

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 6 月 8 日現在

機関番号：84604

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17K01207

研究課題名(和文) Sr同位体比分析による日本出土「ナトロンガラス」の産地に関する考古科学的研究

研究課題名(英文) Provenance study of natron glass found in Japan using strontium isotopes

研究代表者

田村 朋美 (TAMURA, Tomomi)

独立行政法人国立文化財機構奈良文化財研究所・都城発掘調査部・主任研究員

研究者番号：10570129

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：古代ガラスにはSrが100～500 ppm含まれ、地中海世界の出土品を中心にSr同位体比による産地推定が行われている。本研究では、日本出土のガラス製遺物のSr同位体比分析を実施し、生産地の特定を試みた。特に、地中海周辺地域で生産された可能性の高い「ナトロンガラス」(Group SI)と、主要成分はナトロンガラスに類似するが、微量成分や製作技法から判断すると南～東南アジア産と考えられる「ナトロン主体ガラス」(Group SIV)を分析した。その結果、Group SIは確かに地中海周辺地域で生産されたナトロンガラスであるが、Group SIVは真正のナトロンガラスではないことが確認された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究において、日本列島出土のガラス製遺物の生産地研究にSr同位体比分析を本格的に導入することで、これまで「地中海世界」としか限定出来なかった日本出土のナトロンガラスの産地をより限定することが可能となった。さらに、鉛同位体比分析も併せて実施することで、素材ガラスの生産からガラスの着色までの工程がどの地域で行われたかを推定することができた。

本研究によって、日本出土のナトロンガラスについて、原料産地から消費地までの履歴の詳細を明らかにできたことにより、2～5世紀のユーラシア大陸の東西をつなぐモノ・人・技術の移動の解明につながる重要な成果が得られた。

研究成果の概要(英文)：The provenance study of the glass artifacts using the Sr isotope ratio is actively conducted in Western countries, mainly targeting the artifacts excavated in the Mediterranean world.

In this study, we conducted an Sr isotope analysis of glass artifacts excavated in Japan and attempted to identify the provenance. In particular, we focused on "Group SI" glass, which is likely to have been produced in the Mediterranean world, and "Group SIV" glass, which is similar to Natron glass, but is considered to be from South to Southeast Asia judging from the trace elements and bead-making techniques. As a result, it was confirmed that Group SI is certainly "Natron glass" produced in the Mediterranean world, but Group SIV is not genuine "Natron glass".

研究分野：文化財科学

キーワード：ストロンチウム 同位体比 ナトロンガラス 産地推定

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

#### 研究の学術的背景

研究代表者らのこれまでの研究で、地中海世界に特有な「ナトロンガラス」が2～5世紀の日本列島にも流入していたことが確認された。さらに、日本列島におけるナトロンガラスの出土は、弥生時代後期後半～終末期と古墳時代中期前半に集中して流入し、それぞれ材質や製作技法が異なることも明らかとなった。これまでに明らかとなったこれらの事実は、ユーラシア大陸の東端に位置する日本列島が、弥生時代の段階から、交易によって地中海世界と結び付いていたことを示す重要な成果である。

一方で、従来の蛍光 X 線分析をもちいた非破壊元素測定によるガラス生産地の推定における限界も明らかとなった。研究代表者らは、これまで化学組成に着目し、日本列島出土品と地中海世界で出土したナトロンガラスとの対比を試みた。その結果、日本出土のナトロンガラスを少なくとも7種類以上の材質に区分できることを明らかにした<sup>1)</sup>。そのうち一部のものについては、現イスラエル付近で製作されたとされる「Levantine」<sup>2)</sup>タイプに該当することが明らかとなったが、多くは既設定のグループには対応せず、具体的な生産地の特定には至らなかった。

