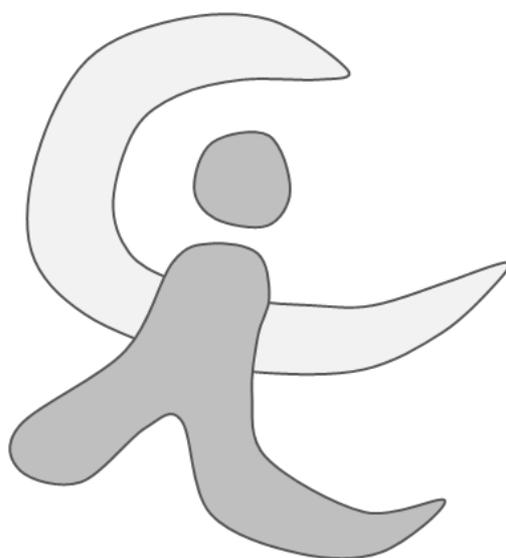


# 錯覚現象のモデリングとその応用

## アブストラクト集



2019年2月25日(月)・26日(火)

明治大学 中野キャンパス6階 研究セミナー室3 (603号室)

主催：明治大学先端数理科学インスティテュート「現象数理学研究拠点」

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」錯視学チーム

科研費基盤研究(A)「視覚の心理・数理モデリングと第5世代不可能立体」

## はじめに

この研究集会は、「錯覚ワークショップ」という名称で、明治大学先端数理科学インスティテュート (MIMS) において開催してきた講演会シリーズの第 13 回目である。このシリーズでは、広い意味で錯覚とみなせる様々な現象についての研究を多方面から集めて情報交換する場を提供し、「錯覚科学」という文理融合型の新しい学術領域の形成を模索することを長期的な目標としている。MIMS が文部科学省から「現象数理学研究」共同利用・共同研究拠点と認定された 2014 年からは、この拠点の共同研究集会という形で開催している。

今回のプログラムは、公募による 12 件の一般講演と、関連コンテスト受賞者による 3 件の招待講演で構成した。招待講演者の中には、海外からわざわざこの時期に合わせて来日していただいた Arthur Shapiro 先生も含まれている。

また、今回特筆すべきことの一つは、「錯視・錯聴コンテスト」が昨年秋で 10 回目を迎えたことを記念して、過去 10 回のグランプリ獲得作品の中から総合グランプリを決める「錯視・錯聴コンテスト 10 周年記念総合グランプリ決定コンテスト」をプログラム初日の最後に入れたことである。これは、対象 10 作品を鑑賞した後、会場の参加者全員の投票で総合グランプリを決めるものである。通常の「錯視・錯聴コンテスト」では審査委員が作品を選考するが、今回の総合グランプリは、審査委員とは限らない参加者全員の投票によってきまるので、今までとは異なる新鮮な視点で作品が評価されることも期待できる。

本ワークショップが、錯覚科学およびその周辺の広い分野の研究者・実務者の研究の場となり、錯覚科学の形成・発展のお役に立てることを願っている。

2019 年 2 月

明治大学先端数理科学インスティテュート  
錯視の心理的・数理的アプローチの融合研究プロジェクト  
リーダー 杉原厚吉

2月25日（月） [会場：6階 研究セミナー室3]

セッション1（座長：森口 昌樹）

12:00～12:30	○杉原 厚吉（明治大学 先端数理科学インスティテュート）	
	1	<b>3方向多義立体の数理と作り方</b>
12:35～13:05	○出澤 正徳（電気通信大学 名誉教授 UECコミュニケーションミュージアム, 明治大学 先端数理科学インスティテュート）	
	2	<b>正弦状カラー格子による振れ錯視とその生成モデル</b>
13:10～13:40	○北澤 直樹（九州大学マス・フォア・インダストリ研究所）	
	3	<b>図形を低次元の空間に写像して調べるという幾何学の手法と錯覚現象等への応用の可能性</b>

セッション2（座長：杉原 厚吉）

14:00～14:50	招待講演：河邊 隆寛（NTTコミュニケーション科学基礎研究所）	
	4	<b>錯覚の実世界実装を通じて錯覚の面白さを考える</b>
14:55～15:25	○阿部 富士子（造形作家・扇研究家）	
	5	<b>扇の描画法にみる視覚効果</b>
15:30～16:00	○森口 昌樹（明治大学 先端数理科学インスティテュート）	
	6	<b>多義立体と視体積交差法</b>

特別セッション

16:20～17:30	錯視・錯聴コンテスト	
	7	<b>10周年記念総合グランプリ決定コンテスト</b>

18:00～19:30	懇親会 [会場：6階 イベントスペース]
-------------	----------------------

2月26日（火） [会場：6階 研究セミナー室3]

セッション3（座長：北岡 明佳）

10:00～10:30	○星加 民雄（崇城大学総合教育センター）
	8 <b>動きの錯視の表現要素と知覚範囲ーその応用展開としての芸術・デザイン表現</b>
10:35～11:05	○上地 泰一郎（千葉大学大学院融合理工学府）， 一川 誠（千葉大学人文科学研究院）
	9 <b>建築デザインにおける錯視の成立要因</b>
11:10～12:00	招待講演：Arthur Shapiro（Departments of Psychology and Computer Science, American University Washington, D.C.）
	10 <b>Illusions Based on Conflict between Stimulus Dimensions</b>

セッション4（座長：一川 誠）

13:00～13:50	招待講演：鯉田 孝和（豊橋技術科学大学）
	11 <b>細い線に特徴的な色対比と色同化現象</b>
13:55～14:25	○田谷 修一郎（慶應義塾大学）
	12 <b>恒常性スケーリングの誤適用はミュラー・リヤー錯視を説明するか？ 錯視量の個人差に基づく検討</b>
14:30～15:00	○高橋 康介（中京大学心理学部）， 日高 昇平（北陸先端科学技術大学院大学）
	13 <b>恒常性（constancy）の構造と認知的錯覚への適用</b>

セッション5（座長：田谷 修一郎）

15:20～15:50	○谷中 一寿（神奈川工科大学）
	14 <b>色依存フレーザー・ウィルコックス錯視についての一考察</b>
15:55～16:25	○一川 誠（千葉大学人文科学研究院）
	15 <b>注意の瞬きによって生じる時間間隔の知覚的短縮</b>
16:30～17:00	○北岡 明佳（立命館大学）
	16 <b>Color Illusion and Histogram Equalization</b>

### 3方向多義立体の数理と作り方

杉原厚吉（明治大学先端数理科学インスティテュート）

見る方向によって3種類の異なる解釈を持つ立体群を作ることができる。この錯視の数理構造と、立体の一般的設計法を紹介する。

平面だけで囲まれ、面が互いに直角に接続されてできた立体を直角立体と呼ぶ。直角立体の面は、3組の互いに平行なグループに分けられ、稜線も3組の互いに平行なグループに分けられる。その結果、図1に示すように、直角立体の垂直投影図の中に現れる線も、3組の互いに平行なグループに分けられる。

次の三つのステップで三方向多義立体を作ることができる。

ステップ1. 直角立体の垂直投影図を描き、水平な面の上に置く。

ステップ2. 旗を立てるなどによって、重力方向を表す3次元装飾を施す。

ステップ3. この作品を、3組の平行線の一つが垂直に見える方向から斜めに見下ろす。

図1の絵からこの方法で作った立体の後ろに2枚の鏡を立てた状況を図2に示す。この立体は、2018年のBest Illusion of the Year Contestで1位を獲得した。

この方法で目的の錯視が生じるのは次のような要因が複合的に作用した結果であると理解できる。第1に、図2はカメラで撮影した画像である。カメラで撮影すると、一つの目で見ただけの画像しか得られないので、両眼立体視ができなくなり、絵と立体の区別が付きにくくなる。第2の要因は、脳は直角が大好きなことである。同じ姿に見える立体はたくさんあるが、脳は、その中で直角の多い立体を思い浮かべる傾向がある。そのため、片方の目だけで見ると、絵ではなくて立体に見えてくる。第3の要因は、旗などが重力方向を表すことである。絵を正面から見るのではなくて、机の上に置かれたものを見下ろしているから、3次元空間でもものを見ているという感覚が生じる。そのために、重力方向が強く意識される。絵の上に立てたピンは、この重力方向を強調する働きがある。これらの要因が重なり合った結果、この錯視が起きていると考えられる。

