

明治大学「現象数理学」研究拠点共同研究集会

第20回錯覚ワークショップ

錯覚の解明・創作のための諸アプローチ
とその応用

講演アブストラクト集



2026年3月2日（月）、3日（火）

明治大学中野キャンパス

主催：明治大学「現象数理学」共同利用・共同研究拠点

共催：明治大学研究ブランディング事業「数理科学する明治大学」（第2期）錯覚・錯視チーム

科研費挑戦的研究（萌芽）24K22325「視点を移動しても成立し続ける不可能立体の分類・体系化」

プログラム

【3月2日（月）】

- 13:00～13:30 谷中一寿（神奈川工科大学 名誉教授）「文字列等の横スクロール表示のみで生ずる主観的な奥行き感」
- 13:30～14:00 間瀬実郎（呉工業高等専門学校）「逆遠近錯視立体による走行中の電車内の表現」
- 14:00～14:30 一川誠*、水野結夢（千葉大学）「認知課題遂行による主観的時間の長さの短縮」
- 14:45～15:15 星加民雄（錯視アーティスト/ホシカ・アート・プロ）「周波数を基軸とした波動表現—表現事例と錯視効果」
- 15:15～15:45 北岡明佳（立命館大学）「波の知覚と薄氷ドリフト錯視」
- 16:00～17:00 **【招待講演】** 小林勇輝（情報通信研究機構）「低次情報と知覚モデルによる主観世界の探究」

【3月3日（火）】

- 10:00～10:30 吉村莞太、井上雅世*（九州工業大学）「色恒常性と見える色の数理モデル研究」
- 10:30～11:00 須志田隆道*（福知山公立大学）、森将輝（早稲田大学）、近藤信太郎（岐阜大学）「回転円板における主観色の生起要因を探求するための段階説モデルの改良について」
- 11:00～11:30 長谷川能三（甲南大学 非常勤講師）「ビルは先細りに見えないのか？」
- 13:00～13:30 日高昇平*（北陸先端科学技術大学院大学）、鳥居拓馬（東京電機大学）、高橋康介（立命館大学）「心的回転の数理モデル：不良設定性の下での立体表象の同型性」
- 13:30～14:00 西本博之*、長崎太郎、永井口媛葉*、大成七菜美*（大阪産業大学）「望遠レンズの奥行き圧縮効果により平行線が歪む錯視のVR再現実験」
- 14:15～14:45 大谷智子*（大阪芸術大学）、丸谷和史（NTT コミュニケーション科学基礎研究所）「『錯視-鏡ブロック』を用いた見ることの不確実性を学ぶワークショッププログラム」
- 14:45～15:15 杉原厚吉（明治大学）「立体錯視の視点の広さはどこから来るのか」

（*印は、複数著者の場合の講演者）

文字列等の横スクロール表示のみで生ずる主観的な奥行き感

谷中一寿（神奈川県立工科大学名誉教授）

1. はじめに

図1に示すような駅のホームの発車標（電光掲示板）にスクロール表示される発車時刻などが、ディスプレイと同一平面ではなく、手前に飛び出したり、奥に引っ込んで見えることがある。またニコニコ動画でも、動画に重畳してスクロール表示されるコメントが、手前または奥に見えるように見える場合がある。この現象を調べるため、HTMLとCSSを使ってパソコンで電光掲示板のようなものを作った。その結果、単眼と両眼では別な錯視が起きていることがわかった。

2. 両眼視差による奥行き感

図2に示すように、正方形を6行にわたって表示し、上から奇数番目の行は無限に右スクロールし、偶数番目の行は無限に左スクロールさせる。これを**両眼**で見ると、本来すべて同じ平面上にあるにもかかわらず上から奇数番目の行は奥に、また偶数番目の行は手前に見えるという錯視が生ずる。ただし人によっては手前と奥が逆になる場合もある。スクロールは速いほうが錯視量は大きい。スクロール方向を逆にすると、飛び出しと引っ込みも逆になる。この現象はプルフリッヒ効果（Pulfrich effect）で説明できる。これは、片眼だけに減光フィルタを装着すると、そちらの眼の応答速度が遅れるので、もう一方の眼との間で両眼視差が生じ、奥行き感が生ずるものである。減光フィルタをつける眼を変えると飛び出すか引っ込むかが逆になる。まったく減光フィルタをつけなくても、この錯視が見える場合があるが、これは右目と左目の応答時間が僅かに異なるからだと考えられる。しかし、人が日常この違いに気づくことがない理由は不明である。

3. 単眼視による奥行き感

片眼をつむるとか、シノプター（視差なしメガネ）などの特殊なメガネを装着すると、単眼視になり、両眼立体視が働かなくなるので、建物や人物などの実在の3D物体を見た場合の立体感は低下する。しかし普通の（3Dでない）写真を見た場合には、単眼のほうが立体感は向上するが、これは両眼視差で目から写真までの距離を知ることができないので、写真ではなく本物の3次元物体と錯覚するからである。さらに動画の場合は運動視差があるので、立体感は一層強くなる。

図3において下の行ほど速くスクロールさせ、**単眼**で見ると、下の行ほど手前に飛びだして見えるという錯視が生ずる。人は普段地表で生活しているため、本能で上にある物体が遠くにある、と解釈しているためと考えられる。なおスクロールの速度を下の行ほど速くせず、ランダムにしても、この錯視が見えるが、これは、脳は行のスクロールの速度より行の位置（上下）のほうを奥行き手がかりとして優先しているからと思われる。



