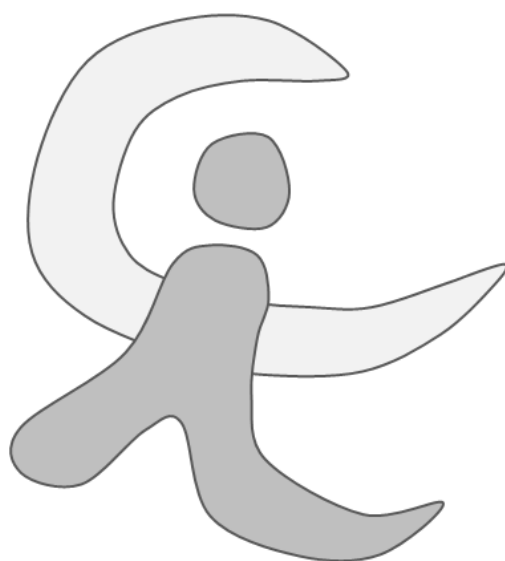


錯覚科学への諸アプローチとその応用

アブストラクト集



2018年2月27日（火）・28日（水）

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

このワークショップは、「錯覚ワークショップ」という名称で、半年～1年に1回の頻度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12回目である。このシリーズは、五感の錯覚だけでなく、広告につられて不要な買い物をしてしまうなどの社会行動における錯覚も含めて広い現象を対象とし、多様な方々を講師に迎えてプログラムを構成し、錯覚科学という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。

初期のころは、MIMSの主催する研究集会であったが、2014年に、MIMSが文部科学省から「現象数学」共同利用・共同研究拠点に認定されたことを受けて、本ワークショップも、この拠点の共同研究集会という形で開催している。さらに、2016年からは、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」の錯視学チーム、科研費基盤（A）「視覚の心理・数理モデリングと第5世代不可能立体」の共催という形をとっている。

今まで、このワークショップは招待講演を中心にしてプログラムを構成してきたが、今回は初めての試みとして、一般からの発表申し込みを受け付け、それをもとにプログラムを構成した。これによって、主催者側だけでは把握しきれない錯覚研究の成果も発掘できたのではないかと思っている。この試みは今後も継続したい。

今回の招待講演は、中村浩氏の1件であるが、同氏は、日本基礎心理学会主催の錯視・錯聴コンテストにおいて、2016年にグランプリ、2017年に準優勝と最近の2回続けての上位獲得者である。

本ワークショップが、錯覚科学及びその周辺の広い分野の研究者・実務者に、研究交流の機会を提供できることを願っている。

2018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
杉原厚吉

プログラム

2月27日（火） [会場：6階 研究セミナー室3]

14:00～14:40	○加葉田 雄太朗（神戸大学），佐治 健太郎（神戸大学）， 長谷川 大（岩手医科大学）	
	1	とがった輪郭からわかること
14:40～15:20	○森口 昌樹（明治大学先端数理科学インスティテュート），今井 桂子（中央大学 理工学部）， 杉原 厚吉（明治大学先端数理科学インスティテュート）	
	2	融合型シャドウアートのモデリング
15:40～16:20	○上地 泰一郎（千葉大学大学院 融合理工学府 数学情報科学専攻）， 一川 誠（千葉大学）	
	3	呈示領域の拡大による要素縮小錯視
16:20～17:00	○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）	
	4	変則的運動錯視説明の一般化モデル
17:30～19:30	懇親会 [会場：6階 オープンスペース]	

2月28日（水） [会場：6階 研究セミナー室3]

10:30～11:10	○杉原 厚吉（明治大学 先端数理科学インスティテュート）	
	5	シュレーダーの階段図形の3次元装飾効果
11:10～11:50	○星加 民雄（崇城大学）	
	6	視点位置と錯視効果—イリュージョンの科学とアート展より
13:00～14:00	招待講演：中村 浩（北星学園大学 短期大学部； 日本基礎心理学会主催錯視・錯聴コンテスト2016年グランプリ，2017年準優勝）	
	7	錯視研究初心者の楽しさと難しさ
14:20～15:00	○栗原 碧斗（神奈川工科大学 情報学部），山内 俊明（神奈川工科大学 情報学部）， 谷中 一寿（神奈川工科大学 情報学部）	
	8	カラーLEDの点滅による運動錯視
15:00～15:40	○北岡 明佳（立命館大学 総合心理学部）	
	9	「オブ効果」の錯視
16:00～16:40	近藤 信太郎（岐阜大学），杉原 厚吉（明治大学）， ○須志田 隆道（北海道大学），三村 昌泰（武蔵野大学）	
	10	残像錯視を理解するための網膜情報処理の微分方程式モデル

とがった輪郭からわかること

○加葉田 雄太郎 (神戸大学)¹

共同研究者： 佐治 健太郎 (神戸大学), 長谷川 大 (岩手医科大学)