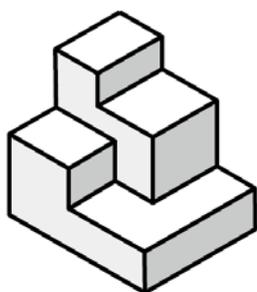


図1. 直角立体の垂直投影図

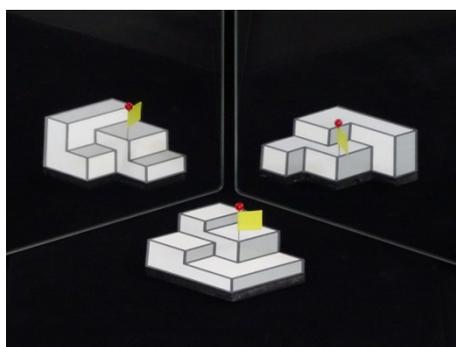


図2. 3方向多義立体

# 正弦状カラー格子による振れ錯視とその生成モデル

出澤正徳（電気通信大学 名誉教授 UEC コミュニケーションミュージアム，  
明治大学 先端数理科学インスティテュート）

R G B三色の正弦状格子縞を適当な位相差 (e. g.  $0, 0.2\pi, 0.5\pi$ ) で重ね合わせて形成された正弦状カラー格子を間隙帯の両側に互いに逆向きに配置すると、逆方向に移動して知覚される変則的運動と壁紙錯視と同様な振れ錯視とが同時に観察される (図1 a)。

変則的運動の知覚については、錐体細胞 (S, M, L) の光像応答速度の差異により、網膜像の強度分布は青 (S) 寄りから赤 (L) 寄りへと移動し、それが網膜のリセットの周期で繰り返され、青から赤の方向へ移動する変則的運動として知覚されるというモデルで矛盾なく説明できる。

振れ錯視については、間隙帯両側の正弦状カラー格子の位置をずらせると振れ状態が変化して知覚される。間隙帯部について、幅をゼロ (図2 a) 又は広く (図2 b) すると、振れ錯視は著しく弱まるか知覚されない。振れ錯視は網膜における側抑制により間隙帯部の網膜像に明るい縞と暗い縞とが交互に形成されそれが振れ紐状の網膜像を形成するためと考えられる。間隙帯部の幅をゼロとした場合には振れ紐状の網膜像は形成されない。また、間隙帯幅を広くした場合には、網膜における側抑制の細胞結合範囲 (視角  $10\sim 20$  分) を越え、間隙帯の両側の格子像による明暗パターンが互いに干渉しなくなり振れ紐状の縞パターンの網膜像が形成できなくなる。さらに、間隙帯部の明るさを暗く (図3 a) あるいは明るく (図3 b) すると、振れ錯視は著しく弱まるか知覚されない。側抑制によって間隙帯部に形成されるのは、暗くした場合には、明るい縞状の網膜像のみ、また、明るくした場合には暗い縞状の網膜像のみとなる。間隙帯部に形成される網膜像は明るい縞あるいは暗い縞の一方のみとなり、振れ紐と同様な白い縞と黒い縞が交互に現れる網膜像は形成されない。さらには、正弦状に変化するR G B三色の明るさの和として生成されるグレイ正弦状格子 (図1 b) では、変則的運動は知覚されないが、正弦状カラー格子の場合と全く同一の振れ錯視が観察される。

以上の事実より、正弦状カラー格子で観察される振れ錯視はカラーに特有なものではなく明るさによるものであり、網膜における側抑制細胞によって間隙帯部に形成される網膜像が振れ紐状明暗像となり、それが脳へと送り込まれ、脳において振れ紐錯視と同様のメカニズムで振れが知覚されていると推測される。

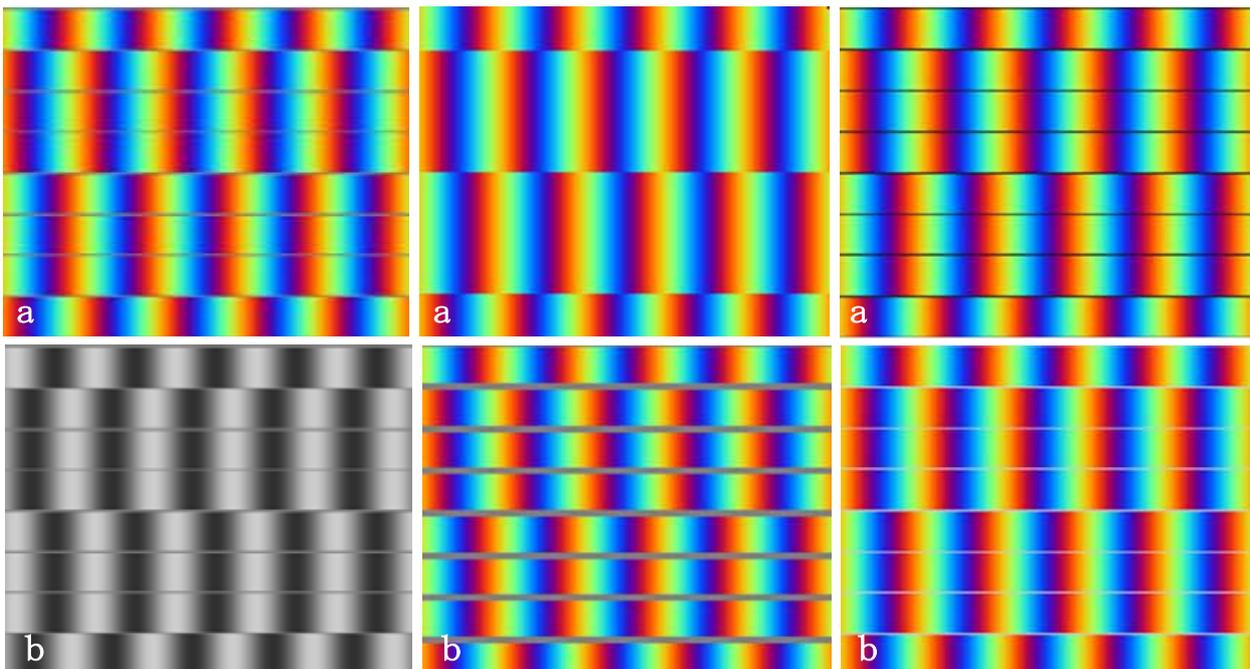


図1

図2

図3

## 図形を低次元の空間に写像して調べるという幾何学の手法と錯覚現象等への応用の可能性

北澤直樹(九州大学マス・フォア・インダストリ研究所)

幾何学、数学において、直線や曲線のような 1 次元の図形、平面や曲面のような 2 次元の図形、我々の生きる 3 次元の空間を一般化した空間である多様体の形(位相)やより深い幾何的な性質を調べることは、基本的で重要な問題である。多様体とは、至るところ決まった成分数(次元)の何らかの座標が入る空間である。 $n$  次元ユークリッド空間やその中の原点からの長さ 1 の点からなる球面つまり単位球面( $n-1$  次元)やそれらの直積等が、一般的で基本的な例である。

多様体には、ここで挙げたものを含め多くの場合可微分構造という、微積分に適した座標によって与えられる構造が入る。詳しくは省略するが、一意とは限らず、特に 4 次元以上のものには複数通り入ることが一般的である。このような多様体を観る、調べる一つの方法に、その上の微分のできる関数で微分の退化する点(特異点)が複雑でない、Morse 関数という関数を用いるというものがある。例えば、離散的に現れる特異点から、穴を代数的にとらえた多様体の位相に関する基本的で重要な量である、ホモロジー群が多くの場合に分かる。特別な場合として、閉つまり有限の広がりを持ち、ふちのない多様体を考えたとき、特異点を丁度 2 個有する(最大最小に対応)関数が、球面というもっとも単純なものを位相的に(ごく一部の特異な状況を除き)特徴づけるということが、基本的な事実として知られている。

