

# 三次元破片形状に対する特徴面抽出のための三角パッチ合成法

2ZB-04

島井 清文<sup>†</sup>

加藤 昇平<sup>‡</sup>

伊藤 英則<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 名古屋工業大学

<sup>‡</sup> 豊田工業高等専門学校

## 1 はじめに

考古学分野において出土した遺物をもとの形状に復元する作業は、研究・分析・展示などのために必要である。しかしこの作業は困難であり、研究者にとって大きな負担となっている。本研究では、復元作業の軽減を図るため、計算機上で自動的に土器破片を復元するシステムを開発している。

既存の手法[1]では、入力データとして破片の二次元濃淡画像を与えていたが、本研究では破片の三次元形状を扱うことで、二次元画像では表現不可能な立体的な形状を持つ破片の復元を目指している。システムの要素技術として、まず、入力された破片の三次元形状から、接合の候補となる特徴面を抽出する処理が挙げられる。本稿では、三角パッチによりメッシュ表現された破片形状に対するパッチ合成アルゴリズムを提案し、特徴面の自動抽出を実現する。そして、測定された破片を用いた実験結果について報告する。

## 2 破片の三次元形状測定

本稿で述べる特徴面抽出処理のための事前処理として、以下の処理を行ない入力データを作成する。

### 三次元形状測定

三次元形状測定機を用いて、破片の三次元形状を計測し、三次元距離画像を作成する。計測にはFARO社の接触式測定用アーム (FaroArm) と3D SCANNERS社の非接触レーザー測定機 (ModelMaker) を使用する (図1)。

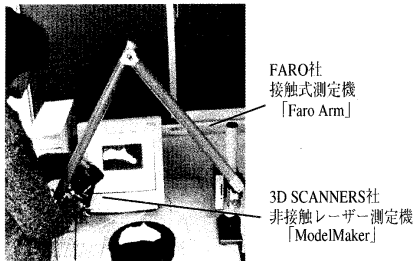


図1: 三次元形状測定機

### メッシュデータ作成

上記の測定で得られる三次元距離画像はデータ量が膨大で扱いにくい。そこでより少ないデータ量で効率良く形状を表現できるメッシュデータへ距離画像を変換する。変換には3D SCANNERS社のデータ処理ソフト「Remesh」を使用する。メッシュデータとは立体を小さな三角形 (三角パッチ) の集まりで近似したデータであり、各三角パッチは頂点三点の座標と、その三角パッチの向きを表す法線ベクトルを保持している。図2左に測定された破片の距離画像から変換されたメッシュデータの例を示す。

## 3 特徴面抽出処理

土器破片から接合箇所を特定するために、メッシュデータで表現された破片をいくつかの面に分割する必要がある。与えられた破片が別のある破片に接合するかどうかの判定は、これら分割された面 (特徴面と呼ぶ) の形状を比較することで実現される。接合箇所の特定処理は特徴面の形状に大きく依存するため、本節で述べる特徴面の抽出処理は土器復元システムの性能の面から捉えて重要な役割となる。

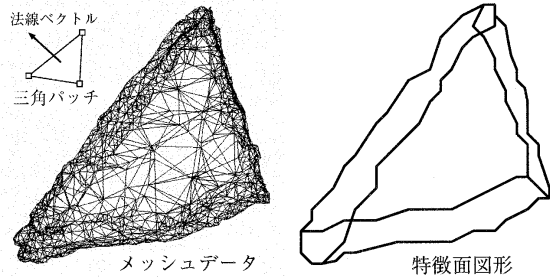


図2: メッシュデータと特徴面図形

### 3.1 特徴面

物体の外形を表す代表的な稜線によって区切られる閉曲線内の表面を特徴面と呼ぶ。例えば、図2左のメッシュデータは同図右に示すように5面の特徴面で表現される。一般的に、土器破片における特徴面の輪郭は物体の表面の勾配変化が大きな部分に該当することが多く、また、特徴面内部では、勾配変化は比較的小さい。本研究では、メッシュデータを構成する三角パッチの法線ベクトルに着目し、隣接する三角パッチのなす角度 (曲率) から破片表面の勾配を計算することにより、特徴面を抽出する。

