

日本古代金属製品の微量サンプルによる材質分析方法の研究

研究代表者：くらしき作陽大学 澤田秀実

研究分担者：奈良女子大学 大賀克彦

Research on material analysis methods using trace samples of ancient Japanese metal products.

Hidemi Sawada¹, Katuhiko Oga²

¹Kurashiki Sakuyo University, Kurashiki 710-0292

²Nara Women's University, Nara 630-8506

Keywords: Japanese ancient metal products, Trace sample, material analysis, Identifying the place of origin

By this fiscal year, we had confirmed the condition of the samples using an X-ray CT scanner and performed non-destructive analysis of the oxide layer on the sample surface using SEM-EDS. As a result, while the manufacturing technique of the product was clarified, it became clear that the analysis of the raw material origin was limited to the component analysis of the sample surface, and there were limitations in detecting impurities contained in the main components. In the future, we will consider micro-destructive analysis to analyze the inside of the metal from the surface using emission spectroscopy with a microscope, and analytical methods using trace amounts of sample collection, and will implement these in fiscal year 2026..

1. 緒言 (Introduction,)

日本の弥生時代から古墳時代では、銅製品や鉄製品などの金属製品の生産と流通が当時の社会を解明するために重要であり、青銅製品では鉛同位体比分析が使用され、原材料の産出地の解明に多くの成果をあげてきたが、これだけでは判別が難しい事例も明らかとなってきた（大賀 2018・2020、大賀ほか 2021）。そこで、鉛同位体比分析に加えて、青銅主成分（銅・スズ・鉛）に含まれる微量の不純物の組成などから、産出地を特定するのが目指すべき研究の到達点であり、本研究ではこのような課題設定のもとで、日本古代の青銅製品、銅製品について、微量成分を定量で検出することによって、従来とは異なるレベルでの研究を切り拓こうとしている。

ただし、微量成分の分析をおこなおうとすると、分析精度が高い分析方法、機器を使用する必要性があり、資料の大きさや形状に制約が多いことが一般的で、非破壊分析が困難となる。そのため、文化財的価値の毀損を最小限に抑える微量サンプルを採取し、高精度分析を実施する方法を開発することも必要となる。

本研究では非破壊分析を前提としつつも、これらについて基礎的検討をおこない、実現に見通しを得ることを目的としている。

2. 研究方法 (Research procedure)

本研究を遂行するには、非破壊分析はもとより、微量でなおかつ良好なサンプルを確実に採取する方法と、微量サンプルでも分析が可能な分析方法・機器の選択が必要である。

当初に計画した具体的な検討方法は、以下のとおりであった。

1) 研究代表者・分担者で、検討にふさわしい資料の選定をおこなう。研究代表者がこれまでに調査研究をおこなってきた、中国地方出土の耳環（鉛同位体比分析を終えている資料数点）を予定している。資料は研究代表者が東北大学に運搬する。

2) 東北大学学術資源研究公開センター総合学術博物館の藤澤敦教授と共同で、同館に備え付けられている高出力X線CT撮影装置で撮影して内部状況を確認し、表装が欠落した箇所での内部の保存状態が良好な部分確認した後に金属成分の測定方法を検討するが、微量のサンプルを採取する場合でも、採取後の状況をX線CTで撮影し記録することで、資料所蔵者からの理解を得られる方法とする。

3) 資料に適合した分析方法の検討と選定や、微量成分の由来についての地質学的・鉱物学的知見については、学術資源研究公開センター総合学術博物館の高嶋礼詩教授、金属材料研究所の杉山和正教授や学際ハブ推進室のメンバーと共同で検討をおこない、望ましい方法を探索し、試行していくが、高出力X線CT撮影装置後、まずは資料の法量が装置内に納まりサンプリングなしに分析可能なEDSによって定量と微量成分を確認する。

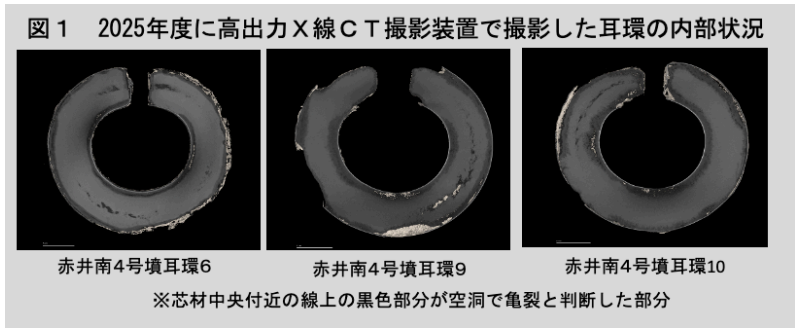
3. 結果および考察 (Results and discussion)

