

山の神古墳の研究：「雄略朝」期前後における地域 社会と人制に関する考古学的研究：北部九州を中心 に

辻田，淳一郎
九州大学大学院人文科学研究院：准教授：日本考古学

<https://hdl.handle.net/2324/1515740>

出版情報：2015-03-23. Department of History, Faculty of Humanities, Kyushu University
バージョン：
権利関係：

第4章 自然科学的分析

第1節 山の神古墳出土遺物のX線CTスキャナによる調査

加藤 和歳・小林 啓

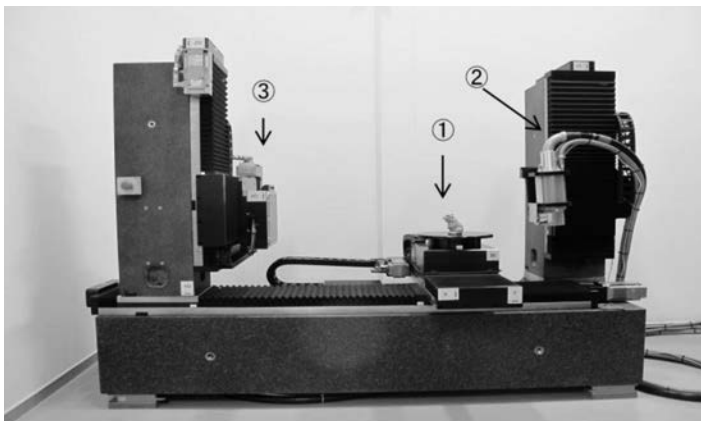
はじめに

本稿では山の神古墳出土遺物におけるX線CTスキャナによる調査結果について報告する。調査対象とした遺物は、馬具や武具、農工具などの金属製品である。今回はそれらの中から、馬具を中心にX線CTスキャナの調査意義を述べた上、結果を提示する。

1. CTの概要

CT (Computed Tomography) は、被写体に多方向からX線を照射し、透過してきたX線の強度を測定し、それらのデータをもとに、被写体内部の物質のX線吸収係数の空間分布を示す画像を計算して再構成する技術である。撮影は、X線管球と検出器を対向するように配置し、その間に被写体を設置する。そして被写体を360°回転させ、あらゆる方向から照射されたX線を検出器で捉え、コンピュータ上で計算し、画像を再構成する。得られる画像は断層像と、三次元レンダリングソフトを利用することで得られる三次元像がある。

さらにデジタル技術によりCGによる復元、3Dプリンタを利用したデジタル立体モデルの作成等が可能である。視覚のほか触覚を使えるなど、研究成果の公開手法にも新たな展開へ導くのである。



YXRON International Y.CTPrecisionS
X線出力：225 kV 焦点寸法：約0.1mm
対象サイズ：幅約300×高さ600mm
最大積載重量30kg 拡大率：1.2～10倍
FPD有効サイズ：約240×200mm

- ①試料回転台
- ②225 kV X線管
- ③フラットパネル型X線検出器

九州歴史資料館設置の文化財用X線CTスキャナ装置

2. CTを利用した古墳副葬品調査

遺物全体を三次元的に捉えるCTは、錆化や破損等、劣化を引き起こし、一見して全体像を掴みにくい出土遺物の調査に有効である。特に複合的な素材で構成され、立体的な構造を有するものが多い古墳副葬品に対しては、遺物の内部構造解析、発掘調査現場における微細情報取得、報告書作成の支援において、これまでの手法では得難い成果を得られるようになってきた。

(1) 遺物の内部構造解析

内部構造解析において、よく知られる手法としては、1978年、埼玉県稲荷山古墳出土辛亥銘鉄剣の発見により各地に普及したX線透過撮影がある。この手法は、多くの成果をあげ有効であるが、X線を投影しているため、像の歪みや輪郭の不鮮明さが生じるほか、前後の部位の像が重層するため、立体的な構造は把握しにくい。これに対しCTは、計測値を再構成して像を得ているため、歪み等の支障は生じにくいほか、三次元像のカラー表示や長さ、厚み等も計測することができ、より多くの情報を提供することができる。

古墳副葬品に対し、CTの威力が発揮される場面の一つとして、装飾のために施した華麗で精緻な技術を、客観的な情報を基に明らかにできる点がある。例えば象嵌遺物であれば、象嵌線の断面や単位を立体的に観察することができ、また円頭柄頭のように全周に象嵌が施されている場合、文様構成の把握が一目で可能である。近年の成果として、福岡県元岡G5号墳出土庚寅銘大刀の調査では、土砂や錆を除去する前に、文字の構成を立体的に明らかにした。大刀の外観を改変させず、出土時の姿で釈読に至った。また、先の埼玉県稲荷山古墳出土辛亥銘鉄剣についてもCT調査が行われ、新たな知見を得ている。これまで一定の評価を与えられている遺物に対しても、CTは新たな視点による再評価を可能とするのである。

本稿にて後述する山の神古墳出土馬具等についても、眼前に見る遺物の重要性は、これまで認識されているところであるが、金銅などにより装飾された技法をCT画像で客観視することにより、その華麗さと精緻さをより深く認識することができよう。

(2) 発掘調査現場における微細情報取得

遺物を現場でブロック状に取り上げた梱包状態のままCT撮影を行い、埋土中に含まれる遺物の存在や痕跡の有無、それらの遺存状態を調査することが可能である。これにより、埋土中における遺物の位置関係や、付着した有機物等痕跡を発見し、CTにより三次元デジタル記録を得ることができる上に、遺存状態を的確に把握でき、周辺情報の消失が最小限となるため、良好な条件で科学的調査を行うことができる。遺物そのものだけでなく、遺物周囲にある失われる恐れのある情報を、良質に記録し、かつ保存できるのである。

この遺物取り上げからCT調査という一連の流れは、大量の遺物が重層して出土することで困難を極める遺物周辺の有機質遺物のミクロな観察や、位置関係の記録により、複雑な構造をもつ馬具類の復元への効果を期待される。特に未盗掘古墳のような複雑かつ重層的に遺物が出土する場合に有効であり、岡山県勝負砂古墳や福岡県船原古墳遺物埋納坑の調査で成果をあげている。

(3) 報告書作成の支援

鍍化により、肉眼では形状把握が困難な遺物を図化するための利用も有効である。ただ、平面的な遺物、例えば鉄鏃や鉄鎌、鉄釘などといった遺物は、肉眼観察と併せて、X線透過撮影で必要な情報を得られる傾向が強い。CTは三次元で情報を得られる利点があることから、立体的で複雑な構造を有する馬具のような遺物に有効である。鍍化して肉眼では不可視な箇所や金、銀、銅や鉄といった金属や布、革等、有機物を複合的に用いた箇所の構造観察に多用できるため、図化の援用に力を発揮する。また、形状から、断面厚を計測し難い遺物（頸部が長く細い壺など）は、CTにより断面形状を把握することができる。

3. 山の神古墳出土馬具のCT調査結果

以下に馬具のCT画像を示す。馬具の外観は、過去の保存処理により形状の把握は可能であるが、CTにより、金銅と鉄地との関係が明瞭となるなど、装飾等製作技術を客観的に観察できるようになった。

特に鉾については、鍍に覆われている箇所もあり、全体を把握し難いが、鍍の下にある鉾の存在を確認することができる。また、鉾の断面を観察すると、形状を確認できることはもちろんであるが、鉾頭を鉄または銅とは異なる金属で装飾されていることがわかる。これまでの事例から金や銀で装飾されていることが想定できるが、表面を鍍で覆われている場合、肉眼での観察は困難を極めるところである。

おわりに

以上、CT調査結果を示したが、画像解析ソフト上では、あらゆる角度から断面像を観察することができ、本稿で示した画像は、豊富な情報の一端にすぎない。保存科学研究者、考古学研究者により、多くのCT調査と画像の解析を協業で行うことで、より精緻な古墳副装品の研究が進展するものと考えている。

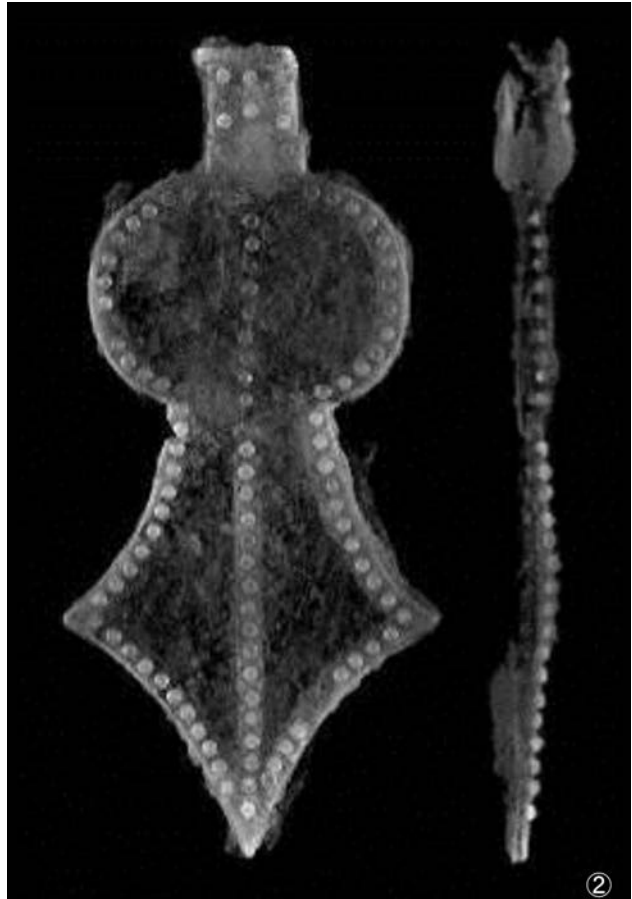
最後に、本調査の機会を与您いただきました九州大学の辻田淳一郎先生に末筆ではありますが、記して感謝申し上げます。

