

博士論文

周辺視野における
両眼視差による奥行き知覚の
実験的研究

安岡晶子

甲南女子大学大学院 人文科学総合研究科

心理・教育学専攻 博士後期課程 心理学総合コース

4407001 番



目次

第1章 序論	1
1.1 視覚情報からの奥行き知覚	1
1.2 両眼視差による奥行き知覚	1
1.3 周辺視野の役割	2
1.4 中心視野と周辺視野の機能的側面からみた2つの理論	3
1.5 本研究の目的	4
第2章 両眼視差による奥行き知覚	6
2.1 人間の視知覚における奥行き感がかり	6
2.2 生理的要因から得られる立体視	6
2.3 ホロプター	10
第3章 周辺視野の役割	12
3.1 視野の分類	12
3.2 中心視野と周辺視野の生理的特徴	12
3.3 周辺視野における視知覚の特徴	13
3.4 周辺視野における奥行き知覚の特徴	14
第4章 問題提起	16
4.1 周辺視野で奥行き知覚を検討する理由	16
4.2 奥行き知覚に影響を与える諸要因	16
4.3 解像度とサイズによる視覚機能論に関する検討	17
4.4 偏心度による解像度の検討	18
4.5 観察距離の効果と刺激の提示位置の検討	18
4.6 大きさ距離不変仮説の検討	19

第5章 偏心度 7.5 度以内の両眼視差による奥行き知覚	20
5.1 問題	20
5.2 実験 1 : 偏心度 7.5 度以内の検討 —解像度の統制とサイズの効果—	25
5.3 結論	40
第6章 偏心度 17.5 度以内の両眼視差による奥行き知覚	41
6.1 問題	41
6.2 実験 2 : 偏心度 17.5 度以内の検討 —解像度の効果—	44
6.3 実験 3 : 偏心度 17.5 度以内の検討 —解像度の統制の効果—	49
6.4 実験 4 : 盲点位置を考慮した上下視野位置による検討	53
6.5 実験 5 : 偏心度 17.5 度以内の検討 —自由視条件—	58
6.6 結論	62
第7章 偏心度 30 度以内の両眼視差による奥行き知覚	64
7.1 問題	64
7.2 実験 6 : 偏心度 30 度以内の検討 —観察距離の効果—	65
7.3 実験 7 : 偏心度 30 度以内の検討 —周辺視野上の 2 対象の比較—	78
7.4 結論	84
第8章 総合的考察	85
8.1 本研究のまとめ	85
8.2 今後の研究課題	87
8.3 本研究の知見と今後の展望	89
引用文献	91

第 1 章

序論

1.1 視覚情報からの奥行き知覚

空間の中で生活する我々にとって、自身と対象、また対象同士間の距離・奥行き・位置関係を把握する能力は非常に重要である。そのために、多くの手がかりを用いて奥行き感を得ている。その中でも視覚は重要である。人間は様々な感覚モダリティを備えているが、外界の情報を取り入れる際には、特に視覚情報が大部分を占めている。その証左の例として、複数の感覚情報を同時に処理する場合に現れる、視覚優位性の現象があげられる。これは、視覚情報と他の感覚情報との間に差異がある場合、他の感覚情報を抑えて視覚情報が主に生じる現象である。このことから、視覚情報が我々の知覚や行動に大きな影響を与えていることが示唆される。空間知覚に関しても、視覚情報による手がかりは数多く存在し、外界に存在する対象の条件と、それを知覚する知覚者の条件の組み合わせによって、視覚系は空間の広がりや対象の立体感を知覚しているのである。

1.2 両眼視差による奥行き知覚

視覚情報による手がかりのうち、奥行き知覚への効果が高いとされるのが両眼視差 (binocular parallax) である。日常的な場面として、カップとその向こうにポットが置かれた机 (Figure1-1) を例に説明する。カップに視線を向けながら、片目ずつ観察すると左眼 (a) より右眼 (b) で見たときの方が、カップとポットの隔たりが大きい。左右の眼が水平に約 6 cm 離れていることで、カップとポットを見る各眼からの方向が異なるためである。この左右眼からの視方向の差を両眼視差という。これにより左右の眼で同時に見た状態

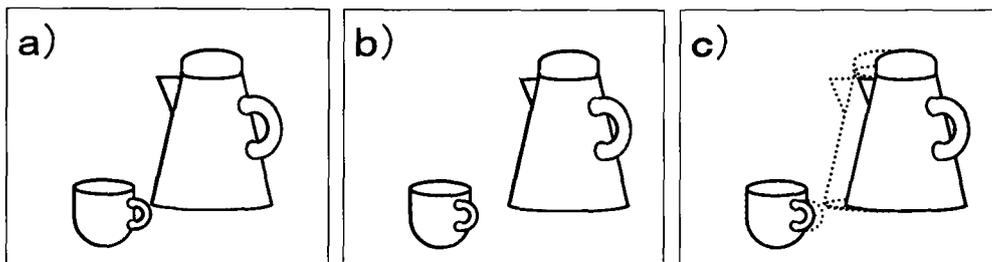


Figure1-1 片眼と両眼で観察した状態。aは左眼で見た対象。bは右眼で見た対象。cはaとbを重ねた状態 (点線はa)。

(c) では、両眼の網膜に水平方向の差が生じる。我々はこの両眼網膜像差から対象間の奥行きを知覚している。両眼視差を用いた奥行き知覚は両眼立体視と呼ばれ、左右の単眼視野が重複する水平方向約 120 度の両眼視野内で生じる。両眼視差は、対象自体の立体感、対象間の奥行き知覚に効果がある。本研究では、後者の対象間の奥行き知覚について、取り扱う。両眼視差の詳細は第 2 章で説明する。

1.3 周辺視野の役割

前節の両眼視差も含め、視知覚に必要な情報は視野内で等しく処理されるわけではない。視野の中でも、視線を向けた対象の形態は、向けていない範囲より鮮明に感じられる。この原因は、視野位置によって構造が異なるためである。視線を向けたごく狭い範囲で見ることを中心視 (central vision)、それより外側で見ることを周辺視 (peripheral vision) といい、前者は中心視野、後者は周辺視野の領域に相当する。中心視野では、空間解像度の高い錐体細胞の分布が多いが、視野の周辺に進むに従い、錐体の密度は急激に低下する (立花, 2003)。さらに細胞の信号を中枢に伝送する視神経の割合も、網膜周辺部ほど減少する (池田, 1988)。また提示位置が視野の中心から周辺へ移行すると、皮質 (視覚領) の活性領域が狭まる (Carrasco & Frieder, 1997)。このように視野の情報処理能力は均一ではなく、中心視野は周辺視野よりも、有利に視覚情報の処理を行っている。これは質の高い処理を中心視野に集約させることで、全視野で処理すべき情報量が削減され、それにより効率的な視覚情報処理を行うためと考えられている。

しかし、中心視野の優位性だけでは、我々のスムーズな行動を十分に説明することはできない。なぜなら、中心視野のみでは、広範囲の視野を一度にとらえることが不可能だからである。そのため、空間内にある対象を中心視でとらえる前段階として、周辺視野の存在が必要となる。すなわち、環境内の対象を中心視野で見るとともに、周辺視野は重要な部位を見出し、その後の中心視野の範囲を選択する役割を担うといえる。だが周辺視野の役割は、単純に中心視野への範囲選択にとどまるのであろうか。中心視を行う前に、周辺視で何らかの知覚が行われているとも考えられる。この疑問を解くにあたり、混雑する駅を歩く様子を例に考えてみる。たくさんの乗客、椅子や案内板や柱などが自身を取り巻いている。目的の乗り口に向かって移動するためには、障害物や近づいてくる乗客達との間隔を目測し、ぶつからないように適切なルートを進もうとするだろう。この際、すべての物を一度に中心視野で確認できないため、先述したように周辺視野の中から自身の移動に必要な、または障害にな

る対象を検出している。しかし、視線を向けてから注意や危険を示す対象までの距離を知覚していたのでは、回避などの行動が間に合わないとも考えられる。それにも関わらず、我々は比較的スムーズに行動している。換言すれば、視線を向けるまでに、周辺視野である程度の距離知覚や奥行き知覚が行われている可能性が考えられる。

この可能性を支持する、次のような現象が見出されている。まず、中心視野と周辺視野の空間知覚を検討した研究である。視野制限を加え、両視野の奥行き知覚特性を比較した。その結果、周辺視野を制限すると部屋隅の奥行き逆転現象や平面化現象が生じるが、中心視野を制限してもそのような知覚現象は生じなかった(白間, 2003)。これは、中心視野より周辺視野から取り入れる情報の方が、奥行き知覚には重要であることを示唆している。次に、視野制限下における行動変化を検討した研究を述べる。3次元的な空間内の移動と視野範囲の関係を検討するために、周辺視野を観察できないように参加者にゴーグルを装着させ、中心視野のみで歩行課題を行わせた。その結果、屋内の歩行課題は視野が偏心度10度より狭くなると、歩行が急激に困難になることが示された(Pelli, 1986)。また、視野制限の程度とサッカーの振り向きパス動作に要する時間の関係から、すばやい動作には広い視野範囲が必要であることも示されている(小郷・錦井・中川, 1991)。このように、視野制限下における歩行困難の程度や、パスの所要時間から、周辺視野を制限すると行動の低下が生じることが示唆される。さらに、視野障害患者の研究では、緑内障などで求心性視野狭窄が進み、偏心度10度以上の周辺視野に障害を受けると、歩行や読み書きができなくなる(高橋・山田, 2003)。その一方で、加齢性の黄斑変性症のうち中心視障害の患者は、広域空間の探索行動に対して健常者と似た方略を用いており、それほど困難なく行動することが確認されている(Turano, Geruschat, & Baker, 2002)。これより、中心視野領域が損なわれても、周辺視野が健在であれば、空間・距離知覚は可能であることが示唆される。以上の研究からも、周辺視野が空間知覚を行う上で、非常に重要であることが示されている。視野の詳細は第3章で説明する。

1.4 中心視野と周辺視野の機能的側面からみた2つの理論

前節で述べた中心視野と周辺視野に関して、機能的側面から2種類の理論が存在する。

まず、前者は中心視野と周辺視野を発生的な側面から捉えた機能の二分法であり、視覚の二重機能論(荳阪良二, 1982; Trevarthen, 1968)と呼ばれる。この二重機能論において、視覚野に対応した中心視野は、対象識別に優れた焦点視が行われており、多

様な視覚情報の中から、条件を満たす特定の奥行き情報を選択的に捉えると考えられている。そして上丘に対応した周辺視野は、対象を空間的な枠組みで捉える環境視が行われており、対象の詳細な特徴検出には不向きであるが、奥行き情報に関する手掛かりには、鋭敏に反応すると考えられている。二重機能論では、中心視野と周辺視野の各々が奥行き手がかりに対して異なる処理を行い、視野ごとに奥行き知覚を行うと考えられている。前節で述べた、周辺視野の制限下における研究（小郷他, 1991; Pelli, 1986; 白間, 2003）や、視野障害患者の研究（高橋・山田, 2003; Turano et al., 2002）は、周辺視野において距離知覚や奥行き知覚が行われていることに加え、中心視野と周辺視野では、異なる奥行き知覚を行っていることを示している。すなわち、視野ごとに異なる処理がなされる視覚の二重機能論を支持する結果となっている。

一方、二分法に対して、中心視野と周辺視野の機能は同質であると主張する立場がある。本研究ではこれを同質機能論と呼ぶ。網膜の周辺部では活性化する皮質の領域が狭まるため、周辺視野ほど解像度が低くなり、相対的に対象の検出が困難になる網膜偏心度効果が現れる（大竹, 2000）。しかし、皮質拡大係数（cortical magnification factor: CMF）を調整することで、両視野の機能的異質性が解消されるという可能性から、同質機能論が考えられた。皮質拡大係数は、対象のサイズを網膜偏心度に応じた皮質拡大率によって調整し、理論的に第一次視覚野の活動量をそろえる尺度で、電気生理学的研究等から発見された（Rovamo & Virsu, 1979）。例えば、皮質拡大係数調整後には、偏心度によるコントラスト感度や視力や空間分解能の差が消失する研究結果がある（Virsu & Rovamo, 1979）。これらに加えて刺激強度を調節すると、臨界融合周波数の網膜位置依存性が消失する（Rovamo & Raninen, 1990）ことや、皮質拡大係数の調整により、高偏心度の視覚探索成績の低下が緩和される現象が指摘されている（Carrasco & Frieder, 1997）。すなわち、中心視野と周辺視野の機能は同じであるため、視野ごとの視覚野の活動量を同一に揃えることで、奥行き知覚を等しくすることが可能であることを示している。

1.5 本研究の目的

以上を踏まえ、本研究では、手がかりの中でも強い影響を持つ両眼視差を用いて、周辺視野における奥行き知覚の検討を行う。しかし、奥行き知覚を測定する際、対象までの観察距離、対象のサイズ、さらに高偏心度ほど低下する解像度の影響は無視できない。そこで、周辺視野において両眼視差による対象間の奥行き知覚を測定し、対

象までの距離、対象のサイズ、解像度を合わせて検討する。これにより、人間が視野の中からどのように両眼視差情報を取り入れ活用しているのかを示し、加えて奥行きを知覚しやすい条件について示すことで、周辺視野の奥行き知覚の諸特性を解明できると考える。

さらに、中心視野と周辺視野の機能的観点から考えられている、視覚の二重機能論と同質機能論について、本研究の立場から両者の妥当性を検討する。本研究で取り扱う両眼視差は、左右眼の網膜像差によるものであり、この仕組みは中心視野も周辺視野も同じである。すなわち、両視野では、同様の奥行き知覚が生じるはずである。しかし、周辺視野は解像度が低下するため、網膜偏心度効果が関与することで、高偏心度ほど網膜像差の検出が困難になる。そこで、理論的に各偏心度の視覚野の活動量を等価にする操作を行い、その結果、高偏心度の奥行き知覚の減少が解消されるならば、中心視野と周辺視野の機能が同質である立場を支持できると考える。

第 2 章

両眼視差による奥行き知覚

2.1 人間の視知覚における奥行き手がかり

第 1 章でも述べたとおり、我々は外界情報の多くを視覚から取り入れている。その際、自身を取り巻く環境内の対象は、様々な視覚系手がかりによって知覚されている。その中でも、距離や奥行きを把握する手がかりは、視覚的な奥行き手がかりと称される。例えば、道路の脇に一列に植えられた街路樹のように、対象物が重なり合った風景にも、立体感や奥行き感が存在する。ここには、手前の木が遠くの木々の一部を覆う“遮蔽の手がかり”、地面の砂は近いほど粗い“肌理の勾配手がかり”、平行である道路の幅が遠方ほど収束する“平行線の手がかり”、遠方の木々ほど網膜上では小さくなる“網膜像の大きさ手がかり”、近方の対象ほど明暗が鮮明になる“コントラストの手がかり”、遠方ほど鮮やかさが低下する“彩度、色相の手がかり”などの要因が存在する。このような絵画的情報は、心理的要因から得られる奥行き手がかりである。しかし手がかりは外界の情報のみではない。次節から本研究に必要な生理的要因に焦点を当てて説明をする。

2.2 生理的要因から得られる立体視

本節では、主に輻輳と視差について述べる。これらは眼球の筋肉運動系や両眼性の手がかりであるため、まず視軸と視線の定義、眼球運動について説明する。像を形成するレンズ形には、その光軸上に 2 つの節点があり、それぞれ前方節点、後方節点と呼ばれる。眼のレンズ系の場合も同様であるが、光軸上網膜の前方約 17mm にひとつの節点を仮定することが多い。外界のあらゆる点から出た光はこの節点を通過して網膜上に像を形成すると仮定され、節点と外界にある点とを結ぶ直線は視線と呼ばれる。このうちすべての視線の中で中心窩と固視点とを結ぶものを視軸と呼ぶ(鬢櫛, 1994)。日常生活では、自身や周囲の対象が運動するため、必要に応じて視軸を動かしている。この移動には、観察者自身の身体や頭部の運動に加え、眼球の運動がある。眼球運動は水平運動、垂直運動、回旋運動からなり、これは眼球の回旋点(眼軸上角膜頂点より後方 13mm)を中心とした回転運動の方向によって分類される。水平面への回転が水平運動、垂直面への回転が垂直運動、眼球の前後軸への回転が回旋運動である。これらの運動は、外直筋、内直筋、上直筋、下直筋の 4

つの直筋と、上斜筋、下斜筋の2つの斜筋の計6つの筋肉で構成された外眼筋の運動によって成立する(不二門, 2007)。以上を踏まえて、生理的要因について解説する。

まず、輻輳とは眼球の位置や運動に関わる機能である。例として、人さし指を顔の正面に出して固視する場面を考えてみる。この際、両眼の視軸と指先が成す角を輻輳角とよぶ。次いで、指先を固視したまま、指を自分の鼻へ寄せると、指が近づくにつれて視軸は内側へ向く。このように眼球の視軸を、より平行の状態から眼前の一点に向かわせる運動を輻輳という。反対に指を鼻から離すと、指が遠ざかるにつれて視軸は平行に近くなる。このように輻輳の状態から視軸を左右に開く運動を開散という(所, 1983)。これらは、視力や色弁別力の優れている網膜の中心窩に、左右眼の固視点を位置させるよう自動的に調節する働きである。この眼球運動を司る外眼筋の動きが中枢に伝えられ、対象までの距離が知覚されるのである。

次に、視差とは観測位置の変化による対象の見かけの方向の差、あるいは見かけの位置の変化である。この定義において、観測位置の差を両眼位置の差に置き換えたものが、第1章でも触れた両眼視差の概念である。ここからは Figure2-1 に示した眼の高さに存在する固視点(点F)、および他物体(点A、B、H)を用いて説明する。まず網膜上に投影された点の位置は、網膜の中心窩を原点とする網膜球面上の同心円と、中心窩を通る直行座標を用いて表現される(荻阪良二, 1980)。点Fを結像した右目網膜(R)のF'と左目網膜(L)のF''は、各眼の中心窩にあたり、両者は左右の網膜座標上一致した位置である。この時、点Hを結像した網膜像H'とH''の位置も、網膜座標上一致した位置である。このように各眼の網膜座標において、原点(F'とF'')から同距離、同方向の関係にある二つの点(H'とH'')は対応点という。一方、点Bを結像した網膜像B'とB''の位置は、網膜座標上水平方向に差異が生じている。この同距離、同方向の関係にない二つの点(B'とB'')は非対応点という。両眼網膜上の点が非対応の場合、その度合いの大きさが両眼網膜像差と定義される。これは両眼視差の差として表すことができるため、対象間の角度の差分で表される。網膜像差のうち絶対網膜像差とは、両眼の視軸の交点である固視点(点F)に対して、ある対象(点A、点B)が持つ網膜像差のことである。点Aの絶対網膜像差は $\theta_F - \theta_A$ 、点Bの絶対網膜像差は $\theta_F - \theta_B$ で表される。一方相対網膜像差とは、固視点以外の対象(点A)が他の対象(点B)に対して持つ網膜像差のことである。点Aと点Bの相対網膜像差は $\theta_A - \theta_B$ である。この定義に基づくと、輻輳眼球運動を行うと絶対網膜像差は変化するが相対網膜像差は変化しない。さらに、点Fを固視した場合の点Aの網膜像差を交差性網膜像差、点Bの網膜像差を非交差

性網膜像差と呼ぶ（中溝，2000）。また、座標におけるX軸上の差を水平網膜像差、Y軸上の差を垂直網膜像差と呼ぶが、特に眼球は水平方向に約6cm離れているので、立体視において水平網膜像差の方が主要な網膜像差である。

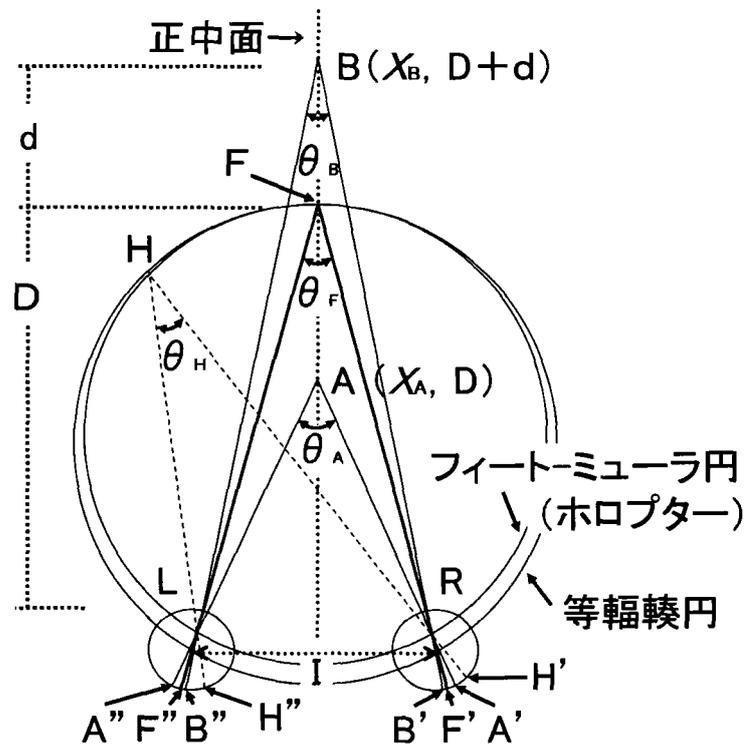


Figure2-1 輻輳角、両眼視差、網膜像差ならびにホロプターの説明。

両眼視差は生理的な要因の中で立体視に対する効果が最大であると考えられている。両眼視差を含んだ視覚表象を意味する言葉として「立体」が用いられる。これに対して、近年普及した立体映像コンテンツによる「3D」とは、コンピュータ内に構築された空間や、物体がもつ3次元情報を示す場合が多い（河合，2011）。

実際に対象が外界に存在しなくとも、両眼視差を設けた図形を提示することで、奥行きのある対象を知覚させる方法がある。一般的には、装置にあたるステレオスコープと、提示図版にあたるステレオグラムが用いられる。ステレオスコープは、1838年にWheatstoneによってはじめて発明された（河合，2010）。このWheatstone型と呼ばれるステレオスコープは、観察者の左右両側に提示した図版からの反射光を、両眼の直前に置いた2枚の直行する平面鏡に反射させることで、各単眼が異なる図版を観察できるものであった（下野，2000）。Wheatstone（1838）によって、網膜像差が奥行きの手がかりであることが示された後、多くの研究から知見が得られてきた。

両眼視差を設けた図形を提示する条件から、奥行きの推定値を求めることができる。Figure 2-2-1 に示したように、両眼視差を設けた図版を観察すると、Figure 2-2-2 内の●の位置に対象が知覚される。ここでは、幾何学的な奥行きの推定値を d とした。 d は、幾何学的に推定される像の位置とスクリーンまでの距離として算出する。眼からスクリーンまでの観察距離を D 、瞳孔間距離を I 、左右眼に提示した網膜像差を P とする。交差視差の推定される奥行き d' の解は、 $I : P = (D - d') : d'$ より、(1)式で求められる。また非交差視差の奥行き d'' の解は、 $I : P = (D + d'') : d''$ より、(2)式で求められる。観察距離である D が長くなるほど、奥行きの推定値は増大する。実際の知覚測定実験でも、観察距離を 50cm、100cm、150cm に設定した場合、観察距離が長いほど知覚される奥行きが増加している(緒方・村田・宮南・森本・黒川, 1996)。また輻輳角の操作により観察距離を変化させた実験では、観察距離が長くなると奥行き構造の知覚感度が上昇した。これは、輻輳角を小さくする操作により、観察距離が長くなると視差の検出感度が高くなることを示している(繁樹・佐藤, 1999)。

$$D' = PD / (I + P) \dots (1)$$

$$d'' = PD / (I - P) \dots (2)$$

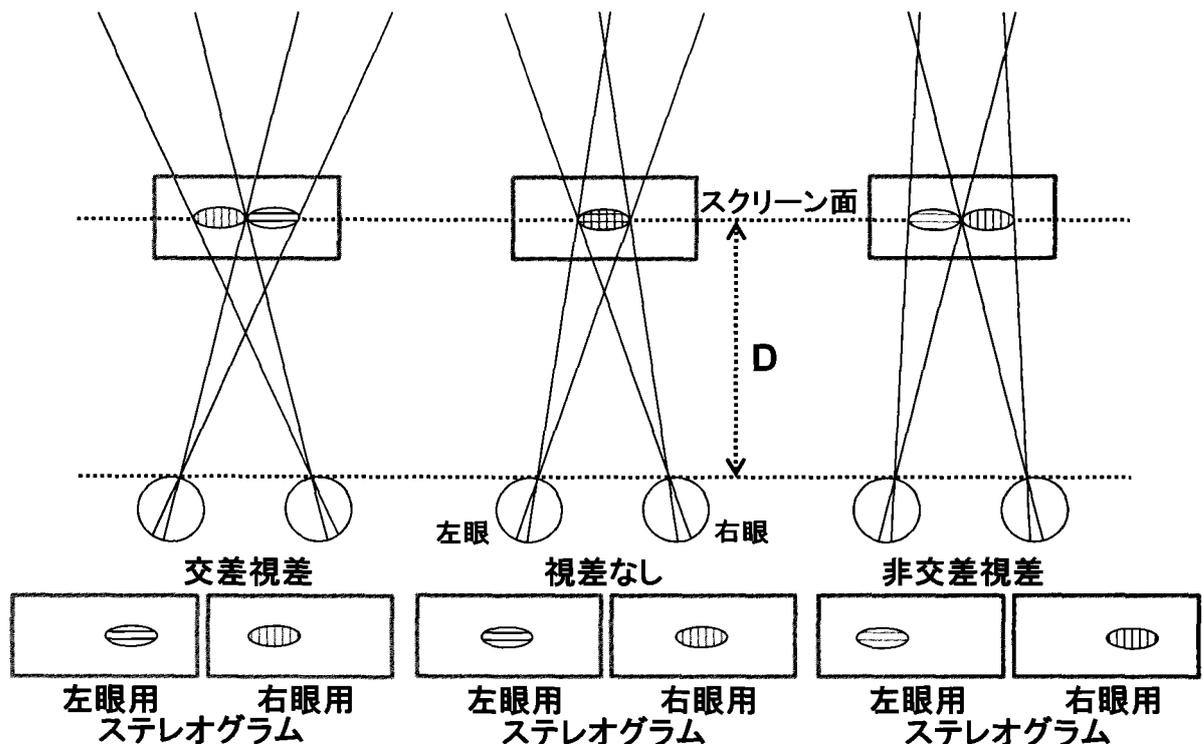


Figure 2-2-1 交差視差、視差なし、非交差視差のステレオグラム。

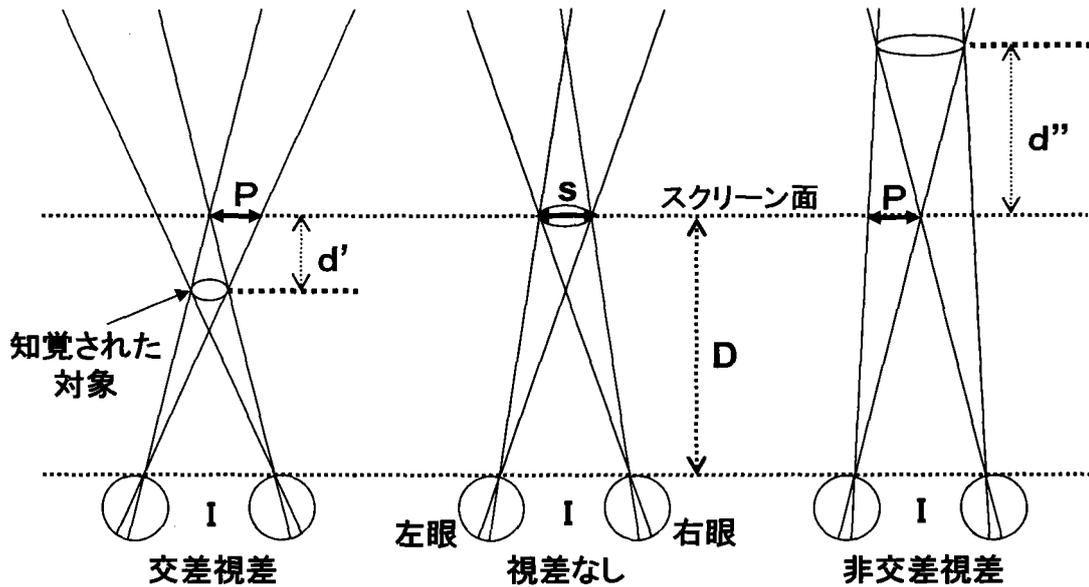


Figure 2-2-2 幾何学的に推定される奥行きと大きさ.

2.3 ホロプター

ホロプターは両眼視差の概念を考えるうえで重要である。両眼網膜の対応点上にある外界対象の点集合、つまり網膜像差のない点集合が理論的ホロプターである。Figure 2-1 のように、点 F を固視した際の輻輳角は θ_F である。同じく理論的ホロプター上の点 H の絶対網膜像差は $\theta_F - \theta_H = 0$ となる。これは前節の原点 (F' と F'') から同距離、同方向の関係にある二つの点 (H' と H'') である対応点に相当する。

理論的ホロプターには水平方向と垂直方向が存在する。まず、理論的水平ホロプターは、両眼の視軸を含む水平面上にあり、固視点と両眼の節点の3点を通る円によって定義される。この円上に位置しないすべての対象は、両眼の非対応点上に結像するため、網膜像差が生じる (氏家, 1995)。これに対して、ある固視点において単眼視を生み出す空間内の点集合を経験的ホロプターと言う。このうち、等距離ホロプターは、固視点までの距離と等しく見える全ての外点に従って決定されるが、理論的水平ホロプターよりも扁平である (金子・Grove・Ono, 1999)。また前額平行面ホロプターは、固視点を含む前額平行面内に見える全ての点で決定されるが、偏心度が高くなるほど物理的前額平行面より小さくなる (李, 2009)。等距離ホロプターと前額平行面ホロプターの差異はきわめて小さいため、等距離ホロプターは、前額平行面ホロプターによって定義することができる (吉岡, 1981)。

次に、理論的垂直ホロプターとは、両眼が輻輳した状態において、

固視点を通る正中面上の垂線である。仮に、両眼網膜の対応野線が垂直であるならば、経験的垂直ホロプターは固視点を通る垂直線に一致する。しかし実際は、両眼の網膜対応野線は互いに1度程度、上部がこめかみ側、下部が鼻側に傾斜している。このため経験的垂直ホロプターは、固視点を通る垂直線分の上部が観察者側から遠ざかる方向に傾斜している。これを、垂直ホロプター傾斜と呼ぶ（中溝，2000）。

第 3 章

周辺視野の役割

3.1 視野の分類

視野は、眼の前にある一点を固視したとき、見えている空間の全範囲と定義される（苧阪良二，1980）。第 2 章で示したとおり、視野位置を示す方法として網膜の中心窩を原点とする網膜球面上の同心円と、中心窩を通る直行座標が用いられる（苧阪良二，1980）。しかし以下に述べるように、分類基準によって異なる区分が存在する。

まず角度によって分類した場合、固視点を偏心度 0 度として、偏心度 25 度を境に中心視野と周辺視野に区別する。狭義には 15 度を境に中心視野と近中心視野に分けられ、25 度を越えると中間周辺視野、さらに 50 度を過ぎると周辺視野と呼ばれる（苧阪良二，1980）。次に網膜構造によって分類した場合、半径視角 2.5 度までを中心窩、中心窩の近傍から同 5 度までを傍中心窩、同 9 度までが遠中心窩となる。さらに同 15 度までを近周辺、同 25 度までを中周辺、視野縁までを遠周辺といい、視野縁近傍は外周辺、視野の縁は鋸状縁と呼ばれる（苧阪直行，1994）。そして、視感度によって分類した場合、中心窩で見ることを中心（窩）視と呼ぶ。さらに中心窩の周辺を加えて見ることを近中心窩視といい、中心（窩）視と近中心窩視の総称が広義の中心視である。これより外側の網膜で刺激を感受する場合は周辺視である（苧阪良二，1980）。最後に、視覚の情報処理機能によって分類した場合、中心視野におけるものを中心視、周辺視野におけるものを周辺視ともいう（苧阪直行，1994）。中心視とは、一点を固視する場合に、それを網膜において空間弁別力や色弁別力が最も優れた中心窩に結像するように視ることである。

本研究では上述の区分のうち、網膜構造と視感度による分類を用いて、中心窩 2.5 度以内を中心視野、それより外側を周辺視野と定義する。

3.2 中心視野と周辺視野の生理的特徴

前節では視野の分類を行ったが、中心視野と周辺視野における情報処理機能は均一ではない。一例として、周辺視野ほど空間解像度が低下することがあげられる。この原因は、人間の網膜全体を覆う視細胞のうち、約 600 万個存在する錐体細胞は中心窩に集中し、約 1 億 2000 万個存在する桿体細胞は周辺視野に多く分布するという、強い二重性を示すためである。さらに、これらの信号を中枢に伝送

する約 120 万本の視神経は、中心窩では 1 つの視細胞につき 1 つの視神経がつながっているが、網膜周辺部では約 1000 個の視細胞につき 1 つの視神経がつながっている（池田，1988）。また網膜の視覚情報を視床、視床下部、中脳へ伝達する神経節細胞層のうち、視野の中心領域には X 型細胞、周辺領域には Y 型細胞が比較的多く分布している（Enroth-Cugell & Robson, 1966）。X 型は刺激光に対し持続的な応答を示し、受容野系が小さいため空間解像度が高い。これに対し Y 型は非持続的な応答を示し、偏心度の増加とともに、受容野系が大きくなるため空間解像度が低い（荻阪直行，1994）。

