

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でがかり	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

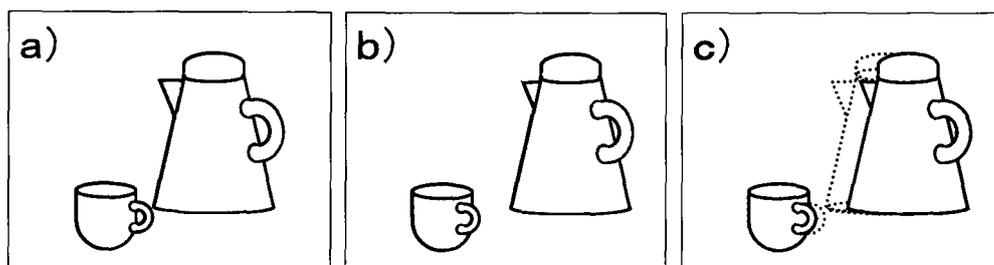


Figure1-1 片眼と両眼で観察した状態。aは左眼で見た対象。bは右眼で見た対象。cはaとbを重ねた状態 (点線はa)。

(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にも、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、道路の脇に一系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。

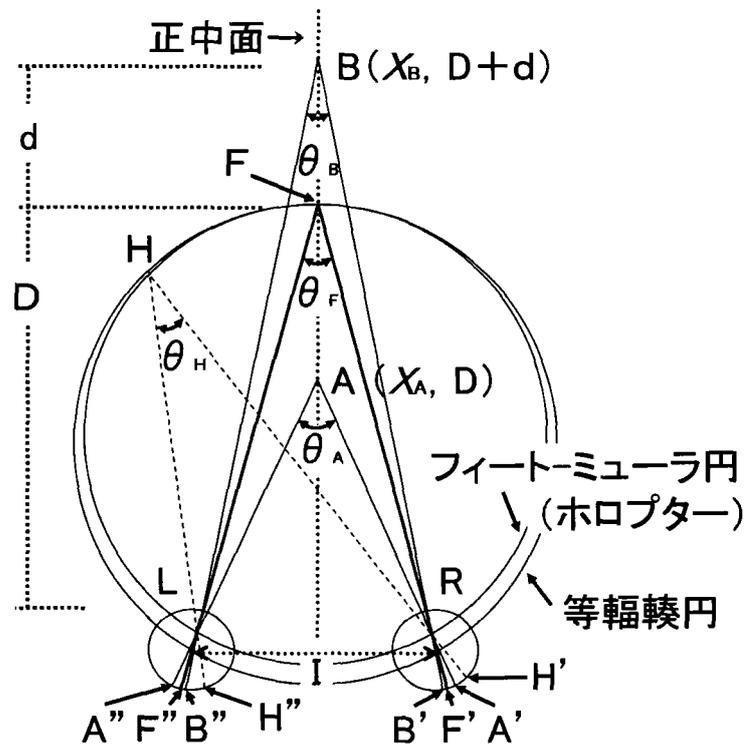


