中国「新」時代に制作されたと伝えられる貨幣『一刀』に 用いられた金属工芸技法

桐野文良 大野直志 田口智子

東京藝術大学大学院

J. Japan Inst. Met. Mater. Vol. 83, No. 3 (2019), pp. 87-96
© 2019 The Japan Institute of Metals and Materials

Metal Craft Production Techniques for an Ancient Chinese Coin Named *Ittou* Manufactured in the *Shin* Period of Ancient China

Fumiyoshi Kirino, Naoshi Ohono and Satoko Taguchi

Graduate School, Tokyo University of the Arts, Tokyo 110-8714

The metal craft production techniques for an ancient Chinese coin named *Ittou* in the *Shin* period of ancient China were studied from material science viewpoints. This cultural artefact was manufactured in the *Shin* period of ancient China. An infrared image shows the surface state and the materials absorbed on the surface. According to infrared images of the cultural artefact, roughness on the surface of this coin was created on cooling during mintage. UV-fluorescence images show luminescence at corrosion products and yellow soil. In X-ray transmission images, some voids in this coin were observed, indicating the metal craft production technique used during this period. The main element of this cultural artefact is Cu and other elements are Sn and Pb. X-ray diffraction patterns indicate the presence of Cu-Sn base intermetallic compounds. *Ittou* coins are made from bronze. The characters on the coins were formed using an inlay technique called *zougan*. Yellow soil adhered to the surface of the examined coin from where it was excavated. The material used to form the characters on the coin is 10 mass% Cu-Au alloy, and flaws were observed on the surface of the characters. The compositions of ancient *Kan* coins produced between the east *Kan* and west *Kan* periods were also analyzed. The composition of these ancient coins was the same as that of the coin from the *Shin* period of old China, indicating that the same metal craft production technique was used in both periods. These techniques were improved in this period, enabling many coins to be manufactured. [doi:10.2320/jinstmet.J2018045]

(Received August 27, 2018; Accepted December 17, 2018; Published February 8, 2019)

Keywords: ancient Chinese coin, metal craft production technique, bronze, void, inlay technique

1. 緒 言

大陸から我が国に伝わった金属工芸は日本独自の発展をとげ江戸時代後期に成熟期を迎える。工芸技法を用いて制作されたのが貨幣で、これには政府の威信もあり、高度な金属工芸技法が用いられている。特に、金属貨幣に着目して制作技法を調べることで当時の金属工芸技法の一端を知ることができる。わが国における貨幣の自然科学的および社会科学的な視点からの研究は Ashida の研究¹⁾にはじまるとされる。これを踏まえて、これまでに著者らは金属学的な視点からわが国の文化財資料である貨幣の和同開珎²⁾、文政一朱金³⁾、小判⁴⁾を取り上げ、その制作技法や色揚げなどの金属工芸の彩色技法について調べた結果を報告してきた。また、豊臣秀吉が制作したと伝えられる貨幣型恩賞品(永楽通宝や天正通宝)⁵⁾および小判や銀判⁶⁾の内部応力の測定により金属工芸の制作技法を推定し、得られた結果を踏まえて実験的にその技法を復元した結果を報告した。これらの検討から、文化財資料の研究は我が国の金属工芸の発展の推移の一部を垣間見ることができる。

ところで、わが国の金属工芸の源流は大陸、すなわち中国にある^{7,8)}とされる。金属工芸技法の適用の観点から古代中

国における初期の貨幣制作を金属工芸の視点から歴史的にみる。中国で最初に制作された貨幣に用いられた材料は金属ではなく天然物の宝贝である。その後、時を経て金属貨幣の生産が始まるのは春秋戦国時代中期ごろで、用いられた材料は青銅である。形状は布銭(鋤などの農具)や刀銭、圓銭、蟻鼻銭をはじめ、魚や楽器を模したものなどに始まり、やがて円形の方孔銭へと移り変わっていく⁸⁻¹⁰⁾。紀元前 206 年に成立した漢王朝(中国では西漢、日本では前漢とよばれ、都は西安である)における貨幣の製造をみると、建国直後の王朝は内乱の平定と匈奴との戦いが続き、王朝として貨幣を発行したのは紀元前 118 年の五銖銭からである。それまでは前王朝である秦の半両銭を引き継ぐとともに、民間での鑄造を認めるなどの形を取らざるをえなかった^{8,9)}。建国当時は半両銭が通用していたが、これがやがて 5 銖銭に改鑄されていく。その後、西暦 9 年に漢の実権を握った王莽により新王朝をたて漢は一時途絶える。王莽は精力的に貨幣を発行するとともに貨幣制度を見直している⁸⁻¹⁰⁾。その後、西暦 25 年に漢(中国では東漢、日本では後漢とよばれ、都は洛陽である)が再興され、再び五銖銭が製造され流通するようになる。ここで、新の時代の 14 年間をみると、王莽は名目貨幣(貨幣重量と貨幣価値が不一致)として多種多様の貨幣を発行(王莽銭ともよばれる)している⁸⁻¹⁰⁾。そのはじめが漢時代の五銖銭を