この違いを視野と視覚皮質の対応関係でみると、固視点から半径 10 度以内の中心視野は視野全体の約 1.7% を含めるに過ぎないが、皮質での投射領域では約 22% を占めている（Holmes, 1945）。つまり、半径 10 度以内の視野は周辺全体よりも、平均して約 10 倍以上も皮質において拡大投射されており（Moreland, 1972）、中心視野から入った情報が、皮質レベルで詳細な分析を受けることを示している。単位視角あたりの視覚皮質の長さ (mm) を皮質拡大率というが（Virsu & Rovamo, 1979）、この拡大率は偏心度の増加に伴い減少する。つまり、同じ刺激でも、提示位置が視野の中心から周辺へ移行すると、皮質の投射領域が狭まるのである。周辺視での拡大率を考慮してコントラスト感受性を計算すると、偏心度の差はなくなるともいわれ（Virsu & Rovamo, 1979）、視覚系全体では視野と視覚皮質における視野とは相対的關係にあるといえる（荻阪直行，1994）。

3.3 周辺視野における視知覚の特徴

前節で述べたような生理的条件の違いは、我々の視知覚にどのような影響を及ぼすのであろうか。様々な視知覚において中心視野と周辺視野の異なる現象が報告されている。例えば、自分が見ている視野範囲の中でも、中心部分と周辺部分では、見えの鮮明度が異なる。鮮明度が中心視野では高く、周辺視野で低くなるのは、視感度の程度が視野位置により異なるためである（所，1983）。また、アルファベットを用いた形態判断課題では、偏心度 5 度以内はほぼ 100% の識別が可能であるが、5 度を超えると徐々に識別が難しくなり、24 度から 40 度にかけては図形を構成する要素の一部が検出されるにとどまっている（福田，1978）。他にも、同一サイズの対象であっても、周辺視野では相対的に検出が困難になる（Carrasco & Frieder, 1997）結果や、中心視野より周辺視野に提示されると特徴探索課題の検出反応時間が長くなる（大竹，2000）結果が得られている。このような現象を網膜偏心度効果という。同様に、空間解像度の指標である視力も、偏心度の増加に伴い急激に低下する（Kerr,

1971)。この点に着目し、Anstis (1973)は、中心点を固視したとき、周辺視野上のどの位置に提示された文字でも、読みやすさは等しくなる文字チャートを作成した。他にも、色視標によって色視野を測定した結果では、色による程度の差はあるが、いずれも高偏心度では感度が低下している(所, 1983)。また、提示時間による線分指標の運動距離閾を、中心視野と周辺視野偏心度 18 度で測定したところ、周辺視の方が視角(分)で示す運動距離閾が大きいことが示された(Johnson & Scobey, 1980)。このように、運動知覚に対しても視野位置による違いが確認されている。

3.4 周辺視野における奥行き知覚の特徴

奥行き知覚に関しても、中心視野と周辺視野の違いが確認されている。まず Rady & Ishak (1955)は、実際空間に設置した対象を、2 m の距離から観察した場合の立体視力を検討した。実験参加者は、基準図形を固視しながら、基準図形に対して偏心度 7、14、25、40、52 度に提示された視標図形の奥行きを判断した。その結果、偏心度が高いほど立体視力は減少することが示された。

また Cisarik & Harwerth (2005)は、中心視野と周辺視野の両眼立体視を測定した。彼女らは、13 段階(0 度、0.5、1、1.5、2、3、5 分の交差視差・非交差視差)の両眼視差を設定したガボール刺激を、中心視野(偏心度 0 度)と周辺視野(偏心度 4 度)に提示し、知覚された奥行きをマグニチュード推定法で測定した。その結果、中心視野、周辺視野に関わらず、両眼視差量が増加するに伴い、知覚される奥行きの絶対値が増加した。しかし、一定以上の視差量になると奥行きが増加しないことが示された。また同量の両眼視差であっても、交差視差は非交差視差に比べ、知覚される奥行きの絶対値が大きくなるなど、両視野の知覚には共通点が見られた。しかし中心視野より周辺視野の方が、交差視差、非交差視差とも知覚される奥行きの絶対値が大きくなる傾向も見出された。

さらに、栗林・須佐見・石川・畑田 (1999)は、固視点の周辺位置における両眼視差検出精度を検討するため、固視点から上下左右斜め計 8 方向上の偏心度 2、4、8 度に視標を提示し、画面上の実視標と同じ見えの奥行きに調整させるマッチング実験を行った。その結果、個人差があり一貫した変化傾向は見られないものの、左右方向の偏心度 8 度以内では両眼立体視が可能であることを示唆する結果を得た。

しかし Cisarik & Harwerth (2005)と栗林他 (1999)の研究は、どちらも周辺視野と中心視野とでは異なる奥行き知覚がなされると述べている。しかし、その奥行き知覚には一貫した傾向がなく、前者

は偏心度の増加に伴い奥行きが減少し、後者は増加している。周辺視野ほど立体視力が低下する原因として、立体視力は奥行き弁別感度の指標だが、奥行きを比較すべき2刺激が離れすぎると、比較判断が困難になり立体視力が減少し、反対に2対象が近すぎた場合も減少が見られる(McKee, 1983)。Cisarik & Harwerth (2005)の結果は、中心視野の奥行き感が減少していたため、周辺視野の奥行きが増加したように現れた可能性がある。いずれにしても条件の違いにより異なる結果になったと考えられるが、どちらも原因については言及されていない。両研究の示唆していることの不一致に関して、何らかの知見を提供することも本研究の目的の一つとする。

第4章

問題提起

4.1 周辺視野で奥行き知覚を検討する理由

第3章で述べたように、中心視野と周辺視野では、網膜、神経系、中枢等の構造が異なる(Enroth-Cugell & Robson, 1966 ; 池田, 1988)。この違いによって、形態判断、色などの視知覚では、視野間に差異が生じると考えられており、一般に中心視野の感度が高いとされる。しかし第1章で示したとおり、自身を取り巻く環境内を知覚するには、感度の高い中心視野のみでは成立しない。周辺視野は空間内にある対象を見出し、中心視野の範囲を選択する役割を担っている。さらに距離知覚や奥行き知覚には、周辺視野が不可欠であることが、いくつかの研究からも示されている。例えば、周辺視野を制限すると奥行き逆転現象や平面化現象が生じる(白間, 2003)ことや、日常的な歩行からスポーツのようなすばやい運動に至るまで、周辺視野を制限すると、スムーズに行動することが困難になる(小郷他, 1991 ; Pelli, 1986)。また、視野狭窄により中心視野10度以上が障害を受けると、歩行や読み書きができなくなる(高橋・山田, 2003)が、中心視に障害があっても周辺視野が機能していれば、広域空間の探索行動をそれほど困難なく行うことできる(Turano et al., 2002)という研究結果である。以上のことから、空間知覚は、中心視野のみでは不十分であり、周辺視野が空間内の距離、奥行き、位置の知覚に必要な手がかりを取り入れ、活用するという役割がきわめて大きいことが示唆される。

4.2 奥行き知覚に影響を与える諸要因

第2章で示したように、我々は、多様な視覚情報の手がかりを用いて奥行きを知覚している。奥行き知覚には、対象までの観察距離の影響が非常に重要である。観察距離を変化させ、両眼視差による奥行き知覚を測定した研究では、観察距離が長くなるほど、知覚される奥行きが増加することや(緒方他, 1996)、視差の検出感度が高くなることが示されている(繁樹・佐藤, 1999)。また、観察距離の変化により網膜上に投影されるサイズや、対象の解像度が変化する。これらに加えて周辺視野では、偏心度が高くなるほど解像度が低下する。つまり、周辺視野において奥行き知覚を検討するには、偏心度による解像度の影響も含めて考えるべきである。

4.3 解像度とサイズによる視覚機能論に関する検討

両眼視差は左右眼からの視方向の差であり、このメカニズムは中心視野、周辺視野とも同じである。では、各視野における奥行き知覚も同様であろうか。この問題は、中心視野と周辺視野の機能的側面から、第1章で述べた視覚の二重機能論と同質機能論に即して考えることができる。

二重機能論は、中心視野と周辺視野の各々が、異なる機能により奥行きを知覚するという立場である。すなわち、周辺視野に両眼視差を与えても、中心視野で確認されている奥行き知覚が生じなければ、周辺視野には中心視野のような両眼視差を処理する機能が存在しないと考えられる。一方の同質機能論は、中心視野と周辺視野が、同質の機能により奥行きを知覚するという立場である。ここでは、周辺視野の知覚の減少は、高偏心度による解像度低下が原因と言われている。そのため、視野ごとの皮質拡大率を揃え、解像度を等しくすることで、同様の奥行き知覚が生じれば、周辺視野には中心視野のような両眼視差を処理する機能が存在していると考えられる。

そこで第5章では、各偏心度の解像度が一定となるように操作した図形を提示して、解像度の影響を検討する。すなわち、解像度を一定に操作しても、周辺視野に両眼視差の機能がない場合は、解像度が低下する場合と同様の知覚がなされると予想される。これは二重機能論の立場から説明できることを示している。一方、中心視野で検出できる両眼視差が、網膜偏心度効果の関与によって周辺視野で検出できないならば、各偏心度の解像度を一定にする操作を行うことで、周辺視野においても中心視野と同程度の奥行きを知覚することが可能になることが予想される。これは、同質機能論の立場から説明できることを示している。

ここで問題となるのが、解像度を揃える操作によって、奥行き知覚に影響が生じるかという点である。第1章でも示したとおり、皮質拡大係数の調整により、高偏心度の視覚探索成績の低下が緩和される (Carrasco & Frieder, 1997) など、形態知覚に関する影響を検討した研究は多い。では、奥行き知覚に関しても、解像度の操作は有効に働くのであろうか。その一例として、白間・望月 (2010) は、画像的奥行き情報に基づく奥行き関係の同異判断の精度と偏心度の関係を、遮蔽輪郭図形と透明視図形を用いて検討した。その結果、皮質拡大係数による対象サイズの補正は、画像的奥行き知覚に有効であることを示した。つまり、絵画的情報を用いた奥行き知覚が生じたということは、生理的要因に含まれる両眼視差の奥行き知覚に対しても、解像度の操作は有効なのではないだろうか。

しかし、各偏心度の解像度を一定になるよう操作すると、実際に提示する刺激図形サイズは高偏心度ほど大きくなる。そのため、知

覚に及ぼす影響が、解像度を統一させたためか、提示した図形サイズが増大したためか、その原因を特定できない。これを考慮し、皮質拡大係数によって求めた各偏心度に対応したサイズの図形を、全ての偏心度条件に提示することで、両眼視差による奥行き知覚に対する図形サイズと解像度の影響について検討を行う。

4.4 偏心度による解像度の検討

先にも述べたように、対象までの観察距離が変化することで、網膜上に投影される対象のサイズも変化する。たとえば、対象の提示位置を観察者から前額平行面とする場合、高偏心度ほど観察距離は長くなり、網膜上に投影されるサイズは小さくなる。加えて高偏心度ほど解像度が低下する。換言すれば、図形を同心円上に提示し、観察距離を一定に保つ操作を取ることで、対象のサイズや解像度を一定にさせ、周辺視野における偏心度の影響のみを検討することが可能だと考えられる。

そこで第6章では、全偏心度において観察距離を一定に保つ操作を行うことで、偏心度による解像度の影響について検討を行う。

4.5 観察距離の効果と刺激の提示位置の検討

周辺視野において知覚された奥行きを測定する場合、空間内の基準位置に留意せねばならない。第2章で示したとおり、網膜像差の生じない点集合である理論的ホロプターは、観察者までの距離が固視点と等しい。しかし固視点までの距離と等しく知覚される外点を測定した等距離ホロプターは、理論的ホロプターに比べ、扁平した形状になる(金子他, 1999)。また固視点を含む前額平行面上に知覚される点を測定した前額平行面ホロプターは、偏心度が高くなるほど観察者の物理的前額平行面より小さくなる(李, 2009)。この経験的ホロプターである等距離ホロプターと前額平行面ホロプターとの差異は極めて小さいとされる。本研究では、このホロプターを空間内の基準面と定義し、見えの前額平行面と称する。また、理論的ホロプターを等距離面と定義し、物理的前額平行面を前額平行面と定義する。等距離面と前額平行面に提示された対象は、観察者からの偏心度は同じであるが、観察距離が異なる。そのため、周辺視野において、観察距離の効果が生じるか否かを検討することが可能であると考えられる。

そこで第7章では、前額平行面の各偏心度に両眼視差を設定した図形を提示し、見えの前額平行面を基準に知覚された奥行きを測定する。さらに、両眼に提示する刺激図形の観察距離を一定に保つた

めに、等距離面に刺激を提示した第6章の結果と比較を行う。これにより、同じ見えの前額平行面に対する、等距離面と前額平行面の異なる提示面からの奥行き知覚には、どのような差異が生じるかを検討する。これにより、人間の空間内の主観的な基準面に対して、より奥行きを知覚しやすい物理的な対象位置を示し、有利に奥行きが知覚される条件を解明できると考える。

4.6 大きさ距離不変仮説の検討

前節までに示した問題を検討するため、周辺視野の各偏心度に交差視差と非交差条件の両眼視差を設定した図形を提示し、その際知覚された奥行き知覚量を測定する。ただし、網膜に投影される対象の視角が等しい場合の知覚される対象の大きさは、対象を知覚する位置が近いほど小さく、遠いほど大きく知覚される (Kilpatrick & Ittelson, 1953)。これは大きさ距離不変仮説が示すように、対象の見かけの大きさと見かけの距離が関係しているためである (今村・中溝, 2005)。すなわち、網膜像が一定の場合でも、知覚される大きさは知覚される奥行きによって変化する。換言すれば、大きさ知覚を考慮することで、その際の奥行き知覚を検証するための、ひとつの手がかりになると考える。そこで、本研究の実験では、知覚された奥行きと合わせて、知覚された大きさも測定する。両眼視差による奥行き知覚と大きさ知覚を同時に測定し、周辺視野においても、中心視野と同様に大きさ距離不変仮説が成立するかを示すことで、中心視野と周辺視野の奥行き知覚が視覚機能論において二重機能論の立場をとるか、同質機能論の立場をとるかを検討することに繋げると考える。

第 5 章

偏心度 7.5 度以内の両眼視差による奥行き知覚

5.1 問題

中心視野と周辺視野における視知覚の違いは、第 3 章で述べたとおりである。同様に、両眼視差による奥行きと大きさ知覚が高偏心度ほど低下するならば、それは中心視野と周辺視野の解像度の違いによって生じる網膜偏心度効果によるものではないだろうか。刺激の大きさが同一である場合、提示される網膜偏心度が大きくなると、活性化される皮質の領域が狭まる。そのため周辺視野では相対的に刺激の検出が困難になる網膜偏心度効果が現れる(大竹, 2000)。両眼視差は左右眼の網膜像差によるものであるため、この網膜偏心度効果が関与すると、高偏心度ほど網膜像差の検出も困難になると考えられる。すなわち中心視野で検出された両眼視差が、網膜偏心度効果の関与によって周辺視野で検出できないとするならば、各偏心度の解像度を一定にする操作を行うことで、両眼立体視における視野間の見えを等しくすることが可能になると考えられる。

解像度を一定にする方法として、皮質拡大係数を統一する方法が考えられる。これは、光刺激が単位視角寸法当たり第一視覚野 (Visual I) に投射される大きさを M (mm/度) で表したものであり、高偏心度ほど皮質拡大係数が低下することが示されている(大竹, 2000)。Carrasco & Frieder (1997) は、周辺視野に提示する刺激の物理的な大きさを皮質拡大係数によって拡大し、中心視野と周辺視野で活性化される皮質の面積が等しくなるように操作した。その結果、網膜偏心度効果がほぼ消失した。同様に竹井・竹内・横澤 (2003) は、偏心度 2.5 度と 9.5 度に皮質活性量が等しくなる大きさの図形を提示し、特徴検出課題を行った。その結果、特徴検出閾が偏心度の両条件とも等しくなるだけでなく、周辺視野でも高くなることを示した。これらの特徴検出課題の結果からも、視野間の皮質面積を等価にすることで、視野ごとの刺激検出閾を等しくすることが可能になったといえる。すなわち、視野ごとの解像度を一定にする方法として、皮質活性量を等価にする操作は有効といえる。

以上より第 5 章は、偏心度 7.5 度以内の周辺視野において、周辺視野の解像度低下が両眼立体視に影響を及ぼす原因であるかを検討するため、周辺視野に中心視野と同じサイズの図形を提示する条件と、各偏心度の解像度が中心視野と同等になるサイズの図形を提示する条件で、両眼視差による奥行き知覚と大きさ知覚を測定する。しかし、図形サイズを偏心度ごとの皮質拡大係数で統一させた場合、

実際に提示する図形サイズは、高偏心度ほど大きくなる。そのため、両眼立体視に及ぼす影響が、皮質拡大係数を統一させたためか、提示した図形サイズが増大したためか、その原因を特定できない。そのことを考慮して、各偏心度に対応した皮質拡大係数によって求めた図形サイズを、すべての偏心度条件に提示する。

これにより考えられる予想結果を、3つの仮説として次に述べる。用いる条件は、本実験の変数である偏心度3水準(2.5、5、7.5度)、図形サイズ4水準(視角0.8、1.5、2.1、2.8度)、両眼視差6水準(10、20、30分の交差視差と非交差視差)を要因とし、奥行きと大きさの推定値を求める。

仮説1は、両眼視差による奥行きと大きさ知覚が、解像度の影響を受けないという仮説である。この仮説から考えれば、各偏心度と同じサイズの図形を提示することで高偏心度ほど解像度が低下して

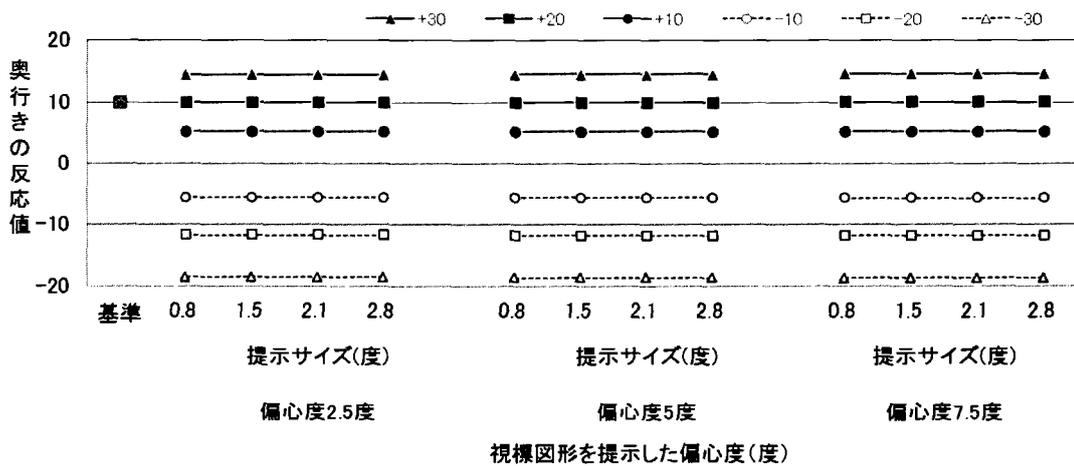


Figure5-1-1 仮説1の奥行き反応値の予測.

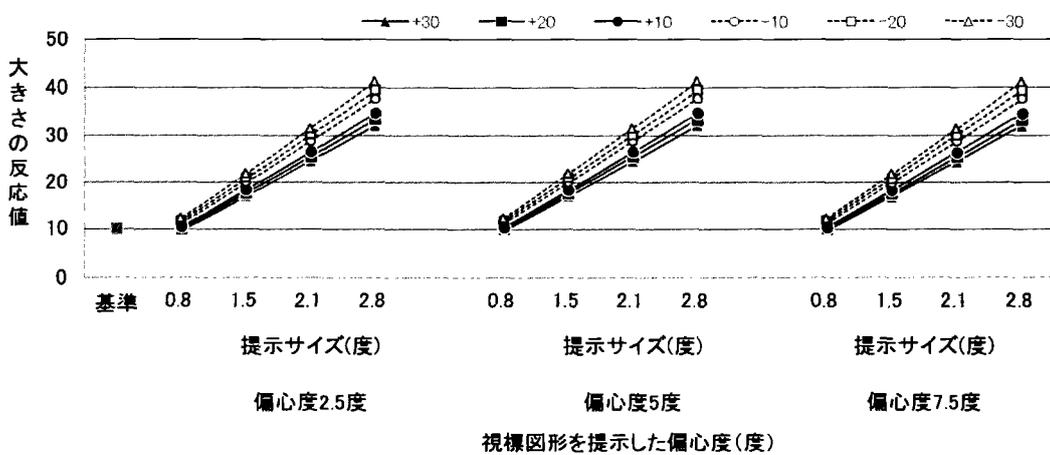


Figure5-1-2 仮説1の大きさ反応値の予測.

も、周辺視野の各偏心度において、同じ奥行きと大きさ知覚が現れることが予測される。この予測を図示すると、奥行き知覚は Figure5-1-1、大きさ知覚は Figure5-1-2 のようになる。

仮説 2 は、両眼視差による奥行きと大きさ知覚が、解像度の影響を受けるという仮説である。各偏心度に同じサイズの図形を提示すると高偏心度ほど解像度が低下するため、各偏心度において両眼視差による奥行きと大きさ知覚への影響が減少する。一方、皮質拡大係数によって計算されたサイズの図形は、周辺視野でも解像度が一定の条件となるため、各偏心度において同等の奥行きと大きさ知覚が現れる。さらに各偏心度の解像度以上のサイズにおいても、同等の奥行きと大きさが知覚されることが予測される。この予測を図示すると、奥行き知覚は Figure5-1-3、大きさ知覚は Figure5-1-4 のようになる。Figure5-1-3、Figure5-1-4 とも実線でかこまれた範囲

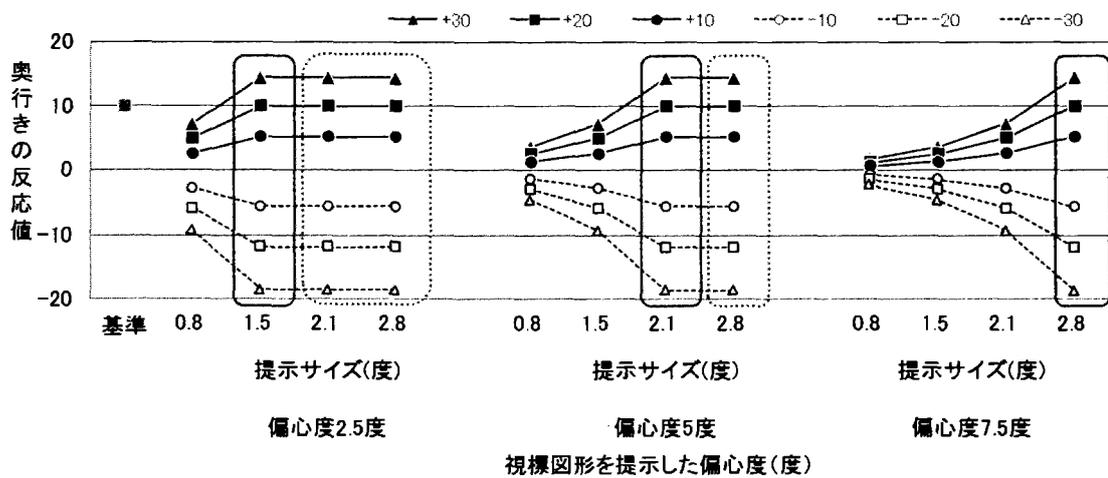


Figure5-1-3 仮説 2 の奥行き反応値の予測。

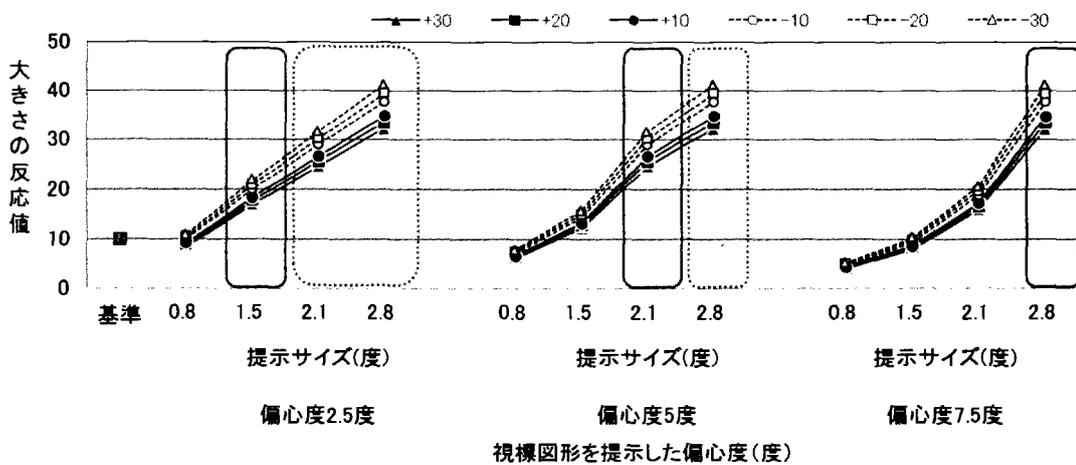


Figure5-1-4 仮説 2 の大きさ反応値の予測。

では、各偏心度の皮質活性量に基づいて算出された図形サイズを提示している。すなわち偏心度 2.5 度のサイズ 1.5 度、偏心度 5 度のサイズ 2.1 度、偏心度 7.5 度のサイズ 2.8 度は、各偏心度において、解像度が一定になる条件である。また点線でかこまれた範囲は、各偏心度における解像度を上回るサイズの条件である。各偏心度で一定の解像度以上になるサイズを提示した場合、各偏心度において同等の奥行きと大きさ知覚が現れるはずである。

仮説 3 は、両眼視差による奥行きと大きさ知覚が、図形サイズの影響を受けるという仮説である。各偏心度に提示した 4 水準のサイズのうち、両眼視差の効果が生じるために必要なサイズより小さい図形は、各偏心度において両眼視差による奥行きと大きさ知覚への影響が減少する。そして、必要なサイズより大きい図形は、各偏心

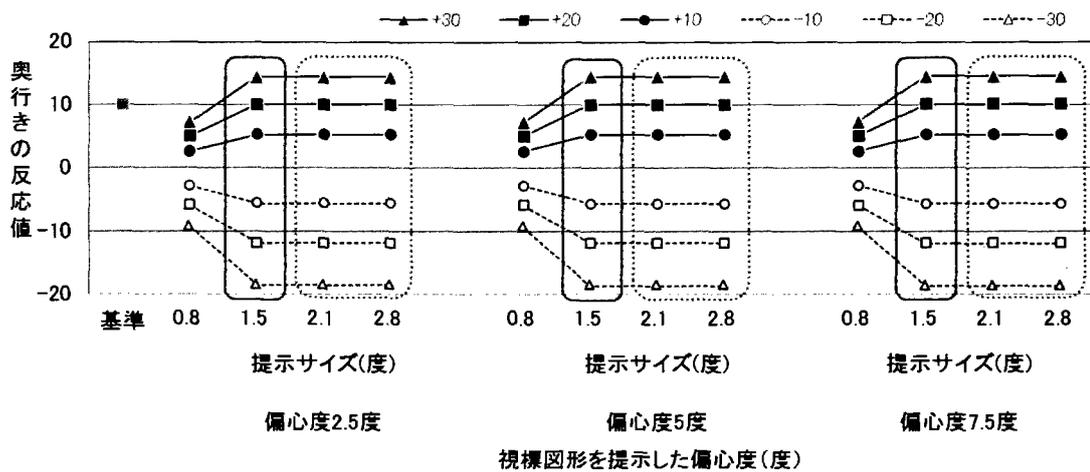


Figure5-1-5 仮説 3 の奥行き反応値（1.5 度以上）の予測。

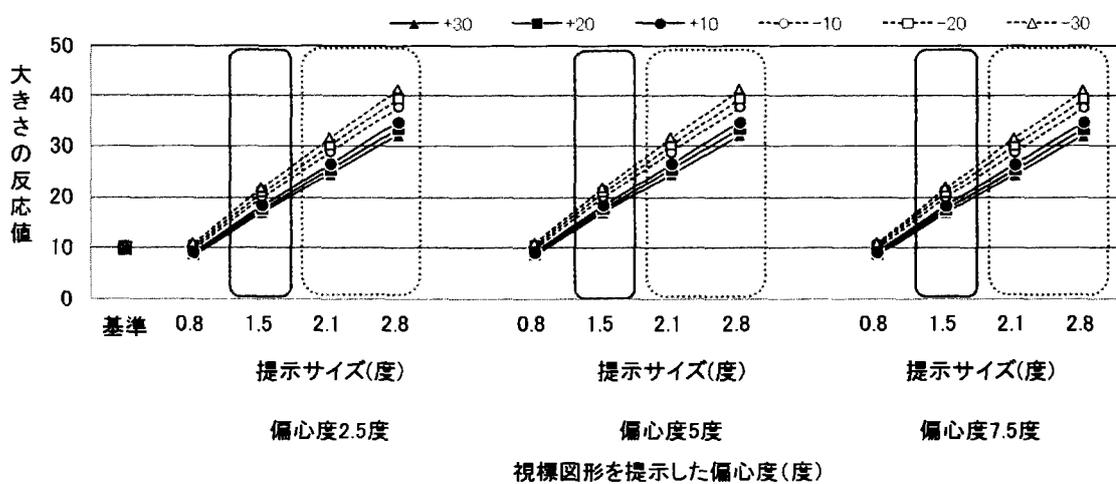


Figure5-1-6 仮説 3 の大きさ反応値（1.5 度以上）の予測。

度で同じ奥行きと大きさを知覚する。その予測を図示すると、サイズが 1.5 度以上必要である場合、奥行き知覚は Figure5-1-5、大きさ知覚は Figure5-1-6 のようになる。サイズが 2.1 度以上必要である場合、奥行き知覚は Figure5-1-7、大きさ知覚は Figure5-1-8 のようになる。サイズが 2.8 度以上必要である場合、奥行き知覚は Figure5-1-9、大きさ知覚は Figure5-1-10 のようになる。実線でかこまれた範囲は、両眼視差が生じるために必要なサイズであり、点線でかこまれた範囲は、そのサイズより大きい図形を提示した箇所を示す。

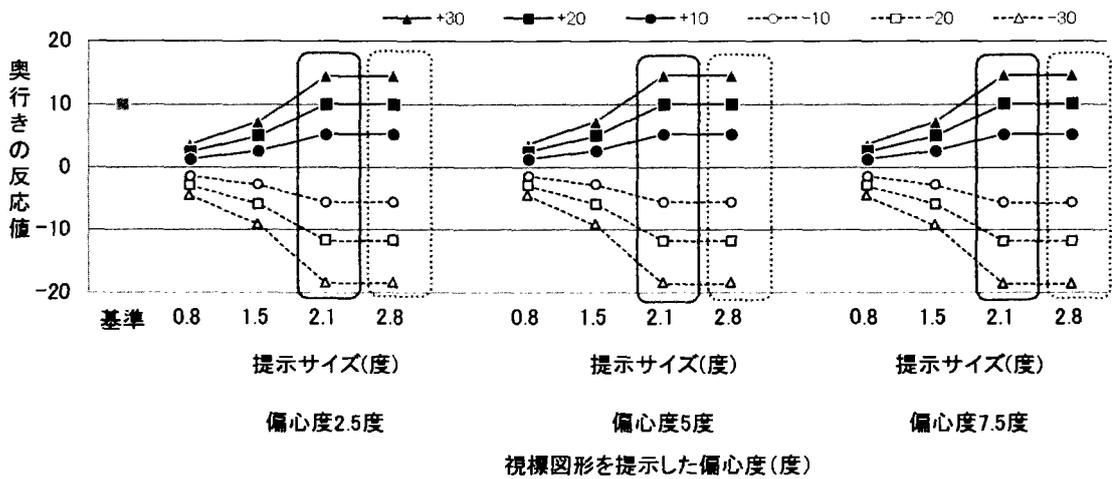


Figure5-1-7 仮説 3 の奥行き反応値 (2.1 度以上) の予測.

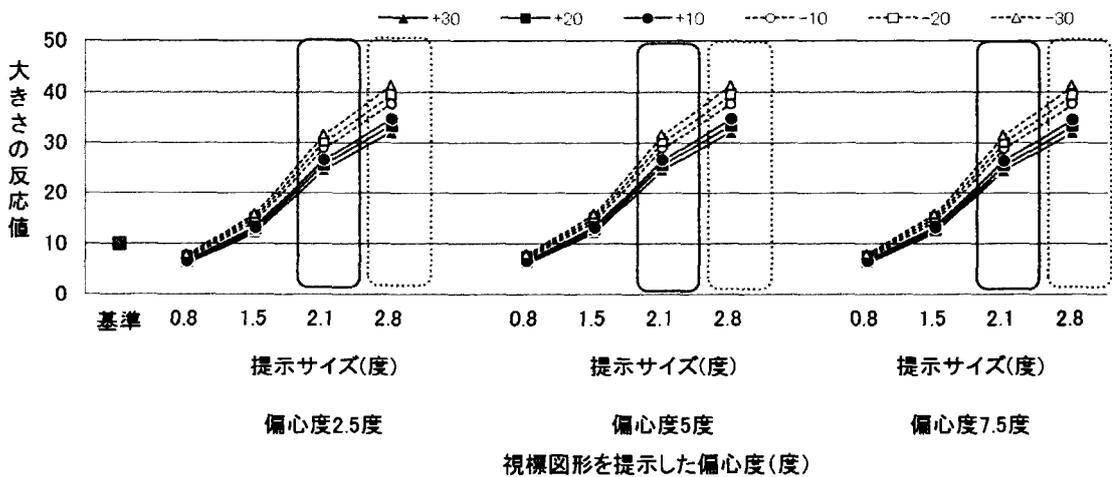


Figure5-1-8 仮説 3 の大きさ反応値 (2.1 度以上) の予測.

