

## 実測図とデジタル画像を利用した 陶磁器のテクスチャマッピング

宮原 健吾\*<sup>1</sup> 高町 武志\*<sup>2</sup> 徐 剛\*<sup>3</sup>

あらまし 考古学では発掘調査の終了した後に発掘調査報告書を作成し、出土した遺物の形状を実測図、文様や絵柄などを写真で表現する。最近ではデジタル処理技術が一般的になり、実測図に写真を貼り込んで報告する例も増えており、実際に報告書を利用するユーザーには資料として分かりやすいと好評である。しかし、平行投影法で書かれている実測図に中心投影法で撮影されている写真を貼り込む作業はほとんど手仕事で行われており、作業効率は悪く、出来上がりの精度もばらつきがある。今回我々は、陶磁器の実測図から3Dのモデリングを行い、そこにデジカメで撮影されたテクスチャーを貼り込む手法を開発した。これにより高精度で3Dのモデルに高精細なテクスチャーをマッピングすることが可能になった。

キーワード テクスチャマッピング, 文化財保存, 3次元運動, 座標変換, デジタル画像

### Texture mapping of Potteries using a survey map and a digital image

Kengo Miyahara\*<sup>1</sup>, Takeshi Takamachi\*<sup>2</sup> and Gang Xu\*<sup>3</sup>

**abstract** In archaeology, after excavation, we make an investigation report. The forms of the excavated objects are recorded by survey map, and photographs are taken to express texture. The conventional technique is less efficient and accuracy is not uniform. In this research, we do 3-dimensional modeling of potteries from survey map and map a digital image to the models. Using this method, we can produce precise textured 3D models of potteries for internet users.

**keyword** Texture mapping, Cultural property preservation, 3-dimensional movement, Coordinates conversion, Digital image

## 1 はじめに

本研究では出土遺物を3次元的に復元し、VRML形式によってインターネット上での公開を最終目的としている。3DM-Modelerのようなイメージ・ベースド・モデリングシステム(IBM) [2]によっても形状の復元はある程度は可能だが、画像にノイズが含まれていたり、画像を撮った環境によってその正確さは左右されやすい。そのため、今回は手作業によって精密に求められた陶磁器の形状にテクスチャーを貼り付ける。テクスチャーを貼り付ける際は、陶磁器を地球儀のように角度と高さによって適度に分割し、その一つ一つの区画にテクスチャーを貼り付けたものをVRML形式で出力する。

具体的には、以下の手順によって3Dモデルを作成する。

1. 陶磁器の形状データを読み込む(外形データ)
2. 陶磁器の画像を3DM-Modelerで処理し、3次元座標とカメラ位置の初期値を得る
3. 陶磁器の座標系から陶磁器の画像の座標系への座標変換を行う
4. 得られたカメラ位置パラメータからパッチ(面)の定義を行い、正面になる画像を計算する
5. VRMLで出力するためのテクスチャーを作成する

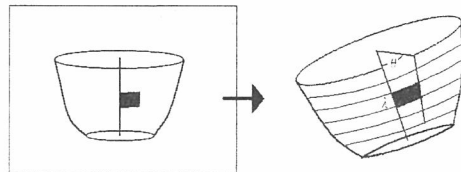


図1: テクスチャマッピングのイメージ

図1の左側は陶磁器の写真で、右側が3次元の形状データとする。本論文におけるテクスチャマッピングのイメージ

\*1 (財)京都埋蔵文化財研究所

\*2 立命館大学大学院理工学研究所

\*3 立命館大学情報理工学部

\*1 Kyoto cultural property research institute

\*2 Graduate School of Science and Engineering,  
Ritsumeikan University

\*3 College of Information Science and Engineering,  
Ritsumeikan University

図1の左側は陶磁器の写真で、右側が3次元の形状データとする。本論文におけるテクスチャマッピングのイメージは2次元画像の青色の部分(テクスチャ)を3次元空間の領域に分割された部分に張りつけるようにして行う。



図 2: 埋蔵文化財の写真

本研究ではテクスチャマッピングを行う為、三次元メディア社より開発された [3DM-Modeler] を用いている。[3DM-Modeler] は数枚の写真をとるだけで、3次元 CG モデルを復元し、テクスチャを付けることのできる画期的なシステムである。3DM-Modeler は以下の5つの作業によって3次元 CG モデルを作成できる。

