

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 28 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2014

課題番号：23320040

研究課題名(和文) 古代ローマの彫刻コピー工房の研究 3次元デジタルデータの取得と応用

研究課題名(英文) Studies on sculptural copy workshops in ancient Rome: acquisition and application of 3D digital data

研究代表者

芳賀 京子 (Sengoku-Haga, Kyoko)

東北大学・文学研究科・准教授

研究者番号：80421840

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 11,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では約40体の古代彫刻を $\pm 50\mu\text{m}$ の精度で3D計測し、3Dモデル化した上で、非常に精密な形状比較を行った。結果、古代ローマのコピー工房が彫像の頭部や手足を特に正確にコピーしたこと、形状の正確さとは別に、コピーには数%のスケールの変化が付きものであること、しかしスケールをそろえれば頭部など正確なパーツの誤差は2mm以下で彫られていることが判明した。こうしてローマ時代のコピーを通してギリシアのオリジナルのブロンズ像の制作過程を知ることにも可能であることが示されたため、ポリクレイトスの作品のコピーを比較したところ、彼がブロンズ彫刻《槍を持つ人》の原型を他作品に利用していたことが確認された。

研究成果の概要(英文)：In this project around forty ancient statues have been 3D scanned with an accuracy of $\pm 50\mu\text{m}$ and digitized into 3D models, to be used for extremely precise 3D shape comparisons. The results clarify that 1) ancient Roman sculpture workshops copied original Greek works very accurately especially with regards to the heads, hands and feet, 2) apart from the shape similarities, copies may vary in scale slightly, but 3) once normalized for scale differences, errors in the well-copied parts (heads, for example) are generally less than 2mm. These results from the analysis of the Roman copies open the possibility of understanding how the process of creating the Greek bronze originals took place. Actually, it has been demonstrated that Polykleitos, the great Greek sculptor of the fifth century BCE, reused the model of his bronze Doryphoros in his other works.

研究分野：美術史

キーワード：芸術諸学 美術史 ギリシア彫刻 ローマ美術 3D形状比較 国際情報交換

1. 研究開始当初の背景

前1世紀以降、ローマ世界では大量の丸彫り彫像が制作されたが、その大部分は既存のギリシア彫刻のコピーであった。こうしたコピー作品は、研究者の間ではもっぱらギリシアのオリジナル像を復元するために用いられ、コピーを制作していたローマ時代の彫刻工房については、国内はもちろん国際的にみても、その研究はほとんど進んでいない。

前2世紀まで、彫刻家たちはフリーハンドで大理石コピーを制作しており、そのためコピーにも個性が見られたのだが、前100年頃に「精密コピー」の手法が導入されると、同一オリジナルに由来するコピー作品の形状は極度に均一化し、個々のコピーから彫刻家の手を区別することが難しくなる。ローマ時代のコピー工房の研究が停滞しているのは、こうした微妙な形状を区別することの難しさに起因している。唯一、C・ガスパッリが肉眼による観察によっていくつかのコピー工房の特徴を区別しようと試みてはいる(C. Gasparri, *Römische Mitteilungen* 1995) だが彼の研究手法は、彫像の髪や目などの部位に際立って特徴的な表現手法を用いる二、三の工房でこそ有用だが、それ以外の工房に適用することは難しい。

研究代表者である芳賀は、平成19~21年度科学研究費補助金(基盤研究C)による研究の一環として、東京大学情報学環池内克史教授を研究協力者として、非接触3次元デジタル Vivid 910(コニカミノルタ)などを用い、ナポリ国立考古学博物館所蔵の前1世紀後半の5体のブロンズ群像を3次元計測して3次元モデルを作り、それらを重ね合わせることで各像のパーツを0.5mm差まで区別できるレベルで形状比較した。すると5体中3体のブロンズ像は、ポーズや衣装が異なる群像であるにもかかわらず、足の部分の形状はほぼ同一であることが判明した。

この結果は、前1世紀という彫像の大量生産が始まった時代に、彫刻家は彫像全体の原型を一から新たにつくる労力を省き、彫像のパーツに同一の原型を使い回していたことを意味している。同時に、3次元形状比較の手法がギリシア・ローマ彫刻という原型を重視した立体美術に非常に有用であることを確信させるものだった。

