

## アナリティカルレポート

# 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

澤村 大地<sup>1</sup>, 加藤 千里<sup>2</sup>, 松崎 真弓<sup>1</sup>, 柳瀬 和也<sup>1</sup>, 谷口 陽子<sup>3</sup>, 中井 泉<sup>\*1</sup>

## 1 緒 言

ガラスの起源には諸説あるが、紀元前 2000 年紀の西アジアとするのが一般的であり、中央アジアを経由して中国へ至る陸のシルクロードや、インド、東南アジアを経る海のシルクロードにより、朝鮮半島や日本列島といった東アジアへと伝播したとされる<sup>1)</sup>。日本列島にガラスが伝わったのは、誕生からおよそ 2000 年後の弥生時代前期末（紀元前 3 世紀頃）とされるが、その当時はすでに玉などの形状に製品化されたものが伝わったものと、伝わったガラスを再溶融して作り直したものが存在したと考えられる。ガラスを一次原料から加工、製品化するようになるのは少なくとも 7 世紀後半になってからであり、それまではガラス製品すべてが列島外からの搬入品であった<sup>2)~5)</sup>。ガラスの化学組成は、その原料の種類や産地を反映するため、製造された地域や時期の違いにより異なることが知られており、ガラスの起源を議論する際に重要な指標となる<sup>6)</sup>。

弥生～古墳時代におけるガラス製品の特徴や時期による変遷様相等については、肥塚による数多くのガラス製品を対象とした化学的研究<sup>2)~4)</sup>があり、すでに主成分組成の差異から、複数の製造地からもたらされたと考えられるガラスが列島内で利用されていたことが明らかとなっている。ただし、多くの先行研究はガラス搬入拠点の一つと考えられる九州地方の遺跡出土のガラス玉を主だった分析対象としたものであり、列島内の他地域で出土したガラスに対する化学分析の事例はいまだ多いとはいえない。このため、より包括的にガラス製品の動態を探るためには、列島内における西側から東側へのガラス流通、あるいは東西における搬入拠点の差異、時期的変遷を俯瞰的に検討する必要がある。

著者らは、弥生～古墳時代に年代付けられる日本列島各

地のガラス製品に対し、蛍光 X 線法による非破壊オンサイト化学組成分析を行っている<sup>7)~10)</sup>。オンサイト分析の利点は、貴重な考古資料を収蔵施設の外に持ち出す必要が無いことから、多数の資料を分析できることで、施設の研究者と議論しながら分析できる点も利点である。本稿では新たに測定を行った関東地方の遺跡から出土したガラス製品に関する結果を報告する。弥生時代以降、ガラス製品や金属製品などの日本列島への搬入拠点は、九州地方だけでなく近畿地方北部、北陸など日本海側に複数存在した可能性が指摘されている<sup>11)</sup>。弥生時代の生業、祭祀や墓制等の広がり、北部九州から東北に至るまで段階的に波及したという状況や、古墳時代からの社会変化のあり方も、畿内と東国ではその様相が大きく異なることを踏まえ、本稿においては弥生時代から古墳時代前期にかけての出土ガラスの量が北部九州や畿内と異なり比較的限定的な関東地方をまず対象として、ガラス製品の種類や量比の変化、製造地と搬入のあり方などについて検討することとした。その際に、すでに傾向が明らかな九州の事例と比較し、関東の遺跡出土のガラス製品の特徴や従来の学説との整合性について検証し、考察することを目的とした。

## 2 実 験

### 2.1 分析装置、測定条件とデータ処理法

本研究において化学組成分析に用いた装置は、当研究室が OURSTEX と共同で開発した「ポータブル蛍光 X 線分析装置 OURSTEX 100FA<sup>12)</sup>」である。本装置の特徴は既報<sup>7)~10)</sup>に述べているため、Table 1 に装置構成及び測定条件のみを掲載した。

ガラス中の Na<sub>2</sub>O 等溶出しやすい元素を定量する場合、埋蔵環境下における表面の腐食の影響を顕著に受けてしまい、分析値が大きく減少することが知られている。また、MgO や Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、K<sub>2</sub>O 等は腐食により定量値が変動することがあるため、細かな数値の議論は行うことはできない<sup>13)</sup>。本研究においては、大幅な分析値の変動が予想される Na<sub>2</sub>O の濃度はガラスの詳細な特性化には用いず、また本研究では Rb<sub>2</sub>O や SrO、ZrO<sub>2</sub> 等の腐食の影響が少ない重元素成分を合わせて用いているため、土中の埋蔵環境による

