

人間の視覚注意解析のための人工知能(AI)技術の開発に成功

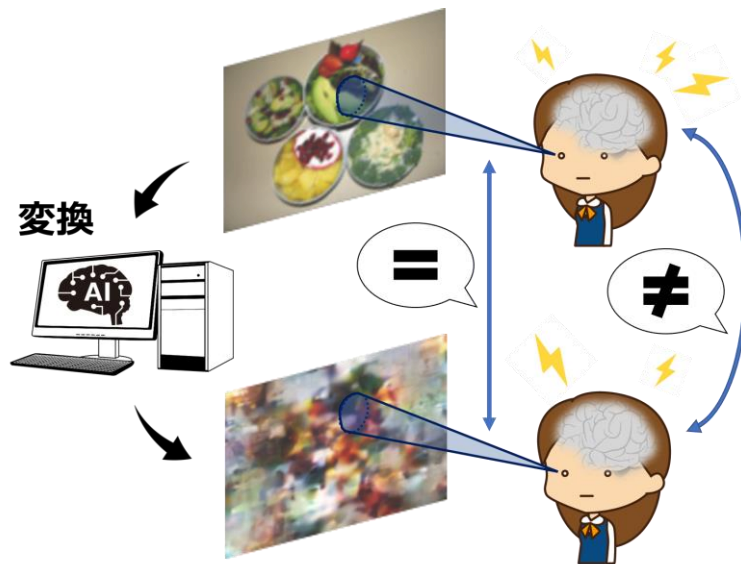
概要

人間には「視覚注意」という機能があります。何かを目にしたときに人間は網膜を通して膨大な情報を得るので、それを効率よく処理するために働く機能です。この視覚注意には、まぶしさのような特徴的な視覚刺激そのものにより受動的に引き起こされるボトムアップ型注意と、探し物のような課題などにより能動的に生じるトップダウン型注意がありますが、これら二種類の注意は神経活動上で重なっているため、分離して解析することが困難であるとされてきました。

今回、京都大学大学院情報学研究科の藤本啓介 修士課程学生、石井信 同教授らの研究グループは、このようなトップダウン型・ボトムアップ型視覚注意を独立に解析するために、画像を見た時に誘発されるボトムアップ注意を維持しながら、実際に撮影された自然な画像を人工的に生成された自然でない画像(非自然画像)に変換する人工知能(AI)技術を開発しました。実際に、この技術を用いて生成した非自然画像を見ている時、人間の視覚注意に関わる脳部位で、自然画像を見ている時とは異なる脳活動が生じていることが確認されました。

本研究で開発した画像変換技術により、人間のトップダウン型とボトムアップ型視覚注意を分離し、それぞれのメカニズムをより詳細に解析することが可能になると考えられます。それにより、異なる視覚注意の特性を活かした新たな危機管理システムや脳と機械を媒介するブレイン・マシン・インタフェース技術の開発につながることを期待されます。

本研究成果は、2022年8月23日に国際学術誌「Neural Networks」にオンライン掲載されました。



イメージ図. 「自然な画像」から、人間が目を惹かれる部分をそのままに「自然でない」画像へ変換する研究。見ている人間は、それぞれの画像の同じ部分に目を惹かれるが、それぞれの画像で異なる脳活動が生み出される。

1. 背景

われわれ人間は何かを見るとき、網膜を通して膨大な情報を受け取ります。この時、それらの情報を効率よく処理するために、重要そうなものから順に焦点をあてていく「視覚注意」という機能が働きます。この視覚注意には、トップダウン型とボトムアップ型の二種類があるとされています。

ボトムアップ型注意とは、ものの色・輝度・方位などの特徴が周囲と大きく異なることによって受動的に引き起こされるもので、例えばまぶしいものや蛍光色に思わず視線を向けてしまうのはこのタイプの注意によります。一方トップダウン型注意とは、経験や課題によって能動的に起こされる注意で、例えば何かものを探すときに視線が動くのはこのトップダウン型注意によるものです。

