

4. 3次元視の絵画的手がかり

大きさ知覚の再調整におけるパースペクティブとテクスチャの両眼間転移効果

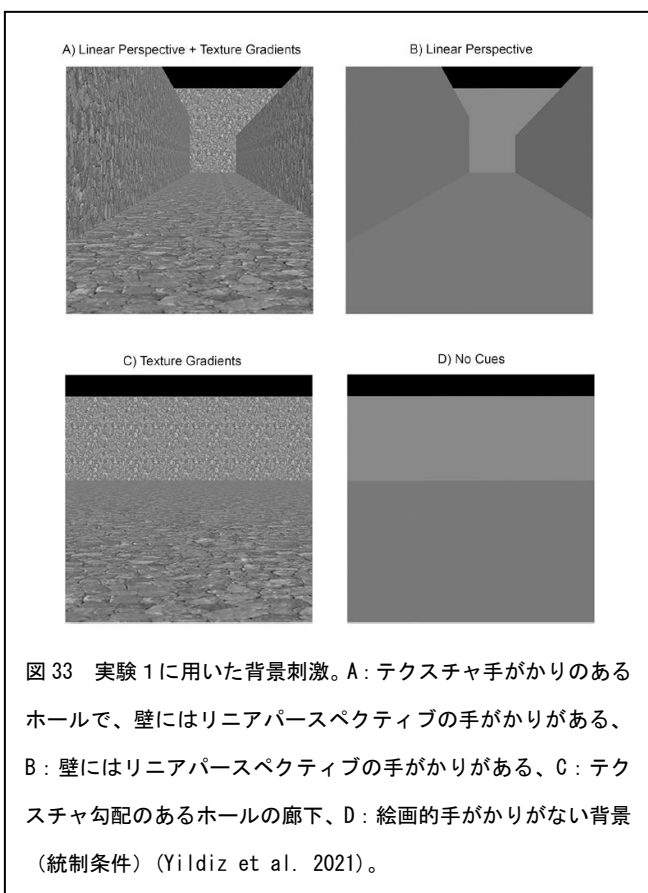
大きさの恒常性を視覚システムが維持するためには、対象までの観察距離に基づいて普段にその大きさを知覚的に再計算する必要があり、そのためには奥行手がかりをいくつも用いている。絵画的手がかりであるパースペクティブとテクスチャ勾配の要因は奥行を知覚判断する有力なものである。この2要因は、2次元面でも有力な奥行を表示し、それらを利用してポンゾー錯視と廊下錯視が作成される。