1. 写真撮影
2. 特徴点の取得と対応付け
3. 3次元形状、カメラ位置姿勢と焦点距離の自動計算
4. 三角パッチの自動生成(手動による修正も可能)
5. テクスチャの自動貼り付け

3DM-Modeler を用いて3次元モデルを作成する方法では、3次元形状は特徴点同士を結んだものとして作られるため、特徴点が角の頂点となりやすい直方体を基本にした物体(建物など)の形状の復元には向いているが、陶磁器などの中心軸を中心とする回転体など丸みを持つ物体の復元を行うと特徴点同士の角ばった物体を構成してしまい、形状の復元には向かないという弱点を持つ。本手法では、3次元形状モデルは実測図を基にした外形データを用いることにより、形状の正確な復元を可能にしている。

## 2 研究に用いるデータ

本研究を進めるにあたり、以下のデータが必要となる。

- 陶磁器の写真データ
- 各カメラ間の位置パラメータ  
(例: カメラ A, B間の運動パラメータ)
- 陶磁器の外形データ

写真データについてはデジタル画像を用いる。その際、陶磁器の周りを一周するような形で複数枚(6~12

枚程度が望ましい)撮られたものを用いるのが望ましい。

各カメラ間の位置パラメータについては、前章で述べた 3DM-Modeler を用いて3次元形状、カメラ位置姿勢パラメータ(各画像間の運動パラメータ)と焦点距離の自動計算を行わせたデータを初期値として用いる。そのパラメータを用いて次章より陶磁器の座標系から各カメラの位置座標系へのカメラ位置パラメータ(座標変換)について算出する方法について述べていく。

形状データについては実際の陶磁器から手作業で外形を方眼紙にとり、そのグラフの半径(X軸)と高さ(Y軸)の表としたものを用いる。

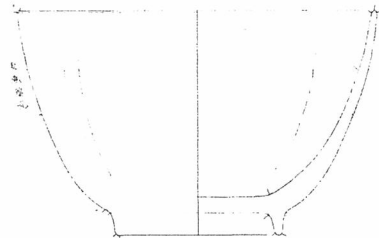


図 3: 外形の形状データを方眼紙に取った図

表 1: 外形データを数値化した表の例

番号	X(Radian)	Y (λ)
1	0	-0.6
2	0.2	-0.6
3	0.5	-0.6
4	1	-0.6
5	1.5	-0.6
6	2	-0.6
7	2.5	-0.6
8	3	-0.5
9	3.5	-0.5
10	4	-0.5
11	4.5	-0.5
12	5	-0.4
13	5.5	-0.4
14	6	-0.3
15	6.5	-0.4
.	.	.
.	.	.
.	.	.

上記の数値データを用いて、中心軸を中心とする回転体として3次元モデルを構築することが可能となる。丁度図3の外形部分を中心軸を中心として一回転させたような物体が作成される。

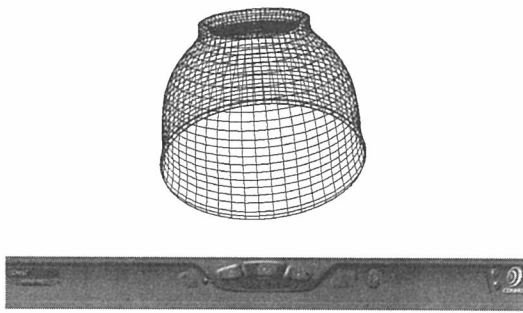


図 4: ワイヤーフレームモデル

上の図は手作業で求めた外形データを元に、高さと角度を分割してワイヤーフレームモデルで表示したものである。

### 3 陶磁器の形状表現

本研究では前章で述べたように陶磁器の形状データを手作業で求めている。それに対して、各写真画像間の運動(カメラ位置1枚目~2, 3...枚目との運動)は3DM-Modelerによって算出している。そのため、陶磁器の形状データと3DM-Modelerによって定義される3次元座標系との変換を行う必要がある。

