個々の明暗知覚現象を実験的理論的に関連づけることが視

1) 本論稿は筆者の助言の元に執筆された船津康次氏の文学部昭和 50 年度卒業論文を元に執筆され、その一部は日本心理学会第 40 回大会 (1976) にて発表されている。本論稿の英文の添削、ならびに有益な御示唆を頂いた文学部相場覚助教授に深謝の意を表します。

覚系の機構を理解する上で極めて重要であると言えるであろう。

本論稿においては、特殊な輝度分布を有する輪郭線がそれに隣接する領域の明るさ知覚に及ぼす効果を心理物理的に測定する試みが示される。この輪郭線効果は、明るさ錯視の一つの典型であり、一般にはクレイク・オブライエン効果あるいはコーンスウィート錯視と呼ばれている (O'Brien 1958, Cornsweet 1970)。即ち、この効果は片側は滑らかな正または負の輝度増加率を持ち他方側は不連続な輝度変化を持つ辺縁から成る輪郭線が、それに隣接する広い視野領域の見え方の明るさを大きく、しかも一様に変えることを意味している。そして一般には、正または負の輝度増加率を持つ辺縁側に位置する視野領域は、各々、より明るくまたはより暗く知覚されるとされている。しかしながら、その心理物理的実験による定量的組織的測定はほとんど報告されていない。さらに、この輪郭線効果と他の明暗知覚現象との強い関連性が指摘されているが、それを明確に示している実験も多く報告されているとは言えない。本論稿に示される実験はこの輪郭線効果を規定するいくつかの物理的要因についての検討を行ない、明暗知覚に関する視覚系の情報処理機構の一端を知る手掛りを得ようとするものである。

実験装置ならびに実験手続き

刺激提示装置 Fig.1に刺激提示装置の概略図を示す。刺激提示装置は内側に黒のラシャ紙を

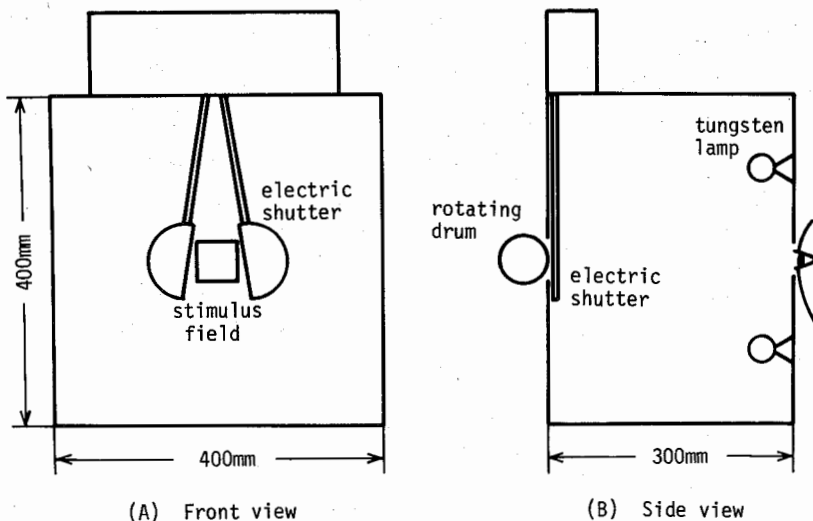


Fig. 1. Schematic illustration of the experimental apparatus. It consists of a viewing box, four tungsten lamps (100V, 25W), an electric shutter, and a rotating drum. The inside of viewing box and the electric shutter are covered with black papers. The distance between the observer and the rotating drum was 300mm.

貼った観察箱, 4個の25W 白熱電球, 定電圧装置(100V), シャッター, そして回転ドラム(直径60mm 側面の高さ60mm)から成る。4個の白熱電球は横280mm 縦220mmの間隔を置いて被験者の観察面の内側に設定され, 刺激提示面全体を一様に照らす。回転ドラムは被験者の前方300mmに位置する刺激提示窓の後方に水平に倒して設置される。被験者は刺激図形が巻き付けられている回転ドラムの側面を刺激提示窓を通して観察する。この場合, 刺激提示窓は被験者の視線に対して垂直であり, 4個の白熱電球からの光は斜方向から提示窓を照射し, かつ, 提示窓後方に設置されている回転ドラムの側面を照射する為, 回転ドラムの4角には薄い陰影が生じる。シャッターは2枚の半円形の黒のラシヤ紙から成り刺激提示窓の直前に設定されている。シャッターが閉じると, この黒のラシヤ紙が提示窓全体を覆うことになる。被験者は顔面固定器で顔面を固定し, 人工瞳孔を装着しない両眼自然視で観察した。

刺激図形 片側に正または負の輝度増加率を持ち他方側には不連続な輝度変化を持つ辺縁から成る輪郭線を発生さす為に, ツヤ消し印画紙に焼き付けた刺激図形を回転ドラムに巻き付け融合頻度を越えるに充分な回転数で回転させた。刺激図形の1例を Fig.2 に示す。これらの刺激図形を回転させると, Fig.2 中央部に位置する白色と黒色の突起部分が, 各々, 正と負の輝度増加率を持つ輪郭線を形成することになる。以後これらの白色または黒色突起部分から生じる輪郭線輝度分布を白色または黒色輪郭線と称する。この白色と黒色輪郭線は, いずれも正規分布関数(1)によって描かれている。つまり, 白色突起は正規分布関数の -3σ から 0σ の範囲に, 黒色突

$$E(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{u^2}{2}} du \quad \dots\dots (1)$$

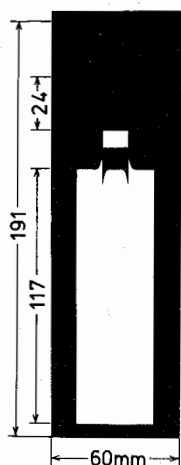


Fig. 2. An example of stimulus pattern to produce a normal orgive luminance gradient. The stimulus pattern was made of a matted black and white photograph. The curve of the white edge was made to fit the range between -3σ and 0σ of the normal orgive function (equation 1.), and that of the black edge the range between 0σ and $+3\sigma$ of it. The width and the height of both edges were set at 3σ and $E(0\sigma)$, respectively, of the normal orgive function. The area of each edge, thus made, result in $0.266 \times \text{width (mm)} \times \text{height (mm)}$. The white rectangular area implies the amount of white added to Inside Area in order to compensate the contour effect. This stimulus pattern was fixed on the drum and was rotated over the fusion speed in the vertical direction, then the white and black edges result in the white and black contours with the normal orgive luminance gradients. When the white area of matted photograph was expanded horizontally by 1.0mm, the visual angle of the width of stimulus pattern on the rotating drum increased by 10 minutes of arc, and when the white area of that photograph was expanded vertically by 1.0mm, the luminance of its position of stimulus pattern on the rotating drum increased by 0.25mL.

