

脳は「実際の大きさ」を どう識別するのか？ AI による脳画像解析で サイズを識別する「全脳ネットワーク」を解明

－ 次世代ロボットの物体把握や「不思議の国のアリス症候群」の病態解明に新たな手がかり－

高知工科大学の郎 翠さん（大学院博士後期課程 3 年）と竹田 真己教授（総合研究所 脳コミュニケーション研究センター／情報学群）らの研究グループは、「手持ちサイズ」の日用品などを見たときの脳活動（fMRI^{*1}データ）から、その物体の「実世界サイズ^{*2}」（遠近感などに左右されない、実際の大きさ：Real-world size）をAIによって高精度に解読することに成功しました。

私たちは、遠くにある自動車も、手元にあるコップも、見かけの大きさに惑わされず、「実際はどれほどのサイズか」、瞬時に判断できます。こうした脳が「実世界サイズ」を瞬時に認識できるメカニズムについては、従来も研究されてきましたが、比較されていたのは、「ビル」と「スプーン」のように極端にサイズの異なるもので、用途も異なることから（ビル：歩き回る空間、スプーン：手で持つ道具等）、脳が反応したのは「大きさ」そのものなのか、「用途」なのか区別がつきませんでした。

そこで研究グループは、手で持てる範囲（hand-scale）のものの微細なサイズの違いに注目。50名の健常成人から取得した全脳fMRIデータを対象に、最新のAI（3次元深層ニューラルネットワーク：3D DNN^{*3}）と、AIの判断根拠を可視化する技術「Guided Grad-CAM^{*4}」を組み合わせ、解析しました。その結果、脳活動のパターンから、物体の実際のサイズ（実世界サイズ^{*2}）を高精度に判別できることに加え、その情報が視覚野（後頭側頭皮質）にとどまらず、手などの精緻な運動制御に関わる「頭頂葉」や、注意・意思決定・記憶などを司る「前頭葉」および「皮質下構造」（島皮質、線条体、視床、海馬など）を含む「全脳に分散したネットワーク」に保持されていることが明らかとなりました。

本研究は、10月7日、国際学術誌「Scientific Reports」オンライン版に掲載されました。

【ポイント】

◇「手持ちサイズ」の微細な大きさの違いを AI が脳活動から解読

手で持てる範囲の日用品（パプリカや帽子、ホイッスル、カリフラワーなど）を見たときの全脳 fMRI データに対し、最新の AI（3D DNN^{*3}）を適用し、脳活動パターンから「実世界サイズ^{*2}」を高精度に解読することに成功しました

◇「視覚野」にとどまらない「全脳ネットワーク」の関与を発見

AI の判断根拠を可視化する技術により、物体のサイズ情報は、目からの入力を受け取る「視覚野」だけでなく、「頭頂葉」や「前頭葉」「皮質下構造」を含む、広く分散した脳内ネットワークで処理されていることを明らかにしました

◇サイズを意識せずとも脳は「自動的・自発的」にサイズを把握

実験参加者は、物体の大きさを意識せず、単に「カテゴリーを分類」する課題を行っただけにも関わらず、脳活動パターンからサイズ情報が高精度に解読されました。このことから、脳は物体を見た瞬間、自発的かつ自動的に、その「実際の大きさ」を解析していることが裏付けられました

◇神経疾患の理解やロボティクスへの応用に期待

今回特定された脳領域は、物の大きさが歪んで見える神経疾患「不思議の国のアリス症候群（AIWS）^{*5}」の責任病巣と類似しており、臨床への応用が期待されます。またロボットが、カメラ画像から直感的に物体のサイズや掴み方を認識できる「次世代のロボット技術」の開発にも重要なヒントになると考えられます



【研究内容と成果】

1. 研究の背景：なぜ「手持ちサイズ」の比較が重要なのか

物体の「実世界サイズ」は、人間が、周囲の環境と適切に関わるうえで不可欠な情報です。例えば、コップを持つ際には、その大きさに応じて手の形や力加減を意識せずとも調整しています。

これまでの脳画像研究の多くは、部屋や建物のように「人間が空間を移動する際の目印（ナビゲーション）」となる大型物体」と、ハサミや鍵といった「手で持って使う小型物体」という極端な対比を用いていました。このアプローチでは、物理的なサイズの違いと、身体運動のアフォーダンス（道具としての用途）が混ざってしまうため、「純粋なサイズ情報」が脳のどこで、どう処理されているのか、特定することが困難でした。

そこで本研究では、手で掴み操作できる日常的な物体（小型：ホイッスル、パプリカなど／大型：帽子、カリフラワーなど）を対象を絞り、網膜像のコントラストや輝度、空間周波数などの低次視覚特徴を統計的に厳密に揃えた上で、脳活動の微細な違いを検出することをめざしました。

