

8章 その他の3次元視研究

1 3次元視研究のいくつか

主観的輪郭図形の検出のためのコンピュータ・モデル (Differentiation-Integration for Surface Completion model)

主観的輪郭図形を検出できるコンピュータモデル(Differentiation-Integration for Surface Completion model、DISC モデル)が、Kogo, et al. (2010)によって提案され、シミュレーション実験で検証された。このモデルの基本的構想は、(1)刺激パターンの明るさ比と奥行差から初期輝度マップと奥行マップを作成し、(2)識別された奥行から輝度マップを修正するというものである。

このモデルは、図8.1-Aに示したように、輝度検出チャンネル(左側)と奥行検出チャンネル(右側)から構成され、両チャンネルでは相対値である「対数-輝度マップ」と「相対的奥行マップ」が求められる。次の2次元統合過程(2-D integration process)プロセスでは、それらは「初期の明るさマップ(primary lightness map)」と「奥行マップ(depth map)」となる。さらに、明るさコントラストの極性(陰陽)マップと奥行マップに基づいて「修正要因(modification factor)」が導かれ、最終的には明るさマップが得られる。次に、オクルージョンの検出過程は図Bに示されている。もしL型のジャンクション(J)が検出された場合には、このモデルでは狭い角度をもつ領域(S1)がオクルーダーであり、広い角度をもつ領域(S2)がオクルードされるとそれぞれ仮定する。さらにオクルージョンの分布に基づくBOWN(border-ownership)のプロセスが続く。境界線がどちらの領域に属するかははじめ決まらない。図Cにあるように、もしx位置におけるBOWNシグナルであるB1が矩形領域(S1)の内側にあることを指している場合には、xの位置から観察すると凹型の奥行をもつジャンクション(J1)があれば、このモデルではBOWNシグナルであるB1は強化される。最後に図Dにあるように、BOWNプロセスの反復がされる。すなわち、x位置でのBOWNシグナルであるB1とBOWNシグナルであるB2との差分が次々と求められ、それらが一致すれば相互に強化される。このように、2つの不一致のBOWNシグナルの差分が求められ、最終的なBOWNマップが作られる。

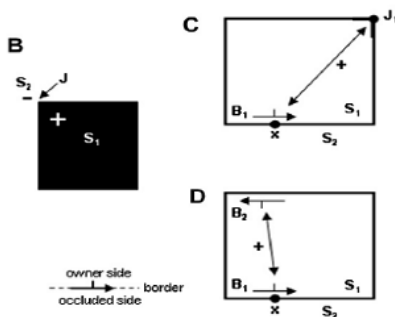
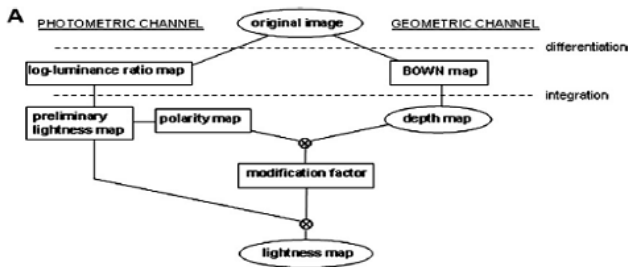
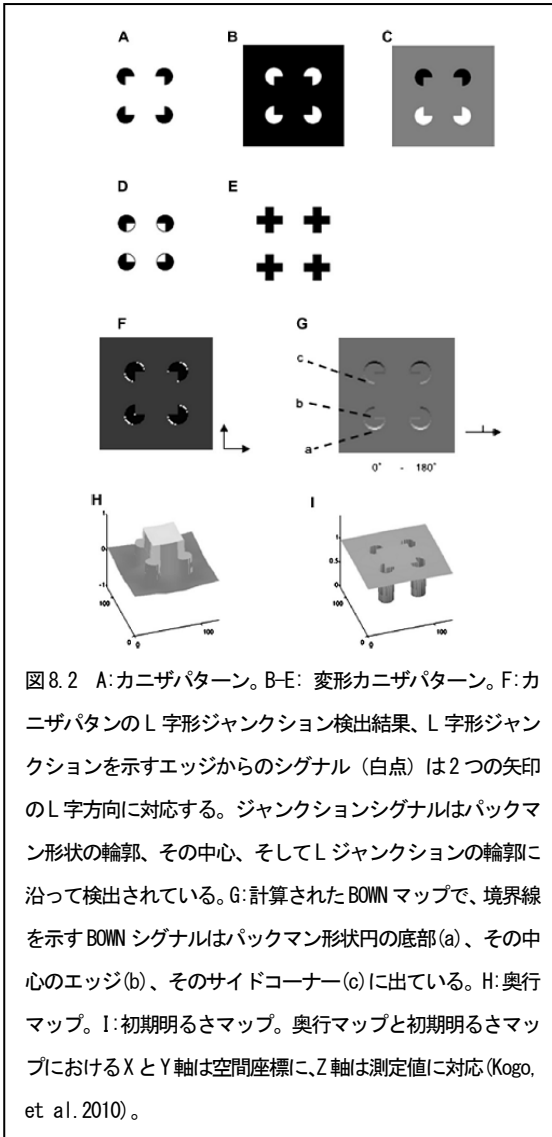


図 8.1 A: DISC モデルの基本的なアルゴリズム。B: オクルージョンの検出過程。L 型のジャンクション(J)が検出された場合には、このモデルでは狭い角度をもつ領域 (S1) がオクルーダーであり、広い角度をもつ領域 (S2) がオクルードされているとそれぞれ仮定する。C: オクルージョンの分布に基づく BOWN (border-ownership) のプロセス。D: BOWN プロセスの反復。x 位置での BOWN シグナルである B1 と BOWN シグナルである B2 との差分が次々と求められ、それらが一致すれば相互に強化される。このように、2つの不一致の BOWN シグナルの差分が求められ、最終的な BOWN マップが作られる (Kogo, et al. 2010)

このモデルをカニザタイプやその変形の主観的輪郭図形でシミュレーション実験した結果が図 8.2 である。図 A はカニザパターン。図 B から E は 変形カニザパターンである。カニザパターンの L 字形ジャンクション検出結果 (図 F) をみると、L 字形ジャンクションを示すエッジからのシグナル (白点) は 2 つの矢印の L 字方向に対応し、ジャンクションシグナルはパックマン形状の輪郭、その中心そして L ジャンクションの輪郭に



