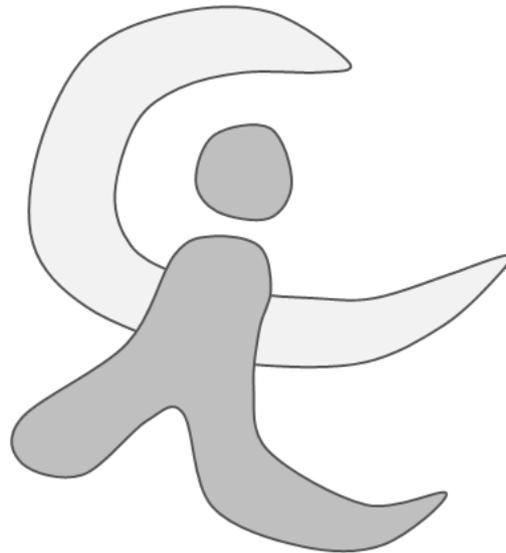


錯覚と数理の融合研究ワークショップ (第9回錯覚ワークショップ)



時：2015年9月7日（月）、8日（火）

所：明治大学中野キャンパス6階研究セミナー室3（603号室）

共同主催：明治大学先端数理科学インスティテュート

科学技術振興機構 CREST 事業「数学」領域「計算錯覚学の構築」

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9回目である。通常は、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してきた。

しかし今回は、このワークショップシリーズの開催母体である科学技術振興機構（JST）の戦略的創造研究推進事業（CREST）「数学」領域「計算錯覚学の構築」プロジェクトが最終年度を迎えるに当たって、このプロジェクトの成果を中心にプログラムを構成した。したがって、今回の講演者のほとんどは、このプロジェクトのメンバーである。

唯一の例外は、写真家の渡邊肇氏である。「計算錯覚学の構築」プロジェクトでは、調査研究対象の一つとして「写真における錯覚」を取り上げて議論してきており、その経緯から、写真家の視点からのお話も伺おうという目的で同氏にも講演をお願いした。

また本年度、MIMSが、文部科学省から「現象数理学」共同利用・共同研究拠点に認定された。これを受けて、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することにした。

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。

2015年9月

明治大学先端数理科学インスティテュート
錯覚と数理の融合研究プロジェクトリーダー
杉原厚吉

プログラム

9月7日(月)

13:00-13:50

友枝明保 (武蔵野大学工学部)

「ストライプ線を用いた渋滞対策案とホロウマスク型錯視立体の数理創作」

14:00-14:50

宮下芳明 (明治大学総合数理学部) 「錯覚のメディア応用」

15:10-16:00

山口泰 (東京大学総合文化研究科) 「視覚復号型暗号と画質」

16:10-17:00

北岡明佳 (立命館大学文学部) 「乗算的および加法的色変換による色の錯視」

9月8日(火)

10:00-10:50

谷田川達也 (東京大学総合文化研究科) 「自然な画像・動画編集と情報圧縮」

11:00-11:50

植田一博 (東京大学総合文化研究科) 「名前がヒトの認知に及ぼす影響」
(昼休み)

13:00-13:50

Peeraya Sripian (King Mongkut's University of Technology)

「ハイブリッド画像とその応用」

14:00-14:50

渡邊肇 (フォトグラファー) 「化粧写真」における撮影トリックの解説

15:10-16:00

福田玄明 (東京大学総合文化研究科) 「錯覚から探る認知メカニズム」(仮)

16:10-17:00

杉原厚吉 (明治大学先端数理科学インスティテュート)

