

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 29 日現在

機関番号：13201

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25284039

研究課題名(和文)3Dスキャン・材料分析・鑄造実験の複合手法による青銅器微細文様の表出に関する研究

研究課題名(英文)Study on Techniques for Patterning Ancient Bronzeware by Three-Dimensional Scanning and Composition Analysis, Experimental Casting

研究代表者

三船 温尚(MIFUNE, HARUHISA)

富山大学・芸術文化学部・教授

研究者番号：20181969

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 11,600,000円

研究成果の概要(和文)：奈良県天理市黒塚古墳出土の三角縁神獣鏡33面の調査によって、模糊肌やヌメリ肌、銀白色肌鑄上がり現象が確認できた。原因を探るために鑄型面に粘土や油脂、炭素を付着して鑄造する実験を行った。油脂や炭素を鑄型面に付着させて鑄造すると類似する鑄肌を再現できた。根津美術館は所蔵する中国殷代後期の饗養文方壘を3Dスキャンし鑄造技法を検討した。方壘は3つの取っ手内側の未研磨凹線文様に特徴的な盛り上がりがあり、原型表面の常温固体油脂に工具で凹線を施文し、外鑄型を分割する方法で鑄造した。海獸葡萄鏡の実物観察を基に、蜜口ウ浸透陶製范による鑄造と推定した。

研究成果の概要(英文)：Three kinds of surface condition were observed on 33 triangular-rimmed deity-and-beast mirrors excavated from Kurozuka Tumulus. Such surface conditions are categorized into blurred surface, melty-looking surface, and silver-white surface. Experimental casting was performed to detect the causes of these surface conditions. Clay, grease, or charcoal was applied to the surface of the cavity of baked molds, and mirrors were cast using these molds. Similar surfaces were produced by applying grease or charcoal onto molds. A Fang Lei with Taotie motif from the late Shang dynasty were three-dimensionally scanned. In the case of the Fang Lei, a rising portion is specific to the edge of a recessed line in a nonpolished pattern residing inside three handles of the wall of the bronzeware. We deduced that this bronzeware was cast using a method in which the recessed lines were patterned onto normal-temperature solid oil of the original surface by using a tool and dividing the outer mold.

研究分野：芸術一般

キーワード：古代青銅器 鑄造技法 3Dスキャン 常温固体油脂 凹線文様 凸線文様

1. 研究開始当初の背景

古代世界で最も鑄造技術が発達した地域は古代中国であり、その青銅器の種類の多さと、それを製作する技術の高さは他地域に類をみない。特に商周時代の青銅彝器や、春秋戦国時代以降唐代ころまでの青銅鏡等の鑄造方法は長年、日本、中国、韓国の考古学、鑄造技術研究者、材料科学分析などの研究者が取り組んできたが完全解明されたものは少なかった。

なぜ、現代の高い科学技術や鑄造技術を基準に考えても、古代の技術が解明できないのか、疑問に思えるが、じつは古代の技術のほうが現代の技術よりもはるかに高かったから現代の鑄造の常識では解明できないのである。長年解明できないことの原因があるとすれば、共通言語となる鑄造痕跡の共通理解が進んでいなかった点である。微細な形状や、痕跡を十分に調査して、その客観的な報告が為されていなかった点である。個々の研究者が、調査した内容を追確認できないことや、痕跡調査報告が曖昧で一貫性が構築できていなかった。

さらに、科学的な成分分析の改良が進んでいない点や、鑄造実験が的確な設定で為されていないなど、古代鑄造技法解明の糸口が見つかっていなかった。

2. 研究の目的

中国を中心とした古代東アジアの青銅器技術の中でも、精緻な文様の技術は特に成果が遅れていた。蠟を用いる鑄造技法が中国では春秋戦国時代から始まるという定説に対して、それ以前の商・西周時代の精緻な文様の鑄造に蠟を使わないでどのような方法があるのか検討されていた。一部の研究者は、泥紐を鑄型面に盛り付けて鑄造して凹線文様を鑄造したと主張したが、粘土状の泥は乾燥収縮が大きく、亀裂が多く発生することから、泥紐説は現実的ではないと推測した。未研磨面の凹線文様の鑄肌を調査して、その痕跡から凹線文様の方法を解明することが本研究の1つの目的である。

2つ目の目的は、春秋戦国時代以降の青銅鏡の凸線文様の技法解明である。鏡の鑄造技法も長く論じられているが、決定的な技法提示は為されていない。山東省臨淄から出土した前漢初頭の鏡鑄型群の研究から、粘土に炭素粉を加えて素焼きした軽くて硬さが有る材料に手彫り陰刻法であると考えられてはいたが、実際には砂崩れがおこり、実際の鏡とは異なる。唐代の海獣葡萄鏡の精緻で高肉な文様の技法を解明することや戦国時代のスタンプ文様の解明などを目的とした。

