

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 16 日現在

機関番号：32660

研究種目：基盤研究(B) (海外学術調査)

研究期間：2014～2017

課題番号：26303006

研究課題名(和文)海を越えて来た古墳のガラスの起源をその場分析で明らかにする

研究課題名(英文)On site analysis of origin of ancient glass coming to Japan from abroad

研究代表者

中井 泉 (NAKAI, Izumi)

東京理科大学・理学部第一部応用化学学科・教授

研究者番号：90155648

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,200,000円

研究成果の概要(和文)：弥生、古墳時代の古墳から膨大な数のガラス玉が出土するが、すべて海外からの輸入品である。これらのガラスがどこから来たかを分析化学的に解明することが本研究の目的である。方法は、メーカーと開発した可搬型蛍光X線分析装置でユーラシア大陸各地で出土した古代ガラスをオンサイトで分析し、九州から北海道までの古墳出土ガラスの分析結果と比較することで日本のガラスの起源を考察した。分析の結果、交易により同一の起源のガラスが南アジア、東南アジア、東アジア、中央アジア、そして日本に流通していた。一方、近世の極東地域では中国から極東へガラスが移動し、極東からアイヌ文化によって北海道に移動していることが推察された。

研究成果の概要(英文)：Tremendous numbers of glass beads were excavated from Kofun in Yayoi and Kofun periods in Japan. They were all imported from somewhere in Eurasia. The purpose of the present study is to reveal the origin of the glass excavated from Kofun. For quantitative analysis of glass beads we used a portable X-ray fluorescence spectrometer suitable for glass analysis developed by us. We brought the instrument to the museums in Japan and in abroad and measured the chemical compositions of the glass samples. Our analyses suggest that the glass of the same origin distribute over South Asia, Southeast Asia, East Asia and Central Asia, and to Japan. We have successfully revealed the transport of the beads from Kyushu to Honshu through Tohoku to Hokkaido. In the early modern times it was inferred from our glass analysis that there were glass trades between China and the Far East, suggesting the possibility that some of those glasses were transported to Hokkaido through the Ainu culture.

研究分野：Archaeological Chemistry

 キーワード：ガラスの歴史 和ガラスの起源 蛍光X線分析 ガラスの組成 オンサイト分析 ガラス流通 アジアの
 古代ガラス 極東のガラス

1. 研究開始当初の背景

ガラスの化学組成は原料の種類と割合により決まり、時代・製造地による組成的変遷が認められるので、組成分析からガラスの産地や製造時期(起源)を推定できる。弥生、古墳時代の古墳から膨大な数のガラス玉が出土するが、すべて海外からの搬入品である。これらのガラスがどこから来たかを組成分析により明らかにすることを計画した。

日本の7世紀頃までのガラスの化学組成の研究は関西・九州の古墳の出土品を使った、山崎一雄・肥塚隆保氏らによるパイオニア的研究があり、奈良文化財研究所を中心に、さらに広範囲の地域のガラスが研究されているが、関東以北のガラスはほとんど分析されていない。一方、海外調査にもとづき、日本のガラスの起源を解明しようとする研究は、著者以外は行っていない。西アジアのガラスについては、著者らがこの15年間精力的に分析に取り組んでおり、ガラスの重要成分のNaとMgを分析できる世界初のポータブル蛍光X線分析装置(XRF)を開発し、優位性がある。

国外の研究動向としては、アジアのガラスについては熱心な研究がなされているが、ロシアはガラス研究の空白地域となっている。米国のR. H. Brillによって、世界のガラス組成データが収集されているが、化学分析はどの研究者も試料を自国へ持ち出して分析を行っているため、サンプル数はごくわずかかと限られているのが現状であった。

2. 研究の目的

九州から北海道までの古墳出土ガラスの分析を行い、世界各地のガラスと比較を行い、古代日本で流通していたガラスの起源を明らかにすることを目的とする。特に、これまで分析数の少ない、東北地方から北海道の出土ガラスに着目し、北日本におけるガラス流通について、新たな知見を得ることを目指す。海外調査ではユーラシア大陸各地で出土した古代ガラスを分析し、当時流通していたガラスの実相を明らかにし、日本の出土ガラスとの関係を解明することを目的とする。

