

令和 4 年 4 月 23 日現在

機関番号：11201

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18H00734

研究課題名（和文）複数遺跡関連性調査のための石器接合資料生成自動化と接合手順可視化手法の確立

研究課題名（英文）Automatic generation of joining materials and visualization of joining procedure for investigation of relevance of multiple archaeological sites

研究代表者

今野 晃市 (Kouichi, Konno)

岩手大学・理工学部・教授

研究者番号：90333476

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 10,400,000円

研究成果の概要（和文）：本課題は、出土した石器を接合して接合資料を自動的に生成し、生成された接合資料に基づいて、実際の石器組立順をユーザーに分かりやすく提示する手法を開発するものである。石器接合資料生成は、先行研究で開発した3Dスキャナーで計測した、3次元座標点群を用いて行う。点群は、剥離面認識、接合、接合順解析、ユーザーへ提示、の順に処理される。本課題では、からまでの処理のアルゴリズムを開発した。いくつかの模造石器を用いてアルゴリズムを検証し、提案手法の有効性、有用性を確認している。成果が出た手法を学術雑誌、国際会議、国内会議などで発表した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果は、大量に発掘される石器を自動接合するアルゴリズムと、接合されたモデルを解析して、接合順を抽出し、実際に出土した石器を接合するときには、試行錯誤せずに、接合順を提示できることである。これによって、発掘された石器がもれなく接合できるかどうかを判定できることになるため、接合された石器の発掘位置などの情報を組み合わせることによって、新たな知見を獲得できることが期待できる。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this project is to develop a method for joining excavated stone tools to automatically generate joining materials and presenting the actual stone tool assembly order to the user in an easy-to-understand manner based on the generated joining materials.

Joining material is generated using the 3D point cloud measured by the 3D scanner developed in the previous research. The point cloud is processed in the order of (1) flake surface recognition, (2) joining, (3) joining order analysis, and (4) display to the user.

We have developed an algorithm for processing from (1) to (4). The algorithm was verified using some imitation stone tools, and the effectiveness and usefulness of the proposed method were confirmed. The methods that produced results were presented in academic journals, international conferences, and domestic conferences.

研究分野：情報工学

キーワード：情報考古学 接合資料 3次元計測

### 1. 研究開始当初の背景

遺物(石器や土器など)は、それらが出土した遺跡単位での復元が行われる。しかし、石器接合資料生成時には、復元のための全ての石器がその遺跡から出土するとは限らない。また、石器整理の過程で復元に必要な石器が別のグループに分類されてしまうなど、整理作業中に復元に必要な石器を見落とすこともある。よって、完全に復元ができていない場合、復元作業をやめるべきか否かの判断が不透明なため、作業者が復元作業を終了するタイミングを計るのは非常に困難である。また、近隣遺跡から出土した石器同士の関連性を調査することは、遺跡間の交流や古代人の行動解析の根拠として、学術的にも有益であるが、行政区域の違いや予算、納期などの関係で調査は進まないことが多い。ゆえに、近隣遺跡から出土した石器を含めた接合処理を意図的に実施しない限り、遺跡間の関係を見出し、古代人の生活や行動パターンを調査することは、非常に困難な課題となる。特に石器は、製作と使用が必ずしも同一の場所ではないため、ひとつの遺跡から出土する石器を用いて接合資料を生成するだけでは、十分な情報を得られない可能性が高い。ゆえに、生成した接合資料による遺跡関連性調査では、近隣の遺跡群から出土した大量の石器を含むデータ点群をすべて同時に利用して、探索と接合ができるかどうか、が非常に重要な課題である。

### 2. 研究の目的

本課題では、まず代表者らが開発した石器計測に特化した多方向大量同時計測システムで計測した点群に基づき、表面の欠落を補間して完全な表面を持つ形状モデルを生成し、生成したモデルを利用して、石器剥離面のマッチングと剥離面再構成に基づく石器接合資料の自動生成手法を新たに開発する。また、上記で得られた接合資料の組立手順を可視化し、ユーザーに分かりやすく提示する手法を開発することが目的である。この手法は、接合関係が不明な大量の石器データを入力として、複数の接合資料を同時に生成できる手法とする。これによって、従来試行錯誤を伴う手作業では発見が困難であった接合箇所を発見し、古代人の行動解析や石器製作技法解析を行うための客観的かつ定量的評価方法を確立する。また、複数の遺跡から出土した石器の関連性調査が可能かどうかを、出土した石器を利用して評価し、本手法の有効性・有用性を検証する。

