

3. 絵画的要因による 3 次元視

3.1 形状からのソフトネス(softness)とウェイト(weight)-部分の形状特性から推測した材質

ものの形状は材質とその特性を評価する重要な手がかりである。例えば、樹木は木で構成されているとか、ビルは石から作られているとかというように物の形状は材質の知覚に影響するし、形状の大きさがマイクロ(micro)のレベルでは形状面の粗さを、中程度(meso)のレベル(macro)ではテクスチャと部分的形状を、グローバルなレベルでは形状全体が形状知覚の手がかりとなる。

Schmidt et al.(2020)は、波紋の中のさざなみ、粘液の固まり、ねじれた布目などの材質特徴が未知の形状の材質の知覚へ影響するかを、材質の基本となるソフトネス(softness)とウェイト(weight)を指標にしてしらべた。図 45 に材質知覚の手がかりとなる特徴を 3 段階の大きさレベル (micro、meso、mag の 3 つのスケール) で示した。図の (A) は武将の銅像で、micro scale は粗い緑青(rough patina)、meso scale はテクスチャ (縞状の馬の皮膚)、meso scale local (揺れるたてがみ)、mag scale global(頭部とヘルメット)がそれぞれのレベルにおける材質知覚の手がかりとして抽出された。図 (B)、(C)、(D)、(E) は実験で使われた手がかりとなる部分図形のシミュレーション(Schmidt, et al. 2020)。

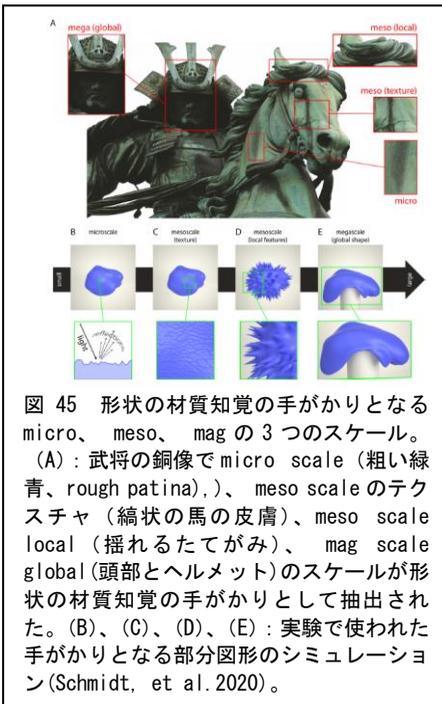
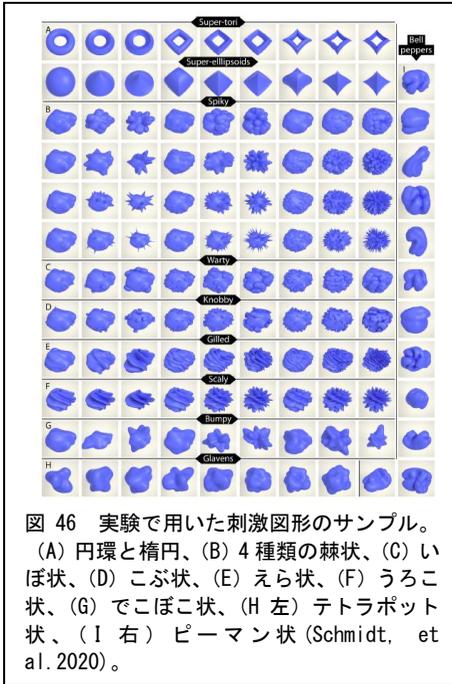


図 45 形状の材質知覚の手がかりとなる micro、meso、mag の 3 つのスケール。

(A) : 武将の銅像で micro scale (粗い緑青、rough patina)、meso scale のテクスチャ (縞状の馬の皮膚)、meso scale local (揺れるたてがみ)、mag scale global(頭部とヘルメット)のスケールが形状の材質知覚の手がかりとして抽出された。(B)、(C)、(D)、(E) : 実験で使われた手がかりとなる部分図形のシミュレーション(Schmidt, et al. 2020)。

ーションの部分図形である。ここではとくに、mesoscale レベルの形



状特徴が材質知覚のソフトネスとウェイトに与える役割を非熟知の対象を提示してしらべられた。実験で用いた材質評価のためにシミュレートされた図形のサンプルは図 46 に示されたように、(A) 円環と楕円、(B) 4 種類の棘状、(C) いぼ状、(D) こぶ状、(E) えら状、(F) うろこ状、(G) でこぼこ状、(H 左) テトラポット状、(I 右) ピーマン状の 8 種類で、それぞれ 9 通りに図形要素を変形し作成し提示された。softness と weight の知覚評価のパラダイムは図 47 に示したように、知覚評価の対象図形は中心に配置し、馬蹄形状に選択図形がアニメーションで提示した。

被験者 (15 人、平均年齢 24.4) には中心に配置した対象の材質を 10 段階の評価値として描写したアニメーションをクリックし softness と weight の知覚にもっとも適切な評価値 (1 から 10) を選択するように指示した。図 3 B には softness(青のシリンダーで表示)と weight の (青のボールで表示) 判断のために提示したアニメーションのフレームである。

Softness の材質知覚評価は、中心に提示した対象の softness についてもっとも適切な評価値をボールが材質のサンプルであるシリンダーに落下するアニメーションの様態を観察して選択するように、また weight についての材質評価は重さの違うボールをもっともソフトなシリンダーに落下させて、その様態からもっとも適切な評価値を選択させた。また、weight の評価のあと、対象は何か、それは

何か特定の材質からできているか、そして何か特定の変形を受けているかを尋ねた。

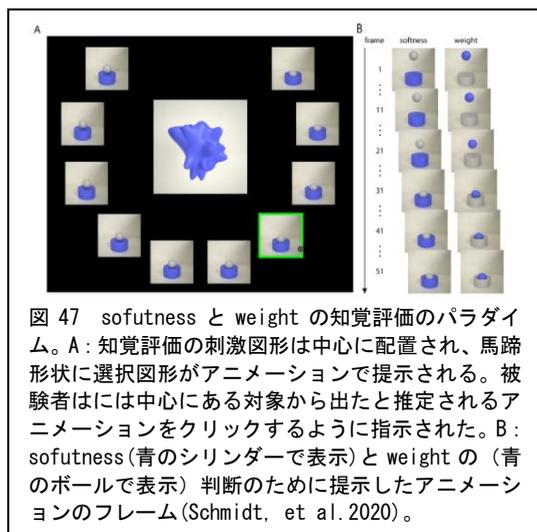


図 47 softness と weight の知覚評価のパラダイム。A: 知覚評価の刺激図形は中心に配置され、馬蹄形状に選択図形がアニメーションで提示される。被験者は中心にある対象から出たと推定されるアニメーションをクリックするように指示された。B: softness (青のシリンダーで表示) と weight の (青のボールで表示) 判断のために提示したアニメーションのフレーム (Schmidt, et al. 2020)。