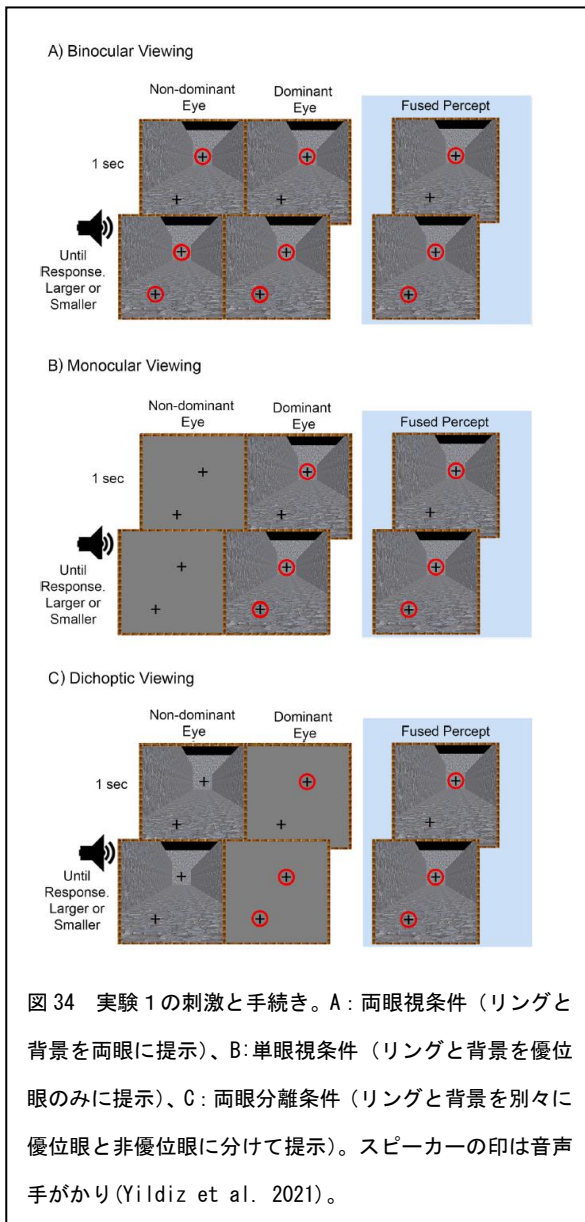
Yildiz et al. (2021)は、ポンゾー錯視と廊下錯視で対象の大きさの知覚再計算が同じか否かを実験的に検討した。Gregory (1963, 1968, 1998)は、これらの錯視図形が奥行を表現するために、大きさの知覚再計算が起き、その働きで大きさの恒常性が起きると考えた。そして、シーン内の利用できる奥行手がかりが増えると錯視が強くなることが示された(Brislin, 1974, Leibowitz et al., 1969)。また、神経画像処理による研究では、V1領域が刺激図形である廊下やポンゾー図形の内側が対象大きさの知覚再計算に重要なポイントであると示した(Fang et al. 2008; He et al. 2015; Murray et al. 2006)。また、Murray et al. (2006)は、fMRIを用いてV1の活動をしらべ、これら2つの錯視の大きさが網膜の大きさで決まるのではなく知覚的であることを確かめた。

Yildiz et al. は、V1の両眼を担う領域には他の高次中枢からの情報フィードバックがある

るのでこれらの錯視に高次中枢が大きく関与していると考え、各眼に錯視の構成要素の投影を別々にして眼球間転移を完全にしている条件で、高次中枢の関与があるか否かを検討した。もし、網膜と外側膝状体(LGN)がこれらの錯視を担うならば、大きさ知覚の知覚再計算にV1の関与は小さく、この場合には各眼への錯視図形の異なる要素を別々に提示する条件では両眼にすべての構成要素を同時に提示する条件よりの錯視は小さくなると予測される。そこで、眼球間の転移のパラダイムで錯視の大きさについての知覚再計算をしらべた。

実験1では、パースペクティブとテクスチャの両手がかりで構成し錯視効果を強化した図形の対象の大きさが、片眼から他眼へ錯視図形とテ





スト刺激を別々に提示した場合に、その知覚の大きさが変わるか否か(低次中枢あるいは高次中枢が関与か)、実験 2 では、パースペクティブ手がかりのみのポンゾー錯視を提示した場合あるいは背景に何もない統制条件で、それぞれ対象の知覚の大きさの再計算を実験した(この再計算はポンゾー錯視でもその効果が同様か否か)。

実験 1. 2とも被験者は 16 名でともに平均年齢は 22 歳前後である。2 次元の刺激がミラー式ステレオスコープ装置で提示された。実験 1 では 4 種類の異なる背景のポンゾー錯視図形が異なる奥行手がかり条件で知覚的再計算が試みられた (図 33)。実験 1 に用いた背景刺激は、テクスチャ手がかりのあるホールで、壁にはリニアパースペクティブの手がかりがある条件 (図 A)、壁にはリニアパースペクティブの手がかりがある条件 (B)、テクスチャ勾配のあるホールの廊下条件 (C)、絵画的手がかりがない背景 (D、統制条件) の 4 種である。さらに、これらをレンダリングして 3 次元の壁 (290cm) のある廊下空間 (長さ 1800cm、広さ 2540cm) をレンダリングして提示した。実験 2 では、2 種類の背景、すなわちポンゾー図形 (図 34A) と