沿って検出されている。図 G は計算された BOWN マップを示し、境界線を示す BOWN シグナルはパックマン形状円の底部 (a)、その中心のエッジ (b)、そのサイドコーナー (c) に出ている。奥行マップは図 H のようになり、初期明るさマップは図 I のようになる。「奥行マップ」と「初期明るさマップ」における X と Y 軸は空間座標に、Z 軸は測定値に対応する。最後に「明るさ極性-奥行マップ (polarity-depth map)」の作成である (図 8.3-A)、図 A(a) は白色背景上の黒色刺激の場合、(b) は黒色背景上の白色刺激の場合、(c) は灰色背景上のカニザパターンの場合の結果である。「明るさ極性マップ (polarity map)」でのコントラスト値は 1、0、-1 のみで表示、また「明るさ極性-奥行マップ」は明るさ極性マップに奥行マップを

乗じることによって作成される。このマップは、斜方向の切断線にそってシミュレーション

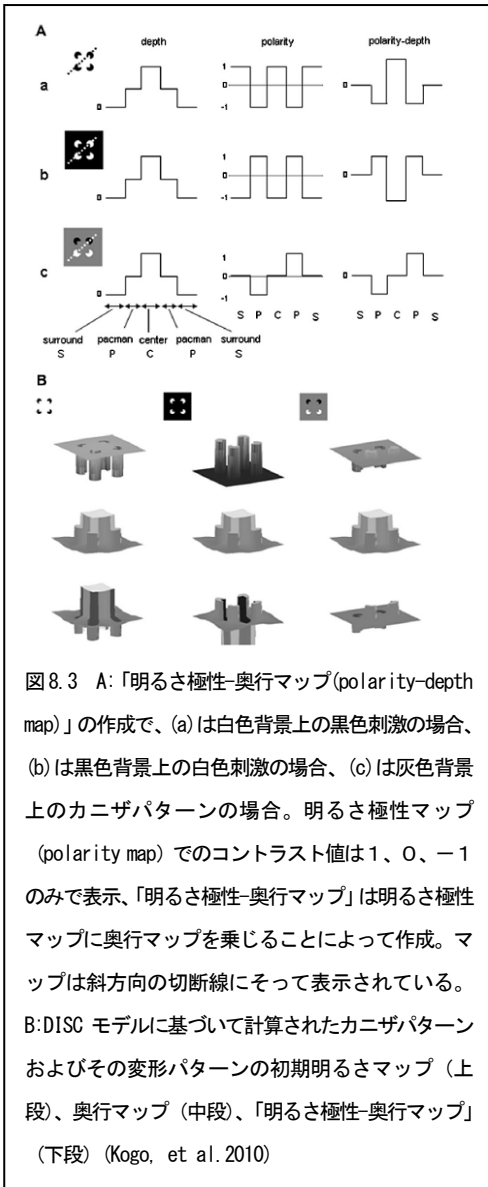


図 8.3 A: 「明るさ極性-奥行マップ(polarity-depth map)」の作成で、(a)は白色背景上の黒色刺激の場合、(b)は黒色背景上の白色刺激の場合、(c)は灰色背景上のカニザパターンの場合。明るさ極性マップ (polarity map) でのコントラスト値は1、0、-1のみで表示、「明るさ極性-奥行マップ」は明るさ極性マップに奥行マップを乗じることによって作成。マップは斜方向の切断線にそって表示されている。B: DISC モデルに基づいて計算されたカニザパターンおよびその変形パターンの初期明るさマップ (上段)、奥行マップ (中段)、「明るさ極性-奥行マップ」(下段) (Kogo, et al. 2010)

ョン結果が表示されている。図 B は、DISC モデルに基づいて計算されたカニザパターンおよびその変形パターンの「初期明るさマップ」(上段)、「奥行マップ」(中段)、「明るさ極性-奥行マップ」(下段)を示し、シミュレーションの結果、主観的輪郭が再現している。

この DISC モデルのアルゴリズムの特徴は、初期輝度マップのもっとも輝度の高い値をアンカーとする最高値ルール(highest value rule)を適用し、ホワイトからグレイまでのスケールを決めることである。また、奥行マップではエリアルール(area rule)が適用され、もっとも広い面積の領域にアンカーして、この領域を背景面とする。最終的には奥行マップで背景と比較してより高い奥行値をもつ領域は輝度値によって修正され、「図」として再現される。主観的輪郭のコンピュータモデルとしては、この DISC モデルはシミュレーションによる再現性が高い。

7.2 「図—地」分擬と視覚誘発電位の対応

「図—地」分擬に関わる手がかりの同定あるいはその組み合わせの効果をみるために、「図—地」分擬の知覚とそれに対応する神経過程が事象関連電位を指標として検討されてきている。それによれば、テクスチャによる「図」の分擬は、多くの手がかりによるものと類似しているがしかし分擬に固有な電位のシフトを起こすことが知られている。これは、視覚システムが異なるタイプの手がかりについて高度の時間的そして空間的共応性をもって対象を同定することを示唆する。この種の電位のシフトは、「テクスチャー分擬視覚誘発電位(texture-segregation visual evoked potential、tsVEP)とよばれ、200 から 300ms の間で出現する(Bach & Meigen, 1992, 1997; Bach, Schmitt, Quenzer, Meigen, & Fahle, 2000; Caputo & Casco, 1999; Fahle, Quenzer, Braun, & Spang, 2003)。これに類似した電位のシフトは、輪郭線、閉じた図形、そして主観的輪郭線でも出現する(Mathes & Fahle, 2007; Mathes, Trenner, & Fahle, 2006; Doniger et al. 2000, 2001; Herrmann & Bosch, 2001; Murray, Imber, Javitt, & Foxe, 2006; Murray et al. 2002)。

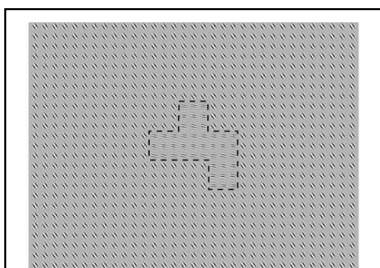
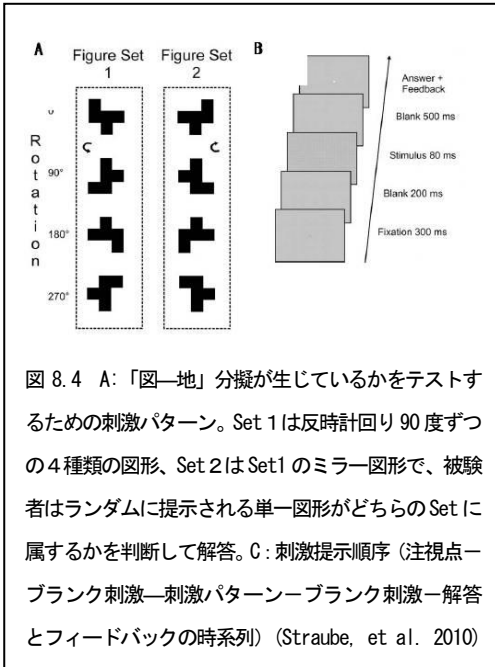


