

# 超高精細分光撮影による祇園祭・山鉾懸装品の

## デジタルアーカイブ（第二報）

高柳亜紀<sup>1</sup> 土田勝<sup>1,2</sup> 鳥居悠人<sup>1</sup> 河内雄大<sup>1</sup> 中田悠葵<sup>1</sup> 田中士郎<sup>1</sup>  
脇田航<sup>1</sup> 田中弘美<sup>1</sup> 矢野桂司<sup>3</sup> 川西隆仁<sup>2</sup> 柏野邦夫<sup>2</sup> 大和淳司<sup>2</sup>

<sup>1</sup>立命館大学 情報理工学部, <sup>2</sup>NTT コミュニケーション科学基礎研究所, <sup>3</sup>立命館大学 文学部

文化財のデジタルアーカイブでは、高解像度な画像を撮影することに加えて、その色や形状、さらには物理特性も可能な限り詳細に記録できることが望まれる。本論文では、京都・祇園祭の山鉾の装飾品（懸装品など）を対象に行った6バンド、約25億画素のマルチバンド撮影作業とその結果について報告を行う。

### Digital archive of Kyoto Gion Festival

#### using high-resolution multiband imaging camera (Part 2)

Aki TAKAYANAGI<sup>1</sup>, Masaru TSUCHIDA<sup>1,2</sup>, Haruto TORII<sup>1</sup>, Yuudai KOCHI<sup>1</sup>,  
Yuhi NAKATA<sup>1</sup>, Shiro TANAKA<sup>1</sup>, Wataru WAKITA<sup>1</sup>, Hiromi. T. TANAKA<sup>1</sup>,  
Keiji YANO<sup>1</sup>, Takahito KAWANISHI<sup>2</sup>, Kunio KASHINO<sup>2</sup>, Junji YAMATO<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>Ritsumeikan University, <sup>2</sup>NTT Communication Science Laboratories

In order to archive high quality digital archives for cultural assets, accurate recording and reproduction of shape, color and physical properties are very important. In this paper, the archiving project of Kyoto Gion Festival using high-resolution multiband imaging camera is reported. This camera system can obtain over 25000MPixel, 6-band images. Accurate color and spectral reflectance are reproduced using the captured 6-band image.

## 1. まえがき

京都・祇園祭の山鉾巡行の始まりは14世紀に遡る。山鉾は「動く美術館」とも呼ばれるほどに豪華な懸装品で飾られる(図1)。懸装品は17～19世紀にかけて欧州や中国からの輸入や、日本の職人により作成された。現在は各町の住民の手で保管、管理がなされている。こういった懸装品を地震等の天災や火事から守り、将来へ伝えて行くことが必要とされる。そのためにも、古い懸装品で用いられている伝統技法を記録し分析することは重要であると考えられる。

近年、デジタル写真技術の発達に伴い、文化財の記録・分析現場においてもデジタル画像システムの導入が進みつつある。現在のデジタル画像撮影システム開発の流れとしては、立体化・動画化を除けば次の5つの技術が非常に重要と考えられている。

### (1)高解像度（画素数）化

現状では数千万～1億画素程度の画像撮影が可能なカメラが入手可能になっている。

### (2)高ダイナミックレンジ化・高感度化

市販の中級機種以上のデジタルカメラでは12～14bitでの記録が可能であり、また暗部でのノイズ抑制技術も進歩している。

### (3)広色域化



図1. 祇園祭・山鉾巡行の様子（船鉾）

市販の中級機種以上のデジタルカメラでは AdobeRGB 対応が標準になりつつある。

### (4)高い色再現性（正確な色情報の記録）

### (5)可視光以外の情報の可視化

上述の5つの技術のうち(1)(2)(5)に関しては、デバイスの製造技術に大きく依存していると考えられる。一方で(3)(4)に関しては、赤・青・緑の3原色で色を記録・表現する現在の画像システム自体が制限となっていると考える。特に、照明光に依存した見た目の色しか記録できないことは、撮影時の照明条件が大きく制限される文化財の記録においては、非常に不便と言える。

