

鎧兜の3次元計測データに基づくデジタルコンテンツの作成

ZHANG Zian (立命館大学情報理工学研究科)

LI Liang・長谷川恭子・田中覚 (立命館大学情報理工学部)

概要：近年、3次元計測などの技術を利用し、重要な歴史文化財をデジタルデータとして保存・再利用することは、デジタルアーカイブという取り組みが行われている。本研究では、京都市弓矢町弓箭閣と徳島城博物館の鎧兜を対象とする。著者らが確率的ポイントレンダリングという透視可視化手法とポアソンディスクサンプリングを使用し、アクセスしやすいWebページを利用し、鎧兜を対象に外部構造を立体的に観察できるデジタルコンテンツを作成する。鎧兜の装飾を理解することができることを期待されている。

キーワード：鎧兜, 3次元計測, Webコンテンツ, デジタルアーカイブ

Creation of Digital Content based on 3D Measurement Data of Japanese Armor

Zian ZHANG (Graduate School of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University)

Liang LI, Kyoko HASEGAWA, Satoshi TANAKA (College of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University)

Abstract: Recording and preserving important historical and cultural properties as digital data using techniques such as 3D measurement has been widely conducted. In this research, we used a transparent visualization method called stochastic point-based rendering, Poisson disk sampling, and web pages to produce digital content that allows the appearance of an object to be viewed in three dimensions. We applied our method to the armors of the Yumiyacho Kyouzenkaku in Kyoto and Tokushima Castle Museum. This digital content has made it possible to let us understand the decoration of the armors.

Keywords: Armor, 3D measurement, Web content, Digital archive

1. まえがき

歴史的な建物、物、芸術的な作品などの文化財は、自然災害や人為的な破壊、対象物自身の特性などにより、経年劣化や損傷の可能性がある。保護手段の強化に加え、世界各国では新しい技術を積極的に活用し、文化財をデジタルデータ化し、資源を保存・記録・再利用をするために「デジタルアーカイブ」という取り組みが行われている[1]。また、デジタルアーカイブを展示に活用して、より多くの人々が気軽に文化財を鑑賞できるデジタルミュージアムも盛んである。とくに有形文化財に関しては、3次元計測技術の発展により、レーザや写真を用いてデジタルアーカイブ化できるようになったが[2]、計測の1次データである3次元計測点群を人為的な加工をせずにそのまま活用したデジタルミュージアム少ない。

そこで本研究では、2019年度から行われている京都市弓矢町の弓箭閣と徳島城博物館のデジタルアーカイブのプロジェクトの一環として、3次元計測点群を活用したデジタルミュージアムのコンテンツを開発する。コンテンツはWebページの型式とし、ユーザがマウスやタップ操作を利用し、パソコンだけでなく、タブレットやスマートフォンなどでも鎧兜の外部構造を様々な角度から観察できるようにする。また、それぞれの

鎧兜の装飾の違いを拡大することによって理解することも可能にする。これらにより、鎧兜のインタラクティブな展示を実現する。

2. 対象とする鎧兜

2-1. 弓矢町弓箭閣と鎧兜

弓矢町には、先祖代々受け継いできた町有の「弓箭閣」という町会所があり、「土蔵」が併設されている[3]。その土蔵の中に、過去に祭り等で使用した種々の品物(鎧兜、弓矢、太刀等)や古文書類が多く保存されている。

江戸時代、弓矢町には、八坂神社に奉仕する人々が住んでおり、祇園祭に法師姿や甲冑姿の武者が、神輿行列に参加していた経緯がある。明治になり、弓矢町では鎧兜などを個人所有する町民が多く、その武具を身に着けて祇園祭に武者行列を実現するため、「行列式目」(行列に参列するための町内会の取り決め)を制定した。明治5年に鎧兜姿の30人の町民が参加し、第1回目の武者行列を始め、その後も毎年、行列が行なわれた。

そして、明治から昭和の長い年月にわたって甲冑姿の武者行列を重ねていくうちに、鎧兜の損傷も大きく、そのため30領以上あった鎧兜が14領に激減し、修理費も増大したため、昭和49年を最後に祇園祭の武者行列は中止となった。行列が

中止となった翌年の昭和 50 年から、現存の 14 領の鎧兜を祇園祭神幸祭に合わせて、毎年 2 日間、町会所の弓箭閣と町内の当番の各家で、虫干しを兼ねて飾る「武具飾り」を行っている。

弓箭閣で現存する鎧兜は 14 領があり、それぞれ銘があり、「義印」、「壽印」、「天印」、「福印」、「大将印」、「御使者弍領」、「信印」、「智印」、「愛宕印」、「禮印」、「花印」、「松印」、「仁印」と呼ばれる。鎧兜の写真を図 1 に示す[4]。



