

明治大学「現象数理学」研究拠点共同研究集会

第15回錯覚ワークショップ

錯視の解明・創作・利用への諸アプローチ

アブストラクト集



時：2021年3月2日（火）、3日（水）

所：オンライン Web 研究集会

主催：明治大学「現象数理学」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」錯視学チーム

科研費「視点を連続に動かしても錯視が起き続ける不可能立体の開拓とその応用」

はじめに

錯覚のさまざまな側面に関する話題を集め、異分野の研究者が自由に交流する機会を提供して、錯覚科学とも言うべき新しい学問領域の開拓を目指す目的で続けてきたこの錯覚ワークショップを、今回はオンラインで開催することになりました。「第15回」と名付けていますが、昨年に計画していた「第14回」が新型コロナウイルスの感染拡大で中止になりましたので、実質的には14回目ということになります。

思い起こせば、このワークショップの第1回目は、私が明治大学先端数理科学インスティテュート(MIMS)へ赴任して間もなく、数理的手法が十分には発揮されていないという意味での未踏分野への数理科学の応用可能性を探るMIMSの理念に沿って、「錯覚」をテーマを選んで開催したものでした。そのときは、継続的開催を明確には意識していませんでしたが、幸運にも、明治大学グローバルCOEプログラム「現象数理学の形成と発展」、科学技術振興機構CREST事業「計算錯覚学」、「現象数理学」共同利用・共同研究拠点、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」などの事業から途切れることなく支援を受けることができ、毎年1回(ときには年2回)のペースで継続的に開催することができました。国際研究集会の形で開催したこともありました。

初期の頃は、知名度ゼロのこの研究集会に異分野の方々を講師としてお迎えするために、招待講演のみでプログラムを構成していました。その後、次第に年中行事の一つとして認知されるようになり、最近では、公募型の一般研究発表を中心としてプログラムを構成しています。

今回も、錯視を中心とした錯覚の諸現象に関して、理論・実験・創作・応用などの多様なアプローチからの話題を集めることができました。招待講演をご快諾いただいた松野響氏および研究発表を応募して下さった講師の皆さんに心から感謝申し上げます。講演を聴講される皆様も含めて、異分野交流の機会として利用していただければと思います。

このワークショップは、来年も3月上旬に開催する予定です。コロナ問題が終息し、また対面での研究集会が開催できることを祈っております。対面研究集会が開けるようになったら、講演会場の隣にセルフサービス型の展示スペースも復活したいと思います。今後とも、このワークショップに気軽にお付き合いいただけたら幸いです。

2021年3月

第15回錯覚ワークショップ実行委員長
杉原 厚吉(明治大学研究特別教授)

プログラム

3月2日（火）

13:00～13:40

星加民雄（東亜大学）「錯視効果のラウンドアバウト交通システムへの活用」

13:40～14:20

近藤信太郎（岐阜大学）、森将輝（慶應義塾大学）、須志田隆道（サレジオ工業高等専門学校）
「色知覚を理解するための網膜情報処理の数理モデルと残像錯視」

14:20～14:40

宮下芳明（明治大学）「パフォーマンスモデルと錯視」

15:00～15:40

一川 誠、岡田和也（千葉大学）「容器の色彩が水溶液の味に及ぼす影響」

15:40～16:20

北岡明佳（立命館大学）「輝度変化による運動錯視（リバースファイなど）の再検討」

3月3日（水）

10:00～10:40

宮崎桂一（東京工芸大学）「減法混色グラデーション立方体の視覚効果」

10:40～11:20

出澤 正徳（電気通信大学）「網膜レベルでの周期的リセットと錯視メカニズム」

11:20～12:00

上地 泰一郎（千葉大学）「見かけの距離の操作が要素縮小錯視に影響を及ぼす」

13:30～14:30

招待講演：松野響（法政大学）

「格子はなにをしているのか？～ 格子錯視の生起機序についての実験的検討」

14:50～15:30

櫻井 菜々子、森口 昌樹（中央大学）「極小曲面を用いた多義立体モデリング」

15:30～16:10

栗城雄一、谷中一寿*（神奈川工科大学）

「スマートフォンを用いた不可能立体のAR化」

16:10～16:50

杉原厚吉（明治大学）

「立体版シュレーダー階段図形～ベスト錯覚コンテスト 2020 優勝作品の舞台裏」

第15回 錯覚ワークショップー錯視原理の解明とその応用 / 明治大学 (講演要旨)

錯視効果のラウンドアバウト交通システム

星加民雄 / 東亜大学芸術学部客員教授

信号機のない環道車両優先の環状交差点のことをラウンドアバウトという。ラウンドアバウト交通システムの利点は交通円滑化と事故削減と景観美の魅力である。2016年4月の熊本地震では、すべての地域において停電となり、マヒ状態となった交差点での事故や交通処理の問題が多く発生した。阪神・淡路大震災、東日本大震災、熊本地震等、短い期間に大地震が頻発している。法改正に伴い安全かつ自然災害に強い交通システムとして導入が進められる中、景観デザインの視点を考慮した魅力的な交通システムの構築が必要である。設置計画に際し、これまでの国土交通省、交通工学だけの観点からハード面に重視した施工実施計画だけでなく、芸術と工学が融合したアートが存在する美しいまちづくりのプロジェクトが必要不可欠である。

1. 進入時における錯視効果による速抑制方法

ラウンドアバウト進入時への対応策として、ジグザグ形式イメージランプを活用する。施工が容易で、視覚と音と衝撃の3つの要素で速度抑制効果を図るデザインである。特に音の静かなハイブリッド車や電気自動車に対する横断歩道時の聴覚障がい者への注意喚起にも効果的である。

2. ラウンドアバウト中央島 (円形内) のシンボルサイン

日本のラウンドアバウト設置事例は、交通工学的なハード面主体の実施が大半であるため中央島のスペースが十分に生かされていない。一方、ヨーロッパ各地で設置されている事例の多くは、具象彫刻など地域のシンボルとしての象徴的な形を立体化したものが多い。地域の景観美に大きく影響するラウンドアバウト交差点は、ランドマーク的シンボルとしての重要な役割を担っているため、これまでの路面標示法方法に加え、芸術、景観デザインの視点に立ったアイデアを盛り込んだ学際領域による新たな研究開発が必要である。

本研究では、各進入口からの印象付けを明確にする方法として、多視点による異なる印象を重複した多義立体表現 (一つの立体造形物の中に複数の意味、要素が含まれる造形表現 / 特に交差点の位置を示す交差点名のイニシャル表示の組み合わせ) を中央島の立体造形物とし、バリエーションによるデザインシステム化を図る (図1参照)。また走行方向を誘導するサイン表示は、視点移動に伴う視覚表現(LEDサイン表示も含む) が効果的である。