これらの問題の解決が期待できる技術の一つとして、マルチバンド画像による記録が挙げられる。これまでもいくつかマルチバンド画像の記録方式が開発されてきているが[1~4]、システム構築における初期費用や、特殊な装置が必要なことから、工業用途や文化財の記録においてあまり導入されていない。今回船鉾町の蔵の改修に伴い、7月~9月にかけて約30点の山鉾懸装品をお借りし、2ショット型6バンド画像記録方式を用いて撮影作業を行った。前回の撮影作業での解像力0.1mm/pixelは、織物技術の研究者によると研究資料としてはまだ不十分で[5]、かなりの経験を持った専門家でない、正確な分析は難しいという課題があった(経験と知識に基づいた推測が必要)。実際に色々な解像力の画像を見ていただき、0.01mm/pixel程度(≒2500DPI)の解像力があれば織物の研究資料としては十分とお聞きしたため、今回その値を目標値として計測作業を行った。この計測作業で市販のカメラを用いて0.02mm/pixel(≒1250DPI)の分解能を持つ画像を取得したことを報告する。

## 2. 撮影方式と原理

### 2.1 マルチバンド画像とは

一般的なカメラシステムでは、可視光波長域の一部400~700nmの範囲を概ね3分割し、それぞれ短波長側から青・緑・赤の各色として記録する。この方式では、見た目に異なる色であっても同じ色として記録されてしまう場合があり、色を正確に記録できるとは限らない。また同様の理由から、鮮やかな(彩度が高い)色の記録は困難である。

可視光波長域を4分割以上に分け4色以上の画像として記録したのがマルチバンド画像である。図2に3バンド、6バンド、スペクトル画像での記録における概念図を示す。これまでの先行研究では、9バンド程度あれば十分な色再現性が得られるとの報告例もある[6]。また紫外、近赤外・赤外の不可視光波長域も記録することができれば、分光スペクトルレベルでの組成分析にも使える可能性がある。

実現方法としては、白黒センサと複数の狭帯域カラーフィルタを組み合わせ、フィルタを変えながら時分割でそれぞれの画像を撮影する方式が一般的である[1]。ただこの方式の場合、特殊な撮影装置が必要であり、また高解像度な白黒カメラの入手も現状では困難である(せいぜい200万画素)。そこで市販の高解像度デジタルカメラ(3バンド)と特殊なフィルタを用いて、2ショットで6バンド画像を取得する方法も開発が進められている[7]。図3に2ショット型6バンド方式の概略を示す。1ショット目は通常と同じ撮影、2ショット目は6バンド撮影用に

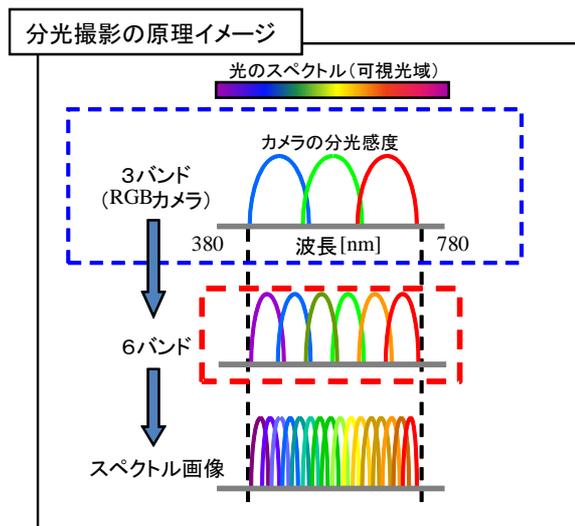


図2. 分光撮影の原理



図3. 2ショット型6バンドカメラ

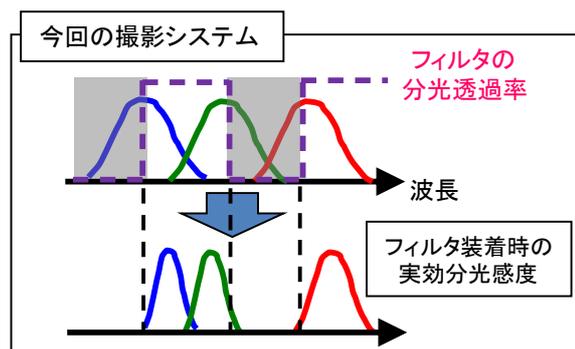


図4. 6バンド撮影の原理

設計したフィルタをレンズの前に装着して撮影する。ここで使用するフィルタの分光特性を図4に示す。フィルタは楕型の透過特性を持っており、カメラ内のセンサ面に取り付けられている青・緑・赤の各色フィルタの超波長側、もしくは短波長側の半分のみを透過するよう設計さ