実験の結果、(1) softness についての知覚評価では、その評価が 2.2 と 7.8 の間で、また weight のそれは 3.13 と 7.4 の間でそれぞれなされ、評価に選んだシミュレーション刺激が妥当だったこと、(2) 評価の個人間の相関値は softness 評価で 0.26、weight のそれで 0.21 を示し、個人間で差があるものの softness と weight の

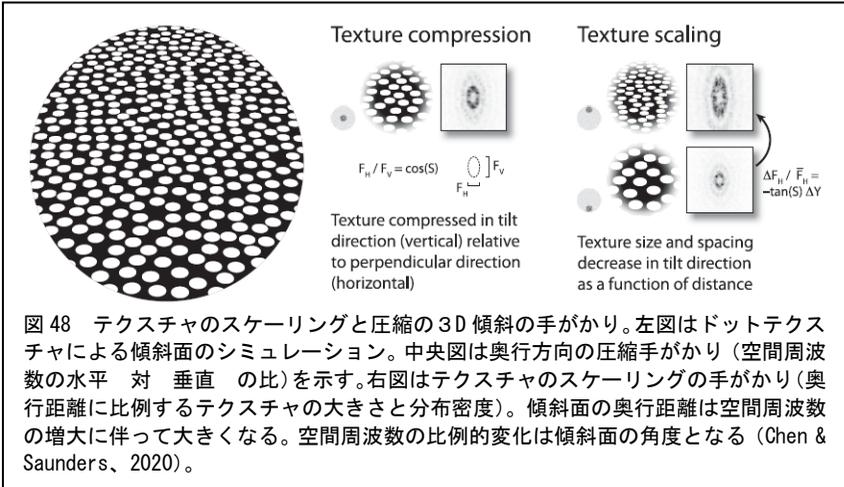
評価で相互に一致していること、(3) softness と weight の評価では、softness の個人間評価の一致度が高く、形状はまずソフトか硬いかで評価されること、(4) softness と weight の間の評価の一致度をみると、より軟らかな評価はより軽く、より硬いとより重たい評価がなされること、(5) softness と weight の評価のための 8 通りの選択刺激の特徴によって評価が異なり、とくに選択刺激のスパイクの数と尖りを増大すると weightness は硬くそして重たく評価されること、(6) 選択刺激を熟知した事物から言語連想させても、その材質評価に影響しないこと、(7) softness と weight の評価は選択刺激の面の特徴と相関があること、などが示された。

このことから、softness と weight の知覚評価は材質の表面 (surface) の部分的凹凸に依存することが明らかにされた。

3.2 テクスチャ

Chen & Saunders(2020)は、絵画的手がかりのうちテクスチャの面の 3D 傾きにおける効果を、とくにテクスチャの圧縮要因を手が

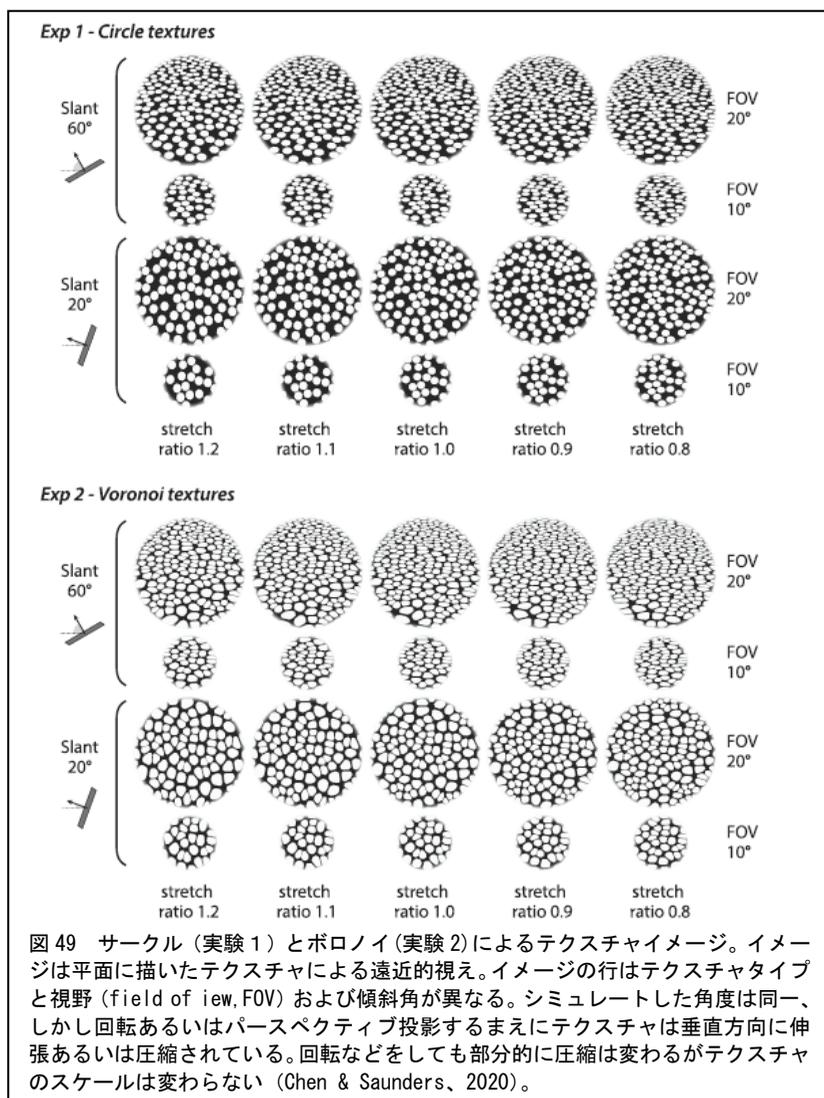
かりが競合する事態で構成して検討した。図 48 にはテクスチャの 3



D 傾斜の基本となる手がかりである圧縮とスケールリングが図示されている。左図はドットテクスチャによる傾斜面のシミュレーション、中央図は奥行方向の圧縮手がかり（空間周波数の「水平 vs 垂直」の比）、そして右図はテクスチャのスケールリングの手がかり（奥行距離に比例するテクスチャの大きさと分布密度）をそれぞれ示す。したがって、傾斜面の奥行距離は空間周波数の増大に伴って大きくなる。空間周波数の比例的变化は傾斜面の角度となる。これらの手がかり要因には、視野の大きさが関係し、視野のトップと底辺ではテクスチャスケールリングがその平均的水平の大きさとは異なり（スケールリングコントラスト）、これが視えの傾斜に関係する（Todd et al.2007）。

