

令和 5 年 6 月 13 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K12025

研究課題名（和文）深層学習と逆相関法による心的テンプレートの高品質自然画像としての可視化研究

研究課題名（英文）Visualization of mental template as a high-quality natural image using deep learning and reverse correlation method

研究代表者

内藤 智之（Naito, Tomoyuki）

大阪大学・大学院医学系研究科・准教授

研究者番号：90403188

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：敵対的生成ネットワークモデル（StyleGAN）と心理学的逆相関法を用いることで、寝室のように複数対象物の配置で規定される空間の理想的イメージ（心的テンプレート）を可視化可能であるかどうかを検討した。寝室画像5万枚を学習したStyleGANによって生成された寝室画像に対する魅力度評定スコアから寝室魅力度心的テンプレートを作成し、この心的テンプレートを用いて90%の被験者で検証用画像の魅力度を推定可能であることが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

人の感性評価がどのような処理で成り立っているのかについては未知な点が多い。本研究では申請者のグループが提唱している心的テンプレート仮説が、単一対象物だけでなく複数のオブジェクトの配置で既定される空間においても成立するかどうかを検討した。その結果、空間に対しても人は理想的なイメージを脳内に保有しており、敵対的生成ネットワークモデルと逆相関法を用いることでその理想的なイメージを可視化可能であることが明らかとなった。本研究結果から建築・インテリア・デザインなどに対する理想的イメージを可視化することが可能であることが示され、今後の社会実装の実現可能性が極めて高いことが明らかとなった。

研究成果の概要（英文）：We investigated whether it is possible to visualize an ideal image (mental template) of a space defined by the arrangement of multiple objects, such as a bedroom, by using the adversarial generative network model (StyleGAN) and the psychological reverse correlation method. The mental template for bedroom attractiveness was created from the attractiveness rating scores for bedroom images generated by StyleGAN, which was trained on 50,000 bedroom images. The results suggested that in 90% of subjects, the mental template significantly predicted the attractiveness scores suggesting that the mental template hypothesis is valid in space as well.

研究分野：感性情報処理

キーワード：StyleGAN 逆相関法 心的テンプレート 空間 寝室 魅力度推定

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

心的テンプレートとは、ヒトが感性判断を行う際の鋳型となる視覚イメージである。深層学習の一種である敵対的生成ネットワークにより、実際の写真と識別が困難なレベルでの自然画像の生成が可能となってきた。この敵対的生成ネットワークと、心理物理実験による特定画像感性評価課題及び逆相関法により、被験者個人ごと顔画像及び車画像美醜判断心的テンプレートの可視化が可能であることが報告されている(内藤 2020)。この手法では、敵対的生成ネットワーク (StyleGAN) で生成された顔画像の魅力度を 0-100 の 101 段階で評定する。生成画像は 256 次元特徴ベクトルによって画像特徴が規定されており、逆相関法によって算出された各画像に対する魅力度を当該画像の特徴ベクトルに重みとしてかけ合わせ、加算平均をとることで心的テンプレートを可視化する。可視化された心的テンプレートが、感性判断(ここでは顔美醜判断)の基準となっているかどうかについて、検証用画像と心的テンプレートの類似度と美醜スコアの相関を求めることで評価が行われている。その結果、90%以上の被験者において心的テンプレートから未知の顔画像美醜スコアを予想可能であることが報告されている。

しかし現時点でこの手法で心的テンプレートの可視化が検証されている画像カテゴリは顔と車のみであり、それ以外の画像カテゴリにおいて同様に心的テンプレートが可視化かどうかは不明である。

2. 研究の目的

本研究では、可視化する心的テンプレートとして寝室を選択した。顔や車といった特定の物体だけでなく、寝室という空間に対してもヒトは感性判断を行うが、その際に物体と同様に心的テンプレートを用いているかどうかを検討することを目的とした。

3. 研究の方法

実験参加者 54 名に対して寝室画像魅力度評定実験を行った。実験参加者は大阪大学/大阪大学大学院に在学中の学生及び社会人ボランティアであった。実験参加者は実験の手順を口頭説明した後、各被験者は 5.2 に示す評価課題を行った。

各被験者は合計 400 枚の画像を 101 段階(0=最も好ましくない, 100=最も好ましい)で評価する。(図 1) 評価する画像のうち 300 枚は StyleGAN の潜在空間 $W (W \in R^{512})$ から生成された画像を採用した。残りの 100 枚は実画像を用い、対応する特徴ベクトルは StyleGAN 潜在空間 W 上にエンベディング手法を用いて推定した。400 枚の画像の提示順はランダムであった。本研究の解析には StyleGAN で生成された生成画像のみを使用した。

魅力的寝室イメージの CI 作成には生成画像のうち最初に提示された 100 枚を使用した。得られた CI と CI の計算に用いなかった 200 枚の生成画像の類似度を潜在ベクトルのコサイン距離とユークリッド距離で求め、類似度と画像魅力度の間に正の相関が見られるかどうかを検討した。CI が魅力的な寝室の心的テンプレートの良い近似であれば、類似度と魅力度スコアの間に相関が出ることが予想される。