【参考・引用文献】

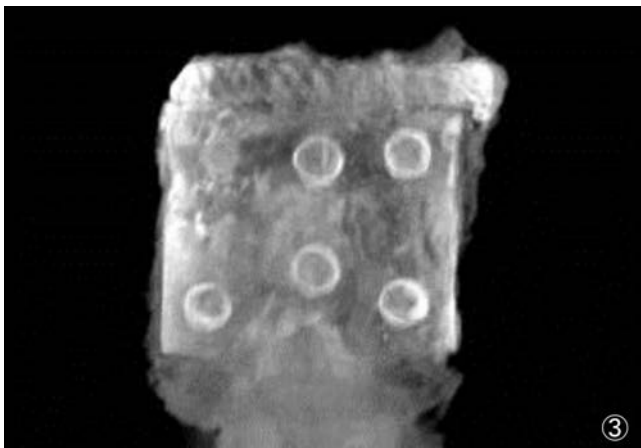
- 上角智希・田上勇一郎・西澤千絵里・今津節生・鳥越俊行・輪田慧・加藤和歳・村田忠繁 2012 「庚寅銘大刀の発見と事前調査 -福岡市元岡G5号墳出土大刀の取上げからX線CT調査まで-」『日本文化財科学会29回大会研究発表要旨集』
- 松木武彦・鳥越俊行・輪田慧・今津節生 2012 「勝負砂古墳におけるX線CTスキャナを活用した出土遺物の調査」『日本文化財科学会第29回大会研究発表要旨集』日本文化財科学会
- 加藤和歳・小林啓・山崎悠郁子・今津節生・輪田慧・森下靖士・甲斐孝司・横田義章 2014 「X線CTスキャナの活用による遺跡で発見される豊富な遺物情報を得る調査 -福岡県古賀市船原古墳遺物埋納坑出土遺物の取り上げ・構造解析から公開活用-」『日本文化財科学会31回大会研究発表要旨集』日本文化財科学会
- 小林啓・加藤和歳・山崎悠郁子・森下靖士・甲斐孝司・横田義章・今津節生・輪田慧 2014 「福岡県古賀市船原古墳遺物埋納坑出土資料のX線CTスキャナに調査」『日本文化財科学会31回大会研究発表要旨集』日本文化財科学会



