

## 4. 絵画的要因の3次元視

### 錯視現象のもうひとつの考え

Rogers. B (2022)は錯視がどのように起きるかについてこれまでの研究成果のもとづいて考察した。これまでの見解は現実と知覚したことのミスマッチと理解されていた。しかしその考え方は適切ではない。それは第1に錯視 (illusion) を真実 (veridical) のことにしたこと、第2には錯視事態が眼に投影されたもう一つの現実的事態のコピー (facsimiles) と見なしたこと (これでは現実事態をしらべて類似したものを検討できなくなる)、第3に線分、ドット、格子パターン (grating pattern) などを不十分で適切でない方法、例えばタキストスコープ、制限視野、2次元絵画、隔離手がかり、そして暗視野などの制限された事態ではリアルな知覚特性はほとんど得られない。

従って Rogers. B は、恒常性、閾値、順応のような特定される知覚のように十分な説明をすれば錯視と言わず知覚システムの結果といえるようになると論じている。

### 水平-垂直錯視 (HVI) における矩形と階段の描画の高さを過大視する第2順位 (Second-order) のテクスチャグレイテング (grating)

水平-垂直錯視 (HVI) は階段状パターンの知覚高さを増すと転倒の原因と考えられていた Toe clearance のために描画を変えることが提案されている (Schofield 2022)。輝度コントラストの高い垂トライブは錯視効果を増すために接合部の T ジャンクションに隣接する直のする水平エッジの輝度による階段の高さを高めるために置かれるのが通常である。そこで、いくつかの HVI 錯視の図形が考えられ、輝度グレーティング (L)、第2順位のコントラスト変化 (CM)、空間周波数 (FM) と方向 (OM) として錯視量が操作された。実験では被験者には面矩形、調整してない矩形や線形矩形で輝度やパターンのグレーティングを変え、その視かけの高さを比較することを求めた。

実験1ではストライプパターンとモジュール非変換パターンのテクスチャ条件で階段と矩形による誘導効果の知覚的高さが比較検討

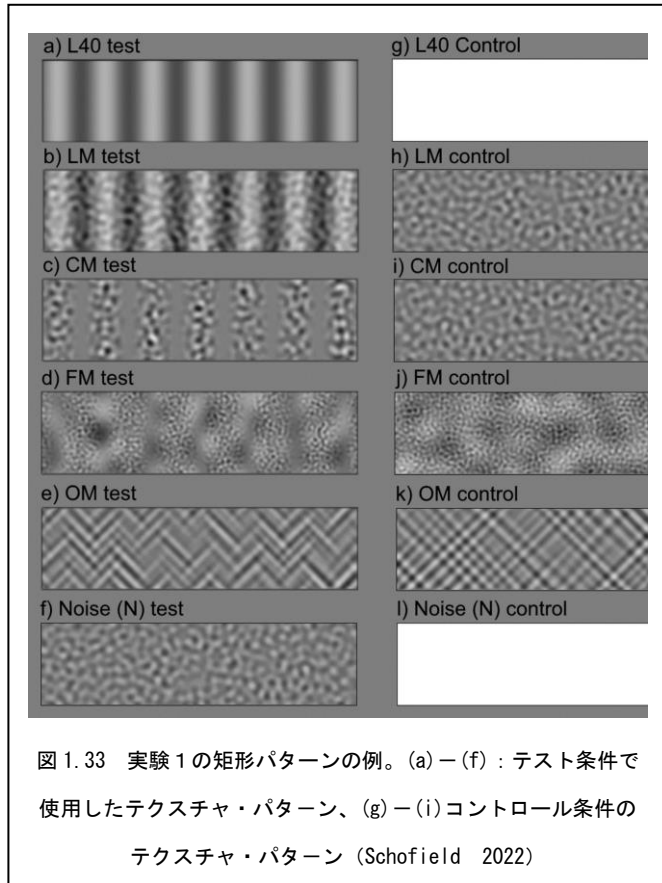


図 1.33 実験1の矩形パターンの例。(a) - (f) : テスト条件で使用したテクスチャ・パターン、(g) - (l) コントロール条件のテクスチャ・パターン (Schofield 2022)

