

中世におけるガラスの国産化の可能性

— 博多遺跡群のガラス生産遺物に関する分析結果から —

降幡 順子¹⁾・比佐 陽一郎²⁾・齋藤 努³⁾

●キーワード：カリウム鉛ガラス (potassium lead silicate glass), 鉛同位体比 (lead isotope ratio), ガラス坩堝 (glass crucible), 焼成温度 (firing temperature)

1. はじめに

日本における鉛ケイ酸塩ガラスの出土例は弥生時代前期末頃からみられる (藤田:1994)。鉛バリウムガラスは福岡県須久岡本遺跡や三雲南小路遺跡 1 号甕棺, 佐賀県宇木汲田遺跡 106 号甕棺など弥生時代中期頃から (山崎:1977, 江本:1983, 山崎:1982), また鉛ガラスは弥生時代後期頃の福岡県二塚遺跡や島根県西谷 2 号墓などで確認されている (奈良文化財研究所:2006)。弥生時代の鉛ケイ酸塩ガラスは, 鉛同位体比からみて, 中国から製品または原料ガラスを輸入して加工したと考えられている (山崎:1987)。このうち, 日本国内の遺跡からは鉛ケイ酸塩ガラスが検出されなくなり, 流通がいったん途絶えたとみられているが, 古墳時代終末期頃になると, 再び鉛ガラスの出土例が報告されるようになる。愛知県高蔵公園内第 1 号古墳, 福岡県宮地嶽古墳などの遺跡から出土したガラスの鉛同位体比は日本産鉛鉱石とは異なる値を示している (山崎:1987)。

本稿では, ガラス製品の製作のうち原料からガラス素材を作る工程を一次生産, ガラス素材もしくはガラス製品を溶融し, 製品に加工する工程を二次生産と呼称する。ガラス素材を利用する工程を一次生産, ガラス製品を再利用する製作工程を二次生産とするという意見もあるが, 本稿では鉱石等の原料からの製作を表現するため前述の

ようにした。ここではこれらのうち一次生産について着目する。

7 世紀後半から 8 世紀初頭の奈良県飛鳥池遺跡では, 鉛鉱石が付着した坩堝が出土しており, 鉛同位体比から国内産原料の使用が確認され, 原料から鉛ガラスの素材を作るまでにいたる一次生産がおこなわれていたことが, まず明らかとなった (肥塚ら:1992)。その後, 同じく飛鳥池遺跡から出土した鉛釉陶器に国内産の鉛原料が使用されていたことが確認され, 同時期には鉛釉の生産もすでにおこなわれていたことがわかった (降幡ら:2012)。鉛釉陶器はその後の奈良三彩を経て, 緑釉陶器として平安時代を通して生産される。10 世紀後半になると京都府清凉寺釈迦像胎内納入ガラス瓶のように, 宋から輸入された新たな材質であるカリウム鉛ガラスが出現する (Brill et al.:1979)。

本研究の調査対象である福岡県博多遺跡群は, 1977 年から継続して発掘調査がおこなわれ, 多くの遺構と遺物が発見されている (大庭ら:2008, 大庭:2009)。ガラス製品や, ガラス質が内部に付着した壺 (推定される機能からみて本稿では坩堝と呼ぶこととする) が出土するなど, 中世におけるカリウム鉛ガラス生産関連遺物が国内で最も多く出土している遺跡である (比佐:2008)。博多遺跡群は, 大宰府鴻臚館が 11 世紀後半頃に衰退し博多に貿易の拠点が移った頃から, 遺構・遺物が激増す

¹⁾ 独立行政法人国立文化財機構 奈良文化財研究所 〒630-8577 奈良県奈良市二条町 2-9-1

²⁾ 福岡市教育委員会 〒810-8621 福岡県福岡市中央区天神 1 丁目 8-1

³⁾ 大学共同利用機関法人人間文化研究機構 国立歴史民俗博物館 〒285-8502 千葉県佐倉市内町 117

表1 分析資料一覧
Table 1 List of analyzed samples

No.	資料	埴塙分類	所属時期		発掘回数
1	埴塙資料	I-a 類	11 世紀後半～12 世紀前半	前期	博多遺跡 62 次
2		I-a 類	11 世紀後半～12 世紀前半	前期	博多遺跡 62 次
3		I-a 類	11 世紀後半～12 世紀前半	前期	博多遺跡 62 次
4		II 類	11 世紀代～12 世紀	前期	博多遺跡 62 次
5		I-a 類	12 世紀後半	中期	博多遺跡 147 次
6		I-b 類	12 世紀後半	中期	博多遺跡 115 次
7		II 類	12 世紀後半	中期	博多遺跡 50 次
8		II 類	12 世紀後半	中期	博多遺跡 50 次
9		II 類	13 世紀後半-14 世紀前半	後期	博多遺跡 62 次
10		II 類	13 世紀後半-14 世紀前半	後期	博多遺跡 62 次
11		II 類	時期不明	—	博多遺跡 4 次
12		I-a 類(転用無)	11 世紀代～12 世紀	前期	博多遺跡 35 次
13		I-b 類(転用無)	11 世紀代～12 世紀	前期	博多遺跡 100 次

No.	資料	形状	所属時期		発掘回数
14	ガラス製品	淡緑色容器片	12 世紀前半	前期	博多遺跡 107 次
15		乳白色壁	12 世紀後半～12 世紀末	中期	博多遺跡 35 次
16		青色ガラス塊	12 世紀後半～12 世紀末	中期	博多遺跡 115 次
17		淡青色容器蓋片	12 世紀後半～12 世紀末	中期	博多遺跡 115 次
18		乳白色容器片	13 世紀代	後期	博多遺跡 71 次

No.	資料	器種	所属時期		出土遺跡
19	緑釉陶器	碗	11 世紀中頃	前期	吉塚祝町遺跡
20		碗	13 世紀後半～14 世紀	後期	吉塚祝町遺跡
21		碗	10 世紀・12 世紀前半	前期	吉塚祝町遺跡
22		碗	古代～15 世紀後半	後期	吉塚祝町遺跡
23		碗	時期不明	—	吉塚祝町遺跡
24	碗	時期不明	—	吉塚祝町遺跡	

る。今回の対象資料と時期が重なる 11～13 世紀半ばころまでは、宋の商人を主体とした貿易が栄え、日宋貿易の一大拠点であった。また博多遺跡群からは、ガラスや鉄・銅、骨などの工房跡や関連遺物が出土しており、様々な生産がおこなわれていたことが明らかとなっている。

これまで、博多遺跡群出土ガラス関連遺物の自然科学的な調査は、まず白磁片・埴塙付着ガラス質資料 9 点、緑色ガラス製品 2 点についてガラスの化学組成や鉛同位体比、埴塙胎土の X 線回折分析などが実施されている(山崎ら：1993, 1995, 1996a, 1996b, 1996c)。

鉛同位体比分析からは、白磁片・埴塙付着ガラス質資料 3 点が対馬の対州鉾山産、緑色ガラス製品 2 点が中国産の原料であることがわかった。

また埴塙胎土の X 線回折分析から、博多遺跡群 59 次調査出土埴塙は 1000～1200℃程度で焼成されたものと推定されている。博多遺跡群 62 次調査では推定焼成温度が約 1200℃の埴塙 4 点、焼成温度は約 1200℃まで達しているが高温に保たれていた時間が短いと考えられるとする埴塙 1 点、ムライトが生成されクリストバライトが検出されていない推定焼成温度が約 1000℃の埴塙 2 点、長石が残存しムライトが生成されていない推定焼成

温度が約 1000℃の埴塙 1 点が出土している。これらの埴塙は胎土が緻密ではなく、また耐火度が不十分とみられるため、ガラス素材もしくはガラス製品をこれらの中で再熔融し、鋳型などに注入して製品を作るのに使用されたのではないかと推定されている。博多遺跡群第 71 次調査出土埴塙は、1200℃以上で焼成された上、ガラスの融解に使われたのであろうと報告されている。

さらに、ガラス玉、容器片、ガラス塊、埴塙付着ガラス質などを含む 124 点に対して定性分析が実施されている(比佐：2009, 比佐ら：2010)。それらによれば、資料は青～緑色系統の色調が多く、カリウム鉛ガラスが多数を占めている。また資料数は多くないが、鉛が検出されず、カルシウム・カリウムが多く検出される資料も見られ、カリウム石灰ガラスである可能性が指摘されている。

近年の研究(比佐ら：2008)によって、博多遺跡群出土埴塙は器形や施釉の有無、胎土の肉眼観察によって分類できることがわかってきたため、われわれはそれを踏まえ、埴塙の内部に付着したガラス質資料(以下、埴塙付着ガラス質資料とよぶ)の鉛同位体比分析をおこなった。その結果、埴塙分類・所属時期によって鉛原料の産

地に違いを見出したので、本稿ではそれを報告する。また、ガラス製品と坩堝付着ガラス質資料との関連性を調べるために、同遺跡群出土のガラス製品についても同様の調査をおこなった。さらに、周辺にある吉塚祝町遺跡から出土した防長産と考えられる緑釉陶器の鉛同位体比分析もおこない、遅くとも9世紀頃には流通していることが知られている対州鉱山産とみられる鉛が（高橋：2001）、カリウム鉛ガラス以外にも用いられているかどうか、調査をおこなった。

2. 分析資料

分析に供した資料は、博多遺跡群出土の坩堝付着ガラス質資料11点（No.1～11）、坩堝と同じⅠ類であるが、転用痕跡のない（ガラスが付着していない）無釉の壺または水注2点（No.12, 13）、ガラス製品5点（No.14～18）、吉塚祝町遺跡出土緑釉陶器6点（No.19～24）である（附録1）。転用痕跡のない無釉の壺または水注を追加した理由は、1200℃程度の被熱が土器本体の焼成温度なのか、内部に残存するガラスを熔融する際の温度なのかを識別するためである。資料No.1～11、No.14～No.18のガラス質部分・ガラス製品について化学組成、資料No.1～11、No.14～No.24のガラス質部分・ガラス製品・緑釉について鉛同位体比、No.1～13では焼成温度に関する分析を行った。

2.1 ガラス坩堝

新たに提示された坩堝の分類は以下のとおりである（比佐ら：2008）。資料詳細は表1に示す。いずれも博多遺跡群出土資料である。

- ・Ⅰ-a類：中国福建省産の無釉の壺または水注を坩堝へ転用したもの
- ・Ⅰ-b類：中国福建省産の褐釉の壺または水注を坩堝へ転用したもの
- ・Ⅱ類：Ⅰ-a類を模して坩堝専用として国内で生産されたと考えられるもの

Ⅰ-a・Ⅰ-b類は器壁が薄く、胎土の粒子が微細であり、把手があるなどの特徴を有するが、Ⅱ類は器壁が厚く、粗粒の胎土が用いられており、把手の機能がみられないなどの点に違いがある。またⅠ-b類よりもⅠ-a類の方