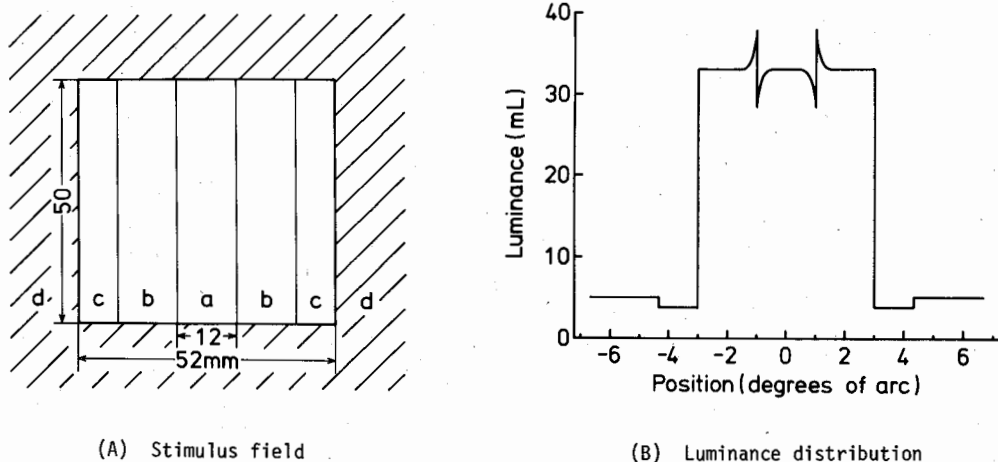


Fig. 3. Schematic view of the stimulus field (A) and an example of the luminance distribution (B). Area (a), (b), (c), and (d) are referred to as Inside Area, Outside Area, Background Area, and Black Paper Area, respectively. Inside Area had two black contours, and one Outside Area had one white contour. The luminance of the outer position of Outside Area, Background Area, and Black Paper Area were fixed in 33mL, 3.6mL, and 4.9mL, respectively. The exposure time of the stimulus pattern was always 3.0 seconds.

起は 0 から +3 の範囲に相当すると定められている。故に、白色と黒色突起の横幅は 3 に、高さは $E(0)$ に相当する。この横幅と高さは輪郭線輝度分布の空間的広がり とピーク輝度に対応する。正規分布関数の性質から、白色あるいは黒色突起の占める面積は $0.266 \times (\text{横幅}) \times (\text{高さ})$ となる。なお刺激図形上での 1.0 mm は、観察距離が 300 mm であるから、視角で 10 分となる。

刺激図形中央部上方に位置する白色矩形部分は黒色突起を含む内側領域の輝度を一様に増減さす為に用いられる。つまり、この白色矩形部分の縦方向の高さが、後に述べられるように、内側領域への白色混入量を示す。この高さは黒色ペイントを塗ることにより、各刺激図形ごとに、適当に定められる。この黒色ペイント部分は、各刺激図形に共通して、横 60 mm 縦 24 mm の帯状領域である。

以上の刺激図形を高速回転させ刺激示窓から観察すると、Fig.3A に示されるように、黒色輪郭線を含む内側領域(a)、その両側に位置し原則として白色輪郭線を含む外側領域(b)、さらにその両側に位置する背景領域(c)に分離して見えることになる。

刺激図形の白色と黒色部分の反射率は、各々、63%と 4.6%であり、黒色ペイント部分および黒のラシヤ紙の反射率は、各々、2.2%および 5.9%であった。刺激提示面での照度は 830 lx であった。これらの値は全てマクベス照度計を用いて測定された。刺激提示面での照度と高速回転させた刺激図形各部位の平均反射率から、内側領域への白色混入量がゼロの場合の、刺激図形全体の輝度分布の概略図を描くと Fig.3B の如くなる。白色輪郭線部分を除いた外側領域、そ

の両側の背景領域、さらにその両側の黒ラシャ紙領域の輝度は、各々、33 mL, 3.6 mL, そして4.9 mL であった。白色と黒色突起部分の高さならびに内側領域への白色混入量が1.0 mm 増減することは、輝度に換算すると、0.25 mL 増減することになる。シャッターを閉じた状態での被験者の順応輝度は4.9 mL であり、刺激提示時間は3.0秒であった。

実験手続き 被験者の課題は高速回転する刺激図形の内側領域の明るさが外側領域の明るさに比較して、“より明るい”、“等しい”、あるいは“より暗い”かを三件法により比較判断することである。この際、内側と外側領域の見え方は、ほぼ一様であるが、わずかに傾きを持った明るさに見える。それ故、被験者は各領域の中心部付近の明るさを比較するよう求められた。本実験においては、内側領域と外側領域の明るさが等しくなるように、内側領域への白色混入量を変化さす零位法を用いた。その為に、各刺激図形条件ごとに内側領域への白色混入量が順次異なる10種類の刺激図形を作成し、実験者はその刺激図形を1個づつ順次回転ドラムに取り付け、完全上下法により上限閾と下限閾を測定した。

