

論文

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

Study on shape matching between the Bronze Belt
Ornaments of the Okhotsk Culture近 藤 司、 川 合 政 人
KONDO Tsukasa, KAWAI Masahito高 畠 孝 宗、 中 村 和 之
TAKABATAKE Takamune, NAKAMURA Kazuyuki

Abstract

Since the Bronze Belt Ornaments excavated from the ruins of the Okhotsk Culture are valuable, it is difficult to measure them using contact tools. Therefore, (1) the shape was measured using a non-contact 3D shape measuring machine (VR3000 manufactured by Keyence). We devised and proposed (2) a method to convert the measured shape into image (BMP method) data with the required accuracy in order to make it easier to see, (3) a method to match the coordinate system using BMP data, (4) a method to quantify the pattern that is a characteristic of the shape, and (5) a method to measure the degree of agreement using them. In this study, we evaluated the identity of each of the four Ornaments. As a result, one combination with a high degree of agreement was found between the two shapes.

Key Words: Bronze Belt Ornament, BMP (Bitmap), Data Pattern Matching, Okhotsk Culture, Menashidomari Site

1. はじめに

1.1 オホーツク文化とは

北海道の続縄文時代がその終末を迎えようとする頃、サハリン南部から北海道北部にかけての沿岸地域で、新たな文化が生まれようとしていた。後に「オホーツク文化」と呼ばれるこの文化集団は、オホーツク海という環境に高度に適応した生活様式を確立し、西暦5世紀から9世紀にかけて、サハリンから北海道のオホーツク海沿岸、千島列島へと広がった。

オホーツク文化の特徴として、東京大学の熊木俊朗は「大陸系」「海洋民」「クマ儀礼」という3点を挙げている〔熊木 2021〕。オホーツク文化の人びとは大陸にその起源をもち、海獣狩猟や漁撈を通じてオホーツク海の恵みを生活の糧とし、クマを中心とした動物儀礼を発展させた。

また、オホーツク文化の人びとは「歴史時代の狩猟民」でもある。彼らが生きた時代、大陸では隋・唐帝国が北東アジアへの影響力を強め、本州では律令国家「日本」が生まれつつあった。彼らは、オホーツク海から得られる資源をもとに、交易活動を通じて大陸や本州の文化とつながっていた。

宗谷地方のオホーツク海に臨む枝幸町 目梨泊遺跡^{めなしどまり}は、道北地方では最大級のオホーツク文化の集落遺跡である。これまでの発掘調査によって多数の住居跡と50基の墓壙が発見され、20万点を超える遺物が出土した。中には、大陸や本州で生産された武具や装身具が多数含まれており、網走市モヨロ貝塚と並んでオホーツク文化を代表する交易拠点と考えられている。

目梨泊遺跡は、オホーツク海に突き出した「神威岬」^{かむい みさき}から続く、内湾した段丘上に立地している。穏やかな内湾は船着き場に適しており、神威岬が古代の船乗りたちにとって格好のランドマークとなったことは想像に難くない。古代の「港」と表現しても良いだろう。



写真1. 目梨泊遺跡の遠景

1.2 オホーツク文化における青銅製帯金具の位置づけ

オホーツク文化にみられる大陸的な色彩を象徴する遺物として、革製のベルトの表面を飾る「青銅製帯金具」（以下、帯金具と略称する）があげられる。オホーツク文化に流入した帯金具は、縦長の矩形帯金具、銚帯金具、円形帯金具の3種があり、円形帯金具は網走市モヨロ貝塚でしか出土していない。なお、本稿で取り上げるのは、このうち「矩形帯金具」であり、本稿中で言及する「（青銅製）帯金具」はすべて矩形帯金具を指す。

帯金具は、枝幸町目梨泊遺跡、北見市（旧常呂町）栄浦第2遺跡、網走市モヨロ貝塚の3つの遺跡から見つかり、目梨泊遺跡からは5点（写真2）、栄浦第2遺跡とモヨロ貝塚からは1点ずつの計7点が出土している。

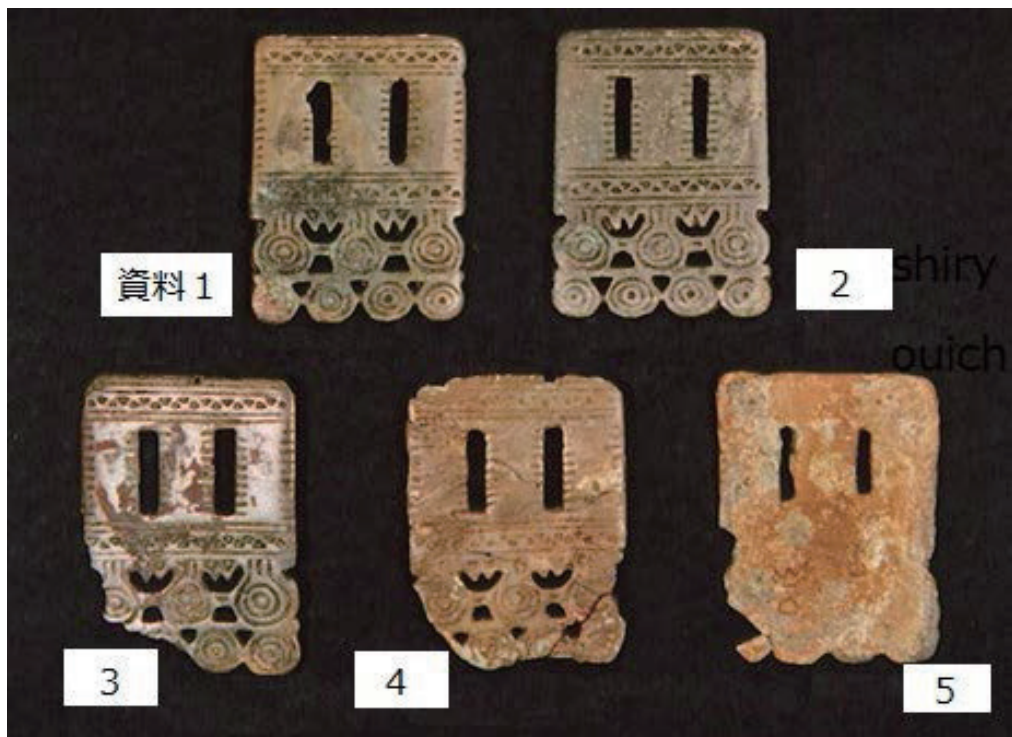


写真2. 目梨泊遺跡から出土した帯金具

目梨泊遺跡の帯金具は4枚が重なりあって出土しており、本来は墓壇副葬品として埋納された可能性が高い。また残りの1枚も第38号土壇墓と第39号土壇墓の間から出土しており、これらの墓壇との関連性が強いとされる〔佐藤 1994〕。第38号土壇墓には大陸系遺物とされる曲手刀が副葬されており、第39号土壇墓にはオホーツク文化の刻文系土器が被甕に用いられていた。おおむね7世紀代の土器である。なお、帯金具の年代観については、臼杵勲の分類による第Ⅱ期、8世紀前半に位置づけられる〔臼杵 2004:258〕。