#### 3.1 陶磁器の形状の数式化

一般的な陶磁器の形状の特徴として

- 中心軸が存在する
- 中心軸を中心として各外形に対して一定の半径を持つ
- 底面が面状であることが多い

以上のような性質から、陶磁器は中心軸を中心とする半径を持ち、その半径は中心軸の高さによって決まるといった形状を持つと考えられる。そこで、以下の式を定義する。

$$\mathbf{V} = d\mathbf{u} + \lambda\mathbf{v} \quad (1)$$

$\mathbf{V}$  は中心軸上の点であり、 $d\mathbf{u}$  は座標系原点から中心軸に直交する単位長ベクトル  $\mathbf{u}$  をスカラー倍 ( $d$  倍) して中心軸まで伸ばしたベクトルを指し、 $\lambda$  は中心軸における長さを表す。

#### 3.2 陶磁器上の点の表現

陶磁器上の任意の点は、中心軸を中心とした回転面の外側(もしくは内側)に存在する。この点は、中心軸上での高さに基づく半径と角度によって一意に決まると考えられる。よって、以下のように式を定義することによって、陶磁器上の任意の点を表現する。

$$\mathbf{X}_i(\lambda_i, \theta_i) = d\mathbf{u} + \lambda_i\mathbf{v} + r(a(\lambda_i - \lambda_0))\cos\theta_i\mathbf{u} + r(a(\lambda_i - \lambda_0))\sin\theta_i\mathbf{w} \quad (2)$$

上の式における  $\mathbf{X}_i(\lambda_i, \theta_i)$  は陶磁器上の任意の点 ( $i$  は点の番号を示すものとする) であり、 $\lambda_i, \theta_i$  の関数である事を表している。 $\mathbf{w}$  は単位長ベクトル  $\mathbf{u}$  と  $\mathbf{v}$  と直交するベクトルであり、 $\lambda_0$  は  $\mathbf{u}$  と  $\mathbf{v}$  が直交する点の座標を表す。この時  $\lambda_i$  は陶磁器の中心軸上での底面の点から任意の点の座標までの中心軸上の長さである。

$a$  は手作業で求めた陶磁器の形状データと3DM-Modelerによって求めた3次元形状データの大きさ(スケール)の違いを表す。 $r(a(\lambda_i - \lambda_0))$  によって任意の点の回転面上における半径がわかる。

また、 $r(a(\lambda_i - \lambda_0))$  によって半径が一意に決まらない場合が存在する。(底面などで面状になっている場合である) この場合は、3DM-Modelerによって得られたデータを元に、 $\lambda_i(a(r))$  の関数として考えることで半径から  $\lambda_i$  を算出することができる。

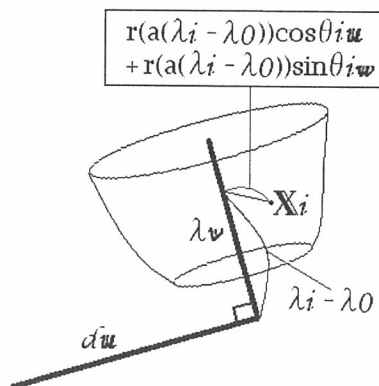


図 5: 陶磁器の中心軸から任意の点への表現

#### 3.3 デジタル座標系から回転面系への座標変換

前述の式

$$\mathbf{X}_i(\lambda_i, \theta_i) = d\mathbf{u} + \lambda_i\mathbf{v} + r(a(\lambda_i - \lambda_0))\cos\theta_i\mathbf{u} + r(a(\lambda_i - \lambda_0))\sin\theta_i\mathbf{w} \quad (3)$$

を用いて、3DM-Modelerによって得られる3次元上の特徴点データ ( $x, y, z$  系座標の点データ) から、回転面系座標  $(\lambda, \theta)$  への変換を行う。以下、導出のアルゴリズムを記載する。

○導出の方法 - 回転面の座標系の軸の決定 ( $\mathbf{u}, \mathbf{w}, \mathbf{v}$ )

