

「数学と諸分野の協働によるブレイクスルーの探索」
平成22年度採択研究代表者

| |
|----------------|
| H24 年度 実績報告 |
|----------------|

杉原 厚吉

明治大学大学院先端数理科学研究科・教授

計算錯覚学の構築 --- 錯視の数理モデリングとその応用

§1. 研究実施体制

(1)「研究代表者」グループ

- ① 研究代表者: 杉原 厚吉 (明治大学大学院先端数理科学研究科、特任教授)
- ② 研究項目
 - ・立体錯視の数理モデリングとその応用

(2)「新井」グループ

- ① 主たる共同研究者: 新井 仁之 (東京大学大学院数理科学研究科、教授)
- ② 研究項目
 - ・数学と知覚心理学の協働による視覚・錯視のメカニズムの解明

(3)「山口」グループ

- ① 主たる共同研究者: 山口 泰 (東京大学総合文化研究科、教授)
- ② 研究項目
 - ・錯視現象の生体反応計測と画像品質評価・画像合成への応用

§ 2. 研究実施内容

本研究のねらいは、錯覚現象の仕組みを数理モデリングを通して理解し、それを安全な社会づくりと新しいメディア表現へ応用すると同時に、知覚の柔軟性を扱うことのできるロバストな数理手法を開発することである。昨年度までに、錯覚の諸現象を理解するための数理モデルの基本部分を構成したが、その上に立って本年度はそれぞれのグループでの錯覚・錯視研究を継続して進めるとともに、チーム全体で、道路の錯視に焦点を合わせて、交通事故の遠因の可能性を探った。また、新井グループでは、他の CREST チームとの共同研究も進めた。各グループおよび全体の実績は次の通りである。

[杉原グループ]

杉原グループでは、立体錯視を中心に研究活動を継続した。錯視立体の開発に関しては、2つの方向から同時に錯視の生じる不可能モーション錯視立体の設計、カフェウォール錯視の立体化法、任意図形をモアレ縞として実現するための縞パターンの設計法などを開発した。

宮下は多くの論文誌採択[A-2～A-6]と学会発表の実績を得た。特にインタラクション2013で発表した「陰極刺激の提示と停止による塩味味覚感度制御」で、塩化ナトリウムを加えることなく塩味を感じさせるデバイスの開発に成功した。この成果を利用すると、たとえば減塩食や病院食などにおいて精神的な満足感を与えることができることが期待される。また、簡易ながら高速に拡張現実感(AR)における錯覚表現が生成できる「画像バッファの組み合わせによるリアルタイム錯覚表現生成手法」を開発した[A-5]。

友枝を中心に、交通違反・事故の防止に向けた目を惹く標識・看板の提案に焦点を当て、二種類の錯視立体看板を作成した。一つ目は、ホロウマスク錯視のカラクリを理解し、ボロノイ図を利用した数理計算によって得られた錯視立体である[A-7]。二つ目は、フットステップ錯視のカラクリを用いた看板である。フットステップ錯視が生じる条件を理解することで、奥行きを持った立体においてフットステップ錯視が生じるデザインを実現することができた。

[新井グループ]

新井は、昨年度に引き続き、錯視等の研究を行った。また独自の数学により発明も行い、その発明による特許を4件(うち1件は PCT)出願した(新井しのぶと共同発明)。このほか新井は植田琢也氏、角田博子氏(いずれも聖路加国際病院医師)らと共同研究も行い、その成果である医療に関する数学的な発明による特許を1件出願した。JST 数学領域総括の西浦廉政先生編「越境する数学」(岩波書店、2013)の表紙デザインのために数学を使ってオリジナル錯視アート作品2点を作成し、その本の第4章「視覚と錯覚の数理科学」も執筆した。

北岡は、静止画が動いて見える錯視であるフレーザー・ウィルコックス錯視群の色依存性バージョンでは、明るい照明下と暗い照明下では錯視の方向が逆転することを発見した。錯視の多くは明所視で起こりやすいものであり、杆体も働く薄暮視での錯視の観察ということはこれまで試されて

こなかった。暗い照明下での逆転現象を説明するモデルとして、プルキンエ現象による短波長光の相対的な明るさ知覚の増大と、輝度変調誘導性の運動錯視の協調を想定しており、2013年のECVP(ヨーロッパ視覚学会)で発表予定である。

