日本における
奥行・空間知覚の研究史

林部　敬吉　著

目次

はじめに..... 5

第１章　日本における奥行・空間知覚研究のはじまり 6

1.1「心理研究」(1912 年から 1925 年) 6
1.2「日本心理学雑誌」(1919 年から 1925 年) 10
1.3　両眼視野の優越、視野闘争及び融合現象 12

第 2 章 昭和初年から終戦までの奥行・空間知覚研究 19

2.1 1935 年（昭和 10 年）当時の心理学講座を持つ日本の大学. 19
2.2 両眼立体視 30
2.3 視空間の構造 37
2.4 描画図形の奥行視 39

第 3 章　「1946 年～1960」年間に掲載された奥行・空間研究... 42

3.1 「1946 年から 1948 年」の奥行・空間知覚研究..... 42
3.2 「1949 年から 1960 年」の奥行・空間知覚研究..... 44
3.2.1 倒立視と大きさ恒常性..... 44
3.2.2 視野闘争..... 46
3.2.3 視えの大きさと観察距離..... 49
3.2.4　鶏の空間学習と大きさ恒常性..... 56
3.2.5 平面図形におけるＹ構造とＴ構造..... 57
3.2.6 三次元的視知覚場における形のベクトル 60
3.2.7 肌理密度勾配と奥行視..... 61
3.2.8 知覚空間における方位..... 63

第 4 章　「1961 年～1980 年間」の「心理学研究」と″JAPANESE

PSYCHOLOGICAL RESEARCH ″に掲載された奥行・空間視研究 65

4.1 大きさの恒常性 65
4.2 両眼立体視 78
4.3 3次元の視覚場..... 87
4.4 錯視研究における奥行要因 92
4.5 両眼視空間と物理的空間との対応関係 97
4.6 視空間における方向定位 105
4.7 動物の3次元形状弁別能力 106
4.8 動物の奥行落差弁別能力 107

第5章 「1981年～1990年間」に掲載された奥行・空間視研究（「心理学研究」と″JAPANESE PSYCHOLOGICAL RESEARCH ″） 111

5.1 両眼立体視 114
5.1.1 両眼視差立体視に異常のある者の輻輳反応 114
5.1.2 全体的立体視における対応問題 116
5.1.3 プルフリッチ（Pulfrich)現象 123
5.1.4 融合性バーゼンスのヒステリシス 125
5.1.4 ダブルネイル錯視 126
5.2 運動視差による3次元対象の剛体性 129
5.3 仮現運動オクルージョン 132
5.4 大きさ恒常性の発達 134
5.5 主観的輪郭パターンにおける奥行 136

第6章 「1981年～1990年間」に掲載された奥行・空間研究 .. 137

6.1 両眼立体視 137
6.2 運動視差 140
6.3 視空間の曲率 146

6.4 絵画的要因 148
6.5 動物の奥行知覚 151

第７章　日本の奥行知覚研究が明らかにしたもの 154

7.1　視野闘争 154
7.2　両眼立体視 157
7.3　運動視差 163
7.4　視空間の構造 164
7.5　三次元的視知覚場 170
7.6　平面図形における奥行視 171
7.7　外国雑誌への掲載 172

第８章 奥行知覚・空間知覚の研究の歩み 173

8.1　筆者の研究の発端 173
8.2　3 次元視の生得性、視覚的断崖と陥穴、視覚性恐怖 177
8.3　運動視差 179

参考文献 188

はじめに

我が国の奥行知覚や空間知覚研究は、この 100 年の間にどのような人によって担われ、どんなテーマについてなされてきたのだろうか。こんな疑問に答えてくれる学術雑誌がネットで公開されている。

国立研究開発法人科学技術振興機構（JST）が構築した「科学技術情報発信・流通総合システム」（J-STAGE）では、我が国の学会が発行した学術雑誌 1806、会議論文などを電子化し、世界中のどこからでもアクセスできるサービスを無料で実施し、公開された論文は全文 PDF で閲覧できるので便利である。

心理学関係では 20 の学会発行の学術雑誌が公開され、そのなかには「心理学研究」(1926－)、その前身である「心理研究」(1912－1925) そして「心理学雑誌」(1919 －1925)、欧文誌「Japanese Psychological Research」（1954－）がある。

これらの学術雑誌に掲載された論文のなかから、奥行知覚や空間知覚に関連した研究テーマの論文を検索した。因みに 1912 年に発行された心理研究初号の巻頭には松本亦太郎「優良種族の消長」が掲載されていた。

それから約 100 年、心理学は大きく進歩し、また知覚研究も長足の進展を見た。心理学は多岐にわたって発展し、知覚研究もまた同様である。掲載される論文もグローバル化し、「Vision research」，「Perception」などでの投稿が常態化している。

視知覚研究には、色覚、光覚、錯視、恒常性、明るさ対比、パターン視、図形残効、仮現運動、運動視、中心視と周辺視、空間周波数処理など多くの研究課題があるが、ここでは奥行知覚や空間知覚、現在ではこれらの領域を含めて3次元視知覚と称される研究の辿った道を、心理学会発行の学術雑誌に掲載された論文から探ってみる。

第１章　日本における奥行・空間知覚研究のはじまり

1.1「心理研究」（1912 年から 1925 年）

1912 年（明治 45 年・大正元年）に心理学の学術雑誌が京都大学ではじめて創刊された。この年 7 月には明治天皇が薨去、大正天皇が即位、大正時代のはじまりとなった。この年の主な社会的出来事としては、1 月に日本最初の南極探検隊白瀬中尉が南極に到着。6 月富山県で米騒動勃発し全国に拡大、乃木希典が殉死、内閣首班は桂太郎、国際的出来事としては、1 月清朝滅亡し中華民国成立、南京に中華民国臨時政府が樹立、4 月イギリスの蒸気客船タイタニック号が北大西洋航路を処女航海中氷山に衝突し沈没、死者 1513 人にのぼった。

1935 年 12 月発行の「心理学研究」に載せた松本亦太郎の「心理学研究の回顧」によれば、「我国に於ける心理学の論文は初は哲学雑誌中に含まれて発表され、その期間は相当に長く明治の終頃迄に及んだ。心理学の独立の雑誌が我国に於て創刊されたのは明治四十五年であつて、これは東京帝国大学で明治三十八年に心理学科が其第一回の卒業者を出した事が発端となつた。明治四十三年頃東京帝大の心理学教室に親しく出入した心理学科卒業者中、上野陽一、大槻快尊、倉橋惣三、菅原教造、増田惟茂等の諸君が中心となり、東大の元良勇次郎先生と京大の私とが顧問になり「心理研究」なる月刊雑誌を出す事を計画し、遂に四十五年に第一巻を出した。明治四十二年には京都帝大に於て心理学科専攻第一回卒業者が出て、心理学実験室も完成し、同実験室に出入した学徒が此雑誌の発行に協力し東西両大学の心理学者が相応呼し、而して幾年かを重ねて「心理研究」の隆盛期を出現せしめた。此雑誌の編輯発刊は心理学研究会なる名目を以てし、会の編輯部の事務には上野陽一君が主として之に当つた」とある。つまり、東大と京大の心理学関係者によってつくられた「心理学研究会」が雑誌を創刊し、その後編集に当たった。現在あるような日本心理学会の学

術雑誌という形式ではなかったが、1927 年（昭和 2 年）4 月に日本心理学会が創立され、「心理学研究」を発行するまで、心理学の学術雑誌としての役割を果たした。

「心理研究」の初号には、松本亦太郎「優良種族の消長」、富士川游「骨相と人相」、久保良英「ポンチ畫と機智」、福來友吉「国民教育と軍隊教育」、元良勇次郎「意志と自然力との関係に就いて」、速水滉「珍らしきプランセットの実験例 自動書記に現るゝ副意識的現象」、千葉胤成「革命の心理」、石神徳門「青年の宗教心　信念初発の年齢及び其動機」の 8 論文が掲載された。日本の心理学の創世期を担った碩学の名前で優良種族の問題から骨相と人相、軍隊教育、革命の心理まで多義にわたる研究テーマの論文が掲載された。この時期では、心理学は哲学、人類学、宗教学、教育学などの学問領域から未分化な状態にあり、実験の科学としての立場が確立していなかった。

因みに 8 人の論文執筆者は次のような方々であった。

福来友吉（1869- 1952）は、東京帝国大学助教授時代に超心理学を研究し、3 人の女性の透視と念写能力の実在を報告、1914 年（大正 3 年）に『透視と念写』を出版したが、その信憑性が強く疑われ、東大学長上田萬年によって教授職から追放された。

富士川游（1865-1940）は、広島医学校（現・広島大学医学部）を卒業した医師で、1890 年第 1 回日本医学会の開設に貢献した。日本の古代から現代に至る医学の歴史である日本医史学を研究し、1904 年畢生の大著『日本医学史』を刊行、この業績によって 1912 年帝国学士院の恩賜賞を受賞した。

久保良英（1883-1942）は、京城帝国大学教授、のち総長、精神分析やゲシュタルト心理学を紹介、ビネー式知能検査の標準化に貢献した。

千葉胤成（1884 年-1972 年）は、東北帝国大学文学部教授。

上野直昭は 1912 年（大正元年）の「心理研究」第 2 号にヴントの『心理学入門』を紹介した。上野は 1908 年東京帝国大学文学部哲学科卒、その後、京城帝国大学、九州帝国大学教授などを歴任し東京国立博物館館長、愛知県立芸術大学学長を勤め、日本の絵巻物や東洋と西洋の美術比較等に造詣が深い美学者であった。その上野がヴントの心理学に関心を持ち、「心理学上の誤解や偏見を除く爲めに、ヴントの心理学を解り易く、日本の学界に紹介して見たいとは豫ての願であつた。恰も今度新らしく彼れの『心理学入門』が出版されたと聞き、やがて手に入ると同時に通読して非常に面白く感じた。・・・此の『心理学入門』は「心理学及実験教育学叢書」の第一巻として昨年出版されたもので、百三十頁足らずの小册子であるが、精神生活の大体に亘つて、極めて分り易く、氣のきいた書き方がしてある。ヴントの心理学の一般、同時に人間の精神生活の根本概念を得るには、甚だ都合のよい本である」として紹介記事を載せている。実験美学を提唱したのは Fechner とされているので、それとの関連でヴントの考え方に関心を抱いたものと考えられる。

周知のように、ヴントはそれまでの哲学的な心理学とは異なる実証的な心理学を構想し、ライプツィヒ大学に実験心理学の研究室を 1879 年に開設した。ヴントは、心理学を経験科学であり直接経験の学であると論じ、その方法を意識の内面を分析する自己観察（内観）に求め、そこで発見された意識の要素を構成法則にもとづいて再構成しようと構想した（要素主義）。例えば、感覚は心的要を統覚という心的法則によって統合されるとした。これは、19 世紀初頭イギリスの化学者ドルトンの「原子説」、すなわち物質の究極の要素は原子であり、これが組み合わさって元素になるとの説に影響を受けたものであった。

「心理研究」には「論文」の他に「講話」、「紹介」あるいは「論説」という記事が掲載されていた。これは、当時の最新の心理学研究につ

いて解説したもので、例えば、1912 年の第 2 巻の 7 号に増田惟茂が「鼠の視覚及び視覚表象」という講話を載せている。増田は大正から昭和前期の心理学者で元良勇次郎や松本亦太郎に師事し、欧米留学後に東京帝大助教授を務めたが 51 歳で早世した。比較心理学、実験心理学の分野で業績をあげ、著作に「実験心理学序説前編」がある。増田は、その講話のなかでオペラント条件付けを用いたネズミの光覚と色覚の弁別実験を紹介し、ネズミには光覚はあるが色覚能力はないことを解説した。さらにネズミを高さの異なる台上に置き、その床面からの高さを変えると、高いほど床に降りる時間がかかることから落差の知覚能力はあること、ネズミの眼球と網膜構造から両眼融合視野が小さく輻輳運動が限定されているので両眼立体視能力はないこと、錐体細胞が欠如しているので色覚能力がないこと、さらに中心窩がないことから形態知覚は貧弱であること、などを解説した。現在の知見にもとづいても、これらの結論はおおむね正しい。1912 年といえば大正元年にあたるが、この時代にすでに比較心理学的な研究が移入され、紹介されていたことは驚きである。

「心理研究」は、今日でいえば、心理学の啓蒙をはかるための総合誌といった趣があった。感覚と知覚領域に絞って、そのような記事を紹介すると、1912 年に菅原教造「紹介：音に依て色を見る共感覚の一新例」、石原忍の「講話：色盲の話」、1913 年に有馬源次の「論説：網膜周邊の色彩視」、有馬源次の「論説：視覚の範圍に於ける刺激閾の意味」、1919 年に松永延造の「論説：心理的空間の研究(1)と(2)」などが散見される。

これらの記事をみると、1914 年（大正初年）前後にはすでに感覚や知覚の領域では刺激閾、刺激頂、弁別閾、そしてヴェーバーやフェヒナーの法則が紹介されていたことがわかる。因みにヴェーバーの法則は 1834 年に発見され、それ以後弟子のフェヒナーがヴェーバーの法

則からフェヒナーの法則を導き出していた。

1.2「日本心理学雑誌」（1919 年から 1925 年）

「心理研究」と並行して、「日本心理学雑誌」が 1919 年（大正 8 年)に創刊され 1925 年（大正 14 年）まで刊行された。創刊号に掲載された論文は、千葉胤成の「識別作用の非相稱性に就て 」、浦本政三郎の「筋の電氣刺戟に於ける刺戟除商と温度との量的関係について」、黒田源次の「両眼視野の優越，鬪爭及び融合現象を規定する外部條件に就いて 」、務台理作の「意味對象と原因對象」であった。

務台は京都帝国大学在学中に西田幾多郎に師事した日本を代表する哲学者であり、後に東京文理大学学長を務めた。その西田が 1919 年に哲学論文を掲載しているのは注目される。務台は、

「一の感覚に於て感覚する主觀と感覚せらるゝ對象との對立がある。感覚對象とは視覚に對する色、聽覚に對する音其他味覚嗅覚温度覚觸覚等に由つて把捉せらるゝものを指すが、これ等は明かに感覚作用と區別せられる視覚作用が赤いのでなく視覚せらるゝものが赤いのである。聽覚作用が鳴るのでなく聽覚せらるゝものが鳴るのである。こ對立を他の作用にも及ぼして表象判断感情及び意欲の作用とそれの對象とを考へることができる。・・・・素朴なる考察では二者が同一視せられ易いが少しく嚴密に考ふるならば此處に感覚對象と呼ぶものは物的でも心的でもないが原因對象は少くも物的であることが明かであらう」と書き出し、その論文の末尾で、

「脳髄の本質が何ものであるか、精神現象の實が何ものであるかは遂に吾等の知る處ではない。然し吾等は直接なる意識体驗に觸れてゐる。かゝる意識体驗が脳髄と精神との平行関係を統一する最後の假定であらうと思う」と結んだ。

この論文では哲学上の認識論の問題、とくに意識と存在の関係、ま

たそれを介在する脳のはたらきについて考察された。

1919 年にいたってはじめて本格的な知覚研究が黒田源次によって執筆され掲載された。東京文化財研究所の物故記事によると、黒田は明治 19 年熊本市に生れ、第五高等学校を経て京都帝国大学文学部に入つて心理学を専攻し大学院に学んだ後に、大正 3 年同大学医学部副手となつて生理学を修め、同 9 年講師、同 12 年文学博士の学位を受けた。大正 13 年から翌年にわたつて文部省海外研究生となつてドイツに赴き、ライプチッヒとベルリンで学んだ。同 15 年満州医科大学教授となり生理学教室を担当した。昭和 6 年生理学研究のため欧米各国へ留学、特にベルリンに滞在して研究をつづけ、同 9 年帰任した。終戦後、昭和 21 年満州を引揚げて内地へ帰り、翌 22 年には東京帝室博物館嘱託、同年国立博物館官制の制定とともに国立博物館嘱託と、同年 9 月文部事務官に任ぜられ国立博物館奈良分館長となった。同年 10 月正倉院評議会々員、同 27 年奈良文化財研究所長を兼ね、同年 8 月奈良国立博物館長となつた。

黒田の研究は多方面にわたり、心理学、医学、薬学、支那学、考古学、美術史、日本古代史などにわたつた。その主な心理関係の著書に「条件反射論」（大正 13 年、京都、生田書店）、「心理学の諸問題」（大正 13 年、東京宝文館）がある。

黒田の略歴をみると、心理学と生理学そして美術史にも精通した当代一流の研究者だったことが伺い知れる。

また、浦本政三郎（1891－1965）は、大正－昭和時代の生理学者で、大正 12 年に東京慈恵医大教授。刺激生理学や条件反射を研究した。

「日本心理学雑誌」は、1925 年に「心理学研究」に引き継ぐまで 6 年間にわたり 6 号まで刊行された。

1.3　両眼視野の優越、視野闘争及び融合現象

実験科学としての心理学がようやく確立されはじめた大正時代に、これから紹介するように知覚心理学の領域では、現象を生起させる要因を探求するために刺激側の条件を体系的に操作する条件分析的実験研究が実施されていた。

以下、空間・奥行知覚あるいはこれに関連する研究に絞って、当時の研究テーマ、およびその成果をみていく。

奥行知覚領域の研究では、1919 年から 1921 年にかけて黒田源次が「心理学雑誌」に「両眼視野の優越、闘争及び融合現象を規定する外部條件に就いて」、「両眼視混合に関する実験的測定（第一報告）」、「色彩視野闘争の時間的測定（第二報告）」、「前行の視野融合の後行の視野闘争に及ぼす影響」を、また 1923 年に藤岡 巖が「両眼視的光輝に就いて」を発表した。これらの研究ではいずれも両眼視融合と両眼視野闘争の問題を扱っていた。

1919 年は大正 8 年に当たる。前年には米の暴騰による全国的な米騒動が起き、ロシア革命に対する干渉としてシベリア出兵がなされた。このような政情不安な世相を背景に9月には本格的な政党内閣の原敬内閣が誕生した。1919 年 1 月には連合国主催の第一次世界大戦の処理に当たるパリ講和会議、朝鮮では三・一独立運動、反日・反帝国主義運動となる五・四運動、そして 10 月には中華民国で中国国民党が結成された。

このような不穏な国内外の政情のもとで発表された「両眼視野の優越、闘争及び融合現象を規定する外部條件に就いて」の論文の冒頭で、黒田は「視野卓越、視野闘争、視野融合の三者は異種光線を以て両眼網膜の一致點若くは相應點を刺激したる場合に可能なる現象なり。而して之等三現象の決定せらるゝは全く與へられたる外部條件の性質的並びに分量的関係に依らざるべからず。されば其條件の如何なる差

異若くは程度が三現象の分岐を決定するかを嚴密に且精細に査定することは、両眼視諸現象の相互関係を研究するに當りて最必要なる問題なりとす。即ち予は以下論述せんとする所の性質強度の二點より此問題の研究を試みんと欲するものなり」と記して、研究目的と方法を宣言した。そのために、視野融合、視野闘争そして片眼優位（優越）の各段階がどのような条件で出現するのかが実験的に分析された。

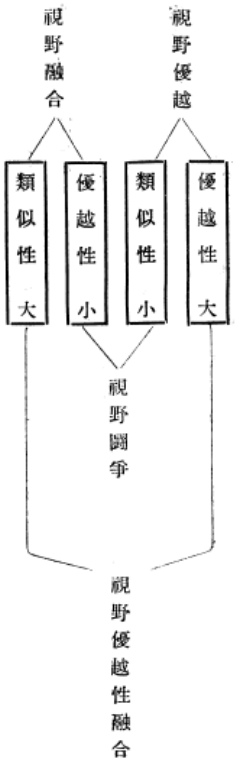

図１　視野融合、視野優越そして視野優越性融合の関係（黒田　1919）

1833 年､イギリスの物理学者ホイートストーン(Wheatstone,C)は両眼視差にもとづくステレオグラムとそれを立体視するステレオ・スコープを発明した。そして､1851 年の第１回万国博覧会でこれが展示され、ヴィクトリア女王をはじめ、観覧者から大評判を得た。したがって、この当時、日本においても両眼立体視のしくみについては大いなる関心がもたれていたと思われる。

論文で取り上げられた視野卓越、視野闘争、視野融合とは、つぎのような現象である。両眼に同一刺激を提示すると両眼融合が生じる。しかし、一方の刺激属性を違えるとそれに対応して両眼

融合、視野闘争あるいは片眼優位知覚のいずれかが出現する。ここでは片眼の刺激の色相、明度、彩度、および刺激の大きさを組織的に変え、どの条件の時にその段階の知覚諸相が出現するかを黒田は吟味した。そのために、明度を同等とした青、赤、黄、橙、菫、緑の 6 色を用意し、その大きさを同等あるいは大小差を設けて左・右眼に提示して各色の優位出現時間を測定あるいは視野混合程度を被験者に答えさせた。

その結果、(1)片眼優位性は、両眼間の刺激属性の強度が大なるほど著しいこと、(2)視野闘争は両眼間の刺激差が小さいほど明瞭に出現すること、(3)両眼融合は両眼間の刺激属性が類似するほど容易になること、(4) 刺激の明るさや大きさなど両眼への刺激強度を共通に減少すれば、片眼視野優位性が減じ、その結果両眼融合を促進すること、などを見いだした。

これらの結果を踏まえて、両眼視のしくみは常に両眼視融合あるいは片眼優位性知覚を出現させる傾向を持ち、これらの中間段階として視野闘争が位置づけられると黒田は結論した。そして、両眼視融合、片眼視野優位（視野優越）および視野闘争が生起する刺激レベルの水準を図 1 のようにまとめた。すなわち、(1)視野融合は両眼刺激のどちらかが優越になることが少なく（優越性小)、また両眼間刺激の類似性が大の場合（類似性大）に生起すること、(2)視野優越は両眼刺激のどちらかが優越であることが大で、その類似性が小の場合に生起すること、(3)両眼視野闘争は両眼間の刺激類似性が小で両眼刺激のどちらかが優越であることが小の場合に生起すること、さらに(4)視野優越性融合（両眼視野融合を生じながら視野優越現象も示すもの）は両眼刺激のどちらかが優越であることが大でその類似性が小の場合に生起すると結論した。

約 100 年前の 1919 年に行われた黒田の研究は、両眼視野融合、視

野闘争、片眼視野優位の出現する刺激条件を丹念に追跡したものであり、これらの研究結果は現在でも妥当なものといえよう。とくに、黒田は、付言の中で「傾斜せる二線が両眼視的に重ね合わされて一直線に見ゆるが如き大小不同の円が重ねられて、中間に近き大きさの円を見るが如き場合これなり。此等の場合に多く遠近知覚を伴ふことあるは注意を要す」と記して、両眼視差にもとづかないステレオ視のあることを見つけていたことは特筆される。これらは綿密な観察実験から得たものであろう。

さらに黒田源次(1923)は、「両眼視混合に関する実験的測定（第一報告)」で　両眼視混合の問題をとりあげ、両眼視融合あるいは片眼優位性の問題をさらに追究した。実験では片眼に白、他眼に黒を提示したときの明るさの混合視がどのように出現するかを吟味した。実験事態では上と下に左・右眼の観察窓を設定した。そして下部の左・右眼観察窓には明るさの異なる刺激を提示して両眼視混合を生じさせ、その混合知覚の程度は、上部の左・右眼観察窓に左右とも明るさが同等の刺激を段階的に提示して明るさについてマッチングを求める方法で測定した。下部の左・右眼観察窓の片眼には白を他眼にはその明るさを段階的に 10 通りに減じた灰色を提示した。

片眼に白色、他眼に黒色または灰色を示した場合の両眼視的混合の結果は、各眼の明るさの中央値となるのではなく、ある明るさ帯域では白色側に偏向することが示された。黒田はこの結果から、視野融合の原理は両眼刺激の差異がある程度以下の場合に可能であり、それ以上の明るさレベルでは片眼優位の原理が生起すると考えた。

この研究は、視野闘争や両眼視混合が初期の視覚処理過程とともに高次視覚過程での処理を伴う現象であることを示唆したもので当時としては洞察に富んだものといえよう。

また黒田源次(1920)は、「色彩視野闘争の時間的測定（第二報告)」

を発表し、左右眼に色相の異なる刺激を提示したときの視野闘争の回数、視野闘争時間、視野闘争 1 回の出現時間を測定することで、色相による視野闘争での優位性が出現するか否か、さらに色相の好意度と闘争優位度との関係をしらべた。色相の組合せは、赤、青、緑、黄、橙、緑、菫の 7 色の組み合わせたもの 15 条件とした。

実験の結果、(1) 黄・橙・緑は最も長く出現、次に赤、青菫がもっとも短いことが見いだされたが、これには個人差が大きいこと、(2) 色相の好意度（快感度）を評定（黄＞赤＞青・橙＞菫＞緑)、これと視野闘争優位出現の相関を見たところ、両者の符合するもの 5、反対するもの 5、不明 5 となり、感情的快不快をもっては色彩の視野優越の差異を説明できないこと、(3) 観察者の右利・左利等も視野闘争における時間的関係にまったく影響しないことを明らかにした。

続いて黒田源次 (1921) は、「前行の視野融合の後行の視野闘争に及ぼす影響」を発表し、視野融合を先行知覚経験とした後に経験させる視野闘争がどのように生起するかを実験的に検討した。実験手続きは、まず片眼に赤色、他眼に黄色の視野闘争刺激を観察させ、これが知覚的に融合されたら、すかさず両眼に白色、黒色、灰色、橙色、あるいは緑青刺激のいずれかを提示して両眼融合を体験させた。この融合体験時間は 10 秒から 1800 秒の間で 8 段階に操作した。両眼融合体験時間終了直後に再度赤色と黄色の視野闘争刺激を各眼に提示した。この 3 段階のそれぞれで、視野闘争回数および視野闘争時間を測定した。

実験の結果、(1) 両眼融合体験刺激として白色あるいは黒色を用いた場合では後行の視野闘争の生起が異なり、白色刺激の場合には後行の視野闘争をやや促進させるのに対して、黒色刺激の場合には後行の視野闘争を明瞭に抑制、また灰色刺激の場合には白色刺激と黒色刺激の中間的な効果を後行の視野闘争に及ぼすこと、(2) 赤色と黄色の視野闘争と融合を観察後に白色あるいは黒色で両眼融合を持続させた

場合、その持続時間は白色で短く黒色で長くなること、(3)先行の両眼融合に橙あるいは緑青の色彩を用いた場合、橙色は後行の視野闘争を促進、緑青は抑制させることなどが見いだされた。

黒田は、先行の両眼融合視に橙あるいは緑青の単一色を用いた場合に後行の視野闘争にあたえる効果が異なるのは、両眼融合で生じる残像が後行の視野闘争刺激と混色することで生じると説明した。すなわち、先行の橙色の後に観察する赤と黄色は、橙色の残像の影響で赤と黄色よりもそれぞれ補色に近くなるので反対色となり視野闘争を促進、一方で緑青が先行の場合にはその残像の影響で後行の赤色は橙赤に、黄色は橙黄色に視えるためにそれぞれ類似した色となり視野闘争は抑制されるというわけである。

黒田の研究は、視野闘争が先行する両眼視野融合によってどのように変じるかを探ることを通して、その両眼視融合と視野闘争を一連のプロセスと考え、視野闘争が外的刺激要因、および先行と後行の相互作用によって引き起こされるとし、それを条件分析によって明らかにした点で先駆的といえる。

黒田の研究を受けて藤岡 巖（1923）は、「両眼視的光輝に就いて」を発表し、左右眼に異なる明るさの刺激片を提示すると、両眼融合視された明るさが増大すること（光輝）を報告した。ここでいう光輝とは、左右眼に別々の刺激（例えば白：黒、白：灰色）を提示したとき、それらのどれにも存在しない明るさが出現して視えることをさす。藤岡はプリズム式の手持用実体鏡視を利用し、片眼に白片（明度360度）、他眼に明度の異なる白片（5、50、110、290 度）を提示し、光輝の出現の有無を被験者に報告させたところ、灰色の明度が 5 度および 50 度の条件でのみ光輝が出現した。

そこで、左右眼に正 12 面体のステレオグラムを提示し、左眼の刺激の中央の一面に白（左眼）、右眼のそれには黒あるいは灰色（右眼）

を提示して立体視させたところ、左・右眼視の平面視では光輝が生起しない条件である白（360 度）と灰色（110 度）で光輝が生じることが示された。また、左・右眼視の平面視条件で片眼の刺激の大きさは一定、他眼にそれを縮小して提示すると、白（360 度）が 1.9cm（一辺）で大きさを固定し、灰色（290 度）を 1cm まで縮小すると顕著な光輝が出現した。さらに、片眼に白片、他眼に明度の異なる色片（橙、朱、黄、緑青、緑、青緑など）を提示すると、左右眼の刺激の輝度差が大なるほど光輝が出現した。

藤岡は、これらの結果から、両眼視的光輝の成立には両眼刺激の明度差異がある程度以上大なることが必要なことから、視野優越性原理が働いているとし、さらに光輝の出現には色相差異は重要ではなく左・右眼で白色と黒色を提示すると融合して灰色が出現することから視野類似性の原理も働いていると考えた。黒田（1919）は視野融合、視野優越（視野闘争）および視野優越性融合が生起する刺激レベルの水準を図のようにまとめているが、この枠組みに依拠して、藤岡が明らかにした視野闘争条件での光輝現象は両眼刺激のどちらかが優越であることが大でしかもその類似性が小の場合に生起する視野優越性融合（両眼視野融合を生じながら視野優越現象も示すもの）に当てはまると論じた。

藤岡の研究は、視野闘争が眼球に提示される刺激のレベルで生起するのか、あるいは両眼視融合が生起した後の中枢のレベルで生起するのかに切り込んだもので、1923 年当時の研究としては明確な問題意識を持ったものである。

因みに当時、藤岡厳は京都帝国大学医学部生理学教室に在籍し、「心理学雑誌」の第 3 巻に「原生動物のガルバノタキシスの理論に資する一実験」を掲載、鞭毛虫の電気刺激に対する走化性について実験した結果を報告している。

第 2 章 昭和初年から終戦までの奥行・空間知覚研究

2.1 1935 年（昭和 10 年）当時の心理学講座を持つ日本の大学

1935 年 12 月発行の「心理学研究」には、松本亦太郎が「心理学研究の回顧」という一文を 10 周年記念として寄稿した。そこには、心理学講座を持ち、卒業生を送り出している大学名と卒業数とが下記のように記載されていた。

「昭和 10 年までの卒業者總数は東大 230 人、京大 78 人、東文理大 34 人、日大 33 人、東北大 21 人、広島文理大 15 人、九大 13 人、東洋大 11 人、法政大 10 人、慶大 8 人、早大 6 人、立正大 6 人、京城大 5 人等であり、・・・」

1935 年当時、心理学卒業生を送り出せる大学は、帝大系は東京帝大、京都帝大、東北帝大、九州帝大、京城帝大、文理大系が東京文理大、広島文理大、そして私大系が日大、東洋大、法政大、慶大、早大、立正大で全部で 13 大学に過ぎなかった。

日本心理学会は、これより遡ることは 8 年前の 1927 年（昭和 2 年）に設立され、学会機関誌として「心理学研究」を発行することとなった。「心理学研究」自体は 1926 年に第 1 巻が発行されていた。これ以前にもすでに紹介したように、1912 年～1925 年間発行の「心理研究」、そして 1919 年～1925 年の「日本心理学雑誌」が発行されていて、「心理学研究」はこれらを継承するものだった。

1945 年、太平洋戦争終戦前までに「心理学研究」に掲載された 3 次元視知覚領域（空間知覚、奥行知覚、遠近知覚など）の研究は、大きさ恒常性、両眼立体視、視空間の構造、遠近性錯視、運動による奥行視があり、戦争中でも多くの研究がなされていた。

2.2 知覚恒常性

ヴントの意識心理学では、さまざまな感覚要素が統覚作用によって

統合され知覚世界が意識に昇ると考えた。これに対してヴェルトハイマー(1880-1943)によって打ち立てられたゲシュタルト学派は、意識と反応との間の一対一の関係（恒常仮定）を仮現運動やメロディの移調などいくつかの知覚現象を例示して否定した。そのひとつの現象が知覚恒常性であった。とくに「ゲシタルト心理学の原理」を著したコフカ(1886-1941)は、対象の奥行距離が変化してもその大きさは恒常を保つとする大きさの恒常性をとりあげ、奥行距離の変化で変わる網膜像に依存しないで対象の本当の大きさを知覚する内的過程の存在を仮定したのだった。

「心理学研究」に発表された大きさ恒常性に関わる研究には、1932 年秋重義治（九州帝大）の「二、大きさの恒常現象学説に対する一貢献-先天性隻眼者に施行せる実験報告-」、「知覚的空間の構造に関する実験的研究　Ⅷ 標準刺激が呈示される室間の照明條件が明るさの恒常度に及ぼす効果についての実験的研究」、1933 年伊吹山太郎（京都帝大）の「大きさの恒常性に関する実験的研究(報告第二)」、1932 年天野利武と小松鳳三（京城帝大）の「空間的大いさの比較に就いて」、1939 年天野利武の「同時比較に於ける二対象間の距離の機能について」、1936 年三木安正（東京帝大）の「 “大きさの恒常”現象に對する規定條件としての空間構造」、1936 年秋重義治（九州帝大）の「知覚的空間の構造に関する実験的研究　Ⅶ 標準刺激の提示位置（遠近）が大いさの恒常度に及ぼす効果についての実験的研究」、並びに「知覚的空間の構造に関する実験的研究　Ⅷ 標準刺激が提示される室間の照明條件が明るさの恒常度に及ぼす効果についての実験的研究」、1937 年に高木貫一の「遠近の定位に関する一実験装置」、1938 年に小笠原 慈瑛の「恒常現象の研究(I)」、1942 年神保皆生（東京帝大）の「方向による大きさの恒常現象の差異」がある。

両眼立体視に関わる研究には、1941 年入谷智定の「遠近の視知覚と

両眼視差」、1942 年阿部孫四郎（長野県師範学校）の「実体鏡視に於ける融合の問題」、1943 年与那嶺松助の「両眼による奥行知覚と類型」がある。

視空間の構造に関わる研究には、1928 年小保内虎夫の「太陽及び月の大いさの錯覚」、1932 年矢田部達郎・秋重義治（九州帝大）の「知覚的空間の構造に関する実験的研究　1　視野上半下半に於ける距離過大視に関する実験的研究」、1940 年南博（京都帝大）の「視空間の成立に関する実験的研究」、1943 年宮川知彰（東京帝大）の「倒立視に関する実験的研究」がある。

奥行知覚に関係した錯視の研究には、1927 年佐藤一の「反轉性遠近錯視に関する一実験」がある。

これらの研究をレビューし、奥行知覚研究に関する当時の問題意識がどこにあったのかをみていこう。

隻眼者の大きさ恒常性

1932 年秋重義治（九州帝大）は「二、大きさの恒常現象学説に対する一貢献-先天性隻眼者に施行せる実験報告-」を発表し、そこで「我々の実験目的は大きさの恒常現象に封して両眼視差及び両眼輻輳が不可缺の條件であるか否かを決定せんとするにある。この目的を以て我々は両因子を全く缺如すると考へられる先天的隻眼者について実験を施行した」と研究の目的を述べた。

対象とした患者は生後二百日頃左眼の視覚を喪失 17 歳の青年で漁業に従事していた。左眼視力零(0)、後退性角膜症で眼球は萎縮、また右眼は後発白内障、角膜白斑があり視力は 0.2 であった。同人は日常生活において格別の不便を感ぜず漁業に従事し自転車をも乗りこなすことができた。大きさ恒常性実験は、対象のみが視える等質空間、床を遮蔽した空間、そして日常空間とし、標準刺激の大きさを比較刺激の大きさでマッチングさせて恒常性の程度を測定した。

その結果、片眼障害者は健常者と同等の大きさ恒常性を有していた。このことから、両眼視差及び両眼輻輳要因は恒常性の必要要件ではないこと、それよりは空間が等質ではなく分節されていることの方が重要であることが明らかにされた。

大きさと明るさの恒常性

1932 と 1936 年の秋重義治（のちに九州大学教授）の 2 篇の論文は明るさの恒常性と大きさ恒常性に関する研究で、そこでは副題として「標準刺激が提示される室間の照明條件が明るさの恒常度に及ぼす効果についての実験的研究」および「標準刺激の提示位置（遠近）が大いさの恒常度に及ぼす効果についての実験的研究」とあった。

秋重は明るさの恒常性をあつかった前者の論文では、図２に示した５通りの実験事態を作成し、標準刺激と比較刺激を明あるいは暗条件のいずれかにおいて比較刺激の明るさを変化させて標準刺激の明るさとのマッチングを求めた。比較刺激の明るさは一定量の白色扇形と黒色扇形とを回転器で混色させて変化させ、測定は上昇系列および下降系列（極限法）、もしくは恒常法に基づいて実施された。

その結果、標準刺激が暗い照明中に提示される場合は、 明るい照明の中に提示される事態に比較して明るさの恒常度が相対的に上昇すること（N-D 効果）、この効果は視野全体が暗い照明の中にあってその一部分が明るい照明を受け、 観察者は暗い照明下で観察する場合にも成立すること、人工照明による照明見透しの実験事態（D および E の事態）で刺激提示の様式が系列法によるときは N-D 効果は明瞭であるが、 単一法を用いる時は比較刺激が暗い室に提示された時に超恒常現象を呈し N-D 効果は成立しないこと、N-D 効果は還元スクリーンを用いて観察する場合には成立しないことが示された。

実験の結果から、N-D 効果が成立するために必要な視野構造条件は、両対象が明暗に関して相異った空間（ひとつは明るい場所に他は暗い

場所にある）ことが必要であると結論されている。

後者の論文では、大きさ恒常性測定に際して観察者を中心として標準刺激が比較刺激よりは遠くにある場合と近くにある場合とで恒常度が異なるかを、刺激の形状（線分、円盤、正六面体)、刺激の大きさ、観察距離、測定法（極限法、恒常法、調整法)、観察条件（単眼視・両眼視）などを操作して詳細な条件分析実験を実施した。

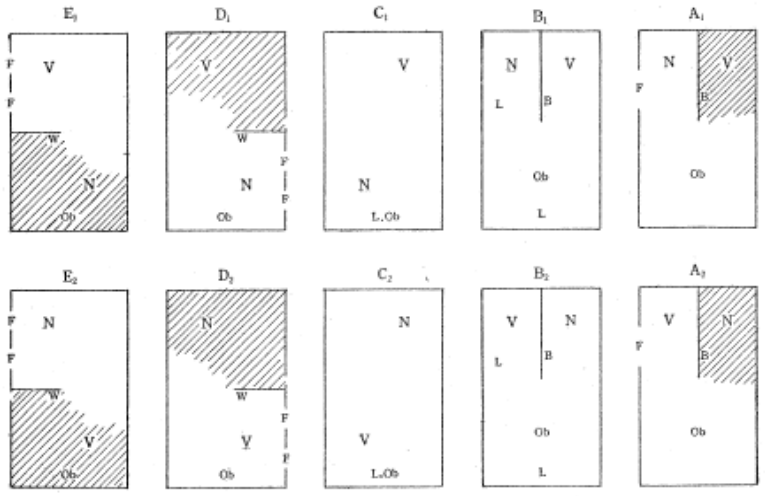

図 2　明るさ恒常性実験の 5 通りの実験事態。標準刺激（N)と比較刺激（V)を明（白色部分）あるいは暗（斜線部分）条件のいずれかにおいて比較刺激の明るさを変化させ、標準刺激との明るさのマッチングを求めた（秋重　1923）

その結果、標準刺激が比較刺激より遠くに提示されるとき、大きさの恒常度は相体的に大となり、近くに提示されるときに相体的に小となること（N-F 効果)、この効果は刺激の形状、大きさ、観察距離、測定法、観察条件に関わらずに生起することが示された。ただし、単眼

視条件で視野制限した場合、標準刺激の提示位置を固定せず標準刺激、比較刺激をとりまぜて提示し、大きさ判断を標準刺激あるいは比較刺激のいずれでも常により小さい対象またはより大きい対象について判断させた場合には N-F 効果は成立しなかった。

これらの結果から、秋重は提示した標準刺激と比較刺激の物理的遠近差に関わらず、一方が近くに一方が遠くにあるものと認知されること、すなわち観察者、標準刺激および比較刺激の間に二つの相異なった空間関係が成立していて、いわば標準刺激は比較刺激と異なる知覚的性質が付与されていなければならないと結論した。

秋重の明るさと大きさの恒常性の研究は、それぞれの恒常性の生起に関わる要因を精神物理学的測定法に則して丹念に条件分析したもので、恒常性に関わる主要因を特定し、無関係な要因を除くことに貢献したものであった。当時の実験は、ボール紙、ケント紙などを材料に手作りされ、とくに比較刺激に使用する円盤などは 0.5cm 単位で大きさの異なる円を十数枚用意するなど現代のディスプレーに提示する手法に比較すれば手間暇かけたものであった。

天野利武（のちに大阪大学教授）と小松鳳三は 1932 年に「空間的大いさの比較について」を発表し、ここでは大きさの比較判断の基礎となる要因が検討した。実験は暗室内に標準刺激として垂直の白色棒状刺激（長さ 20cm）を、比較刺激として同形状同色の棒状刺激（18～22cm に長さ変化）を提示し、標準刺激に対して比較刺激の長さを全系列法で測定した。標準刺激は観察者から 200cm の位置に、比較刺激はその位置から奥方向に 40、50、60、70、80cm 遠方に提示した。実験条件は、観察者の同一視野に標準と比較刺激を提示し長さを同時に判断させる条件、標準刺激を観察者の前額方向に比較刺激を右側 90 度方向に提示し長さ判断を継時的に判断させる条件、および標準距離を 100cm から 50cm のステップで 300cm まで変化させた同時比較条件

の 3 通りを設定した。

実験の結果、同一視野の中での同時比較判断では標準刺激は過小視されること、しかし異なる視野での継時比較判断では逆にやや過大視の傾向があること、また標準と比較刺激間の奥行距離が小さいほど過大視されることが示された。

天野と小松は、同時と継時比較判断で結果が分かれたのは、同時比較判断では網膜像の大きさという末梢的要因に依拠しているのに対し、継時比較判断では対象の大きさの印象という非末梢的要因が作用しているためと考えた。そして大きさの比較判断過程では、末梢的な視角因子と中枢的な恒常因子が作用し、これらの作用は拮抗して働くと結論した。

この研究の続編として天野利武は 1939 年に「同時比較に於ける二対象間の距離の機能について」を発表した。

この天野と小松の研究は、大きさ判断過程とくに同時と継時比較において作用する基本因子は何かを明らかにしようとした点で評価されうるものである。

1938 年に小笠原慈瑛（後に東大教授）は「恒常現象の研究（I)」を発表し、大きさ恒常性が対象までの奥行距離の知覚にどのように関係するかを確かめるために、両眼視差と両眼輻輳を制限する単眼視条件、対象までの視野を制限する還元スクリーン設置条件で大きさ恒常性の成立の程度を探った。還元スクリーン条件では、観察者の前方に２つの長方形の窓を設け、これを通すと対象しか見えないように視野が制限され、対象までの視野の枠組からくる手がかりを縮減した。実験は正方形を観察者から 4.5m の位置に提示、全系列法でその視えの大きさが測定された。

その結果、測定された視えの大きさから算出された恒常指数(Brunswick)を観察条件で比較すると、両眼観察条件、単眼観察条件、

視野制限両眼観察条件、視野制限単眼観察条件の順序で指数は減じることが示された。これは対象までの奥行距離の知覚が大きさ恒常性の成立に大きく影響していることを示した。そこで、小笠原は、このことをさらに確認するために、暗箱を用意し、その中に縦列 2 光点を 2 組左右に配置し、それらの奥行距離を違えて提示した。そして一方の 2 光点間の距離を固定し、他方を可変にしてそれらが等距離になるように被験者に求めた。暗箱の中は４つの光点しかなく、奥行手がかりは単眼視の場合には眼球調節、両眼視の場合には両眼視差と両眼輻輳に限定された。その結果、両観察条件ともに恒常度はゼロに近く、被験者は網膜像のみにもとづいて2光点間距離を判断していることが示された。これらのことから、小笠原は大きさ恒常性が奥行距離知覚の程度と密接に関係していることをつきとめた。

この研究の発表後の 1941 年、Holway & Boring は、The American Journal of Psychology 誌に”Determinants of apparent visual size with distance variant”を発表した。そこでは、大きさ恒常性の観察条件を

「両眼観察」、「単眼観察」、「単眼観察＋人工瞳孔」、「単眼視＋人工瞳孔＋還元スクリーン」の 4 通りを設定して恒常性を測定したところ、奥行手がかりが縮減されるほど恒常性は減少することを明瞭に示した。つまり、単眼観察は両眼視差や両眼輻輳作用を、人工瞳孔（5 ミリほどの小さな穴でできている）は眼球調節作用を各々働きにくくし、また、還元スクリーンは視野を極端に制限することによって空間枠組（見ている世界の垂直、水平、左右方向の基準となるもので、天井、床、地平、大きな立木、柱、壁などで構成されたもの）を除去するので、大きさ恒常性の成立には奥行手がかりの多寡が必須の要件であることを示した。小笠原の研究は、この Holway らの研究に先だって、見事な成果を挙げていたといえる。