- $\lambda_0$  (陶磁器上の中心軸の最も下となる点) と  $\lambda_{max}$  (陶磁器上の中心軸の最も上となる点) を手動で求める
- $\lambda_0 - \lambda_{max}$  間の3次元座標における長さ寸の長さから、 $a$  が求められる。
- 原点  $\rightarrow \lambda_{max}$  を  $\mathbf{y}_2$ , 原点  $\rightarrow \lambda_0$  を  $\mathbf{y}_1$  として、

$$\mathbf{y}_1^T(\mathbf{y}_2 - \mathbf{y}_1) = 0 \quad (4)$$

$$\mathbf{y} = \mathbf{y}_1 + M(\mathbf{y}_2 - \mathbf{y}_1) \quad (5)$$

上記の2式から、次の式を導出できる。

$$\mathbf{y}_1^T(\mathbf{y}_2 - \mathbf{y}_1) + M(\mathbf{y}_2 - \mathbf{y}_1)^T(\mathbf{y}_2 - \mathbf{y}_1) = 0 \quad (6)$$

以上より、 $\mathbf{y} = d\mathbf{u}$  を算出する。ここまでの計算式の図を下に掲載する。これで 3DM-Modeler における 1 枚目のカメラ画像系の陶磁器の中心軸を定義したことになる。

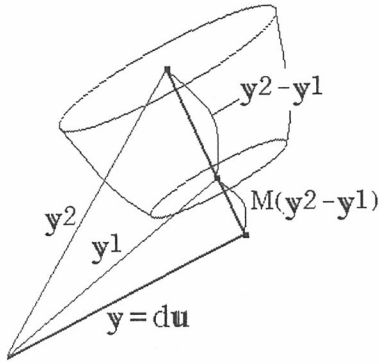


図 6: 回転面の座標系の軸の導出の図

ここまでで二つの軸が定義されたことになる。  
f 三番目の軸は前述の二つの軸の外積となるため、

- $\mathbf{w} = \mathbf{v} \times \mathbf{u}$  となる。

○導出の方法 - 各特徴点の回転面系座標への変換

原点  $\rightarrow \lambda_i$  を  $\mathbf{y}_{ai}$ , 原点  $\rightarrow \mathbf{X}_i$  を  $\mathbf{y}_x$  として、

$$\lambda_i = (\mathbf{y}_x - d\mathbf{u})^T \mathbf{v} \quad (7)$$

$$\mathbf{y}_{ai} = d\mathbf{u} + \lambda_i \mathbf{v} \quad (8)$$

$$r = \|\mathbf{y}_x - \mathbf{y}_{ai}\| \quad (9)$$

ここで、ベクトルの成す角  $= \cos^{-1} \frac{\mathbf{x}^T \mathbf{y}}{\|\mathbf{x}\| \cdot \|\mathbf{y}\|}$  より、

$$\theta_i = \cos^{-1} \frac{\mathbf{u}^T (\mathbf{y}_x - \mathbf{y}_{ai})}{r} \quad (10)$$

ただし、上記の式ではベクトルのなす角を余弦である次の値をベクトルの類似度として表しているの、 $\theta$  が + 方向なのか - 方向なのか不明である。それを解決するために、以下の式を用いて  $\theta$  の正負を判断する。

$$\frac{\mathbf{y}_x^T (\mathbf{u} \times (\mathbf{y}_x - \mathbf{y}_{ai}))}{\|\mathbf{u} \times (\mathbf{y}_x - \mathbf{y}_{ai})\|} \quad (11)$$

以上の式から、 $\theta_i$ ,  $\lambda_i$ ,  $r_i$  を算出する。この処理を各特徴点について行う。

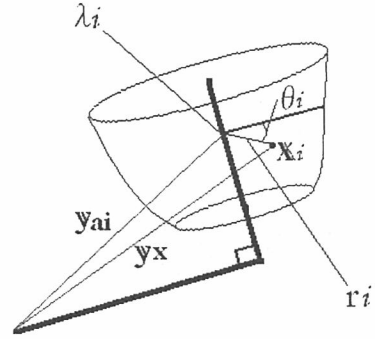


図 7: 各特徴点の回転面系座標への変換の図

以上の計算を行うことにより、陶磁器の座標系（外形データを元にした座標系）と 3DM-Modeler で算出した座標系の基準となる 1 枚目のカメラ位置との座標変換が可能になった。以下の章で、2 枚目以降のカメラ位置の算出について述べていく。

