

絹織物の 3D アニメーションデジタルアーカイブと感性検索システムの開発

代表研究者 河合 宏 紀 福知山公立大学情報学部准教授

1 はじめに

古くから綺麗な水で知られた京都は、京都市内北西部の西陣を中心に友禅など生地を織り上げて染める後染めとジャカード織機を用いた帯や反物などの多彩な色糸で織り上げられる先染めに分かれ、布の染色や織物産業が盛んである。京都府の北部・丹後地方の峰山や加悦谷地域は 1300 年前から絹織物の産地で、21 世紀初頭においても日本国内最大のシェアを持つ絹織物産地である[1]。1720 年に京都・西陣から「ちりめん」の技術が伝わって以来、表面に凹凸状のシボがある白生地「丹後ちりめん」の産地として栄え、友禅染などの高級婦人呉服の素材として日本の和装文化を支えてきた。現在も国内で販売されている着物生地の約 60% は「丹後ちりめん」だという。

日本の着物織物産業は、少子・高齢化や人々のライフスタイルの変化に伴い消費量が益々減っていき、設備の老朽化や職人の高齢化と若者の継承者がいない現状から文化的遺産の継承が困難な状況に置かれており、古い歴史関連資料の扱いに関してもコンピュータ技術の発展から紙媒体の保存からデジタルデータへの保存の必要性が挙げられ、2020 年、「丹後ちりめん」300 年を迎え、文化遺産として令和 2 年度府大 ACTR の「丹後ちりめんアーカイブの構築」は、300 年の歴史ある丹後ちりめんに関わる多種多様な資料をデジタルアーカイブ化し、インターネット上で公開できるデータベースを作成する計画である。この計画とも連携し、京丹後ちりめんの技術に関わる資料の調査やその技術のアーカイブを目指して様々な試みを行う。

「丹後ちりめんの技術のアーカイブ」という目的においては、300 年保存されてきた丹後ちりめんに関する様々な情報のデジタルアーカイブと、丹後ちりめんの風合いを VR 空間上で表現、体験する手法を明らかにすることを試みる。丹後ちりめんの 3D アニメーションのデジタルデータをアーカイブとして作成し、生地の 3D スキャンデータから画像処理によって抽出した特徴量を用いて柔らかさや光沢感などの人が感じる生地の風合いを関連付けた生地の検索システムの開発を目的とする。ちりめんの表面テクスチャを 3D スキャナでスキャンしたデータを用いて表現できるのかを分析検討した。本報告書では、これらの試みの結果について報告する。

2 丹後ちりめんの調査

2-1 ちりめん

「ちりめん」とは素材生地の名称のことである。丹後地方は国内有数の和装絹織物産地として知られており、日本国内で消費されている生糸の約 3 割を消費し、全国の白生地生産量の約 70% が丹後で製織されている「丹後ちりめん」である。丹後ちりめんの最大の特徴は、「シボ」と呼ばれる生地表面のある細かい凹凸である。この凹凸は 1 メートルあたり 3000 回前後の強いよりをかけた撚糸と呼ばれる糸をよこ糸として織り上げ、生糸の表面を覆うセリシンを精練によって除去することで、この撚糸が収縮し、よりが戻ろうとする力によって生まれるものである[2]。長年にわたり、先人たちの手によって多種多様な種類の撚糸が開発され、様々な表情を持った「丹後ちりめん」は、和装着物表生地として確固たる地位を築いてきた。

2-2 丹後ちりめんの歴史や資料保管状況

ちりめん自体のものは明の織工が堺に来てその技術を伝え、京都で盛んに織られ、やがて岐阜の美濃、京丹後の峰山へと伝わり日本にも普及した。その背景には京都で扇絵師の宮崎友禅齋が考案したとされる友禅染が流行したことがある。流行前は「織・絞り染・刺繍」などの技法が加飾され光沢のある生地が代表格であった。それに対して「友禅染」は糊で下絵を描き、色を挿していく。その友禅染と相性が良かったのがちりめんであった。生地に凹凸があることで色に深みを与え、光の角度によって複雑な色合いを出している。ちりめんは、当初中国からの輸入によって流通したが、鎖国政策が出たため輸入による数量が減り、高級品に扱われた。そこで友禅染の流行もあったため丹後で製織が始まりちりめんの地方生産が本格化した。そこから国内需要が高まり女性の晴れ着や礼服が定番になり、大正時代まで女性は変わらず着物が着用していた