「不可能立体の進化と映像文化への反省」

ストライプ線を用いた渋滞対策案とホロウマスク型錯視立体の数理創作

友枝 明保

■ ストライプ線を用いた渋滞対策案

交通渋滞による我が国の経済損失は年間 12 兆円にも上ると言われており、渋滞解消への取り組みは道路交通システムの大きな課題である。特に、高速道路の渋滞においては、“サグ部”と呼ばれる場所で発生する渋滞が最も大きな割合を占めている。このサグ部では、ドライバーが上り坂であることに気づかず、自然と車の速度が下がってしまう。前方で車の速度が下がっているため、後方の車は衝突を避けようとしてブレーキを踏んで速度を下げる。さらに後方の車も同様に速度を下げってしまう。この速度減少の連鎖が後方に増幅伝播してしまうと、数十台後ろでは完全に止まってしまい、渋滞が発生してしまうのである。この種の渋滞は自然渋滞と呼ばれ、自然渋滞を解消する一つの方法は、道路傾斜をドライバーに正しく認識させ、適切な走行速度を保つことである。そこで本研究では、ストライプ線を用いた渋滞対策案について、画像による道路傾斜の認識変化・ドライビングシミュレーターを用いた道路傾斜の認識変化について調査したので、その結果について報告する。本研究は對梨成一氏（立命館大学）、北岡明佳氏（立命館大学）、杉原厚吉氏（明治大学）との共同研究に基づくものである。

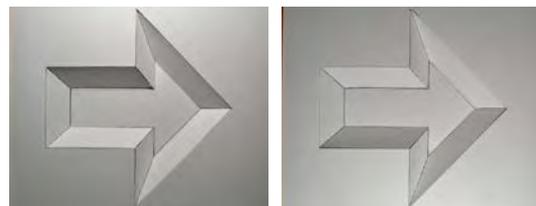
■ ホロウマスク型錯視立体の数理創作

ホロウマスク錯視は、凹面の顔が凸面の顔に見えるという錯視現象であり、観察者が視点を移動すると、その視点の移動に伴って、顔が回転して見えるという錯視現象もあわせて観察される。そこで本講演では、このホロウマスク錯視で観察される顔が回転する速度計算、多角形をベースとするホロウマスク型錯視立体の数理的な作成方法、さらには、凹凸認識のキーとなる陰影を実現する計算について解説する。

本研究は小野隼氏（明治大学卒業生）、杉原厚吉氏（明治大学）との共同研究に基づくものである。



縦断勾配錯視の例（屋島ドライブウェイ）



「矢印の幻惑」

作：友枝明保，杉原厚吉（2012）

錯覚のメディア応用

宮下芳明（明治大学 総合数理学部）

計算錯覚学はそのコンセプトの時点で、錯視量の最大化による新メディア表現（新しいエンタテインメントや芸術表現）、そして触覚・味覚・嗅覚・聴覚を含む人の五感に関する他の錯覚を含む横断性が提唱されていました。講演者は、CREST の一員として、錯覚のメディア応用に関する研究に取り組んで参りました。

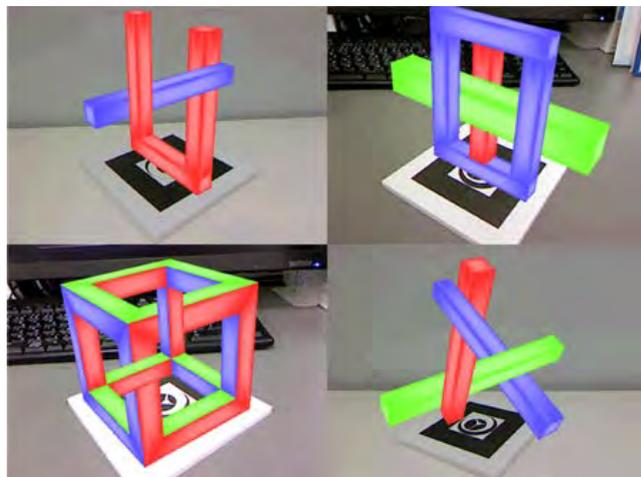
そもそもメディア技術は、実際にはないはずの感覚を、あるように感じさせる技術であり、錯覚の応用そのものであると考えられます。代表的なメディアであるテレビや電話を考えてみても、そこにはないはずの景色を感じたり、そこにはないはずの人の存在感を感じたりすべく開発されているわけですから。

