

が、気泡が少なく均質なガラスであることから、異なる種類のガラスの二次的な混合はなされていないと考えられる。

上記以外に、二次的な巻き付け法と考えらえる紺色の小玉3点と濃青色の小玉1点の分析を実施した。化学組成の類似性より、紺色のものはGroup SIIIBもしくはGroup SIIC、濃青色のものはGroup SIIBのガラスが主要な素材となっていると考えられるが、混合の可能性もあるため、これ以上の議論は行わない。

表2 各種ガラス小玉の化学組成の平均と標準偏差

製作技法	基礎ガラス	色調	着色剤		重量濃度(%)														
					Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	MnO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CoO	CuO	PbO	Rb <sub>2</sub> O	SrO	ZrO <sub>2</sub>
引き伸ばし	PI	紺	コバルト	平均(n=23) 標準偏差( $\sigma$ )	0.9 0.4	0.6 0.2	3.1 0.6	80.1 5.2	9.1 4.9	1.9 1.1	0.25 0.06	2.29 0.51	1.38 0.43	0.08 0.03	0.06 0.04	0.03 0.02	0.03 0.01	0.03 0.01	0.09 0.04
引き伸ばし	SIIB	淡青	銅	平均(n=294) 標準偏差( $\sigma$ )	18.5 2.8	0.7 0.2	9.4 1.6	63.2 3.0	2.8 0.9	0.41 1.2	0.07 0.07	1.32 0.24	0.02 0.01	0.59 0.18	0.05 0.03	0.01 0.01	0.04 0.01	0.11 0.05	
引き伸ばし	SIIB	濃青	銅+マンガン	平均(n=410) 標準偏差( $\sigma$ )	17.6 3.8	0.5 0.2	6.5 1.0	66.9 4.4	2.0 0.5	2.6 0.7	0.46 0.12	0.44 0.10	1.32 0.28	0.02 0.01	1.16 0.27	0.04 0.19	0.02 0.03	0.03 0.06	0.11 0.05
引き伸ばし	SIIB	黒①	銅+マンガン	平均(n=18) 標準偏差( $\sigma$ )	9.2 7.1	0.8 0.2	5.6 1.0	73.8 4.4	2.1 0.8	1.6 0.3	0.67 0.08	1.40 0.17	2.64 0.42	0.01 0.01	1.51 0.34	0.34 0.10	0.02 0.01	0.04 0.02	0.17 0.06
引き伸ばし	SIIB	黒②	鉄	平均(n=57) 標準偏差( $\sigma$ )	12.5 3.1	0.9 0.3	10.2 0.9	67.0 2.9	2.5 0.7	3.7 1.0	0.66 0.17	0.08 0.02	1.92 0.45	0.02 0.03	0.06 0.06	0.03 0.02	0.02 0.01	0.05 0.02	0.16 0.07
引き伸ばし	SIIB	黄褐	鉄	平均(n=5) 標準偏差( $\sigma$ )	17.2 4.1	0.4 0.1	8.6 0.4	63.5 4.7	2.6 0.8	1.9 0.4	0.74 0.09	0.04 0.02	4.39 0.87	0.04 0.02	0.12 0.11	0.02 0.01	0.02 0.01	0.04 0.02	0.13 0.06
引き伸ばし	SIIB	紫褐	マンガン	平均(n=14) 標準偏差( $\sigma$ )	19.0 2.3	0.7 0.3	9.8 1.3	61.7 2.2	1.8 0.2	4.1 0.8	0.45 0.08	0.50 0.12	1.54 0.21	0.01 0.01	0.06 0.04	0.02 0.01	0.02 0.01	0.05 0.01	0.10 0.05
引き伸ばし	SIIB	黄	錫酸鉛	平均(n=256) 標準偏差( $\sigma$ )	17.6 1.4	0.7 0.3	8.3 1.6	65.5 4.7	2.0 0.6	2.0 0.8	0.49 0.14	0.06 0.02	1.32 0.45	0.02 0.01	0.03 0.02	1.17 0.40	0.01 0.01	0.03 0.07	0.09 0.15
引き伸ばし	SIIB	黄緑	銅+錫酸鉛	平均(n=27) 標準偏差( $\sigma$ )	17.3 1.1	0.7 0.1	8.1 1.8	65.6 2.5	2.2 0.7	1.9 0.6	0.47 0.10	0.07 0.02	1.28 0.34	0.02 0.01	0.81 0.21	0.99 0.28	0.01 0.01	0.03 0.04	0.10 0.10
引き伸ばし	SIIB	橙	酸化銅クロイド	平均(n=17) 標準偏差( $\sigma$ )	14.4 1.4	0.9 0.1	8.9 0.4	61.2 1.5	1.8 0.1	2.9 0.2	0.46 0.03	0.08 0.02	2.44 0.80	0.06 0.06	5.78 1.79	0.34 0.09	0.01 0.01	0.05 0.01	0.12 0.08
