

令和元年6月17日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15H03629

研究課題名(和文) フレームレットを用いた視覚の数理解析的研究とその画像処理への応用

研究課題名(英文) Mathematical study on human vision by using framelets and its applications to image processing

研究代表者

新井 仁之 (Arai, Hitoshi)

早稲田大学・教育・総合科学学術院・教授

研究者番号：10175953

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 8,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では新井仁之が考案した数理解析的な研究方法を用いて、画像処理と錯視に関する研究を行った。主な成果は次のものである。1. 新井・新井による視知覚の数理解析に基づき、超視覚システムの構築という観点から静止画・動画像の新しい鮮鋭化技術を開発した。これにより見た目に近い鮮鋭化を可能にした。2. 新井・新井によるスーパーハイブリッド画像技術から、新しいタイプのスーパーハイブリッド画像技術を得た。3. 新しいタイプのエッジに起因する錯視(新井・新井)を応用し、画像鮮鋭化の技術を開発した。4. かざぐるまフレームレットの一般化多重解像度解析のレベルを利用したフィルタリング方法と錯視生成技術の改良を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の学術的意義は、独自に考案した数理解析的方法により、新しいタイプのスーパーハイブリッド画像、超視覚システムによる静止画及び動画像鮮鋭化、新しいタイプのエッジに起因する錯視を用いた鮮鋭化、かざぐるまフレームレット構造を用いたフィルタ処理など、画像処理技術や錯視アート作成に役立つ成果が得られたことである。本研究成果の一部は他の基盤的成果と合わせて国際特許出願した。なお本研究成果の一部(鮮鋭化)は朝日新聞(2018/11/24)でカラー画像付きで取り上げられた。また本研究成果を含む新井仁之のこれまでの研究の学術的・社会的意義は高く評価され、2018年に第7回藤原洋数理科学賞大賞が授与された。

研究成果の概要(英文)：Main theme of my research is study on image processing and visual illusions using mathematical analysis method devised by myself. The main results are as follows: 1. New sharpening techniques for still and moving images from the viewpoint of constructing a hypervision system which is based on the mathematical model of visual perception by H. Arai and S. Arai. This techniques enable us sharpening that looks close to our visual perception. 2. A new type of super hybrid imaging technology which is developed from super hybrid imaging technology due to H. Arai and S. Arai. 3. An image sharpening technique by applying a visual illusion caused by a new type of edge by H. Arai and S. Arai. 4. Improving the filtering method and the visual illusion generation technology by using the levels of generalized multiresolution analysis of pinwheel framelets.

研究分野：数学

キーワード：錯視 かざぐるまフレームレット 画像処理

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

新井仁之と新井しのぶは 2009 年頃に単純かざぐるまフレームレットとかざぐるまフレームレット(以下、両者を総称してかざぐるまフレームレットと呼ぶ)、また 2010 年には幾何的ニューラルフィルタリングを考案し、視知覚の非線形数理モデルを作成し、視覚が起こす錯覚である錯視、画像処理について研究を行った。

2. 研究の目的

本研究の目的は人の感覚の一つである視覚について、その解析学的な研究を行い、さらにその画像処理への応用を与えることである。目から入った光の信号は脳内で処理され視知覚に至る。視覚は人の生活にとって重要な役割を果たしているが、しかし、その脳内の視覚情報処理のメカニズムは不明な点が多い。本研究ではウェーブレット基底を一般化した枠組みであるフレームレットを用いて人の視覚の研究をすることにより、人の視覚を超えたシステムを設計し、それを用いて新しい静止画像、及び動画画像処理技術を開発し、その実用的な応用を行う。たとえば、人の視覚にやさしい画像処理、人の視覚を補強するための画像処理技術などである。またこのような研究と関連してフレームレットの諸性質も明らかにしていく。必要に応じて、脳内の視覚情報処理の数理モデルを構築することによる視覚のメカニズムの研究も行う。