さて、この状況で、行先の次元を、もとの多様体のそれより高くない程度に高くするとどうなるかと考えるのは自然である。この考えでは、折り目写像と呼ばれる Morse 関数の高次元版、より一般のもう少し複雑な特異点を有しながらもある程度扱いやすい写像が重要となる。例えば、特別な折り目写像を有する多様体について、基本的な多様体の位相、可微分構造が強い制限を受けるということ、例えば、ある程度次元が高い球面は単位球面と可微分構造が同じようなものしか定義域多様体になりえないことが、1990 年代以降の佐伯修氏や佐久間一浩氏の研究で、具体的に明らかにされた。講演者は、この課題に関し、例えば、基本的で重要な課題になっている、写像の具体的構成に関し研究を行ってきた。具体的に良い写像を構成するというのは、微分方程式の解の存在問題で重要な手法と根本的に同様な手法等によって存在を知ることと比して、基本的な多様体でも、意外に、時に予想外の難問であることが多い。講演者は、良い写像の具体的構成を通し多様体を表現するというに関し研究を行い、写像と多様体の構成に成功してきた。講演で紹介したい。

さらに、一連の研究は最近、データ解析や可視化への応用が期待される。これは、図形を低次元の空間に射影、写像して観る、調べるという、幾何学の重要な手法で、データ解析において、データセットを低次元の空間へ射影、次元削減してみるというのが常套手段であったりする中通ずるものがあること、また根本的な哲学をみるに汎用性が高いことによると考える。実際最近、佐伯氏、高橋氏による、3 次元のデータセットのある領域上の 2 値関数を考えて逆像を可視化するという研究等があり、このように応用に関する研究は既に進みだしている。

講演者は、研究のバックボーンにある考えを、錯覚特にその重要な具体的トピックである不可能図形に持ち込むことに興味を有している。不可能図形は、

杉原厚吉著「不可能図形の数理」(森北出版)

等によれば線画を介して数学的に扱われている。構成的な考えを、未だ謎も多いと思われる一般的具体的不可能図形の構成等に応用できればと考えている。素人なりのアイデアや夢を、薄学で申し訳ないこと既に誤解してしまっている危険もありながら、紹介、議論させて頂きたい。

# 錯覚の実世界実装を通じて錯覚の面白さを考える

河邊隆寛

日本電信電話株式会社コミュニケーション科学基礎研究所 主任研究員

E-mail: [takkawabe@gmail.com](mailto:takkawabe@gmail.com) Twitter: @takkawabe

錯覚を体験して面白いという感想をもつ人は多いはずだ。だが、なぜ面白いのだろうか。我々の脳のセンサーが完璧でないことは既知だ。従って、もし外界の姿を正しく知覚できないことを「錯覚」と呼ぶのであるならば、我々が感じるものはすべて錯覚であるはずだ。一方で、我々は日常で感じるものをすべて「面白い」とは感じない。従って、錯覚だから無条件に面白いわけではなく、錯覚が面白くなるには何かしらの条件が満たされなくてはならない可能性がある。

本講演では、錯覚のもつ両義性が鑑賞者の内に喚起された時に錯覚の面白さが生起する可能性を論じる。我々は世界を正しく知覚していると「勘違い」している節がある。よって、普段見る世界を我々は錯覚だと感じない。錯覚作品として生み出されたものであっても、その錯覚に気づかなければ錯覚ではない。そのため、錯覚作品にはタイトルや説明が書き加えられ、「あなたが見ているものは現実に即したものではないんですよ」ということを鑑賞者に気づかせることがある。一方で、そういった鑑賞者への教示がなくても面白いと感じられる錯覚もある。本研究では、教示なしでも面白く感じられる錯覚に焦点を当てる。

人間は外界の物理を予測したり認識したりする。最も単純な例の一つを挙げると、描かれた絵は止まっている、という予測を日常的に行う。もし止まっているはずの絵が動きだしたらどう思うだろうか。脳がもつ「止まっている」というプレイヤーとは異なる「動き出した」という知覚、両者が同時に得られるような状態を本講演では「両義性」の喚起された状態と呼ぶ。本講演では、両義性の喚起された状態に錯覚の「面白さ」が生起するのではないかという前提に立つ。

本講演では実世界に錯覚を実装した例を紹介する。例えば「変幻灯」は明暗動きパターンを静止した実対象に投影することで、その対象が動いているかのような錯覚をもたらすことができる。「Danswing papers」は、点滅する背景上に輪郭線の反射率が調整された紙人形を置くと、その紙人形が動いているかのような錯覚を生起させる。「浮像」では、平面であるはずの印刷物に影パターンを投影することで、あたかも印刷物内の対象が浮かび上がってくるかのような錯覚をもたらす。上記の錯覚を体験した時、観察者は特段の教示なしでおもしろさを感じる。これらの技術例を踏まえ、両義性が錯覚の面白さを生み出す可能性を議論しつつ、両義性が不気味さを生み出す事例も考えながら、錯覚の面白さを生み出す条件について議論したい。

## 扇の描画法にみる視覚効果

阿部富士子(造形作家・扇研究家)

扇は立体であることで様々な視覚効果がある。そのなかで江戸時代の絵師達が視点を生かして描いた特徴的な描画法と、その手法を現代に生かした作例を、両者の制作課程を明らかにしながら取り上げる。また、平らな扇面から扇に仕立てられた際の変化を数式化した「扇絵と扇との間の図形変換式」(註1.)を元に両者の変化を画像上と実物例で報告する。

江戸時代までの絵師は、生活空間の中に襖絵や屏風など、可動による変化を計算した効果的な描画を生み出していた。その中で開閉機能を持つ扇は日本の発明品であり、日本を代表する絵師たちによってその描画法が磨き上げられた。扇の特性は放射状に広がり上下で収縮率の違う蛇腹構造を有し、絵師はその形態を生かして変幻自在な表現をした。

その扇の描画法にみる視覚効果の代表例に、(1) 凹凸から生まれる折目や折面による効果(尾形光琳・歌川国貞の例)、(2) 表面から裏面へと流れるような表裏一体の両面描写表現(酒井抱一の例)、(3) 和紙の透過性を利用しての表面から裏面描写を浮き上がらせる2層効果を計算した表現(酒井抱一・英一桂の例)、(4) 開閉による変化を活かした描画表現(英一桂の例)、(5) 色彩コーディネートによる効果(歌川豊国・葛飾北斎の例)、(6) 扇は手に携えることで、視点移動による変化を巧みに計算した錯視的效果(葛飾北斎の例)などがある。

これらは3次元である立体から生じる視覚効果である。しかしながら扇に仕立てられる前に描画される状態は平らな扇面であるため、描画法に大きな違いがあるにも関わらず、2次元で鑑賞される扇面画と同様に扱われることが多い。例えば図1は正方形が3つ描かれた扇面画で、平らな状態で見ると綺麗に見える。図2は図1の扇面画を折り畳み、長短2種の骨で扇に仕立てた図である。図3は図2の扇を開いた図で、骨の長さにより収縮度に変化が加わり正方形の歪みが複雑になることがわかる。図4は扇に仕立てられた際に正方形に見えるように計算して描かれた「扇絵」である。図5のように図4では歪んだ形が仕立てられると正方形に見える。このように立体の扇にした状態で美しく見えるには、扇の特性と構造を理解しておかなければならない。

1000年以上前に日本で生まれた「扇」は、手に携え開閉自由な「折を生かした絵画」だからこそできる折りの視覚効果を持つ。扇の特性と構造が理解され、その魅力が継承され展開されていくことを望む。



図(1)扇面画

図(2)長短の扇

図(3)扇を広げた時の変化

図(4)扇絵

図(5)扇絵から扇へ



図(5)扇の特性を生かした現代の様々な扇

注1. 「扇絵と扇の間の図形変換式」杉原厚吉氏 2017.1.18

## 多義立体と視体積交差法

森口 昌樹 (明治大学 先端数理科学インスティテュート)

複数の特別な視点から観察すると全く異なる形に見える立体を多義立体と呼ぶ (図 1). 特別な視点が  $n$  個あるとき, その多義立体は  $n$  視点多義立体と呼ばれる. また,  $n$  個のシルエット (形状の輪郭および内部を表す 2 次元図形) と視点の組  $\{(S_1, v_1), (S_2, v_2), \dots, (S_n, v_n)\}$  を入力として, 「各視点  $v_i$  から観察したとき, その視点に対応するシルエット  $S_i$  に見える多義立体」を作成する問題を  $n$  視点多義立体のモデリングという. 2 視点多義立体は, コンピュータビジョンにおける基本的な手法である視体積交差法を利用することで容易に計算できる. 視体積交差法とは複数のシルエットと視点の組から 3 次元形状を構築するための手法で, シルエットを逆投影して得られる柱体の交差形状を抽出するものである. 2 視点多義立体は, シルエットを逆投影して得られる二つの柱体の交差形状として作成できる.

