

令和 5 年 5 月 31 日現在

機関番号：84604

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2021～2022

課題番号：21K20060

研究課題名（和文）人工知能（AI）による深層学習を活用した縄文原体の素材同定

研究課題名（英文）Material identification of original Jomon materials using deep learning with artificial intelligence (AI)

研究代表者

高野 紗奈江（TAKAN0, Sanae）

独立行政法人国立文化財機構奈良文化財研究所・埋蔵文化財センター・客員研究員

研究者番号：80910603

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 1,600,000円

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、縄文土器に見られる縄目の素材同定を人工知能（AI）の一つである深層学習（Deep Learning）を活用することで打開し、縄文原体に用いられた素材を突き止めることである。縄文時代の土器は時期と地域に応じて様々な縄文が施され、その素材も各時期と地域に応じて変化してきた。しかし縄目から素材を同定する方法の確立は難しく、客観的な判別基準も立てられてこなかった。そこで民俗例を参考に植物性素材と動物性素材の採取収集をおこない、集めた各素材から縄文原体を製作して学習用の模型縄文粘土板を製作し、撮影した画像をコンピュータービジョンによって機械学習させ、各素材の違いによる特徴抽出を試みた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、飛躍的な発達を遂げている人工知能（AI）は、多岐にわたる情報処理に優れている。肉眼と実体顕微鏡による観察中心に行われてきた素材同定に、コンピュータービジョンを用いた機械学習を導入することで、パターンの数値化による分類と自動識別を試み、素材の同定を実現しようとする研究は当分野にとって革新的な試みといえよう。素材同定の判別基準を構築することは、施文原体の素材を解明するだけでなく、縄文の人々が自然資源をどのように利用していたのか、その一端をも明らかにする。土器に残された縄文から当時の資源利用を追究する視点は、弥生時代の縄目を持つ土器や瓦の縄敲き研究での応用も可能で、新たな研究領域を開拓する。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study is to break through the material identification of the cord mark patterns found on Jomon pottery by utilizing deep learning (Deep Learning), a form of artificial intelligence (AI), and to identify the materials used on the tools of cord marking. Jomon pottery was decorated with a variety of cord mark patterns depending on the time period and region, and the materials used varied according to the time period and region. However, it has been difficult to establish a method for identifying the material from the rope pattern, and no objective criteria for identification have been established. We collected both plant and animal materials from folklore examples, made Jomon clay tablets from each material, and attempted to extract the characteristics of the different materials by machine-learning the images taken by computer vision.

研究分野：考古学

キーワード：縄文原体 縄文時代 縄文土器 縄目 AI 植物性素材 動物性素材 深層学習

1. 研究開始当初の背景

縄文時代の代名詞といえる縄文は、縄文原体と呼ばれる施文具によって土器に施された。縄文時代の遺跡から出土した縄の資料は少なく、見つかった縄はすべて実用的な縄で、土器に文様意匠の効果をもたらす縄文原体は未だ発見されていない。杉山壽榮男は、原体に用いられた素材を縄の回転圧痕から同定することは困難であると述べた(杉山 1942)。先史日本列島の多様な縄文原体を解明した山内清男は、縄文原体の素材に考えられるものとして、動物の腱、細切りにした皮、樹皮をあげたが、それ以上の追究はなされなかった(山内 1979)。

こうした指摘によって、縄文原体の素材研究は長らく実施されてこなかったが、2000年代に入り、実験考古学の手法での研究が登場した。藤井義範は縄文時代に利用されたと考えられる植物繊維を用いて縄文原体を復原し、実物の土器の縄文との比較分析を行った。そして縄の圧痕に影響を与えるのは、草本性・木本性といった植物繊維の性質の違いと、繊維を取り出すときの加工工程の違いによると結論づけた(藤井 2000)。しかし、縄の圧痕から素材を同定することには到達しなかった。

縄文土器に残る縄の圧痕から、縄文原体の素材を同定できるようになれば、単に施文具の素材選択のあり方が明らかになるばかりでなく、縄文人の資源利用の一端を解明することに繋がる(図1)。有機質のため残存率の低い縄文時代の縄は、これまでに植物繊維の縄のみしか発見されていないが、動物性素材による縄も存在したはずである。