### 3.2 パッチ合成処理

特徴面抽出の処理の概要は以下のとおりである。与えられた破片のメッシュデータに対して、以下の処理を繰り返すことにより特徴面を抽出する。

破片を構成する任意のパッチ  $p$  について

1.  $p$  に隣接する全てのパッチとの曲率を求める。
2. これらの曲率の最大値がしきい値より大きな場合、同曲率を持つ隣接パッチと  $p$  を合成する。

一回の処理過程においては、処理1により、パッチ  $p$  付近の局所的な勾配が求められ、処理2の条件を満たすことにより、一対のパッチが同一の特徴面内に存在すると判断され、合成が行なわれる。

この合成処理を繰り返し行なうことにより、三角パッチは比較的平坦なパッチから構成される多角形パッチに成長する (図3)。

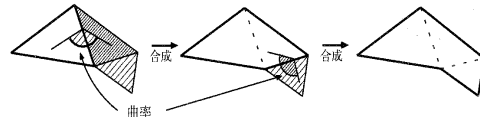


図3: パッチ合成

図4に特徴面抽出処理の流れを示す。抽出処理の初期段階では合成のしきい値  $\theta$  は比較的大きな値に設定

Triangle Patch Synthesis for Detection of 3-D Character Surface of Potsherds

Kiyofumi Shimai<sup>†</sup>, Shohei Kato<sup>‡</sup>, and Hidenori Itoh<sup>†</sup>

<sup>†</sup> Nagoya Institute of Technology.

Gokiso-cho, Showa-ku, Nagoya 466-8555, Japan

<sup>‡</sup> Toyota National College of Technology

2-1 Eisei-cho, Toyota 471-8525, Japan

され、 $\theta$ を徐々に減少させながらパッチの合成を反復する。一回の反復では、破片を構成する全てのパッチについて合成処理が試行され、同反復内で合成が一度も実現されない場合は、 $\theta$ を $\Delta\theta$ だけ減少する。

反復につれて破片を構成するパッチ数は減少し、個々のパッチは大きくなる。ある反復において、多角形パッチは $(\theta_0 - i\Delta\theta)$ 以上の曲率を持った三角パッチで構成され( $i$ は $\theta$ の更新回数)、大域的に滑らかな起伏を持つ曲面を保持している。反復処理は $\theta$ が最小値 $\theta_{min}$ まで減少した時点で終了し、残された多角形パッチが特徴面となる。

図5にパッチ合成処理のアルゴリズムを示す。

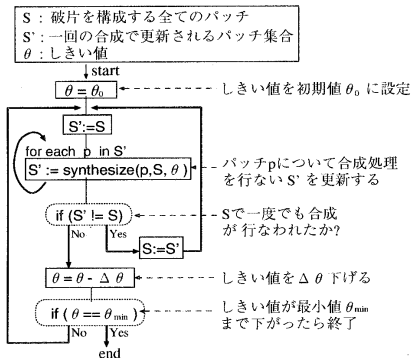


図 4: 特徴面抽出処理の流れ

パッチ合成関数  $synthesize(p, S, \theta)$

入力  $p$ : 合成判定の対象となるパッチ  
 $S$ : 破片を構成するパッチ集合  
 $\theta$ : しきい値

出力  $S'$ : 合成処理後のパッチ集合

```

1 begin
2   S' := S;
3   Q := phi;           %Qは合成の候補パッチを保持
4   R := {r in S | rはpに隣接する};
5   for each r in R
6     begin
7       if (angle(p, r) > theta) then      %曲率による判定
8         %angle(p, a)はpとrの曲率を求める関数
9         begin
10          pおよびrを構成する内部パッチ数を求め、
11          それぞれ size(p), size(r)とする;
12          sum := size(p) + size(r);
13          if (sum < limit(theta)) then %大きさによる判定
14            Q := Q union {r}; %Qにrを加える
15          end
16        end
17      end
18    if (|Q| > 0) then      %pが合成条件を満たす
19      begin
20        q_max := (Qの中でpとの曲率が最大となるパッチ);
21        p' := join(p, q_max); %pとq_maxを合成する
22        S' := S - {p}; %pをSから削除
23        S' := S - {q_max}; %q_maxをSから削除
24        S' := S union {p'}; %pとq_maxの合成パッチp'を追加
25      end
26    end
27  end.