眠っていない動物ではこれらの二つの注意は神経活動上で重なっているため、それらを区別するような解析は難しいという問題があります。われわれは、ボトムアップ型注意を誘発する強さを表現した顕著性マップ^{※1}が同じになるような画像を生成することで、この問題を解決できると考えました。今回の研究では、同じ顕著性マップを持つ異なる画像を複数生成する技術を開発することと、その技術により生成された画像が、トップダウン型注意のメカニズムの解析に有用かを調べることを目的としました。そのために、人工知能(AI)技術として近年の注目を集めている深層学習を用いた画像変換技術を開発し、類似した顕著性マップを持つ自然な画像（以後、「自然画像」）と自然でない画像（以後、「非自然画像」）^{※2}のデータセットを生成することで、それらの画像を人に見せたときの脳活動（機能的核磁気共鳴画像法、fMRI）^{※3}について実験と解析を行いました。

2. 研究手法・成果

自然画像から顕著性マップを求める手法は既にいくつか提案されていますが、顕著性マップを逆変換して画像を作り出すような研究はまだありませんでした。今回の研究では、深層学習を用いることによってこの逆変換を実現し、自然画像からその自然画像と類似した顕著性マップを持つ非自然画像を作り出すことに成功しました(図1)。

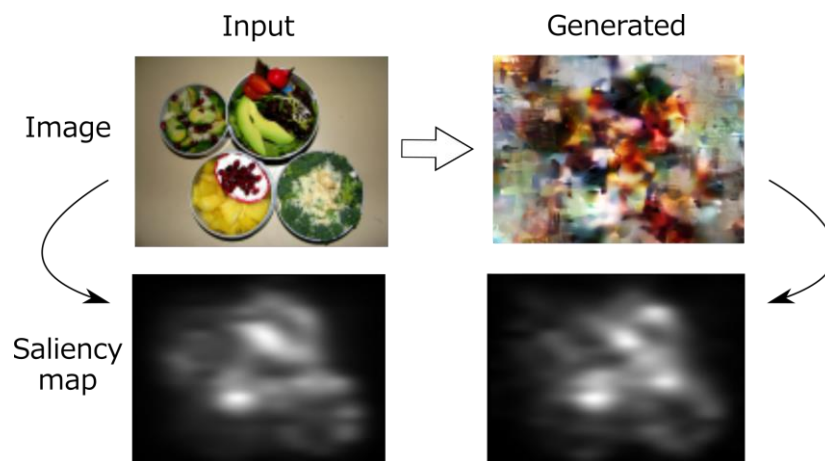


図1. 本研究で生成した画像ペアの一例

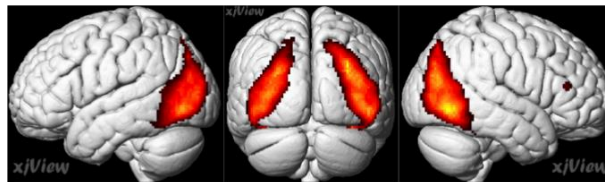
左上が自然画像で、右上が非自然画像、それぞれの下にある画像がそれぞれの顕著性マップ。顕著性マップは類似しているが、自然画像と非自然画像は全く異なる画像となっており、非自然画像は文脈が少ない。

非自然な画像は、文脈が少ない（何が映っているかわかりにくい）ため、画像を見た時にトップダウン型注意があまり誘発されないと考えられます。顕著性マップが類似した自然画像・非自然画像のペアを作り出す

この技術の開発により、今までは不可能だった、視覚注意をボトムアップ型とトップダウン型に切り分ける実験が可能になると考えられます。

開発した画像生成技術によって作られた自然画像と非自然画像のデータセットが、実際に人の視覚注意に関する実験に有効なものであるかを評価するため、fMRI を用いた実験を行いました。実験では、用意した自然画像と非自然画像のデータセットから画像をランダムで実験参加者に見せ、fMRI によってそのときの脳活動を計測しました。自然画像を見ているときは、非自然画像を見ているときよりも両側の高次視覚野^{*4}が有意に高い活動を示しました(図 2(a))。一方で、非自然画像を見ているときは、自然画像を見ているときよりも両側の一次視覚野と両側の下頭頂葉が高い活動を示しました。こうした脳領域は、これまでもトップダウン型およびボトムアップ型注意に関わることが示唆されてきており、今回用意したデータセットが、人の視覚注意機構の解明のための新しいツールとなる可能性を示唆しています。