神保皆生(1942)は、「方向による大きさ恒常性の差異」で視方向によって大きさの恒常度が異なるかを実験し報告した。刺激は円パターンとし、操作した視方向は正視方向、上方向そして下方向で、明視、暗視、室内、室外事態で円パターンの大きさと観察距離を変え、上昇と下降の系列による極限法によって恒常度を測定した。その結果、正視方向での大きさ向上度は上あるいは下方向に比較してすべての事態で恒常度が大きいこと、また、観察距離が短くなり対象までの客観的距離が近い場合も恒常度は高くなった。このことから対象までの客観的距離が近いと網膜像が大になるが、網膜像が大きくなるその現象的距離が近く定位され、それだけ自己と対象との関係が緊密となると考えられ、したがって視方向の差による恒常度の差は自己と対象の関係の度合によって生ずると神保は結論した。

この論文では知覚恒常性の成立を刺激のレベルではなく、観察者と対象との間の心理的視空間の緊密度で説明しようと試みたものである。

股覗き視と知覚恒常性

宮川知彰（のちに東北大教授）は、「倒立視に関する実験的研究-所謂またのぞきの問題-」を発表（1943)、このなかで大きさあるいは奥行距離の知覚恒常性の問題を取り上げた。股のぞき視というのは、観察者が屈んで自分の股の間から外の世界を観察することをいう。この場合、正立した網膜に正立した世界が投影される正立視とは異なり、倒立網膜に正立した世界が投影されることになる。すなわち、網膜座標（網膜自身のもつ方向）と事物内の方向の関係が逆転し、これに伴って視覚中枢内の方向と事物との関係が通常とは異なるので、事物の見え方も変わると考えられる。倒立視で生じる知覚変化についてKohler, W.(1940)の考えを宮川は紹介した。それによると人物の写真を正視した時と、逆さにして見た時ではその微妙な顔表情は消失し、

股のぞき視の場合も同様なことが生起するが、これは網膜座標（網膜自身のもつ方向）と事物内の方向が変わるため、さらには視覚セクトルと環境の方向が変化するためという。宮川は、これをさらに展開し、心理物理的場は生体と環境との統一的世界であり、内外條件に応じて複雑に力動的に関係するので、知覚の場もこのような心理物理的場の一部なので生体の心理物理的な力動的関係のなかで考える要があると主張した。

宮川はこの知覚場の力動的関係を探る一歩として正立視と股のぞき視における大きさと距離の恒常性の違いについて実験的検討を加えた。実験は建物の屋上で実施し、標準刺激は黒色棒状刺激（高さ 190cm、横幅 3cm）を被験者から 20m の位置に垂直に提示、比較刺激は同形のものを観察距離を変えて提示し、標準刺激と同等の奥行距離に見えるところを極限法（完全上下法）で測定した。この時、観察は正立視と股のぞき視条件を設定、また標準刺激と比較刺激が同等、標準刺激の方が大、標準刺激の方が小の条件を設定した。その結果、上弁別閾に当たる値（遠いという判断）と下弁別閾値に当たる値（近いという判断）を両観察条件で比較すると、正立視条件より股のぞ

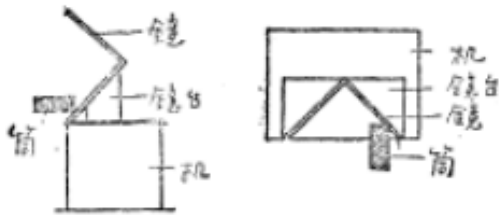

図３　二枚の鏡（52Cm×42cm、52cm×34.5Cm）をそれぞれの短い方の縁に鏡面が互に直角をなすやうに取り付けたもので、これを左図のように机上に縦にして立てる時は２度反射によって倒立像を人は正立の姿勢で見ることができ、 右図のように横にして据える時は同じく２回反射した正立像が正立の姿勢のままで見られる（宮川 1943)。

き条件の方が上・下弁別閾に当たる値の幅が標準刺激と比較刺激の等・大・小条件に関わらず大きいことが示された。これは、奥行距離が標準と比較刺激の大きさを手がかりにして判断されたことを示した。すなわち、股のぞき視では正立視条件に比較してより大きく視えるものはより小さく見えるものよりも近くに、より小さいものはより大きいものより遠くに見ていると考えられた。

そこで、宮川は股のぞき視では大きさ恒常性が減退すると考え、標準・比較刺激を白色円盤、標準刺激の奥行位置を 13.3m に提示し、比較刺激の大きさを変化させて両刺激が同等に見えるように極限法（完全上下法）で被験者に求めた。正立視条件と股のぞき条件での大きさ恒常性をザウレス指数で比較すると、明らかに股のぞき視条件で指数の低下がみられ、恒常度が減退することが示された。

宮川は、股のぞき視条件で、被験者の身体の屈伸角度を変え、網膜像が網膜座標に対して 130 度、90 度、45 度に大まかに操作し、大きさ恒常性を測定した。その結果、屈伸角度が大きくなると恒常指数は小さくなった。そこで、被験者に屈伸させずに網膜像が倒立する装置（図３）を考案し、正立した姿勢で倒立像を観察できる巧妙な装置を考案して実験した。その結果、正立して倒立像を観察する条件および正立して正立像を観察する条件の両方において、奥行距離および大きさ恒常性に差は生じないことが見いだされた。

宮川は、これらの実験結果から股のぞき視における大きさおよび奥行距離の知覚的変化は、網膜面における網膜像の正立・倒立の要因だけで生起するのではなく、視覚セクトル場全体の体制が観察者の身体的変化（宮川は Ego とよぶ）によって変容されるためと結論づけた。

宮川の研究は、股のぞき視という身近な問題から知覚場における知覚要因以外の身体的要因の働きを明らかにした点で評価できる。

宮川のこの論文の末尾に編輯部付記があり、それによると、卒業と

同時に海軍豫備学生として直ちに入隊しなければならず、入隊前のわずかな時日をさいて書き上げたものであることを記し、同君の御健闘と武運長久を祈るとあった。時代を感じさせる付記であるが、宮川は終戦時、無事に生還し、この研究を継続した。

2.2 両眼立体視

両眼視差とゲシタルト特性

1940 年に南博（のちに一橋大学教授）は「視空間の成立に関する実験的研究」を発表した。そこでは、奥行知覚の成立過程で関与する生理－心理的要因として（1）両眼視差、（2）調節及び輻輳、（3）運動視差、（4）経験的要因（網膜像の大きさ，遠近法的要因、重なり、陰影、対象の鮮明さ、視野内における対象の上・下の位置等）を挙げ、

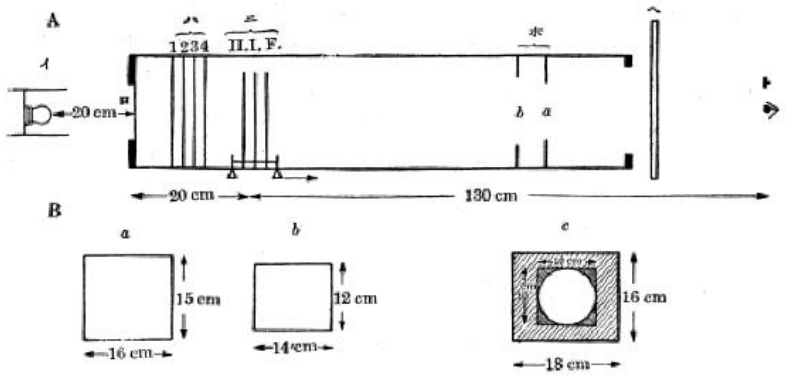

図 4　両眼視差とゲシタルトの形態性を拮抗させそれらの手がかりの優位性をしらべるための実験装置。A: 装置の横断図、イ. 照明用電球 、ロ.乳白ガラス、 ハ.スリガラス、 ニ.刺激提示用ガラス（F は視線固定のために、中央に小黒点を描き入れたもの）、ホ. 観察窓、 ヘ. 遮蔽板、 ト. 観察者の眼の位置。B. a. すりガラス、 b. 刺激提示用ガラス、 c. 観察窓の正面図（a.矩形窓、b 圓形窓）（南博　1940）。

単眼視よりも両眼視がより精確な視空間知覚を成立させることから両眼視差がもっとも有効な要因であるとし、この両眼視差の有効性がどの程度であるかを実験的に検討した。実験は、Kopfermann, H.(1930)の実験方法を模した図４のような装置で実施された。Kopfermanは、3枚の奥行の隔たりをもつガラス板（図のニ）の後ろの２枚に、たとえば立方体図形の１部を提示し、それらを重ねると立方体図形になるように配置して最前面のガラス板に透視させ観察させると、図形は実際は奥行の隔たりをもつにも関わらず３次元形状を感じさせる立方体が出現することを示した。すなわち、奥行的に隔たる数個の部分図形から成立する対象も、それが２次元的に見る方がまとまりのある場合には平面図形として、またそれが３次元的に見る方が良き形態を示す場合には立体図形として知覚され、いずれの場合も客観的にはそれらが奥行の異なる面にあることが知覚されなかった。いわば刺激面が奥行的に異なることを検出する両眼視差要因、両眼輻輳要因がゲシタルト特性によって無効化するためと、当時、考えられた。

南博は、この実験装置と同じものを用い、図形的要因を変えて両眼視差の有効性がどの程度であるかを確かめた。そのために、図５に示したように、ゲシタルト特性（閉合，よき連続，よき形態など）が強い条件と弱い条件、遠近性条件、重なり条件を設定し、２枚のガラス板に提示した刺激パターンが分離して見えるか、あるいはそれらが一つの図形として一体化して見えるかを被験者に報告させた。ガラス板は130cmから70cmまで10cmのステップで段階的に被験者に近づけ、そのつど被験者に見えを報告するように求めた。刺激には、提示する２つの図形のまとまりが高い条件（図形性の強い条件、aからd)、提示する２つの刺激要素を複雑にした上での図形のまとまりが高い条件（複雑な刺激要素をもつ図形性の強い条件、eからｆ)、それら２つの刺激を重ねると遠近性が知覚される条件(遠近性条件、i、j、k、)

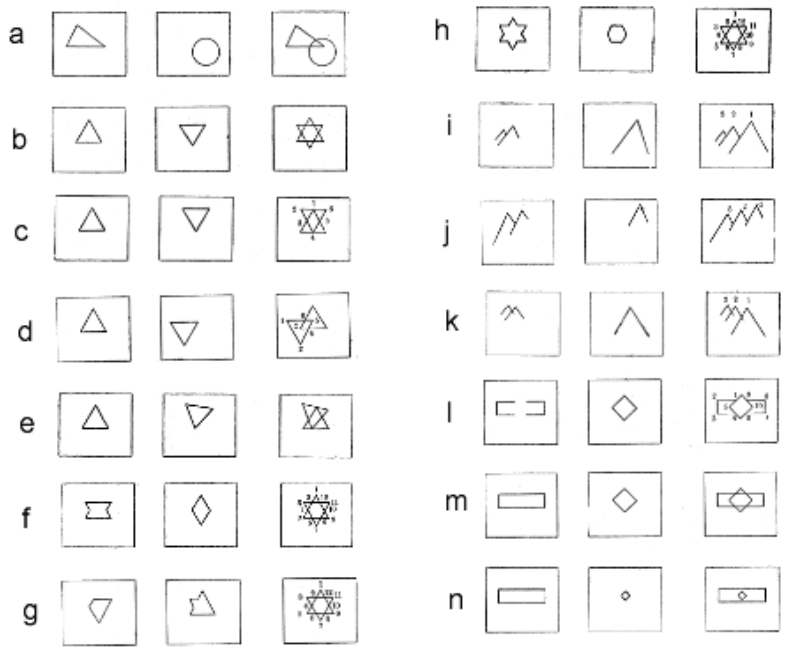

図 5　14 通りのゲシタルト形態性の刺激パターン。左と中央の刺激図形は 2cm の間隔で観察者の前・後に提示、右刺激はそれらが重ねられて観察者から視えるパターン。a から d 刺激は提示する 2 つの図形のまとまりが高い条件（図形性の強い条件）、e から f 刺激は提示する刺激要素を複雑にした上での図形のまとまりが高い条件（複雑な刺激要素をもつ図形性の強い条件）、i から n 刺激は、それら 2 つの刺激を重ねると遠近性(i、j、k、遠近性条件）あるいは重なり性（l、m、n、重なり性条件）が顕著な条件（南博　1940)。

あるいは強い重なり性が知覚される条件（重なり性条件、l、m、n、）を設定した。このように実験では、両眼視差要因とゲシタルト特性あるいは経験的要因（遠近性、重なり）の拮抗状態を刺激と観察距離と

の距離を変えることによって設けて、その間に生起する両要因の奥行手がかりとしての有効度を検討した。

実験の結果、ゲシタルト特性が両眼視差要因より優位になるのは、図形性の強い条件の中で２つの正三角形を規則的に重ねて星形が出現する図形（a)のみで、しかもこの場合観察距離を 120cm 以上とって両眼視差を弱めた場合であった。他の図形性の強い条件および複雑な刺激要素をもつ図形性の強い条件ではすべて両眼視差が優位となり、とくに観察距離が 100cm 以内ではこの傾向が顕著であった。これらの結果をまとめると、図形的要因は観察者から 100cm 前後までは両眼視差より優位となるが、80cm 以内では視差が優位となり、2 つの刺激間の隔たりが知覚されてしまい、図形に一体感が生じないことが見いだされた。

遠近性が高い条件の図形のなかで正しい遠近が透視できる図形（i と j）では、視差要因より遠近性要因が優位となるが、この遠近性を部分的に崩した図形（k）では視差の方が優位となった。また重なり要因が高い図形(l)では、重なり要因が優位となり、2 次元あるいは 3 次元の図形が知覚された。しかし、この重なり要因を崩した図形（m）あるいは重なり要因を欠く図形(n)では視差が優位となった。

この結果をまとめると、遠近性が強い条件で正しい遠近が透視できる場合には、視差要因より重なり要因の方が優位となるが、遠近性や重なり要因が崩れると観察距離約 110cm 以内では視差の要因が優位となることが示された。

南はこの実験を通して、刺激が 2 次元描画図形あるいは 3 次元描画図形として安定的に知覚される段階から、これらの知覚体制が不安定となり、2 次元描画図形あるいは 3 次元描画図形とも決定し難い二義的な段階、そして ２つの刺激間に隔たりがあるが未だ各部分図形の前後関係が何れとも決定し難い段階、そして最後に ２つの刺激間に

明確な隔たりが知覚できる段階を分けて、奥行知覚にける両眼視差とゲシタルト特性という両要因間の優位－劣位関係がどのような条件で出現するかを明らかにした。この研究では、両眼視差を単独では操作していないので両眼輻輳や眼球調節の働きがどの程度関与しているかは不明であるが、しかし、この南の研究は、当時、3 次元視を成立させる奥行手がかりに着目し、その生理的要因と心理的要因間の関係を明らかにしようとした点で優れた研究であった。

両眼視差の対応

当時、奥行視の成立については３つの説明理論があった。その１は、奥行知覚を純心理的作用で説明するもので、奥行は形態把握が生じる前に生起し、観察者の注意によって奥行関係が変化することはないとした（Fleischer、Jaensch）。その２は、感官組織説で両眼視差など感覚刺激によって奥行知覚は生じると考えたが、この手がかりの他に事物そのものに内在して3次元形状にまとまろうとする体制力が強調された（Koffka、 Kopfermann）。その例証として、正六角形（立方体）の構成要素を奥行の異なる面を部分的に描画して観察すると、両眼視差によらないにも関わらず立方体が知覚できることを示した。その３は、両眼視差非対応説で両眼間に生じる非対応によって生起する生理的興奮が奥行効果を生じるとした。

そこで、入谷智定(1941)は、図６に示したように、両眼視差の対応点と両眼融合および二重像視について実験的に分析した。その結果、両眼視差による奥行視は左右眼のステレオグラムの対応点が融合することで生起することを明らかにし、眼球の中心を狭む図形の角度の差異が事物の立体を生じさせる本質的條件とするWundtにはじまる従来の考え方を否定した。そして両眼による立体視は先天的能力であり、経験による学習はこの能力を完成させるものと考えるべきと主張した。

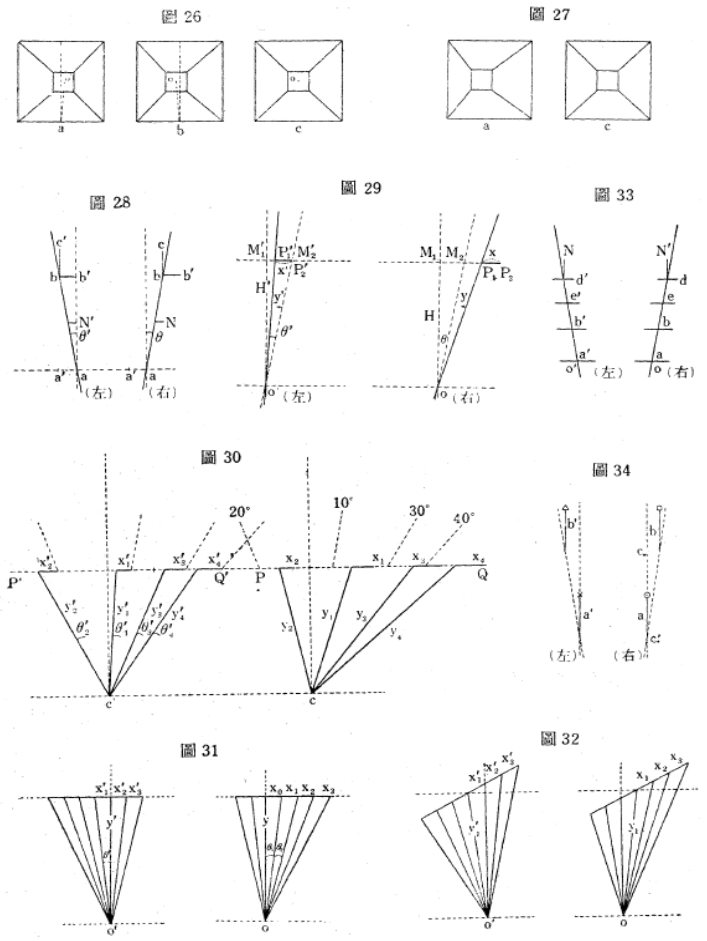

図 6　両眼間の対応点分析のためのステレオグラム（入谷智定 1941）

入谷は、1941 年当時において両眼間に生じる刺激条件を分析することを通して両眼視差による立体視を成立させる基本的条件が両眼間

の対応問題であることを明確に指摘したことは特筆される。

因みに、入谷は後に駒澤大学教授となり、『禅者の自性及び獲信の研究』（1920a)や『禅の心理的研究』(1920b)を著した。

両眼による奥行知覚と性格類型（統合型・非統合型）

1943 年第 18 巻に与那嶺松助（後に琉球大学教授）が「両眼による奥行知覚と類型」を発表した。この論文によれば、当時、奥行知覚を説明する理論には、Hering や Hillebrand の先天論があり、奥行知覚の成立を規定する本質的要因は網膜像の横ズレ、すなわち両眼視差と主張した。 これに対して、Jaensch は注意の動揺及びこれと密接に関わる眼球運動衝動が奥行視成立の本質的要因であり、網膜像のズレは注意の動揺や眼球連動を生ずる誘因になるという意味でのみ奥行視の成立過程に関わると主張した。 Koffka は前者を刺激-感覚説、 後者を注意説と呼び、 両説とも不十分なものであるとして、 奥行視の問題は知覚体制の問題であると論じ、この説の一つとして Lewin、佐久間鼎、Werner は奥行視を力動的過程のなかで生じるものと考えた。さらにDieckmannによる奥行視に関する統合類型学的研究が発表された。それによると、外部統合の強さが増大するにつれて奥行視成立における横ズレの効果は減少し、 逆に中枢的要因の持つ効果がそれに優るようになると出張した。

与那嶺は、奥行視の成立要因を探るのではなく、奥行視の成立に被験者の性格類型がどのように関わるかを検討した。すなわち、奥行視のしくみを刺激のレベルではなく、中枢レベルでの関与をしらべたものだった。実験では、３ロッドを提示し、中央のロッドを左右のロッドに対して奥行に関して同等になるように調整させ、あるいは左右の視差を逆転させたステレオグラムを実体鏡視させたときの奥行関係（奥行関係が通常とは逆転して出現）をしらべた。実験結果で注目されたのは、両眼視差を左右で逆転した条件での視えの奥行関係が、視

差の指示する逆転定位ではなく、日常の奥行関係を維持した正定位で出現（たとえば門と家、教会と塔）するものがあったことである。実験とは別に被験者（47 名）の性格類型の診断のために、ロールジャッハテスト、 エクスネル渦巻による運動残像、 及び色の残像を用い、主として Jaensch の Der Gegentypus に示された見解、及び三好の「類型に関する一研究」（応用心理研究第五巻）を参考に統合型から非統合型めで 9 段階に類型化した。

知覚実験の結果および性格の統合・非統合類型をつきあわせた結果、３ロッド法実験では測定ごとの個人内変動値を、両眼視差実験では正定位あるいは逆転定位の出現頻度にもとづいて統合型から非統合型の 9 段階のいずれかに当てはめた。それによると類型の中で内部統合度が高いほど３ロッド法の測定値の変動幅は小さくなりまた両眼視差手がかり効果も高くなるが、 逆に外部統合度が高くなるとその変動幅は大きくまた視差手がかり効果が減じた。これは、内部統合型においては奥行知覚と刺激条件との間に強い関係が見られることを示し奥行視は両眼視差など末梢的要因に規定されて成立するが、外部統合型では経験的要因など中枢的要因によって規定されることを示した。このように、奥行視の成立を規定する諸要因のもつ奥行手がかり効果と統合類型との間には一義的な相関が見られることを明らかにした。

与那嶺の研究は、統合類型の分類やその妥当性には問題があるものの、抹消から中枢までの奥行視成立過程および知覚者の主体的要因を念頭においたもので、当時としては特筆される。

2.3　視空間の構造

1928 年小保内虎夫（のちに東京教育大学教授）は「太陽及び月の大きさの錯覚」のなかで、天体の錯視について思弁した。月の錯視の説明として、地平線上の濃い大気によって対象が不明瞭となり拡大して

知覚される説、地平線上で生起する赤色による説、あるいは天空の視空間の形状が扁平であることから生じるというヴント説を紹介し、小虎内はこのヴント説を採用した。そして、天空が扁平に知覚されるのは雲の大きさあるいはその運動に帰因させた。すなわち、頭上の雲は最も近くに視え、それが地平線上に進むと遠く小さくなり、このような経験が扁平な天空を生じると小虎内は述べる。

1928 年と言えば昭和 3 年にあたるが、この当時、月の錯視に代表される天空の錯覚がどのようにして生起するのか関心が持たれていたが、いまだ適切な実験事態を設定できない当時としては思弁に頼らなければならなかった。

上記の研究から 7 年後の 1935 年、盛永四郎（後に千葉大学教授）は「視方向と月の錯視」を発表し、月の錯視について実験的に検討した。当時、月の錯視については視方向説が Zoth, 0. (1899) によって提唱されていた。それによると、月以外の手がかりが何ら存在しない条件では、垂直視方向の大きさと距離が小さく知覚されるとし、その生理的説明として、視方向が下方向の場合は視線の輻輳角の増大を、それが上方向の場合は縮小を促がすので、上方向にある対象は正面視方向より強い輻輳が起きるので、対象の大きさは小さくその距離は近く見られると説明した。そこで、盛永は実験室において垂直、水平、上あるいは下方向（各 45 度）に円形の刺激対象を提示し、標準刺激に対する比較刺激の視えの大きさと距離を等価にするように極限法で測定した。ここでいう視方向とは多義的な使われ方をするので、盛永は視方向を３通りの型に分けた。第１は眼球の方向が顔面に対する眼球の上下への回転をいう（視線の方向）。第２は自由に見る場合の眼の方向と頭の方向を加へたもので、刺激対象に眼球と頭部とが対した場合を言う（視方向）。第３は観察者の身体、頭部、眼球位置とは関係なく対象の存在する実際の方向をいう（客観的方向）

実験結果、(1)身体直立の時、大きさは水平方向で最も過大視され、上下方向で過小視される。距離は下方向ほど近く、上方向ほど遠く知覚される、(2) このような結果は、視線が水平方向の上下 40 度内外で、身体の方向や空間の方向に関係なく認められ、とくに下方向 60 度で著しい。但し距離の知覚には視線の方向の関与は乏しい。(3)上記(1)の結果は、視線の方向において、水平方向に対し上下 40 度内外では、身体の方向や空間の方向とは無関係に認められ、とくに下方向 60 度で顕著である、(4)垂直上方向あるいはこれに近似した方向では、上方向の大きさ過小視は眼や頭部の方向とは無関係に生起する、ことが得られた。

このことから、対象が客観的に水平方向にあれば過大視され、観察者の視方向もこれに強く関与していることから、視方向は月の錯視の成立のための条件として関与すると盛永は結論した。

盛永の研究は、実験室という限定された空間ではあるが、対象を水平、垂直、上下方向に提示し、その視えの大きさと奥行距離を測定し、その結果にもとづいて月の錯視が対象の「視方向」と「客観的方向」に依存することを考察した点は、今日の時点でも優れて実証的意味がある。

2.4 描画図形の奥行視

描画図形の奥行知覚、とくに遠近性反転に関した研究には 1927 年の佐藤一の「反転性遠近錯視に関する一実験」という論文がある。ここでは、ネッカーの立方体（正 6 面体）あるいは平行 6 面体図形の観察時に生起する奥行反転の反転回数、反転時間をカイモグラフで測定し、反転を生じさせる主要因を明らかにしようと試みたものである。実験では、反転図形のどちらか一方に注意を集中させた場合にその図形に対して図形出現の優位が起きるか、また最大 20 日間にわたって

一方の図形を保持するように訓練すると学習効果が起きるか、さらに学習効果がどのくらいの期間持続するかが、それぞれしらべられた。

その結果、注視した図形の保持時間が長くなること、注視点の移動で反転が引き起こされること、保持訓練による学習効果が起きること、遠近性反転図形を別のものに代えた場合にも転移効果が顕著なこと、さらにこの学習効果は２週間維持されることなどが見いだされた。佐藤は、このように反転図形が経験作用によって変化することから現在の知覚内容は過去の経験によって心的に調整されると考えた。佐藤は、とくにヴント流の構成主義、つまり現在の知覚要素と過去の知覚要素の結合という寄木細工的見方を排し、現在の知覚内容が過去経験による心的調整作用によって影響されることを強調している。

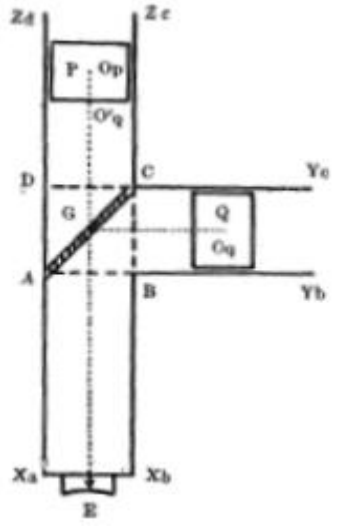

図７　視え奥行測定のための実験装置（高木貫一 1937）

この論文は、反転現象のしくみを観察者の刺激の要因よりは主体的要因、とくに知覚経験から考察している点に特徴がある。

1937 年に高木貫一（後に広島大学教授）は「物の遠近の定位に関する一実験装置」で、実際の立体物や立体描画図形の視えの奥行量（立体量）を測る装置を開発したことを発表した。図７のように、L 字形につけられた２つの刺激提示箱があり、これは自由に移動させてその距離を変えることができる。被験者は下端の観

察窓（E)から観察する。被験者の右側の刺激はハーフミラーで屈折され、被験者の眼前の直視方向の刺激と一緒に同一視野内に提示される。被験者の眼前には実際の対象物、たとえば立方体を提示し、右手の刺激提示物にはその対象物そのものの奥行を測定する小さな十字形を提示し、実際の対象物に重なるように提示して十字形を前後に動かしもっとも手前の面ともっとも奥の面とに調整させれば、対象物の奥行を測定することができる。この測定する対象物に３次元描画図形たとえば立方体を提示すれば、その視えの奥行（立体）も、同様に測定することが可能である。実際に、高木らは試験的に実物あるいは描画図形を提示し、その奥行量を測定することができることを報告した。

高木の考案したこの立体物や立体描画を測定する装置は有用なもので、小生が学生時代にもこの装置が研究室にあり、対象の大きさや明るさの差がどのように奥行距離に反映するかの測定に利用したことを想い出す。

第 3 章　「1946 年～1960」年間に掲載された奥行・空間研究

3.1 「1946 年から 1948 年」の奥行・空間知覚研究

心理学研究は、敗戦一年前の 1944 年から 1949 年までの 5 年間に第 19 巻、全 3 冊が発行されたのみである。1949 年から 1950 年に第 20 巻、全 4 冊が、そして毎年発行に戻るのは 1951 年からだった。敗戦後の 5 年間は未曾有の生活困難を抱えた時期であったが、それでも発行が継続されていたことは驚嘆にあたいするし、発行を担当した先人の努力に頭が下がる。

第 19 巻に掲載の研究論文みると、空間視に関わる研究がけっこう発表されている。盛永 四郎と小笠原 慈瑛が「脳損傷に基く異常視覚の研究」を、久 米 京 子が「大 き さ の恒 常 に 於 け る Brunswik, Thouless 指数の適 用 限 界 に就 い て」をそれぞれ発表した。久米論文では、Brunswik および Thouless 指数の妥当性をこれまでに実施された実験結果に照らして検討し、それぞれに適用限界があることを論証したものであった。

盛永と小笠原の論文では、昭 9 年 6 月右頭頂部に貫通銃創を受け、視覚障害を被った男性（林某氏）についての症例研究で、その視覚障害を詳細に調査して次のように報告した。個々の物や図形の知覚は正常でありその認知に何の障碍もないが、幾つもの物を同時に見ることができないこと、点や線の接近しているものはいくつかあることはわかるがその数は正確に云ひ得ないこと、文字は仮名、漢字、数字何れも単独に書かれたのはすぐ読むことができるが長い行や本などは読むことができないこと、交叉図形（文字や簡単な幾何学的図形を重ねて描いたもの）は二つでも三つでも重なつたものを同時に知ることができること、色彩感覚に異常はなく，色の名は大低いふことができること、線、面積の大きさや長さの目測は健常人ほど正確ではないが大体できること、遠近の知覚に関しては、同一視線上にある人、 樹

木等の遠近は正しく判断されるが、そうでないものは同時に見えないので判断困難であること、立体視は正常であり立体図も正常に認められること、そして上下左右の方向については坐っている時は大体それで判断できること、などであった。

この症例研究から、この患者の視覚障害の根底には「図」の成立が極端に制限されていることがあると結論した。この論文は視覚障害がどのように出現するかの分析から、視覚成立過程を推論した我が国での最初の報告と思われる。

これを補完する論文として国立国府台病院の井村恒郎が、「頭部外傷者「林」の脳所見」を発表した。そのなかで、症例「林」の脳を剖検した結果、次の２種類の病的変化を見い出すことができた。その１は、大脳両半球の頭頂脳から後頭脳前端にかけてほぼ左右対称的な位置にある限局性病竈（focus）、およびその２は、大脳両半球の前頭脳から頭頂脳にわたる広汎な領域の脳回転にみられた軽度な弥漫性の萎縮（atrophy）であるとした。そして、患者が示したこの種の特異な視覚性異常の発現に関係のある解剖学的所見は第一の限局性病竈と考えられるが、第二の弥漫性萎縮の所見もこの症状群に全く無縁であるとは言ひ切れない、と結論した。

終戦 4 年後の 1949 年に発表されこれらの２つの論文は、片方で心理学的な分析による視覚障害を、他方で脳損傷の解剖学的所見をそれぞれ記述し、心理学と脳生理学という２つの学問領域から視覚処理過程の全体を明らかにしようと意図されたものであった。

因みに、井村恒郎は 1929 年京都帝国大学文学部哲学科、1934 年東京帝国大学医学部卒業した精神医学者で、後に国立国府台病院副院長兼神経科医長、1952 年国立精神衛生研究所心理学部長、1955 年日本大学医学部精神神経科教授を歴任した。

3.2 「1949 年から 1960 年」の奥行・空間知覚研究

3.2.1 倒立視と大きさ恒常性

終戦後 5 年が経過し、大学の心理学研究室での実験も再興され、その成果が少しずつ発表されてきた。奥行知覚や空間知覚領域では戦前の研究を継続して、視野の倒立視、視野闘争、大きさの恒常性についての実験的研究が報告された。

後に東北大学教授となった宮川知彰(1949)は「倒立視に関する実験的研究（Ⅱ）」を発表し、先に発表した股のぞき視（倒立視）で生起する大きさ恒常性が倒立視でのそれとどのように相違するかを実験的に検討した。宮川の先の研究（1943)では、股のぞき視における大きさおよび奥行距離の知覚的変化は、網膜面における網膜像の正立・倒立の要因だけで生起するのではなく、視覚セクトル場全体の体制が観察者の身体的変化（宮川は Ego とよぶ）によって変容されるためと結論づけた。

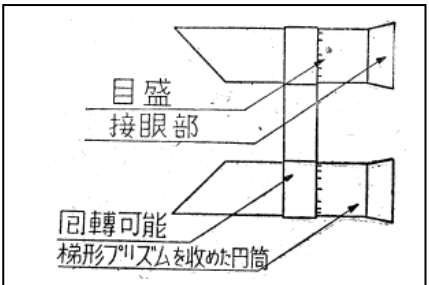

図 8　逆転網膜像視のための眼鏡。プリズムの回転角度を変えることによって網膜像の方向を任意に操作可能（宮川 1949）

宮川は、倒立視（股のぞき視）によって視覚セクトル場全体の体制が観察者の身体的変化を生じさせることを検証するために、倒立視、正立視、および逆転網膜像視間の大きさ恒常性をしらべた。逆転網膜像視は身体が直立で網膜像のみを逆転させた事態をいい、これを成立させるにはプリズムを組み合わせた図 8 のような逆さ眼鏡を考案した。この眼鏡では、筒内に設置したプリズムの回転角度を変えることによって観察者の網膜像方向を 0 から 180 度（0、45、90、135、180 度）まで 45 度ステップで操作可能であった。

大きさ恒常性実験では、観察距離２m、10m および 20m に標準刺激として設置した白色円盤（直径 20cm）の視えの大きさを比較刺激（白色円盤）の大きさでマッチングさせた。この眼鏡では両眼融合が困難なため観察は常に単眼視とした。

実験の結果からザウレスの恒常指数を実験条件ごとに算出し比較すると、網膜像角度 0°条件の恒常指数が最大となり、180 度条件のそれが最小となること、また 45 度から 135 度の恒常指数は 0 度と 180 度を両極端にしてその中間に収まること（0°＞45、90、135°＜180°）が示された。そこで、観察者の身体的傾斜によって大きさ恒常性がどのように変わるかをしらべるために図のような装置が考案された。被験者は大型の車輪上の中に入り、身体をまっすぐに伸ばしたままで両足を固定される。こうして大型車輪を回転させると、その回転角度だけ身体傾斜が導入された。その際に被験者は、両手で回転した身体を支え、首から上の部分もまっすぐ伸ばしたままを維持するように求められた。身体傾斜は 0°から 180°まで 45°の間隔で左側にあるいは逆順序に右側に回転させられた。この事態で大きさ恒常性を測定し、恒常指数を算出すると、傾斜角度と恒常性の間には、0°＞45、90、135°＜180°が成り立ち、逆転網膜像視条件とほぼ同等の結果となった。これは重力方向に対する観察者の身体角度が変化しても大きさ恒常性には影響しないことを示した。そこで、観察者の身体が直立

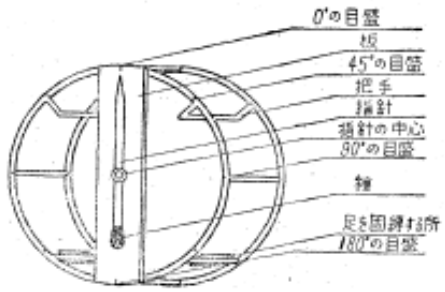

図 9　身体傾斜観察装置（宮川 1949）

しているか、あるいは股のぞき視のように屈伸しているかが大きさ恒常性に関係するかをしらべるために、被験者を横臥させた状態で背筋を伸ばした状態（横臥）とその状態で腰を股のぞき程度まで屈めた状態（横屈）とで大きさ恒常性を測定した。その結果、横臥条件に比較して横屈条件での大きさ恒常指数は小さくなることが示された。これは、股のぞき視の身体的変化の核心をなすものが身体の重力の方向に対する変化ではなくて，前方に屈曲するという身体的変化にあり、このことが視知覚の場の分節化を変化させていた。

そこで宮川は、視覚場の分節構造が股のぞき視における大きさ恒常性に関係することを確かめるために、視野の上下の分節構造の違いである異方性を利用して大きさ恒常性を測定した。実験は、上視野と下視野に白色円盤を提示、被験者に直立あるいは股のぞき条件で、上下に提示した円盤の大きさを順次測定した。その結果、被験者が直立しての正立視時の恒常指数は上視野円盤＜下視野円盤となるが、股のぞきの倒立視時のそれは上視野円盤＞下視野円盤とはならないことが示された。

以上の実験結果から、直立姿勢の正立視の恒常指数と股のぞき姿勢の倒立視のそれとの間には，「正立視の恒常指数」＞「倒立視の恒常指数」が成立した。これは倒立視での屈曲という身体的変化によって視知覚の場を体制化させる力が弱まるからと宮川は結論した。

宮川の研究は、股のぞき視という特異的な観察条件で大きさ恒常性の問題を取り上げ、工夫した実験を丹念に積み上げて、これがたんに網膜像の正立・倒立によって起きるのではなく、観察者の身体的姿勢によって視知覚の場の構造が変わることで生起すると推定した点で優れたものであった。

3.2.2 視野闘争

柿崎 祐一（後に京都大学教授）は「視野闘争に及ぼす先行条件の

効果（I)」(1949）のなかで視野闘争の頻度と優位度が先行条件によってどのように変わるかを実験的に検討した。問題点は視野闘争が各眼での感覚的順応や網膜疲労にもとづくのかあるいはさらに高次の過程が関与するものなのかにあった。実験は、ハプロスコープを用いて片眼に先行刺激条件として 5 本の黒色斜線を 120 秒提示し、次に後行刺激として他眼に同じ斜線刺激だが反対の方向をもつ刺激を提示し、視野闘争頻度と刺激の出現優位時間を測定した。その結果、先行刺激より後行刺激の方が優位になることが示された。

これは視野闘争において先行刺激が後行刺激に影響し、後行刺激の優位性を高めたといえるが、先行刺激を提示された片眼の感覚的順応という末梢的効果といえるのかを確かめるために、先行刺激として斜線のない等大、等光度に変えたところ、先行刺激が後行刺激に与える効果が弱まり、視野闘争の優位性が減少することが示された。そこで、この末梢的効果をさらに確かめるために、左右眼に同方向の 5 本の黒色斜線を先行刺激として 120 秒提示、この後の後行刺激として片眼はそのままに、他眼を斜線方向の異なる刺激に入れ替えて視野闘争頻度と優位時間が測定された。その結果、斜線の方向が先行刺激と異なる刺激条件で視野闘争の優位性が高まることが示された。先行刺激の斜線の方向という図形特徴が視野闘争の優位性に影響をもつことが確かめられ、また先行刺激に図形刺激を用いる効果は先行刺激にただの光刺激を用いた場合よりは顕著に視野闘争が出現することが示された。

柿崎は、これらの実験結果から左右眼で互いに背反的な図形特徴を持つ刺激を先行刺激として提示すると、後続する視野闘争では先行刺激の図形特徴と背反的な後行刺激が優位に出現すること、しかもその効果はたんに先行光刺激の効果のみではなく、より高次の図形的な特徴に依存すると結論した。

柿崎（1949）は、さらに「視野闘争に及ぼす先行条件の効果（Ⅱ）」を発表し、先行提示条件時間（15、30、45、60、90、120 秒）の操作、先行刺激の視野闘争に対する持続効果、反転図形による先行刺激の視野闘争に対する効果などについて報告した。とくに、先行刺激として図 10 のような反転図形の白色部分あるいは黒色部分を片眼に 2 分間提示し、その後で後行刺激として反転図形の白色部分を片眼に黒色部分を他眼に提示し、１分間の視野闘争における優位性をしらべた。これら一連の実験結果から、(1)先行刺激の提示時間の持続効果は時間に応じて減衰することは見いだされず、たんに感覚的順応によるものとは考えられないこと、(2) 先行刺激として反転図形の一方を他方より長く提示すると、後行の視野闘争においては短時間提示の図柄が優位になること、(3)他の図柄や色彩の視野闘争においても同様な効果が存在すること、(4)先行條件の効果は、休憩などを挟んで実験事態が連続していなくても2分間程度は持続できる場合があること、また実験事態の連続性がある場合には少なくとも 5～6 分程度までは持続すること、などが明らかにされた。

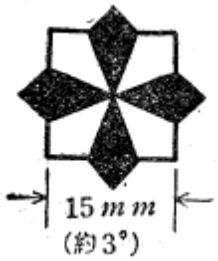

図 10　先行刺激に用いた反転図形（柿崎　1949）

これらの結果から、柿崎は視野闘争がたんに網膜レベルの感覚的順応、感覚的疲労、あるいは網膜の何らかの変容によるのではなく、高次中枢レベルでの視覚の再体制化によると結論した。

最近の視野闘争に関係する研究では、両眼視融合と視野闘争の関係が取り扱かわれる。とくにそのメカニズムについての２説、すなわちチャンネル説と二重応答説をめぐって論争されている。２チャンネル説は、両眼視融合と視野闘争は別々のチャンネルで処理されているとし、この場合には視野の同一位置で両眼視融合と視野闘争は同時に起

こりえることになる。他方、二重応答説は、同一のしくみのなかに両眼視融合モードと視野闘争モードがあるとし、この場合には視野闘争と両眼視融合は同時には生起しないことになる。柿崎の研究は、両眼視融合の問題を取り扱っていないが、しかし視野闘争出現の優位性が片眼のチャンネルのみで決まるのではなく他眼のチャンネルとの関係で規定されることを明らかにした点で、当時としては優れたものといえる。

3.2.3 視えの大きさと観察距離

久米京子（後に日本女子大教授）は、「みえの大きさと観察距離との関係並びに大きさの恒常を規定する要因について（Ⅰ）」（1952）を発表し、知覚的対象の大きさと奥行距離との間にどのような比例関係があるのかを実験的に分析した。実験は、暗室、明室、廊下及び屋上などで行われた。暗室実験では、標準刺激として円形の光刺激を観察距離 1.5、3、4.5、6m に提示し、各距離で 10cm の標準刺激を提示する実験系列 a と、各距離で視角 1.91°に対応する大きさの刺激を提示する系列 b とが設定された。測定では、比較刺激として同形のものを標準刺激とは観察者から見て直角の方向に提示し、その大きさを変えることで標準刺激の視えの大きさを極限法で実施した。実験の結果から得られた測定値から視えの大きさと観察距離との関係をしらべるために、次式によって Sc/Ss が算出された。

（Ss：標準対象の物理的な大きさ，Sc：標準対象と等しいとされた比較対象の物理的な大きさ）

その結果、実験系列 a と b を Sc/Ss で比較すると、視えの大きさは観察距離とともに変化し、その変化には実験系列間で有意差は示されなかった。

久米は次に、視えの大きさと観察距離との関係が次式で規定されるかを検討した。

s=φ・d（s=視えの大きさ，φ=視角，d=みえの距離）

実験は、長さ 7m、横幅 4.5m の空間を真ん中で間仕切りし、片方に標準刺激、他方に比較刺激を提示した。両方の空間は照明条件を変えることによって暗室にも明室にも変えることができた。片方の実験空間に標準刺激（20cm の黒色円盤）を観察距離 20m に提示、他方の空間に比較刺激を提示し、視えの大きさと奥行距離を極限法で測定した。実験では、標準刺激を奥行が 7mの空間に配置する条件（長い奥行空間）と奥行が 3.5m に配置する条件（短い奥行空間）を設定した。

その結果、視えの大きさは奥行の短い空間で大であり、Ss(標準刺激の物理的な大きさ)と Sc(標準刺激に等しいとされた比較刺激の物理的な大きさ)との間には有意差があった。また、視えの距離は奥行の短い空間において大であって、Ds(標準の距離)と Dc(標準の距離と等しいとされた比較の距離)との間にも有意差があった。このことから、s=φ・d の関係は成立していた。さらに、標準刺激の前・後に別の同形同大の対象を導入し、視えの大きさと距離を測定したところ、視えの距離は付加刺激がある方が小となる傾向が示されたが、視えの大きさは附加される刺激が前にあって大きく視える場合には過小視が、逆の場合には過大視が生じた。この結果は、s=φ・d の関係は成立しえない事態があることを示唆した。そこで、さらに、暗室空間において物理的な大きさを異にする対象（5cm と 10cm の円形の光刺激）を奥行距離 2.5m に提示して、視えの距離を求めたところ、物理的に大きい対象は小さい対象よりも著しく近距離にあるように知覚された。これは対象の物理的大きさと観察距離をともに変えることでφを一定に保つならば、s=φ・d の関係は成立しないことを示した。

