

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 6 月 14 日現在

機関番号：32657

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2020

課題番号：18K12566

研究課題名（和文）蛍光X線を中心とした分光分析による古代オリエント銅赤ガラスの起源と製法の解明

研究課題名（英文）Investigation of technological origin and production technique of copper-red opaque glass in Ancient Orient by spectroscopic analysis

研究代表者

阿部 善也（Abe, Yoshinari）

東京電機大学・工学研究科・助教

研究者番号：90635864

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：銅によるガラス・セラミックの赤色着色技術「銅赤」について、蛍光X線を中心とした非破壊分光分析手法によって、その技術的・物質的な変遷および伝搬を科学的に明らかにした。銅赤ガラスは前2千年紀中葉のメソポタミアと古代エジプトでほぼ同時に生み出されたものと考えられ、製法に違いがあった。紀元前後より東地中海沿岸を中心としていわゆるローマ・ガラスの生産・流通が始まると、その中で銅赤も多用され、より強い還元焼成を利用した着色も生み出された。後1千年紀以降は、南・東南アジアなど様々な地域に銅赤の技術が伝搬し、大量生産された銅赤ガラス製ビーズの一部は古代の日本列島にも伝来した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

装置メーカーと共同で開発した高性能な可搬型装置や、放射光施設における高度なX線分析など、最先端の科学的な分析・計測技術を古代のガラス製品へと非破壊的に応用することで、その来歴や古代における技術の変遷を明らかにすることができた。対象とした古代ガラスの中には、沖ノ島出土のガラス製品など、我が国の国宝に指定されているきわめて希少な文化財も含まれる。本研究は一般市民にとって科学的な分析・計測の重要性を等身大で理解可能な好例となるだろう。また、本研究で開発・利用された分析手法は、古代ガラスに限らずあらゆる文化財の非破壊分析調査へと応用可能であり、文理融合の促進に大きく貢献できたと考えている。

研究成果の概要（英文）：The present study investigated “copper-red” technique, a historical red-coloring technique for glass and ceramic, to scientifically reveal the technological and material transition by means of nondestructive spectroscopic analyses centered on X-ray fluorescence analysis. The copper-red technique could be simultaneously developed in ancient Egypt and Mesopotamia during the middle of the second millennium BC. A new copper-red technique requiring a strong reduced firing was invented since the beginning of the first millennium AD under the influence of active production and distribution of Roman glass in the Mediterranean region. After the first millennium AD, the copper-red technique was widespread to outside West Asia and the Mediterranean region, such as South and Southeast Asia and applied for a lot of small glass beads; some of them were imported to ancient Japan and Korea via the inland and maritime trades.

研究分野：文化財科学

キーワード：古代ガラス 銅赤 製法解明 起源推定 オンサイト分析 蛍光X線分析 シルクロード 古代オリエント

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

1.1. 銅赤について

古代ガラス生産において、銅(Cu)はきわめて重要な着色剤であった。古代に作られたガラス製品の多くには Cu^{2+} イオンによる青色着色が施されていた。これは、人工的なガラス製品の生産が開始された背景に、ラピス・ラズリやトルコ石といった青色の貴石の代用品に対する高い需要があったことに由来する。一方、Cu はガラスの赤色着色剤としても機能し、「銅赤(どうあか)」と呼ばれる。古代の銅赤ガラスには 2 種類の着色要因が存在する。一つ目は、赤銅鉱(cuprite: Cu_2O)の微細結晶を透明ガラス中に散在させ Cu_2O 自体の色を付与する方法である。もう一つは、金属 Cu ナノ粒子を透明ガラス中に生成して表面プラズモン効果により着色する方法である。通常の焼成条件においては青色の Cu^{2+} イオンになりやすいため、これら 2 種類の銅赤着色は、いずれも還元条件下での焼成、または焼成・冷却過程において Cu の部分的な還元が必要とされる。特に金属 Cu ナノ粒子による着色は、 Cu_2O 結晶による着色と比べて、より高度な還元技術が必要となると考えられる。

1.2. 銅赤ガラスの生産および利用に関する歴史的な変遷

人工的なガラスの生産は遅くとも前 23 世紀頃までにメソポタミアで始まったとされ、前 15 世紀に古代エジプトに伝わったことで発展した。最古級の銅赤ガラス製品は、メソポタミアと古代エジプト(新王国時代第 18 王朝)の両地域において、前 15~14 世紀のものが見ついている。メソポタミアにおいては、前 14~12 世紀に年代付けられる粘土板文書の中に、銅赤ガラスのレシピを記載したと思われるものが見ついている。一方、古代エジプトにおいても、新王国時代第 19 王朝(前 13~11 世紀)の首都 Qantir に置かれたガラス工房において、銅赤ガラスの生産に関する遺物(坩堝など)が大量に見ついている。よって、前 2 千年紀の段階で、これらの 2 地域で銅赤ガラスの一次生産(原料からガラスを生み出す工程)が行われていたことは間違いないであろう。前 1 千年紀末にシリアで吹きガラス技法が開発され、古代オリエント世界においてガラス製品の生産および消費が大きく変化した。シリア・パレスティナ地域がガラスの主要な供給地として加わり、ガラス製品は限られた階層の間人だけが手にできる高級品から、今日のような消耗品・日用品という新たな一面が付与された。古代末期(2~8 世紀)において、銅赤着色のガラスは容器やビーズの形で他の着色ガラスとともに多用され、その主要な供給地はエジプトやシリア・パレスティナ地域といった東地中海周辺であったと目される。また、前 1 千年紀末から後 1 千年紀前半にかけて、南・東南アジアや中国などにおいてもガラスの一次生産が行われるようになったと考えられるが、これらの地域で作られたと考えられるガラス製ビーズの中にも銅赤と思われるものが存在する。日本においても、古墳時代(3 世紀後半~7 世紀)に年代付けられるガラス製ビーズの中に、銅赤ガラスだと思われるものが散見される。