講演者らは数学の「写像の特異点論」という分野の研究をしている．写像の特異点論は基礎数学としても素朴で興味深いテーマであるが，応用の多彩性という面でも重要である（有名な R. Thom の「カタストロフ理論」は写像の特異点論をその基礎としている）．実は，滑らかな物体を見た時の輪郭も写像の特異点論の枠組みで研究することができる（図 1）．この場合，写像とは曲面（物体の表面）から平面（網膜のスクリーン）への写像（射影）であって，輪郭が写像の特異点（他とは違う特別な点）の集合となっている．

ここでの我々の関心は「輪郭からわかる元の曲面（物体）の局所的な情報を幾何的に理解する」ことにある．輪郭が滑らかな曲線となっている場合には輪郭の“曲がっている向き”（正確には曲率の正負）によって，曲面が局所的に卵型あるいは馬の鞍型のどちらであるかを決定することができる（図 1）．この事実は心理学者でもあった J. Koenderink によって数学的にも定式化されている．さて，射影の方向を漸近方向という特別な方向（法曲率 = 0）にとると図 2 のように輪郭自体が特異点（とがった点など）を持つことが知られている．特異点を持つ輪郭からは元の曲面のどんな情報が得られるだろうか？

講演者らは曲面を放物点と呼ばれる点（ガウス曲率が 0）の漸近方向から見た時に現れる“とがった輪郭”に関して結果を得た．標語的に言えば，“とがった輪郭”からは曲面と局所的に“べったりくっつく柱面”の情報がわかるというのが我々の結果である．例えば図 2 の場合では，実は輪郭は 2 つの滑らかな曲線が交わっているものであり，これが見えた時には曲面に対して“べったりくっつく柱面”（接触柱面）が二つ存在することを数学的に示せる．さらに輪郭を成す 2 つの曲線の“曲がり具合”（曲率）から対応する 2 つの柱面の曲がり具合を復元することもできる．

上記の結果は輪郭から「何がわかるか」という話であるが，逆に輪郭を見るだけでは「何がわからないか」ということも計算により知ることができる．そのような計算結果を用いれば，同じ輪郭を持つが形が異なる曲面を自由に構成することも可能であろう．講演者は，素人考えではあるが，このような結果は曲面における錯覚理論につながっていくのではないかと妄想している．専門家の皆様のご意見やご批判などをいただければ幸いである．

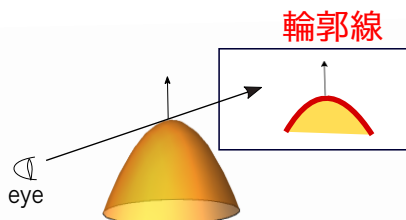


図 1: お碗型曲面とその輪郭．



図 2: 曲面（左）を眺めたらくちばし型の輪郭（中）が見える．右絵は“べったりくっつく 2 つの柱面”の様子．

¹日本学術振興会特別研究員 PD, e-mail: kabata@math.kobe-u.ac.jp

融合型シャドウアートのモデリング

森口 昌樹
(明治大学 先端数理科学
インスティテュート)

今井 桂子
(中央大学 理工学部)

杉原 厚吉
(明治大学 先端数理科学
インスティテュート)

シャドウアートとは立体の影を利用したアートである。シャドウアートの一つの形態として、ある特定の視点から観察すると立体自身とその影が一体となって一つの形に見える、という融合型のものがある。美術家 Larry Kagan はワイヤーを使用して融合型シャドウアートの作品を作成している。本研究では、立体の影ではなく鏡に映った立体の姿を使って、融合型の錯視立体を作成することを考える。つまり、特定の視点から観察すると立体自身とその鏡像が一体となって指定された形に見える、という立体を作成するのである。

立体と鏡像が一体となって見えるときの目標の形は平面上の図形として指定する。ただし、この図形は二つの部分に分割して指定する。片方は立体が直接見える部分、もう片方は鏡像が見える部分の目標の形に対応する。また、鏡面が水平になるように鏡を設置し、立体は鏡の上に置く。これらの設定のもとでは、以下の条件を満たす立体を計算することで、融合型錯視立体を作成できる：

- ① 実現条件：立体とその鏡像は目標の形を実現する。
- ② 連結条件：立体は連結である。
- ③ 接触条件：立体と鏡が接触している。
- ④ 非貫通条件：立体が鏡を突き抜けない。
- ⑤ 直立条件：支えがなくても立体が直立する。

融合型錯視立体の作成は“ambiguous cylinder”の作成と類似した問題だが、条件③～⑤はこの問題に特有のものとなっている（鏡の上に立体を置くことに対応している）。提案手法は次のようにして、上記の条件を満たす立体を作成する：

