

北魏仏の科学的調査

平尾良光

1. はじめに

後1世紀の頃、西域へ伝わった仏教は4世紀頃、中国中心部および朝鮮半島で隆盛に向かい、6世紀には日本へ伝わったとされている。仏教の伝来・隆盛と共に、各々の地域で仏教関係の絵画・彫刻等が盛んに製作された。ここで金属製仏像・仏具の製作には金属の精錬・加工のために地域毎に発達した技術が利用されたと考えられる。それゆえ、この時代における金属製仏像等の製作技術に関する知見は当時の地域社会が持っていた技術水準、あるいは物資の流通などの一断面を表わすこととなろう。金属としては主として銅合金が用いられたが、銅合金の化学組成とその変遷、あるいは金属の産地などという自然科学的な情報は従来の仏像様式論に加えて、金属の取り扱い技術の進歩や鉱山資源の開発などという社会的な側面を加えることとなる。

しかしながら、銅造仏の化学組成あるいは材料産地の推定等に関する自然科学的な調査は宗教的または美的観点による、あるいは法律の規則による制約でほとんど行われていないのが現状である。

今回、東京国立文化財研究所修復技術部長三輪嘉六氏を通じて古美術商「壺中居」所蔵の中国・北魏時代の銅造仏を自然科学的に調査する機会を得たので、蛍光X線分析法による化学組成、および質量分析法による鉛同位体比を測定し、若干の考察を加えた。

2. 資 料

依頼された資料は、1)太和16年(西暦492年)銘如来立像と、2)景明2年(西暦501年)銘菩薩立像の2点であった。これら2点の仏像は見かけ上新たな錆が発生しているので、錆の調査のために本研究所へ持込まれた時に、分析する機会を得た。

資料1)は写真1-1~3(p.19参照)で示される。資料2)は写真2-1~3(p.20参照)で示される。

三輪嘉六氏によれば両資料とも北魏時代の典型的な銅造仏であり、北魏時代の基準になるかもしれない資料であると言う。ただし、太和16年銘如来立像に関して様式的には良いが、台座部分に陰刻されている銘文が鍍金後に彫られている点、後刻の可能性が残るといふ。2)景明2年銘菩薩立像に関して、文字の陰刻にそれほどおかしいところは見えず、様式的にも製作年代に問題はないという。

これら資料に関して美術史的な観点からいくつかの解説(和泉市久保惣美術館:1991, 松原:1966)が出ている。これらからすると、「太和16年銘如来立像は中国・北魏時代における太和期(AD477~499)

後半の余風が明らかな厚造の像であり、光背の火炎の形などは太和期中葉の形式であるが、前脛の衣襷などの表現に新しい傾向が表われており、北魏時代の作を特徴づけている」という。また景明2年銘菩薩立像に関して、「北魏初期の立像の系譜に属する像であり、光背、前脛の衣紋などに変化が見られる。あるいは蓮華座の形態、蓮弁の造形などは今までの形式を踏襲している」として、北魏時代初期の製作を支持している。

3. 測 定

本研究においては化学組成を蛍光X線分析法で測定し、産地推定のために銅に含まれる鉛の同位体比を質量分析法で測定した。蛍光X線分析法と質量分析法とは資料の取り扱い方が別なので、それぞれ独立にまとめた。

3. 1 資料測定箇所および試料採取（写真3～6；p.21参照）

化学組成を測定した箇所と鉛同位体比を分析した試料の採取箇所を示す。

資料1)太和16年（西暦492年）銘如来立像の化学組成を3カ所で測定した。測定部分は下記に示すように、台座の底面、本体背面柄、および光背正面右脇侍とした。本体と台座部分は同一の鑄造と見られるが、光背は別鑄造となっているので、それぞれの部分の違いについて調べることに意味があると考えた。

1-1) 台座底面部の左後方隅 一写真3と4— (XFL993)

1-2) 本体背面中央上柄の先端 一写真3— (XFL994)

1-3) 光背正面の右脇侍右手の鍍金がはがれた箇所

一写真5(写真1-1の部分)— (XFL995)

鉛同位体比を測定するための試料として台座内側の鍍金を数mg採取した (CP277)。

資料2)景明2年（西暦501年）銘菩薩立像は全体が同一の鑄造（一鑄）と見られるので、化学組成を測定するために1カ所を分析した。

2-1) 光背背面左上方縁で鍍金のはがれた箇所 一写真6— (XFL996)

鉛同位体比を測定するために台座背面中央で凹となった部分から鍍金を数mg採取した

一写真2-3— (CP278)

3. 2 蛍光X線分析

3. 2-1 測定条件

化学組成を測定するために蛍光X線分析法を利用した。この方法は資料をほとんど傷めずに、非破壊的に分析できるからである。使用機器はフィリップス社製波長分散型蛍光X線分析装置PW1404LSである。機器にはスカンジウム管球を用い、60kV、50mAの出力で一次X線を発生させる。この一次X線を資料に照射し、資料を構成する元素から二次X線を放出させる。二次X線のエネルギーとその強度は元素の種類と含有量によって異なるので、フッ化リチウムの結晶で二次X線を角度に分散させ

