

学位申請論文

非破壊オンサイト分析による日本およびシルクロードの古代
ガラスの化学組成と流通に関する研究

2019年3月

村串まどか

目次

第1章 序.....	3
1.1 背景.....	3
1.1.1 考古資料の分析.....	3
1.1.2 シルクロードとガラスの伝播.....	3
1.2 ガラスの化学組成.....	5
1.2.1 ガラスの化学.....	5
1.2.2 ガラスの考古学.....	11
1.2.3 古代ガラスの科学的研究.....	14
1.2.4 シルクロードのガラス研究.....	22
1.3 本研究の目的・方針.....	35
1.4 本論文の構成.....	36
第2章 研究方法.....	40
2.1 本研究における方法の選択.....	40
2.2 分析方法.....	40
2.2.1 蛍光X線分析.....	40
2.2.2 ラマン分光分析.....	45
2.2.3 紫外可視吸光分析.....	47
2.3 簡易分析法によるガラスの組成分類方法の検討.....	48
2.3.1 序.....	48
2.3.2 評価に用いた資料.....	49
2.3.3 分類方法の検討.....	49
第3章 日本のガラスの化学組成.....	52
3.1 化学組成に基づく分類.....	52
3.2 青森県・岩手県（東北地方北部）のガラス.....	53
3.3 岐阜県 船来山古墳群のガラス.....	69
3.4 奈良県 布留遺跡のガラス.....	80
3.5 長崎県壱岐市のガラス.....	85
3.6 長崎県対馬市のガラス.....	101
第4章 大陸の交易品の化学組成.....	116
4.1 中国内モンゴル自治区のガラス.....	116
4.2 キルギス・タジキスタンのガラス.....	125
4.3 カザフスタンのガラス.....	139
4.4 北方の貨幣.....	147

第5章 日本列島のガラス流通に関する考察.....	151
5.1 化学組成に基づく国内流通.....	151
5.2 海外から日本列島へのガラス流通.....	160
第6章 シルクロード出土ガラスの流通に関する考察.....	171
6.1 微量重元素を用いた組成比較.....	171
6.2 陸路と海路における組成別分布.....	173
6.3 各地のガラスタイプ変遷.....	175
6.4 着色剤による比較.....	176
6.5 統計解析を用いた出土ガラスの流通に関する考察.....	183
6.6 中世期の大陸における交流について.....	191
第7章 総括.....	194
謝辞.....	201

第1章 序

1.1 背景

1.1.1 考古資料の分析

日本列島は古代より大陸をはじめとする諸地域からさまざまな文物、文化を取り入れてきた。例えばそれらの代表的なものである青銅器に関しては、青銅製品に含まれる鉛の鉛同位体比分析によって中国華北・華南、朝鮮半島などどこを起源とすることが明らかになることができた。このように文化財を対象とした元素分析、同位体比分析、状態分析など進められ、これらを明らかにする方法として原子吸光分析、X線分析（蛍光X線分析、X線回折）、SEM-EDS、PIXE、EPMA、ICP-MSといった様々な分析方法が採用されてきた。これら化学分析の文化財への応用が進み、考古学や歴史学の情報と合わせることで産地・起源、流通、変遷などが明らかにされてきた。考古学や歴史学を明らかにする方法として化学的な情報は大変有用なものである。

1.1.2 シルクロードとガラスの伝播

海外の諸地域から日本に伝わったものの一つがガラスである。ガラスは西アジアで誕生したとされ、地中海沿岸地域やヨーロッパへ広まりユーラシア大陸に広く伝播した。古来より高価な装飾品などから安価な日用品にまで人間生活に密接にかかわってきた。西方で誕生したガラスは遠く離れた日本にまで伝えられたことは、Fig. 1-1に示すような奈良県の正倉院に収められている白瑠璃碗や紺瑠璃杯などが物語っている。ガラスは長い歴史の中で、製品や製作技術がユーラシア全土を経て遠く離れた日本にまで伝来した。西方から東へのガラスの流通にはシルクロードと呼ばれる東西交易路の存在が関わる。「シルクロード」という名称は19世紀にドイツ人地理学者フェルディナント・フォン・リヒトホーフエンが最初に提唱し、地中海世界と中国をつないだ歴史的な交易路である。2014年には世界遺産「シルクロード:長安-天山回廊の交易路網」として登録され、その歴史的価値が評価されている。



Fig. 1-1 白瑠璃碗，紺瑠璃杯の写真（宮内庁 HP より）

ここでシルクロードについてももう少し説明をしておくと、シルクロードとは太古より東アジアと西アジア、アジアとヨーロッパ、さらには北アフリカを結んでいた東西交易路の総称である（長澤, 2002）。街道のようなものではなく、変化を繰り返してきた道筋の集まりである。大きく分けて「ステップの道（ステップ路）」「オアシスの道（オアシス路）」、「海の道（南海路, 海のシルクロード）」という名称で知られている。シルクロードの概略図を Fig. 1-2 に示す。ガラス以外にもその名の由来となっている絹（シルク）の他に、薬品、香辛料、金属、皮革製品などが取引されていたことが明らかになっている（ハンセン, 2016）。シルクロードは古来よりユーラシア大陸を横断して文物を伝えてきた歴史的な交易路である。シルクロードを通じて伝えられた文物にガラスも含まれており、特にガラスはシルクロードを主軸として人々の交流の軌跡を示すものであるといえる。したがってガラスの研究によって、人々の交易の痕跡を辿り、人類の交流史を明らかにすることができると思われる。さらにガラスの化学組成を調べることで、用いた原料の特徴、地域によるガラスの化学組成の特徴が明らかになり、そこから流通や変遷を考察することができる。

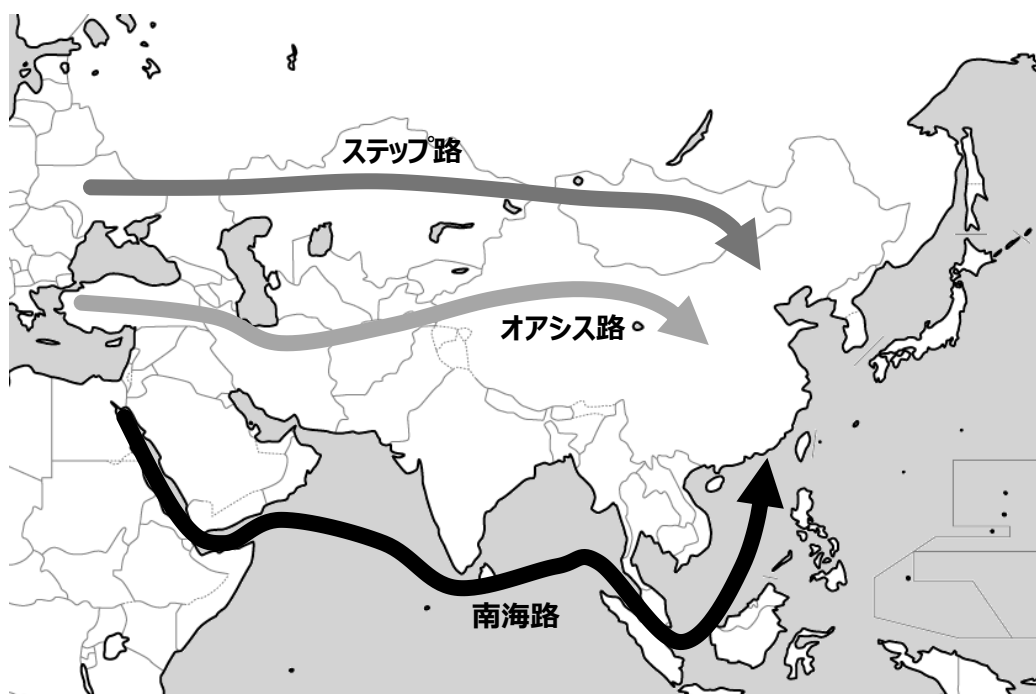


Fig. 1-2 シルクロード交易路図

1.2 ガラスの化学組成

1.2.1 ガラスの化学

i) ガラスの組成的分類

古代ガラスはケイ素を主成分とするケイ酸塩ガラスに分類され、さらにアルカリ分を多く含むアルカリケイ酸塩ガラスと鉛を多く含む鉛ケイ酸塩ガラスに分類される。アルカリケイ酸塩ガラスはさらにカリガラス ($\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$)、ソーダ石灰ガラス ($\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{SiO}_2$)、アルミナソーダ石灰ガラス ($\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{CaO}-\text{SiO}_2$) に分けられる。鉛ケイ酸塩ガラスは鉛ガラス ($\text{PbO}-\text{SiO}_2$)、鉛バリウムガラス ($\text{PbO}-\text{BaO}-\text{SiO}_2$)、カリ鉛ガラス ($\text{K}_2\text{O}-\text{PbO}-\text{SiO}_2$) に分けられることが知られている (肥塚, 1997; 肥塚 他, 2010)。Fig. 1-2-1a にこれらの分類体系を示す。

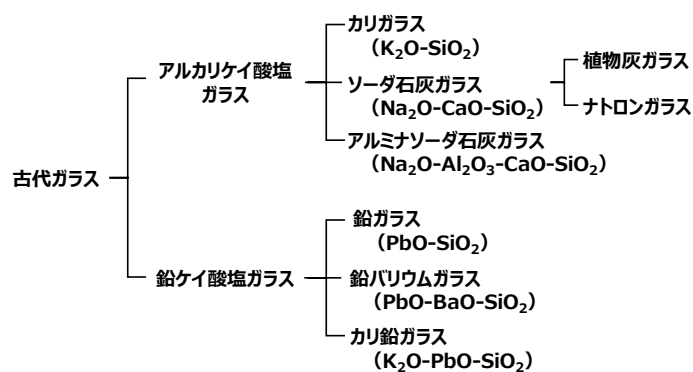


Fig. 1-2-1a 古代ガラスの分類体系

ii) ガラスの化学的特性

ガラスは（１）原子配列がX線的に不規則な網目構造をもつ，（２）ガラス転移現象を示す，と定義される．ガラスは加熱すると膨張する場合，Fig. 1-2-1b に示したようにガラス転移温度と呼ばれる温度でガラスは過冷却液体に変わって膨張の仕方が大きくなる．この現象のことをガラス転移現象という（作花, 1997）．

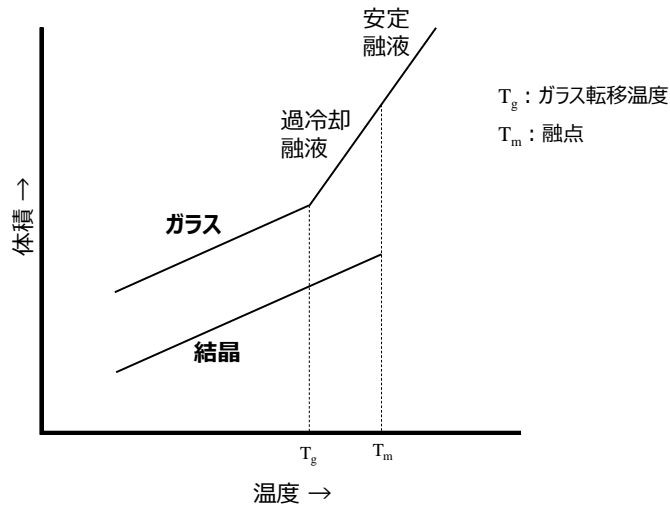


Fig. 1-2-1b ガラス転移現象の体積と温度の関係模式図

本研究で対象とした出土ガラスは二酸化ケイ素 SiO_2 を形成酸化物とするケイ酸塩ガラスである．ガラスは以下の3種類の酸化物によって構成される．Table 1-2-1a にガラスタイプと構成酸化物を示した（肥塚, 2000）．

網目形成酸化物

単独で3次元の網目を形成し，ガラスを作ることができる酸化物（ SiO_2 ， $\text{BO}_{3/2}$ ， $\text{PO}_{5/2}$ など）

網目修飾酸化物

単独で網目は作れないが，形成酸化物が作る網目構造に入り込む（ $\text{NaO}_{1/2}$ ， $\text{KO}_{1/2}$ ， CaO ， MgO ， BaO など）

中間酸化物

形成酸化物の一部と置き換わり，修飾酸化物としても働くことができる（ PbO ， $\text{Al}_{3/2}$ ， TiO_2 など）

Table 1-2-1a 出土ガラスのガラスタイプと構成酸化物

ガラスタイプ	酸化物の構成
アルカリケイ酸塩ガラス	
K_2O-SiO_2 系	修飾酸化物-形成酸化物
$Na_2O-CaO-SiO_2$ 系	2種類の修飾酸化物-形成酸化物
$K_2O-CaO-SiO_2$ 系	
$Na_2O-Al_2O_3-CaO-SiO_2$ 系	2種類の修飾酸化物-中間酸化物-形成酸化物
鉛ケイ酸塩ガラス	
$PbO-SiO_2$ 系	中間酸化物-形成酸化物
$PbO-BaO-SiO_2$ 系	中間酸化物-修飾酸化物-形成酸化物
アルカリ鉛ケイ酸塩ガラス	
$K_2O-PbO-SiO_2$ 系	修飾酸化物-中間酸化物-形成酸化物

iii) ガラスの原料と製法

a) ケイ酸原料（シリカ源）

ケイ酸塩ガラスの製造には岩石や砂、小石などをシリカ源として用いていた。古代ガラスの製造には、現代で製造されているような純粋なシリカ源を得る技術はないため、鉄などの不純物も古代ガラスに含まれている（黒川, 2005）。この不純物は古代ガラスの特性化や起源を推定する上で重要な情報となる。

b) 石灰源

ガラス製造の際に融剤を加えると、溶融温度を下げるができるが、低融点ガラスは水の浸食がしやすくなってしまふ。これに石灰を加えることにより、耐久性が増される。石灰源に貝殻や鋳物などを用いていた。シリカ源と同様に古代ガラスの石灰源の不純物も含まれているので、ガラスの特性化の有用な情報となる。石灰の添加にはほかに耐失透性の効果があると考えられている（黒川, 2005）。

c) 融剤

古代ガラスの融剤には、植物灰や天然ソーダ（ナトロン： $Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$ ）が用いられていた。ガラス製造に融剤を加える主な目的は、溶融温度下げることにある。結晶シリカの融点が $1723^{\circ}C$ と高温であり、古代の技術で同程度の高い温度を得ることは非常難しいため、融剤を加えることにより融点を下げることが可能になる。古代のガラス製造に融剤として用いられた植物灰はカルシウムやソーダ、カリを含んでいることから、ガラスの化学

的耐久性を与える効果もある（黒川, 2005）.

d) 着色剤

ガラスは様々なイオンやナノ微粒子を含有することで着色される．イオンによる着色では d-d 遷移による吸収を持つ遷移金属イオン，f-f 遷移による吸収を持つ希土類イオンがある（角野, 2009）.

遷移金属イオンの d 軌道のエネルギーは縮退しているが，遷移金属イオンが陰イオン（配位子）に囲まれた状態にあると，配位子のクーロン場（配位子場）と d 電子との反発によって縮退が解け，エネルギーが分裂する．遷移金属イオンによる吸収は，このとき分裂した d 軌道間の遷移に由来する．d 軌道は配位子場の影響を直接受けるため，分裂した d 軌道のエネルギー順位は陰イオンの種類や配置に影響される．遷移金属イオンは 2 つ以上の安定な酸化状態を取る場合が多いので，ガラス製造時の酸化還元平衡によってそれぞれの価数のイオンの割合が変化する．これは吸収スペクトルの大きな変化の原因となる．したがって，遷移金属イオンによってガラスを着色させる際には，遷移金属イオンの種類はもちろんのこと，濃度，ガラスの種類・組成，作成条件にも関わってくる（角野, 2009）. 一例として，ソーダ石灰ガラスにおける遷移金属イオンの着色を Table 1-2-1b に紹介する

Table 1-2-1b ソーダ石灰ガラス中における遷移元素によってもたらされる着色
(Biron and Chopinet, 2013 を基づいて作成)

イオン	配位	色
Cr ³⁺	八面体	緑色
Mn ³⁺	八面体	赤色, 紫色
Fe ²⁺	八面体	青色
Fe ³⁺	四面体	黄色
Co ²⁺	四面体	青色
Ni ²⁺	八面体 四面体	茶色
Cu ²⁺	八面体	緑色/水色

さらに古代ガラスの着色要因として知られるコバルトと銅，鉄，マンガンについて研究例（Möncke *et al.*, 2014）を引用して，以下に概説する．

【コバルト】

Co²⁺はガラス中でコバルトは 4 配位構造（d⁷Co²⁺）で存在する．UV-Vis で測定した際にみられる 540, 590, 640nm の 3 つの吸収は ⁴A₂(F)→⁴T₁(P)から生じ，590 nm の吸光度が最も強く表れる．これらの電子遷移はスピン選択則でもラポルテ選択則でも禁制であるが，3d

軌道と 4s 軌道の混成軌道により遷移が起こる。

【銅】

Cu^{2+} は 6 配位の $d^9\text{Cu}^{2+}$ では 8 面体配位で $2E_g \rightarrow 2T_{2g}$ の電子遷移が発生する。ヤーン・テラー効果により正八面体に歪みが生じ、縮退していた軌道が ${}^2B_{1g}/{}^2A_{1g}$ と ${}^2B_{2g}/{}^2E_g$ に分裂する。z 軸に沿った歪みに起因する ${}^2B_{1g} \rightarrow {}^2A_{1g}$, ${}^2B_{1g} \rightarrow {}^2B_{2g}$ と ${}^2B_{1g} \rightarrow {}^2E_g$ 遷移がお互いに重なり合い、800 nm 付近で幅広い非対称の吸収を引き起こす。

【鉄】

Fe^{3+} は 4 面体配位も 8 面体配位も同様の安定性であるが、ソーダ石灰ガラス中では主に 4 面体配位で存在している。3 つの吸収のうち、最も大きい 380 nm は ${}^6A_1 \rightarrow {}^4T_1(D)$ 、420 nm は ${}^6A_1 \rightarrow {}^4E(G)$ で、435 nm は ${}^6A_1 \rightarrow {}^4A_1(G)$ の遷移に由来する。

Fe^{2+} は ${}^5T_2 \rightarrow {}^5E$ に由来する 1050 nm 付近の幅広い吸収が特徴であり、これは、 Fe^{2+} の 8 面体配位構造がヤーン・テラー効果より歪んでいることが原因と考えられる。4 面体配位の Fe^{2+} は 2000 nm 付近に吸収を持つ。

【マンガン】

ソーダ石灰ガラス中では $d^4\text{Mn}^{3+}$ はほとんどが 8 面体配位をとる。ヤーン・テラー効果より 8 面体配位が歪み、エネルギー準位の分裂をもたらすことにより最大吸収位置が 500nm の幅広い非対称性の吸収を起す。 Mn^{3+} の d-d 遷移はスピン許容であり、比較的高い強度を有し、低濃度であっても強い紫色の着色を引き起こす。

還元条件下では Mn^{2+} のガラスを作ることができる。 Mn^{2+} の d-d 遷移はスピン禁制及びラポルテ禁制であるため、遷移確率は非常に低く、吸収強度も非常に弱く無色見えるが、高濃度の Mn^{2+} を含むガラスであれば薄いオレンジ色を呈することがある。

一方で、ガラス中に数～数十ナノサイズの金属コロイド微粒子が、特有の着色を示す場合もある。Table 1-2-1c に代表的なものを示す。このような金属コロイドによる吸収スペクトルはガラスの種類（屈折率など）、微粒子の大きさ、形状によって変化する（角野, 2009）。

Table 1-2-1c 金属コロイドによるガラスの着色（角野, 2009 より）

金属	吸収波長 (nm)	色調
Au	~530	赤
Ag	~410	黄色
Cu	~550	赤
Pt, Pd	可視域	茶
Se	~500	ピンク

さらに古代ガラスの着色には上記のような遷移金属イオンによるものや、金属コロイドによるもの以外にも、顔料をガラス中に散在させて色づけているものも存在する。よく知られている例としては、黄色顔料スズ酸鉛を用いているものである。この顔料が黄色を呈するのは、酸化鉛の分子軌道間の遷移（電荷移動吸収帯）によるものと考えられている（重森, 1988）。スズ酸鉛のような電荷移動遷移による顔料は赤色か黄色を呈しているが、これは電荷移動バンドが紫外領域にあるからである（Huheey, 1990）。

e) 消色剤

マンガン Mn はガラスの消色剤としての作用することも知られている。この消色のメカニズムは二つが考えられている。一つは Mn_2O_3 や MnO_2 のようなマンガン酸化物の酸化作用である。紫色になる Mn^{3+} とは逆に Mn^{4+} はガラス熔融物中にて安定ではないため、両方のイオンは無色に近い Mn^{2+} に還元することができる。同時に、強い吸収をもつ青色の Fe^{2+} はあまり吸収が強くない黄色の Fe^{3+} に酸化される。二つ目のメカニズムは、一般的に「灰色化」と呼ばれるものである。これは補色にあたる色を呈するイオンを加えることで消色させるものである（Möncke *et al.*, 2014）。

iv) ガラスの風化

本論文で議論するようなガラスの多くは、発掘調査によって発見されることが多い。そのため、出土ガラスは長期間埋蔵環境下にあり、水分等により風化による変質や劣化が生じる。風化の要因としてはガラスの材質や製作技術なども影響するが、最も大きな影響は埋蔵環境と考えられる。風化によってガラス表面は変質や二次生成物が生じ、ガラス表面の化学組成は本来の化学組成とは異なったものになってしまうことから、材質調査にも影響が出る。また、アルカリケイ酸塩ガラスは日本のような酸性土壌では風化が比較的進みにくいのに対し、鉛ケイ酸塩ガラスの風化は激しい傾向があるなど、材質によって風化の度合いが異なることが知られている（肥塚, 2010）。

日本国内で出土したガラスの風化については、肥塚が表面とガラス内部の定量値を比較し、その違いから風化による化学組成の増減について報告している（肥塚, 1999）。Table 1-2-1d にガラスタイプごとの風化の影響についてまとめた。風化の影響を受けやすいとされる鉛ケイ酸塩ガラスの中でも、風化の傾向は異なる。さらに鉛ケイ酸塩ガラスの表面には風化生成物が付着していることがあり、これらは $PbCO_3$ （Cerussite：白鉛鉱）、 PbS （Galena:方鉛鉱）、リン酸鉛（ $Pb_3(PO_4)_2$ ）、塩化トリス（リン酸）五鉛（ $Pb_5Cl(PO_4)_3$ 、Pyromorphite: 緑鉛鉱）が同定された例がある。アルカリケイ酸塩ガラスは Na 成分や K 成分の溶出により Na_2O や K_2O が減少する傾向がある。

Table 1-2-1d 各ガラスタイプの風化の影響 (肥塚, 1999 より作成)

ガラスタイプ	化学組成	増加	減少
カリガラス	K_2O-SiO_2	Al_2O_3 SiO_2	K_2O
ソーダ石灰ガラス (アルミナ含む)	$Na_2O-(Al_2O_3)-CaO-SiO_2$	Al_2O_3 SiO_2 金属酸化物	Na_2O
鉛ガラス	$PbO-SiO_2$	PbO	SiO_2
鉛バリウムガラス	$PbO-BaO-SiO_2$	SiO_2	PbO
カリ鉛ガラス	$K_2O-PbO-SiO_2$	SiO_2 $CuO?$ $Fe_2O_3?$	K_2O PbO

1.2.2 ガラスの考古学

ガラス製造技術の歴史を Fig. 1-2-2a に示す。ガラスは古代の人々によって製造された人工材料である。本格的な生産開始は紀元前2千年紀の中頃であるが、その歴史は紀元前4千年頃のファイアンスの発達にまでさかのぼると考えられる。当初、この新しい素材は主に高級品の製造に利用されたが、急速に発展し遠隔の製造地と交易が行われるようになる。この時点（青銅器時代頃）で現在の中東世界からヨーロッパ方面へ取引されたものはガラス製のビーズであったと考えられる。のちに後期青銅器時代から徐々にガラス製造は規模を大きくし、多数のガラス製品が出回るようになった。吹きガラスが紀元前1世紀頃に発達すると、ガラスは身近な素材となる。さらにガラス交易も急速に発達し、様々な起源のガラス製品が大陸各地や海上交易ルート上で発見されるようになった。(Gratuze, 2013)

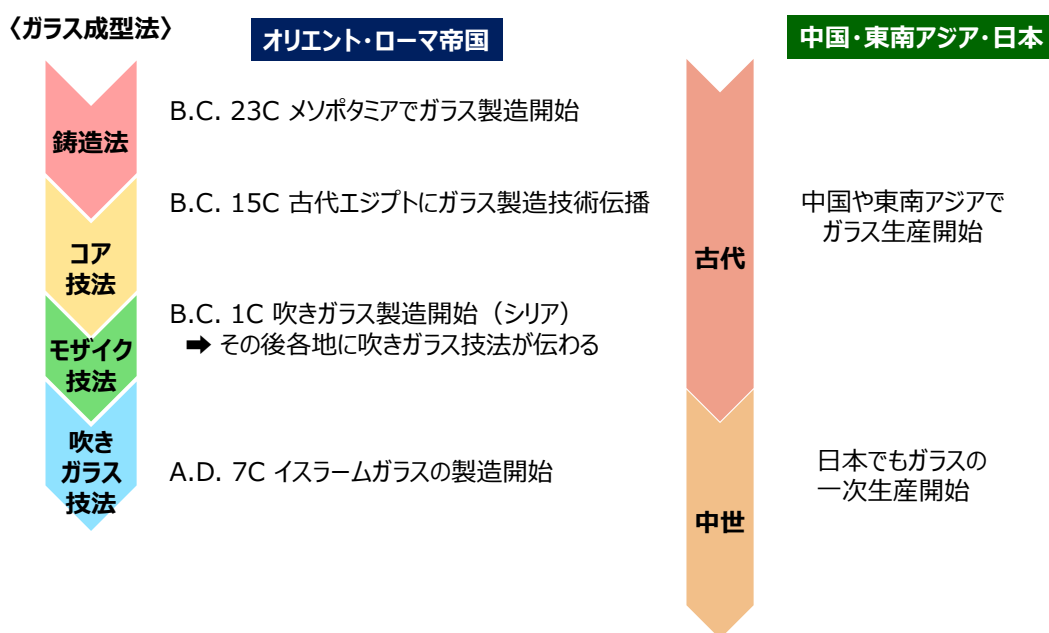


Fig. 1-2-2a ガラス製造技術の歴史

ビーズなどの小物のガラス製品は考古学的調査によって紀元前3千年紀後半には存在していたことが明らかになっているが、ガラス容器の製造は紀元前16世紀後半から15世紀中頃の後期青銅器時代のシリア北部やメソポタミア、エジプトで開始されたと考えられている。紀元前2千年紀の終わりには「暗黒時代」と呼ばれるほどガラスの発見例が少ない時期を迎えるが、紀元前18世紀から19世紀頃にはエジプトやメソポタミアなどでガラス容器が知られるようになる。ガラス生産は紀元前1千年紀の終わりころまで拡大していき、ビーズや容器などが広く流通していた。紀元前1世紀頃に吹き技法が取り入れられるようになるとシリア・パレスチナを起源としてローマ帝国圏内に広く伝わり、ガラス生産の中心になっていった。透明なガラス容器は一般的で安価な商品になり、1世紀中頃から後半頃は濃い着色から意図的に弱い「天然の」透明な青色と緑色、つまり無色のガラスに変化した。この時期から飲食や貯蔵などに利用する目的で吹き技法によって作られた透明ガラスの利用が近東やヨーロッパに広まった。

古代ガラスの製造には何段階かの過程を経て行われたと考えられており、Fig. 1-2-2bにその概要を示す。

まず一次生産はガラスそのものを製作する工程のことであり、一次生産はさらに3つのステップに分かれる。ステップ1ではガラスそのものを製造するうえで基本となるフリットを製造し、その後ステップ2において原ガラスを製造する（黒川, 2005）。原ガラスを製造する一次生産は、ガラスを容器に成形する二次生産とは異なるものであり、一か所の一次生産場所から非常に広い領域に分散した多くの二次生産場所にガラスを提供していたと考えられる。事実、一次生産地と考えられる場所（Beth She'arim, イスラエル）から一回の焼成で作られたと考えられる数トン単位のガラス塊が発見されている（Freestone, 2006）。その後ステップ3において原ガラスを再度熔解して着色剤を添加し、色ガラスを製造する。

次の二次生産では、鑄造技法、コア技法、モザイク技法、吹きガラス技法といったガラスを製品として形作る工程を行う。サーサーンガラスなどのカット碗は二次生産を経てカット装飾を施している。

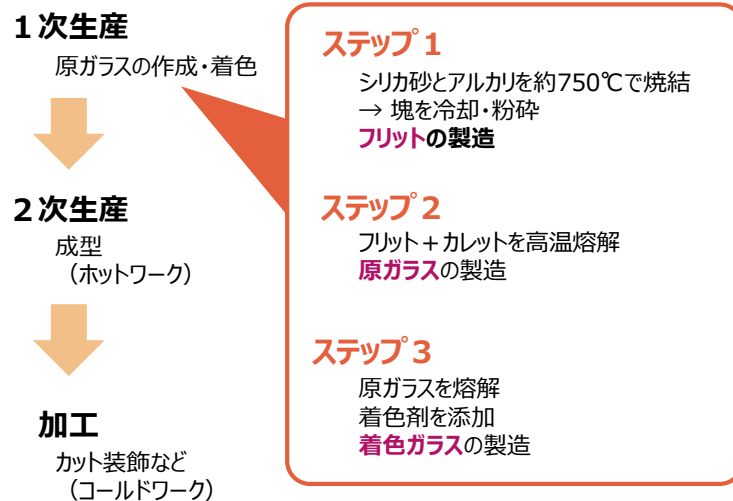


Fig. 1-2-2b 古代ガラスの製造工程

1.2.3 古代ガラスの科学的研究

i) カリガラス (K_2O-SiO_2)

カリガラスは“ SiO_2 の次に主要となる元素が K_2O であるガラス”と定義づけられている。一般的には MgO が 1%未満であり、カリウムはカリ硝石（鉍物）由来とされている (Dussubieux, 2016)。このカリガラスは中国をはじめ、インドや東南アジア、韓国などで発見されている。中国両広地区（広東省・広西チワン族自治区）では、漢代を通して多数のカリガラス製器が副葬された。カリガラスは大規模な豪族の墓からというより中小規模の墓から多量に出土している例が多いことから、主に海外と接触のある地域（合浦など）において民間の工房で製造された可能性があり、特に海上交易が発達していた地域で製造されていた。このような背景から中国において鉛バリウムガラスは“官”，カリガラスは“民”という性格の違いがあった可能性が指摘されている。中国においてカリ硝石は前漢期の文献にも登場することから、その存在は認知されていたと考えられている。さらに、ガラスを製造するうえでシリカを低い温度で溶かすために用いられる融剤として中国では鉛が挙げられるが、中国南方部では鉛鉍石に比べカリ硝石が入手しやすかったという点からも、中国南部でのカリガラス生産は盛んに行われていたと考えられている (小寺, 2012)。一方で、インドにおいて紀元前後あたりでカリガラスが出現し、この時期のガラス全体の 15%を占める (Dussubieux and Gratuze, 2013)。

Lankton や Dussubieux らの研究では、南アジアや東南アジア、韓国などで発見されるカリガラスについて、 Al_2O_3 と CaO によって Fig. 1-2-3a や Table 1-2-3a のように、(a) m-K-Ca, (b) m-K-Al, (c) m-K-Ca-Al という 3つのグループに分類している。(a) m-K-Ca はタイの Ban Don Ta Phet 遺跡などで特に発見されており、中国や東南アジア（ベトナムを含む）で製造されたタイプと推測されている。(b) m-K-Al は中国南部で製造されたものと推定され、中国のほかにカンボジア南部、ベトナム北部やタイで発見されている。(c) m-K-Ca-Al は東南アジア、ベトナム、中国よりも南アジア（インド・Arikamedu）で多く発見されている (Lankton and Dussubieux, 2006; Dussubieux and Gratuze, 2013; Henderson *et al.*, 2018)。さらに Liu らは中国・広西チワン族自治区で発見された漢代（前〔西〕漢：25-220年，後〔東〕漢：前 206-後 8年）のガラスビーズを分析し、Fig. 1-2-3b に示すように微量重元素 (Rb_2O , SrO) の分類を検討した (Liu *et al.*, 2013)。Fig. 1-2-3b 左の I' は mKCA ((c) m-K-Ca-Al) に対応し、II' は mKA-lowC ((b) m-K-Al) に対応することを言及したうえで、微量重元素の分類の結果から多くの資料で I と I', II と II' が対応することを示している。

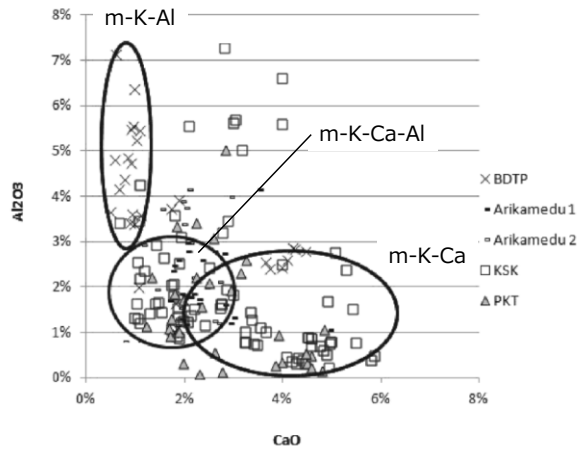


Fig. 1-2-3a Al_2O_3 vs. CaO によるカリガラスの分類
(Lankton and Dussubieux, 2006 より改変)

Table 1-2-3a カリガラスの分類 (Dussubieux, 2016 より改変)

カリガラス	省略表記	CaO	Al_2O_3	備考	(既存研究との対応)
(a) High lime - low alumina	m-K-Ca	$3\% < \text{CaO} < 7\%$	$< 3\%$	AlとRbに相関がない 資料も一部にあり	mKC-lowA (Lankton, 2006)
(b) Low lime - high alumina	m-K-Al	$< 3\%$	$3\% < \text{Al}_2\text{O}_3 < 7\%$	一部資料にUが含有	mKC-lowC (Lankton, 2006)
(c) Moderate lime and alumina	m-K-Ca-Al	$< 3\%$	$< 3\%$		mKCA (Lankton, 2006)

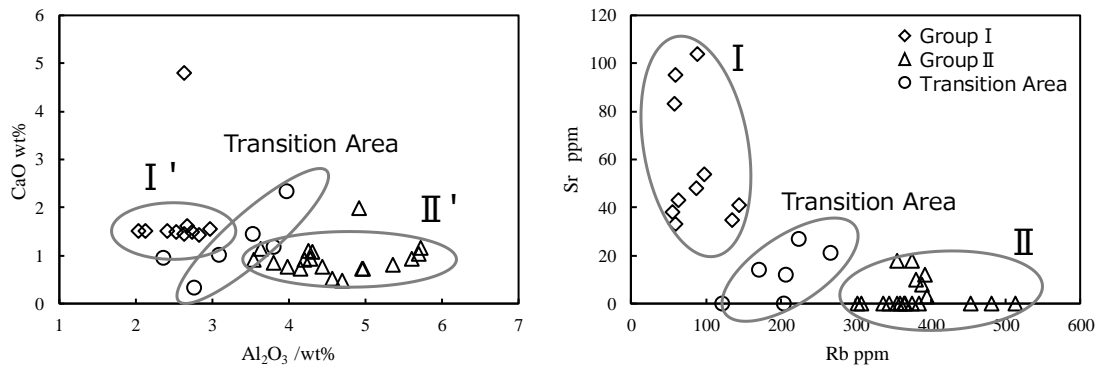


Fig. 1-2-3b Liu らカリガラスの分類 (Liu *et al.*, 2013 をもとに作成)

このように確立された分類とは異なり、 Na_2O を多く含む特異的なカリガラスも南・東南アジアや韓国などで発見されており、これはカリガラスとソーダ石灰ガラスが混合したものと考えられている (Lankton and Dussubieux, 2006)。

カリガラスは地域によって Al_2O_3 と Rb に相関があり、Co と Rb でも高い相関が認められた。この Rb はコバルト鉱石だけでなくカリ硝石など複数の由来が考えられる。ただ m-K-Ca の一部の資料には Rb を多く含むが Al が低濃度という特徴をもつものもみられる。一

方で m-K-Al には低濃度の Rb に対し、高濃度の Al を含む資料も含まれる。このような資料は Na₂O や U (>19 ppm) を含んでいる特徴がある (Dussubieux, 2016)。Al₂O₃ と Rb の相関については Liu らも指摘しており、Rb を多く含むガラスタイプ (Group II) にはカリ硝石以外にもカリ長石や雲母などを含む砂が原料として使用された可能性を示している (Liu *et al.*, 2013)。CaO と Sr も相関があり、ガラスの出土地によって相関の傾きが異なる (Dussubieux, 2016)。

カリガラスの色調は、透明青・青緑色、透明紺色、透明緑色、透明紫色、透明水 (淡青色)、不透明緑色、不透明赤色、不透明黄色、無色透明、黒色がある。無色透明カリガラスには、地中海沿岸地域のガラスに用いられたような Mn や Sb といった消色剤は含まれず、着色させる元素を入れないことによって無色透明にしていると考えられる。透明紺色カリガラスは二種類に分類でき、一つは Mn と Ba を含むタイプ (Co-Mn-Ba 鉱石：高 Mn タイプ)、もう一つは As を含むタイプ (Co-As 鉱石：高 As タイプ) である。紀元前 4~2 世紀には両タイプのコバルト鉱石が使われていたが、のちに高 Mn タイプのみが使用されるようになったと考えられる (Dussubieux, 2016)。他の色調のガラスについては以下に濃度範囲を列挙する。不透明赤褐色カリガラス：Cu 1.4-3.4%，不透明黄色カリガラス：Pb 26-32%，Sn 4.3-8.4%，不透明黄緑色カリガラス：Cu 0.8-2%，Pb 12-20%，Sn 2-3% (Dussubieux, 2016)。

最後にカリガラスの起源については、鉛同位体比分析によりカリガラスの起源は中国南部と考えられている。しかし、起源の可能性 (起源であろうと考えられる候補地) として南アジアや東南アジアまで広げられた見解は示されていないことから、カリガラスの起源 = 中国南部とも言い切れるものではないとされている (Dussubieux and Gratuze, 2013)。

iii) ソーダ石灰ガラス (Na₂O-CaO-SiO₂)

ソーダ石灰ガラスは西アジア、ヨーロッパ、地中海沿岸地域、中央アジアなどで見られるガラスタイプであり、カリガラスやアルミナソーダ石灰ガラスと比べても研究例は多数ある。ソーダ石灰ガラスは融剤の違いにより化学組成が異なることが知られている (Sayre and Smith, 1961)。

a) ナトロンガラス

ナトロンガラスは MgO, K₂O が比較的少なく一般的に両元素が 1.5 wt% 以下を示すソーダ石灰ガラスである。融剤 (ソーダ源) に炭酸ナトリウム (ナトロン：Na₂CO₃ · 10H₂O) を主成分とする蒸発岩を用いたナトロンガラスは、原料の砂の組成の違いを反映して以下のタイプに分けられている (内沼, 2016)。

[Roman タイプ]

後 3 世紀頃までのガラスに典型的なタイプで、北西ヨーロッパから地中海沿岸地域にかけて見つかっている (Foster and Jackson, 2009)。同位体比分析による研究により、地中海

沿岸地域の複数個所で得られる砂が原料になっている可能性が指摘されている。消色剤として Sb と Mn 双方が利用されている。

〔Levantine タイプ〕

レバント（東部地中海沿岸）地方の砂を用いて製造されたガラスで、後4世紀頃から登場し、東地中海沿岸地域をはじめヨーロッパでも広くみられる。同位体比分析によってイスラエル Belus 川河口の砂丘で得られる砂が原料であると判明している。Levantine タイプの組成的な特徴として、CaO が多く Na₂O が少なく Ca:Na がおよそ 1:2 になることが挙げられる。時代によって組成が異なり、後4世紀~6世紀の組成タイプを「Levantine 1」、6~7世紀に見られる組成タイプを「Levantine 2」と分けられている。後者のタイプは Na₂O 濃度が少なくソーダ鉱物の使用に制限があった影響だと考えられている。消色剤として Mn が用いられる。

〔HIMT タイプ〕

High Iron Manganese and Titanium の略から名づけられ、その名の通り、Fe, Mn, Ti を多く含みさらに Zr も多く含む。HIMT タイプはさらに Table 1-2-3b のような細分類が知られている。

Table 1-2-3b HIMT タイプの細分類一覧（内沼，2016 改変）

タイプ	特徴	他の研究での表記
高Feタイプ	Fe ₂ O ₃ >2wt%	Group 1〔5世紀，出土地様々〕
中Feタイプ	1 wt%<Fe ₂ O ₃ <2 wt%	HIMT〔4世紀，カルタゴ〕，HIMT1〔4世紀，フリテン〕，Group E〔4世紀，イタリア〕
低Feタイプ	Fe ₂ O ₃ <1 wt%	Group 2〔6世紀~8世紀末，出土地様々〕，HIMT1〔3世紀末~4世紀前半，フリテン〕

〔消色剤について〕

ガラス原料に不純物として含まれる Fe はソーダ石灰ガラス中で Fe²⁺や Fe³⁺の状態で存在し、Fe²⁺では青緑色、Fe³⁺では黄褐色にガラスを呈色させる。古代ガラスの製造において、このような自然発色を抑えるために消色剤（decolorant）が利用された。消色ガラスの製造にはマンガン Mn やアンチモン Sb を消色剤に用いられていた。この Mn や Sb はそれぞれ入手できた鉱物を原料としてガラス製造に利用していたと考えられ、軟マンガン鉱 MnO₂（pyrolusite パイロルーサイト）やサイロメレン鉱 BaMn₄O₁₆(OH)₄（psilomilane）などが挙げられる。Sb は輝安鉱 Sb₂S₃（stibnite スティブナイト）がよく知られる。イタリアやヨーロッパ北部では3世紀の終わりころまでアンチモンもしくはアンチモン/マンガンによる消色が行われていた。これらのガラスは消色剤として意図的に加えており、0.2%以上を含んでいることが分かっている。Sayre など様々な研究成果を受けて消色作用がある Mn や Sb

が0.2%より多く含まれているガラスは故意に含まれたと考えられる。また消色剤としての Mn や Sb の利用には地域や時代によって異なる点が見受けられる。ヨーロッパで流通した無色透明ガラスは後1世紀後半か2世紀前半より Mn が用いられるが、2世紀後半までは Sb あるいは Sb と Mn の両方が使われた。3世紀から4世紀にかけては相対的に Mn が多くなる。ヨーロッパにおいて2~3世紀頃のガラスには不純物を多く含まないガラスが多く、政治的に集中管理されたガラス製造が行われていたと考えられる。その後、生産体制が分散され、消色剤やガラスのリサイクルが混ざったものが原料として利用された不純物の多いガラスが多くなる傾向があるとされている (Jackson, 2005)。

b) 植物灰ガラス

植物灰ガラスはナトロンガラスよりも複雑であるが、微量重元素組成や同位体比分析による分析においては差異が認められ、製造場所の違いを示す可能性が示唆されている。

3世紀頃まで Al_2O_3 より CaO を多く含む植物灰ガラスは、Ctesiphon (現在のイラクの古代都市) などのサーサーン朝の遺跡から発見されている。同じ時期に同様なガラスは南アジアや東南アジアでも出土しており、やや時代が下って韓国でも発見されている。したがって、サーサーン朝 (後2世紀中頃~7世紀前半) の植物灰ガラス (いわゆるサーサーンガラス) は陸路を経て韓国に伝えられたと考えられる。南アジアや東南アジア、韓国などで出土する植物灰ガラスはほとんど紺色であり、イラン産のコバルト原料が用いられ、製造地域はサーサーン朝勢力下にあったメソポタミア地域と考えられる。原ガラス、ビーズ製品の両方がアジア各地の遺跡で発見されているが、その製作技法は巻き付け法よりもインドパシフィックビーズなどに見られるアジア特有の引きのばし法によるものが多く、サーサーン朝領内からは製品よりも原ガラスを仕入れていた可能性が考えられる (Lankton and Dussubieux, 2006)。

Mirti らはイラク中部に位置する Veh Ardašir で出土したガラスを ICP-MS で分析し、Fig. 1-2-3c のような特性化を行った (Mirti *et al.*, 2009)。西アジアのサーサーンガラスの研究はこの一例をあげるだけにとどめるが、サーサーンガラスはこのような化学組成以外に Sr 同位体比や Nd 同位体比を用いた分析なども行われている。

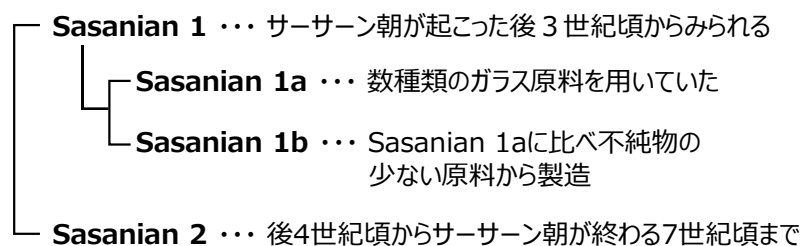


Fig. 1-2-3c ササーンガラスの分類体系 (Mirti *et al.*, 2009 より作成)

西アジアのサーサーンガラス以外にも、中央アジアや中国でもサーサーンガラス的な組成はいくつか報告されている。ここでは、それらを整理したい。Brill は中央アジア（ここでは中国・新疆を含む）のガラスの中でサーサーンガラス的な組成のガラスを“Sas-Islamic”と表記し、分類している（Brill, 2009）。また Liu らは“v-Na-Ca SAS”とし、サーサーン朝のガラス生産期と同時期に新疆にも出現することを明らかにした（Liu *et al.*, 2012）。先の Mirti の研究では、MgO, Al₂O₃, K₂O, CaO のほかにセリウム Ceなどを特性化に用いているが、ここでは先に挙げた4元素をもとに西アジア（Mirti *et al.*, 2009）と中国新疆（Brill, 2009；Liu *et al.*, 2012）で報告されているサーサーン朝期（後3世紀～7世紀頃）のガラスを Fig. 1-2-3d のように比較した。Fig. 1-2-3d 右（CaO vs. Al₂O₃）より、西アジアのガラス（Sasanian 1a, Sasanian 1b, Sasanian 2）と中国・新疆のガラス（v-Na-Ca SAS, Sas-Islamic）に化学組成特徴に差異はないが、Fig. 1-2-3d 左（MgO vs. K₂O）では比較する限り、Sasanian 2とは異なる可能性がある。

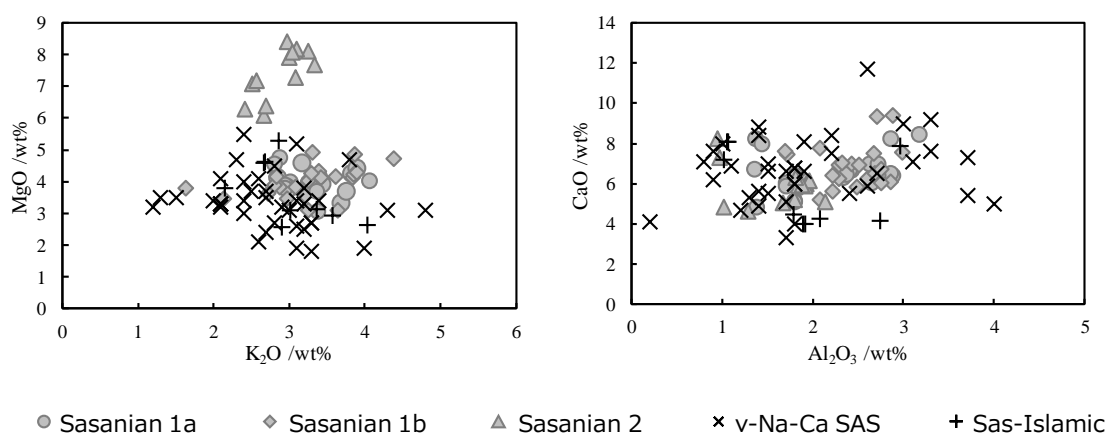


Fig. 1-2-3d 西アジアと中国新疆のサーサーン朝期のガラスの比較

7世紀頃よりイスラーム教が創始されると中東一帯に広まり、イスラーム文化はサーサーン朝の系統を引くペルシャの伝統文化と、ローマ・ビザンツ（後395年のローマ帝国東西分裂後の東ローマ）の系統を引く地中海地域の伝統文化を吸収した独自の文化として発展した。ガラス製造も同様に発展し、イスラームガラスの最初期はイランやイラクではサーサーンガラス、エジプトやローマではローマガラスの系統を受け継いでいた。9世紀以降、イスラーム世界の拡大に伴って交流が活発になり、イラン、イラク、エジプト、ローマで同様の製品が利用され、イスラーム圏以外にも交易品として広く流通していた。

iv) アルミナソーダ石灰ガラス (Na₂O-Al₂O₃-CaO-SiO₂)

アルミナソーダ石灰ガラスは Ganga Valley（インド北部）で算出される炭酸塩、硫酸ナトリウム、塩化物のほかカルシウムやマグネシウムを含む混合物や高アルミナの砂を用いて作られたと考えられている。Dussubieux らの研究では m-Na-Al と表記しており

(Dussubieux *et al.*, 2010), Liu らもこれを採用して議論を進めていた。アルミナソーダ石灰ガラスに含まれるアルミニウムは 5-15%と幅広い値をとるが、これは原料に用いた砂の精製が一定ではなかったことによると考えられている (Dussubieux and Gratuze, 2013)。

m-Na-Al は Table 1-2-3c に占めすように主に微量元素によって 5 種類に分類される。まず U と Ba を基に IU-hBa(m-Na-Al 1) と hU-lBa(m-Na-Al-2 あるいは m-Na-Al 3) について整理すると、IU-hBa は Sr と Zr を多く含むのに対し、hU-lBa は両元素をあまり含まないという特徴がある。両タイプは着色でも特徴の違いがみられ、オレンジ色は IU-hBa のみにしか見られず、逆に紺色は hU-lBa にしか見られないという、基礎ガラスと色調に区別がみられる。一方で赤色は両タイプに見られるが、Fe の含有量に差があることから (hU-lBa が Fe に富む)、赤色の IU-hBa と hU-lBa で異なる着色技術が用いられたと考えられている。カリガラスと同様、アルミナソーダ石灰ガラスに消色剤が用いられてるケースは確認されていない (Dussubieux and Gratuze, 2013)。

Table 1-2-3c m-Na-Al (アルミナソーダ石灰ガラス) の分類
(Dussubieux *et al.*, 2010 より改変)

組成的特徴	地域	年代	色調	出土品
m-Na-Al 1 低U, 高Ba,Sr,Zr → IU-hBa タイプ	南アジア (スリランカ) 東南アジア	4 th c. B.C.-5 th c. A.D. 4 th c. B.C.-10 th c. A.D.	半透明水色, 不透明赤色, 不透明 緑色, オレンジ, 黄色, 白色 (少)	ビーズ, 腕輪
m-Na-Al 2 高U, 低Ba,Sr,Zr → hU-lBa タイプ	アフリカ インド西海岸	9 th -19 th c. A.D.	半透明水色, 半透明紺色, 不透明 赤色, 不透明緑色, 黄色, 黒色, 白色	ビーズ
m-Na-Al 3 m-Na-Al 2に近いが, Csが高い	東南アジア	4 th -3 rd c. B.C.	不透明赤色, 黒, 半透明緑色	ビーズ, 腕輪
m-Na-Al 4 他のガラスタイプに比べ, CaとSrが低い	東南アジア ケニア	14 th -19 th c. A.D.	半透明紺色, 半透明水色, 黒, 不 透明赤色, 黄色, 白色	ビーズ, 腕輪, 容器
m-Na-Al 5 高Ca, 低U,Ba,Zr	Sardis (トルコ)	12 th -14 th c. A.D.	不透明赤色, 茶色, 半透明紫色, 紺色	腕輪, モザイク, 王 冠のガラス, 原ガラス

IU-hBa は紀元前 4 世紀～後 5 世紀頃の南インドやスリランカの遺跡で発見されている。東南アジアでは紀元前 3 世紀～後 10 世紀にしていたことが分かっているが、早い時期に位置づけられる工房跡が東南アジアの遺跡で見つからないため、スリランカや南インドからガラス塊ないしビーズを輸入していたと考えられる (Dussubieux and Gratuze, 2013)。

hU-lBa (Table 1-2-3c の m-Na-Al 2 と考えられる) は紀元後 9 世紀～19 世紀頃にアフリカ東海岸からマダガスカル、インド西海岸に分布していた。さらに hU-lBa は Fig. 1-2-3e のように Ca と Sr によって 2 つに細分類できる。ちなみに IU-hBa と hU-lBa にも違いがみられる。中国由来のガラス屑やバングラディッシュやインドの遺跡中にはこれに分類されるガラスが存在する (Dussubieux and Gratuze, 2013)。

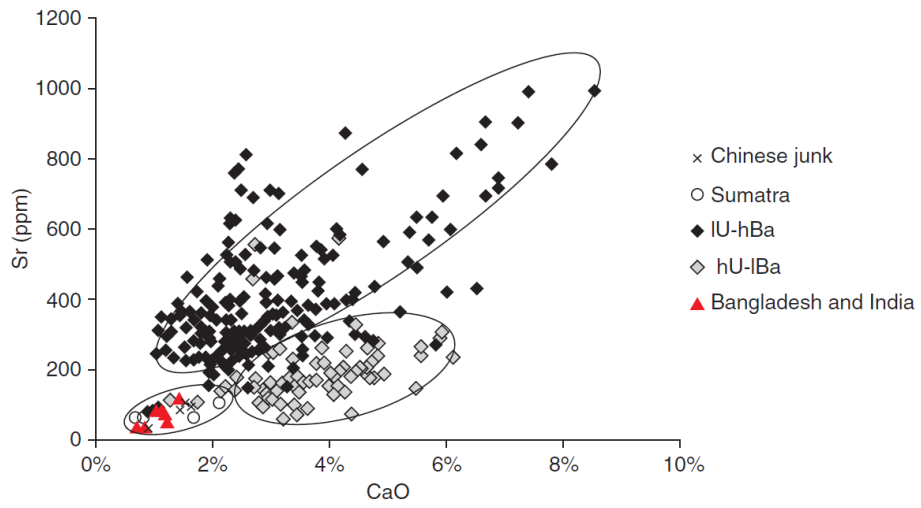


Fig. 1-2-3e Sr と CaO による組成的特徴の違い (Dussubieux and Gratuze, 2013 より)

1.2.4 シルクロードのガラス研究

i) 中央アジア

中央アジア諸国の中でもウズベキスタンでは考古学的な調査が進んでおり、同国内で出土したガラス製品の分析結果も公表されている。ウズベキスタンでは、後期青銅器時代の初期頃からガラスが出現し、その製造技術については古代の西方（特に西アジア）と交流があった可能性が考えられる。同国内の3か所の遺跡で出土したガラスの化学分析の結果（Abdurazakov, 2009）から、紀元前2千年紀から紀元後14世紀までの遺跡から出土したガラスはソーダ石灰ガラス、混合アルカリガラス、高Fe/高Mgガラスの主に3タイプに分けられることがわかった。さらにウズベキスタンは古代のエジプトやメソポタミア、ローマで使用されていたガラスが続けて利用されていたと考えられるとしている。

ii) 南アジア

Table 1-2-4a に示すように南アジアではアルミナソーダ石灰ガラス（m-Na-Al）をはじめ、数種類のガラスが流通していた。紀元前4世紀~紀元後5世紀の南アジアでは引き延ばし法によって製造されたガラス玉が流通し、ガラスの交易には複数のネットワークの存在が指摘される。一つはクシャーナ朝（後1世紀~3世紀にかけて中央アジアから北インドにかけて支配）の支配下にあった時期に、パキスタンを中心とする交易ネットワークである。この時期のガラスはパキスタンの Bara の遺跡で製造され、パキスタン、北インド、中国新疆に流通したと考えられる。これらには金層・銀層ガラス玉（ガラスの間に金箔や銀箔を挟んだもの）もあり、これらは地中海沿岸地域からもたらされたものと考えられる。インド南部やスリランカでは出現傾向が異なり、IU-hBa タイプが多くを占めるが、同時にカリガラスもみられる。IU-hBa タイプには紺色ガラス玉がみられないため、紺色着色のカリガラスが取り入れられていたと考えられる。一方で Arikamedu（インド南部）など一部の地域では IU-hBa タイプがほとんどなく、代わりにカリガラスや Arika glass（後述）が多くみられる。これまでこのタイプのガラスは Arikamedu で中心的なタイプと考えられてきたが、Pho Khao Thong で多量に発見されている点から広く流通していた可能性が指摘されている。以上の見解から、IU-hBa タイプが多くを占める交易ネットワークと m-Na-Ca-Al タイプ（Arika glass を含む）が中心的になる交易ネットワークの二つの存在が考えられる（Dussubieux and Gratuze, 2013）。

Table 1-2-4a 南アジア出土ガラスの一覧 (Dussubieux and Gratuze, 2013 より改変)

ガラスタイプ	分布域	年代	起源
Bara出土ガラス	パキスタン, インド北部, 中国南西部, バングラデシュ	2 nd c. B.C.-2 nd c. A.D.	Baraもしくはその周辺地域
m-Na-Al:IU-hBa	南・東南アジア	4 th c. B.C.-5 th c. A.D.	スリランカ, 南インド
m-Na-Al:hU-lBa	インド西海岸 サブサハラアフリカ*	9 th c. A.D.-19 th c. A.D.	インド西海岸
m-Na-Al:hU-lBa 低Ca, Sr	南・東南アジア	14 th -16 th c. A.D.	南アジア?
Mixed-alkali glass (混合アルカリガラス)	南・東南アジア	4 th c. B.C.-5 th c.A.D.	南・東南アジア
Potash glass (カリガラス)	南・東南アジア	4 th c. B.C.-5 th c.A.D.	東南アジア, 中国?
Arika/m-Na-Ca-Al	南・東南アジア	4 th c. B.C.-5 th c.A.D.	南アジアあるいは東南アジア?

* サブサハラアフリカ…アフリカ大陸におけるサハラ砂漠より南の地域 m-Na-Al: アルミナソーダ石灰ガラス

インドパシフィックビーズの主要生産地としてインドの Arikamedu が知られているが, Fig. 1-2-4a に示すように IU-hBa (m-Na-Al 1)タイプがほとんどみられていない。つまり, 南アジアで最も多くみられる IU-hBa (m-Na-Al 1)タイプと Arikamedu はガラス生産上関係ないということになる。最近の研究ではタイの Phu Khao Thong で Arika ガラスや m-Na-Ca-Al が大量に作られていたことが明らかになっており, これまで南・東南アジアにおけるガラス生産の中心的遺跡と考えられてきた Arikamedu であるが, 従来とは異なる見解が示されている。(Dussubieux and Gratuze, 2013)。

Mixed-alkali glass

いわゆる混合アルカリガラスのことである。Na₂O と K₂O が 5 wt%を超えるものであり, 南アジアでは不透明な赤色からオレンジ色のガラスが多い。アルミナソーダ石灰ガラスを製造する際に Na₂O や K₂O を含む原料を用いたことで製造された可能性が指摘され, アルミナソーダ石灰ガラスの変異的なガラスととらえられている (Lankton and Dussubieux, 2006)。

Arika/m-Na-Ca-Al (Arika glass / Arika composition)

アルミナソーダ石灰ガラスよりも CaO がやや多く Al₂O₃ が少ないという特徴があり, Arikamedu を中心にインド南部では見られるものの他の地域で見られないため, 限定された地域で流通していたと考えられている (Lankton and Dussubieux, 2006)。

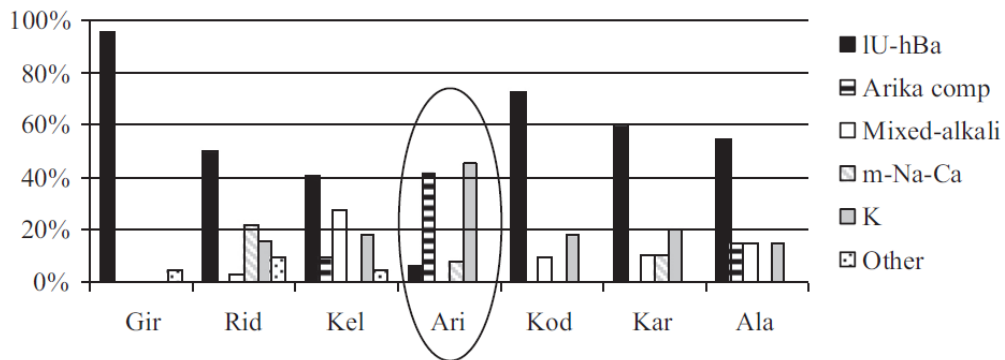
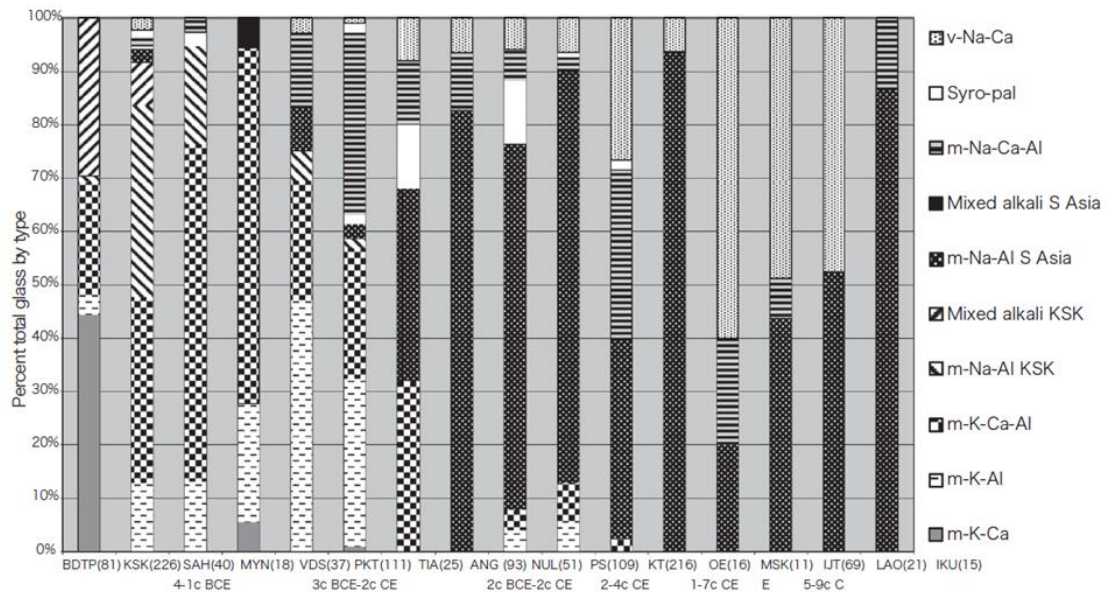


Fig. 1-2-4a 南アジア主要遺跡のガラス出土状況 (Dussubieux and Gratuze, 2013 より)

iii) 東南アジア

紀元前 4 世紀～後 2 世紀までインドで生産されたガラスがもたらされ、後 2 世紀～4 世紀にはインド様式を受け継ぎつつも東南アジア内での交易が強まってくるが、その中でもインドのガラスは希少なものとされている。一方でベトナムにおけるガラス技術は漢代以前から発達しており、漢王朝によるベトナム支配がガラス生産技術の発展・流通を助長させたと考えられる (Lankton and Dussubieux, 2013).

東南アジアの十数か所の遺跡の調査により、Fig. 1-2-4b に示したような成果が得られている。これより紀元前 2 世紀から後 2 世紀頃に南アジアの m-Na-Al の割合が増加するという変化がみられる。この南アジアの m-Na-Al の東南アジアへの流入はおそらく紀元前数世紀間における南アジアと東南アジアの交易関係の変化を反映していると考えられる (Lankton and Dussubieux, 2013).



BDTP: Ban Don Ta Phet (タイ), KSK: Khao Sam Kaeo (タイ), SAH: Sahuynh sites (ベトナム南部), MYN: Samon Valley (ミャンマー), VDS: Dong Son sites (ベトナム北部), PKT: Phu Khao Thong (タイ), TIA: 鉄器時代の遺跡 (タイ北部), ANG: Angkor Borei (カンボジア), NUL: Noen U-Loke (タイ), PS: Phum Snay (カンボジア), KT: Khlong Thom (タイ), OE: Oc Eo (ベトナム), MSK: Sri Ksetra (ミャンマー), IJT: Jawa timur (東ジャワ, インドネシア), LAO: 後期鉄器時代の遺跡 (ラオス), IKU: Kambang Unglen (インドネシア)

Fig. 1-2-4b 東南アジアの遺跡の調査結果内訳 (Lankton and Dussubieux, 2013 より)

iv) 中国

中国国内のシルクロードのルートは、北から南へのルートが4つあったと考えられている。これらのルートは当時の政治的、地理的状況に応じて変化した。戦国時代から前漢および後漢王朝まで、北部（オアシス）ルートはガラス取引の主なルートであり、交易品の大半は輸送が容易なガラス玉や装飾品だった。鉛バリウムガラス ($PbO-BaO-SiO_2$) と高鉛ガラス ($PbO-SiO_2$) 玉や装飾品は、揚子江沿いで生産され、このルートに沿って西に広がった。これらのガラス製品は少なくとも新疆地域の西側に達したと考えられる (Fuxi, 2009)。

前漢時代以降、南（海）ルートが開かれた。ガラス容器、特に大きな壊れやすいガラス製品は、主に海岸線沿いに中国に輸入され、最初は南海岸の港に降ろされ、そこから降ろされて中国中部に輸送された。東アジア、東南アジア、インドに広がった鉛バリウムガラス製の古代中国のガラス製の工芸品も、南（海）ルートに沿って運ばれた。南西部（仏教）ルートは、中国南東部をインドに結ぶ主要ルートであり、北部（オアシス）と南部（海）ルートよ

り早く使用されたと考えられている (Fuxi, 2009).