3. 研究の方法

先にも述べた通り、共通言語としての調査データの共有が重要と考え、3D計測を採用した。それまでの点間距離 50 ミクロンを大幅に超える精度の、点間距離 17 ミクロン (1

mmで 52 箇所計測) の精度で計測できる機器を用いて、根津美術館、東京国立博物館、泉屋博古館などで青銅彝器、青銅鏡等を計測した。本研究目的である青銅器文様技術研究では、点間距離 17 ミクロンの精度はこれまでにない微細形状を記録し、その計測データを、国を超えた研究者が共有できる。また、一度データを取得すれば、その後も継続して何回でもデータ検証が可能となる。同じデータを用いて他の研究者が、追確認ができるという点において、古代青銅器技術研究では、これまで実現できなかった研究方法である。これにより、同じ青銅器の文様を、専用ソフトを用いて、断面図作成や形状フィット検証、寸法計測など、繰り返し多くの研究者が検証できるのである。本研究において、この3Dデータ検証法を確立することも重要な目的である。

科学分析においては、青銅器、青銅鏡の成分分析を蛍光 X 線分析法によりおこなった。同じ形状の鑄造品でも成分が異なれば、鑄造結果の現れ方も異なる。割れ方などの強度も異なる。青銅器技術研究において、基礎データとなる分析をおこなったうえで、技術検討を進める方法を本件では採用した。

古代青銅鏡鑄造技法の鍵となるのが、油脂である。鑄型面に油脂を付着して鑄造すれば、注湯熱で気体が発生し、朦朧肌になる。実際の鏡にも朦朧肌や気体により文様が低く丸くなる欠陥がみられることから、油脂科学の研究者を交えて鑄造実験をおこなった。

鑄造実験はその条件設定や総合的な鑄造理論を理解していなければ有効な実験が設定できないことと、さらに結果から原因を読みとることができない。その点において、鑄造経験と青銅器調査経験を活かした鑄造実験が遂行できた。

以上のように、本研究において、これまで結論が得られなかった古代鑄造技法研究において、3D計測を取り入れ、研究者自身がそのデータを専用ソフトで操作加工して分析試料を作成する点において、有効な研究方法の提示がおこなえた点が大きな成果である。

4. 研究成果

鑄型面に油脂を塗布して鑄造する実験を通して、具体的な油脂の種類や塗布方法による鑄肌の特徴が提示できた。長年、鏡の乳の高さが異なることや、高肉文様の頂部が朦朧となることは、鑄造時の凝固ガスが原因と漠然と考えられたが、この気体を意図的に発生させたのではないかという推測を検証する実験であった。発生した気体により鑄型面の破損が防げることや、未研磨でも鑄肌面が光沢を持つことなど、我々の想像を超えた油脂の利用があった可能性が提示できた。油脂を付着して鑄造すると浸透した油に注湯の熱が伝わり油脂が炭化することに伴い、黒色が内部に浸透し 1 cmほどの深さで淡くなりなが

ら消える。実際の出土鑄型の多くには鑄型面が黒色になったものが多く、複数回利用による同範鏡の可能性を示した。実験では、油脂による発生気体が多量になり、実際の出土鏡よりも鑄肌が朦朧となる点が問題となった。気体発生量の適量が重要であるが、現在は、鑄型中に植物繊維を多量に加えてガスの鑄型外放出も考慮した実験を準備している。

根津美術館の商代青銅彝器には取っ手の下面にある凹線文様があり、この凹線の縁が盛り上がる。このことにより、常温固体油脂の仕様が考えられ、17ミクロン3D計測をおこなった。この凹線縁の盛り上がり形状は、実験的におこなった蠟へ施文した凹線の縁の盛り上がり形状が極めて類似した。すなわち、凹線側面から垂直に盛り上がるのではなく、途中から凹線の外寄りに斜面を持ちながら盛り上がり形状が作られる。この比較を通して、商代後期の方壘は文様製作に常温固体油脂を用いた可能性を提示した。

唐代海獣葡萄鏡は1970年代に発行された研究書籍によって、彫りやすく崩れない滑石などに陰刻して、その型に蠟を流して、文様を写し取り、それを鑄型土で包んで鑄造する蠟型鑄造法だという定説があった。日本の梵鐘や茶の湯釜に用いる惣型鑄造法を基準に考えても海獣葡萄鏡の文様は不可能なので、結論づけられたのが蠟型鑄造説であった。1990年代に発見された山東省臨淄出土前漢初頭の鑄型を参考に復元実験をおこない、陶製鑄型材に常温固体油脂の蠟を浸透させ、蠟の粘性を利用して陰刻しても砂崩れしないことを発見した。この成果により、鑄型陰刻施文の鏡の文様が砂崩れしない方法の候補を提示でき、海獣葡萄鏡においても、滑石・陰刻・蠟型鑄造の方法でなくても文様鑄造が可能であることを示した。

大英博物館、根津美術館が収蔵する極めて形状が似る2点の双羊尊を点間距離17ミクロン、96ミクロンで計測し、断面図を作成して双方の技術を解明した。特に4本の脚が難解に見えるが、一般的な尊や觚、簋などの圈足の製作方法と同じで、これら円形台を変形させた技法であることを提示した。また鱗文様の凹線が判明した外范では抜けない角度であることから、方壘同様に常温固体油脂を使用して施文したとした。鑄造肉厚を断面図から求め、大英博物館双羊尊の厚さの作り方が根津美術館双羊尊と比べ古い時代のものであることを示した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計9件)