図 8.4 「図—地」分擬をもたらすガボールエレメント。ここでは「地」を構成するエレメント(空間周波数と方向)と「図」を構成するエレメントが異なるために「図—地」分擬が生じる。空間周波数と方向を操作することで知覚的目立たせを規程(Straube, et al. 2010)

Straube, et al. (2010) は、2種類の視覚手がかり(空間周波数と刺激の提示方向)を操作して視覚的な目立ち(visual saliency)の程度を変化し、その際に出現する「図—地」分擬の程度と ERP との対応を分析した。図 8.4 に示すように、操作した視覚的手がかりはガボールパターンで、これを「地」の面にエレメントとして規則的に配置した。「図」は、このガボールエレメントの空間周波数と刺激提示方向を単独で、あるいは組み合わせて提示して出現させた。視覚的目立たせは、空間周波数と方向を単独あるいは組み合わせて変化させ、「図」として知覚できるか、その困難度を測定して3段階(レベル1から3)に設定した。図



8.5-Aは、「図—地」分擬が生じているかをテストするための刺激パターンである。刺激群は 2 種類で、Set 1は反時計回り 90 度ずつの 4 種類の図形、Set 2は Set1 のミラー図形である。

被験者にはランダムに提示される単一図形がどちらの Set に属するかを判断することを求めた。実験は、図 C に示すように、注視点—ブランク刺激—刺激パターン—ブランク刺激—解答とフィードバックという順序で実施された。

その結果、(1)空間周波数と刺激提示方向を組み合わせた条件

では、図と地の分擬が相乗的に促進されること、(2) 空間周波数と刺激提示方向の手がかりは単独でも図と地の分擬に効果があること、(3) このプロセスは、後頭部 P2 からの ERG の波形のネガティブな最大振幅が 200ms 遅延して出現することで確認できること、(4) 200ms 近辺の ERP のこの変化は、物理的な手がかり強度ではなく、視覚的目立たせによって出現していること、などが示された。これらのことから、「図—地」分擬を出現させる手がかりは相互に作用し合っていて、その効果は「図—地」分擬に関わる手がかりの物理的強度とはリニアに対応していないことが明らかにされている。

大きさ知覚におよぼす視覚と触覚の影響

Van Doorn et al. (2010) は、大きさ知覚に及ぼす視覚と触運動感覚 (haptic) の相互的影響について実験的に検討した。触運動感覚による大きさ知覚 (ハプティック手がかり) は、正方形をペン型ツール (Phantom) でなぞらせ、その際に正方形からペン型ツ

ールに反る力覚によった。視覚による大きさ知覚は、正方形をペン型ツールでなぞらえた軌跡をディスプレイ上に再現して提示する方法によった。実験では、視覚による大きさ知覚、触運動感覚による大きさ知覚、そして視覚と触運動感覚の両方による大きさ知覚の3条件が設定された。大きさ知覚は、正方形のサイズを変えたチョイスセットを視覚あるいは触運動感覚で提示し、選択させて求めた。また触運動感覚による大きさ知覚では、観察者が能動的に探索する条件と受動的条件、さらにはタクティル(tactile)ツール(対象の凹凸に反応し、人差し指の触覚を刺激するもので、正方形の凹状輪郭をなぞらせる)による触覚刺激条件とを設定した。

実験の結果、(1)視覚にもとづく大きさ手がかりは、受動的でタクティル刺激が追加されていない条件での触運動感覚にもとづく大きさ手がかり(ハプティック手がかり)に比較して、視覚チョイスセットでのマッチングでは、大きさ知覚に与える効果はより大きいこと、(2)触運動感覚刺激(ハプティック手がかり)に追加してタクティル刺激が追加された場合には、ハプティック条件ではもともと手がかり効果が大きいこと、などが示された。

これらの結果から、大きさ知覚は各モダリティによる単独の手がかりにもとづくのではなく、それらのモダリティからの手がかりを統合してなされていると考えられる。

心的回転における回転軸の選択

心的回転(mental rotation)では、3種類の回転軸が選択可能である。その1は対象を貫く固有な軸で、対象を左右対称に分割する軸あるいは対象の主軸をさす。その2は、環境軸で重力方向を基本とし、床面、壁面、天井面から構成されるX、Y、Z軸である。その3は観察者に固有な軸で、観察者の眼球、頭部、身体位置によって決められる軸である。図8.5には、心的回転で取り得る可能な回転軸が示されている。Asakura & Inui(1)は、心的回転ではどの軸が用いられるかを実験的に検討した。ペアとなる円盤の左はターゲット、右はテスト刺激である。2つのペアとなる円盤のテスト刺激は同一なので、テスト刺激とターゲットを関連づける回転軸は複数あり、その1つは対象に固有な軸、もう一つは環境内に形成される軸(垂直あるいは水平)である。実験では、テスト刺激(円盤)はtiltを 45° 、slantを 54.7° に固定して提示し、ターゲット刺激

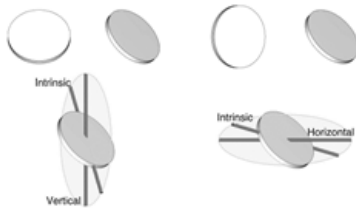


図 8.5 心的回転で取り得る可能な回転軸。ペアとなる円盤の左はターゲット、右はテスト刺激である。2つの円盤刺激間の回転の可能な軸の最小範囲とその可能な2つの軸、ひとつは対象に固有な軸、および環境内に形成される軸(垂直あるいは水平)である(Asakura & Inui 2011)

(円盤)を垂直軸(y軸)に関して回転させた条件(垂直条件、15°ステップで15°から120°の範囲で8種類の円盤を用意)、同様に水平軸(x軸)に関して回転させた条件(水平条件)を設定し、全部で16種類の円盤を用意した。被験者には、はじめにターゲットとテスト刺激を並べて提示し、テスト刺激をどの軸に関して回転させるとテスト刺激と一致するかをイメージさせ、次いでターゲット刺

激上の磁針(磁針形状)をマウスで操作して、イメージした回転と一致するようにその磁針を調整させた。

実験の結果、被験者が操作した回転角度と実験者が設定した回転角度との差を分析したところ、イメージした回転軸としては、垂直条件では垂直軸が選択されたが、水平条件では対象固有軸が選択された。これは、視覚システムが対象の回転軸をイメージする場合、重力要因に規定された身体と環境の枠組みに強く依存していることを示唆する。