ことから勢いはしばらく衰えていなかったことが分かる。

また、京都府織物機械金属振興センター[3]には丹後ちりめんに関する雑誌や機械や当時の協会の活動資料などと丹後ちりめんに関する技術記録資料として「生地の見本帳」やデザインを意匠図に写した後パンチ機によって穴を空け経糸の緯糸の通り道を表した「ジャカード紋紙」などが保管されている。

2-3 織物職人へのインタビュー

地元の丹後ちりめんの織物職人の方をお招きし、インタビューを行った。まず、丹後ちりめんの布地をオンラインでも風合いが伝わるようなデジタルデータで表現したいという本プロジェクトの趣旨を伝え、職人目線での織物に関する話を聞いた。以下、聞いた情報の中で参考になると考えられるものである。

①布地の光沢感などをチェックする際の屋内の照明環境は蛍光灯下で行っている

②絵柄の無い無地の丹後ちりめんでは代表的といえるものは「一越ちりめん」「紋縷子ちりめん」である(図1)

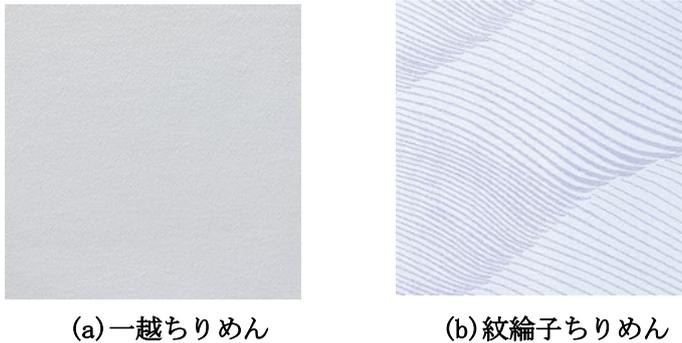


図1: 代表的な丹後ちりめん

3 3D スキャナ機器の調査および丹後ちりめんのスキャン

3-1 EinScan-SE でのスキャン

実際にデジタルアーカイブの実験を進めていくため、布地の3Dデータの取り込みを目的とした3Dスキャナの調査を行った。本研究で3Dスキャナに求める機能・性能としては以下のとおりである。

①丹後ちりめん表面のシボの細かな凹凸を3Dデータで復元できる

②布地表面の色や材質を復元した3Dデータでも確認できる

③布地全体の柔らかさ(ドレープ感)を動きのある3Dアニメーションで表現できる

そこで、まずはSHINING 3D社のEinScan-SEを取り扱う販売代理店に問い合わせ、前述の本研究で求める機能・性能を備える3Dスキャナについて話を伺った。まず、どの3Dスキャナ機器もスキャン対象物が固定されて変化しないことが前提であり、③を満たすような性能を持つような3Dスキャナ機器は存在しないとのことであった。これを実現しようとする多視点カメラと高性能な演算コンピュータを備えた実験場での実験が必要とのことである。そのため③の布地の3Dアニメーションを3Dスキャナだけで実現することは難しく、この動きの再現については、2Dで撮影した動画から布地の動きを把握し、その把握した情報を基に、復元した布地の3Dモデルに対し3D CGソフトなどを用いてシミュレーションする方法などが考えられる。ただし、2D動画から布地の3次元動的な動きをどうやって把握するかは検討が必要である。

