

2. 運動による奥行視

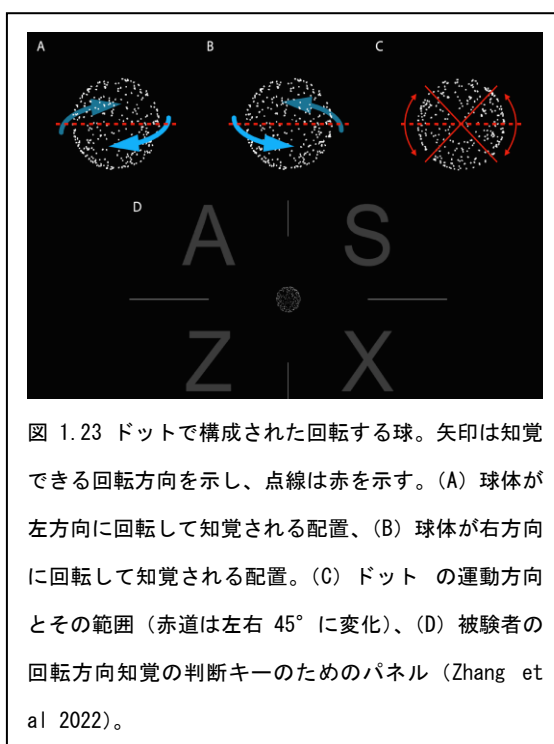
運動による形状の両義的な知覚安定におけるゆるやかな知識の影響

プ理論で多義的な視覚の入力に接したとき、観察者は同一の刺激事態で解釈が異なる経験をもち、解釈が何回も非意図的に交替する。この安定した知覚現象の一つには高度の認知機能にもとづくトップダウン理論で、もう一つには経験による情報処理と視覚系の順応に低位のレベルにもとづくボトムアップで説明されている。現在、それらの2つの過程が関与して知覚反転が必然的な起きているが、しかし高度のレベルの認知過程に影響され遅延あるいは促進されて必然的に交替する認知の抗争がおきる。

Zhang & Brascamp(2022)は、トップダウン過程に照準を当て多義的な事態を観察した時の明瞭な知識の影響を検討した。多義的に解釈できる事態での交替反転する能力は明瞭な知識を必要とし観察者に多義的な対象そのものと対象の知覚の間を連想させることが介在すると考えられた。

Zhangらは、観察者の知識がない場合に必然的に反転するアイデアの抗争事態を設定して実験して検討した。実験では多義的な動的刺激を用い、被験者には知覚反転の多義性のあることを隠して報告させた。実験の被験者(800名の学生)に図1.23のような回転する多義的な球体で運動方向が時々交替し知覚される運動刺激(ランダムに配置した白いドット)である。この実験はオンラインで実施し在宅で実施された。実験では、刺激の角度を 3.8° から 4.5° に設定し、また回転はサイン波形(垂直軸をよぎる時最大速度、回転方向はエッジに到達したときに逆転)、回転速度も秒あたり0.2サイクルとした。実験中、被験者には回転する球体を注視するように教示し、突然に球体をスクリーンに中心にとどめるがドットは運動を続けさせた。被験者には徐々に変化する回転方向の球体を注視させた。スクリーンに提示した座標軸の4つの欄の当該キーで球体運動の方向変化を押し求める。実験に先立ち被験者には球体の見え方が変化することを伝える群(inform)と伝えない群(uninform)を設定した。

この課題で測定する主要な測度は単位時間あたりの知覚反転の回数であり、またその知覚内容の初発持続時間値である。また、球体のスクリーンの4コマ欄ごとの方向



変化と知覚した回転方向の反転数をしらべた。多義的な球体を観察し連続して対象の回転方向の報告に与える被験者の実験前と実験後の知識の知覚反転への影響をしらべた。

その結果、最初の知覚反転の時間には有意な知識の影響が無いけれども、その後は知覚反転に影響が有意に示された。実験では、知識を教示されていた実験群は非教示群より有意に知覚反転し、明確な知識の反転交替の促進があることが示唆された。しかしこの知識の有無の効果は知覚反転に限定的であった。多義的な刺激を知覚する場合にトップダウンとボトムアップの両過程が知覚に関わると考えられる。

運動によるシーン関連対象の奥行知覚

視覚システムの重要な働きは 3 次元構造を 2 次元の網膜像から構成することである。観察者が移動すると網膜に投影されたイメージも動いて潜在的奥行手がかり、運動視差となる。しかし、シーンに関して対象が動けば運動視差による奥行の計算がイメージの動きの要素が加わるために複雑になる。従来運動視差理論では対象が動くことを想定していなかったため、対象の動きと観察者の移動を考慮する必要がある。

そこで、French & DeAngelis (2022) によって実験では対象がいろいろな速度で静止あるいは運動している場合について注視点からの奥行距離が求められた。図 1.24 にあるように、対象が静止し車が右に動いた場合にはすべて対象は静止、この場合のイメージの速度は 3 次元配置の対象と観察者の動きで決定できる。従って眼球はレンズのためにイメージは逆転して静止対象は注視点より近方となりイメージは右方向になるが、対象は注視点より遠方になりイメージは左方向に

動く(図 b, d)。この場合、注視点からの静止対象の奥行 (d) は、網膜イメージ速度 ($d\theta/dt$)、シーンに対する眼球速度 ($d\alpha/dt$) および注視点距離 (f) で計算される(図 1.23b)。シーンの対象は運動追跡法則 (motion-pursuit law) によると小さな角度に計算されるので 静止対象の奥行距離はイメージの運動からシーンの眼球速度が既知ならば計算できる。

