

三角縁神獣鏡の鑄造技術の解明

岡本千尋

地域キュレーションコース

文化財科学

1. 研究の目的

古代の銅鑄物のひとつである三角縁神獣鏡は直径が21～23cm程度、材質は銅と錫に少量の鉛を含む青銅鏡であり、これまで3～4世紀の日本の古墳から500面以上が出土している。三角縁神獣鏡は鑄型が出土しておらず詳しい鑄造方案は明らかになっていないことや、三角縁神獣鏡のなかには中国語の漢字銘文を持つものもあるが中国大陸ではいまだ出土していないことなど、今日においても謎が多く残る青銅鏡である。

本研究では、鑄造シミュレーションによる湯流れ、凝固解析および蛍光X線分析から、古代における青銅鏡の製作技術ならびに材料学的特徴を解明することを目的とした。

2. 研究の対象および研究方法

研究の対象は泉屋博古館所蔵の三角縁神獣鏡4面である。ここではそのうちの三角縁三神五獣鏡(これより以下M24とする)の研究結果を紹介する。

研究方法は、M24を3Dスキャンして得られたポリゴンデータの欠損などをデータ上で修復した後、鑄造シミュレーションを実施した。また、富山大学鑄造実験室で復元鑄造された三

角縁神獣鏡について外観観察および蛍光X線分析を行った。

3. 結果と考察

まず、M24のポリゴンデータの修復を行った。行った作業は 一、縁や紐のさびによる凹凸をなくすためポリゴンデータを元に新しく作り替える 二、鑄造後鏡面を研磨したであろうことを考慮し、1mmの厚みをつける の2点である。図1に修復したM24のポリゴンモデルを示す。

次に、この修復したデータを用いて鑄造シミュレーションを行った。ここでは図2のように鏡背面下60°に傾斜させて鑄造した場合の凝固シミュレーション結果を図3に示す。凝固に時間がかかった箇所は湯口、紐、右下の縁部分であった。鑄造の際、最後に凝固する部分に鑄造欠陥であるひげが生じやすいため、紐と三角縁の右下部分にひげが起こる可能性が高いと考えられる。

次に復元鑄造したM24の蛍光X線分析を行い、各位置のSnとPbの割合を調べた。最終凝固域にSnとPbの割合が高くなるのではと想定したが、Sn含有量は21～23wt.%と比較的均質であり、Pb含有量は2.4～9wt.%と大きくばらつく結果が得られた。ただし、凝固過程の影響は推察できなかった。

4. まとめ

今後、鑄造方案や注湯条件を変え、より多くの条件におけ

るシミュレーションを実施することが必要である。同時に、復元鏡の材質データを増やすことで、今後の三角縁神獣鏡の製作技術研究が進展することが期待される。



図1) 修復後のM24ポリゴンモデル

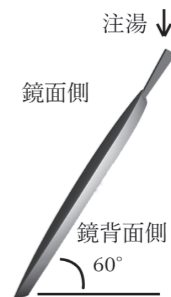


図2) シミュレーションのための鑄物の配置例 (鏡背面を下側にして60°傾斜した場合)

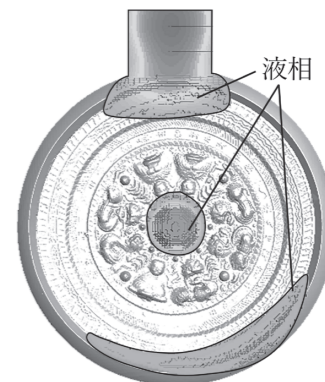


図3) 注湯終了後80.7秒経過時の凝固状況 (白色部分が凝固完了領域)

大郷コレクションの素材研究

門馬ゆめ

地域キュレーションコース

文化財科学

研究の目的

大郷コレクションは富山県出身の華道家大郷理明氏が長年にわたる活動の中で収集し、富山大学に寄贈された青銅花器を中心とする作品群である。コレクション中の青銅花器は336点であり、それらの制作年代は江戸時代後期から昭和にわたる。

