

4 東塔出土金属製品・銭貨・

冶金関連遺物の自然科学分析

A 分析の目的

今回の調査で出土した金属製品・銭貨・冶金関連遺物を対象に、非破壊による材質分析をおこなった。金属の成分組成は時代ごとに特徴があり¹⁾、年代を検討する上でも、手掛かりが得られる可能性がある。また、成分組成は製品の製作技術とも関わるほか、材料となる合金素材の由来や歴史的な位置づけの解明の上でも重要である。対象とする資料の特徴については第IV章3で述べた通りであるが、ここでは資料ごとに分析の目的を述べる。

和同開珎 対象資料は8点 (Fig.134、PL.38 銭貨1～8)。本資料のうち、とくに創建基壇の礎石据付穴や掘込地業より出土した和同開珎(1～6)については、東塔創建の天平2年(730)という年代の定点となるものである。先行研究では富本銭のほか、初期の和同開珎にはアンチモンが含まれることが指摘されている²⁾。年代の定点となる本資料の成分組成は、当該期の銭貨の合金素材流通のほか、東塔の地鎮供養に用いられた和同開珎の性格解明の上でも重要であるといえよう。元素のうち、とくに錫・鉛・砒素・アンチモンに着目する。

小仏光背 対象資料は1点 (Fig.82-173、Fig.135-173、PL.38 銅製品173)。第IV章3で述べたように、本資料は東大寺盧舎那仏像の現存光背をモデルにした小型品と考えられ、18世紀半ば以降のものと思われる。このような資料の歴史的な位置づけをあきらかにするため、成分組成も有効

地鎮供養の
和同開珎

小仏光背は
18世紀以降

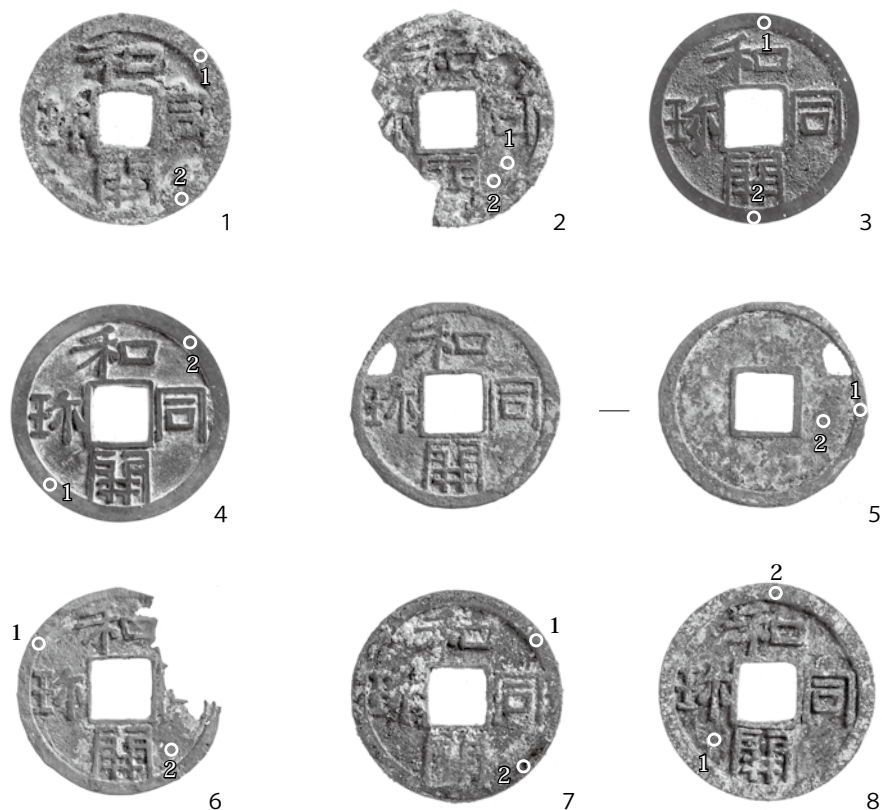


Fig.134 和同開珎の測定箇所 (数字は Tab.14 の「測定箇所」の番号に対応する)

