

オホーツク文化の青銅製帯金具における 部分形状間の位置誤差に関する研究

近藤 司¹, 川合 政人², 高島 孝宗³, 中村 和之⁴, 長谷川 大輔⁵

1. 函館工業高等専門学校, 2. 北見工業大学, 3. オホーツクミュージアムえさし
4. 函館大学, 5. (株) ダイナックス

要旨 本論文では、オホーツク文化の遺跡から出土する青銅製帯金具の部分形状の比較を行う。出土遺物は接触工具を用いた測定を行うことが難しいことがあるため、非接触 3次元測定機により点群データとして測定した帯金具表面の形状を用いて実験を行う。この形状データを基とした帯金具の形状を比較する方法を提案し、遺物の類似性の数値化を行う。本論文では、枝幸町の目梨泊遺跡から出土した4点の青銅製帯金具において、全体的な形状は同じように見えるが、その部分形状間では位置が異なることに着目する。その理由として、砂型模型が複数の部分形状で構成され、それを組み合わせることで作られていると推定する。すなわち、製造技術として鑄造における模型作成時または鑄型作成において部分形状を別々に配置したのではないかと考え、帯金具を2形状ごとに照合する。4点の帯金具を2点ずつ、計6通りの組み合わせについて部分形状間の距離を評価した結果、二つの組み合わせが、よく一致していることが確認された。

キーワード：オホーツク文化、目梨泊遺跡、青銅製帯金具、部分形状照合、位置誤差

1章 はじめに

オホーツク文化の遺跡から出土する青銅製帯金具は、オホーツク文化の大陸との交流を示す証拠として注目を集めてきた。本論文では、枝幸町の目梨泊遺跡から出土した青銅製帯金具に検討を加える。目梨泊遺跡からは5点の青銅製帯金具(図1-1)が出土しており、北見市(旧常呂町)の栄浦第2遺跡、網走市のモヨロ貝塚からも1点ずつ出土している。目梨泊遺跡から出土した5点の青銅製帯金具は文様構成・規格を共有しており、同じ「鑄型」から制作されたものと推測されているが、これを検証する研究はこれまでなかつ

た。また、目梨泊遺跡出土の資料は国指定の重要文化財であるため、接触式工具を用いた測定を行うことが難しい。そのため筆者らは、⑦非接触3次元形状測定機を用いた形状の測定、①測定形状を視認しやすくするため、必要精度で画像(BMP方式)データへ変換する手法、②BMPデータを用いて座標系を一致させる手法、③形状の特徴である文様を数値化する手法、④それらを用いて一致度を測定する手法などを提案してきた(近藤ほか2021、長谷川ほか2022)。