図1 本厚木駅の発車標
スクロールする文字列が引っ込んで見える

矢印はスクロールの速度と方向

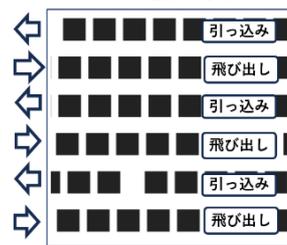


図2 両眼視差用
行ごとに飛び出したり引っ込んで見える

矢印はスクロールの速度と方向

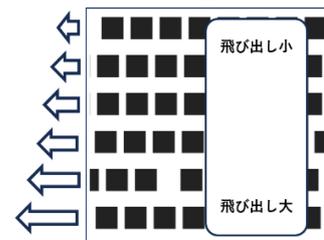


図3 単眼視用
下の行ほど飛び出して見える

逆遠近錯視立体による走行中の電車内の表現

呉工業高等専門学校 間瀬実郎

逆遠近錯視立体は、一般的には表面に絵が描かれた錐体等を特定の視点から見ることで、奥行きがある空間を観測できるものである。視点位置を僅かに動かしただけでその空間の様相が体感以上に変化することに顕著な視覚効果がある。一般的な逆遠近錯視立体は四角錐や、四角錐台の形を用いることが多く、四角錐台の上面部分に別の立体を組合せたものもある。

四角錐台を用いた場合、視点移動をしても直線が曲線に変形することはない。例えば床面が平行な長い廊下を表現した場合、視点移動をすると正面の消点は大きく左右に移動して空間が変形するが、床と壁の境界線は直線のままである。本研究は斜辺の傾きが異なる複数の角錐台を組み合わせることで、観測者が真正面から見ると平行な廊下が、視点移動によって折れ曲がった廊下に変形する錯視立体を提案する。

平行な廊下が折れ曲がったり元に戻ったりする光景を日常的に観測する機会は、貫通路が広く貫通ドアがない電車に乗車し、カーブを通過する際に見られる。特に地下鉄は、曲率のきついカーブもあり窓の外が暗いため、曲線を通過中は列車が折れ曲がって走っていることをよく実感できる。

本研究はこの現象を上記に応用して、走行中の電車内を体験できる逆遠近錯視立体を提案する。図1、図2、図3は三種類の試作の3DCGである。いずれも上段の真正面では電車はまっすぐに見えるが、下段の少し横から見た場合は電車が折れ曲がって見える。つまり観測者は視点移動により、電車が直線やカーブを通過している車内の風景を任意に操作して観測することができる。

図1は角錐台の勾配を連続させ妻板を張出した場合であるが、貫通幌がないためやや実感に欠ける。図2は貫通幌をつけてあるが、そのために、角錐台の勾配が不連続になってしまっている。それによりカーブ通過時に車両同士のつながりが不自然になる。図3は角錐台の勾配を連続させ、かつ貫通幌を付けたもので、カーブ通過時の車両同士のつながりは自然になるが、貫通幌の幅が不自然に増える現象が起こる。特に奥の車両でそれが目立つ。

試作による実験から、妻板に開ける貫通路の形は、車両断面と同じ形に近づくほどカーブ通過時の不自然さは少なくなることが分かっている。しかし実際の鉄道車両の貫通路の広さは限界があるため、ある程度狭くしなければならない。本研究では不自然さが気にならない範囲で、貫通路を広げるために、座席端部を肘掛風にしたり、荷棚端部（荷棚は存在しない）などのデザイン的な工夫した。

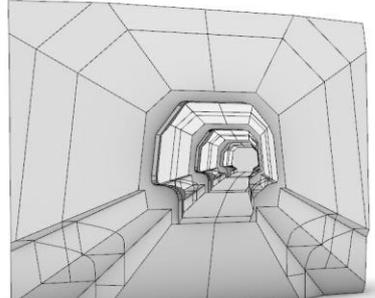
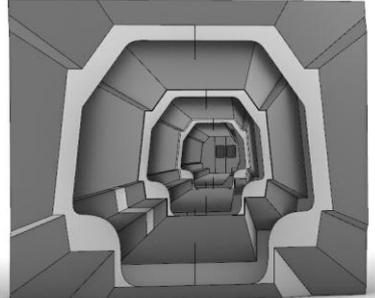
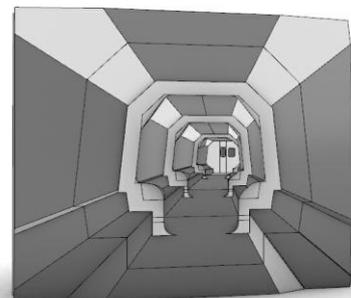
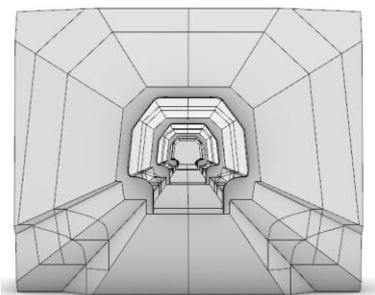
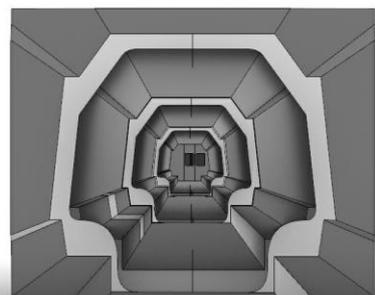
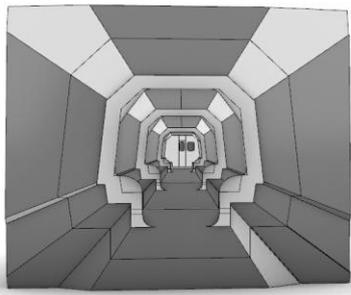


図1 妻板張出し・勾配連続型

図2 貫通幌付き・勾配不連続型

図3 貫通幌付き・勾配連続型

(いずれも正面から見た場合(上段)と視点を僅かに横に移動しカーブを通過している場合(下段))

認知課題遂行による主観的時間の長さの短縮

一川誠（千葉大学人文科学研究院）・水野結夢（千葉大学文学部）

時間の知覚は固有の感覚器を持たない。そのため、知覚系は事象の時間的特性の多くに直接的に対応する情報を得ることができない。その都度の時点で得られる点的な情報には、事象の持続時間長や事象間の間隔についての情報が欠けている。各時点で得られる点的な0次元的情報から事象の持続時間のような1次元特性を復元する過程は、一義的な解のない「不良設定問題」を解く過程と見なされる。この不良設定問題解決過程はさまざまな要因による影響を受け、実際の時間間隔（時間長）と知覚される時間間隔との間に体系的な乖離が生じることがこれまでの研究によって示されてきている。今回は、時間長知覚における錯覚に認知的な課題の難易度が及ぼす影響について検討した。

