

令和 5 年 6 月 2 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2018～2021

課題番号：18H03571

研究課題名（和文）3次元データに基づく人工知能による仏顔の様式研究

研究課題名（英文）Stylistic analysis of Buddhist sculptures by using Artificial Intelligence and 3D measurement data with a special focus on facial expressions

研究代表者

藤岡 穰 (Fujioka, Yutaka)

大阪大学・大学院人文学研究科（人文学専攻、芸術学専攻、日本学専攻）・教授

研究者番号：70314341

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 28,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では仏像の様式判定にAI、顔認識モデルの活用を試みた。また、2次元画像の歪み等を解消するべく3次元画像による解析を目指した。まず、研究代表者が管理する約17000点の仏顔画像を用い、顔認識モデルによりニューラルネットワークを構築した。また、その一部を使って仏顔検索システムを試作した。3次元画像についてはコロナ禍により取得が難航し、2次元画像の3次元化についても既存モデルが十分な汎用性をもたないことを確認した。一方、既刊の2次元画像を用い、日本と中国の基準作例を中心としたデータセットを作成し、かつ表記法が異なる年代データを確立分布として表現し、平均誤差34.3年の年代推定モデルを構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

仏像はインドないしガンダーラからアジア全域へと展開したが、その展開は信仰だけでなく政治や権力とも関わり、民族や風俗をも反映するものであった。したがって、その展開の歴史の解明には大きな意味がある。本研究で行った仏顔のAIや顔認識モデルによる解析は、これまでの研究では恣意性や主観が介在しがちであった仏像の様式判定に客観性を与えるもので、ひいてはその変遷の解明に役立つことが期待される。また、本研究は仏像史の研究者とAIやコンピュータービジョンの研究者の協同によって進めるものであり、AIの開発や3次元画像の解析についても新しい視点をもたらし、理想的な文理融合的研究となった。

研究成果の概要（英文）：In this study, we attempted to use AI and face recognition models to determine the style of Buddhist images. In addition, we aimed to analyze Buddhist faces using 3D images in order to resolve distortions in 2D images.

First, a neural network was constructed using a face recognition model based on approximately 17,000 Buddhist face images managed by the principal investigator. A prototype Buddhist face retrieval system was also built using some of these images. As for the 3D images, acquisition was difficult due to COVID-19, and it was confirmed that the existing 3D model was not versatile enough to convert 2D Buddhist face images into 3D. On the other hand, using previously published 2D images, we created a data set centered on reference examples from Japan and China, and expressed the age data with different notations as an establishment distribution, and constructed an age estimation model for Buddha faces with an average error of 34.3 years.

研究分野：美術史

キーワード：仏像 仏顔 AI 顔認識 3次元計測

1. 研究開始当初の背景

美術作品には時代や地域、作者や流派による特徴的、類型的な表現方式があり、それを様式と称してきた。そして、様式研究は図像研究とともに美術史学の根幹をなしてきた。しかしながら、「作品を見る」という視覚経験に基づく従来の様式研究には、個人的経験に基づくがゆえの主観性、作品の特徴を抽出、類別して言語化することの恣意性、さらには先行研究からあたえられた先入観によって、常に曖昧さ、不確実さがつきまとってきた。

様式は主題や図像とともに美術作品の最も基本的な要素である。ところが、近年の日本・東洋美術史研究においては、作品の意味や機能、享受される場などへの関心が高まる一方で、様式研究むしろ低調と言わざるを得ない状況が続いている。様式研究には作品の視覚経験の蓄積が不可欠であるが、美術作品が観光資源化されることによって、研究目的による視覚経験の機会が得難くなってきていること、研究成果が急がれ、視覚経験を蓄積する余裕がなくなっていること、そして視覚経験に基づく様式研究にはどうしても主観的な一面や不確実さがつきまとうことも様式研究が敬遠される要因となっている。

ところが近年、情報科学の分野において、とりわけ仏像の顔に特化して解析を行う研究も試みられている。解析するデータが不十分なために、必ずしも有効な成果とは言えない一面もあるが、クラスター分析や主成分分析といった機械学習によって美術作品を解析することによって、様式研究の曖昧さ、不確実さといった弱点を補う可能性をしめしている点において注目すべき試みである。

2. 研究の目的

本研究は、以上のような美術史学の研究状況を踏まえ、とくに仏像の顔（仏顔）を対象として、その様式解析を機械学習、さらにはディープラーニングによって、すなわち AI を活用して行い、これまでにない客観的な様式研究の可能性を探るものである。また、仏顔の様式を判断し、系譜を明らかにするシステムの構築をめざしている。