盲目からの53年後の視覚の回復

2009年、KP氏は71歳のときに53年間のほぼ全盲状態から手術で視力を取り戻した。KP氏は工場労働者だったが、17歳の時に工場の爆発事故で角膜を破片で損傷した。何度か手術による回復を試みたが不成功で、残存視力は明暗の識別のみだった。手術は右眼について施行され、手術から6~8月後の2010年3月から5月にかけてどの程度の視力が回復しているかが顔知覚、対象知覚、視空間知覚について、Šikl et al. (2013)によってしらべられた。まず、KP氏の矯正視力は20/60(手術8ヶ月後では20/100と低下)、コントラスト感受性は0.65 log(60代の平均は1.68 log)であった。視覚情報提示時の

視覚第1野と背側視覚路の有線外視野での視覚誘発電位は盲目になる前の機能が保存されている事を示したが、健常者に比較して遅延がみられた。

認知テストは、図8.6に示したように、顔認知テスト（顔の有無、顔の位置、性別、同一性）、対象物認知（身近な対象物名、色名、普通の対象物名、シルエットの対象物名、一部隠れた対象物、ある対象物が空間周波数成分を維持したまま、徐々に別の対象

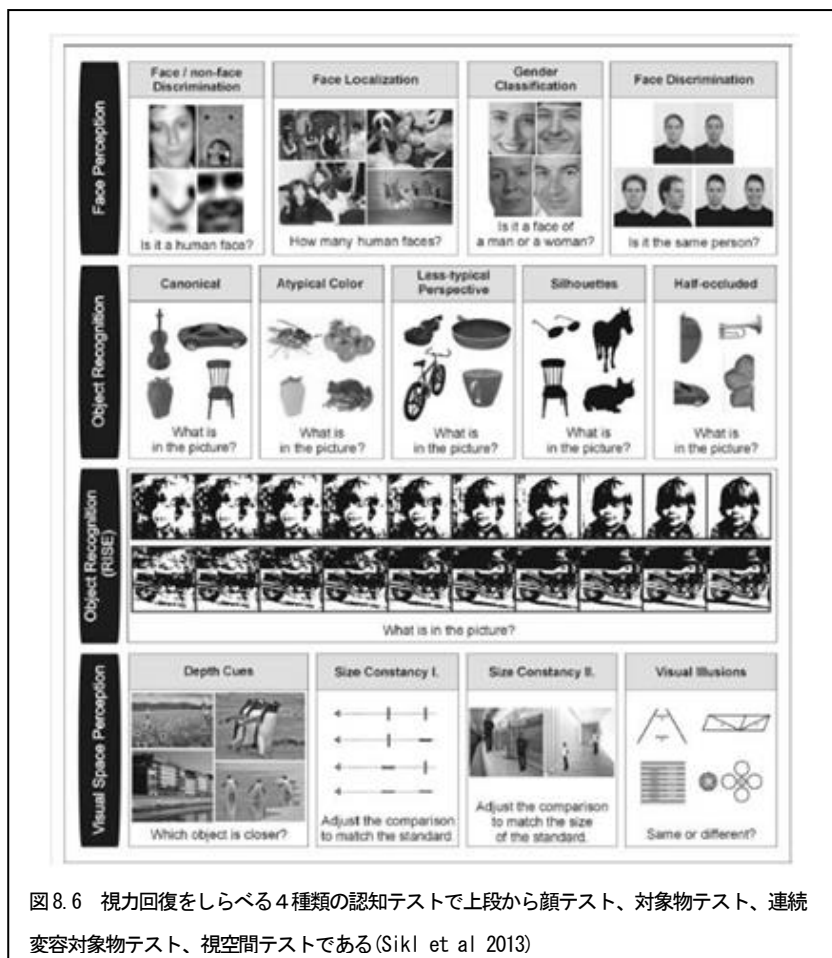


図8.6 視力回復をしらべる4種類の認知テストで上段から顔テスト、対象物テスト、連続変容対象物テスト、視空間テストである(Sikl et al 2013)

に変容する対象物(random Image Structure Evolution, RISE)、視空間テスト(絵画的要因による遠近、大きさ恒常性、錯視)の4種類を使用した。

その結果、(1)顔の認知では、人の顔を他の物あるいはもっと複雑なシーンから識別可能、しかし90度回転あるいは後ろ向きの顔、顔の性別や2人の顔(正面あるいは異なる向きとも)、表情の異なる2人の顔をそれぞれ識別することが困難。(2)身近な対象物、半分隠れた対象物はほとんど認知可能、しかし色が通常とは違う対象物や遠近法に背いて描画された物については認知が困難。さらに元の対象を変容させた物の認知は著しく困難。(3)絵画的奥行手がかりから奥行関係を知覚可能、2つの対象の大きさ比較でもその距離や方向を考慮することが可能、しかし2人の大きさを比較させた場合どちらが遠くにあるかを知覚することは可能だが、その一方の人の奥行距離を考慮して2人の大きさを比較判断することに限界、そして日常場面に当てはめた幾何学的錯視には感受性が低い。

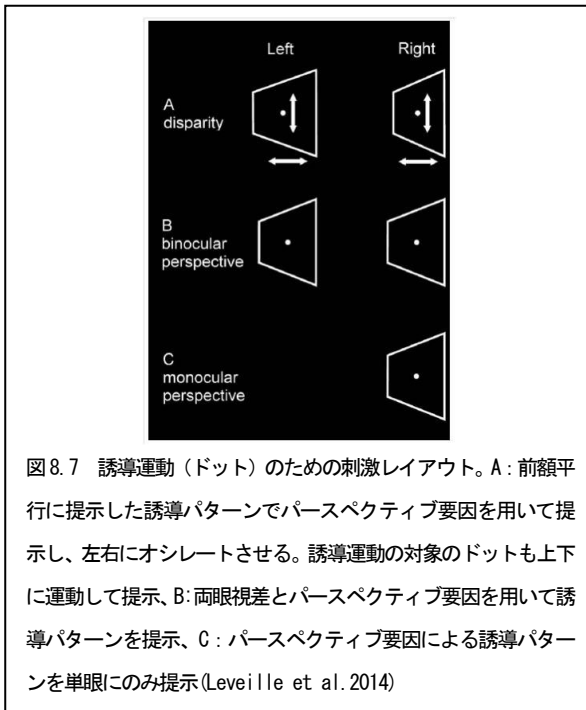
KP氏は、眼球損傷以前の視覚経験を保持していて、単独で提示された対象物をそれが変容されていても、半分隠されていても、あるいはシルエットのみでも識別することが可能であったが、しかし性別の識別に見られたように男女の特徴についての限られた知識にとらわれてしまい全体を把握して識別できずに誤った認知をしてしまうことも生じた。また、RISE実験事態のように、シーンの一部の特徴からは事物を識別できず、またいくつかのシーンを統合してはじめて事物の認知が可能な複雑な事態ではKP氏の認知は困難さを示した。KP氏は眼球損傷以前の視覚経験にはなかった事物を、たとえばデザインの新しい椅子あるいはよく知っているパイプの継ぎ手が普段置かれていない場所にある場合などでは、正しく認知することができないことも示された。

