

破片画像の表面模様を考慮に入れた接合判別の一手法

2ZB-03

安原 彰吾[†]

加藤 昇平[‡]

伊藤 英則[†]

[†] 名古屋工業大学

[‡] 豊田工業高等専門学校

1 はじめに

考古学分野において、出土した土器の復元作業は、研究者にとって大きな負担となっている。我々は、その作業の軽減を図るため、土器破片を二次元濃淡画像として計算機に与え、接合を行ない、その復元結果を自動的に出力するシステム(土器復元システム)を開発している。

既存の手法[1]では、接合の判別対象となる破片の形状特徴量のみで接合判別を行っていた。しかし、出土された土器は風化などによって形状が変化していることが多く、形状特徴量だけでは正確な接合判別を行うことができない。そこで本研究では、形状比較に加えて破片の輪郭近傍の表面模様を考慮に入れた接合判別方法を提案する。これにより、接合判別における形状特徴量への依存度が減少でき、風化などにより形状比較のみでは接合判別が困難な破片の接合を試みる。

2 システムの概要

図1にシステムの概要を示す。

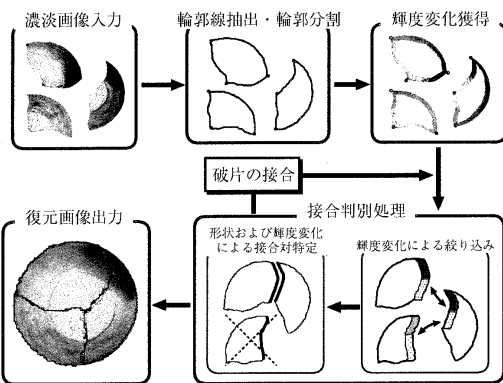


図1: システムの概略

まず、入力された複数の破片の濃淡画像に対して、輪郭形状をそれぞれ取り出す。次に、輪郭線をいくつかの開曲線(以下、部分輪郭)に分割する。これら部分輪郭が接合箇所の候補となる。そして、得られた部分輪郭全てに対して輪郭近傍の表面模様の輝度変化を抽出し、任意の部分輪郭対に対して抽出された輝度変化の類似度を算出する。この段階で、ある程度類似する部分輪郭対を接合候補として選別し、接合候補を絞り込む。次に、残された接合候補に対して部分輪郭の形状特徴量を計算し、形状及び輝度変化の類似度を求め

る。接合候補の中である条件を満足する類似度を持つ部分輪郭が存在する場合は、最も類似した1組の部分輪郭対を持つ破片を接合する。以上の処理を接合可能な破片の組が無くなるまで繰り返し、復元画像を出力する。

2.1 表面模様の輝度変化獲得

発掘された土器にはある程度の着色、もしくは模様が施されているものが多い。そのため、破片表面の色彩情報を獲得して接合判別に利用するのは、有効な手段であると考えられる。

一般的に接合可能な1組の破片において、接合箇所に対応する2つの部分輪郭近傍の輝度変化は極めて類似する。そこで本研究では、部分輪郭に対する輝度情報として、図2のような輪郭線に内接する幅 d の帯状領域を考え、同領域より輝度変化を抽出する。輝度変化の抽出において、各輪郭点の輝度値は輪郭点から引かれた輝度獲得線分(図2参照)上の輝度の平均値とする。こうして得られた輪郭近傍の輝度変化は、図3に示すような輝度変化曲線として表現される。

輝度の獲得において、理論的には $d=1$ 、即ち輪郭点上の輝度のみを考えても、接合可能な1組の部分輪郭対の輝度変化は一致するはずである。しかし、実際には欠損や画像のノイズにより、輪郭点の輝度は異なる場合が多い。そのため、幅 d の帯状領域内の輝度の平均を求めることによって、輪郭付近のノイズの影響を軽減した。

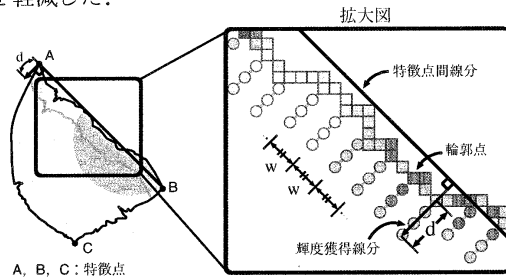


図2: 表面模様の輝度獲得方法

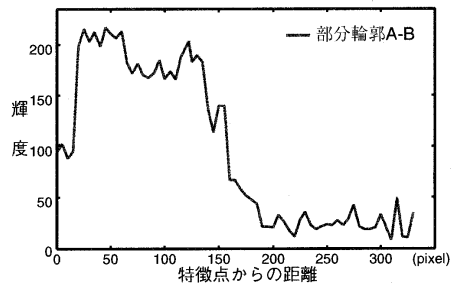


図3: 輝度変化曲線

A Joint Detection Method Considering Surface Patterns of Potsherds

Shogo Yasuhara[†], Shohei Kato[‡], and Hidenori Itoh[†].

[†] Nagoya Institute of Technology.