3. ラウンドアバウト全体図 (シミュレーション画像)

ジグザグ形式イメージランプ特許取得済 (特許取得番号: 第6600910号 / 令和1.10.18) であるが、その内容にはラウンドアバウト構想としてイメージランプ、中央島のシンボルサイン等の総合的見地からの設置手法を提示した。図1のシミュレーション画像では設置場所をアルファベットのイニシャル表記によるシンボルサインを各面に異なる文字を表記している。事例では熊本県 (K)、益城町 (M)、朝日交差点 (A)、および地域のシンボルとしてのイメージを表現した。不幸にも益城町は熊本地震で全壊したが、本計画が新たなまちづくりの起爆剤になればと願っている。

4. 「Japonism Today Exhibition」での成果発表

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」展が開催された。本展では、錯視を表現効果に取り入れた私のアート作品、他、杉原厚吉氏、北岡明佳氏、宮崎桂一氏の作品、そして応用展開としてラウンドアバウト交通システムの模型 (図2) を含めたプレゼンス展示を行った。4か月に渡って開催した錯視効果を基本とするアートと科学の融合展は、日本とフィンランドの国際交流と文化の発信に加え、全国的に大きな反響を呼びフィンランドで開催中の展覧会のベスト10入りを果たした。

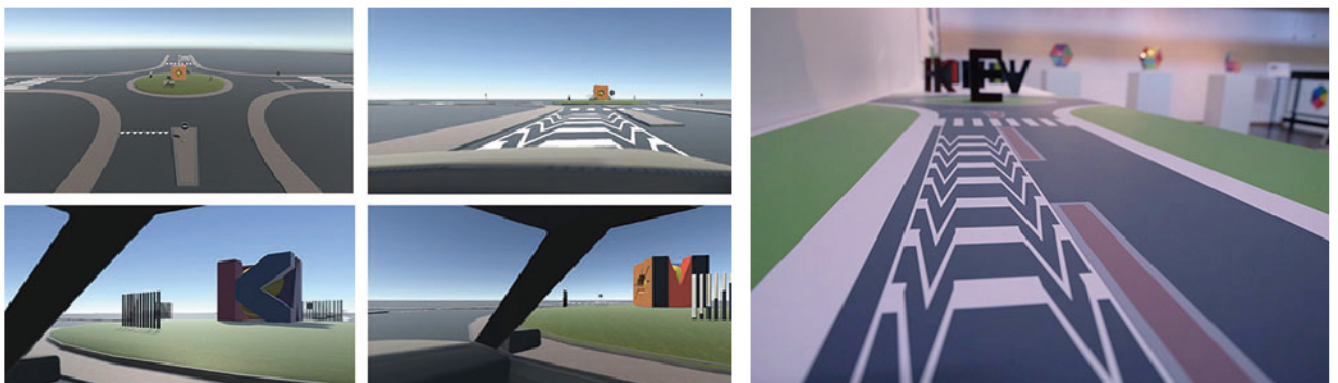


図1: 錯視効果を活用したラウンドアバウト交通システムシミュレーション画像

「Japonism Today Exhibition」でのプレゼンモデルの展示 / フィンランド

色知覚を理解するための網膜情報処理の数理モデルと残像錯視

近藤 信太郎 (岐阜大学 工学部)

森 将輝 (慶應義塾大学 環境情報学部)

須志田 隆道 (サレジオ工業高等専門学校 情報工学科)

ある視覚刺激が一定時間提示された後にその刺激が即座に除去されると、刺激除去後にも視覚的体験が生じる。この体験は残像と呼ばれており、陽性残像と陰性残像の 2 種類に分類されている。残像は刺激の色・運動・方向などで生じ、比較的低次の視覚情報処理が関与している可能性が多数の先行研究により指摘されている。図 1 で示されている視覚刺激は、回転運動や反対色が陰性残像として知覚される。本研究のねらいは、色刺激に対する網膜情報処理に着目した数理モデルを構築することによって、図 1 の回転錯視を起こす視覚刺激などに対する色知覚を担う視覚情報処理の機能を理解することである。

網膜は視細胞・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が階層的に配置された構造であることが知られており、神経生理学の分野で発見された網膜神経節細胞におけるメキシカンハット型(中心部が興奮領域であり、周辺部が抑制領域である形状)の受容野(神経細胞が応答する網膜上の領域)をもとにした畳み込み積分モデルを用いて入力と出力の関係を記述するということが主流である。一方で、神経細胞の接続関係を思い返すと、階層的に配置された細胞同士が互いに情報伝達をしていることから、受容野は細胞同士の相互作用の結果として得られていることが推測できる。そのため、本研究での数理モデリングでは、受容野構造を前提としないものを考える。

本講演では、視細胞間の局所的な情報伝達および視細胞-双極細胞間の情報の統合を記述する第 1 段階と水平細胞による色ないし明るさの自己制御機能を記述する第 2 段階の 2 つの階層から成る微分方程式モデルを提案する。特に、視細胞(L・M・S 錐体)による三色説に加えて、反対色に反応する双極細胞および水平細胞が存在することから、第 2 段階では反対色に対する段階説の折衷案を導入する。提案モデルにおいて、微分方程式モデルの出力(解)を畳み込み積分で表示できることを示す。さらに、メキシカンハット型の積分核(受容野構造)が得られることを示す。また、反対色反応に関する自己制御機能の応答速度の非対称性が、図 1 の回転錯視を引き起こす要因の一つであることを示唆する数値計算例を示す。

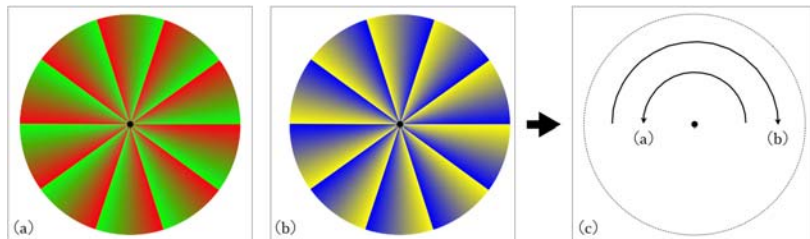


図 1. 回転錯視を引き起こす Faubert-Herbert 型の色刺激((a), (b)). 黒丸は注視点を表す. 数秒間刺激を与えた後に、(c)のようにパターンが取り除かれると、(a)では反時計回りの回転、(b)では時計回りの回転を知覚することができる. 矢印は(a), (b)の回転方向を示す.