2. 研究の目的

古代ローマの彫刻工房ではギリシアのオリジナル作品からコピーを制作する場合、まずオリジナルから石膏レプリカを取る。ブロンズ・コピーの場合は、この石膏原型から鋳型をとり鋳造することで、原型の3次元的な形状はほぼ正確にブロンズ像に写しとられる。一方、大理石コピーの場合には、何らかの道具を用いて石膏原型のポイントを大量に計測し、それを大理石ブロックに写す作業が必要となる。だがその精度や具体的プロセスについてはいまだ不明な部分が多い。また、

同じ作品のコピーが帝国全土から大量に出土しているケースがあるが、どのようにしてそれらのコピーが流布したのかもわかっていない。

そこで本研究は、ローマ時代のコピーに関する3次元データを取得し、解析することで、古代ローマのコピー制作の精度を確認する。(もしコピーの精度が十分高いことが確認されれば)オリジナルが制作された前5世紀のギリシアの彫刻工房の実態をも追求する。同一作品に基づく大量のコピーの形状を比較し、クラスター化することで、全ローマ帝国へのコピーの伝播経路を考察する。

3. 研究の方法

(1) 計測する古代彫刻の選定

計測する作品の選定は芳賀がおこなう。中心となるのは、前5世紀のギリシア彫刻の巨匠ポリュクレイトスおよびその周辺彫刻家の作品のローマ時代のコピー、およびローマ初代皇帝アウグストゥスの肖像頭部のコピーを予定している。

ポリュクレイトスはローマ時代においても高い名声を誇り、その彫像からは際立って多くのコピーが制作された。彼は理論家でもあり、著書『カノン』の中で彫像各部の寸法について詳述していたらしい。そのため、彼やその周辺の作品を集中的に計測対象とすれば、有意な結果が得られる可能性が高いと期待される。

一方、アウグストゥスの肖像はローマ帝国域全土から現在までに約250個が出土しているが、それらは大きく3つのタイプに区分される。コピーの伝播経路を追うサンプルとしては理想的であろう。

(2) 3Dデータの取得

3D計測作業は大石が中心となる。ミュンヘン古典彫刻石膏博物館は、有名なギリシア・ローマ彫刻から現代に研究目的で直接かたどりした石膏像を計1780体ほど有し、世界有数の充実度を誇るが、その館長インゲボルク・カーダー博士(海外研究協力者)の全面的な協力を得ることができたので、ここを中心として計測をおこなうことで、効率的に3Dデータを取得する。

石膏博物館に所蔵されていない作品、および比較の基本になる重要な作品については、ナポリ、ティヴォリなど各地の博物館で古代の大理石像を計測する。

(3) 3Dデータを利用した形状比較

小野が中心となって、取得したデータの解析を進める。池内・大石研の大学院生に研究補助を依頼し、3Dモデル化された彫像のパーツを、別の彫像の同じパーツとアラインメント(剛体位置合わせ)し形状比較する(図1)。形状比較するパーツは芳賀が指定する。

その後、視覚的に容易に判断できるようにするために可視化を図る(図2)。

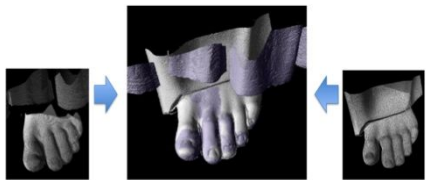


図1 2体のブロンズ像の3Dモデル(左足パーツ)のアラインメント

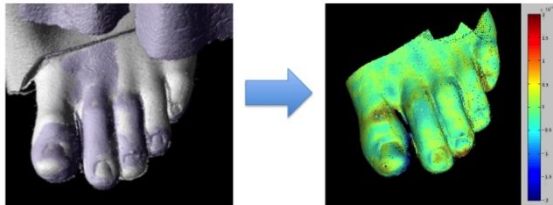


図2 着色前(左)と着色後(右) 閾値2mm。完全に一致した部分は黄緑色に、閾値内は暗赤色～青紫に(この場合は+2mmが暗赤色、-2mmが青紫)、それを越えた部分は黒色となる。

(4) 形状比較の結果に基づいた考察

形状比較の結果を受け、古代文献や先行研究も参考にしながら、芳賀が美術史的考察を行う。研究成果はコンピュータ・ビジョンとギリシア・ローマ考古学の双方の分野の国際学会などで順次、発表していく。

