

## 有形文化財の 3 次元物体モデリングと視触覚提示

### A. メンバー

【事業推進担当者】 田中弘美

【客員研究員】 才脇直樹

【学内研究協力者】 脇田 航、土田 勝、坂口嘉之

### B. 研究目的

文化財をデジタルアーカイブ化するには、モノの色や形といった見た目だけでなく、触感などの様々な感覚を用いて多面的にアーカイブ化し、再現することが重要である。そこで我々は、浮世絵、能装束、薪能、京都・祇園祭の山鉦の懸装品等を題材に、博物館学芸員及び織物の研究者と共に超高精細分光撮影を行い、研究資料として利用できる品質の色・解像度での画像を取得し、コンピュータビジョン技術やバーチャルリアリティ技術、デジタル画像処理技術などにに基づき、文化財の画像分析手法や三次元構造解析・再現手法を開発することにより、人間の眼では認識できない文化財の仮想的な修復・復元や、精緻な筆跡、微細な表面メゾ構造を高精度色に再現可能な技術開発に取り組んでいる。

本年度は、2011 年度の祇園祭終了後、船鉦収納庫の改修工事のため、一時的に船鉦装飾品を本学のアートリサーチセンターに移すこととなり、この機を利用し、装飾品の中でもとくに立体的な織物文化財に絞って三次元計測・モデル化に取り組んだ。また、京都文化博物館にて御神面の計測作業を行う機会があり、超高精細マルチバンドカメラ撮影及び三次元形状計測を行った。

### C. 本年度の成果

#### 1) 文化財の超高精細分光画像撮影

本年度は、船鉦町の蔵の改修に伴い、7 月～9 月にかけて 2 ショット型 6 バンド画像記録方式を用いて約 30 点の山鉦懸装品の撮影作業を行った。昨年度の撮影作業において得られた画像の分解能は 0.1mm/pixel であったが、織物専門家によると、正確な分析を行うには 0.01mm/pixel 程度(≒2500DPI)が必要とのことであった。

そこで本年度は、この値を目標値とし、特殊な装置を用いることなく、市販のカメラを用いて超高精細画像撮影を行った。図 1 に撮影システムを示す。

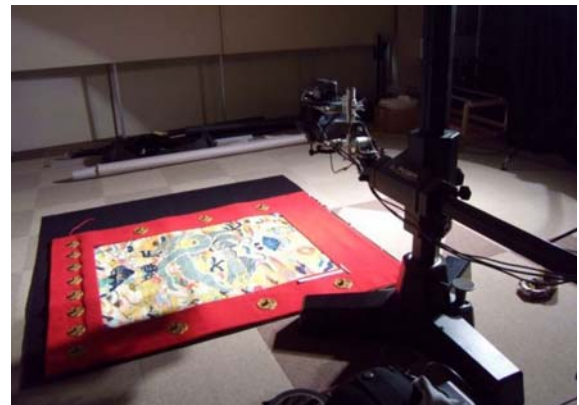


図 1 撮影システム

本撮影では作業スペースが広く確保できていたため、被写体を床置きし、カメラは大型の撮影台に取り付け、被写体を真上から見下ろす俯瞰撮影を行った。



図2 撮影結果（見送 雲龍図 綴織）

図2に「見送 雲龍図 綴織」の撮影結果を示す。実物の大きさは横 131cm×縦 171cm である。撮影の際、横方向に 8 分割～9 分割、縦方向に 12 分割で撮影した後、1 枚の画像に合成した。獲得した画像のサイズは 44,270×57,341 pixel で、概ね 0.02mm/pixel の分解能、すなわち 25 億画素の画像を取得することができた。昨年度の撮影実験よりも解像度が 5 倍向上したことにより、織りの構造などを鮮明に確認することが可能となった。また、撮影ごとに、実物とモニタ上に表示した色再現結果の画像を目視にて比較したところ、見た目には実物とまったく同じ色であることが確認できた。今回、撮影時間の関係上、15 時間程度の撮影時間で 0.02mm/pixel の画像を得ることができたが、4 倍の時間を確保できれば、0.01mm/pixel の解像度での撮影も可能である。