ると、X線のエネルギーの違いで反射角度が異なり、X線強度のスペクトルが得られる。分散角度から元素の種類、X線強度から元素量に関する知見が得られる（平尾ほか：1992）。

3. 2-2 結 果

PW1404LS 蛍光X線分析器のこの作動条件で、測定部は約1cmの直径の円であり、この表面の深さ約10 μ mまでの化学元素組成の情報が得られる。この場合、得られたX線のスペクトル強度は錆や表面処理などに影響されることがあり、必ずしも元素濃度と正比例しないので、測定表面の化学組成を正確に反映するとは限らない。このような条件を考慮しながら分析結果を以下にまとめた。

表1 如来立像（太和16年銘）および菩薩立像（景明2年銘）の蛍光X線相対強度
 ($2\theta=45^\circ$ のX線強度を100としたときの相対値)
 Table 1 Relative X-ray fluorescence intensities of the bronze Buddhas of Taihe and Jingming periods of Northern Wei.
 (The X-ray intensity of $2\theta=45^\circ$ is assumed to be 100)

元 素	角度 ($2\theta^\circ$)	如 来 立 像 太 和 16 年 銘			菩 薩 立 像 (景 明 2 年 銘)
		本体台座地付 後部左角	本体上部 柄先端	光背右脇侍 右手	本体光背背面 左上方
		XFL993	XFL994	XFL995	XFL996
銅	(45.02)	100	100	100	100
スズ	(14.03)	9.3	11	13	11
鉛	(28.22)* ¹⁾	1.2	1.8	1.6	5.5
アンチモン	(13.46)	0.6	0.4	0.9	0.5
銀	(16.01)	0.2	+	0.6	0.2
ビスマス	(33.00)	—	—	—	—
ヒ素	(33.92)* ²⁾	—	0.6	1.2	0.2
亜鉛	(41.81)	—	—	—	+
鉄	(57.45)	2.0	+	0.4	+
金	(36.97)	0.9	0.7	63	6.0
水銀	(35.92)	—	+	6.1	0.8

*¹⁾ スズの影響を補正した値

*²⁾ 鉛の影響を補正した値

*¹⁾ The influence of tin peak is corrected for lead intensity.

*²⁾ The influence of lead peak is corrected for arsenic intensity.

XFL番号は当研究室における測定番号。表中の化学元素名に付随した()内の数値は元素から放出される固有のX線が示す分散角度。+はピークのX線強度比が0.1以下ではあるが、存在。—は測定限界以下。

XFL number indicates analytical number of the laboratory. The value in the parenthesis is a diffraction angle of secondary X-ray emitted by an element. +: The peak exists even less than 0.1. -: The relative X-ray intensity is not detected with this method.

測定された蛍光X線スペクトル図を図1～図4（p. 22, 23参照）で示した。これらは全体像の(a)図と、縦軸だけを10～50倍に拡大した(b)図として表わされている。これらのスペクトル強度を表1としてまとめた。表1では元素から放出されるX線強度は銅を100とした相対強度で表わした。

3. 2-3 所 見

如来立像 [太和16年銘]

台座 (XFL993)：銅・スズ・鉛合金である。鉛は主成分であるが少ない。銀は少量、アンチモンが微量存在する。ヒ素、亜鉛、ビスマスは見えない。

上柄 (XFL994)：銅・スズ・鉛合金である。銀は極めて少ない。ヒ素、アンチモンが微量存在する。亜鉛、ビスマスは見えない。

光背 (XFL995)：銅・スズ・鉛合金である。銀、ヒ素は少量、アンチモンは微量存在する。亜鉛、ビスマスは見えない。水銀と金の比は0.10である。この水銀残存率から鍍金がアマルガム法で行われたと想定できる。多くの場合、水銀残存率は0.1程度なので、この資料においても鍍金後の水銀の揮散は普通に行われていたと推定される。

菩薩立像 [景明2年銘]

光背 (XFL996)：銅・スズ・鉛合金である。鉛は充分量含まれている。銀、ヒ素、アンチモンが微量存在する。ビスマスは見えない。

3. 2-4 考 察

如来立像 [太和16年銘] の3点（台座、上柄、光背）の測定結果からすると、アンチモンが少量存在すること、亜鉛・ビスマスが見えないこと、ヒ素が比較的少ないこと等、互いに良く類似した組成である。アンチモン・銀・ヒ素量の変動が比較的大きいのは casting 時において、これら元素の偏析のため、あるいは測定表面の錆にこれら元素が濃縮（あるいは減少）しているためかもしれないので、本質的な差であるとは思われない。本体と光背部分の化学組成がほぼ同一と判断されるので、同一条件で casting されたと見ることもできる。また各測定部が金属光沢をしていたので、これらの部分がかなり本体組成を表わしていると思われた。そこで標準資料を用いた検量線法により主成分元素の濃度を計算してみると、銅85%、スズ10%、鉛5%程度であった。

