

機関番号：32660

研究種目：基盤研究 B（海外）

研究期間：2008～2010

課題番号：20404005

研究課題名（和文）

ポータブル X 線分析装置の開発と遺跡出土遺物の物質史分析による東西文化交流の解明

研究課題名（英文）

Development of portable X-ray analytical instruments to obtain the evidence of east-west cultural exchange through the analysis of material history of excavated artifacts

研究代表者

中井 泉 (NAKAI IZUMI)

東京理科大学 理学部応用化学科・教授

研究者番号：90155648

研究成果の概要（和文）：

ガラスの古代の東西交易を明らかにするためにポータブル X 線分析装置を開発し、美術館や中国、インド、エジプト、シリア、トルコ、クロアチアの現地で出土遺物を分析した。日本の古墳出土ガラスは、インド、タイ、中国などのアジアの国々から伝来したものであることを実証した。また、平等院出土ガラスの分析では、奈良時代の鉛ガラスの製法が平安時代も継続し、新たにカリ鉛ガラスの製法が中国から伝来したことを示した。地中海沿岸諸国における東西交流についても実証的データを得た。

研究成果の概要（英文）：

Portable X-ray fluorescence spectrometer was developed and ancient glass was analyzed by using the spectrometer in China, India, Croatia, Syria, Turkey, and Egypt as well as in museums. Our analysis revealed that glass excavated from Japanese Kofun came from Asian countries such as China, Thailand, and India. Glass discovered in Byodoin was found to be lead glass of Nara type and potassium lead glass produced using the technique from China. Our analytical data also revealed aspects of east-west trade around Mediterranean sea regions.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	5,600,000	1,680,000	7,280,000
2009 年度	3,100,000	930,000	4,030,000
2010 年度	4,300,000	1,290,000	5,590,000
年度			
年度			
総計	13,000,000	3,900,000	16,900,000

研究分野：

科研費の分科・細目：分析化学

キーワード：考古学・美術史・蛍光 X 線・非破壊分析・考古化学

1. 研究開始当初の背景

西域からインド洋を通して、東南アジアを経て日本へと続く船による交易ルートは海のシルクロードと呼ばれている。しかし、自然科学的にはほとんど実証されていない交易ルートである。鑑真が伝えたといわれる唐招提

寺の国宝白瑠璃舍利壺の分析により、そのガラスが西アジアからきたものであることを過去に代表者らは解明したが、そのような分析データに基づく実証的研究は少ない。特に、古代ガラスを通して、我が国と西アジアの関係についての研究は殆ど行われていない。そ

れは、貴重な資料の破壊分析が殆ど許されな
いたためである。ガラスの東西交流史の解明の
ためには、非破壊分析が可能で、遺跡にもち
こんで高精度の定量分析ができる分析装置
の開発が待たれていた。

2. 研究の目的

本研究は考古試料のその場分析に最適なポ
ータブル蛍光X線分析装置を開発し考古学の
研究に寄与することと、開発した装置を用い
て文理融合型研究により地中海・西アジア地
域と東南アジア、東アジアの遺跡出土ガラス
を分析し、分析データと様式学的知見をもと
に交易ルートを実証し、西域と東洋との物質
文化の東西交流を解明することを目的とし
て研究を進めた。

3. 研究の方法

ガラスの非破壊分析に適したポータブル
蛍光X線分析装置の開発を装置メーカーと行
った。すでに、当研究室では2003年より開
発を進めているが、今回は、装置の軽量化と
試料観察装置の導入を行った。開発した分析
装置を、美術館や発掘調査隊に持ち込み、完
全非破壊分析を行った。得られた分析結果を
もとに、定量化を行い、東西物質移動を実証
するデータとして、考察を行った。