今後は、三次元計測との組み合わせや、取得した画像の CG テクスチャへの適用、ステレオ画像撮影による立体像表示への適用等に関して検討を進めていく。

## 2) 文化財の三次元計測・モデル化

動く美術館とも呼ばれる京都祇園祭の山鉦巡行では、色鮮やかな装飾品等で飾られた 32 基の山と鉦が市内を練り歩く。山鉦に飾られる装飾品には

金糸、木綿、ガラス、フェルト等の様々な材料による色鮮やかな刺繍が施されており、質感も非常に複雑である。中でも、船鉦の懸想品の多くには綿が詰め込まれているため、非常に起伏の激しい立体的な構造となっている。このような懸想品を三次元計測する際、レーザーレンジスキャナを単純に用いるだけでは、レーザー強度によっては部分的にしかデータが取れず、うまく計測ができない。また、懸想品の大きさもほとんどが 1m×3m 程の大きなものが多く、分割して計測したデータを最終的に 1 つに統合する際に非常に手間がかかることが予想される。

そこで我々は、統合処理のしやすさを考慮した三次元織物文化財の計測システムの構築を行い、様々な材料に応じてレーザー強度を多段階に変化させてレーザーレンジスキャナによる三次元計測を行った。図3に構築した懸想品の三次元計測システムを示す。

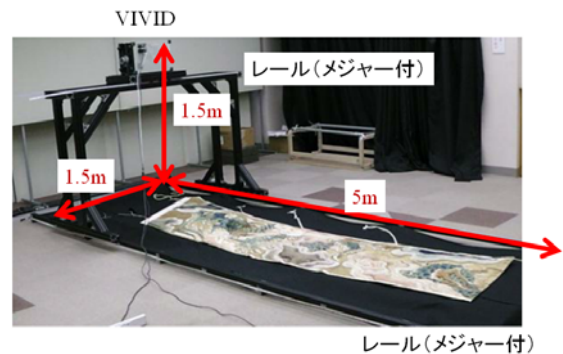


図3 懸想品の三次元計測システム

三次元計測にコニカミノルタの VIVID910 を用いた、VIVID910 は 1 回のスキャンで 640×480 点の距離データとカラー画像の計測を行うことができる。測定入力対象設置範囲は 0.6～1.2m となっており、レンズは TELE/MIDDLE/WIDE の三

種類がある。本計測においては最も焦点距離の大きい TELE レンズを用いた。また、今回の計測では船舳本体や車輪等のような立体的なものではなく、平面的かつ表面が立体的な織物のみを対象とした。また、計測後の統合処理をできるだけ簡略化するため、撮影対象は動かさず、図 3 に示すように、床にレールを敷き、その上を車輪付きの台車を乗せて左右に動かせるようにし、台車の上にも VIVID を乗せるための車輪付きの台車を設けて前後左右に動かせるようにした。また、レール部分に巻尺を貼り付け、メモリの値を記録しつつ、台車を左右に 20cm ずつ、前後に 15cm ずつずらしながら計測を行った。

図 4 はレーザー強度を 7~220 の範囲で 17 段階変化させて計測したものである。

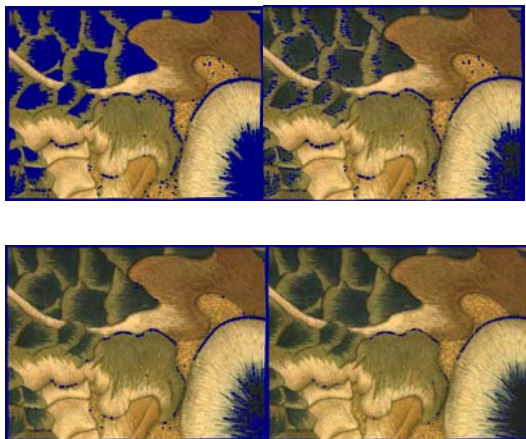


図4 多段階レーザー強度による計測結果

金糸だけの部分はレーザー強度を 7~15 の範囲で 3~5 回程スキャンすると計測でき、紺色と白色が混ざっているような部分はレーザー強度を 30~220 程度の範囲で何度かスキャンするとうまく計測出来る。計測データはスキャン回数によってレイヤが増えていく。例えば図 4 のモデルの場合、1つのオブジェクトに 17 個の離散的なデータが層

状に重なった状態となっている。これに関してはモデル化においてレイヤを 1 つに統合し、穴埋め処理を施し、金糸部分等で z 方向に大きくズレてノイズのようにになっている部分を除去して表面を滑らかにする処理を行う。

この処理が終わった後で、分割して計測して得たデータをそれぞれ 1 つのレイヤに統合したものの全てに対して同時位置合わせを行い、重複部分を除去して 1 つのモデルとして統合する。