- 1. 条件①を満たす立体を作成するために、visual hull を計算する。
- 2. 条件③、④を満たすために、ステップ1の結果と鏡面上側がつくる半空間との積集合を計算する。
- 3. 条件②を満たすために、ステップ2の結果の連結成分を計算し、条件①～④を満たすものを抽出する。
- 4. 条件⑤を満たすために、ステップ3の結果の一部を削って重心位置を調整する。

指定された目標の形によっては全ての条件を満たす立体が存在しないこともある。一部の条件については、条件を満たす立体が存在するためには目標の形がどのような性質を持てばよいか、という特徴付けが完了している。

題目「呈示領域の拡大による要素縮小錯視」

上地泰一郎¹，一川誠²

1, 千葉大学大学院融合理工学府 博士後期課程 1 年 2, 千葉大学

我々は，刺激の呈示される領域の拡大にともない要素の見かけの大きさが縮小する錯視(図 1)を発見した(Uechi & Ichikawa, 2016)．この新しい大きさ錯視について，これまで，要素の数や大きさ，要素が構成する形状の広がり(偏心度)を操作し，こうした要因がどのような影響を及ぼすのか調べてきた．たとえば，要素の数，要素の大きさ，要素が構成する領域(偏心度)を個別に操作した実験では，どの個数条件でも，要素が構成する領域の拡大に応じて要素の見かけの大きさが縮小することが示された．

要素の占める領域の拡大は，それぞれの要素の呈示される位置の偏心度が大きくなることを意味する．偏心度の拡大に対応して，その要素を処理する過程の受容野も拡大する．この受容野の拡大による個々の要素の処理精度の低下が見かけの大きさの縮小を引き起こし(Carrasco & Frieder, 1997)，それが大きさ錯覚を引き起こしている可能性が考えられた．そのため，要素の見かけの大きさの縮小を引き起こすのが，刺激要素の呈示位置の偏心度なのか，要素の呈示される領域の拡大なのか，あるいはその両方なのか検討した．すなわち，要素が 1 つの場合でも，その呈示される位置の偏心度が拡大(0 arc deg～45 arc deg)することによって，要素の見かけの大きさが縮小するか調べる実験を実施した．また，左右の同じ偏心度の網膜位置に 2 つの要素を呈示した場合と，1 つのみの要素を呈示した場合とで，要素(0.25, 0.5 1.0 arc deg)の見かけの大きさの縮小の程度を比較した．実験協力者 13 名の実験結果では，偏心度，要素数，要素サイズの主効果が有意であった．しかしながら，偏心度と要素数との交互作用は有意でなかった．

これらの実験結果は，要素のサイズと偏心度の拡大によって要素の見かけの縮小が生じることを示している．ただし，要素が 2 つの場合，これらの要因の間の交互作用はなく，それぞれ独立に見かけの大きさに影響を及ぼしているようである．偏心度の効果は，上述したように，受容野の拡大による処理精度の低下に基づいて生じた可能性が考えられる．他方，要素サイズの効果に関しては，要素のサイズが刺激までの距離の縮小の情報を示すことと関係して生じた可能性が考えられる．すなわち，刺激領域の拡大は観察距離の縮小を視覚系に伝えるものと考えられる．しかしながら，要素の網膜上の大きさは変動しない．この場合，「大きさ-距離不変仮説」に基づき，近いのに網膜上の大きさが同じということで，要素が縮小して知覚されるものと考えられる．

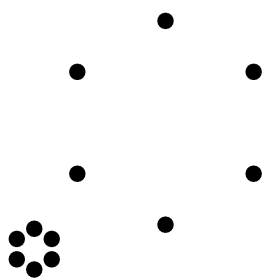


図 1：新しい大きさ錯視

変則的運動錯視説明の一般化モデル

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

錯視現象は視覚のメカニズムが極端な形態で反映されたものであり、その要因を探ることは視覚メカニズムの解明へと結びつくことになる。静止図形が運動して知覚される、あるいは物理的運動とは異なる運動が知覚される変則的運動錯視が報告されている。ここでは、この変則的運動錯視を統一的に説明する一般化モデルを構成した。このモデルでは、視覚における既知の情報として、網膜レベルで側抑制、非線形性、応答・緩和特性、S, M, L 錐体細胞の応答特性の差異を、また、皮質レベルで速度閾、仮現運動・反復運動の知覚特性を考慮し、これらに加えて新たに、「網膜のリセット」なる機能を仮定した。これによって変則的運動錯視のほぼ全ての知覚特性を矛盾なく説明できる。

