

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 13 日現在

機関番号：12501

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K12541

研究課題名（和文）地域に残された歴史的造形物の造形特性の解明 - 帰属判定と「作風」同定に向けて

研究課題名（英文）Elucidation of the artistic characteristics of local historical artifacts - Towards attribution and identification of 'style'

研究代表者

久保 光徳 (Kubo, Mitsunori)

千葉大学・デザイン・リサーチ・インスティテュート・教授

研究者番号：60214996

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：地域に残された歴史的造形物として、民具（踏鋤、箕、摺臼）と宮彫を中心に、それぞれの造形特性に見られる特徴と地域および制作者による差異と共通点への分析を試みた。その結果、遺跡から発掘された木製の用途不明品が踏鋤に属するものであることを工学的視点から解明し、また箕の代表的な機能の一つである風選機能を、数値流体解析により可視化することで、箕形態に対する数理的な評価法を提示した。宮彫では、フランスに流出した龍彫刻を中心に、制作者同定プロジェクトを国内外の共同研究者とともに開始させた。提案する作風同定法は、彫刻に代表される人工造形物全般に対する形態上の帰属判定にも展開できる可能性が指摘されている。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究において扱っている考古学的および民俗学的な有形の資料の形態に対する分析方法に、3D技術と構造力学をベースとした形態分析手法の提案と視点を提示している。民具、宮彫それぞれの研究遂行においては、民俗学、考古学、美学、デザイン学をそれぞれに専門とする複数の共同研究者と共に、実質的な文理融合のスタイルでの調査、形態データ収集、分析、知見の整理、研究発表を継続的に実施し、特に民俗学と考古学の研究者に対しては一定の学術的なインパクトを提供することはできたものと考えている。

研究成果の概要（英文）：This study analysed the characteristics of the historical artifacts left behind in various regions, focusing on folk tools (plough, winnowing basket) and shrine and temple sculptures, and the differences and similarities between the artifacts. It was clarified from an engineering viewpoint that wooden objects of unknown use excavated from archaeological sites in fact belonged to ploughs, and a mathematical evaluation method applicable to the form of the winnowing basket was presented by visualising the winnowing function using numerical fluid analysis. Furthermore, in investigating shrine and temple sculptures, a project to identify the creators of dragon sculptures that have been transferred to France was initiated, involving collaborators from Japan and abroad. It has been pointed out that the proposed method of style identification has the potential to be applied to the process of determining the morphological attribution of artificial objects in general, as typified by sculpture.

研究分野：意匠形態学

キーワード：歴史的造形物 造形特性 作風同定 帰属判定 宮彫 民具 デザイン 地域

## 1. 研究開始当初の背景

地域に残る歴史的な造形物・人工物の形態に対する純粋な興味から、それらの形態を生み出し、生活の中で使用および関りを持ってきた人、生活、そして自然環境への興味へと展開してきた。各地の歴史的な人工物形態を探訪する中で、各地域で独自に研究を進めている研究者との出会いがあり、それぞれの形態の制作者やそれらが生み出されてきた生活・社会的背景への洞察の必然性も痛感させられるようになってきた。

制作者や制作年代をはじめ、その出所や帰属先が不明である民具や社寺彫刻などに代表される地域に残る歴史的な造形物の存在価値を明確にするためには、その不明情報を明確にすることを避けて通ることができないことを理解した。さらには、それらの形態情報のみから、その造形方法や材料の使い方のみに留まらず、その形の造形傾向（作風）や造形背景（制作時の自然および人的環境）までも読み解くことの必要性も再確認することになった。

単に形に対する興味本位の造形分析ではなく、その形を生み出し、現在にまで残してきた人、生活、社会、そして自然の環境とそれぞれの形との関わりの中で、これまで地域ごと、研究者ごとに実施されてきた歴史的造形物の維持・公知活動によるそれぞれの造形物の価値の見直し、定量的な尺度をもって再検討されることで、その造形物の保存、継承、そしてそこに潜在する造形知、アイデア、工夫の顕在化につながり、これらの歴史的に蓄積された知的情報を今に生きるデザインに向けて活かそうとすることのモチベーションにつながった。

