

画像色彩技術を用いた 錦絵画像の色彩分析と デジタル展示

2015年1月

千葉大学大学院融合科学研究科

情報科学専攻 知能情報コース

鈴木 卓治

(千葉大学審査学位論文)

画像色彩技術を用いた 錦絵画像の色彩分析と デジタル展示

2015年1月

千葉大学大学院融合科学研究科

情報科学専攻 知能情報コース

鈴木 卓治

画像色彩技術を用いた錦絵画像の色彩分析とデジタル展示

千葉大学大学院融合科学研究科 情報科学専攻 知能情報コース

鈴木 卓治

『錦絵』とは浮世絵のうち、鈴木春信らによって 1760 年代に創出され、明治の終わりごろ（1910 年代）まで盛んに作られた、多色刷りの木版画を指す。錦絵は日本の優れた色彩文化を代表する存在のひとつであるが、錦絵の刷りの技術は現代では失われており、用いられた着色料や刷重ねの順序など、不明な点も多い。

本論文では、国立歴史民俗博物館が所蔵する錦絵資料を対象に、情報技術ならびに画像色彩技術を用いた、測色に基づく錦絵画像の記録と計量的な色彩分析、ならびに錦絵画像のデジタル展示について論ずる。

はじめに、デジタルカメラにより撮影した 4,258 枚の錦絵画像に色修正を施して、各画素が測色値をもつ画像（測色値画像）を作成した。大量の画像を処理するために、カラーチャートと錦絵画像の自動切り出し技術を開発した。

つぎに、測色値画像、近赤外線画像、分光反射率情報を用いて、錦絵に含まれる赤、橙、青の色の時代的変遷を計量的に分析した。幕末期に登場した新しい赤色着色料の推定される使用開始時期を 1869 年の 4 月から 5 月の間にまで特定することができた。

さいごに、国立歴史民俗博物館の企画展示で実施したスマートフォンを用いた来館者向け展示情報サービス実験について、利用者アンケートおよび WWW アクセスログの分析を行ない、スマートフォンを用いた錦絵画像のデジタル展示について検討した。

博物館の主要な機能である、資源（化）・研究・展示において、情報技術ならびに画像色彩技術の応用が有効であることを具体的に示すことができた。

Color Analysis and Digital Exhibition of *Nishiki-e* images using Color-in-Image Technology

SUZUKI, Takuzi

Graduate School of Advanced Integration Science, Chiba University

Nishiki-e is Japanese polychrome woodblock print of the *Ukiyo-e* school. *Nishiki-e* was first produced by SUZUKI, Harunobu in 1760s and had made to 1910s. *Nishiki-e* is one of the leading products of color culture in Japan. However, most of skills of the carving and the printing of *Nishiki-e* had been lost nowadays. They are interesting problems to identify these colorants and to reveal an area and a period that each colorant was used.

In this paper, digital image recording, quantitative analysis, and digital exhibition of *Nishiki-e* printings that are owned by the National Museum of Japanese History by using information technology and color-in-image technology are discussed.

First, 4,258 colorimetric images that every pixel have colorimetric value were made from *Nishiki-e* images that were taken by a digital still camera. Software for automatic detection and extraction of a color chart and a *Nishiki-e* image was developed for image processing and color correction of a large amount of taken *Nishiki-e* images.

Next, transition of the usage of red, orange, and blue color of *Nishiki-e* was quantitatively analyzed by using colorimetric images, near infrared images, and spectral reflectance data. The estimated time of start of the use of new red color was specified between April and May in 1869.

Finally, possibility and contribution of using smartphone on digital exhibition of *Nishiki-e* was discussed. The experimentation of a simple multimedia exhibition information service using visitor-owned smartphones was carried out on a special exhibition of the National Museum of Japanese History, and visitors' reaction and acceptance of the service were analyzed.

It was practically shown that application of information technology and color-in-image technology for cultural resourcing, research activity, and exhibition that are principal functions of the museums is useful.

目次

| | |
|------------------------------------|----|
| 第1章 序論..... | 1 |
| 1.1 国立歴史民俗博物館における情報技術応用とその成果..... | 3 |
| 1.2 博物館資源としての測色値画像の作成..... | 6 |
| 1.3 博物館資料の色彩分析の可能性..... | 8 |
| 1.4 スマートフォン時代の博物館情報端末..... | 11 |
| 1.5 本論文のめざすもの..... | 12 |
| 1.6 錦絵について..... | 12 |
| 第2章 錦絵のデジタル画像撮影と色修正..... | 15 |
| 2.1 概要..... | 17 |
| 2.2 記録すべき色情報とは..... | 17 |
| 2.2.1 色刺激値と知覚色..... | 17 |
| 2.2.2 光源色と物体色..... | 19 |
| 2.2.3 色順応と参照白..... | 20 |
| 2.3 錦絵画像の撮影と測色値画像の取得..... | 22 |
| 2.3.1 撮影環境について..... | 22 |
| 2.3.2 撮影した画像について..... | 24 |
| 2.3.3 色値変換関数の求め方..... | 25 |
| 2.3.4 より簡便な色値変換関数の求め方..... | 26 |
| 2.3.5 得られた色値変換関数の評価..... | 27 |
| 2.4 撮影画像からのカラーチャートおよび錦絵画像の自動切り出し.. | 33 |
| 2.5 まとめと課題..... | 37 |
| 第3章 錦絵に用いられた色の変遷の計量的分析..... | 39 |
| 3.1 概要..... | 41 |
| 3.2 測色値画像からの錦絵の赤色の変遷の検出..... | 41 |
| 3.2.1 分析する錦絵の選定..... | 41 |
| 3.2.2 ヒストグラムの観察..... | 42 |

| | | |
|-------|----------------------------------|----|
| 3.2.3 | より精密な分析 | 45 |
| 3.2.4 | 分光濃度による分析 | 47 |
| 3.3 | 測色値画像からの錦絵の橙色の変遷の検出 | 48 |
| 3.4 | 近赤外線画像による錦絵の天然藍とベロ藍の判別 | 52 |
| 3.4.1 | 青色錦絵の分光反射率の計測 | 52 |
| 3.4.2 | 分光反射率の違いの分析 | 53 |
| 3.4.3 | 近赤外線画像における天然藍とベロ藍の写り方の違い | 55 |
| 3.5 | まとめと課題 | 56 |
| 第4章 | スマートフォンを用いた錦絵のデジタル展示に関する検討 | 57 |
| 4.1 | 概要 | 59 |
| 4.2 | 博物館における携帯情報端末の現状と課題 | 59 |
| 4.3 | 実験の概要 | 62 |
| 4.4 | 提供したコンテンツ | 63 |
| 4.5 | アンケートの集計と分析 | 67 |
| 4.6 | アクセスログの解析 | 69 |
| 4.6.1 | 全体的な傾向 | 69 |
| 4.6.2 | パート1の分析 | 71 |
| 4.6.3 | パート2の分析 | 71 |
| 4.6.4 | パート3の分析 | 71 |
| 4.6.5 | パート4の分析 | 72 |
| 4.6.6 | パート5の分析 | 72 |
| 4.6.7 | 分析のまとめ | 74 |
| 4.7 | 錦絵資料のデジタル展示 | 75 |
| 4.7.1 | 超大画像自在閲覧システムを用いた錦絵資料の展示の試み | 75 |
| 4.7.2 | 携帯端末の効果的な利用方法に関する考察 | 76 |
| 第5章 | 結論 | 79 |
| 付録 | 企画展示「楽器は語る」における音声情報のデジタル展示 | 83 |

| | | |
|-------|---------------------------------|----|
| A.1 | 企画展示「楽器は語る」について..... | 85 |
| A.2 | 作成したコンテンツ..... | 86 |
| A.2.1 | 比べてみよう 音の高さが変わると雰囲気も変わる？..... | 86 |
| A.2.2 | 歌われる楽譜「唱歌（しょうが）」..... | 87 |
| A.2.3 | 笙のハーモニーを聴いてみよう..... | 89 |
| A.2.4 | 雅楽のリズムパターン 打楽器の打ち方を見てみよう..... | 89 |
| A.2.5 | 各パートの音量を自分で調整 セルフミックス《越殿楽》..... | 89 |
| A.3 | 音源の録音..... | 93 |
| | 参考文献..... | 95 |
| | 謝辞..... | 99 |

第 1 章

序論

1.1 国立歴史民俗博物館における情報技術応用とその成果

国立歴史民俗博物館（歴博）¹は、国立大学共同利用機関（当時）のひとつとして1981年に設置され、1983年に開館した、日本の歴史と文化について、資料収集、調査、研究、展示を行なう、わが国唯一の国立の歴史博物館である[1]。当初、東京・京都・奈良の国立博物館と同じく、文化庁の附属機関としての設置準備が進められていた歴博が文部省（当時、現文部科学省）管轄の国立大学共同利用機関となった背景には、歴博設立準備室の井上光貞室長（東京大学名誉教授、のちに初代館長）の手腕によるところが大きい。歴博の展示は、研究者による最新の歴史研究の成果にもとづくものでなければならず、そのためには歴博そのものが第一級の研究機関でなければならないという考えがその根底にあり、現在でもその哲学は脈々と受け継がれている。

歴博が2007年に策定した「歴博のめざすもの」では、「博物館型研究統合」という研究スタイル（図1.1）を提唱し、『〈資源〉〈研究〉〈展示〉という3つの要素を有機的に連鎖させ、さらに積極的に〈公開・共有〉をすすめることによって、博物館という形態をもつ大学共同利用機関の特徴を最大限に活かした研究を推進する』としている[2]。

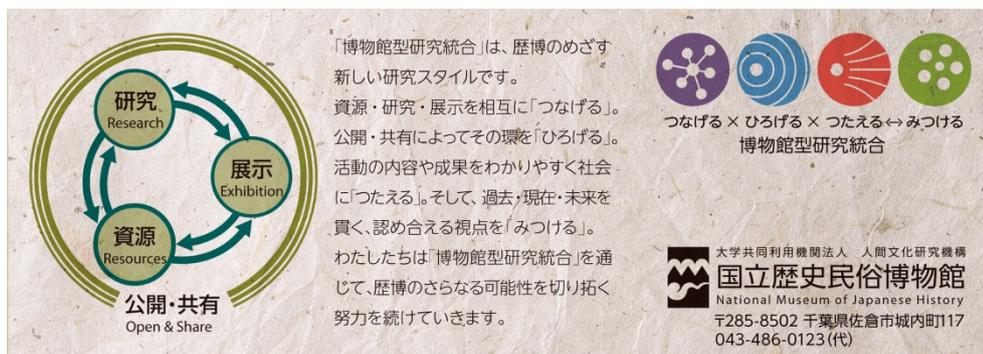


図 1.1 国立歴史民俗博物館がめざす「博物館型研究統合」

筆者は1994年に、情報工学の研究者として、歴博の情報資料研究部情報システム研究部門（当時）助手に着任した。歴博はその当初より、コンピュータを用いた日本歴史学情報のデータベースの構築と公開を主要な任務

¹現在の正式名称は「大学共同利用機関法人人間文化研究機構国立歴史民俗博物館」である。

のひとつとして与えられており[1], 教授, 助教授, 助手各1名からなる情報システム研究部門が設けられていた。

筆者の着任当時, 「データベースれきはく」[3]は, 歴博に設置された大型計算機から, 大学間コンピュータネットワーク(N-1)[4]を経由して, 大学の大型計算機センター等で利用できる状態になっていた(歴博設置時の目標は達成されていた)が, データベースを利用できる人は大学の大型計算機センターのアカウントをもつ人に限られており, 広く開かれているとは言いがたい状況であった。当時はパーソナルコンピュータがようやく実用のもので一般に普及しだしたころでもあり, いたしかたない面もあったが, 歴博のコンピュータ利用に批判的な声は少なからず存在²していた。必然的に歴博における筆者のタスクは“歴博の活動のあらゆる局面において情報技術応用が有効であることを証明すること”となっていた。「博物館型研究統合」のスタイルに沿って言うならば, 〈資源〉〈研究〉〈展示〉〈公開・共有〉の4つの軸に沿って, コンピュータが具体的にどう役に立つのかを事例で示す, ということである。

1980年の後半から(日本の)理工系の大学で利用可能となったインターネットは, 1990年代に入ると文系研究機関への普及が徐々に進み, 1994年の末に歴博はSINET(学術情報ネットワークインターネットバックボーン)[5]を介してインターネットへの接続を果たした。歴博の情報をインターネット上の情報コンテンツとして発信することによって, 歴博とインターネットの双方の健全な発展に寄与するとの考えから, 1994年12月24日に, WWW(World Wide Web)サイトを開設して歴博の情報発信実験を開始した[6](図1.2)。WWWの画像と文章をレイアウトした「ページ」を伝送できる機能は, それまでコンピュータの有用性に懐疑的だった人々の不安や疑問を払拭し, 「使える道具」として認知されるのにさほど時間はかからなかった。歴博Webサイトは, 開かれた博物館情報の〈公開・共有〉のための基本的なメディアとしていまや不可欠の存在となっている[7]。

2000年には, 一辺が数万画素以上の超大画像を「どこでも」「任意の大きさで」閲覧する機能をもつソフトウェアである超大画像自在閲覧システムbyobu.exeを開発し[8], 同年7月21日から8月6日まで開催された「21世紀夢の技術展」[9,10]に「超拡大!江戸図屏風」(図1.3)として出展した。

²着任して1週間ばかりのとき, 「コンピュータなんてまるで(歴史)研究の役に立たない, ただの金食い虫だ」と断言した教授の声と顔は忘れることができない。

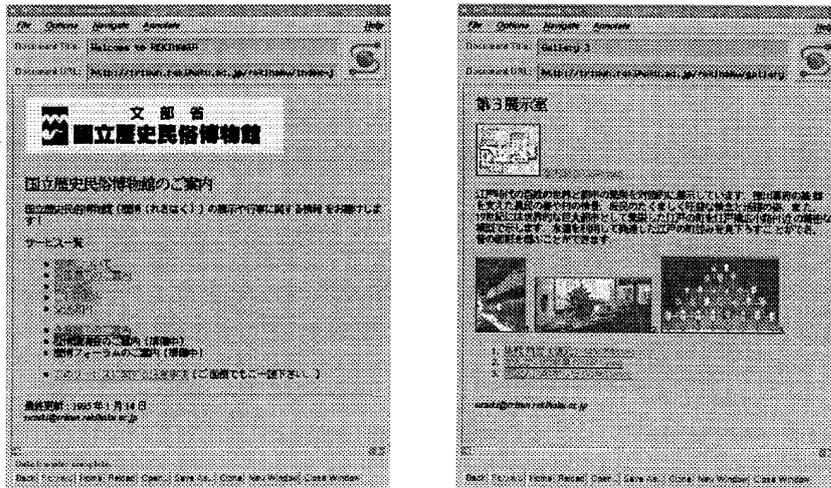


図 1.2 最初期の歴博 Web サイト(1995 年 1 月)

パーソナルコンピュータの性能が急速に向上し、大容量の画像データをフルカラーで高速に表示できるようになったこと、さらにタッチパネルインターフェイスを備えたディスプレイが容易に手に入るようになったことが、実用に耐えるシステムとして成立した原動力といえる。byobu.exe は内外の好評を博し、以来歴博では、博物館資料の超精細画像を撮影してデジタル化し、超大画像自在閲覧システムを用いて閲覧する「超精細デジタル資料」を積極的に制作するようになった。これまでに、のべ 63 種類の超精細デジタル資料が制作され、2000 年以降に開催された企画展示・特別展示・館外共催展示 74 件のうちほぼ半数（のべ 39 件）で利用された。開発から 15



図 1.3 「21 世紀夢の技術展」における「超拡大! 江戸図屏風」

年経過した現在においても歴博の展示における中核のひとつとして機能しており，さまざまな内容のコンテンツに対応するため，システムの改善と機能拡張が継続的に行なわれている

さらに，byobu.exe の成功を受けて，2008 年に全面的なリニューアルが行なわれた常設の第 3 展示室（近世）においては，超大画像自在閲覧機能が組み込まれた Internet Explorer 用プラグインソフトである byobu32x.ocx が開発され，28 台ある情報端末のうち 22 台において，byobu32x.ocx による超精細デジタル資料の提供が行なわれている（図 1.4）。



図 1.4 第 3 展示室情報端末における超大画像自在閲覧機能の提供

1.2 博物館資源としての測色値画像の作成

このように，〈展示〉や〈公開・共有〉という軸については，目に見える成果を示すことができたが，残された課題も多く存在する．そのひとつは〈資源〉の軸からの課題である．

博物館情報の研究資源としての可能性については，もはや万人の疑うところではない．「データベースれきはく」は，データベースの利用インターフェイスに Web ブラウザが使えるようになり，検索結果に画像を付与することのできるデータベースが多く作られるようになった．さらに人間文化研究機構が開発し 2008 年にサービスを開始した研究資源共有化システムによって，人間文化研究機構に属する 6 研究機関（国立歴史民俗博物館（千葉県佐倉市），国文学研究資料館（東京都立川市），国立国語研究所（東京

都立川市), 国際日本文化研究センター(京都市西京区), 総合地球環境学研究所(京都市北区), 国立民族学博物館(大阪府吹田市))が公開するデータベースを同じ検索語で同時に検索することが可能となった[11].

しかしながら, コンピュータとネットワークの性能が向上し, 走る電車の中でインターネット上の動画画像コンテンツを再生できるようなスマートフォン³を誰もが当たり前に見えるようになった時代にあつて, 博物館が提供する〈資源〉の情報もそれに見合った品質と容量を備えていなければ, たちまち「役に立たない情報」の烙印を押され淘汰されてしまう.

博物館の資料は, 研究や展示に積極的に利用すると同時に, 大切に保存していかなければならないという, 背反した特徴を有している. この要求を満たすために, 資料の画像を撮影して利用することが, 写真技術の誕生直後から積極的に行なわれてきた.

長らく画像記録の役割を担ってきた銀塩写真にかわり, 近年デジタルカメラが急速に普及し, 中判(ブローニー判)カメラ相当の品質までの画像であれば, デジタルカメラで十分カバーできるようになった. いまや銀塩写真は商業分野ではほぼ駆逐されてしまい, 資料撮影のために4×5判以上の大判カメラを使う博物館・美術館は“最後の銀塩フィルムユーザ”である, とさえ言われている.

デジタルカメラは, 銀塩写真に比べて, 色彩情報をより正確に記録する能力がある[12]. 機械依存の値で記録されている画像の色彩情報を, 機械に依存しない国際的な標準規格に準拠した色値表現に変換しておくことは, 資源としての資料画像の価値を高めるために有効である. こうして得られる画像を測色値画像(colorimetric image)と呼ぶことにする. デジタルカメラを利用した博物館資料の測色値画像を撮影する試みが各所でなされている(MARC プロジェクト[13]など).

歴博の館蔵資料の測色値画像の作成と公開は, 〈資源〉の軸からの“画像色彩”技術⁴(デジタル画像技術と色彩技術の有機的結合)の応用の有効性を示す典型的な事例となるであろう. 本論文では, 第2章において, 館蔵錦絵資料の測色値画像の作成について述べる.

³電池でまる一日駆動し, タッチパネルディスプレイを備え, 一昔前のスーパーコンピュータを凌駕する性能をもつ携帯電話端末が, 動画画像受信に耐える帯域を持つ携帯電話無線ネットワークにつながれ, どこにいても電話やインターネットを利用できる昨今の状況は, 現実が未来予測を上回って進歩した事例のひとつといえるだろう.

⁴本論文では color and image, すなわち測色値情報を正しく反映させた画像工学の適用の段階に留まっているが, そのめざすところは, color-in-image, すなわち画像に表われる色彩について, 色の見えや錯視などの人間の知覚や, さらには芸術作品にみられる色彩の美の探求まで考慮した“真の色彩情報処理”である.

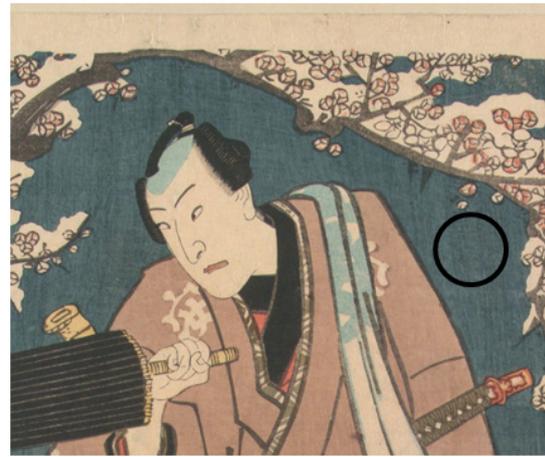
1.3 博物館資料の色彩分析の可能性

残された課題のもう一つは、〈研究〉の軸からの課題である。

正確な色彩情報が記録された作成した測色値画像は豊富な情報を含んでおり、さまざまな色彩分析を行なうことができる。たとえば図 1.5 は、「1850 年ごろを境に、錦絵に用いられる藍色の種類が増え、藍だけの刷色に加え、藍に墨をまぜたくすんだ刷色が加わる」という仮説を検証するため、錦絵の測色値画像から該当すると思われる箇所を 200 あまり抽出し、その色を $L^*a^*b^*$ 色空間[14]上および a^*-b^* 平面上にプロットしたものである。



A群: 藍のみ



B群: 藍+墨?
1850年ごろから加わる?

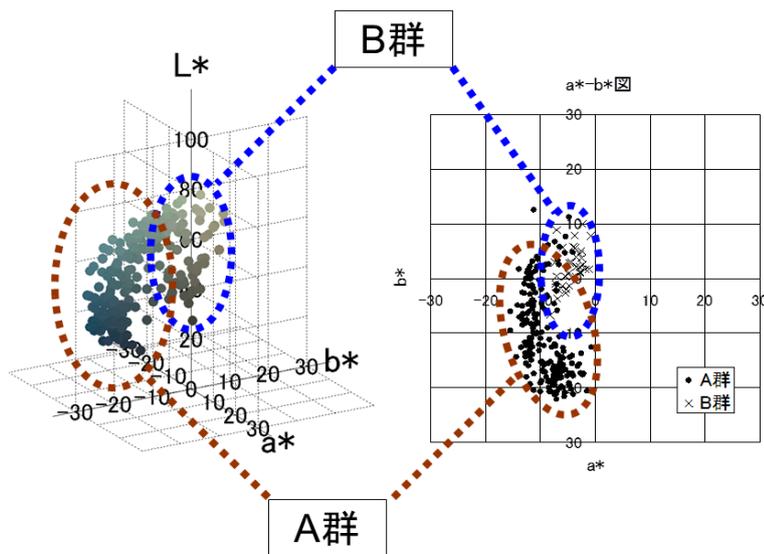


図 1.5 錦絵に現れる 2 種類の藍色の比較検討

A群は“藍だけの刷色”を表わし、B群は“くすんだ藍色”を表わしている。A群の点が、紙の黄色から緑を経て藍の深い青に向かうにつれ、彩度が増し、明度が小さくなる様子が観察できる。また、B群は、ほとんど無彩に近い色であるが、A群と同様の色の变化を観察することができる。

この結果が仮説を裏付ける証拠となるかどうかは、より詳細な分析を必要とするが、人文学的な分析を科学的な方法で検証するひとつの手段を提供している点で、測色値画像の有効性を示しているといえる[15]。

もう一つ例を示す。図 1.6(a),(b),(c)は、錦絵画像に含まれる色の種類を調べるために、画像に含まれる色をマンセル色空間[16]上の分布として表わしたものである。

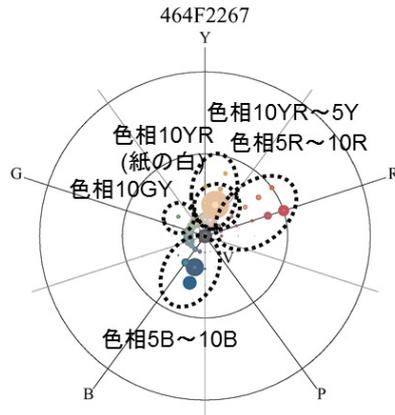
図 1.6(a)では、表題や袖に見える赤は色相 5R~10R に、家並みの橙は 10YR~5Y に、衣服の青は 5B~10B に、それぞれ見ることができる。山のところにわずかに現れる緑も、色相 10GY 上にとらえられている。色相 10YR のところにある大きな丸は、顔や背景に見える紙の色である。赤、青、緑の三色配色に黄がアクセントを添えていることがよくわかる。

図 1.6(b)は、“源氏絵”の典型例である。源氏絵とは、当時流行した絵入り小説『倭紫田舎源氏（にせむらさきいなかげんじ）』に取材した作品群のことで、紫色に特徴があるとされる。色分布を見ると、他の錦絵には見られない色相 10PB の色が使われていることがわかる。また色相 5GY~10GY の明るい緑色も他の錦絵には見られず、この絵の特徴となっている。

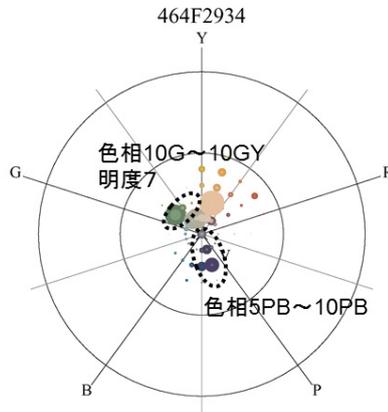
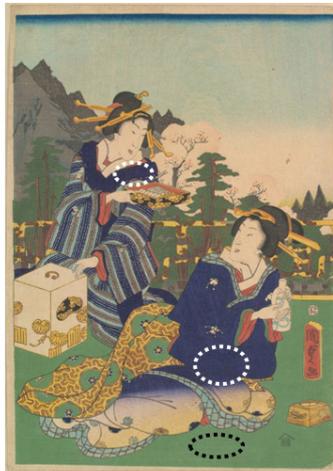
図 1.6(c)は明治期の錦絵であり、衣服やのれんに見える色相 5P~10P の高彩度の紫、桜の花に見える 5RP~10RP のピンク、そして 5R の強い赤色が、強い印象を与えている。

200 あまりの錦絵画像についてこのような観察を行なった結果、以下の知見が得られた[15]。

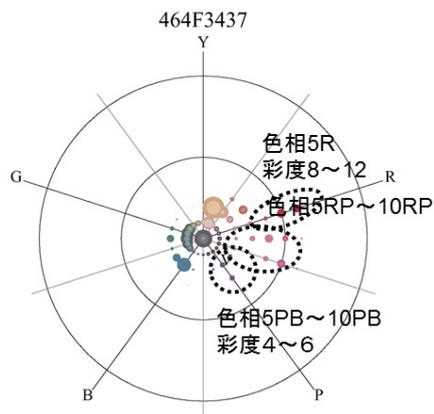
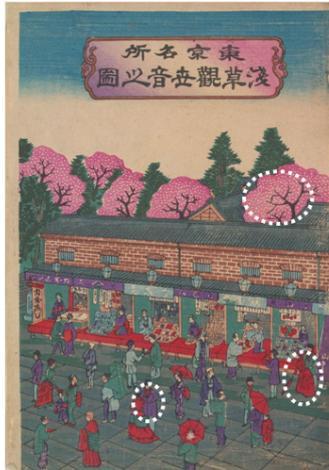
- 紙の色は色相 10YR、明度 7~8、彩度 2~4 のごく狭い範囲に現れる。
- 色相 5R~5Y にかけての赤、橙、黄、茶の色は、たくさんの少しづつ違う色が使い分けられている。
- 緑は色相 5GY の深い緑と 10GY の黄緑の 2 系統が主に用いられる。
- 背景に多用される暗い青緑は、色相 5G~5PB の彩度 3 未満の色である。高彩度の青は 5B から 5PB の範囲に明度 3 程度で出現する。
- 色相 5P から 10RP にかけての色は、幕末から明治期の錦絵に多く現れ、逆にそれ以前のものにはほとんど現れない。



