

明治大学「現象数学」研究拠点共同研究集会

第18回錯覚ワークショップ

錯覚の創作・モデリング・解明とその応用展開

講演アブストラクト集



2024年3月4日（月）、5日（火）

明治大学中野キャンパス

主催：明治大学「現象数学」共同利用・共同研究拠点

共催：私立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

科研費基盤（B）「自然環境下での奥行き錯視の数理モデル構築と事故防止・知育教育への応用」

科研費挑戦的研究（萌芽）「『超不可能立体』の発掘とその錯視誘発要因の定量化・体系化」

プログラム

【3月4日（月）】

13:00～13:40

間瀬実郎（呉工業高等専門学校）「ペンローズの階段から三角形への変換」

13:40～14:20

長谷川能三「錯視等を用いた科学教育の事例報告」

14:20～15:00

一川誠（千葉大学）「注意の瞬きにおける『見落とし回避』の視野位置依存性」

15:20～16:00

宮地夏希、谷中一寿*（神奈川工科大学）「錯視がサッカーの審判の判定に与える影響の分析」

16:00～16:40

森川和則（大阪大学）「服装と化粧による身体・顔の錯視（3）」

【3月5日（火）】

9:00～9:40

西本博之（実験経営学研究所）「錯視が紐解く視空間モデル」

9:40～10:20

杉原厚吉（明治大学）「半身回遊立体～体の半分から全身が生まれてそれが輪をなす鏡映錯視～」

10:40～11:20

石川将也（コグ）「グラフィックデザイナーによる錯視発見のためのメソッド」

11:20～11:40

古賀理則*、井上雅世（九州工業大学）「AIはきらめき格子錯視を視るか？」

13:30～14:10

北岡明佳（立命館大学）「マクスウェルのスポット錯視とハイディングのブラシ」

14:10～14:50

星加民雄（錯視アーティスト）「時空への扉 / 波動をテーマにした錯視アート」

15:10～15:50

田谷修一郎（慶応義塾大学）「アナモルフォーズとしての幾何学的錯視」

15:50～16:30

臼井健太郎（立命館大学）*、石川将也（コグ）、田谷修一郎（慶応義塾大学）、北岡明佳（立命館大学）「重ね市松回転錯視に関する研究」

（*印は、複数著者の場合の講演者）

ペンローズの階段から三角形への変換

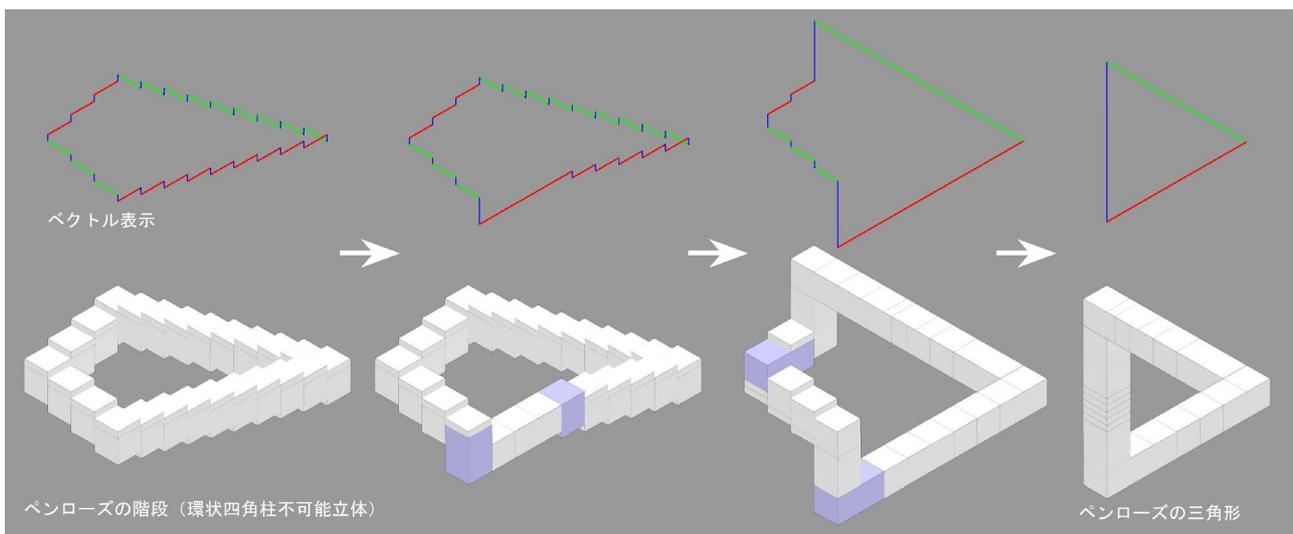
呉工業高等専門学校 間瀬実郎

Draper^[1]は、Penrose の三角形の系列の不可能立体として Draper の四角形等を示している。また杉原^{[2][3]}は、Penrose の三角形を含む不可能物体の分類方法を示している。中里ら^[4]は Draper の四角形やこれに似た不可能立体から Penrose の階段のアニメーションの手法を示している。このように環状の四角柱による不可能立体の系列とされる Draper の四角形や Penrose の階段の基本形態が Penrose の三角形であることが示されているが、その関係の構造を分析した研究がまだ見当たらない。

不可能立体には多くの種類があることが分かっているが、本研究では特定の条件を満たす「環状四角柱不可能立体」だけに注目する。その条件は、①ほぼアイソメ図（等角投影図）による表現、②俯瞰の視点位置、③隅角部が直角に折れている、④隅角部表現を俯瞰に限定、⑤環状を形成している、とする。この不可能立体を不連続構造が一箇所ある通常立体として扱い、さらに四角柱の心線を空間ベクトルに置き換えて分析する。そしてこの条件を満たす全ての環状四角柱不可能立体は、その空間ベクトルの和が0にならず、Penrose の三角形を形成する環状ベクトルになるという法則があることを予想する。

環状をなすベクトルの和について、まず平面ベクトルで考えると、任意の平面ベクトルは、x成分、y成分に分解でき、直行するベクトルだけで表現することができる。これをx軸について平行で逆向きのベクトルを相殺したり足していくことで、最終的にはx成分は0ベクトルになる。y軸に平行なベクトルについても同様で、その結果、環状をなす平面ベクトルの和は0ベクトルになる。空間ベクトルについても同様で、環状の四角柱の通常立体は、x軸、y軸、z軸のそれぞれにおいて平行で逆向きのベクトルを相殺したり、同じ向きのベクトルを足してゆくことで、最終的には0ベクトルとなる。