久米京子（1952）は、視えの大きさと視えの奥行距離との関係をしらべた第２報である「みえの大きさと観察距離との関係並びに大きさの恒常を規定する要因について（Ⅱ）」を発表した。はじめに、s=φ・

d が成立しなかったのは、対象の視えの大きさが、それを囲む空間の形状に依存して変わる、つまり廊下のような空間ではその奥行が長いので先の狭まった四角錐台に、また短い奥行の廊下では先の広がった四角錐台となり、この空間枠組の形状の違いが視えの大きさに影響すると考えた。そこで、小学校の廊下を利用して白色円盤（直径 20cm）を標準対象として、観察距離の最奥位置が 5m、7m、17m に設置して空間枠組条件を変え、その中で視えの大きさの測定を極限法で実施し、Sc/Ss を求めた。その結果、Sc/Ss は 3.5m の空間枠組で最も大きく 5m、5.5m、7m、17m の枠組になるにつれて小さくなった。この結果は、空間枠組の奥行の長さによってもたらされるその形状が視えの大きさ知覚に影響することを示した。図 11 は、物理的奥行距離と Sc/Ss の関係を示している。

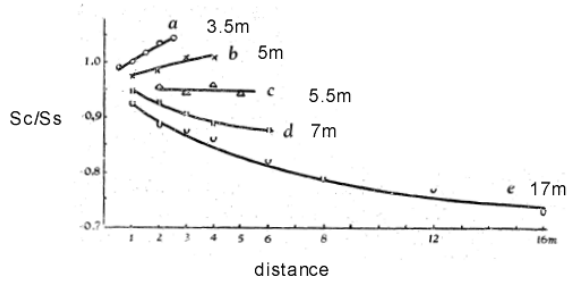

図 11、物理的奥行距離と Sc/Ss の関係（久米　1952）

さらに、久米は奥行距離を 100m 程度まで長くとった場合の視えの大きさが奥行距離とともにどのように変わるかを実験した。実験は建物の屋上（長さ 120m、幅 10m）を利用し、標準刺激は直径 33cm の白色円刺激とし観察距離 10m から 100m の範囲で 10m のステップで配置した。比較刺激は観察者から 60°斜め方向、観察距離 2.5m に提示し、直径 3cm から 35cm まで 1cm のステップで大きさを変化させ、標準刺激との視えの大きさマッチングを極限法で求めた。その結果、観察距離に伴う Sc/Ss は、観察距離 10m で 0.97、観察距離 100m で 0.59 と

なり、その間はほぼリニアに減じることが示された。一方、実験室内で還元スクリーンを設定して刺激対象の置かれた空間枠組の効果を減じると、観察距離（1m から 5m）に対する Sc/Ss はリニアに減じるのではなく、観察距離 1m で 1.0、観察距離 5m で 0.29 と指数関数的に減じることが示された。

久米は、視えの大きさ測定には観察者の経験が影響することを暗室内の状況を熟知している実験者を被験者とした場合とそうではない被験者の場合とで比較し、実験場面の熟知の程度や観察回数によって観察距離に対する Sc/Ss が大きく影響されることも示した。

久米は、この一連の研究で、第１に視えの大きさと視えの距離の間に s=φ・d（s=みえの大きさ，φ=視角，d=みえの距離）なる「大きさ－距離不変仮説」が成立するかを検討し、φを一定に保ってｓとｄの値を測定した結果、暗室あるいは半明室なような奥行距離知覚の不明瞭な空間では、上記の関数式が成立しないことを示した。第２に大きさの恒常性に関わる要因は、刺激対象が置かれた空間枠組の形状（暗室か明室か、あるいは短い矩形か長細い矩形か）、および観察者の経験であることを示したが、基本的には視えの大きさは物理的な観察距離に依存して変わること、大きさ恒常性は一定の範囲で成立することを明らかにした。

久米の一連の研究は、観察距離の変化にともなう視えの大きさがどのように変わるかを、暗室、半明室、長・短の観察距離、経験などの要因を操作して条件分析したもので、各条件でのデータは今日でも貴重である。

多田治夫（後に金沢大学教授）は、「奥行知覚に於ける遠方距離の過大視」(1956)の論文で、視えの奥行距離の過小視・過大視の問題を実験的に検討した。とくに、Gilinsky(1951)は、次式で物理的距離と視えの距離の関係についての理論式を提唱した。

$$\frac{d}{D}=\frac{A}{A+D}$$

（d=視えの距離, D=真の距離,A=視えの距離の最大限）

上式は、遠距離の視えの奥行距離は過小視されることを予測するが、多田はこの点を実験的に検討した。実験は暗室で実施され、提示した刺激は小光点で、2m から 11m の間で 1m ステップで提示された。小光点の大きさと明るさは、どの距離にあっても等しくなるように被験者にあらかじめ調整させておいた。視えの奥行距離は距離等分法、すなわち刺激光点と測定光点を提示し、測定光点を動かして視かけの距離の中点を求める方法で測定した。このとき 2 光点（刺激光点と測定光点を提示）あるいは3光点(測定光点の中間に２つの刺激光点を設定)の測定事態を設定した。観察は両眼視としたので、奥行手がかりは両眼視差、両眼輻輳、眼球調節であった。

実験の結果、2 光点事態では視えの等分点は客観的中点よりも遠くに調整され、遠方距離の過大視が示された。３光点事態では、2～5m の近距離空間では 4 人の観察者は一致して遠方距離を過大視、観察距離がそれより大になると過大視の程度が次第に減じ、過小視に移行する傾向がみられた。ただし過大視から過小視に転ずる位置は観察者によって著しく異なり個人差が大であった。

多田の研究は奥行距離の過大視の程度は距離が長くなると減じるものの生起することを明らかにしたもので、Gilinsky の予測式に問題提起したものである。

池田進（後に関西大学教授）は、「暗黒中での見えの距離の問題－刺激の大きさと見えの距離の関係について－」(1960)のなかで、刺激の大きさと視え奥行距離の関係を光刺激しか視えない暗室のなかで実験的に検討した。暗室中で刺激の位置を固定し、その大きさを拡大収縮すると刺激は奥行方向に近づいたり遠ざかったりする。池田はこ

の現象を利用し、視えの奥行距離をしらべようと考えた。標準刺激の形は正方形とし、観察者から見て菱形になるように提示した。この標準刺激の大きさは、提示位置を徐々に移動させると、それに連動して変化できるように工夫された。すなわち、2 本のレールを追加しその上に標準刺激を乗せる。もしレールを並行にすると刺激を動かしても大きさは変化しないが、被験者からみて遠い端を広く、近い端を狭くしてある角度を保たせると、刺激はそれに導かれて接近しながら小さく、遠ざかりながら大きくさせることができた。動きながらの大きさの変化の勾配は、このレールの角度をかえることによって任意に定めることができ、また標準刺激が静止しているときにも大きさを連続的に変化できるようにした。比較刺激は将棋の駒で、透明ガラスに原寸大（横 2.3cm，高さ 2.8cm）の駒の形を切りぬいたものであった。被験者は左前方にあるハンドルをまわすと、比較刺激を眼前 73cm から視線方向に 380cm の位置まで自由に動かせるので、標準刺激の視かけの奥行距離と同等になるように調整させることで視えの奥行距離が求められた。実験条件は標準刺激の物理的大きさを固定する条件（6.5cm）と標準刺激の物理的大きさを最近距離の位置では 3.4cm、最遠距離の位置では 13.4cm に変える条件を設定した。最近距離の位置は 150cm、最遠距離の位置は 300cm とした。このとき刺激 6.5cm の最近距離 150cm の位置での視角を刺激 13.4cm の最遠距離 300cm の位置での視角に等しく操作（α条件）、また刺激 6.5cm の最遠距離 300cm 位置での視角と刺激 3.4cm の最近距離 150cm の位置での視角と等しく操作（β条件）した。このようにすると、両刺激のαとβとの視角の関係は 1:1/2 となり、したがって距離の比β/αは理論的には 2 となる。被験者には標準刺激となる小光点を最近距離あるいは最遠距離からスタートしてそれらの終端となる位置まで連続して２回の往復運動を観察させ、その後で比較刺激を移動させ最近距離あるいは最遠距

離の各位置と同等となるようにハンドルを回して調整させた。

実験で得られた測定値から、αとβの比をとると刺激Xでは1.90、刺激Yでは1.76である．両刺激をまとめると1.83となった。この結果は、一定の視角の変化に対して視えの大きさと視えの距離関係は一定の比で対応することが示唆された。

そこで、池田は標準刺激を連続して運動提示するのではなく、最近距離あるいは最遠距離の位置に各静止させた事態で同様な実験を試みた。その結果、対象を運動させずに静止させた実験事態でも、一定の視角の変化に対して視えの大きさと視えの距離関係は一定の比で対応していた。

これらの実験結果から池田は、Ittelson の大きさ－距離不変仮説（対象の視角が一定の時には、その対象の視えの大きさと対象までの視えの距離の比は一定となり次式が成り立つ。a = s/d　視角：a，見えの大きさ：s，見えの距離：d）の妥当性を検討した。その結果、実験で得られた視えの距離の変化は、その視角の変化に規定されていることから、かなりな程度に Ittelson の式を満足した。しかし実験では、sの値は視え距離の変化に関わらず、恒常を示し、被験者は視角的には変化する対象から、物そのものとしての恒常性を知覚していた。池田は、これらのことから、被験者が視えの大きさと距離を知覚する際には、その知覚空間に対して対象の意味を含めたある構え、あるいは経験を伴う空間構造に依拠して知覚すると考えた。すなわち、β/αが常に一定なることはその比較の過程を規定する空間の構造が主体との関係において恒常なることを示すが、しかし実験では必ずしも恒常とはならずに被験者の経験あるいは個人差による知覚空間の差が影響すると論じた。

池田の研究は、大きさ－距離不変仮説の妥当性を検証すると共に、視えの距離の手がかりとなる視えの大きさの役割について、とくに観

察主体の経験や構えについて考察したもので、得られた実験結果はその実験が厳密なことから有用なデータともなっている。

3.2.4　鶏の空間学習と大きさ恒常性

小川再治（後に東京学芸大学教授）は、「鶏の空間学習と大きさ恒常性」(1953)を発表し、2 個体の鶏の成体を被験体として大きさ恒常性の有無をしらべた。実験は、図 12 に示されたように、飼育箱（左の矩形で表示）と実験場（右の矩形）をドッキングした事態で実施された。被験体にはあらかじめ大図形と小図形のいずれかを正刺激として 90％以上の正答率に到達するまで弁別訓練を施した。大きさの弁別テストでは、大図形を被験体から 30cm に配置する条件（図のイ）および小図形を被験体から 30cm に配置する条件（図のロ）を設定した。その結果、被験体からの図形の配置に関わらず正刺激が選択されることが示された。この結果は、一応、成体の鶏には大きさ恒常性が存在することを示唆する。しかし小川も考察しているように、被験体には弁別刺激まで自由に移動できたので、実験場入り口で大きさの大小を視覚で弁別したかについては問題があること、また被験体は飼育箱の位置を手がかりとして実験場面における自己の位置を学習（空間学習）しているので実験場面からすべての手がかり（飼育箱、偏った光線、匂い、その他目印になる物）を除去する必要があることを指摘した。この研究は、論文によると、1947 年から 48 年にかけて自宅で実施されたとある。実験事態の統制は十分ではなく、また被験体数も 2 個体と少なく、したがって実験結果の信頼性も

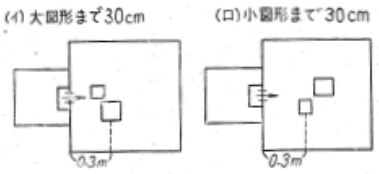

図 12　ニワトリを被験体とした大きさ恒常性実験事態（小川　1953）

問題となるが、終戦後の生活困難の時期に実施されたことは記録されて良い。

3.2.5 平面図形におけるＹ構造とＴ構造

石井教（神奈川大学）は、「平面図形の立体視に関する研究（Ｉ）－Ｙ構造及びＴ構造」(1956)を発表し、平面図形の立体視を生じさせる図形要素を分析した。図 13 には、(a)立体的な三角形図形、(b)立体視できる図形とできない図形、(c)立体視できる顔図形、(d)遠近性を生じる図形、(e)立体視可能なものから不可能なものへの連続的変化、が図示されている。このなかで、図形要素としてＹ構造をもつターンは立体的に、Ｔ構造をもつパターンは平面的に知覚される。とくに、(e)に示したパターンではＹ構造からＴ構造へと連続的に変形し、Ｙ構造をもつパターンはすべて立体的に視える。これを確認するために、小学校児童、幼稚園児、大学生を被験者にして、これらのパターンを観察させ立体的に知覚できるかを実験者との問答を通して答えさせた。その結果、立体視的構造要因（Ｙ構造）図をもつ図形は 87%の者によって 3 次元的に，平面視的構造要因（Ｔ構造）をもつ図形ば 89%

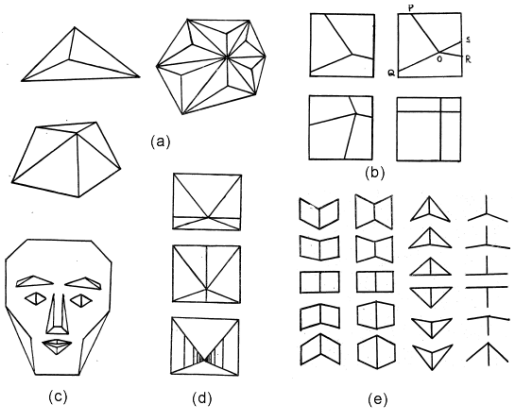

図 13　立体視できる平面図形と立体視できない平面図形。(a)立体的な三角形図形、(b)立体視できる図形とできない図形、(c)立体視できる顔図形、(d)遠近性を生じる図形、(e)立体視可能なものから不可能なものへの連続的変化（石井 1956)。

の者によって 2 次元的に見られることが明らかにされた。

石井によるこの研究は、平面図形の立体視を可能にさせる図形要素を明らかにしたもので画期的であり、高く評価されるが、さらに「平面図形の立体視に関する研究Ⅱ−角の固有空間位と立体感の累加−」（1957）を発表し、平面図形内の角度が立体視とどのように関係するかを実験的に分析した。ある種の図形、例えば，不等辺四角形の面は歪んで見えるが、 石井によれば、その原因は 4 隅にある角が、それぞれ奥行や傾きに関して異なつた空間位を持つと仮定することは、Y 字形や矢印形の立体構造の説明にも、また斜め傾いて見える平行四辺形等の立体視を説明可能となる。Y 字形や矢印形は異なつた空間位の角（アングル）が集まったもの、平行四辺形は同じ空間位の角が集まったものと考えられる。そこで図形の角が奥行や傾斜に関して固有空間位を持つかいなかを目的として実験が計画された。実験は、図 14 の (a) に示したように、被験者の前面に設置したリング越しに刺激図形を提示する。リン

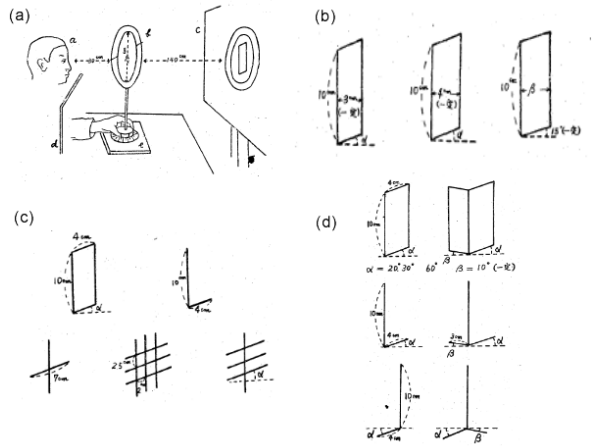

図 14　平面図形の図形内角度と立体視。(a)実験事態、(b)平行四辺形の角度や幅を変えた刺激図形、(c)平行四辺形、その部分図形および変形図形、(d)マッハの本の図形パターンとその変形図形（石井　1957）。

グはハンドルで回転できるので、被験者（成人男子，成人女子，女大生，女子高校生、 男子中学生の各 1 名）には刺激図形がどの程度前額平行に関して傾いているか、その角度をリングの角度を調整させることで求めた。実験に提示した刺激図形は角度や横幅を変えた平行四辺形（b)、平行四辺形とその部分あるいは変形図形(c)、マッハの本図形あるいはその変形図形（d)であった。その結果、(1)平行四辺形の縦の辺を常に垂直とし、横の辺の傾斜を変化させた場合、下辺の仰角が大きくなるにともない図形の視えの奥行傾斜がより大きくなることが示され、仰角と視えの奥行傾斜との間には対応関係があること、(2)平行四辺形の部分図形である垂直線分と下辺から構成されたレの字図形では平行四辺形以上の視えの奥行傾斜が出現することから、1つの角が奥行の定位に関して固有の空間位をもっていること、(3)平行四辺形とそれを2つ組み合わせた図形について立体視の正確さを比較すると、複合の図形パターンの方が安定した奥行が出現することなどが明らかにされた（図15)。石井は、この論文で平面図形が立体視されるのは、図形内の 2 辺で作る角を直角に見ようとする知覚傾向のためとし、ひとつの角が固有の空間位あるいは立体位置を持つことも、基本的には直角化の働きに起因すると考えた。図形のもつ角の固有空間位と印象の累加と言う 2 つの原理での平

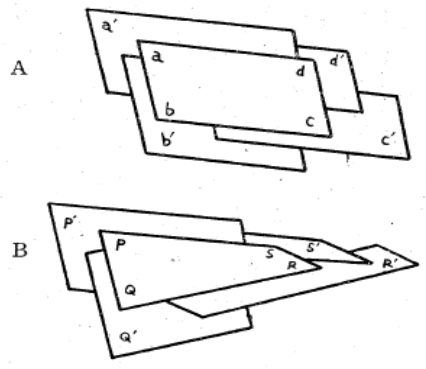

図 15　５個の図形を重ねて立体視を増加させたパターン。(A)平行四辺形の重ね合わせ、(B)不等四辺形の重ね合わせ（石井 1957)。

面図形の立体視が説明できると結論した。

この一連の石井の研究は、Y図形とT図形の原理、および図形の角の固有空間位の原理で遠近性の反転図形を含む平面図形の立体視が生じる図形的特徴を見事に明らかにしたもので、高く評価できる。

3.2.6 三次元的視知覚場における形のベクトル

市川典義（後に名古屋工大教授）は「三次元的視知覚に於ける形の場のベクトルの測定」(1957) を発表し、図形の周辺にできる 3 次元場のベクトルの測定を試みた。これは、図形を観察すると視覚セクトル内にその図形によって歪曲された 3 次元のベクトル場が形成され、その結果として物体や平図形の３次元視が可能になるのではないかという考えに基づいたものであった。そこで、図 16 に示したような実験装置を用いて、図形の周辺に形成される 3 次元のベクトル場の測定が実施された。図形（白色の輪郭円）の近傍のいくつかの位置に直径３㎜の小光点（P）を、その近くにベクトルを測定するための指標（３㎜の白色正方形）をそれぞれ提示する。実験者は小点に対して左右前後方向にずれた任意の位置に視標を提示し、除々に小点の垂直下位置に向って移動せしめ、被験者が視標がちょうど真下にある点を判断させた。このようにして、視標が前方か、後方かを判断させ，前方にある

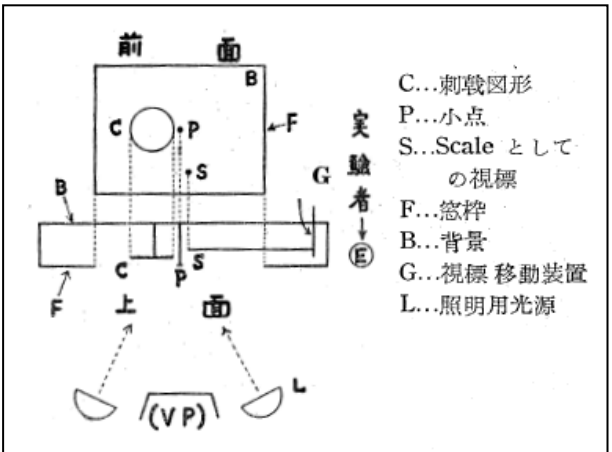

図 16　3 次元視における形のベクトル場の測定事態（市川 1957）

と答えた場合には後方向へ、後方にあると答えた場合は前方向へ実験者が指標を操作して移動させ、真下にあると判断したときの位置を記録した。観察は単眼視、両眼視、ステレオ視の3条件とした。

実験の結果から、小光点と指標のx、y、z方向のそれぞれのズレを3次元場の変位量（刺激図形の存在しない場合のズレを控除）として算定した。その結果、（1）両眼視，単眼視，ステレオ視の何れの条件においても変位量は刺激図形からの間隔距離の増大に伴ってある距離で山形の傾向を示す減少曲線を描くこと、(2)変位量は一様の減衰過程をたどる事なく、図形の近接領域（x方向5mm、z方向5mm）では負ないし僅小となり，遠隔領域（x方向15mm、z方向20mmあるいは30mm）でも同様に相対的に僅小となること、(3)変位量の最大値の位置は図形に比較的近い領域で、それ以降は全体の傾向として山型状態をとって減少することなどが示された。これらの結果は、x、y、z方向の変位量は近傍領域では図形から離れる方向に、それからやや離れると図形に引きよせられる方向に変位することを示した。

3.2.7 肌理密度勾配と奥行視

小笠原慈瑛（後に東京大学教授）は「刺激の密度勾配と奥行知覚」(1965)を発表し、Gibson,J。(1950)のテクスチャ勾配について考察し、その密度勾配の数式化を試みた。床面や対象面にあるテクスチャは大きさや幅が規則的に敷き詰められているが、これを観察者が観察したときには網膜上にテクスチャの密度勾配が形成され、これが奥行視の有力な手がかりとなる。図17には、水平な地面OR、地面上のD_1、D_2等の位置に長さA_1，A_2などの垂直な棒、観察点はP、 Pの高さはH、NMは基準（投影）面、a1はA_1の投影（刺激）が設定されている。

まず垂直棒A_1が投影面につくるaは、D1a=AN/D となる。刺激A_1の基準面上の位置は基準面上の定点Nを原点として、そこから上方へa_1(の下端）までの距離d_1を求めることによって得られる。したがって、

$d=H(1-N/D)$となる。

残るは物体の前後（奥行）方向の大きさの基準面における大きさc_1である。C_1の基準面上の投影c_1はD_2の投影d_2とD_1の投影d_1との差

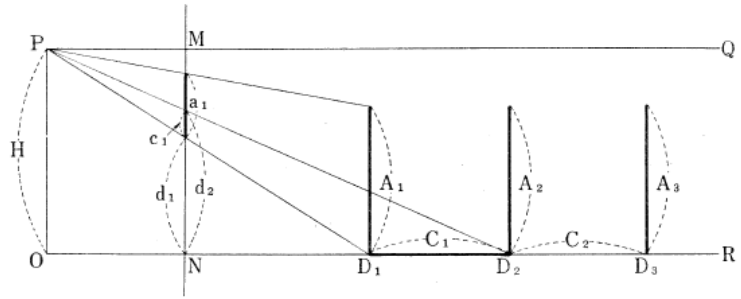

図 17　テクスチャ勾配の成立要因。OR：地面、A：垂直棒、P：観察者の眼球の高さ、NM：基準面、A_1からA_3は垂直棒（小笠原慈瑛　1965）

として与えられるので、

$c_1=d_2-d_1$

そしてこのd_1、d_2は 前式で与えられているので、

$d_1=H(1-N-D_1)$、

$d_2=H(1-N-D_2)$

$c_1=HN(D_2-D_1/D_1D_2)$

$C_1=D_2-D_1$であるから、一般には,

$c=cHN/D_2+CD$

上式の HN は一定であるし、物体の大きさ C も一定に保たれるとすれば、

$c=k/D_2+CD$ （k=定数）

と書ける。

これに相当する Gibson の第 2 の規則は“たての長さは$1/D_2$に比例

する”　というのであったが、これは D に対し C の値が十分に小であれば近似的に $c \fallingdotseq k/D_2$ になる。

このように小笠原は、テクスチャ勾配の数式的規定を厳密に考察し、テクスチャ勾配によって規定される奥行量がどのようになるかを明らかにした。

3.2.8 知覚空間における方位

佐藤千鶴（後に慶応大学教授）は「知覚空間における方位」(1960) を発表し、先行知覚図形が、その後でその図形が回転あるいは反転して提示された場合に先行図形と一致するか否かについて視覚的手がかりのみによる場合と運動的要因をともなった場合の両事態を設定して実験的に検討した。実験では、図 18 に示した 12 個の図形 (A)の

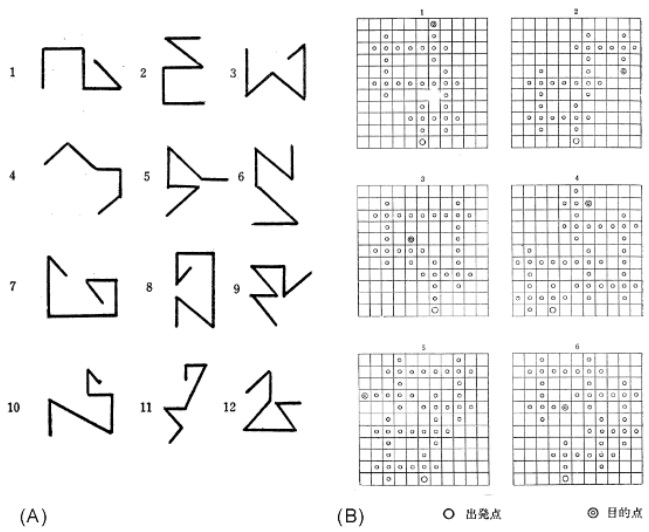

図 18　心的回転実験に使用したパターン (A)、および迷路を用いた空間方位の転位実験 (B)　(佐藤千鶴　1960)

うちの 1 個ずつを実験者が装置に入れて 2 秒間呈示、被験者にはこの図形を正しく紙上に 1 度描かせた。その後、実験者は回転すべき角度を被験者に告げ、被験者には紙上に描いて今記憶した図形の告げられた角度だけ回転したものを紙上に描くよう求めた（A 系列）。また、図形を見ながらある角度だけ回転した図形を紙上に描くようにもとめる方法でも実施した（B 系列）。指示した回転角度は 90 度、180 度、および左右逆転の 3 通りであった。実験では、図形角度の正確度とその所要時間が測定された。

実験の結果、A、B 両系列とも回転角度 180°、90°、左右逆転の順に誤りが減少、とくに左右逆転の誤りが特に少ない傾向が見られた。所要時間は両系列ともに 180°、90°、左右逆転で減じた。

次に、視覚的要因に加えて身体運動的要因をともなう記憶要因が方向定位に及ぼす効果を検討するために、迷路を用いた空間方向の転位実験が図 18 の B に示したような迷路装置で実施された。この装置は、5×5cm の正方形が 11×11 個で 各正方形につまみのついた蓋がのせてあり、この蓋を持ち上げると丸印が描いてあったりなかったりした。この丸印が迷路の進路を指示する。被験者は、この正方形の蓋を開けたり閉じたりし、出発点から目的点まで到達する路を学習する。各被験者は迷路学習の完成後、その学習した迷路を 180°、90° あるいは左右逆転した 3 条件でテストされた。その結果、所要時間、誤りのいずれにおいても、回転角度間に有意差が認められないこと、また迷路数（曲り角の数が 6 個あるいは 9 個）の少ない方が事前学習は容易であったが、指示された回転条件でのテスト事態では所要時間、誤りに差がないことなどが示された。

佐藤の研究は、空間定位に関わる視覚的記憶と身体運動を伴う記憶について検討したもので、Shepard & Metzler(1971)のメンタル・ローテーションの先駆的研究と位置づけられよう。

第 4 章　「1961 年～1980 年間」の「心理学研究」と″Japanese Psychological Research ″に掲載された奥行・空間視研究

1954 年からは欧文誌″Japanese Psychological Research”が発行された。この章ではそこに掲載された論文を含めて 60 年代から 80 年までに行われた奥行・空間知覚に関する研究をみていく。

4.1 大きさの恒常性

Ueno Takehiro（大阪市立大学）は、″The size-distance invarience hypothesis and the psychopysical law″(1962)のなかで、大きさ-距離不変仮説の妥当性について移調法(Oyama 1959、transition method)で検証した。移調法とは、標準刺激と比較刺激の視えの比率を、別に用意した刺激対の比率でもとめる測定法である。標準刺激 Ss と比較刺激 Sc は白色のディスクで、前者は観察距離 200cm、大きさが直径 10cm（視角 0.05 radian）、後者は大きさを観察距離（150cm から 500cm の範囲で 100cm ステップで 5 段階）に応じて変化させたが視角は標準刺激と同等に保った。移調法の刺激対(S’s と S’c）は観察者から 60cm に、図 19 のように標準、比較刺激のそれぞれの延長線上に S’s の大きさを固定、S’c の大きさを変えて提示し、標準ー比較刺激の視えの大きさ比率を

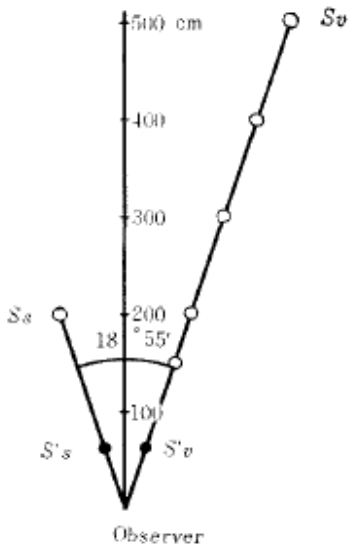

図 19　大きさ-距離不変仮説の検証のために実験事態。Ss：標準刺激、Sc：比較刺激、S's：移調法のための標準刺激、S'C：移調法での比較刺激(Ueno 1962)

移調法の刺激対と比較させ９段階のカテゴリ（「大変大変おおきい」から「大変大変小さい」で答えさせた。視えの距離の移調法による測定は、暗箱のなかに標準刺激と比較刺激の観察距離に対応する一対の光線分 D’s（60cm の観察距離）および（65cm の観察距離）を提示し、実験者が D’c の位置を変えながら被験者に標準刺激-比較刺激の視えの距離比率を D’s－D’c の距離で比較させ 9 段階のカテゴリで答えさせた。観察は単眼視と両眼視の 2 通りで実施した。実験の結果、両観察条件とも視えの大きさは視えの距離とともに増大することが示され、大きさ－距離不変仮説が支持された。

Ueno はそこで、暗室条件と屋上条件で、両眼視および奥行手がかりを除去した還元スクリーンによる単眼視観察でさらに検証した。その結果、両観察条件で視えの大きさは視えの距離とともに増大することが示されること、しかし距離に伴う視えの大きさは両眼視観察条件で大きいことが示された。これらの結果から、視えの大きさは奥行手がかりが存在する条件では大きさ恒常性の法則が、それを除去した条件では視角の法則が成り立つことを明らかにした。

さらに Ueno は、標準刺激と比較刺激の視角を一定に保持するのではなく、観察距離が変わっても比較刺激の物理的大きさを固定した条件（視角が変化する）で、通常の単眼視（暗室条件）、還元チューブの単眼視および両眼視条件（暗室条件とオープンスペース）で実験した。その結果、単眼視条件での視えの大きさは両眼視条件のそれよりも小さいこと、また単眼視での視えの距離は、両眼視のそれよりも大きいことが示された。

これは、両眼視条件では大きさ－距離不変仮説が成立するが、単眼視および還元トンネルの単眼視条件では成立せず、大きさ－距離不変パラドックスが起きていることを意味した。そこで、Ueno は Stevens(1957)のベキ関数の法則に依拠した場合に大きさ－距離不変

仮説が成立するか否かを得られたデータから推測した。視角（ϕ）が標準と比較刺激で変わらない場合の数学的論理は次のようである。

$s = \phi d$、$s = D^k$、$d = D^n$、$\phi = 1$

よって　$D^k = D^n$

したがって　$k=n$　となるので視角（ϕ）が標準と比較刺激で同等の場合のデータからｋとｎ値を算定すると、両眼視条件で幾分ことなるもののほぼ一致し大きさ－距離不変仮説が成立することが示された。

そこで、観察距離に伴う物理的大きさを同一にし、したがって視角（ϕ）が標準と比較刺激で変えられた場合の数学的論理は次のようになる。

$s = D^k$、$D = D^n$、$\phi = Ds/Dv = 1/D$ となるので、

$D^k = D^n/D$ or $D^{1+k} = D^n$

よって　$1+k = n$ が導かれる。視角（ϕ）が標準と比較刺激で変えられた場合のデータから $1+k$ とｎを算出すると、両眼視条件では両方の値はほぼ一致し大きさ－距離不変仮説は成立するが、単眼視条件では一致せず大きさ－距離不変仮説は成立しなかった。

この研究は、大きさ－距離不変仮説を感覚量のベキ関数の法則から検証した点が評価できる。

Akishige Yoshiharu & Kuroda Teruhiko は、"Experimental researches on the structure of the perceptual space -Experimental researches on the structure of the perceptual space- XXXI. Methodological and Experimental studies on size constancy-" (1963)を発表し、対象の物理的大きさ、その視えの大きさ、対象の物理的奥行距離および視えの奥行距離の関係をとおして視空間構造を明らかにしようと考えた。そして次のような基本公式(General Function)を提示した。

General Function I:

$$S_c/S_{co} = kD_s^n$$

General Function II:

$$S_c = aD_s + b$$

General Function III:

$$S_c/S_{co} = (A+D_c)/(A+D_s)$$

（公式で、Sc あるいは Sc/Sco は視えの大きさ、Ds あるいは Ds/Dsc は物理的奥行距離、A は定数を表す。）

Akishige らは、さらに物理的距離と視えの距離の関係をベキ関数で公式化した。これまでなされた諸家の実験結果をこれらの公式で検討し、視えの大きさ、視え奥行距離および視角の関係式を導き出し、測定手続きを変えて、それを実験的に検証した。測定手続きは標準刺激(Si)を一定として視角(φi)を変化させるもの（SC 手続き）、およびは標準刺激(Si)を変化させ視角(φi)を一定としたもの（SV 手続き）の 2 通りとした。変化刺激は白色のロッド（長さ 15cm、横幅 2.2cm）とし、3、5、7.5、11、15.5、21.5mの距離に提示され、また同形同大の標準刺激を 5mに配置した。変化刺激を一定にし、その視角(φi)を変化させる SC 手続きを用いた。実験は建物の屋上（23m×11.3m）で実施され、また視えの大きさと奥行距離の測定方法は、標準刺激に 1 の値を付与したとき変化刺激にどのくらいの値を割り当てるかを求める量推定法(ratio estimation)によって実施された。実験の結果、視えの大きさ(s)と物理的奥行距離（D）ならびに視えの奥行距離(d)と物理的奥行距離（D)は以下に示すようなベキ関数式が得られた。

$$s = 0.975\,D^{-0.382}$$
$$d = 0.881\,D^{1.041}$$

上述の実験は床面が視える条件で得られたが、床面が視えない条件で視えの大きさと物理的奥行距離、視えの奥行距離と物理的奥行距離との関係がどのようになるかがしらべられた。被験者と刺激との間に

スクリーンを設置して被験者と刺激の間の床面が視えない事態で視えの大きさと視え奥行距離の測定を実施した。その結果、次のようなベキ関数式が得られた。

$$s = [0.723 + 0.274\ D]^{-1}$$

$$d = 0.969\ D^{1.456}$$

さらに、変化刺激の大きさを変化させるがその視角(φi)を一定とした（SV 手続き）条件で視えの大きさと物理的奥行距離、視え奥行距離と物理的奥行距離との関係もしらべられた。その結果、次のようなベキ関数式が得られた。

$$s = 1.010\ D^{1.052}$$

$$d = 0.969\ D^{1.112}$$

これらの実験結果から、視えの大きさと視えの奥行距離についての基本公式(general function)のⅠ、Ⅱ、Ⅲは妥当であること、さらに視えの奥行距離と物理的奥行距離の関係はベキ関数式で表されることが明らかにされた。

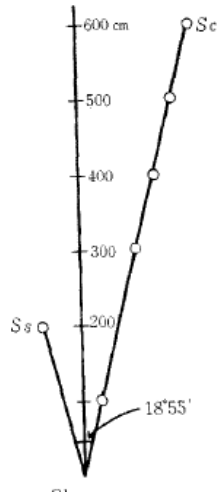

図 20　大きさ恒常性測定の刺激布置(Makino & Ueno 1963)

Makino Tatsuro(後に早稲田大学教授) & Ueno Takehiro は、″Methdological studies of size constancy (1):Size constancy measured by two experimental methods″(1963)を発表し、大きさの恒常性が刺激対象を単独提示で測定した場合と標準刺激と比較刺激を提示して測定した場合とで相違するかを実験的に検討した。標準刺激には、２次元の非熟知的対象として白色の円板、３次元の熟知的対象としてケース入

りのシガレット、３次元の非熟知対象の刺激として白色のボックスを用い、比較刺激には標準刺激と同形のものあるいは３次元の事物対象を写真に写したものを用い、それらの大きさを操作して用いた。大きさ恒常性の測定事態は、図 20 に示したように、標準刺激を被験者の左側 200cm に配置し、比較刺激を右側に 100cm から 600cm まで５段階に配置した。測定の方法は、一つは標準刺激と比較刺激を提示して測定した場合、すなわち標準刺激の大きさに対して比較刺激の大きさが等しく視えるように、「大変大変大きい(9)」、「大変大きい(8)」、「大きい(7)」、「少し大きい(6)」、「等しい(5)」、「少し小さい(4)」、「小さい(3)」、「大変小さい(2)」、「大変小さい(1)」の９通りのカテゴリでの判断を被験者に求める方法とした。このカテゴリに割り当てられた数値は主観的等価値（PSE)の算定に利用された。もう一つの測定方法は比較刺激を用いずに刺激対象を単独提示で測定した場合、すなわち標準刺激と比較刺激を提示して測定した場合の比較刺激の位置に大きさを変化させた刺激対象を単独で提示し、記憶された大きさに等しくなるように同様な９通りのカテゴリで答えさせた。この場合、非熟知的大きさである白色円板や白色ボックスについては記憶された大きさが存在しないので、当該刺激を右手にもたせ、それと提示された刺激対象の大きさを知覚判断させた。観察は、両眼視、単眼視、還元スクリーンを用いた単眼視の３条件とした。

実験の結果から、物理的観察距離に対する知覚された大きさのベキ関数が算出され、またザウレス指数も求められた。その結果、刺激対象が熟知か否か（シガレットケース、平板白色円板、白色ボックス）に関わらず、単一刺激での測定での知覚された大きさは標準刺激と比較刺激を用いた測定法でのそれよりは大きさ恒常度が有意に高いこと、また熟知対象の知覚された大きさ（シガレットケース）の恒常度は非熟知対象（白色ボックス）のそれより高いこと、さらに両眼視観

察条件での大きさ恒常度はもっとも高く、つぎに単眼視観察条件、そして還元スクリーン単眼視観察条件の順となり、これらはいずれも大きさ恒常性法則(law of size constancy)と視角の法則(law of visual angle)の間にくること、などが明らかにされた。

これらの実験で示された結果、すなわち単一刺激での測定での知覚された大きさが標準刺激と比較刺激を用いた測定法でのそれよりは恒常度が高いことは、測定法の問題ではなく視覚システムでの知覚的経験効果の問題と考えられる。

Ueno,T.も、″Size constancy by the method of single stimuli-A methdological study″(1963)のなかで、刺激対象を単独提示した場合の大きさ恒常性について検証した。実験ではシガレットケース（ピース）を写真に写し、その大きさを 11 段階（4.4cm から 11.4cm）に変え、観察距離 1m から 5m まで 1m ステップで 5 通りに変えて提示した。測定方法は 2 通り、すなわち各観察距離に提示した刺激対象の視えの大きさを７つのカテゴリ（「大変大きい」・・・「中程度」・・・「大変小さい」の 7 段階）で被験者にこたえさせる方法、および観察距離に提示した刺激対象の視えの大きさを被験者の主観的大きさ(assumed size)に基づいて 4 つのカテゴリ（「同じ」「やや違う」「違う」「はっきりと違う」）で答えさせる方法であった。実験事態は暗室で両眼観察条件とした。

実験の結果は各刺激の大きさに対する被験者のカテゴリの回答数で得られるので、そのカテゴリのなかで「中程度」のカテゴリ、あるいは「同じ」のカテゴリで判断された刺激の大きさ値の幾何平均を求めた。その結果、視えの大きさおよび熟知された大きさは観察距離にともなってリニアに増大すること、また熟知され大きさは観察距離にともなって変化することは小さく、したがって大きさ恒常性が高いことが明らかにされた。そこでこの結果を確認するために、非熟知的形

状刺激を用いて同じ2通りの方法で視えの大きさと主観的大きさとを測定した。刺激対象はシガレットケースと同形、同大の白色ボードで作成されたケースとした。実験の結果は、熟知的対象による実験結果とほとんど変わらなかった。これらの結果は、熟知的大きさなどの主観的大きさは大きさ知覚で安定した効果をもつものと考えられる。

Makino & Ueno は、″ Methdological studies of size constancy (2)：Gradient of visual field as a determinant of size constancy″ (1964)を発表し、大きさ恒常性の判断に及ぼす視野内に設けられた勾配要因の効果について実験的にしらべた。Makino らは、標準刺激(Ss)と比較刺激(Sc)を用いたときの被験者の大きさ比較判断を考察し、図 21 に示すような極端な２通りの大きさ比較判断過程が成立すると仮定した。そのひとつは、図 21 の上図のように被験者が Ss と Sc の大きさの比較に際し Ss を Sc に近づけてオクルードできるか否かで判断する場合である。図の場合には Ss(10cm)が Sc(20cm)と視かけ上で等しいとされるので、視角の法則が成立する（オクルージョンによる比較過程）。もうひとつは、下図に示したように、Ss(10cm) の大きさを距離に応じて比例させることで Sc (10cm) の大きさを判断する場合である。ここでは大きさ恒常性の法則が成立する（距離比例による比較過程）。大きさ判断における２通りの仮説の検証実験が、図 22 のような実験事態を設定して行われた。実験では、図の写真に示すように、遠近性勾配のために 2 本の細長い光線分(太さ 6mm で 220cm の長さ）を Ss から Cs に届くように設置した。このとき、Ss（菱形） 側の光線分間の間隔(17cm)は固定され、Sc（菱形）側のそれは 5 段階に（17、25.5、34、42.5、51cm）変化させた。Sc 側の間隔 17cm 条件は物理的平行事態であり、34cm 条件は網膜平行事態を意味した。視えの大きさ測定は調整法で行い、観察条件は両眼視と単眼視、および還元スクリーン単眼視であった。

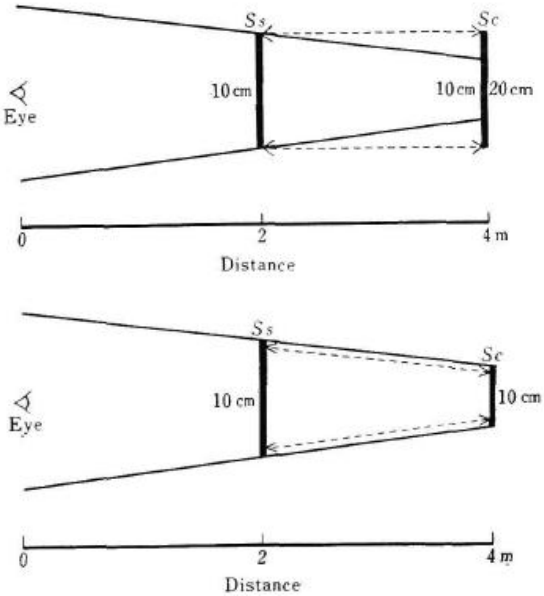

図 21　標準刺激(Ss)と比較刺激(Sc)を用いたときの被験者の極端な２通りの大きさ比較判断過程。上図：被験者が Ss と Sc の大きさの比較を Ss を Sc にオクルードさせて判断する場合で Ss(10cm)と Sc(20cm)が等しいとされるので視角の法則が成立（オクルージョンによる比較過程）、下図：Ss の大きさを距離に応じて比例させ Sc の大きさを判断するので大きさ恒常性の法則が成立（距離比例による比較過程）(Makino & Ueno 1964)。

測定の結果に基づいてザウレス指数が算出された。その結果、大きさ恒常度は両眼視と単眼視の両方において物理的平行条件で最大となり、網膜平行条件で最小となった。また、この種の遠近性勾配要因の効果は単眼視より両眼視で大きく、還元スクリーンでもっとも小さかった。

この研究は、標準刺激の視えの大きさ判断を比較刺激で行う場合、それらの刺激間の遠近性勾配要因が強く影響することを明らかにした。

Noguch, K.（後に千葉大学教授）は、″Effects of the size and texture of background upon size constancy″(1969)を発表し、大きさ恒常性に影響する刺激対象の背景の大きさ、テクスチャおよび遠近