仏像は紀元 1 世紀頃、中央アジアから北インドを支配したクシャン朝において初めて作られたとみられており、以降、仏教の伝播とともにアジア全域で仏像が作られた。本研究では、そうした仏像のなかでも特に次の二つの系譜に焦点をあてる。すなわち、インド・グプタ朝から東南アジア（プレ・アンコール期ほか）、中国（隋・唐）、朝鮮半島（三国・統一新羅）、日本（飛鳥・奈良）へと連なるシルクロードの系譜、飛鳥時代から江戸時代にいたる日本仏像史の系譜である。

4～6 世紀に隆盛したグプタ朝美術は広くアジア各地に伝播し、東アジアの 5～8 世紀の美術の展開にも大きな影響をあたえた。この系譜に属する仏顔の分析からは、各地域の仏顔の相互関係、たとえばグプタ文化圏と唐文化圏との様式の対比、唐から周縁地域への様式波及の様相などが浮き彫りにされることが期待される。

一方、日本には飛鳥時代から江戸時代まで連続と作例があり、時代とともに様々な変容をとげた。そのなかで特に平安前期における密教図像の受容、平安後期における定朝様式の確立とその継承、平安末期から鎌倉時代にかけての古典学習、室町時代や江戸時代における定朝様式、鎌倉様式の継承などがどのように分析結果に表れるかを注視したい。

3. 研究の方法

（1）仏顔への注目

本研究はとりわけ仏像の顔に焦点を当てる点に特色があるが、その理由は三つある。第一に、仏像における顔の重要性である。顔は礼拝者がもっとも注視する部分であり、これまでの様式研究においてもしばしば考察の対象とされてきた。第二に、顔の構造の複雑さである。目、鼻、口といった器官があり、解剖学的にも多くの骨格や筋肉から成り立っているために特徴を抽出しやすい。顔認識システムによる人物同定の技術の進展が著しい所以でもある。第三に、AI による統計的分析に必要な大量のデータが確保できるからである。絵画とは異なり、雕塑像はアジア各地に数多く伝存している。また、顔は地域や時代を超えて構成要素が共通し、仏、菩薩などの尊格の違いを超えて、さらにはヒンドゥー教や日本の神像などとも宗教の違いを超えて比較することが可能である。よって、対象はアジア全域、各時代に広げることができる。

（1-1）仏顔画像データのアーカイブ

本研究では仏顔の様式解析にあたり 3D データを用いる。2 次元画像にはカメラの特性による歪みが生じる、被写体に対するカメラの位置とアングルが一定でない、陰影によって形状が正確に把握できないといった欠点があり、画像データの比較に限界があるからである。そこで、新規に 3D データを取得し、あるいは既存の 3D データを活用する一方で、近年発達が著しい 2 次元画像を 3 次元化する技術を導入あるいは開発し、既存の 2 次元画像から 3D データを生成する。2 次元画像はすでに大量にあり、その活用によって本研究に必要なデータ量が確保できる。

(2) 仏顔の様式解析

仏顔の様式を AI によって解析し、かつ仏顔の様式を判断し、系譜を明らかにするシステムの構築をめざす。

(2-1) 「教師なし学習」による統計的分析とその解釈

仏顔の 3D データをもとにワイヤーフレームモデルや距離画像等を作成する。また、顔面の輪郭、骨格や肉付きによる凹凸、眉・目・眼窩・鼻・口等の各部位の形や位置、さらにはそれらの相互の関係性などを特徴量として数値化する。次に解析されたデータを用い、クラスター分析や主成分分析等の機械学習のためのアルゴリズムを作成し、統計的分析を行う。さらに、機械学習の結果、すなわちクラスター分析によるグループ分けや各データの類似度(距離)、主成分分析がしめす特徴量の統計的な差異やその距離について、各データの属性、すなわち地域や時代、作者等のほか、材質、尊格の種別等との関係性を検討する。その結果からは異なる属性間の共通性や、逆に同じ属性内における差異などが明らかになる可能性がある。そして、その意外性が様式研究に新たな展望を開くことが期待される。