れている。この方式のメリットは、比較的 low 価格で入手可能な高性能・高解像度（10~20MPixel）デジタルカメラが利用可能であり、操作性やレンズ群を含めカメラ自体の完成度が非常に高いシステムが容易に構築できることにある。またデジタルカメラの中には通常、近赤外光（700nm）以上の波長をカットするフィルタが組み込まれているが、一部の機種では取り外すことも可能である。この様なカメラを用いれば、9バンド程度までバンド数を増やせる可能性があり、色だけではなく分光スペクトルの形状推定精度の向上も期待できる。

## 2.2 マルチバンド画像を用いた色再現処理

マルチバンド画像から分光反射率を推定する際には、以下の情報が必要となる。

- ・カメラの分光感度、トーンカーブ
- ・撮影時の照明光スペクトル
- ・被写体の分光特性に関する統計情報

「被写体の分光特性に関する統計情報」とは、たとえば分光反射率の教師データから算出した共分散行列や主成分等を指す。この統計情報は特に、少ないバンド数の画像を用いるときに重要となる。

以下ではマルチバンド画像からの分光反射率推定方法について述べる。詳細に関しては参考文献[4]等を参照されたい。なお以降の説明では簡単のため、カメラのトーンカーブ（入出力信号の関係）は線形であると仮定する。

被写体の分光反射率を  $f$ 、照明光スペクトルを  $E$ 、カメラの分光感度を  $S$  とすると、カメラからの出力信号  $g$  は次式のように表される。

$$g = S E \quad (1)$$

式(1)はカメラの順モデルを記述したものであり、カメラからの出力信号からの分光反射率の推定は、式(1)の逆モデルに相当する。分光反射率の推定結果を  $\hat{f}$  は式(2)のように表すことが出来る。

$$\hat{f} = M g \quad (2)$$

ここで行列  $M$  は次式に基づき計算される。

$$M = R_f H^t \{ H R_f H^t \}^{-1} \quad (3)$$

$$(R_f = f f^t, H = S E)$$

$R_f$  は分光反射率の相関行列、 $H$  はカメラのシステム関数に相当する。この行列  $M$  は Wiener 推定行列とも呼ばれ、適当な行列  $M$  を算出することにより、マルチバンドデータから分光反射率の推定が可能となる。

## 3. 撮影実験

### 3.1 撮影対象

財団法人祇園祭船鉾保存会の協力によりお借りした、船鉾の懸装品や神宮皇后の衣装など 29

点である（一部は表裏の両方を撮影）。撮影の目的は懸装品等の現在の状況（色を含む）を記録することと、織りの様子などの表面の微細な構造を記録することである。

船鉾の懸装品の特徴としては、図柄が最大で 10cm 程度の凹凸がある 3 次元的な形状を持つ点にある。今回の報告では割愛するが、対象の一部に関しては立体形状の計測も行っている。

懸装品の大きさは概ね、縦 1~2m、横 2~5m で、これらをつなぎ合わせる形で鉾へ取り付けられる。撮影は 7 月~9 月の 2 ヶ月間、立命館大学アートリサーチセンター内にて行った。

### 3.2 撮影システム

6 バンド画像から被写体の分光反射率をより精度良く推定するため、撮影照明光にはそのスペクトル分布に輝線が少ない人工太陽灯照明（セリック社製 SOLAX™）を使用した。この照明は太陽光にほぼ等しいスペクトル分布を持つ。人工太陽照明灯の分光スペクトルを図 5 に示す。実際の撮影においては、紫外光や熱による被写体の劣化を抑えるため、紫外光・赤外光カットフィルタをランプの前面に取り付け使用した。図 6 に今回の実験で使用したカメラシステムを示す。カメラ本体には 4x5 カメラと呼ばれる大判カメラ（Sinar S）を、画像センサには