コントロール条件 (B; 2 本の垂直線) である。大きさの測定は 2 つの赤色のリングの片方を標準刺激、他方を比較刺激とし、図形の上方あるいは下方に提示して恒常法で行った。はじめに標準刺激のみが背景イメージとともに提示され、1 秒後に警告音とともに比較刺激が提示された。被験者には比較刺激を変化させて、標準刺激に対して比較刺激が大きい小さいかをボタンを押して判断を求めた。標準刺激は図形の中央トップもしくは左下方のどちらかに設定された。

実験 1 の結果、標準刺激がポンゾー図形の上方と下方に位置した場合、パースペクティブ手がかり条件での知覚された大きさ (PSE) には両眼視観察と単眼視観察事態で大きく見える強い錯視効果が有意にあり、さらにテクスチャ手がかり条件ではこの効果は小さかった。さらに両眼分離観察条件では有意な効果が小さく有意ではなかった。ポンゾー錯視の

パースペクティブ条件の単眼視観察事態では、上方と下方に配置された対象に強い錯視効果があること、両眼分離観察条件では有意な錯視効果が起きないことから、眼球間の転移効果が起きていると考えられる。分散分析（ANOVA）の結果も、絵画的奥行手がかりの大きさ錯視効果が観察条件によって知覚的再計算の上で有意に異なることを示した。一方、テクスチャ手がかりは単眼視と両眼分離観察条件でほぼ等しい錯視効果が示され、テクスチャにも眼球間の転移があることが示された。

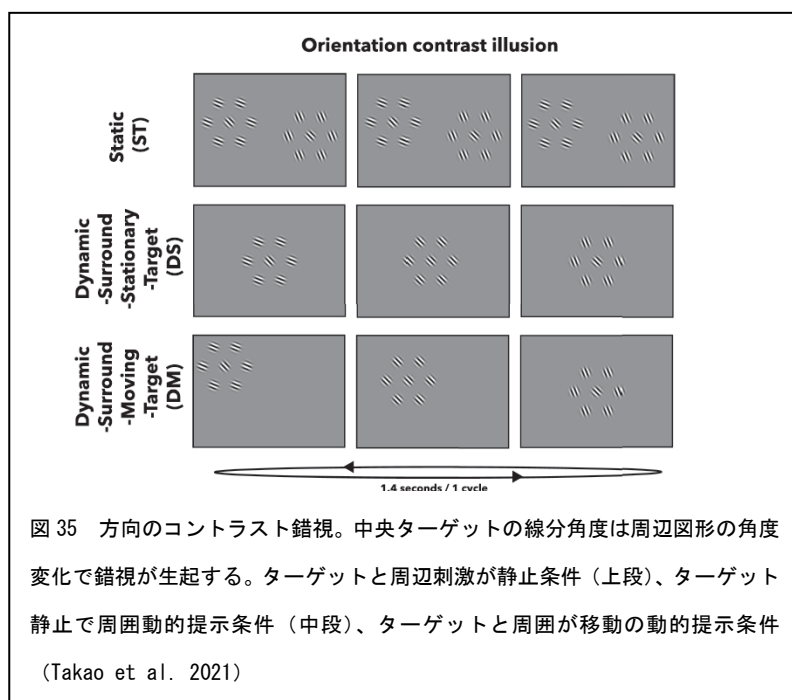
リニアパースペクティブの背景で描写されたポンゾー錯視（実験2）の結果は、標準刺激が上方と下方に配置された場合ともに知覚的大きさに強い錯視効果があり、その効果は単眼眼視観察と両眼分離観察条件で同等であった。これは両眼間にリニアパースペクティブ手がかりの転移があることを示した。絵画的手がかりのない統制条件では知覚的大きさは不確実で錯視効果はみられなかった。