(2-2) 「深層学習 (ディープラーニング)」による様式判定システムの構築

様式を判断し、あるいはその系譜を明らかにするシステムの構築は、近年もっとも注目されている「深層学習」によって行う。美術史家や鑑定家は制作地や制作年代、作者等の属性が明らかな基準的作品の視覚経験を積み重ねることによって一定の様式観を築き、その様式観に基づいて未知の作品の様式判断を行い、様式の系譜を想定している。こうした人の様式観の形成過程にならひ、属性をラベル付けした仏顔の 3D データをもとに「深層学習」によって自動的に特徴量を抽出し、様式を判定するシステムを構築する。なお、第 2 段階では第 1 段階の成果を踏まえ、より有効性の高い手法で解析されたデータを用いるとともに、属性をラベル付けしたデータにラベル付けしていないデータを併用する「半教師あり学習」によって効率を高める。

こうして創生された様式判定システムは、主観性等によってぶれることのない様式判断が可能であり、それに基づいた仏顔の新たな様式の系譜を形成することが期待される。

4. 研究成果

(1-1) 仏顔 2 次元画像のアーカイブ 1

研究代表者が蓄積してきた約 5 万点の画像から、アジアのほぼ全域、年代も多様な約 17,000 点の仏顔画像を抽出し、ファイル名とフォルダー名、撮影情報等によってラベル付けしたデータセットを作成した。

(1-2) 仏顔 2 次元画像のアーカイブ 2

(1-1) の約 17,000 点の仏顔画像について、仏像史の研究成果に基づき、名称・制作地・制作年代・所蔵その他の付帯情報をもとにデータベースを FileMaker で作成した。

(1-3) 仏顔 2 次元画像のアーカイブ 3

(1-2) (1-3) に加え、『日本彫刻史基礎資料集成』『六大寺大観』『中国仏教彫刻史論』その他の仏像の専門書をスキヤニングし、名称・制作地・制作年代・所蔵その他の付帯情報をもとにデータベースを FileMaker で作成した。

(1-4) 仏顔 3 次元画像のアーカイブ

2018 年 12 月に薬師寺金堂薬師三尊像、薬師寺東院堂聖観音菩薩像の 3 次元画像を取得した。2019 年 7 月には永青文庫において中国石仏 7 点の、8 月には興福寺東金堂脇侍菩薩像、興福寺旧東金堂仏頭の、12 月にはベトナム・チャンパ彫刻博物館において石彫 15 点の 3 次元画像を取得した。2022 年 11 月には韓国国立中央博物館において甘山寺阿弥陀如来像、観音菩薩像の 3 次元画像を取得した。

その他、ジャワ寺院遺跡、ジョグジャカルタ・ソブドノヨ博物館、河北省定州中山博物館、同隆興寺、北京・故宫博物院、シカゴ美術館、フリア・ギャラリー、チャンパ彫刻博物館、ベトナム歴史博物館、相国寺、浙江省九曜山石窟において撮影した 2 次元多視点画像により 3 次元画像を生成した。

(2-1) 仏顔画像データのマルチビューランドマークデータセットの整備

仏顔画像データのアーカイブ構築の一環として、画像データ内の仏顔に目・鼻・輪郭などのランドマーク点を手作業で付与したデータセットを構築した。同一の仏像を撮影した複数の画像データにランドマーク点を付与しており、仏像は静止物体であることから、適当な仮定を導入することにより、これらランドマーク点の 3 次元情報を復元できる。このデータは、それ自体が仏顔の様式解析に利用可能であることに加え、ランドマーク点の自動検出のためのモデル学習にも資するものとなる。

(2-2) 仏顔のランドマーク点自動検出

顔のランドマーク点は、顔の主要な器官の位置を表すもので、顔の幾何的な特徴を捉えるために極めて有用である。人の顔におけるランドマーク点検出は広く研究されているが、我々の知る限り仏顔に適用した結果は報告されていない。ここでは、仏顔からランドマークを自動検出する手法の実現に向けて初期的検討を行った。具体的には、人の顔で訓練されたランドマーク点検出のためのモデルを仏顔に適用した。モデルを仏顔に向けて再学習する

とともに、3次元点の復元までを含む全てのパイプラインによってモデルを訓練することも検討した。

(2-3) 4.3 GCN による画像からの属性識別

画像データ自体を利用した属性識別についても検討を進めた。これは、仏像の様式、大きさ、年代などを識別するもので、この属性識別のタスクで訓練されたディープラーニングモデルは、少なくとも当該タスクに必要な特徴を抽出できることになる。ランドマーク点による特徴の記述は、目鼻などの器官の配置に様式を解析するために必要な情報が含まれるだろう、という専門家の知識に基づくものである一方、属性識別タスクから得られる特徴の記述は、データに基づくものであるといえる。高精度な属性識別の実現を目指し、本研究では、Graph Convolutional Network (GCN) と呼ばれる構造のディープラーニングモデルを用いる。このモデルでは、データセット内のすべての仏像の各種属性に基づいて画像データを接続することによりグラフを構成する。これにより、同様の属性を持つ画像データから効率的に特徴を抽出できる。実験の結果、既存のディープラーニングモデルによる識別性能がその多くの属性で80% 弱の性能であったのに対して、提案するモデルでは、すべての属性で90%以上の精度となることが確認できた。