\* E-mail: inakai@rs.kagu.tus.ac.jp

<sup>1</sup> 東京理科大学理学部第一部応用化学科: 162-8601 東京都新宿区神楽坂 1-3

<sup>2</sup> 筑波大学大学院人文社会科学部研究科歴史・人類学専攻: 305-8571 茨城県つくば市天王台 1-1-1

<sup>3</sup> 筑波大学人文社会系歴史・人類学専攻: 305-8571 茨城県つくば市天王台 1-1-1

軽度の表面腐食、アルカリ分の溶出は大きな障害とはならない<sup>14)~16)</sup>。ただし、測定にあたって、ガラス光沢のある試料を分析し、腐食の著しいものは分析対象としなかった。また、試料はコンタミネーションを避けるため、表面の汚れをアルコールで拭きとってから測定を行った。

定量値は、測定した蛍光X線スペクトルから、スペクトル解析ソフト WinQXAS (IAEA)<sup>17)</sup>で各元素の正確な強度を算出し、標準ガラスで作成した検量線を用いて各元素の酸化物換算濃度として算出した。

## 2.2 分析資料

化学組成分析の対象として、明治大学博物館、筑波大学、茨城県ひたちなか市埋蔵文化財調査センター、桜川市教育委員会、土浦市上高津貝塚ふるさと歴史の広場所蔵の遺跡出土ガラス合計 253 点を選択した。資料はすべて弥生から古墳時代の遺構から出土したものである。Fig. 1 にそれぞれの遺跡の位置と代表的な資料写真を、また Table 2 に資料の年代及び分析点数を示す。出土ガラス製品のなかには、直径 1 cm 程度の丸玉や勾玉も数点存在したが、主だった資料は直径 3~5 mm 程度の小玉であった。いずれも X 線照射範囲 (約 2 mm) より大きく、測定に支障のない資料を選択した。気泡の形状等の観察から、多くのガラス玉は管切り法によって製作されたものと考えられる<sup>18)</sup>。管切り法は、軟化させたガラス塊を吹いて引き伸ばして作ったガラス管を切断して玉にする方法である。日本列島においては、江戸時代まで吹きガラス技法が導入されていなかったため、管切り法によって製作されたガラス製品はすべて

列島外で加工されたものであると考えられる<sup>19)</sup>。

比較として同時期の九州の遺跡から出土したガラス玉の分析結果<sup>7)~10)</sup>を使用した。これらはいずれも中井研究室 (東京理科大学) が同種の装置・測定条件で分析を行ったものであり、化学組成を比較する上で適している。

## 3 結果と考察

### 3.1 化学組成に基づくガラスの分類

主成分組成から、253 点すべてがシリカを主成分としアルカリを融剤とするアルカリケイ酸塩ガラスであることが明らかとなった。これらアルカリケイ酸塩ガラスに対して、基礎ガラスの副成分である MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O, CaO 及びその不純物 TiO<sub>2</sub>, Rb<sub>2</sub>O, SrO, ZrO<sub>2</sub> を指標元素としてクラスター分析を試みた。この際、クラスタリング法としてウォード法を、距離測定法として標準ユークリッド距離を用いた。これより、関東地方の遺跡出土のガラス製品はカリガラス (K<sub>2</sub>O-SiO<sub>2</sub>)、ソーダ石灰ガラス (Na<sub>2</sub>O-CaO-SiO<sub>2</sub>) 及びアルミナソーダ石灰ガラス (Na<sub>2</sub>O-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-CaO-SiO<sub>2</sub>) の 3 タイプに大別された。つまり、関東地方においても、少なくとも起源の異なる三つのアルカリケイ酸塩ガラスが流通していたことが明らかとなった。Table 3 に、3 タイプの主成分組成の平均値を示した。これ

