

令和 5 年 9 月 12 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K21803

研究課題名（和文）視覚的な快不快とスリルを産み出す脳情報処理機構

研究課題名（英文）Neural information processing of visual pleasantness, unpleasantness, and thrill

研究代表者

本吉 勇（Motoyoshi, Isamu）

東京大学・大学院総合文化研究科・教授

研究者番号：60447034

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、自然画像に対する心地よい・気持ち悪いなどの情動的反応が画像に含まれる特定の特徴量に対する素早い神経応答に依存する可能性を心理実験と脳波解析により検討した。その結果、情動的反応は少数のクラスの特定の画像統計量に強く依存し、かつそれらの画像統計量に対する短潜時の脳波電位が主観的な情動反応と高く相関することを明らかにするとともに、不快さをもたらず画像統計量は自然環境の統計的規則性から逸脱するものであることを発見した。これらの成果の応用として、画像特徴量により画像のテクスチャ性の判別、絵画様式の判別、脳波からの画像復元、などが可能であることも見出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

視覚的な美醜を扱った過去の研究は、恣意的に作られた幾何学図形の恣意的な変数の効果を検討したものが多く、本研究で得られた成果は、現実世界の自然画像に含まれる美醜に関連する特徴を心理・生理データから逆導出する点で高い生態学的妥当性をもっており、感覚刺激による情動喚起の基礎研究のみならず嗜好やデザインの研究の方向性に影響を与えると期待される。また、本研究が示唆した情動的価値の直接計算の過程は、知覚・認知・価値判断というナイーブな理解の図式を打破し、視覚情報処理が本質的に課題特異的であることも明らかにしている。

研究成果の概要（英文）：The present study investigated the possibility that emotional responses to natural images, such as pleasantness or unpleasantness, depend on rapid neural responses to specific features in the images, using psychological experiments and EEG analysis. The results showed that emotional responses strongly depend on a few class of specific image statistics, and that short latency EEG potentials to these image statistics are highly correlated with subjective emotional responses. It was found that image statistics that cause unpleasantness tend to deviate from the statistical regularity of the natural environment. As applications of these results, we also found that image features can be used to discriminate 'texturality' of a natural image, to classify painting styles, and to reconstruct the image itself from EEG signals.

研究分野：実験心理学

キーワード：視覚 情動 感性 快不快

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

私たちは網膜上の複雑な画像から外界の物体やその様相を認識するだけでなく、その物体の心地よい・気持ち悪いなどの情動的な価値を見出す。この物体に対する情動反応はまず物体を認識してから生じると考えられがちである(例えば、蜘蛛だから気持ち悪い)。しかし、われわれは以前に、様々な物体表面に感じられる気持ち悪さや心地よさが、少なくとも部分的には、物体や材質の認知と関係なく、少数の低次画像統計量により決定づけられることを見出した(Motoyoshi & Mori, 2016)。同時期には、ヘビなどの脅威信号を素早く処理する皮質下回路の存在が報告されている(Van, Le, Q et al., 2013)。別方面の研究からは、3 c/deg 近傍の高コントラストの縞パターンなど特定の視覚刺激が頭痛や癩癩様につながることもある強い感覚的ストレスを引き起こすことも知られている(Wilkins, 1984)。

これらの知見は、人間の視覚系に通常の物体認知過程を経ずに画像特徴から直接に快不快情動につながる情報を取り出す過程が存在する可能性を示唆している。最終的な情動反応は物体認知過程などとの様々な相互作用の産物かもしれないが、こうしたバイパス経路の存在は、目前の脅威からの速やかな回避や魅力的なものへの効率的な接近を促す点で適応的である。だが、この処理がどれほど自動的で素早いものかは明確ではない。

また、上記の心理物理学研究の一部は、ある種の画像が正負双方の情動的価値を生じさせる可能性も示唆している。例えば、食べ物の画像は不快さに関連した特徴を多く含むが魅力的に見え(森・本吉, 2017)、レンブラントや草間彌生の絵画はしばしば不快さに関連した特徴を含むが深遠な美を湛えると評される(Motoyoshi, 2019)。

