

第V章 自然科学による分析

1 飛鳥池遺跡出土金属製遺物の科学的調査

A 金属生産工房における作業工程と飛鳥池遺跡の位置づけ

ここでは、飛鳥池遺跡の発掘調査によって存在が明らかになった工房跡を飛鳥池工房と呼ぶことにする。従って、以下、工房の機能を論じる時は「飛鳥池工房」を使い、発掘調査に関わる際には「飛鳥池遺跡」を用いる。

飛鳥池工房における金属生産の操業を解明するために、まず金属生産工房における基本的な作業工程を整理しておく必要がある。

金属生産の
作業工程

金属は、もともと鉱石の中で部分的に濃縮した状態で存在しているが、一般には金以外の金属が単体で存在していることは稀であり、通常は酸素(O)との化合物である酸化物や、イオウ(S)との化合物である硫化物など、化合物の形態をとっている場合が多い。従って、鉱石から目的とする金属元素を取り出すためには、何段階かの工程を経る必要がある。

鉱石から金属を得るまでの標準的な工程を概観すれば、次のようになる¹⁾。

(I) 【採鉱】 → 【選鉱】 ⇒ (II) 【製錬】 → 【精錬】

一連の作業を大きく2つのグループに分けた。(I)のグループは、鉱山から鉱石自体を掘り出す【採鉱】と、鉱石中で目的とする金属が濃縮している部分を選び出す【選鉱】の段階で、鉱石を掘り出し金属部分の高い部分を割り出すという機械的作業が中心となる。すなわち、この(I)段階では、まだ熱を利用していない。ところが、(II)のグループになると、鉱石中の不要な元素を捨て去る【製錬】と、さらに必要とする金属の純度を高める【精錬】の作業であり、熱を加えて溶解させることが不可欠となる。飛鳥池遺跡のすぐ周辺には、鉱石を産出する鉱山があるとは考えにくい。出土遺物の状況から見て、これら一連の作業の中で、飛鳥池工房では少なくともどこかの鉱山で採鉱された鉱石が運び込まれた段階、あるいはある程度選鉱されたものが運び込まれた段階から作業が始まったと考えればよいことになる。また、当時は地表部分でかなり純度のよい鉱石が見つかったとみてよいから、品位の低い鉱石の選鉱に用いる高度な技術、例えば臼で挽いた粉体を比重選鉱するような作業まで行われていたとは考えにくい。従って、飛鳥池工房では、上で述べた(II)の【製錬】から【精錬】の工程が、如何に機能していたのかを探ることが重要になると考える。飛鳥池遺跡の発掘調査によって、出土した多くの炉跡は、まさに(II)の熱を加える工程が盛んに行われた証拠でもある。また、炉は、金属を加工して、器物を形作る際の熱源としても不可欠である。飛鳥池遺跡からは、金属素材を用いてさまざまなモノを製作した痕跡も多く認められる。これは、金属という素材を工房内において自前で調達し、それを用いて必要な器物を最終的に製作するに至るまでの一貫

した作業が行われていたことを意味する。

「生産遺跡」
と「捨てら
れたモノ」

ここで強調しておきたいのは、生産遺跡の調査によって出土する遺物には、最終目的の製品はまず含まれることはなく、最終目的の製品を作っていく段階で「捨てられたモノ」が中心となる²⁾ことが特徴である。この点から言っても、飛鳥池遺跡は「生産遺跡」そのものである。飛鳥池遺跡から出土した遺物の中で、「モノづくり」に関わる遺物のほとんどは、作業途中で「捨てられたモノ」に他ならないからである。しかし、これらの「捨てられたモノ」に潜んでいる実際に行われた操業の痕跡を探ることはたいへん困難な作業であり、高度な解析力を要求されることになる。

いずれにしろ、飛鳥池遺跡にまともって存在した工房群は、7世紀後半における金属生産と金属加工の技術のすべてが集約した総合的な工房と位置づけることができる。この工房で行われた技術の水準を知ることは、これまで実態がまったくわからなかった当時の日本、さらには古代東アジアにおける最先端の技術を解明することに繋がるものであり、日本の古代技術史の再検討にも迫る可能性を秘めているとあって過言ではない。

B 飛鳥池遺跡における金属生産工房の全容解明

飛鳥池遺跡では、発掘調査により非常に多くの炉跡を検出した。これらの多くは、上で述べたように金属生産と金属加工のために必要な熱を供給した炉と位置づけられる。しかし、これらの炉跡の上部構造は、残念ながら悉く壊されており、上部構造も含めたオリジナルな形を保持しているものは皆無であった。発掘で確認できたのは、堅く焼きしまった炉底部が丸い形で

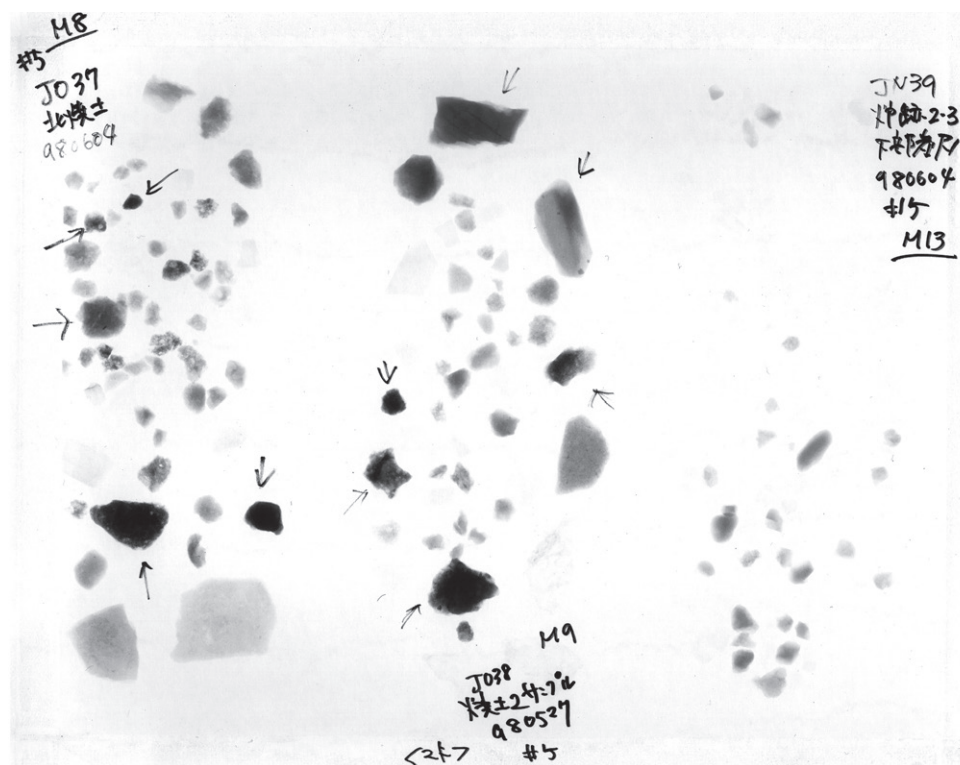


Fig. 230 炉跡などの土サンプルのX線ラジオグラムの一例

残っている姿だけであり、これらの多数の炉のオリジナルな構造や機能、またそれぞれの炉が当時何の生産に関わっていたのかを窺い知るのは容易なことではなかった。また、炉跡に近接する土坑群も多数検出されており、これには炉を使った操業で排出した廃棄物が捨てられている可能性が高いことが想定された。従って、炉跡と土坑の双方の廃棄物を分析していくことによって、金属素材を用いてモノを作っていく当時の作業の片鱗を探ることができるのではないかと考えた。

まず、各炉跡の炉壁の一部を採取し、金属元素が遺存していると思しき部分を蛍光X線分析に供し、炉の操業に関わった金属元素の同定を行った。また、主要な土坑から採取した土を篩にかけ、粒度別に選別した。また、この調査過程で新たな取り組みも実施した。篩にかけて粒度別に選別した資料や、炉跡から採取した土の塊を、インスタントシートフィルムを応用したX線ラジオグラフィー（X線透視撮影）に供し、X線画像におけるX線吸収度の違いから金属元素が遺存すると思しき粒子を選り出し、これらの粒子に対してそれぞれ蛍光X線分析を行う方法³⁾（Fig. 230）である。この方法で、炉が実際に使われた用途を絞り込むことをめざした。この作業を重ねていく中で、飛鳥池遺跡の炉跡と土坑群に加工材料の種別ごとにある程度の分布傾向が認められることが判明した（Fig. 231）。すなわち、金、銀、銅、鉄という主要な金属を用いて作業したエリアがこの工房の敷地内にある程度のまとまりを持って存在していたことを科学的に裏付けることができたわけである。これは、この遺跡中に認められる炭層や包含層などから、特定の炉跡に伴わずに出土したさまざまな金属製の遺物、例えば、金や銀の粒、金板の破片などの出土位置の分布とある程度の相関を持ち、実際にこれらの金属を用いた生産作業がエリア別に行われていたことを物語っている。

炉跡の分析

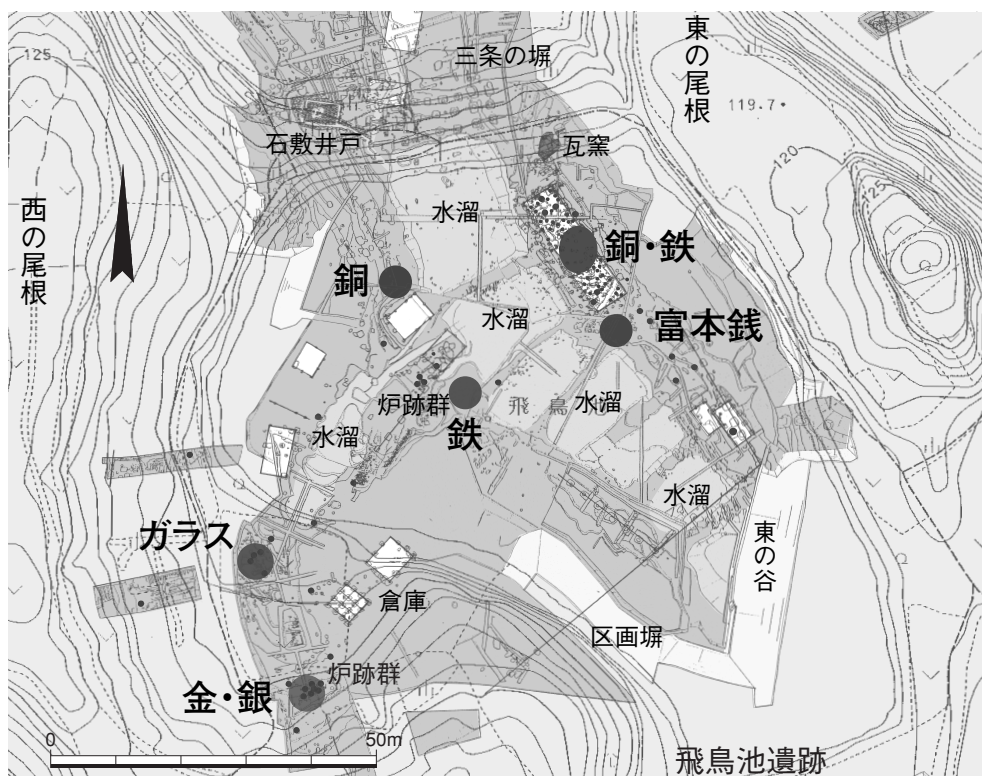


Fig. 231 飛鳥池工房における取り扱い材料によって推定したエリア分布

C 材質別の調査

上で述べたように、飛鳥池工房では、金属に関しては、主に金、銀、銅、鉄を扱った作業が行われていたことがわかった。そして、発掘調査によって出土した「捨てられたモノ」を科学調査によって分析していく中で、それぞれの金属に関して、当時の最先端の技術が駆使されていたことが明らかになった。以下に、材質別に飛鳥池工房において実際に行なわれていた当時の金属生産と金属加工技術を考察する。

i 金について

飛鳥池遺跡では、金製の遺物の出土が多数見られる。古墳時代までの日本においては、金無垢の製品としては金製の勾玉や金糸などの少数が認められる程度であり、その出土事例は実に少なく、金色を呈するものの大半は鍍金された金銅装のものであったこと⁴⁾からみても、飛鳥池遺跡からの金製遺物の出土量は特筆に値する。飛鳥池工房で金無垢の製品が作られた背景には、6世紀中頃の仏教伝来以降徐々に増えてきていた寺院や仏像の荘厳に用いる金製品の需要が7世紀後半に急激に増加したことが想起できるのではなかろうか。

金製遺物の
形態

飛鳥池遺跡における金製遺物に関して、出土点数の多さと共に、それらがすべて製作時に捨てられた切れ端などの破片や、熔けた金を鑄込んだ時の湯玉状の金滴など、製品を作る際に「捨てられたモノ」ばかりであることに大きな特徴がある。逆に言えば、これらの遺物の姿から、7世紀後半に飛鳥池工房で実際に金を素材とした製品の製作・加工が行われていたことが実証されたことは画期的なことである。

道具痕の
観察

PL.311-C-3-2に、金の薄板の切削片の端面の電子顕微鏡観察の一例を示す。少しわかりにくい⁴⁾が上下からの剪断痕が認められ、これは鋏で切った痕跡とみられる。当時の金属加工に用いた道具が推測でき、その技術の一端をみることができる。PL.311-C-2-2に金製の厚さ30 μ m程度の薄いシートを小さく畳んで捨てたもの、C-4-2に、鑄造時にできたとみられる金滴の一つを同様に電子顕微鏡観察した事例を示す。他にも製品を製作する過程で捨てられたと見られる切り屑様の遺物が多数出土しており、当時飛鳥池工房で金製品が多数作られていた様子が窺える。

金製遺物の
組成

これまでに調査してきた古代の金製品の基本は、(金-銀-銅)三元系合金であるが、特に銅の含有量が少ないため、(金-銀)二元系としてよいものが多い⁴⁾。実際に、鉱物としての自然金には銀が含まれ、(金-銀)系合金であることが一般的である。これらはエレクトラムと呼ばれ、そのまま加工されて製品化されたと考えられている。飛鳥池遺跡から出土した金製の遺物(先にも述べたが実際には金板の破片や金滴)の組成は、Fig.232に示

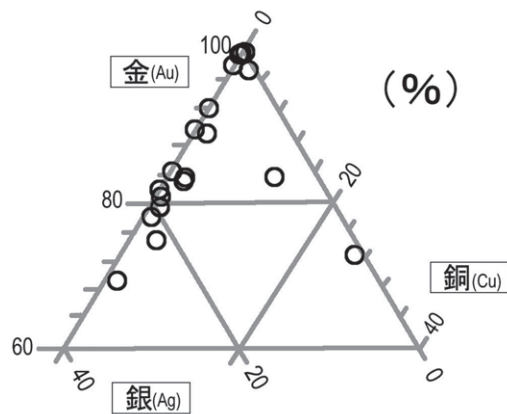


Fig. 232 飛鳥池遺跡出土金製遺物の組成

すように、金に銀を含むものがほとんどであることがわかった。銀の含有率は、30%以下であり、かなり金の含有量が高いことがわかる。因みに、慣例的に純金を24金として表すと、ほとんどが17金以上の組成を持つことになる。純金は、たいへん柔らかくよく延びるが、傷がつきやすく、磨耗しやすい。また、立体的な構造を維持するにも柔らかすぎる。銀が含まれることで、装身具に適した適度な硬さを保つことができるようになり、現代のジュエリーでも18金程度が主流である。しかし、銀が多くなると色が少し青みを帯びるため、近世の金工では青金と呼ばれている。また、銅が含まれると赤みを帯びるため赤金と呼ばれるが、古代の金製品には銅が含まれるものがたいへん少ないことがわかっている。今回の調査でも、銅が20%程度と多く含まれるものが1点だけあったが、用途不明の小さな破片であるため、古代の金製品の中の正確な位置づけは困難であった。

また、金製の遺物の中には、98%を越え、ほとんど純金に近いものもある。これほど高い純度を持つ金を得るためには、金の純度を上げるための何らかの作業が行なわれた可能性について考える必要がある。これについては、金の製錬工程を論じる際に考察することにする。また、金を溶解したと考える坩堝や、金の溶塊の存在を確認しているが、これについても同様に金の製錬工程の考察の中で触れることにする。

a 金糸の製作

興味深いのは、金糸の失敗作が出土していることである。金糸は、大阪府阿武山古墳の出土例が著名であるが、首長級の古墳からの出土例をはじめ、鳥根県上塩冶横穴墓群など、山陰では小ぶりの横穴墓からも出土した事例が数例ある⁴⁾。古墳から出土する金糸は、一見単純な針金状の形態をとるように思われているが、実際には細いリボン条を螺旋に撚った中空のパイプ状の形状を呈したものであることがわかっている¹⁾。飛鳥池遺跡から出土した金糸は、短い切れ端部分と細い螺旋状にうまく撚れずに潰れて扁平になってしまった金糸を直径5mm程度の塊に丸めて捨てたものであった(PL.311-C-1)。それまでに出土していた古墳時代の金糸は、日本で製作されたものではなく、渡来の金糸を副葬品の飾りにしたと考えられてきたが、飛鳥池遺跡において出土したこの金糸片の出土状態をみると、この場所で実際に金糸の製作が行われていたことを如実に物語っているとみてよい。飛鳥池遺跡から出土している他の金製遺物がもともと何を作っていた時に捨てられたものかわからない中、具体的に金糸が作られていたことを物語る遺物が見つかったことはたいへん重要である。なお、金糸といっても、その用途は古墳時代とは違ったことも想定しなければならない。例えば、法隆寺に伝世する幡の先に取り付く飾り糸を巻いたものなど、仏教儀式に纏わる荘厳具の装飾に用いられた可能性が高いと考えられる。

金糸出土の
意 義

金糸の材質も、注目に値する。金糸を作るには、まず金を厚さが12~15 μm 程度に加工した薄板を作らなければならないので、古墳時代の金糸も金を95%以上含むものがあるなど、全体として非常に高い純度をとることが特徴である¹⁾。しかし、飛鳥池工房跡から出土した金糸は、金の純度が98%と純金に近い組成をとることがわかった。また、この金糸を丸めた塊の重さは、0.29gある。もし、この金糸が、例えば、厚さ12 μm 、幅500 μm のリボン条を撚って径200 μm の螺旋状の金糸を作ったものとする、その長さは約198cmあったことになる。これは、金糸の用途を考える上でも重要な情報となるであろう。

金糸の材質

切断された
無文銀銭



Fig. 233 切断された無文銀銭 (1.5倍)

飛鳥池遺跡では、金と同様、銀についても、完成品ではなく製作途中で捨てられた破片や銀の溶解粒が主として出土する。ただし、当初は無文銀銭として作られたものを切断したと見られる破片も認められることも興味深い (Fig. 233)。いずれの銀も蛍光X線分析により低くても90%以上含有率を占め、ほとんどは95%を越える高品位を示すことを確認している。なお、銀以外に、少量の銅と若干の金を含んでいるのが通例である。出土した銀で、特に表面が黒変しているものには、表面に臭素 (Br) を伴うものが多く、埋蔵中に土中の臭素を吸着して臭化銀が生じたものと見られるが、その詳細についてはまだよくわかっていない。

銀の純度

ここで問題になるのが、銀の純度である。先にも述べたように、この当時の銀は、銀が95%以上を示し相対的に銀純度が高いものが多い。このような分析成果は、当時すでに純度の高い銀を精錬する技術が確立していたことを想定するに十分な情報である。この点については、項を改めて述べる。いずれにしろ、飛鳥池工房において、銀の精錬と共に、銀を素材とした製品を製作する作業が行われていたことは確実である。

iii 銅について

飛鳥池遺跡では、銅製品も多数出土した。銅に関しても、さまざまな製品を作る工程で廃棄された切削片や、鑄込みの途中でこぼれた銅滴などが大量に出土している。材質分析の結果、板金作業で作る板状のもの大半は、当時としては高純度の銅である熟銅であり、溶解作業を伴う銅滴は (銅-スズ- (鉛)) 系の合金である青銅製がほとんどであることがわかった。さらに、次に詳述する富本銭に関わる一群の銅製品のみが、(銅-アンチモン) 系合金という、極めて特殊な材質であることが判明した。ここでは、特に (銅-アンチモン) 系合金についてその詳細を述べることにする。

a 富本銭について^{5) 6)}

小型海獣
葡萄鏡との
材質的
類似性

富本銭については、飛鳥池遺跡から多数の富本銭が出土する以前から、その材質が、(銅-アンチモン) 系合金であることは確認していた⁷⁾。また、富本銭以外にも、当時に製作されたとみられる小型海獣葡萄鏡にも同素材の合金で作られたものがあることもわかっていた⁷⁾。この小型海獣葡萄鏡は、飛鳥藤原地域だけではなく、例えば、石川県 (寺家遺跡出土鏡や伝舩倉島出土鏡など) や滋賀県 (東光寺遺跡出土鏡) などからも出土していた⁸⁾。