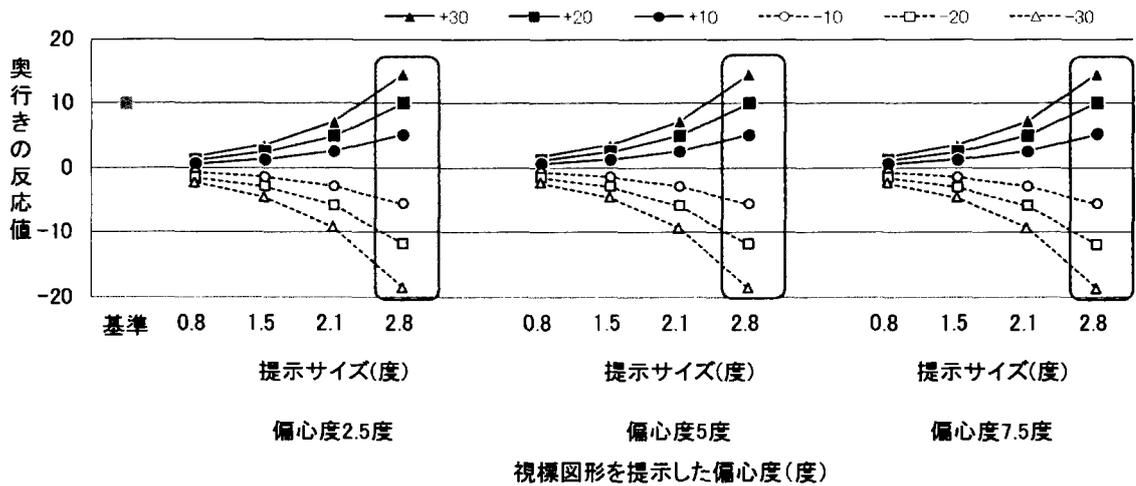


Figure5-1-9 仮説 3 の奥行き反応値 (2.8 度以上) の予測。

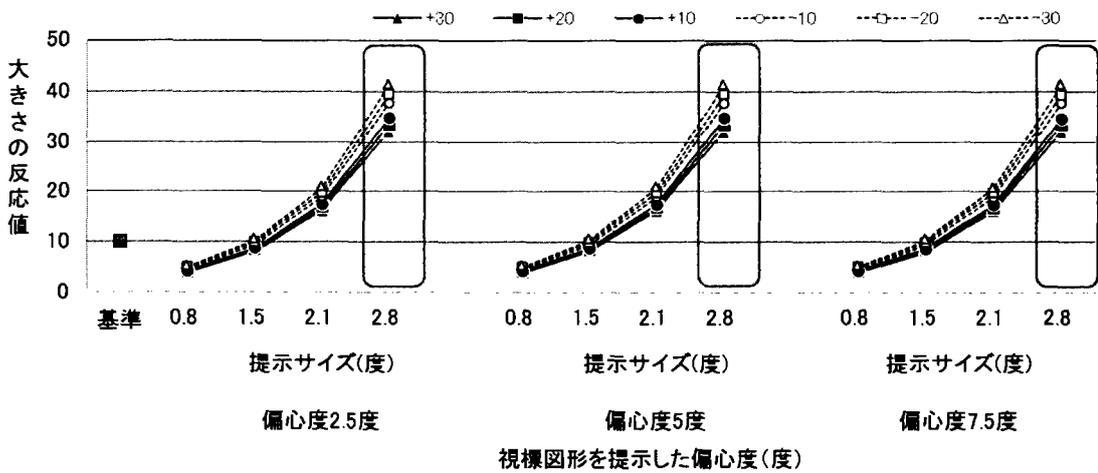


Figure5-1-10 仮説 3 の大きさ反応値 (2.8 度以上) の予測。

5.2 実験 1: 偏心度 7.5 度以内の検討 — 解像度の統制とサイズの効果 —

5.2.1 目的

偏心度 7.5 度以内の範囲における両眼立体視に対する解像度の影響を検討するため、各偏心度に対応した皮質拡大係数によって提示する図形サイズを算出し、これを全偏心度に提示する。まず、皮質拡大係数に基づいて算出された図形サイズが、各偏心度の解像度を統制できているかを、視力から確認するため、ランドルト環を用いた形態判断課題を行う。その後、両眼視差による奥行きと大きさ知覚について測定する。

5.2.2 方法

実験参加者 矯正視力を含む両眼視力が正常な女子大学生及び大学院生、計 13 名で、平均年齢 23.3 歳であった。ステレオテスト（半田屋製）を実施し、立体視力が正常であることを確認した。

装置 刺激作成は Adobe Illustrator 9.0.2 と Microsoft PowerPoint を使用した。実験制御用のノート型パーソナルコンピュータ（東芝 Satellite J50 system unit）の出力を、横 20cm、縦 20cm の提示窓を設置した CRT ディスプレイ（三菱 RDSI73X）に接続し、Microsoft PowerPoint を用いて図形を表示した。Figure5-2 に示すように、実験参加者は、左右の眼で異なるモニターを観察していた。画面の平均輝度は右眼用 3.24 cd/cm^2 、左眼用 3.05 cd/cm^2 であった。井上 (1995) の弁別閾曲線から、 0.19 cd/cm^2 の輝度差は事実上ないことが言え、また実際に参加者が片眼ずつ観察した上でも輝度差は感じられなかった。実験参加者の頭部を固定するため、観察位置に顎台を設置した。

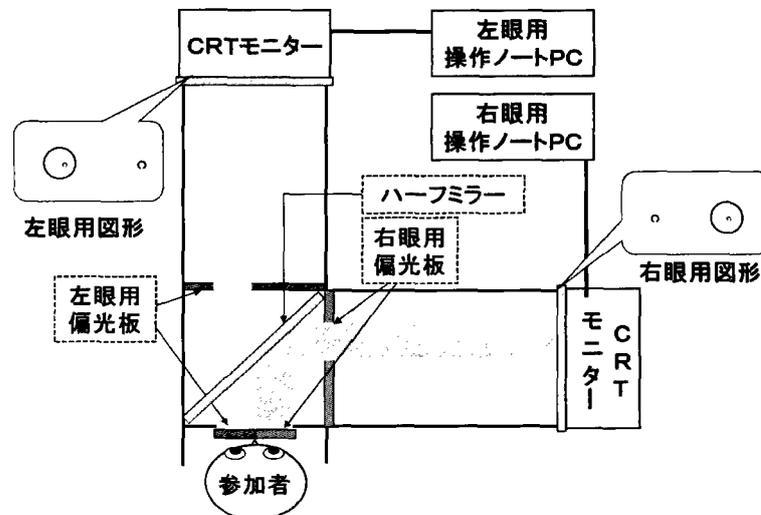


Figure5-2 実験装置配置図.

実験条件 Table5-1 に、各偏心度のランドルト環のサイズを示した。偏心度 0 度に提示するランドルト環は、85cm の観察距離における視力 0.1 に相当する大きさとし、直径は視角 0.8 度であった。両眼視差の効果が生じる対象の最小サイズを測定した実験では、3 分から 9 分の交差視差刺激を提示した場合、75% の正答が得られる対象のサイズは 0.13 度から 0.25 度の間であった (Schlesinger & Yeshurun, 1998)。本実験の 0.8 度はこの範囲を超えていることから、このサイズを採用した。

図形サイズの算出は、Ravamo & Virsu (1979) の皮質拡大係数 M

値 (mm/度) に従った。これは視角 1 度の刺激が皮質において何 mm になるかを示している。E は網膜偏心度を表し、 M_0 は網膜偏心度 0 度での M 値 (7.99mm/度) を表す。皮質の活性は固視点からの方位で異なるため、鼻側 (公式 (1)) と耳側 (公式 (2)) で用いる数式は異なる。鼻側の値は左眼用図形、耳側の値は右眼用図形に使用した。

$$\text{鼻側} : M = (1 + 0.33E + 0.00007E^3)^{-1} M_0 \dots (1)$$

$$\text{耳側} : M = (1 + 0.29E + 0.000012E^3)^{-1} M_0 \dots (2)$$

Table5-1 各偏心度に対応したランドルト環のサイズ。

偏心度 (度)	方向	ランドルト環の直径 (度)	ランドルト環の直径 (mm)	刺激の名称
0.0		0.8	12.4	0.8 度
2.5	鼻側	1.5	22.6	1.5 度
	耳側	1.4	21.3	
5.0	鼻側	2.2	32.9	2.1 度
	耳側	2.0	30.3	
7.5	鼻側	2.9	43.3	2.8 度
	耳側	2.7	39.3	

図形の配置を Figure5-3 に示した。偏心度の設定は右眼用図形で行い、両眼視差の設定は左眼用図形で行った。基準図形は偏心度 0 度に提示した。これは、直径が視角 2 度の外円図形と、その位置から 20 分の交差視差を設定した直径が視角 0.8 度 (観察距離 85cm で直径 12.4mm) のランドルト環であった。視標図形は偏心度 2.5、5、7.5 度の 3 段階に提示した。これは、Table5-1 に示した 0.8、1.5、2.1、2.8 度の 4 水準の図形であった。基準図形の外円図形に対する視標図形の両眼視差は 10、20、30 分の交差視差、非交差視差の 6 水準であった。

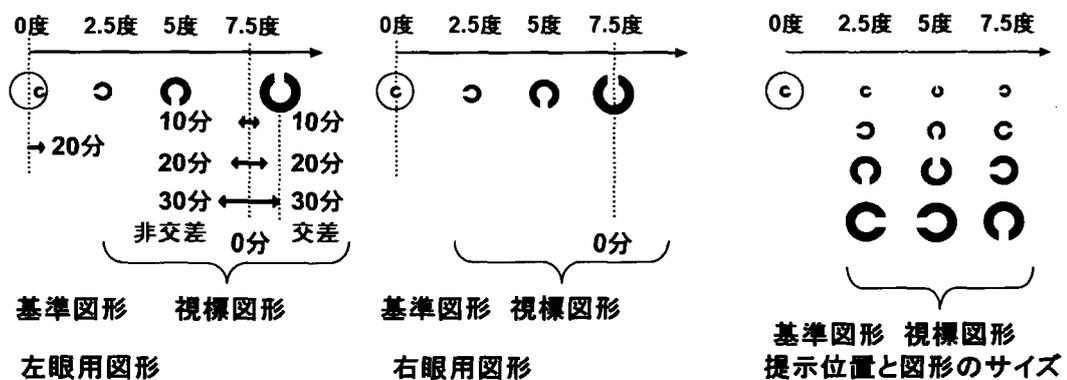


Figure5-3 基準図形と視標図形の刺激配置。

実験計画 偏心度(3水準)と図形サイズ(4水準)と両眼視差(6水準)を要因とする被験者内3要因の計画で、ランドルト環の切れ目方向の正答率と、知覚された奥行きと大きさの反応値を分析した。

手続き 実験参加者は Figure5-2 の装置の観察窓に向かって着席し、提示画面までの観察距離が 85cm になるよう、顎台を用いて頭部を固定した。

[形態判断課題] (Figure5-4-1)

実験参加者は、偏心度 0 度に 2000ms 提示される十字図形(視角 1 度)を固視した。十字図形消失と同時に、基準図形の外円図形と偏心度 0 度、ならびに 2.5 度、5 度、7.5 度のいずれかの位置に視標図形が 500ms 提示された。見え方の判断に、両眼視差の種類が影響していないかを検討するため、視差 20 分の交差と非交差視差図形を用いた。実験参加者は、0 度のランドルト環と 2.5、5、7.5 度のいずれかに提示される視標図形のランドルト環の切れ目方向を応答した。基準図形と視標図形は、判断終了まで提示された。この課題は偏心度 0 度の基準図形を固視して行うため、実験参加者は本試行前に各偏心度の両眼視差全水準について、固視を維持して判断できよう、練習試行を行った。本試行の図形観察中に、固視対象以外を見た場合は、その旨を実験者に報告するよう教示した。この場合、提示する図形を変更してやり直しを行うものとした。1 名の総試行数は、偏心度(3水準)と図形サイズ(4水準)と両眼視差 20 分の交差視差と非交差視差(2水準)×繰返し(6試行)の 72 試行行い、図形の提示順序はランダムとし、報告はすべて口頭で行った。

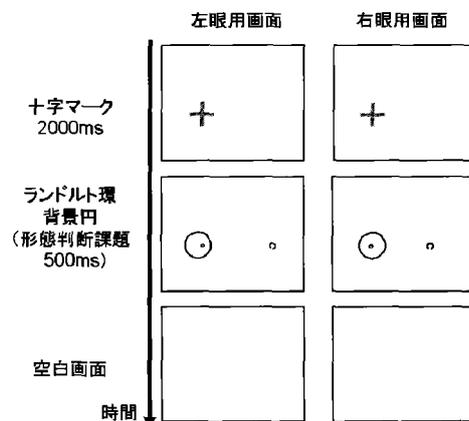


Figure5-4-1 形態判断課題の流れ.

[奥行き・大きさ課題] (Figure5-4-2)

実験参加者は、偏心度 0 度に 2000 ms 提示される十字図形を固視

した。十字図形消失と同時に、基準図形の外円図形と0度のランドルト環、ならびに偏心度 2.5 度、5 度、7.5 度に、いずれかのサイズの図形を提示した。Figure5-5 に示すように、実験参加者は、奥行き課題は基準図形の外円図形とランドルト環との間に知覚された奥行きを 10(基準)として、基準図形の外円図形が属する前額平行面と、2.5 度、5 度、7.5 度のいずれかに提示される視標図形との間に知覚された奥行きを応答した。この際、視標図形が外円図形と同じ面にあると知覚した場合は、0 と応答するように教示した。同時に大きさ課題は、基準図形のランドルト環の知覚された大きさを 10(基準)として、視標図形の知覚された大きさを応答した。基準図形と視標図形は、判断終了まで提示された。両課題とも偏心度 0 度

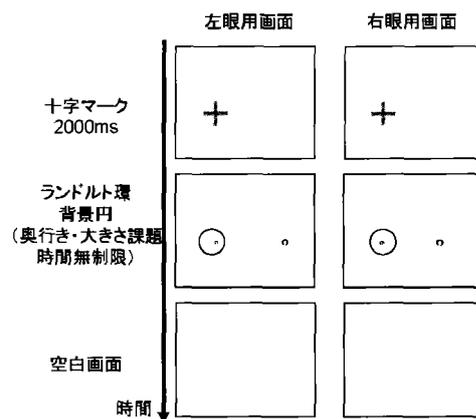


Figure5-4-2 奥行き・大きさ判断課題の流れ.

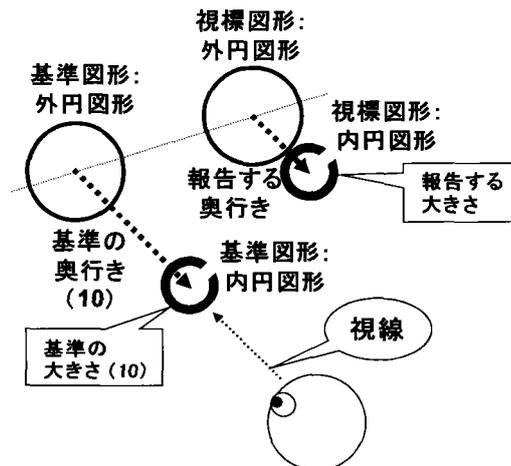


Figure5-5 ステレオグラム観察時に知覚される奥行きと大きさの判断方法. 奥行き課題は、視標図形が外円図形と同じ面にあると知覚した場合、0 と応答するように教示した。大きさの課題は、判断基準を保つため、常に図形の知覚された大きさ(面積)で評価し、円の直径で評価しないように教示した。

の基準図形を固視して行うため、実験参加者は本試行前に各偏心度の両眼視差全水準について、固視を維持して判断できるように、練習試行を繰り返した。本試行の図形観察中に、固視対象以外を見た場合は、その旨を実験者に報告するよう教示した。この場合、提示する図形を変更してやり直しを行うものとした。奥行きと大きさの課題順序は、実験参加者内でカウンターバランスをとった。1名の総試行数は偏心度(3水準)と図形サイズ(4水準)と両眼視差(6水準)×繰返し(6試行)の計432試行であった。図形の提示順序はランダムとし、報告はすべて口頭で行った。

形態判断課題と奥行き・大きさ課題を合わせた1名あたりの全体の所要時間は、平均250分であった。実験を繰返し数と同じ6ブロックに分けて行い、ブロックの区切りごとに設けた休憩時間の長さは、参加者の必要に応じて取ることにした。

5.2.3 結果

[形態判断課題]

13名の各偏心度における図形サイズごとの正答率を平均し、Figure5-6-1に示した。

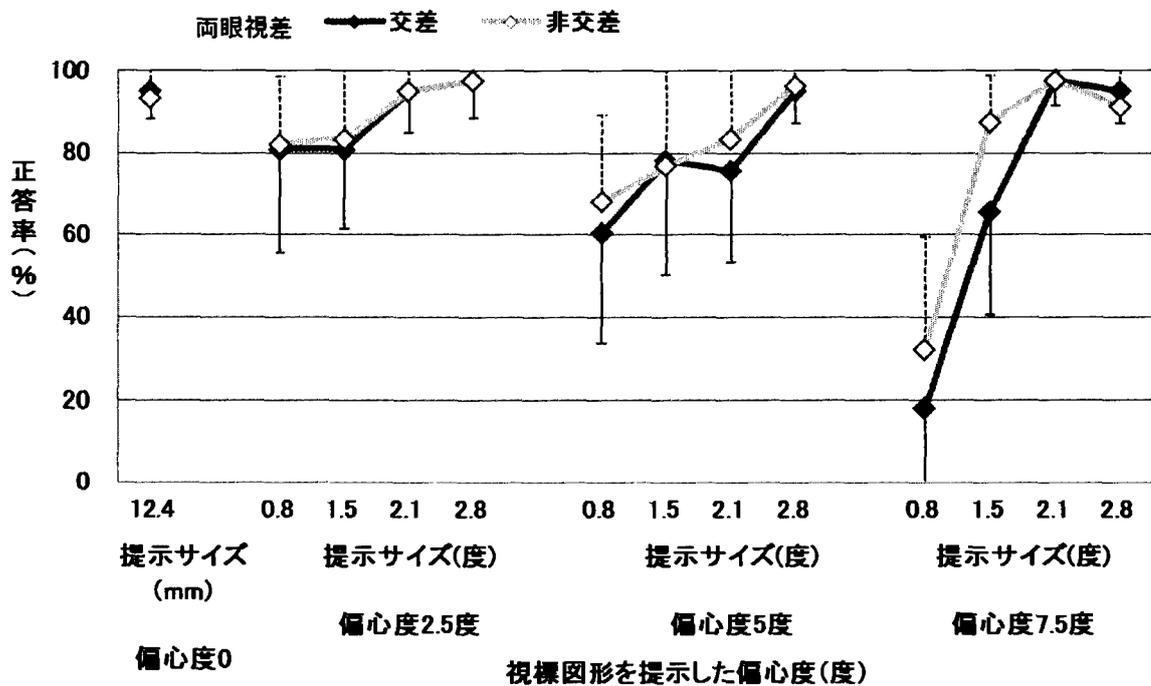


Figure5-6-1 各偏心度における図形サイズごとのランドルト環の正答率(%). 凡例は両眼視差20分の交差視差と非交差視差を示した。エラーバーは標準偏差を示す。

ランドルト環図形の切れ目方向の正答率を角変換し、偏心率(3水準)、図形サイズ(4水準、以下の分析内では要因名をサイズと表記する)、両眼視差20分の視差種類(2水準、以下の分析内では要因名を視差と表記する)を被験者内要因とする3要因分散分析を行った。その結果、偏心率[$F(2, 24) = 21.81, p < .001$]とサイズ[$F(3, 36) = 40.24, p < .001$]の主効果がみられたが、視差[$F(1, 12) = 3.75, n. s.$]の主効果は見られなかった。また偏心率×サイズ[$F(6, 72) = 10.52, p < .001$]の1次の交互作用が有意であった。これより、視差に主効果が見られないことから、交差視差と非交差視差の違いはランドルト環の正答率に対して違いを与えないことが示された。偏心率の主効果を受けた多重比較(以下、本研究での多重比較はRyan法5%水準とする)では、2.5度と5度との間、2.5度と7.5度との間、5度と7.5度との間にそれぞれ有意差がみられた。これより偏心率が高いほど正答率は低くなることが示された。またサイズの主効果を受けた多重比較では、2.1度と2.8度との間以外にそれぞれ有意差がみられた。これよりサイズが小さいほど正答率が低いことが示された。次に、偏心率×サイズの1次の交互作用における下位検定を行った。その結果、サイズ0.8度($p < .001$)と2.1度($p < .005$)に偏心率の単純主効果がみられた。これを受けた多重比較では、サイズ0.8度は、すべての偏心率の間に有意差がみられた。そしてサイズ2.1度は、偏心率2.5度と5度との間、5度と7.5度との間に有意差がみられた。これより、サイズ0.8度の場合、偏心率が高いほど正答率が低くなることが示された。さらに、サイズ2.1度の場合、偏心率5度に提示すると2.5度や7.5度に提示した場合に比べ、正答率が低くなることが示された。また偏心率2.5度($p < .005$)と5度($p < .001$)と7.5度($p < .001$)にサイズの単純主効果がみられた。これを受けた多重比較では、偏心率2.5度は、サイズ0.8度と2.8度との間、1.5度と2.8度との間に有意差がみられた。そして偏心率5度は、サイズ0.8度と2.8度との間、1.5度と2.8度との間、2.1度と2.8度との間に有意差がみられた。そして偏心率7.5度は、サイズ2.1度と2.8度との間以外のすべてに有意差がみられた。これより偏心率が高くなるほどサイズが小さいものは正答率が低くなることが示された。しかし、同じサイズを提示して正答率が有意に低下したのは、サイズ0.8度のみであり、1.5度と2.1度では必ずしも偏心率が高い場合に、正答率が有意に低くなるとはいえなかった。

以上のことから、交差視差と非交差視差の視差種類による形態判断への影響は見られないことが示された。また図形サイズ0.8度の形態判断が困難になる場合を除けば、皮質活性量に基づいて図形サイズを変化させると、偏心率に関わらずほぼ一定の正答率が得られることが示された。

[奥行き課題]

13名の各偏心度における図形サイズごとの奥行きの反応値を平均し、Figure5-6-2に示した。これより、交差視差の値が大きいほど手前に、非交差視差の値が大きいほど奥に知覚されたことが示された。そして偏心度が高いほど、交差、非交差視差とも差が減少することが読み取れた。

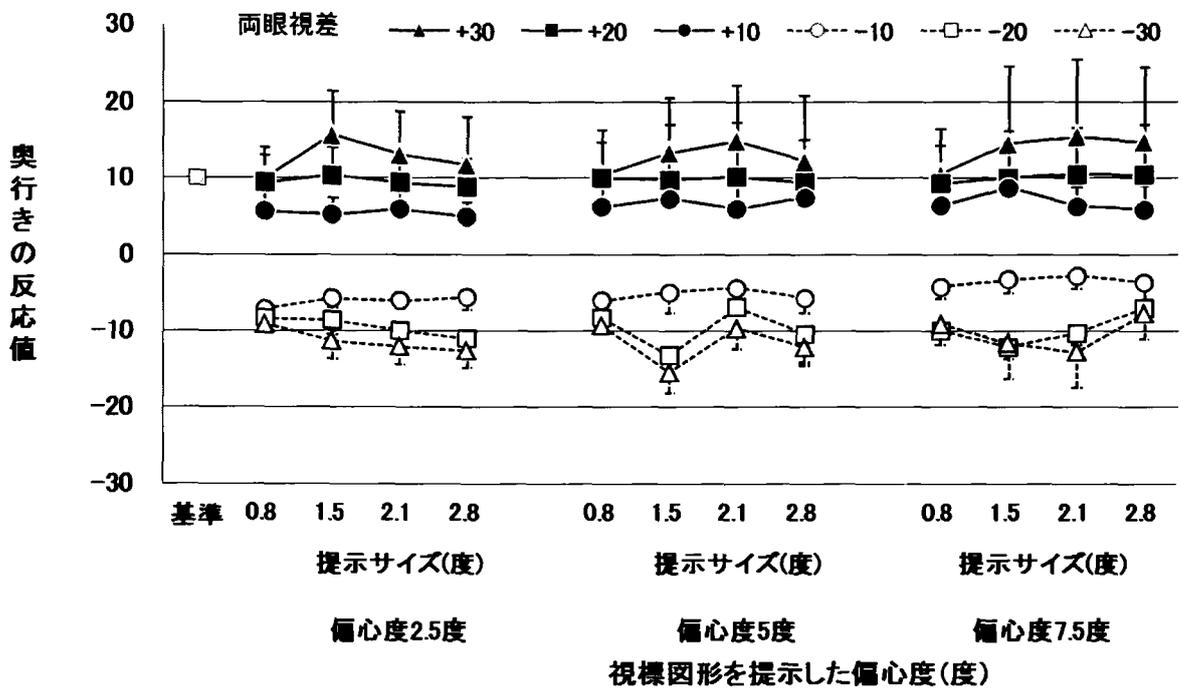


Figure5-6-2 基準図形の固視時に知覚された奥行き(■)に対して、各偏心度における図形サイズごとの知覚された奥行きの反応値. 凡例の两眼視差は、交差視差を「+」、非交差視差を「-」で示した. 図内のエラーバーは各値の標準偏差を示す. 縦軸の0は基準の外円図形と同じ奥行きを示し、上方向は外円図形より手前、下方向は奥を示した。

奥行き知覚量に関して、偏心度(3水準)、図形サイズ(4水準、以下の分析内では要因名をサイズと表記する)、两眼視差(6水準、以下の分析内では要因名を視差と表記する)を被験者内要因とする3要因分散分析を行った。その結果、偏心度 [$F(2, 24) = 4.87, p < .05$] と、視差 [$F(5, 60) = 146.77, p < .001$] の主効果はみられたが、サイズ [$F(3, 36) = 0.8$ 度, $n.s.$] の主効果は見られなかった。また偏心度×サイズ [$F(6, 72) = 4.45, p < .001$]、偏心度×視差 [$F(10, 120) = 2.22, p < .05$]、サイズ×視差 [$F(15, 180) = 8.55, p < .01$] の1次の交互作用と、偏心度×サイズ×視差 [$F(3, 360) = 2.73, p < .01$]

の 2 次の交互作用が有意であった。

偏心度の主効果を受けた多重比較では、2.5 度と 7.5 度との間に有意差がみられた。これより偏心度の 7.5 度は 2.5 度より有意に手前に知覚していたことが示された。また視差の主効果を受けた多重比較では、非交差視差 20 分と非交差視差 30 分との間以外にそれぞれ有意差がみられた。これよりすべての交差視差と非交差視差 10 分は、それぞれ異なる奥行きとして知覚されており、非交差視差 20 分と非交差視差 30 分には差がないが、非交差視差 10 分より有意に奥に知覚されていることが示された。

次に、偏心度×サイズの 1 次の交互作用における単純主効果をみるため下位検定を行った。その結果、サイズ 1.5 度 ($p < .05$)、2.1 度 ($p < .05$)、2.8 度 ($p < .001$)に偏心度の単純主効果がみられた。これを受けた多重比較では、サイズ 1.5 度は、偏心度 2.5 度と 5 度との間、偏心度 5 度と 7.5 度との間に有意差がみられた。そしてサイズ 2.1 度は、偏心度 2.5 度と 5 度との間に有意差がみられた。そしてサイズ 2.8 度は、偏心度 2.5 度と 7.5 度との間、5 度と 7.5 度との間に有意差がみられた。これより同じサイズでも異なる偏心度に提示すると、奥行き知覚が異なることが示された。また偏心度 5 度 ($p < .005$)にサイズの単純主効果がみられた。これを受けた多重比較では、サイズ 1.5 度と 2.1 度との間、2.1 度と 2.8 度との間に有意差がみられた。これより偏心度 5 度に提示されたサイズ 2.1 度の非交差視差は、サイズ 1.5 度や 2.8 度より有意に手前に知覚されていることが示された。

次に、偏心度×視差の 1 次の交互作用における単純主効果をみるため下位検定を行った。その結果、非交差視差 10 分 ($p < .001$)に偏心度の単純主効果がみられた。これを受けた多重比較では、非交差視差 10 分は、偏心度 2.5 度と 7.5 度との間、5 度と 7.5 度との間に有意差がみられた。これより非交差視差で奥行き量としては最も小さくなる 10 分のみに、高偏心度ほど奥行きが減少して知覚されることが示された。また、すべての偏心度 ($p_s < .001$)に視差の単純主効果がみられた。これを受けた多重比較では、偏心度 2.5 度と 7.5 度は、非交差視差 30 分と 20 分との間以外にそれぞれ有意差がみられた。そして偏心度 5 度は、非交差視差 30 分と 20 分との間、交差視差 10 分と 20 分との間、交差視差 20 分と 30 分との間以外のそれぞれ有意差がみられた。これより偏心度 5 度は、2.5 度や 2.5 度と比較して、視差の効果が生じにくいことが示された。

次に、サイズ×視差の 1 次の交互作用における単純主効果をみるため下位検定を行った。その結果、非交差視差 30 分 ($p < .001$)と 20 分 ($p < .005$)と交差視差 30 分 ($p < .001$)にサイズの単純主効果がみられた。これを受けた多重比較では、非交差視差 30 分は、サイズ 0.8

度と 1.5 度、2.1 度、2.8 度との間、サイズ 1.5 度と 2.8 度との間にそれぞれ有意差がみられた。そして非交差視差 20 分は、サイズ 1.5 度と 0.8 度、2.1 度、2.8 度との間にそれぞれ有意差がみられた。そして交差視差 30 分は、サイズ 1.5 度と 2.1 度との間以外にそれぞれ有意差がみられた。これより、視差量が大きい場合、サイズによる差が生じやすいことが示された。またすべてのサイズ ($p < .001$) において視差の単純主効果がみられた。これを受けた多重比較では、サイズ 0.8 度は、非交差視差 30 分と 20 分との間、30 分と 10 分との間、20 分と 10 分との間、交差視差 20 分と 30 分との間以外にそれぞれ有意差がみられた。またサイズ 1.5 度は、非交差視差 30 分と 20 分との間、交差視差 10 分と 20 分との間以外にそれぞれ有意差がみられた。またサイズ 2.1 度は、非交差視差 30 分と 20 分との間、交差視差 10 分と 20 分との間以外にそれぞれ有意差がみられた。またサイズ 2.8 度は、非交差視差 30 分と 20 分との間以外にそれぞれ有意差がみられた。これより、サイズ 0.8 度は両眼視差の効果がほとんど見られないが、サイズ 1.5 度以上は両眼視差の効果が生じることが示された。

次に、偏心度×サイズ×視差の 2 次の交互作用における単純効果をみるため下位検定を行った。偏心度とサイズの影響が視差に生じるかを検討したところ、偏心度 2.5 度において、全てのサイズに視差 ($p_s < .001$) の単純・単純主効果がみられた。これを受けた多重比較では、サイズ 0.8 度は、すべての非交差視差とすべての交差視差との間、ならびに非交差視差 30 分と非交差視差 10 分との間に有意差がみられた。そしてサイズ 1.5 度は、非交差視差 20 分と非交差視差 30 分、10 分との間以外に有意差がみられた。そしてサイズ 2.1 度は、非交差視差 20 分と非交差視差 30 分、10 分との間、交差視差 20 分と 10 分との間以外に有意差がみられた。そしてサイズ 2.8 度は、非交差視差 30 分と 20 分との間、交差視差 30 分と 20 分との間以外に有意差がみられた。これより、偏心度 2.5 度ではサイズ 0.8 度では両眼視差の効果がほとんど生じないが、サイズ 1.5 度以上になると効果が生じることが示された。しかし提示する図形が大きいほど両眼視差に対する効果が生じやすくなるわけではないことが示された。また偏心度 5 度において全てのサイズに視差 ($p_s < .001$) の単純・単純主効果がみられた。これを受けた多重比較では、サイズ 0.8 度は、すべての非交差視差とすべての交差視差との間、ならびに非交差視差 30 分と非交差視差 10 分との間に有意差がみられた。そしてサイズ 1.5 度は、非交差視差 20 分と非交差視差 30 分との間、交差視差 20 分と交差視差 10 分、30 分との間以外に有意差がみられた。そしてサイズ 2.1 度は、非交差視差 20 分と非交差視差 30 分、10 分との間以外に有意差がみられた。そしてサイズ 2.8 度は、非交差

視差 30 分と 20 分との間、交差視差 20 分と 10 分、30 分との間以外に有意差がみられた。これより、偏心度 5 度ではサイズ 0.8 度では両眼視差の効果がほとんど生じないが、サイズ 1.5 度以上になると効果が生じるようになる。しかし提示する図形が大きいほど両眼視差に対する効果が生じやすくなるわけではないことが示された。また偏心度 7.5 度においてすべてのサイズ内に視差 ($p < .001$) の単純・単純主効果がみられた。これを受けた多重比較では、サイズ 0.8 度は、すべての非交差視差とすべての交差視差との間、非交差視差 20 分と非交差視差 10 分、30 分との間に有意差がみられた。そしてサイズ 1.5 度では、非交差視差 20 分と非交差視差 30 分との間、交差視差 20 分と交差視差 10 分との間以外に有意差がみられた。そしてサイズ 2.1 度は、非交差視差 20 分と非交差視差 30 分との間以外に有意差がみられた。そしてサイズ 2.8 度は、非交差視差 30 分と非交差視差 20 分、10 分との間、非交差視差 20 分と 10 分との間以外に有意差がみられた。これより、偏心度 7.5 度ではサイズ 0.8 度では両眼視差の効果がほとんど生じないが、サイズ 1.5 度以上になると効果が生じるようになる。そして交差視差においては提示する図形が大きいほど両眼視差に対する効果が生じやすくなることが示された。

以上のことから、周辺視野における奥行き知覚は、0.8 度の図形サイズを提示した場合は、全偏心度において解像度が低いため、両眼視差量の効果は得られず、視差量の影響を生じさせるためには、図形サイズが 1.5 度以上必要である、すなわちこのサイズで与えられる解像度以上が必要であることが示される結果となった。

[大きさ課題]