## 4 3次元運動の算出

本研究では、形状がわかっている物体に対して各カメラの画像と、対象物体（陶磁器）間の 3 次元位置姿勢（カメラの運動）関係を算出する必要がある。

各カメラ間の運動は、3 次元的に回転（ベクトル  $\mathbf{R}$ ）と並進（ベクトル  $\mathbf{t}$ ）によって表現される。これを式によって表現すると次のようになる。

$$\mathbf{P}_i(x, y, z) = \mathbf{R}_j \mathbf{X}_i + \mathbf{t}_j \quad (12)$$

$\mathbf{R}_j$  は基準となる座標系から  $j$  枚目の画像に対する回転行列であり、 $\mathbf{t}_j$  は並進ベクトルを表す。

入力画像に対して、3DM-Modeler を用いることにより、各カメラ（画像）間での運動が算出される。しかし、そのカメラ位置パラメータは 1 枚目のカメラ座標系からのカメラ位置パラメータであり、今回必要とする陶磁器の座標系から見た場合のカメラ位置パラメータではない。その為、カメラ位置パラメータを陶磁器の座標系を基準としたパラメータとする正規化を行う必要がある。そこで以下のように、カメラ位置パラメータの変換を行う。[1]

$$\mathbf{P}_i(x, y, z) = \mathbf{R}_j (\mathbf{R}_1 \mathbf{X}_i(\lambda_i, \theta_i) + \mathbf{t}_1) + \mathbf{t}_j \quad (13)$$

ここで  $\mathbf{R}_1$  は回転面の座標系から 3DM-Modeler で算出されたカメラ位置パラメータにおいて基準となった座標系（つまり 1 枚目の画像の座標系）への回転運動を表すベクトルであり、同様に  $\mathbf{t}_1$  は回転面の座標系から基準座標系への並進運動を表すベクトルである。

また、上記の式 (13) において、回転面の座標系における点  $\mathbf{X}_i(\lambda_i, \theta_i)$  とカメラ画像座標系における点  $\mathbf{P}_i(x, y, z)$  の変換を行う必要がある。変換は次のようにして行われる。

$$\mathbf{P}_i(x, y, z) = \begin{pmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{pmatrix} = a \begin{pmatrix} r(\lambda_i) \cos \theta_i \\ r(\lambda_i) \sin \theta_i \\ \lambda_i \end{pmatrix} \quad (14)$$

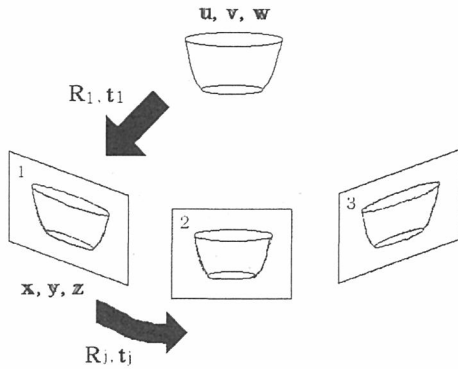


図 8: 回転面の座標系からカメラ画像座標系への変換

この処理を行うことにより、陶磁器の座標系から見てカメラがどの位置に存在しているのかが算出される。つまり、撮影した画像が陶磁器のどの部分に当たるのかを決定することができるようになったわけである。このカメラ位置パラメータを用いて、次章より陶磁器のパッチ（骨組みの面を埋めたもの）とテクスチャモデルの生成について説明していく。

## 5 パッチとテクスチャの生成

### 5.1 パッチモデルの作成

前章にて得られたカメラ位置パラメータを元に、VRMLモデルによる陶磁器のパッチモデルとテクスチャモデルを作成する。パッチモデルの作成には実測図のデータを用いている。実測図は実際の陶磁器から手作業によって最小0.5mm単位程度の精度で外形をとったものである。その実測図を元に、 $\theta$ ,  $\lambda$ を任意の割合で分割（つまり、任意の角度と高さによって分割）して、VRMLで記述することによってパッチモデルを作成している。