2. 研究の目的

古代から利用された数あるガラス着色剤の中で唯一の還元技術であった銅赤は、3 千年以上の時を経て今日のガラス工芸にも引き継がれているが、古代における利用実態を十分把握できておらず、未解明の問題が多く残されている。第一の疑問は、銅赤ガラスがどこでどのように生み出されたのかという点である。先述のように、ガラス生産自体の始まりはメソポタミアだが、銅赤ガラス製品はメソポタミアとエジプトに同時期に登場しており、どちらに技術的起源があったのか明らかになっていない。第二の疑問は、その原料や還元方法といった具体的な製法である。当時のレシピを記録したと思われる粘土板文書も発見されているが、具体的な内容に関して未解読な部分も多く、再現実験を含めた製法の検証が求められる。そして第三の疑問は、その技術の広域伝搬および連続性である。時代が下るにつれて、銅赤の着色技術は様々な地域へと広がっていくように見えるが、具体的にどの地域で銅赤ガラスの生産が可能であり、その製品がどのように流通していたのか、体系的な研究はなされていない。

そこで本研究では、様々な地域・時代の銅赤ガラス製品を対象として、蛍光 X 線分析を中心とした分光分析を非破壊的に応用し、銅赤ガラスの発祥と、その生産・利用・流通の様相を科学的視点から解明することを目的とした。特に、メーカーと共同開発した可搬型の分析装置を国内外の博物館や研究施設へと持ち込み、収蔵された資料を非破壊かつ現地(オンサイト)で分析することで、きわめて自由度の高い研究を可能とした。さらに、一部の資料を放射光施設へと持ち込み、高度な非破壊 X 線分析を非破壊的に応用しつつ、実験室系での再現実験を行うことで、具体的な銅赤ガラスの製法の解明を目指した。

3. 研究の方法

3.1. 分析対象

国内外の博物館や研究施設に収蔵された銅赤ガラス資料(原ガラス 製品)を分析対象とした。国内施設については大原美術館(岡山),岡山市立オリエント美術館(岡山),古代エジプト美術館(東京),東海大学(神奈川),東京国立博物館(東京),遠山記念館(埼玉),福津市複合文化センター(福岡),宗像大社(福岡)である(五十音順)。国外施設は,英国の大英博物館(ロンドン)およびアシュモリアン博物館(オックスフォード)と,韓国の国立慶州博物館(慶州)である。これらの施設において,可搬型装置を用いたオンサイトでの分析調査を実施したほか,一部の施設からは資料を借用し,放射光施設での非破壊 X 線分析を実施した。資料の年代は前 2 千年紀から後 2 千年紀まで様々であり,製品形態も容器,ビーズ,インゴットなど多種多様である。また,比較のために銅赤以外のガラス製品についても同様の分析を実施した。

3.2. 分析方法

オンサイトでの分析調査では,蛍光 X 線分析(XRF)装置により化学組成を,顕微ラマン分光分析(MRS)装置およびファイバーオプティクス反射分光分析(FORS)装置により着色要因である Cu の存在状態を分析した。放射光実験は高エネルギー加速器研究機構(茨城県つくば市)のフォトンファクトリー(PF)において,BL-9C でバルクでの X 線吸収端近傍構造分析(XANES)を,BL-4A においてマイクロビーム X 線を用いた XRF イメージングおよび微小部の XANES を実施した。また,さらに一部の資料は大型放射光施設 SPring-8(兵庫県佐用郡)にて,微量重元素をターゲットとした放射光 XRF も実施した。測定は全て非破壊で行われた。

また,製法の解明においては,市販の実験試薬と電気炉を用いた再現実験を行った。電気炉はシリコニット発熱体で,焼成用のつぼにはアルミナ製のものを使用した。

4. 研究成果

4.1. 銅赤ガラス発祥の地はどこか?