```

図 5: パッチ合成アルゴリズム

### 3.3 曲率に基づいたパッチサイズの動的制御

パッチ合成の条件として曲率のみを考えると、図6に示すように特徴面抽出が不完全に終了する場合がある。破片のメッシュデータにおいては、特徴面を形成すべき稜線近傍に微小なパッチが多く出現する。これらのパッチは大域的には平坦だが局所的に大きな曲率を持つ。これらは計測時のノイズであり、特徴面抽出において除去されるべきと考える。これらのパッチは

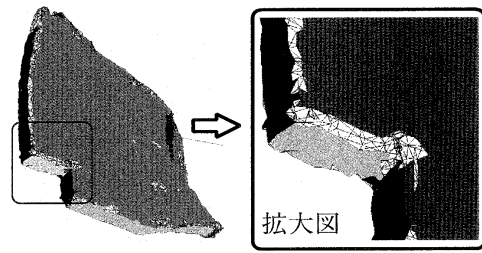
$\theta_{min}$ を十分小さく設定し、ある程度起伏の激しい曲率の大きなパッチどうしを合成することにより、特徴面に取り込むことが出来る。しかしながら $\theta_{min}$ を下げすぎると特徴面どうしが合成されてしまう。そこで合成後のパッチの大きさに上限を与える関数 $limit(\theta)$ を考える。この式は以下のように定義される。

$$limit(\theta) = ratio(\theta) \cdot N \quad (N: \text{全パッチ数}) \quad (1)$$

$$ratio(\theta) = \frac{\alpha}{180 - \theta} - \beta \quad (0 \leq \theta < 180)$$

$ratio(\theta)$ は $\theta$ が減少すると共に1から0へ減少する性質を持つ関数。

反復の初期段階では $\theta$ は大きな値に設定されている。そのため $limit(\theta)$ の値は比較的 $N$ に近い値となり、合成の条件にパッチサイズの上限は考慮されない。反復が進行して $\theta$ が減少すると、 $ratio(\theta)$ も減少する。その結果、 $limit(\theta)$ により大きなパッチどうしの合成が抑えられ、微小パッチが優先的に合成されることによりノイズが除去される。



$\theta_0 = 0, \theta_{min} = 140, \Delta\theta = 10$

図 6: 不完全な抽出処理

## 4 実験

本手法の有効性を確認するために、実物の破片を三次元測定機で計測し、実験を行なった。パッチ合成の条件に関しては、曲率に関するパラメータを $\theta_0 = 170, \theta_{min} = 0, \Delta\theta = 10$ に設定し、パッチの大きさに関するパラメータを $\alpha = 10.5, \beta = 0.05$ に設定した(式(1)参照)。図7に実験結果を示す。

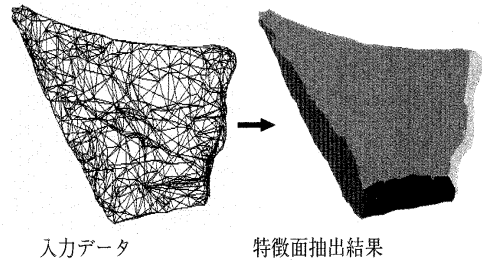


図 7: 特徴面抽出結果

図7より、入力データに対して6面の特徴面がすき間なく分割され、ほぼ正確な外形を表現する稜線が獲得できていることがわかる。また本手法により図6に見られるような特徴面の輪郭付近の合成漏れも回避できることが確認された。

## 5 おわりに

本稿では、三次元土器復元システムのための特徴面抽出処理を提案した。今後は抽出された特徴面の比較判別処理アルゴリズムの提案と、その実装を行う予定である。

## 参考文献

- [1] 加納 政芳, 加藤 昇平, 伊藤 英則 “画像輪郭の接合のための探索制御の一手法”, 情報処理学会第58回全国大会, Vol2, pp.49-50, March.1998.