

氏名	り しゅんえん 李 春元
本籍（国籍）	中国
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	工博 第282号
学位授与年月日	平成29年 9月25日
学位授与の要件	学位規則第5条第1項該当 課程博士
研究科及び専攻	工学研究科デザイン・メディア工学専攻
学位論文 題目	2次元パネルに基づく土器片組み立て支援システム構築手法に関する研究
学位審査委員	主査 教授 今野 晃市 副査 教授 大塚 尚寛 副査 教授 藤本 忠博

論文内容の要旨

遺物の一種である土器は多くの場合、砕けた状態で遺跡から出土する。土器の破片は土器片と呼ばれ、土器片は接合することによって元の器の形へと復元される。一般に出土した土器の分類、組み立て、復元の工程は手作業で行われている。また、組み立て作業は試行錯誤を伴うため、土器片の汚損や破損のリスクが高まる。よって、出土した土器片が歴史的、文化的に価値が高いものであると判明した場合は、汚損や破損を回避するため、復元作業を行わずに保存されることもある。しかし、可視化による仮説形成や文化財の公開のために、遺物の復元が必要な場合がある。近年、計算機を使用した土器片の組み立てを支援する技術の開発が期待されている。計算機を用いた土器片の組み立てに関する従来研究は、すべてのマッチング工程の自動化を目指す研究と、ユーザとのインタラクティブな組み立て作業の支援を目指す研究とに大別できる。本研究は後者の立場で、出土した土器片の組み立て情報をコンピュータ上で可視化し、ユーザに提示するシステム向けの要素技術開発と、システム構築を行っている。

土器の組み立てに類似する作業としてジグソーパズルが挙げられる。土器復元とジグソーパズルは、ばらばらの状態のピースをつなぎ合わせ、一つのものを組み立てるという点で共通している。ジグソーパズルの組み立て手順としては、最初に枠の部分を組み立て、その後内部の隣接ピースを組み合わせる方法が考えられる。このジグソーパズルのセオリーを土器復元に応用した場合、土器の口縁部が重要となる。口縁部は土器の縁であり、口縁部を含む土器片は形状から判断可能である。口縁部を含む土器片は、ジグソーパズルにおける枠のピースに相当することから、ジグソーパズルの枠を構成するピースと同様に、比較的組み立てが

容易な部位である。よって土器復元では、口縁部を組み立てた後で他の土器片との組み立てを行うのが有効な手順である。また、ジグソーパズルではピース輪郭の形状及びピース上の色や柄などの特徴を利用して組み立てるのが一般的である。それと同様に、土器片データ表面の文様や、輪郭線の形状をユーザに提示して土器片を組み立てることも可能である。専門知識を持つ人が、効率的に土器復元することを目的として、本研究ではユーザがパズル感覚でデータを操作することで効率的に土器復元可能なシステムを提案する。以下に本論文の構成を述べる。

第1章では、本研究の背景と目的を述べる。

第2章では、本研究と関係が深い従来の研究について述べる。具体的には、本研究の中で利用している3次元計測器を用いた土器片計測手法と、土器復元に関するいくつかの手法について述べる。また、関連する各手法の問題点を明確にすると共に、本研究の位置づけを明確にする。

第3章では、本研究で提案する土器片組み立て支援システム向けの要素技術について述べる。まず、ジグソーパズルのピースに相当するパネルの定義とパネルを生成する理由について説明する。また、ユーザの操作をわかりやすくするためグリッド線を導入し、パネルとグリッド線による土器片データの配置方法について述べる。次に、より配置精度を高めるため、輪郭線や文様などの特徴量の定義と抽出方法について説明し、特徴量に基づいて、土器片の隣接候補を探索する方法について述べる。そして、復元情報を評価するために抽出した分割線ペアによる3次元マッチング手法について説明する。最後に、土器片データの統合化手法について述べる。

第4章では、本システムの構成について説明した後、本システムによる土器片復元操作手順について述べる。具体的な手順は、次のようである。まず、前処理として、特徴量を抽出する。次に、入力データを保存しているファイルから土器片の3次元点群データと特徴量をシステムに読み込む。そして、2次元パネル上に表示された輪郭線や文様情報に基づいて、復元情報を生成する。最後に、隣接情報を用いて、3次元マッチングを行い、土器片を復元する。

第5章では、本手法の検証結果について述べる。本手法の有効性を確認するため、まず、検証に用いた実行環境について述べる。次に、資料や写真などの付加的な画像情報がない場合を想定して、点群データのみを用いて、復元が可能であるかを検証した。その結果、口縁部を含む土器片をユーザはすべて発見し、部分的には、復元情報を生成することができた。また、ユーザが発見した隣接土器片を用いて、3次元マッチングを行い、輪郭線の形状をより正確に表現することができた。