が出土例が多い。坩堝資料の遺構年代の詳細は表1に示した通りである。ここでは大きく3時期に分類し、前期として11世紀～12世紀前半、中期として12世紀後半、後期として13世紀以降とした。本研究で調査に供したものは、前期として坩堝Ⅰ-a類3点、坩堝Ⅱ類1点、転用痕跡のない壺または水注2点、中期として坩堝Ⅰ-a類1点、坩堝Ⅰ-b類1点、坩堝Ⅱ類2点、後期として坩堝Ⅱ類2点、時期不明資料1点である。坩堝付着ガラス質部分は、風化などの影響が少ない箇所では青～緑色の寒色系を呈している。

本研究で調査対象としたような器形の坩堝は、今のところ博多遺跡群からの出土数が最も多く、なかでも御供所町西端、冷泉町、祇園町中央部の3か所に集中しているが、明確な遺構が発見されていないため工房の詳細は不明である（比佐：2009）。博多遺跡群以外でも、周辺の箱崎や吉塚祝町といった遺跡や大宰府などでは類例があるものの、他地域では報告されておらず、当時のカリウム鉛ガラス用の坩堝として一般的な器形であったかどうかは不明である。一方、7世紀後半の飛鳥池遺跡出土のガラス坩堝は砲弾形をしており、類似資料が藤原京右京一条二坊（奈良国立文化財研究所：1992）、奈良時代の平城京左京七条一坊（奈良国立文化財研究所：1997）および滋賀県中畑遺跡（滋賀県教育委員会・滋賀県文化財保護協会：2005）など、タタキや底部の相違はあるものの他の地域や遺跡でも複数確認できるため、ある一定期間、鉛ガラスの坩堝として使用された一般的な器形であったといえる。またこれらの器形の坩堝付着ガラス質について一部は鉛同位体比分析がおこなわれており（肥塚ら：1993）、長登銅山や蔵目喜銅山産原料の可能性が指摘されている。

2.2 ガラス製品

調査対象としたガラス製品は、吹きガラス製（井上：2011）と考えられる青～緑色を呈する容器片1点・容器蓋片1点、乳白色不透明を呈する厚手の容器片1点・璧1点、青色を呈するガラス塊1点である（表1）。博多遺跡群では青～緑色のガラス製品の出土数が多く、同様に坩堝付着ガラス質資料も青～緑色を呈しているものが多いことから、坩堝内部に付着しているガラス質資料は、

ガラス製品の素材として使われたと考えてよい。本研究では、色調が青色～緑色で、材質はカリウム鉛ガラスと考えられるガラス製品を選択し、それらの鉛原料に着目することにした。淡褐色～乳白色を呈するガラス質が残存している坩堝は風化の影響により本来の色調を失ったものとみられるので、その確認のために同系色のガラス製品を資料として選択し分析結果を相互に比較した。所属時期は、前期1点、中期3点、後期1点である。鉛同位体比分析は、微量ではあるが試料採取を伴うため、分析資料点数を出来るだけ少なくするよう心掛けた。また博多遺跡群第115次調査では、青～緑色の坩堝付着ガラス質と、同系色のガラス塊、容器蓋片が同じ調査区内から出土しているため、これらも分析資料に加えた。

2.3 緑釉陶器

比較資料として、博多遺跡群から約2 km離れた地点にある吉塚祝町遺跡から出土した緑釉陶器6点も分析に供した(表1)。考古学的な所見から、長門・周防に生産地のあった資料(ここでは防長産と呼称する)と判断されているものである。所属時期は、前期2点、後期2点、時期不明2点である。

緑釉陶器は長門では9世紀前半頃から10世紀頃、周防では10世紀頃から11世紀頃に生産していたと考えられているため、ここで分析対象とした緑釉陶器は、博多遺跡群から出土した資料の前期と同時期、もしくはやや古い時期の資料と考えられる。吉塚祝町遺跡からも博多遺跡群出土資料と同様のカリウム鉛ガラスの坩堝1点が出土している。緑釉の鉛原料は鉛同位体比分析から長登銅山・蔵目喜銅山周辺のものの使用が推定されているが(齋藤：2001a)、対州鉾山の鉛同位体比と近い値を示す鉛釉陶器が確認された事例もあるため(降幡：2012)、カリウム鉛ガラス以外の資料でも原料の産地を推定し、関連性を探ることにした。

3. 分析方法

3.1 ガラス質部分・釉薬の蛍光 X 線分析

坩堝付着ガラス質資料・ガラス製品・釉層から約1 mm×1 mm 大の破片を採取し分析試料とした。風化のために白色化・銀化している部分を採取した資料もある。

表面風化層が含まれる部分を測定しているため、風化の影響による組成の変動はあるものと考えられる。

使用した装置は、エダックス製蛍光 X 線分析装置 EAGLE III、測定条件は管電圧 20 kV、管電流 200 μ A、X 線照射径 50 μ m、測定時間 300 秒、真空雰囲気中である。定量分析の標準試料には、NIST (National Institute of Standards and Technology) 発行の 89, 620, 1412, BAS (Bureau of Analysed Samples Ltd.) 発行の SGT-7, 8, コーニングガラス博物館標準試料 CMG-A, B, C, および産業技術総合研究所地質調査総合センター岩石標準試料 JB-1a, JGb-2 を用い、検出元素の各酸化物の合計が 100 wt% になるよう規格化し、FP (ファンダメンタル・パラメーター) 法によって定量値を求めた。分析箇所は顕微鏡下でできるだけ風化の程度が少ない箇所を選択し、三回測定して平均値をとった。

3.2 鉛同位体比分析

坩堝付着ガラス質資料、ガラス製品、緑釉を対象とし、3.1 の蛍光 X 線分析に用いたものを分析試料とした。鉛の分離には高周波加熱分離法(齋藤：2001b)を適用した。分析装置は表面電離型質量分析装置 Finningan MAT-262 を使用し、鉛 200 ng 相当量の試料溶液を分取して、テフロン容器内で蒸発乾固したのち微量の希硝酸で溶解し、レニウムシングルフィラメント上にリン酸・シリカゲルとともに塗布して測定に供した。測定条件はフィラメント温度 1200°C とし、同一条件で測定した標準試料 (NIST SRM-981) のデータを用いて質量分別効果の補正をおこなった。

3.3 X 線回折分析

緑釉および坩堝の胎土について、焼成時に胎土中に生成した鉍物の同定により、おおよその焼成温度を推定するために、X 線回折分析をおこなった。胎土粉末を微量採取し、分析装置には、Rigaku 製 MiniFlex II を使用した。測定条件は管電圧 30 kV、管電流 15 mA、ターゲット Cu、モノクロメータ使用、ステップ幅 0.01 deg., スキャンスピード 0.6 deg./min である。

4. 結果および考察

4.1 ガラス・釉薬の蛍光X線分析

分析結果を表2に示す。表面から測定しているため、坩堝付着ガラス質資料は、風化の程度によって得られる分析値がさまざまに変動する。そこで、ガラス表面の風化層を研削して内部を測定した山崎ら（1993）の結果と比較し、表面風化による変質の程度が少ない資料の抽出を試みた。

山崎ら（1993）の報告によれば、表面層で二酸化ケイ素 45.6 wt%，酸化鉛 42.6 wt%，酸化カリウム約 1.8 wt%の数値だったものが、0.5 mm～1 mm 研削した結果、二酸化ケイ素 35.5～36.5 wt%，酸化鉛 51.9～49.9 wt%，酸化カリウム約 11.4～12.4 wt%となった。このことから、酸化カリウムは風化の影響を特に強く受け、表面層と内部とで数値が大きく変化することがわかる。本研究における坩堝付着ガラス質資料1点（No.5）と製品3点（No.14, 15, 18）の分析値（表2）は、二酸化ケイ素約 36～46 wt%，酸化鉛約 37～49 wt%，酸化カリウム約 11～14 wt%であった。これらは酸化カリウムの値が山崎ら（1993）による研削後の数値に近いことから、風化の程度が小さく、本来のガラス組成により近いものと判断した。これら4点の資料の値を比較すると、酸化カルシウム濃度に僅かな差異があるものの、全体として化学組成に顕著な違いはみられなかった。このことから、異なる時期である前期（No.14）・中期（No.15）・後期（No.18）のガラス製品相互や、同時期である中期

の坩堝付着ガラス質資料（No.5）とガラス製品（No.15）との比較では、化学組成にはほとんど相違がないと判断した。

これに対し、表面が白色層で覆われ風化の程度が大きい資料（No.3, 4, 9, 10, 11；表2参照）は、酸化カルシウムとリンの濃度が高く、化学組成が他の資料とは大きく異なっていた。これらについて山崎ら（1960）は、動物・人体の遺体や排泄物などの影響により、風化によって組成が変化したのではないかと考察している。本研究の分析結果でも、カルシウムとともにリンや鉛が高濃度で検出されている。このうち鉛は、カリウム鉛ガラスの表面に、炭酸鉛などの風化の影響による生成物が付着したものと考えられ、またリンを含む塩化トリス（磷酸）五鉛（ $Pb_5Cl(PO_4)_3$ ）も確認されている（山崎ら：1993）。酸化カルシウムとリンについては、山崎ら（1960）の考察に従えば遺体等からの影響によるリン酸カルシウム等の付着が考えられる。博多遺跡群は都市遺跡であり、人々の生活に関わる墓地や動物の遺骸、解体痕のある動物骨など、原因となり得る遺構や遺物が比較的高い頻度で出土する。しかし坩堝出土地点において、遺体や排泄物等との関係を明確に認められる事例が無いため、本資料への直接的な影響の有無を明言することは難しい。

11世紀中ごろの平等院本尊阿弥陀如来坐像台座華盤納入品のガラス玉（以下、華盤納入ガラス玉と略す）の調査では、酸化鉛 67～74 wt%，二酸化ケイ素 16～26 wt%，酸化カリウム 0.3～2.1 wt%，酸化リン 0.5～4.8 wt%を含む鉛ガラスが検出された（白瀧ら：2011）。こ

表2 坩堝付着ガラス質・ガラス製品の化学組成（wt%）

Table 2 Chemical composition of vitreous fragments clinging to crucibles and glass objects (wt%)

No.	資料	分類・形状	色調	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃	CuO	PbO
1	坩堝付着 ガラス質	I-a類	淡緑色	0.20	0.26	3.4	68.9	1.0	2.5	0.88	0.69	0.37	21.7
2		I-a類	淡緑色	0.35	0.14	2.3	54.5	4.3	2.2	0.58	0.20	0.11	35.3
3		I-a類	淡緑色風化	0.56	0.21	1.1	43.9	6.9	1.1	2.5	0.19	0.43	43.2
4		II類	淡褐色風化	0.43	0.12	0.48	24.1	4.5	0.19	0.42	0.21	0.13	69.4
5		I-a類	青緑色	0.50	0.14	0.74	37.9	0.56	11.4	0.09	0.11	0.12	48.5
6		I-b類	青緑色	0.43	0.11	0.91	44.5	0.55	8.4	0.19	0.23	0.67	44.0
7		II類	淡緑色	0.33	0.20	6.7	59.5	4.8	1.8	1.4	1.4	1.1	22.6
8		II類	淡緑色	0.64	0.61	2.5	48.7	1.4	0.20	3.0	0.99	1.1	39.6
9		II類	淡褐色風化	0.51	0.13	1.0	8.3	19.4	0.18	9.4	0.36	0.12	60.5
10		II類	淡褐色風化	0.54	0.17	4.7	58.5	6.6	3.8	4.4	2.5	0.09	17.2
11		II類	淡褐色風化	0.72	0.37	2.2	8.8	18.1	0.25	15.5	0.67	0.34	53.1
14	ガラス製品	容器片	淡緑色風化	0.49	0.10	0.74	36.4	0.48	12.2	0.13	0.15	0.09	49.2
15		璧	乳白色	0.64	0.12	0.66	43.5	0.35	14.2	0.32	0.11	0.06	40.1
16		ガラス塊	青色	0.31	0.10	0.91	39.2	0.64	8.1	0.03	0.16	0.62	50.0
17		容器蓋片	淡青色	0.52	0.11	0.79	39.3	0.66	9.5	0.08	0.28	0.70	48.1
18		容器片	乳白色	0.63	0.11	0.79	45.6	0.37	13.8	1.6	0.16	0.06	36.9