これまで対象の動きは奥行知覚の計算には無視されていた。対象が動きしかも観察者が自ら運動する場合、網膜イメージ (v_{ret}) は

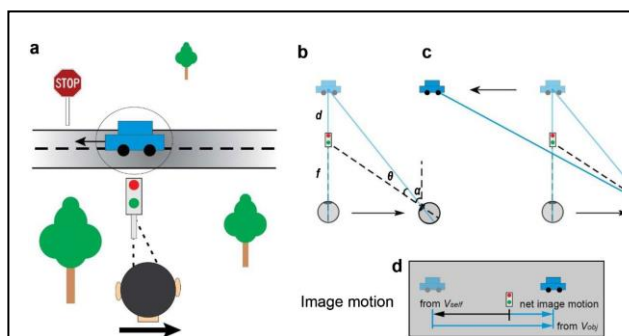


図 1.24 観察者の移動による運動視差の変化。(a) 対象が右に運動した場合で観察者が同時に左方向に移動した場合、(b-d) 観察者の運動と対象の移動に伴う対象のイメージの構成要素、(b) 対象が静止観察者が右方向に移動した場合の対象はイメージ (v_{self})、(c) 対象が左に移動、観察者が右方向に運動した場合の対象のイメージは対象のイメージと同等 (v_{bi})、(d) 対象のネットのイメージ (v_{ret}) は右となる (French & DeAngelis 2022)

シーンの中にある対象の動きと観察者自身の運動の両方で決まる(d)。図 a の移動する車の動きに関するイメージの運動 (vobj)、観察者の移動のイメージモーションおよび車の奥行位置 vself (d) が構成要素である(図)。運動追跡法則を用いて運動視差から車の奥行距離を精確に計算するためには(1)式によるので、観察者の自己運動のイメージモーション vself を下記式

$$d \approx d\theta / dt / d\alpha / dt * f \quad (1)$$

を用いる一方、対象の運動のイメージモーション vobj を無視することになる。言い換えれば、もし vself をまちがえ、

dθ/dt の中に vobj を組み入れないと奥行距離の算出も間違えることになる。ここでは、観察者の自己運動とシーンの対象の運動から構成された網膜の速度の解析は、これを用いて運動追跡法 (the motion-pursuit law) によって奥行を評価できる。もしこれら構成要素の解析の流れから異なる網膜速度が得られるならば運動視差 (すなわち vself) からだけで奥行を評価できる。

図 1.25 に示したように、観察者は知覚奥行距離のバイアスを知ることで対象の動きにつながるイメージモーション (vobj) を割り引くことができ、そして奥行を精確に計算できる。もし運動視差以外の手がかりがなければ、vobj から vself を区別する手がかりがないので、図 (f) の予測のままになる。実験では単眼視条件で明瞭な大きさ手がかりを入れてあるので観察者は vobj から vself を区別で

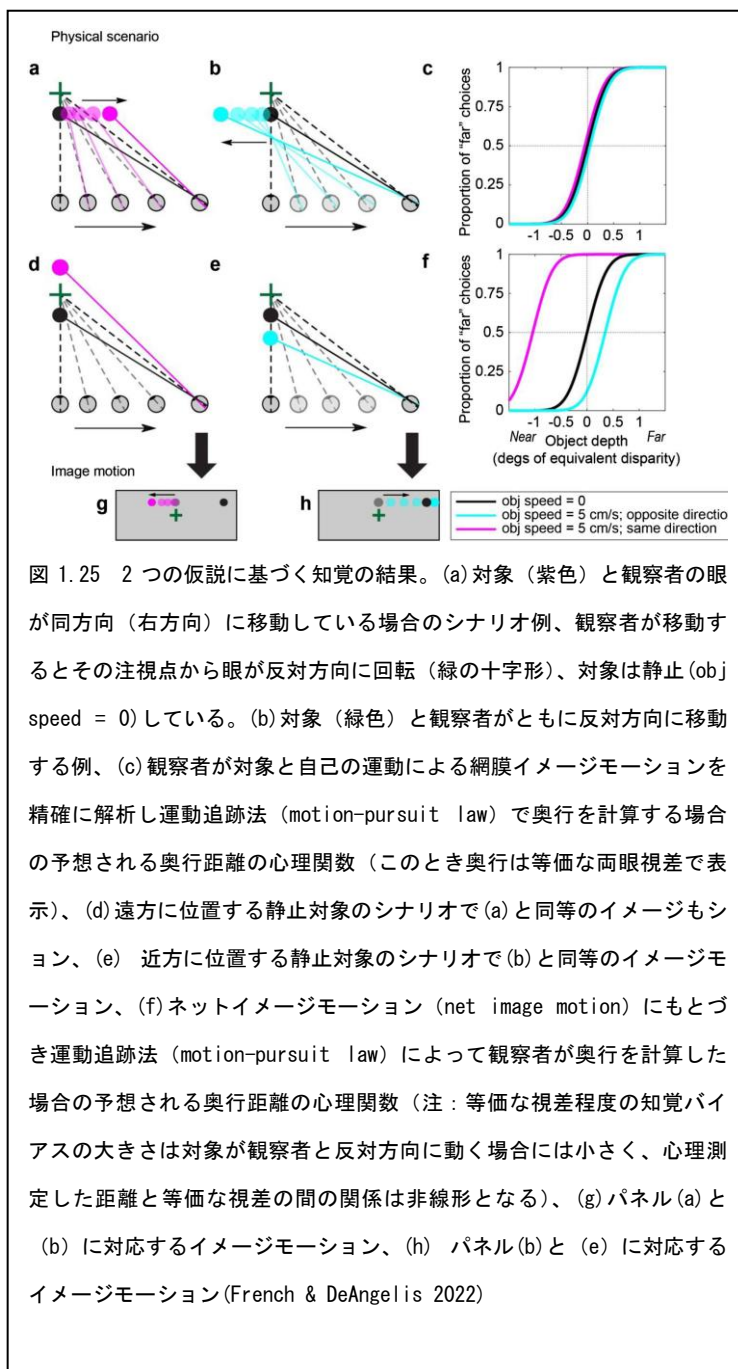


図 1.25 2つの仮説に基づく知覚の結果。(a)対象(紫色)と観察者の眼が同方向(右方向)に移動している場合のシナリオ例、観察者が移動するとその注視点から眼が反対方向に回転(緑の十字形)、対象は静止(obj speed = 0)している。(b)対象(緑色)と観察者がともに反対方向に移動する例、(c)観察者が対象と自己の運動による網膜イメージモーションを精確に解析し運動追跡法(motion-pursuit law)で奥行を計算する場合の予想される奥行距離の心理関数(このとき奥行は等価な両眼視差で表示)、(d)遠方に位置する静止対象のシナリオで(a)と同等のイメージモーション、(e)近方に位置する静止対象のシナリオで(b)と同等のイメージモーション、(f)ネットイメージモーション(net image motion)にもとづき運動追跡法(motion-pursuit law)によって観察者が奥行を計算した場合の予想される奥行距離の心理関数(注:等価な視差程度の知覚バイアスの大きさは対象が観察者と反対方向に動く場合には小さく、心理測定した距離と等価な視差の間の関係は非線形となる)、(g)パネル(a)と(b)に対応するイメージモーション、(h)パネル(b)と(e)に対応するイメージモーション(French & DeAngelis 2022)

