

令和 3 年 6 月 16 日現在

機関番号：12606

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2020

課題番号：17K02352

研究課題名（和文）「デジタルの粗さを古典絵画技法の繊細な表現で補う文化財復元手法に関わる研究」

研究課題名（英文）Study about cultural assets reconstruction technique to make up for digital coarseness by delicate expression of the classic art technique

研究代表者

麻生 弥希 (ASO, Miki)

東京藝術大学・大学院美術研究科・研究員

研究者番号：90401504

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,500,000円

研究成果の概要（和文）：文化財保存分野におけるデジタル技術は、写真撮影や3D計測など情報をインプットする技術は飛躍的に進んだが、アウトプットに関しては未だ課題が多い。文化財は複合的な素材で制作されているためデジタル機器による通常の出力ではマテリアルをすべて再現することは不可能である。加えて、文化財の手仕事による繊細な仕上げ作業は、デジタル機器による自動処理でだけで再現することは困難である。本研究では、絵画と彫刻の双方の研究者の観点から、文化財の繊細な表現を再現するためにデジタルの自動処理技術と人の感性の境界線について検証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

文化財高精細複製において、絵画と彫刻の双方の研究者によって技術開発を行った。絵画の分野では紙本の作品を再現する際に必要な和紙の高精細印刷に適した下地加工の検証を行った。色校正については、対象作品と校正紙の色差を算出して適応させる手法を考案し、実際の複製制作において校正の精度を上げた。本研究では至らなかったが、この手法に対応したプログラミングへの応用など今後の課題である。彫刻に関しては3Dデータを使用したロボットアームによるレリーフ切削を行い、手仕事による繊細な表現をロボットアームで再現するための検証を行った。本研究で得られた基礎的なデータは立体彫刻など応用できる範囲が広く有効な情報が得られた。

研究成果の概要（英文）：As for the digital technology in the field of cultural assets preservation, the technique to input the information including photography and the 3D measurement advanced drastically, but there are still many problems about the output. Because the cultural assets are produced in complex material, it is impossible by the normal output with the digital device to express material. In addition, it is difficult that delicate finish work by the handwork of cultural assets is by automatic processing with the digital device and expresses it. In this study, a digital automatic processing technology and a boundary line of the sensitivity of the person were inspected from the viewpoint of both researcher of the picture and the sculpture to reproduce the delicate expression of cultural assets.

研究分野：保存修復日本画・文化財複製及び復元技術開発

キーワード：文化財高精細複製・平面 文化財高精細複製・立体 和紙・高精細印刷 文化財・色校正 6軸ロボットアーム 3D切削・文化財複製 3Dスキャン

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 1. 研究開始当初の背景

文化財は時の経過と共に劣化するリスクは避けられないが、紛争や異常気象など社会情勢が複雑化する今日においてそのリスクは増加している。文化財の記録を後世に継承する手段としてデジタル技術が導入されて久しいが、デジタルアーカイブなど情報をインプットする技術の進歩は目覚ましいが、アウトプットに関しては未だ課題が多い状況である。文化財の高精細複製は贋作のイメージから根強くタブー視され、国内外の著名な博物館や研究機関においても懐疑的な反応を示すケースは少なくない。その一方、贋作に対する批判が厳しい西欧においても、一部の組織では今後のデジタルアーカイブはアウトプットに耐えられるレベルの情報収集の必要性を唱え、高精細複製の技術開発に着手する動向も見られる。また中国ではこの分野において精度の問題はあるが躍進目覚しく大規模なプロジェクトが複数展開している状況である。国内においては文化財複製に力を入れている企業もあるが、今後我が国が文化財保護と継承の観点から品質の高い技術を展開するためにも、文化財の専門的な知識や古典技法を応用したより品質の高い複製技術の開発は喫緊に取り組むべき課題の一つと考える。

## 2. 研究の目的

文化財の記録は技術の進歩から高解像度化が進んでいるが、アウトプットの技術は追いついていない状況と言える。デジタル技術は細部を詳細に記録することや、正確な位置関係などを再現するには優れた技術であるが、複合的な素材や、絵画の微妙な色彩の相違や、彫刻の仕上げの繊細な表情までを表現するには至らず、これらの問題をデジタル技術の開発のみで解決しようとするとは非常に困難である。本研究では、古典技法を学んだ研究者の観点からデジタル技術のみでは不十分な表現に関して人の感性を柔軟に取り入れ、手仕事によって解決する手段や、あるいは人の感覚を再度デジタル技術に応用する手段などを検証することで実材と芸術的感性を備える複製技術の開発を目的としている。