帯金具は縦長の方形となっており、文様構成は上半部の「主文様帯」と下半部の「副文様帯」に分かれる。

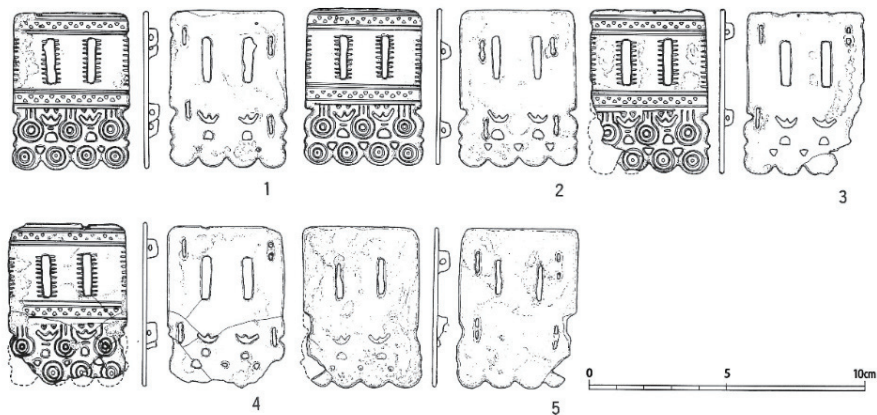


図1. 目梨泊遺跡出土の帯金具（矩形帯金具）

目梨泊遺跡とモヨロ貝塚の帯金具は、主文様帯に縦長の透かし孔を二つ並べ、その上下を二重の沈線と、噛みあう位置に連続する三角形列点文で区画する。さらに上半部の外側縁と透かし孔の両側縁には短い刻み目を連ねており、刻み目は10本を基本としている。副文様帯には七つの同心円文を2段に配する。下段四つの同心円文は中央の凹みを中心に二重とし、上段三つの同心円文は三重として、最も外側の円周の上部を立ち上げて文様帯を画する沈線に連続させている。

栄浦第2遺跡の帯金具は、表現がやや簡略化されており、文様帯を画する三角形列点文が省略されている。また、副文様帯の同心円文も1段三つに減らされている。

目梨泊遺跡の5点の帯金具(図1)は縦57～59mm、幅42～43mm、重さ23.7gで

ある。モヨロ貝塚の帯金具もほぼ同じ大きさで、重さも 23.7g と一致する。両者は文様構成・規格を共有しており、同じ「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った。この点の検証が、本研究の目的である。

1.3 本研究の概要

本研究ではデジタル技術を応用することで、帯金具形状の同一性を検証する。その製造方法には鋳造法および彫金などが考えられるが、後者の場合かなりの精度で文様の位置決めと再現性が求められるため、可能性が低いのではないかと推定し、今回は鋳造法に限定して検討を進めた。そのため同じ型を使って鋳込まれたのかについて、定量的に分析する手法を提案した。

遺物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、①非接触 3 次元形状測定機を用いた形状の測定、②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、③BMP データを用いて座標系を一致させる手法、④形状の特徴である文様を数値化する手法、⑤それらを用いて一致度を測定する手法を提案した [近藤ほか 2021、長谷川ほか 2022]。

本研究では、5 枚の遺物のうち 1 枚はほとんど形状・文様を読み取れないため、実際には 4 枚（資料 1～4）それぞれの形状について同一性評価を行った。

2. 帯金具形状の 3 次元形状照合の手順

今回行った帯金具の 3 次元形状照合に関する手順を以下に示す。

- ① 目梨泊遺跡出土の帯金具（資料 1～4）を非接触 3 次元測定機（KEYENCE 社製、VR3000）により点群データへ変換する（図 2）。点群データは、計測した形状を多数の点（x-y-z 座標系での値、単位は mm）の羅列で表現したテキストデータである。この処理は VR3000 の付属ソフトウェアにて行う。②以降については、本研究において作成したプログラムで処理を行う。【出力データ：点群データ 1～4】

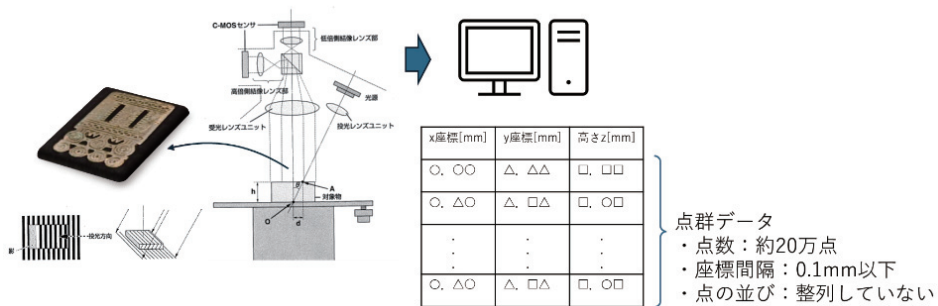


図2 帯金具の形状データ化への流れ

- ② 点群データからZマップデータを生成する(図3)。点群データは不等間隔なXY座標値におけるZ座標値(形状面の高さ)の羅列で記述されている。各点のXY座標の間隔が不揃いだと、以降の計算処理が煩雑になる。そこで、XY方向の格子間距離を点群データをもとにして等間隔に設定し、高さ方向については分解能0.04mmに定め、形状をZマップで表現する。格子間の間隔は計算処理の負荷と計測形状の再現性のトレードオフを考慮して決定した。また、高さ方向の分解能は計測データの高さ約10mmを256段階で分割した値とした。【出力データ：Zマップデータ1~4】
- ③ XY格子の交点以外の位置での高さ情報を表現可能とするため、ZマップデータからSTLデータを生成する。ZマップデータはXY格子の交点上での高さ情報の羅列である。STLデータに変換することにより、次の手順(④BMPデータ生成)において、任意のXY分解能でBMPデータを生成できる。形状照合処理はデータ量に応じて計算時間が増大するので、形状情報を損なわない程度にXY分解能を減らす必要がある。【出力データ：STLデータ1~4】
- ④ 適切な分解能へとデータ量を圧縮すること、形状を視覚的に確認しやすくすることなどを目的として、STLデータからBMPデータを生成する。XY分解能において点群データと同等の高分解能を有するSTLデータをもとに、XY分解能を適切に低下させたBMPデータを生成する。BMP形式は画像用のファイル形式であるが、本研究では形状データの表現に利用する。測定形状の高さ(Z座標値)を色(明るさ)に対応付ける。高さが最低値つまり、帯金具の周囲や穴あき部は“黒(明るさが0)”で表現される。帯金具表面の凸部など、高さが上限の10mmに近い部分は“白”で表現される。その中間の高

さでは、高さに応じた濃さの灰色で表現される。これにより、帯金具の形状（高さ情報）を視覚的に確認できるようにする。また、二つの帯金具を別々の色（例えば、帯金具 1 は赤、帯金具 2 は緑）として、二つの BMP データを重ねて表示することで、視覚的な比較を容易（形状が重なる領域は黄色となる）に行える。【出力データ：BMP データ 1～4】

- ⑤ 手順①での形状計測の際、測定台に載せた帯金具の Z 方向から見た向きは、帯金具ごとにばらばらであり、形状照合に支障があるため、BMP データにおいて座標系の一致処理を行う。2 つの BMP データで互いの特長的な形状（穴あき形状）が重なる面積が最大となる角度を探索する。片方の BMP データの姿勢角度を少しずつ変化させて面積の計算を繰り返し行うことで、最適な角度（照合位置）を見つけ出す。【出力データ：照合位置 1-2（BMP1 と BMP2）、1-3（BMP1 と BMP3）、1-4（略）、2-3（略）、2-4（略）、3-4（略）】
- ⑥ 各 BMP データの形状照合を行う。本研究では文様の窪み（凹部）が形状特徴であると考え、凹部の位置の一致具合を形状照合の判断指標とした。比較する二つの BMP データの座標系を合わせ（手順⑤）、任意の位置で各形状を仮想的に切断する（仮想断面と呼ぶ）。各 BMP データの仮想断面について、凹部が存在する XY 座標の特徴値を“1”、存在しない座標は“0”とする。これを特徴関数と呼ぶことにする。各 BMP データの特徴関数を比較し、一定値以内の近さに“1”が存在すれば「その部分の形状が一致した」と判定する。ある仮想断面について、一致した凹部の数を当該仮想断面に存在する凹部の総数で割って「形状一致度」を求める。