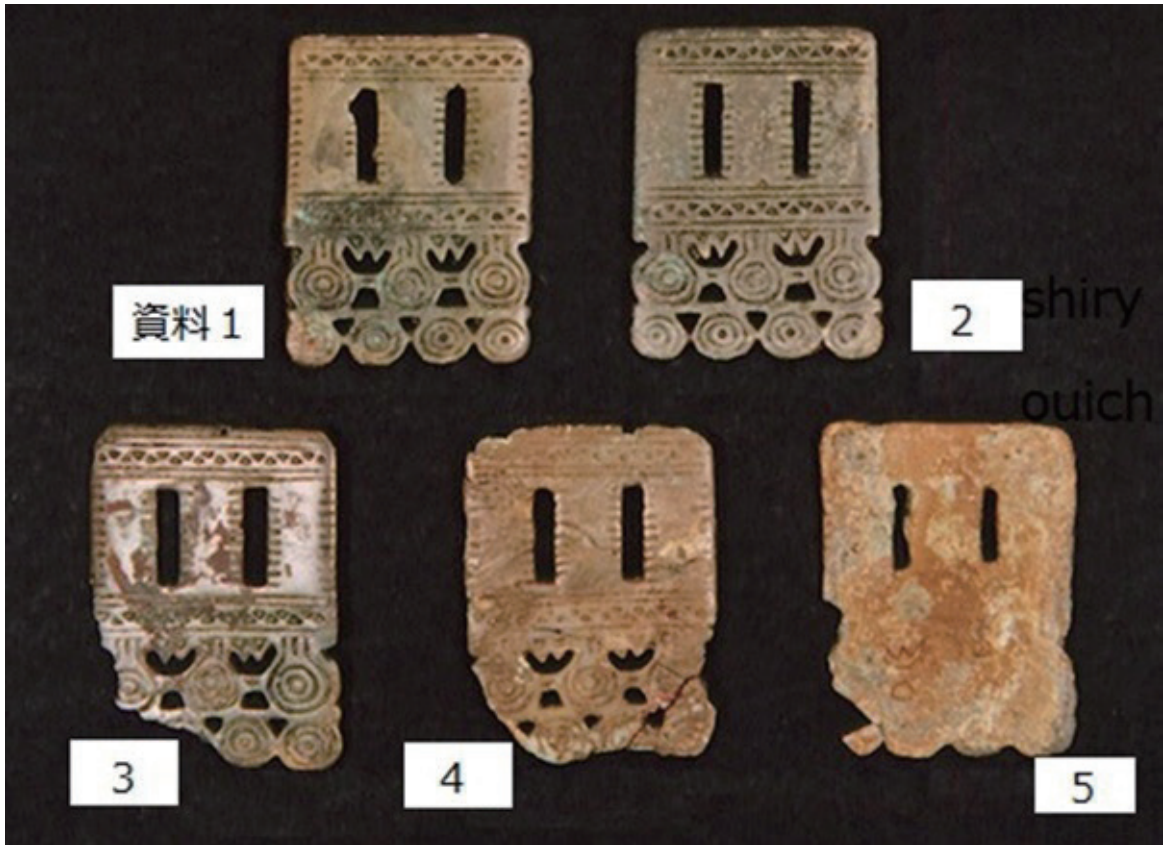


図 1-1. 目梨泊遺跡出土の帯金具（矩形帯金具）

1.1 本研究の概要

北海道枝幸町の目梨泊遺跡から出土した5点の帯金具は、縦57～59mm、幅42～43mm、重さ23.7gである。そのうち表面の文様がはっきりしているという理由から、今回は資料1～4を扱うこととする。筆者らは4点の帯金具を2点ずつ、計6通りの組み合わせについて形状全体の比較を行った。その結果、資料1と2の一致の割合は許容誤差を1mmとした場合は96パーセント、許容誤差を0.1mmとした場合でも52パーセントの一致率をしめしており、両者は同じ模型から铸造されている可能性が高いという結論を得た。一方、残りの5通りの一致の割合は許容誤差を1mmとした場合には高いものの、許容誤差を0.1mmとした場合は、30パーセント台となってしまう、一致率が高いとは断言でき

ないという結論であった（近藤・川合・高島・中村2024）。

今回の研究では、各帯金具の部分の形状は同じように見えるが、その部分形状の位置が異なることに着目する。筆者らは模型が複数の部分形状で構成され、それを組み合わせることで作られていると仮定し、帯金具の部分形状の位置について基準点との相対的変位に着目した。模型とは、铸造の度に廃棄される铸型（砂型）を作る際に用いる型であり、铸造品と同じ形をしている。