図 1 弓箭閣の鎧兜

2—2. 徳島城博物館と紫系威大鎧

徳島市立徳島城博物館は徳島藩と蜂須賀家に関する歴史資料を保存し、その中で紫系威大鎧と呼ばれた徳島藩第 8 代藩主蜂須賀宗鎮 (1721~1780) 所用の甲冑がある。平安時代から鎌倉時代にかけて用いられた優美な大鎧を模した復古調の鎧である。紫系とともに、裾部分は茜系で威されており、色鮮やかである。兜の吹返や籠手などには、蜂須賀家の替紋である「稲丸紋」があしらわれる。鎧の内に着用する満智羅まで現存するなど、保存状態が良好である[5]。

3. 可視化手法の紹介

本研究では、複雑な凹凸の形状を有する鎧兜の 3 次元計測点群を高精細に可視化するため、確率的ポイントレンダリング (Stochastic Point-Based Rendering: SPBR) を用いる [6, 7, 8, 9]. SPBR は、独自の確率的アルゴリズムを利用し、大規模点群データの高速・高精細な半透明可視化が可能であり、不透明度を大きくすることにより、高精細な写実的可視化も可能である。合わせて、点群の密度調整にはポアソンディスクサンプリング (Poisson Disk Sampling: PDS) を用いる [8, 9, 10, 11]. PDS は、画像処理の分野においては点描の生成に用いられ、点の適切な間引きを通じて点間距離を均一にできる。SPBR と PDS を組み合わせることで、視認性が高い結果を得ることが期待される。

3—1. 確率的ポイントレンダリング

確率的ポイントレンダリング (SPBR) は大規模な 3 次元点群でよく使われ、外部及び内部を高

精細可視化できる。計測ノイズを自動消失させることで高精細な可視化を可能にしている。

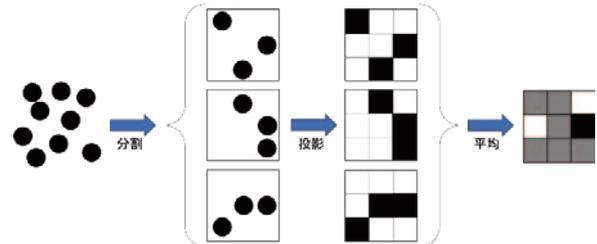


図 2 確率的ポイントレンダリングの処理手順

図 2 に示すとおり、SPBR は以下の処理過程を通してレンダリングが行われる。

Step 1 (点生成) : 可視化対象となる 3 次元点群データをもとに、平面・曲面上で一様な点密度で点を生成する。生成する点は中心座標、色、法線を持ち、点数は不透明度から自動的に決定される。

Step 2 (点投影) : Step 1 で生成した点群を複数のグループにランダム分割する。分割したグループの数をリピートレベル (以下 L_R) と呼ぶ。各グループは統計的に互いに独立かつ同一な点密度分布を持つ。そして、分割した各グループの点群をそれぞれの画像平面に投影し、 L_R 枚の中間画像を生成する。投影の際には、点が不透明を反映させるために隠点処理を行う。

Step 3 (ピクセルの平均輝度値の決定) : Step 2 で生成した L_R 枚の中間画像に対して、各中間画像内の対応するピクセルの平均輝度値を決定し、半透明画像が生成される。

3—2. ポアソンディスクサンプリング

3 次元計測点群は計測環境によって点密度の偏りが発生し、可視化品質に悪影響を与える可能性がある。従来は点群の点間距離を一定にすることで、点密度の偏りを一様にするグリッド法が用いられていたが、グリッド法では計測で得られた点の座標を移動してしまうため、元データが変更されるというデメリットがある。保存データの正確性が求められる文化財のデジタルアーカイブのためには不適切である。そこで、SPBR を行う前に PDS による点の間引きを実行する。

