

損傷状態に対応した形状の3次元デジタル復元

河嶋 壽一
龍谷大学 理工学部

遺物の一つの古文書などは歴史や文化情報などが反映された貴重な資料であるが、それらの版画や版木を刷るために用いられた版木は永年の使用により、絵や文字などの彫られた形状が摩耗あるいは損傷していく。版木の形状の損傷状態は多様であるため、形状を復元する場合には、形状の損傷状態に対応して適切な復元方法を適用する必要がある。本研究では、彫られた絵や文字の損傷状態が異なる版木を対象物として、3次元デジタルデータによる、損傷状態に対応した版木の形状復元方法を提示し、形状復元を行うとともに復元版木の制作を試みた。

3-D digital restoration of shapes corresponding to damaged conditions

Hisakazu Kawashima
Faculty of Science and Technology
Ryukoku University

The ancient documents are precious relics in which history and culture information were reflected, but carved shapes of pictures or characters of wooden blocks for printing documents were worn out or damaged by longtime use. Since damaged conditions of wooden blocks are various, it is necessary to apply suitable restoration methods corresponding to damaged conditions of shapes in the restoration process. In this paper, I proposed shape restoration methods for carved wooden blocks corresponding to damaged conditions by three-dimensional digital data. For several types of damaged pictures or characters of wooden blocks, I restored their shapes and tried to make restored blocks.

1. まえがき

遺跡などから発掘される多くの遺物は、劣化や破損していることが多い。これまでの遺物の復元方法では、遺物に直接触れて作業するため、発掘直後の状態よりさらに遺物を損傷する可能性があった。一方、3次元デジタル技術を用いることにより、立体物にほとんど触れることなく、形状などのデータをデジタル化して復元することが可能になってきている[1]。デジタル化した3次元データは、遺物が時間の経過につれて劣化するのに対して、遺物の持つ情報を半永久的に保持するとともに、広範囲への活用が可能となる。

遺物の一つの古文書などは、歴史や文化情報などが反映された貴重な資料であり、版画や版木を刷るために用いられる版木の制作や版画の作成についての研究[2]が行われている。用いられた版木は永年の使用により、絵や文字などの彫られた形状が摩耗あるいは損傷していくが、それらの形状の復元に関する研究は少ない。版木の形状の損傷状態は多様であるため、形状を復元する場合には、形状の損傷状態に対応して適切な復元方法を適用する必要がある。そこで本論文では、彫られた絵や文字の損傷状態が異なる版木を対象物として、3次元デジタルデータによる、損傷状態に対応した版木の形状復元方法を提示し、形状復元を行うとともに復元版木の制作を試みた。

2. 形状復元方法の概要

非接触3次元計測により得た3次元形状データを用いて、損傷箇所の形状を復元する。このとき、損傷の程度に対応して、下記の方法を適用することにより3次元デジタル復元を行う。

(1) 損傷箇所と類似の形状データがあるとき：そのデータを活用して、必要に応じて一部修正し、損傷箇所に貼り付ける。

(2) 損傷箇所と類似の形状データはないが、損傷箇所の残存形状が認められるとき：残存形状から輪郭線を求めた後に、損傷箇所の3次元復元データを作成し、損傷箇所に貼り付ける。

(3) 損傷箇所と類似の形状データがなく、損傷箇所の残存形状も認められにくいとき：形状の等高線を求め、非損傷箇所の等高線を延長するなどにより輪郭線を求めた後に、損傷箇所の3次元復元データを作成し、損傷箇所に貼り付ける。

以上の方法を適用して復元した3次元デジタルデータを用いて、形状を復元した版木を制作する。

3. 対象物

元三（がんさん）大師に関する絵が彫られた図1の版木1と、文字が彫られた図2の版木2を対象物とした。元三大師は、平安時代の比叡山延暦寺の僧侶であった、慈恵大師良源（912-985）のことで、図3の御札の参考図に示すよう

に、骨だけの鬼の姿になり厄病を追い払ったと伝えられ、正月三日に入滅したことから元三大師とも呼ばれる。



図1 元三大師の版木1



図2 元三大師の版木2

版木1は、約24cm×約14cm、厚さが約2cmの木片に像が彫られている。全体に虫食いの穴があり、とくに、矩形枠中の、直角（つの）、右顔、右膝の損傷が大きい。なお、以下では版木に向かったの右・左で表現する。

版木2は、約25cm×約9cm、厚さが約1.5cmの木片に文字が彫られたもので、出所については御着村延命寺と記されているが、年代なども不明である。版木には虫食いの穴が一部にあり、とくに図2中の矩形枠で囲まれる箇所の文字の損傷が大きい。版木に彫られた文字は、後述の図7より、下記のように判読された。