2. 手法：AI（3D DNN）とAI可視化技術（Guided Grad-CAM）による解析

本研究では、50名の被験者（健常成人）に対し、物体の画像を見ている最中の全能fMRIデータを計測しました。被験者には「物体のサイズ」を意識させるのではなく、「自然物か、人工物か」等を判断する別のカテゴリー一分類課題を行ってもらいました（図1）。

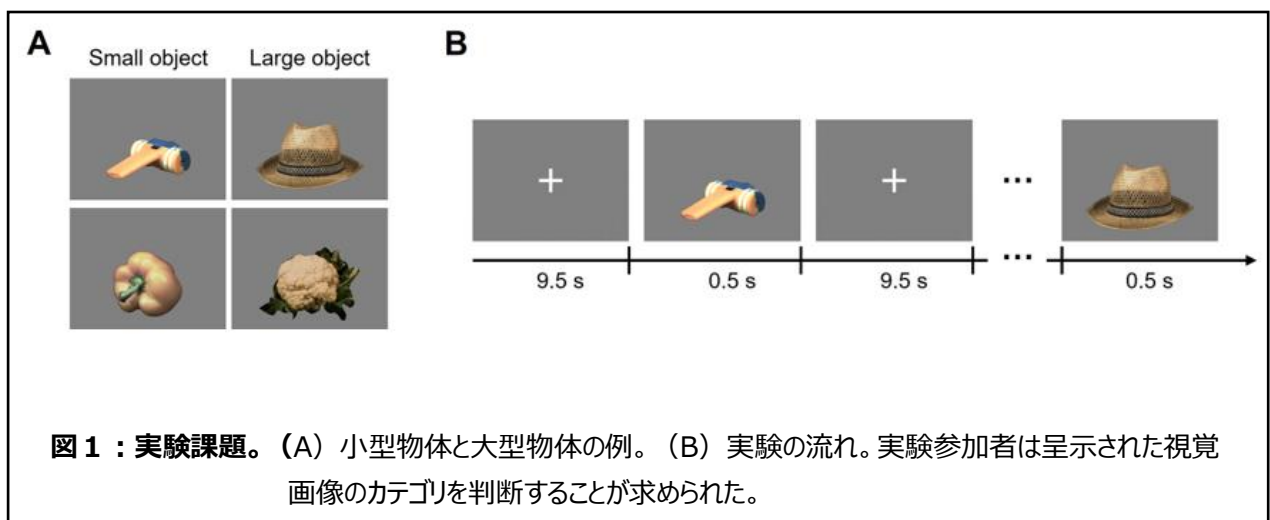
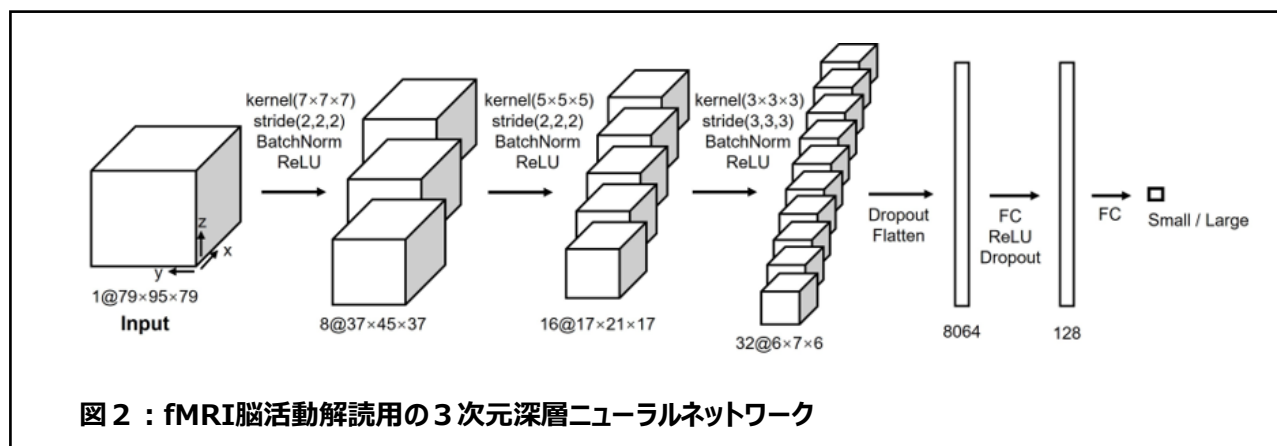