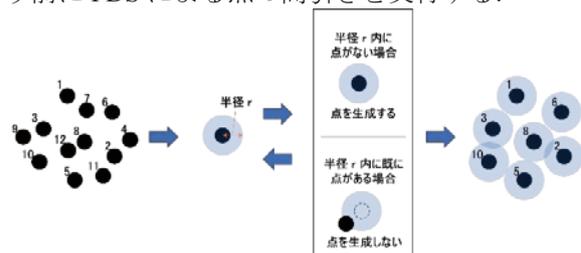


図 3 ポアソンディスクサンプリングの処理手順

図3に示すとおり、PDSは以下の処理過程を行われる。

Step 1: 3次元計測点群を読み込み、全点に対してランダムに番号を付ける。

Step 2: 全点に対して、点それぞれの3次元球の半径 r を設定する。

Step 3: ある一つの点に注目し、注文した点を中心とする半径 r 内に他の点がある場合、注目点を棄却する。他の点がない場合は、注目点の存在を許可する。

Step 4: Step 3を全点に対して番号順に繰り返し行う。

同じ点群に対してPDS手法を複数回に行うと毎回座標が異なった点群データが生成される。生成された点群データを重ね、点密度の偏りをなくしながら、外部構造を構成する点群の数を増加し、外部構造の視認性を向上させる。

4. Webコンテンツの作成

4-1. 回転画像の作成

本研究で扱うデータは、写真計測データとレーザ計測データの2種類である。現段階で獲得したデータは主に弓矢町弓箭閣の鎧兜であり、写真計測データは「愛宕印」、「幟」(鎧兜に装着する品物)、の二つである。レーザ計測点群データは「仁氏印」と「義印」の二つである。計測したデータに対し、トリミングした後、SPBRを用いて回転画像群を作成する。

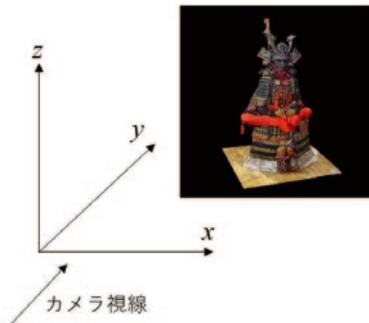


図4 回転画像の作成

回転画像を作成する際は、正面画像からX軸とZ軸を中心に、15度ずつ回転するごとに画像を作成する。一つの対象につき576枚の全体画像を作成する。

次に、拡大の回転画像を作成する。最初に、視点をY軸方向に移動させ、正面画像からZ軸中心に15度ずつ回転させた画像を作成する。次にプログラム内でカメラ視点のパラメータを変更することで、正面画像での視点をZ軸方向に移動させ、さらにZ軸中心に15度ずつ回転させた画像を作成する。上述の操作を繰り返し行った後

に、はじめと同様に、視点をY軸方向に移動させる。これを3回繰り返し、3段階の拡大の回転画像を作成する。各対象に対し、各拡大段階で240枚の画像を作成し、3段階で合計720枚の画像を作成する。

画像のフォーマットとしては、モバイル端末でアクセス速度や回線速度が遅い環境にも対応するため、WebP画像を採用する。WebPフォーマットはGoogle社が開発しているオープンな画像フォーマットであり、Webサイトのトラフィック量軽減と表示速度短縮を目的としている。また、一部の古いデバイスではWebP画像が読めないことがあり、互換性を考慮し、JPEG画像も作成する。画像の作成においては、画質はアルゴリズムのデフォルト値である75を採用する。

表1 拡大画像と全体画像を含まれる各対象物のデータ容量

対象物 (フォーマット)	容量 (MB)
愛宕印 (PNG)	1307.06
愛宕印 (JPEG)	171.73
愛宕印 (WebP)	135.62
仁印 (PNG)	1155.05
仁印 (JPEG)	149.12
仁印 (WebP)	113.10
義印 (PNG)	1222
義印 (JPEG)	154.85
義印 (WebP)	117.16
幟 (PNG)	111.96
幟 (JPEG)	19.15
幟 (WebP)	8.51

4-2. Webページの作成

今回は弓矢町の鎧兜を中心にWebページを作成する。図5と図6に示すように、トップページとデジタルコンテンツのページを分かれている。トップページには鎧兜のスライドショーと説明文を含まれ、デジタルコンテンツのページには画像と操作ボタンが配置されている。



図5 トップページのレイアウト

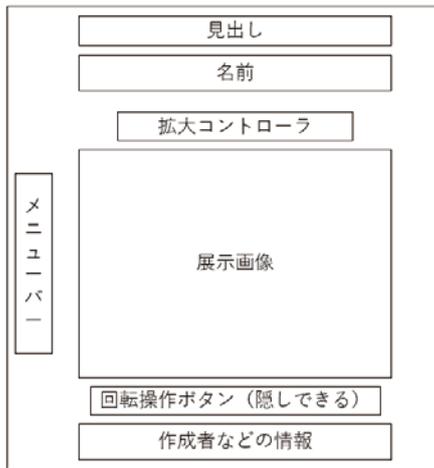


図 6 デジタルコンテンツのレイアウト

スライドショー：各鎧兜から4枚の画像を選び、スライド用画像にする。さらに一定時間ごとに自動的に切り替わるスライドショーを作成し、気になるスライドをクリックすると対応する鎧兜のページへ移動する。

