

元素分析および同位体比分析から見る 古代ガラスの産地

田村 朋美*

1. はじめに

日本列島では、紀元前3世紀～紀元後7世紀(弥生～古墳時代)の遺構から60万点を超えるガラス製品(ガラス玉)が発見されている。そのほとんどが日本列島外から製品としてもたらされたガラス玉であり、生産地の解明が重要な課題である。本稿では、元素分析および同位体比分析から明らかとなってきた古代ガラスの生産地についての最新の研究成果について述べる。

2. 化学組成による日本出土ガラスの分類と生産地推定

日本の弥生～古墳時代の遺跡から発見されるガラスは、化学組成によって鉛ガラス系、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(Group L)は、鉛バリウムガラス(Group LI)とバリウムを含まない鉛ガラス(Group LII)と大別される。これらはいずれも東アジア起源で

あると考えられている。カリガラス系(Group P)は、 Al_2O_3 と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。それぞれ生産地が異なることが想定されるが、いずれもインド～東南アジア起源であると考えられている。ソーダガラス系(Group S)は多様で、 Al_2O_3 とCaO、MgOと K_2O の含有量から5種類(Group SI～Group SV)に区分される。これらのなかでGroup SII、SIVおよびSVはインド～東南アジア系の化学組成とされる。一方、Group SIおよびSIIIは西方世界のソーダガラスで、Group SIは地中海世界が起源のナトロンガラスで、Group SIIIは西アジアまたは中央アジア起源の植物灰ガラスに相当すると考えられる。このように、弥生時代～古墳時代の日本列島にはユーラシア大陸各地から様々な種類

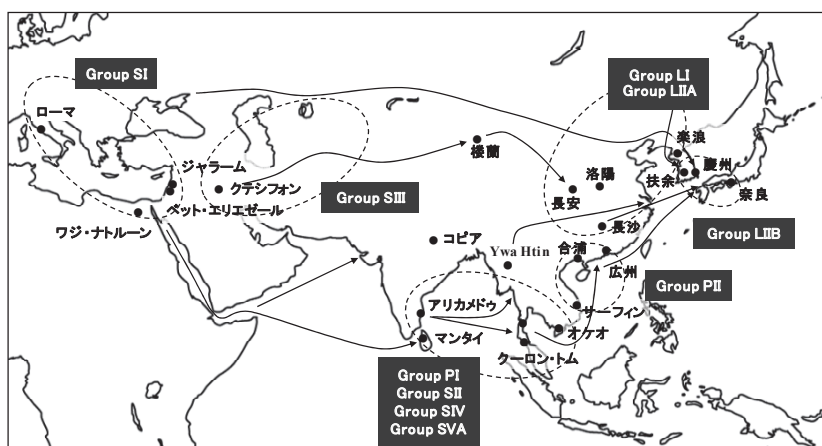


図1. 日本列島へ流入するガラス玉類の生産地と流通経路 (Oga and Tamura 2013 一部改変)

*奈良文化財研究所都城発掘調査部

のガラス製品が流入していたのである。

このように、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、現状では図1に示した地域にそれぞれの材質の生産地が存在したと考えている(図1)(Oga and Tamura 2013)。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。そこで、筆者らは日本列島で出土するガラス製遺物の具体的な産地推定のためのアプローチとして同位体比分析に注目し、データの蓄積を進めてきた。次にその成果について紹介する。

3. 同位体比分析による生産地の検討

(1) 鉛同位体比分析による鉛系ガラスの生産地推定

考古資料の産地推定を行う上で有効な分析手法として、鉛の同位体比を利用する方法がある。ガラス製遺物の生産地研究としても古くから鉛同位体比分析が利用されてきた。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(Oga and Tamura 2013, Tamura and Oga 2014, 2016, 大賀・田村 2016 など)。

なかでも鉛系ガラスの鉛同位体比分析は早くから注目されており、多くの報告がある。解明されていない問題も残るが、概ね以下のような状況が明らかとなっている。

弥生時代にあたる紀元前3世紀～紀元後2世紀にかけて流通した鉛バリウムガラスは、鉛同位体比より中国で生産されたものであると考えられている。同時期に流通したバリウムを含まない鉛ガラスに関しても、弥生時代後期～終末期に流通したものは中国産と考えられる。