## 2. 研究の目的

本研究は、これまでに実施してきた箕、犁、木摺臼などの歴史的な道具・農具に代表される民具や、歴史的衣類としての着物、そして社寺の装飾彫刻である宮彫や山車彫刻などの民俗学的造形物に対する形態調査・分析のノウハウを活かして、地域に残された形から読み取ることができるその造形物の制作方法や設置・展示方法などにもかかわるアイデアや工夫、そしてそこから醸成される「作風」の演出も含む造形特性を、定量的に評価する手法を確立することを目指した。造形特性の定量的評価においては、三次元形状の測定技術、測定された三次元形状データに対する調整・分析を行う三次元 CAD 技術、そして光造形機、3D プリンタによる形状再現と再現物に対する再評価を繰り返す中で、造形特性の数理表現の確立を目指し、それぞれの造形物の形態学的特徴を支配する要素を数理的モデルとして可視化し、それぞれの造形物の帰属判定および作風同定を数理的に実施することを目的とした。

## 3. 研究の方法

本研究は基本的に、民具形態、考古形態、宮彫形態の3形態について、3D技術をベースにしたモデル解析を並行して実施した。これにより、人の手による形態の根底にあるものも探り出すことに挑戦した。研究は以下の3つのフェーズに大別できる。

### phase 1：歴史的造形物の形状測定と材料採取

踏鋤、犁、そり、箕を中心とした考古（発掘）・民具形態、および社寺彫刻の龍に代表される宮彫の造形形態に対する形態測定を実施するとともに、それぞれの主素材である木材への材料同定を実施した。調査先は、秋田、岩手、関東、千葉、石川、奈良、愛知、パリである。

形状測定は、測定環境、測定対象の設置状況、測定対象の形態特徴に応じて、適宜、三次元デジタル計測機 VIVID910、ステレオカメラ、デジタルカメラを併用し、レーザー測定、3D合成をポリゴンエディティングツール、または、Agisoft や Acrobat Recap Phot によるデジタル画像合成のフォトグラメトリにより、それぞれの形態の3Dモデルを得た。

それぞれの3Dデータは、MeshLab、CloudCompare、Blender、FreeCAD を用いて、ポリゴンメッシュ、点群の状態を整え、機構・構造解析などの物理シミュレーションに対応できる CAD モデルまでにデータのグレードを向上させた。

### phase 2：材料同定と測定形状の特性分析

#### －機構・構造シミュレーションと CFD（数値流体解析）

phase 1 で取得したそれぞれの形態を構成する材料の同定分析から解明された樹種情報に従って、すでに標準化されているそれぞれの樹種の材料特性を、CADモデルの材料情報として適用し、測定3Dモデルは、形態情報と合わせて、数理的解析可能モデルとして再構築された。

一般的に、3D点群から得られた3Dポリゴンメッシュモデルのままでは、機構・構造シミュレーションを実施するには多くの問題を抱えるが、ここでは、それぞれの形態ごとに、その特徴的な形態要素は維持しつつも可能な範囲での単純化を行い、物理シミュレーション可能なモデルとして修正した。この操作は、最新の3D技術をもってしても自動的に困難な要素を含み、対象ごとにアドホックな対応、テクニックも必要であり、適切なシミュレーションの結果を得るまでには時間を要する傾向がある。

CFD用のCADモデルは基本的にサーフェース・モデルでも対応できるので、上記の物理シミュレーション可能なソリッド・モデルほどのグレードは必要としないが、モデル表面のメッシュの精度に依存するので、丁寧なモデル処理が必須であることは避けられない。