## 3. 研究の方法

本研究では絵画と彫刻の分野においてそれぞれの専門の研究者が問題提起と課題に取り組んだ。絵画の複製においては各年度において異なるテーマに取り組み、遺跡から剥奪された壁画の復元手法に関する考察と複製に使用する和紙の地下加工、オリジナルと複製画の色差を数値化した色校正の手法などの研究を行った。彫刻の複製においては、デジタルデータを活用して最高精度で複製をつくるためにはどこまでデジタルデータによる造形をするべきか、どこまでの表現を目指すべきなのか、その最も効果的なすみ分けについて研究を行った。

## 4. 研究成果

### 【絵画】担当：麻生弥希

絵画の複製の研究成果は汎用性の高いオリジナルと複製画の色差を数値化した色校正の手法についての報告を中心に行う。本研究は東京藝術大学大学院文化財保存学保存修復日本画研究室受託研究『御後絵復元図』の高精細複製(荒井経 同研究室教授代表)の色校正において活用された。

### オリジナルと複製画の色差を数値化した色校正の手法について

現在のカラーマネジメントは非常に秀逸なものであるが、印象がずれない領域をターゲットとしていることから、絵画のように単一な色彩を抽出して比較するような精度が必要な場合において画像編集は必須である。通常色校正はオペレーターが目視で確認して、その経験値からデジタル上でRGBやCMYKの数値を操作して行われるが、絵画のように厳密に管理される対象では調査の回数も限定されることから一回の校正の精度がより厳密に要求される。デジタル上に記録された光学的な色彩情報をインクと用紙という物質に置き換える際に、濃い色彩は濃度が不足し、明るい色彩は絵画の撮影が通常アンダー気味に撮影されることなどから、曇った印象になることが多い。このためモニターの光源で確認している時点では印象はそこまでずれていないと感じないが、実際に印刷された初校と絵画を並列して比較すると色校正が必要であると改めて認識することになる。

インクでは再現できない色域の天然顔料や、金属材料などは柔軟に手仕事で対応することは美術大学で制作する複製の利点であり、これまでの経験から手法も確立されてきているが、本研究ではデジタルの領域ではあるが人の経験値と勘に頼るところが大きい色校正について検証を行った。

デジタル画像の色彩はプロファイルに応じた数値で表現されていることから、オリジナルとオリジナルを高精細撮影したデータを出力した校正紙との間に色の差が生じているということ

は、数値の上で差が生じていると言える。したがって校正紙を再度データ化して出力用画像との数値の差を導き出し、出力用画像に反映させることで、色調整を行う際にどの色をどの程度調整するか具体的な数値を得ることができ、より正確な校正ができると仮定して検証を行ったところ一定の効果が確認された。顔貌の隈取りの調整を例にあげると、従来であれば一度の校正では顔の赤みを引く程度の調整に留まるところだが、この手法を用いると明るい部分は M 版をマイナスするが、隈の部分は現状の数値を維持するなどの微妙な調整が可能になる。

校正紙を再撮影して出力データとの色差を算出することは非常に手間のかかる作業であるが、厳重に管理される文化財の調査であれば経験値と勘にたよる校正を何度も繰り返すより有効な手段ではないか。また文化財複製に使用する用紙は手作業で特殊な加工を施したものであるケースが多いことから校正回数を減らすことができるメリットは大きい。

本研究ではデジタル上で手作業による画像の照合とトーンカーブによる色調整を行ったが、Adobe Photoshop では画像の位置の照合と、A の画像の色彩を B の画像に反映する自動機能が備わっている。印刷用データに校正紙を再撮影した画像を照合して得られた色差を、印刷用データに反映するプログラミングを書くことができれば、現行手作業で行っている地道な色校正を自動処理で行うことができる可能性がある。加えて、本調査では Raw データに対応したカメラで行ったが、別の調査においては、色差の数値化までは行っていないがスマートフォンでオリジナルと校正紙を撮影した画像を比較することで色校正の参考になった。検証によって仕組みを理解することで、より簡潔な方法としてスマートフォンなどで撮影した比較画像の色差を印刷用データに適合するプログラミングを書くことができれば、より手軽で汎用性の高い色校正自動処理機能を作成することができる可能性を示唆する。

文化財クラスの絵画の複製は企業や研究機関などで行うケースが多く、独自のノウハウを構築しているが、通常公開されることは少ない。こうした技術開発にはカメラ、プリンター、画像処理、絵画の専門知識などに通じた研究者による相互の意見交換が必要であるが、本研究がその一助となることを願う。

#### 【彫刻】担当：布山浩司

立体複製においては、最終的には限りなく人の手仕事に近いレベルの表現までデジタル技術の幅を広げられるのではないかとこの考察のもと、繰り返し制度が  $\pm 0.05\text{mm}$  の 6 軸大型ロボット FANUC R-2000iC/210F にコレット式スピンドル S235B を装着したロボットアームを使用し検証を行った。