### 3. 研究の方法

本研究では、図1の2)と3)に関する課題を解決する。なお「済み」と記載のものは、本課題実施前に研究成果が出た項目であり、本研究ではその結果を利用する。以下では、各テーマの研究の方法について述べる。

#### (2-d) 石器形状特徴抽出による剥離面検出

本課題では、石器接合の単位となる剥離面の稜線を自動抽出するアルゴリズムを開発する。詳細は、雑誌論文[Shurentsetseg2019,佐々木2018]及び、学会発表

[NICOGRAPH2021, NICOGRAPH International2019, NICOGRAPH2019, IWAIT2019]にて公開された。

#### (2-f) 複合資料混在マッチング

本課題では、複数の石核が混在している点群データを用意し、複数の石核がそれぞれ接合可能なアルゴリズム開発と、誤マッチング編集可能なインタラクティブシステムを開発する。詳細は、雑誌論文[今野2020, Yang2019]及び、学会発表[NICOGRAPH2019, 情報考古学会第42回大会, NICOGRAPH2018]にて公開された。

#### (2-g) 空洞抽出とマッチング

本課題では、接合資料を構成する各石器の接合関係をグラフにより表現して、接合資料の空洞部分を認識するアルゴリズムを開発する。詳細は、学会発表[NICOGRAPH2019]にて公開された。

#### (2-h) 剥離面ネガ・ポジ判定

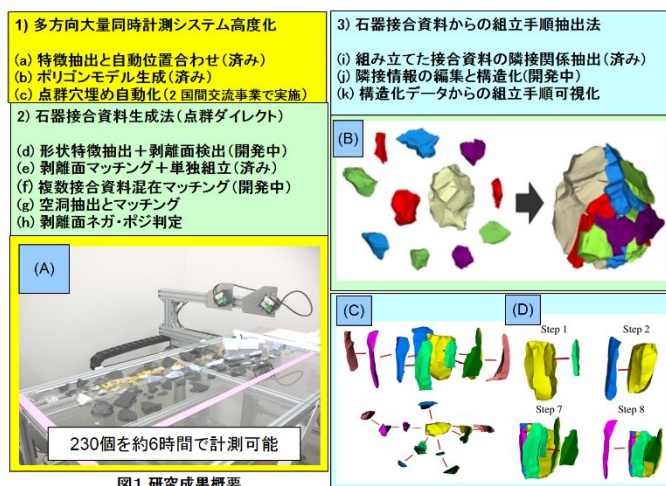


図1 研究成果概要

本課題では、生成された剥離面の凹凸(ネガ・ポジ)を判定するアルゴリズムを開発する。凹凸を事前に判定することによって、マッチングする組み合わせを減らすことで処理を高速化する。詳細は、学会発表 [ NICOGRAPH International2018 ] にて公開された。

### (3-j) 隣接情報の編集と構造化

本課題では、接合資料を構成する各石器の隣接情報をグラフ構造を用いて構造化し、石器間の接合箇所と接合順を明確化するアルゴリズムを開発する。詳細は、学会発表 [ 令和元年度第1回芸術科学会東北支部研究会 ] にて公開された。

### (3-k) 構造化データからの組み立て手順可視化

組み立て手順可視化手法は、2つの手法を開発した。1つ目は、コンピュータで組み立てた接合資料の接合順を、コンピュータディスプレイ上に提示する手法である。2つ目は、テーブルに並べた実際の石器に対して、組み立て手順を重畳表示する手法である。詳細は、学会発表 [ NICOGRAPH International2020, IWAIT2021, NICOGRAPH2021 ] にて公開された。

