

氏 名	よう けい 楊 溪
本籍（国籍）	中国
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	工博 第288号
学位授与年月日	平成30年 3月23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	Matching and Visualization for Refitting Materials of Stone Tool Based on 3D Measured Point Cloud (3次元計測点群に基づく石器剥離面のマッチングと可 視化)
学位審査委員	主査 教 授 今野 晃市 副査 教 授 藤本 忠博 副査 教 授 田中 隆充

論 文 内 容 の 要 旨

In Japan, lithic materials are most important evidences of archaeological research in the Palaeolithic and Jomon periods. Most organics, such as bones or wood, decay easily, due to the hot and humid weather, and in the acidic ground soil. To make a stone tool, the edge of a rock is struck repeatedly with a pebble, and flake pieces in various sizes are obtained. These pieces are called lithic refitting materials. The flakes are pieces peeled for adjusting the core shape, while the core is the rock left as a raw material for a stone tool when flakes are peeled. Refitting lithic materials is the most important research work for analyzing human activities of that period. By this work, the manufacturing process of stone tools can be restored and human activities in the ancient times can be conjectured. The original form of relics can be known, while, additionally these reassembled stone tools can also have educational values as exhibition materials at history museums. However, reassembly of stone tools is a complex and hard task, it consumes a lot of manpower and time. In order to efficiently process massive stone tools, this thesis studied computer graphics techniques to assist this archaeological research. This work is mainly composed of the following two aspects: lithic materials matching and assembly instruction visualization.

In recent decades, a large number of methods have been presented to solve various

registration or matching problems, however, few methods have been successfully applied to the matching of flakes. In the previous work, it is possible to process refitting materials from a single stone core, while it is impossible to finish them from multiple stone cores. By improving this method, this thesis proposed a new method for refitting mixture lithic materials from multiple stone cores by matching flake surfaces. First, each of the input point clouds of lithic materials is segmented and simplified to obtain flake surfaces. Then, according to several refitting principles in archaeology, the lithic materials are matched starting from a stone core by searching the best matching flake surface. Additionally, the flake surfaces of matched lithic materials are detected and reconstructed. The matching process is repeated until all data are matched.

In the next research, independently from the polygon mesh, a new algorithm is proposed to process pairwise matching of stone tools based on contour points and mean normals of regions on all flake surfaces, according to the characteristics of the flake models. The input of our method is a pair of flake models from the point cloud. First, the normal vectors are calculated for each point. Second, each flake surface is segmented and uniformly downsampled. After that, the contour points are extracted. Finally, the flake surface pair with the best matching is rapidly identified based on the contour points, and further matching is conducted using the nearest point sets.

For studying stone tools, repeating assembly and separation of stone tools is an inevitable process. However, ambiguous traditional 2D illustrations are commonly used to instruct this process. The 3D exploded view is an effective way for instructing the assembly, and it has been widely used in many fields, while seldom being used in archaeology. We applied a powerful presentation technique, 3D exploded view, to stone tool models. Based on the refitting results of lithic materials, a method is studied to calculate relationships and directions of stone tool models for generating exploded graphs with point clouds. In addition, the assembly and separation sequences is computed. According to archaeological conventions, the animation of the rotating separation of a flake is also generated. Moreover, lithic knapping methods and relic excavation reports are analyzed to evaluate the difference of flake knapping sequences between the contents of report and automatic generation.

We have implemented the proposed methods, and tested with lithic material 3D models. Two groups are efficiently finished through our matching method by refitting materials from mixture of several groups. The limitation of this method has been solved by the next research. These experimental examples indicated that the matching methods can achieve superior matching results. After that, the explosion graphs of two groups are

generated , and the assembly and separation sequences are computed and analyzed. The experimental results of stone tool assemblies indicate that 3D visualization technology can assist in the efficient research of assembly and separation instruction of stone tools for chipped stone tools.