未完成の
富本銭と
製作道具

飛鳥池遺跡から多数出土した富本銭の最大の特徴は、そのほとんどが未完成品か、あるいは鑄損じたもので、鑄上がりの状態を観察することができる。PL. 312-C-5-1, C-5-2に、鑄上がり状態で廃棄された富本銭の表面状態を光学顕微鏡と走査型電子顕微鏡、双方の画像を示しておく。遺跡からは鑄造時に用いた坩堝や羽口などの道具類、さらには鑄棹や鑄型までが出土し、しかも

ii 銀について

飛鳥池遺跡では、金と同様、銀についても、完成品ではなく製作途中で捨てられた破片や銀の溶解粒が主として出土する。ただし、当初は無文銀銭として作られたものを切断したと見られる破片も認められることも興味深い (Fig. 233)。いずれの銀も蛍光X線分析により低くても90%以上含有率を占め、ほとんどは95%を越える高品位を示すことを確認している。なお、銀以外に、少量の銅と若干の金を含んでいるのが通例である。出土した銀で、特に表面が黒変しているものには、表面に臭素 (Br) を伴うものが多く、埋蔵中に土中の臭素を吸着して臭化銀が生じたものと見られるが、その詳細についてはまだよくわかっていない。

Tab. 27 飛鳥池遺跡出土富本銭の蛍光X線分析による成分分析結果 (wt%)

| 分析番号 | 鉄(Fe) | ビスマス(Bi) | アンチモン(Sb) | 銀(Ag) | ヒ素(As) | 鉛(Pb) | スズ(Sn) | 銅(Cu) |
|-------|-------|----------|-----------|-------|--------|-------|--------|-------|
| 富本銭 1 | 0.0 | 0.3 | 4.0 | 0.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 95.3 |
| 2 | 0.0 | 1.1 | 4.6 | 0.3 | 0.0 | 0.1 | 0.1 | 93.8 |
| 3 | 0.0 | 0.3 | 5.2 | 0.2 | 0.1 | 0.5 | 0.1 | 93.7 |
| | 0.0 | 0.8 | 5.2 | 0.1 | 0.0 | 0.2 | 0.0 | 93.7 |
| 4 | 0.0 | 0.3 | 6.0 | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 93.6 |
| 5 | 0.0 | 0.6 | 6.0 | 0.2 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 93.1 |
| 6 | 0.0 | 0.3 | 6.0 | 0.2 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 93.5 |
| 7 | 0.0 | 0.3 | 6.1 | 0.3 | 0.1 | 0.0 | 0.1 | 93.1 |
| 8 | 0.0 | 0.2 | 6.1 | 0.2 | 0.0 | 0.0 | 0.3 | 93.1 |
| | 0.0 | 0.1 | 6.9 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 92.8 |
| 9 | 0.0 | 0.7 | 6.9 | 0.1 | 0.4 | 0.0 | 0.0 | 91.8 |
| | 3.6 | 0.6 | 7.0 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 88.6 |
| 10 | 0.0 | 1.5 | 7.0 | 0.1 | 0.3 | 0.0 | 0.0 | 91.1 |
| 11 | 0.0 | 0.9 | 7.1 | 0.4 | 0.3 | 0.1 | 0.0 | 91.3 |
| 12 | 0.0 | 2.5 | 7.1 | 0.1 | 0.2 | 0.0 | 0.0 | 90.1 |
| 13 | 0.0 | 0.8 | 7.2 | 0.2 | 0.0 | 0.2 | 0.0 | 91.4 |
| 14 | 0.0 | 0.5 | 7.5 | 0.2 | 0.6 | 0.0 | 0.0 | 91.3 |
| 15 | 0.0 | 0.6 | 7.5 | 0.2 | 0.4 | 0.0 | 0.0 | 91.3 |
| 16 | 0.0 | 2.2 | 7.6 | 0.3 | 0.0 | 0.1 | 0.1 | 89.7 |
| 17 | 0.0 | 0.6 | 7.7 | 0.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 91.4 |
| 18 | 0.0 | 0.5 | 7.9 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 91.5 |
| 19 | 1.4 | 0.4 | 7.9 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 90.2 |
| 20 | 0.0 | 0.4 | 8.1 | 0.2 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 91.3 |
| 21 | 0.0 | 0.5 | 8.2 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 91.2 |
| 22 | 0.0 | 0.3 | 8.6 | 0.1 | 0.2 | 0.0 | 0.3 | 90.6 |
| 23 | 0.0 | 0.3 | 8.8 | 0.2 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 90.6 |
| 24 | 0.0 | 0.9 | 9.0 | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 90.0 |
| 25 | 0.0 | 0.2 | 9.2 | 0.1 | 0.3 | 0.0 | 0.0 | 90.2 |
| 26 | 0.0 | 1.0 | 10.1 | 0.1 | 1.0 | 0.1 | 0.0 | 87.6 |
| 27 | 0.0 | 0.6 | 10.1 | 0.2 | 0.2 | 0.0 | 0.1 | 88.8 |
| 28 | 0.0 | 0.2 | 13.8 | 0.1 | 1.1 | 0.0 | 0.0 | 84.7 |
| 30 | 0.0 | 0.7 | 16.1 | 0.1 | 0.9 | 0.0 | 0.0 | 82.3 |
| 31 | 0.0 | 1.5 | 16.6 | 0.1 | 1.1 | 0.1 | 0.0 | 80.6 |
| 32 | 0.0 | 0.2 | 18.0 | 0.1 | 0.5 | 0.0 | 0.0 | 81.2 |
| 33 | 0.0 | 0.9 | 27.2 | 0.1 | 0.9 | 0.0 | 0.0 | 71.0 |

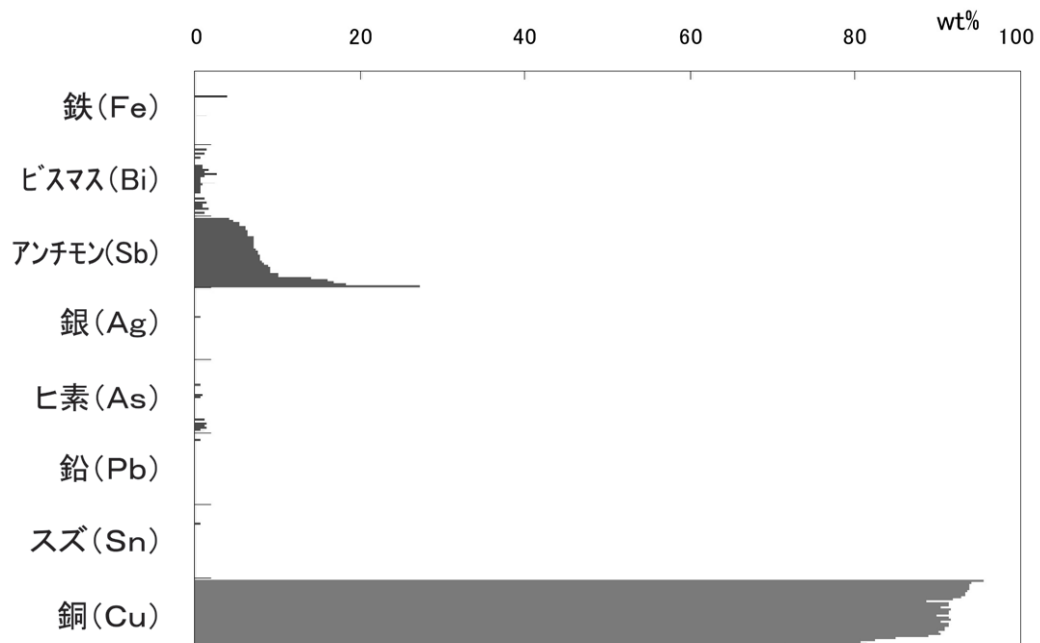


Fig. 234 同上成分分析結果のグラフ

それらすべてに遺存する金属質の残留物から（銅－アンチモン）系合金の検出をみた。これらの状況証拠は、確実に富本銭の製作が飛鳥池工房で行われたことを示している。

b 富本銭の材質的特徴

不安定な
配合率

富本銭の材質が、基本的に（銅－アンチモン）系合金であることは述べたが、その配合は一定しない。アンチモンの含有率は4～25%と安定せず、他に微量のビスマス、ヒ素、銀などを含んでいることがわかる（Tab. 27, Fig. 234）。

（銅－アンチモン）系合金といっても、この2つの金属元素が均一に混ざった金属組織を構成しているものではない。PL. 312-C-5-3に、富本銭表面の光学顕微鏡観察を示す。デンドライト（樹枝状晶）組織が認められ、（銅－スズ）系合金である青銅と同様に均一な金属組織をもたないことを示している。金属組織は、合金の配合比、 casting時の温度管理と熱処理、そして加工度によって決まる。PL. 313-C-7に、飛鳥池遺跡から実際に出土した（銅－アンチモン）合金塊の内部の元素分布をEPMAによるカラーマッピングで示した。実際の富本銭の金属組織ではないが、実際の富本銭製作の操業に伴って生じた熔銅塊の金属組織である。

富本銭の
金属組織

金属組織として特徴的なのは、大きな純銅相を囲むように数十ミクロンの大きさの（銅（Cu）－アンチモン（Sb））相が、島状、あるいはネットワーク状に存在し、その（Cu－Sb）相に添った状態で数ミクロンから十ミクロン程度の（Cu－イオウ（S））相（硫化銅）がスポット状に点在するのが見てとれることである。これは、溶銅が除冷的に冷却する際に、まず初晶 α -Cu相が晶出し、のちに（Cu－Sb）相が析出したことを窺がわせるものと思われる。ここで興味あるのは、最初の鉱石である硫化銅鉱や輝安鉱に含まれるSは、溶解過程で脱硫が進み、ほとんどが気化したと考えられるが、凝固後に残留した少量のSはSbとは完全に分離し、基本的には主元素のCuと結んで硫化銅として凝集していることである。また、鉄（Fe）、ビスマス（Bi）、鉛（Pb）が、やはり硫化物として同じ場所にスポット的に析出しているのも特徴的である。一方、ヒ素（As）と銀（Ag）は、むしろSbと挙動を共にしているとみられる。

c （銅－アンチモン）系合金の歴史的背景

（銅－アンチモン）系合金の系譜

人類の歴史の中で最も重要な銅合金は、（銅－スズ）系、いわゆる青銅の二元合金であろう。銅にスズを添加することで溶解温度を下げ、 castingし易くなるなど、機械的特性の向上が見込まれる。スズの代わりにアンチモンを加えてもほぼ同様の効果が期待できるが、この（銅－アンチモン）系合金は、世界の銅合金の歴史の中でも特殊である。後期青銅器時代から初期鉄器時代への移行期に、中央ヨーロッパから中近東の一部で「アンチモン青銅（antimony bronze）」の存在が確認され、特に、ハンガリー西部、カラパッティオ山脈周辺で出土した銅製品が（銅－アンチモン）系、（銅－アンチモン－スズ）系合金製であるという⁹⁾。また、紀元前2000年頃のカフカス（コーカサス）地域における「カフカス・ブロンズ」が、「アンチモン・ヒ素青銅（Antimon-Arsen-Bronzen）」¹⁰⁾の存在が認められている。ヒ素の含有量が1～5%あるが、アンチモンの含有量も3～14%と高く、飛鳥池遺跡出土の富本銭と似た組成を示す。また、ニードムは中国における「銀色を呈する合金（silver alloys）」の中で、中世の「アンチモン青銅（antimonial bronze）」¹¹⁾やアンチモンを有意に含む銅合金の事例を紹介している。韓国では、ヒ素とアンチモンは同じ系統の物質として扱われていたとされ、11世紀以降の韓国製白銅にアンチモンの含有量が著しく多いことが指摘されている¹²⁾。

(銅-アンチモン)系合金のルーツがこれらの合金であるというような短絡的な議論を展開するものではないが、視野を広げてこの(銅-アンチモン)系合金を考え直す契機にはなるだろう。アンチモンの原料である輝安鉱をどこから運んできたのかという点も、解明するのはなかなか難しい問題である。続日本紀の記載を拠りどころとして、愛媛県市ノ川鉱山を原料供給地と単純に決めるわけにはいかない。飛鳥池遺跡に近い奈良・吉野地域でも輝安鉱が産出されるといわれるが、ここでは兵庫県にある、例えば中瀬鉱山もその候補の一つとして挙げておきたい。中瀬鉱山の開山は、文献では16世紀とされるが実際には古代に遡ると推定されており、近代では金銀を主として産出したとされるが硫化銅鉱や輝安鉱も産出していたようである。富本銭や小型海獣葡萄鏡などのようにしっかりした形態をとらないので遺物の性格は不明だが、中瀬鉱山に近い兵庫県亀田遺跡から出土した銅塊(1cm程度)は、富本銭にかなり近い材質を呈していることがわかった。¹⁴⁾古墳時代から平安時代にまで存続した遺構からの出土とされるため、時代の特定も困難であるが、兵庫県の遺跡からも(銅-アンチモン)系合金製と考えられる遺物の出土をみたことは注目に値する。7世紀後半から8世紀にかけては、わが国における第一次の鉱山開発ラッシュの時期であり、各地の鉱山が探査されたことであろう。富本銭の材料に必要な(銅-アンチモン)系合金の原料と考えられる輝安鉱の供給地を特定するには至っていないのが現状であり、今後の課題であろう。

アンチモンはどこで採取されたのか?

d 飛鳥藤原地域以外で確認された富本銭の材質

飛鳥藤原地域以外でこれまでに確認された富本銭は、長野県高森町武陵地1号墳と飯田市で確認されたもの、さらには群馬県上栗須遺跡から出土したもの、東京国立博物館所蔵品があるが、飛鳥池遺跡の富本銭出土を契機に、いずれも飛鳥池遺跡出土の富本銭と同じ方法で分析した結果、材質の基本は飛鳥池遺跡出土の富本銭同様、(銅-アンチモン)系合金であることを確認した。また、大阪市細工谷遺跡から和同開珎とともに出土した富本銭も、アンチモンの含有量が少し低めではあるが基本的に同系の合金とみてよい。¹⁵⁾このように、まだ数が少ないものの富本銭の分布は少しずつ広がりを見せつつある。

e アンチモンはいかに認識されていたか

古代の工人がアンチモンをどのように認識していたか、興味のあるところである。彼らが当時アンチモンを何と呼んでいたのかまったくわからないのが現状である。わが国の7世紀においては、アンチモンは金属の単体としてではなく、硫化物の輝安鉱の状態で扱われたと考えざるを得ないのだが、この輝安鉱ですら何と呼ばれていたのか定かでない。スズは当時すでに「白鑄」として意識されていたとしてよいと思うが、アンチモンや、鉛、ヒ素、ビスマスなどがそれぞれどのように認識されていたかを文献から窺うのは難しい。個々の金属がそれぞれ名称を持たずに似たようなものが一纏めに扱われていたとする見解もあるが、例えば富本銭にはアンチモンを特定して用いるなど、古代においても鉱物に対してある程度しっかりした識別基準を有していたとも考えられる。この点についてはさらに検討を加える必要があるだろう。ここで古代における金属の呼称について徒に論じるつもりはないが、続日本紀、文武天皇二年(698)、「伊予国献白鑄」の記述において、「白鑄」にアンチモン、あるいは輝安鉱をあてることが多い。輝安鉱の見事な結晶を産出することで有名な愛媛県の市ノ川鉱山の存在が有名だけに、これだけに引っ張られてはいけなさと考えている。市ノ川鉱山の開山は江戸初期と考えら

当時、アンチモンを何と呼んだのか?

れ、また大量の輝安鋳が産出したのは明治以降と考えるべきであるので、その起源が古代まで遡るのかどうかの検討を重ねることが必要であろう。むしろ、天平神護二年（766）の記述において、「白鑄に似たるもの」で「鉛に似て鉛に非ず、未だ名づくるところを知らず」とされたものを、「楊州の鑄工」に示したところ「鈍隠」と判明したとされる鋳物の方がよりアンチモンに近い存在として捉え得るのではなかろうか。ただし、この逸話は、富本銭の製作時期からはかなり時代が下がり、（銅-アンチモン）系合金も姿を消してしまってから話となる。いずれにしろ、古代の材料を考える場合、文書などに出てくる鋳物名などが、実際に何をさしているのかわからないことがあるので注意しなければならない。例えば、正倉院宝物の中、造東大寺司の所蔵品であったのではないかと推定され、これまで「白銅塊」とされてきたものが、実は「アンチモン塊」であったことが最近の分析によって確認された¹⁶⁾ことも、このような事態を顕著に語る事例と考えられる。

さて、アンチモン、あるいは輝安鋳が古くは何と呼ばれていたのかを探るヒントが江戸時代後半の文献に出てくるようである。益富寿乃助は、江戸時代の博物学者木内石亭の著書「雲根志」の中で、「錫悞脂^{しやくごじ}」なるものを輝安鋳にあてる記載があることを、兵庫県生野銀山の三菱金属鋳業標本館所蔵の資料との比較検討の中で述べている¹⁷⁾。この「錫悞脂」については、今後さらに追及していきたいと考えている。

f 三次元レーザー計測で探る富本銭の形状特徴と鑄造技術の検証

飛鳥池遺跡で出土した富本銭は、ほとんどが不良品や未完品で、完成品とみられるのは1点にすぎず、研磨される前の鑄上がり状態を観察できる。また、富本銭を鑄込んだとみられる鑄型片も出土している。そこで、レーザーを用いた三次元計測により、これら両者、すなわち鑄上がり状態の富本銭表面の凹凸と鑄型の凹凸の比較検討を行った。もちろん、今回計測に供した富本銭がこの鑄型で鑄込まれたという保証もなく、計測した富本銭と鑄型が実際に1：1の対応をしているものではないが、富本銭の鑄造技術を探る上で必要な基本的な知見を期待できると考える。計測に供したのは、富本銭4点、鑄型1点である。

PL.312-C-6-1, C-6-2にレーザー三次元計測をしたそれぞれの表面の凹凸情報を示す。C-6-1は鑄型、C-6-2は富本銭、それぞれの測定結果である。特に鑄型の遺存状態が悪いため、双方を比較できる部位が限られているため、C-6-3に示した直線に沿った表面凹凸のラインプロファイルを計測し、比較検討することにした。得られた凹凸のラインプロファイルを図C-6-4に示した。鑄型に刻まれた銭文の凹イメージが、富本銭表面に凸イメージの銭文として反転転写されている様子が捉えられており、山と山、谷と谷の間隔が余り変わらず、鑄型と富本銭の凹凸がよい一致をしていることがわかる。さらに、凹凸の深さ方向を比較した結果を表に示した(PL.312-表C-1)。計測値だけから見ると、富本銭は鑄型より凹凸差が小さくなっており、鑄物としての富本銭が凝固時に収縮したことに起因して生じた現象とみなすことができる。しかし、実際には鑄型表面がかなり劣化していることにも考慮が必要であることと、今回計測した富本銭の表面凹凸プロファイルからみても、実際の富本銭が鑄型に比べてそれ程大きく収縮したとは言えないようである。この調査では、富本銭と鑄型とがかなりよい整合性を持っていることがわかった点に意義があろう。

iv 鉄について

飛鳥池遺跡からは、鉄製品の製作に関わる遺物も多く出土している。炉跡群の分析からも鉄製作に関わったと見られるエリアを見出すこともできた。

飛鳥池遺跡から出土した鉄製品の材質の特徴を探るために、放射光を利用した蛍光X線分析を実施した。世界最大の出力を誇る放射光施設SPRING-8において、放射光を用いた高エネルギー蛍光X線分析法を試みた。

これまでに古代の鉄製品に対して行った高エネルギー蛍光X線分析を試みた結果から、古代鉄製品の基本は炭素鋼であり、希土類元素などの残留はほとんど認められないことがわかっているが、飛鳥池遺跡出土の鉄製品においてもほぼ同様な結果が得られた。その中で、飛鳥池遺跡出土の鉄製品の特徴として、スズが微量ながら有意に残留しているものが数点あることがわかった (Fig. 235)。今回は定量的な分析を行っていないが、元素の地球化学的分類¹⁸⁾によって親鉄元素にあてられるスズが鉄製の最終製品に微量ながらも残留していることを定性的に確認することができたことは、その始原材料として砂鉄系よりむしろ鉄鉱石系の原料を想定することができるだろう。ただし、飛鳥池遺跡から出土した鉄製品が、いつ、どこで製作されたものかを知るのは容易ではなく、これらの製品が飛鳥池工房において作られたという保証もない。しかも、限られた遺物に対する調査であるので、ここでは微量ながらスズが有意に残留する鉄製品を認めたという事実を記載するに留め、今後の調査への基礎的知見の提供とする。

鉄鉱石系の原料か？

飛鳥池工房における鉄生産の実態に迫るためには、生産遺跡として位置づけられる最大の特徴である「捨てられたモノ」、すなわち鉍滓 (スラグ) のキャラクターゼーションが必要となる。飛鳥池遺跡からは、鉄生産に関わると考えられる炉跡群と大量の鉍滓の出土をみている。ここに、一部ではあるが、鉍滓の分析を試みたので報告しておく。

