

令和 5 年 6 月 15 日現在

機関番号：17701

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K07713

研究課題名（和文）細胞集団活動を基盤とした観察角度に依らない三次元物体認識人工知能システムの構築

研究課題名（英文）Toward construction of artificial intelligence systems for recognition of three-dimensional objects based on population cell activity

研究代表者

岡村 純也（Okamura, Jun-ya）

鹿児島大学・理工学域工学系・准教授

研究者番号：30447594

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）：二ホンザルの側頭連合野に位置するTE野は物体の情報が処理される最終段の領域である。TE野の細胞集団、及びTE野に主に入力するTE0野の細胞集団の活動を解析した。同じ観察角度で弁別経験した物体に対し、TE野の単一神経細胞は30-60°の観察角度許容性を持って応答することが報告されている。機械学習を用いてTE野の細胞集団の活動を解析したところ、異なる観察角度像の連合学習を経験した物体、同じ観察角度で弁別経験した物体に対し60°程度の観察角度許容性を示した。一方、TE0野の細胞集団の活動を解析したところ、観察角度許容性を示さず、観察角度許容性はTE野で表現される視覚機能であることが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

観察角度が変わると物体の網膜像が大きく変化する。しかし、私たちは観察角度の変化に関わらず同じ物体をよく似た別の物体から区別できる。この観察角度に依らない物体認識が脳のどの部位で形成されるかを本研究課題では明らかにした。物体視の最終段に位置するTE野の神経細胞集団において観察角度許容性が表現され、TE野に入力するTE0野の神経細胞集団では表現されていなかった。このことから、観察角度許容性は物体視の最終段に位置するTE野において表現される視覚機能であることが明らかになった。

研究成果の概要（英文）：Area TE is a final visual area, where object information is processed, in macaque brain. Population responses of the cells in area TE and area TE0, which supplies major afferent to area TE, were analyzed by using machine learning. It has been reported that single cells in area TE show viewing angle tolerance of 30-60° to the objects with a prior experience of within-set image task, in which monkeys had experienced the objects in discrimination at each of several viewing angles. In the present study population of the cells in areas TE and TE0 were analyzed by using machine learning. Population of the cells in area TE showed viewing angle tolerance of 30-60° to the objects that the monkeys had experienced in object task, in which different views of an object were associated, and within-set image task. Viewing angle tolerance of the population of the cells in area TE0 was not observed, suggesting viewing angle tolerance is represented in the population of the cells in area TE.

研究分野：神経科学

キーワード：物体認識 TE野 TE0野 神経細胞集団 機械学習

### 1. 研究開始当初の背景

物体の網膜像は観察角度の変化に伴い大きく変化する。しかし、我々は観察角度の変化に依らずに同じ物体を良く似た別の物体から区別できる。観察角度に依らない物体認識の形成には、異なる観察角度像を経験し、連合学習させることが必要であると考えられてきた (Striker, Nature, 1991)。しかし、ニホンザルを用いた先行行動実験から、異なる観察角度像の連合学習は必要なく、幾つかの観察角度での弁別経験により 60° 程度まで観察角度に依らずに物体を弁別できるようになることが示された (Wang et al., Nat. Neurosci., 2005)。

視覚情報は後頭葉の第 1 次視覚野、第 2 次視覚野で処理された後、腹側路、背側路に沿って処理される (Kravitz et al., Nat. Rev. Neurosci., 2011)。腹側路が形態視の処理に関わり (Tanaka, Annu. Rev. Neurosci., 1996) 最終段に位置する下側頭葉皮質 (Inferotemporal cortex, IT 野) の神経細胞の活動を記録した。同じ観察角度で弁別経験した物体に対し、IT 野の神経細胞は 30-60° の観察角度許容性を示した (Okamura et al., J. Neurosci., 2014)。IT 野は細胞構築学的に前半部の TE 野、後半部の TE0 野に分けられる。TE 野の単一神経細胞が 30-60° の観察角度許容性を示すのに対し、TE0 野の単一神経細胞は観察角度許容性を示さなかった (Okamura et al., Eur. J. Neurosci., 2018)。