4. 研究成果

各年度ごとに成果をわけて揭示し、最後に
まとめを行った。

(1)平成20年度 装置開発：ポータブル蛍光
X線分析装置に改良を加え、従来総重量25kg
の装置を、今回18kgまでスリム化し、可搬
性を高めることができた。また、CMOSカメラ
を搭載し、試料測定点が観察できる機構とし
た。これにより、2mm四方程度の領域の分析
がピンポイントでできるようになったこと
から、微細な試料や複雑な文様の分析で、測
定点を正確に定めることができるようになった。

分析調査：以下の調査地域もしくは博物館・
美術館等にそれぞれ1週間～1ヶ月滞在し、
開発した分析装置を用いて、現地でガラスお
よび陶磁器の分析を行った。なお、考古学的
・様式学的研究は分担者の真道洋子が担当
した。国内：東地中海、シリア、中国、日
本の古代ガラス(MIHO Museum)、日本の中
世のガラス、一切金字経(中尊寺)。国外：
ザダール考古博物館、ドブロブニク博物館
(クロアチア)、Deir az-Zor 考古博物館(シ
リア)、中国広西省文物考古研究所(中国)、
トルコ・カマンカレホユック遺跡、アブシ
ール南丘陵遺跡(エジプト)、ラーヤ遺跡(エ
ジプト)。

主な成果を以下に示す。

①カマンカレホユック遺跡出土方形ビーズ
が、BC16, 15世紀頃のものでメソポタミア
から搬入品であることを、現地での分析と
MIHO Museumの資料の分析結果から明らか
にした。

②クロアチアとシリアの出土ガラスの分析
から、ローマ時代における両地域の交易の
存在を示す知見が得られた。

③中国広西省文物考古研究所において、漢
代の国宝級の貴重なガラスとひすいの資料
について、オンサイト分析を行い、組成的特
徴を明らかにした。日本とアジアの東西交
易を考える上で貴重なレファレンスデータ
を取得できた。

④中尊寺の国宝の一切経の分析を行ったが、
その時あわせてガラスビーズの分析も行う
ことができ、平安時代のガラスについて貴
重なレファレンスデータが得られた。

(2)平成21年度 装置開発：昨年に引き続
き既存のポータブル蛍光X線分析装置の軽
量化を行った。大気中で大型試料を測定で
きる100FAIIIについて、軽量化とCMOSカ
メラの導入を行うことで機動力を高めた。ま
た、ポータブルマイクロラマン分光分析装
置を新規に導入した。日本では、考古学の
分野でのラマンの使用は限定的であったが、
本研究によりそのきわめて高い有用性を
実証した。

分析調査：

①滋賀県MIHO Museum収蔵品の分析を
行い、古代エジプト、メソポタミアのガラ
スの特性化を行った。研究成果は、ギリシ
ャで行ったガラスの歴史国際会議で2件、
口頭およびポスター発表した。

②早大隊のエジプト・アブシール南丘陵
遺跡の発掘調査、ドイツ隊のシリア・テル
シエハマッド遺跡の発掘調査に参加し両
遺跡の出土遺物について現地で多数の貴
重な分析データを収集した。前者の成果
は、早大調査隊の「エジプト学研究 別冊」
に23頁の論文として発表した。

③古代の青色顔料の変遷と東西交易につ
いての研究成果を、当研究室の阿部善也
が2010年1月に開催された放射光学会年
会で口頭発表したところ、学生発表賞を
受賞した。一方、同研究成果をAnalytical
& Bioanalytical Chemistry (ABC) 誌
に10頁の論文として発表した。

④2010年1月および3月に実施した熊
本県の4箇所古墳から出土したガラスの
分析調査により、古墳から東南アジア
産またはインド産と考えられるガラス
が見いだされ、当時、日本はアジア諸
国と活発な交易があったことの一
端を明らかにすることができた。同
発見は、本科研費の研究の目的
である、「海のシルクロード」の
実証的根拠となるもので、大
きな成果であった。本成果は
文化財科学会で発表し「考古学
と自然科学」誌に投稿した。