された。被験者には、図 1.33 と図 1.34 のパターンを提示し 6 種類のテクスチャ条件 [luminance stripes at 40% contrast (L40: 図 a), luminance stripes added to visual noise (LM: 図 b), contrast modulated visual noise (CM: 図 c), frequency modulated noise (FM: 図 d), orientation modulated noise (OM : 図 e), and an unmodulated noise pattern (N: 図 f) およびコントロールパターンで階段と矩形の視えの高さを統制条件パターン { (L40 & N: 図 g & l) あるいは (LM, CM, FM, & OM: 図 h-k) } と並列に並べて提示し、2 段階の時間差を置き選択させた。

テスト刺激のテクスチャとコントラスト輝度からは、図 1.33 と図 1.34 に示すようにテクスチャを関連する特性に従って空間周波数がサイン波的にモジュレートし、またテクスチャコントラストはモニター面の平均的輝度と刺激輝度を変えて作成し提示した。実験では被験者の視力を矯正した後 2 選択強制法でどちらの刺激パターンが高いかを選択させた。テスト刺激 (6 cm or 2.15 deg high) と比較刺激 (3.6 - 8.3 cm; 1.3 - 2.97 deg から 11 段階 high) は、常にテクスチャ条件、他は非モジュレートあるいはコントロール刺激とした。このテストと比較刺激の組合せは 220 回であった。被験者には継時的に提示したにテストと比較刺激のどちらが高く見えるかを問うた。被験者は成人 18 名。

その結果、比較刺激に対する閾値が求められ輝度条件のグレーティングと同様に第 2 順位のテクスチャのモジュレーションのコントラストは、HVI 錯視が誘導されることを示した。第 2 順位のその他のモジュレーション条件では錯視が生じなかった。また、階段図形では空間周波数を付したストライプの輝度変化条件では HIV 錯視は生じないことも示された。

実験 1 では、コントロール刺激のサイン波形空間数のモジュレーション条件が弱く、図形のエッジの輝度が高くさらにテクスチャが非モジュール、しかも矩形の中が空白のために錯視を起さないように強めたと考えられた。そこでエッジの高輝度を高めた

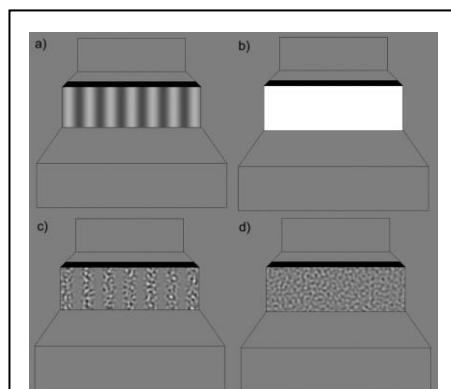


図 1.34 実験 1 の刺激パターン例、a) 刺激輝度 (L40) のテスト刺激、b) 輝度 (L40) のコントロール刺激、c) CM テスト刺激、d) CM コントロール刺激。これ以外の階段刺激はストとコントロールテクスチャから作成した (Schofield 2022)

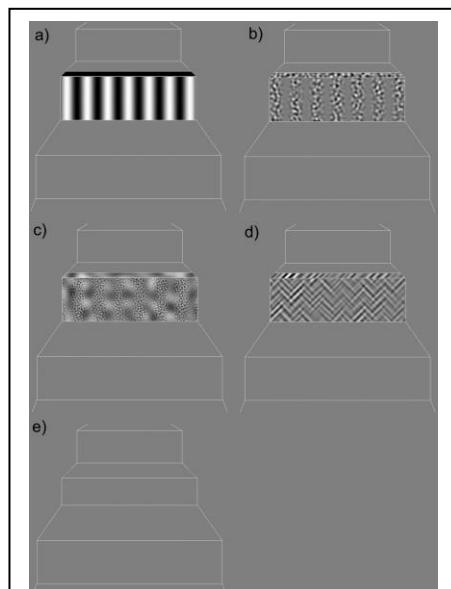


図 1.35 実験 2 の階段状の刺激パターン例。(a) テスト刺激 L100)、(b) テスト刺激 CM、(c) テスト刺激 (FM)、(d) テスト刺激 (OM)、(e) コントロール刺激 (Schofield 2022)

