

# Sr同位体比分析による 日本列島出土ガラスの産地に関する考察

田村朋美

## I 背 景

日本列島では、弥生～古墳時代の墳墓を中心に大量のガラス玉が発見されている。これらのガラス玉は、製作技法や化学組成による分類が進み、種類ごとの時期的な変遷や地域性が明らかとなってきている。

日本の弥生～古墳時代の遺跡から発見されるガラスは、鉛ガラス系、カリガラス系、ソーダ石灰ガラス系に大別される。鉛ガラス系は、鉛バリウムガラス (Geoup LI) とバリウムを含まない鉛ガラス (Geoup LII) に大別される。カリガラス系は、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  と  $\text{CaO}$  の含有量から、Group PI と Group PII に区分される。色調と明確な相関が認められ、前者はコバルト着色の紺色透明のガラス小玉に対応し、後者は銅着色の淡青色透明のガラス小玉に対応する。ソーダガラス系は多様で、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  と  $\text{CaO}$ 、 $\text{MgO}$  と  $\text{K}_2\text{O}$  の含有量から 5 種類 (Group SI～Group SV) に区分されるが、製作技法や流通時期によってさらに細分される。

ガラスの化学組成は、ガラスを製造する時に利用する原料の組み合わせを反映しており、ガラスの生産地を示す指標となる。生産地遺跡の分布や製品の流通状況を考慮して、筆者らもそれぞれの材質に対応する生産地について検討し、一定の見通しを公表した<sup>1</sup>。ただし、明確な生産地が発見されていない種類も多く、生産地の候補となる地域として、「地中海世界」や「西アジア～中央アジア」、「インド～東南アジア」といった大きな地域的まとまりを示すにとどまっており、それぞれの種類に対応する生産地の特定には至っていない。

日本で出土する古代ガラスの産地推定については、有効な分析手法として鉛 (Pb) の同位体比分析が活発に利用されてきた。ただし、ガラスに含まれる鉛は、鉛ガラスや鉛バリウムガラスなどの鉛ケイ酸塩ガラスについては、融剤として添加された鉛 (主原料) の産地を示す指標となるが、カリガラスやソーダガラスなどのアルカリケイ酸塩ガラスに含まれる鉛は主に着色成分に由来すると考えられ、着色剤の産地を示唆することになる。筆者らも、既存データに新たなデータも追加しつつ積極的に検討してきた<sup>2,3,4,5</sup>。その結果、ガラス材質と着色剤の産地には一定の関係性が認められることが明らかとなった。一方で、インドもしくは東南アジア地域で製造されたガラスにおいては、材質の異なるガラスに同

じ産地の鉛を用いた着色剤（錫酸鉛）が利用されることも分かった。すなわち、ケイ砂や融剤の選択によって決まる基礎ガラスの材質がある程度狭い範囲内のガラス生産集団の活動を反映するのに対して、着色剤はより広範囲の交易圏を示す指標になる。そのため、特にアルカリケイ酸塩ガラスについては、鉛同位体比分析では、化学組成による各分類単位に対応するような具体的な生産地の特定には至っておらず、新しい取り組みが求められた。

考古資料の産地推定を行う方法の一つに、対象資料に含有されるストロンチウム（Sr）の同位体比を用いるものがある。Srは地殻物質において存在量がそれほど多い元素ではないが、カルシウム（Ca）と類似した性質を持ち、一般的にはCaを置換するように存在していると考えられる。Srには $^{84}\text{Sr}$ 、 $^{86}\text{Sr}$ 、 $^{87}\text{Sr}$ 、 $^{88}\text{Sr}$ の4種類の同位体が天然に存在し、そのうち $^{87}\text{Sr}$ は $^{87}\text{Rb}$ の放射性壊変によって生成されるため、時間の経過とともに増加する。そのため、Srの同位体比は地域ごとに変動することが経験的に知られている。

Sr同位体比を用いた産地推定は方法論的には長い歴史を持っており、日本考古学においても試行されたことがある<sup>6</sup>。しかし、実質的な成果を挙げられるようになったのは近年のことであり、主に生物起源の考古資料を対象とした産地推定に用いられている。一方、ヨーロッパ考古学ではガラス製品の産地推定にも積極的に取り入れられてきた。ヨーロッパで出土する古代ガラスには、Caに伴う成分としてSrが100～500ppm含まれることが一般的である。このことを利用して、ヨーロッパや中東で出土するナトロンガラスや植物灰ガラスを対象に、Sr同位体比による産地推定が試みられており、一定の成果が得られている<sup>7,8</sup>。

## II 目 的

そこで、筆者らも日本列島で出土するアルカリケイ酸塩ガラスの産地推定に関する新しい取り組みとしてSr同位体比分析に注目した。とくに、本稿で取り上げるのは、日本列島で出土するアルカリケイ酸塩ガラスのなかでも「地中海世界」のガラスと考えられるナトロンタイプのソーダガラス（ナトロンガラス）、および「西アジア～中央アジア」産と考えられている植物灰タイプのソーダガラス（植物灰ガラス）についてである。これらのガラスについては、ヨーロッパ考古学でデータの蓄積があるため、先行研究と比較することで、日本出土ガラスの生産地を絞り込むことが可能となることが期待される。

### 1 ナトロンガラス

筆者らの既往研究<sup>9,10</sup>において、日本列島でも地中海世界で生産されたと考えられるナトロンガラス製の小玉（Group SI）が一定量出土することが確認された。ナトロンガラスと

は、ソーダ原料に蒸発塩の「ナトロン」( $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ や $\text{Na}_3(\text{CO}_3)(\text{HCO}_3) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 等の鉱物)を利用したガラスである。筆者らは日本出土のナトロンガラスを化学組成から少なくとも7種類以上の材質に区分し、地中海世界で出土したナトロンガラスとの化学組成の対比を試みた。その結果、一部のものが、現イスラエル付近で製作されたとされる「Levantine I」タイプに該当する可能性が示唆されたものの、その他の種類については既設定の材質グループには対応せず、具体的な生産地の特定には至っていない。

日本列島出土のナトロンガラスについては、もう一つ解決すべき重要な問題がある。すなわち、主成分の化学組成はナトロンガラスと類似するが、典型的なナトロンガラスと比較すると微量元素や製作技法の点でいくつかの重要な相違があるため、筆者らが「ナトロン主体ガラス」として典型的なナトロンガラスからは除外しているグループ(Group SIV)の問題である。Group SIVのガラス小玉は、製作技法上は典型的なインド・パシフィックビーズであり、日本列島では比較的多く出土する種類でもあるため、本グループのガラス素材が地中海周辺地域産であるのか、インド～東南アジア産であるのかという問題は、古代のモノや人、技術の移転を考えるうえで極めて重要である。

本研究では、Sr同位体比分析を利用することにより、日本列島出土のナトロンガラス(Group SI)について、化学組成からは困難であった具体的な生産地の特定を試みた。さらに、ナトロン主体ガラス(Group SIV)が地中海世界で生産された「真正の」ナトロンガラスに相当するか否かについても検討した。

