

# 視覚系における質感情報表現の階層的情報変換

研究代表者 大澤 五住 (大阪大学大学院生命機能研究科・教授)  
 研究分担者 田村 弘 (大阪大学大学院生命機能研究科・准教授)  
 佐々木 耕太 (大阪大学大学院生命機能研究科・助教)

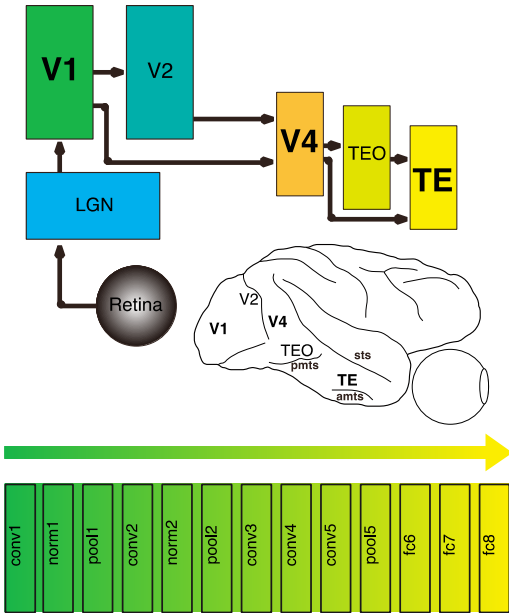


図 1 : サル大脳皮質階層構造と AlexNet 階層構造

## ○研究の背景と目的

目やカメラに映ったいろいろなものを識別することは、かつて哺乳動物の脳だけができたことでした。しかし、十数年前から機械にも人の顔を識別できるようになり、今や、人とほとんど変わらないか、あるいは人以上の精度で、機械が視覚的物体を識別できるようになりました。現在の一般物体識別の技術は、霊長類の大脳視覚皮質における視覚情報処理を参考にして構成された、深層畳み込みニューラルネットワーク (CNN) によりもたらされています。CNN は「人工知能」という名前でも、私たちの生活と切っても切り離せない深い関わりを持ちつつあります。しかし、CNN によってさまざまなことができるようになった一方で、どのようにして実現しているのかわかっていないことが多く、実用上の不安がぬぐえません。

本研究は、おもにデータ駆動型アプローチを用いて質感情報処理を単一細胞の神経活動と対応づけて理解することを目的とし、階層的に構成された視覚系において、質感にかかわる情報処理過程を、主として神経細胞レベルでの電気生理学および心理物理学的手法により解析します。このような手法に加えて、最近の人工ニューラルネットの発展により利用が進む深層畳み込みニューラルネットワーク (CNN) の中間層が担う視覚情報を調べ、実際の動物の脳内の細胞のそれと比較することにより、電気生理学的手

法のみでは得られない示唆が得られると期待されます。本稿では B01-3 班における、このような研究から 2 つの研究について述べます。

## ○Part 1

この研究では、物体認識のための階層的な視覚情報処理過程に注目し、脳と人工的なネットワークとの間で情報処理はどのように進むのか、階層的な情報処理システムに共通する性質を明らかにすることを目指しました。

## ○これまでに得られた成果 1

階層的に配置したサル大脳皮質視覚関連領野 [初期視覚野 (V1)、中次視覚野 (V4)、高次視覚野 (TE) ; 図 1 上] より物体表面画像に対する神経活動をそれぞれ計測し、各領野における情報表現を画像間非類似度行列 (RDM) として求めました。畳み込みニューラルネットワーク (CNN) の一つである AlexNet (図 1 下) に入力した時の各層における RDM も求め、神経活動より求めた RDM と比べました。RDM を用いることで、画像間で神経細胞集団に誘発する活動の類似度を定量化できるので、大脳皮質領野-CNN 層間で情報表現が似ていれば、RDM の相関は高くなります。

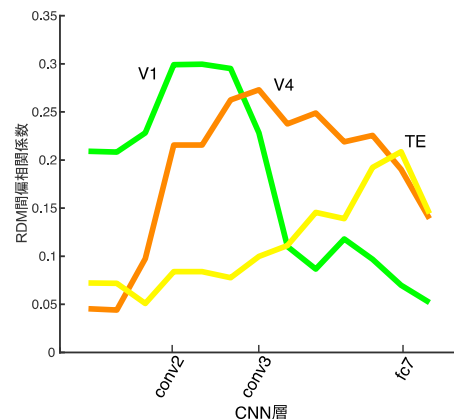


図 2 : 脳の情報表現(画像間非類似度行列 RDM)と CNN の RDM の比較。脳の低次(V1)、中次(V4)、高次(TE)領野における RDM は、それぞれ CNN の低次(conv2)、中次(conv3)、高次(fc7)層の RDM と一致しました。

大脳皮質視覚関連領野における階層性と AlexNet における階層性が、よく一致することが明らかになりました。初期視覚野 (V1) RDM は conv2 層 RDM