北海道の中世から近世におけるガラスの流通を考えるうえで、極東ロシアとの関係を明らかにすることは重要である。極東ロシアは、13~14世紀にはモンゴル帝国の支配が及んでいたが、同時にアイヌ民族は樺太へ進出しており、物品の移動もあったと考えられている。14世紀になり、モンゴル帝国に屈した樺太の人々は、清への物品の献上を始め、モノの移動は継続していたと考えられる。17~19世紀に中国~アムール~日本を結んだ交易路で盛んに行われていた貿易(山丹交易)に関連する出土品について着目して分析を行う。北方の交易をガラスに着目して解明することを目的とする独創的アプローチである。

3. 研究の方法

分析には、当研究室がメーカーと共同開発したガラス中のNaやMgの分析が可能な、ガラスの分析に適した可搬型蛍光X線分析装置を用いた。分析装置を現地のガラス収蔵施設に運び、オンサイトで分析を行った。定量は検量線法で行い、鉛ガラスについては、密度を実測し鉛の濃度を求め、検量線を補正した。

4. 研究成果

日本およびシルクロード地域で出土した古代ガラスは、化学組成によって分類することができ、製造地域に対応する。アルカリケイ酸塩ガラスは、カリウムを多く含むカリガラス、アルミナを多く含むアルミナソーダ石灰ガラス、カルシウムを多く含むソーダ石灰ガラスに分けられる。

中国内モンゴル自治区では、遼代の貴族墓から出土したガラス容器を分析した。分析したガラス容器は近年の発掘調査によって契丹王朝6代皇帝の妻であった蕭氏貴妃の墓から出土したものであり、本研究にて初めて化学的な調査が実施された。新たに発見された4点のガラス器はマグネシウムMgO、アルミニウムAl₂O₃、カリウムK₂O、カルシウムCaOの含有量をもとに西アジアや中央アジアのイスラムガラスと比較したところ、図1に示すように、中央アジア(ウズベキスタン、アフガニスタン)の組成に近い特徴を示した。

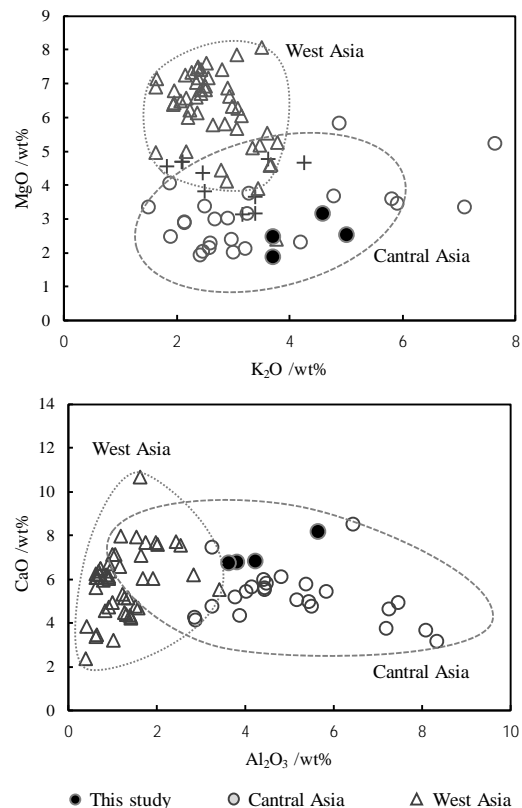


図1 主要元素による比較

このことから、この4点は中央アジアに起源をもつ可能性が示された。また、本研究では

契丹王朝 5 代皇帝の孫である陳国公主の墓から出土したガラス容器 2 点も分析したところ、これら 6 点のガラス容器の分析から、ガラス原料の不純物として含まれるルビジウム Rb、ストロンチウム Sr、ジルコニウム Zr の 3 元素で比較したところ、図 2 に示すように、蕭氏貴妃墓から出土した 4 点と陳国公主墓から出土した 2 点では微量重元素組成が異なることがわかった。このことは 2 つの墓に埋葬されたガラス容器の原料に差異があり、製造場所が異なる可能性が示唆された。

