

## 盲点におけるフィリングイン (知覚的充填) の異方性

蘭 悠久\*・大隈峰人\*†・二瀬由理\*\*\*・中溝幸夫\*\*・近藤倫明\*\*\*\*

\*九州大学大学院 人間環境学府・\*\*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

\*\*\* 福岡大学 工学部

〒814-0180 福岡市城南区七隈 8-19-1

\*\*\*\* 北九州市立大学 文学部

〒802-8577 福岡県北九州市小倉南区北方 4-2-1

(受付: 2003年6月9日; 改訂稿受付: 2003年11月6日; 受理: 2003年11月14日)

### Anisotropy of Perceptual 'Filling-in' for Horizontal and Vertical Orientation in the Blind Spot

Yukyu ARARAGI\*, Mineto OKUMA\*, Yuri NINOSE\*\*\*, Sachio NAKAMIZO\*\*  
and Michiaki KONDO\*\*\*\*

\* Graduate school of Human-Environment Studies, Kyushu University

\*\* Faculty of Human-Environment Studies, Kyushu University

6-19-1 Hakozaki, Higashi-ku, Fukuoka 812-8581, Japan

\*\*\* Faculty of Engineering, Fukuoka University

8-19-1 Nanakuma, Jyonan-ku, Fukuoka 814-0180, Japan

\*\*\*\* Faculty of Literature, Kitakyushu City University

4-2-1 Kitagata, Kokuraminami-ku, Kitakyushu 802-8577, Japan

(Received 9 June 2003; Received in revised form 6 November 2003; Accepted 14 November 2003)

We examined anisotropy of filling-in in the blind spot in horizontal and vertical orientation. A pair of lines was presented across the blind spot with varying lengths of both line in experiment 1 and varying length of a single line in experiment 2, the observers reported whether the line appeared 'complete' or 'gapped'. In experiment 3, a pair of patterns, which were consisted of 3, 7, or 11 lines, was presented across the blind spot, and observers were required to report whether or not the patterns were perceived continuous. The results showed that the minimum length of line for filling-in was shorter in horizontal orientation than that in vertical, and that filling-in occurred more in horizontal lines than in vertical. We discussed the obtained anisotropy with respect to the spatial resolution, the cortical magnification factor, and the shapes of receptive fields of neurons that caused filling-in in the blind spot.

#### 1. はじめに

盲点 (blind spot) とは、網膜上の視神経乳頭 (optic disc) のこと<sup>1,2)</sup> (あるいは、それに対応する視野のこと<sup>3,4)</sup>) をいい、どちらの眼でも鼻側網膜上、中心窩からほぼ $15^\circ$ に位置する。(盲点の定義には、網膜上の一定部位とする考え方<sup>1,2)</sup>

と、対応する視野の一領域とする考え方<sup>3,4)</sup>がある。) この領域は、眼球から大脳皮質へと向かう視神経線維および眼球内への血管の出入口にあたるため、光受容細胞が存在しない。しかし、それぞれの眼の盲点は両眼非対応位置にあるので、一方の眼の盲点への入力、他眼ではこめか

† 現在佐賀県立神崎清明高校勤務。

み側(非盲点側)網膜への入力になる。したがって、両眼視では、一方の眼の盲点对応視野の情報を他眼で観察可能である。一方、単眼視では、原理的に盲点对応視野の情報は観察不能なはずである。

日常、単眼で観察しているとき、盲点对応視野に欠損した知覚印象を経験することはほとんどない。これは、盲点对応視野が約15°周辺視野にあるために注意を向けられることが少ないという理由のほか、視覚系が盲点周辺の情報にもとづいて知覚的充填(perceptual filling-in, 以下、フィリングイン)を行っているからだといわれてきた(例えば、Ramachandran<sup>5)</sup>)。しかし、実際には周辺視野に“注意を向けて”観察すると、事物全体あるいはその一部の視覚的欠損に“気づく”こともある。

最近、両眼視においてもフィリングインが生じていることを示す結果が報告された。He & Davis<sup>6)</sup>は、左眼の盲点を取り囲む周辺部に放射線状の縞あるいは環状の縞を、左眼盲点部位に対応する右眼網膜に同心円状の縞を両眼分離提示した条件で、左眼盲点においてフィリングインされた情報が両眼視野闘争を起こすかどうかを調べた。その結果、左眼にフィリングインが生じる放射線状の縞が提示された場合のほうが、フィリングインが生じない環状の縞が提示された場合よりも右眼の同心円状の縞の知覚が抑制される確率が高くなった。この結果は、片眼の盲点においてフィリングインされた情報が他眼の盲点对応領域に提示された情報と両眼視野闘争を起こすことを意味している。

盲点においてフィリングインを生む刺激の量的特性について、これまでいくつかの報告がある。Kawabata<sup>7-9)</sup>は、フィリングイン生起の条件として盲点の中心を原点とする2つの象限に同種の刺激が存在すること<sup>7)</sup>、フィリングインがグローバルな情報処理プロセスをとまなう現象であること<sup>8)</sup>、フィリングインと知覚的群化が独立した処理プロセスであること<sup>9)</sup>を示した。また、異方性に関しては、水平方位へのフィリングインが垂直方位へのフィリングインよりも知覚

が安定すること、線分幅に関して、線分幅が太いほうがフィリングインの知覚が安定することを示唆した<sup>7)</sup>。しかし、異方性および線分幅について調べたKawabata<sup>7)</sup>の研究は、フィリングインの生起を判断する知覚的基準が不明確であること、統計的分析結果にもとづいてないこと、質的分析に留まることといった難点がある。とりわけ、盲点におけるフィリングインの知覚的印象は、盲点をはさむ両側に一定量の刺激が存在しない場合には非常に曖昧なので(不完全なフィリングイン)、Kawabata<sup>7)</sup>の観察したフィリングインが不完全なフィリングインをフィリングインの生起として取り扱った可能性もある。