ところが、環状四角柱不可能立体についてこの操作を行うと、最終的に0ベクトルにならず、x軸、y軸、z軸に平行なベクトルが必ず残り、それぞれの長さは等しくなる。つまり Penrose の三角形に変換に変換される。例えば下図左端の Penrose の階段（踊場とフライト部分を取り出した状態）の例においてもこの操作により最終的に Penrose の三角形になる。三角形の一辺の長さは元の環状四角柱不可能立体の形状によって異なるが、その長さを簡単に求めることも可能である。1箇所の不連続構造がある通常立体としたとき、不連続の2点から作られる空間ベクトルのx、y、z成分が Penrose の三角形の各辺の長さになる。Penrose の三角形はすべての環状四角柱不可能立体の基本的な不可能立体であると考えられる。



[1] Draper, S. W., The Penrose triangle and a family of related figures. *Perception*, Vol 7, 283-296, 1978

[2] Sugihara, K. Classification of Impossible Objects, *Perception*, Vol 11, pp.65-74, 1982

[3] 杉原厚吉, 不可能物体の数理, 森北出版, 1993

[4] 中津香奈, 高橋時市郎, “階段不可能図形のアニメーション手法”, 画像電子学会, 第41回年次大会予稿集, 2013

錯視等を用いた科学教育の事例報告

長谷川 能三 (元 大阪市立科学館 学芸員)

前職の大阪市立科学館では、展示場内の専用スペースで行なうサイエンスショーや、学校の夏休み期間中に行なう科学教室、友の会活動や小学5・6年生を対象にしたジュニア科学クラブ、教員研修など、さまざまな普及教育事業を行なってきた。

理科教育の現場では、学習意欲のきっかけとして、派手な実験や一見不思議に見える現象、きれいに見えるものなど取り上げることで興味を引くことが多い。そんな中、錯視やトリックアートは観覧者や参加者の興味を引きやすい。このため、「ふしぎ」や「おもしろい」で終わらずに、「なぜそのように見えるのか？」を考えたり、さらに実際に自分でトリックアートを作ることにより、科学的な思考に導くことも可能である。

そこで、錯視やトリックアートを用いたサイエンスショー「ふしぎな形にだまされるな」やトリックアートをテーマにした科学教室および教員研修を実施したので、その内容や工夫点等を報告する。

1. サイエンスショー「ふしぎな形にだまされるな」(2016年8月30日～11月27日)

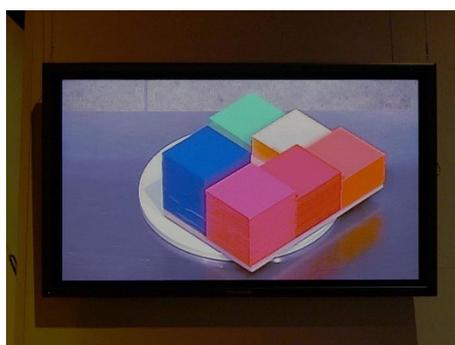
- ・約30分間の演示実験を3ヶ月間で297回実施、観覧者は計19,728人
- ・錯視の原因が比較的はっきりしていて、「なぜそのように見えるのか？」を考えやすいように選択
「エビングハウス錯視」「ジャストロー錯視」「ツェルナー錯視」「渦巻き(フレイザー錯視)」「残像」「チェッカーシャドロー錯視」「空飛ぶじゅうたん?」「無限階段」「ペンローズの三角形」等
- ・錯視の効果が多少小さくなくても、「なぜそのように見えるのか？」を考えやすいように
- ・トリックアート等では、天井に設置したカメラからの映像を併用
- ・自宅でも楽しめる「ミニブック だまされる目」を制作し、ミュージアムショップで販売

2. 科学教室「夏休み自由研究 トリックアートにちょうせん」、教員研修「トリックアートに挑戦」(2021年夏)

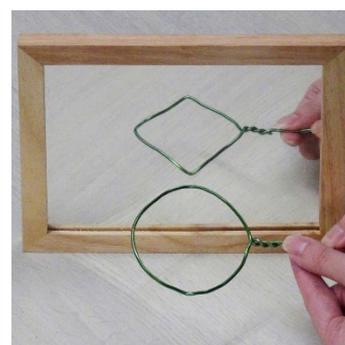
- ・科学教室は小・中学生対象で対面実施、教員研修はリモートで実施
- ・錯視についてや、平面に描かれた絵でも立体的に見えること等について解説
- ・「立体的に見える絵」と「鏡に映すと違う形に見える針金細工(科学教室のみ)」の解説と各自作成



フレイザー錯視を簡略化した渦巻き



無限階段のカメラ映像



鏡に映すと違う形に見える
針金細工

参考(それぞれ、<http://park12.wakwak.com/~eggplant/oi/> よりリンク)

「サイエンスショー「ふしぎな形にだまされるな」実施報告」大阪市立科学館研究報告 27, P111-116(2017)

「教員研修「科学館セミナー トリックアートに挑戦」および

夏休み自由研究「トリックアートにちょうせん」実施報告」大阪市立科学館研究報告 32, P187-192(2022)

「トリックアートの作り方」大阪市立科学館研究報告 32, P5-9(2017)

「ライブ配信サイエンスショー「ふしぎな形にだまされよう」2020年7月12日配信(無観客実施)

注意の瞬きにおける「見落とし回避」の視野位置依存性

一川誠（千葉大学人文科学研究院）

次々と逐次的に高速で提示される文字刺激系列の中に複数のターゲットがある場合、2つ目のターゲットが高頻度で見落とされる。この見落とし現象は「注意の瞬き（attentional blink）」と呼ばれ、最初のターゲット（T1）を処理することによって2つ目のターゲット（T2）に対する処理が一定期間抑制されることで生じるものと考えられてきた。ただし、2つのターゲットが連続して提示される場合、この見落とし現象は回避されることが知られている（Lag-1 sparing）。

この注意の瞬きによる見落としと Lag-1 sparing の見落とし回避が、高速での逐次的な視覚刺激系列（Rapid Serial Visual Presentation, RSVP）の視野位置によってどのように影響を受けるか調べる複数の実験を実施した。実験では、2つの RSVP 系列を視野の上下や左右に提示し、注意の瞬きによる見落としと Lag-1 sparing の見落とし回避がどのように生じるのか調べた。

実験結果は、ターゲットが同じ系列内で提示された場合、および左右の視野に提示された異なる RSVP 系列中に提示された場合、Lag-1 sparing による見落とし回避が認められることを示した。他方、ターゲットが上下の視野に提示された RSVP 系列中に提示された場合、高頻度で注意の瞬きによる見落としが生じた（図）。また、注意の瞬きによる見落としは2つの RSVP 系列の間の垂直距離によって増大した。これらの注意の瞬きにおける見落とし回避が RSVP 系列の提示される視野に依存する特性は、左右の視野（あるいは、左右の脳半球）にそれぞれ独立した視覚的注意資源があることに起因するものと考えられる。