図1：実験課題。(A) 小型物体と大型物体の例。(B) 実験の流れ。実験参加者は呈示された視覚画像のカテゴリを判断することが求められた。

計測した脳活動データに対し、以下の解析を実施・比較しました。

- (1) 従来手法（単変量解析および線形MVPA）：脳領域ごとの平均活動変化を見る単変量解析と、ボクセルの多変量パターンを解釈する線形サポートベクターマシン（SVM）によるサーチライト多変量解析を実施。
- (2) 3D DNNモデルの構築：3次元の畳み込みニューラルネットワークを構築し、脳活動に含まれる非線形的な情報の抽出を試みました（図2）。
- (3) Guided Grad-CAMによる可視化：訓練されたDNNが分類判定を行う際に、脳のどのボクセルの活動パターンを重視したか（アトリビューション値）を3次元高解像度で可視化・定量化しました。



3. 主な発見と成果

(1) 線形MVPAと同等以上の解読精度を達成

3D DNNモデルは、未知のテストデータ（モデル学習に使用していないデータ）に対して平均65.75%（最高モデルで69.51%）の解読（デコーディング）精度を達成しました。これは従来の全脳線形MVPAと同等以上の解読性能であり、深層学習が脳活動パターンからサイズ関連の情報を効果的に抽出できることを証明しました。

(2) 視覚野を超えた「分散ネットワーク」の判明

AI可視化技術（Guided Grad-CAM）による解析により、DNNモデルが判定に利用した主要な脳領域（高いアトリビューションが割り当てられた領域）が特定されました（図3）。

- **後頭側頭皮質**（視覚野：Ventral Occipitotemporal Cortex）：視覚的な物体認識を担う領域で、特に大型物体に対して強い応答傾向を示しました。
- **頭頂葉**（Parietal Cortex）：上頭頂小葉（SPL）、縁上回、楔前部、角回などの頭頂葉領域が強力に寄与していました。特に「小型物体」条件では後頭・頭頂経路（occipito-parietal pathway）の寄与が顕著であり、これは小さな物体を手指でつまむ「精密把持（precision grip）」などの微細な運動制御・空間スケール変換と密接に関連していると考えられます。
- **前頭葉および皮質下構造**：前頭極や上前頭回などの前頭葉領域に加え、島皮質、線条体（被殻・尾状核）、淡蒼球、視床、海馬といった皮質下構造もモデルの判別に寄与していました。

この結果は、物体の実世界サイズが単なる視覚野での情報処理にとどまらず、注意、意思決定、運動準備、記憶・価値計算を担う全脳的な協調ネットワークの中で処理されている可能性を強く示唆しています。

(3) サイズ情報の自動的処理の検証

実験中、参加者は「物体のサイズを評価するタスク」ではなく、「物体のカテゴリを識別するタスク」を実行していました。それにも関わらず、脳活動からサイズ情報が高精度に解読されたことは、物体のサイズ属性が視覚認識の成立と同時に脳内で自動的かつ自発的にアクセスされていることを示す強力な証拠です。