前 2 千年紀のメソポタミア製および古代エジプト製と考えられる銅赤ガラス製品について,大英博物館および古代エジプト美術館の資料を対象に,非破壊オンサイトでの XRF,MRS,FORS を実施した。両地域の銅赤ガラスは共通して植物灰を融剤とするソーダ石灰ガラスであり,着色要因はいずれも Cu_2O 結晶であった。ただし,銅赤の着色に関連する元素の種類や含有量において,地域と対応した違いが見られた。まず着色剤である Cu において,古代エジプト製品の Cu 含有量は CuO 濃度に換算して 10 wt% 前後だったのに対し,メソポタミア製品では 20~30 wt% というきわめて高濃度の Cu が検出された。また,メソポタミア製品には PbO として 10 wt% 以上の Pb が含まれ,この Pb が起分極剤として機能し,過剰添加された Cu の溶解を助長したものと考えられる。また,熱的還元剤として機能する Sn および Sb について見てみると,古代エジプト製品では有意な量の Sn が含まれていたのに対し,メソポタミアでは高濃度の Sb が添加されていた。なお,先述したようにメソポタミアでは銅赤ガラスのレシピを記したと思われる粘土板文書が発見されているが,この記述の中には Pb や Sb を含む物質の添加を指示するような記述があり,本研究で得られた分析結果とよく対応していた。

さらに,古代エジプト美術館から銅赤ガラス製品を借用し,放射光施設においてバルクでの Cu-K 吸収端 XANES と,マイクロビーム X 線を用いた XRF イメージングおよび微小部の Cu-K 吸収端 XANES を非破壊で実施した。まずバルクでの XANES の結果,古代エジプト製品とメソポタミア製品のいずれにおいても Cu_2O が存在することが確かめられたが,メソポタミア製品では Cu の 80% 以上が Cu_2O の形で存在していたのに対し,古代エジプト製品においては 20~40% の Cu^+ イオンが共存することが明らかとなった。ガラス中で Cu^+ イオンは可視光領域に吸収体を持たず,発色に影響しない。つまり,古代エジプト製品においては,添加された Cu の一部が着色に関与していない。続いて,マイクロビーム X 線を用いた XRF イメージングおよび微小部 XANES の結果,古代エジプト製品中に 10~50 μm 程度の Cu_2O が散在していたのに対し,メソポタミア製品では Cu_2O が特徴的な樹枝状結晶の形で存在し,その一部は 100 μm を超えるサイズにまで成長していた。Cu の化学状態や Cu_2O 結晶の成長度合の違いは,両地域における銅赤ガラス製法の技術的な違いを反映したものであると言えよう。

このように,両地域の銅赤ガラスは明らかに異なる原料,製法を利用していたことが科学的に明らかになった。この地域差の原因について,Pb や Sb を含む化合物がメソポタミアだけでなく同時代の古代エジプトのガラス生産でも利用されていたこと,またメソポタミアでも青銅製品が普及していたことを考えると,原料供給とは無関係であると考えられる。よって本研究では,銅赤によるガラスの着色技法が,メソポタミアと古代エジプトの両地域において同時多発的に発明された可能性を指摘したい。

4.2. 前1千年紀における銅赤ガラスの生産状況

大英博物館には、前1千年紀のメソポタミア都市遺跡より出土した希少な銅赤ガラスの製品およびインゴットが収蔵されており、本研究ではこれらの調査研究を行う機会に恵まれた。非破壊オンサイト XRF の結果、前1千年紀メソポタミアの銅赤ガラス製品は、前述した前2千年紀の製品と組成的に共通する部分が多かったものの、いくつかの組成グループに分類できることが示された。この結果は、銅赤ガラスの生産拠点が前1千年紀のメソポタミア内に複数存在した可能性を示唆している。さらに、一部の製品およびインゴットにおいて、直径 10 μm 程度の微小な黄色粒子が発見され、MRS によりアンチモン酸鉛 $\text{Pb}_2\text{Sb}_2\text{O}_7$ が同定された。この化合物は、古代オリエントのガラス生産において広く利用されていた合成黄色顔料である。銅赤ガラスの生産工程で $\text{Pb}_2\text{Sb}_2\text{O}_7$ を添加することで、起分極剤である Pb と熱的還元剤である Sb の双方を同時に付与していた可能性が考えられる。

一方、古代エジプトの銅赤ガラス製品についても、末期王朝およびプトレマイオス朝時代に年代付けられる資料の調査を行った。古代エジプトでは、植物灰に替わるソーダ融剤として Na 炭酸塩 (ナトロン) が前10世紀から使われ始めたこととされ、本研究で実施した銅赤ガラス製品の XRF からこの原料の変化が確かめられた。なお、末期王朝以降のガラス製品では、前2千年紀には見られなかった高濃度 ($\text{PbO} > 10 \text{ wt}\%$) の Pb が検出された。ただし、メソポタミア製品に見られたような著量の Sb の添加は見られず、前2千年紀の古代エジプト製品と同様に、有意な量の Sn を含んでいた。よって、おそらくは Pb 化合物を添加したのではなく、高濃度の Pb (と Sn) を含む Cu 合金を着色剤原料として再利用していたものと考えられる。