廃止し同額面の小銭直一の制作(西暦9年)であり、これを貨泉(西暦14年)に改鑄している。この間に王莽は国内すべての金を国有化する経済政策を実行している。王莽の政策は名目貨幣ゆえに私鑄、盗鑄が多発したり、貨幣制度そのものが複雑化したりするなどの経済的な弊害を招くことになる⁸⁻¹⁰⁾。このような経済的社会的な背景を踏まえ、王莽が精力的に発行した新の時代の貨幣を取り上げることこの時代の金属工芸における制作技法(以下、金属工芸技法と記載する)を知る上で興味深い。

そこで、本研究では新王朝において王莽が精力的に制作した貨幣のうち金象嵌が用いられたと伝えられる『一刀』とよばれる貨幣を研究対象の文化財資料として取り上げる。この『一刀』は小泉直一の5000枚分の価値があるとされる最も高額な貨幣として制作された。先にも述べたように貨幣はその国の高い金属工芸技法が使われたとされ、その技法を調べることは意義深い。これにより、王莽の時代の鑄造技術をはじめとする漢王朝の金属工芸技法の一端を明らかにすることができる。得られた結果をこれまでに報告したわが国における貨幣の制作技法と比較することで金属工芸技法の歴史的な流れを知ることができる。本研究の目的は新の時代に制作された『一刀』を中心に、その前後の時代の漢王朝が制作した貨幣を文化財資料としてとりあげ、系統的に調べることにより貨幣の制作技法の変遷の特徴を金属工芸技法の視点から概観し、王莽の時代の鑄造を中心とする金属工芸技法の一端を明らかにすることである。

2. 研究 方 法

2.1 本研究で用いた文化財資料

本研究で文化財資料として取り上げる『一刀』(桐野所蔵)の外観像ならびに各所のサイズをまとめてFig. 1に示す。現存する『一刀』の多くは、刀の柄の部分にこの貨幣が附属した形状で、小泉直一換算で5000枚に相当する高額貨幣として用いられた⁸⁻¹⁰⁾。本研究で用いる文化財資料の『一刀』は真中に方形の穴を有する円形の貨幣である。この文化財資料は直径が28.5 mmの円形で、中心に内側の長さが7.6 mmの角穴である。また、この資料には縁が資料の外側と方向穴の周囲に形成されている。表面及び断面の模式図で示す各所のサイズを測定した。外周部部分の周囲は表が1.2 mm高さ、裏が0.9 mm高さの縁が、また、各穴部分の周囲には0.8 mm高さの縁がそれぞれ形成されている。縁以外の平坦な部分の厚さは約1.1 mmである。一方の面に「一刀」という黄色の文字が中心の角穴を挟んで書かれている。この文字は金象嵌という金属工芸技法により制作されたと伝えられている。資料の両面ともに錆が生じ、文字が書かれていない面の周辺部分に黄土色の土状の物質が付着している。このことから、この資料は出土品と考えられる。制作地は中国で、制作年代は「新」の王莽の時代(西暦7年)と伝えられている⁸⁻¹⁰⁾。

さらに、漢王朝の初めである西漢から、一刀が制作された新を経て、その後の東漢(後漢)の初めまでの同一地域で制作された12種類で14個の文化財資料の組成や鑄造技術を調

Fig. 1 Images of studied cultural properties of "Itou" ancient old coin (owned by F. Kirino).

べ、一刀と比較した。用いた文化財資料(いずれも桐野所蔵)の外観像を Fig. 2 に示す。表面の状態から、いずれの文化財資料とも出土銭である。西漢の時代の資料の中で、半両銭各種は秦の時代から継続して制作された銭貨であり、漢王朝が自ら製造したのは小五銖銭以降の貨幣である。また、複数の同一種の文化財資料は組成などのバラツキを検討するためである。この中で、提灯半両は制作年代が不明で、布泉は文献に制作の記載がなく出土した層序から年代を推定する考古学的手法により決定された年代を用いた。これらの文化財資料と比較すると、『一刀』の文字が異種の材料で制作されているようにみえるのが特徴の一つである。

2.2 実験方法

本研究では、①文化財資料の外観像の観察(紫外光や赤外光、可視光を用いた光学調査)、②文化財資料の内部構造の観察、③文化財資料に用いられた材料の元素ならびにその組成、④材料の結晶構造、の4点について調べた。これらの結果を総合して文化財資料の金属工芸技法を検討した。

(1) 外観像の観察：外観像の観察は可視光像、紫外線蛍光像ならびに赤外線像を撮影し、得られた像を解析した。紫外線蛍光像の撮影は、暗室内でおこなった。波長が 365 nm および 254 nm の光を文化財資料に照射し、380 nm 以下の波長の光を遮断するフィルター(Hmc-UV wp (株)ケンコー・トキナー製)を介してデジタルカメラ(Cyber-shot DSC-R960,

SONY(株)製)で撮影した。露光時間は 30 s である。この場合、カメラに入射してくる光は可視光で、この波長領域に蛍光を発する物質の存在を知ることができる。また、赤外線像は赤外線領域に感度を有する CCD を用いたカメラ(Cyber-shot DSC-R960, night shot mode, SONY(株)製)を使用し、640 nm より短い波長の光を遮断するフィルター(R-64 (株)ケンコー・トキナー製)を介して撮影した。赤外光源にはタングステンランプを用いた。赤外線は侵入深度が深いので、文化財資料表面の腐食層や汚れなどを介して文化財資料自身の表面の状態を見てとれるとともに、定性的ではあるが表面の凹凸の状態を知ることができる。