13 名の各偏心度における図形サイズごとの大きさの反応値を平均し、Figure5-6-3 に示した。これより交差視差の値が大きいほど小さく、非交差視差の値が大きいほど大きく知覚された。そして偏心度が高いほど、図形サイズが小さい物の差が生じにくいことが読み取れた。

大きさ知覚量に関して、偏心度 (3 水準)、図形サイズ (4 水準、以下の分析内では要因名をサイズと表記する)、両眼視差 (6 水準、以下の分析内では要因名を視差と表記する) を被験者内要因とする 3 要因分散分析を行った。その結果、サイズ [$F(3, 36) = 29.46, p < .001$] と視差 [$F(5, 60) = 7.83, p < .001$] の主効果はみられたが、偏心度 [$F(2, 24) = 1.06, n. s.$] の主効果は見られなかった。また偏心度 \times 視差 [$F(10, 120) = 3.54, p < .001$]、サイズ \times 視差 [$F(15, 180) = 6.06, p < .001$] の 1 次の交互作用と、偏心度 \times サイズ \times 視差 [$F(3, 360) = 2.60, p < .001$] の 2 次の交互作用が有意であった。しか

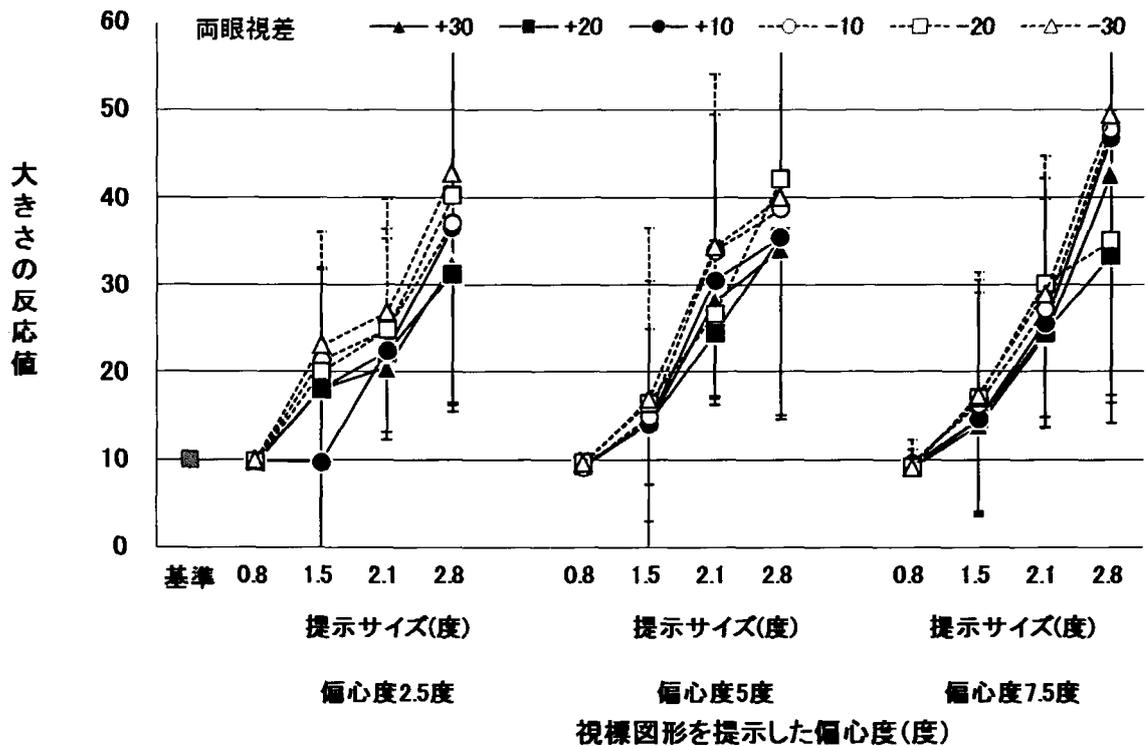


Figure 5-6-3 基準図形の固視時に知覚された大きさ(■)に対して、各偏心度における図形サイズごとの知覚された大きさの反応値。エラーバーは標準偏差を示す。凡例の両眼視差は、交差視差を「+」、非交差視差を「-」で示した。図内のエラーバーは各値の標準偏差を示した。

し偏心度×サイズ [$F(6, 72) = 1.23, n.s.$]の1次の交互作用は見られなかった。

サイズの主効果を受けた多重比較では、0.8度と1.5度の間以外にそれぞれ有意差がみられた。これよりサイズ1.5度以上ならば、知覚される大きさに差が生じることが示された。また視差の主効果を受けた多重比較では、非交差視差30分とすべての交差視差との間、非交差視差20分と交差視差20分との間、非交差視差10分と交差視差20分、30分との間に有意差がみられた。これより、両眼視差量が大きいもの同士であれば、大きさ知覚に対する違いが現れやすいことが示された。

次に、偏心度×視差の1次の交互作用における単純主効果をみるため下位検定を行った。その結果、非交差視差10分 ($p < .001$)に偏心度の単純主効果がみられた。これを受けた多重比較では、非交差視差10分は、偏心度2.5度と7.5度、2.5度と5度の間有意差がみられた。またすべての偏心度 ($p < .001$)に視差の単純主効果がみられた。これを受けた多重比較では、偏心度2.5度は、すべての非交差

視差とすべての交差視差との間に有意差がみられた。そして偏心度 5 度は、非交差視差 30 分と交差視差 30 分、20 分との間にそれぞれ有意差がみられた。偏心度 7.5 度は、非交差視差 30 分と非交差視差 20 分、交差視差 30 分、20 分との間、交差視差 20 分と交差視差 10 分、非交差視差 10 分との間にそれぞれ有意差がみられた。これより、低偏心度ほど視差による大きさ知覚の差が生じやすく、特に偏心度 2.5 度では、非交差視差が交差視差より有意に大きく知覚されたことが示された。

次に、サイズ×視差の 1 次の交互作用における単純主効果をみるため下位検定を行った。その結果、すべての視差 ($p < .001$) にサイズの単純主効果がみられた。これを受けた多重比較では、すべて非交差視差は、すべてのサイズ間に有意差がみられた。そしてすべての交差視差は、サイズ 0.8 度と 1.5 度の間以外に有意差がみられた。これよりサイズ 0.8 度と 1.5 度の違いは交差視差には生じないことが示された。またサイズ 1.5 度以上 ($p < .001$) に視差の単純主効果がみられた。これを受けた多重比較では、サイズ 1.5 度は、すべての非交差視差と交差視差 10 分との間に有意差がみられた。そしてサイズ 2.1 度は、非交差視差 30 分とすべての交差視差との間、非交差視差 10 分と交差視差 30 分、20 分との間に有意差がみられた。そしてサイズ 2.8 度は、非交差視差 30 分と交差視差 30 分、10 分との間、非交差視差 20 分と非交差視差 10 分、すべての交差視差との間、交差視差 30 分と交差視差 20 分、非交差視差 10 分との間に有意差がみられた。これより、図形サイズが大きい方が、両眼視差の効果が生じやすいことが示された。

次に、偏心度×サイズ×視差の 2 次の交互作用における単純効果をみるため下位検定を行った。偏心度とサイズの影響が両眼視差に生じるかを検討したところ、偏心度 2.5 度においてサイズ 1.5 度 ($p < .001$)、2.1 度 ($p < .05$)、2.8 度 ($p < .001$) の間に視差の単純・単純主効果がみられた。これを受けた多重比較では、サイズ 1.5 度は、交差視差 10 分と交差視差 20 分、30 分、すべての非交差視差との間に有意差がみられた。そしてサイズ 2.1 度は、非交差視差 30 分と交差視差 30 分との間に有意差がみられた。そしてサイズ 2.8 度は、非交差視差 30 分と交差視差 20 分、30 分との間、非交差視差 20 分と交差視差 20 分、30 分との間に有意差がみられた。これより、偏心度 2.5 度では、偏心度 2.5 度の皮質活性量に基づいて算出された図形サイズである 1.5 度以上のサイズにおいて両眼視差の差が現れ、サイズが大きいと両眼視差による効果が大きくなることが示された。また偏心度 5 度において、サイズ 2.1 度 ($p < .001$)、2.8 度 ($p < .005$) に視差の単純・単純主効果がみられた。これを受けた多重比較では、サイズ 2.1 度は、非交差視差 30 分、10 分と非交差視差 20 分、交差

視差 20 分との間に有意差がみられた。そしてサイズ 2.8 度では、非交差視差 20 分とすべての交差視差との間に有意差がみられた。これより、偏心度 5 度では、偏心度 5 度の皮質活性量に基づいて算出された図形サイズ 2.1 度以上のサイズにおいて、両眼視差の効果が現れた。また偏心度 7.5 度において、サイズ 2.8 度 ($p < .001$) に視差の単純・単純主効果がみられた。これを受けた多重比較では、サイズ 2.8 度は、非交差視差 30 分と非交差視差 20 分、交差視差 30 分、20 分との間、非交差視差 20 分と非交差視差 10 分、交差視差 10 分、30 分との間、非交差視差 10 分と交差視差 20 分との間に有意差がみられた。これより、偏心度 7.5 度では、偏心度 7.5 度の皮質活性量に基づいて算出された図形サイズにおいて両眼視差の効果が現れた。

以上のことから、周辺視野における大きさ知覚は、各偏心度の皮質活性量に基づいて算出された図形サイズと、それ以上のサイズを提示した場合は、両眼視差の効果が示される結果となった。

5.2.4 考察

第 5 章では、偏心度 2.5、5、7.5 度に、10、20、30 分の交差、非交差視差を設定した図形を提示し、両眼立体視可能な周辺視野の範囲を検討した。この際、高偏心度ほど両眼視差による奥行きと大きさ知覚が低下する原因として、解像度低下による網膜偏心度効果が考えられるかを検討した。そこで、周辺視野の解像度低下の影響をみるため、偏心度によらず解像度が一定になる図形のサイズを、皮質拡大係数から算出し、提示する図形を作成した。ただし、解像度を一定すると必然的に偏心度が高いほどサイズが増大するため、得られた奥行きと大きさの知覚量に対する影響が、解像度の統制によるものか、図形サイズの増大によるものか、判別できない。そこで、各偏心度に本実験で用いる全サイズの図形を提示して検討することにした。

まず、皮質拡大係数に基づいて算出された図形サイズが、各偏心度の解像度を統制できているか確認するため、ランドルト環を用いた形態判断課題を行った。その結果、交差視差、非交差視差の違いによる形態判断課題の正答率に差がないことから、両者の違いによる影響はないことが示された。また各偏心度において、図形サイズが大きいほど、正答率がおおよそ高くなることが示された。0.8 度の図形サイズを提示した場合は、高偏心度ほど形態判断の正答率が有意に低下することから、周辺視野ほど解像度は低下していることが示された。一方、各偏心度の皮質活性量に基づいて算出された図形サイズを提示した場合は、高偏心度においても高い正答率が得られたため、各偏心度で解像度をほぼ等価に操作することができたといえる。以上を踏まえて本研究の問題である周辺視野における両眼

視差による奥行きと大きさ知覚について述べる。

奥行き反応値の結果から、0.8度の図形サイズを提示した場合は、すべての偏心度において交差視差と非交差視差の違いに関する差が生じたが、交差視差、非交差視差内の視差量の違いに関する差は生じないことが示された。一方、各偏心度の皮質活性量に基づいて算出された図形サイズを提示した場合、すなわち偏心度 2.5 度に 1.5 度、偏心度 5 度に 2.1 度、偏心度 7.5 度に 2.8 度の図形を提示した場合、交差視差では視差量の違いに関する差が生じたが、非交差視差では一部に差がみられなかった。さらに、各偏心度にそれぞれの解像度より上回るサイズの図形を提示した場合も、ほぼ同程度の視差量による差がみられた。ただし、そのサイズ未満の図形を提示した場合、視差量による差が一部にみられなかった。特に 0.8 度の図形サイズを提示した場合は、全偏心度において両眼視差量の効果は得られなかった。これに加え、ランドルト環の正答率と奥行き知覚に関する両眼視差の効果が、一対一対応ではないことから、各偏心度とも 1.5 度以上のサイズを提示すれば、ほぼ同程度の視差量による差が得られることが示された。これより両眼視差の効果を生じさせるためには、図形サイズが 1.5 度以上で得られる解像度が必要であることが示された。これは、仮説 3 のサイズ 1.5 度以上 (Figure5-1-5) に相当すると考えられる。

次に、大きさ反応値の結果から、0.8 度の図形サイズを提示した場合は、すべての偏心度において両眼視差量の違いに関する差が生じないことが示された。一方、各偏心度の皮質活性量に基づいて算出された図形サイズを提示した場合、すなわち偏心度 2.5 度に 1.5 度、偏心度 5 度に 2.1 度、偏心度 7.5 度に 2.8 度の図形を提示した場合、視差量の違いに関して一部に差が生じた。さらに、そのサイズ以上の図形を提示した場合も視差量による差がみられた。しかし、そのサイズ未満の図形を提示した場合、視差量による差がみられなかった。これより、0.8 度の図形サイズを提示した場合は、全偏心度において解像度が低いため、両眼視差量の効果は得られなかった。またランドルト環の正答率と大きさ知覚に対する両眼視差の効果が、一対一対応ではないが、各偏心度の皮質活性量に基づいて算出された図形サイズと、それ以上のサイズを提示した場合は、両眼視差の効果が示された。これは、仮説 2 (Figure5-1-4) に相当すると考えられる。

次に本章でしめされた課題点を述べる。まず第 5 章では、解像度を揃えるために、図形サイズを皮質拡大係数に応じて増大させる操作が有効であることが示された。さらに高偏心度において解像度の影響を確認したいが、偏心度 10 度以上の周辺視野で測定を行う場合、解像度を一定にそろえる方法では、高偏心度の図形サイズが増大し

すぎる。そのため、実験を行うに当たって、この操作は現実的ではない。そこで第6章では、観察距離と図形サイズを一定にすることで、解像度のみの効果を検討できるように、等距離面に刺激図形を提示する方法で実験を行う。

5.3 結論

第5章の実験1では、周辺視野の両眼立体視が低下する原因として、解像度の低下による網膜偏心度効果について検討することを目的とした。視角0.8度の図形サイズは、ランドルト環の正答率の結果から、高偏心度ほど解像度が低下することが示され、奥行き、大きさ知覚とも両眼視差の効果が確認されなかった。奥行き知覚は、偏心度7.5度以内において視角1.5度以上のサイズを提示すれば、ほぼ同程度の視差量による差が得られることが示された。すなわち奥行き知覚に対して両眼視差の効果をj得るためには、一定以上の解像度が必要であることが示された。一方大きさ知覚は、各偏心度の皮質活性量に基づいて算出された図形サイズと、それ以上のサイズを提示した場合に両眼視差の効果が確認された。すなわち大きさ知覚に対して両眼視差の効果をj得るためには、各偏心度に応じた一定以上の解像度が必要であることが示された。

第 6 章

偏心度 17.5 度以内の両眼視差による奥行き知覚

6.1 問題

第 5 章で行った偏心度 7.5 度以内の結果から、提示する図形サイズが視角 0.8 度では交差、非交差に対する違いは生じるが、両眼視差量の効果が生じないことが示された。そして、偏心度 7.5 度以内では、ほぼ一定の奥行きが知覚されることが示され、サイズの違いによる影響は受けにくいことが示された。そのため、以降の実験では提示する図形サイズを視角 1 度とし、これを偏心度 10 度以上に提示して、両眼視差による奥行き知覚を検討する。偏心度 10 度以上の範囲について検討するため、両眼視差が小さければ、その効果が現れにくくなることが考えられるため、両眼視差量を第 5 章で扱った値の 2 倍にして検討することにした。

偏心度 10 度以上の検討を行うにあたり、行動的指標からの研究として、Pelli (1986) をあげる。Pelli (1986) は、3 次元的な空間内の移動と視野範囲の関係を検討した結果、迷路内の歩行課題では偏心度 10 度より視野が狭くなると歩行が急激に困難になることを示した。これは、視野情報が偏心度 10 度以上の範囲から得られない状態でも歩行に影響しないが、視野情報が得られる範囲が偏心度 10 度未満になると支障が生じることを示している。つまり、偏心度 10 度以上の周辺視野の情報が得られなくとも、行動する上では大きな支障が生じないと考えられる。では、偏心度 10 度以上の奥行き知覚はどのようになされているのであるのか。Pelli (1986) の研究から考えられる予想結果を、2 つの仮説として次に述べる。用いる条件は、本実験の変数である偏心度 8 水準 (0、2.5、5、7.5、10、12.5、15、17.5 度)、両眼視差 6 水準 (20、40、60 分の交差視差と非交差視差) を要因とし、奥行きと大きさの推定値を求める。

仮説 1 は、偏心度 10 度以上でも奥行きは知覚されているが、歩行のために必要な最低限度の領域が偏心度 10 度であるため、偏心度 10 度より視野が狭くなった場合に歩行に支障が生じたという考えである。そのため第 5 章までの結果を踏まえて、一定の奥行きが得られた偏心度 7.5 度に引き続き、10 度以上も一定の奥行きが知覚される。一方、大きさ知覚は図形の大きさが一定の場合、両眼視差の効果を受けにくくなっていったため、偏心度が高くなるほど差がみられなくなると思われる。その予測を図示すると、奥行き知覚は Figure6-1-1、大きさ知覚は Figure6-1-2 のようになる。

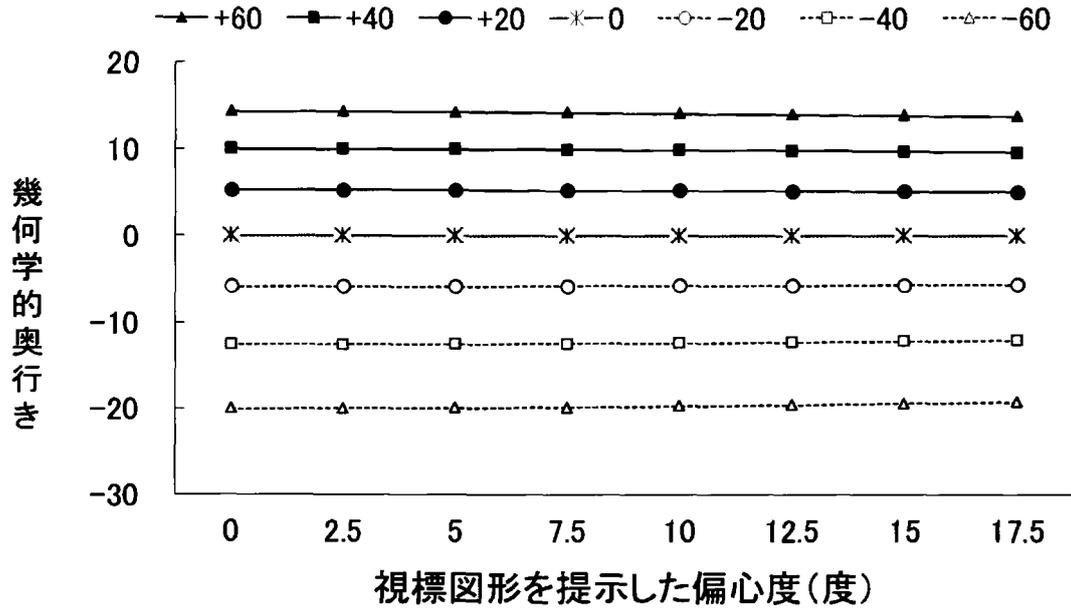


Figure6-1-1 仮説 1 からの奥行き反応値の予測.

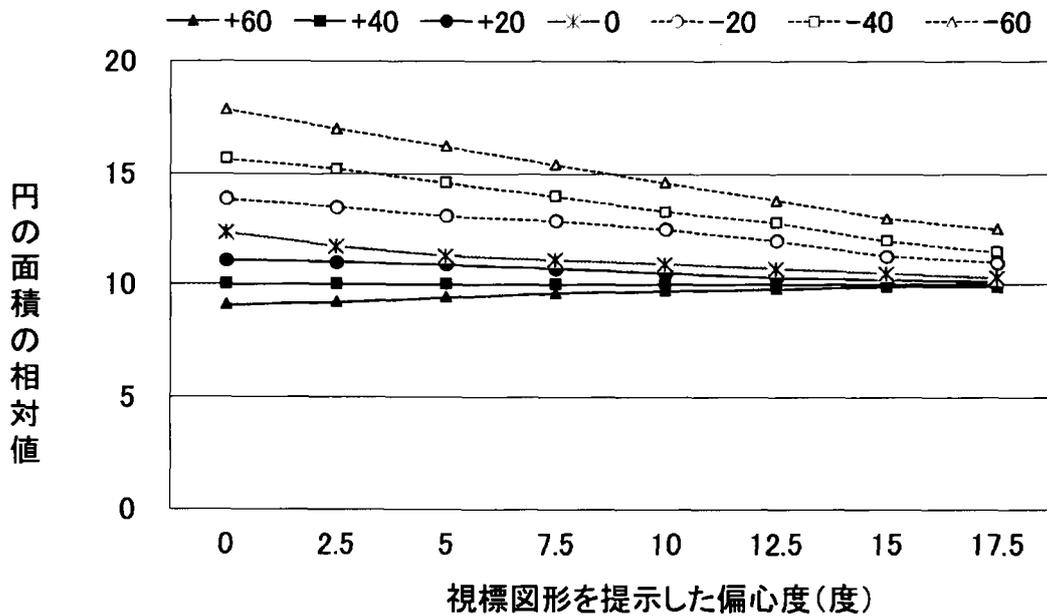


Figure6-1-2 仮説 1 からの大きさ反応値の予測.

仮説 2 は、偏心度 10 度以上の知覚される奥行きは低下しているため、元々情報としてあまり使われておらず、鮮明に奥行きが知覚されていた偏心度 10 度の範囲に制限がかかったため歩行に支障が生じたという考えである。これより、第 5 章の結果を踏まえて偏心度 7.5 度までは一定の奥行きを知覚するが、偏心度 10 度以上の範囲で

は奥行きが減少する。一方、大きさ知覚も第5章の結果を踏まえて、偏心度が2.5度から両眼視差の効果が弱くなり、奥行き知覚に視差の効果があられな分、仮説1よりも偏心度が高くなるほど差がみられなくなると思われる。その予測を図示すると、奥行き知覚はFigure6-1-3、大きさ知覚はFigure6-1-4のようになる。

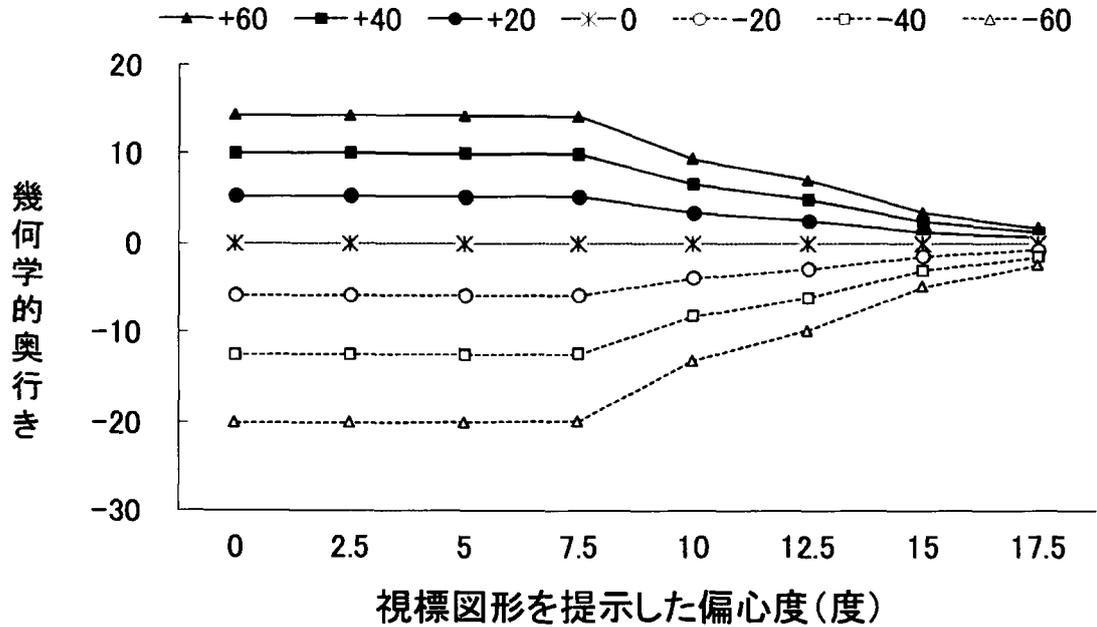


Figure6-1-3 仮説2からの奥行き反応値の予測.

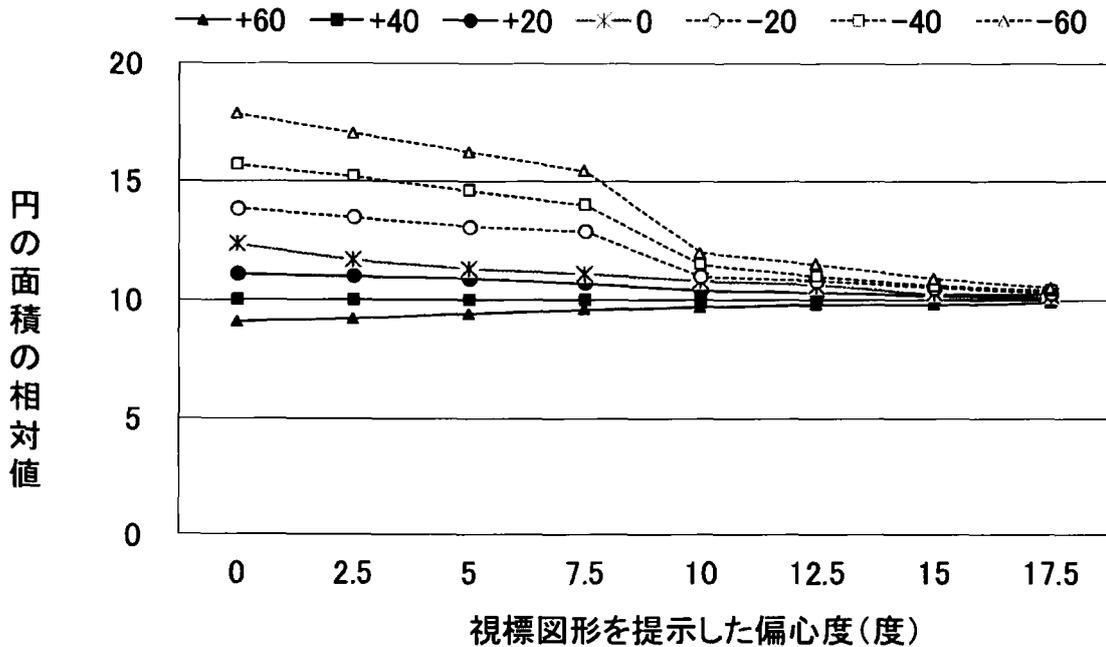


Figure6-1-4 仮説2からの大きさ反応値の予測.

6.2 実験2：偏心度17.5度以内の検討 —解像度の効果—

6.2.1 目的

周辺視野の両眼立体視を検討するため、偏心度0度の基準図形を固視した際、偏心度17.5度までに提示された視標図形の奥行きと大きさの知覚量を測定する。

6.2.2 方法

実験参加者 矯正視力を含む両眼視力が正常な女子大学生及び大学院生、計5名で、平均年齢24.4歳であった。ステレオテスト(半田屋製)を実施し、立体視力が正常であることを確認した。

装置 刺激作成には Adobe Illustrator 10 と Microsoft PowerPoint を使用した。実験制御用のノート型パーソナルコンピュータ(TOSHIBA WindowsXP)の出力をプロジェクター(Epson MEP-1705)に接続し、Microsoft PowerPoint の画面を観察面となるリアスクリーン(キモト RUM60N1)に提示した。スクリーンの輝度は基準図形位置が平均 1000cd./m^2 、視標図形位置が平均 29.70cd./m^2 であった。Figure6-2 に示すように、左右眼前の1辺3cmのビームスプリッターを介して、各スクリーンの映像を観察できるミラー式ステレオスコープを作成した。実験参加者の頭部を固定するため、観察位置に顎台を設置した。

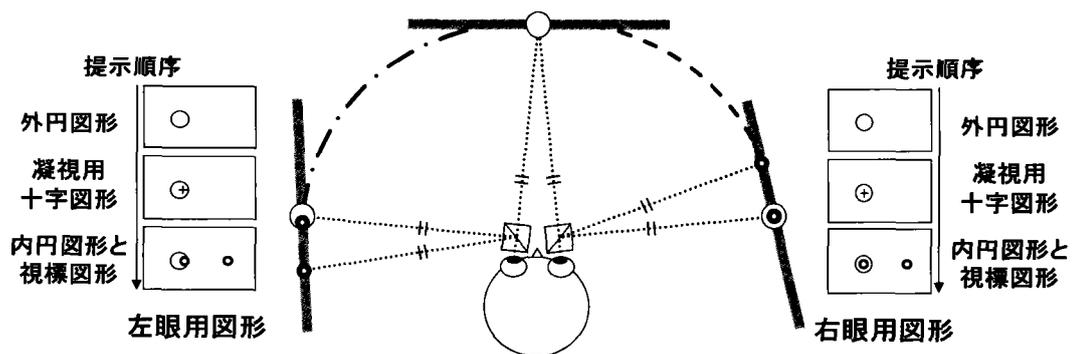


Figure6-2 図形を周辺視野に提示する装置の見取り図。

実験条件 刺激図形の配置を Figure6-3 に示した。基準図形は、偏心度0度に提示した。これは、直径が視角2度の外円図形と、その位置から40分の交差視差を設定した直径が視角1度の内円図形であった。視標図形は、偏心度0、2.5、5、7.5、10、12.5、15、17.5度の8段階に提示した。これは、直径が視角1度(観察距離57.3cmで直径10mm)の円であった。基準図形の外円図形に対する視標図形の視差は20、40、60分の交差視差と非交差視差、視差なし0

分の7条件であった。魚森(1995a, b)によれば1.5mまでの近距離観察の場合、両眼融合閾は偏心度4.3度から13.6度までの視野範囲で、観察距離や提示図形の偏心度に関わらず約40分以下とされている。本実験はこの範囲を超えているが、実験参加者に各偏心度の図形を周辺視で観察させ、図形の単一視が可能かを確認しており、融合域を著しく越えるものでないと考えた。

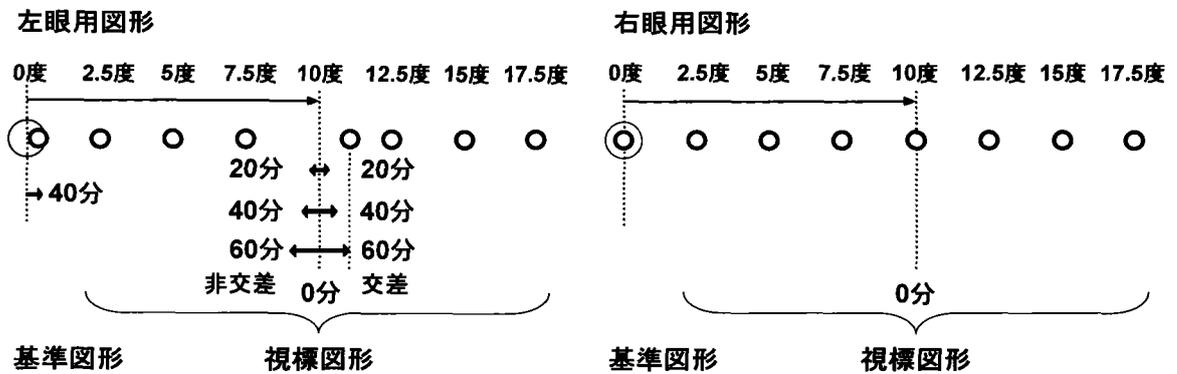


Figure6-3 基準図形（外円図形と内円図形）と視標図形（円図形のみ）の刺激配置。

実験計画 両眼視差(7水準)と偏心度(8水準)を要因とする被験者内2要因の計画で、知覚された奥行きと大きさの反応値を分析した。

手続き 実験者は左右眼のビームスプリッター間の距離を実験参加者の瞳孔間距離に合わせた。次に実験参加者はFigure6-2に示した装置の観察窓に向かって着席し、スクリーンに提示される基準図形と視標図形が、ビームスプリッターを介して眼から57.3cmになるよう、顎台を用いて頭部を固定された。次に実験者は装置の補正を行うため、左右眼の図形に提示位置の差が生じないように、正面と右眼用のスクリーンを同時提示し、実験観察者が右眼で見て両スクリーンの外円図形が一つに重なるよう調節した。左眼用のスクリーンも同様に調節を行い、実験を開始した。この補正は、視標図形の偏心度8段階ごとにスクリーンとプロジェクターの位置を調節して行った。

[奥行き・大きさ課題]

Figure6-2に示すように、予めスクリーンには基準図形の外円図形が提示されていた。実験参加者は偏心度0度に1000ms提示される十字図形に視線を向けた。十字図形消失と同時に、基準図形の内円図形と、偏心度2.5度から17.5度までのいずれかに視標図形が提示

された。視標図形を0度に提示する場合のみ、実験参加者が基準図形の奥行きと大きさを記憶できた段階で合図を行い、実験者が画面を視標図形に切り替える継時提示を行った。

Figure6-4 に示すように、奥行き課題は、基準図形の外円図形と内円図形との間に知覚された奥行きを10(基準)として、基準図形の外円図形が属する前額平行面と偏心度2.5度から17.5度のいずれかに提示される視標図形との間に知覚された奥行きを応答した。この際、視標図形が外円図形と同じ面にあると知覚した場合は、0と応答するように教示した。同時に大きさ課題は、内円図形の知覚された大きさを10(基準)として、視標図形の知覚された大きさを判断した。この際、判断基準を保つため、常に図形の知覚された大きさ(面積)で評価し、円の直径で評価しないように教示した。例えば、基準図形の内円図形の直径に対し、視標図形の直径が2倍に知覚された場合でも、参加者は20とは応答せず、円の面積について応答した。基準図形と視標図形は、判断終了まで提示された。両課題とも0度の基準図形を固視して行うため、実験参加者は本試行前に固視を維持して判断できるように、練習試行を繰り返した。本試行の図形観察中に、固視対象以外を見た場合は、その旨を実験者に報告するよう教示した。この場合、提示する図形を変更してやり直した。