従来研究では変則的運動生成の要因が大腦皮質の処理プロセスにあるとされていたが、本稿では、網膜における検出・処理過程にあるとした。大腦皮質に送られる網膜像は網膜上に投影された光学像が網膜系の処理過程で時間的に変化し、網膜のリセットで周期的に初期化されることが繰り返される。このため、疑似連続的な運動として知覚される。網膜像の移動速度が速度閾より低い場合には運動は知覚されないか、網膜像の移動距離が仮現運動を引き起こすのに十分であると網膜のリセット時に網膜像の移動とは逆方向の疑似連続的な運動として知覚される。また、網膜上で光学像が移動する場合には、網膜像は、視細胞の検出特性や神経回路の処理特性、たとえば残像特性などによって光学像とは異なって形成され、網膜のリセット時に光学像に戻ることを繰り返す。このため、疑似連続的にずれが生じるように知覚される。

像移動の知覚は、「像のエッジ部」や「強度分布」の変化（たとえば像の平均強度レベルとの交差位置の変化）と考えられる。{(a) 非対称分布の画像においては網膜細胞における側抑制に基づく先鋭化処理過程で網膜像の強度分布が変化し像移動となる。対称分布の静止画では網膜像移動が生じない。また、視細胞の密度が粗い周辺視でより大きくなる。(b) 網膜における光検出細胞は光強度に対して非線形特性を有し、時間的な応答遅れや飽和特性を有する。これにより形成される網膜像の強度分布が時間的に変化し網膜像の移動が生成される。(c) 波長により異なる感度を有する錐体細胞 (S, M, L) の時間応答特性の差異で、網膜像の合成強度分布が変化し、網膜像の移動が生成される。合成強度分布は応答速度の速い青系 (S) 優位の分布から遅い緑系 (M), 赤系 (L) も加わった分布へと移動する様に形成される。(d) 明像から暗像への変化は暗像から明像への変化に比べ著しく遅く、明像は暗像よりも尾を曳きやすく、網膜像は物理的光学像の位置から偏ったものとなる。} 実際にはこれらが重なり合って、変則的網膜像が形成される。

人間の視覚システムでは、非常に微弱な光学像から非常に強い光学像まで5桁以上もの広い明るさ範囲において、微弱な明るさ変化までを安定に検知している。光学的像から網膜像を生成する過程は生体化学的な現象であり、飽和現象や非線形的な特性とそれらの揺らぎの問題があり、これらの影響を排除あるいは軽減するため何らかの特別なメカニズムが備わっているに相違ない。そのメカニズムの一つとして周期的な網膜のリセット（たとえば、周期的なゼロレベルの更新など）が考えられる。すなわち、「網膜のリセット」なる機能は、生物化学的に動作する網膜が極めて広い明るさ範囲で僅かな変化をも検知するメカニズムとして、網膜における、水平細胞、アマクリン細胞、ミュラー細胞などをも含めて、その存在が予想され、今後、生理学的な検証が期待される。なお、視覚のリセットには、網膜レベルで自発的に生起される「網膜のリセット」の他に、トップダウン的なものやサッカードや外的な刺激で誘発されるものもある。

シュレーダーの階段図形の 3 次元装飾効果

杉原 厚吉 (明治大学 先端数理科学インスティテュート)

シュレーダーの階段は 2 つの解釈を持つ多義図形であるが、重力方向を表す絵 (2 次元装飾) を加えると、解釈は 1 つに限定される。一方、この図形を斜め方向から見た図へ変換した後、重力方向を表す立体 (3 次元装飾) を加えると、2 つの解釈が残ったまま新しい視覚効果が生まれる。これを例で示すと共に、その背景にある一般法則を整理する。

シュレーダーの階段図形は次の性質を持つ。

- (A 1) 階段を見下ろした状況と、見上げた状況の二つの解釈を持つ。
- (A 2) 第 1 の解釈が優位であるが、図形を 180 度回転させると第 2 の解釈が優位になる。
- (A 3) 図形に重力方向を表す手がかり (2 次元装飾) を加えると多義性は消える。
- (A 4) 2 次元装飾を施した図形を 180 度回転させるとナンセンスな絵となる。

ところで、一般の立体を表す絵に関して、次の”高さ反転性“が成り立つ：立体を斜めの方向から見下ろして水平な面に投影してできる絵を、反対方向から同じ角度で見下ろすと、オクルージョンが含まれていない場合には、水平面に対してもとの立体と面对称な立体の投影図と一致する。シュレーダーの階段図形の二つの解釈はこの高さ反転性に対応している。