## 2 植物灰ガラス

植物灰ガラスとは、植物の灰をアルカリ原料としたソーダガラスで、一般に酸化マグネシウム( $\text{MgO}$ )および酸化カリウム( $\text{K}_2\text{O}$ )の含有量が1.5%を超えるものをさし、西アジアで生産されたと考えられている。筆者らのこれまでの研究で、日本列島でも少なくとも3種類の植物灰ガラス(Group SIIIA・SIIIB・SIIIC)が流通したことが明らかとなっている<sup>11</sup>。これらに加えて重層ガラスなどの特殊な植物灰ガラス製の玉類なども多く発見されており、それぞれに材質の特徴が異なっている<sup>12</sup>。植物灰ガラスは西アジアやその周辺地域において特徴的に製造されたと考えられているが、複数の材質グループが存在することから、個別的に生産地を特定していかなければならない。

筆者らがこれまでに実施した蛍光X線分析の結果、日本列島に流入したこれらの植物灰ガラスのうち、Group SIIICや相前後して流入する一部の淡緑色の巻き付け法による丸玉については、 $\text{MgO} > \text{K}_2\text{O}$ の傾向が顕著であることから西アジアで生産された可能性が高いと判断される。ただし、これらはサーサーン朝初期のガラス組成および編年の基準とされるイラク中部のヴェーウ・アルダシール遺跡(Veh Ardasir)出土の資料から設定され

た材質グループ (Sasanian 1a, Sasanian 1b, Sasanian 2)<sup>13,14</sup>とは対応しない可能性が高い。

一方、Group SIIIAや重層ガラス玉などはMgOよりもK<sub>2</sub>Oが多い傾向が認められることから典型的な西アジア産の植物灰ガラスとは異なっている。一般にMgOよりもK<sub>2</sub>Oが多い植物灰ガラスは中央アジアで多く出土するため、中央アジア産の可能性が指摘されるが、生産遺跡が見つかっていないため確証がない。

さらに、日本列島において最も流通量の多いGroup SIIIBについては、Group SIIIAやGroup SIIICに比べてMgOやK<sub>2</sub>Oの含有量の変異が大きく、両者の含有量は少ないものでは1.5%程度の範囲まで連続的に分散する。すなわち、Group SIIIBに関しては、MgOやK<sub>2</sub>Oの含有量が少ない種類のガラスとの混合が推定される。多くは、Group SIIIAやGroup SIIICと比較してAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>やCaOの含有量に有意な差異が認められないため、ナトロンガラス (Group SI) と混合された可能性が大きいと判断される。一方、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の含有量が多く、CaOの含有量が少ないものも少数ながら確認され、これらはGroup SIIIBとの混合物である可能性が想定される。なお、これらは同種のコバルト原料で着色されていることが特徴である。

日本列島へ流入した「植物灰ガラス」の具体的な生産地は一体どこなのか。本研究では、これらの問題を解決し、これまで「西アジア～中央アジア」産としてきた植物灰ガラスの具体的な産地推定を目的として、Sr同位体比分析を実施した。

### Ⅲ 資料と方法

日本列島の弥生時代後期後半から古墳時代後期末の遺跡 (5府県8遺構) から出土したナトロンガラス製小玉 (Group SI) 43点 (管玉1点、小玉42点)、および植物灰ガラス小玉 (Group SIII) 8点 (Group SIIIB 2点、Group SIIIC 1点、重層ガラス玉3点、淡緑色の巻き付け法による丸玉2点) のSr同位体比分析を実施した。さらに、ナトロン主体ガラス製小玉 (Group SIV) 5点のほか、南～東南アジア産と考えている高アルミナタイプのソーダガラス製小玉 (Group SIIB) 7点、中アルミナタイプのカリガラス (Group PI) 5点、プロト高アルミナタイプのソーダガラス (Group SVB) の可能性の高いガラス小玉2点および南インドのアリカメドゥ遺跡において採集されたソーダガラス小玉 (Group SVA) 1点を含めた計71点のSr同位体比分析を実施した (表1)。

測定にあたっては、蛍光X線分析装置 (EDAX製EAGLEⅢ) を用いて目的とする種類のガラスを選択し、表面の風化層をロータリーバー (タングステンカーバイド製) で除去した。さらに、塩酸を用いて超音波洗浄することで、土壌由来の汚染の影響を低減させた。これらの試料をフッ酸、硝酸、過塩素酸で分解した。さらに、SrスペックレジンでSrを単離し、



マルチコレクタ誘導結合プラズマ質量分析法 (MC-ICP-MS) (Thermo Scientific製 NEPTUNE plus) を用いて $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ を測定した。なお、蛍光X線分析は奈良文化財研究所で、Sr同位体比分析は総合地球環境学研究所にて実施した。

## IV 結果と考察

### 1 ナトロンガラス

結果を表1に示す。日本出土のナトロンガラス (Group SI) の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ は、0.7087-0.7092の範囲内に集中することが明らかとなった (図1)。先行研究<sup>15</sup>によると、地中海世界で出土するナトロンガラスは、 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ が0.7095よりも低い値を示すことが知られており、整合的な結果であった。

さらに、古墳時代中期前半に流入したGroup SIBのSr同位体比は、ナトロンガラスの生産地のなかでもBet Eli'ezerやBet She'anなどのイスラエルの遺跡から出土するナトロンガラスのSr同位体比ときわめて類似する<sup>16</sup>。これらは貝殻由来のCaを多く含む東地中海沿岸の砂 (coastal sand) を主原料としたと考えられている。一方、同じナトロンガラスでも石灰岩起源のCaを多く含む砂 (limestone-rich sand) が利用されたと考えられている中部エジプトのナトロンガラスでは、 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ が低く ( $<0.7080$ )、日本列島出土品とは明らかに異なる。以上の結果は、一部のGroup SIの化学組成の特徴が「Levantine I」と一致したこれまでの研究成果<sup>17</sup>とも整合的であり、日本列島出土のGroup SIの多くが地中海世界でも特にレバント地方で生産された可能性が示された。

さらに仔細に検討すると、日本列島への流入時期が古くアンチモン (Sb) を含むGroup SIAのSr同位体比がやや高く、古墳時代中期前半に流通した環状状巻き付け法によるGroup SIBのSr同位体比がやや低い傾向が認められる。これらの差異は、原料となるケイ砂の採取地点の違いを反映している可能性があり、時期や製作技法と一定の相関が認められる点で注目される。

一方、ナトロン主体ガラス (Group SIV) については、典型的なナトロンガラスであるGroup SIよりも $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ が高い値 (0.7097-0.7105) にまとまる結果となった。これらの値は地中海地域で出土するナトロンガラスとは明らかに異なる。すなわち、Group SIVは地中海周辺地域で生産されたいわゆる「真正の」ナトロンガラスと判断することはできないという結論が得られた。ただし、他の「アジアのガラス」に比べると低い値であることから、ナトロンガラスとアジアのガラスが混合された可能性は残る。

さらに、比較資料として測定した南アジア～東南アジア産と考えられるガラス小玉類の結果について概観する。一部の高アルミナタイプのソーダガラス (Group SII) を除いて概

