

令和 3 年 6 月 28 日現在

機関番号：84602

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17H02423

研究課題名(和文) 三次元デジタル・アーカイブを活用した青銅器製作技術解明の総合的研究

研究課題名(英文) Comprehensive research on elucidation of bronze ware manufacturing technology using 3D digital archives

研究代表者

水野 敏典(mizuno, toshinori)

奈良県立橿原考古学研究所・企画学芸部企画課・副主幹

研究者番号：20301004

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,800,000円

研究成果の概要(和文)：三角縁神獣鏡と他の中国鏡における製作技法の違いの抽出を目的として、古墳時代出土の青銅器における製作技術を研究した。主に原型から複数の鋳型を作成する同型技法についての分析を行った。第1に、3D計測により青銅器の観察から鋳型の傷の確認と原型からの収縮を確認した。第2に、それらを用いて製作技術の仮説を立てた。第3に、銅鏡における同型技法による実験鏡の製作過程を3D計測することで、各工程の変化を確認し、仮説の検証を行った。結果として、鋳型の乾燥による収縮が大きいことが判明した。原型に対しての鏡径収縮を発生させるには、単層の鋳型を利用した可能性が高い。

研究成果の学術的意義や社会的意義

日本の国家形成において古墳時代(3世紀中頃～6世紀後半)は重要な変革期で、特に古代中国との交流に強い影響を受けている。古代中国との交流の証拠に、中国製銅鏡があり、その製作技術の解明は、人の移動を伴うものか、対外交渉の実態を知るうえで重要である。その手段として、青銅鏡の観察による仮説構築と、仮説の検証としての鋳造実験に三次元計測を導入することで精密な現象に基づいた議論を可能とした。その結果、中国鏡としても三角縁神獣鏡の製作技術的な特異性が明らかになりつつある。また、同時期の倭鏡との技術的連続性も弱く、技術的に孤立しているようにみえる。

研究成果の概要(英文)：For the purpose of extracting the difference in the manufacturing technique between the triangular-rimmed, decorated with images immortals and beasts and other Chinese mirrors. We mainly analyzed the "the same mold technique," in which multiple molds are made from the original. First, we checked the scratches on the mold by observing the bronzes, and then we checked the shrinkage of the mirror produced in the experiment by 3D measurement. Second, based on them, we made a hypothesis of manufacturing technology. Third, we verified our hypothesis by making 3D measurements of the fabrication process of an experimental mirror using the bronze mirror's "the same mold technique," to confirm the changes in each process. The results showed that the drying shrinkage of the mold accounted for a large percentage of the shrinkage of the specular diameter. It was verified that there is a high possibility that a single-layer mold was used to generate this phenomenon.

研究分野：日本考古学

キーワード：三次元計測 同範技法 同型技法 銅鏡 鋳造実験

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

青銅器研究は各時代の器種毎に研究の細分化が進み、逆に、大局的な弥生時代から古墳時代にかけての青銅器製作技術の連続性についての検討は手薄である。また、青銅器製作技術の研究のための鑄造実験は決して少なくないが、鑄型の収縮や変形の把握は手測りであり、三次元計測の導入は不十分である。銅鏡、銅鐸の観察への三次元計測の導入は既に20年余りが経過しているが、鑄造実験への三次元計測の導入はほとんどなされていない。そのため、鑄造実験の過程における鑄型や実験鏡がどのように変形するのかは確認されたことがなかった。そこで、鑄造実験の各工程、つまり原鏡、鑄造実験における鑄型製作直後の乾燥前、乾燥後および実験製作鏡に対して、精密な三次元計測を行い、各工程で起きる変化を把握する基礎的な研究が必要であった。

2. 研究の目的

本研究では、これまでに蓄積した三次元計測データを活用して、弥生時代から古墳時代前期の青銅器製作技術の解明を目的とした。特に、同範技法を用いる銅鐸と三角縁神獸鏡に注目する。第1段階では、三次元計測技術と詳細観察から製作モデルを構築し、その変遷を追う。第2段階では、再現実験を行い製作モデルの検証を行う。これを反復して製作モデルの精度を高める。これまでの三次元計測調査により、手計りの計測では入手困難な青銅器の歪みや収縮、鑄型のずれ、範傷などの情報を膨大に蓄積し、既に一部製作モデルを構築している。この分析に3Dプリンター等も活用した再現実験による検証を加え、大局的には銅鐸から銅鏡への青銅器製作技術の変遷からみた技術の断絶と連続性を明らかとすることを目的とした。