### phase 3：造形傾向の定量的評価

造形傾向を定量的に定義するための基本的なプロセスは、ここまでに整備された3Dモデルからそれぞれの形態の幾何学的特徴をできるだけ同じ尺度で取り出すことを中心に、検討対象の形状そのものの機能がダイレクトに反映される傾向にある形態要素を選択する。ここでは、

箕形態の類似度評価に対しては主成分分析を適用し、宮彫の龍の頭部の形態の類似度評価に対しては、説明因子間の相関の強さを考慮して因子分析の適用を試みた。これにより、各地域性が残るそれぞれの形態の分類・類似度評価を通して、そこにある形態の作風の同定を試みた。

#### 4. 研究成果

本研究課題の全体的な方向性にもっとも合致している箕形態と龍頭形態に対する研究成果を中心に説明したい。

##### 4.1 箕形態の分類と風選機能再現シミュレーションからの形態比較

全国の箕を対象として、その3D形状の取得とデータ整理、分析を実施した。東京文化財研究所、秋田県立博物館、岩手県宮古市および奈良県五條市在住の研究者によって集積された200点を超える片口箕（ゴザ箕と網代箕）を中心に、レーザー光を利用した非接触式三次元デジタル計測による箕形態の3Dデータの取得を実施した。

測定した3Dデータの点群からスムージング処理を行い、CAD（MeshLab, CloudCompare, Blender）において再度メッシュを貼り直し、FreeCADの図面作成ワークベンチにて図1を得ている。この状態で採寸を行うと、基本的には個体差の大きい箕形態であっても、ある程度に統一の取れた採寸が可能となる。

##### 4.1.1 主成分分析

この方法により取得された各地の箕の形状データ（長さ、箕先幅、アクト高さ、アクト幅）に対して主成分分析を実施し、図2を得た。これより、今回採取した片口箕の形状の中で千葉県匝瑳市木積の藤箕が標準的な位置（原点付近）にあり、右に行くほど、長く箕先に向けて末広りの形状であり、上に行くほど深みがあることが確認された。この中で、木積の藤箕と面岸箕に注目すると、実際の形状の特徴の差異を適切に示しているように理解できる。