図 5 にモデル化した「下水引雲竜文様肉入り刺繍(東)」を示す。



図5 下水引 雲竜文様 肉入り刺繍(東)

図 5 のモデルは縦に 7 分割、横に最大で 18 分割の計 103 回に分けて計測を行ったものである。計測には、おおよそ 600 回のスキャンで 8 時間ほどを要した。これまでに使用してきたデータと今回の計測で得られたデータの解像度数を比較すると、大凡 10~11 倍ほど高精細なモデルを獲得することが出来た。

また、京都文化博物館において、御神面の三次元計測を行った。図 6 に計測の様子を示す。



図6 御神面の三次元計測の様子

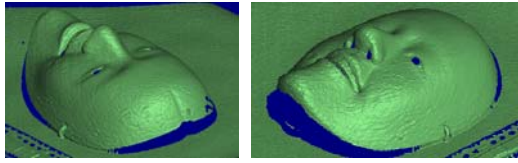


図7 御神面の三次元計測モデル

また、図7に御神面の三次元モデルを示す。御神面の表と裏の両方について、正面からの俯瞰計測、および、斜め上45度の方向から45度ずつ回転させながら三次元計測を行った。

今回の計測において、非常に高品質な三次元データを取得することが出来たが、頂点数が数千万相当のものとなっているため、展示システムにおいていかにリアルタイムに処理するかについては今後の課題である。また、計測したデータの統合処理が終わっていないため、今後は統合処理を進めていく。また、大型の懸想品モデルをより自然かつ効果的に見せるための等身大インタフェースの実現も今後の課題である。

### 3) 実物体指向浮世絵鑑賞システム

有形文化財である浮世絵には、雲母や金箔等の様々な材料や、絵の具をつけずに凹凸を作り出す空摺りと呼ばれる技法等が用いられており、光の入射方向や鑑賞方向によって見え方が大きく異なるため、光と影の芸術と呼ばれている。このような浮世絵の持つ複雑な反射特性を理解するには、手にとって様々な方向から観賞する必要がある。しかしながら、博物館等における展示方式では、ガラスケースや額縁の中にあるため、鑑賞者が手にとって自由に眺めることは困難である。そこで本研究では、実物の和紙の上に仮想の浮世絵を投影することにより、手に取って様々な方向から見えの違いを観賞可能な、実物体指向浮世絵鑑賞シス

テムの開発を行った。図8に開発したシステムを示す。



図8 実物体指向浮世絵鑑賞システム

浮世絵は、様々な方向から光を照射して撮影・解析することにより、材料ごとの光の反射特性をモデル化しておく。次に、ヘッドマウントディスプレイ (HMD) に搭載したマーカー付きの和紙をカメラを介して画像解析することにより和紙の三次元形状を推定し、仮想空間内の和紙の形状及び光の入射方向に応じて見えを変化させた仮想浮世絵をカメラからの映像に重畳表示する。これにより、HMDを通して実物の和紙を手にとって様々な方向から仮想浮世絵の見えの違いを観賞することが可能となった (図9参照)。



図9 鑑賞者の視点

現状、和紙の大きな形状変化に対応できない間

題や、周囲の照明環境によってはうまく重畳表示  
ができない問題があるため、今後はこれらの問題  
解決や、マーカーレスへの対応、ネットワーク介  
した浮世絵データベースシステムとの連携等につ  
いて検討していく。

Analysis with Motion Capture (モーションキ  
ャプチャ技術と身体動作処理)」にてデモ展示発  
表 (2012.01)

- ・京都文化博物館での御神面撮影 (2012.02)
- ・アートルリサーチセンターでの懸装品撮影  
(2011.08-09)
- ・ナレッジキャピタルトライアルにてデモ展示発  
表 (2011.08)

#### D. 論文・学会発表以外の活動の記録

- ・国際シンポジウム「Human Body Motion

#### E. 業績一覧

##### 〈論文〉

【審査付き】脇田航, 田中弘美「立体的織物文化財の多感覚デジタルアーカイブ」人文科学とコンピュータ  
シンポジウム論文集, pp.293-298, 龍谷大学大宮キャンパス (京都市), 2011年12月10日

【審査付き】高柳亜紀, 土田勝, 鳥居悠人, 河内雄大, 中田悠葵, 田中士郎, 脇田航, 田中弘美, 矢野桂司, 川  
西隆仁, 柏野邦夫, 大和淳司「超高精細分光撮影による祇園祭・山鉦懸装品のデジタルアーカイブ (第二  
報)」人文科学とコンピュータシンポジウム論文集, 2011-8, pp.99-104, 龍谷大学大宮キャンパス (京都市),  
2011年12月10日