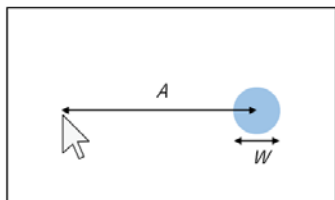
パフォーマンスモデルと錯視

宮下芳明 (明治大学)

筆者らはこれまで、ヒューマンコンピュータインタラクション(HCI)分野で多くの研究を行ってきましたが、そのなかでも GUI におけるパフォーマンスモデルについてお話しさせていただきます。これは、タスクの難易度と所要時間の関係を表すモデルのことであり、ポインティングの正確さを要求するタスクにおける「フィッツの法則」や、道中の正確さを要求するタスクにおける「ステアリングの法則」などがあります。

フィッツの法則

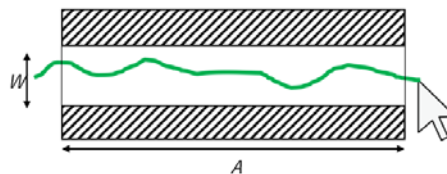
ポインティングの正確さを要求するタスク



$$T = a + b \log_2 \left(\frac{A}{W} + 1 \right)$$

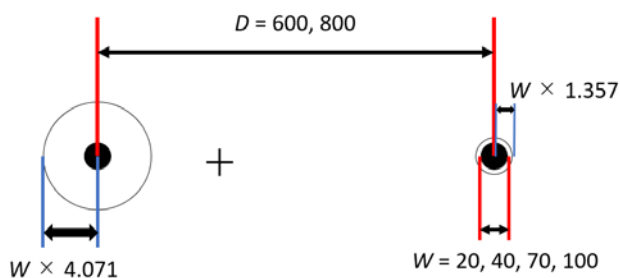
ステアリングの法則

道中の正確さを要求するタスク



$$T = a + b \frac{A}{W}$$

本稿で筆者らは、外円の大きさによって中心円の大きさが実際の実サイズとは違って見えるデルブーフ錯視を対象に、ポインティング操作の関係を調査しました。これにより、主観的に尋ねるしかできなかったサイズ知覚の量を、客観的な指標に基づいて観測しようとしています。



1. Mayumi Nakanishi, Hiroki Usuba, Homei Miyashita. Effects of Delboeuf Illusion on Pointing Performance, 31ST AUSTRALIAN CONFERENCE ON HUMAN-COMPUTER-INTERACTION (OZCHI'19), 2019.
2. 宮下研究室 論文データベース <https://research.miyashita.com/>

容器の色彩が水溶液の味に及ぼす影響

一川誠（千葉大学人文科学研究院）・岡田和也（千葉大学文学部）

味覚は視覚によって様々な影響を受けることが知られている。しかしながら、飲料の味が容器の色によってどのように変容するのかについてはあまり詳しく理解されていない。本研究では、容器の色によってその内部の飲料の味がどのように変容するのか理解することを目的とした。特に、各色が基本的味覚をどの程度強調あるいは抑制するかを体系的に調べた。

容器として、280ml のペットボトルに円筒状の色画用紙（白、黒、赤、黄、青、緑、ピンク、茶）を被せて中身が見えないようにし、不透明のストローを挿したものをを用いた（図）。基本味である甘味、苦味、酸味、塩味に対応する水溶液として、砂糖、塩化マグネシウム、クエン酸、食塩を電解水に溶かしたものをを用いた。また、極めて味の薄い飲料として電解水を味わう条件も設けた。閉眼状態で水溶液を味わう統制条件も設けた。参加者はそれぞれの水溶液を口に含み、甘味、苦味、酸味、塩味の4通りの基本味全てに対し、0～10の11段階で評定した。また、容器の色と飲料の味との調和度について7段階で評定した。

各基本味の評定値についての分析により、苦味は黒と緑、酸味は黄色、塩味はピンクの容器によって強められることが示された。他方、甘味は黒、青と緑の容器によって弱められた。また、容器の色と飲料の味との調和度も飲料の味覚に影響することが認められた。すなわち、黄は主観的調和度が高い酸味を強め、黒、青、緑は主観的調和が低い甘味を弱めた。飲料の味は、実際の味と容器の色との調和に関する判断に依存して変動すると言える。電解水の味に容器の色が及ぼす影響を調べるため、各色の容器と統制条件である閉眼条件の味覚評定値の差分を分析し、黄が酸味を感じさせ、青と赤が苦味を強めたことが見出された。

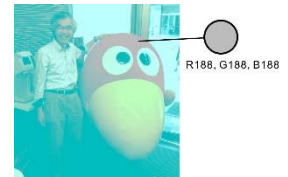
容器の色はすべての飲料について特定の酸味を強めたり、甘味を弱めたりするわけではなかった。むしろ、それぞれの飲料の特徴的な味を強めたり、弱めたりする効果が認められた。ただし、特徴的な味のない、極めて味の薄い電解水についても、容器の色が特定の味を強める効果も認められた。



図. 実験に用いた容器

輝度変化による運動錯視（リバーズファイなど）の再検討

北岡明佳（立命館大学総合心理学部）



視覚刺激の一部の輝度変化することで運動知覚が生じる現象がある。リバーズファイ、ファイ、それらの組み合わせである4ストローク運動が知られている。4ストローク運動は、4コマの静止画の繰り返しであるにもかかわらず、刺激が一定方向に無限に運動するように知覚される錯視デモという感じのものである。本トークでは、4ストローク運動には3種類あることを示した Kitaoka (2010)の研究を紹介するとともに、輝度変化による運動錯視を再検討する。

Kitaoka, A. (2010). The Fraser illusion family and the corresponding motion illusions. 33rd European Conference on Visual Perception (ECPV 2010), EPFL, Lausanne, Switzerland