2. 研究の目的

本研究では、この画像特徴に基づく情動的価値の計算機構を、画像特徴・心理データ・脳波の三者の相関関係を解析する認知神経科学実験パラダイムに基づき解明することをめざす。また、そこから得られた知見を、芸術作品等に認められる「不快だが魅力的」といった両価的な感情(知覚的なスリル)の検討のために展開する。

3. 研究の方法

様々な自然画像を集め、各画像やその統計量合成画像の心地よさ・気持ち悪さ等の主観的な評価値を心理実験により測定した。各画像に対する脳波(視覚誘発電位)も計測した。続いて、各画像の特徴量(低次画像統計量から CNN 深層特徴まで)を計算し、評価値と画像特徴の間の相関解析により情動的価値を決定づける画像特徴群を同定した。また、各時刻における脳波電位と評定値の間の逆相関解析により情動的価値に関連した脳波成分を、脳波電位と画像特徴の間の逆相関解析により重要な画像特徴に関連した脳波成分を、それぞれ導出した。以上に加えて、ステップワイズ回帰解析により画像特徴・脳波・心理評価の関係性のシンプルな構造を求めた。

並行して、テクスチャ合成や深層スタイル変換の技術を駆使して脳波パターンから画像を再構成する技術も開発した。

4. 研究成果

上記の方法に基づいて、またそれを応用して、以下の成果を得た。[]内は対応する文献を指す。

(1) Motoyoshi & Mori (2016)で行った研究を大規模に展開し、多くの自然表面画像について、気持ち悪さと心地よさの評価データを集め、個々の画像のもつ統計量との相関を解析した。その結果、過去の結果と一致して、特定の空間周波数における大きなパワー、方位スペクトルの平坦さ、方位サブバンド間の相関、などの統計量が気持ち悪さと強い相関関係にあることを見出した[1,4]。また、PS合成画像を用いて得られた結果から、気持ち悪さがこれら低次の画像統計量によりほぼ完全に説明されるのに対して心地よさの評価は完全ではないことが明らかになった[1]。

(2) 種々の空間周波数、空間周波数バンド幅、および方位バンド幅をもつバンドパスノイズ刺激について、テクスチャ画像としての気持ち悪さ(unpleasantness)を人間の観察者に評価させ、そのデータを分析した。その結果、気持ち悪さの評価は、空間周波数バンド幅は広いほど大きくなるのに対して、方位バンド幅は狭いほど大きくなることを発見した[2]。この結果は、自然画像の統計的規則性から逸脱した視覚刺激は一般的に不快感をもたらすという一般法則を支持した。

(3) 種々の空間周波数、空間周波数バンド幅、方位バンド幅、時間周波数をもつ動的なバンドパスノイズ刺激を用い、その気持ち悪さ(unpleasantness)を人間の観察者に評価させた。複数の実験の結果、気持ち悪さの評価は、運動方向の不規則なばらつきが大きいほど大きくなることを見出した[3]。この結果も、自然動画の統計的規則性からの逸脱により説明された。

(4) 種々の輝度・色度方向において定義されたバンドパスノイズ刺激を用いて、色の効果を検討

した。その結果、古典的な色彩調和・色嗜好研究で主張されてきた特定の色相や組み合わせに対する嗜好性は追試できないことを確認するとともに、特定の輝度・色の相関構造が一貫して気持ち悪さを引き起こすこと、また空間パターンとの間に強い相互作用があることを見出した[未発表]。

(5) 種々の自然表面画像に対する視覚誘発電位と気持ち悪さ・心地よさの評価との関係を分析した。その結果、気持ち悪さ評価と相関する脳波成分が後頭葉に極めて短い潜時で生じることがわかった[4]。また、ステップワイズ回帰分析により、(1)で得られた気持ち悪さの決め手となる画像統計量のうちの4つの線形結合により、気持ち悪さと関連する脳波成分の初期潜時の部分が説明されることが明らかになった[4]。