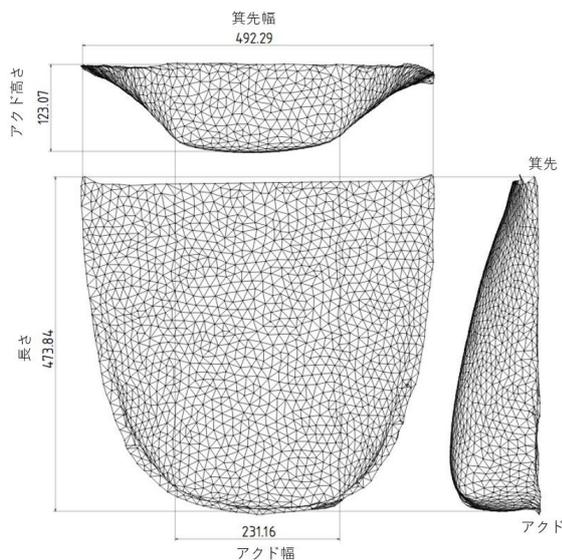


図1 千葉県匝瑳市木積の藤箕のCADデータ三面図

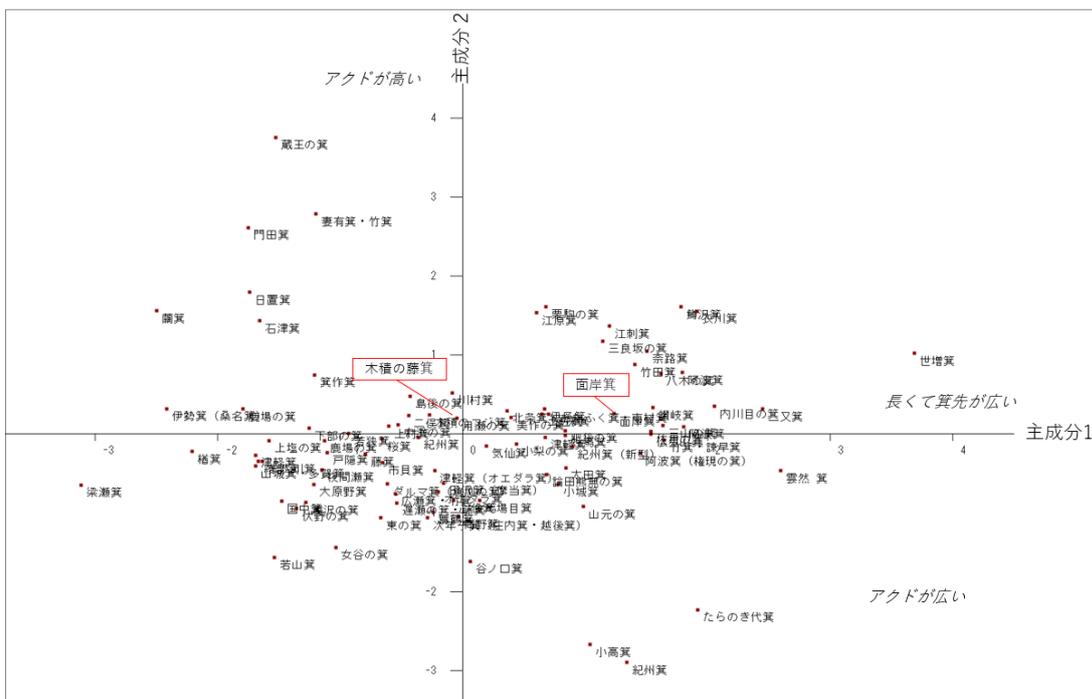


図2 箕形状パラメータの主成分得点からの散布図

##### 4.1.2 クラスタ分析

上記の主成分の寄与率が、主成分1では45.3%、主成分2では27.4%、主成分3では20.9%となったので、主成分1から主成分3までの主成分得点に対してクラスタ分析を行った。クラスタ分析に従って得られたデンドログラムからは、木積の藤箕と面岸箕それぞれが属するクラスタが顕著に異なることが示されており、ここで選定した長さ、箕先幅、アクト高さ、

アクト幅の4つの形状パラメータにより、箕形態の基本的な分類と類似性の評価が可能であることが示唆されている。

#### 4.1.3 風選機能による形状比較

主成分分析およびクラスター分析による形状比較において顕著な差異が確認された木積の藤箕と面岸箕の比較を、箕の機能の一つである風選の機能比較で行うことを試みた。これにより形状比較と機能比較を合わせることで、道具の分類、帰属判定に寄与するものと考えている。ここで、風選とは、脱穀されて籾殻と玄米が混ざった状態から、箕振りによる空気の流れを利用して効率よく玄米を取り出す作業のことである。

##### (1) 箕を振り下ろすときの空気の流れ

箕を振り下ろす際に観察される渦は、特徴的で美しいものがある(図3)。この観察より、箕先周りの空気の流れは明確になったが、ウデキ(縁木)やアクト側から空気の巻き込みと、片口箕の開口部である箕先に向けての空気の流れの様子を大局的につかむと同時に、そこで発生している空気の流動特性を数理的に扱うために、CFD(数値流体解析)を導入した。箕使用者へのモーションキャプチャから得られた振り下ろし時の速度の0.3 m/sを、3Dモデル化された箕の底面に吹き付ける空気流体の初流速として、箕の周りの空気の流れの非定常解析を行った(図4)。