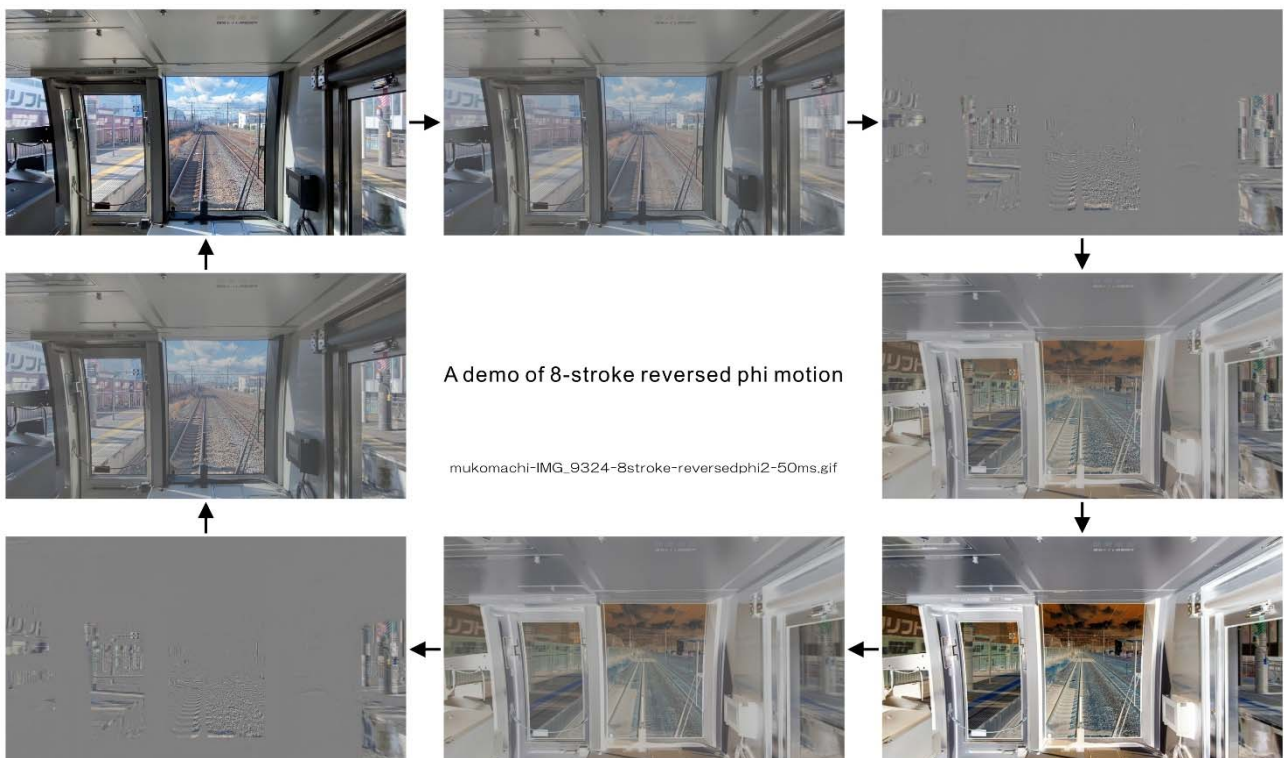


図 Mixed type の4ストローク運動のデモ¹。この動画では、刺激がなめらかに動いて見えるよう4コマ追加（上列中央、右列中央、下列中央、左列中央）して8コマとしてあるが、追加コマはなくてもよい²。

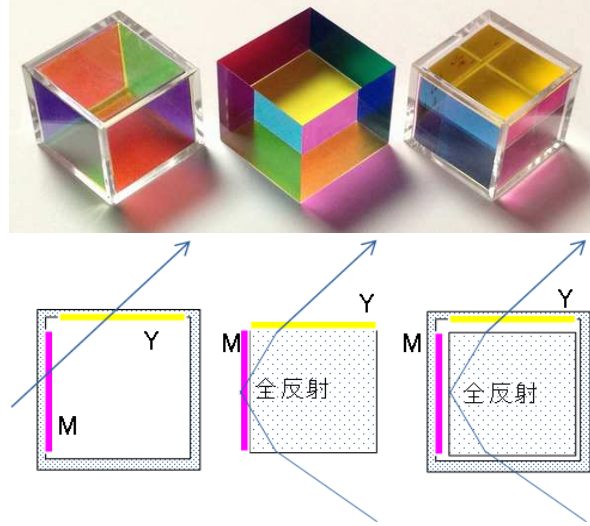
¹ http://www.psy.ritsumei.ac.jp/~akitaoka/mukomachi-IMG_9324-8stroke-reversedphi2-50ms.gif

² http://www.psy.ritsumei.ac.jp/~akitaoka/mukomachi-IMG_9324-4stroke-reversedphi2.gif

減法混色グラデーション立方体の視覚効果

宮崎桂一（東京工芸大学工学部非常勤講師）

減法混色グラデーション立方体（以下 CMY 立方体）は、立方体の3表面だけをそれぞれ、色材の3原色であるシアン、マゼンタ、イエローで着色した、ガラスやアクリル等の透明な立方体で、光学的な構造の異なる、以下の3種類を考案した(図1)。①,②,③のそれぞれの CMY 立方体は、2つの表面色の混色によって、下記表の組み合わせの多様な減法混色が観察できる(ダイス番号はサイコロの数字を示す)。

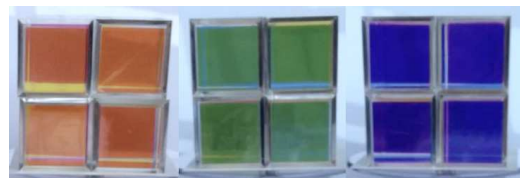
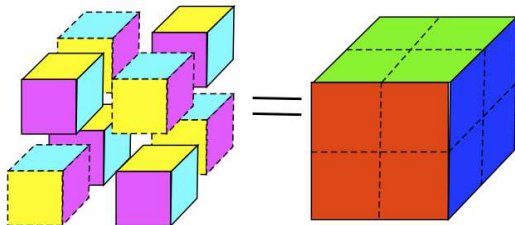


①ボックス型 ②内部充填型 ③コアシェル型
図1. 3種類の CMY 立方体(上)と光学構造(下)

試作品 No.	キュービック構造 ダイス番号※	表面色				透過光色 (平行2面)				透過光色 (直角2面)													
		おもて		うら						おもて→うら				うら→おもて									
		1	2	3	4	5	6	1→6	2→5	3→4	4→3	1→4	1→5	2→4	2→6	3→5	3→6	4→1	5→1	4→2	6→2	5→3	6→3
-	ボックス型	Y	M	C	なし	なし	なし	なし	なし	Y	M	C	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし
①	ボックス型	Y	M	C	なし	Y	M	C	なし	Y	M	C	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし
②	内部充填	Y	M	C	なし	Y	M	C	なし	Y	M	C	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし
③	コアシェル (①+②)	Y	M	C	なし	Y	M	C	なし	Y	M	C	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし

※1→2はダイス1の表面からダイス2の面を見ることを示している

また、これらの CMY 立方体の大きな特徴として、8個（2個 x 2個 x 2個）重ねることにより、一回り大きな RGB の立方体を形成することが上げられる。今後は、減法混色の原理の理解の助けとなる手法として、有用性を示したいと考えている。