さらに廊下とポンゾー図形間のパースペクティブ手がかりの効果を比較しそのメカニズムが同じかどうか比較するために、実験1と2の知覚的再計算の結果の相関を被験者間でみると有意な相関は示されなかった。

これら実験1と2の結果から、両眼からの神経処理過程をうけもつ視覚野の高次段階で、廊下錯視に較べてリニアパースペクティブ手がかりのあるポンゾー錯視の大きさに関する知覚的再計算が行われていると結論される。

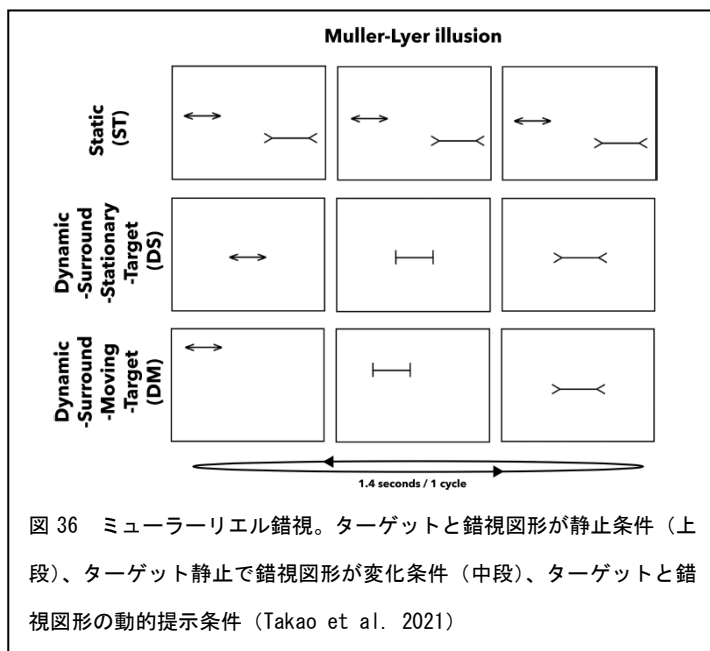
ダイナミック提示によるエビングハウス錯視、ミュラーライアー錯視および対比錯視の効果

Mruczek et al. (2015)はエビングハウス錯視のターゲットの背景の図形を動かすと、ターゲットが静止条件の2



ターゲットが静止条件の2倍に錯視量が強まることを示した。そこで Takao et al. (2021)は、エビングハウス錯視に加えて方向対比錯視図形とミュラーリエル錯視図形で、図35と図36に示すように、静止条件とダイナミック条件で錯視量を測定したところ、ダイナミック条件でエビングハウス錯視は錯視量が減少したが、しかし方向対比錯視図形では錯視量は変わら