図 1. 実験で画像評定を行ってもらうために作成した評定用ソフトのスクリーンショット。被験者は画面上部に表示される画像がどれだけ自分にとって魅力的であるかを 0 から 100 点で評定した。

4. 研究成果

図2は一名の被験者のCIと評価画像の類似度と評価画像の魅力度スコアの関係を示している。左図の横軸はCIと評価画像の類似度（コサイン距離）であり、縦軸は被験者が評価画像につけた魅力度スコアである。右図の横軸はCIと評価画像の類似度（ユークリッド距離）縦軸は被験者が評価画像につけた魅力度スコアである。

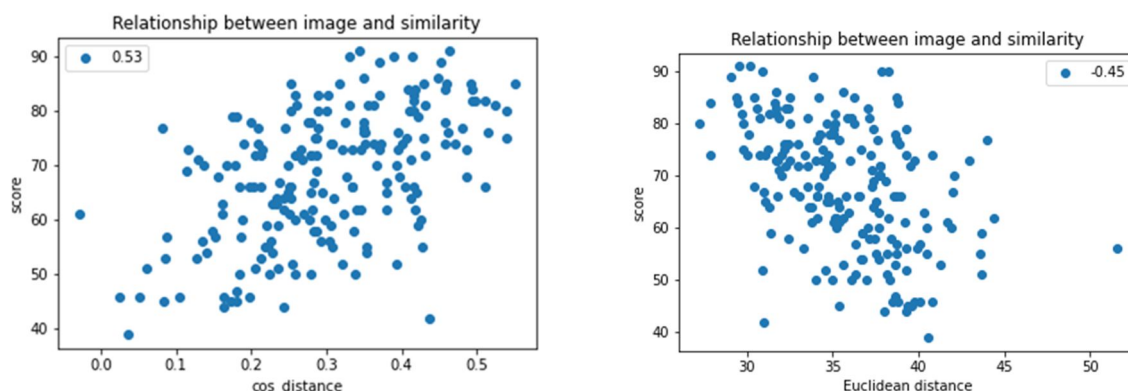


図 2. CI と評価画像の類似度と魅力度スコアの関係。(a)魅力度としてCIと評価画像のコサイン距離を用いた場合。(b)魅力度としてCIと評価画像のユークリッド距離を用いた場合。

CIと評価画像の類似度をコサイン距離で定義した場合、類似度と魅力度スコアの相関係数の平均値は0.347であり、類似度にユークリッド距離を用いた場合の相関係数の平均は-0.252であった（表1.異なる類似度指標間での予測精度比較）。類似度がコサイン距離で定義された場合、類似度と魅力度スコアの相関係数は被験者54人中49で有意であった。類似度をユークリッド距離で定義した場合は54人中41人で有意な相関がみられた。これらの結果は、CIと評価画像の類似度をコサイン距離で定義した場合でもユークリッド距離で定義した場合でも、寝室画像について心的テンプレート仮説が成り立つが、コサイン距離を用いたほうが心的テンプレートからの寝室画像魅力度の予測精度が高いことが示された。

表 1. 異なる類似度指標間での予測精度比較

| | Cosine Correlation Coefficient | Euclidean Correlation Coefficient |
|---------|--------------------------------|-----------------------------------|
| Average | 0.35 ± 0.13 | -0.25 ± 0.12 |

本研究の結果から寝室の魅力度評価においても、顔、車、絵画画像とどのように心的テンプレート仮説が成り立つことが示唆された。またCIと評価画像の類似度をユークリッド距離で定義した条件より、コサイン距離で定義した場合の方が予測精度が高かった。このことは、潜在ベクトル空間においてCIと評価画像の成す角度が画像類似度とよく一致しており、画像ベクトルのノルムについては類似度に対する寄与が少ないため、角度と同様にベクトルノルムに類似度の重みを付けたユークリッド距離では予測性が低下すると考えられる。

これまでに顔や車、絵画等の物体に対する感性評価において心的テンプレート仮説が成立することが報告されているが(Naito 2019)、寝室のような空間対して心的テンプレ

ート仮説が成立するかどうかは検証されてこなかった。我々は未知の空間に足を踏み入れた際に、居心地の良さや好き嫌いを瞬時に判断するが、本研究の結果から空間に対する感性評価においても理想的な空間イメージと眼前の空間の類似度を基に価値判断を行う心的テンプレート仮説が成り立つことが示唆された。この点については、今後、草原や田園のようなオブジェクトによって規定されない空間においても同様に心的テンプレート仮説が成立するかどうかを検証することで、心的テンプレート仮説が空間に対する感性評価そのものに適用可能な仮説であるのか、あくまでベッドやカーテンなど複数のオブジェクトの組み合わせで規定される対象に対して成立する仮説であり、空間そのものの感性評価は心的テンプレート以外のメカニズムで評価されるのかを検証する必要がある。