(1)CMY 立方体で RGB を形成する模式図

(2)③を使って作成した RGB 立方体

図2. CMY 立方体と RGB 立方体の関係

網膜レベルでの周期的リセットと錯視メカニズム

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, 特任学術調査員

網膜は生体化学的なシステムであるにも拘わらず、網膜上に投影された光学像の微妙な時空間的な差異を、4桁もの広い強度範囲において、安定に検知する能力を有している。このような検知機能は物理的な撮像システムにおいてもその実現は容易ではなく、何らかの特別な仕掛けが必要とされる。生体化学的なシステムである網膜においてどのように実現されているのかは高性能な物理的撮像装置を実現する上でも大いに参考になるのだが未だ解明されていない。視覚刺激の微妙な時空間的变化の安定な検知には網膜での光像検出段階での作用が必要とされ「網膜レベルでの周期的リセット (ゼロレベルの周期的更新など)」なるメカニズムの存在が予想される (図1)。なお、視覚においては、サカドや瞬き、外的刺激 (聴覚的、身体的・・・) に伴って生じる視知覚のリセットなるものが報告されている。しかし、これらは、網膜レベルというよりは視覚システム全体の機能としてのものであり、視覚刺激の微妙な時空間的变化の安定な検知への寄与は期待できない。連続光下で知覚される Wagon Wheel Illusion なるものが報告されているが、これは網膜レベルでの周期的リセット機能の存在を示唆している。通常の Wagon Wheel Illusion は高速回転する車輪を映画やテレビの画面あるいは点滅光下で観察したときに実際とは異なり、静止状態あるいは低速または逆転して知覚される現象で、周期的サンプリングによるストロボ効果あるいはエアシング効果として説明されている。一方、連続光下で知覚される Wagon Wheel Illusion の生成原因については視覚像検知におけるスナップショット効果や視覚野での周期的な処理など多くのモデルが考案・検討されているが完全に説明できるには至っていない。また、ある回転速度で一瞬、逆転して知覚されるとの報告は多いが、静止状態で安定に知覚されたとの報告は見当たらない。著者は、網膜レベルでの周期的リセットによると考え、静止状態で知覚される周波数を調べた。しかし、静止状態を安定に知覚できる状態は実現できなかった。そこで、「ゼロレベルの周期的更新」に類する機能の存在の可能性を意識し、1周期毎に白黒反転する格子を製作し、透明状縞が静止状態で知覚されることを見出した。その格子の両側にさらに格子数が+2と-2となる格子を併置し (図2 (a))、一方は逆転、他方は正転と知覚され、中央格子が静止状態と知覚される周波数を計測した (図2 (b))。そして、静止状態が知覚される周波数は周囲明るさが明るくなるほど高くなることを見出された。なお、網膜レベルでの周期的リセットを支持する生理学的根拠については探索中である。この「網膜レベルでの周期的リセット」を仮定して構成したモデル (図3) により、連続光下で知覚される Wagon Wheel Illusion のみでなく変則的運動知覚現象 (静止図形の運動、実際の運動と異なる運動が知覚されるなど) を矛盾なく説明できることが確かめられた。

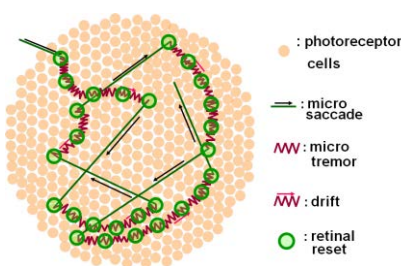


図1. 網膜レベルでのリセットの概念

図 (retinal reset: 緑○)

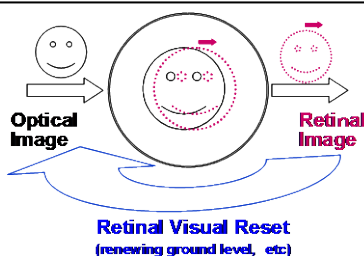


図3. 網膜レベルでのリセットを仮定した変則的運動知覚錯視生成のモデルの概念図

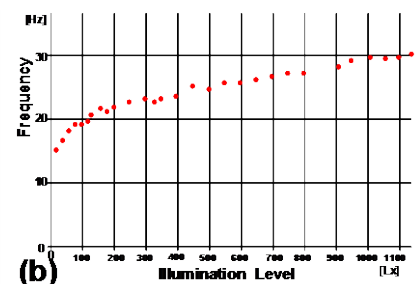
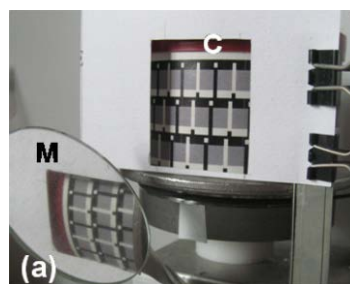


図2. 周期的リセット周波数の計測 [(a) 計測装置 {C: 周期的パターンを貼り付けた回転円筒, M: 垂直方向回転として観察するための鏡} (b) 計測結果 {縦軸: 周波数、横軸: 周囲明るさ}]

見かけの距離の操作が要素縮小錯視に影響を及ぼす

上地 泰一郎（千葉大学大学院融合理工学府 博士後期課程 認知心理学研究室所属）

第12回錯覚ワークショップ(2018)において、要素円を円環状に配置し、配置全体を拡大することで、要素の見かけの大きさの縮小する現象（要素縮小錯視）を報告した(図1)。これまで、この錯視の特性について、要素の個数、要素の大きさ、配置全体の大きさを操作し、検討してきた。その結果、配置全体の大きさが拡大することによって、要素の見かけの大きさが縮小することが示された。また、要素が小さいほど錯視による縮小も顕著であることが認められた。要素が大きく、個数が4～6、配置全体の大きさが2.26 degの条件では、要素の大きさの過大視が生じ得ることも見出してきた。

この要素縮小錯視の成立原理として「大きさ-距離不変仮説」が考えられる。すなわち、大きさの知覚と距離の知覚は相互独立ではなく、距離の情報が大きさの見えに影響し(Kilpatrick & Ittelson, 1957)、大きさの情報が距離の推定に利用されるという仮説である(Burnham, 1982)。要素縮小錯視では、配置全体の拡大が距離縮小の情報を与える一方、要素の物理的大きさが変わらないため、要素が縮小して見えると考えられる。しかしながら、要素縮小錯視と「大きさ-距離不変仮説」との関係についてはまだ直接的に検討されていない。今回、様々な要因によって刺激要素の見かけの距離を操作し、それぞれの要因によって変動する見かけの距離がどのように要素の見かけの大きさに影響を及ぼすのか検討した。

本研究で、見かけの距離に関連して操作した要因は、要素の大きさ、配置全体の大きさ、要素の相対の高さ、背景であった。これらの要因から得られる視距離の情報が要素縮小錯視に影響するのであれば、要素が大きいくほど、配置全体が大きいくほど、刺激の垂直位置が低いほど、また、背景内で近い位置に示されるほど、要素は縮小して知覚されることが予測された。要素の大きさ(0.514, 1.028 arc deg)、配置全体の大きさ(0, 2.57, 5.14, 10.26 arc deg)、刺激の相対位置(図3, 4:高位置条件, 低位置条件)、背景写真の有無を操作し、要素の見かけの大きさと距離がどのように変動するか検討した。背景の有無条件はそれぞれブロック化され、実験参加者は、背景ありブロックを背景なしブロックより先に実施した群(背景あり先行群)とその逆順で実施した群(背景なし先行群)に分けられた(図2)。各試行において、実験参加者は、チャートの中から要素円の見かけの大きさを選択して、刺激が呈示された位置までの見かけの距離をメートル単位で推定し、口頭で答えた。