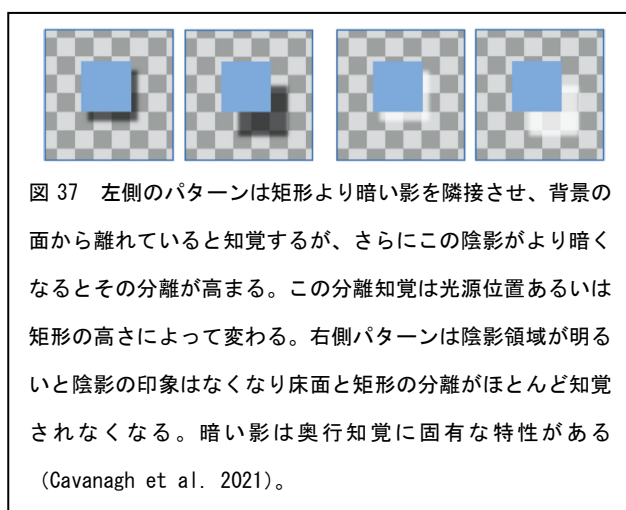
ないことが示された。



刺激を運動させることによってターゲットと誘導刺激の間に奥行効果が生じたためと Takao et al. は考察した。

陰影からの奥行尺度の測定

ある対象が背景に陰影をつける場合、陰影のオフセットとそのボケ部分は対象と背景間距離の潜在的手がかりとなる。しかし、陰影オフセットとボケ部分は照射源の方向と角度に依存し、それらは十分に明らかにされていない。これは観察者が光源の照射、陰影オフセットと奥行間を奥行距離の判断に仮定しているからと考えられる。しかし、照明方向が未知なために陰影と対象の間の分離距離は過小評価される。しかし、図 37 に示すように、観察者は容易に対象と背景の分離を陰影からあきらかに知覚できる。図では、左側のパターンは矩形より暗い影を隣接させ、背景の面から離れていると知覚するが、さらにこの陰影がより暗くなるとその分離が高まる。この分離知覚は光源位置あるいは矩形の高さによって変わる。右側パターンは陰影領域が明るいとき陰影の印象はなくなり床面と矩形の分離がほとんど知覚されなくなる。暗い影は奥行知覚に固有な特性がある。



Mruczek et al. (2015) はエビングハウス錯視における大きさの錯視において静止条件の周辺刺激の提示がローカルな受容野にターゲットのそのものの大きさが間歇的に入力されるので大きさの錯視量が減じられるが、ダイナミック提示条件ではローカルな受容野で大きさに関する情報の蓄積がないので錯視量が倍加すると考えた。しかしダイナミック提示条件で錯視量が減じるのはエビングハウス錯視のみであるのは、この錯視の周辺

刺激を運動させることによってターゲットと誘導刺激の間に奥行効果が生じたためと Takao et al. は考察した。

Cavanagh et al. (2021) は陰影オフセット、ボケ、照射方向による奥行範

囲を測定し、内的モデルの構築に参考するための実験を行った。これは視覚システムに照明方向あるいは陰影が奥行にリンクするという仮説を暗々裡に持つと考えられる。人は一つの光源を常に想定し背景と対象の間の距離を陰影で埋めあわすという一般的陰影モデル (generic shadow-depth (GSD)) とこれは言われる。この場合、陰影による知覚された奥行は陰影の効果にリニアになる。しかし、通常では光源が複数あり、どの光源によるか特定できない (Gilchrist, 2018)。通常の光源あるいは対象の位置がノーマルな範囲にあれば

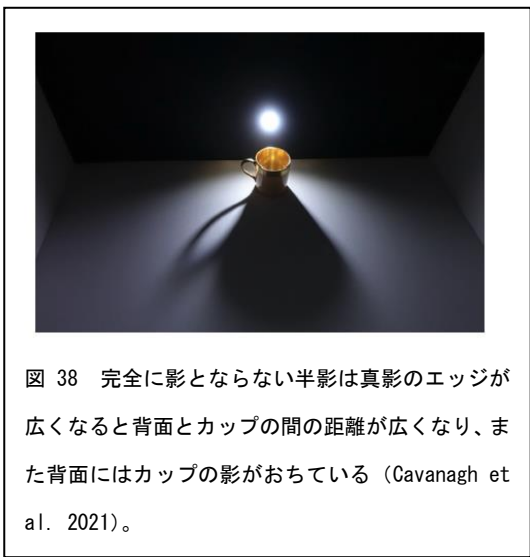


図 38 完全に影とならない半影は真影のエッジが広くなると背面とカップの間の距離が広くなり、また背面にはカップの影がおちている (Cavanagh et al. 2021)。

視覚システムは特定の陰影あるいは照射方向からから奥行を推定していると考えられる。普通ではない光源の位置であれば奥行の評定を間違える。図 38 に示すように、フラッシュを用いた写真のように光源とカメラが接近し陰影がきっちり (tight shadows) していると誤判断が起きる。図はフラッシュ光を用いた写真で、左図ではカメラレンズとフラッシュ光の間に実際には無い小さなオフセットによってしっかりした影を生み出す。おもちゃからの小さな水滴の陰影が幼い子どもの胸に近づいて見え (実際は 30cm 位の腕の距離にある)、またシャワーの出口が壁に近づいて見える (実際は広げた手のひらにある)。