[山口グループ]

山口グループでは、錯視や錯覚現象の生体計測と解析に関して、回転盤により生じる錯覚色の研究を進めたほか、動作によって誘発される生物性の知覚、視覚系の空間解像度や時間解像度に絡む問題を研究した。

回転盤の錯覚色は色のついた扇型とその内部の黒い弧からなり、回転によって弧が作るリングに錯覚色が知覚される。この錯覚色は、回転によってそれぞれの扇型の色が混色した結果生じたものではないことが前年度までの研究でわかっている。この回転盤の錯覚色を観察中の脳活動を計測することで、実際には存在しない色を我々が知覚する仕組みを考察した。その結果、初期の処理で実在色が処理され、その後の処理で錯覚色が処理されている可能性が示唆された。

これまで、構造をもった人工物のどのような特徴(物理量)を持った運動から人は生物性を知覚しているのかはあまり議論されてこなかった。そこで、2リンク機構の開閉動作に対して人は生物性を知覚するのかを実験的に検討した。また、人が生物性を知覚するのに重要な系内運動の物理量も同時に特定した。その結果、人の歩行や鳥の羽ばたきなど、実在する生物が示す運動と同じような物理量を持つ運動に対して人は敏感に生物性を知覚しており、このような特徴をもつ運動に対しては、たとえ人工物であっても人は生物性を知覚してしまうという錯覚現象の機序の一部が明らかとなった[C-1]。

視覚の空間解像度に関する錯視としては、ハイブリッド画像と視覚復号型暗号を扱った。ハイブリッド画像は高周波数成分を残した画像Aと低周波数成分を残した画像Bとを合成することで、近くから観察すると画像A、遠くから観察すると画像Bがそれぞれ認知される。今年度は補色のパターンを加えることで、画像Aを強調する手法を完成し、その効果を検証した[C-2]。さらにハイブリッド画像においてAとBのいずれの画像を認識するかを測定する手法の開発を試みた。視覚復号型暗号は画像をドットパターンに分解し、透明シートに印刷した2画像を重ね合わせると、干渉によって別の画像を作り出す。今までの手法では、ピクセル拡大とコントラストの低下に起因する画質の劣化が問題となる。これを解決するために、ピクセル拡大を抑える並列誤差拡散、可能な限りコントラストを拡大する最適階調変換という手法を開発・検証した[C-4]。時間解像度も含めた研究としては、動画像の自然らしさに関する研究を行なった。特に動画像中の任意の部分を切り取る際に、切り取った部分が目立たなくなるような動画補完の手法を扱った。物体の動きを追跡するとともに、物体の姿勢を合わせることで自然な補完を行なう方法が実現できた[C-3]。

[チーム全体]

チーム全体では、チーム会議などを通して、道路の錯視と交通事故の関係に焦点を合わせて事例を集める作業を行い、情報発信のための冊子作りにも着手した。

また、CREST の次の発展のための準備として、計算錯覚学を含むより広い錯覚科学の可能性を模索するため、2回の錯覚ワークショップ(第5回, 第6回)を開催した。また、北岡を中心として、錯覚科学の新学術領域の組織作りも行った。

本年度は国際研究集会の開催を計画していたが、計算錯覚学の活動を海外研究者に紹介するためには、日本ではなくて欧米で行うのが効果的であろうと判断した。この判断に基づき、第35回視覚科学ヨーロッパ会議(イタリアのアルゲロ市, 2012年9月2日から6日)の中に計算錯覚学のシンポジウムを提案し、採択された。日本から杉原, 山口, 友枝の3名, 米国から1名, オランダから1名の計5名からなるシンポジウムを2012年9月3日の午後に、半日かけて行った。これにより計算錯覚学の活動を欧米の研究者に宣伝することができたと思っている。

研究成果の一般への広報活動は、錯覚美術館の運営, 各種アウトリーチ活動, 錯覚カレンダーの制作・配布, などを通して今までと同じように行った。さらに、研究者のオムニバス形式で計算錯覚学の活動を紹介するビデオを制作し、関係者に配布するとともに、錯覚美術館での上映も始めた。また、民間のイベント会社の協力を得て、錯覚美術館の地方巡回展示も始めることができた。