Figure2-1 輻輳角、両眼視差、網膜像差ならびにホロプターの説明。

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)。

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

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

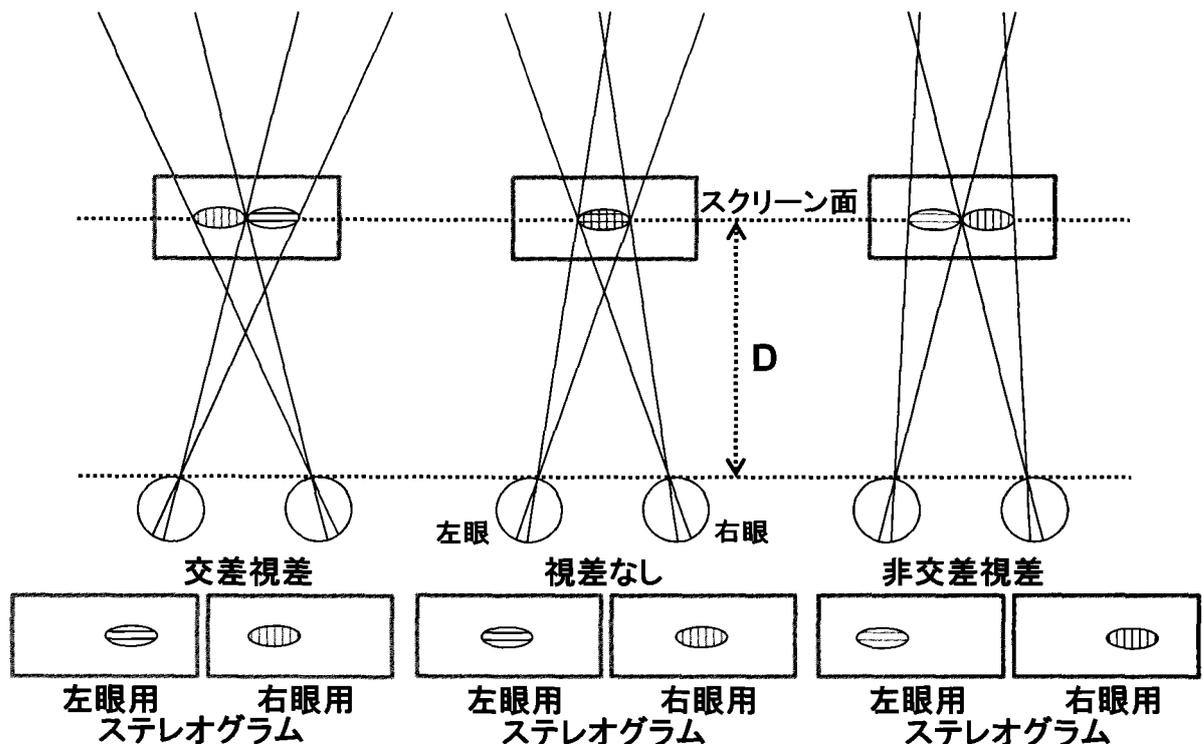


Figure 2-2-1 交差視差、視差なし、非交差視差のステレオグラム。

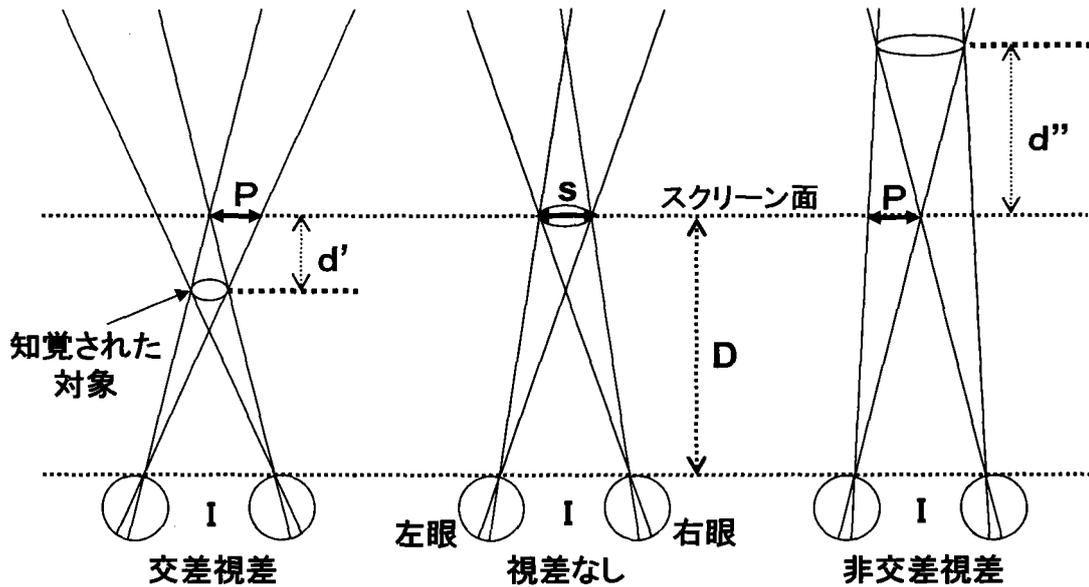


Figure 2-2-2 幾何学的に推定される奥行きと大きさ.

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。