諏訪市長 金子 ゆかり 様

分析調査報告書

(平成28年度小丸山古墳出土金属製品分析調査業務委託)

公益財団法人 元興寺文化財研究所

平成28年度小丸山古墳出土金属製品の分析調査業務について、以下の通り報告します。

- 1. 調査概要
- 1. 1. 調査対象

諏訪市豊田所在小丸山古墳出土金属製品等(表1-1、1-2)

1. 2. 調査内容

表1-1に示した項目の調査を行った。

表1-1. 小丸山古墳出土金属製品の調査項目

調査項目	調査数	資料(()内は資料数)	分析·調査担当者
X線写真·写真撮影	20	各20カット集合写真	初村武寛
小札分類作業	1	小札甲(1016)	初村武寛
有機質微小部観察	32	小札(4)、大刀装具等(2)、鉄鏃(16)、 鈴(1)、馬具(3)	山田卓司
蛍光X線分析	24	大刀装具等(3)、鈴(4)、馬具(9)、 梔子形空玉(1)、耳環(1)、ガラス玉(20)	川本耕三
金属分析	2	大刀刀身(2)	日鐵住金テクノロジー(株) 鈴木瑞穂

1. 3. 結果概要

表1-2に調査結果の概要を示した。

表1-2. 小丸山古墳出土金属製品の調査結果概要

項目	対象遺物	結果概要		
	小札 No.1、3、6	小札裏面に平織布が付着		
	大刀装具等 No.16-1、16-2	内側に柄木由来の広葉樹が付着		
有機質	鉄鏃 No.17	糸巻き、布、木質(タケ亜科)、樹皮が付着		
	鈴 No.21-2	鈕付近に布の痕跡		
u.	馬具 No.22-12、22-18、22-20	布、錦、平織布が付着		
	大刀装具等 No.16-1、16-2、22-5			
	鈴 No.21-1、21-2、21-3	青銅		
	鈴 No.21-4	金銅装(水銀不検出)		
	馬具 No.20-1-3、20-1-4、20-1-20、22-17	金銅装		
金属材質	馬具 No.22-11-1、22-19	鉄地銀張(No.22-19は鉄地残存せず)		
	馬具 No.22-12、22-18	鉄鋲頭銀被せ		
	馬具 No.22-16	鉄地金銅装		
	梔子形空玉 No.22-13			
	耳環 No.20-2-15	銅芯金張		
ガラス材質	ガラス玉 No.20-2-2-7~13、20-2-14-1~13	アルカリ珪酸塩ガラス(高アルミナソーダ石灰ガラス)		
全层公托	大刀 No.12-3	折り返し鍛錬された鉄素材を鍛打成形した大刀で、 全体が軟質であったことから、儀仗刀の可能性		
亚周万州 "	大刀 No.13-2	折り返し鍛錬された鉄素材を鍛打成形した大刀で、 芯部に軟鉄、刃先に焼入れされた高炭素鋼がある実用刀の可能性		

2. X線写真·写真撮影

処理前の遺物の状態を記録するため、写真撮影を行った。この写真をもとに台帳を作成し、処理工程や途中 得られた知見などを記入した。また、遺物の構造や劣化状態の確認を目的としてX線透過撮影を実施した。 撮影した写真およびX線画像はデータ DVD に収録した。

2.1.原理

X線透過撮影はX線が物質を透過し、その透過の程度が物質により異なるという性質を利用して対象物の内部構造などを非破壊的に調べる方法である。

2.2.方法

写真撮影には以下の機材を用いた。

カメラ本体: CANON 5D MarkIII、レンズ: CANON COMPACT MACROLENS EF50mm

X線透過撮影は次の条件で行った。

照射装置:フィリップス社製X線透過試験装置 MG225 型、画像読取装置:富士フィルム株式会社製 FCR AC-7 HR、画像表示ファイル装置:VF-C1、イメージングプレート:UR-1 型

3. 小札分類作業

小札について目視観察・X線画像等を参考にし、分類・整理作業を行った(データ DVD 参照)。

3.1. 搬入時の状態

小丸山古墳より出土した小札は、コンテナ11箱および木枠1箱に収められた状態で搬入された。

小破片が大多数を占め、完形で遺存している個体は少ない状態であった。小札には威や綴の痕跡が残るもの の、一枚一枚に遊離したものが極めて多く、錆の影響により細片化・崩壊しかけているものも散見された。

ただし、一部形状が良好なものや、東京国立博物館に所蔵されているもの(東京国立博物館イメージサーチ で閲覧した写真資料)が存在するため、まずはそれらを参考にし、個体復元・接合検討・分類作業を行った。

3.2.小札の分類方法について

小丸山古墳より出土した小札は、①縦断面形の湾曲の有無、②頭部形状、③威孔列、④第3威孔の有無、⑤ 綴孔数、⑥下搦孔数、⑦法量、これら計7項目より、合計9種の小札に分類した。分類項目および模式図につ いては図3-1を参照。

ただし、小札の小破片などについては、必ずしもすべて分類可能なわけではなかった。そのため、候補を絞り込むまでの状態のものや細片のため分類不可であったものがある。

3.3.各小札の構造と特徴

小丸山古墳の小札甲は、複数段の小札列が銹着した状態で遺存していないので、各小札の使用部位を断定す るにはやや根拠を欠くところも少なくない。また、小札甲の検討に用いられる威・綴・覆輪といった各技法に ついても明確に遺存する箇所がほとんどなく、皮革を用いていること以上の詳細な技法は確定できない。

だが、それぞれに遺存する有機質・錆痕跡・類似資料からの情報を基にすれば、各小札の使用部位を推定で きるところもある。それぞれの小札の特徴を挙げ、小丸山古墳出土小札甲について検討を試みた。

なお、本節における小札の点数は、複数枚がさび付いていたとしても1個体であれば1点と数える。枚数表 記については、10枚が1個体に銹着していたとしても10枚と数える。

A1小札 10点が確認できる。完形2枚、頭部含む破片1枚、札足含む破片9枚で、11枚程度が存在するものと思われる。

完形の個体が存在し、複数枚の小札が綴じられている。小札甲などに使用されていてもおかしくないもので あるが、枚数が著しく少ないため主要な小札とは考えにくい。他の小札と合わせて小札甲の一部に使用された ものなのであろうか。

A2小札 7点が確認できる。ほぼ完形が2枚、頭部含む破片が1枚、札足含む破片1枚、中位破片3枚で、 すべて小札中央の第3威孔を含んでいるため、7枚程度が存在するものと思われる。遺存状況の良好な5-8 な ど、第3威孔の位置が明らかにA1類小札と異なる。A1類小札と同じく遺存枚数が著しく少ないため、使用 部位については不明である。

B1小札 70 点が確認できる。完形1枚、頭部含む破片が30枚、札足含む破片32枚、中位破片4枚で、33 枚程度が存在するものと思われる。

平札のうち最も全長の長い小札で、すべて頭部から札足にむけて幅が狭くなるという特徴を有している。

有機質や構造など、特徴的な様相は特に見出すことができず、部位を特定することは困難である。ただし、 枚数は比較的多く、小札甲を構成する主要な小札であろうと思われる。他の小札との関係性を考えると、長側 小札の候補とみられる。詳細はE類小札を参照。

湾曲の有無				なし			<i>N</i>	ā	, Ŋ
威孔列	1	列		2 列			$1 $ $M + \alpha$	2 列	不明
第3威孔	1	孔		2 孔		なし	2 7 1.	2 孔	不明
綴孔数	8	₹L		8 孔			4 7 L	8 FL	不明
下搦孔数	2	孔	2 孔			2 孔	2 7L	2孔	不明
法量 (cm)	8.7×2.5	8.4×2.5	9.9×2.6	9.2×2.6	7.7×2.6	8.0×2.4	9.2×3.9	$-\times 2.5$	-×2.0
模式図	0 00 0 0 0 0 0 0 0 0 0				00 000 00 00 000 00 0		0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	000 000 0 0 000 000 0	
分類	A I 類	A 2 類	B1類	B 2 類	B 3 頻	B4類	C 類	D 類	E 類
推定部位	不明	不明	長側	堅上	草摺	草摺裾札	堅上 脑部周辺	腰札	脇下か
推定枚数	11 枚以上	7枚以上	33 枚以上	42枚以上	53 枚以上	27 枚以上	8枚以上	26 枚以上	7枚以上