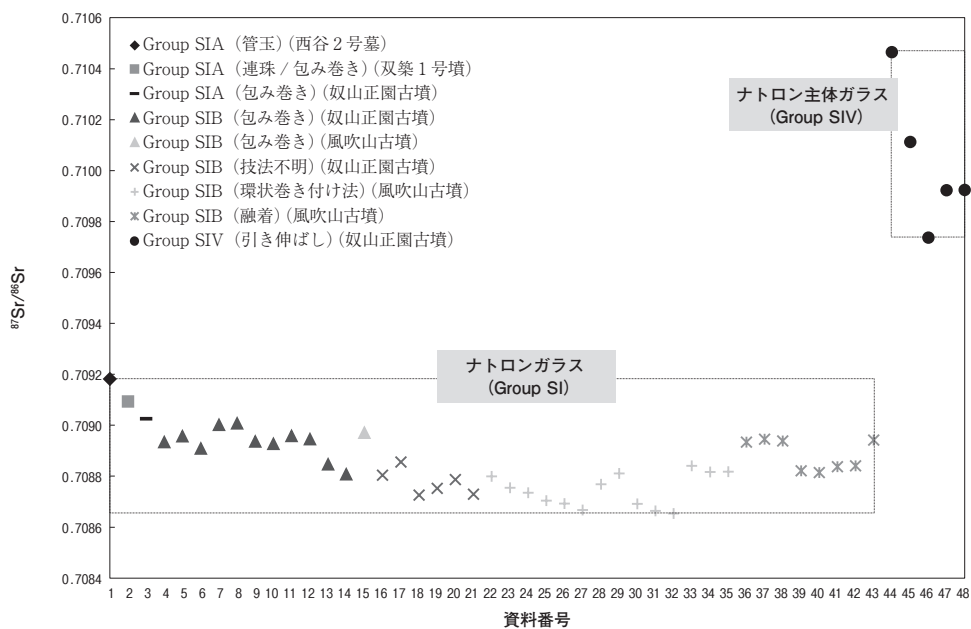


図 1 ナトロンガラス (Group SI) とナトロン主体ガラス (Group SIV) のSr同位体比

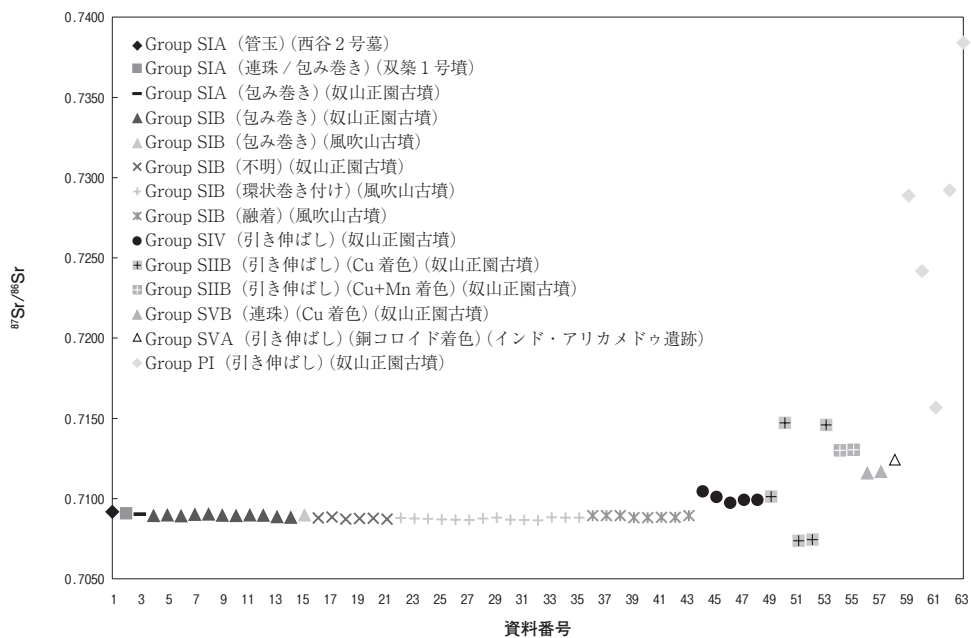


図 2 ナトロンガラスおよびナトロン主体ガラスとインド～東南アジア系ガラスのSr同位体比の比較

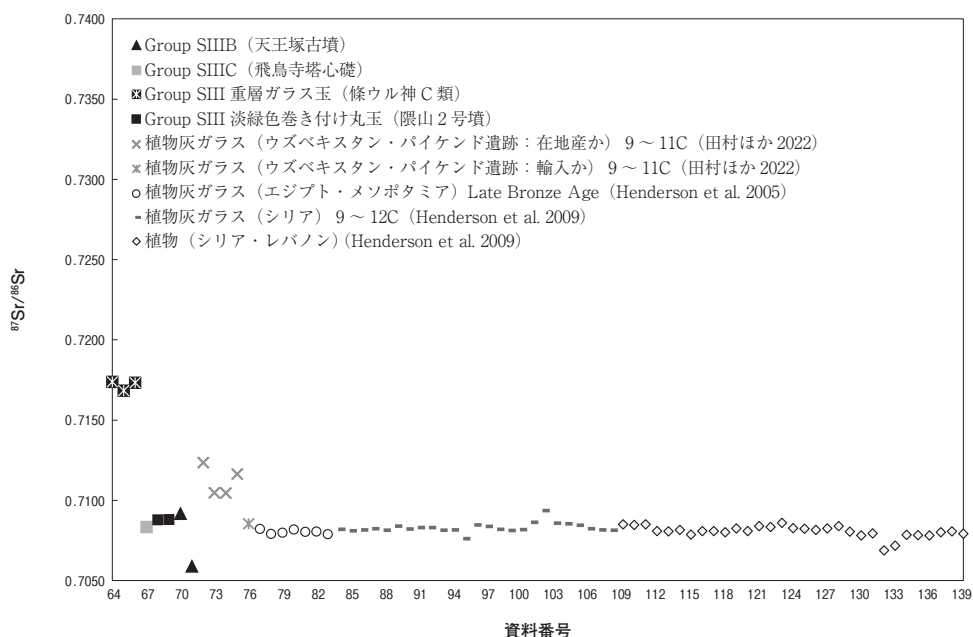


図3 日本出土の植物灰ガラスおよび中東出土ガラスおよび原料植物のSr同位体比の比較  
(資料番号72以降は先行研究からの引用)

ねGroup SIより大きいSr同位体比をとる。特にカリガラス (Group PI) は今回調査した資料の中で最も高い同位体比を示した (図2)。バラつきが極めて大きい点も含め、先行研究<sup>18</sup>と一致する。筆者らは製品の流通状況などからGroup PIのカリガラスについてインド産の可能性があると考えているが、インドのガンジス川流域などでは先カンブリア紀の花崗岩や片麻岩の風化に起因する高いSr同位体比をもつことが知られており<sup>19</sup>、関連性が注目される。

## 2 植物灰ガラス

植物灰ガラスについては、8点のガラス小玉のSr同位体比の測定をおこなった。このうち、 $MgO > K_2O$ の傾向が顕著で西アジア産の可能性が示唆されるGroup SIIIC (奈良県飛鳥寺塔心礎出土) および巻き付け法による淡緑色丸玉 (福岡県隈山2号墳出土) については、Sr同位体比がそれぞれ0.7083および0.7088であった。これらの同位体比は、一般的に中東 (エジプト・シリア・レバノンなど) で出土する後期青銅器時代～紀元後12世紀ごろまでのガラス器や原料植物の同位体比とおおむね一致する<sup>20</sup>。

