

出土銅造仏像の保存修復の研究

(受託研究報告 第52号)

青 木 繁 夫

1. はじめに

本研究は国分寺市教育委員会の依頼により昭和57年度の受託研究として行ったものである。研究期間は昭和57年9月4日から昭和58年3月31日である。

研究対象になった仏像は、昭和57年3月、武蔵国分寺道路状遺構から発見された観音菩薩立像である。その時期は、白鳳時代後半と考えられている。その目的は仏像の材質および構造調査と錆の安定化、損傷部分の補修などの修復処置にあった。

研究の分担は、以下の通りである。

材質調査

保存科学部 江本義理, 馬淵久夫

構造調査

保存科学部 三浦定俊

保存修復

修復技術部 中里寿克, 樋口清治, 青木繁夫

2. 仏像の品質形状および損傷状態

法量 (単位センチメートル)

総高	30.0	像高	28.4	頂一顎	6.4
面長	4.0	面幅	4.0	耳張	5.4
面奥	5.4	胸奥	3.7	腰奥	4.3
天衣張	8.8 (肘部分)			足先開	4.4
台座全高	1.4	蓮肉張	6.7 (前後)		
蓮肉張	6.4 (左右)				
修復前重量	2.656 g				
修復後重量	2.647 g				

右膝をわずかに折り、やや左を向いて立っている。本体、台座一铸の铸銅製観音菩薩立像である。

单髻、髻および地髪部の毛筋を彫り、元結の紐はあらわされていない。後頭部中央に光背用と思われる直径 3 mm、深さ 8 mm の柄穴がある。

天冠台は無文带状で三面宝冠を付す。正面頭飾は低い山形で、その中央に如来座像をあらわし、左右には山形の飾りがある。左右頭飾は三葉形で、その下に冠紐の結び輪一つがある。

両耳の中央下を耳髪が一筋横切り、垂髪は耳の後より両肩から上膊に波状にかかる。髪際は一文字。

白毫なく、眼は上下眼瞼裂を線刻。鼻孔がなく、口角を窪める。三道は刻まれていない。

上半身裸形、正面、背面とも両肩下に当る部分に花形の飾りを付け、その間を三連の紐が胸



図-1 修復前
Fig. 1 Before treatment

出土後、膝下部が数片に割損し、さらに三面宝冠の左頭飾先端が損傷をうけている。割損部の断面は、厚さ 0.4~1.0 cm で、ざらざらした顆粒状でいわゆる金属状態でなく、この顆粒状のものが焼結した状態である。これは触れると崩れてしまう。

3. 材質と腐食生成物

材質分析は、蛍光X線分析、原子吸光分析、放射化分析を行った。なお、この分析と鉛同位体分析の詳細については「鉛同位体比法による太安萬侶墓誌銅板および武蔵国分寺附近出土銅造仏の原料産地推定」古文化財の科学28号を参照してください。

表-1 蛍光X線分析結果
Table 1 Result X-ray Spectroscopy Analysis

検出元素	スペクトル強度
銅 (Cu)	++++ 強
砒素 (As)	++ 中
錫 (Sn)	+ 弱
鉛 (Pb)	+ 弱
銀 (Ag)	+ 弱
ビスマス (Bi)	+ 弱
アンチモン (Sb)	(+) 微
鉄 (Fe)	(+) 微

飾状に繋ぐ、さらに腹中央に方形、臀部中央に花形と思われる飾りがあり、それらの間を二条の紐が繋ぐ、臀部中央の飾りからは別に二条の紐が垂下し、その下端にはそれぞれ球形と涙滴状の飾りが付く。

下半身は裙をまと。両足の間には紐を垂らす。天衣は両手上腕と台座両側にわずかに残るが、その他の部位は不明、右手屈臂、第1指は伸ばし、残り4指はわずかに曲げる（その先端欠失）。左手も軽く屈臂、前腕途中より先欠失。

台座は円形の蓮肉座のみ残る。中高、その下に円形框座状の出っぱり、ただし右方欠失。

損傷状態（図-1）

出土後全く手が加えてないらしく全体に土が付着している。火中したことがあるためか黒褐色の焼肌状を呈しており黒い砂状の粒子がかなり強固に着いて鍍金は全く見られない。

鍍金は緑青色のところと淡緑色のところがあるが、後者は脚部にあり、かなり喰い込んでいる。

中型は腰まで、そこには像底からの土が入りこんでいる。右指先および左前腕の中程から先が欠失している。

蛍光X線分析で検出した元素の定量は原子吸光分析と放射化分析をあわせて行った。

◎蛍光X線分析

分析箇所—左肩側面（照射面直径 1.5 cm 程度）

分析結果—非破壊的方法による測定なので検出される元素は重金属領域に限定される。表-1から銅が主成分であることがわかる。この分析を行った主たる目的は、像に鍍金が施されて