図3-1. 小札の分類と模式図

4

B2類小札 97 点が確認できる。完形0枚、頭部含む破片42枚、札足含む33枚、中位23枚で、42枚程度が存在するものと思われる。

1-48・1-52・3-35の接合個体および 3-6、6-4、6-43の頭部裏面において、布が綴じられている状態で遺存 していることが確認された。この布は、小札甲の竪上最上段に綴じ付けられるワタガミであると推察される。 このことから、B 2 類小札は竪上最上段に使用されていたことは確実視できる。また、逆にワタガミが綴じ付 けられていない個体も多く存在する。そのため、竪上周辺にこの類型の小札が使用されていたものと思われる

B2類小札は、下すぼまりになるものと上すぼまりになるものとの2者が混在するが、3-6、6-4、6-43では 下すぼまりの小札が、1-48・1-52・3-35の接合個体では上すぼまりの小札がそれぞれ竪上最上段に併用されて いる。両者は異なる部位ではなく、同じ小札列内で使用されていた可能性も十分に考えられる。両者の綴孔・ 威孔の配置は極めて近しいもので、同じ小札列を構成することも可能であることもこのことを裏付ける。

B3類小札 96 点が確認できる。完形 10 枚、頭部含む破片 40 枚、札足含む破片 43 点、中位破片 11 枚で、 53 枚程度が存在するものと思われる。

頭部から札足に行くにしたがって幅が広くなっているもので、上すぼまりになっている。B2類小札と同じ く点数が比較的多く、小札甲を構成する主要な小札であろうと思われる。後述するB4類小札と近しい構造を 呈しており、このB3類小札もこれと近しい部位に使用されているものと推定される。草摺に使用される小札 の候補として挙げられる。

B4類小札 52 点が確認できる。完形6枚、頭部含む破片13枚、札足15枚、中位破片21枚で、27枚程度が存在するものと思われる。

札足に穿たれた下搦孔の上に、1孔が穿たれている点が特徴と言える。2-34 などではこの穿孔の近くに革帯の痕跡が見て取れ、札足には下搦を施したのちに革包覆輪を施していたようである。この点を考えるのであれば、B4類小札は、小札甲の裾端部、いわゆる草摺裾札に使用されていた可能性が高い。

また、4-14+5-1 と 4-15 には、小札の中央軸上に孔が穿たれている(図 3 - 2)。これは、小札側辺の覆輪も しくは引合緒の取り付け孔などの用途が想定されるが、いずれもその痕跡などは見られない。



図3-2. B4類小札の特殊な穿孔

図3-3. 飛鳥寺出土小札甲の脇部小札実測図

C類小札 13点が確認できる。完形3枚、頭部含む破片3枚、札足含む破片2枚、中位破片5枚で、8枚程度が存在するものと思われる。

B2類小札と直接綴じられているものが存在する(1-49+5-18、1-48+1-52+3-35)。このうち、1-48+1-52+3-35 では頭部裏面においてワタガミの綴じ付けが認められることから、一部が堅上最上段に使用されていたことが 確実視できる。一方で、B2類小札同様にワタガミの綴じ付けが認められないものも存在する。

C類小札は、模式図右側ではB2類小札と同様の穿孔が認められるが、同左側では等間隔に孔が穿たれてい

 $\mathbf{5}$

る状態であり、等間隔の穿孔には他の小札が重なった痕跡などは見られない。つまり、小札列のはじ(端部) を構成していた可能性が高いとみられる。

このC類小札と似た小札は、古墳時代の出土事例では希薄であるが、奈良県飛鳥寺塔心礎内出土小札甲の竪 上脇部周辺に使用されている(図3-3)。飛鳥寺例の場合、脇部周辺にこのような特殊な小札を使用すること で、甲本体に筒状の肩甲を連結したものであった(図3-4)。C類小札については、現状で竪上最上段とその 近い部位で、小札列の端部に用いられていたものと考えられるため、飛鳥寺例と矛盾しない。竪上の脇部周辺 に用いられた小札と考えるのが妥当であろうと思われる。





図3-4. 飛鳥寺出土小札甲

図3-5. E類小札とB1類小札の穿孔位置

D類小札 71 点が確認できる。完形0枚、頭部含む破片26枚、札足含む破片9点で、中位は細片化している。26枚程度が存在するものと思われる。

縦断面形が「く」の字形に湾曲した小札で、小札甲の腰部を構成する腰札である。

頭部形状は、B1類もしくはB2a類のように両端が張る形状で、威孔が2列穿たれるが、草摺を垂下する 第3威孔は1孔が穿たれるのみである。

また、綴孔は3孔を一組として穿っており、そのうちの真ん中の孔は、綴紐を2本通すためであろうか、や や大きな孔としてるものが散見される。

腰札が、Ω(オメガ)字形ではなく、明瞭な屈曲をもたない「く」の字形である点は、飛鳥寺例とも同じである。

E類小札 7点が確認できる。完形0枚、頭部含む破片7枚で、7枚程度が存在するものと思われる。

完形の小札が存在せず、頭部のみを外側に屈曲させる特異な形状を呈する。頭部には21、屈曲部下に21、 を配する。綴孔は現状で2か所に認められ、その下に威孔が配される状態である。穿孔配置も他の小札とは異 なっている。

こうした事例はほとんど知られていないが、先に掲げた奈良県飛鳥寺出土小札甲では脇部下にこれと似た小 札を用いている。これは、脇部周辺の小札とともに腕甲を威すための構造をもつものとみられる。飛鳥寺出土 例を参考にすると、脇部下の小札は脇部下以外の長側の小札よりも全長が長く、頭部が突出する形になる。こ うした形状が異なる小札を組み合わせて小札列を組む際には穿孔の位置を合わせる必要があるが、E類小札の 穿孔はB1類小札の穿孔と同じ間隔で配置されている箇所があり(図3-5)、直接的に組み上げることが可能 である。こうした点を踏まえるならば、B1類小札は長側の大部分に、E類小札は長側脇部下に、それぞれ使 用されていたものと推測される。 3. 4. 小丸山古墳出土小札甲の構造について

以上の検討により、小丸山古墳より出土した小札甲については、大まかではあるが各部位に使用された小札 を想定することができた(図3-6)。まとめてみると以下の通りである。

- ・竪上・・・・・B2類小札
- ・竪上脇部周辺・・C類小札
- ・長側・・・・B1類小札
- ・長側脇部下・・・E類小札
- ・長側腰部・・・・D類小札
- ・草摺・・・・・B3類小札
- ・草摺裾札・・・B4類小札

A1類・A2類小札については、枚数が少なく、他 の小札との銹着関係が不明であるため、積極的に部位 を想定することは困難であった。他の小札と合わせて 使用されていた可能性も十分に考えられるだろうが、 具体的な根拠を欠く。

小丸山古墳と飛鳥寺の小札甲 本事例を扱う際に 度々触れた奈良県飛鳥寺塔心礎内出土小札甲は、きわ めて構造が良好な事例であり、同時代の甲冑資料を復 元・検討するには貴重な存在と言える。特に小丸山古 墳出土小札甲に使用される小札との共通点も多いこと は、注目に値すると言えるだろう。

飛鳥寺例は、小札甲と肩甲が一体の構造となってい る点で、脇部周辺に特殊な小札を配している。小丸山 古墳でも同様の構造を呈しているため、小札甲の付属 具として肩甲が伴っていてもおかしくない。だが、鉄 製小札として肩甲を構成する部材がないことや、肩甲 を垂下した威紐が遺存していないため、現状では不明 であるとせざるを得ない。有機質製小札で構成された 肩甲を装着していた可能性も想定できるが具体的な根 拠を欠く。

だが、飛鳥寺例でみられた小札甲の構造が、その1 例にのみ採用された特殊な構造ではないこと確認でき た意義は大きい。奈良県藤ノ木古墳出土小札甲などか

小丸山古墳 飛鳥市塔心礎内 板上 10.1112/06 ADM NO. 11 ŀ 開催下 拉相 (SIRTING)

