

## PA 6 3次元線図形マッチングを用いた遺物破片対の接合

内藤 博貴†

高橋 章†

石井 郁夫†

今井博英†

牧野 秀夫†††

†新潟大学大学院自然科学研究科

††長岡工業高等専門学校

†††新潟大学工学部

## 1 はじめに

遺跡の発掘調査で出土する遺物は、ほとんどの場合破片となって発見される。遺物の分析や研究、展示を行なうには、遺物を本来の形状に復元する必要がある。しかし、遺物の復元作業は、数多くの破片の組合せの中から互いに接合し合う破片を見つける作業であり、高度な知識や技術を持つ専門家であっても数多くの試行錯誤を繰り返し、多くの時間を必要とする。更に、復元には固定剤を使用するため、復元のやり直しのため破片を切り離す時、破片に損傷を与えてしまうという問題がある。

そのような問題を解決するため、仮想空間上で遺物復元や、復元の支援、自動化を行なうシステムの構築に関する研究が報告されている [3][4][5][6]。

復元の効率化を考えた時、遺物復元の自動化の必要性があげられる。従来の遺物の自動復元に関する研究 [3][6] では、破片を2次元平面に投影し、接合位置を求めているため、平面的な破片しか扱えず、また破片対の3次元的な接合位置・姿勢が求められないという問題がある。

そこで、本研究では遺物破片の3次元形状データをそのまま利用し、接合の可能性のある破片対に対し接合位置・姿勢を最適化によって求めることを目的とする。本稿では遺物破片対の接合位置・姿勢をより安定に最適化する方法について報告する。

## 2 破片対の接合位置・姿勢検出手法

本研究では、遺物破片の表面と破断面との境界部分(破断面輪郭)による3次元線図形マッチング問題を解くことにより、破片対の接合位置・姿勢を検出を行う。

## 2.1 検出の流れ

本研究における破片対の接合・位置検出の流れは、以下の通りである。

## 1. 破片破断面の輪郭取得・リサンプリング

本研究で用いるマッチング手法(文献[1])は、等しい長さ  $l_1, l_2, \dots, l_N$  の線分で構成される全長が等しい2つの3次元線図形に対し適用されるため、取

得した破断面輪郭に対しリサンプリングを行う。

## 2. 得られた輪郭を利用した3次元線図形マッチング

我々は1本の破断面輪郭について文献[1]のマッチング法を適用し、3次元的な接合を求める方法を実現した[2]。しかし、1本の破断面輪郭では、破片対の接合姿勢が安定に求まらないという問題があった。文献[1]で提案されているマッチング手法は、線図形を3次元線分の集合として扱うことから、1本の連続した線図形のみでなく、不連続な線分集合に対しても適用可能である。そこで、マッチングに破片破断面の表裏2本の輪郭を使用することにより、破断面の輪郭形状だけでなく、破片破断面の厚みや角度といった情報を利用した、3次元的なマッチングを行ない、破片対の接合位置・姿勢の検出を行う。次節で文献[1]によるマッチング手法について詳細を述べる。

## 2.2 3次元線図形マッチング

文献[1]で提案されている、Distance Measureを用いることで、3次元線図形マッチング問題を解く。

まず等しい長さ  $l$  の2本の線分  $A, X$  を考える。それぞれ中点が  $\mathbf{x}, \mathbf{a}$  であり、方向ベクトルが  $\hat{\mathbf{y}}, \hat{\mathbf{b}}$  である。今、それぞれの中点から  $u(-l/2 \leq u \leq l/2)$  離れた線上の点  $\mathbf{p}, \mathbf{q}$  について、 $\mathbf{p}, \mathbf{q}$  間のユークリッド平方距離を  $u$  の関数で表すと、(1)式のようになる。

$$D^2(u) = \|(\mathbf{a} - \mathbf{x}) + u(\hat{\mathbf{b}} - \hat{\mathbf{y}})\|^2 \quad (1)$$

これを  $u$  のとり得る範囲で積分すると、 $M(A, X)$  で表される2線分のDistance Measureは、

$$M(A, X) = \int_{-l/2}^{l/2} du D^2(u) = l\|\mathbf{a} - \mathbf{x}\|^2 + \frac{l^3}{6}(1 - \hat{\mathbf{b}}^T \hat{\mathbf{y}}) \quad (2)$$