4. 研究成果

(1) ローマン・コピーの精度

ローマン・コピーの精度がどの程度のものなのかを確認するために、ポリュクレイトスが制作した《槍を持つ人》(前450～440年頃)のローマン・コピー4点、a)ナポリ国立考古学博物館の大理石全身像、b)同、大理石頭部、c)同、ブロンズ頭部、d)ミネアポリス美術研究所の大理石全身像(図3)を計測し、形状比較した。計測にはa)～c)はナポリ国立考古学博物館の古代作品を、d)のみはミュンヘンの石膏像を用いた。

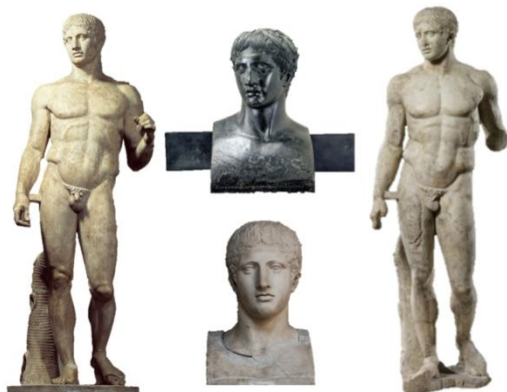


図3 ポリュクレイトス《槍を持つ人》のローマン・コピー。左から右へa)～d)

行った形状比較とその結果は、以下の通りである。

全身像2点(a, d)を比較したところ、閾値 $\pm 2\text{mm}$ ではまったく一致せず、 $\pm 4\text{mm}$ でも

ほとんど一致しない。

同じ2体(a, d)のパーツごとの比較では、頭部、手、足など細部が多いパーツは比較的よく一致し、腕や脚などの細長いパーツはずれが大きい(図4)。

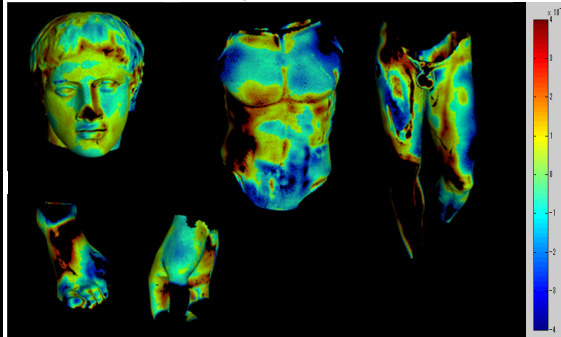


図4 像のパーツごとの比較。閾値 $\pm 4\text{mm}$

ブロンズ頭部は石膏原型から鋳型でつくるため、コピーとして最も質が高いと思われるが、他のコピーよりも2～3%小さいことが判明した。そこでスケールを正規化し比較したところ、他のコピー(特に大理石頭部)との差はほぼ $\pm 2\text{mm}$ 以内に収まった(図5)。

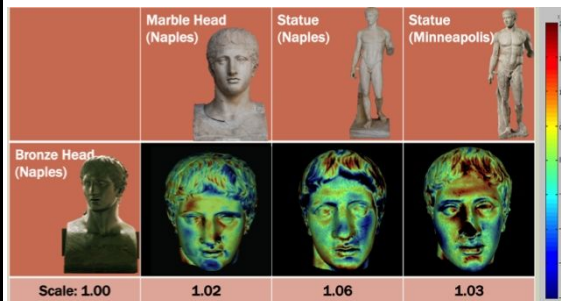


図5 ブロンズ頭部と他のコピーの比較。閾値 $\pm 2\text{mm}$

以上の結果から、ローマ時代に制作された「精密コピー」について、以下のことが結論として導き出される。

コピーの作業はパーツごとにおこなわれた。大理石コピーの場合、頭部や手、足などの細部が入り組んだパーツは、原型の石膏像からコンパスなどでかなり細かくポイントを取り、「精密な」コピーをつくっている。一方、腕や脚や胴部の彫りはかなりおおまかであった。