本 POC では実画像に対する予測精度は生成画像より有意に低下することが示された。StyleGAN が学習した寝室画像は主として洋風寝室画像であったが、既存実画像で魅力度評定に使用した画像は主として和風寝室画像であった。そのため被験者の好みのテストによっては、魅力度スコアに偏りが生じ、本解析で使用しなかった実画像に高得点が集中したのではないかと考えられる。この問題は StyleGAN が学習で使用する画像に評価用実画像を追加することで、予測精度の向上が期待できる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 4件）

| | |
|--|-----------------------|
| 1. 著者名 Wakabayashi Masahiro, Kitaguchi Masatoshi, Sato Hiromichi, Naito Tomoyuki | 4. 巻 185 |
| 2. 論文標題 Experimental verification for perceptual and cognitive processing of visual aesthetic experiences | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Vision Research | 6. 最初と最後の頁 68 ~ 76 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.visres.2021.04.003 | 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 Yoshiyuki R Shiraishi, Hiromichi Sato, Takahisa M Sanada, Tomoyuki Naito | 4. 巻 arXiv:2103.02587 |
| 2. 論文標題 Reconstructed spatial receptive field structures by reverse correlation technique explains the visual feature selectivity of units in deep convolutional neural networks | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 arXiv | 6. 最初と最後の頁 1~28 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし | 査読の有無 無 |
| 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 Wakabayashi M, Kitaguchi M, Sato H, Naito T. | 4. 巻 in press |
| 2. 論文標題 Experimental verification for perceptual and cognitive processing of visual aesthetic experience. | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Vision Research | 6. 最初と最後の頁 1-9 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし | 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 Kitaguchi M, Naito T, Sato H | 4. 巻 120 |
| 2. 論文標題 Development of a highly sensitive color vision inspection system | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 IEICE Tech. Rep. | 6. 最初と最後の頁 25-28 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし | 査読の有無 無 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|--|--------------------|
| 1. 著者名 Shiraishi RY, Sato H, Sanada MT, Naito T. | 4. 巻 2013.02587 |
| 2. 論文標題 Reconstructed spatial receptive field structures by reverse correlation technique explains the visual feature selectivity of the unit in the deep convolutional neural network. | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 arXiv | 6. 最初と最後の頁 1-28 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし | 査読の有無 無 |
| 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5件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 0件)

| |
|-------------------------------|
| 1. 発表者名 内藤智之 |
| 2. 発表標題 基礎心理学研究における深層学習の役割 |
| 3. 学会等名 日本基礎心理学大会 (招待講演) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 内藤智之 |
| 2. 発表標題 人工知能を用いた魅力的な顔および自動車の心的イメージ可視化研究 |
| 3. 学会等名 視覚科学フォーラム (招待講演) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--------------------------|
| 1. 発表者名 内藤智之 |
| 2. 発表標題 AI芸術家の色使い |
| 3. 学会等名 日本視覚学会 (招待講演) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|-----------------------------------|
| 1. 発表者名 内藤智之 |
| 2. 発表標題 深層学習を用いた心的テンプレートの可視化研究 |
| 3. 学会等名 視覚科学フォーラム |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--------------------------------------|
| 1. 発表者名 上田悠佳、内藤智之 |
| 2. 発表標題 AIによるdeepfake絵画生成とその精度の検証 |
| 3. 学会等名 日本視覚学会 |
| 4. 発表年 2021年 |

〔図書〕 計1件

| | |
|--|-----------------|
| 1. 著者名 J. Peirce、M. MacAskill、蘆田 宏、十河 宏行、川島朋也、藏口佳奈、内藤智之、松本絵理子 | 4. 発行年 2020年 |
| 2. 出版社 朝倉書店 | 5. 総ページ数 328 |
| 3. 書名 PsychoPyでつくる心理学実験 | |

〔出願〕 計0件

〔取得〕 計2件

| | | |
|--|------------------|---------------|
| 産業財産権の名称 心的イメージ可視化方法、心的イメージ可視化装置及びプログラム | 発明者 今井亮太、内藤智之 | 権利者 大阪大学 |
| 産業財産権の種類、番号 特許、PCT/JP2021/5052 | 取得年 2021年 | 国内・外国の別 外国 |
| 産業財産権の名称 心的イメージ可視化方法、心的イメージ可視化装置及びプログラム | 発明者 内藤智之、今井亮太 | 権利者 同左 |
| 産業財産権の種類、番号 特許、PCT/JP2021/5052 | 取得年 2022年 | 国内・外国の別 外国 |

〔その他〕

内藤智之
<https://sites.google.com/site/naitotomoyuki/re-vision-japanese/gyouseki>

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 |
|---------|---------|
|---------|---------|