結局、KP氏は対象物についての記憶の劣化、知覚体制化能力の限界(複雑なシーンの解析、重なった事物の認知など)、視覚情報の統合能力の限界(ささいな特徴にとらわれる、ホーリスティックな認知など)などのために認知能力が損なわれていると考えられる。

このように、認知能力に限界があるものの、KP氏は回復した視力を楽しみ、視力のある生活に再適応しようとしているという。

両眼視差およびパースペクティブを用いた誘導図形による奥行方向の新たな誘導運動

Leveille et al. (2014) は、前額に平行に矩形を両眼視差とパースペクティブ要因の組み合わせ、あるいは両眼視差のみ、あるいはパースペクティブ要因のみで提示し、それを前額に平行にオシレートさせて図形内部の垂直方向に上下運動するドットがどのように見えるかをしらべた。刺激条件は、図 8.7 のように、次の 3 通りを設定した。(1) 前額平行に提示した矩形をパースペクティブ要因を用いて奥行方向に傾いて見えるよう



に提示、それを左右にオシレートさせて誘導パターンを形成、誘導運動対象のドットは上下に運動させて提示する条件 (図 A)、(2) 両眼視差とパースペクティブ要因を用いて誘導パターンを提示し同様に左右にオシレートさせ、ドットも上下方向に運動させて提示する条件 (図 B)、(3) 誘導パターンをパースペクティブ要因のみで単眼に提示し、ドットも垂直方向に運動させて提示する条件 (図 C)。

実験では、これらのパター

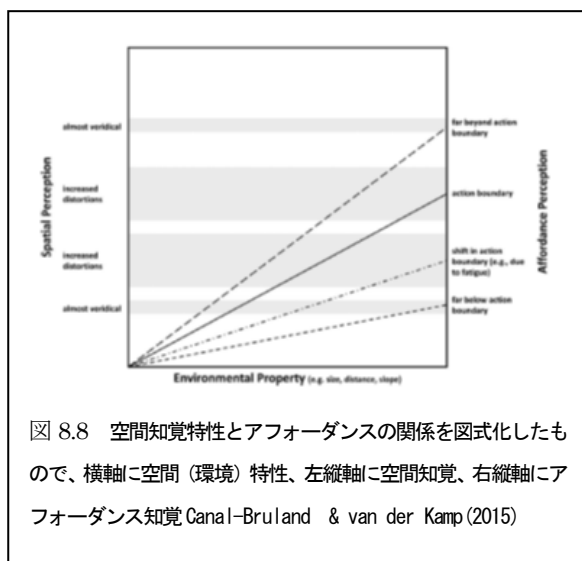
ーンをハプロスコープで提示し、被験者にはドットの視えの運動方向を別に提示したロッドを 360° 回転させて示すように求めた。

実験の結果、誘導パターンの形状が両眼視差とパースペクティブ要因の組み合わせ、あるいは両眼視差のみで規定し、しかもそれらを前額に平行にオシレートした条件で

は、ターゲットであるドットはスラント面の奥行方向に沿うようにあるいは逆方向に沿うように誘導されることが示された。単眼にのみスラント面がパースペクティブで規定されオシレートする条件では、ドットはスラントの面に同化して動くように見えることが報告された。このことから、両眼視差に比較してパースペクティブ要因は奥行を規定するのに曖昧な手がかりであり、そのために誘導運動の方向が明瞭には規定されないと考えられる。

身体に強く影響された知覚(embodied perception)ーアフォーダンスと空間知覚の再考

「身体に強く影響された知覚(embodied perception)」とは、Proffitt(2006, 2013)のたとえ話によると次のようである。いま、山の登頂を目指す登山家はその山の急峻な傾斜を目前にして、この山に登攀できると知覚するかあるいは自分の身体的力量では無理と知覚するかは、その登頂という行動に関わる身体的な潜在的可能性にもとづいてその山が提供する視覚情報をどのようにとらえるかによるという。もし身体的に疲労していれば、その山は実際よりは急峻に知覚されるので登攀は断念されるだろう。この



Proffitt の考え方に対して Firestone(2013)は、このような知覚のバイアスは人間の行動能力を変えるほど大きくはないこと、行動ユニットは知覚ユニットに比較して不相応であること、この種の知覚的バイアスは主観的に気づきにくいこと、そして知覚的なバイアスは判断に影響するが知覚には影響

しないことをあげて批判した。

Canal-Bruland & van der Kamp(2015)は、「embodied perception」の考えはGibson, J. (1979, 1986)の視覚についての生態光学的なアプローチにもとづくアフォーダンス(affordance)に依拠していることを指摘し、アフォーダンス知覚と空間の諸特性、たとえば大きさ、距離、明るさといった特性に関する知覚との関連づけを行うことが必要と主張する。というのも、アフォーダンス知覚は行動するかしないかの二者択一的であり、空間知覚は連続的であるからという。そして空間知覚はアフォーダンス知覚によって強く影響され、とくにそれが行動するかしないかのきわどいところで影響される(図8.8)。図は空間知覚特性とアフォーダンスの関係を図式化したもので、横軸に空間(環境)特性、左縦軸に空間知覚、右縦軸にアフォーダンス知覚を示している。これによれば、アフォーダンス知覚、たとえば身体的疲労によって行動しないほうにシフトしていれば空間知覚も歪められ、さらにアフォーダンス知覚が行動するかしないかの境目にシフトすると空間知覚はいっそう歪められる。

Canal-Brulandらは、空間知覚、アフォーダンス知覚、そしてembodied perceptionの関連についてさらなる検証が必要と論じている。

対象の特徴検出における3次元位置によるバイアス

Golomb et al. (2014)は、2つの対象が2次元面での位置を異にして提示されると、位置情報が対象の特徴認知に直接には無関係でもそれに影響することを示した。たとえば、対象の色、ガボールパターン、形状、顔などの特徴の同定が、2次元位置情報が相違するほど大きくなり、この効果はspatial congruency biasと名づけられた。これを受け、Finlayson & Golomb(2016)は、3次元位置を異にした場合にも対象の特徴認知で同様なバイアスが起きるかについて確かめた。実験は、図71に示すように、2つの対象を2次元あるいは3次元位置を変えて継時的に提示し、被験者には2つの対象の色相(黄色)の識別を求めた。実験条件は2次元位置での垂直方向変化および3次元位置(奥行位置)での変化とし、対象の色は同輝度のものをカラーホイールからランダムに選択して提示した。3次元位置は両眼視差を操作して変化させた。