の坐像は本研究で対象とした資料と時期が重なっているため、本資料中にも鉛ガラスの坩堝が含まれている可能性が考えられる。その点について、以下に検討してみることにする。

華盤納入鉛ガラスでは、酸化カリウム濃度が多い資料で1.0 wt%以下であった。そこで、本研究の資料のうち、酸化カリウム1.0 wt%以下の資料4点（資料No.4, 8, 9, 11）を抽出して比較を試みた。

これらのうち、資料No.9, 11は酸化リンがそれぞれ19.4 wt%, 18.1 wt%, 酸化カルシウムがそれぞれ9.4 wt%, 15.5 wt%と濃度が高いことから、風化の程度が著しいことがわかる。また資料No.8は、二酸化ケイ素、酸化鉛の濃度が山崎ら（1993）の報告している風化した表面層の数値に近い。従って、酸化カリウムの濃度が1.0 wt%以下と低いのは、もともとの組成が低かったわけではなく、風化によって濃度が低下したものと判断した。資料No.4は、ほとんどの元素で白瀧ら（2011）の報告している鉛ガラスと濃度は近いが、酸化リンの濃度が4.5 wt%と高くなっており、風化の影響があるものと考えられる。華盤納入ガラス玉とは異なり、資料No.4は目視によっても表面層が白色化するほど風化が著しく進んでいることが認められる。

以上の点から、本研究で分析に供した資料に鉛ガラスは含まれず、いずれもカリウム鉛ガラスであると判断した。

資料No.8からはヒ素が検出された。これまでに報告されている当該期のヒ素を含む事例としては平等院本尊阿弥陀如来坐像台座華盤納入品のガラス玉とガラス片（白瀧：2011, 中井ら：2012）9点がある。それらの基礎ガラスにはカリウム鉛ガラスと鉛ガラスの両方があり、色調も多様である。ガラスへヒ素を混入することによって、清澄剤や消色剤としての効果が期待できる。少量の清澄剤を添加することによってガラス中の気泡が取り除かれることが知られており、現代の鉛クリスタルガラスの場合、約0.3~0.5 wt%のヒ素が、アルカリ硝酸塩（硝石と考えられる）とともに添加されている（田中：1999）。消色効果としては、鉛ガラスに含まれる鉄（Fe²⁺）の酸化剤のひとつとしてヒ素が挙げられ、鉄の濃度に応じた分量が添加される（立和名：1999）。ただし、本研究で対象とした資料10点のうち、ヒ素が検出されたのは資料No.8の1点のみであり、また濃度も約1.0 wt%とやや高めであるため、意図的に添加したものではなく、不純物の可能性も考えられる。

4.2 鉛同位体比分析

分析結果を表3に示す。また²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb比と²⁰⁸Pb/²⁰⁶Pb比の関係（a式図）および²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb比と²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb比の関係（b式図）を図1～図5に示す。図中には従来の青銅器の研究報告から同位体比をグループ分けした領域

表3 坩堝付着ガラス質・ガラス製品・緑釉の鉛同位体比

Table 3 Lead isotope ratios of vitreous fragments clinging to crucibles, glass objects and lead-glazed earthenwares

No.	資料	分類・形状・器種	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁶ Pb	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb
1	坩堝付着ガラス質	I-a類	0.8355	2.0806	18.791	15.699	39.097
2		I-a類	0.8463	2.1001	18.528	15.681	38.910
3		I-a類	0.8490	2.1092	18.439	15.655	38.891
4		II類	0.8479	2.1103	18.470	15.660	38.977
5		I-a類	0.8478	2.1100	18.470	15.658	38.973
6		I-b類	0.8473	2.1079	18.474	15.653	38.941
7		II類	0.8476	2.1088	18.460	15.646	38.929
8		II類	0.8480	2.1104	18.465	15.658	38.967
9		II類	0.8480	2.1099	18.466	15.659	38.961
10		II類	0.8478	2.1099	18.463	15.653	38.954
11		II類	0.8475	2.1083	18.456	15.641	38.911
14	ガラス製品	容器片	0.8608	2.1215	18.150	15.624	38.506
15		壁	0.8649	2.1397	18.094	15.649	38.716
16		ガラス塊	0.8476	2.1089	18.463	15.650	38.936
17		容器蓋片	0.8514	2.1082	18.389	15.656	38.769
18		容器片	0.8486	2.1129	18.524	15.720	39.140
19	緑釉陶器	碗	0.8475	2.0923	18.413	15.606	38.527
20		碗	0.8474	2.0904	18.405	15.595	38.472
21		碗	0.8472	2.0896	18.401	15.590	38.451
22		碗	0.8472	2.0897	18.401	15.590	38.451
23		碗	0.8474	2.0901	18.401	15.593	38.460
24		碗	0.8475	2.0922	18.412	15.604	38.521

も示す（馬淵・平尾：1982a, 1982b, 1983, 1987）。Aは弥生時代に将来された前漢鏡の領域（中国華北の鉛）で弥生時代の国産青銅器の多くがここに入る。Bは後漢・三国時代の舶載鏡の領域（中国華中～華南の鉛）で、古墳出土の青銅鏡の大部分はここに入る。Cは日本産の鉛鉱石の領域、Dは弥生時代に将来された多紐細文鏡・細形銅剣など朝鮮半島系の遺物が位置するラインである。このほか現代の鉛鉱石のうち朝鮮半島南東部産の領域をD₂として記載した（平尾・榎本：1999）。測定結果の表示には通常a式図が使用されることが多く、それだけでは識別が困難な場合などには、必要に応じてb式図が併用される。本研究の測定結果では、総合的に判断する必要があるため両図を示している。

図1は本研究で産地の候補の一つとなる長崎県対馬の対州鉾山の数値（（馬淵・平尾：1987, 1990）を図示したものである。また坩堝付着ガラス質資料の測定結果を図2に示す。前期に分類される坩堝4点（No.1～No.4）は、値にばらつきはあるがC領域に3点、D₂領域に1点（No.1）が分布し、複数産地の鉛が使用されていることがわかった。No.1の資料は、b式図ではD₂領域からやや外れているがその延長上にあり、またa式図でもD₂領域にあるので、このように判断している。No.3は対州鉾山の数値に近いがやや外れた位置にあることから、対州鉾山産原料に他の産地の原料が混合されている可能性が考えられる。

中期に分類される坩堝4点（資料No.5, 6, 7, 8；図3）はI-a類・I-b類、II類の区別なく、すべて対州鉾山と一致する値を示した。さらに後期に分類されるII類と時期不明坩堝3点（資料No.9, 10, 11）も対州鉾山と一致する値を示した。以上から、カリウム鉛ガラスの鉛原料は、12世紀前半までは一部に朝鮮半島南東部産原料も含む複数産地のものが使用されていたが、12世紀後半以降は、日本産の原料のみとなり、さらにそれは対馬の対州鉾山の鉛原料であると判断される。

次にガラス製品の結果を図4に示す。1点（No.16）がC領域、2点（No.14, 15）がB領域の数値を示し、1点（No.17）はB領域とC領域の中間に位置し、1点（No.18）はa式図ではD領域、b式図ではB領域に位置している。C領域に含まれる資料（No.16）は、対州

鉾山と一致する値を示した。これは博多遺跡群115次調査出土資料において坩堝（No.6）と同じ調査区内から出土している資料であるため、坩堝と同じ産地の鉛原料であるといえる。資料17の吹きガラス製容器蓋片は同じ115次調査で出土した資料であるが、No.6・16とは異なる鉛同位体比値を示す結果となった。ガラス製品は、B領域に値が分布しているものの、値のばらつきが大きく、複数の産地の可能性が考えられる。また初期の製品であるNo.14は、データとしては中国華中～華南産とされているB領域にあるが、朝鮮半島産原料の可能性のあることが指摘されたグループGBの可能性も考えられる（齋藤ら：2009）。乳白色の厚手のガラス資料15・18は、淡褐色～乳白色を呈する坩堝付着ガラス質（資料No.9, 10, 11）の鉛同位体比値とは一致しないことから、これらの坩堝で乳白色ガラスを熔融したというよりも、従来の見解通りに、風化の影響により本来の色調を失ったものであるとみなした方がよい。資料No.15～18は、坩堝では国産の鉛原料のみが検出された中期・後期に該当する。そのためガラス素材としてではなく、すでにできあがった製品として持ち込まれた可能性が高い。このように博多遺跡群では、複数産地の鉛原料を用いた坩堝付着ガラス質資料およびガラス製品が認められる。中国陶磁の出土量からだけではなく鉛同位体比分析結果からも、博多と中国・朝鮮半島との貿易の深さがわかる結果となった。

平尾（2008）、石川・平尾（2008）は11～12世紀の紀年銘をもつ経筒の鉛同位体比分析をおこない、それまで国産原料だったものが、12世紀後半になると中国華中～華南産原料になると報告している。そして、その理由として、国内で銅の産出が減少したため、宋銭を輸入して青銅原料として使用したのではないかと推定している。ここで注意すべきことは、同位体比分析の対象となっているのは銅ではなく、青銅の中に含まれている鉛だという点である。つまり、経筒の原料の一つである鉛は、はじめから青銅として混合された形で中国から日本へ輸入され、銅と同じ供給体制によって調達されていたといっ