(a) 「東海道五十三次の内 京 二 真柴久吉」



(b) 「花遊由縁四阿屋」



(c) 「東京名所浅草観世音之図」

図 1.6 錦絵画像とその色分布の例

このように、博物館資料の測色値画像の数量的な色彩分析は、画像色彩技術の応用として、博物館の〈資源〉を用いた科学的な〈研究〉を推進する有効な手段であり、豊かな可能性を秘めている。

本論文では、第3章において、測色値画像を用いた、錦絵に用いられた着色料の時代変遷の計量分析について述べる。

1.4 スマートフォン時代の博物館情報端末

超大画像自在閲覧システムによって成果を出すことのできた〈展示〉の軸であるが、博物館が社会に必要な存在として“スマートフォンの時代”に生き残っていくためには、さらなる進化を模索しなければならない。

近年急速に普及が進むスマートフォンやタブレット端末などの携帯情報端末は、音声・静止画・動画などのマルチメディア情報を再生することができるので、これを来館者に持参してもらい、博物館情報端末として利用させることができれば、博物館側はハードウェアの維持管理の問題から解放され、ソフトウェア、すなわち番組作成のコストのみ考えればよくなる。利用者にとっても自分の使い慣れた機械でアクセスすることができる。すなわち博物館と来館者の双方にメリットがある。この戦略は、人員面や資金面の体力に劣る中小規模の博物館において有望であると考えられるが、一方で以下のような問題点も指摘できる。

- 多種多様な機種が存在するスマートフォンに、いかなる形でソフトウェアを提供すればよいか。アプリケーションの形か、Webコンテンツの形か。
- スマートフォン側の設定作業をどう簡略化するか。しかし簡略化はしばしば情報セキュリティと背反する。
- 携帯電話の電波が館内に届くか。Wi-Fiを用いるほうがよいか。
- 情報セキュリティをどう確保するか。こちらが用意したWi-Fiに接続してもらおうというのは、来館者の立場からすれば危険なことである。

この他にも、スマートフォンの利用に具体的にどのような技術的／社会的な問題があり、それをどのように克服していけばよいかを知る必要がある。

このような問題を明らかにするために、本論文では、第4章において、スマートフォン向けの情報コンテンツ配信実験について述べる。

1.5 本論文のめざすもの

本論文の目標は、第一に、「博物館型研究統合」が掲げるところの〈資源〉〈研究〉〈展示〉〈公開・共有〉の4つの軸のうち、とくに〈資源〉と〈研究〉の側面について、情報技術ならびに画像色彩技術の応用が有効であることを、具体的事例によって証明することである。第2章では〈資源〉の軸から、歴博所蔵の錦絵資料を研究資源化するための測色値画像の撮影について述べる。第3章では〈研究〉の軸から、測色値画像を用いた使用された着色料の時代的変遷の計量的分析について述べる。

第二の目標は、〈展示〉ならびに〈公開・共有〉の軸から、新しい情報技術に対応したデジタル展示の方法について検討することである。第4章ではその手がかりとして、2012年夏の歴博企画展示において実施した、スマートフォンやタブレット端末等のWi-Fi機能を備えた携帯情報端末向けの情報コンテンツ配信実験について述べる。

1.6 錦絵について

さいごに、本論文で扱う錦絵資料について簡単に説明する。『錦絵』とは浮世絵のうち、鈴木春信らによって1760年代に創出され、明治の終わりごろ（1910年代）まで盛んに作られた、多色刷りの木版画を指す[17,18]。17世紀後半に菱川師宣がはじめたとされる浮世絵は、絵師が直接描いた肉筆画もあるが、主に版画絵として発達を遂げた。初めは墨一色で描かれていた浮世絵版画は、手彩色で丹や紅を加えた丹絵や紅絵、墨に膠（にかわ）などを混ぜて漆のような光沢をもたせた漆絵、紅や草、黄などの三、四色を版木で刷る紅摺絵と進化していき、1760年代になって七、八色以上の豊富な色数をもつ多色刷りの錦絵へと飛躍的な進化を遂げた[19]。

錦絵は日本の優れた色彩文化を代表する存在のひとつである。大量に安く販売された錦絵には、安価な着色料が使われた。しかし錦絵の刷りの技術は現代では失われており、用いられた着色料や刷重ねの順序など、不明な点も多い。計量に基づく科学的な手法により、どの着色料がいつ頃どこで使われたのかを知りたいと考えている。

本館が所蔵する錦絵資料は、その大半が錦絵コレクション（資料番号 H-22）ならびに怪談・妖怪コレクション（資料番号 F-320）として収録さ

れており,この中からとくに研究上の価値が高い2,340件の錦絵について,詳細書誌目録付き錦絵画像データベース(館蔵錦絵データベース[20])が作られている.

第2章

錦絵のデジタル画像撮影 と色修正

2.1 概要

本章では，国立歴史民俗博物館が所蔵する 4,000 枚以上の錦絵資料を対象に，デジタルカメラで撮影し，測色値画像を作成した試みについて述べる．

はじめに，記録すべき色情報について検討する．2 番目に，錦絵資料の撮影環境と実際に撮影した画像について説明する．3 番目に，色修正を行ない測色値画像を作成する方法について述べる．4 番目に，大量の錦絵画像から自動的にカラーチャートと錦絵画像を抽出する方法について述べる．最後に，錦絵画像の色彩分析の例を紹介する．

なお，本章の内容は，日本色彩学会第 35 回全国大会[21]，情報処理学会人文科学とコンピュータシンポジウム（じんもんこん 2004）[15]における発表内容，ならびに Journal of the International Colour Association 誌採録決定論文[22] をもとに再構成した．

2.2 記録すべき色情報とは

2.2.1 色刺激値と知覚色

人間の眼に入った光は，網膜上の視細胞に色の刺激を与える．視細胞はこの刺激を信号（色刺激値）に変えて脳に送り，脳による複雑な情報処理の結果，外界の情景が色彩画像として知覚される．（図2.1）．

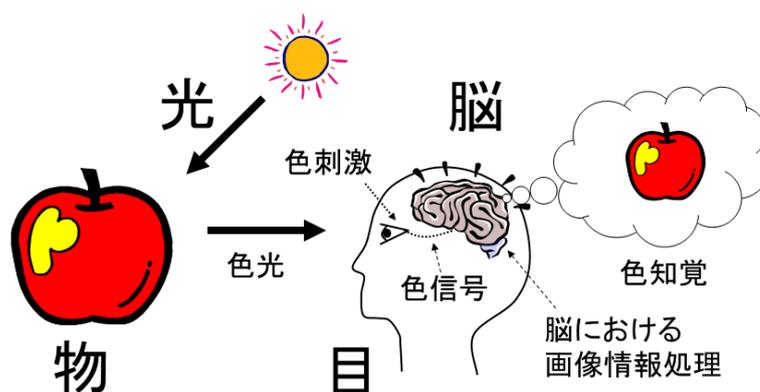


図2.1 光・物・目・脳

本来記録すべき色情報は、この人間が知覚する色の画像、すなわち知覚色画像であろうが、色刺激値と知覚色との関係は単純ではない。人間の色彩情報処理のメカニズムはいまだ不明の部分が多く、任意の観測条件下での知覚色の推定は難しいのが現状である。

一方、与えられた光から色刺激値（XYZ三刺激値⁵）を計算する方法は、1931年にCIE（国際照明委員会）によって勧告されたXYZ表色系[23]によって標準化されており、XYZ三刺激値を直接計測する測色器も作られている。

そこで、知覚色画像のかわりに、XYZ三刺激値の画像、すなわち測色値画像を記録し保存しておくことにする（図2.2）。測色値画像が、画像を見る環境を含めて正しく再現されれば、それを見た人間は常に同じ知覚色画像を知覚するはずである。

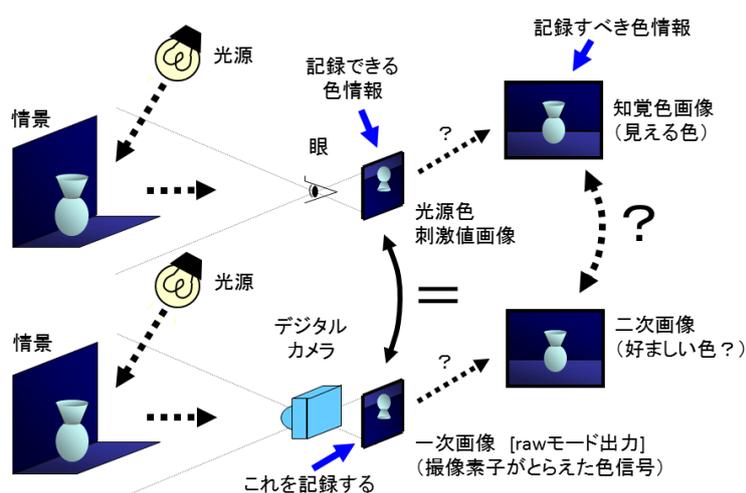


図2.2 人間の見る色とデジタルカメラが記録する色

デジタルカメラの撮影画像は、色刺激値（多くはRGB値で表わされている）の画像ではあるが、測色値画像ではない。そこで、RGB値とXYZ三刺激値の対応関係を調べ、RGB値をXYZ値に変換するための色値変換関数を作成することによって、はじめて測色値画像を得ることができる。

⁵XYZ三刺激値のうちY値は人間の明暗の感覚に相関する量として定義されている。

2.2.2 光源色と物体色

色の感覚は光によってもたらされる。すなわち、光がなければ色は見えない。しかし、人間は物体を見るとき、光を見ているとは思わず、“物に色がついている”と認識する。実際には、物体に反射した光や、物体を透過した光を見ているので、“物の色”は、物体がもつ反射や透過の特性と、物体を照らす照明光の特性とによって決まる。

XYZ 表色系は、色刺激値の表わし方を 2 種類定めている。一つは、光の色として見たときの“光源色”としての表わし方であり、もう一つは、物の色として見たときの“物体色”としての表わし方である (図 2.3)。XYZ 表色系では、物体色は、完全拡散反射面⁶を基準にして (標準の光のもとでの) 色刺激値を相対化⁷した値として計算される。すなわち、物体色の色刺激値は、照明光の強さによらず定まる。

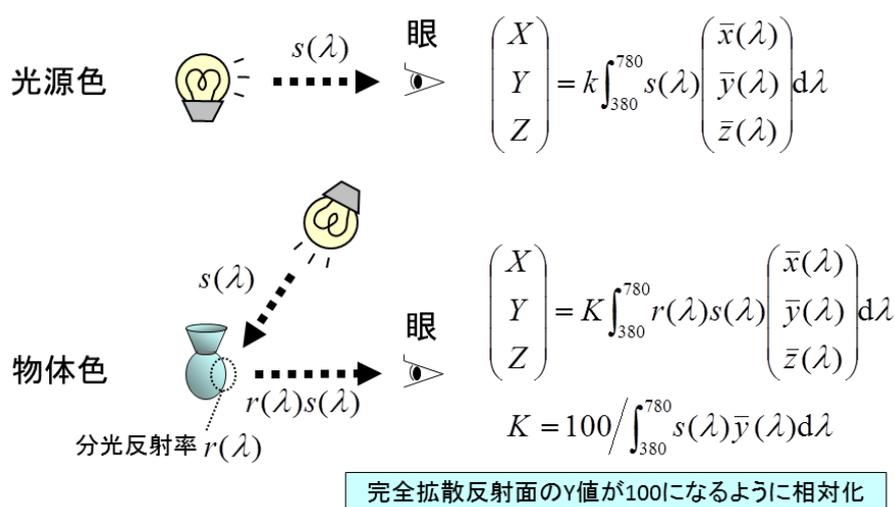


図 2.3 XYZ 表色系における光源色と物体色

デジタルカメラの撮影画像から得られる測色値画像の XYZ 三刺激値は、光源色の色刺激値である。物体色の色刺激値を求めるためには、物体の各点における照明の照度と、相対化の基準となる、視感反射率⁸が既知の参

⁶入射光を 100%反射し、かつ面上の輝度がどの方向から見ても同一であるような平面。

⁷完全拡散反射面の物体色色刺激値が $Y=100$ となるように相対化する。

⁸人間の明暗の感覚にもとづく物体の反射率。物体色の XYZ 三刺激値のうち Y 値は視感反射率に一致する。

照（無彩）色票の情報が必要である（図 2.4）.

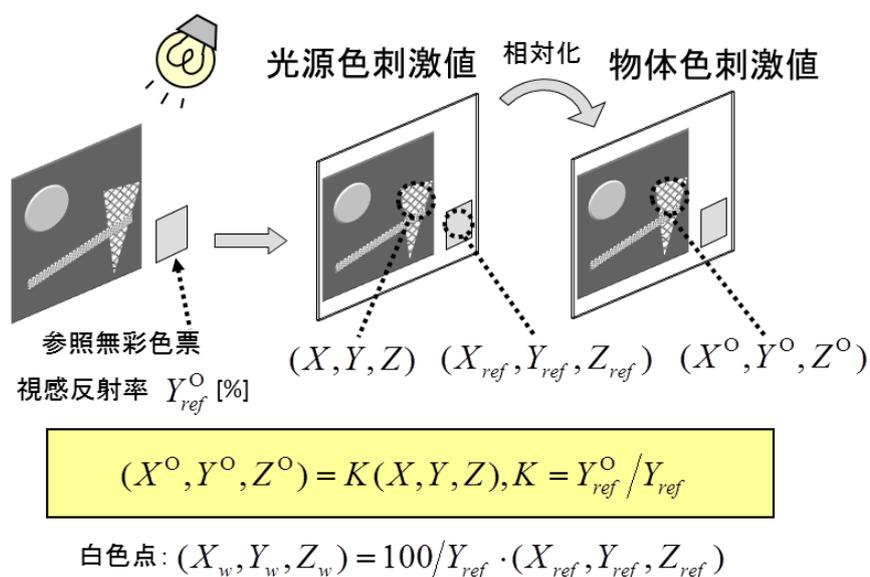


図 2.4 光源色から物体色を求める

本章において撮影の対象とする錦絵資料は、平面であることと、強い光沢をもたないことから、物体色色刺激値の画像を安定して記録することができる対象といえる。陶磁器、金属、染織品のように、立体的な形状をもつもの、光沢の強いもの、見る角度によって大きく色が変わって見える対象では、照明の当て方や、どの方向から撮影するか、などの決定が難しく、そもそも物体色としての記録が妥当であるかどうか検討を要する場合もある。詳しくは文献[24]の論考を参照されたい。

2.2.3 色順応と参照白

人間の色の見えには、色恒常という特徴がある。これは、白熱電球のような赤い（相関色温度⁹の低い）光でも、曇天時の外光のような青めの（相関色温度の高い）光でも、白い物体は白く見え、色つきの物体もほぼ同じような色に見える現象である。

それぞれの照明条件下で同じ物体の光源色を測定すると、その三刺激値はまったく異なる。にもかかわらず、人間には同じ色に見える。このこと

⁹同じ色の光を発する黒体（すべての光を吸収する物質）の温度で光の色を表わす方法。単位は K（ケルビン）。低いほど赤く、高くなるにつれ青くなる。

から、白が白く見えるようなある種の色値変換が行なわれ、照明の種類によらず同じ知覚色画像を作成するようなメカニズムが人間の脳に存在する、と考えられている（図 2.5）。

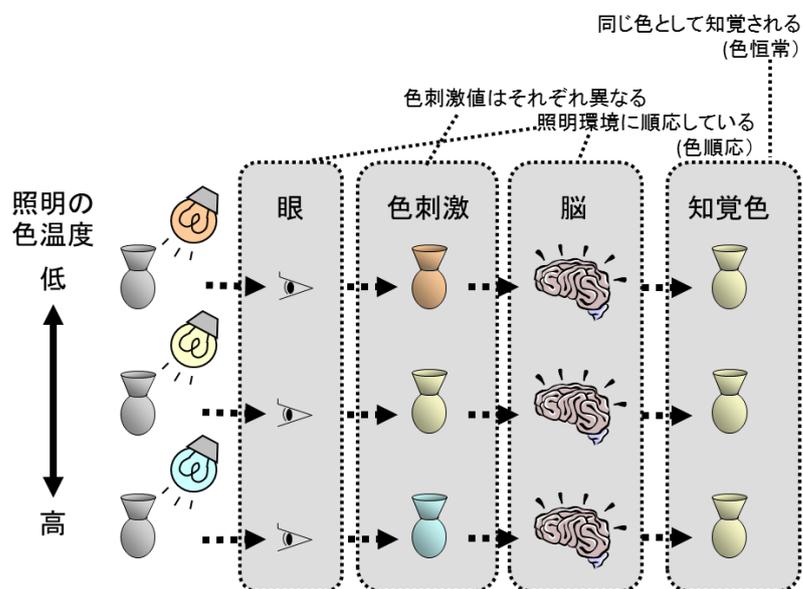


図 2.5 色恒常性

異なる照明のもとで、同じ色の見えを与える XYZ 三刺激値の組を求める方法のひとつとして、von Kries 変換が知られている。それぞれの照明下での白色点¹⁰が与えられると、照明間における von Kries 変換がひとつ定まる。

CIE が 1976 年に勧告した、物体色の表記法である $L^*a^*b^*$ 色空間および $L^*u^*v^*$ 色空間[14]は、色恒常を考慮しており、XYZ 三刺激値と $L^*a^*b^*$ 表色値および $L^*u^*v^*$ 表色値との間の変換は、白色点をパラメタに与える必要がある¹¹。

錦絵の測色値画像を広く利用に供するためには、白色点が標準の光¹²のそれに一致するように変換する必要がある。今回は D_{65} 光¹³の白色点に変換した画像を作成した。

¹⁰ (その照明下での) 完全拡散反射面の物体色値。このとき常に $Y=100$ となるので、 xy 色度座標 (XYZ 三刺激値から計算される、明暗によらない色刺激値の性質を示す値) で表わされることもある。

¹¹ 白色点は常に $(L^*,a^*,b^*)=(100,0,0)$ および $(L^*,u^*,v^*)=(100,0,0)$ に移される。

¹² CIE が定めている、物体色を求めるときの標準となる光。相対分光分布により規定される。

¹³ 標準の光のうち、相関色温度が約 6500K の光。

2.3 錦絵画像の撮影と測色値画像の取得

2.3.1 撮影環境について

錦絵資料の撮影環境を図 2.6 に示す。中央に見えるコピースタンドに被写体（錦絵画像および色票）を置き、上方からデジタルカメラにより撮影する。照明は2灯のストロボ光源（フラッシュキセノンランプ）により与え、デジタルカメラからのシンクロ信号により発光させる。（図 2.6 では天井の蛍光灯が点灯しているが、撮影時には消灯する。）機器の設定および撮影の作業は、写真技術の専門教育を修めたプロカメラマンが行なっている。

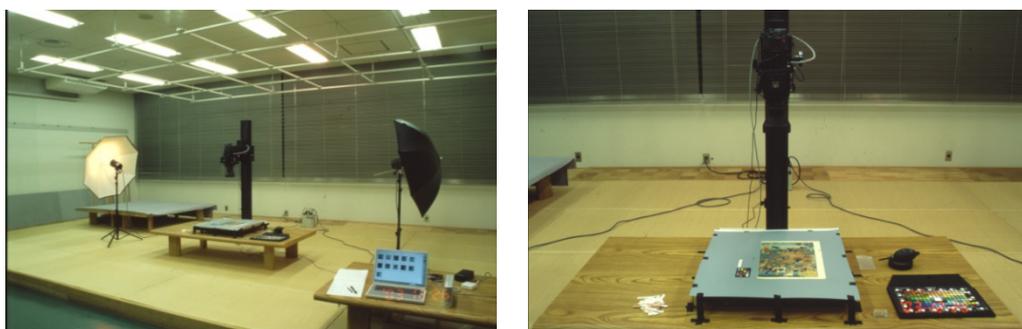


図 2.6 撮影環境の設定

撮影装置群の構成を表 2.1 に示す。デジタルカメラとしてコダック社 Kodak DCS ProBack を用いた。これは、商業写真等の撮影を想定して作られたプロ向けの製品である。それ自体はレンズやボディをもたず、市販の中判カメラにフィルムバックの代わりに装着して用いる。ボディには Mamiya RZ67 ProII を用い、レンズは Mamiya SEKOR Z 50mm F4.5W を用いた。Kodak DCS Proback はパーソナルコンピュータ (Apple PowerBook G4) から制御され、コンピュータ側からの指令によってシャッターが切られる。撮影された画像はただちにコンピュータに転送され、独自の画像フォーマットでハードディスクに格納される。画像サイズは 4072×4072 画素である。画像データは RGB 各 12 ビットの情報を持ち、専用ソフトウェアにより一般の画像フォーマットに変換することができる。とくに、コントラスト強調などの処理が施されていない raw 出力を、RGB 各 16 ビットの TIFF 形式画像として取り出すことができる。

表 2.1 撮影装置の構成

| Digital still camera unit | |
|---------------------------|---------------------------|
| Body | Mamiya RZ67 ProII |
| Lens | Mamiya SEKOR Z 50mm F4.5W |
| CCD sensor | Kodak DCS Proback Plus |
| Pixels | 4072 × 4072 |
| Color depth | 36bits (RGB 12bits) |
| Flash Xenon lamp unit | |
| Lamp | COMET CLX-25 mini |
| Power supply | COMET CB-2400 |
| White point | (x,y)=(0.3312,0.3446) |
| Color temp. | 5555K |

ストロボとして、電源部にコメット社製 CB-2400（出力 2400Ws）を、発光部に CLX-25 mini G（クリアタイプのガラスグローブつき）を用いた。これもプロ用の機材であり、発光ごとの光量のばらつきがほとんどない（カタログ値で誤差±0.03EV 未満）。光はアンブレラで拡散して資料に照射する。アンブレラは紫外光成分を取り除く働きも担っている。強力な光を遠方から低角度で照射することによって、照明ムラを極力排するよう心がけた。また、発光量の安定を考慮して、撮影間隔を 2 分以上に設定し、十分な充電時間を確保するようにした。ストロボの相対分光分布を図 2.7 に示す。測定には PhotoResearch 社製の分光放射輝度計 PR-704 を用いた。このストロボの白色点は $(X,Y,Z)=(96.096,100,94.064)$ ，色温度は 5556K であった。

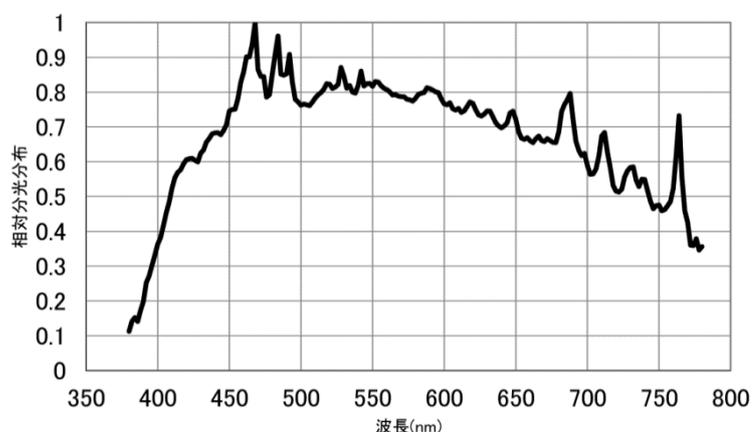


図 2.7 ストロボ光の相対分光分布

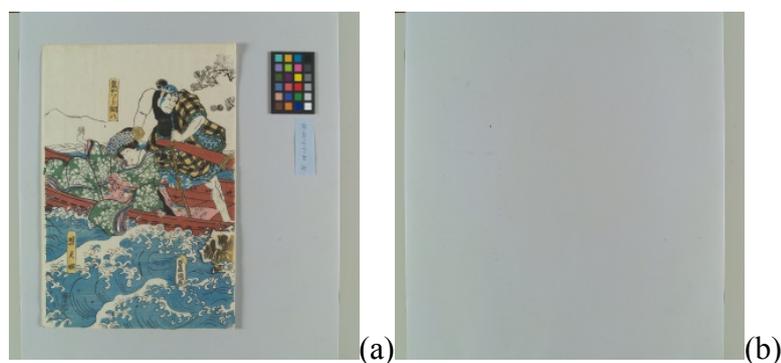
2.3.2 撮影した画像について

錦絵の画像は、無彩背景の上に、撮影対象である錦絵資料と、反射率の基準を与えるための参照色票として、GretagMacbeth 社製の色票集 ColorChecker (ミニサイズ) とを載せて撮影した (図 2.8(a)).