(a) Natural image > Generated image



(b) Generated image > Natural image

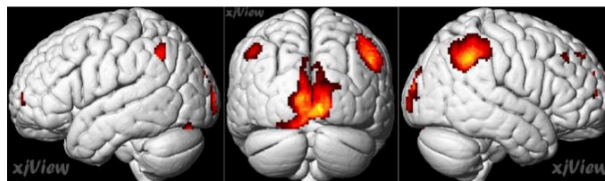


図 2. 脳活動解析の結果

自然画像と非自然画像を見せたときの脳活動の差分析。図 2 (a)は自然画像を見ているとき非自然画像を見ているときよりも（統計的に）有意に活動が高い脳領域で、図 2 (b)はその逆。自然画像を見ているときは両側の高次視覚野が高い活動を示し、非自然画像を見ているときは両側の一次視覚野と両側の下頭頂葉が高い活動を示した。

3. 波及効果、今後の予定

本研究では、トップダウン型注意とボトムアップ型注意の仕組みについて解明するための AI ツールを用意することを目的としましたが、もしこのような視覚注意に関する仕組みが解明できれば、脳活動からトップダウン型注意に基づいて見ているものを復元するなど、新たなブレイン・マシン・インタフェース技術^{*5}の開発につながる可能性があります。こうした脳活動からの視覚情報の復元などの技術は、医療や犯罪捜査から家電や娯楽までさまざまな分野への応用が考えられます。また、ボトムアップ型注意の仕組みを解明することによって、建設作業や運転時の注意の欠如・逸れによる事故を予防するなど、危機管理サポートなどへの応用も考えられます。このように、人間の視覚注意のメカニズムを探ることは、われわれの日常に大きく影響を与える重要なものであると考えられます。

4. 研究プロジェクトについて

本研究は、下記の支援を受けて実施されました。

- ① 予算の出資者：石井 信（研究代表者）、関連研究機関：京都大学情報学研究科、研究課題名：基盤研究(B)・脳の転移可能な機能単位からみる個性とメタ学習能力、課題番号：JP19H04180
- ② 予算の出資者：石井 信（研究代表者）、関連研究機関：京都大学情報学研究科、研究課題名：新学術領域研究（研究領域提案型）・脳情報動態解明に資する多階層・多領域データ統合モデリング法の開発、課題番号：JP17H06310
- ③ 予算の出資者：石井 信（研究代表者）、関連研究機関：京都大学情報学研究科、研究課題名：基盤研究(S)・敵対生成脳：マルチエージェント学習の計算理論、アルゴリズムとロボティクス応用、課題番号：JP22H04998
- ④ 予算の出資者：石井 信（研究分野者）、関連研究機関：東京大学大学院医学研究科、京都大学大学院情報学系研究科、研究課題名：2光子CT法の開発（CREST）、課題番号：JST1111091-16810071
- ⑤ 予算の出資者：石井 信（研究代表者）、関連研究機関：株式会社国際電気通信基礎技術研究所、研究課題名：「人と共に進化する次世代人工知能に関する技術開発事業／人と共に進化する AI システムの基盤技術開発／人と共に進化する AI システムのフレームワーク開発」委託研究「サイボーク AI に関する研究開発」(NEDO)、課題番号：JPNP20006

<用語解説>

- ※1 **顕著性マップ**：画像に対してボトムアップ型注意が誘発されそうな画像領域を推定したもの。眼球運動などを用いて推定され、ヒートマップの形で表現されることが多い。
- ※2 **自然な画像と自然でない画像**：自然画像は実際に撮影された画像。非自然画像は今回の研究で開発したAI技術によって人工的に生成された画像。
- ※3 **機能的核磁気共鳴 (fMRI)**：脳の活動を非侵襲的に測る手法の一つ。脳の活動がどの部位で起きたものを画像化によって可視化する。
- ※4 **高次視覚野**：高次の視覚情報を処理する領域。顔やものの認識に関与することが知られている。
- ※5 **ブレイン・マシン・インターフェース技術**：脳と機械を媒介する技術。例えば脳の活動を機械への入力として変換することで、考えるだけで機械に指示を出すことを可能とする。

<論文タイトルと著者>

タイトル：Deep Learning-based Image Deconstruction Method with Maintained Saliency (視覚的顕著性を維持させた深層学習ベース画像変換法)

著者：Fujimoto Keisuke, Kojiro Hayashi, Risa Katayama, Sehyung Lee, Zhen Liang, Wako Yoshida, Shin Ishii/藤本 啓介, 林浩次郎, 片山梨沙, Sehyung Lee, Zhen Liang, 吉田 和子, 石井 信

掲載誌：Neural Networks

DOI：10.1016/j.neunet.2022.08.015