てよい。それに対し、本研究の結果では、12世紀後半に属する坩堝付着ガラス質資料のNo.5～8とガラス製品No.16

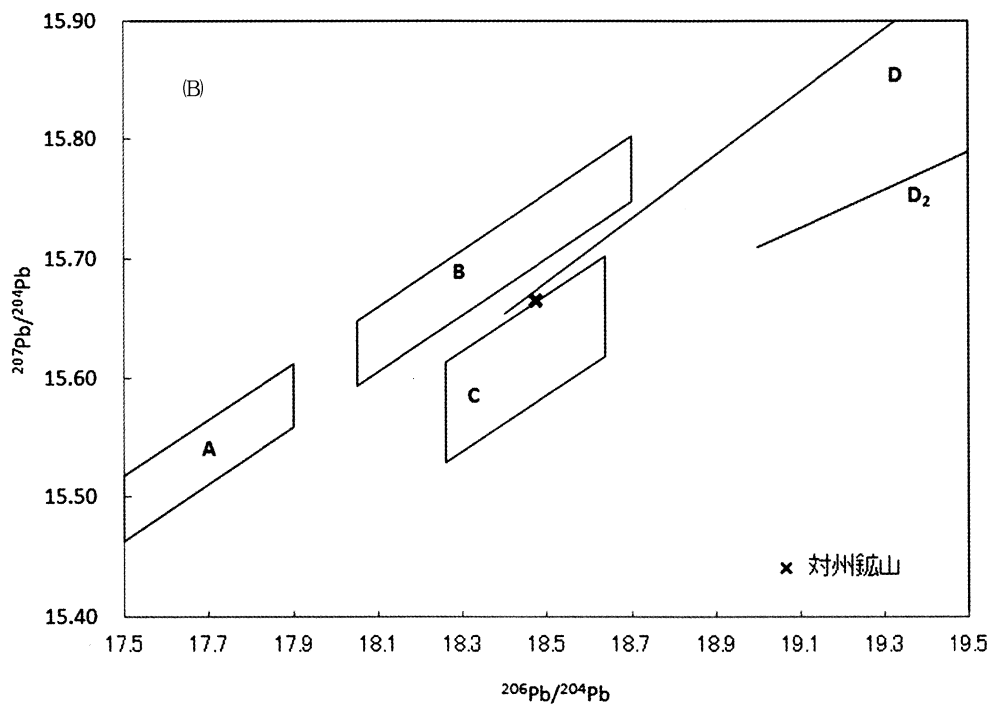
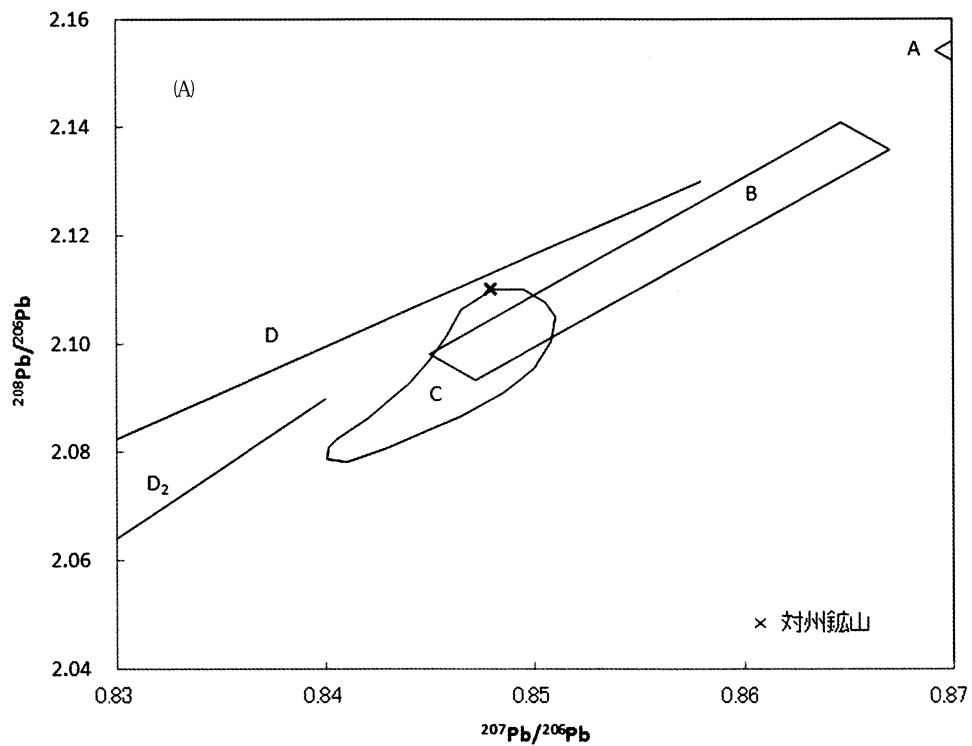


図1 対州鉱山の鉛同位体比分析結果 ((A): a 式図, (B): b 式図)

A: 前漢鏡の範囲 (中国華北の鉛), B: 後漢・三国時代の舶載鏡の範囲 (中国華中～華南の鉛), C: 日本産の鉛鉱石の範囲,
 D: 朝鮮半島系の遺物が位置するライン, D₂: 現代の鉛鉱石のうち朝鮮半島南東部産の範囲

Fig. 1 Lead isotope ratios of the Taishu mine ((A): a-type diagram, (B): b-type diagram)

A: Range of the Western Han mirror (North China), B: Range of Eastern Han and Three Kingdoms importation mirror (Central and South China), C: Range of Japanese lead mineral, D: Line where relics of Korean Peninsula are located, D₂: Range of the product in southeastern Korean Peninsula among modern lead minerals

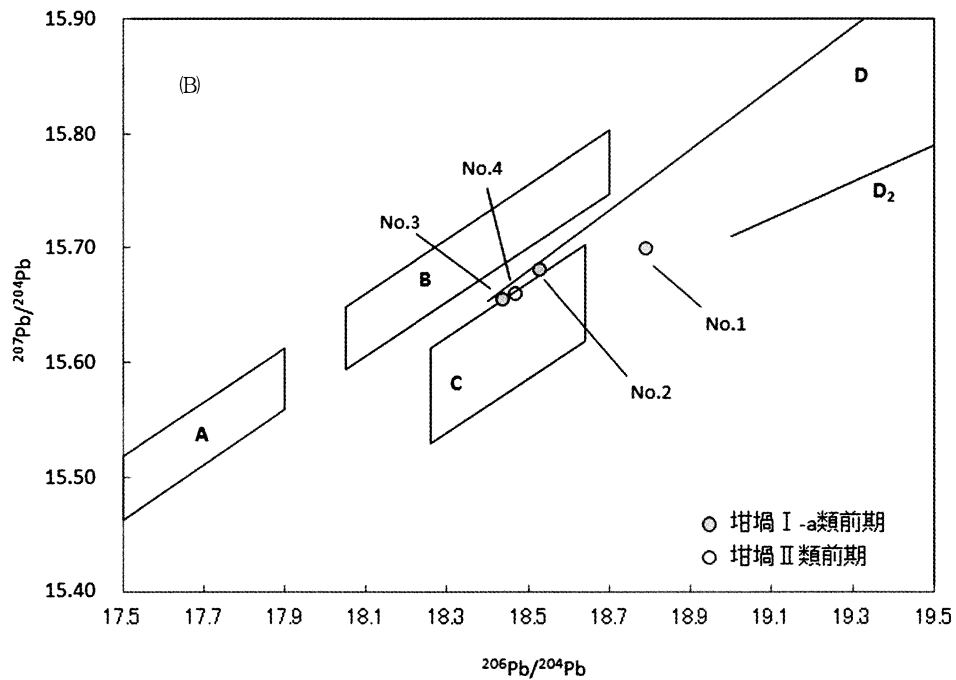
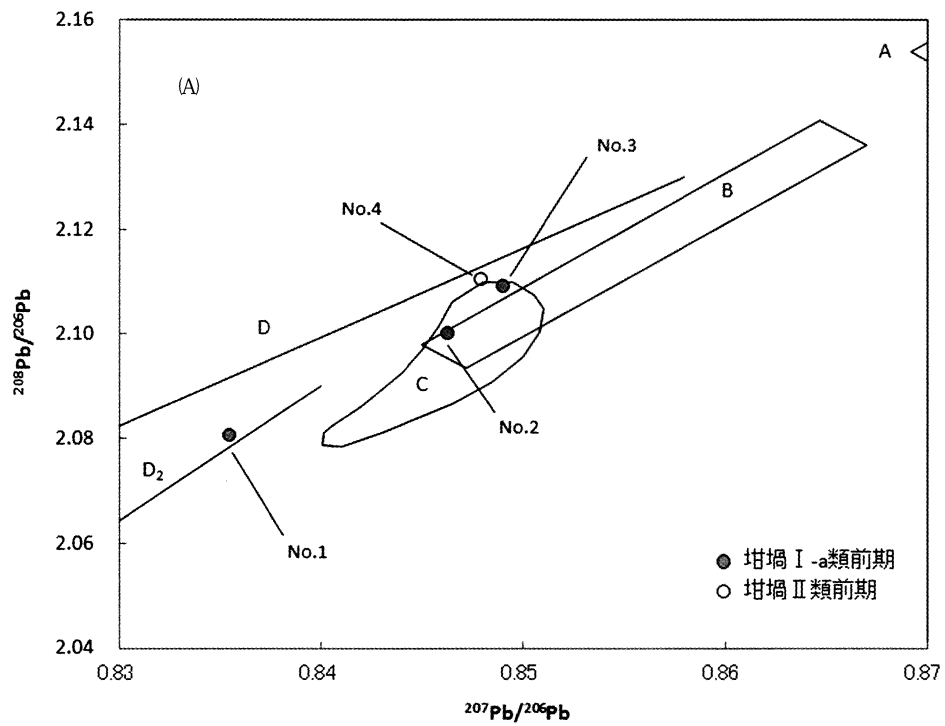


図2 坩堝附着ガラス質資料（前期）の鉛同位体比分析結果（A）：a式図，（B）：b式図

A：前漢鏡の範囲（中国華北の鉛），B：後漢・三国時代の舶載鏡の範囲（中国華中～華南の鉛），C：日本産の鉛鉱石の範囲，D：朝鮮半島系の遺物が位置するライン，D₂：現代の鉛鉱石のうち朝鮮半島南東部産の範囲

Fig. 2 Lead isotope ratios of the vitreous fragments clinging to crucibles ((A): a-type diagram, (B): b-type diagram) (11th century to the first half of the 12th century)

A: Range of the Western Han mirror (North China), B: Range of Eastern Han and Three Kingdoms importation mirror (Central and South China), C: Range of Japanese lead mineral, D: Line where relics of Korean Peninsula are located, D₂: Range of the product in southeastern Korean Peninsula among modern lead minerals

