

令和 6 年 5 月 24 日現在

機関番号：17102

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K18381

研究課題名（和文）砕屑性ジルコンによる土器製作地の精密解析：古代物流解析ツールとしての可能性の検証

研究課題名（英文）Detailed analysis of production area of earthenware using detrital zircon dating: Evaluation as an analytical tool for ancient material flow

研究代表者

中野 伸彦（Nakano, Nobuhiko）

九州大学・比較社会文化研究院・准教授

研究者番号：20452790

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、近代地質学への最大のパラダイムシフトである「ジルコンの局所年代法」を土器に適用し、考古学分野における世界最先端の分析手法として確立することを目的とした挑戦的課題である。研究過程では、筑紫地区遺跡群出土の弥生土器と須恵器に加えて、遺跡周辺から採取した岩石、粘土、川砂を用いた。土器資料中のジルコンの混入量は、資料により異なるが、本遺跡の弥生土器に関しては、10グラム程度で十分な解析が可能であると見積もられた。また得られた年代値から、土器中のジルコンは混和材ではなく粘土由来であり、両者の年代頻度曲線は完全に一致することが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまでの土器の製作地や粘土の原産地の最も精密な解析手法として、土器の化学組成の測定、いわゆる胎土分析がある。しかしながら、土器の原材料である胎土は、粘土と混和材から構成されており、胎土の化学組成は粘土の化学組成と一致せず、さらに混和材と粘土の割合の変化による組成変動の影響を受けるため、直接的な対比が困難であった。一方で、本研究から得られたジルコンを用いた解析結果は、土器と粘土を直接的に対比することが可能であり、起源の異なる土器片を明確に抽出することが可能であるとともに、その流通元についても遺跡周辺に分布する岩石中のジルコン年代と比較することで極めて正確に解析し、説得力あるデータを提供できる。

研究成果の概要（英文）：This research aims to apply “spot dating method for zircon”, the greatest paradigm shift in modern geology, to earthenware vessels and establish it as the most advanced analytical method in archaeology. Yayoi pottery and Sue ware excavated from the Chikushi area sites were used in this research. Additionally, rocks, clay, and river sand collected from the area around the site were also used. The amount of zircon grains included in the pottery varied according to the material. For the Yayoi pottery from this site, it was estimated that about 10 grams were sufficient for analysis using this method. The obtained U-Pb ages indicate that the zircon in the pottery is not from a mineral admixture but from the clay itself, and the probability density curves of the ages from the pottery are in good agreement with those from the clay.

研究分野：地球科学

キーワード：ジルコン 弥生土器 須恵器 粘土 混和材 U-Pb年代

様式 C-19、F-19-1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

ジルコン ($ZrSiO_4$) は、物理的にも化学的にも極めて強靱な鉱物であり、形成後の風化、浸食、変質、運搬、変成作用等、地表～下部地殻で生じるあらゆる現象によっても分解されにくい特殊な鉱物である。従って、火成岩・堆積岩・変成岩間の岩石サイクルにおいても、ジルコン形成時の情報は継承されていくという特徴を持つ。また、ジルコンは少量の U を含み、同位体壊変により放射性同位体核種の Pb へと壊変する。この U-Pb 系の同位体を利用したジルコンの年代測定法の確立は、1980 年代以降の新たな装置の開発やその進展に伴って急速に進み、現在では 10～20 ミクロン径の空間分解能で精度良い年代測定値を得ることが可能となった。この局所年代測定技術は、世界各地の火成岩や変成岩中に適用されることで、地球科学分野、特に地球史解読に革新をもたらし、固体地球についての我々の理解を大きく前進させた。一方、堆積岩の形成年代は、長らく微化石年代や層序から推定するしかなく、その定量的な議論が困難であった。ところが 2000 年以降、碎屑性ジルコンを用いた U-Pb 年代測定手法の確立と普及により状況は激変する。本手法は、堆積岩中に含まれる碎屑物としてのジルコンを分離し、局所分析を用いて多数の粒子から年代値を得て、その年代頻度の類似性から後背地や地層の延長を検討する単純明解な手法である。本手法は国際的に爆発的普及を遂げ、地質体の起源の解析、様々な時代の超大陸の復元、地球史における大陸の成長割合、地球最古の鉱物粒子の発見等、多様な地球科学的課題の解明に応用されている。本課題は、地球科学分野で確立・熟成されたジルコンを用いた解析手法の他研究分野への最大級の波及効果を期待する世界初の試みであり、世界最先端の解析手法を考古学分野に提供するための挑戦的課題である。