図3-6. 小丸山古墳例と飛鳥寺例の各部位の比較

らモデルチェンジした最新式の飛鳥寺出土小札甲に用いられた技術が、小丸山古墳出土小札甲にも採用されて いたわけである。そのことは、小丸山古墳の被葬者がこの小札甲を入手しえた背景や政治的役割を考える上で 重要な視点ともなりえるだろう。 4. 有機質微小部観察

小札、大刀装具等、鉄鏃、鈴、馬具について、付着有機質を拡大観察した(表1-2)。

4.1.原理

目視及びX線調査により、資料に付着する有機質箇所を推定した。推定箇所をマイクロスコープで拡大観察し、有機質情報を記録した。

4.2.方法

マイクロスコープ【ハイロックス KH-1400M、レンズ MXG-2016Z】を用いた。

4.3.結果と考察 ①No.1 小札



図4-1. 小札 No.1 (裏面) 付着有機質観察個所

観察個所 1-a と 1-b では、上下に交差する糸の流れが観察され(図4-2、4-3)、平織の布が小札裏面に 使用されていたと考えられた。



図4-2. 観察個所 1-a の拡大画像(左:側面、右:正面(以降、記載がない場合は正面))



図4-3. 観察個所1-bの拡大画像

②No.3 小札



図4-4. 小札 No.3 (裏面) 付着有機質観察個所

観察個所 3-a では、上下に交差する糸の流れや布断面が観察され(図4-5、4-6)、平織の布が小札裏面 に使用されていたと考えられた。



図4-5. 観察個所 3-a の拡大画像(左:全体、右:繊維拡大)



図4-6. 観察個所 3-a 布断面の拡大画像



図4-7.小札 No.6(裏面)付着有機質観察個所

観察個所 6-a では、布の痕跡と思われる黄褐色の付着物が観察され、6-b では上下に交差する糸の流れが観察され(図4-8)、平織の布が小札裏面に使用されていたと考えられた。

観察個所 6-c、6-d、6-e では、上下に交差する糸の流れが観察され(図4-9)、平織の布が小札裏面に使用 されていたと考えられた。布の織り密度は 38×23本(経緯糸は不明で 1cm あたり)であった。



図4-8. 観察個所 6-a と 6-b の拡大画像(左:6-a、右:6-b)

③No.6 小札



図4-9. 観察個所 6-c、6-d、6-eの拡大画像

④No.16 鍔



図4-10. No.16 付着有機質観察個所(左:16-2、右:16-1)

観察個所 16-a では、鍔付着の有機質は木質の木口面が観察された(図4-11)。放射組織と導管が観察され、広葉樹であると考えられた。鍔内面に付着することから、柄木は広葉樹が用いられたと考えられた。 観察個所 16-b では、鍔付着の有機質は木質の木口面が観察された(図4-11)。放射組織と導管が観察され、広葉樹であると考えられた。鍔内面に付着することから、柄木は広葉樹が用いられたと考えられた。 観察個所 16-c と 16-d では、布の痕跡と思われる黄褐色の付着物が観察された(図4-12)。



図4-11. 観察個所 16-a と 16-b の拡大画像(左: 16-a 広葉樹、右: 16-b 広葉樹)



図4-12. 観察個所 16-c と 16-d の拡大画像(左: 16-c 布痕跡、右: 16-d 布痕跡)

⑤No.17 鉄鏃



図4-13. No.17 付着有機質観察個所

観察個所 17-a では、糸痕跡が観察され、観察個所 17-b では、布痕跡が観察された(図4-14)。

観察個所 17-c では、交差する糸(樹皮の痕跡とも考えられる)が観察され、観察箇所 17-d では、糸巻きが 観察された(図4-15)。

観察個所 17-e では、木質上の樹皮が観察され、観察個所 17-f では、木質断面に維管束の分布(維管束は柔 組織中に散在し不斉中心として存在する)が確認できることから付着する木質はタケ亜科とした(図4-16)。

観察個所 17-g では、織密度は不明瞭だが布が観察され、観察箇所 17-h では、糸巻きが観察された(図4-17)。

観察個所 17-i では、糸巻き上に有機質の痕跡が観察され、観察箇所 17-j では、糸巻き上に木質が観察された(図4-18)。

観察個所 17-k では、糸巻き上に木質が観察され、観察箇所 17-l では、糸巻き上に有機質の痕跡が観察された(図4-19)。

観察個所 17-m では、織密度は不明瞭だが布が観察され、観察箇所 17-n では、糸巻き上に木質と樹皮が観察 された(図4-20)。

観察個所 17-o では、糸巻き上に木質が観察され、観察箇所 17-p では、糸(樹皮の痕跡とも考えられる)が

観察された (図4-21)。

観察個所 17-q では、木質上に布(織密度は不明)が観察され、観察箇所 17-r では、木質断面に維管束の分 布が確認できることから付着する木質はタケ亜科とした(図4-22)。

観察個所17-sでは、糸(樹皮の痕跡とも考えられる)が観察された(図4-23)。



図4-14. 観察個所 17-a と 17-b の拡大画像(左: 17-a 糸痕跡、右: 17-b 布痕跡)



図4-15. 観察個所 17-c と 17-d の拡大画像(左: 17-c 糸、右: 17-d 糸)



図4-16. 観察個所 17-e と 17-f の拡大画像(左: 17-e 木質・樹皮、右: 17-f 木質断面)



図4-17. 観察個所 17-g と 17-h の拡大画像(左:17-g 布、右:17-h 糸)



図4-18. 観察個所 17-iと17-jの拡大画像(左:17-i糸・有機質、右:17-j糸・木質)



図4-19. 観察個所 17-k と 17-l の拡大画像(左: 17-k 糸・木質、右: 17-l 糸・有機質)



図4-20. 観察個所 17-m と 17-n の拡大画像(左: 17-m 布痕跡、右: 17-n 糸木質樹皮)



図4-21. 観察個所 17-o と 17-p の拡大画像(左: 17-o 糸木質、右: 17-p 糸)



図4-22. 観察個所 17-q と 17-r の拡大画像(左: 17-q 木質上布、右: 17-r 木質断面)



図4-23. 観察個所 17-s 糸の拡大画像

⑥No.21-2 鈴



図4-24. No.21-2 鈴観察個所

観察個所 21-2 では、布の痕跡が観察された(図4-25)。



図4-25. 観察個所 21-2 の拡大画像(左: a 箇所、右: b 箇所、布痕跡)

⑦No.22 馬具



図4-26. No.22 馬具観察個所(左から、No.22-12、22-18、22-20)

観察個所 22-a、22-b、22-c では、布の痕跡が観察された。22-d では、錦が観察された。22-e では残存が少なく不明確であるが、緩い撚りで目が粗い平織の布 (複層の可能性もある) が観察された (図 $4 - 27 \sim 29$)。



図4-27. 観察個所 22 の拡大画像(左: 22-a 箇所、右: 22-b 箇所)



図4-28. 観察個所 22 の拡大画像(左: 22-c 箇所、右: 22-d 箇所)



図4-29. 観察個所 22 の拡大画像(22-e 箇所)

5. 蛍光X線分析 (XRF)

蛍光X線分析法により、大刀装具等、鈴、馬具、梔子形空玉、耳環、ガラス玉の定性成分分析等を行った(表 2-1)。

5.1.原理

蛍光X線分析法は、試料の微小領域にX線を照射し、その際に試料から放出される各元素に固有の蛍光X線 を検出することにより元素を同定する分析法である。

5.2.方法

エネルギー分散型蛍光X線分析装置【日立ハイテクサイエンス EA6000VX】を用いて、大気中で3 通りの コリメータ(0.2×0.2、0.5×0.5、1.2×1.2mm)と50kVの管電圧で120秒間測定(定性分析)した。

また、ガラス玉についてはヘリウムガス雰囲気中で 1.2×1.2mm コリメータと 15、50kV の管電圧で 300 秒 間測定し、標準試料を用いない FP 法(ファンダメンタル・パラメータ法)による定量計算を行った。

なお、X線管球はロジウム(Rh)である。

5.3.結果と考察

①大刀装具等3点(No.16-1、16-2、22-5)