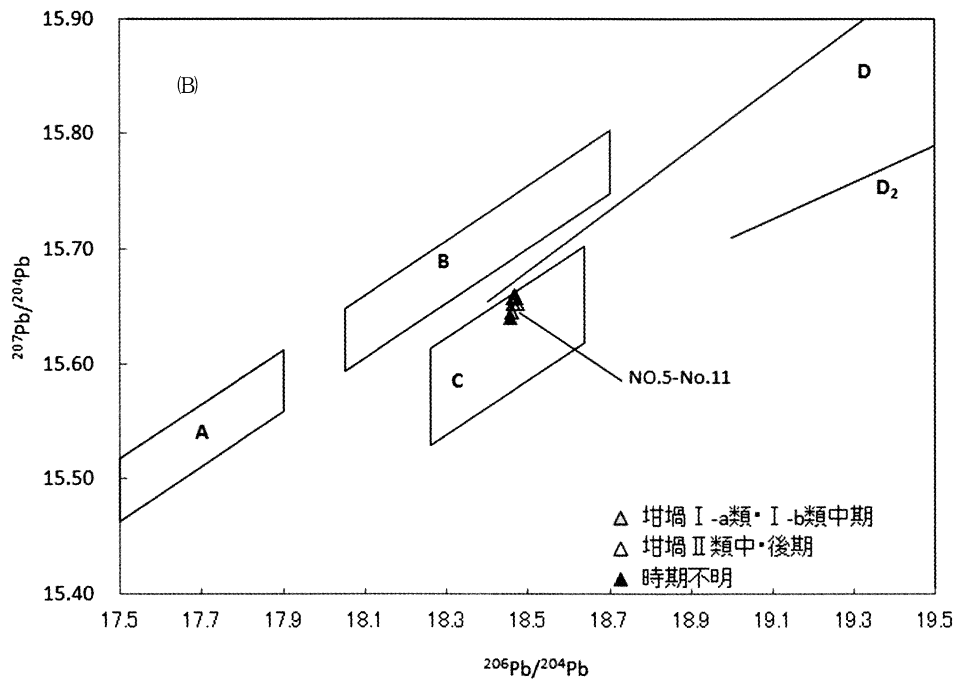
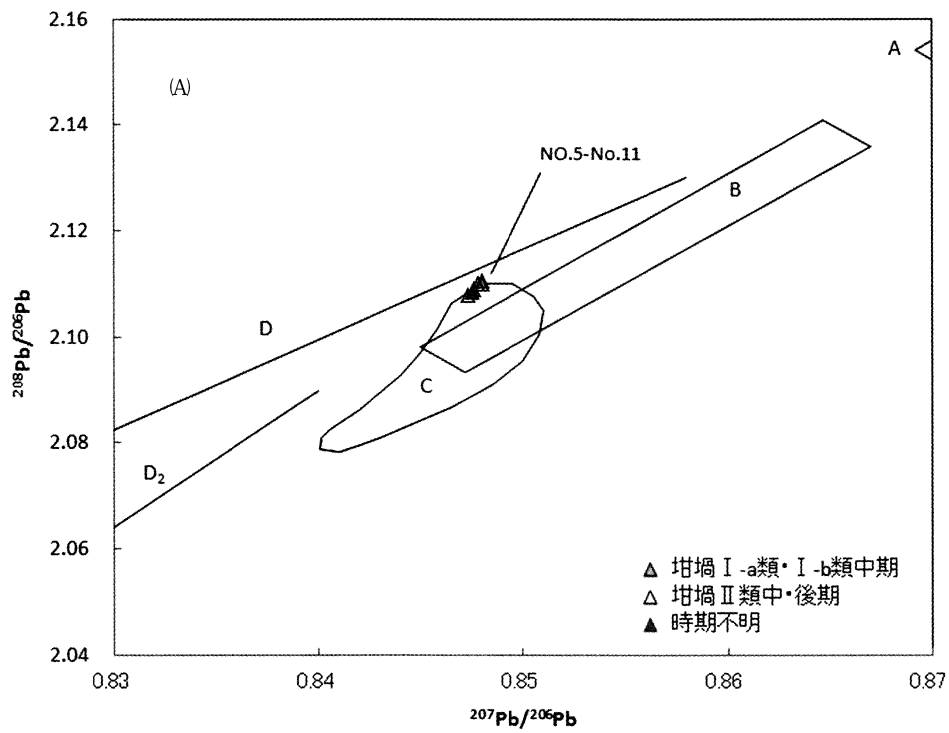


図3 坩堝附着ガラス質資料（中期・後期）の鉛同位体比分析結果（A）：a式図，（B）：b式図

A：前漢鏡の範囲（中国華北の鉛），B：後漢・三国時代の舶載鏡の範囲（中国華中～華南の鉛），C：日本産の鉛鉱石の範囲，D：朝鮮半島系の遺物が位置するライン， D_2 ：現代の鉛鉱石のうち朝鮮半島南東部産の範囲

Fig. 3 Lead isotope ratios of the vitreous fragments clinging to crucibles (A): a-type diagram, (B): b-type diagram (11th century to the first half of the 12th century)

A: Range of the Western Han mirror (North China), B: Range of Eastern Han and Three Kingdoms importation mirror (Central and South China), C: Range of Japanese lead mineral, D: Line where relics of Korean Peninsula are located, D_2 : Range of the product in southeastern Korean Peninsula among modern lead minerals

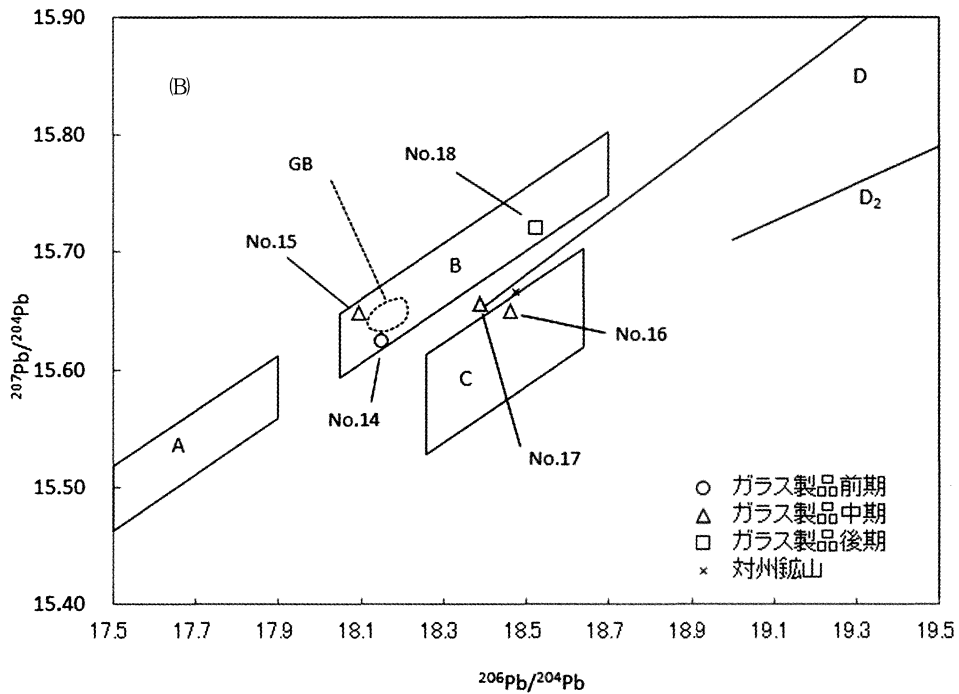
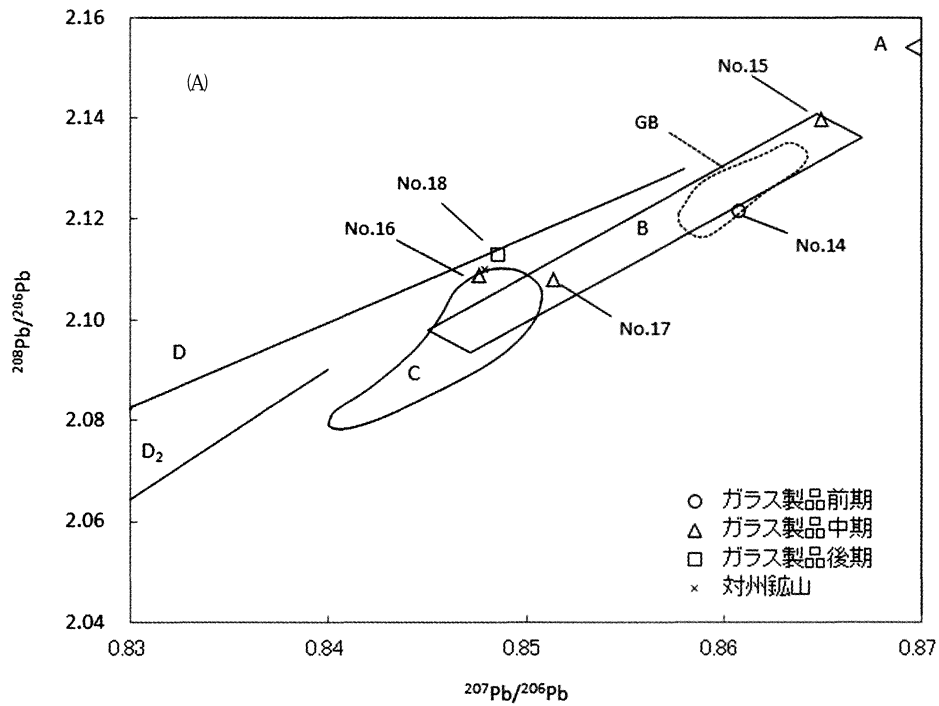


図4 ガラス製品の鉛同位体比分析結果 (A): a 式図, (B): b 式図

A: 前漢鏡の範囲 (中国華北の鉛), B: 後漢・三国時代の舶載鏡の範囲 (中国華中~華南の鉛), C: 日本産の鉛鉱石の範囲, D: 朝鮮半島系の遺物が位置するライン, D₂: 現代の鉛鉱石のうち朝鮮半島南東部産の範囲

Fig. 4 Lead isotope ratios of the glass objects (A): a-type diagram, (B): b-type diagram)

A: Range of the Western Han mirror (North China), B: Range of Eastern Han and Three Kingdoms importation mirror (Central and South China), C: Range of Japanese lead mineral, D: Line where relics of Korean Peninsula are located, D₂: Range of the product in southeastern Korean Peninsula among modern lead minerals