(2-4) 仏顔検索システムの試作

(1-1) の17,000点の画像の一部を用いて、以下のとおり仏顔の検索システムを試作した。Elasticsearchによるテキストベースの検索(抽出したメタデータ、画像パス、その他ユーザが定義したプロパティからの全文検索)と、FAISSによる画像検索・比較に基づく画像類似度検索を基盤とした。さらに、Imagenetで学習したVGG16を用いた完全画像埋め込みにより、全体的な情報から画像を検索し(例えば、類似した形状の像)、我々の微調整したResNet50による顔専用の埋め込みを行い、顔から像を検索することができる。これにより、ユーザはテキストや画像と顔から像を検索することができる。アップロードされた画像に含まれる顔は、我々のFaster R-CNNモデルを用いて自動的に検索される。また、ユーザは検索範囲を手動で入力することもできる。結果への個別アクセスは、専門家がこの情報を編集することもできるように、像のすべての特性、他のすべての画像を提示する。結果の各要素(画像またはテキスト)はハイパーリンクされており、新しい検索要素となり、ユーザの探索的な検索をサポートする。

(3-1) 知識グラフを利用した仏顔画像からの属性解析

仏像の様式を含む各種属性の分類は、専門性の高い知識を要求するタスクである。それぞれの属性はお互いに独立とは言えず、同じ様式であっても作られた年代や制作者などによって詳細が異なる。また、特に仏像などを含む文化財はそもそも数が少なく、加えてその属性が常に明らかであるとは言い難い。この2点は、特に深層学習による属性解析のためのモデル学習における挑戦と考えられる。属性間の依存関係は、マルチタスク学習によって暗黙的にモデル化できる。しかし、これには一般に多くの学習データが必要となることから、サンプル数の少ない仏像では依存関係を十分に獲得できない可能性がある。

そこで、図1に示すように、データセット内のすべての仏顔画像に加えて、属性ラベル(図中、緑の四角や黄色い丸など)をノードとし、画像とその画像に割り当てられた属性ラベルの間にエッジを持つ知識グラフを構築し、このグラフを利用して属性の分類を行う。頻繁に共起する属性ラベル間には画像を介した多数の経路が存在することになり、依存関係の獲得が容易になると期待される。またこの手法では、属性解析の対象となる画像を知識グラフに追加するTransductive Learningのフレームワークを採用している。これは、オーソドックスなモデルを利用した属性分類結果に基づいて画像に対して疑似ラベルを割り振ることで、対象画像と属性ラベルの間に暫定的なエッジを張り、知識グラフ全体から最終的な分類結果を出力する。実際の学習と分類はGraph Convolutional Networkによる。

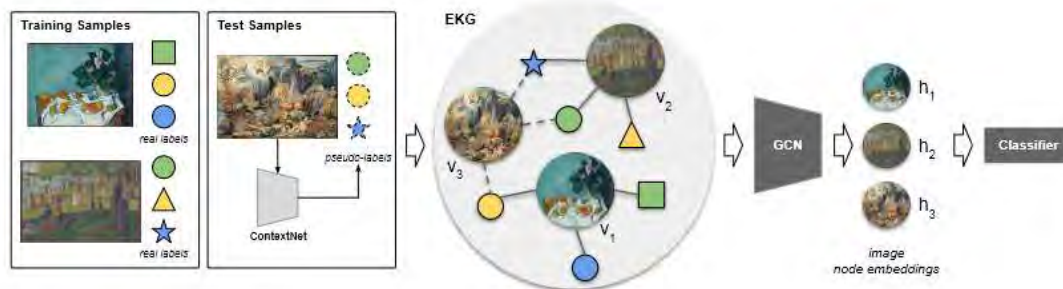


図1: 提案手法の全体像。学習用の画像(Training Samples)と分類対象の画像(Test Samples)をあわせて知識グラフ(Extended Knowledge Graph; EKG)を構築し、Graph Convolutional Networkにより学習・識別する。

