

2019年3月7日

## 【深層ニューラルネットワークに脳細胞の活動を写し取る】

### 1. 発表者：

大木 研一（東京大学大学院医学系研究科 機能生物学専攻 統合生理学分野 教授  
／東京大学ニューロインテリジェンス国際研究機構 主任研究者）

浮田 純平（東京大学大学院医学系研究科 博士課程2年生）

吉田 盛史（東京大学大学院医学系研究科 機能生物学専攻 統合生理学分野 助教）

### 2. 発表のポイント：

◆目で見た画像に対して視覚野の神経細胞がどのように反応するかを忠実に再現するように、画像と神経細胞の反応の対応関係をコンピュータ上で深層ニューラルネットワーク（注1）に写し取る手法を開発した。

◆今回開発した手法により、個々の神経細胞がどのような画像入力に対して最も良く反応するかを、詳細に深層ニューラルネットワーク上で解析することが可能になった。

◆本手法をマウス一次視覚野の神経細胞の解析に適用することで、さまざまな一次視覚野の性質を説明することができた。

◆本手法をより高次の領域に応用することで、感覚情報が脳内でどのように表現されているかを仮説フリーで明らかにすることが出来るようになることが期待される。さらには、脳神経細胞の活動を写しとった深層ニューラルネットワークを用いることにより、人間や動物の振る舞いに近い人工知能の開発が期待される。

### 3. 発表概要：

近年、人工知能の分野で、深層ニューラルネットワークは大きな進展を遂げ、人間に近い性能で物体の認識を行うことができるようになってきています。一方、人間とは明らかに異なった認識をしてしまう例も報告されています。今後、人工知能がさまざまな分野、特に自動運転や医療診断など人命に関わりうる領域に活用されるにあたって、私たち人間を含む動物がどのように目で見たと視覚情報を処理しているのかを解明することは重要と思われます。さらに、視覚野の情報処理の原理を取り入れることで、より人間などの動物と似たように振る舞う人工知能ができる可能性があります。

東京大学大学院医学系研究科 機能生物学専攻 統合生理学分野・東京大学ニューロインテリジェンス国際研究機構の浮田 純平大学院生、大木 研一教授の研究チームは、目で見た画像に対する視覚野の神経細胞の活動を深層ニューラルネットワークモデルに写し取ることで、神経細胞の活動をコンピュータで詳細に解析する手法を開発しました。本手法をマウス一次視覚野の神経細胞の解析に適用し、各神経細胞がどのような画像に対して最も強く反応するかを仮説フリーかつ網羅的に可視化することができました。

本研究は、日本医療研究開発機構（AMED）「革新的技術による脳機能ネットワークの全容解明プロジェクト」、文部科学省科学研究費助成事業などの支援を受けて行われました。本研究の成果は *Scientific Reports* 誌（3月7日付けオンライン版）に掲載されます。

#### 4. 発表内容：

##### 【研究背景】

私たち人間を含む動物は、目で見た視覚情報から、当たり前のように正しく物体の名前、位置、動きなどの情報を得ることができます。例えば自動車の運転中には、周囲の歩行者や車の位置を正しく認識することができます。このような視覚情報の処理は、大脳皮質の多数の領域で、段階的に行われていることが知られています。最初の段階である一次視覚野（注2）では、物体の輪郭の情報が検出され、個々の神経細胞は、特定の位置にある特定の傾きの輪郭に反応します。一方、一次視覚野から何段階も先にある側頭葉には、顔の画像に対して特異的に反応する神経細胞などが存在することが知られています。このように、神経細胞が特定の画像に対して良く反応する性質は、反応選択性と呼ばれています。

私たちの周囲の世界を見渡すと、目に入ってくる視覚情報は、ほぼ無限の多様性を持っています。しかしながら、実験時間は限られているため、実験に用いることのできる画像の数は限られてしまいます。そのため、従来、高次視覚野の細胞の反応選択性に関する研究は、限られた実験時間の中で、提示する画像を実験者の仮説に基づいて選択し、その仮説を検証する形で行うしかありませんでした。このような従来の手法では、実験者の想定外の反応選択性を見出すことは難しく、他のより重要な反応選択性を見逃している可能性があると思われれます。そのため、視覚野の神経細胞の反応選択性を仮説フリーかつ網羅的に解明する方法を開発することが必要であると考えられます。

##### 【研究手法と結果】

そこで本研究チームは、目で見たさまざまな画像に対する視覚野の神経細胞の活動を深層ニューラルネットワークに写し取ることで、神経細胞の活動をコンピュータ上で詳細に解析する手法を開発しました。まず画像に対する神経細胞の活動を深層ニューラルネットワークに写し取るため、動物に見せた画像と