「 来ル四月二日ヨリ八日マテ
元三大師御供米
御着村 延命寺 」

版木1には復元方法の（1）および（2）を適用し、版木2には復元方法の（3）を適用した。



図3 元三大師の御札の参考図

4. 実験結果と考察

4.1 3次元形状計測

レーザ式非接触3次元形状測定機（東京精密社製 PS200）を用いて、版木の3次元形状を計測し、3次元デジタルデータを、三角形メッシュの集合で表現する STL 形式で保存した。その後、STL 形式データを3次元データ処理ソフト（INUS Technology 社製 RapidForm）に読み込んだ。一例として、版木1の上半分の形状と損傷箇所を図4に示す。直角と右顔の損傷が大きい。

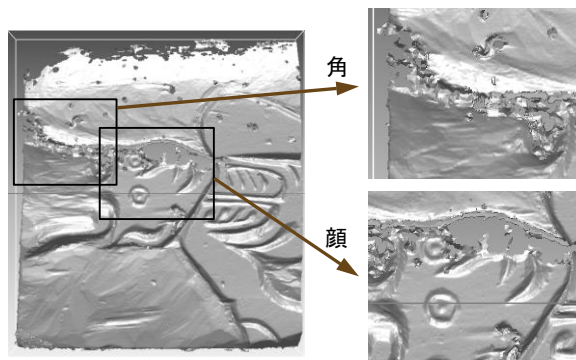


図4 上半身の形状と損傷箇所

4.2 復元方法(1)による復元

一例として、図4の直角について、図5（1）に示すように、類似の形状が残っていた左角のデータを用い、これをコピー・反転した後、図5（2）中の矩形枠で示すように、損傷箇所に貼り付けた。このままの状態では右角の残存形状とは一致しないため、図5（3）に示すように、形状を変形することにより復元した。すなわち、3次元データの変形制御点を移動し、残存形状にできるだけ一致するように形状を変形した。復元後の形状を図5（4）に示す。

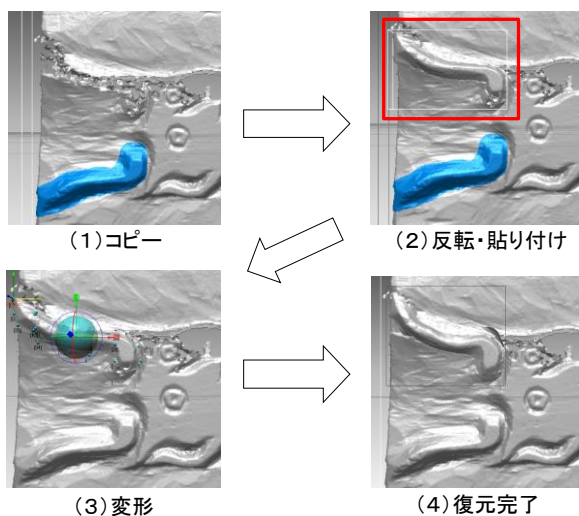


図5 直角の復元手順

4.3 復元方法(2)による復元

STL 形式データをモデリングシステム (SensAble Technologies 社製 FreeForm) に読み込み、3次元デジタルクレイを作成した。ここでは、FreeForm の特徴であるクレイに接触するときの触感を活かしながら[3]、復元を行った。一例として、図4における右顔の損傷は大きく、復元方法(1)のように参照可能な形状データを用いることができない。ただし、損傷箇所の底部の輪郭を読み取ることは可能である。そこで、残存している右頬の輪郭線を活用することにより、復元を試みた。

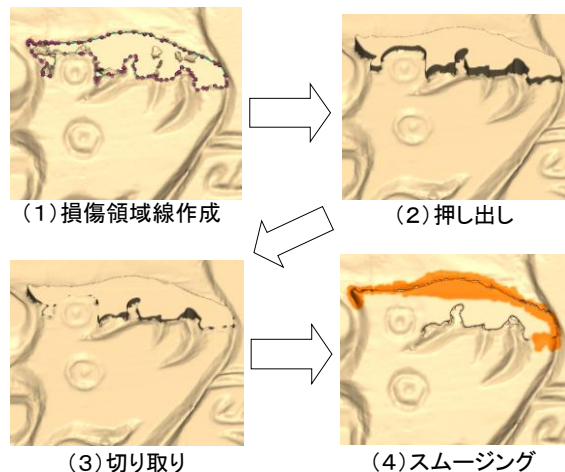


図6 右顔の復元手順

まず、図6(1)に示すように、損傷している領域の外周部に座標点を設け、それらを接続することにより、損傷領域の輪郭線を得た。次に、得られた輪郭線内に作成した平面を、図6(2)に示すように厚さ方向に押し出した後に、図6(3)のように損傷していない面の高さに合わせて切り取った。その後、図6(4)に示すように、スムージング処理により表面のおうとつ形状を調整して、周囲の状態と調和した立体感を与えた。

