

「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

|                |
|----------------|
| H23 年度<br>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)「杉原」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, 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 (東京大学大学院総合文化研究科, 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

(文中に番号がある場合は(3-1)に対応する)

本研究の狙いは、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は数理手法を開発することである。これに沿って、本年度は次のように研究を実施した。

### 杉原グループ研究実施内容

杉原グループは、立体の知覚における錯視の仕組みをいくつかの場面で探求した。杉原は、画像から奥行きを知覚する場面での錯視の要因の一つである視点位置の影響を定量的に明らかにした。たとえば、一般的な仮定の下で、任意の直角立体を撮影した画像から、なんらかの直角立体をひずみなく知覚できる視点位置は一意に決まることを明らかにした。それに基づき、画像から実際とは異なる印象を与える写真技術を体系化し、広告写真の規制案の枠組みを構成した。また、不可能モーション錯視をもたらす立体の中に、視点位置を移動しても錯視が安定して継続するものがあることや、いままで錯視の主要因と考えられていた斜面を支える支柱をなくしても錯覚の生じる反重力斜面が作れることなども発見した[A-6]。地図反転錯視を利用したタイリングアートの生成アルゴリズムの性能を向上させる[A-2]とともに、3種類のパターンを素材にした新しいタイリングパターンの生成アルゴリズムも構成した。さらに、北岡の静止画が動いて見える錯視図形生成法を、円や正方形などの基本図形から一般の形状へ拡張し、それでもなお錯視が起こることを確認できた。

宮下は、電気味覚による味覚変化と視覚コンテンツの連動についての研究など、錯覚現象を視覚にとどまらない様々なインタラクティブメディアや認知ツール(コンテンツ享受者がコンテンツ制作者と同一なツール)に適用する研究を行ってきた。その成果として、論文誌3編の採択、37件の国内発表、1件の国際発表、5件の受賞という評価を得た。

友枝は、昨年度に引き続き、渋滞解消を目的とし、その要因となっている縦断勾配錯視の解消策に関する研究を行った。道路傾斜の錯視を解消する方法の一つとして、ストライプパターンが有効であるという昨年度の結果をふまえ、今年度は運転状況下への発展として、ドライビングシミュレーターを用いて測定するための環境構築を行った。具体的には、屋島ドライブウェイを対象として、その道路構造、道路環境を正確に模擬するドライブシナリオをシミュレーター上に構築し、シミュレーター上でも縦断勾配錯視が生じることを確認した。

### 新井グループ研究実施内容

今年度、新井は歪同心円錯視(新井仁之・新井しのぶ、2010)、文字列傾斜錯視などの幾何学的錯視、及び色知覚に関する研究を実施し、それぞれに対して成果を得た。特に文字列傾斜錯視に関しては、世界初の新技術を発明し、特許(発明者:新井仁之、新井しのぶ)を出願した。この新井・新井による新技術の発明は、特許出願後、直ちに多くの新聞、テレビなどで報じられ注目

された。また、新井は、CREST 水藤チームの植田グループとも共同研究を行ったが、引き続き次年度も進める予定である。

北岡は、フレーザー・ウィルコックス錯視群の新型として、古典的なフレーザー・ウィルコックス錯視において ”darkening disambiguation” 現象を発見した。このことで、フレーザー・ウィルコックス錯視は見えるが、「蛇の回転」など最適化型フレーザー・ウィルコックス錯視は見えない観察者の存在を説明できるようになった。そのほか、色の恒常性に関わる色の錯視の研究を進展させた。

#### 山口グループ研究実施内容

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、自分自身の動きに伴う錯覚現象、身体的接触による意識の差などを研究した。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。それぞれの扇型の色が回転のため混色して知覚できない状況において、扇型の色の反対色がリングに見えることを明らかにした。これは扇型の色は知覚されないものの、脳では処理されて錯覚色を生じせしめていると考えられる[C-1]。自分自身の動きに伴う錯視は、ビルの上階で屋外の風景を見ながら窓に近づいていくと屋外が遠ざかるように見える現象や停止しているエスカレータに乗り込む際の違和感を計測・解析した。前者は視野内の映像の相対的な拡大縮小によって生じる可能性が高く、後者は長期に渡る順応の一種と考えられるが、いずれも自分自身の動作に伴う錯覚現象として興味深い[C-3]。身体的接触が社会的な意思疎通に与える影響は大きいとされているが、相手が人格を持たない機械などであっても同様の効果が見られるかは興味深い問題である。ロボットとの不公平な取引の際に、脳波における事象関連電位を測定することで、身体的接触が不公平感に影響を与えることを明らかにした[C-6]。