本研究の目的は、従来の研究がもっていた難点を取り除くことによって、フィリングインの異方性を数量的に調べることであった。次の2点によって従来の研究の難点を取り除いた。第1に、フィリングインが生じたかどうかの知覚的基準を明確にした。第2に刺激線分の長さという量的な測度を用いて、フィリングインの閾値を測定した。基本的方法としては、盲点領域をはさむように盲点の両側に刺激線分(盲点幅に相当するギャップのある線分)を短時間提示し(眼球運動を防ぐために)、線分の長さを徐々に増加、あるいは減少させた。図1に示されるように、線分が非常に短い場合、ギャップのある2本の短い線分が知覚される(2つの点に見えること

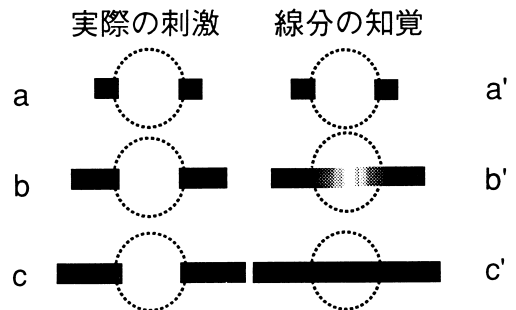


図1 線分の長さと言分の知覚の関係。図の左側 a, b, c のように線分の長さが伸びていくと、最初は右側 a' のように分離して知覚されていた2本の線分が右側 c' のようにつながった一本の線分として知覚される。本論文では、b' を不完全なフィリングイン、c' を完全なフィリングインと呼ぶ。点線は盲点領域を示す。

もある)が、線分の長さを徐々に増加していくと、不完全なフィリングインが生じ、その後、ある臨界的長さでギャップのない1本の連続した線分が知覚される。つまり、完全なフィリングインが生じる。われわれは、こめかみ側網膜にも同じ長さの1本の基準線分を同時提示することにより、この線分と同じ“明るさや線分の連続性の見え”が得られた場合に完全なフィリングインが起ったと判断した。このような方法を用いて、実験1ではフィリングインに及ぼす刺激線分の方位と幅の効果を調べた。実験2では、盲点をはさむ2本の刺激線分のうち、片側の線分の長さを変数にした条件の、フィリングインに及ぼす線分の方位と長さの効果を調べた。実験3では、実験1や実験2とは異なる質的な方法、つまり水平、垂直方位のどちらにもフィリングインが生じる多義的な刺激を用いてフィリングインの異方性を調べた。それらの結果にもとづいて、フィリングインの異方性を生み出す原因について論じた。

## 2. 実験1

フィリングインに及ぼす刺激線分の方位と幅の効果を調べることが目的であった。上で述べたように、盲点の水平軸、あるいは垂直軸に一致するように、盲点の両端に提示した一対の線

分の長さを操作し、完全なフィリングイン（以後、フィリングイン）が生じる（消失する）境界の線分の長さをフィリングインの測度とした。

### 2.1 方法

#### 2.1.1 被験者

被験者は7名で、矯正視力も含め、いずれも正常な視力を有していた。著者以外の4名は実験目的を知らなかった。

#### 2.1.2 刺激と装置

図2 a, bに示すように、盲点領域をはさむように、盲点の水平軸上、あるいは垂直軸上に刺激線分を提示した。(盲点の水平(垂直)軸とは、盲点はおおよそ縦長の楕円形をしており<sup>10)</sup>、その短軸を水平軸とし、長軸を垂直軸とした。)判断の基準として、刺激線分と同一の幅で、両端点の長さと同じ長さの1本の線分(基準線分)が“こめかみ側”網膜の盲点と同じ網膜偏心度部位に提示された。一試行において、片側の線分の長さは、水平、垂直方位のどちらも上昇系列では視角 $0.7^\circ$ (明らかにフィリングインが起らない線分の長さ)、下降系列では $7^\circ$ (明らかにフィリングインが起る線分の長さ)から開始した。眼球運動や盲点測定 of 誤差がフィリングイン生起を妨げる可能性を除去するために、水平、垂直方位のどちらもあらかじめ測定された盲点境界線の内

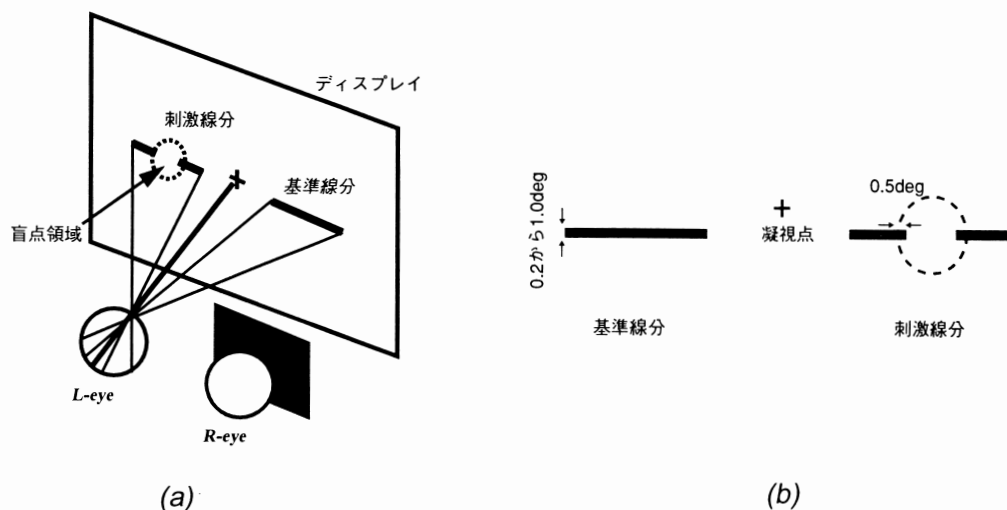


図2 (a)左眼観察時の盲点におけるフィリングインを調べるために提示した刺激線分と基準線分の位置。刺激線分は盲点領域にギャップをもつ。一方、基準線分は連続した1本の線分である。両線分の全体の長さは等しい。(b)測定された盲点領域と呈示する線分の位置。点線は盲点領域を示している。