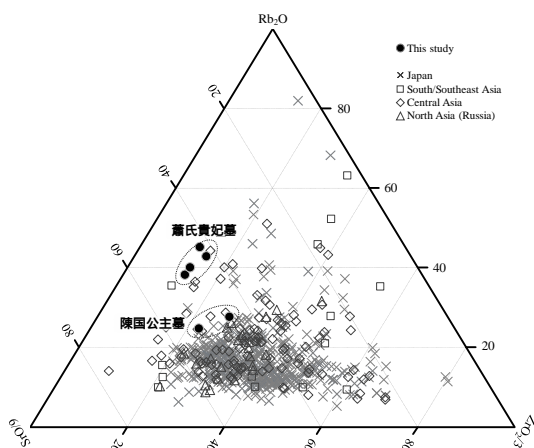


図 2 微量重元素による比較

中央アジアはガラスの流通路として注目される陸のシルクロードの経由地であり、本研究ではキルギス、タジキスタン、カザフスタンでガラスの化学組成分析を行った。分析したガラスを化学組成に基づいて分類すると、地中海沿岸地域から中央アジアにかけて製造されていたとされるソーダ石灰ガラスがやはり多くを占めていた。中国や南・東南アジアなどで流通していたカリガラス、アルミナソーダ石灰ガラスも何点が存在し、これらの地域のガラスが中央アジアに流入していたことが明らかになった。カザフスタンでは主にイスラムガラスを分析し、ガラスの主要元素で比較したところ、ウズベキスタンやアフガニスタンのガラスと似た特徴を示し、西アジアからもたらされたものではなく、より近郊からもたらされた可能性が示唆された。

一方で海のシルクロードの経由地に位置するインドでも調査を実施し、インド中部で出土したガラスの分析を行った。微量重元素 (Rb_2O , SrO , ZrO_2) による特性化の結果、インド中部ではインド西部とインド南部の中間的な流通様相を示している可能性が示唆された。またアルミナソーダ石灰ガラスをクラスター分析によって細分類した結果、インド西海岸起源とスリランカ・南インド起源の少なくとも 2 タイプのアルミナソーダ石灰ガラスが流通していた可能性が考えられた。

本科研費の執行中に海と陸のシルクロード取引に関わる地域で複数回にわたり分析調査を実施し、日本の古代ガラスの起源・流通を明らかにする重要なデータを収集することができた。

日本国内においては本科研費の執行期間中に、北海道、東北地方、関東地方、瀬戸内地域、九州地方で出土した古代ガラスの分析調査を行った。これまでに調査した古代ガラス（弥生時代～古墳時代）を化学組成から分類したところ、図 3 のように示された。西日本はアルミナソーダ石灰ガラスが多いのに対し、関東はカリガラスとアルミナソーダ石灰ガラスがほぼ同割合、東北地方ではソーダ石灰ガラスが多く、北海道ではカリガラスが多い傾向があり、地域によって違いがあることがわかった。

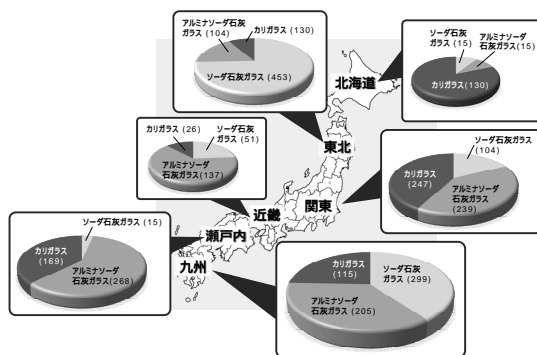


図 3 日本国内の古代ガラス調査結果



図 4 ユーラシア地域の調査結果

さらにユーラシア全体で本科研費の成果を概観すると、図 4 のように地域ごとに流通したガラスの割合が異なることが明らかになった。中央アジアはソーダ石灰ガラス、南/東南アジアはアルミナソーダ石灰ガラスが主流であることは明確であり、既存の研究と対応する結果が得られた。一方で中央アジアにおけるアルミナソーダ石灰ガラス、南/東南アジアにおけるソーダ石灰ガラスのように、それぞれの地域であまり流通していないガラスも複数点確認された。これは南/東南

アジアのアルミナソーダ石灰ガラスが中央アジアに、地中海沿岸地域から中央アジアのソーダ石灰ガラスが南/東南アジアにも流通していたことが明らかになった。

以上、ここまで各地域の古代ガラスの調査成果の概要を示し、日本およびシルクロード地域においてカリガラス、ソーダ石灰ガラス、アルミナソーダ石灰ガラスの3タイプが流通していることがわかった。