各部位の詳細は画像処理機能付デジタル顕微鏡ならびに光学顕微鏡、走査型電子顕微鏡(SEM, S-2460N, (株)日立製作所製)および低加速電圧高分解能走査型電子顕微鏡(FE-SEM, S-8010, (株)日立ハイテクノロジーズ製)により観察した。

(2) 材料の組成分析：走査型電子顕微鏡(S-2460N, (株)日立製作所製)に附属するエネルギー分散型 X 線分析計(EMAX, (株)堀場製作所製)により、用いられた文化財資料の元素ならびに組成を分析した。分析対象は文化財資料の地金部分と腐食層、文字部(象嵌部分)、付着物などである。

(3) 分光反射率の測定：画像色彩計(ICA-2000, 浅枝設計事務所製)に付属する分光ユニットを用いて、400~700 nm の波長範囲の分光反射率を測定した。分光反射率の標準は硫

Fig. 2 Images of studied cultural properties of ancient Kan's coins (owned by F. Kirino).

酸バリウムを 100%とした。

(4) 結晶構造の解析：X線回折法により文化財資料の結晶構造を調べ、用いられた材料を同定した。あわせて表面の腐食層を調べた。そのために、X線回折装置(RINT-ULTIMAIII および RINT-RAPID, (株)リガク製)を用いた。低角入射 X線回折では管球が Cu, 加速電圧が 40 kV で、フィラメント電流は 50 mA, X線の入射角は 0.5° で一定とした。また、微小部 X線回折では管球が Cu あるいは Cr, 加速電圧が 40 kV でフィラメント電流が 30 mA, X線のビーム径が $50\text{ }\mu\text{m}$ である。

(5) X線透過像および X線 CT 画像の撮影：文化財資料の内部構造を調べるために、X線透過像ならびに X線 CT 画像を撮影した。X線透過像は W をターゲットとする管球 (GE 製) にイメージングプレート (GE 製) を組み合わせて撮影した。撮影条件は管電圧が 150 kV, 管電流が 3 mA で照射時間が 10 s である。また、X線 CT 像の撮影には 3D マイクロ X線 CT (CT Lab (株)リガク製) 装置を使用した。撮影条件は管電圧が 90 kV, 管電流が $100\text{ }\mu\text{A}$ である。

3. 実験結果および考察

3.1 『一刀』の制作技法

3.1.1 光学調査

文化財資料の光学調査として、紫外線蛍光像および赤外線像を撮影した。得られた結果を Fig. 3 に示す。まず、Fig. 3 (A) で示す紫外線蛍光像は、365 nm と 254 nm の 2 種類の波長の紫外線を文化財資料に照射したときの可視光領域の発光をみる。波長が 365 nm では文字面及び裏面ともに資料に付着している土状物質から弱い蛍光がみられる。また、波長が 254 nm の場合は、土状物質からの弱い蛍光に加えて、文字面の方孔の周囲を中心に強い蛍光がみられる。この部分を拡大した可視光像 (A-5) と対比させると、この蛍光を発光している部分は腐食によって生じたと考えられる析出物が発光している。しかし、この発光は文字面のみで、腐食が文字面より著しい裏面での発光は見られない。このことは生成している腐食生成物が異なっていることを示唆している。

次に、文化財資料の赤外線像を Fig. 3 (B) に示す。ここで、可視光を遮る物質が資料表面に層状に存在していると表面の状態を知ることは困難である。赤外線はこの層を透過するので、文化財資料の表面状態を観察することができる。Fig. 3 (B-1) は『一刀』の文字面、同図 (B-2) は文字面の背面の赤外線像である。文字面と背面を比較すると、文字面の方がその背面より表面が平坦であることがわかる。貨幣は鑄造により製造していることから、背面の凹凸はその形状から腐食により生成したものではなく、貨幣の制作時に生成したと考えられる。これは貨幣の制作当時の鑄型の制作技術や鑄造技術などの金属工芸技法の水準の一部を示している。この点は Fig. 1 で示した可視光像からは凹凸の形状は明確に読み取ることができない。また、可視光像で見られた腐食層と考えられる緑色の生成物および背面の黄色の物質の一部は赤外線像では観察されない。このように、赤外線像の撮影により表面の凹凸などの状態も強調されるので、制作時の表面状態の推定や

(A) UV-fluorescence images

(B) Infrared images

Fig. 3 UV-fluorescence images and infrared images of “Ittou” ancient old coin.