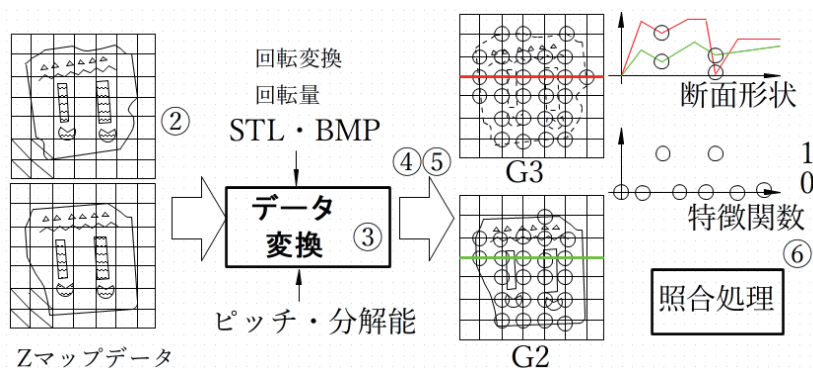


図3 形状一致度（照合）解析の流れ

2.1 【手順①】 帯金具の非接触 3 次元データ



図 4 帯金具写真 例

X
↓
Y
↓
Z
↓

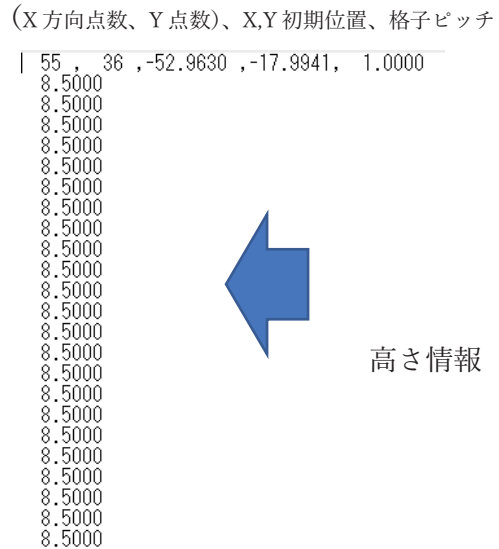
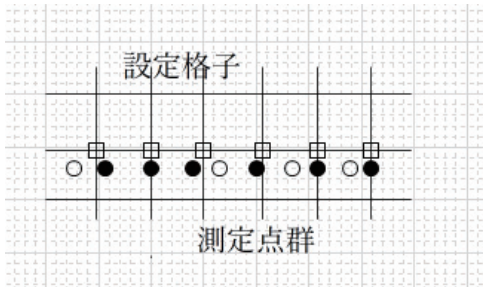
120.008582	63.167589	0.262650
220.079450	63.167589	0.256440
320.173942	63.167589	0.245710
420.268434	63.167589	0.245070
520.362925	63.167589	0.248040
620.526285	63.167589	0.250290
720.575531	63.167589	0.250390
820.646400	63.167589	0.247460
920.811760	63.167589	0.239400
1020.835383	63.167589	0.240000
1120.353497	63.167589	0.246560
1221.024366	63.167589	0.243740
1321.142480	63.167589	0.235900
1421.213349	63.167589	0.238580
1521.353086	63.167589	0.236840
1621.473201	63.167589	0.243200
1721.496823	63.167589	0.242890
1821.591315	63.167589	0.238460
1921.756675	63.167589	0.236410
2021.851167	63.167589	0.235680
2121.874790	63.167589	0.236470
2221.992904	63.167589	0.243940
2322.063773	63.167589	0.241420
2422.229133	63.167589	0.236970
2522.300001	63.167589	0.237140
2622.418116	63.167589	0.243500
2722.441799	63.167589	0.243700
2822.563476	63.167589	0.236960
2922.701590	63.167589	0.240010
3022.725213	63.167589	0.240710
3122.866951	63.167589	0.230570
3222.914196	63.167589	0.231050
3323.008688	63.167589	0.235020
3423.126802	63.167589	0.234590
3523.244917	63.167589	0.238650
3623.363031	63.167589	0.233910
3723.366654	63.167589	0.233910
3823.461146	63.167589	0.235180
3923.646506	63.167589	0.234020
4023.693752	63.167589	0.233510
4123.811666	63.167589	0.231770

図 5 帯金具測定データ例

図 4 に発掘された帯金具の写真を示し、図 5 に非接触 3 次元測定機により得られた点群データを示した。図 4 から帯金具の外形は四角形をしており、いくつかの空洞と円形や直線を形成する溝を含む幾何学的文様の集合体としてみることができる。また、点群データは 1 点当たり X, Y, Z の順番に座標を示しており、これらは形状表面の座標値であるが、その順番の多くは Y 座標が一定の断面形状データをしている。しかも XY 空間における点群の密度は 0.1mm 以下と非常に高い。

2.2 【手順②, ③, ④】 Z マップ、BMP データ変換

高密度で測定された形状データを基に、Z マップデータおよび BMP データを作成する [酒井 1997]。ほとんどの場合、点群は XY 空間で格子状に配置されているが、必ずその配置に乱れがある。そのため、近接点を基に格子データを作成する。図 6 にその仕組みを示す。□は格子点、○●は測定点を示している。



得られた形状測定データの格子配列データ (Z マップ) を作成する。作成例を図 7 に示した。Z マップデータ構造は一行目に X 方向と Y 方向の格子点数 (55, 36)、次に X, Y の初期値座標値 (形状の左下 -52.9630, -17.9941)、最後に格子ピッチ (1.0) を示しており、つぎの行からは順番付けされた格子点位置における Z 座標値が 55×36 点入っている。このデータ構造では、XY 空間の座標は一行目の情報により既知となるので効率的に形状を表現できる。

次に Z マップ（格子点）座標値を使って STL データを作成する。その仕組みを図 8 に示す。格子状に並んだ位置情報の 3 点で構成する 3 角形を用いて、STL データを作成する。そのデータ例を図 9 に示す。STL データとは「Standard Triangle Language」の略で、3D プリントや CAD でよく使われるファイル形式のことで形状表現方法の一つである。Z マップデータは格子状位置（格子点番号とピッチ）における高さ情報（Z 座標値）で形状を表現する方法である。本研究では、BMP データを作成する際に Z マップデータから導き出した STL データを用いている。