その原因として次のことが挙げられる。日本列島で出土するナトロンガラスは、そのほとんどがコバルトで着色された紺色ガラスであり、無色透明を指向する地中海世界のナトロンガラスとは異なる特徴を示す。すなわち、コバルトで強く着色された日本列島出土のナトロンガラスと無色透明の地中海世界のナトロンガラスでは着色成分が大きく異なるため、化学組成を比較する際に、微量成分の差異が着色剤に起因するのか、主原料に起因するのかを判断するのが極めて困難である。そのため、化学組成による分類を補完する別の分析手法が求められた。

地中海世界で出土するナトロンガラスには、エジプトやレバント(現イスラエル付近)をはじめとする複数の生産地が想定されており、生産地推定において、主原料のケイ砂に伴う成分である Sr の同位体比を利用した研究が一定の成果を得ている<sup>3)</sup>。日本出土のガラス製遺物に対しては、これまでに Sr 同位体比分析が行われた例は限定的であったが、研究代表者らが予備的におこなった出土ガラス資料の Sr 同位体比分析の結果、有意義な成果が得られると判断し、本研究を開始した。

### 2. 研究の目的

一般に、古代ガラスの主原料として利用されたケイ砂には、ガラスの中で安定剤として働くカルシウム(Ca)が含まれることが重要で、海岸の砂などが好んで利用された。そのため、古代ガラスには Ca に伴う成分としてストロンチウム(Sr)(Ca の同族元素)が 100～500ppm 含まれることが一般的である。地中海周辺地域で出土したガラスについては Sr の同位体比からケイ砂(ガラスの主成分)の産地を推定しようという試みが行われており、一定の成果が得られている<sup>2)</sup>。また、Sr 同位体比分析法自体は、日本国内でも骨などの動物遺存体の研究において多くの実績があり、考古学分野の分析手法として確立されている。また、海外では多くの成果が報告されており、日本列島出土品においても十分に成果が期待できる。本研究の目的は、日本列島で出土するガラス製遺物の Sr 同位体比分析を実施し、先行研究と比較することで、従来の分析手法では特定することのできなかつた日本出土のナトロンガラスの生産地の特定を目指すものである。

### 3. 研究の方法

本研究は、考古学的手法と理化学的手法の両方を利用しておこなった。まず、日本列島出土のガラス製遺物について、発掘調査報告書などから出土状況などを考慮して、分析に適当な資料を抽出した。同時に観察的手法により製作技法を把握し、鋳型法などによる再生品を除外した。次に、蛍光 X 線分析法により非破壊で化学組成を把握し、ナトロンガラス(Group SI)<sup>4)</sup>を抽出した。上記作業を通して抽出したナトロンガラスのうち、破片資料から微細試料を採取し、Sr 同位体比分析を実施した。得られた結果を先行研究のデータと比較し、日本列島出土のナトロンガラスの産地について検討した。

また、日本列島出土のナトロンガラスについては、もう一つ解決すべき重要な問題がある。すなわち、主成分の化学組成はナトロンガラスと類似するが、典型的なナトロンガラスと比較すると微量元素や製作技法の点でいくつかの重要な相違があるため、筆者らが「ナトロン主体ガラス」(Group SIV)として典型的なナトロンガラス(Group SI)からは除外しているグループの問題である。Group SIV のガラス小玉は、製作技法上は典型的なインド・パシフィックビーズであり、日本列島では比較的多く出土する種類でもあるため、本グループのガラス素材が地中海地域産なのか、インド～東南アジア産なのかという問題は、古代のモノや人、技術の移転を考えるうえで極めて重要である。

そこで、Sr 同位体比を利用することにより、日本列島出土のナトロンガラス(Group SI)について、化学組成からは困難であった具体的な生産地の特定を試みるとともに、ナトロン主体ガラス(Group SIV)が地中海世界で生産された「真正の」ナトロンガラスに相当するか否かについて検討した。

測定対象とした資料は、日本列島の弥生時代後期後半から古墳時代中期前半の墳墓(4府県4遺構)から出土したナトロンガラス製小玉(Group SI)43点である。さらに、ナトロン主体ガラス製小玉(Group SIV)5点の他、インド～東南アジア産と考えている高アルミナタイプのソ