4.4 復元方法(3)による復元

版本2については、形状の損傷が大きく、復元方法(1)および(2)を適用することが難しかったため、復元方法(3)を適用した。まず、STL 形式データを RapidForm に読み込んだ後に、厚さ方向の等高線を求めて、文字の同一高さにおける輪郭線を表示した。図7では、文字部の最高位置から 3.20mm 下までの領域を 40本の等高線で等間隔に区切り、赤色から青色まで変化する色で高さを表示している。得られた同図により、前述のように彫られた文字を判読することが容易になった。次に、この2次元画像を bmp 形式で保存した。その後、この画像を

Photoshop に読み込み、等高線による輪郭線を基に、損傷した文字形状の復元を行った。

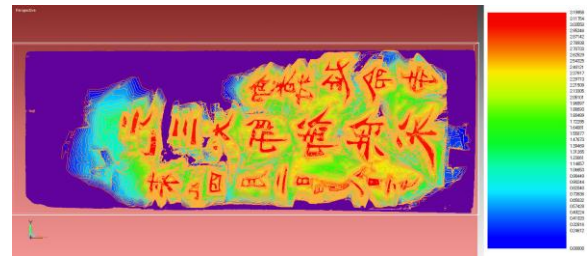


図7 3次元形状の等高線表示

一例として、文字「大」の写真を図8に示す。損傷は大きく、復元形状を適切に求めることは難しい。ここでは、図9に示す等高線画像に基づいて、文字「大」の第一画と第三画の復元手順と結果を以下に述べる。最初に、第一画の左半分の箇所から復元を行った。

図10(1)中の下側の楕円枠で囲まれる箇所では、両側に損傷していない文字の輪郭が残っているため、両者の端部を図10(2)に示すように接続した。ここで、文字の輪郭を示す等高線の中で、上から2番目(局部を含む全体では3番目)の等高線が全体の輪郭を良好に大きく表示していることから、その等高線どうしを接続することにより文字の輪郭の一部を得た。次に、図10(2)において、左側の矢印の方向が示すように、左上部の上から2番目の等高線を右上に延長するとともに、図10(1)中の上側の楕円枠で囲まれる箇所についても、上から2番目の等高線を、矢印の方向が示すように、左上に延長した。これら2つの延長線の交点を求めて、図10(3)に示すように、第一画左半分の文字の輪郭を復元し、文字形状を塗りつぶした。

次に、図11(1)に示すように、第一画の右半分の復元を行った。ここでは、右下りの形状を想定して、下記の手順で復元を試みた。まず、図11(2)に示すように、文字の上側と下側において、文字中央部付近における上から2番目の等高線を、右下りの矢印が示す方向に延長した。次に、損傷前の文字の右端と考えられる位置を、以下の手法で求めた。すなわち、図11(3)において、第二画と第三画が交差する○印の位置の上方に第一画の中央部を定め、中央部から左端までの長さを計測した後に、中央部から逆の右側で、左側と等しい長さの位置に右端を定めた。その右端より、図11(2)中の右側の矢印が示すように、文字の右底部に残っている形状に沿った方向に、右側の文字の輪郭線を描いた後に、図11(4)に示すように右半分の文字形状を塗りつぶして、第一画の復元を終了した。