2025年度に実施した調査研究は以下の通りである。

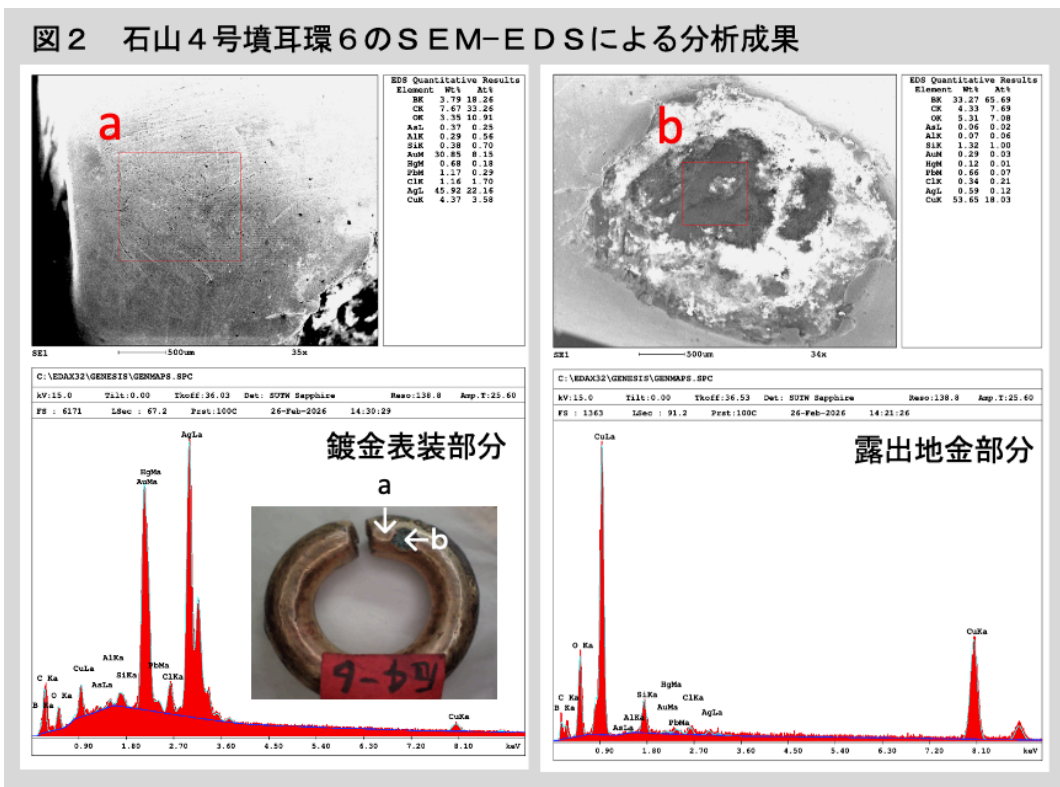
研究代表者・分担者で検討にふさわしい資料の選定をおこない、研究代表者がこれまでに調査研究をおこなってきた、中国地方出土の銅製品、青銅製品（岡山県倉敷市赤井南古墳群出土耳環 5点、同赤磐市岩田古墳群出土耳環 4点、島根県益田市小丸山古墳出土馬鐸 3点）（澤田 2022）を選定した。これらの資料は研究代表者が東北大学に搬送して調査、分析し、分析結果について検討を加え、意見交換した。なお、東北大学での調査は、2025年12月4～5日、2026年2月25～27日の2回の2回であった。

具体的な調査については、2025年12月に倉敷市赤井南古墳群出土耳環 5点を高出力X線CT撮影装置で撮影し、内部状況を確認し、あわせて今後の分析方法について検討した。2026年2月の調査では、島根県益田市小丸山古墳出土馬鐸 3点の高出力X線CT撮影装置での撮影と24年度にX線CT画像を撮影した赤磐市岩田古墳群出土耳環 4点のSEM-EDSでの表層観察と金属成分分析であった。前者は事前調査で紐部

分で検出した鉄成分が鑄込まれたバイメタル製品であるか否かの確認で、後者は露出した地金表層の状態と金属成分の確認であった。これらの調査は基本的に非破壊分析であり、今回までの分析で非破壊調査による分析結果が得られ、12月の調査結果とあわせて次年度の調査方法について検討した。なお、高出力X線CT撮影装置での撮影は東北大学学術資源研究公開センター総合学術博物館で、SEM-EDSでの調査は東北大学金属材料研究所にておこなった。



耳環のX線CT撮影では芯材である銅地金とそれを取り巻く表層の薄い金銀膜の構造が把握され、耳環の製作技法の解明に近づいた。特に表層金銀膜を芯材に巻き付けている様子が観察された。また芯材についても芯材内部中央に連続した亀裂が観察されるなど、棒状の芯材をC字状に加工している様子が窺えた。SEM-EDSでの成分分析は、芯材と表層金銀膜とをおこなったが、前者では主成分が銅で、僅かに鉛やヒ素が含まれることがわかったが、コバルト、アンチモン、ビスマスといった微量成分元素は検出できなかった。また、後者では表層金銀膜が薄い銅板にアマルガム技法によって鍍金されていることが明らかになった。



4. まとめ (Conclusion)

今年度までにX線CT撮影による資料状態の確認と、SEM-EDSによる非破壊での資料表面の酸化層の成分分析をおこなったが、製品の製作技法が明らかになる一方で、原材料産出地については資料表面の成分分析に留まり、主成分に含まれる不純物の検出に限界性があることが承知された。今後は顕微鏡をもちいた発光分光分析による表層から地金内部を分析する微破壊分析や微量のサンプル採取による分析方法を検討し、26年度に実施することとした。

謝辞 (Acknowledgement)

本研究の実施にあたって、東北大学学術資源研究公開センター総合学術博物館 藤澤敦教授、鹿納晴尚博士、東北大学金属材料研究所 杉山和正教授にご助言、ご助力を賜った。また資料の借用に際し、倉敷考古館、赤磐市教育委員会、益田市教育委員会各位にご高配賜った。記して厚く御礼申し上げる次第である。

引用文献 (Reference)

大賀克彦 2018 「日本列島産鉛の鉛同位体比分析とその考古学的含意」 『古代学』 第10号
 大賀克彦 2020 「鉛同位体比による三角縁神獣鏡製作地の検討」 『古代学』 第11号
 大賀克彦・田村朋美・池田征弘 2021 「兵庫県出土鉛製耳環の鉛同位体比とその考古学的評価」 『兵庫県立考古博物館研究紀要』 第14号
 澤田秀実 2022 『日本列島における銅、鉛原材料の産出地同定と使用開始年代に関する学際的研究』 2017～2021年度科研費研究成果報告書 くらしき作陽大学