古代銅赤ガラスの再現実験

本研究では、オンサイト分析調査および放射光実験によって得られた分析結果に基づき、市販の実験試薬および電気炉を用いた銅赤ガラスの再現実験を行った。以下では、前2~1千年紀のメソポタミアの銅赤ガラス製品に関する再現実験の結果を報告する。非破壊 XRF で得られた組成データを参考に、無着色のソーダ石灰ガラス粉末と、金属 Cu 粉末、さらに別途合成した $\text{Pb}_2\text{Sb}_2\text{O}_7$ の粉末を配合し、質量比で 10% 程度のカーボン粉末を加えて、電気炉にて最高温度 1100 で焼成した結果、表面は濃青色のガラスとなったが、内部は大部分が鮮やかな不透明赤色になった。不透明赤色部分について、デジタル顕微鏡による観察を行った結果、特徴的な樹枝状の結晶が析出していることが確認され、マイクロビーム X 線を用いた Cu-K 吸収端 XANES によって Cu_2O だと同定された。以上より、本研究の非破壊オンサイト分析および放射光実験に基づき推定された前2~1千年紀メソポタミアの銅赤ガラス製法によって、実際に Cu_2O 着色の不透明赤色ガラスを合成できることが実証された。

4.3. ローマ・ガラス生産に伴う銅赤の技術的発展

古代エジプト美術館、遠山記念館、大原美術館などの国内施設において、前1世紀~後1千年紀中期までに地中海周辺で作られたと考えられるガラス製品、いわゆるローマ・ガラスの調査を実施した。この時代に地中海周辺地域で作られたガラス製品は、先述したエジプト産のナトロンを融剤とする「ナトロンガラス」であったとされる。しかしながら、本研究の非破壊 XRF の結果、ローマ・ガラスに使用された銅赤ガラスの中には、融剤としてナトロンではなく植物灰を用いたもの(植物灰ガラス)も存在することが明らかになった。なお、複数の色ガラスを組み合わせたモザイクガラスなどの製品において、赤色以外の色ガラスはナトロンガラス製であったにも関わらず、赤色部分のみが植物灰ガラス製であると同定された興味深い資料も多数見つかった。この時代、植物灰ガラスはユーフラテス以東(主にメソポタミア)において生産されていたが、後述するように、この時代のメソポタミアにおいて銅赤ガラスの生産は行われていなかったと考えられる。その場合、地中海周辺において、銅赤の原ガラスを作る際のみ、融剤としてナトロンの代わりに植物灰を利用するケースがあったということになる。

そこで、ナトロンガラス製だった銅赤ガラス製品と植物灰ガラス製であった銅赤ガラス製品について化学組成を比較したところ、明らかに後者の方が Cu や Pb の添加量が低いという傾向が示された。さらに、ナトロンガラス製品は全て Cu_2O 結晶による着色であったのに対し、植物灰ガラス製品は金属 Cu ナノ粒子着色であることが明らかになった。先述したように、 Cu_2O 結晶着色に比べ、金属 Cu ナノ粒子着色の方が、より強い還元焼成が必要とされる。よって、ソーダ融剤としてナトロンではなく植物灰を利用することで、植物灰に含まれるカーボンが還元剤として働き、ガラス相中に溶解した Cu^{2+} イオンや Cu^+ イオンを金属 Cu にまで還元させることができたのだと考えられる。多量の Cu や Pb の添加が必要な Cu_2O 着色の銅赤ガラスは、生産コストが高騰するだけでなく、通常のガラスと膨張率が異なるため、他の色ガラスと組み合わせた製品(モザイクガラスなど)の製作に適さなかった可能性がある。ローマ・ガラスの発展とともに、新たな銅赤技術である金属 Cu ナノ粒子着色が発明されたのかもしれない。

4.4. 後1千年紀以降の西アジアにおける銅赤の利用

メソポタミアおよびイラン高原を中心とした西アジアに繁栄したサーサーン朝(3~7世紀)では、大型の容器を含むガラスの生産が行われていた。本研究では、国内外の博物館・研究施設でサーサーン朝時代に年代付けられるメソポタミア都市遺跡からの出土遺物や、イラン北部の古墓の盗掘品とされる資料など、合計100点超のガラス製品について熟覧およびオンサイト分析調査を実施した。しかしながら、サーサーン朝で作られたと考えられるガラス製品の中に、銅赤着色のものは1点も存在しなかった。そもそもサーサーン朝においては有色のガラス製品に対する需要がきわめて低かったと推定され、他の色ガラスに比べて技術的難易度の高い銅赤が消滅したのは必然的である。一方、イスラーム帝国成立後(8世紀~)の西アジアで作れたガラス製品、いわゆるイスラーム・ガラスにおいては、銅赤ガラスが少数ながら存在した。よって、メソポタミアを中心とした西アジアにおいて、銅赤技術はサーサーン朝時代に一度断絶した可能性が高いが、イスラーム帝国成立以降にユーフラテス以西や周辺地域から「再輸入」され、銅赤を利用したことで知られる「ラスター彩」などの形で再興したものと考えられる。

一方、後1千年紀末~後2千年紀前半に年代付けられる、コーカサス地域の Dariali Fort 遺跡(ジョージア)から出土した200点余りのガラス製品(容器片、パングル)について分析調査を実施した結果、同時代の地中海周辺やメソポタミアからの搬入品が少なからず混在していたものの、大部分は他地域のガラス製品と異なる化学組成の特徴を有していた。よって、現時点で未同定の一次生産地が西アジア内に存在し、そこから供給された原ガラスを用いて製品がこの遺跡に流通していたと考えられ、その一次生産地がコーカサス内に存在した可能性も想定される。さらに、その中には、銅赤ガラス製の容器片も少数ながら存在し、この時代の西アジアでは比較的口ローカルなスケールでも銅赤ガラスの生産が実施されていた可能性が示唆された。