EinScan-SEが①～②までの条件をどの程度満たしているかを確認するため、販売代理店に丹後ちりめんの白い絹の布地を送り、スキャンを試してもらった。送ってもらったスキャン結果(図2)の3Dデータは形状情報しかもたないSTLファイルであったため、色情報は落ちてしまっている。3Dデータからはシボの凹凸が一応表現されているように見えるが、元の布地のシボの様子とはいくらか異なる、また取得した3次元点群データをメッシュ化した際の影響か、全体的に絹織物ではなくビニールっぽい雰囲気になってしまっている。3Dデータを拡大して確認すると、箇所によってはスキャンが上手くできず、穴が多く発生していることも分かる。

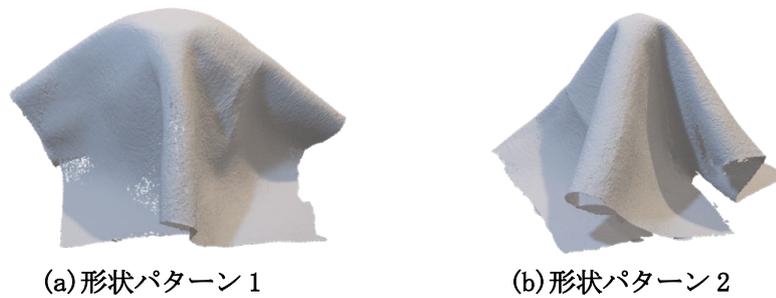


図2: EinScan-SE でのスキャン結果

3-2 北部産業創造センターの 3D スキャナ機器でのスキャン

綾部市の北部産業創造センター[4]の中丹技術支援室に高精度な 3D スキャンが可能な測定機器があるということで、施設の研究員の方にお手伝いいただきスキャン実験を行った。丹後織物工業組合からもらった丹後ちりめんの白い絹の布地(図3(a))を用い、まずはシボの凹凸を 3D データとして復元できるかを試みた。最初に実験に用いた機器は GOM 社の ATOS Core 45(図3(b))である。本機器はハイエンドな非接触光学式 3次元デジタルカメラであり、青色 LED と LCD プロジェクタによって、サイズが 45×30×20mm までの物体を対象とし、0.02mm の解像度で 3D データ化を可能とする。この種の 3D スキャンは環境光の影響をいづれか受け、表面の色が黒や赤の物体や金属のように光沢が強い物体に対しては 3次元座標の計測が難しくデータの抜け落ちが発生する。本機種はパワフルな光源と狭帯域の青色光を採用しており黒い物体に対してはセンサーの感度を上げることで比較的良好的なスキャンデータの取得が可能だが、光沢が強い物体に対しては艶消しのスプレーの使用が必要となる。幸い、本実験でスキャンした布地は金属ほどの光沢はないため艶消しスプレーによる処理は特に必要ないとのことであった。布地は 30×30mm 程度の正方形に切り、布地を乗せたターンテーブルを回転させ、スキャナの位置や角度を動かすことで、複数方向からスキャンを行った。しかし、絹の表面の凹凸は ATOS Core 45 の解像度では捉えられないようで、得られた 3次元点群データからは凹凸の様子は表現できず、細かい穴が無数に空いたデータとして生成された(図3(c))。その後、布地のサイズを変えたり、トラッキング用のマーカを増やしたりしてみたが結果に変化はなかった。この穴あき状態のデータでは CG ソフトなどを用いたメッシュ化処理等で補正することも難しい。

次にマイクロスコープでの撮影実験を行った。マイクロスコープはそもそも 3D データを作成する機器ではないが、布地表面の手前から奥に少しずつピントをずらした撮影データを積層化することで 3D データの作成を試みた。しかし、マイクロスコープだと絹の糸一本一本が確認できるほど大き過ぎる拡大率を扱うため、シボを表現するには小さすぎる数ミリ四方の布地の撮影となってしまった。また、積層データも布地の表面を表現するような 3D データとしては出力されなかった。さらに CT も使って、マイクロスコープの実験と同様に積層化による 3D データ作成を試みたが、こちらも布地と分かるような 3D データを得ることができなかった。