(6) 低次の画像統計量で記述可能な自然画像の範囲を理解するため、多数の画像についてそれが主観的に「テクスチャ」として知覚されるかどうかの判別実験をおこなった。その結果、「テクスチャ」と見なされる画像は画像統計量(PS 統計量)に基づき合成できる画像であり、またその逆も真であることを見出した[5]。これは低次の画像統計量が表面などの「テクスチャ」画像を説明するための必要十分条件であることを示唆する。この研究で得られた判別モデルは、今後の様々な実験におけるテクスチャ刺激の選定を客観的かつ容易にすると期待される。

(7) DNN を用いて、表面画像に対する視覚誘発電位から表面の主観的な質感評価・材質カテゴリを予測・判別する技術を開発するとともに、表面画像そのものを写真のような画質で復元する技術を開発した[6-8]。また、自然情景画像に対する視覚誘発電位を深層学習モデルを用いて分析し、脳波から情景カテゴリ/プロパティを判別し、かつその判別に寄与する脳活動の時空間マップを導出することに成功した[9]。

(8) 西洋古典絵画史上における数万の絵画作品の画像を対象に、低次画像統計量モデルおよびDNNにおける種々の画像特徴量を分析して、その分布に基づく様式の判別、作品の推定製作年やおよその製作地域に基づく特徴や様式の歴史的・地理的展開の可視化、をおこなった[10,11]。その結果、伝統的な美術史における分類とのおよその合致を見出す一方で、特定の作家の孤立性など意外な傾向を発見した[11]。

(9) (1-6)の研究において利用していたPS 統計量モデルよりも圧倒的に単純な構造をもつ視覚テクスチャ知覚の二段階スペクトル空間を提唱し、多彩な自然表面画像についてそれぞれ原画と等しく見えるノイズ画像を合成することによりその妥当性を立証した[12]。これにより自然テクスチャ画像に対する様々な心的反応と画像特徴の関係の分析が容易になった。

(10) (9)の研究に着想を得て、川のせせらぎなどの音響テクスチャの知覚を説明する二段階スペクトル空間を提唱し、多彩な自然音についてそれぞれ原音と等しく聞こえるノイズ画像を合成することによりその妥当性を立証した[13]。また、数百の多彩な自然音について17次元の異なる聴覚的質感属性それぞれを決定づける二段階スペクトル特性を同定するとともに、かつそのスペクトル特性を操作することにより聴覚的質感が変容することを見出し、二段階スペクトルが音響質感知覚の大部分を支配することを示した[14]。

(11) 多彩な自然音について聴覚誘発電位を計測し、各刺激の二段階スペクトルとの逆相関分析を試みた[未発表]。

(12) 多彩な自然音について聴覚的不快感を計測し、黒板をひっかく音や金属の擦れ合う音などにより引き起こされる聴覚的ストレスと相関する二段階スペクトル特性を同定した[未発表]。

参考文献

- [1] Motoyoshi, I. & Mori, S. (2016). Image statistics and the affective responses to visual surfaces. *Journal of Vision*, 16(12):645 [Annual Meeting of Vision Sciences Society 2016] (査読あり国際会議)
- [2] Ogawa, N. & Motoyoshi, I. (2020). Differential effects of orientation and spatial-frequency spectra on visual unpleasantness. *Frontiers in Psychology*, 11:1342. (査読あり原著論文)
- [3] Ogawa, N. & Motoyoshi, I. (2021). Spatiotemporal frequency characteristics of the visual unpleasantness of dynamic bandpass noise. *Vision Research*, 184, 37-42. (査読あり原著論文)
- [4] Ogawa, N. & Motoyoshi, I. (2020). Visual evoked potentials related to the emotional value of natural surfaces. *Journal of Vision*, 20(11): 645. [Annual Meeting of Vision Sciences Society 2020]. (査読あり国際会議)
- [5] Kurosawa, F., Orima, T., Okada, K. & Motoyoshi, I. (2021). Textures vs non-textures: A simple computational method for classifying perceived 'texturality' in natural images. *i-Perception*, 12(5), 20416695211054540. (査読あり原著論文)

