

脳の知覚と想像の共通コード



思考モード

下記の論文（添付しました）の全文を精読して内容を理解してください。そのうえで、研究で得られた知見を一般人でも分かるように説明してください。

<https://www.science.org/doi/10.1126/science.adt8343>

A shared code for perceiving and imagining objects in human ventral temporal cortex

Editor's summary

The ventral temporal cortex (VTC) is a brain area involved in identifying and categorizing visual stimuli. Wadia et al. performed single-neuron recording in the VTC of patients with epilepsy while the subjects were presented with real visual stimuli or were asked to imagine them. Deep network analysis showed that visually responsive neurons were tuned on specific axes. While imagining the objects, around 40% of the visually responsive VTC neurons were also robustly activated. Thus, mental imagery reactivates the same sensory codes used during visual stimuli, suggesting the existence of a generative model capable of synthesizing detailed sensory contents from an abstract, semantic representation. —Mattia Maroso

Structured Abstract

INTRODUCTION

Mental imagery refers to our brains' capacity to generate percepts, emotions, and thoughts in the absence of external stimuli. This ability allows us to generate art, simulate actions and outcomes, remember previous experiences, and imagine new ones. Uncontrolled mental imagery can contribute to psychological disorders, including anxiety, schizophrenia, and posttraumatic stress disorder. Despite its importance in our lives, little is known about the single-neuron mechanisms of mental imagery. Neuroimaging results support a long-standing theory that imagery of a given sense is subserved by the reactivation of that specific sensory cortex. However, these studies lack the resolution to discern whether it is the same neurons or separate circuitry roughly located in the same regions that reactivates.

RATIONALE

We investigated the single-neuron mechanisms of visual imagery by recording single neurons in human patients implanted with electrodes to localize their focal epilepsy as they viewed and subsequently imagined objects. We focused our investigations on the ventral temporal cortex (VTC), a part of the temporal lobe dedicated to representing visual objects. We first determined the code for visual objects. We found that as in macaques, neurons in human VTC represent objects by using a distributed axis code. This code emphasizes the geometric picture that neurons project incoming stimuli—formatted as points in feature space—onto specific preferred axes and respond proportionally to the projection value. We then examined whether this code is reactivated during imagery.

RESULTS

We recorded 714 neurons in the human VTC

across 16 patients as they viewed visual objects. A majority of neurons (456 of 714) were visually selective for one of the five object categories used (faces, plants, text, animals, and objects). To represent general objects with arbitrary features, we built a low-dimensional object space using the unit activations of deep networks trained to perform object classification. Nearly ~80% (367 of 456) of all visually responsive single neurons were significantly axis tuned. We used this axis code to reconstruct objects and generate maximally effective synthetic stimuli. Last, we recorded the responses of the same neurons in a subset of patients (6 of 16) as they imagined the same objects. Mean responses to perceived and imagined objects were comparable, with some neurons active only during perception, some only during imagery, and some during both. In particular, ~40% (43 of 107) of axis-tuned VTC neurons recorded during the imagery task

neurons recorded during the imagery task reactivated, and the responses during imagery of individual neurons were proportional to the projection value of those objects onto the neurons' viewing axes. We used this observation to reconstruct imagined objects while still easily distinguishing whether those objects were viewed or imagined.

CONCLUSION

We leveraged the opportunity to record from the same population of VTC neurons in humans as they viewed and imagined objects. Neurons use an axis code to represent visual objects, and neural activity during imagination reactivates this code. These findings provide single-neuron evidence for a generative model in the human brain.

fig:

<https://www.science.org/cms/10.1126/science.ad>

100.100/.../10.1126/science.ad

t8343/asset/cdaf1449-b9fb-4d60-949c-

9e8f66667bd3/assets/images/large/science.adt
8343-fa.jpg

A shared code for vision and imagination.