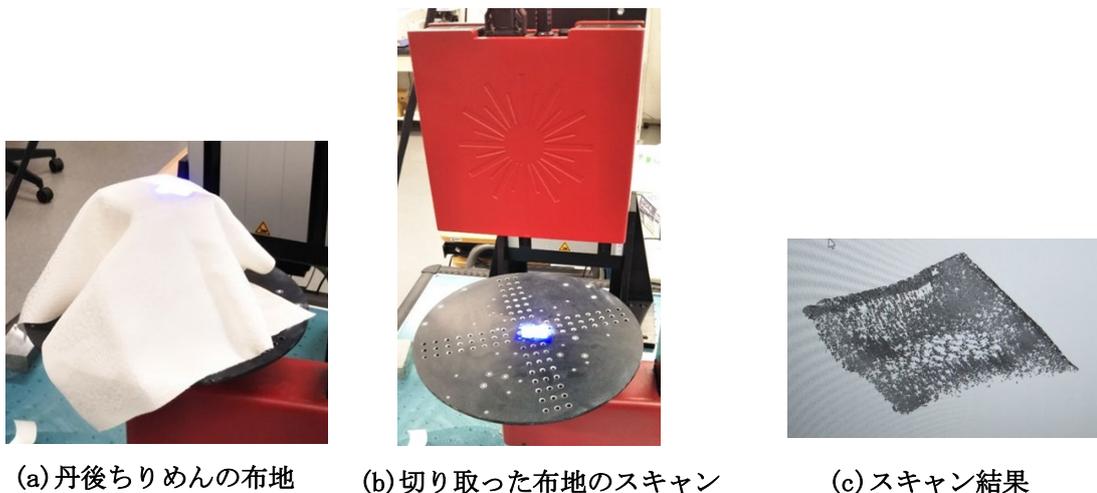


図3: ATOS Core 45 を用いた切り取った布地のスキャン

4 異なる素材の布地の3D スキャン

4-1 北部産業創造センターの3D スキャナ機器による3D スキャン

再び北部産業創造センターの中丹技術支援室で測定機器をお借りし、用意した数種類の布地のスキャンを行った。今回の実験で用いた3D スキャナ ATOS Core 500 は、サイズが500×380×380mm までの物体を対象とし、0.19mm の解像度で3D データを取得できる。前回利用した ATOS Core 45 よりスキャン解像度は高くないものの、スキャン範囲は広いので、布地全体の柔らかさ(ドレープ感)をいくらか表現できると考えられる。今回は丹後ちりめんの絹織物だけでなく、綿、ウール、レーヨン、ポリエステルなどのさまざまな素材や色の布地を用いてスキャン作業を行った。1枚の布地を箱などに被せて立体的に垂らし、スキャンで取得できる3D データを確認しながら、布地を配置したターンテーブルを回転させ、スキャナの位置や向きを変えることで、平均して20方向ぐらいから撮影を行う。今回のスキャン作業で困難であったことは、布地の撮影中、ターンテーブルの動きや室内の空気の循環に影響を受けて揺れないようにする必要があったことである。撮影途中で布地が揺れて変化すると、揺れる前後両方の3D データを合成してしまい、1枚の布地としての復元ができなくなってしまう。慎重にスキャン作業を進め、直方体の物体に布地を垂らしたパターンと、ポールに引っかけて布地の中央を尖らせて垂らしたパターンで、7種類の布地のスキャンを行った。また、スキャナで得られるデータは3次元点群データであり、背景のノイズも多く含まれるため、ATOS Core に付属の専用のCGソフトでノイズを除去し、点群データのメッシュ化作業を行い、STL形式の3Dデータとして出力した(図4~図7)。

目視による印象でも、固い綿素材の布地が他の布地と比べて垂らしたときの形状が明らかに異なるなどの違いが容易に判別できる(図7)。しかし、スキャナの解像度があまり高くないため、丹後ちりめんのシボの表現などはほとんどできず、どの布地の3Dデータも表面はのっぺりしたものになっている。またレーヨンは薄手で軽く揺れやすいので、揺れて2重化3重化したメッシュ化できない点群データがいくらかノイズとして除去されてしまい、結果として他の材質の布地に比べて穴の多い3Dデータになってしまった(図4)。青色LEDを利用する本スキャナと相性のよい白や明るい色の布地は、1回のスキャンで多くのデータを取得でき、少ない回数でのスキャン作業で高品質な3Dデータとして取得できている。一方、暗い色の布地の場合は、センサー感度を背景のノイズが入らない程度に高くする必要があり、また毎回スキャンデータも少しずつしか取れないため、非常に作業に時間がかかった。また、色をたくさん使った模様のある布地の場合は模様の色ごとにセンサー感度を変えたスキャン作業を行う必要があった。