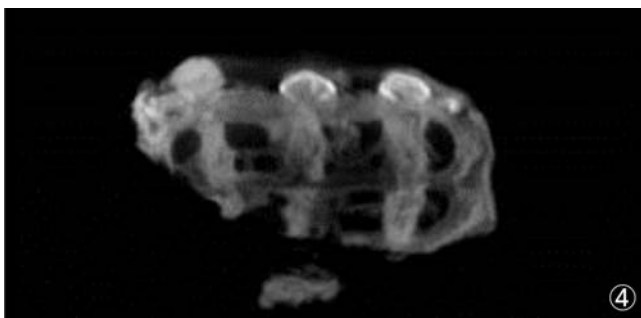
①



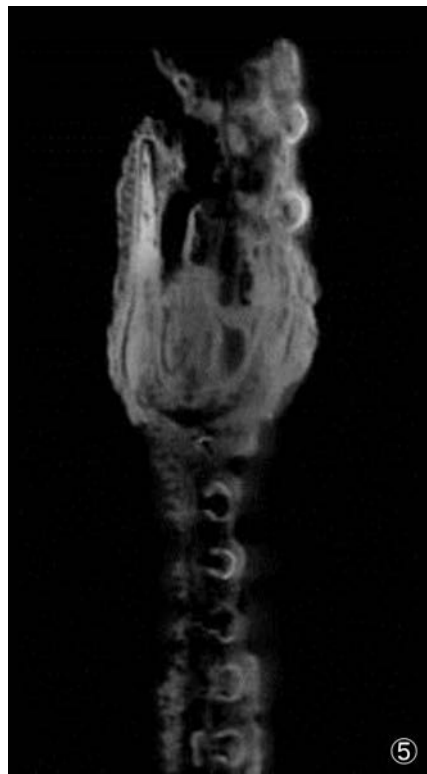
②



③



④



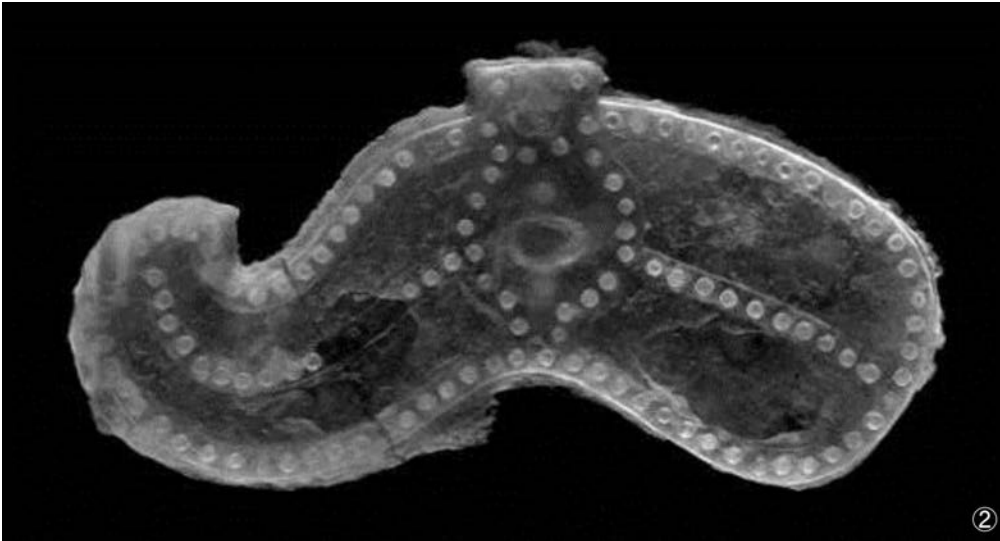
⑤

【剣菱形杏葉】

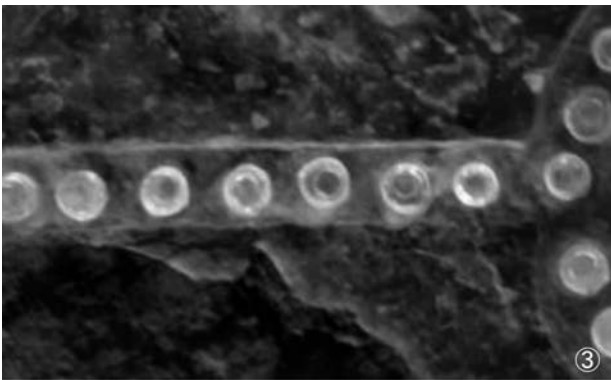
①：剣菱形杏葉外観 ②～⑤：X線CTスキャナによる各部構造



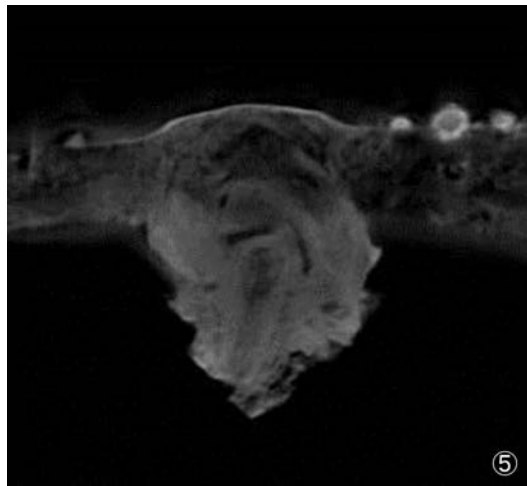
①



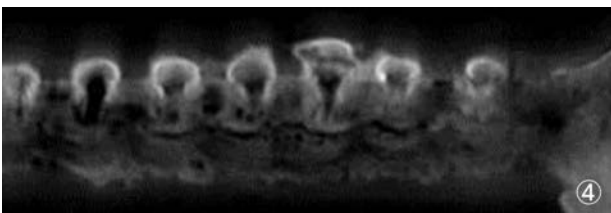
②



③



⑤



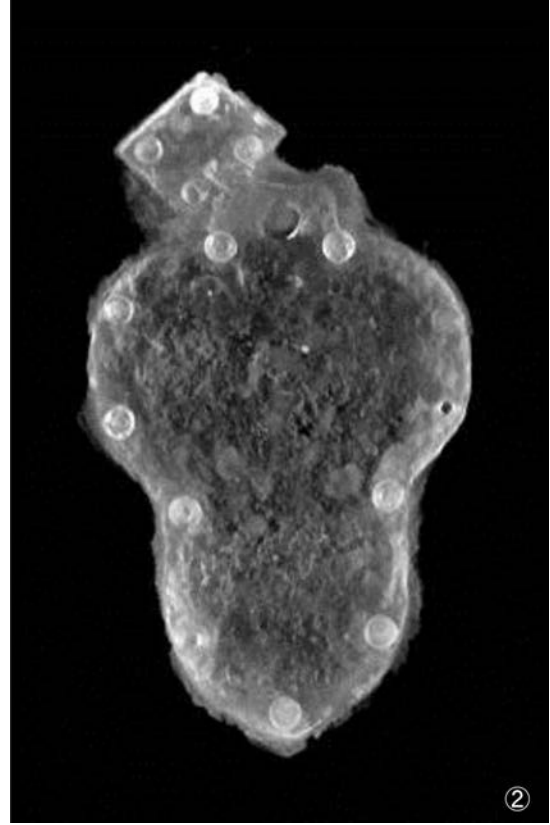
④

【f字形杏葉】

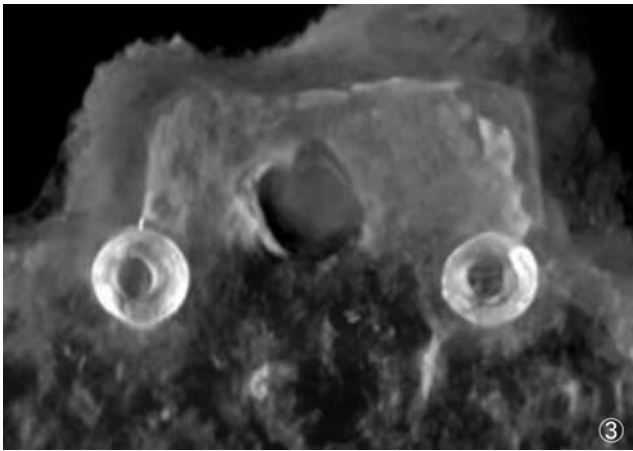
①：f字形杏葉外観 ②～⑤：X線CTスキャナによる各部構造



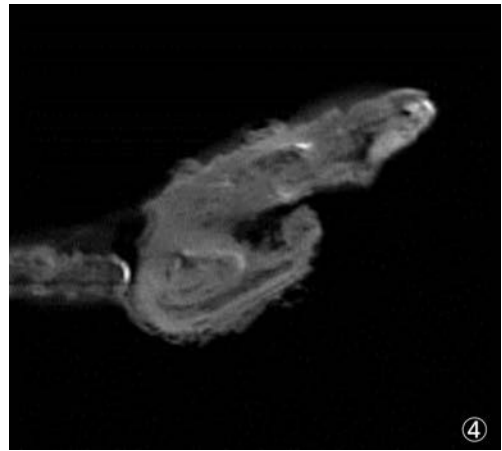
①



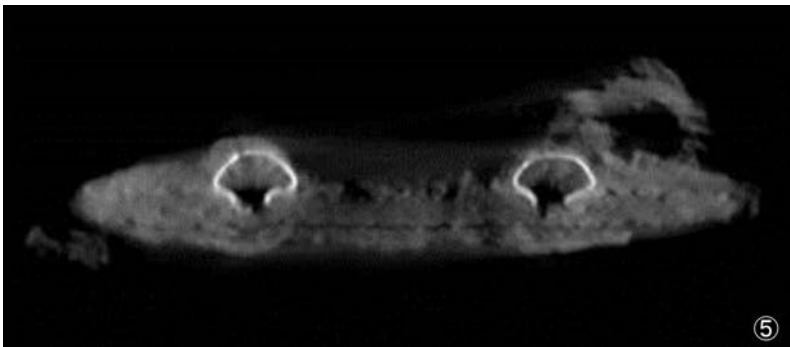
②



③



④



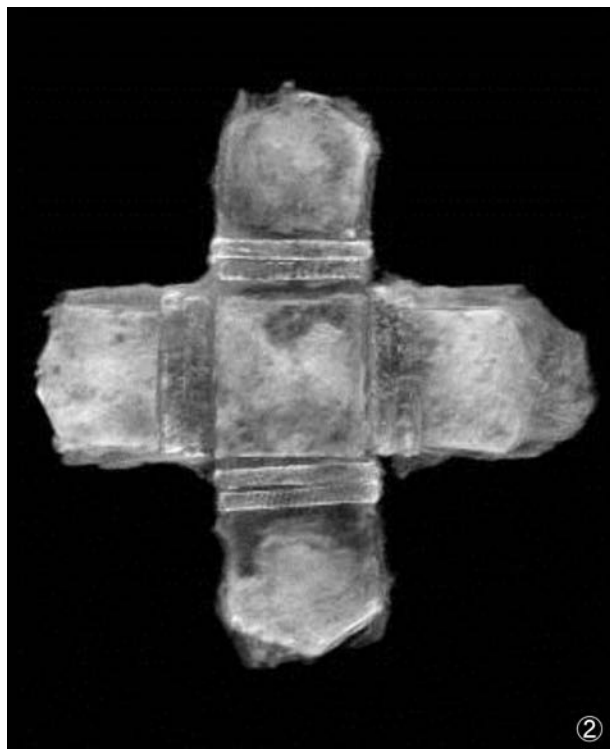
⑤

【剣菱形杏葉】

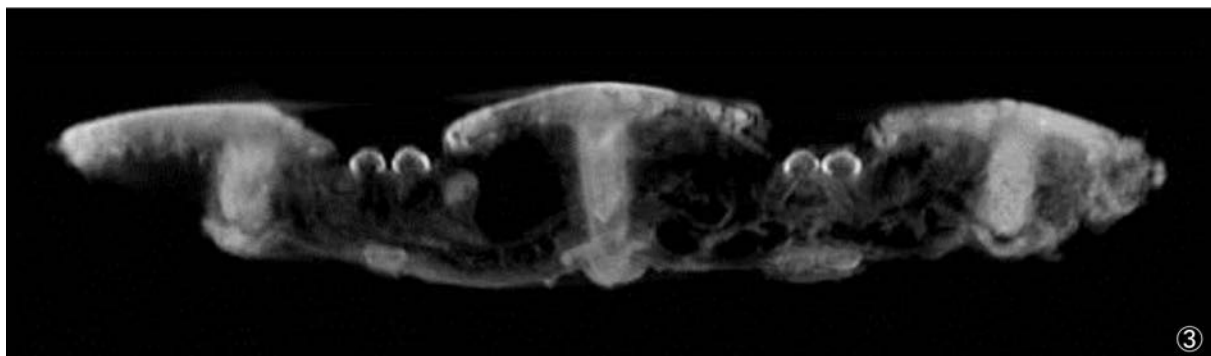
①：剣菱形杏葉外観 ②～⑤：X線CTスキャナによる各部構造



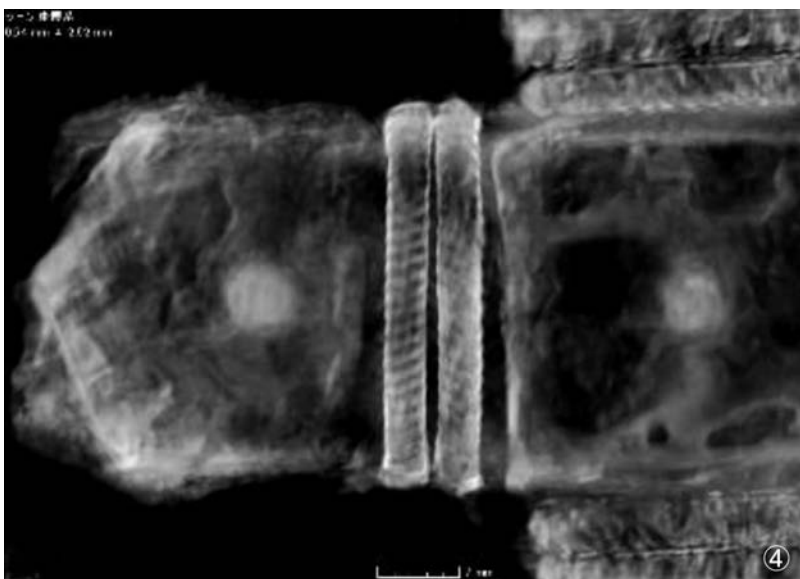
①



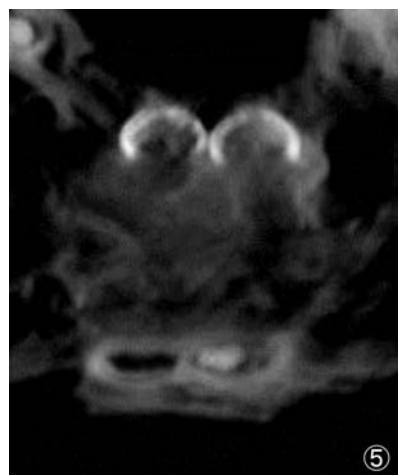
②



③



④



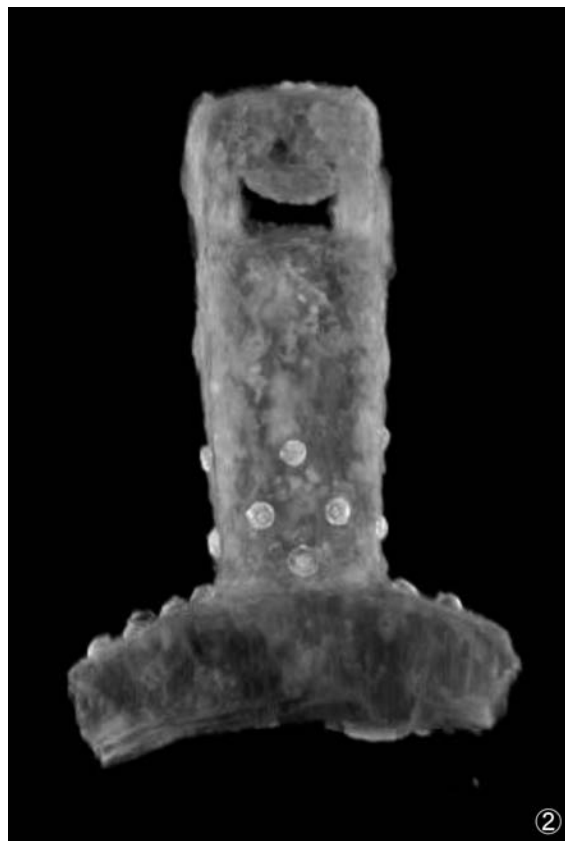
⑤

【辻金具】

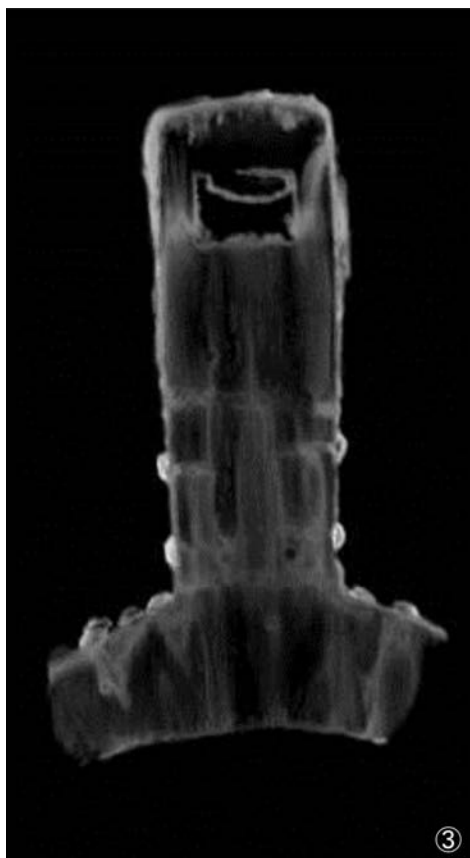
①：辻金具外観 ②～⑤：X線CTスキャナによる各部構造



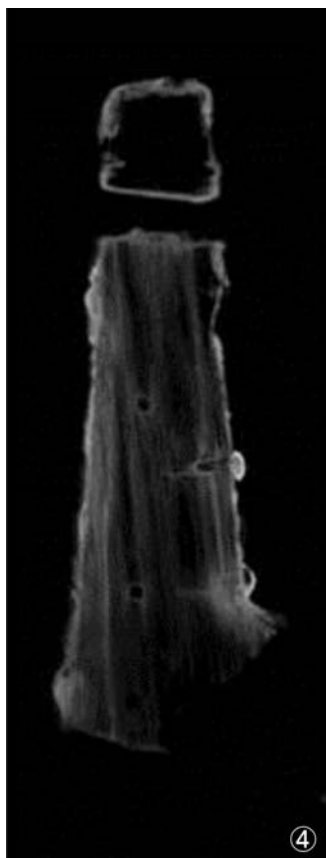
①



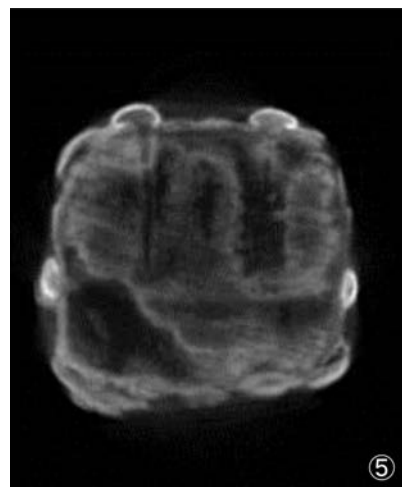