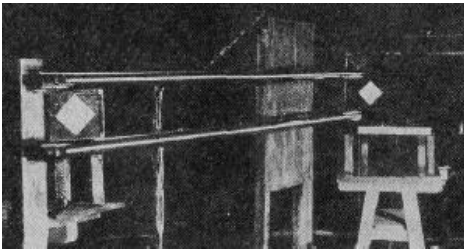

図 22　標準刺激と比較刺激の間に 2 本の光線分を設置した実験事態(Makino & Ueno 1964)

性要因について実験的に吟味した。実験では、白色ボードに描かれた輪郭円あるいは矩形図形からなる標準刺激（円・矩形とも 50mm に固定）と比較刺激（24～54mm の間で変化）を用い、標準刺激の矩形背景ボードの大きさ(10、20、40、60cm)を比較刺激の矩形背景ボード(20cm 固定）の等倍、2 倍、3 倍に変えた。また遠近性要因の効果をみるために、図 23 のような通常の遠近性とは逆向きの遠近性が設定された。さらに対象刺激の背景ボードを白色の無地に代えて小さな黒色のリング（直径 10mm）を格子状にその密度が比較刺激の密度を１としたとき標準刺激のそれが等倍、3 倍になるようにテクスチャとして配した。標準刺激の観察距離は 1m あるいは 3m の 2 条件、比較刺激のそれは 1m に固定した。観察条件は両眼視とし、大きさの測定は恒常法によって標準刺激が比較刺激より「大きい、等しい、小さい」3 件法による判断を被験者に求め、それにもとづき PSE を算定した。

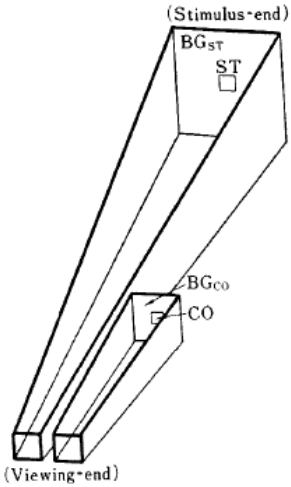

図 23 逆遠近性事態(false perspective)での大きさ恒常性実験装置(Noguti 1969)

実験の結果、(1)刺激の背景ボードが大きいと、その大きさは小さく知覚されること、(2)刺激の奥行距離はその背景ボードが大きいとより近くに知覚されること、(3)大きさ恒常性は、標準と比較刺激の背景ボードの大きさが視角的に等しいと低く、それらが物理的に等しいと高くなること、(4)大きさ恒常性は、標準と比較刺激の背景ボードのテクスチャ密度が視角的に等しい条件よりも物理的に同等な条件の方がいくぶん高いこと、などが見いだされた。これらの結果から、大きさ恒常性は刺激対象の観察距離および刺激対象の背景ボードの大きさやテクスチャ密度および遠近性の要因から構成された判断基準系によって影響されると考えられた。

Higashiyama,A.は、”Size constancy and the intrinsic geometry

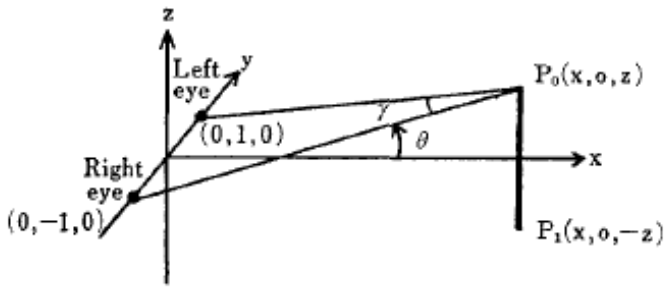

図24　大きさの比較判断事態。P_1P_0は被験者の正中線上に提示した垂直線分、γは輻輳角、xは奥行方向（Higashiyama 1976）

of binocular visual space″(1976)を発表し、大きさ恒常性をLuneburgの視空間モデルで説明できるかを実験的に検討した。大きさ恒常性実験での刺激は垂直線分とし、標準刺激(長さ 8cm、幅 0.1cm、200cmの奥行距離、正中線より左20°に提示）と比較刺激（長さは可

変、奥行距離は 100 から 600cm まで 100cm ステップで 6 段階、正中線上に提示）に設定して、暗室空間に提示し、標準刺激の視えの大きさを比較刺激の大きさを連続的に変えることで測定した。被験者は 7 名で、あらかじめ３点法と 4 点法で Luneburg のパラメータである σ（視えの奥行量）と κ（両眼視空間の曲率）値を被験者別に算出しておいた。Luneburg の視空間モデルでは、大きさ恒常性が成立していると κ は０＜－１の間に来ることが予測された。実験で得られた被験者別のデータを、あらかじめ測定しておいた被験者ごとの σ と κ を用いて予測した物理的奥行距離に対する視えの大きさ曲線で比較したところ、すべての被験者のデータは Luneburg の視空間モデルに対応することが示された。しかし、詳細に知覚恒常性データとモデルからの理論値との適合を吟味すると、両方がよく一致するのは 2 名のみで、他の 5 名は恒常性データが視角の法則から予測する方向へとシフトしていた。Luneburg による κ の算出式を検討する必要があると Higashiyama は提言した。

Shimada(後に鹿児島大学教授)は、”Developmental studies on size constancy(1)： Experiments on size constancy in the photograph with single comparison method″(1975)で、大きさ恒常性の縦断的そして横断的発達過程をしらべるとともに、大きさ恒常性の手かがりであるテクスチャとパースペクティブの効果について分析した。大きさ恒常性の測定は、図 25 にあるように、奥行手がかりの異なる空間を 3 種類用意し、そこに標準刺激（高さ 50cm、直径 3.6cm のパイプ状刺激で奥行距離 2mに配置）、および比較刺激（同形の刺激で高さを 45cm から 72.5cm 間で 2.5cm ステップで変化、奥行距離 8m に配置）を実際に配置し、それらを 12×3 枚の写真(大きさ 29×33.5cm）に撮影した。テクスチャとパースペクティブで操作された空間は、(1)灰色の背景のみで構成された視空間（Photo A)、(2)テクスチャのある視

空間（Photo B)、(3)パースペクティブのある視空間（Photo C）であ

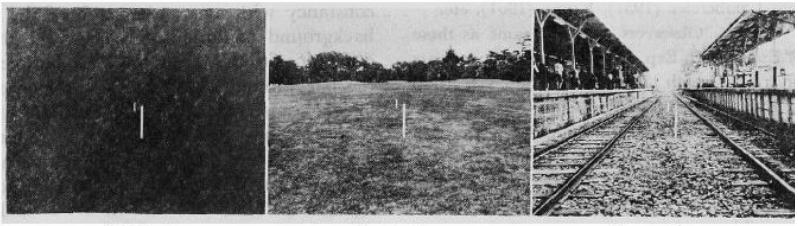

PHOTO A (Background A)　PHOTO B (Background B)　PHOTO C (Background C)

図 25　大きさ恒常性測定に使用した 3 種類の写真。標準刺激（高さ 70cm、直径 3.6cm のパイプ状刺激で奥行距離 2mに配置）、および比較刺激（同形の刺激で高さを 12.5cm から 87.5cm に可変）を実際に空間に配置し、それらを写真に撮影した。PhotoA:灰色の背景のみで構成された視空間、PhotoB:テクスチャのある視空間、PhotoC:パースペクティブのある視空間（Shimada1975）

った。測定では、標準刺激に対する大きさマッチングを、比較刺激の長さの違う写真を一枚ずつ提示し選択するように被験者に求めた。横断的発達条件での被験者は 5 歳、 7 歳、10 歳、それに成人群とした。縦断的発達条件では横断的条件の 7 歳児と 10 歳児を 2 年後と 4 年後に再テストした。

横断的発達研究では、大きさ恒常性は 5 歳児においてすでに奥行手がかりの存在しない写真（photo A）に対しても示され、またテクスチャとパースペクティブ手がかりを追加した条件(photo B、C)では顕著に増大した。また児童と成人間には、２つの奥行手がかりのいずれかがある条件では恒常性に差は生じなかった。縦断的発達研究では大きさ恒常性はパースペクティブを背景とした視空間(photo C)では年齢による変化は示されないが、奥行手がかりがない条件(photo A)と

テクスチャ条件(photo B)では 7 歳から 10 歳で一旦減少するが、10 歳から 12 歳では変化せず、14 歳以降は成人と同じ程度まで増大した。

これらの結果から、5 歳から 7 歳の間は大きさ恒常性は変化するが、その恒常性のしくみは成人と変わらないものと考えられた。

4.2 両眼立体視

両眼立体視における視えの大きさと奥行

Katori Hiroto(後に東京大学教授) & Suzukawa Kazuko は、" The estimation of apparent size and depth in stereoscopic vision" (1963)を発表し、両眼立体視における視えの大きさと奥行を測定した。実験のために、図 26 に示したようなステレオグラムが作成された。対象は 2 個のボールでその背景を壁と床面のある実景、床面だけのもの、背景を除去したものとし、それぞれ実写して作成された。また、統制条件として遠近的配置で視差をもつ幾何学的円形、および視差があるが遠近的配置を除いたものが作成された。実験条件には、両眼視差量、背景となる遠近的要因や陰影要因、両眼視差と遠近的奥行要因が対象と正しい関係にあ

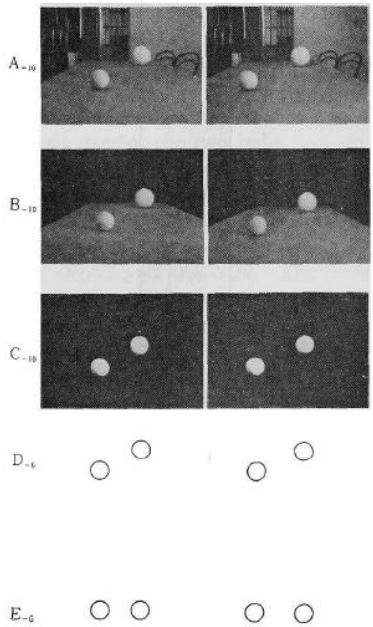

図 26　視えの大きさと奥行距離の測定のためのステレオグラム（Katori &Suzukawa 1963)。

る条件、およびそれらが逆転の奥行関係にある条件（ステレオペアを左右眼で入れ替えて観察）を設定した。測定では移調法(transition method)を用い、視えの大きさ測定では左右 2 列の大きさの配列ボードを用意した。そのボードには標準となる円が大きさを固定して左に１つ描画され、右列には複数の大きさの異なる円が大きさ順に描画してあった。被験者には、視えている左右の刺激対象の大きさ関係にもっとも適合するものをボードの右配列の円の中から選択させた。視えの奥行距離も同様な移調法で測定した。この場合には測定ボードの左側に１本の水平短線分を、右側に複数の等長の平行短線分を用意し、被験者に視えている左右の刺激対象の奥行距離関係が左と右のボードの線分の位置関係と等しいものを右配列の線分の中から被験者に選択させた。

実験の結果、視えの大きさと奥行距離を正確に知覚させる要因は、遠近的要因や陰影要因を含む背景要因がある場合、および両眼視差が大きい場合であった。大きさ恒常性はすべてのステレオグラムで生起した。両眼視差と背景要因間に不一致がある場合には、背景要因が具体的に存在するほど両眼視差に抗して背景要因の視えの大きさと奥行距離知覚に与える影響は増大したが、背景要因が弱くなると両眼視差要因の方が影響度を増した。さらに視えの大きさと奥行距離との相関をみると、両眼視差と背景要因が不一致条件で相関が高く、一致条件では低くなった。

この研究は両眼立体視下での視えの大きさと奥行距離を奥行手がかりである両眼視差と遠近や陰影など対象の背景となる要因を操作して測定したものであり、とくに遠近や陰影など対象の背景にある奥行手がかり効果を明らかにした点で評価される。

Oyama Tadasu(後に東大教授) & Sato Kazuko は、″Perceived size-ratio in stereoscopic vision as a function of convergence,

binocular disparity and luminance″(1967)を発表し、両眼立体視下での大きさ恒常性を移調法(transposition method)で測定した。移調法というのは、別に設定した複数の刺激対の大きさ比率が標準と比較刺激の大きさ比率と同等になるように選択させるものである。実験装置は図 27 に示されているように、左側のプロジェクターで２つの光のディスクを常に同位置に投影し、右側のプロジェクターでは投影位置の異なる２つのディスクを提示した。左右眼用のポラロイドレンズを通してこの 2 組のディスクを観察すると両眼視融合され、1 組の奥行の異なるディスクが視えた。左右のディスクの大きさは、同等条件、右ディスクを 1.2 倍にした条件、および右ディスクを 1.4 倍にした条件を設定した。輻輳角は、左のディスクの輻輳角(図 28 の α_l) を代えることで基準(被験者の眼球間距離に応じて、1° 32′ から 1° 41′ の間で設定) 、遠 (基準より 45′ 小さく) 、近 (基準より 45′ 小さく) の 3 条件を設定した。両眼視差は右のディスクの輻輳角(図２の α_r) を変えることで操作し、ディスクの大きさが 1:1、1:2、1:4 のいずれの場合にも、0 を含んで、±11.5′ から±1° 09′ の間で 11.5′

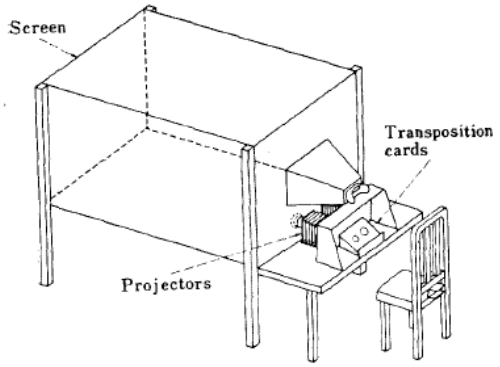

図 27　両眼立体視での大きさ恒常性実験のための装置。2 台のプロジェクターで左右眼に刺激対を投影し、左右眼用に設置したポラロイドレンズを通して立体視し、被験者には標準と比較刺激間の視えの大きさ比率に等しいものを移調カード綴りから選択させる(Oyama & Sato 1967)。

のステップで 7 段階に操作した(プラス視差の場合には左のディスクに対して右のディスクは遠く視え、マイナスの視差はその逆になる)。さらにディスクの輝度を左右ディスクで 10ml から 0.1ml の間で違えた条件を設定した。

実験の結果、移調法で測定した大きさ比は、両眼視差が＋1°09′から－1°09 へと減じるに伴って両軸の対数関数をとるとリニアに増大すること、この関係には輻輳角要因や刺激の輝度要因は影響しない

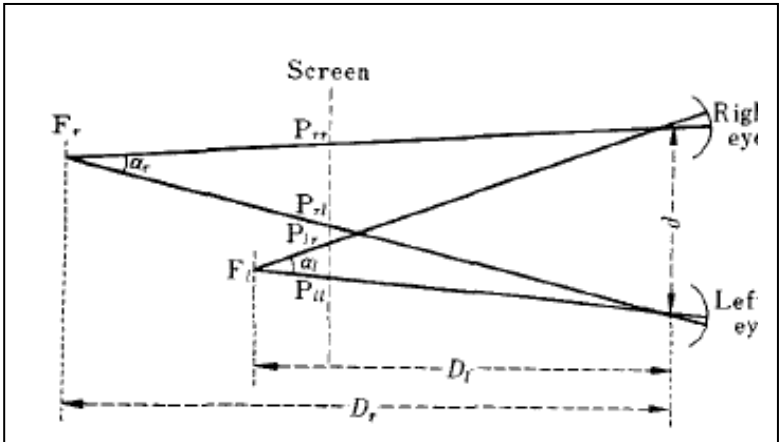

図 28　左右 2 台のプロジェクターからの投影図で、その際の 2 つの刺激対象、その輻輳角、対象までの視えの距離が示されている(Oyama & Sato 1967)。

こと、2 つの刺激間に輝度差がある場合にはこの関係の対数曲線勾配が小さくなること、などが見いだされた。

これらの結果は、大きさ恒常性は両眼視差が奥行手がかりとして存在すれば生起することを示した。

視野闘争

Kakizaki は、”Binocular rivalry and stimulus intensity″(1960)を発表し、視野闘争における刺激強度差による知覚交替をしらべた。

実験は、図 29 に示すように、左眼と右眼に方向の異なるパターンを視野の中心(背景円の中心) に来るように提示し、背景は円および円の中心を十文字に通る線分とし、各眼および背景パターンは別々のチャンネルで被験者に提示した。左右眼の刺激には明るさを用いて刺激強度差を導入した。実験では視野闘争時における反転頻度と持続時間が計られ、それに基づいて観察時間に対する優位知覚の持続時間が求められた。

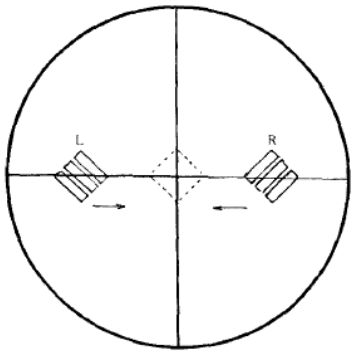

図 29　視野闘争実験のパラダイム（Kakizaki 1960）

実験の結果、優位知覚の持続時間は左右眼への刺激強度差の増大につれて最初は少なく、強度さが大きくなるとと多くなる傾向を示すこと、優位知覚の持続時間に対する左右眼の刺激強度比の効果は、刺激自体の強度に依存して変わること、刺激強度が強いと優位知覚出現時間も増大することなどが見いだされた。これらのことから、視野闘争では刺激の抑制過程と興奮過程が交互に関係すると結論した。

この研究は、視野闘争において左右眼の刺激強度差の関数としての優位知覚の推移を分析した点で意義がある。

Goryo Ken(後に千葉大学教授) は、” The effect of past experience upon the binocular rivalry” (1969)を発表し、視野闘争における過去経験刺激の促進あるいは抑制効果についてしらべた。各眼に異なる刺激パターンを提示すると知覚される刺激パターンが交替する視野闘争が生起するが、片方の刺激パターンに熟知刺激、情動的刺激あ

るいは民族文化的刺激を用いると、その刺激が優位になることが報告されていた(Bagby, 1957; Davis, 1959; Hastorf & Myro, 1959;Pettigrew, Allport & Barnett,1958)。そこで Goryo は、視野闘争において既知な顔画像が優位刺激となるか否かを実験的に検討した。まず先行手続として大学生 11 名の顔画像に架空の名前を組み合わせて提示（提示回数は０、5、10、20、30 回に操作）し、学習させた。次に、この中から5ケースを選択して視野闘争刺激の一方とし、幾何学的刺激パターンを他方として提示した。実験ではどちらの刺激が優位となるか、またその持続時間はどのくらいかを測定した。

その結果、先行経験画像の視野闘争における優位持続時間は学習回数にリニアに比例して増大することが示された。この結果から、過去経験が視野闘争では促進効果をもつことが示された。

Goryo & Kikuchi は”Disparity and training in stereopsis”(1971)のなかで、RDS のステレオ視成立までの潜時と出現した立体程度が訓練によって変容するかについて実験的に検討した。Julesz(1964)は、RDS の初見時は両眼融合から立体視成立までに一定の潜時がかかるが、反復経験する内に潜時が急速に減少し、RDS 立体視には学習効果があることを報告した。そこで、菊池らは両眼輻輳を固定した条件で、RDS 立体視の反復経験による学習効果をしらべた。中央に矩形が浮かび上がるRDSを30回にわたって両眼視差を0°から7°まで変えて提示し、立体出現までの潜時を測定するとともに、立体の奥行程度の評価（10段階評価）を 5 人のナイーブな被験者に求めた。

その結果、ステレオ視出現までの潜時は試行回数ごとに減少すること、また両眼視差が大きいと潜時は長くなること、また立体出現の奥行印象は視差が大きいと鮮明であることが示された。この研究は Julesz の研究を裏付けている。

Ichikawa & Goryo は、″The effects of relative orientation of

surround grating on binocular rivalry and apparent brightness″(1978)で、図 30 に示したようなステレオグラムで視野闘争における知覚優位性をしらべた。この実験の目的は中心とその周辺の刺激の方向が異なる場合、両刺激の方向差が小さいほど相互抑制が強くなるとした Blakemore & Tobin(1972)の見解を実証するためであった。そのために、中央部分（水平と垂直）とその周辺部分（0°から 10°ステップで 90°まで操作）のグレーティングの方向を変化させ、視野闘争時の知覚優位性の出現時間を指標とした実験がなされた。その結果、中央刺激と周辺刺激の角度差が 10°あるいは 20°の時に最も知覚出現優位性が大きくなった。さらに、知覚優位性出現時の中央領域の視かけの明るさを左右ステレオグラムで比較させたところ、中央刺激と周辺刺激と角度差が 10°あるいは 20°の時にもっとも明るく知覚された。

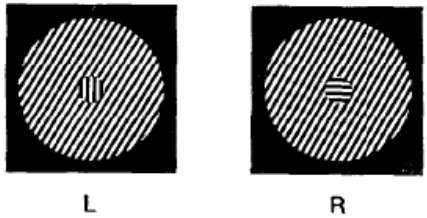

図 30　視野闘争実験に用いたステレオグラムで、中央刺激と周辺刺激のグレーティングの方向が異なるように設定(Ichikawa & Goryo 1978)

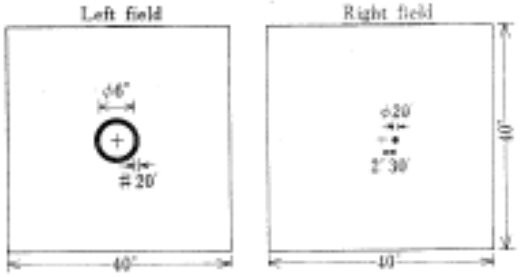

図 31　視野闘争実験における抑制刺激（左）とテスト刺激である被抑制刺激（白石　1977)。

これらの結

果から、中央刺激と周辺刺激の角度が異なる場合、その角度差が小さいほど相互抑制が強くなり、結果として中央刺激の知覚強度を弱めることになり、その結果、視野闘争における知覚出現優位性を低下させ、視かけの明るさを暗くさせたと結論した。

白石茂（早稲田大学）は、「視野闘争にみられる反対側抑制野の空間的特性」（1977）を発表し、視野闘争における抑制の有り様を被抑制刺激の大きさや位置を変化させてしらべた。左眼には、図 31 に示したように、抑制刺激として円輪郭光刺激（直径 2°、4°、6°）、右眼には被抑制刺激（テスト刺激）として小光点（20′）を提示した。実験では、テスト刺激である小光点の位置を円輪郭刺激の中央から変化させる条件（1°から 5°まで最大 12 通りに変化）、円輪郭光刺激と小光点の組合せ（左眼に円輪郭、右眼に小光点、左眼に円輪郭、右眼に円輪郭＋小光点、あるいは右眼は無刺激、右眼に小光点ないしは円輪郭＋小光点あるいは、左眼に小光点、右眼に小光点、など 7 通り）を変えた条件、テスト刺激を小四角形に置き換えその大きさを変えた条件（幅 20′、40′、80′、長さ 20′、40′、80′とし、これらを組み合わせた大きさの小四角形 18 通り）、さらに抑制刺激である円輪郭のリングの幅を変化（直径 6°の円のリング幅を 20′、1°、3°の 3 通り）させた条件、および円輪郭光刺激（5.8、3.2、0.5mL ）とテスト刺激（5.8、3.2、0.5mL ）の輝度対比条件を変化させた条件の 5 条件を設定した。被験者にはテスト刺激の消失回数、および消失から再出現するまでの時間を測定し、これをもとに 1 分あたりの消失回数と平均消失時間が計算された。

その結果、抑制刺激の持つ抑制力（消失させる回数）は、抑制刺激の輪郭線から離れるにしたがい急速に減衰すること、その減衰のしかたは視野中心に近いほど急であること、被抑制刺激であるテスト刺激が大きくなると消失回数は減少し被抑制刺激の抑制力は小さくなる

こと、抑制刺激であるリングの幅はテスト刺激の消失回数に影響しないこと、テスト刺激の輝度対比度が大きくなると平均消失時間は減少すること、そして抑制刺激の持つ抑制力は抑制刺激の対比度に比例して増大することが明らかにされた。この結果から、これまで明らかにされていた抑制野の作用範囲と大きさは一致していて、視野中心領域で約 40′ 前後であると考えられるという。

この研究は視野闘争の抑制力に影響する要因およびその範囲を詳細に検討し明らかにした点で優れている。

鬢櫛一夫（後に中京大学教授）は、「立体視にわける奥行の消失と反転」（1979）を発表し、両眼立体視における単一視出現と視野闘争の関係について RDS を利用して実験的に検討した。とくに視差相互の抑制によって単一奥行面の立体視が生起するが、その出現過程を検討するために 4 通りの実験が実施された。

実験 I では RDS を用いて、凝視観察のもとで立体視奥行の消失するまでの時間が測定され、その結果、視差が大きくなるほどこの時間は短くなることが示された。実験 2 では、図 32 にあるような 奥行反転ステレオグラムを用いて、交差、 非交差視差の相対量を系統的に変化させ　各奥行出現の累積知覚時間を測定した。その結果、視差の絶対的な大きさあるいは視差の奥行出現方向に関わらず、相対的に視差の小さい奥行の方がより長く知覚されることが示された。実験 3 では、凝視観察のもとで乱配列ターゲットの奥行消失までの時間と反復画素ターゲットの奥行反転までの時間を測定したところ、奥行反転までの時間の方が奥行消失までの時間より短かいことが示された。このことは、知覚されていなかった奥行に対応する視差検出も知覚されていた奥行の視差検出を抑制することを示唆した。実験 4 では、 奥行反転ステレオグラムを用いて凝視観察と自由視における奥行反転回数が測定され、その結果、 凝視観察の方が奥行の反転が多く起こった。

図 32　背景画素は水平方向に関して規則的に一定の単位で反復された大文字アルファベット、中央部にある視差ターゲットは乱配列のアルファベットから成る奥行反転ステレオグラム。背景とターゲットの間の視差は、 背景画素の反復単位の 1/4，1/2，3/4，1 倍の 4 段階を設けた。各視差につき反復単位は 1，2，3，4 画素の 4 種類とした（鬢櫛 1979　）

このことは、知覚されている奥行の視差検出は凝視によってより早く減衰するが、 知覚されていない奥行の視差検出はそれに比べてかなり一定に保たれることを示唆した。

以上の結果から視差は並列処理され、視差相互の抑制は単一奥行の立体視の成立にとって重要な役割をもっていると結論した。

鬢櫛の研究は、RDS 立体視を利用して単一立体視出現と視野闘争の関係を探り、視差検出の過程を検討したもので、日本ではこの分野での最初の研究と考えられる。

4.3　3 次元の視覚場

3 次元視覚空間におけるベクトル場

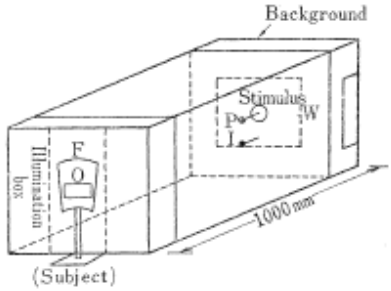

図 33　3 次元視空間におけるベクトル場の測定装置（市川　1967）

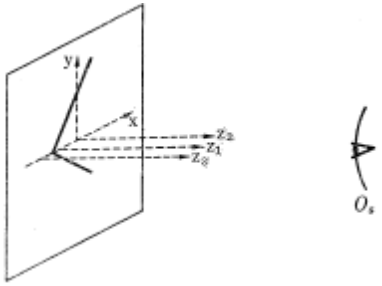

図 34　等長屈曲図形での 3 次元変位量の測定とその位置（辺の幅 2㎜・長さ 30㎜ 角度 60 もしくは 120°（市川 1966）

市川典義（後に名古屋工業大教授）は、「三次元における図形効果に関する研究－図形の前方視空間における変位効果－」(1966) を発表した。この研究は、横瀬善正（名古屋大学教授）のポテンシャル場とベクトル場の研究を 3 次元的な視覚場に当てはめ、図形の近傍では視覚場の 3 次元的な歪み、すなわち図形の前方視空間で 3 次元変位効果が起きていることを確かめるものであった。実験装置は、図 33 に示したものを考案して使用した。刺激パターンは被験者の前方の壁に提示し、その前方に白色小円盤（P、半径 1.5㎜）あるいは等長屈曲線図形（図 34）、また変位測定用の指標（I、半径 1.5㎜）をそれぞれ提示した。変位測定の指標は微動装置に連動し 0.1㎜ の精度で変位量を測定できた。刺激は白色輪郭図形とし、その半径をを 10、15、20㎜ に変化させた。白色小円盤は白色輪郭図形の中心から被験者の正中線上で 5、10、15、30㎜ の位置に提示し、被験者には測定指標を前後に移動させ、白色小円盤と奥行位置に関してのマッチングを求めた。その結果、図形面に近接した

視空間内では、比較的大きな図形方向への変位がみられ、それより距離が増すに従い変位量はしだいに減少し、図形からかなり離れると変位量は僅少となるかあるいは逆に図形から離れる方向へ変位すること、また図形面にごく近接した距離内では変位量はゆるやかな減少勾配を示すかあるいは中途で最大の変位量を示すこと、さらに変位量は円の大小にかかわらず近接視空間内では図形面方向への変位が示されたが、遠方空間では大きさと一義的な関係を示さないことなどが見いだされた。また等長屈折線形刺激に関しては図形の内側では、角頂部の正中面上での空間領域が全体的にみて比較的大きな変位がみられること、内側中央部での正中面上ではそれより変位量は小さく、遠隔距離では角 60° 図形で図形から遠ざかる方向の変位が出現すること、外側では図形面にごく近接した所でのみやや大きな変位が現われるがそれより距離が増すと変位量は急激に減少すること、角 60° と 120° の 2 種について顕著な差は見られないことなどが示された。

円形・屈折線形の両結果を比較総合してみると、近接視空間領域では比較的大きな図形側に引きつけられる変位効果が、そして遠方視空間領域ではその効果の減少が、さらに遠方の領域では条件によって反対の効果が出現することであった。このような傾向は、市川の先の研究とも同一の結果を示し、3 次元における図形効果の空間的変位現象が存在することをいっそう明らかにした。

市川（1967）は、これらのの研究を踏まえて、対象の前方あるいは後方での 3 次元視空間の光覚閾をしらべた。光覚閾測定装置は図 35 の上図に示したように、L 字形に配置された刺激提示ボックスをハーフミラーで繋いだものであった。刺激パターンは、下図に示したように、左刺激提示ボックスに提示した図形（縦平行 2 線分、長さは 30㎜、平行線分間の距離は 2 と 8㎜）と右ボックスに提示した光覚閾測定のための小光点（直径 0.4㎜、視角 1′）をハーフミラーで合成して提

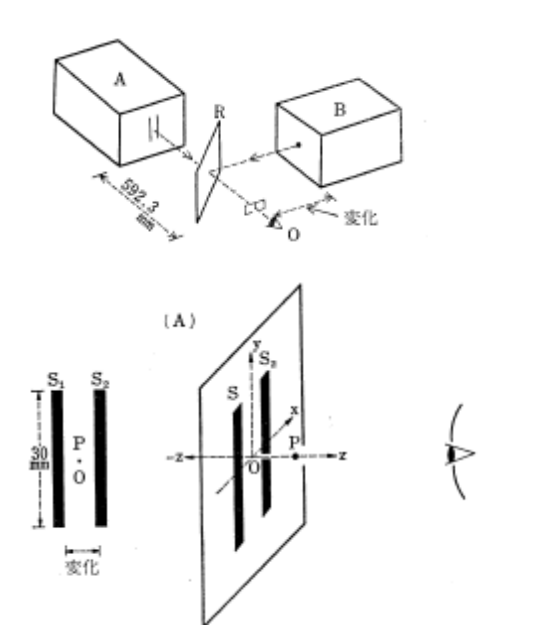

図 35　刺激提示装置（上図）と刺激提示事態（下図）。市川 1967)。

示された。実験では、図形面から前方および後方の８通りの奥行距離（4、8、10、13、15、20、25、30mm）に提示した小光点の閾値が測定された。小光点の輝度は電圧を操作して変化させ、ボルト値を輝度値（rlx)に変換して求められた。さらに、光覚閾値のコントロール値の測定のために小光点提示位置の両側に同一の大きさの小光点を光覚閾値測定の小光点と同一の奥行距離に提示し、被験者個々の光覚閾値のベースを測定し、基準値とした。

その結果、光覚閾値は縦平行 2 線分図形の近傍距離内では距離増加につれてゆるやかに漸増し、ある程度離れるとと急激な上昇がみられること、この急激な上昇のみられる位置は線分間の間隔距離によって異なりその間隔距離が狭まるとその上昇の程度がより著しくなること、図形面に対して前方と後方の奥行距離の閾値の大きさ・上昇傾向はほとんど差がなくかつ図形面を基準として対称的に変化することなどが示された。一方、基準値となる光覚閾値は、図形からの空間的距離の変化に対して前方あるいは後方のいずれでもほとんど変化が示されなかった。

このことから、小光点閾値の上昇傾向は図形の存在によって生じたものと考えられ、図形の周囲の視覚場は3次元的な広がりをもつと示唆された。

さらに市川（1971）は、1本の垂直線光図形（幅２.6㎜　視角12′と6′）や円形光刺激（直径12㎜と18㎜　視角1°10′と1°44′）など前回と異なる刺激布置について、とくに閉合的布置の内側における箇所での光覚閾変化をしらべた。光覚閾の測定方法は前回と同等とし､1本垂直線図形の測定箇所は等分した線分のすぐ外側1.5㎜(9′)、2㎜（12′）、6㎜（36′）、もしくは線分内の中央箇所、円形光刺激では中心点、中心点から右に8㎜（46′）、上方に8㎜の3カ所とした。それぞれの図形の測定箇所での奥行距離位置は図形の前方0、4、10、15、20、25㎜の6カ所とした。

実験の結果、垂直線刺激の横前方空間では 刺激面より奥行の方向に距離が増しても光覚閾値は上昇も下降も示さなかったが、図形と同一面上およびそれより正中線上の奥行箇所では刺激に近接した箇所では閾値は著しく大きくそれより離れるに従い急激に低下すること、また円形光刺激では円の中心軸上ではわずかに閾値の上昇がみられるとともに輪郭線に近接した箇所の前方では円面より奥行方向に離れるに従い閾値がゆるやかに上昇を示した。

これらの結果から、奥行距離の増加に対する閾値の上昇は常に現われるものではなく、刺激布置に依存する現象であることが確かめられた。また、奥行方向に見られる光刺激の閾値への影響は現象的には前額平行面上における現われ方とは明らかに異なる様相を示すことなども明らかにされた。

市川の研究は横瀬のポテンシャル場とベクトル場の研究を３次元的な視覚場に当てはめたもので、図形の近傍では視覚場の３次元的な歪みが起きていることを示唆したもので、当時としては視覚場の存在

から錯視など知覚の歪みを明らかにしようと考えた意欲的な研究だった。しかし、現在では市川の想定した 3 次元視覚場が網膜生理的なものか、あるいは大脳中枢的なものか不明であり、研究としては継続されていない。

4.4 錯視研究における奥行要因

多屋頼典（後に岡山大学教授）は、「大きさ判断・lightness 判断に及ぼす奥行き要因の効果」（1974）を発表した。同心円錯視における奥行要因効果を考えるとき、それを図と地の問題として処理できるのか、あるいは同化－対比の問題として扱うべきかについて実験的に検討した。同化-対比説によると、２つの円の大きさの差が小さいときには同化（内円の過大視）が生じ、その差が大きくなると対比（内円の過小視）が生じるために内円と外円の間に錯視が生じるという。ただし、2 つの円が奥行的に異なる配置にあると、同化を生じぜず対比のみが生起する。

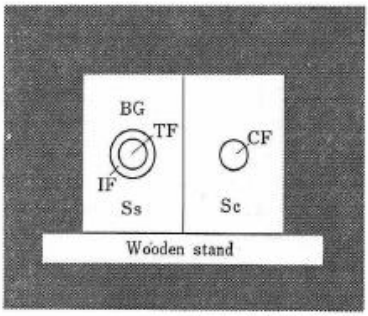

図 36　同心円錯視実験事態。IF：誘導円、TF: テスト円、CF：比較刺激。（多屋　1974）。

多屋は、このような奥行的要因を同化と対比の問題とするよりは図と地の問題の中に関連づけられると考え、実験的に検証した。実験では、図 36 に示した同心円錯視事態で誘導円（IF）とテスト円（TF）間に奥行を設定して視えの大きさ測定とライトネス（lightness）測定が実施された。IF の半径は 25、35、45、55、80、100mm の 6 通りに変化、

またIFをTFの背後０、１、3、5mの4通りに奥行的に配置する条件とIFをTFの前方に配置する条件を、また白地にIFを配置した条件および黒地にIFを配置した条件を設定した（TFの地は常に灰色）。この場合、IFのリングが地として知覚されるためにIFが白の場合には黒の矩形（6mmm）をIFが黒の場合には白の矩形をランダムに貼り付けた。視えの大きさはCFの大きさを変化させ、TFとのマッチングを極限法で測定した。lightness（ライトネス）の測定は、大きさ測定と同様な刺激設定で、Ssと同様のハイライト6番の灰色壁紙の上に日色研色紙15番を中心に0.2番ステップで変化する半径20mmの円板を貼りつけたものをCFに用い、視えの明るさについてTFとマッチングさせた。この場合にも白地にIFを配置した条件および黒地にIFを配置した条件を設定した。

実験の結果、大きさ判断におけるIF-1m条件（IFがTFの後方に提示）の場合、奥行の増大に伴って 錯視量は有意に減少し、逆に対比量は増大した。この場合、奥行の増大に伴ってに錯視量が一様に減少するではなく、IF-1m条件において大幅に減少し、以後IFの位置を変えても錯視量は変化しなかった。また、IFが大きくなるとIF-1m条件、IF-3m条件のように奥行の増加につれて順に有意に錯視量が減少し、IF-5m条件では再び増加した。黒地IFの場合についてはIF-0m条件の形を保ったまま、奥行の増加につれて全般的に有意に錯視量が減少した。白地IFでのlightness判断では、TFのlightness判断に及ぼすIFの有意な奥行効果は示されなかった。黒地IFの場合にはIFの奥行きの増加と共にlightnessは上昇した。奥行要因の効果は有意であった。

大きさ判断において、IFをTFの前方に配置した条件ではIFが白地・黒地どちらの場合でも奥行の要因はそれ単独では有意にならなかった。lightness判断では 奥行の要因は白地IF条件においてのみ有

意に、すなわちTFを背後に移動するとlightnessが有意に上昇した。黒地IF条件においてはTFの奥行による差異はみられなかった。

これらの結果から、TFがIFよりも手前にありかつlightnessがより高い場合（実験Ⅰ黒地IF条件）において、TFは図に、IFは地になり易いこと、また、TFがIFの背後にありかつlightnessがより低い場合（白地IF条件）においては、TFは地に、IFは図になり易いことが明らかにされた。本実験結果は、同心円錯視においてTFとIFの間の奥行のみが有効な変数であってそのどちらがより手前であるかは問わないとする奥行説に対して、IFとTFのどちらがより手前であるかということが有効な変数であるとする図－地関係説の方を支持した。

多屋は、先の論文(1974)で前方に置かれた中灰色平面内のドーナツ形の切り口を通してみえる背後の平面に白と黒の2種の明度条件を設定したところ、明度の違いは錯視に強く影響することを示した。ドーナツ部分の明度がこのように大きな効果を持つのは、この部分が切り口を通して背後平面として提示されている場合だけであり、同一平面に提示されている場合にはさほど問題にならなかった。

そこで「同心円錯視と対象性 Ⅱ」(1978)の論文では、ドーナツ領域の提示位置や明度を組織的に操作し、錯視量がどのように影響されるかを吟味した。実験事態は先の研究とほぼ同一であった。すなわち、IF（ドーナツ領域)を観察者の前方あるいは後方に、TF(半径20mm)、BG（内円領域、 外円外部領域）は背後あるいは前方の同一平面に提示した。IFは中灰色、背後の平面は白ケント紙に黒斑点を附し、または黒色ラシャ紙に白斑点を附した。斑点は6mm平方の正方形で3cm平方につき1個の割合で規則的に並べた。背後の平面(黒、白、中灰色の3種類）はIFの0、50または200cm後方に提示される。 IF－S(半径22.4mm)、IF- M(半径30.0mm)、 IF -L(半径36.1mm)の3種の大き

さを用いた。また、IF を後方に位置させた場合にはその明度を 4 段階（明度番号４から７まで）に変化させた。被験者には TF の視かけの大きさを比較刺激でマッチングさせた。

その結果、IF が観察者の前方に位置する場合、錯視量は IF の奥行距離条件のいかんに関わらず IF-M で極大になる山型曲線となり、このときの最大錯視量は IF と TF が同一平面にある統制条件とほぼ同程度であった。ただ黒地の場合には、TF-50cm 条件に限って錯視量が全般に減少した。

IF に黒色の斑点を付して観察者の後方に位置する場合には、IF の明度が高くなるにつれ錯視量は全般に減少すること、奥行距離の要因は IF の明度が高くなるに従って強く作用することが示された。IF に白色の斑点を付して観察者の後方に位置する場合には、IF の明度が 6 番になるまでは、明度が高くなるにつれ錯視量は全般に減少していくこと、奥行距離の要因は IF 明度の高い場合にのみ大きく影響することなどが示され、黒斑点を附した場合とかなり共通した特徴が認められた。

そこで IF を後方に配置する条件で、中灰色紙に線幅 0.5mm の製図用黒インクで同心円図形を描き、その輪郭線を残して IF 部分を切り抜いたものを TF、 BG とする刺激事態で測定が試みられた。IF 明度条件、 奥行距離条件、 IF の大きさ条件などは輪郭線を除いてすべて先の実験と同じ条件とした。その結果、IF に黒斑点を附した場合、全ての条件で IF-M 条件での錯視量は IF-S の錯視量より大となった。また、IF の明度が高くなると錯視量がしだいに減少した。IF に白斑点を附した場合では、全条件で IF-M のところで錯視量が極大になった。 また IF の明度が高くなるにつれて錯視量が全般に増す傾向がみられた。

これらの結果をまとめると以下のようであった。内円領域（TF）がドーナツ領域（IF)の開口部（穴）として判断される時には、内・外

円の直径比が 2:3 になるあたりで錯視量が極大になったが、しかしドーナツ領域の開口部分は内円領域の背後の別の平面であることが強調され、 もはや内円領域を穴とみなすことができなくなるに従って錯視量は全般に減少し、測定した範囲内では極大値も出てこなくなることが見いだされた。円隔領域の部分が内円領域の背後の平面として提示されている条件であっても、輪郭線が附されている時には錯視曲線に再び極大値が現われ、輪郭線の錯視に及ぼす効果が極めて大になることが示された。

これらのことから、同心円錯視が小笠原(1952)の提唱した「同心円の偏位は 2 つの対象間の引き合いではなく、1 つの対象の収斂効果であること、つまりドーナツ形の間隔が細まる過程である」とした外円と内円の間のリングである対象規定性の考えが支持された。

山上暁（後に甲南女子大学教授）は、「Ponzo 錯視における 2 種のみえの大きさ変化」(1978)を発表し、Ponzo 錯視の成立メカニズムを実験的に検討した。とくに、輻輳線分内においた刺激形状(線分や円)や位置によって輻輳線分のもたらす錯視効果が異なるのではないかと考えた。そこで、輻輳線分がもたらす錯視効果を平行 2 線分に代わって単一線分を種々の位置に提示し、その位置の関数としての過大視を測定することを試みた。実験は、輻輳線分内に単一線分を輻輳線分の上部から下部まで位置させる条件、輻輳線分内に平行 2 線分を位置させ、その 2 線分間の距離を 10㎜ から 120㎜ まで変化させた条件、および図 37 のように輻輳線分を変形させた条件で実施された。錯視量は基準として提示した線分を 100 としたとき、テスト線分はいくつになるか（マグニチュード推定法）を推定させた。

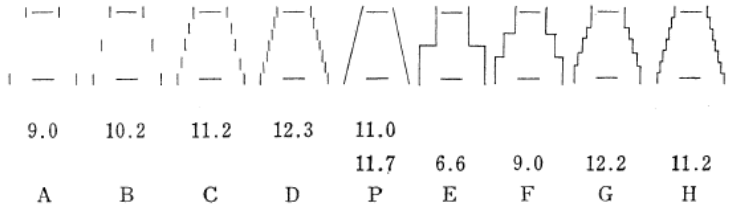

図 37　輻輳線分を変形したポンゾー錯視での錯視量の測定。下記数字はマグニチュード推定法での錯視量の増減（%）（山上　1978）

その結果、Ponzo 図形の輻輳線分内では平行２線分ではなく単一線分でも過大視が生起し、その過大視量は線分が頂角に近いほど大きいこと、しかし個々の線分の過大視量からだけでは、Ponzo 錯視量の予測が十分には行なえないこと、また物理的特性としての輻輳線分の連続性の破壊や、その斜線成分を除去すると錯視量を減少させるもののこれらの物理的特性が除かれた図形でもかなりの錯視量が得られること、さらに平行２線分の間隔とそれを囲む線分図形を変形させると図形の違いによって間隔の増大にともなう錯視量の増加率が異なることなどが見出された。