ーダガラス製小玉 (Group SII B) 7 点、中アルミナタイプのカリガラス製小玉 (Group PI) 5 点、プロト高アルミナタイプのソーダガラス小玉 2 点 (Group SVB) および南インドのアリカメドゥ遺跡において採集されたソーダガラス小玉 1 点を含めた計 63 点の分析を実施した。

測定は、ガラス資料をフッ酸、硝酸、過塩素酸で分解、Sr スペックレジンで Sr を単離し、MC-ICP-MS (Thermo Scientific 製 NEPTUNE plus) を用いて  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  を測定した。なお、測定は総合地球環境学研究所にておこなった。

#### 4. 研究成果

日本出土のナトロンガラス (Group SI) の  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  の値は、0.7087-0.7092 の範囲内に集中することが明らかとなった (図 1)。先行研究によると、地中海世界で出土するナトロンガラスは、 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  が 0.7095 よりも低い値を示すことが知られており、整合的な結果であった<sup>5)</sup>。

さらに、古墳時代中期前半に流入した Group SIB の Sr 同位体比は、ナトロンガラスの生産地のなかでも Bet Eli 'ezer や Bet She 'an などのイスラエルの遺跡から出土するナトロンガラスの値ときわめて類似する<sup>5)</sup>。これらは貝殻由来の Ca を多く含む東地中海沿岸の砂 (Coastal sand) を主原料としたと考えられている。一方、同じナトロンガラスでも石灰岩起源の Ca を多く含む砂 (limestone-rich sand) が利用されたと考えられている中部エジプトのナトロンガラスでは、 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  の値が低く (< 0.7080) 日本列島出土品とは明らかに異なる。以上の結果は、一部の Group SI の化学組成の特徴が「Levantine」と一致したこれまでの研究成果とも整合的であり、日本列島出土の Group SI の多くが地中海世界でも特にレバント地方で生産された可能性が示された。

さらに仔細に検討すると、日本列島への流入時期の古いアンチモン (Sb) を含む Group SIA の Sr 同位体比がやや高く、古墳時代中期前半に流通した環状巻き付け法による Group SIB の Sr 同位体比がやや低い傾向が認められる。これらの差異は、原料となるケイ砂の採取地点の違いを反映している可能性があり、時期や製作技法と一定の相関が認められる点で注目される。

一方、ナトロン主体ガラス (Group SIV) については、典型的なナトロンガラスである Group SI よりも Sr 同位体比が高い値 (0.7097-0.7105) にまとまる結果となった。これらの値は地中海地域で出土するナトロンガラスとは明らかに異なる。すなわち、Group SIV は地中海周辺地域で生産されたいわゆる「真正の」ナトロンガラスと判断することはできないという結論が得られた。ただし、他の「アジアのガラス」に比べると低い値であることから、ナトロンガラスとアジアのガラスが混合された可能性は残る。

さらに、比較資料として測定した南アジア～東南アジア産と考えられるガラス小玉類の結果について概観する。一部の高アルミナタイプのソーダガラス (Group SII) を除いて概ね Group SI より大きい値をとる。特にカリガラス (Group PI) は今回調査した資料の中で最も高い値を示した (図 3 下)。バラつきが極めて大きい点も含め、先行研究と一致する。筆者らは製品の流通状況などから Group PI のカリガラスについてインド産の可能性があると考えているが、インドのガンジス川流域などでは先カンブリア紀の花崗岩や片麻岩の風化に起因する高い Sr 同位体比をもつことが知られており<sup>7)</sup>、関連性が注目される。