本研究では、大郷コレクションの青銅花器の形状や制作時期、工房における素材の成分の違いを調査し、近代における鑄金技術を明らかにすることを目的とした。

研究の対象および研究方法

研究の対象は大郷コレクションの青銅花器のうち169点である。これらの成分を知るために蛍光X線分析による定量分析を行った。青銅の分析方法としては、資料から一部をサンプリングして行う方法もあるが、できるだけ資料を損壊させたくないことから、代表的な非破壊分析法である蛍光X線分析を選択したものである。なお、分析は、資料の着色部が剥げて地金が出ている部分を狙って行った。

結果と考察

169点のうち、純銅に近い成分のものは3点あった。また、亜鉛を含む合金(真鍮製)は少なく、10%を超える亜鉛を含むものが13点、七三黄銅(亜鉛を30%含む合金)は1点もない。多くの大郷コレクションの花器は、主に鉛入りの青銅で作られていることが分かった。錫はいずれも概ね数パーセントの量を含むが、鉛については数パーセントから20%を超えるような量を含むなど、ばらつきの大いことが判明した。図1、2に分析データの典型例を示す。須賀松園工房の須賀正紀氏の聞き取り記録によると、鉛は湯流れ性の改善、着色や出来上がりの色合いの影響などを理由に添加されていた、とある。さらに、銅合金中の鉛は被削性を改善することが複数の文献に記述されているため、そうした用途も期待されていたことが推測される。よって、鉛は湯流れの改善を期待するだけでなく、被削性の改善や着色の効果を上げるために制作者が経験に基づき、添加していたと考えられる。

まとめ

今後、湯流れの検証を行っていくことが必要である。そのため、複数の花器について3Dスキャナによるポリゴンデータを取得し、鑄造シミュレーションを実施していくことが必要である。



写真1)MO-01 富山県立工芸学校銘 花器/作者不明

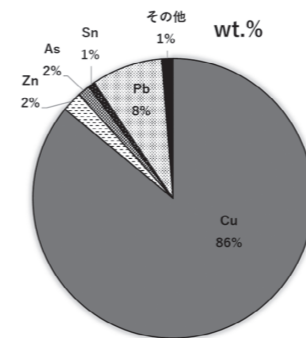


図1)MO-01の定量データ



写真2)MO-36 鳶文薄端花器/須賀松園

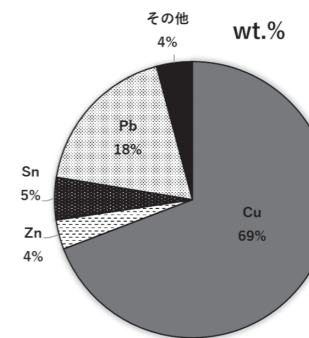


図2)MO-36の定量データ

[主要引用文献、参考文献、URL]

参考1) 泉屋博古館・富山大学芸術文化学部/『鑄物・モダン花を彩る銅のうつわ』/2021

中国古代青銅鑄物の非破壊成分分析と鑄造方法の解明

小玉蘭

芸術文化キュレーションコース

文化財科学

目的

文化財には、何千年もの歴史が詰まっている。人類の長い鑄造技術史上、中国古代青銅器は複雑で精緻な文様が初めて施されたことが大きな特徴であり、技法など、まだ解明されていないことも多い。

ところで、古代の青銅鑄物の成分分析は、腐食層の影響で蛍光X線分析によって非破壊で定量値を得ることが不可能であり、精度の高い分析値を得るためには破壊を伴う湿式分析等に頼る方法が以前は採用されてきた。しかし、貴重な人類の財産である文化財を傷つけることはほとんどの場合許されないため、非破壊での新しい定量分析法の開発¹⁾が求められている。