Table 1 Equipment component and measurement condition

Portable XRF Spectrometer "OURSTEX 100FA"	
Manufacture	OURSTEX Co.
X-ray tube	Pd target
Detector	SDD with MOXTECH AP3.3 polymer window
Cooling	- 35 °C (peltier system & water-cooling)
Tube voltage	40 kV
Tube current	< 0.25 mA (white X-ray mode) < 1.00 mA (monochromatic X-ray mode)
Measuring atmosphere	Vacuum
Measuring time	200 sec. (live time)

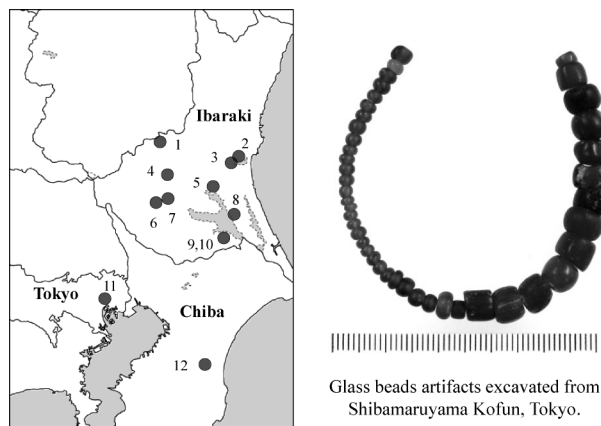


Fig. 1 Map of archaeological sites in the Kanto region from which the glass artifacts were unearthed

The numbers in the map correspond to the names of the archaeological sites in Table 2 and a representative photo of the glass artifact analyzed in this study. The division of the scale is 1 mm.

Table 2 Summary of analyzed glass artifacts in this study

No.	Site	Period	n	No.	Site	Period	n
1	Kitsuneduka	Late 4th C	14	7	Kabutoyama	Early 6th C	53
2	Takanosu	Late Yayoi Period	52	8	Chokushizuka	Late 4th C	34
3	Ohhira 1	Early 7th C	7	9	Hara 1	4th C	7
4	Sajizuka	4th C	8	10	Hara 2	4th C	4
5	Tamarifunatsuka	7th C	19	11	Shibamaruyama	Late Kofun Period	17
6	Sakurazuka	4th C	29	12	Nohmanji	4th C	9

Table 3 Average bulk compositions (wt%) of different glass types excavated from archaeological sites in Kanto region<sup>a)</sup>

Type	n		Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO
K <sub>2</sub> O-SiO <sub>2</sub>	152	Ave.	1.6	0.50	7.36	79.5	8.12	0.45
		Std. dev.	0.7	0.22	2.03	3.3	2.36	0.39
Na <sub>2</sub> O-CaO-SiO <sub>2</sub>	60	Ave.	5.4	2.04	3.80	79.8	2.18	5.29
		Std. dev.	1.9	0.59	1.28	2.7	0.60	0.56
Na <sub>2</sub> O-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -CaO-SiO <sub>2</sub>	41	Ave.	8.3	0.71	11.62	71.0	1.86	2.96
		Std. dev.	3.0	0.35	2.99	5.3	0.35	1.07

a) The SiO<sub>2</sub> component of samples was calculated subtracting other oxide components from 100 wt%. Std. dev.:  $\pm 1\sigma$ .

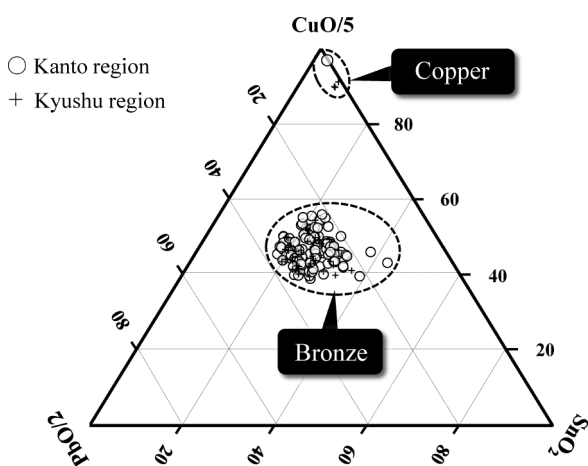


Fig. 2 Characterization of copper sources used for the production of light-blue potash glasses