一方、古墳時代後期末にあたる7世紀初頭以降に再び出現する鉛ガラスに関しては、鉛同位体比から二つの生産地が識別されている。ひとつは、古墳時代後期末(7世紀初頭)に北部九州を中心に流通するもので、朝鮮半島の百済で生産されたことが明らかとなっている。もう一方は、国産の鉛を原料としたもので、7世紀後半にあたる奈良県飛鳥池遺跡で生産が確認されており、奈良時代へ継続する(図2)。

4. ストロンチウム同位体比分析による生産地推定の試み

近年、地中海世界で出土するガラスを対象に、ストロンチウム(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。

化学組成の分析により、日本列島でも地中海世界で生産されたナトロンガラス製と考えられるガラス小玉(Group SI)が一定量出土することが確

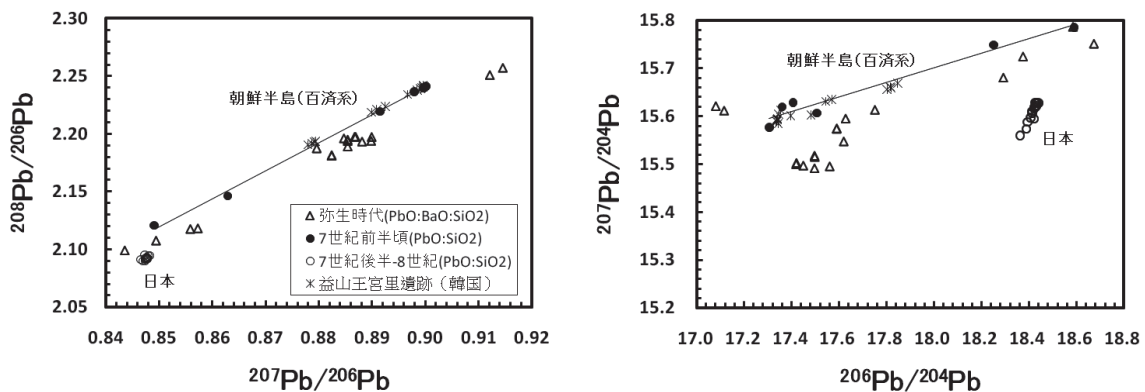


図2. 日本で出土した鉛ケイ酸塩ガラスの鉛同位体比(弥生時代から鎌倉時代) 左はA式図、右はB式図(肥塚・田村 2012より抜粋)

認められた。そこで、筆者らは日本出土の Group SI を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 (Tamura and Oga 2016)。その結果、現イスラエル付近で製作されたとされる「Levantine I」タイプに該当する種類が存在することが明らかとなったものの、多くの種類については、対応する既存の材質グループを見出すことができなかった。

両者の比較を困難にしている要因として、日本列島出土品がいずれもコバルトで強く着色されているのに対し、比較対象となる地中海世界のナトロンガラスは、無色あるいは意図的な着色が行われていない自然発色のガラスが選択的に分析されていることがあげられる。そこで、基礎ガラス成

分であるカルシウム (Ca) に付随するストロンチウム (Sr) の同位体比分析に着目した。

また、日本列島出土のナトロンガラス (Group SI) 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 Group SI と類似するが、典型的な Group SI 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」(Group SIV) として典型的なナトロンガラス (Group SI) からは除外しているグループの問題である。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地域産なの

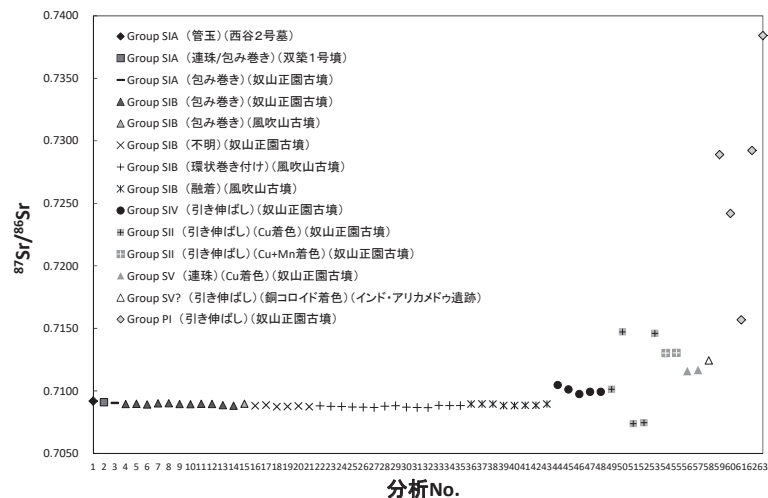
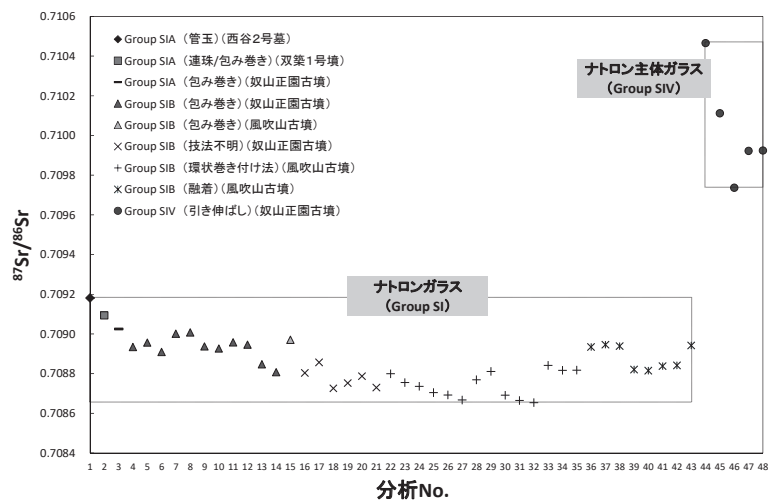