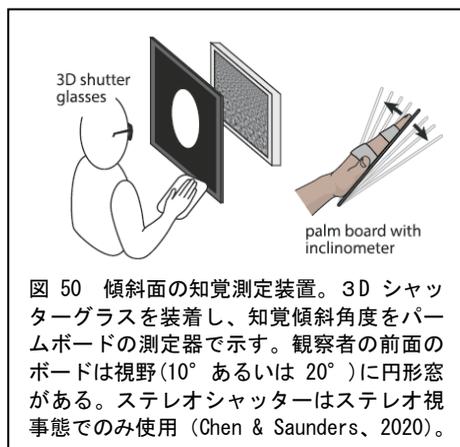
Chen & Saunders(2020)は、テクスチャ圧縮要因による傾斜面を面の拡張と圧縮を別々に操作し視えの傾斜を測定した。拡張と圧縮はそれぞれ±10%、あるいは±20%の手がかり競合状態とした。図 49 には操作したテクスチャの要因が示されている。テクスチャの形状要素にはサークル（実験 1）とボロノイ（実験 2）を用いた（イメージは平面に描いたテクスチャによる遠近的視えである）。図中、イメ

ージの行はテクスチャタイプと視野 (field of view,FOV) および傾斜



角が異なっている。シミュレートした角度は同一、しかし回転ある

いはパースペクティブ投影する前にテクスチャは垂直方向に伸張あるいは圧縮される。回転などをして部分的に圧縮は変わるがテクスチャのスケールは変わらない。実験 1 では、テクスチャの圧縮要因のみが変えられてテクスチャ勾配およびテクスチャのスケーリング



は同一とした事態で面の視えの傾斜角を測定した。図 50 のように、デジディスプレイ上に投影した傾斜面の知覚角度をステレオシャッター眼鏡を着け片眼にはパッチを装着して単眼視で、右手のパームボード使って示すように被験者(12人)に教示した。観察者の前面のボードは視野(10°あるいは20°)に円形窓がある(ステレオシャッターはステレオ視事態でのみ使用)。実験条件は、手がかり

一致条件(距離に比例したテクスチャの配置)および不一致条件(テクスチャの10%あるいは20%の伸張あるいは圧縮)が設定された。シミュレートした傾斜面の角度は手がかり一致条件の場合0°から70°で10°ステップ、手がかり不一致条件では0°から60°まで20°ステップで変えられた。

単眼視条件での実験(実験1と2)の結果、手がかり一致条件の場合(圧縮あるいは伸張がない場合)視えの角度はシミュレートした角度に対して非線形に増大し、20°以下では視えの傾斜がそれより低く、逆にそれ以上のシミュレート角度では大きくなった。また、この傾向は視野10°と20°ほぼ類似した。手がかり不一致条件の場合、視えの傾斜は伸張が低い場合と圧縮が高い場合には有意に小さく判断され、またテクスチャ圧縮要因は伸張要因より視えの傾斜が有意に高かった。また、視野の大きさ(FOV)はスケーリングコントラストがことなるにも関わらずテクスチャからの視えの傾斜に影響しなかった。手がかりの効果の程度を手がかりウエイト(cue

weight、他の手がかり効果の総計に対する一つの手がかりの効果)として計算すると、テクスチャの圧縮要因が傾斜面の知覚に他の要因より影響していた。

両眼視条件での実験では、テクスチャの要素はボロノイで構成され、シミュレートした角度は 0° から 70° まで 10° ステップに設定された。その結果、手がかり一致条件の場合、視えの角度は、単眼視事態と同様に、シミュレート角度に対して非線形に増大した。手がかり不一致条件の場合、視えの角度はシミュレート角度に対して非線形に増大し、また

手がかりウエイトを指標とすると圧縮要因と視野の大きさ要因 (10°) が視えの傾斜に対する影響が大きいことが示された。

単眼視と両眼視条件の実験結果から、テクスチャの圧縮要因が視えの傾斜に影響する主たる手がかりであり、テクスチャのスケーリング要因が追加的な手がかりとして働くと考えられ、テクスチャと両眼視差の手がかりが統合されて奥行傾斜知覚が矛盾なく成立すると考えられる。

3.2 陰影による 3D 形状

推定された上方光源による陰影からの 3D 形状知覚と年齢変化

絵画における陰影は面のローカルな形状および対象の光源方向に依存して変わる。上方から照らされた凸面のトップは明るく底は暗くなり、凹面は弱の陰影パターンとなる。観察者は陰影手がかりから形状を知覚するためには照射方向を知らなければならない。Yonas, et al.(1979)は、3歳齢までには上方からの光源による陰影を知覚できることを示した。しかし、Thomas et al.(2010)は、上方からの光源による陰影から凸面を7歳齢の児童は正確に知覚できないことを示し、発達過程が先伸びしていること、さらに陰影による凹凸知覚には多くの視覚経験が必要なことを示唆した。Gerardin et al.(2010)は、さらに、上方ばかりでなく左方向からの光源でも形状知覚が可能なことを示し、これが可能になるのは右脳半球側に注意を喚起され視覚経験が豊富になるからと考え、最近、これは神経画像や電気生理的データで明らかになった(Taira et al., 2001; Mamassian et al., 2003; Halligan et al., 2003)。

Pickard-Jones, et al.(2020)は、5歳齢から7歳齢の児童を対象に年齢、パターン全体がわかるグローバル処理過程、凸知覚バイアス、および読書能力の要因が陰影知覚の発達に及ぼす関係をしらべた。被験児童は5歳児群(19名)、7歳児群(18名)、9歳児群(22名)そして11歳児群(18名)とした。実験では、ハニカムパターン課題(honeycomb)で光源がどこにあるかを被験者に問うた。図51(A)

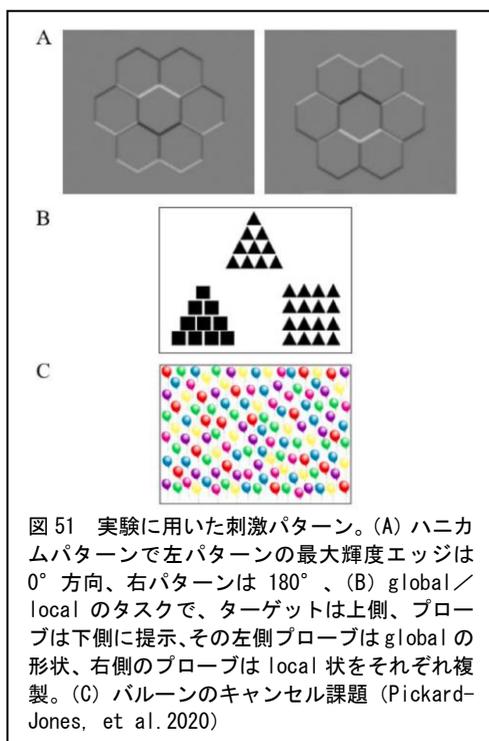


図51 実験に用いた刺激パターン。(A) ハニカムパターンで左パターンは最大輝度エッジは 0° 方向、右パターンは 180° 、(B) global/localのタスクで、ターゲットは上側、プローブは下側に提示、その左側プローブはglobalの形状、右側のプローブはlocal状をそれぞれ複製。(C) バルーンのキャンセル課題(Pickard-Jones, et al. 2020)