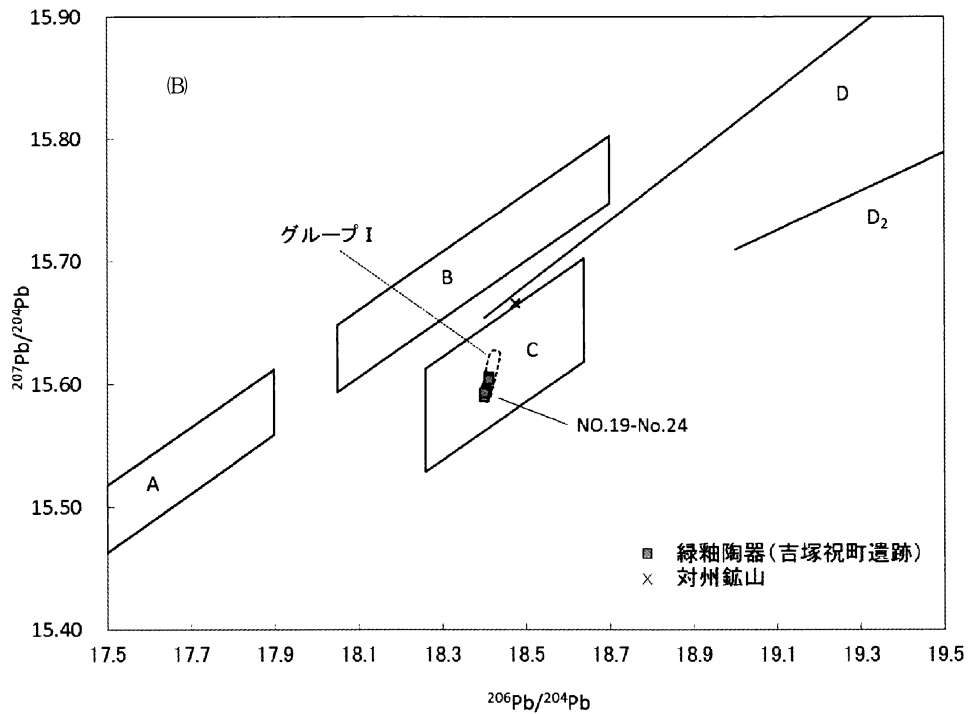
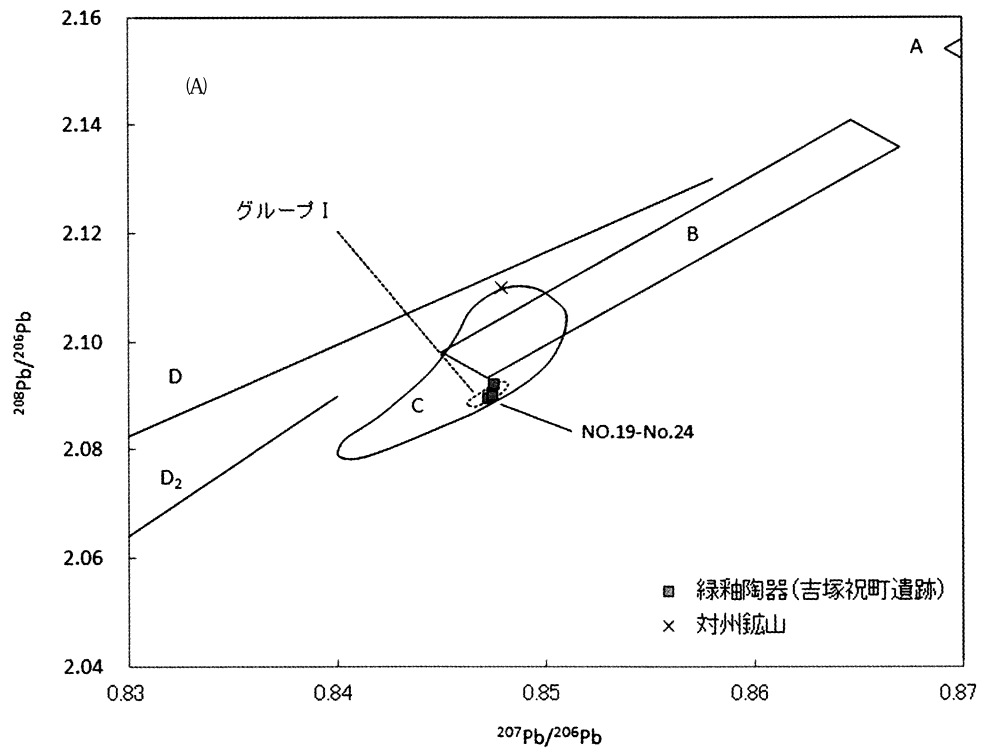


図5 緑釉陶器の鉛同位体比分析結果 ((A): a 式図, (B): b 式図)

A: 前漢鏡の範囲 (中国華北の鉛), B: 後漢・三国時代の舶載鏡の範囲 (中国華中～華南の鉛), C: 日本産の鉛鉱石の範囲, D: 朝鮮半島系の遺物が位置するライン, D₂: 現代の鉛鉱石のうち朝鮮半島南東部産の範囲

Fig. 5 Lead isotope ratios of the lead-glazed earthenware ((A): a- type diagram, (B): b- type diagram)

A: Range of the Western Han mirror (North China), B: Range of Eastern Han and Three Kingdoms importation mirror (Central and South China), C: Range of Japanese lead mineral, D: Line where relics of Korean Peninsula are located, D₂: Range of the product in southeastern Korean Peninsula among modern lead minerals

は、鉛同位体比が対州鉾山の数値と重なっており、日本産の鉛原料が使用されていたことがわかる。このことは、カリウム鉛ガラスの原料、特に鉛は、青銅製品のそれとは異なる供給体制によって調達されていたことを意味している。吉塚祝町遺跡から出土した緑釉陶器の鉛同位体比分析結果を図5に示す。すべての資料の値はC領域内に含まれ、カリウム鉛ガラスが多く分布する対州鉾山の値とは異なる範囲に測定値が集中している。これは緑釉、皇朝十二銭などの青銅製品が数多く分布する「グループI」の範囲であり(齋藤:2001a, 2001b)、山口県の長登銅山や蔵目喜銅山産原料の可能性が指摘されている領域である。このことから、吉塚祝町遺跡出土資料は、博多遺跡群に最も近い地域で生産された緑釉陶器であるにも関わらず、カリウム鉛ガラスとは異なる原料が使われていることがわかる。また、産地こそ異なっているものの、上述の博多遺跡群出土坩堝付着ガラス質資料と同様に日本産原料を使用しているものであり、青銅製品の原料との相違が認められる。博多遺跡群出土のガラスと吉塚祝町遺跡出土の緑釉陶器で原料の産地が異なっている点については、供給体制による差異とも考えられるし、所属時期が後者のほうがやや古くなるため、11世紀から12世紀にかけて鉛原料の供給元が変化したとも考えられる。

4.3 胎土のX線回折測定

原料からガラス素材を作る一次生産に用いられた坩堝であるか、ガラス素材もしくはガラス製品を溶融し、製品に加工する二次生産に用いられた坩堝であるかを判断する手段のひとつとして坩堝の焼成温度がある。焼成前

の胎土には主に粘土鉱物、長石類、石英が含まれているが、粘土鉱物は脱水・分解後に約1000°C以上でムライトを生成し、長石類は約1100°C以上で融解(ガラス化)が開始され、石英は約1200°C以上で一部がクリストバライトへ変化する(Klein et al:1985)。結晶相転移は焼成時の窯内温度分布や焼成時間、胎土の化学組成などによっても影響を受けるため、本来は単純に判断できないが、本研究では次のように焼成温度を推定した。すなわち検出される鉱物が「長石類+石英」ならば、推定焼成温度は約1000°C以下、「ムライト+長石類+石英」ならば約1100°C、「ムライト+石英」ならば約1200°C、「クリストバライト+ムライト+石英」ならば約1200°C以上とした。

坩堝の分類がおこなわれる以前に山崎ら(1993, 1995, 1996a)が博多遺跡群の資料を分析した結果によれば、ムライトが生成しクリストバライトが検出されない1000~1200°C程度で焼成されたものと推定される資料1点(博多遺跡群59次調査)、石英のほかに、ムライト・クリストバライトの両方が生成されている推定焼成温度が約1200°Cの資料4点、ムライト・クリストバライト・長石が共存し約1200°Cの高温に短時間保たれていたと考えられるとする資料1点、ムライトが生成しクリストバライトが検出されない推定焼成温度が約1000°Cの資料2点、長石が残存し、ムライトが生成されていない推定焼成温度が約1000°Cの資料1点(博多遺跡群62次調査)が報告されている。これらはいずれも胎土が緻密ではなく、耐火度が不十分とみられると述べられており、このためこの中で原料を調合して融解する坩堝として使用したとは考え難い、つまり二次生産に該当する坩堝で

表4 坩堝胎土のX線回折結果と推定される焼成温度
Table 4 XRD results and estimated firing temperature of the crucible clay body

No.	坩堝分類	ムライト	長石類	クリストバライト	焼成温度
1	I-a類	○	×	△	約1200°C
2	I-a類	○	×	×	約1200°C
3	I-a類	○	○	×	約1100°C
4	II類	×	○	×	約1000°C以下
5	I-a類	○	×	×	約1200°C
6	I-b類	○	×	○	約1200°C以上
7	II類	×	○	×	約1000°C以下
8	II類	×	○	×	約1000°C以下
9	II類	×	○	×	約1000°C以下
10	II類	×	○	×	約1000°C以下
11	II類	○	○	×	約1100°C
12	I-a類転用前	○	×	○	約1200°C以上
13	I-b類転用前	○	×	×	約1200°C

あるとしている。博多遺跡群第71次調査出土坩堝は、石英、ムライト、クリストバライトが生成していることから、1200°C以上で焼成された上、ガラスの融解に使われたのであろうと報告されている（山崎ら：1996a）。ただしこれは後述するように一次生産か二次生産かの判断が難しい。これらの報告を踏まえ、以下に、坩堝の一次生産への利用の可能性について検討していくことにする。

鉱物種から焼成温度を求める方法では、一旦焼成したのちに、それよりも低い温度でもう一度被熱しても新たな鉱物は生成されないため、坩堝が受けた最高温度しか示されないことになる。一次生産の段階では、原料の鉱物を混合し、ガラス化させる必要があるため、二次生産よりも高温が必要である。いっぽう本研究で対象としたカリウム鉛ガラスの液相温度は約720°Cと考えられるため（Geller et al：1936）、二次生産のためには1200°Cのような高温は必要ではない。そこで1200°C程度の被熱

が土器本体の焼成時に受けたものであるのかどうかを明確に示すために、坩堝資料14点とともに、坩堝として転用されていないI-a類・I-b類と同じ分類の資料2点を加えて調査をおこなった。

胎土から検出された鉱物種とそこから推定される焼成温度を表4、X線回折図の一例を図6に示す。資料は約1000°C以下のグループ（低温タイプ）と、約1200°Cもしくは1200°C以上のグループ（高温タイプ）の2つに大別された。中国産の転用坩堝であるI-a類・I-b類、および転用前の土器はすべて高温タイプであった。この結果からI-a類およびI-b類の中国産転用坩堝については、土器本体の焼成時の被熱の履歴が残っている可能性が高い。ただし、今回の分析法では、ガラスの一次生産で被熱した場合でも、同様の温度履歴が残ってしまい、両者を識別することはできないので、その可能性を否定するものではない。II類の坩堝はNo.11を除いてすべ