そのうえで、多岐にわたる諸分野において、これまでの5年間に実践してきた宮下研究室の成果を以下の12項目にわけて紹介したいと思います。

- 1 コンピュータグラフィックスへの応用
- 2 拡張現実感（AR）への応用
- 3 錯覚コンテンツの制作支援
- 4 日常生活における錯覚応用
- 5 聴覚における錯覚の応用
- 6 理解・記憶を促すインタフェース
- 7 身体の延長としてのGUI、および操作感の研究
- 8 コンテンツ享受のためのインタフェース
- 9 文字コンテンツへの応用
- 10 嗅覚・触覚・温度感覚への応用
- 11 味覚への応用
- 12 教育への展開



宮下研究室ウェブサイト <http://miyashita.com/>



視覚復号型暗号と画質

山口 泰 (東京大学/JST CREST) E-mail: yama@graco.c.u-tokyo.ac.jp

計算機の利用によって「だまし絵」は、その作り方が変わったばかりでなく、種類も増えている。そのような新しいタイプのだまし絵の例として視覚復号型暗号がある^[1]。視覚復号型暗号とは、その名称から言えば視覚のみで復号する暗号ということになるが、具体的には複数の透明シート上にパターンを印刷したもので、適切な組合せの透明シートを重ねると、それまでにはなかった画像や文字が浮かび上がって見えるようになるものである。透明シートを単に重ねて見るだけで、秘匿情報が復号されることから視覚復号型暗号と呼ばれるが、透明シートの重ね合わせで画像が現れたり、変化したりするという点で、新しいタイプのだまし絵と言える。

図1は最も単純な視覚復号型暗号の例で、2枚の画像を重ねるとチェッカー模様が見える。このような視覚復号型暗号では、入力された2階調の秘密画像(図の場合はチェッカー模様)の各画素に2×2の小画素を対応させる。4つの小画素のうち2つを黒、残りの2つを透明にすると画素全体では平均して50%のグレーとなる。このような小画素の配置は図2の6通りが存在する。図の左右2つずつ計3組の小画素の配置は黒と透明が入れ替わった反転配置になっている。同一配置のものを重ねた場合は黒と黒、透明と透明の小画素が一致して元の配置と変わらない。一方、反転配置のものを重ねると、黒と透明の小画素が互いに重なりあってすべてが黒になる。実際に、図1を細かく見比べると最終的なチェッカー模様で黒になる箇所(たとえば左上隅の領域)は反転配置、白になる箇所(たとえば右上隅の領域)は同一配置になっている。

図1では透明シート上のパターンはランダムな模様であるが、それぞれのシートにも意味のある画像があり、2枚のシートを重ねると新たな画像が復号されるものを拡張視覚復号型暗号と呼ぶ。拡張視覚復号型暗号の場合、一般に入力は3枚の2値画像、すなわち2枚のシート上に観察される画像と、重ねて復号される秘密画像の3枚となる。拡張視覚復号型暗号の場合にも、暗号化は画素単位で処理され、3枚の画像の各画素の明暗8通りの場合分けによって2×2の小画素の配置を定める。これに対してカメラなどで撮影された連続階調画像で視覚復号型暗号を作ろうとすると、まず2値化してから暗号化することになる。しかし、このような方法では、1画素が複数の小画素に増えてしまうピクセル拡大や、暗号化の性質上コントラストが低下するという問題があり、結果として画質が大幅に劣化してしまう。本発表では、画質劣化を抑えるために、ピクセル拡大とコントラスト低下を避ける方法を紹介し、その効果などについて議論したい。

参考文献

[1] M. Naor, A. Shamir: Visual Cryptography, Proc. Eurocrypt '94, pp.1-12, 1994.