##### (2) 木積の箕、面岸箕に対するCFDから算出された箕面上面の空気動き

図5は、横軸に時間、縦軸に流速を取り、すべての箕の底面に初速0.3 m/sで空気を吹き付けた後の時間変化の様子を示している。破線は丸箕、実線は面岸箕、二重線が木積の箕である。凡例の数値は測定点の座標を示している。例えば木積の箕(二重線)の $v_{y\_21}$ は、重心からミサキ箕先方向に21cmの移動したところでのミサキ箕先方向への空気の流れを示し、これに対応する流速の値が正の時は吹き出していることを示している。つまり、箕を振り下ろした瞬間(空気を吹き付けた瞬間)から1秒後辺りで、この流速が最大値を示していることが容易に読み取れ、同時に木積の箕の吹き出しの強さを確認することもできる。さらに、その流速値を確認すると、吹き付けた空気の流速は0.3 m/sであることにに対し、木積の箕の最大流速値は0.5 m/sと読み取れ、不思議なことに空気の流れが加速されていることに気が付く。面岸箕においても同様な傾向はみられるが、木積の箕ほどの顕著な流速の増加は確認できない。

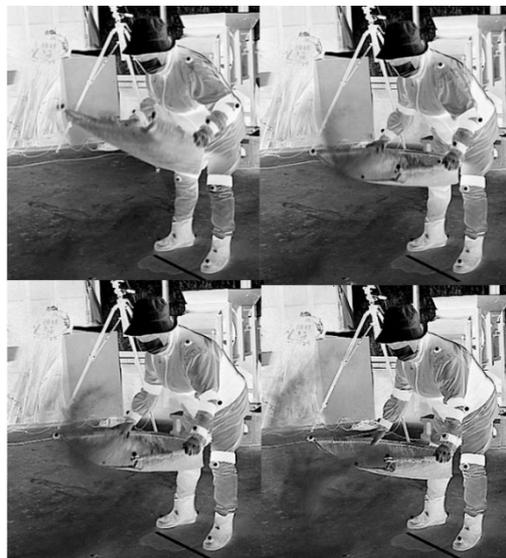


図3 振り上げから振り戻しへ(左上→右上→左下→右下)

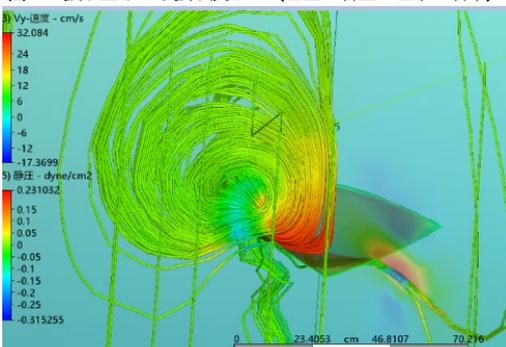


図4 木積の藤箕に対するCFDと流れ

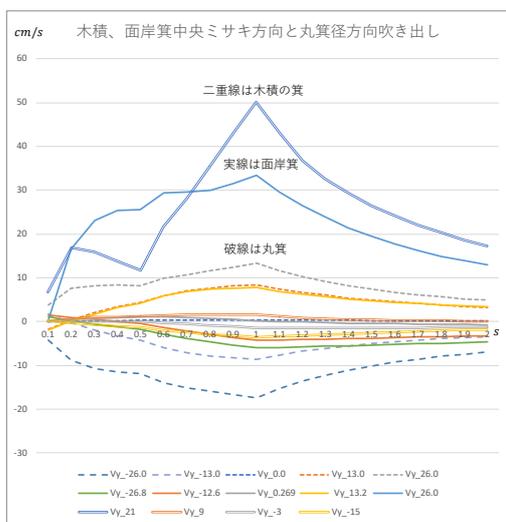


図5 CFDによる箕を振り下ろし時の空気の流れの変化

## 4.2 ポリゴンメッシュで覆われたCAD龍頭形態の分類と類似度評価

### 4.2.1 龍頭3DCADモデルと法線ベクトル

三次元デジタルタイザ (Minolta vivid910) とフォトグラメトリ技術を利用し、各地域の社寺彫刻の龍や木鼻獅子の形状を測定した。得られた点群データを、3DモデリングソフトウェアであるMeshLab, CloudCompareを用いて測定された点群をポリゴンメッシュに変換し、3DCADモデルを再構築した(図6, FreeCAD図面)。

