

## エジプト学研究第 22 号 2016 年

The Journal of Egyptian Studies Vol.22, 2016

## 目次

〈序文〉	吉村作治	3
〈調査報告〉		
2015 年 太陽の船プロジェクト 活動報告	黒河内宏昌・吉村作治	5
第 23 次アブ・シール南丘陵遺跡調査概報		
..... 吉村作治・河合 望・近藤二郎・高宮いづみ・高橋寿光・竹野内恵太・山崎美奈子・福田莉紗		15
第 24 次アブ・シール南丘陵遺跡調査概報		
.. 吉村作治・河合 望・近藤二郎・高宮いづみ・柏木裕之・高橋寿光・米山由夏・松永修平・山崎世理愛		29
アブ・シール南丘陵遺跡第 23 次・第 24 次調査保存修復作業		
..... 荻谷浩子・柏木裕之・高橋寿光・河合 望・吉村作治		41
第 12 次アブ・シール南丘陵遺跡調査において出土した集団埋葬墓人骨の人類学的分析（予報）		
..... 坂上和弘・馬場悠男・平田和明		51
非破壊オンサイト蛍光 X 線分析によるアブ・シール南丘陵遺跡集団埋葬墓出土遺物の化学的特性化		
..... 阿部善也・大越あや・内沼美弥・扇谷依李		69
エジプト ダハシュール北遺跡調査報告—第 22 次調査—		
..... 吉村作治・矢澤 健・近藤二郎・柏木裕之・竹野内恵太・山崎世理愛		91
第 8 次ルクソール西岸アル＝コーカ地区調査概報		
..... 近藤二郎・吉村作治・菊地敬夫・柏木裕之・河合 望・高橋寿光・竹野内恵太・福田莉紗		113
〈論文〉		
エジプト先王朝時代ネケンにおける石製容器の穿孔法—石器使用痕観察と穿孔実験からの推定—		
..... 長屋憲慶		149
〈研究ノート〉		
古代エジプトの親族名称研究の現状と課題	齋藤久美子	167
図像資料からみたエジプト中王国時代の装身具研究序論	山崎世理愛	179
〈動向〉		
埃及学指南のための覚書	河合 望	205
〈活動報告〉		
2015 年度 日本エジプト学会活動報告		229
2015 年 エジプト調査		233

# The Journal of Egyptian Studies Vol.22, 2016

## CONTENTS

Preface .....	Sakuji YOSHIMURA.....	3
Field Reports		
Report of the Activity in 2015, Project of the Solar Boat .....	Hiromasa KUROKOCHI and Sakuji YOSHIMURA.....	5
Preliminary Report on the Twenty-Third Season of the Waseda University Excavations at Northwest Saqqara, 2014 .....	Sakuji YOSHIMURA, Nozomu KAWAI, Jiro KONDO, Izumi TAKAMIYA, Kazumitsu TAKAHASHI, Keita TAKENOUCI, Minako YAMASAKI and Risa FUKUDA.....	15
Preliminary Report on the Twenty-Fourth Season of the Waseda University Excavations at Northwest Saqqara, 2015 .....	Sakuji YOSHIMURA, Nozomu KAWAI, Jiro KONDO, Izumi TAKAMIYA, Hiroyuki KASHIWAGI, Kazumitsu TAKAHASHI, Yuka YONEYAMA, Shuhei MATSUNAGA and Seria YAMAZAKI .....	27
Preliminary Report on the Conservation Work at North-West Saqqara in 2014 and 2015 Seasons .....	Hiroko KARIYA, Hiroyuki KASHIWAGI, Kazumitsu TAKAHASHI, Nozomu KAWAI and Sakuji YOSHIMURA .....	41
Report on the Study of Human Skeletal Remains from the Multiple Burial in Northwest Saqqara, Egypt -Preliminary report- .....	Kazuhiro SAKAUE, Hisao BABA and Kazuaki HIRATA.....	51
Chemical Characterization of Artifacts Excavated from an Intact Multiple Burial at Northwest Saqqara by Nondestructive Onsite X-ray Fluorescence Analysis .....	Yoshinari ABE, Aya OKOSHI, Miya UCHINUMA and Eri OGIDANI.....	69
Preliminary Report on the Waseda University Excavations at Dahshur North: Twenty-Second Season .....	Sakuji YOSHIMURA, Ken YAZAWA, Jiro KONDO, Hiroyuki KASHIWAGI, Keita TAKENOUCI and Seria YAMAZAKI.....	91
Preliminary Report on the Eighth Season of the Work at al-Khokha Area in the Theban Necropolis by the Waseda University Egyptian Expedition .....	Jiro KONDO, Sakuji YOSHIMURA, Takao KIKUCHI, Hiroyuki KASHIWAGI Nozomu KAWAI, Kazumitsu TAKAHASHI, Keita TAKENOUCI and Risa FUKUDA.....	113
Articles		
Stone Vessel Drilling Method at Predynastic Nekhen, Hierakonpolis: Perspectives from Use-wear Trace Analysis and Experimental Drilling. .....	Kazuyoshi NAGAYA .....	149
Current Status and Issues of Kinship Terminology in Ancient Egypt .....	Kumiko SAITO .....	167
Introduction to a Study on Personal Adornments of the Middle Kingdom in Ancient Egypt through the Iconographic Analysis .....	Seria YAMAZAKI.....	179
Note on the current research tools for Egyptology.....	Nozomu KAWAI.....	205
Activities of the Society, 2015-16.....		229
Brief Reports of Fieldworks in Egypt, 2015.....		233

# 非破壊オンサイト蛍光 X 線分析による アブ・シール南丘陵遺跡 集団埋葬墓出土遺物の化学的特性化

阿部 善也\*<sup>1</sup>・大越 あや\*<sup>2</sup>・内沼 美弥\*<sup>2</sup>・扇谷 依李\*<sup>2</sup>

Chemical Characterization of Artifacts Excavated from an Intact Multiple Burial  
at Northwest Saqqara by Nondestructive Onsite X-ray Fluorescence Analysis

Yoshinari ABE\*<sup>1</sup>, Aya OKOSHI\*<sup>2</sup>, Miya UCHINUMA\*<sup>2</sup>, Eri OGIDANI\*<sup>2</sup>

## Abstract

We conducted nondestructive onsite X-ray fluorescence analyses of glass, faience and metal artifacts excavated from an intact multiple burial at Northwest Saqqara with the aim of chemical characterization associated with their provenances. Chemical compositional features of fifty pieces of glass beads analyzed in this study showed an obvious similarity to Late Bronze Age Mesopotamian glass rather than New Kingdom Egyptian glass. All blue glass and faience beads were colored by a typical copper-blue colorant. It is considered that the raw material of the colorant was not by-products of the bronze. There was no glass or faience beads containing a cobalt-blue colorant, which was used characteristically in the New Kingdom of Egypt. Except for a piece of earring made by lead, other seven pieces of metal objects analyzed in the present study were made by two kinds of copper alloys, a bronze and an arsenic copper. Because the use of the bronze was relatively rare in Egypt before the New Kingdom period compared to Mesopotamia at the same period, there is a possibility that these metal objects were produced outside the Egypt, probably in Mesopotamia. In conclusion, our results of quantitative chemical compositional analysis of various artifacts show a strong association between buried persons of the multiple burial and the West Asia.

## 1. はじめに

### (1) 研究の位置づけ

著者らの所属する東京理科大学理学部中井泉研究室は、2001年より不定期にアブ・シール南丘陵遺跡での発掘調査に参加しており、可搬型分析装置を遺跡または収蔵庫へと持ち込んで、ガラス、ファイアンス、土器を中心とした様々な出土遺物の非破壊化学分析と考古化学的特性化を行ってきた (Abe et al. 2009; 2012; Nakai et al. 2009; 阿部他 2009; 2010; 2013; 真田他 2003; 中井、タンタラカーン 2007; 中井他 2006; 2007; 2008; 前尾他 2003)。また、近年ではダハシュール北遺跡 (Abe et al. 2012) やアメンヘテプ3世王墓 (高橋他 2013) においても同様の研究を進めている。こうした考古遺物への化学分析の適用は、その客観的な特性化においてきわめて有効である。

今回の調査では、2003年に行われた第12次調査で石積み遺構北側の斜面から発見された集団埋葬 (吉村他 2004) からの出土遺物に焦点を当てた。この集団埋葬は、第2中間期末期から新王国時代初期に年代づ

\* 1 東京理科大学理学部第一部応用化学科講師

\* 2 東京理科大学大学院総合化学研究科総合化学専攻修士課程

\* 1 Lecturer, Department of Applied Chemistry, Tokyo University of Science

\* 2 MA Student, Graduate School of Chemical Sciences and Technology, Tokyo University of Science

けられるもので、未盗掘の状態で見出された。人骨<sup>1)</sup>および木棺 (AK12-o656) と共に副葬品が多数出土しており、当研究室ではすでに2005年の第14次調査(中井他2006)および2006年の第15次調査(中井、タムラカ 2007)において、副葬品の一部に対して可搬型装置を用いた蛍光X線分析を行っている。ガラスビーズの分析では、融剤として植物灰を用いたソーダ石灰ガラスであることが判明し、使用された着色剤の特定にも成功した(Nakai et al. 2009)。また金属銅製品の分析においては、ヒ素やスズが含まれることを明らかとした。

これらの先行研究で得られた成果は、遺物の材質的な理解には非常に有益なものであったが、考古学的調査によりすでに明らかとなっていた情報以上の知見は得られなかった。例えばガラスビーズに関して、エジプトでガラスの一次生産が開始されたのは第18王朝中期のトトメス3世治世とされ、アジア遠征によって北メソポタミアからガラス生産技術が伝えられ、まもなく国内でのガラス生産が開始されたと考えられている(Beck 1934; Nicholson 1993; 2006; Oppenheim 1973; Shortland 2001)。よってこの集団埋葬から出土したガラスビーズは、エジプトにおけるガラス生産開始よりも前に作られたものということになるが、このガラスビーズが搬入品ではなくエジプト国内の生産品であった場合、トトメス3世による遠征以前から、エジプトは独自のガラス生産技術を有していたことになる。しかしながら、当研究室の過去の分析で同定されたガラスの融剤や着色剤の種類を見ても、いずれも紀元前2千年紀に使用されていたきわめて一般的なものであり、ガラスの製造地や製造時期を議論するには至らなかった。同様に金属製品に関しても、当研究室の過去の分析は材質の定性的な同定に留まっており、定量的な比較・考察は行っていない。

よって今年度の調査では、2005、2006年度の第14、15次調査時から改良を加えた新設計の可搬型蛍光X線分析装置(菊川他2009)を用いて、集団埋葬から出土した遺物(ガラスビーズ、ファイアンスビーズ、金属製品)の再調査を行い、遺構の性質の理解や被葬者の推定など、考古学的な考察への寄与を視野に入れた定量的な化学組成分析を行うことを目的とした。調査はサッカーの収蔵庫にて、2014年8月26日から9月4日まで、休日を除く9日間に実施された。

## (2) 古代ガラス製品に関する先行研究

ガラスの人工的な生産は紀元前3千年紀のメソポタミア地域で始まったとされ、当初は小型のビーズ製品のみであったが、紀元前16世紀頃に同地域で「コア技法」が発明されると、ガラス製の容器も作られるようになった(Moorey 1994)。さらに、先述のように紀元前15世紀にはエジプトへとガラス生産技術が伝わり、マルカタ(Malkata)やアマルナ(Amarna)といった首都の近郊に設置された工房で大量のガラス製品が作られた(Nicholson and Henderson 2000)。また紀元前2千年紀後半には、ミケーネ(Mycenae)などのエーゲ海周辺、あるいはアナトリア地域にもガラス製品が普及した。トルコのウルブルン沖で見出された紀元前14世紀に年代づけられる沈没船(Bass 1987)には、大量のガラス製インゴットが積載されており、当時ガラスが重要な交易品の一つであったことが窺える(Jackson 2005)。

古代ガラスの化学組成は、使用された原料の種類や採取地を反映することから、その製造地(起源)の推定にきわめて有効である(阿部2013)。希少な最初期のガラス製品も含めて、紀元前3千年紀および2千年紀の西アジアおよび地中海沿岸地域で生産されたガラス製品は、全てシリカ( $\text{SiO}_2$ )を主成分とし、安定剤としての石灰( $\text{CaO}$ )と、融剤としてソーダ( $\text{Na}_2\text{O}$ )を含むソーダ石灰ガラスであった(Brill 1999; Shortland and Eremin 2006等)。さらに、古代のソーダ石灰ガラスに利用された融剤には、ソーダを多く含む植物を燃やした灰(植物灰)と、ソーダを主成分とする鉱物(ナトロン)の2種類が存在したが(Sayre and Smith 1961)、後者を用いたガラスが登場するのは紀元前10世紀であり(Schlick-Nolte and Werthmann

2003)、紀元前 2 千年紀までは地域を問わず融剤として植物灰のみが使用されていた。つまり紀元前 2 千年紀のガラスは全て「植物灰を融剤に用いたソーダ石灰ガラス」であり、製造地あるいは製造時期に関係なく、その主成分および副成分組成はきわめて均質で (Brill 1999 等)、化学組成に基づく分類が困難とされる (Jackson 2005)。これは当時、この地域のガラス生産に共通した技術 (あるいはレシピのようなもの) が存在したためであると考えられる。