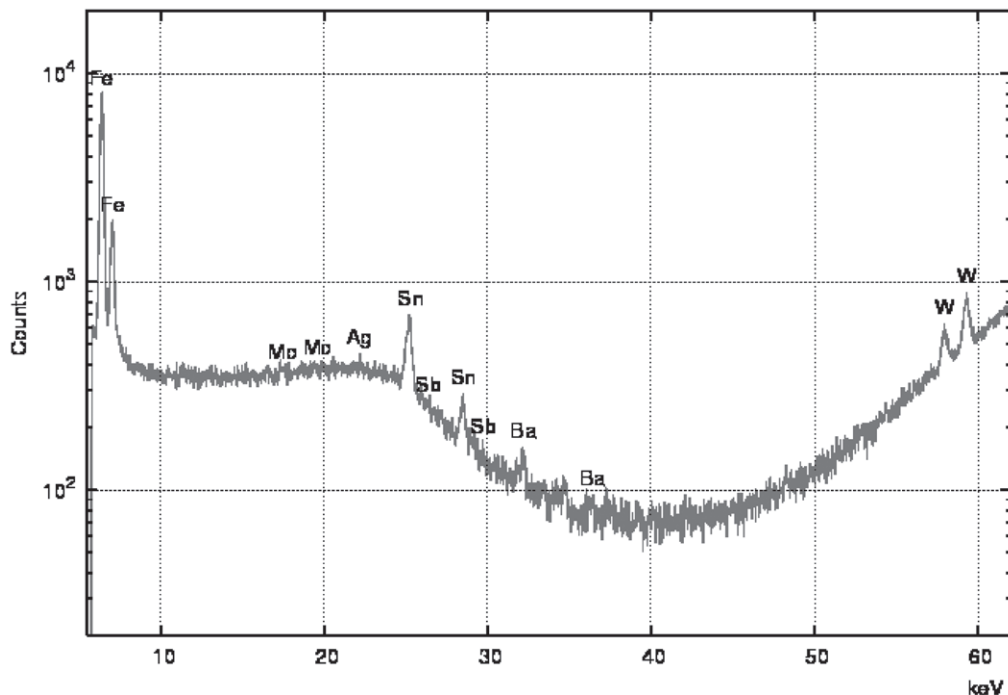


Fig. 235 飛鳥池遺跡出土鉄製品のSPRING-8を用いた高エネルギー蛍光X線分析結果

鉄滓に2つのタイプ

飛鳥池遺跡から出土した鉄系の鉄滓は、鉄サビと土砂が絡んだものがほとんどで一見区別が付きにくい。断面を観察すると、ほとんどがガラス質のマトリックスを呈するが、分析に供した資料の中に鉄が塊状に明瞭に認められるものも存在した。今回観察した鉄系の鉄滓には少なくとも2つのタイプがあることがわかった。一つは、ガラス質の基質の中に鉄が島状に分離して存在するタイプ(タイプ①)、もう一つは鉄が外相のスケール層と一体となって絡み合いながら中心部に不定形に偏在するタイプ(タイプ②)である。なお、どちらのタイプも、出土状況から遺構との相関を論じることは難しい。

タイプ①の鉄滓は比較的大きめで10cm程度の大きさのことが多い。断面の観察の一例を示す(Fig. 236)。多孔質のガラス質の基質中、明るい樹脂状晶(ウスタイト(FeO))、やや灰色の針状晶(ファイアライト(Fe₂SiO₄))が認められる。粒間に部分的にリューサイト(KAlSi₂O₆)が生じているものもみられる。このような滓が生じる背景には、高温(おそらく1200℃以上)で岩石が熔融するような状態が想定され、鉄鉱石から鉄を製錬する工程で排出された滓と、砂鉄の製錬に伴い造滓材を加えた際に生じる滓の双方の可能性が考えられるだろう。今回のケースでは、どちらかというとも前者の可能性が高いのではないかと考える。また、この基質中に大きさ5mm程度の鉄塊が認められた。鉄塊はパーライト(ソルバイト)組織を呈し、炭素量は共析鋼に近い0.68%である。また、この鉄塊のビッカース硬度は、中央部でHV255、外表部でHV182であった。

タイプ②の鉄滓は2cm程度の小ぶりな大きさで、中央部に鉄が高濃度で残留し、パーライトと針状セメンタイト組織が認められる(Fig. 237)。この鉄濃縮相を鉄、マンガ、カルシウム、アルミ、ケイ素などで形成されたスケール相が自然に取り巻いた状態である。しかし、鉄相がスケール相と孤絶しているのではなく、鉄濃縮相の外層部に生じた針状セメンタイトが外のスケール相にまで延びている様子が窺える。これは、半熔融状態の状態から鉄濃縮相と外相が同時にある程度時間をかけて冷却した様子を示しているのではなかろうか。パーライト部分は、炭素量約0.8%、ビッカース硬度はHv284、セメンタイト部は、炭素量約6.7%、ビッカースHv303を示した。タイプ②の滓を排出した鉄残留量の多い本体部なら、このまま鍛えれば、鉄素材として使えるのではないかとみられる。タイプ①とタイプ②を比較して、タイプ①の方がタイプ②より製錬の早い段階に排出される滓とみてよいだろう。以上、これまでに調査した概要を

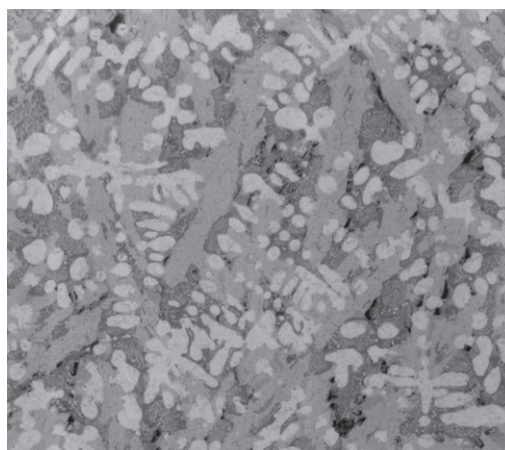


Fig. 236 鉄鉄滓(タイプ①)

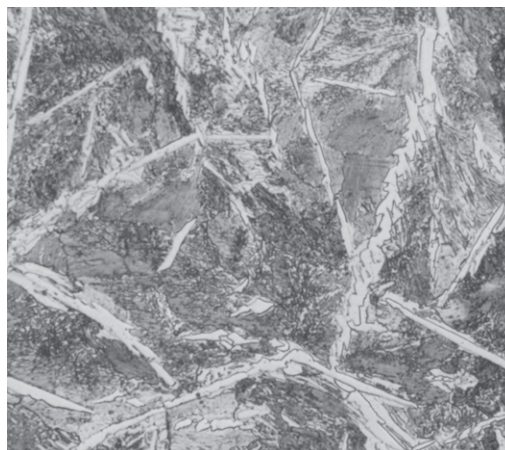


Fig. 237 鉄鉄滓(タイプ②)

述べたが、飛鳥池遺跡で検出された炉跡群の規模から見ても、大量の鉄を生産していたことが窺われる。飛鳥池工房における鉄生産の技術については、改めて追求する機会を持ちたい。

D 飛鳥池遺跡において確認された特記すべき金工技術

金工技術を定義するにあたって、(i) 金属を得る技術、(ii) 形を作る技術、(iii) 華麗に見せる技術、(iv) 機能を持たせる技術、の4つの概念を先に提示した¹⁾。飛鳥池遺跡から出土した遺物は「捨てられたモノ」が中心であるが、遺物を精査すると、さまざまな金工技術の痕跡を認めることができ、当時として考えられる最高水準の技術が使われて「モノづくり」がなされていた形跡が窺える。以下、飛鳥池工房で実際に使われていた金工技術の中で特に重要と考えられるものを紹介する。

i 表面加飾技術 — 魚々子鑿の痕跡 —

金工品の表面に鑿で文様を彫りこむ彫金技術は、上で述べた (iii) 華麗に見せる技術の一つである。小さな魚の卵を撒いたように○を連続して打ち込む魚々子の技法は、長谷寺に伝わる法華説相図銅板²⁰⁾がわが国の最古の事例とされてきたが、飛鳥池遺跡でも魚々子鑿の痕跡を持つ遺物が出土しており、当時の金工技術を探る上でも貴重である。魚々子は、先端を小さな丸い輪にした刃で連続模様を刻み、魚の卵を撒いたように見せる技法で、近世の刀装具などでは、隙間無く表面を埋め尽くす表現を見るが、飛鳥池遺跡のものは鑿の痕跡は疎らで無造作である (Fig. 238)。しかし、電子顕微鏡によって観察した鑿の痕跡は直径約0.7mm程度の彫り込みとして確認でき、当時の鑿の形状を知る上で重要²¹⁾である。

ii 接合技術 — 銀鑲、そして銅鑲の発見 —

(ii) 形を作る技術の中で、金属板を組み合わせて3次元立体に仕上げるために必要なのが接合技術である。金属の接合技術としては、①機械的接合 (カシメ留、鉚留など)、②化学的接合 (接着剤など)²²⁾、③金属学的接合の3つが考えられる。③の金属学的接合の代表が銀鑲付け

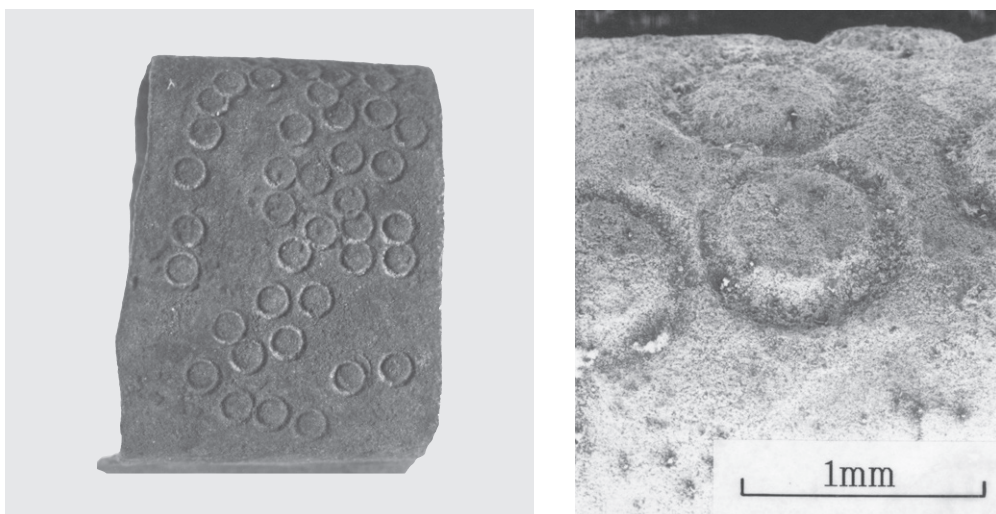


Fig. 238 魚々子鑿の痕跡のある銅製品 (右は魚々子の電子顕微鏡写真)

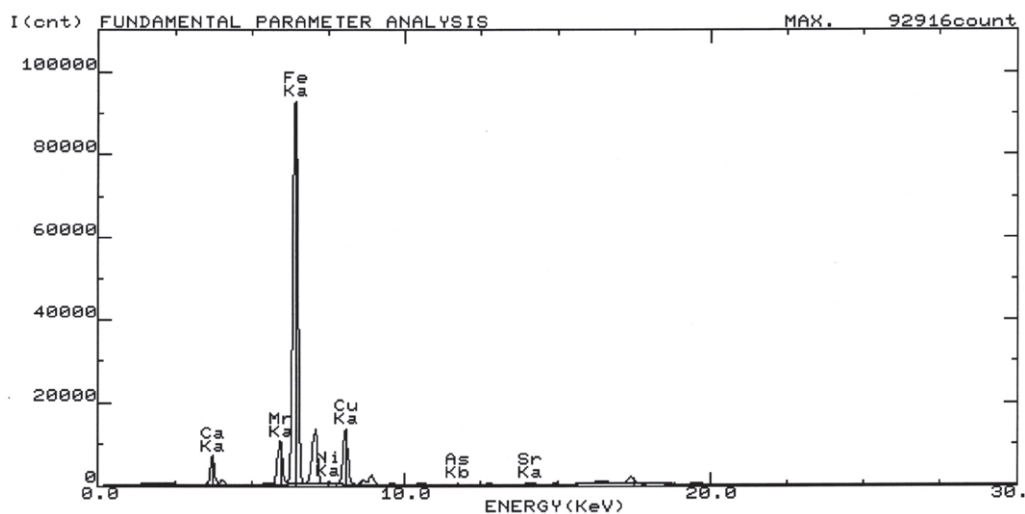


Fig. 239 蛍光X線分析で確認した銅鐵（周りの鉄も一緒に検出している）

である。6世紀後半には銀鐵を用いた銅薄板の接合の痕跡を、中空耳環の本体の接合部や刀子の金銅製の鞘の接合部などで確認しているが、飛鳥では水落遺跡の地下に埋設した銅管の接合部にも同様の銀鐵が使われていた。飛鳥池遺跡からは、銀鐵そのものとみられる（銀-銅）合金の細い棒が出土しており、銀鐵を用いた接合技術が7世紀にはしっかりと定着していたことを窺わせる。

海老錠に認められた最古の銅鐵

また、鉄薄板の接合に対する鐵接の痕跡としては最古の事例を飛鳥池遺跡から出土した海老錠で確認した。これまで鉄薄板の接合の鐵接としては、鐵材に銅鐵を用いた事例を9世紀後半の海老錠で確認していたが、飛鳥池遺跡出土の海老錠本体の鉄薄板の接合部にも同様に銅鐵の痕跡を認めることができた (Fig. 239)。この海老錠の製作時期は7世紀後半と推定され、銅鐵が確認された最古の事例と見ることができる。

iii 古代における金・銀の精練技術 —「灰吹法」をめぐる考察—

飛鳥池遺跡では、(i) 金属を得る技術でも新しい発見があった。日本では、金属素材からモノを作る技術、いわゆる金工技術は弥生時代の初め頃に大陸から伝わったとされるが、実際に金属を鉱石から抽出し、製錬する技術がいつ頃どのように伝わったかという詳細はわかっていない。それでも、鉄や銅については、これまでも各地で炉跡などの検出もなされており、少しずつ検討が加えられるようになってきた。しかし、金と銀に関しては、もともと製品自体の出土事例も少なく、その実態はまったくわかっていないと言っても過言ではない。

a 銀について

高品位の銀製品

飛鳥池遺跡から出土した銀製品の調査を行う以前から、日本で出土する古代の銀製品の材質調査をする機会をたびたび持ってきたが、そのたびに古代の銀が高い品位を誇ることに注目していた。すなわち、このような高品位の銀を生み出す背景に、高度な精練 (refining) の存在を抜きにしては語れないと考えていたが、実際にその実態を解明すること自体不可能であった。

しかし、飛鳥池遺跡から銀に関わる遺物が大量に出土し、古代の銀生産の実態に迫ることができる可能性が出てきた。ここで、飛鳥池から出土した多様な遺物の中から、銀製品とその製

作に関連するとみられる遺物を選びだしてみると以下ようになる。

- ①無文銀銭を切ったとみられる破片
- ②最終製品に近い銀製遺物 …兵庫鎖の一部、銀製の小片など…
- ③直径5 mm程度の銀粒
- ④銀溶解の痕跡の残る埴塙片（大型のもの）
- ⑤銀溶解の痕跡の残る埴塙片、土器片
- ⑥銀溶解の痕跡の残る直径1～3 cm、深さ1～2 cm程度のピットを持つ石製埴塙

①～③は、素材が銀そのものであることが容易にわかる遺物であるが、④～⑥は、詳細な分析と検討のもとに、実際に銀の生産に関わる遺物と結論づけるに至ったものである。以下に、それぞれの遺物の分析結果とともに銀生産に関わる位置づけを論じ、古代の銀生産の実態に迫ることを試みた。

まず、①、②は、いずれも銀の純度が95～98%と純度が高く、何らかの銀精錬工程を経た素材を用いた最終段階の製品と考えられる。飛鳥池遺跡から出土した銀製の出土遺物の中で、もっとも注目することになったのが③である。当初、①、②と同様に、銀の含有量だけに注目していたが、表面に対する非破壊手法による蛍光X線分析によって、銀以外に微量ながら鉛、ビスマスなどを検出することに改めて着目した（PL.314-C-12）。この銀粒は、人為的に丸く整えられたものではなく、一旦熔融した銀が自然に冷却する際に生じたものと考えられる。そして、この形状の特徴と鉛などを検出するという分析結果を勘案すると、cupellation（灰吹法）を想起せざるを得ないことになる。cupellationは、地中海地域では金、銀の純度を高める方法の一つとして少なくとも紀元前約1500年から用いられている金・銀に対する精錬技術として知られている。これは、金と銀に対する溶剤として鉛を使用し、他の元素と分離濃縮する技術である。cupellationに、「灰吹法」という日本語の呼称を当てるのは、灰（特に骨灰）を敷き詰めた炉、あるいは埴塙を用いることに起因すると考えられている。「灰吹」という言葉は、12世紀頃の文書にも出てくるが、一般的には、16世紀初頭（「銀山旧記」では天文3年（1533））に島根県石見銀山に朝鮮半島からもたらされたとされる方法に対して当てられた呼称とされてきた。しかし、もし古代にもcupellationの存在を想定するなら、その呼称も実状に合わせて近世の灰吹法と一線を画するものにする必要を考慮する必要があるだろう。この点も考慮に入れながら、飛鳥池遺跡出土の銀生産に関わる遺物を改めて見直すことにする。

銀の鉱石として想定できるのが、自然銀を筆頭に輝銀鉱、さらには方鉛鉱、含銀硫化銅鉱などがある。古くから輝銀鉱とともに銀の鉱石として用いられた方鉛鉱（galena）は、古代の地中海地域でも銀の鉱石として知られていた。飛鳥池遺跡でも小さいながら方鉛鉱が出土している。方鉛鉱から銀を抽出する技術がcupellationの基本であり、これが飛鳥池遺跡で行われていた可能性も想定しておく必要があるだろう。

ここで、注目するのは、銀関係の遺物の③に挙げた直径5 mm程度の銀粒である。この銀粒の銀純度は高く、当初は銀の鑄造時にこぼれた銀滴とも考えたが、その後この銀粒に伴い鉛などを検出することから、この銀粒は銀を鉱石から製錬する過程で得られる中間生成物ではないかと考えるに至った。すなわち、おそらく銀を方鉛鉱から抽出した際に得られたもの、あるいは

鉛に注目

cupellation
（灰吹法）
の想起

銀粒に注目

は何らかの形で鉛が関わる、すなわち始原的なcupellationによってもたらされた銀の姿ではないかと考えるに至った。

石見銀山遺跡においても、鉛などが表面から検出された直径1cm程度の銀塊が出土し、「灰吹銀」と位置づけ²⁵⁾た。石見銀山遺跡では、鉄鍋に骨灰の詰まった「灰吹鍋」も出土しており、近世の灰吹法の実態に科学的に迫ることができた。石見銀山遺跡におけるこのような科学調査の成果を踏まえ、飛鳥池遺跡における古代の銀精錬を考察する中で、③の銀粒がどのようにして作られたかを解明することがもっとも重要であると考え、④～⑥の銀溶解の痕跡の残る遺物の詳細な検討を行った。

④の坩堝片から想定できる坩堝の形状は、約直径10cm程度のほぼ球形を呈し、その内壁からは銀が粒状に残留しているものがあることがX線ラジオグラフィで認められ、銀が高い純度であることが蛍光X線分析でも確認された。一方、⑤の土器片や坩堝片からは、銀と共に鉛やビスマスなどが検出され、さらには、⑥の石製坩堝からも銀とともに鉛などの検出をみた。従って、特に、⑤、⑥はいずれも銀を製錬する際に用いられ、鉛が関与した痕跡を残していることがわかる。そこで、これらの坩堝類が、飛鳥池工房における銀とどのような関わりを持つかを検証してみた。

凝灰岩系の
石製坩堝

⑤、⑥とも、残留する金属元素から銀精錬の最終段階以前に用いられたもの、すなわち原鉛石、おそらく方鉛鉱から銀を抽出する製錬工程に使われたものと考えられる。もっとも注目したのが、⑥の石製坩堝の石質が凝灰岩系である点である。凝灰岩は、比較的脆く、多孔質であることが特徴である。方鉛鉱は、劈開面を持ち、脆いので容易に粉碎でき、これを水簸して濃縮したものを、坩堝、あるいは土器上で焼く。鉛は融点が低いので先に溶け出し多孔質の土器に吸収されるとともに、大気中にも蒸発する。そして、銀が小さな粒として残される。この小さな粒を集めたものをある程度大きな塊にするために、粉末化した方鉛鉱を再び加えて、凝灰岩系の石に穴をあけた坩堝に詰め、炉中で熱する。方鉛鉱から溶け出した鉛は、小さな銀の粒を凝集した後、多孔質の凝灰岩に吸収され、銀だけが濃縮して残る。こうして出来上がったの

灰吹銀

が、③の銀粒でないかと考える。この銀粒が、いわゆる「灰吹銀」に相当する。なお、16世紀に開発された石見銀山遺跡でも、小豆粒大の灰吹銀²⁵⁾が出土している。PL. C-10-2, C-10-3に、飛鳥池遺跡出土の銀粒の表裏の表面の詳細観察を示した。表面に樹枝状晶（デンドライト組織）が認められ、この銀粒がゆっくり冷却したことがわかる。この作業は、銀の濃度を上げるために、何度か繰り返されたことが想定できる。すなわち、この方鉛鉱中の銀を抽出する製錬（smelting）から、それを集めて再び方鉛鉱を加えて銀を濃縮し、純度を上げる作業（refining）に至る一連の作業そのものがcupellationである。しかし、ここでは溶けた鉛の吸収材としての灰は存在しておらず、多孔質な石製坩堝自体が直接鉛の吸収材の役目を果たしている。これを