中国の古代ガラスは紀元前 11 世紀の西周時代(紀元前 1046-770 年) から出現し始める。この頃のガラスはカリガラス(K_2O-SiO_2), アルカリ石灰ガラス($K_2O-CaO-SiO_2$: 中世のカリ石灰ガラスとは異なるガラス)があり, 鉛バリウムガラスは戦国時代に出現することが知られている。高鉛ガラスは前漢時代(紀元後 25-220 年) から, カリ鉛ガラス ($K_2O-PbO-SiO_2$) は唐代 (618-907 年) の早い時期から出現し, 宋代と元代(1206-1368 年)に発達した。ガラスの工房はほとんど青銅や陶器の製造工房の近くに置かれ, これは Al_2O_3 を含む鉱物や砂岩, 珪砂, Al_2O_3 を多く含む石灰石, 長石などの原料や製造時にできる屑などを手に入れやすいからである。次より中国のガラス史を 5 つに大きく分けて, 各時期のガラスの特徴について紹介していく (Wang *et al.*, 2016).

①西周 (紀元前 1046-770 年)

西周時代は中国の古代ガラス史がはじまった時期と言われ, この時期のガラスはほとんど石英で作られていた。具体的には石英, 草木の灰, 水分を混合し, $700-800^{\circ}C$ で焼成する。このころのガラスは, ほとんどの部分に溶け残った結晶がのこり, ガラス化している部分の方が少ないという仕上がりである。このようなガラス質物質は, 中国国外で見られるファイアンスに通ずるものである。 Al_2O_3 を含む石英などの原料は, ガラスを成形する際にも鋳型からガラスそのものに混入してしまう。そのため, Al_2O_3 はガラス中に一定量含まれることになり, この時期の典型的なガラスの化学組成は, $89-94\% SiO_2, 0.3-3.5\% Al_2O_3, 0.3-3.5\% R_2O$ となる。 R_2O の多くは K_2O になるが, Na_2O が少量含まれる場合や, CaO が含まれる場合もある。後者のタイプはカリ石灰ガラスと呼ばれているが, 実際は (アルミナを多く含むため) カリアルミナ石灰ガラスである。

②東周と戦国 (紀元前 770-222 年)

3000 年前の商代から周代では, 陶器から磁器への過渡期を迎えていた。初期の磁器には融剤として CaO を用いていたものがある。 CaO がガラスの原料として認識されるようになると, 石灰石が大規模に採掘されるようになり, カリ硝石と同じように融剤としても使われ始めた。また, 戦国時代のガラスは K_2O 含有量が東周より多い傾向がある。一部 Al_2O_3 を 10%以上含み, 例えば戦国時代のトンボ玉の白色部分には 14.3%含むものもある。戦国時代の終わりころになると, 一般的なガラスの Al_2O_3 含有量が 11.74%にまでなり, $K_2O(Na_2O)-CaO(MgO)-Al_2O_3-SiO_2$ というユニークなガラス構造はエジプトのガラスなどと異なる。また, 青銅製造はこの時期に活発化し, 青銅工房の残滓がガラス製造に使用された。方鉛鉱 PbS も融剤として用いられ, $BaSO_4$ はこの方鉛鉱に共存する。この残滓には Al_2O_3 を含むため, $PbO-BaO-Al_2O_3-SiO_2$ という新たなガラスタイプが考えられる。3-5%の Al_2O_3 を含むガラスは PbO を 24-30%含まれている。

③秦(紀元前221~206年), 前漢(前206~25年), 後漢(後25~220年), 三国時代と南北朝時代

秦時代では新しい特徴のガラスタイプはなく, 前の時代のガラスタイプを踏襲していた。前漢と後漢には鉛バリウムガラス(PbO-BaO-SiO_2)が大半を占める。鉛が少ないガラス(-10%)はわずかで, 多くは中程度(24%-30%)もしくは高含有(30%)の鉛ガラスである。一方で Al_2O_3 は少なく, 1-3%程度である。1%を下回るものや, 6-7%程度含むものもわずかに存在している。

後漢時代に冶金技術が発達し, 高鉛ガラスの原料を得るために鉛鉱石から金属鉛が精製されるようになった。文献資料によると, 石英と鉛はバリウムを含まない高い PbO 濃度を示すガラスを製造するために用いられた。このようなガラスの化学組成は $\text{PbO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ となる。

漢代以前, ガラス製造のほとんどではコア技法, 鋳型法, 押し型法が用いられ, ガラスの粘性と温度に緻密な条件設定は必要としていなかった。 Al_2O_3 を多く含む硬化性のあるガラスでも, 押し型法によりガラス製造を行っていた。三国時代, 南北朝時代には中国と対外諸地域との頻繁な交流により, ローマ文化圏から伝わった吹きガラス技法などが発展した。後500年頃の西魏時代では, 吹きガラスの技法がペルシャの職人から伝えられていたと考えられている。最終的に, 吹きガラスが主流になり中国国内で作られるようになった。さらに, 様々なサイズのガラス容器の製造が急激に増加した。ここが中国のガラス史のターニングポイントともいわれている。吹き技法で製造されたガラスを組み合わせるために, 高い粘性の鉛バリウムガラスが粘性の低い鉛ガラスにかわったことで, 粘性の低い材質でガラスを成形するという技術的な変化も見られる。

④隋(後581-618年), 唐(618-907年), 五代(907-960年), 宋(960-1279年)

中国の王朝の中でも長くは続かなかった隋王朝は, 南朝と北朝の分裂期が終わったことで成立した王朝である。中国のガラス製造は隋王朝の設立後, 復興期に入る。西アジアからガラス職人を招聘し, 鉛ケイ酸塩ガラスから吹き技法によって, ボトル, カップ, 箱, 多彩なビーズ, 装飾品などが作られた。隋に変わって唐王朝が成立すると, ガラスを含め様々な工業が発展し, 政治, 経済, 文化などが繁栄した。さらに, 西アジアとの交易の結果, サーンガラスやイスラームガラスといったソーダ石灰ガラス($\text{Na}_2\text{O-CaO-SiO}_2$)タイプのガラスが新たに伝わった。唐代以降の冶金術では, 鉛とカリ硝石を混合する方法がとられたため, 鉛をベースとして K_2O を含み, $\text{K}_2\text{O-PbO-SiO}_2$ タイプのガラスができた。このタイプのガラスは粘性が低く, 硬化速度が遅いという特徴があり, 長く安定的に製造された。当時の職人は鋳型法と吹き技法によって, このガラスの特徴にうまく対応してガラス製造を行っていた。

宋代には磁器製造のプロセスが確立されたが, ガラス製造において発展はなかった。宋代のガラスのほとんどは唐代のガラスと似た特徴があり, 鉛の含有量が多い。遼代(907-1125

年)と金代(1125-1234年)では、西方のガラスが多く流入した。この時期のガラスは中国北東部と内モンゴルで発見されており、これらのガラスはサーサーン様式、ビザンチン様式、イスラーム様式である。これは、隋や唐とは明らかに違う新しい形式、様式のガラスがもたらされていたことを示している。これらのガラス製品は鋳型なしで加熱し圧力を加えて成形しているが、ガラスの主成分はこの時期でも鉛が多く含まれていた。

⑤元(1206-1368年)、明(1368-1644年)、清(1616-1911年)

特殊なガラスの製造は元代に確立されたことから、宋、遼、金より製造技術が発達した。主要な工房は山東省博山に置かれ、工房近くで産出された10-13%の Al_2O_3 を含む石灰岩を含め、長石や蛍石がガラスの主原料として用いられた。このようなガラスはカリ石灰アルミナガラス($K_2O-CaO-Al_2O_3-SiO_2$)とされている。このガラスは Al_2O_3 を多く含み、フッ素が溶解と乳濁のために蛍石を用いることで取り込まれている。

Al_2O_3 を多く含む原料は、博山の工房で清王朝の早期、康熙帝(こうきてい)が王立のガラス工房が設立される1696年まで使用され、そこではフランス人の職人も雇っていたことがわかっている。このガラス工房は1700年で閉じられたが、このころになるとガラス職人らは中国の伝統と国外の技術を組み合わせたガラス製造を行っていた。また、以前にもあった Al_2O_3 を含むという特徴が、装飾用のガラスにも見られた。これはガラスの原料に長石を用いることにより Al_2O_3 が添加されているのである。このような Al_2O_3 を多く含むという特徴は、高い粘性をもたせ、均一に混ざりにくいが縞状に形成しやすい。しかし、ガラスの質を向上させ、外国からもたらされた技術の特徴を生かすために、このころになると中国のガラスは Al_2O_3 の含有量が少なくなった。この時期の中国のガラスの Al_2O_3 は0.15-1.97%程度で、国外のガラスの組成に近いものとなっている。王立ガラス工房の $K_2O-CaO-Al_2O_3-SiO_2$ という組成に加えて、着色や溶融の調整のために4-5%の PbO が加えられた。また、熱膨張率を減らして熱に対し安定性を持たせるためにカリ石灰ガラスには B_2O_3 も加えられた。

1736年から1765年までの30年間は中国ガラスの最盛期であったといわれ、年間に製造された宝飾品などは1万点以上に及ぶ。この時期のガラス材質は高い粘性をもっており、30以上の多彩な色調と被せ技術を有しており、世界的に有名な「乾隆(けんりゅう)ガラス」が生み出された。

ソーダ石灰ガラスが盛んに製造されていた清王朝の終わりころには、中国国内に純度の高いソーダが輸入された。この時期の中国のガラスはヨーロッパのガラスに近いソーダ石灰ガラスである。清代の王立工房で製造されたもの以外にも、北京、広州、博山、蘇州、陝西省などでもガラスは製造された。しかし、これらの地域で製造されたガラスは、種類、品質、生産量のどれも王立工房に匹敵するものではない。清王朝が終わると同時に中国のガラス製造は著しく衰退した。

v) 韓国

考古学的な調査により、韓国に多数のガラス製品が出土していることがわかっている。最も早い時期のガラスは日本と同様に鉛バリウムガラスであり、材質的変遷は日本に似た部分も見受けられる。これら韓国で出土した古代ガラスは国内で製造されたものではなく、当時の交易によってもたらされたものと考えられている。ガラスの製造地が多数存在するインドや東南アジアとの直接的な交易関係が存在した可能性も指摘されている (Lee, 2009)。

韓国では日本と同様に、多様な化学組成のガラスが流通していたことがわかっている。特に原三国時代 (紀元後 1 世紀頃) には、すべての古代ガラスタイプが揃った時期であり、韓国のガラス史上重要な時期であったという認識がされている (金・肥塚, 2010)。また、原三国時代にはそれまで朝鮮半島で見られたものとは異なり、日本の弥生時代に類似する玉類が発見されている。これは、日本との交易の中で朝鮮半島に伝えられたものであろうという見解があり、日本と大陸間のガラス流通について、中国→朝鮮半島→日本という一方向的な流れだけではない可能性が考古学的に考えられている (小寺, 2012)。

近年の調査では、複数個所の遺跡から工房跡やガラスを製造する際に使用するルツボなどの工房遺物の発見事例が報告されている。韓国におけるガラス製品の生産および流通に関しては、以下の 4 つの時期に区分される。

- I. 紀元前 2 世紀～紀元後 2 世紀：鉛バリウムガラス
- II. 紀元前 1 世紀～紀元後 5 世紀：カリガラス
- III. 紀元後 4 世紀～：ソーダ石灰ガラス
- IV. 紀元後 3 世紀～：鉛ガラス

この中でも特に原三国時代の遺跡からは多様な形状、色調のガラスが大量に出土している。しかし、原三国時代にはガラス工房跡が発見されていないことから、国内で製品製造はなく諸外国との交易を通じて中国や東南アジアから搬入されたものとされている (国立扶餘博物館, 2007)。

a) カリガラス

韓国においてカリガラスは、鉛バリウムガラス (紀元前 2 世紀頃) の流通後、紀元後 1 世紀から出土していることが知られている (金・肥塚, 2010)。別の報告 (Kim and Kim, 2015) では、韓国内の 30 ヶ所の遺跡から出土した 281 点の資料をもとにカリガラスを 3 タイプに分類している。Kim らが提唱している 3 タイプを Table 1-2-4b に、タイプごとの流通時期を Fig. 1-2-4c にまとめた。Type I と Type II は、日本で見られるカリガラスに類似するものと考えられる。一方で、Type III は流通時期や CaO が多いことから、カリガラスよりも石灰を多く含むカリ石灰ガラスに類似するものではないかと考えられる。

Table 1-2-4b 韓国で出土したカリガラスの組成分類 (Kim and Kim, 2015 より作成)

Type	組成的特徴	融剤	ビーズ径	色調
I	CaO, Al ₂ O ₃ 5%以下 CaO多め	カリ硝石	1.4-7.4 mm	Cobalt Blue, Copper Blue Purple Blue
II	CaO, Al ₂ O ₃ 5%以下 Al ₂ O ₃ 多め	カリ硝石	1.9-3.6 mm	Copper Blue
III	CaO, Al ₂ O ₃ 5%以上	植物灰	約10 mm	Brown, Colorless, amber

Type	BC 1C	AD 1C	2C	3C	4C	5C	6C	G & J dynasty
I								
II								
III								

G&J dynasty:高麗&李氏朝鮮

Fig. 1-2-4c 韓国国内におけるカリガラスの変遷 (Kim and Kim, 2015 をもとに作成)

b) ソーダ石灰ガラス (Kang and Yun, 2012)

百濟時代の寺院や新羅の墓などの出土例(紀元後6世紀頃)が報告されており、ソーダ石灰ガラスに分類されたものは、容器(片)がほとんどである。MgOとK₂Oの含有量から、植物灰ガラス製のものとナトロンガラス製の両方が見られ、ローマガラスやサーサーンガラスと考えられている。

他に重層ガラスが1点出土しており、金箔を内包した植物灰ガラスであることがわかった。金層ガラスは他に武寧王陵(ふねいおうりょう)(百濟で最も知られる王の墓:6世紀頃)でも発見されている。日本や中央アジアでも植物灰ガラス製の金(銀)層ガラス玉は複数確認されているので、陸のシルクロードを経て朝鮮半島、日本へと伝わったと考えられる。ビーズのソーダ石灰ガラスは金層ガラスのみで、日本で大量に出土しているような単色のビーズは報告されていない。

c) アルミナソーダ石灰ガラス (Lee, 2009)

韓国国内では、アルミナソーダ石灰ガラスのビーズも確認されている。資料の色調は、黄色、オレンジ、緑青、赤、緑、黄褐色、黒と多彩である。これらはインド-パシフィックビーズ(インドを中心に作られていたビーズタイプ)の可能性が考えられる。考古学的には、古代の韓国で発見されるインド-パシフィックビーズは、東ジャワなどとの直接取引によってもたらされたと考えられている。

vi) 日本

a) 山崎・肥塚

日本の古代ガラス研究は古谷清らなどの例があるが、ソーダガラスやカリガラスなどの

古代ガラスの組成タイプを明確にしたのは、山崎・肥塚らである(山崎, 1987; 肥塚, 1997)。肥塚は古代のアルカリケイ酸塩ガラスを、カリガラス、ソーダ石灰ガラス、高アルミナソーダ石灰ガラス(アルミナソーダ石灰ガラス)に分類し、日本国内における古代ガラス材質的変遷を明らかにした(肥塚, 1997)。

日本でガラスが出現し始めるのは弥生時代前期末(紀元前3世紀頃)の北部九州であり、当初搬入されたガラスは鉛ガラス、鉛バリウムガラス、カリガラスであった。鉛ガラス、鉛バリウムガラスはその後の古墳時代の遺跡や古墳からは発見例が乏しくなるが、カリガラスは古墳時代においても確認されている。弥生時代後期頃(紀元後1世紀頃)に高アルミナソーダ石灰ガラス(アルミナソーダ石灰ガラス)が出現し始め、やや遅れてソーダ石灰ガラス(ナトロンガラス)が出現する。古墳時代後期頃(紀元後5世紀頃)になってソーダ石灰ガラス(植物灰ガラス)が出現する。古墳時代後期頃(紀元後7世紀頃)になると鉛ガラスが再び出現する。この時期に出現した鉛ガラスは、国内での一次生産が行われるようになったことに伴って、製造されたものと考えられている。以上のような変遷を Fig. 1-2-4d に示した。

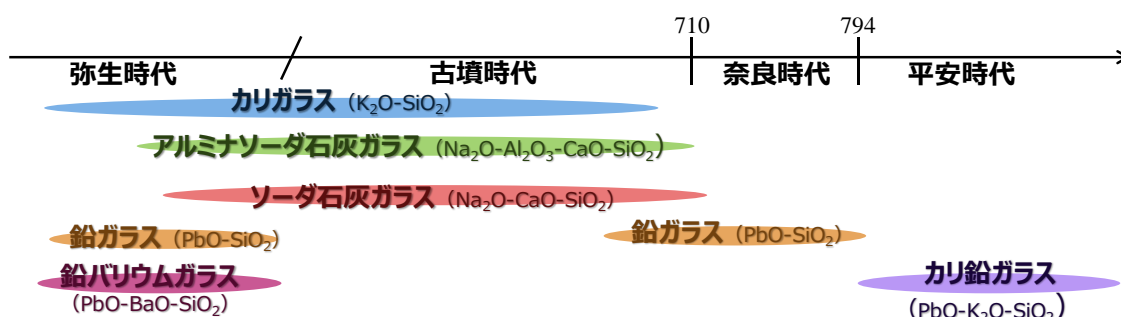


Fig. 1-2-4d 日本国内における古代ガラスの材質的変遷
(肥塚, 1997; 肥塚 他, 2010 をもとに作成)

肥塚は古代ガラスの分析手法として蛍光 X 線分析だけでなく、CR-AR 法を導入した。CR-AR 法について簡単に説明すると、CR はコンピュータ X 線撮影 (computed radiography)、AR はオートラジオグラフィー (autoradiography) のことであり、CR 法により X 線の吸収のしやすさの違いを利用して鉛ケイ酸塩ガラスかアルカリケイ酸塩ガラスか判別し、AR 法により K₂O を多く含むカリガラス中に含まれる放射性カリウム ⁴⁰K からの微弱な放射線を検出することでカリガラスかソーダガラスかを判別するというシステムである(肥塚, 2006)。この方法は撮影によって調査する方法であるため、一度に複数点の資料の分析が可能であるというメリットがあり、日本各地の遺跡から膨大な量が出土する古代ガラスの調査を円滑に進める手法として東北地方の古代ガラスの調査などに導入された(藤澤, 2004)。

b) 大賀・田村

大賀・田村は XRF, LA-ICP-MS, Pb 同位体比, Sr 同位体比などの分析手法を用いて日本の古代ガラス研究を展開している (Oga and Tamura, 2013; 大賀・田村, 2015; 大賀・田村, 2016; Tamura and Oga, 2016). 日本国内で出土した古代ガラスの調査を進め, 製造地の検討を行っている.

これまでに進められてきた日本の古代ガラス研究の中でまとめられた分類を Table 1-2-4e に示す. Table 1-2-4e には肥塚の分類, 田村の分類 (田村, 2013a), 大賀・田村の分類 (Oga and Tamura, 2013) の対応を示した. Table 1-2-4f には大賀・田村らの分類表と関連する古代ガラス研究との対応関係を示した.

Table 1-2-4e 肥塚 (肥塚, 1997), 田村 (田村, 2013a),
Oga・Tamura (Oga and Tamura, 2013) の分類の対応

肥塚の分類	田村の分類	組成的特徴	Oga and Tamura の分類	
カリガラス (K_2O-SiO_2)	カリガラス I	低 Al_2O_3 , 高 CaO , 低 MgO	カリガラス	P I
	カリガラス II	高 Al_2O_3 , 低 CaO , 低 MgO		P II
ソーダ石灰ガラス ($Na_2O-CaO-SiO_2$)	ソーダ石灰ガラス I	低 Al_2O_3 , 高 CaO , 低 MgO , 低 K_2O	ソーダガラス	S I ナトロンタイプ
	ソーダ石灰ガラス II	低 Al_2O_3 , 高 CaO , 高 MgO , 高 K_2O		S II 高アルミナタイプ
高アルミナソーダ石灰ガラス ($Na_2O-Al_2O_3-CaO-SiO_2$)	ソーダ石灰ガラス III	高 Al_2O_3 , 低 CaO , 低 MgO , 低~高 K_2O	S III 植物灰タイプ	
			S IV ナトロン主体タイプ	
			S V プロト高アルミナタイプ	

Table 1-2-4f 大賀・田村の細分類をはじめ既存研究との対応 (Oga and Tamura, 2013 改変)

分類	田村・大賀						本研究		特徴など
	製法	着色剤	年代	出土点数	生産地	組成	名称		
鉛ガラス	L I A	巻き付け法	Cu	B.C.3C-2C	100±	北東中国	PbO-SiO ₂	鉛ガラス	
	L I B	引き伸ばし 巻き取り法	Cu+ハンブルー	B.C.1C-2C	2500±	南中国	PbO-SiO ₂	鉛ガラス	
	L I C	折り曲げ法	Cu	A.D.1C	200±	中国	PbO-SiO ₂	鉛ガラス	
鉛バリウム ガラス	L II A	巻き取り法	Cu	A.D.1C-2C	1000±	中国	PbO-BaO-SiO ₂	鉛バリウムガラス	
	L II B	巻き取り法	Cu・Fe	A.D.7C-	3000±	朝鮮半島(百濟)→日本	PbO-BaO-SiO ₂	鉛バリウムガラス	
カリガラス	P I	引き伸ばし法・ 折り曲げ法・ 熱浸透法	Co・Co+Mn・Fe	B.C.3C-(A.D.5C)	80000±	南アジア	K ₂ O-SiO ₂	カリガラス	lowAl-highCa, Cobalt coralant: ≡ S II A(high MnO) =mKA type(Lankton et al.: 2006),m-K-Ca-Al type(Lankton et al.:2013) ≡group I (Liu et al.: 2013)
	P II	引き伸ばし法	Cu	B.C.1C-(A.D.3C)	60000±	北ベトナム・南中国	K ₂ O-SiO ₂	カリガラス	highAl-lowCa, =mKA-lowC type(Lankton et al.: 2006),m-K-Al type(Lankton et al.: 2013), ≡group II (Liu et al.: 2013)
ナトロン タイプ	S I A	折り曲げ法・ 端面調整	Co	A.D.2C	150±	地中海周辺	Na ₂ O-CaO-SiO ₂	ナトロンガラス (natron glass)	Sb消色 MgO,K ₂ O,CaO,Al ₂ O ₃ が少なめ
	S I Ba	巻き取り法	Co	A.D.5C前半	100±	エジプト?	Na ₂ O-CaO-SiO ₂	ナトロンガラス (natron glass)	≡HIMT Fe ₂ O ₃ ,MnO,TiO ₂ が多め
	S I Bb	折り曲げ法	Co	A.D.5C前半	500±	不明	Na ₂ O-CaO-SiO ₂	ナトロンガラス (natron glass)	
	S I Bc	折り曲げ法・ 端面調整	Co	A.D.5C前半		不明	Na ₂ O-CaO-SiO ₂	ナトロンガラス (natron glass)	
高アルミナ タイプ	S II A	引き伸ばし法	Co	A.D.1C後半- (A.D.5C)	5000±	南アジア・東南アジア	Na ₂ O-Al ₂ O ₃ -CaO-SiO ₂	アルミナソーダ石灰ガラス	Cobalt coralant: ≡ P I (high MnO)
	S II B	引き伸ばし法・ 端面調整	Cu・Cu+Mn・Cu+ スズ酸鉛・スズ酸鉛・ Fe・Mn・Co	A.D.4C-6C	150000±	南アジア・東南アジア	Na ₂ O-Al ₂ O ₃ -CaO-SiO ₂	アルミナソーダ石灰ガラス	≡ mNA(Lankton et al.: 2006), m-Na-Al(Dussubieux et al.: 2013)
植物灰 タイプ	S III A	折り曲げ法	Fe	A.D.1C後半	10±	中央アジア・中央東アジア	Na ₂ O-CaO-SiO ₂	植物灰ガラス (Plant ash glass)	MgO,K ₂ O(>S III B)
	S III B	引き伸ばし法・ 端面調整	Co・Fe	A.D.5C後半-6C	100000±	中央アジア・中央東アジア	Na ₂ O-CaO-SiO ₂	植物灰ガラス (Plant ash glass)	≡vNC(Lankton et al.: 2006) ※vNC Co → Iran(Lankton et al.: 2006) ≡S III C 中央アジア製?
	S III C	特異な引き伸ばし法	Co・Cu・Mn・スズ酸 鉛・Cu+スズ酸鉛	A.D.7C前半	10000±	中央アジア・中央東アジア	Na ₂ O-CaO-SiO ₂	植物灰ガラス (Plant ash glass)	MgO,K ₂ O(>S III B) Co≡S III B
ナトロン主体 タイプ	S IV	引き伸ばし法	Co	A.D.2C-(A.D.5C)	10000±	南アジア・東南アジア	Na ₂ O-CaO-SiO ₂	植物灰ガラス (Plant ash glass) or ナトロンガラス (Natron glass)	≡ mNC(Lankton et al.: 2006), m-Na-Ca-Al(Dussubieux et al.: 2013)
プロト高 アルミナタイプ	S VA	引き伸ばし法	Cu+スズ酸鉛・Cu	A.D.1C後半- A.D.2C	5000±	南アジア・東南アジア	Na ₂ O-CaO-SiO ₂	植物灰ガラス (Plant ash glass) or ナトロンガラス (Natron glass)	CaO,MgO(>S II B); Al ₂ O ₃ (<S II B) ≡ Arika Glass(Lankton et al.: 2006),Arika Composition(Dussubieux et al.: 2013)
	S VB	端面調整	Cu	A.D.2C後半- A.D.3C	500±	不明	Na ₂ O-CaO-SiO ₂	植物灰ガラス (Plant ash glass) or ナトロンガラス (Natron glass)	
	S VC	鑄造技法	Cu	A.D.4C	500±	不明	Na ₂ O-CaO-SiO ₂	植物灰ガラス (Plant ash glass) or ナトロンガラス (Natron glass)	

1.3 本研究の目的・方針

化学分析によって明らかになるガラスの化学組成は、ガラスの原料に由来する情報を反映し、型式学的な情報に加えてガラスを特徴づける情報となる。特に日本で出土するガラスは玉類が圧倒的に多く、西方で見られるような容器のように型式学的な情報から製造地の推察に結び付けることは易しくない。そのためガラス玉に対しては化学組成情報がより有用なものとなる。

古来よりガラスは高価な装飾品から食物の貯蔵や食器などの日用品まで、人間生活の様々な場面で利用されてきた。熱を加えることで形を様々に変えられるガラスの特徴は古代から現代まで長きにわたり人類に受け入れられてきたともいえる。さらに、西アジアで誕生したガラスは支配勢力の変化や交易路の発展により、ユーラシア大陸に広く伝播し、海を越えて日本にまで伝来した。このようにガラスは人間の生業や交易に深くかかわってきたことから、ガラスの研究は考古学や歴史学に付随して、外交史や技術史を明らかにすることに寄与する。

本研究では誕生から現代にまで人類史に深くかかわってきたガラスを通じて、出土ガラスの流通について化学分析の視点から日本およびシルクロードにおけるガラス流通について明らかにすることを目的とした。本研究により、日本やシルクロードの外交史の一端を解明することにつながると考えられる。

これまでの国や地域単位でまとめられていたガラス研究に対し、本研究では国や地域に絞らず、シルクロードに関連した地域全体を対象に研究を進めた。特に中央アジアのキルギスやタジキスタン、カザフスタンの分析例というものは世界的にもなく、本研究で蓄積したデータ自体に新規性があるといえる。さらに本研究では、可搬型分析装置をガラス収蔵施設に持ち込み、現地で分析調査を行うという非破壊オンサイト分析を採用した。これにより同じ装置を用いたことによって得られる同水準のデータをもとに、国や地域といった境界を越えて考察している。本研究を進めるにあたり用いた4000点以上の分析データは、非破壊オンサイト分析によって日本やシルクロード関連地域各地で蓄積したものである。このような特色ある手法と膨大なデータを用いて、日本およびシルクロードのガラス流通解明を目指した。

1.4 本論文の構成

本論文は7章からなる。続く第2章では本研究で用いた方法とオンサイト非破壊簡易分析による古代ガラスの組成タイプ判別方法について紹介する。まず文化財を対象とすることを考慮して本研究の方法について論じた。それを踏まえて本研究で用いた可搬型蛍光 X線分析装置をはじめとする、各可搬型分析装置についてまとめた。また膨大な量のガラス玉が出土している一方で、多くの資料に対して科学的調査が行われていない国内のガラス調査の現状解決に貢献する手法を提案した。

第3章では、日本国内で実施した各分析調査の結果をまとめた。ここでは具体的に、青森県・岩手県（東北地方北部）、岐阜県 船来山古墳群、奈良県 布留遺跡、長崎県 壱岐市、同県 対馬市で出土したガラスの調査結果を報告する。

第4章では、大陸各地で発見されたガラスを中心とする交易品の分析結果をまとめた。ここでは、中国 内モンゴル自治区、キルギス・タジキスタン、カザフスタンで出土したガラスと、極東ロシア（ハバロフスク）で発見された中国製の貨幣の分析結果を報告する。本研究の軸はガラスであるが、シルクロード全体の交易という点では、北方（ここでは極東ロシアを中心とするユーラシア大陸の北東部を意味する）との交流においてガラス流通は未解明な部分が多い。貨幣の分析調査は文字情報を付加する貨幣の科学的調査を足掛かりにガラスの流通を追究することを目的として行った。

第5章では第3章の分析結果を受けて、日本列島のガラス流通について二つのアプローチから考察した。まず一つ目のアプローチは、化学組成から国内出土ガラスを分類化し、地域ごとの出土傾向を明らかにしたことから国内流通について考察した。もう一つのアプローチは、先行研究を含めて朝鮮半島-壱岐・対馬-日本列島で比較し、朝鮮半島（大陸）から日本へのガラス流通について考察した。

第6章では第3章と第4章の結果を受けて、組成比較や統計解析などから日本およびシルクロードのガラス流通について古代と中世のガラスに分けて考察した。本研究における古代と中世の区別は、日本国内や中央アジアにおけるガラスの出土状況から、大まかに紀元後9世紀を境にそれぞれ考察した。

最後に第7章にて本研究の総括を述べる。ここでは、組成タイプや地域、時代に基づいて本研究をまとめた。

参考文献

- ヴァレリー・ハンセン (訳: 田口美和) 2016 『図説 シルクロード』(原書房), pp.19-47.
- 内沼美弥, 蛍光 X 線分析によるローマおよび初期ビザンツ帝国期のガラス製品の考古化学的研究 (修士論文, 東京理科大学).
- 大賀克彦, 田村朋美, 2015. 古墳時代前期のナトロンガラス, 古代学(奈良女子大学古代学学術研究センター), 7, pp.1-11.
- 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 (奈良女子大学古代学学術研究センター), 8, pp.11-23.
- 金奎虎, 肥塚隆保 2010. 韓国出土の古代ガラスの概要, 月刊文化財, 566, pp.36-40.
- 角野広平, 2009. いまさら聞けないガラス講座 ガラスの光学的性質 (2), New glass, 24(2), 66-72.
- 肥塚隆保, 1997. 日本で出土した古代ガラスの歴史の変遷に関する科学的研究 (博士論文, 東京芸術大学).
- 肥塚隆保, 1999. 出土考古遺物の材質調査--日本で出土した古代ガラスの研究. 理学電機ジャーナル, 30(1), pp.33-40.
- 肥塚隆保, 2000. 材質・技法から探る古代ガラスの歴史 (化学で探る考古学の謎). 化学と教育, 48(5), pp.296-299.
- 肥塚隆保, 2006. CR-AR 法を用いた古代ガラス玉の研究, 非破壊検査= JOURNAL OF THE JAPANESE SOCIETY FOR NON-DESTRUCTIVE INSPECTION, 55(7), pp.325-329.
- 肥塚隆保, 田村朋美, 大賀克彦, 2010. 材質とその歴史の変遷, 月刊文化財 (特集 古代ガラスと考古科学), 566, pp.13-25.
- 国立扶餘文化財研究所, 2007. IX. ガラス製品の生産を通じて見た古代韓・日の文化様相, 王宮里 工房II-琉璃編, 国立扶餘文化財研究所 学術研究叢書 第44輯, pp.231-243.
- 小寺智津子, 2012. “ものが語る歴史 27 ガラスが語る古代東アジア (同成社)”, p.51.
- 黒川高明, 2005. ガラスの技術史, アグネ技術センター p.5-7, 75-105.
- 作花濟夫, 1997. ガラス科学の基礎と応用, 内田老鶴圃, pp.1-9.
- 田村朋美, 2013a. 日本出土アルカリケイ酸塩ガラスの考古科学的研究—弥生～古墳時代に流通したガラス小玉の細分類— (博士論文, 京都大学).
- 長澤和俊, 2002 シルクロードを知る事典, 東京堂出版, pp.3-4.
- 富沢 威, 2003. 文化財科学の事典, 朝倉書店, pp.113-115.
- 藤澤敦, 2004. CR 法を活用したエミシのガラス玉の研究 (平成 15 年度研究助成成果報告 歴史), 財団法人福武学術文化振興財団歴史学・地理学助成報告書, pp.53-57.
- 山崎一雄, 1987. 第三部 陶器・ガラス, 古文化財の科学, 思文閣, pp. 274-300.
- Abdurazakov, A. A., 2009. Central Asian glassmaking during the ancient and medieval periods, Ancient Glass Research along the Silk Road (World Scientific), pp. 201-219.

- Biron, I., and Chopinet, M. H., 2013. Colouring, decolouring and opacifying of glass., *Modern methods for analysing archaeological and historical glass*, 1, 49-65.
- Brill, R. H., 2009. Opening remarks and setting the stage: lecture at the 2005 Shanghai international workshop on the archaeology of glass along the Silk Road, *Ancient glass research along the Silk Road* (World Scientific), pp. 109-147.
- Dussubieux, L., 2016. Potash Glass: A View from South and Southeast Asia, In *Recent Advances in the Scientific Research on Ancient Glass and Glaze*, pp. 95-111.
- Dussubieux, L., and Gratuze, B., 2013. Glass in South Asia, *Modern Methods for Analysing Archaeological and Historical Glass, Volume I*, pp.399-413.
- Dussubieux, L., Gratuze, B., Blet-Lemarquand, M., 2010. Mineral soda alumina glass: occurrence and meaning, *Journal of Archaeological Science*, 37(7), pp.1646-1655.
- Freestone, I. C., 2006. Glass production in Late Antiquity and the Early Islamic period: a geochemical perspective. Geological Society, London, *Special Publications*, 257(1), pp.201-216.
- Foster, H. E., and Jackson, C. M. 2009. The composition of 'naturally coloured'late Roman vessel glass from Britain and the implications for models of glass production and supply., *Journal of Archaeological Science*, 36(2), pp.189-204.
- Fuxi, G., 2009. Origin and evolution of ancient Chinese glass., *Ancient glass research along the Silk Road* (world Scientific), pp.1-40.
- Gratuze, B., 2013. Provenance analysis of glass artefacts. *Modern Methods for Analysing Archaeological and Historical Glass, Volume I*, pp.311-343.
- Henderson, J., An, J., and Ma, H., 2018. The archaeometry and archaeology of ancient Chinese glass: a review, *Archaeometry*, 60(1), pp. 88-104.
- Huheey, J. E., 1990. ヒューイ無機化学 (上). 東京化学同人.
- Jackson, C.M., 2005. Making colourless glass in the Roman period, *Archaeometry*, 47, 4, pp.763-780.
- Kang, H. T. and Yun, E. Y. 2012. Chemical Compositions and Lead Isotope Ratios of Some Glass Beads from Seokga-tap, Gyeongju. *Conservation and Restoration of Cultural Heritage*, 1(1), pp.3-8.
- Kim, N. Y. and Kim, G. H., 2015. Characteristic Comparison of the Composition Classification on Potash Glass Beads Excavated in Korea. *Journal of Conservation Science*, 31(3), pp.255-265.
- Lankton, J. W., and Dussubieux, L., 2006. Early glass in Asian maritime trade: a review and an interpretation of compositional analyses, *Journal of Glass Studies*, pp.121-144.
- Lee, I., 2009. Characteristics of early glasses in ancient Korea with respect to Asia's maritime bead trade. In *Ancient glass research along the Silk Road* (World Scientific) pp.183-189.

- Liu, S., Li, Q. H., Gan, F., Zhang, P., Lankton, J. W., 2012. Silk Road glass in Xinjiang, China: chemical compositional analysis and interpretation using a high-resolution portable XRF spectrometer, *Journal of Archaeological Science*, 39(7), pp. 2128-2142.
- Liu, S., Li, Q. H., Fu, Q., Gan, F. X., Xiong, Z. M., 2013. Application of a portable XRF spectrometer for classification of potash glass beads unearthed from tombs of Han Dynasty in Guangxi, China., *X - Ray Spectrometry*, 42(6), pp.470-479.
- Mirti, P., Pace, M., Malandrino, M., and Ponzi, M. N., 2009. Sasanian glass from Veh Ardašīr: new evidences by ICP-MS analysis, *Journal of Archaeological Science*, 36(4), pp.1061-1069.
- Möncke, D., Papageorgiou, M., Winterstein-Beckmann, A., Zacharias, N., 2014. Roman glasses coloured by dissolved transition metal ions: redox-reactions, optical spectroscopy and ligand field theory., *Journal of Archaeological Science*, 46, pp.23-36.
- Oga, K., and 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.
- Sayre, E. V., and Smith, R. W., 1961. Compositional categories of ancient glass. *Science*, 133(3467), pp.1824-1826.
- Tamura, T., and Oga, K. 2016. Archaeometrical investigation of natron glass excavated in Japan. *Microchemical Journal*, 126, 7-17.
- Wang, C. Y., Lu, Q., and Wang, P. W., 2016. The Evolution of Al₂O₃ Content in Ancient Chinese Glasses. In *MATEC Web of Conferences*, Vol. 67, p. 04001, EDP Sciences.

第2章 研究方法

2.1 本研究における方法の選択

本研究で対象としている出土ガラスを含めた文化財は、考古学、歴史学、美術学的に大変貴重な資料である。そのため、細かな破片や風化や劣化による、資料の復元が困難な場合などを除き、試料採取などの破壊を伴う分析には制限がある。資料の状態が完形であれば、資料の採取許可を所蔵者から得ることはより困難になる。また、破壊が可能な資料を収集することは相当な労力を要することが予測され、分析数の確保が課題となりうる。同様に貴重な資料であるという点では、資料の持ち運びにも制限が生じるため、分析装置が設置された実験室への持ち込みが難しくなる。特に国際間の資料の移動には、様々な手続きが必要となり、許可が得られにくい可能性がある。

上述した様々な制限を回避するために「非破壊であること」と「資料の移動を極力減らす」ということに重点を置いた。そこで本研究では、二つの条件をクリアすることができる蛍光 X 線分析を主軸とした。蛍光 X 線分析は非破壊分析が可能で、可搬型に対応した装置も多く導入されている。このような特徴から、蛍光 X 線分析は日本国内の文化財研究で広く用いられている手法である。さらに本論文は今後の日本を中心とする出土ガラス研究に貢献することを念頭におき、広く普及した手法を採用した。

本研究では主軸とした蛍光 X 線分析の他に、ガラスの着色要因の解明のためにラマン分光分析や紫外可視吸光分析も用いた。

2.2 分析方法

2.2.1 蛍光 X 線分析

i) 原理

原子の電子構造について、1913年にデンマークの物理学者ボーアによって確立されたボーアモデルによると、原子は原子核の周りを電子が円軌道を描く構造をとっている。電子は内側から K 殻、L 殻、M 殻・・・と順に円軌道をなし、各軌道に入る最大の電子数は決められており、元素によって電子の数も異なる。プラスの電荷を持つ原子核とマイナスの電荷を持つ電子の間にはクーロン力が働き、これは原子核から遠いほど強くなる。

蛍光 X 線とは、Fig.2-2-1a に示すように、入射 X 線が原子内の内殻電子をはじき飛ばし、生じた空孔に外殻から電子が遷移する際のエネルギー差が放出されたものである。蛍光 X 線は、各元素に固有のエネルギーを示すので、これにより定性分析が可能になる。また、一定強度の X 線を物質に照射したときに発生する蛍光 X 線強度は、含まれる元素の数と概ね比例関係が見られるため、蛍光 X 線のピーク強度を測定することで定量分析が可能になる。定量の仕方として、検量線法やファンダメンタルパラメーター法 (FP 法) がある。分析は非破壊で行うこともでき、エネルギー分散型の場合は装置を可搬型にすることも可能である。

検量線法は、あらかじめ測定試料に似た組成の標準試料を用意し、標準試料を測定して X

線強度と濃度の関係を示す検量線を作成する。実際の資料を測定して得られた X 線強度から検量線をもとに濃度を求める。検量線法では、マトリックス効果によって X 線強度が変化するので注意が必要である（中井, 2016）。

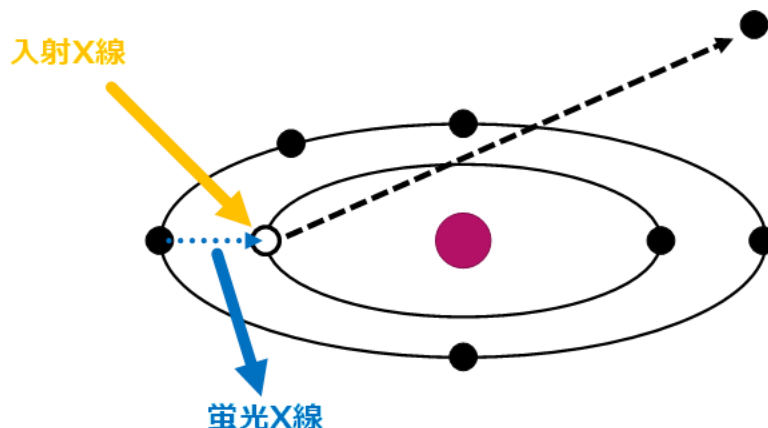


Fig. 2- 2 -1a 蛍光 X 線の発生原理

ii) 分析装置

a) 可搬型蛍光 X 線分析装置 OURSTEX100FA

用いた装置は、当研究室が装置メーカー「OURSTEX（株）」と共同開発したエネルギー分散型のポータブル蛍光 X 線分析装置 OURSTEX 100FA-II L, OURSTEX 100FA-IV を用いた（菊川 他, 2009; Tantrakarn *et al.*, 2009）。これら 2 台について装置構成上の差はほとんどなく、電源部、コントローラー部、測定ヘッド部、制御用コンピュータから構成され、両装置とも X 線源として Pd 管球を用いている。測定時には管球から発生した X 線をそのまま試料に照射する「白色 X 線励起モード」と内蔵された湾曲結晶グラフアイトモノクロメータによって励起 X 線を単色化してから試料に照射する「単色 X 線励起モード」を併用し測定を行った。白色 X 線励起モードでは軽元素（Mg や Si 等）や単色 X 線では励起できないスズ Sn などの重元素の分析を行うことができ、主にガラスの主成分に関する情報を得るのに有効である。本装置は検出器の窓材に高分子ポリマーを用い、試料室を真空状態にすることで軽元素の検出を可能にしている。単色 X 線励起モードでは重元素の励起効率が良く、バックグラウンドの低い蛍光 X 線スペクトルを得ることができる。こちらのモードでは、主にガラスの着色要因に関する情報が得られる。これら 2 種類のモードを使い分けることで、試料中の主成分元素から微量重元素まで幅広く高感度・高精度の分析が可能になる。測定時間は 1 資料あたり 10 分から 15 分程度である。本装置には CMOS カメラが搭載されており、測定箇所を選択して確認することができる。資料に照射する X 線の照射径は約 2 mm である。Fig. 2-2-1b に装置の写真を、詳細な測定条件および装置構成は Table 2-2-1a に示した。また、今回の調査で用いた蛍光 X 線分析装置では低出力の X 線源をもちいているため、資料に与えられる影響は無視でき、非破壊で分析が行える。

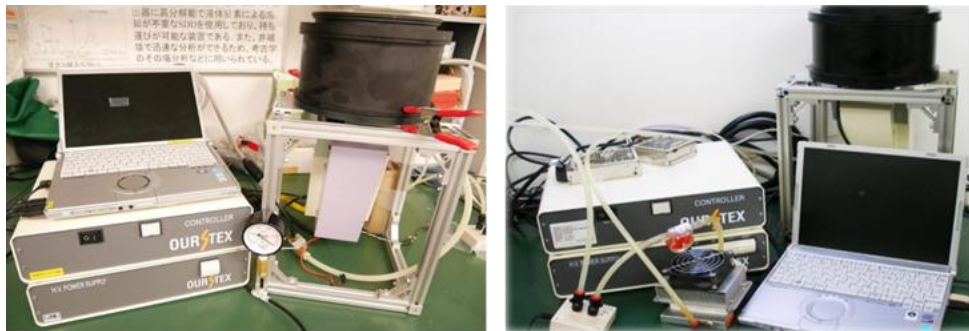


Fig. 2-2-1b 可搬型蛍光 X 線分析装置 OURSTEX100FA (左：II 右：IV)

Table 2-2-1a OURSTEX100FA の装置構成と測定条件

X線源 : Pd管球
検出器 : SDD
冷却 : 水冷 + ペルチェ素子
モノクロメータ : 湾曲結晶グラファイト
測定雰囲気 : 真空 (減圧)
管電圧 : 40 kV
管電流 : 白色X線 : 0.25 mA
単色X線 : 1.00 mA
測定時間 : 200 sec. (Live time)

*Dead time 30%以下になるよう自動調整

b) ハンドヘルド型蛍光 X 線分析装置 Niton XLt-900s

本研究で用いたのは Thermo Fisher Scientific 社製 Niton XLt-900s である。本装置は土壌・岩石・鉱物中の重金属元素の迅速スクリーニングに適しており、防塵・防滴構造のため屋外の悪環境でも測定が可能である。文化財の分野でも利用例は多数ある。専用スタンドを用いれば卓上型装置として使うことも可能である。測定対象は土壌をはじめ鉱物、岩石、プラスチック製品、宝石などの貴金属、小銭などの合金、植物、食品などと幅広く対応できる。Fig. 2-2-1c に光学系の概要図を示す。

本研究では「3.3 岐阜県船来山古墳群出土ガラス」にてガラス玉のスクリーニングおよび「3.4 北方の貨幣」において貨幣の分析に本装置を用いた。本装置は X 線管球に Ag ターゲットを用い、検出器に SDD (シリコンドリフト検出器)、検出器の冷却にはペルチェ素子を用いている。さらに数種類の一次フィルターを搭載している。ガラス玉の分析時の測定条件は鉱物モードで 1 資料あたり 120 秒 (Main Filter, Light Filter, High Filter それぞれ 40 秒) とした。測定対象元素を Table 2-2-1b に示す。貨幣の分析時には合金モードで 1 測定点あたり 60 秒 (Main Filter, Low Filter, Light Filter それぞれ 20 秒) とした。測定対象元素を Table 2-2-1c に示す。いずれも定量は FP 法を用いた。

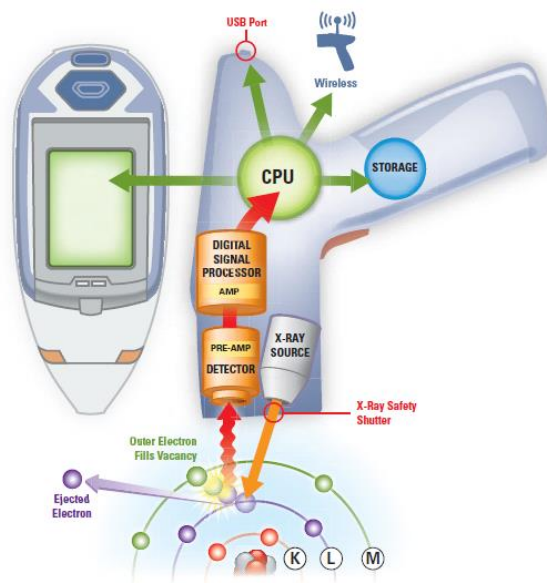


Fig. 2-2-1c Niton の光学系図

Table 2-2-1b 鉱物モード（ガラス玉分析時）の測定対象元素

Filter	測定対象元素
Main Filter	Sb, Sn, Cd, Pd, Ag, Ba, Mo, Nb, Zr, Sr, Rb, Bi, As, Se, Au, Pb, W, Zn, Cu, Re, Ta, Hf, Ni, Co, Fe, Mn, Cr, Ti
High Filter	Ba, Sb, Sn, Cd, Pb, Ag
Light Filter	Al, P, Si, Ca, K, Cl, S, Mg

Table 2-2-1c 合金モード（貨幣分析時）の測定対象元素

Filter	測定対象元素
Main Filter	Sb, Sn, Pb, Ag, Ru, Mo, Nb, Zr, Bi, Se, W, Zn, Cu, Re, Ta, Hf, Ni, Co, Fe, Mn, Cr, V, Ti, Al
Low Filter	Cr, V, Ti
Light Filter	Al, P, Si, S, Mg

iii) データの解析

得られた蛍光 X 線スペクトルをもとに、検出された各ピークの帰属を行い資料の元素組成をまず定性的に明らかにした。定量値の算出には、得られたデータを変換し各元素のピークの正確な強度を求めるために IAEA (国際原子力機関) によって配布されている X 線スペクトル解析専用ソフト WinQXAS (IAEA, 2000) を用いて、得られた蛍光 X 線スペクトルに対し、特性 X 線のエネルギー及び強度比の理論値を用いてピーク分離を行った。さらにそこから強度を求め、あらかじめ作成した検量線から定量値を算出した。検量線用の標準試料には NIST(National Institute of Standards and Technology)製の標準ガラス、Breitländer Eichproben und Labormaterial GmbH 製の標準ガラス、および ICP-AES (誘導結合プラズマ発光分光分析) によって定量化を行った合成ガラスを用いた。作成した検量線の一例を Fig. 2-2-1d に示す。

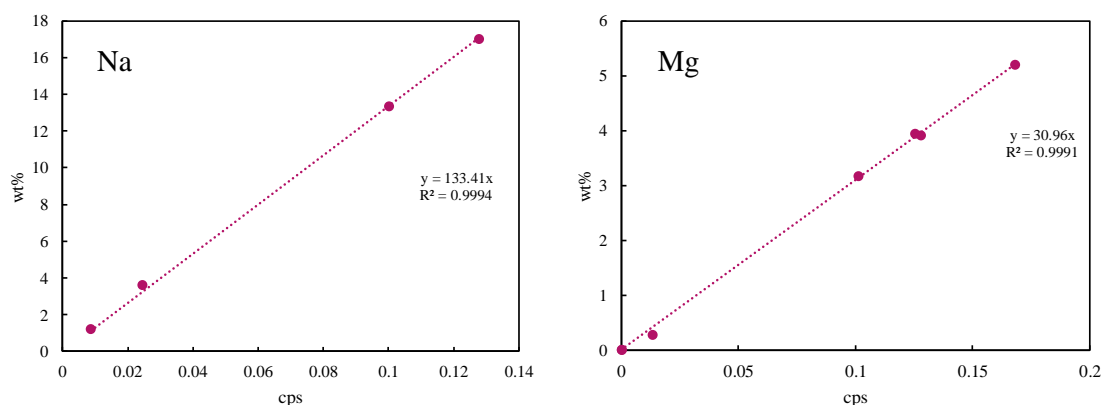


Fig. 2-2-1d ナトリウム Na とマグネシウム Mg の検量線

検出下限は測定した試料から理論計算する方法 (西埜, 2016) により、以下の式を用いて算出した。 W は含有量, I_{Net} は Net 強度, I_{BG} はバックグラウンド強度, t は測定時間である。 Fig. 2-2-1e は算出した検出限界値と原子番号でプロットしたものである。

$$LLD = 3.29 \times \frac{W}{I_{Net}} \times \sqrt{\frac{I_{BG}}{t}}$$

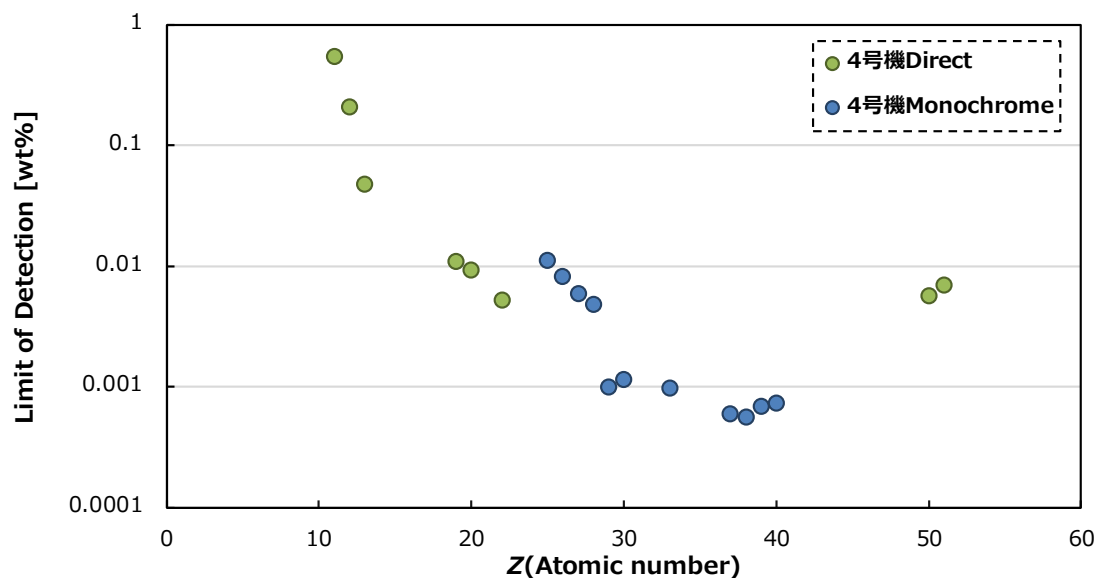


Fig. 2-2-1e 検出限界と原子番号の関係

蛍光 X 線分析は表面分析であるため、アルカリケイ酸塩ガラスでは風化によりアルカリ分が溶出し、酸化ナトリウム Na_2O や酸化カリウム K_2O などの含有量が減少し、二酸化ケイ素 SiO_2 や酸化アルミニウム Al_2O_3 などは増加することが知られている (肥塚, 1999). 一般的なソーダ石灰ガラス(密度 2.5 g/cm^3)について、軽元素と重元素の X 線の侵入深さを比較すると、入射 X 線強度が $1/e$ になる深さは、軽元素の Na では約 0.001 mm であるのに対し、重元素の Rb では約 0.4 mm と重元素のほうが試料深部の情報が得られる。風化層の厚みは 0.1 mm 程度なので、重元素はバルクの組成を反映し、風化面の情報が大きく反映される軽元素より古代ガラスの分類に有効だと考えられる。しかし風化によって分析値が変動することがあるため、定量値の扱いは資料の状態を見たうえで注意が必要である。

2.2.2 ラマン分光分析

i) 原理

光を物質に照射すると吸収、回折、散乱など様々な現象が確認できる。この中の一つであるレイリー散乱には Fig.2-2-2a(左)に示した分子の振動に伴って、Fig.2-2-2a(右)に示すような照射した光の近くに波長の異なる弱いスペクトルが見られる。この弱い散乱は発見者(インド人物理学者チャンドラセカール・ラマン)の名前をとってラマン散乱という。レイリー振動数の長波長側にあらわれるラマン線をストークス線、短波長側のラマン線をアンチストークス線という。得られるラマン散乱の散乱光と入射光の振動数の差が、試料の分子振動の振動数に等しいため、ラマン分光光度計で得られるラマンスペクトルからは、分子の構造情報が得られる。ちなみにラマンスペクトルは赤外分光分析(IR)では測定が難しい水溶液やポリマー、単結晶の測定に有用であり、IRと相補的な分析手法である。またIR強度

は双極子モーメントの変化に比例するのに対し、ラマン強度は分極率の変化に起因する。

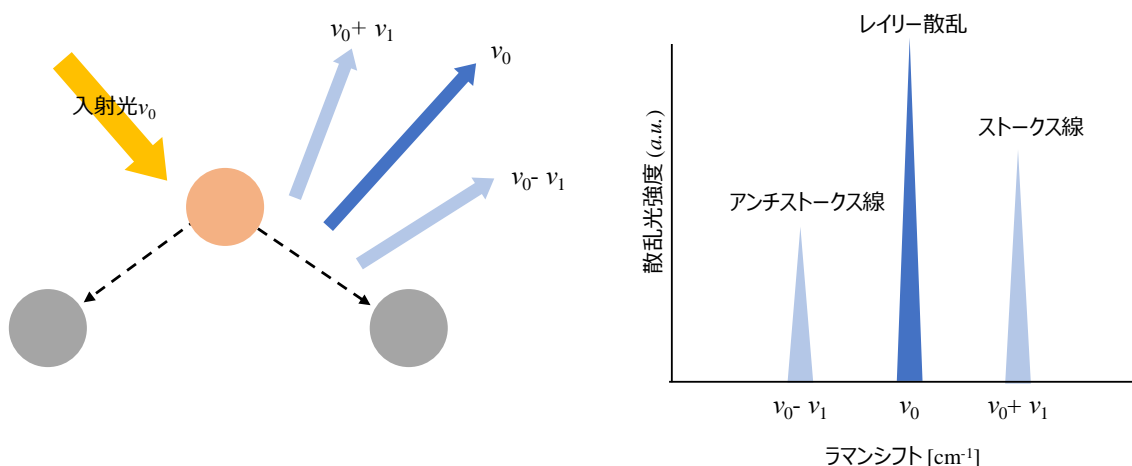


Fig. 2-2-2a ラマン散乱 (左：分子の振動状態 右：ラマンスペクトル)

ii) 分析装置

先述の蛍光 X 線分析装置と同様に可搬型顕微ラマン分光分析装置 MiniRam(B&W TEK Inc.製)を用いた。分析時は、ガラスビーズを顕微台に載せ、785nm の赤色レーザーを用いてガラス中に散在する未溶解の顔料粒子の同定を行った。同定のための参照データには事前に当研究室で合成した標準試料やラマンスペクトルのデータベース RRUFF : database of Raman Spectra を使用した。分析装置の写真を Fig.2-2-2b に、Table 2-2-2a に装置の構成を示す。波数範囲については分光器の検出範囲は広く設定されており、より低波数側も検出自体は可能となっている。ただ、ラマン測定として使用できる範囲は、フィルター性能により 175cm^{-1} からが保証範囲となっている。



Fig. 2-2-2b 可搬型ラマン分光分析装置 Mini Ram

Table 2-2-2a 装置の構成

測定波数領域	: 3150~175 cm ⁻¹ (785 nm)
最高分解能	: 10 cm ⁻¹ (785 nm)
検出器	: 電子冷却CCD検出器
対物レンズ	: ×5×20×40
搭載レーザー	: 半導体レーザー
レーザー照射径	: 90 μm (×20)
	: 45 μm (×40)

2.2.3 紫外可視吸光分析

i) 原理

分子内のエネルギーには、基底状態と励起状態がとびとびで存在し、不連続である。この不連続をエネルギー準位といい、これには電子準位、振動準位、回転準位などがある。二つの状態間のエネルギーに等しいエネルギーを外部から与えると、低いエネルギー状態にあった分子は高いエネルギー状態に移行する（遷移）。紫外可視光のエネルギーは電子準位のエネルギー差と同程度であるため、紫外光や可視光を物質に照射すると、分子は光を吸収し基底状態から励起状態に遷移する。無機化合物の吸収には、d-d 遷移による吸収、配位子による吸収、電荷移動吸収の3種類がある。

本研究において、蛍光 X 線分析だけではわからなかったガラスの着色要因となる金属イオンの同定のために紫外可視吸光分光分析を利用した。

ii) 装置

本研究は、当研究室が(株)東京インスツルメンツと共同で開発を行った可搬型の紫外可視吸収(UV-VIS)/蛍光分光分析装置を用いた。光源・測定部・受光部の3つの部分からなっており、光源と測定部を変更することにより、UV-VIS スペクトル測定と蛍光スペクトル測定の双方が測定可能となっている。検出器には CCD 搭載のマルチチャンネル分光器(米国 Stellar Net 社製 BLACK Comet-SR)を用いた。UV-VIS 測定では、光源には重水素ハロゲンランプ(米国 Ocian Optics 社製 DH-2000-BAL)を用いた。光源には UV-LED の他に、緑色 LED と赤色 LED が導入されている。ガイドレーザーにより、測定距離を一定に保つことが可能である。また受光部に光源ごとのロングパスフィルターを設置することで、光源由来の散乱光を取り除き、バックグラウンドを低減させている。測定部は反射測定用と透過測定用の2種類あり、測定部の切り替えにより透過光/反射光の両測定が可能である。本研究では紫外可視吸光分光分析のみを行った。装置の写真を Fig.2-2-3 に、Table 2-2-3 に測定条件を示す。



Fig. 2-2-3 紫外可視吸光/蛍光分光分析

Table 2-2-3 紫外可視吸光/蛍光分光分析の装置構成

測定波長範囲	: 20~1080 nm (UV-VIS)
検出器	: CCD (20-1080 nm)
分解能	: 2.0 nm
搭載ランプ	: 重水素ハロゲンランプ (215~2500 nm)
	UV-LED (375 nm)
	Green-LED (520 nm)
	Red-LED (632 nm)

2.3 簡易分析法によるガラスの組成分類方法の検討

2.3.1 序

古代ガラスは日本各地で多数出土しており、田村・大賀らをはじめ複数の研究グループによって化学分析を用いた研究が行われている。特にガラスの化学組成はガラスを特徴づける有力な情報となり、多くの研究例では鉛ケイ酸塩ガラス、アルカリケイ酸塩ガラス（カリガラス、ソーダ石灰ガラス、アルミナソーダ石灰ガラス）に分類されている。東京理科大学中井研究室でも、ガラスの化学組成分析に対応した可搬型蛍光 X 線分析装置を企業と共同で開発し、資料交換を含めて 1 資料あたり 10 分程度で測定可能で、ナトリウム Na やマグネシウム Mg などの軽元素からストロンチウム Sr、ジルコニウム Zr などの微量重元素も分析することができる。

ガラスの組成タイプを明らかにすることは、ガラスを特徴づけ、その起源を大まかに推測することができることから、組成タイプの分類は出土ガラスの研究において重要な要素である。しかし、国内各地の発掘調査により膨大な数のガラス玉が出土しているが、対応しきれていない状況もある。そこで、肥塚らは一度の測定で多数の資料の測定ができる方法を確立させた。それが CR-AR 法である（肥塚, 2006）。この方法は、IP（イメージングプレート）を用いた分析方法で、X 線の透過具合で鉛ケイ酸塩ガラスかアルカリケイ酸塩ガラスを判

別することができ、K から発生する微弱な自然放射線 (^{40}K) によってカリガラスかソーダ石灰ガラスかを判別する方法である。この方法はガラスの組成分類を行ったうえで重要な資料の選別につなげることができ、さらに気泡の観察も行うことができるので、ガラス小玉の製法解明にも期待できる。CR-AR 法は一度の測定で複数個のガラス玉を分析し、タイプ識別できるという点では、調査時間の短縮に大変有効である。しかし、分析装置に可搬性はなく、資料を実験室へ持ち込む必要がある。

本項では同様な目的で、膨大な量のガラスを比較的短時間かつ簡易的な測定によってガラスのタイプ分類の方法を新たに検討した。短時間・簡易測定にはハンドヘルド型蛍光 X 線分析装置を用いて行う。ハンドヘルド型蛍光 X 線分析装置は文化財分野で広く普及している装置であり、利用者人口も多く、資料を実験室に持ち込む必要をなくすることができるため、本装置の利用を検討した。これによりオンサイト簡易分析によるガラスの分類方法の確立を目指した。

2.3.2 評価に用いた資料

対象とした資料は岐阜県船来山古墳群から出土したガラス玉のうち、OURSTEX100FA と Niton の 2 つの蛍光 X 線分析装置で分析した 56 点のアルカリケイ酸ガラスである。この 56 点は OURSTEX100FA を用いた組成分析により、カリガラス 5 点、ソーダ石灰ガラス 41 点、アルミナソーダ石灰ガラス 10 点に分類した。

2.3.3 分類方法の検討

ハンドヘルド型蛍光 X 線分析装置 Niton によって求められる数値は基本的に FP 法による半定量値である。そのため、得られた数値をそのまま用いるのではなく、アルカリケイ酸ガラスをカリガラス、ソーダ石灰ガラス、アルミナソーダ石灰ガラスに分類するために用いる元素の比を用いることで差別化を試みた。ここで用いた元素はカリウム K、カルシウム Ca、アルミニウム Al である。Fig. 2-3-3 にこれらの比を用いて行った結果を示す。Fig. 2-3-3 の a や c はカリガラスとソーダ石灰ガラス・アルミナソーダ石灰ガラスを区分するのに有効であり、さらに Fig. 2-3-3 の b や d によってソーダ石灰ガラスとアルミナソーダ石灰ガラスを区分することが可能だと考えられる。このように元素比を複数通り組み合わせることで、3 種類のガラスタイプを区分することができ、ハンドヘルド型蛍光 X 線分析装置によって得られたデータでもガラスタイプの分類が可能であると考えられる。

本項で考案した方法は文化財研究で普及しているハンドヘルド型蛍光 X 線分析装置を利用したものであるため、利用経験があれば可能な方法である。さらに複雑な計算を必要とせず、短い時間の測定でアルカリケイ酸塩ガラスを分類できることから、本方法は実用性も兼ね備えていると評価する。

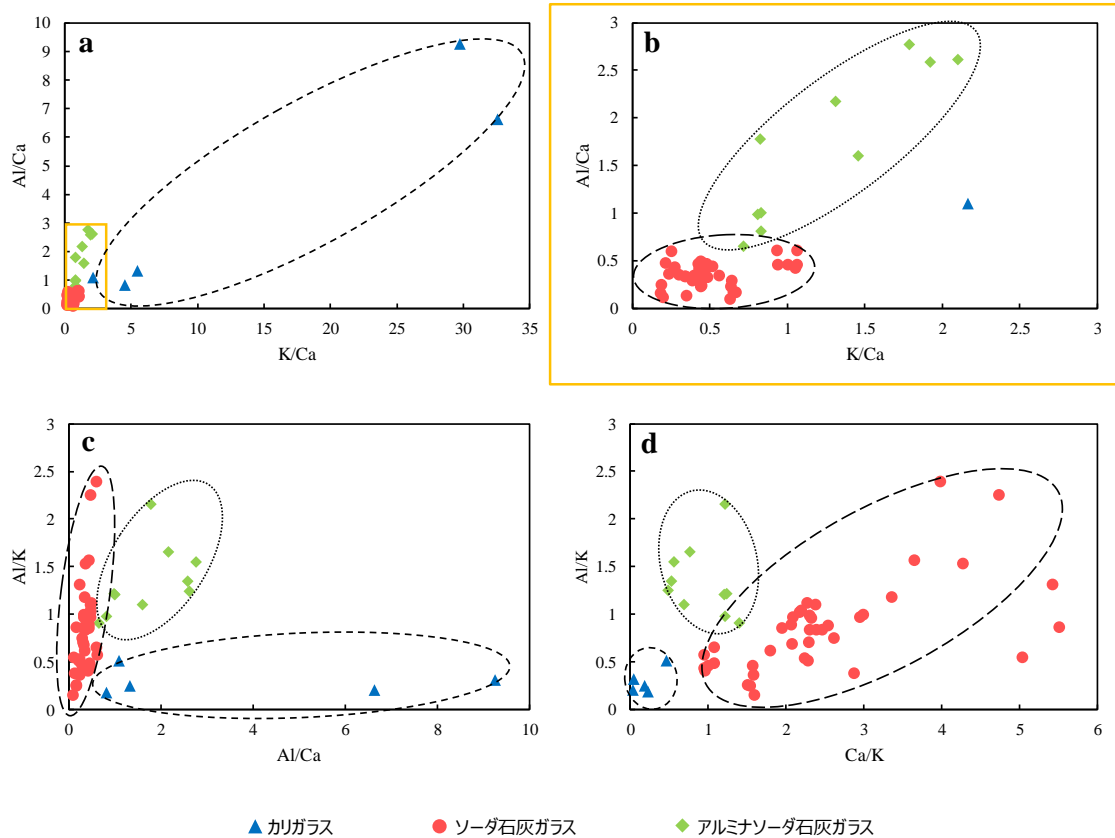


Fig. 2-3-3 カリウム K, カルシウム Ca, アルミニウム Al を用いた分類例
 (a: Al/Ca vs. K/Ca プロット, b: a の拡大プロット, c: Al/K vs. Al/Ca, d: Al/K vs. Ca/K)

参考文献

- 菊川匡, 阿部善也, 真田貴志. 2009. ポータブル蛍光 X 線分析装置への試料観察機構の導入と古代エジプト美術館所蔵ガラスの考古化学的研究., X 線分析の進歩, 40, pp.325-337.
- 肥塚隆保, 1999. 出土考古遺物の材質調査--日本で出土した古代ガラスの研究. 理学電機ジャーナル, 30(1), pp.33-40.
- 肥塚隆保, 2006. CR-AR 法を用いた古代ガラス玉の研究, 非破壊検査= JOURNAL OF THE JAPANESE SOCIETY FOR NON-DESTRUCTIVE INSPECTION, 55(7), pp.325-329.
- 中井 泉, 2016. 蛍光 X 線分析の基礎, 蛍光 X 線分析の実際 第 2 版, 朝倉書店, pp.2-18.
- 西埜 誠, 2016. 分析結果を論文・報告書に書く時の注意事項, 蛍光 X 線分析の実際 第 2 版, 朝倉書店, pp.241-242.
- IAEA, 2000. WinQXAS, Quantitative X-ray Analysis System for Windows. A Software from International Atomic Energy Agency.
- Tantrakarn, K., Kato, N., Hokura, A., Nakai, I., Fujii, Y., and Gluščević, S., 2009. Archaeological analysis of Roman glass excavated from Zadar, Croatia, by a newly developed portable XRF spectrometer for glass. X - Ray Spectrometry: An International Journal, 38(2), pp.121-127.