3. 研究の方法

研究目的を達成するため、蓄積したデジタル・アーカイブ(三角縁神獸鏡290面を含む銅鏡1000面以上、同範銅鐸を中心とした銅鐸80点以上)を全面的に活用して、同一文様鏡や同範銅鐸の分析を進め、鑄型構造、範傷、挽型、文様の押し型、鑄掛け、補刻等の技術について詳細な製作モデルを作製し、これを元に各種の再現実験を行う。一般的な鑄造実験ではなく、技法使用痕跡の再現に重点を置く。各段階での三次元計測と3Dプリンターによる部分出力を駆使して、同範技法と同型技法の使用時における諸現象について基礎的な情報を集める。諸現象の再整理を通して、製作モデルに修正を加え、同範銅鐸から古墳時代の三角縁神獸鏡(舶載・仿製)、中国鏡、倭鏡の同一文様鏡製作への技術系譜の連続性を中心に検討を行った。

4. 研究成果

(1) 出土鏡の分析 銅鏡を中心とした同一文様鏡の量産技法は、三角縁神獸鏡に代表される同範技法と、ほかの中国鏡にみられる同型技法に大きく分類される。同範技法については、2005年刊行の『古鏡総覧』(学生社)以来、銅鏡の三次元計測と陰影(三次元形状計測)画像から、三角縁神獸鏡において、鑄型の傷の増加傾向を、同一文様を持つ鏡(「同範鏡」)から確認しており、一つの鑄型で複数枚数の銅鏡製作を行っているものと考えている。三次元計測を用いた断面図と2点間距離の測定から三角縁神獸鏡の「同範鏡」間の鏡径を比較したが、有意な差異は確認できなかった。同一の鑄型から製作されたとみる従来の見解を補強する結果を得た。

それに対して、同じ同一文様鏡でも、共通の範傷と一回性の範傷をもつ「同型鏡」では、鏡径に明確な差異を確認した。これについても三次元計測を用いて断面図と2点間距離計測で比較した結果、約1~3%という明確な数値の差異が確認でき、同一文様であるが異なる鑄型から製作されたとみる同型技法によるとする従来の見解を裏付けた。

(2) 鑄造実験 鑄造実験により製作モデルの検証を進めた。同型技法についての検証を先行した。鑄造実験過程である原鏡、乾燥前鑄型、乾燥後鑄型、実験鏡に対して精密三次元計測を行い各段階の変化を確認した。2点間距離計測により原鏡から乾燥前鑄型の差異はごく小さく、と実験鏡の差異は、融解した青銅の凝固の際の収縮に近い数値が出た。との鑄型の乾燥過程の変化が中心となることを想定して、材質を変えた鑄型の乾燥前後を中心とした比較を行った。その中で、鑄型は、肌真土を中心とする層を、その外側の砂を多用した層で覆う多層構造を採用したが、鏡背面を横断する亀裂状のひび割れは発生したものの、鏡径の変化はわずかであった。そこで、粘土の割合差による収縮の差異や、単層の鑄型の収縮などを確認した。

その結果、鏡径収縮を生むような中心へ向かう鑄型の変形を発生させるには、単層構造で、鑄型が乾燥過程で何かに貼り付くなど固定されないことで、鏡径収縮に繋がる鑄型の収縮が起きるものと考えた。ただし、鑄造までの工程をとおしての鑄造実験は新型コロナウイルス感染症の影響で実施できておらず、今後の課題である。また、同範技法については、専用の鑄型を使つての実験は

できなかったが、同型技法での鑄造実験において、鑄型の欠損状況を確認した。鑄型を急速に冷やした場合、融解した金属の凝固と鑄型のひび割れに入り込んだ青銅のために、鑄型表面が崩れていた。それに対して、初期の実験で鏡背側鑄型の上から融解した青銅を流し込んだ場合には、鑄型の欠損が極めて小さかったことから、今後、鑄型の構造や離型剤の問題だけでなく、鑄型から実験鏡を取り出すタイミング等も検討する必要がある。

原鏡に対しての鏡径収縮は、製作工人にとって特にメリットはなく、作業過程での副産物とみられる。倭鏡においても、少数ではあるが同一文様鏡が確認できる。しかし、三角縁神獸鏡のような範傷の増加傾向は明確でなく、小型鏡のためか鏡径収縮はほとんど確認できず、また面数が少なく比較が難しく、現時点においても技法の判断がつかないものが多い。少なくとも中国鏡とされる三角縁神獸鏡に代表される「同範鏡」、中期の画文帯神獸鏡などの「同型鏡」のような意図的な大量量産とは大きく様相が異なる。その点で、舶載三角縁神獸鏡とホウ製三角縁神獸鏡は、同範技法の採用とともに鑄型の傷の現われ方など共通点が多く、同じ技術系譜と考えられる。