条件と暗い輝度のエッジ条件で錯視量を実験した（実験 2）。図 1.35 のように、階段状の 4 種類のテクスチャパターン（CM：非モジュレートノイズ、FM：低空間周波数、OM：45° のガボールパターン）とコントロール条件で視えの高さが測定された。被験者には矩形の高さを判断させる矢印を提示させ視えの高さを該当する矢印を判断させた。被験者 10 名。実験 2 の結果、モジュレートしたテクスチャの矩形は線形だけの刺激に対しすべての矩形で HVI の錯視量が高かった。この結果は非モジュレートの空白の矩形でも高さ錯視が起きることを示した。

そこで、実験 3 では残る課題である矩形をかたどる輝度の弱い線分の錯視に対する阻害があるかを検討した。階段パターンは明るいエッジと上階段の間の輪郭が薄い白線で描写してあるが、連続状の階段には線分が描かれていない。被験者は 11 人。

実験 3 の結果、第 2 順位のテクスチャパターンのコントラスト（CM）と方向（OM）のモジュレーションは階段の視えの高さを、エッジが共に明るい場合、あるいは明るくなくしかもテクスチャのない階段と比較した場合には錯視が誘導された。輝度のモジュレーションの条件でもこの結果は同様に強い錯視を誘導した。結局、階段板状のストライプはエッジの明るさと結びついているならば錯視を妨げることはない。錯視はすべての第 2 順位の手がかりで妨げられた。そして階段板と明るいエッジ間に狭い線分（.013 deg）がある場合には輝度が弱まることが示された。

この実験は、第 2 順位のコントラストの手がかりが HVI 錯視を誘導できるかのテストのために、実験 1 と 2 では輝度と各種の第 2 順位の手がかり効果を変えて描画で表現された HVI の階段と矩形の高さの視えの高さを比較する実験であった。これらの実験では、錯視のコントラストや方向を変えられた刺激が矩形に階段や矩形の錯視に組み付けられない場合、あるいは輝度の縞状テクスチャがもちいられている場合にさえ影響することが示された。さらに実験 3 では、より高くそして輝度がエッジ明るさの要素で構成された狭い線図形でも錯視を妨げることなく、したがって階段の隣接部分が錯視の重要性を示し、さらにコントラストと方向が変化された HVI 錯視階段を誘導した。これらの実験から錯視の照明の方法は精確な刺激の構成に関与することを示唆している。

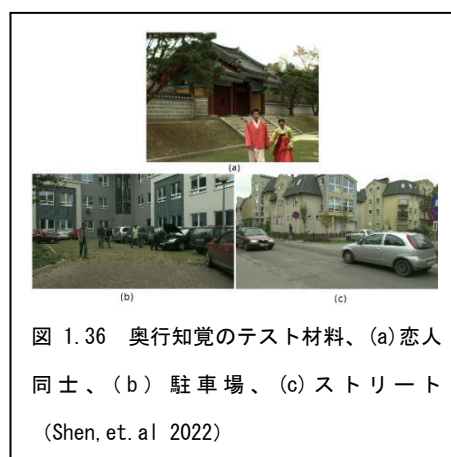
これらの実験の結果、第 2 順位のモジュレーションから構成された垂直グレーティングテクスチャは、模様のない面をもつ矩形あるいは線形だけの階段の図形では錯視が誘導されるが、輝度グレーティングの条件では強くあるいは信頼できる錯視は誘導されないことが示された。コントラストモジュレーションの第 2 順位の手がかりがこの錯視にはもっとも強い。方向のモジュレーションは、錯視を生じるが、しかしこれは第 2 順位のためかあるいは第 1 順位のためかはさらに検討がある。階段状の図形では垂直線分と明るい T 線分箇所間の薄い線分は錯視を妨げた。矩形と階段図形の錯視はそれぞれ別のメカニズムかもしれない。