第3章 日本のガラスの化学組成

本章では各地で行った日本出土古代ガラスの分析調査5件の結果を報告する。報告に移る前に、ガラスタイプの分類について言及しておく。

3.1 化学組成に基づく分類

本章では第1章で述べたように、出土ガラスはアルカリケイ酸塩ガラスと鉛ケイ酸塩ガラスに分類される。本研究では主にアルカリケイ酸塩ガラスを扱い、3.2以降に報告する調査結果でもアルカリケイ酸塩ガラスをさらに3種類のガラスタイプに分類して議論した。この3種類というのはカリウムを多く含むカリガラス (K_2O-SiO_2)、ナトリウムやカルシウムを多く含むソーダ石灰ガラス ($Na_2O-CaO-SiO_2$)、アルミニウムを多く含むアルミナソーダ石灰ガラス ($Na_2O-Al_2O_3-CaO-SiO_2$) である。Table 3-1 にそれぞれの特徴を簡潔にまとめた。

3種類のアルカリケイ酸塩ガラスは Fig. 3-1 に示すように、XRF スペクトル上で明確に違いが確認される。分類するにはスペクトルだけでなく、算出した定量値をもとに各元素の相対的な含有量を踏まえて分類を行った。

Table 3-1 アルカリケイ酸塩ガラス3種類の特徴

ガラスタイプ	カリガラス	ソーダ石灰ガラス	アルミナソーダ石灰ガラス
化学組成	K_2O-SiO_2	$Na_2O-CaO-SiO_2$	$Na_2O-Al_2O_3-CaO-SiO_2$
分布地域	南アジア, 南中国・北ベトナム	西アジア, 地中海沿岸地域, 中央アジア	南アジア, 東南アジア
組成的特徴	Al_2O_3 , CaO によって 細分類	融剤によって2種類に 細分類	他のガラスに比べて多彩な 色調が存在

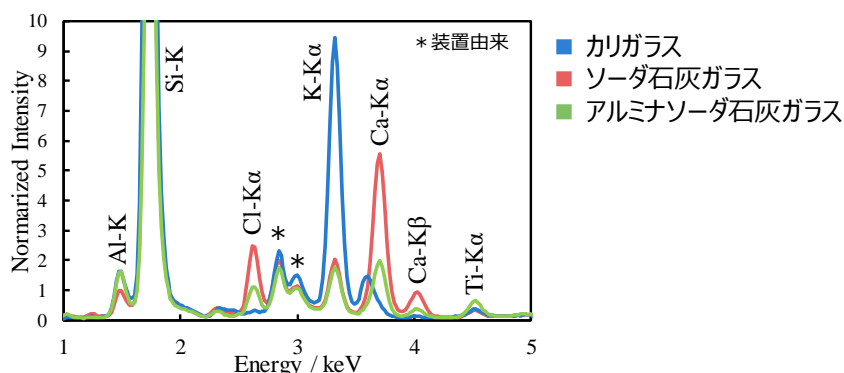


Fig. 3-1 XRF スペクトルに見られるアルカリケイ酸塩ガラスの違い (1 keV - 5 keV)

3.2 青森県・岩手県（東北地方北部）のガラス

i) 序

古代の東北地方は、南の弥生・古墳文化と北の続縄文文化の影響を受けつつ、独自の文化も発展させたと考えられている。その中でもこの地域に特有なものに末期古墳が挙げられる。末期古墳は7世紀から9世紀頃にかけて築造され、岩手県や青森県、秋田県、北海道の一部に広がり、墳墓の内部からは土師器や須恵器、蕨手刀の他、ガラス小玉が発見された例もある。このようなガラス玉は化学分析例も報告されているが（藤澤，2004），第2章で述べた装置によって得られた同水準の分析データを用いることで、日本列島全体の古代ガラスの流通様相を明らかにしていくことを試み、東北地方北部で出土した古代ガラスを対象として調査した。

ii) 分析資料

対象とした資料は、岩手県内及び、青森県内で出土したガラス小玉である。分析した資料は青色や紺色などの単色小玉がほとんどであり、他に黄色不透明の単色小玉が数点確認された。分析資料の一部は付録の資料写真一覧に掲載している。出土した遺跡の位置関係を Fig. 3-2-1 に示した。岩手県と青森県で計 613 点分析した。

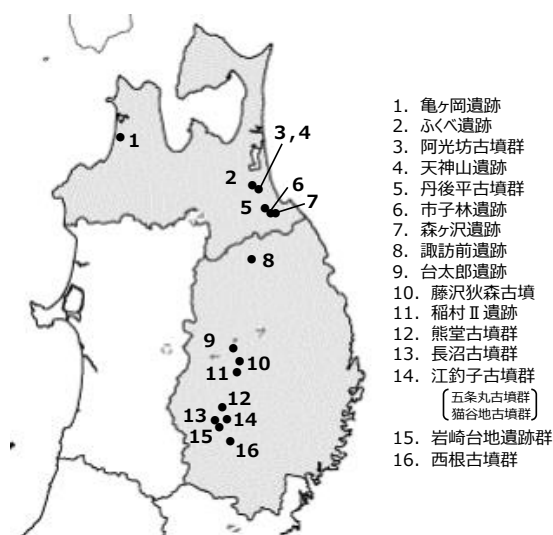


Fig. 3-2-1 分析資料出土遺跡の位置関係

iii) 分析結果

化学組成分析の結果、アルカリケイ酸塩ガラスであることがわかり、さらに主成分組成および Fig. 3-2-2 に示した微量重元素組成によって、カルシウム Ca に富むソーダ石灰ガラス ($\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{SiO}_2$)、アルミニウム Al に富むアルミナソーダ石灰ガラス ($\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{CaO}-\text{SiO}_2$)、カリウム K に富むカリガラス ($\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$) という3種類のガラスに分類され、それぞれクラスターを形成した。Fig. 3-2-2 には中央部に、×印で表記したように、既存のクラ

スターに属さない資料が数点存在した。これらの資料は、ガラス玉生産において異なる2タイプのガラスが混合されて製造された可能性が考えられ、本論文ではカリガラス、ソーダ石灰ガラス、アルミナソーダ石灰ガラスに含めず、混合の可能性として Fig. 3-2-2 に示した。以上のように主成分および微量重元素組成によって分類した結果を Table 3-2-1 に示した。Table 3-2-1 に示すように全体としてソーダ石灰ガラスが多い傾向がみられる。出土地ごとに見ても同様の傾向があり、古墳時代中期頃から9世紀前葉頃まで当地域ではソーダ石灰ガラスが多数を占めていた。以下よりガラスタイプごとに細分類結果を述べる。なお、本節の末尾に定量値一覧と資料写真を一部掲載した。

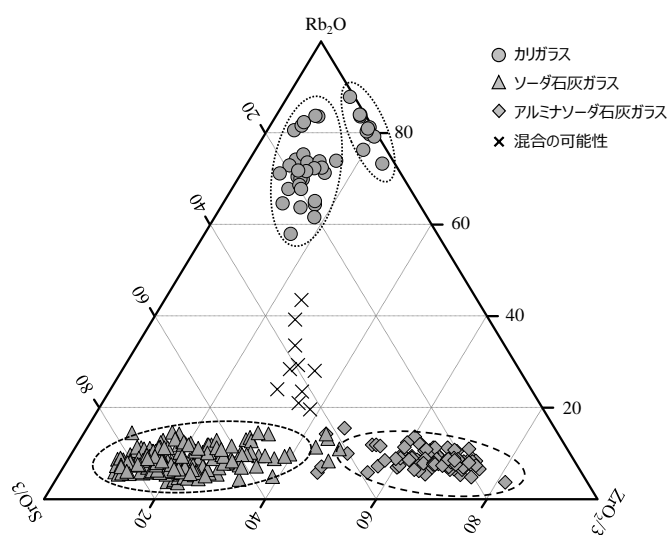


Fig. 3-2-2 東北地方北部の古代ガラスの微量重元素を用いた分類

Table 3-2-1 東北地方北部の古代ガラスの分類結果一覧

出土地 (青森県)	時期	点数	カリガラス	ソーダ石灰ガラス	アルミナソーダ石灰ガラス	混合の可能性?	出土地 (岩手県)	時期	点数	カリガラス	ソーダ石灰ガラス	アルミナソーダ石灰ガラス	混合の可能性?
亀ヶ岡遺跡	(縄文晩期の可能性?)	1	1				諏訪前遺跡 (8区)	奈良時代	9		9		
ふくべ遺跡	古墳末期後半~奈良	1			1		諏訪前遺跡 (12区)	奈良時代	5		5		
阿光が6号墳	古墳末期後半中心	9		7		2	諏訪前遺跡 (45区)	奈良時代	29	4	23	2	
天神山2号墳	古墳末期後半	26		21	5		台太郎古墳 18次	奈良時代	1				1
天神山3号墳	古墳末期後半~奈良前半	13	2	9	2		熊堂古墳群	古墳末期後半~奈良	76	8	60	6	2
丹後平3号墳	古墳末期後半~奈良前半	21	5	10	6		藤沢秋森5号墳	古墳時代後期	50	1	40	9	
丹後平13号墳	古墳末期後半~奈良前半	7		5		2	江釣子古墳群	古墳末期後半~奈良前半	15		11	4	
丹後平15号墳	古墳末期後半~奈良前半	15		12	3		五条丸古墳群 52号墳	古墳末期後半~奈良	20	1	15	4	
丹後平16号墳	古墳末期後半~奈良前半	7		7			五条丸古墳群 S0059	古墳末期後半~奈良	20		18	2	
丹後平18号墳	古墳末期後半~奈良前半	13		8	4	1	揚場古墳 (西根古墳群)	古墳末期後半~奈良前半	36	1	31	4	
丹後平19号墳	古墳末期後半~奈良前半	1		1			西根古墳	古墳末期後半~奈良	30	1	16	13	
丹後平20号墳	古墳末期後半~奈良前半	12	4	5	3		西根古墳群 1号墳	古墳末期後半~奈良	1		1		
丹後平21号墳	古墳末期後半~奈良前半	18	1	15	1	1	西根古墳群 2号墳	古墳末期後半~奈良	1		1		
丹後平23号墳	古墳末期後半~奈良前半	12	3	6	3		稲村II遺跡	奈良時代	1		1		
丹後平24号墳	古墳末期後半~奈良前半	3		3			岩崎台地遺跡	古墳時代	12		9	3	
丹後平51号墳	奈良後半~平安後半	15	2	9	4								
丹後平古墳遺跡外	古墳末期後半~奈良前半	1		1									
市子林遺跡 SK15土壌墓	古墳時代中期頃	3	2	1									
市子林遺跡 SK10土壌墓	古墳時代中期頃	1		1									
森ヶ沢遺跡	古墳時代中期	45	5	27	13								
計									613	46	449	108	10

a) カリガラス

東アジアに広く分布するカリガラスは、国内においてアルカリケイ酸塩ガラスの中でも最も早い時期から流通したガラスとされている（肥塚 他, 2010）。東北地方北部においては既存の研究でカリガラスの存在がすでに明らかになっている（藤澤, 2004）。分析した資料は紺色や淡青色、青緑色を呈するものがほとんどであった。蛍光 X 線分析の結果より、紺色着色の資料には CoO を 0.03 ~ 0.1 wt%程度含有し、淡青色・青緑色の資料は CuO を 1 wt%程度とスズ Sn や鉛 Pb を含有していた。このことから紺色着色のカリガラスはコバルト Co による着色、淡青色のガラスは青銅による着色と考えられる。

カリガラスは酸化アルミニウム Al_2O_3 と酸化カルシウム CaO の含有量によって細分類されることが知られており、CaO と Al_2O_3 が中間的なタイプ (mKCA type) と Al_2O_3 が多く CaO が少ないタイプ (mKA - lowC type) に分類される (Lankton and Dussubieux, 2006)。同様な分類を、微量重元素 (ルビジウム Rb, ストロニウム Sr) を用いて行った例では、前者を Group I, 後者を Group II として対応させて報告されている (Liu *et al.*, 2013)。さらに日本出土古代ガラスでは大賀らの分類において前者を Group P I, 後者を Group P II としている (Oga and Tamura, 2013)。前者のタイプは南アジアや東南アジアなど、後者のタイプはベトナム中部や東南アジアなどを主な分布域としている。本研究では、先行研究で用いられているこれらの元素を用いて分類を試みた。その結果を Fig. 3-2-3 に示し、Fig. 3-2-3 (左) に Al_2O_3 と CaO による分類を、Fig. 3-2-3 (右) に Rb_2O と SrO による分類の結果を示した。なお、Fig. 3-2-3 (右) には、定量下限を上回ったデータを用いた。mKCA type (Lankton and Dussubieux, 2006), Group I (Liu *et al.*, 2013), Group P I (Oga and Tamura, 2013) に類似する組成タイプを本研究では K-1 タイプと表記し、mKA - lowC type (Lankton and Dussubieux, 2006), Group II (Liu *et al.*, 2013), Group P II (Oga and Tamura, 2013) に類似する組成タイプを K-2 タイプと表記する。また Liu らの報告 (Liu *et al.*, 2013) では、CaO - Al_2O_3 の分類と SrO - Rb_2O の分類で組成的特徴が異なるものも報告されており、Fig. 3-2-3 に示すようにこのような資料は本研究でも数点確認された。本論文ではこのような資料に対し“K-3 タイプ”と表記する。K-1 タイプ、K-2 タイプの2種類のカリガラスは色調が異なることも知られており (肥塚 他, 2010, 大賀・田村, 2016)、K-1 タイプは Co 着色による紺色で、K-2 タイプは Cu 着色による水色という材質の区分と着色剤の区分の対応が認識されているが (肥塚 他, 2010, 大賀・田村, 2016)、なかには材質と着色剤の区分が対応しないものも知られている (大賀・田村, 2016)。本研究でもそのような資料が1点あり、コバルト Co 着色 (紺色) を呈するものが多い K-1 タイプでありながら銅 Cu 着色 (水色) というものであった。

亀ヶ岡遺跡から出土したガラス玉1点は Fig. 3-2-3 に示したように、本研究の K-2 に該当する銅 Cu 着色のカリガラスであることがわかり、既存の研究を支持する結果であった (小笠原・市田: 1997)。本例は包含層からの出土品であるが、伴出土器から大洞 A' 式期と推定され、縄文時代晩期と推定されている (鈴木, 1974)。日本でガラスが出現し始める

のは弥生時代前期末の北部九州とされている一方で、藤田はこの亀ヶ岡遺跡例に対し、東北地方北部における縄文時代晩期の年代的位置づけと弥生文化と縄文文化の重層的関係から、当地域への弥生文化到来の前兆であるととらえている（藤田, 1994）。詳細は別稿（村串 他, 2017）で論じているが、当研究グループのデータの中でも比較的古い弥生時代後期のカリガラスは K-2 タイプが多い傾向があり、また北海道でも弥生時代後期に並行する時期から K-2 タイプに該当する例の報告例がある（柳瀬 他, 2015）。亀ヶ岡遺跡例が 1 点のみであることと、本例の発見地点は縄文時代晩期を主体としながらも、古代・中世にかけて遺物が発見されている点から、亀ヶ岡遺跡例を縄文時代晩期とするには異論も残る。そのため本稿では亀ヶ岡遺跡例の化学組成の報告を行うことにとどめたい。本データが亀ヶ岡遺跡例の年代に関する今後の議論の一助になることを期待したい。今後の東北地方北部や北海道における古代ガラス研究が継続されることで、亀ヶ岡遺跡例そのものや本例に端を発する東北地方北部の初期ガラス流入に関して明らかになると考えられる。

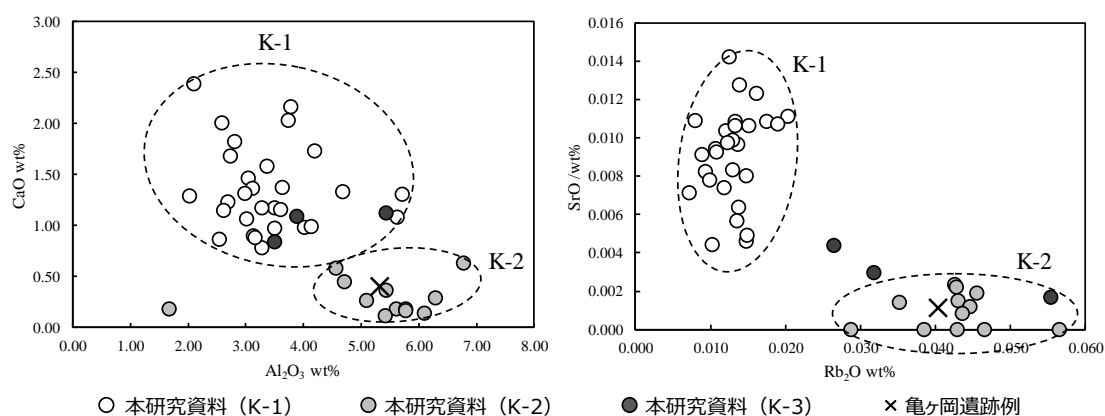


Fig. 3-2-3 カリガラスの細分類（左：CaO vs. Al₂O₃, 右：SrO vs. Rb₂O）

b) ソーダ石灰ガラス

ソーダ石灰ガラスは西アジアや地中海沿岸地域、また中央アジアなどで発達したガラスである。日本では弥生時代の終わり頃から流通しはじめるとされている（肥塚 他, 2010）。本研究で分析した資料のほとんどが青色や紺色を呈していた。このような資料からはコバルト Co が検出された。

ソーダ石灰ガラスは融剤の違いを示す指標として酸化マグネシウム MgO と酸化カリウム K₂O の含有量によって分けられることが知られている（Sayre and Smith, 1961）。両元素を多く含むガラスは植物灰を融剤として用いた植物灰ガラス、少ないガラスは鉱物を融剤に用いたナトロンガラスという名称で知られる。本研究では、両元素を用いて Fig. 3-2-4 を作成し、各グループを S-1, S-2 と名称付けて考察する。S-1 は MgO と K₂O が比較的少ない傾向があり、古代の地中海沿岸地域で製造されていたナトロンガラスに類似する。しかし、一部の資料には地中海沿岸地域で出土したナトロンガラスに比べ、CaO 含有量が少ない資

料も存在する。このような資料は大賀らによっても言及されており、大賀らの分類における Group SIV (ナトロン主体タイプ) に相当するものと考えられる。大賀らによると Group SIV は mNC (Lankton and Dussubieux, 2006) や m-Na-Ca-Al (Lankton and Dussubieux, 2013) に類似した組成を持つガラスであり、南アジアや東南アジアなどで製造されたとされている点から (Oga and Tamura, 2013), 地中海沿岸地域で製造されていたナトロンガラスとは異なるタイプと考えられる。S-1 タイプに分類されたものはすべて紺色を呈しており、着色剤にコバルト Co を用いたと考えられる。また、S-1 に分類されたものの中には 0.67 wt% の Sb_2O_3 を含む特徴的な資料があった。ナトロンガラスには鉄などによる自然着色を消すために、マンガン Mn やアンチモン Sb を消色剤として加えることがあり、その利用は地域や時代によって異なることが知られている (Jackson, 2005)。日本でもこのようなアンチモン Sb を含む資料の分析例が知られており、既存の研究における Group S I A (Oga and Tamura, 2013) や Type A (Tamura and Oga, 2016) などが同様な例として挙げられる。アンチモン Sb を含む資料はこのような消色剤の利用に由来するものであり、一度消色したあとにコバルト Co を用いて紺色に着色させたものか消色ガラスを再利用したのと考えられ、同様な例が報告されている (大賀・田村, 2015)。

S-2 は両元素が比較的多い傾向があり、これらは植物灰ガラスに類似すると考えられる。植物灰ガラスには、サーサーンガラスやイスラームガラスなどが知られており、ガラス中に含まれる MgO や K_2O の量によって違いがあることが知られている。ソーダ石灰ガラスの中でも Fig. 3-2-4 に見られるように多くが S-2 に分類されたが、 CaO 含有量に 2~10 wt% 程度とばらつきが認められる。これらのうち CaO 含有量が比較的小さい資料は、先述の大賀らの分類を参考にすると、Group SV (プロト高アルミナタイプ)、多い資料は Group SIII (植物灰タイプ) と同様なものであると考えられる。同論文の中では主な製作地として前者は東南アジア、後者のタイプの一部は中央アジアや中東の可能性が指摘されている。

以上のように、既存の研究成果と合わせて化学組成に基づく細分類を試みたところ、多様なソーダ石灰ガラスが当地域にもたらされたことがわかった。

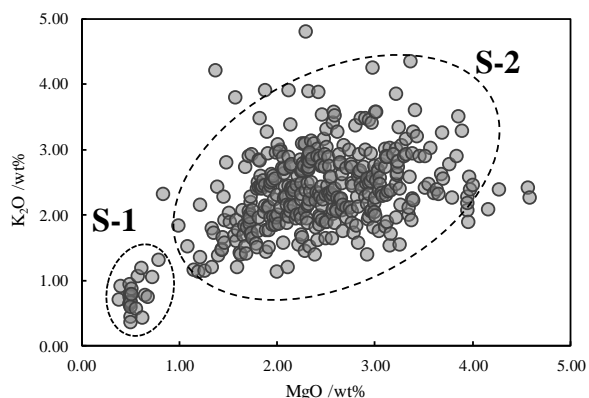


Fig. 3-2-4 融剤に由来する元素に基づいたソーダ石灰ガラスの細分類

c) アルミナソーダ石灰ガラス

このタイプのガラスには、インドーパシフィックビーズと言われる、引き伸ばし法で製作された単色のビーズが知られ、インドや東南アジアで主に発達し、アフリカから東アジアにかけて広く分布するとされている (Dussubieux and Gratuze, 2008; Dussubieux *et al.*, 2010). 日本では弥生時代後期頃から古墳時代にかけて流通したと考えられている (肥塚 他:2010). アルミナソーダ石灰ガラスは、酸化アルミニウム Al_2O_3 を他のアルカリケイ酸塩ガラスより多く含み、赤褐色不透明、黄色不透明、黄緑色不透明、水色透明、紺色透明など色調が多様なことも特徴の一つである.

当研究グループのこれまでの調査では、九州や大阪で黄色不透明のガラスが多く確認されているが、関東や東北地方では数点程度しか確認できていない. 本研究の対象である青森県や岩手県の資料では、黄色不透明の単色ビーズを5点分析した. アルミナソーダ石灰ガラスの黄色不透明は、人工顔料スズ酸鉛 PbSnO_3 がガラス中に顔料粒子として散在することによって着色されていることが先行研究などで指摘されている (白瀧 他, 2012). これら5点は、蛍光 X 線分析の結果から SnO_2 を 0.2~0.6 wt%程度、 PbO を 1.4~4.7 wt%程度含んでいたことがわかった. そこでガラス中に散在する顔料粒子の分析に、結晶相の同定に有効なラマン分光分析を応用した. その結果、スズ酸鉛 PbSnO_3 に特徴的な Fig. 3-2-5 のようなラマンスペクトルが得られ、顕微画像による観察から、黄色不透明の着色要因はスズ酸鉛の粒子がガラス中に散在することによるものであることがわかった. 黄色不透明の資料以外のアルミナソーダ石灰ガラスはほとんどが水色を呈していた. 水色着色の資料は CuO を 0.3~1.1 wt%程度を含んでいたことから、銅 Cu による着色と考えられる.

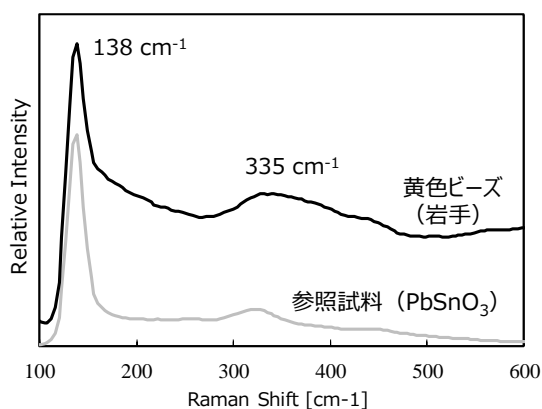


Fig. 3-2-5 アルミナソーダ石灰ガラス中に含まれるスズ酸鉛のラマンスペクトル

付録 定量値一覧 (3.2 青森県・岩手県 (東北地方北部) のガラス)

遺跡名	資料番号	色調	技法	ガラス組成タイプ	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	*SiO ₂	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	CoO	NiO	CuO	ZnO	As ₂ O ₃	Rb ₂ O	SrO	Y ₂ O ₃	ZrO ₂	SnO ₂	Sb ₂ O ₃	PbO
揚場古墳 (西根古墳群)	I-225	紺色	-	ソーダ石灰ガラス	4.9	2.63	4.58	75.9	2.80	5.74	0.21	0.25	2.21	0.057	0.005	0.126	0.018	-	0.003	0.054	-	0.018	0.028	tr.	0.424
西根古墳	I-226	緑青色	-	アルミナソーダ石灰ガラス	8.8	3.23	4.38	74.1	2.27	5.41	0.16	0.05	1.03	0.002	n.d.	0.338	tr.	-	0.003	0.026	-	0.090	tr.	n.d.	0.010
西根古墳	I-227	緑青色	-	アルミナソーダ石灰ガラス	2.8	tr.	9.41	81.0	1.67	2.56	0.47	0.06	1.10	0.005	n.d.	0.498	tr.	-	0.003	0.027	-	0.110	n.d.	n.d.	0.005
西根古墳	I-228	青緑色	-	アルミナソーダ石灰ガラス	tr.	0.63	2.99	87.7	0.75	5.11	0.10	0.04	0.86	0.004	n.d.	0.313	tr.	-	0.003	0.027	-	0.084	n.d.	n.d.	0.007
西根古墳	I-229	緑色	-	アルミナソーダ石灰ガラス	1.8	n.d.	5.15	85.0	5.78	0.28	0.18	0.04	1.02	0.003	n.d.	0.278	tr.	-	tr.	0.042	-	0.052	0.157	n.d.	0.060
西根古墳	I-230	緑青色	-	アルミナソーダ石灰ガラス	6.4	2.21	4.56	78.5	1.60	5.23	0.10	0.04	0.76	0.003	n.d.	0.402	tr.	-	0.003	0.025	-	0.081	tr.	n.d.	0.007
西根古墳	I-231	緑青色	-	アルミナソーダ石灰ガラス	5.3	n.d.	9.24	79.2	1.75	2.51	0.40	0.13	0.89	0.002	n.d.	0.317	tr.	-	0.003	0.030	-	0.088	n.d.	n.d.	0.010
西根古墳	I-232	青緑色	-	アルミナソーダ石灰ガラス	2.4	0.75	9.89	78.3	1.53	5.64	0.38	tr.	0.61	n.d.	n.d.	0.317	tr.	-	tr.	0.023	-	0.077	tr.	n.d.	tr.
西根古墳	I-233	青色	-	アルミナソーダ石灰ガラス	3.8	tr.	5.87	84.2	1.11	2.50	0.26	0.16	1.11	0.007	n.d.	0.533	tr.	-	0.004	0.025	-	0.100	n.d.	n.d.	0.141
西根古墳	I-234	紺色	-	ソーダ石灰ガラス	8.0	2.56	4.04	76.5	2.09	5.29	0.15	tr.	0.75	0.028	tr.	0.074	tr.	-	tr.	0.040	-	0.011	tr.	n.d.	0.408
西根古墳	I-235	青色	-	ソーダ石灰ガラス	6.9	2.31	3.74	76.5	3.89	5.00	0.01	0.13	0.89	0.026	n.d.	0.109	tr.	-	tr.	0.044	-	0.009	tr.	n.d.	0.420
西根古墳	I-236	青色	-	ソーダ石灰ガラス	6.8	2.98	4.06	77.1	1.81	5.76	0.11	0.07	0.66	0.021	tr.	0.071	tr.	-	tr.	0.043	-	0.007	tr.	n.d.	0.419
西根古墳	I-237	青色	-	ソーダ石灰ガラス	6.4	2.68	6.02	74.9	2.70	5.77	0.12	0.12	0.64	0.020	n.d.	0.089	tr.	-	tr.	0.039	-	0.007	tr.	n.d.	0.421
西根古墳群1号墳	I-238	青色	-	ソーダ石灰ガラス	4.6	2.40	6.66	75.7	2.92	5.40	0.28	0.10	1.40	0.015	tr.	0.161	0.003	-	0.002	0.032	-	0.019	tr.	n.d.	0.213
西根古墳群2号墳	I-239	紺色	-	ソーダ石灰ガラス	8.1	3.10	3.50	74.1	3.01	6.17	0.14	0.08	1.24	0.027	0.006	0.092	0.005	-	0.002	0.043	-	0.008	tr.	tr.	0.274

【技法】 巻：巻き付け 管：管切り 型：鋳型 【定量値】 単位：wt% n.d.: not detected (検出限界以下) tr.: trace amount (定量下限以下) *SiO₂は100wt%から他の元素引いて算出

付録 分析資料一例



2 mm

A-1



2 mm

A-2



2 mm

A-100



2 mm

A-104



2 mm

A-105



A-106



A-112



A-113



A-114



A-118



A-119



A-123



A-125



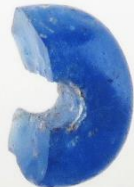
A-127



A-131



A-132



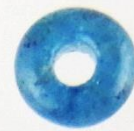
A-134



I-3

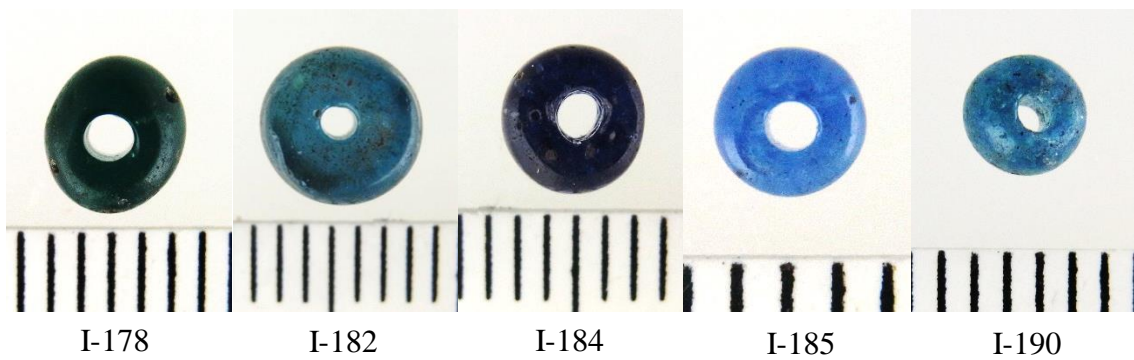
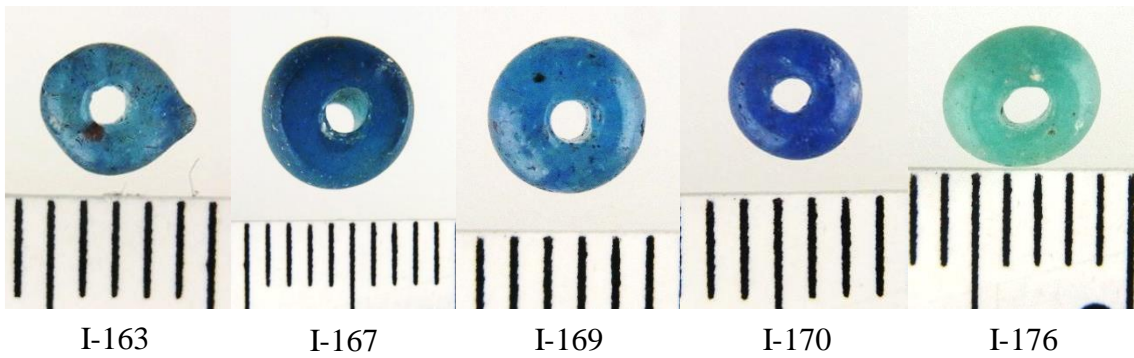
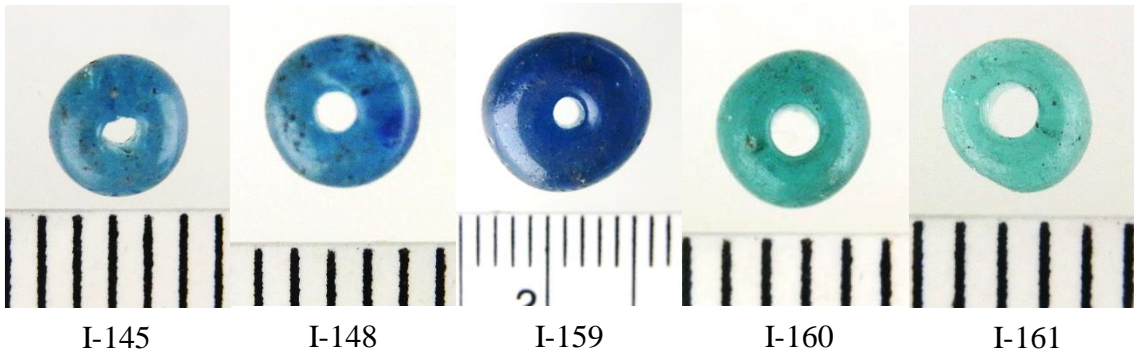
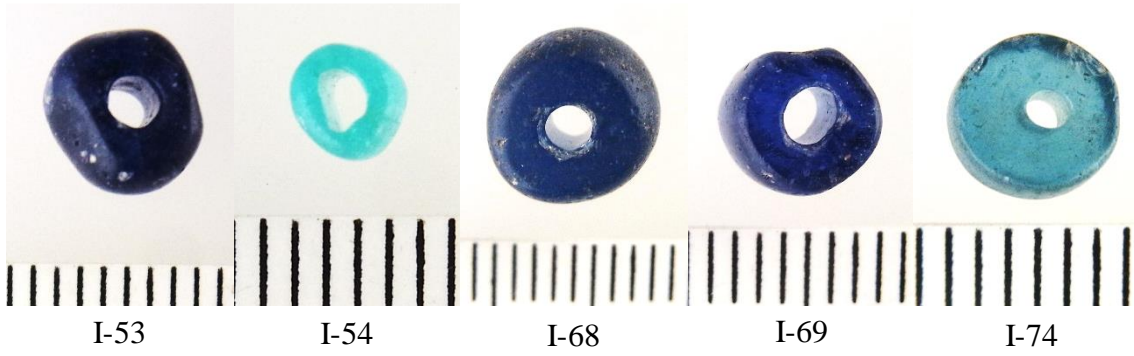


I-5



I-51

付録 分析資料一例



3.3 岐阜県 船来山古墳群のガラス

i) 序

船来山古墳群は岐阜県本巣市を中心に広がる東海地方最大級の古墳群であり、古墳時代初頭から終末期にわたって連綿と古墳が築造されたと考えられている。各時期の古墳から副葬品として雁木玉やトンボ玉を含む多数のガラス小玉が出土している。当研究グループでは古代ガラスの化学組成に着目した研究に取り組んでおり、これまでの研究ではある特定の地域の特定の時期に焦点を当て、そのなかで複数の遺跡や古墳から資料を抽出し、ある時期における地域的な特徴を論じてきた。しかしながら、本研究ではこれまでの研究と視点を変え、長期にわたって継続的に営まれてきた船来山古墳群のガラス小玉を対象をしぼり、古墳群という単位における副葬品ガラスの組成的変遷を考察した。

ii) 分析資料

船来山古墳群は膨大な数の古墳が存在し、調査の便宜上いくつかの支群に分類されている。分析対象としたガラス玉が出土したのは、その中の F 支群と呼ばれるグループに属する古墳から出土した資料である。船来山古墳から出土したガラス玉の分析調査は 2 回行い、1 回目の調査では、F98, F101, F150, F156, F272 から出土した資料のうち 78 点、2 回目の調査では F24 から出土した資料のうち 14 点を対象とし、2 回の調査で計 92 点を分析した。

iii) 分析結果

分析した資料はすべてアルカリケイ酸塩ガラスであり、Table 3-3-1 に示した主成分元素組成と Fig. 3-3-1 に示した微量重元素組成よりカリウム K を多く含むカリガラス (K_2O-SiO_2)、カルシウムを多く含むソーダ石灰ガラス ($Na_2O-CaO-SiO_2$)、アルミニウム Al を多く含むアルミナソーダ石灰ガラス ($Na_2O-Al_2O_3-CaO-SiO_2$) の 3 タイプに分類した。本項の末尾に定量値一覧を掲載した。

Table 3-3-1 各ガラスタイプの主要元素の化学組成

タイプ	Al ₂ O ₃	K ₂ O	CaO
カリガラス K ₂ O-SiO ₂	4.87 (3.07-6.42)	8.56 (3.78-14.73)	1.16 (0.30-2.15)
ソーダ石灰ガラス Na ₂ O-CaO-SiO ₂	3.62 (2.01-6.19)	2.33 (0.50-3.44)	5.30 (3.98-7.32)
アルミナソーダ石灰ガラス Na ₂ O-Al ₂ O ₃ -CaO-SiO ₂	9.29 (4.24-14.29)	2.74 (1.02-4.48)	2.02 (1.09-4.72)

単位:wt%, ()内は濃度範囲

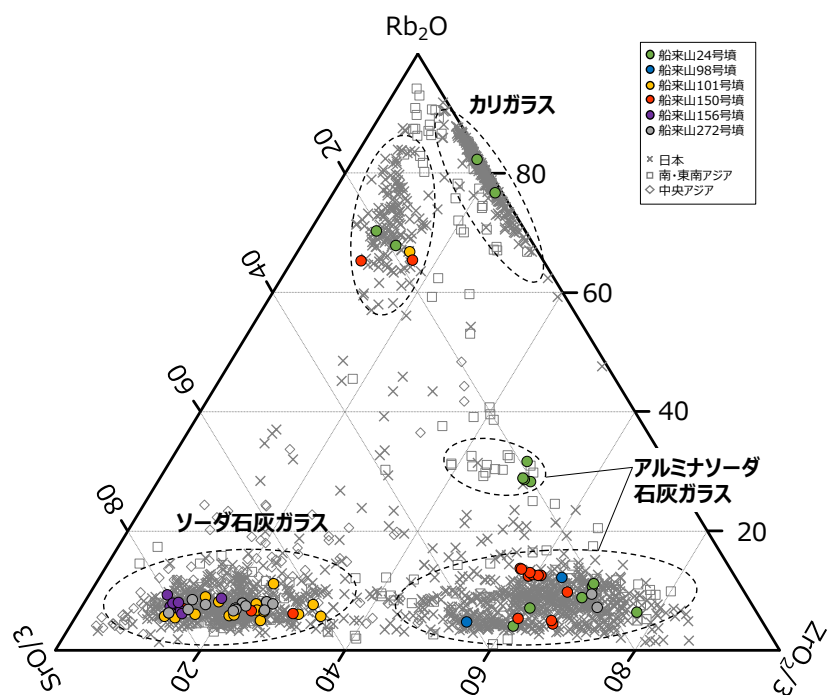


Fig. 3-3-1 微量重元素による船来山古墳出土ガラスの分類結果

a) カリガラス

カリガラスに分類された資料は 24 号墳から出土した 4 点、101 号墳から 1 点、150 号墳から 2 点で合計 7 点であった。カリガラスは弥生時代前期末ころから出現したことがわかっており、ソーダ石灰ガラスやアルミナソーダ石灰ガラスよりも早くから日本列島で流通していたとされるガラスである (肥塚, 1997; 肥塚 他, 2010)。カリガラスは酸化アルミニウム Al_2O_3 、酸化カルシウム CaO によって分布域が異なる数種類に分類されることが知られている (Lankton and Dussubieux, 2006)。この分類を支持し、他の対応元素として微量重元素 (ルビジウム Rb, ストロンチウム Sr) を用いている報告もある (Liu *et al.*, 2013)。本研究ではいずれの元素も定量値を算出しているため、それらを用いて細分類を試みた。その結果を Fig. 3-3-2 に示す。本研究において Fig. 3-3-2 に示したカルシウム Ca, ストロンチウム Sr を比較的多く含むタイプを K-1, アルミニウム Al やルビジウム Rb を多く含むタイプを K-2 と表記する。K-1 は Lankton ら (Lankton and Dussubieux, 2006) の mKCA type, Liu ら (Liu *et al.*, 2013) の Type I に類似するものと考えられる。また K-2 は Lankton ら (Lankton and Dussubieux, 2006) の mKA-lowC type, Liu ら (Liu *et al.*, 2013) の Type II に類似するものと考えられる。Fig. 3-3-2 により、K-1 には 24 号墳の 2 点、101 号墳の 1 点、150 号墳の 2 点が、K-2 には 24 号墳の 2 点が分類された。またこのようなガラス素材の分類は着色とも関連しており、K-1 タイプの多くは紺色、K-2 タイプの多くは淡青色を呈している。今回の分析結果もそれに沿う結果であった。

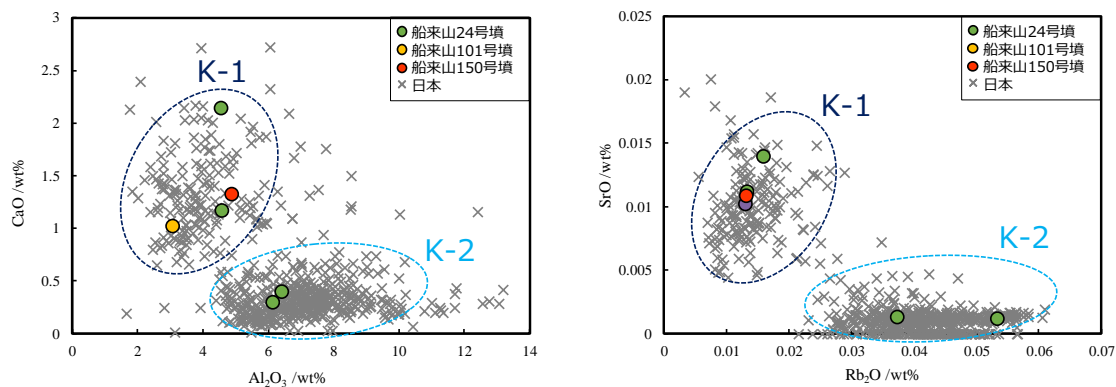


Fig. 3-3-2 カリガラスの細分類 (左: CaO vs. Al₂O₃, 右: SrO vs. Rb₂O)

b) ソーダ石灰ガラス

ソーダ石灰ガラスに分類された資料は、101号墳から出土した24点、150号墳から4点、156号墳から17点、272号墳から14点で合計59点であった。ソーダ石灰ガラスは弥生時代後期頃から日本国内で流通し始めたガラスであり、古墳時代に最も多く流通したガラスである(肥塚, 1997, 肥塚 他, 2010)。ソーダ石灰ガラスは用いられた融剤によって2種類に大きく分類され(Sayre and Smith, 1961)、製造地域や製造時期の違いを反映している。この分類は一般的に酸化マグネシウム MgO と酸化カリウム K₂O によって1.5 wt%を指標として分けられており、ここでもこれを参考に船来山古墳群の分析資料でソーダ石灰ガラスに分類された59点を両元素で分類したところ、Fig. 3-3-3 が得られた。ソーダ石灰ガラスの中で両元素を多く含むものは植物灰ガラス、少ないものはナトロンガラスといわれおり、前者には150号墳の3点と156号墳の4点が分類され、後者にはそれ以外が分類された。また、ナトロンガラスに分類されたものの中に、アンチモン Sb を含む資料(船来山272号墳 FKY-4113, Sb₂O₃: 1.29 wt%)が1点存在した。アンチモン Sb は古代の地中海沿岸地域のガラス生産において消色剤として用いられており、消色剤としてのアンチモン Sb の利用は時代や地域によって異なっている(Jackson, 2005)。日本においては、弥生時代後期後半～終末期に流入する小玉は多くがアンチモン Sb を含んでいる(大賀・田村, 2015)。したがってアンチモン Sb を含む FKY-4113 はこの時期にもたらされたガラスである可能性が考えられる。また、日本で出土するナトロンガラスは田村・大賀らによってまとめられており(Tamura and Oga, 2016)、この分類と照らし合わせると Type A に該当し、その中でも Type A1 に類似するものではないかと考えられる。

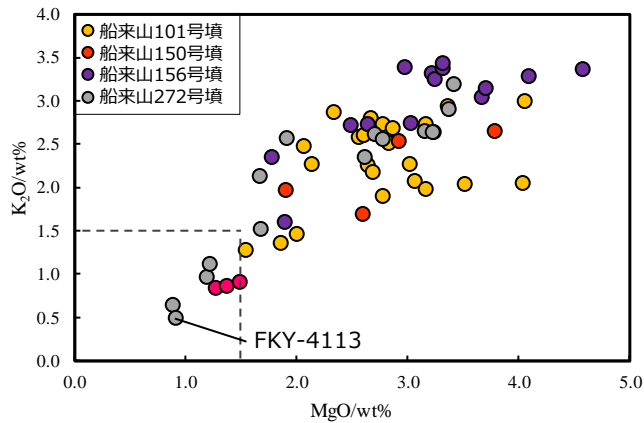


Fig. 3-3-3 ソーダ石灰ガラスの融剤による分類 (K_2O vs. MgO)

c) アルミナソーダ石灰ガラス

アルミナソーダ石灰ガラスに分類された資料は、24号墳から出土した10点、98号墳から2点、101号墳から1点、150号墳から11点、272号墳から2点で合計26点である。アルミナソーダ石灰ガラスはソーダ石灰ガラスとほぼ同時期に日本列島で流通し始め、古墳時代に最も流通量が増加する(肥塚, 1997; 肥塚 他, 2010)。日本で出土するアルミナソーダ石灰ガラスは水色や紺色などの青色系以外に緑色や黄色、赤色のガラス小玉も多数存在する。船来山古墳群から出土したアルミナソーダ石灰ガラスの中には微量のウラン U を含む資料が24号墳出土資料から4点、101号墳出土資料から1点で計5点存在していた。Fig. 3-3-4 に一例として蛍光 X 線スペクトルを示す。当研究グループのこれまでの分析調査では、九州で同様な資料を分析した例があった。そこで、船来山古墳群の分析資料のうちアルミナソーダ石灰ガラスに分類された資料の微量重元素組成を比較するため Fig. 3-3-5 を作成した。Fig. 3-3-5 には比較として当研究グループが分析を行った南・東南アジア、中央アジアのデータも載せた。Fig. 3-3-5 より当該資料と比較資料は二つの組成グループを形成し、微量のウラン U を含んでいた資料のうち24号墳から出土した4点は Fig. 3-3-5 の A-2 タイプに分類された。筆者が把握している限りでは、日本で出土したアルミナソーダ石灰ガラスは A-1 タイプが多い傾向があり、A-2 タイプのような資料は九州南部のみであったことから、これ以外の地域では初めての発見例である。A-2 タイプは当研究グループの国外調査においてベトナムやラオスなどで分析例があり、この地域を経たガラスが船来山古墳群にまで伝えられた可能性が考えられる。同様に101号墳から出土した1点にも微量のウラン U が含まれていたが、Fig. 3-3-5 の微量重元素組成では A-1 タイプに分類されたことから、A-1 タイプにもまれにウラン U を含む資料が存在する可能性を示す結果が得られた。

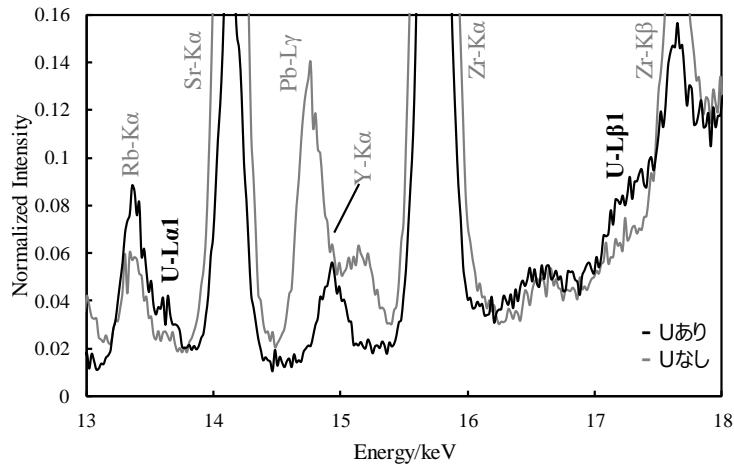


Fig. 3-3-4 ウラン U を含む資料の蛍光 X 線スペクトル

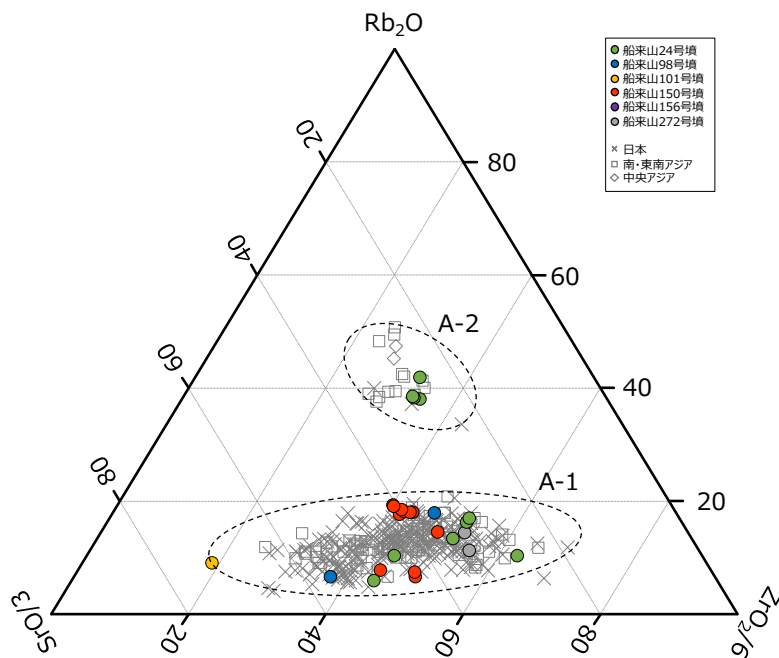


Fig. 3-3-5 微量重元素によるアルミナソーダ石灰ガラスの細分類

アルミナソーダ石灰ガラスの研究は南アジアや東南アジア、アフリカを中心に行われているが、その中で Dussubieux と Gratuze の研究では、アルミナソーダ石灰ガラスはウラン U とバリウム Ba の含有量に基づいて「IU-hBa (低ウラン-高バリウム)」と「hU-lBa (高ウラン-低バリウム)」の 2 タイプに分類している (Dussubieux and Gratuze, 2013). ここでは Dussubieux らの研究を参考に Fig. 3-3-6 を作成した。Fig. 3-3-5 で A-2 に分類されたウランを含む 4 点は、Fig. 3-3-6 において hU-lBa タイプに分類された。Fig. 3-3-5 で A-1 に分

類された残りのアルミナソーダ石灰ガラスは Fig. 3-3-6 の IU-hBa タイプの領域に位置し、それぞれ分類された。IU-hBa タイプは紀元前 4 世紀～後 5 世紀の南アジア、紀元前 4 世紀～後 10 世紀の東南アジアで、hU-lBa タイプは紀元前 4 世紀～前 3 世紀の東南アジア (Khao Sam Kaeo 遺跡 (タイ) など) に分布していたことが報告されている (Dussubieux *et al.*, 2010、 Dussubieux and Gratuze, 2013)。

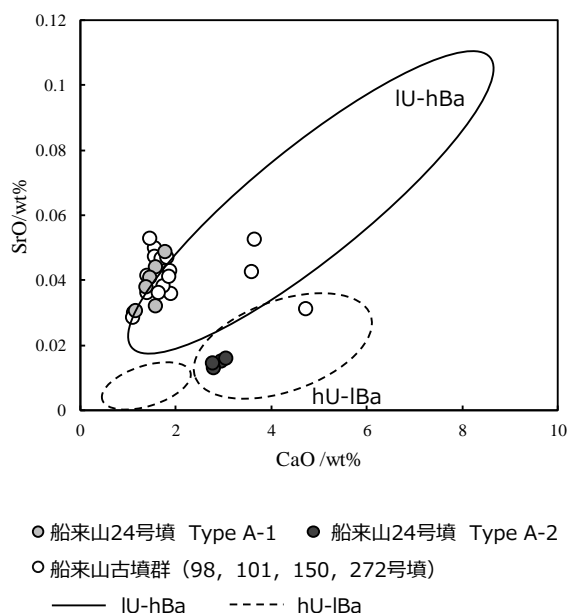


Fig. 3-3-6 ストロンチウム Sr とカルシウム Ca を用いたアルミナソーダ石灰ガラスの分類

d) 着色元素について

今回分析したガラス小玉を青色系、赤色系、黄色・緑色系に大きく分類し、各色調系について結果を述べる。

まず紺色や水色のガラス小玉を含む青色系は、本節の分析資料のなかで最も多いものである。青色の着色元素としてガラス中に含まれるコバルト Co や銅 Cu に着目し、Fig. 3-3-7 のようにコバルト Co 系、銅 Cu 系に分類した。なお銅 Cu 系の資料はすべて CoO 含有量が定量下限以下もしくは検出下限以下であったため、参考として CoO の定量下限値もしくは検出限界値で Fig. 3-3-7 を作成した。コバルト Co 系にはソーダ石灰ガラスと K-1 タイプのカリガラス、銅 Cu 系にはアルミナソーダ石灰ガラスと K-2 タイプのカリガラスに分けられた。

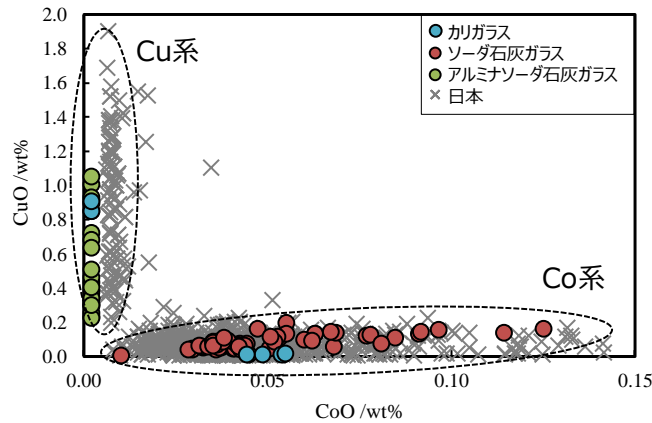


Fig. 3-3-7 コバルト Co と銅 Cu による青色系ガラスの系統分類

さらにコバルト Co 系については、Co 着色剤に付随する元素として知られるマンガン Mn と比較した結果を Fig. 3-3-8 に示す。コバルトで着色された紺色のカリガラスはマンガン Mn を含む（高マンガン Mn タイプ）ことに対し、植物灰ガラスやアルミナソーダ石灰ガラスは含まない（低マンガン Mn）という既存の報告（田村, 2013b）があるが、Fig. 3-3-8 にあるように船来山古墳群のコバルト Co でも同様な結果が得られた。また当研究グループの分析結果では、植物灰ガラスはマンガン Mn を含まずナトロンガラスはマンガン Mn を含む傾向があるが、今回の場合はナトロンガラスも植物灰ガラスも Mn を含まないグループ（低マンガン Mn）に分類された。つまり、今回対象としたソーダ石灰ガラスは植物灰ガラス、ナトロンガラスに限らずマンガン Mn に注目する限り同様な特徴があることがわかった。

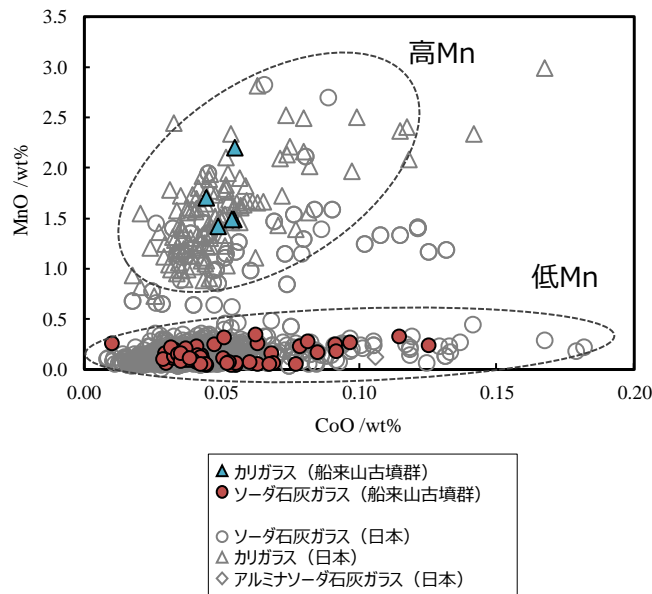


Fig. 3-3-8 コバルト Co とマンガン Mn を用いたコバルト Co 系の細分類

一方銅 Cu 系は青銅の利用の可能性を考慮し、スズ Sn や鉛 Pb を用いて比較した。銅 Cu 着色のカリガラスはスズ Sn や鉛 Pb を含むことに対し、アルミナソーダ石灰ガラスは両元素を伴わないことは肥塚ら（肥塚 他, 2010）によって指摘されており、当研究グループが分析したデータをまとめてみても、カリガラスとアルミナソーダ石灰ガラスでは後者より前者の方が両元素を多く含むことを確認している。Fig. 3-3-9 にも示しているように船来山古墳の資料においても同様な特徴が見られた。

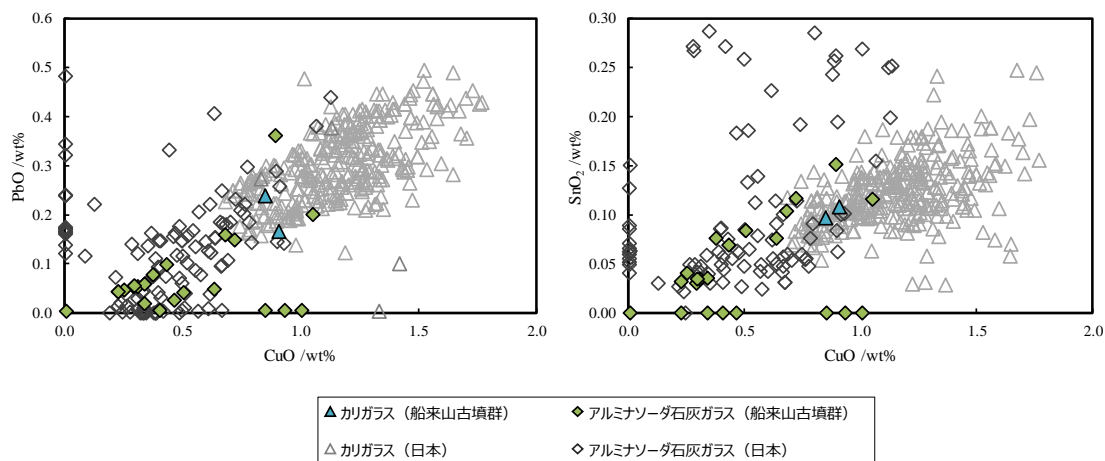


Fig. 3-3-9 スズ Sn, 鉛 Pb を用いた銅 Cu 系の細分類

e) ガラスタイプの時代的変遷

本項では、築造時期ごとに分析結果をまとめる。ここでは分析した資料を築造時期に合わせて5つの区分で論じる。まず、最も古い時期には4世紀に位置づけられる98号墳、24号墳があり、ここからはカリガラス、アルミナソーダ石灰ガラスが出土している。この時期に出土したアルミナソーダ石灰ガラスの中にはウラン U を含有するガラスも含まれる。次に6世紀第2四半期の272号墳からはソーダ石灰ガラスとアルミナソーダ石灰ガラスが出土している。6世紀第3四半期の150号墳からは3タイプすべてのアルカリケイ酸塩ガラスが出土している。この時期にのみ黄色不透明、黄緑色不透明、赤色不透明のアルミナソーダ石灰ガラスが出土している。6世紀第4四半期の101号墳からも3タイプ出土しているがソーダ石灰ガラスが中心的である。最後に7世紀の156号墳からはソーダ石灰ガラスのみとなる。このような一連の傾向を Fig. 3-3-10 と Table 3-3-2 に示した。カリガラスは点数が少ないため評価が難しいが、早い時期にはアルミナソーダ石灰ガラスが出土し、時代が下るとソーダ石灰ガラスが中心的になることがわかった。また、アルミナソーダ石灰ガラスに注目してみれば、ウラン U を含むタイプは4世紀の古墳にのみ含まれ、6世紀第3四半期には多彩なガラスが副葬されている。このような築造時期による副葬されたガラス小玉のタイプの内訳やアルミナソーダ石灰ガラスの特徴の違いは、当時流入していたガラスの違

いを反映するものであると考えられる。

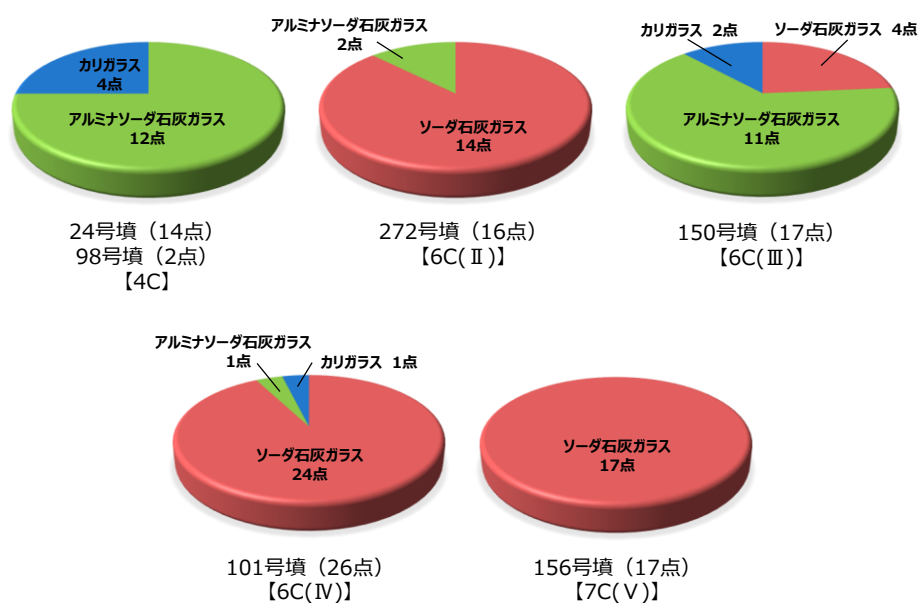


Fig. 3-3-10 出土時期，出土遺構別の分類結果（円グラフ）

Table 3-3-2 出土時期，出土遺構別の分類結果表

遺構	時期	点数	カリガラス	ソーダ石灰ガラス	アルミナソーダ石灰ガラス
24号墳	4C	14	4		10
98号墳	4C	2			2
272号墳	6C(II)	16		14	2
150号墳	6C(III)	17	2	4	11
101号墳	6C(IV)	26	1	24	1
156号墳	7C(V)	17		17	
計		92	7	59	26

3.4 奈良県 布留遺跡のガラス

i) 序

布留遺跡は奈良盆地東部に位置する複合遺跡であり、古墳時代前期を代表する「布留式土器」が出土として知られる他、古代の有力豪族・物部氏の拠点跡としても著名な遺跡である。本遺跡の杣之内（樋ノ下・ドウドウ）地区では石製白玉や鉄鉗などの玉作りや鍛冶に関連した工房跡が確認されている。この工房跡からは、ガラス製小玉の鋳型やガラス製勾玉が1点出土しており、当時の布留遺跡の工人たちはガラスも扱っていたと考えられている。本項では、布留遺跡から出土したガラス勾玉やガラス小玉の化学組成を明らかにし、資料の位置づけについて考察することを目的とした。

ii) 分析資料

分析対象は、布留遺跡内杣之内（樋ノ下・ドウドウ）地区から出土したガラス勾玉1点と、同遺跡内布留（堂垣内）地区から出土した7点である。

iii) 分析結果

a) ガラス勾玉（杣之内（樋ノ下・ドウドウ）地区出土）

本資料の蛍光 X 線分析の結果を Fig. 3-4-1 のスペクトルに示す。Fig. 3-4-1 より鉛 Pb-L 線とバリウム Ba-L 線を確認することができ、本資料は鉛バリウムガラス (Pb-BaO-SiO₂) に分類されるものであることがわかった。鉛バリウムガラスは中国の春秋戦国時代から存在し、中国で発達したと考えられるガラスである。日本国内では弥生時代前期末の北部九州で出土例が確認されて以降、弥生時代の終わりに衰退したと考えられている(肥塚, 1997)。着色要因と考えられる元素として Fig. 3-4-1 のスペクトル上で微量のコバルト Co や銅 Cu を検出したことから、青色の鉛バリウムガラスに着色剤として用いられる古代の顔料ハンブルー(漢青: BaCuSi₄O₁₀) の存在を確かめた。ハンブルーは赤色のレーザー光を照射すると蛍光を示す特徴があり、785 nm のレーザー光を用いるラマン分光分析で蛍光の有無を調べたところ、本資料から蛍光は確認されなかった。そこで、UV-VIS で測定したところ Fig. 3-4-2 に示したようにコバルト Co 着色の標準ガラスに似た UV-VIS スペクトルが得られた。しかし、Fig. 3-4-2 のスペクトルは比較した Co 着色の標準ガラスと吸収の位置がやや異なっている。これについては比較した標準ガラスはアルカリケイ酸塩ガラスであるのに対し、本資料は鉛ケイ酸塩ガラスであることから、現段階ではマトリックスが異なっていることが要因であると考えられる。Fig. 3-4-1 と Fig. 3-4-2 の結果から、本資料はコバルト Co を着色剤として用いた鉛バリウムガラス製の勾玉であることがわかった。

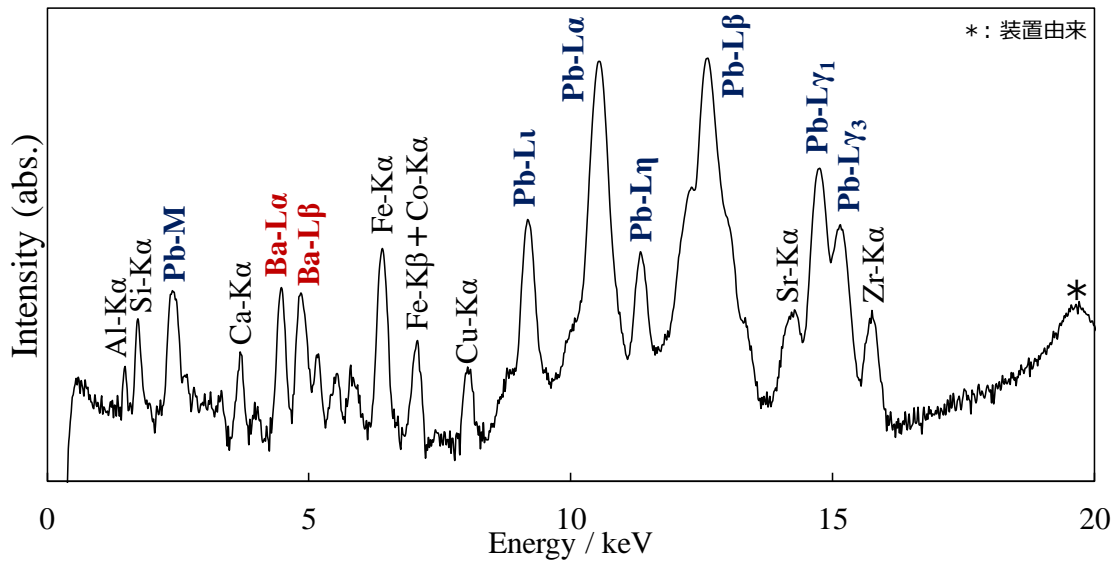


Fig. 3-4-1 ガラス勾玉の XRF スペクトル (縦軸：対数表記)

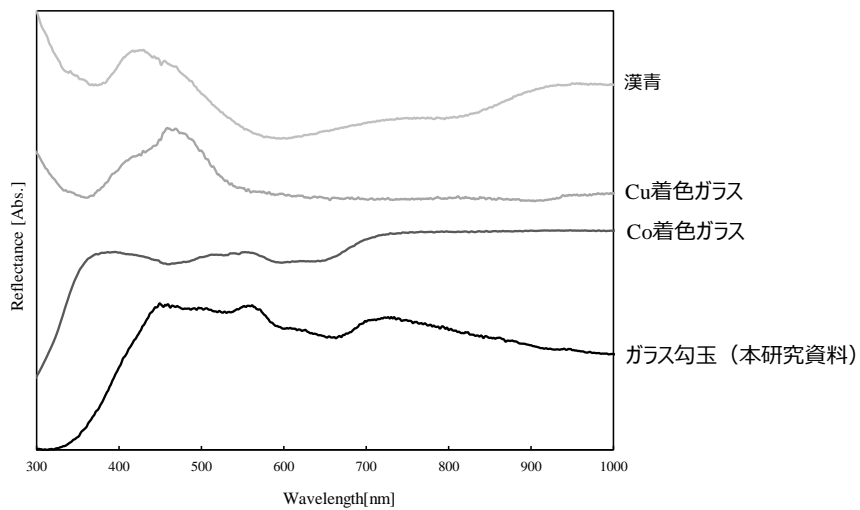


Fig. 3-4-2 ガラス勾玉の UV スペクトル

b) ガラス小玉

7点のガラス小玉を蛍光X線分析したところ、Table 3-4-1に示したようにすべてアルカリケイ酸塩ガラスであることがわかった。主成分元素の定量値や Fig. 3-4-3に示した微量重元素の三角ダイアグラムから、カリガラスが1点、ソーダ石灰ガラスが3点、アルミナソーダ石灰ガラスが3点と分類された。

Table 3-4-1 ガラス小玉の定量値一覧

資料番号	ガラス組成タイプ	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	SnO ₂	Sb ₂ O ₃
1B	ソーダ石灰ガラス	2.1	0.78	3.50	83.2	1.42	6.47	0.38	1.16	0.81	n.d.	n.d.
2T	アルミナソーダ石灰ガラス	5.8	1.68	10.36	74.0	1.98	2.52	1.12	0.13	1.70	n.d.	n.d.
3B	カリガラス	tr.	0.58	4.45	81.4	8.46	0.79	0.40	1.66	0.99	n.d.	n.d.
4B	ソーダ石灰ガラス	6.2	2.21	6.32	71.1	2.31	8.06	0.74	1.61	1.28	n.d.	n.d.
5T	アルミナソーダ石灰ガラス	4.7	1.19	10.25	74.9	3.11	2.19	0.78	0.09	1.52	tr.	n.d.
6T	アルミナソーダ石灰ガラス	6.3	1.30	8.96	75.9	1.71	2.62	0.79	0.08	1.46	tr.	n.d.
7B	ソーダ石灰ガラス	1.7	0.65	3.62	85.0	0.94	5.39	0.36	1.39	0.77	n.d.	n.d.