②



③



④



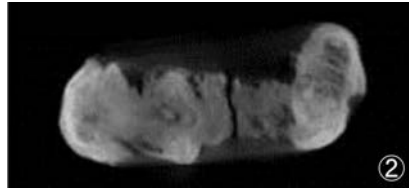
⑤

【壺鐙】

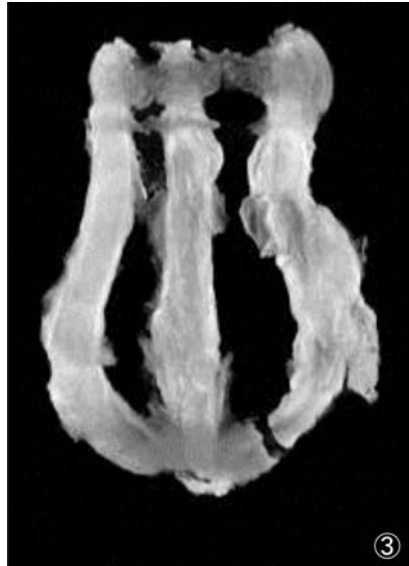
①：壺鐙外觀 ②～⑤：X線CTスキャナによる各部構造



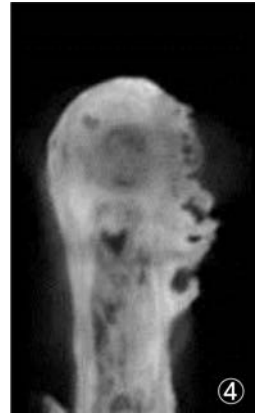
①



②



③



④

【鉸具】

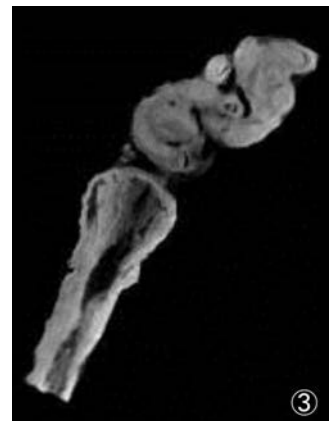
①：鉸具 ②～④：X線CTスキャナによる各部構造



①



②



③

【引手】

①：引手外観 ②～③：X線CTスキャナによる各部構造

第2節 玉類および装飾品の材質調査

谷澤 亜里・菅 浩伸

山の神古墳から出土した玉類・装飾品は、ガラス小玉21点、空玉3点、ガラス装飾3点が現存する(第2章第2節)。近年の研究の進展により、古墳時代のガラス製品は、材質の種類が考古学的位置づけにおいても重要であることが指摘されている。これをふまえ、山の神古墳出土のガラス製品の材質調査を行った。また、空玉についても材質を明確にするため、併せて調査を行った。

(1) 資料と方法

調査対象としたガラス製品は、ガラス小玉21点全て(第2章第2節 図2:1~21)と、ガラス装飾3点のうち1点(第2章第2節 図2:27)である。いずれも青紺色を呈するが、ガラス小玉は引き伸ばし技法によるもの、連珠法によるもの、包み巻き技法によるもの、斑点文トンボ玉とみられるものが認められる。これらについて、以下の条件で蛍光X線分析を行った。

分析装置：堀場製作所製エネルギー分散型蛍光X線分析装置・MESA-500W / 対陰極：ロジウム (Rh) / 検出器：半導体検出器 / 加速電圧：15kV・電流：任意 / 測定雰囲気：真空 / 測定範囲：5 mm φ / 測定時間120秒

今回の蛍光X線分析では、資料表面の風化層を除去しておらず、また、X線照射位置も絞れていない。そのため、本来ならば定量値を算出しての議論が望まれるが、今回は定性分析によって得られた元素の種類と相対強度から、先行研究のガラス材質分類(肥塚ほか2010, 肥塚・田村2012)のいずれにあたるかを判断することとした。