図1 本研究課題の問い

2. 研究の目的

これまで不可能とされてきた素材の同定を、人工知能(AI)の一つである深層学習(Deep Learning)を活用することによって打開し、縄文土器に残る縄の回転圧痕から、縄文原体に用いられた素材を同定することが本研究の目的である。近年、飛躍的な発達を遂げている人工知能は、多岐にわたる情報処理に優れている。肉眼と実体顕微鏡による観察中心に行われてきた素材同定に、コンピュータービジョンを用いた機械学習を導入することで、パターンの数値化による分類と自動識別を試みた。

3. 研究の方法

植物性/動物性素材を採取・収集し[手順1]、実験考古学の手法を用いて素材同定の判別基準となる復原粘土板を製作した[手順2]。素材の加工方法等の条件を変えて製作した復原粘土板を写真撮影(被写界深度合成)し、その画像から特徴を抽出して深層学習を行い、素材の判別基準の構築を試みた[手順3]。また、実際の縄文土器の画像をAIに認識させて、構築した判別基準に基づき、縄文人が土器製作時にどのような素材の原体を施文に用いたのかを明らかにするための根拠となる特徴の可視化も視野に検討した[手順4](図2)。

[手順1] アイヌ文化や日本列島の民俗例の他、海外の事例も参照し、縄文時代にも利用されたと考えられる植物性素材と動物性素材を採取・収集した。

[手順2] 敲く・煮るなど加工工程を変えた靱皮繊維から、縄文原体を復原製作し、施文粘土板を製作した(高野 2020)。動物性素材は大きく4つに大別できる。すなわち、(1)髭、(2)腱、(3)毛、(4)皮/革である。髭は、ヒゲクジラ亜目ナガスクジラ科のシロナガスクジラ、ナガスクジラ、ニタリクジラ、イワシクジラ、ミンククジラの5種と花おさ(ミンククジラ)である。動物の腱ではシカの腱を用意し、繊維状にする加工方法では敲き工程と水浸け工程のそれぞれを実践した。毛は、人間の毛髪およびイノシシの長毛・短毛である。皮/革では、未加工の状態のシカ・イノシシの皮を入手して、実際に石器を用いて皮なめしをおこない、原体の素材とした。すでになめし加工を終えている購入した革では、シカ、ヤギ、ブタ、水牛を用意した。縄文時代にヤギ、ブタ、水牛は生息していないが、販売されてい



図2 本研究課題の遂行手順

る革の形状を観たところ類似する何らかの素材を縄文の人たちが用いていた可能性もあるのではないかと判断し、比較資料として加えることにした。

植物性素材では草本(5種)/木本(8種)で粘土板を13枚製作した。動物性素材ではクジラの髭(6種)、シカの腱、シカ・イノシシ等の皮・毛で縄文原体を作り、粘土板24枚を製作した。[手順3] 製作した模型粘土板をOM SYSTEM(OM-1)を用いて写真撮影し、被写界深度合成写真を作成した。研究協力者(京都大学農学研究科 杉山淳司教授)と共同して解析に供した。まず、画像データより、個々の縄文を抽出して、タイプごとの縄文データベースを作成した。このデータベースを元に、縄文を自動的に検出して抽出する、植物性と動物性素材の縄文を判別する、さらに動物性素材に用いた髭・腱・毛・皮の4つを細分類するなど、様々な学習モデルについて検討した。同時に、識別や判別の根拠となる特徴の可視化も視野に入れて開発を続けている。[手順4] 実際の縄文土器の画像は、縄文の摩耗や混和材の影響などを受けているため、そのような付加条件も考慮できるモデルに発展させる必要があり、試行錯誤を現在も続けている。

4. 研究成果

(1) 植物性/動物性素材の縄文の比較

植物性素材による縄文(○13)と動物性素材による縄文(□24)を肉眼観察で比較した(図3)。縦軸は節の中にみられる素材の繊維(筋)の精粗を10段階で表記している(「細」は上方、「粗」は下方)。横軸は繊維(筋)が節の中で同一方向に整列しているものを「整」(右側)とし、反対に節の中で同一方向を向いていないものを「乱」(左側)として10段階で表示している。