①三船温尚、根津美術館・大英博物館蔵の二つの双羊尊の鑄造技術とその比較
根津美術館紀要 此君 (8) 59-77 2017年3月

②丹羽崇史、三船温尚、太田三喜、劉治国、石谷慎、天理参考館蔵「鑄客」炉の研究(2)―器身・足部・鎖の製作技法に関する調査―
アジア鑄造技術史学会誌 FUSUS (8) 31-42 2016年2月

③持田大輔、三船温尚、海獣葡萄鏡の編年の再整理と文様鑄造技法研究
アジア鑄造技術史学会誌 FUSUS (8) 75-86 2016年2月

④白澤 崇、三船温尚、長柄毅一、静岡県袋井市出土の平治二年(1160年)銘梵鐘の金属成分分析と鑄造技法
アジア鑄造技術史学会誌 FUSUS (8) 55-66 2016年2月

⑤三船温尚、廣川 守、3Dスキャンと鑄造痕跡調査による古代中国青銅器の文様技法研究(1)―根津美術館所蔵 饗餮文方壘と饗餮文方彝について―
アジア鑄造技術史学会誌 FUSUS (8) 43-54 2016年2月

⑥大野 究、森崎琢磨、金森正有、島添貴美子、長柄毅一、三船温尚、富山県氷見市上日寺行田池出土の薄肉半鐘の検討―雨乞いと半鐘について―
アジア鑄造技術史学会誌 FUSUS (7) 61-78 2015年1月

⑦三船温尚、菅谷文則、宮原晋一、村田 聡、長柄毅一、黒塚古墳出土三角縁神獣鏡にみられる模糊肌・ヌメリ肌・銀白色肌の鑄造実験(1)―実験鏡 No.1~No.69の考察―、アジア鑄造技術史学会誌 FUSUS (7) 121-154 2015年1月

⑧丹羽崇史、廣川 守、太田三喜、三船温尚、天理参考館所蔵「鑄客」炉の研究(1)―蛍光X線分析による材質調査―
アジア鑄造技術史学会誌 FUSUS (7) 109-120 2015年1月

⑨廣川 守、三船温尚、X線CTスキャンと范線調査から検討する貞釣手鑄造技法の変遷―泉屋博古館所蔵青銅器について―
廣川 守、三船温尚
アジア鑄造技術史学会誌 FUSUS (6) 36-59 2013年11月

〔学会発表〕(計8件)

①内田純子、岳占偉、廣川 守、三船温尚、飯塚義之、鈴木 舞、殷墟青銅器鑄型の復元実験、アジア鑄造技術史学会、アジア鑄造技術史学会 岡山大会研究発表 2016年9月

②児島大輔、八坂寿史、梅村哲史、三宮千佳、三船温尚、東大寺金堂八角燈籠の制作技法―修理時の記憶と記録の再構成による―、アジ

ア 鑄造技術史学会 岡山大会研究発表
2016年9月

③ 三船温尚、廣川 守、東京国立博物館蔵 羽
状文扁壺の3D スキャンデータによる文様検
証、アジア鑄造技術史学会 岡山大会研究發
表 2016年9月

④ 三船温尚、青銅鏡技術研究の最新事情ー二
つの定説を疑うー、川崎市市民ミュージアム、
古鏡ーその神秘の力ー 2015年10月

⑤ 内田純子、三船温尚、岳占偉、廣川 守、
常温固体油脂を使った殷周青銅器施紋と分
范法の復原実験)、アジア鑄造技術史学会
名古屋大会研究発表会 2015年8月

⑥ 三船温尚、菅谷文則、宮原晋一、村田 聡、
長柄毅一、黒塚古墳出土三角縁神獸鏡の鑄肌
鑄造実験、アジア鑄造技術史学会 京都大会
研究発表 2014年9月

⑦ 三船温尚、廣川 守、3D 微細計測による青
銅器文様の形状調査ー根津美術館収蔵饕餮
文方壘・饕餮文方彝についてー、アジア鑄造
技術史学会 京都大会研究発表 2014年9月

⑧ 森崎拓磨、大野 究、金森正有、島添貴美
子、長柄毅一、三船温尚、氷見市上日寺行田
池出土の薄肉鑄造半鐘の調査報告、アジア鑄
造技術史学会 京都大会研究発表 2014年9
月

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

三船温尚 (MIFUNE Haruhisa)
富山大学 芸術文化学部 教授
研究者番号：20181969

(2) 研究分担者

長柄毅一 (NAGAE Takekazu)
富山大学 芸術文化学部 教授
研究者番号：60443420

村田 聡 (MURATA Satoshi)
富山大学 芸術文化学部 教授
研究者番号：70219921

(3) 連携研究者

廣川 守 (HIROKAWA Mamoru)
泉屋博古館 副館長
研究者番号：30565586

川村佳男 (KAWAMURA Yoshio)
九州国立博物館 研究員
研究者番号：80419887