ところで、飛鳥寺塔心礎出土のGroup SIIICの植物灰ガラスは錫酸鉛 ( $PbSnO_3$ ) で着色された黄色不透明ガラスであり、筆者らは着色成分に由来する鉛の同位体比分析を実施し

ている<sup>21</sup>。その結果、本資料の鉛同位体比は、コバルト着色および銅着色のナトロンガラスと類似し、鉱石ではパキスタン西部のパローチスターン州やイラン、もしくはオマーンで産出した鉛鉱石の鉛同位体比と類似することが明らかとなっている<sup>22</sup>。すなわち、Group SIHCについては基礎ガラスの化学組成および着色剤に由来する鉛同位体比から西アジア産の可能性が示唆されていたが、本研究において、Sr同位体比の点でも整合的な結果が得られたと言える。

一方、重層ガラス玉については、條ウル神遺跡から出土した3点について測定をおこなった。これらの重層ガラス玉は、ややCaO含有量が少なく、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>含有量が多い傾向を示す<sup>23</sup>。Sr同位体比分析に供した資料は、外層のガラス片が2点、内層のガラス片が1点である。測定の結果、これらのSr同位体比は、0.7168-0.7174であった。一般的に中東地域で出土する植物灰ガラスのSr同位体比は、<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr<0.7090である<sup>24</sup>のと比べると、本資料は高いSr同位体比を持つことが分かった。なお、内層のガラスは外層のものに比べてCaOが少ないなどの材質的特徴が異なる(表1)。Sr同位体比分析の結果、外層の2点は近似のSr同位体比をとるのに対し、内層の1点はやや低いSr同位体比を示した。材質分析の結果と相関があり、内層と外層のガラスは産地が異なる可能性が示唆された。いずれにしても、このような高いSr同位体比はこれまでに知られている東地中海から中東地域におけるナトロンガラスおよび植物灰ガラスのいずれにも認められない。筆者らがこれまでに調査したガラスの中では、上述したインド産の可能性が考えられるGroup PIのカリガラスが同等の高い同位体比を持つ(図2・図3)。

ところで、パキスタンのペシャワール近郊にあるBara遺跡では多くの重層ガラス玉の未成品が出土しており、生産遺跡であると考えられている。本遺跡で出土する重層ガラス玉はすべて植物灰ガラス製であるが、中東地域などで出土する一般的な植物灰ガラスと比較するとAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>が多い点において区別され、インド・パキスタン地域で生産されたガラスであると考えられている<sup>25</sup>。ウル神古墳出土の重層ガラス玉についても他のGroup SIHCと比較するとAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>が多い傾向が認められ、高いSr同位体比とも併せて当該地域との関連性が注目される。

中央アジア地域でのガラス生産に関連して、筆者らは中央アジアのウズベキスタンのパイケンド遺跡で出土した9～11世紀の植物灰ガラスについてもSr同位体比分析を実施したことがある<sup>26,27</sup>。その結果、器種や技法の面から在地産と考えられているガラス容器片や、生産の痕跡を示すガラス塊は、<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Srが0.7100を超える高いSr同位体比を示すことがわかった。これらは、化学組成の面でもMgO<K<sub>2</sub>Oで、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>が多い特徴があり、典型的な西アジア産の植物灰ガラスとは異なっている。一方で、パイケンドでは、MgO>K<sub>2</sub>Oで、かつAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、F<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、TiO<sub>2</sub>などの原料にともなう不純物成分が極めて少ない高品質のカッ

トガラス片も出土しており、イラン以西から輸入されたと考えられている。そして、この高品質のカットガラス片については、 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ が0.70855であり、中東地域で出土する植物灰ガラスおよび原料植物と類似することがわかった。これらの結果は、中央アジア地域でのガラス生産に関する重要な示唆を与えるものである。

最後に、Group SIIIBと判断される個体について、和歌山県天王塚古墳出土の2点の分析を実施した。いずれもコバルト着色によるガラス小玉である。BK598は包み巻き法の可能性のある破片で、BK383は引き伸ばし法による小玉の破片である。このうち前者(BK598)は $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ が0.7092で植物灰ガラスとしてはやや高いSr同位体比を示すものの、シリアから出土した植物灰ガラスの中に類似の同位体比を持つ個体が存在する。また、ナトロンガラスにも近い値のものが存在する<sup>28</sup>。一方、引き伸ばし法によるBK383の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ は0.7059で、これまで筆者らが調査したいかなる種類のガラスよりも低く、中東で出土する植物灰ガラスや原料植物にもこのような低いSr同位体比を持つものは知られていない<sup>29</sup>。

## V 結 語

本研究では日本出土品を中心に71点のガラス玉類のSr同位体比分析を実施した。Sr同位体比分析は資料の破壊を伴うため、十分なデータが蓄積できているとは言えないものの、本研究で適用したSr同位体比分析の結果は、日本出土の古代ガラスの具体的な生産地について一定の示唆を与えるものであった。特に、日本列島に流入したナトロンガラス(Group SI)については、具体的な生産地がレバント地方である可能性を示すことができた。これまでも一部のナトロンガラスについては材質的な類似性からレバント地方で生産されていた可能性が示唆されていたが、本研究により、その可能性がさらに高まったといえる。さらに、主成分組成がナトロンガラス類似し、これまでもしばしば地中海世界で生産されたナトロンガラスであると報告されたことのあるナトロン主体ガラス(Group SIV)については、地中海世界で生産された「真正の」ナトロンガラスではないことを明確に示すことができた。

一方、植物灰ガラスについても、飛鳥寺塔心礎出土品や隈山2号墳出土品などのMgOが多く(>3%)かつMgO>K<sub>2</sub>Oの傾向が顕著な化学組成から西アジア産の可能性が示唆されるものについては、中東で出土する植物灰ガラスや原料植物と類似のSr同位体比を持つことがわかった。一方、それ以外のものについては、中東出土品とはSr同位体比が異なっていた。特に、條ウル神遺跡出土の重層ガラス玉については、高いSr同位体比を持ち、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>が多いという材質の特徴も併せてインド・パキスタン地域で生産された可能性が示