## 4. 研究成果

以下には、それぞれのテーマの研究成果を示す。

### (2-d) 石器形状特徴抽出による剥離面検出

石器を計測して得られた3次元座標点群を解析して、マハラノビス距離に基づき、剥離面の境界線となる稜線を抽出した。図2は、結果を示す。(a)は人手により作成した実測図を表す。実測図には輪郭線、稜線のほかにリングとフィッシャが描かれているので稜線と輪郭線以外は取り除く。(b)は(a)から抽出した稜線と輪郭線であり、この図と同等の特徴線が得られることが必要である。(c)は本手法を適用した結果、(d)は先行研究の結果である。(c)から特徴線の抽出ができていることが分かる。

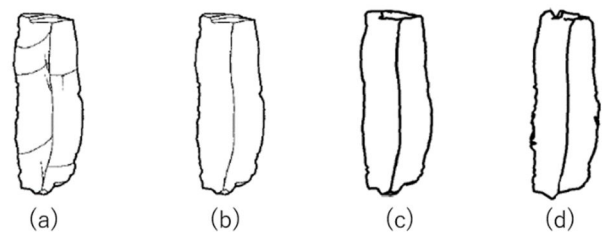


図2 稜線認識結果

### (2-f, 2-h) 複合資料混在マッチング、剥離面ネガ・ポジ判定

最初に、複数の接合資料を混在させておき、その中にある石核を探索する。石核を発見した後で、石核を起点にして接合する。石核に含まれる剥離面は凹形状、それ以外の石器は凸形状となることから、点群データからの凹凸判定アルゴリズムを開発した。複数の凹形状を含む点群が石核を表す点群となる。その後、剥離面ごとにマッチングされる候補を示しながら接合するシステムを開発した。図3は、2つの石核をふくむ実験に利用した43個の石器と、接合例を示す。現在のシステムは、実行底度が分単位であり、順次マッチングするときには、待ち時間がある。本システムをインタラクティブシステムとできるように、実行速度を改善することが、次の目標である。

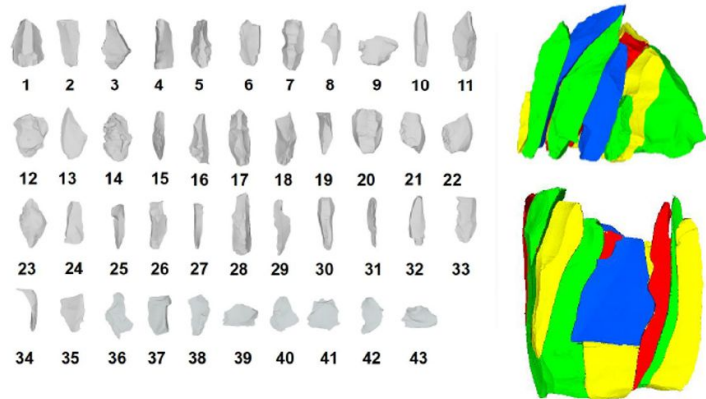


図3 接合資料生成結果例

### (2-g, 3-j) 空洞抽出とマッチング、隣接情報の編集と構造化

すでに組み立てられた接合資料を表す点群を用いて、どの剥離面とどの剥離面が接合しているのかを表すグラフ構造を生成するアルゴリズムを開発した。また、各石器の剥離面をグラフで表現して、接合により二つのグラフがどのように変化するかを考慮して、グラフの編集アルゴリズムを検討した。図4は、その例を示す。四角い枠で囲まれた二つの図は石器の表と裏を示している。また、番号は剥離面の識別番号を示す。2つの石器は左側表の2番と右側裏の4番が接合される面を表し接合結果は右側に示してある。二つの石器の剥離面間の隣接関係は下側に表示されているグラフに示している。2つのグラフと接合面を指定して、接合後のグラフを自動生成したものが右側のグラフである。このように、2つの元に

なるグラフと接合面を順次指定していき接合資料の接合されていない剥離面をグラフで表現できた。現在は、アルゴリズム上の制限があるので、今後汎用な手法へ拡張する。

### (3-k) 構造化データからの組み立て手順可視化

図5は、接合資料のある断面と接合資料から組み立て手順を抽出して木構造で表現したものである。組立手順は、木構造のRoot、すなわち図5(b)の core から枝葉を辿ることによって、得ることができる。ただし、剥離面的一部分が接合している場合や、複数の石器が接合された後で、一つの剥離面を構成する場合があるので、木構造から接合順と接合関係を示すグラフを生成した。図6に例を示す。「C」は core を、番号は石器の番号を表す。また、「R」は複数の剥離面が集まって一つの剥離面を構成していることを示す。このグラフから、接合順を抽出して、ユーザー提示することができる。