4.5. 銅赤ガラス製品の広域伝搬

韓国・国立慶州博物館において、4世紀後半から6世紀前半に年代付けられる新羅時代の古墳より出土したガラス製品を対象とした調査を実施し、その中に銅赤着色のガラス製ビーズが含まれることを確認した。さらに、沖ノ島(福岡)の祭祀遺跡より出土した国宝の古代ガラス製品に関する宗像大社での調査においても、不透明赤色および橙色のガラス製ビーズが銅赤着色製品であることを明らかとした。これらの銅赤ガラスはいずれも組成的特徴から南アジア(インド、スリランカ)や東南アジア(タイなど)で一次生産されたものであると推定された。なお、オンサイトでのMRSおよびFORSによって、不透明赤色については金属Cuナノ粒子着色、橙色についてはCu₂O結晶着色であると同定された。不透明橙色のガラス製ビーズは南・東南アジアでは多くの出土例があるが、日本国内では他の色のガラス製ビーズに比べて流通量が少なく、沖ノ島を含めた特定の遺跡や古墳で集中的に発見されている。今後、微量元素に着目した詳細な組成的特性化により、これらの資料の具体的な流通経路が明らかにされることを期待したい。

近世以降の銅赤ガラスの分析例として、東海大学文明研究所に収蔵された「アンデス・コレクション」について報告する。同コレクションに含まれるガラス製品のうち、無色透明ないし淡緑色透明のガラス製ビーズの一部で、芯穴の内壁が赤色になっているものが複数発見された。オンサイトXRFの結果、ガラス本体に比べて赤色の芯穴部分で明らかにCuの含有量が増加したため、この赤色付着物はCu₂Oないし金属Cuナノ粒子による着色が生じたガラス、すなわち銅赤ガラスであると判断された。近世以降のヨーロッパで作られた製品が南米へと持ち込まれたものと思われる。

4.6. 本研究のまとめ

本研究により、銅赤ガラスの技術的・物質的な変遷および伝搬を科学的に明らかにした。銅赤によるガラスの着色技術は前2千年紀中期のメソポタミアおよび古代エジプトで同時多発的に発明されたと考えられ、原料や製法に違いはあるものの、いずれもCu₂O結晶による着色であった。両地域において、前1千年紀も銅赤ガラス製品の生産が継続された。また、前2~1千年紀メソポタミアの銅赤ガラス製法について、合成黄色顔料であるPb₂Sb₂O₇が原料の一つとして用いられたと推定され、再現実験にも成功した。紀元前後から後1千年紀にかけて、東地中海沿岸ではローマ・ガラスの活発な生産と共に銅赤ガラス製品が作られ、より高度な還元技術が求められる金属Cuナノ粒子着色が誕生した。一方、この時代のメソポタミアでは銅赤の技術は断絶したと思われる。8世紀以降にユーフラテス以西または他地域から技術が再輸入された。1千年紀末以降の西アジアにおいては、比較的口ローカルなスケールでも銅赤ガラスの生産が可能になったと思われる。一方、前1千年紀末から後1千年紀にかけて、南・東南アジアでもガラスの一次生産が開始され、これらの地域で作られた銅赤着色のビーズは古代日本や韓半島にも伝来した。近世以降にも様々な地域で銅赤のガラス製品の生産が行われ、その一部はガラスの生産技術を持たない南米のアンデス文明圏にまで到達していたことが本研究により示された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計22件（うち査読付論文 7件 / うち国際共著 2件 / うちオープンアクセス 9件）