菩薩立像 [景明2年銘] (XFL996) の主成分元素の中で、鉛含量は先の如来立像 [太和16年銘] に比較して高い。これは鉛の偏析のためかもしれないが、この数値からすると無視できない量の違いである。その他の微量、少量元素はほぼ似たような組成である。主化学組成は太和16年銘像と同様に計算すると、銅80～75%、スズ10%、鉛10～15%程度であった。鉛濃度が高い場合、偏析の影響が強く受けるので、この値がこの像の平均的な組成比であるかどうかはこれからの問題である。

いままでに銅造仏の化学組成としては東京国立博物館法隆寺宝物室所蔵の四十八体仏に関して報告（東京国立博物館：1988, 1989, 1990）しているもので、これらと比較してみる。ただし時代的にも、地域的にも異なっているので、あまり参考にならないかもしれない。法隆寺金銅仏群の中で、比較的古い

1-1



1-1 正面
1-1 Front figure with halo

1-2



1-2 側面
1-2 Side figure

1-3



1-3 背面 光背なし
1-3 Back side figure without halo

写真1 如来立像 (太和16年銘) (資料1)
Photo.1 Standing Buddha (Nyorai) which has an inscription of the year of Taihe 16 (AD492) of Northern Wei.

(撮影：橋本弘次)

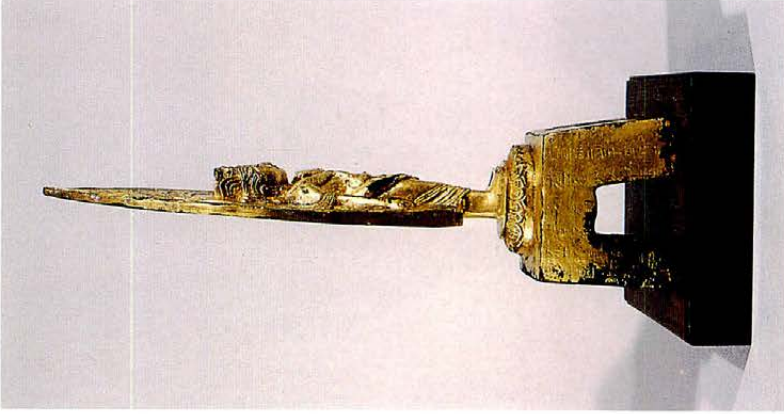
2-1



2-1 正面

2-1 Front figure

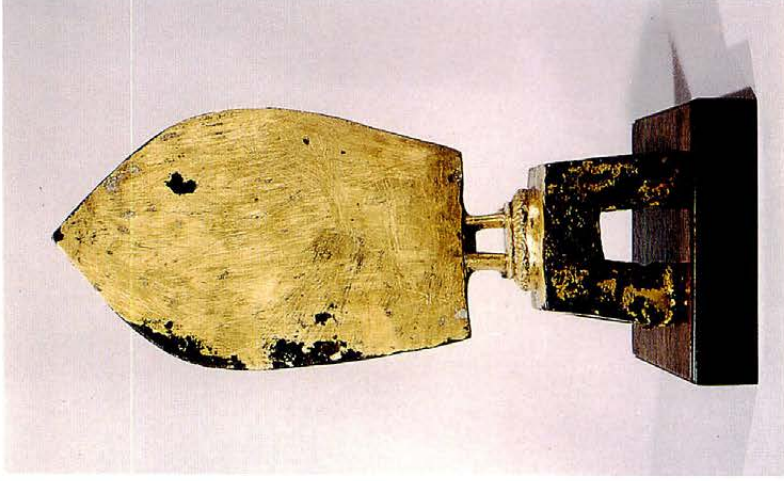
2-2



2-2 側面

2-2 Side figure

2-3



2-3 背面

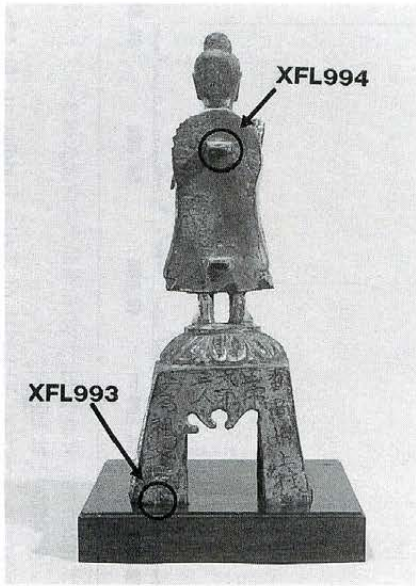
2-3 Back side figure

写真2 菩薩立像（景明2年銘）（資料2）

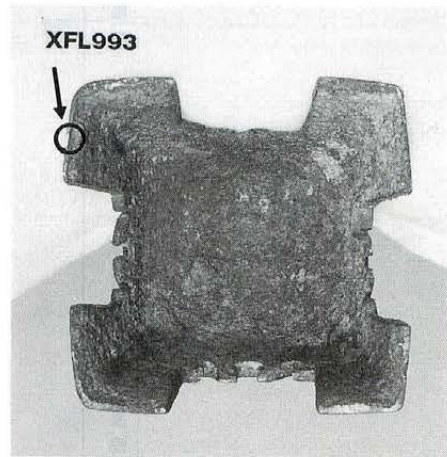
Photo. 2 Standing Bodhisattva (Bosatsu) which has an inscription of Jingming 2 (AD501) of Northern Wei.