「石吹法
（皿吹法）」
の提案

単純に「灰吹法」と呼ぶのは誤解を生むであろう。基本原理は同じであるが、16世紀に導入された骨灰を用いた灰吹法との混同を避けるために、坩堝の材質を冠して、ここで改めて「石吹法」（あるいは、「皿吹法」か）と呼ぶことにする。ここでいう石吹法は、骨灰を用いる灰吹法に至るプロトタイプと位置づけてよいだろう。石吹法で得た③の銀粒は、実際の製品を作るためにはまだ小さすぎるため、これを多数集めて、④の大型の坩堝で溶解して、銀のインゴットを作ったものとみられる。そして、このインゴットをもとに、①や②の製品が作られたと考えると、

飛鳥池遺跡から出土した銀に関わる遺物の相互関係が理解できることになる。

飛鳥池遺跡から出土した銀に関する遺物の分析から、飛鳥池工房では銀の材料を得る作業（製錬から精錬まで）から、得られた銀を用いて製品を作る銀細工の作業まで、すべてを一貫して行っていたことを明らかにできた。これまで、古代日本における銀生産に関しての情報がまったくななかったが、今回行った飛鳥池遺跡の調査から、少なくとも7世紀後半には、銀の精錬法として、近世に導入された「灰吹法」のプロトタイプとしての「石吹法」が行われ、純度の高い銀を作り出す技術が定着していたことを実証することができた。このことは、東アジアにおける当時の技術水準を知る上でもたいへん貴重な知見である。

古代における
銀精錬の検証

飛鳥池遺跡ではないが、藤原宮内の調査（78次）で出土した埴塙の内壁に付着した白色沈殿物に、鉛とともに銀を検出した。また、（鉛・銀）系合金の直径が1mm程度の小さな粒子を検出するに至った。この粒子の断面をX線分析し、元素マッピングをおこなった（PL.C-8）。粒子表面の観察から、少々角張った析出物の存在が予見できたが、断面の元素マッピングでこの析出物が鉛のバルク中に析出した銀であることが判明した。すなわち、この粒子は、鉛を用いた銀精錬の際に作られる「貴鉛」に相当するものと考えられる。この遺物からも、当時すでに鉛を利用して銀の純度を上げるcupellationが実施されていたことが窺われる。

ここで、問題になるのは、銀の原料鉱石がどこで得られて、飛鳥池工房にどのように運ばれたかという点である。この点については、残念ながら現時点では確信のある解答を得ることは難しい。鉱石の原産地推定に鉛同位体比法が使われることがあるが、飛鳥池工房において、銀精錬に鉛を用いた「石吹法」が行われた事実を確認した以上、この方法を銀製資料の産地推定に用いるのは慎重を要する。本報では、銀鉱石として方鉛鉱を中心に考えたが、自然銀や輝銀も当然視野に入れる必要がある。いずれの場合も、石吹法においては、銀を抽出し、濃縮させる溶剤として新たに鉛（方鉛鉱も含む）を人為的に添加する必要がある。従って、銀製資料中に遺存する鉛は、原鉱石にオリジナルに含まれていた鉛とは限らないため、鉛同位体比の測定のみによって、銀の原料の産地を論じるには慎重を要することになる。

鉛同位体比法の
限界

さて、ここで銀精錬に関して、もう一つ興味深い事実を報告しておく必要がある。

③の銀粒の中に、鉛ではなく水銀を伴うものが存在した。実際の分析で確かめたものは一点であるが、色も少し黄色味を帯びている（PL.C-13-1, C-13-2）。水銀は、常温にて唯一液体で存在する金属で、金や銀を容易に溶かして合金（アマルガム）を作る。水銀が、鍍金や鍍銀に欠かせない材料であることは、当時の工人たちは十分認識していたので、鉱石中の微細な銀を集めて大きくするのに水銀を用いることを試みたとしても不思議はない。水銀を用いて金や銀をアマルガム化して凝集後、加熱により水銀を飛ばし純度の高い銀を得る方法（混汞法）は、ローマなどでは紀元前から知られており実用化されていたが、日本では、16世紀に佐渡金銀山で試されたのが初めてとされてきた。しかし、飛鳥池遺跡における調査の結果、その原理はすでに7世紀後半には認識され、実際に応用されていたことになる。

水銀を用いた
「混汞法」の
可能性

7世紀後半から8世紀前半にかけての終末期の古墳の一つである奈良市の「石のカラト古墳」から、金・銀の玉が出土している。この銀の玉は、純度の高い銀に、微量の金や銅とともに、1%程度の水銀が含まれている²⁶⁾。先にも述べたが、古代の銀製品に水銀が伴う要因としてまず挙げられるのは、銀アマルガムの存在であるが、石のカラト古墳出土の銀製の玉は、表面だけ

「石のカラト
古墳」出土
銀製玉

を銀色に仕上げたものではなく、中心まで無垢の銀である。直径11.8mmは、銀の玉としてはかなり大きい部類に入る。水銀の存在は、細かい銀を集めるのに水銀を用いた痕跡である可能性が示唆される。すなわち、石のカラト古墳出土の銀製の玉は、同時期に稼動していた飛鳥池工房で製作されたことも想定範囲内であろう。石のカラト古墳と飛鳥池遺跡とに何らかの因果関係を見出すようなことになればたいへん興味深い。

鉱石から銀を抽出し、銀の純度を上げる方法として、鉛を使う灰吹法と水銀を使う混汞法（アマルガム法）は、地中海地域を中心に古代から知られていたが、これらの技術は、日本ではいずれも近世以降に導入されたとされてきた。しかし、飛鳥池遺跡の出土遺物に対する科学的な調査は、どちらの技術に関しても、7世紀後半に日本でもその基本はすでに登場していたことを教えてくれた。この事実は、日本はもとより、東アジアの金工技術の水準を考える上で重要であると共に、これまでの日本の技術の歴史を見直す材料を提供したことになる。

b 金について

金の材質調査の成果は既に述べたが、ここでは金の精錬についても簡単に触れておく。金製品は日本では古来ほとんど作られることはなく、ほとんどは朝鮮半島や中国大陸からもたらされたものと考えてよい。もっとも古い事例が、金印であろう。しかし、飛鳥池遺跡から出土する金に関わる遺物を概観すると、金の製・精錬から、製品の製作加工まで実際に飛鳥池工房で行っていたことが窺える。金についても、出土した金の小さな塊に鉛を伴うものがあり、銀に対して述べた「石吹法」（cupellation）が行われていた可能性があることがわかった。鉛を伴う金粒の表裏の表面を詳細に観察すると、金がゆっくり凝固した痕跡を認めることができる（PL.314-C-11-2, C-11-3）。この表面の様子は、先に述べた熔けた金が飛び散ったと考えられる金滴の表面（C-4-2）と比較するとその違いが歴然としていることがわかる。すなわち、飛鳥池工房では、金に関しても、その純度を上げる作業を行っていたと考えてよいだろう。

金の精錬

文献に金の記述が現れる以前に、すでに金を用いる「モノづくり」の技術が飛鳥池工房で行われていたことが実証されたことになる。しかし、金の原料がどこからもたらされたかなど、まだ不明の点が数多く残されている。

E まとめ

7世紀後半に操業が行われた飛鳥池工房における金属生産の状況を飛鳥池遺跡の発掘調査と共に、科学的手法を用いて探った。その結果、その当時考えられる材料はすべて出揃い、これまでに考えられていた以上に高度な技術を駆使した最先端の大コンビナートであったことがわかった。これまでまったく状況がわからなかった古代の「モノづくり」の実態がこれほど生々しく大規模で遺存していた遺跡の例はない。日本における技術の歴史を語る上で、もっとも重要な遺跡と位置づけられる。その全容の解明にまでは至っていないが、金属生産に関わる領域において、現時点である程度解析ができた事柄についてここにまとめた。今後、さらに検討を重ねていく中で、新たな発見があると共に、ここで提示した見解の修正をなさなくてはならない場面も出てこよう。飛鳥池遺跡には、まだまだ未解決な情報が詰まっており、奥の深い遺跡であることに間違いない。

《付論》飛鳥池遺跡における科学調査の概要とその手法

以上、金属関連の材料と技術に絞って、最新の材料科学的な手法を用いた調査・研究の成果を報告したが、これらの調査に用いた手法は、現代の材料科学分野で用いる基本的な方法が主である。以下に調査の概要と用いた方法について概観する。

(1) 遺物の内部構造観察と所在情報を探るためのX線ラジオグラフィーの応用

文化財に対する科学的調査の最も基本的な手法であるX線ラジオグラフィーは、一般には個々の文化財の内部構造を調べることに用いられている。飛鳥池遺跡でも、出土遺物の内部構造の調査としてX線ラジオグラフィー（X線透視観察）を実施した。また、このような一般的な使い方とは別に、飛鳥池遺跡における調査の特徴は、埴塙片や羽口、さらには炉跡の残土など、これまでX線ラジオグラフィーの対象とはならなかった「資料」にまで応用したことにある。これにより、これまで見逃していた微細な金属残滓の存在を的確に捉えることができるようになり、特に金属の製錬工程の調査に大きく貢献した。(Fig. 240・241) また、この方法は蛍光X線分析による材質分析の効率化に繋がり大きな成果を得た。因みに、大量のX線フィルムを効率よく現像するためにインスタントシートフィルムを用い作業の効率化を図った³⁾。ここで確立した調査手法は、その後橿原市植山古墳²⁷⁾や明日香村キトラ古墳の発掘調査における遺物の所在確認のためのX線ラジオグラフィーの応用へと発展した。

(2) 遺物表面の微細観察

遺物の表面などの微細な観察の基本は、光学顕微鏡観察、主に実体顕微鏡による。倍率は、

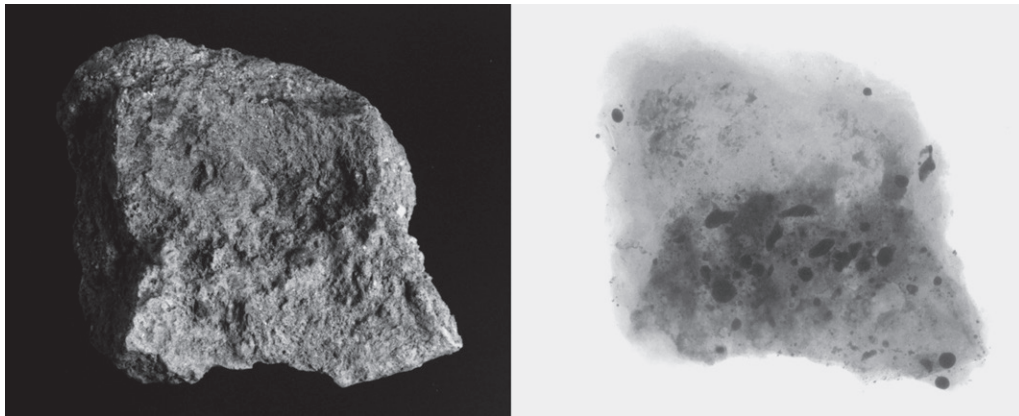


Fig. 240 埴塙片とそのX線ラジオグラム (右)

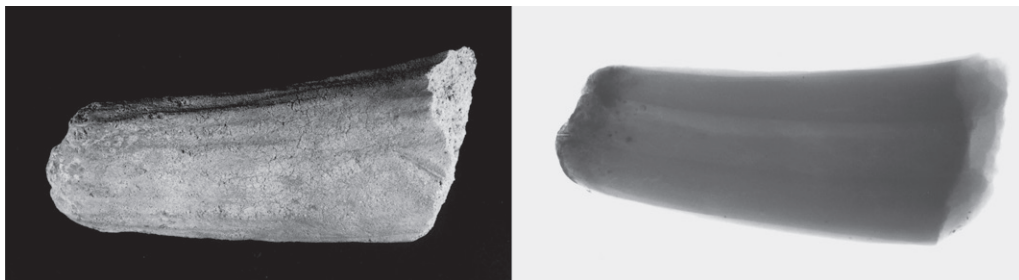


Fig. 241 羽口とそのX線ラジオグラム (右)

走査型電子顕微鏡 (SEM)

数倍から50倍程度、高々200倍までであり、さらに詳細な観察や、光学系では不可能な観察には、走査型電子顕微鏡を用いた。倍率は、数倍から2000倍である。10000倍以上の高倍は今回の調査では行っていない。また、富本銭の表面の微細凹凸状態の観察に、三次元レーザー計測を応用し、表面の微細な凹凸情報を定量化することを試みた。この三次元レーザー計測には、(株)日立エンジニアリングの協力を得た。

(3) 材質の調査

出土遺物の材質調査の基本は、蛍光X線分析である。遺物の任意の場所に細く絞ったX線ビームを照射し、その部分を構成する元素を特定する手法であり、文化財調査において現在最も普及している分析方法である。非破壊で遺物の材質を探れる利点はあるが、基本的には表面だけの分析であるので、遺物の内部を構成する元素まで確実に把握することや、検出された元素がどのような状態で存在するかを特定することもできないので、得られたデータの扱いには注意を要する²⁸⁾。分析調査は、照射するX線のエネルギーが50kVの研究室レベルの装置を用いるのを基本とした。用いた装置は、(株)テクノス製TREX640Sで、分析条件は、主に電圧45kV、電流0.3mA、測定時間100~500秒、ターゲットはモリブデン (Mo) である。

蛍光X線分析

また、これとは別に、特に鉄製品に対して、放射光を用いた高エネルギー蛍光X線分析法を応用した。放射光とは、運動している電子が磁場によって軌道を曲げられる際に軌道の接線方向に放射される電磁波をさす。本調査で利用した放射光施設は、世界最大の蓄積リングを有しているSPring-8である。SPring-8では、大型の円形加速器において高速に加速した電子を蓄積リング内に蓄積する。放射光は、赤外線からX線の領域までに及び、特にX線領域では実験室用のX線発生装置と比べて1億倍の輝度を持つ。今回は、SPring-8における116keVの高エネルギー単色X線を励起源とした蛍光X線分析法の応用である。鉄製品に対してSPring-8を応用した事例としては鳥取県青谷上寺地遺跡出土の鉄製品に対する分析が初めてである¹⁸⁾。

SPring-8

高周波誘導結合プラズマ発光分光分析 (ICP)

さらに、蛍光X線分析では得られない詳細な組成情報は、高周波誘導結合プラズマ発光分光分析 (ICP) によって分析した。例えば、富本銭の地金の成分分析などはこの方法による。なお、ICP分析は、(株)コベルコ科研において実施した。用いた装置は、島津製作所製ICPS-8000である。

(4) 遺物内部の元素分布状態の分析

電子線プローブ微細領域X線分析 (EPMA)

非破壊的な手法で行う蛍光X線分析だけでは、遺物内部における元素の存在状態などの詳細はまったくわからない。電子線プローブ微細領域X線分析 (EPMA) は、資料から小片をサンプリングしなくてはいけない点が問題ではあるが、その遺物を構成する元素がマイクロに存在する状態を把握することができ、例えば、製作技術の解明などに繋がる重要な情報を提供してくれる。今回の調査では、富本銭を構成する(銅-アンチモン)系二元合金の内部の状態観察をはじめ、製錬に伴う鉱滓や坩堝に付着した金属粒の解析などに応用した。なお、EPMA分析は、(株)コベルコ科研において実施した。用いた装置は、日本電子製JXA8400である。

- 1) 村上 隆『金工技術』(日本の美術443) 至文堂、2003年。
- 2) 村上 隆「生産・産業遺跡における科学調査の在り方—世界遺産を目指す「石見銀山遺跡」の事例から—」『文化庁月報』7月号、ぎょうせい、2003年。
- 3) 村上 隆・井上直夫・小野澤亮子・岡田 愛「インスタントシートフィルムのX線ラジオグラフィへの応用」『日本文化財科学会第19回大会研究発表要旨集』2002年。
- 4) 村上 隆「古代の金・銀」『科学が解き明かす古代の歴史—新世界の考古科学—』(第18回「大学と科学」公開シンポジウム講演要旨集) クバプロ、2004年。
- 5) 村上 隆「「富本銭」の材質に関する材料科学的研究」『文化財論叢Ⅲ』奈良文化財研究所、2002年。
- 6) 村上 隆「材質から「富本銭」を考える—(銅-アンチモン)系合金をめぐる—」『考古学ジャーナル』454、ニューサイエンス社、2000年。
- 7) 村上 隆・肥塚隆保・沢田正昭「古代銅製品にみられるアンチモンについて」『日本文化財科学会第14回大会研究発表要旨集』1997年。
- 8) 肥塚隆保「銅・青銅製遺物の材質調査」『寺家遺跡発掘調査報告Ⅱ』石川県立埋蔵文化財センター、1988年。
- 9) P.I.Maclean and J.G.McDonnell "A Study of Antimony Bronze Alloys from the Late Bronze Age of the Carpathian Basin", Abstracts of Presentations at The 31st International Symposium on Archeometry 1998
- 10) Josef Riederer "Archaeologie und Chemie", Staatliche Museen Preussischer Kulturbesitz Rathgen-Forschungslabor Berlin 1987
- 11) Joseph Needham "Science & Civilisation in China", Vol.V:2, Cambridge University Press 1974
- 12) 全相運『韓国科学技術史』高麗書房、1978年。
- 13) 中村 威・先山 徹「兵庫県下の鉱物資源」『人と自然』第6号、兵庫県立人と自然の博物館、1995年。
- 14) 村上 隆「亀田遺跡から出土した銅製品の材質」『亀田遺跡(第2分冊)』兵庫県文化財調査報告書第209冊、2000年。
- 15) 村上 隆・伊藤幸司「細工谷遺跡出土銭貨に対する科学的調査」『細工谷遺跡発掘調査報告Ⅰ』大阪市文化財協会、1999年。
- 16) 成瀬正和「正倉院伝来のアンチモンインゴット」『正倉院年報』第17号、1995年。
- 17) 益富寿之助「雲根志 昔と今」『日本地学研究会誌』1989年。
- 18) 村上 隆・深澤芳樹・高田 潤・横山精士・鳥越俊行・鳥取県埋蔵文化財センター「Spring-8を用いた出土鉄製遺物の材料科学的研究—鳥取県青谷上寺地遺跡出土鉄製品に対する放射光高エネルギー蛍光X線分析の事例—」『日本文化財科学会第21回大会講演要旨集』2004年。
- 19) B. メイスン(松井義人・一国雅巳訳)『一般地球化学』岩波書店、1970年。
- 20) 村上 隆「表面の加飾」『宮内庁三の丸尚蔵館所蔵金銅製四環壺の調査』宮内庁三の丸尚蔵館・奈良文化財研究所、2003年。
- 21) 村上 隆「ミクロな眼で探るわが国金工技術の世界—「表面加飾」の技法を中心に—」『仏教藝術』213号、毎日新聞社、1994年。
- 22) 村上 隆「古代金工における接合技術—銀鐵による鐵接技法を中心に—」『文化財論叢Ⅱ』奈良国立文化財研究所、1995年。
- 23) 村上 隆・今西寿光・津牧信吉「「銅鐵」を用いた古代の鉄接合技術—関東地域の出土例を中心に—」『文化財保存修復学会第27回大会研究発表要旨集』2005年。
- 24) 仲野義文氏私信
- 25) 村上 隆『石見銀山遺跡科学調査報告書』鳥根県教育委員会・大田市教育委員会、2002年。
- 26) 村上 隆「石のカラト古墳出土品の科学的分析」『奈良山発掘調査報告Ⅰ—石のカラト古墳・音兼古墳の調査—』奈良文化財研究所学報第72冊、2005年。
- 27) 村上 隆・花谷 浩・小野澤亮子・竹田正則・濱口和弘・横関明世・濱岡大輔「植古墳出土金銅装馬具の保存科学的研究」『日本文化財科学会第20回大会研究発表要旨集』2003年。
- 28) 村上 隆「《付編》「科学の眼」でモノをみるために—材料分析を中心に—」『金工技術』(日本の美術443) 至文堂、2003年。

2 飛鳥池遺跡出土ガラスの科学的調査

A 出土ガラスの分類

ここでは、飛鳥池遺跡から出土したガラス製遺物の科学的調査の結果を報告する。調査したガラス製遺物は図版編〔Ⅱ〕のPL. 382・383に掲載された119点である。

出土ガラスは形状や色調など多様であるが、遺物説明に記された分類に従って、Ⅰ：鑄型作りの紺色小玉、Ⅱ：巻付法による褐色ガラス、Ⅲ：型抜きガラス、Ⅳ：その他、に分類して検討を進める。

Ⅰの鑄型作りの紺色ガラス小玉であるPL. 382-1~26・31は、すべてアルカリガラスである。総数27点で、鉄芯のある小玉や、破面に方形の孔が残る玉、象嵌用の切削状痕跡をもつ玉などがある。

Ⅱの巻付法を主とした褐色ガラス玉52~56・58~61と、垂下した残滓65~77は、すべて鉛ガラスである。滓の流理と平行な方向に紡錘形の気泡が観察でき、複数破片が融着している資料もあるため、作業温度範囲での加工中に生じたものと考えられる。