2 視点多義立体モデリングの問題では, 一般に解は一意に定まらず, 一つの入力に対して数多くの解が存在する. それらの全ての解は視体積交差法で得られる交差形状の部分集合になっており, 部分集合をうまく選ぶことによって, 連結性や非遮蔽性などの特別な性質を持った多義立体が得られる. 本発表では, 入力シルエットが線画となる (つまり, 視体積交差法で得られる交差形状がワイヤフレームとなる) 場合において, 部分集合の選択法とその計算法について議論する.

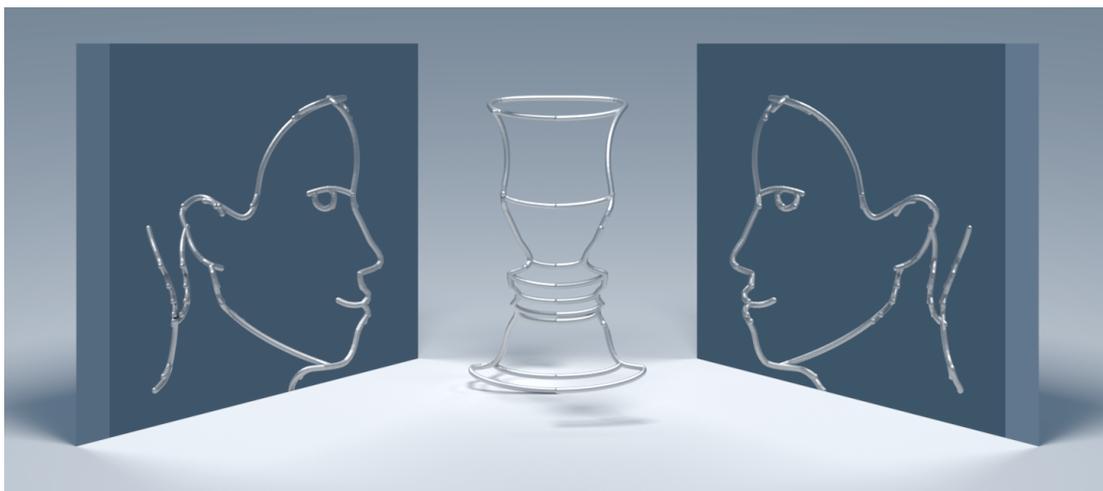


図 1 「ルビンの壺」をもとに作成した多義立体. 正面から観察すると壺に見え, 真横から観察すると顔に見える. この画像では, 鏡に映った立体が顔に見える.

## 総合グランプリ決定コンテスト

昨年、錯視・錯聴コンテストも無事に第10回目を迎えることとなりました。そこで10周年を記念して、本ワークショップ内にてこれまでのグランプリ作品を対象に総合グランプリを決めるイベントを実施いたします。各回のグランプリ受賞作品を紹介いたしますので、“これぞ”という作品を1つ選んで投票してください。皆様の投票結果により決まった総合グランプリは、懇親会にて発表する予定です。

### <これまでの受賞作品は以下の通りです>

- 第1回 きらめきネオン錯視（篠原幸喜）
- 第2回 道路写真の角度錯視（長篤志・長田和美・三池秀敏・一川誠・松田憲）
- 第3回 大隈錯視（安田孝・上田卓司・椎名乾平）
- 第4回 天秤錯視（坂野雄一・安藤広志）
- 第5回 拡大縮小運動盲（高橋康介・渡邊克巳）
- 第6回 スノーブラインド錯視（新正司）
- 第7回 マスク誘導充填（田谷修一郎）
- 第8回 影の運動による色の捕捉現象（中村浩）
- 第9回 なよやか錯視（木村真理乃）
- 第10回 Helix Rotation: A New Twist on Pulfrich and Hess（Arthur Shapiro）

### <歴代の錯視・錯聴コンテスト審査委員>

委員長：北岡明佳

審査委員：蘆田宏・羽倉弘之・原島博・一川誠・中島祥好・椎名健・杉原厚吉・高島翠・吉田正高

## 動きの錯視の表現要素と知覚範囲ーその応用展開としての芸術・デザイン表現

星加民雄：崇城大学総合教育センター准教授

明らかに立体と認識される作品を鑑賞する場合、鑑賞者は見る角度を変えながら色や形の変化を楽しむ。位置や大きさ、奥行きなどの空間的性質を認識する際、人間の記憶内に集積された過去の経験が補助的な役割を果たし、その経験による判断が見える事物の形や距離を補正しているといわれている。しかし平面、立体の区別がつきにくい半立体作品、あるいは経験値から予測できる範囲を超え先入観を覆す錯視効果が含まれている作品の場合、見る人の先入観や過去の経験値は逆に妨げとなり、脳への情報伝達に異変を起し事態は大きく変化する。

昨年、7月15日から23日にかけて熊本県立美術館・本館において「イリュージョンの科学とアート展」を開催した。「視点位置と錯視効果」をキーワードとし、アートと科学の異なるジャンルが融合する珍しい展覧会として注目を集めた。この展覧会では、アート表現の奥深い錯視効果の表現世界と、明快な理論に基づき錯視効果をダイレクトに見せる科学部門からの出展作品とが、互いの良さを引き出す対話の関係が空間に広がった展覧会であった。異なるジャンルが融合することで力強い発進となることを経験した。

この展覧会での出品作品は、視点位置が重要な表現要素となっているだけでなく一般の人の経験値の予測範囲を遥かに超える過去の先入観への挑戦状のような強烈な錯視効果が含まれる作品が多く展示された。村松俊夫氏の立体造形作品は作品自体が動くキネティック・アート作品と同様に、一見、知恵の輪のように思えるステンレスパイプによる造形作品である。床をころがすと計算された幾何学的な痕跡を辿り不思議な知覚体験を伴いながら動いていく。また杉原厚吉氏、北岡明佳氏、山口泰氏も同様に視点位置、視点移動、視点距離が重要な表現要素となっている。北岡明佳氏の作品は、眼球運動に伴い静止画像が動いて見え、杉原厚吉氏の作品は、鏡を利用し虚像と実像とが全く異なって見える不可能立体を数理プログラムで意図的に再現する作品である。さらに山口泰氏の作品も同様に、視点位置が重要な表現要素であり、視点距離の違いによって異なる2つないし3つの図象をプログラミングによって作画した作品である。

筆者は、錯視効果の基本要素となる縞をベースとし、その上に無数の垂直板をドミノのように配列した作品群を出展。平面作品と思いつき視点移動すると垂直板が一斉にゆらゆら動き始める。一瞬、地震のように揺れ地面が動く感覚に見舞われる不思議な知覚を体験する作品である。この錯視効果のもととなっているのが、背景の縞パターンであり、その上に立てられた板の先端のエッジとの干渉で揺れ動いて見える。これまでの研究では先端の板の厚みと縞幅との融合、言い換えれば視点移動に伴い板の先端の厚みの面積変化が要因であるとされてきたが、最も錯覚を誘発する要因は板の見かけの奥行き変化であることがわかってきた。その場合、板の角度も錯視効果の大きな要因として関連してくる。今後、研究を重ね明らかにしていきたい。