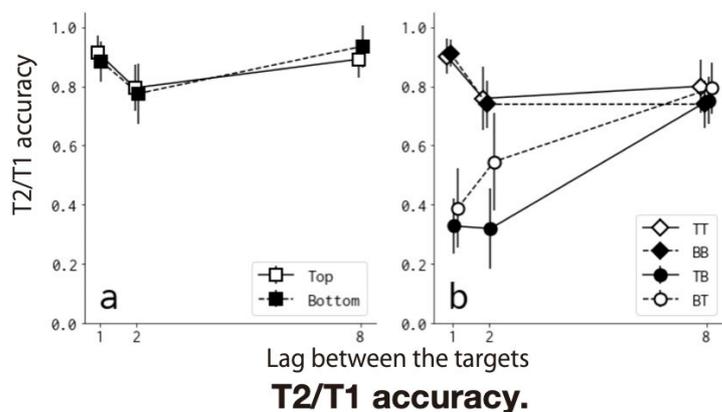


図. 注意の瞬きによる見落とし頻度. a. ターゲットが上下視野の系列中に提示された場合. b. ターゲットが上視野(TT), 下視野(BB)のみに提示された場合, T1 が上視野, T2 が下視野(TB), T1 が下視野, T2 が上視野(BT)に提示された場合.

錯視がサッカーの審判の判定に与える影響の分析

宮地夏希, 谷中一寿 (神奈川工科大学)

1. オフサイド

筆頭著者の宮地は神奈川工科大学サッカー部の選手であり、日本サッカー協会公認 2 級審判員でもある。図 1 に示すように守備側のゴール側から 2 人目の選手のいる地点から両サイドに延長した想定上の線を「オフサイドライン」と呼び、攻撃側の選手がこの想定ラインより前で待ち伏せしてパスを受けると、「オフサイド」という反則になる[1]。これは試合がつまらなくなるのを防ぐためである。副審はオフサイドを見極めるため、90 分間の試合中常にオフサイドラインの動きに伴って、その延長線上に自分がいるように動かねばならない。オフサイドの見極めは難しいが、その誤審は試合の勝敗にも大きく影響する。

2. 研究方法

このような背景のもと、どのような状況で見誤ることが多いのかを実験的に検討した。

2.1 ビデオ撮影

図 2 に示すように神奈川工科大学のグラウンドで、サッカー部の選手の協力を得て、iPad を使用してオフサイドを模倣した状況を合計 134 本撮影し、動画編集アプリ iMovie を使用して手前、中央、奥の 3 つのシチュエーションにそれぞれ 10 本ずつ、計 30 本の映像を作成した。10 本中 5 本がオフサイド、残り 5 本がオンサイドの映像である。

2.2 映像視聴によるオフサイドテスト

サッカー経験者 25 名（審判活動をしている者 5 名 + そうでない者 20 名）を対象に対面で 30 本の映像を見ながら、Forms でオフサイドか否かを回答してもらったテストを実施した。

3 結果と考察

3.1 平均正答率

日頃審判活動をしている者の平均正答率は 75%、そうでない者の平均正答率は 61.3% と大幅な違いがあった。前者は後者に比べ目が慣れて認知機能が高まったためと思われる。

3.2 シチュエーション別正答率

オフサイドが生じた位置が副審の位置から見て手前、中央、奥のいずれかであるかによって正答率が異なり、奥が 68% と最も高く、中央が 58% と最も低くなった。中央の場合、攻撃側選手が守備側選手の間を通ることを見極める難しさがあるためであると考えられる。

3.3 シチュエーション別正解別正答率

副審から見て手前側では、オフサイドの映像を見せた場合正しくオフサイドと判定する確率が 74% と高いのに対し、オンサイドの映像を見せた場合 52% しか正しく判定できず、オフサイドと誤認している。ここ迄はフラッシュラグ効果 [2] という錯視で説明できる。すなわち動いている物体（例えば後ろからパスされたボールを受けとろうと前に走っている選手）は実際より前の位置に見えるので、オフサイドに見えやすい。ただしこれは手前側の場合だけで、中央や奥の場合にはなぜこの現象が起きないのか説明できない。その上フラッシュラグ効果では、常に見えている等速移動物体と、「フラッシュ」という一瞬だけ見える刺激が必要であるが、サッカーでは後者が存在しない。従ってフラッシュラグ効果とは似て非なる錯視のせいかも知れない。

参考文献

[1]IFAB (国際サッカー評議会): Laws of the games, 公益財団法人 日本サッカー協会 (2023)

[2]田中章浩, 日常と非日常からみる ことろと脳の科学(2017)

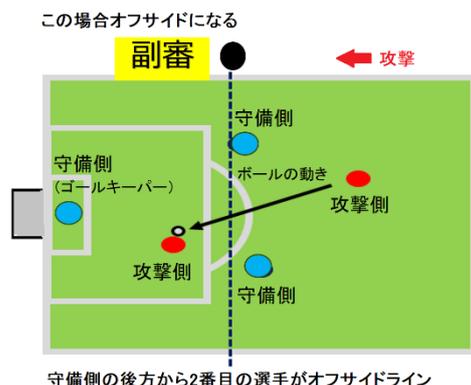


図 1 オフサイド

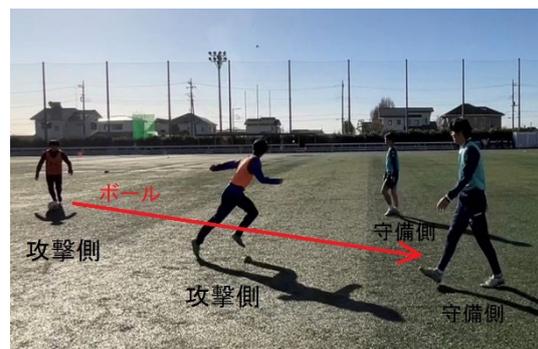


図 2 ビデオ撮影

服装と化粧による身体・顔の錯視(3)

森川 和則 (大阪大学 人間科学研究科)

第6回および第11回錯覚ワークショップで服装と化粧の錯視について講演させていただいた。今回はそれ以降の6年間に行なった実験成果についてお話しする。

● コロナウイルスの蔓延によりマスクを着用することが非常に一般的になった。私たちはマスクの着用により様々な錯視効果が生じることを実証した。まず、暗い色のマスク(図1)を着用すると、顔色が暗く見える。すなわち明るさの同化錯視が起きている。また、暗い色のマスクを着用すると、顔が小さく見えることを実証した。さらに、暗い色のマスクを着用すると、目が実際より大きく見えることも発見した。