きる。またこの実験の両眼視条件では強力な両眼ディスパリティの手がかりがあり、したがって両眼視条件で減じられる単眼視でのバイアスが得られる。

実験での被験者は成人 6 名で視力は正常。初めにコンピュータの前に座り、観察距離 57cm でディスプレイを観察させた。被験者の眼球運動はアイリンクで追跡され、中心視（距離 3.57m）の視線が外れたら再試行した。3次元のステレオシーンは赤緑のフィルターを左右眼に装着し、両眼融合が正しいこと、両眼ディスパリティと運動視差が互いにシミュレートして奥行一致していること、さらに輻輳と調節の手がかりも対象の動きにそれぞれが一致していることを確認した。シーン内には 9 個の静止対象を設定し位置と大きさを施行ごとに変えた。観察者の自己運動（シミュレートしたオプティックフロー）によるフローはガウス関数でシミュレートして横軸にそって設定した。観察するシーンでは当初静止しているが少しずつ動き始める。被験者は注視点に対する対象の奥行を判断させるために注視点を追跡させ、続いて眼を注視点のシミュレートした自己運動の反対方向にスムーズに回転して注視を維持するように教示する。その後に刺激を消して 1.5 秒後に対象が注視点の近くにあるのか、あるいは遠くかをキーで反応させた。実験は単眼視と両眼視条件でトレーニング試行の後にテスト試行を実施した。実験条件は depth（7 段階）、対象の速度（5 段階）、自己運動速度（2 段階）であった。テスト試行は常に単眼視条件が両眼視条件に後で試行してバイアスを避けた。

実験の結果、シーンにある対象の運動は単眼視条件の奥行判断でバイアスが強く、被験者は対象が遠いとする判断が観察者自己と合わさって運動対象の速度と動きに比例して逆転して知覚したので、これを対象標識速度（signed object speed (SOS)）と呼んだ。この SOS は対象と観察者が反対方向に動くとき「遠い」判断が明瞭（ポジティブ）、同方向だと「近い」判断が示された。そこで奥行の心理測定データを SOS 仮説のよって奥行バイアスを分類すると奥行が「遠い」とする選択に比例して累積ガウス関数が合致した。「遠い」と「近い」を選択した確率から奥行の閾値（PSE）を算定すると、単眼視条件では被験者は対象と同じ方向に動き網膜速度のみで判断する場合（negative SOS）には、対象の速度が速いと「遠い」と判断するバイアスが增大すること、さらに被験者が対象と反対方向に動き網膜速度のみで判断する場合（positive SOS）は、対象の速度が速い場合「近い」と判断するバイアスが增大することが示された。そこですべての被験者の PSE 値を算定すると、SOS の増大につれて単調に増大し、単眼視条件の場合には大きさの手がかりが存在するのに、シーン内の対象が動くときイメージモーションを奥行判断時に追うことができなくなる。両眼視条件の場合ではディスパリティ、運動視差、大きさの手がかりが利用可能であるが、多くの被験者は両眼視条件で対象が自己と同方向に動くとき「遠い」バイアスを、反対方向に動くとき「近い」バイアスを示したが、そのバイアスの程度は単眼視条件の 10 倍以上になった。両眼視条件の PSE と SOS の関係をみるとシーン内の対象のモーションは多くの被験者に奥行判断のバイアスを組織的に両眼ディスパリティが存在しても与えていた。しかし、両眼視条件のバイアスはより小さく、網膜のモーションのみからの予測された奥行量ほど

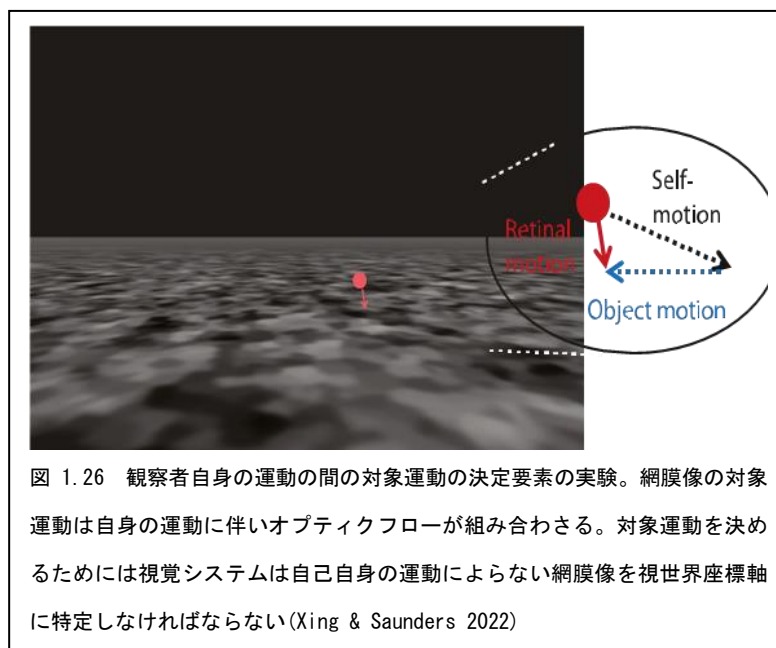
である。さらに眼球追跡ゲインと輻輳角度を分析してみるとシーン内の対象運動による奥行知覚に関してのバイアスには何らの影響が無いことが示された。したがって、この実験ではシーン関連の対象の運動は観察者の自己運動がある間は奥行知覚判断を惑わせるといえる。