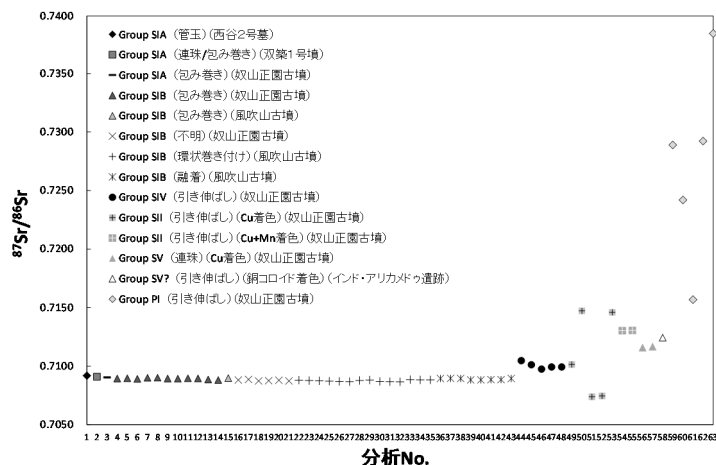
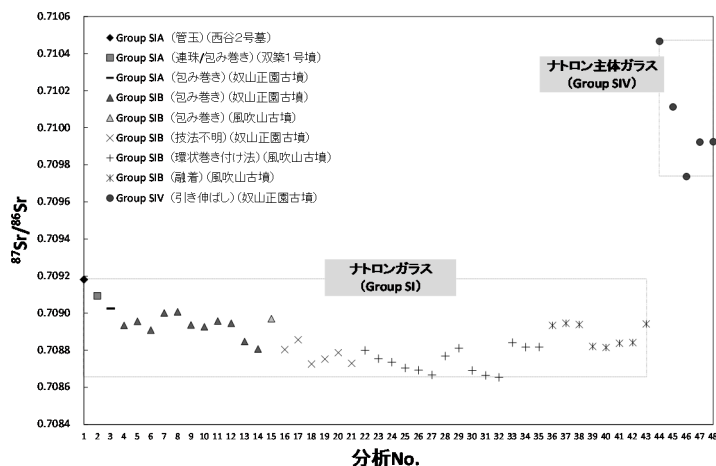


図 1 ガラス製造物の Sr 同位体比  
上：ナトロンガラス (Group SI) とナトロン主体ガラス (Group SIV)  
下：南～東南アジア系の各種ガラス製造物との比較 (田村・申 2017)

参考文献)

- 1) Tomomi Tamura and Katsuhiko Oga, Archaeometrical investigation of natron glass excavated in Japan, *Microchemical Journal* vol.126, pp., 7-17, 2016.
- 2) Freestone, I., Gorin-Rosen, Y., Hughes, M.J. Primary Glass from Israel and the Production of Glass in Late Antiquity and the Early Islamic Period. *Travaux de la Maison de l'Orient Meditteraneen*, 33, 2000, 65-83.
- 3) Freestone, I., Leslie, K., Thirlwall, M., Gorin-Rosen, Y. Strontium Isotopes in the Investigation of Early Glass Production: Byzantine and Early Islamic Glass from the Near East. *Archaeometry* 45(1), 2003, 19-32.
- 4) Oga, K., Tamura, T.: Ancient Japan and the Indian Ocean Interaction Sphere: Chemical Compositions, Chronologies, Provenances and Trade Routes of Imported Glass Beads in Yayoi-Kofun Period (3rd Century BCE-7th Century CE). *Journal of Indian Ocean Archaeology*, 9, pp.35-65, 2013.
- 5) 田村朋美・申基澈：「Sr 同位体比による日本出土古代ガラスの産地推定試み」『日本文化財科学会第 34 回大会発表要旨集』2017、pp.34-35
- 6) 上掲 3)
- 7) Krishnaswami, S., Trivedi, J.R., Sarin, M.M., Ramesh, R., Sharma, K.K.: Strontium isotopes and rubidium in the Ganga-Brahmaputra river system: weathering in the Himalaya, fluxes to the Bay of Bengal and contributions to the evolution of oceanic  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ . *Earth Planet. Sci. Lett* 109, 1992, pp.243-253.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 田村朋美・高橋美鈴	4. 巻 56
2. 論文標題 擦文末期～アイヌ文化期初期におけるガラス玉の起源と流入経路	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 北海道考古学	6. 最初と最後の頁 1-20
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 田村朋美	4. 巻 2019
2. 論文標題 京都府馬場南遺跡出土管状ガラス製遺物の鉛同位体比分析	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 奈良文化財研究所紀要	6. 最初と最後の頁 58-58
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 オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 田村朋美	4. 巻 2018
2. 論文標題 大阪府甘山南古墳出土重層ガラス玉の分析	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 奈良文化財研究所紀要	6. 最初と最後の頁 68-69
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 オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 田村朋美	4. 巻 174
2. 論文標題 日本列島出土の古代ガラスの産地と同位体比分析	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 埋蔵文化財ニュース	6. 最初と最後の頁 28-37
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 オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 田村朋美・青野友哉・中村 和之	4. 巻 52 (2018)
2. 論文標題 北海道伊達市有珠オヤコツ遺跡出土玉類の材質に関する再検討	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 函館工業高等専門学校紀要	6. 最初と最後の頁 85-92
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20706/hakodatekosen.52.0_85	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 -