図1 視覚復号型暗号の例

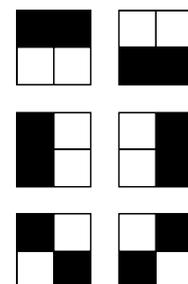


図2 小画素の配置

乗法的小よび加法的色変換による色の錯視

北岡明佳（立命館大学）

色の恒常性（color constancy）とは、知覚される物体の色は、照明やフィルターに色味があっても、補正されてある程度「本当の色」を保って見えるという現象である。これを錯覚の視点から見れば、色の錯視である。色の恒常性が生じる色変換には乗法的小変換と加法的色変換の2種類がある。本研究ではそれらの変換式を明らかにするとともに、それらの逆変換のアルゴリズムを開発した。乗法的小変換あるいは加法的色変換によって一見してかなり劣化した画像でも、逆変換のアルゴリズムは元の画像を頑健に復元できる。それらと同等のアルゴリズムが人間の視覚にも実装されていて色の恒常性が成立しているものと推測される。

本発表では、並置混色には2種類あり、加法混色と減法混色が区別できることを指摘するとともに、それらがそれぞれ乗法的小変換と加法的色変換に対応づけられることも考察する。名称は似ているが、加法混色と加法的色変換が対応するわけではない。並置混色とムンカー錯視系統の色の錯視の連続性について指摘し、これらの数学的处理と色の錯視の関係を考察する。

自然な画像・動画編集と情報圧縮

谷田川 達也

現在、デジタルカメラの低価格化やスマートフォンの普及により、写真や動画の撮影は身近なものとなりました。それに伴って、画像や動画を編集し、よりきれいな形で保存するという需要も高まりつつあります。例えば、撮影した写真に簡単なフィルタ処理を施して見た目の特徴を変化させるといったものは、多くのコンピュータやスマートフォンで利用可能です。しかしながら、画像や動画をよりきれいに編集するには高価なソフトウェアや高度な編集技術が必要であり、まだまだ一般的なユーザには敷居の高いものです。

画像、動画編集に伴う様々な作業をコンピュータの力を借りて、より容易にしようとする研究が古くから多くなされてきました。その中で最も中心的な課題となるのが、編集対象物体の選択を目的とするセグメンテーション処理です。セグメンテーションはコンピュータ・ビジョンの分野では物体の領域判定問題として、コンピュータ・グラフィックスの分野では編集のための領域選択問題として、複数の分野に跨る学術的興味を提供しています。

本発表の前半では、コンピュータ・ビジョンとコンピュータ・グラフィックスの両分野におけるセグメンテーション問題の定式化を説明しながら、両分野で用いられてきた手法の概要をご紹介します。発表の後半では、これまでに筆者が行ってきた編集対象物体の選択における情報圧縮の方法についてご説明します。情報圧縮の目的は自然な物体境界を保ったまま高速に物体抽出を行うことにあります。筆者の提案する編集対象物体選択における情報圧縮法は主に、低ランク行列近似とスパース正則化の二つに分けられます。前者の低ランク行列近似は行列の支配的な特異値のみを使って行列を近似する手法に代表されるもので、応用数学や機械学習の分野をはじめ、幅広い分野で利用されているものです。後者のスパース正則化は近年、ビッグデータから少数の有意な特徴を抽出するための手法として注目を集めているもので、その中心的なものは LASSO と呼ばれる演算子を様々な形に拡張することで特徴抽出を実現します。最後に、これらの手法を用いることで得られる物体抽出問題および画像編集の結果についてご紹介しながら、「より自然な画像・動画編集」の目指すべき方向性についても議論したいと考えています。