Ⅲの型抜きガラスであるPL. 383-82~119は、杏仁形（楕円形）をした資料とその外周部の破片38点で、アルカリガラス27点と鉛ガラス11点が存在する。

Ⅳのその他の玉類は、アルカリガラスでは27~30・32~35の紺色から青色をした白玉風の玉や、38~40の青や青緑色をした玉、43~46の淡紺色の玉、Ⅰの原料になったとみられる36・37・41・42の紺色の玉、50・51の黄緑から緑色の玉、鉛ガラスでは48・49の黄緑から緑色の玉などである。

今回、119点のガラスについて、非破壊分析で自然科学的調査をおこなったが、大きく基礎

アルカリ
ガラスと
鉛ガラス

ガラスで二分すると、アルカリガラス76点、鉛ガラス43点という分析結果が得られた。色調別にみると、紺色・淡紺色・青緑色・青色・淡青色・暗緑色を呈するガラスはアルカリガラスで、褐色・淡褐色系のガラスは鉛ガラスという傾向が認められる。黄緑色と緑色のガラスには、鉛ガラス9点、アルカリガラス2点があり、同一色調で異なる二種類の基礎ガラスを確認できた。過去に実施したガラス埴塙の分析では、埴塙内面に付着するガラスは、緑色系と黄褐色系の鉛ガラスであると報告されており、今回の分析結果とよく一致する。

同一色調で
異なる
基礎ガラス

ソーダ石灰ガラスとカリガラスの識別に用いるナトリウムやカリウム成分に関しては、ガラスの風化によって、蛍光X線分析法では十分に検出できない場合もある。そこで、天然のカリウム中に存在する放射性同位体カリウム40に着目したAR法を使って、ソーダ石灰ガラスとカリガラスの識別を試みた。その結果、AR法による顕著な差異は認められず、今回調査した資料にはカリガラスは含まれていないと判断した。

ソーダ石灰
ガラスと
カリガラス
の識別法

B アルカリガラス

76点のアルカリガラスは、アルミナ含有量 (Al_2O_3) に違いが見られるため、まずアルミナ含

有量によって分類した。その結果、 Al_2O_3 の多い（高アルミナ）タイプと、少ない（低アルミナ）タイプに分かれるとともに、両者の間に分布する中間的な資料の存在を確認できた（Fig. 242）。

中間的な資料4点については、風化の影響も考慮して、さらに別の元素である酸化チタン含有量（ TiO_2 ）と酸化銅含有量（ CuO ）によるクロスチェックをおこなった（Fig. 243）。その結果、1点は高アルミナタイプ、1点は低アルミナタイプと類似する値を示すことが分かった。残りの2点は、これらとは異なる値を示すため、中間のタイプとして位置づけた。したがって、アルカリガラスの内訳は、高アルミナタイプ6点、中間タイプ2点、低アルミナタイプ66点となり、全体の87%以上が低アルミナタイプであることを確認できた。また Al_2O_3 が多く、酸化カルシウム含有量（ CaO ）が多いタイプを2点（PL. 382-50・57）検出している。

a 高アルミナタイプのガラス 高アルミナタイプの6点のガラスは、PL. 382-33～35・39・40・51の青～緑色系のガラスである。淡青色をした34・35は比較的気泡が多く、引伸法とみられる。銅イオンによる着色、酸化マンガン含有量（ MnO ）は0.1%以下と少なく、酸化鉛含有量（ PbO ）は0.3%程度とやや多い。

また酸化亜鉛（ ZnO ）がわずかに検出されている。39・40は透明感のある青緑を呈し、巻付法とみられる気泡を観察できる。孔内側に残存する赤褐色付着物からは鉄を検出している。巻付時の芯棒痕跡と考えられる。33は透明感のある青緑色で、引伸法と考えられる。いずれも銅イオンによる着色で、 MnO は0.1～0.2%、 PbO が0.1%程度と少ない。51は緑色不透明で気泡が多く、黄色・黒色の粒子が混在する。銅以外には鉄、亜鉛、鉛、錫が検出されている。

b 中間タイプのガラス PL. 383-97・98は、高アルミナと低アルミナガラスの中間の値を示す資料である。ともに淡青色ガラスで気泡が多い。酸化コバルト含有量（ CoO ）は検出限界以下であり、 MnO 、 PbO が0.06%以下と少ない。 CuO は0.5%程度であり、銅イオンによる着色と考えられる。わずかに ZnO が検出されている。

c 低アルミナタイプのガラス 低アルミナタイプの66点は、紺色、淡紺色、青色を基調とする。これらの低アルミナタイプの資料については、酸化マグネシウム含有量（ MgO ）と酸化カリウム含有量（ K_2O ）の違いにより、大きく4つにグループに分類した（Fig. 244）。

MgO ・ K_2O ともに少ない①タイプ16点、①タイプよりも MgO ・ K_2O が多い②タイプ24点、②タイプよりも K_2O 値が大きくばらつく③タイプ13点、 MgO が最も多い④タイプ13点である。

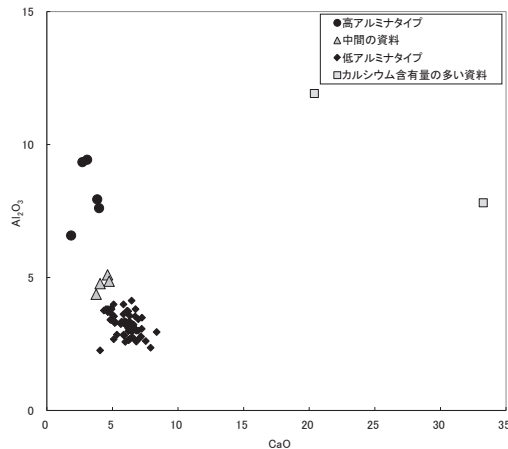


Fig. 242 アルミナ含有量による分類

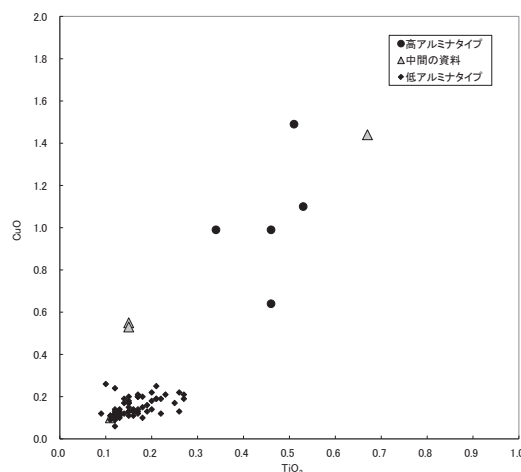


Fig. 243 中間の値を示した資料

低アルミナ
タイプの
アルカリガ
ラスが中心

引伸法
銅イオン
による着色

低アルミナ
タイプの
4分類

①タイプは値が比較的狭い範囲に集まる青色を呈する一群と、MgO値がやや少なく色調が淡紺色を呈するガラスが3点があり、後者を①'タイプとする。

過去の報告では、MgO・K₂Oが少ないタイプのガラスは、アルカリ成分の原材料としてナトロンの使用が想定されており、①・①'タイプがそれに類すると考えられる。またMgO・K₂Oが多いガラスは、アルカリ成分の原材料として植物灰の使用が想定されており、③・④タイプがそれに類するが、産地が異なると考えられている。②タイプは、中間的な値を示し、これらとは異なる材料、もしくは混合した材料を使用したことが考えられ

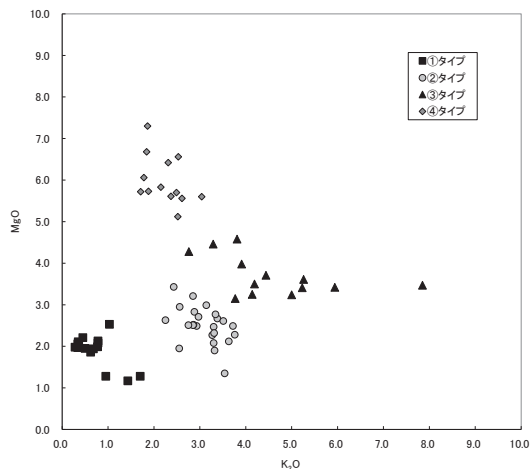


Fig. 244 酸化マグネシウム (MgO) による分類

低アルミナ
ソーダ石灰
ガラス

る。基礎ガラスが低アルミナソーダ石灰ガラスであっても、原材料は単一ではなく、複数産地のガラスの使用が推測される。

出土したアルカリガラスの特徴を以下に示す。

鋳型作りの
紺色小玉

Iの鋳型作りの紺色小玉は、②タイプが20点、③タイプが6点、④タイプが1点あり、②タイプのガラスが多数を占める。鋳型法で製作されたことを示す気泡を多く観察できる。②タイプは化学組成から材料を混合した可能性も考えられるため鋳型作りの手法を考える上でも興味深い分析結果といえる。着色材料は、②~④の資料は酸化コバルトによる着色と考えられる。MnOは0.1~0.6%、PbOは0.1~0.3%程度である。

材料を混合
した可能性

型抜き
ガラス

Ⅲの型抜きガラスは、色調は①タイプの青色13点と、④タイプの紺色11点、②タイプの紺色1点、アルカリガラス中間タイプの淡青色2点であり、アルカリガラスでは①・④タイプが多数を占める。①タイプは④タイプよりも気泡が少ない。①タイプは青色でCuO、MnO、PbOを0.1~0.3%含む。またZnOをわずかに検出する。④タイプは紺色でコバルト着色と考えられ、MnO、CuOを0.1%程度、PbOを0.3~0.4%程度含んでいる。

コバルト
着色

ガラス原料
の使い分け

低アルミナソーダ石灰ガラスは、形状(加工法)や色調の違いで化学組成に特徴があるといえる。例えばIの鋳型作りの紺色小玉は、②・③タイプが96%を占め、Ⅲの型抜きガラスは、①・④タイプが全体の63%、鉛ガラスを除いたアルカリガラスのみでは89%を占めるなど、形状(加工法)によってガラスの種類を使い分けていた可能性がある。また、型抜きガラスの①タイプは、ナトロンを使用した気泡が少ないCuO着色の青色ガラスに対して、④タイプは植物灰を使用した気泡がやや多いCoO着色の紺色ガラスである。少なくともこれらの資料については、同じ型抜きガラスを製作する際でも、基礎ガラスを混合せずに使用している。飛鳥池遺跡のガラス生産では、ガラス素材の使い分けがなされていた可能性があり、製品により、個別に素材を入手していたのか、時期差により素材が異なったのかなど、ガラス素材と製品との相関を考える上での基礎データとなりうる。いっぽう青色と紺色のガラスを半分ずつ用いて一つにした無孔玉(PL. 382-45)は、どちらも③タイプを混合している事例として確認できた。

d 着色材料 紺色、淡紺色ガラス53点について、着色に関与すると考えられる酸化マンガン(MnO)・酸化鉄含有量(Fe₂O₃)、酸化コバルト(CoO)の三角ダイアグラムを作成した(Fig.

245)。PL. 382の22・32の2点を除き、残りのすべてがMnOの少ない植物灰タイプのガラスであることが明らかになった。紺色の高アルミナソーダ石灰ガラスには、MnOの多い資料がみられるが、22・32はその中間値を示している。

紺色～青色ガラスに含まれるMnO、CuOとPbOは、およそ0.4%以下で、古墳時代後期以降の一般的な傾向を示す。PbOについて見ると、②タイプはやや少なく、③・④タイプはPbOがやや多い傾向がある。①'と③・④の一部は、それぞれまとまった分布を示し、②は値がばらつく傾向がある (Fig. 246)。

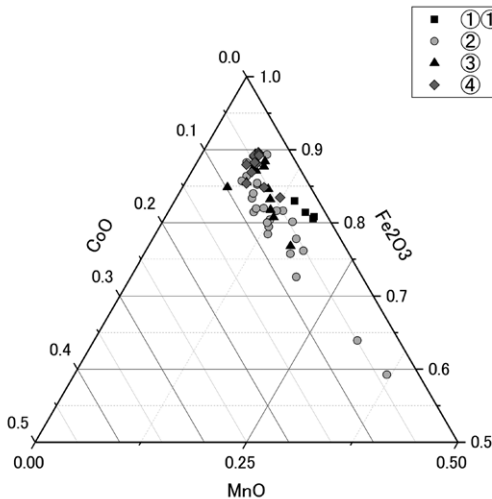


Fig. 245 紺色ガラスの色素（低アルミナ）タイプ

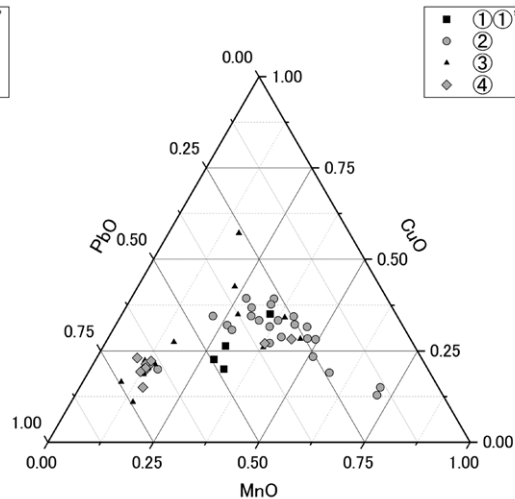


Fig. 246 紺色ガラスのCuO-PbO

C 鉛ガラス

鉛ガラスは43点あり、色調は褐色・淡褐色および緑色である。鉛ガラスは風化の影響が著しく非破壊分析でガラスの化学組成を求めることは難しいことが多い。不定形の緑色ガラスの微小破片1点について、風化層部分を含む非破壊調査と、表面風化層をわずかに除去した箇所の調査をおこなった。その結果をTab. 28に示す。非破壊分析と風化層除去後の測定値は大きく異なり、特にPbO、SiO₂の値が逆転するなど、風化の影響による組成変化が大きいことを再確認した。さらに同一資料（風化層を含む）について、高周波プラズマ発光分光分析（ICP-AES）および原子吸光光度分析（AAS）を実施し、その結果をTab. 28に示す。風化層除去後のXRF結果は、ICP-AESなどの測定値により近い値が得られている。本調査は非破壊分析で実施した。また既報告のガラス罎の化学組成をTab. 29に示した。

風化の影響による組成変化が大

Tab. 28 ガラス小玉の分析結果（XRFの値は3回測定した平均値；wt%）

| | 分析方法 | 色調 | SiO ₂ | PbO | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | CaO | CuO | K ₂ O | |
|-------|------|---------|------------------|------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|------------------|------|
| 非破壊分析 | 同一資料 | XRF | 緑色 | 56.6 | 38.0 | 1.7 | 0.16 | 0.24 | 0.43 | 0.67 |
| 風化層除去 | 同一資料 | XRF | 緑色 | 34.0 | 64.1 | 0.7 | 0.14 | 0.19 | 0.79 | 0.08 |
| 破壊分析 | 同一資料 | ICP・AAS | 緑色 | 31.1 | 64.8 | 0.4 | 0.4 | <0.1 | <0.1 | 0.1 |

Tab. 29 坩堝付着ガラスの化学組成 (wt%)

| 資料 | 色調 | SiO ₂ | PbO | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | CaO | CuO | K ₂ O |
|-------------|------|------------------|------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|------------------|
| | 黄褐色 | 25.0 | 74.2 | 0.1 | 0.11 | 0.06 | 0.05 | 0.2 |
| 坩堝付着 ガラス | 淡赤褐色 | 26.1 | 72.8 | 0.1 | 0.2 | 0.09 | 0.23 | 0.1 |
| | 淡緑色 | 32.5 | 66.7 | 0.1 | 0.1 | 0.02 | 0.05 | 0.2 |

淡緑色の坩堝資料とTab. 28を比較すると、Al₂O₃の値に違いはあるものの類似した化学組成を示すことが分かる。

鉛ガラス
の玉

鉛ガラスの玉は、褐色のガラス玉8点および緑色のガラス玉2点である。PL. 382-55は、やや赤みが強い褐色を呈し、流理と考えられる風化痕跡が色の濃淡状に観察できる。PL. 382の58は、孔と考えられる部分に流理とみられる風化痕跡、気泡が垂直に観察できることから巻付法と判断できる。褐色ガラスは、Fe₂O₃が0.7~2.8%であり鉄イオンによる着色、緑色・黄緑色ガラスは、CuOを0.1~0.3%含んでおり銅イオンによる着色と考えられる。赤みの強いガラス玉は、CuOが0.4~0.5%とやや多い。

鉄イオンと
銅イオンに
よる着色

型抜きガラスは、褐色8点、緑色・黄緑色3点である。褐色ガラスは、Fe₂O₃が0.5~2%であり、緑色・黄緑色ガラスは、CuOが0.3~0.4%である。

ガラスの製作時に垂下した棒状、帯状の褐色ガラスは、紡錘形の気泡を観察できる。Fe₂O₃を0.5~2.5%含み、鉄イオンによる着色とみられる。風化の影響もあるため注意を要するが、棒状・帯状の鉛ガラスは、酸化マグネシウムの含有量(MgO)が多く、平均値は2.5%、同様に板状ガラスもMgOが多く平均2.9%含んでいる。いっぽうガラス玉のMgOは平均1.0%、型抜きガラスは平均1.0%、容器片の可能性のある資料は平均0.3%と少なめの傾向を示す。

D ガラス坩堝

ガラス坩堝
付着ガラス
は鉛ガラス

ガラス坩堝の内壁に付着するガラスは、分析によって鉛ガラスであることが判明した。PbOは45~70%前後、SiO₂は45~25%前後である。PbO、SiO₂以外に検出された元素は、着色剤としての銅、鉄、マンガン、他にはアルカリおよびアルカリ土類金属である。

炭酸鉛と
石英を検出

PL. 384のガラス坩堝14に残存する白色物質については、既報告によるとX線回折測定の結果、炭酸鉛(PbCO₃)と石英(SiO₂)を検出し、また坩堝の胎土の鉱物組成をX線回折法で調査した結果、石英のほかに、ムライトおよびクリストバライトを検出している。長石類が検出されないことから、坩堝は1200度以上の熱を受けたと推定され、坩堝焼成時もしくは坩堝を用いた鉛ガラスの熔融には、1200度以上の高温環境が必要であったと考えられる。

1200度以上
の加熱

鉛同位体比
分析

坩堝に付着する鉛ガラス7点について、鉛同位体比分析をおこなった。Tab. 30に鉛同位体比分析結果を示し、²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb比と²⁰⁸Pb/²⁰⁶Pb比の関係(a式図)と、²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb比と²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb比の関係(b式図)をFig. 247に示す。5点の資料は値がよく近似しており、同一領域に入る。この領域は、皇朝十二銭など奈良・平安時代の青銅製品や緑釉などとも重複し、山口県長登銅山や蔵目喜鉱山が原料の供給地と推定されている。PL. 384の坩堝10の付着ガラスは、²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb比がやや大きい。この資料はb式図では日本産鉱石の領域に分布する。過去の報告例では、水

落遺跡の小銅管が近い値を示している。しかし水落遺跡小銅管の値は銅の不純物としての鉛のため、今回の埴塙付着の鉛ガラスとの関係についてはなお慎重な検討を要する。一方、PL. 384-4の埴塙に付着するガラスは、 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 比が小さく、過去の報告で朝鮮半島産とされた範囲近くに分布する。これらの原材料自体の産地はまだわかっていないが、国内産の鉛とともに複数産地からもたらされたガラス素材を溶融していたことが分かる。

複数産地の
ガラス素材

Tab. 30 鉛同位体比分析結果

| 資料種別 | $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ | $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ | $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ | $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ | $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ |
|----------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 埴塙13382 | 0.8473 | 2.0913 | 18.4069 | 15.5956 | 38.4941 |
| 埴塙43522 | 0.8476 | 2.0919 | 18.3941 | 15.5908 | 38.4790 |
| 埴塙13809 | 0.8472 | 2.0912 | 18.4023 | 15.5908 | 38.4831 |
| 埴塙14989 | 0.8488 | 2.0946 | 18.3840 | 15.6040 | 38.5060 |
| 埴塙91-137 | 0.8482 | 2.0932 | 18.4030 | 15.6100 | 38.5200 |
| 埴塙14990 | 0.8332 | 2.0831 | 18.9930 | 15.8260 | 39.5640 |
| 埴塙14992 | 0.8526 | 2.1026 | 18.2920 | 15.5960 | 38.4610 |