資料番号	ガラス組成タイプ	CoO	NiO	CuO	ZnO	As ₂ O ₃	Rb ₂ O	SrO	ZrO ₂	PbO
1B	ソーダ石灰ガラス	0.036	0.008	0.015	0.004	n.d.	tr.	0.044	0.022	0.038
2T	アルミナソーダ石灰ガラス	tr.	tr.	0.456	0.005	n.d.	0.002	0.045	0.116	0.044
3B	カリガラス	0.031	tr.	0.019	0.011	n.d.	0.026	0.003	0.023	0.007
4B	ソーダ石灰ガラス	0.057	0.014	0.014	0.006	n.d.	0.003	0.045	0.043	0.006
5T	アルミナソーダ石灰ガラス	tr.	tr.	0.702	0.008	n.d.	0.005	0.043	0.087	0.367
6T	アルミナソーダ石灰ガラス	tr.	tr.	0.597	0.006	n.d.	0.002	0.049	0.087	0.183
7B	ソーダ石灰ガラス	0.045	0.011	0.024	tr.	n.d.	tr.	0.036	0.020	0.005

n.d.:not detected (検出限界以下) tr.:trace amount (定量下限以下)

*SiO₂は100 wt%から他の元素を引いて算出

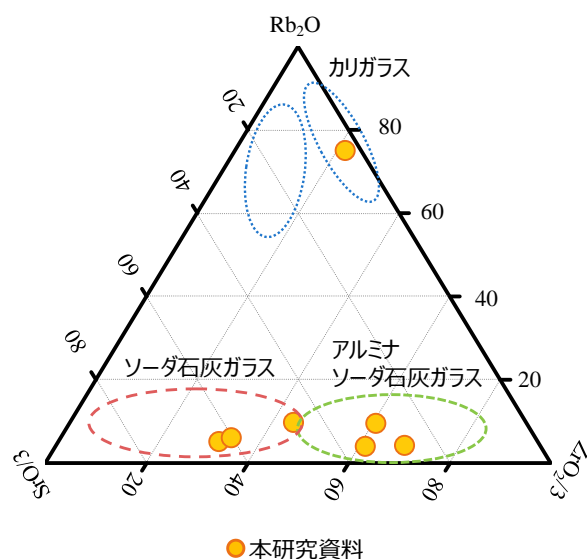


Fig. 3-4-3 微量重元素による7点のガラス玉の分類

カリガラスに分類された1点(資料番号3B)は紺色を呈していた。カリガラスはLanktonやLiuらによって主要元素(酸化アルミニウム Al₂O₃ と酸化カルシウム CaO)と微量重元素(ルビジウム Rb とストロンチウム Sr)を用いた細分類が報告されており(Lankton and Dussubieux, 2006; Liu *et al.*, 2013), 同様の元素を用いて分類した結果を Fig. 3-4-4 に示す。ここでは Fig. 3-4-4 に示した二つのグループをそれぞれ K-1 タイプ, K-2 タイプと表記する。Al₂O₃ vs. CaO 図では, 両グループの中間的な位置にプロットされたが, Rb₂O vs. SrO 図では K-2 の領域にプロットされた。さらに K-2 タイプに分類されるカリガラスの多くは銅 Cu を着色由来とする水色を呈するものが多いが, 本資料は紺色を呈し, Table 3-4-1 からコバルト Co (CoO : 0.031 wt%) が着色の由来とわかった。従って本資料は日本国内でよく見られるカリガラスとは化学組成的に異なった特徴をもつ資料と考えられ, 興味深い結果が得られた。

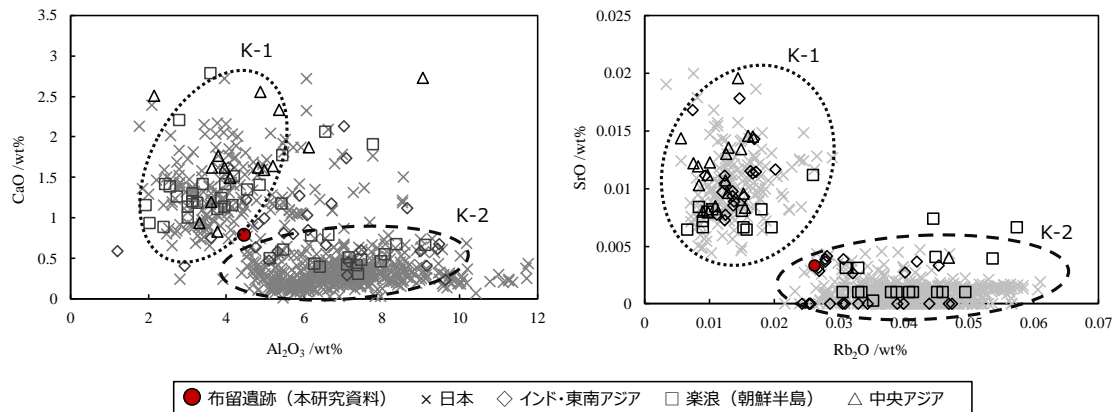


Fig. 3-4-4 カリガラス（資料番号 3B）の分類

ソーダ石灰ガラスに分類された 3 点（資料番号 1B, 4B, 7B）は、すべて紺色のビーズであった。ソーダ石灰ガラスは含まれる酸化マグネシウム MgO と酸化カリウム K_2O の濃度（境界濃度：1.5 wt%）をもとに、ガラスの製造時に融剤として植物灰を用いたか、ソーダ鉍物（ナトロン）を用いたかの分類ができる（Sayre and Smith, 1961）。両元素の濃度でソーダ石灰ガラスを細分類した結果を Fig. 3-4-5 に示す。Fig. 3-4-5 よりソーダ石灰ガラスに分類された 3 点のうち、1 点は植物灰ガラス、2 点はナトロンガラスであると推定された。カリガラスと同様に紺色着色の由来はコバルト Co であると考えられる。

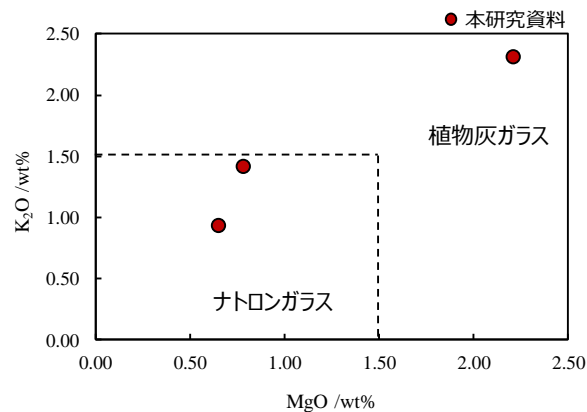


Fig. 3-4-5 ソーダ石灰ガラス（資料番号 1B, 4B, 7B）の分類

最後にアルミナソーダ石灰ガラスに分類された 3 点（2T, 5T, 6T）は、先述したカリガラスやソーダ石灰ガラスとは違い 3 点とも水色のビーズであった。微量重元素をもとに先行研究（Dussubieux *et al.*, 2010）と比較したところ Table 3-4-2 に示したように、日本で出土したアルミナソーダ石灰ガラスは微量重元素の含有量が比較的高く、本資料も同様な傾向がみられた。特に先行研究と比べると Table 3-4-2 に示すようにチタン Ti が高濃度であ

った。水色の着色の由来は定量結果から3点とも銅 Cu (0.59 wt%程度) であると考えられる。

Table 3-4-2 先行研究との微量重元素含有量比較

	布留遺跡出土ガラス			日本平均*	先行研究**				
	2T	5T	6T		m-Na-Al 1	m-Na-Al 2	m-Na-Al 3	m-Na-Al 4	m-Na-Al 5
Ti	11200	7800	7900	5200 (±1800)	3595 (±1696)	2314 (±658)	1919 (±323)	2470 (±605)	3160 (±462)
Sr	450	430	490	400 (±130)	373 (±145)	213 (±70)	132 (±31)	88 (±23)	183 (±25)
Zr	1160	870	870	560 (±420)	561 (±420)	168 (±91)	193 (±27)	251 (±55)	285 (±46)

* : 当研究室の測定データ

単位 : ppm

** : Laure Dussubieux *et. al.* : Journal of Archaeological Science, 37, 1646-1655 (2010).

3.5 長崎県壱岐市のガラス

i) 序

長崎市埋蔵文化財センターにて古代ガラスの化学組成分析を行った。本調査で対象とした壱岐は、日本本土と東アジア大陸の間に位置し、古代は海上交易の要衝として栄えていた。中国の歴史書『三国志』の一部である『魏志倭人伝』では、朝鮮半島・楽浪郡から日本への道のりを記している中で、「一大國（一支国）」という地名が登場し、この一大國の拠点集落跡が「原の辻遺跡」と考えられている。また、国指定重要文化財に指定されている双六古墳出土品や笹塚古墳出土品の中には、朝鮮半島とのつながりを示す資料が含まれている（長崎県壱岐市，2016）。このように古代において中国や朝鮮半島とのかかわりをもっていた壱岐で出土した古代ガラス製品を対象に、大陸から日本へのガラス流通を明らかにすることを目的として同センターに協力のもとに分析調査を行った。

ii) 分析資料

分析資料は壱岐市内の古墳から出土したガラスビーズである。分析資料が出土した古墳と分析点数、所在地を Table 3-5-1 と Fig. 3-5-1 に示した。巻き付け技法や管切り法によって製造されたと考えられる単色ビーズの他に、重層ガラスやとんぼ玉などの特殊なガラスも分析した。

Table 3-5-1 分析資料の出土地と分析点数

遺跡名	点数	報告書	所管元	備考
百田頭2号墳	26	芦辺町文化財調査報告書第16集	壱岐市教育委員会	
百田頭6号墳	14	芦辺町文化財調査報告書第16集	壱岐市教育委員会	
百田頭7号墳	8	芦辺町文化財調査報告書第16集	壱岐市教育委員会	
釜蓋5号墳	3	芦辺町文化財調査報告書第16集	壱岐市教育委員会	
笹塚古墳	20	壱岐市文化財調査報告書第5集	壱岐市教育委員会	重文
対馬塚古墳	52	壱岐市文化財調査報告書第6集	壱岐市教育委員会	
双六古墳	19	壱岐市文化財調査報告書第7集	壱岐市教育委員会	重文
大米古墳	1	壱岐市文化財調査報告書第25集	壱岐市教育委員会	
永田12号墳	1	壱岐市文化財調査報告書第25集	壱岐市教育委員会	
計	144			

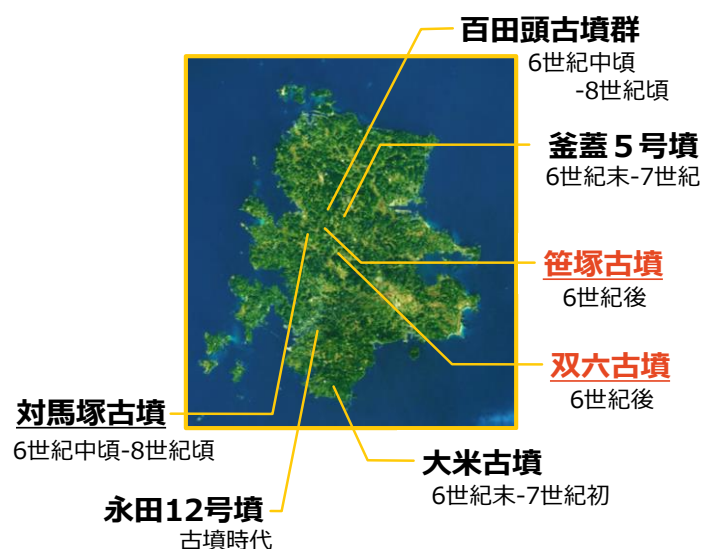


Fig. 3-5-1 資料の出土地（赤字は国指定文化財出土古墳，下線は首長墓）

iii) 分析結果

分析資料のうちアルカリケイ酸塩ガラスは 143 点，鉛ケイ酸塩ガラスは 18 点であった。また，4 点については古代ガラスとはやや異なる組成を示し，人工的に製造された古代ガラスではなく黒曜石の可能性が考えられ，これらは除外した。本項の末尾の定量値一覧と資料写真を掲載した。アルカリケイ酸塩ガラスはさらに 3 タイプに分類できることが知られている。主成分元素と微量重元素に加え，階層クラスター分析も用いて 3 タイプの分類を試みた。階層クラスター分析には解析用ソフトに College Analysis を用い，距離測定法は標準化ユークリッド距離，クラスター構成法にはウォード法を採用して解析を行った。変数には Al_2O_3 , K_2O , CaO , TiO_2 , Rb_2O , SrO , ZrO_2 の定量値を対数変換して用いた。その結果，Fig. 3-5-2 に示すように複数のグループに分かれた。このうち，壱岐①は主成分元素（Table 3-5-2）と微量重元素（Fig. 3-5-3）からアルミナソーダ石灰ガラス，壱岐②はカリガラス，壱岐③，壱岐④，壱岐⑤はソーダ石灰ガラスであることがわかった。これらの結果として本項で対象とした分析資料は Fig. 3-5-4 のような内訳となった。

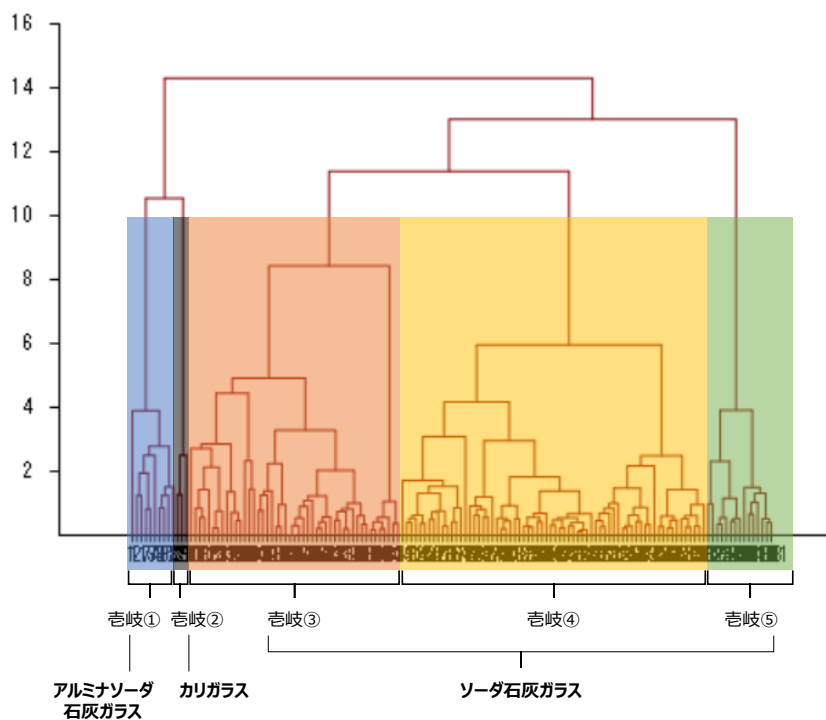


Fig. 3-5-2 階層クラスター分析の結果

Table 3-5-2 主要元素の平均化学組成（単位：wt%）

タイプ	点数*	Al ₂ O ₃	K ₂ O	CaO
カリガラス	3	5.57 (2.36-8.81)	9.72 (6.76-11.38)	1.50 (1.30-1.60)
ソーダ石灰ガラス	130	4.79 (1.62-11.56)	2.18 (0.32-4.13)	6.10 (2.28-13.22)
アルミナソーダ石灰ガラス	10	7.54 (4.06-15.07)	2.07 (1.66-2.93)	3.26 (2.10-5.74)

* SiO₂は100 wt%から他の元素の含有量を引いて算出
()内は濃度範囲

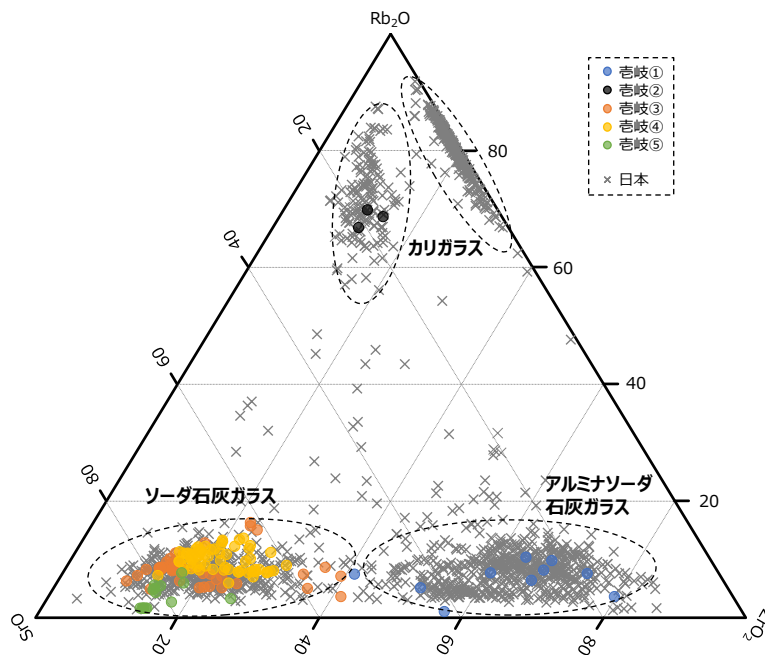


Fig. 3-5-3 微量重元素を用いたトリダイアグラム

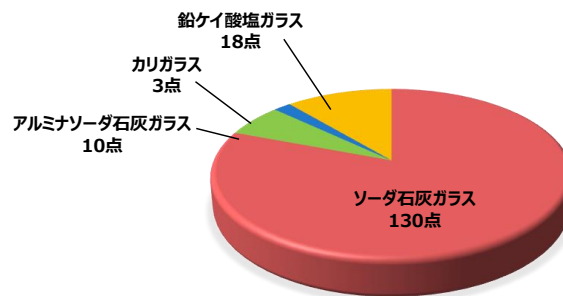


Fig. 3-5-4 本研究対象資料の分類結果内訳

a) カリガラス

カリガラスの研究は Lankton によって Al_2O_3 と CaO に基づく組成分類が報告されている (Lankton and Dussubieux, 2006). この組成分類は分布地域や色調の違いを反映している. Liu らの研究では, 微量重元素 (ルビジウム Rb とストロンチウム Sr) に基づいて Lankton の分類を考察した (Liu *et al.*, 2013). これまで当研究室が分析したカリガラスも大きく 2 つのグループに分けられ, Lankton や Liu らが報告している分類と似た傾向が明らかになっている. ここでは 2 つのグループを K-1 タイプと K-2 タイプと称する. K-1 タイプは Al_2O_3 と CaO が中間的な値を示し, K-2 タイプは Al_2O_3 が多く, CaO が少ないという特徴がある.

また、K-1 タイプに分類されるカリガラスの多くはコバルト Co を着色元素とする紺色を呈し、K-2 タイプは銅 Cu を用いた水色着色が多い。ここではクラスター分析の結果より、カリガラスに分類された沓岐②について言及する。カリガラスに分類された 3 点を比較した結果を Fig. 3-5-5 左に微量重元素を用いて分類したものを Fig. 3-5-5 右に示す。Fig. 3-5-5 より、3 点はすべて K-1 タイプに分類された。これら 3 点はコバルトによる着色 (CoO : 0.05 wt%程度) であり、これまでに報告されている K-1 タイプの特徴と一致する。

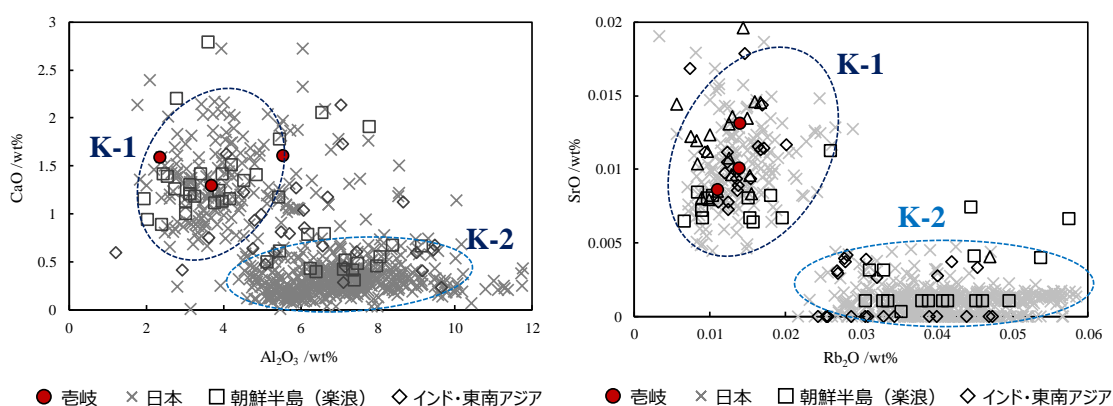


Fig. 3-5-5 カリガラスの分類 (左 : CaO vs. Al₂O₃ 右 : SrO vs. Rb₂O)

b) ソーダ石灰ガラス

ソーダ石灰ガラスはローマガラスやサーサーンガラス、イスラームガラスといった西アジアや地中海沿岸地域、中央アジアなどで製造されていたガラスである。西方のソーダ石灰ガラスを対象とした研究は多く知られ、ローマガラスやイスラームガラスはさらに細かく分類されている。一般的にソーダ石灰ガラスは、酸化マグネシウム MgO と酸化カリウム K₂O に基づいて大きく分けられている (Sayre and Smith, 1961)。本調査でソーダ石灰ガラスに分類された資料に対して両元素に基づいて分類すると、Fig. 3-5-6 のようにナトロンガラスと植物灰ガラスに分類された。植物灰ガラスには酸化アルミニウム Al₂O₃ と酸化カルシウム CaO を比較的多く含むガラスがあり、植物灰ガラスの中でも化学組成の違いがあった。

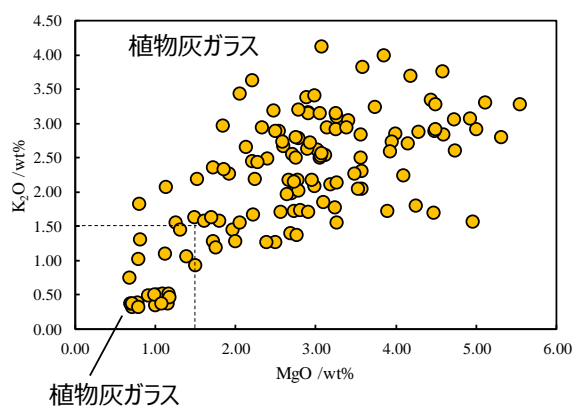


Fig. 3-4-6 ソーダ石灰ガラスの分類

今回分析したソーダ石灰ガラスは、青色や紺色のものがほとんどであり、多くはコバルト Co を着色剤に用いたものであった。一部の資料には黒色に近いものもあり、このような資料は比較的多くの鉄 Fe が含まれていた。

c) アルミナソーダ石灰ガラス

アルミナソーダ石灰ガラスは、インドや東南アジアで多くみられるガラスである。本調査では、6 点がアルミナソーダ石灰ガラスに分類された。微量元素に基づいてインドや東南アジアの先行研究 (Dussubieux *et al.*, 2010) と比較した。Table 3-5-3 に先行研究 (Dussubieux *et al.*, 2010) のデータと、本調査でアルミナソーダ石灰ガラスに分類されたものの平均値、当研究室がこれまでに分析した日本国内のデータの平均値を示した。Table 3-5-3 より日本で出土する資料は、ガラス原料の不純物であるチタン Ti やジルコニウム Zr の量が多い特徴がある。そしてこの特徴は壱岐で出土した資料に同様な傾向がみられた。また、色調は青色や青緑色であり、定量値から主に銅 Cu がガラスの着色にかかわっていると考えられる。

Table 3-5-3 壱岐、日本国内、先行研究のアルミナソーダ石灰ガラスの組成比較

	壱岐	日本*	先行研究				
			m-Na-Al 1	m-Na-Al 2	m-Na-Al 3	m-Na-Al 4	m-Na-Al 5
Ti	11000 (±2000)	5200 (±1800)	3595 (±1696)	2314 (±658)	1919 (±323)	2470 (±605)	3160 (±462)
Sr	300 (±100)	400 (±100)	373 (±145)	213 (±70)	132 (±31)	88 (±23)	183 (±25)
Zr	800 (±100)	900 (±300)	561 (±420)	168 (±91)	193 (±27)	251 (±55)	285 (±46)

* 当研究室の測定データ

単位:ppm

d) トンボ玉

分析した資料は、地のガラスが紺色で水色のガラスと黄色のガラスが陥入されたトンボ玉片（2IKI-040：IK007055002）と、地のガラスが紺色で赤色のガラスが陥入されたトンボ玉片（2IKI-041：IK007055001）、地の青紺色ガラスのみが残ったとんぼ玉片（4IKI-087：IK006047047）の3点である。2IKI-040、2IKI-041は双六古墳から出土したものであり、安永周平のトンボ玉の分類によれば、線状貼付斑点トンボ玉に属するものである。安永は本資料について朝鮮半島南部の新羅の影響を受けている、もしくは新羅で製造されたものの可能性を指摘している（安永, 2006）。本調査では各色一か所測定し、3点のとんぼ玉片で計6か所測定を行った。Table 3-5-4に示したように異なるタイプのガラスが用いられていたことがわかる。本資料については比佐陽一郎によって蛍光 X 線分析の結果がすでに報告されており（比佐, 2006）、Table 3-5-4に示した結果は比佐の分析結果とも一致している。両資料の地の紺色ガラスはコバルト Co 着色のソーダ石灰ガラスである点では共通であるが、細分類すると2IKI-040と4IKI-087の方は「b) ソーダ石灰ガラス」で述べた植物灰ガラスと考えられる。一方で2IKI-041の方はナトロンガラスと考えられ、化学組成的特徴に違いが見られた。2IKI-040の黄色部分はラマン分光分析により人工顔料スズ酸鉛と同定され、黄色の着色に用いたものとわかった。

Table 3-5-4 トンボ玉の化学組成分析結果一覧

資料番号	測定箇所	ガラスタイプ	着色
2IKI-040	紺色部分	ソーダ石灰ガラス（植物灰）	Co
	水色部分	アルミナソーダ石灰ガラス	Cu
	黄色部分	アルミナソーダ石灰ガラス	スズ酸鉛
2IKI-041	紺色部分	ソーダ石灰ガラス（ナトロン）	Co
	赤色部分	アルミナソーダ石灰ガラス	Fe
4IKI-087	紺色部分	ソーダ石灰ガラス（植物灰）	Co

e) 重層ガラス

2IKI-047（百田頭2号墳出土：AS0168087001 連玉1）はガラスとガラスの間に金属箔を挟み込んだ重層ガラスである。本資料は3回測定を行った。基礎ガラスのタイプはソーダ石灰ガラスであり、植物灰ガラスと考えられる。本資料の特徴としては Fe_2O_3 が7.63 wt%（ ± 0.43 ）と鉄 Fe を多く含むという特徴があった。当研究室ではこれまでに数十例同様な重層ガラスを分析したことがあり、それらと比較したところ Fig. 3-5-7 に示すように中央アジア（タジキスタン）の資料と同程度の鉄 Fe を含んでいることが分かった。当研究室が分析した日本の重層ガラスとは特徴が異なり、中央アジアの資料に近いことがわかった。内部の金属膜は金や銀が使われるが、本資料の場合は明瞭にピークが得られなかったため断言

はできないが、銀の可能性が示唆される。

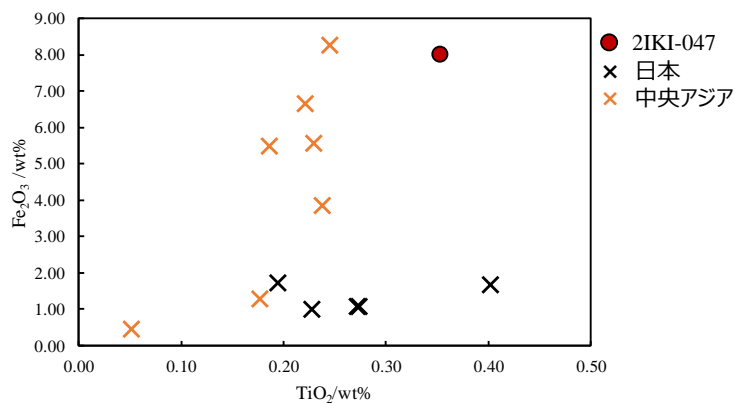


Fig. 3-5-7 重層ガラスの組成比較

f) まとめ

本研究の分析結果を Table 3-5-6 に示す。Table 3-5-6 より鉛ケイ酸塩ガラスが出土した古墳とアルカリケイ酸塩ガラスが出土した古墳は明確に分かれることがわかった。築造時期は、前者はすべて6世紀末頃～7世紀初頭でほぼ同時期であったのに対し、後者はばらつきがあるものの前者に比べやや早いものがふくまれる。このことから、鉛ケイ酸塩ガラスとアルカリケイ酸塩ガラスには流通時期に何らかの違いがあった可能性が示唆される。

Table 3-5-6 本研究分析資料の分類結果

出土地	分析点数	カリガラス	ソーダ石灰ガラス	アルミナソーダ石灰ガラス	鉛ケイ酸塩ガラス	その他
百田頭2号墳	22	1	18	3		
百田頭6号墳	14				14	
百田頭7号墳	8	1	5	1		金属ガラス 1
釜蓋5号墳	3				3	
笹塚古墳	20	1	18	1		
対馬塚古墳	51		50			とんぼ玉 1
双六古墳	19		16	1		とんぼ玉 2
大米古墳	1				1	
永田12号墳	1		1			

※灰色の塗りつぶしは鉛ケイ酸塩ガラスが出土した古墳を示す

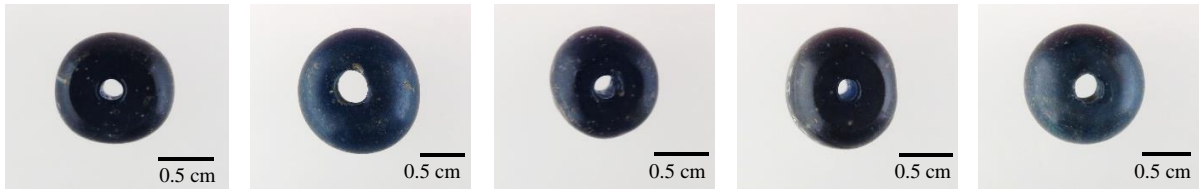
付録 定量値一覧 (3.5 長崎県 壱岐市のガラス)

遺跡名	時代	資料番号	博物館所蔵番号	形状	色調	技法	ガラス組成タイプ	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	CoO	NiO	CuO	ZnO	Rb ₂ O	SrO	Y ₂ O ₃	ZrO ₂	SnO ₂	Sb ₂ O ₃	PbO
対馬塚古墳	6世紀中頃-8世紀頃	4IKI-064	IK006047024	丸玉	濃青色	管切り	ソーダ石灰ガラス	tr.	2.39	4.65	83.3	1.27	4.59	0.20	0.19	1.29	0.078	n.d.	0.127	0.005	tr.	0.043	n.d.	0.018	tr.	tr.	0.162
対馬塚古墳	6世紀中頃-8世紀頃	4IKI-065	IK006047025	丸玉	黄緑色透明	巻き	ソーダ石灰ガラス	9.1	4.49	4.52	72.9	3.28	4.89	0.14	tr.	0.51	n.d.	n.d.	tr.	tr.	0.047	tr.	0.015	tr.	tr.	tr.	tr.
対馬塚古墳	6世紀中頃-8世紀頃	4IKI-066	IK006047026	丸玉	濃青色	管切り	ソーダ石灰ガラス	3.1	3.24	6.10	79.2	1.78	4.95	0.20	0.13	1.04	0.040	n.d.	0.049	tr.	tr.	0.046	n.d.	0.021	tr.	tr.	0.058
対馬塚古墳	6世紀中頃-8世紀頃	4IKI-067	IK006047027	丸玉	濃青色	管切り	ソーダ石灰ガラス	4.1	2.90	3.54	80.9	1.71	5.21	0.17	0.16	1.08	0.045	n.d.	0.068	0.006	tr.	0.048	n.d.	0.018	tr.	tr.	0.080
対馬塚古墳	6世紀中頃-8世紀頃	4IKI-068	IK006047028	丸玉	濃青色	管切り	ソーダ石灰ガラス	3.9	2.75	8.56	76.4	2.50	4.25	0.18	0.16	1.03	0.034	n.d.	0.059	0.004	tr.	0.049	n.d.	0.013	tr.	tr.	0.070
対馬塚古墳	6世紀中頃-8世紀頃	4IKI-069	IK006047029	丸玉	濃青色	管切り	ソーダ石灰ガラス	2.3	2.68	4.03	82.9	1.40	4.59	0.19	0.18	1.26	0.082	n.d.	0.135	0.006	0.003	0.043	n.d.	0.019	tr.	tr.	0.168
対馬塚古墳	6世紀中頃-8世紀頃	4IKI-070	IK006047030	丸玉	濃青色	管切り	ソーダ石灰ガラス	3.7	3.09	4.22	80.5	1.85	4.80	0.19	0.10	1.10	0.053	n.d.	0.111	0.006	tr.	0.044	tr.	0.018	tr.	n.d.	0.150
対馬塚古墳	6世紀中頃-8世紀頃	4IKI-071	IK006047031	丸玉	濃青色	管切り	ソーダ石灰ガラス	4.7	3.18	3.64	79.6	2.11	5.25	0.14	0.18	0.98	0.034	n.d.	0.066	tr.	tr.	0.047	n.d.	0.014	tr.	tr.	0.066
対馬塚古墳	6世紀中頃-8世紀頃	4IKI-072	IK006047032	丸玉	濃青色	管切り	ソーダ石灰ガラス	2.6	2.64	4.09	82.0	1.97	5.06	0.15	0.20	1.00	0.035	n.d.	0.077	tr.	tr.	0.044	n.d.	0.014	tr.	tr.	0.085
対馬塚古墳	6世紀中頃-8世紀頃	4IKI-073	IK006047033	丸玉	濃青色	管切り	ソーダ石灰ガラス	4.0	3.52	5.85	78.7	2.05	4.38	0.19	0.07	0.92	0.043	n.d.	0.053	0.005	tr.	0.052	tr.	0.021	tr.	tr.	0.089
対馬塚古墳	6世紀中頃-8世紀頃	4IKI-074	IK006047034	丸玉小	青色透明	巻き	ソーダ石灰ガラス	2.6	3.08	4.91	82.0	2.57	3.56	0.11	0.05	0.80	tr.	n.d.	0.038	tr.	tr.	0.027	tr.	0.009	tr.	n.d.	0.175
対馬塚古墳	6世紀中頃-8世紀頃	4IKI-075	IK006047035	丸玉小	青色透明	巻き	ソーダ石灰ガラス	7.3	4.59	4.69	74.4	2.84	4.70	0.13	0.06	0.88	0.023	n.d.	0.055	0.004	tr.	0.036	n.d.	0.008	tr.	tr.	0.249
対馬塚古墳	6世紀中頃-8世紀頃	4IKI-076	IK006047036	丸玉小	青色透明	巻き	ソーダ石灰ガラス	10.9	5.00	5.73	67.4	2.92	5.93	0.17	0.07	1.12	0.028	tr.	0.117	0.004	tr.	0.039	tr.	0.009	0.02	tr.	0.494
対馬塚古墳	6世紀中頃-8世紀頃	4IKI-077	IK006047037	丸玉小	青色透明	巻き	ソーダ石灰ガラス	6.1	5.55	5.18	73.0	3.28	4.90	0.14	0.07	1.01	0.022	tr.	0.086	0.004	tr.	0.034	tr.	0.009	0.11	n.d.	0.472
対馬塚古墳	6世紀中頃-8世紀頃	4IKI-078	IK006047038	丸玉小	青色透明	巻き	ソーダ石灰ガラス	7.8	4.44	6.29	71.9	3.35	4.82	0.14	0.05	0.95	tr.	n.d.	0.032	0.004	tr.	0.028	n.d.	0.008	tr.	tr.	0.142
対馬塚古墳	6世紀中頃-8世紀頃	4IKI-079	IK006047039	丸玉小	青色透明	巻き	ソーダ石灰ガラス	7.3	4.93	5.57	72.7	3.07	4.83	0.11	0.11	0.92	0.023	tr.	0.072	0.005	tr.	0.037	n.d.	0.009	tr.	tr.	0.297
対馬塚古墳	6世紀中頃-8世紀頃	4IKI-080	IK006047040	丸玉小	青色透明	巻き	ソーダ石灰ガラス	4.0	3.41	5.28	78.8	3.05	4.11	0.14	0.06	0.92	tr.	n.d.	0.033	0.005	tr.	0.030	n.d.	0.010	tr.	tr.	0.138
対馬塚古墳	6世紀中頃-8世紀頃	4IKI-081	IK006047041	丸玉小	青色透明	巻き	ソーダ石灰ガラス	7.5	4.49	5.40	73.5	2.92	4.65	0.12	0.10	0.88	0.024	n.d.	0.073	0.004	tr.	0.037	tr.	0.008	tr.	n.d.	0.302
対馬塚古墳	6世紀中頃-8世紀頃	4IKI-082	IK006047042	丸玉小	青色透明	巻き	ソーダ石灰ガラス	3.9	4.73	4.81	77.9	2.60	4.53	0.12	0.10	0.89	0.021	tr.	0.081	tr.	tr.	0.036	n.d.	0.009	tr.	n.d.	0.262
対馬塚古墳	6世紀中頃-8世紀頃	4IKI-083	IK006047043	丸玉小	青色透明	巻き	ソーダ石灰ガラス	5.0	4.09	3.41	79.8	2.25	4.07	0.09	0.07	0.75	0.025	n.d.	0.077	0.004	tr.	0.036	tr.	0.008	tr.	tr.	0.328
対馬塚古墳	6世紀中頃-8世紀頃	4IKI-084	IK006047044	丸玉小	青色透明	巻き	ソーダ石灰ガラス	4.3	3.94	7.53	75.3	2.74	4.54	0.14	0.09	0.93	0.022	tr.	0.076	0.004	0.002	0.036	n.d.	0.009	tr.	n.d.	0.291
対馬塚古墳	6世紀中頃-8世紀頃	4IKI-085	IK006047045	丸玉小	青色透明	巻き	ソーダ石灰ガラス	4.8	4.72	6.25	75.6	3.05	4.18	0.12	0.05	0.89	tr.	tr.	0.043	tr.	tr.	0.028	tr.	0.011	tr.	tr.	0.194
対馬塚古墳	6世紀中頃-8世紀頃	4IKI-086	IK006047046	丸玉小	青色透明	巻き	ソーダ石灰ガラス	4.5	3.92	3.91	79.1	2.59	4.45	0.11	0.09	0.88	0.028	tr.	0.078	tr.	tr.	0.037	tr.	0.009	0.02	n.d.	0.306
対馬塚古墳	6世紀中頃-8世紀頃	4IKI-087	IK006047047	トンボ玉	濃青色		ソーダ石灰ガラス	tr.	0.72	3.33	85.7	0.32	5.24	0.15	0.13	2.19	0.278	tr.	0.254	0.008	n.d.	0.040	tr.	0.015	tr.	tr.	0.353

n.d. = not detected (検出限界以下) tr. = trace amount (定量下限以下)

* SiO₂は100 wt%から他の元素の含有量を引いて算出

付録 資料写真一覧



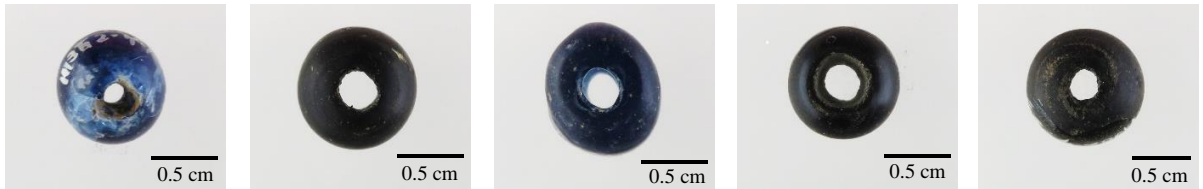
2IKI-001

2IKI-002

2IKI-003

2IKI-004

2IKI-005



2IKI-006

2IKI-007

2IKI-008

2IKI-009

2IKI-010



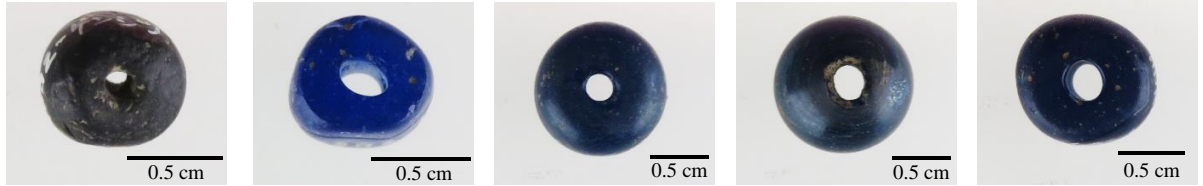
2IKI-011

2IKI-012

2IKI-013

2IKI-014

2IKI-015



2IKI-016

2IKI-017

2IKI-018

2IKI-019

2IKI-020



2IKI-021

2IKI-022

2IKI-023

2IKI-024

2IKI-025



2IKI-026

2IKI-027

2IKI-028

2IKI-029

2IKI-030

付録 資料写真一覧



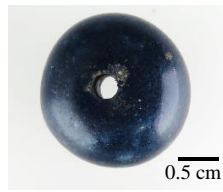
2IKI-031



2IKI-032



2IKI-033



2IKI-034



2IKI-035



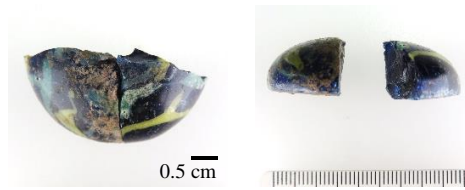
2IKI-036



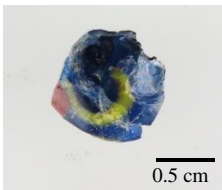
2IKI-037



2IKI-038



2IKI-040



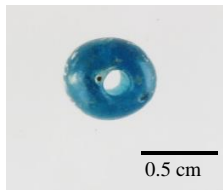
2IKI-041



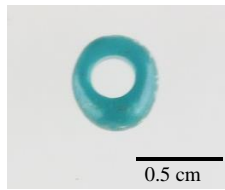
2IKI-042



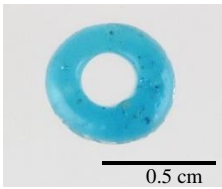
2IKI-043



2IKI-044



2IKI-045



2IKI-046



2IKI-047



2IKI-048



2IKI-049



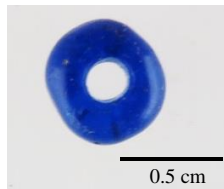
2IKI-050



2IKI-051



2IKI-052



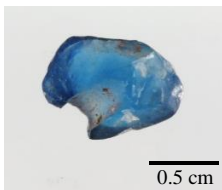
2IKI-053



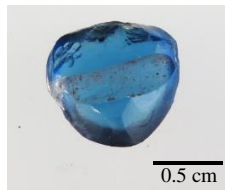
2IKI-054



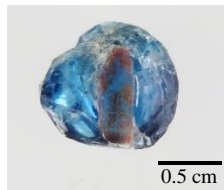
2IKI-055



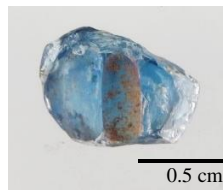
2IKI-056



2IKI-057

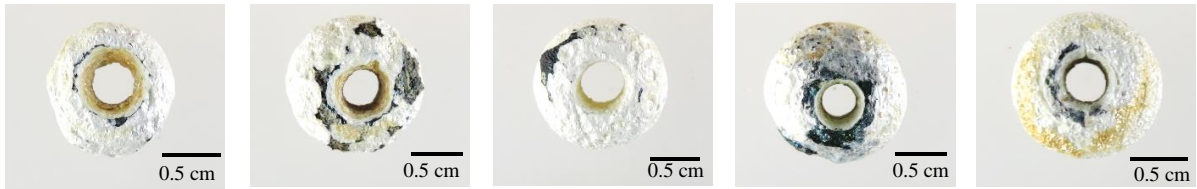


2IKI-058



2IKI-059

付録 資料写真一覧



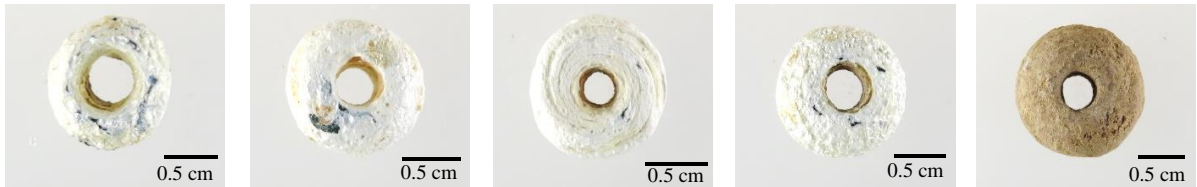
4IKI-001

4IKI-002

4IKI-003

4IKI-004

4IKI-005



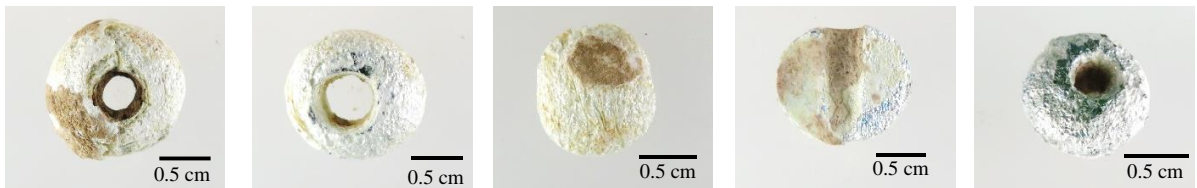
4IKI-006

4IKI-007

4IKI-008

4IKI-009

4IKI-010



4IKI-011

4IKI-012

4IKI-013

4IKI-014

4IKI-015



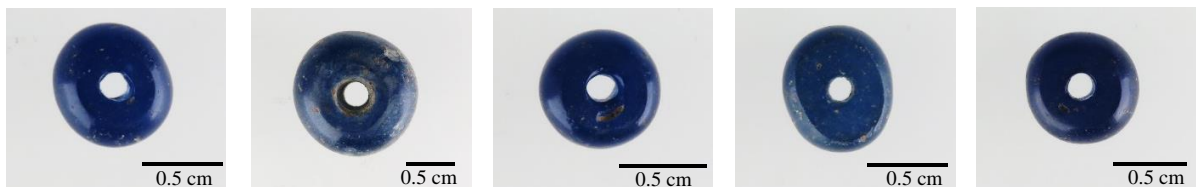
4IKI-016

4IKI-017

4IKI-018

4IKI-019

4IKI-020



4IKI-021

4IKI-022

4IKI-023

4IKI-024

4IKI-025



4IKI-026

4IKI-027

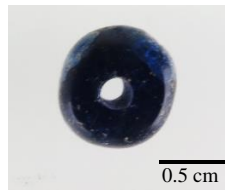
4IKI-028

4IKI-029

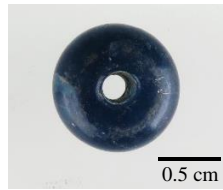
付録 資料写真一覧



4IKI-031



4IKI-032



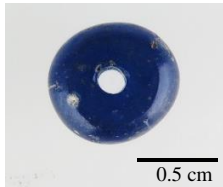
4IKI-033



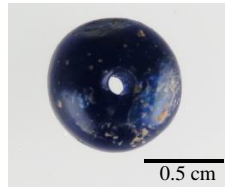
4IKI-034



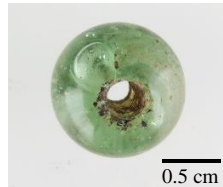
4IKI-035



4IKI-036



4IKI-037



4IKI-038



4IKI-039



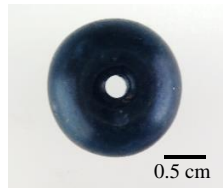
4IKI-040



4IKI-041



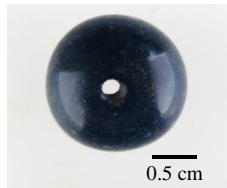
4IKI-042



4IKI-043



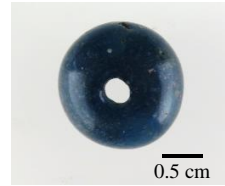
4IKI-044



4IKI-045



4IKI-047



4IKI-048



4IKI-049



4IKI-050



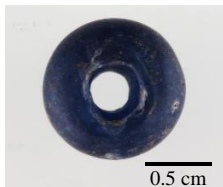
4IKI-051



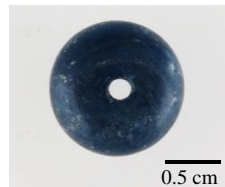
4IKI-052



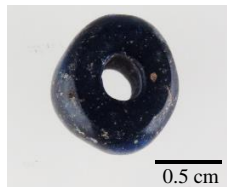
4IKI-053



4IKI-054



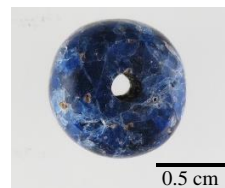
4IKI-055



4IKI-056



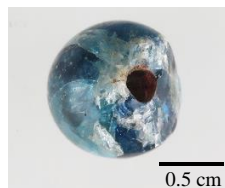
4IKI-057



4IKI-058



4IKI-059



4IKI-060

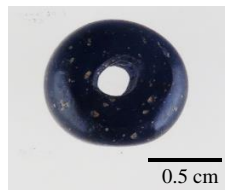


4IKI-061

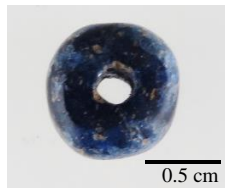
付録 資料写真一覧



4IKI-062



4IKI-063



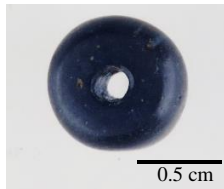
4IKI-064



4IKI-065



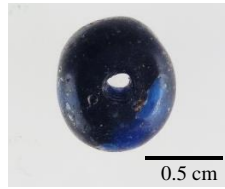
4IKI-066



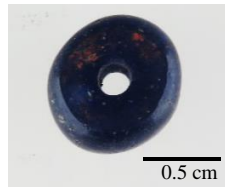
4IKI-067



4IKI-068



4IKI-069



4IKI-070



4IKI-071



4IKI-072



4IKI-073



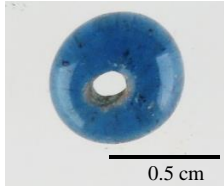
4IKI-074



4IKI-075



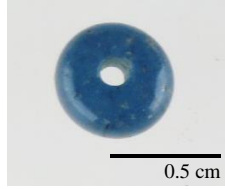
4IKI-076



4IKI-077



4IKI-078



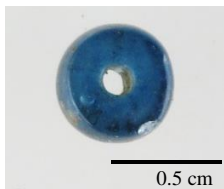
4IKI-079



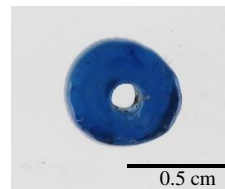
4IKI-080



4IKI-081



4IKI-082



4IKI-083



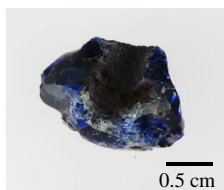
4IKI-084



4IKI-085



4IKI-086



4IKI-087

3.6 長崎県対馬市のガラス

i) 序

古代の日本には大陸から様々な文物が伝えられたと考えられ、朝鮮半島と北部九州の間に位置する対馬や壱岐では、朝鮮半島系遺物が多数発見されている。古代中国の歴史書である『魏志倭人伝』にも対馬や壱岐に関する記載があり、大陸にもその存在は認知されていた。このような背景から対馬や壱岐は古代の日本-大陸間の交易の要衝として栄えていたと考えられている（長崎県壱岐市, 2016）。

本研究では日本-大陸間における古代ガラス交易について考察することを目的とし、ここでは対馬市内で発見されたガラス玉の分析結果について報告する。当研究室では、対馬と同じく日本-大陸間の交易上にあった壱岐でも調査を実施し、ガラス玉の化学組成分析も行ったことを踏まえ、ここではその結果も交えながら報告する。

ii) 分析資料

本研究では、コフノサエ遺跡から出土した72点と、かがり松鼻遺跡より出土した約1200点のうち55点を分析した。Table 3-6-1に本研究で対象としたガラス玉の分析点数を出土地ごとに示した。両遺跡の位置をFig. 3-6-1に示す。資料の形状は小玉がほとんどであり、1点のみ管玉が含まれる。色調は青色、紺色、淡青色のほかは無色透明のガラスが含まれていた。

Table 3-6-1 各出土地点における本研究での分析点数

出土箇所	時代	分析点数
コフノサエ6号遺構 表面		1
コフノサエ10号遺構 C上面		4
コフノサエB-2号 上面		17
コフノサエ7号遺構 表面		18
コフノサエ第11号 板石下		12
コフノサエ1遺構（石棺下）		10
コフノサエ		9
かがり松鼻遺跡	弥生時代後期	55



Fig. 3-6-1 本研究対象出土地

iii) 分析結果

分析した資料はすべてアルカリケイ酸塩ガラスであり、Table 3-6-2 に示した主成分元素組成と Fig. 3-6-2 に示した微量重元素組成よりカリウム K を多く含むカリガラス (K_2O-SiO_2)、カルシウム Ca を多く含むソーダ石灰ガラス ($Na_2O-CaO-SiO_2$)、アルミニウム Al を多く含むアルミナソーダ石灰ガラス ($Na_2O-Al_2O_3-CaO-SiO_2$) の 3 タイプに分類された。これら 3 種類のアルカリケイ酸塩ガラスは、これまでの日本出土古代ガラス研究でも報告されている組成タイプである。

なお壱岐のデータの外、日本各地で出土した古代ガラス玉のうち、同装置を用いてこれまでに分析した組成データを Fig. 3-6-2 中の「日本」として記載し、同様に「南・東南アジア」はカンボジア、ベトナム、ラオス、インドの組成データを、「中央アジア」はキルギスとタジキスタンで分析したガラス玉のデータを含めた。

Table 3-6-2 主要成分元素組成

本研究での分類	分析 点数	Al_2O_3	K_2O	CaO
カリガラス (K_2O-SiO_2)	65	3.48 (2.37-6.84)	9.87 (3.33-14.61)	1.13 (0.28-1.73)
ソーダ石灰ガラス ($Na_2O-CaO-SiO_2$)	9	3.98 (3.02-4.81)	1.43 (0.63-3.40)	4.64 (3.16-6.88)
アルミナソーダ石灰ガラス ($Na_2O-Al_2O_3-CaO-SiO_2$)	53	10.58 (7.37-14.28)	2.06 (0.98-3.53)	2.34 (1.05-6.34)

() 内は濃度範囲

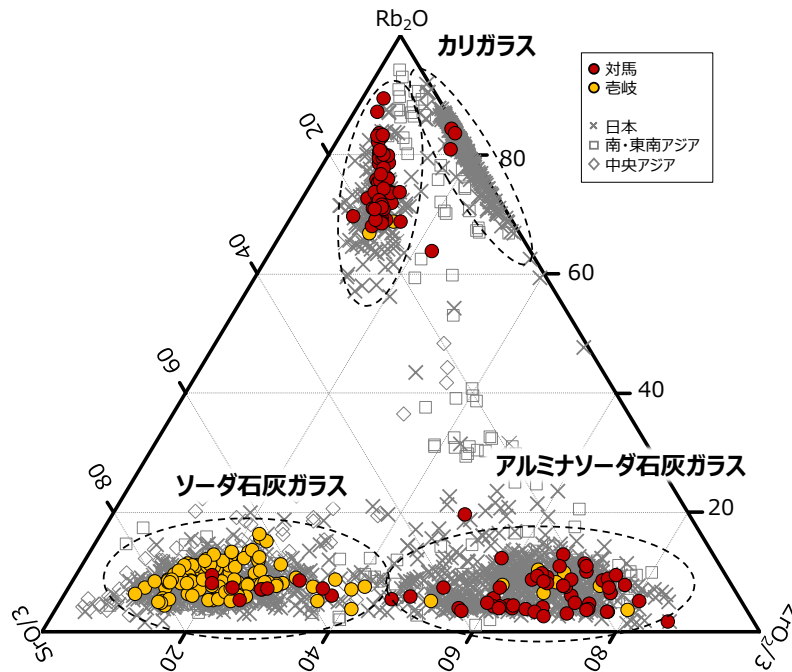


Fig. 3-6-2 微量重元素による分類

a) カリガラス

カリガラスに分類された資料は、コフノサエ遺跡出土品の分析資料 10 点とかがり松鼻遺跡出土品の分析資料 55 点の計 65 点である。カリガラスは弥生時代前期末頃から日本で出現しはじめ、弥生時代に多く流通したガラスタイプである。

Lankton は南・東南アジアや韓国のカリガラスをアルミニウム Al_2O_3 とカルシウム CaO に基づいて細分類し、それぞれ分布地域が異なることを報告している (Lankton and Dussubieux, 2006)。また Liu らは中国広西チワン自治区から出土した漢代のカリガラスを分析し、同様にアルミニウム Al_2O_3 とカルシウム CaO によって特徴を明らかにした。さらに Liu らはルビジウム Rb とストロンチウム Sr を用いて分類しており、 Al_2O_3 と CaO を用いた場合との対応について言及している (Liu *et al.*, 2013)。

本稿では Lankton や Liu らの研究を参考に Fig. 3-6-3 のように分類した。Fig. 3-6-3 には比較として以前調査を行った壱岐のデータをはじめ、当研究室が分析した日本各地、南・東南アジア、中央アジアのデータも載せた。Fig. 3-6-3 に示すように、カリガラスに分類された 65 点は色調に対応して、2 グループに細分類された。ここではそれぞれ Fig. 3-6-3 に示すように K-1 タイプと K-2 タイプと称する。当研究室を含めカリガラスに関する先行研究では、K-1 タイプは紺色、K-2 タイプは淡青色を呈し、Fig. 3-6-3 の分類はガラスの着色に対応することが知られる (大賀・田村, 2016)。

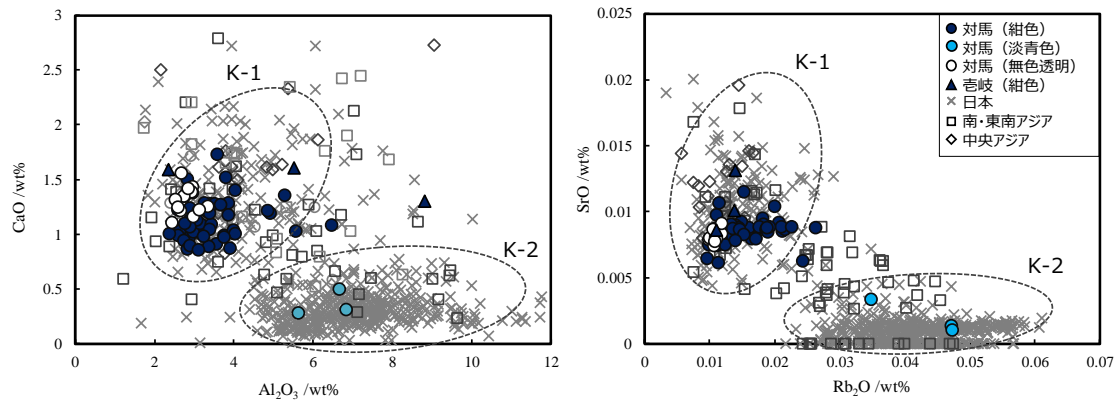


Fig. 3-6-3 カリガラスの細分類 (左: CaO vs. Al₂O₃ 右: SrO vs. Rb₂O)

次にかがり松鼻遺跡の無色透明ガラス玉 13 点を分析したところ、これらはすべてカリガラスであった。この無色透明カリガラスは Fig. 3-6-3 に示すように K-1 に分類された。西方のガラス製造では消色剤を添加することにより、無色透明に近いガラスを製造する技術が知られているが、カリガラスにおける消色剤の利用は知られていない (Dussubieux, 2016)。Fig. 3-6-4 に示すように同じかがり松鼻遺跡出土品の紺色カリガラスとスペクトルを比較したところ、紺色カリガラスに含まれるコバルト Co やマンガン Mn、鉄 Fe が、無色透明カリガラスには含まれないことがわかる。Fig. 3-6-4 から、着色剤を添加しないことで無色透明を実現させていることがわかった。無色透明カリガラスは筆者が把握している限り、福岡県の前田古墳で出土例が報告されている以外には分析例はない (Oga and Tamura, 2013)。Oga・Tamura は本資料を P-1 というタイプに分類しており、この P-1 は本研究における K-1 に類似するものと考えられる。したがって、前田古墳例は本研究における K-1 タイプと考えられ、本研究例と同様な化学組成的特徴を示す。

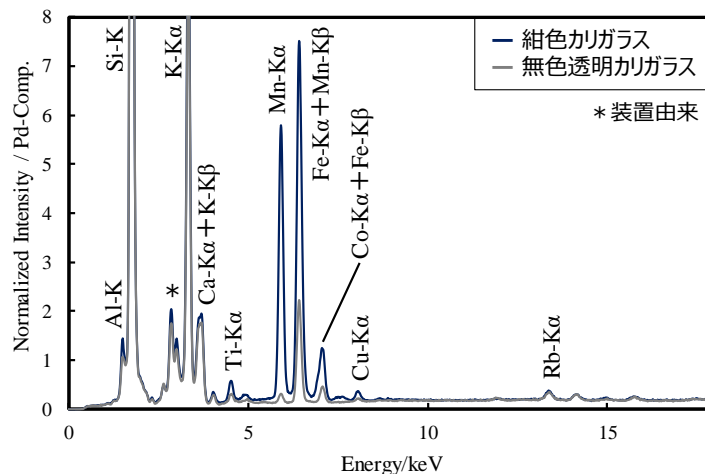


Fig. 3-6-4 無色透明カリガラスと紺色カリガラスの蛍光 X 線スペクトル比較

b) ソーダ石灰ガラス

ソーダ石灰ガラスはコフノサエ遺跡から出土した6点が分類された。このタイプはカリガラスより遅れ、弥生時代後期頃から日本国内で見られるようになる。ソーダ石灰ガラスは用いた融剤によって、酸化マグネシウム MgO と酸化カリウム K₂O の含有量に差がみられることが知られている (Sayre and Smith, 1961)。ソーダ石灰ガラスにおいて融剤は植物灰と鉍物 (ナトロン: Na₂CO₃ · 10H₂O を主成分とする) の2種類の利用があり、MgO と K₂O を多く含むものは植物灰を用い、少ないものは鉍物由来とされている。その境界は一般的に両元素が 1.5 wt% で区分されている。Fig. 3-6-5 に両元素で比較したものを示す。ソーダ石灰ガラスは西アジアや地中海沿岸地域、中央アジアなどで製造されたものと考えられているが、近年南アジアや東南アジアの古代ガラス研究によって、西方のソーダ石灰ガラスを用いてこれらの地域でビーズ生産が行われた可能性が指摘されている (Lankton and Dussubieux, 2006)。

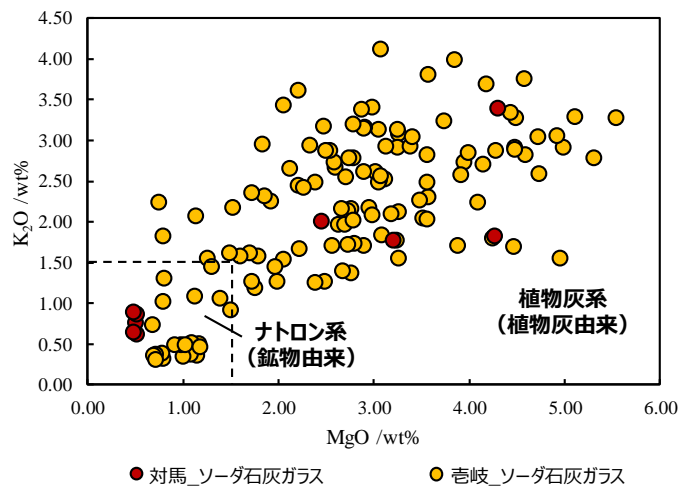


Fig. 3-6-5 K₂O と MgO 含有量によるソーダ石灰ガラスの分類

c) アルミナソーダ石灰ガラス

コフノサエ遺跡の資料のうち 53 点がアルミナソーダ石灰ガラスに分類された。アルミナソーダ石灰ガラスはインドや東南アジアでよく見られているタイプのガラスである。i) 序で述べたように、本研究では対馬のガラスの化学組成分析を通じて、朝鮮半島とのガラス交易上のつながりについて考察することを目的としている。当研究室では楽浪土城および楽浪古墳から出土したガラス玉の分析調査実績もあり (柳瀬 他, 2016)、同ガラスタイプの主な分布地域である南アジアや東南アジアと合わせて組成比較を行った。まずガラス原料に付随する微量重元素 (ストロンチウム Sr, ジルコニウム Zr) をもとに対馬 (コフノサエ遺跡, かがり松鼻遺跡), 壱岐, 南アジア, 東南アジア, 楽浪のデータを比較した結果を Fig.