表1 分析結果一覧

資料番号	出土遺構	器種	製作技法	色調	基礎ガラスの種類			着色剤	<sup>87</sup> Sr/ <sup>86</sup> Sr	StdErr
					大別	細別	Group			
1	鳥根県出雲市西谷2号墓	管玉		淡青色不透明	ソーダ	ナトリオン	SIA	Cu+CaSb <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	0.7092	7E-06
2	奈良県桜井市双紫1号墳	小玉	連珠/包み巻き	紺色透明	ソーダ	ナトリオン	SIA	Co	0.7091	7E-06
3	福岡県福津市奴山正園古墳	小玉	包み巻き	紺色透明	ソーダ	ナトリオン	SIA	Co	0.7090	6E-06
4	福岡県福津市奴山正園古墳	小玉	包み巻き	紺色透明	ソーダ	ナトリオン	SIB	Co	0.7089	7E-06
5	福岡県福津市奴山正園古墳	小玉	包み巻き	紺色透明	ソーダ	ナトリオン	SIB	Co	0.7090	6E-06
6	福岡県福津市奴山正園古墳	小玉	包み巻き	紺色透明	ソーダ	ナトリオン	SIB	Co	0.7089	6E-06
7	福岡県福津市奴山正園古墳	小玉	包み巻き	紺色透明	ソーダ	ナトリオン	SIB	Co	0.7090	7E-06
8	福岡県福津市奴山正園古墳	小玉	包み巻き	紺色透明	ソーダ	ナトリオン	SIB	Co	0.7090	6E-06
9	福岡県福津市奴山正園古墳	小玉	包み巻き	紺色透明	ソーダ	ナトリオン	SIB	Co	0.7089	6E-06
10	福岡県福津市奴山正園古墳	小玉	包み巻き	紺色透明	ソーダ	ナトリオン	SIB	Co	0.7089	6E-06
11	福岡県福津市奴山正園古墳	小玉	包み巻き	紺色透明	ソーダ	ナトリオン	SIB	Co	0.7090	8E-06
12	福岡県福津市奴山正園古墳	小玉	包み巻き	紺色透明	ソーダ	ナトリオン	SIB	Co	0.7089	6E-06
13	福岡県福津市奴山正園古墳	小玉	包み巻き	紺色透明	ソーダ	ナトリオン	SIB	Co	0.7088	6E-06
14	福岡県福津市奴山正園古墳	小玉	包み巻き	紺色透明	ソーダ	ナトリオン	SIB	Co	0.7088	7E-06
15	大阪府岸和田市風吹山古墳	小玉	包み巻き	紺色透明	ソーダ	ナトリオン	SIB	Co	0.7090	6E-06
16	福岡県福津市奴山正園古墳	小玉	不明	紺色透明	ソーダ	ナトリオン	SIB	Co	0.7088	7E-06
17	福岡県福津市奴山正園古墳	小玉	不明	紺色透明	ソーダ	ナトリオン	SIB	Co	0.7089	5E-06
18	福岡県福津市奴山正園古墳	小玉	不明	紺色透明	ソーダ	ナトリオン	SIB	Co	0.7087	7E-06
19	福岡県福津市奴山正園古墳	小玉	不明	紺色透明	ソーダ	ナトリオン	SIB	Co	0.7088	5E-06
20	福岡県福津市奴山正園古墳	小玉	不明	紺色透明	ソーダ	ナトリオン	SIB	Co	0.7088	5E-06
21	福岡県福津市奴山正園古墳	小玉	不明	紺色透明	ソーダ	ナトリオン	SIB	Co	0.7087	8E-06
22	大阪府岸和田市風吹山古墳	小玉	環状巻き付け	紺色透明	ソーダ	ナトリオン	SIB	Co	0.7088	9E-06
23	大阪府岸和田市風吹山古墳	小玉	環状巻き付け	紺色透明	ソーダ	ナトリオン	SIB	Co	0.7088	8E-06
24	大阪府岸和田市風吹山古墳	小玉	環状巻き付け	紺色透明	ソーダ	ナトリオン	SIB	Co	0.7087	4E-06
25	大阪府岸和田市風吹山古墳	小玉	環状巻き付け	紺色透明	ソーダ	ナトリオン	SIB	Co	0.7087	4E-06
26	大阪府岸和田市風吹山古墳	小玉	環状巻き付け	紺色透明	ソーダ	ナトリオン	SIB	Co	0.7087	5E-06
27	大阪府岸和田市風吹山古墳	小玉	環状巻き付け	紺色透明	ソーダ	ナトリオン	SIB	Co	0.7087	5E-06
28	大阪府岸和田市風吹山古墳	小玉	環状巻き付け	紺色透明	ソーダ	ナトリオン	SIB	Co	0.7088	5E-06
29	大阪府岸和田市風吹山古墳	小玉	環状巻き付け	紺色透明	ソーダ	ナトリオン	SIB	Co	0.7088	6E-06
30	大阪府岸和田市風吹山古墳	小玉	環状巻き付け	紺色透明	ソーダ	ナトリオン	SIB	Co	0.7087	6E-06
31	大阪府岸和田市風吹山古墳	小玉	環状巻き付け	紺色透明	ソーダ	ナトリオン	SIB	Co	0.7087	6E-06
32	大阪府岸和田市風吹山古墳	小玉	環状巻き付け	紺色透明	ソーダ	ナトリオン	SIB	Co	0.7087	6E-06
33	大阪府岸和田市風吹山古墳	小玉	環状巻き付け	紺色透明	ソーダ	ナトリオン	SIB	Co	0.7088	8E-06
34	大阪府岸和田市風吹山古墳	小玉	環状巻き付け	紺色透明	ソーダ	ナトリオン	SIB	Co	0.7088	6E-06
35	大阪府岸和田市風吹山古墳	小玉	環状巻き付け	紺色透明	ソーダ	ナトリオン	SIB	Co	0.7088	7E-06
36	大阪府岸和田市風吹山古墳	小玉	融着	紺色透明	ソーダ	ナトリオン	SIB	Co	0.7089	6E-06