オクルージョンが生じない状況の立体を斜め方向から見下ろして水平面へ投影して得られる絵については、上の (A 1) ~ (A 4) に対応して次の性質が成り立つ。

(B 1) 投影した方向から見ると、立体を見下ろしているという解釈が強く、下から見上げるという解釈はほとんど知覚できない。

これは、3 次元空間にいる自分が上から見下ろしているという状況が、下から見上げる解釈を心理的に抑えるためと考えられる。

(B 2) 反対方向から見下ろすと、高さが反転した立体の絵と一致する。

これは、シュレーダー図形を 180 度回転させた時の効果と幾何学的に同じである。

(B 3) 図形の上に立体 (3 次元装飾) を置くと、投影した方向から見たとき、多義性は消える。

これは、(A 3) と同じ効果である。

(B 4) 3 次元装飾を施した絵を反対方向から見ると、第 1 の方向から見たときとは異なる (しかし整合性のとれた) 状況を見ているという印象が強まる。

これが (A 4) と異なるところである。反対方向から見ても重力の方向に矛盾はなく、意味のある状況となっている。

そこで、3 次元装飾を施した絵の後ろに垂直に鏡を立てて最初の投影方向から見ると、異なる二つの立体を見ているという印象が生じる。つまり、鏡に映った立体は、元の立体の鏡映像には見えない。したがってこれは、「変身立体」を設計する新しい方法となる。



1955/ 愛媛県生まれ
1996/ 筑波大学大学院芸術研究科修了
2004/ 九州大学大学院博士後期課程単位取得退学、博士(芸術工学)取得('05)
1990/ 第18回日本国際美術展、現代日本美術展('97、'99)
1997/ モダンアート展「俊英作家賞」受賞、「会友佳作賞」受賞('02)展、CAF・N展('93～)
1999/ 個展/アーツスペース羅針盤(企画)、つくば美術館('99)、熊本市現代美術館('04企画)
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(企画)
2016/ 「REALISM OF MOVEMENT」/ エミール・セーデル・クロイツ美術館(企画)/ フィンランド
2017/ 「イリュージョンの科学とアート展」/ 熊本県立美術館・本館
現在: 崇城大学総合教育センター 准教授

視点位置と錯視効果—イリュージョンの科学とアート展より

星加民雄：崇城大学総合教育センター准教授

一般に立体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。立体作品でも具象彫刻のように、形の変化が容易に連想できる作品は、見る角度の変化にともなって視覚は変化し、その視点位置の差異は作品の印象に重要な影響を及ぼすものではない。それは位置や大きさ、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からである。ところがある種の作品においては、見る角度の差異による立体造形物の見えの違いを意図的に利用し、鑑賞者の視点位置が決定的に重要な役割を担っている場合がある。

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」をキーワードに、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。

本展出品者の多くは、視点位置が重要な表現要素となっている。筆者は、錯視効果の基本要素となる縞を板パネルに貼り、その上に無数の垂直板をドミノのように配列し作品を制作している。平面作品と思い近づき視点を動かす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。ま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が、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値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つの図象が浮かび上がってくるようにプログラミングによって作画されている作品である。いずれも視点位置と視覚との重要な関係性の上で成り立っている表現世界である。このように視点位置、視点距離、視点の移動がキーワードとなる視覚表現を筆者はビューポイント・アートと分類している。

2019年5月4日～8月26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、「Visual Illusion of Science and Art」をテーマに錯視効果だけに特化した国際シンポジウムおよび国際展の企画が決定している。今後、アート表現分野と科学的アプローチから研究遂行していく研究者とのコラボ研究を通し、新たな研究へと発展させていくことができれば幸いである。

錯視研究初心者の楽しさと難しさ

北星学園大学短期大学部 中村 浩

これまでの私の研究領域は、同じ知覚ではあっても事象知覚を中心としたものであり、特に因果関係知覚やバイオロジカル・モーション (point-light-walker) について研究してきた。同じ知覚領域でもあり、授業にも使うことから錯視現象についてある程度の知識を持っていたものの、自ら錯視研究？に手を付けることなどはほとんど想像していなかった。ただ自分の実験刺激作成のために使っていた **Director** というソフトに慣れていたため、パソコン上でさまざまな動きを作っては楽しむということをする程度であった。

そのような私に錯視研究の面白さを伝えてくれたのは北岡先生の錯視ホームページであり、先生を中心に始められた日本の錯視コンテストであった。北岡先生のホームページではさまざまな錯視現象が紹介されているが、それを閲覧していていつも考えていたことは、これらの図形を実際に動かしたらどうなるのだろうということであった。実際に北岡先生の図形をホームページからもらってはそれを動かして遊ぶということもしていた。授業にける錯視のデモンストレーションとして用いる際には動きがあった方が学生の興味を引き易いという効用もあった。そのような状況でいろいろ動かしている内に偶然見つけた「明るさグラデーションのある図形の運動方向による明るさの違い」が 2010 年度第 3 回錯視コンテストで準グランプリを受賞することになった。