背景ありブロック実施が背景なしブロック実施に先行した場合、逆順と比べて、近距離条件と遠距離条件の推定距離が大きく異なったのに対し、配置全体の広がりによる推定距離への影響が認められなかった。そこで、要素円の見かけの大きさについて、ブロック別に、配置の大きさ(3)×刺激の相対位置(2)×要素の大きさ(2)の3要因の繰り返しのある分散分析を実施した。背景あり先行群に関して、背景あり条件のブロックでは、配置全体が大きいく広がるほど、また、相対的に低位置ほど要素円が小さく見えた。背景あり先行群の背景なし条件のブロックでは、配置全体が大きいく広がるほど、要素円が小さく見えた。また、配置の

大きさと相対位置の交互作用が有意で、配置全体の広がり最小で要素円が重なる条件において、低位置ほど要素が小さく見えることが示された。

他方、背景なし先行群に関して、背景なし条件のブロックでは、配置が広がるほど、また、要素が大きくなるほど、要素円が小さく見えた。また、要素円の大きさと配置全体の大きさとの間の交互作用が有意で、要素円が小さいほど、配置全体が広がりによる要素円の縮小の程度が大きくなることが示された。背景なし先行群の背景あり条件のブロックでは、配置全体が大きく広がるほど、要素円が小さく見えた。また、要素円の大きさと配置全体の大きさとの交互作用が有意で、要素円が小さいほど、配置全体が広がりによる要素円の縮小の程度が大きくなることが示された。

写真による距離情報により、見かけの距離が近距離から遠距離までの広い範囲に広がった背景あり先行群では、配置全体の大きさだけではなく、相対的位置の要因の影響が顕著であった。それに対し、見かけの距離が小さな範囲におさまりがちだった背景なし先行群では、配置全体の大きさだけではなく、要素の大きさの要因の影響が顕著であった。これらの結果からは、配置全体の大きさ、相対的な位置、要素の大きさそれぞれが距離手がかりとなり、「大きさ-距離不変仮説」に従い、要素円の見かけの大きさの縮小に寄与していたと考えられる。また、いくつか条件で有意な交互作用が認められたことから、これらの要因は個別に大きさの知覚に影響を及ぼすのではなく、距離情報が統合された後に「大きさ-距離不変仮説」に従って見かけの大きさを決定したと考えられる。