(3)平成22年度 装置開発：ポータブル
粉末回折計の軽量化、および計測部の改
良を行っ

た。
分析調査：本年度は、複数の大きな進展があった。

①海外調査ではシリアの Qatna, Tell el Fakhariya Tel Halaf の 3 カ所、3 つのドイツ発掘調査隊に参加し遺跡出土遺物の分析ができた。その結果、ガラスの起源に近いシリアで BC15 世紀のペンダントビーズや、各調査隊の国宝クラスの多数の出土遺物の分析ができた。

②トルコのビュクリュ・カレから出土した 2 点のガラスを日本で分析し、いずれもメソポタミアのガラスで、しかも Qatna で分析した試料と同系のものであることが判明し、メソポタミアからトルコへの東西交流の一端を実証できた。

③平等院鳳凰堂の国宝阿弥陀如来座像の台座からみつかった、500 点余りのガラスを分析することができた。その結果、奈良時代に特徴的な鉛ガラスと、中国の唐の時代に流通したカリ鉛ガラスであることが判明した。前者は、正倉院御物のガラスビーズと組成的にも様式的にも似ていて、本成果は、新聞各紙で大きく報道された。本発見により、前年度の熊本県、当年度の岡山県の弥生時代、古墳時代のガラスビーズの分析によって明らかになった古代日本のガラスの組成的変遷の解明に続く、奈良から平安時代のガラスの変遷に光りをあてることができた。特に、後者はこれまで未解明の部分が多くその意義は大きい。

④中国の石家で、北魏の孝文帝の石棺から出土したガラスのオンサイト分析をすることができた。分析の結果、資料は植物灰ガラスで西アジアの組成で、本研究のテーマであるガラスの東西文化交流の貴重な実証データが得られた。

⑤インドのデリー近郊で、古代のガラスビーズのオンサイト分析を行った結果、日本の熊本県の古墳出土のガラスビーズと組成、形状が酷似していることがわかった。我が国の 1 千年紀前半に、インドのガラスが、日本に搬入されていたことを示唆する、貴重な成果が得られた。

これらの成果は、2011 年 4 月末にベルリンで開催された TECHNART2011 で、日本とアジアとのガラスの東西交流として、また、シリアの成果についてもいずれも口頭で発表し、多くの反響を得た。さらに、投稿論文としてまとめ国際誌 ABC に 3 報投稿した。

(4) まとめと今後の展望 本研究の実施により、世界最高レベルのポータブル蛍光 X 線分析装置と粉末回折装置が完成し、新規に導入したポータブルマイクロ Raman 分析装置とあわせて、国際的にみてももっとも機動力があり、高水準のデータが得られる、オンサイト分析体制ができあがった。美術館や文化財

施設での定性分析は広く行われているが、代表者らのようにガラスの化学組成について定量的データを報告しているチームはほとんどなく、まして夏のシリア、エジプトのような厳しい自然条件下で、このような高水準のデータをルーチンの得ることができる調査チームは他にないと言えよう。今後国内外で積極的に文化財の分析を実施して多くのデータが得られる研究体制を構築できたことから、本科研費による研究費は大変有効に利用されたといってもさしつかえないであろう。

考古化学的成果としては、弥生・古墳時代における、アジア圏と日本との交易などの物質移動について、いくつかの実証的データをすることができた。また、平等院ガラスの分析を通して、奈良から平安にかけてのガラスの組成的変遷の一端を実証的に解明することができた。幸い、科研費の基盤 B 海外調査を平成 23 年度から 3 年間授与されたことから、次の 3 年間では弥生・古墳時代ではガラスビーズの分析を全国の古墳を対象をひろげ、地域的変遷を明らかにする計画である。また、平安から江戸時代までは、残存するガラスの数も少なく、系統的研究は皆無であることから、平成 23 年度からの研究のターゲットとして取り組み、弥生から江戸時代までの我が国におけるガラスの組成的変遷の全容を解明する計画である。

