

報道機関 各位

土器の三次元形状を深層学習で解析する新手法を開発 食器としての観点から須恵器を分析、古代日本の食習慣に迫る

【本研究のポイント】

- ・土器の三次元(3D)点群データを用いて形態学的分類を行う深層学習(ディープラーニング)^{注1)}モデルを開発し、二次元形状の解析では実現できなかった分類に成功した。
- ・猿投窯^{注2)}出土の須恵器^{注3)}917点の点群に対して高精度で分類が可能であることを示した。
- ・PCA^{注4)}、階層クラスタリング^{注5)}、3D Grad-CAM^{注6)}によって分類の解釈性を高めた。
- ・須恵器の形態学的変化が食習慣の変化に関連している可能性を指摘した。
- ・再現性と拡張性のためにデータセットやコードをオープンソース化した。

【研究概要】

名古屋大学大学院人文学研究科附属人類文化遺産テキスト学研究センターの井上隼多 助教と、同大学院情報学研究科の堀 涼 日本学術振興会特別研究員 PD(受入機関:名古屋大学)は、University College London の立田 渉 氏(筆頭筆者・本学文学部卒業生)および、Georgia Institute of Technology の森川 公康 氏との共同研究で、AI(人工知能)による須恵器の三次元形態分類を用いて古代日本の食習慣の変化を考察しました。

本研究では、古代(8~9世紀)の須恵器 917 点を対象として、3D 点群データと深層学習を用いた形態分類を行いました。AI による考古資料の分類は写真や図面を用いることが一般的ですが、本研究では 3D 形状を直接扱える深層学習モデル「Point Transformer」を用いることで、立体としての情報を高い水準で保持したまま分類を行うことに成功しました。

本研究の成果は 3D データと AI を用いた遺物研究の新たな方法論を提示するとともに、須恵器をはじめとする土器・陶器研究の新たな展開を示唆するものです。3D 点群データとコードは公開しているため、再検証はもちろんのこと、他地域の土器データで応用することもできます。

現在の考古学は、国や地域によって研究手法の差が大きい状態となっていますが、本研究をより発展させていくことで、考古資料を統一された手順で分析する技術を確立し、国際的かつ相互理解可能な研究環境を実現することが期待されます。

本成果は、2026年2月25日刊行の Journal of Archaeological Science に Research Paper として掲載されました。

【研究背景と内容】

本研究では古代日本で生産された須恵器の 3D データをサンプルとして、AI を用いた形態学的分類を行いました。対象とした資料は、愛知県の大塚遺跡群である猿投窯(猿投山西南麓古窯跡群)から出土した食器類 917 点です。人間の手によって分類した 5 種類の資料群(杯蓋・有台杯身・無台杯身・無台碗・有台盤)を深層学習によって再び分類することができるか実験しました(図 1)。

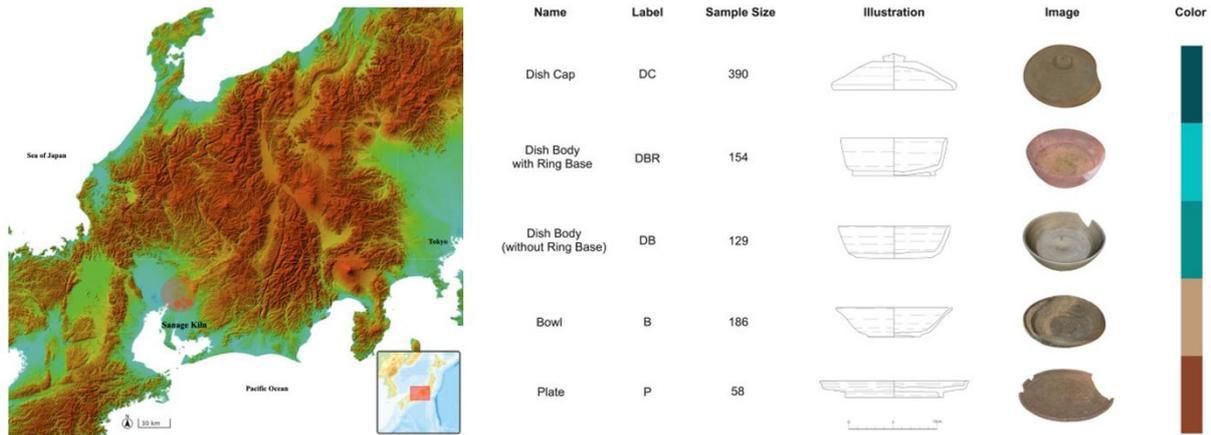


図 1 猿投窯の位置および対象の須恵器 (Tatsuda et al. 2026 より図 1, 2 を引用)