### 2. 研究の目的

実際の神経細胞活動を対象とし、機械学習を用いて物体の脳内表現を明らかにすることを目的とした。機械学習のアルゴリズムの 1 つであるサポートベクトルマシンを用い、TE 野、TE0 野の神経細胞集団の活動を解析した。

### 3. 研究の方法

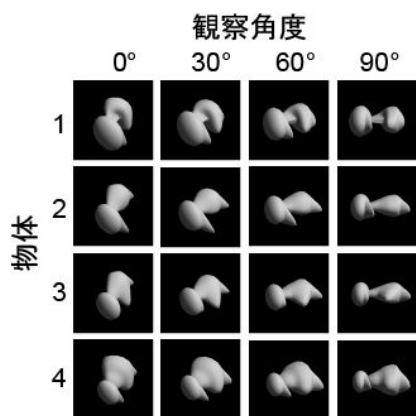


図 1. 物体セットの例

プロトタイプとなる物体を作製し、特徴を変化させ 4 つの類似した物体を作製した。それぞれ観察角度を 0° から 90° まで 30° 間隔で変化させ、合計 16 枚の画像を 1 つの物体セットとした (図 1)。同じ観察角度でセット内の物体を弁別させる within-set image task、観察角度をまたいでセット内の物体を弁別させる object task、異なる物体セットの画像と弁別させる across-set image task の 3 種類のタスクで物体を経験させた。弁別率が 80% 程度で飽和し、画像の暴露数が同じになった後、電気生理学的実験を行った。TE 野、TE0 野について、そ

れぞれ耳を基準として前側に 16-19 mm、2-5 mm で計測した。単一神経細胞の応答から各画像に対する細胞集団応答ベクトルを生成し、サポートベクトルマシンを用いて評価した。具体的には、1 つの観察角度で 1 つの物体と他を区別するよう識別子をトレーニングし、観察角度が 30°、60°、90° 異なる物体画像への応答ベクトルをテストに用いた。5 分割交差検証を行い、識別子の弁別精度は  $d'$  を用いて評価した。100 ms の時間窓を 20 ms ずつ移動させ解析を行った。

### 4. 研究成果

#### (1) TE 野神経細胞の刺激選択性

TE 野神経細胞の刺激選択性を時間経過を追って解析した。500 ms の視覚刺激呈示に対し、

100-260 ms を応答の前半、260-660 ms を応答の後半とした。応答の前半と後半とで刺激選択性を調べたところ、object task で事前経験した物体に対し、応答の前半と後半とで同じ物体の異なる観察角度像に反応する細胞の割合が across-set image task で事前経験した物体に対する応答よりも多かった。一方、across-set image task で事前経験した物体に対しては、応答の前半と後半において同じ観察角度の異なる物体に反応する細胞の割合が object task で事前経験した物体に対する応答よりも多かった。

#### (2) TE 野の神経細胞を対象とした機械学習を用いた解析

サポートベクトルマシンを用い、ある物体を観察角度に依らずにラベル1、他をラベル0としてランダムに振り分けた90%のデータで識別子をトレーニングし、10%のデータでテストした。その結果、across-set image task で事前経験した物体よりも object task で事前経験した物体に対し有意に大きな弁別精度を示した。応答の前半と後半とで比較したところ、応答の後半において2つのtask間の精度の違いが有意であった。

#### (3) TE 野と TE0 野の比較

##### 観察角度間隔 30°

同じ観察角度で弁別経験した物体に対して TE 野の神経細胞集団は 30° の観察角度許容性を示し、500 ms の視覚刺激呈示に対し 170-330 ms の時間窓においてランダムにラベル付けされた  $d'$  の値に比べて有意な  $d'$  値の上昇がみられた。一方、TE0 野の神経細胞集団においては有意な  $d'$  値の上昇はみられなかった。TE 野の神経細胞集団において、観察角度をまたいで弁別経験する object task で経験した物体に対して 130-310 ms、350-750 ms の時間窓において有意な  $d'$  値の上昇がみられた。一方、TE0 野の神経細胞集団では有意な  $d'$  値の上昇はみられなかった。単純な画像の暴露である across-set image task で経験した物体については TE 野、TE0 野の神経細胞集団は共に有意な  $d'$  値の上昇はみられなかった。