腐食状況などを知ることができる。

3.1.2 構成元素および組成

文化財資料の構成元素および組成を走査型電子顕微鏡に付属するエネルギー分散型 X線分析計 (SEM-EDS, EMAX (株)堀場製作所製) により調べた。場所を変えて 5 箇所を SEM-EDS 法により測定し、得られた結果を平均した。Table 1 は文字面の左右の金属部分の組成値である。これによると、この貨幣の主成分は Cu, これに 5~6 mass% の Sn と Pb を含む青銅である。微量元素として As および Ag が検出される。これらの元素は Cu 鉱石に含まれる不純物と推定される。また、Si, Mg, Al は資料に付着している土壌の成分であり、この文化財資料が出土品であることを示している。また、S と Cl は金属の腐食生成物を形成していると推定される。ここで、Fe は文化財資料の地金成分か、土壌成分に由来するかはこの結果からは断定できない。地金成分であるとする、鑄型成分の混入か原料由来などの原因が考えられる。

3.1.3 X線回折像

文化財資料の結晶構造を低角入射 X線回折法 (入射角度: 0.5°) により調べた。文化財資料の表裏の回折プロファイルを Fig. 4 に示す。Fig. 4 (A) が文字面、同 (B) が背面である。

Table 1 Composition of metal area on “Ittou” ancient coin.

	mass%										
elements	Cu	Si	Mg	Pb	Sn	S	Fe	Cl	Al	As	Ag
composition	59.0	11.0	7.1	6.1	5.3	3.1	2.7	2.6	1.5	0.9	0.7

Fig. 4 X-ray diffraction patterns of “Ittou” ancient old coin.

Fig. 4(A)で示す文字面は文字の『一刀』にかからない部分のプロファイルである。Table 1で示す元素情報をもとにFig. 4(A)で示すプロファイルのピークを同定した。それによると、Fig. 4(A)の文字面は $\text{Cu}_{5.6}\text{Sn}$ および $\text{Cu}_{6.26}\text{Sn}_5$ などのCu-Sn系の金属間化合物が検出され、この他に Fe_2O_3 および Cu_2O などの酸化物が検出される。また、Fig. 4(B)の裏面はピーク強度が表面より強くなるとともに、ピーク強度比など配向性などに違いはみられるが、検出される金属間化合物や酸化物などに違いは見られない。Fig. 1で示すようにこの資料の厚さは1.1 mmであるが、ピーク強度やその比が変化するののは凝固の過程で厚さ方向に結晶成長していることを反映しているのかもしれない。そうであれば、冷却速度も結晶がある程度成長できる速度であることが考えられる。あるいは文字等を制作するときに熱処理した可能性などもある。

3.1.4 X線透過像

文化財資料の内部構造を調べるためにX線透過像を撮影した。得られた像をFig. 5に示す。まず、図中に矢印で示した像コントラストが暗いのはX線がほかの部分より透過しやすいことを示している。この部分は铸造時に生成した鬆(す)であると考えられる。矢印は代表位置で、この文化財資料のほぼ全面にわたり大小様々なサイズの鬆の生成がみられる。また、図中に○で囲った部分も弱い像コントラストが

Fig. 5 X-ray transmittance image of “Ittou” ancient old coin.

みられる。これはFig. 3(B)で示す赤外線像と対比させると、文化財資料の表面に緩やかな凹凸が生成していることに対応している。これは厚さが不均一であることを示し、当時の铸造技術が十分に発達していないことを示唆している。この点については、異なる時代であるが既報の日本の和同開珎(青銅銭)や貨幣型恩賞品である『永楽通宝』(銀製)における結果^{2,5)}と同様で、铸造技法が用いられた初期の特徴である。

次に、『一刀』の中の文字部に着目する。まず、文字部の形状をみると、『刀』の字の曲線部分が滑らかに描かれていない。さらに、『一』の字の部分も直線あるいは曲線になっていない。これが制作当時の彫金の技術水準を示している。また、文字部分は像コントラストが最も明るいことから地金部分よりもX線が透過しにくい材料が用いられていることを示している。文字部分については、次節でさらに詳しく検討する。

3.2 文字部の制作技法

3.2.1 光学顕微鏡観察

文化財資料の「一刀」の文字部分を光学顕微鏡で観察し、その代表的な2か所の像をFig. 6に示す。Fig. 6で示すように文字部分の表面は全面に多くの傷がみられる。傷の下から地金は観察されないことから、この文字部は箔のような薄い材料を地金に貼ったのではなく、箔よりは厚い形状の材料が貼られているか嵌め込まれて(象嵌されている)ようにみえる。また、地金と文字部の境界を見ると、隙間なく密着している。文字部の表面にも土壌成分とみられる付着物が散在している。

3.2.2 構成元素および組成

この資料の「一刀」の文字部分に用いられた材料を SEM-EDS により調べた。得られた結果を Table 2 に示す。文字の部分は Au と Cu との合金が主成分である。Au が 80 mass% 以上含む合金であるので、Fig. 5 で示す X 線透過像において X 線が透過しにくいこととも一致する。また、Si, Al, Mg, K は先の光学顕微鏡観察で観察された土壌成分と考えられる。比較のために、土壌が付着した部分の分析例を Table 3 に示す。これは埋蔵文化財であることを示している。その他の As は Cu の不純物、Cl は環境中より侵入した Cu の腐食

(A) Optical microscope image of letter area on *Ittou* ancient coin

(B) Optical microscope image of letter area on *Ittou* ancient coin

Fig. 6 Optical microscope image of letter area on *Ittou* ancient old coin.