2. 研究の目的

本課題は、近代地質学への最大のパラダイムシフトである「ジルコンの局所年代法」を土器に適用し、考古学分野における世界最先端の分析手法として確立することを目的とする。縄文式や弥生式土器・土師器等の須恵器以前の土器は、原料となる粘土に混和材として細かな砂粒を混ぜて成型し、低温で焼成されているため、粘土とは均質化しておらず鉱物粒子を含む (図 1a, b)。土器中のジルコンの年代頻度分布は、混和材か粘土に由来するかは現在のところ分からないが、遺跡ごとに異なる可能性が高い。つまり、この分類方法は、胎土分析とは異なり、混和材と粘土の量比に全く影響を受けず、発掘された土器片のみから圧倒的精度でその製作地を推定することが可能である。従って、仮に同一遺跡中に異なる年代頻度分布をしめす土器が存在する場合は、胎土分析や混和材鉱物同定のように統計的に「違い」を検出する必要はなく、「科学的に」「明確に」「瞬時に」違いを見出すことができる。さらに、土器は形態や出土の産状の考古学的解析から、その時代や儀礼等の用途を推定することが可能であり、本申請課題で行う碎屑性ジルコンを用いた年代測定とあわせて、「いつ」「どこから」「なんのために」土器の移動が生じたか理解するツールとなるかもしれない。本申請課題は、土器の持つその圧倒的ポテンシャルの検証を目的としている。

3. 研究の方法

本申請課題での「碎屑性ジルコンによる土器製作地の精密解析法」の確立において、検証が必要となる事象は明確であり、次に挙げる二点である。まず、土器中のジルコンの総量。つまり、どの程度の破壊を必要とするかの確認。当然破壊量が少なければ少ないほど、埋蔵文化財には適用しやすい。2 点目は、ジルコンの混入起源。つまり、粘土由来なのか混和材由来であるかの確認である。碎屑性ジルコン年代そのものの有用性は、地質学における膨大な論文が証明しているため、この二点をクリア、つまり破壊が許容範囲であり、そのジルコンが粘土に由来するか、混和材に由来するかが理解できれば、ジルコンを用いた解析法の確立がより現実的となるとともにデータの解釈も容易となる。

本研究では、資料の使用許可取得が容易な九州大学所蔵の筑紫地区遺跡群出土資料を使用した。まず、解析に十分であるジルコン 100 粒子に必要な土器資料量を算出した。分析には、一般的な①弥生土器に加えて、粘土粒子のやや細かい②丹塗り弥生土器、混和材を使用しない③須恵器、遺跡内で推定されている粘土採取場所空採取した④風化土壌～粘土、遺跡周辺に露出する⑤岩石、遺跡周辺の河川の⑥川砂に含まれるジルコンを用い、土器中に含まれるジルコンの由来を検討した。

4. 研究成果

まず、土器中のジルコンの混入量について、最終的に濃集した資料に含まれるおよそそのジルコン粒子の数から推定した。ジルコンの濃集には弥生土器 3 資料、丹塗り弥生土器 2 資料、須恵器 2 資料を用いた。今回の実験ではおよそ 150～200 グラムの試料を用い、それぞれの資料からおおよそ 300～5000 粒子のジルコンを濃集することができた (図 1c)。この結果からジルコン 100 粒子を採取するために必要な資料量は、一般的な弥生土器でおおよそ 5～10 グラム、丹塗り弥生土器で 30 グラム、須恵器で 70～130 グラムであった。これらの結果から、土器の粘土成分