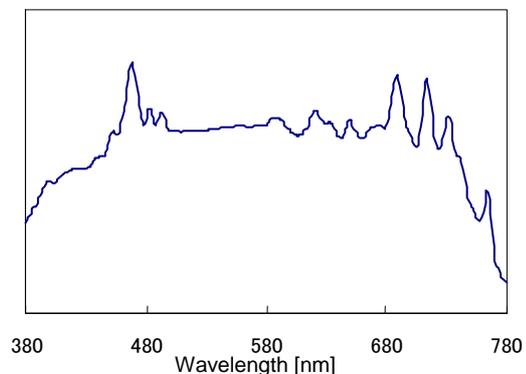


図 5. 照明光の分光スペクトル



図 6. 実験で使用したカメラシステム

ハッセルブラッド製のマルチショットカメラ H4D-50MS を使用した。このセンサは通常はセンサ面上に貼りつけてある赤外カットフィルタを特別に取り外したもので、レンズの前に取り付ける赤外カットフィルタを適切に選択することで、多層膜フィルタを装着して画像を撮影する場合の近赤外光チャンネルの画像の S/N 比を向上させることができる。今回の撮影した懸装品の大きさは縦 1~2m, 横 2~5m で、分割して撮影を行い、画像処理後に貼合せ合成して 1 枚の高精細画像を生成した。より分解能の高い画像を得るために、被写体を部分ごとに拡大して撮影し、その結果を 1 枚の画像に合成するという要領である。画像の撮影方法としては 2 通り考えられる。1 つめの方法は、カメラもしくは被写体を動かしながら撮影する方法である。この方式では特別な装置が不要である半面、画像の合成の際にそれぞれの撮影画像でのレンズ収差等の影響（画像歪や輝度ムラ）を補正する必要がある。2 つめの方法は、カメラ本体や被写体を動かすかわりに、画像センサのみを動かす方法である。この方式では十分なイメージサークル（センサ面上で結像する範囲）を有する高性能レンズが必要となるが、画像の合成の際には方式 1 で問題となるレンズ収差等の影響は無視できる。この方式を実現する手段として、我々は画像センサを水平・垂直方向に移動させる機構を持つ大判カメラと、デジタルカメラバックと呼ばれる画像センサユニットを採用した。実験では大型のカメラスタンドを用意し、被写体の縦列を順にカメラスタンドの柄を動かすことでカメラを動かし撮影を行った(方式 1)。縦が長い被写体に対しては方式 2 を用いて柄の長さが足りず撮影できない箇所をカバーした。その後、縦 1 列の撮影が終わると被写体を横に一定間隔ずらし、ずらした分の縦列を上述と同様に撮影していった。画像の貼合せ合成には Adobe Photoshop の Photomerge という機能を使用した。なお今回は 0.02mm/pixel 相当で撮影を行った。

次に 6 バンド画像の撮影方法について説明する。今回は、2.1 で説明したような 2 ショット型の撮影方式を採用した。図 7 に多層膜フィルタの分光特性を示す。このフィルタは青チャンネルの長波長側、緑チャンネルの短波長側、赤チャンネルの長波長側のみを透過する。なお、今回は近赤外波長領域の情報の記録を目的に、センサの前に付いていた赤外カットフィルタを 800nm 付近までの光を透過するものに取り換え、撮影を行った。図 8 に各チャンネルの分光感度（実測値）を示す。実線がフィルタ無しの場合、波線がフィルタ有りである。またフィルタ有り/