ブロンズ・コピーは形状としては正確だが、鋳造の過程で鋳型やブロンズが収縮するため、スケールとしては石膏原型よりも2～3%小さくなる。一方大理石コピーは、形状は不正確だがスケールの縮小はない。ただしいずれの場合も、それらのコピーの原型となった石膏像がオリジナルのスケールよりもわずかながら膨張していることを考えなければならない。つまり、ローマン・コピーの形状比較をおこなう際には、適宜スケールを規格化する必要がある。

ポリュクレイトスの《槍を持つ人》の頭部の場合、大理石コピーの形状はほとんどの部

分においてブロンズのコピーからの誤差は2mm以内であり、紀元前後1世紀の彫刻工房が非常に精密なコピーを制作する能力があったことが確認された。

(2) ポリクレイトスのブロンズ像制作法

ローマン・コピーの精度が2mm程度であるならば、コピーを介してオリジナルのブロンズ像について考察することも可能であろう。そこで、確実にポリクレイトスに帰されている2つの作品《槍を持つ人》と《鉢巻きする人》について、コピーを利用して頭部と足の形状比較を行った。

《槍を持つ人》については、頭部にはナポリのブロンズ像、足には唯一右足が残るナポリの全身像を、《鉢巻きする人》についてはアテネ国立考古学博物館所蔵の、前100年頃に制作された質の高いコピーを利用した。(大理石コピーという段階で2mmの誤差がある可能性があるため、閾値は±4mmとした。)その結果、以下のことが明らかとなった。

遊脚である左足の形状は一致しないものの、右足は極めて近い形状を呈していることが明らかになった(図6)。

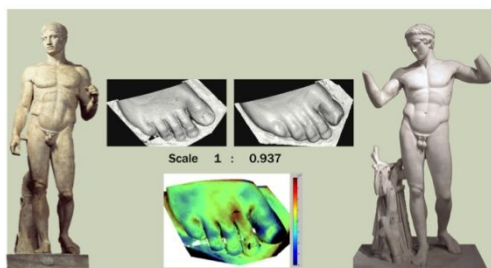


図6 ナポリの全身像の《槍を持つ人》(左)とアテネの《鉢巻きする人》(右)の比較。閾値±4mm。

顔の形状は、頬と唇の輪郭に若干の差異があるものの、それ以外の部分はほぼ同一であった(図7)。

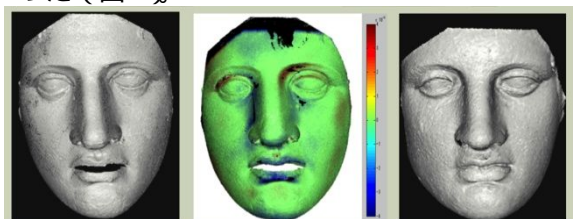


図7 ナポリのブロンズ頭部の《槍を持つ人》(左)とアテネの《鉢巻きする人》(右)の比較。閾値±4mm。スケールは1:0.99

以上の結果から、ポリクレイトスは《槍を持つ人》の原型を工房内に保存しており、少なくとも頭部と右足については、そこから型をとって《鉢巻きする人》の原型制作に利用したと推測することが可能だろう。右足は比較的そのまま利用したらしいが、頭部については頬を閉じ加減にする、髪を柔らかかにする、鉢巻きを足すといった変更が加えられている。

前1世紀のローマの教養人ウァロは、ポリクレイトスの作品を「四面四角で、ひとつの型(exemplum)からと言ってもいいほどだ」と批判した(プリニウス『博物誌』34,56)。ウァロがクラシック時代の彫刻家の制作工程に通じていたかどうかは怪しいが、ひょっとしたら彼が参照した文献(それが現存しないポリクレイトスの著作『カノン』だという可能性もある)に、この大彫刻家による原型の再利用について記載した箇所があった可能性もあろう。

(3) 3体のアマゾン像の作者の同定

ポリクレイトスが別の作品に原型を使い回したのなら、この手法を用いて作者の同定を行うことも可能かもしれない。

プリニウスは、エフェソスのアルテミス神殿に奉納された5体のアマゾン像の作者として、ポリクレイトス、フェイディアス、クレシラス、キュドン、フラドモンの5つの名を挙げる(『博物誌』34,53)。ただしキュドンというのは、クレシラスがクレタ島キュドニアの出身だという記述が誤って伝えられたものと考えられており、つまりプリニウスが伝える彫刻家の名は4人ということになる。もっとも、ローマ時代の文献に何度も名が挙げられているのは最初の3人であり、フラドモンはほとんど知られていない。