また、斑点文トンボ玉とみられる1点(第2章第2節 図2:24)は、色調の異なる地玉部分と斑点文部分では異なる種類のガラスが使用されている可能性が想定された。そのため、低真空装置付の分析走査型顕微鏡(SEM-EDS)を用い、金属コーティングを施すことなく、地玉部分と斑点文部分のそれぞれを観察し元素分析を行った。分析条件は以下の通りである。なお、元素の簡易定量結果は分析範囲のEDSスペクトルを基に、日本電子製ソフトウェア Analysis Station のZAF補正法を用いて求めたものである。

分析装置：日本電子製エネルギー分散型X線分光器付き低真空走査電子顕微鏡(SEM-EDS)・JSM-6390LV(電子顕微鏡), JED-2300(エネルギー分散型X線分光器) / 検出器：反射電子検出器(MP-34080BEIW) / 加速電圧：15kV・電流：任意 / 測定雰囲気：低真空(30Pa)

空玉は、以下の条件で蛍光X線分析を行った。

分析装置：堀場製作所製エネルギー分散型蛍光X線分析装置・MESA-500W / 対陰極：ロジウム (Rh) / 検出器：半導体検出器 / 加速電圧：50kV・電流：任意 / 測定雰囲気：真空 / 測定範囲：5 mm φ / 測定時間120秒

(2) ガラス製品の蛍光X線分析結果

分析結果はいずれも同様のパターンを示す(図1)。まず、融剤の種類に関わる元素であるカリウム(K)とカルシウム(Ca)のピークに着目すると、いずれもカルシウムのピークがカリウムのピークを

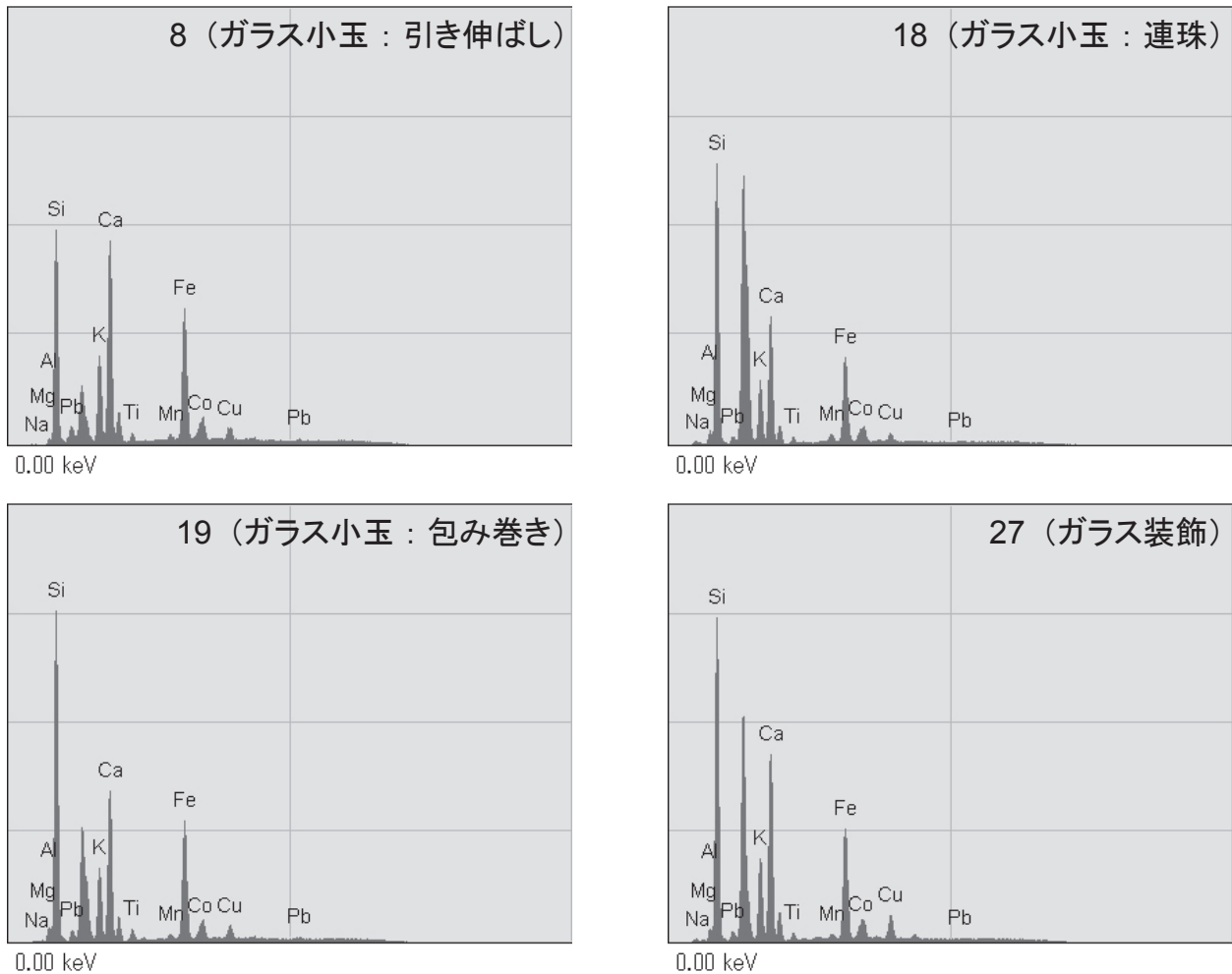


図1 玉類および装飾品の蛍光X線分析結果

上回る結果が得られた。以上より、分析対象資料はソーダ石灰ガラスであると判断される。近年の材質調査の進展により、日本列島古墳時代のソーダ石灰ガラスには、地中海沿岸に由来すると考えられるナトロンガラス、ササン朝に由来すると考えられる植物灰ガラス、南～東南アジアに由来すると考えられる高Alソーダ石灰ガラスが認められることが指摘されている（肥塚・田村2012）。これらの定義には、マグネシウム（Mg）やアルミニウム（Al）の含有量に関わるが、今回は、いずれにあたるかの判断に耐えうる分析はできていない。

続いて、着色に関わる元素に着目する。今回の分析対象資料では、いずれも青紺色の着色に関与したと考えられるコバルトが検出され、また、微量のマンガン（Mn）、銅（Cu）、鉛（Pb）が検出された。先行研究において、先述した三種類のソーダ石灰ガラスは、種類によって使用されるコバルト着色剤が異なることが指摘されている。すなわち、高Alソーダ石灰ガラスでは青紺色カリガラスに通有なマンガンを伴うコバルト着色剤が使用される一方、植物灰ガラスには、マンガン含有量が少なく微量の銅と鉛を伴うコバルト着色剤が使用され、ナトロンガラスではマンガン含有量にヴァリエーションが認められつつも銅や鉛の含有量が多いとされる（肥塚・田村2012）。このことを参考にすると、今回の分析対象資料はマンガンのピークが低いことから、植物灰ガラスやナトロンガラスのような、低Alタイプのソーダ石灰ガラスであると判断される。