なデータとなる可能性がある。

銅 鋌 対象資料は1点 (Fig.82-174、135-174、PL.38 銅製品 174)。本資料については製作技法、とくに鑄造・鍛造いずれの可能性が高いかに着目する。PL.38に掲載したX線透過撮影画像では、鑄造品にみられる鑄巣を内面に確認することができなかった。また、鋌頭と胴部の接合の痕跡も確認できない。そのため、鍛造品に用いられやすい純銅であるか、鑄造に用いられる錫・鉛合金であるのかに着目する³⁾。

金銅板片 対象資料は1点 (Fig.82-175、135-175、PL.38 銅製品 175)。本資料も年代があきらかではないが、正面に金が付着する。銅板そのものの成分組成とともに、アマルガム鍍金の可能性についても検証するため、とくに水銀の有無に着目する。

アマルガム
鍍金の検証

銅座金具 対象資料は1点 (Fig.82-176、135-175、PL.38 銅製品 176)。本資料も年代的な位置づけがあきらかではない。成分組成から年代や歴史的な位置づけの手掛かりを得ることを目的とする。

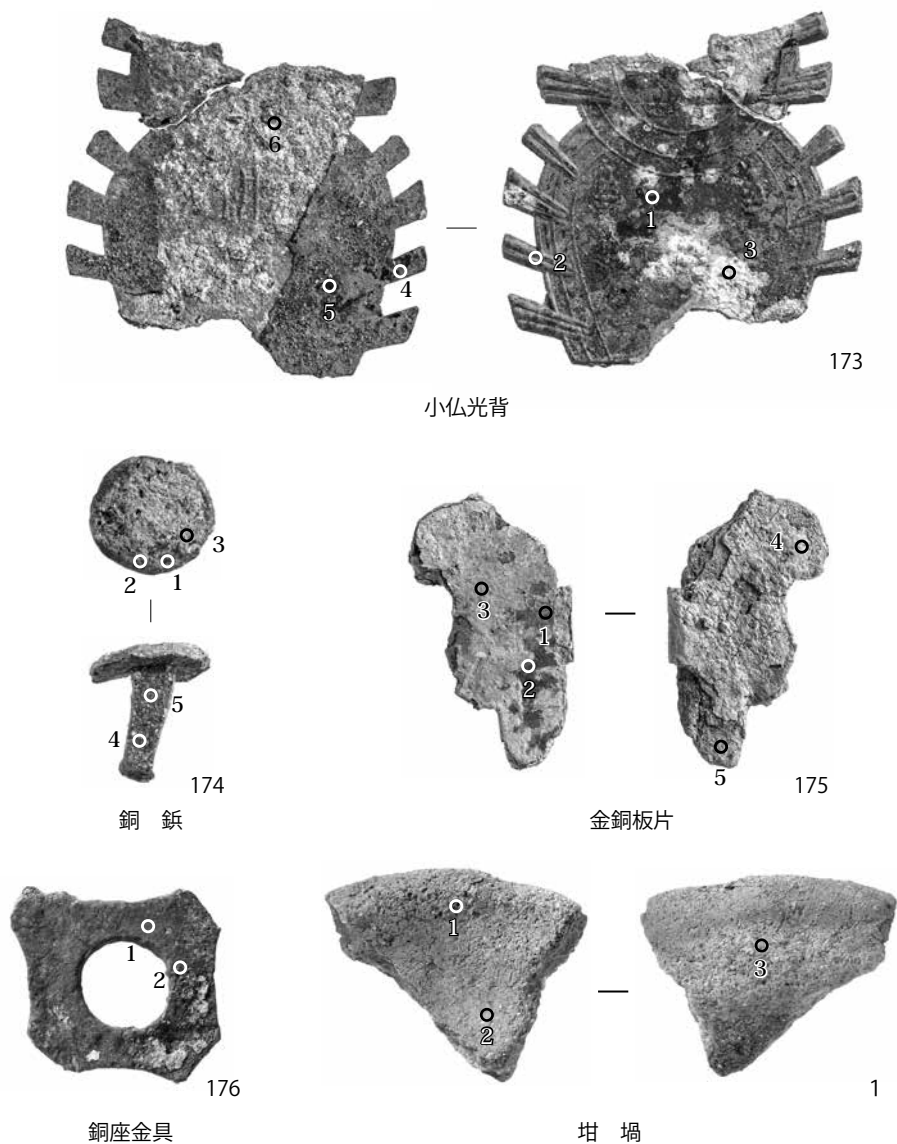


Fig.135 金属製品・冶金関連遺物の測定箇所 (数字は Tab.14・15 の「測定箇所」の番号に対応する)