生成物に起因すると推定される。

3.2.3 X 線回折像

文化財資料の文字部の X 線回折像を測定し、得られた結果を Fig. 7 に示す。この図は、文字の部分を中心にその周囲および厚さ方向(X 線の侵入深さ)も含む領域の回折像である。Fig. 5 で示した Cu-Sn 系の金属間化合物ならびに金属酸化物を除くと、Au-Cu 系の金属間化合物の単独の回折ピークが得られる。Au と Cu は平衡状態図的には規則格子変態(固相変態)を有する全率固溶型¹¹⁾に属する。合金の冷却時

Fig. 7 X-ray diffraction patterns of the letter area on “*Ittou*” ancient old coin.

Fig. 8 UV visible reflective spectrum for the letter area on “*Ittou*” ancient old coin.

Table 2 Composition letter area on “*Ittou*” ancient coin.

	mass%								
elements	Au	Cu	Fe	Al	Mg	Cl	Ca	As	Si
composition	82.6	12.2	0.5	0.8	0.8	1.1	0.3	0.6	1.1

Table 3 Composition of brown sand on “*Ittou*” ancient coin.

	mass%											
elements	Cu	Si	Mg	Pb	Al	Fe	Cl	S	Sn	K	Ca	Ag
composition	50.8	19.4	9.4	5.8	4.6	2.4	2.0	1.9	1.7	0.8	0.6	0.6

あるいは制作時に何らかの熱処理がなされた可能性がある。

3.2.4 文字部の分光反射率

文化財資料の文字部分の分光反射率を測定した。得られた結果を Fig. 8 に示す。比較のために、ここでは純 Au および純 Cu の分光反射率をあわせて示す。比較資料の純 Cu は 590 nm に、そして、純 Au は 520 nm に吸収端がそれぞれ観測される。この他に、純 Cu は弱いが酸化物に起因する吸収端も観測される。これに対して、文化財資料の文字部の分光反射率は 540 nm 付近に吸収端が観測され、純 Cu と純 Au の間である。Au-Cu 系は合金平衡状態図的には規則格子変態を有する全率固溶型¹¹⁾に属するので、Au と Cu は任意の濃度で均一に混合している。上述の X 線回折プロファイルから Au と Cu は金属間化合物を形成しており、その化合物の分光反射率は不明である。ここでは、Au と Cu の混合と考え、Table 2 で示す Au と Cu の濃度比 (4 : 1) を考慮すると、Au-Cu 系分光反射率は純 Cu のスペクトルと純 Au のスペクトルとの濃度比に対応した加算で求めることができる。それによると、吸収端は 540 nm 付近となり文化財資料の測定値と一致する。

3.2.5 文字部の Au 合金像の厚さの推定

(1) SEM-EDS 法：SEM-EDS において、加速電圧を増加させて測定していくと電子線の侵入深さが増し、Au 合金の厚さ方向の情報が得られる。得られた結果を Fig. 9 に示す。この図から、加速電圧が高くなるとともに、Au 濃度が僅かに増大する。これは加速電圧が高くなるとともに、電子線の侵入深度が増し表面に存在する土壌成分などの影響が小さくなったことに起因すると考えられる。そして、加速電圧が 22 kV 以上では Au 濃度はほぼ一定になる。今回の SEM-EDS 測定で用いた最大加速電圧は 25 kV で、この Au 合金の電子線の侵入深さをモンテカルロ法による計算機シミュレーションで推定すると約 0.5 μm である。この深さ以上には電子線は侵入できない。この結果から、文字部を形成する Au-Cu 層は少なくとも 0.5 μm 以上となるが、Fig. 5 で示す X 線透過像の像コントラストや Fig. 6 で示す光学顕微鏡観察結果と比較すると、この厚さとは一致しない。これより Au 合金層が厚いと、この手法での厚さ測定の限界となる。そこで、X 線 CT 像撮影によりさらに詳細に内部構造等を調べた。

Fig. 9 Relationship between accretion voltage and composition.

(2) X 線 CT 像撮影：文字部の Au 合金の厚さや加工状態などの文化財資料内部の構造を調べるために、X 線 CT 像を撮影し、得られた像を解析した結果を Fig. 10 に示す。Fig. 10(A) は文化財資料に文字面に垂直方向の像で、撮影した装置や条件は異なるが Fig. 5 と同じ像である。この資料を Fig. 10(A) で示す『一』および『刀』の文字に垂直方向に切る面と『一』の文字に平行方向に切る面の 2 つの方向から断面構造を調べた。まず、Fig. 10(B) で示すように、文字部は板厚ぎりぎりの深さ (約 1 mm 程度) まで、矩形に加工されていることがわかる。上述の SEM-EDS 手法により得られた結果より著しく厚くなっており、この結果と矛盾しない。この貨幣は鑄造で溝を制作するのではなく彫金の技法により 1 枚ごとに手作りで制作されたと考えられる。さらに、Fig. 10(C) で示すように、『一』の文字と平行方向に切った面をみるとやはり矩形に加工されている。この形状は Fig. 10(B) と同様である。このように、X 線 CT 像により加工の状態をみると、矩形でかつ板厚 (1.1 mm) ぎりぎりまで加工されており、高い金属工芸技法が用いられていることを示している。このような彫金技法による加工の具体的な手法については不明であり、この点を明らかにするために今後の発掘調査などの進展が望まれる。

3.3 制作技法の時代的比較

『一刀』の制作年代に隣接する年代 (新より前の西漢 (前漢) と後の東漢 (後漢) と同じ王朝の流れを有する) に制作された主な青銅貨と本報告の新時代に制作された文化財資料の組成および内部構造を比較する。用いた文化財資料は、Fig. 2 で示すように一刀を中心にその前後の年に首長は異なるが同じ土地で制作された貨幣である。このうち制作された時代は、Fig. 2 の (A) ~ (E) が西漢、(F) ~ (K) が新、そして、(L) が東

Fig. 10 X-ray CT images of "Itou" ancient old coin.