その結果、2次元配置と3次元配置が同じ場合、2つの対象の色は類似していると識

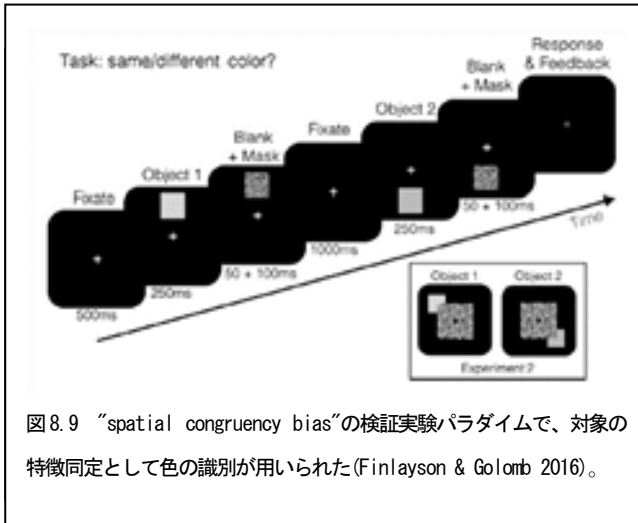


図 8.9 “spatial congruency bias”の検証実験パラダイムで、対象の特徴同定として色の識別が用いられた(Finlayson & Golomb 2016)。

別されること、しかし2次元配置が同じで3次元配置が異なる場合、2次元配置が異なり3次元配置が同じ場合、および2次元配置が異なり3次元配置も異なる場合には、2つの対象の色はやや異なると識別されることが示された。

両眼視差による3次元配置条件で spatial congruency bias が示されたことから、対象の大きさとオクルージョン要因によって3次元配置を誘導した場合にも同様な bias が示されるかを実験したところ(図 8.9 の右下の実験事態)、奥行位置情報は2つの対象の色の識別には関係しないことが示された。そこで、さらに水平視差の代わりに垂直視差(奥行は出現しない)を導入し同様な実験を試みたところ、垂直視差が相違する条件では同じ条件より2つの対象の色の識別が類似せず、垂直視差には spatial congruency bias があることが示された。

これらの実験結果を総合すると、spatial congruency bias をもたらす条件は2次元配置情報のみで、奥行位置情報は有効でないことが見いだされている。

人間のナビゲーションにおける視野中心モデル(View-based)と再構成中心モデル(reconstruction-based)の比較

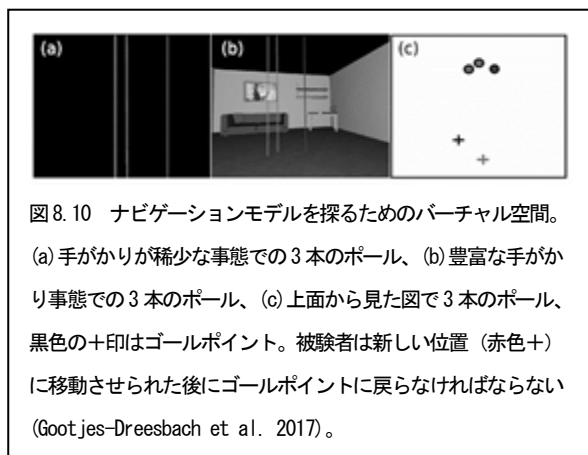
人間を含めて動物が、ゴール地点を目指すとき、認知地図であるナビゲーションマップに基づいて行動する。ロボットの場合も、この種のナビゲーションシステムが必要となる。このナビゲーションモデルには大別すると、観察したイメージに基づくモデル

(View-based) と再構成モデル(reconstruction-based)がある。前者は例えば家に帰ることを例にとると、個体はその家の位置をその場に応じて感覚で記憶し、この感覚記憶に基づいて家に帰る方法、後者は個体が家の位置を記録したメンタルマップを作成し、これにもとづいて家に帰る方法である。両方法とも人間と動物に適用される。とくに前者の方法を用いる動物には、蟻と蜂が知られている(Cartwright and Collett, 1983; Graham & Cheng, 2009; Graham & Collett, 2002)。例えば、蜂は餌場に戻るとき、もしランドマークの位置が変えられていると自己の網膜イメージを先に獲得したイメージにもっとも近似するものにマッチさせてから飛翔するという。Mallotたちの研究(Franz et al. 1998, Gilner & Mallot 1998))によれば、人間の場合も、そのナビゲーションは感覚の結果としての行動から成り立つ内的表象モデルにもとづく。この内的表象は一組のノードから作られた一種のグラフで、それにエッジ(オペレーション)が連結する。ここでの一組のノードは、見ているシーンにあたり、エッジは観察者の行う回転や移動などのアクションを示すので容易にノードやエッジの変換が可能であるため、この種の内的表象モデルはすべての課題に通じる対象中心のモデルよりも誤差が少ない。というのも、接合点やターンを加えたりすれば、容易に2点間の距離、奥行き 方向の評価が変えられる。

このように、対象中心の3-Dマップと自己中心の視えのグラフはナビゲーションモデルの両極端にある。Chrastil and Warren (2014)は、これら両極端のモデルの中間に位置づけられる「ラベルをもつグラフ(labeled graph)」を提唱し、そこではある距離と角度の情報は対象の局所的な位置や特徴間の隔たりを記述するが、大局的な一貫したマップは存在しないとした。

Gootjes-Dreesbach et al. (2017)は、視野中心モデル(View-based)と再構成中心モデル(reconstruction-based)を比較し、人間のナビゲーション能力をしらべた。ノイズがない場合には、両モデルともスタート地点で見た位置に戻ることができるが、ノイズがあると、モデルによって異なるタイプのエラーが出現すると予測する。再構成中心モデルの場合、エラーは何らかのポイントにおいて形成される投影イメージのガウス型ノイズから生ずる。これはポイントから作られたシーンの再構成位置におけるエラーとなる。視野中心モデルの場合、そのイメージにおける特徴、例えば2点間の角度や両眼視差の

特徴から計算される。したがって、両モデルにおけるノイズのタイプは、それらのモデルによって変わる。これら2つのモデルのいずれが用いられているかを識別するために、予測されるエラーの分布を分析した。実験は、被験者の移動を検出しシーンに連動させ