側 0.5°の地点から線分を提示した。線分の一回の提示時間は常に 200 ms であり、被験者が 1 本の連続した線分として見えた(見えなくなった)と判断するまで、繰り返し提示された。被験者がキーを押す度ごとに、提示される線分の長さは視角 0.1 度ずつ長く(短く)なった。刺激の輝度は 0.1 cd/m<sup>2</sup> であり、背景の輝度は 41.5 cd/m<sup>2</sup> であった。刺激の作成、提示、制御にはパーソナルコンピュータ (SHARP X68030) とディスプレイ (SHARP CZ 621D) を用いた。

### 2.1.3 手続き

実験試行に先立って被験者ごとに盲点を計測した(盲点の計測法については、大隈ら<sup>10)</sup> 参照)。計測された盲点の位置と大きさのデータに基づいて、被験者ごとにディスプレイ上での刺激線分の提示位置が定められた。

被験者の課題は、自らキーを押すことで、線分の長さを伸縮(伸縮量 = 0.1°/key)させ、刺激線分が基準線分と同じような 1 本の連続した線分として見えたかどうか(上昇法)あるいは、刺激線分が基準線分と異なって、1 本の線分として見えなくなったかどうか(下降法)を判断することであった。独立変数は、線分方位(水平、垂直)、線分幅(0.2° ~ 1.0°)、提示法(上昇、下降)の 3 つであった。各被験者は、方位(2) × 幅(3) × 提示法(2)の組み合わせの 12 試行からなるセッションを合計 6 セッション行った。各試行は、方位別のブロックに分けられ、被験者ごとにランダムに提示された。

実験は準暗室(1.5 lx)で行われ、観察距離は 40 cm であった。被験者の頭部はバイトボードを噛むことによって固定され、片眼が遮蔽された。被験者は、試行中提示された凝視点を単眼で注視した。

## 2.2 結果と考察

各被験者が刺激線分を基準線分と同様に 1 本の連続した線分として知覚した(あるいは、知覚されなくなった)ときの、片側の線分の長さを“フィリングイン”の指標として用い、統計的分析の単位とした。観察眼別に 3 要因繰り返し分散分析を行った結果、線分方位の主効果が統計

的に有意であった[左眼盲点,  $F(1, 6) = 9.83$ ,  $p < .05$ ; 右眼盲点,  $F(1, 6) = 23.71$ ,  $p < .005$ ]。線分幅と提示法の主効果は有意ではなかった[線分幅, 左眼盲点,  $F(2, 12) = 1.87$ ,  $p = .20$ ; 右眼盲点,  $F(2, 12) = 1.06$ ,  $p = .38$ , 提示法, 左眼盲点,  $F(1, 6) = 0.27$ ,  $p = .62$ ; 右眼盲点,  $F(1, 6) = 1.58$ ,  $p = .26$ ]。また、左眼盲点における線分方位と提示法の交互作用に有意傾向があった [ $F(1, 6) = 4.26$ ,  $p < .10$ ]。左眼盲点における線分方位と線分幅、線分幅と提示法および線分方位と線分幅と提示法の交互作用は有意ではなかった[線分方位と線分幅,  $F(2, 12) = 1.27$ ,  $p = .32$ ; 線分幅と提示法,  $F(2, 12) = 0.68$ ,  $p = .52$ ; 線分方位と線分幅と提示法,  $F(2, 12) = 1.01$ ,  $p = .39$ ]。右眼盲点における交互作用はいずれも有意ではなかった[線分方位と線分幅,  $F(2, 12) = 1.19$ ,  $p = .34$ ; 線分方位と提示法,  $F(2, 12) = 0.43$ ,  $p = .54$ ; 線分幅と提示法,  $F(2, 12) = 0.12$ ,  $p = .89$ ; 線分方位と線分幅と提示法,  $F(2, 12) = 0.05$ ,  $p = .95$ ]。線分幅の効果に統計的に有意差が得られなかったことは、フィリングインが刺激全体の大きさ(線分面積)に依存せず、線分の長さに依存することを示している。図 3 は、フィリングインに必要な線分の長さの平均値を左眼および右眼別、および線分方位別に示す。線分方位の主効果は、図においてパーの長さの差に示されている。フィリングインに必要な線分の最小の長さの平均値は、線分方位が水平の場合、左眼盲点では 3.0° であり、右眼盲点では 2.7° であった。垂直方位の場合、左眼盲点では 3.9° であり、右眼盲点では 4.1° であった。統計的分析の結果および図 3 から、どちらの眼の盲点においても、盲点のフィリングインに必要な線分の最小の長さは、線分の方位(orientation)によって異なるといえる。

本実験によって見い出されたフィリングインに必要な線分の最小の長さの異方性は、盲点の水平、垂直径の差を反映しているわけではない。実験に先立って計測された盲点の水平径の 7 名の被験者の平均は、左眼 7.1° (SD = 0.9), 右眼 6.5° (0.6), 垂直径の平均は左眼 7.4° (0.6),

右眼  $7.4^\circ$  (1.2) であった。方位の差と盲点の水平径、垂直径との関係を調べるため、被験者ごとにフィリングインに必要な最小の線分の長さの水平-垂直の比と盲点の水平径-垂直径の比を算出し、被験者群内での積率相関係数を求めた。その結果、左眼については  $r = 0.011$ 、右眼については  $r = 0.083$  であり、どちらも統計的に有意ではなかった。図4は盲点の水平径-垂直径の比の関数としてフィリングインに必要な線分の最小の長さの水平-垂直の比を左右眼別に被験者ごとにプロットしたものである。以上の結果か