表-2 銅造仏の分析値
Table 2 Composition of the Copper Statuette

元 素	含有量(%)	方 法
銅 (Cu)	88.8 ± 2.6	原子吸光 (atomic absorption method)
錫 (Sn)	0.34 ± 0.01	原子吸光 (atomic absorption method)
鉛 (Pb)	0.096 ± 0.003	厚子吸光 (atomic absorption method)
砒 素 (As)	0.99 ± 0.07	放射化 (activation analysis)
アンチモン (Sb)	0.058 ± 0.04	放射化 (activation analysis)
金 (Au)	0.0097 ± 0.0007	放射化 (activation analysis)
計 (Total)	90.294	

表-3 鉛同位体比
Table 3 Lead isotope abundance ratio

206 Pb/204 Pb	207 Pb/206 Pb	208 Pb/206 Pb
18.438 (0.04) ±0.007	0.8479 (0.02) ±0.0001	2.0953 (0.02) ±0.0004

いるかどうかを判定することであったが、金、水銀が検出されていないので鍍金はされていないと推定される。

◎原子吸光分析, 放射化分析

分析試料—破断面から採取した試料を原子吸光分析には 35.4 mg, 放射化分析には 77.5mg を用いた。

測定結果—結果は表-2 に示すとおりであるが、測定された元素の総計は約90%残りの10%近くは酸素などと化合した元素が占めると思われる。放射化分析では鉛を除くほとんど全ての元素が定量されるが、表-2 に示した以外の金属は検出限界以下であった。なお本試料は顕微鏡観察によると錆が全面に広がり、金属光沢は見られなかった。

◎鉛同位体比による原料産地推定

測定試料—破断面から採取した試料から鉛を抽出、約 1 mg を測定用鉛試料とした。

測定結果—表-3 に見られる通りである。この値を示す鉛は日本産のものである。化学分析の結果から明らかなように、本仏像に含まれる鉛は微量で、人為的に加えられたものではない。したがって原料の銅鉱石に副成分として含まれていたものであり、それが日本産であることから、母体である銅鉱石が日本産であることがわかる。

腐食生成物の分析は、脚部表面の淡緑色の錆および内面の暗褐色の錆を試料として、X線回折分析を行った。

表-4 に見られるような結果が得られた。

錆の主成分は、何れも酸化第一銅で、火中しているためか、酸化第二銅も存在する。表面か

表-4 X線回折による腐食生成物の分析結果
Table 4 Results of X-ray deffraction analysis

検 出 鉱 物	スペクトル強度	
	表面 錆	内面 錆
酸化第一銅 Cu_2O	++ 強	+++ 強
酸化第二銅 CuO	+ 弱	(+) 微
α -石英 $\alpha\text{-SiO}_2$	+ 弱	(+) 微
銅 Cu	+ 弱	- なし
塩基性塩化銅 $\text{CuCl}_2 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$	+ 弱	- なし
銅緑礬(ピサナイト) $(\text{Fe, Cu})\text{SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	+ 弱	(+) 微

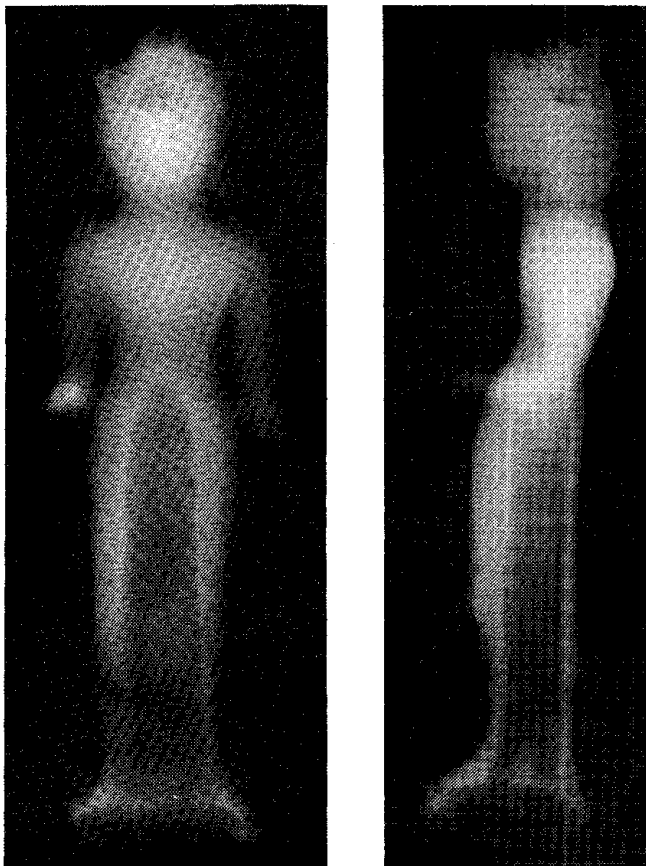


図-2 ガンマー線透視写真
Fig. 2 γ -ray's photographs

らの錆には塩基性塩化銅が認められる。これらの試料には安定した錆である塩基性炭酸銅(孔雀石)等の鉱物は認められず、不安定な錆として銅緑礬と見られる鉱物が検出されている。