その結果、植物性の縄文と動物性の縄文は巨視的には次のような傾向がある。植物性素材による縄文は細かく整ったものが多く第2象限を中心に分布する。市販の革(シカ・ヤギ・ブタ)と表面がコーティングされた水牛製の革紐による縄文は、ほとんど筋が観られないため第4象限に分布した。毛の付いた状態の皮(シカ・イノシシ)による縄文と大部分のクジラの髭製の原体では繊維が様々な方向を向く傾向が強く、繊維は細かいが整列の乱れた第1象限を中心に分布する。髪の毛による縄文は、植物性でもっとも細かく整ったタイマによる縄文と同程度の細かさであるが、わずかに筋の整列方向に乱れがある。入手したクジラの中でもっとも大型であるシロナガスクジラの髭による縄文は、他クジラの髭製縄文と異なり、髭1本が1mm以上と太く弾力があるため、粗いが整列した圧痕を生みだしている。

(2) 西日本縄文時代中期・後期土器資料との比較

中期との比較

植物性/動物性素材の縄文分布を基準として、実際の縄文土器の縄文を肉眼観察に基づき配列した(図4)。実見調査した資料は京都大学総合博物館が所蔵する岡山県船元貝塚、同県里木貝塚出土資料である。縄目圧痕の残存状態が良好な土器片156点(船元100点、里木56点)を選別して撮影した。撮影に使用したカメラはOM SYSTEM OM-1で、Focus BKT撮影をおこない、画像をHelicon Focusで被写界深度合成している。船元・里木貝塚資料の他、植物性/動物性素材の縄文も同様の方法で撮影している。調査した船元貝塚・里木貝塚の資料では第2・第4象限に分布する縄文が中心で、第1・第3象限を中心に分布するような縄目は認められなかった。

後期との比較

西日本後期土器資料との比較は、筆者がこれまでの研究活動で調査してきた近畿・中四国・九州地方の遺跡出土資料とおこなった。縄文の素材痕跡が肉眼観察で捉えられるものを撮影しているため、対象とした遺跡やその土器型式を代表する縄文原体の素材痕跡を提示しているわけではない。しかし、西日本後期の縄文素材の全体的な傾向を把握するデータには足り得ると考えている。後期土器資料の縄文の撮影は、デジタル顕微鏡(SANWA supply社製400-CAM025)でおこなったのもである。後期も第2・第4象限を中心に分布を示すが、中期に比べると細かく整った傾向が強く第2象限でも右側上方に分布が集中する(図5)。また中期のような第4象限の下方に分布する素材の痕跡が粗いものも認められない。

植物性/動物性素材の縄文と中期・後期土器の縄文精粗の比較

図6の左側は植物性/動物性素材による縄文で、第2・第4象限に分布したものを縦軸の差(精粗)に特化して相対的に8段階で配置している。同図の右側は、船元・里木貝塚出土資料および西日本後期土器資料の縄文を同じく縦軸の差(精粗)を重視して配列し左側と対比させている。植物性素材による縄文の下方3段は、現時点では復原製作ができていないが、蔓性植物の茎や弾力のある草本植物の茎によって動物性素材による革やシロナガスクジラの髭製の原体と類似するような縄目を生みだせるのではないかと考えている。よって植物性の下方3段は現段階では空欄とし、今後の更なる検討で充填を試みたい。西日本縄文時代中期の船元式・里木式の縄文は、独特な縄文として認識されており、その施文原体の素材が何であるのかが課題になってきた。しかしこれまで研究者間での話題にはなっても、そういうものとして認知されるにとどまり、具体的な検討はおこなわれてこなかったのが現状である。今回、クジラの髭5種を収集して復原製作をしたところ、一見するとシロナガスクジラの髭製縄文原体と船元・里木貝塚出土資料のいわゆる「独特な縄文」と呼称されてきた縄目は、酷似している印象を持った。直径1~2mmほどの髭は弾力があり、撚りをかけるには指先に力を要するが、撚りをかけられないということはない。水に浸けるとしなやかになり、撚りをかけられる。クジラの髭は、遺跡の立地に応じて入手が比較的容易な場所と、入手が困難な場所に分けられよう。1頭のクジラから得られる髭の量は多いが、それを内陸の遺跡へ運ぶためには人の移動を想定する必要がある。人の移動を想定せずに類