[学会発表] 計25件(うち招待講演 6件/うち国際学会 10件)

1. 発表者名 田村朋美・高橋美鈴
2. 発表標題 古代末～中世における境界領域のガラス玉 - 北海道および鹿児島県喜界島出土ガラス玉の産地と鉛同位体比分析 -
3. 学会等名 日本文化財科学会第36回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田村朋美・大賀克彦
2. 発表標題 Distribution of products and transfer of bead-making technology of potash glass
3. 学会等名 The 3rd SEAMEO SPAFA International Conference on Southeast Asian Archaeology (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田村朋美・中村大介・Odokhuu Angaragsuren・Bayarsaikhan Jamsranjav・Jean-Luc Houle
2. 発表標題 モンゴル匈奴墓出土ガラス玉類の考古科学的研究
3. 学会等名 2019東アジア文化遺産保存国際シンポジウム in大田 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田村朋美・藁科哲男・中村大介・大賀克彦・金奎虎
2. 発表標題 未定C群製管玉からみた朝鮮半島と日本列島
3. 学会等名 2019東アジア文化遺産保存国際シンポジウムin大田(国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田村朋美
2. 発表標題 Ancient glass beads excavated in Japan and along the Silk Road
3. 学会等名 Silk Roads: Archaeology, Museums and Heritage science, University of Nottingham, Ningbo, China(招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田村朋美
2. 発表標題 日本出土ガラス玉類の起源と交易ルート
3. 学会等名 International Symposium of 'Wold of Ancient Glass'(招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田村朋美・中村大介・Gelegdorj EREGZEN
2. 発表標題 Archaeometrical approach to glass beads trade in Xiongnu period
3. 学会等名 the 8th Worldwide Conference of the SEAA in Nanjing(国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田村朋美
2. 発表標題 考古学と分析化学 ～古代ガラスの産地と交易～
3. 学会等名 第130回分析技術研究会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田村朋美・大賀克彦・谷澤亜里
2. 発表標題 対馬出土ガラス玉類の考古科学的検討
3. 学会等名 日本文化財科学会第35回大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 新井 沙季・中村 和之・今井 藍子・村串 まどか・中井 泉・S. ラプチェフ・小嶋 芳孝・越田 賢一郎・高橋 美鈴・田村 朋美・マキシム V. ゴルシコフ・ユーリ G. ニキーチン・A.A. ヴァシレフスキー・O.A. シューピナ・小口 雅史
2. 発表標題 蛍光X線分析を用いた中近世極東ロシアにおける遺跡出土ガラスビーズの考古化学的研究
3. 学会等名 日本文化財科学会第35回大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田村朋美
2. 発表標題 文化財調査の科学技術
3. 学会等名 第20回日本表面真空学会関西支部市民講座「鑑定の科学技術」（招待講演）
4. 発表年 2018年