（撮影：橋本弘次）

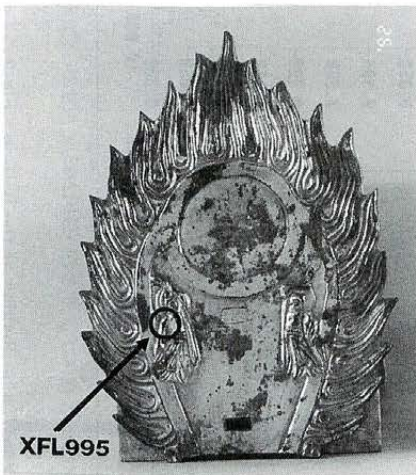
3



4



5



6

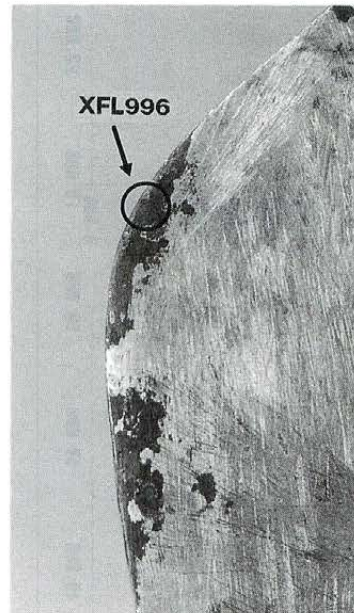


写真3 如来立像(資料1)の蛍光X線分析を行った位置

XFL993(台座底面の左後方隅)とXFL994(背面上の柄先端)

写真4 如来立像(資料1)の測定箇所:XFL993(台座底面左後方隅)

写真5 如来立像(資料1)の蛍光X線分析を行った位置

XFL995 光背正面の右脇侍の右手 鍍金がはがれた部分(写真1-1の一部分)

写真6 菩薩立像(資料2)の蛍光X線分析を行った位置

XFL996 光背背面左上方縁で鍍金がはがれた部分(写真2-3の一部分)

Photo. 3 The marked positions (XFL993 is bottom side and XFL994 is tenon) were measured the chemical compositions by X-ray fluorescence method.

Photo. 4 The marked position (XFL993; bottom side) was measured the chemical composition by X-ray fluorescence method.

Photo. 5 The marked position (XFL995; right arm of right attendant on the halo) was measured the chemical composition by X-ray fluorescence method.

Photo. 6 The marked position (XFL996; upper right hand part of back side of the halo) was measured the chemical composition by X-ray fluorescence method.

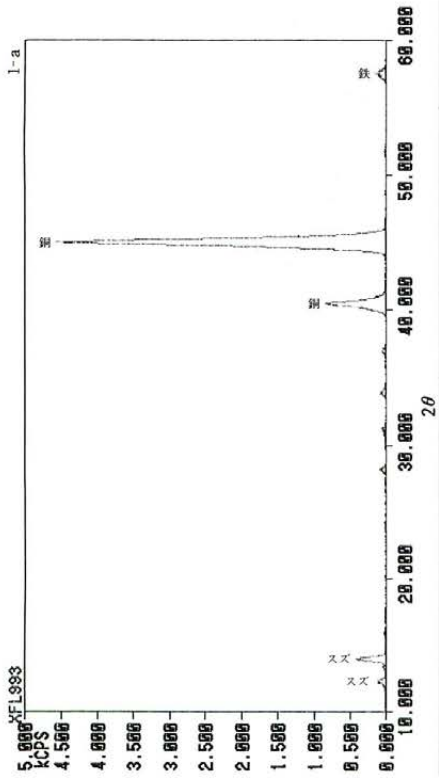
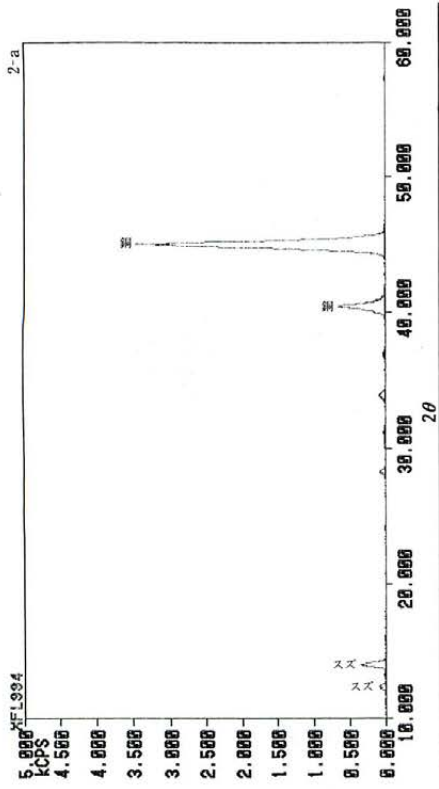


図1 如来立像(太和16年銘)台座地付き部分の蛍光X線スペクトル図(XFL993)。全体像(a)と拡大図(b)

Fig. 1 X-ray fluorescence spectra (XFL993) of Taihe Buddha at the bottom of the figure. Whole and an expanded part spectra are shown in (a) and (b) figures.