1. 著者名 ABE Yoshinari, OGIDANI Eri, HIDAKA Haruka, EBISAWA Haruka, NAKAI Izumi, TAKAHASHI Kazumitsu, KAWAI Nozomu, KONDO Jiro	4. 巻 69
2. 論文標題 Proposal of a Compositional Characterization Method by Semi-quantitative Analysis of XRF Spectrum of Pigments in Mural Painting and Its Application to Nondestructive On-site Analysis of the Murals of the Tomb of Khonsuemheb in Egypt	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 BUNSEKI KAGAKU	6. 最初と最後の頁 497 ~ 504
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2116/bunsekikagaku.69.497	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 山花 京子, 阿部 善也, 村串 まどか	4. 巻 65
2. 論文標題 東海大学所蔵アンデス・コレクションのガラス玉の形態および理化学的分析と製作技法考察	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 GLASS	6. 最初と最後の頁 3 ~ 35
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 阿部 善也	4. 巻 7
2. 論文標題 沖ノ島8号遺跡出土カットグラス碗片・切子玉の非破壊蛍光X線分析による起源推定	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 沖ノ島研究	6. 最初と最後の頁 83 ~ 98
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 村串 まどか, 加藤 千里, 阿部 善也	4. 巻 7
2. 論文標題 沖ノ島祭祀遺跡出土ガラス製玉類の起源および流通に関する考察	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 沖ノ島研究	6. 最初と最後の頁 67 ~ 82
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 阿部 善也, 白瀧 絢子, 鈴木 周作, 中村 彩奈, 大越 あや, 内沼 美弥, 日高 遥香, 吉田 健太郎, 中井 泉, 四角 隆二	4. 巻 32
2. 論文標題 岡山市立オリエント美術館収蔵古代ガラス製品の非破壊蛍光X線分析 2010~2018 年度に実施した分析調査の報告	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 岡山市立オリエント美術館研究紀要	6. 最初と最後の頁 1~28
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 阿部 善也, 四角 隆二	4. 巻 32
2. 論文標題 「ペルシアのガラス」の再検討 伝イラン北部由来のサーサーン・ガラス製品の非破壊蛍光X線分析から	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 岡山市立オリエント美術館研究紀要	6. 最初と最後の頁 29~68
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 ABE Yoshinari, OGIDANI Eri, HIDAKA Haruka, EBISAWA Haruka, NAKAI Izumi, TAKAHASHI Kazumitsu, KAWAI Nozomu, KONDO Jiro	4. 巻 69
2. 論文標題 Proposal of a Compositional Characterization Method by Semi-quantitative Analysis of XRF Spectrum of Pigments in Mural Painting and Its Application to Nondestructive On-site Analysis of the Murals of the Tomb of Khonsuemheb in Egypt	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 BUNSEKI KAGAKU	6. 最初と最後の頁 497~504
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2116/bunseki.kagaku.69.497	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 山花 京子, 阿部 善也, 村串 まどか	4. 巻 65
2. 論文標題 東海大学所蔵アンデス・コレクションのガラス玉の形態 および理化学的分析と製作技法考察	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 GLASS	6. 最初と最後の頁 3~25
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 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 阿部 善也	4. 巻 7
2. 論文標題 沖ノ島8号遺跡出土カットグラス碗片・切子玉の非破壊蛍光X線分析による起源推定	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 沖ノ島研究	6. 最初と最後の頁 83～98
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 村串 まどか, 加藤 千里, 阿部 善也	4. 巻 7
2. 論文標題 沖ノ島祭祀遺跡出土ガラス製玉類の起源および流通に関する考察	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 沖ノ島研究	6. 最初と最後の頁 67～82
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 阿部 善也, 白瀧 絢子, 鈴木 周作, 中村 彩奈, 大越 あや, 内沼 美弥, 日高 遥香, 吉田 健太郎, 中井 泉, 四角 隆二	4. 巻 32
2. 論文標題 岡山市立オリент美術館収蔵古代ガラス製品の非破壊蛍光X線分析 2010～2018 年度に実施した分析調査の報告	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 岡山市立オリент美術館研究紀要	6. 最初と最後の頁 in press
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 阿部 善也, 四角 隆二	4. 巻 32
2. 論文標題 「ペルシアのガラス」の再検討 伝イラン北部由来のサーサーン・ガラス製品の非破壊蛍光X線分析から	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 岡山市立オリент美術館研究紀要	6. 最初と最後の頁 in press
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 Abe Yoshinari , Nakamura Ayana , Suzuki Shusaku , Tantrakarn Kriengkamol , Nakai Izumi , Judit Zoldfoldi , Peter Pfalzner	4. 巻 27
2. 論文標題 Use of variscite as a gemstone in the Late Bronze Age Royal Tomb at Qatna, Syria	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Archaeological Science: Reports	6. 最初と最後の頁 101994
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jasrep.2019.101994	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 Yoshinobu Tatsumi , Yoshinari Abe	4. 巻 「Orient」特別号
2. 論文標題 The root of Sasanian glass cups with circular facet-cut decoration	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Memorial Volume of H.I.H. Prince Takahito Mikasa	6. 最初と最後の頁 113-127
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 阿部善也	4. 巻 37
2. 論文標題 放射光X線が明らかにする古代ガラスの製法～古代エジプトおよびメソポタミアの銅赤ガラスを例に～	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Photon Factory News	6. 最初と最後の頁 11-16
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 阿部善也	4. 巻 2019-10
2. 論文標題 考古資料および美術品のオンサイト分析	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ぶんせき	6. 最初と最後の頁 478-480
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 Yoshinari Abe, Tadashi Kikugawa, Wahid Omran	4. 巻 in press
2. 論文標題 Scientific Investigation of the Anthropoid Coffin of Ta-Akhyt	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Annales du service des antiquités de l'Égypte	6. 最初と最後の頁 in press
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 該当する

1. 著者名 阿部善也	4. 巻 737
2. 論文標題 シルクロードを旅したガラス器	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 月刊考古学ジャーナル	6. 最初と最後の頁 24-27
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 阿部善也	4. 巻 51
2. 論文標題 高エネルギー放射光X線分析技術の高度化と文化財および環境試料からの起源情報の解読	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 X線分析の進歩	6. 最初と最後の頁 1-10
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 Yoshinari Abe	4. 巻 2019
2. 論文標題 Synchrotron radiation-based X-ray analysis for cultural heritage and arts	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 SPring-8/SACLA Research Frontiers	6. 最初と最後の頁 in press
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 HIDAKA Haruka、ABE Yoshinari、KIKUGAWA Tadashi、NAKAI Izumi	4. 巻 67
2. 論文標題 Comparison of Production Techniques of Copper-red Glass in Ancient Egypt and Mesopotamia in Second Millennium BC by Nondestructive X-ray Analyses	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 BUNSEKI KAGAKU	6. 最初と最後の頁 493～500
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2116/bunsekikagaku.67.493	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 阿部 善也	4. 巻 720
2. 論文標題 蛍光X線を中心とした分光分析による古代オリエント銅赤ガラスの起源と製法の解明	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 考古学ジャーナル	6. 最初と最後の頁 34～37
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29件(うち招待講演 9件/うち国際学会 4件)