図4: ATOS Core 500 を用いた布地のスキャン結果(レーヨン素材)



図5: ATOS Core 500 を用いた布地のスキャン結果(絹ちりめん素材)



図6: ATOS Core 500 を用いた布地のスキャン結果(ウール素材)

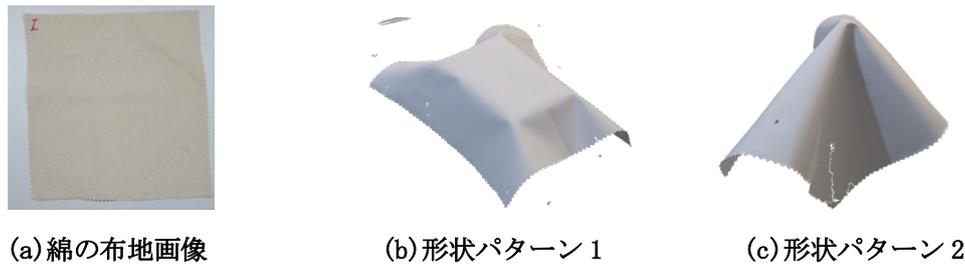


図7: ATOS Core 500 を用いた布地のスキャン結果(綿素材)

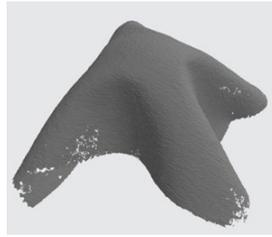
4-2 EinScan Pro HD を用いた布地の 3D スキャン

SHINING 3D 社のハンディタイプ 3D スキャナである EinScan Pro HD を使って布地の 3D スキャンを行った。EinScan は輝度白色 LED と赤外 LED を光源とすることで、一般の 3D スキャナが不得意としている黒色の対象物に対しても良好なスキャンを可能とする。スキャン精度は 0.045mm へ、解像度(ポイント間隔)は 0.2mm へであり、コンシューマ向けハンディスキャナとしては高い性能を持つ。また、オプションのカラー撮影用モジュールを組み合わせることで、フルカラーのテクスチャを貼り付けた 3D データを取得することもできる。EinScan を用いたスキャン結果を評価する上で、北部産業創造センターで利用した ATOS Core 500 で取得したスキャン結果との比較を行った。ATOS は光源に青色 LED と LCD プロジェクタを用いており、3D 解像度(ポイント間隔)は 0.19mm で 3D データを取得できる 3D スキャナである。図8および図9は EinScan で取り込んだ布地のスキャン結果の例(2 種類)である。