##### 観察角度間隔 60°

TE 野の神経細胞集団において、object task で経験した物体に対し 190-270 ms の時間窓で有意な  $d'$  値の上昇がみられた。一方、TE0 野の神経細胞集団では有意な  $d'$  値の上昇はみられなかった。

##### 観察角度間隔 90°

TE 野、TE0 野の神経細胞集団において共に有意な  $d'$  値の上昇はみられなかった。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Wang Ridey H., Dai Lulin, Okamura Jun-ya, Fuchida Takayasu, Wang Gang	4. 巻 10
2. 論文標題 Object discrimination performance and dynamics evaluated by inferotemporal cell population activity	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IBRO Neuroscience Reports	6. 最初と最後の頁 171 ~ 177
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ibneur.2021.02.008	査読の有無 有
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 Okamura Jun-ya, Wang Ridey Hsiao, Kawano Kousuke, Wang Gang	4. 巻 32
2. 論文標題 Differences in the neuronal correlation between the central and peripheral vision in the cat early visual cortex	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 NeuroReport	6. 最初と最後の頁 899 ~ 906
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1097/WNR.0000000000001675	査読の有無 有
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 Okamura Jun-ya, Yamamoto Yusuke, Dai Lulin, Uto Yoshihiro, Yamada Yousuke, Wang Gang	4. 巻 82
2. 論文標題 Analysis of Representations of 3-Dimensional Objects in the Cell Populations in the Temporal Association Area Using Machine Learning	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IFMBE Proceedings	6. 最初と最後の頁 181 ~ 187
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-66169-4_23	査読の有無 有
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 Dai Lulin, Okamura Jun-ya, Wang Gang	4. 巻 9
2. 論文標題 Dynamics of Stimulus Selectivity in Inferotemporal Neurons	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Advanced Biomedical Engineering	6. 最初と最後の頁 93 ~ 99
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14326/abe.9.93	査読の有無 有
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 山田陽介、岡村純也、王 鋼	4. 巻 120
2. 論文標題 下側頭葉皮質における興奮性細胞及び抑制性細胞の三次元物体認識への関わり	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 電子情報通信学会技術研究報告	6. 最初と最後の頁 7~10
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 ワン ライディ、岡村 純也、王 鋼	4. 巻 142(5)
2. 論文標題 三次元物体弁別学習に伴う事象関連電位の変化とその発生源	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 電気学会論文誌C (電子・情報・システム部門誌)	6. 最初と最後の頁 522 - 529
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejieiss.142.522	査読の有無 有
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 -

[学会発表] 計3件(うち招待講演 0件/うち国際学会 0件)

1. 発表者名 岡村純也、山本悠介、Dai Lulin、宇都嘉浩、山田陽介、王鋼
2. 発表標題 機械学習を用いた側頭連合野神経細胞集団における三次元物体の表現の解析
3. 学会等名 第59回日本生体医工学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Jun-ya Okamura, Yusuke Yamamoto, Lulin Dai, Yoshihiro Uto, Yousuke Yamada, Gang Wang
2. 発表標題 Analysis of representations of 3-dimensional objects in the cell populations in the temporal association area using machine learning
3. 学会等名 The 11th Asian Pacific Conference on Medical and Biological Engineering
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山田陽介、岡村純也、王 鋼
2. 発表標題 下側頭葉皮質における興奮性細胞及び抑制性細胞の三次元物体認識への関わり
3. 学会等名 MEとバイオサイバネティックス研究会
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
研究分担者	王 鋼 (Wang Gang)  (40274831)	鹿児島大学・理工学域工学系・教授  (17701)	

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
---------	---------