漢である。内部構造はX線透過像から、内部に鑄造鬆等の存在を調べることで制作当時の鑄造技術をみていく。これにより、西漢から新を経て東漢に至り制作された貨幣を通して制作当時の製造技術の一端を調べることができる。本来、このような検討には多数の資料を用いて組成などの平均値を求めるべきである。しかし、これらが文化財資料であることから複数の資料を調べることが困難であるため、今回は単数の資料の調査にとどめ、このような手法による検討の意義を探ることとした。

3.3.1 組成による比較

一刀の制作年代と前後する年代および同一地域で制作された青銅貨の組成と比較する。上述のように、ここでは比較する資料が文化財資料であり、用いることができる資料数に限りがあるので、着眼点を提案するとともに、変化の傾向をみるのにとどめる。Fig. 2で示す研究に用いた文化財資料はすべて出土銭である。資料の組成を求めるのにあたり、Feについて5%以下のFeを含む貨幣は土壌(主に黄土)起因か、貨幣の構成成分に起因するかは区別できないので、分析値をそのまま示す。そこで、Feを除いて土壌に起因する元素(Si, Mg, Ca, Pなど)や保存環境に起因する元素(ClとS)は除外し、Cu, Sn, Pb, Feを中心に文化財資料の組成を求めた。得られた結果を制作年代とともにTable 4に示す。まず、Pb濃度に注目すると、多くの文化財資料は概ね数パーセントから十数パーセントの範囲である。Pbは溶湯の流れを制御するなどの作用があるので鑄造においては青銅に添加

されることが多い^{12,13)}。また、現代の金属材料の視点からみてもPb青銅として用いられているが、このときのPbは5~20 mass%程度含むとされる¹⁴⁾。今回調べた文化財資料の多くはこの範囲にある。資料の中で、西漢5銖銭の一つはPbが約73 mass%であり、この他に、30 mass%を超える文化財資料が2つある。このPb濃度が高い資料は、Cu-Pb系の溶湯を型に流し込むと表面にCuとは非固溶のPbが析出したためか、あるいは、貨幣の質を落としてPb銭として作られたことなどが考えられる。また、このPb濃度が高い資料からSnが検出されないのは、Snを含んでいないか、あるいは表面のPbによりX線が遮蔽されて検出できないのかもしれない。

Snに着目すると、Snを含まない資料から、数mass%から十数mass%含む資料までさまざまで、Sn濃度の分布範囲は広い。西漢時代に製造された8銖半両は30 mass%を超えるSnを含む。これらの資料はSn濃度が高いか、あるいは溶湯の凝固時にSnの逆偏析により表面に高濃度のSn層が生成した可能性が考えられる。既報²⁾の出土資料の和同開珎における組成分析において、土中での腐食によりSnが優先的に溶出し地金のSn濃度より低下していることと同様のことが考えられる。

次に、Feについて検討する。上述のように、Feが検出されるのは、①文化財資料起因、②資料に付着している黄土の2つの起源が考えられる。Fe濃度は1 mass%未満から20 mass%程度まで広く分布している。用いた文化財資料はすべ

Table 4 Composition of metal ancient coins.

mass%									
	elements	year	Cu	Sn	Pb	Fe	Ag	As	
Sei-kan	6-shu hanryou		BC182	77.5	8.6	13.5	0.4	—	—
	8-shu hanryou		BC186-182	55.1	32.9	11.7	0.3	—	—
	4-shu hanryou	1	BC175~	84.3	0.2	5.9	9.5	—	—
		2		76.2	—	5.0	18.2	0.6	—
	5-shu	1	BC118-AD5	80.9	10.0	8.1	1.0	—	—
		2		22.8	—	72.6	4.6	—	—
	shou-goshu	1	BC113-AD5	87.1	0.8	0.8	11.3	—	—
		2		90.7	—	—	9.3	—	—
3		92.8		1.3	1.3	4.6	—	—	
chouchin hanryou		?	72.9	10.9	15.8	0.4	—	—	
Shin(oumou)	Ittou		AD7	79.0	7.1	8.2	3.6	0.9	1.2
	Taisen 50	1	AD7	90.8	5.2	4.0	—	—	—
		2		88.4	—	9.0	2.8	—	—
		3		88.0	2.0	3.9	6.1	—	—
	Shousen chokuichi		AD9	90.2	4.3	3.9	1.6	—	—
	Kasen	1	AD14	89.2	4.9	4.7	1.1	—	—
		2		58.2	—	38.4	3.3	—	—
		3		83.5	—	13.8	2.8	—	—
	Kafu		AD14	80.6	—	14.7	4.6	—	—
	Fusen		AD14?	85.3	6.8	6.6	1.4	—	—
Tou-kan	5-shu	1	?	71.1	8.3	18.7	1.9	—	—
		2		66.1	4.5	33.8	0.6	—	—