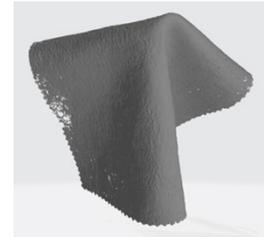
色柄の絹ちりめん素材も黒のウール素材も、ATOS でのスキャンの際には、1 回のスキャンで多くの 3D データを獲得するためのセンサー感度の調整が非常に難しい布地であり、3D データの穴を無くすためには最低でも 20 方向以上からの撮影と何度も撮影のやり直しが必要であった。一方、赤外 LED を光源に備える EinScan はどちらの布地に対してもスキャンデータの取り損ねが少なく、どちらも 10 方向以内の撮影でスキャンを完了することができた。EinScan のスキャンで得られた点群データをメッシュ化して STL 形式で出力したもの(図8(b)および図9(b))と、同様に ATOS でのスキャンデータを STL 形式にしたもの(図8(c)および図9(c))を示す。なお、STL 形式は形状情報のみの 3D データ形式で色情報は持たない。撮影時の布地の形状パターンが EinScan を用いたときと ATOS を用いたときとで異なってしまったので、布地全体の柔らかさ(ドレープ感)などをどちらのスキャナがよく表現できているかを比較するのは難しいが、どちらのスキャン結果も薄手で柔らかいウール素材の方がたわみも大きく柔らかそうな印象を感じることができる。絹ちりめん素材の特徴である布地表面の凹凸(シボ感)の表現については、スキャン精度による限界はもちろんあるが、EinScan の方がより忠実に再現できていると判断でき、色情報を持たない STL 形式データであってもちりめん素材の雰囲気十分に伝わる。ATOS で得られた絹ちりめん素材の STL 形式データの方は布地というよりアルミ箔のような硬い印象がある。ただし、これはスキャナ本体のスキャン精度の違いかも知れないが、点群データをメッシュ化する際に利用した付属の CG ソフトの違いによる可能性もある。ウール素材は表面の凹凸は非常に細かいため、どちらのスキャン結果も表面を見ただけではウール素材と判別できるような結果にはなっていない。



(a) 色柄の絹ちりめんの布地画像



(b) EinScan のスキャン結果

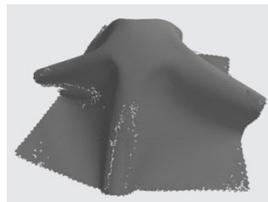


(c) ATOS のスキャン結果

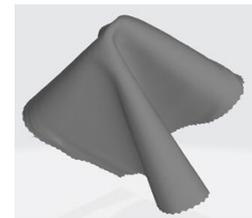
図8: 布地のスキャン結果(色柄の絹ちりめん素材)



(a) 黒のウールの布地画像



(b) EinScan のスキャン結果



(c) ATOS のスキャン結果

図9: 布地のスキャン結果(黒のウール素材)

5 フルカラー3D データ表現と 3D スキャンデータの活用

5-1 EinScan Pro HD によるフルカラー3D データ表現

カラー撮影用モジュールを取り付けた EinScan を用いて、布地フルカラーの 3D データを OBJ 形式で作成した(図10)。カラーのテクスチャが貼りつくだけで、布地の素材感の表現力が一気に上がっていることが分かる。これは形状の凹凸表現だけでなく、照明が作る影によってさらに繊細な凹凸表現がされることと、生地ごとの微妙な染色の違いが表現されることによるものと考えられる。前節で述べたように STL 形式データの表面形状だけでは判別が難しかったウール素材も真っ黒というわけではなく、ウール素材ならではの暖かみのある黒さを感じることができる。



(a) 色柄の絹ちりめん素材



(b) 黒のウール素材

図10: フルカラーの 3D スキャン結果

5-2 3D モデルの VR 可視化

図11はフルカラーの 3D データ(OBJ)を Windows10 の 3D ビューアの MixedReality 機能を用いて、実物の絹ちりめんの布地と並べて撮影したものである、実物と 3D データとの間の位置関係と照明の当たり具合に違和感こそあるが、特に生地表面の凹凸など、生地感はかなり実物に近い 3D データとして作成できていることが分かる。なお、この実物のカメラ撮影時は影や表面の凹凸が確認できるよう部屋の LED 照明の明るさをやや暗めにした。

また、スキャンで得られた生地 の 3D モデルをディスプレイの画面だけでなく、VR HMD を用いて手元であらゆる方向から 3 次元的に確認できるようにする。3D モデルの VR 空間での操作を Unity の XR Interaction Toolkit を利用して作成した。これにより 3D モデルを VR HMD で確認でき、またコントローラ操作に連動する仮想の手のモデルを使って 3D モデルを自由に操作することができる。今回は生地 の 3D モデルのデータ量が膨大で PC の描画性能に耐えないため、生地 の 3D モデルの VR 空間への配置は見送ったが、VR を使って 3D モデルを手元で立体的に確認できることは、生地 の風合いを把握するのに十分有効であると考えられる。