に示したように、六角形を中心に6個の同一パターンが囲んだパターンで凹凸状を表現したエッジのコントラストは2倍で、左側が右側よりコントラストを少し高くして描かれた。上側の左のコントラスト差は右光源を、下側の左のコントラスト差は左光源を意味させた。刺激は 0° から 330° まで 30° ステップで回転して提示した(図のAに 0° と 180° の回転図形を提示)。回転角度 0° の刺激の中央の六角形は凸状に、光源が上方にあるように見える。被験児童には前あるいは後ろに見える部分にあるいは中央の六角形の部分には蜂蜜が一杯あるか、空かを

口頭で話させた。次にグローバル/ローカル課題を実施した。図(B)に示したように、この課題はターゲットは上側に、プローブは下側に提示し、その左側プローブはglobalの形状、右側のプローブはlocal形状をそれぞれ

れ複製してあるので、被験児童にはターゲットに類似しているのはどちらと答えさせて被験児童の形状処理の嗜好をしらべた。

最後にバルーン消しテスト、すなわち図 (C) にあるように、バルーン 126 個の中から緑のバルーンをチェックする課題を実施し、そのスタート位置を記録した。

実験の結果、(1)陰影による凹凸知覚が可能になった被験児童の推定された光源方向は上方(0°)から左側(-24.7°)の範囲で、左方向バイアスがあること、(2)これが可能な年齢グループは7歳児からであるが、7歳児と9歳児グループ間には有意差が無いこと、(3)凸状知覚可能な年齢は進むにつれて増しグループ間に有意差はあるが、知覚しないグループ間には有意な差は無い、(4)刺激をグローバルに把握する能力は、5歳児と9歳児グループで有意に差があり年齢とともに進展した、(5)バルーンテストでは、5歳児グループはパターンの中央から、7歳児グループは左側から、9、11歳児では左端からスタートした。そこで、被験児童の推定された光源方向、読み書き能力、バルーン課題のスタート地点、そして推定された方向の感受性の相関を年齢ごとにみると、相関はないことが示された。しかし感受性とグローバル判断の間に相関が示された。

これらの結果から、成人と同じような3D陰影知覚の光源を上方にあると仮定しているのは7歳齢からと考えられる。

3.3 その他の研究

ネッカーキューブの視えの手がかりによるプライミング効果と瞳孔大きさ変化

ネッカーキューブが奥行反転してもある方向から知覚されることが多いのは、知覚経験の積み重ねで一般的視点(**generic point**)から見られことが多く、偶然の視点から見られることが少ないからの仮説がある (Nakayama and Shimojo 1992)。ネッカーキューブのような多義的な刺激パターンの知覚では、下方からの視点 (**view-from-below**) より上方からの視点(**VFA, view-from-above**)が好まれるバイアスがあることを示す。これは日常、対象を見下ろす刺激布置の場合が多いからである (Kornmeier, Hein, & Bach, 2009)。さ

らに、この種の曖昧図形に対する先行刺激が後のターゲット刺激に影響するプライミング効果があることも示された (Toppino 2003)。

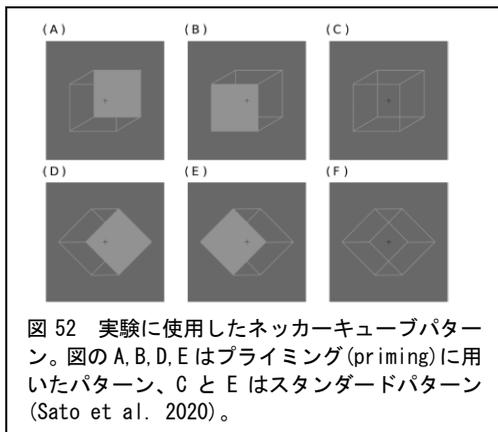


図 52 実験に使用したネッカーキューブパターン。図の A, B, D, E はプライミング (priming) に用いたパターン、C と E はスタンダードパターン (Sato et al. 2020)。

Sato et al. (2020) は、この種の知覚バイアスが瞳孔にも表れるのではないかと瞳孔測定 (pupillometry) を試みた。実験は、図 52 (図の A, B, D, E はプライミングに用いたパターン、C と E はスタンダードパターン) に示されたように、キューブの一面に陰影を付

けることで特定の方向からの視点 (パースペクティブ) を先付け (priming) して、その効果を反転回数と瞳孔の大きさを指標として実験を試みた。実験 1 ではキューブを正立した位置につけ、実験 2 では横向き回転位置につけて提示した。実験 1 と 2 手続きは、図 53 に示した。図 A には、実験の刺激の提示順序および 2 つの質問項目で、被験者にはキー操作で回答させた。ネッカーの立方体を観察する位置は被験者の上方向見下ろす視点である。受動条件では被験者に下方の視点からのキューブを観察させ、一方、強制注意条件では注視点から目をそらさないようにキューブのパースペクティブを維持するように教示した。図 (B) は実験 2 の手続きで、刺激には横左あるいは右に回転したネッカーの立方体を提示し、実験 1 と同様に答えさせた。ここでも上方からの視点バイアスと図地反転時の瞳孔拡大が生起するかを吟味した。28 人の被験者に、最初に注視点を 1 秒提示、そのあと手がかり (面に陰影を付加) のあるキューブを 3 秒提示、そしてテストキューブ (輪郭のキューブ) を 3 秒提示し、質問項目 (知覚したキューブのパースペクティブはどれか、および観察中に知覚反転が起きたか) を提示して回答させた。実験では併せて、両眼の眼球運動と瞳孔の大きさが赤外線装置で追跡し測定され