図 1. 提案手法による編集対象領域の抽出

名前がヒトの認知に及ぼす影響

植田一博（東京大学大学院総合文化研究科・教授／JST, CREST）

我々の思考は基本的には対象の特徴や性質に基づいている。例えば、「東京はどのような街か」という問いは、東京が持つ特徴（例：日本の中枢）に基づき回答がなされると考えられる。しかしながら近年、対象の表現法によって我々の判断や推論が変化することが報告されている。例えば、Alter & Oppenheimer (2008)は、ニューヨークの都市のイメージについて“New York”と通常のフォントで記述した場合と、“New York”のように読みにくいフォントで表記した場合では記述されるイメージが変化することを示している。

本講演では、まず、日本語における表記の違いがヒトの思考に与える影響について検討した研究を紹介する。日本語の、漢字、ひらがな、カタカナという3つの表記法のうち、本研究では特に漢字とカタカナに注目し、都市名の表記を例にして、表記法の違いがカテゴリー化に与える影響について検討を行った。その結果、漢字で提示される場合には地理的近接性に基づくカテゴリー化がなされており、地域バイアスが観察された一方、カタカナで提示された場合にはこのようなバイアスは観察されなかった。都市名は通常漢字で記載されることを踏まえると、カタカナ表記により、一般的に観察される地域バイアスが解消され、通常とは異なる視点からカテゴリー化を行う効果が生じていると考えられる。

次に、名前の文字数が認知や思考に与える影響に注目した研究を紹介する。単語の文字数とコミュニケーション行動には密接な関連性があり、単語の情報量（ある文脈において、その単語が使用される使用頻度が希少かどうか）と単語の文字数の間に相関関係があるという興味深い報告がされている(Piantadosi et al., 2011)。この知見は、効率的なコミュニケーション行動を達成するために、我々は単語の文字数に敏感になる心理的、認知的基盤を有する可能性を示している。これに従えば、名前の文字数が認知や思考に影響を与えている可能性が考えられる。そこで、名前の文字数が認知や思考に与える影響について、競馬における馬券購入行動から検討した。日本では、競走馬の馬名はカタカナ 2 文字から 9 文字の間で付けることが決められている。1990 年 1 月から 2013 年 12 月までの中央競馬 (JRA) 82464 レースに出走した競走馬の文字数の分布が馬券購入行動に与える影響を検討した結果、名前の文字数がギャンブル行動に有意な効果を与えていることが観察された。特に、前半のレースでは名前の文字数が希少な馬名 (2、3、4 文字) の馬券は、よく見られる馬名数 (7、8、9 文字) に比べてあまり買われていないのに対して、逆に後半のレースでは文字数が希少な馬の馬券がよく買われていた。つまり前半ではよく見る熟知性の高い文字数の馬が好まれ、後半ではあまり見ない、希少性の高い馬が好まれることを意味している。心理学研究では、熟知性の高い対象が好まれることが知られている (Bornstein, 1989) 一方で、希少性の高い対象は視覚的な注意を集めやすく、またコミュニケーション時に注目されやすいことも示されている (Honda et al., 2014)。よって、相反する選好パターンが存在することは、先行研究の知見から想定される。講演では、このような効果の変化を生じさせる、考え得る要因についても議論する。

以上を通じて、名前がヒトの認知や選択行動に与える影響を議論したい。

ハイブリッド画像とその応用

Peeraya Sripiyan (King Mongkut' s University of Technology Thonburi)

ハイブリッド画像とは観察者と画像との距離によって見え方の異なる画像である。本発表ではハイブリッド画像に関する総合的な研究と、ハイブリッド画像の様々な応用方向について議論する。ハイブリッド画像は、2枚の画像をそれぞれ低周波数成分と高周波数成分とに分解し、それらを再合成することで作られる。従来提案されていたハイブリッド画像の作成法では、2枚の画像の形がある程度似通っている必要があった。我々は、異なった形状の画像からハイブリッド画像を作成する手法を検討した。ハイブリッド画像の作成においてノイズ付加法と色付加法の2つの手法によって問題の解決を試みた。ノイズ付加法では、高周波数成分の画像に元からあるノイズや新たに加えたノイズを強調することによって、近くから画像を見るときに低周波数成分の画像を認知しづらくする。一方で、色付加法は補色のペアから作られる正弦波格子を合成することで、高周波数成分の画像に注目させることを目的している。