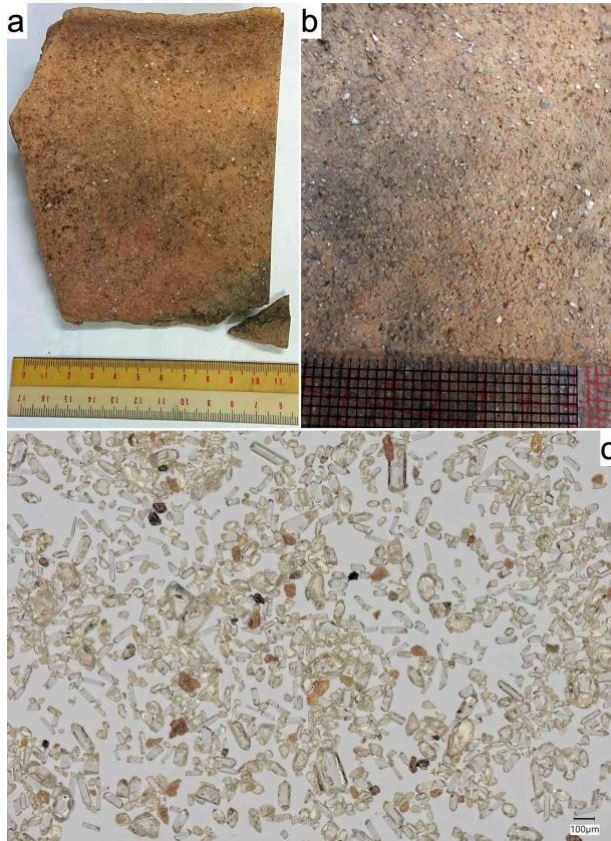


図1. 弥生土器資料の全体写真(a)と拡大写真(b), 同試料から濃集したジルコンの実体顕微鏡写真(c). 濃集した鉱物の8割程度はジルコン.

た, 得られたジルコンからは, 9千百万年 \pm 2百万年および1億3百万年前 \pm 2百万年のバイモーダルなピークが得られた(図2b). これらの年代は, 遺跡周辺の早良花コウ岩と牛頸川上流に分布する糸島花崗閃緑岩を起源とするジルコン粒子と考えられる.

丹塗りを含む弥生土器3資料の年代ピークは, 9千5百万年前から9千万年前をしめすが, 全ての試料で1億1千万年前程度までの古いジルコン粒子を含むことが明らかとなった(図2c). 年代ピークは3資料の弥生土器でそれぞれ, 9千4百万年前 \pm 百万年, 9千3百万年前 \pm 百万年, 9千3百万年前 \pm 百万年であった. この年代頻度分布は, 遺跡の粘土採取地点と考えられる地点から採取した風化土壌~粘土から得られた結果と完全に重複する(図2e). 3試料の風化土壌の年代は, 9千4百万年前 \pm 百万年, 9千百万年前 \pm 百万年, 9千百万年前 \pm 百万年であった. 一方で, 須恵器中に含まれるジルコンはやや古い年代をしめし, その平均年代は9千7百万年前 \pm 2百万年であり, 誤差の範囲を超えて古い.

以上の結果から, 仮に混和材を均一な粒子を容易に入手可能な川砂から採取しているとすると, 川砂にはジルコンの含有率が極めて低く, その年代分布も土器に含まれるジルコンの年代と異なるという結果から, 土器中のジルコンは粘土起源であると判断できる. また, 筑紫地区遺跡群において, 弥生土器の製作には遺跡近隣の粘土が使用されていたことが明らかとなった. このことは, これまでの胎土分析では混和材の影響により直接的に対比できなかった粘土と胎土を本手法によって完璧に対比することが可能であり, 今後の遺跡間物流解析ツールとしての有用性がしめされた重要

が細粒になるほどジルコンの混入量が減少する傾向があることが明らかとなった. またこの結果は, 本研究を実施した筑紫地区遺跡群(御供田遺跡)の弥生土器であれば, 非常に少量の試料により解析することが可能であることをしめしている.

次に, ジルコンの年代測定結果についてしめす. まず, 遺跡周辺に分布する花コウ岩は, 北部九州の花コウ岩体の中で, 早良花コウ岩と呼ばれるものであり, 特徴的に白雲母を含む. この黒雲母-白雲母花コウ岩のジルコンからは, 非常に集中した年代が得られ, その平均年代は9千3百万年前 \pm 百万年をしめた(図2a). この年代は, 周辺の早良花コウ岩類から報告されている年代(9千4百万年前 \pm 百万年; 堤・谷, 2022)に一致している.

200グラム程度の土器や風化土壌には十分なジルコンが含まれる一方で, 土器中に含まれる混和材起源と見なせる1ミリ程度の鉱物粒子(図1b)を容易に採取できる川砂にはジルコンはさほど混入されておらず, 本研究で遺跡周辺の牛頸川から採取した5キロ程度の川砂から得られたジルコンは17粒子のみであった. ま