37	大阪府岸和田市風吹山古墳	小玉	融着	紺色透明	ソーダ	ナトリオン	SIB	Co	0.7089	6E-06
38	大阪府岸和田市風吹山古墳	小玉	融着	紺色透明	ソーダ	ナトリオン	SIB	Co	0.7089	5E-06
39	大阪府岸和田市風吹山古墳	小玉	融着	紺色透明	ソーダ	ナトリオン	SIB	Co	0.7088	6E-06
40	大阪府岸和田市風吹山古墳	小玉	融着	紺色透明	ソーダ	ナトリオン	SIB	Co	0.7088	6E-06
41	大阪府岸和田市風吹山古墳	小玉	融着	紺色透明	ソーダ	ナトリオン	SIB	Co	0.7088	5E-06
42	大阪府岸和田市風吹山古墳	小玉	融着	紺色透明	ソーダ	ナトリオン	SIB	Co	0.7088	6E-06
43	大阪府岸和田市風吹山古墳	小玉	融着	紺色透明	ソーダ	ナトリオン	SIB	Co	0.7089	6E-06
44	福岡県福津市奴山正園古墳	小玉	引き伸ばし	紺色透明	ソーダ	ナトリオン主体	SIV	Co (Mn)	0.7105	7E-06
45	福岡県福津市奴山正園古墳	小玉	引き伸ばし	紺色透明	ソーダ	ナトリオン主体	SIV	Co (Mn)	0.7101	7E-06
46	福岡県福津市奴山正園古墳	小玉	引き伸ばし	紺色透明	ソーダ	ナトリオン主体	SIV	Co (Mn)	0.7097	1E-05
47	福岡県福津市奴山正園古墳	小玉	引き伸ばし	紺色透明	ソーダ	ナトリオン主体	SIV	Co (Mn)	0.7099	6E-06
48	福岡県福津市奴山正園古墳	小玉	引き伸ばし	紺色透明	ソーダ	ナトリオン主体	SIV	Co (Mn)	0.7099	7E-06
49	福岡県福津市奴山正園古墳	小玉	引き伸ばし	淡青色半透明	ソーダ	高アルミナ	SIIB	Cu (Pb, Sn)	0.7101	8E-06
50	福岡県福津市奴山正園古墳	小玉	引き伸ばし	淡青色半透明	ソーダ	高アルミナ	SIIB	Cu (Pb, Sn)	0.7147	9E-06
51	福岡県福津市奴山正園古墳	小玉	引き伸ばし	淡青色半透明	ソーダ	高アルミナ	SIIB	Cu (Pb, Sn)	0.7074	9E-06
52	福岡県福津市奴山正園古墳	小玉	引き伸ばし	淡青色半透明	ソーダ	高アルミナ	SIIB	Cu (Pb, Sn)	0.7074	9E-06
53	福岡県福津市奴山正園古墳	小玉	引き伸ばし	淡青色半透明	ソーダ	高アルミナ	SIIB	Cu (Pb, Sn)	0.7146	1E-05
54	福岡県福津市奴山正園古墳	小玉	引き伸ばし	濃青色透明	ソーダ	高アルミナ	SIIB	Cu+Mn	0.7130	1E-05
55	福岡県福津市奴山正園古墳	小玉	引き伸ばし	濃青色透明	ソーダ	高アルミナ	SIIB	Cu+Mn	0.7130	8E-06
56	福岡県福津市奴山正園古墳	小玉	連珠	青色透明	ソーダ	プロト高アルミナ	SVB	Cu	0.7116	7E-06
57	福岡県福津市奴山正園古墳	小玉	連珠	青色透明	ソーダ	プロト高アルミナ	SVB	Cu	0.7117	5E-06
58	インド・アリカマドッ遺跡	小玉	引き伸ばし	赤褐色不透明	ソーダ	プロト高アルミナ	SVA	Cuコロイド	0.7124	9E-06
59	福岡県福津市奴山正園古墳	小玉	引き伸ばし	紺色透明	カリ	中アルミナ	PI	Co (Mn)	0.7289	1E-05
60	福岡県福津市奴山正園古墳	小玉	引き伸ばし	紺色透明	カリ	中アルミナ	PI	Co (Mn)	0.7242	1E-05
61	福岡県福津市奴山正園古墳	小玉	引き伸ばし	紺色透明	カリ	中アルミナ	PI	Co (Mn)	0.7157	1E-05
62	福岡県福津市奴山正園古墳	小玉	引き伸ばし	紺色透明	カリ	中アルミナ	PI	Co (Mn)	0.7292	8E-06
63	福岡県福津市奴山正園古墳	小玉	引き伸ばし	紺色透明	カリ	中アルミナ	PI	Co (Mn)	0.7384	1E-05
64	奈良県御所市條ワル神古墳	小玉	重層連珠 (外層)	黄褐色透明	ソーダ	植物灰	SIIB	Fe	0.7174	8E-06
65	奈良県御所市條ワル神古墳	小玉	重層連珠 (内層)	無色半透明	ソーダ	植物灰	SIIB	Fe	0.7168	7E-06
66	奈良県御所市條ワル神古墳	小玉	重層連珠 (外層)	黄褐色透明	ソーダ	植物灰	SIIB	Fe	0.7173	6E-06
67	奈良県明日香村飛鳥寺塔心礎	小玉	変則的引き伸ばし	黄色不透明	ソーダ	植物灰	SIIBC	PbSnO <sub>3</sub>	0.7083	8E-06
68	和歌山県和歌山市天王塚古墳	小玉	包み巻き?	紺色透明	ソーダ	植物灰	SIIB	Co	0.7092	7E-06
69	和歌山県和歌山市天王塚古墳	小玉	引き伸ばし	紺色透明	ソーダ	植物灰	SIIB	Co	0.7059	1E-05
70	福岡県久留米市隈山2号墳	小玉	巻き付け	淡緑色透明	ソーダ	植物灰	SIIB	Fe	0.7088	7E-06
71	福岡県久留米市隈山2号墳	小玉	巻き付け	淡緑色透明	ソーダ	植物灰	SIIB	Fe	0.7088	9E-06