図1 明度の異なるマスク刺激

● 両目の間隔を変えて見せる遠心・求心アイメイク(図2)による両目間隔錯視の効果を測定した。その結果、目を離す遠心メイクはほとんど効果が無いが、目を近づける求心メイクの効果は大きいという非対称性が判明した。



図2 左:遠心メイク、右:求心メイク

● 目の傾き角度を変えるタレ目メイク・ツリ目メイク(図3)の効果を測定した。結果、どちらも非常に有効であるが、ツリ目メイクのほうがより強力であることが判明した。さらに、全く同じメイク方法であっても、平均の目の傾きから遠ざけるメイクよりも平均の目の傾きに近づけるメイクのほうがより大きな錯視効果を生じることを発見した。



図3 左:タレ目メイク、右:ツリ目メイク

● 白の上下服・黒の上下服による錯視効果とシャツをスカートの中に入れるタックインの錯視効果を測定した。白い服より黒い服はスリムに見え、シャツをタックインするとさらにスリムに見えることがわかった。

● 上下が白と黒または黒と白の服でシャツをタックイン(図4)することにより脚が7cm長く見えることを実証した(アモーダル補完錯視)。

● 縦ストライプでも横ストライプでも、太いストライプの服を着ると太って見えることを実証した。



図4 左:タックインあり、右:なし

● 大きな水玉模様の服と比べて細かい水玉模様の服(図5)を着るとスリムに見えることを実証した。

● 結論: (1)顔においては対比錯視より同化錯視が生じやすい。(2)平均顔から遠ざけるメイクよりも平均顔に近づけるメイクのほうがより効果的である。(3)服装によりアモーダル補完錯視が生じる。

(4)服の模様の太さ・細かさの印象が体型の知覚に波及する。

図5 左:細い水玉模様、
右:太い水玉模様



錯視が紐解く視空間モデル

西本 博之（実験経営学研究所）

錯視のメカニズムを紐解くと、ヘリング錯視が示唆するように視空間が球体であることに気づく。視点から消失点までの距離を半径とする球体である。対象物が何倍に見えるか、それはスケールという物理量である。自分の身長を1として、同じ高さの物体が2分の1に見えるところまでの距離を1とすると、視点から消失点までの距離は、無限に続く等比数列の和として求まる。作図的には、遠近法のこと（図1）、視空間はこの長さを半径とする球体となる。

この時、消失点におけるスケールはゼロである。これは、無限遠に置かれた物体は見えなくなることを意味する。スケールの最大値は1で、最小値はゼロなので、確率と同じ範囲である。ここでスケールを倍率ではなく、「情報の確からしさ（確率）」として、同様に距離も「情報の不確かさ（確率）」とすると、距離（確率）は、消失点で不確かさが最大値の100%となる。従って、距離+スケール=1の関係式が成り立つ。この式は、距離が分かれば、スケールも同時に分かることを意味する。ここで視点からの物体までの距離をコサイン θ で表すと、スケール=1-コサイン θ となる。

しかしながら我々は、物体までの距離が、想像した距離とは異なることを、杉原先生の錯視でなんども体験している。そして静止している映像では、だまし絵に気づかなくても、ターンテーブルが回転することで、その実体が明らかになることも理解している。これは、「視点を動かして見ないと、距離もスケールも正しく観測できないこと」を意味している。そこで、視点の動きを偏角 θ の差分($\Delta\theta$)とすると、スケールの変化は $d\theta$ の微分方程式で表される。また、逆二乗の法則で示されるように、縦のスケールが3分の1になれば、横のスケールも同時に3分の1になる。これは、縦のスケールの変化=90度回転させた横のスケールの変化、という関係式になる。複素空間では「虚数を掛けること=90度回転すること（図2）」なので、縦のスケールの変化= j （虚数） \times 横のスケールの変化、という関係式が成り立つ。視空間を単位球として、これらの式をまとめると、「スケールの観測性」は図3に示す微分方程式で表される。（Ref. Hiroyuki Nishimoto, "Geometric model in visual space", JSIAM Letters, 023 Volume 15, pp.105-108, <https://doi.org/10.14495/jsiaml.15.105>）

この微分方程式を積分するとスケールが求まり、オイラーの公式を用いてスケールを求めると、解は、実数部と虚数部から構成される。前述の通り、虚数は90度の回転を意味するので、微分方程式を積分すると、縦と横のスケールが同時に求まることになる。

この視空間モデルを用いると、レンズ倍率が視空間の半径を決めていることが分かる。双眼鏡を覗くと、視空間の半径が変わり、距離感（認知距離）も変わり、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ことに気づく。直線的に動くロケットの弾道も、私達の眼の中では楕円を描いていることにも気づく。そして散歩しているときの景色の変化も数式で表せる。数学的には、リーマン球と異なり、三次元の方に消失点という無限遠点が存在する複素射影空間である。

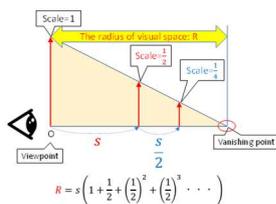


図1. 無限級数の和

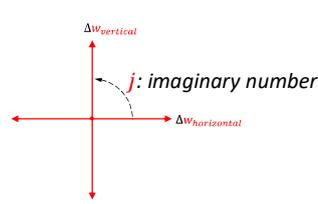


図2. 虚数による回転

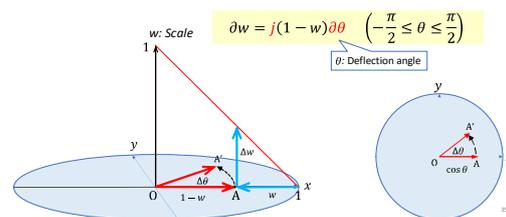


図3. スケールの観測性に関する微分方程式

半身回遊立体 ～体の半分から全身が生まれてそれが輪をなす鏡映錯視～

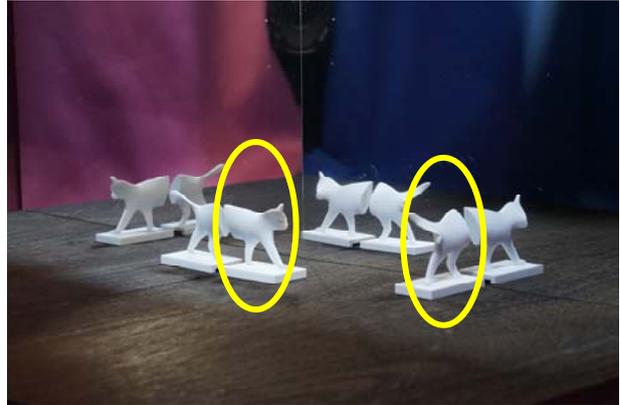
杉原厚吉（明治大学先端数理科学インスティテュート）

動物の頭部または尾部を表す立体を鏡に接触させると鏡の中に残りの半身が現れ、それがもう一つの鏡で左右反転して見える視覚現象を見つけた。これを組み合わせることによって、同じ向きに輪になって並ぶ立体を表現できる。この錯視立体には、「半身回遊立体」という名前を付けた。