似する独特な縄文の痕跡をのこす素材の候補として、まだ実験検討はできていないが動物の腸がある。このことを教えてくれたのは京都大学名誉教授の泉拓良先生で、筆者が縄文の動物性素材を検討する中での試行錯誤をお話すると、ご教示くださった。シカやイノシシといった狩猟した動物から、腸を得て利用していた可能性は十分にある。早々に腸による復原実験をおこない、検討したいと考えている。

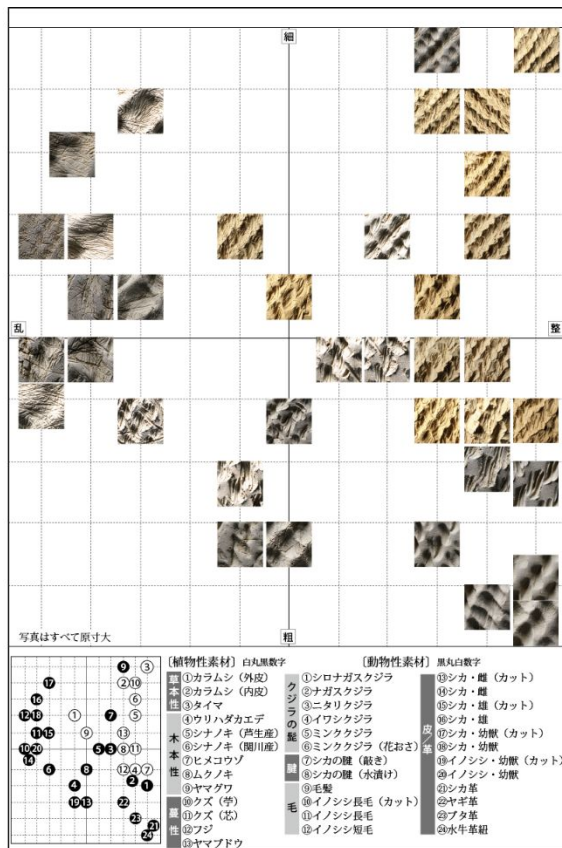


図3 植物性素材/動物性素材の縄文の比較

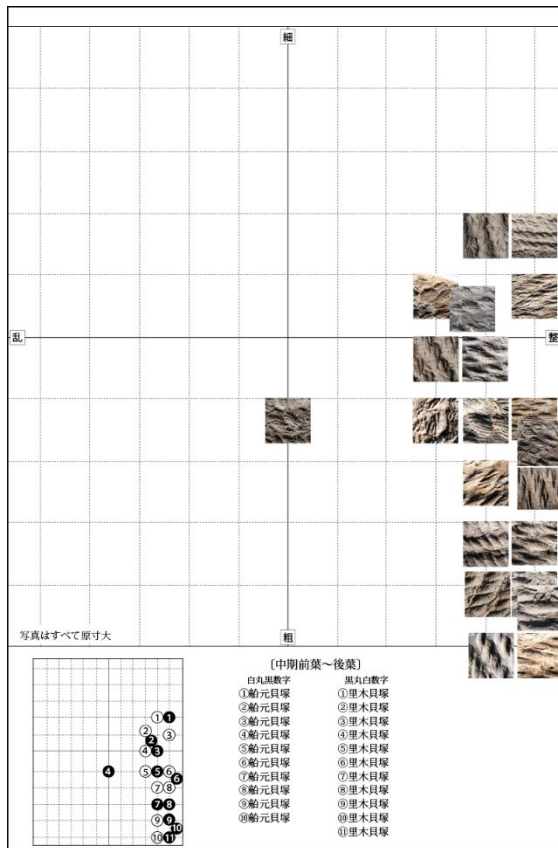


図4 西日本縄文時代中期中葉から後葉の縄文

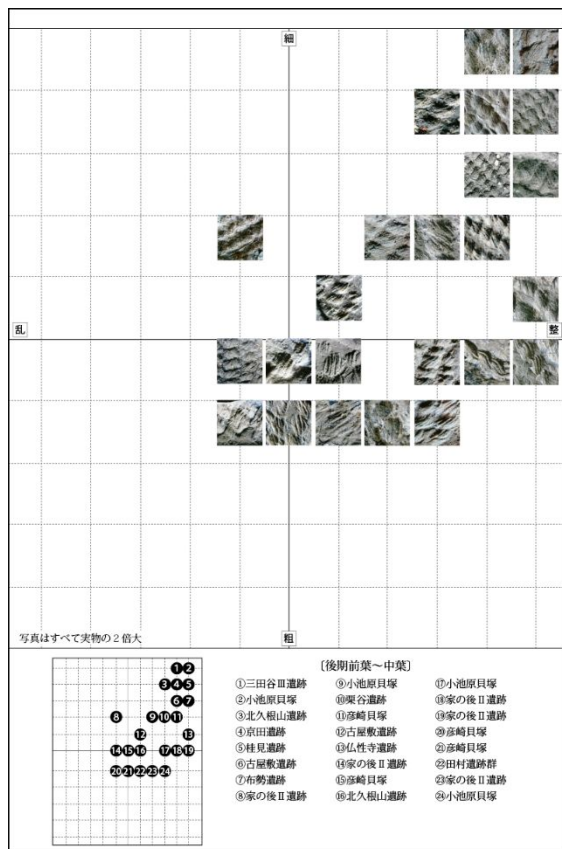


図5 西日本縄文時代後期前葉から中葉の縄文



図6 縄文の精粗の相対的比較

(2) 機械学習による解析経過

節の中にみられる繊維痕跡(シワ・筋)を人工知能(AI)で解析するにあたり、実体顕微鏡による撮影方法など、いくつかの機材を使用して画像を作成して検討した結果、微細な細部形状の認識も可能にする画像として、被写界深度合成写真が最適であるとの結論に至った。被写界深度合成写真から節の輪郭を一つずつ手書きでトレースし、節の領域とそれ以外の領域を自動抽出できるようにするための教材(マスク)を製作した。植物性/動物性素材による縄文の画像データより個々の節を抽出して、タイプごとの縄文素材データベースを作成した。このデータベースを元に、縄文(節)を自動的に検出して抽出する、植物性と動物性素材の縄文を判別する(大別)さらに植物性素材の個体判別と動物性素材の個体判別(細別)という、さまざまな学習モデルについて検討した。実際の縄文土器は摩耗や混和材の影響などを受けているため、こうした付加条件も考慮できるモデルに発展させるため、現在も開発を続けている。

