

氏名	きのした つとむ 木下 勉
本籍(国籍)	新潟県
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	工博 第241号
学位授与年月日	平成25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 電子情報工学専攻
学位論文 題目	計測点群を用いた土器表面の推定手法に基づく補間形状のモデリング手法に関する研究
学位審査委員	主査 教授 今野 晃市 副査 教授 千葉 則茂 副査 准教授 藤本 忠博

論文内容の要旨

遺物である土器は、多くの場合が砕けた状態で遺跡から出土する。よって、土器全体を把握するためには形状の復元作業が必要になる。土器形状の復元には専門的な知識や経験も必要となり、考古学分野では遺物の復元作業は大きな負担となっている。土器を復元する理由の一つに、実測図を作成することがあげられる。実測図の作成者は、計測用の特殊な道具を利用して、土器の大きさや形状の特徴を計測する。しかし、土器のどの部位を計測し記録するかは、作成者の判断に委ねられている。また、土器の分析を行う目的、手法が多岐に渡っているため、実測図だけでは、様々な分析要求に対して、十分な情報を提供することが困難であると考えられている。そこで、より多くの情報を提供するために、土器の形状を計測して3次元デジタルデータ化する手法やシステムが開発されている。3次元デジタルデータを生成する場合、形状データの欠落部を修正し、表面形状を完備することが重要である。完全な表面を構築することで、高品質な表面模様の再現や、展開図の作成が可能である。また、博物館でショーケースに入れられて展示されているような、手に触れることができない貴重な土器を、好きな角度から閲覧したり、専用の装置で接触したりすることが可能になる。

3次元デジタルデータに対する従来の研究では、土器片の組み立ての補助を目的としているものが多く、欠落部補間を行う手法の研究は少ない。一般的に、欠落部の小さい土器を手作業で復元するには、欠落部の周辺形状を参考にして、滑らかに接続されるように欠落部を補間する。また、欠落部が大きな場合は、出土した土器の年代等による原型の統計情報に基づいて、土器の原型を予想し、欠落部を補間する。欠落補間を支援するため、人手で復元を行う場合の考え方を、3次元デジタルデータを用いた手法に置き換える場合、次の2つが課題となる。

(1) 欠落部が小さいときに、周辺の形状を用いて欠落部分を補間する形状を生成すること。

(2) 欠落部が大きいときに、形状の全体を予想して、補間する形状を生成すること。

本研究では、これら2つの課題を解決した、新たな手法を提案する。課題(1)を解決するために、欠落部周辺の土器片から推定可能な、補間形状の生成方法を提案する。欠落部は、土器が断裂した断面で囲まれる部分で構成されるため、複雑な形状となる。そこで、本手法では、一般的なトリム曲面で欠落部を表現し、欠落部を覆う自由曲面を当てはめる。まず、トリム曲面の母曲面を推定するために、土器表面の文様と呼ばれる凹凸模様をノイズとみなし、球面形状を保つ凹凸除去手法を適用する。次に、母曲面の境界線を適切に決定するために、初期値に依存しない境界線を複数定義し、複数の境界線から、最適な境界線を選択する。また、口縁部などに欠落部が存在し、欠落領域が閉領域でない場合には、欠落部を閉領域とする仮想曲線を定義し、境界線を決定する。最後に、周辺部との接続性を高めるために、欠落部に隣接する土器片の表面データを利用して、トリム面の母曲面を欠落部の周辺部にフィッティングを行い、欠落部を覆うような曲面を当てはめる。

課題(2)を解決するために、本研究では土器全体を回転体に近い周回する形状と仮定し、断面として、円および楕円の表現が可能な、2次曲面を用いた推定手法を提案する。2次曲面推定で用いられる手法の一つに、非線形の最小二乗法がある。非線形の最小二乗法は、局所的な探索手法のため、大きな誤差を含むデータでは、局所解が求まる可能性が高く、土器のように製造精度の低いものに適用することは困難である。そこで本手法では、2次曲面の当てはめに最小二乗法ではなく、代数的な解法を用いて、土器全体を複数の2次曲面で推定する。まず、2次曲面を推定するために、土器表面の文様と呼ばれる凹凸模様をノイズとみなし、課題(1)と同様に球面形状を保つ凹凸除去手法を適用する。また、土器全体を複数の2次曲面として定義するためには、土器のセグメンテーションが必要となる。そこで、セグメンテーションの基準線を決定するために、土器全体を一つの2次曲面と仮定して当てはめ、当てはめられた2次曲面の主軸を仮想主軸とする。次に、仮想主軸を法線とする、複数の平面を定義することで、土器を複数の部位にセグメンテーションする。セグメンテーションは、それぞれの区間が指定許容誤差以内で2次曲面を当てはめられるように設定をする。