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

[‡] Toyota National College of Technology

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

2.2 表面模様を用いた類似度評価

輝度変化に基づく接合候補の絞り込みでは、任意の部分輪郭に対して前節の手法で抽出した輝度変化曲線を用いて模様類似度を算出する。部分輪郭 a, b の輝度変化曲線を $f_a(x), f_b(x)$ とし、 a, b の特徴点間の距離を d_a, d_b とすると、輝度変化に基づく模様類似度 $\varepsilon_{a,b}^{bri}$ は以下のように定義される。

$$\varepsilon_{a,b}^{bri} = \begin{cases} \int_0^{d_a} |f_a(x) - f_b(x)| dx / d_a & (d_a \leq d_b \text{ の場合}) \\ \int_0^{d_b} |f_a(x) - f_b(x)| dx / d_b & (d_a > d_b \text{ の場合}) \end{cases} \quad (1)$$

$\varepsilon_{a,b}^{bri}$ の値は、部分輪郭 a, b の輝度変化曲線が完全に一致する場合は0となり、0に近いほど、 a, b の類似度が高い。

3 接合判別処理

本研究では以下の改良を行い、接合判別における形状特徴量への依存度を減少し、輪郭形状が経年変化した土器破片への対応を試みる。

- 表面模様の輝度情報を基に、形状比較を行う前に模様が大きく異なる部分輪郭対を接合候補から削除する。
- 輪郭形状だけでなく、輪郭近傍の輝度変化を加味した接合判別を行う。

図4に本稿で提案する接合判別アルゴリズムを示す。

接合判別アルゴリズム

入力 S: 部分輪郭の集合

出力 判別結果 ANS: (c1, c2) (接合可能な場合)

: false (接合不可能な場合)

```

1 begin
2   R := S;
3   Q := φ;
4   for each a ∈ S      % 輪郭長の差異による候補の絞り込み
5     begin
6       R := R \ {a};      % Rからaを取り除く
7       for each b ∈ R
8         if (-α <  $\frac{|b| - |a|}{|a|}$  × 100 < α) % a, bの長さの差異が
9           then Q := Q ∪ {(a, b)}; % α%以内の場合には
10          % Qに(a, b)を追加
11        end
12      for each (a, b) ∈ Q
13        begin
14          bright := mb(a, b); % 模様の差異に基づく
15          if (bright > β) % 候補の絞り込み
16            then Q := Q \ {(a, b)};
17          else
18            begin
19              score := ms(a, b) · bright / δ; % 形状及び輝度
20              if (score > γ) % 変化による
21                then Q := Q \ {(a, b)}; % 類似度評価
22            end
23          end
24        if (|Q| ≥ 1)
25          then ANS := (c1, c2) | ms(c1, c2) · mb(c1, c2)
26             ≤ ms(a, b) · mb(a, b) forall (a, b) ∈ Q;
27        else ANS := false;
28      end
29    end
30 end

```

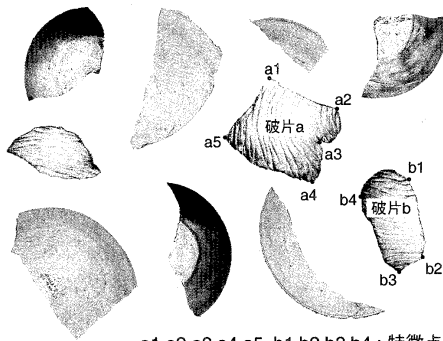
図4: 接合判別アルゴリズム

同図において、 $mb(a, b)$ は部分輪郭 a, b の輝度変化の類似度評価値 $\varepsilon_{a,b}^{bri}$ (式(1)参照)を返す関数である。また、 $ms(a, b)$ は a, b の形状特徴量による類似度評価値(文献[1]参照)を返す関数である。

4 実験

本システムの実験の一つとして、土器破片の接合を行った。実験に使用した土器破片の一例を図5に示す。

同図の画像を入力として本システムを実行し、得られた土器の復元画像を図6に示す。同実験において、2.1節中の輝度獲得線分の長さ d (帯状領域の幅に相当)を15、図2中の輝度獲得点の間隔 w を15とし、接合判別アルゴリズムにおけるパラメータをそれぞれ $\alpha = 7, \beta = 30, \gamma = 0.04, \delta = 20$ とした(図4参照)。



a1, a2, a3, a4, a5, b1, b2, b3, b4: 特徴点

図5: 入力画像

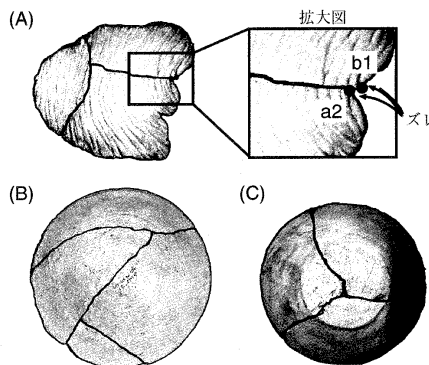


図6: 出力画像

従来のシステムでは、破片 a と破片 b の接合が行われなかった。同システムでは、部分輪郭対 $a1-a2, b2-b1$ に対して、部分輪郭の分割のために抽出する特徴点にずれが生じる。これにより、同輪郭対の形状の類似度が低下したためと考えられる。本システムでは、表面模様の輝度変化による類似度に基づき、接合判別における形状比較への依存度を制御している(図4の18-20行参照)。その結果、部分輪郭対 $a1-a2, b2-b1$ の表面模様の類似度が高いことから、同輪郭対の形状比較の影響を軽減でき、破片 a, b は接合可能と判断された。

5 おわりに

本稿では、土器の輪郭形状だけでなく、輪郭近傍の表面模様を考慮に入れた接合判別方法を提案し、その有効性を確認した。

今後の課題としては、システムを拡張しカラー画像へ対応することが挙げられる。破片表面の有効的な色彩情報の獲得および接合判別への応用方法について検討する予定である。

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.1999.