3. 研究の方法

研究方法は新井仁之が考案してきた方法に基づいて行った。新井仁之が考案した研究方法は三つのステージに分類される。第 1 ステージは基盤モデルの構築である。基盤モデルは人の視覚系をモデルにはするが、基本的には完全再構成性を有するファイルバンクを作る。たとえば本研究で重要な役割を果たすかざぐるまフレームレット及びその最大重複版による基盤モデル(新井・新井, 2009)、幾何的ニューラルフィルタによる基盤モデル(新井・新井, 2010)である。前者は大脳皮質 V1 野のある神経細胞を参考に作成したものであり、後者は大脳皮質 V4 野のある神経細胞を参考に作成したものである。ステージ 2 とステージ 3 はステージ 1 の研究を基盤として行う。ステージ 2 では人の視覚の非線形数理モデルを作成する。そのための重要な作業は人の視知覚の基本法則を見出し、それを数理化することであり、それをステージ 1 の基盤モデルに付加することである。これによりたとえば、人の視覚の非線形モデルを実装したコンピュータは、たとえば数理化された脳の領野が主な要因となるような錯視を発生させる。言い換えれば錯視のコンピュータ・シミュレーションが可能になる。これにより、錯視発生メカニズムの研究、人の視覚のメカニズムの数理的方法による解明を行う。ステージ 3 はステージ 1、あるいは/及び、ステージ 2 の視覚の基本法則をより展開するものである。ステージ 3 が本研究で考案していく方法になっている。具体的には、ステージ 3 では人の視知覚の数理モデルを作るといよりは、人の視知覚の有するある機能を強化させ、あるいは特定の部分だけを特化させ、いわば超視覚システムの構築を目指す。後述の本研究成果の(1)では、新井・新井が発見した人の視覚の基本法則とその数理化(2005, 2012)に着目し、それを連続的にコントロールするシステムを考案した。本研究成果の(2), (3), (4)はステージ 1 の基盤モデルである最大重複かざぐるまフレームレットの一般化多重解像度構造を用いて研究を行ったものである。

4. 研究成果

本研究による成果は次のものである。

(1) 2013 年に最大重複かざぐるまフレームレットによる視知覚の非線形数理モデルを作り、それを元に人の視知覚が画像の鮮鋭化処理を行っていることを数理モデル上で示した(新井仁之・新井しのぶ)。本研究では、超視覚システムの構築という新たな観点から、新井仁之らの数理モデルにより人の視知覚が有すると考えられる特定の非線形処理を強化し、人が本来有する特定の視覚機能を弱めた鮮鋭化処理から、その視覚機能を強めた鮮鋭化処理までが可能になることを示した(新井しのぶと共同研究)。そしてその特定の視覚機能を強めると、より鮮鋭化された画像が得られることを具体的な実施例で調べた。たとえば実施例の一つとして水面にダイブするコースターの写真を本技術による鮮鋭化処理を行うと、全体的に奥行き感が生じ、水の質感も本来のものに近いものとなることがわかった。上記に述べた本研究成果は静止画像から始めたが、さらにそれを動画画像処理にも適用できるようにした。そしてその動画画像処理を施した動画を作成した。この技術により、たとえば劣化した画像・映像コンテンツ、あるいは用途に応じて拡大する必要のある画像・映像コンテンツを実際の見た目に近いものにすることができる。なおこの研究成果は企業からも関心を持たれている。また本鮮鋭化技術に関する成果は朝日新聞(2018 年 11 月 24 日朝刊)で、上記の実施例であるカラー画像も掲載されて取り上げられた。

(2) 2006 年に Oliva, Torralba, Schyns が考案したハイブリッド画像は 2 層であった。ハイブリッド画像としては、たとえば、Oliva らによる「Marylin Einstein」が有名である。2012 年に新井仁之と新井しのぶはそれを 3 層にしたスーパーハイブリッド画像を作成することに成功した。ハイブリッド画像もスーパーハイブリッド画像も見る距離によって、近距離で見える