ところが、より高感度な分析手法を利用した最近の研究によって、地質的特徴を強く反映する微量重元素や同位体比に着目すれば、この時代のガラスを 2 グループ、すなわち「エジプト製」と「メソポタミア製」に判別できる可能性が示された (Henderson et al. 2010; Shortland et al. 2007; 阿部他 2014)<sup>2)</sup>。一方で、ミケーネなどの周辺地域で見つかったガラスの化学組成を同様の高感度な手法で分析した研究では、エジプトまたはメソポタミアのガラスと有意な差が見出されておらず (Jackson and Nicholson 2010; Walton et al. 2009; 阿部他 2014)、当時原料からガラスを作り出す一次生産を行っていたのは、エジプトとメソポタミアの 2 地域のみである可能性が高い<sup>3)</sup>。両地域で作られたガラスが、製品またはインゴットなどの原ガラスの状態でも周辺地域へと流通し、あるいは現地で二次生産や加工が行われたものと考えられる。

エジプト製ガラスとメソポタミア製ガラスの化学組成の違いは、先述のように、使用された原料の違いに起因する。まず両地域のガラス生産における最大の違いは、使用されたシリカ源の純度である。微量重元素や同位体比などの化学的知見に基づき、メソポタミア地域では不純物の少ない石英礫を砕いてシリカ源として用いていたのに対し、エジプトにおいては比較的の不純物が多い礫、または砂をシリカ源として用いていた可能性が指摘されている (Henderson et al. 2010; Shortland et al. 2007)。すなわち、シリカ源由来でガラスへと混入する不純物元素に着目した場合、エジプト製ガラスと比べて、メソポタミア製ガラスの方が少ない傾向がある。よってガラスの化学組成分析から、エジプト製ガラスかメソポタミア製ガラスかを推定できる。

また両地域のガラス生産において、使用された着色剤の種類やその原料についても違いが指摘されており (Shortland and Eremin 2006)、化学組成から製造地を推定する場合に有効である。特に両地域における大きな違いとして、青色ガラスにおけるコバルト着色剤の利用が挙げられる。エジプトにおいては、第 18 王朝中期のガラス生産開始後間もないうちに、コバルトによる青色着色技術が発明された。数々の先行研究 (Kaczmarczyk 1986; Shortland et al. 2006) で指摘されているように、当時利用されたコバルト着色剤の原料は、エジプト西方砂漠のオアシスで得られるコバルト・ミョウバンであった。このコバルト・ミョウバンの利用に関する詳細は、著者らの先行研究を参照されたい (Abe et al. 2012; 阿部 2013; 阿部他 2009; 2010; 2013)。新王国時代のエジプトでは、西部砂漠産のコバルト・ミョウバンを原料とする青色ガラスが大量に生産され、周辺地域へも輸出されていた (Jackson and Nicholson 2010; Walton et al. 2009)。これに対してメソポタミアにおいては、エリドゥ (Eridu、イラク南部) より出土した紀元前 3 千年紀末の青色ガラスにコバルト着色剤の利用が認められるものの (阿部 2013)、紀元前 2 千年紀においては紀元前 14 ~ 13 世紀のニップル (Nippur、イラク南部) より出土した青色ガラス (Walton et al. 2012) を除き、コバルト着色剤の利用は見られない。またエリドゥおよびニップルで出土した青色ガラスも、コバルト原料はミョウバン以外の鉱物であったため、コバルト・ミョウバンを原料とする紀元前 2 千年紀の青色ガラスについては、全てエジプトで作られたものと判断することができる。

そこで本研究では、集団埋葬より出土したガラスビーズ (AK12-o705, AK12-o813, AK12-o816) について、微量元素を含めた定量分析を行い、化学組成から起源の推定を試みた。当研究室が過去に行った調査 (Nakai et al. 2009; 中井、タンタラカーン 2007; 中井他 2006) より高性能化された装置を用い、また専用の解析ソフトウェアを導入したことで、ジルコニウムなどの微量元素も含め、多くの元素について精確な定量分析が

可能となった (Abe et al. 2012)。得られた化学組成を紀元前2千年紀のエジプトおよびメソポタミアの主要な遺跡より出土したガラス製品の文献値 (Shortland and Eremin 2006; Shortland et al. 2007) と比較することで、その製造地を検証した。

### (3) 古代ファイアンス製品に関する先行研究

ファイアンスの化学分析の先行研究に関しては、著者らの第22次調査報告 (阿部他 2013) にまとめてあるため、ここでは詳細は割愛する。この度の調査で対象とする集団埋葬からは100点以上の青色ファイアンスピース (AK12-o811+AK12-o936+AK12-o974) が一括出土している<sup>4)</sup>。西アジアおよび地中海沿岸地域において、ファイアンスはガラスよりもはるかに長い歴史を持つ。にもかかわらず、ガラスと比べると、ファイアンスを対象とした化学分析の研究例は少ない<sup>5)</sup>。その中で、当研究室ではファイアンスに添加された着色剤に着目して、非破壊のオンサイト化学分析により、本遺跡出土のファイアンス製品に対して化学的な特性化を行ってきた (阿部他 2009, 2010, 2013; 中井, タンタラカーン 2007)。今年度の調査では、この集団埋葬より出土した青色ファイアンスピースについても化学組成分析を行う。

Kaczmarczyk と Hedges が行った古代エジプトのファイアンスに関する化学分析によれば (Kaczmarczyk and Hedges 1983)、この集団埋葬の推定年代である第2中間期末から第18王朝初期より、銅着色の青色ファイアンスからスズが検出されるようになる。このスズは、ファイアンスの銅着色剤として青銅の精錬・製品化の過程で生じた副産物や青銅の錆を再利用したことを示すものである<sup>6)</sup>。銅原料としての青銅の再利用は、ファイアンス以外にもエジプトのガラス (Brill 1999; Shortland and Eremin 2006) や、銅を含む合成青色顔料「エジプシャン・ブルー」 (Hatton et al. 2008) においても見られる。その一方で、同時代のメソポタミアにおいて、銅着色剤の原料として青銅の再利用が行われていたことを示す痕跡は今日までに見つかっていない (Brill 1999; Hatton et al. 2008; Moorey 1994; Shortland and Eremin 2006)<sup>7)</sup>。よって、そもそも銅着色剤として青銅 (あるいは他の銅合金) を再利用するという発想自体がメソポタミアにはなく、エジプトで独自に生み出された技術であったと考えられる。

また、エジプトとメソポタミアの両地域のファイアンスに見られる大きな違いとして、先述のガラスと同様に、コバルト・ミョウバンの利用の有無が挙げられる。コバルト・ミョウバンを原料とする着色剤は、当時エジプトでガラスのみではなくファイアンスへも応用され、コバルト着色の紺色ファイアンス製品が数多く生産された (Kaczmarczyk and Hedges 1983; Shortland et al. 2006)。一方で、メソポタミアのファイアンスにおいてコバルト着色剤が利用されたという報告はなく、西アジアにおいてウガリット (Ugarit, シリア東部) より出土したファイアンス製品の中にコバルトによる着色が施されたものがあるが、形式的特徴から、これはエジプトからの搬入品であった可能性が高い (Caubet and Kaczmarczyk 1992)。この他に、紀元前2千年紀の西アジアにおけるコバルト着色ファイアンスの出土例はほとんどなく (Shortland et al. 2006)、当時の西アジア、特にメソポタミアにおいては、ファイアンス生産において、コバルト・ミョウバンに限らず、コバルト着色剤を使用していなかったものと考えられる。

以上のように、紀元前2千年紀の青色ファイアンスには、銅着色剤としての青銅の再利用、あるいはコバルト着色剤の利用といった、メソポタミアには見られないエジプト特有の着色技術が存在する。そこで今年度の調査では、集団埋葬出土の青色ファイアンスピースの化学組成分析から、着色技術に着目して製造地の推定を試みた。

#### (4) 銅合金に関する先行研究

集団埋葬から出土した金属製品(AK12-o812, AK12-o814, AK12-o817, AK12-o855+AK12-o885)についても、可搬型蛍光 X 線分析装置を用いた非破壊の化学組成分析を行った。当研究室ではこれらの金属製品の一部について、第 14 次調査(中井他 2006)で分析を行い、蛍光 X 線スペクトルから定性的な議論を行っている。今回の調査では、我々が先行研究(堀内他 2012)で確立した非破壊蛍光 X 線分析による金属製品の定量法を用いて、これらの金属製品の化学組成を定量的に検証した。

人類の金属の利用の歴史は非常に長く、その用途も様々である。ここでは金属銅および銅合金を対象として、エジプトおよびメソポタミアにおける利用推移について述べる。Ogden によると(Ogden 1999)、古代エジプトにおける銅生産に関連する主要な拠点として、シナイ半島のティムナ(Timna) 溪谷<sup>8)</sup>やセラピト・エル・カディム(Serabit el Khadim)と、東部砂漠が挙げられる<sup>9)</sup>。なお東部砂漠からは銅以外にも様々な金属資源が採掘されており、この地域の銅鉱石には亜鉛、鉛、ニッケル鉱物が共生するとされる(Nassim 1949)。またキプロス島で採掘された銅が古代エジプトへと搬入されていたことを示す痕跡も見つかっている<sup>10)</sup>。メソポタミア地域における銅の利用や移動については、シュメール(Sumer)の古文書に多くの記録が残されており、ディルムン(Dilmun)やマガン(Magan)といった地名が当時の銅の取引相手として登場する(Moorey 1994)<sup>11)</sup>。ペルシア湾沿岸以外にも、アナトリアで採掘された銅がメソポタミアで利用されていたとされ(Jesus 1980)、今日有数の銅産出国として知られるイランについても、アナラク(Anarak)やバルダシール(Bardsir)、カシャー( Kashan)で採掘された銅がメソポタミアで利用されていた(Moorey 1994)。また、先述したキプロス産の銅はメソポタミアへも輸出されていた<sup>12)</sup>。

銅にヒ素を添加することで、合金化して硬度と流動性が増す<sup>13)</sup>。この合金をヒ素銅という。ただしヒ素は銅鉱石にも含まれる元素であるため、意図的に添加されたものであるか否かを判断することは難しい。ヒ素を含む銅の利用に関して、エジプトよりもメソポタミア地域およびイラン高原の方が早く、その登場は金石併用時代の紀元前 4 千年紀まで遡る(Levy and Shalev 1989)<sup>14)</sup>。その後も一貫して少なからずヒ素を含む銅がメソポタミア地域で使われ続けるが、紀元前 2 千年紀の初期から減少する。エジプトでは遅くとも古王国時代までには登場したとされ、エジプトにおいて、新王国時代まで継続するが、それ以降の時代の銅製品で 1 wt% (weight %: 質量百分率) を超えるヒ素を含むことは稀である(Ogden 1999)。両地域とも、10 wt% を超えるきわめて高濃度のヒ素を含む例を除いても、数 wt% のヒ素を含む銅製品について、そのヒ素含有量のばらつきは激しく、また用途による使い分けも見られない(Moorey 1994)。

銅とスズの合金を青銅と呼び、エジプトとメソポタミアの両地域において紀元前 3000 年頃から利用が開始された(Moorey 1994; Ogden 1999)。スズの添加により得られる効果はヒ素銅と同様であるが、その程度はヒ素銅よりも優れており、青銅の普及により初めて銅(合金)製品の大規模な铸造が可能となった。また人体に対する毒性もヒ素よりスズの方が圧倒的に低く、中近東全体で銅合金の利用はヒ素銅から青銅へと移り変わっていった。ただしそこに明確な境界があるわけではなく、きわめて長期的かつ複雑に変化していったものと考えられる。エジプトにおいて青銅が主要な銅合金として普及したのは新王国時代からで、それまでは先述のヒ素銅の方が一般的であった。メソポタミアにおいても同様であり、青銅は紀元前 3 千年紀初頭に登場して以降、徐々に浸透した。ただしその一般化はエジプトより早く、紀元前 2 千年紀の初期にはヒ素銅に並ぶ地位を確立していたものと考えられる。一般的にスズの添加による効能は、銅とスズの質量比がおよそ 9:1 の時に最大になるとされ、実際に古代青銅製品の多くはスズの含有量が 10 wt% 前後である。5 wt% 以下の低濃度および 15 wt% を超えるような高濃度のスズを含む青銅も報告されているが、エジプト、メソポタミア共に稀である(Moorey 1994; Ogden 1999)。なおエジプト、メソポタミア共に、青銅生産に使用さ

れたスズがどこで得られたものであったかについては不明である<sup>15)</sup>。

金属銅および銅合金の特性化には、先述のガラスやファイアンスと同様に、化学組成分析が有効である<sup>16)</sup>。ただし銅製品の場合は、製錬・精錬過程で元素の選択的な濃縮や脱離が生じるため、化学組成から直接的に起源を議論することは難しい。また銅は風化によって表面に緑青と呼ばれる錆が生じるが、銅製品と緑青部分とは化学組成が一致しない<sup>17)</sup>。また風化部分の化学組成には、埋蔵中の土壌や共伴遺物など外部からの汚染が生じている可能性がある。つまり、銅製品について正しい化学組成を得るためには、研磨を行い金属光沢がある部分を分析することが必要である。本研究では非破壊の化学組成分析を行うため、得られる化学組成は遺物本来のものではなく、風化影響を含めたものとなる。そのため、本研究で得られる化学組成情報のみからでは、金属製品の起源等を議論することは困難である。よって今回の調査においては、金属製品の化学分析に際して、微量元素に着目した特性化は行わず、金属または合金の種類の定量的な評価に重点を置いた。

## 2. 実験方法

### (1) 分析方法

化学組成分析には、当研究室がアワーズテック（株）と共同で開発した可搬型蛍光 X 線分析装置 OURSTEX 100FA-IV を用いた (Abe et al. 2012; 菊川他 2009)。本装置は X 線源としてパラジウム (Pd) 管球、検出器としてシリコンドリフト検出器 (SDD) を備える。本装置は主に古代ガラスの化学組成分析を目的として開発されたものであり、白色 X 線励起モードと単色 X 線励起モードという 2 種類の分析モードを使い分けることで、古代ガラスに使用された融剤の判別において重要となる軽元素の分析と、組成的特性化において有効な微量重元素の高感度分析が可能である。本装置の詳細については、著者らの先行研究 (Abe et al. 2012) を参照されたい。測定条件は先行研究 (Abe et al. 2012; 阿部他 2013) と同じく、管電圧は 40 kV、管電流は白色 X 線励起モードと単色 X 線励起モードでそれぞれ最大 0.25 mA、1.00 mA に設定した<sup>18)</sup>。各分析モードにおいて、1 点あたりそれぞれ実効時間で 200 秒ずつの積算を行い、蛍光 X 線スペクトルを測定した。