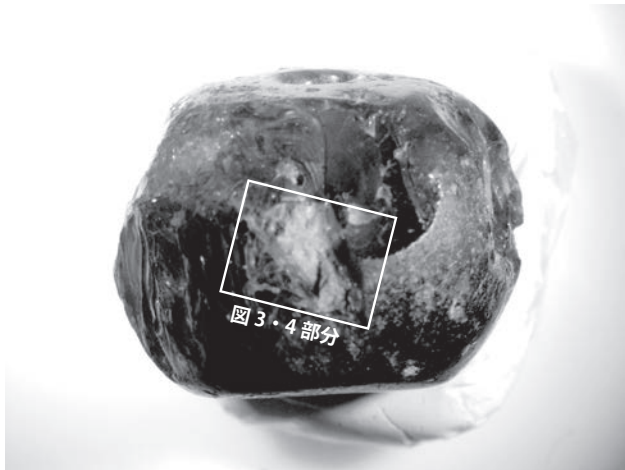


図2 SEM-EDSによる観察箇所

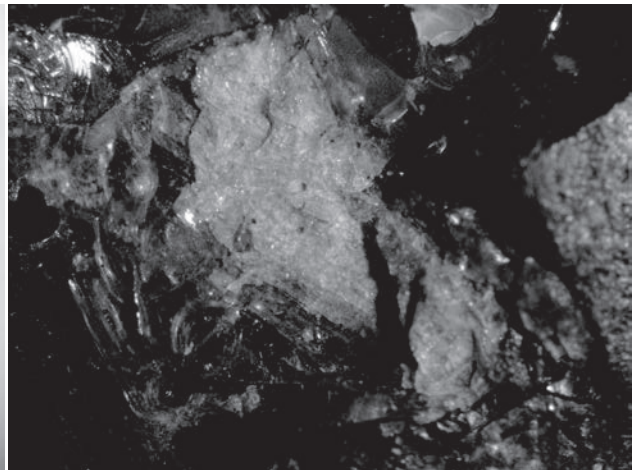


図3 分析箇所の顕微鏡写真

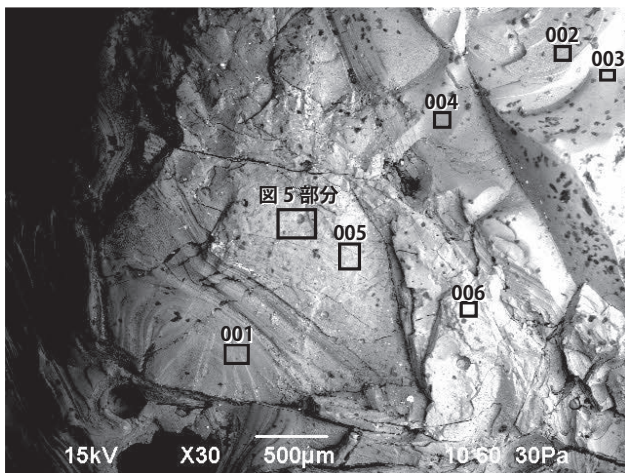


図4 分析箇所の後方散乱電子像

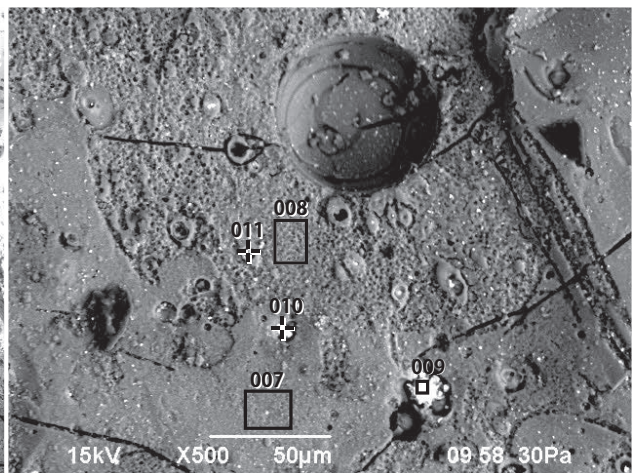


図5 黄白色部分の後方散乱電子像

さらに、ナトロンガラスは引き伸ばし技法とは排他的であるという指摘（肥塚・田村2012）をふまえると、1～17は植物灰ガラスとみて問題ない。分析結果のパターンが共通することから、18～20、21・27の青紺色ガラス部分も同種のガラスとみられる。18については、植物灰ガラスで連珠法による小玉が報告されており（田村2012）、先行研究と整合的に理解できる。27のガラス装飾に関しても、峯ヶ塚古墳出土の同様な装飾で、同種のガラスの使用例が確認されており（肥塚2002）、青紺色植物灰ガラスが、ガラス装飾の素材に広く利用されていたことが伺える。

一方、19・20・21の位置付けについては問題が残る。まず、19・20のような包み巻き技法による植物灰ガラスの小玉は、現状では報告されていない。類例の探索や、さらなる材質調査が必要と考える。斑点文トンボ玉とみられる21の分析結果は、青紺色ガラス部分の材質を反映していると考えられるが、黄白色部分との材質の違いについてより詳細な調査が必要と判断し、以下に述べる SEM-EDS を用いた追調査を行った。

（3）斑点文トンボ玉の SEM-EDS による調査結果

21は、青紺色の地玉部分と、黄白色の斑点文部分で材質が異なる可能性が想定されたため、低真空

表1 斑点文トンボ玉の元素分析結果

番号	備考	C	O	Na	Mg	Al	Si	Cl	K	Ca	Fe	Sn	合計(原子%)	Al/Si比
001	青紺色部分	14.26	60.84	1.28	0.55	0.91	20.83			0.91	0.42		100	0.04
002	青紺色部分	26.68	51.76	1.04	0.63	1.02	16.19	0.48	0.52	1.20	0.47		100	0.06
003	青紺色部分	11.37	65.38	0.85	0.77	0.82	18.87	0.36	0.45	1.13			100	0.04
004	青紺色部分	19.88	51.94	1.13	0.66	0.99	22.09	0.47	0.51	1.69	0.65		100	0.04
005	黄白色部分	18.32	59.16	0.93		2.00	18.87			0.72			100	0.11
006	黄白色部分	25.29	53.66	1.00		1.93	16.71		0.34	0.53	0.55		100	0.12
007	黄白色部分	18.92	59.20	0.82		1.96	18.60			0.49			100	0.11
008	黄白色部分	19.49	59.06	0.91		1.82	18.13			0.58			100	0.10
009	黄白色部分粒子	13.81	64.50	0.93		1.80	8.03			1.28	0.70	8.95	100	0.22
010	黄白色部分粒子	11.18	67.02	0.80		1.30	7.52			1.28		10.90	100	0.17
011	黄白色部分粒子	24.98	55.34	1.38	0.43	1.79	11.56			1.23	0.74	2.55	100	0.15

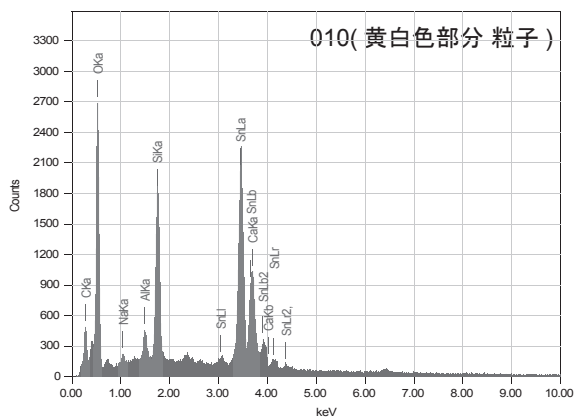
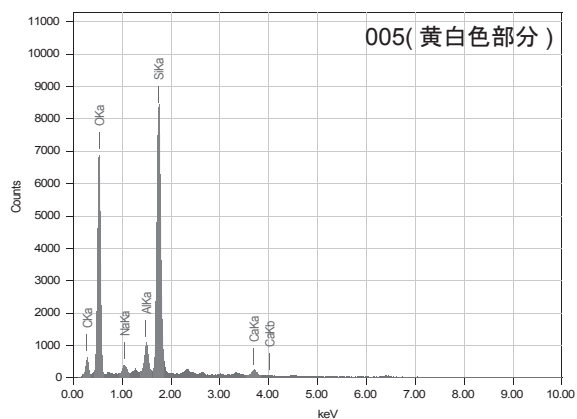
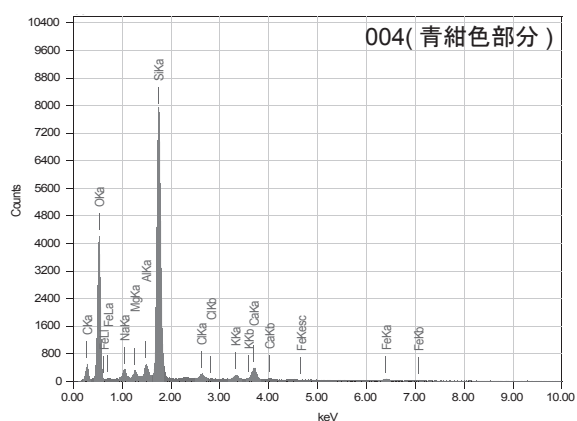


図6 斑点文トンボ玉のSEM-EDS スペクトル

SEM-EDS を用いた追調査を行った。その結果、青紺色部分（図2:001・002・003・004）と黄白色部分（図2:005・006, 図3:007, 008）で、検出される元素のパターンが異なることが明らかとなった。簡易定量結果を表1に示す。まず、シリカ（Si）に対するアルミニウム（Al）含有量に着目すると、青紺色部分に比べ、黄白色部分で Al/Si 比が高い。また、青紺色部分のみでマグネシウム（Mg）が検出された。加えて、黄白色部分では、反射電子像において表面に微細な粒子が観察され（図5:009, 010, 011）、この部分からは、錫（Sn）が検出された（表1・図6:010）。以上より、青紺色部分と黄白色部分では種類の異なるガラスが使用されていると考えられる。

青紺色部分は、アルミニウム含有量が比較的低く、マグネシウムが検出されることから、植物灰ガラスである可能性が示唆される。一方、黄白色部分はアルミニウムの含有量が比較的高いことから、高 Al ソーダ石灰ガラスである可能性が考えられるが、錫を主成分とする粒子を含む点が注意される。黄色や黄緑色の高 Al ソーダ石灰ガラスでは、錫酸鉛（ $PbSnO_3$ ）に同定される黄色粒子が検出され、着色に錫酸鉛系の黄色顔料が用いられていたことが明らかになっている（中井ほか2011）。しかし、今回の分析対象資料の黄白色部分にみられる粒子では鉛は明瞭には検出されていない。このことから、本資料の黄白色部分は、Indo-Pacific Beads に通有の黄色／黄緑色高 Al ソーダ石灰ガラスとは異なる種類のガラスである可能性が想定さ