実験Ⅰ 視野領域の広さと輪郭線効果の関係

序にて述べたように、正または負の輝度増加率を持つ輪郭線はそれに接する広範な領域に主観的な明暗の変化を与えられている。実験Ⅰにおいては、上述の輝度分布を持つ輪郭線がそれに接する種々なる広さの視野領域の主観的な明暗感覚をいかに変えるか、あるいは逆に、この輪郭線効果がどの程度広範に及ぶかを測定する。その為に、内側領域の横幅は12 mm（視角で 2.0° ）に固定し、外側領域の横幅を6 mm（ 1.0° ）、9 mm（ 1.5° ）、12 mm（ 2.0° ）、15 mm（ 2.5° ）、そして18 mm（ 3.0° ）の5条件に設定した。故に、内側領域と外側領域を加え合わせた刺激図形の横幅は、 4.0° 、 5.0° 、 6.0° 、 7.0° 、そして 8.0° の5条件となる。輪郭線輝度分布は固定してあるが、白色輪郭線無し条件と白色輪郭線有り条件を設定した。つまり、内側領域に横幅3 mm 高さ8 mm の黒色突起から生ずる黒色輪郭線を持ち外側領域には白色輪郭線を持たない条件（白色輪郭線無し条件）、そして内側領域には同様に横幅3 mm 高さ8 mm の黒色輪郭線を持ち外側領域には横幅3 mm 高さ8 mm の白色突起から生ずる白色輪郭線を持つ条件（白色輪郭線有り条件）である。

全刺激図形条件についての測定が4名の被験者についてなされた。1実験内において、各刺激図形条件を上昇および下降系列で1度づつ測定し、それを日を改めて3回繰り返した。1実験内における刺激図形条件の測定順序は、（白色輪郭線有り・無し条件） $\times$ （刺激図形領域の広さ） $\times$ （上昇・下降系列） $= 2 \times 5 \times 2 = 20$ の条件を無作為に抽出して定められた。各被験者ごとの各刺激図形条件の上限閾および下限閾は（上昇・下降系列） $\times$ （繰り返し回数） $= 2 \times 3 = 6$ 個の測定値から求められた。主観的な等価値は上限閾と下限閾の平均値である。

Table 1. Average data of four subjects for the contour effect as a function of the width of Outside Areas, i. e., the width of stimulus pattern. In this experiment I, the width of Inside Area was fixed in 2.0°, and that of Outside Areas was variable, that is, it was 1.0°, 1.5°, 2.0°, 2.5°, or 3.0°. Without and with white edge conditions were set, in the former there were only two black edges in Inside Area, however, in the latter there were two black edges in Inside Area and two white edges in Outside Areas. The width of both black and white edge was 3.0mm, and the height of them was 8.0mm. The compensatory white was added to Inside Area in order to make the apparent brightness of Inside Area match that of Outside Areas. The upper and lower limens were measured by the method of limits using the compensatory method.

Condition	Without white edge						With white edge					
Width of whole stimulus pattern	4.0°	5.0°	6.0°	7.0°	8.0°	Mean	4.0°	5.0°	6.0°	7.0°	8.0°	Mean
Step of compensatory white (mm)	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33		1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	
Upper limen	5.17	4.44	4.28	4.56	4.28		9.78	9.67	9.72	9.61	9.44	
SD	0.97	1.23	1.07	1.02	0.73		1.34	1.49	1.52	1.36	1.09	
Lower limen	2.44	2.28	2.72	2.89	2.56		8.00	8.22	8.22	8.72	8.33	
SD	0.52	0.88	0.96	0.68	0.48		1.31	1.40	1.29	1.05	0.97	
PSE	3.81	3.36	3.50	3.72	3.42	3.56	8.89	8.94	8.97	9.17	8.89	8.97

結果 4名の被験者をこみにした測定結果を Table 1 および Fig.4 に示す。Fig.4の横軸は内側と外側領域を合わせた刺激図形の広さであり、縦軸は内側領域の見える明るさを外側領域の明るさと等しくする為に必要な内側領域への白色混入量を示す。図中の●印は白色輪郭線無し条件、○印は白色輪郭線有り条件での主観的等価値であり、これらは4名の被験者の平均値である。×印と+印は、各々、各刺激図形条件での上限閾と下限閾であり、その縦線は4名の被験者間のバラツキを示す標準偏差±1σである。

Fig.4に示されるように、外側領域が広がってもつまり刺激図形が4.0°から8.0°に拡大されても、輪郭線効果には大きな差が見られない。これは白色輪郭線無し条件・有り条件に共通することであるが、白色輪郭線無し条件の外側領域が狭い場合には輪郭効果がわずかに大きく現われる傾向にあるのかも知れない。本実験条件では、刺激図形の外側領域が1.0°から3.0°に拡大されたのであるが、白色輪郭線が外側領域内で占める空間的広がりが0.5°であるので、一様な輝度領域は0.5から2.5°に拡大されたことになる。つまり白色輪郭線有り条件においては、一様な輝度分布領域が0.5°から2.5°に拡大されても輪郭線効果には何らの変化も見られない。

さて、外側領域の広さは輪郭線効果に差をもたらしと仮定して、白色輪郭線無し条件と有り条件の各条件の各平均主観的等価値を算出すると、白色輪郭線無し条件は3.56 mm そして白色輪郭線有り条件は8.97 mm である。白色混入量を示す矩形領域の横幅が12.0 mm であるので、内側領域へ混入しなければならない白色面積は、各々、 $3.56 \times 12.0 = 42.7 \text{ mm}^2$ そして8.