撮影面上の照度情報を記録するために、無彩背景だけの画像を合わせて撮影した。無彩背景は光沢のない中明度の均一なものを用いる。図 2.8(b) には灰色の色画用紙を用いた例を示したが、のちに写真撮影の背景等に用いられる堀内カラー製 NEW カラーペ (202 番メジュームグレー) に切り替えた。こちらのほうが灰色としての均一性に優れている。

画像の撮影は、一つの資料につき、適正露出値を基準 (0EV) を基準として、絞り値を変えて¹⁴ 0EV, +1/2EV, -1/2EV の 3 枚を撮影した。一日当たりの撮影可能な枚数は 100 カット程度であるので、約 30 枚分の資料撮影を行なえる計算になる。

すべての資料を同一の照明条件下で撮影したいところであるが、撮影に用いている部屋は、資料熟覧用の共同利用スペースであるため、撮影環境を恒常的に組み上げておくことができない。そのため、無彩背景画像を撮影機会ごとに撮影するようにして、照明条件の記録に努めた。



(a) 錦絵画像 (b) 無彩背景画像

図 2.8 撮影した画像

撮影した錦絵画像から錦絵の部分のみをトリミングすると、Photo CD の

¹⁴ストロボの発光時間は極めて短い (1 万分の 1 秒ないし 10 万分の 1 秒のオーダー) ので、シャッタースピードによって露出値を制御することはできない。また、ストロボの光量を変化させると、分光分布が変わる恐れがあるので、今回はもっぱら絞り値によって露出値を制御した。

BASE16 画像 (2048×3072 画素) とほぼ同じサイズ (約 2200×3200 画素) のデジタル画像が得られる。錦絵のほとんどは A3 大より一回り小さいぐらいの大きさ(24～26cm×35～38cm)なので、およそ 220dpi 程度の解像度をもつ計算になる。

本システムを用いて、2003 年度から 2008 年度にかけてのべ 4,258 枚の資料を撮影した (表 2.2)。

表 2.2 年度ごとの資料撮影数

| 年度 | 撮影数 |
|------|-------|
| 2003 | 1,031 |
| 2004 | 498 |
| 2005 | 581 |
| 2006 | 633 |
| 2007 | 685 |
| 2008 | 830 |
| 計 | 4,258 |

2.3.3 色値変換関数の求め方

デジタルカメラの撮影画像から測色値画像を求めるには、カメラの捉えた RGB 値と、それが表わす XYZ 値との間の対応関係から、RGB 値を XYZ 値に変換する色値変換関数を求める必要がある (図 2.9)。

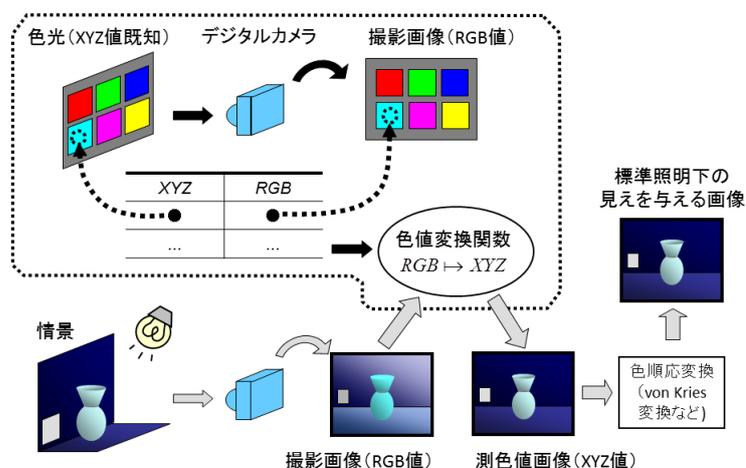


図 2.9 測色値画像の求め方

画像内で照明の強弱にムラがあると仮定すると、撮影画像から測色値画像を求める手続きは以下ようになる。

- (1) 錦絵画像に色値変換関数を適用し、照明ムラを含む XYZ 値画像を作成する。
- (2) 無彩背景画像に色値変換関数を適用し、照明ムラ情報を表わす Y 値画像を作成する。（ X と Z の値は不要。）
- (3) (1)の画像の各画素の XYZ 値を、(2)の画像の対応する画素の Y 値で割り、照明ムラを除去した XYZ 値画像を作成する。
- (4) (1)の画像に写しこまれた無彩色票の Y 値がその色票の視感反射率に一致するように、画像の XYZ 値を相対化して、物体色の XYZ 値に変換した画像を作成する。

この場合、色値変換関数は、均一の照明を各色票に照らして均一の条件で撮影した画像の RGB 値と対応する XYZ 値とからあらかじめ作成しておく必要が生じる。さらに照明の経年変化の影響を避けるには、定期的に色値変換関数を作り直す必要がある。これについての詳しい議論は文献[21]にて行った。

2.3.4 より簡便な色値変換関数の求め方

もし資料画像が照明ムラを含まないと仮定すると、すべての資料情報画像には GretagMacbeth ColorChecker が一緒に撮影されているので、この 24 色票を手掛かりに、各画像ごとに色値変換関数を求めることができる。すなわち、各色票の RGB 値を資料画像から抽出し、あらかじめ測定した色票の（物体色の） XYZ 値¹⁵との対応から色値変換関数を推定する。この方法は簡便であり、物体色が直接求められることと、照明の経年変化に左右されにくい利点がある。

今回の撮影では、照明の均一性は撮影を担当するカメラマンによって厳密に保たれており、図 2.8(b)の無彩背景画像においても、照明ムラはほと

¹⁵各色票の分光反射率をコニカミノルタ製 CM-2600d にて計測し、 D_{65} 光下での XYZ 表色系値を計算した。

んど観測されなかったため、この簡便な方法が使えると判断した。

色値変換関数として、Hong らの提案した色変換行列[25]のうち 3×11 行列 ($R, G, B, RG, RB, GB, R^2, G^2, B^2, RGB$, 定数項) を用いた。すなわち

$$[X Y Z]^T = A[R G B RG RB GB R^2 G^2 B^2 RGB 1]^T$$

を満たす A (3×11 行列) を求めた。

元の撮影画像と、そこから得られた測色値画像を図 2.10 に示す。もとの画像では絞り値を変えて撮っているため画像の暗い明るいがあるが、測色値画像はまったく同じ明るさになっていることがわかる。

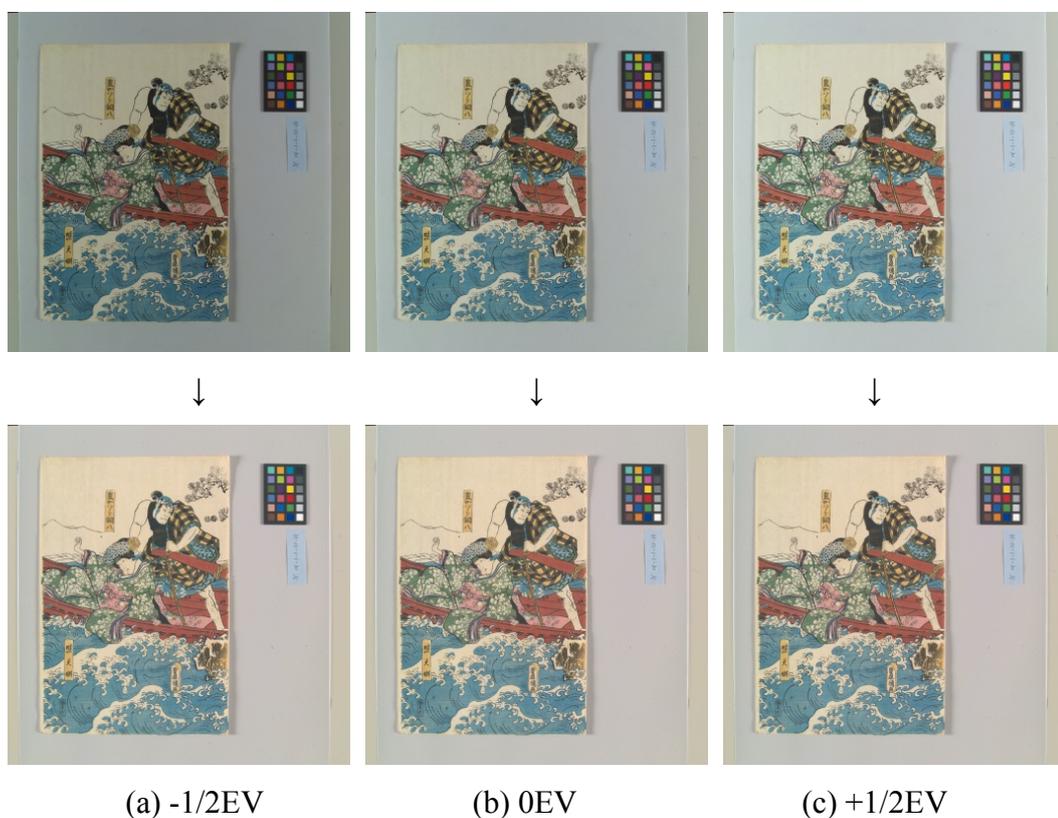


図 2.10 元の撮影画像と得られた測色値画像

2.3.5 得られた色値変換関数の評価

表 2.3 は、ColorChecker 色票の各色票 (図 2.11 に各色票の番号を図示した) について、色値変換関数によって求めた推定値の (4,258 枚すべての画像についての) 平均値と実測値との関係を $L^*a^*b^*$ 表色系上で示したもので

ある。推定値と実測値の色差は、 ΔE^*_{ab} の平均値で約 2.83 となった。

どの色票についても、 L^* 値はおおむね正しく推定されている（最大でも 13 番色票の 1.48 で他は 1 未満）が、実測値と推定値との色差が大きい色票

表 2.3 ColorChecker の各色票の実測値と推定値（平均値）との比較 ($L^*a^*b^*$ 表色系上での評価)

| No | 実測値 | | | 推定値（平均値） | | | 色差 | | | |
|----|-------|--------|--------|----------|--------|--------|-------------------|----------------|----------------|----------------|
| | L^* | a^* | b^* | L^* | a^* | b^* | ΔE^*_{ab} | $ \Delta L^* $ | $ \Delta a^* $ | $ \Delta b^* $ |
| 1 | 37.15 | 12.69 | 13.91 | 36.98 | 16.11 | 12.61 | 3.66 | 0.17 | 3.42 | 1.30 |
| 2 | 65.61 | 13.50 | 17.29 | 66.37 | 16.10 | 18.29 | 2.89 | 0.77 | 2.60 | 1.00 |
| 3 | 50.17 | -0.49 | -22.47 | 50.83 | -0.46 | -22.09 | 0.76 | 0.66 | 0.03 | 0.38 |
| 4 | 42.81 | -14.62 | 21.11 | 43.34 | -12.41 | 23.28 | 3.14 | 0.53 | 2.21 | 2.17 |
| 5 | 55.27 | 10.85 | -23.71 | 55.86 | 13.67 | -23.18 | 2.93 | 0.59 | 2.82 | 0.53 |
| 6 | 69.35 | -30.53 | 1.33 | 69.27 | -33.44 | 0.98 | 2.93 | 0.08 | 2.91 | 0.35 |
| 7 | 59.87 | 29.65 | 55.36 | 59.49 | 26.11 | 55.32 | 3.56 | 0.39 | 3.54 | 0.04 |
| 8 | 41.24 | 14.94 | -42.30 | 40.83 | 10.68 | -42.81 | 4.31 | 0.41 | 4.26 | 0.52 |
| 9 | 50.44 | 44.80 | 14.08 | 50.28 | 43.41 | 11.89 | 2.60 | 0.16 | 1.39 | 2.19 |
| 10 | 29.81 | 24.90 | -22.18 | 29.75 | 25.12 | -21.94 | 0.34 | 0.07 | 0.23 | 0.25 |
| 11 | 70.73 | -26.75 | 56.13 | 70.79 | -27.27 | 55.69 | 0.69 | 0.05 | 0.52 | 0.44 |
| 12 | 69.71 | 15.79 | 64.97 | 69.22 | 11.81 | 65.70 | 4.08 | 0.50 | 3.99 | 0.72 |
| 13 | 28.84 | 26.29 | -50.62 | 27.35 | 15.53 | -51.42 | 10.89 | 1.48 | 10.75 | 0.80 |
| 14 | 54.55 | -40.14 | 32.02 | 54.45 | -39.23 | 33.52 | 1.76 | 0.10 | 0.91 | 1.50 |
| 15 | 40.08 | 54.18 | 25.12 | 40.93 | 58.62 | 28.85 | 5.86 | 0.85 | 4.44 | 3.73 |
| 16 | 80.84 | -0.73 | 78.56 | 81.00 | 1.38 | 78.13 | 2.17 | 0.16 | 2.12 | 0.43 |
| 17 | 50.04 | 51.04 | -15.69 | 49.63 | 50.11 | -16.25 | 1.16 | 0.41 | 0.93 | 0.56 |
| 18 | 50.20 | -23.67 | -27.19 | 50.44 | -15.75 | -27.28 | 7.92 | 0.24 | 7.92 | 0.10 |
| 19 | 93.84 | -1.26 | 5.52 | 93.84 | -1.39 | 5.46 | 0.14 | 0.00 | 0.13 | 0.06 |
| 20 | 80.56 | -0.73 | 0.81 | 80.44 | -0.84 | 1.05 | 0.29 | 0.11 | 0.11 | 0.24 |
| 21 | 65.90 | -0.03 | 0.29 | 65.58 | 0.50 | 0.06 | 0.66 | 0.32 | 0.53 | 0.22 |
| 22 | 51.53 | -0.79 | -0.48 | 51.07 | 0.18 | -0.87 | 1.14 | 0.45 | 0.97 | 0.40 |
| 23 | 36.32 | -0.57 | -0.90 | 36.16 | 0.06 | -1.96 | 1.24 | 0.16 | 0.63 | 1.06 |
| 24 | 22.27 | 0.05 | -0.82 | 23.16 | -0.97 | -3.39 | 2.91 | 0.88 | 1.03 | 2.57 |
| | | | | | | 平均値 | 2.83 | | | |

も見受けられる。色差が4以上である色票に注目すると、 $|\Delta a^*|$ がほぼそのまま ΔE^*_{ab} に反映されている色票が大半であることがわかる。(表 2.3 中に桃色で図示した部分。)

実測値と推定値の関係を a^*-b^* 平面に図示したものを図 2.12 に示す。実測値と推定値の差が a^* 軸に平行な方向に発生していることがわかる。



図 2.11 ColorChecker の色票とその番号

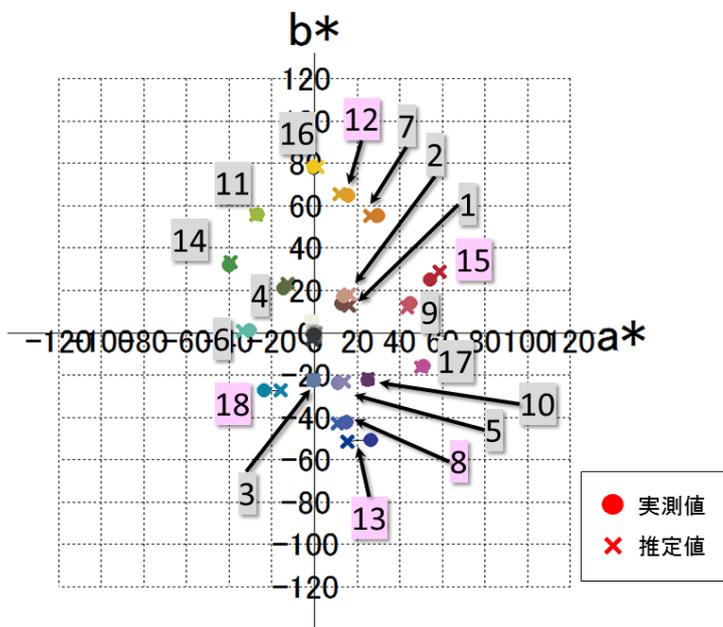


図 2.12 ColorChecker の各色票の実測値と推定値(平均値)の a^*-b^* 平面上での図示

XYZ 表色系上で実測値と推定値の関係を調べた結果を表 2.4 に示す。 $L^*a^*b^*$ 表色系上での色差に比べれば、それほど悪い数字には見えないが、

総じて X 成分の推定がよくない傾向が観察できる。とくに ΔE^*_{ab} が大きい（桃色でマスが塗られている）色票では、各成分の差のなかで X 成分の差が最も大きい（緑色でマスが塗られている）。 $L^*a^*b^*$ 表色系上での推定精度を上げるためには、 X 成分の推定精度を高める必要があることがわかる。

表 2.4 ColorChecker の各色票の実測値と推定値（平均値）との比較（XYZ 表色系上での評価）

| No. | 実測値 | | | 推定値（平均値） | | | 色差 | | | |
|-----|-------|-------|-------|----------|-------|-------|--------------|--------------|--------------|-------------------|
| | X | Y | Z | X | Y | Z | $ \Delta X $ | $ \Delta Y $ | $ \Delta Z $ | ΔE^*_{ab} |
| 1 | 11.11 | 9.53 | 6.64 | 10.75 | 9.62 | 6.39 | 0.36 | 0.09 | 0.25 | 3.66 |
| 2 | 38.88 | 35.81 | 25.78 | 37.05 | 34.82 | 25.58 | 1.83 | 0.99 | 0.20 | 2.89 |
| 3 | 18.09 | 19.12 | 35.24 | 17.55 | 18.56 | 34.66 | 0.54 | 0.56 | 0.58 | 0.76 |
| 4 | 10.96 | 13.39 | 6.72 | 10.36 | 13.03 | 7.04 | 0.60 | 0.35 | 0.33 | 3.14 |
| 5 | 25.72 | 23.77 | 43.30 | 24.47 | 23.20 | 42.88 | 1.26 | 0.58 | 0.43 | 2.93 |
| 6 | 28.36 | 39.73 | 42.39 | 29.20 | 39.84 | 42.21 | 0.84 | 0.11 | 0.18 | 2.93 |
| 7 | 33.01 | 27.56 | 5.70 | 34.50 | 27.98 | 5.85 | 1.49 | 0.43 | 0.14 | 3.56 |
| 8 | 12.70 | 11.76 | 37.99 | 13.62 | 12.02 | 38.14 | 0.92 | 0.26 | 0.15 | 4.31 |
| 9 | 27.10 | 18.65 | 14.60 | 27.62 | 18.79 | 13.80 | 0.52 | 0.14 | 0.80 | 2.60 |
| 10 | 8.35 | 6.13 | 13.94 | 8.36 | 6.16 | 14.10 | 0.01 | 0.03 | 0.15 | 0.34 |
| 11 | 31.72 | 41.88 | 11.28 | 31.80 | 41.80 | 11.09 | 0.08 | 0.07 | 0.19 | 0.69 |
| 12 | 41.43 | 39.65 | 7.29 | 43.48 | 40.34 | 7.73 | 2.04 | 0.70 | 0.43 | 4.08 |
| 13 | 6.30 | 5.22 | 27.33 | 8.05 | 5.77 | 28.49 | 1.74 | 0.55 | 1.16 | 10.89 |
| 14 | 14.06 | 22.40 | 9.26 | 13.98 | 22.49 | 9.79 | 0.08 | 0.09 | 0.54 | 1.76 |
| 15 | 21.37 | 11.82 | 4.53 | 19.70 | 11.30 | 4.99 | 1.67 | 0.52 | 0.46 | 5.86 |
| 16 | 56.13 | 58.47 | 9.63 | 55.01 | 58.19 | 9.40 | 1.11 | 0.28 | 0.23 | 2.17 |
| 17 | 28.08 | 18.11 | 29.50 | 28.77 | 18.45 | 29.60 | 0.69 | 0.34 | 0.10 | 1.16 |
| 18 | 15.07 | 18.79 | 38.84 | 13.63 | 18.59 | 38.42 | 1.45 | 0.20 | 0.42 | 7.92 |
| 19 | 79.98 | 84.90 | 84.67 | 80.04 | 84.89 | 84.58 | 0.06 | 0.01 | 0.09 | 0.14 |
| 20 | 54.29 | 57.47 | 61.39 | 54.53 | 57.67 | 61.88 | 0.24 | 0.20 | 0.49 | 0.29 |
| 21 | 33.20 | 34.78 | 37.82 | 33.45 | 35.20 | 38.09 | 0.24 | 0.41 | 0.27 | 0.66 |
| 22 | 18.41 | 19.33 | 21.53 | 18.60 | 19.73 | 21.74 | 0.19 | 0.39 | 0.21 | 1.14 |
| 23 | 8.65 | 9.09 | 10.56 | 8.65 | 9.18 | 10.29 | 0.01 | 0.08 | 0.27 | 1.24 |
| 24 | 3.59 | 3.85 | 4.85 | 3.42 | 3.59 | 4.06 | 0.18 | 0.25 | 0.79 | 2.91 |

表 2.5 は、色値変換関数による推定値（4,258 枚分）の最大値，最小値，標準偏差を示したものである．最大値と最小値の差は小さく，標準偏差も最大 0.53 と，推定値は非常に安定していることがわかる．このことから，錦絵の撮影において一貫して安定した撮影環境が構築できていたことが

表 2.5 ColorChecker の各色票の
推定値($L^*a^*b^*$ 表色系)の最大値，最小値，標準偏差

| No | 最大値 | | | 最小値 | | | 標準偏差 | | |
|----|-------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|
| | L^* | a^* | b^* | L^* | a^* | b^* | L^* | a^* | b^* |
| 1 | 37.41 | 16.99 | 13.87 | 36.66 | 15.53 | 10.92 | 0.08 | 0.17 | 0.47 |
| 2 | 67.12 | 17.81 | 19.25 | 65.53 | 15.52 | 17.20 | 0.09 | 0.17 | 0.53 |
| 3 | 51.08 | 0.68 | -21.38 | 49.87 | -1.08 | -23.07 | 0.14 | 0.27 | 0.36 |
| 4 | 43.64 | -11.95 | 24.48 | 42.46 | -13.11 | 22.29 | 0.13 | 0.16 | 0.51 |
| 5 | 56.44 | 14.18 | -22.63 | 55.36 | 12.55 | -23.75 | 0.08 | 0.12 | 0.26 |
| 6 | 69.85 | -32.88 | 1.46 | 68.74 | -33.93 | 0.41 | 0.06 | 0.15 | 0.27 |
| 7 | 60.22 | 26.59 | 57.15 | 58.87 | 25.78 | 53.04 | 0.10 | 0.11 | 0.43 |
| 8 | 41.52 | 11.92 | -42.25 | 39.97 | 10.07 | -43.49 | 0.09 | 0.17 | 0.20 |
| 9 | 50.47 | 43.77 | 12.66 | 49.76 | 43.09 | 11.35 | 0.07 | 0.10 | 0.16 |
| 10 | 30.62 | 26.21 | -21.19 | 28.98 | 24.42 | -22.82 | 0.29 | 0.23 | 0.27 |
| 11 | 70.90 | -26.98 | 56.22 | 70.54 | -27.53 | 54.99 | 0.03 | 0.11 | 0.18 |
| 12 | 69.96 | 12.26 | 66.71 | 68.59 | 10.88 | 64.56 | 0.10 | 0.09 | 0.29 |
| 13 | 29.02 | 17.18 | -50.19 | 26.48 | 14.29 | -52.26 | 0.17 | 0.28 | 0.33 |
| 14 | 55.32 | -38.17 | 34.63 | 53.82 | -39.70 | 32.27 | 0.09 | 0.15 | 0.25 |
| 15 | 41.44 | 60.01 | 30.30 | 40.15 | 57.76 | 27.65 | 0.10 | 0.17 | 0.38 |
| 16 | 81.11 | 1.67 | 79.30 | 80.81 | 1.13 | 77.38 | 0.02 | 0.06 | 0.16 |
| 17 | 50.08 | 50.62 | -15.78 | 49.16 | 49.11 | -16.66 | 0.07 | 0.12 | 0.11 |
| 18 | 51.13 | -15.03 | -26.40 | 50.02 | -16.99 | -28.00 | 0.09 | 0.36 | 0.33 |
| 19 | 93.90 | -1.28 | 5.54 | 93.74 | -1.52 | 5.39 | 0.02 | 0.03 | 0.02 |
| 20 | 80.77 | -0.46 | 1.41 | 80.02 | -1.07 | 0.80 | 0.04 | 0.05 | 0.13 |
| 21 | 66.66 | 1.05 | 1.12 | 64.70 | -0.07 | -0.68 | 0.11 | 0.12 | 0.43 |
| 22 | 52.06 | 0.72 | 1.10 | 50.15 | -0.99 | -2.01 | 0.12 | 0.17 | 0.46 |
| 23 | 37.05 | 0.61 | -0.10 | 35.73 | -1.31 | -2.84 | 0.09 | 0.18 | 0.34 |
| 24 | 24.42 | 0.07 | -2.20 | 21.81 | -1.87 | -4.55 | 0.25 | 0.23 | 0.42 |

わかる。

実測値と推定値の色差が大きくなる原因としては、デジタルカメラの感度不足によるノイズ成分の増加，照明に含まれる赤外線・紫外線の強さ，使用したデジタルカメラの可視光外の光のカット能力の不足などが考えられる。

実際の錦絵の色について，実測値と推定値を比較した例を以下に示す。図 2.13 は錦絵「けいせい逢州 坂東三津五郎」（二代目歌川国貞，1864）において測定した7色とその位置を示したものである。コニカミノルタ製 CM-2600d により3回計測した平均値を実測値とし，図の矩形内の画素のXYZ値の平均値を推定値とした。結果は表 2.6 のとおりとなった。赤紫以外は ΔE^*_{ab} は5未満となっており， ΔE^*_{ab} の平均値は 4.14（赤紫を除くと 3.51）となった。ColorChecker 色票による評価に比べれば色差は大きいものの，大幅に悪くはならず，色彩分析に十分耐える測色値画像が得られていることがわかった。

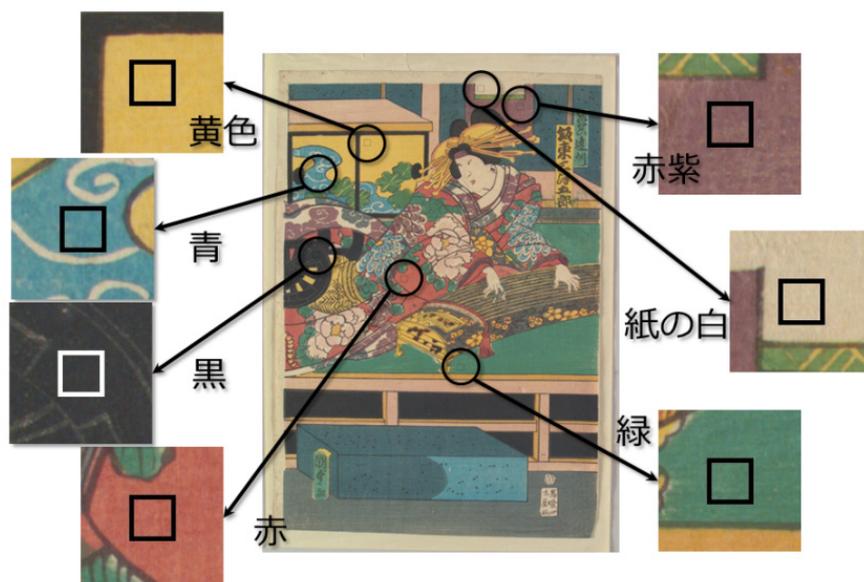


図 2.13 実際の錦絵における実測値と推定値の比較のための各色の測定位置

表 2.6 実際の錦絵の各色の実測値と推定値の比較

(a) XYZ 表色系

| 色 | 実測値 | | | 推定値 | | |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | X | Y | Z | X | Y | Z |
| 紙の白 | 54.37 | 56.87 | 43.51 | 50.72 | 52.61 | 39.78 |
| 赤紫 | 20.05 | 19.30 | 16.84 | 17.40 | 15.57 | 13.94 |
| 黄色 | 48.34 | 50.71 | 19.96 | 47.79 | 49.09 | 17.33 |
| 赤 | 30.04 | 23.68 | 12.63 | 27.68 | 21.46 | 12.11 |
| 緑 | 15.66 | 21.06 | 18.56 | 14.41 | 18.90 | 16.14 |
| 青 | 21.66 | 26.03 | 33.44 | 19.57 | 24.18 | 32.79 |
| 黒 | 4.50 | 4.72 | 4.78 | 4.52 | 4.78 | 5.35 |

(b) $L^*a^*b^*$ 表色系

| 色 | 実測値 | | | 推定値 | | | ΔE^*_{ab} |
|-----|-------|--------|-------|-------|--------|-------|-------------------|
| | L^* | a^* | b^* | L^* | a^* | b^* | |
| 紙の白 | 80.11 | 0.81 | 18.39 | 77.65 | 1.92 | 18.49 | 2.70 |
| 赤紫 | 51.04 | 8.68 | 8.22 | 46.41 | 14.90 | 6.79 | 7.89 |
| 黄色 | 76.50 | 0.40 | 45.88 | 75.50 | 3.19 | 49.38 | 4.58 |
| 赤 | 55.77 | 31.23 | 26.19 | 53.45 | 32.06 | 23.56 | 3.60 |
| 緑 | 53.02 | -23.36 | 8.10 | 50.57 | -20.29 | 8.92 | 4.02 |
| 青 | 58.07 | -13.87 | -7.23 | 56.27 | -16.25 | -9.45 | 3.71 |
| 黒 | 25.93 | 0.14 | 1.74 | 26.10 | -0.25 | -0.66 | 2.44 |
| | | | | | | 平均 | 4.14 |