埴 埴 対象資料は1点 (Fig.86-1、135-1、PL.38 冶金関連遺物1)。本資料は、基壇外周西面からの出土品であるが、考古学的な成果からは年代はあきらかではない。埴 埴も金属製品と同じように、溶解をおこなった金属がその性格を解明する上で手掛かりとなる可能性がある。そのため内面に残存付着する金属の組成をあきらかにする。

B 分析方法

非破壊による蛍光X線分析については、奈文研埋蔵文化財センター保存修復科学研究所のエネルギー分散型蛍光X線分析装置 EAGLE III (EDAX 製) を使用した。今回の分析における測定条件は、以下のとおりである。

測定条件

一次X線ターゲット：ロジウム (Rh) 管電圧：40kV
 コリメーター： ϕ 365 μ m 測定雰囲気：大気中 測定時間：100 秒
 蛍光X線による分析は、非破壊分析の方法としては、もっとも多く分析例が蓄積されており、また機械操作の簡便さや分析時間の短さといった利点も多い。ただし、分析で得られた各元素の検出した強度 (counts) 値については、腐食や偏析の影響のほか、装置に起因する誤差が含まれていることを考慮しなければならない。そのため、今回は検出した強度 (counts) 値を、① 1000 以上、② 500 ~ 1000、③ 100 ~ 500、④ 100 以下に分け、それぞれで検出した元素を示す。測定にあたっては、腐食生成物が確認できる部分はできるだけ避けるとともに、資料の特徴にもとづいて複数箇所を測定し、その所見を述べる。

埴 埴は上記装置での測定が困難であったため、可搬型のエネルギー分散型蛍光X線分析装置 Niton XL3t (Thermo Scientific 製) を使用した。測定は土壌分析モード (内蔵検量線法) でおこなった。

一次X線ターゲット：銀 (Ag) スポットサイズ： ϕ 8 mm
 測定雰囲気：大気中 測定時間：30 秒

対象とする埴 埴が土製品であるため、検出した強度のうちもっとも強い鉄を 100 として、その他元素のピーク強度の相対値を示す。金属製品・銭貨と同様に、複数箇所を測定し、その所見を述べる。

C 分析結果・所見

分析結果については、Tab.14・15 にまとめた。以下、材質・技法上において重要な元素について、遺物ごとに所見を述べる。なお、鉄・シリコン・カルシウムなどは土中の埋蔵環境に由来する可能性が高いため、ここでは言及しない。

和同開珎 8点。1点につき、2カ所を測定した。結果、アンチモンは検出できなかったが、砒素・錫・鉛などの元素を検出した。検出した元素にもとづき分類すると、以下のようになる。

- ①銅・砒素・錫・鉛：2・5・7・8 ②銅・砒素・錫：4・6
 ③銅・砒素・鉛 : 1 ④銅・砒素 : 3

異なる合金
 素材に由来

掘込地業から出土した3・4・5・6のなかでも、成分組成に差異が存在し、異なる合金素材に由来するとみられる点は興味深い。

小仏光背 1点。6カ所を測定した。銅を主体として、微量元素として、鉛・砒素・アンチモンを検出した。5カ所の測定位置のうち、1カ所のみから砒素が検出されている。また、金や