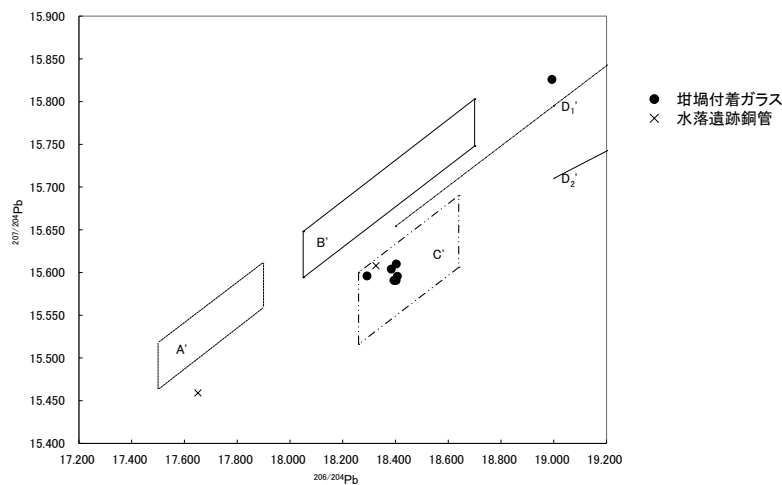
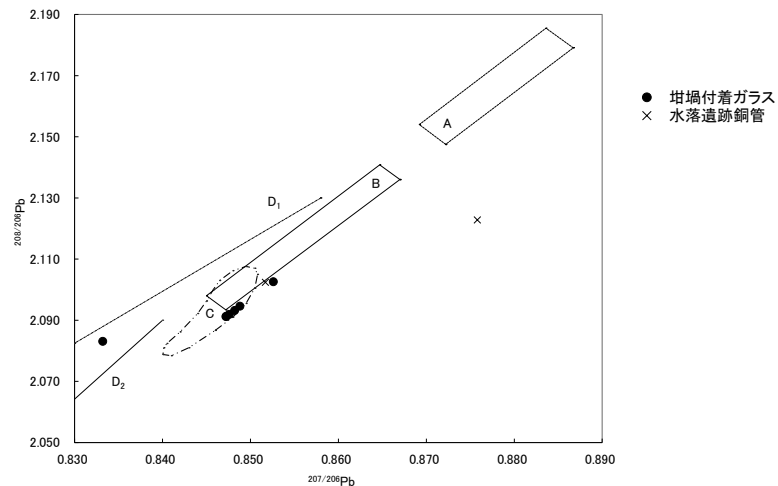


Fig. 247 鉛同位体比分析結果 (上 a式図、下 b式図)

E まとめ

飛鳥池遺跡出土のガラス関連遺物の分析結果から、基礎ガラスとして、鉛ガラス、アルカリガラスの存在が明らかになった。さらにアルカリガラスには、高アルミナソーダ石灰ガラス、低アルミナソーダ石灰ガラス（ナトロン、植物灰、混合）、中間タイプのソーダ石灰ガラス、高アルミナ-カルシウムガラスが存在することが判明した。

出土ガラスの中心となるのは低アルミナタイプの鋳型作りの紺色小玉で、着色剤にコバルトを使用したものがあることから、船載のガラスを原料として再利用した可能性が高い。飛鳥池遺跡でソーダ石灰ガラスなどのアルカリガラスを生産した可能性は低く、遺跡に持ち込まれたソーダ石灰ガラスを再溶解して、型抜きガラスや、鋳型作りの小玉に加工したと考えられる。

砲弾形坩堝
で国産の
鉛ガラスを
生産

一方、鉛ガラスは、原料の方鉛鉱や長石などが出土していることから、原料を砲弾形坩堝で溶解してガラスを製造し、鉄イオンで褐色に、銅イオンで緑色に着色したことが分かる。鉛ガラスは、風化の影響で珪酸や鉛含有量にバラツキがみられるものの、既報告の坩堝付着鉛ガラスと類似した分析の結果を示した。鉛ガラスの原材料としては、鉛同位体比分析から、朝鮮半島産を含む複数の原材料供給地が比定されたが、多くの坩堝付着ガラス資料は日本産の領域に集中し、飛鳥池遺跡で国産の鉛ガラスの生産がおこなわれていたことを再確認することができた。

以上、飛鳥池遺跡では、鋳型作りで紺色のアルカリガラスの小玉を、巻付法で鉛ガラスの玉を、鉛ガラスとアルカリガラスで型抜きガラスを生産していたことが明らかになったが、二次生産されたガラスと、素材として搬入されたガラスの区別は難しく、さらなる資料の分析を通して飛鳥池工場のガラス生産の実態に迫りたいと考える。

参考文献

- 1) 馬淵久夫・平尾良光「鉛同位体比からみた銅鐸の原料」『考古学雑誌』第68巻第1号、1982年。
- 2) R.H.Brill, S.S.C.Tong, D.Dohrenwend「Chemical analysis of some early Chinese glasses」Scientific research in early Chinese glass, 1984
- 3) 肥塚隆保・川越俊一・西口寿生「飛鳥池遺跡出土遺物の材質」『奈良国立文化財研究所年報』1992年。
- 4) 肥塚隆保・平尾良光・川越俊一・西口寿生「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』1993年。
- 5) 肥塚隆保「古代珪酸塩ガラスの研究」『文化財論叢Ⅱ』奈良国立文化財研究所、1995年。
- 6) 『飛鳥・藤原宮発掘調査報告書Ⅳ—飛鳥水落遺跡の調査—』奈良国立文化財研究所学報第55冊、1995年。
- 7) 谷一尚「ガラスの考古学」同成社、1999年。
- 8) 平尾久光・榎本淳子「古代日本青銅きの鉛同位体比」『古代青銅の流通と鋳造』1999年。
- 9) 齋藤 努・高橋照彦・西川裕一「古代銭貨に関する理化学的研究—皇朝十二銭の鉛同位体比分析および金属組成分析—」『IMES Discussion Paper Series』日本銀行金融研究所、2002年。
- 10) 山崎一雄、『古文化財の科学』2002年。
- 11) R.H.Brill, H. Shirahata「Recent lead-isotope analysis of some Asian glasses」The second K. Yamasaki TC-17 lecture on Asian Glass. International congress on Glass, 2004

《付表》ガラスの化学組成 (非破壊分析)

| | 色調 | SiO ₂ | PbO | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | MgO | CaO | MnO | CoO | CuO | Na ₂ O | K ₂ O | type |
|----|----|------------------|------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|------|------|------|-------------------|------------------|------|
| 1 | 紺 | 80.3 | 0.25 | 0.21 | 3.8 | 1.7 | 2.0 | 6.1 | 0.29 | 0.18 | 0.25 | 2.4 | 2.6 | ② |
| 2 | 紺 | 81.5 | 0.18 | 0.20 | 3.2 | 1.5 | 2.5 | 6.1 | 0.18 | 0.15 | 0.18 | 1.4 | 2.9 | ② |
| 3 | 紺 | 79.8 | 0.15 | 0.17 | 3.1 | 1.5 | 2.1 | 6.7 | 0.18 | 0.14 | 0.20 | 2.7 | 3.3 | ② |
| 4 | 紺 | 78.2 | 0.20 | 0.19 | 3.0 | 1.5 | 3.2 | 6.2 | 0.23 | 0.14 | 0.16 | 4.1 | 2.9 | ② |
| 5 | 紺 | 80.9 | 0.13 | 0.15 | 3.1 | 1.2 | 2.7 | 6.2 | 0.26 | 0.08 | 0.18 | 2.1 | 3.0 | ② |
| 6 | 紺 | 75.2 | 0.11 | 0.15 | 3.3 | 1.2 | 5.1 | 5.2 | 0.17 | 0.06 | 0.11 | 6.3 | 2.5 | ④ |
| 7 | 紺 | 75.9 | 0.18 | 0.17 | 2.7 | 1.3 | 4.5 | 6.3 | 0.19 | 0.10 | 0.13 | 5.3 | 3.3 | ③ |
| 8 | 紺 | 76.1 | 0.12 | 0.16 | 2.9 | 0.96 | 3.3 | 5.3 | 0.21 | 0.08 | 0.13 | 6.4 | 4.1 | ③ |
| 9 | 紺 | 77.0 | 0.19 | 0.27 | 3.4 | 1.7 | 2.5 | 5.9 | 0.17 | 0.12 | 0.19 | 4.6 | 3.7 | ② |
| 10 | 紺 | 78.0 | 0.28 | 0.25 | 2.7 | 1.5 | 2.7 | 6.6 | 0.12 | 0.12 | 0.17 | 4.1 | 3.4 | ② |
| 11 | 紺 | 78.8 | 0.11 | 0.16 | 2.8 | 1.2 | 3.2 | 5.9 | 0.16 | 0.08 | 0.14 | 3.4 | 3.8 | ③ |
| 12 | 紺 | 67.0 | 0.21 | 0.10 | 2.4 | 0.88 | 4.0 | 7.9 | 0.14 | 0.07 | 0.26 | 12.9 | 3.9 | ③ |
| 13 | 紺 | 76.9 | 0.15 | 0.21 | 3.2 | 1.5 | 2.8 | 6.6 | 0.25 | 0.09 | 0.19 | 4.5 | 3.3 | ② |
| 14 | 紺 | 78.1 | 0.16 | 0.17 | 2.6 | 1.3 | 2.6 | 7.5 | 0.35 | 0.14 | 0.20 | 3.1 | 3.5 | ② |
| 15 | 紺 | 65.6 | 0.11 | 0.12 | 3.1 | 1.1 | 4.6 | 6.7 | 0.07 | 0.13 | 0.24 | 14.2 | 3.8 | ③ |
| 16 | 紺 | 79.7 | 0.22 | 0.14 | 2.8 | 1.3 | 1.9 | 7.2 | 0.14 | 0.12 | 0.17 | 2.9 | 3.3 | ② |
| 17 | 紺 | 82.1 | 0.15 | 0.20 | 2.7 | 1.4 | 2.6 | 6.3 | 0.19 | 0.12 | 0.22 | 1.6 | 2.3 | ② |
| 18 | 紺 | 76.9 | 0.19 | 0.26 | 3.5 | 1.6 | 2.3 | 7.3 | 0.25 | 0.14 | 0.22 | 3.5 | 3.8 | ② |
| 19 | 紺 | 80.0 | 0.20 | 0.22 | 3.0 | 1.7 | 2.5 | 6.5 | 0.27 | 0.16 | 0.19 | 2.3 | 2.9 | ② |
| 20 | 紺 | 78.5 | 0.24 | 0.21 | 3.0 | 1.6 | 2.5 | 6.8 | 0.12 | 0.14 | 0.19 | 3.2 | 3.3 | ② |
| 21 | 紺 | 78.3 | 0.15 | 0.20 | 2.6 | 1.3 | 4.3 | 6.0 | 0.11 | 0.11 | 0.14 | 3.9 | 2.8 | ③ |
| 22 | 紺 | 79.1 | 0.11 | 0.17 | 2.9 | 1.2 | 2.1 | 5.9 | 0.57 | 0.09 | 0.12 | 4.0 | 3.6 | ② |
| 23 | 紺 | 79.5 | 0.18 | 0.17 | 2.7 | 1.5 | 2.5 | 7.1 | 0.35 | 0.14 | 0.21 | 2.7 | 2.8 | ② |
| 24 | 紺 | 78.3 | 0.11 | 0.26 | 2.7 | 1.4 | 3.0 | 6.5 | 0.09 | 0.09 | 0.13 | 4.2 | 3.1 | ② |
| 25 | 紺 | 79.1 | 0.15 | 0.22 | 3.0 | 1.5 | 2.3 | 7.0 | 0.36 | 0.10 | 0.12 | 2.6 | 3.3 | ② |
| 26 | 紺 | 79.3 | 0.15 | 0.23 | 3.1 | 1.6 | 2.5 | 6.5 | 0.25 | 0.11 | 0.21 | 3.0 | 2.9 | ② |
| 27 | 紺 | 66.9 | 0.47 | 0.15 | 3.7 | 1.3 | 3.4 | 6.2 | 0.09 | 0.06 | 0.13 | 12.0 | 5.2 | ③ |
| 28 | 紺 | 77.9 | 0.16 | 0.14 | 2.7 | 1.1 | 2.8 | 5.1 | 0.11 | 0.09 | 0.12 | 6.8 | 2.9 | ② |
| 29 | 紺 | 67.6 | 0.35 | 0.15 | 3.6 | 1.3 | 3.6 | 5.8 | 0.10 | 0.07 | 0.17 | 11.7 | 5.3 | ③ |
| 30 | 紺 | 67.2 | 0.39 | 0.15 | 3.5 | 1.1 | 3.2 | 6.7 | 0.09 | 0.07 | 0.13 | 12.0 | 5.0 | ③ |
| 31 | 紺 | 76.2 | 0.19 | 0.27 | 3.4 | 1.7 | 2.3 | 7.0 | 0.17 | 0.12 | 0.21 | 5.0 | 3.3 | ② |
| 32 | 紺 | 82.6 | 0.17 | 0.17 | 2.3 | 1.3 | 1.4 | 4.1 | 0.78 | 0.08 | 0.14 | 3.3 | 3.5 | ② |
| 33 | 青緑 | 71.9 | 0.12 | 0.53 | 7.6 | 1.6 | 0.61 | 4.0 | 0.19 | tr | 1.1 | 9.0 | 3.2 | 高Al |
| 34 | 青 | 64.8 | 0.34 | 0.51 | 9.3 | 0.94 | 0.70 | 2.7 | 0.07 | tr | 1.5 | 16.2 | 2.9 | 高Al |
| 35 | 淡青 | 76.5 | 0.30 | 0.34 | 6.6 | 0.83 | 0.61 | 1.9 | 0.05 | tr | 0.99 | 9.9 | 1.9 | 高Al |
| 36 | 紺 | 66.3 | 0.28 | 0.12 | 3.3 | 0.70 | 5.7 | 5.2 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 16.1 | 1.7 | ④ |
| 37 | 紺 | 70.4 | 0.12 | 0.16 | 2.6 | 1.3 | 3.0 | 6.2 | 0.24 | 0.07 | 0.11 | 13.0 | 2.6 | ② |
| 38 | 淡紺 | 82.3 | 0.34 | 0.17 | 3.1 | 1.0 | 1.2 | 7.2 | 0.22 | 0.03 | 0.20 | 2.6 | 1.4 | ①' |
| 39 | 青緑 | 77.2 | 0.05 | 0.46 | 9.4 | 1.8 | 1.2 | 3.1 | 0.06 | tr | 0.64 | 3.3 | 2.6 | 高Al |
| 40 | 青緑 | 78.6 | 0.09 | 0.46 | 7.9 | 1.8 | 0.73 | 3.8 | 0.09 | tr | 0.99 | 1.6 | 3.7 | 高Al |
| 41 | 紺 | 68.3 | 0.56 | 0.14 | 3.3 | 1.2 | 3.5 | 6.5 | 0.10 | 0.07 | 0.19 | 11.9 | 4.2 | ③ |
| 42 | 紺 | 67.4 | 0.51 | 0.12 | 3.2 | 1.1 | 3.7 | 6.4 | 0.10 | 0.05 | 0.14 | 12.6 | 4.4 | ③ |
| 43 | 紺 | 80.5 | 0.37 | 0.15 | 3.0 | 1.1 | 1.3 | 8.4 | 0.21 | 0.03 | 0.17 | 2.9 | 1.7 | ①' |
| 44 | 紺 | 85.0 | 0.29 | 0.12 | 2.6 | 0.87 | 1.3 | 6.8 | 0.19 | 0.03 | 0.12 | 1.5 | 1.0 | ①' |
| 45 | 紺 | 66.9 | 0.61 | 0.12 | 3.3 | 0.99 | 3.5 | 5.7 | 0.12 | 0.06 | 0.09 | 10.5 | 7.9 | ③ |
| 46 | 紺 | 65.0 | 0.90 | 0.18 | 4.0 | 1.2 | 3.4 | 5.8 | 0.11 | 0.05 | 0.20 | 13.0 | 5.9 | ③ |
| 47 | 緑 | 56.0 | 39.2 | tr | 1.6 | 0.12 | 0.16 | 0.10 | tr | tr | 0.32 | 1.2 | 0.41 | 鉛 |
| 48 | 緑 | 71.2 | 24.3 | 0.06 | 1.1 | 0.14 | 0.24 | 0.15 | tr | tr | 0.27 | 1.4 | 1.1 | 鉛 |
| 49 | 緑 | 81.4 | 13.4 | 0.05 | 2.6 | 0.19 | 0.82 | 0.28 | tr | tr | 0.12 | 0.94 | 0.13 | 鉛 |
| 50 | 緑 | 56.6 | 0.06 | 0.63 | 11.9 | 1.1 | 2.3 | 20.4 | 1.57 | tr | tr | 0.88 | 4.2 | 高Ca |
| 51 | 緑 | 66.5 | 2.2 | 0.67 | 4.9 | 1.5 | 3.0 | 4.8 | 0.20 | tr | 1.4 | 11.3 | 3.4 | 高Al |
| 52 | 褐 | 45.6 | 39.2 | 0.62 | 5.5 | 2.8 | 2.5 | 1.8 | 0.25 | tr | 0.18 | 0.52 | 0.16 | 鉛 |
| 53 | 褐 | 62.8 | 28.9 | 0.22 | 3.3 | 0.70 | 1.1 | 0.52 | 0.05 | tr | 0.12 | 0.51 | 1.6 | 鉛 |
| 54 | 褐 | 42.2 | 46.2 | 0.24 | 5.6 | 1.0 | 0.47 | 0.42 | 0.08 | tr | 0.13 | 2.0 | 1.4 | 鉛 |
| 55 | 褐 | 73.1 | 19.1 | 0.14 | 3.5 | 0.73 | 0.57 | 0.81 | 0.04 | tr | 0.45 | 1.2 | 0.34 | 鉛 |
| 56 | 褐 | 55.6 | 31.5 | 0.37 | 7.0 | 1.5 | 0.83 | 1.1 | 0.08 | tr | 0.20 | 1.0 | 0.59 | 鉛 |
| 57 | 黒 | 43.6 | 1.7 | 0.53 | 7.8 | 2.7 | 4.4 | 32.3 | 0.80 | tr | 0.06 | 1.9 | 2.8 | 高Ca |