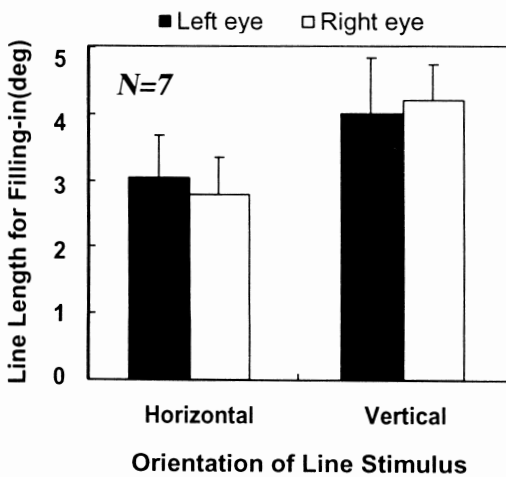


図3 線分方位の関数としてプロットされたフィリングインに必要な線分の最小の長さの平均値。左眼および右眼別にプロットされている。細い線分は、標準偏差を示す。

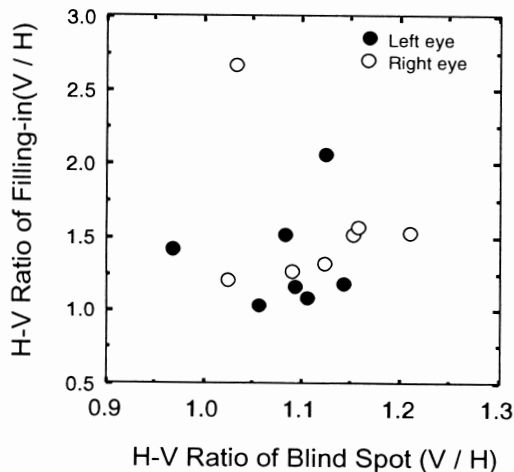


図4 被験者別のフィリングインに必要な線分の最小の長さの水平-垂直の比と盲点の水平径-垂直径の比。

ら、フィリングインに必要な線分の最小の長さの異方性は、盲点の水平径と垂直径の長さの差によるものではないと結論できる。

本実験で得られたフィリングインの水平、垂直間の異方性は、水平方位のほうが垂直方位よりも短い線分でフィリングインが生起することを意味する。この事実は、Kawabata<sup>7)</sup> (1982) の意見とあわせて解釈すると、水平方位のフィリングインのほうが垂直方位よりも生じやすくかつ安定しているということになる。Kawabata<sup>7)</sup> は、盲点の中心を原点として、盲点を4つの領域(象限)に分けた場合に、第1, 2象限にまたぐ、つまり盲点の上半分を覆う水平方位に長い縞を提示した場合の方が、第2, 3象限にまたぐ、つまり盲点の左半分を覆う垂直方位に長い縞を提示した場合よりも、フィリングインされた縞パターン<sup>8)</sup>の知覚が安定すると述べている。

本実験で得られたフィリングインに必要な最小限の線分の長さが盲点をはさむ両側に均等に必要なのか、それとも片側の線分が長い場合には、反対側の線分の長さが短くてもフィリングインが生じるというトレードオフが成立するのか、また、方位によって異なるのかどうかを調べるために実験2を行った。

### 3. 実験2

盲点をはさむ2本の刺激線分のうち、片側の線分の長さを変数にしたときの、フィリングインに及ぼす線分の方位と長さの効果を調べた。長さが固定された線分の視野上の位置は、水平方位条件では鼻側 (Near) もしくは耳側 (Far) であり、垂直方位条件では上側 (Upper) もしくは下側 (Lower) であった。本研究では、盲点をはさむ刺激線分のうち、長さを固定した片側の線分を固定線分と呼び、長さの変化するもう片側の線分を可変線分と呼ぶ。独立変数は固定線分の位置と長さであり、従属変数はフィリングインが生じる(消失する)限界の可変線分の長さであった。

#### 3.1 方法

##### 3.1.1 被験者

被験者は9名で、矯正視力も含め、いずれも正

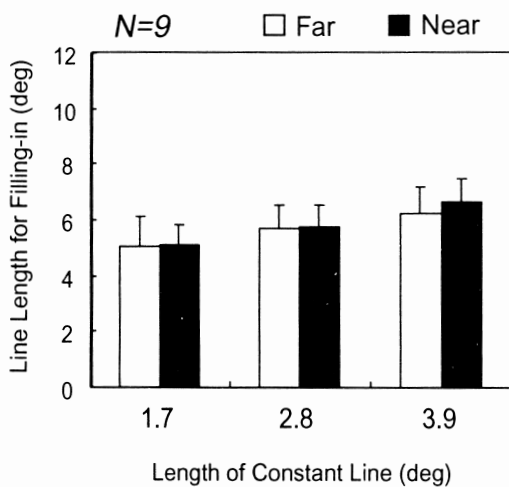


分の長さが長くなった。しかし、1.7°、2.8°の条件ではそのような差はみられなかった。3.9°の条件のみに統計的有意差が得られた理由は、明らかではないが、固定線分がもっとも長い3.9°の条件では、耳側と鼻側の空間分解能の差が影響した可能性も考えられるし、あるいは実験誤差かもしれない。また、線分の位置のNear条件およびFar条件のそれぞれで固定線分の長さの有意な差が得られた [Near :  $F(2, 32) = 70.55, p < .001$ ; Far :  $F(2, 32) = 38.41, p < .001$ ]。垂直方位条件では、固定線分の長さの位置の交互作用は有意ではなかった [ $F(2, 16) = 0.97, p = .40$ ]。図6 a, bに、それぞれ水平、垂直方位条件でフィリングインに必要な可変線分の長さの合計の長さ(以下、2本の線分の合計の長さ)の平均値を固定線分の位置別および固定線分の長さ別に示す。統計的分析の結果および図6から、固定線分を盲点のどちらの側に置くかによる結果の差はほとんどないこと、固定線分の長さのフィリングインに必要な盲点両側の線分の合計の長さは線形関係にあることが示された。