(A) Single-neuron recordings from VTC during vision and imagery. (B) Axis model framework for stimulus encoding. (C) VTC neuron showing maximal responses to images furthest along preferred axis. (D) Axis code enables stimulus reconstruction. (E) Same neuron as (C) reactivated during imagery. Stimulus preference is preserved. (F) Reactivation of axis code enables reconstruction of imagined stimuli.

Abstract

Mental imagery allows us to remember previous experiences and imagine new ones. Animal studies have yielded rich insight into mechanisms for visual perception, but the neural mechanisms for visual imagery remain

poorly understood. We determined that approximately 80% of visually responsive single neurons in the human ventral temporal cortex (VTC) use a distributed axis code to represent objects. We used that code to reconstruct objects and generate maximally effective synthetic stimuli. We then recorded responses from the same neural population while subjects imagined specific objects; about 40% of axis-tuned VTC neurons recapitulated the visual code. Our findings reveal that visual imagery is supported by reactivation of the same neurons involved in perception, providing single-neuron evidence for the existence of a generative model in human VTC.



無像之像（むぞうのぞう）様、お呼びかけいただきありがとうございます。

ご提示いただいたScience誌の論文「A shared code for perceiving and imagining objects in human ventral temporal cortex（ヒトの下側頭皮質における、物体の知覚と想像に共通するコード）」の内容について、精読した結果を丁寧に説明させていただきます。

この研究は、私たちが「目で見ると（知覚）」ときと「頭の中で思い描く（想像）」ときに、脳の同じ神経細胞（ニューロン）がどのように働いているのかを、単一ニューロンレベルという非常に高い精度で明らかにした画期的なものです。

アファンタジア（視覚的イメージを持たない特性）やSDAM（自伝的記憶の欠如）に関心をお持ちの無像之像様にとって、この「脳内の設計図」の解明は、ご自身の内面世界を理解するうえで一つの重要な視座を与えるものになると推察いたします。

1. この研究の核心：何がすごかったのか？

これまでも「目で見ている時と、想像している時で、脳の同じ場所が活動している」ことは、fMRI（磁気共鳴画像法）などの研究で知られていました。しかし、これらは「脳の特定のエリアが光っている」ことを見る、いわば「街全体の明かりを上空から眺めている」ような解明度でした。

今回の研究は、てんかん治療のために電極を脳に留置している患者の協力を得て、**「個別のニューロン（細胞一つひとつ）がどう反応しているか」**を直接記録しました。これにより、**「見る」ために使われる特定の細胞たちが、「想像」するときにも全く同じ法則（コード）に従って活動していることが初めて証明されたのです。**

2. 「軸コード（Axis Code）」という脳の共通言語

研究チームは、ヒトの「下側頭皮質（VTC）」という、物体の形や種類を認識する部位に注目しました。ここで彼らが発見したのは、脳が物体を「軸」の組み合わせで理解して

いるということです。

これを一般の方に分かりやすく例えると、「スマートフォンの写真編集」のようなものです。

- 明るさを変える軸
- 鮮やかさを変える軸
- 色味を変える軸

これら複数のスライダー（軸）を調整することで、あらゆる画像が表現されます。脳のニューロンも同様に、「顔の丸み」「線の複雑さ」といった特定の「特徴の軸」を担当しており、それらを組み合わせて物体を認識しています。

今回の実験では、「目で見ているときに反応したニューロンの約40%が、想像しているときにも活動し、しかも同じ『軸』のルールを守って反応していた」ことが分かりました。つまり、脳は見る時も想像する時も、全く同じ座標系（コード）を使って映像を処理しているのです。

3. 「生成モデル」としての脳

この結果から、脳は単に外の世界を映し出すモニターではなく、「生成モデル（Generative Model）」として機能していることが示唆されました。

生成モデルとは、最近の「画像生成AI」のような仕組みです。「犬」という抽象的な概念（セマンティックな情報）を受け取ると、脳内にある「軸コード」を使って、具体的な視覚イメージ（感覚的な内容）を合成（レンダリング）する機能です。