らの平均組成は先行研究において分析された九州の遺跡出土のガラス製品の組成値<sup>7)~10)</sup>と類似している。

### 3・2 関東地方の遺跡出土ガラス製品の化学組成的特性化

**3・2・1 カリガラス (K<sub>2</sub>O-SiO<sub>2</sub> 系)** カリガラスは酸化カリウムと二酸化ケイ素を主成分とする二成分系のガラスであり, アジアを原材料の起源とするものと考えられる。関東の遺跡出土のガラス玉については, 色調や濃淡に多少の違いが認められるものの, コバルトによって着色された紺色を呈するものと, 銅によって着色された水色を呈するものが存在した。本調査結果から関東の遺跡出土のガラスにおいても九州のものと同様に, コバルト着色のカリガラスはコバルトを数百 ppm 程度含有し, 同時にマンガンも 1~2 wt% 程度含んでいることが明らかとなった。また銅着色のカリガラスは, 1 wt% 程度の銅とともにスズや鉛を含んでいるものがほとんどであった。このようなカリガラスは着色剤として青銅製品を二次利用した可能性が指摘されている<sup>7)~10)</sup>。Fig. 2 に, 水色カリガラスにおける CuO/SnO<sub>2</sub>/PbO 比からみた銅原料の特性化例を示す。これより, 関東及び九州において, CuO/SnO<sub>2</sub>/PbO が類似しているといえる。すなわち, 両地域とも類似した配合比をもつ青銅をガラスの着色原料として使用した可能性が高

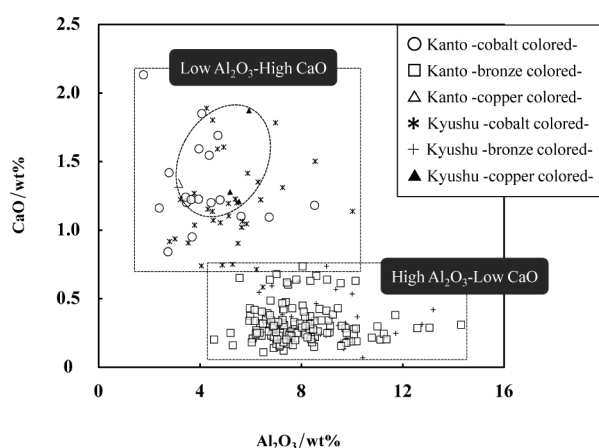


Fig. 3 Two Compositional types of blue potash glass and their colorants

The dotted oval represents data of glass colored by Cu, though Sn and Pb are absent.

い。ただし, 銅着色ガラス製品のうち関東の 1 点 (能満寺古墳出土) には, スズ及び鉛を含有しないものがあった。これは青銅以外の銅によって着色されたものと考えられるが, 九州でもわずかに出土例があるのみ<sup>9)</sup>であった。

またカリガラスは, 使用された着色元素によって副成分組成が異なることが知られている<sup>6)</sup>。そこで Fig. 3 では, 著者らがこれまでに報告した結果<sup>7)~10)</sup>も含めて, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 及び CaO 含有量によるカリガラスの分類を試みた。その結果, Fig. 3 に示すように, 関東地方の遺跡出土のカリガラスについても先行研究<sup>6)~10)</sup>と同様に, 青銅着色カリガラスは高 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-低 CaO タイプに, コバルト着色カリガラスは低 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-高 CaO タイプに分類された。ガラスの副成分組成の違いにより, 日本列島内に流入したカリガラスは着色元素によって異なる起源を持つ可能性を支持するとともに, 九州でも関東でも同種のカリガラスが流通していたことが分かった。一方, 青銅以外の銅を用いた水色カリガラスは Fig. 3 で楕円で囲ったが, 低 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-高 CaO タイプに分類された。すなわち, 水色着色カリガラスについては, 使用した銅原料によって異なる起源をもつ可能性が高い。