得られた蛍光 X 線スペクトルを解析し、化学組成の定量を行った。ガラスビーズおよびファイアンスビーズの分析では、組成既知のガラス 32 点を標準物質として用いた検量線法により、以下の全 20 元素について含有量を酸化物濃度 (単位: wt%) として定量した: ナトリウム (Na)、マグネシウム (Mg)、アルミニウム (Al)、カリウム (K)、カルシウム (Ca)、チタン (Ti)、マンガン (Mn)、鉄 (Fe)、コバルト (Co)、ニッケル (Ni)、銅 (Cu)、亜鉛 (Zn)、ヒ素 (As)、ルビジウム (Rb)、ストロンチウム (Sr)、イットリウム (Y)、ジルコニウム (Zr)、スズ (Sn)、アンチモン (Sb)、鉛 (Pb)。またケイ素 (Si) については、ガラスおよびファイアンスの主成分がシリカ (二酸化ケイ素  $\text{SiO}_2$ ) であるため、検量線は用いず、他の元素の含有量を合計し 100 wt% から差し引いた残差として  $\text{SiO}_2$  含有量を求めた。金属製品の分析では、Cu を主成分とする金属銅製品の場合のみ定量を行った。一般社団法人日本鑄造協会より配付されている銅合金分析用標準物質 (CAC400 系および 900 系) を標準物質として用いて、As、Sn、Pb の 3 元素について検量線を作成し、含有量を金属濃度 (単位: wt%) として算出した。なおセレン (Se) についても定量可能であるが、本研究で分析した金属銅製品から Se は検出されなかったため、解析から除外した。主成分である Cu の含有量については、これら 3 元素の含有量を合計し 100 wt% から差し引いた残差として計算した。

## (2) 分析試料

分析試料としたのは、第 2 中間期末期から新王国時代初期に年代づけられる集団埋葬から副葬品として出土したガラスビーズ 50 点とファイアンスビーズ 20 点、金属製品 8 点である。

ガラスビーズの分析では、AK12-o705、AK12-o813、AK12-o816 の 3 資料から、ルーペを用いた事前の表面観察によって、比較的保存状態が良いと判断された計 50 点を選び出した。AK12-o705 は木棺外で出土した 15 点のビーズをまとめたものであり、不透明水色のガラスビーズが約半分を占める。AK12-o813 は木棺内の小児遺体 (AK12-o806) の頭部から胸部にかけて出土した 66 点のビーズをまとめたものである。透明青色と透明橙～赤色のガラスビーズが大部分を占める。AK12-o816 は小児遺体 (AK12-o806) の頭付近から出土した 81 点のビーズをまとめたものであるが、多くはガラスではなく紅玉髓 (カーネリアン) である (中井他 2006)。分析した 50 点のガラスビーズの内訳について、ビーズの大きさおよび形状は様々であり、透明青色 25 点、不透明水色 12 点、透明橙～赤色 10 点、不透明黒色 2 点、不透明白色 1 点を分析試料とした<sup>19)</sup>。各試料について、エタノールを用いて表面の汚れを拭き取った後、ガラス光沢が残っている部分を非破壊で分析した。

ファイアンスビーズの分析では、木棺内の小児遺体 (AK12-o803) の装身具として出土した 100 点以上の青色の小型ビーズ (AK12-o811+o936+o974) をまとめたものから、光沢の釉部分が残っていた 20 点を選び出した。ビーズの大きさおよび形状は規格化されており、色については濃淡の違いは認められるものの、全て青色である。ガラスビーズの分析と同様に、各試料について表面の汚れを拭き取った後、釉部分について非破壊で分析を行った。なお、胎土部分については分析を行わなかった。

金属製品の分析では、AK12-o812 (小児遺体 (AK12-o806) の頭蓋骨中より出土) の耳輪 2 点 (耳輪 A、B とする) と金属片 2 点 (金属片 (大)、(小) とする)、AK12-o814 (小児遺体 (AK12-o806) の下より出土) の耳輪 2 点 (耳輪 C、D とする)、AK12-o817 (木棺内の小児遺体 (AK12-o805) の頭付近より出土) の耳輪 1 点 (耳輪 E とする)、および AK12-o855 (木棺外の成人男性遺体 (AK12-o705) と共伴) と AK12-o885 (成人男性遺体 (AK12-o705) 周辺より出土) を接合したピン 1 点の計 8 点を分析試料とした。分析に際して、エタノール等を用いた前処理は行わなかった。ルーペを用いた観察を行い、風化物 (緑青) や付着物がない場所を分析に選んだ。特に金属銅製品であると思われる試料については、黒色または赤色の部分を 1 試料につき 2 箇所ずつ選び分析した。

## 3. 結果と考察

### (1) ガラスビーズの分析結果

まずはガラスビーズの分析結果について報告する。分析した 50 点のガラスビーズの化学組成を色別に表 1 にまとめた。表 1 には、組成既知の標準ガラス物質 (NIST SRM1831, SRM610, SRM612) から算出した本装置の検出下限 (LLD: Lower Limit of Detection)<sup>20)</sup> も示してある。なお Co、Ni、Y、Sn の 4 元素については、50 点全ての試料において LLD 以下となったため、表 1 では省略している。

50 点全てのガラスビーズに共通する特徴として、主成分は SiO<sub>2</sub> であり、副成分として 5 wt% 前後の CaO を含んでいた。これはソーダ石灰ガラスの典型的な化学組成である。ただし、本来ソーダ石灰ガラスは融剤として 10～20 wt% の Na<sub>2</sub>O を含むが、今回分析した 50 点のガラスビーズでは、Na<sub>2</sub>O 濃度が最も高い 1 点 (AK12-o816-B2) でも 4.6 wt% であった。これは風化によりガラスから Na が溶脱したためであると考えられる。一般的にソーダ石灰ガラスにおいては、風化により表面から Na<sup>+</sup> イオンが溶脱することで、表面付近の Na<sub>2</sub>O 濃度が減少し、相対的に SiO<sub>2</sub> 濃度が増加する傾向がある (Doménech-Carbó et al. 2006;

表1 集団埋葬出土ガラスビーズの定量結果 (単位: wt%)  
 Table 1 Results of XRF analyses of glass beads excavated from the multiple burial at Northwest Saqqara (wt%)

	SiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	MnO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CuO	ZnO	As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Rb <sub>2</sub> O	SrO	ZrO <sub>2</sub>	Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	PbO
LLD	-	0.5	0.15	0.05	0.01	0.01	0.007	0.004	0.003	0.001	0.001	0.001	0.0005	0.0005	0.0005	0.01	0.001
透明青色 (25)																	
AK12-o705-B1	86.4	1.7	2.55	0.96	1.89	5.10	0.039	0.015	0.427	0.828	(0.002)	0.008	0.0033	0.0211	(0.0013)	n.d.	0.005
AK12-o705-B2	84.6	(1.4)	4.87	0.87	2.84	4.25	0.050	0.024	0.408	0.654	n.d.	n.d.	0.0020	0.0420	0.0017	n.d.	(0.002)
AK12-o813-B1	80.5	2.1	6.14	0.63	3.45	6.20	0.032	0.030	0.258	0.614	n.d.	n.d.	0.0024	0.0676	(0.0011)	n.d.	(0.003)
AK12-o813-B2	84.2	2.0	2.85	0.99	2.49	6.04	0.037	0.028	0.576	0.706	n.d.	(0.003)	(0.0015)	0.0438	(0.0015)	n.d.	n.d.
AK12-o813-B3	81.4	2.5	3.78	1.02	3.30	6.77	0.041	0.021	0.329	0.770	n.d.	n.d.	0.0017	0.0706	(0.0012)	n.d.	(0.002)
AK12-o813-B4	82.6	3.0	3.92	0.89	2.74	5.87	0.035	0.025	0.326	0.536	(0.002)	n.d.	(0.0015)	0.0634	(0.0013)	n.d.	(0.002)
AK12-o813-B5	86.7	(1.2)	4.12	0.60	2.08	4.36	0.039	0.023	0.271	0.586	n.d.	n.d.	(0.0008)	0.0340	0.0017	n.d.	(0.002)
AK12-o813-B6	86.9	(1.3)	3.33	0.75	2.03	4.67	0.042	0.014	0.420	0.529	n.d.	(0.003)	(0.0010)	0.0360	0.0018	n.d.	n.d.
AK12-o813-B7	84.6	3.1	2.76	0.86	2.44	4.97	0.030	0.031	0.409	0.705	(0.002)	n.d.	n.d.	0.0502	(0.0012)	n.d.	(0.002)
AK12-o813-B8	84.7	(1.6)	4.30	0.87	2.31	4.97	0.051	0.023	0.520	0.603	n.d.	(0.002)	(0.0016)	0.0409	0.0020	n.d.	(0.002)
AK12-o813-B9	82.0	(1.1)	6.87	0.81	2.75	5.15	0.044	0.024	0.438	0.699	(0.002)	n.d.	(0.0013)	0.0500	0.0018	n.d.	(0.003)
AK12-o813-B10	84.6	1.9	4.33	0.91	2.37	4.69	0.042	0.029	0.623	0.460	n.d.	(0.002)	(0.0009)	0.0382	(0.0015)	n.d.	n.d.
AK12-o813-B11	83.9	2.0	4.00	0.78	2.61	5.48	0.047	0.031	0.414	0.668	n.d.	n.d.	(0.0006)	0.0400	0.0017	n.d.	(0.003)
AK12-o813-B12	81.6	1.9	5.82	0.92	3.13	5.29	0.046	0.032	0.454	0.757	0.004	n.d.	(0.0015)	0.0460	0.0019	n.d.	(0.003)
AK12-o813-B13	82.6	1.8	5.50	1.00	2.66	5.15	0.044	0.025	0.424	0.684	0.004	(0.002)	(0.0011)	0.0434	0.0021	n.d.	(0.003)
AK12-o813-B14	83.6	(1.0)	5.75	0.57	2.87	4.73	0.045	0.031	0.442	0.892	0.004	(0.002)	(0.0016)	0.0481	0.0019	n.d.	0.004
AK12-o813-B15	85.6	1.7	3.88	0.81	2.47	4.26	0.039	0.031	0.406	0.704	0.005	n.d.	(0.0016)	0.0467	0.0017	n.d.	(0.003)
AK12-o813-B16	83.8	(1.1)	5.46	0.84	2.65	4.96	0.041	0.034	0.399	0.619	0.005	n.d.	(0.0014)	0.0427	0.0017	n.d.	0.004
AK12-o813-B17	83.5	(1.4)	5.00	0.95	2.51	5.28	0.040	0.032	0.486	0.686	0.006	n.d.	0.0017	0.0488	(0.0016)	n.d.	(0.003)
AK12-o813-B18	80.3	3.2	6.93	0.57	2.94	4.91	0.042	0.029	0.416	0.641	0.004	n.d.	(0.0011)	0.0517	(0.0016)	n.d.	(0.002)
AK12-o813-B19	82.2	(1.3)	5.06	0.68	3.23	6.30	0.040	0.028	0.417	0.635	0.005	n.d.	0.0018	0.0688	0.0017	n.d.	(0.003)
AK12-o813-B20	79.7	4.2	3.56	0.89	3.14	7.31	0.041	0.028	0.352	0.658	0.005	n.d.	0.0017	0.0727	(0.0013)	n.d.	(0.002)
AK12-o816-B1	78.9	4.6	5.28	0.64	3.07	6.08	0.039	0.025	0.255	1.019	0.006	(0.003)	0.0020	0.0485	(0.0016)	n.d.	(0.002)
AK12-o816-B2	83.7	3.3	4.35	0.68	1.90	4.85	0.036	0.028	0.402	0.709	0.005	n.d.	0.0027	0.0314	(0.0013)	(0.02)	(0.002)
AK12-o816-B3	82.2	2.2	4.44	0.78	2.89	6.01	0.034	0.028	0.293	1.070	0.006	(0.003)	(0.0012)	0.0488	(0.0012)	n.d.	(0.002)

白色 X 線励起モードで分析した元素: Na, Mg, Al, K, Ca, Ti, Sn, Sb (Snは全試料で検出されず)  
 単色 X 線励起モードで分析した元素: Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Rb, Sr, Y, Zr, Pb (Co, Ni, Yは全試料で検出されず)  
 SiO<sub>2</sub>は100 wt%からの残差として算出  
 LLD: 検出下限 / n.d.: 検出されず (LLD以下) / ( ): 微量 (定量下限以下、定量下限はLLDの3.3倍とする)

表 1 (続き) 集団埋葬出土ガラスビーズの定量結果 (単位: wt%)  
 Table 1 (continued) Results of XRF analyses of glass beads excavated from the multiple burial at Northwest Saqqara (wt%)

	SiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	MnO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CuO	ZnO	As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Rb <sub>2</sub> O	SrO	ZrO <sub>2</sub>	Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	PbO																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
不透明水色 (12)																		AK12-0705-T1	82.3	3.2	2.55	0.51	2.36	7.12	0.038	0.029	0.511	0.462	n.d.	0.004	0.0017	0.0444	(0.0012)	0.89	(0.003)	AK12-0705-T2	81.1	3.9	2.69	0.73	2.42	7.20	0.035	0.023	0.351	0.446	n.d.	(0.003)	(0.0009)	0.0426	(0.0014)	1.01	(0.002)	AK12-0705-T3	82.2	3.0	1.91	0.70	2.29	7.76	0.029	0.015	0.415	0.645	(0.002)	(0.002)	(0.0013)	0.0446	(0.0011)	1.02	(0.003)	AK12-0705-T4	85.5	2.5	1.96	0.61	2.06	5.56	0.042	0.018	0.388	0.454	(0.002)	(0.003)	(0.0011)	0.0426	(0.0014)	0.87	(0.002)	AK12-0705-T5	79.7	4.3	3.70	0.93	2.20	6.87	0.045	0.034	0.545	0.491	n.d.	0.004	0.0022	0.0544	(0.0016)	1.09	(0.002)	AK12-0705-T6	81.4	3.4	2.42	0.85	2.83	7.07	0.030	0.018	0.384	0.694	(0.002)	0.004	(0.0016)	0.0518	(0.0011)	0.81	(0.003)	AK12-0705-T7	81.4	3.2	2.15	0.85	2.88	7.16	0.041	0.014	0.441	0.898	(0.003)	(0.003)	0.0021	0.0437	(0.0015)	0.89	(0.003)	AK12-0705-T8	84.8	2.0	2.21	0.81	2.36	5.97	0.033	0.014	0.305	0.428	n.d.	(0.003)	(0.0012)	0.0429	(0.0011)	1.01	(0.002)	AK12-0705-T9	81.8	2.9	2.63	0.99	2.79	6.38	0.035	0.020	0.436	1.008	n.d.	0.006	(0.0014)	0.0541	(0.0012)	0.95	(0.002)	AK12-0816-T1	81.5	4.4	2.70	0.63	1.78	6.88	0.028	0.030	0.143	0.691	0.005	(0.003)	(0.0013)	0.0495	(0.0011)	1.12	0.006	AK12-0816-T2	84.2	3.2	2.83	1.00	1.86	5.25	0.039	0.020	0.260	0.407	0.004	0.004	0.0025	0.0343	(0.0014)	0.87	0.004	AK12-0816-T3	86.2	2.7	1.96	1.02	1.89	4.76	0.040	0.019	0.270	0.338	0.004	(0.003)	0.0018	0.0306	(0.0016)	0.74	(0.003)	透明橙～赤色 (10)																		AK12-0813-R1	85.7	2.0	3.59	0.97	2.44	4.91	0.045	0.017	0.235	0.011	(0.002)	n.d.	(0.0013)	0.0347	(0.0015)	n.d.	(0.002)	AK12-0813-R2	88.0	1.8	3.22	0.85	1.99	3.85	0.043	0.015	0.202	0.008	(0.002)	n.d.	(0.0014)	0.0315	(0.0015)	n.d.	n.d.	AK12-0813-R3	86.2	(1.5)	3.57	0.66	2.47	5.22	0.032	0.015	0.209	0.022	(0.002)	n.d.	(0.0013)	0.0361	(0.0011)	n.d.	(0.002)	AK12-0813-R4	84.1	2.9	5.06	0.83	2.42	4.26	0.046	0.023	0.268	0.040	(0.002)	n.d.	0.0019	0.0358	0.0021	n.d.	n.d.	AK12-0813-R5	84.4	1.9	5.60	0.78	2.56	4.32	0.042	0.024	0.278	0.032	(0.002)	n.d.	0.0021	0.0361	0.0018	n.d.	n.d.	AK12-0813-R6	81.9	3.4	5.40	0.86	2.52	5.51	0.041	0.017	0.296	0.048	(0.002)	n.d.	0.0023	0.0370	(0.0012)	n.d.	n.d.	AK12-0813-R7	86.0	2.2	4.39	0.71	2.24	4.18	0.042	0.019	0.200	0.010	(0.002)	n.d.	0.0020	0.0355	(0.0013)	n.d.	n.d.	AK12-0813-R8	85.3	2.2	3.18	0.98	2.18	5.63	0.044	0.026	0.384	0.021	(0.003)	n.d.	0.0018	0.0502	0.0019	n.d.	(0.002)	AK12-0813-R9	84.6	(1.5)	5.42	0.74	2.40	4.93	0.044	0.024	0.272	0.037	(0.002)	n.d.	(0.0010)	0.0463	(0.0016)	n.d.	(0.002)	AK12-0813-R10	84.4	2.6	4.91	0.85	2.38	4.29	0.033	0.029	0.295	0.118	(0.002)	n.d.	0.0022	0.0352	0.0020	n.d.	(0.002)	不透明黒色 (2)																		AK12-0813-K	87.2	(1.1)	3.55	0.88	2.03	4.68	0.042	0.022	0.373	0.033	(0.002)	n.d.	0.0017	0.0241	0.0019	0.09	(0.002)	AK12-0816-K	87.1	2.0	2.78	0.72	1.82	5.08	0.035	0.016	0.180	0.067	(0.003)	n.d.	(0.0015)	0.0492	(0.0013)	0.13	(0.002)	不透明白色 (1)																		AK12-0813-W	85.2	(1.5)	3.18	0.83	2.35	6.34	0.040	0.023	0.240	0.061	(0.003)	(0.002)	0.0020	0.0346	(0.0014)	0.21	0.014
AK12-0705-T1	82.3	3.2	2.55	0.51	2.36	7.12	0.038	0.029	0.511	0.462	n.d.	0.004	0.0017	0.0444	(0.0012)	0.89	(0.003)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
AK12-0705-T2	81.1	3.9	2.69	0.73	2.42	7.20	0.035	0.023	0.351	0.446	n.d.	(0.003)	(0.0009)	0.0426	(0.0014)	1.01	(0.002)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
AK12-0705-T3	82.2	3.0	1.91	0.70	2.29	7.76	0.029	0.015	0.415	0.645	(0.002)	(0.002)	(0.0013)	0.0446	(0.0011)	1.02	(0.003)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
AK12-0705-T4	85.5	2.5	1.96	0.61	2.06	5.56	0.042	0.018	0.388	0.454	(0.002)	(0.003)	(0.0011)	0.0426	(0.0014)	0.87	(0.002)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
AK12-0705-T5	79.7	4.3	3.70	0.93	2.20	6.87	0.045	0.034	0.545	0.491	n.d.	0.004	0.0022	0.0544	(0.0016)	1.09	(0.002)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
AK12-0705-T6	81.4	3.4	2.42	0.85	2.83	7.07	0.030	0.018	0.384	0.694	(0.002)	0.004	(0.0016)	0.0518	(0.0011)	0.81	(0.003)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
AK12-0705-T7	81.4	3.2	2.15	0.85	2.88	7.16	0.041	0.014	0.441	0.898	(0.003)	(0.003)	0.0021	0.0437	(0.0015)	0.89	(0.003)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
AK12-0705-T8	84.8	2.0	2.21	0.81	2.36	5.97	0.033	0.014	0.305	0.428	n.d.	(0.003)	(0.0012)	0.0429	(0.0011)	1.01	(0.002)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
AK12-0705-T9	81.8	2.9	2.63	0.99	2.79	6.38	0.035	0.020	0.436	1.008	n.d.	0.006	(0.0014)	0.0541	(0.0012)	0.95	(0.002)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
AK12-0816-T1	81.5	4.4	2.70	0.63	1.78	6.88	0.028	0.030	0.143	0.691	0.005	(0.003)	(0.0013)	0.0495	(0.0011)	1.12	0.006																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
AK12-0816-T2	84.2	3.2	2.83	1.00	1.86	5.25	0.039	0.020	0.260	0.407	0.004	0.004	0.0025	0.0343	(0.0014)	0.87	0.004																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
AK12-0816-T3	86.2	2.7	1.96	1.02	1.89	4.76	0.040	0.019	0.270	0.338	0.004	(0.003)	0.0018	0.0306	(0.0016)	0.74	(0.003)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
透明橙～赤色 (10)																		AK12-0813-R1	85.7	2.0	3.59	0.97	2.44	4.91	0.045	0.017	0.235	0.011	(0.002)	n.d.	(0.0013)	0.0347	(0.0015)	n.d.	(0.002)	AK12-0813-R2	88.0	1.8	3.22	0.85	1.99	3.85	0.043	0.015	0.202	0.008	(0.002)	n.d.	(0.0014)	0.0315	(0.0015)	n.d.	n.d.	AK12-0813-R3	86.2	(1.5)	3.57	0.66	2.47	5.22	0.032	0.015	0.209	0.022	(0.002)	n.d.	(0.0013)	0.0361	(0.0011)	n.d.	(0.002)	AK12-0813-R4	84.1	2.9	5.06	0.83	2.42	4.26	0.046	0.023	0.268	0.040	(0.002)	n.d.	0.0019	0.0358	0.0021	n.d.	n.d.	AK12-0813-R5	84.4	1.9	5.60	0.78	2.56	4.32	0.042	0.024	0.278	0.032	(0.002)	n.d.	0.0021	0.0361	0.0018	n.d.	n.d.	AK12-0813-R6	81.9	3.4	5.40	0.86	2.52	5.51	0.041	0.017	0.296	0.048	(0.002)	n.d.	0.0023	0.0370	(0.0012)	n.d.	n.d.	AK12-0813-R7	86.0	2.2	4.39	0.71	2.24	4.18	0.042	0.019	0.200	0.010	(0.002)	n.d.	0.0020	0.0355	(0.0013)	n.d.	n.d.	AK12-0813-R8	85.3	2.2	3.18	0.98	2.18	5.63	0.044	0.026	0.384	0.021	(0.003)	n.d.	0.0018	0.0502	0.0019	n.d.	(0.002)	AK12-0813-R9	84.6	(1.5)	5.42	0.74	2.40	4.93	0.044	0.024	0.272	0.037	(0.002)	n.d.	(0.0010)	0.0463	(0.0016)	n.d.	(0.002)	AK12-0813-R10	84.4	2.6	4.91	0.85	2.38	4.29	0.033	0.029	0.295	0.118	(0.002)	n.d.	0.0022	0.0352	0.0020	n.d.	(0.002)	不透明黒色 (2)																		AK12-0813-K	87.2	(1.1)	3.55	0.88	2.03	4.68	0.042	0.022	0.373	0.033	(0.002)	n.d.	0.0017	0.0241	0.0019	0.09	(0.002)	AK12-0816-K	87.1	2.0	2.78	0.72	1.82	5.08	0.035	0.016	0.180	0.067	(0.003)	n.d.	(0.0015)	0.0492	(0.0013)	0.13	(0.002)	不透明白色 (1)																		AK12-0813-W	85.2	(1.5)	3.18	0.83	2.35	6.34	0.040	0.023	0.240	0.061	(0.003)	(0.002)	0.0020	0.0346	(0.0014)	0.21	0.014																																																																																																																																																																																																																																										
AK12-0813-R1	85.7	2.0	3.59	0.97	2.44	4.91	0.045	0.017	0.235	0.011	(0.002)	n.d.	(0.0013)	0.0347	(0.0015)	n.d.	(0.002)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
AK12-0813-R2	88.0	1.8	3.22	0.85	1.99	3.85	0.043	0.015	0.202	0.008	(0.002)	n.d.	(0.0014)	0.0315	(0.0015)	n.d.	n.d.																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
AK12-0813-R3	86.2	(1.5)	3.57	0.66	2.47	5.22	0.032	0.015	0.209	0.022	(0.002)	n.d.	(0.0013)	0.0361	(0.0011)	n.d.	(0.002)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
AK12-0813-R4	84.1	2.9	5.06	0.83	2.42	4.26	0.046	0.023	0.268	0.040	(0.002)	n.d.	0.0019	0.0358	0.0021	n.d.	n.d.																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
AK12-0813-R5	84.4	1.9	5.60	0.78	2.56	4.32	0.042	0.024	0.278	0.032	(0.002)	n.d.	0.0021	0.0361	0.0018	n.d.	n.d.																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
AK12-0813-R6	81.9	3.4	5.40	0.86	2.52	5.51	0.041	0.017	0.296	0.048	(0.002)	n.d.	0.0023	0.0370	(0.0012)	n.d.	n.d.																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
AK12-0813-R7	86.0	2.2	4.39	0.71	2.24	4.18	0.042	0.019	0.200	0.010	(0.002)	n.d.	0.0020	0.0355	(0.0013)	n.d.	n.d.																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
AK12-0813-R8	85.3	2.2	3.18	0.98	2.18	5.63	0.044	0.026	0.384	0.021	(0.003)	n.d.	0.0018	0.0502	0.0019	n.d.	(0.002)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
AK12-0813-R9	84.6	(1.5)	5.42	0.74	2.40	4.93	0.044	0.024	0.272	0.037	(0.002)	n.d.	(0.0010)	0.0463	(0.0016)	n.d.	(0.002)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
AK12-0813-R10	84.4	2.6	4.91	0.85	2.38	4.29	0.033	0.029	0.295	0.118	(0.002)	n.d.	0.0022	0.0352	0.0020	n.d.	(0.002)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
不透明黒色 (2)																		AK12-0813-K	87.2	(1.1)	3.55	0.88	2.03	4.68	0.042	0.022	0.373	0.033	(0.002)	n.d.	0.0017	0.0241	0.0019	0.09	(0.002)	AK12-0816-K	87.1	2.0	2.78	0.72	1.82	5.08	0.035	0.016	0.180	0.067	(0.003)	n.d.	(0.0015)	0.0492	(0.0013)	0.13	(0.002)	不透明白色 (1)																		AK12-0813-W	85.2	(1.5)	3.18	0.83	2.35	6.34	0.040	0.023	0.240	0.061	(0.003)	(0.002)	0.0020	0.0346	(0.0014)	0.21	0.014																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
AK12-0813-K	87.2	(1.1)	3.55	0.88	2.03	4.68	0.042	0.022	0.373	0.033	(0.002)	n.d.	0.0017	0.0241	0.0019	0.09	(0.002)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
AK12-0816-K	87.1	2.0	2.78	0.72	1.82	5.08	0.035	0.016	0.180	0.067	(0.003)	n.d.	(0.0015)	0.0492	(0.0013)	0.13	(0.002)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
不透明白色 (1)																		AK12-0813-W	85.2	(1.5)	3.18	0.83	2.35	6.34	0.040	0.023	0.240	0.061	(0.003)	(0.002)	0.0020	0.0346	(0.0014)	0.21	0.014																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
AK12-0813-W	85.2	(1.5)	3.18	0.83	2.35	6.34	0.040	0.023	0.240	0.061	(0.003)	(0.002)	0.0020	0.0346	(0.0014)	0.21	0.014																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								