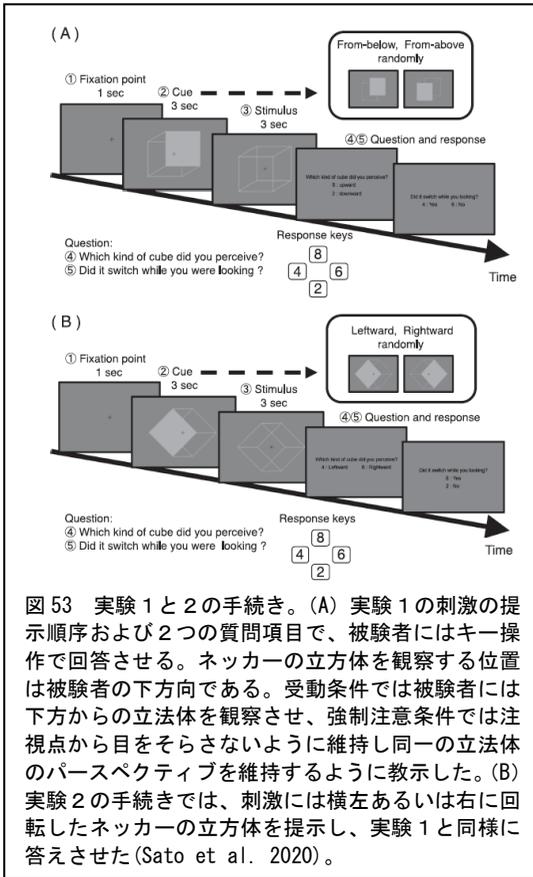


図 53 実験 1 と 2 の手続き。(A) 実験 1 の刺激の提示順序および 2 つの質問項目で、被験者にはキー操作で回答させる。ネッカーの立方体を観察する位置は被験者の下方である。受動条件では被験者には下方からの立法体を観察させ、強制注意条件では注視点から目をそらさないように維持し同一の立法体のパースペクティブを維持するように教示した。(B) 実験 2 の手続きでは、刺激には横左あるいは右に回転したネッカーの立方体を提示し、実験 1 と同様に答えさせた (Sato et al. 2020)。

た。実験 1 では、2 通りの観察条件、すなわち注視点を見ながらキューブを受け身で観察する条件 (受動注視点条件)、および注視点を注視しながら最初に知覚した視えを維持するように教示する条件 (強制注視点条件) を設定した。これは上方からの視点の場合は下方からの視点より注意資源が少なくすみ、瞳孔の変化にも違いが出ると考えられたからである。

実験 1 の結果、プライミングの手がかりに依拠したキューブの視えの反応比率は受動注意条件より強制注意条件の方が同一のパースペクティブを多く維持された。上方向視点条件

への反転比率は下方向視点のそれよりも高く、また強制注視点条件の方が受動注視点条件より高いことが示された。さらに、知覚反転での瞳孔の大きさ変化が、刺激提示からの時程にそって注視点間で分析され、パースペクティブの視えに合致する視点上方向条件と視点下方向条件の間には、瞳孔大きさは有意には変化しないことが示された。

実験 2 では、キューブを正立ではなく横転させて提示し、慣れ親しんだパースペクティブとは異なる条件で、プライミング効果およ

び瞳孔大きさを測定した結果、陰影手がかりを与え、強制注視した条件のキューブのパースペクティブの視えは受動注視条件より、有意により高いことが示されたが、知覚反転比率には強制・受動注視条件間に有意差は無く、さらにキューブの左回転あるいは右回転提示条件間にも瞳孔の大きさ変化に差は生じなかった。

これらの結果から、上方向の視点から対象の正立提示はもっとも頻繁的な日常経験であるために、これを注視しつづけ、また対象の視えのパースペクティブを維持するのに心的努力が少なくすみ、知覚されやすいと考えられる。

ネッカーキューブの知覚反転における循環推論 (Circular inference) モデル

知覚システムでは事物を見たとき、2次元網膜像の手がかりから3次元の形状を再構成するが、これは数学的にはひとつの解に到達できない逆問題である。しかし人間の脳の働きは、あらかじめ存在する情報と経験を多義的な情報と結びつけてひとつの解を推定すると考えられている。多義的情報と経験を結びつけるベイズ(Bayes)の理論は、観察した事象から、その原因である推定したい事象を確率的な意味で推定することをさすので、一般的には特定の条件のもとで最もあり得るひとつの解が得られる。しかし多義性が多いとひとつの解を導くことは難しく2つ以上の知覚的解釈が導かれ、その解釈が往復反転する。ネッカーキューブの場合には、視点が上方からの視え (SFA) と視点が下方からの視え (SFB) の2つの知覚的釈が反転する。この種のベイズの確率論で脳が最適解をとるとする研究では、それが妥当だとするもの(Ernstme & Banks,2002; Körding et al.2007; Shen & Ma, 2016; Weiss et al.2002)と、説明できないとするものがある(Acerbi et al.2014; Beck et al. 2012;Drugowitsch et al.,2016;Hudson et al,2007)。ベイズ理論では説明できない場合、脳の回路におけるフィードフォワードとフィードバックの情報の流れの中で状態に依存した非線形の相互作用によって最適に説明できるかもしれない。そのような理論として循環推定(circular inference)が **Jardri & Denève (2013)** によって考えられ統合失調症患者の考え方に応用された。この理論によると、脳の機能は世界のヒエラル

キー的モデルにおける確率的なメッセージ（信念）の伝搬に類似すると考える。フィードフォワードとフィードバックの情報の入力結合すると、ベイズ理論の事前確率と尤度確率でもたらされるものと等しくなるが、神経回路は高度に周期があるので感覚と事前情報は容易に反響しフィードフォワード・フィードバックループを通して増幅して事前情報の改変が起きる。このような反響は興奮と抑制

が脳の回路でバランスを保っていれば避けられる。

Leptourgos et al.(2020)は、知覚行動でもこのような論理の循環による改変が健常者でみられるのではないかと考え、反転図形でこの種の論理循環による知覚行動の改変を実証しようと試みた。ここではとくに、事前情報と感覚されたもの（感覚証拠）との間の普通ではあり得ない相関、およびこれに循環推定が作用して知覚のしくみに影響するかをしらべた。実験に用いられたキューブ刺激では、**図 54** に示されたように、パースペクティブを知覚する手がかりと教示が変えられた。