### 3・2・2 ソーダ石灰ガラス (Na<sub>2</sub>O-CaO-SiO<sub>2</sub> 系)

ソーダ石灰ガラスは西のガラスとも呼ばれ, 西アジアから

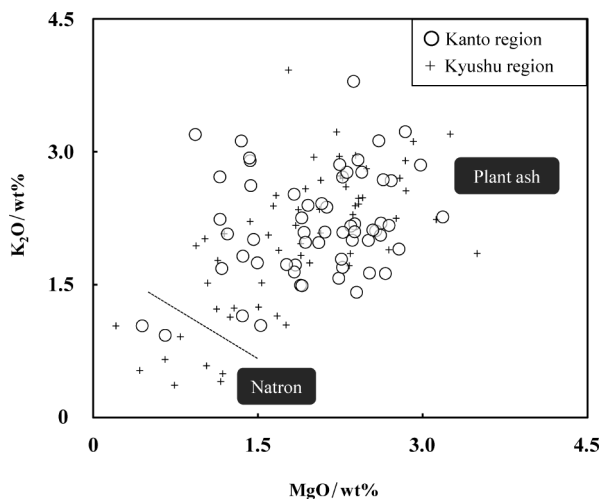


Fig. 4 Characterization of soda lime glass showing differences in the flux, *i.e.*, natron or plant ash

地中海沿岸地域で多く生産、流通したガラスである<sup>6)</sup>。本タイプはメソポタミア地域に起源を持つ植物の灰を融剤として使用した「植物灰ガラス」、または地中海沿岸地域で生産された蒸発岩鉱物ナトロンを融剤として用いた「ナトロンガラス」に大別される<sup>20)</sup>。これまでの研究報告から日本列島で出土するソーダ石灰ガラスの多くは植物灰ガラスであることが知られている<sup>7)~10)</sup>。植物灰ガラスはナトロンガラスに比べて植物由来のマグネシウムやカリウムに富んでいるため、両元素の含有量によって区別することができる。一般的には酸化マグネシウム及び酸化カリウムの含有量がともに 1.5 wt% を上回れば植物灰ガラス、下回ればナトロンガラスとする判別基準が適用されている<sup>20)</sup>。

今回分析した関東地方の遺跡出土のソーダ石灰ガラス、及びこれまでに測定された九州地方の遺跡出土のソーダ石灰ガラスの MgO-K<sub>2</sub>O プロットを Fig. 4 に示す。これより、関東のガラス玉は九州で出土したものと同様に、その多くが植物灰ガラスに分類された。Fig. 4 には MgO, K<sub>2</sub>O 含有量がともに 1.5 wt% 程度であり、両タイプの境界領域に位置するものも数点認められるが、これらに関しては風化の影響もしくは異なるガラスタイプのガラスを再加工したものである可能性も考えられる。一方で、明らかに MgO, K<sub>2</sub>O 含有量が少ない破線の左下の領域をナトロンガラスに分類した。

また今回ソーダ石灰ガラスに分類された資料は、1 点(桜塚古墳出土)を除きすべて透明紺色を呈しており、コバルトを数百 ppm 含有していた。しかし、植物灰ガラスはマンガンが 0.1~0.2 wt% 程度、もしくはそれ以下とほとんど含有していないのに対して、ナトロンガラスは 1~2 wt% 含有している傾向がある。これは両タイプにおいて、使用されたコバルト原料の種類が異なる可能性を示唆している。ただし、マンガンはガラス本来の色を消す消色剤と

しての役割が存在し、紀元前 2 世紀以降、ローマ帝国等で透明無着色ガラスを生産する際に実際に用いられてきたものである<sup>21)</sup>。したがって、ナトロンガラス中にマンガンが含まれる事例については、地中海沿岸地域もしくはその周辺地域で生産された無着色ガラスが流通の過程の中でリサイクルされ、いずれかの場所で新たに紺色に着色され作りなおされた可能性も考えられる。

**3・2・3 アルミナソーダ石灰ガラス (Na<sub>2</sub>O-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-CaO-SiO<sub>2</sub> 系)** アルミナソーダ石灰ガラスはアジアのガラスとも呼ばれ、南アジアから東南アジアに起源をもち、アフリカから東アジアに渡る広い範囲に分布する<sup>22)</sup>。その名が示すとおり、ソーダ石灰ガラスに比べ、アルミニウムの含有量が多く、また酸化カルシウム含有量が低い点で特徴付けられる。カリガラスやソーダ石灰ガラスとは異なり、多様な色調を呈するガラスが日本国内で流通していたことが知られているが、関東においても透明紺色や透明青緑色、透明水色、不透明黄緑色、不透明黄色等様々なものが存在した。