2019年5月5日～9月8日、エミール・セーデル・クロイツ美術館 / フィンランドにおいて、日本とフィンランド国交樹立100周年記念事業の一環として錯視芸術と日本の美をテーマに「Japonism Today」展が開催されます。本研究発表のメンバーである阿部富士子氏の扇と屏風の表現世界に加え、科学的アプローチによる表現世界を構築している杉原厚吉氏、北岡明佳氏、山口泰氏にもご協力をいただき、2年前に開催した「イリュージョンの科学とアート展」に展示した作品の一部を展示したいと考えています。アートと科学が融合した錯視研究の成果が世界に広がることを期待しています。また夏季イベントとして東京工芸大学との研究コラボレーションや文化交流イベントとしてフィンランド在住で世界的なピアニスト・館野泉氏によるフィナーレコンサートも実施する計画です。日本とフィンランドとの国際交流、ならびに文化的な発信がアートと科学の融合成果として発信できれば幸いです。



イリュージョンの科学とアート展 / 熊本県立美術館・本館



「揺れ動くトランプ」星加民雄



「移り気なトランプ」杉原厚吉



「創作扇と屏風 阿部富士子展」(熱海起雲閣企画展)

## 建築デザインにおける錯視の成立要因

上地 泰一郎（千葉大学大学院 融合理工学府 博士後期課程 2年）

JR 総武線「錦糸町駅」北口より徒歩五分の場所にすみだトリフォニーホールがある。音楽専用のコンサートホールであり、新日本フィルハーモニー交響楽団のフランチャイズとなっている。その主要施設である大ホールで、「すみだトリフォニーホール大ホール錯視」と名付けた空間錯視が生じる。

この大ホールでは、座席の床面は実際には舞台に向けて下っている(図1)。しかしながら、舞台を客席後方から見ると、座席床面が登っているように見えるのが「すみだトリフォニーホール大ホール錯視」である。

手前の座席と比べて、舞台前方の床面の勾配は緩やかであることにより、客席前方の床面が登って見えることが錯視の主要因と考えられる。加えて、座席後方や舞台に向かい一直線に伸びる側面のバルコニーなどの線遠近手がかかり（赤い実線）の収束点が客席前方の中央にある（図2の収束点 A）。他方、客席前方の線遠近手がかかり（青い実線）の収束点が、周囲の収束点より上部にある（図2の収束点 B）。構造全体の収束点と客席後方とバルコニーの線遠近手がかかりの収束点が一致しているため、客席後方を水平と知覚しやすい。それに対し、上部の収束点 B へと向かう客席前方が登っているように知覚されやすいのであろう。

今回は、この錯視を生じるすみだトリフォニーホールの構造的特殊性を指摘した上で、建築デザインによって生じる空間錯視の普遍性についても解説する。すなわち、線遠近法手がかかりによって生じる錯視の多くは画像観察で生じることが知られている（ポンゾ錯視、道路画像角度錯視など）が、条件を満たせば実空間内の対象の観察でも顕著な錯視が生じる。

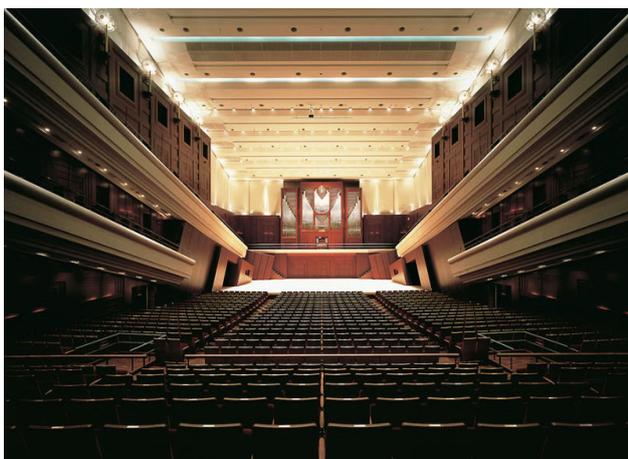


図1. すみだトリフォニーホール大ホール錯視

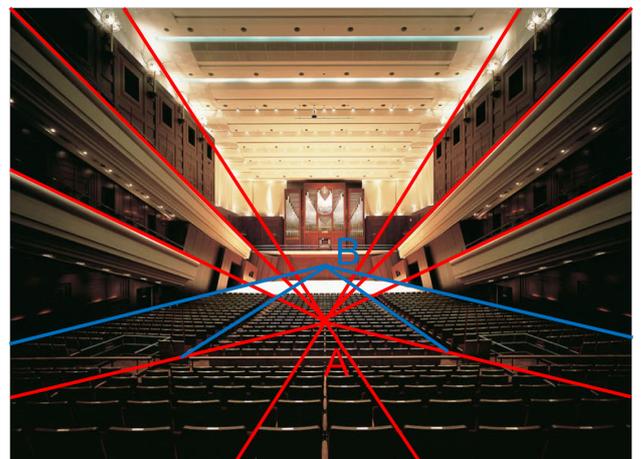


図2. 線遠近手がかかりの収束点 A と B

## **Illusions based on conflict between stimulus dimensions**

Arthur Shapiro, American University

A visual illusion is an image that violates our expectations of how the physical world should behave: a straight line appears bent; a static picture appears to move; a circle appears as a square when viewed in a mirror; a gray square changes brightness when moved from a bright to a dark background. While visual illusions like these are powerful demonstrations of the nature of visual processing, a number of researchers have raised objections to the way our field discusses illusions and have called into question whether illusions themselves are a topic worthy of scientific consideration (e.g., Rogers, 2017; Purves, Wojtach, & Lotto, 2017; Braddick, 2018; Morgan, 2018). In this talk, I will provide a framework that seeks to address many of these researchers' concerns. The framework is based on the idea that the brain does not have access to physical reality but instead constructs a perceived reality based on the integration of responses to multiple sources of information in the visual image (e.g., size, scale, contrast, motion, color, light level, binocular, objects, faces, etc.). For most visual images, the brain constructs a coherent perceived reality without contradictions. For visual illusions, however, the constructed reality contradicts other experiences of reality (for instance, the line appears bent even though prior experience tells us it is straight); or the image contains internal conflicts that cannot be resolved into a single coherent perception (for instance, disks appear to modulate temporarily out of phase with each other but also get light and dark at the same time; or a dot is traveling linearly but is also part of circular motion). Visual illusions therefore represent conflicts between potential encodings of the environment, not a difference between "perception" and "reality." It is the conflict between the potential interpretations that makes illusions compelling and informative about the nature of visual processing. In this talk, I will discuss how the framework that I am proposing creates a method for generating and interpreting new illusions. I will show how illusions from my previous Best Illusion of the Year contests fit into a framework that emphasizes stimulus conflict along separable visual dimensions. This approach can give insight into the processes the brain uses to bind different stimulus dimensions.

## 細い線に特徴的な色対比と色同化現象

鯉田孝和（豊橋技術科学大学 EIIRIS）

koida@tut.jp

色の見えは周辺領域の色に大きく影響を受ける。古典的な例として色対比は周辺領域の補色が誘導され、色同化は周辺領域の色が誘導されて見える。ターゲット刺激が細かいときには色同化、粗いときには色対比が生じやすい (Smith et al., 2001)。また、色対比は空間的な輝度コントラストが少ないときに強まる (Kirschmann, 1891)。2003年に報告されたS錐体方向(青-黄)の色コントラストを持つ錯視は、近接領域から色同化、遠隔領域から色対比を受けることを示す重要な結果を残した (Monnier & Shevell, 2003, 2004)。ところがL-M錐体方向(シアン-赤)での報告は少なく、あっても効果が弱く、また同化と対比の切り分けも行われていない。

われわれは、そのようなL-M色方向で同化と対比を切り分ける強力な錯視パターンを発見した。作成した錯視パターンはシアン色背景上に配置された細い灰色線に白色境界線を付加するものである。白色境界線の付加とによって、補色の赤色が誘導される(図A)。白色境界線がない場合はわずかな色対比しか生じない(図B)。境界線を黒に変更すると色対比は著しく減少する(図C)。これらの現象は線である必要はなく点でも構わない(図D,E)。ただし、点や線が大きくなると効果は弱まる。以上の錯視をまとめた動画は、2018年のBest Illusion of the Year ContestのTop 10 finalistにノミネートされた(Title: White + Gray = Red)。