観察者自身の動きによる対象運動の知覚—頭部の方向と対象の運動における判断のバイアス

Xing & Saunders (2022)は、対象観察中の頭部方向と独立に動く対象の知覚間の相関について二重課題パラダイム（個人が2つのタスクを同時に実行することを要求する）で対象運動の判断が頭部方向の知覚とバイアスが共に同一の条件で一致し、また試行毎も一致しているかをしらべた。

実験1では、ヘッディング (heading) の方向判断におけるバイアスの条件をしらべ、対象運動の判断がヘッディングの判断のバイアスと一致しているかを検討した。実験2では、視覚的あるいは非視覚的手がかりが抗争的な情報のときに非視覚的手がかりが視覚的

手がかりがある場合と同様に働くかがしらべられた。両実験ではヘッディングの知覚の変数を試行ごとに変えて対象運動の判断のバイアスをしらべた。観察者が動くと網膜上では自己の運動と対象の運動が組み合わされたオプティクスのフローができる(図1.26)。このとき動く対象を捉えるには、視覚システムは自己運動ではない網膜上の動



きを識別しなければならない。図1.27には、知覚した頭部にバイアスが生じない場合あるいは生じた場合の対象運動の判断の予測が示されている。

実験1では、被験者には中心から±15°自身が動くシミュレーションを観察させてヘッディング方向、および対象のみが左または右方向に動くかを判断させた(図1.28)。実験2では、被験者には視覚と身体の自己運動の手がかりがコンフリクトにある状態でVRの中を歩かせて対象運動を判断させた(図b)。被験者には遠くのターゲットに歩き、別に動いている対象の方向を判断させた。この場合の歩行コントロール条件が視覚的あるいは非視覚的事

態で各手がかりの相対的加重の指標を測定した。対象運動の判断は運動対象が静止していると知覚した方向の各手がかりの被験者頻度が用いられた。

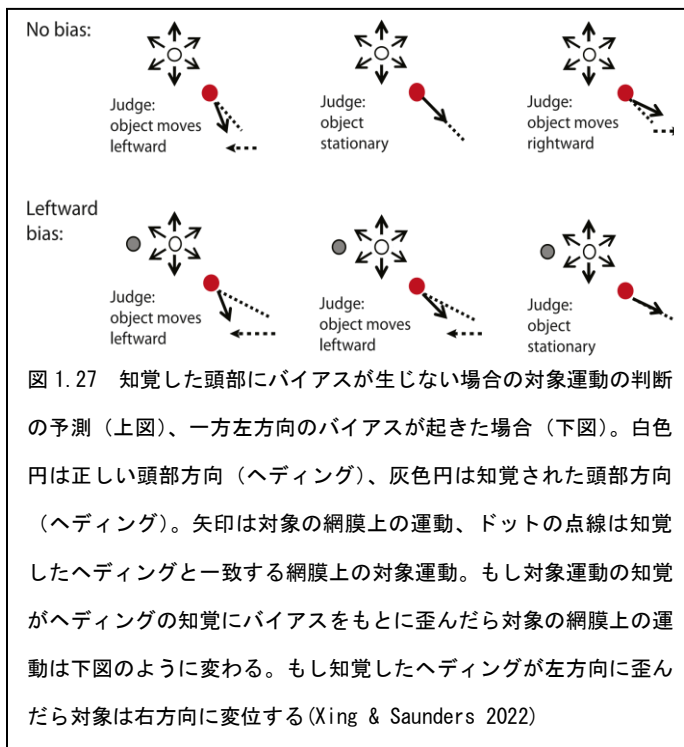
被験者は 24 人の大学の学生が参加し、バーチャルな環境はヘッドマウンドディスプレイを用いて実験した。被験者は 2 つの同時に行う課題をシミュレートされた自己の前方への動きのもとで遂行した。1 m のシミュレートした動きの後で対象運動は 1 秒のあいだ視えていた。この後、被験者には対象が左あるいは右方向のいずれに動いたかの判断を求めた。さらに被験者にはヘッドイング方向が問われ、カーソルを動かして示すように教示した。