資料 番号	重量濃度 (wt%)																				備考		
	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CoO	Ni <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CuO	ZnO	PbO	Rb <sub>2</sub> O	SrO	ZrO <sub>2</sub>	SnO <sub>2</sub>		
1	16.3	0.7	2.3	65.4	0.1		0.5	6.2	0.18			0.05	1.11	0.02	1.67	0.01	0.95	0.00	0.04	0.01	4.64		
2	18.1	0.8	2.3	68.7			0.7	5.9	0.10			0.03	1.10	0.06	0.20	0.01	0.10	0.01	0.04	0.09	1.68		
3	16.6	0.7	2.4	69.4	0.2		0.6	5.9	0.1			0.33	1.04	0.07	0.22	0.01	0.10	0.01	0.03	0.09	2.39		
4	16.8	0.9	2.2	71.1	0.1		0.3	6.5	0.2			0.05	1.19	0.08	0.27	0.02	0.25	0.00	0.02	0.09			
5	16.0	1.1	2.2	71.8	0.2		0.4	6.7	0.1			0.05	0.85	0.05	0.20	0.00	0.19	0.01	0.04	0.09			
6	17.3	1.0	2.1	71.2	0.1		0.3	6.2	0.1			0.04	0.91	0.06	0.20	0.01	0.16	0.01	0.04	0.18			
7	17.7	1.0	2.2	70.3	0.2		0.4	6.4	0.1			0.08	1.06	0.07	0.21	0.01	0.14	0.01	0.04	0.10			
8	18.0	0.9	2.1	70.4	0.2		0.4	6.6	0.1			0.04	0.77	0.04	0.17	0.01	0.12	0.01	0.03	0.10			
9	18.7	0.8	2.2	69.2	0.2		0.3	6.4	0.1			0.06	1.19	0.08	0.27	0.02	0.27	0.01	0.03	0.02			
10	18.5	0.9	2.1	69.8	0.1		0.4	6.6	0.1			0.04	0.99	0.07	0.21	0.01	0.12	0.00	0.04	0.04			
11	20.1	0.8	2.3	68.0	0.1		0.5	6.4	0.1			0.06	1.08	0.07	0.22	0.01	0.20	0.01	0.04	0.00			
12	14.9	0.8	2.5	73.0	0.2		0.4	6.3	0.2			0.06	1.09	0.07	0.21	0.02	0.16	0.01	0.04	0.17			
13	20.9	1.1	2.7	63.6	0.2		0.6	6.9	0.2			1.02	2.17	0.12	0.24	0.03	0.13	0.01	0.04	0.11			
14	19.5	1.2	2.4	65.9	0.2		0.6	6.6	0.2			1.16	1.50	0.11	0.26	0.02	0.29	0.01	0.04	0.12			
15	17.4	1.0	2.2	70.4	0.1		0.5	6.6	0.12			0.06	1.09	0.06	0.23	0.01	0.19	0.01	0.04	0.07			
16	19.3	1.4	2.3	65.5	0.2		0.5	7.4	0.2			1.37	1.25	0.08	0.19	0.01	0.23	0.01	0.05	0.00			
17	19.6	1.0	2.5	66.6	0.1		0.4	6.8	0.2			0.15	1.71	0.13	0.39	0.01	0.21	0.00	0.04	0.05			
18	18.8	1.3	2.6	68.1	0.1		0.4	5.8	0.2			0.25	1.55	0.10	0.29	0.00	0.30	0.02	0.02	0.14			
19	19.0	1.3	2.5	66.5	0.2		0.5	6.5	0.2			1.11	1.55	0.11	0.27	0.01	0.29	0.00	0.03	0.00			
20	19.3	1.0	2.7	66.0	0.1		0.5	6.4	0.2			1.12	1.87	0.13	0.21	0.00	0.13	0.01	0.04	0.14			
21	19.3	1.2	2.8	67.5	0.1		0.4	5.9	0.2			0.26	1.59	0.10	0.30	0.01	0.30	0.01	0.03	0.08			
22	21.1	1.0	2.2	65.7			0.4	6.1	0.14			0.89	1.42	0.08	0.22		0.51	0.02	0.08	0.09			
23	20.1	1.0	2.3	66.2			0.4	6.1	0.16			0.91	1.47	0.10	0.32		0.66	0.02	0.08	0.14			
24	20.4	1.1	2.3	65.7			0.4	6.1	0.16			0.79	1.92	0.10	0.30		0.56	0.02	0.07	0.13			
25	20.4	1.2	2.3	65.7			0.4	6.0	0.16			0.79	1.91	0.09	0.30		0.54	0.01	0.07	0.09			
26	20.1	1.1	2.2	66.2			0.4	6.1	0.17			0.82	1.92	0.09	0.26		0.49	0.01	0.08	0.12			
27	21.0	1.0	2.3	65.8			0.4	6.2	0.19			0.42	1.70	0.08	0.27		0.47	0.02	0.08	0.13			
28	18.9	0.9	2.2	66.8			0.4	6.3	0.15			0.75	1.64	0.11	0.34		0.98	0.03	0.17	0.26			
29	20.2	1.0	2.3	66.2			0.5	6.7	0.15			0.41	1.53	0.08	0.29		0.52	0.01	0.08	0.12			
30	20.1	1.0	2.2	66.1			0.4	6.2	0.16			0.82	1.96	0.09	0.29		0.55	0.01	0.09	0.09			
31	19.8	1.2	2.4	65.2			0.4	6.2	0.19			1.37	1.72	0.10	0.31		0.93	0.01	0.08	0.14			
32	20.0	1.0	2.4	65.8			0.4	5.9	0.20			1.18	1.79	0.09	0.28		0.73	0.01	0.08	0.09			
33	19.4	1.1	2.2	66.6			0.5	6.6	0.16			0.52	1.62	0.08	0.37		0.70	0.02	0.09	0.12			
34	19.7	1.1	2.2	66.8			0.5	6.6	0.15			0.44	1.51	0.08	0.29		0.50	0.01	0.08	0.15			
35	19.7	1.1	2.2	66.5			0.5	6.5	0.16			0.53	1.57	0.08	0.32		0.59	0.02	0.09	0.12			
36	18.7	0.9	2.1	69.3			0.3	6.2	0.12			0.05	1.25	0.07	0.31		0.54	0.01	0.07	0.10			
37	18.0	0.8	2.1	69.8			0.4	6.6	0.13			0.05	1.20	0.06	0.28		0.46	0.02	0.09	0.14			
38	18.6	0.8	2.1	69.5			0.3	6.2	0.12			0.05	1.22	0.07	0.31		0.57	0.01	0.09	0.12			
39	19.3	1.2	2.2	67.4			0.4	6.9	0.13			0.04	1.38	0.08	0.30		0.40	0.01	0.08	0.12			
40	19.4	1.2	2.2	67.3			0.5	6.9	0.13			0.05	1.39	0.08	0.32		0.44	0.02	0.09	0.11			
41	19.7	1.4	2.2	66.2			0.5	7.4	0.13			0.05	1.47	0.09	0.29		0.42	0.01	0.09	0.11			
42	19.3	1.1	2.1	68.1			0.4	6.8	0.12			0.04	1.17	0.07	0.25		0.30	0.01	0.08	0.09			
43	18.9	0.9	2.0	68.8			0.3	6.4	0.13			0.05	1.29	0.07	0.31		0.60	0.01	0.08	0.10			
44	15.9	0.4	3.1	71.4	0.2		1.2	4.6	0.3			1.85	0.89	0.12	0.03		0.03	0.01	0.04	0.05			
45	14.5	0.7	2.6	73.8	0.2		0.7	4.4	0.2			1.87	0.84	0.06	0.02		0.00	0.02	0.03	0.05			
46	14.5	0.5	2.5	75.5	0.1		0.6	3.3	0.3			1.77	0.75	0.09	0.02		0.03	0.01	0.02	0.02			
47	15.0	0.6	2.7	73.2	0.2		0.9	4.0	0.3			1.75	1.20	0.06	0.07		0.03	0.01	0.04	0.02			
48	14.9	0.6	2.4	74.8	0.2		0.7	3.1	0.2			1.93	0.92	0.07	0.02		0.03	0.02	0.03	0.11			
49	19.8	0.4	9.7	63.2	0.1		2.7	1.7	0.42			0.04	0.71	0.02	0.01	0.90	0.01	0.09	0.02	0.03	0.07		
50	18.1	0.5	9.8	63.9	0.2		3.0	1.8	0.38			0.04	0.71	0.01	0.00	1.06	0.02	0.24	0.02	0.03	0.14		
51	18.4	0.6	10.1	64.8	0.2		1.4	2.2	0.45			0.04	0.83	0.01	0.00	0.65	0.00	0.12	0.01	0.04	0.13		
52	18.4	0.6	8.8	66.3	0.1		1.6	1.8	0.48			0.08	0.81	0.02	0.00	0.71	0.02	0.08	0.02	0.02	0.13		
53	18.9	0.2	10.0	64.6	0.1		3.1	1.2	0.32			0.06	0.47	0.02	0.00	0.75	0.01	0.08	0.01	0.02	0.08		
54	18.0	0.3	5.1	70.3	0.1		1.4	1.8	0.36			0.78	0.89	0.03	0.01	0.90	0.02	0.05	0.01	0.01	0.09		
55	16.9	0.8	7.8	62.7	0.2		2.1	6.5	0.42			0.19	1.31	0.02	0.01	0.88	0.01	0.06	0.00	0.04	0.06		
56	16.2	3.2	1.5	68.4	0.4		3.1	4.4	0.08			0.10	0.47	0.00		1.97	0.02	0.02	0.03	0.05	0.10		
57	16.2	3.6	1.7	67.3	0.5		3.2	4.7	0.07			0.19	0.53	0.01		1.82	0.02	0.04	0.02	0.03	0.06		
58	13.8	2.5	4.9	65.0	0.8		4.6	4.6	0.38			0.32	1.41	0.02		1.45	0.01	0.02	0.01	0.04	0.11		
59	0.6	0.6	2.2	77.3	0.1		14.7	1.5	0.16			1.58	1.04	0.09	0.01	0.04	0.01	0.02	0.01	0.03	0.03		
60	1.0	0.9	2.4	74.7	0.1		16.4	1.5	0.12			1.31	1.23	0.05	0.01	0.03	0.01	0.02	0.04	0.04	0.12		
61	0.1	0.5	3.1	74.0	0.1		16.9	1.6	0.20			1.82	1.38	0.09	0.01	0.03	0.01	0.02	0.03	0.03	0.10		
62	0.5	0.5	3.2	74.9	0.2		16.1	1.5	0.17			1.52	1.30	0.06	0.01	0.03	0.00	0.04	0.01	0.02	0.07		
63	0.2	0.4	2.9	77.1	0.1		14.5	1.3	0.17			1.75	1.26	0.10	0.01	0.03	0.02	0.04	0.01	0.01	0.07		
64	17.9	4.3	3.9	56.7	0.6		4.0	6.5	0.19	0.01		0.24	5.34	0.01		0.10	0.02	0.04	0.01	0.05	0.00		
65	16.1	4.1	4.5	61.4	0.5		3.6	5.4	0.19	0.01		0.18	3.80	0.01		0.07	0.02	0.05	0.02	0.04	0.06		
66	16.7	3.8	4.2	58.3	0.5		4.1	6.7	0.21	0.01		0.23	4.87	0.00		0.08	0.02	0.01	0.02	0.05	0.15		
67	14.7	5.0	2																				