表1に提案手法(Sall)、及び比較手法(NN)の属性分類結果を示す。ここでは属性として、様式、大きさなど4種を考え、それぞれが複数のラベルを持つ。SallとNN(original

は既存の論文と同じデータセットの分割法によるもの、retrained は提案手法と同じデータセットの分割法によるもの。提案手法との直接の比較は retrained による) を比較すると、Sall により識別精度が大きく向上していることがわかる。S0 から S3 の下付きの数字は、4 種の属性のうち疑似ラベルとして使われた属性の数を表す。ここから疑似ラベルの重要性が確認できる。

	<i>Model</i>	<i>Style</i>	<i>Size</i>	<i>Century</i>	<i>Dimensions</i>
1	NN (<i>original</i>)	0.98	0.78	0.78	0.78
2	NN (<i>retrained</i>)	0.58	0.65	0.76	0.46
3	S ₀ Random initialization	0.23	0.30	0.13	0.08
4	GCNBoost S ₁	0.57	0.68	0.74	0.47
5	GCNBoost S ₂	0.59	0.85	0.80	0.76
6	GCNBoost S ₃	0.88	0.86	0.86	0.84
7	GCNBoost S _{all}	0.92	0.94	0.93	0.90

表 1: 分類結果。Sall が提案手法。

(3-2) 半教師あり学習による仏顔の制作年推定

仏像の制作年は仏顔解析における最も重要な手がかりの一つである。制作年の特定は造像銘記などが現存すれば可能であるが、そうでない場合は専門家による推定となり、時代や世紀などの幅を持たせることが多い。深層学習モデルなどによる画像からの制作年の回帰的推定は、専門家による推定をサポートする有効なアプローチの一つであると考えられるものの、制作年が特定されていない、もしくは幅をもった特定しかできていない多くの仏像が存在することを考慮すると、その学習に十分なサンプル数を確保することが困難となる。

本研究では、幅をもった建立年や、そもそも建立年が特定されていない (またはその情報が入手できない) 仏像を含む仏顔画像データセットから、制作年をピンポイントで推定する半教師あり学習手法を提案する。この手法では、ピンポイントの制作年と時代や世紀で表される建立時期のラベルを統一的に扱うために、制作年を確率密度関数によって表現することを考える。ここでは正規分布を利用し、ピンポイントの制作年が与えられたサンプルは平均値としてその建立年、分散として事前に決めた小さな値とした。一方、制作時期で与えられるものについては、平均としてその時代・世紀の中央の年を、分散はその時代・世紀が正規分布の 95% 区間に含まれるように設定した。この真値に対して、モデルによる推定結果の尤度が最大になるように学習する (MSE)。また、任意の 2 つのサンプルの組について、その差分が真値と推定値で似たものであることを保証する損失関数を導入した (KL)。加えて、建立年に関する知見が全く得られていない、またはその情報が入手できない、つまりラベルが与えられていないサンプルについても、特徴空間の滑らかさに関する正則化項として損失関数に加える (Reg.)。

実験で利用した (1-3) のデータセットには 4,949 枚の仏顔画像が含まれており、うち 1,887 枚に制作年に関するラベルが付与されていた。また、1,887 枚のうち、時代、世紀、ピンポイントの制作年のラベルを持つものがそれぞれ 320 枚、316 枚、1,251 枚であった。このデータセットからランダムに選ばれた 70% のサンプルでモデルを学習し、残りを評価に用いた。表 2 に結果を示す。表中 10 行目が損失関数のすべての項を利用したモデルで、データセットに含まれる仏像の建立年が 400 年頃から 1403 年までの約 1000 年に分布する中で、38 年程度の平均絶対誤差 (Mean Absolute Error; MAE) で推定できている。

	<i>Methods</i>	<i>MAE (Year)</i>
1	Nearest Neighbour Search	130.9 ± 9.8
2	Gaussian Process Regression	199.9 ± 5.4
3	ResNet50 Regression w/o fine-tuning	73.8 ± 4.0
4	GCNBoost Regression	217 ± 15.5
5	SSDKL	245.3 ± 4.0
6	Ours (MSE)	56.2 ± 3.7
7	Ours (KL+Reg.)	338.3 ± 33.1
8	Ours (MSE+KL)	40.2 ± 3.62
9	Ours (MSE+REG)	39.3 ± 3.55
10	Ours (MSE+KL+Reg.)	37.5 ± 3.64