奥行きと大きさの課題順序は、実験参加者内でカウンターバランスをとった。1名の総試行数は偏心度(8水準)と両眼視差(7水準)×繰返し(6試行)の計336試行であった。両眼視差の提示順序はランダムとし、報告はすべて口頭で行った。1名あたりの全体の所要時間は平均250分であった。実験は繰返し数と同じ6ブロックに分け、ブロックの区切りごとに設けた休憩時間の長さは参加者の必要に応じて取ることにした。

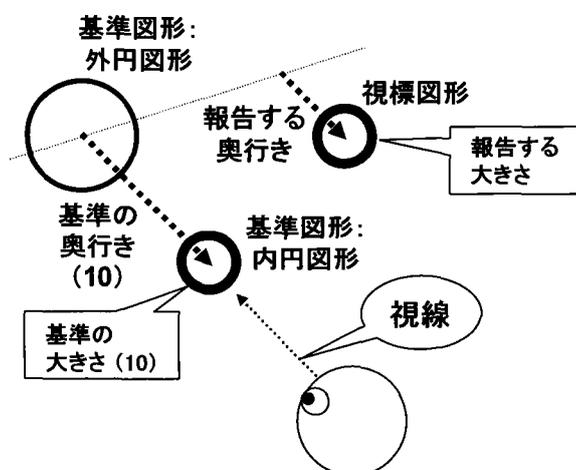


Figure6-4 ステレオグラム観察時に知覚される奥行きと大きさの判断方法。

6.2.3 結果

[奥行き課題]

5名の各偏心度における奥行きの反応値を平均し、Figure6-5-1に示した。

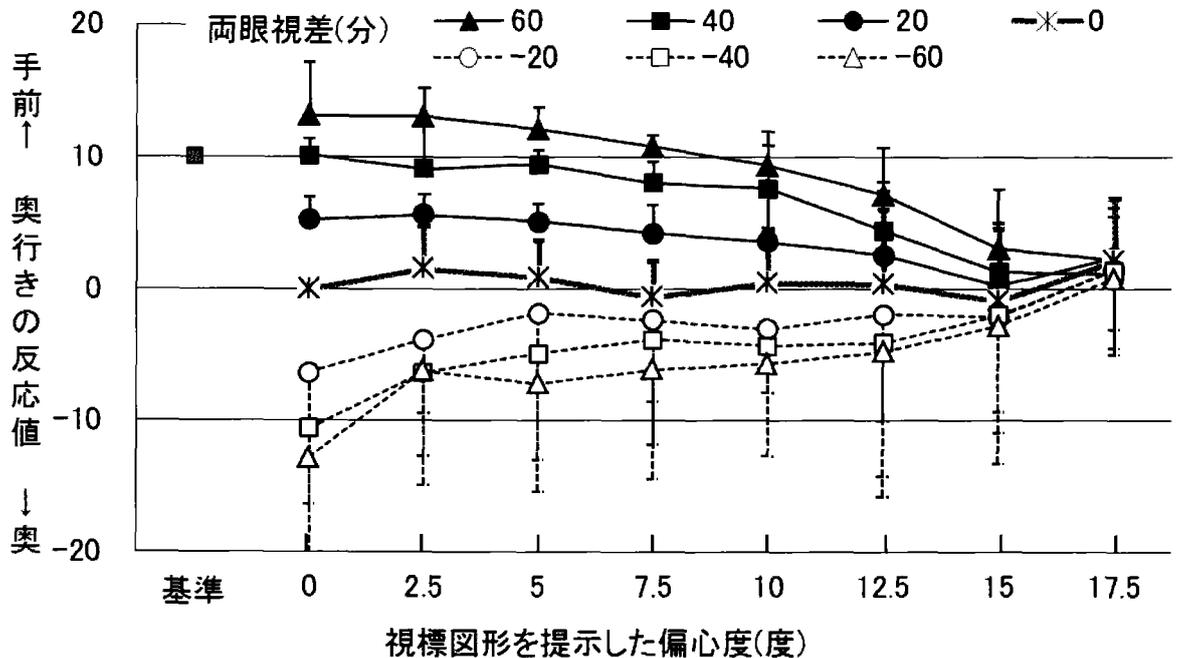


Figure6-5-1 基準図形を固視時に知覚された奥行き(■)に対して、各偏心度で知覚された奥行きの反応値。凡例の両眼視差は、交差視差を「+」、非交差視差を「-」で示す。図内のエラーバーは各値の標準偏差を示す。縦軸の0は基準の外円図形と同じ奥行きを示し、上方向は外円図形より手前、下方向は奥を示した。

Figure6-5-1 より、交差視差の値が大きいほど手前に、非交差視差の値が大きいほど奥に知覚された。そして偏心度が高いほど、交差、非交差視差とも差が減少することが読み取れた。

両眼視差の効果が及ぶ偏心度の範囲を検討するために、奥行き知覚量に関して、視差(7水準)と偏心度(8水準)を被験者内要因とする2要因分散分析を行った。その結果、視差 [$F(6, 24) = 19.22, p < .001$] の主効果は見られたが、偏心度 [$F(7, 28) = 1.02, n. s.$] の主効果は見られなかった。また視差×偏心度 [$F(42, 168) = 10.19, p < .001$] の1次の交互作用が有意であった。

次に、視差×偏心度の1次の交互作用における単純主効果を見るため下位検定を行った。偏心度の影響が視差に生じるかを検討したところ、偏心度0度から12.5度 ($p < .001$) までに、視差の単純主効果

がみられた。続いて行った多重比較では、視差0分と有意差が見られたものは、偏心度0度は交差視差20分以外全てであった。そして偏心度5度と7.5度は交差視差20分に加え、非交差視差20と40分に有意差がなくなった。そして偏心度10度はさらに非交差視差60分も有意差がなくなった。そして偏心度12.5度で視差0分の奥行きと有意差があるのは、交差視差60分のみとなった。

これより偏心度が0度から12.5度へと進むに従い、絶対値の小さな視差から弁別が困難になることが示された。この間は緩やかに奥行きが減少しており、15度にかけてやや急速に減少が見られた。そして17.5度においてすべての両眼視差に対する奥行きがほぼゼロになった。また、交差視差より非交差視差の奥行き知覚は偏心度の低い段階から生じにくくなることより、両者の非対称性が示された。

[大きき課題]

5名の各偏心度における大ききの反応値を平均し、Figure6-5-2に示した。

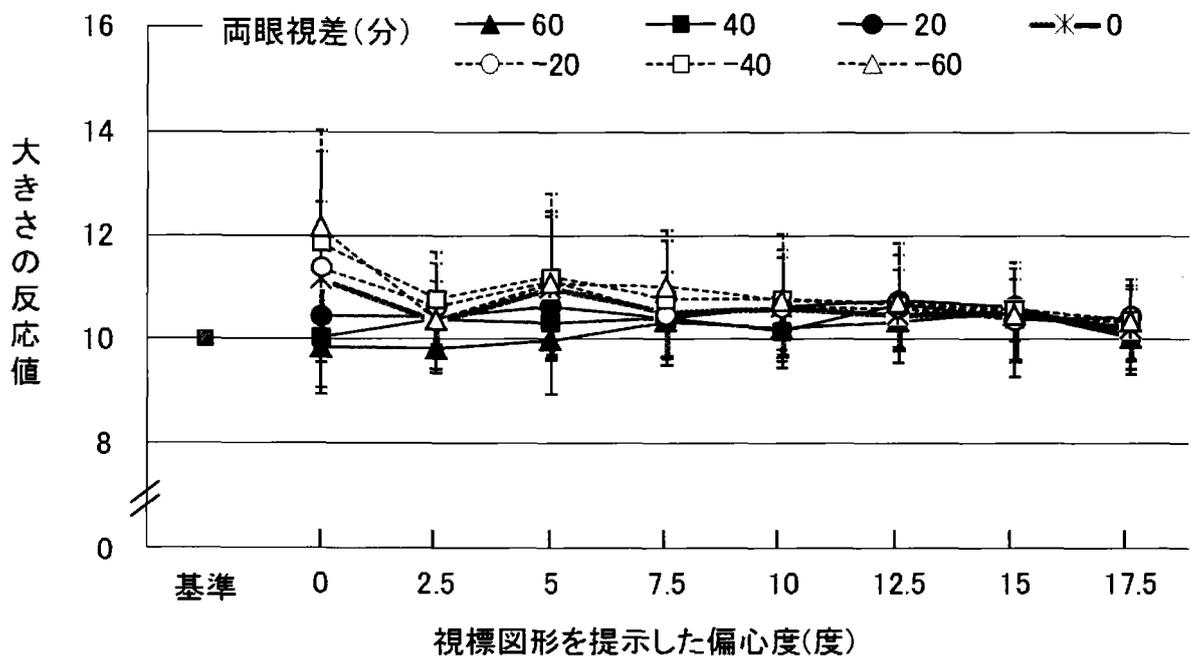


Figure6-5-2 基準図形を固視時に知覚された大きき(■)に対して、各偏心度で知覚された大ききの反応値. 凡例と図内のエラーバーは、Figure6-5-1と同様である。

Figure6-5-2 より交差視差の値が大きいほど小さく知覚され、非交差視差の値が大きいほど大きく知覚されていた。そして偏心度が高いほど、交差、非交差視差ともに差が減少することが示された。

両眼視差の効果が及ぶ偏心度の範囲を検討するために、大きさ知覚量に関して、視差(7水準)と偏心度(8水準)を被験者内要因とする2要因分散分析を行った。その結果、視差 [$F(6, 24) = 7.22, p < .001$] の主効果が見られたが、偏心度 [$F(7, 28) = 2.25, n. s.$] の主効果は見られなかった。また視差×偏心度 [$F(42, 168) = 2.54, p < .001$] の1次の交互作用が有意であった。

次に、視差×偏心度の1次の交互作用における単純主効果を見るため下位検定を行った。その結果、偏心度0度 ($p < .001$) と5度 ($p < .001$) に視差の単純主効果が見られた。これを受けた多重比較で、視差0分と有意差が見られたものは、偏心度0度において交差視差40、60分と非交差視差60分、偏心度5度において交差視差60分のみであった。

これより、大きさ距離不変関係が得られた視野範囲は偏心度5度以内と考えられる。偏心度2.5度に差が確認されていないが、これは非交差視差の視標図形が、基準図形と近接したことで判断が困難になったためと思われる。

6.2.4 考察

実験2では、偏心度17.5度以内の周辺視野において、両眼視差の効果が有効な範囲を検討した。奥行き知覚量を測定した結果、10度を少し超えた範囲までは、奥行きが緩やかに減少するものの両眼視差の効果が確認され、15度から17.5度の範囲が有効な視野範囲の限界だと考えられる。また交差視差より非交差視差の奥行き知覚は偏心度の低い段階から生じにくいことが示された。従来の中心視研究における奥行き知覚の特徴は、予測値に対して交差視差は近い値を示すが非交差視差は非常に小さい値を示す(Patterson & Day, 1995)ことや、ランダムドットステレオグラムを提示した場合、交差視差より非交差視差の方が視覚性誘発電位第2、第3成分の潜時が長くなる(林・宮脇・前田・館, 2001)など、非対称性が示されている。したがって、周辺視野を扱った本研究の結果も、中心視野と同様に交差視差と非交差視差の非対称性が確認された。一方、大きさ知覚の結果から、偏心度5度以内には両眼視差の効果が確認されたが、7.5度以上には差がみられず、ほぼ基準と同じ大きさを知覚していることが示された。この結果は仮説1よりも仮説2に類似する。異なる箇所は、偏心度12.5度まで緩やかに奥行きが減少したことと、偏心度17.5度で両眼視差による奥行きの違いが見られなくなった点である。

6.3 実験3：偏心度17.5度以内の検討 — 解像度の統制の効果 —

6.3.1 目的

実験1で行った偏心度7.5度以内の範囲においては、偏心度による解像度低下の影響が、両眼視差による奥行き知覚に生じないことが示された。一方、実験2で行った偏心度10度以上の範囲においては、奥行き知覚が減少し、偏心度の増加による解像度低下の影響を確認することができた。これはすなわち、同質機能論の立場から考えれば、偏心度7.5度までの範囲で検出された両眼視差が、偏心度10度以上は網膜偏心度効果の関与によって検出できなくなったためと考えられる。それでは、偏心度10度以上の範囲において、各偏心度の解像度を一定にする操作を行うことで、両眼立体視における視野間の見えを等しくすることが可能になるはずである。そこで実験3では、各偏心度で皮質拡大率が等しくなる図形サイズを、偏心度5、10、15度に提示し、奥行きと大きさ知覚量を測定する。

予測として、偏心度10度以上は解像度の影響を受けることが確認されたため、解像度を統制したサイズの図形を提示することで、中心視野とほぼ同程度の奥行きが知覚されると思われる。また、大きさ知覚も、実験1から偏心度ごとの解像度の影響を受けることが示されたため、両眼視差の効果が現れると思われる。

6.3.2 方法

実験参加者 実験2の5名であった。

装置 実験2と同様の装置を用いた。

実験条件 Table6-1に、各偏心度に提示した円図形の大きさを示した。刺激図形の大きさの算出は、実験1と同じく、Ravamo & Virsu (1979) の皮質拡大因子M値(mm/度)に従った。奥行きと大きさの反応値は、実験2と同様の方法で測定した。

Table6-1 各偏心度に提示した円図形の大きさ。

偏心度 (度)	方向	円の直径 (度)	円の直径 (mm)	刺激の名称
0		1.0	1.0	1.0度
5	鼻側	2.7	2.7	2.6度
	耳側	2.5	2.5	
10	鼻側	4.4	4.4	4.1度
	耳側	3.9	3.9	
15	鼻側	6.2	6.2	5.8度
	耳側	5.4	5.4	

実験計画 両眼視差(7水準)と偏心度(3水準)を要因とする被

験者内 2 要因の計画で、知覚された奥行きと大きさの反応値を分析した。

手続き 実験 2 と同様の手順で行った。各試行は 6 回繰り返した。

6.3.3 結果

[奥行き課題]

5 名の各偏心度における奥行きの反応値を平均し、Figure6-6-1 に示した。これより、偏心度が高いほど奥行き知覚に及ぼす両眼視差の効果は減少することが読み取れた。

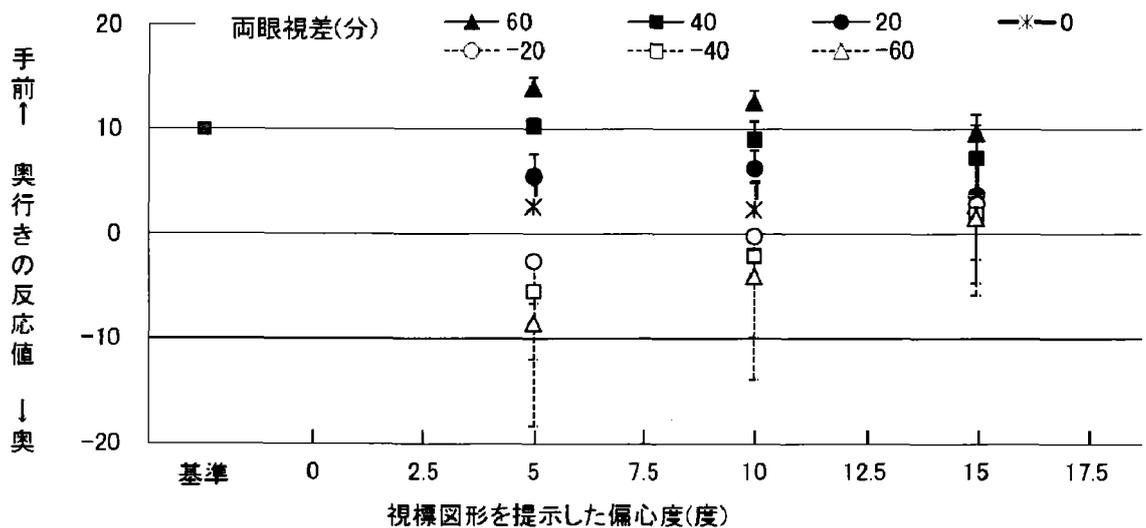


Figure6-6-1 基準図形の知覚された奥行き (■) に対して、自由視条件下で各偏心度において知覚された奥行きの反応値。凡例と図内のエラーバー、ならびに縦軸は、Figure6-5-1 と同様である。

奥行き知覚量に関して、視差 (7 水準) と偏心度 (3 水準) を被験者内要因とする 2 要因分散分析を行った。その結果、視差 [$F(6, 24) = 15.491, p < .001$] の主効果が見られたが、偏心度 [$F(2, 8) = 0.878, n. s.$] の主効果は見られなかった。また視差 × 偏心度 [$F(12, 48) = 14.093, p < .001$] の 1 次の交互作用が有意であった。

次に、視差 × 偏心度の 1 次の交互作用における単純主効果をみるため下位検定を行った。その結果、偏心度 5 度と 10 度 ($p < .001$)、15 度 ($p < .005$) に視差の単純主効果が見られた。これを受けた多重比較で、視差 0 分と有意差が見られたものは、偏心度 5 度は交差、非交差視差 40 分と 60 分であり、偏心度 10 度は交差視差 40 分と 60 分であり、偏心度 15 度は交差視差 60 分のみであった。偏心度 10 度以上

になると非交差視差の効果が見られなくなり、偏心度が高くなるに従い視差の効果は段階的に減少した。実験1の結果と比較すると、偏心度15度において両眼視差の効果が見られており、解像度を統制する操作により、両眼視差の効果が確認できたといえる。

[大きさ課題]

5名の各偏心度における大きさの反応値を平均し、Figure6-6-2に示した。これより、交差視差量が大きいほど小さく、非交差視差量が大きいほど大きく知覚されることが読み取れた。

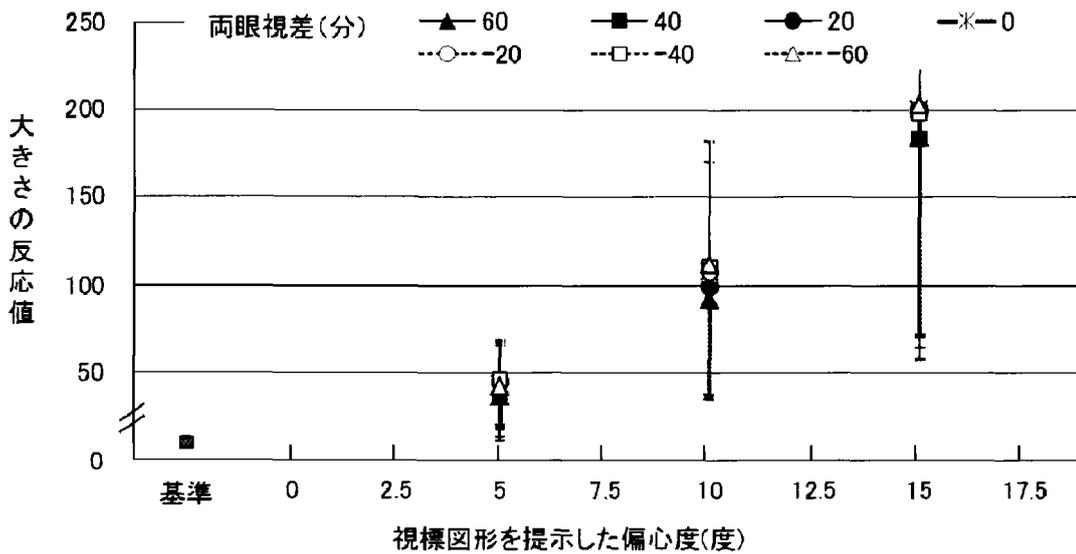


Figure6-6-2 基準図形の知覚された大きさ(■)に対して、自由視条件下で各偏心度において知覚された大きさの反応値。凡例と図内のエラーバーは、Figure6-5-1と同様である。

大きさ知覚量に関して、視差(7水準)と偏心度(3水準)を被験者内要因とする2要因分散分析を行った。その結果、視差 [$F(6, 24) = 8.330, p < .001$] と、偏心度 [$F(2, 8) = 6.413, p < .05$] に主効果が見られた。しかし視差×偏心度 [$F(12, 48) = 1.603, n.s.$] の1次の交互作用は有意でなかった。交互作用が見られないため、各偏心度において大きさ知覚に対する両眼視差の効果を示すことはできなかった。しかし、視差の主効果が見られていることから、両眼視差の効果が生じていないわけではない。分析上、各偏心度において両眼視差の効果が見られない原因は、提示するサイズの面積が、偏心度5度では6倍、偏心度10度では17倍、偏心度15度では22倍となり、大きさの判断にばらつきが大きかったことが、考えられる。

6.3.4 考察

以上をまとめると、奥行き知覚は解像度を一定にそろえる操作を行うことで、より高い偏心度まで両眼視差の効果が生じることがしめされた。ただし、実験3では実験1のように作成したすべてのサイズを各偏心度に提示していない為、図形サイズの影響を取り除いて考えることはできない。しかしながら、サイズが大きくなることで解像度が高くなることにつながる。そのため、周辺視野において両眼視差による奥行き知覚を増加させるためには、本実験の操作は妥当だと考えられる。一方、大きさ知覚は、両眼視差の効果が偏心度5度においても確認することができなかつた。これは、提示する図形サイズの大きさが、反応値のばらつく原因となったとも考えられる。

しかし網膜の特性上、今回得られた結果から、両眼視差の効果が有効な視野範囲を断定することはできない。これは網膜上の盲点の影響を受けた可能性が残るためである。盲点は中心窩から水平径線上の鼻側方向16度付近に存在し、形状は水平約5度、垂直約7度の楕円型である(荳阪, 1994)。実験2と3は固視点から右方向に視標図形を提示したが、実験参加者5名の右眼の盲点位置は15度から18.5度であった。そのため両眼立体視に盲点と偏心度の影響が生じ、両者が交絡した可能性がある。そこで実験4では両眼立体視に対する盲点の影響を取り除くため、偏心度10度から17.5度の視標図形を、盲点範囲に入らないよう上下に移動させて測定する。

6.4 実験4：盲点位置を考慮した上下視野位置による検討

6.4.1 目的

実験2では、偏心度10度以上の奥行き知覚が減少したが、この範囲は両眼立体視に盲点と偏心度の二つの変数が交絡した可能性を残している。そこで、盲点を避けるために偏心度10度から17.5度の視標図形を、水平軸より上下方向に5度移動し、奥行きと大きさの知覚量を測定する。

6.4.2 方法

実験参加者 矯正視力を含む両眼視力が正常な女子大学生及び大学院生、計60名で、平均年齢22.6歳であった。ステレオテスト(半田屋製)を実施し、立体視力が正常であることを確認した。各偏心度に15名ずつ盲点位置を測定した上で割り当てた。

装置 実験2と同様の装置を用いた。

実験条件 刺激図形の配置を Figure6-7 に示した。基準図形は実験 2 と同じ刺激を用いた。視標図形は偏心度が盲点付近の 4 段階 (10、12.5、15、17.5 度) を水平軸より上下方向に視角 5 度分移動し、かつ基準図形からの偏心度条件の距離が、実験 2 と等しくなるよう設定した。そして基準図形の外円図形に対して、実験 2 と同じ 7 条件の両眼視差を設定した。奥行きと大きさの反応値は、実験 2 と同じ方法で測定した。

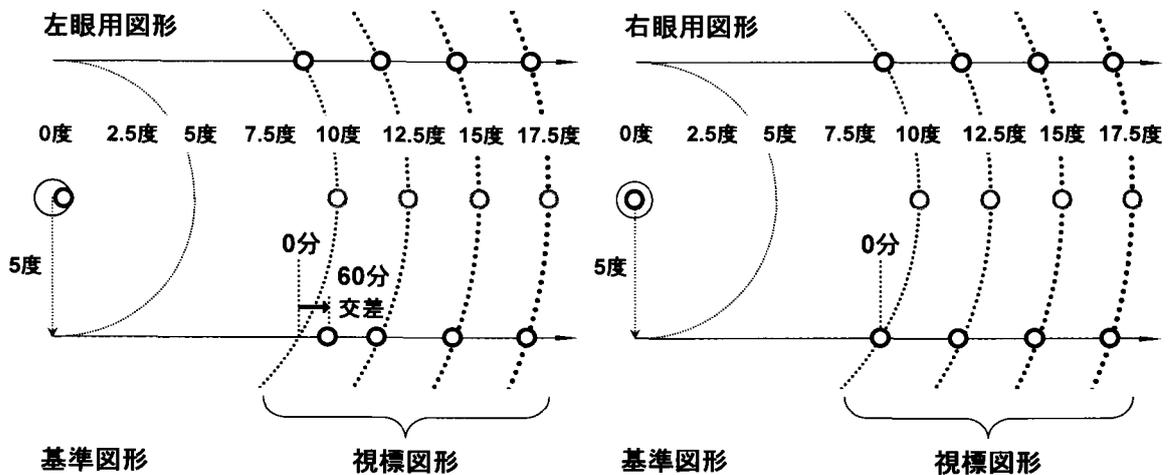


Figure6-7 基準図形(外円図形と内円図形)と、視標図形(円図形のみ)の刺激配置。視標図形は上下方向へ5度移動した位置に提示した。

実験計画 両眼視差(7水準)と上下視野(2水準)を被験者内要因、偏心度(4水準)を被験者間要因とする3要因混合計画で、知覚された奥行きと大きさの反応値を分析した。

手続き 実験 2 と同様の手順で行った。奥行き、大きさ両課題とも基準図形を固視して行い、両刺激は同時提示で判断終了まで持続した。各試行は6回繰り返した。

6.4.3 結果

[奥行き課題]

各偏心度における 15 名ずつの奥行きの反応値を平均し、Figure6-8-1 に示した。これより、交差視差の値が大きいほど手前に知覚されるが、非交差視差は奥行き知覚に差がみられない。そして視野の上下に関らず、偏心度が高いほど両眼視差による違いが減少することが読み取れた。

奥行き知覚量に関して、視差(7水準)と上下視野(2水準)を被験

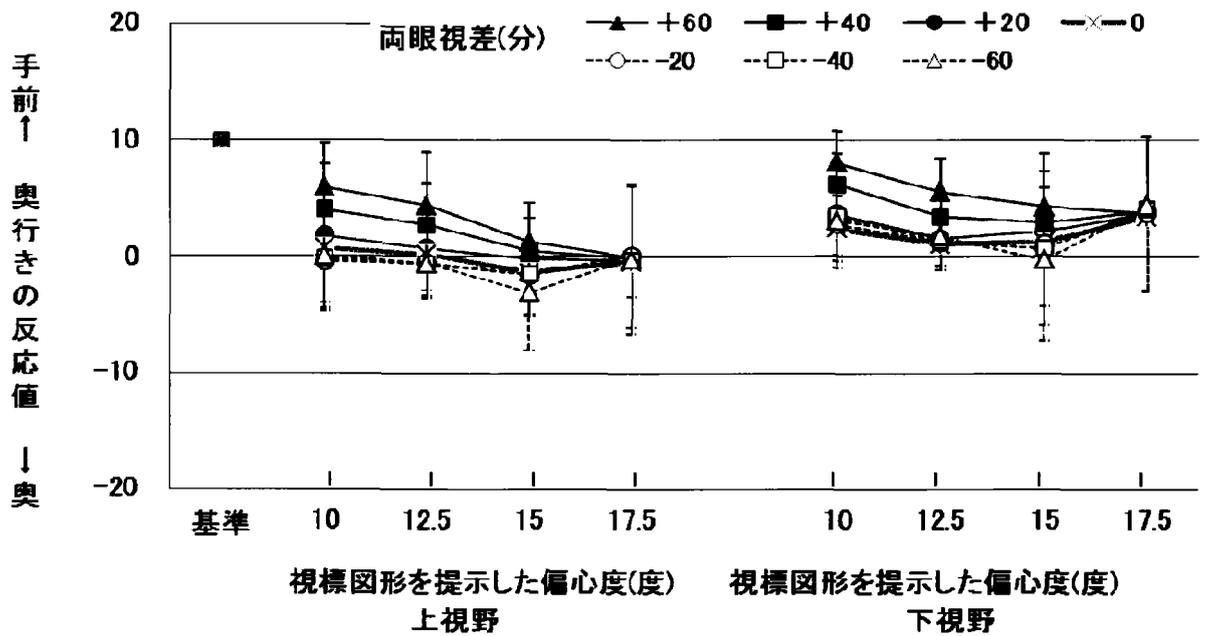


Figure6-8-1 基準図形を固視時に知覚された奥行き(■)に対して、各偏心度で知覚された奥行きの反応値。凡例と図内のエラーバー、ならびに縦軸は、Figure6-5-1と同様である。視標図形の提示位置の上視野を左側に、下視野を右側に示す。

者内要因、偏心度(4水準)を被験者間要因とする3要因分散分析を行った。その結果、視差 [$F(6, 336) = 30.47, p < .001$] および上下視野 [$F(1, 56) = 10.03, p < .005$] の主効果が見られたが、偏心度 [$F(3, 56) = 2.05, n.s.$] の主効果は見られなかった。また視差×偏心度 [$F(18, 336) = 4.51, p < .001$]、および視差×上下視野 [$F(6, 336) = 3.45, p < .005$] の1次の交互作用が有意であった。しかし偏心度×上下視野 [$F(3, 56) = 0.45, n.s.$] の1次の交互作用と、視差×偏心度×上下視野 [$F(18, 336) = 1.11, n.s.$] の2次の交互作用は有意ではなかった。

上下視野の主効果を比較したところ、下視野は上視野より視標を有意に手前に知覚したことを示していた。これより視差による奥行き知覚への影響は生じており、偏心度が高いほど奥行きが減少することが確認された。

次に、視差×偏心度の1次の交互作用における単純主効果をみるため下位検定を行った。その結果、偏心度10、12.5、15度 ($p < .001$) に視差の単純主効果が見られた。続いて行った多重比較では、視差0分と有意差が見られたものは、偏心度10度と12.5度は交差視差40分と60分、15度は交差視差60分であった。以上より、実験2と比較すると、偏心度が高いほど小さな視差から弁別が困難になる点

や、非交差視差は交差視差より偏心度の低い段階で奥行きの有差が消失する点が類似した。しかし実験2は、視差0分と有意差がある視野の範囲が偏心度12.5度以内であるのに対し、実験4は偏心度15度まで拡大した。また盲点を避けた場合でも上下視野とも偏心度17.5度は視差による違いが生じなかった。よって、実験2の水平軸上15度付近は盲点の影響を受けていることが示された。また、盲点の影響を受けない場合でも17.5度では視差による影響は生じないことが示された。

次に視差と上下視野の1次の交互作用から上下視野の単純主効果を見たところ、全ての視差において下視野は上視野より視標を有意に手前に知覚しており、交差視差60分と全ての非交差視差($p < .001$)、交差視差20、40分と視差0分($p < .01$)が有意であった。視野の上下で違いが生じた理由として考えられるのは、Rovamo & Virsu (1979)は、皮質活性量が固視点から上下方向で異なることを述べており、これが上下視野で奥行き知覚が異なる原因のひとつと推測される。

[大きき課題]

各偏心度における15名ずつの奥行きの反応値を平均し、Figure6-8-2に示した。これより、上下視野の位置や偏心度に関らず、両眼視差による違いが生じにくいことが示された。

大きき知覚量に関して、視差(7水準)と上下視野(2水準)を被験者内要因、偏心度(4水準)を被験者間要因とする3要因分散分析を行った。その結果、視差 [$F(6, 336) = 4.36, p < .001$] の主効果が見られたが、偏心度 [$F(3, 56) = 1.45, n. s.$] および上下視野 [$F(1, 56) = 0.38, n. s.$] の主効果は見られなかった。視差×偏心度 [$F(18, 336) = 0.95, n. s.$]、視差×上下視野 [$F(6, 336) = 0.22, n. s.$]、および偏心度×上下視野 [$F(3, 56) = 0.79, n. s.$] の交互作用は有意ではなかった。同様に視差×偏心度×上下視野 [$F(18, 336) = 1.11, n. s.$] の2次の交互作用も有意ではなかった。視差の主効果を受けた多重比較で、視差0分と有意差が見られたものはなかった。しかし非交差視差60分はすべての交差視差より有意に大きく知覚されていた。

以上より、実験2の結果と比較すると、偏心度10度以上でも盲点位置を避けることで、部分的に視差の効果が現れた。また奥行き知覚で確認された上下視野の違いが、大きき知覚では確認されなかった。