## 固定視点における没入型の視野の知覚特徴でのフォービエーション (Foveation : 広角中心筒視覚センサは画像の視野の中央を拡大し, 一方で視野の周辺を縮小) と奥行の分析

バーチャルリアリティ (VR) のデバイスは急速に開発されているが、そのために多次元のデータは大量となり豊富で大きな経験を生み出す。鮮明な VR の世界を構成するためには高度の解像度の内容が必要となる。ハードウェアには限界もあるので効果的なデータの圧縮がこの現代に生み出された装置のディレンマを解決する一つの手段である。この研究では対応する手段として視知覚に対して圧縮の仮説、すなわち固定視点からのビデオの内容を提示し、その主観的評価を説明する仮説を立てた (Shen, et. al 2022)。実験では奥行知覚に関係したボケを混入した各種のビデオシリーズを作成し急速に周辺視力を消失させた。被験者にはそのビデオのボケの強度を変えて両眼視させ、主観的に視ている環境を評価させた。

実験にあたっての仮説は、大量の視知覚内容を圧縮できる視覚特性の重要性を評価し、豊富な環境にある知覚の特質を探るために連続して遂行するビデオシリーズを作成することであり、そのために提案する仮説のひとつは奥行知覚に関するもので、他の一つは中心視に関するものである。奥行知覚に関する仮説は大量のビデオでは対象の距離が近い場合、ボケによる歪みが前面に出て見えるので主観的にはビデオの質に強く影響し、その歪みが距離が離れるほどより強くなりビデオの質がより悪くなる。中心視に関する仮説では、網膜の中心窩に高度な視細胞が分布しているのでビデオの質に影響が大きいために歪みがそれら視る重要なポイントに近いと主観的質は悪くなる。この第 2 の仮説はその領域に歪みが高いとビデオの質は悪くなるだろうというものである。

実験では被験者の主観的意見評価 (MOS) に基づきより良いビデオ圧縮を目指す。その初めに奥行のマップを用い、図 1.36 (恋人、駐車場、ストリート) に示すようにシーンの前景と後景に切り分けてそれぞれ 4 段階のボケと歪みを導入したビデオシリーズを実験群とコントロール群に評価させ仮説の検証をした。奥行に基づいて歪みを導入するために、2 つの領域に異なる色づけそれぞれ奥行地図の情報を与えて閾値の根拠とした。背景の場合、最大の歪みを一番端の位置に最低の奥行値を割り当て、徐々に前になるほどガウス関数にしたがって歪みを縮小し、一方前景に対してもこの方法で歪みをかけた。圧縮は客観的な質 (PSNR) をコントロールして用いた。



中心窩に関する仮説では、網膜の中心では大きな影響をビデオの主観的な質に関わるので歪みが中心点に近づくほど主観的質は良くなり、中心点からの離れると歪みが悪くなり、図 1.37 のように中心窩の感受性は変わる。

中心窩に関する実験のビデオの作成では、ビデオの中心を中心窩にして興味を惹きつけ、次に Space Variant Imaging System (SVIS) (中心窩の感受性にもとづくボケの歪みをたすけるモデル) を利用してすべての方向の感受性を等価にしてデータを簡素化し処理した。ボケの処理については各点の歪みをとらえ、次いで低空間周波数のフィルターで通過したイメージを求め、再構成した。各課題シーンの中心窩の歪みの処理したフレームを一つに融合した。圧縮の実効性を確認するために客観的な質をコントロール要因とし、曖昧さを避けるために低い PSNR を避けるためにコントロール群には PSNR 値を高くとった。実験群とコントロール群に 4 段階のレベルの質を設定して処理した。