1. 発表者名 阿部 善也, 四角 隆二, 中井 泉, 福島 真貴子
2. 発表標題 福岡県沖ノ島祭祀遺跡出土のカットグラス碗片・切子玉の非破壊蛍光X線分析による起源推定
3. 学会等名 日本文化財科学会第37回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 村串 まどか, 阿部 善也, 加藤 千里, 中井 泉, 福島 真貴子
2. 発表標題 福岡県沖ノ島祭祀遺跡出土ガラス製玉類の流通に関する考察
3. 学会等名 日本文化財科学会第37回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 阿部 善也, 村串 まどか, 中井 泉, 福嶋 真貴子
2. 発表標題 非破壊オンサイト蛍光X線分析による宗像沖ノ島出土の国宝古代ガラス製品の起源推定
3. 学会等名 第56回X線分析討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 阿部 善也, 大越 あや, 中井 泉, 高橋 寿光, 河合 望
2. 発表標題 エジプト, アブ・シール南丘陵遺跡集団埋葬墓出土ガラス製ビーズの非破壊オンサイト蛍光X線分析 ~ 古代エジプト最古級のガラスはどこで作られたか ~
3. 学会等名 日本地球化学会 第67回オンライン年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 阿部 善也
2. 発表標題 放射光による文化財の非破壊分析事例 ~ 蛍光X線分析法による古代ガラスの起源推定とX線吸収端差分法による絵画の元素イメージング ~
3. 学会等名 第4回 文理融合シンポジウム 量子ビームで歴史を探る - 加速器が紡ぐ文理融合の地平 - (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 阿部 善也
2. 発表標題 X線分析から読み解く古代エジプトとメソポタミアにおけるガラス製法の違い ~ 銅赤ガラスを事例に ~
3. 学会等名 文化財を科学するII (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 阿部 善也, 四角 隆二, 東 容子, 村串 まどか, 金 度潤, 李 承恩
2. 発表標題 非破壊蛍光X線分析による慶州・新羅古墳出土の古代ガラス製容器の起源および流通に関する研究
3. 学会等名 日本文化財科学会第38回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 村串 まどか, 阿部 善也, 金 度潤, 李 承恩
2. 発表標題 国立慶州博物館所蔵の新羅古墳出土ガラス玉の化学組成分析
3. 学会等名 日本文化財科学会第38回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 YAMAHANA Kyoko, ABE Yoshinari, MURAKUSHI Madoka
2. 発表標題 Glass beads from Andean Collection of Tokai University, Japan
3. 学会等名 AIHV 22nd Congress (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 ABE Yoshinari, SHIKAKU Ryuji, NAKAI Izumi, FUKUSHIMA Makiko
2. 発表標題 Ancient glassware travelled the Silk Road: provenance investigation of a relief-cut glass shard and facet-cut glass beads from Munakata-Okinoshima Ritual Site No.8 by nondestructive X-ray fluorescence analysis
3. 学会等名 AIHV 22nd Congress (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 阿部 善也, 四角 隆二, 中井 泉, 福島 真貴子
2. 発表標題 福岡県沖ノ島祭祀遺跡出土のカットガラス碗片・切子玉の非破壊蛍光X線分析による起源推定
3. 学会等名 日本文化財科学会第37回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 村串 まどか, 阿部 善也, 加藤 千里, 中井 泉, 福島 真貴子
2. 発表標題 福岡県沖ノ島祭祀遺跡出土ガラス製玉類の流通に関する考察
3. 学会等名 日本文化財科学会第37回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 阿部 善也, 村串 まどか, 中井 泉, 福島 真貴子
2. 発表標題 非破壊オンサイト蛍光X線分析による宗像沖ノ島出土の国宝古代ガラス製品の起源推定
3. 学会等名 第56回X線分析討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 阿部 善也, 大越 あや, 中井 泉, 高橋 寿光, 河合 望
2. 発表標題 エジプト, アブ・シール南丘陵遺跡集団埋葬墓出土ガラス製ビーズの非破壊オンサイト蛍光X線分析 ~古代エジプト最古級のガラスはどこで作られたか~
3. 学会等名 日本地球化学会 第67回オンライン年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 阿部 善也
2. 発表標題 放射光による文化財の非破壊分析事例～蛍光X線分析法による古代ガラスの起源推定とX線吸収端差分法による絵画の元素イメージング～
3. 学会等名 第4回 文理融合シンポジウム 量子ビームで歴史を探る –加速器が紡ぐ文理融合の地平– (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 阿部 善也
2. 発表標題 X線分析から読み解く古代エジプトとメソポタミアにおけるガラス製法の違い～銅赤ガラスを事例に～
3. 学会等名 文化財を科学するII (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 阿部 善也, 村串 まどか, 金 度潤, 李 承恩
2. 発表標題 非破壊蛍光X線分析による慶州・新羅古墳出土の古代ガラス製容器の起源および流通に関する研究
3. 学会等名 日本文化財科学会第38回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 村串 まどか, 四角 隆二, 東 容子, 阿部 善也, 金 度潤, 李 承恩
2. 発表標題 国立慶州博物館所蔵の新羅古墳出土ガラス玉の化学組成分析
3. 学会等名 日本文化財科学会第38回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 YAMAHANA Kyoko, ABE Yoshinari, MURAKUSHI Madoka
2. 発表標題 Glass beads from Andean Collection of Tokai University, Japan
3. 学会等名 AIHV 22nd Congress (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 ABE Yoshinari, SHIKAKU Ryuji, NAKAI Izumi, FUKUSHIMA Makiko
2. 発表標題 Ancient glassware travelled the Silk Road: provenance investigation of a relief-cut glass shard and facet-cut glass beads from Munakata-Okinoshima Ritual Site No.8 by nondestructive X-ray fluorescence analysis
3. 学会等名 AIHV 22nd Congress (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 阿部善也
2. 発表標題 放射光X線による環境試料および文化財の非破壊分析 ~ 原発事故由来物質・古代ガラス・絵画への応用 ~
3. 学会等名 社会・文化利用課題成果報告会/第40回SPring-8先端利用技術ワークショップ~社会的関心分野とSPring-8~ (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 阿部善也, 四角隆二, St. John Simpson
2. 発表標題 中央アジア・楼蘭で蒐集された古代ガラス容器片の非破壊蛍光X線分析
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 阿部善也
2. 発表標題 第14回浅田榮一賞受賞講演：高エネルギー放射光X線分析技術の高度化と文化財・環境試料からの起源情報の解読
3. 学会等名 第55回X線分析討論会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 阿部善也，四角隆二，St. John Simpson
2. 発表標題 大英博物館所蔵スタイン・コレクションの 中央アジア蒐集古代ガラス容器片に関する分析調査
3. 学会等名 日本ガラス工芸学会2019年度大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 阿部善也
2. 発表標題 文化財と放射光
3. 学会等名 フロンティアソフトマター開発専用ビームライン産学連合体 第2期発足記念式典・特別シンポジウムおよび第9回研究発表会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 阿部 善也・日高 遥香・中井 泉・四角 隆二・菊川 匡
2. 発表標題 前2千年紀における古代エジプトおよびメソポタミアの銅赤ガラス製法の比較
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 阿部 善也
2. 発表標題 文化財の「表示」と「起源」 - 古代ガラス容器の非破壊蛍光X線分析 -
3. 学会等名 日本分析化学会第67年会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 阿部 善也・日高 遥香・大和田 華乃・菊川 匡
2. 発表標題 “銅赤”は古代エジプトとメソポタミアのどちらで生み出されたのか
3. 学会等名 日本ガラス工芸学会2018年度大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 阿部 善也
2. 発表標題 X線分析が明らかにする古代ガラスの起源と流通
3. 学会等名 第29回 文化資源学セミナー（招待講演）
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計6件