2.4 撮影画像からのカラーチャートおよび錦絵画像の自動切り出し

撮影した錦絵画像の画像分析を行なうためには、測色値画像にするための色修正に加えて、錦絵の部分を切り出す作業を行なう必要がある。そこで、自動的にカラーチャートと錦絵画像を切り出すソフトウェアを開発した[26]。カラーチャートと錦絵は両方とも灰色背景の上に置かれており、カラーチャート上の色票は黒い縁に囲まれている。さらに、カラーチャートの大きさはおよそどの画像でも似たような大きさで撮影されている。ソ

ソフトウェアはこのことを利用して切り出しを行なう。

撮影画像（RAWデータ）は12bitのRGB値をもっているが、カラーチャートの位置を割り出す作業を行なうだけならば8bitデータに丸めても十分である。同時に簡単な正規化を施し、RGB値の最小値が16、最大値が240になるようにする（図2.14(a)）。RGB値の最大値と最小値は、ヒストグラムを作成して、最小値は0から、最大値は255から、度数を累積していき、面積の0.005%に達したところをそれぞれ最大値、最小値となるようにして求める。デジタルカメラのRAWデータは輝度に比例する値を持っているので、正規化した画像のRGB値も、輝度に比例した値となることが期待できる。これで、以下の処理におけるしきい値を容易に決められるようになる。

つぎに、RGB値がすべて50以上となる画素を白、それ以外を白となるように2値化する。これによって背景の灰色は黒に、カラーチャートの枠は白になる（図2.14(b)）。

そして、ラベリングアルゴリズムを適用して、カラーチャート（長辺82.5mm、短辺57.5mm）に似た領域を検索する。このとき、

- 領域を含む最小の長方形を考え、縦横比のずれが25%以内であれば許容する。
- 領域が余りに小さいもの（相対面積1%未満）や大きいもの（10%超）は除外する。
- 領域を含む最小の長方形に対して、領域が40%に満たないものは除外する。

こうして得られた領域の中で最大のものをカラーチャートと判定する（図2.14(c)）。この方法で、4,258枚のうち3,648枚（約85.7%）の抽出に成功した。

カラーチャートを正しく抽出できなかった画像に対しては、パターンマッチングによる抽出を試みた。比較手法には輝度値の相関係数（OpenCV[27]のcvMatchTemplate関数におけるCV_TM_CCoeff_NORMED）を用い、0.7を閾値とした。この結果、残りの610枚の錦絵からもカラーチャートを切り出すことができた。

カラーチャートからの色票の切り出しには、2値化とラベリングアルゴリズムを用いる。白色色票は他のどの色票よりもRGB値が高いことを利用して抽出する。次に白色色票に最も近い2色票を抽出し、一方が明るい灰、もう一方が青になることから、色票の間隔とカラーチャートの回転方向を割

り出す。このようにして各色票の座標を求め、もとの画像から色情報を獲得する (図2.14(d))。

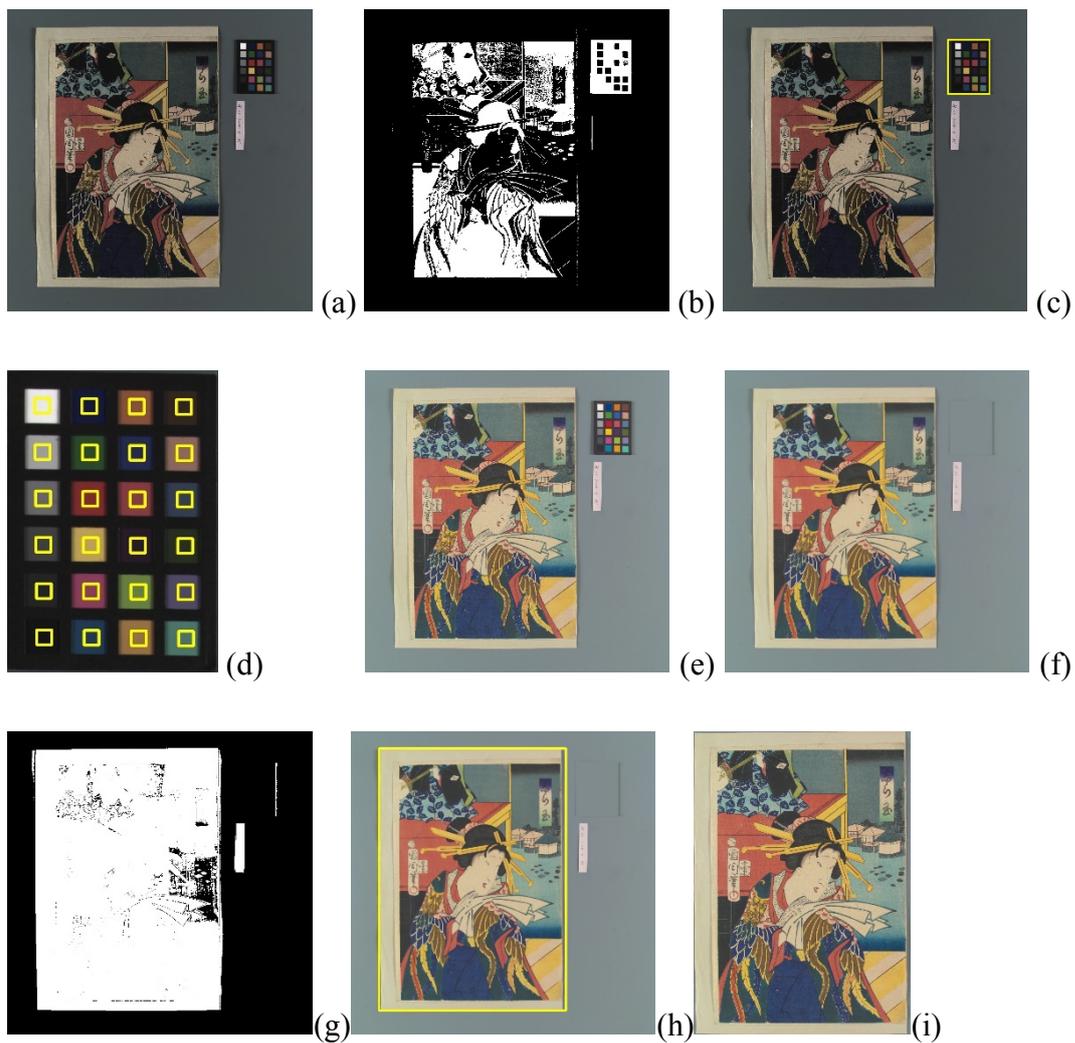
色票の色情報が分かったので、ここで測色値画像を求める (図2.14(e))。正規化された画像よりさらに画像処理パラメタの決定が容易になる。

つぎに錦絵画像の切り出しを行なう。カラーチャートのあった場所を背景の色で塗りつぶして (図2.14(f)) から、2値化 (図2.14(g)) とラベリングアルゴリズムによって、錦絵の位置を検出する (図2.14(h))。なお、錦絵画像の切り出しに使う (測色値) 画像は、画素数を少なくしておき、処理の高速化を図る。

最後に、もとのサイズの画像から検出した位置の画像を取り出し、錦絵画像の抽出は完了する (図2.14(i))。

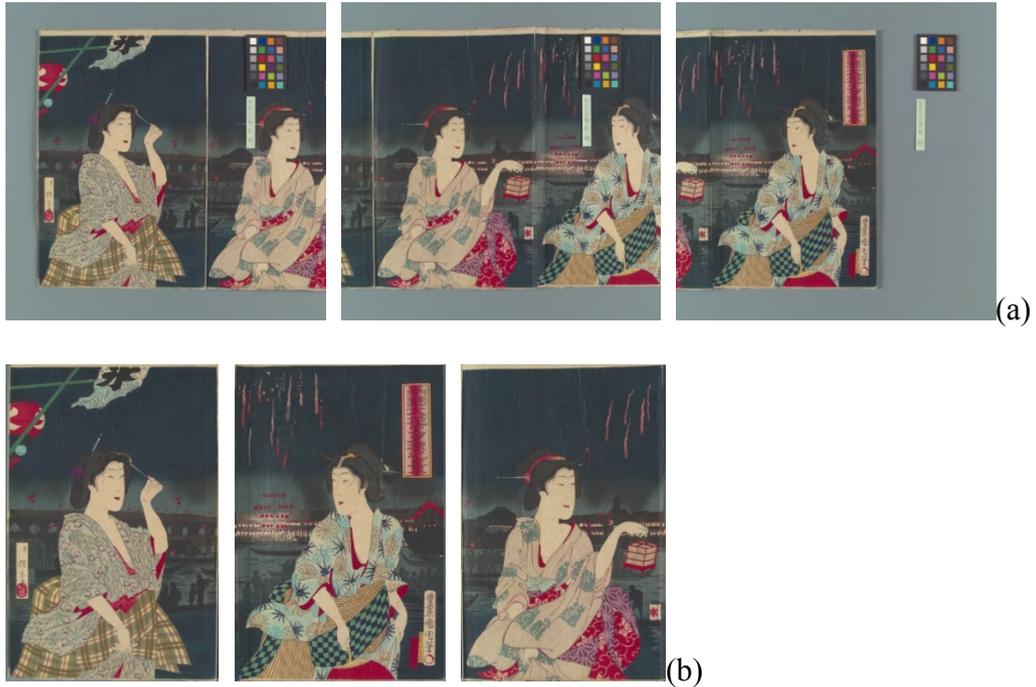
カラーチャートがすべて自動的に抽出可能であったのに対し、錦絵画像の自動抽出は容易ではなかった。撮影した錦絵の中には、のり付けされて結合されており、自動的な分割が不可能なものがあった。たとえば図2.15(a)では、3枚の錦絵が横一列につながっている。これをもし自動的に分割しようとするれば、それぞれの錦絵のつなぎ目を自動抽出しなければならない。図2.15(b)に、手動で分割した画像を示す。4,258枚のうち、978枚 (約23.0%) の錦絵は手動で抽出を行った。

こうして、すべての撮影画像について錦絵画像の切り出しが完了した。



(a) 正規化された撮影画像 (b) カラーチャート検出のための 2 値化画像
(c) チャート位置の検出 (d) 色票の抽出 (e) 色修正画像 (測色値画像) (f)
カラーチャートを隠した画像 (g) 錦絵検出のための 2 値化画像 (h) 錦絵
の位置の検出 (i) 抽出された錦絵画像

図 2.14 カラーチャートと錦絵画像の自動抽出



(a) つながっている錦絵 (b) 手で分離した錦絵の画像
 図2.15 つながった状態で撮影された錦絵とその分離

2.5 まとめと課題

カラーチャートと錦絵画像の自動切り出し技術を開発し、2003年度から2008年度にかけてデジタルカメラにより撮影した4,258枚の錦絵画像の色修正ならびに錦絵画像の抽出を行って、色彩分析に耐える精度をもつ測色値画像を作成した。

初代の撮影システムは、2008年度で利用を終了し、2009年度からは第2世代の撮影システムにより撮影を継続している（表2.7）。機種は変わっているが、内容や撮影方法は変わっていない。異なる撮影システムから得られる測色値画像の比較検討が残された課題である。とくにフラッシュキセノンランプについては、新たに導入した Broncolor Litos の分光分布を計測し、公称の色温度(5500K)とのずれや、以前のストロボとの光の成分の比較などを行なう必要がある。

画像データの館外への公開については、現時点では未定である。画像の諸権利にまつわる問題について館内で包括的な合意を形成する必要がある。しかし、その有用性と社会的意義とに鑑み、なるべく大量の資料画像をよ

り制限のない形で広く世界に公開していく方向で取り組んでいきたい。

表 2.7 第 2 世代の撮影システムの構成

| Digital still camera unit | |
|---------------------------|-----------------------------|
| Body (with CCD) | Sony DSLR-A900 |
| Lens | Sony 100mm f/2.8 Macro Lens |
| Pixels | 6048x4032 |
| Color depth | 36bits (RGB 12bits) |
| Flash Xenon lamp unit | |
| Lamp | Broncolor Litos |
| Power supply | Broncolor Senso A2 |
| Color temp. | 5500k |

第3章

錦絵に用いられた色の 変遷の計量的分析

3.1 概要

本章では、錦絵に用いられた赤、橙、青の3つの色の着色料の変遷について、分光反射率計測ならびにデジタルカメラで撮影し色修正を行った測色値画像を用いて分析した結果について述べる。

赤色の着色料については、1860年代からそれまでの着色料に変わって爆発的に用いられるようになる新着色料の存在と、使われ始めた時期について、測色値画像および分光反射率計測の結果から明らかにする。

橙色の着色料については、赤色の着色料と同様の分析を行った結果、1860年代に起こった赤色着色料の変化は橙色に波及していないことと、新しい橙色単独の着色料が1900年前後に使われ出したことを示す。

青色の着色料については、天然藍と、1830年代から爆発的に使われるようになるプルシャンブルー（ペロ藍）の識別が近赤外線画像により可能であることを示す。

なお、本章の内容は、AIC2013[28]、AIC2014[29]、日本色彩学会第44回全国大会[30]、同第45回全国大会[31]での発表内容、ならびに Journal of the International Colour Association 誌採録論文[22]をもとに再構成した。

3.2 測色値画像からの錦絵の赤色の変遷の検出

3.2.1 分析する錦絵の選定

新しい赤色は1860年代に登場したとされる。新しい赤色を用いた錦絵は赤絵と呼ばれ、幕末・維新期の新しい時代を示す象徴として流行した[32,33]。しかし、具体的にいつから使われ始めたかについての科学的な調査はこれまでなされていない。

図3.1において、左側の錦絵は1850年に刷られた絵、右側は1879年に刷られた絵である。異なる赤色が使われていることがわかる。古い赤色は黄色みを帯びた赤の色相(≈10R Munsell Hue)で中程度の彩度(≈8 Munsell Chroma)をもち、かたや新しい赤は純粋な赤に近い色相(≈2.5R)と強い彩度(≈14)をもつ。

分析の対象として、1751年から1934年の間に作られた2,561枚の錦絵を歴博の錦絵データベース[20]から選んだ。データベースの件数は2,340件で

あるが、2枚組、3枚組といった複数枚のセットになっているものは1件として数えている。2,340件のうち、作成年の情報が付与されているものは2,012件あった。そのうち、1,870件2,709枚の画像が撮影済みであった。さらに、この中から、赤色が全体の0.2%以上存在するものを分析対象とした結果、2,561枚の画像が選ばれた。(表3.1を参照。)

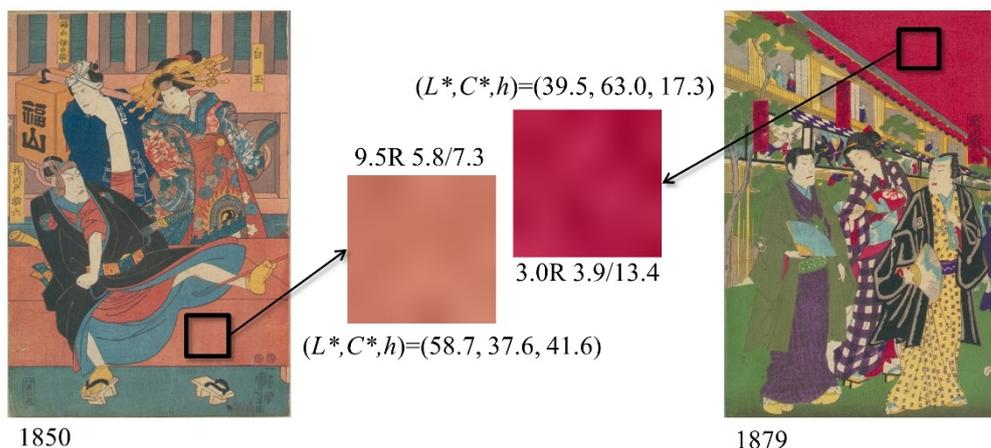


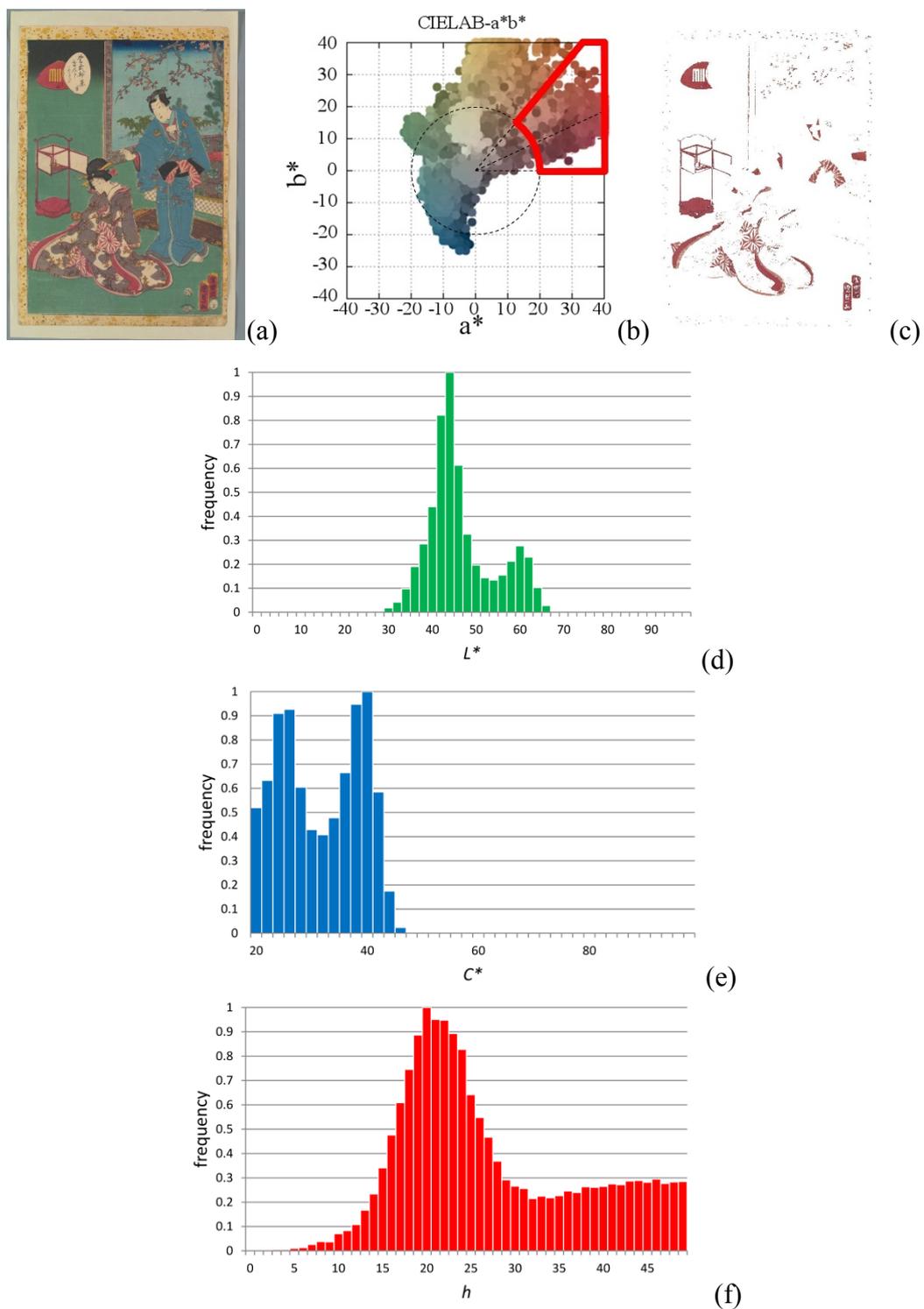
図 3.1 新旧の赤色の比較

表3.1 分析対象とする錦絵画像の数

| | データベース上の件数 | | 錦絵の枚数 | |
|---------------------|------------|-----------|-------|-----------|
| | 全体 | 作成年が分かるもの | 全体 | 作成年が分かるもの |
| 錦絵データベースに収録 | 2,340 | 2,012 | | |
| すでに撮影済み | 2,172 | 1,870 | 3,093 | 2,709 |
| 赤色を含む (面積0.2%以上) | | | | 2,561 |

3.2.2 ヒストグラムの観察

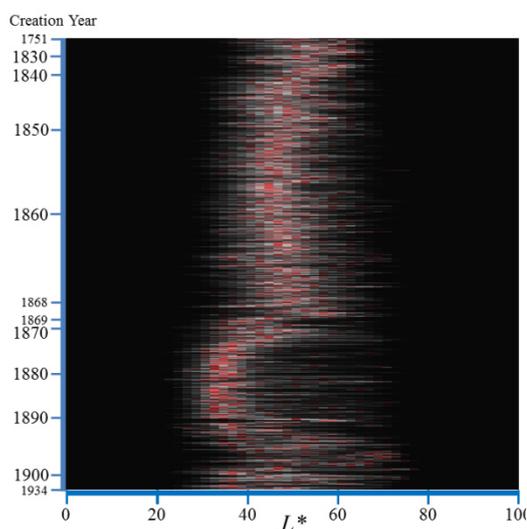
錦絵の画像(図3.2(a))から、強い赤色($C^* \geq 20, 0^\circ \leq h \leq 50^\circ$, 図3.2(b))を抽出し(図3.2(c)), 赤の明度(L^*), 彩度(C^*), 色相(h)それぞれについてヒストグラム(図3.2(d),(e),(f))を作成した。



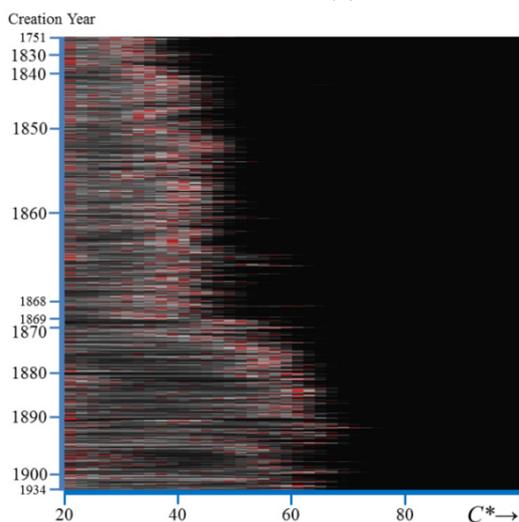
(a) 錦絵画像 (b) 色分布 (a^*b^* 平面) (c) 抽出した赤色
 (d) 明度ヒストグラム (e) 彩度ヒストグラム (f) 色相ヒストグラム

図 3.2 錦絵画像からの赤色情報の抽出

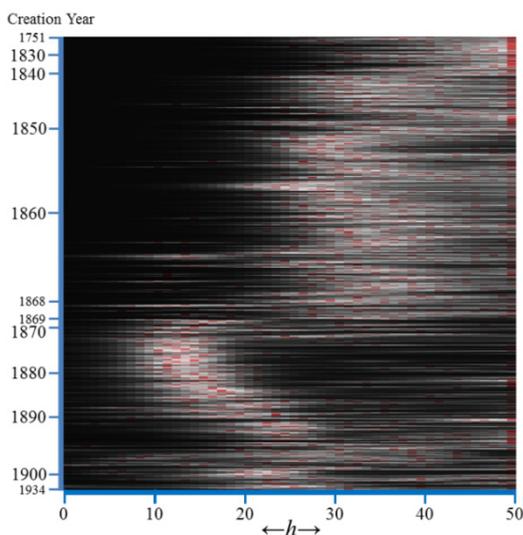
図 3.3(a),(b),(c)は、明度、彩度、色相の各ヒストグラムを積層化して表示したものである。図の横線の 1 本 1 本がひとつのヒストグラムに対応し、最大値を 1 に正規化し、度数値(0~1)を L^* に比例した明暗(0 を黒($L^*=0$), 1 を白($L^*=100$)) で表わしている。(ただし度数 1 は赤色で表わしている。) ヒストグラムは作成年の順に積み上げられている。図 3.3(c)からは、1869 年以前の大部分の錦絵では色相 h は 25 以上であること、1869 年以降に小さい h (25 未満) の赤色が出現することがわかる。図 3.3(b)からは、1869 年以前の錦絵では彩度 C^* は 50 未満であり、逆に 1869 年以降は C^* が 50 以上の錦絵が大勢になることが読み取れる。1869 年以降に新しい赤色が盛んに使われることが明確に読み取れるが、1869 年が初出というわけではなく、1869 年以前でも小さい h をもつ赤色の使用が認められる。



(a) 積層化明度ヒストグラム



(b) 積層化彩度ヒストグラム



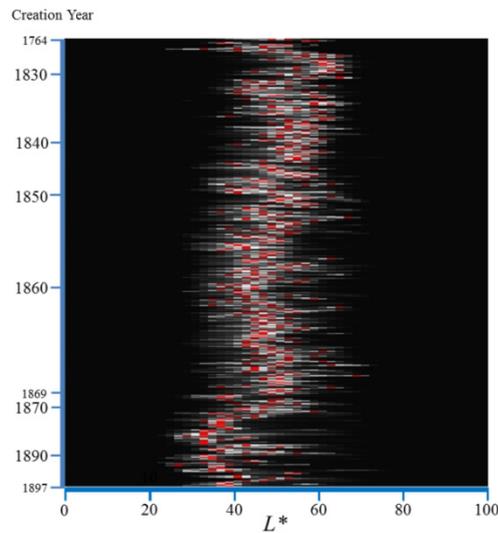
(c) 積層化色相ヒストグラム

図3.3 2,561枚の錦絵の積層化ヒストグラム

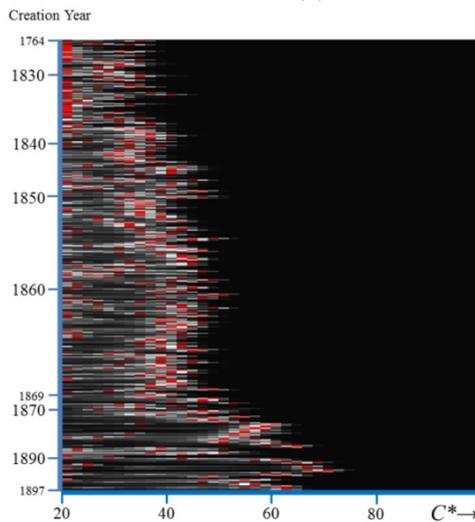
3.2.3 より精密な分析

作成年は必ずしも印刷年と一致しないことに注意しなければならない。錦絵によっては数年～数十年の長期間にわたって繰り返し印刷されるものがある。錦絵の作成年は、絵の上に残された検閲印などによって知ることができるが、実際に印刷された年を知ることは大変難しい。

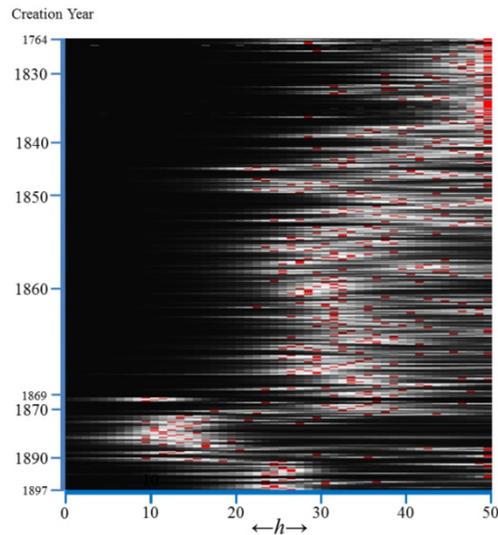
ただし、新しい芝居が上映されるときに作られる錦絵については、その時にしか印刷されないため、印刷年を精密に特定することができる。そこで印刷年を特定できる479枚の錦絵を2,561枚の中から選び、ふたたび積層化ヒストグラムを作成した(図3.4(a),(b),(c))ところ、1869年に小さい色相 $h(\approx 10^\circ \sim 20^\circ)$ をもつ赤がはじめて使われ始めたことが明快に示された。