3-6-6 に示す。Fig. 3-6-6 より、対馬や壱岐の資料は東南アジアの一部の資料とは似た特徴を有するも、南アジアや楽浪の大部分の資料とは異なることがわかった。

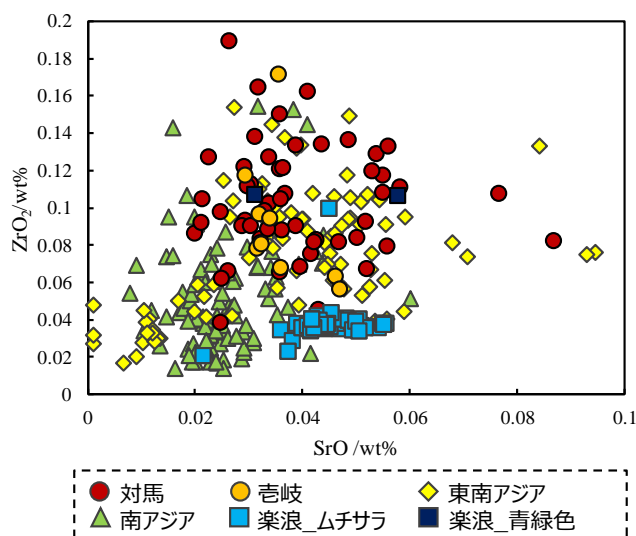


Fig. 3-6-6 微量重元素による各地域の比較

さらにアルミナソーダ石灰ガラスに関する先行研究ではウラン U とバリウム Ba に基づいて「IU-hBa (低ウラン-高バリウム)」と「hU-lBa (高ウラン-低バリウム)」の2種類の外、様々な組成分類が報告されている (Dussubieux and Gratuze, 2013)。ここでは上記2タイプとの比較を試みた。その結果を Fig. 3-6-7 に示す。日本のアルミナソーダ石灰ガラスのほとんどは IU-hBa に類似する特徴を持つ傾向があり、Fig. 3-6-7 からわかるように対馬や壱岐の資料も同タイプに類似することがわかった。Fig. 3-6-7 の比較では対馬・壱岐の資料と ZrO_2 に差が確認された楽浪の資料も、Fig. 3-6-7 を見る限り同じ IU-hBa 類似タイプと考えられる。ただ、楽浪の資料のほとんどはムチサラと呼ばれる銅 Cu による不透明赤色着色であり、対馬や壱岐と同系統の青緑色資料は2点のみであるが、Fig. 3-6-7 を見る限りこの2点は対馬や壱岐と同程度の ZrO_2 を含んでいた。比較できる資料点数が少ないが、同色調のアルミナソーダ石灰ガラスは対馬・壱岐と楽浪で同様な化学組成であると考えられる。

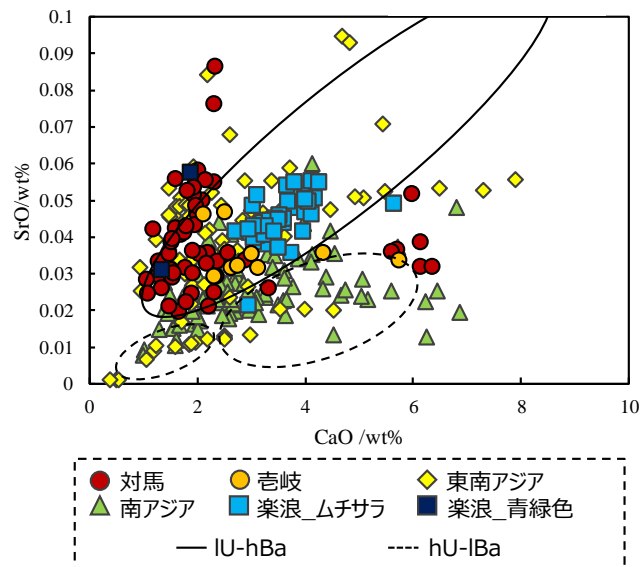


Fig. 3-6-7 SrO と CaO を用いた比較

d) ガラスの着色について

今回分析した資料のほとんどは紺色や青色、淡青色であった。ここではこれらを青色系としてまとめる。これら青色系はコバルト Co や銅 Cu によって着色されている。かがり松鼻遺跡の紺色ガラス玉は平均にして 0.07 wt% の CoO を含み、これら紺色ガラス玉の着色にはコバルトが用いられていた。淡青色ガラス玉の 1 点は 0.588 wt% の CuO を含み、さらにスズ Sn と鉛 Pb も含んでいたことから青銅を利用したものと考えられる。かがり松鼻遺跡の無色透明ガラス玉 13 点はカリガラスであり、先述のようにコバルトや銅といった着色剤を添加しないことで、無色透明のガラス玉を製造したものである。このような資料は筆者が把握している限りではあまり類例がない。コフノサエ遺跡の分析資料はカリガラス、ソーダ石灰ガラス、アルミナソーダ石灰ガラスとガラスタイプが異なるが、かがり松鼻遺跡の資料と同様に青色や紺色はコバルト、淡青色は銅（青銅）が用いられていた。

e) まとめ

今回対馬市内のかがり松鼻遺跡とコフノサエ遺跡出土資料を分析し、分類した結果を Table 3-6-3 および Fig. 3-6-8 に示す。先述のように、かがり松鼻遺跡の分析資料はすべてカリガラスであった。一方コフノサエ遺跡の資料は 3 タイプのアルカリケイ酸塩ガラスに分けられ、その中でもアルミナソーダ石灰ガラスに多くが分類された。一般的に日本国内では、カリガラスは弥生時代のガラス、ソーダ石灰ガラスとアルミナソーダ石灰ガラスは古墳時代のガラス（弥生時代後期から出現し始める）と認識されている。ここで報告した結果も先行研究に対応する傾向がみられた。

Table 3-6-3 対馬市内の2遺跡出土資料の分析結果一覧

遺構	時期	点数	カリガラス	ソーダ石灰ガラス	アルミナソーダ石灰ガラス
コフノサエ6号遺構表面 830521 8698 (1個)	古墳	1	1		
コフノサエ10号遺構C上面 83.05.21 8700(4点)	5世紀末~6世紀初頭	4			4
コフノサエB-2号上面 83.05.30 8701ガラス玉1点(17点)	古墳	17	4	5	8
コフノサエ7号遺構表面 伽耶ルツボ内 83.05.21 7819	古墳	18	1	1	16
コフノサエ第11号 板石下 83.05.28 8696 1点 (12個)	5世紀末~6世紀初頭	12		2	10
コフノサエ1遺構 (石棺内) 83.05.23 8699 1点 (19個)	古墳	10	4		6
コフノサエ 8697 1点 (13個)	古墳	9		1	8
コフノサエ遺跡 S58年 上対馬町 7814 1点	古墳	1			1
かがり松鼻遺跡	弥生後期	55	55		
	合計	127	65	9	53

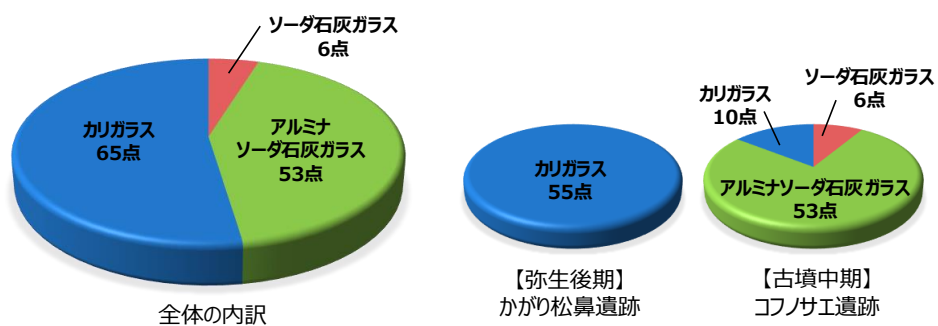
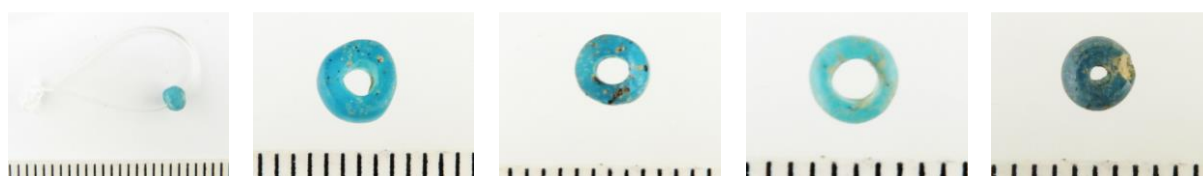


Fig. 3-6-8 対馬出土古代ガラスの分類結果

付録 資料写真一覧



2TSM-001
6号遺構表面

2TSM-002
10号遺構C上面

2TSM-003
10号遺構C上面

2TSM-004
10号遺構C上面

2TSM-005
10号遺構C上面



2TSM-006 ~ 2TSM-022
B-2号上面



2TSM-023 ~ 2TSM-040
7号遺構表面



2TSM-041 ~ 2TSM-052
第11号 板石下



2TSM-053 ~ 2TSM-062
1号遺構 (石棺内)

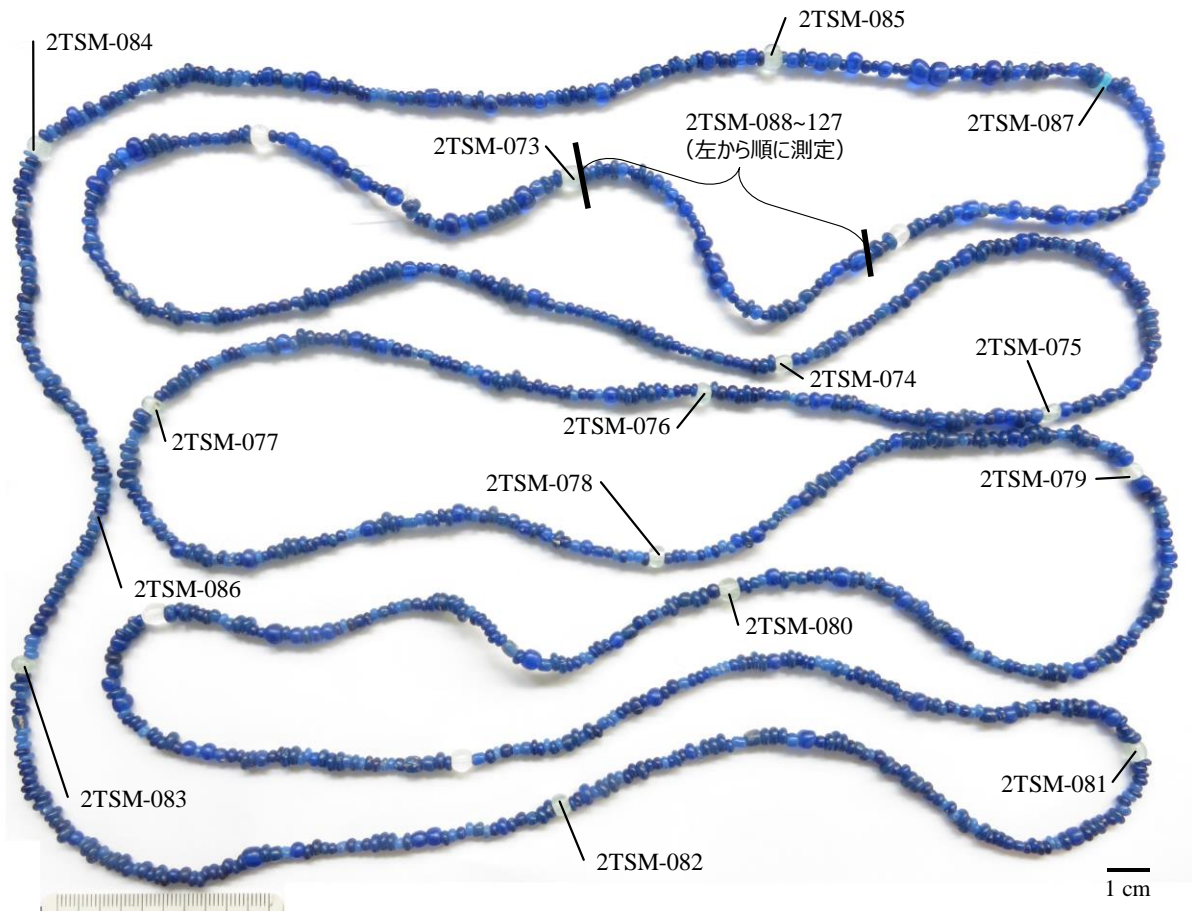


2TSM-062 ~ 2TSM-071
第11号 板石下



2TSM-072

付録 資料写真一覧



参考文献

- 大賀克彦, 田村朋美, 2015. 古墳時代前期のナトロンガラス, 古代学(奈良女子大学古代学学術研究センター), 7, pp.1-11.
- 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(奈良女子大学古代学学術研究センター), 8, pp.11-23.
- 肥塚隆保, 1997. 日本で出土した古代ガラスの歴史の変遷に関する科学的研究(博士論文, 東京芸術大学).
- 肥塚隆保, 田村朋美, 大賀克彦, 2010. 材質とその歴史の変遷, 月刊文化財(特集 古代ガラスと考古科学), 566, pp.13-25.
- 白瀧絢子, 阿部善也, K.タンタラカーン, 中井 泉, 池田朋生, 坂口圭太郎, 後藤克博, 荒井隆宏, 2012. 熊本県出土の古代ガラスの考古化学的研究, 考古学と自然科学, 63, pp.1-25.
- 田村朋美, 2013b. 日本列島における植物灰ガラスの出現と展開, 文化財科学の新地平, 奈良文化財研究所.
- 長崎県壱岐市, 2016. 図録「海の王都：原の辻遺跡と壱岐の至宝」, pp.8-19
- 比佐陽一郎, 2006. 壱岐市双六古墳・対馬塚古墳出土ガラス製品の調査, 壱岐市文化財調査報告書 第7集 双六古墳, 壱岐市教育委員会, pp.113-118.
- 藤澤敦, 2004. CR法を活用したエミシのガラス玉の研究(平成15年度研究助成成果報告歴史), 財団法人福武学術文化振興財団歴史学・地理学助成報告書, pp.53-57.
- 藤田 等, 1994. 第1章 縄文時代のガラス, 弥生時代ガラスの研究—考古学的方法—, 名著出版 pp.34-41.
- 村串まどか, 中澤寛将, 中井泉, 2017. 亀ヶ岡遺跡出土ガラス玉の考古化学的分析とその意義, 研究紀要= Bulletin of Aomori Prefectural Archaeological Artifacts Research Center, 22, pp. 21-33.
- 安永周平, 2006. 双六古墳出土の装飾付ガラス玉(通称トンボ玉)について, 壱岐市文化財調査報告書 第7集 双六古墳, 壱岐市教育委員会, pp.93-104.
- 柳瀬和也, 松崎真弓, 澤村大地, 中村和之, 森岡健治, 中井泉, 2015. 蛍光 X線分析による北海道で出土した続縄文時代の古代ガラスの特性化, 分析化学, 64(5), pp.371-377.
- Dussubieux, L., 2016. Potash Glass: A View from South and Southeast Asia, In Recent Advances in the Scientific Research on Ancient Glass and Glaze, pp. 95-111.
- Dussubieux, L. and Gratuze, B., 2008. The trading of ancient glass beads: new analytical data from South Asian and East African soda-alumina glass beads, Archaeometry, 50, pp.797-821.
- Dussubieux, L., Gratuze, B., Blet-Lemarquand, M., 2010. Mineral soda alumina glass: occurrence and meaning, Journal of Archaeological Science, 37(7), pp.1646-1655.

- Dussubieux, L., and Gratuze, B., 2013. Glass in South Asia, *Modern Methods for Analysing Archaeological and Historical Glass*, Volume I, pp.399-413.
- Jackson, C.M., 2005. Making colourless glass in the Roman period, *Archaeometry*, 47, 4, pp.763-780.
- Lankton, J. W., and Dussubieux, L., 2006. Early glass in Asian maritime trade: a review and an interpretation of compositional analyses, *Journal of Glass Studies*, pp.121-144.
- Lankton, J. W., and Dussubieux, L., 2013. Early glass in southeast Asia, *Modern Methods for Analysing Archaeological and Historical Glass*, Volume I, pp.415-443.
- Liu, S., Li, Q. H., Fu, Q., Gan, F. X., Xiong, Z. M., 2013. Application of a portable XRF spectrometer for classification of potash glass beads unearthed from tombs of Han Dynasty in Guangxi, China., *X - Ray Spectrometry*, 42(6), pp.470-479.
- Oga, K., and 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.
- Sayre, E. V., and Smith, R. W., 1961. Compositional categories of ancient glass. *Science*, 133(3467), pp.1824-1826.
- Tamura, T., and Oga, K. 2016. Archaeometrical investigation of natron glass excavated in Japan. *Microchemical Journal*, 126, 7-17.

第4章 大陸の交易品の化学組成

本章では、大陸の交易品としてガラスの他に貨幣の分析にも着目した。これは大陸の中でも特に極東ロシア、北海道を中心とする北方のガラス流通を考察すべく、その足掛かりとして文字情報も含む貨幣に着目した。本章では中国内モンゴル自治区、中央アジアの出土ガラスに加え、貨幣の分析結果もここで報告する。

4.1 中国内モンゴル自治区のガラス

i) 序

唐の滅亡後、東アジア社会は諸勢力が台頭する時代を迎えたなか、モンゴル高原周辺を拠点としていた契丹族は、10世紀初頭に帝国を建国した。帝国契丹（遼）は、南の宋や西のウイグルとの武力衝突や交易を繰り返しながら約200年にわたり東方ユーラシアにおいて国家を築いた（市元, 2011）。数々の考古学的調査により、複数の契丹墓からガラス器をはじめ様々な文物が発見されており、周辺諸国との活発な交流があったとされている。

本項では、内蒙古自治区内の貴族墓から出土した遼代のガラス器6点の化学組成分析調査結果について報告し、その意義について議論する。

8世紀半ばに安史の乱の勃発により唐が弱体化し、北方のモンゴル高原ではウイグルが天災などにより崩壊したことで、東方ユーラシアは混乱に陥る。旧体制が崩壊し新勢力が台頭するなか、新興勢力として契丹（遼）が勃興した。モンゴル高原東端の大興安嶺山脈南麓、シラ・ムレン河流域に根拠地を構えていた契丹族は、もともと複数部族からなる社会を構成していたが、10世紀初頭に族長となった耶律阿保機（872-926）を初代皇帝とする契丹国を建国した。早くに政権を安定させた契丹国は、唐の弱体化による混乱を避けてきた漢人移住者や東西交易を担っていたウイグル商人を受け入れていたと考えられている。Table 4-1-1に契丹の略年表を示す（市元, 2011; 古松, 2013）。また、Fig. 4-1-1は地図上に遼代に東アジア情勢を示したものである。

南の中国本土との関係については武力衝突なども起こりつつ、1004年に澶淵の盟と呼ばれる盟約が結ばれ、契丹は宋より実質的に上位に立ちつつ友好関係が維持されるようになった。澶淵の盟を契機として、契丹と宋の間では貿易が行われ、宋からの歳幣を用いて多くの南方物資の買い付けも行っていた（古松, 2013）。

一方で契丹は東部天山を根拠地としたウイグルと親密な関係を結び、西方のカラ・ハン朝やガズナ朝とも交易関係を築き、中央アジア方面とも積極的に交流していたと考えられている。特に、ウイグル商人を利用し中国本土と中央アジアを結ぶ中継貿易によって大きな利益を得ていた。ウイグル商人は、840年のウイグル帝国滅亡後に分裂したウイグル民族が、各地のオアシス都市を支配したことを機に登場し始める。実際に、契丹内の主要地では誘致されたウイグル人が居留地を形成して交易に従事していた。漢文史料や敦煌文書には、ウイグルが契丹などにもたらした交易品に、布・毛皮類、装飾品、薬物、香料、ガラス製品などが挙げられている。このガラス製品については、イランから西アジア地域のものと考えられ

ており、契丹墓から発見された数々の玉類、ガラス製品などはウイグル商人の朝貢品や交易品としてもたらされた可能性が大きいとの見方がある（松井, 2013）。

このように契丹は対外地域との武力衝突や情勢に左右されながらも、広く人々を受け入れていき、交流を充実させていた。このような背景の中で、本研究の資料は周辺諸国から契丹（遼）内にもたらされたと考えられる。

Table 4-1-1 遼代略年表

皇帝	年代	出来事など
①太祖 耶律阿保機 (916-926)	907	唐滅亡 耶律阿保機, 帝位につく
	916	耶律阿保機, 再び帝位につく 国号を「契丹」とする
③世宗 耶律阮 (947-951)	947	国号「大遼」とする
⑤景宗 耶律賢 (969-982)		…陳国公主の祖父
⑥聖宗 耶律隆緒 (982-1031)	983	国号を「大契丹」とする …妻は蕭氏貴妃
	1004	「澶淵の盟」(宋との和議)
⑧道宗 耶律洪基 (1055-1101)	1066	国号「大遼」とする
⑨天祚帝 耶律延禧 (1101-1125)	1125	金により遼が滅ぼされる



Fig. 4-1-1 遼代の東アジア情勢

ii) 分析資料

本研究で分析した6点のガラス器の写真をFig. 4-1-2~Fig. 4-1-7に示す。蕭氏貴妃墓は6代皇帝の聖宗耶律隆緒の妻の墓である。蕭氏貴妃墓からはガラス器をはじめ様々な副葬品が出土し、本研究ではここから出土した4点のガラス器 (Fig. 4-1-2~Fig. 4-1-5) を分析した。陳国公主墓は通遼市ナイマン旗に所在する夫婦合葬墓であり、陳国公主は5代皇帝の景宗耶律賢の孫である。陳国公主墓からはガラスの他、金銀器、銀帯、玉器など様々な貴重品が出土しており (市元, 2011)、本研究ではここから出土した2点のガラス器 (Fig. 4-1-6~Fig. 4-1-7) を分析した。



Fig. 4-1-2 紫色 (褐色) 水差 (INM1)



Fig. 4-1-3 無色透明水差 (INM2)



Fig. 4-1-4 紫色容器 (INM3)

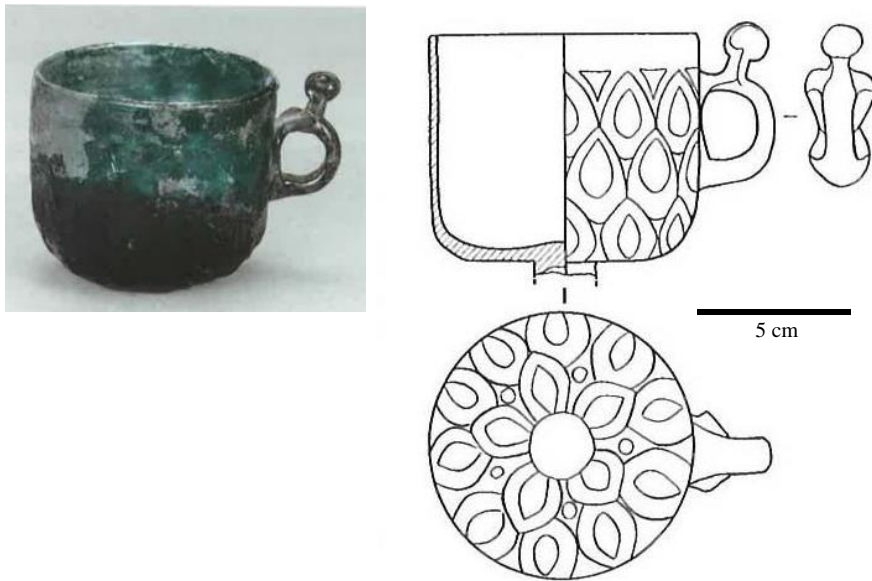


Fig. 4-1-5 青緑色カップ (INM4)



Fig. 4-1-6 薄褐色水差 (INM5)



Fig. 4-1-7 長頸ガラス容器 (INM6)

iii) 分析結果

a) ガラス器の化学組成

分析したガラス容器の XRF スペクトルの一部を Fig. 4-1-8～Fig. 4-1-11 に示す。また算出したガラス器の化学組成を Table 4-1-2 に示す。Table 4-1-2 には各ガラス器に対して複数回測定した平均値 (Mean), 標準偏差 (StDev), 風化によって変動しやすいナトリウム Na_2O の値を参考に, 風化の影響を極力受けていない箇所を選択し, その定量値を各ガラス器の代表値 (Bulk) として掲載した。

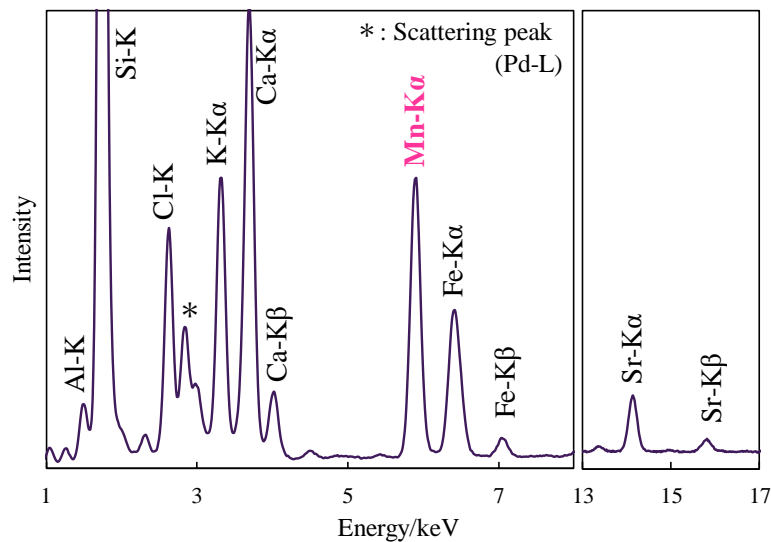


Fig. 4-1-8 紫色ガラス器の XRF スペクトル (INM1)

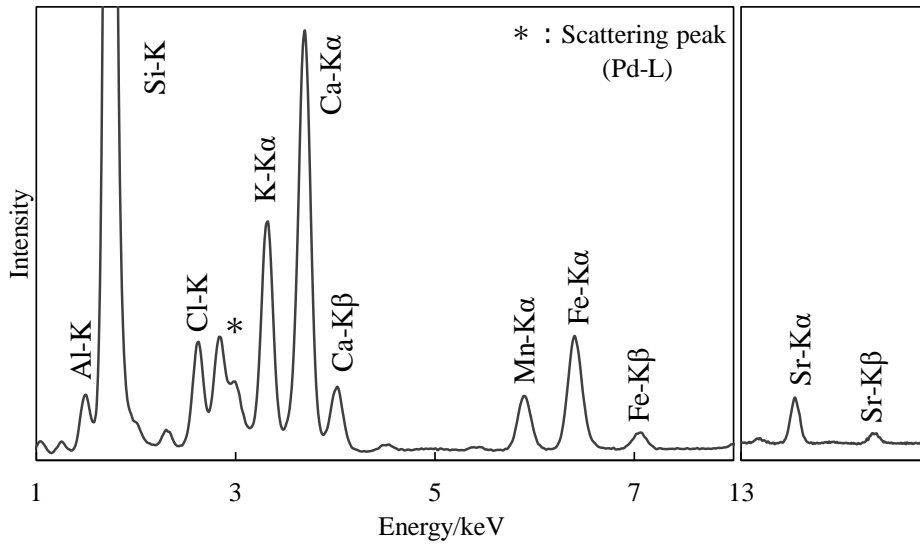


Fig. 4-1-9 無色透明水差の XRF スペクトル (INM2)

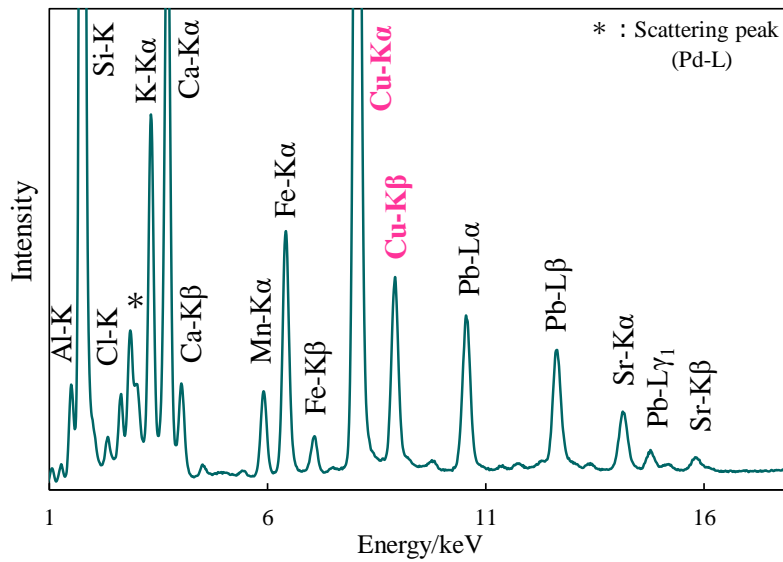


Fig. 4-1-10 青緑色カップの XRF スペクトル (INM4)

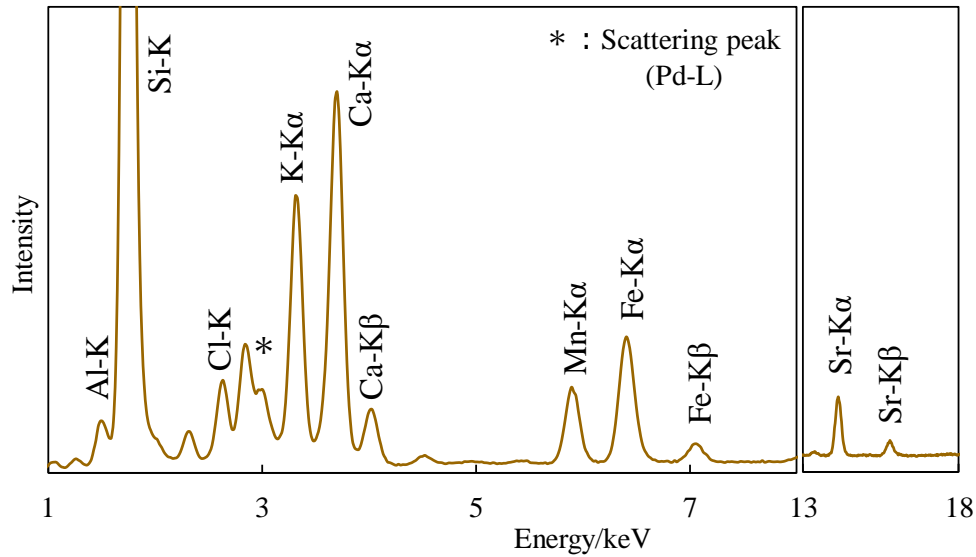


Fig. 4-1-11 薄褐色水差の XRF スペクトル (INM5)

Table 4-1-2 蕭氏貴妃墓および陳国公主墓出土ガラス器の化学組成

File No.	Object No.	site	period		Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	CoO	CuO	ZnO	Rb ₂ O	SrO	ZrO ₂	SnO ₂	PbO
INM1	14 玻璃瓶 (M2:9)	蕭氏貴妃墓	遼代中期 (Mid Liao Dynasty)	Mean	8.1	1.87	4.01	75.6	3.71	5.07	0.07	0.95	0.39	-	0.010	-	0.005	0.058	0.006	0.01	0.005
				StDev	6.5	1.40	0.34	10.0	0.90	1.28	0.01	0.14	0.06	-	0.002	-	0.001	0.003	0.000	0.00	0.001
				Bulk	18.0	3.96	3.82	60.8	4.90	6.78	0.09	1.13	0.46	n.d.	0.008	0.004	0.005	0.062	0.005	0.01	tr.
INM2	蕭氏貴妃墓	遼代中期 (Mid Liao Dynasty)	Mean	10.3	2.47	4.89	72.4	3.70	5.71	0.07	0.20	0.38	-	0.009	0.004	0.005	0.050	0.006	0.01	0.017	
			StDev	5.8	1.11	1.16	7.6	0.57	1.02	0.01	0.01	0.02	-	0.001	0.000	0.000	0.002	0.000	0.00	0.006	
			Bulk	19.1	3.35	3.63	62.2	4.26	6.73	0.07	0.21	0.37	n.d.	0.010	tr.	0.006	0.050	0.006	0.01	0.010	
INM3	16 玻璃瓶 (M2:10)	蕭氏貴妃墓	遼代中期 (Mid Liao Dynasty)	Mean	12.0	2.55	6.25	65.7	5.00	6.57	0.09	1.25	0.48	-	0.009	0.004	0.007	0.064	0.006	0.01	-
				StDev	4.3	0.99	2.05	5.2	0.55	0.71	0.02	0.22	0.09	-	0.002	0.001	0.001	0.007	0.000	0.00	-
				Bulk	19.0	4.25	4.24	58.6	5.29	6.81	0.08	1.21	0.44	n.d.	0.006	0.004	0.006	0.062	0.006	0.01	tr.
INM4	7 玻璃杯 (M2:29)	蕭氏貴妃墓	遼代中期 (Mid Liao Dynasty)	Mean	12.9	3.16	5.47	64.2	4.59	6.57	0.08	0.29	0.75	-	1.852	0.013	0.007	0.060	0.006	0.01	0.349
				StDev	5.3	0.99	0.78	7.7	0.61	1.14	0.00	0.03	0.04	-	0.089	0.001	0.000	0.002	0.000	0.00	0.016
				Bulk	17.6	4.19	5.64	55.3	5.42	8.18	0.09	0.31	0.74	tr.	2.003	0.012	0.007	0.058	0.006	0.01	0.341
INM5	序号 92 乳釘紋高頭玻璃	陳国公主墓	遼代中期 (Mid Liao Dynasty)	Mean	7.4	2.19	3.01	76.6	4.40	5.42	0.09	0.31	0.42	-	0.009	0.006	0.004	0.066	0.009	0.01	0.006
				StDev	1.4	0.28	0.21	2.1	0.51	0.29	0.01	0.01	0.03	-	0.001	0.002	0.000	0.001	0.000	0.00	0.001
				Bulk	8.8	2.62	2.83	74.3	4.77	5.74	0.09	0.32	0.39	n.d.	0.008	0.005	0.003	0.065	0.009	0.01	0.005
INM6	序号 139 高頭玻璃瓶	陳国公主墓	遼代中期 (Mid Liao Dynasty)	Mean	3.6	1.18	2.15	84.5	2.88	4.25	0.10	0.97	0.58	-	0.013	0.009	0.004	0.053	0.011	0.01	0.004
				StDev	2.8	0.56	0.68	5.5	0.86	0.92	0.01	0.10	0.04	-	0.001	0.003	0.000	0.005	0.001	0.00	0.000
				Bulk	9.8	1.88	3.62	73.0	4.17	5.52	0.12	1.10	0.65	n.d.	0.011	0.006	0.004	0.060	0.012	0.01	0.003

StDev. = standard deviation n.d. = not detected tr. = trace amount *The SiO₂ component of samples was calculated subtracting other oxide components from 100 wt%

化学組成から分類すると、6 点のガラス器はすべてイスラームガラスなどと同じソーダ石灰ガラス (Na₂O-CaO-SiO₂) であることがわかった。主成分である酸化マグネシウム MgO と酸化カリウム K₂O のプロット、酸化アルミニウム Al₂O₃ と酸化カルシウム CaO のプロットによって特性化を行った結果を Fig. 4-1-12 に示す。Fig. 4-1-12 には比較として、以前当研究室が調査を行った中央アジア (キルギス、タジキスタン) のガラスの分析値、中央アジアのガラスの文献値 (Rehren *et al.*, 2010)、西アジアのガラスの文献値 (Henderson *et al.*, 2016) を掲載している。Fig. 4-1-12 よりガラス器 6 点は同時期の中央アジアで出土したガラスの領域 (クラスター) に含まれることから、中央アジアのガラスと同様な化学組成的特徴をもつことがわかった。このことから、本研究で分析したガラス容器 6 点はいずれも中央アジアで製造されたものである可能性が推察された。

さらにガラス原料の不純物である微量重元素 (Rb, Sr, Zr) の定量値を用いてガラス容器

の組成的特徴についてさらに考察する. この3元素で作成したトリダイアグラムを Fig. 4-1-13 に示した. Fig. 4-1-13 には我々が分析した日本, 東南アジア, 中央アジア, 北アジアのデータも載せている. Fig. 4-1-13 に示すようにショウ氏貴妃墓出土ガラス容器4点(INM1~INM4)と陳国公主墓出土ガラス容器2点(INM5, INM6)がそれぞれ二つのグループに分かれた. これは二つの墓から出土したガラス容器の起源に差異があることを示すと考えられる.

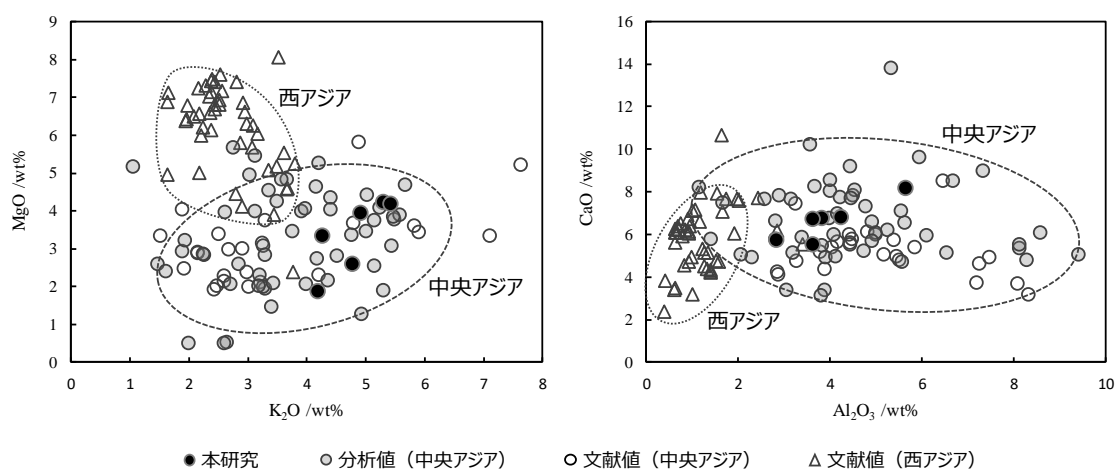


Fig. 4-1-12 主要元素を用いた西アジア, 中央アジアのガラス器との比較

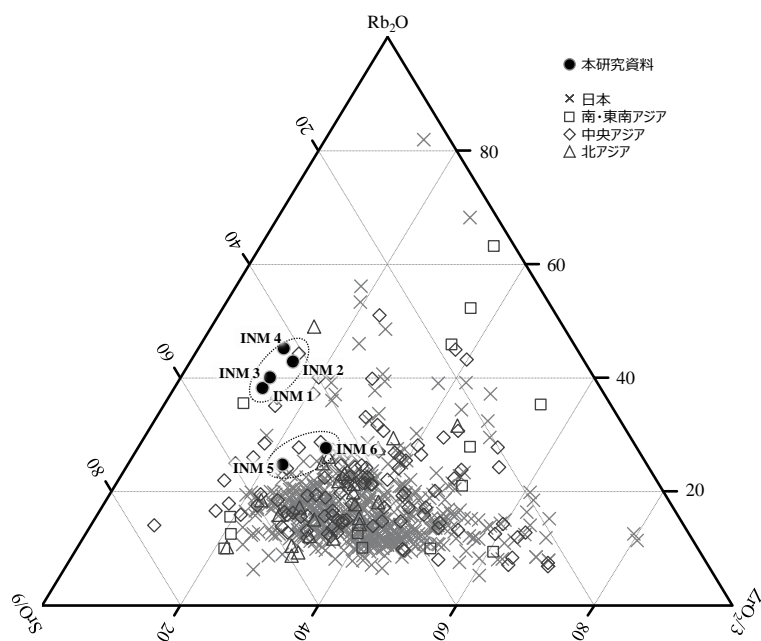


Fig. 4-1-13 微量重元素を用いた蕭氏貴妃墓および陳国公主墓出土ガラス器の比較

b) ガラスの着色について

蛍光 X 線分析の結果から、褐色（紫色にもみえる）の INM1 (M2:9) と INM3 (M2:10) はマンガン Mn, 緑色の INM4 (M2:29) は銅 Cu と鉄 Fe によって着色されたものと考えられる。また、薄青緑色の INM2 と薄い褐色の INM5 (番号 92), INM6 (番号 139) は鉄 Fe による発色と考えられ、各ガラス器の着色の由来が明らかになった。なお、INM5 と INM6 の鉄による発色は、意図的に着色したものではなく、ガラス原料に不純物として含まれる鉄による発色であろう。また、どのガラスもマンガンを含んでおり、マンガンを含んでおらず、鉄による発色をおさえる消色剤として加えている可能性がある。

4.2 キルギス・タジキスタンのガラス

i) 序

陸のシルクロードの通り道にあたる中央アジアに関する研究は、ウズベキスタンやアフガニスタンで出土した古代ガラスの化学分析例 (Brill, 2009; Abdurazakov, 2009) が報告されているものの、他の中央アジア諸国の研究はほとんどなされていない。中央アジアはかつてシルクロードの経由地として発展し、長きにわたって西と東の多様な文化を受容してきた地域である。両文化の仲介役となりつつ独自の文化も発展させてきた古代中央アジアの民族は、現在のウズベキスタンやタジキスタン、アフガニスタンなどに拠点を置き、ガラスの流通や製造にも関わったと考えられている。以上のことから、本研究では非破壊オンサイト分析が可能な可搬型分析装置を用いて、陸のシルクロードの経由地である中央アジア、特にシルクロード交易に関わった民族の遺跡などが残るタジキスタンと隣国のキルギスで出土した古代ガラスの調査を行い、中央アジアのガラスに関する知見を深めることを目的とした。

ii) 分析資料

本研究で対象としたのは、キルギスおよびタジキスタン国内の遺跡から出土したガラス玉およびガラス製容器や容器片で、両国内の博物館の収蔵品である。資料の情報を Table 4-2-1 にまとめた。これらの資料は紀元前 4 世紀頃から紀元後 9 世紀頃に位置づけられるものである。

Table 4-2-1 分析資料の情報

Country	Museum	bead	fragment	ornament	vessel
Kyrgyz	The Institute of History and Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic (Bishkek)	1	4	1	3
	The Great Silk Road Museum (Osh)	31	-	1	-
Tajikistan	National Museum of Antiquities of Tajikistan (Dushanbe)	97	29	2	5

iii) 分析結果

蛍光 X 線分析の結果、分析資料はすべて SiO_2 を主成分とし、融剤にアルカリ分を用いたアルカリケイ酸塩ガラスであることがわかった。さらに主成分組成と微量重元素に基づいて化学組成的に分類したところ、カリガラス ($\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$)、ソーダ石灰ガラス ($\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{SiO}_2$)、アルミナソーダ石灰ガラス ($\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{CaO}-\text{SiO}_2$) に分類された。Table 4-2-2 にガラスタイプごとの平均化学組成を示す。分析資料の中ではソーダ石灰ガラスが圧倒的に多く、アルミナソーダ石灰ガラスやカリガラスに分類されたものは、十数点のみであった。また微量重元素による特性化のプロットを Fig. 4-2-1 に示す。Rb₂O, SrO, ZrO₂ はそれぞれ

れガラスの主原料に含まれる不純物と考えられ、ガラスの原料産地の地球化学的特徴を反映すると考えられる。Fig. 4-2-1 より微量重元素によっても 3 種類のアルカリケイ酸塩ガラスに分類することができ、それらは今まで当研究室が分析を行ってきた日本各地ならびに東南アジアで出土したガラスと同じ化学組成的特徴を持っていることが示された。

Table 4-2-2 平均化学組成 (単位: wt%)

Glass Type	n	Al ₂ O ₃	K ₂ O	CaO
Na ₂ O-CaO-SiO ₂	148	3.58 (± 1.6)	2.78 (± 1.3)	6.24 (± 2.2)
K ₂ O-SiO ₂	15	4.12 (± 0.9)	9.64 (± 5.0)	2.22 (± 1.2)
Na ₂ O-Al ₂ O ₃ -CaO-SiO ₂	14	12.09 (± 7.7)	2.39 (± 0.5)	4.34 (± 1.8)

(): standard deviation 1σ

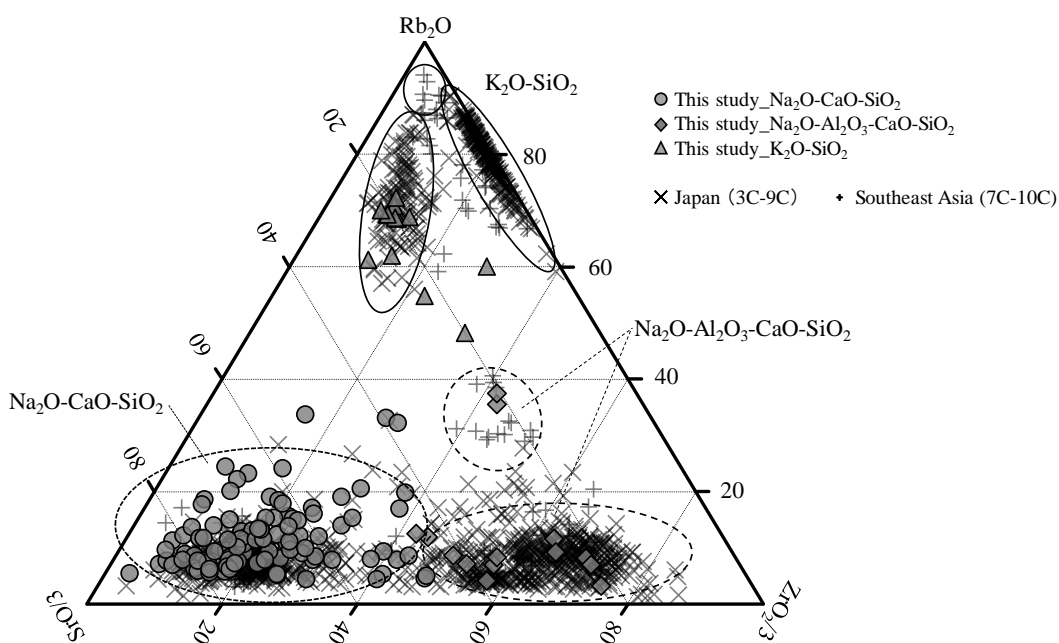


Fig. 4-2-1 微量重元素を用いたキルギス・タジキスタンのガラスの分類

a) ソーダ石灰ガラス

ソーダ石灰ガラスは西アジアや地中海沿岸地域を中心に発達したガラスである。中央アジアは地理的にソーダ石灰ガラスの製造地と近いこともあり、本研究においてもこのガラスが圧倒的に多かった。資料の色調は紺色や青色系がほとんどであった。

ソーダ石灰ガラスは用いられた融剤によって 2 種類に細分類できることが知られている (Sayre and Smith, 1961)。MgO と K₂O の量がともに 1.5 wt% より多いものは植物灰ガラスといい、主にメソポタミアやイスラーム帝国で製造されたものである。一方、MgO と

K₂O の量がともに 1.5 wt% に満たないものはナトロンガラスといい、天然ナトロン (Na₂CO₃ · 10H₂O) を用いたガラスで紀元前 6 世紀頃から東地中海沿岸地域やローマ帝国で発達したと考えられている。MgO と K₂O に基づき分類したものを Fig. 4-2-2 に示す。Fig. 4-2-2 により本研究の分析資料では、植物灰ガラスとナトロンガラスの両方が含まれていた。

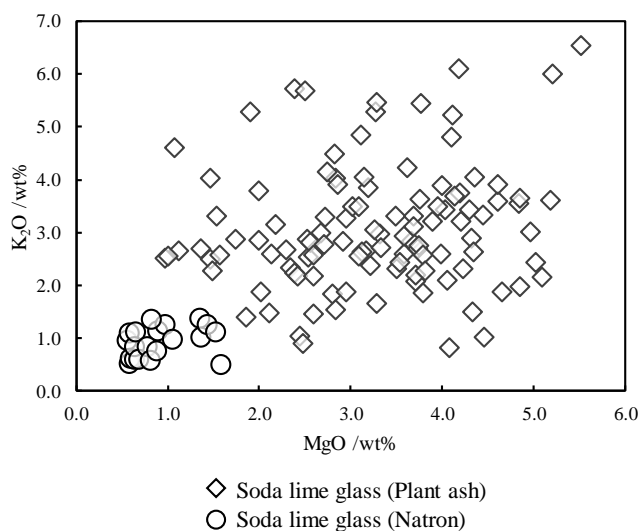


Fig. 4-2-2 K₂O と MgO によるソーダ石灰ガラスの分類

【ナトロンガラス】

本研究の分析資料でソーダ石灰ガラスのうち、ナトロンガラスに分類されたものは 20 点であった。ローマ帝国期のナトロンガラスには Fe などによる自然着色を消すため、Sb や Mn を消色剤として加えられたことが知られ、Sb や Mn の利用は時代や地域によって異なっていると考えられている (Jackson, 2005)。ナトロンガラスに分類された 20 点のうち、9 点の資料で 0.9~2.5 wt% 程度の Sb₂O₃ が含まれており、消色剤として加えられたと考えられる。Sb を消色剤として利用して作られたガラスは Roman blue green タイプというガラスであり、紀元前 4 世紀から紀元後 3 世紀にかけて地中海沿岸地域で製造されていたと考えられている。Roman blue green タイプにおける消色剤の利用は、紀元前 2 世紀頃まで Sb が、紀元後 2 世紀以降は Mn が用いられ、その間の紀元前 2 世紀から紀元後 2 世紀では両元素が用いられたと考えられている (Jackson, 2005)。したがって、Sb 消色のナトロンガラスと考えられる資料 9 点は、紀元後 2 世紀までに地中海沿岸地域で製造されたガラスで、それが中央アジアに伝えられた可能性が示唆される。

【植物灰ガラス】

植物灰ガラスはサーサーンガラスのほかに、中央アジアで製造されたと考えられるガラ

スの存在や混合アルカリガラスなどが知られている (Brill, 2009). 先行研究で挙げられているウズベキスタンやアフガニスタン, 中国新疆などで出土したガラス (Brill, 2009) と, 本研究で分析した資料を比較したものを Fig. 4-2-3 に示す. Fig. 4-2-3 左は K_2O vs. MgO プロットで, Fig. 4-2-3 右には K_2O vs. Al_2O_3 プロットに基づいて比較した. なお, Fig. 4-2-3 には著しく風化していたものを除いた. Fig. 4-2-3 より, 分析した資料はサーサーンガラス, 中央アジアのガラスと同様の領域にプロットされ, 先行研究で指摘されているものと化学組成的に似たガラスであると考えられる. したがって, キルギスやタジキスタン国内にサーサーンガラスもしくは中央アジア産のガラスが多数流通していたと考えられる.

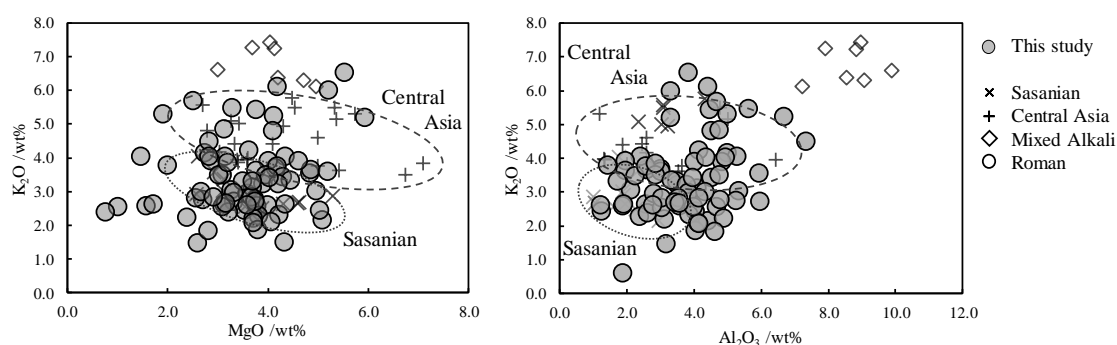


Fig. 4-2-3 主要元素による植物灰ガラスの組成比較

b) カリガラス

カリガラスはインドや東南アジア, 中国などアジア広域で発達したガラスと考えられ, 化学組成的に2種類に細分類されることが知られる (Lankton and Dussubieux, 2006). この2種類は古代の日本でも流通していたことが明らかとなっている (肥塚, 1997; 肥塚 他, 2010). その一つが, Al_2O_3 が多く CaO が少ないタイプであり (High Al_2O_3 - Low CaO), 中国南部からベトナム中部を中心に分布している (肥塚 他, 2010). 日本で見られる High Al_2O_3 - Low CaO タイプは青銅着色による水色を呈しているものがほとんどである. もう一つは Al_2O_3 と CaO が中間的なタイプであり (Mod. Al_2O_3 - Mod. CaO), インドや東南アジア, 朝鮮半島南部を中心に分布している. このタイプは Co を用いた紺色を呈している (肥塚 他, 2010). また, 日本で見られるカリガラスは水色や青色がほとんどであるが, 本研究の分析資料では紺色や水色, 黄色のカリガラスが見られ, すべてビーズであった.