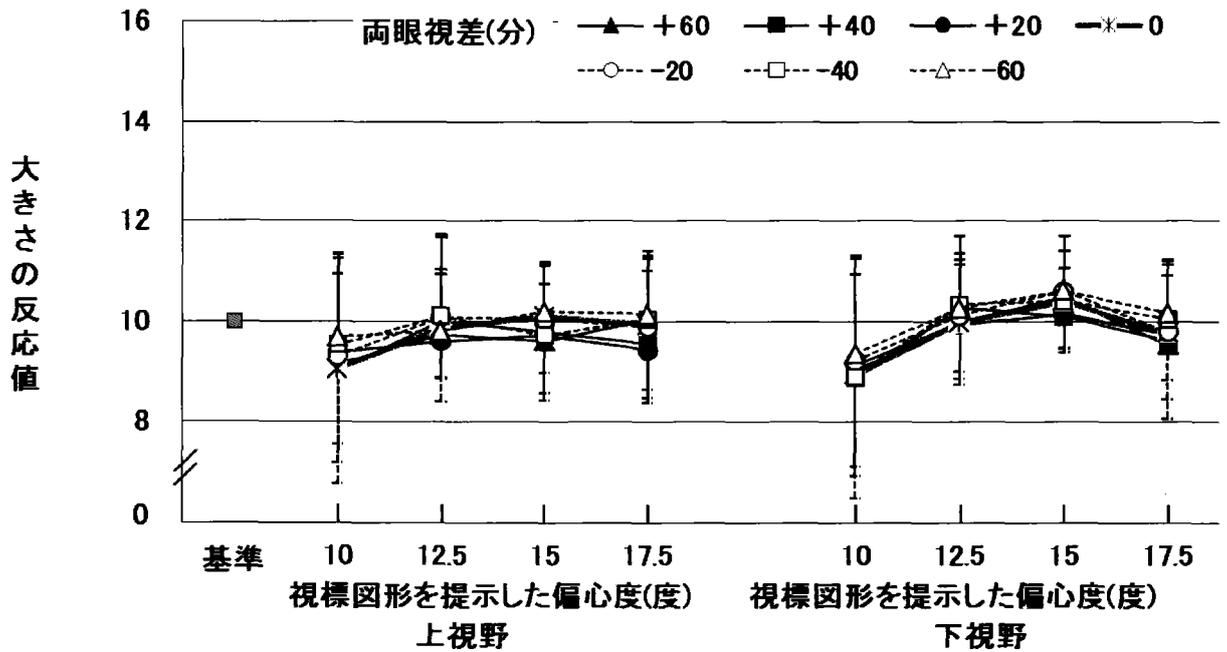


Figure6-8-2 基準図形を固視時に知覚された大きさ(■)に対して、各偏心度で知覚された大きさの反応値。凡例と図内のエラーバーは、Figure6-5-1と同様である。視標図形の提示位置の上視野を左側に、下視野を右側に示す。

6.4.4 考察

ここまでの実験では、偏心度0度の図形を固視した視線固定条件のもとで、基準図形の外円図形と周辺視野に提示した視標図形との間に知覚される奥行きを調べてきた。その結果、盲点を考慮した状態で偏心度15度までは両眼立体視が可能であることが示された。すなわち、奥行き知覚に関しては、水平軸上の偏心度15度付にある盲点が影響しているが、これを避ければ偏心度15度でも両眼視差の効果が得られることが示された。一方、大きさ知覚については盲点を避けた状態でも両眼視差の効果は確認されず、偏心度5度以内が有効範囲であることが示された。ただし、実験3の結果では、視標図形を水平軸上の偏心度15度に提示しても両眼視差の効果が確認された。この原因として、提示した図形サイズが盲点と同じ、もしくは上回るサイズであったために、盲点の影響を受けなかったためではないかと考える。

しかし、以上の実験結果からだけでは、周辺視野の両眼視差効果の減少が、解像度の影響のみとは判断できない。なぜなら、図形の提示位置が視野の周辺部になるほど、中心視野に提示した基準図形から離れることになる。奥行きを比較する2刺激が離れすぎると、

比較判断は困難になり立体視力が減少する(McKee, 1983)ためである。つまり、高偏心度ほど比較判断の困難さがあるため、知覚に影響を及ぼすと考えられる。そこで、実験4では両視野に提示された図形を見比べて奥行きや大きさを判断する課題を行う。先ほどの実験2で行った、中心視野に提示された図形を固視しながら周辺視野の図形の奥行きや大きさを判断する課題と比較することで、周辺視野のみで得られる奥行きが中心視野と比較して減少しているかを検討する。また、基準図形と視標図形の配置は実験2と同じため、周辺視野に提示したために奥行知覚が減少したのか、比較する基準図形と視標図形の距離が離れすぎたために減少したのかを、明らかにすることができる。

なお、本研究で述べる固定視は、眼球の運動を全て静止させた場合ではなく、観察者の意思で単一対象への固視を維持する状態、という意味である。また自由視は、身体、頭部の運動は行わず、眼球のみの運動によって、視る対象を変える状態を示す。

6.5 実験5：偏心度17.5度以内の検討 —自由視条件—

6.5.1 目的

基準図形と視標図形を見比べた際の両眼立体視を検討するため、両図形を眼球運動のみで交互に見比べ、奥行きと大きさ知覚量を測定する。予測として、中心視野は網膜上の錐体細胞の分布が多いことや、視覚野における皮質活性領域の面からも感度がよいため、視標図形を中心視野で捉えることで、自由視は固定視より奥行き感が増すと考えられる。頭部や身体を固定した眼球運動のみで図形の見比べを行うと、両眼視差は一定となるため、固視時と自由視時の奥行き感に差異が生じない可能性もある。確かに日常の体験からも、対象を見比べたことで大幅な奥行き感の変化を感じることはないが、これは、第2章で説明した他要因による影響も考えられるため、両眼視差のみに関しては、固定視と自由視の結果は異なると考える。

6.5.2 方法

実験参加者 実験2と同じ5名であった。

装置 実験2と同様の装置を用いた。

実験条件 実験2と同様の刺激を用いた。奥行きと大きさの反応値は、実験2と同様の方法で測定した。

実験計画 両眼視差(7水準)と偏心度(7水準)を要因とする被

験者内 2 要因の計画で、知覚された奥行きと大きさの反応値を分析した。

手続き 実験 2 と同様の手順で行った。ただし奥行き、大きさ両課題とも基準図形と視標図形を交互に見比べて判断した。各試行は 6 回繰り返した。

6.5.3 結果

[奥行き課題]

5 名の各偏心度における奥行きの反応値を平均し、Figure6-9-1 に示した。これより、偏心度が高いほど両眼視差による奥行きの違いが減少することが読み取れた。

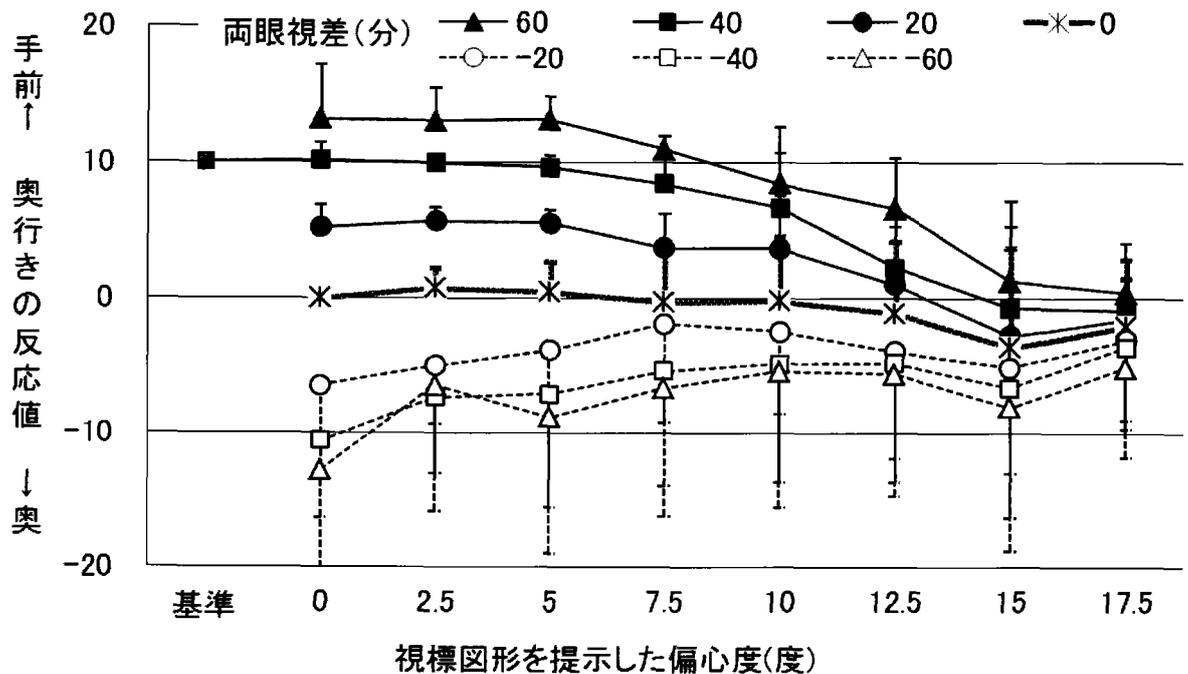


Figure6-9-1 基準図形の知覚された奥行き(■)に対して、自由視条件下で各偏心度において知覚された奥行きの反応値. 凡例と図内のエラーバー、ならびに縦軸は、Figure6-5-1 と同様である。

奥行き知覚量に関して、視差(7水準)と偏心度(7水準)を被験者内要因とする2要因分散分析を行った。その結果、視差 [$F(6, 24) = 13.41, p < .001$] と偏心度 [$F(6, 24) = 3.60, p < .05$] の主効果が見られた。また視差×偏心度 [$F(36, 144) = 10.99, p < .001$] の1次の交互作用が有意であった。

次に、視差×偏心度の1次の交互作用における単純主効果をみるため下位検定を行った。その結果、偏心度0度から12.5度($p < .001$)と、15度($p < .005$)に視差の単純主効果が見られた。これを受けた多重比較で、視差0分と有意差が見られたものは、偏心度2.5度は交差、非交差視差とも20分以上全てだが、偏心度12.5度は交差視差60分のみであった。偏心度2.5度から12.5度へと高くなるに従い視差の効果は段階的に減少し、偏心度5度以外は実験1の固定視と同様の結果となった。偏心度15度は交差、非交差視差とも視差0分と有意差がなかった。ただし非交差視差60分は交差視差40、60分より、同じく非交差視差40分は交差視差60分より有意に奥へ対象を知覚していた。

以上より対象を見比べた時の奥行き知覚は、実験3と同様に偏心度が高いほどより大きな両眼視差が必要であること、そして交差、非交差視差60分以内で視差0分との間に差が生じるのは、偏心度12.5度以内であると示された。偏心度15度に両眼視差の影響が生じた原因は、実験3の固定視条件と異なり、見比べることで盲点の影響が取り除かれたためと思われる。自由視条件でも、従来を中心視の実験(Patterson & Day, 1995、林他, 2001)と同様に、交差視差より非交差視差の影響が偏心度の低い段階から生じにくい結果が得られた。

[固定視と自由視との比較]

次に、実験2の固定視条件と実験4の自由視条件の比較を行った。固定視条件と自由視条件の奥行き知覚を比較するため、両実験のデータを合わせ、視差(7水準)と偏心度(7水準)と視線(2水準)を被験者内要因とする3要因分散分析を行った。その結果、視差[$F(6, 4) = 14.98, p < .001$]と偏心度[$F(6, 24) = 3.14, p < .001$]と視線[$F(1, 4) = 17.23, p < .05$]の主効果が見られた。

また視差×偏心度[$F(36, 144) = 14.95, p < .001$]の1次の交互作用が有意であったが、視差×視線[$F(6, 24) = 0.47, n. s.$]、および偏心度×視線[$F(6, 24) = 1.88, n. s.$]の1次の交互作用は有意ではなかった。

主効果が見られた視線の条件を比較したところ、自由視は固定視より視標を有意に奥へ知覚していた。特に非交差視差に関して、自由視は固定視より図形を奥へ知覚していることから、固定視では非交差視差の奥行き知覚の判断が難しいが、自由視では容易になることが示唆された。類似した実験として、Rady & Ishak (1995)は、偏心度7、14、25、40、52度の実空間に視標図形を提示し、基準図形と視標図形を見比べた場合の立体視力を測定した。実験中、基準図形から視標図形への移動は1回のみであった。その結果、固定視、

自由視とも偏心度が高いほど立体視力は減少するが、固定視より自由視の立体視力が広い視野範囲で生じることが示された。これらの類似した結果は、刺激の提示方法や観察距離が異なる点を踏まえても、実際空間の見えと類似した傾向があると考えられる。

[大きさ課題]

5名の各偏心度における大きさの反応値を平均し、Figure6-9-2に示した。これより、交差視差量が大きいほど小さく、非交差視差量が大きいほど大きく知覚されることが読み取れた。

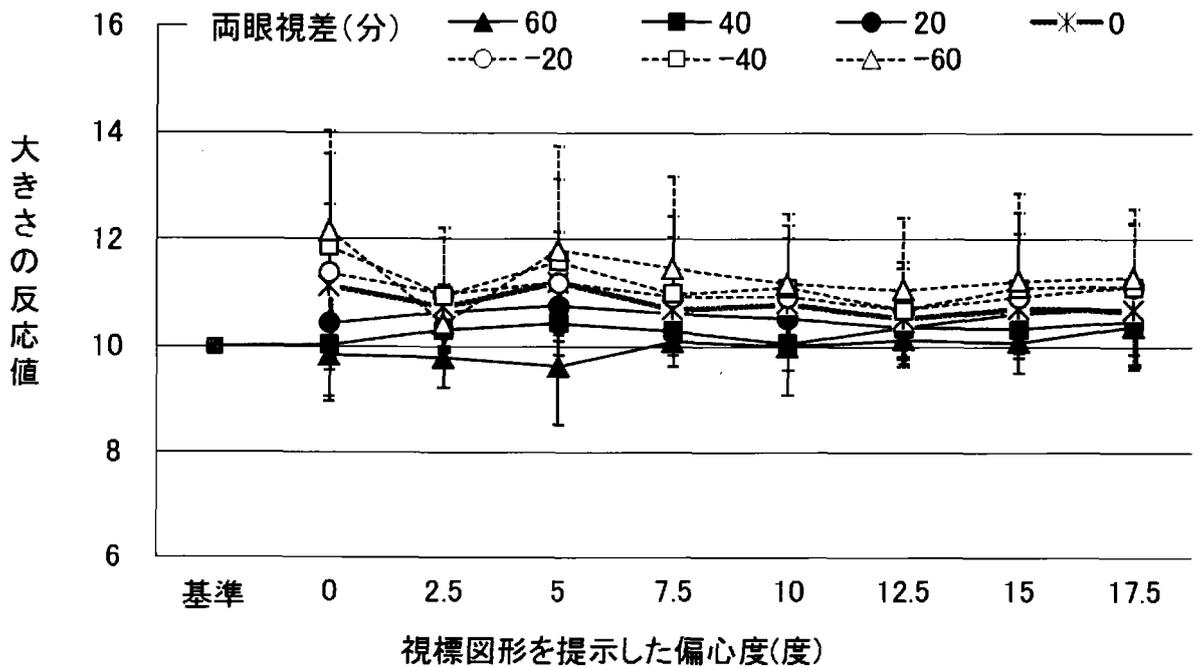


Figure6-9-2 基準図形の知覚された大きさ(■)に対して、自由視条件下で各偏心度において知覚された大きさの反応値。凡例と図内のエラーバーは、Figure6-5-1と同様である。

このことを確認するため、大きさ知覚量に関して、視差(7水準)と偏心度(7水準)を被験者内要因とする2要因分散分析を行った。その結果、視差 [$F(6, 24) = 3.167, p < .001$] の主効果が見られたが、偏心度 [$F(6, 24) = 2.130, n. s.$] の主効果は見られなかった。また視差×偏心度 [$F(36, 144) = 1.450, n. s.$] の1次の交互作用は有意でなかった。視差の主効果における多重比較の結果、非交差視差60分が交差視差60分より有意に大きく知覚されていた。そして固定視では偏心度5度の視差による有意差が見られたが、自由視では見られない結果になった。

[固定視と自由視との比較]

次に、実験2の固定視条件と実験4の自由視条件の比較を行った。固定視条件と自由視条件の大きさ知覚を比較するため、両実験のデータを合わせ、視差(7水準)と偏心度(7水準)と視線(2水準)を被験者内要因とする3要因分散分析を行った。その結果、視差 [$F(6, 24) = 4.52, p < .005$] の主効果が見られたが、偏心度 [$F(6, 24) = 2.07, n. s.$] と視線 [$F(1, 4) = 0.66, n. s.$] の主効果は見られなかった。また、視差×偏心度 [$F(36, 144) = 2.08, p < .005$] の1次の交互作用が有意であった。しかし視差×視線 [$F(6, 24) = 1.35, n. s.$]、および偏心度×視線 [$F(6, 24) = 1.34, n. s.$] の1次の交互作用、ならびに視差×偏心度×視線 [$F(36, 144) = 0.73, n. s.$] の2次の交互作用も有意でなかった。これより大きさ知覚が受ける視差の効果は、固定視、自由視ともに差が無いことが示された。

6.5.4 考察

以上をまとめると、奥行き知覚は固定視条件より自由視条件の方が、両眼視差の効果が生じる偏心度が広範であった。しかし自由視であっても偏心度0度並みの見え方はせず、偏心度が高いほど両眼視差の効果は減少し、視差の差が生じるのは最大で偏心度15度までであった。つまり、眼球運動を用いて対象を中心視で捉えたとしても、提示された基準図形と視標図形間の距離が水平方向に広がるほど、両眼立体視は困難になると思われる。一方大きさ知覚は、固定視で確認された偏心度5度の両眼視差による違いが、自由視では消失した。これより、自由視は奥行き知覚の得られる視野が広範囲となるが、それに応じた大きさ知覚への変化が得られなかった。

次に本章でしめされた課題点を述べる。まず偏心度2.5度の位置において、非交差視差の効果が生じなかった点である。この理由として、基準図形と偏心度2.5度の非交差視差の視標図形の位置が接近していたことあげられる。そのため、次の第7章では提示間隔を5度ステップとし、この問題を解消する。次に、内政報告から、高偏心度ほど基準面が曖昧になるため、判断が難しいという内容を得た。基準面の不安定さが、奥行き知覚への要因となるため、これを解消するために、第7章では、周辺視野に基準となる円図形を提示する条件を設け、設けない条件との比較を行う。

6.6 結論

第6章では、偏心度17.5度以内の周辺視野における交差、非交差視差による奥行き知覚と大きさ知覚、並びに両知覚の関係が中心視

野と同じ性質を示すのかについて検討した。まず実験2では、偏心度0度の基準図形を固視しながら、基準図形から水平軸上の偏心度17.5度以内に両眼視差を設定した視標図形を提示し、奥行きと大きさ知覚量を測定した。その結果、両眼視差による奥行き知覚は、偏心度が高いほど小さな視差から弁別が困難になった。偏心度12.5度までは、交差視差60分は視差0分より奥行きが有意に手前に知覚されたが、それ以上の偏心度ではその差が消失した。一方大きさ知覚は、偏心度5度を越えた範囲から視差による差が急激に失われ、大きさ距離不変関係が認められなくなった。

次に実験3では、実験2で得られた結果が、解像度の影響であるならば、偏心度10度以上の範囲において、各偏心度の解像度を一定にする操作を行うことで、両眼立体視における視野間の見えを等しくすることが可能であるかを検討するために行った。その結果、偏心度15度において両眼視差の効果が見られたため、解像度の影響を受けていることが確認できた。また大きさ知覚にも視差の主効果が見られた。以上より、偏心度10度以上においても解像度を統制する操作は有効であり、解像度を高くすることで両眼視差の効果を生じさせることが可能であることが示された。

さらに実験4では、先の実験結果に盲点の影響が含まれる可能性について検討した。偏心度10度から17.5度の視標図形を水平軸より上下に5度ずつ移行した位置に提示し、偏心度0度の基準図形を固視しながら、奥行きと大きさ知覚量を測定した。その結果、盲点の影響を避けると両眼立体視可能な視野の範囲が拡大し、大きさ距離不変関係が生じることが明らかになった。

最後に実験5では、周辺視野のみで得られる奥行き知覚が、中心視野と比較して減少するののかという問題と、奥行きを比較する2刺激が離れすぎることによって、比較判断が困難になり立体視力の減少を招く(McKee, 1983)ことが関与していたのかを検討するため、基準図形と視標図形を自由視条件で観察した。その結果、奥行き知覚は偏心度が高いほど小さな視差から弁別が困難になり、視標図形を中心視で捉えても、基準図形との距離が離れるほど奥行き知覚量は減少することが示された。しかし固定視条件とは異なり、偏心度15度まで両眼視差による効果が生じた。また自由視は固定視より視標を有意に奥へ知覚していた。この原因は、中心視野が網膜上の錐体細胞の分布が多く、視覚野における皮質活性領域の感度が良いという点と、視標図形を中心視で捉えたことにより盲点を避けられた点が影響していると考えられる。しかし自由視によって奥行き知覚が得られる視野が広範囲になったとしても、それに応じた大きさ知覚への変化は得られないことが示された。

第 7 章

偏心度 30 度以内の両眼視差による奥行き知覚

7.1 問題

第 6 章では偏心度 20 度以内の両眼立体視について検討した。交差、非交差視差 60 分までの刺激図形を提示した結果、17.5 度では奥行きは知覚されなくなることが示された。奥行きがないという反応は、基準面と同じ奥行面に刺激を知覚していると言える。ただし、これ以上の範囲において、奥行きが知覚されない状態が維持されるのかは問題として残る。そこで、偏心度 20 度以上の範囲における奥行き知覚について、実験手法に見直しを加え再検討する。よって第 7 章では、実験参加者の前額平行面位置に設置したスクリーンに刺激図形を提示し、参加者の見えの前額平行面を基準として奥行きを測定する。また、第 6 章の内省として、視標図形を固視点から右方向へ提示し、中心視野の図形が属している見えの前額平行面を基準に奥行きを反応させる方法では、見えの前額平行面自体の不安定さが生じ、高偏心度ほど反応の難易度が高くなるという報告を受けた。さらに、奥行きを比較すべき 2 刺激の隔たりが大きすぎると比較判断が困難となり、立体視力が減少 (McKee, 1983) した可能性が考えられる。そのため、第 6 章までの実験方法と合わせて、周辺視野に提示した 2 対象間の奥行きを評定させる方法で実験を行う。

そこで、第 7 章では 2 つの方法を用いることにする。まず 1 つめは、周辺視野内に手がかり図形が提示されず、中心視野の図形が属している見えの前額平行面を基準に、周辺視野に提示した図形の奥行きを評定させる方法である。そして 2 つめは、周辺視野に基準となる手がかり図形と、視標となる図形を提示し、2 対象間の奥行きを評定させる方法である。この 2 つの方法は、基準図形と視標図形の提示位置は同じであるが、参加者が判断する奥行きには違いが生じる。そこで両者の幾何学的な物理量を算出して、比較を行う。

予測結果は以下のようなになる。用いる条件は、本実験の変数である偏心度 7 水準 (0、5、10、15、20、25、30 度)、両眼視差 6 水準 (20、40、60 分の交差視差と非交差視差) を要因とし、奥行きと大きさの推定値を図示する。まず、偏心度 10 度以上も奥行きは知覚されるが 15 度にかけて急激に減少し、20 度では奥行きが収束する。また 20 度以上は奥行きがないと言う反応が得られる。これは網膜上の対応点に像が結像されていることを知覚した結果といえる。すなわち 20 度以上は網膜像差として非対応点の検出は出来ず、ほぼ同一の対応点だと判断していることになる。一方大きさ知覚も偏心度 5

度より偏心率が高くなると差がみられなくなると思われる。その予測を図示すると、奥行き知覚は Figure7-1-1、大きさ知覚は Figure7-1-2 のようになる。

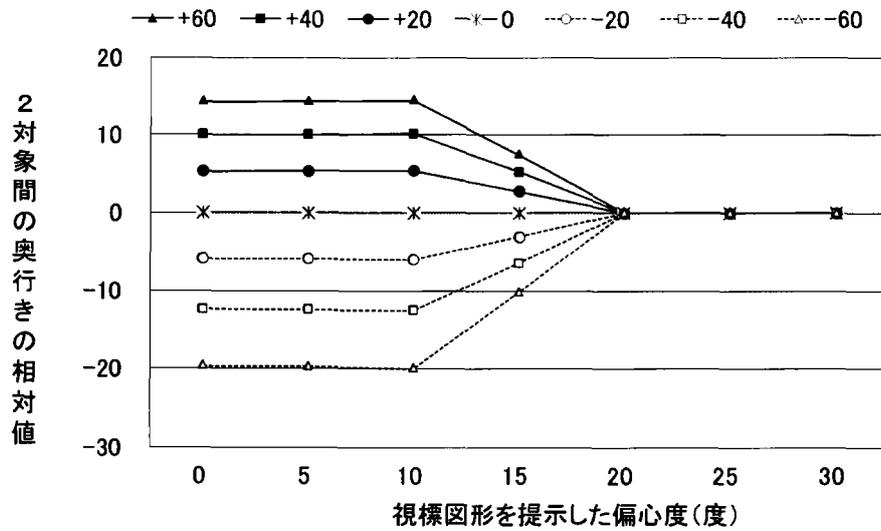


Figure7-1-1 仮説からの奥行き反応値の予測.

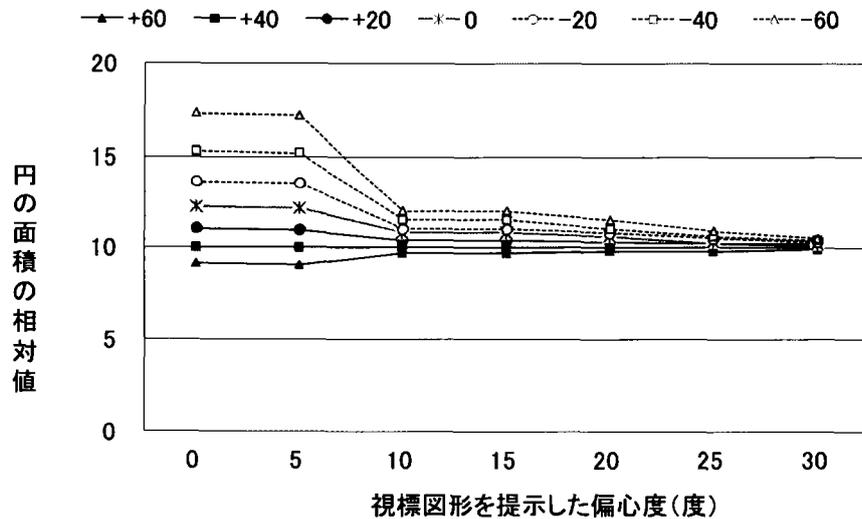


Figure7-1-2 仮説からの大きさ反応値の予測.

7.2 実験6：偏心率30度以内の検討 — 観察距離の効果 —

7.2.1 目的

偏心率30度以内の範囲における両眼立体視を検討するため、輪郭線図形を各偏心率に提示して、両眼視差による奥行きと大きさ知覚について測定する。また両眼視差の値から幾何学的に推定される像

の位置を算出し、奥行き知覚量との比較を行う。

7.2.2 方法

実験参加者 矯正視力を含む両眼視力が正常な女子大学生及び大学院生、計7名で、平均年齢23.4歳であった。ステレオテスト(半田屋製)を実施し、立体視力が正常であることを確認した。

装置 刺激作成には Adobe Illustrator 10 と Microsoft PowerPoint を使用した。実験制御用のノート型パーソナルコンピュータ(TOSHIBA WindowsXP)の出力をプロジェクター(Epson MEP-1705)に接続し、Microsoft PowerPointの画面を観察面となるリアスクリーン(キモト RUM60N1)に提示した。スクリーンの輝度は、左眼の基準図形位置は平均 29.24cd./m^2 、視標図形位置は平均 17.70cd./m^2 であった。右眼の基準図形位置は平均 39.02cd./m^2 、視標図形位置

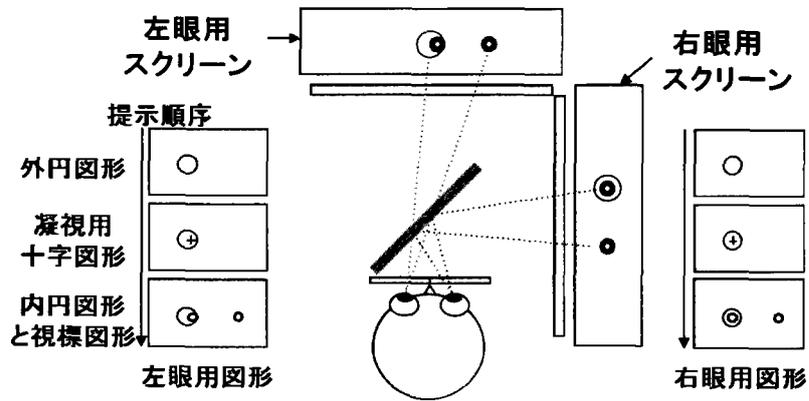


Figure7-2-1 図形を周辺視野に提示する装置の見取り図.

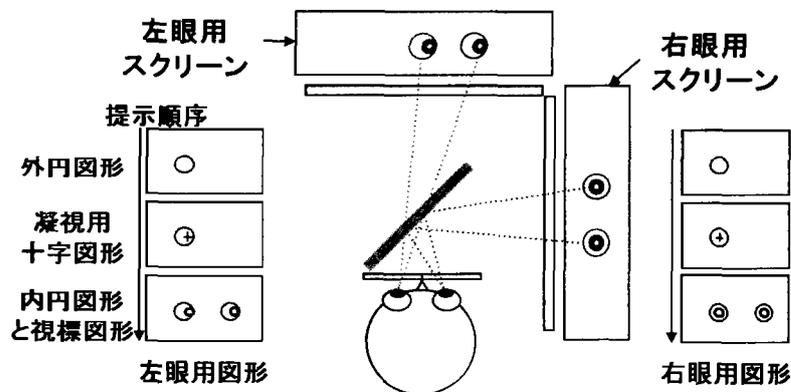


Figure7-2-2 図形を周辺視野に提示する装置の見取り図.