白色 X 線励起モードで分析した元素: Na, Mg, Al, K, Ca, Ti, Sn, Sb (Sn は全試料で検出されず)  
 単色 X 線励起モードで分析した元素: Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Rb, Sr, Y, Zr, Pb (Co, Ni, Y は全試料で検出されず)  
 SiO<sub>2</sub> は 100 wt% からの残差として算出  
 LLD: 検出下限 / n.d.: 検出されず (LLD 以下) / ( ): 微量 (定量下限以下、定量下限は LLD の 3.3 倍とする)

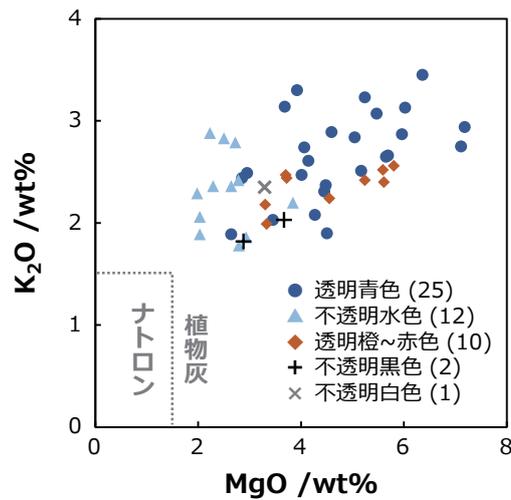


図1 MgO vs K<sub>2</sub>O プロットによる集団埋葬出土ガラスビーズに使用された融剤の推定  
 Fig.1 Magnesium and potassium oxide contents of glass beads excavated from the multiple burial

McLoughlin et al. 2005 等)。非破壊の蛍光 X 線分析では、風化も含めた現在の化学組成を分析しているため、こうした風化による影響は回避できない。ここで添加された融剤の種類を検証するために、50 点のガラスビーズ酸化マグネシウム (MgO) と酸化カリウム (K<sub>2</sub>O) の各濃度を縦横軸に取ったプロットを作成し、図 1 とした。なお、ビーズの色別にマーカーを分けてある。先述のように、古代のソーダ石灰ガラスに利用された融剤として植物灰とナトロンの 2 種類があるが、これらは化学組成から区別できる。その際に特に有効とされる元素が図 1 に示した Mg と K であり、どちらも植物に高濃度で含まれる必須元素である。一般的に 2 種類の融剤の境界は MgO および K<sub>2</sub>O 濃度として 1.5 wt% とされ、両成分の濃度が 1.5 wt% を下回る場合には融剤としてナトロン、どちらかが 1.5 wt% を上回る場合は植物灰を用いたものと判断される (Sayre and Smith 1961; 阿部 2013)。図 1 からわかるように、今回分析した 50 点のガラスビーズは全て MgO および K<sub>2</sub>O の濃度が 1.5 wt% を上回っており、融剤として植物灰を用いているものと考えられる。以上より、集団埋葬より出土したガラスビーズは、その色の違いを問わず、全て融剤として植物灰を用いたソーダ石灰ガラスであった。これらの指摘は当研究室による過去の調査 (Nakai et al. 2009; 中井他 2006) でもすでに行われているが、先述のように「植物灰を用いたソーダ石灰ガラス」とする分析結果は、紀元前 2 千年紀に作られた全てのガラスに共通する普遍的な特徴に過ぎない。そこで以下では、このガラスビーズの起源を推定するために、より詳細な考察を行った。

まず、シリカ源に由来する微量元素に着目した化学組成の特性化を試みた。先述の通り、紀元前 2 千年紀においてガラスの一次生産はエジプトまたはメソポタミアの 2 地域のみで行われており、これら 2 地域のガラスは原料由来の微量元素に着目することで区別できるとされる。そこで、エジプトの新王国時代第 18 王朝の首都であるマルカタおよびアマルナより出土したガラス製品と、同時代のメソポタミアのヌジ (Nuzi、イラク北部) とテル・ブラク (Tell Brak、シリア北東部) より出土したガラス製品に対して化学組成の破壊分析<sup>21)</sup>を行った研究 (Shortland et al. 2007; Shortland and Eremin 2006) から文献値を引用し、比較した。ここでは Ti と Zr に着目して、酸化チタン (TiO<sub>2</sub>) および酸化ジルコニウム (ZrO<sub>2</sub>) の各濃度を縦横軸に取ったプロットを作成し、図 2.a とした。これらの 2 元素はシリカ源に不純物として含まれる微量元素であり、また熔融中に坩堝の粘土からもガラスに混入する。不純物の少ない石英礫をシリカ源として用いていたメソポタミア (テル・ブラク、ヌジ) のガラスは TiO<sub>2</sub>、ZrO<sub>2</sub> 共に濃度が低いのに対し、不純物の多い石英礫ま

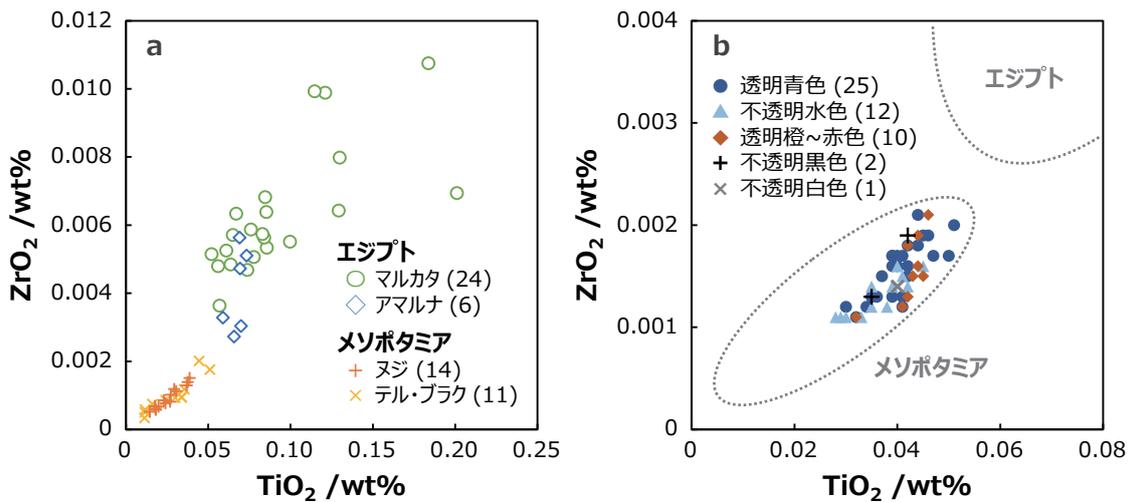


図2 TiO<sub>2</sub> vs ZrO<sub>2</sub> プロットによるガラス製品に使用されたシリカ源の特性化  
 (a) 紀元前2千年紀のエジプトおよびメソポタミアで出土したガラス製品の文献値の比較 (Shortland et al. 2007)  
 (b) 集団埋葬出土ガラスビーズのシリカ源の特性化

Fig.2 Titanium and zirconium oxide contents of  
 (a) Egyptian and Mesopotamian glass artifacts in the 2nd Millennium BCE (Shortland et al. 2007)  
 (b) glass beads excavated from the multiple burial

たは砂を用いたとされるエジプト（マルカタ、アマルナ）のガラスでは明らかにこれらの2元素の濃度が高く、両地域のガラスを区別できることがわかる。続いて、今回分析した集団埋葬出土の50点のガラスビーズについて、同様にTiO<sub>2</sub>とZrO<sub>2</sub>の濃度をプロットし、図2.bとした。なお図2.bには、図2.aで示されたエジプトおよびメソポタミア出土ガラスの濃度範囲を点線で示してある。図2.bからわかるように、分析した50点のガラスビーズは、その色の違いを問わず、全てシリカ源由来の不純物であるTiとZrが少ないという組成的特徴を有していた。さらにその濃度範囲は、ヌジおよびテル・ブラクより出土した紀元前2千年紀のガラスの文献値とも非常によく一致した。この結果は、集団埋葬より出土したガラスビーズが、エジプトのシリカ源（不純物の多い石英礫または砂）ではなく、メソポタミアのシリカ源（不純物の少ない石英礫）を用いて作られたものである可能性を強く示唆している。

上記の2元素の他にも、エジプト製ガラスの方がメソポタミア製ガラスよりもSrを多く含む傾向があると指摘されている(Henderson et al. 2010; Shortland et al. 2007)。SrはCaと同族のアルカリ土類元素であり、ソーダ石灰ガラスの場合には安定剤である石灰分の不純物としてガラス中に混入する。ただし当時は石灰分としてCa鉱物を意図的に添加していたのではなく、植物灰に含まれるCaが石灰分として機能していたと考えられる。またシリカ源として海岸の砂を用いた場合には、砂中のサンゴや貝殻の破片も石灰分となる。ここでSrは地表に比べて海水中に多く存在するため、シリカ源として石英礫よりも砂を用いた方が、あるいは植物灰でも内陸よりも海岸に生育したものを使用した方が、ガラス中のSr濃度が高くなる。実際に前述の文献値(Shortland et al. 2007)について、エジプト製ガラス(マルカタ、アマルナ)30点の酸化ストロンチウム(SrO)濃度の平均値±標準偏差を求めると、その値は0.0756 ± 0.0343 wt%となる。これに対してメソポタミア製ガラス(ヌジ、テル・ブラク)では0.0481 ± 0.0095 wt%となり、エジプト製ガラスのばらつきが大きいものの、メソポタミア製ガラスに比べてSrに富む傾向が見てとれる。すなわち両地域のガラスに見られるSr濃度の違いは、使用されたシリカ源の種類および植物灰の採取地の違いを反映していると言える。今回分析した50点のガラスビーズについて同様にSrO濃度の平均値±標準偏差を求めると、

その値は  $0.0445 \pm 0.0107$  wt% となり、メソポタミア製ガラスの文献値ときわめて近い値となった。先述した通り、このガラスビーズのシリカ源は石英礫であった可能性が高く、この Sr は砂ではなく植物灰由来でガラス中に混入したものである。よって集団埋葬のガラスビーズとメソポタミア製ガラスに見られた SrO 濃度の一致は、使用された植物灰の類似性が高いことを示している。

続いて、ガラスビーズに使用されている着色剤について考察する。まず表 1 より、透明青色 (25 点) および不透明水色 (12 点) については、酸化銅 (CuO) 濃度で  $0.338 \sim 1.070$  wt% の Cu を含むことから、Cu による青色着色剤が添加されているものと考えられる<sup>22)</sup>。なお、先述のようにガラスの青色着色剤として当時 Co も利用されていたが、今回分析した 37 点の青系ガラスから Co は 1 点も検出されなかった。新王国時代のエジプトにおいては、エジプト西方砂漠で得られたコバルト・ミョウバンを原料とする Co 着色剤が青色ガラス生産で多用されたが、その発見はエジプトにおけるガラス生産開始と同じ第 18 王朝中期のトトメス 3 世期とされ (Shortland et al. 2006)、今回の集団埋葬の年代 (第 2 中間期末期～第 18 王朝初期) よりも後である。Cu による青色着色剤はエジプトとメソポタミアの両地域で一般的に利用されていたため (Shortland and Eremin 2006)、Cu 着色という特徴だけでは、このガラスビーズの起源を議論できない。そこで、Cu 着色剤に付随してガラスに混入する可能性がある Sn に着目した。先述のように、第 2 中間期末期から新王国時代初期のエジプトにおいて、ファイアンスの Cu 着色剤として青銅の再利用が行われるようになった (Kaczmarczyk and Hedges 1983)。青銅の再利用は第 18 王朝中期以降にエジプトで生産されたガラスにおいても見られ、Cu 着色の青色ガラスは微量の Sn を含む (Shortland and Eremin 2006)。一方で、同時期のメソポタミア製の Cu 着色ガラスからは 1 点も Sn が検出されていないため、青銅の再利用はエジプト独自の着色技術であったと考えられる。すなわち 37 点の青系ガラスビーズについて、青銅の再利用の痕跡を示す Sn が含まれるか否かで、エジプトとメソポタミアのどちらの着色技術が使用されているかを推定することができる。分析の結果、青系 (37 点) に限らず、今回分析したガラスビーズからは 1 点も Sn が検出されなかった。文献値 (Shortland and Eremin 2006) によれば、マルカタおよびアマルナ出土の 27 点の Cu 着色ガラスにおいて、酸化スズ ( $\text{SnO}_2$ ) 濃度の平均値±標準偏差は  $0.12 \pm 0.10$  wt% であり、これは本研究で用いた可搬型蛍光 X 線分析装置における Sn の検出下限 ( $\text{SnO}_2$  として  $0.01$  wt%) を大幅に上回る値である。よって今回分析した 37 点の Cu 着色ガラスビーズについて、着色剤としての青銅の再利用は行われていなかったと結論付けることができた。その他の着色剤に関して、不透明水色と不透明黒色 (2 点)、不透明白色 (1 点) のガラスビーズにおいてはアンチモン酸カルシウム ( $\text{CaSb}_2\text{O}_6$  または  $\text{Ca}_2\text{Sb}_2\text{O}_7$ ) による白濁剤が添加されていた。この白濁剤は紀元前 2 千年紀のエジプトおよびメソポタミアで一般的に使用されたものである (Shortland 2002)。透明橙～赤色のガラスビーズ (10 点) は Fe による着色だと考えられるが、他の色のビーズと比べて酸化鉄 ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) 濃度が高い傾向はないため、意図的に鉄を添加して着色を行ったのではなく、シリカ源中の鉄分か、熔融中に坩堝から混入した Fe による自然な発色が生じたものと考えられる。同様に不透明黒色のガラスビーズ (2 点) についても、原料由来の Fe が着色剤として機能しているものと考えられる。なおガラスビーズに使用されていた着色剤の種類については、当研究室による過去の調査 (Nakai et al. 2009; 中井、タンタラカーン 2007; 中井他 2006) でも同定を行っているが、今回の分析結果は過去の報告を支持するものであった。