時間長知覚に影響を及ぼす要因の一つに時間経過に注意を向ける頻度がある。一般的に、時間経過に注意を向ける頻度が少ないほど時間長は短く感じられる。課題難易度が高いと、認知課題遂行に割り当てられる注意資源が多くなることで、その間に時間経過に向けられる注意資源は減る。そのため、難易度の高い認知課題遂行中は時間長が過小評価されることが予測される。

認知課題の難易度やその課題に関する主観的な評定が時間長知覚に及ぼす影響について検討する実験を実施した。実験では、認知課題として、視野内で動き回る多数の標的刺激を追尾する MOT (Multiple Object Tracking) 課題を用いた。8個の黒円刺激のうち標的刺激の数を0,1,2,4個のいずれかとし、参加者には4.5, 9.5, 14.5秒間のいずれかの間隔でターゲットを追尾させた。その後、追尾していた期間にの時間長を評定させた。

その結果、14.5秒の条件においてのみ、ターゲット数が増えると課題遂行時間が過小評価されることが示された。時間長知覚においては、評定対象となる時間間隔が変化しても、同規模で誤差が現れる「スカラー特性」が存在することが多くの研究で認められてきた。しかしながら、本研究の結果は、認知課題の難易度が時間長知覚に及ぼす効果は、対象となる時間間隔が長いほど強調される可能性を示唆した。この結果から、難易度の高い認知的な課題に没頭していると、課題遂行時間が長くなるほど、時間長の過小評価の程度が顕著になりやすいと考えられる。難しい認知的課題に取り組む際、許容範囲内に課題遂行時間を納めるためには、一定の経過時間ごとのアラームの利用が有効と考えられる。

周波数を基軸とした波動表現 - 表現事例と錯視効果

星加 民雄 (錯視アーティスト / ホシカ・アート・プロ / 代表)

■はじめに

宇宙空間に存在する波動は、肌で感じる波動から測定不能な波動まで人間社会に複雑に絡み合いながら影響している。猫の喜びの表現であるゴロゴロなど人々の心を癒す優しい波動から、地震、地殻変動による波動、爆破による空気を伝播する強烈な波動など、命の危険にさらされる様々な波動、他、地球上のすべてのモノには固有の振動数を持っており、解明はされていないが放たれる見えない波動も存在していると言われていた。周波数についての認識では、癒やしの周波数ともいわれる 432Hz などのように測定可能な周波数がある反面、視覚表現を通して伝わる周波数やそれぞれの人が持つ心の波動のように現時点で測定が難しい周波数も地球上にはたくさん存在している。しかし最近では波動測定器や波動医療機器等の宇宙テクノロジーと言われる機器の開発も進んできていることも事実である。本報では、周波数が特定しやすい縞パターン（直線、曲線）等を主な表現要素としている筆者が独自に開発した錯視表現のうち、3種類を題材に取り上げ、アート表現の視点から、その詳細をそれぞれの表現特性ごとに解説していく。

■タイプ別表現事例

事例1 サインカーブを表現要素とした眼球運動に伴う動きの錯視表現

一般にオプティカルアート領域に属する表現の多くは平面であり、白と黒など明度差を利用した目を刺激するビビットな表現から、類似する明度で異なる色による柔らかい表現等がある。筆者の事例1の作品は、表現要素の主要素はサインカーブである。縦方向のサインカーブを横方向に配列し、さらにガイドとなるサインカーブに沿って上下にずらしていくと集結する部分が生まれる。その集結する部分は凹んで見える波パターンとなるが、この凹みの部分に突起を加えることで、凹凸感の錯視効果が強調される。代表作として「時空への扉・波動 2022/R32」がある。

事例2 傾斜を変えた2層の縞パターンの中で生じるモアレ表現

縞パターンを角度を変えて重ねるとモアレ現象が起きる。図2は傾斜を変えた奥行き2層の縞パターンとの間で生じるモアレ現象を活用した作品であるが、視点移動に伴い動きの表現効果が生まれる。この作品はライアーという弦楽器をイメージに表現した作品である。実際のライアーはハープのような形をした楽器であり、手前側と奥側の2種類の弦でメロディーと伴奏を区別して演奏する楽器である。図2の作品もライアー同様に、弦に替わる縞パターンを奥行き2層に張っているため、視点移動に伴い、動きの表現効果を伴うモアレの演出が特徴の作品となっている。

事例3 縞パターンとその上に配置した板のエッジとの間で生じる奥行き錯視と視点移動に伴う動きの錯視表現

図3は私の代表的な表現特性を活用した作品である。一定の周期に配置した縞パターンと、その上に配置した板のエッジとの間で奥行き錯視が生じ、視点移動で揺れ動く表現効果が生まれる。事例作品は「ラブラブアゲハ」という作品で、花の蜜を吸う2匹の蝶がゆっくり羽を動かしながら愛を語り合う様子を錯視効果で表現している。この表現特性を活用した代表作には、前回に投稿した大作「躍動するトランプ - 四葉のクローバを探せ」がある。

※周波数を基軸とした波動表現：縞パターンと干渉の対象および見る人の視点移動を表現要素とした波動表現



図1: 「時空への扉 - 波動 B&8」 / 2024年



図2: 「17の弦による波動 OG/ライアー」 / 2025年

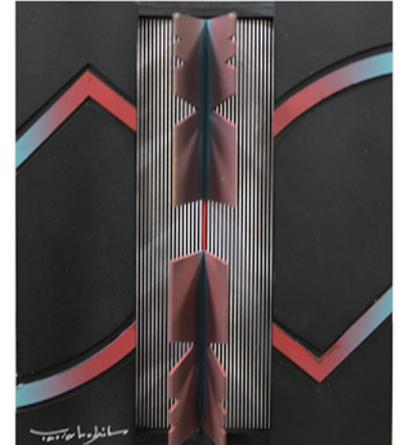


図3: 「ラブラブアゲハ」 2025年

波の知覚と薄氷ドリフト錯視

北岡明佳(立命館大学総合心理学部)