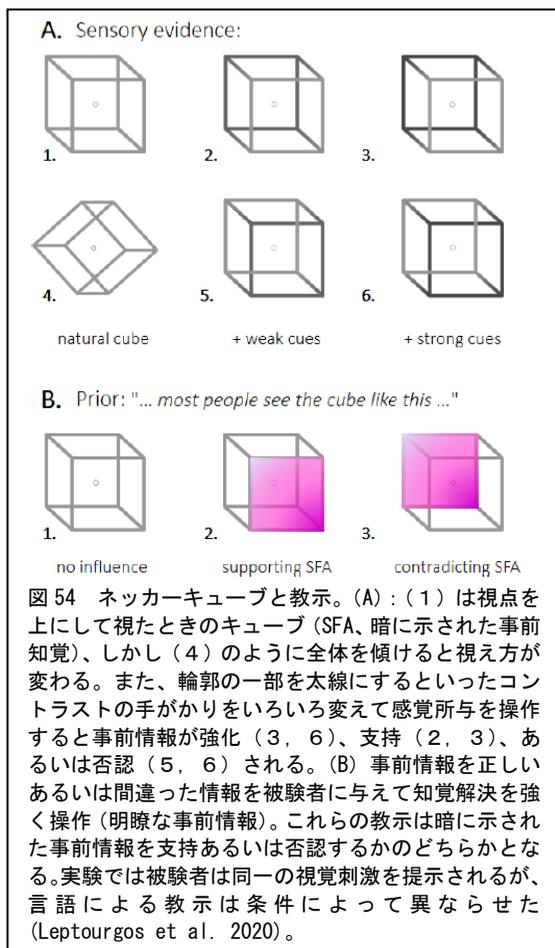


図 (A) は視点を上にして見たときのキューブ (SFA) で、暗々裡の事前知覚と仮定した。また、図 A-4 のように全体を傾けると見え方が変わるあるいは輪郭の一部を太線にしコントラストの手がかりを変え感覚所与を操作すると、事前知覚の情報強化 (図の 3, 6)、支持 (図 A-2, 3)、あるいは否認 (図 A-5, 6) といった操作を行った。図 (B) には、事前情報 (正しいあるいは間違っ) を被験者に与えて知覚解決を強く操作 (明瞭な事前情報) し、これらの教示によって暗々裡の事前情報を支持あるいは否認する操作も実施した。

実験では被験者は同一の視覚刺激を提示されるが、言語による教示内容は条件によって異ならせた。被験者の事前知識を変えるために 4 つのグループ (各 12 人) が作られた。グループ 1 (上方からの視点という暗々裡のバイアスを中立化) では、上からの視点という暗々裡のバイアスを中立化するためにキューブが傾けられて提示された。その他のグループではあいまいな事前知識を異なる教示を与えることでバイアスを変えた。グループ 2 (支持的教示) には、キューブの全面が右にあり、上方からの視点で見えているという明瞭な教示を与え、見た瞬間の視えを支持させた。グループ 3 (矛盾する教示) には視点を下にとるキューブが視えるのが自然な傾向と不正確に教示し、暗々裡の事前知識とは矛盾させる。グループ 4 (中立的教示) には補足的な情報を与えず事前知識を暗々裡のバイアスにさせておく。実験手続きは、**図 55** に示されたように、最初にインストラクション (教示) が与えられる。その後ラーニングがスタートし、提示したキューブに慣れさせ、その間に提示したキューブの視えのパースペクティブを不連続な間隔 (平均 1.5 秒間隔) で音の合図 (25 回) があるごとにボタンで反応させる。試行は 6 ブロックで、各ブロック提示するキューブ刺激の特性が変えられた。第 1 と第 4 試行には多義的なキューブが提示された。

結果を解析するために、キューブの可能な解釈 (事後確率) についての被験者の主観的信念の推論過程を構築し、それをを用いて上方視点からの知覚あるいは下方視点からの知覚か否かが決められた。ここでは、実験の 3 つの主たる効果、すなわち感覚証拠 (sensory evidence、S)、暗々裡の事前知識 (implicit prior、Pimpl) および明瞭な事前知識 (explicit prior、Pexpl) が事後確率 $P(X|S)$

Pimpl, Pexpl)に結びつく過程がそれぞれに仮定された (X は 3 次元

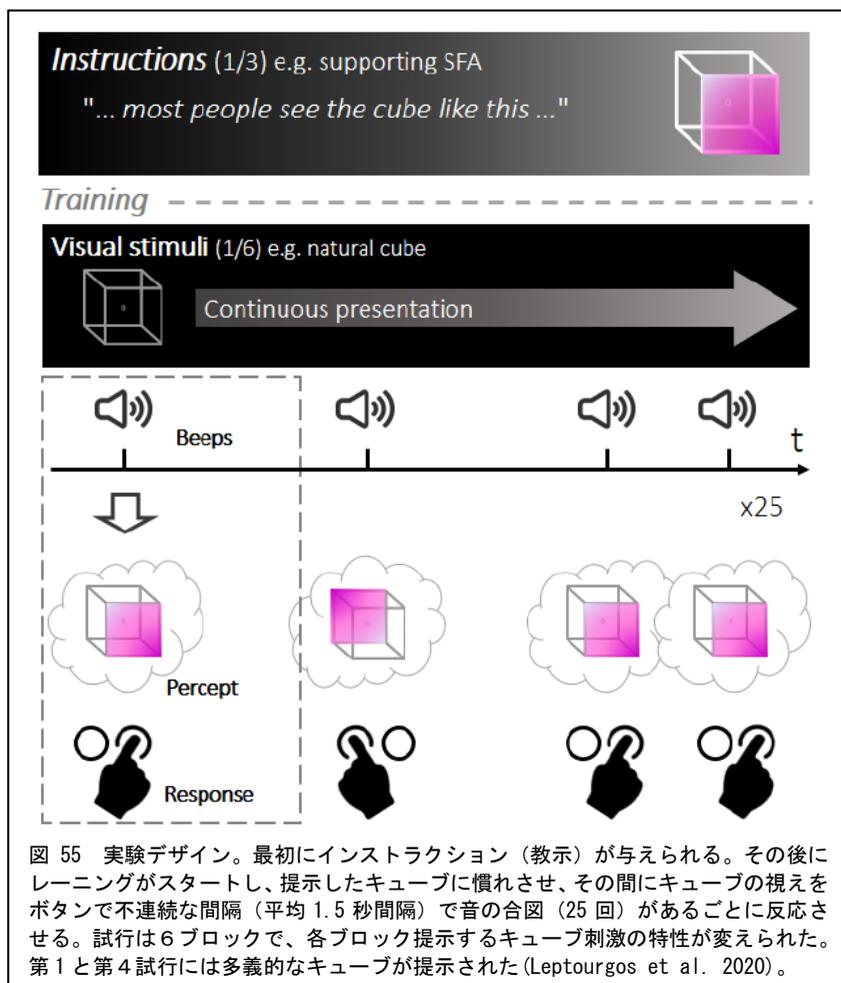
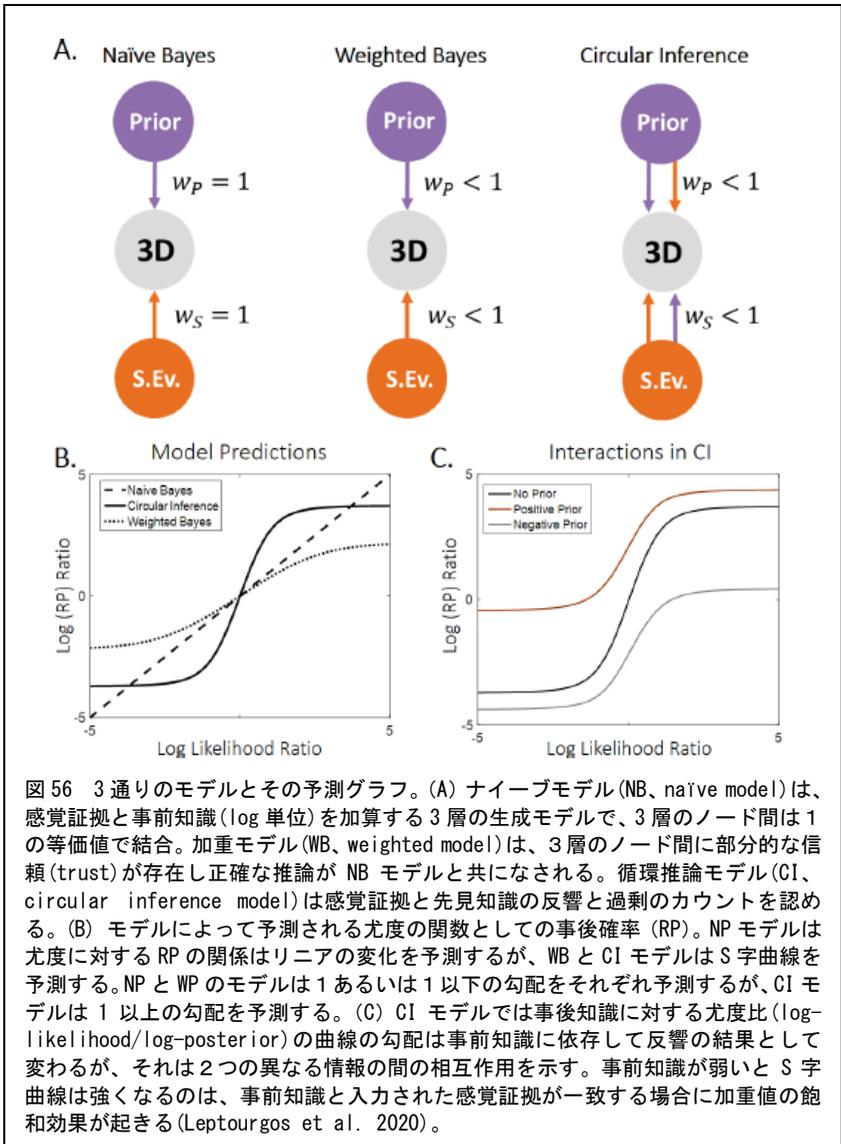