これらの結果から、ポンゾー錯視の成立メカニズムを考えるとき刺激図形の全体的布置が重要であるとともに、輻輳線分が平行２線分に及ぼす効果は、単一対象に対する大きさ変化に加えて２線分の長さの比較過程における大きさ変化の２通りの視えの大きさ変化が存在すると考えられた。

4.5 両眼視空間と物理的空間との対応関係

Indow（後に慶應義塾大学及びカリフォルニア大学アーバイン校教授）、Inoue Emiko（後にフェリス女学院大学教授）＆Matsushima Keiko は、「An experimental study of　the Luneberg theory of binocular

space perception: The 3 and 4 points experiments」(1962)を発表し、Luneberg の視空間理論を検証した。とくに、その理論公式におけるガウスの曲率指数(K)は　$-1<K<0$　の間の値をとり、知覚された奥行距離(σ)は　$\sigma>0$　となることが予測されている。そこで、3 点法および 4 点法で視空間特性を測定し、これを検証した。3 点法では、図 38 の左図に示したように、３つの光点 Q_0(固定)、Q_1(固定)、Q_2(可動) を同時に提示し、被験者には Q_2 を動かして Q_0 Q_2 距離、Q_1 Q_2 距離が等しく視えるように調整させた。Q_1 の位置を外円上で変化させることで Q_0 と Q_1 の間の距離を変えて順次測定を繰り返した。4 点法では、図 38 の右図のように、４つの光点 Q_0(固定)、Q_1、Q_2(固定)、Q_3 を同時に提示し、被験者には Q_3 を動かして Q_0Q_1 と Q_2Q_3 の距離が等しくなるように Q_3 を調整させた。3 点法および 4 点法とも Q_0Q_1 を 5

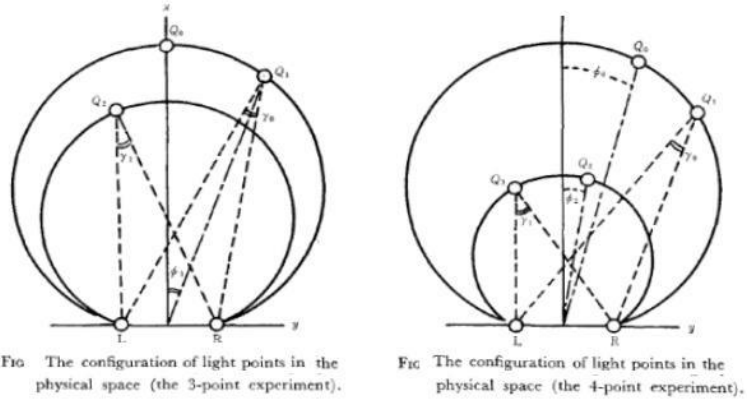

図 38　Lunerberg の 3 点法と 4 点法の測定(Indow et al.1962)

通りに変えられた。

実験の結果、3 例の例外を除いて 26 人の被験者のガウス曲率 K は被験者の前額平行あるいは垂直条件とも、$-1<K<0$　の間の値をとる

ことが示されたが、測定を反復するとかなり変動が大きいことも示された。また、σはすべての被験者でσ＞0の値が示された。これらのことから、Luneberg の視空間理論は実証されたといえる。

さらに Indow et al. (1963)は、”An experimental study of the Luneberg theory of binocular space perception (3)”を発表し、Luneberg の視空間理論を広々とした空間(最遠 1610cm)で検証した。方法は 3 点法と 4 点法、および平行並木法と等距離並木法を用いた。測定場所は体育館でほぼ暗所となる夜間に実施された。平行並木法とは、複数対の光点を観察者の正中線に対称に提示し、観察者からみて最遠点にある 1 対の光点は固定、被験者には固定光点を除いて他の光点を横方向に自由に移動させ、光点すべてが視かけ上で平行になるように調整を求める方法である。等距離並木法とは被験者の正中線に対称となるように、しかも観察者から最遠点に1対の固定光点を提示し、もう 1 対の光点をこれとの比較調整のために提示して両対の光点の横幅距離が視かけ上で等距離になるように調整させる方法である。

実験結果は視空間は双曲空間であることが示され、Luneberg の視空間理論が基本的には支持された。また 3 点法および 4 点法実験の結果は直線的関係となり、Luneberg の予測通り視空間は等質空間であることが示された。また平行並木法の結果は等距離並木法の結果より内側にプロットされ、これも視空間が双曲空間であることを支持した。ただ、これらの実験結果と Luneberg の予測値の間にはかなり不一致もみられた。

西川泰夫（後に北海道大学教授）は、「両眼視空間と物理的空間との対応関係-mapping function についてー」（1969）を発表し、視空間の双曲空間特性を検証した。とくに Lunerburg(1947 1948 1950)の提唱した視空間モデルでは図 39 にあるような仮定が置かれていた。

西川は、φを変化させて、式(1)の検討を研究目的とした。同時に、(1)式はθを含んでいないので、θを変化させても(1)式の関係は、不変に保たれるか否かの検討も行なった。また、γを変化させて (3)式

$$\varphi=\phi \qquad (1)$$
$$\vartheta=\theta \qquad (2)$$
$$\rho=2e^{-\sigma\tau} \qquad (3)$$

図 39　刺激光点Qの座標を、Q(γ、φ、θ)とすると、左右の眼(L、 R)を原点にとる双極座標系では、γは両眼視線の輻奏角、φは中心からの左右方向への偏角、θは仰角を意味する。輻奏角γは、Qの位置と観察者の瞳孔間距離によつてきまる。この光点Qに対応する両眼視空間の中の知覚点 (P)の座標は、(Pp、φ、θ)で示すと、ρは原点から点 P 迄のユークリッド地図上の動径距離(radial distance)を示し、φは正中線からの偏角、δは仰角を示す極座標表示である(Nishikawa 1969)。

の検討を行うと共に、 (3)式はφやθを含んでいないので、φやθを変化させた条件のもとで(3)式の関係が不変に保たれるか否かの検討も行なった。

視空間の双曲特性の検証実験は、図 40 のような刺激布置で実施された。被験者の位置を O、固定光点 F と I のなす角度∠FOI(φ)に、視えの上で等しくなるように可動光点 Ij を調整させ、その結果から角度∠FOIj(φ)を得た。F は被験者から 50、65、80、105、135、180cm の 6 段階に設定、従って固定点 I との間の偏角は 0 度 58 分、 24 度 47 分、20 度 34 分、 15 度 57 分、12 度 32 分、 9 度 28 分となる。上記のようにして点 Ij の位置が定まったなら、距離の評定を求める。まず、 OF 間の視えの上の距離を 1 として、その時の OIj 間の視えの

距離の判定を求める。続いて、 0I 間のみえの上の距離を 1 として、同じく 0Ij 間のみえの上の距離の判定を求めた。

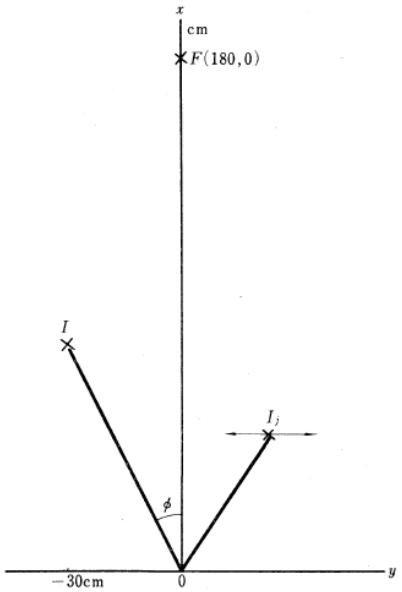

図 40　視空間の双曲特性の検証実験のための刺激布置（西川　1969）

実験の結果、$\phi=\phi$ という関係に対して得られた結果は、所定の ϕ と被験者の定めた ϕ とが一致しないことから、このような対応関係にならないことが示された。その原因としては所定の ϕ と被験者の定めた ϕ との関係をみると、被験者の定めた ϕ、すなわち、視空間における ϕ は、所定の ϕ より過小評価されているのがわかる。過小評価量と ϕ との間には、ベキ関数関係があることが示され、ϕ が大きくなるにつれて、ますます過小評価が大きくなっている。また、結果が必ずしも $\phi=\phi$ とはならない原因として、視えの角度を作るというよりは、点の対称性の方に着目して角度が定められていたことが挙げられた。

$\rho=2e^{-\sigma\gamma}$ という関係に対しては、本実験で得られる被験者自身から各光点にいたる判断距離 d_{Ij} (F) と、この点のそれぞれの位置に対する輻奏角 γ とによつて検討がなされ、測定で物理的原点とは一致しなかった被験者自身の位置を ρ_0 分補正した次式で検討した、

$$\rho-\rho_0=2e^{-\sigma\gamma}$$

このような修正式のもとでデータへの当てはまりをみると、よい精度で当てはまつていることが判明した。

西川の研究は、両眼視空間を表現したユークリッド地図と刺激布置との間の対応付けのための仮説の妥当性を検証し、視空間が双曲特性をもつことを追証した研究であった。

東山篤規（後に立命館大学教授）も「3, 4 点実験と両眼視空間における等質性の検討」（1976）を発表し、3 点あるいは 4 点実験を用いて Luneburg のモデルに含まれる 2 つのパラメターσ（奥行距離知覚量）、K（両眼視空間の曲率）を推定し、さらに同じ刺激布置を用いてパラメターを推定した場合、測定期日にともなってその推定値に変動がみられるかどうかを検討した。3 点あるいは 4 点実験というのは、図 41 にあるように、フィートミュラー円（VMC）上に 3 光点 Q0、 Q1、Q2 を同時に呈示する。光点 Q0、Q1 は輻輳角 $\gamma=\gamma_0$ の VMC 上に固定して呈示し、光点 Q3 は $\gamma=\gamma_1$ の VMC 上に可動的に呈示する。観察者の課題は、光点 Q0 と Q1 の間の視えの距離と、光点 Q0 と Q2 の間のみえの距離とが等しくなるように光点 Q2 を調整することである。4 点実験においては、 4 光点 Q0、 Q1、 Q2、 Q3 を同時に呈示する。光点 Q0、Q1 は $\gamma=\gamma_0$ の VMC 上に、光点 Q2、 Q3 は $\gamma=\gamma_1$ の VMC 上に、そして可動光点 Q3 以外はすべて固定して呈示する。 さらに、4 点実験では刺激布置を規則的に変化させる条件も導入した。すなわち、光点 Q_0 と Q_{1n} の物理的位置と光点 Q2、Q3 の位置する VMC は同じであるが、光点 Q_2 の ϕ_2 の値と光

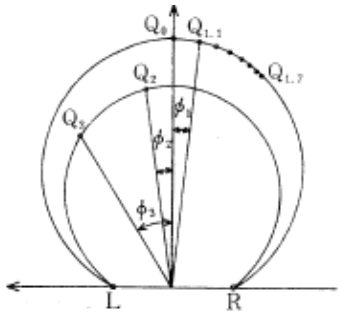

図 41　両眼視空間における 3 点あるいは 4 点実験（東山篤規 1976）

点 Q_3 の調整範囲とが変化させられた。ϕ_2 に関しては 3 条件 ϕ_2=2 度 30 分、 5 度、 7 度 30 分を設定し、その各条件に対して、光点 Q_3 の調整範囲を光点 Q_2 の右の VMC 上に限る条件（R 条件）と、光点 Q_2 の左の VMC 上に限る条件（L 条件）との 2 条件を設定した。観察者の課題は、光点 Q0 と Q1 の間の視えの距離と、光点 Q2 と Q3 の間のみえの距離とが等しくなるように、光点 Q3 を調整することである。

3 点、および 4 点実験を用いて、Luneburg のモデルに含まれる 2 つのパラメター σ、K を同じ刺激布置を用いて数年間にわたって測定した結果、 規則的な変動はみられず、また得られた K の値から視空間は双曲空間であった。4 点実験において刺激布置の大きさを変化させた場合には、刺激布置の大きさにともなって特に Lunerberg のモデルからの導入式　Y＝AX　の A の値が規則的に増大を示し、その予測に反する結果を示した。これを説明する仮説には、（a） α が一定にときに K は刺激布置の大きさ（SSC）とともに変化する、（b）K が一定のとき α は SSC とともに変化する、（c） α と K ともに SSC とともに変化する、の 3 通りが考えられた。3 点実験でこれらの仮説の検証を試みたところ、3 人の被験者の内 2 人は仮説(a)を支持した。そこで α を固定して K を計算すると刺激布置が小さくなるにしたがって K の値は大きくなり、K の値が刺激布置の大きさに反比例して変化することが明らかにされた。

ただ、3 通りの仮説のどれがもっとも妥当かは決定できず、K の値が刺激布置の大きさに反比例して変化する問題は今後の問題として残されていた。

Matsushima Keiko & Noguchi Hisako は、″ Multidimansional representation of binocular visual space″(1967)を著し、天体およびプラネタリウムにおける星間距離を測定し、多次元尺度構成法による両眼視空間の構成を試みた。実験では、大磯海岸の星空で明るさ

の等しい 12 個(観察者も 1 個の星と見なす) の星を選び、それらの星間の距離をある任意の2つの星間の距離を 1 としたときに他の星間の距離はその何倍になるかを答えさせた。また、人工星座（プラネタリウム）は、図 42 に示したように、縦、横、高さが 160cm のドームで、その天井に 16 から 18 個の等輝度の小光点を提示し、実際の星座と同じような配置およびランダムな配置で人工的な星とし提示し、同様にすべての組合せでの星間の距離を比率で被験者に推定させた。

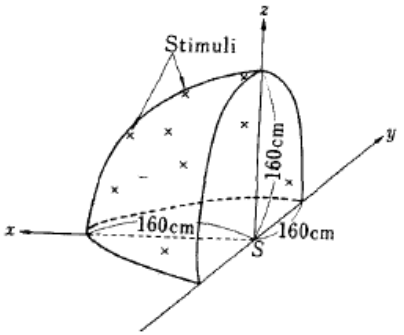

図 42　プラネタリウム方式の星座提示装置 (Matsusima & Noguchi 1967)

得られた結果から、知覚された星間の距離から再構成された星々の配置の形状とその基となる物理的距離の配置形状とを一定のシフトを加えて重ねあわせると、実際の星間の配置の形状とプラネタリウムのそれとは類似すること、またそのシフトは被験者間で均一であることが見いだされた。これらのことから、星あるいは小光点間の距離の推定によって再構成された配置の形状は、ユークリッド空間に表示したものとかなり対応が良いことが確かめられた。しかしその対応は完全に一致しているわけではなく、Lunerberg によって仮定された視空間理論より複雑なことが示唆された。

Matsushima & Noguchi (1967)の研究と同様に、Nishikawa Yasuo は、″Euclidean interpretation of binocular visual space″(1967) を発表し、多次元尺度法によって両眼視空間がユークリッド幾何学で

近似的に記述できるかを確かめた。暗室空間に 14 個の小光点を 2 次元にランダムに散在して提示し、それらの小光点のすべての間隔距離を任意に設定した２つの小光点間の視えの距離を基準とした比率で被験者に見積もらせた。その結果、小光点間の視えの距離は 2 次元のユークリッド幾何学の枠組で説明できることが示された。これは物理的空間における刺激間距離と視空間の知覚された距離間に対応関係があることを示唆した。

4.6 視空間における方向定位

視空間における方向定位およびメンタルローテーション

Sato,C.(1960)は、″ Orientation in the perception of space″のなかで視空間の方向定位の手がかりおよび地図にもとづいた方向認知をしらべた。実験は、図 43 のようなマップを提示して実験空間内での被験者の歩行方向を指示した。歩行者がマップを保持し参照しながら歩行する実験空間は、明室、暗室、そしてひとつのガイドランプのみの空間の 3 通りの条件を設定した。実験では出発点からゴールまでのルートのエラー数、到達時間が測定され、その結果、明室条件がもっとも容易であり、暗室条件がもっとも難しいこと、またガイドランプ条件はそれほど方向定位の手がかりとして有効ではないことが示された。そこで実際に歩行するのではなく提

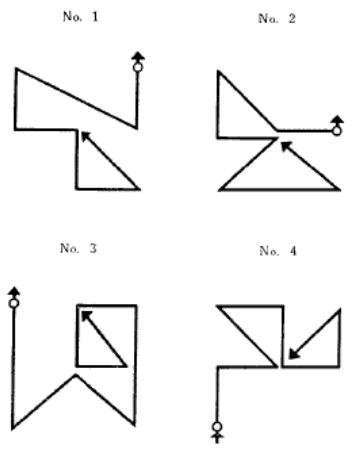

図 43　方向定位の手がかりをしらべるためのマップ(Sato,C. 1960)

示したマップを、(A)前額平行に 180°回転させる条件、(B)前額平行に 90°左あるいは右に回転させる条件、(C)垂直軸に 180°回転させる条件の 3 通りのいずれかの条件で描画がするように求めた。実験ではエラー数、描画時間が測定され、その結果、A、B、C 条件の順で課題が難しくなることが見いだされた。

この研究は、とくに後段のものはメンタルローテーション問題の先駆的なものと位置づけられよう。

4.7　動物の 3 次元形状弁別能力

Kawachi, J.(後に東京大学教授)は、”Effect of previous perceptual experience of specific three-dimensional objects on later visual discrimination behavior in rats”(1965)を発表し、アルビノラットを被験体としてその3次元形状弁別能力の形成に先行知覚経験が影響するかをしらべた。3 次元形状に対する先行知覚経験の手続きとして、出生後 30 日のラットを、図 44 のような飼育ケージで 60 日間飼育した。3 次元形状には球体と三角錐を用い、実験群にはこれらの3次元形状をケージ内に置いて視角と触覚で体験できるグループ(左図)と外に置いて触覚のみで体験できるグループ(右図)が設定された。また、3 次元形状に馴致させないグループを統制群とした。球体と三角錐の弁別学習実験は、Y 型迷路を用いて一方に球体、他方に三角錐をゴールに配置し、どちらかを正刺激として設定した学習達成基準に到達するまでの試行数およびエラー数がカウントされ

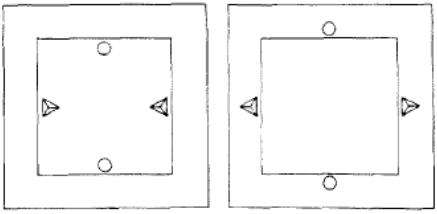

図 44　3 次元形状に馴致するための飼育ケージ。○は立方体、▲は三角錐を表示(Kawachi 1965)

た。また、先行知覚経験の効果をみるために先行知覚経験では用いなかった垂直と水平のストライプの弁別学習実験も実施した。その結果、視覚と触覚先行知覚経験グループならびに触覚先行知覚経験グループは統制群に比較して弁別学習訓練の成績が優位に優れていること、視覚と触覚先行知覚経験グループならびに触覚先行知覚経験グループ間には成績差はないこと、また垂直と水平のストライプの弁別学習実験でも実験群と統制群で優位な差はないことが明らかにされた。

このことから先行知覚経験は後続の3次元形状弁別を促進する効果があると考えられた。

4.8　動物の奥行落差弁別能力

Tsuj, Hayashibe & Hara は、"Chick's avoidance of visual pitfalls: A reexamination of findings by the visual cliff technique"(1972)、および "A further study on chick's avoidance of visual pitfalls: Analysis of the cues in visual perception" (1974)を発表、また Hayashibe, Tsuji & Hara は、"Chick's avoidance of visual pitfalls under monocularized condition"(1975)を発表し、動物の奥行視能力の生得性および弁別のための奥行手がかりについて実験的に研究した。これは、Gibson,E.& Walk,R.D. (1960)の研究に触発されたもので、ニワトリのヒナを被験体とし、Visual Cliff に代え、厳密な奥行手がかり操作ならびに被験体の正確な回避反応を測定できる新たな実験事態(Visual pitfall)を考案した実験を試みたものであった。図 45 は pitfall 型の落差回避事態を示し、左図は被験体の自由な探索行動のなかで回避を判定する事態、右図は円形に配した視覚的落差の中央からスタートさせ左右端に配したオトリへの接近行動から落差回避を判定する事態であった。この実験装置は上面、下面、側面から構成されていて、上面には市松模様のパターンが透明

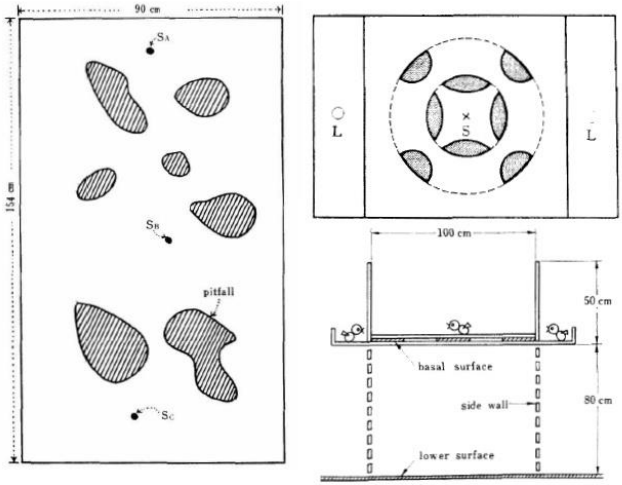

図 45　pitfall 型の落差回避事態。左図は被験体の自由な探索行動のなかで回避を判定する事態、右図は円形に配した視覚的落差の中央から出発させ左右端に配したオトリへの接近行動から落差回避を判定する事態。実験装置は上面、底面、側面から構成された箱型で、それぞれの面のテクスチャは市松模様、白や黒の等質面で覆うことが可能。被験体が行動する上面には透過可能なアクリル板を用いた(Tsuji et al.1972,1974)

なプラスチックの板の下に、ちょうど市松パターンが敷き詰められた床のように配置し、実際の落差ではなく視覚性の落差がつくられた。2 通りの実験事態、すなわち上面には大きな見かけ上の穴が 7 個設定し被験体の自由な探索を許した事態（左図）、および落差を 2 重円状に配し被験体を中央から出発させ左右端に配したおとりへの接近行動を促す事態（右図）が設定され、いずれも視覚性落差回避の判定が容易になるように工夫された。これらの実験事態では被験体が覗き込むと下面と側面が視覚性落差（90cm）をもって見える。上面には透明な板が敷いてあるので、実際には穴から落ちることはない。Gibson, J.

が指摘したように運動視差が視かけの落差を回避するただひとつの奥行手がかりであることを確かめるために、上面、下面、側面を、市松模様、白色、黒色で覆った9通りの条件を設定した。例えば「上面（市松）―側面（市松）―下面（市松）」はすべての面に市松パターンを配置した条件（パターン条件）、「上面（市松）―側面（市松）―下面（白色）」「上面（市松）―側面（白色）―下面（白色）」、上面（黒色）―側面（市松）―下面（黒色）」はいずれかの面に市松パターンを配した条件、あるいは「上面（白色）―側面（白色）―下面（白色）」のようにすべての面に白色を配しパターンとなるものが何一つ存在しない条件（パターンの無い条件）が設定された。

実験に使った動物は離巣性種であるニワトリの幼体（ヒヨコ）とし、実験に供するまでは暗室内で飼育した。その結果、視覚性落差事態に孵化後はじめて直面した被験体は、上面、下面、側面とも等質な面に覆われていてパターンの存在しない条件では視かけの穴を回避しないが、上面、側面もしくは下面に市松模様がある条件ではすべて視覚性の落差を回避することを示した。市松パターンは格子状の模様なので上、中、下面がはっきりと目立つので、運動視差が検出しやすいが、逆に上、中、下面をすべて白で一色にするとそれぞれの面上に模様が皆無なので運動視差が検出できないためと考えられた。

実験では、上面と下面との間の物理的な落差を無くして視かけの穴の部分と上の面との間に明るさの差、パターン密度の差、模様の違いがあるだけの実験条件も設定されたが、これらの事態では視覚性落差回避反応は生起しなかった。これは視かけの穴とその周囲とのパターンが一致していないので、行動的な偏好が生じたとする考えを否定した。

さらにHayashibe, Tsuji, & Haraは、"Chick's avoidance of visual pitfalls under monocularized condition"(1975)のなかで、被験体

を単眼視にした状態で視覚性落差の回避が生じるかを確かめた。人間の視覚システムでの運動視差は単眼で検出できる手がかりであり、観察者が頭部を動かすことで網膜上に生じる手がかりである。そこで、これらの特徴がニワトリのヒナにも当てはまるのかが検討された。被験体が孵化したら暗室内で1日間飼育後に医療用の粘着剤で上下の眼瞼を接着し、視覚性落差回避をテストした。上面、下面、側面には白地の上に大きさが不規則な黒の円形パターンをランダムに配置した。これは肌理密度の手がかりを除去するために工夫されたものであった。

実験の結果、コントロール条件に設定した両眼視条件群と比較して単眼視条件群の回避成績には有意な差は生じなかった。このことから、視覚性落差の回避には両眼視の手がかりは必要がなく、単眼視要因だけで十分であることが確認された。

奥行知覚が生得的能力かあるいは習得的能力かは、これまでに哲学の領域も含めて論議されてきた問題であったが、これらの一連の動物行動実験はこれにほぼ決着をつける結果といえる。

第５章 「1981 年～1990 年間」に掲載された奥行・空間視研究（「心理学研究」と″Japanese Psychological Research″）

1980 年代にはいると視知覚研究も盛んとなり、その黄金期といってもよい。なかでも Gibson の生態光学的３次元視知覚理論と Julesz のキクロピアン立体視の理論そして視覚野における受容野の発見(Hubel & Wiesel 1962、1963)は日本における 3 次元視知覚研究に多大な影響を与えた。

生態光学的３次元視知覚理論

Gibson、J. は 1950 年に ” The Perception of the Visual World ” を、1979 年に”The Ecological Approach to Visual Perception”を著して 、人間が実際に行動する空間は抽象的な空間、あるいは実体鏡を通して現出させられた人工的な空間、あるいは実験装置内に作られた空間ではないことを強調した。Gibson によれば、視空間を構成するもっとも重要なものは、連続して拡延する表面である。空気と大地の境界面は地面と呼ばれ、陸棲動物を支える基盤となるもっとも重要な要素となる。光はそこに面が存在すれば面を包囲し、ついで反射されて観察点に収束する。このとき包囲光（ambient light)は、面上のものや模様の配列の状況に依存して構造化される。包囲光配列が構造をもたない場合環境に関する有効な情報は提供されず、等質な空虚な空間しか知覚されない。Gibson は観察者と対象の間はこのような肌理(texture）に満たされていると考えた。

知覚者が移動や回転をすると知覚情報を担う包囲光配列はそれに対応して変化する。それにもかかわらず事物や事象そのものの変化と知覚者の運動による変化とを見誤ることがないのは、変化する包囲光配列の中から不変項(invariant）を抽出しているためと Gibson は考えた。環境内の事物や事象が変化した場合、光学的配列の事物や事象に相当する部分は、変形、拡大と縮小、遠近法的変換、新しい構造の

出現、肌理の消失などの変化を生ずるが、その全体的配列（遠近法構造）は不変を維持する。また、知覚者の移動により観察点が変化した場合には、凝視点を中心として視野全体に光学的な流動パターンが生起する。Gibson は視覚性フィードバックによって生じた網膜上でのこの種の変化をモーション・パースペクティブ(motion perspective)と名づけ、このモーション・パースペクティブこそ流動パターンの中から一定の規則性（不変項）を検出することが知覚者の安定した視空間をもたらすとした。

RDS にもとづくステレオ視と視覚の計算理論

Bela Julesz が”Foundation of Cyclopean Perception”1971 年に著し、不規則に配置されたドットのみで構成されたランダム・ドット・ステレオグラム(random dot stereogram、RDS)を用いての両眼立体視の研究結果を明らかにした。その研究は、これまでの形状ステレオグラムの研究を一変するものであった。RDS では、単眼で識別できる形状、パースペクティブ、単眼で識別できる要素が存在しないにも関わらず、立体視が出現したからであった。視覚情報処理過程を考えるとき、形状処理の前に固有な立体情報が処理されることこれは意味した。

Julesz の研究以降、人間の視覚システムは RDS 立体視における左右ステレオグラムの対応点の検出をどのように行っているのか、また、この問題をコンピュータ・サイエンスではどのようなアルゴリズムで解決するかが研究テーマとなった。Marr,D は、1982 年に”VISION:A computational investigation into human representation and processing of visual information”（ビジョン―視覚の計算理論と脳内表現　乾 敏郎　安藤 広志 訳)を著し、2 次元の網膜像から３次元視覚世界の成立に関わる視覚情報処理過程に潜む問題を提起した。Marr が提起した視覚の計算理論的アプローチでは、視覚を２次元画像

から３次元視覚世界を推定する計算問題と捉えるが、ここには不良設定問題があった。それというのも、２次元画像から３次元形状を復元する解は理論的に無数あり、特定できないからである。そのために適当な拘束条件を設定し、問題を正則化する必要が出てくる。拘束条件としては、ユニークネス条件（片眼の１つの項目は他眼の１つの項目とのみ対応する)、スムースネス条件（面は滑らかである)、リジット条件（動いているものは剛体である）が措定された。計算論的に提起されたこのような問題設定は、２次元画像から３次元形状を復元するに際してどこに課題があるかを明確に示していた。すなわち、陰影からの形状復元、網膜視差からの形状復元、そして運動からの形状復元などは人間の視覚システムではどのようにされるのか、またコンピュータ・ビジョンではどのようなアルゴリズムを考えると可能になるのか、などであった。

視覚野における受容野の発見と特徴検出

Hubel & Wiesel (1962、1963)は、視覚野における受容野を発見し、後にノーベル賞に輝いた。受容野とは単一神経細胞が反応できる光刺激の大きさ、形および方向をいう。視覚野の神経細胞には単純型、複雑型、超複雑型の３種類の受容野がある。１個の神経細胞は、受容野内でパターンを構成する特徴を検出し、それらが視覚情報の後期過程で統合され、ものの形態を知ることを可能にさせている。

さらに、Campbell & Robson (1968)は、視覚の初期過程には空間周波数チャンネルが存在することをつきとめた。空間周波数とは、あらゆる形の基本となる正弦波格子で作成されたパターンをいい、空間周波数チャンネルとは、この種の刺激特性に特異的に反応する独立した特徴検出器をいう。種々なパターンでのコントラスト閾値の研究から、視覚システムの初期過程はこの種の特徴検出器が並列的に働いている。

Marr(1982)は、これらの研究成果を踏まえ、視覚を２次元網膜画像から３次元視覚像を得るための情報処理過程とみなした。人間は網膜に投影されたパターンから色、形態、運動、立体、大きさを知ることができる。これが可能なのは、視覚システムが網膜画像から必要な特徴を検出し、それにもとづいて外界を再構成（表現）できるからと考えた。

Gibson、Julesz、Hubel と Wiesl、そして Marr の研究は、日本のみならず、世界の視覚研究者に大きなインパクトを与え、その後の研究路線を決めた。

5.1 両眼立体視

5.1.1　両眼視差立体視に異常のある者の輻輳反応

下野孝一　近藤倫明　渋田幸一　中溝幸夫（1982）は「両眼網膜視差にもとづく奥行弁別判断と輻輳反応」を発表し、両眼視差立体視に異常のある者の輻輳反応についてしらべた。両眼立体視異常者とは交差性視差か非交差性視差のどちらか一方を弁別できない者（ステレオ・アノマリー）、もしくは両方の視差ともに弁別できない者（ステレオ・ブラインド）をいい、これら視差弁別不能者のタイプから網膜視差の検出には、2 種あるいは 3 種の互いに独立したメカニズムが存在すると推定された(Richards, 1970, 1971, 1975)。一方、両眼立体視で提示された左右眼への刺激が網膜視差を持つならば、 形、輝度やコントラスト、垂直次元での位置の違いがあっても視差のタイプ(交差性、非交差性）に正確に一致した輻輳(convergent)、あるいは開散(divergent)反応が起こる（Mitchell 1970、Westheimer & Michell 1969)。これらの事実は、 網膜視差のある範囲内で輻輳運動が網膜視差検出に関係することを示唆した。

そこで下野らは、網膜視差による奥行弁別不能な観察者を選別し、

その者の輻輳運動反応をしらべ、輻輳運動が網膜視差の検出の指標となるか否かを検討した。実験１では、被験者８名を対象とし、両眼立体視能力の有無をしらべた。図 46 に示したように、交差性視差刺激（2°）を左眼の L_2 位置と右眼の R_2 位置に提示、非交差性視差刺激（2°）は左眼の L_1 と右眼の R_1 に提示、また視差のない刺激は左眼 L_1、L_2 に、右眼 R_1、 R_2 にそれぞれ同時に提示した。各刺激の提示時間は 100ms と 1000ms とし、デジタルタイマーで制御した。実験２では、実験１の結果から正常な立体視力をもつ者 1 名、交差視差の検出が不能な者 1 名、交差と非交差視差ともに検出不能なもの 1 名に限定して実施した。眼球運動はフォトエレクトリック法によってモニターし、その出力を増幅して記録した。眼球運動の測定時の網膜視差は 2° と 4° に設定した。

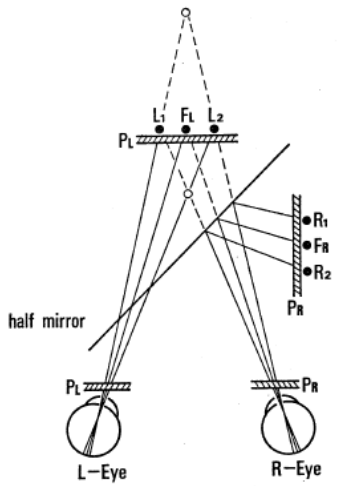

図 46　両眼立体視実験の刺激条件。F：注視点、L_1、L_2：左眼への刺激（垂直線）、R_1、R_2：右眼への刺激(下野　1982)。

実験の結果、８名の被験者のなかで正常者６名、非交差視差のみ検出できる者１名、交差と非交差視差の両方検出不能の者１名であった。正常な立体視力をもつ者１名、交差視差の検出が不能な者１名、交差と非交差視差ともに検出不能なもの１名の眼球運動は、正常被験者では視差のタイプに一致した輻輳運動が起こること、交差性視差にもとづく奥行弁別の不能な被験者では非交差性視差の提示に対しては正

常な開散輻輳反応が起こるが、交差性視差の提示に対しては極端に減衰した輻輳反応が示されること、また両方の視差弁別不能な被験者ではどちらのタイプの視差の提示に対しても輻輳運動は起こらず、むしろ両眼同側性の飛越運動が間歇的に出現することが明らかにされた。

この研究は、ステレオ・アノマリー者を対象とし網膜視差の検出を可能にするシステムが視差による奥行弁別ならびに輻輳運動の中でどのように組み込まれているかて検討したものであり、当時の両眼立体視研究の先端的な意義を持っていた。

5.1.2 全体的立体視における対応問題

全体的立体視におけるフォールス・ターゲットの役割

鬢櫛（1980）は、「ランダム・ステレオグラムにおける局所的対応と全体的立体視」を発表し、全体的立体視におけるフォールス・ターゲット(false target)の役割について実験的に検討した。フォールス・ターゲットとは多義的な左右眼の視差対応をもつ全体的立体視のなかで両眼間の視差対応(correct target)からはずれた局所的な視差対応をいう。全体的立体視において視覚システムは、多義的な両眼間視差対応の中から偶然的な局所的対応を抑制し、最大数の対応が得られるものをもっともそれらしい視差(correct target)として検出し、立体視を出現させている。この研究では、継時的に２つの全体的な立体視が可能な奥行反転ステレオグラム、すなわち本来の視差対応とは異なる視差対応を導入したス

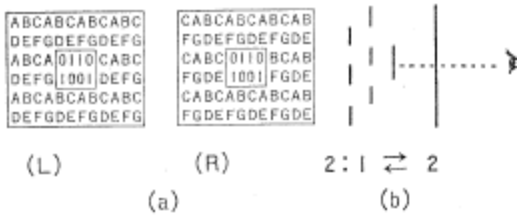

図 47　多義的なステレオグラムの作成方法(a)とその視え方（鬢櫛 1980)。

テレオグラムを作成し、異視差が接している境界部の数、異視差の間の２次元的距離、および異視差間の差異の量を操作し、本来の視差対応が異視差によって同程度抑制されるかをしらべた。すなわち視覚システムが異視差をフォールス・ターゲットとして処理するほど本来の視差対応が優先され、異視差は抑制されると考えられた。多義的なステレオグラムの作成方法は、図 47 に示すように、中央部にターゲット（0 と 1 で表示、false targets とは無関係）があり、その背景部（ABC で表示）の画素は水平方向に関して規則的に反復配列された。ターゲットを注視している状態では背景部が奥行反転して知覚される。刺激全体の外枠と注視されるターゲットとの関係は両眼間で対応をとる。一方、背景部の画素はそのままでは対応がとれず、ターゲットを基準にしたとき背景部の画素に視差が生じるが、ここでの視差は反復配列画素のために、ある 1 つの値に定まるのではなく、交差視差と非交差視差のいずれにも融合可能である。すなわち一時にはどちらか一方の奥行しか知覚されないが、持続的に観察すると奥行の反転が生じる。本研究で用いられる刺激の多くは交差あるいは非交差視差のどちらか一方の奥行に統一されているが、もう一方の奥行は 2 つの異なる視差から成るように作成された。すなわち、刺激 1 から 6 は異視差が垂直方向に併存する条件であり、そのうち刺激 1 から 3 は異視差境界部の数を、刺激 4 と 5 は異視差領域間の２次元的距離を、刺激 6 は異視差領域間の３次元的距離をそれぞれ操作した。刺激 7 と 8 は異視差が水平方向に併存する条件とし、刺激 9 から 12 は視差の大きさとノイズを操作、刺激 13 はノイズと異視差を操作した。被験者には、中央部のターゲットが融合し背景との関係で手前に浮き上って見えるか、 後方に引込んで見えるかのいずれかに手元のボタンで反応しその奥行の方向を言語報告で求めた。さらに継続観察し、最初に知覚された奥行が知覚されている間は反応ボタンを押し続け、奥行が反転

してそれと反対の奥行が知覚されている間は反応ボタンを押さないでいるように求めた。このようにして最初に奥行が知覚されてから 90 秒間の持続的観察を行ない、各奥行が知覚されていた累積知覚時間が測定された。

実験の結果、視差値の異なる領域が２次元空間的に隣接する条件では、異視差が接する境界数が多いほど、そして境界数が等しい条件では視差値の異なる領域が２次元的に近接しているほど異視差から成る全体的立体視は成立しにくいこと、また視差値の差が大きいほど異視差奥行面は知覚されにくいことが示された。このことから、異なった視差同士はそれぞれの視差検出を抑制しあい、その抑制は近接しているほどまた視差値が異なるほど強いことが示唆された。視差の小さい奥行にノイズが含まれると立体視が成立しにくくなり、視差の大きさの効果はノイズによって縮減されることが示唆された。

これらの結果から、異視差、ノイズおよび視差の大きさという各要因は全体的立体視を成立させるための同一の処理段階に影響を与える可能性が示唆された。

局所的立体視における顕在対応と潜在対応

鬢櫛一夫（1983）は、「線画ステレオグラムにおける両眼立体視の消失」を発表し、局所的立体視における顕在対応と潜在対応の問題を実験的に検討した。両眼対応ネットワーク内で顕在対応となるかあるいは潜在対応となるか、それを決定する要因には刺激要素の数、刺激要素の間隔、刺激要素間の両眼非対応の差がある。ここでは立体視抑制の指標として立体視の累積消失時間を測定することによって顕在対応と潜在対応の関係がしらべられた。実験ではまず、単一線分における局所的立体視に関して、両眼非対応の関数としての消失時間をしらべ、さらに Panum 刺激および両眼とも複数線分の刺激を用いて全体的立体視における刺激間の相互作用が検討された。実験では、図 48

に示した３通りの線画ステレオグラムの他に、各眼に視差のある２本の垂直線からなるもの（顕在対応２，潜在対応２）が用いられた。被験者には、まず自由視で検査線分の奥行を確認し、引き続き検査線分だけに注意を集中し、検査線分の立体視が消失したらその間反応ボタンを押し続けるように求めた。立体視の消失の判断基準は、融合状態であれ、二重像であれ、検査線分の奥行が凝視点と同じくらいか、あるいは凝視点より後方に見える場合とした。

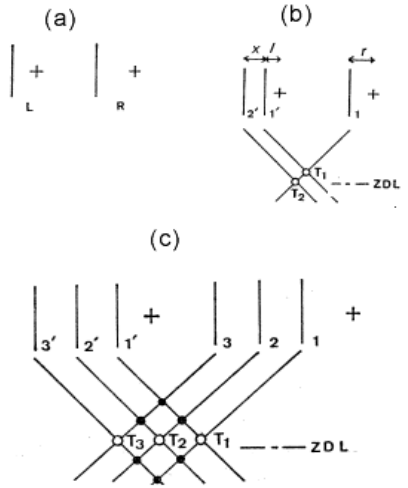

図 48　顕在対応と潜在対応をしらべるための線画ステレオグラム。(a)左右眼に視差のある各１本の垂直線からなるもの、(b)片眼に２本、他眼に１本の垂直線からなるもの（パヌムのステレオグラム）、(c)各眼に視差をもつ 3 本の垂直線からなるもの。○は顕在対応、●は潜在対応（鬢櫛　1983）

実験の結果、左右眼に視差のある各１本の垂直線を提示したステレオグラム条件に比較して、視差のない1本の付加線分を片眼にもつPanumのステレオグラム条件の方が累積消失時間が長いことが示された。この消失時間の差違は付加線分による抑制効果に依存し、付加線分と検査線分の両眼非対応の差が小さいほど付加線分から検査線分への抑制効果が大きかった。両眼ともに２線分の提示条件では、検査線分と付加線分との両眼非対

応の差が一定の場合、検査線分と付加線分との間隔が小さくなるほど累積消失時間が長く、抑制効果が大きかった。したがってもし、この潜在対応が顕在対応に対して抑制効果を及ぼすと考えるならばこれらの距離が大きくなるほど、抑制効果が小さくなるだろうと考えられた。また、各眼に等しい両眼非対応の 2 線分条件でも、累積消失時間は、促進、抑制効果いずれも考える必要のない単一線分条件よりも、等しい両眼非対応の 2 線分条件のほうが長かった。これは等しい両眼非対応条件においても 2 線分間の抑制効果があることを示した。さらに、3 本の線分の両眼非対応ステレオグラムではいずれも視差が等しく両側の線分から保護され最も消失しにくい中央の線分が消失しやすかった。

これらの結果は、神経ネットワーク中で接続する潜在対応が多いほど顕在対応はより強い抑制効果を受けることを示し、潜在対応の抑制効果は加算的であることをと示唆する。

運動対象の視差対応

Kondo & Nakamizo は、″Effects of eye movements on the apparent depth of moving targets″(1982)を発表し、前額平行面上を運動する対象の視差対応をしらべた。とくに、図 49 に示したように、注視点を注視して運動する対象を両眼視観察するか、あるいは運動する対象事態を追視して観察するかで対象の視えの奥行が異なると予測される。前者では図(a)のように、前額平行面上をサイン波状に移動する対象(垂直線分) を正中線上に設定した注視点を注視して観察すると両眼融合によって両眼視差が生じるので、対象が奥行方向に回転して知覚される（このときには輻輳角 θ は一定）。後者では図(b)のように、同様に移動する対象を追視するので輻輳角 θ が変化し、この変化する輻輳角が対象の代わりに静止した背景に視差を生じさせ、対象を奥行方向に回転するように知覚させる。そこで、注視点を注視したま

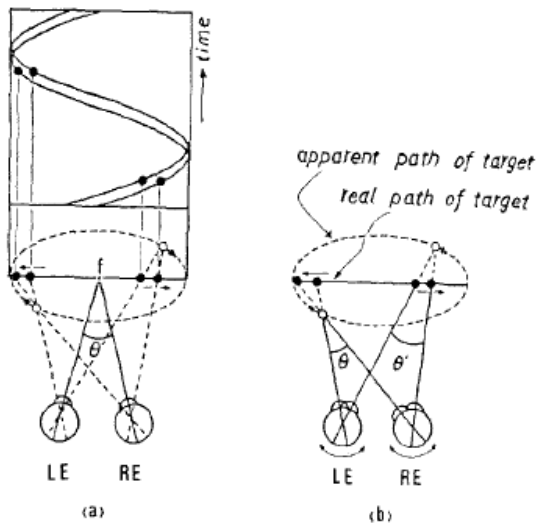

図 49 (a)：前額平行面上をサイン波状に移動する対象を正中線上に設定した注視点を注視させた条件で両眼融合したときに生起する両眼視差で、このとき対象が奥行方向に回転して知覚される（このときには輻輳角 θ は一定）、(b)：同様に移動する対象を追従したときに生起する両眼視差で、このときの輻輳角 θ は変化するので、この変化する輻輳角が対象を奥行方向に回転して知覚させる(Kondo & Nakamizo 1982)。

までの観察条件、対象を追従観察する条件、対象を追従観察するが背景を除去した条件のおのおので、対象の視えの奥行回転運動を生起させる閾値を両眼視差を変えることで測定した。両眼視差は左右眼に提示する２つの運動対象のスタート位置を変えることで操作した。被験者には対象が視かけ上、時計回転、反時計回転、あるいはフラットかを答えさせた。