図 3. ガラス製遺物の Sr 同位体比
 上：ナトロンガラス (Group SI) とナトロン主体ガラス (Group SIV)
 下：南～東南アジア系の各種ガラス製遺物との比較 (田村・申 2017)

か、インド～東南アジア産なのかという問題は、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。

そこで、Sr 同位体比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るとともに、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検討した。

その結果、日本出土のナトロンガラス (Group SI) の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ の値は、0.7087-0.7092 の範囲内に集中することが明らかとなった (図3上)。先行研究によると、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、総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一部のナトロンガラス (Group SIB) の Sr 同位体比は、地中海世界における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値ときわめて類似する (Freestone *et al.* 2003)。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、 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ の値が低く (< 0.7080)、日本列島出土品とは明らかに異なる。以上の結果は、古墳時代中期前半に流入した一部のナトロンガラスの化学組成の特徴がイスラエルを中心とするレバント地域で生産された「Levantine I」という種類と一致したという研究成果とも整合的であり、日本列島出土のナトロンガラス (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。

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 Sr 同位体比が高い値 (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) を除いて概ね Group SI より大きい値をとる。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値を示した (図3下)。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 (Krishnaswami *et al.* 1992)、関連性が注目される。

7. まとめ

以上、日本列島出土のガラス製遺物について、化学組成による分類と想定される生産地を示した。鉛同位体比分析では鉛系のガラスの生産地の変遷が追えることがわかってきている。そして、新たに適用した Sr 同位体比分析では、日本出土のナトロン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。さらに、主成分組成が類似し、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と報告されたことのある 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 Sr 同位体比から示すことができた。これらのうち、Sr 同位体比についてはまだまだ測定事例が少なく、本稿で紹介した結果は極めて限定的なものであったが、アルカリガラスの産地に関する重要な知見が得られた。今後は、Sr 同位体比と併せて検討さ

れることの多いネオジウム (Nd) 同位体比などの他の同位体比分析の導入や、他地域を含め資料数を増やして検討する必要がある。

謝辞

本研究の一部は、科学研究費補助金（課題番号25702013 代表者：田村朋美）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支援を受けた。

引用・参考文献

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

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回大会研究発表要旨集』 pp. 126-127

肥塚隆保・田村朋美 2012 「古墳時代のガラス」『古墳時代の考古学 8 隣接科学と古墳時代研究』 pp. 132-141

田村朋美・申基澈 2017 「Sr 同位体比による日本出土古代ガラスの産地推定試み」『日本文化財科学会第34回大会発表要旨集』 pp. 34-35

Freestone, I.C., Leslie, M., Gorin-Rosen, Y. 2003. Strontium isotopes in the investigation of

early glass production: Byzantine and early Islamic glass from the Near East. *Archaeometry* 45, pp. 19-32.

Krishnaswami, S., Trivedi, J.R., Sarin, M.M., Ramesh, R., Sharma, K.K. 1992. 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.

Oga, K., Tamura, T. 2013. 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.

Tamura, T. and Oga, K. 2016. Archaeometrical investigation of natron glass excavated in Japan, *Microchemical Journal* vol.126 pp. 7-17.

Tamura, T., Oga, K. 2014. Distribution of Lead-Barium Glasses in Ancient Japan. *Crossroads* 9, pp. 63-82.