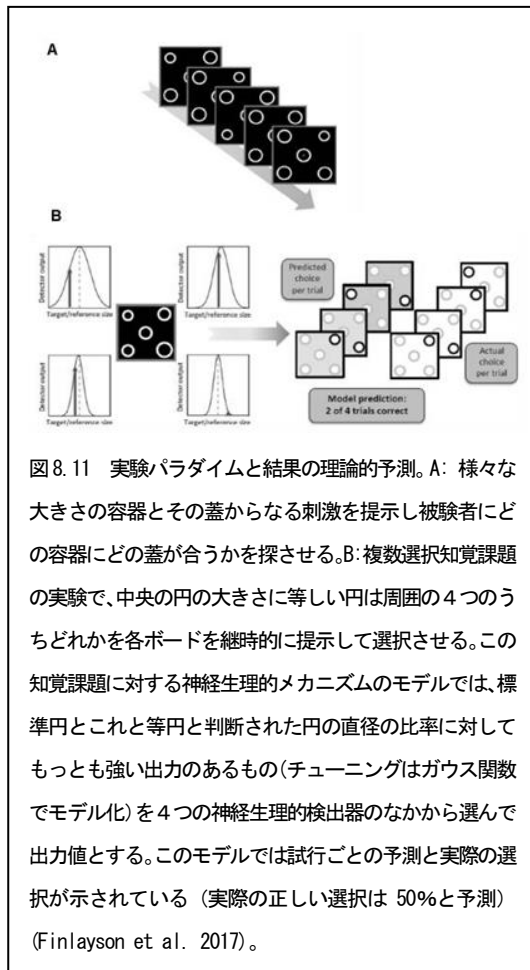
たトラッキングシステムをもつヘッドマウントディスプレイを被験者に装着させ、図8.10に示した赤、青、緑の異なる色の3本のポール(赤と青色ポールは固定位置に、緑色ポールは試行ごと位置を変化)のみの手がかり稀少なシーン(図のa)、および3本のポールを床面、壁や家具

類のある豊富手がかりシーン(図のb)を、それぞれバーチャルで両眼立体視させた。光源は被験者のヘッドマウントの取り付け点光源とし、もののシャドーはつけなかった。被験者は、シーンを観察後に新しい位置(赤色+)に移動させられポールを廻って、次にゴールポイント(+印)に戻るように教示された。

実験の結果、予想に反して手がかりが稀少な事態で視野中心モデルは再構成中心モデルよりゴール到達成績が良いことが示された。実験で得られたデータからゴール位置と実際に到達した位置間のエラー分析を行うと、実験データの尤度は視野中心モデルによるサンプルの尤度に類似したが、再構成中心モデルのそれとは異なることが示された。また、視野中心モデルは豊富手がかり事態に比較して稀少手がかり事態でエラーが高いこと、さらに豊富手がかり事態で視野中心モデルから再構成モデルへの転換もなされないことも示された。

視空間における知覚的バイアスのマップを知る新しい手法

最近の研究によれば、簡単な視覚刺激でも視野のどこに位置するかで個人的な知覚バイアスが生起するという (Afraz et al. 2010; Greenwood et al., 2017; Moutsiana et al. 2016; Schwarzkopf & Rees, 2013; Szinte & Cavanagh, 2011)。Finlayson et al. (2017) は、この種の視野の位置における知覚的バイアスをしらべるための新たな手法



法である複数選択肢知覚探索 (MAPS, Multiple Alternative Perceptual Search) 状態で個人の知覚的バイアスを効果的に測定できるかを検討した。この手法では刺激は視野内に単独では提示されず、他の刺激とともに集団で提示される。図 8.11 に示したように、複数選択肢知覚課題 (MAPS) の実験方法は、視野の中央に提示した円の大きさに等しい円は周囲の4つのうちどれかを選択させるものである (図の A)。この知覚課題に対する神経生理学的メカニズムのモデルは、標準円とこれと等円と判断された円の直径の比率に対してもっとも強い出力のあるもの (チューニングはガウス関数でモデル化し、選択反応が正しいターゲットと一致すれば散布度はゼロとする) を4つ

の神経生理的検出器で検出すると仮定する。このモデルでは各試行ごとの予測と実際の選択が示される（実際の正しい選択は 50%と予測）。被験者には中心に提示した円の大きさ（常に大きさが等しい）と等しい円を周囲の 4 カ所に提示した円（試行ごとに大きさが変化）から選択させてキー操作で答えさせた。はじめに凝視点（ドット）を 500ms 提示後、5つの刺激からなるボードを 200ms 提示した。物理的円の大きさを正しく選択した場合には、そのことをフィードバックした。測定方法の比較のために、精神物理的測定の恒常法（MCS、Method of Constant Stimuli）による大きさ測定、および両測定方法によるエビングハウス錯視の大きさ測定もあわせて実施した。MCS では、中央に 1 個の標準刺激、周辺に比較刺激を 1 個提示した。

実験の結果から MAPS 法と MCS 法における知覚的バイアス (Perceptual Bias) の程度をしらべた。MAPS 法ではターゲットの各提示位置における正反応の確率が、MCS 法では主観的等価値 (PSE) の変動をしらべて知覚的バイアスを計算し、両方法で知覚的偏向間の相関をしらべた。

その結果、新手法である MAPS 法は伝統的方法である MCS 法と強い相関があることが示された。このことから、MAPS 法は対象の視空間位置が変化したときの個人の知覚経験を測定する効果的な手法であり、また幾何学的錯視測定にも適用できる。

2 得られた知見

(1) 主観的輪郭図形を検出できるコンピュータモデル(Differentiation-Integration for Surface Completion model、DISC モデル)が提案された。このモデルの基本的構想は、(1) 刺激パターンの明るさ比と奥行き差から初期輝度マップと奥行きマップを作成し、(2) 識別された奥行きから輝度マップを修正するというものである。この DISC モデルのアルゴリズムの特徴は、初期輝度マップのもっとも輝度の高い値をアンカーとする最高値ルール(highest value rule)を適用し、ホワイトからグレイまでのスケールを決めることである。また、奥行きマップではエリアルール(area rule)が適用され、もっとも広い面積の領域にアンカーして、この領域を背景面とする。最終的には奥行きマップで背景と比較してより高い奥行き値をもつ領域は輝度値によって修正され、「図」として再現される。主観的輪郭のコンピュータモデルとしては、この DISC モデルはシミュレーションによる再現性が高い。

(2) 図一地領域の境界にあつてそのいずれに属するかあいまいな輪郭(エッジ)を、群化要因がいずれに属するかを決定できるかについて実験した結果、運動するドットをもつために図一地分擬に対してバイアスのある領域が、バイアスのない隣接する領域とともに群化することが示された。これは群化がその領域の図一地分擬にまで影響を与えることを示唆する。