波は、エネルギーや情報が空間を通じて伝播する現象であり、物質の移動を伴わずに振動や変化が広がる。波は、媒質の粒子がそれぞれの平衡位置を中心に振動することで形成される。波が進行する方向と粒子の振動する方向の相対的關係によって、波は縦波(粒子の振動方向が波の進行方向と同じ。疎密波)と横波(粒子の振動方向が波の進行方向と直交)に分類される。本講演では、任意の画像を媒質として用いた計算論的な波のシミュレーションをデモするとともに、それらのシミュレーションの作成の過程において新たに発見された「薄氷ドリフト錯視」を報告する。薄氷ドリフト錯視は図地分離現象の一種で、矩形波の縦波において観察され、波の進行方向に動く粒子のグループ(密の部分)が波の進行方向とは反対の方向に動く粒子のグループ(疎の部分)よりも手前に見える現象である(下図をクリックすると動画のデモが出る)。



低次情報と知覚モデルによる主観世界の探究

小林勇輝（情報通信研究機構）

はじめに、スピーカーが修士のころより行ってきた、明るさ錯視についての研究を紹介する。スピーカーは、倒立によって明るさが変わって見える現象（図1）の発見をきっかけに、照明方向の仮定（Light-from-above prior）のような高次の処理と明るさ知覚の関連に関心を持った。しかし、この倒立錯視のような現象も、比較的低次元レベルの処理で説明できる可能性が明らかとなり、明るさや色の処理における低次元情報の役割について、さらなる研究を進めた。2025年錯視・錯聴コンテストでグランプリをいただいた「動的チェッカーボード錯視」では、シンプルな無意味図形を用いて明るさ錯視をデザインし、三次元性や陰影印象など（e.g., チェッカーシャドウ錯視）、複雑な視覚情報がなくとも強力な明るさ錯視効果が起きうることを示した。さらに、最近の研究では、オンライン実験によって集めた大規模な錯視量データに対して多変量解析を行い、多数の明るさ錯視も数個程度のグループに分類可能であることを明らかにした。これらのグループは対比や同化といった単純な要素で解釈が可能であり、明るさ知覚の構造の単純性が示された。一連の成果は、低次情報が明るさ処理において為す役割の大きさを物語っており、照明推定のような高次処理を考慮せずとも、明るさ知覚の大部分を説明できることを示している。

定量化が容易な低次情報が知覚処理を強く規定するという知見は、計算論的なモデルによって視覚を理論化できるということを示唆する。スピーカーは、このような考えのもと計算論モデルを用いた錯視の研究にも関心を持ってきた。上述したような明るさ錯視のモデルに関する成果に加え、現在進行中の研究では、深層ニューラルネットワーク（DNN）から錯視知覚を抽出することに取り組んでいる。具体的には、自然画像のみを学習したDNNがカニツァ図形に対して知覚する形状を可視化する方法を考案し、DNNのなかにも主観的な四角形が生じることを明らかにした（図2）。この成果は、人らしい知覚が人工知能にも自然に創発している可能性を示すものであり、さらに、錯視がDNNの視覚を理解する上での重要なツールとなりえることを示唆している。

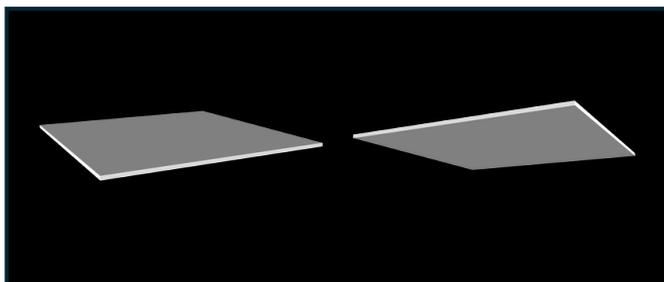


図1

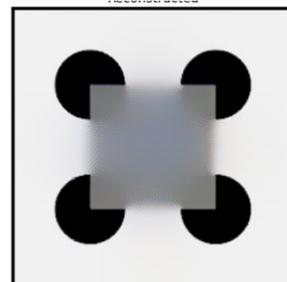


図2

色恒常性と見える色の数理モデル研究

吉村莞太, ○井上雅世 (九州工業大学 工学部)

同じ画像のドレス (図1) が、見る人によって「青と黒」または「白と金」に見える現象 (The dress) は、色恒常性からの説明が主流である。ここでいう色恒常性とは、照明条件、特に光源の色に関わらず、同じ物体は安定して同じ色として知覚される現象を指す。例えば、黄色っぽい白熱電球、青白い蛍光灯、さらには夕焼けのような強いオレンジ色の光の下でも、リンゴは赤く、バナナは黄色く感じられる。これは脳が光の影響を無意識に補正するためである。ドレス現象の場合、光源に関する異なる仮定、例えばその方向 (背後か正面か) や種類 (自然光か蛍光灯か) が、異なる補正方法につながり、結果として異なる色の知覚が生じる。実際、同じドレス画像を異なる背景画像と合成することで、仮定する光源の種類をコントロールし、「青と黒」または「白と金」に見える方を誘導できることも報告されている。

今回は、ドレスの知覚色、すなわち光の影響の補正方法と、クロノタイプ (生活リズム: 朝型か夜型か) に関係があるとの報告に注目した。朝型人間は自然光を、夜型人間は蛍光灯を仮定する傾向があり、これが異なる補正、すなわち知覚色の差異を生むと考えられる。朝型と夜型に対応するニューラルネットワークモデルを構築したところ、両モデルが異なる色認識を示したことを報告する。



図1 : ドレス画像

回転円板における主観色の生起要因を探求するための段階説モデルの改良について

須志田 隆道 (福知山公立大学)

森 将輝 (早稲田大学)

近藤 信太郎 (岐阜大学)