西アジアの研究成果の中では、トルコの 2 つの遺跡で、メソポタミア起源のガラスが存在することを明らかにできたことは、重要な成果といえる。ガラスの原点ともいえるシリアで、4 カ所のドイツ発掘調査隊に参加できるようになった点は大きな研究の足場ができたといえる。申請者らは、トルコとエジプトのガラスの調査を 10 年以上つづけており、その中間に位置するシリアのガラスについて、分析ができたことで、クロアチア、ギリシャ、トルコ、シリア、エジプトとつながる、地中海世界の東西交流を解明する重要な 1 歩をふみだすことができた。具体的には青色のコバルトガラスに着目して、その組成的変遷をこれらの国々のガラスの分析を通して明らかにできた。地理的にも年代的にも広範な地域であることから、全容の解明は難しいが、1 歩 1 歩確実な実証データをオンサイト分析により取得し、世界に成果を発信していきたい。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 25 件)

- 1) 白瀧絢子、中井 泉、井上暁子、平等院本尊阿弥陀如来坐像台座華盤納入品のガラス玉について、鳳翔学鳳叢、7 輯、149-170 (2011) 査読無

- 2) N. Kato, I. Nakai, and Y. Shindo, Transitions in plant-ash glass vessels: on-site chemical analyses conducted at the Raya/al-Tur area on the Sinai Peninsula in Egypt, *Journal of Archaeological Science*, 37, 7, 1381-1395 (2010) 査読有
- 3) W. S. K. Bong, K. Matsumura, K. Yokoyama, I. Nakai, Provenance study of early and middle bronze age pottery from Kaman-Kalehoiyuk, Turkey, by heavy mineral analysis and geochemical analysis of individual hornblende grains *Journal of Archaeological Science* 37, 2165-2178 (2010) 査読有
- 4) 権代紘志、阿部善也、中井 泉、鉛ガラス—鉛系釉薬試料の蛍光 X 線分析における検量線法の適用、X 線分析の進歩、42、325-340 (2011) 査読有
- 5) 加藤慎啓、タンタラカーン・クリアンカモル、阿部善也、中井 泉、新開発のポータブル蛍光 X 線分析装置による岡山市立オリエン特美術館所蔵ガラスの化学組成分析—2007 年度調査—岡山市立オリエン特美術館研究紀要、24、83-90 (2010) 査読無
- 6) 阿部善也、張本路丹、中井 泉、X 線化学分析 アブ・シール南丘陵遺跡 第 18・第 19 次調査概報、エジプト学研究 別冊第 14 号、早稲田大学エジプト学会 94-116 (2010) 査読無
- 7) 菊川 匡、阿部善也、中井 泉、紀元前 2 千年紀後半におけるエジプトおよびメソポタミアの銅着色ガラスの分析、X 線分析の進歩、41、207-217 (2010) 査読有
- 8) S. Suzuki, N. Kato and I. Nakai Chemical analysis of enameled glass excavated in al-Fustat using X-ray and micro-Raman spectroscopic analyzers, *Artifacts of medieval Islamic period excavated in al-Fustat*, Egypt, 43-49 (2010) 査読無
- 9) H. Gondai, N. Kato and I. Nakai Chemical analytical studies on the glazes and pigments chemical analysis of white glazes found in Islamic glazed pottery Excavated in al-Fustat using a portable X-ray analyzer *Artifacts of medieval Islamic period excavated in al-Fustat*, Egypt, 29-41 (2010) 査読無
- 10) N. Kato, I. Nakai and Y. Shindo, On-site chemical analysis of raw and waste glass unearthed in al-Fustat using a portable X-ray fluorescence spectrometer *Artifacts of medieval Islamic period excavated in al-Fustat*, Egypt, 17-28 (2010) 査読無
- 11) 中井 泉、物質の起源を探る、化学と教育、158、62-63 (2010) 査読有
- 12) 渥美 晋、米田 穰、柴田康行、保倉明子、中井 泉、放射性炭素年代測定における炭化物試料の酸—塩基—酸前処理法に対する化学的検証、*第四紀研究*、48、4、289-294 (2009) 査読有
- 13) Y. Abe, I. Nakai, K. Takahashi, N. Kawai and S. Yoshimura, On-site analysis of archaeological artifacts excavated from the site on the outcrop at Northwest Saqqara, Egypt, by using a newly developed portable fluorescence spectrometer and diffractometer, *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 395, 7, 1987-1996 (2009) 査読有
- 14) N. Kato, I. Nakai, Y. Shindo, Change in chemical composition of early Islamic glass excavated in Raya, Sinai Peninsula, Egypt: on-site analyses using a portable X-ray fluorescence spectrometer, *Journal of Archaeological Science*, 36, 8, (2009) 査読有
- 15) K. Tantrakarn, N. Kato, A. Hokura, I. Nakai, Y. Fujii, S. Glušćević Archaeological analysis of Roman glass excavated from Zadar, Croatia, by a newly developed portable XRF spectrometer for glass, *X-Ray Spectrometry*, 38 (2), 121-127 (2009) 査読有
- 16) I. Nakai, K. Tantrakarn, N. Kato, N. Kawai, A. Nishisaka and S. Yoshimura, XRF ANALYSIS OF 16TH CENTURY BC TRANSPARENT GLASS BEADS EXCAVATED FROM A HILLSIDE IN NORTHWEST SAQQARA, EGYPT, *AIHV Annales du 17e Congres*, 2006, 31-35 (2009) 査読有
- 17) 権代紘志、加藤慎啓、中井 泉、真道洋子、ポータブル X 線分析装置を用いたイスラーム陶器の白色釉薬の考古化学的研究、X 線分析の進歩、40、349-358 (2009) 査読有
- 18) 三浦早苗、加藤慎啓、中井 泉、真道洋子、蛍光 X 線分析によるイラク製初期ラスタ—彩陶器の特性化、X 線分析の進歩、40、339-348 (2009) 査読有
- 19) 菊川 匡、阿部善也、真田貴志、中井 泉、ポータブル蛍光 X 線分析装置への試料観察機構の導入と古代エジプト美術館所蔵ガラスの考古化学的研究、X 線分析の進歩、40、325-337 (2009) 査読有
- 20) 阿部善也、張本路丹、中井 泉、X 線化学