(a) 積層化明度ヒストグラム



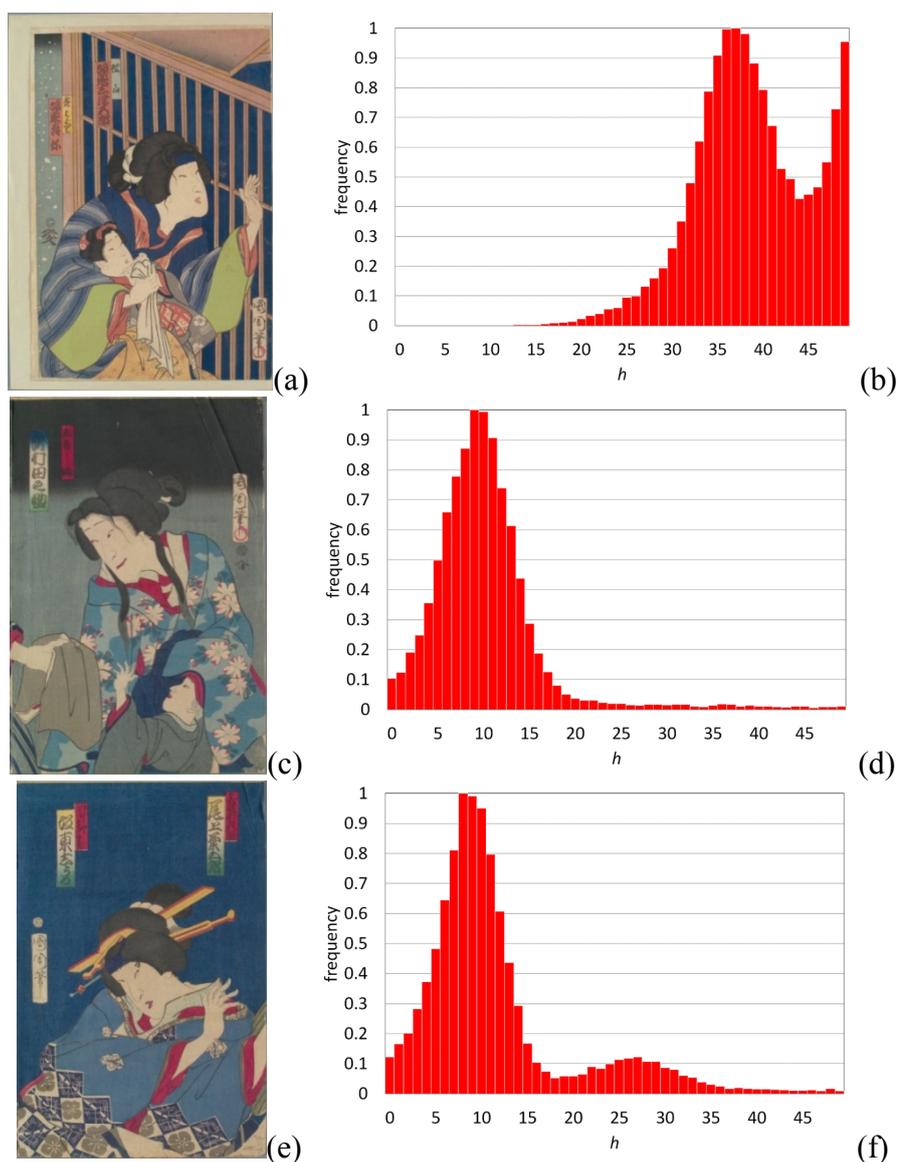
(b) 積層化彩度ヒストグラム



(c) 積層化色相ヒストグラム

図3.4 479枚の錦絵の積層化ヒストグラム

図3.5は、分析した錦絵の中で、1869年の初旬に新しく上演された芝居の錦絵について比較したものである。ここからは、新しい赤色が1869年の4月か5月に使われ出したことが示唆される。以上の結果より、新しい赤色の存在と使われ始めた時期とを、測色値画像から計量的にかつ精密に確かめることができた。



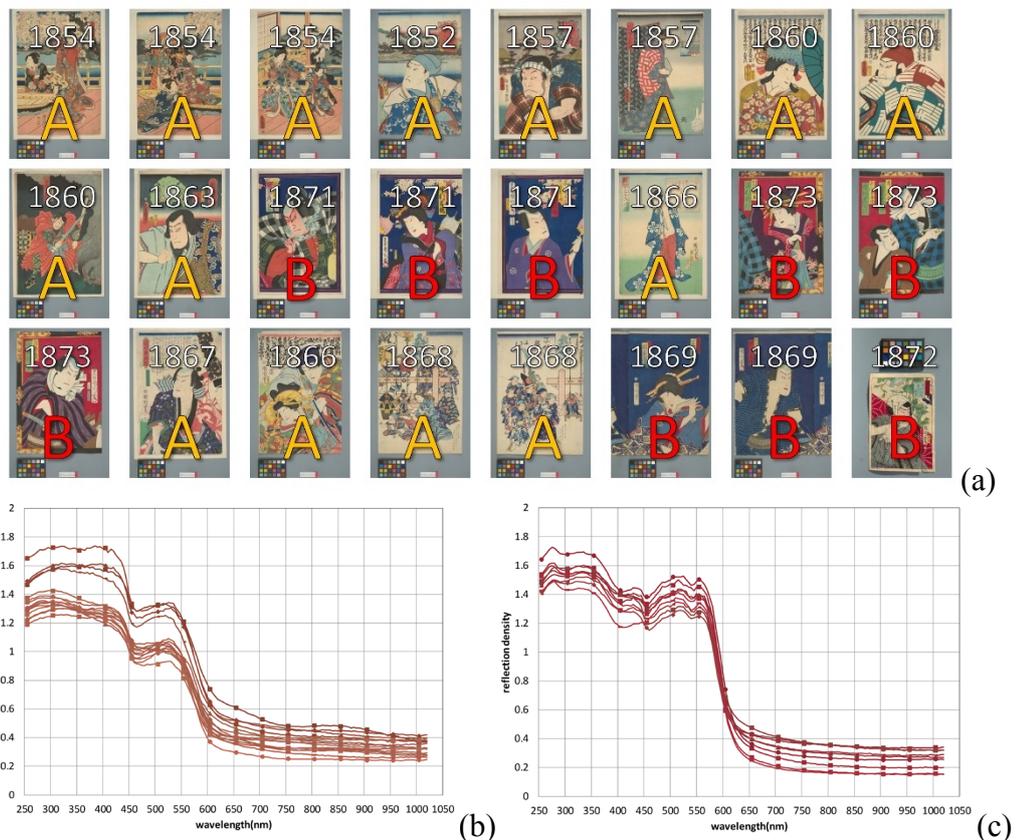
(a) 「鼠小紋菊重扇染 (ねずみこもんきくのいろあげ)」, 中村座, 1869年3月13日 (b) (a) の色相ヒストグラム
 (c) 「好色芝紀島物語 (こうしょくしきしまものがたり)」, 守田座, 1869年4月30日 (d) (c) の色相ヒストグラム
 (e) 「百音鳥雨夜蓑笠 (ほととぎすあまよのみのがさ)」, 中村座, 1869年5月28日 (f) (e) の色相ヒストグラム

図 3.5 1869年初旬の芝居絵とその色相ヒストグラム

3.2.4 分光濃度による分析

われわれが見出した新しい赤色は、1860年代から急速に使われ出した新しい赤色着色料の可能性が非常に高い。専門書によれば、この赤色着色料は、海外から輸入されたアニリン染料の一種であるとされている[32,33]が、これは非常に疑わしい。この色はモーブや他のアニリン染料の色とは似ていない。19世紀の日本では「(化学的)合成染料」の意味で「アニリン染料」という用語を用いていたともいわれている[34]。

新しい赤色着色料の存在は、分光計測によっても確認できる。図3.6は、2つの錦絵のグループに含まれる赤色について分光濃度のグラフを比較したものである。グループAの13枚の錦絵は、1852年から1868年に作成されたもの、グループBの9枚の錦絵は、1869年から1873年に作成されたものである。同じグループ内の分光曲線は互いに似ているが、グループAとBとでは明らかに違うことが見て取れる。分光曲線の違いは着色料の違いを示していると考えられる。



(a) 測定したサンプルとグループ分け (b) グループAの分光濃度 (旧赤, 1852-1868) (c) グループBの分光濃度 (新赤, 1869-1871)

図3.6 新旧の赤色の分光濃度分布の比較

近年、新しい赤色着色料の正体として、アントラキノン系色材の可能性が指摘されている[35,36]。コチニール、ラック、ローズマダー、合成アリザリン等が新しい色材の候補である。この謎を解き明かすことが将来の課題である。

新しい赤色着色料が海外から輸入された時期と、錦絵に使われ始めた時期との関係を探ることも興味深い課題であるが、19世紀の対外貿易に関するまとまった記録は残っていないため追及は難しく、継続的な調査が必要である。

3.3 測色値画像からの錦絵の橙色の変遷の検出

錦絵の中で橙色は、黄色の上に赤を重ね塗りして作られる（図 3.7）。そこで、赤色着色料が変化したのであれば、橙色にも影響があるのではないかと考え、分析を試みた。

作成年が 1789 年から 1905 年までの 301 枚の錦絵について分析した。錦絵の画像（図 3.8(a)）から橙色($C^* \geq 20, 40^\circ \leq h \leq 75^\circ$, 図 3.8(b))を抽出し（図 3.8(c)）、橙の彩度(C^*)と色相(h)について、彩度ヒストグラム（図 3.8(d)）ならびに色相ヒストグラム（図 3.8(e)）を作成した。

図 3.9(a),(b)は、彩度ヒストグラムおよび色相ヒストグラムを積層化して表示したものである。赤色の場合と異なり、積層化色相ヒストグラムには特段の特徴は観察できない（図 3.9(b)）一方、積層化彩度ヒストグラムからは、1900 年前後を境として、強い彩度の橙の存在が観測できる（図 3.9(a)）。

高い彩度をもつ橙色について、実際の錦絵を観察した（図 3.10）ところ、錦絵の最晩期に属するもの¹⁶であり、橙色には、黄と赤の重ね塗りではなく、単独の着色料が使われていること、また橙色の他にも、江戸時代には見られない着色料（赤、紫、緑等）が用いられていることが確認できる。この着色料が未知の着色料かどうかは不明であるが、石版画、銅版画などの明治期の日本印刷技術史[32]のなかで位置づけて調べていく必要がある。

¹⁶この後数年で、江戸時代以来の錦絵（多色刷木版画）の印刷技術は途絶することになる[32]。

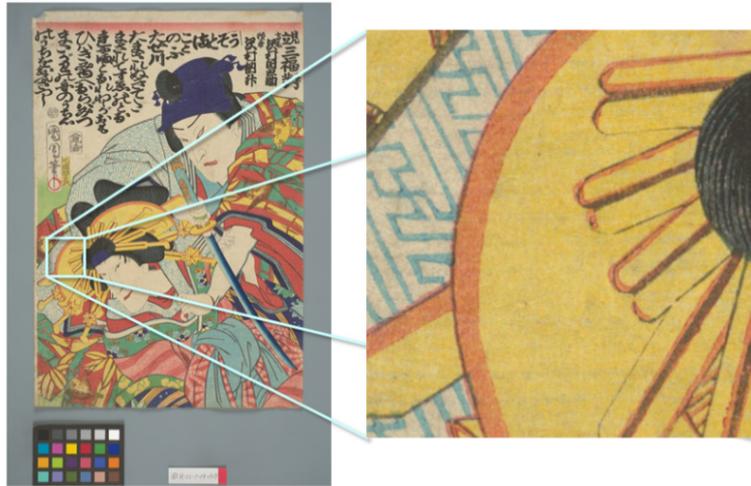
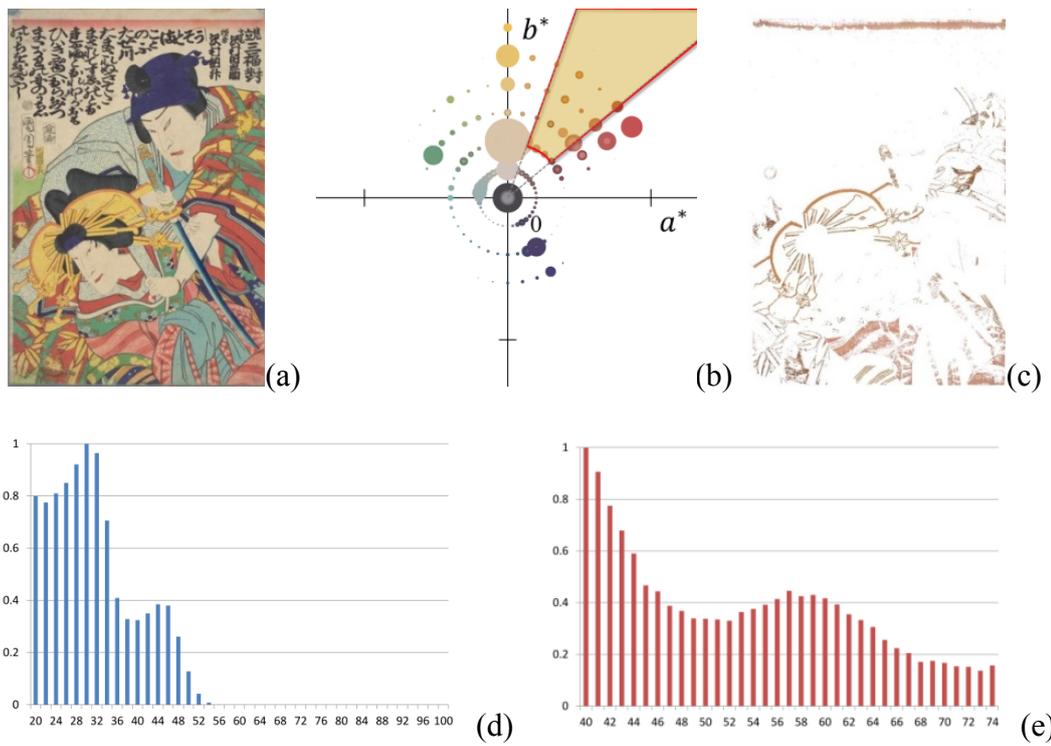


図 3.7 錦絵における橙色の例



(a) 錦絵画像 (b) 色分布 (a^* - b^* 平面) (c) 抽出した赤色
(d) 色相ヒストグラム (e) 彩度ヒストグラム

図 3.8 錦絵画像からの橙色情報の抽出

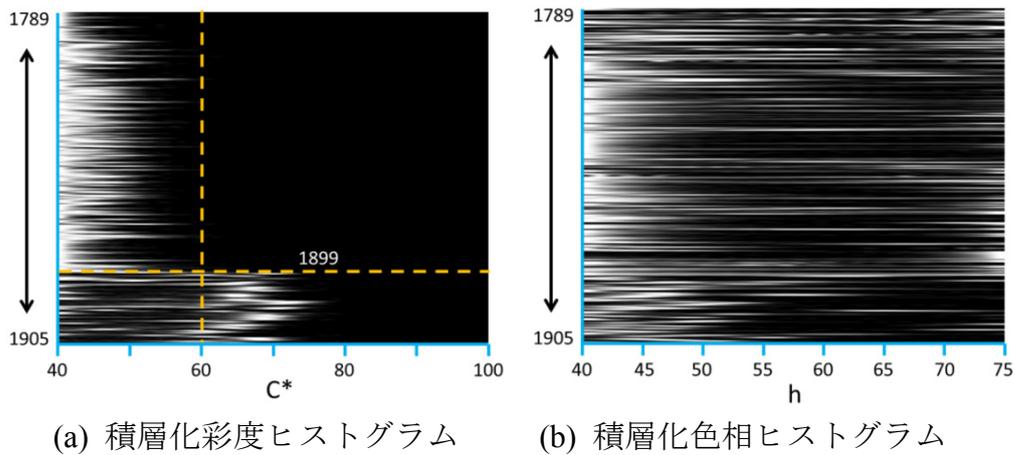


図3.9 301枚の錦絵の積層化ヒストグラム



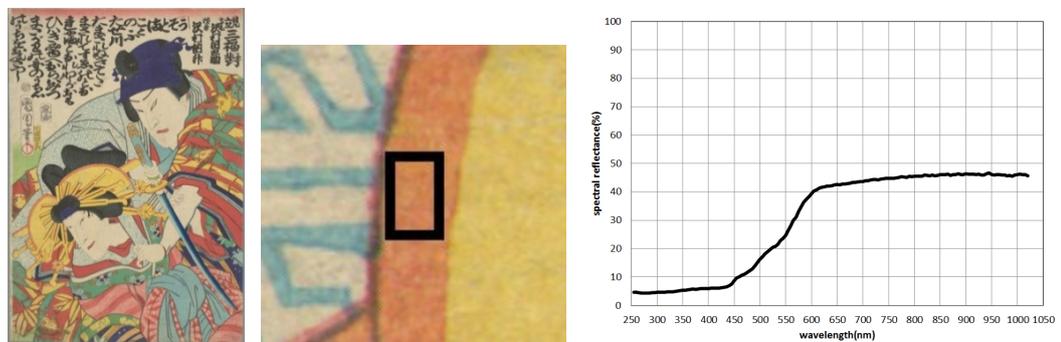
図3.10 新しい橙色が用いられている錦絵の例

図3.11(a),(b)は、新旧の橙色の分光反射率を測定し比較したものである。2つのグラフの形は明らかに異なっている。

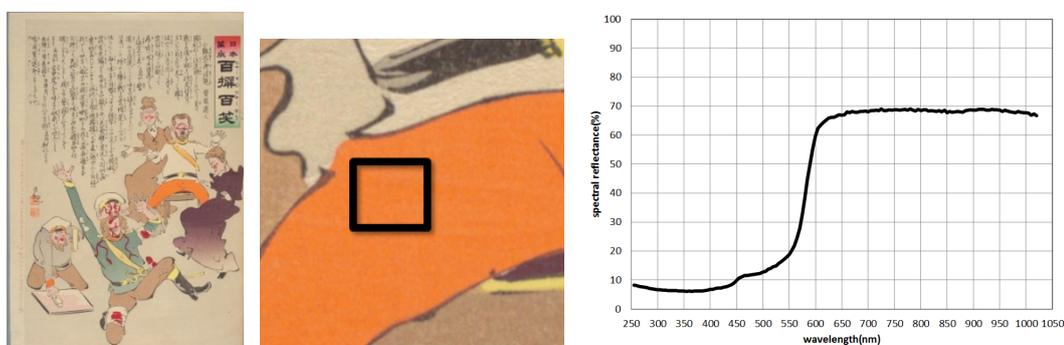
図3.12(a),(b)は、新旧の橙色それぞれの色の刷りの様子を顕微鏡写真でとらえたものである。古い橙色が黄色の上に赤が重ねて刷られている（図3.12(a)）のに対して、新しい橙色は重ね刷でなく単独の橙色色材が用いられている（図3.12(b)）ことがわかる。この結果からは、赤色の変化に合わせて橙色が変化したわけではないことが観察できる。

新しい赤が使われている錦絵資料の中を探したところ、図3.13の例が見つかった。この絵では、簪の部分で橙色になるべき部分が、いくぶん黄色みを帯びてはいるが、赤く印刷されている。新しい赤が濃すぎて背景の黄

色を覆い隠しているのである。当時の錦絵の絵師や刷師が、新しい赤の扱いに十分習熟していないことが想起される。

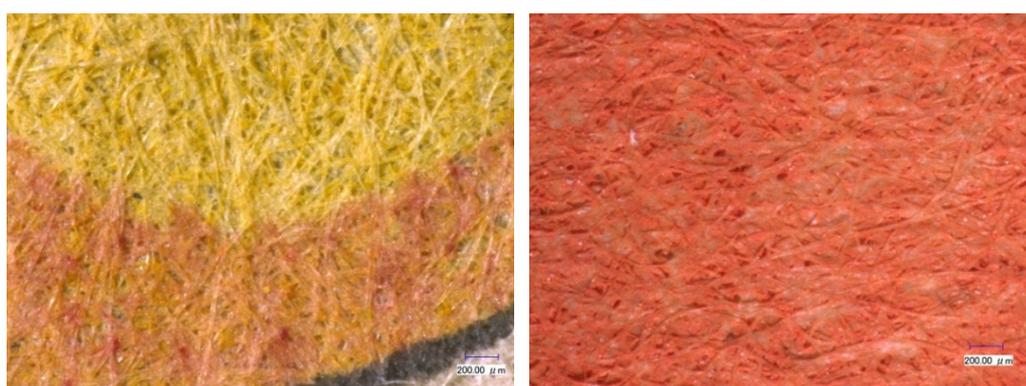


(a) 古い橙色とその分光反射率



(b) 新しい橙色とその分光反射率

図 3.11 新旧の橙色の比較



(a) 古い橙色

(b)新しい橙色

図 3.12 新旧の橙色の顕微鏡写真



図 3.13 新しい赤を用いた橙色の表現が失敗していると思われる例

3.4 近赤外線画像による錦絵の天然藍とペロ藍の判別

3.4.1 青色錦絵の分光反射率の計測

錦絵に用いられる青色の着色料として、露草、天然藍、ペロ藍（ベルリン藍、プルシャンプルー）が知られている[17,37]。ペロ藍は錦絵においては1830年頃より急速に用いられるようになり、数年のうちに、それまで青色着色料として用いられてきた天然藍を駆逐したとされる[18]。下山らは、これら3種類の着色料を和紙に塗布した試料について、可視光領域から近赤外線領域(380nm-950nm)にかけての分光反射率の計測を行ない、三者の違いを特定できること、とくに天然藍とペロ藍については、近赤外領域の分光反射率が高ければ天然藍、低ければペロ藍と判別できることを文献[38]に示した。ただしこの文献には台紙である和紙の分光反射率が示されておらず、計測された分光反射率が着色料のみに依存する値であるかどうか判然としない。また、刷り重ねによる色の濃さと分光反射率の関係にも言及していない。そこでほぼ同一の条件下で実際の錦絵の分光反射率を計測し確かめることとした。

18世紀末から幕末にかけての錦絵9点から、青、緑¹⁷、および紙の白に

¹⁷緑色は青色着色料と黄色着色料を混ぜて作るとされ[37]、測定結果でも、緑色の分光反射率に青色着色料の影響がはっきり認められる。

ついて 29 箇所を選んで分光反射率を測定した。測定に用いた装置は、分光器（オーシャンオプティクス社製 USB-4000-XR1-ES）、光源（オーシャンオプティクス社製 DH-2000-BAL）、測定プローブ（オーシャンオプティクス社製 R400-7-UV/VIS）、および標準白色板（ラブスフェア社製スペクトラロン反射板 SRS-99-010）を組み合わせたもので、得られた測定データから、255nm-1020nm の範囲の 5nm 刻みの分光反射率を計算し、分析に用いた。

専門家が錦絵の内容から推定した各資料の作成年代、そこから予想される青色着色料、および近赤外線領域(700nm-1000nm)での分光反射率を表 3.2 に示す。測定結果は文献[38]の結果を裏付けるもので、天然藍とベロ藍で近赤外線領域の分光反射率に明確な違いが現れることが確かめられた。

表 3.2 錦絵資料の作成年代、予想される青色着色料、および近赤外領域での分光反射率

| 資料番号 | 作成年代 | 予想される青色着色料 | 近赤外領域での分光反射率 |
|------|-----------|------------|--------------|
| 148 | 1838 年 | ベロ藍 | 低 |
| 151 | 1810~20 年 | 天然藍 | 高 |
| 154 | 1820 年代後半 | 天然藍 | 高 |
| 157 | 1792~3 年 | 天然藍 | 高 |
| 160 | 1816 年 | 天然藍 | 高 |
| 164 | 1862 年 | ベロ藍 | 低 |
| 167 | 1854 年 | ベロ藍 | 低 |
| 170 | 1865 年 | ベロ藍 | 低 |
| 173 | 1849 年 | ベロ藍 | 低 |

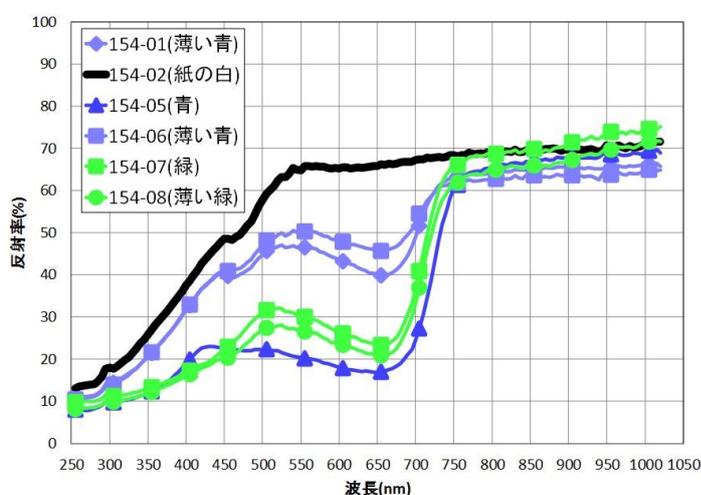
3.4.2 分光反射率の違いの分析

天然藍とベロ藍の分光反射率の違いを示す例として、資料154（天然藍）および148（ベロ藍）の、各測定点における分光反射率のグラフを図3.14 (a),(b)に示す。マーカーのない太線は紙の白を表わし、マーカーのある細線は色つき測定点のデータを表わす。

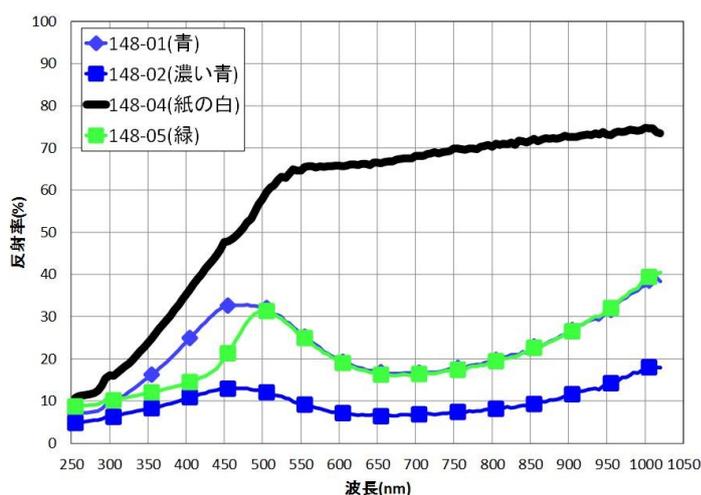
資料 154 のグラフ（図 3.14(a), 天然藍）からは、青か緑の別かによらず、また色の濃さにもよらず、近赤外線領域における分光反射率は類似の値を

とり、しかも紙の白の分光反射率にほぼ等しい。このことは、天然藍（および黄色着色料）が、近赤外線領域で“透明”であることを示している。一方、資料 148 のグラフ（図 3.14(b), ベロ藍）では、色が濃くなるにつれ、分光反射率は観測した波長の全域において低下し、“不透明”であることを示している。

文献[38]では、単純に分光反射率の大小でベロ藍と天然藍の違いを判定しているが、それでは不十分であり、透明半透明を判別するには、紙の分光反射率と比較して判断しなければならないことがわかる。



(a) 資料 154 (天然藍)

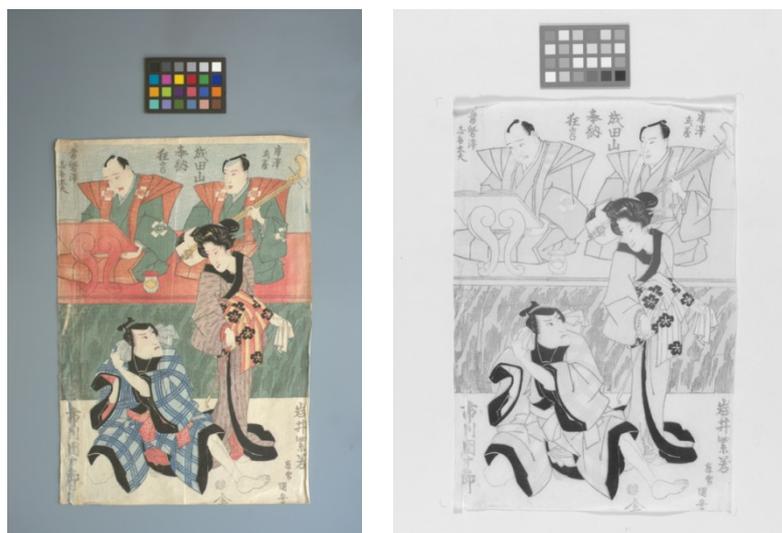


(b) 資料 148 (ベロ藍)

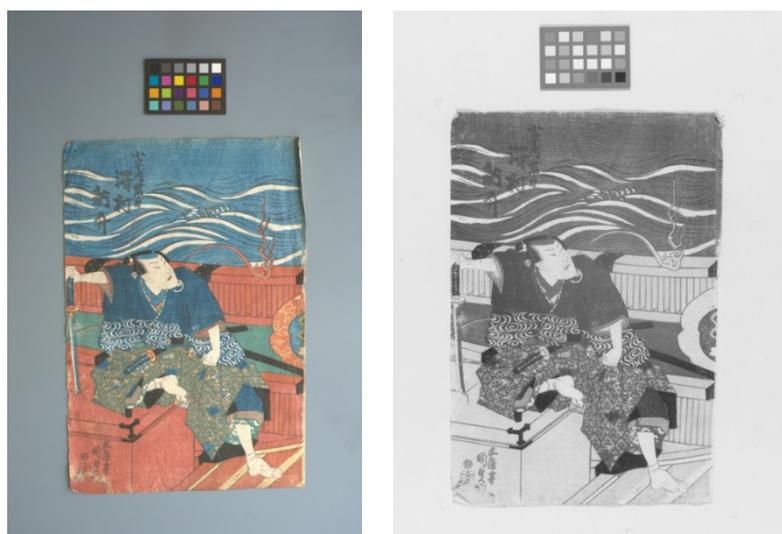
図 3.14 青, 緑, 紙の白の分光反射率

3.4.3 近赤外線画像における天然藍とベロ藍の写り方の違い

資料 154 と 148 の可視光画像ならびに近赤外線画像を図 3.15(a),(b)にそれぞれ示す. 近赤外線画像の撮影には IR カットフィルタを外したデジタルカメラを用い, 富士フィルム光学フィルタ SC-70 を用いて 700nm より短波長側の光をカットした. 画像の濃淡値は GretagMacbeth ColorChecker の白黒色票の明度が可視光画像に等しくなるように調整した.