図 55 実験デザイン。最初にインストラクション（教示）が与えられる。その後にレーニングがスタートし、提示したキューブに慣れさせ、その間にキューブの視えをボタンで不連続な間隔（平均 1.5 秒間隔）で音の合図（25 回）があるごとに反応させる。試行は 6 ブロックで、各ブロック提示するキューブ刺激の特性が変えられた。第 1 と第 4 試行には多義的なキューブが提示された (Leptourgos et al. 2020)。

の解釈の数値で、 $X = 1$ は SFA、 $X = 0$ は SFB にそれぞれ対応)。

実験の結果から、まず、相対的優先値(RP、relative predominance)が計算された。この RP は、全被験者の全試行の総平均で、他に対するひとつの知覚解釈の一般的可能性という意味をもつ。数値 1 ある



いは0は、SFA あるいは SFB の完全な優位にそれぞれ対応し、0.5

はチャンスレベルで 2 つの知覚解釈は五分五分である。図 56 はこの 3 通りのモデルと尤度に対する RP の予測がグラフで示されている。図 (A) はナイーブモデル(NB、naïve model)で感覚証拠と事前知識(log 単位)を加算する 3 層の生成モデルから構成され、各層のノード間は 1 で結合される。加重モデル(WB、weighted model)は、各層のノード間に部分的な信頼(trust)が存在し正確な推論が NB モデルと共になされる。循環推論モデル(CI、circular inference model)は感覚証拠と事前知識の反響とカウントの過剰を認める。ここでは情報が加重されるばかりでなく情報ループのために拡充される。図 (B) にはそれらのモデルによって予測される尤度の関数としての RP である。NP モデルは尤度に対する RP の関係がリニアに変化することを予測するが、WB と CI モデルは S 字曲線を予測する。NP と WP のモデルは 1 あるいは 1 以下の勾配をそれぞれ予測するのに対して、CI モデルは 1 以上の勾配を予測する。図 (C) には CI モデルの尤度比に対する RP 曲線である。事後知識に対する(log-likelihood/log-posterior)尤度の曲線勾配は事前知識に依存して反響の結果として変わるが、それは 2 つの異なる情報の間に相互作用があることを示す。事前知識が弱いと S 字曲線は強くなるのは、事前知識と入力された感覚証拠が一致する場合に加重値の飽和効果が起きるからである。WP モデルと CI モデルにおける WS と WP は、感覚証拠と事前確率の被験者の信頼(加重)をそれぞれ示す。

実験の結果、感覚証拠を操作すると知覚反転に有意に影響し、反転回数の総平均値 RP は手がかりが矛盾する場合には強固に、支持する場合には弱くなることが示された。教示を通して事前知識を変えると手がかりが矛盾する教示の場合にのみ影響し、全 RP の削減を有意にもたらした。キューブを傾け教示しないで提示した場合には RP の値が有意に減少し、上方からの視点という知覚へのバイアスを暗々裡に事前知識としていることを実証した。さらに、手がかりの連続効果と矛盾する教示の間には有意な相互作用が認められた。

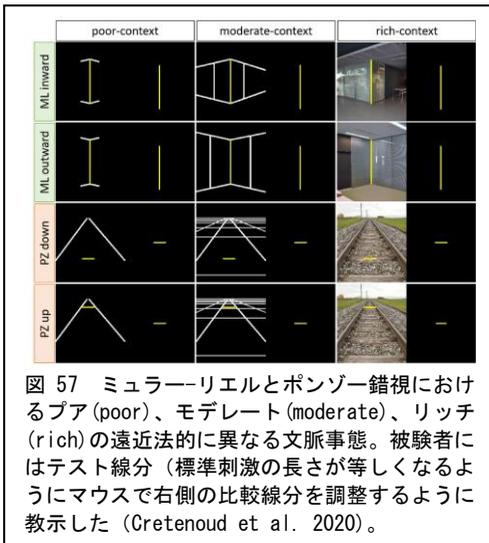
これらの結果を NB、WB および CI モデルに照らして比較する。NB モデルでは、大体は多くの傾向を捉えているが、ただし教示のない場合のキューブにおける RP は過小評価され、また正しい尤度の対比值に対する RP 曲線のスロープを予測できない点が指摘できた。