さらに、各地域に同程度の数量を分析しているカリガラスの研究結果をまとめる。カリガラスは既存の研究によって細分類できることが知られている。これまでの調査で得られたデータを用いて細分類し、図5に示したように各タイプの傾向を見た。便宜的にK-1、K-2と名称つけて分類した結果、日本や東南アジアで出土したカリガラスはK-1、K-2両方に分けられるが、中央アジアや南アジアのカリガラスはK-1が多いという、地域によって異なる違いがみられた。さらに、東南アジアのカリガラスの一部はK-1とK-2の間に位置するものが認められた。これは日本の古代ガラスにはないタイプのガラスであり、東南アジアに特有のタイプのカリガラスと考えられる。

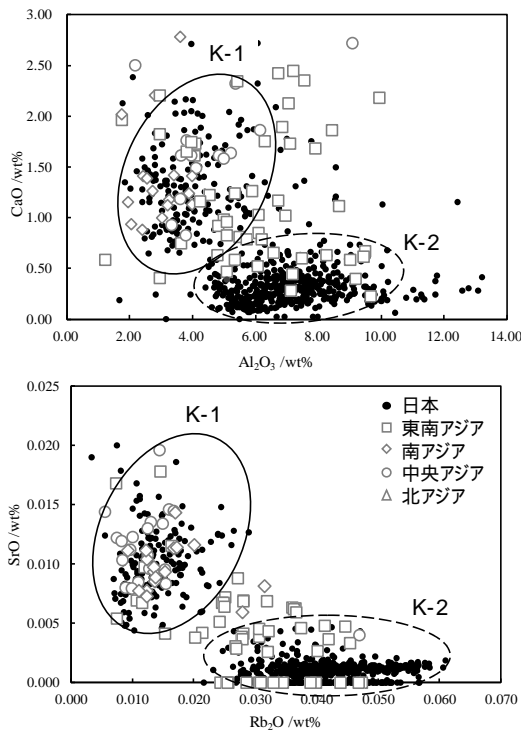


図5 カリガラスの特性化

本研究により、極東ロシア・北海道・本州における中世のガラス流通に関する重要な知見を得ることができたので以下に紹介する。分析資料はウラジオストク出土資料154点、ハバロフスク出土資料214点、樺太出土

資料143点、千島出土8点、北海道出土612点、京都(山科本願寺ほか)出土資料115点、福井(一乗谷朝倉氏遺跡)出土資料92点、の計1338点である。蛍光X線分析の結果、ガラスは大きく2つのグループに分かれることが明らかになった。鉛系ガラスとアルカリ系ガラスの2種類である。鉛系ガラスは、中国あるいは本州に起源をもつとされるカリ鉛ガラス($K_2O-PbO-SiO_2$)であると考えられる。しかし、地域間で鉛の含有量に差が見られた。また、本州(京都・福井)の緑色カリ鉛ガラスについて、着色元素の含有量比が異なることがわかった。着色の主たる要因も異なっていることが考えられた。図6に着色要因の違いを、図7にシリカ源による違いを示すプロ

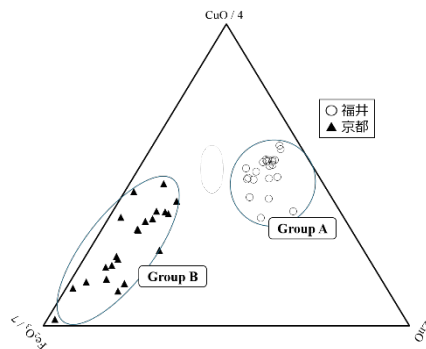


図6 緑色カリ鉛ガラスの着色要因による特性化

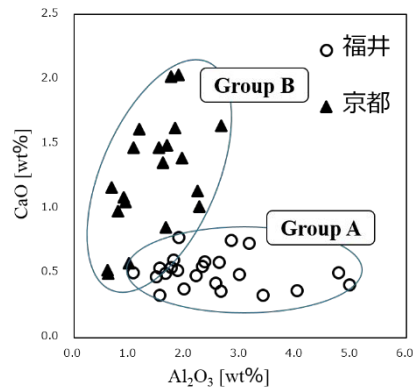


図7 シリカ源に着目した特性化

ットを示す。

以上の事から福井と京都で流通していた緑色カリ鉛ガラスは異なる場所で生産されていたことを示唆する結果となった。

さて、アルカリ系ガラスは、中近世に流通し、中国・欧州に起源をもつとされるカリ石灰ガラス($K_2O-CaO-SiO_2$)、古代に流通し、西アジア周辺に起源をもつとされるソーダ石灰ガラス($Na_2O-CaO-SiO_2$)が知られている。図8に融剤として用いられていた元素である K_2O vs. Na_2O のプロットを示した。