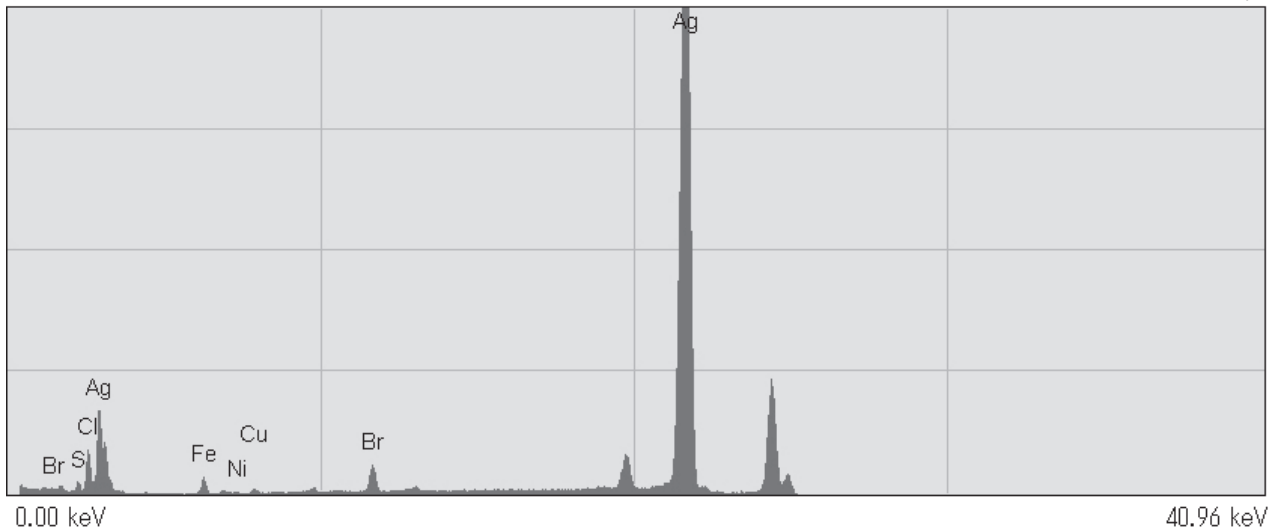


図7 空玉 (24) の蛍光 X 線分析結果

れる。

酸化錫を白色不透明の着色に用いたとみられるガラスを使用したトンゴ玉の事例も報告されているが、白色部分の基礎ガラスは植物灰ガラスとされる（田村・星野2014）。今回の分析対象資料はアルミニウム含有量が高く、マグネシウムも検出されないことから植物灰ガラスとは考え難いが、着色技術が共通する可能性は指摘できる。このように、本資料の黄白色部分に用いられたガラスは類例に乏しい種類の可能性があり、その位置づけには今後さらなる調査が必要である^註。

（４）空玉の蛍光 X 線分析結果

図3に示す通り、銀（Ag）の強いピークが検出され、銀製であることが確認された。金や水銀などは検出されないことから、鍍金は行われていないと判断される。外観の類似から、分析を行っていない2点も同様な材質と考えられる。日本列島古墳時代の空玉では、7割以上が銀製であることが指摘されており（西澤2012）、これをふまえれば、山の神古墳出土資料には、空玉としては一般的な材質が用いられているといえる。

【註】

ガラス製品の分析結果の解釈に関しては、大賀克彦氏、田村朋美氏よりご教示をいただきました。記してお礼申し上げます。

【参考文献】

- 大賀克彦 2010 「日本列島におけるガラスおよびガラス玉生産の成立と展開」『月刊文化財』566号, 27-35頁
 肥塚隆保 2002 「峯ヶ塚古墳出土ガラス遺物の科学的調査」羽曳野市教育委員会（編）『史跡古市古墳群峯ヶ塚古墳後
 円部発掘調査報告書』羽曳野市教育委員会, 251-263頁
 肥塚隆保・田村朋美 2012 「古墳時代のガラス」一瀬和夫・福永伸哉・北條芳隆（編）『古墳時代の考古学』8 同成
 社, 132-141頁
 肥塚隆保・田村朋美・大賀克彦 2010 「材質とその歴史の変遷」『月刊文化財』566号, 13-25頁
 田村朋美 2012 「日本列島における植物灰ガラスの出現と展開」奈良文化財研究所（編）『文化財学論集IV：奈良文化
 財研究所創立60周年記念論文集』奈良文化財研究所学報第92冊 奈良文化財研究所, 1367-1384頁

- 田村朋美・星野安治 2014 「宮城県追戸横穴墓出土トンボ玉の自然科学的研究」『奈良文化財研究所紀要』2014, 38-39
頁
- 中井泉・白瀧絢子・池田朋生 2011 「小田良古墳出土の黄緑色ガラスビーズの起源と着色剤について」『古代の玉—最新
の保存科学的研究の動向—』奈良文化財研究所
- 西澤千絵里 2012 「正光寺山古墳群出土空玉に関する検討」正光寺山古墳群発掘調査報告書編集委員会（編）『正光寺
山古墳群』新居浜市教育委員会, 319-326頁
- FRANCIS, P. 1990. Glass beads in Asia Part2. Indo-Pacific beads. *Asian Perspectives*, 29-1, 1-23.