象嵌の存在が予想される大刀装具等(図5-1)について XRF による測定を行ったところ、分析箇所から 表5-1に示した元素を検出した。

No.16-1 は側面部の劣化が著しく、毛羽立ったような白色部分(図5-1左の〇印)から鉄(Fe)と銀(Ag)を検出した(図5-11)ことから銀象嵌の存在が推測された。

No.16-2の側面部には白味のあるうねった溝の痕跡があり(図5-1中)、鉄、銅(Cu)、銀を検出した(図 5-12)ことから銀象嵌の可能性があった。

No.22-5の側面には象嵌があり(図5-1右)、象嵌部分(分析箇所 a)からは鉄・銅・銀・金(Au)(図5-13)、地金部分(分析箇所 b)からは鉄を検出した(図5-14)ことから、銀象嵌を確認した。



図5-1.小丸山古墳出土大刀装具等の分析箇所(左から、No.16-1、16-2、22-5)

表5-1. 小丸山古墳出土大刀装具等(No.16-1、No.16-2、No.22-5)の XRF 検出強度(cps)

	元実			#16-1	#16-2	#22-	5	$P \cap \downarrow (k_0)()$
	儿 糸		112			а	b	
26	Fe	鉄	Κα	1581.309	232.886	54.491	9640.104	6.23- 6.57
29	Cu	銅	Κα	4.775	10.735	66.129	-	7.86- 8.23
47	Ag	銀	Κα	105.930	478.254	1299.568	-	21.84-22.37
79	Au	金	Lα	_	-	107.894	-	9.51- 9.90
		推定	材質	銀象嵌	銀象嵌	銀象嵌	鉄 地	

②鈴4点(No.21-1~4)

No.21-1 (図 5 - 2 左端) と No.21-2 (図 5 - 2 左から 2 番目) は形状が似る。XRF による測定で全ての分 析箇所から鉄、銅、ヒ素 (As)、銀、スズ (Sn)、アンチモン (Sb)、鉛 (Pb) を検出した (表 5 - 2、5 - 3、 図 5 - 1 5 ~ 5 - 2 4) ため、これらは青銅製であると考えられた。

No.21-3 (図5-2 左から3番目)は前二者とは形状が異なる。全ての分析箇所から鉄、銅、ヒ素、スズ、 鉛を検出した(表5-4、図5-25~5-27)ことから、前二者とは原料が異なる青銅製と考えられた。

No.21-4 (図5-2右端)の分析箇所からは、鉄、銅、ヒ素、銀、スズ、アンチモン、金、鉛を検出した(表 5-5、図5-28、5-29)。金色部分からは金を検出したが水銀は検出できなかった。鍍金や金箔などの可能性があった。図5-2の矢印部分の金の層は約30 μ mだった(図5-3)。



図5-2. 小丸山古墳出土鈴の分析箇所(左から、No.21-1~4)



図5-3. No.21-4 表面金層(図2右上矢印部分)の拡大像

			ライン	身下半	横帯	身上半	鈕	鈕と身上	∟半の境	ROI(ke\/)
	765	R	712	а	b	с	d	e	f	(KOI(KCV)
26	Fe	鉄	Κα	3036.222	2376.490	15933.076	2557.372	2711.582	1127.693	6.23- 6.57
29	Cu	銅	Κα	109382.689	88257.413	60813.270	84776.198	94506.820	32341.032	7.86- 8.23
33	As	ヒ素	Κα	10895.126	21373.861	28842.752	22859.044	16406.296	3411.087	10.33-10.73
47	Ag	銀	Κα	194.020	376.642	456.664	288.483	315.785	75.736	21.84-22.37
50	Sn	スズ	Κα	1330.712	3060.100	3495.992	2221.930	2124.710	537.096	24.91-25.47
51	Sb	アンチモン	Κα	125.514	229.998	255.858	180.805	165.118	45.718	25.99-26.56
82	Pb	鉛	Lα	10906.941	21398.200	28876.876	22888.067	16433.164	3414.268	10.34-10.74
		推测	定材質			青	銅			

表5-2. 小丸山古墳出土鈴(No.21-1)の XRF 検出強度(cps)

表5-3. 小丸山古墳出土鈴 (No.21-2)の XRF 検出強度 (cps)

	元言	E.	ライン	身下半	横帯	身上半	鈕	ROI(keV)
	,0,	IS	515	а	b	с	d	
26	Fe	鉄	Κα	1695.664	1792.634	2206.088	1803.687	6.23- 6.57
29	Cu	銅	Κα	80530.639	83566.155	72149.276	80007.730	7.86- 8.23
33	As	ヒ素	Κα	21707.664	19271.647	24831.048	21473.565	10.33-10.73
47	Ag	銀	Κα	473.969	548.232	626.133	563.150	21.84-22.37
50	Sn	スズ	Κα	3789.503	5333.967	5758.577	4945.199	24.91-25.47
51	Sb	アンチモン	Κα	262.082	307.053	357.582	336.557	25.99-26.56
82	Pb	鉛	Lα	21739.942	19298.562	24875.325	21514.654	10.34-10.74
推定材質					青	銅		

表5-4. 小丸山古墳出土鈴(No.21-3)の XRF 検出強度(cps)

	元素		= ~ .	身上半	身上半	鈴口端部	BOI(ka)/)
76 .		712	а	b 白色	с	ROI(KEV)	
26	Fe	鉄	Κα	1641.122	1768.918	2311.694	6.23- 6.57
29	Cu	銅	Κα	106891.943	90409.972	106043.047	7.86- 8.23
33	As	ヒ素	Κα	9414.753	13241.639	9528.707	10.33-10.73
50	Sn	スズ	Κα	3032.857	6644.259	3431.053	24.91-25.47
82	Pb	鉛	Lα	9431.055	13263.273	9542.475	10.34-10.74
推定材質			青銅				

表5-5. 小丸山古墳出土鈴(No.21-4)の XRF 検出強度(cps)

		ŧ.	= 4	身下半	身下半	
	π;	統	717	a 金色	b 緑色	ROI(KeV)
26	Fe	鉄	Κα	5894.705	1431.284	6.23- 6.57
29	Cu	銅	Κα	112459.652	123696.877	7.86- 8.23
33	As	ヒ素	Κα	7200.542	4400.742	10.33-10.73
47	Ag	銀	Κα	176.960	161.653	21.84-22.37
50	Sn	スズ	Κα	1807.771	2148.921	24.91-25.47
51	Sb	アンチモン	Κα	132.014	129.772	25.99-26.56
79	Au	金	Lα	1853.724	301.991	9.51- 9.90
82	Pb	鉛	Lα	7210.707	4408.333	10.34-10.74
推算			定材質	金箔?	青銅	

③馬具9点(No.20-1-3、20-1-4、20-1-20、22-11-1、22-12、22-16、22-17、22-18、22-19)

- i) No.20-1-3、20-1-4、20-1-20(図5-4)、22-17(図5-6)の分析箇所からは XRF 測定で表5-6と表5-8に示した元素を検出した。
 No.20-1-3の金色部からは金と水銀、緑色部からは銅を強く検出した(図5-30、5-31)。No.20-1-4、
 No.20-1-20、No.22-17の金色部からは主に銅、金、水銀を検出した(図5-32、5-33、5-40、5-41)。したがって、いずれも銅地に鍍金が施されたものと考えられた。
- ii) No.22-11-1、22-12(図5-5)、22-18、22-19(図5-6)の分析箇所からはXRF測定で表5-7と表5-8に示した元素を検出した。
 No.22-11-1には付属する責金具に白色付着物があり、XRF測定で主として銀を検出した(図5-34)。
 地金からは鉄を検出した(図5-35)ことから鉄製責金具に銀を巻いたものと考えられた。No.22-12、22-18の鋲頭には白色付着物の痕跡があり、銀を強く検出した(図5-36、5-42、5-43)ことから鉄製鋲の頭に銀を被せたものと考えられた。No.22-19からは銀を強く検出した(図5-44)ことから、形状から見て責金具に巻いた銀が残存した可能性があった。
- iii) No.22-16(図5-5)の分析箇所からは XRF 測定で鉄、銅、銀、金を検出した(表5-7)。
 金色部分(図5-5右の分析箇所 a)からは金、緑色部分(図5-5右の分析箇所 b)からは銅、茶色部分(図5-5右の分析箇所 c)からは鉄をそれぞれ強く検出した(図5-37、5-38、5-39)ことから鉄地金銅装の可能性があった。