銅鐸においても同範技法による同一文様をもつものが存在するが、古墳時代の倭鏡とは時間的な断絶があり、初期の倭鏡であるダ龍鏡にみられるように獸形などの文様や、鑄型を陽刻する技術など中国鏡の影響を強く受けているものの、ダ龍鏡に「同範鏡」、「同型鏡」がなく、技術系譜が直接繋がっているとは言い難い状況である。

(3) **その他の成果** 主に破片データの接合という技術的な成果と、新たな考古資料への三次元計測の可能性の検証がある。前者は、京都府立山城郷土資料館、奈良国立博物館、京都大学総合博物館の協力を得て、京都府興戸2号墳の鍬形石と石釧について、複数館に所蔵される破片資料のデータ上で接合と画像化を行った。同様に奈良県ホケノ山古墳画文帯神獸鏡についても、破片資料を接合することで精密な断面図の作成を可能とした。また、考古資料における三次元計測による画像作成のテストとして、土偶と砥石の三次元計測を行った。土偶は立体的な遺物であり、指頭による圧痕やナデで成形されており、奈良県観音寺本馬遺跡の土偶など、単純な線画による実測図の展開図では表現しきれない曲面や質感を陰影画像で表現することができた。また、砥石は、研ぎ面の稜線を拾って実測図とするが、緩やかな曲面が表現でき、形状をより正確に伝えることができた。

(4) **報告書の刊行** 本研究期間中に計測した画像、学会発表内容、発掘調査報告書への利用のほか、鑄造実験、鑄型の乾燥実験等の成果は、『科研報告(基盤研究B 研究代表:水野敏典)三次元デジタル・アーカイブを活用した青銅器製作技術解明の総合的研究』としてまとめて刊行した。