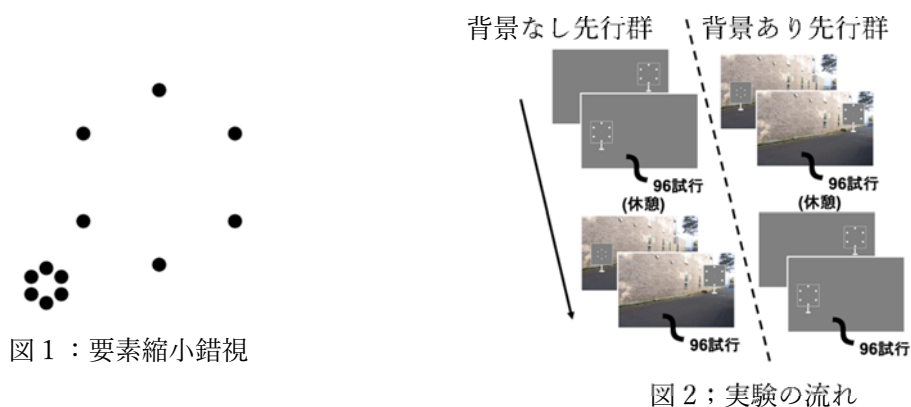


図 3：低位置条件



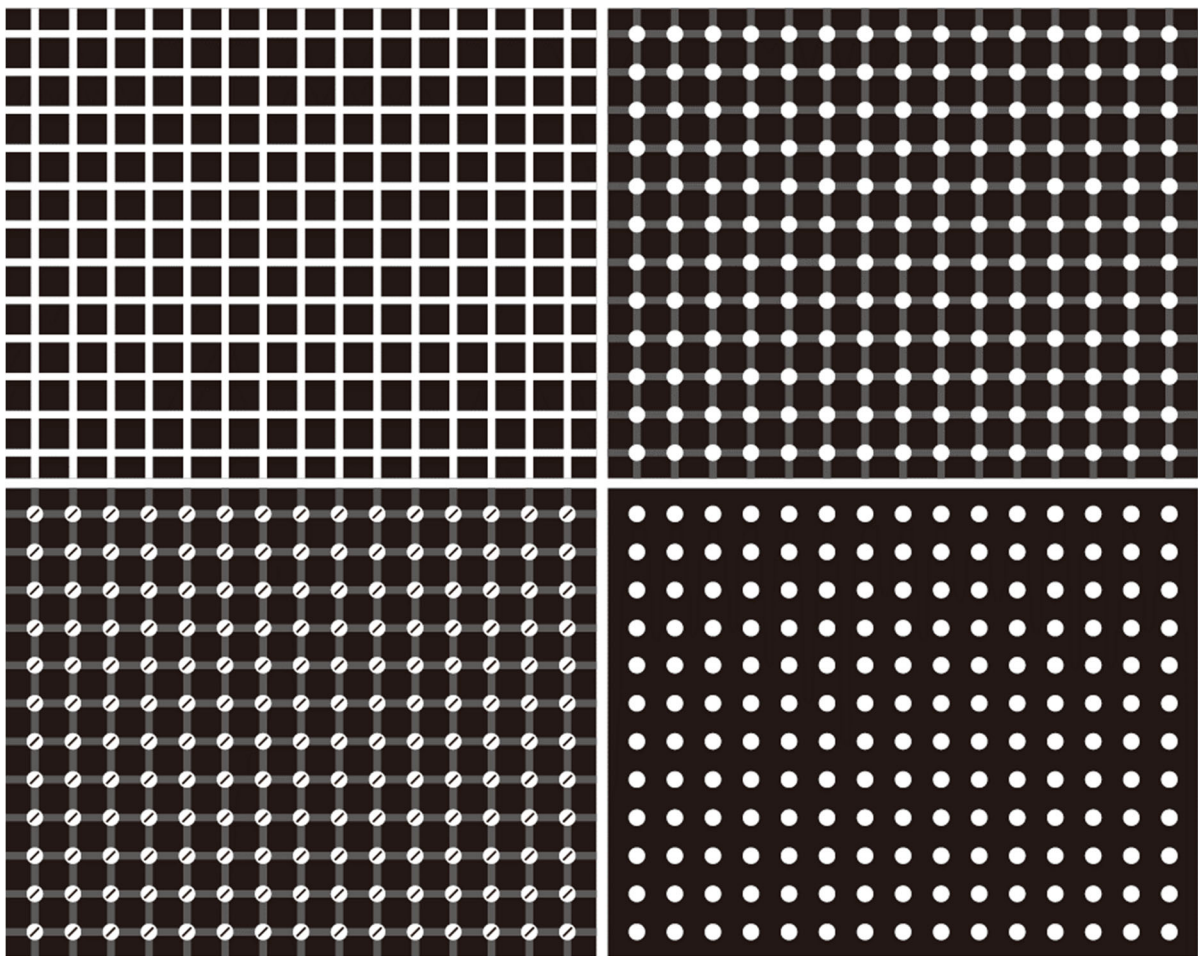
図 4：高位置条件

格子はなにをしているのか？～ 格子錯視の生起機序についての実験的検討

松野響（法政大学経済学部）

縦横の格子線を基調とした幾何図形は、様々な錯視を引き起こすことが知られている。その様態は実に多様で、染みをつくったり、輪を描いたり、きらめかせたり、形をかえたり、消したり、増やしたり、と、千変万化の装いである。格子は私たちの目の中で一体何をしているのだろうか？

格子錯視研究には長い歴史がある一方、その生起機序についてはいまだ議論の俎上にある。あらゆる格子錯視の祖型ともいふべき Hermann 格子錯視(図左上)の説明モデルとして、従来、中心周辺拮抗型受容野構造を持つ神経節細胞の介在を想定した側抑制の機構に基づく説明が広く受け入れられてきた(e.g. Spillmann, 1994)。一方、近年ではこれを否定し低次視覚野における方位情報処理の関与を想定する説が支持を集めている(Schiller & Carvey, 2005)。本発表では、格子錯視の一種であるきらめき格子錯視(図右上)とそれから派生する 2 種類の錯視についての 3 つの研究の結果を紹介し、これらの錯視の生起が格子錯視の生起因に関する既存の説のいずれにおいても十分には説明できないこと、および、きらめき格子錯視と Hermann 格子錯視の直接的な生起機序が異なる可能性について論じる。第一に、きらめき格子錯視の錯視スポットの知覚サイズを計測し、その刺激要素依存性が錯視強度の刺激要素依存性とは異なることを示した一連の心理物理実験について紹介する。第二に、きらめき格子錯視と同様の錯視スポットが、格子線が存在しなくとも生起することを示し(図右下)、その錯視の生起要因について検討した 2 つの実験について紹介する。第三に、きらめき格子錯視図形の円形パッチの上に線分を配置すると、その線分が二重にぶれて見えることを示し(図左下)、その錯視の生起要因について検討した一連の実験について紹介する。これらの実験の結果をもとに、一連の格子錯視の生起機序の個別性と共通点について考察する。



- References: Spillmann, L. (1994). The Hermann grid illusion: a tool for studying human perceptive field organization. *Perception*, **23**, 691-708.
Schiller, P. H., & Carvey, C. E. (2005). The Hermann grid illusion revisited. *Perception*, **34**, 1375-1397.

極小曲面を用いた多義立体モデリング

櫻井 菜々子

(中央大学 理工学部)

森口 昌樹

(中央大学 理工学部)

多義立体とは、複数の指定された方向から観察したときに「異なる形」に見える立体である。2組の「形と視点」を入力として、入力を実現する多義立体（指定された視点から観察すると指定された形に見える多義立体）を作成する問題を考える。入力を実現する多義立体は一般に一意に定まらず無数に存在するが、全ての多義立体は入力の visual hull の部分集合になっている。つまり、任意の多義立体は visual hull の一部分を削ることで構築できる。本研究では、多義立体を物理的に作成するときに必要な材料を減らすために、面積の小さい多義立体を構築することを目標とする。

極小曲面は、与えられた閉曲線を境界とする曲面の中で面積を最小化するものである。図1は極小曲面の例である。左の曲面は二つの円を境界とする極小曲面（懸垂面）、右の曲面は非平面的な四角形を境界とする極小曲面（Schwarz P 曲面）である。本研究では、極小曲面を構成パーツとして利用することで、面積が小さい（かつ滑らかな）多義立体を構築できることを示す。



図1 極小曲面。

図2は簡単な入力に対して、複数の多義立体を構築しそれぞれの面積を比較したものである。極小曲面を用いることで面積の小さな多義立体を構築できることが確認できる。

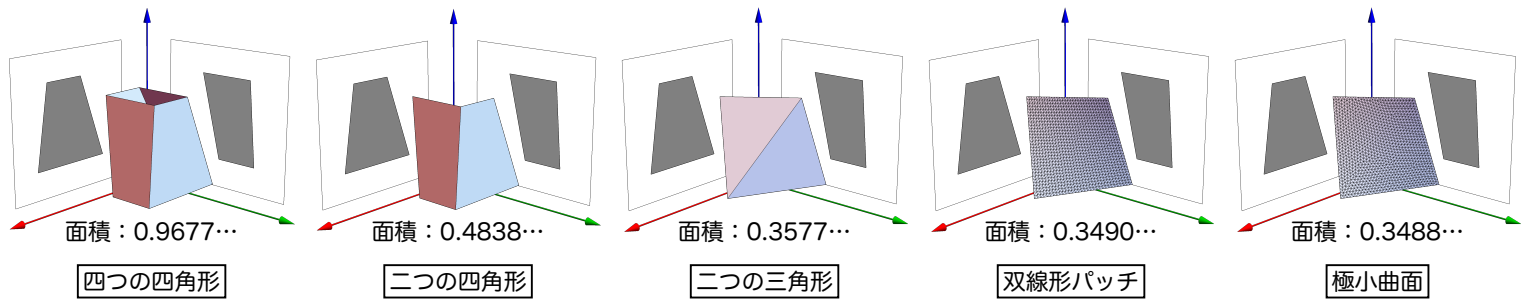


図2 簡単な入力（二つの台形）を実現する様々な多義立体。

図3は複雑な入力に対する予備実験の結果である。入力を簡単な形に分割してからそれぞれの多義立体を構築し、和集合をとったものである。

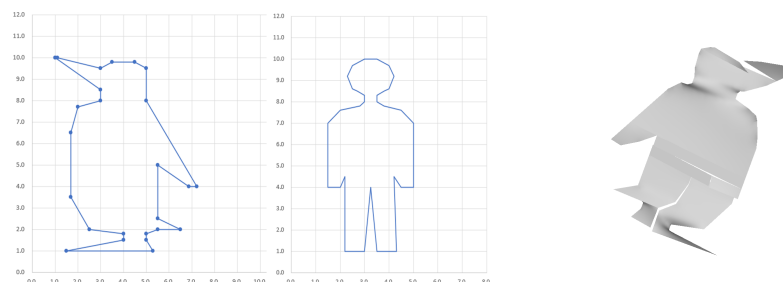


図3 より複雑な入力（左）を実現する多義立体（右）。この多義立体は複数の極小曲面を組み合わせで構築されている。

スマートフォンを用いた不可能立体の AR 化

栗城 雄一、谷中 一寿 (神奈川県立横浜国立大学)