唆された。

最後に日本列島で出土する植物灰ガラスのなかで最も多いGroup SIIIBについては、化学組成もばらつきが大きい、Sr同位体比も大きくばらつくことが分かった。とくに、引き伸ばし法によるGroup SIIIBについては、これまでに知られるどの種類のガラスよりも低いSr同位体比を示した。具体的な生産地については、今後検討が必要であるが、少なくとも中東で出土する植物灰ガラスや原料植物とは明らかに異なることが判明した。

本稿は限られたデータからの限定的な考察となったが、今後は分析事例を増やしてデータを蓄積するとともに、Sr同位体比と併せて検討されることの多いNd同位体比などの他の同位体比分析の導入や、日本近隣諸国で出土した資料などについても分析をおこない、比較検討を進めていきたい。

## 謝 辞

本稿の作成にあたって、出雲市教育委員会、岸和田市教育委員会、久留米市教育委員会、御所市教育委員会、桜井市教育委員会、福津市教育委員会、和歌山県紀伊風土記の丘には、分析資料の提供など格別の御配慮を賜りました。文末になりましたが、厚く御礼申し上げます。また、本稿は2017年度～2020年度科学研究費助成事業（基盤研究（C））（課題番号：17K01207）「Sr同位体比分析による日本出土「ナトロンガラス」の産地に関する考古科学的研究」、2020年度～2022年度科学研究費助成事業（基盤研究（C））（課題番号：20K01116）「東アジア出土の植物灰ガラスは西アジア産か？—ガラス交易路解明に向けての基礎研究—」（研究代表者）、および総合地球環境学研究所の同位体環境学共同研究事業の成果の一部を含む。

## 註

- 1 Oga, K., Tamura, T.: Ancient Japan and the Indian Ocean Interaction Sphere: Chemical Compositions, Chronologies, Provenances and Trade Routes of Imported Glass Beads in Yayoi-Kofun Period (3rd Century BCE-7th Century CE). *Journal of Indian Ocean Archaeology*, 9, pp.35-65, 2013.
- 2 前掲1
- 3 Tamura, T., Oga, K.: Distribution of Lead- Barium Glasses in Ancient Japan. *Crossroads* 9, pp. 63-82, 2014
- 4 Tamura, T. and Oga, K.: Archaeometrical investigation of natron glass excavated in Japan, *Microchemical Journal* vol. 126 pp. 7-17, 2016
- 5 大賀克彦・田村朋美 2016「日本列島出土カリガラスの考古科学的研究」『古代学』第8号 pp.11-23
- 6 馬淵久夫・川上紀 1984「ストロンチウム同位体比の土器・瓦の産地推定への応用」『古文化財の科学』第29号

- 7 Freestone, I.C., Leslie, K.A., Thirlwell, M. Gorin-Rosen, Y., 2003. Strontium isotopes in the investigation of early glass production: Byzantine and Early Islamic glass from the Near East, *Archaeo-metry* 45 (1).
- 8 Henderson, J., Evans, J.A., Sloane, H.J., Leng, M.J., 2005. The use of oxygen, strontium and lead isotopes to provenance ancient glasses in the Middle East. *Journal of Archaeological Science*, 32 (5).
- 9 前掲1
- 10 前掲4
- 11 前掲1
- 12 大賀克彦・田村朋美 2017「植物灰ガラスの多様性と生産地に関する考古科学的研究」『日本文化財科学会第34回大会発表要旨集』 pp.126-127.
- 13 Mirti, P., Pace, M., Ponzi, M.N., Aceto, M. 2008. ICP-MC Analysis of Glass Fragments of Parthian and Sasanian Epoch from Seleucia and Veh Ardasir (Central Iraq). *Archaeometry*, 50 (3).
- 14 Mirti, P., Pace, M., Malandrino, M., Ponzi, M.N. 2009. Sasanian Glass from Veh Ardasir: New Evidences by ICP-MS Analysis. *Journal of Archaeological Science*, 36.
- 15 前掲7、前掲8
- 16 前掲7
- 17 前掲4
- 18 Brill, R. K., Fullagar, P. D.: Strontium Isotope Studies of Historical Glasses and Related Materials. *Chemical Analysis of Early Glasses*. Vol. 3. The Corning Museum of Glass. New York. pp. 621-679. 2012
- 19 Krishnaswami, S., Trivedi, J.R., Sarin, M.M., Ramesh, R., Sharma, K.K.: Strontium isotopes and rubidium in the Ganga-Brahmaputra river system: weathering in the Himalaya, fluxes to the Bay of Bengal and contributions to the evolution of oceanic  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ . *Earth Planet. Sci. Lett* 109, pp. 243-253. 1992
- 20 Henderson, J., Evans, J., Barkoudah, Y. 2009. The Roots of Provenance: Glass, Plants and Isotopes in the Islamic Middle East. *Antiquity*, 83.
- 21 奈良文化財研究所飛鳥資料館 2016『飛鳥寺跡出土遺物の研究 ガラス玉類の考古科学的研究』(『飛鳥資料館研究図録』第19冊)
- 22 前掲12
- 23 大賀克彦・田村朋美 2019「條ウル神古墳出土のガラス玉類」『條ウル神古墳』(『御所市文化財調査報告書』第56集)
- 24 前掲19
- 25 Dussubieux, L., Gratuze, B., 2003. Nature et origine des objets en verre retrouvés à Begram (Afghanistan) et à Bara (Pakistan). In: Bopéarch, O., Landes, C., Sachs, C. (Eds.), *De l'Indus à l'Oxus: Archéologie de l'Asie Centrale*. Association Imago, Musée de Lattes, Lattes.
- 26 田村朋美・新免歳靖・遠藤綾乃・細川貴子・竹田多麻子・二宮修治・Rocco Rante 2022「ブハラオアシス出土のガラス製遺物のSr同位体比分析」『日本文化財科学会第39回大会発表要旨集』 pp.68-69.

27 新免歳靖・遠藤綾乃・細川貴子・竹田多麻子・二宮修治・田村朋美・Rocco Rante 2022  
「ウズベキスタン・ブハラオアシス内遺跡から出土した初期イスラームガラスの化学分析」『日本文化財科学会第39回大会発表要旨集』 pp.150-151.

28 前掲20

29 ただし、未報告ではあるがカザフスタンで出土したナトロンガラス製の玉類に本資料と同等に低いSr同位体比をもつものを確認している。Group SIIIBは典型的な植物灰ガラスとナトロンガラスの混合の可能性も考えられ、注目される。Group SIIIBに関しては、ナトロンガラスとの混合の可能性も含め、分析事例を増やして検討する必要がある。

#### 挿図出典

いずれも筆者作成