一方、ローマ時代の複数のコピーによって伝えられている前5世紀の様式のアマゾン像は3タイプある(ソシクレス・タイプ、シアッラ・タイプ、マッテイ・タイプ)。このことから、研究者たちの大部分は、現在に伝わる3タイプのアマゾン像が、ポリクレイトス、フェイディアス、クレシラスのオリジナルにさかのぼると考え、果たしてどれが誰の作品か、特にどれがポリクレイトスの作品か、主に様式論にのっとった議論を100年以上にわたって繰り返してきた(シアッラ・タイプを支持した代表的研究者は Furtwängler, 1893; Bol, 1990. ソシクレス・タイプは von Steuben, 1973, 1993)。

そこでこの議論に決定的なデータが得られるかどうか、3つのアマゾン像の両足と顔について、ポリクレイトスの《槍を持つ人》《鉢巻きする人》と形状比較を試みた。

足については、《槍を持つ人》はナポリの全身像、《鉢巻きする人》はアテネ、アマゾン像のうちソシクレス・タイプはカピトリノ博物館、シアッラ・タイプはティヴォリとコペンハーゲン、マッテイ・タイプはティヴォリのものを計測した。

頭部については、修復箇所が少なく質の高いコピーということで、《槍を持つ人》はナポリのブロンズ頭部、《鉢巻きする人》はアテネ、ソシクレス・タイプはコンセルヴァトリーの頭部、シアッラ・タイプはコペンハーゲン、マッテイ・タイプはナポリのブロンズ頭部を計測した(ただし、カピトリノ、コペンハーゲン、コンセルヴァトリーの各作品

についてはミュンヘンの石膏像を使用)。

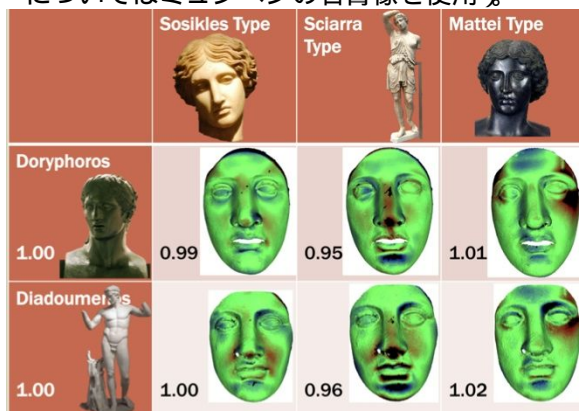


図8 ポリクレイトスの《槍を持つ人》(ナポリのブロンズ頭部)、《鉢巻きする人》(アテネ)と3タイプのアマゾン像の頭部の比較。閾値±4mm。

その結果、足の比較ではポリクレイトスの作品との差はどれも大きく、どのアマゾン像との間でも同じ原型の利用を推測することはできなかった。一方、顔の比較については、3タイプの中で明らかにソシクレス・タイプが、ポリクレイトス作品(特に《槍を持つ人》)のブロンズ頭部コピーとの間で著しい一致を見せた(図8)。

以上より、3体のアマゾンのうちソシクレス・タイプのみが、ポリクレイトスの《槍を持つ人》の頭部原型を利用してつくられたと結論される。もちろん、別の彫刻家がポリクレイトスの原型を使う可能性もないわけではないが、この場合は3人の彫刻家の中にポリクレイトスが入っていること、その他の2人がいずれも(ポリクレイトスの弟子や周辺彫刻家ではなく)名の知れた彫刻家であることから、ソシクレス・タイプこそがポリクレイトスの作品と考えてよい。足の原型が一致しなかったのは、ポリクレイトスがアマゾン像においては他とは逆に左脚を支脚としたためだろう。

この成果は、形状比較の手法を用いてクラシック時代の作者不詳の彫刻作品を有名彫刻家にアトリビュートする可能性を開くものであり、停滞気味の「クラシック彫刻の巨匠研究」を一気に活性化させることを予感させる重要なものである。