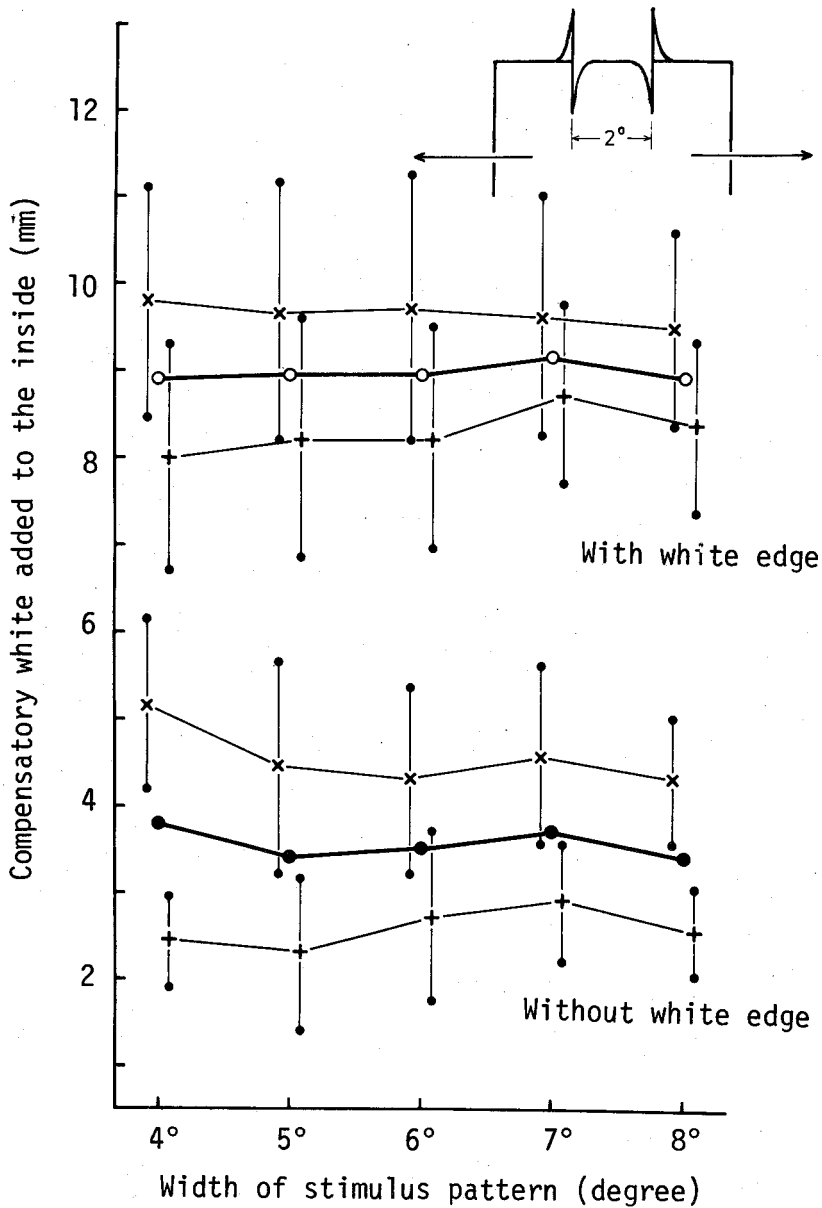


Fig. 4. The average amount of compensatory white for the contour effect as a function of the width of whole stimulus pattern. The points of subjective equality (PSEs), the upper limens, and the lower limens are plotted. The vertical bars represent the standard deviations ($\pm 1.0\sigma$). See table 1.

$97 \times 12.0 = 107.6 \text{ mm}^2$ となる。輪郭線を形成している黒色あるいは白色突起の面積が $0.266 \times 3.0 \times 8.0 \times 2 = 12.8 \text{ mm}^2$ であることを考えれば、この輪郭線効果は極めて大きいと言えるであろう。一方、白色および黒色輪郭線を持つ条件(107.6 mm^2)は黒色輪郭線しか持たない条件(42.

7 mm²) に比べて、約 2.5 倍の輪郭線効果を持っている。これは、白色輪郭線と黒色輪郭線の非対称性を示しているのか、あるいは白色と黒色輪郭線を同時に提示することの相互作用の結果であるのか、あるいは白色と黒色輪郭線の占める空間的位置から生じたものであるのか、等今後検討すべき興味ある課題を提供している。

実験 II 輪郭線の輝度分布と輪郭線効果の関係

実験 I において、輪郭線を含む視野領域の広さは 4.0° から 8.0° の範囲内で輪郭線効果にほとんど影響を及ぼさないことが示された。そこで実験 II では視野領域の広さつまり内側および外側領域の広さを一定にして、正規分布関数に従って変化する種々の輪郭線輝度分布の違いがその輪郭線効果に及ぼす影響を測定する。その為に実験 II においては、内側領域と外側領域の横幅を、各々、12 mm に、つまり刺激図形の横幅を 36 mm に、かつ、内側領域の黒色突起部分は横幅 3 mm 高さ 8 mm に固定されている。そして外側領域の白色突起部分の横幅と高さだけが 16 種類に変えられた。これらの輪郭線輝度分布条件と各条件での内側領域への白色混入量の間隔は Table 2 に示されている。この内、統制条件は外側領域に白色輪郭線を持たず内側領域に黒色輪郭線のみを持つ条件を意味している。Table 2 の * 印の測定は、その他の条件とは異った実験系列として、しかし同じ 4 名の被験者を用いて実施されたものである。測定手続きは、刺激条件が異なること白色入量の間隔が刺激条件により異なること、の 2 点を除けば全て実験 I と同じである。

結果 4 名の被験者をこみにした測定結果を Table 2 に示し、かつ主観的等価値のみを

Table 2. Average data of four subjects for the contour effect as a function of the luminance gradient of the white contour in Outside Areas. In this experiment II, the width of both Inside Area and Outside Areas were fixed in 2.0°. The width and / or the height of white edge in Outside Areas were variable. Every experimental condition had two black edges (width=3.0mm, height=8.0mm) in Inside Area. Control condition had no white edges in Outside Areas, but had two black edges in Inside Area. The compensatory white were measured by the same experimental method as in the experiment I. The asterisk (*) represents the condition run in the separate experiment by the same subjects.

Condition	con- trol	Area: constant					Height: constant					Width: constant					con- trol	Others	
Width:Height (mm)		2:12	3:8	4:6	6:4	8:3	1:8*	2:8	3:8	4:8	8:8	3:3	3:6	3:8	3:12	3:21*		* 2:6*	4:12*
Step of compensatory white (mm)	1.33	2.00	1.33	1.00	0.67	0.67	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	0.67	1.00	1.33	2.00	2.00	1.33	1.00	2.00
Upper limen	4.67	8.33	9.50	8.67	7.25	6.39	5.44	8.06	9.50	9.94	10.83	5.89	8.25	9.50	11.25	13.42	4.00	6.54	11.67
SD	0.82	0.75	0.82	0.67	0.70	0.46	0.73	0.65	0.82	0.65	0.51	0.46	0.64	0.82	0.72	1.50	1.03	0.96	0.97
Lower limen	2.44	6.08	7.33	7.08	5.72	5.17	3.61	6.00	7.33	7.61	9.00	4.00	6.33	7.33	8.67	10.75	2.22	5.08	9.59
SD	0.75	0.55	0.87	0.80	0.76	0.43	0.87	0.47	0.87	0.43	0.64	0.62	0.66	0.87	0.41	1.11	0.79	0.82	0.89
PSE	3.56	7.21	8.42	7.88	6.49	5.78	4.53	7.03	8.42	8.78	9.92	4.94	7.29	8.42	9.96	12.08	3.11	5.81	10.62