本調査によって関東地方の遺跡出土のガラス製品は九州の事例と同様に、水色及び青緑色のものについては、いずれも 1 wt% 程度の銅を含んでいることから、銅による着色であることが分かった。ただし、ほとんどの資料が銅原料として青銅が使用されていたカリガラスとは異なり、アルミナソーダ石灰ガラスの銅原料については、スズや鉛を含まず、青銅以外の銅が使用されたと考えられるものが多数存在した。また、スズと鉛を含有しているものもあるため、着色のための銅原料として少なくとも 2 タイプが利用されていたと考えられる。また、透明紺色ガラス玉はコバルトを数百 ppm 含有しているため、コバルトによって着色されていることが分かった。これらはカリガラスやナトロンガラスの事例とは異なり、マンガンは 0.1 wt% 程度とほとんど含有していなかった。

不透明黄色、黄緑色ガラス玉については、スズ及び鉛を顕著に含有しており、顕微鏡によってガラス中に黄色顔料粒子が散在している様子が確認された。この顔料はラマン分光分析 (B&W TEK Inc. 製, MiniRam) の結果、スズ酸鉛 (PbSnO<sub>3</sub>) と同定され、同時期の九州で出土した不透明黄色や不透明黄緑色のガラスに使用された黄色顔料と同様のものではあった。黄緑色のガラスについては、スズ酸鉛の黄色に銅の青味を加えることによって黄緑色の着色を生み出していたことが確認された。今回の結果は、ガラス組成だけでなく着色成分に関しても先行研究<sup>7)~10)</sup>を支持している。

**3・2・4 微量重元素に基づく特性化** 重元素は、軽元素に比べて風化の影響が少なく、ガラスのバルク組成をより正確に反映する。また、広く地表に存在せず地球化学的にも特徴的な分布をとるため地域性があり、産地ごとの組

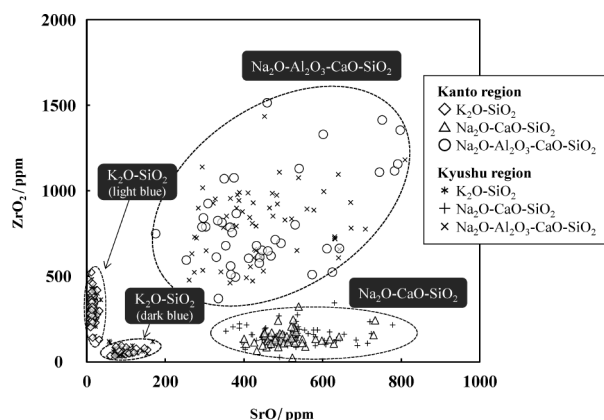


Fig. 5 Characterization of glass based on trace heavy elements

成的特徴がより明確になると期待されている。本稿では微量重元素に基づく特性化としてストロンチウム及びジルコニウムに着目した。両元素の含有量を Fig. 5 に示す。

Fig. 5 より、ガラスの種類ごとに SrO/ZrO<sub>2</sub> の含有量に差異が見られることが明らかとなった。これは、ガラスの原料産出地が、それぞれのガラスタイプごとに異なるという先の結果を支持するものである。カリガラスについてみると、色調によってプロットされる領域が異なり、先の主成分組成による特性化を支持する結果となった。また、関東地方の遺跡出土のガラス製品についてみると、九州出土のガラスと同様の領域にプロットされた。すなわち、関東及び九州地方において、同様の起源を持つガラスが流通していた可能性を示唆している。

### 3.3 古代ガラスの化学組成的変遷

これまで日本出土ガラスの化学組成的変遷として、弥生時代には鉛バリウムガラスや鉛ガラス、カリガラスが主流であり、古墳時代になるにつれそれらは減少し、アルミナソーダ石灰ガラスやソーダ石灰ガラスが多く流通するようになることが知られている<sup>6)</sup>。今回新たに関東地方の遺跡から出土したガラス製品を分析し、この傾向が関東地方でも適合されるか否かを検証するために、関東及び九州の遺跡から出土したガラスの年代と化学組成の変遷について、検討を行った。なお、九州地方の資料として用いたものはすべて当研究室が化学分析を行ったガラスである。