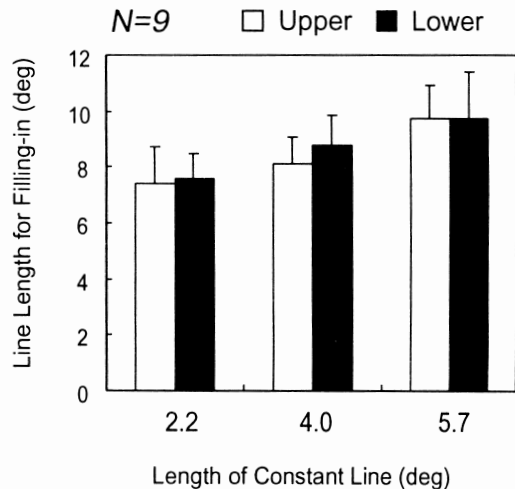
フィリングインに必要な2本の線分の合計の長

さは、固定線分の長さの線形関係にあることが示された。固定線分と可変線分の合計の長さは、水平方位の固定線分の長さ1.7°、2.8°、3.9°の条件におけるNear条件とFar条件の平均値は、5.1°、5.7°、6.5°であり、垂直方位の固定線分の長さ2.2°、4.0°、5.8°の条件におけるUpper条件とLower条件の平均値は、7.5°、8.4°、9.7°であった。この結果からフィリングインに必要な2本の線分の合計の長さは固定された片側の線分の長さに依存して長くなるといえる。この結果は、盲点周辺の両側の線分を1本の線分(1つの物体)として認知するためには、ある一定の長さが必要であり、その線分(物体)が盲点周辺に提示されれば自動的にフィリングインが生じるという自動的な情報処理が行われているのではなく、固定線分の長さに依存した刺激駆動型の情報処理が行われている可能性が高いと考えられる。

本実験の結果は、実験1で得られた異方性を反映している。実験1で得られたフィリングインに必要な最小の線分の長さの平均値を用いて実験2の結果を比率に換算し分析することにより、水平ならびに垂直方位のフィリングイン



(a) Horizontal条件



(b) Vertical条件

図6 (a) 水平方位条件における固定線分の長さの関数としてプロットされたフィリングインに必要な可変線分と固定線分の合計の長さの平均値。固定線分の位置別にプロットされている。細い線分は、標準偏差を示す。(b) 垂直方位条件における固定線分の長さの関数としてプロットされたフィリングインに必要な可変線分と固定線分の合計の長さの平均値。固定線分の位置別にプロットされている。細い線分は、標準偏差を示す。

は、固定線分の長さに依存するのか、それともフィリングインに必要な線分の長さに対する比率に依存するのかを調べる事ができる。実験1で得られた水平および垂直方位の線分の長さの平均値(水平:2.8°, 垂直:4.0°)を基準値1.0とした場合の本実験で用いたそれぞれの固定線分の長さの比率は、ほぼ同じ値であった(水平1.7°の条件および垂直2.2°の条件では0.6, 水平2.8°の条件および垂直4.0°の条件では1.0, 水平3.9°の条件および垂直5.7°の条件では1.4)。したがって、水平方位、垂直方位のそれぞれの2本の線分の合計の長さを固定線分と同様に比率に換算し、その値を用いて線分方位および固定線分の長さの2要因繰返し分散分析を行った。分析の結果、方位間に差がみられない場合には水平ならびに垂直方位におけるフィリングインに必要な線分の長さは固定線分の長さが異なる場合にも実験1と同様の異方性があることを示す。一方で、方位間に差が見られた場合にはフィリングインに必要な線分の長さは固定線分の長さに依存して変化することを意味する。分析の結果、方位の主効果は統計的に有意ではなかった [ $F(1, 8) = 0.73, p = .42$ ]。固定線分の長さの主効果は統計的に有意であった [ $F(2, 16) = 66.08, p < .001$ ]。多重比較を行った結果、固定線分の長さの比率0.6と1.0と1.4の条件のそれぞれの間で有意な差が得られた。また、線分方位と固定線分の長さの交互作用は統計的に有意ではなかった [ $F(2, 16) = 0.77, p = .48$ ]。これらの結果は実験1におけるフィリングインに必要な最小の線分の長さの水平、垂直方位間の比率(2.8:4.0)と等しい異方性が固定線分の長さを操作した場合にも生じていることを示し

ており、あらためて実験1で見出されたフィリングインの異方性が裏付けられた。

#### 4. 実験3

実験1と2とは異なる方法を用いてフィリングインの異方性を検証した。その方法とは、Kawabata<sup>8)</sup>が用いたようなグレーティング刺激を用いることによって、水平と垂直のどちらの方位においてもフィリングインが生じる可能性をもつ多義的な線分刺激パターンを盲点境界に提示し、どちらの方位のフィリングインが優位に生じるかを調べることであった。図7に本実験で用いた刺激パターンを示す。水平線分刺激の場合には、もし水平方位のフィリングインが生じると、つながった黒い水平線分が知覚され、垂直方位のフィリングインが生じると、短冊形の白いギャップが知覚される。一方、垂直線分刺激の場合には、その逆に、水平方位のフィリングインが生じると、横方向の白いギャップが知覚され、垂直方位のフィリングインが生じると、つながった黒い垂直線分が知覚される。実験1および2で示されたフィリングインの異方性がこれらの刺激でも生じるならば、水平線分刺激と垂直線分刺激の場合にも異方性が観察されるはずである。独立変数は刺激パターンの方位および線分の数であり、従属変数は線分によるフィリン