分析 アブ・シール南丘陵遺跡 第17次調査報告、エジプト学研究 別冊第13号、早稲田大学エジプト学会 37-76 (2009) 査読無

- 21) N. Kato, I. Nakai and Y. Shindo, Islamic plant-ash glass found in the Rāya/al-Tur Area on the Sinai Peninsula: a report on Chemical Analyses Conducted in 2008. Artifacts of the Islamic Period Excavated in the Rāya/al-Tur Area, South Sinai, Egypt Ceramics/Glass/ Painted Plaster. Tokyo, 71-79 (2009) 査読無
- 22) S. Miura, N. Kato, I. Nakai and Y. Shindo, On-site X-ray analysis of Iraqi red luster-painted pottery. In: Kawatoko, M. and Shindo, Y. (Eds.) Artifacts of the Islamic Period Excavated in the Rāya/al-Tur Area, South Sinai, Egypt Ceramics/Glass/ Painted Plaster. Tokyo, 67-69 (2009) 査読無
- 23) H. Gondai, N. Kato, I. Nakai and Y. Shindo, Chemical analysis of White glazes found in Islamic glazed pottery excavated in Rāya using a portable X-ray analyzer. In: Kawatoko, M. and Shindo, Y. (Eds.) Artifacts of the Islamic Period Excavated in the Rāya/al-Tur Area, South Sinai, Egypt Ceramics/Glass/Painted Plaster. Tokyo, 59-65 (2009) 査読無

[学会発表] (計70件)