CaO vs. Al_2O_3 プロットによって分類したものを Fig. 4-2-4 に示す. Fig. 4-2-4 には当研究室がこれまでに分析した日本と東南アジアのカリガラスも比較として載せた. Fig. 4-2-4 より本研究で分析した中央アジアの資料では, Mod. Al_2O_3 - Mod. CaO タイプのみ確認された. このことは古代の中央アジアの民族が古代インドの国との交流の中で, インドや東南アジアに分布していた Mod. Al_2O_3 - Mod. CaO タイプが中央アジアにもたらされた可能性が示唆される. 一方で中央アジアに隣接しない中国南部やベトナム中部に分布する High

Al₂O₃ - Low CaO は、中央アジアに流通しにくかったと考えられる。

紺色のカリガラスは 0.04 wt% から 0.1 wt% 程度の Co を含んでおり、着色の要因と考えられる。黄色のカリガラスは 2 点 (2OSH-050, 2OSH-054) あり、SnO₂ を 0.12 wt% から 4.8 wt% 程度、Pb を 1.0 wt% から 4.8 wt% 含有していた。不透明な黄色ガラスには、黄色の人工顔料スズ酸鉛が使われることが知られており (肥塚 他, 2010; 白瀧 他, 2012)、本資料の着色にはスズ酸鉛が使われていると推定される。水色のカリガラス 1 点 (2TJK-087) は Cu が 0.924 wt% 含まれているが、Sn や Pb が定量下限以下であったことから、青銅着色ではなく金属銅による着色が考えられる。日本のカリガラスは化学組成のタイプと色調の対応が見られるが、Fig. 4-2-4 を見ると 2TJK-087 は水色着色タイプ (High Al₂O₃ - Low CaO) とは化学組成が異なることがわかる。これは Lankton らの mKC-lowA タイプに類似するものと考えられる。このタイプは紀元前の東南アジアなどで流通していたカリガラスである (Dussubieux and Gratuze, 2013)。以上より、中央アジアでは日本のカリガラスと同様な化学的特徴を持つものも含め、多様なカリガラスが流通していたと考えられる。

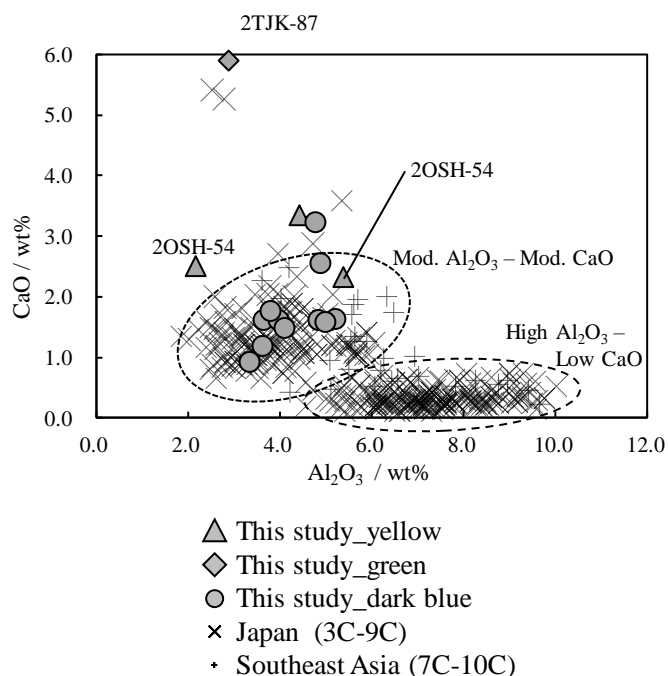


Fig. 4-2-4 CaO vs. Al₂O₃ によるカリガラスの分類

c) アルミナソーダ石灰ガラス

アルミナソーダ石灰ガラスは南アジアから東南アジアで発達し、アフリカから東アジアにわたって広域に分布するガラスである (Dussubieux *et al.*, 2010)。ソーダ石灰ガラスよりアルミナ分を多く含み、紺色や水色、青色系以外に黄色や黄緑色、赤色といった多彩な色調のガラスが存在する。このタイプのガラスには、インドー パシフィックビーズと言われる、

引き伸ばし法で制作された単色のビーズが知られ、古代の日本でも流通している（肥塚, 1997; 肥塚 他, 2010）。

分析資料でアルミナソーダ石灰ガラスに分類されたものには、黄色や黄緑色や赤色の他、青色系があった。黄色や黄緑色のガラスは、蛍光 X 線分析より Sn や Pb が含まれており、Fig. 4-2-5 に示すようにラマン分光分析で黄色顔料スズ酸鉛が同定された。黄緑色のガラスは 0.8 wt%~1.7 wt% 程度の CuO も含まれていることから、黄色のスズ酸鉛に Cu の青が加えられることによって黄緑色の着色がされていると考えられる。赤色のガラスには、ムチサラという Cu を用いた特殊な着色方法が使われたガラスの存在が知られている（肥塚, 1997; 肥塚 他, 2010）。分析した赤色ガラスは Cu を多く含み不透明赤色を呈していることから、ムチサラのガラスと考えられる。青色系のガラスには主に Cu が着色要因と考えられるが、やや緑がかった青色を呈するものは 1.5 wt%程度の CuO と 1.1 wt% 程度の Fe₂O₃ が含まれていた。淡い青色を呈するものは 0.6 wt% 程度の CuO と SnO₂ を 0.44 wt% 程度、PbO を 0.5 wt% 程度含み、青銅を着色原料に用いたと考えられる。

アルミナソーダ石灰ガラスは微量重元素（Rb₂O, SrO, ZrO₂）に基づいて分類すると、Fig. 4-2-6 に示すように既知（Dussubieux *et al.*, 2010）のタイプのうち類似する 2 つのタイプに分類できた。ここでは Fig. 4-2-6 の 2 つのタイプを Type 1 と Type 2 とする。Type 1 はアジア地域に広く分布し、日本で見られるものも Type 1 がほとんどである。Type 2 は U を含み、ベトナムやラオスで特徴的に出土している他、日本では南九州で確認されている。Fig. 4-2-6 より、中央アジアの資料では 2 点が Type 2 に分類された。加えて、この 2 点の蛍光 X 線スペクトルで U のピークが確認された。以上より、中央アジアでは色調、化学組成において多様なアルミナソーダ石灰ガラスが流通していたことが明らかとなった。

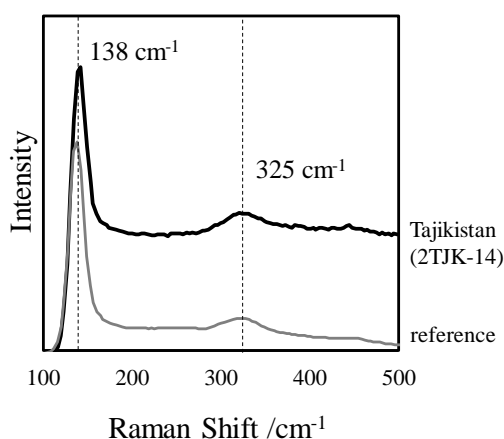


Fig. 4-2-5 不透明黄色ガラスのラマンスペクトル

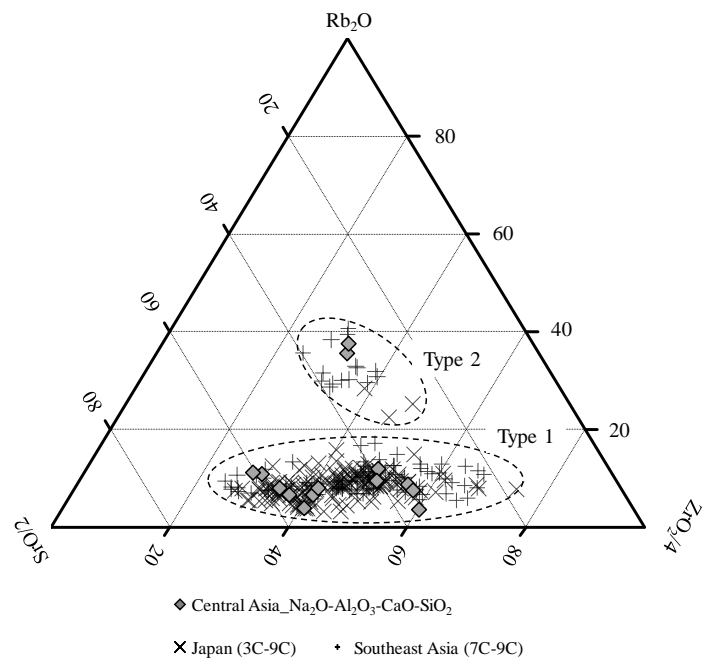


Fig. 4-2-6 微量重元素によるアルミナソーダ石灰ガラスの分類

付録 定量値一覧 (4.2 キルギス・タジキスタンのガラス)

Museum	Age	Sample No.	shape	color	glass type	Chemical Compositions [wt%]																		
						Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂ *	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	CoO	NiO	CuO	ZnO	Rb ₂ O	SrO	ZrO ₂	SnO ₂	Sb ₂ O ₃	PbO
National Museum of Antiquities of Tajikistan	5th c. A.D. - 8th c. A.D.	2TJK-128	fragment	blue-green	Soda lime glass	15.8	4.84	1.88	68.7	0.60	7.70	0.05	tr.	0.36	tr.	n.d.	n.d.	tr.	tr.	0.007	0.010	n.d.	tr.	tr.
	4th c. A.D. - 5th c. A.D.	2TJK-129	bead	colorless	Soda lime glass	16.2	5.03	1.26	69.9	2.44	4.34	0.06	0.42	0.33	n.d.	n.d.	tr.	tr.	0.001	0.049	0.018	n.d.	n.d.	tr.
	5th c. A.D. - 8th c. A.D.	2TJK-130	eye bead	black	Soda lime glass	1.8	3.51	5.51	71.4	2.31	7.66	0.22	2.49	1.64	tr.	tr.	0.965	0.008	0.001	0.053	0.024	1.46	n.d.	0.921
	6th c. A.D. - 8th c. A.D.	2TJK-131	fragment	blue-green	Soda lime glass	4.6	4.61	3.96	73.9	3.60	7.89	0.10	0.17	0.91	tr.	tr.	0.074	0.010	0.003	0.063	0.012	n.d.	tr.	0.028
	5th c. A.D. - 8th c. A.D.	2TJK-137	fragment	blue-green	Soda lime glass	5.3	2.83	4.94	73.5	4.04	7.79	0.16	0.05	1.32	tr.	tr.	tr.	tr.	0.002	0.059	0.019	n.d.	tr.	tr.
	5th c. A.D. - 8th c. A.D.	2TJK-138	fragment	blue-green	Soda lime glass	18.7	5.21	3.29	57.4	6.00	8.48	0.08	0.04	0.68	tr.	n.d.	tr.	tr.	0.003	0.068	0.010	n.d.	n.d.	tr.
	5th c. A.D. - 8th c. A.D.	2TJK-139	fragment	blue-green	Soda lime glass	17.3	3.90	3.50	62.0	3.22	7.76	0.10	1.04	1.07	tr.	n.d.	0.008	0.004	0.003	0.051	0.011	n.d.	n.d.	0.005
	5th c. A.D. - 8th c. A.D.	2TJK-140	fragment	blue-green	Soda lime glass	18.5	5.52	3.82	56.2	6.54	8.50	0.08	0.04	0.71	n.d.	n.d.	tr.	tr.	0.003	0.052	0.008	n.d.	tr.	tr.
	5th c. A.D. - 8th c. A.D.	2TJK-141	vessel	blue-green	Soda lime glass	20.9	4.85	2.58	58.0	3.66	7.64	0.05	1.41	0.81	n.d.	n.d.	0.007	tr.	0.002	0.054	0.004	n.d.	tr.	tr.
	5th c. A.D. - 8th c. A.D.	2TJK-143	vessel	blue-green	Soda lime glass	16.2	3.98	3.56	61.1	2.60	10.24	0.15	0.86	1.16	n.d.	tr.	0.018	0.004	0.001	0.058	0.011	n.d.	tr.	0.007
	5th c. A.D. - 8th c. A.D.	2TJK-144	vessel	brown	Soda lime glass	27.6	4.97	5.33	42.0	3.02	13.82	0.21	1.25	1.63	tr.	tr.	tr.	0.006	0.002	0.060	0.012	n.d.	tr.	0.004
	4th c. A.D. - 8th c. A.D.	2TJK-147	fragment	blue-green	Soda lime glass	16.6	3.74	5.24	62.0	2.75	7.73	0.14	0.41	1.22	tr.	n.d.	0.054	0.004	0.002	0.044	0.013	n.d.	n.d.	0.005
	4th c. A.D. - 8th c. A.D.	2TJK-148	fragment	blue-green	Soda lime glass	15.0	3.77	4.46	60.9	5.44	9.02	0.13	0.13	1.05	tr.	n.d.	tr.	0.004	0.006	0.079	0.015	n.d.	tr.	tr.
	6th c. A.D. - 7th c. A.D.	2TJK-153	bead	yellow	Soda lime glass	5.0	2.91	4.15	68.3	2.84	6.29	0.16	0.04	0.99	tr.	0.008	0.117	0.019	0.002	0.048	0.034	1.03	tr.	8.066
	6th c. A.D. - 7th c. A.D.	2TJK-154	bead	blue	Soda lime glass	5.9	3.19	2.85	76.0	3.85	5.70	0.09	0.04	0.87	n.d.	tr.	0.613	0.005	0.002	0.037	0.010	0.12	tr.	0.726
	6th c. A.D. - 7th c. A.D.	2TJK-155	bead	blue	Soda lime glass	8.9	5.93	3.29	66.2	5.20	7.41	0.13	0.05	1.13	tr.	tr.	0.815	0.007	0.002	0.041	0.010	0.09	tr.	0.758
	6th c. A.D. - 7th c. A.D.	2TJK-156	fragment	blue-green	Soda lime glass	8.2	4.34	1.89	74.9	2.63	6.81	0.03	0.68	0.44	n.d.	n.d.	tr.	tr.	0.001	0.040	0.005	n.d.	tr.	tr.
	6th c. A.D. - 7th c. A.D.	2TJK-157	fragment	blue-green	Soda lime glass	7.9	3.12	4.74	73.8	4.85	4.36	0.11	0.06	0.86	n.d.	n.d.	0.052	tr.	0.002	0.055	0.009	n.d.	tr.	tr.
	6th c. A.D. - 7th c. A.D.	2TJK-158	bead	brown	Soda lime glass	1.9	0.89	7.61	72.8	2.67	8.02	0.23	0.14	5.56	0.033	n.d.	0.030	0.013	0.006	0.071	0.022	n.d.	n.d.	0.003
	6th c. A.D. - 7th c. A.D.	2TJK-159	bead	light blue	Soda lime glass	2.2	1.93	5.45	82.5	3.06	3.00	0.23	0.08	1.00	n.d.	tr.	0.438	0.006	0.005	0.031	0.027	n.d.	tr.	0.005
6th c. A.D. - 7th c. A.D.	2TJK-160	bead	yellow	Soda lime glass	tr.	1.35	6.85	72.9	1.38	9.76	0.30	0.09	5.83	0.032	n.d.	0.036	0.023	0.005	0.055	0.031	n.d.	tr.	0.003	
6th c. A.D. - 7th c. A.D.	2TJK-161	bead	yellow	Soda lime glass	3.8	2.30	2.87	75.1	2.67	5.05	0.06	0.03	0.48	n.d.	n.d.	0.035	0.012	0.002	0.049	0.009	1.48	n.d.	6.022	
6th c. A.D. - 7th c. A.D.	2TJK-162	bead	dark blue	Potash glass	2.7	0.70	3.79	78.2	10.21	1.76	0.11	1.37	0.83	0.096	0.006	0.115	tr.	0.014	0.020	0.008	tr.	0.04	0.024	
6th c. A.D. - 7th c. A.D.	2TJK-163	bead	light blue	Soda lime glass	2.8	4.46	2.46	82.7	1.03	4.90	0.13	0.05	0.97	n.d.	tr.	0.433	0.004	0.002	0.027	0.013	n.d.	tr.	tr.	
6th c. A.D. - 7th c. A.D.	2TJK-164	bead	yellow	Soda lime glass	2.6	2.01	4.18	75.4	1.89	4.37	0.17	0.03	1.04	tr.	0.007	0.209	0.012	0.001	0.046	0.034	1.10	tr.	6.835	
6th c. A.D. - 7th c. A.D.	2TJK-165	bead	blue	Soda lime glass	5.7	1.57	3.99	78.8	2.58	4.65	0.12	0.04	1.03	n.d.	tr.	0.683	0.005	0.002	0.039	0.011	0.12	tr.	0.672	

* The SiO₂ component of samples was calculated subtracting other oxide components from 100 wt%

n.d. : not detected tr. : trace amount

付録 資料写真一覧



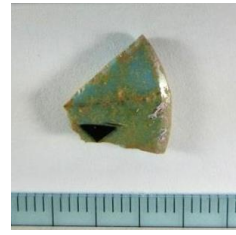
2BIS1309g-001



2BIS1309g-002



2BIS1309g-008



2BIS1309g-009



2BIS1309g-043



2OSH1309g-022,023,025~030

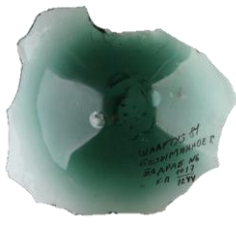


2BIS1309g-032~037



2BIS1309g-038~046

付録 資料写真一覧



5 cm

2TJK1410g-001



2 cm

2TJK1410g-002



3 cm

2TJK1410g-003



2 cm

2TJK1410g-004



4 cm

2TJK1410g-005



2 cm

2TJK1410g-006



1 cm

2TJK1410g-007



5 cm

2TJK1410g-008



0.5 cm

2TJK1410g-018



1 cm

2TJK1410g-019



0.5 cm

2TJK1410g-025



1 cm

2TJK1410g-026-27



0.5 cm

2TJK1410g-028



0.5 cm

2TJK1410g-029



1 cm

2TJK1410g-030



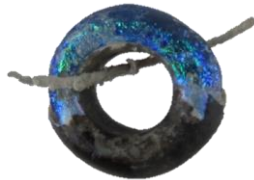
2 cm

2TJK1410g-031



0.5 cm

2TJK1410g-033



0.3 cm

2TJK1410g-034



0.5 cm

2TJK1410g-036



0.5 cm

2TJK1410g-037

付録 資料写真一覧



0.5 cm
2TJK1410g-039



0.5 cm
2TJK1410g-040



0.3 cm
2TJK1410g-041



0.5 cm
2TJK1410g-045-1-2



0.5 cm
2TJK1410g-046



0.5 cm
2TJK1410g-053



0.2 cm
2TJK1410g-054



0.5 cm
2TJK1410g-055



1 cm
2TJK1410g-063



1 cm
2TJK1410g-077



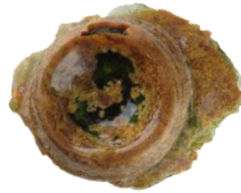
1 cm
2TJK1410g-078



2 cm
2TJK1410g-082



3 cm
2TJK1410g-083



2 cm
2TJK1410g-084



2 cm
2TJK1410g-085



1 cm
2TJK1410g-086



1 cm
2TJK1410g-087



0.5 cm
2TJK1410g-093



0.5 cm
2TJK1410g-094



0.5 cm
2TJK1410g-097

4.3 カザフスタンのガラス

i) 序

本項ではシルクロードの重要地域である中央アジアで発見されたガラスの調査を進め、その特徴を明らかにするという目的のもと、先述のキルギス、タジキスタンに引き続き、カザフスタンにてガラスの分析調査を行った結果を記す。カザフスタンはキルギス、中国とともに2014年「シルクロード：長安－天山回廊の交易路網」として交易路沿いに位置する関連遺跡が世界遺産に登録され、シルクロード交易の重要地域として認知されていることから成果が期待された。本研究ではカザフスタン国立博物館へ可搬型蛍光 X 線分析装置を持ち込み、同館に所蔵されているガラス製品を分析した。

カザフスタンは古来よりイラン系民族や遊牧民族の支配下に置かれ、紀元後5世紀後半頃からテュルク（トルコ）系民族の流入が始まる。中東地域からイスラーム勢力が拡大し、中央アジアにおいてもカラ・ハン朝と呼ばれるイスラーム王朝が成立したことで、現在のカザフスタンを含めた草原地帯にもイスラーム化が進んだ（堀川, 2015a; 堀川, 2015b）。本項で論じるガラス製品は主にイスラーム化が進んだ時期の遺跡から出土したものである。

ii) 分析資料

対象とした資料は、カザフスタンアスタナに所在するカザフスタン国立博物館に所蔵されているガラス器35点と玉類8点である。資料はカザフスタン国内で発見されたものである。多くは中世に位置づけられているが、1点のみ紀元前に位置づけられるものがある。

iii) 分析結果

a) 化学組成による分類

定量値一覧は本項の末尾に掲載した。分析したガラス器35点に対して Rb_2O 、 SrO 、 ZrO_2 の3元素で Fig. 4-3-1 に示したようなトリダイアグラムを作成した。本研究で用いている可搬型蛍光 X 線分析装置を用いて分析したデータ（日本を含め、東南アジア、南アジア、中央アジア、北アジア）とも比較したところ、この結果、35点のガラス器はすべてソーダ石灰ガラスであることがわかった。これらは中近東を中心とする中世のイスラーム文化圏に流通したイスラームガラスと考えられる。イスラームガラスは西アジアではシリア（Henderson *et al.*, 2004）、イスラエル（Freestone *et al.*, 2015）、エジプト（Kato *et al.*, 2009; Kato *et al.*, 2010）など、中央アジアではウズベキスタン（Rehren *et al.*, 2010）で出土したガラス器の分析例が知られている。

イスラームガラスは上記のように西アジアから中央アジアにかけて普及していた。次に MgO と K_2O 、 Al_2O_3 と CaO の主要元素を用いて西アジアと中央アジアのガラス器のデータと比較した。その結果を Fig. 4-3-2、Fig. 4-3-3 に示す。Fig. 4-3-2、Fig. 4-3-3 により、カザフスタン国内で発見されたガラス器はの多くは中央アジアの分析データの領域に分布し、組成的に中央アジアのガラス器と近い特徴を持つことがわかった。

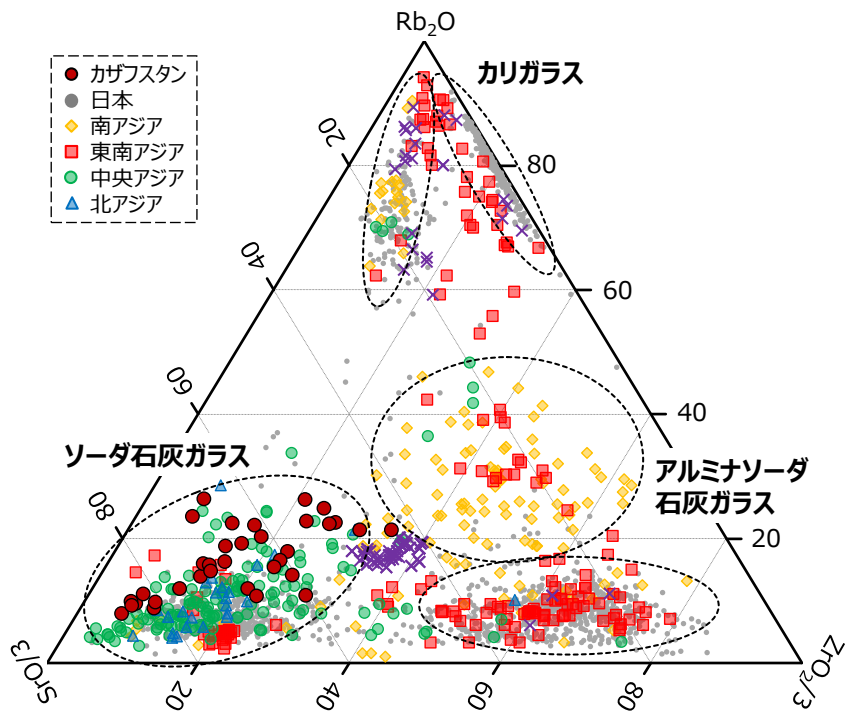


Fig. 4-3-1 微量重元素による分類

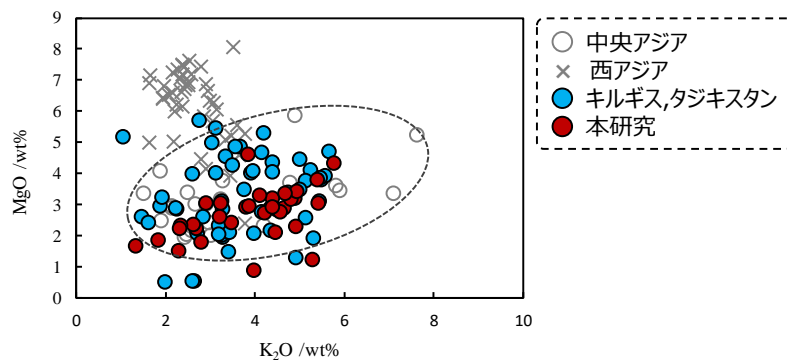


Fig. 4-3-2 MgO と K₂O による西アジア, 中央アジアの研究例との比較

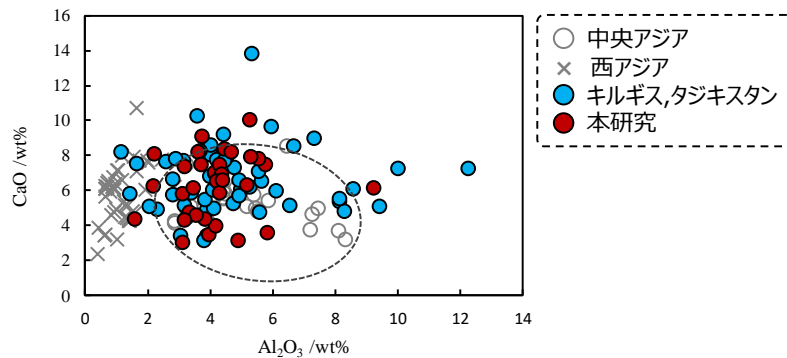


Fig. 4-3-2 CaO と Al₂O₃ による西アジア，中央アジアの研究例との比較

b) 青色ガラス水差

本資料は紀元前に位置づけられている資料である。青色地に胴部に黄色と白色の波線模様が施された容器である。現地では地の青色ガラス部分と装飾の黄色、白色部分をそれぞれ測定した。各部位の蛍光 X 線スペクトルを資料の写真とともに Fig. 4-3-3 に示す。まず、地の青色ガラスについては、Fig. 4-3-1 からソーダ石灰ガラスであることが分かり、青色の着色には Cu であることがわかった。また、黄色の装飾には Pb と Sb を検出していることから古代の黄色顔料アンチモン酸鉛の可能性が考えられる。白色の装飾には黄色部分と同様に Sb を検出したことから古代の白色顔料アンチモン酸カルシウムの可能性が示唆される。

本資料は前述のガラス容器とは異なり、紀元前に位置づけられると考えられる資料であることから、紀元前のアケメネス朝のコホル瓶および同時代の地中海地域のガラスと比較した。アケメネス朝は前 550 年～前 330 年にかけて古代オリエントに成立した王朝であり、西アジアを中心に現在のエジプトから中央アジアまでがその勢力下におかれた。近しい時代のアケメネス朝のガラスと比較することで、カザフスタン国内から発見された本資料の特徴を明らかにすることができると思われる。

Fig. 4-3-4 に K₂O と MgO による比較の結果を示す。Fig. 4-3-4 より多くのアケメネス朝期のガラスと同様にカザフスタン出土青色ガラス水差は植物灰ガラスであることがわかった。さらに、ガラス原料に付随する微量重元素 (Rb₂O, SrO, ZrO₂) を用いて、Fig. 4-3-5 のように三角ダイアグラムを作成した。Fig. 4-3-5 より 2 つのグループにわかれ、アケメネス朝期のガラスと同時代の地中海地域のガラスは明確に分けられた。さらにカザフスタン出土青色ガラス水差はアケメネス朝のガラスのグループに分類されたことから、アケメネス朝のガラスと近い化学組成的特徴を持つことがわかった。このことから本資料は西アジアを起源とする可能性が考えられる。本資料も西から東へ伝わったシルクロード交易の一交易品であったと考えられる。

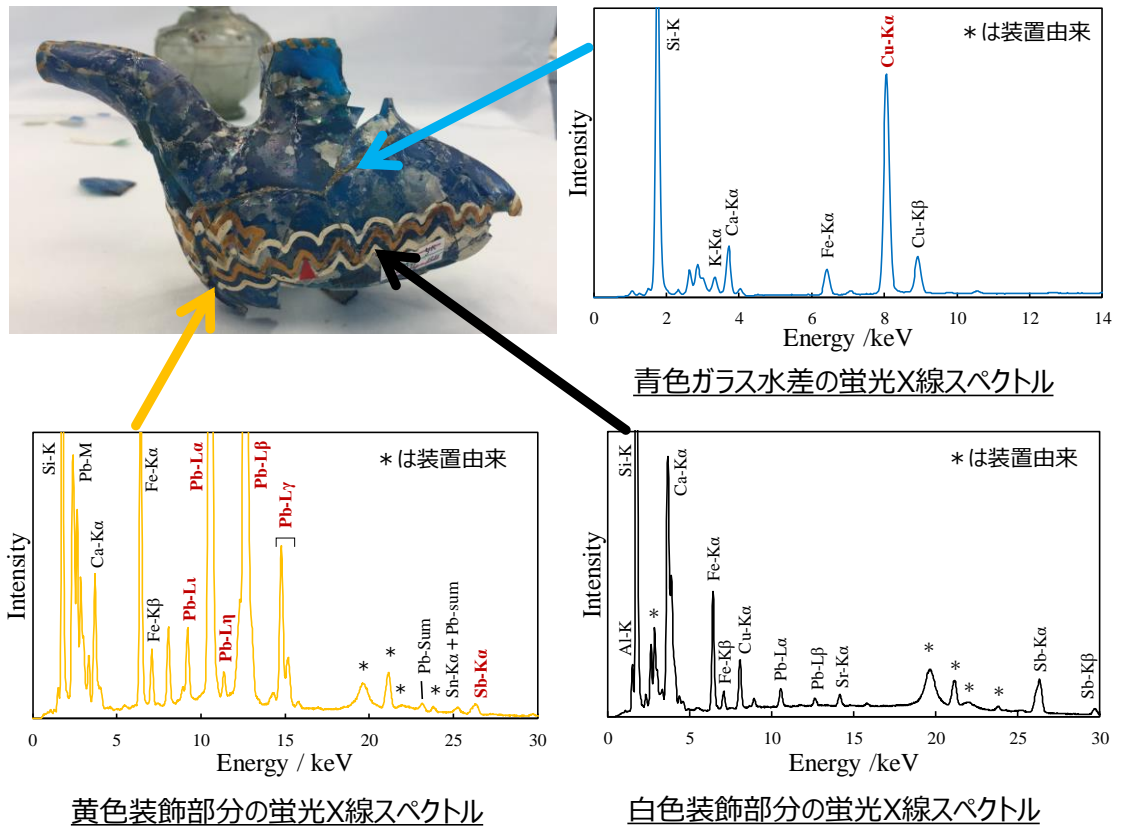


Fig. 4-3-3 青色ガラス水差の写真と蛍光 X 線スペクトル

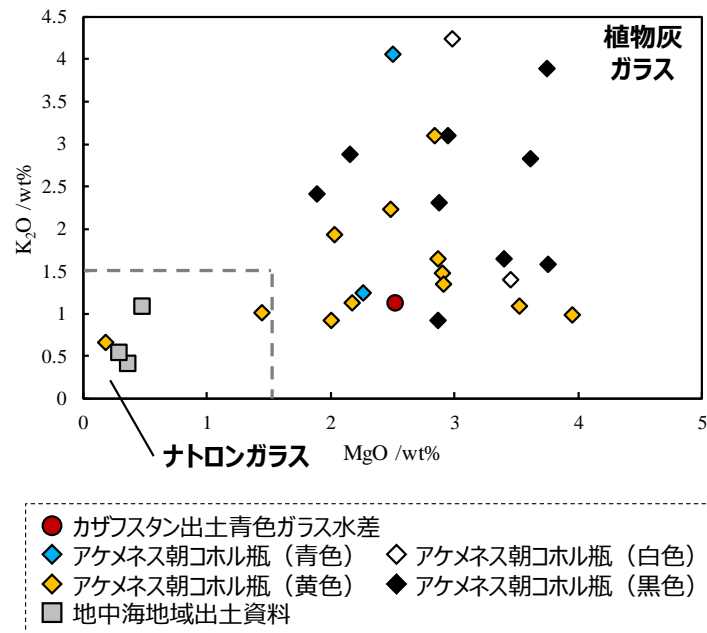


Fig. 4-3-4 K_2O と MgO によるアケメネス朝期のガラスとの比較

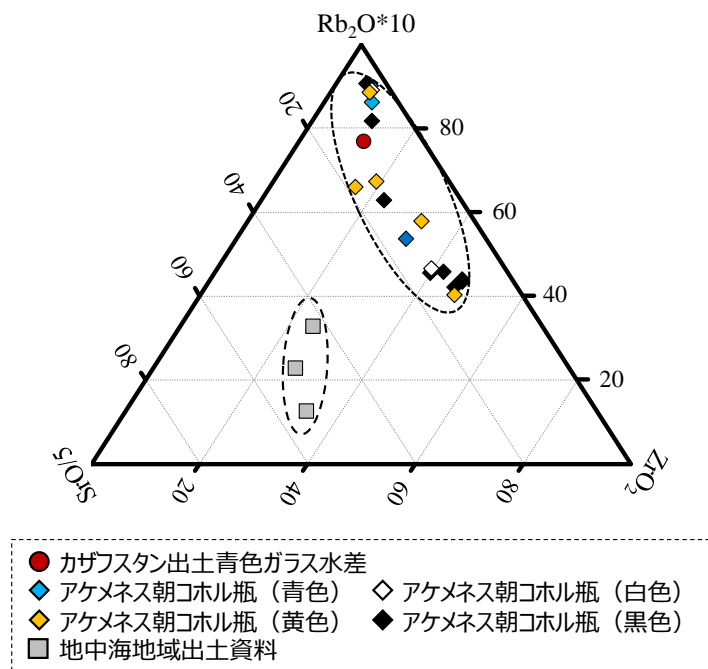
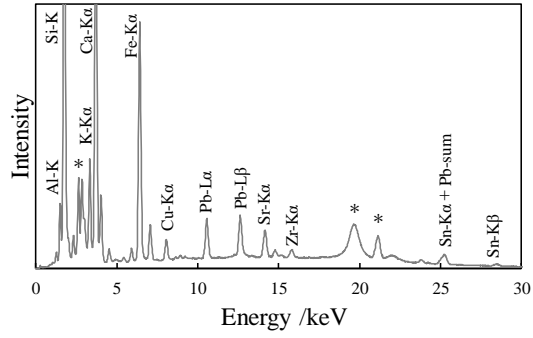


Fig. 4-3-5 微量重元素による同時期のガラスとの比較

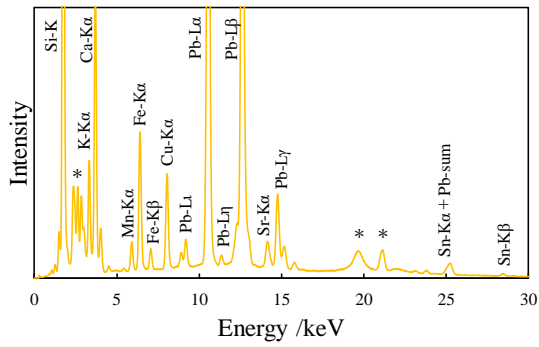
c) トンボ玉

Fig. 4-3-6 に分析したトンボ玉の写真を示す。本資料は黒と白の縞模様の地に赤色ガラスと黄色ガラスを嵌入させたものである。赤色部分と黄色部分はそれぞれ分析したが、地の部分は縞模様の幅が分析装置の照射径に満たなかったため、白色部分と黒色部分で分けて分析することができなかった。結果としては白色部分と黒色部分を合わせて地の部分として示した。

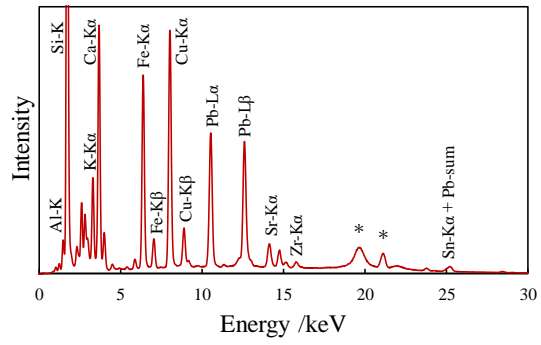
蛍光 X 線分析の結果からトンボ玉はソーダ石灰ガラスであることがわかった。赤色部分は Cu が強く検出されたことから Cu を着色要因とし、黄色部分は Pb や Sn からスズ酸鉛と想定される。



地部分の蛍光X線スペクトル



黄色部分の蛍光X線スペクトル



赤色部分の蛍光X線スペクトル

Fig. 4-3-6 トンボ玉の写真と蛍光 X 線スペクトル

付録 定量値一覧 (4.3 カザフスタンのガラス)

時代	資料番号	形状	色調	ガラス組成タイプ	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	CoO	NiO	CuO	ZnO	As ₂ O ₃	Rb ₂ O	SrO	Y ₂ O ₃	ZrO ₂	SnO ₂	Sb ₂ O ₃	PbO
中世	4TES-001	容器	薄青緑色	ソーダ石灰ガラス	12.4	2.89	3.72	66.3	4.34	9.08	0.13	0.08	0.88	n.d.	n.d.	0.009	0.005	n.d.	0.005	0.124	tr.	0.010	tr.	tr.	0.003
中世	4TES-002	容器	薄青緑色	ソーダ石灰ガラス	5.1	2.21	1.57	83.3	2.69	4.32	0.06	0.29	0.31	n.d.	n.d.	0.008	0.004	n.d.	0.002	0.038	n.d.	0.018	tr.	n.d.	0.004
中世	4TES-003	容器	薄青緑色	ソーダ石灰ガラス	9.3	3.19	4.44	68.5	4.89	8.36	0.14	0.14	0.88	n.d.	n.d.	0.007	0.005	n.d.	0.004	0.069	tr.	0.013	tr.	tr.	0.003
中世	4TES-004	容器	薄緑色	ソーダ石灰ガラス	6.6	3.05	3.26	77.7	3.23	4.43	0.11	0.84	0.65	n.d.	n.d.	0.048	0.011	n.d.	0.004	0.033	tr.	0.010	tr.	n.d.	0.009
中世	4TES-005	容器片	薄緑色	ソーダ石灰ガラス	2.2	1.85	3.96	84.8	1.83	3.47	0.16	0.79	0.80	n.d.	n.d.	0.008	0.011	tr.	0.003	0.021	tr.	0.011	tr.	n.d.	0.004
中世	4TES-006	容器片	薄緑色	ソーダ石灰ガラス	1.9	1.66	3.11	87.5	1.33	3.00	0.20	0.60	0.61	n.d.	n.d.	0.007	0.007	n.d.	0.003	0.018	tr.	0.009	tr.	n.d.	0.005
中世	4TES-007	容器片	薄青緑色	ソーダ石灰ガラス	19.7	4.31	5.27	53.2	5.76	10.05	0.16	0.19	1.18	n.d.	n.d.	0.016	0.006	tr.	0.005	0.072	tr.	0.013	tr.	tr.	0.003
中世	4TES-008	容器	薄青緑色	ソーダ石灰ガラス	9.3	3.79	3.12	71.3	5.40	5.79	0.11	0.35	0.68	n.d.	n.d.	0.010	0.008	tr.	0.005	0.039	tr.	0.010	tr.	n.d.	tr.
中世	4TES-009	容器	薄青緑色	ソーダ石灰ガラス	8.6	2.42	4.12	72.9	3.46	7.00	0.16	0.09	1.02	n.d.	n.d.	0.022	0.005	tr.	0.004	0.113	tr.	0.014	tr.	n.d.	tr.
中世	4TES-010	容器	薄青緑色	ソーダ石灰ガラス	6.0	2.08	4.67	73.2	4.45	8.17	0.13	0.36	0.80	n.d.	n.d.	0.006	0.005	n.d.	0.004	0.094	n.d.	0.008	n.d.	n.d.	0.003
中世	4TES-011	窓ガラス片	薄緑色	ソーダ石灰ガラス	13.7	2.89	4.31	64.9	4.65	7.46	0.17	0.73	1.02	tr.	n.d.	0.011	0.007	n.d.	0.003	0.061	tr.	0.009	tr.	n.d.	0.004
中世	4TES-012	容器	薄緑色	ソーダ石灰ガラス	9.3	2.34	4.18	76.3	2.63	3.94	0.18	0.49	0.63	n.d.	n.d.	0.006	0.005	tr.	0.004	0.028	tr.	0.018	tr.	tr.	tr.
中世	4TES-013	容器	薄青緑色	ソーダ石灰ガラス	2.3	1.22	9.22	74.8	5.29	6.12	0.15	0.05	0.74	n.d.	n.d.	0.007	0.005	n.d.	0.004	0.050	tr.	0.011	tr.	n.d.	tr.
中世	4TES-014	容器	薄青緑色	ソーダ石灰ガラス	10.1	2.75	5.77	67.9	4.57	7.49	0.16	0.07	1.04	n.d.	n.d.	0.015	0.005	n.d.	0.005	0.072	n.d.	0.014	tr.	n.d.	0.004
中世	4TES-015	容器	薄青緑色	ソーダ石灰ガラス	7.5	3.21	4.36	72.0	4.38	6.91	0.13	0.62	0.67	n.d.	n.d.	0.020	0.010	n.d.	0.003	0.086	tr.	0.010	tr.	n.d.	0.004
中世	4TES-017-1	玉類		ソーダ石灰ガラス	3.9	1.53	3.72	80.8	2.86	5.95	0.07	0.22	0.83	n.d.	n.d.	0.004	tr.	tr.	0.003	0.039	n.d.	0.005	n.d.	n.d.	tr.
中世	4TES-017-2	玉類		ソーダ石灰ガラス	1.9	1.49	9.48	78.2	0.64	7.26	0.04	0.60	0.30	n.d.	n.d.	0.004	tr.	n.d.	tr.	0.063	n.d.	0.006	tr.	n.d.	0.005
中世	4TES-017-4	玉類		ソーダ石灰ガラス	tr.	1.29	12.47	76.3	3.58	4.15	0.10	tr.	0.56	n.d.	n.d.	0.007	0.004	n.d.	0.005	0.075	tr.	0.025	tr.	n.d.	tr.
中世	4TES-017-5	玉類		ソーダ石灰ガラス	4.8	1.70	2.22	83.7	1.97	4.50	0.06	0.30	0.45	n.d.	n.d.	0.011	tr.	tr.	0.002	0.039	n.d.	0.003	tr.	0.23	tr.
中世	4TES-017-6	玉類		ソーダ石灰ガラス	4.0	2.16	4.46	78.7	2.58	6.90	0.05	0.37	0.41	n.d.	n.d.	0.011	tr.	n.d.	tr.	0.054	n.d.	0.004	tr.	0.17	0.014
中世	4TES-018-4	玉類		ソーダ石灰ガラス	tr.	tr.	1.48	89.9	0.14	5.76	0.08	0.34	0.58	n.d.	n.d.	0.200	0.015	n.d.	n.d.	0.017	n.d.	0.003	tr.	n.d.	tr.
中世	4TES-018-5	玉類		ソーダ石灰ガラス	tr.	n.d.	2.15	93.7	0.21	2.16	0.22	0.04	0.63	n.d.	n.d.	0.004	0.004	n.d.	n.d.	0.028	n.d.	0.017	n.d.	n.d.	tr.
中世	4TES-019	容器片 (底部)	薄青緑色	ソーダ石灰ガラス	8.8	2.74	4.20	71.7	4.22	6.49	0.12	0.74	0.80	tr.	n.d.	0.010	0.004	tr.	0.006	0.038	tr.	0.015	tr.	n.d.	0.003
中世	4TES-020	容器片 (底部)	青色	ソーダ石灰ガラス	8.7	3.18	4.29	72.4	4.79	5.87	0.06	0.06	0.48	tr.	n.d.	0.068	0.009	tr.	0.007	0.049	tr.	0.006	tr.	n.d.	0.019
中世	4TES-021	容器片 (底部)	薄緑色	ソーダ石灰ガラス	9.6	3.41	5.55	66.8	4.93	7.78	0.17	0.64	1.00	tr.	n.d.	0.011	0.004	tr.	0.006	0.057	tr.	0.014	tr.	tr.	0.003
中世	4TES-022	容器片 (底部)	薄青緑色	ソーダ石灰ガラス	6.0	2.31	3.81	78.9	2.33	4.35	0.19	1.25	0.79	n.d.	n.d.	0.008	0.014	tr.	0.002	0.028	tr.	0.012	tr.	n.d.	0.005
中世	4TES-024	容器片	薄緑色	ソーダ石灰ガラス	8.2	3.03	5.31	67.8	5.42	7.89	0.18	1.19	0.84	n.d.	n.d.	0.012	0.007	tr.	0.004	0.054	tr.	0.011	n.d.	n.d.	0.009
中世	4TES-025	容器片		ソーダ石灰ガラス	9.2	2.29	2.18	74.6	4.92	6.24	0.07	tr.	0.36	n.d.	n.d.	0.007	0.005	n.d.	0.002	0.059	n.d.	0.004	n.d.	n.d.	tr.
中世	4TES-026	容器片	無色透明	ソーダ石灰ガラス	11.0	2.22	2.21	73.2	2.31	8.06	0.11	0.04	0.77	n.d.	n.d.	0.005	tr.	n.d.	tr.	0.031	n.d.	0.009	tr.	tr.	tr.
中世	4TES-027	容器片	薄青緑色	ソーダ石灰ガラス	10.5	3.35	4.38	69.6	4.67	6.55	0.07	0.25	0.44	n.d.	n.d.	0.007	tr.	tr.	0.007	0.058	tr.	0.006	n.d.	n.d.	tr.
中世	4TES-029	容器片 (底部)	無色透明	ソーダ石灰ガラス	11.8	2.61	3.34	72.3	3.21	4.75	0.15	0.97	0.73	n.d.	n.d.	0.016	0.013	tr.	0.003	0.033	tr.	0.013	tr.	n.d.	0.009
中世	4TES-030	容器片 (把手)	薄青緑色	ソーダ石灰ガラス	11.7	1.78	3.55	73.7	2.80	4.58	0.16	0.92	0.75	n.d.	n.d.	0.008	0.010	tr.	0.004	0.027	tr.	0.011	tr.	n.d.	0.008
中世	4TES-031	容器片	薄緑色	ソーダ石灰ガラス	12.8	4.61	3.60	65.2	3.84	8.21	0.17	0.76	0.71	n.d.	n.d.	0.008	0.010	tr.	0.003	0.052	tr.	0.017	tr.	tr.	0.004
中世	4TES-032	容器片	薄緑色	ソーダ石灰ガラス	tr.	1.52	5.82	83.5	2.30	3.56	0.16	1.18	0.85	n.d.	n.d.	0.005	0.011	tr.	0.004	0.023	tr.	0.011	tr.	tr.	0.006
中世	4TES-033	容器片	薄緑色	ソーダ石灰ガラス	12.3	3.04	3.17	72.2	2.90	4.28	0.15	1.10	0.75	n.d.	n.d.	0.010	0.015	tr.	0.003	0.029	tr.	0.011	tr.	n.d.	0.005
中世	4TES-034	容器片	薄青緑色	ソーダ石灰ガラス	13.8	0.88	4.89	71.6	3.97	3.15	0.20	0.79	0.60	n.d.	n.d.	0.008	0.007	n.d.	0.005	0.028	tr.	0.023	tr.	n.d.	0.005
中世	4TES-035	容器片	薄青緑色	ソーダ石灰ガラス	3.2	3.28	5.17	76.5	4.11	6.28	0.17	0.52	0.64	n.d.	n.d.	0.008	0.004	n.d.	0.004	0.048	tr.	0.017	tr.	tr.	0.003
中世	4TES-036	容器片	薄緑色	ソーダ石灰ガラス	9.8	2.92	3.46	72.1	4.39	6.14	0.10	0.46	0.56	n.d.	n.d.	0.011	tr.	n.d.	0.004	0.042	tr.	0.009	tr.	tr.	tr.
中世	4TES-037	容器片	薄緑色	ソーダ石灰ガラス	8.2	2.93	3.17	73.4	3.79	7.38	0.10	0.18	0.65	n.d.	n.d.	0.007	0.004	n.d.	0.003	0.109	n.d.	0.007	tr.	tr.	tr.
中世	4TES-038	容器片	薄緑色	ソーダ石灰ガラス	5.9	2.93	3.69	75.0	3.86	7.44	0.11	0.17	0.71	n.d.	n.d.	0.006	0.004	n.d.	0.004	0.113	n.d.	0.009	0.01	tr.	0.003

n.d. = not detected (検出限界以下) tr. = trace amount (定量下限以下) *SiO₂は100 wt%から他の元素から引いて算出

付録 定量値一覧 (4.3 カザフスタンのガラス)

時代	資料番号	形状	色調	ガラス組成タイプ	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	CoO	NiO	CuO	ZnO	As ₂ O ₃	Rb ₂ O	SrO	Y ₂ O ₃	ZrO ₂	SnO ₂	Sb ₂ O ₃	PbO
6th-5th c BC	4TES-016	装飾部分	黄色	ソーダ石灰ガラス	3.9	0.93	1.45	72.3	0.78	2.09	0.02	tr.	4.56	tr.	tr.	0.705	0.016	0.170	n.d.	0.021	n.d.	0.009	0.33	0.71	11.812
6th-5th c BC		装飾部分	白色	ソーダ石灰ガラス	2.9	n.d.	4.42	86.1	0.26	3.65	0.02	n.d.	0.64	n.d.	n.d.	0.166	0.004	0.020	tr.	0.020	0.003	n.d.	0.07	1.49	0.046
6th-5th c BC		装飾部分	黄色	ソーダ石灰ガラス	4.1	1.09	1.56	70.3	0.67	2.31	0.02	tr.	5.06	0.0267	n.d.	0.764	0.017	0.232	n.d.	0.021	n.d.	0.008	0.35	0.65	12.619
6th-5th c BC		容器	青色	ソーダ石灰ガラス	16.5	2.52	1.06	74.2	1.13	2.80	0.04	tr.	0.24	n.d.	n.d.	1.376	0.010	0.005	tr.	0.012	n.d.	tr.	0.12	tr.	0.011
中世	4TES-023	トンボ玉	白+黒	ソーダ石灰ガラス	tr.	3.78	6.70	72.8	2.60	10.54	0.21	0.08	1.22	n.d.	n.d.	0.144	0.006	n.d.	0.002	0.053	tr.	0.010	0.46	n.d.	0.308
中世		トンボ玉	黄色	ソーダ石灰ガラス	4.4	3.08	4.34	68.6	2.88	7.05	0.09	0.48	1.74	n.d.	n.d.	0.598	0.009	0.004	0.003	0.101	n.d.	0.011	0.95	tr.	5.586
中世		トンボ玉	赤色	ソーダ石灰ガラス	7.2	3.83	4.60	67.1	3.72	9.03	0.13	0.10	1.88	tr.	n.d.	1.354	0.007	n.d.	0.002	0.073	n.d.	0.010	0.38	n.d.	0.519

n.d. = not detected (検出限界以下) tr. = trace amount (定量下限以下) *SiO₂は100 wt%から他の元素から引いて算出

4.4 北方の貨幣

i) 序

日本と北方アジアとの交流には様々な研究が進められてきた。中国、極東ロシア、サハラ、北海道では各地の考古学的調査により文物の移動から見える北方の交流について議論が進められている。交易品には様々なものがあり、その中にはガラス玉や貨幣が含まれている。

中世の日本では、唐や北宋、南宋、明代の中国製の貨幣が使用されていた。このうちの一つである永樂通寶は1408年の明代初期に初めて鑄造された。この永樂通寶は北海道を含め、日本国内では発見例が多数報告されているが、北東アジアの2例を除き、中国、モンゴルなどではほとんど発見例がない。

本項ではガラスとは異なった視点での北方交易に関する知見を得るべく、ハンドヘルド型蛍光 X 線分析装置による貨幣の分析結果について論じる。本例は北東アジアにおける永樂通寶の初めての化学分析例である。

ii) 分析資料

分析した永樂通寶は、極東ロシアのハバロフスク地方 Khabarovsk 埋葬地より出土した1枚である。現在は N.I.グロデコフ名称ハバロフスク地方博物館に所蔵されており、2016年12月に同博物館にて分析調査を行った。資料写真を Fig. 4-4-1 に示す。測定は表裏上下1点ずつで計4点分析した。



Fig. 4-4-1 分析した永樂通寶（左：表面 右：裏面）

iii) 分析結果

各4点における Cu, Pb, Sn の分析結果を4点の平均値を含めて Table 4-4-1 に示す。本資料の Sn の値は Pb よりも高く、これはこの資料の特徴といえる。この特徴は北海道で発見された永樂通寶にはあまり見られなかった特徴である。しかし、Table 4-4-1 の値は資料

表面の値であるため、評価には注意が必要である。そこで表面成分から内部組成を推定する方法を検討した。

まず、50枚の寛永通宝の表面部分と断面（内部）部分をSEM-EDSによって測定し、表面と内部のSn/Cu比を測定し、両者の関係からコインの表面Sn/Cu比から内部Sn/Cu比を推定することが可能であると指摘した。さらに、同手法を10枚の永樂通寶に応用した場合でも、表面と内部のSn/Cu比は互いに相関関係があることを示していた。本研究ではさらに個人蔵の永樂通寶205点を分析し、Fig. 4-4-2に関係図を示した。赤い×印は分析した貨幣を示す。内部組成比Sn/Cuの比が0.05~0.08の範囲で相対的に群集しており、ここに含まれる貨幣は管理された生産工程のもと铸造されたものと考えられる。Fig. 4-4-2の青×印は本例を示していることから、個人による铸造貨幣ではないと考えられる。

Table 4-4-1 各測定点におけるCu, Pb, Snの分析値(%)

	表面：上	表面：下	裏面：上	裏面：下	4点平均
Cu	74.7	75.8	77.3	77.4	76.3
Pb	12.3	11.6	10.4	9.5	11.0
Sn	13.0	12.6	12.3	13.1	12.7

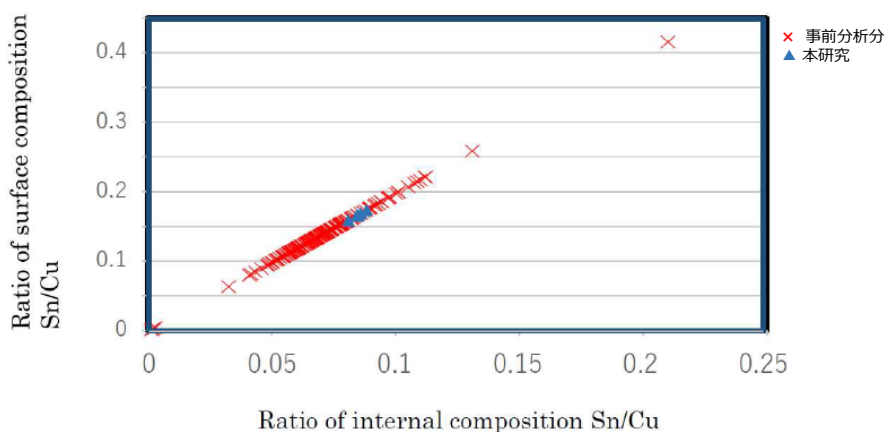


Fig. 4-4-2 表面および内部のSn/Cu比の関係

参考文献

- 市元壘, 2011. 概論 契丹の歴史と文化, 草原の王朝契丹 = The splendor of the Khitan dynasty: 美しき3人のプリンセス: 特別展(九州国立博物館 編), 西日本新聞社, pp.20-24.
- 肥塚隆保, 1997. 日本で出土した古代ガラスの歴史の変遷に関する科学的研究 (博士論文, 東京芸術大学).
- 肥塚隆保, 田村朋美, 大賀克彦, 2010. 材質とその歴史の変遷, 月刊文化財 (特集 古代ガラスと考古科学), 566, pp.13-25.
- 白瀧絢子, 阿部善也, K.タンタラカーン, 中井 泉, 池田朋生, 坂口圭太郎, 後藤克博, 荒井隆宏, 2012. 熊本県出土の古代ガラスの考古化学的研究, 考古学と自然科学, 63, pp.1-25.
- 古松崇志, 2013. 十~十二世紀における契丹の興亡とユーラシア東方の国際情勢, アジア遊学, 160, pp.8-20.
- 堀川 徹, 2015a. 遊牧国家の興亡, カザフスタンを知るための60章, 明石書店, pp.83-87.
- 堀川 徹, 2015b. 遊牧民のイスラーム化, カザフスタンを知るための60章, 明石書店, pp.88-92.
- 松井 太, 2013. 契丹とウイグルの関係, アジア遊学, 160, pp.56-69.
- Abdurazakov, A. A., 2009. Central Asian glassmaking during the ancient and medieval periods, *Ancient Glass Research along the Silk Road (World Scientific)*, pp. 201-219.
- Brill, R. H., 2009. Opening remarks and setting the stage: lecture at the 2005 Shanghai international workshop on the archaeology of glass along the Silk Road, *Ancient glass research along the Silk Road (World Scientific)*, pp. 109-147.
- Dussubieux, L., Gratuze, B., Blet-Lemarquand, M., 2010. Mineral soda alumina glass: occurrence and meaning, *Journal of Archaeological Science*, 37(7), pp.1646-1655.
- Dussubieux, L., and Gratuze, B., 2013. Glass in South Asia, *Modern Methods for Analysing Archaeological and Historical Glass, Volume I*, pp.399-413.
- Freestone, I. C., Jackson-Tal, R. E., Taxel, I., and Tal, O., 2015. Glass production at an early Islamic workshop in Tel Aviv., *Journal of Archaeological Science*, 62, pp.45-54.
- Henderson, J., McLoughlin, S. D., and McPhail, D. S., 2004. Radical changes in Islamic glass technology: evidence for conservatism and experimentation with new glass recipes from early and middle Islamic Raqqa, Syria., *Archaeometry*, 46(3), pp.439-468.
- Henderson, J., Chenery, S., Faber, E., and Kröger, J., 2016. The use of electron probe microanalysis and laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry for the investigation of 8th-14th century plant ash glasses from the Middle East, *Microchemical Journal*, 128, pp. 134-152.

- Jackson, C.M., 2005. Making colourless glass in the Roman period, *Archaeometry*, 47, 4, pp.763-780.
- Kato, N., Nakai, I., and Shindo, Y., 2009. Change in chemical composition of early Islamic glass excavated in Raya, Sinai Peninsula, Egypt: on-site analyses using a portable X-ray fluorescence spectrometer., *Journal of Archaeological Science*, 36(8), pp.1698-1707.
- Kato, N., Nakai, I., and Shindo, Y., 2010. Transitions in Islamic plant-ash glass vessels: on-site chemical analyses conducted at the Raya/al-Tur area on the Sinai Peninsula in Egypt., *Journal of Archaeological Science*, 37(7), pp.1381-1395.
- Lankton, J. W., and Dussubieux, L., 2006. Early glass in Asian maritime trade: a review and an interpretation of compositional analyses, *Journal of Glass Studies*, pp.121-144.
- Rehren, T., Osório, A., and Anarbaev, A., 2010. Some notes on Early Islamic glass in eastern Uzbekistan. *Glass along the Silk Road from, 200*, pp. 93-103.
- Sayre, E. V., and Smith, R. W., 1961. Compositional categories of ancient glass. *Science*, 133(3467), pp.1824-1826.

第5章 日本列島のガラス流通に関する考察

本研究では、第3章にまとめた日本出土ガラスの分析調査結果に加え、同装置を用いて行った国内調査のデータも含めて、日本列島全体におけるガラス流通を考察した。本章では、自身が分析を行った分を含めて全国約150か所、2700点以上のガラスの分析データを対象とした（白瀧 他,2012, 松崎 他,2012, 松崎 他,2013, 柳瀬 他,2014, 柳瀬 他,2015, 澤村 他,2015, 今井 他,2017）。

5.1 化学組成に基づく国内流通

本項では、本研究で用いた可搬型蛍光X線装置を用いて行った国内各地の調査結果から、得られた化学組成をもとに国内における古代ガラスの流通状況についてまとめ、海外から搬入されたガラスがどのように国内で流通したのかについて論じる。Fig. 5-1-1にこれまでの国内調査における化学組成からの分類結果を総合的にまとめた。ただ、Fig. 5-1-1に示した結果、各地の出土量や割合を正確に示すものではなく、あくまで本研究で分析対象とした資料に限られることを留意しておく必要がある。Fig. 5-1-1より、ガラスの国内流通には地域によって偏りがみられる可能性が考えられる。次から各地域ごとに流通状況について詳しく整理して論じる。

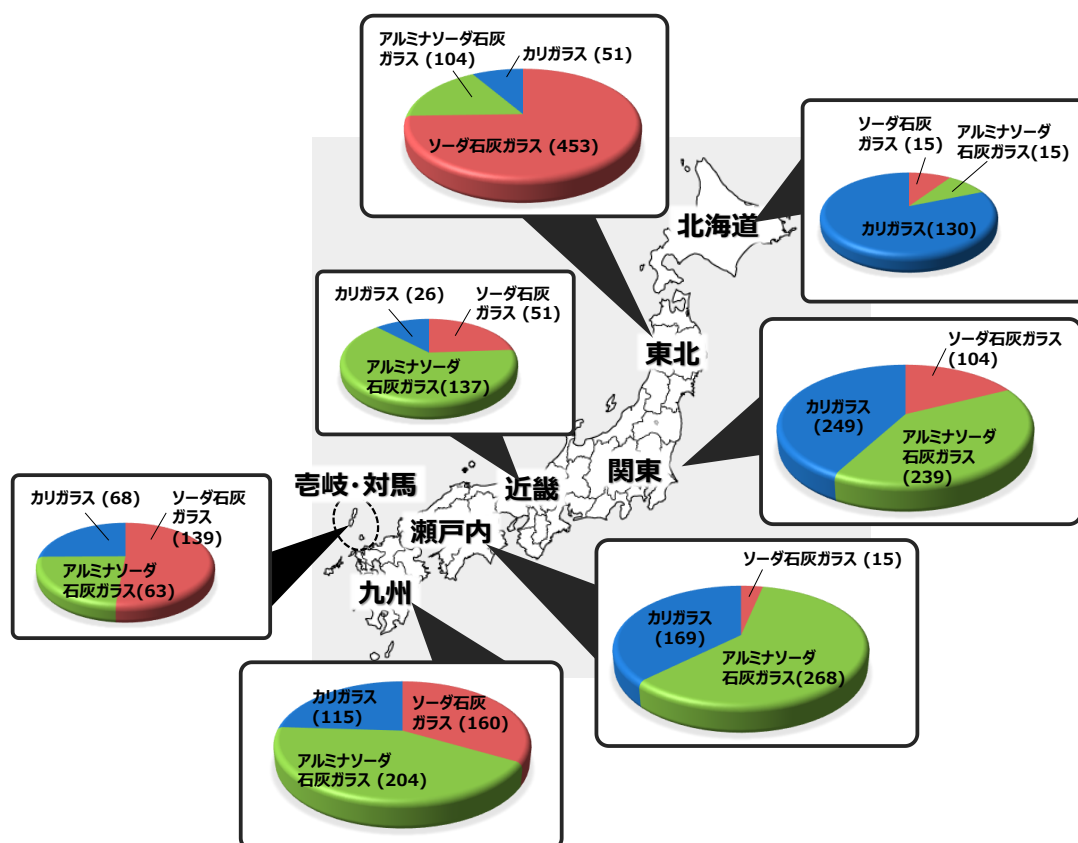


Fig. 5-1-1 日本国内における分類結果

i) 壱岐・対馬

壱岐と対馬は一般的には九州に含まれるが、両島は大陸に最も近く、古代の海上交易の経由地であった側面からここでは九州とは分けて論じる。Fig. 5-1-2 に壱岐と対馬のガラスの分析結果を示した。紀元後 3 世紀からカリガラスが出現し、その後 5 世紀代に入ってアルミナソーダ石灰ガラスやソーダ石灰ガラスが流通し始める。紀元後 5 世紀末～6 世紀初頭はアルミナソーダ石灰ガラス多くなり、紀元後 6 世紀頃からはソーダ石灰ガラスが多くなる。

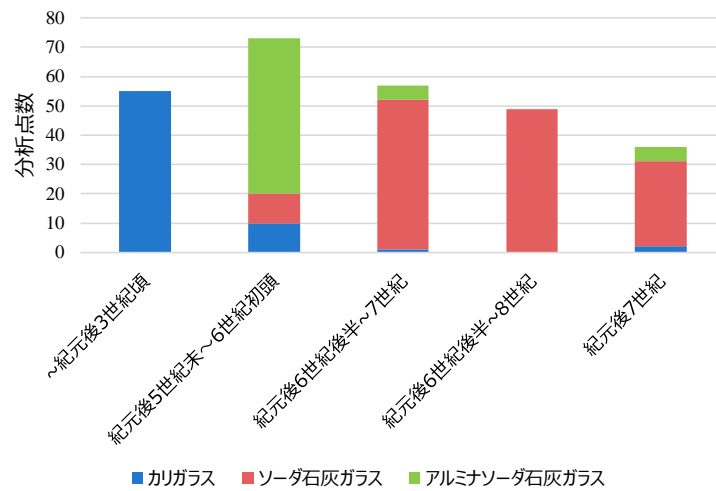


Fig. 5-1-2 壱岐・対馬で出土ガラスの時代別分類結果

ii) 九州

先述した壱岐と対馬を除いた九州地方は、Fig. 5-1-3に見られるように紀元後3世紀頃の資料はほとんどカリガラスであり、その後アルミナソーダ石灰ガラスとソーダ石灰ガラスが多くなる傾向は、壱岐と対馬と同じ傾向であるが、紀元後4世紀以降にはアルミナソーダ石灰ガラスもソーダ石灰ガラスも時代による相対的な差はなく、ほぼ同割合で出現している傾向が明らかになった。このような傾向は壱岐や対馬とは異なっている。

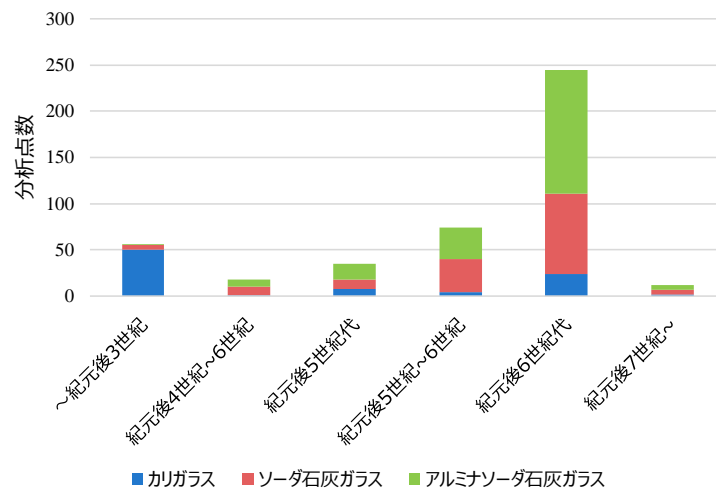


Fig. 5-1-3 九州出土ガラスの時代別分類結果

iii) 瀬戸内

瀬戸内地域の分析資料は、細かい時代分類が困難だったことから、大まかに紀元後 3 世紀頃までの資料と紀元後 5 世紀以降の資料で分け、Fig. 5-1-4 に示した。ここでも先述の地域と同様にガラスの出現期の紀元後 3 世紀頃にはカリガラスが多くをしめていた。紀元後 5 世紀にも同様にアルミナソーダ石灰ガラスやソーダ石灰ガラスが流通し始めるが、瀬戸内地域ではアルミナソーダ石灰ガラスが多く流通していたことは明らかである。しかしながら、瀬戸内地域における分析例が本研究において限られているため、同様な分析方法による分析例の蓄積が望まれる。

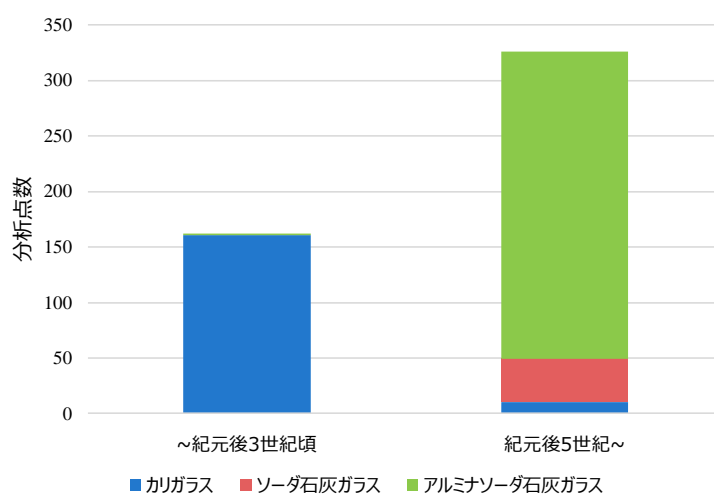


Fig. 5-1-4 瀬戸内地域出土ガラスの時代別分類結果

iv) 近畿

近畿地方における分析結果を Fig. 5-1-5 に示す。当地域でも、カリガラス→アルミナソーダ石灰ガラス・ソーダ石灰ガラスという流通変遷がみられ、特に流通後半時期においてはアルミナソーダ石灰ガラスが多いという特徴がみられた。全体的な傾向として九州と同様な組成変遷が明らかになった。

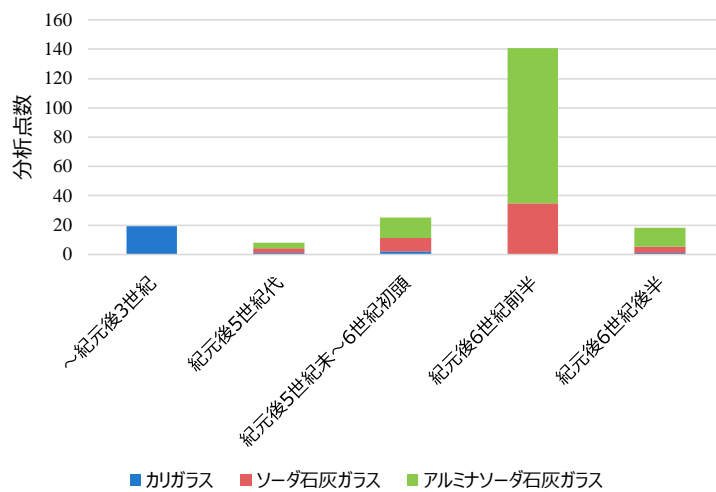


Fig. 5-1-5 近畿地方出土ガラスの時代別分類結果

v) 関東

近畿地方における分析結果を Fig. 5-1-6 に示す。当地域でも最初期（紀元後 3 世紀頃）はカリガラスがみられ、紀元後 4 世紀代までほとんどがカリガラスである。紀元後 5 世紀代からはソーダ石灰ガラス、紀元後 6 世紀以降はアルミナソーダ石灰ガラスもみられるようになる。このような関東におけるガラスの時代変遷は先述の九州、瀬戸内、近畿とは異なっている。