表 2: 推定結果。1 行目から 5 行目はベースラインや既存手法との比較。6 行目以降は損失関数の組み合わせ。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計21件（うち査読付論文 5件 / うち国際共著 2件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 藤岡 穰	4. 巻 1
2. 論文標題 古代寺院の仏像	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 シリーズ古代史をひらく 古代寺院	6. 最初と最後の頁 135-194
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 藤岡 穰	4. 巻 1
2. 論文標題 コラム 圓城寺金銅仏の基礎的研究 蛍光X線分析を踏まえて	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 圓城寺の仏像 第4巻 鎌倉彫刻篇	6. 最初と最後の頁 176-177
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 藤岡 穰	4. 巻 1
2. 論文標題 東大寺法華堂伝来の天平期諸像に関する一考察	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 古代寺院史の研究	6. 最初と最後の頁 217-238
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 藤岡 穰	4. 巻 1
2. 論文標題 杭州烟霞洞と飛来峰の羅漢像について	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 徹底討論 大徳寺伝来五百羅漢図の作品誌 地域社会からグローバル世界へ	6. 最初と最後の頁 461-488
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 岩田茂樹	4. 巻 684
2. 論文標題 クリーブランド美術館の木造伎楽面－その作者ならびに銘記をめぐる－	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 MUSEUM	6. 最初と最後の頁 7-20
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 肥田路美	4. 巻 1
2. 論文標題 大型多尊磚仏と法隆寺金堂壁画	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 古代文学と隣接諸学 古代寺院の芸術世界	6. 最初と最後の頁 386-413
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 肥田路美	4. 巻 1
2. 論文標題 古代寺院はなぜ「芸術世界」か	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 古代文学と隣接諸学 古代寺院の芸術世界	6. 最初と最後の頁 7-16
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 肥田路美	4. 巻 1
2. 論文標題 弥勒仏の信仰と倚坐形如来像 五世紀から則天武后前期以前まで	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 平成26年度～29年度科学研究費補助金基盤研究(B)報告書 中央アジア仏教美術の研究 釈迦・弥勒・阿弥陀信仰の美術の生成を中心に	6. 最初と最後の頁 47-63
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 肥田路美	4. 巻 1
2. 論文標題 杜甫の見た龍門石窟	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 アジア遊学220 杜甫と玄宗皇帝の時代	6. 最初と最後の頁 59-78
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 藤岡穰	4. 巻 1
2. 論文標題 初唐期における長安造像の復元的考察	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 アジア仏教美術論集 東アジア 隋・唐	6. 最初と最後の頁 65-105
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 藤岡穰	4. 巻 1
2. 論文標題 The Cult and Statuary of Zao Gongen	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Defining Shugendo: Critical Studies on Japanese Mountain Religion	6. 最初と最後の頁 167-186
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 藤岡穰	4. 巻 12
2. 論文標題 平城京と東山の古代石仏	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 新羅文物研究	6. 最初と最後の頁 205-221
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 藤岡 穰	4. 巻 1
2. 論文標題 西湖周辺における呉越～南宋の仏教石刻	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 アジア仏教美術論集東アジア (南宋・大理・金)	6. 最初と最後の頁 119-155
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 藤岡 穰	4. 巻 54
2. 論文標題 様式・技法・金属組成からみた興福寺と薬師寺の古代金銅仏 薬師寺金堂本尊像の移坐・非移坐問題への一視点	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 待兼山論叢	6. 最初と最後の頁 1-36
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 藤岡 穰	4. 巻 別冊
2. 論文標題 古代金銅仏の制作技法	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 季刊考古学	6. 最初と最後の頁 73-80
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 Yiming Qian, Cheikh Brahim El Vaigh, Yuta Nakashima, Benjamin Renoust, Hajime Nagahara, Yutaka Fujioka	4. 巻 14-8
2. 論文標題 Built Year Prediction from Buddha Face with Heterogeneous Labels Modeled as Probabilistic Distribution	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 JOURNAL OF LATEX CLASS FILES	6. 最初と最後の頁 -
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 藤岡 穰	4. 巻 1511
2. 論文標題 永観堂禅林寺本尊「みかえり阿弥陀」瞥見	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 國華	6. 最初と最後の頁 31-42
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 藤岡 穰	4. 巻 1
2. 論文標題 四天王寺金堂本尊の姿をもとめて 史料と模刻像の再検討	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 聖徳太子と四天王寺	6. 最初と最後の頁 49-52
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 藤岡 穰	4. 巻 24
2. 論文標題 龍角寺薬師如来坐像の蛍光X線分析の結果について	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 早稲田大学會津八一記念博物館研究紀要	6. 最初と最後の頁 81-85
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 Cheikh Brahim El Vaigh, Noa Garcia, Benjamin Renoust, Chenhui Chu, Yuta Nakashima, Yiming Qian, Hajime Nagahara	4. 巻 1
2. 論文標題 GCNBoost: Artwork Classification by Label Propagation through a Knowledge Graph	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 arXiv:2105.11852	6. 最初と最後の頁 -
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Yiming Qian, Cheikh Brahim El Vaigh, Yuta Nakashima, Benjamin Renoust, Hajime Nagahara, Yutaka Fujioka	4. 巻 1
2. 論文標題 Built Year Prediction of Buddha Face with Heterogeneous Label Modeled as Probabilistic Distribution	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 arXiv:2109.00812	6. 最初と最後の頁 -
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