は平均 29.70cd./m²であった。Figure7-2-1 と Figure7-2-2 に示すように、左右眼前とスクリーン前のミラー式ビームスプリッターを介して、右眼用図形は反射し、左眼用図形は透過して、各スクリーンの映像を観察できるステレオスコープを作成した。このビームスプリッターは、縦 254×横 356×厚み 3cm であり、反射率 50%、透過率 50%であった。実験参加者の頭部を固定するため、観察位置に顎台を設置した。

実験条件 刺激図形の配置を Figure7-3-1 と Figure7-3-2 に示した。Figure7-3-1 は、見えの前額平行面からの奥行きを報告する条件で提示した。基準図形は偏心度 0 度に提示した。これは、直径が視角 2 度の外円図形と、その位置から 40 分の交差視差を設定した直径が視角 1 度（観察距離 57.3cm で直径 10mm）の内円図形であった。視標図形は、偏心度 0、5、10、15、20、25、30 度の 7 段階に提示

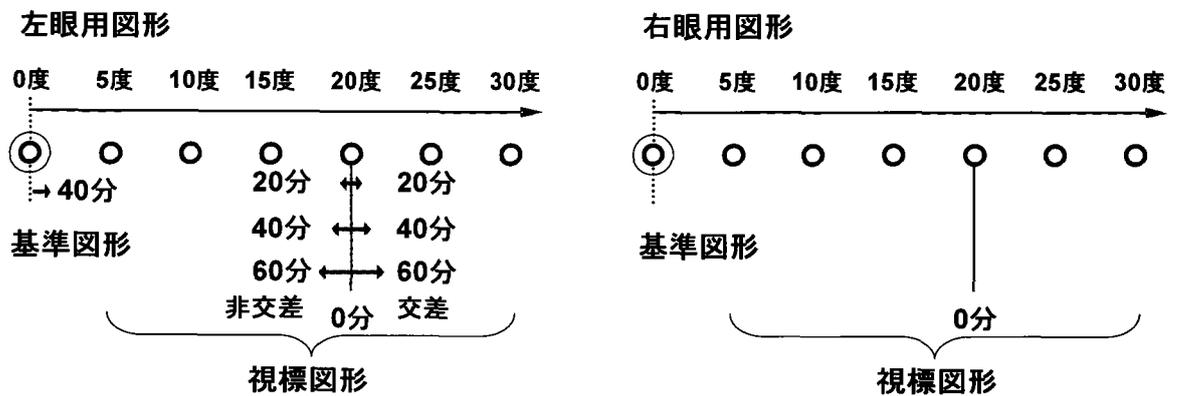


Figure7-3-1 基準図形（外円図形と内円図形）と視標図形（円図形のみ）の刺激配置。

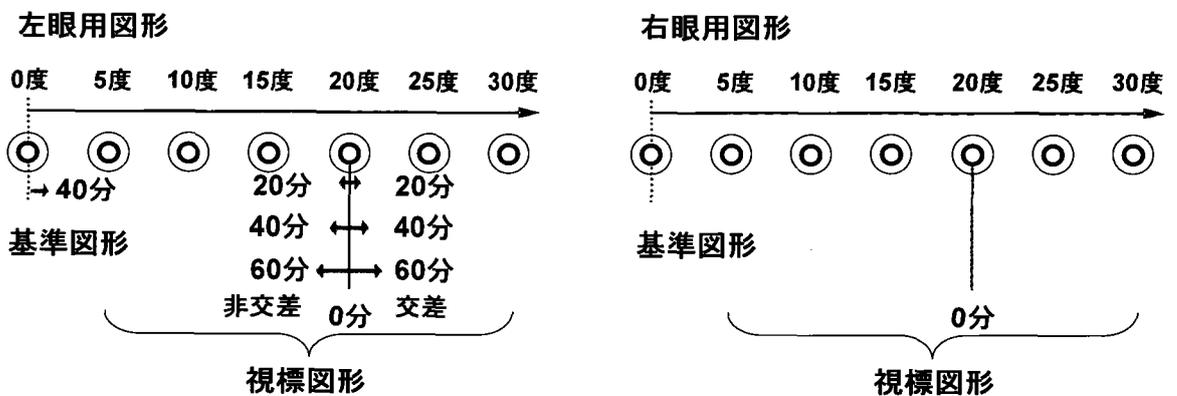


Figure7-3-2 基準図形（外円図形と内円図形）と視標図形（外円図形と内円図形）の刺激配置。

した。これは直径が視角1度の円であった。基準図形の外円図形に対する視標図形の両眼視差は20、40、60分の交差視差と非交差視差、視差なし0分の7水準であった。Figure7-3-2は、2対象間の奥行きを報告する条件で提示した。基準図形は偏心度0度に提示した。これは、直径が視角2度の外円図形と、その位置から40分の交差視差を設定した直径が視角1度の内円図形であった。視標図形は、偏心度0、5、10、15、20、25、30度の7段階に提示した。これは直径が視角2度の外円図形と、直径が視角1度の内円図形であった。基準図形の外円図形に対する視標図形の内円図形の両眼視差は20、40、60分の交差視差と非交差視差、視差なし0分の7水準であった。

実験計画 両眼視差(7水準)と偏心度(7水準)を要因とする被験者内2要因の計画で、知覚された奥行きと大きさの反応値を分析した。

手続き 実験参加者はFigure7-2の装置の観察窓に向かって着席し、スクリーンに提示される基準図形までの観察距離が各眼から57.3cmになるよう、顎台を用いて頭部を固定された。その後、左右眼の図形に提示位置の差が生じないように、正面と右側のスクリーンを同時提示し、両眼で見て両スクリーンの外円図形が一つに重なっているかを確認した。左側のスクリーンも同様に調節を行い、実験を開始した。

[奥行き・大きさ課題]

Figure7-2に示すように、予めスクリーンには基準図形の外円図形が提示されていた。実験参加者は偏心度0度に1000ms提示される十字図形に視線を向けた。十字図形消失と同時に、基準図形の内円図形と偏心度5度から30度までのいずれかに視標図形が提示された。視標図形を0度に提示する場合のみ、実験参加者が基準図形の奥行きと大きさを記憶できた段階で合図を行い、実験者が画面を視標図形に切り替える継時提示を行った。

[見えの前額平行面からの奥行き・大きさ課題]

Figure7-4-1に示すように、奥行き課題は基準図形の外円図形と内円図形との間に知覚された奥行きを10(基準)として、基準図形の外円図形が属する見えの前額平行面と、偏心度5度から30度のいずれかに提示される視標図形との間に知覚された奥行きを応答した。この際、視標図形が外円図形と同じ面にあると知覚した場合は、0と応答するように教示した。同時に大きさ課題は、基準図形の内円図形の知覚された大きさを10(基準)として、視標図形の知覚された

大きさを応答した。この際、判断基準を保つため、常に図形の知覚された大きさ(面積)で評価し、円の直径で評価しないように教示した。例えば、基準図形の内円図形の直径に対し、視標図形の直径が2倍に知覚された場合でも、参加者は20とは応答せず、円の面積について応答した。刺激図形は判断終了まで提示された。両課題とも0度の基準図形を固視して行うため、実験参加者は本試行前に固視を維持して判断できるように、練習試行を繰り返した。本試行の図形観察中に、固視点以外の対象に視線を向けてしまった場合は、その旨を実験者に報告するよう教示した。この場合、提示図形を変更してやり直しを行うものとした。

奥行きと大きさの課題順序は、実験参加者内でカウンターバランスをとった。1名の総試行数は偏心度(7水準)と両眼視差(7水準)×繰返し(6試行)の計294試行行った。両眼視差の提示順序はランダムとし、報告はすべて口頭で行った。1名あたりの全体の所要時間は平均250分であった。実験は繰返し数と同じ6ブロックに分け、ブロックの区切りごとに設けた休憩時間の長さは参加者の必要に応じて取ることにした。

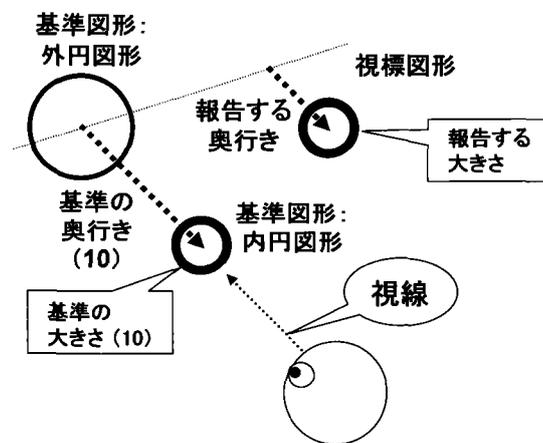


Figure7-4-1 ステレオグラム観察時に知覚される奥行きと大きさの判断方法。周辺視野に提示された視標図形と基準となる見えの前額平行面の奥行きを報告させる方法。

[2対象間の奥行き・大きさ課題]

Figure7-4-2 に示すように、奥行き課題は基準図形の外円図形と内円図形との間に知覚された奥行きを10(基準)として、偏心度5度から30度のいずれかに提示される視標図形の外円図形と内円図形との間に知覚された奥行きを応答した。この際、視標図形が外円図形と内円図形が同じ面にあると知覚した場合は、0と応答するよう

に教示した。同時に大きさ課題は、基準図形の内円図形の知覚された大きさを10(基準)として、視標図形の内円図形の知覚された大きさを応答した。この際、判断基準を保つため、常に図形の知覚された大きさ(面積)で評価し、円の直径で評価しないように教示した。例えば、基準図形の内円図形の直径に対し、視標図形の直径が2倍に知覚された場合でも、参加者は20とは応答せず、円の面積について応答した。刺激図形は判断終了まで提示された。両課題とも0度の基準図形を固視して行うため、実験参加者は本試行前に固視を維持して判断できるように、練習試行を繰り返した。本試行の図形観察中に、固視点以外の対象に視線を向けてしまった場合は、その旨を実験者に報告するよう教示した。この場合、提示図形を変更してやり直した。

奥行きと大きさの課題順序は、実験参加者内でカウンターバランスをとった。1名の総試行数は偏心度(7水準)と両眼視差(7水準)×繰り返し(6試行)の計294試行行った。両眼視差の提示順序はランダムとし、報告はすべて口頭で行った。1名あたりの全体の所要時間は平均250分であった。実験は繰り返し数と同じ6ブロックに分け、ブロックの区切りごとに設けた休憩時間の長さは参加者の必要に応じて取ることにした。

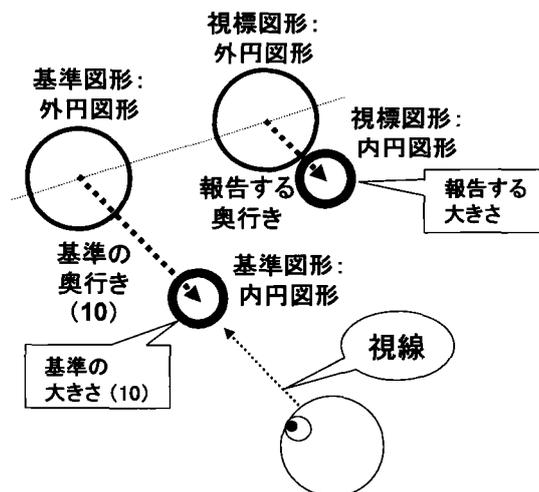


Figure7-4-2 ステレオグラム観察時に知覚される奥行きと大きさの判断方法。周辺視野に提示された視標図形の外円図形と内円図形との奥行きを報告させる方法。

7.2.3 結果

[見えの前額平行面からの課題]

[奥行き課題]

7名の各偏心度における奥行きの反応値を平均し、Figure7-5-1

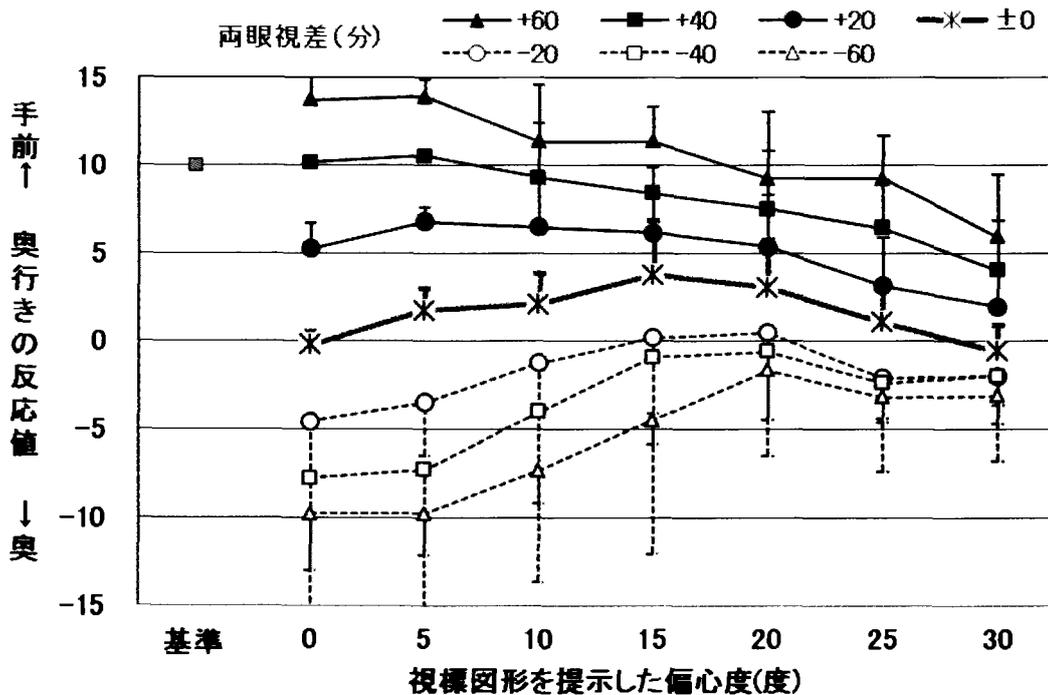


Figure7-5-1 基準図形を固視時に知覚された奥行き(■)に対して、各偏心度で知覚された奥行きの反応値。図内のエラーバーは各値の標準偏差を示した。縦軸の0は基準の外円図形と同じ奥行きを示し、上方向は外円図形より手前、下方向は奥を示した。

に示した。

Figure7-5-1 より、交差視差の値が大きいほど手前に、非交差視差の値が大きいほど奥に知覚された。そして偏心度が高くなるに従い、交差、非交差視差とも徐々に差が減少することが読み取れた。

両眼視差の効果が及ぶ偏心度の範囲を検討するために、奥行き知覚量に対し、視差(7水準)と偏心度(7水準)を被験者内要因とする2要因分散分析を行った。その結果、両眼視差 [$F(6, 36) = 42.71, p < .001$] と、偏心度 [$F(6, 36) = 3.15, p < .05$] の主効果がみられ、また視差×偏心度 [$F(36, 216) = 9.50, p < .001$] の1次の交互作用が有意であった。

次に、視差×偏心度の1次の交互作用における単純主効果をみるため下位検定を行った。その結果、すべての偏心度 ($p < .001$) に両眼視差の単純主効果がみられた。これを受けた多重比較では、視差0分の奥行きと有意差があるのは、偏心度0と5度は交差、非交差視差ともに20、40、60分との間に有意差がみられた。しかし偏心度が高くなるに従い、小さな視差から有意差がみられなくなった。偏心度20度は交差視差60分と非交差視差60分との有意差がみられ、偏

心度 25 度と 30 度では、交差視差 60 分と 40 分の有意差がみられた。

これより、偏心度が高くなるほど両眼視差による奥行き知覚への効果は小さくなることが示された。傾向として、偏心度 15 度と 20 度では視差 0 分に対する奥行きは手前方向に知覚されており、非交差視差 20 分の図形を提示した際に奥行きが 0 となっていた。

[大きさ課題]

7 名の各偏心度における奥行きの反応値を平均し、Figure7-5-2 に示した。

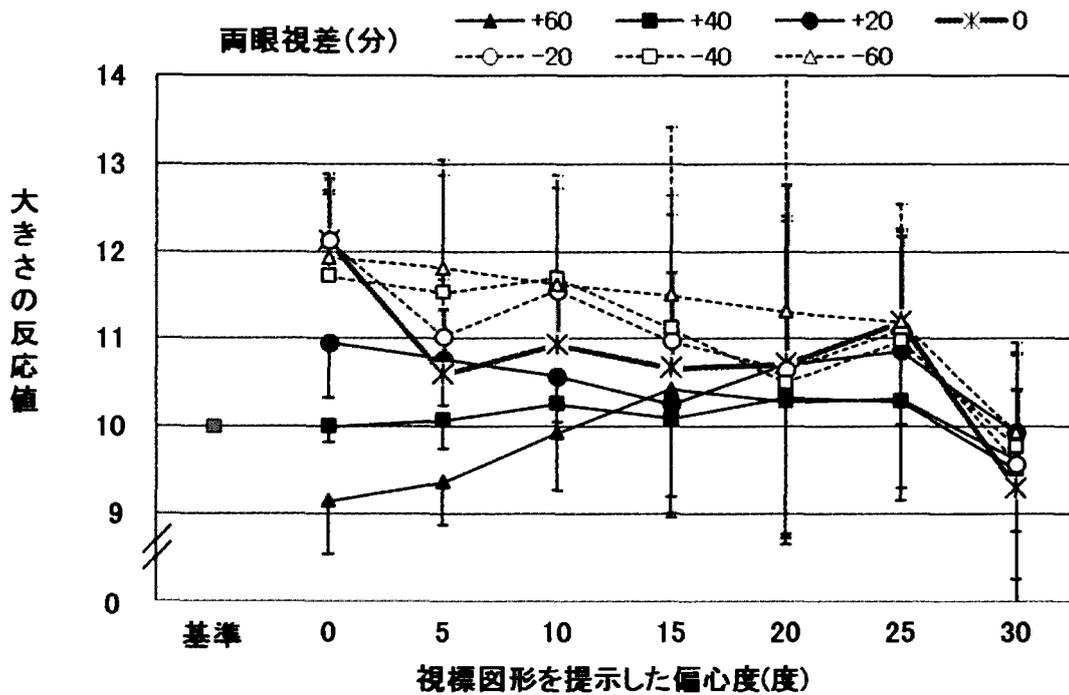


Figure7-5-2 基準図形を固視時に知覚された大きさ(■)に対して、各偏心度における大きさの反応値. 凡例と図内のエラーバーは、Figure7-5-1と同様である。

Figure7-5-2 より、交差視差に関しては、偏心度 10 度まで視差量が大きいほど小さく知覚されたが、すべての非交差視差と偏心度 15 度以上の交差視差では、視差量に応じた大きさ知覚がなされていなかった。

両眼視差の効果が及ぶ偏心度の範囲を検討するために、大きさ知覚量に対し、視差(7水準)と偏心度(7水準)を被験者内要因とする 2 要因分散分析を行った。その結果、視差 [$F(6, 36) = 15.11, p < .001$] と偏心度 [$F(6, 36) = 2.38, p < .05$] の主効果がみられた。また視差 × 偏心度 [$F(36, 216) = 5.03, p < .001$] の 1 次の交互作用が有意であ

った。

次に、視差×偏心度の1次の交互作用における単純主効果をみるため下位検定を行った。その結果、偏心度0度から15度($p < .001$)と20度($p < .005$)と25度($p < .01$)に、すべての視差の単純主効果がみられた。これを受けた多重比較では、視差0分と有意差があるのは、偏心度0度において交差視差20、40、60分であり、偏心度5度において交差視差60分と非交差視差40、60分であった。また偏心度10度においては交差視差60分であった。

これより、偏心度が高くなるほど両眼視差による大きさ知覚へ効果は小さくなることが示された。傾向として、偏心度25度まで両眼視差の効果が確認されたが、視差0分との有意差がみられたのは偏心度10度までであった。これは、偏心度10度までの交差視差に関しては大きさ知覚に明瞭な差が生じるものの、それ以上の偏心度と、全ての偏心度における非交差視差に関しては、大きさ知覚に差があらわれていない。すなわち周辺視野において奥行き知覚で確認されるほど、大きさ知覚に関する両眼視差の効果はあらわれにくく、特に非交差視差に関しては効果が生じにくいことが示された。

[2 対象間の課題]

[奥行き課題]

7名の各偏心度における奥行きの反応値を平均し、Figure7-6-1に示した。

Figure7-6-1より、交差視差の値が大きいほど手前に、非交差視差の値が大きいほど奥に知覚された。そして交差、非交差視差とも偏心度が10度以内はほぼ一定の奥行きと知覚しているが、15度以上は急激に減少することが読み取れた。

両眼視差の効果が及ぶ偏心度の範囲を検討するために、奥行き知覚量に対し、両眼視差(7水準)と偏心度(7水準)を被験者内要因とする2要因分散分析を行った。その結果、視差 [$F(6, 36) = 58.54, p < .001$] の主効果はみられたが、偏心度 [$F(6, 36) = 0.25, n. s.$] の主効果はみられなかった。また視差×偏心度 [$F(36, 216) = 13.05, p < .001$] の1次の交互作用が有意であった。

次に、視差×偏心度の1次の交互作用における単純主効果をみるため下位検定を行った。その結果、偏心度0度から30度($p < .001$)まで視差の単純主効果がみられた。続いて行った多重比較では、視差0分と有意差があるのは、偏心度0から10度は交差、非交差視差ともに20、40、60分との間に有意差がみられた。さらに偏心度15度はすべての交差視差と非交差視差60のみに有意差があり、偏心度20度では交差視差60分と40分、非交差視差60分に有意差がみられた。偏心度25度では交差視差60分と非交差視差60分に有意差がみられ、

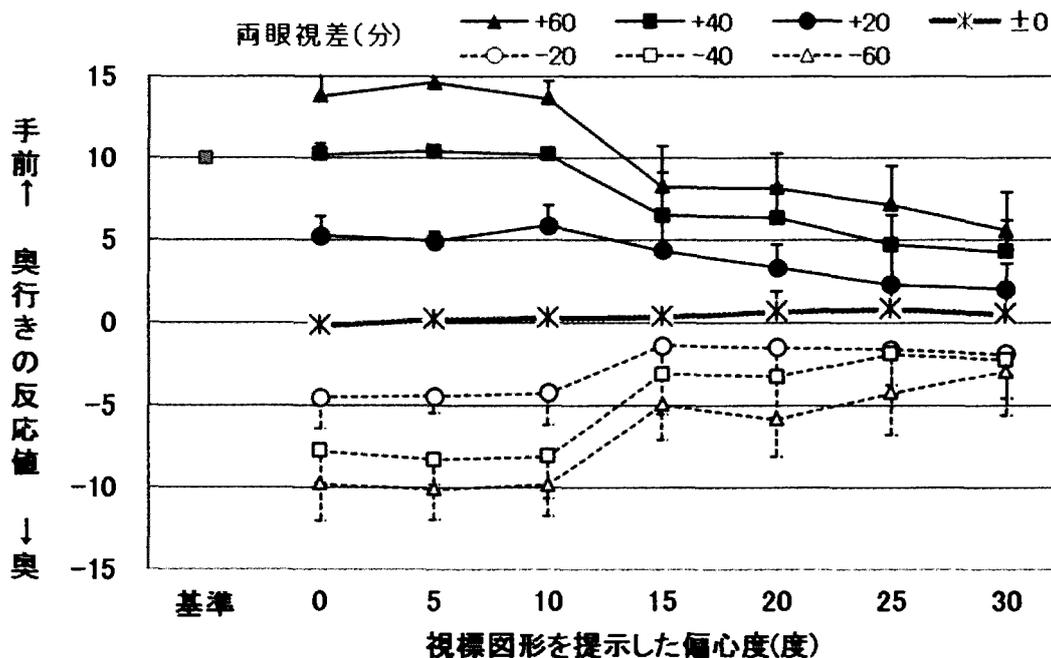


Figure7-6-1 基準図形を固視時に知覚された奥行き(奥)に対して、各偏心度で知覚された奥行きの反応値。凡例と図内のエラーバー、ならびに縦軸は、Figure7-5-1と同様である。

偏心度 30 度では交差視差 60 分のみに有意差がみられた。

これより、偏心度が高くなるほど両眼視差による奥行き知覚への効果は小さくなることが示された。傾向として、偏心度 30 度まで両眼視差の効果が確認された。特に、偏心度 10 度以内はほぼ一定の奥行きが知覚された。そして偏心度 15 度以上になると、偏心度が高くなるにつれて絶対値の小さな視差から効果がみられなくなった。

[大きさ課題]

7 名の各偏心度における大きさの反応値を平均し、Figure7-6-2 に示した。

Figure7-6-2 より、交差視差の値が大きいほど小さく知覚され、非交差視差の値が大きいほど大きく知覚されていた。そして高偏心度ほど、交差、非交差視差ともに差が減少することが読み取れた。

両眼視差の効果が及ぶ偏心度の範囲を検討するために、大きさ知覚量に対し、視差(7水準)と偏心度(7水準)を被験者内要因とする 2 要因分散分析を行った。その結果、視差 [$F(6, 36) = 14.02, p < .001$] の主効果はみられたが、偏心度 [$F(6, 36) = 0.45, n.s.$] の主効果はみられなかった。また視差×偏心度 [$F(36, 216) = 8.59, p < .001$] の 1 次の交互作用が有意であった。

次に、視差×偏心度の 1 次の交互作用における単純主効果をみる

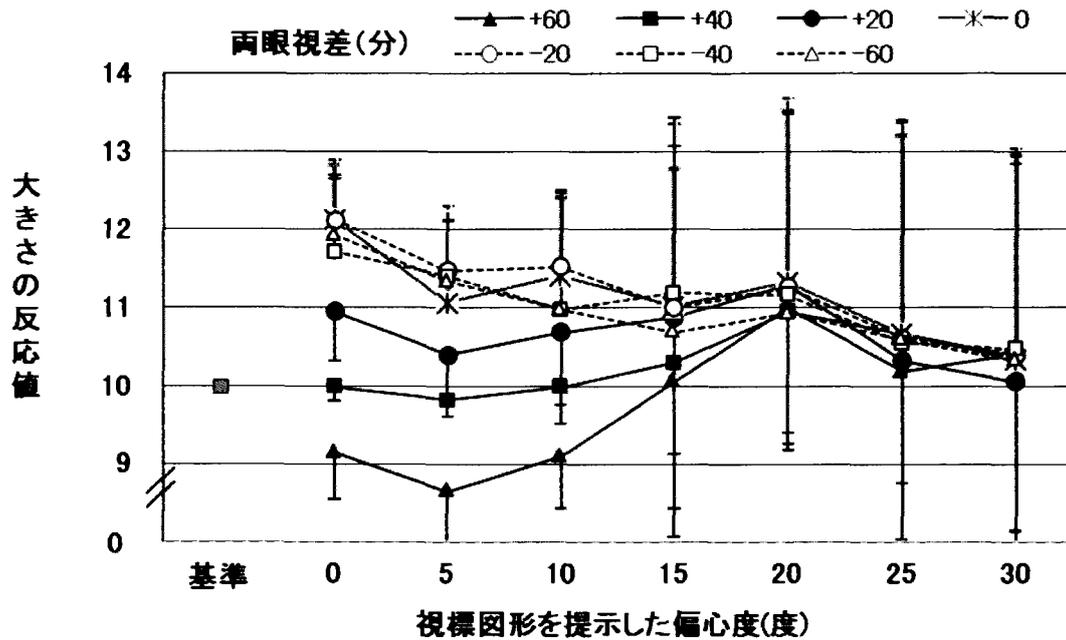


Figure7-6-2 基準図形を固視時に知覚された大きさ(°)に対して、各偏心度で知覚された大きさの平均ME値(b)。凡例と図内のエラーバーは、Figure7-5-1と同様である。

ため下位検定を行った。その結果、偏心度0から10度($p < .001$)と15度($p < .005$)に視差の単純主効果がみられた。これを受けた多重比較を行ったところ、視差0分と有意差があるのは、偏心度0度において交差視差20、40、60分であった。さらに偏心度5度は交差視差60分と40分との間に有意差がみられ、偏心度10度では交差視差60分と40分のみ有意差がみられた。偏心度15度では交差視差60分のみ有意差がみられた。

これより、偏心度が高くなるほど両眼視差による大きさ知覚へ効果は小さくなることが示された。傾向として、偏心度15度まで両眼視差の効果が確認されたが、すべて交差視差によるものであった。非交差視差に関しては、偏心度が高くなるほど、基準に近い大きさであると判断しているが、各偏心度において視差の効果がみられることはなかった。

[見えの前額平行面からの課題と2対象間の課題の比較]

[奥行き課題]

見えの前額平行面からの奥行きと2対象間の奥行きでは、判断する奥行き距離が異なる。これは、偏心度が高いほど視差量に対する幾何学的な推定値が2対象間の奥行きにおいてのみ長くなるためであ

る。そこで、それに対する知覚量にどの程度の差異が生じるのかを比較する。しかし両提示方法による知覚された奥行きを比較する場合、見えの前額平行面からの奥行きは、視差0分に対して手前に知覚される結果であった。それに対して、2対象の奥行きは、視差0分に対しては、ほとんど奥行きがないという反応を得ている。そのため、両者のデータを視差0分から差し引いたものを基準とし、算出しておいたデータで分散分析を行った。

見えの前額平行面と2対象間の両条件での奥行き知覚を比較するため、提示方法(2水準)と視差(7水準)と偏心度(7水準)を被験者内要因とする3要因分散分析を行った。その結果、視差 $[F(6, 36) = 52.98, p < .001]$ の主効果はみられたが、提示条件 $[F(1, 6) = 0.84, n. s.]$ と偏心度 $[F(6, 36) = 0.46, n. s.]$ の主効果はみられなかった。また提示条件×偏心度 $[F(6, 36) = 3.03, p < .05]$ と、視差×偏心度 $[F(36, 216) = 14.75, p < .001]$ の1次の交互作用と、提示条件×視差×偏心度 $[F(36, 216) = 2.17, p < .001]$ の2次の交互作用が有意であったが、提示条件×視差 $[F(6, 36) = 0.60, n. s.]$ の1次の交互作用はみられなかった。次に、提示条件×視差×偏心度の2次の交互作用における単純効果をみるため下位検定を行った。視差と偏心度の影響が提示条件に生じるかを検討したところ、交差視差60分において偏心度5度($p < .05$)と10度($p < .001$)、交差視差40分において偏心度10度($p < .005$)、非交差視差20分において偏心度15度($p < .05$)、非交差視差40分において10度($p < .05$)、非交差視差60分において15度($p < .005$)に提示条件の単純・単純主効果がみられた。

これより、提示条件の違いにより差が生じるのは偏心度15度以内であり、偏心度20度以上においては差がみられなかった。見えの前額平行面からの判断と2対象間の判断では、高偏心度ほど物理的に判断する奥行き距離が異なるはずであるが、差がみられたのは、偏心度10度と15度であった。また、提示方法の違いによる物理的な距離差が、周辺視野15度以上に影響を及ぼさないことも示された。これは、2対象間の奥行きを判断する方が、見えの前額平行面の基準面の不安定さがないため、偏心度10度以内と以上の知覚の差がより明瞭に表れているためではないかと思われる。

[大きさ課題]

視標図形の提示位置は両者とも同等であるため、大きさ知覚に対しては、奥行きのような処理をせず、得られたデータで比較する。

見えの前額平行面と2対象間の両条件での大きさ知覚を比較するため、提示方法(2水準)と視差(7水準)と偏心度(7水準)を被験者内要因とする3要因分散分析を行った。その結果、視差 $[F(6, 36) = 17.26, p < .001]$ の主効果はみられたが、提示条件 $[F(1, 6) = 0.05,$

n. s.]と偏心度 [$F(6, 36) = 1.05, n. s.$]の主効果はみられなかった。また提示条件×視差 [$F(6, 36) = 3.58, p < .01$]と視差×偏心度 [$F(36, 216) = 14.75, p < .001$]の1次の交互作用と、提示条件×視差×偏心度 [$F(36, 216) = 2.17, p < .001$]の2次の交互作用が有意であったが、提示条件×偏心度 [$F(6, 36) = 9.08, n. s.$]の1次の交互作用はみられなかった。

次に、提示条件×視差×偏心度の2次の交互作用における単純効果をみるため下位検定を行った。視差と偏心度の影響が提示条件に生じるかを検討したところ、視差0分において偏心度30度に提示位置の単純・単純主効果がみられた。

これより偏心度30度における視差0分のみで、奥行きを見えの前額平行面から判断する方が、2対象間の奥行きを判断するときと比べ、知覚される図形が有意に小さいことが示された。大きさを知覚すべき図形は両者の提示方法の違いに関わらず、同じである。つまり、視標図形の提示位置は両者とも同等であるため、大きさ知覚に差が現れた原因は、知覚された奥行きの影響によるものだと考えられる。しかし、大きさ知覚に違いがみられた偏心度30度は、奥行き知覚に関しては提示方法の違いが確認されていない。すなわち、知覚された奥行きが、大きさ知覚に影響を与えた原因ではないため、両知覚は独立であったといえる。

7.2.4 考察

まず、見えの前額平行面からの奥行を判断する方法の特徴として、高偏心度ほど、両眼視差による奥行き知覚の効果が小さくなる結果が得られた。特に、偏心度15度と20度では視差0分に対する奥行きは手前方向に知覚されており、非交差視差20分を提示した際に奥行きが0となっていた。これは、実験2でも確認されていないため、刺激の提示方法を前額平行面にしたことが観察者の見えの前額平行面と差異を生み、手前方向に基準がずれたためではないか、と考えられる。

次に2対象間の奥行を判断する方法の特徴として、偏心度10度までは一定の奥行きが知覚された。そして、偏心度15度以上になると、徐々に偏心度が高くなるほど両眼視差による奥行き知覚の差が小さくなった。さらに、2対象間の奥行きを判断する場合、視差0分に対する奥行きが、ほぼ無しである結果が得られたことを考慮すると、見えの前額平行面での視差0分の反応は、基準となる面の不安定さが原因と考えられる。

一方大きさ知覚は、両提示条件ともにみられる共通点として、偏心度が高くなるほど両眼視差による効果が小さくなること、ならびに、非交差視差に関して効果がみられないことである。

見えの前額平行面からの奥行き判断より2対象間の奥行き判断の提示方法の方が、両眼視差の効果が生じる視野範囲は広いことが示されたが、見えの前額平行面からの提示条件の場合も偏心度15度以上には視差0分との違いがみられておらず、視差同士の大きさ知覚への差も明瞭にはあらわれなかった。

7.3 実験7：偏心度30度以内の検討 一周辺視野上の2対象の比較

7.3.1 目的

基準図形と視標図形を見比べた際の両眼立体視を検討するため、両図形を眼球運動のみで交互に見比べ、奥行きと大きさ知覚量を測定する。

7.3.2 方法

実験参加者 実験6と同じ7名であった。

装置 実験6と同様の装置を用いた。

実験条件 実験5と同様の刺激を用いた。奥行きと大きさの反応値は、実験6と同様の方法で測定した。

実験計画 両眼視差(7水準)と偏心度(7水準)を要因とする被験者内2要因の計画で、知覚された奥行きと大きさの反応値を分析した。

手続き 実験6と同様の手順で行った。ただし奥行き、大きさ両課題とも基準図形と視標図形を交互に見比べて判断した。両刺激は同時提示で判断終了まで持続した。各試行は6回繰り返した。

7.3.3 結果

[見えの前額平行面からの課題]

[奥行き課題]

7名の各偏心度における奥行きの反応値を平均し、Figure7-7-1に示した。

Figure7-7-1より、交差視差の値が大きいほど手前に、非交差視差の値が大きいほど奥に知覚された。そして偏心度が高くなるに従い、交差、非交差視差とも徐々に差が減少することが読み取れた。

両眼視差の効果が及ぶ偏心度の範囲を検討するために、奥行き知覚量に対し、視差(7水準)と偏心度(7水準)を被験者内要因とする

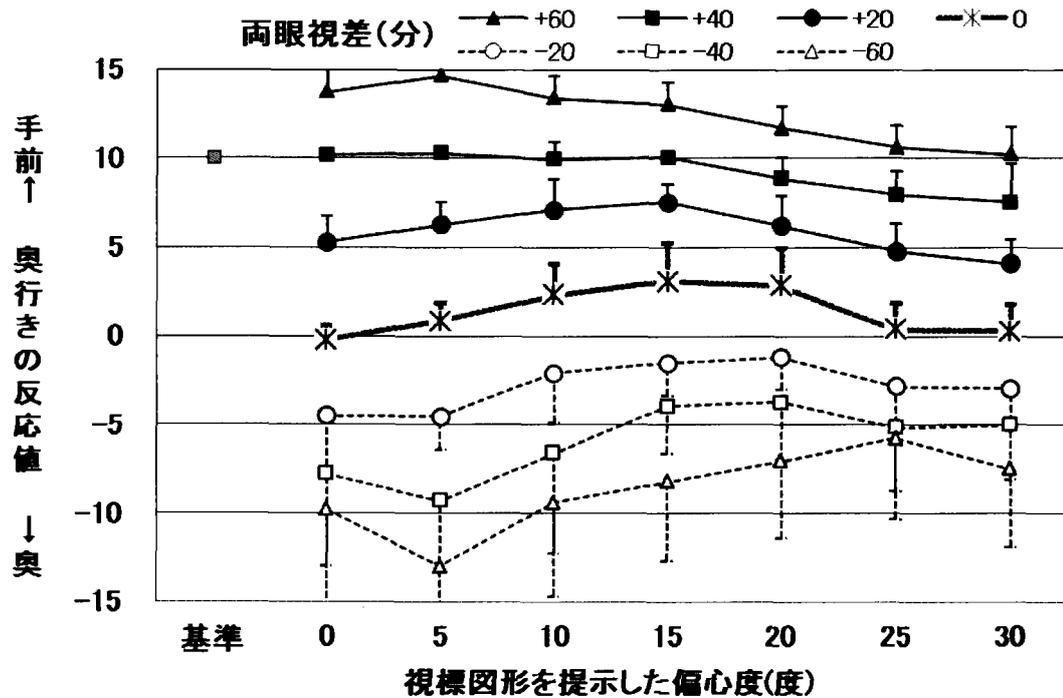


Figure7-7-1 基準図形の知覚された奥行き(■)に対して、自由視条件下で各偏心度において知覚された奥行きの反応値。凡例と図内のエラーバー、ならびに縦軸は、Figure7-5-1と同様である。

2 要因分散分析を行った。その結果、視差 [$F(6, 36) = 98.43, p < .001$] と偏心度 [$F(6, 36) = 4.93, p < .001$] の主効果と、两眼視差と偏心度の交互作用が有意であった [$F(36, 216) = 8.38, p < .001$]。