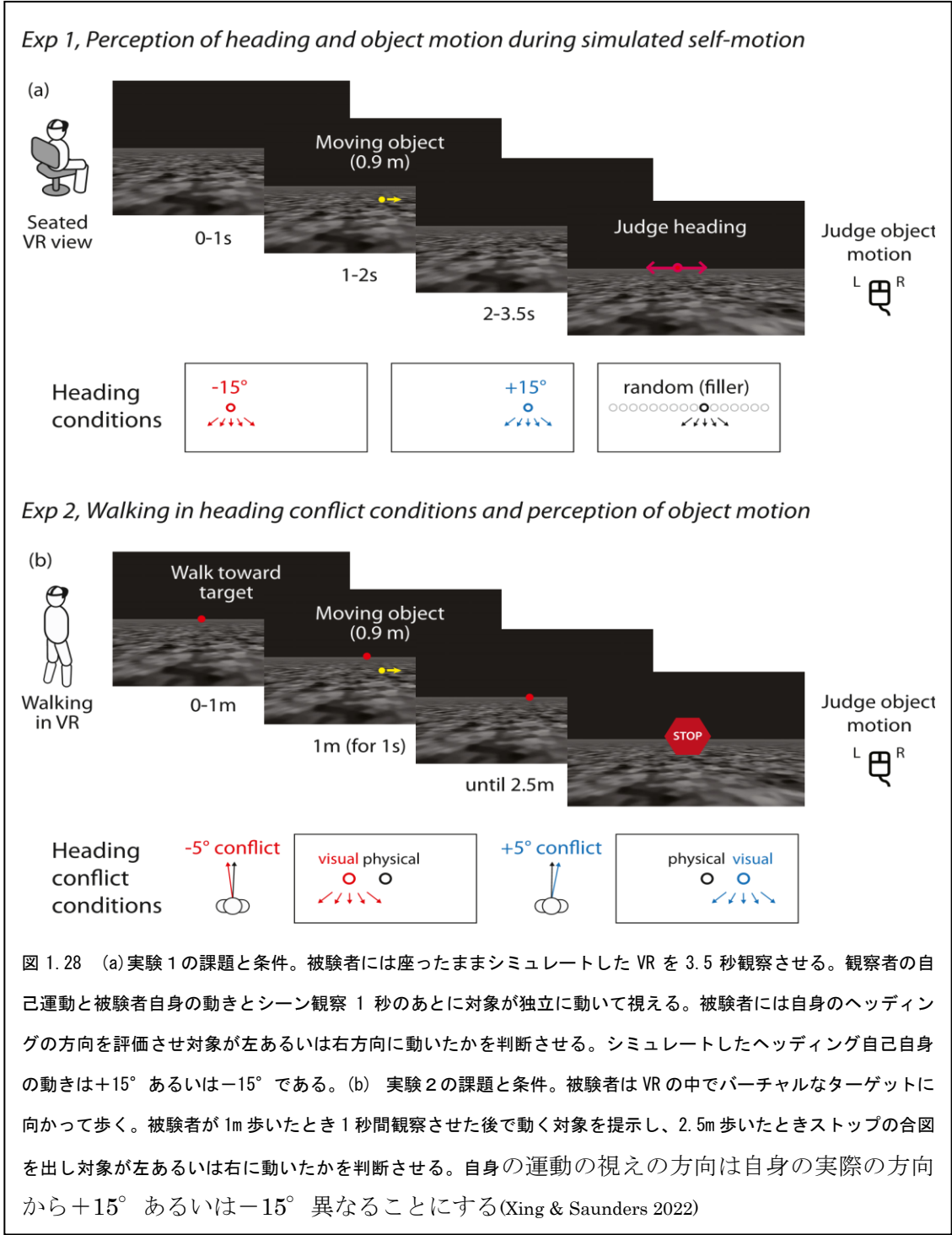
実験 1 の結果、ヘッドイング方向の判断は視野の中心にバイア

スし、また対象運動はヘッドイング方向と一致するようにバイアスが観察され、その程度は同等だった。しかし設定した 2 つ課題間でバイアスは個人間で全体では一致しなかった。試行ごとではヘッドイング方向判断と対象運動の判断の相関をみると対象運動のいくつかとヘッドイング方向で予測できた。

実験 2 の結果は実験 1 と同じように、被験者が動いている間の対象運動の判断については、被験者の歩行方向と対象運動の知覚時のコントロールが視覚あるいは非視覚情報に関わらずに同様だった。また試行ごとではヘッドイング方向判断の変化は対象運動のバイアスと関連した。視覚と身体の自己運動の手がかりが抗争しているバーチャルな事態で被験者がターゲットに向かって歩き、対象運動とは別々に判断した。二つの課題条件において視覚と非視覚情報の平均的加重値を求めた残余変数をしらべると、その間に相関があった。両課題で加重係数と相関係数が同様なことは、対象運動の知覚がヘッドイング知覚と共通の過程であると示唆された。

本実験では、ヘッドイング知覚と対象運動の知覚は、両知覚が視野の中心方向のバイアス傾向、視覚と非視覚の手がかりはそれらを組合せで用いること、そしてヘッドイングエラーは対象運動の判断に試行毎に予測的に変わることが結論された。これらの結果から自己運動と対象運動の知覚は共通する過程があると示唆される。





3. 奥行距離の知覚

環境の異なる条件（インドア、アウトドア、暗室）での奥行距離の測定

Dukes et al. (2022) は、これまでの研究より精細に環境文脈（インドア、アウトドア、暗室）を変えて、観察者から対象までの知覚距離（絶対奥行距離）を測定した。実験1の目的は視的環境文脈を変えた条件での奥行距離知覚の変容を、実験2では単眼と両眼視の可能な効果を考察した。これは両眼視差が明室環境より暗室環境の方が奥行知覚に効果が高く、また単眼視条件の暗室環境では手がかりが少ないと考えられたためである。しかし視差以外には多くの手がかりがあり、その場合には視差は重要な手がかりでは無いと考えられる。実験は各環境条件で2等分割法 (bisection task) で被験者 (4人) に自分のいる位置からターゲット (ポール) までの奥行距離を等分に2分割する位置を実験者に指示したインドア条件は実験室、アウトドア条件は草地、暗室条件は暗い部屋とし、両眼視と単眼視でランダムに実施し、初めのポールは8mの位置に置いた。

実験の結果、アウトドアでは遠方ほど収縮して奥行距離が知覚され、反対にインドアでは遠方が拡大して知覚され、これには有意な差が示された。この差は主にリニアパースペクティブ (線分の輻輳) が有るかあるいはあまり無いかに関わる。

そこで実験2ではリニアパースペクティブをある場合と無い場合 (暗室空間に (四方に点光源を設置してパースペクティブ) 操作してアウトドア (奥内廊下) とインドア (キャンパス草原) で絶対奥行距離を測定した。被験者は9名で内4名は実験1と同じ。