また、前述の接合順を、実際の石器組立に適用するときには、テーブルに並べられた石器が、どの番号対応するかをリアルタイムに識別できることが必要である。テーブルに置かれた石器を RGB-D カメラ計測して、計測点群とコンピュータ内に構築されている石器点群データベースとのマッチングを行うシステムを構築して、テーブル上の石器画像に識別番号を重ねて表示するシステムを開発した。図7は、識別例を示す。図7左図は、テーブルに置かれた模造石器、右図は識別結果を重ねて表示した例である。本手法は、薄い石器に対して識別はうまくいっているが、厚い石器に対しては、処理上の制限があるので、今後拡張していく予定である。

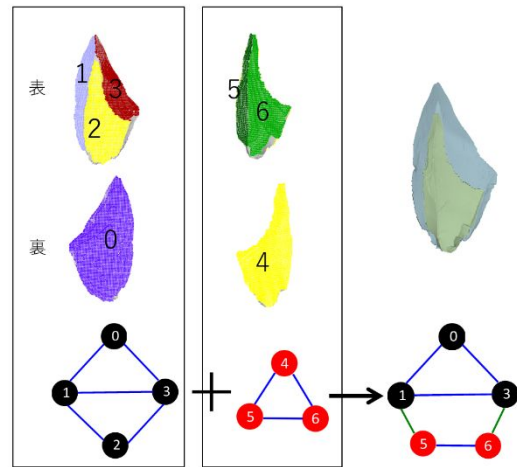


図4 接合状態のグラフ化

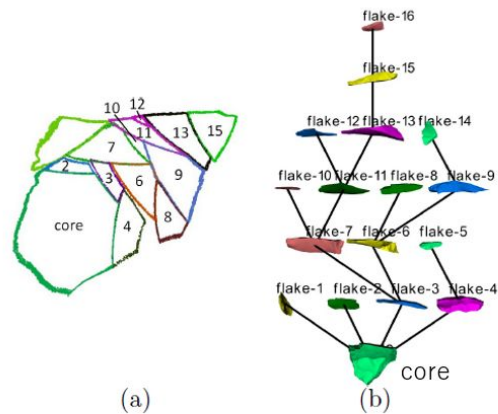


図5 接合順のグラフ構造

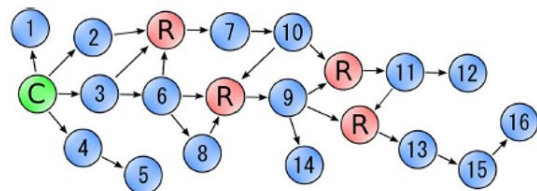


図6 接合順の解析結果例



図7 実石器の識別例

以上.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 今野 晃市	4. 巻 25
2. 論文標題 3次元計測点群からの接合資料生成と手順の可視化	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 情報考古学	6. 最初と最後の頁 1,9
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 E. Shurentsetseg, K. Konno	4. 巻 18
2. 論文標題 Feature Line Extraction of Stone Tool Based on Mahalanobis Distance Metric	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Journal of Art and Science	6. 最初と最後の頁 51-62
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 X. Yang, K. Konno, F. Chiba, S. Yokoyama	4. 巻 18
2. 論文標題 Visualization of Flake Knapping Sequence with Analyzing Assembled Chipped Stone Tools	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Journal of Art and Science	6. 最初と最後の頁 40-50
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 佐々木陽, 今野晃市	4. 巻 17
2. 論文標題 空間分割法と石器剥離面の境界領域探索に基づく剥離面認識手法	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 芸術科学会論文誌	6. 最初と最後の頁 139-149
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計21件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 9件）