この作品を出品するにあたり一番心配だったことは、この現象が過去に既に発表されたものであるか否かという点であった。そこで当時錯視コンテストの審査員をされていた椎名先生に見ていただき、ご意見を伺ってみたところ「面白い」との評価を受け、それでは応募してみようということになった。ただ、思いつきでできた錯視現象であったために、それに対する説明原理については何も分らない状況であった。昨年度グランプリをいただいた作品およびその説明原理については運動知覚の専門家である蘆田先生や田山先生からご意見を伺い、多くの示唆に富むご教示をいただくことができた。一川先生からはさまざまなバリエーションのための示唆もいただいた。今年度の作品についても色の専門家である坂田先生に無理矢理見せては意見を伺った。

これらのことを振り返ってみると、私のような素人でもいろいろ試している内に新しい錯視現象に出会えるということを実感することができたし、それを通して多くの先生方と話ができることも楽しいことであった。「自分は初心者」という言い訳をしながら、気楽に得意なソフトを使って面白い視覚現象、あるいは錯視現象を作ることはさらに楽しいことでもある。

ただ錯視研究は歴史も古く、奥が深いことも実感している。錯視現象の裏で進んでいる視覚処理系の働きや説明原理を考え始めると、素人にはなかなか追いつけないものがあることは否めない事実である。しかしながら、幸いにも多くの専門の先生方からご意見を伺うことができる環境にあるため（無理矢理見せては意見を聞くので迷惑がられているかもしれないが）、未だに楽しさの方が勝っている状況ではある。

因に、これまでの錯視コンテストの戦績は 3 勝 1 敗である。

カラーLED の点滅による運動錯視

栗原碧斗 山内俊明 谷中一寿

神奈川工科大学情報学部

私どもが発見したカラーLED の点滅による運動錯視は、図 1 に示すように、2 色のカラーLED (例えば赤と青) を一組として一列に並べ、偶数番目の組と奇数番目の組を暗所で交互に暗い点灯と消灯を繰り返すと、本来はないはずの一方方向への運動が知覚される運動錯視である。この現象は赤と黄緑の LED, あるいは青と黄緑の LED の組み合わせでも生じる。実験装置の外観を図 2 に示す。

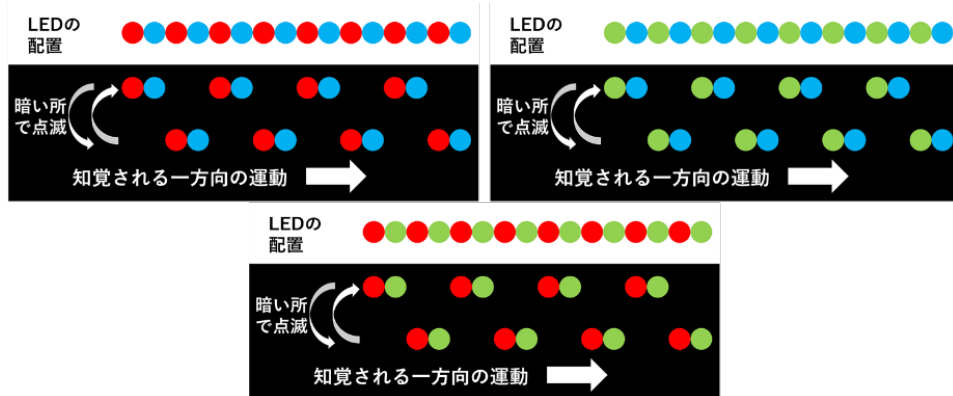


図 1. 錯視の説明

3 つの組み合わせのうち、最も錯視量が大きく一方方向への運動が知覚できるのは赤と青の LED による組み合わせである。錯視量が大きくなる点滅周波数はおよそ 5Hz 程度で、これは 3 つの色の組み合わせすべてに当てはまる。

色の関係性のみでなく明暗の関係性について調べるために、白色 LED の明暗のみを再現した実験装置での実験を行ったところ、同じく錯視は確認できたが、錯視量は小さかったので、色依存性のある錯視であると考えている。明暗のみで生じる錯視の原因はプルフリッシュ効果の原因と同様、明るい LED のほうが暗い LED より先に知覚されるためと考えている。色によって錯視が増大する仮説として、暗い場所での 3 錐体の応答速度に違いがあり、青錐体よりも緑錐体、緑錐体よりも赤錐体のほうが応答速度が速いため、仮現運動が生ずるのだと考えている。この仮説の検証のため、青 LED を赤 LED よりも早く発光させることによって、錯視が打ち消されるか、さらには逆錯視が生ずるかどうかを調べた。この実験の結果、15ms から 20ms の遅延で錯視の運動の方向が移り変わることから、この仮説が正しいとすると赤錐体と青錐体の応答速度の差はおおよそ 15ms から 20ms の間だと推定できる。今回発見した錯視は、暗い場所で生ずることから、色依存のフレーザー・ウィルコックス錯視が暗い場所で強くなるだけでなく逆錯視が生ずる現象[1][2]や、赤青黒（または赤緑黒、緑青黒）のストライプをプリントしてやや暗い場所で振動させると一方方向に動いて見える錯視[3] (図 3) と関連している可能性がある。