白色境界線による色対比増強は、輝度を手がかりにして細いものの色を推定するための新種の鮮明化処理と言える。非常に細かい( $< 0.06$  deg)画像に特化した現象であるが、昨今のディスプレイ・タブレットの高解像度化に伴い工学的な価値が増すだろう。

協働研究者：兼松圭（豊橋技術科学大学 M2）

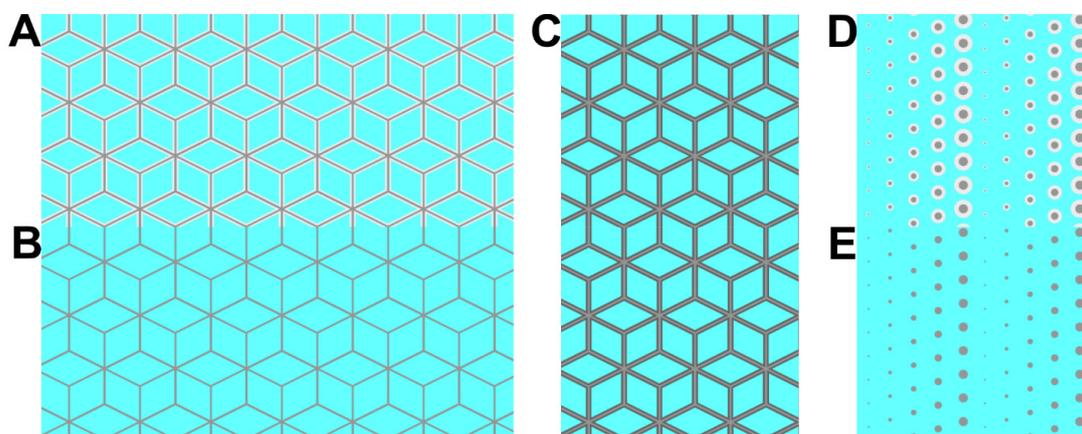


図 A 白い境界線がつくことによって補色の赤色感覚が誘導される例。B 境界線がない場合。C 境界線が黒い場合。D,E 直線ではなく点の場合。

## 恒常性スケーリングの誤適用はミュラー・リヤー錯視を説明するか？

### —錯視量の個人差に基づく検討—

田谷修一郎（慶應義塾大学日吉心理学教室）

幾何学的錯視における「恒常性スケーリングの誤適用 (misapplied constancy scaling, Gregory, 1963)」の関与を錯視量の相関に基づいて検討した。具体的には、知覚距離に基づく見かけ上の大きさの違い（回廊錯視の錯視量）を恒常性スケーリングの個人差を測るベンチマークとして用い、これと幾何学的錯視の錯視量の相関から、個々の錯視における恒常性スケーリングの寄与の大きさの推定を試みた。実験では、回廊錯視のほか、ミュラー・リヤー錯視、ポンゾ錯視、カニツァ縮小錯視、ポゲンドルフ錯視の錯視量を参加者調整法で測定した。ミュラー・リヤー錯視とポンゾ錯視は共に恒常性スケーリングの誤適用に基づいて説明されことの多い幾何学的錯視であるが (e.g. Snowden, Thompson, & Troscianko, 2012)、この説明が正しければ、これらの錯視と回廊錯視の錯視量間に正の相関のみられることが予測できる。一方、カニツァ縮小錯視とポゲンドルフ錯視には一般に恒常性スケーリングに基づく説明は適用されないが、共に「単眼遮蔽領域の補正」に起因するという説明が提案されている (Mitsudo & Nakamizo, 2005; Otsuka & Ono, 2002)。この説明に基づく、これらの錯視の錯視量には相互に正の相関がみられるが、回廊錯視の錯視量とは相関しないことが予測できる。

64名の男女(男性30名女性34名、平均年齢 $19.8 \pm 5.2$ 歳)が参加した実験の結果(Figure 1)、上記の予測と一致する唯一の結果として、ポンゾ錯視と回廊錯視の錯視量間に正の相関が認められた ( $r = .53$ )。一方、予測に反し、ミュラー・リヤー錯視の錯視量は回廊錯視と相関せず ( $r = .03$ )、カニツァ縮小錯視と有意な正の相関を示した ( $r = .35$ )。ポゲンドルフ錯視の錯視量はカニツァ縮小錯視と相関しなかったが ( $r = .13$ )、回廊錯視と正の相関を示した ( $r = .45$ )。錯視量の相関行列に基づく主成分分析の結果、第1主成分から第3主成分までが錯視量の8割強

を説明することが示され、因子負荷量に基づく回廊錯視、ポンゾ錯視、ポゲンドルフ錯視の群、およびミュラー・リヤー錯視とカニツァ錯視の群がそれぞれ別の共通因子によって説明できることが示唆された。

ミュラー・リヤー錯視はポンゾ錯視と並列に恒常性スケーリングと幾何学的錯視の関わりを示す例として教科書や一般書で頻繁に紹介される。しかし本研究の結果は、ミュラー・リヤー錯視における恒常性スケーリングの寄与は小さいことを示唆している。

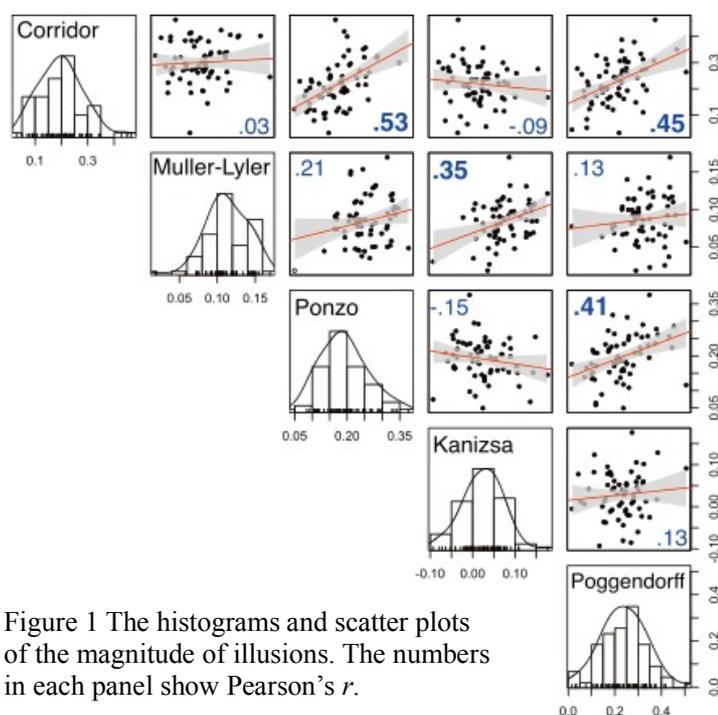


Figure 1 The histograms and scatter plots of the magnitude of illusions. The numbers in each panel show Pearson's  $r$ .