図5-4. 小丸山古墳出土馬具の分析箇所(左から、No.20-1-3、20-1-4、20-1-20)



図5-5.小丸山古墳出土馬具の分析箇所 (左から、No.22-11-1、22-12、22-16、22-16 白四角部分の拡大図)



図5-6.小丸山古墳出土馬具の分析箇所(左から、No.22-17、22-18、22-19)

	元志		=	No.20-	1-3	No.20-1-4	No.20-1-20	$P \cap I(k_0)$
	兀茶		112	a 金色	b 緑色	金色	金色	n o i (kev)
26	Fe	鉄	Κα	1314.929	58.673	12925.835	31836.679	6.23- 6.57
29	Cu	銅	Kα	724.587	4358.452	115824.745	104469.532	7.86- 8.23
47	Ag	銀	Kα	3.522	-	147.138	_	21.84-22.37
79	Au	金	Lα	203.379	_	5798.94	2655.669	9.51- 9.90
80	Hg	水銀	Lα	74.197	_	2242.031	1085.609	9.78-10.18
		ł	隹定材質	鍍金	銅地	金銅 装	金銅 装	

表5-6. 小丸山古墳出土馬具(No.20-1-3、20-1-4、20-1-20)のXRF検出強度(cps)

表5-7.小丸山古墳出土馬具(No.22-11-1、22-12、22-16)のXRF検出強度(cps)

	_ = =		= < >	No.22-	11-1	No.22-12		No.22-16		
	儿弟		717	a 白色	b 茶色	白色	a 金色	b 緑色	c 茶色	h O T (kev)
26	Fe	鉄	Κα	5029.33	140027.334	4755.258	737.584	539.656	8555.162	6.23- 6.57
29	Cu	銅	Kα	1195.924	—	200.325	480.84	7971.208	759.293	7.86- 8.23
47	Ag	銀	Kα	48283.064	—	6251.018	11.525	11.369	9.971	21.84-22.37
79	Au	金	Lα	-	-	-	2322.52	727.801	62.994	9.51- 9.90
83	Bi	ビスマス	Lα	-	_	132.822	-	_	_	10.62-11.03
		推	宦材質	銀張	鉄 地	鉄鋲 銀被せ	鍍金	銅板	鉄 地	

表5-8. 小丸山古墳出土馬具(No.22-17、22-18、22-19)の XRF 検出強度(cps)

元素		= 1 1	#22-1	17	#22-1	8	#22-19	$P \cap I (k \circ) $	
	儿杀		747	a 金色	b 金色	a 白色	b 白色	銀色	n O I (kev)
26	Fe	鉄	Κα	8508.25	101.46	54342.343	464.306	572.365	6.23- 6.57
29	Cu	銅	Κα	55810.233	3402.058	371.397	17.452	201.768	7.86- 8.23
47	Ag	銀	Κα	56.235	3.4	667.861	268.637	8112.364	21.84-22.37
50	Sn	スズ	Κα	-	-	103.907	_	-	24.91-25.47
79	Au	金	Lα	657.405	146.752	_	_	-	9.51- 9.90
80	Hg	水銀	Lα	251.034	-	_	_	-	9.78-10.18
		捎	主定材質	鍍金	鍍金	鉄鋲 銀衫	波せ	銀	

④梔子形空玉(No.22-13)

No.22-13 梔子形空玉(図5-7)からは鉄、銅、銀、金、水銀を検出した(表5-9)。

接合部を含む表面(図5-7の分析箇所 a、b、c)からはいずれも銀、金、水銀を強く検出した(図5-4 5、5-46、5-47)のに対し、破断面(図5-7の分析箇所 d)からは銀を強く検出した(図5-48) ことから、銀板を半球形に整形して接合した後、鍍金を施した可能性があった。



図5-7.小丸山古墳出土梔子形空玉(No.22-13)の分析箇所

表5-9.	小丸山古墳出土梔子形空玉	(No.22-13)	の XRF 検出強度	(cps)
-------	--------------	------------	------------	-------

元素			ライン					
				а	b 接合部	С	d 破 断 面	RUT(Kev)
26	Fe	鉄	Κα	738.609	551.701	473.465	29.349	6.23- 6.57
29	Cu	銅	Κα	970.138	935.563	940.671	12.444	7.86- 8.23
47	Ag	銀	Κα	19152.904	17600.828	14422.559	591.210	21.84-22.37
79	Au	金	Lα	44253.837	47696.561	51656.749	89.908	9.51- 9.90
80	Hg	水銀	Lα	20180.047	22867.181	22958.229	188.308	9.78-10.18
推定材質				鍍金		銀板		

⑤耳環(No.20-2-15 耳環)

No.20-2-15 耳環(図5-8)からは鉄、銅、銀、金、水銀、鉛を検出した(表5-10)。

金色部分からは金を強く、緑色部分からは銅を強く検出した(図5-49、5-50)ことから、銅芯に約 $60 \mu m$ の金の層があった(図5-8左から2番目)。ただし、接面の劣化が進んでいたためどのような技法で製作されたか分からなかった。



図5-8.小丸山古墳出土金属製品(No.20-2-15 耳環)の分析箇所(左端)と 青矢印部拡大図(左から2番目)、接面拡大図(左から3番目:赤矢印、右端:黒矢印)

	元志		= 1 1	No.20-2	$P \cap \downarrow (k \circ) ()$	
儿亲			112	a 金色	b 緑色	h O T (kev)
26	Fe	鉄	Κα	275.651	1025.456	6.23- 6.57
29	Cu	銅	Κα	4019.113	58436.975	7.86- 8.23
47	Ag	銀	Κα	5096.22	52.649	21.84-22.37
79	Au	金	Lα	5775.779	66.63	9.51- 9.90
80	Hg	水銀	Lα	1563.234	_	9.78-10.18
82	Pb	鉛	Lα	_	95.317	10.34-10.74
		推定	材質	鍍金	銅芯	

表5-10. 小丸山古墳出土耳環(No.20-2-15)の XRF 検出強度(cps)

⑥ガラス玉 (No.20-2-2-7~20-2-2-13、No.20-2-14-1~20-2-14-13)

計 20 個体のガラス玉 (図 5 - 9、5 - 10) について XRF にて定性分析を行ったところ、主として、ナト リウム (Na)、マグネシウム (Mg)、ケイ素 (Si)、カリウム (K)、カルシウム (Ca)、チタン (Ti)、マンガ ン (Mn)、鉄、コバルト (Co)、銅、亜鉛 (Zn)、鉛を検出した (図 5 - 5 1 ~ 5 - 5 7)。

つぎに、各元素の酸化物重量を基準とする標準試料を用いない FP 法による簡易定量計算を行った(表5-11)。全てのガラス玉において酸化ナトリウムや酸化マグネシウム、酸化カリウムなどのアルカリ成分を多く含む(Na₂O:5~15wt%、MgO:1~5wt%、K₂O:1~2wt%)のに対し、酸化鉛が少ない(PbO:~1.3wt%) ことからアルカリ珪酸塩ガラスであると考えられた。さらに、酸化アルミニウムを多く含む(Al₂O₃:5~13wt%) ことから、高アルミナソーダ石灰ガラス(Na₂O-Al₂O₃-CaO-SiO₂系)に分類されると考えられた。

さらに、検出元素の色、気泡、透明度、端面の形状、法量等の特徴を表にまとめた(表5-12)。色は紺色 と緑色があり、濃い色(紺色)のガラス玉にコバルトを多く含む傾向が見られた。緑色のガラス玉から検出さ れたマンガン、コバルト、銅の量は青色系ガラス玉に比べて少なかった。

ガラス玉は、気泡が内孔に平行で、端面が平らに削られた<u>分類a</u>(No.20-2-2-7、20-2-2-8、20-2-14-6~20-2-14-9、20-2-14-11~20-2-14-13)、マンガン、コバルト、鉛を比較的多く含み、気泡が少数の<u>分類 b</u>(No.20-2-2-9、20-2-14-2、20-2-14-4)、緑色透明の<u>分類 c</u>(No.20-2-2-12、20-2-2-13)、気泡が多数散在する<u>分類 d</u>(No.20-2-14-1、20-2-14-3)、気泡が内孔に直交する<u>分類 e</u>(No.20-2-2-10)、その他(No.20-2-2-11、20-2-14-5、20-2-14-10) に分けることができた。