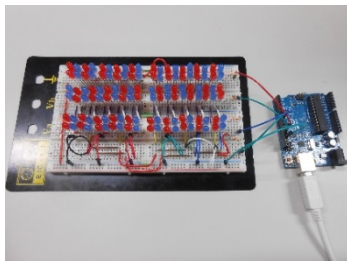


図 2. 実験装置

赤 : 630-650nm OSR6LU5B64A-5V
黄緑 : 565-575nm OSG8NU5B64A-5V
青 : 465-475nm OSB5SA5B64A-5V

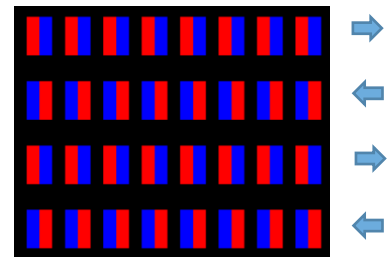


図 3. やや暗い場所で横に揺らすと一方方向に動いて見える錯視

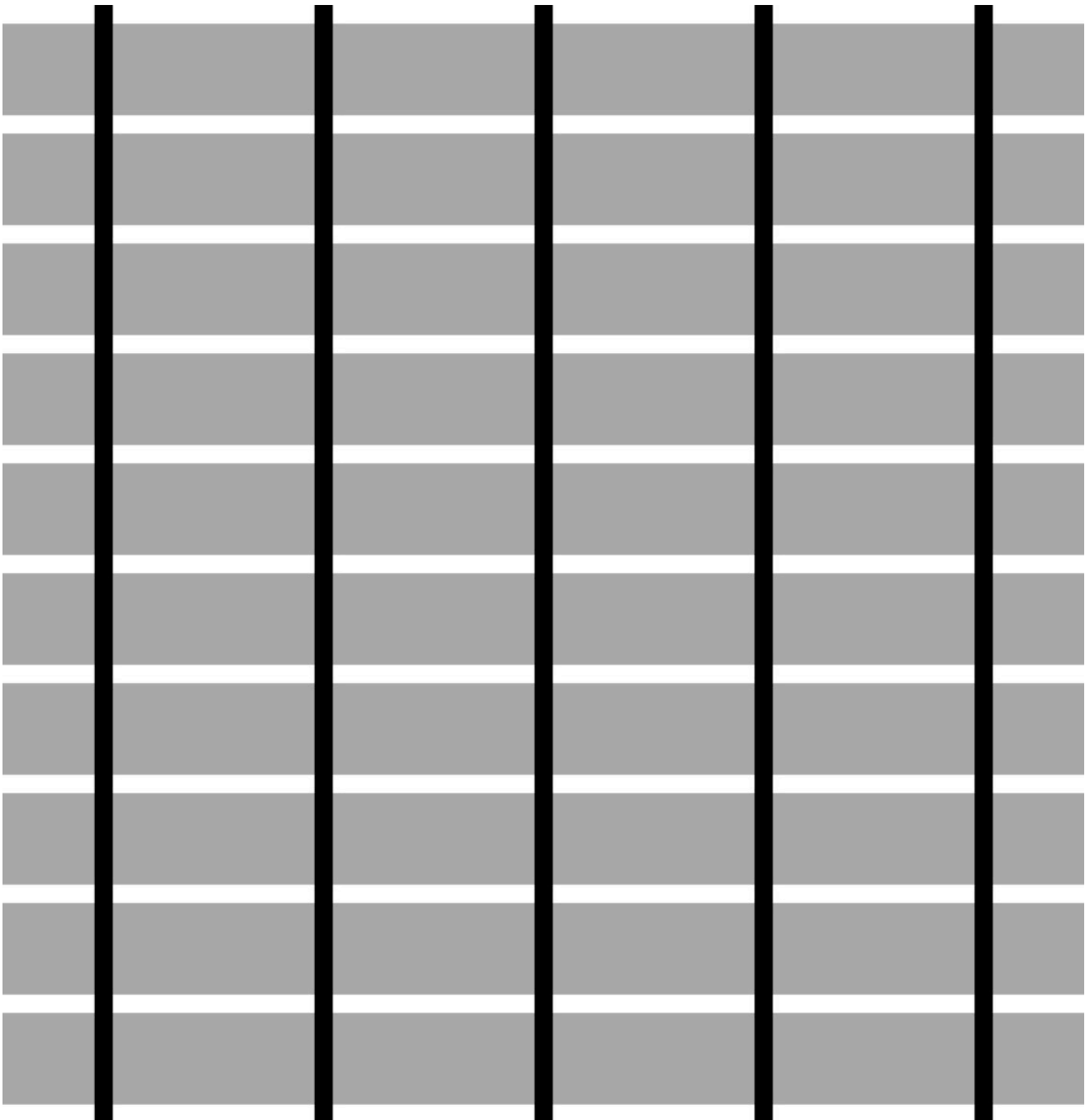
参考文献

- [1] Akiyoshi Kitaoka, Kazuhisa Yanaka, Reversal of the color-dependent Fraser-Wilcox illusion under a dark condition. ECV2013.
- [2] Kazuhisa Yanaka, Color cast hypothesis of color-dependent Fraser-Wilcox optical illusion. ECV2015.
- [3] Kazuhisa Yanaka, Masahiro Suzuki, Toshiaki Yamanouchi. Subjective motion in one direction produced by objective motion in direction of left and right under semi-dark room conditions. ECV2017.