Tab.14 金属製品・銭貨の測定結果

遺物名	測定箇所	特徴	検出した強度 (counts) 値			
			① 1000 以上	② 500 ~ 1000	③ 100 ~ 500	④ 100 以下
和同開珎 1	1 正面	黄色部分	Cu		Fe,As,Pb	
	2 正面	黄色部分	Cu		Fe,As,Pb	
和同開珎 2	1 正面	緑色部分	Cu,Fe	As,Pb		Sn
	2 正面	黄色部分	Cu,Fe	As,Pb		Sn
和同開珎 3	1 正面	黒色部分 (地金露出)	Cu	As		
	2 正面	黒色部分 (地金露出)	Cu	As		
和同開珎 4	1 正面	黒色部分 (地金露出)	Cu		As	Fe,Sn
	2 正面	黒色部分 (地金露出)	Cu		As	Fe,Sn
和同開珎 5	1 背面	黄色部分	Cu		Fe,Ca,As	Sn
	2 背面	赤色部分	Cu		Fe,Ca	As,Pb,Sn
和同開珎 6	1 正面	黄色部分	Cu		Fe,Ca,As	Sn
	2 正面	赤色部分	Cu		Fe,Ca,As	Sn
和同開珎 7	1 正面	黄色部分	Cu,Fe		As,Pb	Ca,Sn
	2 正面	黒色部分	Fe,Cu,As,Pb			Ca,Sn
和同開珎 8	1 正面	黄色部分	Cu		As,Pb,Fe	Sn,Ca
	2 正面	黒色部分	Cu	Fe,As,Pb		Ca,Sn
小仏光背	1 正面	黒色部分	Cu	Pb	Ca	Sb,S
	2 正面	緑色部分	Cu		As,Pb,Ca	Sb
	3 正面	白色部分		Pb		Cu,Sb
	4 背面	黒色部分	Cu		Pb	Sb, Ca
	5 背面	赤色部分	Cu		Pb,Ca	Sb
	6 背面	白色部分	Pb			Fe,Sb
銅 鋳	1 鋳頭	緑色部分	Cu		Fe	As,Au,Hg,Si,K,Ca,Ti
	2 鋳頭	白色部分	Cu		Fe	Au,As,Hg,K,Ti,Ca,Si
	3 鋳頭	白色部分	Cu		Fe	Au,As,Hg,K,Ca,Ti,Si
	4 胴部	緑色部分	Cu		Fe	As,Si,K,Ca,Ti
	5 胴部	緑色部分	Cu		Fe	As,Si,K,Ca,Ti
金銅板片	1 左面	赤色部分	Cu	Fe	Au,As,Pb	Ag,Sb,Bi,Hg,Sn,Ti,K,Si
	2 左面	赤色部分	Cu	Fe	Au,As,Pb	Ag,Hg,Sn,Sb,Bi
	3 左面	白色部分	Cu,Fe		Au,As,Pb	Ag,Sn,Sb,Hg,Bi,Ti,K,Si
	4 右面	白色部分		Fe	Cu,As	Ag,Sn,Sb,Ti,K,Si
	5 右面	緑色部分	Cu		As,Pb,Fe,Ca	Bi,Ag,Sn,Sb
銅座金具	1 正面	黒色部分	Cu		Fe	Sn,Bi,As,Ca
	2 正面	黒色部分	Cu		Fe	As,Bi,Sn,Ca

ケイ素: Si 硫黄: S カリウム: K カルシウム: Ca チタン: Ti 鉄: Fe 銅: Cu 砒素: As 銀: Ag 錫: Sn
 アンチモン: Sb 金: Au 水銀: Hg 鉛: Pb ビスマス: Bi

Tab.15 坩堝の測定結果

測定箇所	特徴	Fe	K	Ca	Ti	Ni	Cu	As	Rd	Sr	Zr
1 (1 回目)	内面赤色部	38.7	3.0	3.7	1.9	1.6	13.7	10.7	4.3	8.7	12.4
規格化後		100.0	7.8	9.5	4.8	4.2	35.5	27.6	11.0	22.6	32.1
1 (2 回目)		34.1	3.1	3.1	1.7	1.6	8.8	7.9	3.5	7.6	11.2
規格化後		100.0	9.1	9.2	5.1	4.7	26.0	23.3	10.2	22.3	32.8
2 (1 回目)	内面灰色部	34.4	2.1	1.1	1.9	1.8	1.8	2.8	2.9	2.6	11.5
規格化後		100.0	6.1	3.2	5.5	5.3	5.2	8.2	8.4	7.6	33.4
2 (2 回目)		25.3	2.2	1.1	1.5	1.5	1.3	2.0	2.3	2.4	9.5
規格化後		100.0	8.6	4.2	6.0	6.0	5.0	7.7	9.2	9.6	37.4
3 (1 回目)	外面白色部	58.0	2.0	0.4	3.8	2.1	1.0	2.5	2.6	3.0	15.2
規格化後		100.0	3.5	0.6	6.6	3.7	1.8	4.3	4.4	5.1	26.3
3 (2 回目)		58.3	2.4	0.8	3.6	1.7	1.0	3.0	2.9	4.0	14.3
規格化後		100.0	4.2	1.4	6.2	2.9	1.7	5.1	5.0	6.8	24.5