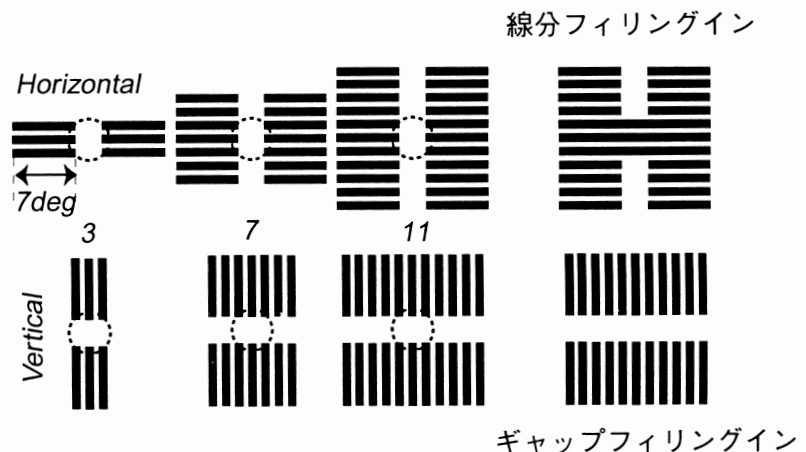


図7 それぞれの方位と線分数における刺激パターンと線分数11本条件において知覚される水平方位への線分フィリングインとギャップフィリングインの例。点線は盲点領域を示している。



グインが生じた割合であった。

#### 4.1 方法

##### 4.1.1 被験者

被験者は8名で、矯正視力も含め、いずれも正常な視力を有していた。そのうち、7名は実験目的を知らなかった。

##### 4.1.2 刺激と装置

図7は実験に用いた刺激を示す。複数の水平線分もしくは垂直線分のギャップの位置が盲点を左右もしくは上下からはさむような配置で刺激パターンが提示された。刺激パタンの要素である中央の線分が盲点の水平軸上あるいは垂直軸上に提示された。片側の刺激パタンの要素である線分の幅は視角 $1.5^\circ$ 、長さは $7^\circ$ であった。線分の本数は、3本、7本、11本であり、それぞれの条件でのサイズは、 $5.5^\circ$ 、 $13.5^\circ$ 、 $21.5^\circ$ であった。刺激の作成、提示、制御にはパーソナル・コンピュータ (Gateway Performance 1000) とディスプレイ (Gateway VX720 DIAMONDTRON NF) を用いた。

##### 4.1.3 手続き

被験者の課題は、刺激パタンの構成する黒い線分が部分的にでもつながって見えた場合はブザーを1回、つながって見えなかった場合はブザーを2回押すことであった。独立変数は、線分方位 (水平、垂直) および線分数 (3, 7, 11本) であった。各被験者は、方位 (2)  $\times$  線分数 (3) の組み合わせの6試行からなるセッションを10セッション行った。各試行は、方位別のブロックに分けられ、被験者ごとにランダムに提示された。実験は準暗室の部屋で行われ、観察距離は30 cmであった。被験者の頭部は、被験者がバイトボードを噛むことによって固定され、左眼が遮蔽された。被験者は、試行中、提示された凝視点を右眼で注視した。

#### 4.2 結果と考察

それぞれの被験者について、各下位条件において線分によるフィリングインが生じた試行の割合を統計的分析の単位とした。線分方位と線分数の2要因繰り返し分散分析の結果、線分方位と線分数それぞれの要因の主効果が統計的に

有意であった [方位:  $F(1, 7) = 13.31$ ,  $p < .01$ ; 線分数:  $F(2, 14) = 23.30$ ,  $p < .001$ ]。多重比較を行った結果、線分数の3本、7本、11本の条件のそれぞれの間で有意な差が得られた。また、線分方位と線分数の交互作用も統計的に有意であった [ $F(2, 14) = 23.30$ ,  $p < .001$ ]。単純主効果の検定を行った結果、線分数の7本と11本の条件それぞれで方位間に有意な差が得られた [7本:  $F(1, 21) = 9.83$ ,  $p < .01$ ; 11本:  $F(1, 21) = 24.12$ ,  $p < .001$ ]。また、水平条件では、線分数の条件間に有意な差は得られなかった [ $F(2, 28) = 1.77$ ,  $p = .19$ ]。垂直条件では、線分数の3本、7本、11本の条件でそれぞれ有意な差が得られた [ $F(2, 28) = 30.66$ ,  $p < .001$ ]。図8に線分数の関数として線分フィリングインが生じた割合を方位別に示す。線分方位の主効果は、図の白バーと黒バーの長さの差に表れている。また、被験者の内観報告によると、線分のフィリングインが生じなかった場合には、ギャップによるフィリングインが生じていた。

これらの結果から線分によるフィリングインおよびギャップによるフィリングインのどちらも、垂直方位よりも水平方位のほうが生じやすいことが示された。線分によるフィリングインの生じた割合は、水平方位線分では線分数の11本の条件でほぼ80%であり、垂直方位線分では

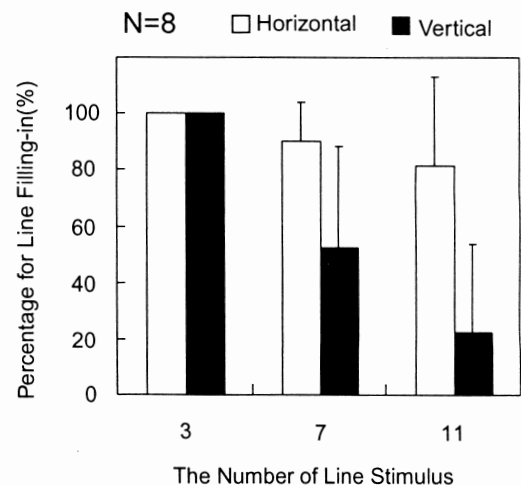


図8 線分数の関数としてプロットされた線分フィリングインが生じる割合。方位別にプロットされている。細い線分は、標準偏差を示す。

20%であった。一方、ギャップによるフィリングインの生じた割合は、水平方位ギャップでは線分数の11本の条件ではほぼ80%であり、垂直方位ギャップでは20%であった。この結果は、実験1および2で見い出されたフィリングインの異方性を確認するものである。