説明文：鎧兜や弓箭閣に関する紹介を載せ、その歴史を理解してもらう。

メニューバー：ユーザに閲覧したいページにアクセスするために、メニューで各鎧兜の展示ページと弓箭閣のページのボタンを載せ、現在閲覧しているページに対応するボタンの色も変える。また、説明文や鎧兜画像の一部が見えなくなるのを防ぐため、メニューは常に非表示にして、メニューボタンの上にカーソルを置くか、ボタンを指で押したときに、詳細なメニュー内容がポップアップするように設定されている。

拡大コントローラ：展示画像の上には拡大段階を調整するスイッチとスライダーが配置されており、ユーザが画像の拡大・縮小を調整することができる。

展示画像：ページ内の情報に対応する鎧兜の画像が表示され、マウスやタッチで画像の切り替えを行い、回転の様子を表示する。具体的には、マウスや指を使って画像を押し続けると、プログラムはユーザの動きの軌跡を追跡し、その軌跡に応じて、ユーザが押し続けるのを終えるまで、ある方向に12ピクセルを移動するごとに、対応する方向に画像を切り替える。

5. 実行結果・テスト・考察

5—1. 実行結果

義印は節 3.2 で説明した手法を用い、PDS を10 回行った結果の点群データがすべてを合成させ、用いる前と用いた後の視認性の違いを図7と図8に示す。

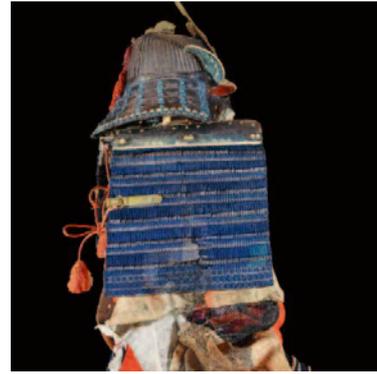


図 7 PDS を用いる前の結果



図 8 PDS を用いた後の結果
作成した対象物の一つとする愛宕印の可視化結果を図9に示す。



(a) 全体像



(b) 拡大1段階



(c) 拡大2段階



(d) 拡大3段階

図9 愛宕印の可視化結果

Web 上にトップページとデジタルコンテンツのページを表示した結果は図10と図11に示す。



図10 トップページの表示結果



図11 トップページの表示結果

5-2. ローディングテスト

画像フォーマットを変更することで、ブラウザで閲覧時の画像の見た目に影響を与えることなく、ユーザの待ち時間を短縮できる。時間短縮効果を検証するために、ページのローディングテストを実施した。インターネットの速度環境を一様化するために、ブラウザの開発者ツールでインターネットの速度を100Mbpsに設定し、キャッシュも無効にする。また、Webページをローカルサーバーに保存する。テスト環境を表2に示す。

表2 テスト環境

OS	Windows10 Home
CPU	AMD Ryzen 5 4600H
ブラウザ	Microsoft Edge (94.0.992.50)
回線速度	100Mbps

具体的には、ページ内のプログラムでタイマーを追加し、画像の読み込み開始から完成までの時間をブラウザで表示する。それぞれ15回をアクセスし、所要時間を記録し、その平均値を求める。テストページは愛宕印のデジタルコンテンツのページである。