4. 構 造

セシウム 137 を線源とするガンマー線透視撮影を照射時間 8 時間、照射距離 1.2 m、医療用 X 線フィルム(鉛箔増感紙 0.03 mm)を用いて行った。

この透視写真(図-2)から、通常頭部までである中型も腰までしかなく、また筭や型持の跡も見られないことがわかる。鬆の分布は一様で、鬆の補修や錆掛跡も見られない。頭には大きな鬆が存在し、内部に 3 個程の粒状の突起が認められる。この透視写真からは湯口の確認は出来ないが中型の形状から考えて、頭部から湯流し込み、一度に铸造したものと思われる。

5. 保 存 修 復

方針

材質、構造調査の結果

- (1) 日本産の銅鉱石、純銅に近い銅の鑄銅製
- (2) 鍍金がなされていない。
- (3) 腐食生成物の X 線回折分析により塩基性塩化銅が確認され、いわゆるブロンズ病にかかっていることが判明した。
- (4) 割損部分断面がざらざらした顆粒状で焼結状態の非常に脆いものである。

修復処理は塩基性塩化銅が確認されたことからここ数年来、様々な実験を進めて来た方法のなかから遺物に対する影響が最も少なく、ブロンズ病を安定させる効果があるベンゾトリアゾール法にて処理を行うこととした。

修復処理

(1) クリーニング

表面に付着している土および中型内の土は、エチルアルコールの中でブラッシングや柳ヘラを用いて除去した。

(2) 塩基性塩化銅の安定化処理

ベンゾトリアゾール3%エチルアルコール溶液を仏像に減圧含浸して24時間浸漬

(3) 効果の判定

ベンゾトリアゾール処理の終わった仏像を高湿度下に1週間おき処理効果を判定した。今までの実験ではベンゾトリアゾール処理の効果がないものは2日程で明るく白っぽい粉状の緑青が発生し、ブロンズ病が再発するが、今回1週間放置しても何ら変化が認められなかったのでベンゾトリアゾール処理が有効であったと判定した。

(4) 強化処理

仏像を強化するためベンゾトリアゾール3%を含有したアクリル樹脂（インクラック）を30 mm/Hg に減圧して含浸させた。

(5) 割損部分は、エポキシ樹脂（ハイスーパーセメダイン）に緑青（塩基性炭酸銅）を若干混合したもので接着復原した。欠失部分はエポキシ樹脂（ハイスーパーセメダイン）に緑青を混合して補修した。補彩は松煙、緑青など天然顔料をアクリル樹脂（パラロイドB72）に溶かして行った。

(6) 台座製作

像底の型取りをシリコンラバー（KE 12 RTV）で行いそれからエポキシ樹脂（アラルダイトCY 230, エポメートB 002）で像底の型を作った。それを蓮弁を彫刻した台座に接着し、黒漆を用いて仕上げた。



図-3 修復後
Fig. 3 After treatment

6. さ い ご に

以上のべたような方法で材質、構造調査、保存修復処理というように総合的になされた。その結果、この仏像は日本産の銅鉱石を用いて作られ、通常頭部までである中型も腰までしかなく、またコウガイや型持の跡も見られないことが判明した。さらにこの仏像に鍍金があれば、かりに火中したことがあったとしても痕跡程度の金が検出されてしかるべきであるが、蛍光X線分析の結果、金、水銀とも検出されてなかったため、最初から鍍金がされていなかったため

はないかと考えられる。

このように保存修復処理が完了したとはいえ相対湿度が高いところに保存すれば、またブロンズ病が再発する可能性があるので、今後はできるだけ湿度の低い、露結しないようなところで保存管理することが望ましい。

Conservation Treatment of a Copper Statuette

Shigeo AOKI

A statuette of Kannonbosatsu was excavated in 1983 and is attributed to have been made in Japan in the 7th century. In order to presume where and how it was made and to check the corrosion products, various analysis were carried out before the restoration treatment.

Analyses

1. Results of X-ray fluorescence spectroscopy, atomic absorption and activation analysis, show that it is made of almost pure copper, and it is concluded that it was not gilded at all because no trace of gold and mercury was found. (Tab-1, 2)
2. Lead isotope ratios show that the copper was smelted from an ore in Japan. (Tab-3)
3. X-ray diffraction analysis was done for detecting bronze disease among the corrosion products. (Tab-4)
4. X-ray photographs were taken for examining the casting techniques by the Cs source. (Fig-2)

Restoration Treatment

1. Cleaning was done with soft brushing and bamboo scrapping in ethyl alcohol.
2. Stabilization was done by immersion under the solution of 3% benzotriazole in ethyl alcohol.
3. Acrylic resin (Incralac) was applied by reduced pressure impregnation.
4. The fragments were attached by epoxy resin (Hi-supper Cemedine).