論文審査結果の要旨 (※この行はゴシック太字)

本論文は、多方向大量同時計測システムによって計測された石器の3次元座標点群を入力として、石器同士の隣接情報を探索することによって、複数の分割された石器から母岩を再構成するための組み立て情報を抽出する手法と、抽出した情報を可視化する手法が述べられている。出土した石器を組み立て、母岩を再構成したものは接合資料と呼ばれ、従来は試行錯誤を伴う手作業によって行われてきた。ゆえに接合資料作成は、作業者の負荷が高く、石器の汚損や破損のリスクがあることから、計算機支援による組み立て手法が望まれている。

従来の研究では、ひとつの接合資料を構成する石核と石器を計測した点群を入力として、組み立て情報を抽出する手法が提案されている。以降、石核や石器を総称して石器と呼ぶ。しかし、一般にはひとつの接合資料を構成する石器データだけをグループ化し、接合作業を行うことは困難であり、類似した材質の石器が混在した状態で、母岩を再構成できるアルゴリズムが必要とされている。本論文では、前述の課題を解決するための組み立てアルゴリズムを提案し、更に組み立て情報に基づき、その手順を可視化して利用者に提示する手法を提案したものである。具体的には、複数の母岩を再構成するための石器データを混在させた状態で、各接合資料の組み立て情報を抽出し、組み立て情報を可視化できることが述べられている。

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られている。

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られている。まず、3次元計測により得られた点群処理に関する様々な技術を分類し、本研究の位置づけを明確化している。その後、本研究で利用する石器計測システム、3次元データ軽量化、ひとつの母岩を再構成するための石器剥離面のマッチング手法について説明し、複数の母岩を構成する石器データを混在させたときのマッチングに関する問題点が述べられている。

第3章では、本論文で提案する石器剥離面のマッチング手法が説明されている。提案手法では、石器を計測した3次元モデルを解析して剥離面を抽出し、剥離面間の幾何学的なマッチング手法により最適な隣接剥離面を選出している。マッチングの前処理として、点群軽量化が必要であるが、提案手法では軽量化後の形状が、後工程のマッチング手法の影響をできるだけ受けないように、軽量化アルゴリズムを拡張している。その結果、複数の母岩を構成する石器データが混在する場合において、一度に複数の接合資料の組み立て情報を抽出することが可能となっている。また、接合アルゴリズムをより頑健にするため、点群を直接操作して、隣接剥離面を選出する方法についても述べられている。更に、提案手法の有効性を評価するため、考古学者が制作した模造石器や下嵐江遺跡から出土した石器を計測した点群か

ら、組み立て情報が抽出できたことが述べられている。

第4章では、第3章で述べられている手法により抽出した接合資料の組み立て情報を可視化し、組み立て手順を提示する手法が述べられている。従来用いられている機械部品や家具などの組み立て手順可視化手法を基盤として、石器特有の特徴量をノードに追加することで、石器の組み立て情報をグラフ構造で可視化している。その後、可視化情報を解析し組み立て手順を示している。組み立て手順を可視化する効果を検証するため、3Dプリンタで出力した模造石器を実際に組み立ててもらい実証実験を行い、提案手法の有効性が示されている。

第5章は、結論である。本論文では、複数の接合資料が混在している状態において、各接合資料の組み立て情報を抽出する手法と、抽出した情報を可視化し、組み立て作業者に手順を提示する手法が述べられており、提案手法の有効性、有用性が示されている。

以上、本論文は出土した石器の接合資料を人手で作成するための過程を、計算機で支援するための接合処理アルゴリズムを提案したものである。複雑な石器剥離面形状をよく観察し、見出した形状特徴を捉えて有用な幾何学的アルゴリズムを構築した点は大いに評価できる。また、抽出した情報をより実用化に近づけた可視化手法により、人手による試行錯誤を減少させ、マンパワーを有効活用可能とする点は、実用化に向けた発展がおおいに期待できる。したがって、本論文は3次元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）

X.Yang, K. Matsuyama, K. Konno , A New Method of Refitting Mixture Lithic Materials by Geometric Matching of Flake Surfaces, The Journal of Art and Science, Vol.15, No.4, pp.167-176, 2016