画像は遠距離になると消え、その代わりに遠距離用の画像が見えてくるというものであった(ただしスーパーハイブリッド画像の場合は、近距離、遠距離の他、近距離と遠距離の中間的な距離(これを本報告書では中間距離と呼ぶ)も含まれる)。本研究では、新井・新井によるスーパーハイブリッド画像技術を基盤として、更に新たに遠距離用の画像は中間距離、近距離になっても視認でき、中間距離用の画像は近距離になっても視認できるというスーパーハイブリッド画像を作成することに成功した(新井しのぶと共同研究)。本研究によるこのスーパーハイブリッド画像を、本報告書では便宜上新しいタイプのスーパーハイブリッド画像と呼ぶことにする。方法論的には本技術は新井・新井の最大重複かざぐるまフレームレットによるデジタルフィルタ作成技術を応用して開発した。新井・新井によるスーパーハイブリッド画像はたとえばプロジェクションマッピングにすると視覚効果の高いアート作品が作成可能であるが、本研究の成果である新しいタイプのスーパーハイブリッド画像もプロジェクションマッピングでまた別の視覚効果をもたらす。本技術による新しいタイプのスーパーハイブリッド画像は、そのプロジェクションマッピング作品を制作し、日本科学未来館の常設展示メディアアラブ第 17 期展示『数理の国の錯視研究所』(2016年11月-2017年5月)において公開した。

(3) 新井・新井は新しいタイプのエッジに起因する錯視を考案していたが、本研究ではそれを画像処理に応用した。なおここで「新しいタイプ」と記しているが、一般にエッジに起因する錯視とは、エッジで仕切られた異なる領域が、同じ輝度を持つのに、異なる輝度をもつように見える錯視のことで新井は定義している。たとえば Craik-0'Brien-Cornsweet 錯視(Craik(1966年), 0'Brien(1958), Cornsweet(1970))はエッジに起因する錯視としては古典的なものとして知られている。また墨絵効果(高島翠(2008))も公知である。新井・新井による新しいタイプのエッジに起因する錯視は、Craik-0'Brien-Cornsweet 錯視とも墨絵効果とも異なる新しいタイプのエッジによる錯視であった。本研究では、この新しいタイプのエッジに起因する錯視を用いて画像の鮮鋭化をする研究を行った(新井しのぶと共同研究)。これは(1)の非線形画像処理としての鮮鋭化と比べると、鮮鋭化としては(1)の方が視感的には良いが、(1)に比べて処理の時間が非常に短いというメリットがある。またこの鮮鋭化の原理は(1)とは全く異なるものである。本技術は新しいタイプのエッジに起因する錯視生成技術と合わせて特許出願/国際出願(2017年:優先権出願データ, 2016年8月16日)を行った。

(4) 本研究では、最大重複かざぐるまフレームレットの一般化多重解像度解析の各レベルに対して、そのレベルによって違い、各レベルでの処理に適するように最大重複かざぐるまフレームレットを用いて2Dデジタル・フィルタを作成し、一般化多重解像度解析による細かい成分や粗い成分などに分解されたものに違った処理を行うフィルタリングの方法を開発した。この方法と新しいタイプのエッジに起因する錯視生成技術を用いて、本研究ではより複雑な新しいタイプのエッジに起因する錯視画像を作る研究を行った(新井しのぶと共同研究)。これにより複雑に入り組んだエッジに対しても効果的な輝度の錯視効果が得られることがわかった。本研究成果による錯視生成技術を用いた錯視を作成し、ITmedia NEWS(2019年2月15日)に発表した。

なお本研究成果については、新井仁之の他のこれまでの研究成果も合わせて体系的にまとめ、著書としての発表することを準備中である。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 6 件)

新井仁之, 同じ色でも濃淡が違って見える不思議な絵“エッジ”が生み出す錯視, あなたはどう見える, 連載「コンピュータで”錯視”の謎に迫る」, 第 11 回, ITmedia NEWS (<https://www.itmedia.co.jp/news/articles/1902/15/news008.html>), 査読無, 2019年2月15日, 1-3.