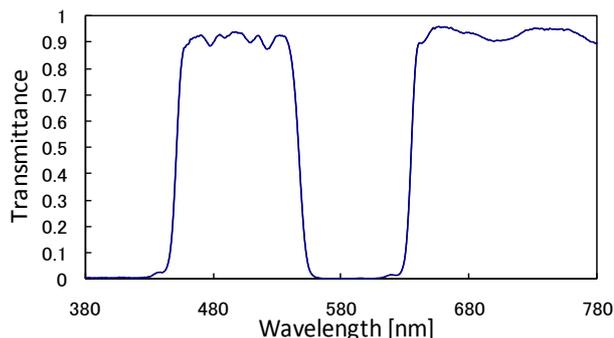


図 7. 多層膜フィルタの分光特性

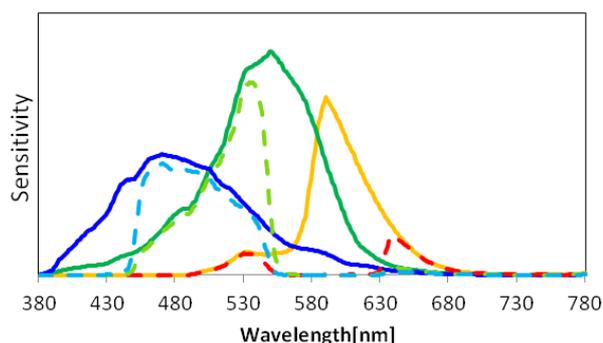


図 8. 撮影システムの分光感度



図 9. 立命館大学アトリサーチセンターでの撮影風景

無しで撮影した 2 枚の画像間には、カメラの振動やフィルタの厚みによる画像間での位置ずれが生じる。これに関しては、位相限定相関法 (POC) [8] を用いることで、位置ずれ・回転量・拡大縮小率を 0.1pixel 程度の精度での補正を実現している。色再現処理はカメラの分光感度、照明光スペクトル等を使用し、Wiener 推定法により行った。

撮影風景を図 9 に示す。今回の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。なお撮影に際し、色再現結果の確認・補正用と

して画像の隅に、Macbeth Color Checker を切  
って1列に配列しなおしたカラーチャートを入  
れて撮影を行った。

### 3.3 撮影結果

図 10 に大きさ横 131cm×縦 171cm の「見送  
雲龍図 綴織」の撮影結果を示す。画像サイズ  
は 44,270×57,341pixel で概ね 0.02mm/pixel の分  
解能を有している。つまり 25 億画素の画像を取  
得できたことになる。前回の撮影実験と比較す  
ると、解像度が 5 倍向上した。これにより織り  
の構造などを鮮明に確認することができる。今  
回この画像は横方向に 8 分割～9 分割、縦方向に  
12 分割で撮影したのちに 1 枚の画像に合成した。

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。

### 4. 考察

2009 年度の撮影時、高精細画像を織物技術の  
研究者に見て頂き、いくつかのコメントを頂戴  
した[5]。その時にお聞きした話では、現状の分

析は、ポジフィルムで必要部分を接写し、ルー  
ペで拡大して行っているとのことである。また  
照明は 2 方向（縦と横）から照射し、それぞれ  
について撮影しているとのことである（縦糸と  
横糸の様子を見るため）。解像力的には図 10 程  
度(0.02mm/pixel)のものが得られれば、それなり  
の知識を持った技術者であれば判別できるとの  
ことである（現実にはすでに失われた技法が多  
く、また資料も残されていないため、判別でき  
る有識者が激減しているとのこと）。

また、2009 年度の撮影で我々が取得した  
0.1mm/pixel の解像力ではまだ織物技術の研究資  
料としては不十分で、かなりの経験を持った技  
術者でないと、正確に判別するのは難しいとい  
うコメントも頂いた。（経験と知識に基づいた  
推測が必要）。以上の聞き取り調査と、実際に  
様々な解像力の画像をお見せしたところ織物の  
アーカイブでは 0.01mm/pixel 程度の分解能が必  
要とされていることが分かった。今回はこのコ  
メントを参考にし、0.02mm/pixel の分解能を有  
する画像を取得した。

今回 0.02mm/pixel となったのは、被写体の大  
きさと撮影時間の制限によるものである。25 億  
画素の撮影に 15 時間程度かかったが、この 4 倍