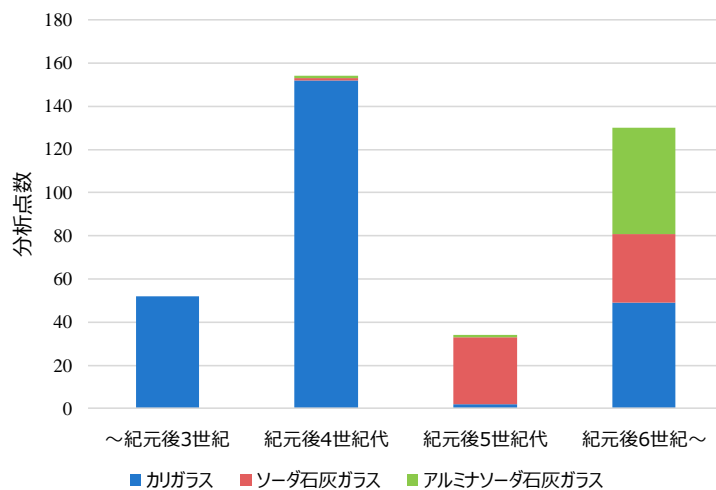


Fig. 5-1-6 関東地方出土ガラスの時代別分類結果

vi) 東北地方

青森県と岩手県で出土したガラスの分析データを総合し、ここでは東北地方として特徴をまとめる。そのためここで述べる東北地方は、東北地方の中でも北部に偏ってしまうことを留意しなければならない。東北地方では先述した地域や後に述べる北海道内の様相とは異なり、時代に寄らずソーダ石灰ガラスが多くを占めていることが Fig. 5-1-7 より明らかになった。これは他の地域にはなく、当地域にのみ見られる特徴である。

考古学的な背景として当地域において紀元後 5 世紀より前の時代に位置する資料がほとんどない。特例として青森県つがる市に所在する亀ヶ岡遺跡から出土したガラス小玉 1 点が縄文時代晩期のものとする見方があるが、当時の出土状況からこの亀ヶ岡例について時代比定は今もなお議論が続いている。さらに南の関東以南や北の北海道では紀元後 3 世紀頃にはカリガラスがまとまって出現しているにも関わらず、東北地方では、紀元後 5 世紀と遅く、さらに各地のガラス流通はカリガラスから始まるという点も、東北地方では確認できない。

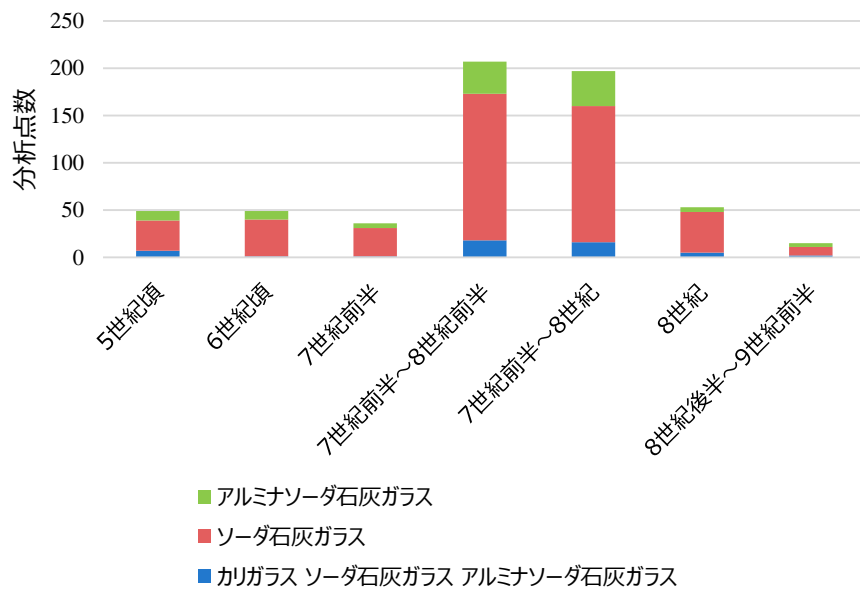


Fig. 5-1-7 東北地方（北部）内出土ガラスの時代別分類結果

vii) 北海道

北海道の資料は紀元後3世紀頃～7世紀頃の資料を対象とした。Fig. 5-1-8に分類結果を時代ごとに区切って示した。北海道では紀元前3世紀頃よりカリガラスが出現し、その後アルミナソーダ石灰ガラスやソーダ石灰ガラスも流通するが、総じてカリガラスが多く流通していたことは明らかである。

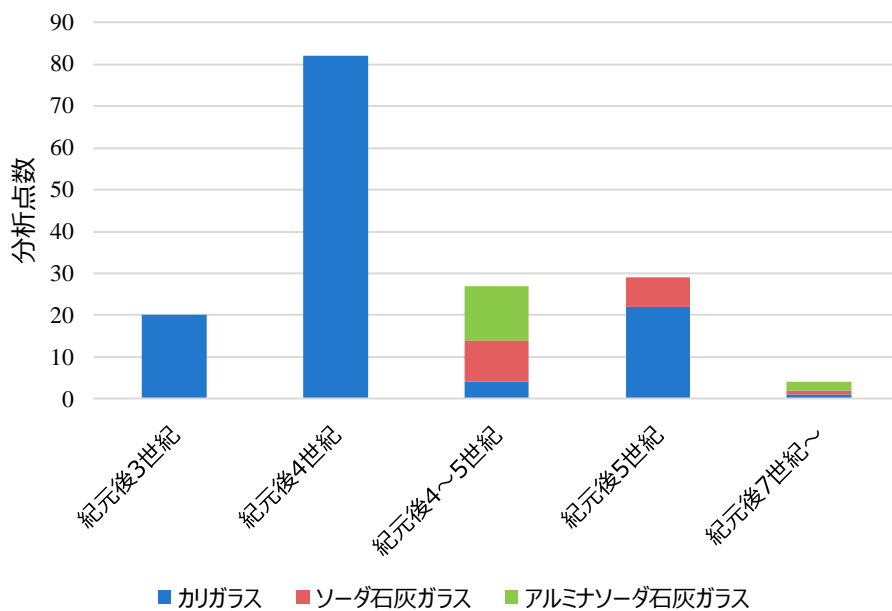


Fig. 5-1-8 北海道内出土ガラスの時代別分類結果

viii) 国内全体の組成変遷と流通について

以上、各地域のガラスの分類結果について時代別に概観した。Fig. 5-1-9に全地域についてまとめた図を示す。Fig. 5-1-9の灰色部分は本研究で扱えなかった時代、地域を示す。Fig. 5-1-2~8およびFig. 5-1-9で示したように九州、瀬戸内、近畿における組成変遷は同傾向であるが、壱岐・対馬、関東、東北、北海道ではそれぞれの変遷が異なっていた。このことから各地域におけるタイプ別変遷と地域性が明らかになった。

日本における古代ガラスの出現は弥生時代前期末の北部九州に端を発するとされており、その後時代が下るにつれて瀬戸内、畿内、関東へと分布域が拡大することが明らかになっている（肥塚 他, 2010）。ここから日本国内にガラスが流通していく過程の大まかな流れとして、西日本から東日本、そして北への伝播が考えられる。確かに上記を踏まえると、九州、瀬戸内、近畿に関しては組成変遷の傾向が類似していることから、西から徐々に伝来したものと考えられる。一方で関東、東北、北海道では西日本とは異なっており、東日本においては西日本のような一連の流れで伝わったものではなく、離散的に伝播した可能性が考えられる。

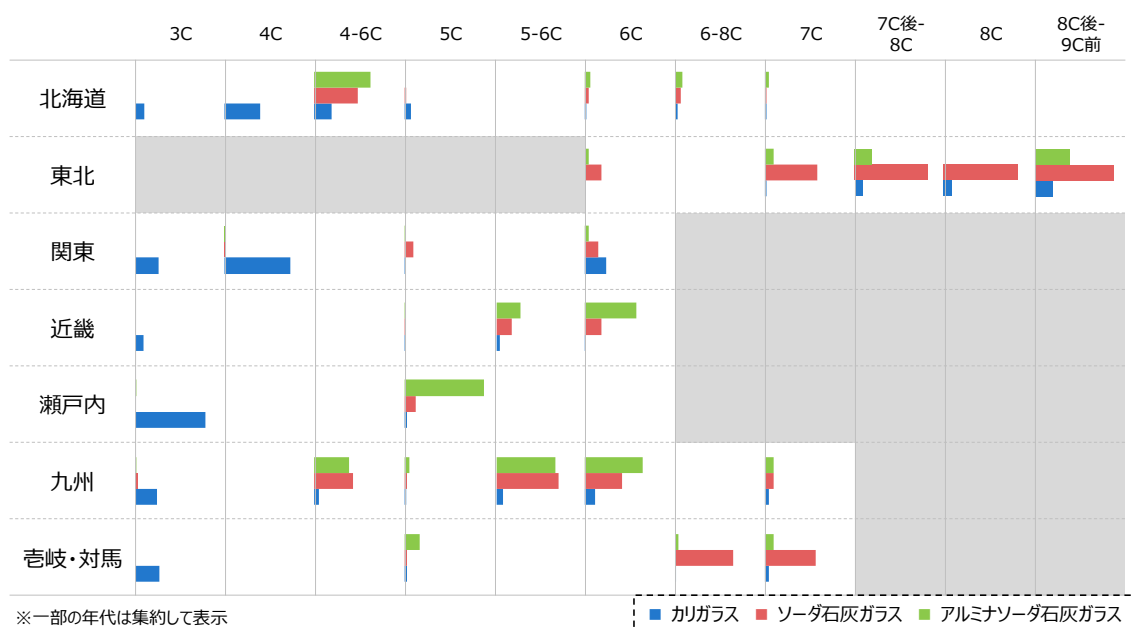


Fig. 5-1-9 日本列島におけるガラス流通の変遷様相
(灰色部分は同手法による分析を行っていない地域・時代を示す)

5.2 海外から日本列島へのガラス流通

ここでは、3.5 で述べた長崎県壱岐市、および 3.6 で述べた対馬市でのガラスの現地分析調査を中心に先行研究例と比較しながら、日本・大陸間のガラス流通について論じる。

i) 考古学的背景

古代の日本は様々な文物を大陸から搬入していた。壱岐・対馬は朝鮮半島と北部九州の間に位置するという地理的特徴から、古代の海上交易の要衝であったと推測される。考古学的調査によって Fig. 5-2-1 のような交易ネットワークの存在が推定されている。



Fig. 5-2-1 朝鮮半島-対馬-壱岐-西日本の交易ネットワーク

さらに、壱岐や対馬の遺跡や古墳からは、大陸由来のものと考えられる遺物が多数出土している。壱岐市内では首長墓と考えられている双六古墳や笹塚古墳から、Fig. 5-2-2 に示したように多数の朝鮮半島系文物が発見されている。両古墳からは Fig. 5-2-2 に示したものの以外にもガラス玉が多数出土しており、本研究で一部分析調査を行った。対馬市内でも本研究の分析対象が発見されたかがり松鼻遺跡では、韓国金海で発見されたものと同様な銅剣や前漢時代（紀元前 206 年～後 8 年）前漢時代頃中国洛陽地方で製作されたものが、楽浪郡を通じて渡来したものと推定されると把頭飾が出土している。また、コフノサエ遺跡からは 4 世紀頃～統一新羅時代（7 世紀）頃の韓国産陶質土器や大阪陶邑産の須恵器が出土している。このように考古学調査によって大陸や畿内由来の文物が壱岐・対馬にもたらされていたことが明らかになっている。



Fig. 5-2-2 壱岐市内の首長墓出土品
(左：双六古墳，右：笹塚古墳)

ii) 沓岐・対馬出土ガラスの蛍光 X 線分析調査結果

Fig. 5-2-3 には先述した本研究の結果 (3.5 および 3.6) と片多による原の辻遺跡出土ガラス玉の分析結果 (片多, 2017) をまとめた。弥生時代においてカリガラスが中心的な傾向は今回の結果と同様であるが、古墳時代ではアルミナソーダ石灰ガラスが多い今回の結果に対して、沓岐ではソーダ石灰ガラスが中心的であり、その様相が異なる。ただ、対馬・沓岐のデータに同時期性はないため、対象資料の時代の違いが反映されている可能性も考慮しなければならない。

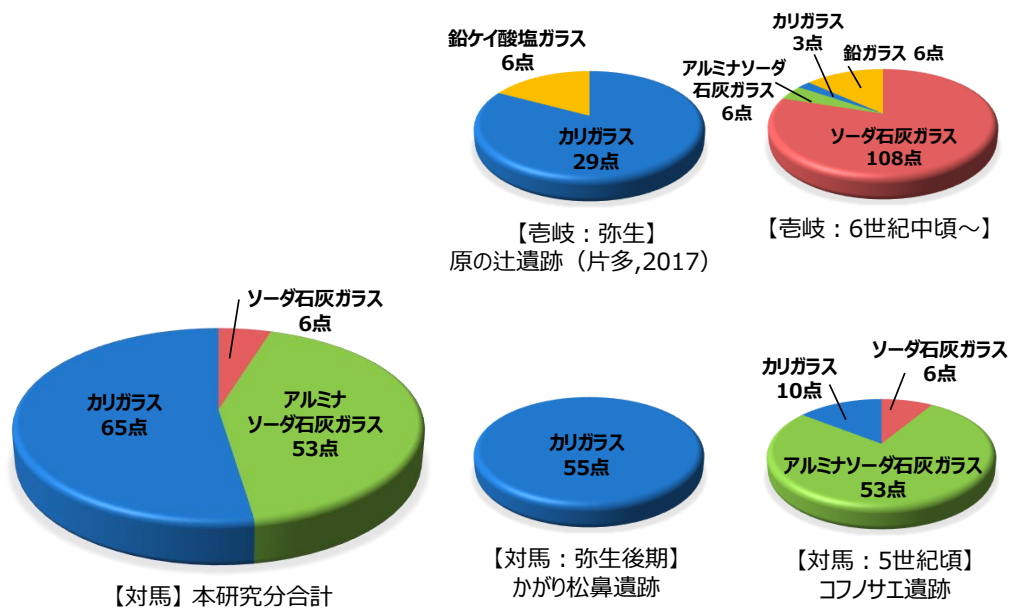


Fig. 5-2-3 沓岐・対馬における弥生時代から古墳時代の分類結果

iii) 韓国出土ガラスとの比較

日本国内で発見されるガラスは韓国国内でも発見されている。Fig. 5-2-4 に韓国国内におけるガラスタイプ変遷の概略図を示す。さらに本研究と同じ可搬型蛍光 X 線分析装置を用いて、朝鮮半島楽浪土城址 (楽浪郡治址) / 楽浪古墳で出土したガラスの分析結果を Fig. 5-2-5 に示した (柳瀬 他, 2016)。楽浪郡は 楽浪郡は紀元前 108 年に前漢の武帝により朝鮮半島北西部に置かれた漢四郡の 1 つであり、紀元後 313 年まで存続していた。Fig. 5-2-5 に示した結果では、鉛バリウムガラス、鉛ガラス、カリガラス、アルミナソーダ石灰ガラスが出土していることが明らかになった。前項の Fig. 5-2-3 と Fig. 5-2-4, Fig. 5-2-5 を比較すると、弥生時代併行期 (~紀元後 3 世紀頃) には 3 か所でカリガラスが流通していたことがわかった。一方で、韓国国内 (Fig. 5-2-4) や楽浪 (Fig. 5-2-5) では鉛バリウムガラスが流通していたが、本研究では沓岐・対馬において確認されなかった。紀元後 3 世紀、4 世紀頃

になって韓国国内で鉛ガラスやソーダ石灰ガラスが流通し始め、壱岐・対馬でも 5 世紀頃からみられるようになる。Fig. 5-2-4 には示していないが、韓国国内ではアルミナソーダ石灰ガラス製のビーズも発見例がある (Lee, 2009)。カリガラスやソーダ石灰ガラス、鉛ガラスは壱岐・対馬と韓国・楽浪で出現時期がほぼ一致することから、これらのガラスタイプは日本へ伝わってくる過程で朝鮮半島が関係した可能性が考えられる。

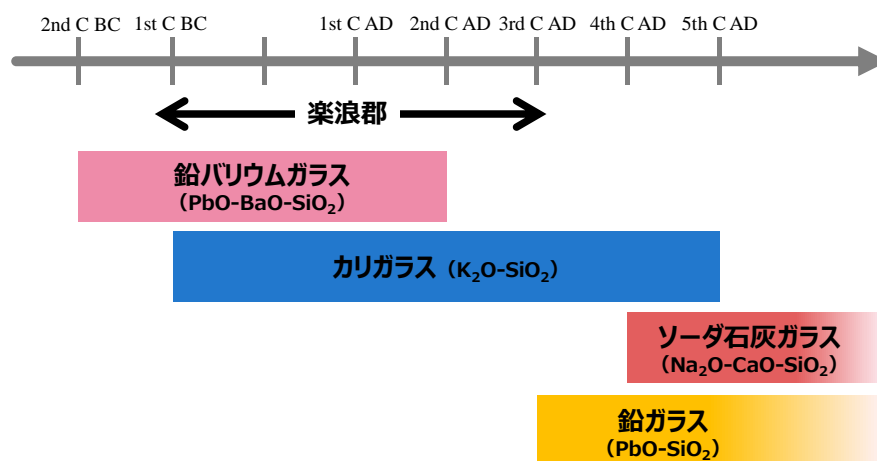


Fig. 5-2-4 韓国国内におけるガラス変遷図 (国立扶餘博物館, 2007 をもとに作成)

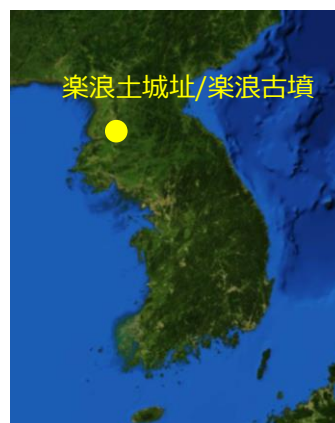
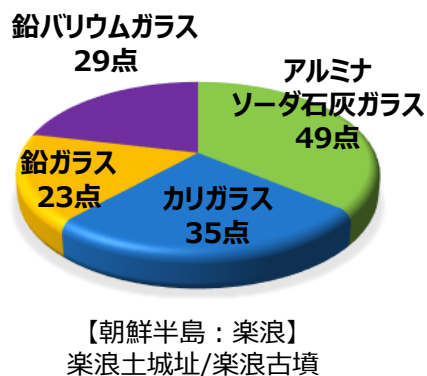


Fig. 5-2-5 楽浪出土ガラスの分析結果

さらにガラス流通を考えるうえで注目されるのが韓国・公州市に所在する武寧王陵出土ガラス玉である。武寧王陵とは百濟 (紀元後 4 世紀前半～663 年) の第 25 代王・武寧王とその妃の墓であり、1971 年に発見された。百濟はかつて現在の朝鮮半島南西部を治めており、日本と外交関係も築かれていたと考えられている。それを示すものとして日本にしか自生しないコウヤマキを棺材に用いている点が挙げられる。武寧王陵からはオレンジ色、黄色、緑色、青色、紫色など多彩なガラスが出土し、国立公州博物館 (韓国) によって組成分析が行われている (キム・キュホ 他, 2005)。武寧王陵出土ガラスと日本出土ガラスの関係につ

いて田村は、武寧王陵出土ガラスは海のシルクロード由来（東南アジアなど）のものが主たる構成であること、該当期の日本で多く見られるガラスタイプのうち武寧王陵からは出土していないタイプがあり、このタイプは新羅（現在の朝鮮半島東部を支配）を經由して流通した可能性を指摘している（田村，2012）。Fig. 5-2-6 に紀元後 6 世紀中頃の朝鮮半島の勢力図を、Fig. 5-2-7 に武寧王陵出土ガラスの一例を示した。田村の報告内容も交えながら、日本のガラスと組成比較を行った結果を以下にまとめた。



Fig. 5-2-6 紀元後 6 世紀中頃の朝鮮半島

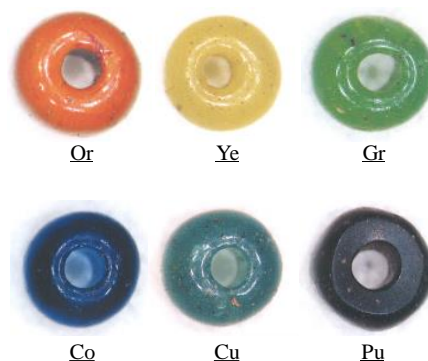


Fig. 5-2-7 武寧王陵出土ガラス

【主要成分による組成分類】

国立公州博物館によって組成分析の結果から、まず主要成分によって Fig. 5-2-8 に示したようにカリガラス、ソーダ石灰ガラス、アルミナソーダ石灰ガラスに分類を行った。ここでは、日本で出土したカリガラス、ソーダ石灰ガラス、アルミナソーダ石灰ガラスのデータを Fig. 5-2-8 に示し、各ガラスタイプの分布領域を明らかにしたうえで、武寧王陵出土ガラスのデータを同様に Fig. 5-2-8 に示し、その分布から分類を行った。以下、Fig. 5-2-8 の分類結果を参考にしながら、色調ごとに日本およびシルクロード各地のガラスとの比較を論じる。

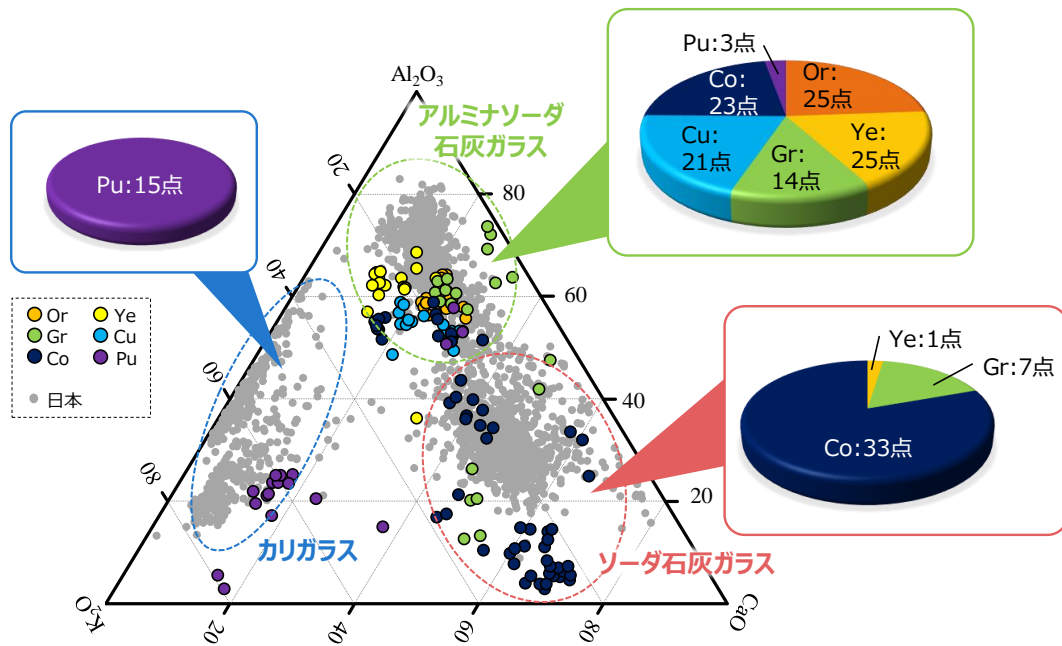


Fig. 5-2-8 主要成分による武寧王陵出土ガラスの組成分類

【オレンジ色 (Or)】

オレンジ色のガラスビーズはすべてアルミナソーダ石灰ガラスであり、着色には銅が用いられたと考えられる。そこで日本およびシルクロード各地で分析したデータの中から銅着色の赤色・オレンジ色のガラスと銅の含有量を比較した。その結果を Fig. 5-2-9 に示す。日本、朝鮮半島、東南アジアと広い地域で発見されている赤色ガラスと武寧王陵以外には東南アジアでのみ発見されているオレンジ色のガラスでは銅の含有量に差がある。さらに本研究のデータでは東南アジアでのみ出土している点も、海のシルクロード由来（東南アジアなど）のものが主たる構成とする田村の指摘と一致する。武寧王陵出土ガラスオレンジ色ガラスと同様なガラスは奈良県藤ノ木古墳出土例以外に日本では類例があまりないが、銅を多く含む点は日本出土例と共通する（田村, 2012）。オレンジ色のガラス玉は福岡県宗像市の宗像大社の神宝にも同様なものが存在するものの（出光美術館, 2014）、化学組成的な関係について議論はされていないが、古代の日本と大陸の海上交易を担っていた地域に同様なガラスが伝わっているのは朝鮮半島とのガラス交易を考えるうえで重要である。

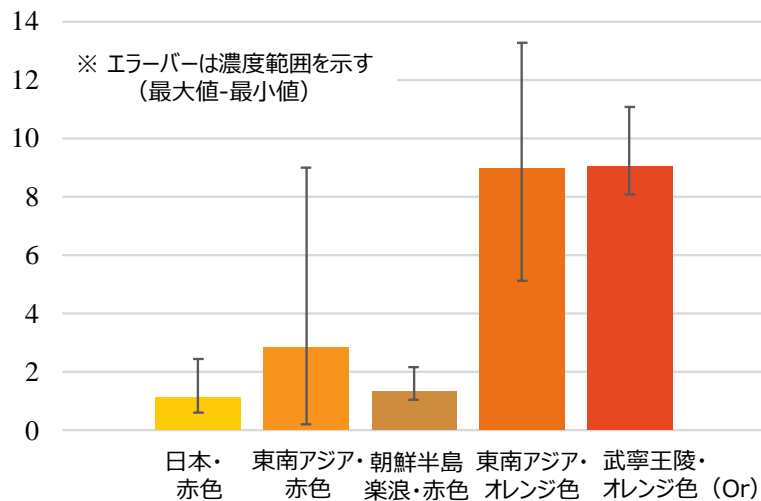


Fig. 5-2-9 銅含有量の比較

【黄色 (Ye)】

黄色のガラスビーズはほとんどがアルミナソーダ石灰ガラスと考えられるが、1点のみソーダ石灰ガラスと考えられる。いずれもスズや鉛を含んでいることから日本で出土する黄色ガラスと同様に人工顔料のスズ酸鉛が用いられていると考えられる。

【緑色 (Gr)】

緑色のガラスビーズは Fig. 5-2-8 により、アルミナソーダ石灰ガラス 14 点とソーダ石灰ガラス 7 点に分類した。ソーダ石灰ガラスに分類した 7 点は、さらに Fig. 5-2-10 に示したようにすべてナトロンガラスに分類された。しかし、カルシウム含有量が地中海地域のナトロンガラスに比べて少ないことから、当該地域のガラスとは異なるものである。また、すべての緑色アルミナソーダ石灰ガラスの Al_2O_3 が 5% 以下と、日本などで見られるアルミナソーダ石灰ガラスの中では少ない値を示す。田村はこれについて熊本県小田良古墳出土例との比較を考察し、武寧王陵出土例と小田良古墳出土例のガラス材質が異なることから、生産地が異なると述べている (田村, 2012)。

緑色のガラスの着色は、黄色顔料のスズ酸鉛に銅イオンを加えて着色しているものと考えられている (田村, 2012)。そこで、銅、スズ、鉛で三角ダイアグラムを作成し、本研究のデータと比較した。その結果を Fig. 5-2-11 に示す。武寧王陵から出土した緑色ガラスは、一つに集約され、斉一的な組成であることがわかった。さらに、本研究のデータと比較しても、同様の領域に位置し、化学組成特徴が類似していることがわかった。田村は、南アジアから東南アジアにかけて製造されたガラス玉は、各地の生産者集団が在地の原料を用いてガラス素材を製造し、着色剤の原料は特定の産地のものを利用していった可能性を指摘しており (田村, 2012)、Fig. 5-2-11 の結果はそれを化学組成的な比較により示したものといえる。

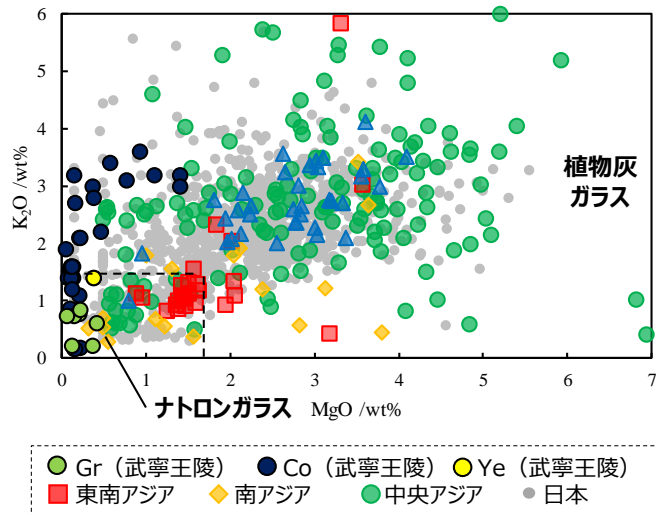


Fig. 5-2-10 K₂O と MgO によるソーダ石灰ガラスの分類

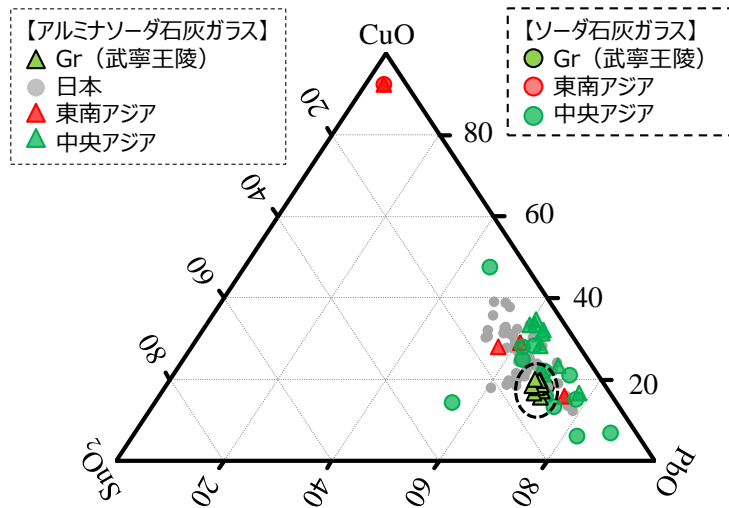


Fig. 5-2-11 緑色ガラスの着色由来元素による比較

【青色 (Co)】

青色系のガラスには Co ガラスと Cu ガラスに分けられており、まず Co ガラスについて述べる。青色 (Co) ガラスはアルミナソーダ石灰ガラス 23 点、ソーダ石灰ガラス 33 点であった。ソーダ石灰ガラス 33 点は前出の Fig. 5-2-10 に示したように、MgO が比較的少なく、本研究のデータにはあまり類例がないタイプである。

一方着色は資料の表記にもあるようにコバルトを用いていると考えられるが、コバルトの定量結果は報告されていないため、コバルト原料に付随するマンガンや鉄などで比較した。その結果を Fig. 5-2-12 に示した。Fig. 5-2-12 より、Co 着色ガラスはカリガラスとソ

ーダ石灰ガラス・アルミナソーダ石灰ガラスでデータの分布域が異なることから、化学組成に違いがあると考えられる。武寧王陵から発見された青色（Co）は、後述する紫色（Pu）ガラスとは異なり、日本の Co 着色ガラスと同様な化学組成的特徴があることがわかった。

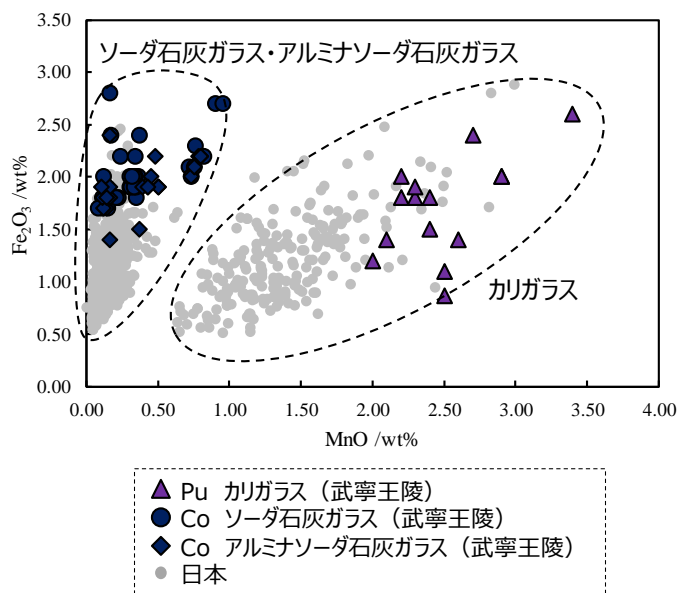


Fig. 5-2-12 Fe_2O_3 と MnO による青色（Co）ガラスの比較

【紫色（Pu）】

紫色ガラスはアルミナソーダ石灰ガラスが3点、カリガラスが15点に分類された。カリガラスに分類された15点を Al_2O_3 と CaO によって分類したところ、Fig. 5-2-13 に示したように、ほとんどが K-1 タイプに分類された。3点が外れてプロットされたが、K-1 タイプに近い組成である。K-1 タイプのカリガラスの多くは、コバルトを用いた紺色を呈するものが多いことが知られていることから、Co 着色剤が用いられている可能性が考えられる。そこで、青色（Co）と同様にマンガンと鉄によって本研究データと比較した。前出の Fig. 5-2-12 にて MnO を多く含む特徴が示され、Fig. 5-2-14 では MnO と Fe_2O_3 ともに比較的多く含むが、本研究のデータと同様な組成的特徴を持つことがわかった。ガラス素材、着色剤とも日本のガラスと共通していると考えられる。

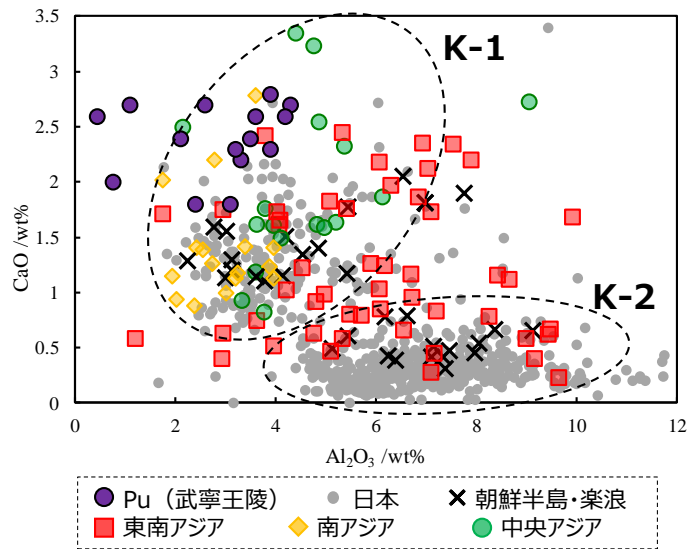


Fig. 5-2-13 CaO と Al₂O₃ による紫色 (Pu) ガラスの分類結果

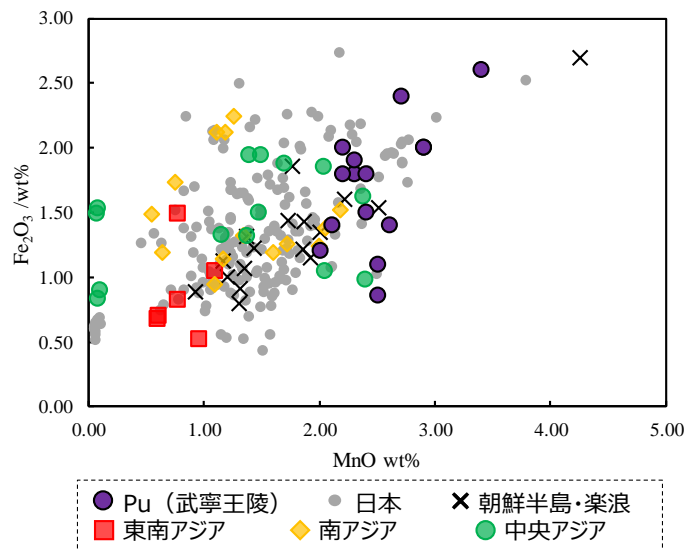


Fig. 5-2-14 Fe₂O₃ と MnO による紫色 (Pu) ガラスの比較

【青色 (Cu)】

このタイプはすべてアルミナソーダ石灰ガラスに分類された。着色には資料の表記にもあるように銅が用いられている。銅を用いた青色系のガラス素材にはアルミナソーダ石灰ガラスの他にカリガラスも知られており、銅着色アルミナソーダ石灰ガラスは同着色のカリガラスに比べてスズや鉛が少ない傾向がある(肥塚 他, 2010)。このことは武寧王陵出土例にも共通している。

以上、武寧王陵出土例との比較を述べてきた。分析手法が異なるため比較が難しいところもあるが、各色・各ガラスタイプの比較結果では、日本のガラスとの類似点が多くみられた。特にガラスの着色剤はどの色のガラスも本研究データと共通した特徴があり、着色剤の供給元は同一である可能性が示唆される。しかしながら、ガラス素材には相違点もあることから、武寧王陵出土例との比較を通じて様々な製造拠点がある可能性が考えられた。上記の比較により田村が指摘しているように、日本へのガラス流通には百済（朝鮮半島南西部）以外の流入元も考えられる（田村, 2012）。

本項ではこの地域の出土ガラスの調査結果と朝鮮半島の先行研究を比較することで、日本・大陸間のガラス流通について考察した。壱岐・対馬はガラス交易において少なからず朝鮮半島の影響を受けているか、あるいは朝鮮半島と同じ流通元からガラスが搬入された可能性が考えられる。

参考文献

- 出光美術館, 2014. 図録「宗像大社国宝展一神の島・沖ノ島と大社の神宝」.
- 今井藍子, 柳瀬和也, 馬場慎介, 中井泉, 中村和之, 小川康和, 越田賢一郎, 2017. 北海道道央地方で出土した続縄文時代ガラスビーズの考古化学的研究, X線分析の進歩, 48, pp.235-248.
- 片多雅樹, 2017. 長崎県壱岐市・原の辻遺跡出土ガラス製品の蛍光 X線分析, 研究紀要, 7, pp. 42-47.
- 김규호(キム・キュホ), 강형태(ガンヒョンテ), 이윤희(イユンフイ), 2005. 유리 제품의 특성 분석 (1), 武寧王陵-출토 유물 분석 보고서(1)-, 国立公州博物館 研究叢書 第 17 冊, pp.62-124.
- 肥塚隆保, 田村朋美, 大賀克彦, 2010. 材質とその歴史の変遷, 月刊文化財 (特集 古代ガラスと考古科学), 566, pp.13-25.
- 澤村大地, 加藤千里, 松崎真弓, 柳瀬和也, 谷口陽子, 中井 泉, 2015. 蛍光 X線分析による関東地方の遺跡から出土した古代ガラスに関する考古化学的研究, 分析化学, 64, pp.637-642.
- 白瀧絢子, 阿部善也, K.タンタラカーン, 中井 泉, 池田朋生, 坂口圭太郎, 後藤克博, 荒井隆宏, 2012. 熊本県出土の古代ガラスの考古化学的研究, 考古学と自然科学, 63, pp.1-25.
- 田村朋美, 2012. ガラスからみた古代の交易ルート 武寧王陵出土品と日本出土品の比較を中心に, 백제문화 (百濟文化) , 46, pp103-144.
- 松崎真弓, 白瀧絢子, 池田朋生, 中井 泉, 2012. ポータブル蛍光 X線分析装置を用いた熊本県・茨城県出土古代ガラスの考古化学的研究, X線分析の進歩, 43, pp.437-452.
- 松崎真弓, 白瀧絢子, 池田朋生, 中井 泉, 2013. 佐賀県鳥栖市出土古代ガラスの考古化学的研究, X線分析の進歩, 44, pp.217-229.
- 柳瀬和也, 松崎真弓, 澤村大地, 橋本英俊, 東 憲章, 永濱功治, 中井 泉, 2014. 宮崎県・鹿児島県から出土した古代ガラスの考古化学的研究, X線分析の進歩, 45, pp.279-303.
- 柳瀬和也, 松崎真弓, 澤村大地, 中村和之, 森岡健治, 中井泉, 2015. 蛍光 X線分析による北海道で出土した続縄文時代の古代ガラスの特性化, 分析化学, 64(5), pp.371-377.
- 柳瀬和也, 小寺智津子, 澤村大地, 村串まどか, 中井泉, 2016. 可搬型蛍光 X線分析装置による楽浪土城址および楽浪古墳出土古代ガラスと日本出土古代ガラスの化学組成の比較, X線分析の進歩, 47, pp.179-198.
- Lee, I., 2009. Characteristics of early glasses in ancient Korea with respect to Asia's maritime bead trade. In Ancient glass research along the Silk Road (World Scientific) pp.183-189.

第6章 シルクロード出土ガラスの流通に関する考察

本研究では、第3章にまとめた日本出土ガラスの分析調査結果および第4章の大陸のガラスに加え、同装置を用いて行った国内外調査のデータも含めて考察した。対象地域は日本の他に、東南アジア（カンボジア、ラオス、ベトナム）、南アジア（インド）、中央アジア（キルギス、タジキスタン、カザフスタン）、北アジア（極東ロシア・ウラジオストク）である。本章では、自身が分析を行った分を含めて4000点以上のガラスの分析データを対象に考察を行った。

6.1 微量重元素を用いた組成比較

ここでガラス原料に由来する元素というのは、ガラスそのものを製作するために用いられた主にケイ砂、融剤、安定剤などに含まれる元素のことを指す。これらにはナトリウム Na、マグネシウム Mg、アルミニウム Al、ケイ素 Si、カリウム K、カルシウム Ca、チタン Ti、ルビジウム Rb、ストロンチウム Sr、ジルコニウム Zr が挙げられる。これらの元素の中でもガラスの原料の不純物として含まれるルビジウム Rb、ストロンチウム Sr、ジルコニウム Zr に着目した。

これらを用いて Fig. 6-1 に示したような三角ダイアグラムを作成し、日本を含めた海外のガラス（東南アジア、南アジア、中央アジア、北アジア、朝鮮半島）を分類した。なお、Fig. 6-1 の作成に用いたデータは、日本に海外からガラスが搬入されていた古墳時代頃に並行する時期のものを対象にした。日本のガラスは Fig. 6-1 に示すように4つのグループに大きく分類された。海外のガラスも日本のガラスと同様な領域にプロットされたものがあり、両者の化学組成的特徴は類似していると考えられる。一方で、南アジア（Fig. 6-1 中の a）や朝鮮半島（Fig. 6-1 中の b）のデータは日本のガラスとは異なる位置にグループを形成した。Fig. 6-1 中の a のグループは南アジアを中心に東南アジアや中央アジアのデータが数点含まれる。散在している a のグループとは対照的に Fig. 5-1 中の b のグループは朝鮮半島のデータが密集している。このことから b のグループは組成的特徴が近く同じ場所あるいは地域で製造された可能性が考えられる。さらにこれらは日本とは異なる化学組成を持ち、日本にもたらされなかった組成タイプであることが Fig. 6-1 から明らかである。したがって日本列島外には、日本国内で流通していたガラスよりも多様な組成をもつガラスが存在し、日本国内に搬入された組成タイプはその一部であった。また国内に搬入されたガラスは組成タイプごとに化学組成上顕著な差があることが明らかになった。a や b のグループのようなガラスが日本へ搬入されなかったのは、日本へのガラス流通の流れに組みこまれなかったと考えられる。

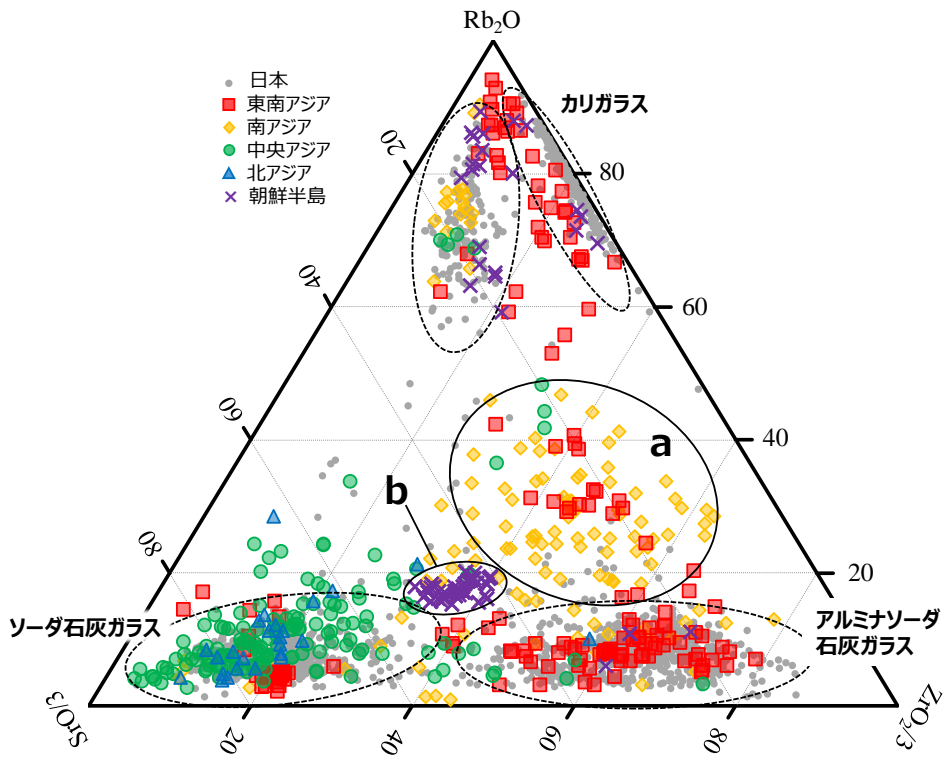


Fig. 6-1 微量重元素を用いたアルカリケイ酸塩ガラスの分類

6.2 陸路と海路における組成別分布

陸のシルクロードに代表される中央アジア（キルギス，タジキスタン）のガラスと，海のシルクロードに代表される南・東南アジア（インド，カンボジア，ラオス，ベトナム）のガラスの分類結果を Fig. 6-2-1 の円グラフにまとめた。Fig. 6-2-1 より，陸のシルクロードに代表される中央アジアはソーダ石灰ガラスが多く，海のシルクロードに代表される南・東南アジアはアルミナソーダ石灰ガラスが多く，地域によって傾向が分かれた。

ソーダ石灰ガラスは主に西アジアや地中海沿岸地域，中央アジアで生産されていたガラスである。中央アジアでもソーダ石灰ガラスが多くを占めていたことは，ソーダ石灰ガラスの一大産地である西アジアや地中海沿岸地域に近く，中央アジアでも製造されていたことが考えられていることが反映された結果であるといえる。

同様にアルミナソーダ石灰ガラスはインド洋沿岸部を中心に製造されていたガラスである。南・東南アジアの場合も同様にアルミナソーダ石灰ガラスの生産地域の存在が関係すると考えられる。

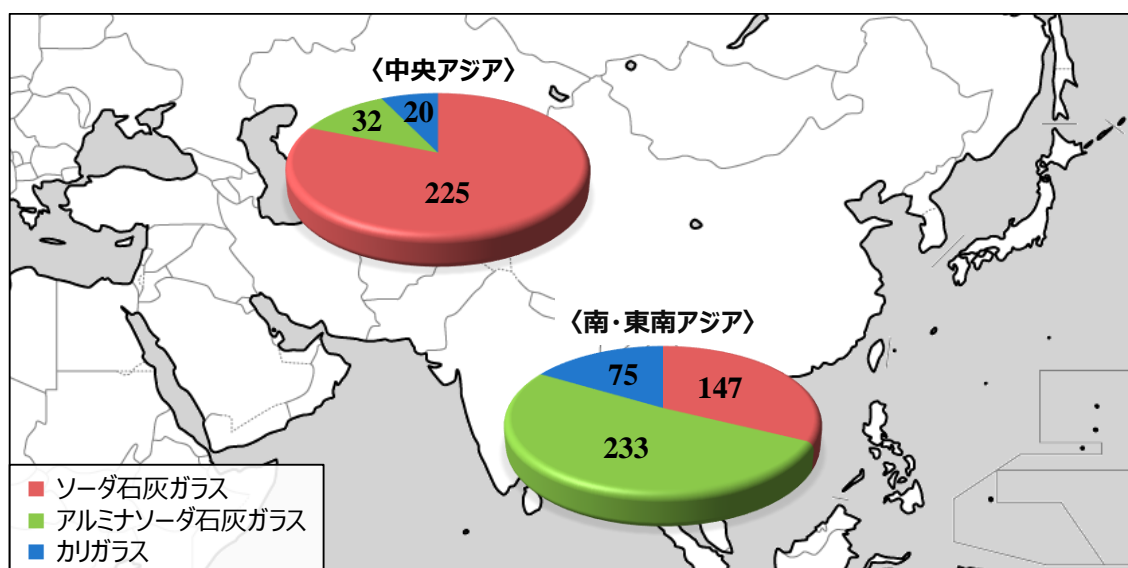


Fig. 6-2-1 地域別（中央アジア/南・東南アジア）のガラスタイプ分類結果

一方カリガラスは先述の2タイプとは異なり両地域ともに概ね一定割合が含まれている。カリガラスは中国南部，東南アジア，南アジアを中心に分布していたガラスである。これらの分布域はカリガラスの細分類によって異なり，K-1タイプは南アジアや東南アジア，K-2タイプは中国南部からベトナム中部までがその分布範囲と考えられる。そこで本研究のカリガラスのデータを Fig. 6-2-2 のように整理すると，カリガラスは大きく2つのグループに分けられ，朝鮮半島と東南アジアのデータはK-1，K-2両方に分類できたのに対し，南アジアと中央アジアはK-1タイプのみであった。南アジアにおけるK-1タイプの存在は従来から知られており，Fig. 6-2-2の結果もそれを反映するものである。注目されるのは中央アジ

アの K-1 タイプである。そもそも中央アジアにおいてカリガラスの存在を示す報告はこれまでにほとんどないことから、中央アジアでカリガラスが生産されていた可能性は低い。したがって、この中央アジアの K-1 タイプは、同じ K-1 タイプの分布域である南方の南アジアから東南アジアからもたらされたものと考えられる。つまりここから南アジアから東南アジアと中央アジアに間でガラスの交易があった可能性が示唆される。歴史的な背景を交え、紀元後 1 世紀～3 世紀頃にかけて発展したクシャーナ朝の存在や南アジアと中央アジアをつなぐ交易路の存在が関係すると考えられる。クシャーナ朝は北インドから中央アジアにかけて支配していたことから、この間に同王朝支配下において南北のガラスの移動があった可能性が想定される。

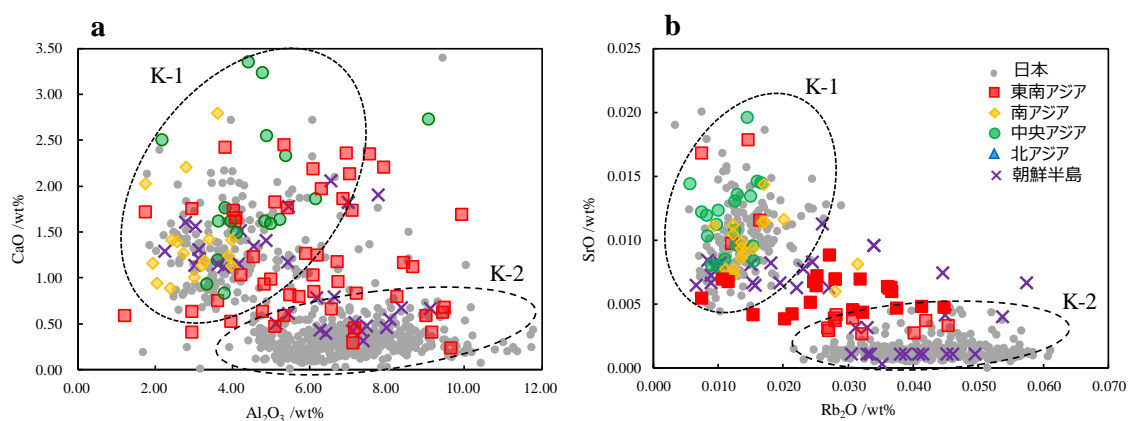


Fig. 6-2-2 主要元素 (a: CaO vs. Al₂O₃) と微量重元素 (b: SrO vs. Rb₂O) を用いた分類

6.3 各地のガラスタイプ変遷

前節では地域別のガラスタイプの分布状況について論じたが、本節では時代変遷と対応させてシルクロードのガラス流通を考察する。Fig.6-3 にインド、ベトナム、ラオス、カンボジア、キルギス、タジキスタン、ロシア沿海州、日本の組成タイプ別の変遷を示した。インド、ベトナム、ラオス、カンボジアの南アジア・東南アジアではアルミナソーダ石灰ガラスとカリガラスはほぼ同時平行で流通していたことが明らかになった。中央アジア・タジキスタンでは、4.2 で示したように最も多く流通していたソーダ石灰ガラスが、一度衰退している。この一時的な衰退期の背景に考えられることとしては、紀元後 7 世紀頃にイスラームガラスを生み出したイスラーム勢力が拡大し、中央アジアにおける支配勢力の変化に伴うガラス文化の変化が関連している可能性が示唆される。ロシア沿海州では紀元後にソーダ石灰ガラス（アルミナソーダ石灰ガラス 1 点）が出現するが、紀元後 10 世紀以降に鉛ガラスやカリ鉛ガラスが出現する。これは両タイプとも中国を起源とするガラスであり、4.4 で示した貨幣の研究からも当地域への中国の影響を示すものと考えられる。

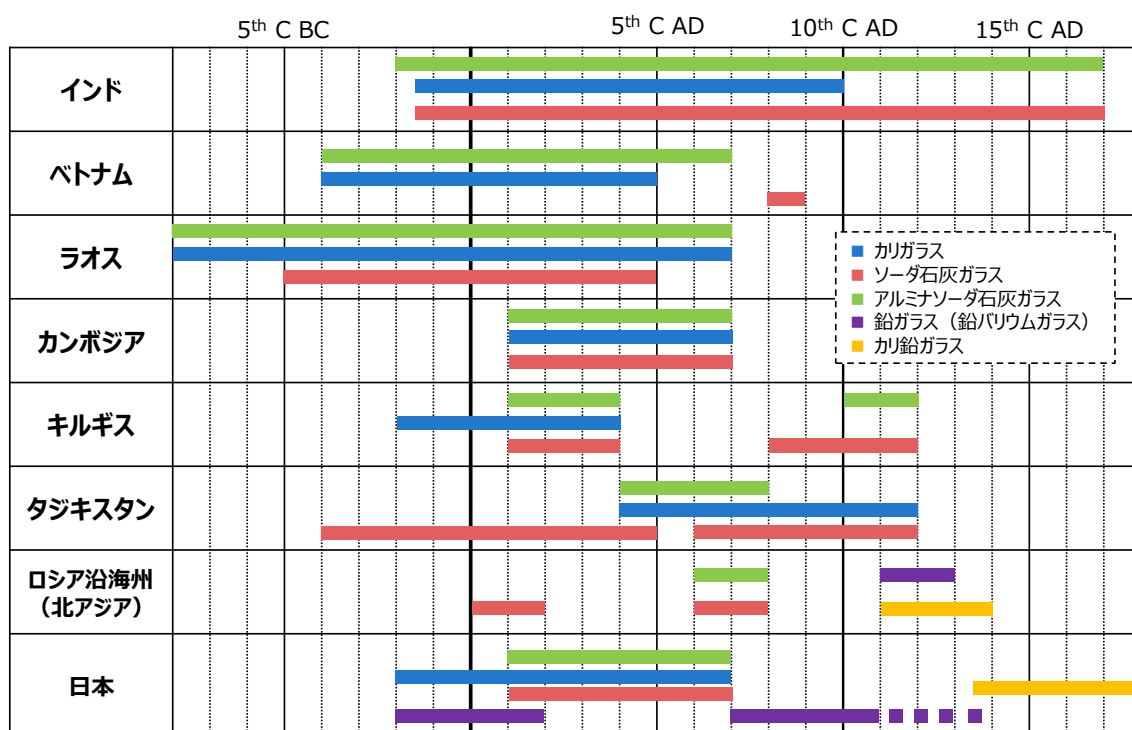


Fig. 6-3 各地域のガラスの組成タイプ変遷

6.4 着色剤による比較

i) 序

ガラスの構成要素としてはシリカ源、石灰源、融剤のほかに着色剤がある。出土ガラスは製造された地域によって化学組成的な特徴が分かれるため、化学組成に基づく研究は多く進められてきた。ガラスは無色透明な容器など日用品に用いられた以外にも装飾品も多く、紺色、水色、黄色、緑色、赤色など様々な色調のガラスがある。これらは珪砂や石灰などで基礎ガラスが作られたあと Co や Cu などを加えることで着色している。本研究ではガラスを色づける着色剤に注目して、基礎ガラスの原料に由来する元素によって進められてきたこれまでの研究への新たな情報となり得るか考察した。本節では、蛍光 X 線分析によって得られた国内外の古代ガラスの化学組成データをもとに、国外の資料との比較を交えて日本の古代ガラスに用いられた着色剤の細分類について取り上げる。

日本国内の資料約 2000 点と国外の資料として南・東南アジア（インド、ベトナム、ラオス、カンボジア）と中央アジア（キルギス、タジキスタン）の古代ガラスのデータ約 800 点も含め、日本の古代ガラスと比較した。

ii) 着色剤による出土ガラスの分類

日本およびシルクロードの出土ガラスは基礎ガラスの化学組成によって、 K_2O に富むカリガラス (K_2O-SiO_2 系)、 Al_2O_3 に富むアルミナソーダ石灰ガラス ($Na_2O-Al_2O_3-CaO-SiO_2$ 系)、 CaO に富むソーダ石灰ガラス ($Na_2O-CaO-SiO_2$ 系) に分けられている。本研究でもこれらの分類をもとに着色剤について考察を進める。着色剤の分類では、まず対象とした全ガラス資料の色調情報をもとに、青色系、黄色・緑色系、赤色系の 3 種類に大きく分類し、特に青色と赤色に着目した。着色に基づく分類体系を Table 6-4-1 に示す。青色系は出土ガラスの青色着色に用いられる Co と Cu に着目し、Fig. 6-4-1 に示すようにそれぞれの定量値から Co 系、Cu 系 2 つに分類した。

Table 6-4-1 色調と着色要因に基づく分類体系

色	分類基準・特徴
青色系	Coのみ (Cu定量下限以下)
	CoとCuの両方を含む
	Cuのみ (Co定量下限以下)
黄色・緑色	PbSnO ₃ 含む PbSnO ₃ 含まない
赤色	Cuに富む

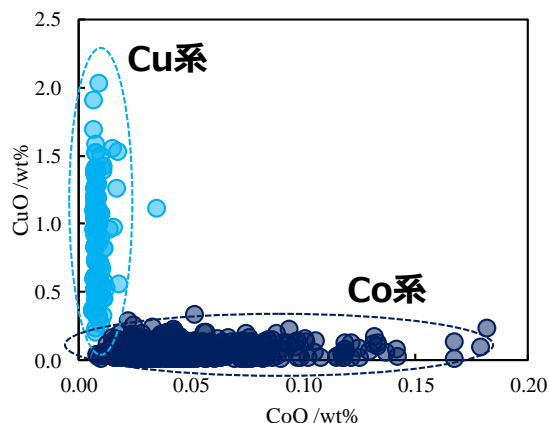


Fig. 6-4-1 青色系着色の Co 系, Cu 系への分類

まず Co 系は, Co と Mn で比較したところ, 先行研究 (田村, 2013b) で報告があるように, 基礎ガラスのタイプによって MnO の量に差が見られた. その結果を Fig. 6-4-2 に示した. Cu 系は, 着色剤として青銅の利用 (肥塚 他, 2010) に着目し, Cu に対し Sn や Pb で比較した. Cu 系はカリガラスやアルミナソーダ石灰ガラスに多く, これらを比較したところ, Fig. 6-4-3 に示したようにアルミナソーダ石灰ガラスよりもカリガラスの方が Sn や Pb を多く含んでいることがわかった. このように基礎ガラスのタイプによって化学組成が異なり, 用いられた着色原料が異なっていたと考えられる.