以上のように、集団埋葬で出土したガラスビーズについて、使用されたシリカ源、植物灰および Cu 着色剤の 3 点から、メソポタミア製ガラスとの高い類似性が示された。先述したように、この集団埋葬はエジプトにガラス生産技術が伝わったとされる第 18 王朝中期トトメス 3 世期より前に年代づけられるものである。その集団埋葬から出土したエジプト最古級のガラスビーズがメソポタミア製であるとする今回の分析結果

は、トトメス 3 世期以前のエジプトで独自のガラス生産が行われていた可能性を強く否定するものである。さらに Walton らは「今日までにメソポタミアでエジプトのガラスが見つかった例はなく、またエジプトでメソポタミアのガラスが見つかった例もない」と指摘しており (Walton et al. 2009)、メソポタミア製ガラスがガラス生産開始前のエジプトに持ち込まれていたことが化学的に実証されたのは、本研究が初である。このように、最先端の可搬型分析装置を用いたガラスビーズの再調査によって、紀元前 2 千年紀の古代ガラスの研究上きわめて重要な成果が得られた。その一方で、この結論は紀元前 2 千年紀にガラスの一次生産が可能だった地域がエジプトとメソポタミアの 2 地域のみであるとする推定が根底にある。より地域差を反映しやすい希土類元素などの微量重元素、あるいは同位体比を分析することができれば、このガラスビーズの正確な起源を推定することが可能となるであろう。

## (2) ファイアンスビーズの分析結果

続いて、ファイアンスビーズの分析結果に関する報告を行う。20 点の青色ファイアンスビーズの化学組成を表 2 にまとめた。なお Co、Ni、As、Y、Sn、Sb の 6 元素については、20 点全ての試料において LLD 以下となったため、表 2 では省略している。

今回分析した青色ファイアンスビーズについて、個体により色の濃淡が見られたものの、CuO 濃度：1.644 ~ 5.341 wt% という高濃度の Cu を含んでいたことから、青色着色は全て Cu によるものであると判断された。先述のガラスビーズの場合と同様に、ファイアンスの青色着色剤として機能する Co は 1 点も検出されなかった。また Cu 着色剤の原料について、先述した通りこの集団埋葬の年代と同時期にあたる第 2 中間期末期から新王国時代初期にかけて、エジプトにおいて青銅の再利用が行われるようになった。しかしながら、表 1 に示したガラスビーズの分析結果と同様、今回分析した 20 点の青色ファイアンスビーズにおいて、青銅の再利用を示す Sn が検出されたものは 1 点もなかった。ファイアンスにおける Co 青色着色剤の添加や、Cu 着色剤としての青銅の再利用は、当時エジプトのファイアンス生産においてのみ用いられた特有の着色技術であり、紀元前 2 千年紀のメソポタミア地域のファイアンス製品で報告された例はない。集団埋葬出土のファイアンスビーズにこれらのエジプト特有の着色技術が使用されていなかったことを示す今回の分析結果は、その製作地がエジプトではなかった可能性を示唆している。

しかしながら、著者らの先行研究 (阿部他 2013) で示したように、エジプトのファイアンス生産において青銅の再利用が本格化されたのは新王国時代第 18 王朝中期のアメンヘテプ 3 世期以降である。Kaczmarczyk と Hedges が行った化学分析によれば、第 2 中間期末期～新王国時代初期のエジプトの Cu 着色ファイアンスのうち、Sn を含んでいたものは全体の半数以下であった (Kaczmarczyk and Hedges 1983)。また、先述のようにエジプトにおける Co 着色剤の利用開始は第 18 王朝中期であり、集団埋葬の年代よりも後のことである。つまり、このファイアンスビーズが青銅以外の原料を用いた Cu 着色であったとして、この分析結果はエジプトで製作された可能性を完全に否定するものではない。メソポタミア製ファイアンスについては化学組成の分析例が非常に少なく、そもそもガラス製品に比べて特性化に有効な元素が少ないため、表 2 に示した分析結果からその起源をメソポタミアに結び付けることはできない。また、特定の工房でしか一次生産が行えなかったガラスとは異なり、より低温・短時間で焼成可能なファイアンスは、比較的小規模な集落でのローカルな生産も可能であったと考えられる。特に集団埋葬より出土したファイアンスビーズは、Cu による青色着色という最も典型的な着色技術が用いられており、エジプト・メソポタミア以外の西アジア～アフリカ地域で製作された可能性も否定できない。

以上の結果をまとめると、集団埋葬より出土した青色ファイアンスビーズに関して、エジプト特有の着色

表2 集団埋葬出土青色ファアイアンズビーズの定量結果 (単位: wt%)  
 Table 2 Results of XRF analyses of faience beads excavated from the multiple burial at Northwest Saqqara (wt%)

	SiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	MnO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CuO	ZnO	Rb <sub>2</sub> O	SrO	ZrO <sub>2</sub>	PbO
LLD	—	0.5	0.15	0.05	0.01	0.01	0.007	0.004	0.003	0.001	0.001	0.0005	0.0005	0.0005	0.001
青色ファアイアンズ (20)															
AK12-0811+0936+0974-B1	89.9	(1.6)	(0.32)	1.47	0.67	2.17	0.100	(0.010)	0.164	3.515	0.024	n.d.	0.0034	(0.0014)	0.008
AK12-0811+0936+0974-B2	89.8	2.6	(0.29)	1.85	0.42	1.98	0.050	n.d.	0.170	2.785	0.015	n.d.	0.0020	(0.0008)	0.013
AK12-0811+0936+0974-B3	88.8	2.4	0.59	1.70	0.71	2.25	0.080	(0.009)	0.220	3.241	0.024	n.d.	0.0029	0.0017	0.010
AK12-0811+0936+0974-B4	88.7	2.3	(0.40)	1.94	0.90	2.92	0.100	(0.012)	0.227	2.521	0.015	(0.0009)	0.0032	(0.0012)	0.005
AK12-0811+0936+0974-B5	90.7	2.1	(0.47)	1.53	0.58	1.95	0.050	(0.006)	0.137	2.397	0.022	(0.0006)	0.0020	(0.0011)	0.008
AK12-0811+0936+0974-B6	86.7	2.8	0.57	2.37	0.92	2.80	0.110	0.018	0.385	3.327	0.025	n.d.	0.0029	(0.0016)	0.011
AK12-0811+0936+0974-B7	85.1	3.7	0.66	2.22	0.82	3.21	0.100	0.024	0.234	3.926	0.031	n.d.	0.0026	(0.0015)	0.011
AK12-0811+0936+0974-B8	90.7	3.2	(0.42)	1.28	0.42	2.04	0.070	(0.013)	0.159	1.644	0.012	n.d.	0.0030	0.0020	0.006
AK12-0811+0936+0974-B9	88.9	2.1	(0.49)	1.27	0.42	3.46	0.040	0.017	0.115	3.207	0.017	(0.0011)	0.0038	(0.0010)	0.005
AK12-0811+0936+0974-B10	85.0	4.4	(0.44)	1.51	0.43	2.63	0.050	n.d.	0.171	5.341	0.057	(0.0009)	0.0063	(0.0010)	0.005
AK12-0811+0936+0974-B11	89.6	2.0	(0.40)	1.08	0.84	1.85	(0.020)	(0.004)	0.160	4.048	0.029	(0.0008)	0.0021	(0.0016)	0.008
AK12-0811+0936+0974-B12	86.4	3.8	0.54	1.67	0.74	2.82	0.030	(0.007)	0.154	3.821	0.029	n.d.	0.0023	(0.0006)	0.008
AK12-0811+0936+0974-B13	88.3	3.4	(0.24)	1.54	0.55	2.81	0.150	0.017	0.164	2.788	0.023	(0.0006)	0.0038	(0.0013)	0.009
AK12-0811+0936+0974-B14	90.4	2.2	n.d.	1.76	0.81	2.07	0.030	0.014	0.192	2.322	0.020	(0.0010)	0.0031	(0.0013)	0.007
AK12-0811+0936+0974-B15	88.7	3.1	(0.18)	1.57	0.76	2.40	0.030	(0.007)	0.194	3.041	0.017	n.d.	0.0027	(0.0009)	0.014
AK12-0811+0936+0974-B16	88.1	2.8	n.d.	1.08	0.99	2.55	0.040	(0.011)	0.183	4.149	0.021	(0.0007)	0.0019	0.0025	0.009
AK12-0811+0936+0974-B17	86.4	4.1	(0.36)	1.58	0.65	2.53	0.070	0.014	0.444	3.845	0.025	n.d.	0.0048	0.0027	0.019
AK12-0811+0936+0974-B18	90.4	2.7	(0.32)	1.32	0.50	1.65	0.030	(0.011)	0.316	2.735	0.017	(0.0006)	0.0030	0.0023	0.011
AK12-0811+0936+0974-B19	92.5	1.7	(0.25)	1.59	0.39	1.54	0.050	(0.007)	0.151	1.825	0.015	n.d.	0.0021	0.0017	0.008
AK12-0811+0936+0974-B20	90.5	1.8	(0.24)	1.45	0.57	2.22	0.080	(0.011)	0.169	2.900	0.018	n.d.	0.0030	(0.0015)	0.009

白色 X 線励起モードで分析した元素: Na, Mg, Al, K, Ca, Ti, Sn, Sb は全試料で検出されず)

単色 X 線励起モードで分析した元素: Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Rb, Sr, Y, Zr, Pb (Co, Ni, As, Y は全試料で検出されず)

SiO<sub>2</sub> は 100 wt% からの残差として算出

LLD: 検出下限 / n.d.: 検出されず (LLD 以下) / ( ): 微量 (定量下限以下、定量下限は LLD の 3.3 倍とする)

技術は使用されていなかったものの、その起源の推定には至らなかった。ただしこの結果は、先述したガラスビーズの起源がメソポタミアにあるとする推定とも矛盾せず、集団埋葬から出土したガラスビーズとファイアンスビーズがエジプト外の同地域で製作され、同時にエジプトへもたらされ、一緒に埋葬された可能性も十分にある。また仮にこのファイアンスビーズが先述のガラスビーズと同様にメソポタミア製であった場合、本研究によってこれまで分析例の少ないメソポタミア製ファイアンスの希少な組成データが得られたことになる。

### (3) 金属製品の分析結果

最後に金属製品の分析結果を報告する。まず、今回の調査で分析した 8 点の金属製品のうち、7 点は Cu を主成分とする金属銅製品であったのに対し、耳輪 E (AK12-o817) 1 点のみが金属鉛製品であった。AK12-o817 の蛍光 X 線スペクトルを図 3 に示した。また比較のため、図 3 には金属銅製品であったピン (AK-o855+o885) の点 1 の蛍光 X 線スペクトルも示してある。

金属銅製品 7 試料について、それぞれ 2 つの点で得られた定量値とその平均値を表 3 にまとめた。Moorey や Ogden は、古代の金属銅製品が人為的に As を添加したヒ素銅であるか否かを判断する場合に、As 濃度 1 wt% が目安になるとしている (Moorey 1994; Ogden 1999)。同様に青銅の判定においては、Sn 濃度 5 wt% が一般的な目安となる。この目安を参考に、今回分析した 7 点の金属銅試料を以下の 3 つグループ (1 ~ 3) に分類した。

まずグループ 1 は、Sn をほとんど含まず (1 wt% 以下)、有意な量の As (1 ~ 3 wt%) と微量の Pb (0.2 ~ 0.3 wt%) を含むものであり、耳輪 A (AK18-o814) と耳輪 C (AK12-o814) の 2 点が該当する。1 wt% 以上の As を含むことから、これら 2 点の耳輪はヒ素銅であると考えられる。なお意図的な Sn の添加は行われていない。続いてグループ 2 は Sn を含み (3 ~ 8 wt%)、As と Pb がほとんど検出されなかった耳輪 B (AK18-o814) と耳輪 D (AK12-o814) の 2 点である。耳輪 B の点 1 においては Sn 濃度が 2.77 wt% と低いですが、他は青銅の判定の目安となる 5 wt% を上回っていることから、これら 2 点の耳輪は青銅であると考えられる。ここで 4 点の耳輪 A ~ D について、2 点 (A, C) はヒ素銅、2 点 (B, D) は青銅であるとする結