それぞれの訪問時間の記録と平均値を図12と図13に示す。

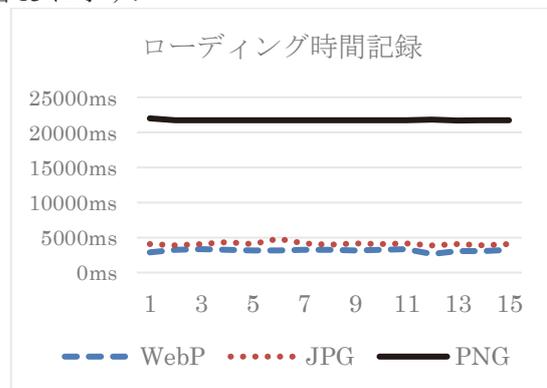


図12 ローディング時間記録

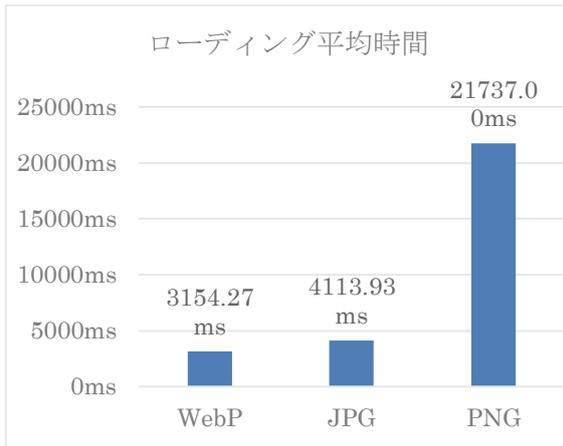


図 13 ローディング平均時間

図に示したように、回線速度が 100Mbps で画像フォーマットを変えた後のローディング平均時間は前より十秒以上短縮されたことが分かる。

5—3. 考察

Web コンテンツに関して、メニューバーを設置したことにより、ユーザが見たいページに移動することができた。そして、スライドショーに表示されている画像をクリックすることで、その画像に対応するデジタルコンテンツのページへ移動する機能も実装した。また、画像フォーマットの切り替え、レイアウトの自動調整など、モバイル・タブレットと回線が遅い環境での体験も改善した。しかし、ページのコンテンツとレイアウトにはまだ改善する余地がある。新たな機能も追加し、ユーザが使いやすいものに改良する予定である。

6. 結論

本研究では、京都弓矢町弓箭閣との共同プロジェクトの一環として、鎧兜の構造を立体的に観察し、それぞれの装飾の違いを理解することができる Web ページのデジタルアーカイブコンテンツの作成と改善を行った。

今後の展望としては、観光資源として有効活用するための、現実の博物館の展示とのリンク、コンテンツのアプリ化とタブレット端末への移植などを考えている。

参考文献

[1] 内閣府知的資産戦略推進事務局, “デジタルアーカイブの構築・共有・活用ガイドライン”, 入手先 <https://www.kantei.go.jp/jp/singi/titeki2/digitalarchive_kyougikai/guideline.pdf>(参照 2021-01-24)
 [2] 内閣府知的資産戦略推進事務局, “我が国におけるデジタルアーカイブ推進の方向性,” <https://www.kantei.go.jp/jp/singi/titeki2/digitalarchive_kyougikai/houkokusho.pdf>(参照 2021-09)

[3] 弓箭閣, “京都を彩る建物や庭園”, 入手先 <<https://www.kyoto-irodoru.com/mobile/higashiyama/kyusenkaku.html>>(参照 2021-01-24).
 [4] 地縁法人東弓矢町町内会, “弓矢町武具飾,” <https://kyuusenkaku.web.fc2.com/index.html>. (参照 2021-01)
 [5] 徳島市立徳島城博物館, “紫糸威大鎧 (むらさきいとおどし おおよろい): 徳島市公式ウェブサイト”, 入手先 <<https://www.city.tokushima.tokushima.jp/johaku/meihin/page03-00/page02-02.html>> (参照 2019-06-28)
 [6] Li W, Shigeta K, Hasegawa K, et al. "Collision Visualization of a Laser-Scanned Point Cloud of Streets and a Festival Float Model used for the Revival of a Traditional Procession Route." *Int. Arch. Photo-gramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, Vol.XLII-2/W7, pp.255-261(2017).
 [7] Tanaka S, Uemura M, Hasegawa K, et al. "Application of stochastic point-based rendering to transparent visualization of large-scale laser-scanned data of 3d cultural assets." 2014 IEEE Pacific Visualization Symposium. IEEE, pp. 267-271(2014).
 [8] S.Tanaka, K.Hasegawa, N.Okamoto, et al. "See-Through Imaging of Laser-scanned 3D Cultural Heritage Objects based on Stochastic Rendering of Large-Scale Point Clouds," *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*,III-5, pp.73-80, doi:10.5194/isprs-annals-III-5-73-2016(2016).
 [9] Tanaka S, Hasegawa K, Shimokubo Y, et al. "Particle-Based Transparent Rendering of Implicit Surfaces and its Application to Fused Visualization." *EuroVis (Short Papers)*, pp.35-29(2012).
 [10] Shu Yanai, Ryohei Umegaki, Kyoko Hasegawa, Liang Li, Hiroshi Yamaguchi, Satoshi Tanaka, "Improving Transparent Visualization of Large-Scale Laser-Scanned Point Clouds by using Poisson Disk Sampling", *Proc. 2017 International Conference on Culture and Computing*, Sep. 10, 2017, pp.13-19.
 [11] Uchida T, Hasegawa K, Li L, et al. "Noise-robust transparent visualization of large-scale point clouds acquired by laser scanning," *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*,vol. 161, pp.124-134, DOI:10.1016/j.isprsjprs.2020.01.004(2020).