図11: 布地の実物との 3D データの MixedReality 表示

5-3 3D モデル表面のカーブ特徴抽出

生地 の物体に被せて垂らしたときに、生地 の柔らかさ(ドレープ感)の違いによって変化する全体形状を捉えるため、生地 の 3D モデル表面のカーブ特徴を抽出し分析する。ただし、今回は点群データ量が膨大な生地 の 3D モデルは用いず、CG ソフトで作成された点群データが少なくかつ閉じていないサーフェスモデルの 3D モデルを用いて実験を行った。サーフェスモデルの頂点を求め、そこからモデルの表面に沿って等高線および稜線を指定した間隔で引き、それら線分上の各点における法線ベクトルおよび接線ベクトルの変化をグラフで可視化した。これにより 3D モデル表面のカーブ特徴を分析するヒントとなる数値データが得られた。今後は点群データ量の多い生地 の 3D モデルを扱うためのより高速な処理と、頂点がずれて抽出されるカーブ特徴が変化することを考慮した安定的な手法の検討が必要である。

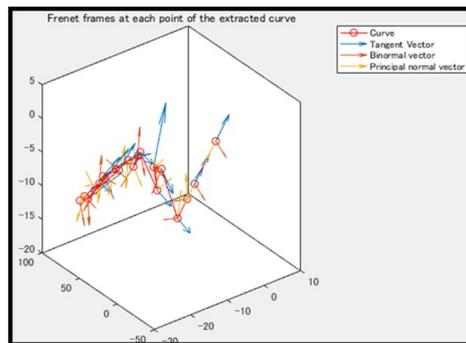


図12: サーフェスモデルのカーブ特徴の抽出

6 おわりに

本研究では、300 年間丹後地域を中心に保存されてきた丹後ちりめんの文化的価値のある資料のデジタルアーカイブのために、資料の内容・保存状態の把握や機械設備の所蔵現状の調査を行った。また、京丹後地域の西陣織職人のインタビュー調査を行い、織職人としての丹後ちりめんに関する思いや職人の作業における「技」や「コツ」なども聴くが出来た。また、丹後ちりめんの風合い色の配色などのデータベースの構築のために、丹後ちりめんのシボや文様が織りなす生地 の美しさと布の表面特徴を 3D スキャナで計測し、VR 空間上で表現、体験する手法を試みた。今後の課題としてこれらの結果を用いて、丹後ちりめんの 3D アニメ

ーションのデジタルデータをアーカイブとして作成し、生地の3Dアニメーションから画像処理によって抽出した特徴量を用いて、柔らかさや光沢感などの人が感じる生地の風合いを関連付けた生地の検索システムの開発を目指す。

【参考文献】

- [1] パワフルかんさい, 近畿経済産業局, No.415, 2004年4月号, 53項
- [2] 丹後ちりめんについて, 京都府織物・機械金属振興センター配布資料
- [3] 京都府織物機械金属振興センター, <https://www.pref.kyoto.jp/oriki/>
- [4] 北部産業創造センター, https://www.pref.kyoto.jp/sangyo-sien/nicc/nicc_index.html
- [5] 衣嶋昌俊, 小田切智, 大淵竜太郎, 人間の感性に基づく3次元モデルの形状類似検索, 情報処理学会研究報告, vol.2002, no.16, pp.25-30, 2002.
- [6] 後藤啓太, 古屋貴彦, 大淵竜太郎, 内部構造を考慮した3次元モデルの検索, 研究報告コンピュータビジョンとイメージメディア(CVIM), vol.2011, no.3, pp.1-8, 2011.

〈発表資料〉

題名	掲載誌・学会名等	発表年月
丹後ちりめんに関する情報のデジタルアーカイブと布の風合い評価システム構築に関する基礎研究	福知山公立大学研究紀要	2021年3月
「丹後ちりめん」情報のデジタルアーカイブ活動報告	福知山公立大学研究紀要	2022年3月
Attention to digital archive of Japan TANGO CHIRIMEN information	The 2023 SFTI-Piattaforma Moda International Conference	2023年7月