[学会発表] 計22件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 12件)

1. 発表者名 Benjamin Renoust, Matheus Oliveira Franca, Jacob Chan, Noa Garcia, Van Le, Ayaka Uesaka, Yuta Nakashima, Hajime Nagahara, Juergen Wang, and Yutaka Fujioka
2. 発表標題 Historical and Modern Features for Buddha Statue Classification
3. 学会等名 SUMAC (ACMMM) 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Benjamin Renoust, Matheus Oliveira Franca, Jacob Chan, Van Le, Ayaka Uesaka, Yuta Nakashima, Hajime Nagahara, Juergen Wang, and Yutaka Fujioka
2. 発表標題 BUDA.ART: A Multimodal Content-Based Analysis and Retrieval System for Buddha Statues
3. 学会等名 ACM MultiMedia (ACMMM) 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Benjamin Renoust, Matheus Oliveira Franca, Jacob Chan, Van Le, Ayaka Uesaka, Yuta Nakashima, Hajime Nagahara, Juergen Wang, and Yutaka Fujioka
2. 発表標題 Buddha Statues Archive Retrieval System
3. 学会等名 MIRU 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤岡穰
2. 発表標題 大仏様の履歴書
3. 学会等名 飛鳥寺花会式講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤岡穰
2. 発表標題 平城京東山の古代仏教彫刻
3. 学会等名 国際シンポジウム「金城の南山と平城京の東山 王都周辺の山林寺院の日韓比較（国際学会）」
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤岡穰
2. 発表標題 技法・金属組成・様式からみた薬師寺像と興福寺（旧山田寺）像
3. 学会等名 平城薬師寺をめぐるシンポジウム 「伽藍を移す」ことの意味を考える
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤岡穰
2. 発表標題 美術史とAI - 仏像の顔の様式分析をめざして -
3. 学会等名 日本学術会議公開シンポジウム「科学的知見の創出に資する可視化(3)：新しい文理融合研究を創出する可視化（招待講演）」
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山田修,鏡山智子,神田雅章
2. 発表標題 奈良県内の仏像におけるデジタル写真測量の実践と評価
3. 学会等名 文化財保存修復学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takeshi Oishi
2. 発表標題 Cyber-Archaeology: 3D Scanning and Visualization of Historical Sites through Mobility Systems
3. 学会等名 Japan-Korea Workshop on Next Generation Robotics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鳥越俊行,岩田茂樹,岩井共二,山口隆介,安藤真理子
2. 発表標題 特別展「快慶」に伴うX線CTによる快慶作品の新知見
3. 学会等名 文化財保存修復学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 肥田路美
2. 発表標題 南齊武帝の瑞石像と吉野寺放光瑞像
3. 学会等名 中日古典学工作坊 第二屆學術研討會 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Benjamin Renoust
2. 発表標題 Fifty thousand Buddha Faces: a Big Data take on an Art History project
3. 学会等名 Handai-IDS JFLI workshop on media and graphics
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Benjamin Renoust, Ayaka Uesaka, Yuta Nakashima, Hajime Nagahara, and Yutaka Fujioka
2. 発表標題 Exploration and Mining of 50,000 Buddha Pictures
3. 学会等名 MIRU 2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Benjamin Renoust, Ayaka Uesaka, Yuta Nakashima, Hajime Nagahara, and Yutaka Fujioka
2. 発表標題 Faces in an Archive of Buddhism Pictures
3. 学会等名 CH119
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤岡穰
2. 発表標題 日本における三国時代金銅仏の新発見
3. 学会等名 The Academia Koreana International Conference, Reconsidering Korean Art: Identity and Aesthetics (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yoshihiro Sato, Ryutaro Suda, Takeshi Oishi
2. 発表標題 Automatic Modeling using Reinforcement Learning Based on Action Rules by Measurement Records
3. 学会等名 The 13th International Workshop on Robust Computer Vision (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takeshi Oishi
2. 発表標題 Cyber Archaeology and Robotics
3. 学会等名 Korea Japan Workshop on Next Generation Robotics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 肥田路美
2. 発表標題 唐代高僧の理想世界 道宣《集神州三宝感通録》分析
3. 学会等名 中央研究院歴史語言研究所主題講座 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤岡穰
2. 発表標題 大阪市立美術館1995年特別展「中国の石仏」を振り返って
3. 学会等名 第2回仏教芸術学会連続講座
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 藤岡 穰
2. 発表標題 隋～初唐の長安における仏教造像
3. 学会等名 令和4年度第142回懷徳堂春季講座
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 藤岡 穰
2. 発表標題 The Transmission and Creation of Miraculous Efficacy in the Early Kamakura-Period Reconstruction of Buddhist Statues at Kofuku-ji Temple
3. 学会等名 Workshop-Absence, Presence, and Materiality:Refiguring Japanese Religious Art and Culture (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 藤岡 穰
2. 発表標題 仏像の基礎研究 蛍光X線による金銅仏の成分分析からAIによる仏顔の様式分析へ
3. 学会等名 国際シンポジウム「宗教遺産をめぐる真正性 - 宗教遺産テキスト学の発展的展開 - (国際学会)
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計6件