Fig. 6 は両地域のガラス製品を、出土遺構の帰属年代から弥生時代後期 (A.D. 2~3 世紀)、古墳時代前期 (A.D. 4~5 世紀)、古墳時代後期 (A.D. 6~7 世紀) に分け、各ガラス組成タイプ (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) の点数を示したものである。これより、弥生時代後期のガラスは両地域ともにカリガラスの割合が大きい、次第にその割合が減少していく傾向が分かる。また、カリガラスが減少した時期やその後の流通様相

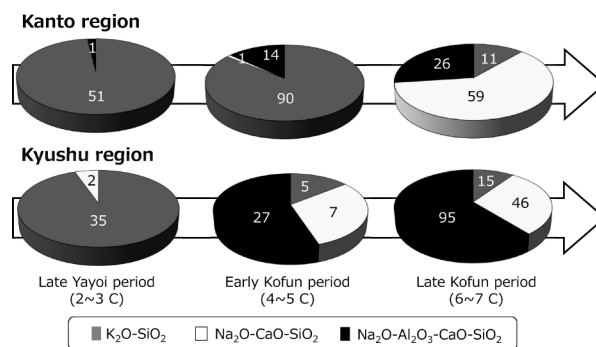


Fig. 6 Transition of glass compositions for ancient glass excavated in Kanto and Kyushu

は両地域で異なっていることが分かった。すなわち、関東の遺跡出土のガラス製品については、古墳時代前期から後期にかけて、カリガラスからソーダ石灰ガラスへと変遷しているが、九州においては弥生時代後期から古墳時代前期にかけてアルミナソーダ石灰ガラスへと変遷している。両地域における変遷様相の違いは、それぞれのガラスタイプの製品がどこかの生産地から、どこを経由して、またどこを窓口として日本列島へと流入したかといった違いを反映している可能性がある。すなわち、ガラス製品の搬入経路の拠点として九州北部と近畿北部の違いによる影響<sup>11)</sup>を反映している可能性が考えられる。

## 4 結 言

今回、関東地方に位置する弥生~古墳時代の遺跡から出土したガラス玉製品の定量分析を行った。これより、当時の関東地方においても九州地方と同様に、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が流通していたことが確認された。それぞれのタイプごとに微量元素や着色剤に着目した比較により、九州地方で流通したガラス製品と同様の起源を有するものが関東で流通していた可能性が高い。また、ガラスタイプと出土年代の関係を検討した結果、関東地方では弥生時代から古墳時代にかけて主に流通するガラスタイプがカリガラスからソーダ石灰ガラスに変遷していることが分かった。一方、九州地方ではカリガラスからアルミナソーダ石灰ガラスが主流となり、両者では組成変遷の様相が異なっており、当時の日本列島内に複数のガラス搬入拠点が存在した可能性を示唆している。今後は、分析対象とする遺跡や古墳の性質の違いも考慮しながら、分析点数をふやして変遷をさらに一般化するとともに、分析地域を拡大して、日本列島広域の様相を解明することが期待される。

## 謝 辞

貴重な考古資料を分析させていただける機会を下さいました明治大学博物館学芸員忽那敬三氏、茨城県ひたちなか

市埋蔵文化財調査センター稲田健一氏, 上高津貝塚ふるさと歴史の広場茂木雅博氏, 比毛君男氏, 桜川市教育委員会越田慎太郎氏に厚く御礼申し上げます。なお, 本研究は日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究 (B) 24304008 の補助を得て行われました。記して感謝申し上げます。