2章 部分形状を用いた形状照合に関する研究

図2-1に帯金具データから部分形状作成の流れを示した。形状データ作成までの①から④の詳細は（近藤・川合・高島・中村2024）を参照のこと。

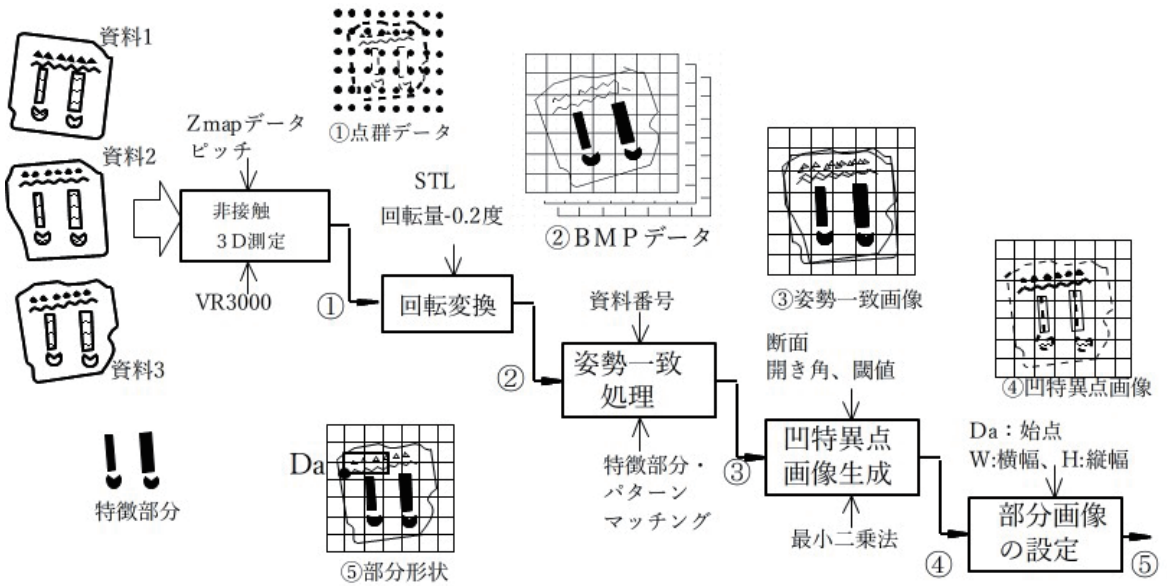


図 2-1. 帯金具データから部分形状作成の流れ

2.1 部分形状のデータとそのずれ量による 2 帯金具の形状照合の考え方

帯金具形状を視覚的に見ると同一文様、同一形状のように見える。図 2-1 で出力される部分形状⑤を用いて、図 2-2 は資料 1 を赤、2 を緑として重ね合わせた。また二つの資料に対して青色の直線で断面位置と、そこでの高さ情報を図 2-3 に示した。高さは違うものの文様は似ており、矢印で示す位置に特徴的部分が存在している。この特徴的形状は凹形状をしていると考え、資料の BMP データを基に凹形状を抽出し凹特異点画像



図 2-2. 部分形状例 (赤：資料 1、緑：資料 2) と断面位置

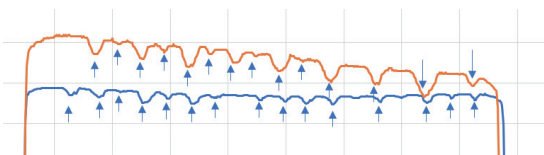


図 2-3. 断面形状と凹特徴点

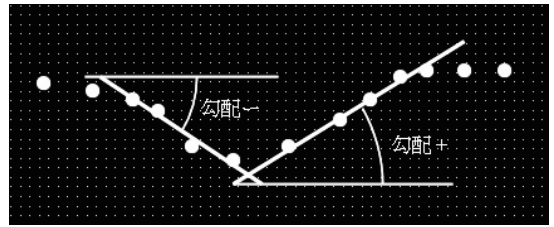


図 2-4. BMP データから凹特徴点の算出

を生成する。そのため、画像の横および縦方向断面において凹特徴点を探索する。BMP データの各断面において、対象点の前 10 点、後 10 点を用いて直線近似をし、二つの直線から開き角を求め (図 2-4)、与えたいきい値より開き角が大きい場合、画像に対してその対象点位置に緑色の値を用いて、凹特徴点なら 255、そうでないのなら 0 を画像データ内に記憶する (図 2-5)。