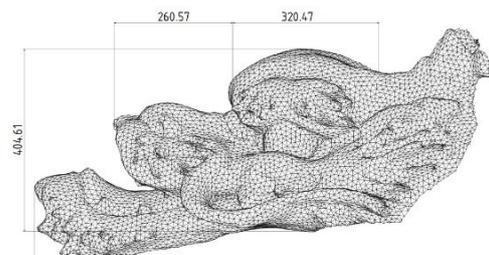


図6 大鷲神社神殿海老虹梁の龍(阿), 千葉県栄町

それぞれの龍頭の頭頂方向にz軸、頭部中央付近から顔正面に向かって口の中心を通るようにx軸を置き、右手系の座標系とすることで顔左側面がy軸方向となる(図7)。この座標系を基準として、各ポリゴンの頂点の座標値とその座標の周辺のポリゴンの法線方向を平均化した法線ベクトル終点の座標値を格納するxyzファイルに書き出した。さらに、法線ベクトルの長さは単位長さなので、このベクトルの始点を原点に一致させ、z軸を基準とする迎え角 $\theta$ とx軸を基準とする方位角 $\varphi$ の2次元の極

座標に置き換えることができる。

#### 4.2.3 法線ベクトル終点ヒートマップと空間周波数成分

図8左の散布図を $\theta$ と $\varphi$ の両方向に均等に分割されたグリッド上で細分割し、グリッドごとにその終点をカウントすると、図8右の終点ヒートマップを得ることができる。このヒートマップからは、彫刻表面を覆いつくすポリゴンメッシュの向きの方向性の強弱を読み取ることができ、荒削り時の面取りの痕跡を浮き彫りにすることの可能性も否定できない。図8では、 $\theta = \pi/3, \varphi = \pi/2$ の辺りにピークが確認でき、このピークを水平に横切るヒートマップの断面プロフィール(図中赤線)を構成する空間周波数成分を、FFTにしたがって算出した。

#### 4.2.4 空間周波数成分を変数とする因子分析

ここでは説明変数(空間周波数成分)間の相関を考慮して、15変数(2ndから16thまで)で構成されるデータ空間の主軸を求めることになる因子分析法に従って、龍頭の類似度評価を試みた。因子分析は、College Analysis Ver.9に従って、因子負荷量推定法としては最尤法、因子数を5以下としてプロマックス回転を行った。得られた5因子の因子得点より、図10のデンドログラムを得た。このデンドログラムにおいて、x軸正面からのkurikara\_0.0と正面から左に0.2rad(約12°左前から)のkurikara\_0.2、さらに左に1.18rad(約60°左前から)のkurikara\_1.18は、青色で囲まれた一つのクラスターの中に納まること確認される。Tete\_DおよびTete\_Gについても同様な一致が見られる。一つの造形物を複数の方向から評価したときに、その結果が同一のクラスターに含まれることは自然な結果であるように理解できる。つまり、成分間の相関が高い空間周波数成分に対する因子分析から定義される5つの尺度の因子得点によるデンドログラムは、龍頭の作風を適切に判別している可能性を示唆する結果と考えている。さらに、図中の青色水平線のように、結合距離2でクラスターを分けると、図中の赤枠で囲んだOwashi\_un\_-1.47とOwashi\_un\_-1.37, Kugahara\_-1.08とKugahara\_-1.57, Tete\_G\_-1.28とTete\_G\_-1.47, chizou\_-1.08とchizou\_-1.57など9龍頭が同じクラスターに位置することになり、これらはもともと同じ造形に対する異なる方位からの分析結果であるので、個々に造形方法・パターン(作風)の連続性が担保されている場合、言い換えると自然な立体性が見られる造形においては、当然の結果が再現されているとも言え、本手法による作風同定の可能性の一端を示唆するものとも理解できる。