1. 著者名 薬師寺、藤岡 穰	4. 発行年 2020年
2. 出版社 東京美術	5. 総ページ数 80
3. 書名 もっと知りたい薬師寺の歴史	

1. 著者名 古田 亮	4. 発行年 2019年
2. 出版社 ミネルヴァ書房	5. 総ページ数 434
3. 書名 教養の日本美術史	

1. 著者名 肥田路美 (編著)	4. 発行年 2019年
2. 出版社 竹林舎	5. 総ページ数 581
3. 書名 古代文学と隣接諸学 6 古代寺院の芸術世界	

1. 著者名 肥田路美ほか	4. 発行年 2019年
2. 出版社 中央公論美術出版	5. 総ページ数 626
3. 書名 アジア仏教美術論集 東アジア 隋・唐	

1. 著者名 藤岡 穰	4. 発行年 2021年
2. 出版社 中央公論美術出版	5. 総ページ数 776
3. 書名 東アジア仏像史論	

1. 著者名 板倉聖哲	4. 発行年 2020年
2. 出版社 中央公論美術出版	5. 総ページ数 696
3. 書名 アジア仏教美術論集 東アジア	

〔産業財産権〕

〔その他〕

ゆたかな仏像 http://yutaka-na-butsozo.jp/

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	長原 一 (Nagahara Hajime) (80362648)	大阪大学・データビリティフロンティア機構・教授 (14401)	
研究分担者	中島 悠太 (Nakashima Yuta) (70633551)	大阪大学・データビリティフロンティア機構・准教授 (14401)	
研究分担者	大石 岳史 (Oishi Takeshi) (80569509)	東京大学・生産技術研究所・准教授 (12601)	

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	山田 修 (Yamada Osamu) (30571723)	東京藝術大学・大学院美術研究科・講師 (12606)	
研究分担者	肥田 路美 (Hida Romi) (00318718)	早稲田大学・文学学術院・教授 (32689)	
研究分担者	濱田 瑞美 (Hamada Tamami) (30367148)	横浜美術大学・美術学部・准教授 (32725)	
研究分担者	皿井 舞 (Sarai Mai) (80392546)	学習院大学・文学部・教授 (32606)	
研究分担者	浅見 龍介 (Asami Ryusuke) (30270416)	独立行政法人国立文化財機構東京国立博物館・学芸企画部・部長 (82619)	
研究分担者	鳥越 俊行 (Torigoe Toshiyuki) (80416560)	独立行政法人国立文化財機構東京国立博物館・学芸研究部・室長 (82619)	
研究分担者	岩田 茂樹 (Iwata Shigeki) (20321622)	独立行政法人国立文化財機構奈良国立博物館・その他部局等・研究員 (84603)	
研究分担者	山口 隆介 (Yamaguchi Ryusuke) (10623556)	独立行政法人国立文化財機構奈良国立博物館・その他部局等・主任研究員 (84603)	

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