その結果、注視点を注視して運動対象を観察する条件に較べて、運動対象追従観察条件での視えの奥行は減少した。対象追従観察での視えの奥行の減少は両眼視差の検出が妨害されるためとも考えられたが、輻輳角の変化をマスクした同様な実験では両眼視差検出は妨害されず、この可能性は否定された。これらの結果から、対象追従観察条

件で生起する対象の視えの奥行回転は両眼輻輳の手がかりによっていると考えられた。

視差輻輳の特性

Nakamizo et al は″Magnitudes of disparity vergence responses at different convergence levels″を著し、両眼立体視において刺激が提示されてから融合が成立までの間の両眼輻輳の変化をしらべた。ステレオグラムを両眼視したとき、いまだ融合が成立していなくても短い時間に輻輳運動が生起する。Westheimer & Mitchell(1969) や Mitchell (1970)は、融合できない形状やコントラストを両眼視した場合にも瞬間的に輻輳運動が生じることを報告した。この種の輻輳運動は融合輻輳(fusional vergence)というよりは視差輻輳(dispaity vergence)と名づけられている。

Nakamizo らは、両眼立体視の初期から成立までの視差輻輳の特性を刺激提示の初期の輻輳運動(vergence movement)との関連でしらべた。実験では、両眼立体視させるときの刺激提示初期の輻輳角について、(1)大になる条件、(2)中程度条件、(3)小の３条件を設定した。刺激は左・右眼に各 10 個の水平に配置したダイオードによる小光点とし視差は 2° と 4° 、そのときの輻輳角も刺激面からの水平距離を変えて 3 段階に操作した。大なる条件での両眼融合時の輻輳角は 12.4°（輻輳距離 30cm に相当）、中なる条件でのそれは 6.2° （輻輳距離 60cm に相当）、そして小なる条件のそれは 3.1° （輻輳距離 120cm に相当)とした。眼球運動は photo electric 法で刺激持続時間を 100ms から 900ms の間で 5 段階に変え測定され、記録紙に保存された。

測定の結果、開散と輻輳の大きさは刺激提示時間が長くなると大きくなること、また刺激提示時間によるこの開散と輻輳角の変化は初期輻輳角（大、中、小）条件によって異なり、開散では初期輻輳角を小にとると減少したが、輻輳では初期輻輳角を変えてもほとんど変化し

なかった。さらに視差が 2° あるいは 4° 条件での開散あるいは輻輳角の変化は刺激持続時間が 300ms と短いと等しいが、600ms より長い場合は両条件間で異なることが示された。

これらの結果は、輻輳レベルが異なるとそれは両眼視差の調整にも影響を与えることを示したといえる。

5.1.3 プルフリッチ (Pulfrich)現象

中溝幸夫と近藤倫明 (1985) は、「追視眼球運動下での Pulfrich 奥行効果」を発表し、プルフリッチ (Pulfrich)現象の出現メカニズムについて実験的に検討した。プルフリッチ現象とは、前額平行面上を左右にゆれる振り子を片眼にだけ ND フィルタをつけて両眼で観察すると、振り子は奥行方向にふくらんだ楕円軌道上を運動しているように見えることをいう。この現象は ND フィルタを通して観察する方の眼からの信号は、他方の眼からの信号よりも時間的に遅れて中枢に到達し、この時間的な差が空間的な網膜視差に変換されるから(遅延仮説) と説明され、検証もされている。この現象に関して Rogers & Anstis(1972)は、振り子だけが見える条件(暗室の中で光点が振り子運動をする条件)下では、振り子を追視するとこの錯視は起こらないが、振り子に加えて背景野も見える条件下では、振り子を追視しても錯視が起こることを見い出した。そしてこの現象は、背景野が見える場合追視運動にともなって背景野の映像は網膜上を移動し、一方の眼はフィルタを通して観察しているので、その眼の背景野の信号に遅延が生じ、それは背景野が奥行方向に変化するという信号を生むが、背景野は静止したものとして知覚されているので背景野が奥行変化するという信号は背景野に対する振り子の奥行的な振り子運動に変換され誘導されると説明された。

中溝らは、凝視条件と追視条件を設定し、Pulfrich 効果の大きさに

差が生じるかをしらべた。振り子の代用とした運動刺激(視標)は発光ダイオードとスリットを組み合わせた垂直線分で、X-Y レコーダのペンホルダー部に装着して提示した。視標は眼から 38cm の距離の前額平行面上に置かれた窓を通して観察、また背景野は透明アクリル板にコピーされた 1cm 間隔、0.3mm 幅の水平・垂直黒色線分からなる格子パターンで後部から発光パネルによって照明された。Pulfrich 効果は相殺法を用いて測定された。この方法は Pulfrich 効果としての視標の視かけの奥行変化を相殺するために、X-Y レコーダを利用し視かけの奥行とは逆方向に視標の物理的奥行をY軸の振幅を調整させて調整し奥行がなくなったときの視標の物理的奥行の大きさを Pulfrich 効果の指標として用いるものである。2 種の観察条件すなわち凝視条件（被験者は常に背景野の中央の凝視点を凝視）、追視条件（運動する視標をできるだけ正確に追視）を設けた。また各条件で、20%、40%、80%の透過率をもつ 3 種のフィルタが用いられた。

実験の結果、凝視条件より追視条件において有意に奥行効果が大きいことが示された。どちらの観察条件でも同じ奥行情報(視標の網膜視差)を用いているので、追視条件下での Pulfrich 効果が凝視条件下でのそれより大きいという結果は、背景野の網膜視差にもとづく背景野の奥行変化によって誘導された視標の視かけの奥行の方が視標自体の網膜視差による視標のみかけの奥行より大きいと考えられた。しかし、視標は実際には楕円軌道上を運動していたので奥行の相殺が行われたときの追視眼球運動には輻輳成分が含まれていた。輻輳の変化にともなって視標ではなく背景野の網膜視差が生まれ、それが背景野の視かけの位置変化を生み、それに加えて輻輳がもたらす奥行の眼球運動手がかりが視標の奥行変化を生み出したと考えられる。観察条件による Pulfrich 効果の大きさの差は、それぞれの条件下で生じた奥行手がかりの相互作用の違いを反映していると考えられた。

5.1.4　融合性バーゼンスのヒステリシス

中溝幸夫と近藤倫明は「融合性バーゼンスのヒステリシスと両眼の感覚運動的結合」(1986) を発表した。融合性バーゼンスのヒステリシスとは、両眼視融合の輻輳角が一度融合すると、その輻輳角が融合を維持したまま広がることをいう。これは、最初、19 世紀の生理学者 Helmholtz(1962)によって示唆されたもので、その１は融合性バーゼンスのヒステリシス(hysteresis)があること、その２は眼球の開散限界は眼球の外転限界を示すのではないことであった。後者は、両眼イメージの融合によって達成される開散限界は両眼イメージの感覚運動的融合と密接に結合した神経コントロールが輻輳・開散システムにあることを意味した。

そこで中溝と近藤は、図 50 のような実験事態でこの Helmholtz 仮説を検証した。実験条件は、2 通りで、(a)両眼条件：融合対象はこめかみ側に同時にシフト、(b)単眼条件：融合対象のうち右眼側のみこ

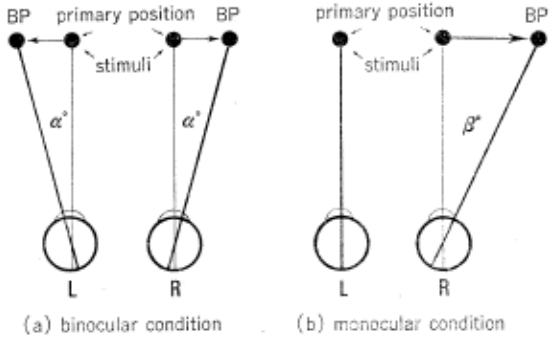

図 50　融合性バーゼンスのヒステリシスの測定。(a)両眼条件で融合対象はこめかみ側に同時にシフト、(b)単眼条件で融合対象のうち右眼側のみこめかみ側にシフト(中溝と近藤　1986)

めかみ側にシフトであった。被験者には、融合していた垂直線分が 1 本から 2 本に分離して見えたとき(融合崩壊点)、次に垂直線分が 2 本から 1 本に合わさるように見えたとき（再融合点）で、それぞれ合図するように教示した。実験の結果、両眼条件での平均融合崩壊点は 3.85°、平均再融合点は 2.370°、また単眼条件での平均融合崩壊点は 4.20°、平均再融合点は 2.99°であった。両条件とも融合崩壊点の数値が再融合点より大きいことを示し、融合バーゼンスのヒステリシスの存在を立証した。さらに、両眼イメージの融合を媒介にして一方の眼に対する刺激をこめかみ側にシフトさせ、眼球を外転させるとその眼の外転限界は、他方の眼球位置に依存した。これは両眼融合が維持されている限り、一方の眼の外転限界が静止刺激を見ている他方の眼の位置によって決定されることを示し、両眼イメージの融合が両眼の眼球運動を神経上でにコントロールすることを示した。これらの実験結果は、Helmholtz 仮説を支持したといえる。

5.1.4 ダブルネイル錯視

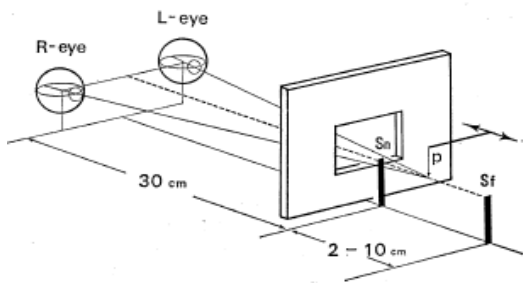

図 51　ダブルネイル錯視の実験装置。Sn、Sf は刺激、P は視かけの奥行距離測定のための指示針（中溝　他 1988)。

中溝幸夫と近藤倫明（1988）は、「ダブルネイル錯視-ウォールペーパー現象との共通性-」を発表し、この現象の出現メカニズムを探った。ダブルネイル錯視とは、観察者の正中線上、眼の高さに 2 本の釘状の刺激（Sn と Sf）を、

一方を他方の 2〜3cm うしろに垂直に立て、およそ 30cm の距離から 2 本の釘のほぼ中間を両眼で凝視すると、2 本の釘はどちらも眼からも等距離に、左右に並んで立っているようにすなわち前額平行面上に見える現象を言う(図 51)。この現象を発見した Krol & van de Grind (1980)は、釘である対象 A, B は、両眼融合のネットワークでは 4 つの潜在的対応点を持つことになるので、その領域内のこの神経ネットワークにおける両眼性ニューロン間の促進と抑制の結果であると、この錯視を説明した。しかし中溝らは、この錯視が両眼網膜の対応点を、ほぼ同じ形と大きさの2つの対象がそれぞれ刺激することによって起こる距離と方向の錯視の一例であり、その意味においてウォールペーパー錯視(wallpaper illusion)と同種の現象であると考えた。これを検証するために、実験 1 ではダブルネイル錯視が生じる刺激事態で 2 つの刺激が両眼網膜の対応点上に結像するような眼球位置で刺激を観察したとき、刺激の知覚された距離は輻輳距離に一致するかどうかがしらべられた。実験では被験者に 2 本の黒い棒が自分から等距離に左右に並んで立っているように見えることを確認したあとで、それらの棒と見かけ上、等距離になるように指示針の位置を調整することを求めた。その結果、両眼網膜の対応点上に結像するような眼球位置で観察すると、刺激の測定された奥行距離はそのときの輻輳距離（両眼間距離を 6.3cm として計算）とほぼ等しいことが確かめられた。実験２では、輻輳を連続的に変化させながらダブルネイル錯視が出現あるいは消失するときの輻輳距離と刺激の知覚された距離との関係がしらべられた。輻輳条件は遠い方の刺激(Sf)から徐々に輻輳距離を減少する条件を、一方、開散条件は逆に近いほうの刺激(Sn)から徐々に輻輳距離を増加する条件をそれぞれ設けた。輻輳変化を統制するために、被験者には移動する針(指示針)の先端を常に凝視するように教示した。ダブルネイル錯視が出現、消失したときの輻輳距離を測定するた

めに、2 本の黒い棒だけが自分から等距離に並んで立っているように、また2本の棒が等距離に並んで立っているように見えなくなったら報告することを被験者に求めた。また錯視が起きている時、刺激の知覚された距離を測定するために、2 本の棒が等距離にあるように見えたら報告するように求めた。

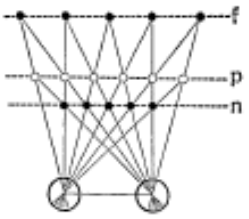

図 52　釘の数を増やした場合のダブルウオールペーパー錯視(中溝　他 1988)

その結果、同一の輻輳距離でも輻輳変化の方向に依存して刺激の知覚される距離が変わり、ダイナミック・ウオールペーパー現象と同様なヒステレシスが示された。そこで実験 3 では、異なる 2 つの物理的距離に置かれた 2 枚のウオールペーパー・パターンが同一の前額平行面上に見える″ダブル″ウォールペーパー現象が起こる時、その知覚された距離は同一の刺激距離条件下でのダブルネイル錯視における刺激の知覚された距離と一致するかどうかをしらべた。図 52 に示したように、近刺激パターン(n)は、透明のアクリルシートにコピーされた黒色線分(幅約 0.2㎜)の縦縞であり、遠刺激パターン(f)は不透明の白色紙にコピーされた同じ黒色線分の縦縞とした。各刺激の線分と線分の間隔は、それぞれの被験者の眼球間距離(最小 55㎜、最大 68㎜)にもとついて計算された。被験者には指示針を常に凝視しながら、窓を通して見える線分のパターンの上半分と下半分が同一平面上に見えるかどうかを報告させた後、同一平面に見える場合はそれと等距離に見えるように指示針の位置を調節させ、また距離の異なる 2 つの平面に見える場合は、それぞれの平面と等距離に見えるように調節するように求めた。

その結果、19 名の被験者のうち 18 名はウォールペーパー条件にお

いて近い刺激(n)と遠い刺激(f)が同一の前額平行面に見えると報告した。また、ダブルネイル錯視とダブルウオールペーパー錯視の知覚された距離の平均値の間には有意な差は示されなかった。以上の結果から網膜上同じ形態をもつパターン要素の繰り返しからなる2枚のウォールペーパー・パターンを異なる前額平行面上に配置すると、2つのパターンは同一の前額平行面上に知覚され(ダブルウォールペーパー錯視)、その見えの奥行距離は同じ刺激距離条件下で起こるダブルネイル錯視の見えの距離と一致した。

中溝らは、これらの結果を踏まえて、対象の視方向はWells-Heringの 2 つの視方向原理(Ono 1979 1981)によって予測できるとした。すなわち、視軸上の対象は共通軸(両視軸の交点とサイクロープスの眼とを結ぶ線)上に見えること、また視軸上にない対象は視軸から偏位している角度だけ共通軸から偏位して見えること、である。一方、ダブルネイル錯視とウォールペーパー錯視における刺激の知覚された位置を予測するために、対象の視覚的定位のもうひとつの成分である視距離についての２つの原理、すなわち両眼の対応点上に像を結びそれらが互いに融合する対象は両視軸の交点と等距離に見えること、両眼の非対応点上に像を結ぶ対象は非対応の大きさ(両眼網膜視差量)に依存して両視軸の交点から奥行方向により近く(交差性視差)、またはより遠く(非交差性視差)に見えること、を提唱した。視方向の原理に加えて、これら 2 つの距離の原理を仮定すれば、ダブルネイル錯視を説明できると考えた。

5.2 運動視差による 3 次元対象の剛体性

Ito & Matsunagaは、″ The correlation between velocity and perceived depth in motion″(1990)を発表し、2 次元面上を運動する対象の 3 次元視における剛体性(rigidity)問題を実験的に検討した。

この問題は Wallach & O'Connell(1953)に発する。いま、針金で細工されたモービルのような 3 次元形状をスクリーンに投影し、その影絵を観察するとき、影絵が静止した状態では元の形状はわからないが、回転させると途端に元の針金形状が浮かび上がる。これが可能なのは、回転に伴って針金でつくられた各要素がどのように対応するかを推定できるからである。もしこれをコンピュータを用いて計算論的に解決しようとすると、解が複数あり、不良問題となり、一義的解を得ることができない。人間の視覚システムがこれを可能にするのは、対象の 3 次元形状が剛体であり、回転に伴って対応点を変えないという暗黙の前提（拘束）をおいているからと考えられた(Ullman 1979)。これに対して Todd(1984)は、人間の視覚システムでは対象の剛体性によって対象の知覚判断は拘束されないことを示した。

一方、2 次元面上で複数の対象に速度差をつけ観察者の頭部運動と連動させて観察すると、剛体性をもつ 3 次元形状が出現する（Rogers & Graham 1979)。これは運動視差要因によって 3 次元形状が出現したと考えられた。

そこで Ito & Matsunaga は、CRT に提示したドットに速度変化をつけて提示し、その視え方をしらべた。図 53 はドットの速度変化の模式図で、上段の左図では帯状に提示したドット速度は 2 段階に、右図ではその速度はサイン波形に変化させた。また図の下段ではドットで構成された２つの対象としてシリンダーとプレート面を提示し、シリンダーでは垂直軸にそれが回転するようにドットの速度を変化、プレート面では中央より上部あるいは下部になるにつれてドット速度差をつけて提示した。被験には、出現する面の形状と遠近、あるいはプレートがシリンダーと交差するか、プレートがシリンダーと接するか、あるいはプレートがとシリンダーは別々に分離して視えるかをそれぞれ答えさせた。

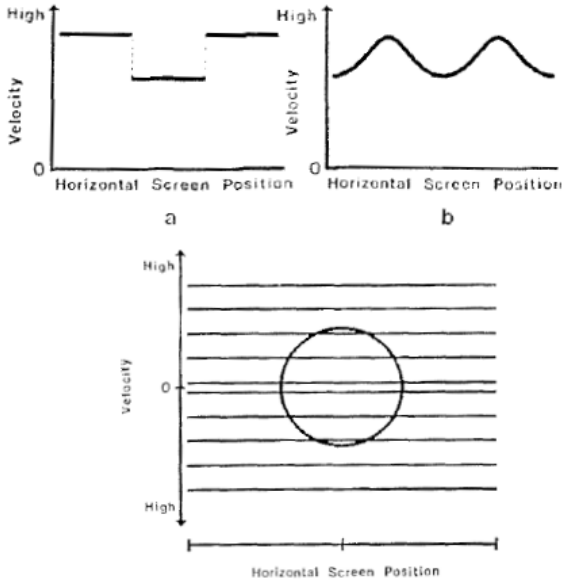

図 53　CRT に提示したドットの速度変化の模式図。上段の左図では帯状に提示したドット速度は 2 段階に、右図ではその速度はサイン波形に変化、下段ではドットで構成された２つの対象であるシリンダーとプレート面を示し、シリンダーでは垂直軸にそれが回転するようにドットの速度を変化、プレート面では中央より上部あるいは下部になるにつれてドット速度差をつけて提示(Ito & Matsuzaki 1990)

その結果、図の上段左のドット速度変化ではコンベアベルト面（左右端と中央の面の間に奥行が出現）が、上段右のドット速度変化ではサイン波形状の奥行面が、そして下段のシリンダーとプレートの２つの対象では、プレートの速度がシリンダーより遅いと両対象は交差、プレートの速度がシリンダーと同等では両対象は接して、プレートの

速度がシリンダーより速いと両対象は分離して知覚された。

これらの結果から、網膜上のドットの速度勾配パターンとそれによって生起する知覚的奥行面とは密接な関係をもつこと、また非剛体性の２つの対象の場合でも、網膜上のドット速度が２つの対象の奥行形状の出現に強く影響することが明らかにされた。得られた結果は、剛体性の拘束条件のみでは運動による3次元形状の奥行視を説明できないことを示唆した。

5.3 仮現運動オクルージョン

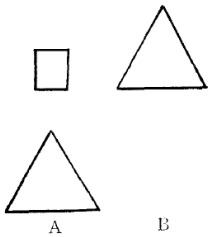

図 54　仮現運動。A に示した矩形と三角形を提示し、それを消してから B の位置に三角形を提示する仮現運動(Anstis and Ramachandran 1985)

Anstis & Ramachandran (1985)は、図 54 のように、A に示した矩形と三角形を第１刺激として提示し、それを消してからＢの位置に同大の三角形を第２刺激として提示すると、A の位置の三角形がＢの位置に運動するように視えるのではなく、また A の矩形と三角形がＢの三角形に吸収融合するのでもなく、A の矩形と三角形が運動ししかも三角形が矩形をオクルードするように知覚されることを示した。この現象は仮現運動のオクルージョン (apparent kinetic occlusion)と名づけられた。ものが背後に隠れるのは自然界では一般的な現象であるから、このような配置と運動による刺激変化を知覚した視覚システムが認知的に合理的な解決をはかったと Anstis & Ramachandran は考えた。

Saigo & Ohmura は、″Depth cues in determining kinetic occlusion by apparent movement″(1990)を著し、第１と第２刺激要因間に大きさと明るさのさによる奥行手がかりをつけた場合に、この種の仮現運動オクルージョンが起きるかどうかをしらべた。実験では、図 55 に示したように、ディスプレーの左右端に第１刺激を、次いで第２刺激をその中央に提示した。刺激は円パターンで、刺激の視かけの奥行を操作するために、その大きさ、明るさを 8 通りに実験条件ごとに変えて提示した。実験条件は、左右端の円形の大きさを中央のそれより大にした条件とその逆の条件、左右端の明るさを中央のそれより暗くした条件とその逆の条件、中央の円形より左右端の大きさを小さくその明るさを明るくした条件、中央の円形より左右端の大きさを大きくその明るさを暗くした条件、そして左右端の円形の大きさと明るさを中央の円形のそれらを同等にした条件であった。刺激の提示持続時間を 89ms の場合には SOA は 53ms から 443ms まで 6 段階に、提示持続時間が 195ms の場合には 159ms から 549ms まで 6 段階に設定した。被験者には、刺激がどのように運動するように視えるかを自由に答えさせた。

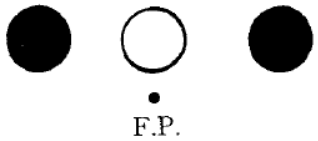

図 55　仮現運動オクルージョンの刺激布置で左右端の刺激を第１刺激として提示し、次いで中心の刺激を第２刺激として提示、F.P.は注視点(Saigou & Ohmura1990)

その結果、第１刺激が第２刺激によってオクルードされるか、あるいはひとつになるように融合されるかについてまとめたところ、第１刺激が第２刺激よりその大きさが大きい場合、および明るさが明るい場合には仮現運動オクルージョンが生起した。また、第２刺激が第１刺激よりその大きさが大きい場合、および明るさが明るい場合には視

かけの融合が生起した。これらの結果から、仮現運動オクルージョンは第１刺激と第２刺激の間の奥行手がかりに基づいていること、したがって高次の情報処理過程が関わっていることが明らかにした。

5.4 大きさ恒常性の発達

東山篤規（1982）は、「子どもの空間判断における親しみのある大きさの手がかり効果」を発表し、熟知的大きさ(familiar size)の手がかりの発達を小学 1 年生、3 年生、6 年生でしらべた。熟知的大きさの手がかりとは、記憶された実際のものの大きさをいい、例えばたばこ１本あるいは100円のコインならばその実際の大きさをよく熟知しているので、未知な対象の大きさはそれとの比較で類推することができる。この研究では特に熟知的手がかりの発達過程を、年齢に伴って熟知的対象に対する大きさや距離の判断がどのように変わるか、またこの手がかりの発達は視覚的経験によるのかあるいは触覚的経験によるのか、さらにこの手がかりによって誘発された大きさや距離の判断は知覚的なものなのか、推理に関わったものなのか、などについて実験的に検討された。実験対象は合成樹脂製のおもちゃのスポーツカー（全長 9,6cm、 赤・黄・白で着色）および布と毛で覆われたぬいぐるみの犬（鼻から尾の先までが 29.5cm、全体に薄茶色）とし、これをカラースライドに撮影したものを実験では被験者から 50cm に設置したスクリーンに等大(全長 10.6cm）になるように投影した。被験者は小学 1 年生 36 名(男 17、女 19)、同 3 年生 36 名(男 21、女 15)、同 6 年生 36 名(男 13、女 23)、 総計 108 名とした。各学年の被験者は、視覚群、触覚群、統制群にランダムに分けられた。視覚群は視覚で、触覚群は閉眼させ手の触覚で実験対象の形状や大きさに熟知させた。統制群は実験対象に対する熟知手続きは何もしなかった。観察は 4mm の覗き穴を通し行い（奥行手がかりは眼球調節と輻輳に限定）、実験

対象の知覚された大きさ（横方向にスライド）と奥行距離（前後にスライド）を観察後に別に設けた指標をスライドさせて測定した。実験の第 1 段階では被験者は覗き穴から単眼を用いて刺激対象を観察し、その大きさと奥行距離を完全上下法で測定した。第 2 段階で視覚群は実験対象を 1 分間観察、触覚群の被験者は目かくししてから実験対象を両手で探るようにそれぞれ求められた。第 3 段階では、第 1 段階と同様な手続きで実験対象を観察後にその視えの大きさと奥行距離が測定された。

３段階の実験の結果から、1 年生では眼球運動性の手がかりがもっとも効果的であり、 一時的に形成された熟知的な大きさの手がかりによる判断は見られなかつた。3 年生の場合には一時的な熟知的大きさの手がかりは視覚群の大きさ判断にのみ効果があった。眼球運動性の手がかりは、視覚群の大きさの判断を除くすべての判断において優越した効果をもった。6 年生の場合には一時的な熟知的大きさ手がかりは、視覚群と触覚群の大きさの判断、および視覚群の奥行距離判断に効果的であった。眼球運動性の手がかりは触覚群と統制群の距離判断に効果があった。

これらの結果から（1）眼球運動性の手がかりは全学年を通して定常的に効果があること、(2）熟知的大きさの手がかりによる大きさの判断に関しては、1 年生では通常の大きさの関係に基づいて判断しがちであるのに対して6年生では一時的な熟知的大きさの関係を用いて判断を行い、3 年生はその中間にあること、(3）熟知的大きさの手がかりによる距離判断に関して3年生まではほとんど効果が見られないのに対し6年生では一時的な熟知的大きさの関係に基づいて判断を行うこと、が明らかにされた。結論として、一時的な熟知的大きさ手がかりによる大きさや距離の判断はおそらく3年生くらいからはじまって 6 年生くらいで完成するのに対して、通常の大きさ手がかり効果は

すでに 1 年生において部分的ではあるが十分働いていて、高学年においては減じる傾向があると考えられた。

東山の研究は、熟知的大きさの手がかりの発達過程をはじめて追跡したもので、他の絵画的手がかりの発達過程を考察する上でも参考となるものである。

5.5 主観的輪郭パターンにおける奥行

Sato は、″ Depth seen with subjective contours ″(1983)のなかで、主観的輪郭図形で出現する視えの奥行の測定を試みた。測定は、図 56 に示したように、4 つの小光点の水平方向の仮現運動を利用し、それらが図形のうしろ、前、あるいは面上のいずれを移動するかを被験者に求め、提示図形と小光点との間の奥行距離を変えることでその閾値を測定した。提示図形は長方形の矩形(A)、長方形の矩形と垂直な短い矩形を重ねたもの (B)、そして主観的輪郭図形(C)であった。

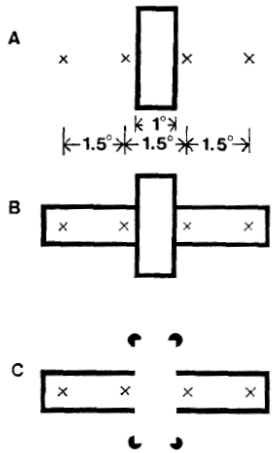

図 56　加現運動を用いた主観的輪郭の視えの奥行の測定 Sato 1983)

その結果、仮現運動が提示図形の背後を運動するように知覚される閾値は、A のパターンで 1.15cm、B のパターンで 1.73cm、そして主観的輪郭である C のパターンで 2.28cm であった。この結果は、主観的輪郭は実際の図形と等価な輪郭効果をもち、しかも実際のパターンより深い奥行が出現していることを示した。これは、主観的輪郭図形で出現する視

えの奥行について仮現運動現象を利用し測定した点でユニークである。

第 6 章 「1981 年～1990 年間」に掲載された奥行・空間研究（「心理学研究」と″ Japanese Psychological Research ″）

6.1 両眼立体視

ステレオアノマリと輻輳

Shimono, Nakamizo & Kondo は、″Oculomotor responses of stereo-anomalous observers to pulse and ramp disparities″(2000) を発表し、ステレオアノマリ（ステレオ視欠陥者）の輻輳運動をしらべた。3 人の被験者の障害程度は、K.S.が大きな視差 2° で非交差視差可能だが交差視差不能、また小さな視差 27′ はステレオ視可能、T.M.が視差 2° 不能、視差 27′ 可能、H.T.が視差 2° と 27′ とも不能であった。眼球運動は、2 通りの条件で測定された。その１は、ダイオードによる小光点（ターゲット刺激、直径 3mm）を左右眼に 3 通りの提示時間（0.2、0.5、2 秒）で間歇的に提示する条件(視差間歇、pulse disparity condition)、その２は左右眼に提示した小光点（ターゲット刺激）を相互に反対方向（視差はゆるやかにに増大）にあるいは同方向（視差の増大はゼロ）に距離５°、3 通りの速度（0.7、1.1、2.0°/s）でシフトさせ提示する条件(視差漸増、ramp disparity condition) であった。前者の実験条件では被験者は頭部を固定され、注視点の後に間歇的に提示される交差あるいは非交差視差刺激を定められた持続時間だけ両眼観察した。後者の測定条件では、まず提示された左右眼へのターゲット刺激が融合して一つに視えることを被験者に確認後、それらのターゲット刺激は反対方向あるいは同方向にシフトされ

た。両方条件とも被験者の水平方向の眼球運動を角膜反射法でペン書きオシロスコープに記録した。

その結果、間歇的視差提示条件では健常な被験者はターゲット刺激に対応した眼球運動を左右眼ともに示し、またそれは視差の大きさ、視差の提示時間にも対応していた。一方、ステレオアノマリの被験者のうち、K.S.（大きな視差 2°で非交差視差可能だが交差視差不能）は非交差視差の変化に対応する左右眼眼球運動を、T.M.（視差 2°不能、視差 27′可能）は輻輳運動よりサッカディクな眼球運動を、H.T.（視差 2°、27′）は交差視差のみで正常な輻輳運動をそれぞれ示した。視差漸増条件では、健常者とステレオアノマリの被験者共にターゲット刺激に対応した両眼輻輳運動(vergence eye movement)を個人差があるものの示した。また視差ゼロ漸増条件でも正常な左右相称の両眼運動(versional eye movement)を示した。

これらのステレオアノマリの眼球運動の結果は、間歇的に提示されたターゲット刺激条件では刺激に対応する両眼輻輳運動が変則的であるのに対して、視差漸増条件では健常者とほぼ同等のターゲット刺激に対応した両眼輻輳運動が観察されたことにある。両眼視差をもつターゲット刺激を間歇的提示する条件は、次々と提示される奥行の異なる新たな刺激を注視する事態であり、また視差漸増条件はひとつの対象を注視した後に奥行が変化する対象を追従する事態と考えられる。Shimono らは前者のプロセスを輻輳捕捉(catching vergence)、後者を輻輳維持(holding vergence)であるとし、両眼立体視での両眼輻輳には２つのプロセスが別々に作用していると考察した。

プルフリッチ効果と奥行恒常性

プルフリッチ効果は、片眼に装着させたデンシティフィルターによる視覚情報の遅延が両眼視差を誘導するために（視覚情報遅延仮説）、前額に平行な対象運動が奥行方向に回転して知覚される現象と考え

られている。もしこの視覚情報遅延仮説が正しければ、プルフリッチ効果による知覚奥行量は奥行恒常性の法則に従う。すなわち、ある両眼視差が与えられているとき、知覚奥行量は対象の絶対観察距離の二乗に比例して増大する。Wallach, Gillam, and Cardillo (1979)は、観察距離を 50、100、150cm の 3 通りに変えたときのプルフリッチの奥行量は観察距離に比例して増大することを示した。

そこで、Nakamizo,S. & Chen,L.は、"The Pulfrich effect and depth constancy"(2000)で、観察距離を 4m まで増大して、Wallach らの研究を追試した。実験では、細い垂直線（4.5cm 高さ、0.5cm 幅）をディズプレイに提示し、前額平行にサイン波形状に 22.5cm の間で 0.2、0.4、0.6Hz で往復運動させた。プルフリッチの奥行量は、観察距離１、２、３、４ｍの 4 通りで運動する刺激の真下に設置したプローブ（垂直刺激で 3cm の高さ、1cm の幅）を動かし運動軌跡の奥行回転の中心のところで運動刺激とプローブの位置をマッチングさせる方法（マッチング法）、およびテープを用いてその長さが知覚された奥行と一致するように調整させる方法（再生法）で測定した。被験者は右眼にデンスティフィルター(1.0　OD)を装着し両眼観察した。

その結果、ターゲットの速度が同一の場合でも観察距離の増大にともなってプルフリッチの奥行量は、マッチング法と再生法の両方でリニアに増大した。また、ターゲットの速度が速いほど(0.2、0.4、0.6Hz)プルフリッチの奥行量も増大することも示された。マッチング法で得られた知覚奥行量と観察距離から、各ターゲット速度での両眼視差量を観察距離ごとに算出し、観察距離毎にそれの平均値を求め、その平均値と観察距離 1m 条件での視差量との比率を算出すると、観察距離 1m と 2m では 0.579、3m では 0.369、4m では 0.277 となった。これは 4 通りの観察距離との比（.500、0.333、0.250）に近似した。

このことから、視覚システムは視覚情報遅延によって生起する空間的視差(visual-latency spatial-disparity)に奥行絶対距離（観察距離）変数を算入してプルフリッチ効果を生起させると Nakamizo らは結論した。

6.2 運動視差

ステレオキネティック・デプスで出現する高さと奥行絶対距離

Nakamizo & Kondo は、″ Depth perception of stereokinetic cone and absolute distance information″(1995)を発表し、ステレオキネティック・デプス効果と奥行絶対距離の関係をしらべた。ステレオキネティック・デプス効果とは、図 57 に示すように、交互に白あるいは黒の直径の異なるリングの中心位置をずらしたパターンをいう。この知覚現象を Wilson et al.(1983) および Robinson et al.(1985)は、リングが同心円に配置された条件ではリングが凹あるいは凸に知覚されないが、偏心状に配置すると、そこにあたかも立ち上がったコーン、あるいは凹んだトンネルが知覚されることから、隣接するリング間に運動視差が生起し、それによって視かけの奥行が生じると説明した。

図 57　ステレオキネティック・デプス効果(Nakamizo & Kondo 1995)

Nakamizo & Kondo は、運動視差仮説を検証するために偏心位置にあるコーン状のパターン（7 個の白と黒のリング）の最も外側のリングの大きさを 5、10、20、40cm に変え、またそのリングの視角が同一（5.72°）になるように観察距離を 0.5、1、２、４m に設定し、これ

を実験条件とした。統制条件としては実際のコーン立体模型を実験条件に合わせて4通り用意した(高さはリングのベースに合わせ5、10、20、40cm)。被験者には、回転して提示されたコーンパターンの高さおよび実物コーンの高さを頭部固定で単眼観察させ、別に用意した長さの物差しで再現するように求めた。

実験の結果、知覚された回転パターンのコーンの高さは観察距離の増大に伴ってリニアに大きくなること、また実物コーンの高さも同様に観察距離にともなって大きく実物通りの高さに知覚されることが示された。この結果から、視覚システムはステレオキネティック・デプスにおいて観察距離変数を取り込み、運動視差によって奥行量を決定していることが示された。ただ、運動視差による視えの奥行は観察距離の二乗に逆比例することが報告(Ono,et al.1986, Saida & Nakamizo 1987)されているが、この結果はそれに量的対応していない。これは頭部固定で観察させたために運動に連動した運動視差に比較して奥行出現が減殺されたと考察した。

ステレオキネティック・デプスは運動視差によって生起する奥行知覚現象には間違いない。

また、Nozawa,S. も、"Formation of illusory 3-D surface by eccentric rotation of dot pattern"(1995)のなかでステレオキネティック・デプスの知覚されるコーンの高さについて検討した。とくにZanforlin,et al. (1991)は知覚されるコーンの高さ(h)が次式で表されるとした。

$$h = 2r + e$$

(2r:コーンのベースとなる円の直径、e:2つの円の偏心位置間距離)

Nozawaは、図58に示す5種類のステレオキネティック・デプス・パターンを作成し、これを実線で描かれた1個、2個あるいは3個の輪郭円パターン(上段)、および1個、2個あるいは3個のディスクを

ドットで構成したパターン（下段）を作成し、前額平行面で回転させて実験した。ドットで構成したディスクではドットはひとつのディスク面にまとめられ、ちょうどディスクが重ねられたように作成した。したがって、これらのディスクが共通の中心で回転してもそのディスク事態はその固有軸では回転しないし、また上のディスクが下のディスクを常にオクルードした。被験者には、これらの回転するパターンを観察させ、どのよう視えるか、またコーンが知覚されたらその高さを言語報告させた。

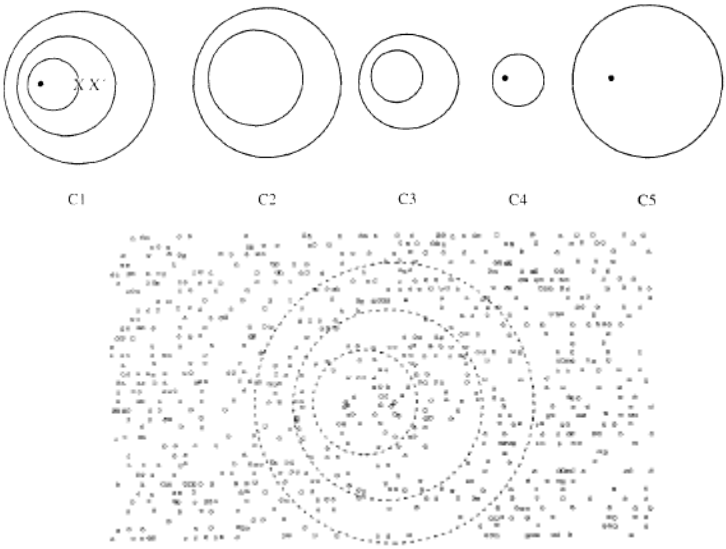

図 58　上段は 5 種類のステレオキネティック・デプス・パターン、下段はそれらをドットで構成したパターン（3 本のリンクの場合で点線はイメージのために加えたもので実際には存在しない）（Nozawa, 1991）。

その結果、輪郭円パターンとドットパターンの両条件でステレオキネティック・デプスが知覚され、重ねられたディスク数が多いパターン（図の C1）およびひとつのディスクと偏心位置にあるひとつのドットから構成されたパターン（図の C5）で知覚されたコーンの高さがもっとも大きくなることが示された。被験者の内省報告によれば、ドットで構成されたディスク条件の場合、ドットの回転に伴ってディスクの輪郭が明瞭に生じるとステレオキネティックコーンが知覚された。このことはステレオキネティックコーンによる奥行現象は運動視差によって生じることを示した。また、Zanforlin, et al. が提示した知

覚されるコーンの高さの予測式は、ここでは妥当しなかった。

運動視差における奥行と運動のトレードオフ

Sakurai & Ono は、"Motion perception, eye movements, and orientation in real and virtual space depth perception, motion perception, and their trade-off while viewing stimulus motion yoked to head movement"(2000)を著し、頭部運動によって誘導した運動視差事態での視えの奥行と運動のトレードオフについてしらべた。ディスプレー上にランダムドットを提示し、観察者の頭部運動に連動させながら、そのドットを垂直に波形に運動させると、観察者には奥行をもつ波形が知覚される。この場合、視えの奥行のみで運動が知覚されないかというと、観察条件によっては視えの運動も大きくあるいは小さく知覚される。ここでいうトレードオフというのは、図 59 に示したように、知覚された奥行の程度が大きいと視えの運動は小さくなり（上図）、逆に知覚された奥行が小さいと視えの運動が大きくなる（下図）ことをさす。そこで、視かけの奥行と運動のトレードオフを検討するために、同一の運動視差事態を単眼視と両眼視で観察させ、知覚された奥行と運動が測定された。実験では、頭部運動に連動させたランダムドットの速度を操作し、知覚されるサイン波形状の奥行を 5 通り（１、２、４、８、16cm）にシミュレートした。視えの奥行と運動は、デジスプレーの左・右脇に用意した測定器を用いて視えの奥行あるいは視えの運動を被験者に調整させて測定した。その結果、知覚された奥行は単眼視条件で優位に、また知覚された運動は両眼視条件で優位に出現した。

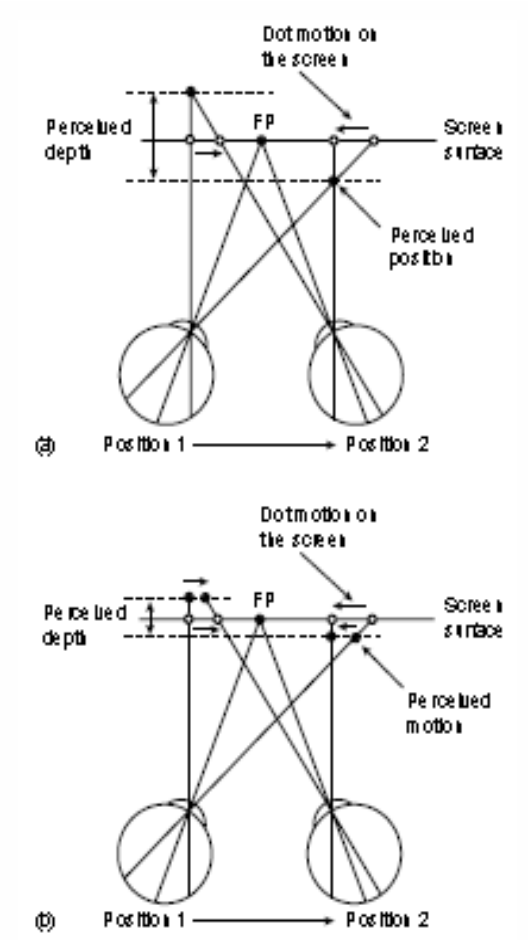

図 59　頭部運動に連動した運動視差事態での視えの奥行と運動のトレードオフ。上図：奥行が優位な事態、下図：運動が優位な事態(Sakurai & Ono 2000)

この結果は、頭部を水平ではなく前後に移動させ、それに随伴させてドットをサイン波形状にシフトさせた場合も頭部を水平に移動させた条件と同様な結果が得られた。

これらの結果から、視覚システムは頭部運動に随伴したドットの網膜面でのすべての運動要素を奥行と運動の共通の検出器によって奥行に変換するのではなく、そこには両眼視差要因が介在し、運動から奥行への変換あるいは奥行-運動トレード

オフに関わることを示唆した。

6.3　視空間の曲率

渡辺利夫は「視覚三角形による視空間の曲率の推定」(1996) を発表し、 Luneberg の視空間の曲率を従来の並行並木法と等距離並木法を組み合わせた方法にかわって視角三角形を提示する方法で推定した。視覚三角形を用いる方法は任意の三角形を提示し、その底辺の長さの半分がその他の２辺の中点を結ぶ線の長さと等しく知覚される点を求めるものである。ここでは、三角形を用いた場合における理論的に推定される曲率と実際に測定値から算出された曲率を比較し、視空間の双曲性が確かめられた。双曲型三角形の辺 BC, AC, AB の各辺の中点を順に、図 60 のように、 D(ξ4, η4), E(ξ, η5), F(ξ6, η6)とする。実験では三角形を観察者の眼の高さにおける水平面（実験条件１)、斜面（実験条件２)、そして前額平行面(実験条件３)に三角形の各頂点（A、B、C）を固定光点で提示した。まず、固定光点 A、B、C が提示され、次に、可動光点 E（C と A の中点）と可動光点 F（A と B の中点）が一つずつ提示された。被験者の課題は手元にあるひもを引くことによって、光点 E を辺 AC の中点の位置に、光点 F を辺 AB の中点に移動することであった。次に、

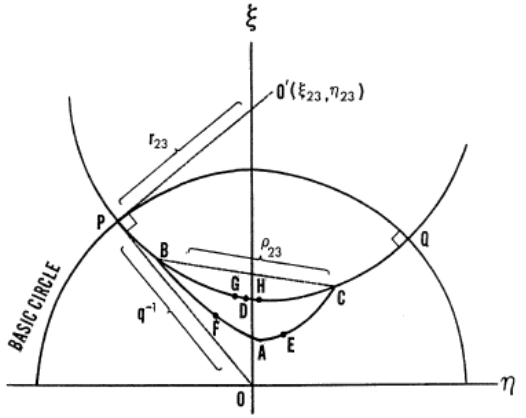

図 60　ユークリッド地図のなかの双曲型三角形 ABC（渡辺 1996）

可動光点 D が五つの補助光点(P、 Q、 R、 S、 T)と共に提示され、被験者は点 D を辺 BC の中点に、点 P を 2 点 B、D の中点に、点 Q を 2 点 C、D の中点に、点 R を 2 点 B、P の中点に、点 S を 2 点 C、 Q の中点に、点 T を 2 点 S、C の中点に位置づけるように教示された。点 P、Q、R、S、T は、辺 BC が物理的に長いので、できるだけ正確な点 G、H の位置を獲得するために補助的に調整された点である。これらの 6 点(D、 P、Q、R、S、T)の位置を調整しているときには、点 E、F は除去された。6 点の位置を調整後、点 D、R、S、T は除去され、 2 点 D、E が調整された位置に提示され、更に、点 G と H が、一つずつ提示された。被験者は、点 G を EF の知覚的距離と BG の知覚的距離が等しくなるように、辺 BC 上に位置づけるように、点 H を、EF の知覚的距離と CH の知覚的距離が等しくなるように辺 BC 上に位置づけるように教示された。これらの測定は 3 通りの実験条件で実施された。