製作技法を推定したところ、分類 a、b、c は引伸し法(b、c は気泡の観察が不十分のため確度が低い)、d は鋳型法、e は巻付け法、その他のうち、No.20-2-14-5 は引伸し法、No.20-2-14-10 は鋳型法と推定された。 ただし、No.20-2-2-11 は色が濃く、大きいため観察が困難だった。



図5-9. 小丸山古墳出土ガラス玉(左から No.20-2-2-7~13)



図5-10.小丸山古墳出土ガラス玉(左:左上から時計回りに No.20-2-14-1~13、 右:X線写真(上段左から No.20-2-14-1~13、下段左から No.20-2-2-7~13)

表5-11. 小丸山古墳出土ガラス玉 (No.20-2-2-7~20-2-2-13、No.20-2-14-1~20-2-14-13) の FP 法による定量値(重量百分率(wt%))(表5-12の分類別に色分け)

	Na2O	MgO	AI2O3	SiO2	K2O	CaO	TiO2	MnO	Fe2O3	CoO	CuO	ZnO	PbO
#20-2-2-7	9.53	3.01	7.67	70.91	1.80	3.66	0.16	0.34	2.39	0.10	0.19	0.05	0.19
#20-2-2-8	11.67	3.41	10.12	65.67	1.79	4.04	0.33	0.19	2.40	0.08	0.13	0.04	0.12
#20-2-2-9	5.43	1.22	6.40	76.01	1.96	4.24	0.13	0.50	2.37	0.12	0.25	0.04	1.34
#20-2-2-10	7.65	3.43	6.28	73.99	1.88	3.46	0.39	0.17	2.29	0.09	0.15	0.03	0.20
#20-2-2-11	11.35	1.31	12.52	66.84	1.65	1.38	0.46	0.54	2.40	0.01	1.20	0.03	0.31
#20-2-2-12	10.40	3.23	8.78	70.38	1.91	3.59	0.17	0.06	1.38	0.00	0.03	0.03	0.02
#20-2-2-13	14.81	4.47	8.78	65.07	1.27	3.78	0.27	0.06	1.40	0.00	0.03	0.04	0.02
#20-2-14-1	15.27	3.92	5.81	65.94	1.68	3.93	0.14	0.16	1.72	0.07	0.22	0.02	1.14
#20-2-14-2	5.78	1.22	6.53	75.30	1.06	4.34	0.12	0.66	3.04	0.18	0.29	0.04	1.45
#20-2-14-3	7.66	3.38	6.10	75.71	1.51	3.06	0.16	0.26	1.74	0.07	0.14	0.02	0.17
#20-2-14-4	4.70	1.25	5.80	77.48	1.24	4.62	0.23	0.77	2.37	0.11	0.23	0.03	1.16
#20-2-14-5	5.50	1.56	10.12	74.92	1.04	3.52	0.32	0.35	2.25	0.09	0.14	0.03	0.16
#20-2-14-6	8.27	2.93	7.10	72.59	2.16	3.77	0.16	0.30	2.26	0.09	0.17	0.03	0.17
#20-2-14-7	9.13	2.81	6.69	71.98	1.99	3.85	0.24	0.21	2.47	0.11	0.19	0.03	0.29
#20-2-14-8	7.25	2.96	7.05	74.22	1.93	3.69	0.26	0.27	1.96	0.08	0.18	0.03	0.14
#20-2-14-9	7.19	2.65	7.97	72.67	1.67	3.85	0.26	0.19	2.80	0.09	0.26	0.04	0.35
#20-2-14-10	6.81	2.44	6.42	75.79	1.35	3.30	0.30	0.38	2.44	0.15	0.25	0.04	0.33
#20-2-14-11	7.65	2.62	6.60	74.17	1.78	4.05	0.15	0.37	2.14	0.09	0.17	0.03	0.18
#20-2-14-12	8.88	4.43	6.09	73.78	1.56	2.88	0.16	0.14	1.66	0.07	0.16	0.03	0.16
#20-2-14-13	10.36	4.15	6.36	71.65	1.65	3.22	0.19	0.15	1.83	0.09	0.17	0.03	0.16

表5-12. 小丸山古墳出土ガラス玉 (No.20-2-2-7~20-2-2-13、No.20-2-14-1~20-2-14-13) の特徴による分類 (分類別に色分け)

	分類	色	透明度	気泡	端面	最大径	最大長	推定技法	備考
#20-2-2-7	а	紺	半透明	内孔に平行	平らに削る	7.6	5.0	引伸し法	
#20-2-2-8	а	紺	半透明	内孔に平行	平らに削る	10.6	7.5	引伸し法	
#20-2-2-9	b	紺	半透明	少数		10.9	10.0	引伸し法?	
#20-2-2-10	е	紺	半透明	内孔に直交		12.0	9.0	巻付け法	
#20-2-2-11	-	紺	半透明	-		11.1	11.4	-	観察困難
#20-2-2-12	с	緑	透明	少数	-	9.7	7.8	引伸し法?	
#20-2-2-13	с	緑	透明	少数		9.1	8.3	引伸し法?	
#20-2-14-1	d	紺	半透明	多数散在		11.2	9.1	鋳型法	
#20-2-14-2	b	紺	半透明	少数		10.8	9.1	引伸し法?	
#20-2-14-3	d	紺	半透明	多数散在		10.4	10.0	鋳型法	
#20-2-14-4	b	紺	半透明	少数		10.9	8.9	引伸し法?	
#20-2-14-5	-	紺	半透明	内孔に平行(捩れあり)		10.2	8.2	引伸し法	
#20-2-14-6	а	紺	半透明	内孔に平行	平らに削る	10.4	7.4	引伸し法	
#20-2-14-7	а	紺	半透明	内孔に平行	平らに削る	9.0	6.7	引伸し法	
#20-2-14-8	а	紺	半透明	内孔に平行	平らに削る	8.1	6.2	引伸し法	
#20-2-14-9	а	紺	半透明	内孔に平行	平らに削る	8.1	6.5	引伸し法	
#20-2-14-10	-	紺	半透明	多数散在		8.5	7.3	鋳型法	歪な形状
#20-2-14-11	а	紺	半透明	内孔に平行	平らに削る	7.7	5.2	引伸し法	
#20-2-14-12	а	紺	半透明	内孔に平行	平らに削る	7.3	5.9	引伸し法	
#20-2-14-13	а	紺	半透明	内孔に平行	平らに削る	7.3	5.1	引伸し法	

[XRF スペクトル]