- [6] Orima, T. & Motoyoshi, I. (2021). Analysis and synthesis of natural texture perception from visual evoked potentials. *Frontiers in Neuroscience*, 15, 876. (査読あり原著論文)
- [7] Wakita, S., Orima, T. & Motoyoshi, I. (2021). Photorealistic reconstruction of visual texture from EEG signals. *Frontiers in Computational Neuroscience*, 15, 106. (査読あり原著論文)
- [8] Orima, T. & Motoyoshi, I. (2022). Decoding of material perception: analysis and synthesis from EEG via DNN model. [Society for Neuroscience, 2022] (査読あり国際会議)
- [9] Orima, T. & Motoyoshi, I. (2023). Neural dynamics of natural scene processing across cortical areas as revealed by EEG decoding. [Annual Meeting of Vision Sciences Society 2023]. (査読あり国際会議)
- [10] Motoyoshi, I. (2022). Climate, illumination, and the style of Western and Eastern Paintings. *Art & Perception*, 1(aop), 1-13. (査読あり原著論文)
- [11] Motoyoshi, I. & Ueno, N. (2023). Style classification of classical European paintings with CNN. [Visual Science of Art Conference 2023] (査読あり国際会議)
- [12] Okada, K. & Motoyoshi, I. (2021). Human texture vision as multi-order spectral analysis. *Frontiers in Computational Neuroscience*, 15, 66. (査読あり原著論文)
- [13] Maruyama, H., Okada, K., & Motoyoshi, I. (2023). A two-stage spectral model for sound texture perception: Synthesis and psychophysics. *i-Perception*, 14(1), 20416695231157349. (査読あり原著論文)
- [14] 丸山玄德・岡田康佑・本吉勇 (2022). 音響テクスチャの知覚に関わる聴覚情報処理機構. 日本音響学会 2022 年秋季研究発表会 (国内学会)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 8件）

1. 著者名 Motoyoshi, I.	4. 巻 -
2. 論文標題 Climate, illumination, and the style of Western and Eastern Paintings.	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Art & Perception	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1163/22134913-bja10036	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Wakita, S., Orima, T. & Motoyoshi, I.	4. 巻 15
2. 論文標題 Photorealistic reconstruction of visual texture from EEG signals.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Frontiers in Computational Neuroscience	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fncom.2021.754587	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Kurosawa, F., Orima, T., Okada, K. & Motoyoshi, I.	4. 巻 12
2. 論文標題 Textures vs non-textures: A simple computational method for classifying perceived 'textuality' in natural images.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 i-Perception	6. 最初と最後の頁 1-7
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1177/20416695211054540	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Okada, K. & Motoyoshi, I.	4. 巻 15
2. 論文標題 Human texture vision as multi-order spectral analysis.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Frontiers in Computational Neuroscience	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fncom.2021.692334	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Orima, T. & Motoyoshi, I.	4. 巻 15
2. 論文標題 Analysis and synthesis of natural texture perception from visual evoked potentials.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Frontiers in Neuroscience	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fnins.2021.698940	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Ogawa, N. & Motoyoshi, I.	4. 巻 184
2. 論文標題 Spatiotemporal frequency characteristics of the visual unpleasantness of dynamic bandpass noise.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Vision Research	6. 最初と最後の頁 37-42
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.visres.2021.03.001	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Ogawa, N. & Motoyoshi, I.	4. 巻 11
2. 論文標題 Differential effects of orientation and spatial-frequency spectra on visual unpleasantness.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Frontiers in Psychology	6. 最初と最後の頁 3389
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fpsyg.2020.01342	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Ogawa, N. & Motoyoshi, I.	4. 巻 184
2. 論文標題 Spatiotemporal frequency characteristics of the visual unpleasantness of dynamic bandpass noise.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Vision Research	6. 最初と最後の頁 37-42
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.visres.2021.03.001	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計22件（うち招待講演 3件 / うち国際学会 12件）