(4) アウグストゥス頭部の比較

ローマ時代、ギリシアのクラシック時代の名作以上に大規模に「コピー」されたのが皇帝肖像であった。特に初代皇帝アウグストゥスの肖像は均一性が高く、地中海各地から250ほどの作例が出土しているが、そのほとんどが「プリマポルタ・タイプ」と呼ばれるグループに区分される。

ただしこの区分は、研究者が(客観的に判断しやすいという理由で)特に肖像の髪型に注目しておこなったもので、顔自体の比較ではない。

そこでミュンヘンの石膏レプリカを利用して、3つのタイプのうち「プリマポルタ・タイプ」13例、「フォース・タイプ」5例、「アルクディア・タイプ」2例、計20例の頭部を計測し、互いの近似性を客観的に判断する手法を考察した。

顔全体を比較し、互いの平均距離によって頭部をクラスター分けする(図9)。

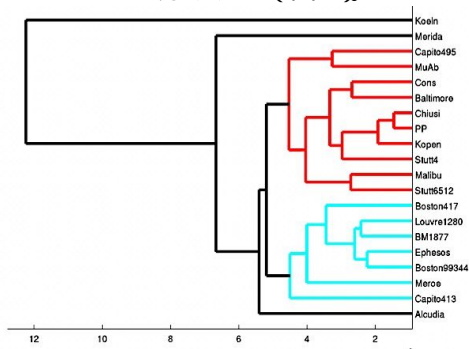


図9 アウグストゥス頭部、正面図の比較

顔全体を12の区域に分け、区域ごとに頭部同士の相対的な近似度を距離として2次元平面上に表示する。

顔の特徴を決定づけるとされる30ポイントについて、その位置関係の相対的な近似度を距離として2次元平面上に表示する。

以上の比較方法のうち従来の三分区に最も近い結果が出たのは、で、「プリマポルタ・タイプ」のコア・グループと「フォース・タイプ」のコア・グループがある程度固まっている、つまりそれぞれがひとつの原型に由来している可能性があることが示された。しかしより決定的な結論を引き出すためには、それぞれのコア・グループについてさらなる精査が必要であろう。

また、もちろん、この比較方法にしても、破損箇所や修復箇所を補正し、さらにコピー作家がどこに重きを置いてコピーしたのかも勘案しながらポイントの取り方や区域の区切り方に改良を加えれば、より正確な結論を得ることもできると期待される。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計11件)

K. Sengoku-Haga, Y. Zhang, T. Masuda, S. Ono, T. Oishi, K. Ikeuchi, "Polykleitos' Works 'From One Model': New Evidence Obtained From the 3D Digital Form Comparisons," A. Patay-Horváth (ed.), *New Approaches to the Temple of Zeus at Olympia. Architecture, Sculpture, History and Recent Technologies*, Cambridge 2015 (査読無、掲載確定)

K. Sengoku-Haga, "Japan's impassionate gaze on Greek art", S. Settis, A. Anguissola, D. Gasparotto (eds.), *Serial / Portable Classic*, Milano 2015, pp. 193-197 (査読無)

I. Kader, K. Sengoku-Haga, Ch. Anthes, K. Ikeuchi, "Archäologische Sehschule 2.0", *Akademie Aktuelle*(査読無), 2/2015, 2015, pp.

72-77.

https://www.badw.de/de/publikationen/akademieAktuell/2015/53/0215_17_Anthes-etal_V07.pdf

佐藤啓宏, 大石岳史, 池内克史「VR/MR ガイドツアーシステムの開発と運用」『日本バーチャルリアリティ学会論文誌』(査読有) vol. 19,2, 2014, pp. 247-254.

M. Lu, Y. Zhang, B. Zheng, T. Masuda, S. Ono, T. Oishi, K. Sengoku-Haga, K. Ikeuchi, “Portrait Sculpture of Augustus: Categorization via Local Shape Comparison”, *Digital Heritage 2013* (査読有), 2013, pp. 661-664.

DOI: 10.1109/DigitalHeritage.2013.6743812

Y. Zhang, M. Lu, B. Zheng, T. Masuda, S. Ono, T. Oishi, K. Sengoku-Haga, K. Ikeuchi, “Classical Sculpture Analysis via Shape Comparison”, *International Conference on Culture and Computing* (査読有), 2013, pp. 57-61.