ベンハムの独楽は回転円板における主観色 (入力図形が無彩色であるが、有彩色を知覚するという現象) の典型的な例である[1,2]。図 1(a)に示された典型的な円板を反時計回りに回転させることで、黒円弧の軌道上に外側から赤色 (橙色、黄色)、緑色、青色が知覚され、回転方向を逆転させると知覚される色味が逆転する。ベンハムの独楽の代表される主観色を出現させる円板は、「黒半円領域」「白半円領域」「白半円領域上の黒円弧などのパターン」の 3 つで構成されるシンプルなものである。[3]では、黒半円領域のサイズを変更した場合に知覚される色味の強さが変わることから、主観色の出現には黒半円領域が重要であると推測し、黒半円領域を取り除いた円板 (図 1(b)) において、意識的な瞬きなど、網膜上に暗い状態を与えることで色味の知覚を確認することができた。以上の観察結果を念頭に置いて、網膜情報処理および段階説 (三色説と反対色説) をベースにした微分方程式モデル[4]において、赤緑青の三色に応答する三成分の応答速度の不均衡を出現させるためのスイッチング機構を導入し、「黒半円領域のサイズ依存的に色味の強さが変化すること」と「網膜上に暗い状態を与えることによる色味の出現」を含む典型的な回転円板の主観色の出現を説明するための数値シミュレーション結果を示した[5]。

ベンハムの独楽において知覚できる色味の強さは、黒半円領域だけではなく、「黒円弧の幅」にも依存する。例えば、図 1(c)に示したような黒円弧の幅が大きい例であると、知覚する色味の強さが低下することを観察することができる。しかし、[5]で示した微分方程式による段階説モデルのスイッチング機構では、黒円弧の幅を大きくしても色味が低下するという結果を得ることができない。そのため、本発表では、これまでの微分方程式モデルにおけるスイッチング機構の改良を行い、黒円弧の幅に依存した色味の低下を検証した数値シミュレーション結果を示す。

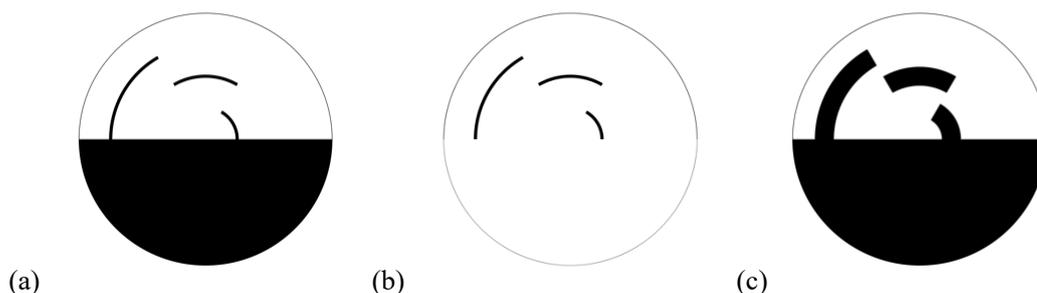


図 1. (a) ベンハムの独楽[1]. (b) 黒半円領域を取り除いた円板 (c) 黒円弧の幅を大きくした円板.

参考文献

- [1] C. E. Benham, *Nature*, 51, 113-114, 1894.
- [2] C. von Campenhausen and J. Schramme, *Perception*, 24(6), 695-717, 1995.
- [3] 須志田 隆道, 森 将輝, 近藤 信太郎, 第 17 回錯視・錯聴コンテスト, 2025.
- [4] S. Kondo, M. Mori, and T. Sushida, *Jpn. J. Ind. Appl. Math.*, 39, 283-318, 2022.
- [5] 須志田 隆道, 近藤 信太郎, 森 将輝, 第 19 回錯覚ワークショップ, 2025.

ビルは先細りに見えないのか？

長谷川 能三

(甲南大学 非常勤講師、元 大阪市立科学館 学芸員)

建築物の撮影では、従来、シフトレンズを用いるなどして先細りしないように撮影するのが基本であったが、超広角レンズを搭載したスマートフォンが普及したこともあり、ネット上などでは先細りしたビルの写真が多く見られる。しかし、実際にビルがそのような形に見えているとは思えない。

そこで、ビルを撮影した写真とビルの形がどう見えているかをスケッチしたものを比較したのが図1であり、ビルの上端までの仰角が左から約30度、48度、60度の場合である。スケッチするにあたっては、なるべくビルの三次元としての形を想像するのではなく、写真を撮るように二次元的に見えたままの形を描くように心がけた。また、仰角が大きくなった場合でも、なるべく頭を動かさずに、ビルの正面中段付近（仰角48度のスケッチの場合は×印付近）を見るようにした。仰角が約30度の場合、写真ではわずかに先細りに写っているが、全く先細りしているようには見えなかった。また、仰角60度の場合、写真ではビルが大きく先細りして写っているのに対し、スケッチでは先細りの度合いがかなり小さいことがわかる。

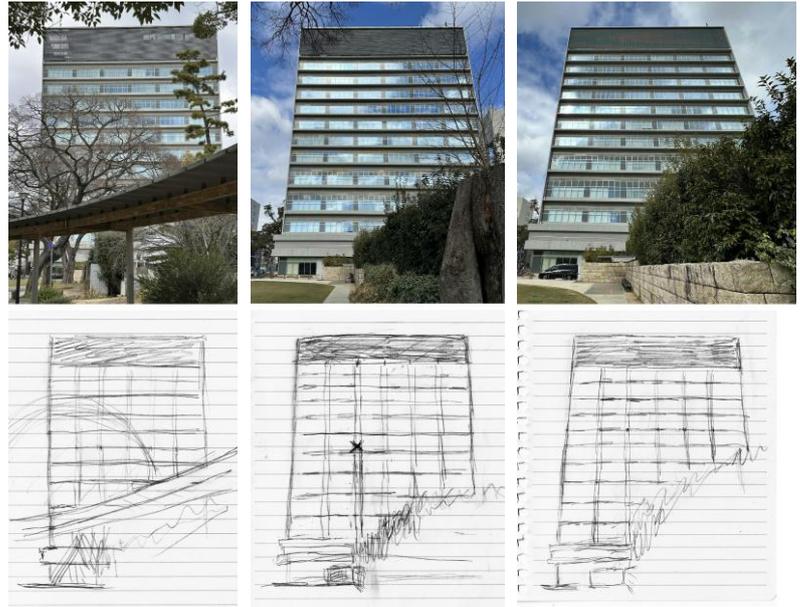


図1. ビルを撮影した写真(上)とスケッチ(下)の比較

そこで、次に、縦横比に近いビルの左下部分が正面になるような位置からスケッチしたのが図2である。こちらは頭を上下左右に動かしながらビル全体を見渡した上でのスケッチである。幾何学的には上下方向と左右方向は同等である。しかしこのスケッチでわかるとおり、実際の垂直のラインはほぼ垂直に見えていたのに対し、実際の水平のラインは右へいくにつれて右下がりに見えていた。このような見え方の違いは、頭を動かしたときの垂直方向の絶対性や、水平方向には先細りしている景色を見慣れていることなどが理由として考えられる。