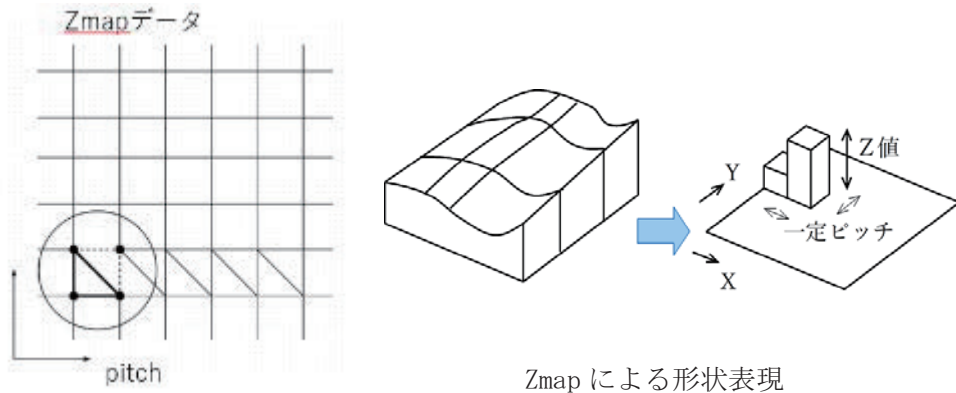


図 8 Zmap データを基にした STL データの作成

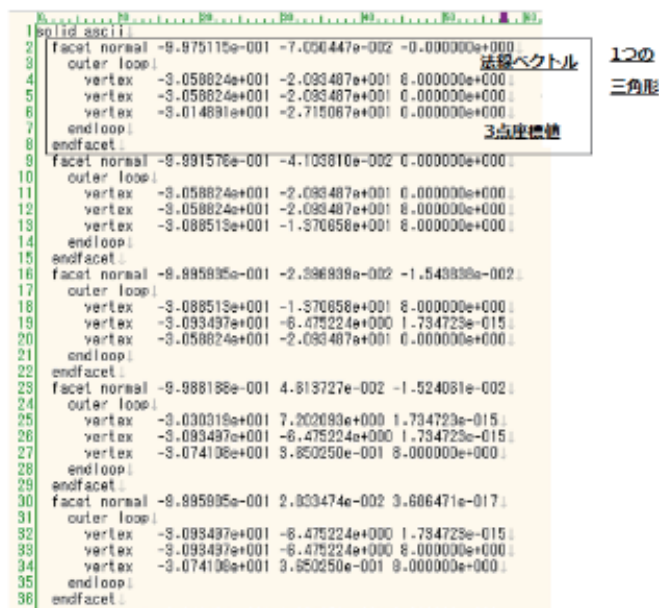


図 9 STL データ構造例

図 9 に示されるように、一つの STL データは「Facet」文から始まり「End of facet」で終わる。その中に三角形の面法線と 3 点の位置座標値が記憶されている。この 3 三角形群で形状全体を覆うことで形状を定義する。

続いて、STL データを基に BMP データを作成した。Z マップデータと BMP デー

タの整合性は非常に高く、両者の変換は比較的容易に行うことができる。その結果を図 10 に示した。BMP データとは画像データの種類であり、縦横を格子に区切りその格子点の色情報（B: 青、G: 緑、R: 赤）にそれぞれ 256 段階の輝度値を設定したものである。本研究では、XY 空間を 0.1mm ピッチで格子化し、また高さ座標値を 1 ドット 0.04mm へ変換し、色情報を同じ輝度値で設定したためグレースケールとなっている。また輝度が高いほど位置が高く、黒いほど低い。真っ黒の場合は穴またはデータがないことを示している。BMP データを見ると文様の位置・形状がよく再現されており、視覚的にも変換が良好に行われているのが分かる。

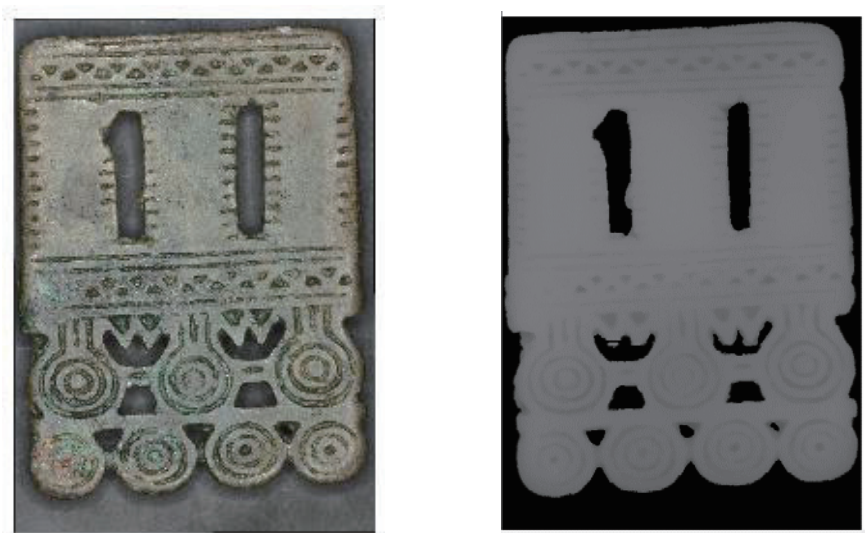


図 10 帯金具 1 の測定時写真(左)と BMP データ(右)

2.3 【手順⑤】座標系の一致処理

今回用いた非接触 3 次元測定機では、座標系は測定物ごとに設定される。したがって、測定データの原点および姿勢はその測定物ごとに異なっている。そのため、2.1 で作成した形状データを直接比較しても、良好な結果は得られない。帯金具 1 と 3 を直接 BMP データ空間で重ね合わせたときを図 11 に示す。目視でも姿勢が一致していないことが確認でき、このままでは両者の比較は難しい。



図 11 帯金具 1 が緑、3 が赤で表示



図 12 座標系一致のための特徴部分

そのため、両者の座標系を一致させる手法を提案する。二つの帯金具に共通する形状の一つに空白部分、BMP データでは黒い部分が存在する。本研究では図 12 に示す 4 か所の穴部分を特徴部分として用いることにした。この部分は BMP データでは黒、すなわち色情報は 0 を持つ領域ということになる。両者の形状(画像)において、この黒い部分が最も多くなる姿勢と位置において座標系が最も一致している。その照合手順を図 13 に示す。一方の形状を XY 平面内で微小姿勢(本研究では XY 空間内で-3 度から 3 度まで 0.2 度おき)だけ回転させ、黒い部分が重なる領域の総和を求める(テンプレートマッチング)ことにより一致度の高い姿勢を求める。最も一致度が高かった「姿勢とマッチング位置」で座標系が一致したとする。これにより、一致した姿勢と照合位置が求められ両形状の座標上の比較ができる。図 14 は遺物 2 の回転させた特徴部分(赤色)を遺物 3 にベストフィットさせたときの重ね合わせ図を例として示した。黄色い部分でもっとも照合値が高かったことを示しており、照合値の最大だった姿勢(度)とその位置が二つの遺物を比較するための照合位置として採用される。