黒い線分によるフィリングインは、ローカルな(局所的)情報処理にもとづき、一方、ギャップによる白い線分のフィリングインは、グローバルな(全体的)情報処理にもとづくとして仮定すると、それぞれの情報処理にもとづくフィリングインが同じ比率で生じたのは、線分数11本のときであるといえる。(本研究では、ギャップによるフィリングインは、複数の線分を2つの縞パターンとして知覚しているためにローカルな情報を使ったフィリングインではなく、グローバルな情報処理にもとづくとして仮定した。) Kawabata<sup>8)</sup>は、盲点におけるフィリングインは、ローカルな刺激条件からのみ生じるものではなく、グローバルな処理が影響すると述べている。グローバルな情報処理にもとづくフィリングインの生じた割合は、線分数の11本の条件で、水平方位線分では、ほぼ20%であり、垂直方位線分では、80%であった。一方、ローカルな情報処理にもとづくフィリングインの生じた割合は、線分数の11本の条件で、水平方位線分では、ほぼ80%であり、垂直方位線分では、20%であった。線分数3本および7本の条件では、ローカルな情報処理にもとづいていることから、線分数を増やしていくと、グローバルな情報処理が優勢になる可能性が高いといえる。

## 5. 全体的考察

本研究結果から以下のことを結論することができる。(a)盲点領域をはさむように線分を提示した場合、フィリングインを生む最小線分の長さは水平方位より垂直方位のほうが長いこと、(b)この異方性は盲点の水平径、垂直径の長さの差によるものではないこと、(c)異方性には左右眼の差はないこと、(d)水平と垂直の両方位のどちらにもフィリングインが生じうる刺激では水

平方位のフィリングインが優位に生じることの4点である。これらの結果から線分のフィリングインには異方性があると結論できる。

### 5.1 他の現象との比較

本研究で示された盲点におけるフィリングインの異方性は、他種のフィリングインや知覚的補完では明らかにされていない盲点特有の現象である。テクスチャーによるフィリングインの研究において、Sakaguchi<sup>11)</sup>は、フィリングインの異方性を調べるために、網膜偏心度 $8^\circ$ にある直径 $1.6^\circ$ の円の内部(被フィリングイン領域)と背景に、異なる方位をもつ正弦波状の縞を提示した。被フィリングイン領域に $0^\circ(90^\circ)$ の縞を、背景に $15^\circ(75^\circ)$ の縞を提示した場合(フィリングインにかかる時間は約6.0s)に比べて、被フィリングイン領域に $15^\circ(75^\circ)$ の縞を、背景に $0^\circ(90^\circ)$ の縞を提示した場合(フィリングインにかかる時間は約7.7s)のほうが、時間が多くかかることを明らかにした。(0°は水平縞を、90°は垂直縞を示す。)この結果は、斜め方位と水平方位、あるいは斜め方位と垂直方位間にフィリングインの非対称性があることを示しているが、水平と垂直方位間については検討されていない。

カニツア型主観的四角形を用いた知覚的補完の異方性の研究結果は、本研究で示した盲点の異方性とは一致していない。本研究で示した盲点の異方性では水平線分は垂直線分よりもフィリングインが生じやすいが、Pillow & Rubin<sup>12)</sup>は、網膜中心部に提示された主観的四角形の縦線は横線よりも閾値が低い、網膜偏心度 $7^\circ$ では縦線と横線の知覚閾はほぼ同じであることを示した。2つの研究結果は、網膜偏心度の差(盲点領域の中心の網膜偏心度は約 $15^\circ$ )というよりはむしろ、補完のメカニズムの違いによるのかもしれない。なぜなら、盲点のフィリングインには大脳皮質一次視覚野(primary visual cortex, 以下、V1)が関与し<sup>13)</sup>、主観的輪郭知覚はV1以降の視覚野(例えば、V2)が関与<sup>14,15)</sup>することが報告されているからである。

盲点におけるフィリングインの異方性は、盲点周辺の知覚空間の歪み(distortion)に異方性

があることを示唆する。盲点を横切るように提示された線分の知覚された長さを調べた研究では、線分の長さを知覚的縮小が生じるという報告<sup>16)</sup>や、知覚的縮小が生じないという報告<sup>4)</sup>があり、結果は一致していない。しかし、これを方位別にみると、縮小が生じるという報告<sup>16)</sup> (Sears & Mikaelian, 1989) は、盲点をはさむ水平方位に刺激を提示したのに対し、知覚的縮小は生じないという報告<sup>4)</sup>では、盲点をはさむ垂直方位に刺激を提示している。これらの結果から、盲点周辺の知覚空間は、水平方位に縮小が生じ、垂直方位には縮小が生じないという可能性も考えられる。

### 5.2 異方性の原因

本研究が見出した盲点におけるフィリングインの異方性の原因について考察する。われわれは3つの可能性を考えている。第1は、空間分解能<sup>\*</sup>の異方性、第2は網膜偏心率による皮質拡大係数 (cortical magnification factor) の違い、第3は盲点のフィリングインに関する両眼ニューロンの受容野の形状である。以下、これらの原因について考察する。

空間分解能が網膜偏心率に依存して異なること<sup>17)</sup>は、かなり古くから知られている。しかし、最近、Thibos<sup>18)</sup> は網膜偏心率が同じである場合、水平軸上の空間分解能のほうが垂直軸上の空間分解能よりも高いことを示した。この種の空間分解能の異方性が盲点におけるフィリングインの異方性に関係している可能性が考えられる。盲点の水平軸上、垂直軸上に刺激線分を提示した場合、水平線分に比べ、垂直線分は低い空間解像度で捉えられることになる。そのため、垂直方位のほうが同じ線分の長さでも刺激強度が小さく、強度を大きくするために水平線分よりも垂直線分のほうが、フィリングインに必要な線分の最小の長さが長くなったのではないかと考えられる。しかし、本実験においては、水平、垂直方位条件の間に網膜偏心率の違いが存在する。Thibos<sup>18)</sup> の網膜偏心率と空間分解能の関係を示した視解像度

<sup>\*</sup> 本論文では、空間分解能には皮質拡大係数以外の認知的な要因も影響すると考えられるために皮質拡大係数とは別の概念として取り扱う。

のトポグラフィーによると、水平方位の凝視点側と垂直方位の上側の線分および水平方位の凝視点と反対側と垂直方位の下側の線分は、ほぼ同じ視力であることがわかる。したがって、空間分解能が本研究が見出したフィリングインの異方性の原因である可能性は低いと考える。