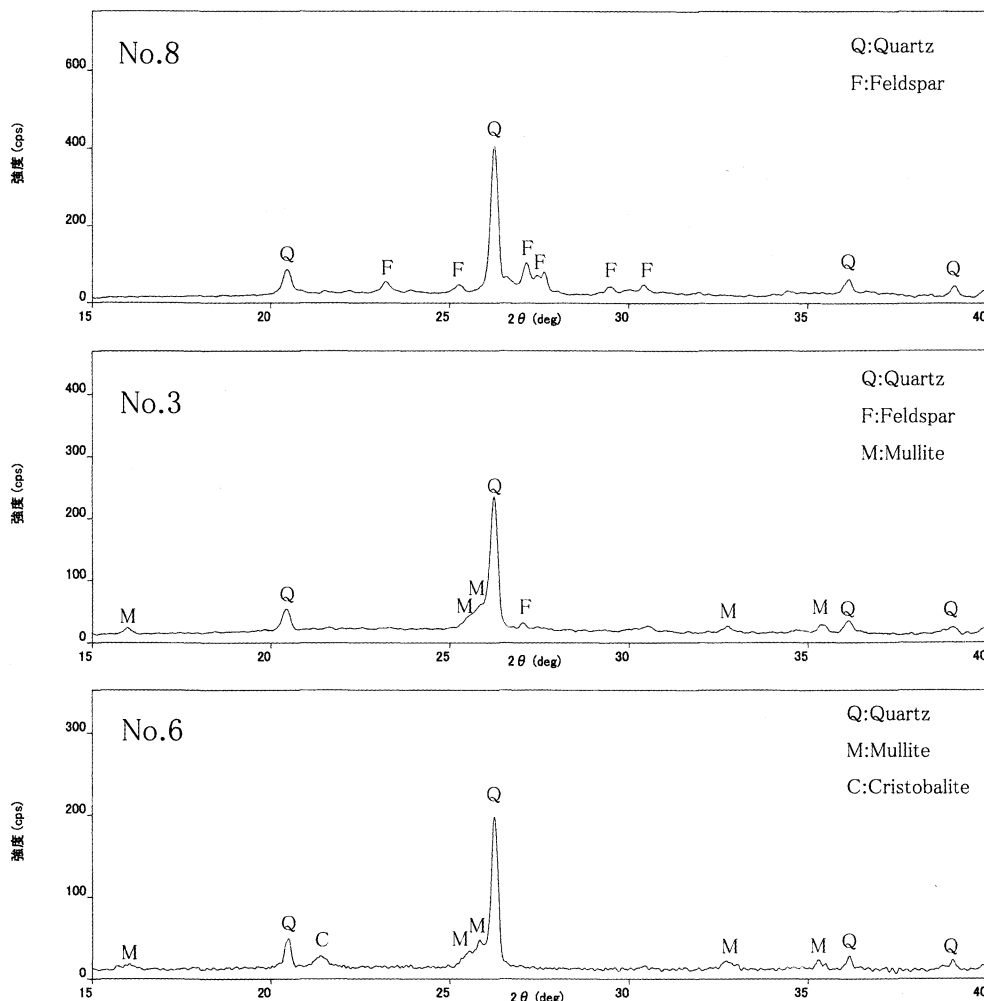


図6 X線回折図の一例

Fig. 6 X-ray diffraction diagram of the crucible clay body

て低温タイプであった。原料からガラスを熔融するには温度とともに鉱物原料の種類、石英粒子の粒径、坩堝内に入れる原料の量、熔融時間など様々な要因が関与する。調査された原料が完全に熔融し、泡が完全に無くなるまで保持しなければならない熔融温度は、液相温度よりも数百度高い。与える温度が高く、原料粒子が揃っていて細くなるに従い熔融時間は短くなり、特に石英粒子の粒度の影響が大きいことが認められている（田中ら：1999）。実際に著者らがおこなった3種類の粒径の石英粒子をもちいた電気炉による実験では、1000℃で加熱した結果（組成は二酸化ケイ素45%、酸化鉛45%、酸化カリウム10%）、粒径と保持時間（2～6時間）の組み合わせによっては坩堝内下層にガラス質が生じる場合もあったが、多くの試料は上層に気泡が残存したままであり、石英粒子が融解しきれていない試料もあった。熔融温度が約1000℃であっても固相が消失するガラス化反応は生じることになるが、ムライトが生成していないⅡ類の坩堝による原料の完全な熔融、脱泡は難しいといえる。Ⅱ類の坩堝はNo.11を除いてすべて低温タイプであり、二次生産をおこなうために製作された専用の坩堝であると判断される。Ⅱ類の坩堝資料No.11はムライトが生成していることから、推定焼成温度は約1100℃である。坩堝本体の焼成時の温度履歴との区別はつかないため、ガラスの一次生産に使用された可能性がないわけではないが、胎土の緻密さや付着ガラス質の鉱物の残存の有無などと合わせて議論する必要があるだろう。

4.4 まとめと課題

新たに分類がおこなわれた坩堝資料に対して鉛同位体比分析を実施し、その付着物であるカリウム鉛ガラスの

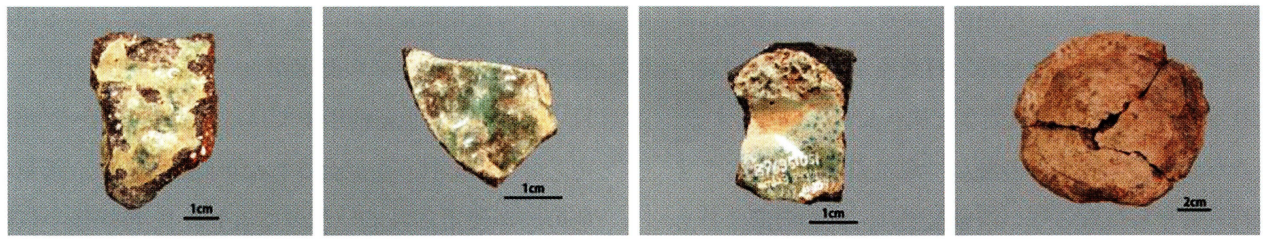
鉛原料の産地推定をおこなった。本研究における坩堝付着カリウム鉛ガラスの測定から、所属時期に対応して、11世紀から12世紀前半までは、朝鮮半島産・対州鉱山産、およびそれらが混合された可能性を含む、複数の産地の鉛が使用されていたのに対し、12世紀後半以降はむしろ日本産の鉛のほうが多く、対州鉱山産の原料のみによる生産へと収斂していることがわかった（表5）。このようにガラス製品としては依然として中国産がみられるものの、博多遺跡群で加工された中世のカリウム鉛ガラスの鉛原料は、時期により産地が異なっていることが明らかとなった。さらに12世紀以降には日本産の鉛原料のほうが多いことから、国内においてカリウム鉛ガラスの一次生産がおこなわれていた可能性が高いと考えられる。博多遺跡群で再加工されているガラス素材（ガラス製品）が、どこで一次生産されたものであるかは今後の課題である。本研究はガラス塊のみが坩堝付着ガラス質と同様の対州産鉛を原料にしていることが確認でき、吹きガラス製容器などの製品では対州産鉛は検出できなかった。今後同時期に相当する青色～緑色系ガラス製品について分析点数を増やしていきたいと考えている。

最後に、青銅製品、緑釉とカリウム鉛ガラスの生産には必ずしも共通の鉛原料は用いられていないということがわかった。その理由としては、11世紀から12世紀にかけて鉛原料の供給元が変化したことや、生産体制の差異などを想定することができる。

本研究の結果は、科学研究費補助金基盤研究(C)「古代ガラス・釉薬の物性から探る製作技術に関する科学的研究（研究代表者：降幡順子）」（平成23年度）による成果の一部である。

表5 坩堝資料の分析結果
Table 5 Results of the vitreous fragments clinging to crucibles

所属時期	坩堝分類	推定される鉛原材料産地	推定焼成温度
前期 11世紀後半—12世紀前半	I類；中国産坩堝	朝鮮半島, 国内産	1100℃, 1200℃
	Ⅱ類；国産坩堝	対州鉱山	1000℃以下
中期 12世紀後半	I類；中国産坩堝	対州鉱山	1200℃, 1200℃以上
	Ⅱ類；国産坩堝	対州鉱山	1000℃以下
後期 13世紀以降	Ⅱ類；国産坩堝	対州鉱山	1000℃以下, 1100℃
11世紀-12世紀	中国産；転用無	-	1200℃, 1200℃以上