「オプ効果」の錯視

立命館大学総合心理学部 北岡明佳 (akitaoka@lt.titsumei.ac.jp)

ギラギラ・ガクガクした視覚効果は「オプ効果」(op effect)と呼ばれ、クラシックな錯視とは一線を画してきたが、だまし絵も含めて広義の錯視 (visual illusion) には違いない。オプ効果は視覚研究者の興味を引いて、多くの研究成果があるが、筆者は現象重視の錯視の研究者であるものの、オプ効果にはあまりなじみがない。そこで、今回はオプ効果に少し取り組んでみたい。下図は新型のデモと思われるもので、眼が左右にサッカードすると、白いギャップ部分に暗いブロッブが「閃る」ように見える。これは、きらめき格子錯視 (scintillating grid illusion) とは異なる現象である。本発表では、いろいろなオプ効果を概観する。



残像錯視を理解するための網膜情報処理の 微分方程式モデル

近藤 信太郎 (岐阜大学), 杉原 厚吉 (明治大学),
○須志田 隆道 (北海道大学), 三村 昌泰 (武蔵野大学)

残像とは、入力画像が消えた後にその画像が残っているように見える現象のことである。入力画像と同じような刺激が残るものを陽性残像といい、反対の刺激が残るものを陰性残像という。陰性残像として知覚される残像錯視として、周辺ドリフト錯視を知覚させる画像を用いた回転錯視やライラックチェイサーなどが挙げられる。残像を生み出す主な要因は網膜の情報処理にあることが示唆されている。

網膜は眼を構成する組織の一つであり、視細胞、双極細胞、水平細胞、アマクリン細胞、神経節細胞などの神経細胞による階層的な構造を形成しているものである。網膜の視細胞は外界からの光刺激を電気信号に変換する役割を担う。特に、水平細胞などの非局所的な抑制効果によってエッジ検出が行われている。網膜における時間的ないし空間的な応答を説明する数理モデルとして、神経生理学的な実験から推測された積分核を導入した畳み込みモデルが提案された [1]。また、Faubert と Herbert による周辺ドリフト錯視の画像を用いた回転錯視を説明する畳み込みモデルが提案されている [2]。しかし、畳み込みモデルに導入される積分核の形状が網膜神経細胞のどのような機能によって形成されているかは示されていない。

本研究では、網膜神経細胞の階層的な相互作用から以下の3つのことを仮定した微分方程式による階層モデルを提案する: (i) 網膜像の解像度低下, (ii) 非局所的な自己制御機構, (iii) 対比および同化の切替機構。[3] では、空間方向のみに着目した場合に、アプリアリに積分核の形状を仮定しなくても、神経生理学の分野で知られているメキシカンハット型の積分核が導出されることを示した。

本講演では、時間方向のみに着目した場合に、先行研究で示されている時間方向の積分核が階層モデルにおいて導出される条件を示す。さらに、Faubert と Herbert による周辺ドリフト錯視やライラックチェイサーなどの入力図形を与えた場合において、時間方向の積分核の形状が残像錯視の知覚に関わる重要な要因であることを示唆する数値計算結果を紹介する。

Reference

- [1] E. H. Adelson and J. R. Bergen, *Spatiotemporal energy models for the perception of motion*, J. Opt. Soc. Am. A, 2(2), pp.284-299, 1985.
- [2] Y. Hayashi, S. Ishii, and H. Urakubo, *A computational model of afterimage rotation in the peripheral drift illusion based on retinal ON/OFF responses*, PLoS ONE, 9(12), e115464, 2014.
- [3] T. Sushida, S. Kondo, K. Sugihara, and M. Mimura, *A differential equation model of retinal processing for understanding lightness optical illusions*, Jpn. J. Ind. Appl. Math., pp.1-40, 2017.

MIMS 現象数理学研究拠点共同研究集会

第 12 回錯覚ワークショップ

「錯覚科学への諸アプローチとその応用」

アブストラクト集

2018 年 2 月 27 日（火）・28 日（水）

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（MIMS）

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」

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

森口昌樹（実行委員会事務局） moriguchi@meiji.ac.jp