曲率の推定は K の値を-1 から 1 まで 0.1 間隔で変化させ、さらにσを 5 から 60 まで 1 の間隔で変化させ、各 K とσの組合せをもとに物理空間における点 D、E、F、G、H の理論的座標値を求め、それらと実験でデータとして得られた点の座標値を比較し 二乗平均平方根(Root-mean-square)が最小になるような K とσを推定した

実験の結果、点 E と F の位置は、どの条件（平面）の場合も対応する物理的な中点の位置よりも点 A の方に偏り、また斜面および前額平行面の場合には、辺 AB、AC は、被験者から見て凹型の曲線となり、BC は被験者に対して凸な曲線を形成した。点 G と H の右方向軸でのギャップはどの平面の場合も小さかった。点 G と H のギャップをもとに空間の質的な判別をすると、眼の高さの水平面と斜面の場合は、双曲型空間的な関係を示し、前額平行面の場合は楕円型空間的な関係を示した。

これらの平均的座標値をもとに K とσを推定すると、眼の高さの水

平面の場合には、K=－0.9、σ=40、斜面の場合には、K=-0.45、σ=36、そして前額平行面の場合には、K=0.9、σ=6 となった。眼の高さの水平面が最も奥行きがあり、前額平行面が最も奥行きがない。奥行視の良さを示すσの値も眼の高さの水平面、斜面、前額平行面と奥行を減少させると共に減少し、σの値もこれら三つの平面が奥行感によって異なることを示した。奥行のある水平面と斜面は双曲空間特性を、前額平行面は楕円空間特性を示し、奥行があることが双曲空間特性をもたらすと結論された。

6.4 絵画的要因

地の輝度勾配が図に及ぼす 3 次元形状効果（感覚性の勾配）

Miyahara & Akita は、"Effect of sensory gradient on three dimensional percept"(1995)を発表し、背景となる「地」の輝度勾配が等質輝度をもつ対象（「図」61）の 3 次元形状知覚に与える効果をしらべた。Ramachandran(1988)は、「地」である背景の輝度勾配を上から下へと減少変化させると、「図」として提示した対象は凸状に、また逆に勾配を増大させると凹状に誘導されることを示し、このことから視覚システムは照明源を単一であり、その照明による背景輝度が対象に反映すること、また照明源は上方にあることを前提にしていると考えた。

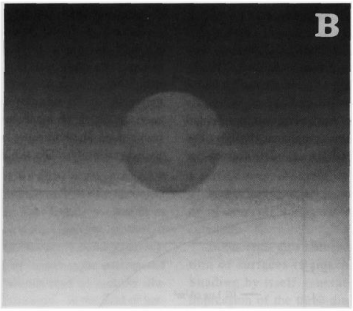

図 61　「地」である背景の輝度勾配の輝度変化させた条件での「図」である円対象の視えの 3 次元形状の誘導をしらべる刺激事態（Miyahara & Akita 1995）

Miyahara & Akita は、図 61

のような刺激事態を設定し、物理的輝度が等質な対象が「地」である背景の輝度勾配によって視かけの3次元性が誘導されるかをしらべた。実験では背景は上方から下方へと輝度勾配が暗から明へと変化するように設定し、またその平均輝度を3段階に設定した。「図」となる対象は円形とし物理的に等輝度に、またその輝度を8通りに設定した。被験者には、円形対象の知覚された3次元性の程度を3点法（明瞭に3次元性が知覚、不明瞭に知覚、3次元には視えない）で評価させた。

その結果、円形対象の知覚された3次元性は、円形対象の輝度と「地」となる背景の平均輝度がほぼ等しいときに明瞭になることが示された。実際、円対象の上部領域は明るく下部領域は暗く知覚され、しかもその境界は背景とは区別されて知覚できた。このことから、等質輝度をもつ円対象の内部領域が背景の輝度勾配による感覚性の勾配を誘導し、その感覚性の勾配(sensory gradient)が円形対象の3次元形状を生起じさせたと考えられた。

先天盲開眼者による主観的輪郭図形

Torii,S. & Mochizuki,T. は"Post-surgery perception of subjective contour figures"(1994)を発表し、先天盲の開眼者が主観的輪郭図形を識別できるかをしらべた。先天盲開眼者 M.O. は 14歳の少女で、両眼の角膜が先天的に不要な組織で覆われていた。4歳9月齢で右眼の角膜移植、10歳8月齢で左眼の移植を受けた。先天盲開眼者 To.M.は23歳の女性で両眼に先天性白内障をもって生まれた。9歳齢の時、右眼にレンズ移植を受け、引き続き左眼もレンズ移植を受けた。被験者 K.T. は44歳齢、1.5歳齢で右眼手術を、15歳齢で左眼に水晶体除去とレンズ移植、20歳齢で左眼の虹彩除去手術を受けた。これらの被験者は実験前にはすでに2次元の形状と3次元の固体を識別可能であった。

被験者に主観的輪郭図形を観察し、そのパターンがどのように視え

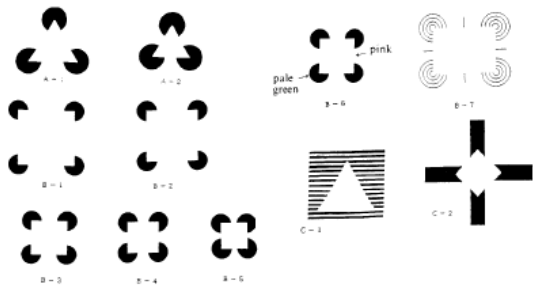

図 62　実験に使用した主観的輪郭図形(Torii & Mochizuki 1995)

るかを自由に報告するように求めた。その結果、先天盲開眼者は図 62 の B5 と C2 のパターンの主観的輪郭は知覚できたし、また、被験者 K.T. のみは B5 のパターンの主観的輪郭図形はより明るくまた奥行をもっていると知覚した。しかし、総合的にはこれらの被験者は検査した図形のほとんどについては、健常者のようには主観的輪郭を知覚できないことが示された。被験者は主観的輪郭パターンを、それらを構成するパックマン図形要素が寄せ集まったものとして、あるいはそれらの要素図形からなるジグソーパズルとして、あるいはそれらの要素図形の一つとして知覚していることがわかった。

先天盲開眼者の視野は極端に狭いために、図形パターンを観察するときは、図形を眼に近づけ図形パターンを眼でトレースするように紙片の方を回して逐次的に見るとのことであった。このためにパターン全体を一時に見ることが困難なことから、主観的輪郭図形の知覚が成立しないと Torri らは考察した。

仮現運動におよぼす大きさ、長さ、明るさの奥行要因

Ohmura,H. et al. は、"The influence of depth-cues on paths of apparent motion"(1992)のなかで、仮現運動での大きさ、長さ、明るさの手がかり効果をしらべた。とくに、前額平行に布置した２つの対象を継時的に点滅させその対象間に静止した対象を挿入した場合、仮

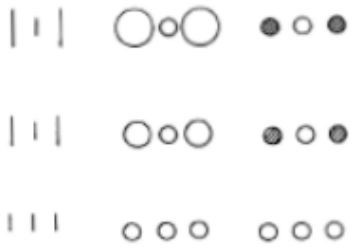

図 63　仮現運動での大きさ、長さ、明るさの手がかり操作の一部(Ohmura et al. 1992)

現運動は静止対象と衝突するのではなく奥行的に迂回あるいはオクルードして知覚される[仮現運動オクルージョン」(apparent kinetic occlusion)が起きる(Anstis & Ramachandran 1985)。

そこで、図 61 のように、2 つの仮現運動対象およびその運動軌道の中間に位置する対象の奥行手がかりを変えた条件での仮現運動軌道がどのように変わって視えるかをしらべた。被験者にはディスプレー面を運動する対象を両眼観察させ、その運動軌道の視え方を自由に報告させた。

その結果、静止対象より運動対象が奥行的に手前に知覚される場合に「前面運動と背面運動」が、その逆の場合には「背面カーブ運動」が知覚された。視覚システムは、仮現運動において運動軌道を妨げる対象との衝突を回避あるいは奥行的に回り込むように運動する認知的な働きをもつと考えられた。

6.5 動物の奥行知覚

リーザスマンキーにおけるポンゾー錯視

Fujita は、″Cognition and behavior of nonhuman primates Linear perspective and the Ponzo illusion: a comparison between rhesus monkeys and humans ″を発表し、リーザスマンキーを実験対象にしてポンゾー錯視量がパースペクティブ要因によって変わるかを検証した。これは、錯視が知覚恒常性のものさしを適用した結果として生起するとする Gregory 説の妥当性を動物実験で確かめようとしたも

のであった。とくに大きさの恒常性スケールは遠方の対象は拡大し、

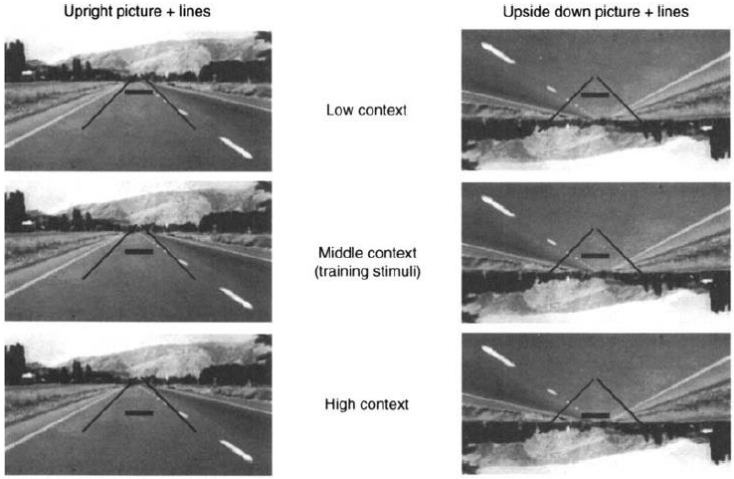

図 64　リーザスマンキ-ーに提示したポンゾー錯視パターン。左列はパースペクティブ背景条件でのポンゾー錯視パターンで上から順にテスト線分が角度線分の上位(Low context)、中位(Middle context)、下位(High context)に位置させたパターン、右列はパースペクティブ背景を上下逆さまにした条件で上から順にテスト線分が角度線分の上位、中位、下位に位置させたパターン(Fujita 1996)

近方の対象は縮小させて知覚する働きがあるので、ポンゾー錯視の場合にも輻輳する2本のパースペクティブ線分の間に置かれた水平線分は遠くにある、すなわち上位にある線分は下位にある線分より大きく知覚されると説明される。

実験は、2頭のリーザスマンキーに2つの線分の長さ判断を予備訓練し、これが達成できたら本実験に移行して実施された。本実験では、図 64 に示したように、実写したパースペクティブ背景条件に線形ポンゾー錯視パターンを提示した。実験条件としては、実写パースペク

ティブを正景で提示するもの（左列）、およびそれを逆景で提示するもの（右列）を設け、提示する水平線分の位置を角度線分の上位(Low context)、中位(Middle context)、下位(High context)の3通りとした。さらに、線形ポンゾー錯視パターンを除き水平線分だけを実写パースペクティブの上位、中位、下位の位置に直接描いたものも用意された。水平線分の長さは40、48、56、64、72、80の6通りとした。

実験の結果、実写したパースペクティブ背景下のポンゾー錯視における水平線の長さは、上位位置条件の方が他の位置条件よりも長いと知覚判断された。この結果は逆景の実写したパースペクティブ背景下でも同様であった。一方、線形ポンゾー錯視パターンを除き実写パースペクティブ条件では、正景の実写パースペクティブ条件で錯視が生起したが、逆景実写パースペクティブ条件では錯視は生起しなかった。

このことから、リーザスマンキーにおいて線形パースペクティブ要因はポンゾー錯視の生起に影響をもたないことが示された。

第７章　日本の奥行知覚研究が明らかにしてきたもの

日本心理学会発行の学術雑誌（心理研究、日本心理学雑誌、日本心理学研究、Japanese Psychological Research）に発表された奥行と空間の知覚研究にどのような研究が行われたかを個別に概観してきた。ここでは、それらの研究通して得られた研究の成果をまとめてみよう。

7.1　視野闘争

日本における奥行知覚研究は、すでに見てきたように、1919 年から 1921 年にかけて黒田源次が「心理学雑誌」に４本の論文、「両眼視野の優越、闘争及び融合現象を規定する外部條件に就いて」、「両眼視混合に関する実験的測定（第一報告）」、「色彩視野闘争の時間的測定（第二報告）」、「前行の視野融合の後行の視野闘争に及ぼす影響」を発表したことからスタートした。これらの研究は、両眼視のしくみが常に両眼視融合あるいは片眼優位性知覚を出現させる傾向を持ち、これらの中間段階として視野闘争が位置づけられることを丹念な条件分析的研究で明らかにした。

研究課題として視野闘争が取り上げられたのは、意識とは関係なく左右眼で視野の交替が起きる特異な知覚現象だったからである。この現象から知覚処理過程そして知覚のしくみ、さらに意識現象にアプローチできるのではないかと考えられた。

この黒田の研究の後、視野闘争に関した研究は戦争のために途絶え、戦後 1949 年になって柿崎祐一が視野闘争での先行条件の効果をとりあげて再開された。このなかでは視野闘争の頻度と優位度が先行条件によってどのように変わるかを検討し、左右眼で互いに背反的な図形特徴を持つ刺激を先行刺激として提示すると、後続する視野闘争では先行刺激の図形特徴と背反的な後行刺激が優位に出現すること、しか

もその効果はたんに先行光刺激の効果のみではなく、より高次の図形的な特徴に依存することを柿崎は見いだした。

そこで柿崎（1949、1960)は、視野闘争に及ぼす先行条件の効果をさらに追究し、先行刺激の提示時間の持続効果は時間に応じて減衰することは見いだされず、たんに感覚的順応によるものとは考えられないこと、および先行刺激として反転図形の一方を他方より長く提示すると、後行の視野闘争においては短時間提示の図柄が優位になることを示した。

Goryo(1969)は、視野闘争における過去経験刺激の促進あるいは抑制効果についてしらべ、先行経験画像の視野闘争における優位持続時間が学習回数にリニアに比例して増大することを示し、視野闘争では観察者の主体的要因である過去経験が促進効果をもつことを明らかにした。

これらの研究は、視野闘争がたんに網膜レベルの感覚的順応、感覚的疲労、あるいは網膜の何らかの変容によるのではなく、高次中枢レベルでの視覚の再体制化によることを明らかにしていて、当時としては洞察に富んだ成果だった。

RDS の開発

視野闘争そして両眼立体視研究を一変させたものは Julesz(1964)によるランダムドット・ステレオグラム（RDS)の開発であった。これは単眼視では何らの形状が知覚できないパターンも、両眼立体視すると形状が 3 次元で出現し、形状検出処理の前に両眼視差検出過程があることを明確に示した。これ以後、視差闘争や両眼立体視の研究には RDS が使われることが多くなった。

Goryo & Kikuchi は、1971 年に RDS のステレオ視成立までの潜時と出現した立体程度が訓練によって変容するかについて検討した。これは、Julesz(1964)が RDS の初見時は両眼融合から立体視成立までに一

定の潜時がかかるが、反復経験する内に潜時が急速に減少し、RDS 立体視には学習効果があることを踏まえてのものだった。その結果、ステレオ視出現までの潜時は試行回数ごとに減少すること、両眼視差が大きいと潜時は長くなること、また立体出現の奥行印象は視差が大きいと鮮明であることを示し、Julesz の研究を裏付けた。

視野闘争における相互抑制

1979 年に鬢櫛は RDS を利用して両眼立体視における単一視出現と視野闘争の関係を立体視消失時間、奥行出現の累積知覚時間、奥行反転までの時間を測定することで、視差相互の抑制のしくみを探った。そして、知覚されなかった奥行に対応する視差検出も知覚された奥行の視差検出を抑制することを示した。これは、視差が並列処理され、視差相互の抑制が単一奥行の立体視の成立にとって重要な役割をもっていることを示唆した。鬢櫛の研究は、RDS 立体視を利用して単一立体視出現と視野闘争の関係を探り、視差検出の過程を検討したもので、日本ではこの分野での最初の研究であった。

最近の視野闘争に関係する研究では、両眼視融合と視野闘争の関係が取り扱かわれる。とくにそのメカニズムについての２説、すなわちチャンネル説と二重応答説をめぐって論争されている。

２チャンネル説は、両眼視融合と視野闘争は別々のチャンネルで処理されているとし、この場合には視野の同一位置で両眼視融合と視野闘争は同時に起こりえることになる。他方、二重応答説は、同一のしくみのなかに両眼視融合モードと視野闘争モードがあるとし、この場合には視野闘争と両眼視融合は同時には生起しないことになる。柿崎の研究は、両眼視融合の問題を取り扱っていないが、しかし視野闘争出現の優位性が片眼のチャンネルのみで決まるのではなく他眼のチャンネルとの関係で規定されることを明らかにした点で、当時としては優れたものといえる。

視野闘争の分野ではこれまでに多くの研究が蓄積され、また用いられる刺激種類にも空間周波数パターンが導入され、刺激強度も精密に操作されている。Brascamp & Klink (2015)は、過去50年間の研究成果をレビューし次のようにまとめている。(1)片眼の刺激強度の増大はその眼に入力された刺激の知覚優位性を増大する。(2)両眼間の刺激強度の差の増大はより強度の高い方の眼の平均優位持続時間を増大する。(3)両眼間の刺激強度の差の増大は視野闘争反転頻度を縮減する。(4)両眼への入力刺激を等強度に維持したままでの両眼の刺激強度の増大は視野闘争反転頻度を漸進的に増大するが、しかしこの効果は刺激の強度をきわめて小さくしその閾値近辺をとった場合には逆に反転頻度が増大に転じる。

また、視野闘争と両眼視融合に関する生理的しくみの研究では、次のような最新の成果がいまでは挙げられうる。(1)両眼間の視野闘争は、誘導刺激とテスト刺激の類似性に関係なく、常に優位に出現している眼球側の刺激検出感度が高くなることから両眼間の刺激類似性によるのではなく眼球間の抑制によって生起する。(2)この両眼間抑制は、単に抑制をもたらす刺激に関わる局所的な過程ではなく、その刺激から離れた位置にも影響する空間的な伝搬効果がある。(3)初期の視覚野で単眼視を担うニューロン間での両眼間抑制過程が両眼間マスキングとそれに続く視野闘争に共通に関係する。(4)視野闘争条件での眼球間の抑制は、左右眼からの刺激の交差領域を除いた領域で起きている。

7.2　両眼立体視

両眼視差とゲシタルト特性

1940年代、奥行視の成立については３つの説明理論があった。その１は、奥行知覚を純心理的作用で説明するもので、奥行は形態把握が

生じる前に生起し、観察者の注意によって奥行関係が変化することはないとした（Fleischer、Jaensch)。その２は、感官組織説で両眼視差など感覚刺激によって奥行知覚は生じると考えたが、この手がかりの他に事物そのものに内在して3次元形状にまとまろうとする体制力が強調された（Koffka、 Kopfermann)。その例証として、正六角形（立方体）の構成要素を奥行の異なる面を部分的に描画して観察すると、両眼視差によらないにも関わらず立方体が知覚できることを示した。その３は、両眼視差説で両眼間に生じる網膜非対応によって生起する生理的興奮が奥行効果を生じるとした。

1940 年､南博は当時の知覚心理学で主流であったゲシタルト心理学を踏まえて両眼視差とゲシタルト特性（閉合、よき連続、よき形態、重なりなど）を拮抗させ、どちらが優位であるかを Kopfermann, H.(1930)の実験方法に準拠して検討した。その結果、ゲシタルト特性が両眼視差要因より優位になるのは、図形性の強い条件の中で２つの正三角形を規則的に重ねて星形が出現する図形のみで、しかもこの場合観察距離を 120cm 以上とって両眼視差を弱めた場合であった。他の図形性の強い条件および複雑な刺激要素をもつ図形性の強い条件ではすべて両眼視差が優位となり、とくに観察距離が 100cm 以内ではこの傾向が顕著であった。

南の研究は Koffka や Kopfermann 説に立脚し､両眼視差という生理的要因とゲシタルト特性という心理的要因間の関係を拮抗させ、両眼視差が優位であることを立証したものであった。

両眼立体視における知覚恒常性

1960 年代に入ると、両眼視差の立体効果は疑うべきものではなく、奥行手がかりとしての精度が分析されるようになった。

Katori ら（1963)は、両眼立体視における視えの大きさと奥行を測定し、視えの大きさと奥行距離を正確に知覚させる事態は遠近的要因

や陰影要因を含む背景要因がある場合および両眼視差が大きい場合であることを示した。また、大きさ恒常性はすべてのステレオグラムで生起した。両眼視差と背景要因間に不一致がある場合には、背景要因が具体的に存在するほど両眼視差に抗して背景要因の視えの大きさと奥行距離知覚に与える影響は増大したが、背景要因が弱くなると両眼視差要因の方が影響度を増した。さらに視えの大きさと奥行距離との相関をみると、両眼視差と背景要因が不一致条件で相関が高く、一致条件では低くなった。

この研究は両眼視差と遠近や陰影など対象の背景となる要因の関係を明らかにしていた。

Oyama ら(1967)は、両眼立体視下でも自然観察条件と同様に大きさ恒常性が生起するかを問題とし、大きさ比は、両眼視差が（＋1°09′から－1°09）減じるに伴ってリニア（両軸とも対数関数）に増大すること、この関係には輻輳角要因や刺激の輝度要因は影響しないことを示し、大きさ恒常性は両眼視差が奥行手がかりとして存在すれば生起することを明らかした。

対応問題

1941 にはすでに入谷智定が両眼視差の対応点と両眼融合および二重像視について実験し、両眼視差による奥行視は左右眼のステレオグラムの対応点が融合することで生起することを明らかにし、眼球の中心をはさむ図形の角度の差異が事物の立体を生じさせる本質的條件とする Wundt にはじまる従来の考え方を否定した。両眼による立体視は先天的能力であり、経験による学習はこの能力を完成させるものと考えるべきと主張した。

入谷は、1941 年当時において両眼間に生じるパターンの刺激条件を分析することを通して両眼視差による立体視を成立させる基本的条件が両眼間の対応問題であることを明確に指摘したことは特筆され

る。

1960 年代になると Julesz の開発した RDS によって立体視が可能なことが実証され、全体的立体視における左右眼のステレオグラムの対応問題が計算論的枠組でも主要な研究課題のひとつとなり、コンピュータよる視差検出のプログラム開発が俎上に載った。これを解決するには、膨大な視差対応の可能な組合せから真の対応点の検出が必要だった。

鬢櫛（1980）は、本来の視差対応とは異なる視差対応（異視差）を導入したステレオグラム（継時的に２つの全体的な立体視が可能な奥行反転ステレオグラム）を用いて全体的立体視におけるフォールス・ターゲット(false target)の役割について検討した。その結果、視差値の異なる領域が２次元空間的に隣接する条件では、異視差が接する境界数が多いほど、そして境界数が等しい条件では視差値の異なる領域が２次元的に近接しているほど異視差からなる全体的立体視は成立しにくいこと、また視差値の差が大きいほど異視差奥行面は知覚されにくいことを示した。このことは、異なった視差同士はそれぞれの視差検出を抑制しあい、その抑制は近接しているほど、また視差値が異なるほど強いことを示した。

全体的立体視において視覚システムは、多義的な両眼間視差対応の中から偶然的な局所的対応を抑制し、最大数の対応が得られるものをもっともそれらしい視差(correct target)として検出するが、逆に異視差をフォールス・ターゲットとして処理すると本来の視差対応が優先され、異視差は抑制していた。

さらに、　鬢櫛一夫（1983）は、局所的立体視における顕在対応と潜在対応の問題を、立体視抑制の指標として立体視の累積消失時間を測定することで検討し、潜在対応が多いほど顕在対応はより強い抑制効果を受けることを示し、しかも潜在対応の抑制効果は加算的である

ことを示した。

両眼視差立体視に異常のある者の輻輳反応

両眼立体視異常者とは交差性視差か非交差性視差のどちらか一方を弁別できない者（ステレオ・アノマリー）、もしくは両方の視差ともに弁別できない者（ステレオ・ブラインド）をいう。網膜視差の検出には、これら視差弁別不能者のタイプから2種あるいは3種の互いに独立したメカニズムが存在すると推定された(Richards, 1970, 1971, 1975)。一方、両眼立体視健常者の場合には提示された左右眼への刺激が網膜視差を持つならば、 形、輝度やコントラスト、垂直次元での位置の違いがあっても視差のタイプ（交差性、非交差性）に正確に一致した輻輳、あるいは開散反応が起こる（Mitchell 1970、Westheimer & Michell 1969)。これらの事実は、 網膜視差のある範囲内で輻輳運動が網膜視差検出に密接に関係することを示唆する。

下野孝一ら（1982）はステレオ・アノマリーの輻輳反応についてしらべ、健常被験者では視差のタイプに一致した輻輳運動が起こるのに対して、交差性視差による奥行弁別不能者では非交差性視差の提示に対しては正常な開散輻輳反応が起こるが、交差性視差の提示に対しては極端に減衰した輻輳反応が、また両方の視差弁別不能な被験者ではどちらのタイプの視差の提示に対しても輻輳運動は起こらないことをそれぞれ明らかにした。

さらに、Shimono,et al.(2000)は、ステレオアノマリの輻輳運動を2通りの眼球運動条件（視差間歇と視差漸増）で測定した。それによると、間歇的視差提示条件では健常な被験者はターゲット刺激に対応した正常な眼球運動を左右眼ともに示したが、ステレオアノマリの被験者は、非交差視差の変化に対応する左右眼眼球運動を示す者、輻輳運動よりサッカディクな眼球運動を示す者、交差視差のみで正常な輻

輳運動を示す者に分かれた。視差漸増条件では健常者とステレオアノマリに眼球運動で差は示されなかった。

Shimono らは間歇視差のプロセスを輻輳捕捉(catching vergence)、視差漸増を輻輳維持(holding vergence)であるとし、両眼立体視での両眼輻輳には２つのプロセスが別々に作用していると考察した。

プルフリッチ (Pulfrich)現象

プルフリッチ現象は ND フィルタを通すことによる振り子刺激の信号が両眼間で時間的遅れが生じ、これが網膜視差に変換されて生起する（遅延仮説）と説明、一方、これに対して、背景野が見える場合には、背景野の信号の遅延による奥行変化が振り子の奥行的な振り子運動に変換されると説明される。

そこで、この両仮説を検証するために、中溝幸夫と近藤倫明(1985)は、凝視条件と追視条件を設定し、Pulfrich 効果の大きさに差が生じるかをしらべ、凝視条件より追視条件において有意に奥行効果が大きいことを示した。どちらの観察条件でも同じ奥行情報(視標の網膜視差)を用いているので、追視条件下での Pulfrich 効果が凝視条件下でのそれより大きいという結果は、背景野の網膜視差にもとづく奥行変化によって誘導された視標の視かけの奥行の方が視標自体の網膜視差による視標のみかけの奥行より大きいためと考えられた。

プルフリッチ効果は、片眼に装着させたデンシティフィルターによる視覚情報の遅延が、それがターゲットの間に、あるいは背景との間のいずれにしろ両眼視差を誘導することは間違いない。もしこの視覚情報遅延仮説が正しければ、プルフリッチ効果による知覚奥行量は奥行恒常性の法則に従う。

そこで、Nakamizo,S. & Chen,L. (2000)は、観察距離を 4m まで増大して、プルフリッチ効果でも奥行恒常性が成立するかを追試し、その知覚奥行量は奥行恒常性の法則に従うことを明らかにした。視覚シ

ステムは視覚情報遅延によって生起する空間的視差(visual-latency spatial-disparity)に奥行絶対距離（観察距離）変数を算入してプルフリッチ効果を生起させている。

融合性バーゼンスのヒステリシス

融合性バーゼンスのヒステリシスとは、両眼視融合の輻輳角が一度融合すると、その輻輳角が融合を維持したまま広がることをいう。中溝幸夫と近藤倫明(1986)は、融合崩壊点、再融合点を測定した結果、融合崩壊点の数値が再融合点より大きいことを示し、融合バーゼンスのヒステリシスの存在を立証した。

ダブルネイル錯視

中溝と近藤（1988）は、実験においてダブルネイル錯視とダブルウオールペーパー錯視の知覚された距離の平均値の間には有意な差は示されなかったことから、この錯視が両眼網膜の対応点を、ほぼ同じ形と大きさの2つの対象がそれぞれ刺激することによって起こる距離と方向の錯視の一例であり、その意味においてウォールペーパー錯視(wallpaper illusion)と同種の現象であると考えた。

中溝らは、これらの結果を踏まえて、対象の視方向はWells-Heringの 2 つの視方向原理(Ono 1979 1981)によって決められること、また対象の視距離は２つの原理、すなわち両眼の対応点上に像を結びそれらが互いに融合する対象は両視軸の交点と等距離に見えること、および両眼の非対応点上に像を結ぶ対象は非対応の大きさ(両眼網膜視差量)に依存して両視軸の交点から奥行方向により近く(交差性視差)、またはより遠く(非交差性視差)に見えることによって決まると考えた。

7.3 運動視差

運動視差シミュレーション技法

網膜上の相対的角速度差と奥行弁別との関係についてさまざまな試みが Graham, et al.(1948)によってなされてきた。この方法を革新したのは CRT 上に打ち出したランダム・ドット・パターンを観察者の頭部運動と連動させる技法（運動視差シミュレション技法）の開発であった（Rogers & Graham 1979、1982)。この技法では、凹凸のある３次元面を観察した時の網膜流動パターンを２次元面上に完全にシミュレートすることができる。単眼視観察の結果、観察者がその頭部を静止した状態では、CRT 上のパターンは、不規則な点からなる平面にしか視えないのに、観察者が頭部を動かすと、そこに３次元的な波形パターンが出現した。

運動視差シミュレション技法によって立体を出現させる場合、その立体には剛体性があることが求められる。人間の視覚システムがこれを可能にするのは、対象の 3 次元形状が剛体であり、回転に伴って対応点を変えないという暗黙の前提（拘束）をおいているからと考えられた(Ullman 1979)。

Ito & Matsunaga(1990)は、CRT に提示したドットに速度変化をつけて提示し、出現する面の形状と遠近、あるいはプレートがシリンダーと交差するか、プレートがシリンダーと接するか、あるいはプレートがとシリンダーは別々に分離して視えるかをそれぞれ答えさせた。その結果、網膜上のドットの速度勾配パターンとそれによって生起する知覚的奥行面とは密接な関係をもつこと、また非剛体性の２つの対象の場合でも、網膜上のドット速度が２つの対象の奥行形状の出現に強く影響することを見いだした。これは、剛体性の拘束条件のみでは運動による 3 次元形状の奥行視を説明できないことを示唆した。

7.4　視空間の構造

1928 年、小保内虎夫は天体の錯視について思弁し、天空の視空間の

形状が扁平であることから生じるというヴント説を紹介し、支持した。1928 年と言えば昭和 3 年にあたるが、この当時、月の錯視に代表される天空の錯覚がどのようにして生起するのか関心が持たれていたが、いまだ適切な実験事態を設定できない当時としては思弁に頼らなければならなかった。

上記の研究から 7 年後の 1935 年、盛永四郎は月の錯視について実験的に検討し、対象が客観的に水平方向にあれば過大視されることをつきとめ、視方向は月の錯視の成立のための条件と結論した。

盛永の研究は、実験室という限定された空間ではあるが、対象を水平、垂直、上下方向に提示し、その視えの大きさと奥行距離を測定し、その結果にもとづいて月の錯視が対象の「視方向」と「客観的方向」に依存することを考察した点は、今日の時点でも優れて実証的であった。

知覚恒常性

「ゲシタルト心理学の原理」を著したコフカ(1886-1941)は、対象の奥行距離が変化してもその大きさは恒常を保つとする大きさの恒常性をとりあげ、奥行距離の変化で変わる網膜像に依存しないで対象の本当の大きさを知覚する内的過程の存在を仮定した。これを受け、大きさ、明るさ、形など知覚属性の恒常性をしらべる研究が始まった。

昭和初期に「心理学研究」に発表された大きさ恒常性に関わる研究には、1932 年秋重義治の先天性隻眼者を対象とした研究を初め、室間の照明條件あるいは対象までの観察距離が明るさの恒常度に及ぼす効果、1932 年天野利武と小松鳳三の標準と比較刺激の同時比較と継時比較、1939 年天野利武の標準と比較刺激間の距離、1938 年小笠原 慈瑛と研究が継続された。

とくに小笠原は大きさ恒常性と奥行手がかりの多寡の関係を追究し、大きさ恒常性が奥行距離知覚の程度と密接に関係していることを

つきとめた。この研究は、1941 年、Holway & Boring の”Determinants of apparent visual size with distance variant”に先立つこと 2 年前の仕事であった。

股覗き視と知覚恒常性

宮川(1943)は、心理物理的場は生体と環境との統一的世界であり、内外條件に応じて複雑に力動的に関係するので、知覚の場もこのような心理物理的場の一部なので生体の心理物理的な力動的関係のなかで考える必要があると主張し、股のぞき視という観察者の身体的定位を簡便に操作し、正立視と股のぞき視における大きさと距離の恒常性の違いについて実験した。その結果、股のぞき視における大きさおよび奥行距離の知覚的変化は、網膜面における網膜像の正立・倒立の要因だけで生起するのではなく、視覚セクトル場全体の体制が観察者の身体的変化（宮川は Ego とよぶ）によって変容されるためと結論づけた。

出征し無事に帰還後、宮川知彰(1949)は倒立視（股のぞき視）による観察者の身体的変化が視覚セクトル場全体の体制に影響することをさらに検証するために、倒立視、正立視、および逆転網膜像視間の大きさ恒常性をしらべた。その結果、直立姿勢の正立視の恒常指数と股のぞき姿勢の倒立視のそれとの間には,「正立視の恒常指数」>「倒立視の恒常指数」が成立した。これは倒立視での屈曲という身体的変化によって視知覚の場を体制化させる力が弱まることから、すなわち網膜像の正立・倒立によって起きるのではなく、観察者の身体的姿勢によって視知覚の場の構造が変わることで生起すると推定した。

これらの宮川の研究は、知覚現象をゲシタルトの考え方に沿い、「身体的定位－視知覚」という場の再体制化の枠組で考えることを求めたものであった

大きさ－距離不変仮説

1950 年代、知覚的大きさが網膜像の大きさと一致しないことにどのような要因が関係するのか、また観察距離が遠くなるとそれは解消されるのかが関心をもたれ、対象の物理的距離と対象の物理的大きさに対応して対象の視えの距離ならびに対象の視えの大きさの関係が検討された。

この問題を久米京子(1952)は「大きさ－距離不変仮説」(s=φ・d 、s=視えの大きさ，φ=視角，d=みえの距離)が成立するかという視点から確かめた。その一連の研究から、暗室あるいは半明室なような奥行距離知覚の不明瞭な空間では、不変仮説が成立しないこと、大きさの恒常性に関わる要因は、刺激対象が置かれた空間枠組の形状（暗室か明室か、あるいは短い矩形か長細い矩形か)、および観察者の経験であることを示したが、基本的には視えの大きさは物理的な観察距離に依存して変わること、大きさ恒常性は一定の範囲で成立すること結論した。

一方、池田進（1960）は、刺激の大きさと視え奥行距離の関係を光刺激しか視えない暗室のなかで検討し、実験で得られた視えの距離の変化は、その視角の変化に規定されていることから、かなりな程度に「大きさ－距離不変仮説」を満足することを示した。この研究は、大きさ－距離不変仮説の妥当性を検証すると共に、視えの距離の手がかりとなる視えの大きさの役割について、とくに観察主体の経験や構えについて考察したもので、得られた実験結果はその実験が厳密なことから有用なデータともなった。

Ueno(1962)も、「大きさ-距離不変仮説」の妥当性について移調法(Oyama 1959、transition method)で検証し、両眼視条件では大きさ－距離不変仮説が成立するが、単眼視および還元トンネルの単眼視条件では成立せず、「大きさ－距離不変仮説」のパラドックスが起きていることを示した。

Akishige ら(1963)も、対象の物理的大きさ、その視えの大きさ、対象の物理的奥行距離および視えの奥行距離の関係を通して視空間構造を明らかにし、視えの奥行距離と物理的奥行距離の関係はベキ関数式で表されることを示した。

Makino & Ueno(1964)は、大きさ恒常度における遠近性勾配要因の効果が単眼視より両眼視で大きく、還元スクリーンでもっとも小さくなることを示した。

Noguch(1969)は、大きさ恒常性が刺激対象の観察距離および刺激対象の背景ボードの大きさやテクスチャ密度および遠近性の要因から構成された判断基準系によっていることを示した。

これらの研究は、「大きさ-距離不変仮説」の妥当性、大きさ恒常性に関わる諸要因について検討し、それなりの成果を得たものであった。

Luneburg の視空間モデル

ホロプター(horopter)、大きさ恒常性、月の錯視などユークリッド幾何学では説明できない知覚現象が視空間には存在する。1947 年に Luneberg は両眼視空間が非ユークリッド幾何学的な特徴を持つことを理論的に証明した。この後、この視空間モデルの実証が 3 点 4 点実験、ホロプター実験やアレイ実験など我が国でも盛んに試みられた。

Indow(1962、1963)は、26 人の被験者のガウス曲率 K は求め、前額平行あるいは垂直条件とも、$-1 < K < 0$ の間の値をとり、視空間が双曲空間であることを示した。が、測定を反復するとかなり変動が大きいことも見いだした。また、σ はすべての被験者で $\sigma > 0$ の値が示された。これらのことから、Luneberg の視空間理論は妥当であるとした。

Nishikawa(1967)は、多次元尺度法によって両眼視空間がユークリッド幾何学で近似的に記述できるかを確かめた。暗室空間に 14 個の小光点を 2 次元にランダムに散在して提示し、それらの小光点のすべての間隔距離を任意に設定した 2 つの小光点間の視えの距離を基準

とした比率で被験者に見積もらせた。その結果、小光点間の視えの距離は2次元のユークリッド幾何学の枠組で説明できることが示された。これは物理的空間における刺激間距離と視空間の知覚された距離間に対応関係があることを示唆した。

東山篤規（1976）も 3 点あるいは 4 点実験を用いて Luneburg のモデルに含まれる 2 つのパラメターσ（奥行距離知覚量)、K（両眼視空間の曲率）を推定し、さらに同じ刺激布置を用いてパラメターを推定した場合、測定期日にともなってその推定値に変動がみられるかどうかを検討した。その結果、 規則的な変動はみられず、また得られた K の値から視空間は双曲空間であった。また 4 点実験において刺激布置の大きさを変化させた場合には、刺激布置の大きさにともなって特に Lunerberg のモデルからの導入式　Y＝AX　の A の値が規則的に増大を示し、その予測に反する結果を見いだした。

渡辺利夫（1996）は視覚三角形による視空間の曲率を並行並木法と等距離並木法を組み合わせた方法にかわって視角三角形を提示する方法で推定した。実験で得られた平均的座標値をもとに K とσを推定すると、眼の高さの水平面の場合には、K=－0.9、σ=40、斜面の場合には、K=-0.45、σ=36、そして前額平行面の場合には、K=0.9、σ=6 となった。眼の高さの水平面が最も奥行があり、前額平行面が最も奥行きがない。奥行視の良さを示すσの値も眼の高さの水平面、斜面、前額平行面と奥行を減少させると共に減少し、σの値もこれら３つの平面が奥行感によって異なることを示した。奥行のある水平面と斜面は双曲空間特性を、前額平行面は楕円空間特性を示し、奥行があることが双曲空間特性をもたらすと結論した。

これらの研究は、Lunerberg のモデルの妥当性、すなわち視空間が双曲空間特性をもつことの実証に貢献したものであった。

7.5　三次元的視知覚場

ゲシタルトの知覚理論によれば、網膜から視覚野にいたる視覚セクトルに知覚的な場が形成され、その場の構造が知覚現象を規定するとした。横瀬善正(1956)は、これに依拠してポテンシャル場とベクトル場を提唱し、実証実験を強力に推し進めた。

市川（1957）は、2 次元刺激布置での場を 3 次元刺激布置に当てはめ、図形の周辺にできる3次元場のベクトルの測定を試みた。これは、図形を観察すると視覚セクトル内にその図形によって歪曲された3次元のベクトル場が形成され、その結果として物体や平図形の３次元視が可能になるのではないかという考えに基づいたものであった。実験の結果は、x、y、z 方向の変位量は近傍領域では図形から離れる方向に、それからやや離れると図形に引きよせられる方向に変位することを示した。

さらに市川(1966)は、ポテンシャル場とベクトル場の研究を３次元的な視覚場に当てはめ、図形の近傍では視覚場の３次元的な歪み、すなわち図形の前方の視空間で 3 次元変位効果が起きているかを検証、その結果、近接の視空間領域では比較的大きな図形側に引きつけられる変位効果が、そして遠方の視空間領域ではその効果の減少が、さらに遠方の領域では条件によって反対の効果が出現することを見いだした。

また市川（1967）は対象の前方あるいは後方での 3 次元視空間の光覚閾をしらべ、それは縦平行 2 線分図形の近傍距離内では距離増加につれてゆるやかに漸増し、ある程度離れると急激な上昇がみられること、この急激な上昇のみられる位置は線分間の間隔距離によって異なりその間隔距離が狭まるとその上昇の程度がより著しくなること、図形面に対して前方と後方の奥行距離の閾値の大きさ・上昇傾向はほとんど差がなくかつ図形面を基準として

対称的に変化することなどを見いだした。

市川（1971）は、1 本の垂直線光図形や円形光刺激など前回と異なる刺激布置について、とくに閉合的布置の内側における箇所での光覚閾変化をしらべ、奥行距離の増加に対する閾値の上昇は常に現われるものではなく、刺激布置に依存する現象であること、また、奥行方向に見られる光刺激の閾値への影響は現象的には前額平行面上における現われ方とは明らかに異なる様相を示すことなども明らかにした。

これら一連の市川の研究は横瀬のポテンシャル場とベクトル場の研究を３次元的な視覚場に当てはめたもので、図形の近傍では視覚場の３次元的な歪みが起きていることを示したが、現在では市川の想定した 3 次元視覚場が網膜生理的なものか、あるいは大脳中枢的なものか特定できず、研究としては継続されていない。

7.6　平面図形における奥行視

Ｙ構造とＴ構造

石井(1956)は、平面図形の立体視を可能にする図形要素を分析し、Ｙ構造とＴ構造をつきとめ、Ｙ構造をもつターンは立体的に、Ｔ構造をもつパターンは平面的に知覚されることを明らかにした。

さらに石井（1957)は、平面図形内の角度が立体視とどのように関係するかを分析し、平面図形が立体視されるのは、図形内の 2 辺で作る角を直角に見ようとする知覚傾向のためとし、ひとつの角が固有の空間位あるいは立体位置を持つことも、基本的には直角化の働きに起因すると考えた。

この一連の石井の研究は、Ｙ図形とＴ図形の原理、および図形の角の固有空間位の原理で遠近性の反転図形を含む平面図形の立体視が生じる図形的特徴を洞察して見事に明らかにしたもので、高く評価で

きる。

先天盲開眼者による主観的輪郭図形

Torii & Mochizuki(1994)は、先天盲の開眼者が主観的輪郭図形を識別できるかをしらべ、先天盲開眼者の視野は極端に狭いために、パターン全体を一時に見ることが困難なことから、主観的輪郭図形の知覚が成立しないとした。

7.7　外国雑誌への掲載

奥行知覚の研究は、これまで通覧してきたように、1919 年からさまざまなテーマで実験され、日本心理学会の発行誌に報告されてきた。

1980 年代に入ると、視知覚のみならず記憶、学習など基礎心理学領域の研究者は欧文雑誌への掲載を進め、とくに両眼立体視、奥行視など3次元視知覚領域の論文は下記のジャーナルに掲載されるようになった。

Attenntion, Perception and Psychophysics 2009 (Perception & Psychophysics 1966)

Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance (1976)

Perception (1972)

Perception and Motor Skills (1949)

Vision research (1961)