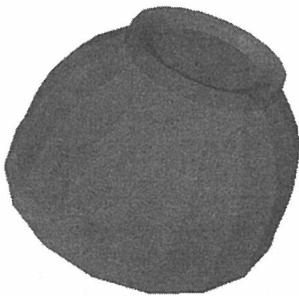


図 9: パッチモデル：分割度荒

ここに挙げた二つのパッチのうち、図9のパッチは角度を20度ずつ、高さは平均3mmずつ分割したパッチである。回転面が多角形として近似されている。図10のパッチは角度を1度ずつ、高さは平均して0.3mm程度に分割



図 10: パッチモデル：分割度密

したパッチである。ここまで分割すると物体は完全な回転面に近い形として復元することが可能となる。

### 5.2 テクスチャモデルの作成

上記の方法により四角パッチで構成される物体の表面に、テクスチャをマッピングする。この時に、四角パッチで構成される面の向きと違う向きから取られた画像からテクスチャを取得する、つまり本来射影すべき画像とまったく違う原画像から四角パッチの画像を生成しようとする、全く見当外れのテクスチャを生成、貼り付けてしまう事になってしまう。その為、各パッチのテクスチャを作成する際に、そのパッチを最も正面から撮った原画像を用いる必要がある。

パッチに対する最適画像（最も正面から取られた画像）を算出するために、以下の処理を行う。下の例はパッチの頂点が3点の場合における例であるが、4点の場合であっても基本的には同じ事になる。ただし4点の場合、すべての点が同一平面状に存在するという前提条件が発生する。今回の場合は形状データは回転体近似という形で求められており、つまり長方形のパッチの集合体となり、全ての長方形の4点も同一平面上に存在することが成り立っているため、4点が同一平面上に存在するかどうかについては考慮しなくてもよい。

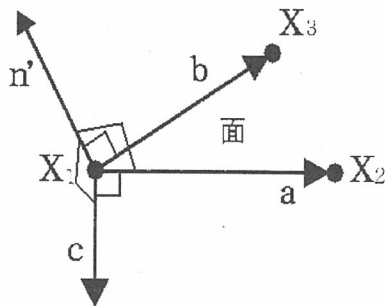


図 11: 法線ベクトルの表現

上の図において、 $X_1$ が座標系の原点になるように設定する。さらに、 $X_1$ から $X_2$ へ向かう単位ベクトルを $a$ ,

$X_1$  から  $X_3$  へ向かう単位ベクトルを  $\mathbf{b}$  とする.

$$\mathbf{a} = \frac{X'_2 - X'_1}{\|X'_2 - X'_1\|} \quad \mathbf{b} = \frac{X'_3 - X'_1}{\|X'_3 - X'_1\|} \quad (15)$$

その時点の画像のカメラ座標系における平面  $F$  の法泉方向  $\mathbf{n}'$  は,  $\mathbf{a}$  と  $\mathbf{b}$  の外積として求める事ができる.

$$\mathbf{n}' = \mathbf{b} \times \mathbf{a} \quad (16)$$

この法線方向を示す単位ベクトル  $\mathbf{n}'$  と, 各カメラ系の座標への回転行列  $\mathbf{R}_j$  の  $Z$  要素との内積を求め, 最も 1 に近い (つまり正面に近い), もしくは -1 に近い画像を, テクスチャを生成する為の画像とする.  $\mathbf{n}$  と  $\mathbf{R}_j$  の  $Z$  要素との内積が 1 を最も近いと判断するかあるいは -1 を最も近いと判断するかは,  $X_1$  と  $X_2$  と  $X_3$  が時計方向か反時計方向かで判断する. 反時計回りで画像がパッチの正面方向から見ている場合は内積が 1 の場合を最も正面に近い画像と判断する.

$$\mathbf{n} = \mathbf{R}_j^T \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} \mathbf{n}' \quad (17)$$

## 6 実験

今回実験を行うにあたり, 実際の陶磁器ではなく市販の陶磁器を使い, 手作業にて外形データを取り, さらに陶磁器を 3DM-Modeler を用いて三次元座標を算出し, その上で世界座標系からカメラ座標系へのカメラ位置パラメータの変換を行い, テクスチャマッピングを行った. 以下にその実験の過程と結果を示す. なお, この実験における VRML データの閲覧には Cosmo Player2.1 を用いている. VRML についての詳しい記述は [4] などに記載されている.