以上の2つの課題を解決することで、3次元デジタルデータに対し、土器の欠落部の補間形状の生成は可能である。3次元デジタルデータを利用した、欠落部の補間形状生成の有効性を検証するため、本手法を実際の土器から計測した、点群データに適用した。その結果、土器を復元するために、問題のない精度の補間形状の生成を確認し、手法の有効性を示した。

論文審査結果の要旨

本論文は、土器表面を計測した3次元座標点群のデータ欠落部分を補間する、3次元形状を自動生成するための、形状モデリング手法について述べられている。

土器は多くの場合砕けた状態で出土する。砕けて出土した土器片は、専門家によって組み立てられ、欠落している箇所を石膏などで埋めることによって復元される。復元される土器には、復元するために必要なすべての土器片が出土した場合と、一部の土器片のみが出土した場合など、様々な状態がある。よって、欠落箇所を埋める作業は、復元する土器の状況に応じたものとなる。言い換えれば、欠落部分の周辺に別の土器片が存在するような欠落部分が小さい場合、すなわち穴が開いているような場合と、欠落部分が広範囲に渡るような場合、すなわち少ない土器片で土器全体を復元する場合では、具体的な造形方法が異なる。ゆえに、欠落部分に当てはめる形状を人手によって造形することは、専門的技術が必要であり、作業者の負担も大きい。

一般的に、欠落部の小さい土器を手作業で復元するには、欠落部の周辺形状を参考にして、周辺部と滑らかに接続されるように欠落部を補間する。また、欠落部が大きな場合は、出土した土器の年代等による原型の統計情報に基づいて、土器の原型を予想し、欠落部を補間する。本論文では、欠落補間形状をコンピュータで作成するため、人手で復元を行う場合の考え方を、3次元デジタルデータを用いた手法に置き換えることを検討し、次の2つが課題となることが述べられている。

(1) 欠落部が小さいときに、周辺の形状を用いて欠落部分を補間する形状を生成すること。

(2) 欠落部が大きいときに、形状の全体を予想して、補間する形状を生成すること。

本論文では、これら2つの課題を解決する新しい形状モデリング手法を提案している。以上の2つの課題を解決することで、欠落部分の大きさに依存せずに、土器欠落部分を表す3次元モデルを生成することができるため、汎用的なモデリング手法として有用性が高い。

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られている。

第2章では、本研究で利用している形状モデルの生成手法とモデル表面データのフィルタリング手法について説明している。これらの手法は、本研究で利用する技術である。また、補間形状を生成する従来手法として、曲面フィッティング手法および2次曲面当てはめ手法について説明し、これらの手法の問題点を明確化している。

第3章では、本研究で提案する、欠落部に当てはめるトリム曲面の生成法について

述べている。欠落部が小さいときには、周辺の土器片形状を表す点群を用いて欠落を覆う曲面を推定する。また、穴の周りの境界線に基づいて、トリミングする曲線を決定し、推定した曲面とデータを統合し、トリム曲面を生成することが示されている。この手法によって、欠落部分に対応する曲面形状が生成できるため、実物の土器の復元に対する参照形状として活用することが可能である。

第4章では、土器が回転体に類似した形状であることに着目し、2次曲面を用いた全体形状の推定手法について述べている。欠落部分が広範囲に渡るような場合には、第3章で述べた手法は適用できないため、土器片から全体の形状を予想して、補間形状を生成することで課題を解決することが述べられている。土器表面を表す点群を土器の中心軸に沿って輪切りにし、輪切りにした点群データごとに2次曲面を当てはめることによって、複数の2次曲面を組み合わせて表面を推定する手法が述べられている。

第5章は結論である。序論で述べた目的の確認と、2つの課題に対して提案した本研究の理論の整理を行う。また、本研究で提案した各手法について、今後の課題や展望が述べられている。

以上、本論文は、出土した土器を計測した点群情報に基づいて、土器復元のための欠落部分の形状を推定する形状モデリング手法を提案したものである。提案手法は、出土した土器片が不足している場合にも十分な精度で器形を推定し3次元モデルを生成できる。よって、実際の石膏モデルを作成する際の参照モデルとして活用し、作業を大幅に効率化できるところが評価に値する。特に、2次曲面による表面推定手法は、土器の形状特徴解析や土器片組み立ての基盤情報としての考古学的な応用技術への発展が大いに期待できる。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）

木下勉，村木祐太，松山克胤，今野晃市，トリム曲面を用いた土器の欠落形状の表現手法，芸術科学会論文誌，Vol.11，No.3，pp.47-58，2012.