(a) 資料 154 (天然藍)



(b) 資料 148 (ベロ藍)

図 3.15 錦絵の可視光画像と近赤外線画像

資料 154 (図 3.15(a), 天然藍) では, 嚙子方の背景や男性の衣服の青色がほとんど写らず, 透けていることがわかる. 一方, 資料 148 (図 3.15(b), ベロ藍) では, 背景の海や人物の衣服の青色, 床の緑色などが, 元の刷り色に比例して濃く写っており, 不透明であることがわかる.

近赤外線画像の利用は, 撮影環境を安価に用意でき, 錦絵全体の状況を一度に知ることができるので, 大量の錦絵資料の網羅的調査に有効である.

3.5 まとめと課題

赤, 橙, 青の3つの色の着色料の変遷について, 分光反射率計測ならびにデジタルカメラで撮影し色修正を行った測色値画像を用いて分析を行った.

赤色着色料については, 1869年の4月~5月ごろを境界として, 新しい赤の使用が爆発的に始まった可能性が強いことを, 測色値画像の数量的な分析から明らかにした.

橙色着色料については, 赤色の変化が橙色の変化を促したとはいえないことがわかった. また, 錦絵の再晩期に用いられた単独の橙色着色料の存在を明らかにすることができた.

青色着色料については, ベロ藍と天然藍の違いを表わすとされる近赤外線領域の分光反射率について検討し, 両者の違いは近赤外線領域の透明・不透明に依ることを明らかにした. また, 錦絵の近赤外線画像から天然藍とベロ藍の判別が容易に行なえることを示し, 実際に近赤外線画像を撮影して確認した.

色の変化から色材の変化を直接分析することは困難であるが, 大量のデータを数量的に分析することで, 意味のある結果 (今回は赤色の変遷とその時期) を導くことができたことは, 〈資源〉としての博物館資料の測色値画像の有効な応用を示せたものといえる. 歴博では理化学分析等による錦絵に用いられた色材の詳細な分析が継続される予定であり, 19世紀における緑, 赤紫, 青紫, 黄色などの色材の変遷をとらえることを目標としている.

第4章

スマートフォンを用いた 錦絵のデジタル展示に 関する検討

4.1 概要

本章では、スマートフォンを用いた錦絵のデジタル展示の可能性について考察する。はじめに、2012年夏に国立歴史民俗博物館（歴博）が開催した企画展示「楽器は語る」[39]において行った、来館者が持参したスマートフォンやタブレット端末等の Wi-Fi 機能を備えた携帯端末向けの情報コンテンツを配信する実験について述べる。来館者アンケートとコンテンツへのアクセスログから、実験に参加した来館者の傾向を読み取ることを試みる。つぎに、超大画像自在閲覧システムを用いた錦絵資料の展示の経験を踏まえて、スマートフォンの特徴を生かした錦絵のデジタル展示の手法について検討する。

なお、4.2～4.6 節の内容は、映像情報メディア学会英文誌掲載論文[40]ならびに国立歴史民俗博物館研究報告掲載論文[41]をもとに再構成した。

4.2 博物館における携帯情報端末の現状と課題

来館者に情報端末を持たせて展示の情報を提供する手法は目新しいものではなく、たとえば音声ガイドの貸出しなどが古くから行なわれている。国立歴史民俗博物館では、1994年に最初の音声ガイドレシーバが導入された。外国人、障害者および高齢者の利用を想定して、日本語・英語・中国語・韓国語・フランス語の5か国語で常設展示（第1から第5まで；当時）の解説を聞くことができた（図4.1）。ガイドレシーバは一種の無線受信器であり、展示場の床面に設置されたループコイルから発せられる微弱な電波を受信する。言語切り替えは受信する電波のチャンネル（周波数）を切り替えることで行なう。音声解説はエンドレスで繰り返し流されており、利用者はしばしば、解説音声が最初に戻るまで聞き飛ばさなければならなかった。電波の送信機は別室に設置され、ループコイルの設置および送信機までの配線が必要な大掛かりなものであった。

現在は、音声データをメモリに内蔵した音声ガイド端末を貸し出している（図4.2）。利用者は展示場に示された番号を端末に打ち込んで音声聞く。言語は日本語・英語・中国語・韓国語の4か国語から選択できる。（端末を貸し出すときに再生言語を設定して利用者にわたす。）音声データはメモリカードに書き込む仕組みで、MP3形式の音声データを用意すれば、通

常のパソコンで書き込み作業ができる。一度に 20 台の端末が充電できる専用の充電器も用意され、電波による方式と比べればはるかに安価なコストで運用することができる。

国立民族学博物館が 1999 年にサービスを開始した「みんなく電子ガイド」[42]は、マルチメディア情報を提供する携帯型の展示解説装置である（図 4.3）。映像と音声で構成された展示解説を、展示場の中で自由に選んで見ることができる。日本語版、英語版、中国語版、韓国語版が用意されており、端末を借りるときに各言語版の端末を選択する。

最近では、2012 年 4 月にルーブル美術館でニンテンドー 3DS を用いた展示ガイド「Audioguide Louvre—Nintendo 3DS」のサービスが開始された[43]。任天堂とルーブル美術館が共同で開発したこのガイドは、日本語、フランス語、英語、韓国語、ドイツ語、スペイン語、イタリア語の 7 か国語版が用意され、作品解説、ガイドツアー、現在位置検出機能のほか、主要作品の高精細画像（絵画等）や 3D モデリング（彫刻等）の観賞など、インタラクティブなマルチメディア技術を駆使したものとなっている。

しかしこのような情報端末の貸出は、使用済み機器の消毒、故障のチェック、紛失・盗難等への備え、などのハードウェアの維持管理が必要であり、番組作成等のソフトウェアの制作費用がかかることもあって、多くの場合その導入は、長期間の利用が見込める常設展示や、準備資金が潤沢な企画展などにとどまる。

スマートフォンやタブレット端末等の携帯端末を展示情報端末に利用する試みは、日本では東京国立博物館の「法隆寺宝物館 30 分ナビ」[44]や国立西洋美術館の「Touch the Museum」[45]などが先行事例として挙げられる。これらはいずれも専用のアプリケーションとして提供されており、携帯端末のもつ高度な機能（QR コードの読み取り、GPS や無線 LAN 電波を用いた高精度の位置検出など）を最大限に利用した高機能の展示情報ガイドとなっている。ただしこの方法は、アプリケーションを事前にインストールする必要がある。アプリケーションをダウンロード可能にするための手続き（内容チェック等）や来館者への周知などを考えると、とくに企画展と連動させる場合にはスケジュールに余裕をもたせて開発をすすめるべきではない。また、開発したアプリケーションの維持管理にかかるコストは決して小さくない。



図 4.1 ガイドレシーバ



図 4.2 音声ガイド



図 4.3 みんなく電子ガイド（第2世代機）
（国立民族学博物館より許諾を受けて掲載）

筆者らが必要と考える，携帯端末むけ博物館展示情報サービスの満たすべき要件は以下のとおりである．

- 事前の準備（とくに来館前）が不要であること．

- 常設展や館内設備等の常設的な案内だけでなく、企画展示や講演会等の臨時の催しに関する案内が臨機応変に行なえること。
- 提供情報の更新が博物館自体で実施できること。更新結果が即時に反映されるものであること。
- サービス内容の企画立案からサービスの実施にいたるまで博物館の内部で実施可能であること。また、必要に応じて部分的に作業を外注することが可能であること。
- サービス提供のためのコストがなるべく小さいこと。

これらの要件を満たす方法の一つとして、Wi-Fi を介した Web コンテンツの配信が考えられる。ほとんどの携帯端末は Wi-Fi の電波を受信してネットワークにアクセスし、画像や音声データを含む Web コンテンツを再生する能力をもっている。また、多くの博物館は WWW による情報発信を行っており、Web コンテンツを館内で制作している博物館では、同じスキルで展示情報サービスのためのコンテンツを制作することができる。

一方問題点としては、Web サーバおよび無線 LAN 機器の設置やネットワークの設定をどのようにすればよいか、携帯端末を無線 LAN に接続し、Web ブラウザを起動してコンテンツを呼び出すまでの作業をどう簡素化するか、などが挙げられる。

HTML5 の技術は、種々の端末で利用可能な先進的なマルチメディア情報サービスの提供に有効である。しかし現時点では HTML5 機能のサポート状況は機種によって異なっており、全ての端末で問題なく動作するコンテンツの作成は難しい。最近 HTML5 の最終勧告がなされた[46]こともあり、今後の展開が期待されるが、HTML5 技術への挑戦は今後の課題とし、本論文では除いて考える。

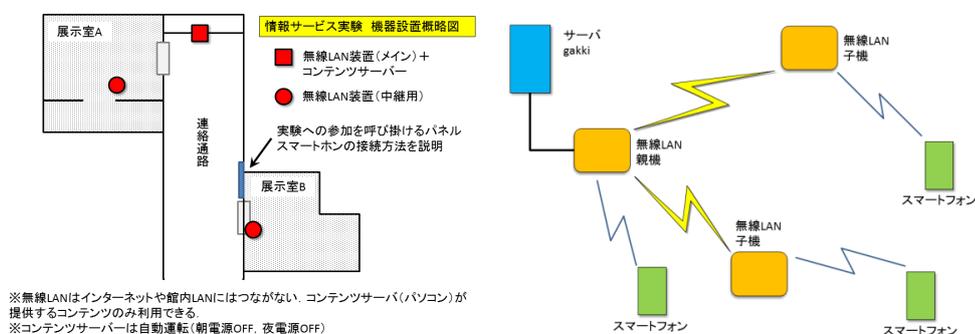
4.3 実験の概要

携帯端末向け情報コンテンツ配信実験の概要について述べる。なお、企画展示の内容ならびに展示室に設置した固定端末から提供したコンテンツの内容については、付録『企画展示「楽器は語る」における音声情報のデジタル展示』を参照されたい。

企画展示室 A, B, およびその連絡通路に無線 LAN 装置 (Buffalo WZR-HP-G302H) を 3 台設置し、SSID 「gakki」の無線 LAN を使用可能と

した. 1 台を親機としてコンテンツサーバとともに連絡通路に設置し, 残り 2 台を中継用の子機として各展示室に設置した. 設定を簡単にするため, 暗号化を施さず, パスワードを設定しないこととした. 安全性を考慮して, インターネットに接続しないこと, サーバから端末へのダウンロード専用とすること, スマートフォン同士の通信を禁止する設定とすること, とした. (図 4.4, 4.5 を参照.)

コンテンツサーバに「<http://gakki>」という URL をもたせ, Web コンテンツを配信した. URL を入力する手間を軽減するため, なるべく短くするとともに, 企画展示室入口に設置した説明パネルにて QR コードを提示して便宜を図った. サーバプログラムには, Window XP 上の IIS6 を使用した.



(左) 図 4.4 コンテンツサーバおよび無線 LAN 装置の設置場所

(右) 図 4.5 本実験における無線 LAN ネットワーク図

4.4 提供したコンテンツ

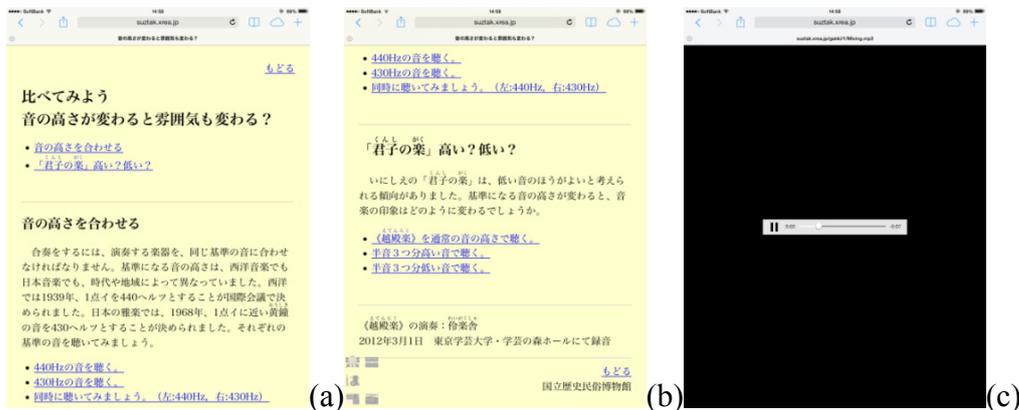
実験を実施するに当たり, 携帯端末を持参する・しないで来館者にサービスの差が生じてはいけないとの考えから, 展示場に設置した固定端末と同一のコンテンツを提供した. ただし通信量と携帯端末の負荷を考慮して音声や画像の品質は適宜調整した. 具体的には, 音声データは MP3 形式 (192kbps CBR) で, 動画データは MP4 形式 (Apple TV H.264 480p) で配信した.

コンテンツは Web コンテンツの型にまとめられ, トップページ (<http://gakki/>) にアクセスすると, 5つのパートから1つを選ぶメニュー画面が現れる (図 4.6). 各パートがそれぞれ5つの端末に対応する.



図 4.6 携帯端末用コンテンツのトップメニュー

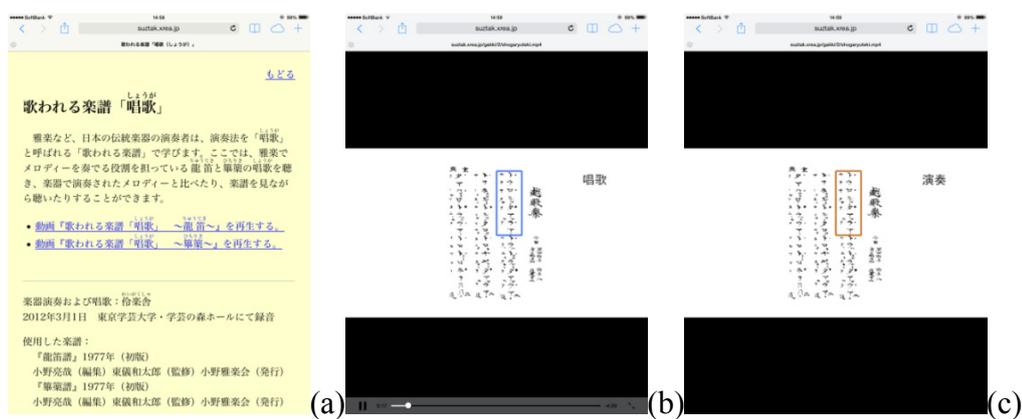
パート1では、コンテンツ「比べてみよう 音の高さが変わると雰囲気も変わる？」を提供する。6つのデータへのリンクが簡単な説明とともに示されている（図 4.7(a),(b)）。リンクを選んで音声データを再生させ（図 4.7(c)）、終わったら端末の「戻る」ボタンを押して戻る。



(a) メニュー（前半） (b) メニュー（後半）
(c) 音声コンテンツの再生中の画面（iOS7の場合）

図 4.7 パート1の画面

パート2では、コンテンツ「歌われる楽譜『唱歌（しょうが）』」を提供する。2つの動画データへのリンクが簡単な説明とともに示されている（図 4.8(a)）。リンクを選んでデータを再生させ（図 4.8(b)）、終わったら端末の「戻る」ボタンを押して戻る。



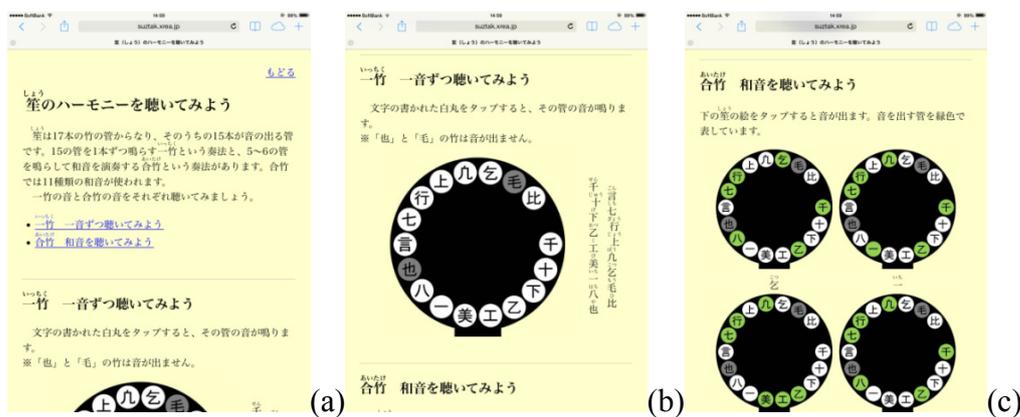
(a) メニュー (b) 動画コンテンツの再生中の画面 (唱歌, iOS7 の場合)
(c) 動画コンテンツの再生中の画面 (樂器演奏, iOS7 の場合)

図 4.8 パート 2 の画面

パート 3 では、コンテンツ「歌われる楽譜『唱歌 (しょうが)』」を提供する。最初に、一竹 (単音) による再生か、合竹 (和音) による再生かを選ぶ (図 4.9(a))。一竹では笙で奏でることのできる 15 個の単音データへのリンクが、笙の竹の配置を表わす図に対して設定されている (図 4.9(b))。合竹では、各和音に対応する指押さえを示した図が、雅楽で用いられる 11 個の和音データへのリンクになっている (図 4.9(c))。再生が終わったら、端末の「戻る」ボタンを押して戻る。

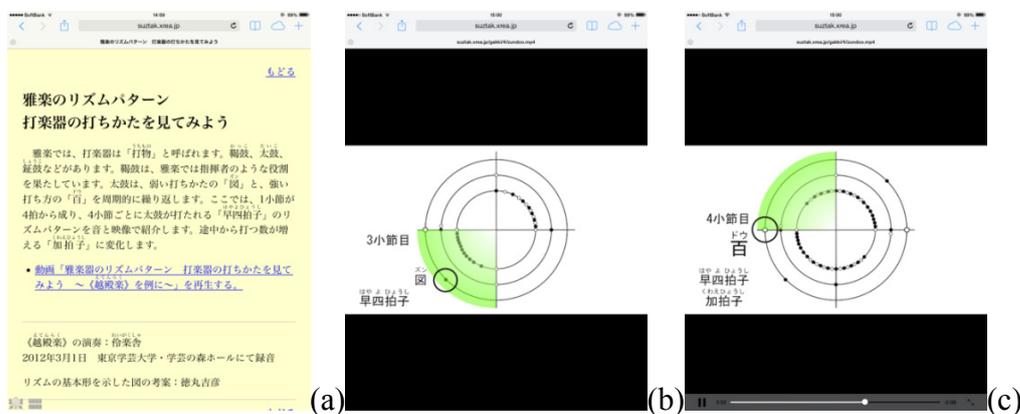
展示室の固定端末と違って、一竹の自由ミキシングはできず、いずれか一つの音源を選んで聴くことしかできない。

パート 4 では、コンテンツ「雅楽のリズムパターン 打樂器の打ち方を見よう」を提供する。動画データへのリンクが簡単な説明とともに示されている (図 4.10(a))。リンクを選んでデータを再生させ (図 4.10(b),(c))、終わったら端末の「戻る」ボタンを押して戻る。



(a) メニュー (b) 一竹の画面 (c) 合竹の画面 (部分)

図 4.9 パート 3 の画面

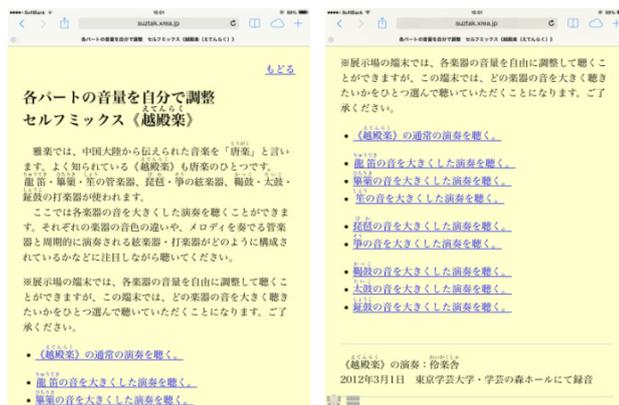


(a) メニュー (b) 動画コンテンツの再生中の画面 (早四拍子, iOS7 の場合) (c) 動画コンテンツの再生中の画面 (加拍子, iOS7 の場合)

図 4.10 パート 4 の画面

パート 5 では、コンテンツ「各パートの音量を自分で調整 セルフミックス《越殿楽》」を提供する。各楽器ごとの演奏と全体演奏の計 9 つの音声データへのリンクが簡単な説明とともに示されている (図 4.11(a),(b))。リンクを選んでデータを再生させ、終わったら端末の「戻る」ボタンを押して戻る。

会場の固定端末と違って、各楽器の音量の自由ミキシングはできず、いずれか一つの音源を選んで聴くことしかできない。



(a) メニュー（前半） (b) メニュー（後半）

図 4.11 パート 5 の画面

4.5 アンケートの集計と分析

展示場にアンケート箱を設置し、来館者に対してアンケートを実施し、性別、年代、本実験に参加したか、携帯端末はうまく設定できたか、コンテンツはうまく再生できたか、コンテンツの内容は楽しめたか、について質問を行った、

企画展示の期間中に合計 46 件の回答があった。46 件中、男性は 10 件、女性は 21 件、無回答は 15 件であった。性別と年齢層の相関を表 4.1 に示す。10 代の女性が 9 件と最も多く、全体としても 40 代までの回答が圧倒的に多い。この結果を持ってただちに「女性からの関心が高い」とまではいいきれない。しかし、このような機械がらみの実験で女性の反応がよい、ということは、スマートフォンが社会にどのように受容されつつあるかを垣間見るようで興味深い。

表 4.1 性別と年齢の関係

| | -10 | 11-20 | 21-30 | 31-40 | 41-50 | 51-60 | 61-70 | 70- | 無回答 | 計 |
|-----|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-----|----|
| 男性 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 1 | 0 | 1 | 0 | 10 |
| 女性 | 4 | 9 | 2 | 3 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 21 |
| 無回答 | 3 | 4 | 2 | 1 | 3 | 2 | 0 | 0 | 0 | 15 |
| 計 | 9 | 15 | 4 | 6 | 6 | 3 | 1 | 1 | 1 | 46 |

携帯端末が設定できた人数，コンテンツをうまく再生できた人数，およびコンテンツの内容評価について表 4.2 に示す。件数が少ないので，性別との相関を見るにとどめた。スマートフォンをうまく設定できた人は，男性では 5/7（約 71%），女性では 10/15（約 67%）にとどまった。スマートフォンの設定ができた人はおおむねコンテンツが再生できたことが分かる。コンテンツの内容を楽しんだ人は，男性では 4/5（80%），女性では 7/10（70%），無回答では 6/9（約 67%）となった。ここからは，携帯端末の設定が利用者にとって決して簡単な作業とはいえないことが読み取れる。

表 4.2 スマートフォンの設定・コンテンツの再生・内容評価

| | 実験に参加 | | うまく設定が | | | うまく再生が | | | コンテンツを | | |
|-------------|-------|-------------------|-------------|------------|-------------|-------------|------------|-------------|----------|-----------------|-------------|
| | した | しな か つ た | で き た | できな かつた | 無 回 答 | で き た | できな かつた | 無 回 答 | 楽し めた | 楽しめ なかつ た | 無 回 答 |
| 男性 | 7 | 3 | 5 | 2 | 0 | 5 | 0 | 2 | 4 | 0 | 3 |
| 女性 | 15 | 6 | 10 | 4 | 1 | 10 | 2 | 3 | 7 | 4 | 4 |
| 無 回 答 | 11 | 4 | 10 | 0 | 1 | 9 | 1 | 1 | 6 | 2 | 3 |
| 計 | 33 | 13 | 25 | 6 | 2 | 24 | 3 | 6 | 17 | 6 | 10 |

これまでスマートフォンは，カメラなどと同様，静かに展示を見たい他の来館者の妨げになるものとして，展示室内での利用を制限する傾向にあったが，スマートフォンが緊急災害情報の受信機としての役目を担いつつあることを合わせて考えると，むしろ積極的に携帯電話の電波を館内で受信できるようにして，情報検索など来館者の理解を助ける使い道については，積極的に開放していくべきではないだろうか。

4.6 アクセスログの解析

4.6.1 全体的な傾向

IIS6 のアクセスログの分析を行った. 各パートごとのアクセス数を表 4.3 に示す.