同じ画像を深層ニューラルネットワークに入力し、その画像に対する神経細胞の活動を教師信号とすることによって、深層ニューラルネットワークを学習させました（ステップ1、図1）。次に、このニューラルネットワークの出力をなるべく大きくするような画像をコンピュータ上で生成することによって、このニューラルネットに写し取った神経細胞の反応選択性を推定しました（ステップ2、図2）。ステップ2について、具体的には、まずノイズ画像を用意し、その画像に対するニューラルネットワークの出力をより大きくするように画像の輝度値を更新します。次に、その更新された画像に対して、ニューラルネットワークの出力をより大きくするように、再度画像を更新します。このプロセスを何度も繰り返すことにより、ニューラルネットワークの出力を最大にする画像をコンピュータ上で生成しました。出来上がった画像は、このニューラルネットに写し取った神経細胞の活動を最大にするような画像であると推測されます。

この手法を検証するために、数百から数千枚の画像をマウスの目に提示しながら一次視覚野の神経細胞の活動を2光子カルシウムイメージング法により記録し、そのデータに対して、この手法を適用しました。まずステップ1により、提示した画像と記録した神経細胞の活動の対応関係を深層ニューラルネットワークに学習させたところ（図1）、他の機械学習モデルよりも高い精度で、新規の画像に対する神経細胞の活動を予測することができました。次にステップ2により、学習済みのネットワークの出力を最大化する画像を生成しました。その結果、白黒の直線のような画像が生成されました（図2）。これは一次視覚野が特定の傾きの直線に良く反応する性質と一致します。

またステップ2において、最初に用意したノイズ画像の細かな違いによって、最終的に生成される画像が異なることが分かりました。この性質を利用して、多数の異なるノイズ画像から画像生成をすることで、細胞が複数の異なる画像に反応しやすい場合は、それらの画像を網羅的に作ることができるのではないかと考えました。実際にマウス一次視覚野のデータでステップ2を複数回行ったところ、毎回ほぼ似た画像が生成されるような細胞と、白黒の直線が平行移動した関係にあるような画像が生成される細胞の二種類の細胞が存在しました（図3）。これらはそれぞれ、一次視覚野の単純型細胞と複雑型細胞（注3）の性質に対応していると考えられます。今回は、一次視覚野での検証実験であったため、既に知られている細胞の反応選択性が同定されましたが、より高次の領野に応用することにより、未知の反応選択性が同定されることが期待されます。

#### 【研究結果から期待されること】

本研究で提案した手法は高次視覚野などの他の視覚野、さらには聴覚野などの他の感覚野の解析にも応用可能です。そのため、脳内における感覚情報の処理機構の解明に、広くこの手法が有用であると期待されます。将来的にはその

知見を取り入れることで、より人間などの動物の振る舞いに近い人工知能を作成することができる可能性も期待されます。

## 5. 発表雑誌：

雑誌名：Scientific Reports オンライン版（日本時間：3月7日）  
論文タイトル：Characterisation of nonlinear receptive fields of visual neurons by convolutional neural network  
著者：Jumpei Ukita\*, Takashi Yoshida & Kenichi Ohki\*（\*は責任著者）

## 6. 注意事項：

日本時間3月7日（木）午後7時（英国時間：7日（木）午前10時）以前の公表は禁じられています。

## 7. 問い合わせ先（at を@に置き換えてください）：

### 【研究に関すること】

国立大学法人東京大学大学院医学系研究科 機能生物学専攻 統合生理学分野  
教授 大木 研一（おおき けんいち）  
TEL：03-5841-3459  
FAX：03-5841-3325  
E-mail：kohki at m.u-tokyo.ac.jp

### 【報道に関すること】

国立大学法人東京大学国際高等研究所 ニューロインテリジェンス国際研究機構  
広報担当  
TEL：03-5841-4140  
FAX：03-5841-0738  
E-mail: pr at ircn.jp

## 8. 用語解説：

（注1）深層ニューラルネットワーク  
多数の層からなる人工ニューラルネットワークのこと。近年、画像認識など幅広い分野で使われて、大きな進展を遂げた。

（注2）一次視覚野  
目からの入力的情報を最初に処理する大脳皮質領域

（注3）単純型細胞と複雑型細胞  
一次視覚野には、視野内の特定の位置に特定の傾きの直線があるときに良く反応する単純型細胞と、特定の傾きの直線が多少ずれた位置にあっても良く反応するような複雑型細胞の2種類の細胞が存在することが知られています。