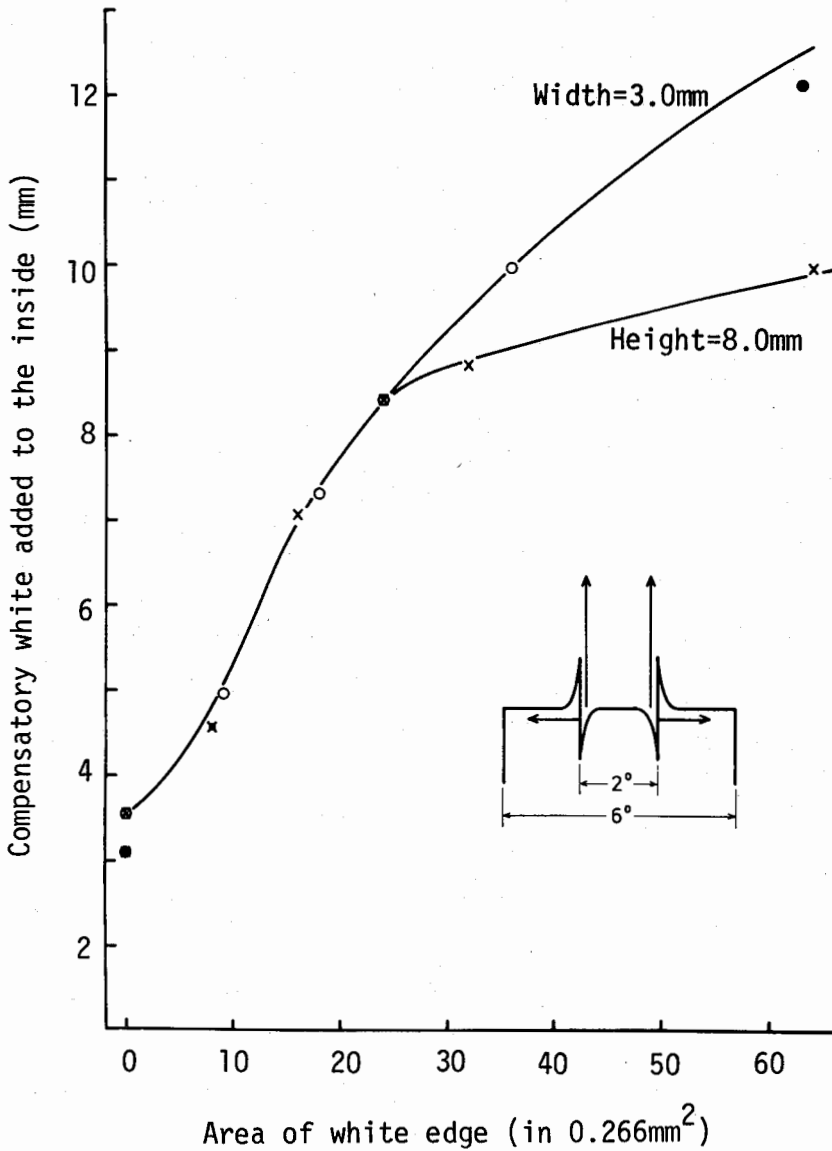


Fig. 5. The average amount of compensatory white for the contour effect as a function of the area (width $\times$ height) of white edge. PSEs are plotted. Conditions: width=3.0mm and height is variable, and height=8.0mm and width is variable. See table 2.

Fig.5, Fig.6, そして Fig.7 に示す。Fig.5 は輪郭線を形成している白色突起の横幅を 3 mm に、あるいは高さを 8 mm に固定し、高さあるいは横幅を、各々、増加させた場合の輪郭線効果の程度を示している。Fig.5 の横軸は白色突起の横幅と高さの積、つまりその面積の程度を示す。縦軸は内側領域への白色混入量を示している。これらの測定結果には S 字形曲線を当てはめる

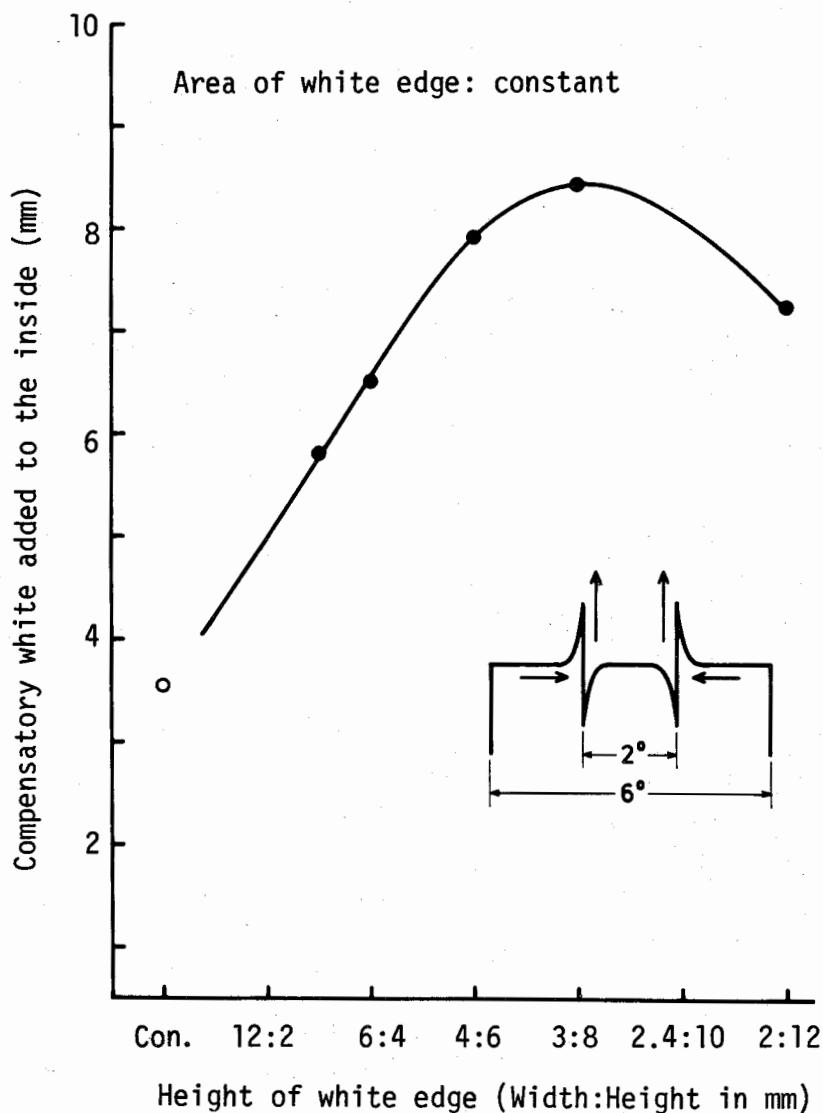


Fig. 6. The average amount of compensatory white for the contour effect as a function of the height of white edge. PSEs are plotted. Conditions: the area of white edge is fixed, that is, $(\text{width} \times \text{height}) = 24.0$ and the width decreases at the inverse of the height. See table 2.

