

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 5月30日現在

機関番号：14303

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2010～2012

課題番号：22330201

研究課題名（和文） 能動的視覚における画像情報の統計的特徴解析

研究課題名（英文） Analysis of statistical characteristics of visual images in active vision

## 研究代表者

大谷 芳夫 (OHTANI YOSHIO)

京都工芸繊維大学・工芸科学研究科・教授

研究者番号：00192518

研究成果の概要（和文）：本研究では、人間がものを見る働き（視覚）はどのような特性を持っているかを明らかにするために、網膜に映る静的な（静止している）画像と動的な（動いている）画像の特徴、及び、画像に対する網膜の神経細胞活動パターンの特徴と、視覚特性の関係を解析した。その結果、同じ画像でも静的と動的な状況では、網膜画像・神経活動パターンともにその特徴が変化し、その変化は、人間が画像を見たときに感じる変化と一致することが明らかになった。

研究成果の概要（英文）：In the present study, we analyzed the relationship between statistical characteristics of visual images and their retinal representations, and perceptual properties of human vision, in order to elucidate the characteristics of human visual system. Our analysis showed that the retinal representations of static visual images changed as the images moved, and the change in the representations accorded with those in the perceptual properties observed by human subjects.

## 交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	3,200,000	960,000	4,160,000
2011年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2012年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
総計	5,800,000	1,740,000	7,540,000

研究分野：視覚心理学

科研費の分科・細目：心理学・実験心理学

キーワード：(1) 実験系心理学 (2) 視覚心理学 (3) 心理物理学 (4) 視覚計算論  
(5) 画像統計量 (6) 能動的視覚

## 1. 研究開始当初の背景

近年の研究により、ヒトの視覚情報処理過程は、自然画像の統計的特徴を抽出する機能に最適化されていることが明らかにされつつあり (Field, JOSA, 1987)、自然画像の統計的構造解析に基づく研究は、視覚心理学研

究の有望な計算論的枠組みとして認識されている。また、低次視覚皮質に関する神経生理学的研究においても、神経ネットワークの進化・発達と機能の解明に対するこの枠組みの有効性が示されてきた。

また、画像の統計的特徴解析という枠組み

は、絵画などの芸術作品における視覚的効果の解明においても有効であり、ドリップ・ペインティングによる作品のフラクタル構造の解析 (Taylor, et. al., Nature, 2001)、枯山水庭園の多重スケール構造の解明 (van Tonder, et. al., Nature, 2002)、西洋と東洋の絵画の統計的画像特徴の類似性の発見 (Graham & Field, Perception, 2008)、ポップ・アート作品における過渡的明暗コントラスト強調現象の解明 (van Tonder, Leonard, 2010) などの成果が報告されている。一方、これまでの研究では、多くの場合、統計的画像特徴の解析は画像が網膜上で静止した状態を想定して行われてきており、動的な(網膜上で画像が動く場合)効果を考慮した研究は殆ど行われてこなかった。日常場面では、視対象や観察者・眼球は多くの場合動いており、動的効果の解明は、ヒトの視覚情報処理過程を理解する上で重要な課題と言える。

## 2. 研究の目的

前項で述べた状況を受けて、本研究では、網膜画像の動きを伴う能動的視覚と統計的画像情報特徴との関係を、心理物理学的手法と計算論的手法を用いて解明することを第1の目的とした。また、絵画や工芸作品など、人間の手によって作り出された画像とコンピューターなどで作製された人工的画像との違いを比較・分析するための新たな手法を開発し、芸術作品に隠された技法を解明することを第2の目的とした。

## 3. 研究の方法

本研究は、次の3つの段階により実施した。(1)絵画と自然風景の画像を収集し、画像解析を行って、静的及び動的な状況での画像の統計的特徴(輝度分布の平均・分散・歪度・尖度、及び空間周波数特性など)を定量的に解析する。(2)静的画像に対してはDOGフィルタリングと輝度の対数変換を、動的画像に対しては網膜錐体反応モデル (van Tonder & Ohtani, Proc. 23<sup>rd</sup> ISP, 2007) を適用し、画像に対す