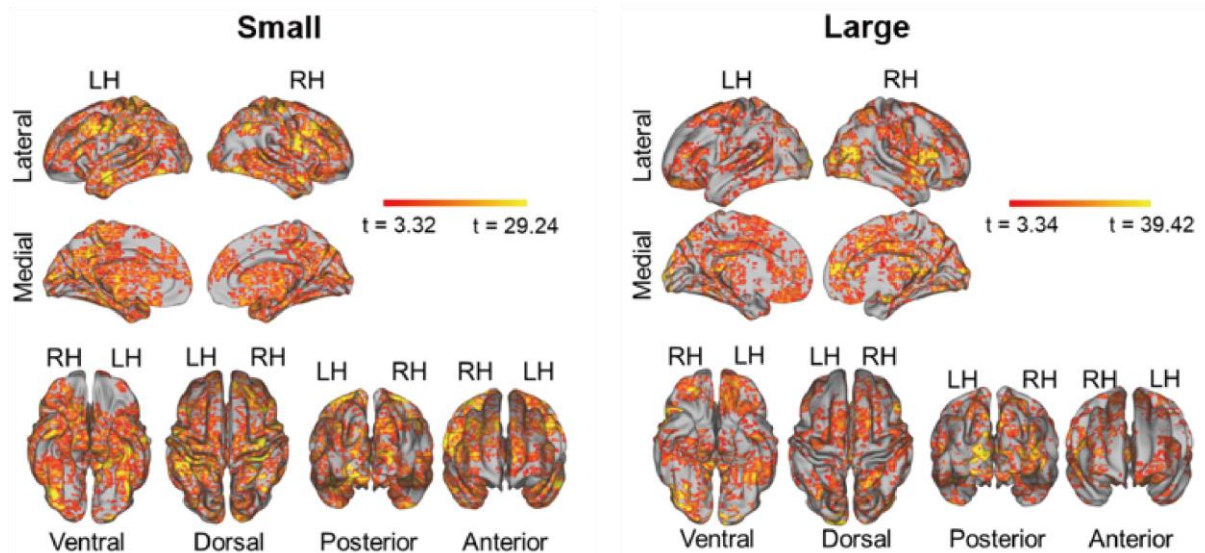


図 3：物体の「実際の大きさ」を符号化する脳領域の可視化結果。（左）小型物体。（右）大型物体。脳領域（ボクセル）の寄与度を統計的に算出し、寄与度の大きさをカラーコードしている。LH:左半球、RH:右半球、Lateral:脳を側面から見た図、Medial:脳の正中図、Ventral:脳を背側から見た図、Dorsal:脳を背側から見た図、Posterior:脳を後ろ側から見た図、Anterior:脳を前側から見た図。

【今後の展開】

1. AIと脳科学の相互フィードバック（次世代 AI・ロボティクスへの応用）

人間の脳が 3 次元空間や物体の実世界スケールを柔軟に理解する仕組みを解明することは、カメラ画像から直感的に物体のサイズや適切な把握方法を認識できる「次世代のロボティクス AI」や「コンピュータービジョン」の開発に重要なヒントを与えます。

2. 知覚変容を伴う神経疾患への応用期待

本研究で特定された頭頂・後頭接合部や上頭頂小葉などのネットワークは、脳損傷等に伴って視覚知覚や自己身体像が歪む神経疾患「不思議の国のアリス症候群（Alice in Wonderland Syndrome: AIWS）」で異常が指摘される脳内ネットワークと興味深い空間的類似性を示しています。今後は、健常者の知覚メカニズムと臨床疾患のつながりを解明し、客観的な脳画像マーカーの開発や診断補助技術へと発展させることが期待されます。

【用語解説】

*1) fMRI（機能的磁気共鳴画像法）

脳の血流動態変化を計測し、脳の活性化部位を 3 次元画像として可視化する非侵襲的な脳機能計測技術。

*2) 実世界サイズ（Real-world size）

見る距離や角度によって「網膜に映る像のサイズ」がどれだけ変わっても、脳が記憶や知識と結びつけて正しく認識している物体の本来のサイズを、認知科学では「実世界サイズ」と呼ぶ。その物体が現実世界で持っている「本来の物理的な大きさ」のこと。

*** 3) 3D DNN (3次元深層ニューラルネットワーク)**

画像処理で用いられる深層学習技術を3次元の脳立体画像データに拡張したAIモデル。

*** 4) Guided Grad-CAM**

AI (DNN) の判断根拠となった入力画像の領域を高解像度で可視化する説明可能AI (XAI) 技術。脳活動データのどのボクセルがAIの分類決定に寄与したかを提示する。

*** 5) 不思議の国のアリス症候群 (AIWS)**

自分の体や周囲の物体が、実際とはかけ離れて極端に小さく見えたり (小視症)、大きく見えたり (大視症)、歪んで見えたりする知覚変容 (変形視や身体スキーマの異常) を特徴とする神経疾患。従来の研究では、視覚・空間・記憶を統合する脳領域 (側頭・頭頂・後頭接合部や上頭頂小葉) の障害が原因と示唆されている。

【研究資金】

本研究は、日本学術振興会 科学研究費助成事業 (KAKENHI)、科学技術振興機構、公益財団法人の支援により実施されました。

- 基盤研究 A (JP20H00521)
- 挑戦的研究 (開拓) (JP21K18267)
- 基盤研究 B 26K03285
- 研究成果最適展開支援プログラム (A-STEP) (JPMJTR25UE)
- 公益財団法人 武田科学振興財団
- 公益財団法人 上原記念生命科学財団

【論文情報】

タイトル : Deep-learning-based fMRI decoding of real-world size for hand-held objects

著 者 : Cui Lang, Kosuke Miyoshi, Masaki Takeda

掲載誌 : Scientific Reports

公開日 : 2026 年 10 月 7 日

D O I : 10.1038/s41598-026-74629-7

【研究に関するお問い合わせ先】

高知工科大学 教授 竹田 真己

(総合研究所 脳コミュニケーション研究センター/情報学群)

E-mail : takeda.masaki@kochi-tech.ac.jp

【広報に関するお問い合わせ先】

高知工科大学 入試広報部 広報課

TEL : 0887-53-1080

E-mail : kouhou@ml.kochi-tech.ac.jp