【審査付き】Wataru Wakita, Yasuhiro Nishiwaki, Yoshiyuki Sakaguchi, and Hiromi T. Tanaka,  
'Realtime Anisotropic Reflection Rendering of the Noh Costume under Burning Torches', *The 13th  
IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV2011)*, Fira de Barcelona (Barcelona,  
Spain), 11 November 2011

【審査付き】Wataru Wakita, Jiro Hara, and Hiromi T. Tanaka, 'A Real Object Oriented VisuoHaptic  
Interaction System for Anisotropic Reflection Rendering of Ukiyo-e', *The 13th IEEE International  
Conference on Computer Vision (ICCV2011)*, Fira de Barcelona (Barcelona, Spain), 10 November  
2011

【審査付き】Wataru Wakita and Hiromi T. Tanaka, '3D Digital Archive of the Large 3D Woven Cultural  
Artifact', *The 13th IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV2011)*, Fira de  
Barcelona (Barcelona, Spain), 9 November 2011

脇田航, 赤羽克人, 一色正晴, 田中弘美「立体的織物文化財のリアルタイムかつ直接的 VR 展示システム」  
IEICE MVE 研究会, 信学技報, 111, 235, MVE2011-51, pp.109-114, 稚内総合文化センター (北海道, 稚  
内市), 2011年10月14日

【審査付き】Wataru Wakita, Jiro Hara, and Hiromi T. Tanaka, 'A Real Object Oriented Ukiyo-e

Exhibition Interface' *The 6th International Workshop on Haptic and Audio Interaction Design, HAID 2011*, USB, Ritsumeikan University (Shiga, Japan), 25-26 August 2011

【審査付き】 Wataru Wakita, Katsuhito Akahane, Masaharu Isshiki, and Hiromi T. Tanaka, 'A Multi-scale and Multimodal Direct Interaction System for the 3D Cultural Artifact Exhibition' *The 6th International Workshop on Haptic and Audio Interaction Design, HAID 2011*, USB, Ritsumeikan University (Shiga, Japan), 25-26 August 2011

【審査付き】 Wataru Wakita and Hiromi T. Tanaka, 'A Real Object Oriented Haptic Rendering Method', *The 6th International Workshop on Haptic and Audio Interaction Design, HAID 2011*, USB, Ritsumeikan University (Shiga, Japan), 25-26 August 2011

【招待】 Wataru Wakita, Katsuhito Akahane, Masaharu Isshiki, and Hiromi T. Tanaka, 'A Realtime and Direct-touch Interaction System for the 3D Cultural Artifact Exhibition', *The 14th International Conference on Human-Computer Interaction (HCII 2011)*, Virtual and Mixed Reality, LNCS 6774, pp.197-205, Springer, Hilton Orlando Bonnet Creek (Florida, USA), 14 July 2011

Wataru Wakita, Jiro Hara, Hiromi T. Tanaka, 'A Real Object Oriented Ukiyo-e Exhibition Interface', *The 6th Joint Workshop on Machine Perception and Robotics (MPR 2010)*, Zhongguanyuan Global Village PKU (Beijing, China), 13-14 October 2011

Aki Takayanagi, Masaru Tsuchida, Yoshiyuki Sakaguchi, Hiromi Tanaka, 'Reflection Analysis of Woven Fabric Using Multiband Imaging Camera', *The 6th Joint Workshop on Machine Perception and Robotics (MPR 2010)*, Zhongguanyuan Global Village PKU (Beijing, China), 13-14 October 2011

【審査付き】 脇田航, 原次良, 田中弘美「実物体指向浮世絵展示システム」第16回日本バーチャルリアリティ学会大会全国大会論文抄録集, DVD-ROM, はこだて未来大学(函館市), 2011年9月21日

鳥居悠人, 中村友哉, 坂口嘉之, 田中弘美, 「二色性反射モデルの一般化に基づく織物の鏡面反射成分の解析」第14回画像認識・理解シンポジウム (*MIRU2011*), 金沢市文化ホール(金沢市), 2011年7月20-22日

【審査付き】 脇田航, 田中弘美「同一力覚デバイスによるテクスチャベースの摩擦力計測・モデル化・提示システムの開発」電子情報通信学会論文誌D「システム開発論文」特集号, J94-D, 5, pp.814-820, 2011年5月1日