ビデオの主観的評価は 49 名の被験者にヘッドマウントディスプレイを装着し、被験者の意見は 11 段階 (低の 0 から最高の 10) の主観的質感の評価シート (Double Stimulus Impairment Scale (DSIS)) で記録をとった。

ボケの歪みにもとづく仮説の検証結果は 3 通りの課題 ((a) 恋人同士、(b) 駐車場、(c) ストリート) の各実験群とコントロール群の意見スコアの平均 (mean opinion scores (MOS)) を比較して得た。その結果、ボケの歪みによる実験群ですべてビデオの質を向上させると操作してないコントロール群より優れていた。特に客観的にビデオの質を向上させた群では PSNR 値が増大した。この結果から豊富な環境では観察者に身近な対象は知覚された質が高いことが示された。

中心窩に関する実験ではその中心から離れたボケの歪み条件でテストしたグループと逆に中心の近くに歪みの条件のグループの結果は、一般的にコントロール群 PSNR 値は高く、一方実験群は値が低かった。もし中心窩の感受性仮説が有効ならば実験群のビデオ鑑賞の MOS はコントロール群より高くなるはずであるが、実験の結果、ビデオシーン (アウトドアのバスケットと街頭、インドアの電話かけとアンブレラ、) によって仮説の妥当性が異なった。ビデオの内容が複雑な場合には中心視でビデオの質が高いこと、またシーンが平均的に視覚の質が良い場合にはボケの歪みが中心窩の近傍にあっても主観的な質は影響を受けやすいことが示された。

すべてのテストの結果は主観的な質に関係する視覚的に意味のある領域は中心窩の感受性のある領域でぼけの歪みは一貫して主観的な質を損なう。従ってビデオの質を高くするためには人間の知覚における能力を考慮し、ヒューリスティックな圧縮が効果的である。そのため、検証した仮説にもとづいた簡単な圧縮技法の手順を図 1.38 に示し実験して効果を検証した。中心窩仮説と奥行仮説のどちらかに基づいた豊富な内容のビデオに関しては圧縮の最初に低減フィルター (low-pass filter) をかける。このフィルターでは、ボケ

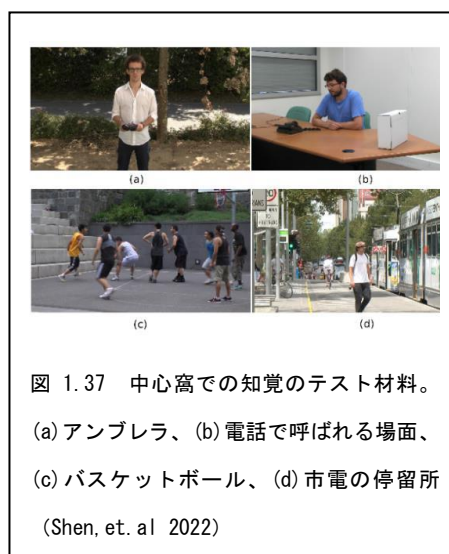


図 1.37 中心窩での知覚のテスト材料。  
(a) アンブレラ、(b) 電話で呼ばれる場面、  
(c) バスケットボール、(d) 市電の停留所  
(Shen, et. al 2022)

は知覚の質に影響しないのでその歪みを中心視から離す、あるいは奥行マップを規定する背景を強調する。さらに便利なビデオ圧縮ソフト、例えば High Efficiency Video Coding (HEVC) でビットレートを縮小する。

実際にこの技法でビットレートを圧縮したビデオで検証実験をした結果、主観的な質を犠牲にしないで有意に維持することが示された。



図 1.38 写真の前面と背景。(a)恋人同士、(b) 駐車場、(c)ストリート (Shen,et.al 2022)