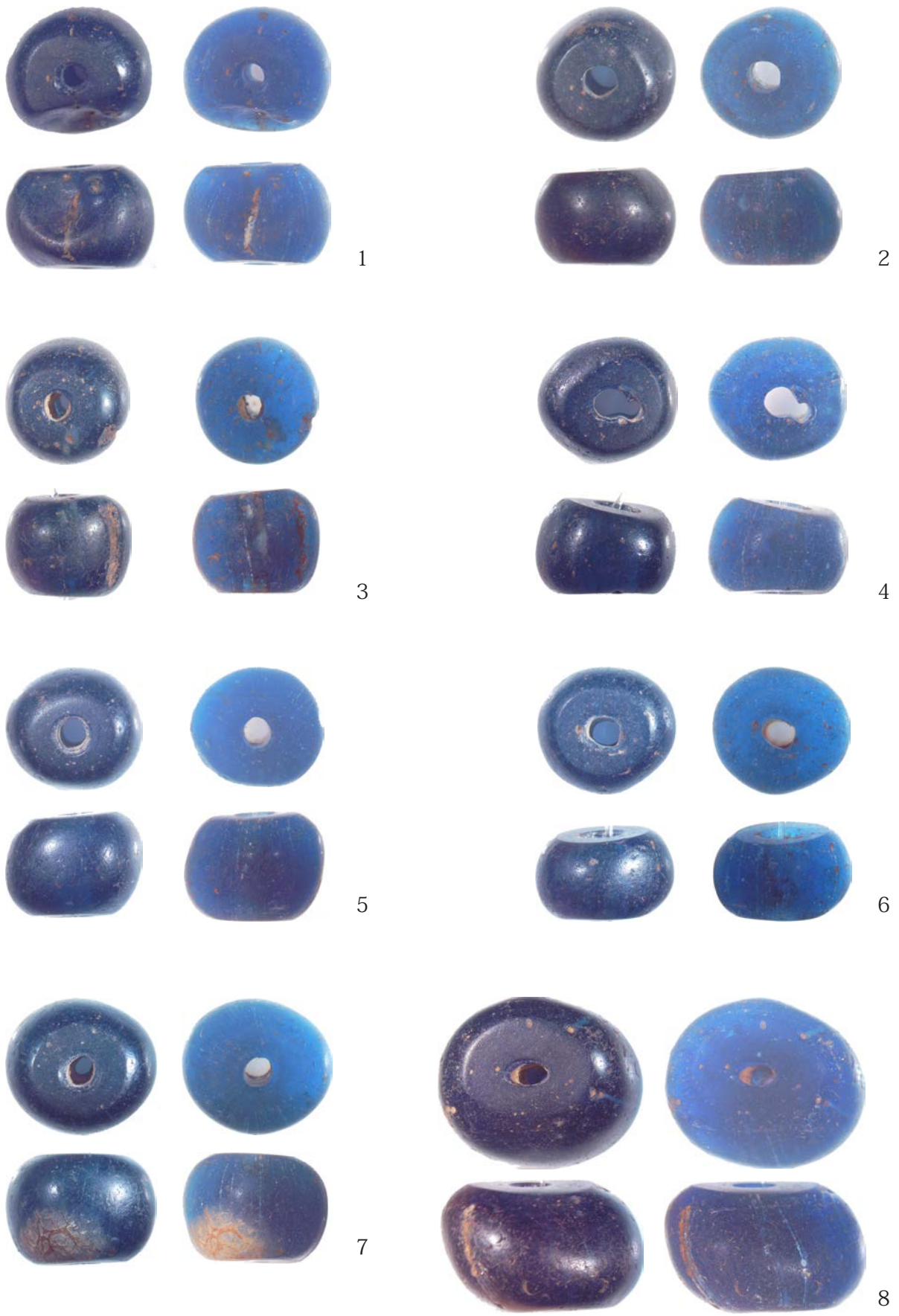


図8 ガラス小玉の顕微鏡写真（1）

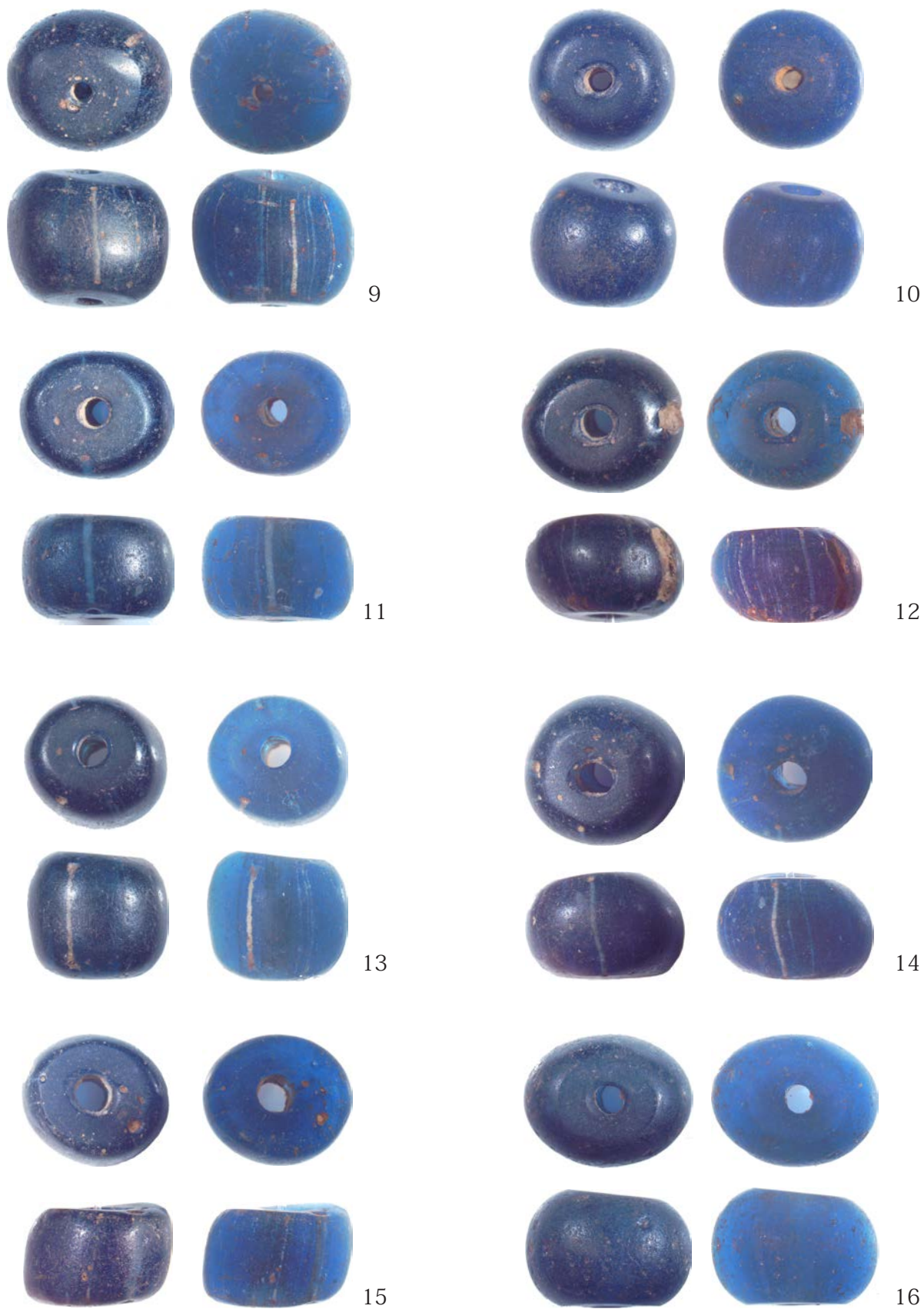
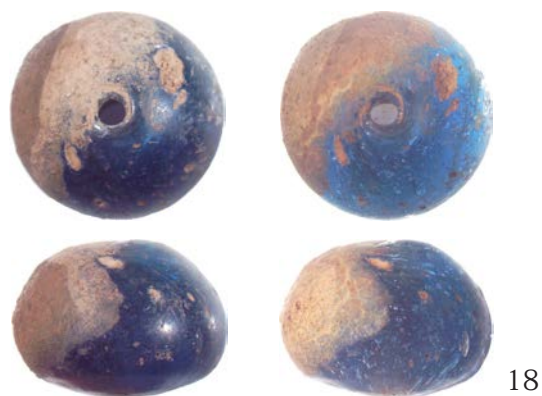


図9 ガラス小玉の顕微鏡写真（2）



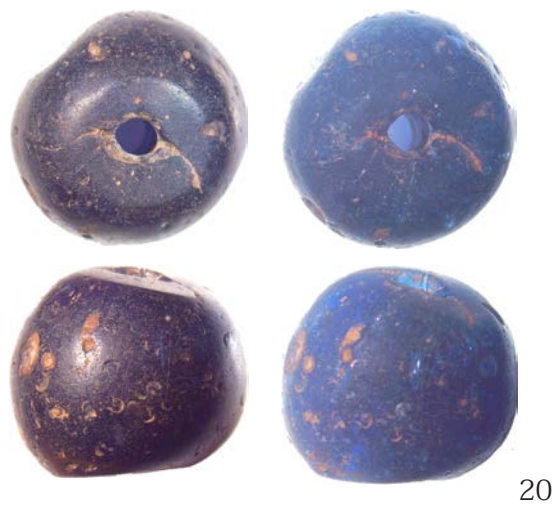
17



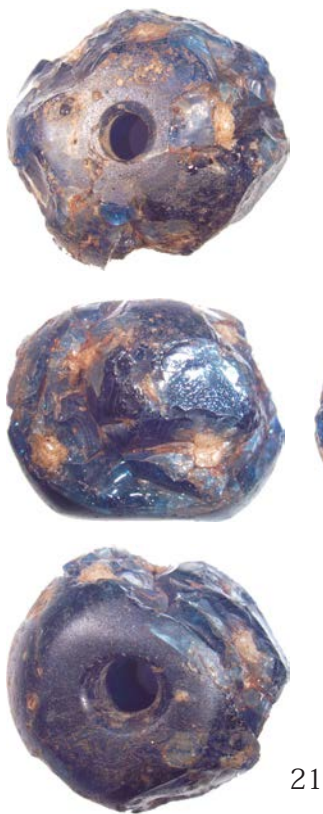
18



19



20



21

図10 ガラス小玉の顕微鏡写真(3)

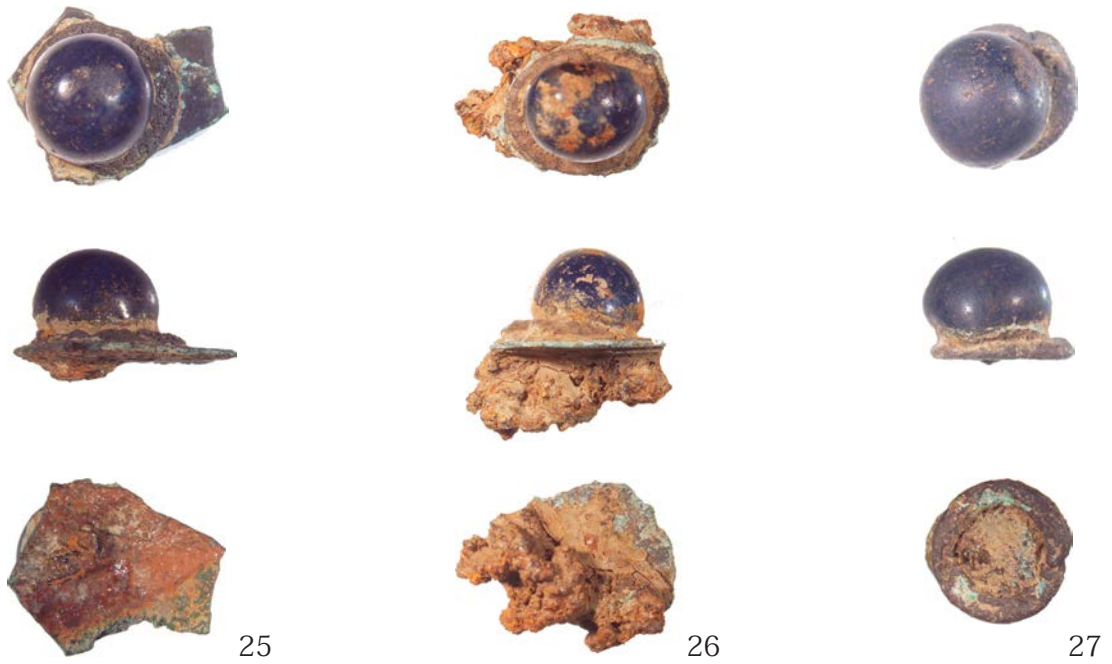


図11 銀製空玉・ガラス装飾の顕微鏡写真