中央図では男の左には狭い陰影があり壁に近くに見え、その結果、彼の腕は実際に右側 50cm なのだが、より突き出し異常に小さく見える (Trump illusion)。右図では少女のもつ紙片は背景より腕の長さで離して持つが、近くて狭い陰影は紙片を背景に不自然に近接しているように見える。さらに、オフセット的陰影は奥行の手がかりという特性をもつが、自然の陰影は暗いところから明るいところの勾配による境界となる。図には完全に影とならない半影は真影のエッジが広くなると背面とカップの間の距離が広くなり、また背面にはカップの影が落ちていることを示す。また、Kersten et al. (1996) は、不鮮明な陰影は奥行

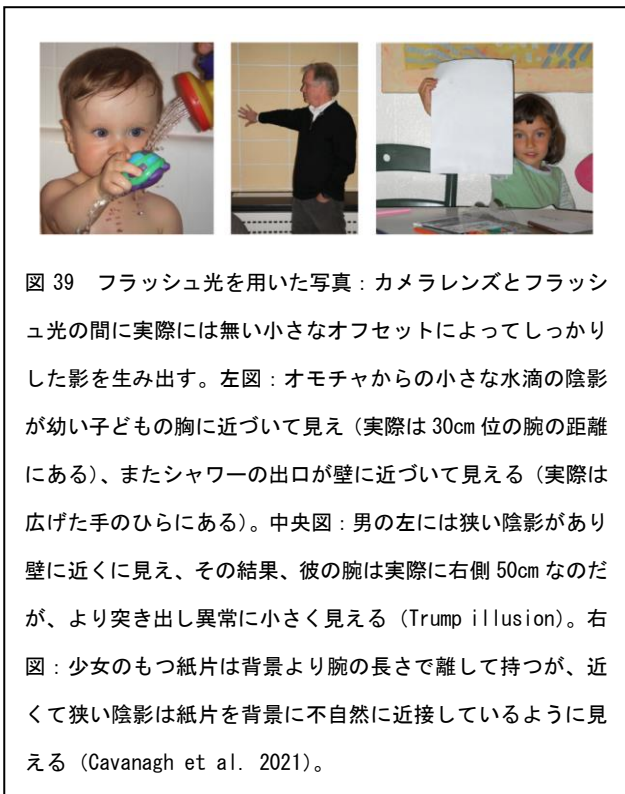
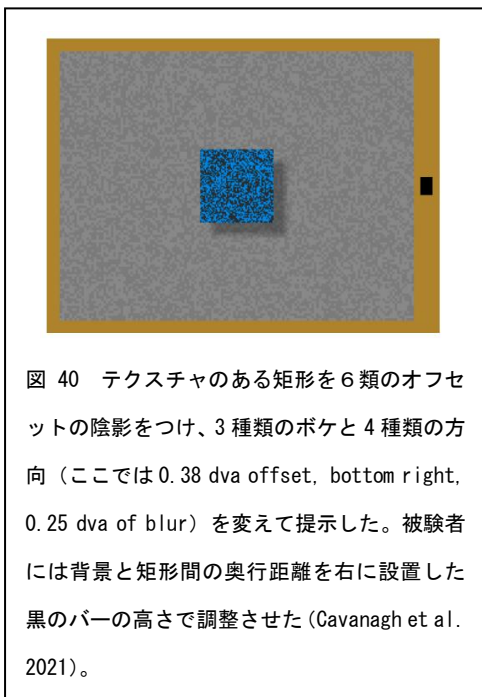