これは、教示のない通常のキューブのスロープが予測よりも大きいことから考えるとモデルに合っていないと考えられる。WB モデルでは、NB モデルより予測曲線に適合するが、上方視点からに矛盾する条件ではその手がかり効果が過小評価された。CI モデルでは、上記 2 つのモデルとは異なり、異なる条件での手がかり効果における曲線は循環推論に合致し、さらに支持あるいは矛盾する教示間の不釣り合いを新たなパラメータを追加しないで説明できた。支持する教示は事前知識の数値を強め曲線を飽和するレベルまで達した。このレベルまで達すると、事前知識がそれ以上になっても事後確率には影響しない。一方、矛盾する教示では総体的事前知識をゼロまで近づける強い効果がみられた。この 3 種類のモデルの適合性をベイズの情報基準 (BIC、Bayesian information criterion) でしらべると、CI モデルが他のモデルより有意に優れていることが示された。

このことから、多義的な感覚証拠は体系的に現在通用している期待の方向にバイアスがかかり、結果として知覚反転が起きると考えられる。

ミューラー-リエルとポンゾー一錯視図形の背景文脈における個人差

Cretenoud et al.(2020) によって線遠近法とリアルシーンを背景文脈にした 2 つの錯視 (ミューラー-リエルとポンゾー) の個人差が年齢のことなる被験者でしらべられた。被験者は 76 名で 6 歳から 66 歳の男女とした。錯視図形は、**図 57** のように、ミューラー-リエルとポンゾー錯視とし、錯視線分の背景をリッチ (rich)、モデレート



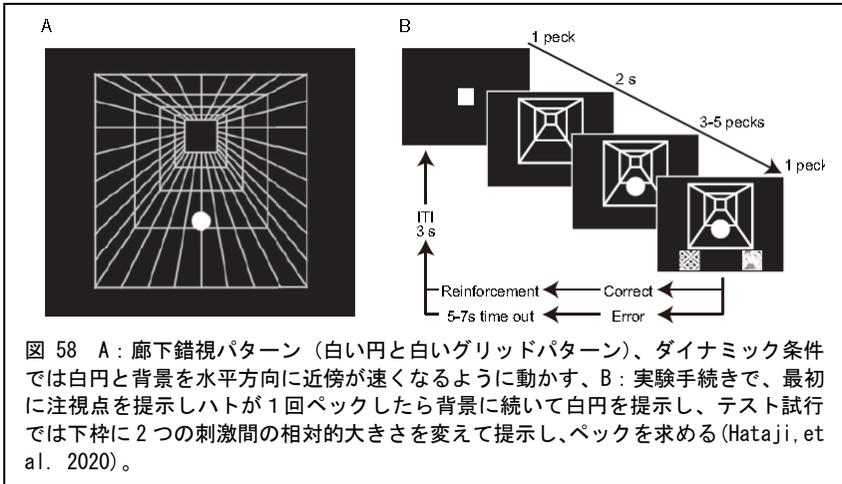
(moderate)、プア(poor)の3つの事態の遠近法描写の異なる文脈事態を設定した。リッチ事態の背景にはリアルな日常場面(建物のコーナーと線路)を、モデレートとプアな事態は、リッチの遠近部分を簡略化して描写した。被験者にはテスト線分(標準刺激の長さ)が等しくなるようにマウスで右側の比較線分を調整するように教示した。

実験の結果から平均錯視量は、3通りの文脈事態ですべてミュラー-リエルの外交図形では標準刺激の線分が長く(ただしプア事態では短く知覚)、内向図形では短く、またポンゾー錯視では線路がアップでは長くダウンでは短く知覚された。ひとつの錯視図形における錯視量の個人間の相関は文脈とは独立にしかも異なる錯視図形間より有意に安定していた。また、年齢変化による錯視量の減少は年齢が高くなるほど大きかった。

この結果から、ミュラー-リエルとポンゾーの錯視量の間には強い相関があるが、ひとつの錯視の文脈間の相関は弱いことが示され、錯視量を規定する要因はひとつに限定できないと考えられる。

ハトのダイナミック廊下錯視

Hataji, et al.(2020)は、ハトの廊下錯視および大きさ恒常性に対する絵画的手がかりの有無について実験した。6個体のオスのハトを予備訓練し、2個の矩形の刺激を提示し、大きい方をペックしたら報酬を与える訓練をした。テスト試行では、**図 58**のAに示したように、背景の大きさを試行ごとに変えた廊下錯視パターンを提示し、その中の1個の白円の大きさを変え(25, 29, 35, 41, 47, or 55 pixels in diameter)、さらに垂直方向の位置を変えて提示した。静止条件では錯視パターンを静止して提示、ダイナミック条件では水平方向にサイン波形を描いて0.5Hzで動かして提示した。テスト試行では、**図 B**のように、最初に注視点を提示しハトが1回ペックしたら背景に続いて白円を提示し、それを5回のペックのうち3回ペックしたらパターン枠の下に2つのテクスチャの異なる矩形を大きさを変えて提示し、ターゲットが大きく視えた方あるいは小さい方をペックさせた。ターゲット刺激の位置は垂直方向の上部(パターンでは遠方に知覚)条件と下部(近方に知覚)条件が設定され、またダイナミック条件では水平方向の動きの速度が2段階(遅い、速い)に変え



られ (実験条件の組合せは 4 通り)、それぞれの条件で 85%の正答が得られるまで続けられた。

実験の結果、静止条件では被験体は遠くに視える方のターゲットの大きさを近くに視える条件のそれより有意に過大視することが示された。PSE を指標でみると、遠くに視える対象の PSE は近くに視える対象より小さく、これは人間と類似していた。ダイナミック条件でも遠くに視える方のターゲットの大きさは近くに視えるそれより有意に過大視された。しかし、静止とダイナミック条件間の PSE 値の変動は静止条件で有意となり、したがって絵画的要因が手がかりとして有効だった。

これらの結果は、ハトの大きさ恒常性が主に絵画的要因によっていて運動視差は手がかりとしての効果がないと考えられる。同様な実験が、ヒトを対象に同じ静止とダイナミック条件で試行され、その結果、廊下パターンでの錯視では絵画的要因が主に効果的な手がかりであり、運動視差も効果があることが示された。ハトとヒトの実験結果を分散分析した結果、ハトとヒト間には手がかり効果について有意な差がないことが示された。