このように垂直ラインが垂直になるのは、スマートフォン等のパノラマ撮影でも同様である。しかし同じビルをパノラマ撮影した図3とは様子が異なる。この違いは、仰角の高いところが縦に引き伸ばされているように見える。そこで、パノラマ写真の縦軸を視角に修正したものが図4であり、ビルの上部の角度変化などは図2の目で見たイメージに近いものとなった。

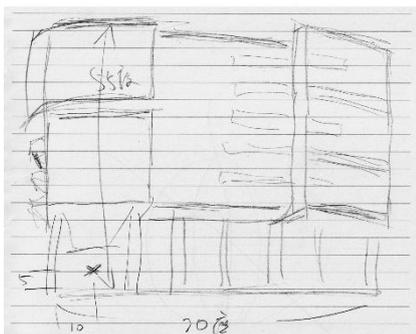


図2. 縦横比に近いビルのスケッチ



図3. パノラマ写真



図4. 縦軸を視角に修正したもの

心的回転の数理モデル：不良設定性の下での立体表象の同型性

日高昇平 (北陸先端科学技術大学院大学), 鳥居拓馬 (東京電機大学), 高橋康介 (立命館大学)

心的回転課題 (Shepard & Metzler, 1971) は、人の心的表象の同一性判定や操作に関する認知過程を調べる課題として用いられてきた。典型的な心的回転課題は、1対の静止画としてある同一あるいは異なる立体像から得られる2枚の平面画像を提示し、その対になった画像が回転して同一の立体であるかを回答する課題である。この課題における反応時間と回転角度の相関関係は、心の中の立体像を回転させる”心的回転”の根拠とされている。

心的回転課題の論理は明確に思える。我々は1組2枚の静止画それぞれに対して心的な立体像をつくり、その立体像の一つを回転させ、もう一つの立体像へ最も近い形になるよう操作する。しかるに、そうした心的な情報処理に習熟した場合にでも最小必要な操作として、最小回転角があり、

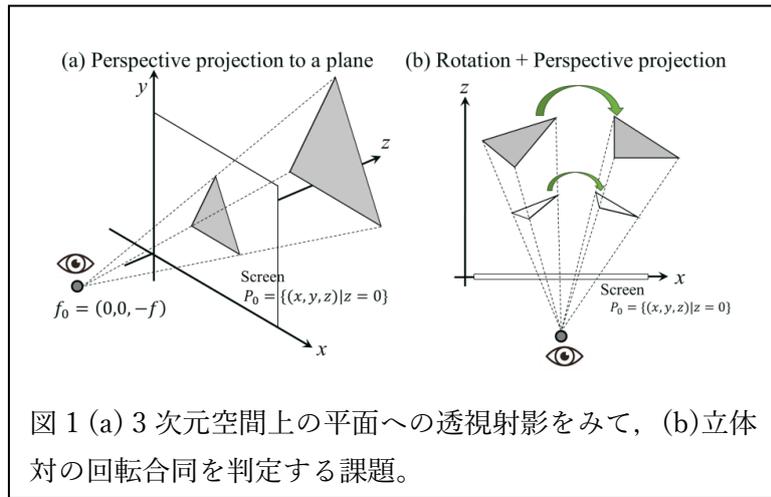


図1 (a) 3次元空間上の平面への透視射影をみて、(b)立体対の回転合同を判定する課題。

それが主な情報処理にかかる時間的コストとして反映されるのだ。しかし、よく知られた事実として、平面上の1枚の静止画だけでは、一般に立体の構造は完全には決まらず(図1)、これを不良設定問題という(Marr, 1982)。従って、情報論的には心的回転課題に回答するために、不良設定性に伴って生じる無限の可能立体の選定・マッチング・検索などを主とした情報処理が必要だと考えられる。しかし、Shepard & Metzler (1971)の結果は、そうした情報処理は心的回転に比べてほとんど無視できることを含意する。

そこで本研究は、理論的に要求されるはずの情報処理が、実際の認知処理ではほとんど計算コストを要さないという矛盾を説明すべく、立体対の平面射影から回転合同を計算する情報処理を論じる。具体的に、ある直交行列 $K \in \mathbb{R}^{3 \times 3}$ が存在して、2つの立体の頂点の平面射影の座標を表すベクトル $x_i = (x_{1i}, x_{2i}, x_{3i})$, $y_i = (y_{1i}, y_{2i}, y_{3i})$, $i = 1, \dots, n$ が $x_i = Ky_i$ を満たすとする。平面射影が焦点距離 $f > 0$ で得られ、直交行列が回転角 $\mu, \eta, \lambda \in [0, 2\pi)$ と符号 $\sigma \in \{-1, 1\}$ で特徴づけられるとき、 $f \sin \lambda (X^T (\cos \mu, \sin \mu)^T - Y^T (\cos \eta, \sin \eta)^T) = (1 - \sigma \cos \lambda) \text{diag} \left(X^T V_{\sigma \eta - \mu} \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ \sigma & 0 \end{pmatrix} Y \right)$ を満たす(ただし、 $V_\theta \in \mathbb{R}^{2 \times 2}$ は角 θ をもつ回転行列)。これは不良設定下の2つの立体の回転合同の存在を判定する必要条件を与える方程式である。この方程式の予測を認知心理実験により検証した結果、予測に合致する結果を得たので、それを報告する。