## 恒常性 (constancy) の構造と認知的錯覚への適用

高橋 康介 (中京大学心理学部) ・ 日高昇平 (北陸先端科学技術大学院大学)

視知覚の目的は網膜像の状態を知ることではなく、生体への入力 $I$  (一般に網膜像) から、そのような網膜像を与える外界の状態や構造 $S$ の近似として知覚像 $P$ を導く推論を行うことである (ヘルムホルツの無意識的推論)。ベイズ推定として考えれば、外界の状態や構造 $S$ の生起確率である事前知識 $p(S)$ 、及び $S$ により $I$ が引き起こされる確率を表現する尤度関数 $p(I|S)$ から、 $I$ が与えられたときの $S$ の事後確率 $p(S|I)$ を計算し、 $S$ を近似するであろう知覚像 $P$ が推定結果として得られる。外界の状態や構造 $S$ は生体にとっては不可知であり、この推論過程を実現するためには、生体は $p(S)$ や $p(I|S)$ を $I$ のみから獲得する必要がある。 $S \rightarrow I$ が単射であれば、 $I$ から $S$ を一意に決定することは可能であるが、現実はそのようではなく、 $S \rightarrow I$ には冗長性があり $I$ から $S$ を一意に決定することはできない (不良設定問題)。現実には、視知覚過程では $p(S)$ や $p(I|S)$ を制約として不良設定問題を解くことで推論を行っていることは間違いないであろうが、 $I$ から $p(S)$ や $p(I|S)$ をどのように獲得するのかという問題は残される (一例を挙げれば、2次元の視覚情報から3次元の $p(S)$ や $p(I|S)$ を獲得する必要がある)。本研究では知覚の恒常性、その拡張として認知的錯覚を考えることで、推論の対象としての $S$ の性質や $p(S)$ 及び $p(I|S)$ の獲得について考察する。

視覚シーンには雑多な情報が含まれているが、図としての知覚像 $P$ を導く $I_F$ 及び $S_F$ を考える。 $S_F \rightarrow I_F$ において、さまざまな原因 (例えば視距離、視点、照明、陰影など) により、ある $S_F$ から異なる $I_{F1}, I_{F2}, \dots, I_{Fn}$ が入力として与えられる。ここで知覚の恒常性は、異なる $I_{F1}, I_{F2}, \dots, I_{Fn}$ からひとつの $S_F$ を近似する知覚像 $P$ を推定できることを示している (つまり $P_1 = P_2 = \dots = P_n$ 、ここでは $I$ と $P$ の状態を離散的に表現しているが一般的には離散的ではない)。なお知覚の恒常性が錯視として扱われることがあるが (例えば明るさの恒常性によるチェッカーシャード錯視、大きさの恒常性によるポンゾ錯視、形の恒常性によるシェパード錯視)、この場合の錯視とは、網膜像が等しいにも関わらず知覚像が乖離すること ( $P_{Fi} \neq P_{Fj}$  where  $I_{Fi} = I_{Fj}, I_{Fi} \rightarrow P_{Fi}, I_{Fj} \rightarrow P_{Fj}$ ) を示すものであり、ヘルムホルツ的推論としてはその知覚像は $S$ の近似となっている。つまり恒常性による錯視の存在は、むしろヘルムホルツ的推論の証左となっている。入力 $I$ の中には推論の対象である「図 $I_F$ 」だけでなく、その図を包む形で「背景 $I_B$  (=視距離、視点、照明、陰影など)」が含まれている。従って $I$ には $S \rightarrow I$ の変換に関する情報が含まれていると仮定することで $I$ のみから $S \rightarrow I$ を同定し、 $p(S)$ や $p(I|S)$ を獲得できる可能性がある。

このようにヘルムホルツ的推論において近似されるべき $S$ や、推論に必要な $p(S)$ 及び $p(I|S)$ は $I$ を通してのみ獲得可能である。知覚の恒常性の文脈では $S$ は大きさ、形状、色等の物理的に実在しているような視覚的特徴が想定されるが、推論のゴールである $S$ は直接的に知りえないため、物理的に実在する対象とは限らず、より高次の認知的表象にまで拡張可能である。ある顔が「誰である」という認知、あるいは文字を伝える「意味」の認知において、恒常性に類する錯視が生じる。このような認知過程の推論構造は視知覚過程と類似しており、顔や文字などの視覚情報を入力 $I$ 、「人 (アイデンティティ)」や「意味」が $I$ を引き起こす原因を $S$ とすれば、 $S$ の近似として認知的表象 $P$ が推論される。 $S$ に関して知覚の恒常性が扱ってきた素朴に実在しているような視覚的特徴という限定を取り除けば、 $S \rightarrow I$ の変換に関する情報が含まれていると仮定した $I$ から推論可能な $S$ の範囲を決定する、言い換えれば、ヒトが知覚・認知している対象 ( $I$ の原因) の性質を決定するという問題が現れる。恒常性に類似した認知的錯覚現象について検討することで、この問題にアプローチできる可能性がある。以上の考察から、ヒトの知覚・認知過程についての新しい視点について議論する。

## 色依存フレーザー・ウィルコックス錯視についての一考察

谷中一寿（神奈川工科大学情報学部情報メディア学科）

### 1. 色依存フレーザー・ウィルコックス錯視

1979年に報告されたフレーザー・ウィルコックス錯視は、静止画でありながら、単に眺めているだけで回転して見える錯視である。北岡は、錯視量が大きくデザイン性の高い「最適化型フレーザー・ウィルコックス錯視」を多数創作するとともに、それらを Type I から Type V に分類した。このうち Type V は特定の配色が必須である点で他のタイプとは異なるので「色依存フレーザー・ウィルコックス錯視」と呼ばれる。また赤と青を組み合わせただけの場合特に錯視量が大きいため、「赤いフレーザー・ウィルコックス錯視」と呼ばれる。

### 2. Type V について現在までに得られている知見

- ・刺激を数 Hz 程度で揺らすと錯視量が大きくなる。(Yanaka et al. 2011)
- ・最低必要な色の数は 3 色である。(Yanaka 2012)
- ・紙に印刷して暗い場所で揺らすと逆錯視が起こる。(Kitaoka & Yanaka 2013)

### 3. 色かぶり仮説 (Yanaka 2015)

(<https://f1000research.com/posters/4-676>)

- ・網膜にある 3 種の錐体 (L 錐体 (赤錐体)、M 錐体 (緑錐体)、S 錐体 (青錐体)) 間の応答時間の違いによって、仮現運動が生じ、動きが知覚される。
- ・明所では、光が強いため応答時間は無視できるほど短い。しかし例えば「赤いフレーザー・ウィルコックス錯視」では、全体に赤成分が多く含まれ「赤かぶり」状態になっている。そのため赤錐体は他の錐体に比べ順応・疲弊・飽和し、応答時間が長くなる。このため図 1 に示すように、錯視図形の青い部分が知覚されてから僅かに遅れて赤い部分が知覚されるので、仮現運動が生ずる。

- ・網膜像が変化しないと、錐体間の応答時間の違いは顕在化しない。しかし実際にはサッカードや固視微動などの眼球運動が頻繁に生じている。眼球運動中は、網膜像が激しく変化しているにもかかわらず、サッカード抑制などのため、それが意識されない。もし眼球が動いている間に、各錐体に蓄えられた像が消去され、眼球が静止した瞬間から新たに像が錐体に蓄えられ始めるのであれば、眼球運動の都度、仮現運動が起こっている。

- ・暗所では、光が弱いのでどの錐体も応答時間が長くなり、錐体間の違いも大きくなるので錯視量が大きくなる。どの錐体も順応・疲弊・飽和しないので、各錐体本来の応答時間になる。われわれの実験によれば、赤が最も速く、次いで緑、青であるが、緑と青は僅差である。なお逆錯視は、明所と暗所で応答時間の順序が逆転する場合に起きる。

### 4. 両眼分離提示

この錯視が網膜、脳のどちらで生じているのかを検討するため、Type V の典型的な画像（北岡の「タコ入道」）を約 7 Hz で振動させた刺激を RGB の色成分に分け、R と B のいずれかを左目に、他方を右目に提示し、錯視が生ずるかどうか調べた。提示方法としては、赤青メガネを用いたアナグリフ方式と、レンチキュラーレンズを用いた 3D ディスプレイを用いる方式の両方を試みた。その結果、いずれの提示方法でも錯視が生じなかった。これは、この錯視が視交叉よりも眼球側で生じていることを示唆するものである。ただし、右目と左目に異なる刺激を提示すると、その一方しか知覚されない「両眼視野闘争」という現象が生じている可能性があるため、これだけで結論を出すのは早計である。