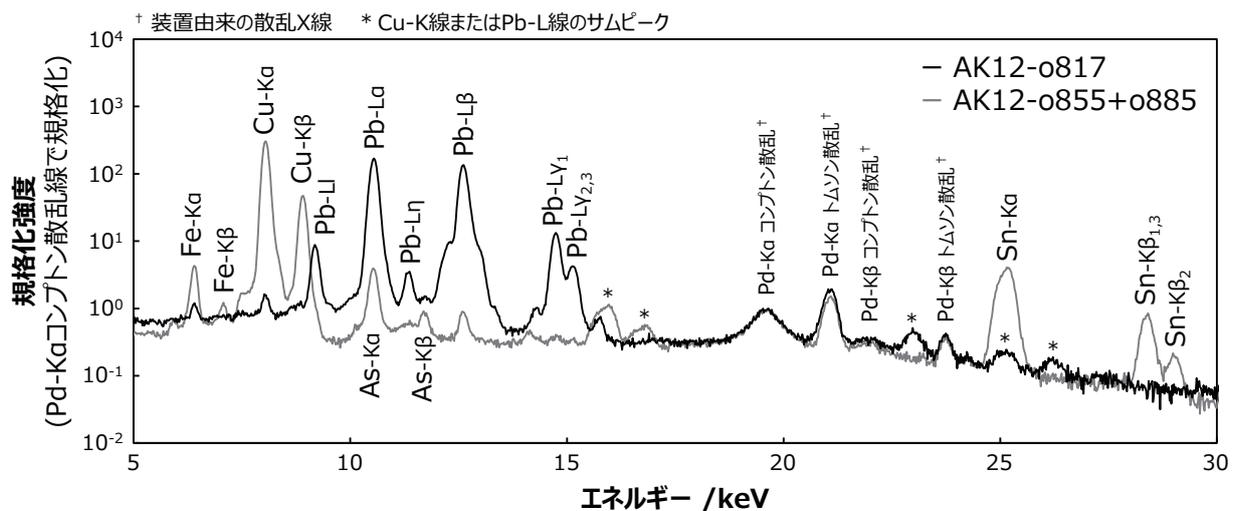


図 3 集団埋葬出土の鉛製耳輪 (AK12-o817) および青銅製ピン (AK12-o855+o885) の蛍光 X 線スペクトルの比較 (白色 X 線励起)

Fig.3 Comparison of XRF spectra of metal objects excavated from the multiple burial (white X-ray excitation):

a lead ear ring (AK12-o817) and a bronze pin (AK12-o855+o885)

表3 集団埋葬出土金属銅製品の定量結果 (単位: wt%)

Table 3 Results of XRF analyses of copper objects excavated from the multiple burial at Northwest Saqqara (wt%)

資料番号	分析試料		Cu	As	Sn	Pb	
AK12-o812	耳輪 A	点 1	98.23	1.07	0.53	0.17	
		点 2	98.17	1.16	0.51	0.16	
		平均	98.20	1.12	0.52	0.17	
	耳輪 B	点 1	97.21	n.d.	2.77	0.02	
		点 2	94.66	0.08	5.24	0.02	
		平均	95.94	0.04	4.01	0.02	
	AK12-o812	金属片 (大)	点 1	83.45	0.35	15.78	0.42
			点 2	88.14	0.21	11.42	0.23
			平均	85.80	0.28	13.60	0.33
		金属片 (小)	点 1	90.15	0.18	9.48	0.19
			点 2	91.42	0.19	8.20	0.19
			平均	90.79	0.19	8.84	0.19
AK12-o814	耳輪 C	点 1	96.27	2.72	0.69	0.32	
		点 2	97.15	2.02	0.62	0.21	
		平均	96.71	2.37	0.66	0.27	
	耳輪 D	点 1	91.55	0.05	8.38	0.02	
		点 2	92.27	0.11	7.59	0.03	
		平均	91.91	0.08	7.99	0.03	
AK12-o885	ピン	点 1	83.04	0.28	16.27	0.41	
		点 2	88.05	0.18	11.58	0.19	
		平均	85.55	0.23	13.93	0.30	

Cu は 100 wt% からの残差として算出

n.d.: 検出されず

果が得られたが、4 点の耳輪の線径や円径といった型式的特徴に明確な差は見られず、いずれも同一の被葬者 (AK12-o806) の近傍から出土したものである。先述のように、紀元前 2 千年紀の中近東において、銅合金の利用がヒ素銅から青銅へと変遷していったとされるが、これら 2 種類の銅合金が耳輪という同じ用途で同一人物の埋葬に用いられていたことは非常に興味深い。あるいはヒ素銅と青銅という 2 種類の銅合金について、当時必ずしも明確な区別がなされていたわけではないのかもしれない。最後にグループ 3 は、高濃度の Sn を含み (8 ~ 16 wt%)、微量の As (0.2 ~ 0.3 wt%) と Pb (0.2 ~ 0.4 wt%) を含む 2 点の金属片 (AK12-o812) とピン (AK12-o855+o885) の計 3 点である。このグループは明らかに青銅に分類される量の Sn を含んでいる。また微量ではあるが As や Pb を含むという点が先述のグループ 2 と異なる。こうした微量元素の存在は使用された銅原料の違いを反映するものと考えられ、グループ 2 の青銅とグループ 3 の青銅は、あるいは異なる銅原料を用いて製作された可能性がある。また 10 wt% 前後の Sn を含むグループ 3 は、他の 2 グループに比べて硬度や流動性が優れていたと考えられ、ピンという用途に最も適している。またピン (AK12-o855+o885) は耳輪を身に付けていた人物 (AK12-o806) とは異なる人物 (AK12-o705) の装身具であったと考えられるが、耳輪と共伴して出土した金属片についても、あるいは本来ピン (または同様の用途の装身具) であった可能性が示唆される。耳輪においてヒ素銅 (グループ 1) と青銅 (グループ 2) の使い分けが見られなかった一方で、同じ青銅であるグループ 2 とグループ 3 において Sn の添加量と用途の双方に違いが見られたことは特筆すべき知見である。

なお今回の分析で同定された鉛、ヒ素銅、青銅のいずれも紀元前 2 千年紀のエジプトとメソポタミアの双方で利用されており、通常は金属の種類のみからでは起源と結び付けた考察を行うことは困難である。ただし、エジプトにおいてヒ素銅に代わって青銅が一般化したのは新王国時代以降であり、仮に集団埋葬出土の青銅製品がエジプトで製作されたものであった場合には、比較的早い段階で作られた珍しい青銅製品だったことになる。一方で、メソポタミアにおいては紀元前 2 千年紀の初期には青銅がヒ素銅と同程度に普及して

いた。よって、①化学分析により確実に青銅と判断できる遺物の存在、②第2中間期末期から新王国時代初期という遺構の年代、③当時のエジプトとメソポタミアの各地域における青銅の利用状況の3点を鑑みた場合、今回分析した金属製品のうち青銅製の耳輪やピンについては、エジプト製よりもメソポタミア製の方が可能性としては高い。そしてヒ素銅製であった耳輪についても、青銅製の耳輪と型式的差異が見られないことから、近い起源を持つ可能性が考えられる。以上より、集団埋葬出土の金属銅製品に関して、エジプトではなくメソポタミアで製作されたものである可能性が示唆される。

#### 4. まとめ

第2中間期末期から新王国時代初期に年代づけられる集団埋葬より出土したガラスビーズ、ファイアンスビーズ、金属製品に対して、可搬型の蛍光 X 線分析装置を用いた非破壊化学組成分析を行った。ガラスビーズは、使用されている原料にメソポタミア製ガラスとの関連性が示され、エジプト現地での生産品ではなく、西アジアから搬入されたものである可能性が示された。この分析結果は、エジプトで出土した紀元前2千年紀のガラスに対して化学的にメソポタミア起源である可能性を提示した初の成果である。ファイアンスビーズにおいては、エジプト特有の着色技術の利用は見られなかったものの、具体的な起源を推定するには至らなかった。金属製品については鉛、ヒ素銅、青銅の3種類が同定され、特に銅合金製品についてはエジプト製よりはメソポタミア製の可能性の方が高い。これらの分析結果は、この集団埋葬の被葬者がエジプトの外部、特に西アジア地域と関連性を持っていた可能性を強く示唆するものである。このように、出土遺物の化学分析によって、遺構の性質を考察する上で有用な知見が示されたと共に、当時のエジプトと西アジア間の物質移動を実証する重要な成果が得られた。

#### 註

- 1) 被葬者の数は発見当初計11体とされていたが、2012年に行われた人骨の再調査により、計12体であったことが明らかとなった(坂上、馬場2013)。
- 2) 当時エジプト国内、またはメソポタミア地域内には複数のガラス工房が存在していたと考えられるが、各地域内で工房間の明瞭な化学組成の違いは見られない(Shortland et al. 2007)。つまり工房ごとではなく、地域ごとで原料の種類・採取地が規格化されていた可能性がある。ただし著者らの先行研究(Abe et al. 2012)では、本遺跡およびダハシュール北遺跡から出土したガラス・ファイアンスの化学組成分析により、第18王朝と第19王朝以降で使用された着色剤原料の一部が変化した可能性が示されており、異なる時代に機能した工房で作られたものであれば、異なる組成を有する可能性もある。
- 3) 紀元前14～10世紀のミケーネのガラスの化学組成分析を行った研究(Nikita and Henderson 2006)において、当時ミケーネにガラスの一次生産工房があった可能性が指摘されているが、主成分および副成分元素のみに着目した分析であり、解釈を疑問視されている(Walton et al. 2009)。
- 4) 第14、15次調査では未分析。
- 5) これは、ファイアンスがガラスと比べて化学分析に不向きであるためである。ファイアンスの主成分は胎となる高純度のシリカであり、不純物をほとんど含まない。また融剤や石灰の添加量も非常に少ないため、一般的にファイアンスでは化学組成の特性化が困難となる。また、熔融により均一化されているガラスと異なり、ガラス化した釉と結晶状態の胎という層状の構造を持つファイアンスはバルクの分析に不向きであり、破壊し試料調製を施した上で、電子顕微鏡などを用いた微小部の分析によって製作技術などを議論する機会が多い(Tite et al. 2007等)。
- 6) 著者らが行った前回の分析調査(阿部他2013)においても、本遺跡丘陵頂部の日乾レンガ遺構の周辺で発見されたアメンヘテプ2世およびトトメス4世期に年代づけられる青色ファイアンス製タイルの分析において、およそ半数で青銅の再利用が行われていたことが確認された。またこれらのタイルの一部には、銅着色剤共に、コバルト・ミョウバンを原料とするコバルト着色剤が添加されていた。

- 7) ただし、紀元前2千年紀に年代づけられるメソポタミア製ファイアンスに対して化学分析が行われた例は非常に少なく (Moorey 1994)、ガラス (Brill 1999; Shortland and Eremin 2006) およびエジブシャン・ブルー (Hatton et al. 2008) の分析結果から類推されたものである。
- 8) ティムナ渓谷では紀元前4千年紀のうちから銅鉱石の採掘と製錬が行われていた (Lucas 1962)。同地域における銅鉱石の採取は第1中間期には立ち消えたものの、第12王朝から再開し、新王国時代の第19および20王朝に最盛期を迎えた (Ogden 1999)。
- 9) 東部砂漠からヌビアにかけての地域には銅鉱床が集中しており、遅くとも中王国時代、早ければ第1王朝から同地域で銅鉱石の採掘が行われていたものと考えられている (Kaczmarczyk and Hedges 1983)。同地域からは製錬に最適な孔雀石  $\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$  や赤銅鉱  $\text{Cu}_2\text{O}$  などの銅酸化物が採掘でき (Anwar 1964)、Lucasはこの地域の鉱床を「エジプトで見つかった最も重要な銅鉱床」と評している (Lucas 1962)。
- 10) 牛皮形 (oxhide) と呼ばれる、キプロス島に特徴的な形状の銅インゴットが第18王朝テーベ (Thebe) の高官の墓より出土している (Lucas 1962)。トルコのウルブルン沖で見つかった沈没船も、キプロス島からエジプトへの輸出品と思われる銅を積載していた (Bass 1987)。
- 11) これらの地名はそれぞれ現在のバーレーンおよびオマーンなどのペルシア湾沿岸にあった地域を指すものと考えられ、特にオマーンについては、シュメールにおける銅の主要な起源であったと目される。
- 12) 牛皮形インゴットがバグダッド近郊のアカル・クーフ (Aqar Quf) の紀元前20世紀の層から出土している (Gale 1991)
- 13) ヒ素の添加による機械的性質の改善は、ヒ素を4 wt% から8 wt% 添加した時に最大になるとされる。微量のヒ素が存在しても、金属銅と比べて性質に劇的な変化は見られない。一方で、10 wt% を超えるような高濃度のヒ素を含む場合には、色調が銀白色に変化する。
- 14) ただし、有意な量を含む銅鉱石がアナトリア (Jesus 1980)、イラン (Heskel and Lamberg-Karlovsky 1980) およびキプロス (Panayiotu 1979) より産出することが報告されており、意図的なヒ素の添加ではなく、これらの銅鉱石を使用した可能性もある。
- 15) 青銅に添加されたスズに関して、当初はスズ石 ( $\text{SnO}_2$ ) などの鉱物の形で添加されていたようだが、メソポタミアにおいては紀元前3千年紀中葉には金属スズの形で添加されるようになった可能性が指摘されている (Moorey 1994)。
- 16) 化学組成よりも強く鉱床の違いを反映する鉛同位体比も銅製品の起源推定に応用されているが (Shortland 2006等)、鉛同位体比は試料の破壊を伴う湿式分析でしか得られない。
- 17) 銅の風化物である緑青は、銅が酸素、二酸化炭素、水分、塩分と反応したものであり、炭酸塩や硫酸塩、塩化物といった様々な銅塩の混合物である。ここで銅以外の元素は、緑青中に銅と共に含まれる場合もあれば、溶脱する場合もあるため、銅製品本体と緑青部分では化学組成に差が生じる。
- 18) SDDの不感時間 (dead time) の割合が30%を上回った場合には、30%以下になるよう管電流が自動調整される。
- 19) ただし1点の不透明白色 (AK12-o816の1点) は、不透明黒色ガラスを地として不透明白色ガラスの線が入った2色ビーズの白色部分である。また不透明黒色2点のうち1点は、この2色ビーズの黒色部分である。
- 20) LLDはバックグラウンド強度の統計的変動の3倍として算出した。詳細は先行研究 (Abe et al. 2012; 阿部他 2013) を参照のこと。
- 21) 波長分散型X線分光器を搭載した電子顕微鏡 (SEM-WDS) による主成分および副成分元素分析 (Shortland and Eremin 2006) と、レーザーアブレーション誘導結合プラズマ質量分析 (LA-ICP-MS) を用いた微量元素分析 (Shortland et al. 2007) の2種類の分析で得られた組成データを引用している。ただし後者のLA-ICP-MSによる研究では、分析値が酸化物濃度ではなく元素濃度として報告されていたが、ここでは著者らの分析結果と合わせて酸化物濃度に換算してある。
- 22) Cuは、ガラス中に  $\text{Cu}^{2+}$  イオン状態で存在する場合には青色着色剤として機能するが、還元焼成を行うことで「銅赤」と呼ばれる赤色着色剤にもなる。銅赤について、赤銅鉱 ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ) の微細な結晶がガラス中に析出することで不透明赤色を呈する場合と、金属Cuのナノ粒子により表面プラズモン効果が生じることで透明赤色を呈する場合の2種類がある (Brun et al. 1991)。