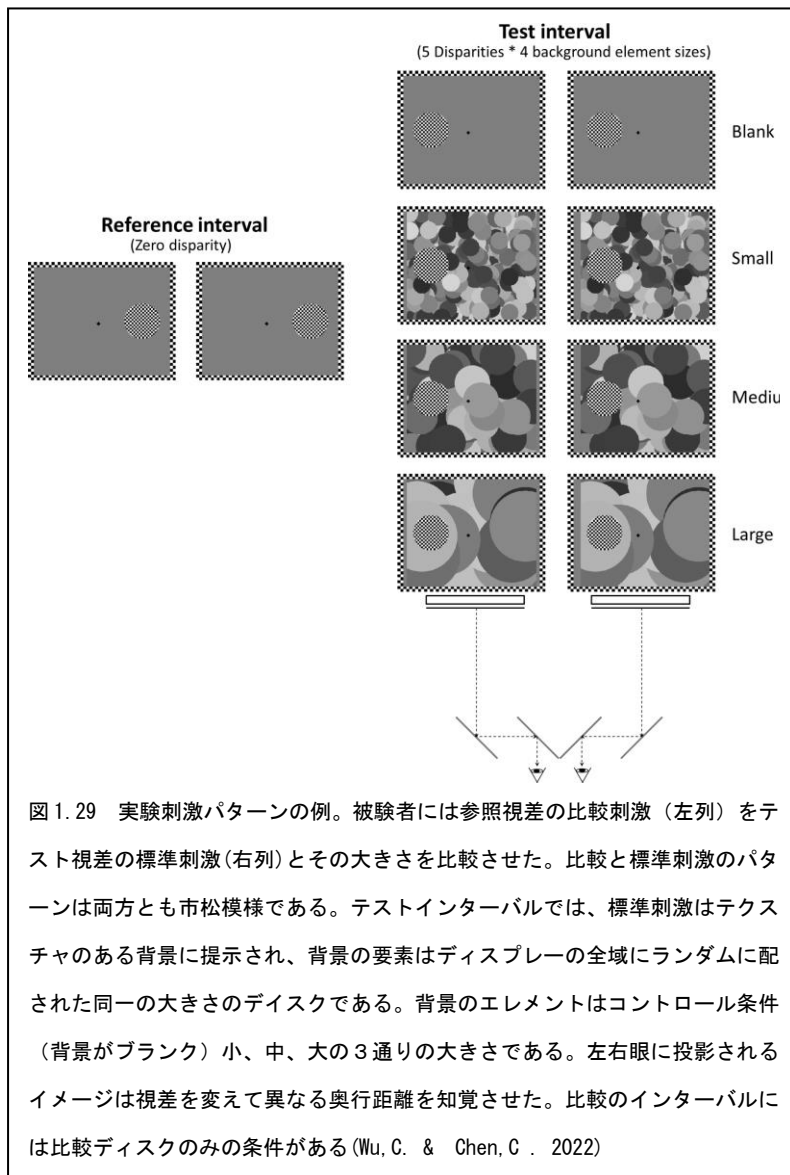
実験2の結果、アウトドアとインドアともにリニアパースペクティブ条件では遠方の距離の知覚的拡大が示された。しかし、奥行知覚距離の正確度はパースペクティブのあるなしに関わらずに両条件とも過大視された。

両実験の結果、奥行知覚の正確さと精密さは環境文脈や両眼視差とリニアパースペクティブの手がかりによって変容する。

奥行距離と大きさに及ぼすテクスチャ背景の効果

知覚した大きさは2次元あるいは3次元という空間的文脈だけではなく網膜の投影像と知覚した奥行距離に影響されるが、その要因はいまだ解明されていない。そこで Wu & Chen (2022) は、投影された大きさに対する知覚奥行距離とその背景要素の大きさの文脈の効果について両眼視差を変化させてステレオスコープで実験した。実験では知覚するターゲットの大きさを知覚奥行距離と空間条件をそれぞれ設定して提示、標準刺激をテクスチャのある背景に置き比較刺激をブランクの背景に置いてどちらが大きいのか2刺激強制選択法で答えさせて測定した。

図 1.29 のように、被験者には一定の視差をもつ比較刺激 (左列) を提示しテスト視差の標準刺激 (右列) とその大きさを比較させた。比較と標準刺激のパターンは両方とも市松模様である。実験は標準刺激の後で比較刺激を時差 (インターバル) を設けて提示、比較刺激はテクスチャのある背景に提示され、背景の要素はディスプレイの全域にランダムに



配された同じ大きさをもつディスクである。背景の要素はコントロール条件（背景がblank）を除き小、中、大の3通りの大きさとした。左右眼に投影される比較刺激のイメージは視差を変えて提示し異なる奥行距離を知覚させた。各試行は 600ms の刺激間隔 (ISI) をおいて 500ms の刺激インターバルを 2 回設けてその後被験者には応えさせた。試行では 2 通りのインターバルをランダムにとりテスト刺激と比較刺激が提示された。スクリーンにはフレームと注視点を提示し、被験者には 2 通りのインターバルをとるなかでどれが大きなディスクを持つかを完全上下法で判断させ、主観的等価値を測定、ターゲットの知覚さ

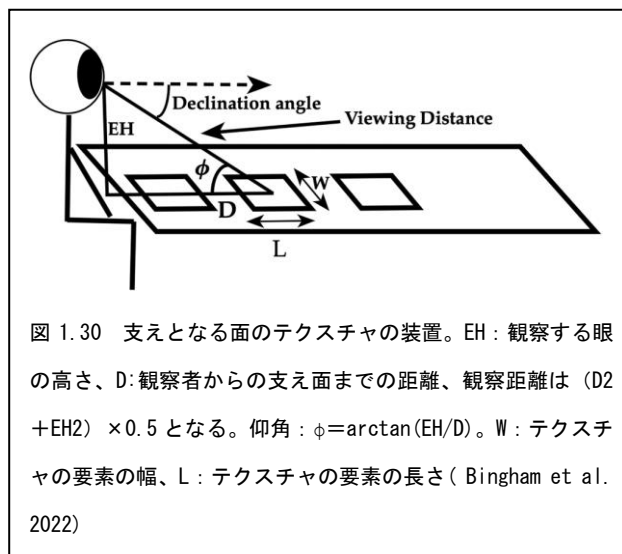
れた大きさが知覚的奥行にともなってどのように変化するか、さらに空間文脈が知覚的大きさと知覚的奥行距離の間を実験の結果、ターゲットの大きさでの 2 次元面（ゼロ視差）での影響は、PSE による比較刺激の知覚的大きさでみると、背景の要素の大きさが大きくなるとスムーズに小さく変わることが示された。知覚されたターゲットの大きさの変化率はターゲットの大きさの 0.273% でエビングハウス錯視とほぼ等しく、背景ディスクの大きさの影響はみられなかった。また、背景の大きさと視差をそれぞれ変えた条件の知覚された大きさの平均値は、背景の要素が大きく、かつ視差が大きくなるにつれてリニアに増大することが有意に示された。この二つの空間文脈（2次元と3次元）の知覚的大きさ値の間に有意さが有り、空間文脈はターゲットの大きさ知覚に影響することを示した。これらの結果から、ターゲットの知覚的大きさは背景要素が大きくなると減少し、視差が大きく