る網膜の神経細胞活動パターン(神経活動表象)の統計的特徴を定量的に解析する。

(3)上記2項の解析で得られた結果と、ヒトがこれらの画像を観察した場合の知覚特性との対応関係を検討する。

これらの段階を経て、網膜画像の動的変化を伴う能動的知覚において、網膜画像、及びそれに対する神経活動表象の統計的特徴と知覚特性との関係の解明を目指した。

## 4. 研究成果

本研究で得られた主要な結果は、画像の統計的特徴のうち2次元空間周波数特性に関わるもので、その概要は以下の通りである。(1)第1の解析では、本研究のために収集した各100枚の絵画及び自然風景画像(カラー画像)をグレースケール画像(Original画像)に変換した後、さらにDOGフィルタリングを適用した画像(DOG画像)、及び、輝度の対数変換を行った後DOGフィルタリングを適用した画像(Log+DOG画像)を作成した。次に、Original画像を加えた3種の画像について2次元フーリエ変換を行い、その空間周波数特性(パワーの周波数特性)を求めた。3種の画像のうち、DOG画像及びLog+DOG画像は、網膜の出力段階である神経節細胞レベルでの神経活動表象を表現したものである。

図1はその結果を示したもの(縦軸はパワー、横軸は周波数:以降の図も同様)である。Original画像に関しては、パワー vs. 周波数関数の傾きが、絵画では-1.33、自然風景画像では-1.45となっており、絵画の方が傾きが小さいという先行研究の結果(Graham & Field, Perception, 2007)を確認するものとなっている。一方、DOG画像に関しては絵画では-1.91、自然風景画像では-1.90、Log+DOG画像に関しては絵画では-1.69、自然風景画像では-1.70と絵画・自然風景画像間に傾きの差は見られない。この結果は今回の解析によって初めて明らかになったものであり、網膜の出力段階までに画像の種類による周波数特性の違いは捨象されているこ

とを示している。

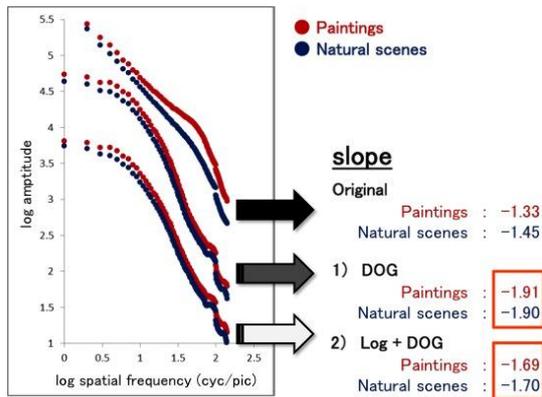


図1：絵画及び自然風景画像とその神経活動表象の2次元空間周波数特性

(2)第2の解析では、網膜画像の動きを伴う能動的視覚における画像と神経活動表象の特徴、及び、人間の手によって描かれた (Hand painted) 画像とコンピューターで作製された人工的 (Artificial) 画像の違いを併せて検討するために、20世紀を代表するポップ・アート作品である Bridget Riley の'Fall' (図2左パネル) を対象とした解析を行った。Artificial 画像は、Fall を構成する曲線の一本を画像処理によって抽出し、これを等間隔に複製・配置することによって作成した (図2右パネル)。なお、Fall は無彩色の作品であるため、この解析ではグレースケール化は行っていない。

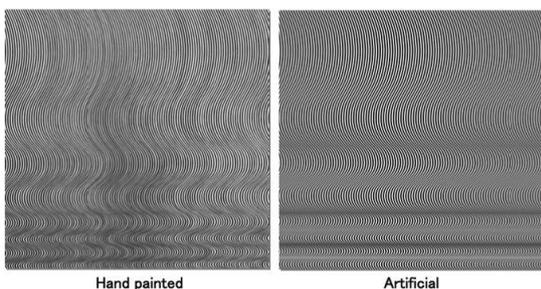


図2：Bridget Riley の'Fall' (左：Hand painted) と、それを元に作成した人工的画像 (右：Artificial)

静的な状況での画像と神経活動表象のそれぞれについて、Hand painted 画像と Artificial 画像を比較するために、2次元空間

周波数特性を求めた結果が図3である。図3の左パネルは Original 画像 (Non filtered) での比較であり、右パネルは神経活動表象での比較である (後者はDOG画像とLog+DOG画像を併せて解析している (Filtered と表記))。Original 画像では Hand painted 画像と Artificial 画像での傾きは-0.98と-0.65となっており、前者の方が傾きは大きい。Filtered 画像ではその差はほとんどなくなっている。静的な状況では、網膜の出力段階までに画像の種類による周波数特性の違いは捨象されていると言える。