本実験では写真を 8 枚, なるべく 45 度の角度ずつ回転するようにして撮られたものを用いる. 下に元画像を示す.

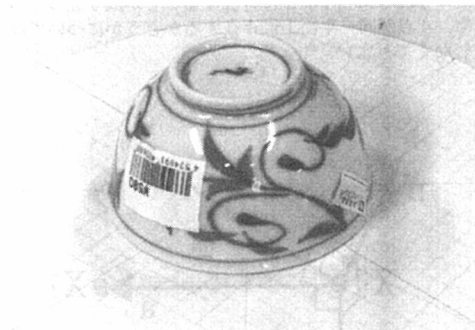


図 12: 原画像 1

実際に実画像からパッチに対して最適なテクスチャを選択し, 貼りつけたものを示す. 最初の結果 1 は分割度を粗く (角度 20 度, 高さ平均 3mm ごとに分割) した結果を, 結果 2 は最も密に分割した (角度 1 度, 高さ平均 0.3mm ごとに分割). 結果 3 は, 分割度を中程度にしたもの (角度 6 度, 高さ平均 1.5mm ごとに分割) の結果を示す.

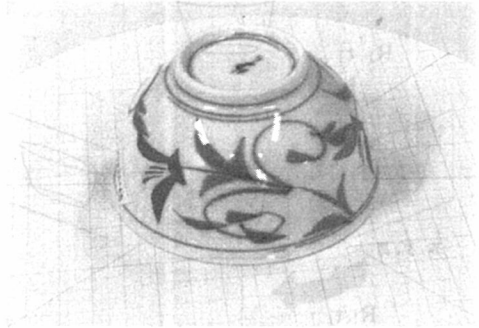


図 13: 原画像 2



図 14: 原画像からテクスチャマッピングを行った結果 1 / 分割度粗



図 15: 原画像からテクスチャマッピングを行った結果 2 / 分割度密



図 16: 原画像からテクスチャマッピングを行った結果 3 / 分割度中程度

これらの表示結果から、元の陶磁器の形状は外形データに基づいてほぼ完全に復元ができており、テクスチャに関しても元の模様を復元できているといえる。ただ原画像と原画像の境界面において、多少の歪みを含む場合もあるが、おおむねテクスチャマッピングとしての復元が可能である事がわかる。

## 7 考察

陶磁器に見られる縦縞の線(図14, 図16)はパッチの境界線で、角度によって分割された境界線上に発生する。また、分割度が密な陶磁器に見られる横縞の線(図15)は、高さによって分割された境界線上に発生する。分割度が密であると光の反射に対して縞がそれぞれ異なる分で見えるために、このような横縞の線ができる。

分割度については、荒い分割で陶磁器を復元すると元の外形データから作られる回転面の多角形近似が荒くなってしまいうため、形状が角ばったものになってしまう。その為発掘したものに忠実な復元を行う時はできるだけ分割度を高くすることが望まれるが、あまり分割度を高くしてしまうと出来上がった復元データの細かさが上がるということになり、データ量が膨大なものになってしまう。その結果、実際に閲覧する際に大量にメモリを消費することになる。最終的にウェブ上で公開することを考えると、今回の実験で中間の分割度合いの結果を示したが(図16)、今回のパターンであればこの程度の分割度が復元の正確さとメモリ効率を考えた上では一番よい結果となった。

表 2 : 分割度と形状復元度, メモリ消費の関係

分割度 ( $\lambda$ )	分割度 ( $\theta$ )	形状復元度	データ量
3mm	20度	荒い	少 (91kb)
0.3mm	1度	細かい	膨大 (18,000kb)
1.5mm	6度	中程度	やや少 (600kb)

また、カメラ画像間の境界線は単なる角度ので分割した境界線よりも明らかに明度の差が生じている場合がある。これは、各カメラ画像間の明度の違いによってできる境界線である。この明度差を隣り合うパッチ間で補正し合ひ、境界線を無くすようにすれば、境界面の明度差が無