全体ではのべ 2,370 回アクセスがあった. コンテンツ数の多いパートがアクセスも多い, ということにはなっていない. むしろコンテンツの数に関わらずどのパートのアクセス数も似通っている.

コンテンツがどのようにアクセスされるかは利用者により異なり, 1 つ 2 つのコンテンツを見て満足する利用者もいれば, 多くのコンテンツを網羅的に見ようとする利用者もいる.

表 4.3 各パートごとのコンテンツ数とアクセス数

| No. | コンテンツ数 | 音声/動画 | アクセス数 |
|-----|------------|-------|-------------|
| 1 | 6 (13.6%) | 音声 | 772 (32.6%) |
| 2 | 2 (4.5%) | 動画 | 206 (8.7%) |
| 3 | 26 (59.1%) | 音声 | 675 (28.5%) |
| 4 | 1 (2.3%) | 動画 | 239 (10.1%) |
| 5 | 9 (20.5%) | 動画 | 478 (20.1%) |
| 計 | 44 | | 2370 |

残念ながら, ログには, そのコンテンツをアクセスした端末に関する情報が記録されていなかった. そこで, ひとつのコンテンツがアクセスされた時点からつぎのコンテンツのアクセスまでの経過時間が閾値以下であれば, 同じ利用者が続けてアクセスしたものとみなしてデータのかたまりを作った. 本稿では閾値を 2 分とし¹⁸, 730 個のかたまりを得た. 各かたまりの中でコンテンツにアクセスした回数の度数ならびに累積相対度数 (cumulative relative frequency) を表 4.4 に示す. ただ 1 回のアクセスが全体の半分を越え, 6 回までのアクセスが全体の約 90% を占める.

¹⁸5 分を閾値にして塊を作ることも試みたが, 同様の結果が得られた.

表 4.4 各かたまりにおけるアクセス数の度数と累積相対度数

| アクセス数 | 度数 | 累積相対度数 |
|-------|-----|--------|
| 1 | 409 | 56.0% |
| 2 | 111 | 71.2% |
| 3 | 68 | 80.6% |
| 4 | 31 | 84.8% |
| 5 | 18 | 87.3% |
| 6 | 21 | 90.1% |
| 7- | 72 | 100.0% |

そこで、1 回だけのアクセス、2 回から 6 回までのアクセス、および 7 回以上のアクセスについてどのパートのコンテンツにアクセスしたかを調べた。各パートごとのアクセス数を表 4.5 に示す。

表 4.5 各パートにおける、1 回だけのアクセス、2 回から 6 回までのアクセス、および 7 回以上のアクセスにおけるアクセス数

| No. | 1 | | 2-6 | | 7- | |
|-----|-----|---------|-----|---------|------|---------|
| 1 | 98 | (24.0%) | 237 | (30.8%) | 437 | (36.6%) |
| 2 | 58 | (14.2%) | 80 | (10.4%) | 68 | (5.7%) |
| 3 | 50 | (12.2%) | 180 | (23.4%) | 448 | (37.5%) |
| 4 | 113 | (27.6%) | 74 | (9.6%) | 52 | (4.3%) |
| 5 | 90 | (22.0%) | 199 | (25.8%) | 190 | (15.9%) |
| 計 | 409 | | 770 | | 1195 | |

さらに表 4.5 の結果を各パートのコンテンツ数の相対値とを比較した結果を、図 4.12 に示す。たくさんアクセスした人は、各パートの相対アクセス数が相対コンテンツ数に近づく傾向がみられ、コンテンツを網羅的にアクセスしていることが読み取れる。

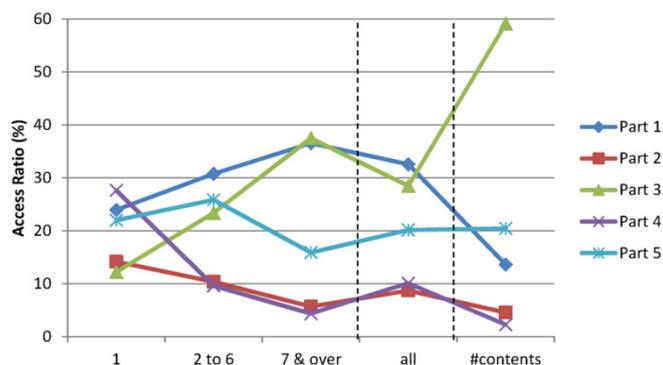


図 4.12 表 4.5 の結果と各パートの相対コンテンツ数との比較

以下、各パートごとにアクセスの傾向をみていく。

4.6.2 パート 1 の分析

パート 1 の各データのアクセス数を表 4.6 に示す。聴き比べることに意味があるコンテンツなので、アクセス数がほぼ同数になることが期待されるが、実際には、見出しが上にあるコンテンツのアクセス回数が多い。アクセス数の少ないユーザほどその傾向が強い。一方、アクセス数の多いユーザは網羅的にアクセスしていることがわかる。

4.6.3 パート 2 の分析

パート 2 の各データのアクセス数を表 4.7 に示す。これも見出しが上にあるコンテンツの方がアクセス回数が多い。たくさんのコンテンツにアクセスしている利用者でも両方にアクセスしている人は少ないことがわかる。再生時間が長い（4分半）であろうか。

4.6.4 パート 3 の分析

パート 3 のコンテンツのアクセス数を表 4.8 に示す。コンテンツを再生するボタンの位置にアクセス数を書き込んだ図を図 4.13 に示す。

一竹では右上のボタンの音がよく選ばれ、合竹では左上の和音がよく選ばれていることがわかる。利用者にとってはどの音も興味の程度は同じな

ため、再生ボタンの配置が再生頻度を決めてしまっていると解釈できる。

4.6.5 パート4の分析

パート4のコンテンツのアクセス数を表4.9に示す。1回だけアクセスした利用者のほぼ4人に1人(113/409)がこのコンテンツをアクセスしていることが特筆される。単に無作為に選びアクセスされた利用者だけでなく、この動画コンテンツを選んでアクセスした利用者が存在することを示唆している。

4.6.6 パート5の分析

パート5のコンテンツのアクセス数を表4.10に示す。全体合奏の etenraku は別にして、他のコンテンツ同様に、やはり上の方に表示されたコンテンツのアクセス数が多いが、biwaがよく選ばれている点が着目される。biwaに特別な関心をよせる利用者の存在が想起される。

表 4.6 パート1における各データのアクセス数

| データ名 | 全体 | 1 | 2-6 | 7- |
|--------------|-----|----|-----|----|
| 1/440Hz.mp3 | 196 | 33 | 85 | 78 |
| 1/430Hz.mp3 | 118 | 11 | 37 | 70 |
| 1/mixing.mp3 | 125 | 14 | 42 | 69 |
| 1/pm0.mp3 | 141 | 19 | 39 | 83 |
| 1/p3.mp3 | 118 | 13 | 23 | 82 |
| 1/m3.mp3 | 74 | 8 | 11 | 55 |

表 4.7 パート2における各データのアクセス数

| データ名 | 全体 | 1 | 2-6 | 7- |
|----------------------|-----|----|-----|----|
| 2/shogaryuteki.mp3 | 149 | 41 | 61 | 47 |
| 2/shogahichiriki.mp3 | 57 | 17 | 19 | 21 |

表 4.8 パート 3 における各データのアクセス数

| データ名 | 全体 | 1 | 2-6 | 7- | データ名 | 全体 | 1 | 2-6 | 7- |
|-----------|----|---|-----|----|-----------|----|---|-----|----|
| 3/T01.mp3 | 51 | 6 | 14 | 31 | 3/A01.mp3 | 98 | 5 | 41 | 52 |
| 3/T02.mp3 | 24 | 0 | 6 | 18 | 3/A02.mp3 | 58 | 3 | 15 | 40 |
| 3/T03.mp3 | 19 | 0 | 5 | 14 | 3/A03.mp3 | 19 | 1 | 8 | 10 |
| 3/T04.mp3 | 29 | 2 | 1 | 26 | 3/A04.mp3 | 27 | 4 | 7 | 16 |
| 3/T05.mp3 | 23 | 3 | 3 | 17 | 3/A05.mp3 | 10 | 1 | 0 | 9 |
| 3/T06.mp3 | 22 | 2 | 7 | 13 | 3/A06.mp3 | 12 | 0 | 1 | 11 |
| 3/T07.mp3 | 9 | 1 | 0 | 8 | 3/A07.mp3 | 11 | 1 | 2 | 8 |
| 3/T08.mp3 | 19 | 2 | 1 | 16 | 3/A08.mp3 | 11 | 0 | 1 | 10 |
| 3/T10.mp3 | 11 | 0 | 1 | 10 | 3/A09.mp3 | 8 | 0 | 2 | 6 |
| 3/T11.mp3 | 26 | 3 | 1 | 22 | 3/A10.mp3 | 10 | 0 | 3 | 7 |
| 3/T12.mp3 | 22 | 0 | 5 | 17 | 3/A11.mp3 | 10 | 2 | 3 | 5 |
| 3/T13.mp3 | 10 | 0 | 1 | 9 | | | | | |
| 3/T14.mp3 | 32 | 3 | 10 | 19 | | | | | |
| 3/T15.mp3 | 50 | 7 | 12 | 31 | | | | | |
| 3/T17.mp3 | 54 | 4 | 27 | 23 | | | | | |

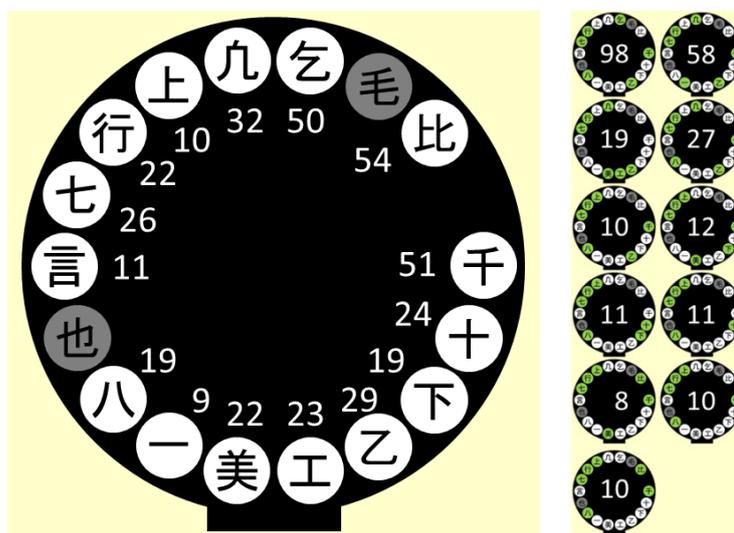


図 4.13 ボタンの位置とアクセス数との関係

表 4.9 パート 4 における各データのアクセス数

| データ名 | 全体 | 1 | 2-6 | 7- |
|--------------|-----|-----|-----|----|
| 4/zundoo.mp3 | 239 | 113 | 74 | 52 |

表 4.10 パート 5 における各データのアクセス数

| データ名 | 全体 | 1 | 2-6 | 7- |
|-----------------|-----|----|-----|----|
| 5/etenraku.mp3 | 161 | 43 | 75 | 43 |
| 5/ryuteki.mp3 | 78 | 11 | 38 | 29 |
| 5/hichiriki.mp3 | 38 | 5 | 13 | 20 |
| 5/sho.mp3 | 42 | 4 | 16 | 22 |
| 5/biwa.mp3 | 60 | 12 | 23 | 25 |
| 5/so.mp3 | 32 | 7 | 8 | 17 |
| 5/kakko.mp3 | 21 | 3 | 5 | 13 |
| 5/taiko.mp3 | 23 | 2 | 11 | 10 |
| 5/shoko.mp3 | 23 | 3 | 9 | 11 |

4.6.7 分析のまとめ

WWW アクセスログからは、コンテンツの内容でアクセスするコンテンツを決定する利用者より、目につきやすいコンテンツから順にアクセスしている利用者が圧倒的に多いことが読み取れる。すなわち、利用者インターフェイスの与え方が、利用者のコンテンツアクセスの動向をかなり左右する。

内容を全く無視してアクセスしているわけでもなく、強い興味関心を抱いた内容については、わざわざ選んでそのコンテンツにアクセスしていることがわかるが、そのことは画面の上に表示された方が選ばれやすい、等の典型的なパターンからはずれることによって間接的に検知される。

アクセスログの解析は、利用者インターフェイスがこちらの意図通り機能しているかどうかの評価により有効であることがわかる。

4.7 錦絵資料のデジタル展示

4.7.1 超大画像自在閲覧システムを用いた錦絵資料の展示の試み

錦絵資料については、超大画像自在閲覧システムを用いた展示を試みたことがある[47]。発想は非常に単純であり「すべての資料画像を並べて表示し、見たいところを自由に拡大して見る」というものである（図 4.14）。超大画像自在閲覧システムを使うと、サムネイル画像によって画像群全体を把握する視点と、拡大画像によって各資料を熟覧する視点の両方を、視点移動と倍率変更という単純な操作によって切れ目なく提示することができるので、「画面上に並んだ画像から見たいものを探してみる」という、素朴ではあるが人間にとって自然な画像検索方法を実用的な性能で提供することができる。

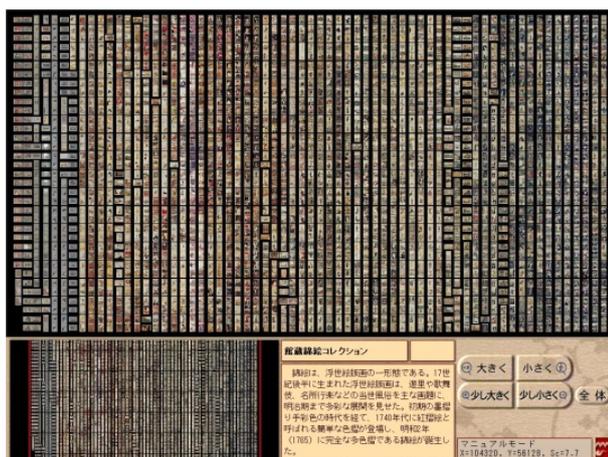


図 4.14 超大画像自在閲覧システムによる錦絵資料の展示

錦絵研究の専門家（本館教員）に、錦絵画像を配列した画面を見せ、目視による検索が可能であるかどうかを尋ねたところ、17インチ CRT、解像度 1024×768（うち画像表示部分は 1022×556）の場合、およそ 1,000 枚（縦 23 枚×横 45 枚）程度であれば、画像のおおよその種類を判別できるとの回答を得た。また、錦絵資料の超精細デジタル資料を、本館において 2003 年 10 月 21 日から 10 月 30 日まで開催された特別企画「歴史を探るサイエンス」において展示し、来場者に指定した錦絵を探してもらうことを試みたところ、縦 10 枚（全体では約 200 枚）もしくは縦 5 枚（全体では約 50

枚) の表示倍率が多く選択されているようであり、利用者がこのぐらいの枚数を適当と感じて画像を探している様子が伺われた。

4.7.2 携帯端末の効果的な利用方法に関する考察

「画面上に並んだ画像から見たいものを探してみる」の戦略は、画面が小さい携帯端末では有効性は低いと思われる。むしろ、「利用者が慣れている利用者インターフェイス」としての特質を生かして、楽しみながら見たい対象を絞り込むわかりやすい利用者インターフェイスを提供する戦略が効果的ではないかと考える。

文字・音声ガイドは、携帯端末に適した情報コンテンツといえる。国立歴史民俗博物館では、企画展示「中世の古文書－機能と形－」(2013/10/8～12/1)、「弥生ってなに?!」(2014/7/15～9/15)、および「文字がつなぐ－古代の日本列島と朝鮮半島－」(2014/10/15～12/14)において、携帯端末から Wi-Fi 経由で利用できる文字・音声ガイドを作成し、来館者の利用に供した。(「中世の古文書」については音声ガイドのみ。) とくに 2014 年度からは企画展示室に無線 LAN 装置が設置され、安定してサービスを提供できるようになった。

図 4.15 は、企画展示「文字がつなぐ」において提供した文字・音声ガイドの画面を示したものである。企画展示室内に設けられた 40 か所のポイントについて、展示の内容を解説する。利用者は、展示場内で説明ポイントに示された番号から番組を選ぶこともできるし、展示の構成にそって作られた索引を用いて番組を選ぶこともできる。この文字・音声ガイドは、ソフトウェアによって半自動的に生成されている。すなわち、ひな形となる HTML ファイルを用意し、対応する音声データと解説文データを挿入するプログラムを介して、Web コンテンツとして合成される。端末の機種により、Web コンテンツの挙動が少しずつ異なるため、現状では、iOS 用、Android 用、およびその他の機種 (Windows 等) 用の 3 種類のデータを作成し提供しているが、機種ごとに異なるひな型ファイルを用意することで対応できるため、原稿の差し替えや修正を誤りなく迅速に行なうことができる。ボタン等の部品や、定型のひな型ファイルの用意などを整備すれば、完全に自動化することもそれほど難しくはない。中小規模の博物館が手軽に携帯端末向け情報サービスを始まる手助けとなるよう、今後も取り組んでい

文字・音声ガイドの使い方



図 4.15 企画展示「文字がつなく」における音声ガイドの使い方

きたい課題である。

見たい錦絵を絞り込んでいくインターフェイスとして、音声・音声ガイドの手法はそのまま使える。各錦絵の音声解説はもちろん、通し番号や索引に加えて、キーワードからの絞り込み、あるいはどの錦絵が表示されるかわからないランダム選択の機能など、利用者の錦絵に対する興味を喚起するさまざまな工夫を考えることができる。

コンピュータゲームが、テレビに接続して楽しむスタイルから、個人が携帯のゲーム機を持ち歩くスタイルへ進んでいったように、博物館の情報端末も、展示室に固定の端末を設置する段階から、来館者が自分専用の情報端末を持ち歩く時代へとシフトしていくと考えられる。しかし、固定の端末は完全になくなってよいわけではなく、両方が適材適所で用いられていくことになるのではないかと考える。限られた資源の範囲で最大限の展示効果を発揮するために、固定端末と携帯端末の使い分け、もしくはコラボレーションに関する検討が継続的に必要である。

第 5 章

結論

本論文では、国立歴史民俗博物館が所蔵する錦絵資料を対象に、情報技術ならびに画像色彩技術を用いた、測色に基づく錦絵画像の記録と計量的な色彩分析、ならびに錦絵画像のデジタル展示について論じた。

第2章では、デジタルカメラにより撮影した4,258枚の錦絵画像に色修正を施して、各画素が測色値をもつ画像（測色値画像）を作成した。大量の画像を処理するために、カラーチャートと錦絵画像の自動切り出し技術を開発した。

第3章では、測色値画像、近赤外線画像、分光反射率情報を用いて、錦絵に含まれる赤、橙、青の色の時代的変遷を計量的に分析した。幕末期に登場した新しい赤色着色料の推定される使用開始時期を1869年の4月から5月の間にまで特定することができた。

第4章では、国立歴史民俗博物館の企画展示で実施したスマートフォンを用いた来館者向け展示情報サービス実験について、利用者アンケートおよびWWWアクセスログの分析を行ない、スマートフォンを用いた錦絵画像のデジタル展示について検討した。

本論文を通じて、博物館の主要な機能である、資源（化）・研究・展示において、情報技術ならびに画像色彩技術の応用が有効であることを具体的に示すことができた。

博物館資料の価値は、それを価値あるものと認める人間の存在によってはじめて成立する。現代における博物館の重要な使命のひとつは、博物館資料の価値を来館者に認めてもらい、それによって、資料を長く保存し利用可能にしようとする意欲を、世代を越えて人々の心に持続させることである。画像色彩技術は無数の可能性を秘めているが、博物館に勤めるものとして、資料と人間の連関をより深めるための活動を支援できるよう、技術の研鑽に努め精進していきたい。

付録

企画展示「楽器は語る」

における音声情報の

デジタル展示

A.1 企画展示「楽器は語る」について

歴博の所蔵資料のひとつである「紀州徳川家伝来楽器コレクション」は、総点数161件(233点)を数える日本で最大級の古楽器コレクションであり、主として紀州藩の第十代藩主徳川治宝（はるとみ）（1771～1852）によって収集されたものと伝えられる。その内容から、楽器史や音楽史上きわめて重要な、日本を代表する古楽器コレクションとみなされてきた。歴博ではこれまで1992年と2005年の2回にわたり、本コレクションを紹介するための企画展示を実施した。

コレクションを紹介する第3回目の企画展示となった「楽器は語る～紀州藩主徳川治宝と君子の楽～」は、2012年7月10日から9月2日にかけて、歴博にて開催された[39]。この展示では、楽器を収集した徳川治宝にとって音楽とはいかなる意味をもち、コレクションはどのような構想のもとに生みだされたのか、という観点に立って、江戸時代の支配者（武家）や文化人にとって「楽」とはどのようなものであったかを考察し、その成果を展示の形で示すことが計画された。展示は3部構成であった。各部の内容は以下のとおりである。（以下、歴博のプレスリリースより引用。）

第I部 楽器の器～伝統音楽への誘い

ここでは「楽を奏でる器」である楽器のつくりと音楽のつくりについて解説します。現代では馴染みのない伝統楽器について紹介し、実際に音を出したり聞き比べたりできる支援ツールによって、伝統音楽の世界へ誘うコーナーです。

第II部 楽器をめぐる人々

紀州徳川家伝来の楽器コレクションに注目します。附属する文書等によって、楽器と人々との関わりが見えてきます。楽器がどのように生みだされ、どのように扱われ、人々の文化生活においてどのような役割を演じてきたのかを、様々な側面から検証します。

第III部 治宝の時代と音楽

コレクションがつくられた江戸後期という時代は、武家が雅楽へ接近した時代でした。治宝をはじめとする為政者層としての武家が求めた理想の楽について考え、このコレクションの背景にあった思想・音楽観を探っていきます。

A.2 作成したコンテンツ

作成した情報コンテンツは、第 I 部「楽器の器～伝統音楽への誘い」の展示に組み込む形で提供した。現代人にとって雅楽などの伝統音楽は決して馴染み深いものとはいえない。また、伝世した楽器がかつて奏でた実際の音色を、われわれは聞くことができない。そこで今回の展示では、古（いにしえ）の音楽についての理解を深め親しんでもらうことを目指して、雅楽の音をいかに来館者に伝えるかを課題として取り組んだ。はじめにマルチメディア技術ありき、でスタートしなかったにもかかわらず、展示企画の趣旨に沿って内容を検討していった結果、マルチメディア技術を採用することになっていった。

以下、制作した 5 種類のコンテンツについて説明する。内容は、企画展示の準備を行なう展示プロジェクトチームで検討し決定したものである。

（下記の説明は、展示プロジェクトチームで執筆した解説パネルの文章をもとにしている。）提供したデータは、音声コンテンツ 41、動画コンテンツが 3 の計 44 個となった。

A.2.1 比べてみよう 音の高さが変わると雰囲気も変わる？

提供したデータの一覧を表 A.1 に示す。このコンテンツは、2 つの内容からなる。「音の高さを合わせる」では、西洋音楽の国際基準音（1 点イ = 440Hz）と、現代の雅楽の基準音（黄鐘（おうしき） = 430Hz）との違いを聴き比べることができる。また、『君子の楽』高い？低い？』では、「君子の楽」は低い方がよいと考えられる傾向があったことを踏まえ、雅楽の中でもよく知られる《越殿楽（えてんらく）》を、通常の高さで演奏されたものと、少し高くしたもの、反対に少し低くしたものとを用意し、音の高さが変わると雰囲気も変わって感じられるかどうかを聞き比べてもらおうとした。（図 A.1(a),(b)を参照。）

表 A.1 コンテンツ「比べてみよう
音の高さが変わると雰囲気も変わる？」における提供データの一覧

| データ名 | 音声／ 動画 | 再生 時間 | 内容 |
|--------------|-----------|----------|-----------------------|
| 1/440Hz.mp3 | 音声 | 0:09 | 西洋音楽の国際基準音 |
| 1/430Hz.mp3 | 〃 | 0:09 | 現代の雅楽の基準音 |
| 1/mixing.mp3 | 〃 | 0:09 | 両方の音の聞き比べ |
| 1/pm0.mp3 | 〃 | 0:30 | 通常の音の高さの《越殿楽》の演奏（部分） |
| 1/p3.mp3 | 〃 | 0:30 | 半音 3 つ分高い《越殿楽》の演奏（部分） |
| 1/m3.mp3 | 〃 | 0:30 | 半音 3 つ分低い《越殿楽》の演奏（部分） |



(a) 固定端末の画面（選択） (b) 展示室内でのコンテンツ提供のようす

図 A.1 コンテンツ「比べてみよう
音の高さが変わると雰囲気も変わる？」

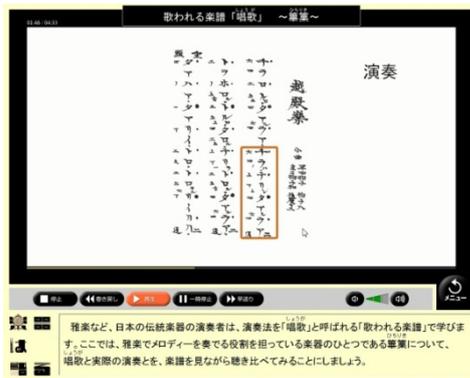
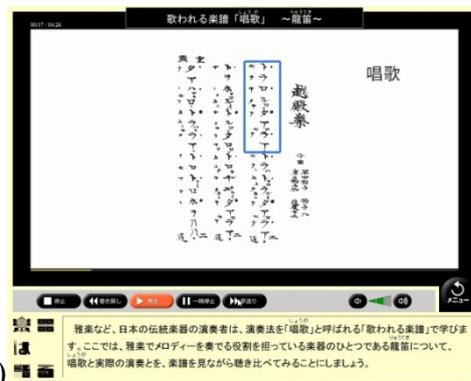
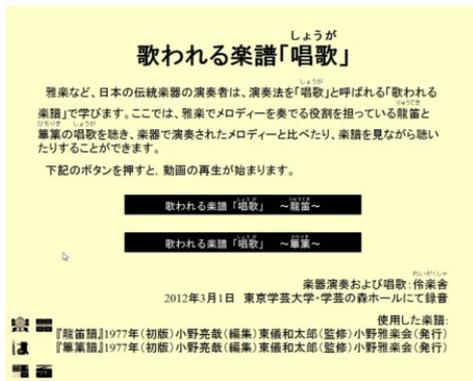
A.2.2 歌われる楽譜「唱歌（しょうが）」

提供したデータの一覧を表 A.2 に示す。日本の伝統音楽では「唱歌（しょうが）」とよばれる「歌われる楽譜」が使われ、鳴らす音や演奏法を歌うことで学ぶ。このコンテンツでは、雅楽の中でメロディの演奏を担当する龍笛（りゅうてき）と箏（ひちりき）の唱歌を、楽譜を見ながら聞けるようにした。また、龍笛・箏による演奏を合わせて聴き比べることもで

きるようにした。(図 A.2(a)~(d)を参照.)