## 参考文献

- Abe, Y., Harimoto, R., Kikugawa, T., Yazawa, K., Nishisaka, A., Kawai, N., Yoshimura, S. and Nakai, I.  
2012 “Transition in the use of cobalt-blue colorant in the New Kingdom of Egypt”, *Journal of Archaeological Science* 39, pp.1793-1808.
- Abe, Y., Nakai, I., Takahashi, K., Kawai, N. and Yoshimura, S.  
2009 “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, pp.1987-1996.
- Anwar, Y.M.  
1964 “Note on the occurrence of copper minerals at Ras Benas, Eastern Egypt”, *Journal of Geological Society of Egypt* 8/2, pp.89-94.
- Bass, G.F.  
1987 “Oldest known shipwreck reveals splendors of the Bronze Age”, *National Geographic* 172, pp.692-733.
- Beck, H.C.  
1934 “Glass before 1500 BC”, *Ancient Egypt* 19, pp.7-21.
- Brill, R.H.  
1999 *Chemical analyses of early glasses*, Corning Museum of Glass, Corning, New York.
- Brun, N., Mazerolle, L. and Pernot, M.  
1991 “Microstructure of opaque red glass containing copper”, *Journal of Materials Science Letters* 10, pp.1418-1420.
- Caubet, A. and Kaczmarczyk, A.  
1992 “Bronze Age faience from Ras Shamra (Ugarit)”, in Bimson, M. and Freestone, I.C. (eds.), *Early vitreous materials*, London, pp.47-56.
- Doménech-Carbó, M.T., Doménech-Carbó, A., Osete-Cortina, L. and Saurí-Peris, M.C.  
2006 “A Study on Corrosion Processes of Archaeological Glass from the Valencian Region (Spain) and its Consolidation Treatment”, *Microchimica Acta* 154, pp.123-142.
- Gale, N.H.  
1991 “Copper Oxide Ingots: Their Origin and their Place in the Bronze Age Metals Trade in the Mediterranean”, in Gale, N.H. (ed.), *Bronze Age Trade in the Mediterranean*, Jonsered, pp.197-239.
- Hatton, G.D., Shortland, A.J. and Tite, M.S.  
2008 “The production technology of Egyptian blue and green frits from second millennium BC Egypt and Mesopotamia”, *Journal of Archaeological Science* 35, pp.1591-1604.
- Henderson, J., Evans, J. and Nikita, K.  
2010 “Isotopic Evidence for the Primary Production, Provenance And Trade of Late Bronze Age Glass in the Mediterranean”, *Mediterranean Archaeology and Archaeometry* 10, pp.1-24.
- Heskel, D. And Lamberg-Karlovsky, C.C.  
1980 “An alternative sequence for the development of metallurgy: Tepe Yahya, Iran”, in Wertime, T. and Muhly, J. (eds.), *The Coming of the Age of Iron*, New Haven, pp.229-266.
- Jackson, C.M.  
2005 “Glassmaking in Bronze-Age Egypt”, *Science* 308, pp.1750-1752.
- Jackson, C.M. and Nicholson, P.T.  
2010 “The provenance of some glass ingots from the Uluburun shipwreck”, *Journal of Archaeological Science* 37, pp.295-301.
- Jesus, P.S.  
1980 *Development of Prehistoric Mining and Metallurgy in Anatolia*, Oxford.
- Kaczmarczyk, A.  
1986 “The source of cobalt in ancient Egyptian pigments”, in Olin, J.S. and Blackman, M.J. (eds.), *Proceedings of the 24th International Archaeometry Symposium*, Washington, D.C., pp.369-376.
- Kaczmarczyk, A. and Hedges, R.E.M.  
1983 *Ancient Egyptian faience: an analytical survey of Egyptian faience from predynastic to Roman times*, London.
- Levy, T. and Shalev, S.  
1989 “Prehistoric Metalworking in the Southern Levant: Archaeometallurgical and Social Perspectives”, *World Archaeology* 20, pp.352-372.
- Lucas, A. and Harris, J.R.  
1962 *Ancient Egyptian materials and industries*, London.

- McLoughlin, S.D., Hand, R.J., Hyatt, N.C., Lee, W.E., Notingher, I., McPhail, D.S. and Henderson, J.  
 2005 "The long term corrosion of glasses: analytical results after 32 years of burial at Ballidon", *Glass Technology - European Journal of Glass Science and Technology*, Part A 47, pp.59-67.
- Moorey, P.R.  
 1994 *Ancient Mesopotamian materials and industries: the archaeological evidence*, Oxford.
- Nakai, I. Tantrakarn, K., Kato, N., Kawai, N., Nishisaka, A. and Yoshimura, S.  
 2009 "XRF analysis of 16th century BC transparent glass beads excavated from a hillside in Northwest Saqqara, Egypt", *AIHV Annales du 17e Congres*, 2006, pp.31-35.
- Nassim, G.L.  
 1949 "The discovery of nickel in Egypt", *Economic Geology* 44, pp.143-150.
- Nicholson, P.T.  
 1993 *Ancient Egyptian faience and glass*, Aylesbury.  
 2006 "Glass vessels from the reign of Tuthmosis III and a hitherto unknown glass chalice", *Journal of Glass Studies* 48, pp.11-21.
- Nicholson, P.T. and Henderson, J.  
 2000 "Glass (Chapter 8)", in Nicholson, P.T. and Shaw, I. (eds.), *Ancient Egyptian Materials and Technology*, Cambridge, pp.195-224.
- Nikita, K. and Henderson, J.  
 2006. "Glass analyses from Mycenaean Thebes and Elateia: compositional evidence for a Mycenaean glass industry", *Journal of Glass Studies* 48, pp.71-120.
- Ogden, J.  
 2000 "Metals (Chapter 6)", in Nicholson, P.T. and Shaw, I. (eds.), *Ancient Egyptian Materials and Technology*, Cambridge, pp.148-176.
- Oppenheim, L.  
 1973 "Towards a history of glass in the ancient Near East", *Journal of the American Oriental Society* 93, pp.259-266.
- Panayiotou, A.  
 1980 "Cu-Ni-Co-Fe sulfide mineralization, Limmasol Forest Cyprus", in Panayiotou, A. (ed.), *Proceedings International Ophiolite Symposium, Nicosia, Cyprus 1979*, Cyprus, pp.102-116.
- Sayre, E.V. and Smith, R.W.  
 1961 "Compositional categories of ancient glass", *Science* 133, pp.1824-1826.
- Schlick-Nolte, B. and Werthmann, R.  
 2003 "Glass Vessels from the Burial of Nesikhons", *Journal of Glass Studies* 45, pp.11-34.
- Shortland, A.J.  
 2001 "Social influences on the development and spread of glass and glazing technologies", in Shortland, A.J. (ed.), *The social context of technological change: Egypt and the Near East 1650 - 1150 BC*, Oxford, pp.211-222.  
 2002 "The use and origin of antimonate colorants in early Egyptian glass", *Archaeometry* 44, pp.517-530.  
 2006 "Application of lead isotope analysis to a wide range of Late Bronze Age Egyptian materials", *Archaeometry* 48, pp.657-669.
- Shortland, A.J. and Eremin, K.  
 2006 "The analysis of second millennium glass from Egypt and Mesopotamia, Part 1: new WDS analyses", *Archaeometry* 48, pp.581-605
- Shortland, A.J., Rogers, N. and Eremin, K.  
 2007 "Trace element discriminants between Egyptian and Mesopotamian Late Bronze Age glasses", *Journal of Archaeological Science* 34, pp.781-789.
- Shortland, A.J., Tite, M.S. and Ewart, I.  
 2006 "Ancient exploitation and use of cobalt alums from the Western Oases of Egypt", *Archaeometry* 48, pp.153-168.
- Tite, M.S., Manti, P. and Shortland, A.J.  
 2007 "A technological study of ancient faience from Egypt", *Journal of Archaeological Science* 34, pp.1568-1583.
- Walton, M.S., Eremin, K., Shortland, A.J., Degryse, P. and Kirk, S.  
 2012 "Analysis of Late Bronze Age Glass Axes from Nippur - A New Cobalt Colourant", *Archaeometry* 54, pp.835-852.
- Walton, M.S., Shortland, A.J., Kirk, S. And Degryse, P.  
 2009 "Evidence for the trade of Mesopotamian and Egyptian glass to Mycenaean Greece", *Journal of Archaeological Science* 36, pp.1496-1503.

阿部善也

2013 「古代ガラスの組成分析から起源を読み解く」、『古代ガラス—色彩の饗宴—』、MIHO MUSEUM、pp.265-277.

阿部善也、菊川 匡、中井 泉

2014 「116 keV の高エネルギー放射光を用いた蛍光 X 線分析による古代ガラスの非破壊重元素分析法の開発」、『X 線分析の進歩』45、日本分析化学会 X 線分析研究懇談会、pp.251-268.

阿部善也、遠山加奈枝、中村彩奈、大越あや、中井 泉

2013 「アブ・シール南丘陵遺跡出土の第 18 王朝中期のファイアンス製タイルについての化学分析調査」、『エジプト学研究』別冊第 16 号、早稲田大学エジプト学会、pp.67-77.

阿部善也、張本路丹、中井 泉

2009 「X 線化学分析」、『エジプト学研究』別冊第 13 号、早稲田大学エジプト学会、pp.37-76.

2010 「化学分析」、『エジプト学研究』別冊第 14 号、早稲田大学エジプト学会、pp.94-116.

菊川 匡、阿部善也、真田貴志、中井 泉

2009 「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、日本分析化学会 X 線分析研究懇談会、pp.325-337.

坂上和弘、馬場悠男

2013 「アブ・シール南丘陵遺跡におけるイシスネフェルト墓出土人骨の再調査および未盗掘集団埋葬墓出土人骨の予備調査」、『エジプト学研究』別冊第 16 号、早稲田大学エジプト学会、pp.52-66.

真田貴志、保倉明子、中井 泉、前尾修司、野村恵章、谷口一雄、宇高 忠、吉村作治

2003 「新開発のポータブル蛍光 X 線分析装置によるエジプト、アブ・シール南丘陵遺跡出土遺物のその場分析」、『X 線分析の進歩』34、日本分析化学会 X 線分析研究懇談会、pp.289-306.

高橋寿光、西坂朗子、阿部善也、中村彩奈、中井 泉、吉村作治

2013 「アメンヘテプ 3 世王墓壁画に使用された顔料の化学分析」、『エジプト学研究』第 19 号、早稲田大学エジプト学会、pp.59-96.

中井 泉、クリアンカモン・タンタラカーン

2007 「ガラスビーズ、ファイアンスの蛍光 X 線分析」、『エジプト学研究』別冊第 11 号、早稲田大学エジプト学会、pp.78-97.

中井 泉、クリアンカモン・タンタラカーン、阿部善也

2008 「X 線化学分析」、『エジプト学研究』別冊第 12 号、早稲田大学エジプト学会、pp.68-87.

中井 泉、加藤慎啓、柏原輝彦、熊谷和博、保倉明子

2006 「X 線化学分析」、『エジプト学研究』別冊第 10 号、早稲田大学エジプト学会、pp.56-83.

中井 泉、前尾修司、田代哲也、クリアンカモン・タンタラカーン、宇高 忠、谷口一雄

2007 「ポータブル粉末 X 線回折装置の開発と考古遺物のその場分析への応用」、『X 線分析の進歩』38、日本分析化学会 X 線分析研究懇談会、pp.371-386.

堀内 慧、中井 泉、四角隆二

2012 「可搬型蛍光 X 線分析装置による古代オリエント博物館所蔵 サーサーン朝銀製品の非破壊組成分析 (2011 年度調査)」、『古代オリエント博物館紀要』31、古代オリエント博物館、pp.207-227.

前尾修司、中井 泉、野村恵章、山尾博行、谷口一雄

2003 「可搬型 X 線回折装置の試作」、『X 線分析の進歩』34、日本分析化学会 X 線分析研究懇談会、pp.125-132.

吉村作治、近藤二郎、河合 望、西坂朗子、中川 武、柏木裕之、長谷川奏、菊地敬夫

2004 「発掘調査報告」、『エジプト学研究』別冊第 8 号、早稲田大学エジプト学会、pp.20-50.



エジプト学研究 第22号

2016年3月31日発行

発行所 / 日本エジプト学会

〒169-8050 東京都新宿区戸塚町1-104

早稲田大学エジプト学研究所内

発行人 / 吉村作治

The Journal of Egyptian Studies No.22

Published date: 31 March 2016

Published by The Japan Society of Egyptologist

1-104, Totsuka-chyo, Shinjyuku-ku, Tokyo, 169-8050, Japan

© The Japan Society of Egyptologist