新井仁之, 同じ画像なのに違う絵が見える 不思議な「スーパーハイブリッド画像」とは, 連載「コンピュータで”錯視”の謎に迫る」, 第 9 回, ITmedia NEWS (<https://www.itmedia.co.jp/news/articles/1805/23/news013.html>), 査読無, 2018年5月23日, 1-3.

新井仁之, 人の視知覚に切り込む数学とその応用 - 調和解析, 錯視, 画像処理, アート -, 数学通信(日本数学会), 査読無, 招待有, 23巻, 2018, pp. 5-22.

新井仁之, 視知覚と錯視の数理学から生まれる新しい画像処理技術, 数学セミナー, 査読無, 55(8), 2016, pp. 44-50.

新井仁之, 錯視アートの新技術とその販促グッズ, パッケージへの利用, 包装技術, 査読無し, 招待有, 54(1), 2016, pp.58-62.

新井仁之, 視覚と錯視の数理における非線形性, 電子情報通信学会誌, 査読有, Vol.98, No.11, 2015, pp.1012-1016.

[学会発表](計 8 件)

新井仁之, 数学的方法による視知覚の研究と画像処理, アートへの応用, 早稲田大学数学教

育学会第 37 回大会，2018 年 12 月 1 日。

新井仁之，数理視覚科学と非線形画像処理の新展開，第 7 回藤原洋数理科学賞大賞 受賞講演，2018 年 9 月 30 日。

新井仁之，脳内の視覚情報処理の数理モデルと錯視アート 数学と芸術の交流シンポジウム，2018 年 8 月 5 日。

新井仁之，錯視の科学と錯視を応用したパッケージ技術について，第 7 回パッケージイノベーションセミナー，2017 年 3 月 17 日。

新井仁之，錯視と視覚の数学的研究とその画像処理への応用，錯視のシステム視覚科学シンポジウム，2017 年 3 月 10 日。

新井仁之，視覚情報処理の数理モデルとその錯視，画像処理への応用，そして展望，第 70 回日本臨床眼科学会イブニングセミナー「視覚情報と自動運転」，2016 年 11 月 4 日。

新井仁之，視覚・錯視の数理科学とそのアート，画像処理への応用，第 95 回ロボット工学セミナー（日本ロボット学会），2015 年 10 月 15 日。

新井仁之，視覚の錯覚から画像処理へ，第 74 回日本医学放射線学会総会，特別講演，2015 年 4 月 17 日。

〔図書〕(計 2 件)

新井仁之，錯視，若山曉美他編集『視能訓練学』(医学書院)，2018，pp.93-96.

新井仁之，応用数理，解析学 – ウェブレットから視覚情報処理へ，斎藤毅・河東泰之・小林俊行編『数学の現在 e』(東京大学出版会)，2016，pp. 135-151.

〔産業財産権〕

出願状況(計 1 件)

名称：EDGE-INDUCED ILLUSION GENERATION DEVICE, EDGE-INDUCED ILLUSION GENERATION METHOD, EDGE-INDUCED ILLUSION GENERATION PROGRAM, PRINTING MEDIUM, AND RECORDING MEDIUM

発明者：Hitoshi Arai and Shinobu Arai

権利者：Japan Science and Technology Agency

種類：特許

番号：2017JP029433

出願年：2017 年 8 月 16 日(優先権データ：特願 2016-159771(2016.8.16)JP)

国内外の別：国際出願

取得状況(計 0 件)

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

取得年：

国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

新井仁之のホームページ：<http://www.araiweb.matrix.jp/>

(本研究を含む新井仁之のこれまでの研究成果等を掲載.)

6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号(8桁)：

(2)研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。