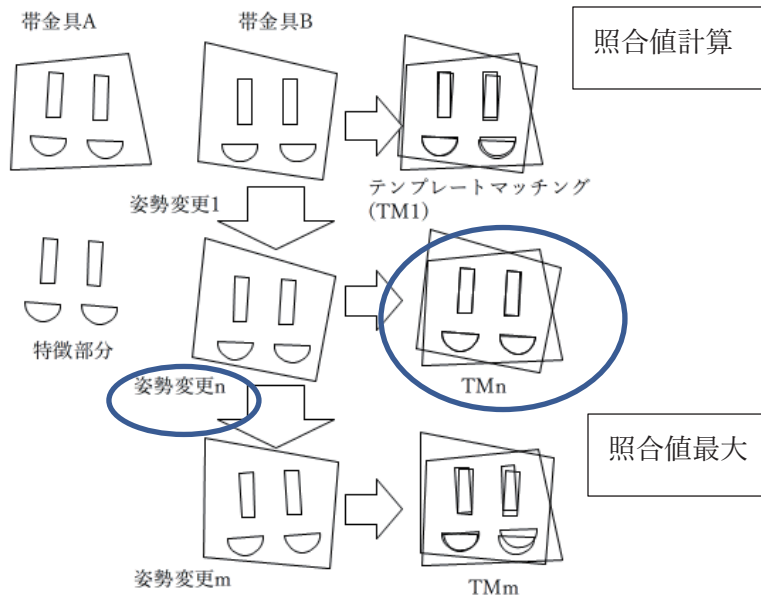


図 13 二つの帯金具形状の座標系の一致処理

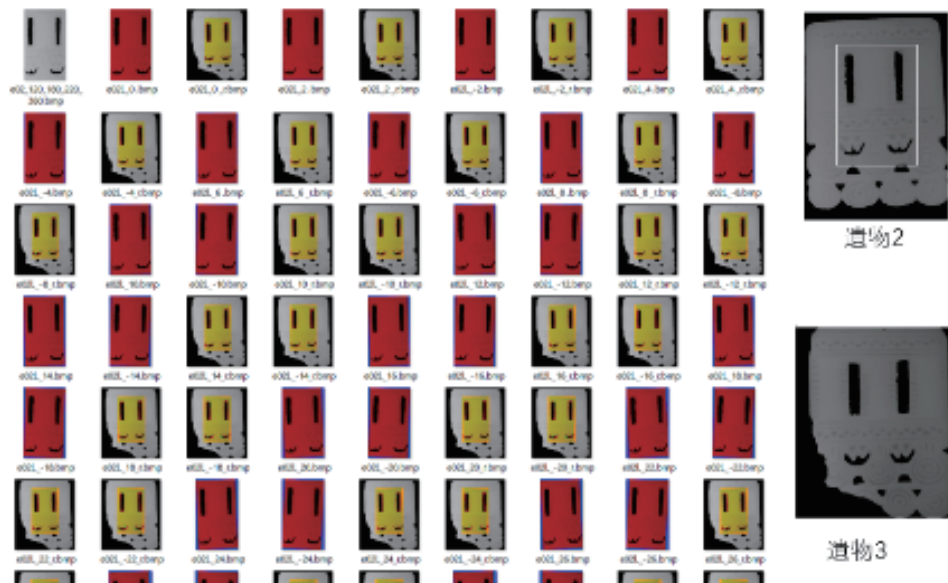


図 14 二つの遺物間の座標系の一致過程例

2.4【手順⑥-1】特徴データと特徴表現

形状を比較する際に重要となるのは形状表面を構成する文様である。二つの形状に対して一方を赤に、他方を緑として、一つのZマップファイルへ重ね合わせ、断面形状を比較したものを図 15 に示した。それぞれ三つの断面形状を示しており、横軸が断面の位置、縦軸がその高さ情報を示している。図 15 の右側に断面位置を示した。文様と断面形状が一致しているのが分かる。断面形状において、比較的近い位置に凹凸が存在しており、本研究ではこの文様を数値化する手法を提案する。

本研究では、断面における高さ情報を使って、凹部の座標を求める。縦座標は形状のZ座標とすると、横方向の位置（座標）を求めればよい。その基本的な考え方を図 16 に示した。探索する点の前後の連続点 10 点を使って 2 本の直線をあてはめ、その開き角度を求める。^{しきい値} 閾値との比較により凹部分であれば探索点は凹特徴点と判別する。この処理をすべての断面について行うことにより、形状全体で文様の凹部（極小値）を求める。

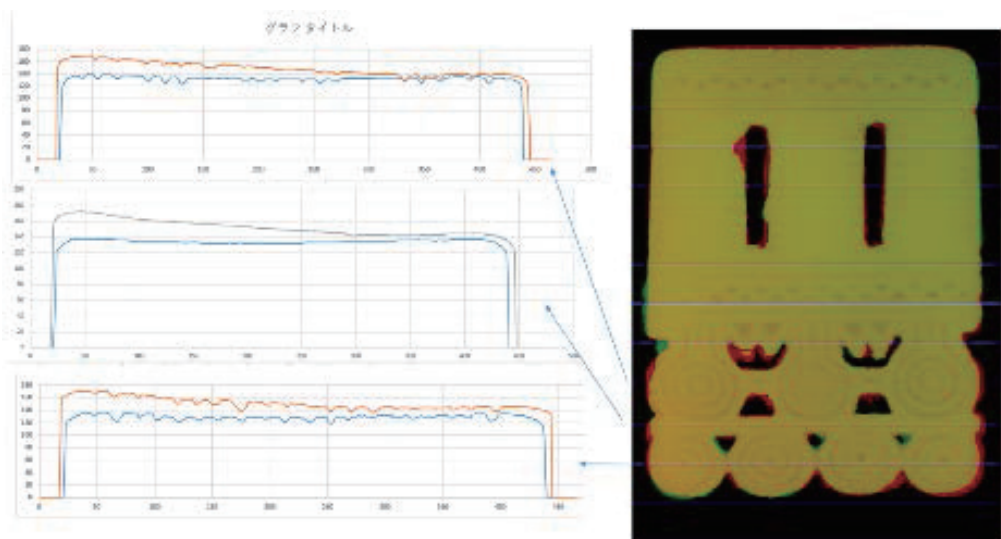


図 15 帯金具形状と断面形状

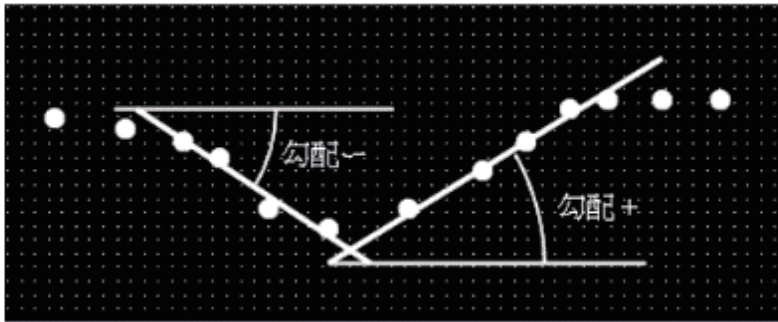


図 16 断面データから凹部の求め方

図 17 に二つの帯金具の Y 座標値が同じ位置での断面曲線を示した。矢印の上部分の凹部計算結果を図 18 に、下部分の結果を図 19 に示した。図 18 では、極値の値が横方向の位置、as と a は前方と後方の勾配情報、二つの直線の開き角が次に表示されている。この場合は近傍で開き角の大きい場所が凹特徴部として 155 が記憶される。また図 19 では横方向の座標は 158 で、両者の差は 3 であり、距離では 0.3mm 離れている。

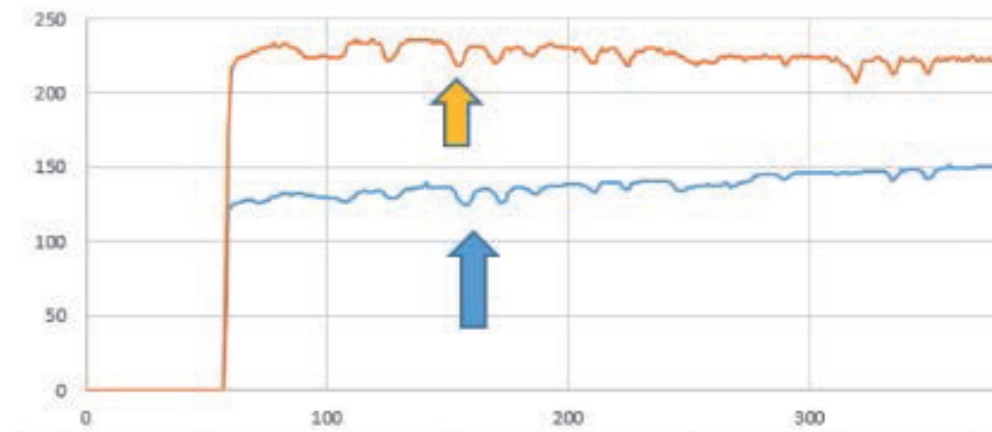
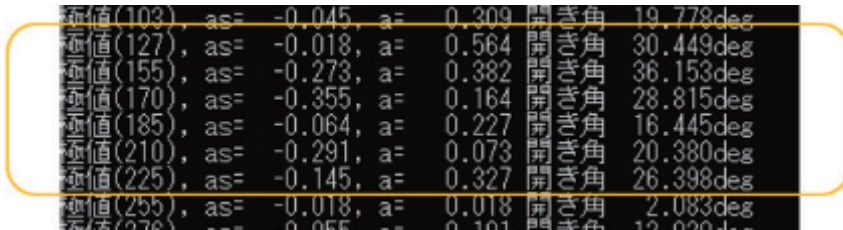
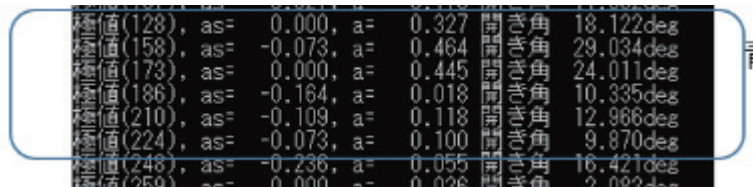