第V章 自然科学による分析

| | 色調 | SiO ₂ | PbO | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | MgO | CaO | MnO | CoO | CuO | Na ₂ O | K ₂ O | type |
|-----|----|------------------|------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|------|------|------|-------------------|------------------|------|
| 58 | 褐 | 70.4 | 20.9 | 0.14 | 3.5 | 1.1 | 1.8 | 0.83 | 0.06 | tr | 0.17 | 0.88 | 0.3 | 鉛 |
| 59 | 褐 | 26.8 | 61.8 | 0.28 | 4.9 | 1.3 | 0.92 | 0.27 | 0.09 | tr | 0.12 | 1.9 | 1.1 | 鉛 |
| 60 | 褐 | 27.1 | 62.6 | 0.28 | 4.8 | 1.3 | 0.85 | 0.23 | 0.11 | tr | 0.12 | 1.2 | 0.97 | 鉛 |
| 61 | 褐 | 69.3 | 21.5 | 0.25 | 3.6 | 1.8 | 1.5 | 1.1 | 0.08 | tr | 0.06 | 0.55 | 0.14 | 鉛 |
| 62 | 黄 | 60.8 | 35.9 | 0.07 | 0.63 | 0.13 | 0.23 | 0.32 | 0.07 | tr | 0.43 | 0.89 | 0.22 | 鉛 |
| 63 | 緑 | 72.5 | 22.0 | 0.10 | 1.6 | 2.0 | 0.30 | 0.25 | 0.04 | tr | 0.27 | 0.43 | 0.23 | 鉛 |
| 64 | 緑 | 67.8 | 27.7 | 0.11 | 1.4 | 0.14 | 0.24 | 0.30 | 0.05 | tr | 0.42 | 1.4 | 0.22 | 鉛 |
| 65 | 褐 | 69.7 | 20.4 | 0.12 | 4.5 | 0.87 | 2.7 | 0.53 | 0.04 | tr | 0.10 | 0.51 | 0.18 | 鉛 |
| 66 | 褐 | 67.9 | 24.0 | 0.13 | 3.6 | 0.98 | 1.6 | 0.50 | 0.05 | tr | 0.12 | 0.63 | 0.49 | 鉛 |
| 67 | 褐 | 55.8 | 31.6 | 0.18 | 5.1 | 0.86 | 2.0 | 0.58 | 0.05 | tr | 0.16 | 2.5 | 0.47 | 鉛 |
| 68 | 褐 | 70.4 | 18.4 | 0.13 | 4.6 | 0.86 | 3.5 | 0.41 | 0.04 | tr | 0.10 | 1.0 | 0.26 | 鉛 |
| 69 | 褐 | 65.2 | 17.8 | 0.41 | 9.6 | 2.5 | 1.2 | 1.4 | 0.06 | tr | 0.04 | 1.1 | 0.33 | 鉛 |
| 70 | 褐 | 73.4 | 17.4 | 0.13 | 3.7 | 0.70 | 2.6 | 0.36 | 0.04 | tr | 0.13 | 1.1 | 0.23 | 鉛 |
| 71 | 褐 | 72.5 | 16.4 | 0.12 | 4.6 | 0.68 | 2.6 | 0.52 | 0.04 | tr | 0.10 | 1.8 | 0.24 | 鉛 |
| 72 | 褐 | 37.1 | 49.3 | 0.20 | 4.0 | 1.5 | 3.2 | 0.21 | 0.06 | tr | 0.11 | 2.2 | 0.51 | 鉛 |
| 73 | 淡褐 | 75.0 | 17.1 | 0.08 | 3.5 | 0.48 | 2.7 | 0.24 | 0.03 | tr | 0.12 | 0.42 | 0.14 | 鉛 |
| 74 | 褐 | 43.8 | 34.6 | 0.36 | 11.5 | 1.5 | 3.6 | 0.41 | 0.04 | 0.04 | 0.07 | 1.5 | 0.54 | 鉛 |
| 75 | 褐 | 28.6 | 54.0 | 0.24 | 6.9 | 1.2 | 1.8 | 0.32 | 0.06 | 0.05 | 0.12 | 4.4 | 0.84 | 鉛 |
| 76 | 褐 | 31.0 | 51.6 | 0.25 | 7.4 | 1.3 | 1.9 | 0.17 | 0.08 | 0.05 | 0.11 | 3.5 | 0.89 | 鉛 |
| 77 | 淡褐 | 74.0 | 16.9 | 0.19 | 3.5 | 0.69 | 2.6 | 0.27 | 0.04 | tr | 0.10 | 0.91 | 0.60 | 鉛 |
| 78 | 褐 | 35.5 | 48.1 | 0.33 | 8.4 | 1.3 | 2.6 | 0.44 | 0.07 | tr | 0.08 | 1.0 | 0.62 | 鉛 |
| 79 | 褐 | 74.1 | 17.5 | 0.08 | 3.3 | 0.44 | 2.7 | 0.16 | 0.03 | tr | 0.13 | 0.97 | 0.45 | 鉛 |
| 80 | 褐 | 73.8 | 16.6 | 0.08 | 3.5 | 0.44 | 2.9 | 0.17 | 0.03 | tr | 0.13 | 1.7 | 0.45 | 鉛 |
| 81 | 褐 | 72.6 | 16.4 | 0.17 | 4.3 | 0.97 | 3.2 | 0.55 | 0.04 | tr | 0.11 | 1.2 | 0.32 | 鉛 |
| 82 | 褐 | 46.7 | 37.5 | 0.24 | 8.9 | 1.1 | 1.0 | 0.18 | 0.05 | tr | 0.11 | 1.8 | 1.3 | 鉛 |
| 83 | 褐 | 57.7 | 26.0 | 0.21 | 10.1 | 0.93 | 1.1 | 0.84 | 0.07 | tr | 0.08 | 1.5 | 0.77 | 鉛 |
| 84 | 褐 | 60.6 | 22.7 | 0.35 | 9.6 | 0.47 | 1.6 | 0.73 | 0.04 | tr | 0.10 | 1.6 | 0.59 | 鉛 |
| 85 | 褐 | 58.0 | 26.7 | 0.40 | 8.5 | 1.7 | 1.1 | 0.92 | 0.06 | tr | 0.15 | 1.5 | 0.49 | 鉛 |
| 86 | 褐 | 51.9 | 32.6 | 0.30 | 9.5 | 1.4 | 0.90 | 0.50 | 0.04 | tr | 0.10 | 1.4 | 0.42 | 鉛 |
| 87 | 褐 | 55.8 | 28.5 | 0.33 | 9.4 | 1.3 | 0.90 | 0.55 | 0.05 | tr | 0.08 | 1.8 | 0.58 | 鉛 |
| 88 | 緑 | 75.1 | 18.5 | 0.05 | 1.8 | 0.11 | 0.68 | 0.26 | 0.03 | tr | 0.29 | 2.4 | 0.46 | 鉛 |
| 89 | 青 | 81.3 | 0.30 | 0.19 | 4.1 | 1.0 | 2.1 | 6.5 | 0.16 | tr | 0.13 | 2.9 | 0.78 | ① |
| 90 | 青 | 64.3 | 0.26 | 0.13 | 3.8 | 0.86 | 5.6 | 4.5 | 0.19 | tr | 0.10 | 16.7 | 3.0 | ④ |
| 91 | 紺 | 64.5 | 0.37 | 0.11 | 3.8 | 0.93 | 5.6 | 4.7 | 0.07 | 0.04 | 0.11 | 16.9 | 2.4 | ④ |
| 92 | 青 | 83.8 | 0.23 | 0.13 | 3.3 | 0.92 | 2.1 | 6.0 | 0.16 | tr | 0.11 | 2.0 | 0.78 | ① |
| 93 | 紺 | 68.2 | 0.35 | 0.09 | 3.4 | 0.73 | 5.7 | 4.8 | 0.05 | 0.05 | 0.12 | 14.1 | 1.9 | ④ |
| 94 | 紺 | 63.2 | 0.36 | 0.12 | 3.7 | 0.91 | 6.6 | 4.7 | 0.07 | 0.04 | 0.11 | 17.3 | 2.5 | ④ |
| 95 | 紺 | 62.7 | 0.39 | 0.11 | 3.8 | 0.90 | 5.8 | 4.4 | 0.07 | 0.05 | 0.11 | 19.1 | 2.2 | ④ |
| 96 | 青 | 83.8 | 0.27 | 0.15 | 3.3 | 0.94 | 2.0 | 5.9 | 0.14 | tr | 0.13 | 2.6 | 0.50 | ① |
| 97 | 淡青 | 79.5 | 0.06 | 0.15 | 4.4 | 0.83 | 2.8 | 3.8 | 0.05 | tr | 0.53 | 5.1 | 2.2 | 中間 |
| 98 | 淡青 | 78.2 | 0.06 | 0.15 | 4.8 | 0.97 | 3.6 | 4.1 | 0.05 | tr | 0.55 | 4.6 | 2.1 | 中間 |
| 99 | 青 | 82.8 | 0.25 | 0.15 | 3.2 | 0.95 | 2.0 | 6.6 | 0.17 | tr | 0.15 | 2.6 | 0.77 | ① |
| 100 | 青 | 83.8 | 0.27 | 0.12 | 3.3 | 0.90 | 2.1 | 5.6 | 0.14 | tr | 0.12 | 3.0 | 0.35 | ① |
| 101 | 紺 | 65.6 | 0.30 | 0.11 | 3.6 | 0.73 | 6.7 | 5.0 | 0.06 | 0.05 | 0.09 | 15.5 | 1.8 | ④ |
| 102 | 紺 | 62.9 | 0.34 | 0.12 | 4.0 | 0.97 | 6.4 | 5.1 | 0.07 | 0.05 | 0.11 | 17.2 | 2.3 | ④ |
| 103 | 紺 | 72.8 | 0.13 | 0.18 | 3.4 | 1.2 | 7.3 | 4.9 | 0.14 | 0.08 | 0.10 | 7.6 | 1.9 | ④ |
| 104 | 青 | 82.6 | 0.33 | 0.18 | 3.8 | 1.1 | 1.9 | 6.8 | 0.17 | tr | 0.15 | 1.8 | 0.68 | ① |
| 105 | 青 | 82.7 | 0.30 | 0.12 | 3.2 | 1.0 | 2.0 | 6.5 | 0.15 | tr | 0.13 | 3.2 | 0.28 | ① |
| 106 | 褐 | 62.1 | 23.0 | 0.29 | 8.9 | 1.6 | 1.7 | 0.84 | 0.05 | tr | 0.14 | 0.82 | 0.17 | 鉛 |
| 107 | 褐 | 47.7 | 38.0 | 0.16 | 8.2 | 1.0 | 0.81 | 0.18 | 0.06 | tr | 0.10 | 2.1 | 0.40 | 鉛 |
| 108 | 緑 | 73.7 | 20.6 | 0.06 | 1.6 | 0.19 | 0.70 | 0.30 | 0.04 | tr | 0.37 | 1.4 | 0.46 | 鉛 |
| 109 | 紺 | 66.0 | 0.37 | 0.13 | 3.8 | 0.95 | 5.6 | 4.9 | 0.07 | 0.04 | 0.12 | 14.9 | 2.6 | ④ |
| 110 | 紺 | 64.2 | 0.38 | 0.13 | 3.8 | 0.99 | 5.7 | 4.9 | 0.07 | 0.05 | 0.11 | 16.7 | 2.5 | ④ |
| 111 | 青 | 83.6 | 0.27 | 0.13 | 3.6 | 0.94 | 2.1 | 6.3 | 0.16 | tr | 0.12 | 2.1 | 0.36 | ① |
| 112 | 青 | 82.8 | 0.29 | 0.16 | 3.4 | 0.99 | 1.9 | 6.3 | 0.17 | tr | 0.13 | 2.9 | 0.62 | ① |
| 113 | 青 | 83.8 | 0.31 | 0.12 | 3.1 | 1.1 | 2.1 | 6.3 | 0.15 | tr | 0.13 | 2.2 | 0.34 | ① |
| 114 | 紺 | 72.6 | 0.32 | 0.11 | 5.1 | 0.92 | 3.4 | 4.6 | 0.08 | 0.03 | 0.10 | 9.9 | 2.4 | ② |
| 115 | 青 | 83.0 | 0.30 | 0.13 | 3.3 | 1.1 | 2.0 | 6.4 | 0.15 | tr | 0.14 | 2.8 | 0.34 | ① |
| 116 | 青 | 83.6 | 0.25 | 0.13 | 3.2 | 0.92 | 2.2 | 6.0 | 0.17 | tr | 0.13 | 2.5 | 0.45 | ① |
| 117 | 青 | 66.6 | 0.29 | 0.12 | 3.5 | 0.74 | 6.1 | 5.1 | 0.06 | 0.04 | 0.10 | 15.1 | 1.8 | ④ |
| 118 | 緑 | 73.6 | 21.4 | 0.13 | 1.8 | 0.12 | 0.55 | 0.29 | 0.03 | tr | 0.35 | 1.1 | 0.18 | 鉛 |
| 119 | 青 | 75.6 | 0.17 | 0.15 | 3.3 | 1.2 | 2.5 | 6.1 | 0.20 | 0.04 | 0.20 | 9.0 | 1.0 | ① |

3 飛鳥池遺跡出土遺物の鉛同位体比測定結果

A はじめに

奈良文化財研究所から分析依頼のあった、飛鳥池遺跡出土の富本銭や無文銀銭、ガラスなどの資料について鉛同位体比を分析した。本稿執筆時に、各資料の化学組成や考古学的な性格付けなどが必ずしも明確になっていないので、ここでは測定結果の概要を記述するとともに、これまでに得られている比較対照資料のデータを含めた詳細な検討は、後日あらためて行うこととしたい。

B 測定資料

測定対象とした資料は、飛鳥池遺跡から出土した富本銭6点、鉛4点、鉛鉱石1点、輝安鉱1点、埴埦に付着したガラス4点、銅片5点、無文銀銭2点と、参考資料として藤原宮78次調査で出土した、鉛を熔融した埴埦に付着していた熔融物1点である (Tab. 31、Fig. 248)。富本銭、銅片、無文銀銭については、金属部分から測定試料を採取した。ただし、資料の分類名称は、分析依頼時に奈良文化財研究所によって行われていたものである。

Tab. 31 鉛同位体比測定資料一覧

| | 種別 | 小地区 | 出土層位・遺構 | 出土年月日 |
|----|---------|-----------|---------|--------|
| 1 | 富本銭 | HL27 | 炭層2A | 981020 |
| 2 | 富本銭 | HN26 | 炭層4A | 981202 |
| 3 | 富本銭 | HF22 | 銅炭ブロック | 990426 |
| 4 | 富本銭 | HN28 | 炭層1 | 981009 |
| 5 | 富本銭 | HG22 | 銅炭ブロックB | 990518 |
| 6 | 富本銭 | HM28 | 炭層2C | 981020 |
| 7 | 鉛 | HL30 | 断割炭層 | 980818 |
| 8 | 鉛 | HM30 | 南北溝A | 981006 |
| 9 | 鉛 | HM30 | 南北溝A | 981006 |
| 10 | 方鉛鉱 | WH31 | 粘土混炭層 | 910606 |
| 11 | 鉛 | 建物1 | 柱穴3 | 980520 |
| 12 | 輝安鉱 | WL30 | 灰色粘土 | 910412 |
| 13 | ガラス埴埦 | HL30 | 南北溝A | 981006 |
| 14 | ガラス埴埦 | WI26 | 炭層 | 910516 |
| 15 | ガラス埴埦 | HL30 | 南北溝A | 981006 |
| 16 | ガラス埴埦 | HG20 | 木屑土混灰粘土 | 990601 |
| 17 | 藤原宮出土埴埦 | 5AJF CM32 | 柱穴1 | 950630 |
| 18 | 無文銀銭 | HJ25 | 炭層2A | 981215 |
| 19 | 無文銀銭 | JP37 | 炭層 | 980317 |
| 20 | 銅片 | HO31 | 炭層1 | 981009 |
| 21 | 銅片 | HP32 | 炭層1 | 980903 |
| 22 | 銅片 | HM30 | 南北溝A | 981006 |
| 23 | 銅片 | HK26 | 炭層2C | 981029 |
| 24 | 銅片 | HM30 | 南北溝A | 981006 |

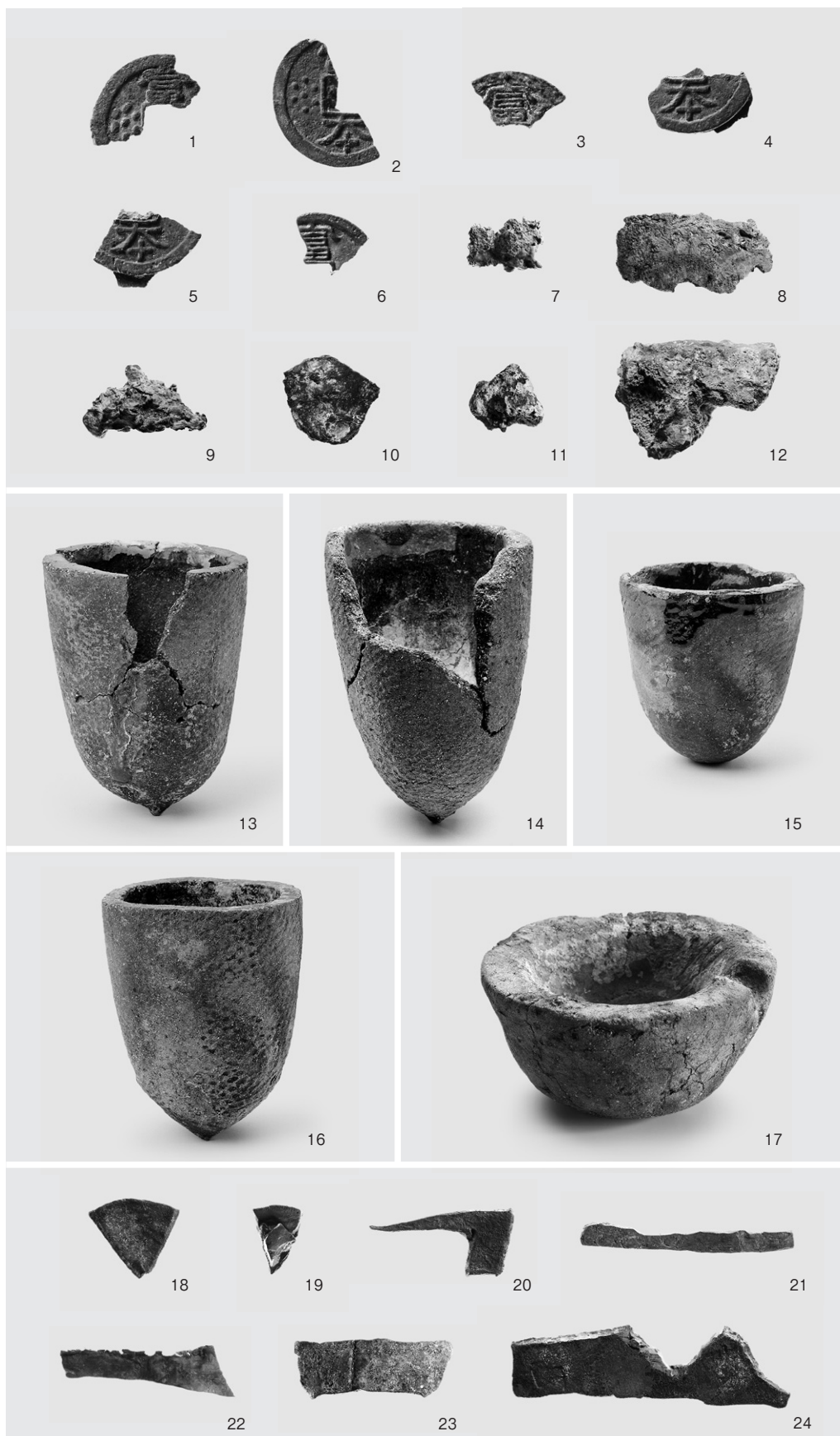


Fig. 248 鉛同位体比測定資料

C 分析方法

分析方法

国立歴史民俗博物館で開発した「高周波加熱分離法」を用いて鉛の分離を行い、表面電離型質量分析装置によって鉛同位体比を測定した。具体的な操作は次の通りである。¹⁾

資料の一部を採取し、これを石英製小るつぼに入れて石英製カバーをかぶせ、高周波加熱炉で15分間加熱する。石英製カバーの内壁に蒸着した鉛を希硝酸約1mlで溶解し、回収された鉛量をICP質量分析装置などで定量する。回収された鉛のうち200ngを分取して、リン酸、シリカゲルとともにレニウム・シングル・フィラメント上にローディングし、表面電離型質量分析装置 (Finnigan MAT 262) 内にセットし、フィラメント温度1200℃で同位体比測定を行った。

D 分析結果と検討

分析結果

測定結果をTab. 32に示した。Fig. 249～253は、これを図示したものである。

馬淵・平尾の表示法では、横軸に $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 、縦軸に $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ をプロットする「a式図」と、横軸に $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、縦軸に $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ をプロットする「b式図」があるが、本稿ではa式図のみを表示している。また、分析値の分布を読み取る際の目安のために、馬淵・平尾が設定した同位体比のグルーピング領域 (馬淵・平尾、1982a、1982b、1983、1987) も図中に表示した。これは、弥生時代から奈良時代における青銅器の分析結果に基づくもので、²⁾

a式図と
b式図

同位体比の
グルーピング
領域

W：弥生時代に将来された前漢鏡の範囲 (中国華北の鉛)

E：後漢・三国時代の舶載鏡の範囲 (中国華中～華南の鉛)

J：日本産の方鉛鋳の範囲

K：弥生時代に将来された多鈕細文鏡、細型銅剣など朝鮮半島系遺物のライン

というものであり、本稿では、記号W、E、J、Kを図中に付した。これらの範囲は、数値を読み取る際の目安であり、例えば日本産の方鉛鋳はすべてJの範囲にあることを意味するものではない。

今回の測定結果をごく簡単にまとめると、鉛を除き、非常に数値のばらつきが大きく、さまざまな産地の原料が使用されていたことが推測される。ただし、中には、奈良・平安時代に多用されていた原料と同様の数値を示すものも、すでに含まれていることがわかる。富本銭については、村上などによってアンチモン濃度が高いことがすでに報告されており、齋藤らが指摘した通り、技術やこうした化学組成の面から、古代官銭 (いわゆる皇朝十二銭) のうちの、古和同との関連性が考えられる。⁴⁾ また、万年通寶以降において稀に見られるアンチモン濃度の高い銭貨が、鉛同位体比において古和同と共通する数値を示すことから、古和同や富本銭の鋳潰しであった可能性も考えられる。ここでは、これらのデータを参照しながら結果をまとめる。

さまざまな
産地の原料

i 富本銭

富本銭

Fig. 249に示した通り、3点がJ領域内にあり、日本産原料と考えられる。うち2点 (資料91、120) は、近接した数値を示し、齋藤ら (2002) が設定した「グループI」の範囲 ($^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$

日本産原料

Tab. 32 飛鳥池遺跡などから出土した資料の鉛同位体比測定結果

| 番号 | 資料番号 | 資料 | 分析番号 | $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ | $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ | $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ | $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ | $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ | 備考 |
|----|--------|------|-------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------|
| 1 | 231 | 富本銭 | B6001 | 0.8557 | 2.1134 | 18.247 | 15.614 | 38.564 | |
| 2 | 50 | 富本銭 | B6002 | 0.8854 | 2.1369 | 17.517 | 15.526 | 37.431 | |
| 3 | 120 | 富本銭 | B6003 | 0.8461 | 2.0906 | 18.454 | 15.613 | 38.580 | |
| 4 | 2 | 富本銭 | B6004 | 0.8479 | 2.0947 | 18.419 | 15.618 | 38.582 | |
| 5 | 91 | 富本銭 | B6005 | 0.8457 | 2.0906 | 18.469 | 15.620 | 38.613 | |
| 6 | 315 | 富本銭 | B6006 | 0.8133 | 2.0813 | 19.296 | 15.694 | 40.162 | |
| 7 | 12378 | 鉛 | B6007 | 0.8470 | 2.0916 | 18.442 | 15.620 | 38.573 | |
| 8 | 12376 | 鉛 | B6008 | 0.8475 | 2.0913 | 18.404 | 15.598 | 38.489 | |
| 9 | 12377 | 鉛 | B6009 | 0.8483 | 2.0922 | 18.410 | 15.617 | 38.518 | |
| 10 | | 鉛鉱石 | B6010 | — | — | — | — | — | |
| 11 | 14999 | 鉛 | B6011 | 0.8476 | 2.0932 | 18.432 | 15.623 | 38.582 | 炭酸塩 |
| 12 | | 輝安鉱 | B6012 | — | — | — | — | — | |
| 13 | 14989 | ガラス | B6013 | 0.8488 | 2.0946 | 18.384 | 15.604 | 38.506 | 坩堝に付着 |
| 14 | 91-137 | ガラス | B6014 | 0.8482 | 2.0932 | 18.403 | 15.610 | 38.520 | 坩堝に付着 |
| 15 | 14990 | ガラス | B6015 | 0.8332 | 2.0831 | 18.993 | 15.826 | 39.564 | 坩堝に付着 |
| 16 | 14992 | ガラス | B6016 | 0.8526 | 2.1026 | 18.292 | 15.596 | 38.461 | 坩堝に付着 |
| 17 | | 溶融物 | B6017 | 0.8474 | 2.0906 | 18.409 | 15.600 | 38.487 | 鉛を熔融した坩堝に付着 |
| 18 | 14148 | 無文銀銭 | B6018 | 0.8564 | 2.1154 | 18.293 | 15.667 | 38.698 | |
| 19 | 14127 | 無文銀銭 | B6019 | 0.8708 | 2.1440 | 17.926 | 15.607 | 38.433 | |
| 20 | 3320 | 銅片 | B6020 | 0.8484 | 2.1000 | 18.367 | 15.582 | 38.572 | |
| 21 | 3337 | 銅片 | B6021 | 0.7544 | 1.8488 | 20.989 | 15.835 | 38.806 | |
| 22 | 3322 | 銅片 | B6022 | 0.8473 | 2.0902 | 18.411 | 15.600 | 38.482 | |
| 23 | 3309 | 銅片 | B6023 | 0.8471 | 2.0949 | 18.466 | 15.644 | 38.685 | |
| 24 | 3321 | 銅片 | B6024 | 0.8569 | 2.1133 | 18.201 | 15.596 | 38.464 | |