(5) **今後の展望** 青銅器への三次元計測は、2000年以降継続して行ってきたが、画像の利用だけでなく、他の研究者による青銅器への三次元計測が行われており、青銅器研究に浸透しつつある。その中で鑄造実験に μm を単位とする三次元計測を持ち込んだのは初めての試みといって良い。同型技法における鏡径収縮現象に対して一定の成果をあげたものの、まだ不明な点が多い。出土鏡の観察から得られた製作モデルは、無数の無意識な仮定があり、鑄造実験はそれを一つずつ意識化していく試みであり、さらに多くの検証を必要とし、今後も研究を継続する必要がある。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 0件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 水野敏典 岡林孝作 山田隆文 奥山誠義 北井利幸 古谷 毅	4. 巻 86
2. 論文標題 三角縁神獸鏡「同范鏡」断面の差異の基礎的研究	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本考古学協会第86回総会研究発表要旨	6. 最初と最後の頁 26-27
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 水野敏典 わきびき真澄 岡林孝作 山田隆文 奥山誠義 北井利幸 古谷 毅	4. 巻 37
2. 論文標題 三次元計測を応用した同型鏡鑄造実験	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本文化財科学会第37回大会研究発表要旨集	6. 最初と最後の頁 292-293
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 水野敏典	4. 巻 85
2. 論文標題 「同型鏡」の鏡径収縮についての基礎的研究	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本考古学協会第85回総会研究発表要旨	6. 最初と最後の頁 238-239
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 水野敏典 北井利幸 奥山誠義	4. 巻 423
2. 論文標題 高良大社所蔵青銅器の三次元計測	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 高良大社所蔵歴史資料調査報告	6. 最初と最後の頁 43 50
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 水野敏典	4. 巻 2
2. 論文標題 三角縁神獸鏡の三次元計測	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 新版八尾市史 考古編	6. 最初と最後の頁 224-227
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 水野敏典 奥山誠義 北井利幸	4. 巻 84
2. 論文標題 挽型からみた倭鏡とホウ製三角縁神獸鏡	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 日本考古学協会第84回総会研究発表要旨	6. 最初と最後の頁 50-51
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 水野敏典	4. 巻 1
2. 論文標題 「同型鏡」の鏡径収縮	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 磨斧作針 橋本博文退職記念論集	6. 最初と最後の頁 213-220
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 北井利幸 水野敏典 奥山誠義 柳田明進 中川 貴 勝川若菜	4. 巻 35
2. 論文標題 弥生時代青銅器鑄造技術の一事例	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 日本文化財科学会第35回大会研究発表要旨	6. 最初と最後の頁 204-205
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 水野敏典	4. 巻 13冊
2. 論文標題 黒塚古墳出土鏡の意義	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 黒塚古墳の研究 橿原考古学研究所研究成果報告	6. 最初と最後の頁 305-313
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 北井利幸	4. 巻 1
2. 論文標題 「弥生時代青銅器鑄造技術の一事例 - 和歌山県田辺市後口谷銅鐸にみる鑄掛け - 」	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 泉森 皎先生喜寿記念論集	6. 最初と最後の頁 65-73
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 水野敏典 奥山誠義 北井利幸	4. 巻 第83回
2. 論文標題 三次元計測を応用した倭鏡における挽型使用形態の研究	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 日本考古学協会第83回総会研究発表要旨	6. 最初と最後の頁 170 171
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 水野敏典	4. 巻 第140号
2. 論文標題 精密三次元計測と応用研究	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 季刊考古学	6. 最初と最後の頁 22 25
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 水野敏典	4. 巻 19
2. 論文標題 精密三次元計測と銅鏡研究	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 日本情報考古学会講演論文集	6. 最初と最後の頁 3
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計8件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 水野敏典 岡林孝作 山田隆文 奥山誠義 北井利幸 古谷 毅
2. 発表標題 三角縁神獸鏡「同範鏡」断面の差異の基礎的研究
3. 学会等名 日本考古学協会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 水野敏典・わけびき真澄・古谷 毅・岡林孝作・奥山誠義・北井利幸・山田隆文
2. 発表標題 三次元計測を応用した同型鏡鑄造実験
3. 学会等名 日本文化財科学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 水野敏典
2. 発表標題 「同型鏡」の鏡径収縮についての基礎的研究
3. 学会等名 日本考古学協会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 水野敏典 奥山誠義 北井利幸
2. 発表標題 挽型からみた倭鏡とホウ製三角縁神獸鏡
3. 学会等名 日本考古学協会第84回総会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 北井利幸 水野敏典 奥山誠義 柳田明進 中川 貴 勝川若菜
2. 発表標題 「弥生時代青銅器鑄造技術の一事例-和歌山県田辺市後口谷銅鐸にみる鑄掛け-」
3. 学会等名 日本文化財科学会第35回大会研究発表要旨
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 水野敏典
2. 発表標題 三次元計測と青銅器製作技術
3. 学会等名 薄膜第131委員会 第286回委員会・第292回研究会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 水野敏典 奥山誠義 北井利幸
2. 発表標題 三次元計測を応用した倭鏡における挽型使用形態の研究
3. 学会等名 日本考古学協会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 水野敏典
2. 発表標題 精密三次元計測と応用研究
3. 学会等名 日本情報考古学会（招待講演）
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 水野敏典・わけびき真澄・奥山誠義・北井利幸・古谷 毅・岡林孝作・山田隆文	4. 発行年 2021年
2. 出版社 明新社	5. 総ページ数 100
3. 書名 三次元デジタル・アーカイブを活用した青銅器製作技術解明の総合的研究	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	わけびき 真澄 (wakebiki masumi) (00534398)	中部大学・現代教育学部・准教授 (33910)	
研究分担者	山田 隆文 (yamada takafumi) (30301005)	奈良県立橿原考古学研究所・調査部調査課・指導研究員 (84602)	
研究分担者	古谷 毅 (furuya stuyoshi) (40238697)	独立行政法人国立文化財機構京都国立博物館・学芸部・研究員 (84301)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	持田 大輔 (mochida daisuke) (70409605)	奈良県立橿原考古学研究所・調査部調査課・主任研究員 (84602)	
研究分担者	北井 利幸 (kitai toshiyuki) (70470284)	奈良県立橿原考古学研究所・附属博物館学芸課・主任学芸員 (84602)	
研究分担者	岡林 孝作 (okabayasi kosaku) (80250380)	奈良県立橿原考古学研究所・その他部局等・副所長 (84602)	
研究分担者	奥山 誠義 (okuyama masayoshi) (90421916)	奈良県立橿原考古学研究所・企画部資料課・指導研究員 (84602)	
研究分担者	菅谷 文則 (sugaya fuminori) (10275175)	奈良県立橿原考古学研究所・その他部局等・所長 (84602)	2019年6月死去

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関