ロボットアームによる切削加工は、その第一歩として半立体作品である岡山市立オリエント美術館所蔵アッシリアレリーフ「有翼驚頭精霊像浮彫」を対象に研究を進めた。光学式の CCD センサーによる測定器について被写体に色のコントラストのある物は形状に凹凸が存在しない場合においても凹凸データが取得されたり、透過素材や光沢素材ではデータが得られなかったり、虚像、またはノイズのデータが得られたりすることが確認できているが、本研究においては単色ではないものの光とモアレを投影しやすく非接触（光学式）三次元測定機 smartSCAN3D-C5 を選定し、精細な 282,027,128 ポリゴン、STL で書き出し 13.1GB のデータを取得することができた。高解像度化により実物との差を肉眼では認識できないほどであり、実測するよりも簡単に対象の 2 点間の距離や厚みを確認することができるため取得した 3D データからは対象作品のサイズが約  $1056 \times 613 \times 61$  (mm) であることが測定できた。

ロボットアームは切削専用開発されたマシニングセンタとは駆動方式が異なるため高速での加工ができない。そのため切削に時間がかかり過ぎるが、そのままの形状を複製することができ、将来的にはこの切削加工のシステムにツールの自動交換機能を搭載することでさらに人の手を必要とせず精密な仕上げ加工までを自動化できると考えられる。

また、ケミカルウッド、発泡、木材の切削を通して素材にあわせてその精度を調整することにより後作業で手加工の工数を効率的にすることができるとわかった。問題としてはロボットアームを自由に制御するためには複雑なプログラムの作成が不可欠であり専門知識と技術を必要とするため、誰でも行えるわけではないということである。

加工を終えて、データ作成過程においても人の作業は必要になってくるが、機械加工後においても手作業での仕上げが不必要にはならないことが明らかになった。手作業の時間を大幅に削減し、精巧な複製立体の作成が可能になってきていることは確かではあるが、美術作品の表現において、ディティールの強弱や道具と素材の関りについては模刻が難しい。将来的に、ロボットアームの制御によりその強弱が表現できたとしても、表現の抑揚を読み込むスキャナや AI の発展がない限りより作品に迫った模刻をすることは手作業の範囲である。形の複製においては素材によって道具を選定し、形状の溝の奥や鋭角な部分、表現としての強弱が手作業で行う範囲であり、現段階での作業のすみ分けになると考える。最終的に美術作品の魅力を鑑賞者へ継承するためには古典技法と融合させリアリティを追求することが必要不可欠である。

#### 【総括】

本研究ではデジタル技術で可能な領域と人の感性に委ねる領域の境界線について考察を行ったが、3D の技術はデジタル技術でどこまで可能なかの考察自体が少ないことから貴重なデータが収集できたと考える。当初は 2D と 3D が融合した研究を予定していたが、2D では色校

正という汎用範囲の広い基礎的な技術の考察を深められたこと、3Dでは大型のロボットアームが何処まで繊細な手仕事の表現を再現可能かの考察を行うことで、今後はより最適な設定で制作することが可能と考えられる。2Dと3Dを融合する複製技術の開発は既に海外の研究機関においては進行しているが精度においては不十分な点も多い。本研究の成果を融合することで、精度の向上が見込まれる。

科学技術は安定していて正確なものであり、人の感覚は不安定で不正確なものという認識を持つ人は多いかもしれない。正確な科学技術で作ったものに人の手を入れてしまったら不正確なものになってしまうという反応を持つ人もいる中、意外なことであるが文化財の高精細複製に積極的であるオランダやスペインのデジタル技術の最先端の研究者ほど美術を専門に学んだ研究者が仕上げを手作業で行うことに好意的な印象を受ける。彼らは自分達の研究は人の感性が作り出した芸術作品を科学技術によって再現しようとしているということを熟知しており、あと一歩到達できない領域について人の感性で補うことに抵抗はない。感性という未知なるものへの挑戦に終わりはない。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計1件

1. 著者名 東京藝術大学シルクロード特別企画展実行委員会（キジル石窟復元工程執筆：麻生弥希）	4. 発行年 2017年
2. 出版社 東京藝術大学シルクロード特別企画展実行委員会	5. 総ページ数 144
3. 書名 シルクロード特別企画展 素心伝心 クローン文化財失われた刻の再生（キジル石窟の復元工程）	

〔産業財産権〕

〔その他〕

和紙の高精細印刷に適した下地加工と色差を数値化した色校正の手法は、東京藝術大学大学院文化財保存学保存修復日本画研究室受託研究『御後絵復元図』の高精細複製（荒井軽 同研究室教授代表）において実践された。

ロボットアームによる3D切削の検証は岡山市立オリエント美術館の協力により、同館所蔵のアッシリアレリーフ「有翼驚頭精靈像浮彫」を対象作品として行われた。切削されたレリーフは同館にて展示などに活用される予定である。

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	布山 浩司  (NUNOYAMA Koji)  (20743644)	東京藝術大学・学内共同利用施設等・その他    (12606)	

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