考古学では遺跡から出土した資料を分類する作業が、最も基礎的な資料操作となっています。これまでは熟練した研究者による手作業での分類を行っていたため、その分類が正しいのか、第三者が客観的なデータに基づいて検証することが困難でした。そのため、これまでも写真や図面をもとに、AI を使って自動的に分類する研究が進められてきましたが、立体的な考古資料を二次元情報で処理するため、人間が行うように三次元的な形状を十分参照することができませんでした。そこで本研究では、二次元の分類では実現できなかった分類を三次元で行った場合、どのような結果が得られるのかという点と、人間の経験則に基づく分類の曖昧さが、深層学習によってどのように表現されるのかという点がリサーチ・クエスチョンとなりました。



図 2 二次元分析では分類できなかった6点のサンプル (Tatsuda et al. 2026 より 図 3 を引用)

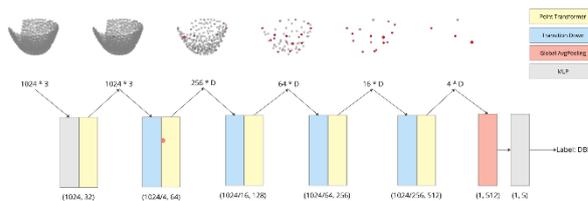
Press Release

実験にあたり、対象の須恵器の 3D 点群データを用いて、深層学習による分類を実施しました。深層学習を使用した分類の特徴として、分類過程を人間が理解できない、すなわちブラックボックス化してしまうという問題があります。本研究ではこの問題に対応するため、3つの可視化のアプローチを用いました。具体的には、PCA(主成分分析)、階層クラスタリング、3D Grad-CAM です。これにより深層学習がどのような基準を用いて須恵器を分類したのか人間が解釈できる可能性を高めました。

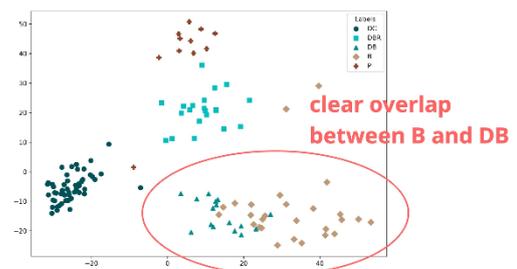
実験の結果、平均 F1 スコア 93%という高精度で須恵器を分類することに成功しました。しかしながら、経験則に基づいて分類された類似形状を持つ無台杯身と無台椀については、F1 スコアがそれぞれ 83%と 87%という、他と比べて低い値となり両者は散布図上でも重なり合った状況となっていました。無台杯身と無台椀は、明確に異なる形状をしている資料がある一方で、見た目には非常に似通った資料も存在しており、F1 スコアはその実情を反映したものとと言えます(図 3)。また、無台杯身と無台椀については、先立って二次元情報による分類を行いました。そのうち 6 点は分類することができていませんでした(図 2)。今回はこの 6 点についてアブレーションテストを実施し、5 点を分類することができました。ただし、深層学習による分類は安定的ではないため、どの程度確実にサンプルを分類できるかは追加の検証を待つ必要があります。

以上の結果は現段階での技術的な限界を示すと同時に、古代の食事の場面では、考古学的な区分とは無関係に、無台杯身と無台椀が同じようなデザインの食器として使用されていた可能性を示すものです。これまで両者は資料に残された製作痕の違いから区分されてきましたが、実際に使用される場面では、同じような食器として使われていたことが想定されます。

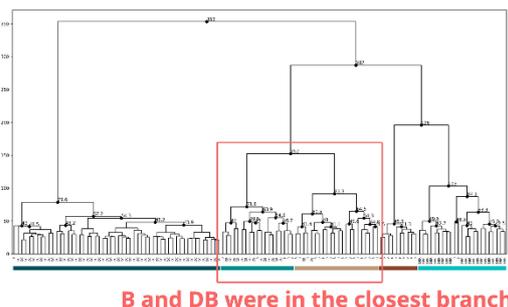
①ディープラーニングによって須恵器917点の3D点群データを解析



②PCA (主成分分析) で無台杯身 (DB) と無台椀 (B) の間に重複する資料群を確認



③階層クラスタリングでは無台杯身 (B) と無台椀 (DB) が隣接する結果を確認



④3D Grad-CAMによって、資料の分類時に指標となった部位を可視化

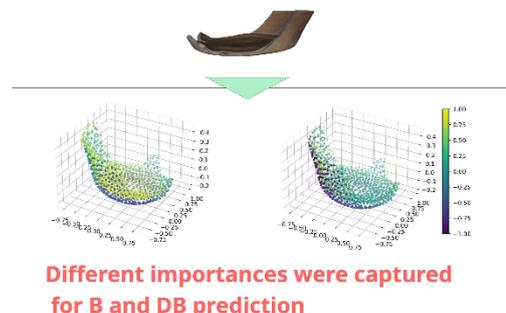


図 3. 研究手法と研究結果のまとめ(井上・立田作成)

【成果の意義】

本研究の成果には二つの意義があります。第一に、深層学習による 3D 点群を用いた形態学的解析の手法を開発し、二次元形状の解析では実現できなかった分類に成功したことです。手法面では、分類指標の視覚化をはじめ、透明性を高めるためのアプローチを実施しており、使用したデータとコードもオープンソースにしています。立体的な形状をそのまま分析できる技術の確立は、須恵器のみならず、土器・陶器類に幅広く応用することが可能なものです。また、分類の指標を視覚的に示せたことで、第三者による検証を容易にするのみならず、考古学の教育課程においても、資料観察にあたっての着眼点を分かりやすく教えることができるというメリットがあります。