図1に、半身回遊立体の例を示す。(a)は、直交する2枚の鏡に猫の半身を一つずつ接触させたところであるが、4匹の猫が反時計回りに輪をなす姿が生まれる。(b)は、立体を鏡から少し離れたところである。黄色の楕円で囲んだ部分だけが実際の立体で、残りはその鏡像である。頭部から尾部が生まれ、尾部から頭部が生まれていること、およびその全身がもう一つの鏡で左右反転していることがわかる。



(a) ネコの半身から生まれる回遊錯視



(b) 立体を鏡から少し離れたところ

図1. 猫を素材とした半身回遊錯視立体

この錯視立体を発見するきっかけになったのは、鏡へ正面を向けたものが、振り向かないで平行移動するように見える「平行移動錯視」である。図2(a)に平行移動錯視の例を示す。垂直な鏡が正面から45度左へ向けて立ててあり、その鏡に正面を向いた猫が置かれているが、鏡に映っても振り向かないでそのままの姿勢で平行移動した姿が生まれている。この立体は、筆者が提案した変身立体設計法を使って作ったものである[1]が、出来上がった立体は、鏡に平行な面に関して面対称となる。面対称であるから、鏡に映したものと平行移動したものが一致する。しかし、斜めから見たとき面対称に見えないため、平行移動したという知覚が生まれる。

面対称であるから、対称面で二つに切断して一方を鏡に映せば全体が復元される。これが、半身立体を鏡に接触させると全身が現れる理由である。

面対称なのに斜めから見たとき面対称に見えない立体のシルエットは、反対方向から同じ角度で斜めに見ると、頭部が尾部に見え、尾部が頭部に見える。そのため、対称面に垂直な鏡に映した時は左右が入れ替わる。

これら二つの視覚効果を組み合わせた結果、動物の二つの半身から、向きがそろって輪になる四匹の動物の全体像が生まれるわけである。



図2. 平行移動錯視立体

参考文献 [1] K. Sugihara, Translation illusion of 3D objects in a mirror. J. Soc. for Art and Sci., vol. 22 (2023), no. 2, pp. 4:1-4:12. https://www.jstage.jst.go.jp/article/artsci/22/2/22_4/_article/-char/en

グラフィックデザイナーによる錯視発見のためのメソッド

石川将也（コグ）

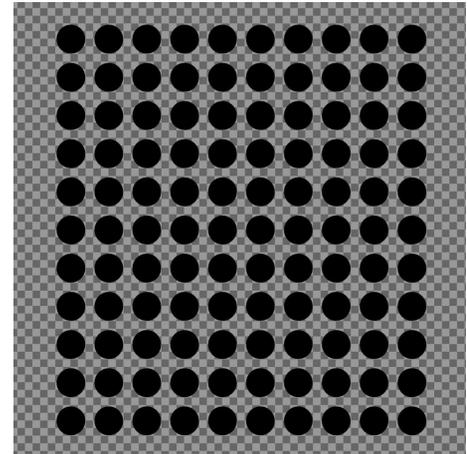
グラフィックデザイナーである発表者が、近年発見したいくつかの錯視を具体例に、**錯視を発見するために開発・実践している手法を、使用しているツールの実演を通して紹介する。**

発表者は、グラフィックデザイナーとして、グラフィックデザインおよび映像といった視覚を用いた伝達・表現を活動領域としている。その活動、つまり日常的に様々な二次元視覚刺激を業務として作る過程で、錯視や錯視と思われる現象に出くわすことや、意図せず作り出してしまうという経験をしてきた。そこで 2018 年以降、そのようにして発見した錯視を視覚の学会等で報告している（図 1）。また、視覚研究者、特に慶應義塾大学の田谷修一郎氏、立命館大学 臼井健太郎氏とともに、発見した錯視についての研究活動も行っている（図 2）。

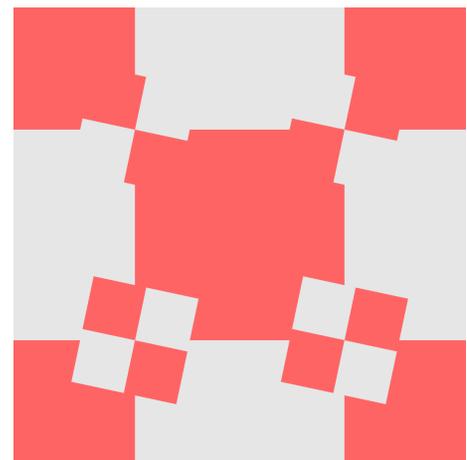
発表では、これらの錯視をどのように発見したのか、というエピソードと共に、その研究活動の中で用いている、アニメーション作成ソフト **Cavalry** を用いた新しい錯視を発見・研究するためのメソッドを紹介する。

具体的には著名な錯視（カフェウォール錯視）をプロシージャル（あとから変更可能な状態）に少ないステップを用いて容易に作成する手順や、パラメータを変更して**錯視量を調節したり、アニメーションを加えることで錯視の起きる条件と起きていない条件を行き来する映像を作ったり、動きが加わることで新しい錯視が見出せないか検討する、**といった実際に研究に用いているプロセスを実演する。

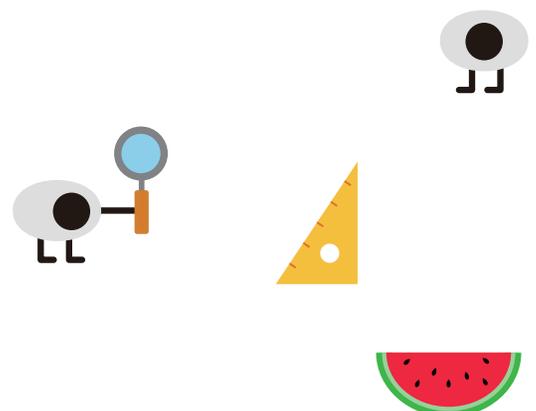
この発表を通して、表現を試行する中で生まれた刺激が、視覚のメカニズム解明にとって新たな切り口の材料となりうることを伝えたい。また発表者は、この研究活動から得られた知見を用いて、表現の側へのフィードバック、つまり**新たなグラフィックの開発を行おうとしている。**このように、視覚表現を主業務として行うデザイナーと、研究者が共同で研究を行うことは、視覚のアカデミック研究と実践を相互に発展させるためには重要な意義を持つと考えている。さらに、今回紹介する、アニメーション制作ソフトを用いた錯視研究方法は、錯視を研究するためのひとつの**鉱脈・ブレイクスルー**になりうると考えている。**今回のワークショップを機に、私たちの事例を紹介するとともに、手法やツールの普及を促したい。**