となる。これを用いて  $N$  本の等しい線分で構成される2つの集合の  $M(A, X)$  は、

$$\begin{aligned} M(A, X) &= \sum_{n=1}^N M(A_n - X_n) \\ &= \sum_{n=1}^N \left[ l_n \|\mathbf{a}_n - \mathbf{x}_n\|^2 + \frac{l_n^3}{6}(1 - \hat{\mathbf{b}}_n^T \hat{\mathbf{y}}_n) \right] \end{aligned} \quad (3)$$

で表される。Aを固定して、Xの移動・回転変換を行なうことでA、Xの最適なマッチングを与える移動ベクトルと回転行列を算出する。

ここで、移動ベクトル  $t=(t_1, t_2, t_3)$  と回転行列 Rを用いると、Xの変換は以下のようになる。

$$\begin{aligned} x_n &\rightarrow t + Rx_n \\ \hat{y}_n &\rightarrow R\hat{y}_n \end{aligned} \quad (4)$$

(4)式を(3)式に代入して以下の(5)式を得る。

$$M(A, X) = \sum_{n=1}^N \left[ l_n \|a_n - t - Rx_n\|^2 + \frac{l_n^3}{6} (1 - \hat{b}_n^T R\hat{y}_n) \right] \quad (5)$$

(5)式を最小にする移動ベクトルと回転行列が接合する可能性のある部位の候補であると考えられる。

まず、2つの破片のうち一方の破断面輪郭から被接合部分を手動選択する。次に他方の破片の破断面輪郭から被接合部分と同じ長さの接合候補を自動抽出し、Distance Measureの最小化を行う。接合候補を少しずつ変えながらDistance Measureの最小化を繰り返し、最もDistance Measureの残差が小さい接合候補を求めることで、2つの破片対の接合位置・姿勢が得られる。

### 3 実験・評価

提案した破片対の接合位置・姿勢検出手法について実験を行なった。なおここでは、遺物破片の代わりに破砕した陶器の形状データを使用した。

#### 3.1 形状データ取得

遺物破片の3次元形状データの取得には、非接触3次元ディジタイザ VIVID700(MINOLTA)を使用した。回転台を使用し得た多視点からのデータを貼り合わせるにより厚みを持った形状データを取得することが可能である。図1に今回実験に使用した VIVID700によるデータを示す。



図1: 実験に使用した破片対

#### 3.2 接合位置・姿勢の検出

破片データから手動で破断面輪郭を取得(図2)、取得した輪郭に対し、リサンプリング、マッチングを行な

い、破片対の接合位置・姿勢の検出を行った。得られた接合位置・姿勢結果を図3に示す。破片対の3次元的な位置・姿勢をうまく求められていることがわかる。

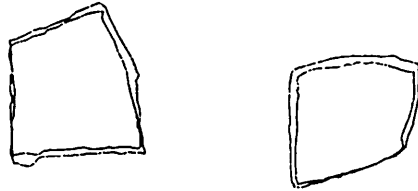


図2: 取得した輪郭



図3: 検出結果

## 4 まとめと今後の課題

3次元線図形マッチングを用いた遺物復元のための手法を提案し、実際に接合位置・姿勢の検出を行なった。

今後の課題として、現在手動で行なっている破断面輪郭の取得自動化や1対1で行っているマッチングを1対多に拡張することなどがあげられる。

### 参考文献

- [1] Behzad Kamgar-Parsi and Behrooz Kamgar-Parsi, "Matching Sets of 3D Line Segments with Application of Polygonal Arc Matching", IEEE Trans.PAMI. Vol.PAMI-19 No.10 pp.1090-1099, Oct.1997
- [2] 三木 隆弘, "VR 技術を用いた考古出土品(遺物)の復元支援システム", 新潟大学大学院 自然科学研究科 情報・計算機工学専攻 修士論文 2000
- [3] 鈴江 正, "接合部位検出に曲線不変量を用いた破片群の再構成法", 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 情報システム学専攻 修士論文, 1995 2
- [4] Jiang Yu Zheng, エディブルナワ, 村田 昭雄, 安部 憲広, "考古出土品の計測保存と仮想復元", 信学技法 Vol97 No.203, IE97-45, pp.25-32, 1997 07
- [5] 渡辺 恭弘, 田中 和明, Jiang Yu Zheng, He Shoujie, 安部 憲広, 滝 寛和, 木下 良正, 横田 晃, "仮想現実感による遺物の復元", 信学技法 Vol97 No.203, IE97-45, pp.33-40, 1997 07
- [6] 堀 謙太, "自動復元のための遺物破片間の接合箇所検出", 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 情報システム学専攻 博士論文, 2000 3