と、中次視覚野 (V4) RDM は conv3 層 RDM と、高次視覚野 (TE) RDM は fc7 層 RDM と、それぞれ最もよく相関しました (図 2)。つまり、脳における階層的な情報処理と対応する順番で、人工的なニューラルネットワークでも階層的に処理が進行している様子が明らかになりました。階層的な処理過程が類似していたことから、複雑な視覚特徴の組み合わせとして得られる物体表面画像の処理に際して普遍的に観察される性質が存在すると考えられます。今後は、人工的なネットワークでの詳細な解析を進めることで、脳における情報処理様式の理解を進めます。

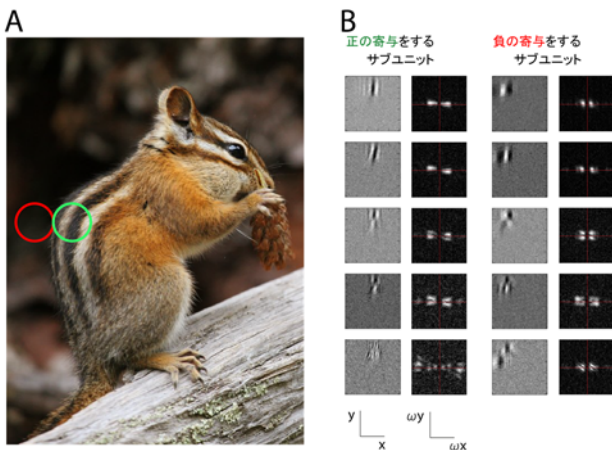


図 3 : (A) シマリスの背中 (緑丸: 縦縞がある) と背景 (赤丸: 縦縞がない) は、「方位の境界」により区別することができます。

(B) こうした方位の境界を検出する CNN のユニットの応答を生み出すサブユニット構成を明らかにしました。

## OPart 2

この研究では、CNN がどのように一般物体識別を実現しているのかを探るべく、CNN の特に中間層でどのような視覚情報が表現されているのか調べています。CNN ではすべての神経結合は既知であること、さらに、とてつもない数の視覚刺激に対するユニットの応答を得ることができること、という特長を生かし、データ駆動型アプローチにより研究を推進しています。

## ○これまでに得られた成果 2

動物の脳にせよ、CNN にせよ、最も基本的な視覚特徴は方位 (傾き) です (大脳皮質一次視覚野には方位に選択的に応答する神経細胞が見つかり、CNN の第一層にも同じ性質を持ったユニットがあります)。動物の脳では、この後、「方位 (視覚テクスチャ) の境界」に応答する神経細胞に視覚情報が伝えられると考えられています。本研究において、これに相当するユニットを CNN において発見しました。また、

この応答を生み出すサブユニットの構成を同定しました。

図 3A は方位の境界の例です。シマリスの背中には縞模様 (縦縞) がありますが、背景にはありません。このような視覚特徴に応答する CNN のユニットを見つけ、応答を作り出しているサブユニット構成を現代的な視覚神経科学の手法により明らかにしました。図 3B に、応答に正の寄与をするサブユニット 5 つと、負の寄与をするサブユニット 5 つを、それぞれの行に示しました。各サブユニットの 2 つの図は、左側は空間領域におけるフィルタのプロファイル、右側はそれをフーリエ変換して得た、周波数領域における表現です。いずれのサブユニットも縦の方位 (縞模様) の検出器として働きますが、正の寄与をするサブユニットは負の寄与をするサブユニットよりも右側にあることがわかります。これは、図 3A に示すような、シマリスの背中と背景のような位置関係で縦の方位の境界が現れた時に、強く応答することを意味しています。

CNN も動物の脳と似たような機構により一般物体識別を実現していることを示唆する結果が得られました。今後、動物の脳を調べる際にも、CNN を改良する際にも、重要な指針となることが期待されます。

## ○関連する研究発表

### 論文

1. [Tamura H](#) (2017) Pairwise correlations of spiking activity changes along the ventral visual cortical pathway of macaque monkeys. *bioRxiv* 220301.

2. 本武陽一, 庄野逸, [田村弘](#), 岡田真人 (2018) 脳情報科学と人工知能-ネオコグニトロンから Deep Learning へ- 情報処理 (情報処理学会誌) 59 : 42-47.

### 学会発表など

1. [Tamura H](#), Pairwise correlation of spiking activities differed among hierarchically organized visual cortical areas of macaque monkeys. 第 40 回日本神経科学大会, 東京, 2017.7.20-23.

2. 中谷光宏, 神田悠汰, [田村弘](#), 自然物体表面画像に対するサル腹側視覚経路神経活動情報表現と畳み込みニューラルネットワーク情報表現の関係. 第 27 回日本神経回路学会全国大会, 北九州市, 2017,9,20-22.

3. Wakitani K, [Sasaki KS](#), [Ohzawa I](#): Curvature-selective units emerged in intermediate layer of a convolutional network. 第 40 回日本神経科学大会 2017.07.21. 幕張メッセ (幕張)

4. Tsukada T, [Sasaki K](#), [Ohzawa I](#): Comparisons of orientation and spatial frequency tuning characteristics across V1, V2 and MT neurons in macaque monkeys. 第 40 回日本神経科学大会 2017.07.22. 幕張メッセ (幕張)