これは、日本心理学会発行の雑誌より欧文雑誌の方が外国の研究者の目に留まりやすかったからであり、また査読を通過できる水準の高い研究が増えていったことを意味する。

Japanese Research of Psychology も現今、Wiley から出版され、Wiley Online Library で自由に閲覧できる。

第８章 奥行知覚・空間知覚の研究の歩み

8.1 筆者の研究の発端

筆者が知覚心理学における3次元視研究に興味を抱いたのは名古屋大学文学部4年生の頃であった。1967年当時は3次元視とは言わず奥行知覚あるいは空間知覚とよばれていた。所属した研究室は横瀬善正教授、内山道明助教授、伊東三四助手、鈴木正弥助手、大学院博士課程および修士課程の６～７名の院生、そして学部の3年生と4年生10数名から構成されていた。横瀬教授の研究テーマは知覚心理学、とくに視覚場の理論の実験的検証であった。刺激として三角形や矩形などを注視したとき、その周囲に磁力線のような電場が形成されることを実験的に見いだし、これを視覚の誘導場（ポテンシャル場）と名付け、磁界の強さを求めるビオ・サバールの法則を応用した図形の場の強さが予測できる理論式を考案し、その検証実験が盛んになされていた。

事実、暗室内で提示した線分の近傍に小光点を点灯しその輝度を操作して光覚閾値を測定すると、線分から遠くなるにつれて閾値が小さく、また線分のエッジ近辺では閾値の顕著な上昇が測定された。私も4年生から大学院の頃に被験者になって小光点が視えなくなったら合図をするように求められた。暗室内でしかも小さな光点なので消失したかどうか判断が微妙だったことを思い出す。でも、測定された閾値の分布をみると、確かに図形の近傍では閾値は高く、輪郭線から離れるにつれて低くなっていた。つまり、図形の周囲に形成される光覚閾値の等場強線は円ではなく、その図形に固有な形を描くのだった。実際に等場強のパターンを描くと、そのパターンから原刺激図形が浮かび上がった。

当時ようやく文字の機械認識が工学的課題となっていたが、横瀬のポテンシャル場の理論が手書き文字認識に応用できると考えられてもいた。というのも同一文字ならば、たとえ癖のある字体でもそのポ

テンシャル場のパターンは同一となると予測されたからである。

横瀬の視覚の誘導場の研究が盛んだった頃、その生理学的根拠にあげられたのが本川弘一の網膜誘導場の研究だった。本川は被験者の眼に光を照射した後，眼の付近のこめかみに接着した電極により 0.1 msec で電気刺激を与えると、電極間の電位が高くなることを見いだした。これは網膜の光に対する感電反応と呼び、電位の強さで表された。私も被験者を務めたことがあったが、こめかみに貼った電極を通して通電すると、たしかに眼の奥の方でもやもやとした光を感じた。本川は、色々なパターンを提示した際の感電性を求め、等しい感電性の強さからパターン周囲に電磁場のような網膜誘導の場があることを示した。

横瀬理論(1956)は、ケーラーの知覚電流説(1951)を実証しようとしたものであった。知覚電流説では、知覚を神経生理過程での一種の電気現象と仮定し、刺激図形に対応する領域とその周囲の領域に発生する導電力によって電流は図形領域からその周囲にゆきわたり、その流れが場を形成すると提唱していた。

当時はゲシタルト心理学が知覚研究の理論的支柱で、この理論的枠組みの中で錯視、知覚恒常性、知覚対比、仮現運動などの諸現象の解明が試みられていた。これらの知覚現象はいずれも物理的な刺激布置とそれの反映である知覚現象とが一致せず興味あるものであった。たとえば幾何学的錯視では提示した線分の長さ、円の大きさ、平行線分などが物理的な大きさ、長さ、平行性などと大きく異なって視えるものだったし、知覚恒常性では網膜に投影された像の大きさ、形状、色彩、明るさのままには視えず、事物のもつ固有な属性が維持されて視えるものだった。これらの知覚現象は、視覚世界が外界のコピーではなく、視覚システムが外界情報を処理する過程で創発したものであることを示唆していた。知覚における全体場を想定することで、このよ

うな視覚特性の解明をめざしたものがゲシタルト心理学であった。

ゲシタルト理論

「心理諸現象はゲシタルトである」というのがゲシタルト心理学の主張であった。ゲシタルトとは心理現象の基本的な状態をさすもので、それは、同時に、心理過程を担う生理過程でのもっとも重要な生来的な特性でもある（心理物理同型論）とみなされた。心理過程は時空的な「場」と考えられるゲシタルトを形成し、そこでは心理現象は与えられた刺激条件の許す限り、全体性、恒常性、簡潔性をもっていると定めた。

全体性は、部分と全体との有り方を意味し、部分は全体のなかでのみ一定の機能を有することを、恒常性はあるまとまりを構成する要素の一部が分化または全部が移調しても、そのまとまりを維持することを、簡潔性は、与えられた条件の許す限り全体として良いまとまりに向かう傾向（プレグナンツの原理）のことを言った。

ゲシタルト心理学では、このように、心理過程を全体性、恒常性、簡潔性をもつゲシタルトであるとし、主に知覚研究を盛んに行い、その理論のための証拠を集めるとともに、これまでの知覚理論の洗い直しが試みられた。その結果、ゲシタルト心理学では、感覚受容器への局所的興奮という諸感覚の寄せ集めから3次元の世界が成立することを否定し、３次元視も中枢過程でのゲシタルト、すなわち、３次元という良きまとまりへと向かう力動的な体制化の力によって成立すると考えた。

今日、ゲシタルト心理学の主張は次のような点で批判されている。第１に、ゲシタルト心理学の中核であるゲシタルト概念が、心理現象を説明するための実証的モデルなのか、それとも現象を理解するための方法論的概念なのかという問題である。ゲシタルト心理学では、前記したように、心理現象はすべてゲシタルトであるとし、ゲシタルト

のもつ特性として全体性、恒常性、簡潔性の諸原理を強調するが、中枢での諸現象のメカニズムを説明する実証的モデル（機能概念）としては、このゲシタルト概念はあまりにも具体性に欠けていた。

Kohler (1940)は、この点を痛感し、心理物理同型論(psychophysical isomorphism) を展開して図形残効を説明するための知覚電流仮説を提唱したが、このモデルは今日の大脳生理学の見地からみるとその類推は妥当なものとは言えなかった。

第２に、心理過程と生理過程との対応の問題があった。Kohler は心理過程と生理過程は同型であるとする心理物理同型論を提唱し、生理過程を担う中枢組織もまたゲシタルトであると予想した。しかしながら、視知覚の神経生理学が網膜や中枢部分への微小電極法によって進展し、視覚情報が網膜―外側膝状体―視覚領の一連の過程で、時系列的に処理されていることが Hubel & Wiesel(1962)らによって具体的に明らかにされるにしたがい、神経生理過程を漠然とした全体として捉え、そこでみられる生理的平衡状態から生来的な体制化の力を前提とするゲシタルトの考え方は否定されざるを得なくなった。

第３に、人間行動の中に知覚をどのように位置づけるかの問題がある。ゲシタルト心理学では、知覚はそれ自体、完結した存在である意識の一部とみなされた。これは、ゲシタルト心理学が意識心理学、すなわち感覚、知覚を源泉とする直接経験を分析の対象としたことに対する批判として誕生した経緯から考えても自然な成行きであった。そこでは、環境に対して移動、操作、学習など適応行動の一環としての視点が欠落していたため、自然な状態から遊離した人為的な刺激条件を設定しがちであった。このことは、一方では図地反転や図形残効のような独創的な知覚現象の発見をもたらしたが、他方では３次元知覚研究にみられるように、知覚と行動との連関を断ち切り、行動のフィードバックによって生起する刺激側の力動的変化をほとんど考慮し

なかった。

8.2　3次元視の生得性、視覚的断崖と陥穴、視覚性恐怖

ゲシタルト心理学という思考的枠組みの中で知覚研究が行われていた頃、Gibson,J.(1960)らは、知覚を環境に対する能動的な行動の一環として位置づけ、実験室ではない自然環境で知覚を研究することを主張していた。そして視覚的断崖法を開発し離巣性の動物を対象に3次元視の生得性を実証したのであった。

この研究を契機として当時の名古屋大学教養部に在籍していた辻敬一郎講師、原政敏大学院院生そして教養部で助手をしていた筆者とで、視覚的断崖法の追試実験を開始した。というのも、開眼直後の動物が視覚的な断崖を回避するという結果に半信半疑だったからだ。被験体が落差を見分けて回避したのかについての疑問をもった。というのも視覚的断崖の領域が被験体を支える面と明るさ、テクスチャなどとは異なるからではないかとも考えられた。

そこで、断崖ではなく所々に穴があいた実験事態（視覚的陥穴）を考案し、孵化後数時間で開眼し自立移動能力をもつニワトリのヒナを用いて実験した。実験では被験体であるヒナが出生後はじめて眼にする事態がこの視覚的陥穴であった。陥穴上にも透明板が渡してあるので被験体が陥穴に侵入しても落ちない。それにも関わらず、被験体は陥穴を回避することを示した。しかも、陥穴領域の刺激条件を暗黒、白色パターン、市松模様、さらには落差を設けずにその部分を白色、市松模様などで埋めた新奇な条件で回避行動をみたところ、底面、側面に市松模様など運動視差を検出できる刺激を配した条件でのみ陥穴回避が生じた。この結果はGibson J.の研究を支持した。

この実験で思い出すのは、被験体であるヒナが単独ではなかなか動いてくれないことだった。これは無理もないことで、ヒナにとっては新奇な事態からくる恐怖のためにすくんでしまったためであった。そ

こで 3 個体を離して視覚的陥穴事態に置き、互いが寄り添おうとする習性を利用してテストしたところ、ヒナたちは視かけの落とし穴を避けて動き回り、実験を成功裏に終えることができた。

次に、我々は視覚的陥穴の回避行動に随伴するものが視覚性恐怖なのかあるいは定位反射なのかを問題にした。そこで、ニワトリのヒナに加えてチンパンジーの幼体を被験体とし、陥穴回避時の心拍数をモニターすることでこの問題を明らかにしようと試みた。その結果、心拍数ははじめに定位反応に特有な反応を示し、続いて恐怖反応に特有な変化を示した。定位反応は「おやなんだ反応」ともいわれるので、被験体は見かけの落差を視て最初にこれは何だと知覚し、さらにそれが落差だとわかり恐怖を喚起したと考えられた。このときに被験体となったチンパンジーは京大霊長類研究所の「アイ」であった。後に、この「アイ」は松沢哲郎教授による図形文字の学習や数字などの知能テストあるいは記憶テストで驚くべき能力を示したことで有名となった。

視覚的陥穴事態の実験ではさらに、もし陥穴回避が視覚的恐怖に動機づけられているものならば、これを利用すれば何らかの条件付け学習が可能になるのではと筆者は考えた。そこで、視覚的陥穴を配置した Y 字型の迷路を考案し、その選択肢の一方に視覚的陥穴を配置し、迷路学習が可能かどうかを検討した。その結果、被験体であるニワトリのヒナは視覚的陥穴を配置した側を回避することを学習した。視覚的陥穴に喚起された視覚性恐怖は学習の動機づけになる力を持っていた。

これらの研究は、私が名古屋大学教養部で助手をしていた 1971 年から 1979 年にかけて行われ、3 次元視の生得性、その手がかりおよび視覚性恐怖の問題を明らかにしようと取り組んだものであった。

8.3　運動視差

筆者は、ニワトリのヒナを対象にした視覚的陥穴法による陥穴回避のための奥行手がかりの同定、回避を動機づける視覚性恐怖の検出、そして視覚性恐怖を動機にした視覚性迷路学習まで一連の研究を実施してきた。

ちょうど研究が一段落した 1979 年の春に、静岡大学教養部へと転任した。この頃からパーソナルコンンピュータ (PC)の処理能力が増大し、価格も少しずつ安価になった。NEC が PC8001 を 1979 に、PC9801 を 1982 年に発売した。とくに、PC9801 は CPU に 8086 を採用、128KB という広大なメインメモリを標準で搭載した 16 ビット PC だった。こうして、9800 シリーズが次々と発売され、1984 年には GUI インターフェースによるマッキントッシュ PC も世に出た。OS も Windows95 が 1995 年に発売され、PC の時代が本格的に幕を開けた。コンピュータ言語は BASIC によった。筆者も 9801VM を購入し、運動視差を制御し、CRT に提示する装置を開発し、次に紹介する研究を開始した。

観察者の運動と網膜の光学的配列

観察者が静止した状態から運動した状態へと変わると、網膜の光学的配列にダイナミックな変化が生まれる。観察者の運動は、頭部が動く場合、四肢が動く場合、身体が移動する場合の３通りに分類され、それぞれ、固有の光学的情報を担う(Gibson,J.1979)。

観察者の運動中、頭部の運動や移動は、頭部自体が自己定位の絶対的基準となるため、光学的流動の基本となる。観察者が積極的に頭部や身体を動かすことによって作り出す奥行手がかりは、運動視差と呼ばれる。これは、観察者の運動によって生起する網膜での対象の角速度差で、観察者の自己生産的運動のフィードバックに基づいて作り出される奥行手がかりとなる。

運動視差の公式

運動視差（MP）は、２つの対象間の奥行距離（ｄ)、観察者の頭部運動距離（M）と対象までの絶対的奥行距離（Ｄ）の３要素から次のように規定される。

$$MP = \theta n - \theta f = dM / D(d+D) \fallingdotseq dM/D^2$$

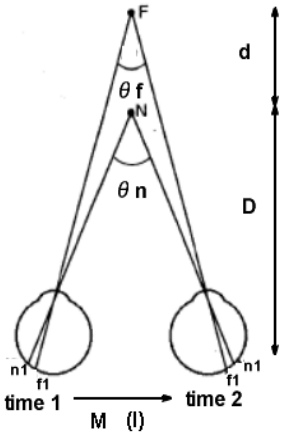

図 8.1　運動視差

つまり、運動視差量は、ｄとＶに比例し、Ｄの２乗に反比例する。

図 8.1 は頭部運動距離 M を両眼間距離(I)と読み替えれば両眼視差(BD)にも当てはまる。すなわち、

$$BD = Id / D(d+D) \fallingdotseq Id / D^2$$

このように、頭部運動距離が両眼間距離に等しい場合、運動視差（MP)は両眼視差（BD）と等しくなる。このことから後述するように、運動視差は両眼視差と同様なしくみにもとづくと考えられる。

運動視差のしくみを考えるとき重要なもう一つの要因は、網膜上での刺激の運動方向である。観察者の凝視点の位置によって５つの事態（図 8.2）が区別される。

(1)凝視点を２つの奥行を異にする対象（近対象と遠対象）の手前に置いた場合。２つの対象の網膜像の運動方向は観察者の頭部運動方向と同一となる。近対象の網膜像速度は遠対象のそれよりも大きい。(2)凝視点を２つの対象の向こう側に置いた場合。２つの対象の網膜像の運動方向は観察者の頭部運動と反対となる。近対象の網膜像速度は遠対象のそれよりも大きい。(3)凝視点を２つの対象の間に置いた場合。近対象の網膜像の運動方向は観察者の頭部運動と反対方向に、遠対象

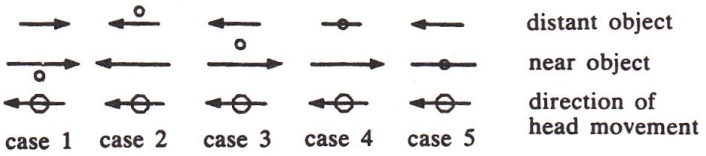

図 8.2 運動視差における頭部運動、注視点と網膜での対象の運動方向と速度 (Hayashibe, 1991)

のそれは同一方向となる。近対象の網膜像速度は遠対象のそれよりも大きい。(4)凝視点を遠対象の上に置いた場合。近対象の網膜像の運動方向は頭部運動のそれと反対方向となるが、遠対象は網膜の中心に常に投影されるので頭部運動にともなっては運動しない。近対象の網膜像速度は遠対象より大きい。(5)凝視点を近対象の上に置いた場合。遠対象の網膜像の運動方向は頭部運動のそれと同一方向となり、またその網膜像速度は近対象より大きい。

運動視差の成立要因には、このように、対象の網膜像の速度と方向がある。網膜像の運動速度は相対的奥行量を規定し、運動方向は対象と凝視点との奥行関係を規定する。

運動視差のシミュレーション

1970 年代の運動視差についての研究では運動視差とそれによって誘導された視かけの奥行との関係を直接に操作することが困難であったため、奥行や落差のある対象を運動視差が単独の手がかりとなるように絞りこんだ条件で観察させ、奥行弁別の可否をしらべることによって運動視差の奥行手がかりとしての有効性を試してきた。この方法では、運動視差の生得性、反応特性や弁別精度は明らかにすることはできるが、しかし運動にもとづく網膜上の相対的速度差が奥行や立体に変換されるしくみについての分析を進めることは難しかった。

速度（V）を観察者と対象間の相対的なものと解し、対象自体の運動の操作を通して運動視差が誘導されてきたが、運動視差が３次元の世界を再現させる否かを明らかにするためには、頭部運動に連動した運動視差を２次元面上に提示する方が望ましい。これまでは、対象の運動を頭部の動きに連動させることが技術的に困難だったために、半透明スクリーンの背後で対象を運動させ、その投映像がもたらす運動速度差から運動視差を誘導する方法がとられた(Gibson,J. & Carel 1952、 Gibson,E. et al 1959)。しかしながら、この方法によるシミュレーション事態では、奥行差や奥行傾斜面が２次元面上に明確には出現しないこと、また、例え、視えの奥行が出現しても投影像そのものが陰影、大きさ、肌理などの経験的要因を含み、視かけの奥行出現が運動視差にのみよるか否かが断定できない、などの点に問題が残った。

これらは、PC を用い CRT 上に打ち出したランダム・ドット・パターンを観察者の頭部運動と連動させる技法（運動視差シミュレション技法)を開発することによって解決された(Rogers & Graham 1979、1982)。この技法では、凹凸のある３次元面を観察した時の網膜流動パターンを２次元面上に完全にシミュレートすることができる。単眼視観察の結果、観察者がその頭部を静止した状態では、CRT 上のパターンは、不規則な点からなる平面にしか視えないのに、観察者が頭部を動かすと、そこに３次元的な波形パターンが出現する。

運動視差が観察者自身の運動によって誘導されるのではなく、対象の自動的な運動による場合にも３次元面が出現するか否かについて、同様に、Rogers らによって検討された。ここでは、ランダム・ドット・パターンの運動は、観察者の頭部運動の代わりに、観察者の視線を横切るように左右に移動するオシロスコープの動きと連動させられた。単眼視観察の結果、頭部運動連動時と同様、明瞭な３次元印象が２次

元画面上に生起した。

周知のように、Julesz(1964)は、RDS を用いることによって、経験的要因を一切除去し、両眼視差立体視研究を大いに進展させたが、これと同様に、Rogers らの研究も運動視差を経験的要因から完全に分離することに成功し、運動視差を単独で独立に操作しうる道を開いた点で画期的といえよう。

網膜像の運動速度と奥行出現方向

運動視差では、奥行出現の方向は凝視点が近対象にある場合を除いて、すべて網膜像の運動速度が大きいものの方が観察者に近く出現して視える。この場合、網膜像の運動速度は、刺激のもつ物理的速度と観察者の頭部運動速度の合成で規定される。刺激の運動方向と観察者の運動方向が反対の場合には、刺激のもつ物理的速度の大きい方が前方に出現して視えるが、刺激と頭部運動方向が同方向の場合には、両速度が相殺される結果、物理的速度が速い方が網膜上では遅くなり、視かけ上、後方に出現すると予測される。

そこで、筆者（Hayashibe 1992）は、奥行出現の方向が刺激速度と頭部運動速度の合成で規定されることを、運動視差シミュレーション技法を用いて確かめた。ランダム・ドット・パターンから構成され、５つに等分に分割された水平な帯のうち(図 8.3)、上、下、中央の帯とそれ以外の帯の速度と方向は独立に動く。運動対象を、観察者が頭部を左

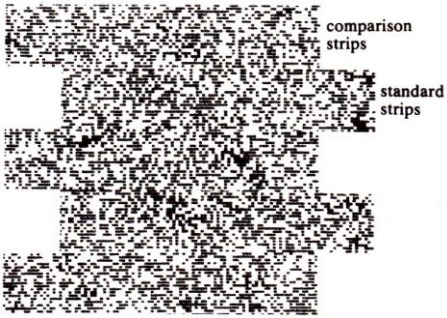

図 8.3　運動視差のシミュレーションパターン
(Hayashibe,K.1992)

右に振って観察、あるいは頭部を左右に傾けて観察、または頭部を前後に傾けて観察、さらに眼球を左右に動かして観察させると、基準ときめた刺激帯の奥行出現の方向が、頭部運動に伴って、とくに左右に頭部を傾けたり、振ったりしたときに顕著に反転することが示された。左右に頭部を傾ける条件では、観察者が振子のように首を左または右に傾けるたびに標準刺激帯の奥行は反転して視えた。

なぜこの種の奥行反転が生じるのであろうか。運動視差のしくみでは、前述したように、網膜上での速度が奥行出現の方向を規定すると考えられる。ディスプレー上のパターンと観察者の頭部運動方向が同方向な場合には、網膜上での対象の速度は互いに相殺される。一方、パターンと頭部運動が反対方向の場合には、網膜速度は加速される。実験では、基準となる刺激帯とそれ以外の刺激帯は常に決められた方向に運動しているので、観察者が左または右に頭部を傾ける毎に網膜速度が相殺あるいは加速される。頭部の傾けによる奥行出現の方向は、頭部と対象の運動方向にもとづいて合成された網膜速度によって規定されることがわかる。

この結果は、ディスプレー上でパターン方向を変えた場合にも確認された。これまでは、基準となる刺激帯の運動方向は、観察者に対して常に左方向であったが、これを右方向に変えた場合にも、視かけの奥行出現方向は合成網膜速度によって規定されていた。

では、ディスプレー上のパターンを観察者の頭部運動と連動させた場合にも、視かけの奥行出現方向は網膜上での合成角速度で規定されるであろうか。観察は、観察者のあごをチンレストに載せ、それを左右に一定の速度で振りながら行われた。刺激パターンは、チンレストに連動して動く。５つの帯に分割されたパターンの中、基準となる刺激帯は、チンレストが右に動けば右に、左に反転すれば左に動く。基準となる刺激帯とそれ以外の刺激帯との間の運動速度比や運動方向

は変えられた。このような条件では、１条件（標準刺激帯と比較刺激帯の運動方向が反対条件の場合）を除いて、標準刺激帯と比較刺激帯の物理的速度比と網膜上での合成速度比は逆転を示し、物理的に速い帯の方が網膜上では遅くなると予測される。観察の結果、予測通り、当該条件を除いて他のすべての条件で、物理的に速い帯の方が奥行的に後退して視えた。

運動視差にもとづく奥行の出現方向は、観察者と対象の運動速度と方向によって合成された網膜速度によって規定されていた。

観察者の運動要因の効果

網膜上に速度差を生じさせるには、対象と観察者との間に相対的な運動関係があればよい。この種の相対的運動関係は、(1)静止した対象を観察者が運動しながら観察、(2)静止した観察者が速度の異なる運動対象を観察、(3)対象を提示している CRT が、あたかも観察者が運動しながら観察したときに観察者と対象との間に生起する相対的運動事態と同じように、移動し、同時に CRT 内の対象が CRT の動きと連動して運動するのを、静止した観察者が観察、の３通りである。

運動視差が効果的に奥行情報を担うのは、観察者の運動または少なくとも観察者が運動したのと同じように対象を提示するCRTとその内部にある対象が運動する必要がある。これを受けて、運動視差が観察者の運動と連動している必要があるか否か、言い換えれば、観察者の非視覚的手がかりが何らかの効果をもつかについて検討された(Braunstein & Tittle 1988)。運動視差は、あるウィンドー内にドットを提示し、ウインドーとドットを各々独立に運動させ、観察者は静止したまま、それを観察する方法で誘導された。ドッドの速度は、ウィンドーの上端もしくは下端から中央に向かって徐々に増大あるいは減少させる。これを観察すると、奥行方向に突出あるいは凹んだくさび形が視える。ドットとウィンドーの速度は各々独立に変化させる

が、この時、対応的、多義的、抗争的の３条件を設ける。対応的条件ではウィンドーの運動方向はドットの運動方向と反対となるように、多義的条件では最低と最高速度が等しくかつ運動方向が逆になるように、抗争的条件ではウインドーの運動方向とドットの運動方向とが同方向になるように、各々独立に操作された。また、観察者から視たときのドットの速度の最小と最大比は、常に 1:1.12 あるいは 1:3.0 となるように操作する。この他に、対照条件として、ウィンドーを静止させたまま、ドットを運動させ、静止した観察者が観察する条件も加える。

実験の結果、視かけの奥行の方向は観察者からみたときの速度比によって規定されること、また、この速度差がウィンドーの運動と関連するか否かに関わらず奥行出現について同一の効果をもつこと、しかし、速度比が大きくなると視かけの奥行出現の程度は大きくなるのに対して奥行方向の判断の正確さは減少することなどが明らかにされた。

運動視差は観察者と対象との間に連動した運動がなくても十分効果的であるとの結果に対して、この種の効果が得られるのは、サイン波パターンのように運動速度が連続的に変化する条件のみで、矩形波にみられるように階段的に変化する運動速度差条件で対象の運動が観察者の頭部運動と連動しない場合には、安定した奥行が得られないことも指摘されていた（Brooks et a. 1988)。

そこで、筆者(Hayashibe 1991)は、観察者の頭部運動の効果を確かめるために矩形波パターンを用い、対象の運動が観察者の頭部運動と連動して変化する条件（観察者運動条件)、対象が速度差をもって自動的に運動する条件（観察者静止条件）で、奥行出現の安定度をしらべた。刺激である矩形波パターンは、水平に等分に分割された５つの帯でつくられ、標準刺激帯と比較刺激帯との間には速度差が設けられ、

また両刺激間の運動方向も「同一」と「反対」条件が設けられている。観察者の頭部運動と標準刺激帯とは、常に反対方向に運動する。観察では、奥行出現方向の交替（奥行反転）現象が起きるか否かがしらべられた。その結果、奥行反転現象は、観察者静止条件と運動条件の両方で生起するが、観察者静止条件の方が有意に多いことが示された。

観察者運動条件と静止条件との相違は、静止条件の網膜角速度が対象速度で規定されるのに対して、運動条件でのそれは頭部と対象の両運動との合成速度となることである。この相違は、しかしながら、網膜速度の不安定をもたらす原因とはならない。両条件とも一義的に網膜速度は規定されているはずである。観察中、注目されたことは、奥行反転と凝視点の移動とが関係することである。観察者には、凝視した刺激帯は、心理的に遅くなるように感じられる。事実、運動するランダム・ドット・パターンを凝視すると、その途端に、いままで流れていて不明瞭にしか知覚できなかったドットが知覚できるようになる。もし、注視によって速度が心理的に遅くされるならば、奥行出現方向の逆転が生起すると考えられる。観察中に意図的に凝視点を変えると、奥行反転現象は観察者静止条件では、ほぼ完全に、運動条件でも大幅に増大することが確認された。

運動視差のしくみでは、奥行出現の方向は網膜角速度で規定されるが、注視が心理的に対象速度を遅らせ、結果として奥行出現の方向に影響を与えている。

このように、運動視差シミュレーション技法を用いた筆者の運動視差のしくみについての研究は、観察者の頭部運動によって合成された網膜角速度が視かけの奥行方向を安定的に規定することを明らかにした。

参考文献

秋重義治　1936　知覚的空間の構造に關する実験的研究　Ⅶ。 標準刺激の提示位置（遠近）が大いさの恒常度に及ぼす効果についての実験的研究　心理学研究 第 11 巻　515-530。

秋重義治　1936　知覚的空間の構造に關する実験的研究　Ⅷ。 標準刺激が提示される室間の照明條件が明るさの恒常度に及ぼす効果についての実験的研究　心理学研究 第 11 巻　531-541。

天野 利武　小松 鳳三　1932　空間的大いさの比較に就いて　心理学研究、7、735-754。

1979, Vol. 50, No. 5, 256-264

鬢櫛一夫　1979　立体視にわける奥行の消失と反転　心理学研究、50、256-264。

鬢櫛一夫　1980　ランダム・ステレオグラムにおける局所的対応と全体的立体視　心理学研究、51、250-258。

鬢櫛一夫　1983　線画ステレオグラムにおける両眼立体視の消失　心理学研究、54、314-320。

藤岡 巖　1923　兩眼視的光輝に就いて　日本心理学雑誌　Vol. T1 No. 2　62-79。

東山篤規　1976　3, 4 点実験と両眼視空間に論ける等質性の検討　心理学研究　第 47 巻　149-157。

東山篤規　1982　子どもの空間判断における親しみのある大きさの手がかり効果　心理学研究　第 53 巻　259-265。

市川　典義　1956　三次元的視知覚に於ける形の場のベクトルの測定　心理学研究　第 27 巻　153-156。

市川典義　1966　三次元における図形効果に関する研究図形の前方視空間における変位効果　心理学研究　第 37 巻、268-277。

市川典義　1967　光覚閾法による三次元における図形効果の測定-平行

線分の刺激:図形の前方後方視空間について-　心理学研究　第 38 巻 274-283
市川典義　1971　光覚閾法による三次元における図形効果の測定 Ⅱ-線および円の光刺激図形の前方視空間について-　心理学研究　第 42 巻 115-127。
池田進(1960)　暗黒中での見えの距離の問題刺激の大きさと見えの距離の関係について　心理学研究、第 30 巻、339-349。
石井教(1956)　平面図形の立体視に関する研究（Ⅰ）-Y 構造及び T 構造-　心理学研究第 27 巻　29-35。
石井教(1957)　平面図形の立体視に関する研究（Ⅱ）-面図形の立体視に関する研究Ⅱ-角の個有空間位と立体感の累加-　心理学研究第 27 巻 428-439。
入谷智定　1941　遠近の視知覚と両眼の視差並に相應點との關係　（Ⅰ）遠近視知覚説の一概觀　心理学研究 16 巻　270-292。
神保皆生　1942　方向による大きさの恒常現象の差異　心理学研究 17 巻　424-442。
柿崎 祐一　1949　視野闘争に及ぼす先行条件の効果（I）心理学研究 20、2 号、24-32。
柿崎 祐一　1949　視野闘争に及ぼす先行条件の効果（Ⅱ）心理学研究 20、4 号、11-17。
久米京子(1952)　みえの大きさと観察距離との関係並びに大きさの恒常を規定する要因について（Ⅰ）　心理学研究第 22 巻、235-244。
久米京子(1952)　みえの大きさと観察距離との関係並びに大きさの恒常を規定する要因について（Ⅱ）　心理学研究第 23 巻、32-43。
黒田 源次　1919　兩眼視野の優越，闘爭及び融合現象を規定する外部條件に就いて　日本心理学雑誌　Vol. K1、No. 1 47-74。
黒田 源次　兩眼視混合に關する實驗的測定（第一報告）　日本心理学雑

誌　Vol. K3 (1923) No. 3-4　155-167。
黒田 源次　1920　色彩視野闘争の時間的測定（第二報告）　日本心理学雑誌　Vol. K2　No. 1　56-75。
黒田 源次　1921　前行の視野融合の後行の視野闘争に及ぼす影響　日本心理学雑誌　Vol. K2 No. 3　216-259。
中溝幸夫　近藤倫明　1985　追視眼球運動下でのPulfrich奥行効果　心理学研究　第56巻　75-782。
中溝幸夫　近藤倫明　1986　融合性バーゼンスのヒステリシスと両眼の感覚運動的結合　心理学研究　第57巻　220-227。
中溝幸夫　近藤倫明　1988ダブルネイル錯視-ウォールペーパー現象との共通性-　心理学研究　第59巻　91-98。
西川泰夫　1969　両眼視空間と物理的空間との対応関ーmapping functionについてー　心理学研究　第40巻　24-36。
小笠原慈瑛 1952 同心円の偏位効果について 心理学研究、22、224-234。
小川再治　1953　鷄の空間學習と大きさ恒常性　心理学研究24巻　239-244。
小笠原 慈瑛　1938　恒常現象の研究(I)　心理学研究　第 13巻　29ー44。
小笠原慈瑛 1965刺激の密度勾配と奥行知覚　東京大学　心理学研究　第35巻　252-256。
佐藤千鶴(1960)　知覚空間における方位　心理学研究31巻　153-160。
白石茂　1977　視野闘争にみられる反対側抑制野の空間的特性　心理学研究48巻　132-140。
多屋頼典　1974　大きさ判断・lightness判断に及ぼす奥行き要因の効果　心理学研究　第45巻　57-67。
多屋頼典　1978　同心円錯視と対象性Ⅱ　心理学研究　第49巻　1-7。
高木貫一1937　物の遠近の定位に關する一実験装置　心理学研究　第12

巻、505－510。
多田治夫　1956　奥行知覚に於ける遠方距離の過大視　心理学研究第27巻、204-208。
松本亦太郎　1935　「心理学研究」の回顧　心理学研究　第10巻695-700。
宮川知彰　1943　倒立視に關する實驗的研究-所謂またのぞきの問題-心理学研究18巻　289-309。
宮川知彰　1949　倒立視に關する實驗的研究(Ⅱ) 心理学研究20巻14-23。
盛永 四郎, 小笠原 慈瑛　1947「脳損傷に基く異常視覚の研究」心理学研究19巻　184-190。
下野孝一　近藤倫明　渋田幸一　中溝幸夫　1982　両眼網膜視差にもとづく奥行弁別判断と輻輳反応　　心理学研究53巻　136-143。
山上暁　1978　Ponzo錯視における2種のみえり大きさ変化　心理学研究49巻　273-279。
横瀬善正 1956 視覚の心理学 現代心理学体系 14　共立出版
與那嶺松助　1943　兩眼による奥行知覚と類型　心理学研究18巻373-388。
渡辺利夫　1996　視覚三角形による視空間の曲率の推定　心理学研究67、278-284
Akishige,Y. & Kuroda,T.1963 Experimental researches on the structure of the perceptual space- XXXI. Methdological and Experimental studies on size constany. Japanese Psychological Research Vol.5, 188-202.
Anstis, S. M., &Ramachandran, V. S. 1985 Kinetic occlusion by apparent movement. Perception, 14, 145-149.
Bagby, J. W. 1957 A cross-cultural study of perceptual dominance in

binocular rivalry. Journal of Abnormal and Social Psychology, 54, 331-334.

Bakemore, C.,& Tobin, E. A. 1972 Lateral inhibition between orientation detectors in the cat's visual cortex. Experimental Brain Research, 15, 439-440.

Brascamp, J.W.& Klink, P.C. 2015 The 'laws' of binocular rivalry: 50 years of Levelt's propositions. Vision Research, 109, 20-37.

Davis,J. M. 1959 Personality, perceptual defence and stereoscopic perception. Journal of Abnormal and Social Psychology, 58, 398-402.

Fujita,K.1996 Cognition and behavior of nonhuman primates Linear perspective and the Ponzo illusion: a comparison between rhesus monkeys and humans. Japanese Psychological Research,38,136-145.

Gibson J. J. 1950 The Perception of the Visual World. Boston U.S.A.

Gibson,E. & Walk, R.D. 1960 The visual cliff. Scientific American, 202(4) 64-71.

Gilinsky, A. S. 1951 Perceived size and distance in visual space. Psychological Review, 58, 460-482.

Goryo,K. 1969 The effect of past experience upon the binocular rivalry. Japanese Psychological Research, 11, 46-53.

Goryo,K. & Kikuchi,T. 1971 Disparity and training instereopsis. Japanese Psychological Research, 13, 148-152.

Gregory, R. L. (1963). Distortion of visual space as inappropriate constancy scaling. Nature, 199,678-680.

Hastorf, H.& Myrd.C. 1959 The effect of meaning on binocular rivalry. American Journal of Psychology, 72, 393-400.

Hayashibe,K.,Tsuji,K. & Hara,M. 1975 Chick's avoidance of visual

pitfalls under monocularized condition. Japanese Psychological Research, 17, 87-90.

Helmholtz, H. von 1962 Helmholtz's treatise on physiological optics. Vol. 3. (Trs. & ed, by J. P. C. Southall) translated from the third German edition. New York: The Optical Society of America.

Higashiyama, A. 1976 Size constancy and the intrinsic geometry of binocular visual space. Japanese Psychological Research, 18, 136-141.

Holway, A. H. & Boring, E. G. 1941 Determinants of apparent visual size with distance variant. The American Journal of Psychology, Vol. 54, 21-37.

Ichikawa, S. & Goryo, K. 1978 The effects of relative orientaiton of surround grating on binocular rivalry and apparent brightness. Japanese Psycholoercal Ressarch, 20, 159-166.

Indow, T., Inoue, E. & Matsushima, K. 1962 An experimantal study of the Luneberg theory of binocular space perception: The 3 and 4 points experiments. Japanese Psychological Research, 4, 6-16.

Indow, T., Inoue, E. & Matsushima, K. 1963 An experimantal study of the Luneberg theory of binocular space perception(3): The experiments in a spacious field. Psychological Research, 5, 10-27.

Ittelson, W. H. 1954 Size-distance invariance hypothesis. Psychological Review, 61, 223-231.

Julesz, B. 1964 Binocular depth perception without familiarity cues. Science, 145, 356-362.

Kakizaki, S. 1960 Binocular rivalry and stimulus intensity. Japanese Psychological Research, 2, 94-105.

Katori, H. & Suzukawa, K. 1963 The estimation of apparent size and

depth in stereoscopic vision Japanese Psychological Research,5, 72-85

Kawachi,J. 1965 Effect of previous perceptual experience of specific three-dimensional objects on later visual discrimination behavoiur in rats. Japanese Psychological Research,7,20-27.

Kopfermann, H.1930 Psychologische Untersuchungen uber, die Wirkung zweidimensionaler Darstellungen korperlicher Gebilde. Psych. Forsch. 13, 293-364.

Kohler, W. 1940 Dynamics in Psychology. New York: Liveright.

Kondo,M. & Nakamizo,S. 1982 Effects of eye movements on the apparent depth of moving targets. Japanese Psychological Research, 24, 21-28.

Krol, J. D., & Grind, W. A. van de 1980 The double-nail illusion: Experiments on binocular vision with nails, needles, and pins. Perception, 9, 651-669.

Luneburg, R. K. 1947 Mathematical analysis of binocular vision. Princeton Univ. Press.

Luneburg, R. K. 1948 Metric methods in binocular visual perception. Courant Anniversary Volume. 215-240.

Luneburg, R. K. 1950 The metric of binocular visual space. J. opt. Soc. Amer., 40, 637642.

Makino,T. & Ueno,T. 1963 Methdological studies of size constancy(1):Size constancy measured by two experimental methods. Japanese Psychological Research, 5, 91-102.

Makino,T. & Ueno,T. 1964 Methdological studies of size constancy(2): Gradient of visual field as a determinant of size constancy. Japanese Psychological Research 6, 136-144.

Miyahara,S. & Akita,M. 1995 Effect of sensory gradient on three dimensional percept. Japanese Psyrhological Research,37, 134-138.

Ito,H. & Matsunaga,K. 1990 The correlation between velocity and perceived depth in motion. Japanese Psychological Research, 32, 107-116.

Matsushima,K. & Noguchi,H. 1967 Multidimansional representation of binocular visual space. Japanese Psychological Research,9, 85-94.

Mitchell, D. E. 1970 Properties of stimuli eliciting vergence eye movements and stereopsis. Vision Research, 14, 145-162.

Nakamizo,S. & Chen,L. 2000 The Pulfrich effect and depth constancy. Japanese Psychological Research, 42, 251-256.

Nakamizo,S. & Kondo,M. 1995 Depth perception of stereokinetic cone and absolute distance information. Japanes Pesychological Research, 1995, 37, 139-145.

Nakamizo,S.,Shibuta,K. & Noguchi,M. 1982 Magnitudes of disparity vergence responses at different convergence levels. Japanese Psychologual Reseorch, 24,181-187.

Nishikawa,Y. 1967 Euclidean interpretation of binocular visual space. Japanese Psychological Research, 9, 191-198.

Noguchi,K. 1969 Effects of the size and texture of background upon size constancy. 11, 198-207.

Nozawa,S. 1995 Formation of illusory 3-D surface by eccentric rotation of dot pattern. Japanese Psychological Research, 37, 178-182.

Ohmura,H.,Yamashita,Y. & Saigo,K. 1992 The influence of depth-cues on paths of apparent motion. Japanese Psychological Research, 34,

30-34.

Ono, H. 1979 Axiomatic summary and deductions from Hering's principles of visual direction. Perception and Psychophysics, 25, 473-477.

Ono, H. 1981 On Wells's (1972) law of visual direction. Perception and Psychophysics, 30, 403 406.

Ono, M., Rivest, J. & Ono, H. 1986 Depth perception as a function of motion parallax and absolute distance information. Journal of Experimental Psychology :Human Perception and Performance,12, 331-337.

Oyama, T. 1959 A new psychophysical method：Method of transposition or equal-appearing relations. Psycholgical Bulltin, 56, 74-79.

Oyama,T. & Sato,F. 1967 Perceived size-ratio in stereoscopic vision as a function of convergence, binocular disparity and luminabce. Japanese Psychological Research, 9, 1-13.

Pettigrew,F,, Allport,W.& Barnett,E. C. 1958 Binocular resolution and perception of race in South Africa. British Journal of Psychology, 49, 265-278.

Richards, W. 1970 Stereopsis and stereoblindness. Experimental Brain Research, 10, 380-388.

Richards, W. 1971 Anomalous stereoscopic depth perception. Journal of Optical Society of America, 61, 410-414.

Richards, W. 1975 Visual space perception. In E. C. Carterette and M. P. Friedman (Eds), Handbook of perception. Vol. V. Seeing. New York: Academic Press. Pp. 351-386.

Robinson, J. O., Piggins, D.J., & Wilson, J.A. 1985 Shape, height and angular movement in stereokinesis. Perception, 14, 677-683.

Rogers, B., & Graham, M. 1979 Motion parallax as an independent cue for depth perception. Perception, 8, 125-134.

Saida, S., ti Nakamizo, S. 1987 Motion parallax and absolute distance information. Proceedings of Meeting of Applied Physics, 604.

Saigo,K. & Ohmura,H. 1990 Depth cues in determining kinetic occlusion by apparent movement. Japanese Psychological Research,32, 76-85.

Sakurai,K. & Ono,H. 2000 Motion perception, eye movements, and orientation in real and virtual space depth perception, motion perception, and their trade-off while viewing stimulus motion yoked to head movement. Japanese Psychological Research, 42, 230-237.

Sato,C. 1960 Orientation in the perception of space. Japanese Psychological Research, 2, 26-33.

Sato,T. 1983 Depth seen with subjective contours. Japanese Psychological Research, 25,213-221.

Shepard, R.N. & Metzler,J. 1971 Mental rotation of three-dimensional objects. Science, 171(3972);701-3.

Shimada,T. 1975 Developmental studies on size constancy(1): Experiments on size constancy in the photograph with single comparison method, Japanese Psychological Research, 17,203-212.

Shimono,K., Nakamizo,S. & Kondo,M. 2000 Oculomotor responses of stereo-anomalous observers to pulse and ramp disparities. Japanese Psychological Research, 42, 91-101.

Stevens,S.S.1957 On the psychophysical law. Psychol. Review.,64, 153-181.

Torii,S. & Mochizuki,T. 1994 Post-surgery perception of subjective contour figures. Japanese Psychological Research, 37, 146-157.

Tsuji,K.,Hayashibe,K. & Hara,M. 1972 Chick's avoidance of visual pitfalls: A reexamination of findings by the visual cliff technique. Japanese Psychological Research, 14, 145-150.

Tsuji,K.,Hayashibe,K. & Hara,M. 1974 A further study on chick's avoidance of visual pitfalls : Analysis of the cues in visual perception. Japanese Psvcholoeual Research,16,126-131.

Ueno,T. 1962 The size-distance invarience hypothesis and the psychopysical law. Japanese Psychological Research 4, 99-112.

Ueno,T. 1963 Size constancy by the method of single stimuli-Amethdological study. Japanese Psychological Research, 5, 153-160.

Ullman, S. 1979 The interpretation of visual motion. Cambridge, MA: M.I.T. Press.

Wallach, H., & O'Connell, D. N. 1953 The kinetic depth effect. Journal of Experimental Psychology, 45, 205-217.

Westheimer, G., & Mitchell, D. E. 1969 The sensory stimulus for disjunctive eye movements. Vision Research, 9, 749-755.

Wilson, J.A Robinson, Ea, & Piggins, D.J. 1983 Wobble cones and wobble holes: the stereokineteffect revisited. Perception, 12, 187- 193.

Wallach, H., Gillam, B., & Cardillo, L. (1979). Some consequences of stereoscopic depth constancy. Perception and Psychophysics, 26, 235-240.

Zanforlin, M., Vallortigara, G., & Agostini, A. 1991 The whole may be less than the sum of its pans. Gestalt Theory, 13, 243-249.

著者

林部 敬吉

静岡大学名誉教授（情報学部）

文学博士

名古屋大学大学院文学研究科修了（1969年）

主な著書

「人間論―心理学とその近接領域からのアプローチ（編著）」酒井書店 1985

「３次元視研究の展開」 酒井書店 2004

「父と娘の心理学―見えない心を見る―」 酒井書店 2005

「伝統工芸のわざの伝承」 酒井書店 2007 （共著）

「人間関係を科学する」 ブイツーソリューション 2008

「視る科学する－視ることから知ることへ」ブイツーソリューション 2009

「３次元視研究の新展開」ブイツーソリューション 2011