1 グリッドで円がガタガタ錯視, Ishikawa, 2018



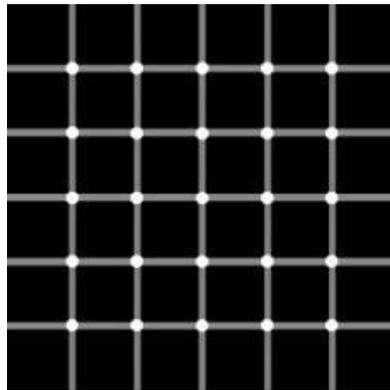
2 重ね市松回転錯視, Usui, Taya, Ishikawa, 2023



AI はきらめき格子錯視を視るか？

古賀理則、井上雅世（九州工業大学工学部）

本研究は、深層学習モデルが錯視画像、特に 1997 年に発見されたきらめき格子錯視に対して、人間の視覚と同様の反応を示すかどうかを探究することを目的としている。きらめき格子錯視とは、視覚システムが特定のパターンを誤認識する現象であり、この研究では、深層ニューラルネットワークの一つである ResNet101 モデルを用いて、深層学習がこの現象をどのように処理するかを分析する。



図： きらめき格子錯視

本研究では二つの主要な実験をおこなった。第一の実験では、きらめき格子錯視画像を ResNet101 モデルに入力し、モデルの異なる層からの反応を分析した。

第二の実験では、多様なきらめき格子パターンに基づくネットワークの出力を評価し、錯覚の影響を受けやすい特定のパターンを同定した。

第一の実験結果から、ネットワークの全ての層で錯視による影響がみられた。特に、より深い層で錯視の影響が顕著になることが確認された。しかし、画像分類に特化した最終層では、この傾向が減少することが観察された。また、第二の実験からは、錯覚の影響を受けるパターンに偏りが存在することが明らかになった。

本研究結果は、深層学習モデルが人間の視覚処理システムと類似した反応を示すことを示唆している。モデルが視覚データを処理する過程は、簡単な数理的な演算で記述されているにも関わらず、入力データに解釈を加え、結果的に錯視画像に騙されている点は興味深い。また、第二の実験でみられた、錯視の影響を受けるパターン位置の偏りの原因について、広い視点から議論をおこないたい。

マクスウェルのスポット錯視とハイディングーのブラシ

北岡明佳（立命館大学総合心理学部）

マクスウェルのスポット（Maxwell's spot）は、青いものが中心視では暗く見える現象である。黄斑が短波長光を吸収するために起こると一般的には考えられている。マクスウェルのスポットは青色 LED で容易に観察できるが、本発表では PC ディスプレーで観察しやすい新しい刺激配置を報告する。特に、有機 EL ディスプレー（OLED）で観察しやすい。刺激は青と暗い緑の領域から空間的あるいは時間的に構成され、中心視で青は暗く見え、暗い緑は明るく見える（マクスウェルのスポット錯視）（図 1）（北岡, 2024）。黄斑が青色光を吸収することだけがマクスウェルのスポットの原因であるなら、青が暗く見えるだけのはずであるが、暗い緑は明るく見えることから、何らかの反対色的な過程が関与していることが示唆される。有機 EL ディスプレーで観察されやすいのは、その青色のピーク波長が黄斑の吸光度のピーク波長に近いからであると考えられる。

一方、ハイディングーのブラシ（Haidinger's brushes）も黄斑が関わっていると考えられる現象で、白色の面を偏光フィルターを通して見ると、黄色の砂時計のような形の像が中心視に見える現象である。青色の面を偏光フィルターを通して見ると、黒い砂時計のような形の像が中心視に見える。特に有機 EL ディスプレーに表示された青色の面を観察する時にはっきりと見える。このように、ハイディングーのブラシはマクスウェルのスポットと共通した性質を持っているが、マクスウェルのスポット錯視は青と暗い緑色の組み合わせが重要であるのに対し、ハイディングーのブラシは青単独で現象が起こり、暗い緑の側では対応した現象は観察されないという点が異なる。

本発表では、これらの現象とそのメカニズムを考察する。

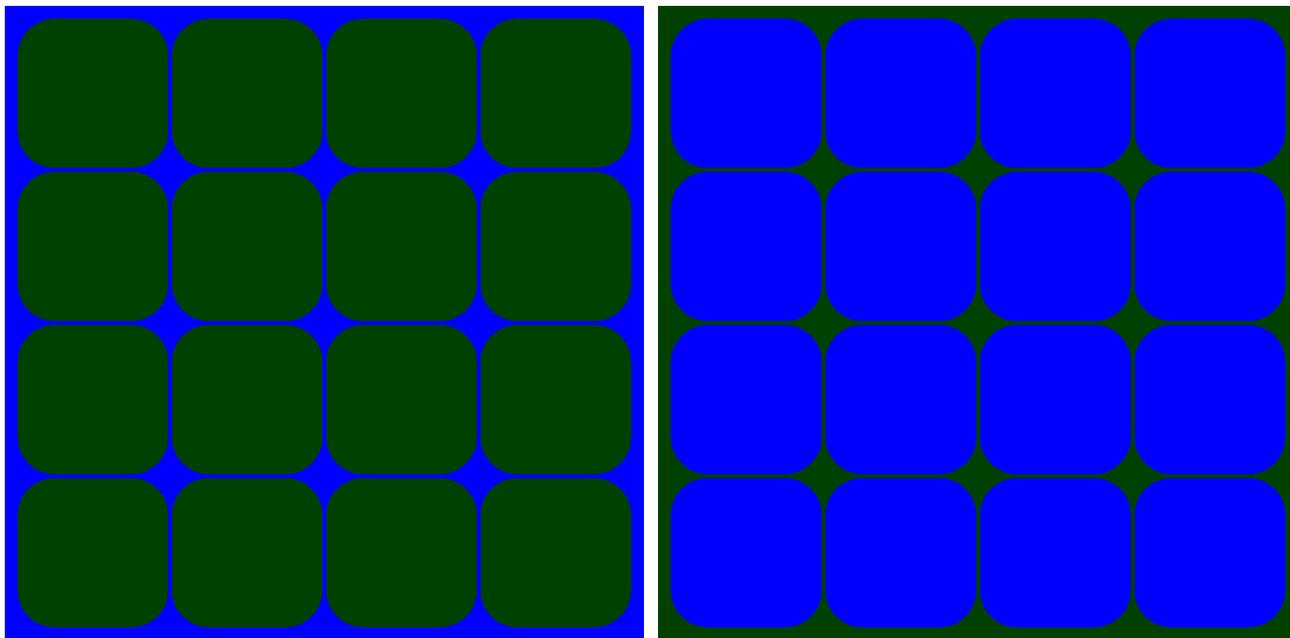


図 1 マクスウェルのスポット錯視。左図では、星形の部分の青は中心視では暗く見える。右図では、星形の部分の暗い緑は中心視では明るく見える。この現象は有機 EL ディスプレー（OLED）で観察しやすい。