図 17 二つの帯金具における断面曲線形状



値(103)	as=	-0.045	a=	0.209	開き角	19.778deg
値(127)	as=	-0.018	a=	0.564	開き角	30.449deg
値(155)	as=	-0.273	a=	0.382	開き角	36.153deg
値(170)	as=	-0.355	a=	0.164	開き角	28.815deg
値(185)	as=	-0.064	a=	0.227	開き角	16.445deg
値(210)	as=	-0.291	a=	0.073	開き角	20.380deg
値(225)	as=	-0.145	a=	0.327	開き角	26.398deg
値(255)	as=	-0.018	a=	0.018	開き角	2.083deg
値(276)	as=	0.055	a=	0.101	開き角	12.020deg

図 18 図 17 の上断面形状における矢印近傍の凹部計算結果



値(128)	as=	0.000	a=	0.327	開き角	18.122deg
値(158)	as=	-0.073	a=	0.464	開き角	29.034deg
値(173)	as=	0.000	a=	0.445	開き角	24.011deg
値(186)	as=	-0.164	a=	0.018	開き角	10.335deg
値(210)	as=	-0.109	a=	0.118	開き角	12.966deg
値(224)	as=	-0.073	a=	0.100	開き角	9.870deg
値(248)	as=	-0.236	a=	0.055	開き角	16.421deg
値(259)	as=	0.000	a=	0.036	開き角	2.092deg

図 19 図 17 の下断面形状における矢印近傍の凹部計算結果

図 20 は、帯金具 1 の BMP データの上に、算出した凹特徴部（点）を緑色で着色したものである。直線部分、円弧部分の特徴を良くとらえている。



図 20 帯金具 1 の凹部特徴点

2.5【手順⑥ー2】形状照合

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]。しかし、元々の測定データから Z マップデータへ、さらに STL データから BMP データに変換する段階で縦横の測定空間を 0.1mm ピッチに調整している。そのほかに鋳造する際、模型（鋳造品）を取り出す際に模型を移動させるなどの誤差要因が存在する。そこで本研究では一致するか否かの判断において、縦横空間に許容値(=range)を設けることにする。その考え方を図 21 に示した。

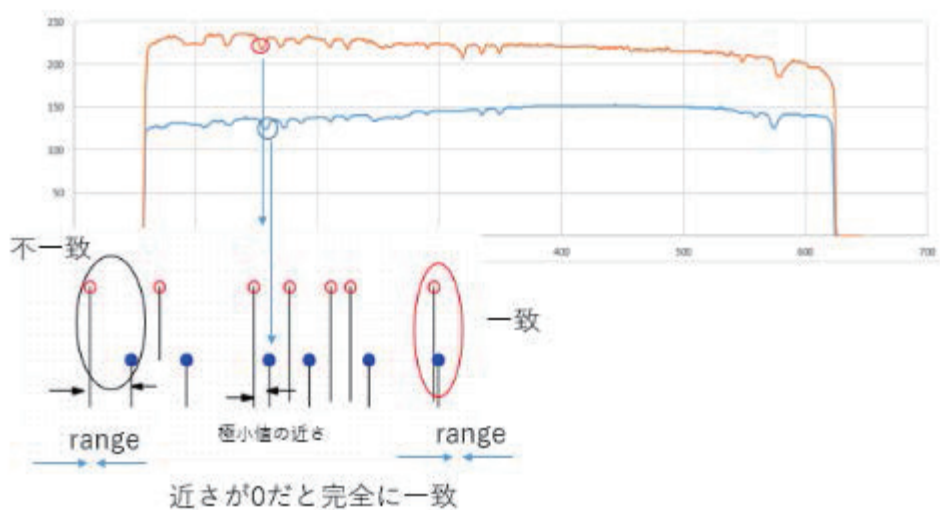


図 21 許容値(range)を用いた一致の判別

二つの帯金具の断面形状において、一方の凹特徴部分を○、他方を●とする。必ずしも同じ位置では一致しないが、許容値以内では一致するため、それを考慮した。形状に凹特異点が存在する場合は $r(i, j)=1$ が記憶されている。それ以外のところは 0 が記憶される。ここで i, j は BMP データの格子位置である。他方の帯金具の凹形状情報が $g(i, j)$ に記憶されている。

式 1) と 2) により二つの形状の照合値を求める。式 1) で、 W には基準となる形状に存在する凹特徴点数が入る。式 2) では、両形状間の凹情報の積が行われており、両者が”1”のときのみ値が加算される。結果として、許容範囲内に存在する凹特異点の存在数が計算され、 W で除することにより文様を定義する凹特

異点の割合が算出できる。式中の m, n は横方向、縦方向の画素数であり、 δ は整数値で許容範囲の値 (0.1mm の整数倍) を示している。 δ を 0 に設定すると同じ位置のみすなわち同じ点に凹特徴部分が存在する割合が、 δ を 5 に設定すると $\pm 0.5\text{mm}$ の範囲での凹特徴部分が存在する割合が D に計算される。

$$W = \sum_{i=\delta}^{m-\delta} \sum_{j=\delta}^{n-\delta} r(i, j) \quad \text{式 1)}$$

$$D = \frac{1}{W} \left(\sum_{i=\delta}^{m-\delta} \sum_{j=\delta}^{n-\delta} \sum_{k=-\delta}^{\delta} \sum_{l=-\delta}^{\delta} r(i, j) \times g(i+k, j+l) \right) \quad \text{式 2)}$$

3. 形状照合実験

3.1 測定データから BMP データへの変換

帯金具 1 については図 10 で示したので、ここでは割愛する。図 22～24 に帯金具 2～4 について示した。

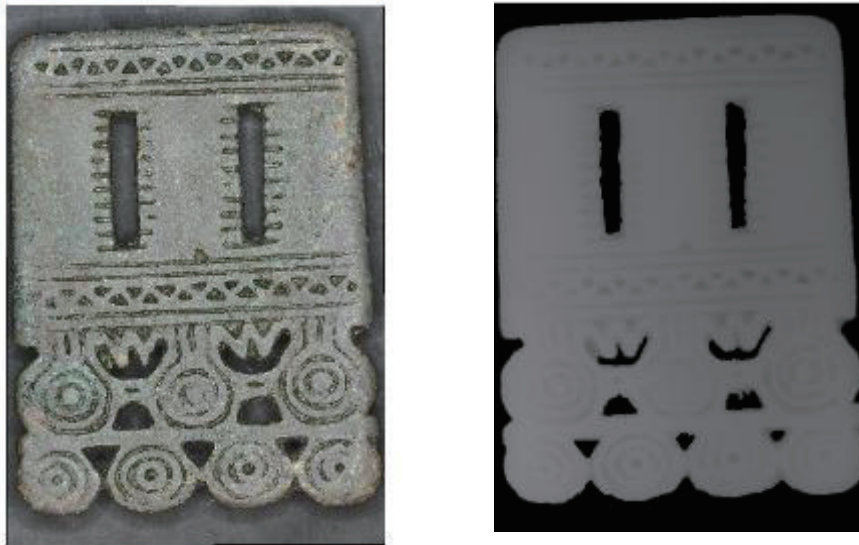


図 22 帯金具 2 測定写真と BMP データ (右)



図 23 帯金具 3 測定時写真と BMP データ (右)