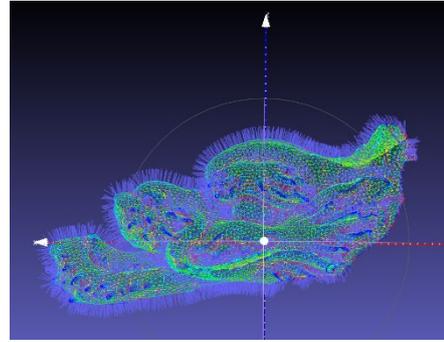


図7 ポリゴンメッシュの曲率と法線ベクトル

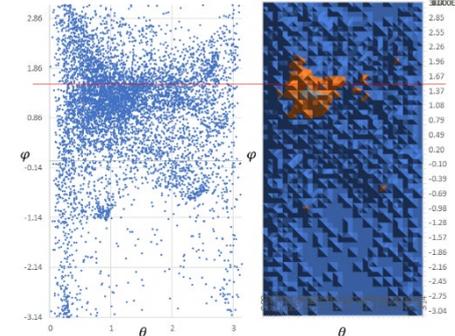


図8 法線ベクトル終点の極座標によるヒートマップ

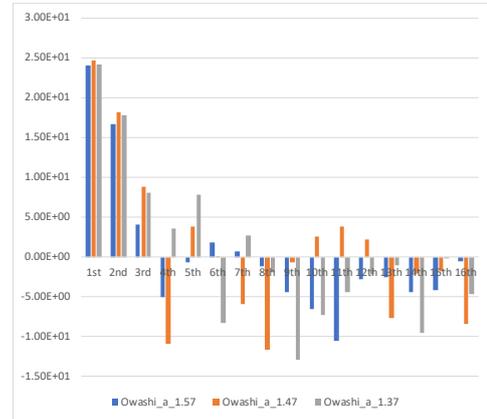


図9 ヒートマップ断面プロフィールの空間周波数

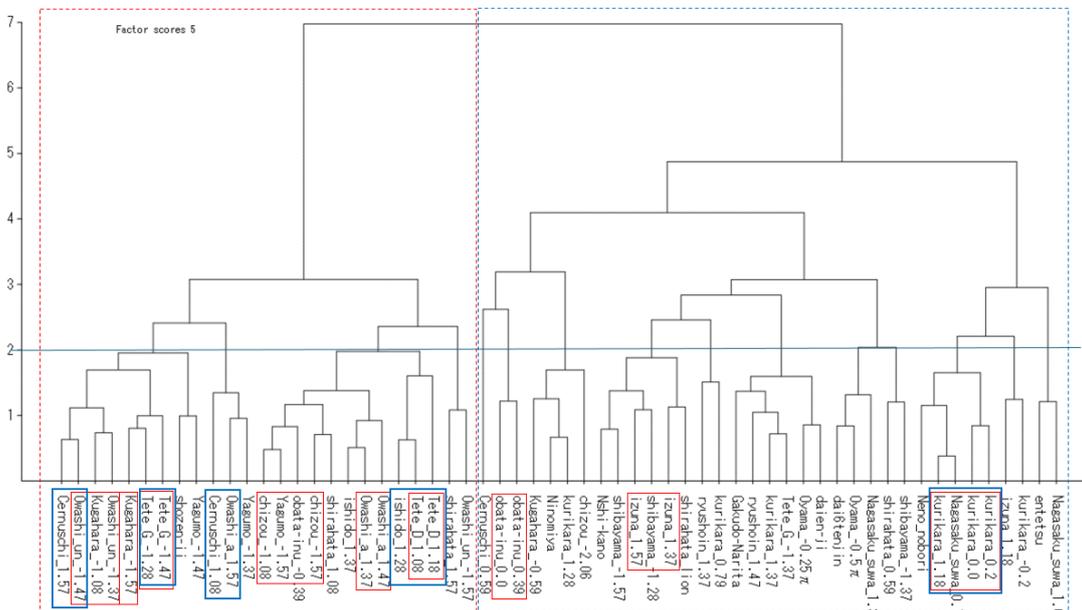


図10 因子得点に対するクラスター分析に従った龍頭の類似度評価

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 1件）

1. 著者名 楊 鵬、王 舜昌、久保 光徳	4. 巻 69
2. 論文標題 箕を構成する形態要素の抽出と3D モデルによる再現	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 デザイン学研究	6. 最初と最後の頁 1_35 ~ 1_44
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11247/jssdj.69.1_35	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 王 健、久保 光徳	4. 巻 67
2. 論文標題 社寺彫刻を構成する幾何学的特徴の抽出と再構成	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 デザイン学研究	6. 最初と最後の頁 1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11247/jssdj.67.4_1	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 Peng YANG, Mitsunori KUBO, Fumio TERAUCHI, Takatoshi TAUCHI	4. 巻 5
2. 論文標題 MORPHOLOGICAL ANALYSIS AND IMPRESSION EVALUATION FOR THE HANDPRINTS OF THE KUHON-BUTSU STATUES IN JOSHIN TEMPLE	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of the Science of Design	6. 最初と最後の頁 77-86
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11247/jsd.5.1_1_77	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 久保 光徳, 王 健, 高橋 敦, 桃井 宏和	4. 巻 162
2. 論文標題 放射目を白目とする2つの木摺白の摺り面の形状比較 : 民具の形から読み取ることができる合理性と造形 のアイデア	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 民具研究	6. 最初と最後の頁 19-32
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 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 桃井 宏和 , 高橋 敦 , 久保 光徳	4. 巻 54
2. 論文標題 用材から考える初摺白の機能評価	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 民具マンスリー	6. 最初と最後の頁 13577-13591