1. 著者名 阿部 善也	4. 発行年 2020年
2. 出版社 天理大学出版部	5. 総ページ数 159
3. 書名 大航海時代へ：マルコ・ポーロが開いた世界（担当箇所：トンボ玉と大航海時代）	

1. 著者名 阿部 善也, 村串 まどか	4. 発行年 2021年
2. 出版社 国立慶州博物館	5. 総ページ数 351
3. 書名 Color and Radiance: Glass Treasures of Silla and Ancient Korea (担当箇所: 新羅墳墓出土の古代ガラス製品はどこで作られたのか? 目に見えないX線で起源を探る)	

1. 著者名 ABE Yoshinari, SHIKAKU Ryuji	4. 発行年 2020年
2. 出版社 Oxbow Books	5. 総ページ数 1088
3. 書名 Dariali: The 'Caspian Gates' in the Caucasus from Antiquity to the Age of the Huns and the Middle Ages (担当箇所: Report of chemical compositional characterisation of glass fragments excavated from Dariali Fort (Georgia) by non-destructive X-ray fluorescence analysis)	

1. 著者名 阿部 善也	4. 発行年 2020年
2. 出版社 天理大学出版部	5. 総ページ数 159
3. 書名 大航海時代へ : マルコ・ポーロが開いた世界 (担当箇所: トンボ玉と大航海時代)	

1. 著者名 阿部 善也, 村串 まどか	4. 発行年 2021年
2. 出版社 国立慶州博物館	5. 総ページ数 351
3. 書名 Color and Radiance: Glass Treasures of Silla and Ancient Korea (担当箇所: 新羅墳墓出土の古代ガラス製品はどこで作られたのか? 目に見えないX線で起源を探る)	

1. 著者名 岡山市立オリエント美術館（分担執筆）	4. 発行年 2019年
2. 出版社 岡山市立オリエント美術館	5. 総ページ数 152
3. 書名 特別展図録 ミイラと神々 - エジプトの来世、メソポタミアの現世	

〔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

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			
韓国	国立慶州博物館			
英国	British Museum	Ashmolean Museum		