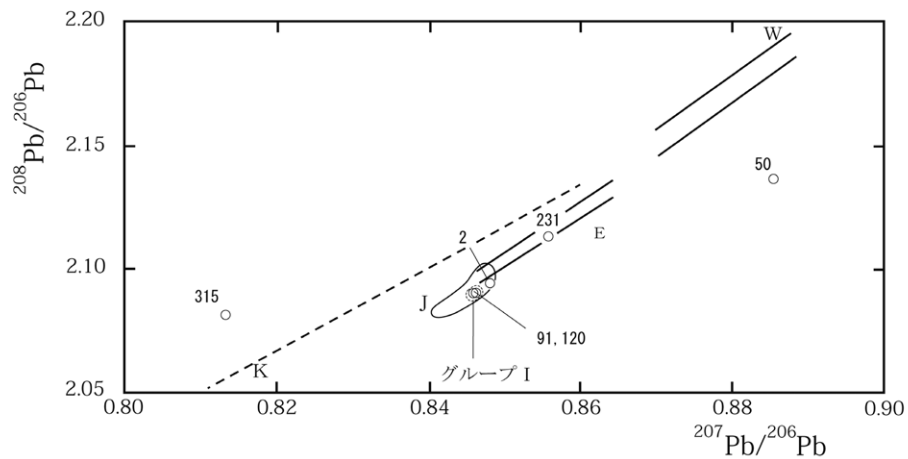


Fig. 249 富本銭の鉛同位体比測定結果

が0.8465～0.8480前後、 $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ が2.0880～2.0930前後、 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ が18.390～18.430前後)、すなわち皇朝十二銭の大多数の分析データが集中し、奈良時代の他の青銅製品においてもよく認められる数値範囲に含まれる。これはまた、山口県の長登銅山や近接する平原遺跡、蔵目喜鉱山に近接する坂部遺跡の出土資料のデータとも重なる。もう1点(資料2)についても、「グループI」として設定した範囲からは少し外れてはいるものの、平原遺跡出土の鉛塊でこれとほぼ同じ数値を示すものがあるので、これらは皇朝十二銭と同様な産出地の原料を使用していると考えてよいであろう。

グループ I

皇朝十二銭
と同じ産出
地の原料

Fig. 249でEの範囲に入っているものが一点ある(資料231)。これは上で述べた範囲設定からいうと中国華中～華南に対応しているが、後述するように韓国の慶尚北道産の可能性を考慮しておく必要がある。Fig. 249中で最も右上に位置している点(資料50)は、上記で設定したW、E、J、Kの記号で表示されるいずれの範囲からも外れている。これに近い数値を示すものとして知られているのは、別子型鉱床のいくつかの鉱石の値である⁵⁾。歴史資料としてこれと一致する数値をもつものはないが、馬淵らにより報告されている7世紀後半の飛鳥水落遺跡出土の漏刻大銅管のデータ($^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$: 0.8758、 $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$: 2.1228、 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$: 17.651)は一連の別子型鉱床が示す数値群の中に含まれているので、この資料との関連性についても今後検討を要するであろう。ただし、この銅管は銅製品であり、鉛は不純物としてごく微量含まれるだけであるので、比較して論じられるかどうかは、この資料の成分分析結果を併せて検討する必要がある。

別子型鉱床

図中の最も左下にある点(資料315)は、これまであまり見られなかった数値であるが、b式図上で馬淵・平尾が示した東アジア鉛鉱石の分布範囲と比較し、朝鮮半島南部の鉛と判断される⁷⁾。この地域ではTh/U比の場所による変動が大きいと推測されており、トリウム原子の崩壊によって生成する ^{208}Pb の量比の変動によってa式図上では縦軸方向に変動すると考えられるためである。

朝鮮半島
南部の鉛

ii 鉛

鉛

Fig. 250に示した通り、鉛については4点とも上述の「グループI」の範囲にあり、限定された地域からもたらされた可能性がうかがえる。「鉛鉱石」、「輝安鉱」として提供された資料については、試料採取箇所が不適切だったためか、鉛濃度が低く、測定に十分な量の鉛を回収することができなかった。

iii ガラス、溶融物

ガラス

Fig. 251で白丸は飛鳥池遺跡出土のガラス、黒丸は藤原宮出土の溶融物の結果を示している。黒丸は上述の「グループI」の範囲内にある。資料14989と資料91-137についてもこれと近接した数値であり、また多くの皇朝十二銭が分布する範囲におさまっているため、これと同様の原料供給源を想定してもよいであろう。

資料14992については、これと重なる数値をもつ皇朝十二銭のデータはないが、馬淵らによる飛鳥水落遺跡出土の漏刻小銅管の測定値($^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$: 0.8517、 $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$: 2.1024、 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$: 18.326)がこれと近接している。この銅管も銅製品であり、鉛は不純物としてごく微量含まれるだけであるので、比較して論じられるかどうかを検討する前提として、このガラスの成分分析

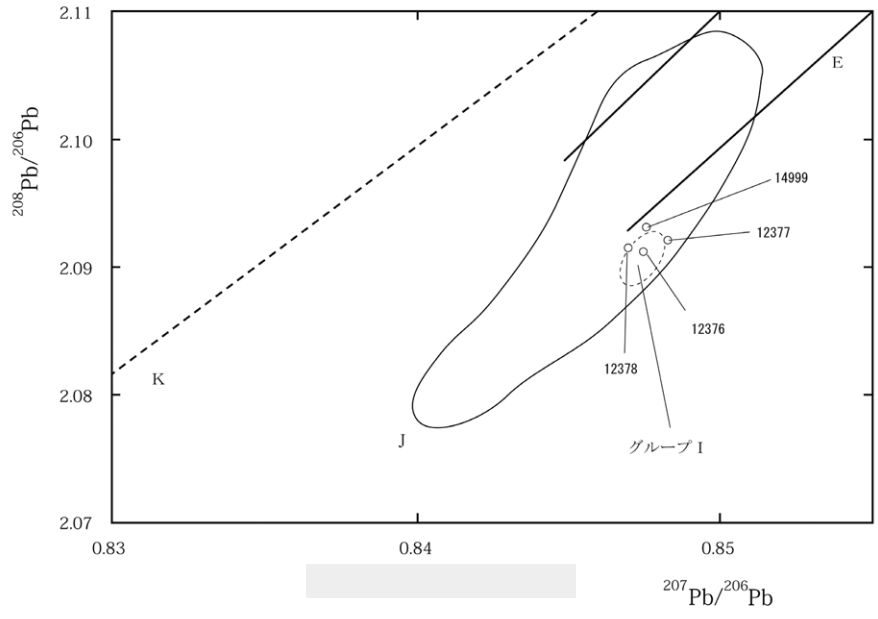


Fig. 250 鉛の鉛同位対比測定結果

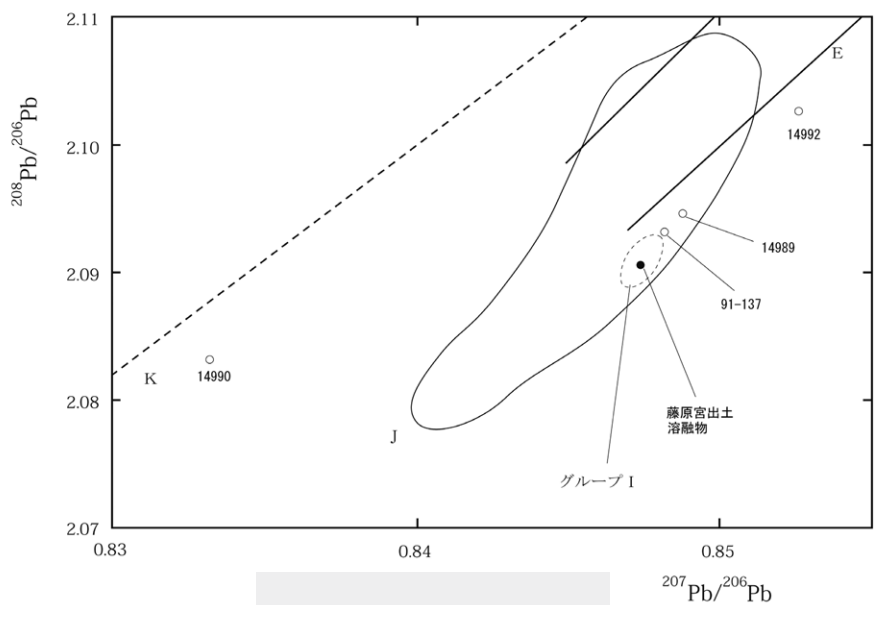


Fig. 251 ガラス、溶融物の鉛同位体比測定結果

結果とそれから想定される原料に関する情報が必要であろう。

資料14990については、資料315と同様、b式図から朝鮮半島南部の鉛鉱石の分布範囲に含まれており、この地域が原料の産地と推定できる。

iv 銅片

銅 片

Fig. 252に見るように測定資料のうち3点(資料3309、3320、3322)は、皇朝十二銭の分布範囲の中にあり、また日本の鉛鉱石の範囲内にも収まっている。

資料3321については、資料231(富本銭)ときわめて近い数値を示している。

資料3337は非常に特異的で、鉛鉱床を生成した地層中のU、Th濃度が非常に高い地質条件を反映した、いわゆる「高放射性」起源核種の割合が高い鉛である。これまで、青銅器、鉱床とも、これと一致する数値を示すものは見つかっていないが、馬淵・平尾(1990)の中に、これよりもさらに「高放射性」で、Kの朝鮮半島系ラインに乗る鉛同位体比をもつものが報告されており(No.174、福岡市吉武遺跡群出土細形銅剣、²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb: 0.7138、²⁰⁸Pb/²⁰⁶Pb: 1.9074、²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb: 22.836)、⁸⁾上述の朝鮮半島の地質条件を考えると、これも朝鮮半島南部の鉛の可能性が高い。

v 無文銀銭

無文銀銭

Fig. 253で示した通り、2点の測定結果は、領域Wの範囲と考えられるもの(資料14127)と、領域Eの範囲に入るもの(資料14148)に分かれた。銀鉱石は、銅や鉛と同様に熱水鉱床から生成し、通常これらの鉱石と共存する。この時、銀鉱石の中に副成分として取り込まれた鉛と、同じ地質条件の中でできた鉛鉱石の鉛で、同位体比上の差異はないものと考えてよい。前者については、これまでに日本で出土した青銅器の解析結果などに基づいて推定すると数値上は中国華北地域の可能性が最も考えられる。ただしこの時期の銀製品の鉛同位体比はほとんど測定されていないので、結論を出すためには分析例を増やすことがまず必要であろう。

中国華北地域の可能性

後者は、資料231(富本銭)、資料3321(銅片)ときわめて近い数値を示し、同一の鉱山または近接した地域の鉱山に由来すると考えられる。これまでに報告されている鉛鉱石の分析値では、韓国慶尚北道の漆谷鉱山のもの(資料33)とほぼ一致する(Tab. 33)。これらのデータをFig. 254に示した。古代における朝鮮半島の鉱山採掘状況は現在のところよくわかっておらず、漆谷鉱山やその周辺の鉱山が当時稼働していたか、また銅や銀の採鉱が行われていたかどうかは不明であるため、数値の一致をもってここが原料産地と確定することはできない。しかし、昭和十年代にまとめられた資料ながら、朝鮮半島の鉱床に関する記述に、漆谷鉱山と比較的近い場所にある「慶尚北道高靈群雲水面月山洞高靈鑛山」が銀(Ag)および輝銀鉱(Ag₂S)の主産地としてあげられており、輝銀鑛の項目内で「方鉛鑛と緻密なる混合集合体をなし、黄銅鑛・閃亜鉛鑛及黄鐵鑛を随伴し、時に自然銀及自然金を伴うことあり」と述べられている。⁹⁾これは、この周辺地域が、銅と銀(さらに鉛も)と一緒に産出するような鉱山が存在し得る地質条件であることを意味している。したがって、この近辺で漆谷鉱山と同様の鉛同位体比を持ち、銅と銀を同時に産出していた鉱山が古代に稼働しており、それがこれらの資料の原料となった可能性は十分に考えられる。ただしこの推定を裏付けるためには、今後周辺地域の製錬や採鉱の遺跡について、考古学と自然科学の両面から調査を行う必要がある。

韓国慶尚北道漆谷鉱山とほぼ一致

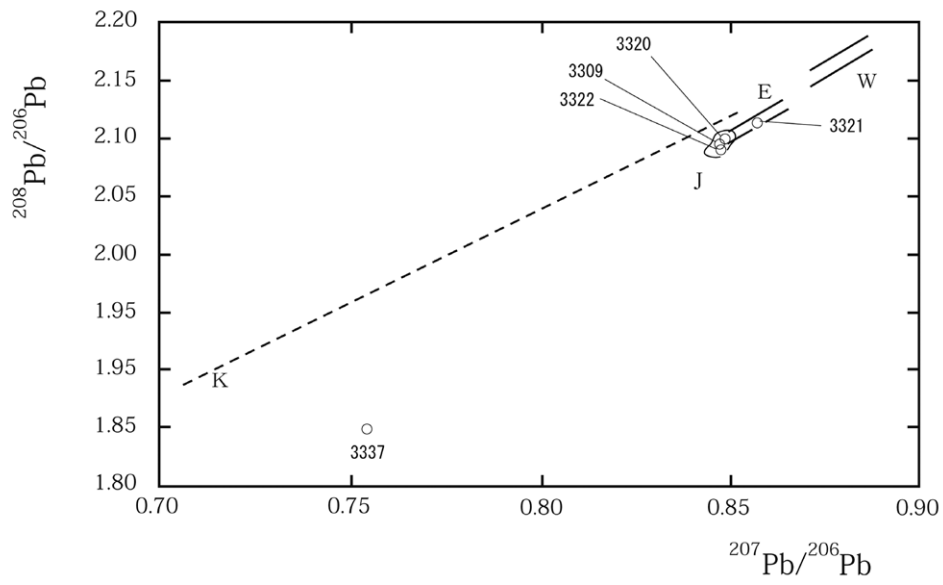


Fig. 252 銅片の鉛同位体比測定結果

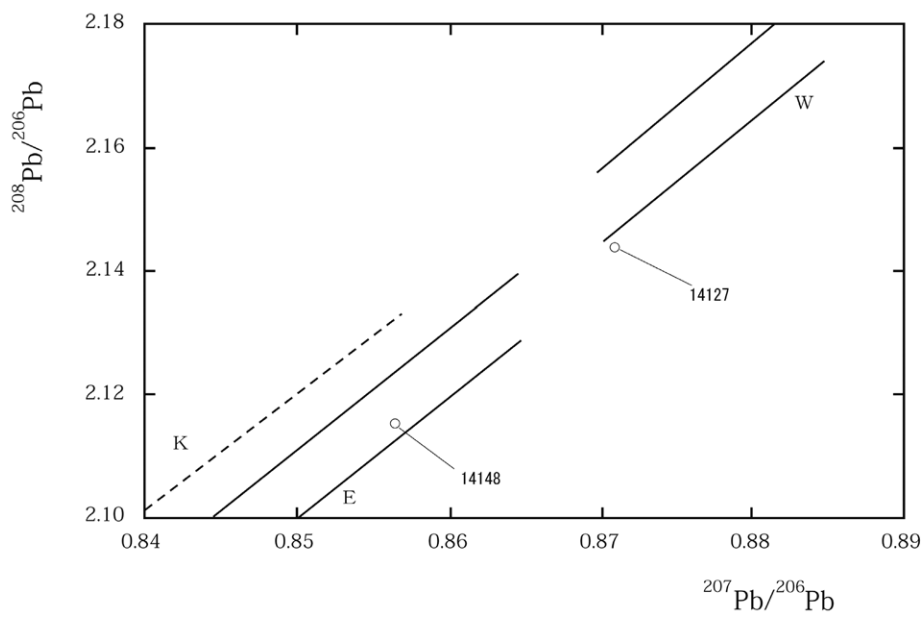


Fig. 253 無文銀銭の鉛同位体比測定結果

Tab. 33 韓国慶尚北道・漆谷鉱山の鉛鉱石の鉛同位体比

| 資料番号 | $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ | $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ | $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ | $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ | $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ |
|------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 425 | 0.8566 | 2.1149 | 18.183 | 15.576 | 38.455 |

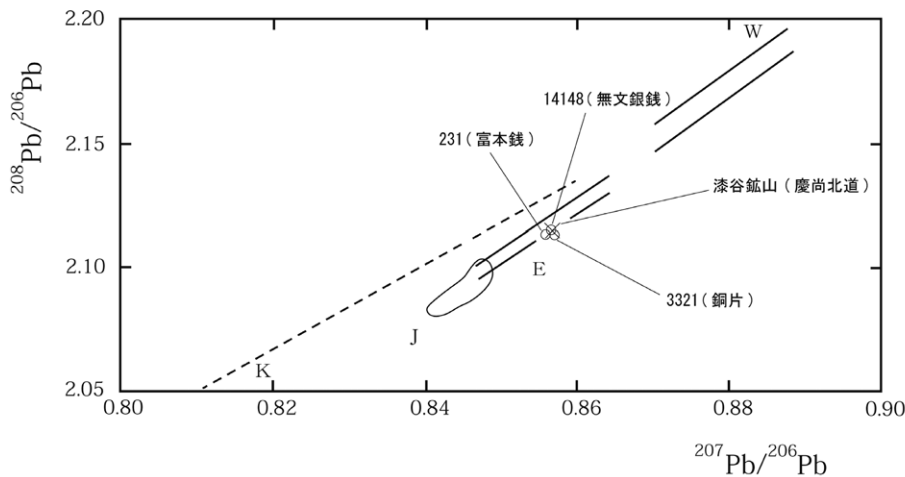


Fig. 254 飛鳥池遺跡出土資料と韓国鉛鉱石の鉛同位体比の比較

E まとめ

飛鳥池遺跡より出土した富本銭とその関連資料について鉛同位体比を測定した。富本銭、ガラス・熔融物、銅片、鉛では、齋藤らの測定結果から設定された「グループ I」に含まれる鉛が検出されるなど、皇朝十二銭と共通の原料がすでに使用されていたことが判明した。また一方で、これらの資料と無文銀銭において、朝鮮半島産や中国産とみられる原料も使用されていることがわかった。古代における採鉱や製錬については、特に朝鮮半島の状況に関する情報が不足しているため、現時点では十分な考察ができない。今後関連遺跡や他の資料を含めた検討が必要であろう。

- 1) 齋藤 努「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』86、2001年。
- 2) 馬淵久夫、平尾良光「鉛同位体比からみた銅鐸の原料」『考古学雑誌』68(1)、1982年 a。同「鉛同位体比法による漢式鏡の研究」『MUSEUM』370、1982年 b。同「鉛同位体比による漢式鏡の研究(二)」『MUSEUM』382、1983年。同「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、1987年。
- 3) 村上 隆「飛鳥池遺跡から出土した富本銭の材質」『年報1999-II』。
- 4) 齋藤 努・高橋照彦・西川裕一「古代銭貨に関する理化学的研究 — 「皇朝十二銭」の鉛同位体比分析および金属組成分析—」、『IMES Discussion Paper』No. 2002-J-30、2002年。
- 5) 佐々木昭、佐藤和郎、G.L.カミング「日本列島の鉱床鉛同位体比」『鉱山地質』32(6)、1982年。
- 6) 馬淵久夫・平尾良光・泉谷明人・木村 幹「鉛同位体比による水落遺跡出土銅管の原料産地確定」『飛鳥・藤原宮発掘調査報告IV — 飛鳥水落遺跡の調査—』奈文研学報第55冊、1995年。
- 7) 馬淵久夫・平尾良光「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、1987年。
- 8) 馬淵久夫・平尾良光「福岡県出土青銅器の鉛同位体比」『考古学雑誌』75、1990年。
- 9) 土田定次郎『朝鮮鑛床論』霞ヶ関書房、1944年。
- 10) 朝鮮總督府地質調査所編『朝鮮鑛物誌』三省堂、1941年。