続いて、凹特徴点画像において、領域の左下座標 D_a と幅と高さを指定し部分形状領域を設定する (図 2-6)。資料 (例えば資料 2) の凹特徴点画像に対して資料 1 の部分形状の凹特徴点画像をテンプレートマッチング処理により、最も一致率の大きい位置 D_a' を求める (図 2-7)。

求めた D_0, D_0' はそれぞれの部分画像の基準点

であるため、 $Da-D0$ と $Da'-D0'$ は二つの部分形状の相対位置に相当する。

すなわち部分画像位置のずれ量は $| (Da-D0) - (Da'-D0') |$ で算出される。

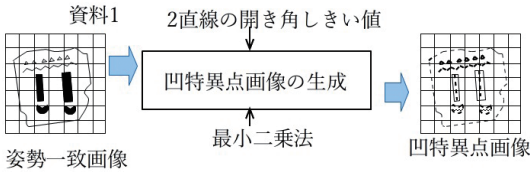


図 2-5. 凹特徴点画像の生成

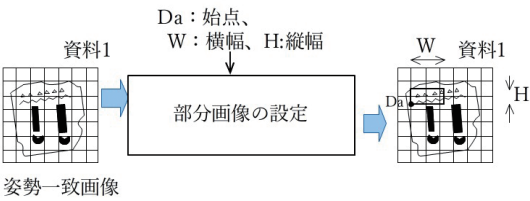


図 2-6. 凹特徴点画像における部分領域の設定

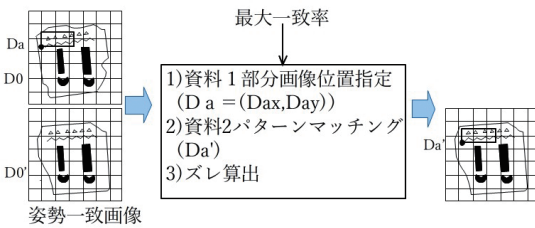


図 2-7. 部分画像間のずれ算出

2.2 照合評価

本研究では、二つの帯金具の特徴がどのぐらいの割合で一致しているかを定量化することで、形状の一致度の計算すなわち形状照合を行う（舟久保 1990、谷尻 1996）。本論文では、帯金具形状を構成する部分形状に着目し、部分形状間の距離（ずれ量）を測定することで形状の同一性、すなわち同一模型で鋳型が作られたのかを評価する。二つの形状（資料 1 と資料 2）は見た目が同じ形状であっても二つの形状の凹特徴点が必ずしも一致しない。その理由としては個別に測定したための測定誤差、画像データへ変換する際の量子化誤

差、座標系一致誤差、および形状の違いなどが考えられる。その中で、この研究では形状の違いに着目し、複数の部分形状位置のずれ量から上記を考慮して評価を行う。そのずれの範囲が絶対値で 4 ピクセル（実寸法で 0.4mm に相当）の範囲までは、両方の形状は一致していると判断し、それ以外は、一致していないと判断する。

3 章 実験

3.1 帯金具形状の 3 次元形状非接触測定データおよび BMP データ

本研究で扱った資料 1 ～ 4 の 3 次元形状非接触測定データを XY（横縦）空間で 0.1mm ピッチ、高さを 1 輝度値当たり 0.04mm とすることで BMP データに変換した（図 3-1 ～ 3-4）。高さ情報を輝度値に変換しても形状の特徴である穴の部分は黒（青、緑、赤それぞれの値がゼロ）となり、また文様は、必要精度により位置を変えずその高さ情報は輝度値に変換され視覚的に認識できることが分かる。

3.2 姿勢変更 BMP データ

図 3-5 に資料 3 を -3 ～ 3 度まで 0.2 度おきに 31 種類、姿勢変更したものを示した。なおこの処理は、最新の非接触 3 次元形状測定機に測定軸を指定する機能があるため、現在は実施しなく