視覚の空間周波数特性の応用として、ハイブリッドイメージと視覚復号型暗号を扱った。ハイブリッドイメージ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 を強調する試みを行った。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。写真のような自然画像の暗号化の際の問題点と各種のアプローチを整理した[C-2]。特に自然画像を扱う際には、原画像の1ピクセルが複数のサブピクセルに分割されるピクセル拡大と、暗号化にあたってのコントラストの低下に起因する画質の劣化が問題である。この問題を解決するために、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した[C-4]。

#### チーム全体での研究実施内容

さらにチーム全体では、杉原グループが研究活動拠点として東京都千代田区神田淡路町に確保した学外スペースを、週末に錯覚美術館として一般開放し、チームの研究成果として得られる錯覚作品を順次入れ替えて公開する活動もスタートさせた。これは、生活に密着した場面で、数

学が現象の解明とその応用に役立つことを分かりやすく示す場として機能している。さらにそれに加えて、当初は予想していなかったが、来館者から実社会での課題について錯覚の応用で解決できないかという相談を受ける窓口としても、この錯覚美術館が機能し始めている。これは、本研究計画で目指す応用に、今後、広がりや厚みを増す役割を果たすと期待できる。

### §3. 成果発表等

#### (3-1) 原著論文発表

##### ●論文詳細情報

[A-1] K. Sugihara, “Robust geometric computation based on the principle of independence”, *Nonlinear Theory and Applications*, IEICE, vol. 2 (2011), pp. 32-42. (DOIコード不明; ONLINE ISSN: 2185-4106)

[A-2] H. Koizumi and K. Sugihara, “Maximum eigenvalue problem for Escherization”, *Graphs and Combinatorics* vol. 27, pp. 431-439, 2011. (DOI: 10.1007/s00373-011-1022-5)

[A-3] 中村美恵子, 宮下芳明, 認知ツール設計に係る認知科学および心理学的知見, 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, pp.118-129, 2012.

[A-4] 宮下芳明, 中橋雅弘. 学習者のモチベーション向上のための好意的解釈を行うフィジカルコンピューティング環境のデザイン, ヒューマンインターフェース学会論文誌, Vol.13, No.4, pp.303-313, 2011.

[A-5] 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, pp.1092-1100, 2012.

[A-6] 杉原厚吉, 投影の幾何学と立体錯視, 心理学評論(採択).

[C-1] Haruaki Fukuda and Kazuhiro Ueda. “Opponent colours induced by rotating discs”, *Perception*, Vol.40, No.8, pp.1012-1014, 2011. (DOI: 10.1068/p6979) 2011.8.17

[C-2] Yasushi Yamaguchi. “Extended Visual Cryptography for Photograph Images”, *Visual Cryptography and Secret Image Sharing*, S. Cimato and C.-N. Yang eds., CRC Press 2011. (ISBN: 978-1-4398-3721-4) 2011.9.16

[C-3] Haruaki Fukuda, Takeharu Seno and Kazuhiro Ueda. “Two novel illusions accompanied with self-motion”, *ASIAGRAPH 2011 Proceedings*, pp.53-56, 2011. (DOIコード不明) 2011.10.20

[C-4] Yasushi Yamaguchi. “Parallel Error Diffusion as an Extended Visual Cryptography Scheme”, *Proceedings of International Workshop on Digital-forensics and Watermarking*, 2011. (DOIコード不明) 2011.10.23

[C-5] Kohske Takahashi, Haruaki Fukuda, Katsumi Watanabe, and Kazuhiro Ueda.

“Scintillating lustre induced by radial fins”, *i-Perception*, Vol.3, No.2, pp.101-103, 2012.  
(DOI: 10.1068/i0488sas) 2012.2.

[C-6] Haruaki Fukuda, Masahiro Shiomi, Kayako Nakagawa and Kazuhiro Ueda.  
“Midas touch' in human-robot interaction: evidence from event-related potentials during the ultimatum game”, *Proceedings of 7th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*, pp.131-132, 2012. (ISBN: 978-1-4503-1063-5, DOI: 10.1145/2157689.2157720) 2012.3.05

### **(3-2) 知財出願**

- ① 平成 23 年度特許出願件数(国内 2 件)
- ② CREST 研究期間累積件数(国内 2 件)