加えて、須恵器研究の課題をもとに分析を実施することで、単なる新技術の導入に留まらず、得られた結果を実証的な考古学的考察と結びつけることにも成功しています。現在の考古学は、国や地域によって研究手法の差が大きい状態となっていますが、本研究をより発展させていくことで、考古資料を統一された手順で分析する技術を確立し、国際的かつ相互理解可能な研究環境を実現することが期待されます。

第二に、古代日本における食文化について、須恵器の形態という観点から再考する視点を提供したことです。須恵器をはじめ、考古学による土器・陶器研究では、製作技法をもとに資料の分類を行うことが一般的なため、実際に食事の場面で使用される際の扱われ方については十分な検討が進んできませんでした。

本研究では、無台杯身と無台椀の形状の類似を示したことで、考古学的な分類区分とは異なる、食器としての使用方法という観点から資料の検討を行うことができました。本研究の扱っている 8 世紀から 9 世紀にかけては、食器の形態が、フチに角度のついた平皿のような「杯」から、現在の私たちが使用する茶碗のような形状の「椀」へと移行することが指摘されてきました。このたび無台杯身と無台椀の形態のあいまいさを定量的に示せたことで、食習慣の変化が急激に進んだのではなく、中間的な形状の食器も使われながら、ゆっくりと進展していった可能性があることを明示することができました。

本研究は、名古屋大学大学院人文学研究科 2019 年度フィールド調査プロジェクト「猿投窯出土須恵器の 3D データベース構築」(代表:井上隼多)および松下幸之助記念志財団研究助成「人工知能(AI)を用いた考古資料の型式学的分析に関する基礎研究」(代表:井上隼多)の支援のもとで行われたものです。

【用語説明】

注 1)深層学習(ディープラーニング):

人間の脳の神経回路(ニューラルネットワーク)をモデルにした AI 技術の一種。たとえば、写真の中から猫か犬かを自動で判断するのも深層学習の一例。「深層」とは、ネットワークの層(レイヤー)が何重にも重なっていることを指す。

注 2)猿投窯(猿投山西南麓古窯跡群):

古墳時代にあたる 5 世紀前半から操業がはじまった、愛知県内に位置する古代から中世にかけての窯業地帯。当初は須恵器の生産を行っていたが、技術革新に伴い、

奈良時代以降は釉薬をかけた灰釉陶器や緑釉陶器の生産も行った。現在の瀬戸焼や常滑焼のルーツでもある。

注 3)須恵器:

4 世紀末から 5 世紀にかけて朝鮮半島から日本に伝来したやきものの一種。縄文土器や弥生土器と異なり、窯を使って高温で焼成を行うため、硬く焼きしまった防水性の高さが特徴となっている。古墳の副葬品や食器、さらには硯をはじめとした文具などさまざまな製品が作られた。

注 4)PCA(主成分分析;Principal Component Analysis):

多次元のデータを簡単にまとめて見やすくする方法。深層学習のようにたくさんの特徴があるデータを、なるべく少ない軸に変換して、重要な情報を失わずに表示できるようにする。視覚化やデータの圧縮、ノイズの除去によく使われる。

注 5)階層クラスタリング:

似たもの同士を順番にまとめていくグループ分けの方法。まず、最も似ている 2 つをまとめ、そのグループ同士をまたまとめていく、というように木(ツリー)の形でクラスタを作る。どの段階で区切るかによって、細かいグループや大きなグループを作ることができる。

注 6)3D Grad-CAM:

深層学習のモデルが「どこを見て判断したか」を可視化する方法。元々は 2D の画像で使われていたが、3D データにも応用できる。モデルが注目した部分を色でハイライトすることで、判断の根拠を理解しやすくなる。

【論文情報】

雑誌名: *Journal of Archaeological Science*

論文タイトル: Deep learning-based morphological classification of ceramics: A case study of 3D point cloud analysis for Sue ware, Japan

著者: Wataru Tatsuda(立田渉)¹・○Ryo Hori(堀涼)²・Kimiyasu Morikawa(森川公康)³・○Hayata Inoue(井上隼多)⁴

1 Institute of Archaeology, University College London、2 名古屋大学大学院情報学研究科・未来社会創造機構、3 College of Computing, Georgia Institute of Technology・The New York Public Library、4 名古屋大学大学院人文学研究科附属人類文化遺産テキスト学研究センター

DOI: 10.1016/j.jas.2026.106472



MAKE NEW STANDARDS
東海国立
大学機構

東海国立大学機構は、岐阜大学と名古屋大学を運営する国立大学法人です。
国際的な競争力向上と地域創生への貢献を両輪とした発展を目指します。

東海国立大学機構 HP <https://www.thers.ac.jp/>