望遠レンズの奥行き圧縮効果により平行線が歪む錯視の VR 再現実験

西本博之、長崎太郎、永井口媛葉、大成七菜美（大阪産業大学）

望遠レンズによる奥行き圧縮効果は、遠近感を極端に減少させ、裸眼では湾曲して見える平行線を「平行に近い状態」に強制的に引き伸ばすため、結果として人間の視覚とは異なる「平行線のゆがみ」を感じる。この錯視を、円柱投影法ではなく、球体（視空間モデル）の VR 空間に再現し、その数理メカニズムを明らかにした。

VR 空間の構築には、ゲーム開発に利用される Unity を用いた。Unity には、①Console 画面で、オブジェクト（地平面、円柱など）を作成し、②Scene 画面で、そのオブジェクトを配置して舞台を作成する。③そして、その舞台のカメラの方向から見た映像を示す Game 画面がある。

図 1 と図 2 に VR 再現実験のために配置したゲームオブジェクトの Scene 画面を示す。2 つの Scene 画面は円柱の高さ以外は同一で、VR 空間上では東西の方向（180 度反対向き）に配置した。

正方形の地平面の中心にカメラを設置して、視線方向に円柱を等間隔に並べて、円柱を並べた延長線上に長方形の地面を配置する。そして、カメラから見える 2 つの映像（Game 画面）を図 3 と図 4 に示す。図 3 は Unity の透視図法（Perspective）の機能をそのまま用いて作成された Game 画面で、図 4 は望遠鏡で拡大されていることを想定した Game 画面である。この 2 つの Game 画面において、望遠鏡の拡大率の違いを円柱の高さの違いで表し、円柱の並びの先に配置した長方形の地平面に生じる斜度の変化（錯視量）を比較するための実験系を構築した。

視空間は、視点から消失点までの深さを半径とする球体である。このため視空間の半径は、望遠レンズの倍率により短くなる。これが双眼鏡を覗いたときに感じる窮屈な感じの原因である。図 3 と図 4 は、視空間の半径（消失点までの奥行き）の違いを円柱の並びで表現した。

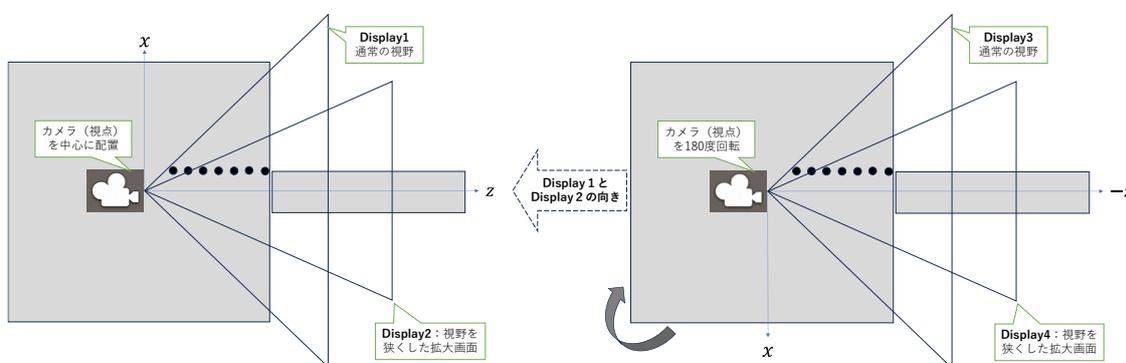


図 1. 図 3 に示すオブジェクトの配置図

図 2. 図 4 の配置図（円柱の高さ以外は同じ）

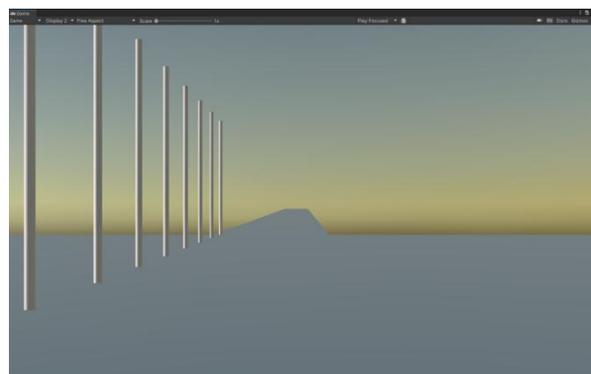


図 3. Unity の透視図法に基づく遠近感

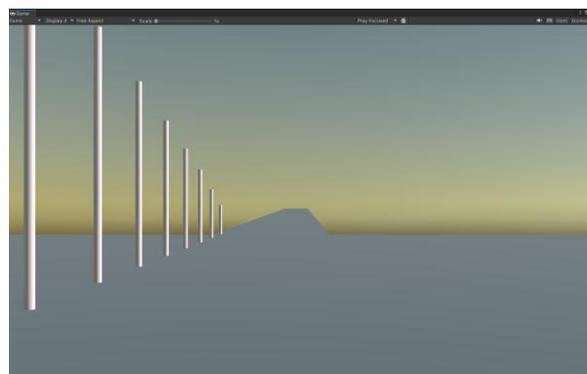


図 4. 望遠レンズにより圧縮された遠近感

「錯視-鏡ブロック」を用いた見ることの不確実性を学ぶワークショッププログラム
大谷智子（大阪芸術大学）・丸谷和史（NTT コミュニケーション科学基礎研究所）

鏡面消失錯覚は、鏡面を持つ立体の存在が、知覚上では背景に溶け込むようにして消失する錯覚現象である。著者らはこれまで、この鏡面消失錯覚を現象論的に整理し、応用可能性を議論するとともに、消失が成立しやすい刺激条件について、実験室内での比較的統制された条件下で検討を行ってきた[1-3]。これらの検討により、鏡面消失錯覚の基本的性質については、明らかになりつつある。

一方で、この錯覚が実世界でより広く適切に応用されていくためには、より統制されない複雑な状況でも、同様の現象が生じうるのかという一般性の問題に加え、錯視の非専門家であっても、現象の基本的な仕組みを理解しながら、当該の錯覚現象を適切に取り扱える枠組みを提案することも必要となる。