表 A.2 コンテンツ「歌われる楽譜『唱歌(しょうが)』」
における提供データの一覧

| データ名 | 音声/ 動画 | 再生 時間 | 内容 |
|----------------------|-----------|----------|-----------------------|
| 2/shogaryuteki.mp4 | 動画 | 4:26 | 龍笛における唱歌と楽器演奏 との比較 |
| 2/shogahichiriki.mp4 | 〃 | 4:32 | 箏箏における唱歌と楽器演奏 との比較 |



(a) 固定端末画面 (動画の選択) (b) 固定端末の画面 (唱歌の再生)
(c) 固定端末の画面 (楽器演奏の再生) (d) 展示室内でのコンテンツ提供
のようす

図 A.2 コンテンツ「歌われる楽譜『唱歌(しょうが)』」

A.2.3 笙のハーモニーを聴いてみよう

提供したデータの一覧を表 A.3 に示す。日本の伝統楽器の中では、笙（しょう）は和音を奏でる唯一の楽器である。17 本ある管のうち、音が鳴るのは 15 本である。1 本の管だけを鳴らして演奏することを「一竹（いちちく）で奏する」といい、5～6 本の管を同時に鳴らして演奏することを「合竹で奏する」という。合竹（和音）は 11 種類ある。このコンテンツでは、15 の管の音を 1 音ずつ聴くことができるほか、自由に音を重ねていろいろなハーモニーをつくることもできる。また、雅楽で用いられる 11 種類の合竹の響きを聴くこともできる。（図 A.3(a)～(d)を参照。）

A.2.4 雅楽のリズムパターン 打楽器の打ち方を見てみよう

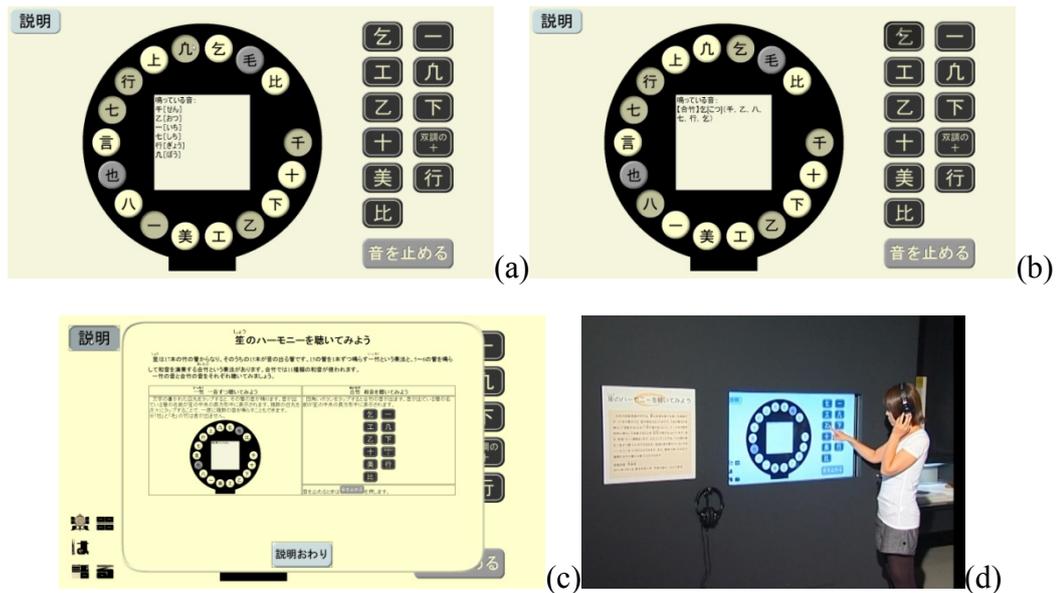
提供したデータの一覧を表 A.4 に示す。雅楽の管絃では、鞆鼓（かっこ）・太鼓（たいこ）・鉦鼓（しょうこ）の 3 つの打楽器が一体となってリズムパターンを作っている。とくに鞆鼓は演奏全体の指揮者のような役割を担っている。このコンテンツでは、《越殿楽》の打楽器パートに注目することで、1 小節が 4 拍からなり、4 小節ごとに太鼓が打たれる「早四拍子（はやよひょうし）」のリズムパターンへの理解を深めることができる。また、途中から、打つ回数が増える加拍子（くわえひょうし）への変化も注目のポイントである。（図 A.4(a)～(d)を参照。）

A.2.5 各パートの音量を自分で調整 セルフミックス《越殿楽》

提供したデータの一覧を表 A.5 に示す。雅楽では、中国大陸から伝えられた音楽を「唐楽（とうがく）」という。よく知られている《越殿楽》も唐楽のひとつである。龍笛・篳篥・笙の管楽器、琵琶（びわ）、箏（そう）の絃（げん）楽器、鞆鼓・太鼓・鉦鼓の打楽器が使われる。このコンテンツでは、各楽器の音量を自由に調整して聴くことができる。それぞれの楽器の音色の違いや、メロディを奏でる管楽器と周期的に演奏される絃楽器・打楽器がどのように構成されているかなどを知ることができる。（図 A.5(a)～(c)を参照。）

表 A.3 コンテンツ「笙のハーモニーを聴いてみよう」
における提供内容の一覧

| データ名 | 音声/ 動画 | 再生 時間 | 内容 |
|-----------|-----------|----------|---------------------------|
| 3/T01.mp3 | 音声 | 0:14 | 一竹「千（せん）」の音 |
| 3/T02.mp3 | 〃 | 0:15 | 一竹「十（じゅう）」の音 |
| 3/T03.mp3 | 〃 | 0:12 | 一竹「下（げ）」の音 |
| 3/T04.mp3 | 〃 | 0:12 | 一竹「乙（おつ）」の音 |
| 3/T05.mp3 | 〃 | 0:13 | 一竹「工（く）」の音 |
| 3/T06.mp3 | 〃 | 0:13 | 一竹「美（び）」の音 |
| 3/T07.mp3 | 〃 | 0:12 | 一竹「一（いち）」の音 |
| 3/T08.mp3 | 〃 | 0:13 | 一竹「八（はち）」の音 |
| 3/T10.mp3 | 〃 | 0:15 | 一竹「言（ごん）」の音 |
| 3/T11.mp3 | 〃 | 0:16 | 一竹「七（しち）」の音 |
| 3/T12.mp3 | 〃 | 0:14 | 一竹「行（ぎょう）」の音 |
| 3/T13.mp3 | 〃 | 0:15 | 一竹「上（じょう）」の音 |
| 3/T14.mp3 | 〃 | 0:12 | 一竹「凡（ぼう）」の音 |
| 3/T15.mp3 | 〃 | 0:09 | 一竹「乞（こつ）」の音 |
| 3/T17.mp3 | 〃 | 0:15 | 一竹「比（ひ）」の音 |
| 3/A01.mp3 | 〃 | 0:12 | 合竹「乞（こつ）」の音 |
| 3/A02.mp3 | 〃 | 0:13 | 合竹「一（いち）」の音 |
| 3/A03.mp3 | 〃 | 0:13 | 合竹「工（く）」の音 |
| 3/A04.mp3 | 〃 | 0:14 | 合竹「凡（ぼう）」の音 |
| 3/A05.mp3 | 〃 | 0:12 | 合竹「乙（おつ）」の音 |
| 3/A06.mp3 | 〃 | 0:12 | 合竹「下（げ）」の音 |
| 3/A07.mp3 | 〃 | 0:13 | 合竹「十（じゅう）」の音 |
| 3/A08.mp3 | 〃 | 0:11 | 合竹「双調の十（そうじょうのじゅう）」 の音 |
| 3/A09.mp3 | 〃 | 0:11 | 合竹「美（び）」の音 |
| 3/A10.mp3 | 〃 | 0:12 | 合竹「行（ぎょう）」の音 |
| 3/A11.mp3 | 〃 | 0:13 | 合竹「比（ひ）」の音 |



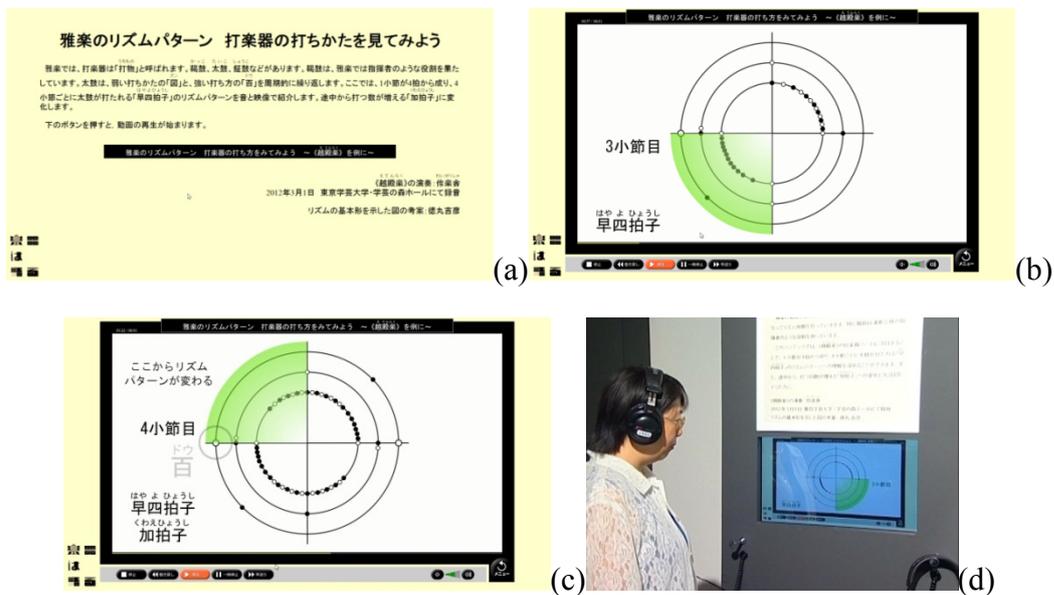
(a) 固定端末の画面（一竹の再生） (b) 固定端末の画面（合竹の再生）
(c) 固定端末の画面（使い方の説明） (d) 展示室内でのコンテンツの提供のようす

図 A.3 コンテンツ「笙のハーモニーを聴いてみよう」

表 A.4 コンテンツ「雅楽のリズムパターン

打楽器の打ち方を見てみよう」における提供データの一覧

| データ名 | 音声／ 動画 | 再生 時間 | 内容 |
|--------------|-----------|----------|--|
| 3/zundoo.mp4 | 動画 | 6:00 | 打楽器パートが強調された《越殿楽》の演奏。早四拍子（およびその加拍子）のリズムパターンを示すアニメーションが付加されている。 |

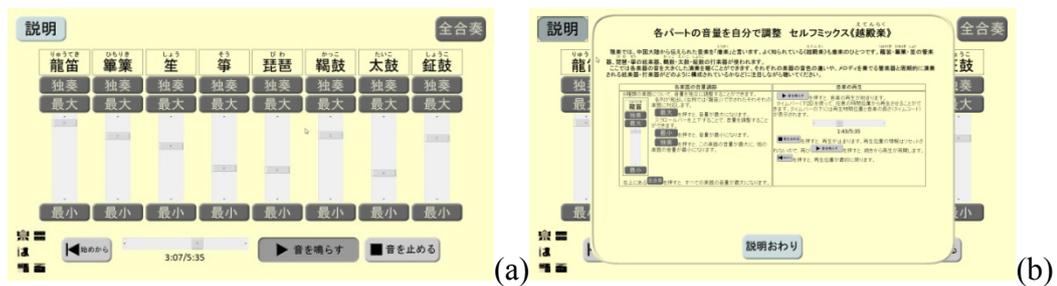


(a) 固定端末の画面（動画の選択） (b) 固定端末の画面（動画の再生）
 (c) 固定端末の画面（加拍子への変化） (d) 展示室内でのコンテンツの提供のようす

図 A.4 コンテンツ「雅楽のリズムパターン
 打楽器の打ち方を見てみよう」

表 A.5 コンテンツ「各パートの音量を自分で調整
 セルフミックス《越殿楽》」における提供データの一覧

| データ名 | 音声／ 動画 | 再生 時間 | 内容 |
|-----------------|-----------|----------|-------------|
| 5/etenraku.mp3 | 音声 | 5:35 | 《越殿楽》の全体演奏 |
| 5/ryuteki.mp3 | 〃 | 5:35 | 《越殿楽》の龍笛の演奏 |
| 5/hichiriki.mp3 | 〃 | 5:35 | 《越殿楽》の箏の演奏 |
| 5/sho.mp3 | 〃 | 5:35 | 《越殿楽》の笙の演奏 |
| 5/biwa.mp3 | 〃 | 5:35 | 《越殿楽》の琵琶の演奏 |
| 5/so.mp3 | 〃 | 5:35 | 《越殿楽》の箏の演奏 |
| 5/kakko.mp3 | 〃 | 5:35 | 《越殿楽》の鞆鼓の演奏 |
| 5/taiko.mp3 | 〃 | 5:35 | 《越殿楽》の太鼓の演奏 |
| 5/shoko.mp3 | 〃 | 5:35 | 《越殿楽》の鉦鼓の演奏 |



(a) 固定端末の画面（演奏中の場面） (b) 固定端末の画面（使い方の説明）
 (c) 展示室内でのコンテンツの提供のようす



図 A.5 コンテンツ「各パートの音量を自分で調整
 セルフミックス《越殿楽》」

A.3 音源の録音

コンテンツ中で使用した越殿楽の演奏は、2012年3月1日に東京学芸大学・学芸の森ホールにて録音を行った。演奏は雅楽演奏団体である伶楽舎（れいがくしゃ）のメンバーに依頼した。

コンテンツ「セルフミックス《越殿楽》」では、各楽器ごとの演奏音源が必要である。今回は管楽器、絃楽器、打楽器の単位で録音を行った（図 A.6(a)～(c)）。各楽器ごとにマイクを置き、なるべくその楽器の音だけを録音するようにした。完全に独立な音源を得ることはできなかったが、コンテンツでの使用にはおおむね問題はなかった。コンテンツ「歌われる楽譜『唱歌（しょうが）』」で使用した唱歌ならびに楽器演奏の録音、ならびにコンテンツ「笙のハーモニーを聴いてみよう」で使用した笙の音（一竹、合竹）の録音（図 A.6(d)）も合わせて行った。



(a)



(b)



(c)



(d)

- (a) 管楽器の演奏の録音のようす (b) 絃楽器の演奏の録音のようす
(c) 打楽器の演奏の録音のようす (d) 笙の音の録音のようす

図 A.6 音源の録音

参考文献

第 1 章

- [1] 国立歴史民俗博物館（編）：国立歴史民俗博物館十年史，国立歴史民俗博物館，1991年10月。
- [2] <http://www.rekihaku.ac.jp/outline/pdf/pamphlet.pdf>. 歴博のめざすもの(PDFファイル)，2007年3月，国立歴史民俗博物館 Web サイト，2015年1月掲載確認。
- [3] http://www.rekihaku.ac.jp/education_research/gallery/database/index.html. データベースれきはく，国立歴史民俗博物館 Web サイト，2015年1月掲載確認。
- [4] 浅野正一郎：大学間の実験的なコンピュータ・ネットワーク（N-1 ネットワーク），情報処理，Vol.20, No.4, pp.332-336 (1979)。
- [5] http://www.sinet.ad.jp/about_sinet/history/. 沿革，学術情報ネットワーク SINET4 Web サイト，2015年1月掲載確認。
- [6] 鈴木卓治：歴博にインターネットがやってきた一つながった・使ってみた・どう広げよう？—，情報処理学会研究報告，95-CH-26, pp.25-30 (1995)。
- [7] 国立歴史民俗博物館三十年史編纂委員会（編）：国立歴史民俗博物館三十年史，人間文化研究機構国立歴史民俗博物館，2014年3月。
- [8] 鈴木卓治，安達文夫：歴史研究・展示用画像表示システムの機能に関する検討，人文科学とコンピュータシンポジウム（じんもんこん 2001）論文集，IPSJ Symposium Series, Vol.2001, No.18, pp.229-234 (2001-12)。
- [9] <http://ja.wikipedia.org/wiki/21世紀夢の技術展>. 21世紀夢の技術展，Wikipedia, 2015年1月掲載確認。
- [10] <http://www.rekihaku.ac.jp/exhibitions/project/old/000721/index.html>. 「科学技術が拓く新しい歴史学」21世紀夢の技術展，国立歴史民俗博物館 Web サイト，2015年1月掲載確認。
- [11] <http://www.nihu.jp/sougou/kyoyuka/system/index.html>. 研究資源共有化システム，人間文化研究機構 Web サイト，2015年1月掲載確認。
- [12] Suzuki,T., Kobayasi,M.: Accurate Recording of Color Information of Museum Materials by Digital Still Cameras—In case of "Ukiyo-e" and "Kimono", AIC 2002 SI Color & Textiles Proceedings, pp.212-218 (Maribor, Slovenia, 2002-08)。

- [13] J.Cupitt, K.Martinez, D.Saunders: A methodology for art reproduction in colour: the MARC project, *Computers and the History of Art Journal*, Vol.6, No.2, pp.1-20 (1996).
- [14] JIS Z 8729 “色の表示方法— $L^*a^*b^*$ 表色系及び $L^*u^*v^*$ 表色系”, 日本工業規格.
- [15] 鈴木卓治, 安達文夫, 大久保純一, 小林光夫: 錦絵資料の測色画像データベースの構築と色彩分析の試み, *人文科学とコンピュータシンポジウム (じんもんこん 2004) 論文集, IPSJ Symposium Series, Vol.2004, No.17*, pp.75-82 (2004-12). (平成 17 年度情報処理学会山下記念研究賞 (人文科学とコンピュータ研究会推薦) 受賞対象論文.)
- [16] JIS Z 8721 “色の表示方法—三属性による表示”, 日本工業規格.
- [17] 小林忠, 大久保純一: 浮世絵の鑑賞基礎知識, 至文堂, 1994.
- [18] 大久保純一: カラー版浮世絵, 岩波新書, 2008.
- [19] 大久保純一: 浮世絵出版論—大量生産・消費される〈美術〉—, 吉川弘文館, 2013.
- [20] 国立歴史民俗博物館 (編): 館蔵錦絵データベース, https://www.rekihaku.ac.jp/up-cgi/login.pl?p=param/nisikie/db_param (検索画面), <http://www.rekihaku.ac.jp/doc/gaiyou/nishikie.html> (解説), 2,340 件, 2005 年 7 月公開, 2011 年 8 月最終更新.

第 2 章

- [21] 鈴木卓治: 錦絵資料画像の測色値画像データベースの構築, *日本色彩学会誌*, Vol.28, Suppl. (第 35 回全国大会講演予稿集), pp.152-155 (2004-05).
- [22] Takuzi Suzuki, Misaki Kan'no, Noriko Yata, Yoshitsugu Manabe: Detection of transition of red colours on *Nishiki-e* printings from colour-corrected digital images, *Journal of the International Color Association*, Vol.14, pp.57-66 (2015-04-27; Received 2014-11-04, Revised 2015-01-22, Accepted 2015-01-26).
- [23] JIS Z 8701 “色の表示方法—XYZ 表色系及び $X_{10}Y_{10}Z_{10}$ 表色系”, 日本工業規格.
- [24] 小林光夫, 鈴木卓治, 室屋泰三: 美術作品のデジタル画像の記録手法に関する一提案, *人文科学とコンピュータシンポジウム (じんもんこん 2004) 論文集, IPSJ Symposium Series, Vol.2004*, pp.83-90 (2004-12).

[25] G. Hong, M. R. Luo, P. A. Rhodes: A Study of Digital Camera Colorimetric Characterization Based on Polynomial Modeling, *Color Research and Application*, Vol.26, No.1, pp.76-84 (2000).

[26] 菅野美咲, 鈴木卓治, 矢田紀子, 眞鍋佳嗣: 錦絵画像の色補正の自動化と赤色分析, *日本色彩学会視覚情報基礎研究会第15回研究発表会論文集*, pp.21-24 (2013-03).

[27] <http://opencv.org>. OpenCV Web site, 2015年1月掲載確認.

第3章

[28] Takuzi SUZUKI, Misaki KAN'NO, Yoshitsugu MANABE, Noriko YATA: Analysis of a red color on Nishiki-e printings, *AIC Colour 2013 Proceedings*, Volume I, pp.19-22 (Newcastle upon Tyne, U.K., 2013-07).

[29] Takuzi Suzuki, Mami Minezaki, Noriko Yata, Yoshitsugu Manabe: Analysis of Orange Colors of Nishiki-e Printings, *AIC 2014 Interim Meetings Proceedings*, pp.197-202 (Oaxaca, Mexico, 2014-10).

[30] 鈴木卓治, 眞鍋佳嗣: 近赤外線画像による錦絵の天然藍とペロ藍の判別, *日本色彩学会誌*, Vol.37, No.3 (第44回全国大会講演予稿集), pp.252-253 (2013-05).

[31] 鈴木卓治, 峯崎麻未, 矢田紀子, 眞鍋佳嗣: 錦絵画像の色情報から使用着色料の変遷を捉える試みについて, *日本色彩学会誌*, Vol.38, No.3 (第45回全国大会講演予稿集), pp.202-203 (2014-05).

[32] 岩切信一郎: *明治版画史*, 吉川弘文館, 2009.

[33] 国立史料館 (編): *明治開化期の錦絵*, 東京大学出版会, 1989.

[34] 大河原信, 北尾悌次郎, 平嶋恒亮, 松岡賢: *色素ハンドブック*, 講談社, 1986.

[35] 大和あすか, 米村祥央, 土屋明日香: 非破壊分析法による幕末から明治期に制作された浮世絵版画の色材調査—赤, 紫色材を中心に—, *文化財保存修復学会第35回大会要旨集*, pp.216-217 (2013).

[36] 大和あすか, 米村祥央, 土屋明日香: 非破壊分析法を用いた幕末から明治期に制作された浮世絵木版画の色材調査—第2報 赤色色材の変遷と黄色色材を中心に—, *文化財保存修復学会第36回大会要旨集*, pp.226-227 (2014).

[37] 石井研堂: *錦絵の彫と刷* (新版), 芸艸堂, 1994.

[38] 下山進, 松井英男, 下山裕子: 光ファイバー接続簡易携帯型分光器を用いる可視-近赤外反射スペクトルによる浮世絵版画青色着色料の非破壊同定, 分析化学, Vol.55, No.2, pp.121-126 (2006).

第4章

[39] 国立歴史民俗博物館 (編集): 楽器は語る (企画展示図録), 国立歴史民俗博物館, 2012年7月.

[40] Takuzi Suzuki, Fumio Adachi, Yoshitsugu Manabe: Experimentation and Evaluation of a Multimedia Exhibition Information Service Using Visitor-owned Portable Wi-Fi Terminals Suitable for Small-scale Museums, ITE Transactions on Media Technology and Applications, Vol.2, No.3, pp.256-265 (2014-07-01; Received 2013-12-15, Revised 2014-03-13, Accepted 2014-05-03).

[41] 鈴木卓治: 企画展示「楽器は語る」におけるマルチメディアコンテンツについて, 国立歴史民俗博物館研究報告, Vol.189, pp.117-141 (2015-01).

[42] <http://www.minpaku.ac.jp/museum/exhibition/main/digitalguide>. みんなく電子ガイド, 国立民族学博物館 Web サイト, 2013年12月掲載確認.

[43] <http://www.nintendo.co.jp/corporate/release/2012/120411.html>. ルーブル美術館と任天堂が提携 AUDIOGUIDE LOUVRE - NINTENDO 3DS を発表 (ニュースリリース), 任天堂, 2012年4月11日, 2013年12月掲載確認.

[44] http://www.tnm.jp/uploads/r_press/12.pdf. 国立博物館発の iPhone アプリ『e 国宝』と『法隆寺宝物館 30分ナビ』1月20日(木)同時リリース (プレスリリース), 東京国立博物館, 2011年1月20日, 2013年12月掲載確認.

[45] http://www.nmwa.go.jp/jp/information/pdf/ttm_pressreleases.pdf. 国立西洋美術館 常設展鑑賞ガイド iPhone アプリケーション “Touch the Museum” について, 国立西洋美術館, 2010年3月29日, 2013年12月掲載確認.

[46] <http://www.w3.org/TR/html5/>. HTML5, A vocabulary and associated APIs for HTML and XHTML, W3C Recommendation (28 October 2014).

[47] 安達文夫, 鈴木卓治, 宮田公佳: コレクション資料閲覧への超大画像自在閲覧システムの適用, ADADA2003 概要集, pp.88-89 (2003).

謝辞

私に千葉大学での学位取得のチャンスを与えてくださった千葉大学大学院融合科学研究科の眞鍋佳嗣教授に第一の感謝を申し上げます。

博士論文を審査していただいた千葉大学大学院融合科学研究科の矢口博久教授と堀内隆彦教授に深く感謝を申し上げます。

研究の遂行にあたって有益な助言を多数いただいた千葉大学大学院融合科学研究科の矢田紀子助教と、その明るさと元気さと優秀さで私を刺激してくれた眞鍋・矢田研究室の学生さん方に感謝を申し上げます。とくに共同研究者として錦絵の色の分析に取り組んでくれた菅野美咲さんと峯崎麻未さんには、記して感謝を申し上げます。

展示への情報技術応用について、国立歴史民俗博物館研究部の安達文夫教授に長年にわたりご指導をいただいています。また、錦絵の分析について、国立歴史民俗博物館研究部の大久保純一教授と島津美子助教にご指導をいただきました。国立歴史民俗博物館研究部の坂本稔教授は、研究上の助言に加えて、もっとも身近な相談相手として私を支えてくださいました。ここに記して感謝申し上げます。

錦絵のデジタル撮影を長年手がけてくれた、カメラマンの坂本敦宏さんに心より感謝します。彼の助けなしに本研究の遂行はなしえませんでした。

国立歴史民俗博物館鈴木研究室のサポートメンバーである竹中幹子さんと山本紀久子さんに感謝します。歴博の展示コンテンツ作りを長年支えてくれた戦友です。

20年前、着任当時の上司として、私を人文学情報処理の世界へいざなってくださった、国立歴史民俗博物館情報資料研究部情報システム部門の照井武彦教授（当時；現国立歴史民俗博物館名誉教授）に心より感謝を申し上げます。

学位取得のために大学院へ通うことを許可してくださった国立歴史民俗博物館ならびに平川南館長（当時；現人間文化研究機構理事）に厚く感謝を申し上げます。

私を学生として受け入れてくださった千葉大学大学院融合科学研究科に厚く感謝を申し上げます。博物館における情報処理技術ならびに画像色彩技術の応用という、境界領域の研究テーマで論文をまとめることは、学際的な教育研究を強力に推進することを目指して設置された融合科学研究科

でなければ困難でありました。

その他、情報処理学会人文科学とコンピュータ研究会、日本色彩学会、日本色彩学会関東支部、日本色彩学会画像色彩研究会のみなさま、そしてここにお名前を書ききれない数あまたの方々にお世話になりました。ありがとうございました。

私の挑戦をサポートしてくれた妻毛塚万里、長男文武、次男仁熙に、そして私を生み育ててくれた父徳哉、母享子に、深く感謝を捧げます。

この論文を、私の恩師であり、長年にわたりご指導いただいた、今は亡き小林光夫電気通信大学名誉教授に捧げます。ご存命のうちに学位取得をご報告できなかったことが悔やまれてなりません。長い間本当にありがとうございました。