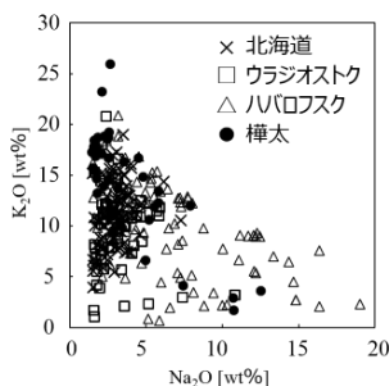


図8 アルカリ系ガラスの融剤による特性化

北海道やウラジオストクは Na 含有量が 5wt% 以下であるのに対し、樺太やハバロフスク出土資料には、Na₂O 含有量が多い資料も存在していた。これらの資料は、ソーダ石灰ガラス (Na₂O-CaO-SiO₂) である可能性や、ガラスが伝わる過程でリサイクルが行われたことで中間的な組成を持つ資料が作られた可能性が考えられる。

本研究において、30～60wt% の鉛含有量の多いカリ鉛ガラスは中国または本州で製作され、北海道まで伝わり、10～30wt% の鉛含有量の少ないカリ鉛ガラスは中国から大陸を經由しロシア沿海地方、樺太へ伝わったと考えられる。さらにカリウムとカルシウムの含有量が 10wt% 前後のカリ石灰ガラスは中国で製造され、ロシア沿海地方、樺太を經由し北海道へ伝わったと考えられる。このことから北海道では、ガラスの交流が盛んに行われていたことが明らかになった。

以上のように科研費の補助により、日本およびシルクロード地域で出土したガラスの調査から、各地のガラスの化学組成を明らかにし、その流通状況の一端を解明できた。

引用文献

関根達人：中近世北方交易と蝦夷地の内国化に関する研究、1-64 (2014)。(平成 22～25 年度科学研究費基盤研究 A(課題番号 22242024)研究成果報告書)

中村和之：北の『倭寇的』状況とその拡大、北の内海世界、山川出版社 (1999)。

降幡順子他：考古学と自然科学、66、25-42 (2012)。

J. W. Lankton, et al., 2006. Journal of Glass Studies, pp.121-144.

S. Liu, et al., 2013. X-Ray Spectrometry, 42(6), pp.470-479.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 18 件)

Y. Abe, I. Nakai, 他 1 名, 3 番目, Ancient glassware travelled the Silk Road: Nondestructive X-ray fluorescence analysis of tiny glass fragments believed to be sampled from

glassware excavated from Niizawa Senzuka Tumulus No. 126, Japan, Journal of Archaeological Science: Reports, 査読有、17 巻、2018、212-219

村串まどか、中井 泉、他 4 名, 3 番目、蕭氏貴妃墓および陳国公主墓から出土した遼代ガラス器の化学組成分析、GLASS, 査読有、62 巻、2018、19-23

新井 沙季、中井 泉、他 3 名, 3 番目、アイヌ文化期の道南地域出土ガラスの化学組成分析、函館工業高等専門学校紀要、査読有、52 巻、2018、20-38

馬場 慎介、中井 泉、他 5 名, 4 番目、北海道出土アイヌ文化期のガラス玉の化学組成分析、函館工業高等専門学校紀要、査読有、51 巻、2017、48-67

村串まどか、中井 泉、他 1 名, 3 番目、留遺跡出土ガラス製品の化学組成分析、天理参考館報、査読無、22 巻、2017、21-33

van Loon Annelies, Abe Yoshinari, Nakai Izumi, 他 4 名, 6 番目, Artificial orpiment, a new pigment in Rembrandt's palette, Heritage Science, 査読無、5 巻、2017、1-13

馬場 慎介、中井 泉、他 6 名, 8 番目、p-XRF を用いた京都府出土の中世ガラスの考古化学的研究、X 線分析の進歩、査読有、48 巻、2017、284-307

今井 藍子、中井 泉、他 5 名, 4 番目、北海道道央地方で出土した続縄文時代ガラスビーズの考古化学的研究、X 線分析の進歩、査読有、48 巻、2017、235-248

柳瀬和也、中井 泉、他 4 名, 6 番目、可搬型蛍光 X 線分析装置による楽浪土城址および楽浪古墳出土古代ガラスと日本出土古代ガラスの化学組成の比較、X 線分析の進歩、査読有、47 巻、2016、179-198