第2の可能性については、網膜偏心率 (eccentricity) による皮質拡大係数 (cortical magnification factor) の影響である。網膜と視覚皮質とはトポロジカルな対応をもっているが、網膜上のサイズとそれに対応する視覚皮質上でのサイズの比は、網膜偏心率に反比例しており、網膜偏心率の小さい網膜領域はV1ではより大きく、逆に偏心率の大きな網膜領域はより小さくV1に投射されている<sup>19)</sup>。水平方位に提示された凝視点に近い側の線分は、V1に大きく投射される。このことから、水平線分の方が、垂直線分よりもV1に長く投射される可能性がある。そのため、水平線分よりも垂直線分のほうがフィリングインに必要な線分の最小の長さが長くなったのではないかと考えられる。

第3の可能性については、盲点に対応するV1の両眼ニューロンの反応およびそれらのニューロンの受容野を測定したKomatsuら<sup>13)</sup>の研究結果から示唆されるものである。彼らは、覚醒したサル<sup>20)</sup>のV1の盲点にあたる視野を担当している単一ニューロンの活動を測定した。その結果、V1の6層のニューロン群がフィリングインの際に主に反応していることが明らかにされた。そのニューロンの受容野の形状は、盲点領域を水平方位に越えるような横長の楕円形あるいは円形であった。これは、水平方位に提示された2つの線分は、少ないニューロンの受容野で捉えられるが、垂直方位に提示された2つの線分は、多くのニューロンの受容野を必要とすることを意味する。そのため、水平線分よりも垂直線分のほうがフィリングインに必要な線分の最小の長さが長くなったのではないかと考えられる。

本研究の結果だけからは、盲点におけるフィリングインの異方性の原因を明らかにすることはできない。今後、空間分解能については、盲点

周辺の視力を測定して、フィリングインの異方性との比較を行うこと、皮質拡大係数については、V1において同じ長さに投射されるような刺激を作成して異方性を検討すること、および盲点に対応するV1の両眼ニューロンの受容野形状については、受容野の形状と異方性との関係を詳しく検討することが必要である。上記の3つの要因について検討することで、フィリングインの異方性の原因が解明されると考える。

謝辞:本論文の執筆にあたり、有益なコメントをいただいた九州大学の河邊隆寛氏、米村朋子氏、Kamal Uddin氏、齊藤崇子氏、九州大学人間環境学府心理学研究室の皆様へ深く感謝いたします。

## 文 献

- 1) R. J. Brown and J. B. Thurmond: Preattentive and cognitive effects on perceptual completion at the blind spot. *Perception and Psychophysics*, **53**, 200-209, 1993.
- 2) F. H. Durgin, S. P. Tripathy and D. M. Levi: On the filling in of the visual blind spot: some rules of thumb. *Perception*, **24**, 827-840, 1995.
- 3) G. Cumming and H. Friend: Perception at the blind spot and tilt aftereffect. *Perception*, **9**, 233-238, 1980.
- 4) S. P. Tripathy, D. M. Levi, H. Ogmen and C. Hardin: Perceived length across the physiological blind spot. *Visual Neuroscience*, **12**, 385-402, 1995.
- 5) V. S. Ramachandran: Blind spots. *Scientific American*, **266**, 86-91, 1992.
- 6) S. He and W. L. Davis: Filling-in at the natural blind spot contributes to binocular rivalry. *Vision Research*, **41**, 835-840, 2001.
- 7) N. Kawabata: Visual information processing at the blind spot. *Perceptual and Motor Skills*, **55**, 95-104, 1982.
- 8) N. Kawabata: Global interactions in perceptual completion at the blind spot. *Vision Research*, **23**, 275-279, 1983.
- 9) N. Kawabata: Perception at the blind spot and similarity grouping. *Perception and Psychophysics*, **36**, 151-158, 1984.
- 10) 大隈峰人, 二瀬由理, 中溝幸夫, 近藤倫明: 盲点の計測と知覚的補完の時空間特性. *Vision*, **13**, 45-48, 2001.
- 11) Y. Sakaguchi: Target/surround asymmetry in perceptual filling-in. *Vision Research*, **41**, 2065-2077, 2001.
- 12) J. Pillow and N. Rubin: Perceptual completion across the vertical meridian and the role of early visual vortex. *Neuron*, **33**, 805-813, 2002.
- 13) H. Komatsu, M. Kinoshita and I. Murakami: Neural responses in the retinotopic representation of the blind spot in the macaque V1 to stimuli for perceptual filling-in. *Journal of Neuroscience*, **20**, 9310-9319, 2000.
- 14) Von der R. Heydt, E. Peterhance and G. Baumgartner: Illusory contours and cortical neuron responses. *Science*, **224**, 1260-1262, 1984.
- 15) J. D. Mendola, A. M. Dale, B. Fischl, A. K. Liu and R. B. H. Tootell: The representation of illusory and real contours in human cortical visual areas revealed by functional magnetic resonance imaging. *Journal of Neuroscience*, **19**, 8560-8572, 1999.
- 16) C. R. Sears, H. H. Mikaelian: Explorations of perceptual functioning surround the optic disk. *Canadian Psychology*, **30**(2a), 408, 1989.
- 17) T. Wertheim: Über die indirekte Sehscäfe. *Zeitschrift für Physiologie die Sinnesorgane*, **7**, 172-184, 1894. I. L. Dunskey(translate): Peripheral visual acuity. *American Journal of Optometry and Physiological Optics*, **57**, 919-924, 1980.
- 18) L. N. Thibos: Formation and sampling of the retinal images. K. K. De Valois (eds): *Seeing*. Academic Press, 1-54, 2000.
- 19) V. Virsu and J. Rovamo: Visual resolution, contrast sensitivity, and the cortical magnification factor. *Experimental Brain Research*, **37**, 475-494, 1979.