1. 発表者名 本吉勇
2. 発表標題 知覚研究の動向と展望: 1995-2020
3. 学会等名 日本基礎心理学会40周年記念事業（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 本吉勇
2. 発表標題 醜の実験美学：視覚的不快感をもたらす脳情報処理と自然画像の規則性
3. 学会等名 第7回視覚生理学基礎セミナー（日本視野学会）（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Orima, T. & Motoyoshi, I.
2. 発表標題 Recognition, estimation, and reconstruction of surface materials by EEG
3. 学会等名 Annual Meeting of Vision Sciences Society 2022（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Okada, K. & Motoyoshi, I.
2. 発表標題 Texture synthesis by two-stage phase scrambling.
3. 学会等名 The 42rd meeting of the European Conference on Visual Perception（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kurosawa, F., Orima, T., Okada, K. & Motoyoshi, I.
2. 発表標題 Classifying perceived 'texturality' in natural images based on simple image statistics.
3. 学会等名 The 43rd meeting of the European Conference on Visual Perception (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Orima, T., Wakita, S. & Motoyoshi, I.
2. 発表標題 Cortical dynamics of texture information processing: an EEG study.
3. 学会等名 The 44th Annual Meeting of the Japan Neuroscience Society / The 1st CJK International Meeting (Neuro2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ogawa, N. & Motoyoshi, I.
2. 発表標題 Rapid cortical responses to unpleasant surface materials.
3. 学会等名 The 44th Annual Meeting of the Japan Neuroscience Society / The 1st CJK International Meeting (Neuro2022) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ogawa, N. & Motoyoshi, I.
2. 発表標題 Temporal characteristics of bandpass noise that cause visual unpleasantness.
3. 学会等名 Annual Meeting of Vision Sciences Society 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Okada, K. & Motoyoshi, I.
2. 発表標題 Four-dimensional energy spectrum model of natural texture perception.
3. 学会等名 Annual Meeting of Vision Sciences Society 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 織間大気・本吉勇
2. 発表標題 脳波からの表面質感の特性評価, 材質分類, および画像復元
3. 学会等名 第24回日本ヒト脳機能マッピング学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小川成美・本吉勇
2. 発表標題 表面画像の情動的価値に関連した脳波成分と画像統計量
3. 学会等名 第24回日本ヒト脳機能マッピング学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 織間大気・本吉勇?
2. 発表標題 脳波による物体表面の材質認識, 質感評価, および画像合成
3. 学会等名 日本視覚学会2022年冬季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岡田康祐・本吉勇
2. 発表標題 自然テクスチャ知覚の二段階スペクトル・モデル
3. 学会等名 日本基礎心理学会第40回大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岡田康祐・本吉勇
2. 発表標題 四次元エネルギー Spektrum に基づく自然テクスチャ知覚
3. 学会等名 日本視覚学会2021年冬季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ogawa, N. & Motoyoshi, I.
2. 発表標題 Visual evoked potentials related to the emotional value of natural surfaces.
3. 学会等名 Annual Meeting of Vision Sciences Society 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岡田康祐・本吉勇
2. 発表標題 四次元エネルギー Spektrum に基づく自然テクスチャ知覚
3. 学会等名 日本視覚学会2021年冬季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ogawa, N. & Motoyoshi, I.
2. 発表標題 Temporal characteristics of bandpass noise that cause visual unpleasantness.
3. 学会等名 Annual Meeting of Vision Sciences Society 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Okada, K. & Motoyoshi, I.
2. 発表標題 Four-dimensional energy spectrum model of natural texture perception
3. 学会等名 Annual Meeting of Vision Sciences Society 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------