DOI: 10.1109/CultureComputing.2013.18

大石岳史, 稲葉正樹, 大塚祐貴, 阪野貴彦, 池内克史「3次元計測モデルを利用したMRにおける幾何学的整合性の実現」『日本バーチャルリアリティ学会論文誌』(査読有) vol. 17,4, 2012, pp. 399-408.

大石岳史, 池内克史「実世界の仮想化、仮想世界の現実感表現」『コンクリート工学』(査読無) vol. 50,9, 2012, pp. 863-869.

大石岳史, 池内克史「MRによる遺跡復元: 高速陰影表現と移動型MRシステム(特集光で歴史を照らし出す)」『光アライアンス』(査読無) vol. 23,5, 2012, pp. 26-29.

芳賀京子「古代彫刻への新旧のアプローチ」『遺跡学研究』(査読無) vol. 8, 2011, pp. 160-163.

小野晋太郎, 川上玲, 大石岳史, 池内克史「ヴェズヴィオ火山罹災遺跡の仮想復元と活用」『遺跡学研究』(査読無) vol. 8, 2011, pp. 174-177.

[学会発表](計 8件)

Kyoko Sengoku-Haga, “The Doryphoros Herm by Apollonios and the so-called Dancers of Herculaneum: Use of *Plastice* in Sculptors Workshop”, 国際コロキウム OUT OF SCALE! Aesthetic, Technical, and Art Historical Perspectives on Ancient Bronze Statuary (招待発表) フィレンツェ(イタリア) 2015年3月21日

Kyoko Sengoku-Haga, “Application of 3D digital Data in the Study of Classical Sculpture” 国際ワークショップ 3rd ACCV Workshop on e-Heritage, in the 12th Asian Conference on Computer Vision(招待講演) シンガポール, 2014年11月1日~2日

K. Sengoku-Haga, Y. Zhang, T. Masuda, S. Ono, T. Oishi, K. Ikeuchi, “Polykleitos’ Works ‘From One Model’: New Evidence Obtained From the 3D Digital Form Comparisons,” 国

際シンポジウム New Approaches to the Temple of Zeus at Olympia. Architecture, Sculpture, History and Recent Technologies, ブダペスト(ハンガリー), 2014年5月8日~10日

K. Sengoku-Haga, Y. Zhang, T. Masuda, S. Ono, T. Oishi, K. Ikeuchi, “Kopienkritik of Classical Sculpture via 3D Digital Form Comparisons: The Case of Polykleitos”, 国際学会 Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology 2014, 2014年4月24日, パリ(フランス)

M. Lu, Y. Zhang, B. Zheng, T. Masuda, S. Ono, T. Oishi, K. Sengoku-Haga, K. Ikeuchi, “Categorization of Portrait Sculptures of Augustus via Local Shape Comparison”, The 8th International Workshop on Robust Computer Vision, 2014年1月12日, デジョン(韓国)

M. Lu, Y. Zhang, B. Zheng, T. Masuda, S. Ono, T. Oishi, K. Sengoku-Haga, K. Ikeuchi, “Portrait Sculptures of Augustus: Categorization via Local Shape Comparison”, 2013 International Congress on Digital Heritage, 2013年10月28日, マルセイユ(フランス)

Y. Zhang, M. Lu, B. Zheng, T. Masuda, S. Ono, T. Oishi, K. Sengoku-Haga, K. Ikeuchi, “Classical Sculpture Analysis via Shape Comparison”, International Conference on Culture and Computing 2013, 2013年9月16日~9月18日, 立命館大学(京都)

K. Sengoku-Haga, “3D Analysis of Classical Sculpture”, Internationaler Museumstag am Leibniz-Rechenzentrum, 2013年05月12日, ミュンヘン(ドイツ)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

芳賀 京子 (SENGOKU-HAGA, Kyoko)
東北大学・文学研究科・准教授
研究者番号: 80421840

(2) 研究分担者

大石 岳史 (OISHI, Takeshi)
東京大学・生産技術研究所・准教授
研究者番号: 80569509

小野 晋太郎 (ONO, Shintaro)
東京大学・生産技術研究所・特任准教授
研究者番号: 80526799

(3) 研究協力者

池内 克史 (IKEUCHI, Katsushi)
東京大学・情報学環・教授
研究者番号: 30282601

KADER, Ingeborg

Museum für Abgüsse Klassischer Bildwerke in München・Director