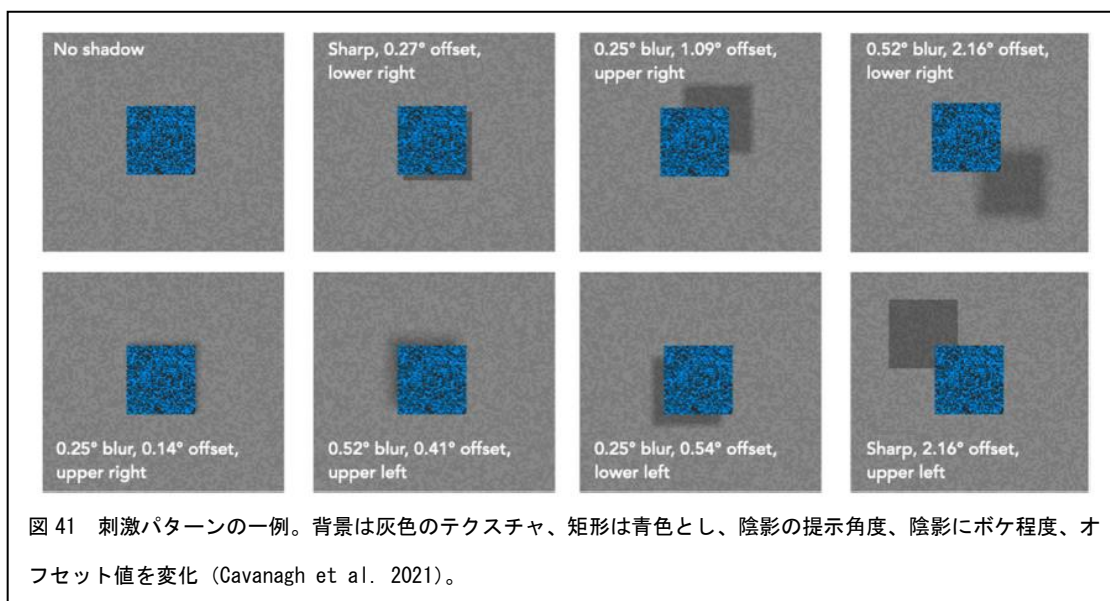
図 39 フラッシュ光を用いた写真：カメラレンズとフラッシュ光の間に実際には無い小さなオフセットによってしっかりした影を生み出す。左図：おもちゃからの小さな水滴の陰影が幼い子どもの胸に近づいて見え (実際は 30cm 位の腕の距離にある)、またシャワーの出口が壁に近づいて見える (実際は広げた手のひらにある)。中央図：男の左には狭い陰影があり壁に近くに見える、その結果、彼の腕は実際に右側 50cm なのだが、より突き出し異常に小さく見える (Trump illusion)。右図：少女のもつ紙片は背景より腕の長さで離して持つが、近くて狭い陰影は紙片を背景に不自然に近接しているように見える (Cavanagh et al. 2021)。

運動を印象づけるトリガーとなることを明らかにした。



そこで Cavanagh et al. (2021) は、多義的な陰影の解釈ではなく、上方光源がより効果的に奥行運動を生起し、静止された刺激でも同様な知覚現象を起こすのかを実験でテストした。実験での被験者は 25 名の健常成人（男性 4、女性 21）で大学生とし、2 次元刺激を提示し奥行距離を求めた。実験の構成は、図 40 に示したように、テクスチャのある矩形に 6 類のオフセットの陰影をつけ、3 種類のボケと 4 種類の方向（ここでは 0.38 dva offset, bottom right, 0.25 dva of blur）を変えて提示（一例を図 41）し、被験者には背景と矩形間の奥行距離を右に設置した黒のバーの高さで調整させた。

実験の結果、知覚された奥行は陰影のオフセットとともにリニアの増大を示し、ボケ要因とオフ



セットの角度にはほとんど影響されなかった。全体に、知覚された奥行は陰影のオフセットより 30 か 40% 拡大し、オフセットからの奥行比は 0.88 から 2.01 まで個人差がみられた。