測定データを BMP データへ変換した。輪郭、文様ともに縦横方向に 0.1mm ピッチ、高さ方向は 0.04mm 単位の精度で赤青緑の輝度値へ変換した。

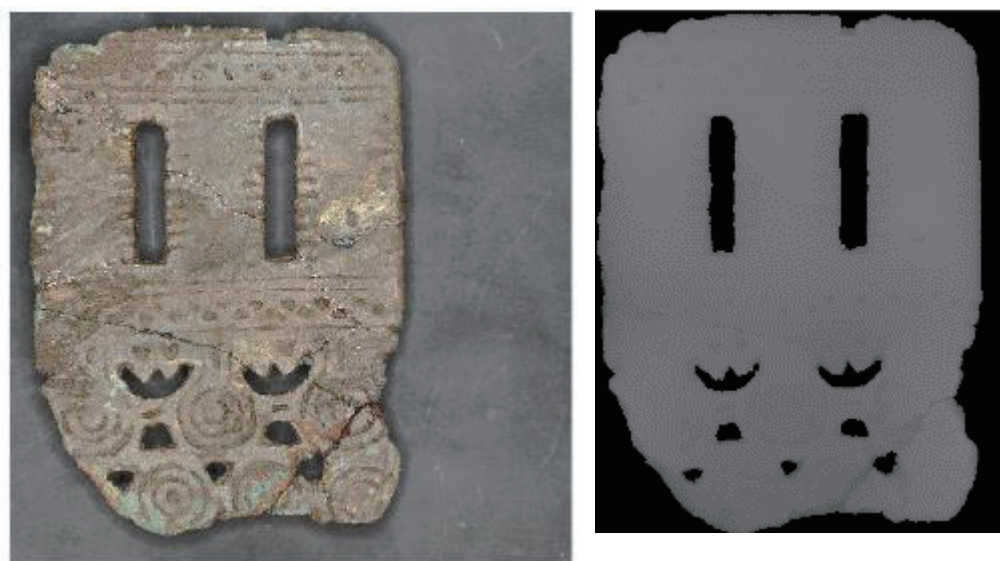


図 24 帯金具 4 の測定時写真と BMP データ (右)

3.2 座標系の一致処理

図 25～30 に二つの帯金具の座標系の一致処理結果を示した。右の二つは個々の帯金具、左の図が BMP データ上で重ね合わせた結果である。

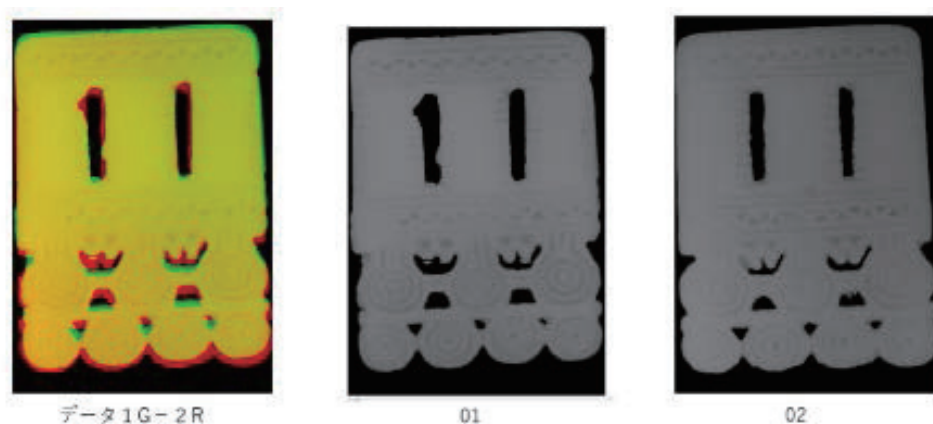


図 25 資料 1 と 2 の座標系一致結果（緑が資料 1、赤が資料 2）

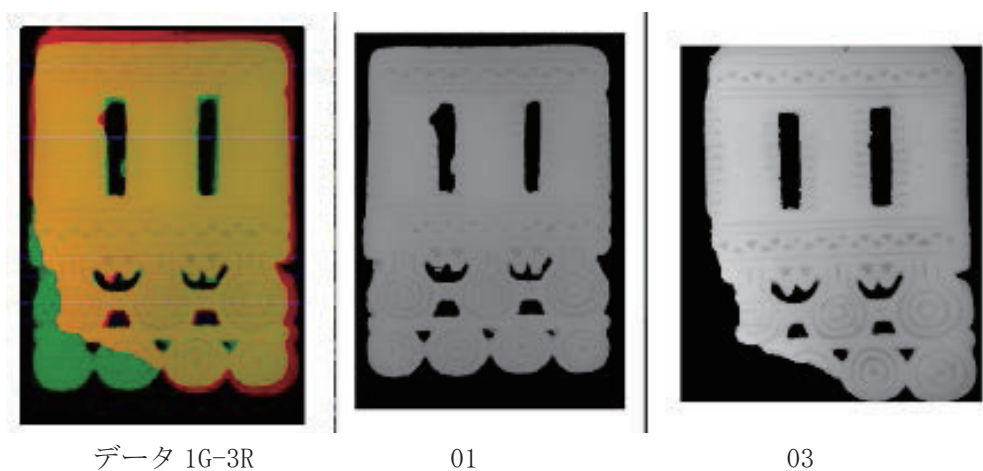
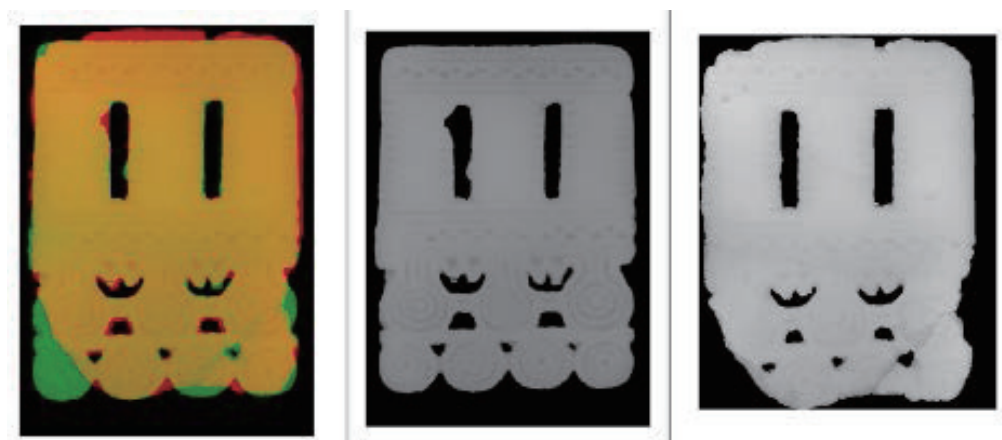


図 26 資料 1 と 3 の座標系一致結果（緑が資料 1、赤が資料 3）



データ 1G-4R

01

04

図 27 資料 1 と 4 の座標系一致結果（緑が資料 1、赤が資料 4）



データ 2G-3R

02

03

図 28 資料 2 と 3 の座標系一致結果（緑が資料 2、赤が資料 3）

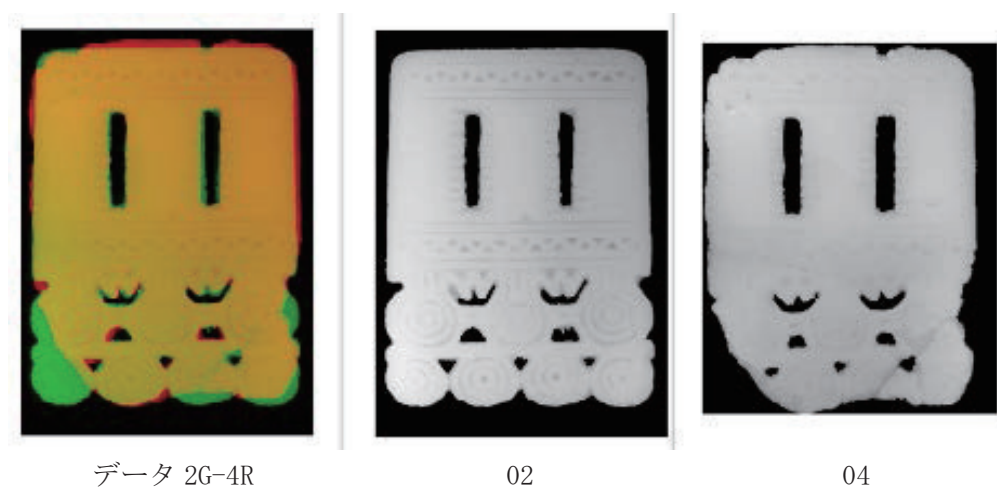


図 29 資料 2 と 4 の座標系一致結果（緑が資料 2、赤が資料 4）



図 30 資料 3 と 4 の座標系一致結果（緑が資料 3、赤が資料 4）

3.3 形状の特異点抽出

2.4 に従って、極小値を求めその点から特異点を帯金具画像データ上に緑色でプロットした結果を図 31～34 に示した。ノイズはあるものの、直線部分や円形状部分など文様を再現しているのが分かる。