次に、視差×偏心度の交互作用における単純主効果をみるため下位検定を行った。偏心度影響が視差に生じるかを検討したところ、偏心度0度から30度 ($p < .001$)までに視差の単純主効果がみられた。続いて行った多重比較では、視差0分の奥行きと有意な差がみられたのは、偏心度0度から20度は交差、非交差視差ともに20、40、60分であった。そして偏心度25度と30度は非交差視差20分以外に有意差がみられた。

[大きさ課題]

7名の各偏心度における大きさの反応値を平均し、Figure7-7-2に示した。

Figure7-7-2より、交差視差の値が大きいほど小さく知覚され、非交差視差の値が大きいほど大きく知覚されていた。そして偏心度が高いほど、交差、非交差視差ともに差が減少することが読み取れた。

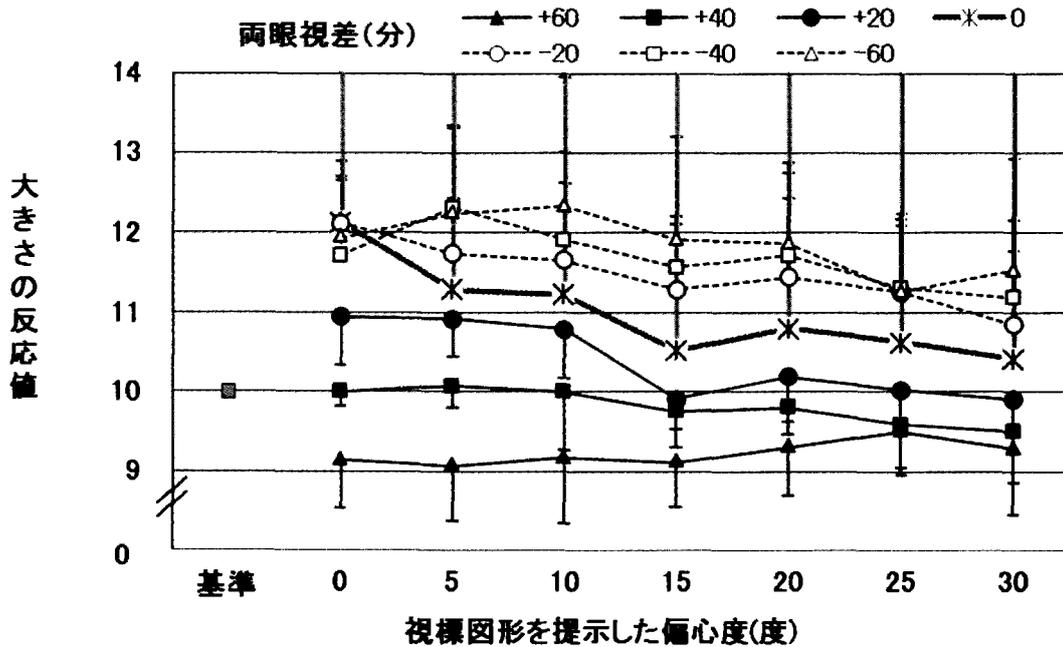


Figure7-7-2 基準図形の知覚された大きさ(■)に対して、自由視条件下で各偏心率において知覚された大きさの反応値。凡例と図内のエラーバーは、Figure7-5-1と同様である。

大きさ知覚量に対し、視差(7水準)と偏心率(7水準)を被験者内要因とする2要因分散分析を行った。その結果、視差 [$F(6, 36) = 22.61, p < .001$] と偏心率 [$F(6, 36) = 5.28, p < .001$] の主効果がみられた。また両眼視差×偏心率 [$F(36, 216) = 2.97, p < .001$] の交互作用がみられた。次に、両眼視差×偏心率の交互作用における単純主効果をみるため下位検定を行った。その結果、すべての偏心率 ($p < .001$) に両眼視差の単純主効果がみられた。続いて行った多重比較では、視差0分の奥行きと有意な差があるのは、偏心率0度は交差視差20と40と60分、偏心率5は交差視差60と40分であった。また偏心率10度は交差視差60と40分非交差視差60分、そして偏心率15度は交差視差60分と非交差視差40と60分に有意差がみられたに有意差がみられた。また偏心率20度は交差視差40と60分と非交差視差60分に有意差がみられたに有意差がみられた。そして偏心率25度は交差視差40と60分に有意差がみられたに有意差がみられた。また偏心率30度は交差視差60分と非交差視差60分に有意差がみられた。

[2対象間の課題]

[奥行き課題]

7名の各偏心度における奥行き反応値を平均し、Figure7-8-1に示した。

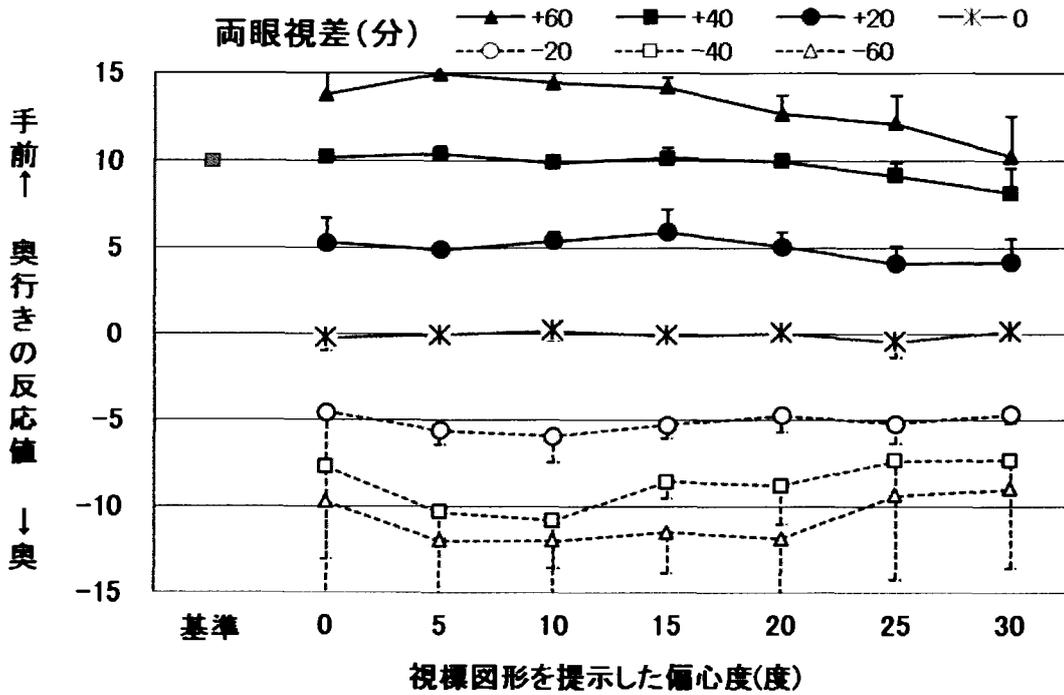


Figure7-8-1 基準図形の知覚された奥行き(■)に対して、自由視条件下で各偏心度において知覚された奥行きの反応値. 凡例と図内のエラーバー、ならびに縦軸は、Figure7-5-1と同様である。

奥行き知覚量に対し、視差(7水準)と偏心度(7水準)を被験者内要因とする2要因分散分析を行った。その結果、視差 $[F(6, 36) = 187.11, p < .001]$ の主効果はみられたが、偏心度 $[F(6, 36) = 0.96, n. s.]$ の主効果はみられなかった。また両眼視差 \times 偏心度 $[F(36, 216) = 4.49, p < .001]$ の交互作用が有意であった。次に、両眼視差 \times 偏心度の交互作用における単純主効果をみるため下位検定を行った。その結果、すべての偏心度($p < .01$)に両眼視差の単純主効果がみられた。続いて行った多重比較では、視差0分と有意差があるのは、偏心度0度から30度は交差、非交差視差ともに20、40分、60分であった。

[大きさ課題]

7名の各偏心度における大きさの反応値を平均し、Figure7-8-2に示した。

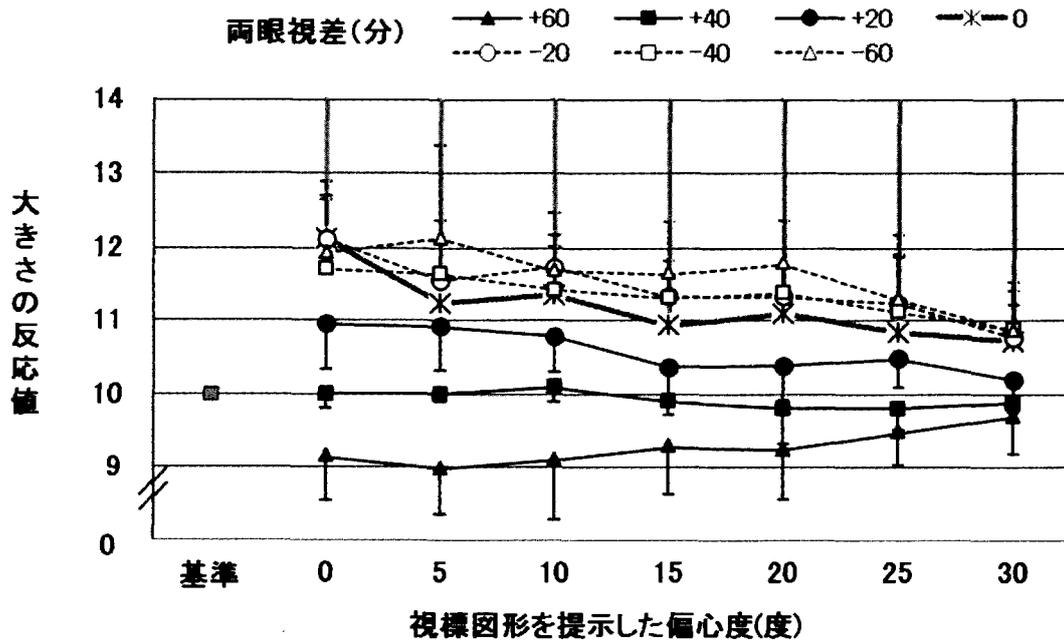


Figure7-8-2 基準図形の知覚された大きさ(■)に対して、自由視条件下で各偏心度において知覚された大きさの反応値。凡例と図内のエラーバーは、Figure7-5-1と同様である。

Figure7-8-2 より、交差視差の値が大きいほど小さく知覚され、非交差視差の値が大きいほど大きく知覚されていた。そして高偏心度ほど、交差、非交差視差ともに差が減少することが読み取れた。

大きさ知覚量に対し、視差(7水準)と偏心度(7水準)を被験者内要因とする2要因分散分析を行った。その結果、視差 [$F(6, 36) = 31.48, p < .001$] と偏心度 [$F(6, 36) = 6.49, p < .001$] の主効果がみられた。また視差×偏心度 [$F(36, 216) = 3.57, p < .001$] の交互作用が有意であった。次に、視差×偏心度の交互作用における単純主効果をみるため下位検定を行った。その結果、すべての偏心度(0.01%)に視差の単純主効果がみられた。続いて行った多重比較では、視差0分の大きさとは有意な差があるのは、偏心度0は交差視差20と40と60分、偏心度5は交差視差60と40分と非交差視差60分であった。また偏心度10度は交差視差60と40分、そして偏心度15度は交差視差40と60分に有意差がみられた。また偏心度20度は交差視差40と60分に有意差がみられた。そして偏心度25度は交差視差40と60分に有意差がみられた。また偏心度30度は交差視差40と60分に有意差がみられた。

7.3.4 考察

以上をまとめると、奥行き知覚に関しては、固定視条件より自由視条件の方が、両眼視差の効果が生じる偏心度が広範であった。まず、見えの前額面からの課題では、非交差視差の効果が偏心度 30 度までみられており、固定視条件では確認されない範囲まで両眼視差の効果が生じることが示された。さらに、2 対象間の課題では、固定視条件は偏心度 15 度の範囲で急激に奥行きが減少していたが、自由視条件は偏心度 30 度の範囲まで、ほぼ一定の奥行きを知覚していることが示された。すなわち、自由視条件を行ったことで、基準図形と視標図形の隔たりが大きくとも、奥行き知覚の判断には影響しないということが示された。また、見えの前額面より課題と 2 対象間の課題は、高偏心度の範囲においても、各視差条件の奥行き知覚が安定していることから、自由視条件であっても見えの前額面は基準とすることが困難であることが示されていると思われる。

さらに、大きさ知覚に関しては、自由視であっても偏心度 0 度並みの見え方はせず、偏心度が高くなるにしたがい、両眼視差の効果が減少することが確認された。しかし、固定視条件では見えの前額面からの課題において偏心度 10 度、2 対象間の課題において偏心度 15 度を超えると、両眼視差の効果は消失していたにも関わらず、自由視条件では両眼視差の効果が減少するものの、偏心度 30 度まで大きさ知覚に関して効果が確認されている。見えの前額面からの課題と 2 対象間の課題は、大きさ知覚に大きな差異がみられないことから、奥行き知覚の影響を強く受けていないのではないかと、考えられる。

7.4 結論

第 6 章では、偏心度 30 度以内の周辺視野における交差、非交差視差による奥行きと大きさ知覚、並びに刺激図形の提示方法によりその知覚がどのように変化するかをについて検討した。

偏心度 0 度の基準図形を固視しながら、基準図形から水平軸上の偏心度 30 度以内に両眼視差を設定した視標図形を提示し、奥行き知覚と大きさ知覚量を測定した。その結果、見えの前額平行面からの奥行き知覚に関しては、両眼視差による奥行き知覚は偏心度が高くなるに従い緩やかに減少した。しかし実験 2 のように、偏心度 20 度未満において両眼視差の効果が生じないことはなく、偏心度 30 度でも両眼視差の効果が確認された。一方大きさ知覚は、偏心度 25 度まで両眼視差の効果はみられたが、視差 0 分との差があるのは偏心度 10 度までであった。以上の見えの前額平行面からの課題に対して、2 対象間の課題は、偏心度 10 度までは一定の奥行きが得られるが、15 度で奥行き知覚が減少し、その後、偏心度が高くなるほど緩

やかに減少する傾向が示された。しかし、これを自由視条件で観察すると、偏心度 30 度まで一定の奥行きを知覚していることから、周辺視野で両眼視差の効果が減少する原因は、基準図形と視標図形の隔たりが生じていることより、解像度の低下にあると考えることができる。

第 8 章

総合的考察

8.1 本研究のまとめ

奥行き知覚を生じさせる手がかりの中でも両眼視差は、対象の立体感や対象間の奥行き知覚に関して、強い影響を持つ。本研究は、対象間の奥行き知覚に及ぼす両眼視差の効果を周辺視野において測定し、奥行き知覚に影響を与える要因である、対象までの距離、対象のサイズ、対象の解像度との関係を検討することで、周辺視野における奥行き知覚の成立の諸要因を解明することを目的とした。これはすなわち、人間が視野の中から両眼視差の情報や他の情報を、いかに取り入れそれらを活用しているかを精査することにより、周辺視野の奥行き知覚の特性を解明することである。以下に、本研究の目的に関する計 7 つの実験の要約を行う。

第 5 章の実験 1 では、偏心度 7.5 度以内の周辺視野において、奥行き知覚に及ぼす解像度の影響を検討した。この理由は、高偏心度ほど両眼視差による奥行き知覚量が減少する原因が、解像度の低下であるならば、各偏心度の解像度が一定になる刺激図形を提示することにより、一定の奥行きが知覚されると仮定したからである。そこで、皮質拡大係数を用いて、各偏心度の解像度が一定になるサイズを求めた。しかしこの操作によって高偏心度ほど刺激図形が大きくなるため、奥行き知覚に及ぼす影響が、解像度が一定になったためか、提示した図形のサイズが増大したためか、その原因を特定できなくなる。この点を解決するために、各偏心度の皮質拡大係数から求めたサイズの刺激図形を、全偏心度に提示した。この手続きにより、奥行き知覚に及ぼす両眼視差と刺激図形のサイズと解像度の影響を検討することが可能となった。

その結果、奥行き知覚はどの条件においても、ほぼ一定の奥行き知覚量が得られた。すなわち提示された図形の観察距離、サイズ、さらに周辺視野による解像度の低下の影響を受けていないことが示されたのである。つまり、この実験の目的であった解像度の影響を検討するために、皮質拡大係数を考慮したわけだが、その結果偏心度 7.5 度以内の視野において、解像度の低下によって奥行き知覚が低下しないこと、また刺激図形のサイズによる影響も受けないことが示されたのである。一方大きさ知覚は、各偏心度の解像度を一定にした図形に対して両眼視差の効果が確認された。すなわち、偏心度 7.5 度以内において、大きさ距離不変仮説が生起する条件が奥行き知覚と大きさ知覚で異なることから、両知覚が両眼視差の情報を

独立に処理していることが示唆された。この2つの要因が独立に作用することを示した点は周辺視の性質を理解するために重要な知見であろう。

次の第6章の実験2、3、4および5では、偏心度による解像度の影響について、さらに偏心度を17.5度未満の視野まで広げて検討した。このことにより、図形を観察者からの等距離面に提示することで、観察距離、対象のサイズ、解像度を一定にさせ、周辺視野の偏心度に応じた解像度の影響のみを検討できた。その結果、奥行き知覚は偏心度10度以内において、ほぼ一定の奥行きが得られた。しかし、12.5度以上は奥行きが減少し、盲点の影響を考慮した状態でも、17.5度では各両眼視差条件に対する奥行きは知覚されない結果となった。また、提示する図形サイズを実験1と同様に、皮質拡大係数を用いて、解像度を統制した結果、偏心度15度まで両眼視差の効果が生じたため、この操作により、さらに高い偏心度まで両眼視差の効果が生じることが示された。よって、この実験目的のための操作が妥当であり、その目的が達成されたことを示すものである。

一方、大きさ知覚に関しては、偏心度5度以内のみに両眼視差の効果がみられるにとどまった。また皮質拡大係数を用いて、解像度を統制した結果、偏心度5、10、15度のいずれも両眼視差の効果を示すことはできなかった。しかし両眼視差の主効果はみられており、提示図形のサイズが基準図形のサイズよりも大きすぎたことが、比較の困難さを生み、反応値にばらつきが出たものと考えている。本実験からも、偏心度により奥行き知覚と大きさ知覚の効果が異なっただけで生じたことから、第5章の実験と同様に、奥行き知覚と大きさ知覚が独立であることが示されたと考えられる。

第7章の実験6と実験7では、周辺視野における両眼立体視の成立に観察距離が関与するかを検討した。この際、奥行きを判断する基準として、見えの前額平行面からの奥行きを判断する条件と、周辺視野に提示した円対象を用いて、2対象間の奥行を判断する条件の2条件を設けた。これは偏心度が高くなるほど、基準図形からの隔たりが大きくなることで、奥行きおよび大きさの知覚判断が困難になる可能性を取り除くためである。その結果、見えの前額平行面を基準とした場合、偏心度5度まではほぼ一定の奥行き知覚が生じたが、偏心度10度以上から30度までは緩やかに奥行き知覚が減少した。一方、大きさ知覚は交差視差に限れば偏心度10度まで両眼視差の効果がみられた。これに対して円図形を基準とした場合、偏心度10度まではほぼ一定の奥行きを知覚していたが、15度にかけて奥行きが半減し、それ以上では緩やかに減少した。一方、大きさ知覚はこちらも交差視差に限れば偏心度10度まで両眼視差の効果がみられた。

この第7章の前額平行面位置に提示した結果と、第6章の等距離面に提示した結果を比較するために、差分を検討したところ、第6章の知覚量は大幅に減少していた。すなわち同じ偏心度位置に図形を提示しても、提示される位置が前額平行面と等距離面では、観察距離の長い前額平行面において、両眼視差による奥行き知覚が生じやすいことが示された。これにより、周辺視野においても観察距離の影響が生じることが示唆された。また見えの前額平行面を基準とした場合、刺激提示する面が等距離面より前額面の方が、空間知覚が生じやすいことも示唆された。

以上をまとめると、以下のように要約できる。

- (1) 両眼視差による奥行き知覚は、偏心度 10 度以内において観察距離、図形のサイズ、解像度の影響を受けず、両眼視差に応じた奥行き知覚を行うことが示された。
- (2) 偏心度 10 度以内における大きさ知覚は、解像度に応じたサイズに対して、両眼視差の効果が確認された。これは大きさ距離不変仮説が中心視野と周辺視野では異なる生じ方をしており、中心視野と周辺視野は異なる機能をもつ可能性が示唆された。
- (3) 偏心度 10 度以上の範囲において、盲点を考慮した状態でも両眼視差による奥行き知覚に偏心度による解像度低下の影響が生じることが確認された。
- (4) 偏心度 10 度以上の範囲において、解像度を統制した図形を提示した場合、両眼視差による奥行き知覚が増大したことから、中心視野と周辺視野は同じ機能を持つ可能性が示唆された。
- (5) 刺激図形を等距離面と前額平行面に提示することで、観察距離を変化させた結果、偏心度 15 度以上は観察距離が長くなるほど奥行き知覚は増大することが示された。これは、周辺視野においても中心視野と同様に観察距離の影響が生じること示しており、中心視野と周辺視野は同じ機能を持つ可能性が示唆された。

8.2 今後の研究課題

上述のように、本研究から多く知見が得られたわけだが、当然のことながら今後への課題も新たに生じてくる。以下では、それらについて指摘し、今後の研究方向を示唆する。

- (1) 解像度の影響について

偏心度 10 度以上は解像度低下の影響を受けることが示されたが、奥行き知覚の減少を抑える操作として、解像度の等価によるものか、サイズによるものを判断できる測定を行っていない。観察距離の効果と同様に、サイズの効果も周辺視野で確認する必要がある。

(2) 広範囲を測定するための条件設定

今後の課題ではあるが、さらに広範な視野範囲を測定するために、どのような条件設定が適切かを検討すべきである。まず偏心度 30 度以上の範囲、視野感度を計測するために動的量的視野計測が適しているとされる。この理由は、運動知覚が最低限の運動速度（刺激閾）から、それ以上速いと運動を知覚できない上限（刺激頂）の間で行われるが、刺激頂に対する感度は周辺視野ほど良く、高速運動でも知覚できるためである。一方の刺激閾は、周辺視野ほど感度が悪く、低速運動の知覚は不向きである（福田, 1979）。そのため、周辺視野にとって感度の高い運動対象を用いた動的視野検査を行うのである。運動知覚の感度が良いことを踏まえても、偏心度 30 度以上の範囲は静的対象より動的対象を用いた測定が、視野位置による知覚の応答に対応するため、望ましいと思われる。

(3) 上下視野の影響について

第 6 章の実験 6 では盲点の影響を避けるため、刺激提示位置を水平位置ではなく、上下の 2 方向に移動させた条件を設定した。その結果、下視野は上視野より手前に知覚されていることが分かった。これは垂直ホロプターの影響や、視野間で皮質活性量が異なるためとも考えられた。このように、方向軸による影響は免れられず、今後、空間知覚の解明には垂直方向、斜め方向への検討も不可欠である。特に本研究では水平方向に対して偏心度 10 度の区分が確認されたが、これが上下視野方向でも同様であるのかは、興味深い。なぜならば、人間の全面歩行に関して重要な範囲は、上視野より下視野であるため、上下視野位置に異方性が示されたならば、人間の空間知覚は行動との関連で生じることが予想されるためである。

(4) より奥行き知覚が得られやすい両眼視差の条件設定

周辺視野では奥行き知覚量が減少するが、それを補いながら臨場感のある立体視の表示を考えるならば、視差量を増加させる方法が考えられる。両眼融合可能な視差の範囲は、提示する偏心度が大きくなるほど拡大するが、水平視角が 30 度から 40 度で飽和傾向を示す（矢野, 1993）。融合可能な視差範囲を用いて、周辺視

野内で検討する必要があると思われる。

8.3 本研究の知見と今後の展望

本研究の実験から周辺視野に関して得られた知見は、先行研究等で示されたように、人間の行動に必要な空間視野範囲が偏心度 10 度以内であり、これより内の範囲では奥行き知覚が十分に働く必要があるためだと考えられる。この範囲において、観察距離、刺激サイズ、解像度の影響を受けずに、両眼視差による奥行き知覚が成立することは、人間の空間知覚に両眼視差情報が重要な役割を担うことを示している。また、偏心度 10 度以上の範囲において、人間の行動に主として働く範囲ではなくとも、中心視野で確認されている観察距離や解像度の効果が示されたことから、中心視野と類似した働きがあることが考えられる。以上より中心視野と周辺視野の機能は偏心度 10 度の範囲において区分されていることが示された。

最後に、視線を向けた範囲の中心視野とそれ以外の範囲の周辺視野が、見えの違いを示す現象に対して、両視野を異なる機能として捉える立場と、同じ機能であると捉える立場について、本研究から考えられることを述べる。まず二重機能論は、中心視野と周辺視野において各々が用いる奥行き手がかりに対して、知覚を行っていることを示している。周辺視野を制限した結果、奥行き知覚が起こらない場合は、視野ごとに異なる処理がなされる視覚の二重機能論を支持する結果となっている。本研究では、視野を制限した操作は行っていないが、奥行き知覚と合わせて大きさ知覚を測定した結果、両眼視差の効果が生じる条件が異なることが示された。これは、周辺視野においても中心視野と同様に大きさ距離不変仮説が成立していないことを示すと考える。すなわち、周辺視野において両眼視差の効果を見た場合、大きさ知覚の立場からは、二重機能論を支持しており、奥行き知覚の立場からは同質機能論を支持していると考えられる。一方、同質機能論は、皮質拡大係数を調整することで、奥行き知覚の行動上に及ぼす両視野の機能的異質性が解消されるという可能性から、考えられたものである。両眼視差による奥行き知覚は、左右眼の網膜座標上のズレによるものである。周辺視野の解像度の低下による網膜偏心度効果が皮質拡大係数の調節により、偏心度 10 度以上の範囲において奥行き知覚が増大した今回の結果は、中心視野と周辺視野は同質であることを示すと考えられる。

以上より、中心視野と周辺視野の機能は偏心度 10 度の範囲において区分されており、偏心度 10 度以上の範囲において、大きさ知覚の立場からは、二重機能論を支持しており、奥行き知覚の立場からは同質機能論を支持していると考えられる。以上の知見は、今後の周辺視野における両眼視差による奥行きと大きさの知覚研究において、

両知覚の処理の違いを踏まえた検討が必要になることを寄与するであろう。

引用文献

- Anstis, S. M. (1973). A chart demonstrating variations in acuity with retinal position. *Vision Research*, 14, 589-592.
- 鬢櫛一夫 (1994). 両眼視 大山 正・今井省吾・和気典二(編) 新編感覚知覚ハンドブック 誠信書房 pp.737-744
- Carrasco, M. & Frieder, K. S. (1997). Cortical magnification neutralizes the eccentricity effect in visual search. *Vision Research*, 37, 63-82.
- Cisarik, P. M. & Harwerth, S. (2005). Stereoscopic depth magnitude estimation: effects of stimulus spatial frequency and eccentricity. *Behavioural Brain Research*, 160, 88-98.
- Enroth-Cugell, C., & Robson, J. G. (1966). The contrast sensitivity of retinal ganglion cells of the cat. *The Journal of Physiology*, 187, 517-552.
- 不二門 尚 (2007). 眼球運動と両眼視機能 大野重昭・木下 茂 (編) 標準眼科学第10版 pp.266-279
- 福田忠彦 (1978). 図形知覚における中心視と周辺視の機能差 テレビジョン学会誌, 32, 492-498.
- 林 隆介・宮脇陽一・前田太郎・舘 暉 (2001). 視覚誘発電位計測に基づく両眼視覚情報処理過程の解析 電子情報通信学会論文誌, J84-D-II, 559-570.
- Holmes, G. (1945). The organization of the visual cortex in man. *Proceedings of the Royal Society (London)*, B132, 248-361.
- 池田光男 (1988). 眼はなにをえているか 平凡社
- 今村真理子・中溝幸夫 (2005). エンメルトの法則と大きさ—距離不変仮説の等価性の検証 *Vision*, 17, 237-241.
- 井上容子 (1991). 輝度差弁別閾値曲線の標準 20代前半の場合 日本建築学会近畿支部研究報告集, 121-124.
- Johnson, C. A., & Scobey, R. P. (1980). Foveal and peripheral movement displacement thresholds as a function of stimulus luminance. *Vision Research*, 20, 709-715.
- 金子寛彦・P.M.Grove・H.Ono (1999). ホロプター(ゼロ視差面)の形状 日本光学会年次学術講演会資料集, 319-320.
- 河合隆史 (2011). 3Dを認識するしくみと生体に与える影響を知る 今さら聞けない3Dの超基本知識 インターフェイス, 37, 38-43.
- Kerr, J. (1971). Visual resolution in periphery. *Perception &*

- Psychophysics, 9, 375-378.
- Kilpatrick, F. P. & Ittelson, W. H. (1953). The Sizedistance invariance hypothesis. *Psychological Review*, 60, 223-231.
- 栗林英範・須佐見憲史・石川和夫・畑田豊彦 (1999). 両眼視差と奥行き知覚の相互利用 映像学技報, 23, 13-18.
- 李 娜 (2009). 実空間と仮想空間の距離知覚に関する研究 九州大学大学院芸術工学院メディア設計学講座修士論文, 1-46.
- McKee, S. P. (1983). The spatial requirements for fine stereoaucuity. *Vision Research*, 23, 191-198.
- Moreland, J. D. (1972). Peripheral colour vision. In H. Autrum, R. Jung, W. R. Loewenstein, D. M. MacKay, & H. L. Teuber (Eds.), *Handbook of sensory physiology. VII Pt4, Visual psychophysics*. pp.517-536.
- 中島義明 (1994). 運動知覚 大山 正・今井省吾・和気典二(編) 新編感覚知覚ハンドブック 誠信書房 pp.802-803.
- 中溝幸夫 (2000). 奥行き(立体)視 日本視覚学会(編) 視覚情報処理ハンドブック 朝倉書店 p.283
- 緒方誠人・村田浩之・宮南雅也・森本一成・黒川隆夫 (1996). 電子情報通信学会誌, 96, 97-104.
- 小郷克敏・錦井利臣・中川保敬 (1991). 周辺視野制限による運動反応時間の変化 日本体育学会大会号, 42A, 307.
- 大竹史郎 (2000). 視野 日本視覚学会(編) 視覚情報処理ハンドブック 朝倉書店 pp.236-243.
- 荻阪直行 (1994). 周辺視 大山 正・今井省吾・和気典二(編) 新編感覚知覚ハンドブック 誠信書房 pp.923-930.
- 荻阪良二 (1980). 心理学辞典 平凡社 p.336
- 荻阪良二 (1982). 視覚行動論の基礎—上丘を中心として— 基礎心理学研究, 1, 32-44.
- Patterson, R., & Day, P. (1995). Temporal integration differences between crossed and uncrossed stereoscopic mechanisms. *Perception & Psychophysics*, 57, 891-897.
- Pelli, D. G. (1986). The visual requirements of mobility. In G. C. Woo (Ed.). *Lowvision: Principles and applications*. New York: Springer - Verlag. pp.134-146.
- Rady, A. A. & Ishak, I. H. (1955). Relative Contributions of Disparity and Convergence to Stereoscopic Acuity. *Journal of the Optical Society of America*, 45, 530-534.
- Rovamo, J., & Raninen, A. (1990). Cortical acuity and the luminous flux collected by retinal ganglion cells at various eccentricities in human rod and cone vision. *Vision Research*,

- 30, 11-20.
- Rovamo, J., & Virsu, V. (1979). An estimation and application of the human cortical magnification factor. *Experimental Brain Research*, 37, 495-510.
- Schlesinger, B. Y. & Yeshurun, Y. (1998). Spatial size limit in stereoscopic vision. *Spatial Vision*, 11, 279-293.
- 繁樹博昭・佐藤隆夫 (1999). 両眼立体視における奥行き対比と観察距離の効果 映像情報メディア学会技術報告, 23, 81-86.
- 下野孝一 (2000). 奥行き(立体)視 日本視覚学会(編) 視覚情報処理ハンドブック 朝倉書店 p.287.
- 白間 綾 (2003). 視野制限下における奥行知覚 日本女子大学大学院人間社会研究科紀要, 19, 187-202.
- 白間 綾・望月登志子 (2007). 中心・周辺視野における画像的奥行きの知覚 心理学研究 78, 51-56
- 立花政夫 (2003). 網膜の情報処理 三島嶠一(編) 眼の事典 朝倉出版 pp.101-108.
- 高橋 広・山田信也 (2003). 周辺視野の活用 *Frontiere in Glaucoma* 4, 92-98.
- 竹井成和・竹内龍人・横澤一彦 (2003). 中心視野と周辺視野における特徴探索 基礎心理学研究, 21, 112-119.
- 所 敬 (1983). 現代の眼科学 金原出版 p.25.
- Trevarthen, C. B. (1968). Two mechanisms of vision in primates. *Psychological Research*, 31, 299-337.
- Turano, K. A., Gerguschat, D. R., & Baker, F. H. (2003). Oculomotor strategies for the direction of gaze tested with a real-world activity. *Vision Research*, 43, 333-346.
- 氏家弘裕 (1995). 立体視—奥行き手がかりとしての両眼網膜像差および運動視差— *Vision*, 7, 9-16.
- 魚森謙也 (1995a). 注視および自由視条件における両眼融合閾と立体画像パラメータの検討 電子情報通信学会技術研究報告, 95, 23-30.
- 魚森謙也 (1995b). 注視および自由視条件における両眼融合閾と立体画像パラメータの検討 テレビジョン学会誌, 50, 1283-1291.
- Virsu, V., & Rovamo, J. (1979). Visual resolution, contrast sensitivity, and the cortical magnification factor. *Experimental Brain Research*, 37, 475-494.
- Wheatstone, C. (1838). On some remarkable, and hitherto unobserved, phenomena of binocular vision. *Contributions to the Physiology of Vision*, 128, 371-394.

- 矢野澄男 (1993). 両眼融合可能な視差の範囲～視標の大きさと空間周波数との関係～ NHK 技研 R&D, 24, 35-48.
- 吉岡一郎 (1981). 両眼視 下中邦彦(編) 新版 心理学事典 平凡社 820-824.