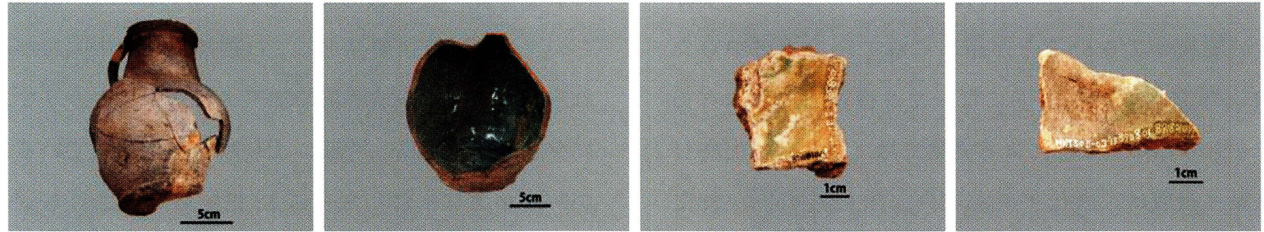


No.1

No.2

No.3

No.4

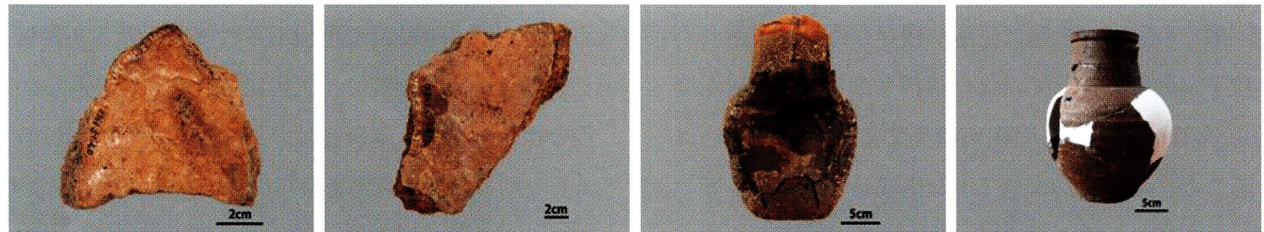


No.5

No.6

No.7

No.8

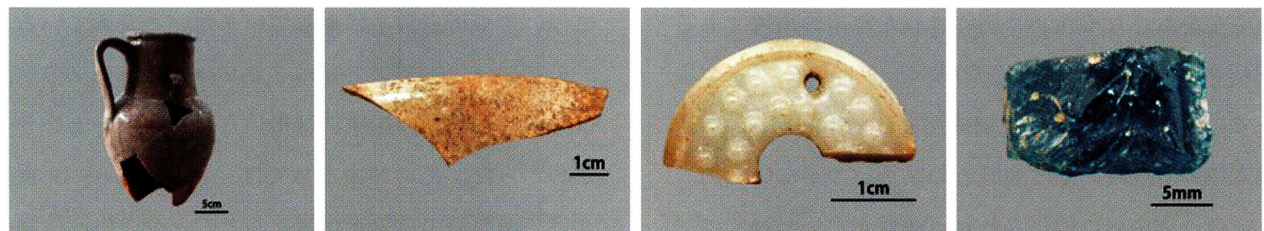


No.9

No.10

No.11

No.12

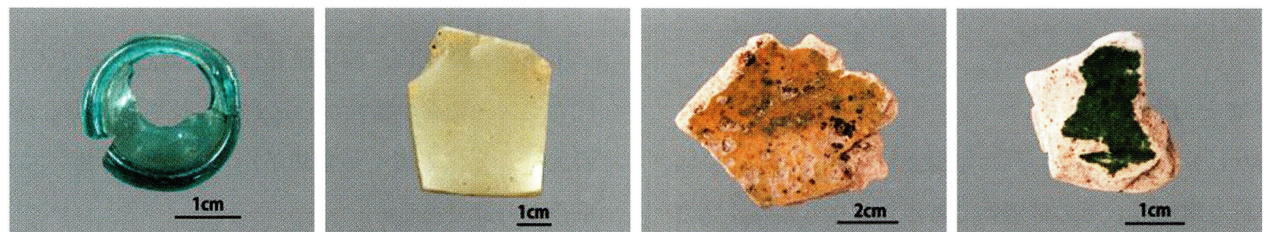


No.13

No.14

No.15

No.16

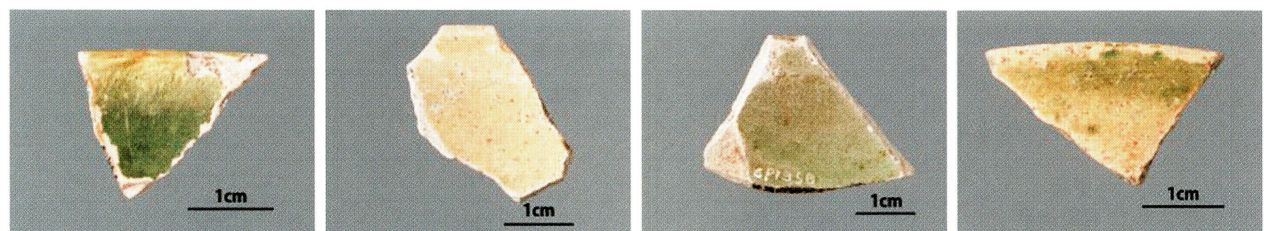


No.17

No.18

No.19

No.20



No.21

No.22

No.23

No.24

附録1 分析資料写真一覧
Appendix 1 Photos of the analyzed samples

引用文献

- 石川ゆかり・平尾良光 2008「九州出土経筒の鉛同位体比が語るもの」『経筒が語る中世の世界』思文閣出版 pp.35-42
- 井上暁子 2011「平安時代のガラス関連資料と博多出土ガラス」GLASS 55 pp.28-54
- 江本義理 1983「ガラス製品の材質について」『三雲遺跡Ⅳ 福岡県文化財調査報告書第 65 集』 pp.278-279
- 大庭康時 2009『中世日本最大の貿易都市博多遺跡群』新泉社 93p
- 大庭康時・佐伯弘次・菅波正人・田上勇一郎(編) 2008『中世都市博多を掘る』海鳥社 255p
- 肥塚隆保・川越俊一・西口寿生 1992「飛鳥池遺跡出土遺物の材質」『奈良国立文化財研究所年報』 pp.56-57
- 肥塚隆保・平尾良光・川越俊一・西口寿生 1993「鉛ガラスの研究-飛鳥池遺跡出土遺物からの検討-」日本文化財科学会第 10 回大会研究発表要旨集 pp.100-101
- 齋藤努 2001a「三彩・緑釉陶器の鉛同位体比分析」『国立歴史民俗博物館研究報告第 86 集』 pp.199-207
- 齋藤努 2001b「日本の銭貨の鉛同位体比分析」『国立歴史民俗博物館研究報告第 86 集』 pp.65-128
- 齋藤努・土生田純之・亀田修一・福尾正彦・鄭仁盛・高田寛太・風間栄一・藤尾慎一郎・柳昌煥・趙栄濟 2009「鉛同位体比分析による古代朝鮮半島・日本出土青銅器などの原料産地と流通に関する研究」考古学と自然科学 59 pp.57-81
- 滋賀県教育委員会・滋賀県文化財保護協会 2005『中畑遺跡Ⅱ 草津市矢倉一丁目』 220p
- 白瀧絢子・中井泉・井上暁子 2011「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」『鳳翔学叢第 7 輯』平等院 pp.170-149
- 高橋照彦 2001「日本における銭貨生産と原料調達」『国立歴史民俗博物館研究報告第 86 集』 pp.131-184
- 田中千禾夫 1999「清澄とガスの溶解度」『ガラス工学ハンドブック』朝倉書店 pp.226-246
- 田中千禾夫・白石耕一・柴田修一 1999「ガラス生成反応」『ガラス工学ハンドブック』朝倉書店 pp.43-49
- 立和名一雄 1999「着色ガラス」『ガラス工学ハンドブック』朝倉書店 pp.559-579
- 中井泉・白瀧絢子・井上暁子 2012「平等院本尊阿弥陀如来坐像台座華盤納入品のガラス片についての化学分析」『鳳翔学叢第 8 輯』平等院 pp.232-222
- 奈良国立文化財研究所 1992「藤原京右京一条二坊の調査(第 64 次)」『飛鳥・藤原宮発掘調査概報 22』 pp.34-42
- 奈良国立文化財研究所 1997「平城京左京七条一坊十五・十六坪」『奈良国立文化財研究所学報第 56 冊』 264p
- 奈良文化財研究所 2006「西谷 2 号墓出土ガラス遺物の科学調査」『西谷墳墓群-平成 14 年度～16 年度発掘調査報告書-』出雲市教育委員会 pp.182-196
- 比佐陽一郎 2008「ガラス」『中世都市博多を掘る』海鳥社 pp.207-210
- 比佐陽一郎 2009「博多遺跡群 161 次調査で出土したガラス資料と 156 次調査出土の権について」『博多 126 博多遺跡群第 161 次調査報告』 pp.33-44
- 比佐陽一郎・石井千絵理 2010「博多遺跡群第 172 次調査出土のガラス関連資料について」『博多 135 博多遺跡群第 172 次調査報告』 pp.264-271
- 平尾良光 2008「材料が語る中世 - 鉛同位体比測定から見た経筒 - 」『経筒が語る中世の世界』思文閣出版 pp.21-34
- 平尾良光・榎本淳子 1999「古代日本青銅器の鉛同位体比」『古代青銅の流通と製造』鶴山堂 pp.29-162
- 藤田等 1994「弥生時代のガラス」『弥生時代のガラスの研究』名著出版 pp.43-226

- 降幡順子・玉田芳英・齋藤努 2012「飛鳥・藤原京出土鉛釉陶器に対する化学分析」東洋陶磁 41 pp.19-34
- 馬淵久夫・平尾良光 1982a「鉛同位体比からみた銅鐸の原料」考古学雑誌 68(1) pp.42-62
- 馬淵久夫・平尾良光 1982b「鉛同位体比法による漢式鏡の研究」MUSEUM 370 pp.4-12
- 馬淵久夫・平尾良光 1983「鉛同位体比法による漢式鏡の研究(二)」MUSEUM 382 pp.16-26
- 馬淵久夫・平尾良光 1987「東アジア鉛鉱石の鉛同位体比 - 青銅器との関連を中心に - 」考古学雑誌 73
(2) pp.71-82
- 馬淵久夫・平尾良光 1990「福岡県出土青銅器の鉛同位体比」考古学雑誌 75(4) pp.1-20
- 山崎一雄・齊藤喜彦 1960「X線回折による腐蝕された古代ガラスの研究」Proc. Japan. Acad. 36 pp.503
- 山崎一雄 1977「飯塚市立岩および春日市須玖岡本関係試料の化学分析」『立岩遺跡』河出書房新社 pp.
404-405
- 山崎一雄 1982「宇木汲田遺跡出土の銅釧およびガラス玉の化学分析」『末蘆國』六興出版 pp. 323-324
- 山崎一雄・沢田正昭 1983「ガラス玉および銅鏃の材質分析」『京都府丹後町文化財調査報告第1集』
pp.74-77
- 山崎一雄 1987「日本出土のガラスの化学的研究」『古文化財の科学』思文閣 pp.274-300
- 山崎一雄・肥塚隆保 1993「博多第59次調査ピット0018出土の無釉壺内に付着した緑色ガラスの化学分
析」『博多36 博多遺跡群第59次調査報告』pp.87-88
- 山崎一雄・肥塚隆保・白幡浩志 1995「博多遺跡群第62次調査で出土した無釉壺破片に付着した緑釉ガラ
スの化学分析値と鉛同位体比」『博多48 博多遺跡群第62次調査報告』pp.239-244
- 山崎一雄・肥塚隆保・白幡浩志 1996a「博多遺跡群第71次調査で出土した白磁片とそれに付着した緑釉
ガラスなどの化学分析値と鉛同位体比測定」『博多53 博多遺跡群第71次調査報告』pp.79-82
- 山崎一雄・肥塚隆保・白幡浩志 1996b「博多遺跡群第79次調査で出土した緑釉ガラス容器の化学分析と
鉛同位体比測定」『博多50 博多遺跡群第79次調査の概要』pp.129-131
- 山崎一雄・肥塚隆保・白幡浩志 1996c「博多で出土したガラスの材質と産地の推定-特に第88次調査出土
品を中心として-」『博多研究会誌45 博多遺跡群研究誌』pp.15-18
- Brill,R.H., Yamasaki,K., Barnes,I.L., Rosman,K.J.R., Diaz,M. 1979 "Lead isotope ratios in some
Japanese and Chinese glass" *Ars Orientalis* 11 pp.87-109
- Geller,R.F., Bunting,E.N., Research,J. 1936 "The system $K_2O-PbO-SiO_2$ " *J. Research of the National
Bureau of Standards* 17(2) pp.277-289
- Klein,C., Hurlbut Jr.,C.S., Dan,J.D. 1985 "Manual of mineralogy (after James D.Dana) 20th ed" John
Wiley & Sons 596p

(2013年1月28日受付, 2013年12月28日受理)

Possible Japanese Production of Glass in the Medieval Period: Revealed by Analysis of Glass Objects from the Hakata Site

Junko FURIHATA¹⁾, Yoichiro HISA²⁾ and Tsutomu SAITO³⁾

¹⁾ Nara National Research Institute for Cultural Properties, 2-9-1 Nijo-cho, Nara City, Nara 630-8577, Japan

²⁾ Fukuoka City Board of Education, 1-8-1 Tenjin, Chuo-ku, Fukuoka City, Fukuoka 810-8621, Japan

³⁾ National Museum of Japanese History, 117 Jonai-cho, Sakura City, Chiba 285-8502, Japan

The Hakata archaeological site located in Fukuoka, Japan, was once a large center of trade between Japan and Song-period China from approximately the 11th to middle 13th century CE. Workshop sites with manufacturing debris, such as iron, copper, bones, and related objects, have been uncovered at this site, making it clear that various manufacturing processes once took place there.

We analyzed the lead isotope ratio of vitreous fragments adhering to crucibles and the clay body of crucibles by energy-dispersive X-ray fluorescence and X-ray diffraction. We also analyzed various glass objects and lead-glazed earthenware to look for a relationship to the vitreous fragments from the crucibles.

The results of the analysis indicated that the vitreous fragments adhering to the crucibles were made of a potassium-lead silicate glass that was similar to the glass objects found at the site. The lead isotope ratio indicated that the provenance of the lead changed within the observed period. From the 11th century to the first half of the 12th century, the raw lead originated from both the Korean peninsula and the Japanese mine at Tsushima, and it is possible that they were mixed, as the results indicate the lead had two or more provenances. After the latter half of the 12th century, Japanese lead is more abundant, suggesting that glass production was consolidated with the raw lead originating from the Tsushima mine. However, the lead contained within the glass objects originated from China and the lead isotope ratio found for the 10-11th century lead-glazed earthenware indicated a Japanese provenance for the raw lead, which was not from the Tsushima mine.

The X-ray diffraction results for the crucible clay bodies showed that the firing temperature was below 1000°C, suggesting that these crucibles were not used for primary glass production. Although objects related to primary glass production were not detected, the fact that the raw lead used after the 12th century was mainly domestic in provenance suggests a high possibility that primary glass production of the potassium-lead silicate glass was performed domestically. Finally, the fact that the bronze objects, lead glazed earthenware, and potassium-lead silicate glass were not all necessarily produced from lead of the same source suggests that either the origin or the distribution system of the lead raw material changed from the 11th century to the

12th century. Future research is needed to understand where the primary production of the raw glass material that was reworked at the Hakata site occurred.