図2 如来立像(太和16年銘)背面中央上柄の先端部分の蛍光X線スペクトル図(XFL994)。全体像(a)と拡大図(b)

Fig. 2 X-ray fluorescence spectra (XFL994) of Taihe Buddha at the tenon of the back side center. Whole (a) and a part expanded (b).

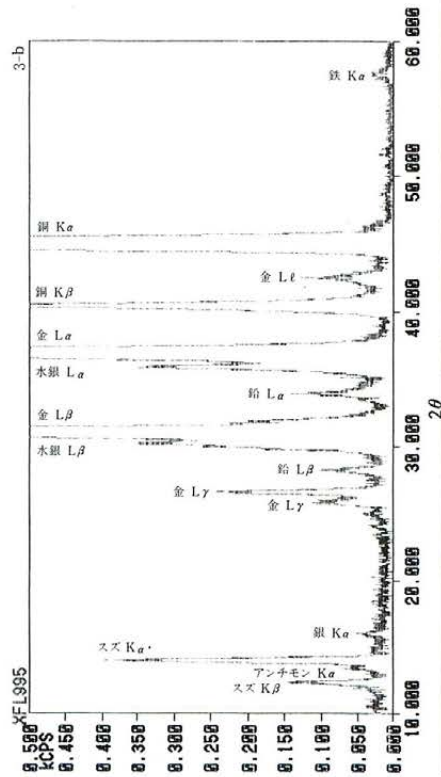
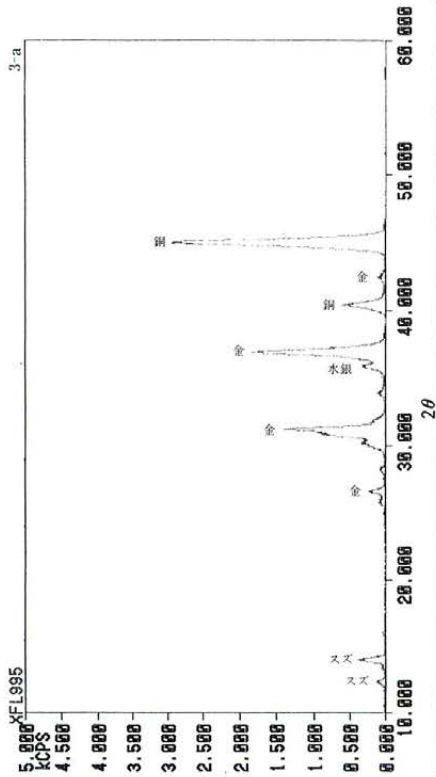


図3 如来立像(本和16年銘)光背正面右脇侍の右手鍍金の右手鍍金のはかれた部分の蛍光X線スペクトル図(XFL995)。全体像(a)と拡大図(b)

Fig.3 X-ray fluorescence spectra (XFL995) of Taihe Buddha at the right arm of the right attendant on the halo. Whole (a) and a part expanded (b).

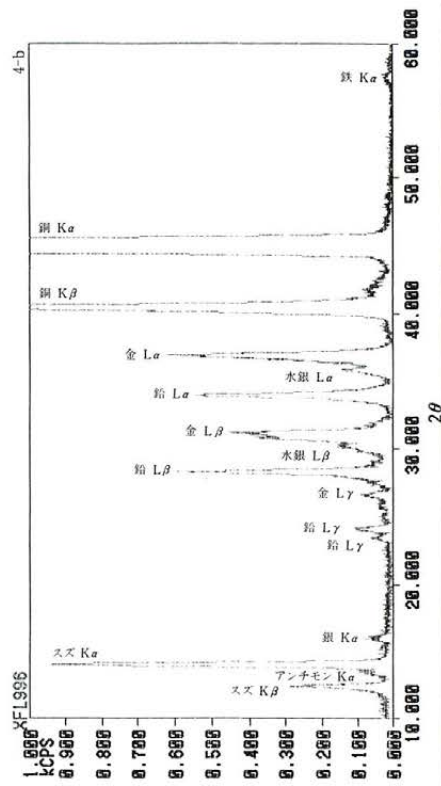
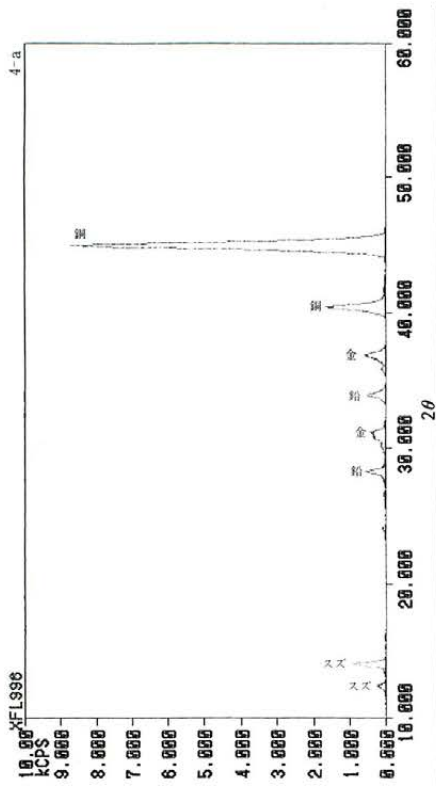