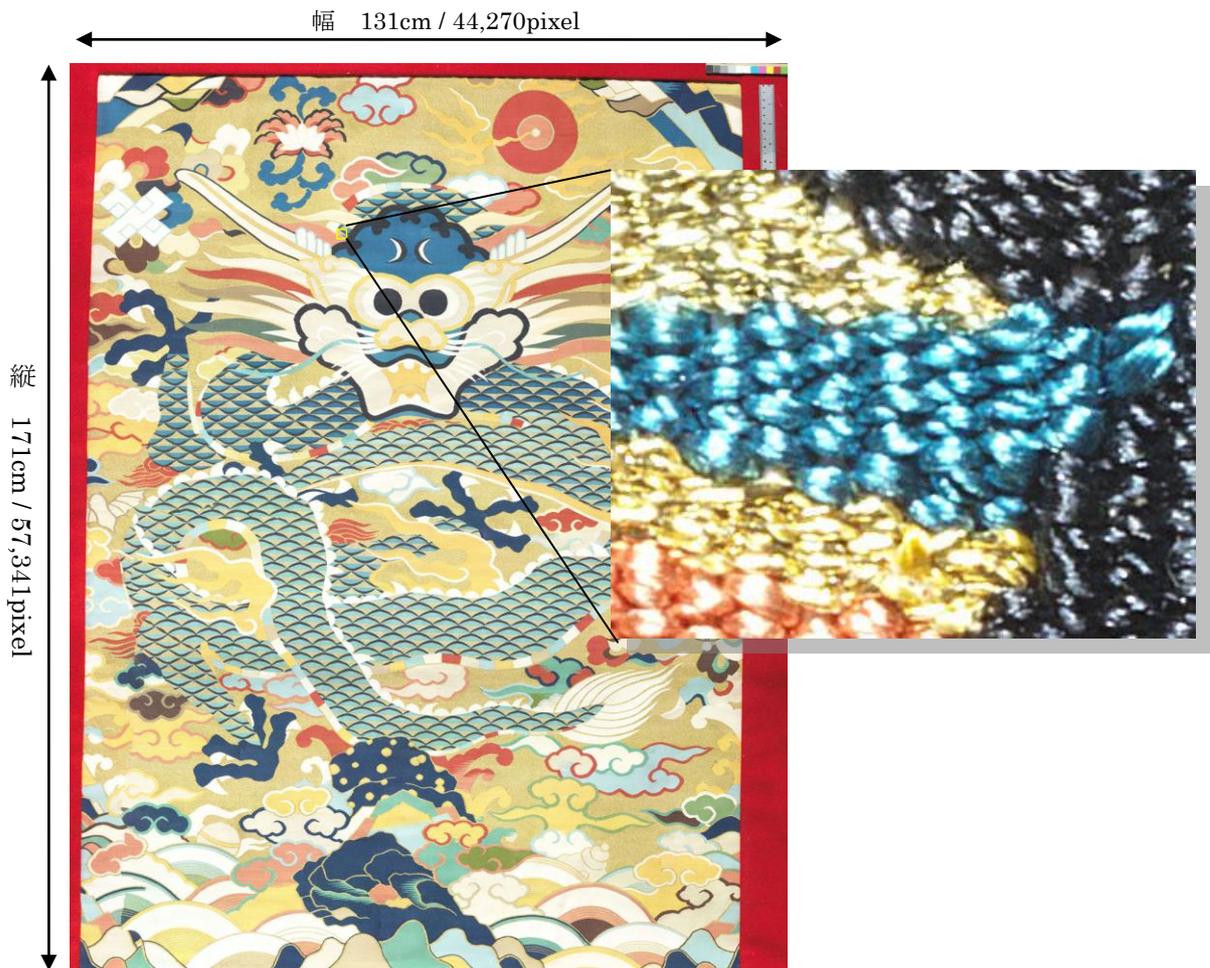


図 10. 撮影結果(見送 雲龍図 綴織)

程度の時間を確保できれば 0.01mm/pixel の解像力の画像も撮影可能である。取得画像については物差し周辺でボケが生じているが、これは焦点を被写体表面に合わせたため、被写界深度外にある物差しのメモリがボケることはやむを得ないところと考えている。被写体部分に関してはモニタ上で撮影範囲を 100%表示させた状態で解像していることを目視にて確認している。今回の撮影実験では被写体とカメラの間は数十 cm から数 m 確保することができた。ただし撮影時、耐震性には慎重を期する必要がある。高分解能になるほど振動によるブレの影響が大きく、可能であれば体育館や会議室のような板張りではなく、カメラスタジオのようなコンクリートである程度の振動が抑制されているような場所での撮影が好ましい。今回撮影で使用した多目的ホール（板張り）でも、被写体およびカメラ周辺への立ち入りは制限したうえで撮影を実施した。さらに今回のようなワンショット型のカメラの場合、カラーフィルタがセンサ上にモザイク状に配列されており（ベイヤー配列）、各色の画素間の補完処理により画像が生成されているので、仕様上の画素数と実際の分解能の関係には注意が必要である。この実験ではカメラは市販のカメラシステムを用いたが、一般的なカメラシステムでもこのような超高精細画像を取得できることを確認できた。