図8 文字「大」の拡大写真

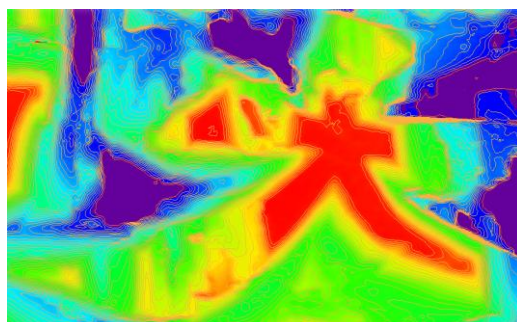


図9 文字「大」の等高線画像

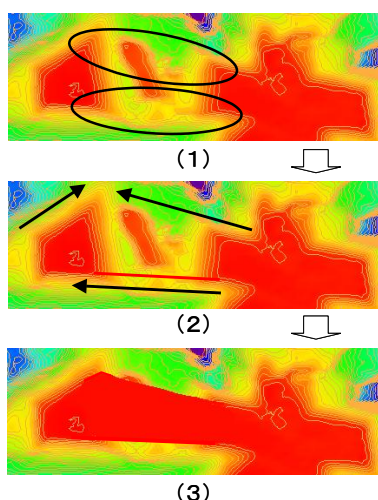


図10 文字「大」の第一画左半分の復元

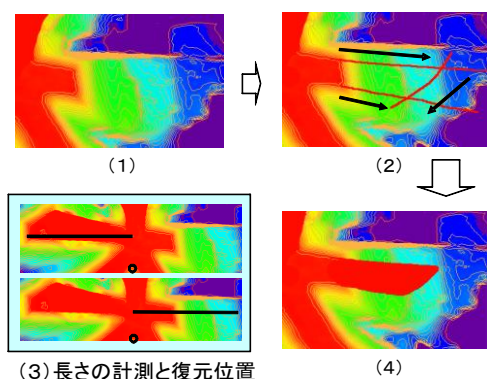


図11 文字「大」の第一画右半分の復元

第三画については、図12(1)に示すように、左先端付近における○印の位置での損傷箇所に残っている文字部の一部が残っているため、そこでの等高線を参照しながら復元を行った。○印の位置で最も高い等高線は、全体での上から10番目の等高線であった。そこで、複数の損傷箇所の上から10番目の等高線を、底部に残っている形状に沿った方向に接続しながら描き、文字形状の概略を得た。次に、この形状に沿って、図12(2)では、同様に、上から4番目の等高線を描いた。さらに、この等高線に沿って、図12(3)に示すように上から2番目の等高線を描いた。この等高線により得られた文字形状を図12(4)に示すように塗りつぶして、第三画を復元した。

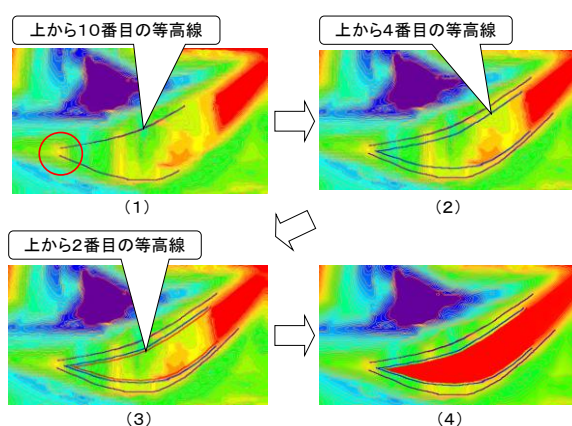


図12 文字「大」の第三画の復元

4.5 復元版木の制作と版画作成

図13には版木1の形状全体を復元した3次元データを示す。STL形式で保存した復元データを用いて、ケミカルウッドを機械加工して復元版木を制作し、その結果を図14に示す。これにより、復元版木を実際に手に触れて観察するとともに、紙に版画を刷ることが可能になった。復元版木に墨またはスタンプインクを塗布し、版木の上に乘せた紙の上をバレンで押し付けながら刷ることにより得られた版画を図15に示す。

図16には版木2の文字全体を復元した結果を示す。次に、図17に示すように、復元した文字形状部のみを黒色に、他を白色にして、bmp形式で保存した。図17の復元画像をFreeFormに読み込み、素材平板の表面に対応する3次元デジタルクレイの上面に投影した。このとき、文字以外の白色部の領域に対応するクレイを一定高さだけ除去し、文字部を残した。この操作により、2次元の文字形状に厚みを与えて3次元化し、復元した版木の3次元デジタルデータを得た。STL形式で保存した復元データを用いて、樹脂造形機によりABS樹脂製の復元版木の造形を行った結果を図18に示す。その後、復

元版木に墨を塗布して版画を作成し、得られた版画と版木の文字形状とを比較しやすくするために、版画の画像を反転して図19に示した。図17と図19を比較することにより、復元した文字形状が版画に刷られていることがわかる。