図4 菩薩立像(景明2年銘)光背背面左上方縁蛍光X線スペクトル図(XFL996)。全体像(a)と拡大図(b)

fig.4 X-ray fluorescence spectra (XFL996) of Jingsming Buddha at the upper part of the back side halo. Whole (a) and a part expanded (b).

時代とされているグループは銅・スズ・鉛合金でできている場合が多く、時代が新しくなると、銅-スズ合金から、純銅がだんだん多くなる傾向がある。すなわち、金属製仏像の製作技法の発展を考えると、時代が新しくなるに従い、銅-スズ-鉛合金から銅-スズ合金(青銅)、そして純銅へと化学組成は変化するようである。銅造仏は最後の仕上げとして鍍金しているが、このためには生地が純銅の方が鍍金しやすいと言われている。北魏様式の銅造仏の場合(後5世紀から6世紀にかけて)はまだ銅-スズ-鉛合金が主流であったと考え、今回測定した北魏様式の仏像の化学組成は理解しやすい。

3. 3 質量分析

鉛同位体比を質量分析法で測定し、金属の産地に関する情報を得た。

3. 3-1 測定条件

資料から採取した鏝を少量の硝酸で溶解し、含まれている鉛を電気分解法で分離精製した。この鉛の一定量(200ng)を質量分析計のフィラメントに載せ、6個のイオン検出器を装備したVG社製全自動表面電離型質量分析計Sector-Jに装着した。鉛同位体比分析のために、フィラメントを加熱し、出てくる鉛イオン強度を十分に得るための条件調整に15分かけた。最後にフィラメント温度を1200℃まで昇温し、同位体比データの測定に15分かけた。なお、真空度は試料加熱室部分で 2×10^{-5} Pa以下とした。得られた数値はNBS-SRM-981で規格化した。(平尾, 馬淵:1989)。

表2 金銅製仏像の鉛同位体比組成
Table 2 Observed values of lead isotope ratios for Northern Wei Buddhas.

試料 (測定番号)	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	$\frac{^{208}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	$\frac{^{208}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$
太和16年銘如来立像 (CP277)	18.206	15.651	38.652	0.8597	2.1231
景明2年銘菩薩立像 (CP278)	17.838	15.583	38.404	0.8736	2.1529
誤差	±0.010	±0.010	±0.030	±0.0003	±0.0006

3. 3-2 結果

測定された金銅製北魏仏の鉛同位体比の値は表2で示される。

3. 3-3 考察

測定された鉛同位体比の値を理解しやすいように図5と6で表わした。図5はA式図と通称しており、縦軸を $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 、横軸を $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ としている。図6はB式図と呼んでおり、縦軸に $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、横軸を $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ としている。鉛同位体比による産地推定の原理及び応用については、「都田地区発掘報告書(1990年1月)浜松市他編」(平尾, 馬淵:1990)など、いくつか報告(馬淵, 平尾:1982a, 1982b, 1983, 1987)されているので詳しい原理については省略する。これらをまとめ