ことが可能であり、(横幅) × (高さ) = 24 までは横幅 3 mm 条件と高さ 8 mm 条件との間にほとんど差が見られない。これはこの範囲内で輪郭線輝度分布の空間的広がりとピーク輝度が同じ効果を持っていることを示している。しかしこの範囲を越えると、横幅 3 mm 条件と高さ 8 mm 条件の間に大きな差が現われ、前者の条件における輪郭線効果は増加し続けるが後者における効果の増加率はゼロに近づくことを示している。

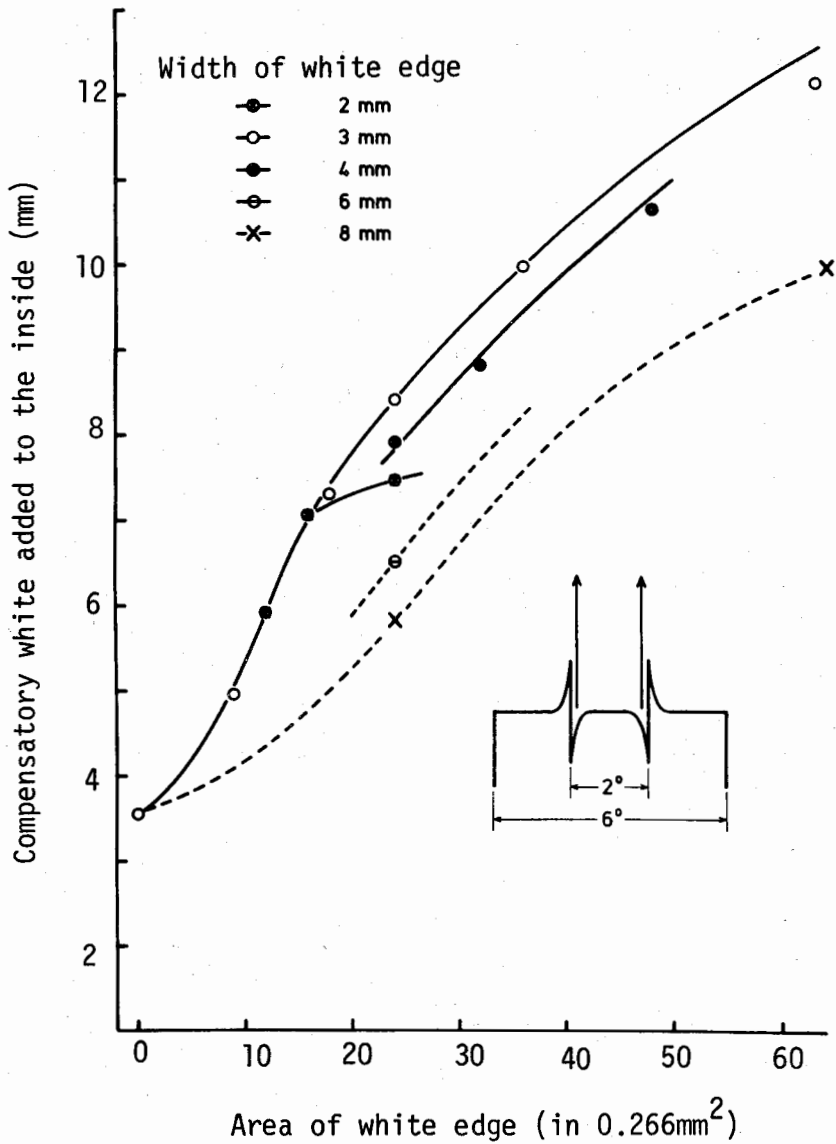


Fig. 7. The average amount of compensatory white for the contour effect as a function of the area (width $\times$ height). PSEs are plotted. Conditions: the width of white edge is fixed in each condition and the area of it is variable. The dotted lines imply the extrapolation for lacking data. See table 2.

Fig.6は白色突起の面積を一定にしてその横幅と高さを反比例的に変えた場合の輪郭線効果の変化様相を示している。この図の横軸は輪郭線輝度分布の種類をその高さについて目盛っている。この内、○印は統制条件つまり内側領域に黒色輪郭線のみを持ち外側領域に白色輪郭線を持たない条件を示す。これらの測定結果は白色突起の横幅3 mm 高さ8 mm の条件におい

て輪郭線効果が最大になることを示している。

Fig.7 には白色突起の横幅を 2 mm, 3 mm, 4 mm, 6 mm, そして 8 mm に固定し, その高さつまり面積を増加させた場合の輪郭線効果の変化様相が示されている。これらの測定結果はいずれの横幅条件に対しても S 字形曲線の当てはめが可能であることを示している。この曲線群の内, 横幅 6 mm と 8 mm の条件は測定点が少なかったので目測による内挿あるいは外挿により S 字形曲線を当てはめた。これらは破線で示されている。全般的には, Fig.6 に見られたと同様に輪郭線効果は横幅 3 mm の条件において最大になることを示している。

考察

実験 I の結果は輪郭線効果がその隣接する視野領域の広さからは, 少なくとも 4.0° と 8.0° の範囲において, 影響を受けないこと, 逆に言えば輪郭線効果はそれに接する視野領域の広さにかかわらず等しい影響を各部位に一樣に与えることを示した (Fig.4)。しかもその効果は輪郭線を形成している物理的輝度量に比較してはるかに大きな影響をその周囲に及ぼすことを示した。これは輪郭線を形成している局所的な輝度分布が視野全体の明るさ感覚を決定する上で優位に関与していることを意味している。