これらの結果から、陰影にもとづく奥行知覚の 2 つのモデル、ひとつは一般的陰影奥行モデル (GSD, Generic shadow-to-Depth)、およびベイズモデル (Bayesian estimation) を推定した。一般的陰影奥行モデルでは、視覚システムはオフセットと対象面の傾斜のすべてに同一の包括的な傾斜を仮定するために、この結果では傾斜は各方向の 6 種類のオフセット条件で同一、また陰影のオフセットは対象と背景間の分離値において一定の比率、

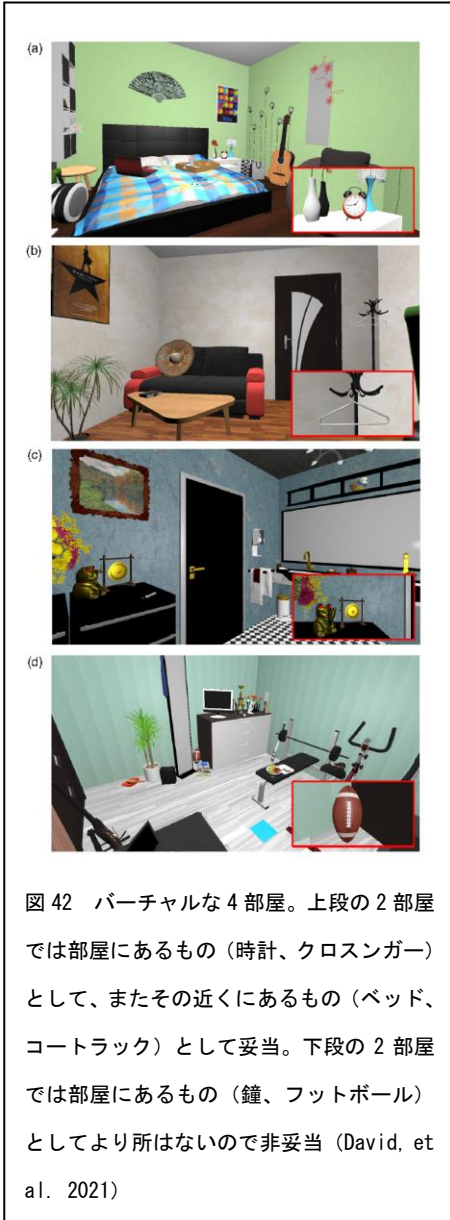


図 42 バーチャルな 4 部屋。上段の 2 部屋では部屋にあるもの（時計、クロスバー）として、またその近くにあるもの（ベッド、コートラック）として妥当。下段の 2 部屋では部屋にあるもの（鐘、フットボール）としてより所はないので非妥当 (David, et al. 2021)

すなわちオフセットが増すと分離値も増大することが示される。奥行は陰影のオフセットで線形の変化が示され、またオフセットが 0 でも奥行は無とならなかった。このモデルでは奥行がオフセットと関係するという一つのパラメータがある。

一方、ベイズモデルでは、観察者は照明方向とそれに対応する奥行が不確かなので奥行の評価は特定の照射源を仮定しないで二乗誤差の期待値を最小化するように働く。そのために、視覚システムは観察した変数（陰影オフセット）のなかの奥行変数に関わる事後の事象分布を計算するので、奥行値の中の確率は陰影オフセットの尤度に比例し事後の奥行値の確率を得る。このモデルで不確定な事象は、評価した陰影オフセットのノイズと光源のスラントである。ベイズによるモデルでは光源は特定せず、すべての範囲の光源を仮定し、陰影のノイズについては事前値はフラットかわずかに厚みを仮定する。

実験結果に基づき GSD モデル（generic shadow-depth）とベイズモデルを比較するために陰影オフセットと知覚された奥行値の関係をプロットすると、両モデルはよく一致することがわかった。被験者の奥行判断値を陰影オフセットの変数の数量変化から判断すると両モデルは等しい予測をする。しかしこれには個人差もかなりあることも指摘できる。