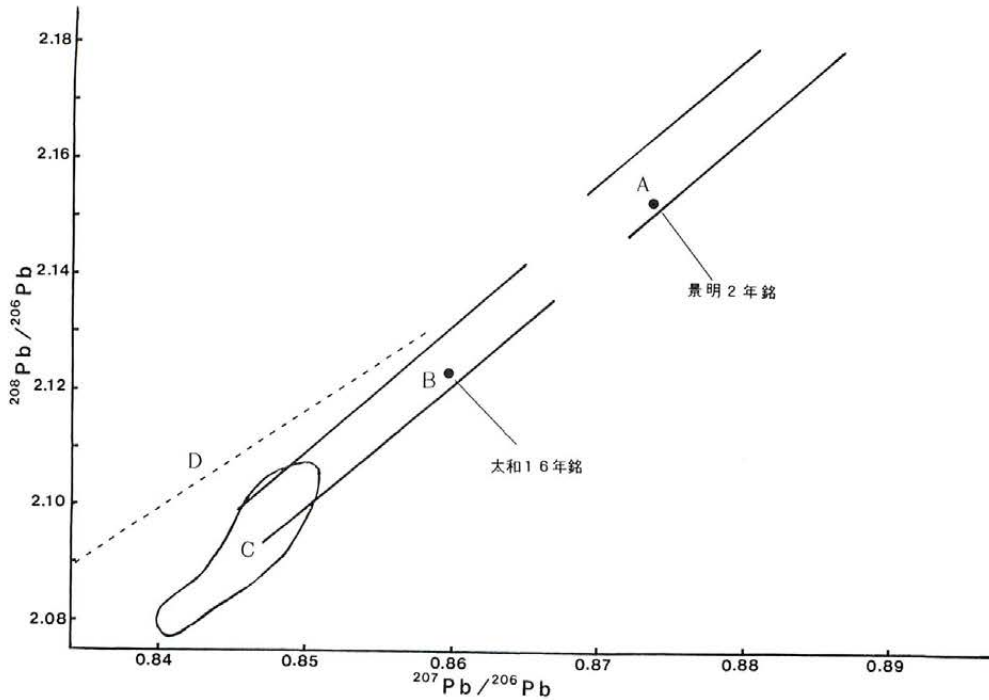


図5 仏像が示す鉛同位体比 (A式図による)

A : 華北産の鉛, B : 華南産の鉛, C : 日本産の鉛, D : 朝鮮半島産の鉛, が主として分布する領域

Fig.5 A figure of lead isotope ratio of Northern Wei Buddhas. (A type figure).

A to D regions in the figure mean the main distribution area of the lead ore.

A : Northern China lead, B : Southern China lead, C : Japanese lead, D : Korean peninsula lead

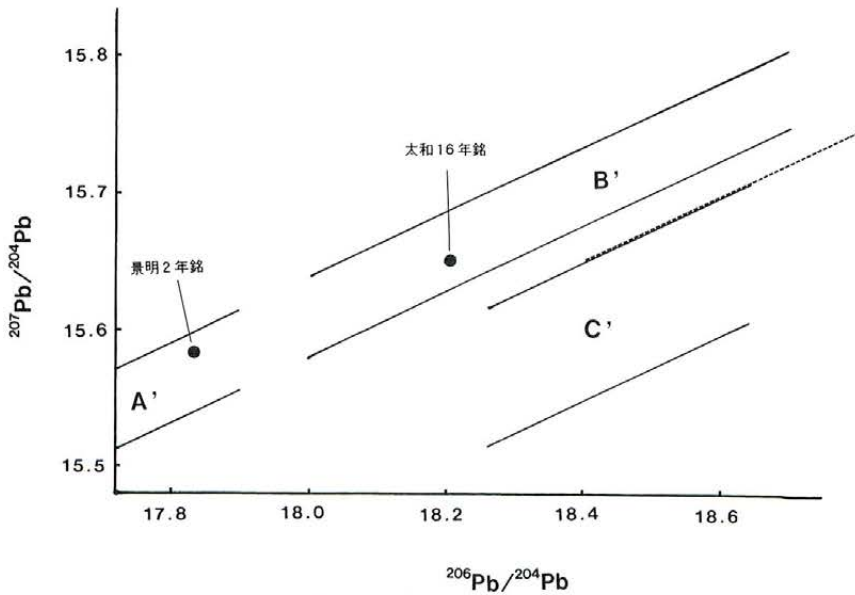


図6 仏像が示す鉛同位体比 (B式図による)

A' : 華北産の鉛, B' : 華南産の鉛, C' : 日本産の鉛, D' : 朝鮮半島産の鉛, が主として分布する領域

fig.6 A figure of lead isotope ratio of Northern Wei Buddhas. (B type figure).

Refer to Figure 5 for the explanation of A' to D' symbols.

ると、漢式鏡を主体とする青銅に関する今までの研究から、日本の弥生時代、古墳時代における東アジア地域の青銅鏡などに含まれる鉛の同位体比は鉛を産する鉱山、あるいは地域によって特定の値を示すことがわかっており、A式図ではA～Dのように、またB式図ではA'～D'のように大きく区分できる。ここで、A、A'は中国華北、B、B'は中国華南、C、C'は日本、D、D'は朝鮮半島産の鉛の領域であることがわかっている。今回の資料をこの図にプロットすると、太和16年銘如来立像(CP277)がBおよびB'領域に、景明2年銘菩薩立像(CP278)はAおよびA'領域に含まれることがわかった。