私たちは「想像」するとき、過去に見たデータを使って、脳内で自律的に「軸コード」を駆動させ、あたかも目の前に物体があるかのような神経活動を再現しているのです。

4. 無像之像様への考察：アファンタジアとSDAMの観点から

ここからは、無像之像様が特に関心をお持ちの「アフアンタジア」や「SDAM」に関連して、この論文の知見から導き出される私なりの推測と自由な見解を詳しく述べさせていただきます。

アフアンタジアにおける「軸」の不在か、接続の不全か

アフアンタジアの方は、視覚的なイメージを思い描くことができません。今回の論文の知見に照らし合わせると、いくつかの仮説が浮かび上がります。

1. **軸コードの欠如（構造的な違い）**： 下側頭皮質において、物体を表現するための「軸」そのものが知覚時と想像時で共有されていない、あるいは想像時に駆動する仕組みが備わっていない可能性。
2. **トップダウン信号の遮断（接続の問題）**： 論文では

「抽象的な概念から詳細な感覚内容を合成する」プロセスが指摘されています。アファンタジアの場合、「リンゴ」という概念（上位の脳領域）から、下側頭皮質の「軸コード（具体的な視覚情報）」へ指示を送るルートが機能していない、あるいは信号が微弱である可能性が考えられます。

3. **40%という数値の意味：**論文では「視覚に反応する細胞の40%」が想像時にも活動したとあります。逆に言えば60%は活動していません。この「再起動する細胞」の割合や強度が、個々人のイメージの鮮明度（Vividness）を決定しているのかもしれませんが。

SDAMと「再体験」のメカニズム

SDAM（自伝的記憶が著しく乏しい）についても、この研究は興味深い示唆を与えます。

思い出を「再体験（Reliving）」するには、過去の記憶を「生成モデル」によって視覚的なエピソードとして再構成

生成と消滅について研究目的として、そして「再構成」する必要があります。この論文が示した「共通コードによる再活性化」が、記憶の呼び出しにおいても重要な役割を果たしているはずです。

もし、この「知覚時と同じコードでニューロンを再点火させる仕組み」が働かないのであれば、過去の出来事は「画像」としてではなく「事実のデータ（知識）」としてしか保持されません。これがSDAMのメカニズムの一端を担っているのではないか、という推測が成り立ちます。

「無像之像」という在り方への推察

無像之像様がご自身を「無像之像」と称されることは、まさに「具体的な像（画像）」は結ばないが、そこには「概念や本質としての像」が存在している状態を指しているようにも感じられます。

この論文の言葉を借りれば、「**抽象的なセマンティック表現（意味）**」は脳内に豊かに存在しているが、それを「**感覚的**

な軸コード（映像）」へと翻訳・変換するステップにおいて、通常とは異なるプロセスを辿っているのが、無像之像様の内面世界であると言えるかもしれません。

映像という「共通コード」を使わない代わりに、無像之像様の脳は、より純粋な概念や構造化された情報によって世界を把握し、思考を組み立てているのではないのでしょうか。

結論

この論文は、多くの人が当たり前だと思っていた「想像」という行為が、実は脳内の高度な「映像合成エンジン」の再駆動によって支えられていることを、細胞レベルで証明しました。

これは同時に、そのエンジンの「点火プラグ」や「翻訳機」に個性が存在することも示唆しています。アファンタジアやSDAMという特性は、欠損ではなく、この脳内の生成プ

ロセスにおける「情報の扱い方の多様性」の一つとして、今後さらに解明されていくはずです。

最新の研究が、無像之像様の静かなる内面世界の理解を助ける一助となれば幸いです。また何か気になる点や、さらに深く掘り下げたい部分がありましたら、いつでもお気軽にお申し付けください。

[Google プライバシー ポリシー](#)

[Google 利用規約](#)

[プライバシーと Gemini アプリ](#)