将来的には、肉眼観察にもとづき人間(筆者)が縄文素材を主観的に配置した結果と、深層学習によって客観的に配置された解析結果を比較考察することが目標である。

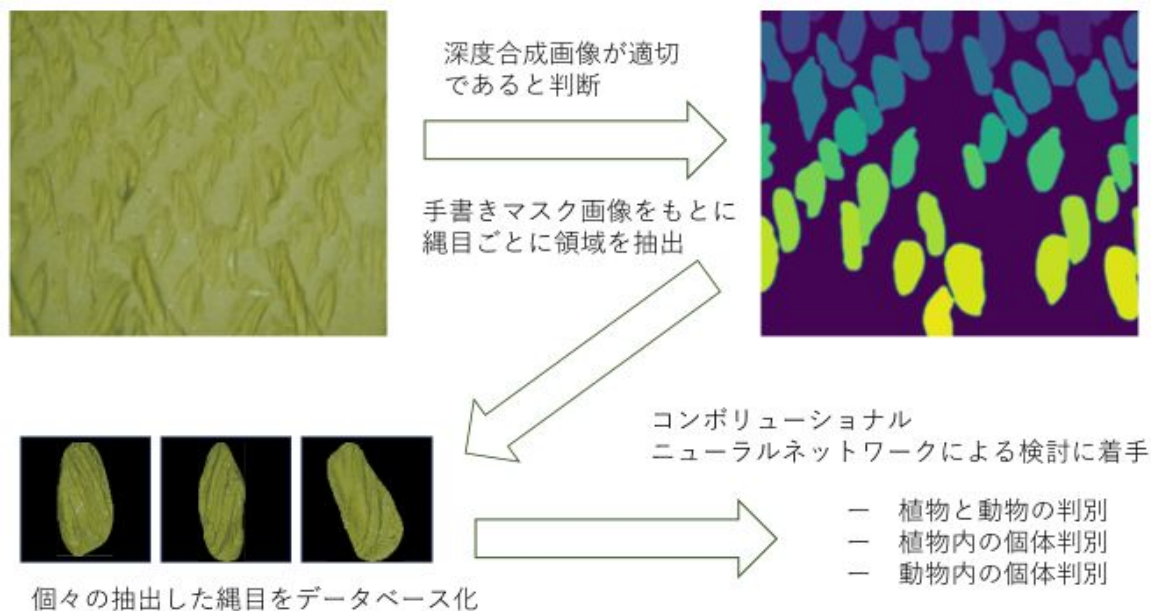


図7 機械学習による縄文素材の解析経過

[謝辞]

本研究ではコンピュータービジョンを用いた機械学習において、研究協力者の杉山淳司教授(京都大学農学研究科)に多大なるご協力をいただきました。また、機械学習させる画像の作成では、相応しい撮影方法が見つからず作業に行き詰まっていたところ、山口欧志氏(奈良文化財研究所 研究員)よりOM1を用いた被写界深度合成写真についてお教えいただき、解析に相応しい画像データを作成することができました。記してお礼を申し上げます。

[主要参考文献]

- 岡本 勇 編集 芹沢長介・坪井清足 監修 1982 『縄文土器大成 1 - 早・前期』講談社
- 萱野 茂 1978 『アイヌの民具』すずさわ書店
- 小葉一夫 2005 「縄素材からの照射 - 縄と縄文の間で - 」『貝塚』60、1 - 16 頁
- 小葉一夫 2008 「なわと縄文」小杉康・谷口康浩・西田康民・水ノ江和同・矢野健一編『縄文時代の考古学 7 土器を読み取る - 縄文土器の情報 - 』同成社、73-84 頁
- 佐原 眞 1981 「特論 縄文施文法入門」野口義麿 編 芹沢長介・坪井清足 監修『縄文土器大成 3 - 後期』講談社、162-167 頁
- 杉山壽榮男 1942 『日本原始繊維工藝史(原始篇・土俗篇)』雄山閣
- 繊維学会編 2004 『やさしい繊維の基礎知識』日刊工業新聞社
- 高野紗奈江 2020 「縄文原体の素材選択-実験考古学的手法に基づく基礎研究-」『縄文時代』第31号、縄文時代文化研究会、143-162 頁
- 高野紗奈江 2021 「縄文原体」阿部芳郎編『季刊考古学 土器研究が拓く新たな縄文社会』第155号、雄山閣、67-70 頁
- 名久井文明 2012 「樹皮の採取、利用技術」『伝承された縄文技術 木の実・樹皮・木製品』吉川弘文館、104-156 頁
- 日本羊毛産業協会 2015 『羊毛の構造と物性』繊維社
- 藤井義範 2000 「縄文原体の素材に関する実験考古学的考察」『筑波大学先史学・考古学研究』第11号 筑波大学歴史・人類学系、65-81 頁
- 水口博也 1998 『クジラ・イルカ大百科』ティビーエス・ブリタニカ
- 山内清男 1979 『日本先史土器の縄紋』先史考古学会

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 高野紗奈江
2. 発表標題 縄文原体における動物性素材の可能性
3. 学会等名 教室研究会
4. 発表年 2023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
研究協力者	杉山 淳司 (SUGIYAMA Junji)	京都大学・農学研究科・教授	
研究協力者	山口 欧志 (YAMAGUTI Hiroshi)	国立文化財機構奈良文化財研究所・埋蔵文化財センター遺跡・調査技術研究室・研究員	

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