- 1) I. Nakai, Glass trade between Asian countries and Japan as revealed by portable XRF analysis of glass beads, TECHNART 2011, 2011/4/26~29, Berlin
- 2) I. Nakai, On-Site analysis of glass and jade artifacts from Guangxi Province (China), TECHNART 2011, 2011/4/26~29, Berlin
- 3) I. Nakai, Gemstones in the Royal tomb of Qatna (Syria), TECHNART 2011, 2011/4/26~29, Berlin
- 4) 中井 泉, 熊本県の古墳出土ガラスの考古学的研究、保存科学研究集会2010 「古代の玉ー最新の保存科学的研究の動向ー」2011/2/5、奈良文化財研究所平城宮跡資料館講堂
- 5) 中井 泉, Study on western Asiatic cast-ribbed rectangular beads from Kaman-Kalehöyük, Turkey by using portable XRF, 38th INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ARCHAEOLOGY, 2010/5/14, Tampa, University of South Florida

- 6) 中井 泉, Transitions in chemical compositions of cobalt-blue colorant in ancient Middle East, 38th INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ARCHAEOLOGY, 2010/5/14, Tampa, University of South Florida
- 7) 中井 泉, X-ray analysis of head of Pharaoh, a glass sculpture from 18th Dynasty Egypt, AIHV18, 2009/9/21, テッサロニキ考古学博物館
- 8) 中井 泉, On site analysis of artifacts excavated from Egypt by using newly developed portable diffractometer and fluorescence spectrometer, TECHNART 2009, 2009/4/27, Athens, Greece
- 9) 中井 泉, Archaeological analysis of Roman glass excavated from Zadar, Croatia by a newly developed portable XRF spectrometer for glass, European Conference on X-ray Spectrometry, 2008/6/16, Cavtat, Dubrovnik, Croatia
- 10) 中井 泉, New investigation of trace elements for the Islamic glass weights and stamps using a high-sensitive XRF method - compared with excavated glass vessels in Rāya, Egypt., 37th International Symposium on Archaeometry, 2008/5/12~16, Siena

[図書] (計3件)

- 1) 中井 泉, ニューサイエンス社、考古資料の自然科学調査法 考古調査ハンドブック 2、EXAFS (X線吸収端微細構造解析法)、2010、119-128
- 2) 中井 泉, ニューサイエンス社、考古資料の自然科学調査法 考古調査ハンドブック 2、PIXE (粒子線励起X線放出分光)、2010、60-68
- 3) 中井 泉, 朝倉書店、粉末X線解析の実際 - 第二版、2009、1-283

[その他]

報道関連情報

・新聞

「宇治・平等院本尊のガラス玉藤原家「家宝」で装飾か正倉院宝物と同一素材」毎日新聞朝刊 他 読売新聞・朝日新聞・日本経済新聞・産経新聞・京都新聞 2010年12月25日
「国宝『紅白梅図屏風』の分析調査結果」朝日新聞朝刊 他 読売新聞・毎日新聞・日本経済新聞・産経新聞 2010年2月15日

「原料は隕石だった 4300年前…最古の鉄剣の謎解明」産経新聞朝刊 他 MSN 産経ニュース 2008年9月3日

・TV

奇跡の地球物語#65 「岡本太郎」テレビ朝日

2011年2月27日(絵画作品の分析)
NHK教育『日曜美術館』尾形光琳作「国宝紅
白梅図屏風」2010年7月25日～8月1日
(紅白梅図屏風の川についての新知見)
・ホームページ等
<http://www.rs.kagu.tus.ac.jp/nakaiken/>
<http://www.rs.kagu.tus.ac.jp/green/>

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応用化学科・教授
研究者番号：90155648

(2) 研究分担者

真道 洋子 (SHINDO YOKO)
イスラーム考古学研究所
研究者番号：50260146
(H22～：連携研究者)

(3) 連携研究者

大村 幸弘 (OMURA SACHIHIRO)
中近東文化センター・研究員
研究者番号：10260142
吉村 作治 (YOSHIMURA SAKUJI)
サイバー大学・教授
研究者番号：80201052
川床 睦夫 (KAWATOKO MUTSUO)
イスラーム考古学研究所・主任研究員
研究者番号：00260141