図 3-1. 資料 1 の BMP データ



図 3-2. 資料 2 の BMP データ



図 3-3. 資料 3 の BMP データ



図 3-4. 資料 4 の BMP データ

ても良い処理である。作業の手順は、(近藤・川合・高島・中村 2024 : 151-153) を参照していただきたい。



図 3-5. 資料 3 の姿勢変更用 BMP データ

3.3 部分形状データの照合結果

図 3-6 に資料 1 の凹特徴点情報を抽出し、その BMP 情報に追加 (緑色) して示した。

ノイズはあるものの文様を再現していることが分かる。また、今回の実験においては二つの部分形状を扱った。資料 2 形状を例として図 3-7 に資料 2 の上部 (a) また、下部 (b) を示した。今回は矩形領域とし、場所 (左下座標)、横幅、縦幅は筆者らがおおよそで定めた。

図 3-8 は資料 1 と 2 における上部分形状 a を一致させた時の BMP を示しており、図 3-9 は黒直線の断面形状を示している。高さ情報は異なっているが凹特徴点の位置はおおよそ合っていることから部分形状間の一致処理はうまくいっている。同様に資料 1 と 2 における下部分形状 b (図 3-10) についての結果 (図 3-11) を示した。図 3-9 と 3-11 の結果から部分形状同志の照合がうまくいっている。同様な手法で資料 1 と 3、1 と 4、2 と 3、2 と 4、3 と 4 の一致画像を図 3-12 ~ 3-21 に示した。断面形状の比較は省略した。