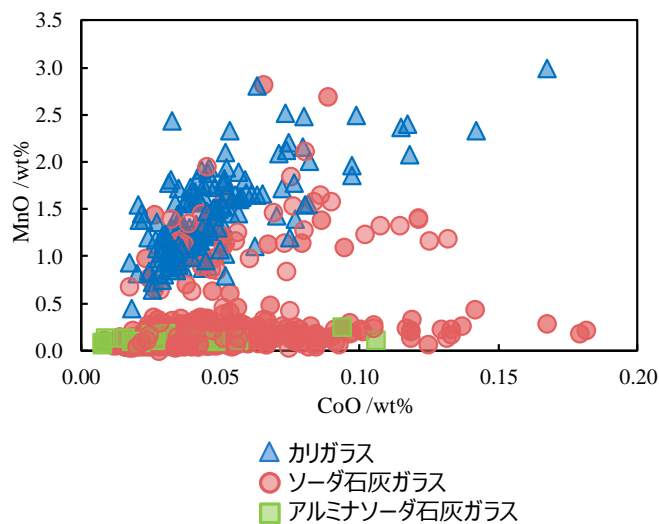


Fig. 6-4-2 MnO vs. CoO による Co 系の分類

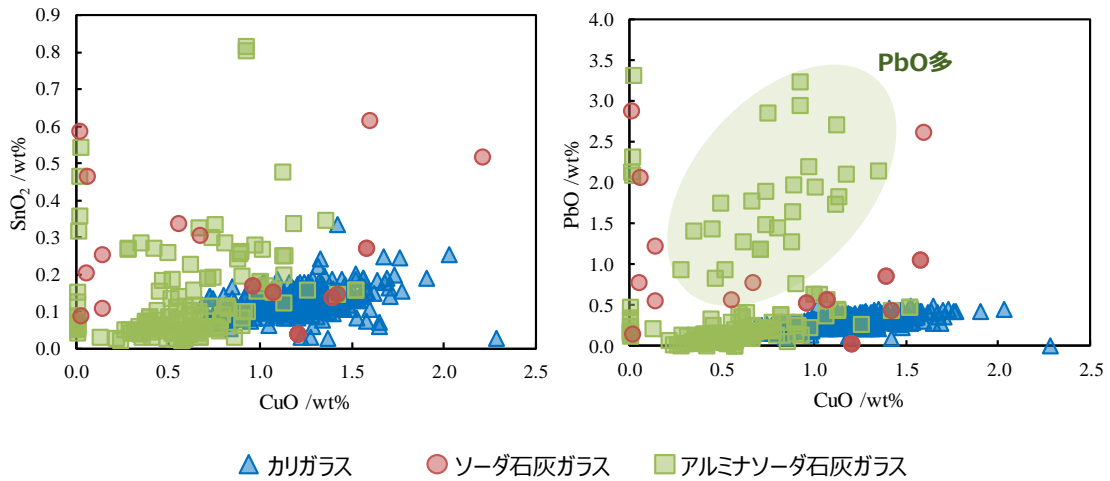


Fig. 6-4-3 CuO, SnO₂, PbO を用いた Cu 系の比較
(左: SnO₂ vs. CuO 右: PbO vs. CuO)

また、Co 系のガラスを国内外で比較したところ、Fig. 6-4-4 に示すように、かりガラスは国内と海外のデータが重なり、同様な組成的特徴があることがわかった。ソーダ石灰ガラスは MnO の量において国内外で違いが見られた。アルミナソーダ石灰ガラスは全体的に Co 系の資料が少ないが、国内の資料に比べ、海外の資料では MnO を顕著に多く含むものも存在する。

Co 着色のかりガラスには中国のゴス土 (Asbolite) が用いられた可能性が指摘されていることから、Co 系のかりガラスを CoO, MnO, Fe₂O₃ を用いて各地出土資料を比較した。その結果を Fig. 6-4-5 に示す。Fig. 6-4-5 より各地出土資料は数点の外れ値がみられるが、ほとんどのデータは一つに集約されたことから、Co 系かりガラスに用いられた着色剤は各地域で同様な組成的特徴があることがわかった。

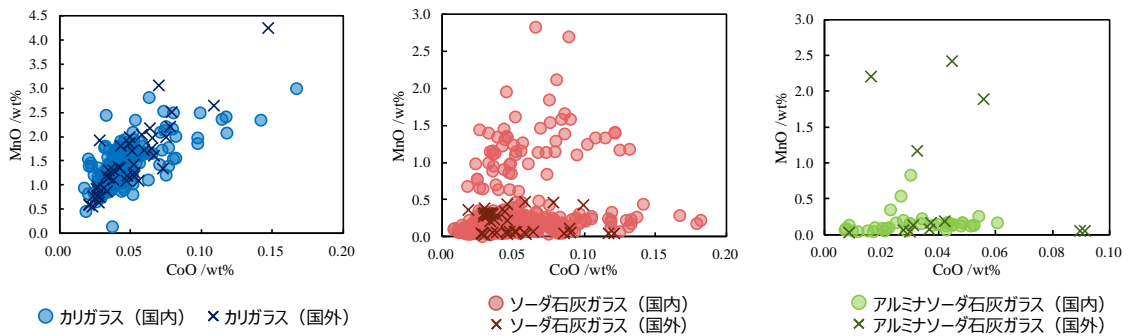


Fig. 6-4-4 MnO と CoO による日本出土資料と海外出土資料の比較

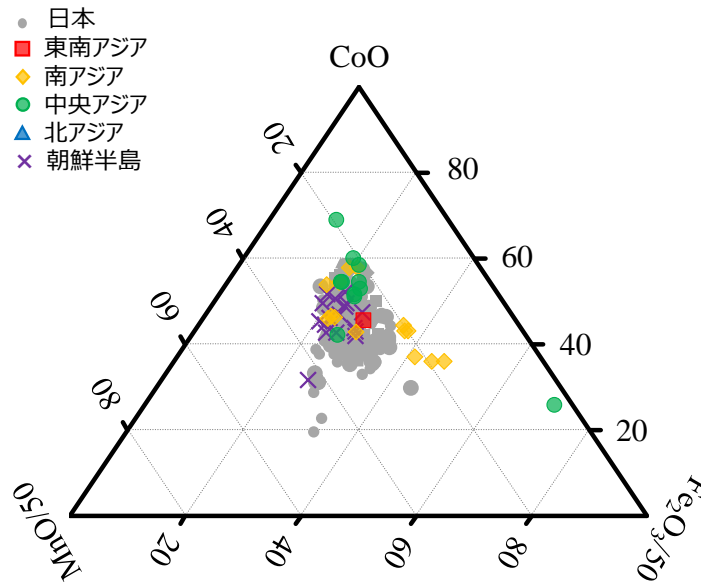


Fig. 6-4-5 Co系カリガラスのトリダイアグラム

Fig. 6-4-4 よりソーダ石灰ガラスには MnO を多く含むものと含まないものにわかれた。ここで、MgO と K₂O によって区別される植物灰ガラスとナトロンガラスに分けたところ、Fig. 6-4-6 のように高 MnO 資料の多くはナトロンガラスであり、低 MnO タイプの多くは植物灰ガラスであることがわかった。日本出土ガラスには先行研究（田村, 2013b）ですでに同様な報告があるが、Fig. 6-4-6 には本研究の古代のソーダ石灰ガラスデータを含んでいるため、海外出土資料について同様であることがわかった。

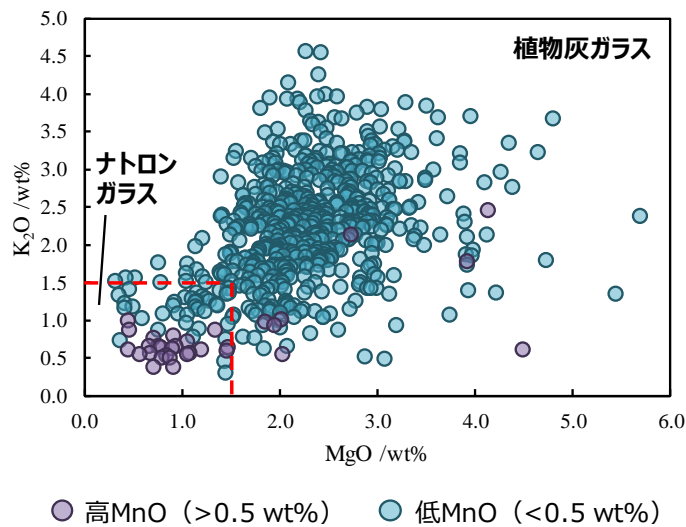


Fig. 6-4-6 MnO 含有量の違いによる植物灰ガラスとナトロンガラスの比較

同様に Cu 系もまずカリガラスについて Fig. 6-4-7 に示したように比較した。その結果、朝鮮半島のデータは日本のデータと同様な領域に位置したが、東南アジアのデータは日本・朝鮮半島とは異なる位置に分布した。このことから、日本と朝鮮半島の Cu 系カリガラスは化学組成的特徴が共通していると考えられる。一方で、日本・朝鮮半島と東南アジアの Cu 系カリガラスは組成的に異なったものであると考えられる。

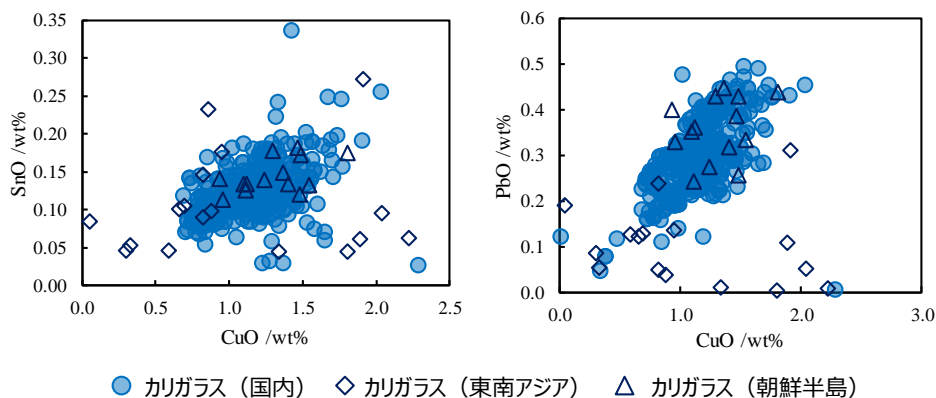


Fig. 6-4-7 CuO, SnO₂, PbO を用いた Cu 系カリガラスの比較 (国別)
(左: SnO₂ vs. CuO 右: PbO vs. CuO)

アルミナソーダ石灰ガラスも同様に Cu と Sn, Pb それぞれで比較して結果を Fig. 6-4-8 に示す。アルミナソーダ石灰ガラスはカリガラスとは異なり、国内出土資料と海外出土資料で一致したものがあがるが、国内出土資料には海外出土資料とは異なるもの、特に PbO を多く含む資料がある。このように国内外で違いが見られたガラスは、日本に伝わってきた過程で着色剤に関する二次生産を経たために組成が変化した可能性が示唆される。

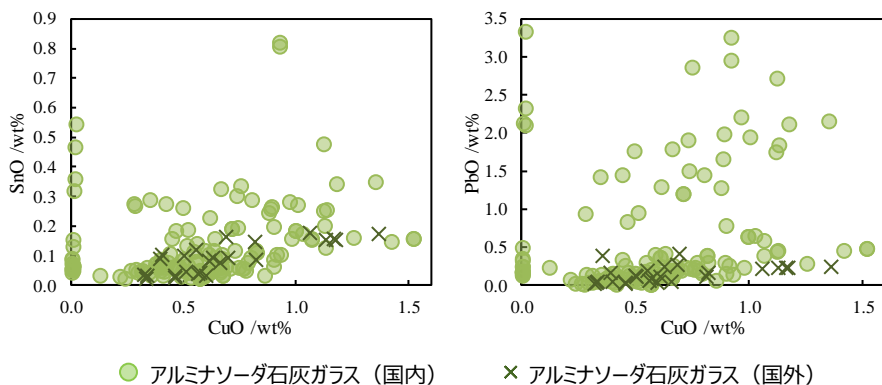


Fig. 6-4-8 CuO, SnO₂, PbO を用いた Cu 系アルミナソーダ石灰ガラスの比較
(左: SnO₂ vs. CuO 右: PbO vs. CuO)

赤色系は特殊なコロイド技術を用いた Cu による着色のもので、赤色系のほとんどはアルミナソーダ石灰ガラスである。Cu を用いる点で、青色系 Cu 着色と同様に Sn や Pb に着目した。まず Sn の含有についてみたところ、Fig. 6-4-9 に示すように国内外の出土資料で割合が異なる。さらに海外出土資料に着目してみると、Sn を含まない資料の多くは朝鮮半島の資料であることが分かった。このことから、国内出土資料に多くみられた Sn 含有の赤色系ガラスは朝鮮半島を経由せずに伝わった可能性が示唆される。また、Fig. 6-4-10 に PbO と CuO を用いた国内出土資料と海外出土資料の比較結果を示す。ここでも海外出土資料は朝鮮半島出土資料と南/東南アジア出土資料で分けて考察すると、両者には明確な組成的差異がある。国内出土資料はこれら海外出土資料に比べて相対的に PbO を多く含む傾向があるが、Fig. 6-4-9 の結果からも朝鮮半島出土資料は国内出土資料とは組成的に異なり、赤色系ガラスの日本への流通には関係性がないと考えられる。

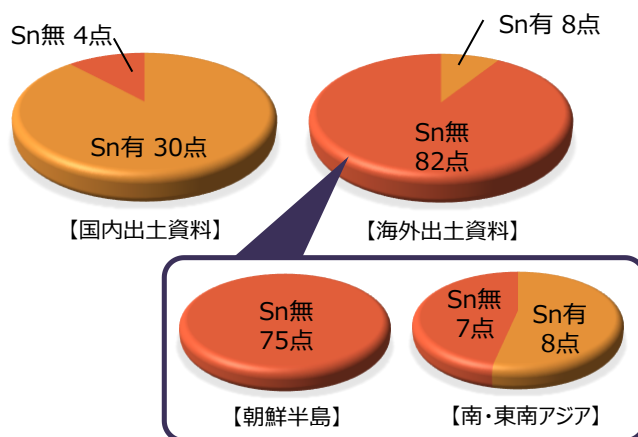


Fig. 6-4-9 Sn の有無による分類結果 (アルミナソーダ石灰ガラス)

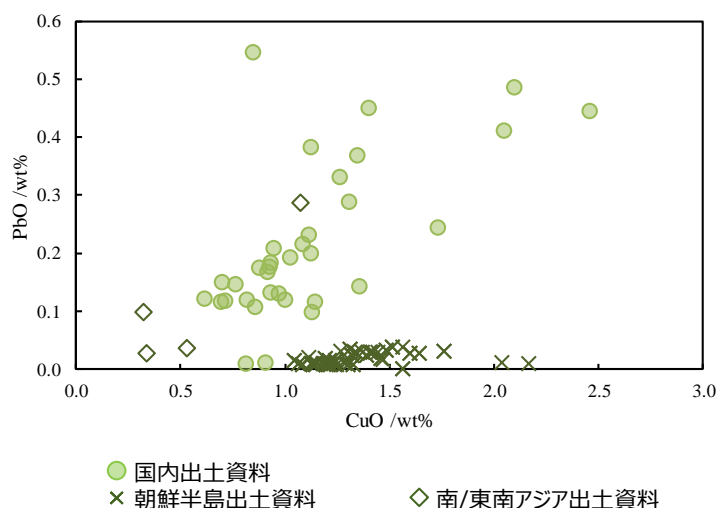


Fig. 6-4-10 PbO vs. CuO による国内外出土資料の比較 (アルミナソーダ石灰ガラス)

以上、ガラスの着色成分に着目したところ、ガラスの組成タイプごとや地域で組成的な違いが明らかになった。ガラスの着色成分は基礎ガラスの組成分類に加えて、ガラスを特徴づける有力な情報であるとともに、着色成分をもとに地域ごとに比較することでガラスの流通の一端を明らかにすることができた。

6.5 統計解析を用いた出土ガラスの流通に関する考察

本研究で使用した可搬型蛍光 X 線分析装置を用いて多数の分析調査が行った結果、国内外で 3500 点を超えるガラス（紀元後 9 世紀頃以前）の分析データを蓄積した。この膨大な量のデータを評価する方法として多変量解析を用いて、日本出土ガラスと海外の出土ガラスの比較考察を行った。

以下よりカリガラス、ソーダ石灰ガラス、アルミナソーダ石灰ガラスそれぞれ階層クラスター分析の結果を述べる。解析ソフトは College Analysis Ver.6.7 を用い、変数は Al_2O_3 , K_2O , CaO , TiO_2 , Rb_2O , SrO , ZrO_2 の分析値を対数変換して用いた。個体間距離の決定は平方標準化ユークリッド距離、クラスター間距離の決定はウォード法を用いて行った。

i) カリガラス

分析したカリガラスの多くは K-1 タイプもしくは K-2 タイプに大別された。同じカリガラスでも K-1 タイプと K-2 タイプは組成的な違いは明確であるので、ここでは K-1 タイプに分類された資料と K-2 タイプに分類された資料に分けてそれぞれ解析を行った。解析するにあたりカリガラスの主要成分である K_2O が 5 wt% に満たないものは風化の影響を顕著に受けていると考え、解析から除外した。

a) K-1 タイプ

K-1 タイプは K-2 タイプに比べカルシウムやストロンチウムを多く含み、同タイプに相当するガラスは南アジアを中心に出土している (Oga and Tamura, 2013)。同タイプのガラスの多くはコバルトを用いた紺色を呈していることも知られている。Fig. 6-5-1 に解析結果を示す。ここでは 3 つのグループ (Gr.1~Gr.3) に分類し、各グループの内訳を Fig. 6-5-2 のように比較した。K-1 タイプのほとんどは Gr.1 もしくは Gr.3 に分類され、わずかに Gr.2 に分類された。Gr.1 や Gr.3 には各地域で出土した K-1 タイプがそれぞれ偏りなく分類されている。このことから、K-1 タイプにおいて出土地域とクラスター分類の結果の間に目立った傾向はなく、組成の違いやそれによる分布の偏りがないと考えられる。さらに、6.4 で論じた着色剤の比較では Co 系カリガラスは、各地域出土資料で同様な化学組成的特徴があることを示した。したがって、基礎ガラスと着色剤の両方で各地域の組成比較をした結果、K-1 タイプが出土している日本、東南アジア、南アジア、中央アジア、朝鮮半島では同様な組成をもつ K-1 タイプが流通していた可能性が考えられる。

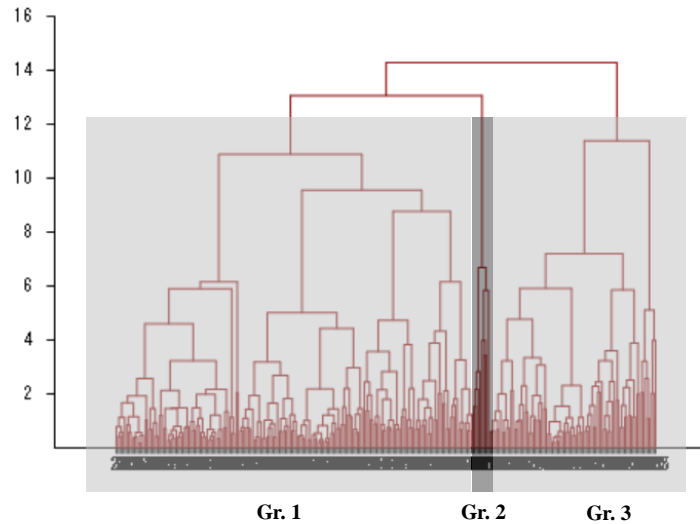


Fig. 6-5-1 K-1 タイプのクラスター分析結果（デンドログラム）

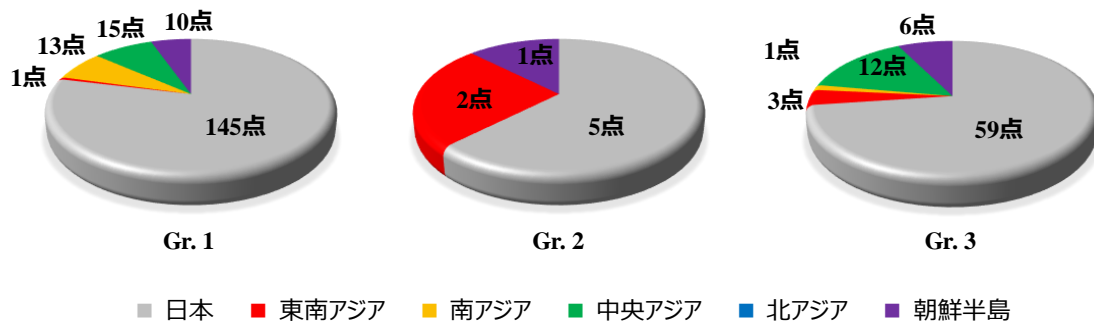


Fig. 6-5-2 各グループの地域別内訳（K-1 タイプ）

b) K-2 タイプ

K-2 タイプは K-1 タイプに比べ、アルミニウムやルビジウムを多く含み、東南アジアや中国南部を中心に分布している。色調は青銅のさびを用いた淡青色を呈している資料がほとんどである。K-1 タイプと同様に解析した結果を Fig. 6-5-3 に示す。ここでは2つのグループ（Gr.1, Gr.2）に分類され、各グループの内訳を Fig. 6-5-4 のように比較した。この結果、日本の K-2 タイプの多くが Gr.1 に分類された。一方で、東南アジアや朝鮮半島のデータは日本ほど Gr.間の違いは顕著にみられなかった。このことから、東南アジアや朝鮮半島では Gr. 1 と Gr.2 の両方が流通しているが、日本の場合は Gr. 1 が圧倒的に多い。Gr.1 と Gr.2 の組成的な差異が製作地や製作時期の違いを反映するものと仮定すれば、日本には特定の地域や時期に製造されていたガラスが搬入された可能性が示唆される。

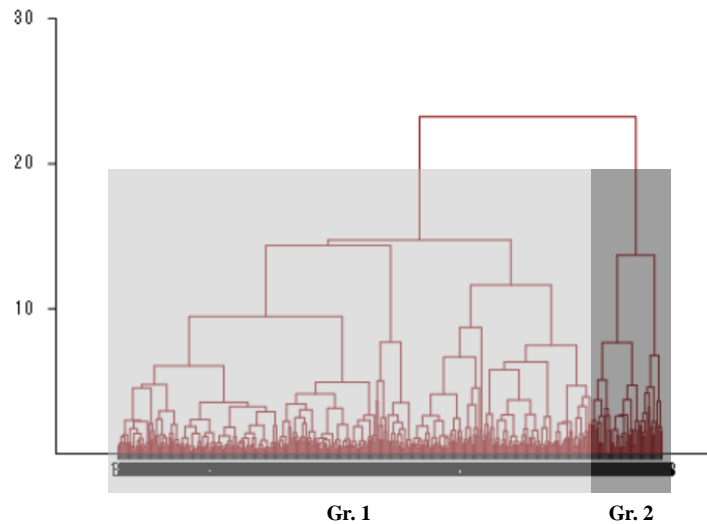


Fig. 6-5-3 K-2 タイプのクラスター分析結果（デンドログラム）

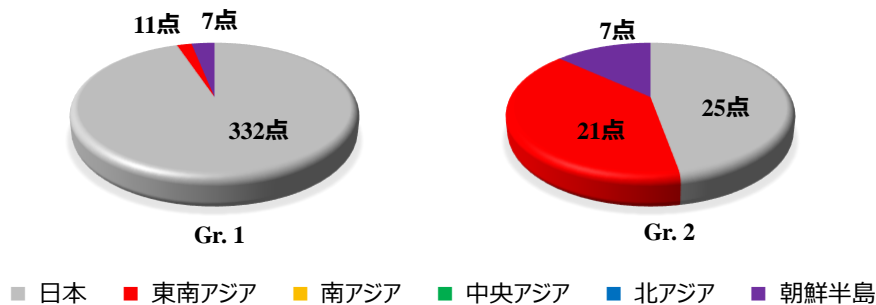


Fig. 6-5-4 各グループの地域別内訳（K-2 タイプ）

ii) ソーダ石灰ガラス

ソーダ石灰ガラスに分類されたデータのうち、MgO と K₂O の含有量が 1.5 wt% を境界として、ナトロンガラスと植物灰ガラスそれぞれについて検討した。

a) 植物灰ガラス

ここではソーダ石灰ガラスの主要成分である Na₂O の含有量が 5 wt% を下回るデータは風化の影響を著しく受けているとして対象から除外した。先述のカリガラスと同様にクラスター分析した結果を Fig. 6-5-5 に示す。解析結果より 2 つのグループ（Gr.1 と Gr.2）に分類し、それぞれの地域別内訳を Fig. 6-5-6 に示した。Fig. 6-5-6 の結果より、特定の地域で出土したガラスが特定のクラスターに分類されるということではなく、クラスター分類の結果に顕著な地域差は確認されなかった。また、本研究の分析対象に焦点を当てた限りでは、南アジアや東南アジアで植物灰ガラスに分類されたガラスは数点のみで、中央アジアや北

アジアではまとまって存在していることがわかった。このことから、日本で出土した植物灰ガラスのほとんどは中央アジアや北アジアに関わる陸路の影響があることが明らかになった。

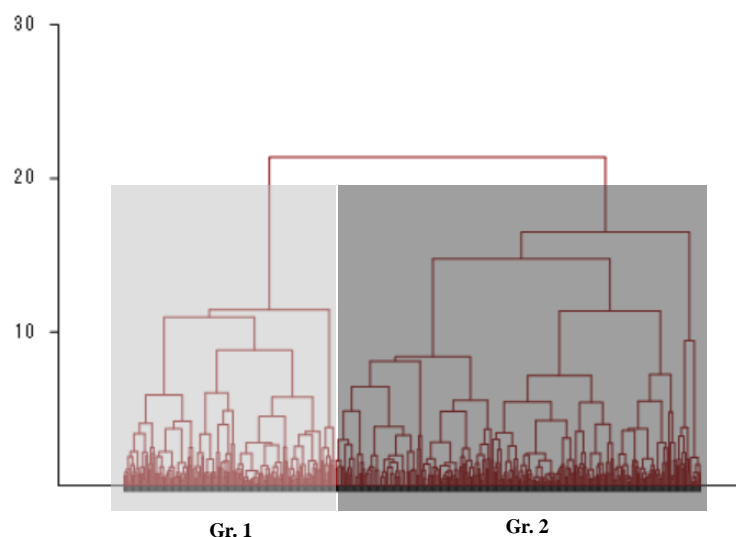


Fig. 6-5-5 植物灰ガラスのクラスター分析結果（デンドログラム）

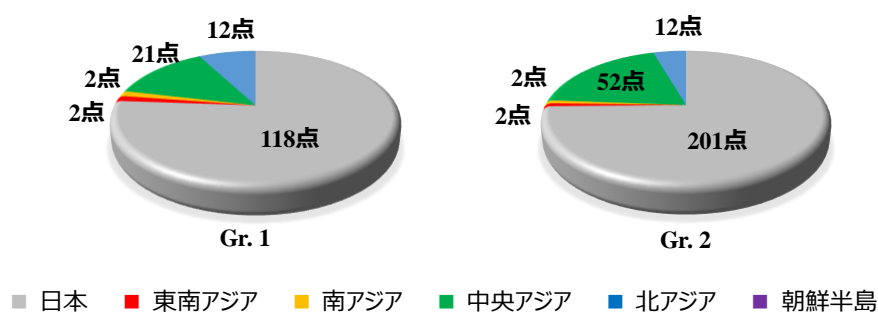


Fig. 6-5-6 各グループの地域別内訳（植物灰ガラス）

b) ナトロンガラス

上記と同様に解析した結果を Fig. 6-5-7 に示す。Fig. 6-5-7 よりナトロンガラスは明確に2つのグループ（Gr.1 と Gr.2）に分けられ、Fig. 6-5-8 に地域別の内訳を示した。Gr.1 は日本の資料が多くを占め、南アジアと中央アジアのデータが数点分類された。一方で、南アジアや東南アジアの資料は Gr.2 に多く分類され、東南アジアの資料はすべて Gr.2 に分類された。

本論文でナトロンガラスと論じているタイプについて、別の報告では Group S I と Group S IV という分類を報告している（Oga and Tamura, 2013）。Oga・Tamuraによると Group S

I はナトロンタイプであり、地中海沿岸地域周辺で製造されたナトロンガラスに近い組成のガラスタイプである。一方で Oga・Tamura は地中海沿岸地域周辺で作られたタイプとは異なるナトロンガラスもあると考え、地中海沿岸地域周辺で作られたナトロンガラスと区別して Group SIV という組成タイプを提唱している。この Group SIV は Oga・Tamura によると、南アジアや東南アジアを生産・分布の中心とする。ここではさらにクラスター分析によって分かれた二つのグループ (Gr.1 と Gr.2) と Group S I と Group SIV の対応をみた。その結果を Fig. 6-5-9 に示す。Gr.1 の多くは Group SIV の領域に、Gr.2 の多くは Group S I の領域にプロットされた。このことから、クラスター分析によって分類した Gr.1 は Group SIV に Gr.2 は Group S I にそれぞれ対応すると考えられる。日本に伝わったナトロンガラスは Gr.1 ≒ Group SIV の方が多く、Oga・Tamura の研究でも Group SIV の方が出土点数が多いことを報告しているため、両 Group の相対的な出土点数の関係性もクラスター分析の分類結果と対応した。さらに東南アジアのデータはすべて Gr.2 ≒ Group S I に分類された。Oga・Tamura の研究では Group S I は地中海沿岸地域周辺で製造されたと考えられていることから、Gr.2 は地中海沿岸地域周辺で製造され、中央アジアを経由する陸路あるいは地中海沿岸地域周辺からそのまま海路を経て、少なくとも東南アジアを経由して日本に搬入された可能性が示唆される。

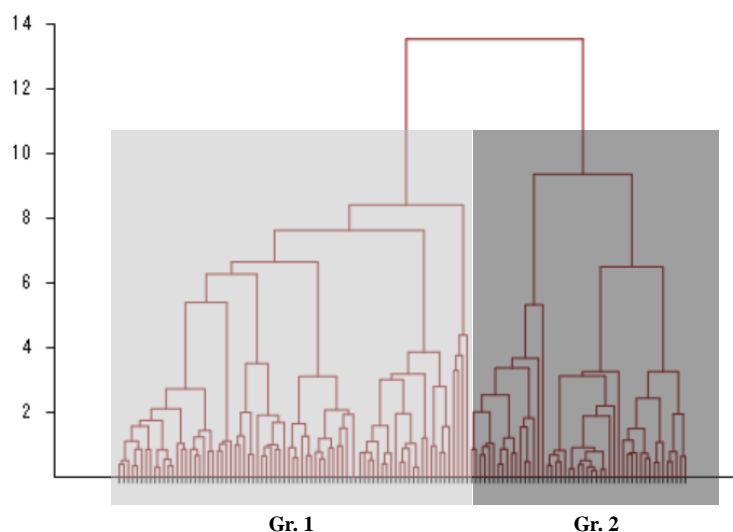


Fig. 6-5-7 ナトロンガラスのクラスター分析結果 (デンドログラム)

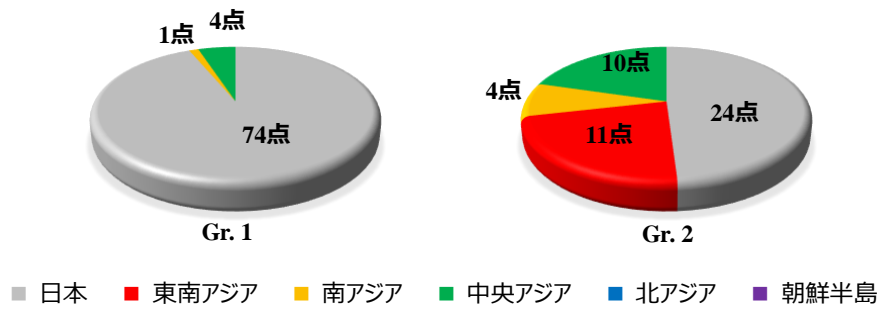


Fig. 6-5-8 各グループの地域別内訳 (ナトロンガラス)

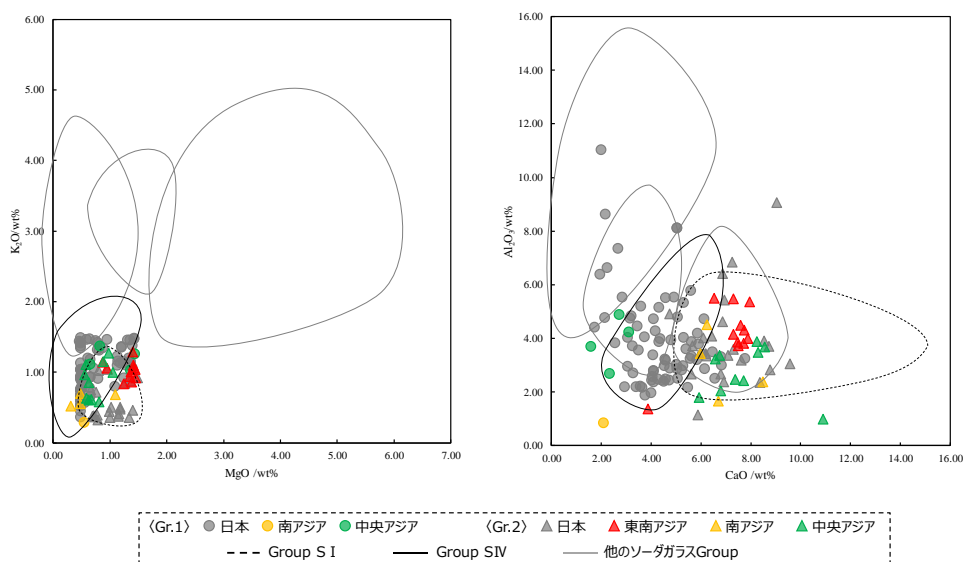


Fig. 6-5-9 Oga・Tamura の分類とクラスター分析結果の比較

iii) アルミナソーダ石灰ガラス

ここでの検討では、植物灰ガラスと同様に Na_2O が 5% を下回るデータを除外した。クラスター分析を行ったところ、Fig. 6-5-10 に示すような結果が得られ、ここでも 2 つのグループに分類した。各グループの地域別内訳を Fig. 6-5-11 に示す。日本で出土したアルミナソーダ石灰ガラスの多くは Gr.1 に分類され、Gr.1 には東南アジアや南アジア、中央アジアのデータも含まれる。東南アジアは日本と同様に Gr.1 の方が多く分類された。一方で、南アジアや朝鮮半島のデータは日本国内では少数派である Gr.2 の方に多く分類された。アルミナソーダ石灰ガラスの主な製作地域として、東南アジアや南アジアが知られているが、Fig. 6-5-10 のクラスター分析の結果による Gr.間の相違から、日本で出土したアルミナソーダ石灰ガラスには東南アジアと南アジアの 2 つの地域を起源とし、Gr.1 タイプが多い日本においては東南アジアで主に製作されたものが多く搬入されていたことが考えられる。さらに日本でアルミナソーダ石灰ガラスが流通する時期 (弥生時代後期～古墳時代) よりも前

に位置づけられる朝鮮半島のデータも多く分類された Gr.2 が多かったことから、南アジアと起源とするアルミナソーダ石灰ガラスは東アジアにおいて早い時期に伝わった。その後東南アジア起源のアルミナソーダ石灰ガラスが東アジアに流通したタイミングで、日本に伝来した可能性も考えられる。すなわち、ここで分類された2種類のアルミナソーダ石灰ガラスは流通時期が異なる可能性も示唆される。

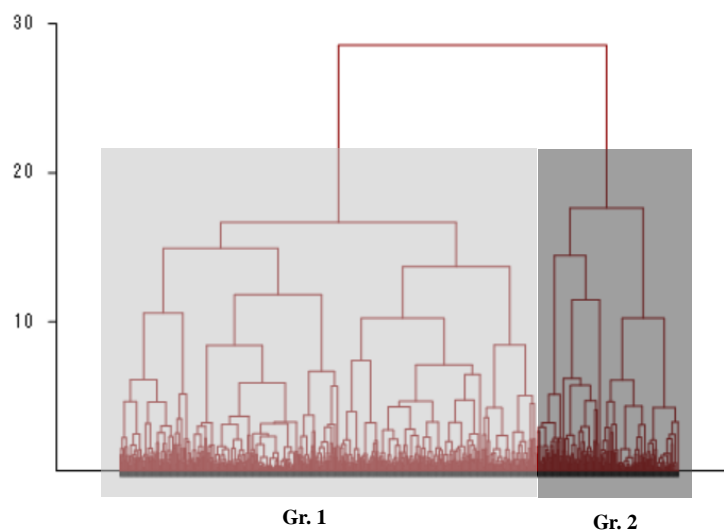


Fig. 6-5-10 アルミナソーダ石灰ガラスのクラスター分析結果（デンドログラム）

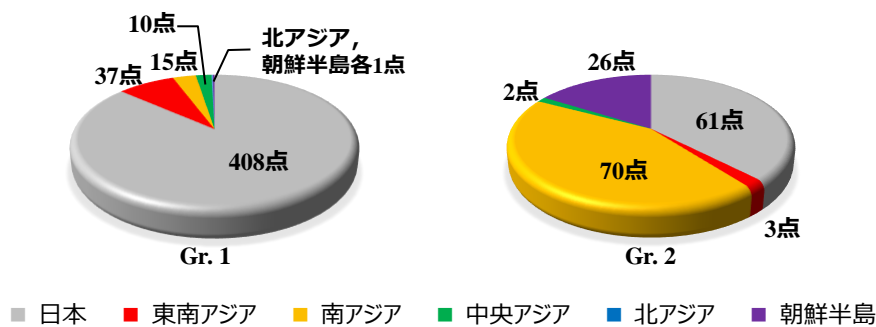


Fig. 6-5-11 各グループの地域別内訳（アルミナソーダ石灰ガラス）

iv) まとめ

本項では、2元素ないし3元素の比較にとどまらず、多変数を用いて各地域の出土ガラスのデータを比較する方法として階層クラスター分析を試みた。階層クラスター分析によってグルーピングを行い、日本のガラスがどこから来たのか、あるいはどのように伝わったのかについて考察した。その結果、カリガラス K-1 タイプとソーダ石灰ガラス（植物灰ガラ

ス)には国内外での顕著な組成的差異が見られなかったが、カリガラス K-2 タイプ、ソーダ石灰ガラス (ナトロンガラス)、アルミナソーダ石灰ガラスは組成的な相違からその起源や流通について複数の可能性が明確化された。統計解析の導入により見方を変え、ガラス流通に関する踏み込んだ考察を示すことができた。

6.6 中世期の大陸における交流について

6.5 までは古代のガラス（本論文では主に紀元後 9 世紀までの時期を指す）について取り上げたが、ここでは中世期のガラスを中心とした交流について論じる。第 4 章において、国内モンゴル自治区やカザフスタンで出土したガラス器はいずれも中央アジアのガラス器に組成的特徴が近いことがわかった。中国新疆で出土したガラス器の分析例 (Liu *et al.*, 2011) でも、一部の資料は中央アジア特有なガラスと指摘されている。これまで中央アジアのガラス器はウズベキスタンやアフガニスタンの報告例が知られていたが、カザフstanは中央アジアの最も北に位置し、国内モンゴル自治区の例は北東アジアで発見されている。したがって、本研究により中央アジア特有ガラスの交流域が広範な地域に及ぶことが明らかになった。

第 4 章で述べてきたように、内モンゴル自治区、キルギス、タジキスタン、カザフスタンのガラスは MgO と K_2O 、 Al_2O_3 と CaO それぞれの含有量を比較することで中央アジアに由来する可能性を指摘してきた。現時点では一概に中央アジア特有ガラスとしてまとめているが、これら各地で出土したガラス器は一様なものなのか。ここではさらに階層クラスタ分析を用いてさらなる特性化を試みた。分析には統計解析用ソフト College Analysis (Ver. 6.7) を用いた。個体間の距離は平方標準化ユークリッド距離を採用し、クラスタ構成法はウォード法を用いた。変数は Al_2O_3 、 K_2O 、 CaO 、 TiO_2 、 Rb_2O 、 SrO 、 ZrO_2 の定量値をそれぞれ対数変換して用いた。対象としたデータは内モンゴル自治区出土ガラス器 6 点、キルギス国内出土ガラス器 36 点、タジキスタン国内出土ガラス器 7 点、カザフスタン国内出土ガラス器 34 点、西アジア出土ガラス器の文献値 82 点とした。Fig. 6-6-1 に階層クラスタ分析の結果をデンドログラムで示す。ここでは 6 個のグループにわけ、Fig. 6-6-1 のように Gr. 1~Gr. 6 とした。さらに各グループの出土地域別内訳を円グラフで Fig. 6-6-2 に示す。クラスタ分析の結果から、内モンゴル自治区、キルギス、タジキスタン、カザフスタンで出土したガラス器の多くは Gr. 1~Gr. 3 に分類され、西アジアのガラス器のほとんどは Gr. 4~Gr. 6 に分類され、両者が差別化された。これは先述の MgO と K_2O 、 Al_2O_3 と CaO それぞれの含有量を比較した場合と相違ない結果である。さらに内モンゴル自治区出土ガラス器 6 点はすべて Fig. 6-6-2 の Gr. 1 に分類された。同様にタジキスタンのガラス器も 1 点を除き、Gr. 2 に分類された。両地域ともに点数が少ない影響も考えられるが、組成的に近いガラス器すなわち互いに同様な製作地あるいは製作工程のガラス器が流通していた可能性が示唆される。加えて Fig. 6-6-2 を見る限りでは、内モンゴル自治区のガラス器とタジキスタンのガラス器は同タイプではなく、この二地域においてはそれぞれ異なったガラス器が流通していたということになる。一方でキルギスやカザフスタンのガラス器はそれぞれ Gr. 1 から Gr. 3 に分類され、異なった複数タイプの化学組成をもつガラス器が流通していたと考えられる。

本研究で追究した中央アジア特有ガラスは、広大なユーラシア大陸に広く分布していたと考えられるが、クラスタ分析の結果それらは一様な化学組成を持つわけではなく、地域

による違いも見られた。このことから中央アジア特有ガラスには複数の製作地もしくは製作工程が存在しており、それらは複数の交易経路によって運ばれた可能性が示唆される。これについては、今後の研究成果が注目したい。

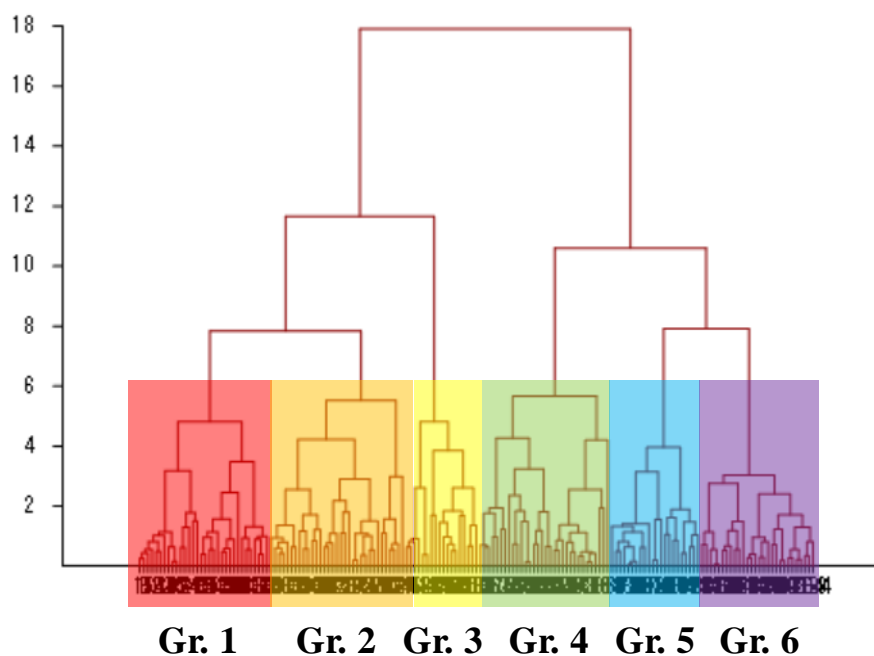


Fig. 6-6-1 ガラス器を対象としたクラスター分析結果（デンドログラム）

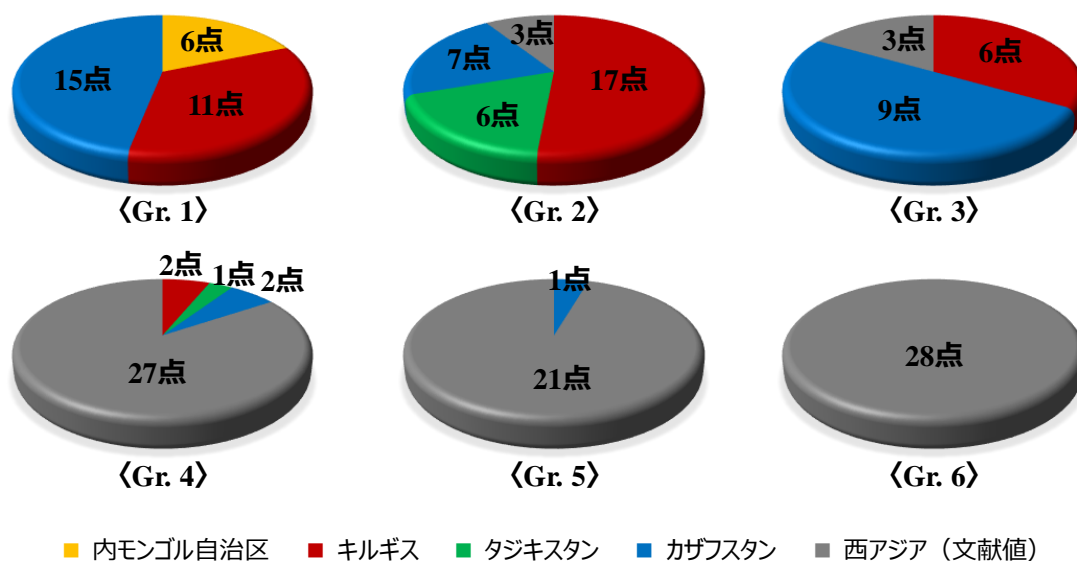


Fig. 6-6-2 各グループの出土地域別内訳

参考文献

- 肥塚隆保, 田村朋美, 大賀克彦, 2010. 材質とその歴史の変遷, 月刊文化財 (特集 古代ガラスと考古科学), 566, pp.13-25.
- 田村朋美, 2013b. 日本列島における植物灰ガラスの出現と展開, 文化財科学の新地平, 奈良文化財研究所.
- Liu, S., Li, Q., Gan, F., and Zhang, P., 2011. Characterization of some ancient glass vessels fragments found in Xinjiang, China, using a portable energy dispersive XRF spectrometer., *X - Ray Spectrometry*, 40(5), pp.364-375.
- Oga, K., and 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.

第7章 総括

本研究では日本およびシルクロードを対象として、出土ガラスの流通について考察することを目的とした。対象とする資料は日本国内および東南アジアや中央アジア、北アジア、朝鮮半島など国際的に多岐にわたっている。特に海外出土資料の分析に対応することに念頭をおき、分析点数を確保するため、非破壊オンサイト分析を可能にする可搬型蛍光 X 線分析装置を用いた。

第2章では資料の分析に用いた方法、装置を紹介し、さらに日本の古代ガラスの科学的調査において課題を解決するための古代ガラスの調査方法について検討した。

第3章と第4章では国内外の現地分析調査の成果をまとめた。まず第3章では化学組成に基づくガラスの分類について触れ、青森県・岩手県、岐阜県 船来山古墳群、奈良県 布留遺跡、長崎県壱岐市、同県対馬市の現地分析結果について報告した。

第4章では大陸の交易品ということで、中国 内モンゴル自治区、キルギス・タジキスタン、カザフスタンのガラスの他に極東ロシアで発見された貨幣の分析結果を報告した。

第5章では、日本の古代ガラスに焦点を当てた。まず日本国内各地（西から壱岐・対馬、九州、瀬戸内、近畿、関東、東北、北海道）で出土したガラスを総合的に見たところ、九州～近畿の西日本におけるガラスタイプ別の出土傾向は同じように変遷していたことが明らかになった。その他の、壱岐・対馬、関東、東北、北海道ではそれぞれ異なった変遷様相が見られ、国内におけるガラス流通は特に東日本において地域性が見られた。これは西日本ではある程度統一された流通システムが存在し、東日本へのガラス流通には、西日本のような流通システムが存在しなかったと考えられる。しかし、本論文で対象としていない資料は国内各地に多数あり、今後の継続的な調査研究が望まれる。

次に壱岐と対馬の古代ガラスの調査結果をもとに韓国のガラスとの比較から、日本-大陸間のガラス流通について考察した。韓国のガラス流通様相と比較したところ、両地域は対応していたことから、壱岐・対馬はガラス交易において少なからず朝鮮半島の影響を受けているか、あるいは朝鮮半島と同じ流通元からガラスが搬入された可能性が示された。

第6章ではシルクロード出土ガラスについて論じた。まず日本、東南アジア、南アジア、中央アジア、北アジア、朝鮮半島のガラスを微量重元素 (Rb_2O , SrO , ZrO_2) により比較した。日本出土資料は3元素によって明確に分類されたが、東南アジアや南アジア、朝鮮半島のガラスは日本出土資料とは異なる組成グループを形成した。このようなガラスはアジア各地から日本へのガラス流通に組み込まれなかったガラスタイプであり、生産時期や交易関係などの影響により日本に伝わらなかった可能性が示唆される。

次に、陸路（オアシス路とステップ路）に関係する中央アジアと、海路（南海路）に関係する南/東南アジアそれぞれの出土ガラスの組成別流通状況を明らかにした。中央アジアではソーダ石灰ガラスが多く、東南アジアや南アジアではアルミナソーダ石灰ガラスが多くを占め、両地域ともそれぞれのガラスタイプの製造地であることが結果に反映されていた。ここではさらにカリガラスに着目した。カリガラスを組成的に2種類に分類（K-1タイプと

K-2タイプ)し、それぞれの分布を見たところ、中央アジアに流通していたカリガラスはすべてK-1タイプであることがわかった。このK-1タイプは南アジアを中心に分布していたガラスであり、これが中央アジアで見られたのは、南アジアから中央アジアへの交易路によって、ガラスの南北への移動があった可能性が考えられる。

続いて各地域のガラスタイプの時代変遷を見たところ、南/東南アジアにおいてはアルミナソーダ石灰ガラスとカリガラスがほぼ並行して流通していることがわかり、長きにわたって2種類のガラスが流通していたと考えられる。中央アジアではタジキスタンにおいて、一時的にソーダ石灰ガラスが衰退しており、これは西アジアでイスラーム文化が発展し、イスラームガラスが誕生した、ガラスの文化的変化を反映している可能性が挙げられる。北アジアでは中国起源のガラスタイプが流通していることから、貨幣の分析結果も合わせて、ガラスを含めた中国から北方へのモノの流れがあったと考えられる。

次にガラスの着色成分に着目したところ、今まで論じてきたガラス素材の組成比較と同様に、着色剤でも様々な組成的特徴が明らかになった。その一つとしてコバルト着色の紺色カリガラスは、関連する元素で比較したところ地域差もなく一つに集約され、同様な化学組成を持つことが明らかになった。

続いて階層クラスター分析を用いてグルーピングし、各ガラスタイプの比較を行った。その結果として、検討した5種類の組成タイプのうち、2タイプは国内外での顕著な組成的差異が見られなかった。一方で、残りの3タイプは組成的な相違が明らかになり、その起源や流通について複数の可能性が明確化された。本研究において統計解析を導入することで見方を変えたところ、ガラス流通に関する踏み込んだ考察を示すことができた。

最後に中世期の中央アジアのガラス器を中心とする大陸内での交易に焦点を当てた。中国内モンゴル自治区、中世期の中央アジア（キルギス、タジキスタン、カザフスタン）は主要成分の組成比較によって、西アジアのガラスとは異なる中央アジア特有ガラスであることがわかった。さらに階層クラスター分析を用いた西アジアの文献値を含めてグルーピングしたところ、西アジアとは異なるだけでなく、中央アジア特有ガラスとひとくくりになっていたデータがさらに細かく分類され、地域差が認められた。

以下に各ガラスタイプについて本研究の結論を述べる。

【カリガラス】

a) K-1タイプ

K-1タイプは基礎ガラスの組成比較を見ても各地域出土ガラスの組成は同様なものであったことが明らかになった。K-1タイプの多くはコバルト着色による紺色を呈しているものが多いことから、着色に関わるCo, Mn, Feによって比較したところ、同様な組成を持っていることが明らかになった。したがってガラスそのもの（ガラス素材）と用いられた着色剤の両方比較した結果、中央アジア、南アジア、東南アジア、日本で出土したK-1タイプは同様な化学組成を持ち、特定の原材料や製造工程を経ていた、すなわち特定の場所で製造さ

れたものが各地に流通していた可能性が示唆される。

さらに、南アジアが主たる製造地域と考えられている K-1 タイプが中央アジアに流通していたことが明らかになった。シルクロードの歴史において南アジアと中央アジアをつなぐネットワークが存在していたことから、南アジアから中央アジアへのガラス交易があったことが明らかになった。

b) K-2 タイプ

まずガラス素材の各地域出土ガラスの比較結果より、日本国内で出土した K-2 タイプは斉一的な組成であることがわかった。K-2 タイプの多くは青銅による淡青色のものが多くことから銅、スズ、鉛で比較したところ、同様に国内出土資料は同様な組成であることが示された。しかし、海外出土資料と比較すると、ガラス素材と着色剤両方でも東南アジアのガラスとは異なっていた。したがって、K-2 タイプにおいて日本への流通ルートに東南アジアは関与していない可能性が示唆される。一方で、着色剤の比較から朝鮮半島とは同様な組成であったため、朝鮮半島を経由した可能性は考えられる。

また、K-1 タイプが南アジアから中央アジアへ搬入された可能性は先に述べたが、中央アジアにおいて K-2 タイプは確認されていなかったことから、K-2 タイプの主要製作地と考えられている東南アジアから中央アジアへの流通がなかったことは明らかである。

【ソーダ石灰ガラス】

a) 植物灰ガラス

植物灰ガラスは朝鮮半島を除くすべての地域で出土しており、本研究で行った様々な組成比較でも化学組成による地域性は見られなかった。また、東南アジアや南アジアの分析例は本研究において少なく、海のシルクロードを経由していた可能性は低いと考えられる。

b) ナトロンガラス

ナトロンガラスは、クラスター分析によって分けられた2つのグループが、それぞれ先行研究と対応した。これにより、日本で多く出土していたナトロンガラスのグループは地中海沿岸地域周辺で製造されたナトロンガラスとは異なり、先行研究によれば南アジアや東南アジアで製造されたものであると考えられる。一方、地中海沿岸地域周辺で製造されたと考えられるナトロンガラスのグループには中央アジアや東南アジアの資料も多くが分類されていたことから、両地域を経由して日本に伝わった可能性が考えられる。

【アルミナソーダ石灰ガラス】

日本で出土するアルミナソーダ石灰ガラスの多くはアジア各地でも出土はしているが、南アジアや朝鮮半島で多数出土しているタイプとは異なる。日本で多く流通したようなタイプとは別に南アジアや朝鮮半島に特有のアルミナソーダ石灰ガラスが存在し、こちらの

タイプは日本へはあまり流通しなかったことが明らかになった。さらに赤色を呈する各地域で出土したアルミナソーダ石灰ガラスを比較したところ、Snの有無について朝鮮半島は特徴が異なっていた。したがって、日本に多く搬入されたアルミナソーダ石灰ガラスはアジア各地にも流通したが、日本にはあまり搬入されなかったタイプが南アジアを中心に流通していたことが明らかになった。

さらに、本研究で明らかになった各地域のガラス流通状況の概略図を、Fig. 7-1 から Fig. 7-3 にまとめた。

まず Fig. 7-1 に紀元前から紀元後 3 世紀頃のガラス流通の概略図を示す。この時期の日本列島では、カリガラスや鉛ケイ酸塩ガラスが主に流通していたとされる時期である。朝鮮半島では、楽浪土城・楽浪古墳出土ガラスの調査によりカリガラスや鉛ケイ酸塩ガラスが出土していたことが明らかになっており、日本列島と同様な組成タイプが出土している。

また、6.4 で日本、朝鮮半島、東南アジアの K-2 カリガラスの着色が銅を用いていることから銅とスズ、銅と鉛で散布図を作成し比較した。その結果として日本と朝鮮半島のデータは同様な領域に分布し、両地域で出土した K-2 カリガラスは着色剤において共通した組成的特徴を持つことがわかった。一方で、東南アジアのカリガラスは日本・朝鮮半島のデータとは異なる位置に分布したため、日本・朝鮮半島と東南アジアで流通した K-2 カリガラスは組成が異なることから、同タイプの日本への流通において東南アジアの影響は薄い可能性が考えられる。

続く紀元後 4 世紀から 9 世紀までのガラス流通の概略図を Fig. 7-2 に示す。この時期の日本列島では、アルミナソーダ石灰ガラスやソーダ石灰ガラスが出現し始め、カリガラスの流通量は減る傾向にある。ここでは、日本と東南アジア、南アジアで出土したアルミナソーダ石灰ガラスについて言及する。6.5 においてアルミナソーダ石灰ガラスのクラスター分析の結果、日本および東南アジア出土ガラスの多くが分類されたクラスターと朝鮮半島と南アジア出土ガラスの多くが分類されたクラスターに分けられた。このことから、アルミナソーダ石灰ガラスの製造地域と考えられている南アジアや東南アジアの中でも、日本に伝えられた同タイプの多くは東南アジアからもたらされた可能性が考えられる。

最後に紀元後 9 世紀以降のガラス流通の概略図を Fig. 7-3 に示す。この時期日本においては海外からのガラスの搬入は途絶える傾向にある。ここでは大陸の交流に着目すると、4.1 の中国内モンゴル自治区で発見されたガラス器は中央アジアで製造されたものである可能性を示した。また、6.6 において中央アジアで出土したガラス器の中でも複数の組成グループがある可能性があり、今後の科学的調査を待つ必要があるが、製造地が複数存在している可能性が示唆された。

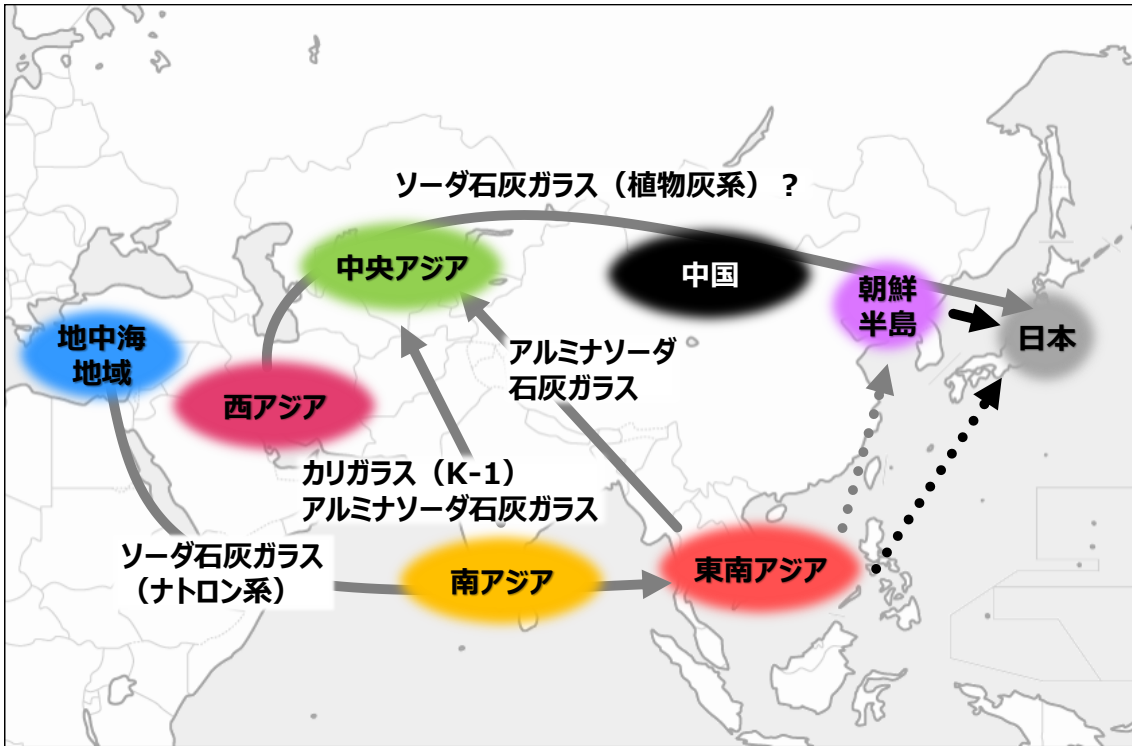


Fig. 7-1 紀元前～紀元後3世紀頃のガラス流通の概略

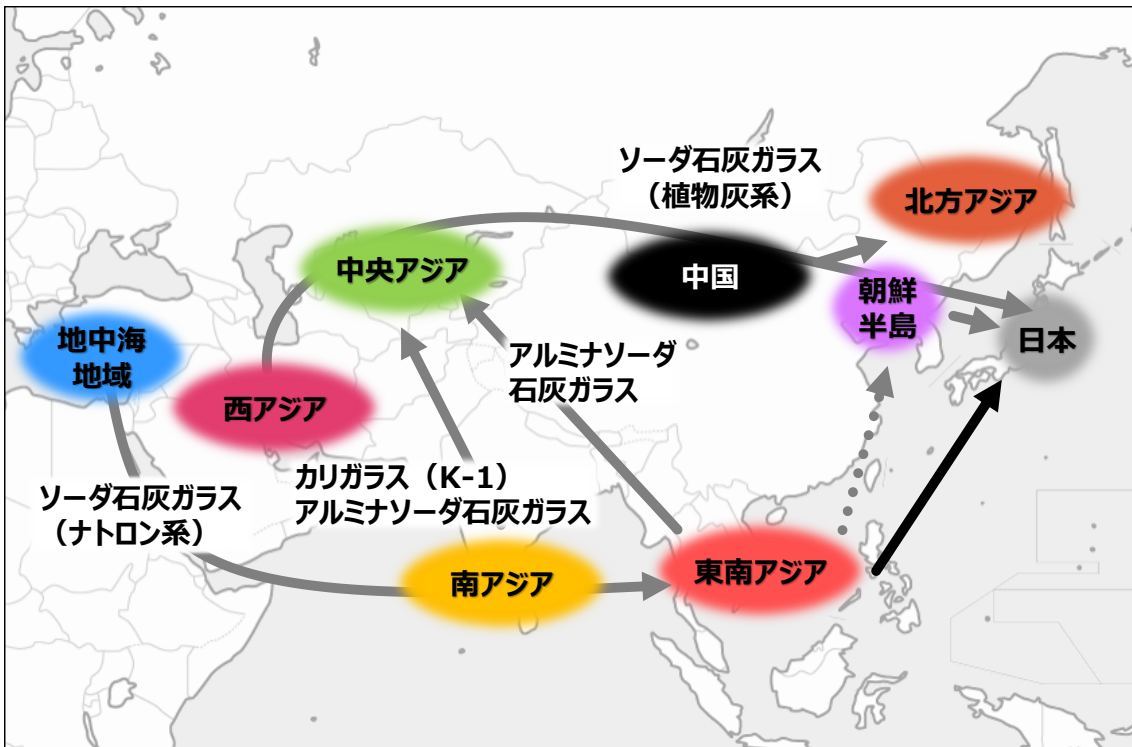


Fig. 7-2 紀元後4世紀～9世紀頃のガラス流通の概略

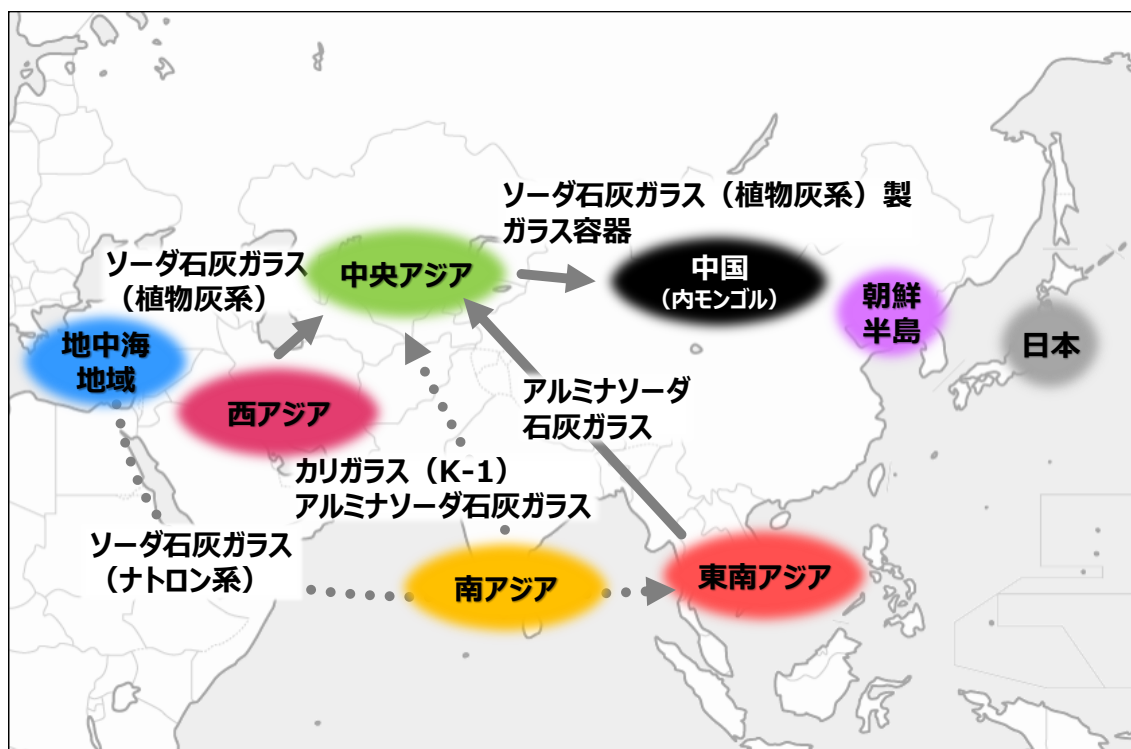


Fig. 7-3 紀元後9世紀以降のガラス流通の概略図

本研究では可搬型蛍光 X 線分析を主軸とする非破壊オンサイト分析により、日本出土ガラスを中心に東南アジア、南アジア、中央アジア、北アジア、朝鮮半島と幅広い地域から出土したガラスを分析した。その成果として、約 4000 点を超えるガラスの組成データを蓄積し、そこからガラスの起源や流通について考察した。広範な地域の出土ガラスを対象とした本研究の成果として、日本に伝えられたガラスがどこで製造されたものであるか、あるいはどこを経由してもたらされた可能性が考えられるかを言及した。カリガラス、ソーダ石灰ガラス、アルミナソーダ石灰ガラスそれぞれで各地域出土資料を比較したところ、地域による組成的な差異を明らかにした。これはシルクロードのガラス取引には様々なルートが存在していたことを示唆していると考えられる。

以上、日本並びにシルクロードに関連した大陸各地のガラスの現地分析調査を経て、ガラスの流通について考察した。様々な知見を得ることができたが、本研究ではガラスの各地域のガラスの分布状況をもとにガラスの移動を見ており、具体的な製造地域の推定にはまだまだ課題が残る。この点については、今後のデータの蓄積やガラスの製造に用いられた可能性がある原材料の調査などによって追究できると考えられる。また製造地域だけでなく、継続的な発掘調査や科学的な調査の実施件数が増えることで、流通様相の変化が詳細に追究できる可能性がある。特に紀元前から9世紀頃までの大陸におけるガラス流通については、本研究にてガラスの組成タイプの移動を明らかにすることができたが、時代による変化についてはさらなる追究が求められる。シルクロードの取引を背景に、国際的な調査を取り入

れた本研究の成果が、今後のガラス研究に活かされることを期待したい。

謝辞

本研究を進めるにあたり、多くの方々にご指導、ご協力を賜りました。この場をお借りして御礼申し上げます。

指導教員である中井泉教授には、修士課程在籍時よりご指導いただきました。奈良教育大学学部時代に文化財科学を学んでいた私は、中井教授の研究に興味を持ち学会や研究室訪問でお話しをさせていただいたことをきっかけに、大学院より教授のもとで研究することを決めたとき、温かく迎えてくださったことを感謝しています。その後博士後期課程まで教授にご指導いただけたことは、私にとって大きな財産だと思います。

中井研究室の阿部善也講師には、学部時代より大学院進学に様々な助言をくださりました。内部進学者が多い中、別の大学からの大学院進学者となる私と同じ境遇だったことから、いろんな経験談をお話ししてくださいました。大学院進学後は、実のあるご意見をたくさんくださり、自身の研究にとって大きな推進力となりました。

奈良教育大学学部在籍時にご指導くださった金原正明教授には、私の文化財科学研究の基礎を築いてくださり、大学院進学後も気にかけてくださりました。同大学前学長の長友恒人先生には大学院進学を後押ししてくださいました。私がここまで研究生活をおくれたのは、先生の後押しなしには実現できませんでした。

筑波大学の加藤千里さんは私と同年であり、お互い修士課程在籍時から同じガラスの研究を進める仲間としてご意見をくださるなど、複数回の調査で測定をサポートをしていただきました。

函館工業高等専門学校の中村和之先生には、分析調査でサポートしていただいただけでなく、本論文をまとめるにあたり多大なるご尽力をいただきました。

MIHO MUSEUM のラプチェフ・セルゲイ氏には、多数の海外調査で大変お世話になりました。また気さくなお人柄で調査中の雰囲気のを和ませてくださり、充実した分析調査を行うことができました。

各地の調査でお世話になりました以下の方々には心より御礼申し上げます。

岩手県花巻市博物館 高橋信雄館長、岩手県北上市立埋蔵文化財センター 高橋文明 元センター長、同センター 岩田貴之 氏、岩手県教育委員会 晴山雅光 氏、菅常久 氏、岩手県埋蔵文化財センター 斎藤邦雄 氏、岩手県二戸市埋蔵文化財センター 柴田知二 氏、岩手県金ヶ崎町教育委員会中央生涯学習課 浅利英克 氏、岩手県矢巾町教育委員会 西野修 氏、青森県埋蔵文化財センター 田中珠美 氏、青森県おいらせ町教育委員会 (阿光坊づくり古墳館) 小谷地肇 氏、青森県八戸市博物館 小笠原善範 元館長、同博物館 渡則子 氏、青森県七戸町教育委員会世界遺産対策室 小山彦一 氏、国立歴史民俗博物館研究部 林部均 氏、工藤雄一郎 氏、島津美子 氏、青森県企画政策部世界文化遺産登録推進室 中澤寛将 氏、天理大学付属天理参考館 日野宏 氏、同館 巽善信 氏、長崎県埋蔵文化財センター 片多雅樹 氏、同センター 鮫島葵 氏、長崎県壱岐市教育委員会 田中聡一 氏、同委員会 松見裕二 氏、岐阜県本巣市教育委員会 恩田知美 氏、淑徳大学 三宅俊彦 教授、函館工業高等専門学校 小林

淳哉 先生, キルギス国立博物館 Anarkul ISIRAVIEVA 氏, タジキスタン科学アカデミー A.Donish 歴史・考古学民族学研究所 Saidmurod BOBOMULLOYEV 氏, N.I.グロデコフ 名称ハバロフスク地方博物館 Maxim Valerievich GORSHKOV 氏.

さらに修士課程在籍時に同期だった柳瀬和也君, 内沼美弥さん, 飯澤勇信君, 小林泰人君, 関本敦久君, 平尾将崇君には修士課程から中井研究室に所属した私を温かく迎えてくださり, 2年間支えていただきました.

3学年下の新井沙季さん, 赤城沙紀さん, 岩本翔太君, 小野崎晴佳さん, 加古川伊武紀君, 久保祐介君, 平岡達也君, 吉田健太郎君には, 博士後期課程在籍時の3年間研究室をともにし, 様々な面で支えてもらいました.

最後に同じ研究班(和ガラス班)の白瀧絢子さん, 松崎真弓さん, 澤村大地さん, 柳瀬和也君, 馬場慎介君, 今井藍子さん, 新井沙季さん, 狭間優哉君, 三宅巽己君, 松本諒君には私の研究を大きく支えてもらいました. 分析調査をともにした澤村大地さん, 柳瀬和也君, 馬場慎介君, 今井藍子さん, 新井沙季さん, 狭間優哉君, 三宅巽己君, 松本諒君は現地で困った時などに助けてもらいました. 特に博士後期課程の3年間をともに過ごした新井沙季さんとは多くの分析調査に同行して苦楽を共にし, 多くの場面で助けてもらいました.

本研究にご協力くださった上記の方々に厚く御礼申し上げます.