くなり、より忠実な三次元復元が期待できる。

そして、今後 Web 上にこういった復元したオブジェクトを公開する上で、Java アプレットによる 3 次元オブジェクト表示システム“OJA” [8] を利用する。このシステムはオブジェクトの 3 次元データ、テクスチャなどの情報を含んだ VRML ファイルから、ポリゴン情報を Web 上のアプレット領域に描画する画期的なシステムである。以下に、この OJA の主な特徴を示す。

- ソフトウェアのインストール不要 (JVM 使用)
- 3D フォーマットとして VRML を使用
- アプレットサイズは約 40KB (Web3D では 1.5MB 程度)
- ストリーミング機能 (テクスチャ画像の読み込み)
- マウスによるオブジェクトの回転、並進、拡大/縮小
- アプレットパラメータによるアニメーションや各種設定が可能

このシステムを用いて Web 上に先の陶磁器の 3 次元モデルを表示した例を下に示す。



図 17: Java アプレットを用いた Web ブラウザ上での陶磁器の描画

OJA を用いることにより、ユーザが VRML を見るのにプラグインとしてビューアをインストールする必要がなくなり、手軽に陶磁器を閲覧することが可能となる。また、VRML には記述できない、陶磁器の制作年代、文様の種類、陶磁器の種類等、陶磁器に関する様々なデータをともに記述することが Web 上において可能となる。

## 8 むすび

本論文では、陶磁器の形状に着目し、その形が一定の軸を持ち半径が可変である回転面であるという考え方から、3DM-Modeler を用いて、より細かかつ正確、さらに任意にその精度を指定可能なテクスチャマッピングの手法を提案した。本手法では、3次元運動を3DM-Modeler を用いて算出し、3DM-Modeler で得られた3次元座標から陶磁器の中心軸を手動で入力し、3次元運動を陶磁器の座標系から各カメラ座標系に直接計算できるようにカメラ位置パラメータの変換を行い、そのカメラ位置パラメータと形状データを用いる事によってテクスチャマッピングを行うというものであった。本手法の有効性を証明する為に、実物の陶磁器を使った実験を行った。陶磁器の外形データと3DM-Modeler の3次元運動から算出したカメラ位置パラメータを元に、復元を行った結果、精度の高い復元を行うことが可能となった。

今後の課題として、より正確に境界面などの歪みの大きかった面についてもテクスチャマッピングできるようにし、また本実験では陶磁器の中心は手動で入力していたが、その部分も自動化してしまう事によって完全自動化を実現できれば、より速く、正確にテクスチャマッピングが可能となり、膨大となる資料を手間を余りかけず、かつ正確、安価に埋蔵文化財の復元を行う事ができるようになるであろう。

これまでにレーザーや画像計測を使用して出土遺物の形状を3次元データとして計測する方法はいくつか提案されているが、その多くは高価な機材を使用しているために、1個あたりの計測コストは高い。しかし本手法は従来から出土遺物の形状計測に使用されてきた「実測図」から3次元の形状データを作成するので、特別な機材を必要としない。その結果、計測コストは非常に安価であり、かつ作業を並列的に進めることができるメリットがある。

## 謝辞

本研究は文部科学省21世紀COEプログラム「京都アート・エンターテインメント創生研究」の助成を一部受けた。

## 参考文献

- [1] 徐剛, 辻三郎, “3次元ビジョン” 共立出版, 1998
- [2] 徐剛, “写真から作る3次元CG” 近代科学社, 2001
- [3] William H. Press, William T. Vetterling, Saul A. Teukolsky, Brian P. Flannery, “Numerical Recipes in C”, 技術評論社, 1993
- [4] 南佳孝, 内野幸生, 松岡園美, 吉田博哉, 渡辺由美, “VRMLの達人”, 森北出版株式会社, 1999
- [5] 甘利俊一, 金谷健一, “線形代数” 講談社, 1987
- [6] 早乙女恵子, 高橋李穂, 笹田晋司, 佐藤誠, “インタラクティブ性を持つニューアーカイブの研究”, 芸術科学学会論文誌, Vol1 No.3 pp105-107

- [7] 杉原厚吉, “グラフィックスの数理”, 共立出版, 1996
- [8] 嶋卓也, “Java アプレットを用いた3次元オブジェクト表示システムの研究開発”, 修士論文, 立命館大学理工学部, 2003