図 3-6. 資料 1 の凹特徴図

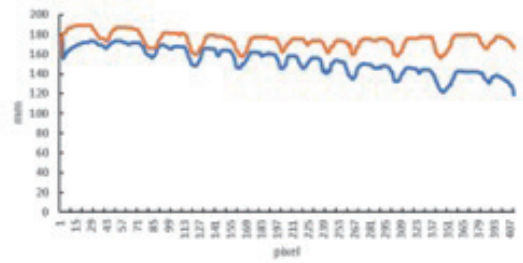


図 3-9. 図 3-8 の断面形状 (黒線) の比較

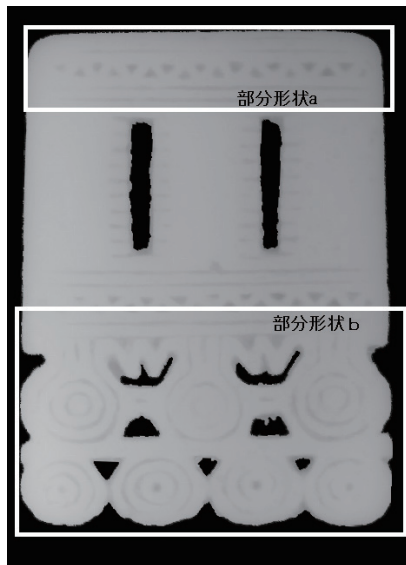


図 3-7. 資料 2 の部分形状例



図 3-10. 資料 1 と 2 の下部分形状の一致画像

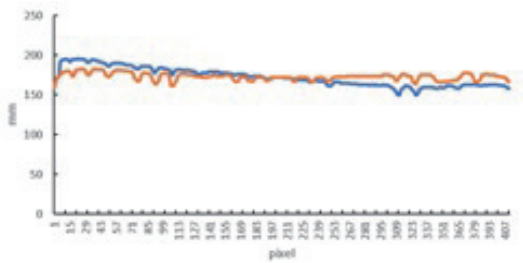


図 3-11. 図 3-10 の断面形状 (黒線) の比較

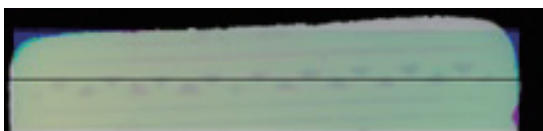


図 3-8. 資料 1 と 2 の上部分形状一致画像

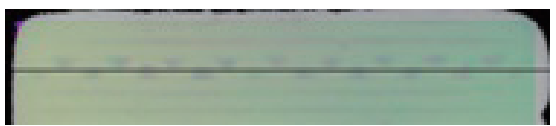


図 3-12. 資料 1 と 3 の上部分形状の一致画像



図 3-13. 資料 1 と 3 の下部分形状の一致画像



図 3-17. 資料 2 と 3 の下部分形状の一致画像

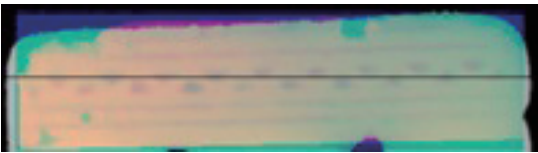


図 3-14. 資料 1 と 4 の上部分形状の一致画像

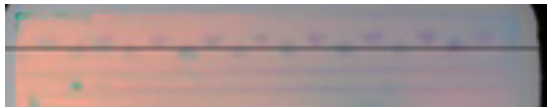


図 3-18. 資料 2 と 4 の上部分形状の一致画像



図 3-15. 資料 1 と 4 の下部分形状の一致画像



図 3-19. 資料 2 と 4 の下部分形状の一致画像

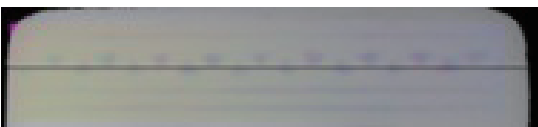


図 3-16. 資料 2 と 3 の上部分形状の一致画像

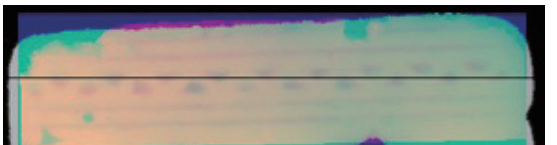


図 3-20. 資料 3 と 4 の上部分形状の一致画像

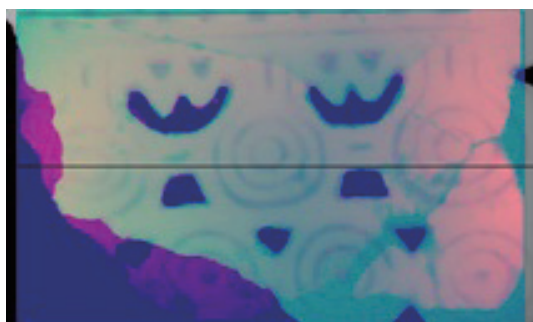


図 3-21. 資料 3 と 4 の下部分形状の一致画像

3.4 照合結果

本研究で行った資料形状を 2 組ずつ 6 種類の組み合わせに対して二つの部分形状の位置のずれ量を求めた。その結果は表 3-1 ~ 3-6 に示した。最も少ないずれの組み合わせは、資料 1 と 2 で部分形状の上部分のずれが横方向 (ΔX) でマイナス方向に 1 ピクセル、縦方向にプラス 3 ピクセルのずれ (-1,3) が求められた。同様に下部分では横方向では 0 ピクセル、縦方向ではマイナス 1 ピクセルのずれ (0,-1) であった。資料 1 と 2 の組み合わせに次いでずれが少なかったのは、資料 3 と 4 の組み合わせであった (ずれの最大値は 4 ピクセル)。

最もずれの大きな資料の組み合わせは資料 1 と 3 で、上部分では (-3,11)、下部分では (1,-3) であった。ずれが大きいということは部分形状の相対位置が異なっていることを示しており、同じ部分形状を組み合わせる際、部分形状の位置が異なっている、あるいは「ずれ」している可能性を示している。

4 章 結言

本研究では、非接触 3 次元測定機により青銅製帯金具の測定を行ったデータを基に、部分形状に基づく形状照合の方法およびその手順を示した。

対象とした 4 点の帯金具 (資料 1 ~ 資料 4) について、上と下の 2 か所の部分データを用いた形状照合および、そのずれ量を求めた結果、資料 1 と資料 2、資料 3 と資料 4 はよく一致していることが分かった。そのため、これらの組み合わせについて資料の鋳型 (砂型)、または模型