一方、鑄造解析技術の発展により、鑄造実験をコンピュータでシミュレーションすることが精度よくできるようになった。IT技術の進歩によって、各種の鑄造ソフトが市販され、3次元CADモデルをベースとした製品設計、生産準備、生産までを効率よく行うことが可能である。実際に、自動車の設計や生産において鑄造品設計、型・方案設計及び不良対策の道具として利用され、新しい鑄造製品の開発、高品質化、低コスト化などに役立っている。

本研究では、古代中国の青銅器を対象に、金属組織による新しい非破壊分析方法によって成分を推定し、そのデータを活用して鑄造シミュレーションを行うことで、古代の中国における鑄造技術を明らかにする。

研究方法

研究対象とした分析資料は、いずれも京都の泉屋博古館所蔵の虬氏編鐘^{*}(戦国前期)、蟠螭文鐘(春秋後期)、劍、銅戈だ。

これら中国の古代青銅鑄物のデジタルマイクロスコープによる表面観察から得られた金属組織をもとに、各構成相の割合を解析することで、非破壊で主要三元素の簡易定量分析を行った。得られた金属組織写真をAdobePhotoshopと画像処理ソフトWinROOFにより解析し、 α 相および共析相といった各構成相の面積率を求めた。このデータをもとに、青銅の主要三元素である銅(Cu)、錫(Sn)、鉛(Pb)の定量値を推定した。

その後、得られた定量データと、3Dスキャナで得られた鑄物の3Dポリゴンデータを用いて、虬氏編鐘を対象に鑄造シミュレーションソフトウェア(JSCAST)により鑄造解析をし、実際にどのように制作されたかを考察した。

※虬は、正しくはがんだれ(厂)に虬

結果

コンピュータで画像解析を行い、その成分値を元に鑄造解析を行った。画像解析では、腐食された組織の状況で成分値が変動しやすいため、無研磨で精度の高いデータを取得することは難しく、何らかの工夫が必要になるかもしれない。

鑄造シミュレーションでは、最後に凝固する位置(図1)が湯口系内にはないことが判明したことから、編鐘内部に鑄造欠陥が生じると推測できる。ただし、この付近に目に見える欠陥はなく、さらなる調査が必要である。

コンピュータで分析することで、長い歴史の中で作り上げられてきた文化遺産を破壊することなく素材や技術さえも簡単に解明できる。だが、コンピュータでの成分分析や鑄造シミュレーションではまだ成分に誤差が生じ、鑄造欠陥の予測精度にも改善の余地がある。この方法を確立するためには実際に再現鑄造実験をし、コンピュータの結果との比較が必要と考える。

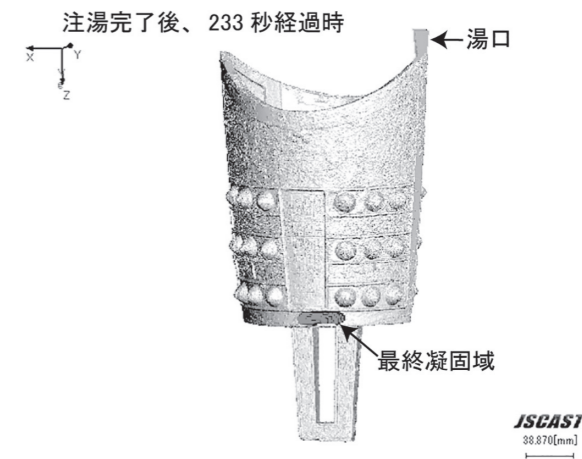


図1)鑄造(凝固)シミュレーションの結果

[引用文献、主要参考文献、URL]

参考1)長柄毅一、廣川守、奥山誠義、飯塚義之、三船温尚、菅谷文則、横田勝/『古代青銅鏡の鏡面から取得した金属組織画像による非破壊定量分析』/日本銅学会第57第1号/2018/pp.30-36