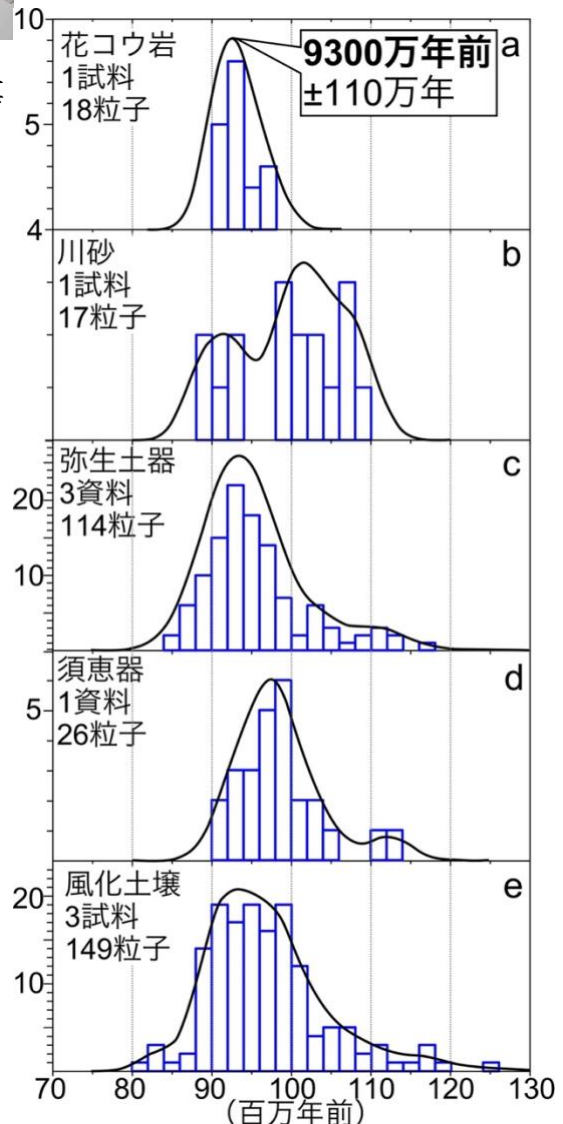


図2. ジルコンの年代測定結果のヒストグラムと確率分布曲線.

な発見である。さらに須恵器から得られた年代の違いは、粘土採取場所の変化など考古学的にも非常に重要な事柄をしめしている可能性がある。

引用文献

堤 之恭・谷 健一郎，2022．北部九州の白亜紀花崗岩類のジルコン U-Pb 年代．日本地質学会大 129 年学術大会講演要旨．

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 5件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Baba, S., Owada, M., Hokada, T., Adachi, T., Nakano, N.	4. 巻 160
2. 論文標題 Contrasting geological background based on the geochemistry of the mafic metamorphic rocks in central Dronning Maud Land	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Geological Magazine	6. 最初と最後の頁 993-1009
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1017/S0016756823000092	査読の有無 有
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 Kitano, I., Hokada, T., Baba, S., Kamei, A., Motoyoshi, Y., Nantansin, P., Setiawan, N., Dashbaatar, D.-O., Toyoshima, T., Ishikawa, M., Katori, T., Nakano, N.	4. 巻 118
2. 論文標題 Zircon geochronology of high-grade metamorphic rocks from outcrops along the Prince Olav Coast, East Antarctica: Implications for multi-thermal events and regional correlations	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Mineralogical and Petrological Sciences	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2465/jmps.221220	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する
1. 著者名 田尻義了	4. 巻 -
2. 論文標題 弥生時代の小形ぼう製鏡	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 九州考古学の最前線1 縄文～古墳編	6. 最初と最後の頁 243-258
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 有
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 梶原慎司・中野伸彦	4. 巻 -
2. 論文標題 相作馬塚古墳石室石材の産地同定分析	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 相作馬塚古墳. 3 (高松市埋蔵文化財調査報告 ; 第249集)	6. 最初と最後の頁 54-69
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 梶原慎司・小山内康人・中野伸彦・足立達朗	4. 巻 69
2. 論文標題 古墳時代前期の積石塚古墳における墳丘石材採取の具体的様相 - 考古学と地球科学の学際融合研究の一例 -	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 考古学研究	6. 最初と最後の頁 54-78
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 有
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 Hokada, T., Adachi, T., Osanai, Y., Nakano, N., Baba, S., Toyoshima, T.	4. 巻 226
2. 論文標題 Formation of corundum in direct contact with quartz and biotite in clockwise P-T trajectory from the Sor Rondane Mountains, East Antarctica	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Mineralogical and Petrological Sciences	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2465/jmps.220317	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Vuong, B.T.S., Osanai, Y., Nakano, N., Kitano, I., Adachi, T., Tuan, A.T., Binh, P.	4. 巻 226
2. 論文標題 Petrology and zircon U-Pb geochronology of pelitic gneisses and granitoids from the Dai Loc Complex in the Truong Son Belt, Vietnam: Implication for the Silurian magmatic-metamorphic event	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Asian Earth Sciences	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jseaes.2021.105070	査読の有無 有
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 該当する