(3) 2種類の視覚手がかり(空間周波数と刺激の提示方向)を操作して視覚的な目立たせ(visual saliency)の程度を変化し、その際に出現する「図一地」分擬の程度およびERPとの対応を分析した結果、(i)空間周波数と刺激提示方向を組み合わせた条件では、図と地の分擬が相乗的に促進されること、(ii)空間周波数と刺激提示方向の手がかりは単独でも図と地の分擬に効果があること、(iii)このプロセスは、後頭部 P2 からの ERG の波形のネガティブな最大振幅が 200ms 遅延して出現することで確認できること、(iv)200ms 近辺の ERP のこの変化は、物理的な手がかり強度ではなく、視覚的な目立たせによって出現していること、などが示された。これらのことから、「図一地」分擬を出現させる手がかりは相互に作用し合っていて、その効果は「図一地」分擬に関わる手がかりの物理的強度とはリニアに対応していないことが明らかにされている。

(4) 2009 年、KP 氏は 71 歳のときに 53 年間のほぼ全盲状態から手術で視力を取り戻し、

どの程度の視覚能力が回復しているかが顔知覚、対象知覚、視空間知覚についてしらべられた結果、KP氏は、眼球損傷以前の視覚経験を保持していて、単独で提示された対象物をそれが変容されていても、半分隠されていても、あるいはシルエットのみでも識別することが可能であったが、しかし性別の識別に見られたように男女の特徴についての限られた知識にとらわれてしまい全体を把握して識別できずに誤った認知をしてしまうことも生じた。また、連続するシーンの一部の特徴からは事物を識別できず、またいくつかのシーンを統合してはじめて事物の認知が可能な複雑な事態では認知の困難さを示した。KP氏は眼球損傷以前の視覚経験にはなかった事物、たとえばデザインの新しい椅子あるいはよく知っているパイプの継ぎ手が普段置かれていない場所にある場合などでは、正しく認知することができないことも示された。

(5) 類似していない前サッケードと後サッケード刺激事態で Transsaccadic fusion 現象が存在するのかを検討した結果、被験者の総試行数の67%で前サッケードイメージと後サッケードイメージの重なり、つまり両イメージは融合して知覚された。サッケード条件の観察では垂直線の知覚位置にバイアスが生じ、サッケードの右あるいは左方向に関わらずほとんど左端に垂直線は位置していた。注視条件ではこのバイアスは示されず、眼球運動を妨げない状態でこの種の融合が起きた。このことから、前サッケードと後サッケードの間でそれらの位置を再調整する再マッピングのメカニズムがあることを示唆する。

(6) 視野中心モデル(View-based)とメンタルマップ再構成中心モデル(reconstruction-based)を比較し、人間のナビゲーション能力をしらべた結果、予想に反して手がかりが稀少な事態で視野中心モデルは再構成中心モデルよりゴール到達成績が良いことが示された。得られたデータからゴール位置と実際に到達した位置の間のエラー分析から、実験データの尤度は視野中心モデルによるサンプルの尤度に類似したが、再構成中心モデルのそれとは異なることが示され、また視野中心モデルは豊富手がかり事態に比較して稀少手がかり事態でエラーが高いこと、さらに豊富手がかり事態で視野中心モデルから再構成モデルへの転換もなされないことも示された。

(7) 視野の位置における知覚的バイアスをしらべる新たな手法である複数選択肢知覚探索事態で個人の知覚的バイアスを効果的に測定できるかを検討した結果、新手法である

MAPS 法（他の刺激とともに集団で提示される）は伝統的方法である MCS 法と強い相関があることが示され、MAPS 法は対象の視空間位置が変化したときの個人の知覚経験を測定する効果的な手法であり、また幾何学的錯視測定にも適用できることが示された。

(8) リーザスマンキーにバーチャルナビゲーション (VE) 課題を与えたときの眼球運動が自然環境でのそれと同等か否かをしらべた結果、通常探索課題では注視とスムーズな眼球運動の比率は 7 : 1 であったのに対して、VE 環境での探索課題ではそれが 4 : 5 となり、VE 事態ではターゲットを探索するスムーズな眼球運動が多くなるが、その速度は約 6 % 遅くなること、また報酬が得られる対象の探索ではそうでない対象に比較してサケットド眼球の運動速度が増大することが見いだされ、リーザスマンキーなどマカク類を被験体にして VE 事態での探索課題および学習課題の分析には、眼球運動を測度とすることが適切である。

(9) 3 次元空間に提示した視覚ディストラクター（注意をそらす対象）が両眼輻輳運動におよぼす効果を実験した結果、輻輳運動のピーク速度と振幅はディストラクターの無い条件に比較してディストラクターの有る条件では有意に大きいことが示され、輻輳運動がディストラクター刺激の存在によって影響され、これはサケットドに対する影響と類似のものと考えられる。

(10) 身体のサイズ認知における視覚情報の役割が実験され、身体各部の大きさは過大評価され、とくにヒップと頭部で著しかった。自己のボディサイズの評価には、直接に自身を観察する視覚アクセスするか否かは関係しないことが示された。

(11) 正視化(emmetropization)の発達過程のこれまでの研究が展望された。注視化の発達が網膜に投影されるイメージ特性、たとえばボケなどが重要ではなく、時間的そして空間的な輝度の変化が重要であり、とくに小さな眼球運動は絶え間なく生じ、自然シーンを視ている場合にはそのシーンに時間的変調がかかって網膜に入力されることになり、この種の再フォーマットは視覚的感度を高めるとともに視覚情報処理の発達の観点からも重要である。このような時間的な変調が起きると、眼球の機能が高められ、眼球大きさや形状に影響し、視ているシーンの空間構造のあり方にも関わってくる。これらの知見は近視と遠視のできるメカニズムにも参考となる。

(12) ドライビングビデオの短時間観察による道路シーンの予測が実験され、ドライビン

グでの順序予測についての時間間隔を変えたテストクリップでの測定による弁別閾値は、プレビューが静止クリップ条件ではハイウェイで 2.247ms、市街地で 2.042ms、プレビューが 500ms クリップ条件ではハイウェイで 2.271ms、市街地で 1.999ms、プレビューが 2500ms 条件ではハイウェイで 1.934ms、市街地で 1.741ms となった。ハイウェイより市街地で、またプレビュー提示の時間間隔が長いほど次のドライブシーンの予測が速くなることを示した。これらの結果は、より多くのドライビング情報があるとシーンがより精細に認知されるため、ドライバーは正確なドライビング予測ができることを示唆する。

(13) 視覚と手の運動の協応動作と予測方略が視覚の予測と手・身体の運動の協応関係で確かめられた結果、パドルをボールに当てる被験者の予測の方策は正確な注視行動ではなくボールの運動軌道範囲の正確な把握、あるいはボールのブランクのタイミングによって決まる。