検出した強度のうちもっとも強い鉄を 100 として、その他元素のピーク強度の相対値

水銀は検出されていないため、金鍍金の有無については不明である。

鉦頭は
アマルガム
金鍍金カ

銅 鉦 1点。5ヵ所を測定した。銅を主体として、複数の微量元素を検出した。微量元素のうち、鉦頭からは水銀・金を検出した。胴部からは水銀・金が検出されていないため、鉦頭を対象にアマルガムによる金鍍金がおこなわれた可能性が想定される。そのほか微量元素として、いずれの測定位置からも砒素を検出している。第Ⅳ章3で述べたように、X線透過画像においても明確な鑄巣が確認できず、また、接合の痕跡もあきらかではない。錫・鉛が検出されず、現状では鍛造品の可能性が考えられるが、奈良時代には砒素銅による鑄造製品も知られているため、鑄造・鍛造いずれの可能性も視野に入れる必要があるかもしれない。

正面は
アマルガム
金鍍金カ

金銅板片 1点。5ヵ所を測定した。正面では銅を主体として、水銀・金などを検出した。背面からは、水銀・金は検出されていない。正面を対象にアマルガムによる金鍍金がおこなわれた可能性が想定される。そのほか、微量元素として、いずれの測定位置からも砒素を検出しているほか、4ヵ所からビスマスを検出している。

銅と砒素
を検出

銅座金具 1点。2ヵ所を測定した。銅を主体に、微量元素として砒素・ビスマスを検出した。
埴 塙 1点。3ヵ所を2回ずつ測定した。溶解した金属が直接接触したとみられる内面の赤色部からは銅・砒素を検出したが、錫・鉛は検出されなかった。また、内面灰色部や外面白色部では、銅・砒素の検出強度は内面赤色部に比べ、低い傾向がある。含有する合金の詳細は不明であるが、砒素銅を溶解した埴塙であったとみられる。

D まとめ

以上、8点の銭貨、4点の金属製品、1点の冶金関連遺物について、非破壊による蛍光X線分析をおこなった。基壇上の礎石据付穴や掘込地業より出土した和同開珎は、東塔の創建年代である天平2年(730)という年代の定点となるものである。今回の分析の結果、これらは異なる合金素材に由来し、一元的に供給されたものではない可能性が高いことが判明した。また、銅鉦や金銅板片はアマルガムによる鍍金が用いられた可能性があきらかになったほか、全体に砒素が含まれる点、小仏光背にアンチモン、金銅板片・銅座金具にビスマスが検出されるなど、薬師寺東塔出土金属製品・冶金関連遺物の性格を解明する上で一定の成果を得ることができた。

(丹羽・杜・藤井)

註

- 1) 古代の鑄銅製品の場合は、銅(Cu)・錫(Sn)・鉛(Pb)の三元素のほか、砒素(As)、鉄(Fe)、亜鉛(Zn)、銀(Ag)、アンチモン(Sb)、ビスマス(Bi)などが少量・微量元素として含まれ、成分組成にいくつかのパターンあることが知られている。成瀬正和「正倉院銅・青銅製品の化学的調査と青銅器研究の課題」『考古学ジャーナル』470、2001年。
また近世以降は亜鉛・銅合金である真鍮が多く流通する。このように成分組成が年代解明の手掛かりとなる場合がある。
- 2) 花谷 浩・西口壽生・渡邊淳子・松村恵司・村上 隆・金原正明・金原正子・安田 龍太郎・加藤貴之・山下 信一郎「飛鳥池遺跡の調査 -第98次・第99-6次、第106次-」『奈良文化財研究所年報2000-II』。
松村恵司「富本銭鑄技術の復原」『わが国鑄銭技術の史的検討』奈文研、2003年。
- 3) ただし古墳時代から古代の鑄造品には、銅と微量元素のみの組成のものも知られている。そのなかでも大官大寺出土飾金具は純銅による鑄造品と考えられている。そのため、製作技法については、成分組成以外にも、肉眼観察、内部構造などのそれぞれの分析結果をふまえて検討する必要がある。
李 暉「古代鑄銅製建築金具の鑄込み工程の検証-第一次大極殿院の復原研究27-」『紀要2019』2019年。