1. 発表者名 田村朋美・大賀克彦
2. 発表標題 Study on the ancient ' Sandwich beads ' excavated in Japan
3. 学会等名 21st International Congress of the Association Internationale pour l'Histoire du Verre ( 国際学会 )
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田村朋美
2. 発表標題 日本列島出土の古代ガラスの産地と同位体比分析
3. 学会等名 保存科学研究集会「同位体比分析と産地推定に関する最近の動向」
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田村朋美
2. 発表標題 Comparative study on ancient glass beads in Japan and along the Silk Road
3. 学会等名 International Symposium on Ancient Glass along The Silk Road ( 国際学会 )
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田村朋美
2. 発表標題 ガラス玉からみた南北交流
3. 学会等名 総括国際シンポジウム「物質文化と精神文化の交流と断絶からみた北方世界の真相」( 国際学会 )
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田村朋美
2. 発表標題 ユーラシア東西交易とガラスの道
3. 学会等名 明治大学日本古代学研究所シンポジウム「社会変化とユーラシア東西交易-考古学と分析科学からのアプローチ-」
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田村朋美・申基澈
2. 発表標題 Sr同位体比による日本出土古代ガラスの産地推定の試み
3. 学会等名 日本文化財科学会第34回大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 大賀克彦・田村朋美
2. 発表標題 植物灰ガラスの多様性と生産地に関する考古学的研究
3. 学会等名 日本文化財科学会第34回大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 田村朋美
2. 発表標題 ガラスの科学分析からわかること
3. 学会等名 平成29年度幸田町・島原市 歴史と文化の友好交流シンポジウム「ギヤマン、日欧を結ぶ! -1599 1736の軌跡-」(招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 田村朋美
2. 発表標題 化学組成と製作技法からみるガラス小玉の産地と交易ルート
3. 学会等名 第11回アジア考古学四学会合同講演会「アジアの煌めき-ガラスが結ぶアジアの東西-」(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田村朋美
2. 発表標題 東南アジア出土のガラス玉に関する自然科学的研究
3. 学会等名 東南アジア考古学会 北海道・東北地区例会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 田村朋美
2. 発表標題 古代日本における鋳型によるガラス小玉の製作
3. 学会等名 2017 アジア鑄造技術史学会 台北大会(国際学会)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 ITO Toshikatsu, MARUI Masako, NITTA Eiji, SATO Yuni, San Shwe, San Win, SHIBAYAMA Mamoru, Soe Thainkha, SUGIYAMA Hiroshi, TAMURA Tomomi, TASHIRO Akiko	4. 発行年 2019年
2. 出版社 Geoinformatics International	5. 総ページ数 304
3. 書名 The Ancient East-West Corridor of Mainland Southeast Asia	

1. 著者名 池谷和信・門脇誠二・河村好光・山本直人・木下尚子・田村朋美・遠藤仁・谷澤亜里・山花京子・未森薫・戸田美佳子・大塚和義・印東道子・後藤明・中村香子・野林厚志・齋藤玲子・中村真理絵	4. 発行年 2020年
2. 出版社 昭和堂	5. 総ページ数 297
3. 書名 ビーズでだどるホモ・サピエンス史ー美の起源に迫る	

〔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
研究協力者	大賀 克彦 (OGA Katsuhiko) (70737527)	奈良女子大学・大和・紀伊半島学研究所 古代学・聖地学研究センター・特任講師  (14602)	平成29(2017)年度までは連携研究者
研究協力者	申 基澈 (SHIN Ki-cheol) (50569283)	総合地球環境学研究所・研究基盤国際センター・助教  (64303)	平成29(2017)年度までは連携研究者
研究協力者	渡邊 緩子 (WATANABE Hi roko)	日鉄テクノロジー株式会社・尼崎事業所・文化財調査室室長	

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1件

国際研究集会 保存科学研究集会「同位体比分析と産地推定に関する最近の動向」	開催年 2018年～2018年
--	--------------------

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