これらの結果は Ratliff (1971, 1972) が指摘しているように, 網膜での興奮抑制応答のピークを大脳で外挿して明るさ感覚が決定されていることを示しているのかも知れない。しかしながら, もし単純な興奮抑制の加重により網膜での神経応答が決定され, かつそのピーク値が決定されるのであるならば, 輪郭線に隣接する視野領域の広さの変化に対応して興奮抑制応答のピーク値が変化し, その結果輪郭線に接する視野領域の明るさ感覚も変化してしかるべきである。にもかかわらず, 実験 I の結果は視野領域の拡大に伴う輪郭線効果に有意な差を示さなかった。これは物理的輝度変化に伴う興奮抑制の単なる線型的な加重効果だけの結果として, 明るさ感覚を論ずることが出来ないことを示している。そして, これは Békésy (1968, 1972) が視覚系における抑制効果を Mach 型抑制と Hering 型抑制に区別したように, ある特殊な輝度増加率に伴う輪郭線輝度分布と一様な輝度分布に対する神経活動には大きな質的量的相異が有ることを物語っているのかも知れない。

さて, 種々なる輪郭線輝度分布に対する輪郭線効果の程度を測定した実験 II の結果は, この効果が輪郭線輝度分布の違いに依存して種々に変化することを示した。まず輪郭線を形成している白色突起の高さを 8 mm に固定した条件においても, 横幅の増加に伴い輪郭線効果は徐々に大きく現われた。これは Békésy (1972) が観察距離の接近に伴い輪郭線効果が大きく現われると報告していることに, 少なくとも定性的には一致する。つまり視角で表わした輪郭線輝度分布の空間的広がり拡大に伴い, この効果は大きく現われる。

一方、(横幅) × (高さ) = 24 までは、白色突起の横幅を 3 mm に固定しその高さを増加させても、逆に高さを 8 mm に固定し横幅を増加させても、輪郭線効果はほぼ等しい変化様相を示した (Fig.5)。このことは、ある範囲内で横幅と高さが相補的關係にあり、輪郭線を形成している総輝度量が輪郭線効果の程度をほぼ決定することを示している。そして本実験では、上述の範囲を越えて白色突起の面積を増加させると、横幅の増加よりも高さの増加の方がはるかに大きな輪郭線効果を持つという特徴的な変化を示した。つまりこの範囲では総輝度量により、輪郭線効果の程度が決定されるとは言えないことを示している。また、輪郭線を形成している白色突起の面積が一定でその横幅と高さを反比例的に変化させた場合、輪郭線効果を生ずるに最適な条件が存在した。即ち、(横幅) × (高さ) = 24 の条件では横幅 3 mm 高さ 8 mm の条件において最大の効果が現われた (Fig.6)。これも又、輪郭線を形成している白色突起の面積つまり総輝度量によって輪郭線効果が決定されるのではなく、その横幅と高さつまり輝度増加率によって規定されることを意味している。Fig.5 と Fig.6 に示されている結果は、輪郭線効果がある条件下ではほぼ白色突起の面積つまり総輝度量に規定され、他の条件ではその横幅と高さつまり輝度増加率に規定されることを示している。この総輝度量依存性を示す条件と輝度増加率依存性を示す条件を実験的により明確に定めることは、輪郭線効果の性質を知る上であるいはその発生機構を知る上で、重要な意味を持つであろう。一方、Fig.7 は輪郭線を形成している白色突起の面積が一定の条件下では常に横幅 3 mm の場合において輪郭線効果が最大になることを示している。

Fig. 5, Fig. 6, そして Fig. 7 に現われているこれらの特徴は、一つの仮説として、興奮領域を抑制領域が囲んでいるとする興奮抑制の拮抗過程の結果として、輪郭線効果を説明しうること示している。つまり輪郭線を形成している白色突起の横幅 3 mm (視角で 30 分) が興奮領域の直径に、何らかの意味で、対応しているのかも知れない。また、横幅 3 mm 高さ 8 mm までのある範囲内では輪郭線効果はその総輝度量により規定された、これは興奮領域内に落ちる輝度分布に対してはその空間的広がり輝度の強さの間に相補的關係が成立することを示しているのかも知れない。そして輝度分布が興奮領域を越えて広がると周囲の抑制領域からの抑制がかかり輪郭線効果の増加率を低下させるのかも知れない。これらの仮定を検討する為には、より組織的な心理物理的測定が必要である。

いずれにしても物理的輝度分布からは大きくずれる明るさ知覚についての逆説的な現象は単純な興奮抑制の拮抗過程からだけでは説明し得ず、この興奮抑制の相互作用を基礎にしながら、Békésy (1968) が試みた Mach 型—Hering 型抑制の区別とその性質の理解、あるいは Gerrits & Vendrik (1970), Ratliff (1971), そして Hamada (1976) 等が試みている視覚系内でのより高次な水準における明るさ知覚情報の再構成過程等を考慮しなければならない。

零位法を用いた本実験は、輪郭線効果についてのいくつかの特徴を示した。しかしながら零

位法は輪郭線輝度分布によって生起する外側領域と内側領域の間の明るさ感覚の差のみしか検出できない。つまりこの測定法は、比較的簡単に被験者の判断を求めることができること、そして比較的精度良く輪郭線効果を測定できる等の長所を持っているが、各視野領域の絶対的明るさ感覚についての情報を得ることができない。今後、輪郭線効果の発生機構を知る上であるいは同時対比や同化現象との関連性を検討する上で、零位法のみならず絶対的明るさ感覚についての情報を得ることのできる測定法の採用が必要である。さらには、明暗知覚現象のより深い理解の為に、種々なる心理物理的実験、それらの測定結果を基礎とした模型の構成、そしてこれらの模型による物理的刺激と心理行動的反応との結合等さまざまな研究方法が不可欠となるであろう。

要約

本実験は、明暗知覚に関する諸現象の発生を担う明暗情報処理機構の一端を知る試みの一つとして計画された。特に、一般にはクレイク・オブライエン効果あるいはコーンスウィート錯視と呼ばれている輪郭線効果についての実験的検討がなされた。その結果、正規分布関数に従って変化する局所的な輪郭線輝度分布がそれに隣接する視野領域の明るさ感覚に大きな影響を与えることが示された。