1. 発表者名 Konno Kouichi
2. 発表標題 Image Based 3D Stable Posture Matching in Real Time for Stone Tool Assembly
3. 学会等名 NICOGRAPH International 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Konno Kouichi
2. 発表標題 A Method of Recognizing Flake Surfaces for Noisy Point Cloud of Measuring Stone Tools
3. 学会等名 NICOGRAPH International 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Konno Kouichi
2. 発表標題 A Study on Stone Tool Identification based on Depth Image and 3D Point Cloud
3. 学会等名 International Workshop on Advanced Imaging Technology (IWAIT) 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 今野晃市
2. 発表標題 2Dと3Dの融合処理に基づく石器データと実石器のマッチング手法の検討
3. 学会等名 令和3年度第1回 芸術科学会東北支部研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 今野晃市
2. 発表標題 2Dと3Dの組み合わせに基づく石器データと実石器のマッチング手法の検討
3. 学会等名 NICOGRAPH 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Konno Kouichi
2. 発表標題 A Study on Ridge Line Extraction with Profitable Features for Flake Surface Segmentation
3. 学会等名 NICOGRAPH 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Konno Kouichi
2. 発表標題 A Study on Normal Vector Estimation of Point Cloud with PCA
3. 学会等名 令和3年度第1回 芸術科学会東北支部大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 今野晃市
2. 発表標題 Evaluation of stable posture in 3D space
3. 学会等名 芸術科学会東北支部 令和元年度第1回研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 今野晃市
2. 発表標題 An extraction of relationship between adjacent flake surfaces for constructing adjacent graph of joined material
3. 学会等名 芸術科学会東北支部 令和元年度第1回研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 今野晃市
2. 発表標題 A Method of Recognizing Flake Surfaces for Noisy Point Cloud of Measuring Stone Tools
3. 学会等名 NICOGRAPH International 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 今野晃市
2. 発表標題 A Study of Constructing Adjacent Graph Between Stone Tools from Joined Material for Finding Hollow Space
3. 学会等名 NICOGRAPH 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 今野晃市
2. 発表標題 領域分割法に基づくノイズを含む点群からの石器剥離面の自動抽出に関する検討
3. 学会等名 NICOGRAPH 2019
4. 発表年 2019年



1. 発表者名 今野晃市
2. 発表標題 Error-controllable point-cloud simplification with specific simplification degree
3. 学会等名 NICOGRAH 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 今野晃市
2. 発表標題 3D計測点群と石器画像のマッチングによる石器同定法の検討
3. 学会等名 芸術科学会東北支部 第1回東北支部大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 今野晃市
2. 発表標題 A Study of Interactive Matching Interface for Fractured Stone Tools
3. 学会等名 日本情報考古学会第42回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 今野晃市
2. 発表標題 A Study of Recognizing Flake Surfaces Based on Feature Lines of Stone Tool
3. 学会等名 International Workshop on Advanced Image and Technology 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 今野晃市
2. 発表標題 An Examination of Flake Surface Segmentation Based on Ridge Line Extraction Method from Measured Point Clouds
3. 学会等名 International Workshop on Advanced Image and Technology 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 今野晃市
2. 発表標題 An Interactive Reassembly Method for Stone Tool Restoration
3. 学会等名 NICOGRAPH 2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 今野晃市
2. 発表標題 A Study of Finding Target Objects for Visualizing Stone Tool Assembly
3. 学会等名 NICOGRAPH International 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 今野晃市
2. 発表標題 A Method of Searching Lithic Cores by Average Linkage Clustering
3. 学会等名 NICOGRAPH International 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 今野晃市
2. 発表標題 Measurement and Analyzing archaeological objects
3. 学会等名 Integrated Conference On Joint Research Program In Mongolia (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	野口 淳 (Noguchi Atsusi)  (70308063)	独立行政法人国立文化財機構奈良文化財研究所・埋蔵文化財センター・客員研究員  (84604)	
研究分担者	松山 克胤 (Matsuyama Katsutsugu)  (80404804)	岩手大学・理工学部・准教授  (11201)	
研究分担者	及川 穰 (Oyokawa Minoru)  (10409435)	島根大学・学術研究院人文社会科学系・准教授  (15201)	削除：2019年7月31日

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------