村串まどか、中井 泉、他 6 名, 8 番目、可搬型蛍光 X 線分析装置を用いた中央アジア出土古代ガラスの化学組成とその流通について、X 線分析の進歩、査読有、47 巻、2016、207-224

村串まどか、中井 泉、他 3 名, 5 番目、江釣子古墳群出土ガラスの化学組成分析、北上市立埋蔵文化財センター紀要、査読無、2016 巻、2016、23-33

中井 泉、他 5 名, 1 番目、一乗谷朝倉氏遺跡から出土したガラスの化学組成分析、一乗谷朝倉氏遺跡資料館紀要、査読無、2014、2016、34-50

柳瀬和也、中井 泉、他 4 名, 6 番目、蛍光 X 線分析による北海道で出土した続縄文時代の古代ガラスの特性化、分析化学、査読有、64 巻、2015、371-377

柳瀬和也、中井 泉、他 4 名, 6 番目、可搬型蛍光 X 線分析装置を用いた北海道出土のガラスの特性化、沙流川歴史館年報、査読無、16 巻、2015、69-93

澤村大地、中井 泉、他 4 名, 6 番目、蛍光 X 線分析による関東地方の遺跡から出土した古代ガラスに関する考古化学的研究、分析化

学、査読有、64 巻、2015、637-642

中井 泉、X 線で古代ガラスの起源を探る、
歴博、査読無、190 巻、2015、15-19

阿部善也、中井 泉、放射線 RI 塾 「シル
クロードを旅してきたガラス椀」、Isotope
News、査読無、2015、42-45

I.Nakai, Y.Abe,他 3 名、1 番目、Chemical
Characterization of Roman and Early Byzantine
Glass from Bogazkoy/Hattuscha and its Vicinity、
Istanbuler Mitteilungen、査読有、64 巻、2014、
237-261

〔学会発表〕(計 44 件)

I. Nakai, M. Murakushi、Ancient Japanese
glass imported from Eurasia as revealed by on
site XRF、Int. Conf. on Glass in Archaeology and
History: Cultural, Economic and Artistic
Exchanges, National Palace Museum, Taipei、
2018 年(招待講演、国際学会)

M. Murakushi, I.Nakai、Chemical Composition
of the Ancient Silk Road glasses determined by
Portable XRF、Technart-2017(国際学会)、2017
年

I.Nakai,Y.Abe、On-site Analysis of Cultural
Heritage Materials By Using Portable
Instruments、AnalytiX2017(国際学会)、2017
年 03 月 24 日

〔図書〕(計 6 件)

中井 泉、馬場 慎介、MIHO MUSEUM、和
ガラスの美を求めて - 瓶泥舎コレクション
ン、2017、216-233

I. NAKAI, S. BABA、MIHO MUSEUM、
Chemical Composition of Glass in the Edo
Period, The Beauties of Japanese Glass, THE
BINDEISHA COLLECTION、2017、268-275

I. Nakai、X-ray Fluorescence Analysis、
Encyclopedia of Geochemistry. Encyclopedia of
Earth Sciences Series. Springer, Cham、査読有、
1 巻、2017、1-5

I. Nakai and J. Shirataki、Chemical
Composition of Glass Beads Excavated from
Kofun(ca.AD 2nd to 7th c.)in Western Japan by
Portable XRF showing Glass Trade among Asian
Countries、World Scientific Publishing Co.、
Recent Advances in the Scientific Research on
Ancient Glass and Glaze ed. by F. Gan、2016、
73-94

A. Inoue, J. Shirataki, and I. Nakai、Study
of Byodoin Temple Glass: Discoveries in Japan
of Small, Free-blown Glass Vessels with Lids
from the Byodoin Temple and Other Sites from
the Heian Period (794-1192)、World Scientific
Publishing Co.、Recent Advances in the Scientific
Research on Ancient Glass and Glaze ed. by F.
Gan、2016、129-156

中井 泉、阿部善也、井上暁子 編者：栄
原永遠男・佐藤信・吉川真司、法蔵館、「東
大寺法華堂不空羂索観音菩薩立像の宝冠の
科学調査」東大寺研究 1 東大寺の美術と考

古、2016、271-311.

6 . 研究組織

(1)研究代表者

中井 泉 (NAKAI, Izumi)

東京理科大学理学部・教授

研究者番号：90155648

(2)研究分担者

阿部善也 (ABE, Yoshinari)

東京理科大学理学部・嘱託特別講師

研究者番号：90635864