視野領域の広さと輪郭線効果の関係を検討した実験Ⅰでは、輪郭線輝度分布に接している外側領域の広さが 1.0° から 3.0° に拡大されても輪郭線効果には有意な変化が現われないことが示された。この結果は、隣接視野の広狭にかかわらず、輪郭線効果が一様に及ぶことを意味している。また、局所的な白色輪郭線の付加のみによって、輪郭線効果は大きく変化した。これは、局所的な輪郭線輝度分布がそれに接する視野領域の明るさ感覚を優位に決定していることを意味している。

輪郭線輝度分布と輪郭線効果の関係を検討した実験Ⅱにおいては、主として次の特徴が現われた。1) ある条件下では、輪郭線輝度分布の空間的広がりとはピーク輝度が相補的關係にあること。即ち、輪郭線を形成している総輝度量で輪郭線効果の程度が決定されること。2) ある条件下では、輪郭線輝度分布のピーク輝度の上昇が空間的広がりの拡大よりもより大きな輪郭線効果を生起すること。3) ある条件下では、輪郭線輝度分布の空間的広がりとはピーク輝度の関係に対して最適の関係が存在すること。4) 輪郭線輝度分布の空間的広がり 3.0 mm の条件が、常に最大の輪郭線効果を示すこと。

これらの特徴から、一つの仮定として、視覚系内での興奮抑制の拮抗過程とその再構成過程の結果として、この輪郭線効果を説明することが出来るであろうことが考察された。

References

- Békésy, G. V. (1968) Mach-and Hering-type lateral inhibition in vision. *Vision Res.*, 8, 1483-1499.
- Békésy, G. V. (1972) Compensation method to measure the contrast produced by contours. *J. Opt. Soc. Am.*, 62, 11, 1247-1251.
- Cornsweet, T. N. (1970) *Visual Perception*. Academic Press, New York.
- Gerrits, H. J. M. and Vendrik, A. J. H. (1970) Simultaneous contrast. Filling-in process and information processing in man's visual system. *Exp. Brain. Res.*, 11, 411-430.
- Hamada, J. (1976) A mathematical model for brightness and contour perception. *Hokkaido Report of Psychology*, 11-76-17.
- O'Brien, V. (1958) Contour perception: illusion and reality. *J. Opt. Soc. Am.*, 48, 112-119.
- Ratliff, F. (1971) Contour and contrast. *Proc. Am. Philos. Soc.*, 115, 150-163.
- Ratliff, F. (1972) Contour and contrast. *Scientific American*, 226, 6, 90-101.

ABSTRACT

The purpose of present work was to investigate the contour effect, the Craik-O'Brien effect or the Cornsweet illusion, by the compensatory method.

The normal orgive luminance gradients were produced by the matted black and white photographs fixed on a rotating drum (Fig. 1). The stimulus pattern mainly consisted of Inside Area with two black contours and two Outside Areas with a white contour (Fig. 2-3). The task of the subjects was to compare the apparent brightness of Inside Area with that of Outside Area. The subjects judged whether the brightness of Inside Area was brighter than, the same as, or darker than that of Outside Areas. The compensatory white was added to Inside Area in order to make the apparent brightness of Inside Area match that of Outside Areas.

The relation between the width of Outside Areas, that is, of the stimulus pattern, and the contour effect was measured in the experiment I. The results are presented in Table 1 and Fig. 4. The contour effect was very great compared with the total luminance of contour, while there was little effect of the width of stimulus pattern on the contour effect. In other words, the local luminance gradients had priority over the area of adjacent uniform visual field for the contour effect.

The relation between the luminance gradients of contour and the contour effect was measured in the experiment II. The results are presented in Table 2 and Fig. 5-7. Fig. 5 shows the contour effect as a function of area of white edge under the two conditions, that is, under one condition the width of white edges was fixed at 3.0mm and the height of them was variable, while under the other condition the height of white edges was fixed at 8.0mm and the width of them was variable. The data for each condition could be fitted with different sigmoid curve. These two sigmoid curves coincide with each other up to the condition of (width×height)=24.0; however, when the area of white edge exceeded the above condition, the contour effect for the width=3.0mm condition increased equally but that for the height=8.0mm condition increased little. These results might imply that, under some condition within (width×height)=24.0 the width and the height of the white edge had a reciprocal relation for the contour effect; in other words, the contour effect appears to be governed by the total luminance of contour. However over the above condition the height of white edge become more effective than the width of it for the contour effect. On the other hand,

Fig. 6 shows that under the $(\text{width} \times \text{height}) = 24.0$ conditions there is a peak at $\text{width} = 3.0\text{mm}$ and $\text{height} = 8.0\text{mm}$. This result implies that under this condition the width and the height of white edge does not have the reciprocal relation, but there is an optimal luminance gradient condition for the contour effect. Fig. 7 shows that the $\text{width} = 3.0\text{mm}$ condition has the greatest contour effect under every white edge area condition.

These experimental results might indicate that the contour effect should be closely related to the excitatory and inhibitory interaction in the human visual system. Namely, the $\text{width} = 3.0\text{mm}$ of the white edge might represent the diameter of the excitatory area in the visual system because the greatest contour effect appeared in the $\text{width} = 3.0\text{mm}$ condition. Furthermore, when the height of white edge was fixed at 8.0mm and the width of it was expanded, the contour effect increased rapidly within the $\text{width} = 3.0\text{mm}$ condition, but it increased little over the $\text{width} = 3.0\text{mm}$ condition. This might indicate that, when the width of white edge expanded over the excitatory area, the inhibitory effect was activated and hence little contour effect appeared.

These above assumptions have an ample room for further discussions and would require further experimentation on the contour effect. Furthermore, the characteristics that the brightness of the visual field with the luminance gradients appeared uniformly brighter or darker than the adjacent field could not be fully explained only by the simple excitatory and inhibitory interaction. In order to understand the contour effect and other related brightness phenomena, other factors should be considered also, namely, the differences between Békésy's (1968) Mach and Hering-type lateral inhibitions and/or the reorganization at higher level of visual system, for example, Gerrits and Vendrik's (1970) filling-in process, Ratliff's (1971) extrapolation process, and Hamada's (1976) averaging process.