4. ま と め

鉛同位体比の結果より、太和16年銘如来立像は華南産の鉛を、また景明2年銘菩薩立像は華北産の鉛を使っていたことが示された。

日本の弥生時代以降、日本へ運ばれた青銅および青銅製品が示す銅同位体比から判断すると、中国、前漢時代の青銅製品は華北産の鉛同位体比を示し、後漢中期から三国時代にかけて華北の鉛がほとんど利用されなくなり、替わって華南産の鉛が現われるようになった。三国時代に華北に位置した魏の銅鏡には華北産の鉛は現われず、華南産の鉛が利用されていたことがわかっている。それゆえ、銅、スズ、鉛などの鉱業生産の主力は、後漢以降、華南に移ったと理解されている。それゆえ魏の後を継いだ北魏王朝が魏の産業構造を受け継いでいるとすれば、この時代にも華南産の青銅が華北に位置した北魏へ供給されていたと考えられる。よって太和16年銘の仏像が華南の鉛同位体比を示していても不思議はない。ここで後漢以降生産されなくなったと思われる華北産の鉛は唐代に開元通宝の一部に利用されており(馬淵ほか：1982)、再度、華北産の鉛が利用されるようになったと推測できる。しかし開元通宝に華北産の鉛が現われる比率はそれほど多くはないので、それほど大規模な生産量ではないと思われる。それゆえ、北魏時代に、これら華北の鉛鉱山が再開発されたとしても不思議ではなく、華北産の鉛を使用した製品、すなわち景明2年銘の仏像が存在することは大きな意義をもつ。すなわち、華北産の鉛がこの時代になって再生産されるようになったことを意味していよう。今回測定した北魏様式の仏像はほぼ同じ時代に原料がまったく異なった地方から供給されている点で興味深い。このことからすると、北魏様式の仏像が北魏で生産された材料を利用している場合と、華南産の材料で製作された場合とがあるということを示している。華南産の材料はインゴットで運ばれたのであろうか。

最後に資料測定を快く認めて下さった株式会社壺中居に感謝致します。また蛍光X線分析と鉛同位体比分析に協力して下さった大西純子、榎本淳子嬢に感謝します。

引用文献

- 和泉市久保惣美術館編集・発行(1991) 「平成3年度特別展図録 六朝時代の金銅仏」
- 東京国立博物館編(1988) 『法隆寺献納宝物特別調査概報 VIII 金銅仏4』昭和62年度
- 東京国立博物館編(1989) 『法隆寺献納宝物特別調査概報 IX 金銅仏5』昭和63年度
- 東京国立博物館編(1990) 『法隆寺献納宝物特別調査概報 X 金銅仏6』平成元年度
- 平尾良光, 馬淵久夫(1989) 表面電離型固体質量分析計 VG-Sector の規格化について,
保存科学 28, 17-24.
- 平尾良光, 馬淵久夫(1990) 東海地方で出土した弥生時代および古墳時代青銅器の科学的調査 都田
地区発掘調査報告書(下巻), 浜松市・浜松市教育委員会・(財)浜松市文化協会編 p.590-620.
- 平尾良光, 大西純子, 大貫良夫, 加藤康建(1992) ペルー共和国, クントゥル・ワシ遺跡から出土し
た遺物の科学的調査. 考古学と自然科学 25:13-30.
- 馬淵久夫, 平尾良光(1982a) 鉛同位体比法による漢式鏡の研究 MUSEUM, No. 370, 4-10.
- 馬淵久夫, 平尾良光(1982b) 鉛同位体比から見た銅鐸の原料 考古学雑誌 68, 42-62.
- 馬淵久夫, 平尾良光(1983) 鉛同位体比法による漢式鏡の研究(二) MUSEUM, No. 382, 16-26.
- 馬淵久夫, 平尾良光(1987) 東アジア鉛鉱石の同位体比—青銅器との関連を中心に— 考古学雑誌
73, 199-210.
- 馬淵久夫, 平尾良光, 佐藤晴治, 緑川典子, 井垣謙三(1982) 古代東アジア銅貨の鉛同位体比. 考
古学と自然科学 15:23-39.
- 松原三郎(1966) 「増訂 中国仏教彫刻史研究」吉川弘文館

Scientific Examination of Bronze Buddha of Northern Wei

Yoshimitsu HIRAO

Tokyo National Research Institute of Cultural Properties

13-27 Ueno Park, Taitoku, Tokyo, 110 JAPAN

Chemical compositions and lead isotope ratios of two bronze Buddha figures of Northern Wei (AD439-534) of China were measured. Scientific examinations for bronze materials of Buddha figures were seldom applied because of conservation problem or religious restriction. Each bronze buddha figure of this report had inscription of the year of Taihe[太和] 16 (AD492) and the year of Jingming [景明] 2 (AD501) of Northern Wei respectively.

Chemical compositions were obtained by X-ray fluorescence method. The observed values indicated that main components of the figures were copper-tin-lead alloy and the surfaces were gilt by gold using mercury technique. Small amount of antimony, silver, arsenic and iron were found as contaminant. Main chemical composition of Taihe Buddha was calculated to be copper was 85%, tin 10% and lead 5% and of Jingming Buddha was copper 80~75%, tin 10% and lead 10~15% respectively from the spectral line intensities.

Lead isotope ratios were obtained by a surface ionization mass spectrometer. Lead values of two buddha images indicated that Taihe Buddha contained lead from Southern China and Jingming Buddha contained lead from Northern China. It was found by the former analysis that there was clear difference in isotope ratios between leads from Northern and Southern China. Judging from the results of bronze mirror analysis, Western Han (BC202-AD8) used lead from Northern China only, but Eastern Han (AD25-220) and Wei (AD220-265) used lead from Southern China only. During the Tang period (AD618-907), lead from Southern China seemed to be used mainly for many objects and was also used for the casting the Kaiyuan Tangbao which was a famous bronze coin of this period. Small portion of northern lead was also recognized for the coins. The Buddha figures of Northern Wei of this work indicated that the production of lead in Northern China area was re-started during this period at least.