ハイブリッド画像の応用としては、視力検査に使うことを考える。視力検査では視力の変化や視力に問題があるかどうかを調べるが、タイでほとんどの場所でアルファベットを用いるスネレン視標を用いている。スネレン視標は通常20フィート離れて文字や記号を観察し、それらの識別力を調べる。観察者の視力は、その視認距離から識別することができる最小の文字によって決定される。この検査方法は、十分な観察距離と部屋を必要とする。最近ではコンピュータを利用して、スネレン指標をシミュレートする手法が提案され、実際に利用されるようになってきている。ハイブリッド画像もコンピュータによって作成されるが、観察距離によって視認されるものが変化する画像であり、視力検査に利用できるのではないかと考えた。つまり、ハイブリッド画像を人間の視力検査に利用可能か否かを検証してみた。ハイブリッド画像を利用することで、通常の視力を持つ者と近視の者とを区別することができることが統計的に確認できたので、その実験と実験結果について簡単に説明する。

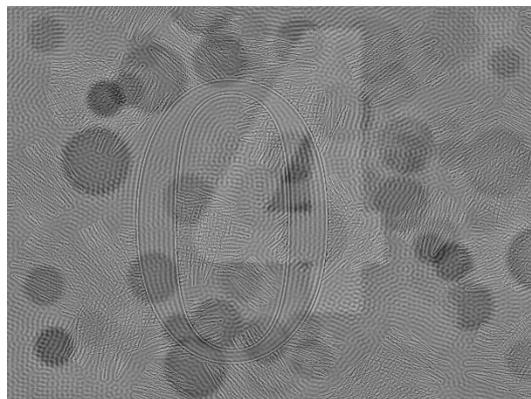


図1 実験に使ったハイブリッド画像の例。実際の大サイズで見るときに70cmからみると「0」が見えて、245cmから見ると「4」が見えるように計算して作成した。

「化粧写真」における撮影トリックの解説

フォトグラファー 渡邊 肇

マスメディアに台頭する化粧品の広告写真に必要とされるのは、画一化された「可愛い」「憧れ」「信頼感」といったイメージや、期間限定の「流行顔」を大量生産する事である。事実、巷に溢れるビューティショットと呼ばれる写真は、一瞥しただけで誰それとわかる女優の顔や、ありふれたモデルの表情が繰り返し使い回されているに過ぎない。

フォトグラファーは目の前の被写体をいかにも「それらしい」イメージに見せる為のライティングを施し、撮りおろした写真にはさらにCGを駆使した「修正」を加える事で、より理想的な画像に終着する事が要求される。

広告にはさらに「マイナス〇歳肌」「肌に透明感」等のキャッチコピーが加えられ、あたかもその製品を使えば、間違いなく自分の肌も広告モデルの肌と同じになれるのだと消費者に「錯覚」させる。ただし、広告の世界ではこれを「錯覚」させるのではなく、「夢」を与える事と定義しているのである。

私が「化粧写真」を始めたのは、それを見た人が本当に「夢」を見ているような気分になれる摩訶不思議な世界を創りたかったからだ。そして、頭で考えるよりも先に「何これ？うわ、面白い！」といったピュアでセンセーショナルな感動を生むようなビジュアルこそ「錯視」的要素を含むものがとても多い事に気がついた。

今回のプレゼンテーションでは、メイクアップアーティスト RYUJI と一緒に制作した写真と映像の作品について、これらのビジュアルがどのようにして成り立っているのか、種明かしをしていく。杉原厚吉教授の「満月と星」を帽子に見立てた作品など、CGを一切使用せずとも驚きと感動に満ちた不可思議な錯視アート作品に仕上がったと思う。