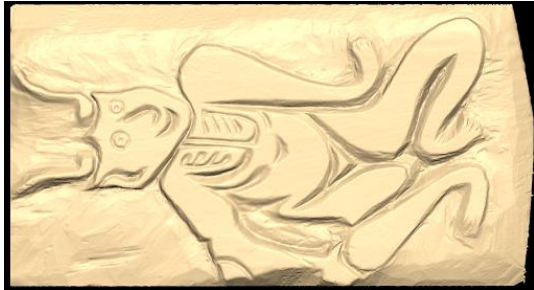


図13 版木1の復元結果



図14 制作した復元版木1

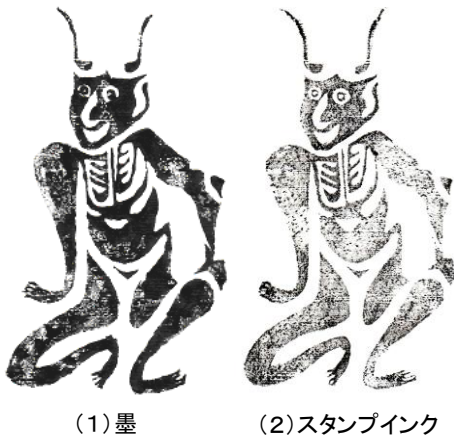


図15 復元版木1を用いた版画

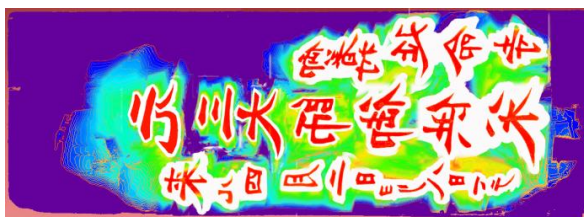


図16 版木2の文字全体の復元結果

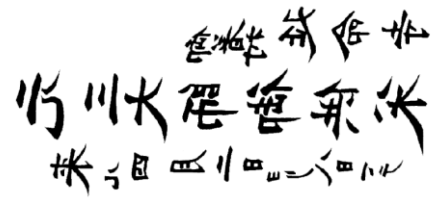


図17 復元文字全体の黒色化



図18 造形した復元版木2

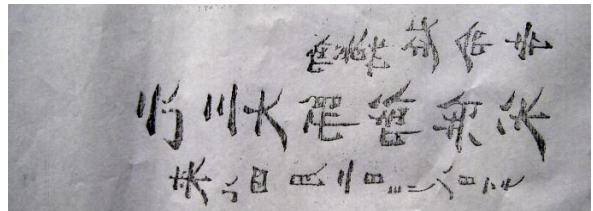


図19 復元版木2を用いた版画（反転画像）

5. まとめ

版木に彫られた絵や文字の形状の損傷が比較的小さい場合には、復元方法（1）と（2）を適用することにより、残存データから形状を復元することが可能であった。しかし、損傷が大きくて残存形状を認めにくい場合には、実物や写真などを参照しながら絵や文字の幅や端部の位置などを求めようとしても、不確定さが生じる。

復元方法（3）では3次元計測データから得た等高線画像を新たな情報として用いることにより、文字の輪郭を求めるときの不確定さを低減しながら復元を試みた。損傷箇所の底部に残っている等高線の形状を参考に、損傷を受けていない箇所の文字の等高線を基準にして文字の輪郭線を求めることにより、文字形状の2次元画像での復元を行った。

次に、2次元復元画像から3次元デジタルデータを作成した。その後、復元版木を制作し、その版木を用いて版画を作成した。これらの一連の工程により、非接触で版木の復元を行い、版木を手で触れて観察し、そして版画を刷ることを可能にした。

6. あとがき

今回の論文では二つの実施例を中心に述べたが、本論文で提示した実際の復元方法に関する知見は、遺物の考古学的情報を考慮しながら適切に適用していくことにより、遺物のより正確かつ効率的な復元に活用できると考える。

なお、今回復元した絵および文字の形状は、復元の可能性の一つとして得たものであり、損傷が大きい箇所での復元方法については、今後のさらなる検討は必要である。

今回提示した形状復元方法を基にして、復元の作業段階における不確定さをできるだけ低減する方法を発展させてシステム化することにより、遺物の復元の実用化につなげることができると考える。

参考文献

- [1] 河嶋壽一，篠田潤一，岡野卓也，小野剛嗣：西本願寺御影堂の紋章の3次元デジタル復元への試み，情報考古学，Vol.14, No.1-2, pp.1-9, 2008.
- [2] 水野慎士，大河内俊雄，岡田稔，鳥脇純一郎：仮想版面における濃淡画像および三次元モデルに基づく仮想版木の自動生成法，情報処理学会論文誌，Vol.40, No.9, pp.3483-3492, 1999.
- [3] B.G. Blundell and A.J. Schwarz: The Haptic Channel, Creative 3-D Display and Interfaces, John Wiley & Sons, Inc., pp.211-254, 2006.