て埋蔵文化財であるが、②の土壌起因とすると Fe 濃度の変動は少ないと考えられる。ここで、制作年代と Fe 濃度との関係についてみると、西漢(あるいは前漢)の時代の文化財資料は 1 mass% 未満から 20 mass% 程度まで大きな変動がみられる。これに対して、王莽の新しい時代に制作された文化財資料の Fe 濃度は 1.1~6.1 mass% 程度で変化が西漢の時代に比べると少ない。さらに、東漢になると資料数は少ないが Fe 濃度は低くなる。Fe の組成をみる範囲では 1 mass% 未満の値もみられることから土壌起因の Fe は僅かで、文化財資料起因が大半であるのかもしれない。これは Cu の原料である銅鉱石に由来すると考えられ、これは制作当時の銅の精錬技術水準を示している。この観点から組成をみると、新から東漢の時代には製錬技術が向上してくるが、不純物として 1 mass% 程度の Fe が含まれる。

最後に、文化財資料の主成分組成の時代的な変遷について概観し、一刀の組成上の位置付けを検討する。西漢の時代の文化財資料のうち半両銭をみると種類や同一資料内でも組成の変動が大きく、かつ、一定の傾向はみられない。特に、西漢の建国当初の貨幣は地域の平定に努めた結果、西漢の前の時代である秦からの引き継ぎで製造したと伝えられ、西漢の技術は使われていないと考えられている。ここで、銖は Cu 濃度に比例した単位である¹⁵⁾。その後の西漢が発行した五銖は Pb の変動が大きいが、その後に発行された小五銖の組成は比較的揃っている。しかし、五銖と小五銖の組成は異なる。王莽の新しい時代に制作された文化財資料の組成は、Cu

が 80~90 mass%, Sn が 5~7 mass% 程度、Pb が貨布を除いて 4~8 mass% 程度と変化が少ない。西漢の時代の資料と比べると、やや Cu 濃度が高い傾向にある。この中で、一刀は Sn と Pb の濃度が高い方に分類される。Pb は新しい時代の後半に向けて高くなる傾向がみられ、Cu 不足を反映しているのかもしれない。また、Fe は 1~6 mass% 程度と西漢の時代に比べて濃度は低く、その範囲も狭い傾向がみられる。この他に、一刀からは微量元素として Ag と As が 1 mass% 程度検出される。他の資料をみると西漢時代の四銖半両から微量の Ag が検出されただけである。これらの元素は銅鉱石の不純物と考えられ、製錬技術が十分に発達していないことを示している。最後に、東漢において制作された資料は 2 つであり、西漢や新しい時代のような組成的な特徴は議論できないが、Cu や Sn の濃度は西漢の六銖半両銭や提灯半両銭に近い。また、Pb や Fe の濃度はこれらに近く、Pb 濃度が高く Fe 濃度は低い。

3.3.2 内部構造の比較

本研究で用いた文化財資料は鑄造により制作されていることが知られている。その場合、鑄型からの転写性と鑄造鬆の生成が金属工芸技法的な視点となる。転写性については資料が埋蔵文化財であることから腐食による劣化と区別が困難であるので、本報告では鑄造鬆の生成に着目することとした。そのために、X 線透過像を撮影し、その内部構造を調べた結果を Fig. 11 に示す。Fig. 11 で示す像は、(A)~(D)が西漢時代に制作された資料、(E)~(H)が新、そして、(G)が東漢

Fig. 11 X-ray transmittance images of ancient Kan's coins. (150 kV, 3 mA, 10 s)

時代である。まず、西漢時代に制作された資料についてみていく。Fig. 11(A)で示す5銖半両銭には全面に多くの鑄造鬆が観察される。同(B)の4銖半両銭のうち右側の文化財資料の上部に亀裂がみられ、下部には鑄造鬆が存在している。左側の資料では亀裂も鬆もみられない。さらに、同(C)の小5銖は小型の貨幣ではあるが、3枚ともに鬆が生成している。同(D)の6銖は左側の文字の部分に鬆が生成していることがわかる。以上の検討から、西漢時代の資料の大半に鑄造鬆が生じている。新の時代および東漢の資料をみると、いずれの資料ともに鑄造鬆が生成している。

青銅成分以外の構成元素のうち鑄造において融点の低下により溶湯の流れを制御し転写性などに関係することが知られているPbとSnに着目する。Pbは含有濃度により、①10%を超す濃度である資料、②数%から10 mass%未満の資料、そして、③1 mass%以下の資料の3つのグループに大別される。現代の鉛青銅では5~20 mass%のPbを含有している¹⁴⁾。西漢5銖の1つと新の貨銭の1つが該当しないが、概ねこの範囲に入っている。詳細にみていくと、6銖および8銖半両銭ならびに提灯半両は①に、4銖半両および5銖は②に、そして、小5銖は③に分類される。新の時代は貨泉の2枚と貨布が①に属し、その他の資料は②に属する。東漢の資料は少ないがいずれも①に属する。③のPb濃度における溶湯の流れに及ぼす影響の詳細については不明であるが、Pb濃度に依存せず鑄造鬆が生成していることがわかる。Snについては、西漢の8銖を除くと、検出限界以下の文化財資料から10 mass%程度の資料まで分布している。この濃度範囲では溶湯の流れは2 mass%付近が極小になることが知られている¹⁶⁾。この点を考慮しても溶湯の流れに影響がみられることは少ないと推定され、鬆の生成に資料の組成の関与は考え難い。