## 文 献

- 1) I. Lee : "Ancient Glass Research Along the Silk Road", p. 165 (2009), (World Scientific).
- 2) 肥塚隆保 : 古代文化, **48**, 47 (1996).
- 3) 肥塚隆保 : 日本で出土した古代ガラスの歴史的変遷に関する科学的研究, 東京芸術大学, 博士学位論文 (1997).
- 4) 肥塚隆保 : *Glass*, **53**, 3 (2009).
- 5) 田村朋美 : 日本出土アルカリ珪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再分類—, 京都大学, 博士学位論文 (2013).
- 6) 肥塚隆保, 田村朋美, 大賀克彦 : 月刊文化財, **566**, 13 (2010).
- 7) 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, 荒木隆宏 : 考古学と自然科学, **63**, 29 (2012).
- 8) 松崎真弓, 白瀧絢子, 池田朋生, 中井 泉 : X線分析の進歩, **43**, 437 (2012).
- 9) 松崎真弓, 白瀧絢子, 池田朋生, 中井 泉 : X線分析の進歩, **44**, 217 (2013).
- 10) 柳瀬和也, 松崎真弓, 澤村大地, 橋本英俊, 東 憲章, 永瀆功治, 中井 泉 : X線分析の進歩, **45**, 279 (2014).
- 11) 小寺智津子 : 東京大学考古学研究室研究紀要, **24**, 45 (2010).
- 12) 菊川 匡, 阿部善也, 真田貴志, 中井 泉 : X線分析の進歩, **40**, 325 (2009).
- 13) 肥塚隆保 : 理学電機ジャーナル, **30**, 33 (1999).
- 14) N. Kato, I. Nakai, Y. Shindo : *J. Archaeolog. Sci.*, **36**, 1698 (2009).
- 15) N. Kato, I. Nakai, Y. Shindo : *J. Archaeolog. Sci.*, **37**, 1381 (2010).
- 16) K. Tantrakarn, N. Kato, A. Hokura, I. Nakai, Y. Fujii, S. Gluščević : *X-Ray Spectrom.*, **38**, 121 (2009).
- 17) International Atomic Energy Agency (IAEA): "WinQXAS", Quantitative X-ray Analysis System for Windows, (2000).
- 18) 福島雅儀 : 考古学と自然科学, **54**, 53 (2006).
- 19) 大賀克彦 : 月刊文化財, **566**, 27 (2010).
- 20) R. H. Brill : *In Ancient Egyptian Materials and Industries*, **4**, 179 (1962).
- 21) C. M. Jackson : *Archaeometry*, **47**, 763 (2005).
- 22) L. Dussubieux, B. Gratuze, M. B-Lemarquand : *J. Archaeolog. Sci.*, **37**, 1646 (2010).

## Archaeochemical Investigation of Ancient Glass Artifact Unearthed from the Kanto Region by XRF Analysis

Daichi SAWAMURA<sup>1</sup>, Chisato KATO<sup>2</sup>, Mayumi MATSUZAKI<sup>1</sup>,  
Kazuya YANASE<sup>1</sup>, Yoko TANIGUCHI<sup>3</sup> and Izumi NAKAI<sup>\*1</sup>

\* E-mail : inakai@rs.kagu.tus.ac.jp

<sup>1</sup> Department of Applied Chemistry, Faculty of Science, Tokyo University of Science, 1-3, Kagurazaka, Shinjuku-ku, Tokyo 162-8601

<sup>2</sup> Doctoral Program in History and Anthropology, Graduate School of Humanities and Social Sciences, University of Tsukuba, 1-1-1, Tennodai, Tsukuba-shi, Ibaraki 305-8571

<sup>3</sup> Faculty of Humanities and Social Sciences, University of Tsukuba, 1-1-1, Tennodai, Tsukuba-shi, Ibaraki 305-8571

(Received March 21, 2015; Accepted June 9, 2015)

Glass products, such as glass beads excavated in Japan from Yayoi to Kofun period sites, were all produced abroad and brought to Japan via unknown ports. This paper reports on the results of non-invasive chemical analysis using a portable XRF on 253 glass beads excavated from various archaeological sites in the Kanto region. The base glasses were classified into three types: *i.e.*, potash glass, soda lime glass, high alumina soda lime glass, which showed similar characteristics to those excavated from the Kyushu region. These similarities were also confirmed through trace element signatures of heavy elements. In the late Yayoi period, in both the Kyushu and Kanto regions potash glass comprised the majority of the glass chemical composition; however, during the Kofun period, this changed to mainly soda lime glass in the Kanto region, while high alumina soda lime glass is dominant in the Kyushu region.

**Keywords:** ancient glass; Kanto region; portable X-ray fluorescence spectrometer; archaeometry; non-destructive analysis.