図5-11. No.16-1分析箇所(図5-1左〇印)のXRFスペクトル



図5-12. No.16-2分析箇所(図5-1中〇印)のXRF スペクトル



図5-13. No.22-5 分析箇所 a (図5-1右)の XRF スペクトル



図5-14. No.22-5分析箇所b(図5-1右)のXRFスペクトル



図5-15. No.21-1 分析箇所 a (図5-2左)の XRF スペクトル



図5-16. No.21-1分析箇所b(図5-2左)のXRF スペクトル



図5-17. No.21-1分析箇所 c(図5-2左)の XRF スペクトル



図5-18. No.21-1分析箇所d(図5-2左)のXRFスペクトル



図5-19. No.21-1 分析箇所 e (図5-2左)の XRF スペクトル



図5-20. No.21-1 分析箇所f(図5-2左)のXRF スペクトル



図5-21. No.21-2 分析箇所 a (図5-2 左から2 番目)の XRF スペクトル



図5-22. No.21-2分析箇所b(図5-2左から2番目)のXRFスペクトル



図5-23. No.21-2分析箇所c(図5-2左から2番目)のXRFスペクトル



図5-24. No.21-2分析箇所d(図5-2左から2番目)のXRF スペクトル



図5-25. No.21-3分析箇所 a (図5-2左から3番目)の XRF スペクトル



図5-26. No.21-3分析箇所b(図5-2左から3番目)のXRF スペクトル



図5-27. No.21-3分析箇所c(図5-2左から3番目)のXRFスペクトル



図5-28. No.21-4分析箇所a(図5-2右)のXRF スペクトル



図5-29. No.21-4 分析箇所b(図5-2右)のXRFスペクトル



図5-30. No.20-1-3分析箇所 a (図5-4左)のXRF スペクトル



図5-31. No.20-1-3分析箇所b(図5-4左)のXRFスペクトル



図5-32. No.20-1-4 分析箇所(図5-4中)のXRFスペクトル



図5-33. No.20-1-20分析箇所(図5-4右)のXRFスペクトル



図5-34. No.22-11-1 分析箇所 a (図5-5左)の XRF スペクトル



図5-35. No.22-11-1 分析箇所b(図5-5)のXRF スペクトル



図5-36. No.22-12分析箇所(図5-5中)のXRFスペクトル



図5-37. No.22-16分析箇所 a (図5-5右)の XRF スペクトル



図5-38. No.22-16分析箇所b(図5-5右)のXRF スペクトル



図5-39. No.22-16分析箇所 c(図5-5右)の XRF スペクトル



図5-40. No.22-17分析箇所a(図5-6左)のXRF スペクトル



図5-41. No.22-17分析箇所b(図5-6左)のXRF スペクトル



図5-42. No.22-18分析箇所a(図5-6中)のXRFスペクトル



図 5-4 3. No.22-18 分析箇所 b (図 5-6 中)の XRF スペクトル



図 5-4 4. No.22-19 分析箇所(図 5-6 右)の XRF スペクトル



図5-45. No.22-13分析箇所a(図5-7)のXRF スペクトル



図5-46. No.22-13分析箇所b(図5-7)のXRF スペクトル



図5-47. No.22-13分析箇所c(図5-7)のXRF スペクトル



図5-48. No.22-13分析箇所d(図5-7)のXRF スペクトル



図5-49. No.20-2-15分析箇所a(図5-8)のXRF スペクトル



図5-50. No.20-2-15分析箇所b(図5-8)のXRF スペクトル



図5-51. No.20-2-2-7 (図5-9)のXRFスペクトル(上:50kV、下:15kV)



図 5-52. No.20-2-2-8 (図 5-9)の XRF スペクトル (上: 50kV、下: 15kV)



図5-53. No.20-2-2-9 (図5-9)のXRFスペクトル(上:50kV、下:15kV)



図 5 - 5 4. No.20-2-2-10 (図 5 - 9)の XRF スペクトル(上: 50kV、下: 15kV)



図5-55. No.20-2-2-11 (図5-9)のXRF スペクトル(上:50kV、下:15kV)



図 5 - 5 6. No.20-2-2-12 (図 5 - 9)の XRF スペクトル(上: 50kV、下: 15kV)



図 5 - 5 7. No.20-2-2-13 (図 5 - 9)の XRF スペクトル(上: 50kV、下: 15kV)



図 5 - 5 8. No.20-2-14-1 (図 5 - 1 0)の XRF スペクトル(上: 50kV、下: 15kV)



図 5 - 5 9. No.20-2-14-2 (図 5 - 1 0)の XRF スペクトル(上: 50kV、下: 15kV)



図 5 - 6 0. No.20-2-14-3 (図 5 - 1 0)の XRF スペクトル(上: 50kV、下: 15kV)



図 5 - 6 1. No.20-2-14-4 (図 5 - 1 0)の XRF スペクトル(上: 50kV、下: 15kV)



図 5 - 6 2. No.20-2-14-5 (図 5 - 1 0)の XRF スペクトル(上: 50kV、下: 15kV)



図 5 - 6 3. No.20-2-14-6 (図 5 - 1 0)の XRF スペクトル(上: 50kV、下: 15kV)



図 5 - 6 4. No.20-2-14-7 (図 5 - 1 0)の XRF スペクトル(上: 50kV、下: 15kV)



図 5 - 6 5. No.20-2-14-8 (図 5 - 1 0)の XRF スペクトル(上: 50kV、下: 15kV)



図 5 - 6 6. No.20-2-14-9 (図 5 - 1 0)の XRF スペクトル(上: 50kV、下: 15kV)



図5-67. No.20-2-14-10 (図5-10)のXRFスペクトル(上:50kV、下:15kV)



図 5 - 6 8. No.20-2-14-11 (図 5 - 1 0)の XRF スペクトル (上: 50kV、下: 15kV)



図5-69. No.20-2-14-12 (図5-10)のXRFスペクトル(上:50kV、下:15kV)



図 5 - 7 0. No.20-2-14-13 (図 5 - 1 0)の XRF スペクトル (上: 50kV、下: 15kV)

6. 金属分析

大刀2点の金属分析を行った(表2-1)。分析試料の採取は(公財)元興寺文化財研究所で行ない、分析は 日鉄住金テクノロジー(株)による。

6.1.調査対象

メタルチェッカーによる検査で鉄の遺存状態が良好と思われる大刀2点 (No.12-3、13-2) (図6-1)の試料 採取を行った。採取量はそれぞれ、約3.1g、約1.4g であった (図6-2)。



図6-1. 小丸山古墳出土 大刀(上:No.12-3、下:No.13-2)の調査箇所



図6-2. 小丸山古墳出土 大刀(上: No.12-3、下: No. 13-2)から採取した調査試料

(以上、文責 川本耕三)

6. 2. 調査項目

(1) マクロ組織

大刀から採取した試料の断面全体を低倍率で撮影したものである。形状や組織の分布状態などが広い範囲で 観察できる。

(2) 顕微鏡組織

観察には金属反射顕微鏡を用い、特徴的・代表的な視野を選択して写真撮影を行った。金属組織観察には、 3%ナイタル(硝酸アルコール液)を腐食に用いた。

(3) ビッカース断面硬度

ビッカース断面硬度計(Vickers Hardness Tester)を用いて、鉄滓中の結晶および金属鉄部の硬さの測定を 行った。試験は鏡面研磨した試料に 136[°]の頂角をもったダイヤモンドを押し込み、その時に生じた窪みの面 積をもって、その荷重を除した商を硬度値としている。試料は顕微鏡用を併用し、荷重は 200gf で測定した。

(4) EPMA (Electron Probe Micro Analyzer) 調査

日本電子(㈱製 JXA-8800RL (波長分散型5 チャンネル)で、鉄中非金属介在物の組成を調査(定性・定量分析) した。反射電子像(COMP)は、調査面の組成の違いを明度で表示するものである。重い元素で構成される個所 ほど明るく、軽い元素で構成される個所ほど暗い色調で示される。また元素の分布状態を把握するため、反射 電子像に加え、特性 X 線像の撮影も適宜行った。定量分析は試料電流 2.0×10⁻⁸アンペア、ビーム径 3 µ m、補 正法は ZAF に従った。 6. 3. 調査結果

No.12 大刀

(1) マクロ組織: Photo. 1①に示す。試料断面は 3%ナイタルで腐食している。写真左寄りおよび右上の灰 色部が、やや炭素含有率の高い領域、写真左上および右側の明灰色部が低炭素域であった。ただし、後述の大 刀(No.13)のように明瞭な「地金(軟鉄)」、刃金「(鋼)」といった材質(炭素量)の違いは認められず、全体 に軟質状組織であった。また鉄中には、細長く展伸した非金属介在物が多数層状に確認された。これは折り返 し鍛錬された鉄素材を熱間で鍛打成形した製品の特徴といえる。

(2) 顕微鏡組織: Photo. 12~⑩に示す。Photo. 12~⑥は、①上側部分の金属組織の拡大である。②の写 真左寄りと右端はフェライト(Ferrite: α 鉄)の割合が低い。④⑤はその拡大で、旧オーステナイト(Austenite: γ 鉄) 粒界に沿って白色針状のフェライトが析出する。素地(灰色部)はベイナイト(Bainite)である。〔こ の金属組織の特徴から、当鉄刀は 1100℃相当の高温状態から放冷されたものと推定される〕。一方、左端と右 寄りには白色針状のフェライトの割合が高い層が確認される。③と⑥はその拡大である。

Photo. 1⑦~⑩は刃先の組織の拡大である。⑦の左側は②の灰色部と同じく素地はベイナイトで、旧オーステ ナイト粒界に沿って白色針状のフェライトが析出する。⑧はその拡大である。これに対して右側はフェライト の割合が高い。⑨⑩はその拡大である。

