

中性子を用いた古墳時代刀剣の製作技術の実態解明

研究代表者：岡山大学 文明動態学研究所 RYAN Joseph

共同申請者：株式会社 日本中性子光学 鬼柳 善明

Non-destructive analysis of the production technology of Kofun-period swords using neutron imaging

Joseph RYAN¹, Yoshiaki KIYANAGI²

¹Associate Professor, Research Institute for the Dynamics of Civilizations, Okayama University, Okayama 700-8530

²Japan Neutron Optics Inc., Aichi 443-0031

Keywords: archaeological metals, metallurgy, Kofun, neutron imaging

Archaeological metals are heavily corroded and their morphology can often be difficult to understand through visual inspection. Additionally, destructive analysis to understand their production technology is often not allowed from the perspective of cultural heritage preservation. Non-destructive analysis that allows us to understand the internal structure of these objects is therefore necessary. One of the most significant questions surrounding these ancient metals is the nature of the production technology of iron swords during Japan's Kofun period (3rd to 7th centuries AD) and how the production technology evolved into that of the swords of later periods. In order to analyze the morphological, microstructural, and compositional details of Kofun-period swords, we exploited a combination of neutron tomography and Bragg Edge Neutron Transmission. In order to select artifacts with healthy metal remaining, we first conducted X-ray CT to assess the samples held in the collection of Okayama University. Samples most likely to give promising results were chosen and neutron analysis was conducted at J-PARC in March 2026. While data analysis is currently underway, a preliminary confirmation of the data confirmed the existence of areas of differential attenuation within the volumes, which suggests high-quality data concerning microstructure and composition – and thereby production technology – can be achieved.

1. 緒言 (Introduction)

遺跡の発掘で出土する金属製の考古資料は、錆化が激しいため、肉眼観察だけでは詳細な形状などの把握が困難である。また、内部構造や微細構造、化学組成などを明らかにするための破壊を伴う分析も、文化財保護の完全から極力避けられる。そのため、非破壊で内部の微細構造が解明できる分析手法が探られてきた。

金属製の考古資料で長年議論が交わされてきた課題として、古墳時代の鉄製刀剣の製作技術がどのようなものだったか、そして、古代以降の日本刀にどのように展開していったか、といった問いが挙げられる。ただし、上述の通り、錆化が激しい上に、破壊分析が許されないため、良好なデータの直積が不足している現状である。そこで、古墳時代の刀剣を対象に、遺物内部の微細構造や金属学的な情報が得られる中性子イメージングとブラッグエッジを用いて分析を実施した。

2. 研究方法 (Research procedure)

中性子イメージングおよびブラッグエッジは、良好なメタルの残存が必要であるため、まずは岡山大学に所蔵されている数多くの古墳時代の鉄製刀剣を対象に、X線CT撮影を実施した。X線CTのデータを踏まえ、良好なメタルが中に残存していると期待できる資料を3本ピックアップした。この3本の鉄製刀剣を対象に、茨城県 J-PARC において、中性子イメージングおよびブラッグエッジを 2026 年 3 月 12 日～18 日にかけて実施した。

以前、今回のプロジェクトの予備調査として、Francesco Grazzi らとともに、古墳時代の鉄製刀剣の小片を対象に、J-PARC において同様な分析を実施した[1]が、今回の資料の設置方法や撮影パラメーターも前回のデータを踏まえ、決定した。また、古代以降の日本刀の中性子分析を実施してきた鬼柳善明[2]の指導も受けた。古墳時代の鉄製刀剣の中性子分析の前例が皆無に等しく、脆い遺物が破損しない状態を維持しながら、なるべく良好なデータが得られる設置方法など、様々な試行錯誤が必要であった。とくに、長大な鉄製刀剣を垂直に立てるためのアルミ製シリンダーの用意と回転台への固定方法で工夫が必要となった。

3. 結果および考察 (Results and discussion)

中性子イメージングおよびブラッグエッジは、2026 年 3 月中旬に実施したため、データ解析はこれからしていく必要があるが、現地でデータの確認を行った結果、質の高いデータが取得されていることが明らかとなった。

中性子イメージング：錆化の激しい部分、腐食が一定程度進行している部分、そして良好なメタルが残っている部分の段階的な見分けが可能となった。これから、製作技術を考える上でとくに重要となる折り返し鍛錬の接合線が抽出可能かどうかは大きな課題となろう。

ブラッグエッジ：鉄製刀剣が錆に覆われているとはいえ、内部の鉄の抽出と分析、すなわち金属組織など金属学的なデータの取得が可能であるという展望が得られた。とくに1本の刀剣については、異なる性質の鉄材が組み合わされているという予備結果が得られ、複雑な製作技術の復元が可能であるという展望が得られた。

今後、中性子の分析を通じて得られたデータの解析を進め、具体的な議論に繋げていきたい。

4. まとめ (Conclusion)

このように、遺存状態が必ずしも良好でない古墳時代の鉄製刀剣を対象とした中性子の分析を実施した。今後は、データ解析をし、個別資料の検討を進める必要があるが、現在まで不明瞭であった古墳時代鉄製刀剣の製作技術について新知見が得られるのではないかと期待できる。

謝辞 (Acknowledgement)

本研究を計画、そして実施するにあたって、受入教員となってくださった量子ビーム金属物理学研究部門の藤田全基先生および学際ハブプロジェクトの皆さまに大変お世話になった。心より感謝申し上げます。

引用文献 (Reference)

- 1) Cantini, F., Ryan, J., Guidorzi, L. et al. On the use of neutron tomography for morphological analysis of highly corroded Kofun-period iron weapon fragments supported by quantitative neutron diffraction analysis and X-ray-based techniques. *Archaeol Anthropol Sci* **18**, 9 (2026). <https://doi.org/10.1007/s12520-025-02378-1>
- 2) Kiyonagi, Y. 2022. Study of Japanese Swords at the Neutron Source in J-PARC. In S. D'Amico & V. Venuti (Eds.), *Handbook of Cultural Heritage Analysis* (pp. 355-376). Springer.