文献

北岡明佳（2024） マクスウェルのスポットの錯視 日本視覚学会 2024 年冬季大会 工学院大学・2024 年 1 月 17 日・ポスター発表（1p06）



星加民雄 略歴

- 1990 第 18 回日本国際美術展 / 東京都美術館、京都市美術館
- 1997 現代日本美術展 / 東京都美術館、京都市美術館 ('99/ 第 26 回展) / 同会場
- 1997 第 47 回モダンアート展 / 俊英作家賞 ('02/ 第 52 回展) / 会友佳作賞 / 東京都美術館
- 1999 個展 / 星加民雄・ふるえる壁 / アートスペース羅針盤 (ギャラリー企画) / 銀座
- 2001 現代のイメージV「絵画の現在進行形」 / 熊本県立美術館・分館 (美術館企画)
- 2004 星加民雄・動きの錯視展【ふるえる壁】 / 熊本市現代美術館・ギャラリーⅢ (美術館企画)
- 2016 REALISM OF MOVEMENT EXHIBITION / 後援：在フィン日本大使館
エミール・セーデル・クロイツ美術館 (美術館企画) / フィンランド
- 2019 Japonism Today Exhibition / 後援：在フィン日本大使館
エミール・セーデル・クロイツ美術館 (美術館企画) / フィンランド
- 2022 第 3 回枕崎国際芸術賞展 / 優秀賞 / 枕崎市文化資料センター南浜館
- 2023 時空への扉・星加民雄錯視アート展 / 五百亀記念館 / 西条市 (美術館企画)

時空への扉 / 波動をテーマにした錯視アート

星加民雄 / 錯視アーティスト

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ます。人々の心を癒すやさしい波動(猫の喜びの表現であるゴロゴロ、他)から、人体に悪影響を及ぼす波動や地震による地殻変動、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が地球上には存在しています。

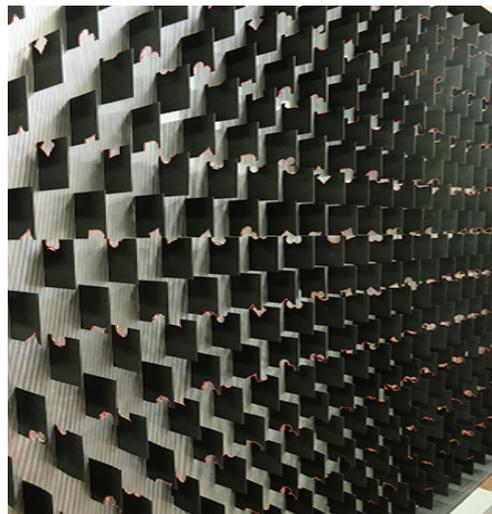
これまで私はアーティストの立場から錯覚の表現世界を探ってきました。見る人の角度、人の動きによって変化する表現効果の特徴とする錯視アートを主に制作展開してきました。最近では「波動」をテーマに現代社会をリアルタイムに表現することに重点を置いています。これまで真実として認識してきたことも嘘で固めた偽装された歴史であることも暴露されてきています。地球そのものの形状や宇宙空間の真実も少しずつ情報の開示が進みつつあります。それはこれまでの物理学や医学の常識をも覆すかもしれない内容が含まれています。単に視点を変えることで異なる形に見える世界とは異なり、見えなかった世界が突然に出現するようなものです。私達にとって真実だったことの表と裏が逆転した世界かもわかりません。言い換えれば、虚像の世界が真実である可能性もあるということです。

現代アートの表現の一つに、このようなタイムリーな社会情勢を反映する表現世界があり私もその一人の作家です。最近制作した代表作が「躍動するトランプ - 四つ葉のクローバを探せ」です。社会の中で隠蔽されている真実と嘘にまみれたメディアによる偏ったプロパガンダに翻弄されている今日ですが、この嘘の社会情勢をアメリカのトランプ元大統領が大蛇を振るい暴くことで、私達もようやく目が覚め、現実とこれからの社会の指針を垣間見ることができつつあります。私もアーティストの端くれとして、リアルタイムで時代を直視した表現を試みていますが「躍動するトランプ - 四つ葉のクローバを探せ」は如実に現代社会を表現した作品の一つです。本研究会ではスライドでのご紹介にとどめますが、その表現のもととなる小品を複数展示していますので、空いている時間に見ただけでも嬉しいです。

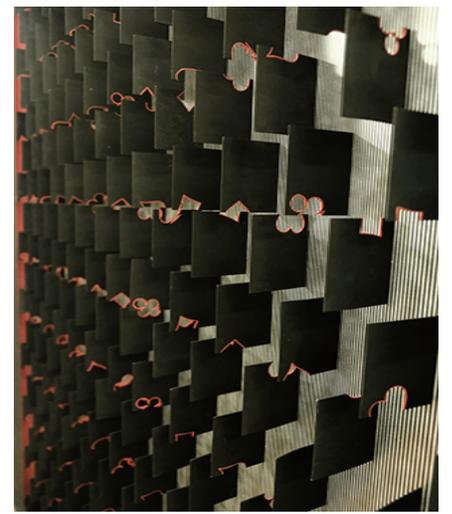
今、地球上で起こっている3次元の現実とパラレルワールドとも言える時空が加わった5次元の未来社会が重複しています。マトリクスの中で見て感じている3次元世界と、この先に展開する未来社会、それは見えない波動の世界かもわかりませんが確実に存在する世界です。これまで波動をテーマにコンセプトメイクしてきた私の表現世界ですが、現実社会、近未来社会との連動性の中で伝えようとするアート表現の表と内面の世界を感じ取っていただければ幸いです。



「時空への扉 - 波動 2022-R32」 / 2022 年
第 3 回枕崎国際芸術賞展優秀賞



「躍動するトランプ - 四葉のクローバを探せ」 / 2017 年トランプ大統領が就任した時に「揺れ動くトランプ - ジョーカーを探せ」というタイトルで制作—その後 2023 年に本作品にリメイク。