なると増大することが示され、この結果に基づいて計算機的モデルによる説明が検討された。そのモデルは視差によって変調したいくつかの大きさ選択チャンネルを統合している。各チャンネルのターゲットからの反応は空間文脈情報からの明瞭なシグナルを受けるので、知覚した大きさはそれらチャンネルからの加重平均値で決定される。このモデルに基づくと得られた平均のデータは 91%以上の可変性があり、したがって知覚する奥行距離とコンテキストに影響された対象の大きさとともに異なるメカニズムで担われ、したがって知覚した奥行距離とターゲットの知覚的大きさは、視差に変調された背景刺激の大きさによる抑制の相互作用を受けて決まると考えられる。

単眼視のリーチングによる奥行相対距離におけるテクスチャの特性

ものに手を届くためには単眼あるいは両眼視条件ともにオプティカルなテクスチャが対象を支える面上にある場合は、それらを利用しすばやくそして正確にできる。Bingham et al. (2022)は、観察者からの奥行距離を知覚するためにオプティカルテクスチャのどの要素（イメージの幅、高さ、形状など）が用いられるのかしらべた。

実験装置は図 1.30 に示したもので、手によるリーチングの床面上のテクスチャの影響をしらべる装置である。装置の構造の仕様は以下であった。EH：観察する眼の高さ、D：観察者からの支え面までの距離、したがって観察距離は $(D^2 + EH^2) \times 0.5$ となる。仰角： $\phi = \arctan(EH/D)$ 、W：テクスチャの要素の幅、L：テクスチャの要素の長さ。この異なるテクスチャに関わる観察実験でのファクターは、一つには観察距離、他は視線とテクスチャ面との間の光学的角度 ϕ である。テクスチャイメージの高さは観察距離と ϕ の逆関数となり、またテクスチャのイメージの形は、イメージの高さの比、イメージ幅、 ϕ ($\sin(\phi)$) になる。



この実験では、観察者がファクターの観察距離と ϕ のいずれか、あるいは両方を用いて奥行距離を単眼視条件で知覚しているかを検討した。このリーチングタスクは対象としている問題を、厳密に解析解が求められる問題に小さな「ずれ」(摂動項) が加えられた問題と見なすことで近似解を求める摂動法で求めた。この手法によれば被験者がすべての可能な刺激特性を用いているかを識別できる。ターゲットは右側のテクスチャ面に奥行距離を変えて提示し、左側のテクスチャ面のターゲット距離までに手を置くように被験者に求めた。

実験の手続きでは、左側にテクスチャ面が提示され、右側に提示したターゲット距離に手を用いて届くように求め、どのテクスチャ面で被験者のゆらぎが起きるかを識別した。

実験 1 では被験者はジョイスティックを用いてバーチャルな環境に手のアバターを動かしてターゲットまでリーチさせる。実験 2 では、被験者はバーチャルな条件と同等な実際の環境で実験 1 と同等にリーチを実施した。

実験結果は EH の揺らぎの関数として各テクスチャのリーチを次の公式で予測した (P は左右側の面の高さで左側 EH の百分率、TD はターゲットの距離)。

Optical image width の RD(reach distance)は以下の公式で計算：

$$\sqrt{RD} = \frac{TD^2 + EH^2(2p - p^2)}{2EH}$$

イメージの高さ (Optical image height)：

$$\sqrt{RD} = \frac{TD^2(1 - p) + EH^2(p - p^2)}{2EH}$$

純粋な遠近率 (Pure foreshortening)：

$$\sqrt{RD} = TD(1 - p)$$

で計算される。

もし被験者がターゲットのある面の位置に正しく手でリーチすれば、それは右側の高さが高くなるにつれてオーバーシュートになる。すなわち観察距離を正しくするためには被験者はさらに遠くにリーチしそして EH の値にしたがってどのくらい遠くに知覚しなければならないかを示す。テクスチャが正方形の場合、その形状はあるいは遠近法による形状は光角の関数となり、もし被験者が正しい遠近法に従いリーチをするためには右側の高さが高くなると少しずつ短くシュートしなければならない。テクスチャの高さは観察距離と光角で決まるのでリーチにマッチするためのその高さは観察者の EH とターゲット距離で予測できる。したがって眼の高さが小さい (~15 cm) とシュートが短くなり、大きい (~50 cm) とシュートが近い距離では長くなり、短い距離では大きくなる。

実験装置 (図 1.31) 内で空間は半分に仕切られ左側にはターゲット (大きさ一定の矩形面) が直角に提示、手の代わりになるイメージアバターの大きさは 7 段階 (8 × 14 cm, 11 × 7 cm, 14 × 11 cm, 9 × 12 cm, 7 × 11 cm, 13 × 9 cm, and 14 × 11cm) の中からランダムに選んで提示した。ターゲットと手のアバターとなる面の