1. 著者名 Nakano, N., Osanai, Y., Jargalan, S., Adachi, T., Dolzodmaa B. Kundydz, S., Owada, M., Satish-Kumar, M.	4. 巻 400-401
2. 論文標題 Petrology and geochronology of andalusite- and sillimanite-bearing kyanite metapelites from the Gobi Altai Mountains: Evidence for prolonged convergent tectonics in the Central Asian Orogenic Belt	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Lithos	6. 最初と最後の頁 106362
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.lithos.2021.106362	査読の有無 有
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 該当する

1. 著者名 Vuong, V.T.S., Osanai, Y., Nakano, N., Kitano, I., Adachi, T., Anh, T.T., Binh, P.	4. 巻 226
2. 論文標題 Petrology and zircon U-Pb geochronology of pelitic gneisses and granitoids from the Dai Loc Complex in the Truong Son Belt, Vietnam: Implication for the Silurian magmatic-metamorphic event	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Asian Earth Sciences	6. 最初と最後の頁 105070
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jseaes.2021.105070	査読の有無 有
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 該当する

1. 著者名 Boldbaatar, D., Osanai, Y., Nakano, N., Adachi, T., Sereenen, J., Kitano, I., Syeryekkhaan, K.	4. 巻 116
2. 論文標題 Geochronology and geochemistry of granitoids from the Mongolian Altai	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Mineralogical and Petrological Sciences	6. 最初と最後の頁 293-308
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2465/jmps.210830	査読の有無 有
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 該当する

〔学会発表〕 計10件(うち招待講演 0件/うち国際学会 1件)

1. 発表者名 田尻義了・中原周一・藤原彰久・池田拓・中山元智・高橋寛宇
2. 発表標題 蓋井島における戦争遺跡の3D調査について
3. 学会等名 九州考古会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 吉村由多加・安鉉善・山本 裕二・穴井 千里・田尻 義了・畠山 唯達・大野 正夫
2. 発表標題 石勺遺跡の弥生土器を用いた約1800年前の考古地磁気強度推定
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Nakano, N., Baba, S., Kagashima, S.
2. 発表標題 Geology and petrology of the Berrnabbane in the western Lutzow-Holm Complex, East Antarctica: constraints on the tectonic setting of the Paleoproterozoic basement
3. 学会等名 JpGU Geoscience Union Meeting (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 中野伸彦・馬場壮太郎・加々島慎一
2. 発表標題 東南極・リュツォ・ホルム岩体，ベルナバネの原岩構成と変成年代から推定される形成テクトニクス
3. 学会等名 日本地質学会第130年学術大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 中野伸彦・馬場壮太郎・加々島慎一
2. 発表標題 東南極リュツォ・ホルム湾西部，ベルナバネの地質と変成作用
3. 学会等名 日本地質学会第129年学術大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 馬場壮太郎・加々島慎一・中野伸彦
2. 発表標題 東南極リュツォ・ホルム湾西部およびプリンスオラフ海岸東部に分布する高温変成岩類:2021-2022地質調査報告
3. 学会等名 日本地質学会第129年学術大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小山内康人・中野伸彦・北野一平・大和田正明・Vuong, B.T.S.・Dolzodmaa, B.
2. 発表標題 九州黒瀬川構造帯・超高温変ハンレイ岩類の変成作用と変成年代
3. 学会等名 日本鉱物科学会2022年年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 北野一平・小山内康人・北村圭吾・中野伸彦
2. 発表標題 中部九州阿蘇カルデラ北部合戦群地域に露出する泥質片麻岩および花崗岩のジルコンU-Pb年代
3. 学会等名 日本地質学会第128年学術大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Boldbaatar, D., Osanai, Y., Nakano, N., Kamei, A., Adachi, T.
2. 発表標題 Petrogenesis of the Khangai granitoids, central Mongolia: Implications for the crustal generation
3. 学会等名 日本鉱物科学会2021年年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Zaw, H., Osanai, Y., Nakano, N., Adachi, T., Khaing, N.H.
2. 発表標題 Geochronology of calc-silicate and related rocks in the Mogok Metamorphic Belt, Myanmar
3. 学会等名 日本鉱物科学会2021年年会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 田尻義了	4. 発行年 2024年
2. 出版社 雄山閣	5. 総ページ数 184
3. 書名 青銅器の生産からみる弥生社会	

〔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	田尻 義了 (Tajiri Yoshinori) (50457420)	九州大学・比較社会文化研究院・准教授 (17102)	

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
---------	---------