錯覚から探る認知メカニズム

福田玄明

abstract

我々はいつも周りの環境の物理的特徴を正しく知覚する訳ではない。これは、我々の脳の情報処理が何かしらのヒューリスティクスを用いていることに起因すると考えられている。このようにして起こる実際とは異なる知覚を錯覚と呼び、感じたものと実際のものが異なることに気付いた時、そのギャップに驚いてしまうほどの錯覚も多く知られている。しかしながら、我々の知覚を情報処理として考えると錯覚が起こること自体は不思議なことではなく、むしろ多くの場合に正しい知覚を生じさせることに成功していることが驚くべきことであると思われる。我々は、錯覚を特別な場合に起こる情報処理の失敗であると考え、錯覚についてどのような場合にどのような知覚を生じるのかを調べることで、脳の情報処理がどのようなヒューリスティクスを用いているのかを明らかにしようとする研究を行ってきた。

今回は、特に知識や経験が知覚に影響する現象である記憶色についての研究について報告する。また、脳計測を用いた錯覚研究の可能性についても議論したい。

不可能立体の進化と映像文化への反省

杉原厚吉（明治大学先端数理科学インスティテュート／JST, CREST）

画像からそこに映っている立体の奥行きを読み取るヒトの視覚を数理モデル化することによって、立体錯視の仕組みを理解できるだけでなく、新しい立体錯視の創作もできるようになる。今までに、不可能立体の絵と呼ばれるだまし絵と同じに見える立体（第1世代の不可能立体）、立体自身はありきたりの形に見えるのにそこに動きを加えるとあり得ないことが起こっているように見える不可能モーション立体（第2世代の不可能立体）、鏡に映すと姿がまったく違って見える変身立体（第3世代の不可能立体）などを創作してきた。これらの不可能立体のほとんどは、画像には奥行きがないという数理的性質と、ヒトの脳は画像から立体を思い浮かべるとき直角でできた構造を優先的に思い浮かべるという視覚心理学的性質から、その仕組みを説明できる。

特に第3世代の変身立体は、2014年秋以降に見つけたもので、様々なバリエーションがある。形がまったく違って見えるもの、形は変わらないが平行移動や回転操作が加わったように見えるもの、上下が反転して見えるもの、一部が消えてしまうもの、立体に置いた小物が移動して見えるもの、などである。

これらの立体錯視は非常に強く安定して起こる。特に、本当の立体の形を理性で理解したあとでも、特別な視点からその立体を眺めると、また錯視が起こってしまう。網膜に写った画像から立体を思い浮かべるヒトの脳での情報処理は、私たちの理性や論理的思考とは無関係なところで、勝手に行われているように見える。

直角を優先する脳の性質が、いつ、どのように生じるのかは不明である。直角の多い工業製品に囲まれた現代社会人の特徴かもしれないという仮説も考えられるが、アフリカ中部の狩猟民族を対象にフィールド調査に出かけた同僚に、不可能モーションビデオを託して現地で見せてもらったところ、確かに錯視が生じているようだと報告を受けた。ただし、それらの人々も直角の製品に触れる生活をしてきたとのことだったため、上の仮説の検証にはつながらなかった。

映像センサーとしての目を二つ持った生物が誕生したのは、今から約5億年前のカンブリア紀中期のメタスプリギナが最初で、現代では、節足動物、軟体動物、脊椎動物がそれを受け継いでいる。したがって、二つの目で得た画像を総合的に処理する両眼立体視機能は、5億年の年月を経て進化したと考えられる。それに対して、映像から立体を理解しようとする単眼立体視は、遠近法や写真技術が開発された時から必要になったもので、わずか数百年の歴史しかない。したがって、その性能は十分に進化しているはずはなく、映像を見て実際のものを見た場合と同じ情報を得ていると感じることは、大変危険である。この脆弱性は、映像文化を享受する際に忘れてはならないものであろう。