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 Jian WANG , Takatoshi TAUCHI , Mitsunori KUBO	4. 巻 5
2. 論文標題 STYLE CHARACTERISTICS OF SCULPTURES DESCRIBED WITH THE DISTRIBUTION OF FACET NORMAL VECTORS OF A POLYGON MESH	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of the Science of Design	6. 最初と最後の頁 9-18
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11247/jsd.5.1_1_9	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5件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 久保光徳
2. 発表標題 折り畳み式無尾翼機と阿鼻機流大鳥秘術について
3. 学会等名 千葉大学大学院工学研究会附属インテリジェント飛行センター活動報告会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 久保光徳
2. 発表標題 風を起こす箕の形
3. 学会等名 日本デザイン学会 第 69 回春季研究発表大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 久保光徳
2. 発表標題 ポリゴンの法線ベクトル終点分布特性から見る子之神社昇り龍の造形傾向
3. 学会等名 令和4年度日本宮彫協会研究報告会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 久保光徳
2. 発表標題 ポリゴンメッシュの法線ベクトル終点分布から見る彫刻の造形傾向
3. 学会等名 日本デザイン学会第70回研究発表大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 楊 鵬, 古川 侑佳, 久保 光徳, 田内 隆利
2. 発表標題 箕の制作過程における身体知の可視化
3. 学会等名 日本デザイン学会 第68回春季研究発表大会
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	植田 憲  (Ueda Akira)  (40344965)	千葉大学・デザイン・リサーチ・インスティテュート・教授    (12501)	

6. 研究組織（つづき）

	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	桃井 宏和  (Momi Hirokazu)  (50510153)	公益財団法人元興寺文化財研究所・研究部・研究員   (84601)	
研究分担者	田内 隆利  (Tauchi Takatoshi)  (70236173)	千葉大学・デザイン・リサーチ・インスティテュート・准教授   (12501)	

	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	今石 みぎわ  (Imaishi Migiwa)  (80609818)	独立行政法人国立文化財機構東京文化財研究所・無形文化遺産部・主任研究員   (82620)	
研究協力者	小野 貴登司  (Ono Takatoshi)	一般社団法人日本宮彫協会・代表理事	
研究協力者	高橋 敦  (Takahashi Tsutomu)	株式会社古生態研究所・代表取締役	

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