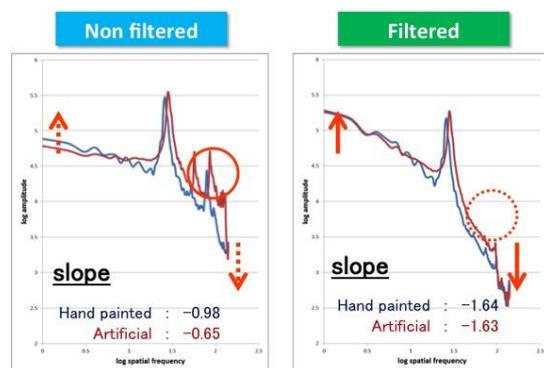


図3：Hand painted 画像と Artificial 画像の2次元空間周波数特性

次に、動的な状況での検討を行うために、Hand painted 画像と Artificial 画像それぞれに対して水平・垂直・斜め方向の並進、回転、拡大運動を加えた場合の神経活動表象を、van Tonder & Ohtani (2007) の錐体反応モデルを用いて求めた。さらに、得られた錐体反応の空間分布から2次元空間周波数特性を求めた。図4は、先に求めた静止画像の周波数特性 (左パネル) と錐体反応から得られた動的画像に対する神経表象の特性 (右パネル) を比較したものである。

図3に関して述べたように、静止画像に対してフィルタリングを行うと Hand painted 画像と Artificial 画像の周波数特性の違いはなくなるが、図4では、動的画像に対する神経表象に関しては、Hand painted 画像と Artificial 画像での傾きが-1.49と-1.19となり、静止画像での差異が保持されている点が

注目される。この結果は、Hand painted 画像と Artificial 画像を動かした場合、前者では過渡的明暗コントラスト強調現象が生じ、煌めくような動的パターンが観察されるのに対し、後者ではそのような現象は生じないという知覚的効果と対応する。

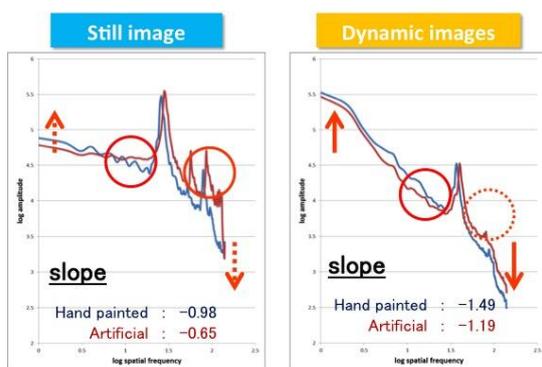


図4：静止画像の2次元周波数特性（左）と動的画像に対する神経表象の周波数特性（右）

本研究では、絵画と自然風景の画像特性には違いがあるが、静止状況での神経活動表象では、網膜出力段階でその差が捨象されていること、及び、絵画作品と人工画像の違いも静止状況での神経活動表象では捨象されるが、動的な状況では違いは保持され、絵画作品では生じるが人工画像では生じない知覚現象と対応することが示された。今後は、視覚情報処理のより高次の段階である大脳視覚野レベルでの神経表象に関する解析を進める必要がある。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計3件)

- ① van Tonder, G. J., The ethereal veil of visual perception, Proceedings of the Asia-Pacific Conference on Vision, 査読有, 2011, p.7.
- ② Shimode, Y., Ohtani, Y. & Yasunaga, H., How do craftpeople distinguish the appearance of natural-lacquerware? -Approach by optical image analysis-, 色材協会誌, 査読有, 2011, 84 巻, 3 号, pp.81-86.
- ③ Kawai, S. & Ohtani, Y., Effects of stimulus chromaticity on transparency

perception: A study on perceptual “clarity” of spatially overlapping figures, AIC 2010 Color and Food, Interim Meeting of the International Color Association -Proceedings, 査読有, pp.405-408.

[学会発表] (計6件)

- ① van Tonder, G. J., Zavagno, D., Sakurai, K. & Ono, H., The vision of Federico Di Montefeltro, European Conference on Visual Perception, 2012年9月3日, Alghero, Italy
- ② van Tonder, G. J., Retinal origins of contrast induced perceptual discomfort, The 30<sup>th</sup> International Congress of Psychology, 2012年7月25日, Cape Town, South Africa
- ③ Doi, S., Takahashi, S. & Ohtani, Y., A comparison of visual and haptic perception of stimulus length, area and volume, Workshop on Science of Experimental and Qualitative Spaces 2012, 2012年3月21日, Rovereto, Italy
- ④ van Tonder, G. J., Op art and the genius of the eye, Special Colloquim on Art and Science, 2011年3月1日, Sydney, Australia

[図書] (計1件)

- ① Albertazzi, L., van Tonder, G. J. & Vishwanath, D. (eds.), MIT press, Perception beyond inference, 2011, 445.

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

大谷 芳夫 (OHTANI YOSHIO)  
京都工芸繊維大学・工芸科学研究科・教授  
研究者番号：00192518

##### (2) 研究分担者

V・T・G J a k o b u s  
京都工芸繊維大学・工芸科学研究科・准教授  
研究者番号：30362586

##### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：