以上の金属組織から、当大刀(No.12)は低炭素域(白色部)で0.1%前後、やや炭素量の高い灰色部でも最大で0.15%前後の軟質材(低炭素鋼)と推定される。

(3) ビッカース断面硬度: Photo. 1②および⑦の金属鉄部の硬度を測定した。②(試料上側)のやや炭素量の高い領域(灰色部)の硬度値は139HV~178Hvと若干高値傾向を示す。低炭素域(白色部)の硬度値は131Hv~141Hvとより軟質であった。一方、また⑤刃先は右側が163Hv、175Hvと基部側のやや炭素量が高い領域(②: 灰色部)とほぼ同等の硬さであった。右側の硬度値は153Hv~167Hvであった。〔基部側(②:白色部)と比べると若干硬質である。刃部先端の腐食が進んでいるため、周囲の銹化鉄部(水酸化鉄)の影響を受けて硬質の値となった可能性が考えられる。〕全体に軟質であり、鉄刀の切先も含めた全体が同等の材質であった場合、実用性の低い大刀と判断される。

(4) EPMA 調査: Photo. 3①~③に鉄中非金属介在物の反射電子像(COMP)を示す。

①の介在物中の白色粒状結晶の定量分析値は 90.8%Fe0(分析点 1)であった。ウスタイト(Wustite: Fe0)と推定される。暗灰色多角形結晶の定量分析値は 44.2%Fe0-42.2%Al₂O₃-5.4%Mg0-2.5%TiO₂-3.0%V₂O₃-1.7%Cr₂O₃(分析点 2)であった。ヘルシナイト(Hercynite: Fe0·Al₂O₃)で、マグネシア(Mg0)など他の元素を少量固溶する。淡灰色短柱状結晶の定量分析値は 50.8%Fe0-14.7%Mg0-2.3%Ca0-34.1%SiO₂(分析点 3)であった。鉄ー苦土系のオリビン[01ivine: 2(Fe, Mg)0·SiO₂]と推定される。素地部分の定量分析値は 30.7%SiO₂-8.3%Al₂O₃-17.4%Ca0-1.1%Mg0-2.9%K₂O-1.7%Na₂O-31.6%FeO(分析点 4)であった。非晶質硅酸塩である。また Photo.3②の非金属介在物の定量分析値は 45.7%SiO₂-12.0%Al₂O₃-22.1%Ca0-11.8%Mg0-2.5%FeO-

4.3%TiO₂(分析点5)であった。非晶質硅酸塩である。

さらにもう1箇所非金属介在物の組成調査を実施した。Photo.3③の白色粒状結晶の定量分析値は99.4%Fe0 (分析点6)であった。ウスタイト(Wustite:Fe0)と推定される。暗色部の定量分析値は31.6%Si02-6.8%Al203 -10.9%Ca0-3.0%Mg0-1.6%K20-1.3%Na20-39.1%Fe0(分析点7)であった。非晶質硅酸塩である。

No.13 大刀

(1) マクロ組織: Photo. 2①に示す。試料断面は 3%ナイタルで腐食している。写真上側から下側(刃先) 左寄りに分布する明白色部は低炭素域である。軟質で靱性(粘り強さ)を持つ地金(軟鉄)と推定される。一 方写真表層部から下側(刃先)に分布する黒色~茶褐色部は高炭素域で、刃金(鋼)と推定される。

(2)顕微鏡組織: Photo. 2②~ ⑨に示す。Photo. 2②~ ④は、①の上側の拡大である。表層側は黒色層状の パーライト (Pearlite)の割合が高い。③はその拡大で、炭素含有率は0.5%前後と推定される。これに対して、 中央部は素地が白色多角形状のフェライト (Ferrite: α鉄) で、粒界にパーライトが少量析出する。④は中央 部の拡大で、炭素含有率は0.1%以下と推定される。また④の縦方向に伸びたバンド状の灰色帯は、濃厚偏析部 で、焼き入れ時に生成したマルテンサイトまたはベイナイト組織と推測される。

Photo. 2⑤~⑨は①の刃先寄りの拡大である。左側(⑥~⑧)の白色部はフェライト、黒色部はパーライトで、 素地の茶褐色部はマルテンサイト(Martensite)である。一方右側(⑨)はほぼ全面マルテンサイト組織であ った。この金属組織から、当大刀(№13)はパーライト変態点(727°C)以下の領域から刃先部分を焼き入れし たと推定される。

(3) ビッカース断面硬度: Photo. 2②および⑤の金属鉄部の硬度を測定した。②(試料上側)の表層部の硬 度値は152Hv~243Hv とやや硬質で、中央部は134~157Hv と軟質であった。また⑤(刃先寄り)では、写真左 側のフェライトの割合の高い領域が241Hv~267Hv と比較的軟質であった。これに対して、写真右側のほぼマル テンサイト組織の領域は、硬度値が679Hv~830Hv と非常に硬質で、十分な焼き入れ硬さが得られている。この 測定結果から、刃部先端を含む刃先寄りの右側部分は、共析組成(C:0.77%)に近い高炭素鋼材と推定される。

(4) EPMA 調査: Photo. 3④⑤に非金属介在物の反射電子像(COMP)を示す。④の介在物中の白色粒状結晶の定量分析値は 99.4%FeO(分析点 9)であった。ウスタイト(Wustite: FeO)と推定される。淡灰色短柱状結晶の定量分析値は 66.0%FeO-2.9%MgO-2.2%CaO-31.9%SiO₂(分析点 10)であった。ファヤライト(Fayalite: 2FeO・SiO₂)で、ライム(CaO)、マグネシア(MgO)を少量固溶する。素地部分の定量分析値は 39.8%SiO₂-16.2%Al₂O₃-11.8%CaO-5.9%K₂O-25.6%FeO(分析点 11)であった。非晶質硅酸塩である。

また Photo. 3⑤の非金属介在物の定量分析値は 51.8%SiO₂-8.9%Al₂O₃-12.0%CaO-3.2%MgO-2.3%K₂O-22.6%FeO-1.1%MnO(分析点 12) であった。非晶質硅酸塩である。

6. 4. まとめ

(1)小丸山古墳出土大刀(No.12)は、若干炭素含有率の高い層と低い層が交互に確認される。この特徴から、炭素含有率にややばらつきがある、折り返し鍛錬された鉄素材(炭素含有率:0.1~0.15%程度の軟鉄材)を鍛打成形した製品と推定される。供試材断面では刃先先端も軟質であった。切先も含めた全体が同等の材質であった場合には、当大刀(No.12)は実用性の低い儀仗刀であった可能性が高いと考えられる。

これに対して、大刀(No.13)は棟側(芯部)に軟質で靱性のある地金(軟鉄)、表層〜刃先に硬質な刃金(高 炭素鋼)が配置されている。さらに刃先は焼き入れされて、非常に硬質化している。実用品として適した材料 の選択、鍛打加工〜熱処理が行われた製品といえる。

(2)大刀中の非金属介在物の組成を調査したところ、2点(No.12、13)とも鉄酸化物(Wustite:Fe0)とファヤライト(Fayalite:2Fe0·Si0₂)などの鉄珪酸化合物が晶出するものと、非晶質硅酸塩系のものが確認された。これらは鉄素材を折り返し鍛錬した時、表面に生じた鉄酸化物と、鉄素材の酸化防止のため表面に塗られたり、鍛接剤に用いられた粘土汁や灰によるものと推定される。

(「小丸山古墳出土大刀の分析調査」

日鉄住金テクノロジー(株) 八幡事業所 TAC センター 鈴木瑞穂)

Nº12 鉄刀 ①マクロ組織 ②試料上面側:フェライト・ヘ イナイト、硬度:131~178Hv (200gf)、③~⑥:②の拡 um 大 ⑦刃先:フェライト・ベイナイト、 硬度:153~175Hv (200gf)、⑧~⑪:⑦の拡 大 100 2.03 1003 ſſ . $\overline{\mathbf{7}}$ ٠ 250 163 158 153 167 160 ...

Photo.1 鉄刀(№12)の断面顕微鏡組織



Photo.2 鉄刀(№13)の断面顕微鏡組織



Photo.3 鉄刀(№12、13)のEPMA調査結果