表 3-1. 資料 1 と 2 の相対位置とずれ量

部分形状	D0 からの相対位置	D0' からの相対位置	ずれ量 ΔX	ずれ量 ΔY
上部分	(-99,332)	(-100,335)	-1	3
下部分	(-85,-139)	(-85,-140)	0	-1

表 3-2. 資料 1 と 3 の相対位置とずれ量

部分形状	D0 からの相対位置	D0' からの相対位置	ずれ量 ΔX	ずれ量 ΔY
上部分	(-97,334)	(-100,345)	-3	11
下部分	(86,-122)	(-85,-125)	1	-3

表 3-3. 資料 1 と 4 の相対位置とずれ量

部分形状	D0 からの相対位置	D0' からの相対位置	ずれ量 ΔX	ずれ量 ΔY
上部分	(-92,308)	(-86,317)	6	9
下部分	(-91,-164)	(-98,-160)	-7	4

表 3-4. 資料 2 と 3 の相対位置とずれ量

部分形状	D0 からの相対位置	D0' からの相対位置	ずれ量 ΔX	ずれ量 ΔY
上部分	(-84,338)	(-88,346)	-4	8
下部分	(-78,-130)	(-75,-126)	6	8

表 3-5. 資料 2 と 4 の相対位置とずれ量

部分形状	D0 からの相対位置	D0' からの相対位置	ずれ量 ΔX	ずれ量 ΔY
上部分	(-66,330)	(-63,339)	3	9
下部分	(-78,-153)	(-72,-145)	6	8

表 3-6. 資料 3 と 4 の相対位置とずれ量

部分形状	D0 からの相対位置	D0' からの相対位置	ずれ量 ΔX	ずれ量 ΔY
上部分	(-75,329)	(-71,329)	4	0
下部分	(-68,-144)	(-71,-143)	-3	1

の部分形状の相対的位置が非常に近い状態であると推察できる。なお本論文での結論に比べて、(近藤・川合・高島・中村 2024) では資料 3 と資料 4 の一致度は高くないとの結論が得られた。その理由として、本論文の実験では (a) と (b) の部分形状以外の文様部分を考慮していないことが

あげられる。

また、両方の論文とも凹特徴点の一致を使っているため、形状表面の文様の明瞭さが、処理に影響を与える。資料1～3に比べ資料4の表面は凹凸がはっきりせず、そのため、部分形状以外の部分で凹特徴点を求める際に影響が出ているのではないかと考えられる。

今後の課題として、表面文様のずれが生じた理由について、異なるモデルを使用しているのか、または彫金などの別加工によるものかを検証する必要があると考える。

啓学出版, 東京.

謝辞

本研究を進めるにあたり、函館工業高等専門学校 山田誠教授には形状分析値の提供を、一関工業高等専門学校の小林淳哉校長には成分分析値の提供をいただきました。併せて感謝申し上げます。また、本研究は JSPS 科研費 JP21K00821 の助成を受けたものです。

参考文献

- 近藤司・川合政人・高島孝宗・中村和之, 2024, 「オホーツク文化の青銅製帯金具における形状一致に関する研究」『函館大学論究』56(1): 141-167. <https://doi.org/10.18896/0002000151>
- 近藤司・長谷川大輔・中村和之・川合政人・山田誠・小林淳哉, 2021, 「非接触3次元測定データに基づく形状照合に関する研究」『精密工学会北海道支部講演会』: 5-6.
- 酒井幸市, 1997, 『デジタル画像処理入門』. コロナ社, 東京.
- 佐藤隆広編, 1994, 『目梨泊遺跡』. 枝幸町教育委員会, 北海道.
- 谷尻豊寿, 1996, 『最新画像処理入門』. 技術評論社, 東京.
- 長谷川大輔・近藤司・川合政人・山田誠・小林淳哉・木村慧・中村和之・高島孝宗・澤井玄, 2022, 「帯金具の形状照合に関する研究」『精密工学会北海道支部講演会』: 67-68.
- 舟久保登, 1990, 『視覚パターンの処理と認識』.