そこで、本研究では、これまで著者らが別のプロジェクトで行ってきた錯視ブロックでのワークショップ実験の枠組みを応用し、非専門家がより統制が緩い状況で、鏡面消失錯覚を起こす立体の作成を通して錯覚の基本的な取扱いを学ぶプログラムを提案する。さらに、その有効性について検討したワークショップの実践結果についても併せて報告する。

本発表で提案するワークショッププログラムでは、鏡面を持つ物体が設置される場所の底面が有する模様や質感（底面パターン）を変更したときの、鏡面消失錯覚の見え方の変化を体験的に学ぶ。具体的には、鏡面シートと錯視図形を組み合わせた複数種類の「鏡-錯視ブロック」を用い[4]、参加者がそれらを観察・配置・比較する体験型プログラムを構成した。また、この中で複数の底面パターンにおける見え方を比較してもらうために、各種の市販素材を用意した。

ワークショップは以下のような手順で進行する。冒頭では、鏡-錯視ブロックでの鏡面の複数の見え方について、講師が口頭で説明する。説明後、参加者は各種の底面パターン上でブロックの観察を行い、底面パターンや照明環境、視点位置の違いによって、物理的には同じブロックの質感が大きく変化し、場合によっては存在が消失することを確認する。最後に、ワークシートに観察の結果をまとめ、自身の体験をもとに見いだした法則や気づきを他の参加者と相互に共有する。

実際のワークショップでは、参加者は、ブロックの質感の変化が起こること、質感変化や消失錯視が起こりやすい底面があることなどを見出し、その結果をシートにまとめ、他者と共有することができた。これらの実践結果は、提案するワークショッププログラムが、少なくとも適切なファシリテートの下では、期待される学習効果を有しており、消失を含む質感変化の錯覚を、複数の非専門家の間で再確認・整理される場として機能したことを示している。

引用文献

- [1] 大谷智子・丸谷和史・天内大樹（2022）. 鏡面消失錯覚の現象論に関する一考察, 日本図学会 2022 年度大会
- [2] 丸谷和史・大谷智子（2023）. 鏡面消失を起こす底面パターンの条件, 日本視覚学会 2023 年冬季大会
- [3] K.Maruya, & T.Ohtani(2023). Extent of the “fading mirror” phenomenon as a function of image statistics of the ground texture for mirror placement, 23rd Annual Meeting of the Vision Sciences Society.
- [4] 丸谷和史, 檜垣裕子, 大谷智子（2024）. 鏡面上に幾何学パターンを印刷したフィルムを用いたブロック型玩具の提案, 2024 年度 日本図学会大会

立体錯視の視点の広さはどこから来るのか

杉原厚吉（明治大学先端数理科学インスティテュート）

人は二つの目でものを見ることができるため、両眼立体視の機能で見たものまでの距離がわかる。そのため、奥行きを間違える立体錯視は片方の目だけで見るとき（あるいは遠くのものを見るとき、あるいは立体を撮影した画像を見るとき）は起きやすいが、立体を両目で直接見るときには起きにくいと考えられてきた。しかし筆者はこの常識に反して、至近距離から両目で見ても、さらにその視点のある範囲で動かしながら見ても起き続ける変身立体錯視を多数発見してきた。この視点範囲の広さを特徴づける要因が少なくとも次の三つあり、これらの要因を多く含むほど視点範囲が広い傾向が経験的に確認できる。

要因1（視点によらない立体固有の幾何学的性質から錯視が生まれること）

鏡に正面を向けたものが鏡に映っても振り向かないで同じ向きのままに見える平行移動錯視は、立体が鏡に平行な面に関して面対称なときに起きる。右を向いたものを鏡に映すと左を向いたように見える左右反転錯視は、立体が垂直な軸に関して線対称なときに起きる。これらの対称性は立体と鏡に関する幾何学的性質で、視点位置には依存しない。したがって、ものが鏡の中へ平行移動したように見えたり、鏡の中で左右反転して見えたりする知覚は、どこから見ても生じる。

要因2（モチーフが生き物などの変形する性質を持っていること）

ある方向からトカゲに見える立体を面対称に作ることができれば平行移動錯視が生まれ、線対称に作ることができれば左右反転錯視が生まれる。この立体を設計するときに想定した「ある方向」から目をずらすとトカゲという形が崩れるが、崩れ方が小さいうちはトカゲであるという知覚が残る。すなわち人は、形を見ているよりはその形が属すカテゴリーを認識していると考えられ、カテゴリーが変わらない範囲では錯視が継続する。

要因3（立体上面の起伏が小さいこと）

変身錯視立体は、立体上面が水平だと感じたとき目的の図形に見えるように設計してある。したがって立体上面の起伏が小さいほど錯視が強まると考えられる。すなわち、立体上面の高低差の最大値が小さいほど錯視の起きる視点範囲が広いと期待できる。

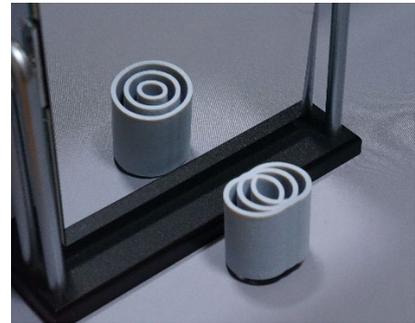
図1に示した立体はいずれも鏡を正面から見たとき錯視が起きるよう設計したものであるが、このように斜めの方向から見ても錯視が起きる広い視点範囲をもつ。(a)は面対称かつ生き物、(b)は線対称かつ生き物、(c)は起伏が小さくかつ側面の縦の長さが等しいという特徴を持つ。



(a) 面対称な立体



(b) 線対称な立体



(c) 起伏の少ない立体

図1. 視点範囲の広い要因を複数持つ錯視立体例

第20回錯覚ワークショップ組織委員会

組織委員長 杉原厚吉（明治大学）

組織委員

山口智彦（明治大学）、宮下芳明（明治大学）、北岡明佳（立命館大学）、
一川誠（千葉大学）、谷中一寿（神奈川工科大学名誉教授）、
間瀬実郎（呉工業高等専門学校）、星加民雄（錯視アーティスト）、
近藤信太郎（岐阜大学）、須志田隆道（福知山公立大学）、
大谷智子（大阪芸術大学）