以上のことから、PbやSn濃度に依存して溶湯の流れの影響による鑄造鬆の生成は特に考えにくいと言える。さらに、文化財資料の組成および内部構造の両面からの検討によると、西漢が制作した文化財資料から新の時代以降の時代では貨幣の製造技術が安定する傾向が見られる。このことから、今後、さらに多くの文化財資料について同様の観点から検討していき、より詳細な流れを調べていくことが可能である。

4. ま と め

中国、新の時代に制作されたと伝えられる貨幣である『一刀』を文化財資料として取り上げ、材料学的視点から金属工芸技法を調べ、以下の結果を得た。

(1) 赤外線像から資料表面には鑄造時に生成したとみられる凹凸が存在する。X線透過像から資料中に鑄造鬆がみ

れる。制作当時の鑄造技術の一端を示している。

(2) 資料の組成はCu, Sn, Pbを主成分とし、X線回折からCu-Sn系金属間化合物が検出される青銅である。表面には黄土が付着しており、また、SEM-EDS分析からSi, Al, Feが検出され、出土品であることを示している。

(3) 『一刀』の文字は10 mass%Cu-Au合金でつくられており、表面には多くの傷がみられる。X線CT像から、この文字は資料の板厚ぎりぎりまで彫金技法を用いて加工した後に、この合金を嵌め込む象嵌の技法が用いられている。

(4) 『一刀』が制作された時代より前の西漢および新、そして東漢の文化財資料の組成をCu, Sn, Pb, Feを中心に調べたところ、西漢が制作した資料より新以降の資料の組成が安定する傾向がみられる。また、時代が下るにつれてFeの含有量が低下し、製(精)錬技術が向上する傾向が見られた。しかし、資料中には制作年代にかかわらず鑄造鬆がみられ、それは資料のSnやPbの組成に依存していない。

本研究を進めるのにあたり、X線透過像撮影にご協力いただいた東京藝術大学木島隆康教授に感謝いたします。また、(株)リガクの澤野成民氏ならびに山田鮎太氏には文化財資料のX線CT像を撮影していただいた。ここに記して深謝する。

文 献

- 1) T. Ashida: *Das geldwesen Japans: Entwicklung und Vergleichung mit demjenigen in europäischen Ländern/vorgelegt von Teruo Ashida* (in German), (Gedruckt bei Benedikt Hilt publication, Berlin 1912).
- 2) F. Kirino and M. Kitada: *J. Japan Inst. Met. Mater.* **79**(2015) 57-63.
- 3) F. Kirino: *Bul. the Faculty Fine Arts, Tokyo Univ. the Arts* **52**(2014) pp. 5-16.
- 4) F. Kirino, I. Iino, S. Tabuchi and M. Kitada: *Bul. the Faculty Fine Arts, Tokyo Univ. the Arts* **53**(2015) pp. 5-22.
- 5) F. Kirino, N. Ohono, S. Taguchi, A. Nezu and R. Yokoyama: *J. Japan Inst. Met. Mater.* **81**(2017) 101-108.
- 6) F. Kirino, N. Ohono, S. Taguchi, A. Nezu and R. Yokoyama: *Annual Spring meeting (155th) of JIM*(2014).
- 7) K. Kurata and M. Nakano: *Nihon-no-bijyutsu* **39 Kinkou** (in Japanese), (Shougakukan, Tokyo, 1974).
- 8) T. Miyazawa: *Chuugoku-dousen-no-sekai* (in Japanese), (Shibunka-kushuppan, Kyoto, 2007).
- 9) S. Katou: *Chuugoku-kaheishi-kenkyuu* (in Japanese), (Touyoubunko, Tokyo, 1991).
- 10) K. Yamada: *Kaheino-chuugoku-kodaishi, Asahi-sensho* (in Japanese), (Asahi Shimbun Publications Inc., Tokyo, 2000).
- 11) M. Hansen: *Constitution of binary alloys*, (McGraw-Hill Inc., New York, 1958) pp. 198-203.
- 12) A. Kamio, M. Aoki and S. Oya: *IMONO* **40**(1968) 827-834.
- 13) A. Kita, Y. Koguchi, Y. Sakata, R. Yoshiyuki, M. Yokota, T. Kobori and H. Mifune: *Bull. Takaoka National College* **40**(2003) 115-131.
- 14) The Japan Institute of Metals and Materials: *Chuuzougyouko* (in Japanese), (Maruzen, Tokyo, 1999) p. 253.
- 15) K. Koizumi: *Rekishi-nonakano-tani*, (Sougoukagakushuppan, Tokyo, 1974) p. 254.
- 16) The Japan Institute of Metals and Materials: *Chuuzougyouko* (in Japanese), (Maruzen, Tokyo, 1999) pp. 247-252.