アナモルフォーズとしての幾何学的錯視

田谷修一郎（慶應義塾大学 日吉心理学教室）

アナモルフォーズ (anamorphosis) とは、特定の一点 (vantage point, VP) から見るときにのみ意図した形 (正像) が目に映るように形を歪ませて描いた画像である*。アナモルフォーズにおける VP は、ふたつの異なる対象 (例えば「2次元画像」と「3次元構造物」) が同じ見え (網膜像) をもたらす視点である。このため、アナモルフォーズを観察する時、視覚系は VP の網膜像から、それを生み出したであろう外界構造について、ふたつの異なる推論を行うことになる。このふたつの推論の間のズレがアナモルフォーズの現象としての「面白さ」を生んでいると考えられる。つまりアナモルフォーズとは、そうした複数の推論を上の水準から比較するメタ知覚に支えられた現象であるといえる。

幾何学的錯視とアナモルフォーズはともに錯覚 (illusion) に分類されるものの、通常はこのカテゴリー下で異なる現象として区別される。しかし錯視図形は、それを三次元空間に引かれた線の二次元投影像と捉えれば、アナモルフォーズと見做すことができる。垂直水平錯視を例に挙げると、この錯視図形は、3次元空間において異なる方向と長さを持つふたつの線分が、たまたま同じ長さで目に映る VP からの見えを描いた一種のアナモルフォーズである (なお、映像作家の石川将也氏協力の下、アナモルフォーズとして観察できる幾何学的錯視のデモを作成し、WS 期間中に展示予定である)。

幾何学的錯視の一群 (特にミュラー・リヤー錯視、ポンゾ錯視、垂直水平錯視) は、二次元像に基づいた三次元構造の復元過程に付随する自然な副作用のようなものとして説明される (e.g. Gillam, 1999)。この種の説明において、錯視とは二次元画像 (網膜像) とそこから推定された外界構造 (知覚) のズレのことである。しかしこのように錯視を考えると、錯視とは何かが不明瞭になる。例えば、長方形の扉は真正面から見ない限り長方形の網膜像を形成しないが、我々は扉を常に長方形として知覚する (形の恒常性) が、このような形の知覚は外界の推定として「正しい」ため錯視とは見做されない。同様の網膜像と「正しい」知覚の間のズレは、形に限らず、大きさや色などあらゆる視覚属性において常々生じているため、錯視とそうでない知覚は区別できず、極論すれば錯視としてカテゴリー化できる現象は存在しないことになる (Rogers, 2014)。

本発表では上記のような「錯視」と「錯視以外の知覚」の区別をめぐる混乱が、網膜像と知覚を比較することによる、いわば説明水準のミスマッチに起因していることを明らかにする。その上で錯視をアナモルフォーズと同じくメタ知覚の問題と捉えることによって、つまり、錯視とは、知覚と外界 (網膜像) の間のズレではなく、外界についての可能な複数の推論結果の間のズレであるという見方によって、この混乱が解消できることを提案する。

文献

- Gillam, B. (1998). *Illusions at century's end*. In J. Hochberg (Ed.), *Perception and cognition at century's end* (pp. 95–136). Academic Press.
- Rogers, B. (2014). Delusions about illusions. *Perception*, 43(9), 840–845.

*アナモルフォーズは円筒状の鏡に映して観察するものも含まれるが、ここでは鏡を用いない投影方式のみを考える。
本研究は、2023年度慶應義塾大学学事振興資金「アナモルフォーズとしての幾何学的錯視」の補助を受けた。

重ね市松回転錯視に関する研究

白井健太郎（立命館大学大学院人間科学研究科・日本学術振興会）

石川将也（コグ）

田谷修一郎（慶応義塾大学）

北岡明佳（立命館大学総合心理学部）

市松模様の背景にそれより小さい市松模様の正方形を重ね、それを回転させたとき、回転する正方形が変形して見える錯視を発見した（重ね市松回転錯視, [1]）。具体的には、正方形から円形へと形が変わって見えたり、大きさが変わって見えたりする。

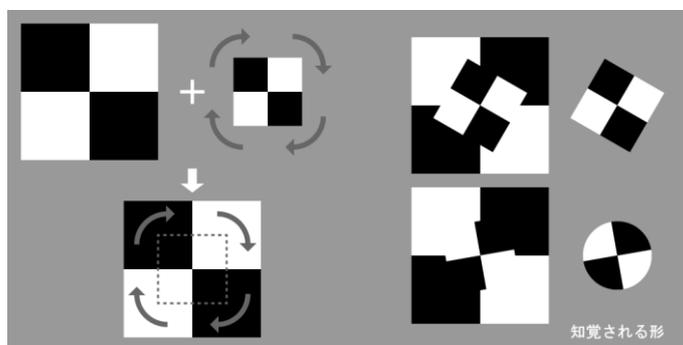


図1 重ね市松回転錯視のイメージ図

重ね市松回転錯視は、市松模様の背景にそれより小さい市松模様の正方形を重ね、それを回転させたときに生じる錯視である（図1左）。回転体の形は、正方形に見えたり、円形に見えたりする（図1右）。また、回転に伴って拡大縮小して見える。

回転する正方形が拡大縮小して見える錯視としては Breathing square [2] もあげられる。しかし、2つの錯視では回転体の形の知覚に伴う補完の仕方が異なる。重ね市松回転錯視ではモーダル補完、Breathing square ではアモーダル補完によって回転体の形が知覚される。また、回転体が拡大縮小して見えるという大きさ知覚の印象は共通しているが、重ね市松回転錯視では正方形から円形へと形も変化して見える。

図1からもわかるように、本錯視は静止画でも生じる。モーダル補完で円形の知覚が生じる錯視としてはエーレンシュタイン錯視 [3] やネオンカラー錯視 [4] が有名だが、それらの錯視図形は線分によって構成される。一方重ね市松回転錯視の錯視図形中には、線分は含まれておらず、曲線的な輪郭も存在しない。黒色の領域と白色の領域の境界の直線的なエッジのみで構成される。重ね市松回転錯視は、円形がモーダル補完される錯視図形のバリエーションを増やしたといえる。

モーダル補完に関する新しい錯視である重ね市松回転錯視について、錯視・錯聴コンテスト応募後に新たに検討した内容も踏まえながら紹介する。

引用文献 [1] 白井・石川・田谷 (2023). 第15回錯視・錯聴コンテスト [2] Shiffrar, M. & Pavel, M. (1991). Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance [3] Ehrenstein, W. (1941). Zeitschrift für Psychologie [4] Van Tuijl, H. F. J. M. (1975). Acta Psychologica

第18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

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）、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（サレジオ工業高等専門学校）、大谷智子（大阪芸術大学）、
山口智彦（明治大学）