9. 添付資料：

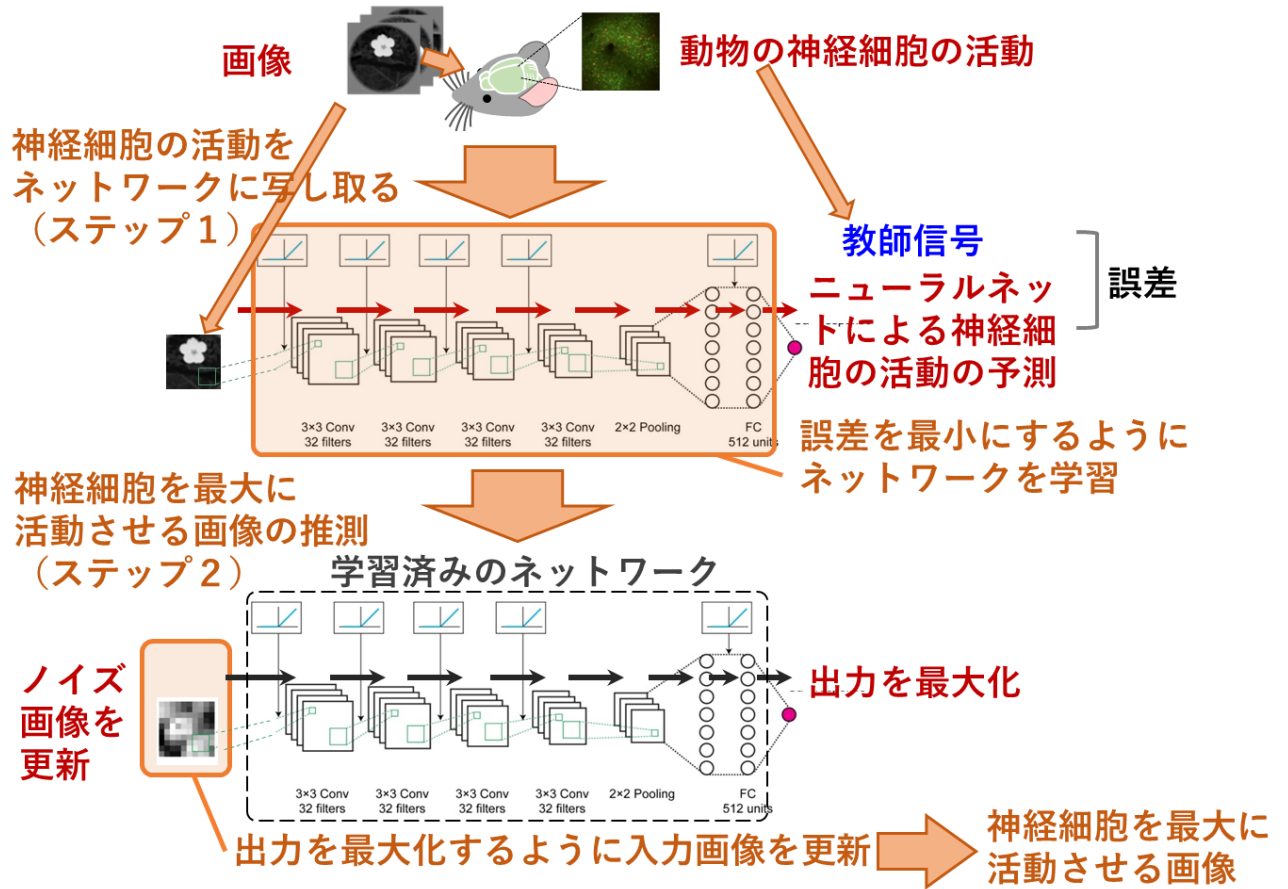


図1. 画像に対する神経細胞の活動を深層ニューラルネットワークに写し取るため、動物に見せた画像と同じ画像を深層ニューラルネットワークに入力し、その画像にたいする神経細胞の活動を教師信号とすることによって、深層ニューラルネットワークを学習させた。

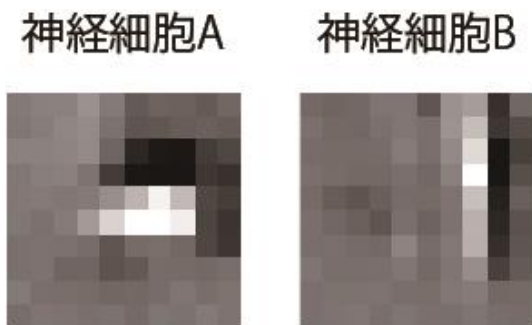


図2. 提案手法を2つの神経細胞に対して適用した結果。いずれの細胞でも、白黒の直線のような画像が生成されている。

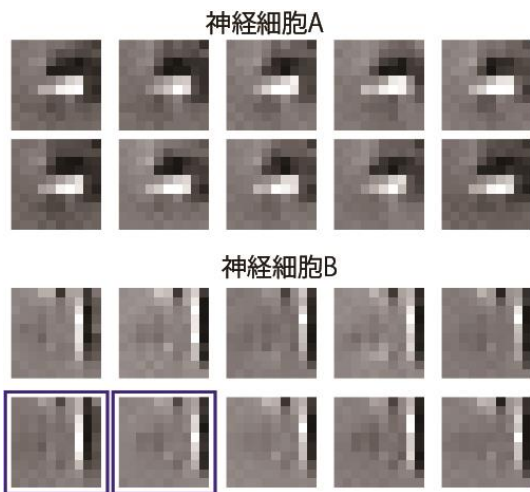


図3. 提案手法を2つの神経細胞に対して10回以上独立に適用した結果。神経細胞Aでは毎回同じような画像が生成されているのに対し、神経細胞Bでは青色で示した2枚の画像のように、白黒の直線が平行移動した関係にあるような画像も生成されている。