不可能立体とは、杉原[1]によれば「実際に作ることでできる立体でありながら、それを見た人に、『あり得ない姿や振る舞いが見えてくる錯覚を生じさせる立体』」である。任意の角度から見る必要があるため、実物が必要であるが、その製作は容易ではない。しかし AR(仮想現実)を用いれば、実物がなくても任意の角度から観察でき、宮下ら[2]はマーカー方式の AR を用いて、絵には描けるが実物を作れない立体を表現できるようにした。

その後、より新しい第2世代(不可能モーション)、第3世代(変身立体)の不可能立体が発表された[1]。ここで変身立体は「鏡に映すと形がまったく変わって見える立体」、不可能モーション立体は「立体自体はありふれた形に見えますが、そこに動きを加えるとあり得ないことが起こっているという印象を作り出す立体」である。またスマホベースの AR もマーカーレス方式の普及など格段の進歩を遂げている。そこで本研究では、新しい世代の不可能立体を対象とし、スマホベースのマーカーレス方式により AR 化した。

本研究では、変身立体とし杉原によりネットで fbx 形式で公開されている「四角と丸」の 3D モデルを使用し、不可能モーション立体は杉原の「なんでも吸引 4 方向すべり台」を「超ふしぎ体験! 立体トリックアート工作 キットブック」[3]の設計図をもとに、Fusion360、Blender を用いて 3D モデルを作成したものを使用した。

AR の開発環境は Google が提供している ARCore を使用し、開発には Windows 上でゲームエンジンの Unity を用いた。ARCore の平面検出機能によって、カメラで取得した画像から自動的に平面を検出し、メッシュで表示するので AR マーカーは不要である。Android 端末の画面においてメッシュ上の点をタップすると、図 1 に示すようにその位置に不可能立体が出現する。さらに不可能モーションの場合は、平面上をタップすると、図 2 に示すように球がその位置に落下し、Unity の物理挙動により重力が加わるので球がすべり台を転がる。

本方式は、見る方向によって生ずる錯視であれば、その他の錯視に適用できる。また Unity は fbx、obj など標準的な 3D モデル形式を読み込めるのでコンテンツ制作が容易である。



図 1 変身立体実行画面

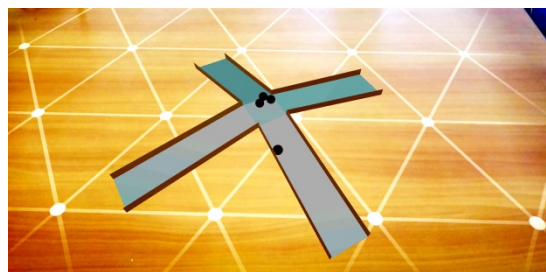


図 2 不可能モーション立体実行画面

参考文献

- [1] 杉原厚吉, 杉原 厚吉 - 明治大学, <http://www.isc.meiji.ac.jp/~kokichis/Welcomej.html>.
- [2] 吉川祐輔, 宮下芳明, 複数の画像パuffaを組み合わせることによる拡張現実感上での錯覚表現, 情報処理学会インタラクシヨ 2012, pp.777 - 782, 2012.
- [3] 杉原厚吉, 超ふしぎ体験! 立体トリックアート工作 キットブック, 金の星社, 2012年7月12日.

立体版シュレーダー階段図形 ～ベスト錯覚コンテスト 2020 優勝作品の舞台裏～

杉原厚吉（明治大学先端数理科学インスティテュート）

表記の私の錯視立体の着想に至った経緯について紹介したい。

シュレーダー階段図形は、階段を上から見下ろしたところと、階段の裏側を下から見上げたところという二つの解釈ができる多義図形で、150年以上前から知られている。一方、水平な面に上を向けて置いた絵は、ある方向から見降ろしたときオクルージョンのない立体と解釈できるなら、反対側から見下ろしたときには高さが反転した立体と解釈できるという一般的な性質（高さ反転性）がある。この二つを組み合わせたのが今回の作品である。作り方は次のとおりである。

まず、(1) 水平に置いて斜めから見下ろしたとき階段に見えるように、シュレーダー階段図形を変換する。すなわち、階段を構成する水平面（これは、シュレーダー図形では平行四辺形である）が長方形になるようにアフィン変換を施す。この図形を「本体」と呼ぶ。次に、(2) 階段の両側に「本体」に垂直に高さ一定の手すりを取り付ける。最後に、(3) 「本体」が水平のまま机面から少し高い位置に固定できるように、階段の両側に支えを取り付ける。ただし、階段を構成する垂直面が垂直に見える方向から見たとき、この支えもやはり垂直な長方形に見えるように形と向きを調整する。

この立体を机の上に置いて支えが垂直な長方形に見える方向から見下ろしたとき、手すり付き階段に見え、垂直軸の周りに180度回転させると階段の高さが逆転して見えるという視覚効果が生じる。この状況を撮影したビデオ映像が表記のコンテストで優勝を獲得した。この視覚効果が生じるのは、次の諸要因の相乗効果であると理解している。

- A. ビデオ撮影のために、単眼で見た情報となり、両眼立体視が効かない。
- B. 手すりなどの本当の立体が付加されているために、階段部分も立体に見える。
- C. 手すり支えが重力方向を示唆する。（このために、オリジナルのシュレーダー図形と違って、階段の裏側を見上げたところという解釈は生じない。）
- D. 階段を構成する水平面は「本体」では長方形で描かれており、それが水平に置かれているために、階段の向きが自分の立っている向きと矛盾しない。
- E. 机の上に置かれたものを見下ろしているという感覚が生じる。（自分とは切り離された絵を鑑賞しているのではなくて、自分が立っている場所からつながったところにあるものを見ていると感じる。）
- F. 回転の途中でも、手すりなどの本当の立体に惑わされて運動立体視が正常に働かず、階段部分が平らな絵であることが分かりにくい。

視覚効果を生じると思われるこれらの要因は、いまだ私個人の体験と推測に基づいた部分が多く、その真偽を確かめることは今後の研究課題である。



明治大学「現象数学」共同利用・共同研究拠点



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」



科研費挑戦的研究（萌芽）「視点を連続に動かしても錯視が
起き続ける不可能立体の開拓とその応用」