第6章では、結論について述べる。本研究では、試行錯誤を含んだ土器片組み立て支援システムを提案した。本システムで仮想的に土器片を組み立てた後、ユーザは復元情報を利用して実物を組み立てることができることを検証し、提案手法の有効性を確認した。

論文審査結果の要旨

本論文は、土器片の表面を計測した3次元座標点群を用いて、土器片から土器を復元するための組み立て支援システムを構築する手法について述べている。

遺跡から出土した土器片は、洗浄や分類等を経て、手作業によって復元される。復元作業には試行錯誤を伴うため、土器片の汚損や破損のリスクが高まる。そこで、3次元計測装置やコンピュータを活用して、仮想空間において組み立てを行う手法が研究されている。従来の研究は、すべてのマッチング工程の自動化を目指す研究と、ユーザとのインタラクティブな組み立て作業の支援を目指す研究とに大別できる。本研究は後者の立場で、出土した土器片の組み立て情報をコンピュータ上で可視化し、ユーザに提示するシステム向けの要素技術開発と、システム構築を行っている。

土器の組み立てに類似する作業として、ジグソーパズルが挙げられる。ジグソーパズルでは、角や枠の部分のピースを抽出し先に組み立て、その後内側に拡張していくことで容易に組み立てが可能である。本論文では、ジグソーパズルの組み立て手順を、土器片の組み立てに応用した土器片の組み立て支援システムを提案している。また、提案システムに含まれる要素技術として、土器片の口縁部や土器表面の文様などの特徴量抽出手法や、隣接土器片の文様の流れを用いたマッチング手法についても述べている。

本論文の構成は以下の通りである。

第1章は序論である。本研究の背景と目的について述べている。

第2章では、本研究と関係が深い従来の研究について述べている。具体的には、本研究の中で利用している3次元計測装置を用いた土器片計測手法と、土器復元に関するいくつかの手法について説明している。また、関連する各手法の問題点を示し、本研究の位置づけを明確化している。

第3章では、本論文で提案する土器片組み立て支援システムを構築するための要素技術について述べている。まず、ジグソーパズルの手順を取り入れるため、ジグソーパズルのピースに相当する2次元パネルの生成・操作について説明している。ユーザの操作を分かりやすくするため、グリッド線を導入し、パネルとグリッド線による土器片データの配置手法を説明している。次に、より配置精度を高めるため、輪郭線や文様などの特徴量抽出手法について説明し、特徴量に基づいた土器片の隣接候補探索手法について述べている。更に、隣接する土器片の3次元マッチング手法と、土器片データの統合化手法について説明している。

第4章では、提案するシステムの構成について説明した後、提案システムによる土器片復元操作の具体的な手順について説明している。まず、前処理として、第3章で述べた文様や輪郭線などの特徴量抽出手法を土器片に適用している。適用結果を利用して2次元パネルを生成し、パネル上に表示された輪郭線や文様情報に基づい

て、ユーザがパネルの移動や土器片の回転などの操作を行いながら、復元情報が生成できることを述べている。ここで得られた結果は、2次元的な隣接情報であり、それを用いて3次元マッチングを行うことで、土器を復元できることを説明している。

第5章では、本手法の有効性を検証している。まずは、組み立て結果が既知である34個の土器片を本システムに適用し、組み立て手順や特徴量の抽出が意図通りにできていることを示している。また、土器組み立てに関する資料や発掘した状態の写真などの付加的な情報がない場合を想定して、別の点群データを用いて復元が可能であるかを検証している。その結果、口縁部を含む土器片をユーザはすべて発見し、部分的には口縁部以外の復元情報を生成できたことを示している。

第6章は、結論である。本論文では、試行錯誤を含んだ土器片組み立て支援システムを構築するための要素技術と、それらを用いて構築したシステムについて述べ、提案手法の有効性、有用性を示している。

以上、本論文は出土した土器片を計測した点群情報に基づいて、土器復元のためのインタラクティブな支援システム構築のための要素技術と、システム構築手法を新たに提案したものである。2次元パネルを利用して、インタラクティブに隣接情報を構築する手法は、組み立て作業に関して直観的かつ非常に有効な手法であり、本研究のアプローチは大いに評価できる。また、本手法は土器片だけでなく他の対象物への適用も可能な方法であり、今後汎用システムへの発展が期待できる。したがって、本論文は形状処理の分野だけでなく情報考古学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。

原著論文名（1編を記載）

李 春元, 松山 克胤, 今野 晃市: 2次元パネルに基づく土器片組み立て支援システム, 芸術科学会論文誌, 採録済