§3. 成果発表等

(3-1) 原著論文発表

●論文詳細情報

- [A-1] 杉原厚吉: 「投影の幾何学と立体錯視」, 心理学評論, vol. 55, no. 3 (2012), pp. 296-306.
- [A-2] 中村美恵子, 宮下芳明: 「「思考の道具」をめざした家計簿のインタラクシオンデザイン」, 芸術科学会論文誌, vol. 11, no. 4 (2012), pp.176-185.
- [A-3] 中村裕美, 宮下芳明: 「電気味覚による味覚変化と視覚コンテンツの連動」, 情報処理学会論文誌, vol.53, no.3 (2012), pp.1092-1100.
- [A-4] 中村裕美, 宮下芳明: 「食メディアにおける味情報提示手法のサーベイ」, 日本ソフトウェア科学会論文誌 コンピュータソフトウェア, vol.29, no.1 (2013), pp.65-75.
- [A-5] 吉川祐輔, 宮下芳明: 「画像バッファの組み合わせによるリアルタイム錯覚表現生成手法」, 芸術科学会論文誌, vol.12, no.1 (2013), pp.11-23.
- [A-6] K. Sugihara: “Design of solids for antigravity motion illusion”, Computational Geometry: Theory and Applications (accepted).
- [A-7] A. Tomoeda and K. Sugihara: “Computational creation of a new illusionary solid sign”, Proceedings of the 9th International Symposium on Voronoi Diagrams in Science and Engineering (ISVD 2012), June 27-29, 2012, Piscataway, New Jersey, USA, pp. 144-147. doi:10.1109/ISVD.2012.26
- [A-8] Hiromi Nakamura and Homei Miyashita, “Development and Evaluation of

Interactive System for Synchronizing Electric Taste and Visual Content”, Proceedings of the 2012 ACM annual conference on Human Factors in Computing Systems (CHI2012), May 5-10, 2012, Austin, Texas, pp.517-520.

- [B-1] J. Stevanov, B. Spehar, H. Ashida and A. Kitaoka: “Anomalous Motion Illusion Contributes to Visual Preference”, *Frontiers in Perception Science*, 3, Article 528, 2012, pp. 1-11.
- [B-2] H. Takemura, H. Ashida, K. Amano, A. Kitaoka and I. Murakami: “Neural correlates of induced motion perception in the human brain”, *Journal of Neuroscience*, 32(41), (2012), pp. 14344-14354.
- [B-3] Y. Araragi, T. Aotani and A. Kitaoka: “Evidence for a size underestimation of upright faces”, *Perception*, 41 (2012), pp. 840-853.
- [B-4] 新井仁之, 新井しのぶ: 「視覚の数理モデルと錯視図形の構造解析」, *心理学評論*, 55(3), (2012), pp. 309-333.
- [C-1] 青野直也, 森田寿郎, 植田一博: 「2 リンク機構の運動から知覚される生物性の解析」, *電子情報通信学会論文誌 D*, vol.J95-D (5), (2012 年 5 月), pp. 1268-1275. (ISSN: 1880-4535).
- [C-2] Peeraya Sripian and Yasushi Yamaguchi: “Shape-Free Hybrid Image”, *Proc. of the International Symposium on Non-Photorealistic Animation and Rendering, ACM SIGGRAPH*, 2012, pp.11-19. (ISBN: 978-3-905673-90-6).
- [C-3] Yasushi Yamaguchi: “An Extended Visual Cryptography Scheme for Continuous-Tone Images”, *Lecture Notes in Computer Science*, vol.7128, 2012, pp.228-242. (DOI: 10.1007/978-3-642-32205-1_19).
- [C-4] Tatsuya Yatagawa and Yasushi Yamaguchi: “A Template-Based Completion Framework for Videos with Dynamic Background”, *Lecture Notes in Computer Science*, vol.7432, 2012, pp.155-165. (DOI: 10.1007/978-3-642-33191-6_16).

(3-2) 知財出願

- ① 平成 24 年度特許出願件数(国内 6 件)
- ② CREST 研究期間累積件数(国内 8 件)