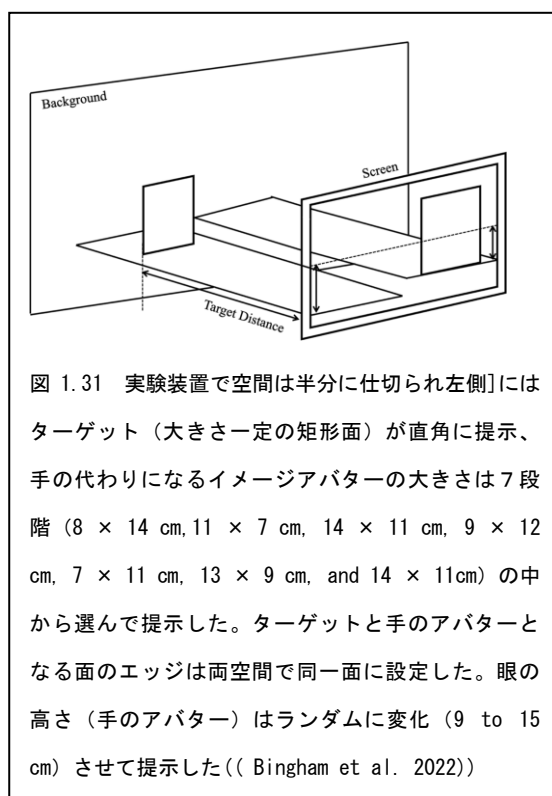


図 1.31 実験装置で空間は半分に仕切られ左側にはターゲット (大きさ一定の矩形面) が直角に提示、手の代わりになるイメージアバターの大きさは 7 段階 (8 × 14 cm, 11 × 7 cm, 14 × 11 cm, 9 × 12 cm, 7 × 11 cm, 13 × 9 cm, and 14 × 11cm) の中から選んで提示した。ターゲットと手のアバターとなる面のエッジは両空間で同一面に設定した。眼の高さ (手のアバター) はランダムに変化 (9 to 15 cm) させて提示した ((Bingham et al. 2022))

エッジは両空間で同一面に設定した。眼の高さ（手のアバター）はランダムに変化（9 to 15 cm）させて提示した。

被験者は10人（18から35歳）で右手が利き手の成人である。被験者には実験台にチェンレストを用いて座らせコンピュータスクリーンに手を置いてから単眼で観察させ、ジョイスティックを操作してターゲット面の奥行距離(20, 45, 60 cm)に調整させた。

手のアバターの動作軌跡が記録されターゲットまでの9通りの奥行距離リーチの平均が面の高さ条件（0, 2, 4, 6cm）ごとに集計された。その結果、リーチによる奥行距離の測定結果は奥行距離が遠くなるにつれてリニアに増大し、眼の高さが大きくなるにつれて有意に減少した。また、眼の高さによる奥行距離の過小およびイメージの大きさによるリーチの影響は示されなかったし、面の高さによる揺らぎは等しく予測されていた。

したがって、イメージの大きさはリーチすることには影響しないが、イメージの高さは距離リーチのゆらぎには関係する。しかしイメージの高さとリーチの縮小の間の影響は不明であった。

実験2では、実験1を実際の環境で試行し、リーチのEHを50cmにして形状の大きさが異なるテクスチャを右と左の面にそれぞれ施して実施した。左右の奥行距離間のリーチのマッチ差を予測する公式（p：左と右面間の高さの比、s：両面間のテクスチャの大きさの比）はつぎのようになる。

イメージの大きさ：

$$\sqrt{RD} = \frac{TD(s^2) + EH(2p - p^2 + s^2 - 1)}{2}$$

イメージの高さ：

$$\sqrt{RD} = \frac{TD(s - ps) + EH(2p - p^2 - ps + s - 1)}{2}$$

この公式では奥行距離の純粋な縮小はテクスチャの大きさには影響されないし、面のテクスチャの大きさ減によるリーチの揺れの影響はリーチの距離を縮小すると予測される。その代わりに、左空間のテクスチャの大きさが大になるとリーチ距離の予測値を高める。もし仮に奥行距離の縮小がリーチによるマッチングに用いられるとこの揺れの影響はないことになる。

被験者は中国の大学生4名で男性（18—25歳齢）。装置は図1.32に示したような左と右側の大きさが異なるテクスチャ、右側は小さいテクスチャ。テクスチャの大きさは左側が2cm一定、右側は1あるいは3cmのいずれか、そして高さの差は0 cm, 5 cm, 10 cm, or

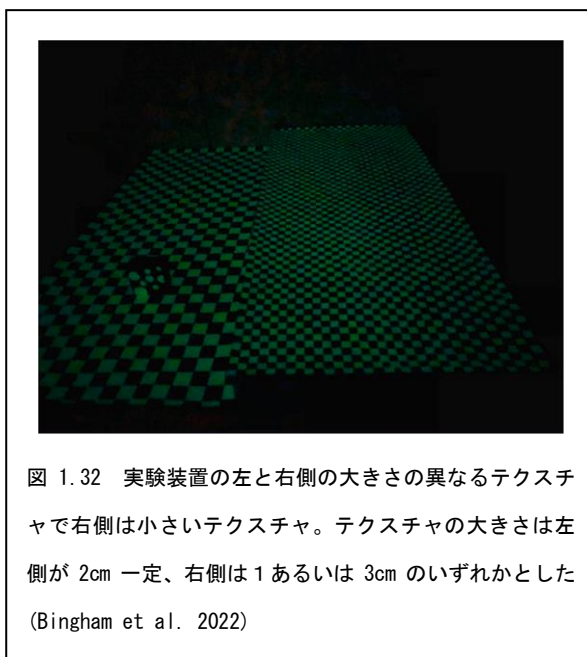


図 1.32 実験装置の左と右側の大きさが異なるテクスチャで右側は小さいテクスチャ。テクスチャの大きさは左側が 2cm 一定、右側は 1 あるいは 3cm のいずれかとした (Bingham et al. 2022)

15 cm (EH : 0.0, 0.1, 0.2, or 0.3)とした。被験者の人差し指には3次元センサーを装着し、ターゲットの面へのリーチ位置を測定し奥行距離値を得た。

実験 2 の結果、ターゲットの奥行距離は面の高さによって有意差があるが、テクスチャの大きさに有意差はなかった。リーチの奥行距離は左右側の面の高さが変わると漸進的に減少した。また、リーチの平均距離は面の各高さの予測値（回帰値）と一致した。

結局、テクスチャ面からの光学的要素が単眼視においてターゲットと観察者の間の奥行距離を手のリーチ方法で測定した結果、リーチによる奥行距離の知覚は観察事態の幾何学で予測でき、イメージの大きさ、高さ、形状によっては異なること、実験 2 の結果でも同様なことが示され、視覚運動リーチングのモデルが妥当することが示された。