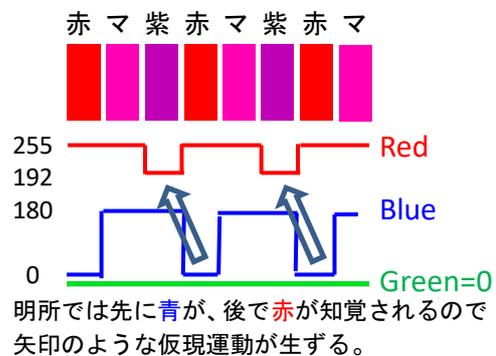


図 1. 錐体の応答時間差による仮現運動



図 2. 3D ディスプレイを用いた両眼分離提示

## 注意の瞬きによって生じる時間間隔の知覚的短縮

一川 誠 (千葉大学大学院人文科学研究院)

知覚される時間の長さ(時間間隔)は、その期間中に体験される出来事の数に対応して伸びたり縮んだりすることが知られている。短期間のうちに複数の視覚刺激を観察する状況でも、その間の時間間隔は見た視覚刺激の数に対応して変動するのだろうか?この問題を検討するため、複数の視覚刺激を短期間のうちに次々と提示する高速系列視覚提示(RSVP)でターゲット刺激が見落とされやすくなる「注意の瞬き(Attentional Blink)」の実験パラダイムを用いて、見た刺激の数と刺激系列に対して感じられた時間の長さとの関係を調べた(「注意の瞬き」とは、RSVP中に2つのターゲットを提示した場合、2つ目のターゲットが頻度で見落とされやすくなる現象である)。

比較刺激と標準刺激の2系列のRSVPを行なった(Fig.1)。参加者は、最初の系列(比較刺激)に対し、アルファベットの中からアラビア数字を探した。17~20の視覚刺激がそれぞれ70ms間、ISI23msで提示された。ターゲット数条件に0, 1, 2が用意された。2ターゲット条件でのターゲット間のラグは1~3フレームであった。2つ目の系列(標準刺激)は17~20のアルファベットのみ提示した。2つの系列の提示後、参加者は見た数字と、2つの系列のどちらがより長く見えたかを答えた。

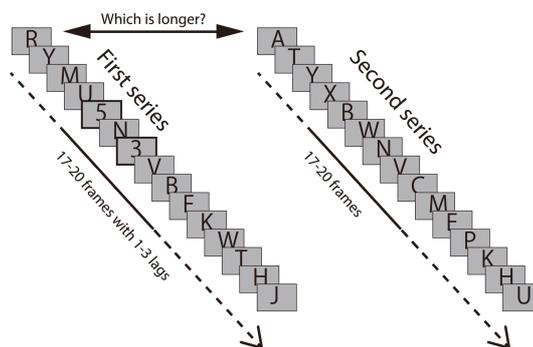


Fig. 1. Diagram of sequence in each trial:  
Two targets condition.

RSVPの間に知覚された時間間隔は、実際に提示された刺激数と関係なく、0ターゲット条件で短縮し、他2条件で伸長する傾向が見られた。ただし、「注意の瞬き」が生じた場合、知覚された時間間隔は0ターゲット条件と同程度に短縮された。別実験で調べたところ、見た刺激数は検出されたターゲット数だけではなく、実際に提示された刺激数に対応して変動した。

これらの結果は、RSVPの間に知覚される時間間隔が、知覚された刺激数だけでは決まらないことを示唆している。むしろ、RSVPの間に知覚される時間間隔は、ターゲットの検出やその処理などに要する認知的資源量による強い影響を受けて変動するものと考えられる。

## Color illusion and histogram equalization

(色の錯視とヒストグラム均衡化仮説)

北岡明佳 (立命館大学総合心理学部)  
(Akiyoshi Kitaoka, Ritsumeikan University)

The color illusion produced by additive color change (Figure 1) can be explained with the histogram equalization model proposed by Shapiro, Hedjar, Dixon and Kitaoka (2018). Here I apply this model to the two different types of spatial color mixture (additive color mixture and subtractive one) and related color illusions (Munker illusion, neon color spreading, etc.) and discuss color perception.

Shapiro, A., Hedjar, L., Dixon, E., and Kitaoka, A. (2018). Kitaoka's tomato: Two simple explanations based on information in the stimulus. *i-Perception*, 9(1), January-February, 1-9.

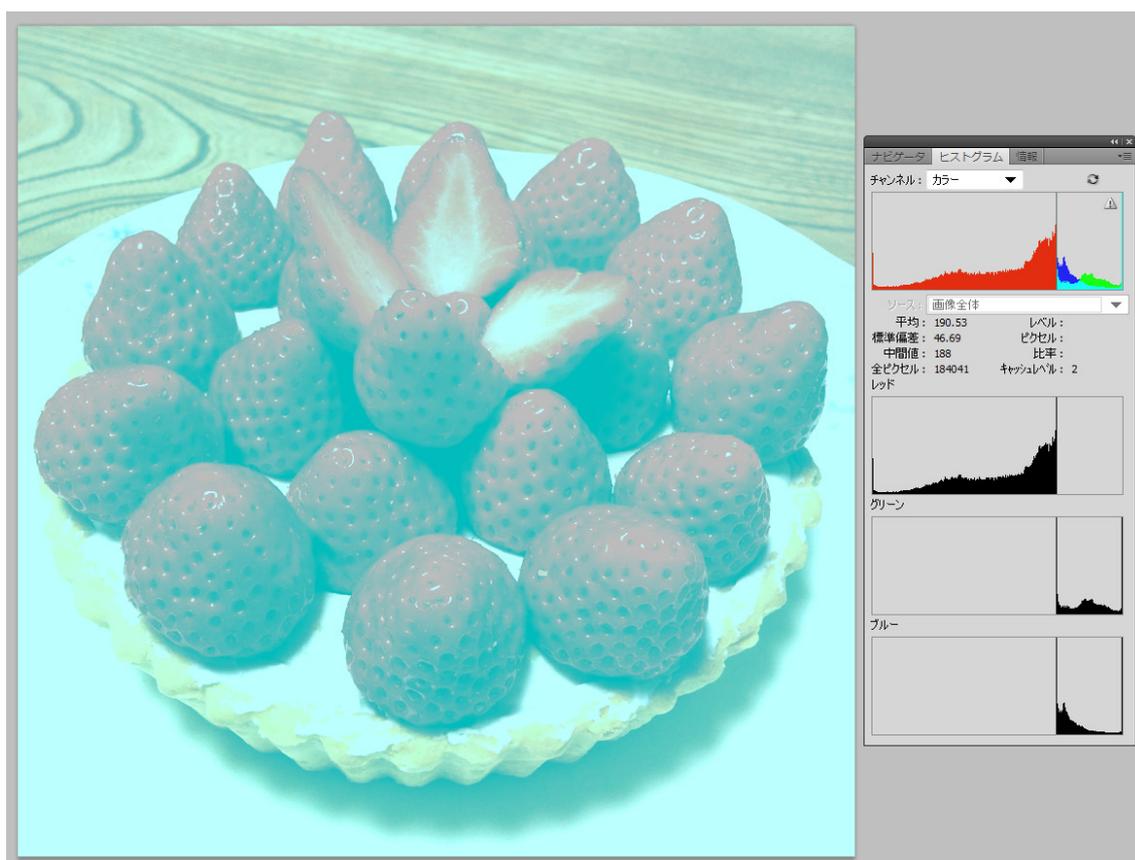


Figure 1. An image that was transformed with additive color change, in which strawberries appear to be reddish, though the pixels are not. See the histogram of each color (red (レッド), green (グリーン) and blue (ブルー)) of this image.

MIMS 現象数理学研究拠点共同研究集会

第 13 回錯覚ワークショップ

「錯覚現象のモデリングとその応用」

アブストラクト集

2019年2月25日(月)・26日(火)

明治大学 中野キャンパス6階 研究セミナー室3 (603号室)

主催：明治大学先端数理学インスティテュート (MIMS)

共催：私立大学研究ブランディング事業「数理学する明治大学」錯視学チーム  
科研費基盤研究 (A)「視覚の心理・数理モデリングと第5世代不可能立体」

連絡先：杉原厚吉 (チームリーダー, MIMS) [kokichis@meiji.ac.jp](mailto:kokichis@meiji.ac.jp)

森口昌樹 (実行委員会事務局) [moriguchi@meiji.ac.jp](mailto:moriguchi@meiji.ac.jp)