図 31 資料 1 の特徴点



図 32 資料 2 の特徴点



図 33 資料 3 の特徴点

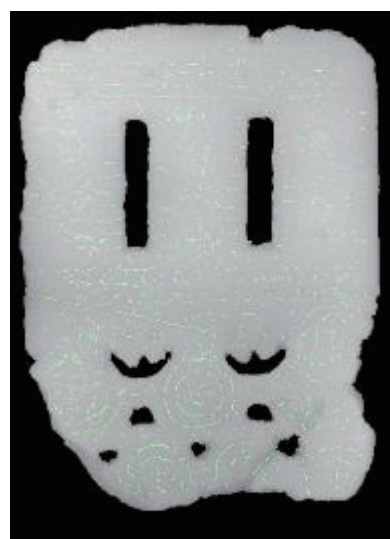


図 34 資料 4 の特徴点

4. 実験結果

図 35 に資料 1 と 2 の場合の座標系を一致させた場合の BMP データを示す。薄い青色で示す 9 断面について、その特徴点の位置を比較した。断面は凹特徴部分を含む場所または穴など形状の特徴をとらえている場所を選んだ。二つの帯金具の組み合わせとその比較結果を図 36～41 に示した。比較は、許容誤差の観点からみた特徴点位置の一致の度合いにより数値化した。例えば図 36 では、帯金具 1 と 2 を比較し、その際 9 断面での帯金具 1 の凹特徴点の点数は 77 点であり、許容誤差 1mm の範囲に存在する帯金具 2 の凹特徴点は 74 点あった。そのため一致の割合は 96 パーセントであった。

設定する許容誤差が大きいほど、一致割合も高くなる傾向になるが、二つの帯金具の形状の特徴点位置が近いほど、許容誤差が小さくても一致割合はそれほど低くはならないことがわかる。

この研究の結果、帯金具 1 と 2 は許容誤差を 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、また他の許容誤差でもほかの組み合わせよりも高い一致率をしめしていることから、両者は同じ模型から鑄造されている可能性が高いと言える。

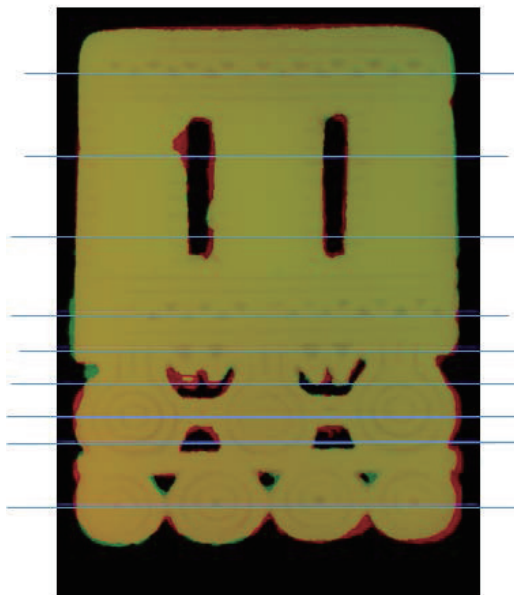


図 35 実験に用いた断面位置(資料 1 と 2 の場

帯金具1と2の比較		
許容誤差	極値合計	割合
1mm	74/77	96%
0.5mm	70/77	91%
0.3mm	59/77	77%
0.1mm	40/77	52%

図 36 資料1と2の許容誤差と一致度

帯金具1と3の比較		
許容誤差	極値合計	割合
1mm	74/77	96%
0.5mm	61/77	79%
0.3mm	50/77	65%
0.1mm	27/77	35%

図 37 1と3の許容誤差と一致度

帯金具1と4の比較		
許容誤差	極値合計	割合
1mm	56/61	92%
0.5mm	51/61	84%
0.3mm	37/61	61%
0.1mm	13/61	21%

図 38 1と4の許容誤差と一致度

帯金具2と3の比較		
許容誤差	極値合計	割合
1mm	63/63	100%
0.5mm	49/63	78%
0.3mm	39/63	62%
0.1mm	19/63	30%

図 39 2と3の許容誤差と一致度

帯金具2と4の比較		
許容誤差	極値合計	割合
1mm	66/69	96%
0.5mm	53/69	77%
0.3mm	42/69	61%
0.1mm	22/69	30%

図 40 2と4の許容誤差と一致度

帯金具3と4の比較		
許容誤差	極値合計	割合
1mm	66/68	97%
0.5mm	57/68	84%
0.3mm	50/68	74%
0.1mm	23/68	34%

図 41 3と4の許容誤差と一致度

5. 結論

本研究では、目梨泊遺跡から出土した帯金具について、鑄造法により作られたと仮定し、それらが同じ型に基づく鑄型から作られたのかどうかを調査研究した。

結論として、この研究で提案した手法およびそれに基づく実験結果から、比較的文様が明確な4枚の帯金具のうち資料1と2が最も高い一致度を示した。従ってこの2枚は、同じ型に基づく鑄型から製作された可能性が高いと推測される。

一方、従来の見方である、今回対象とした帯金具すべてが同じ型に基づく鑄型から作られているという点については、許容誤差内か否かによって判断ができる。これについては1mmを許容してよいかを考えるのが次の検討事項であり、当時の鑄造技術の精度を検証する必要があることから、さらなる実験および研究が必要である。

また、モヨロ貝塚からも帯金具が発見されており、測定も済ませている。ただこれに関しては変形の度合いが激しく、同一手法で比較することは困難であると考えられるため、別の手法を考案中である。

【参考文献】

- 臼杵 勲 2004「古代の環オホーツク海世界」『鉄器時代の東北アジア』同成社、241～261 ページ
- 熊木俊朗 2021「オホーツク文化とは何か」『オホーツク文化 あなたの知らない古代』東京大学大学院人文社会系研究科同附属北海文化研究常呂実習施設、4～8 ページ
- 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 ページ
- 酒井幸市 1997『デジタル画像処理入門』コロナ社
- 佐藤隆広編 1994『目梨泊遺跡』枝幸町教育委員会
- 谷尻豊寿 1996『最新画像処理入門』技術評論社
- 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、高畠孝宗、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 ページ

舟久保登 1990『視覚パターンの処理と認識』啓学出版

【謝辞】

本研究を進めるにあたり、函館工業高等専門学校 of 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。あわせて感謝申しあげます。また、本研究は JSPS 科研費 JP21K00821 の助成を受けたものです。

【所属】

近藤 司 函館工業高等専門学校生産システム工学科 特命教授

川合政人 北見工業大学工学部 助教

高畠孝宗 オホーツクミュージアムえさし 館長

中村和之 函館大学商学部 教授