今回の撮影では、被写体を床面に置き、カメラを大型のカメラスタンドを用いて真上に置いた、俯瞰撮影を行った。この俯瞰撮影では被写体を床面に置くことから撮影機材の落下等で作品を破損するといったことがないよう細心の注意を払わなければならない。しかし、作品を壁にかけて撮影を行うと、その重さや大きさから作品自体へのダメージが大きくなってしまふ。また、壁に作品をかけると、カメラセンサをそれと平行に置かなければならず、セッティング面でも難しい。以上のことより今回のような大型の織物を高解像度・超高精細画像として計測する際は、十分な安全性を確保したうえで作品を床置きにした俯瞰撮影をすることが現実的であると考える。

## 5. おわりに

0.02mm/pixel の分解能を持つ画像が撮影可能な 6 バンド画像撮影システムを構築し、京都・祇園祭・山鉾の懸装品の撮影に使用した。実験では再現画像の色を実物と比較して遜色がない結果であることを確認した。前回の実験 [5] で織物技術の研究者より、織物作品の研究資料として 0.01mm/pixel 程度の解像度があれば十分というコメントをいただいた。今回その値を目標値と定め 0.02mm/pixel の撮影を行い、目標値に近づけることができた。今回の撮影方法は 3 次元

的な形状・構造をもつ被写体の高精細画像の撮影が可能であり、将来的には取得画像の CG テクスタチャへの適用や、ステレオ画像を撮影することでの立体像表示への適用も期待でき、こちらに関しても今後検討を進めていく予定である。

## 謝辞

本研究成果の一部は文部科学省の「デジタル・ミュージアムの展開に向けた実証実験システムの研究開発」事業により実施された。また本研究を実施するに当たり、財団法人祇園祭船鉾保存会の関係者には多大な協力を頂いた。

## 参考文献

- [1] M. Yamaguchi, Y. Murakami, T. Uchiyama, K. Ohsawa, and N. Ohya, "Natural Vision: Visual Telecommunication based on Multispectral Technology," Proc. of IDW '00, pp. 1115-1118, 2000.
- [2] S. Tominaga and R. Okajima, "Object Recognition by Multi-Spectral Imaging with a Liquid Crystal Filter", Proc. Int. Conf. on Pattern Recognition, 2000.
- [3] S. Helling, E. Deidel, and W. Biehig, "Algorithms for spectral color stimulus reconstruction with a seven-channel multispectral camera", Proc. CGIV, pp. 254-258, 2004.
- [4] K. Ohsawa, et al., "Six-band HDTV camera system for spectrum-based color reproduction," J. Imag. Sci. and Tech., 48, 2, pp. 85-92, 2004.
- [5] 橋本勝, 村田正浩, 鳥居悠人, 永野遼, 田中弘美, 矢野桂司, "超高精細分光撮影による祇園祭・山鉾懸装品の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, 2009
- [6] T. Uchiyama, et al. "A Method for the Unified Representation of Multispectral Images with Different Number of Bands", Journal of Imaging Science and Technology, Vol.48, No.2, pp.120-124, 2004
- [7] 橋本勝, "6 バンド分光画像による浮世絵のアーカイブと高精度色再現", 情報処理学会: 人文科学とコンピュータシンポジウム論文集, 2008
- [8] H. Takita, et al. "High-accuracy image registration based on phase-only correlation," IEICE Trans. Fundamentals, Vol. E86-A, no.8, pp.1925-1934, 2003
- [9] M. Hashimoto, "Two-Shot type 6-band still image capturing system using Commercial Digital Camera and Custom Color Filter", Proc. CGIV, 2008.