引き伸ばし	SIIB	赤褐	金属銅クロイド	平均(n=2) 標準偏差( $\sigma$ )	16.1 2.1	0.9 0.0	9.8 0.8	63.5 0.9	2.4 0.1	3.0 0.2	0.65 0.15	0.10 0.01	1.92 0.25	0.04 0.01	0.99 0.01	0.08 0.01	0.03 0.01	0.12 0.01	0.12 0.07
引き伸ばし	SIIB	白	不明	平均(n=30) 標準偏差( $\sigma$ )	15.2 2.8	0.9 0.2	8.2 2.3	69.2 4.9	1.8 0.5	1.8 1.2	0.61 0.19	0.07 0.01	1.85 0.26	0.03 0.01	0.04 0.02	0.04 0.02	0.02 0.01	0.03 0.02	0.11 0.05
引き伸ばし	SIIB	紺	コバルト	平均(n=2) 標準偏差( $\sigma$ )	16.9 2.0	0.7 0.0	6.1 0.1	67.5 1.8	1.8 0.0	4.5 0.3	0.35 0.08	0.19 0.06	1.38 0.06	0.09 0.01	0.10 0.01	0.04 0.01	0.01 0.01	0.05 0.00	0.11 0.03
引き伸ばし	SIIB	紺	コバルト	平均(n=30) 標準偏差( $\sigma$ )	15.7 5.1	3.0 1.3	2.9 0.4	67.3 4.9	2.3 0.6	6.5 1.1	0.21 0.07	0.24 0.13	1.37 0.28	0.09 0.03	0.14 0.05	0.08 0.03	0.01 0.01	0.04 0.01	0.07 0.05
引き伸ばし	SIV	紺	コバルト	平均(n=9) 標準偏差( $\sigma$ )	15.2 1.3	0.6 0.1	2.6 0.5	72.6 1.5	0.9 0.2	4.6 0.8	0.25 0.08	1.72 0.45	0.94 0.29	0.08 0.02	0.03 0.01	0.01 0.01	0.04 0.01	0.09 0.02	
変則引き伸ばし	SIIC	紺	コバルト	平均(n=481) 標準偏差( $\sigma$ )	16.8 1.2	4.7 0.4	3.4 0.4	63.5 1.3	3.1 0.7	6.4 0.5	0.12 0.02	0.35 0.04	1.01 0.14	0.04 0.01	0.23 0.09	0.01 0.01	0.03 0.01	0.07 0.04	
変則引き伸ばし	SIIC	濃緑	銅	平均(n=26) 標準偏差( $\sigma$ )	13.9 0.7	4.6 0.2	2.9 0.5	63.7 0.7	2.7 0.3	7.2 0.3	0.12 0.02	0.35 0.12	0.91 0.07	0.01 0.01	1.65 1.14	0.91 0.19	0.01 0.01	0.03 0.01	0.09 0.06
変則引き伸ばし	SIIC	紫褐	マンガン	平均(n=5) 標準偏差( $\sigma$ )	13.4 1.4	4.1 0.3	3.7 0.7	65.1 0.4	2.9 0.1	7.3 0.5	0.17 0.04	2.06 0.42	0.98 0.14	0.01 0.00	0.08 0.06	0.05 0.01	0.02 0.01	0.04 0.01	0.11 0.06
変則引き伸ばし	SIIC	黄	錫酸鉛	平均(n=5) 標準偏差( $\sigma$ )	14.1 0.8	4.2 0.5	2.2 0.1	65.6 1.4	2.8 0.2	6.8 0.4	0.09 0.01	0.05 0.00	0.58 0.46	0.01 0.01	0.05 0.03	2.39 0.16	0.01 0.01	0.04 0.01	0.07 0.03
変則引き伸ばし	SIIC	黄緑色	銅+錫酸鉛	n=1	16.2	5.4	1.8	63.3	3.0	7.0	0.07	0.05	0.46	0.01	0.54	1.36	0.00	0.03	0.00
変則引き伸ばし	SIIC	淡青色	銅	n=1	13.2	4.0	2.3	67.6	2.7	7.2	0.09	0.02	0.68	0.01	0.91	0.32	0.01	0.04	0.06

## 5. 考察

本調査では、これまで部分的にしか明らかになっていなかった飛鳥寺塔心礎出土のガラス玉の全貌を明らかにすることができた。ここでは、既往研究 (Oga and Tamura 2013) を参考にしつつ、これらのガラス玉の生産地や流入経路について考察してみたい。

Group PIの紺色カリガラス小玉については、製作技法や化学組成が類似するガラス小玉の分布から、現状では南インド産の可能性が最も高いと考えている (Oga and Taumra 2013)。

ソーダガラスについては、Group SIIIB、Group SIIIC、Group SIVのそれぞれで生産地が異なると考えている。Group SIIIBは、高 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 低 CaO という化学組成の特徴から、製品の分布が濃密でガラス小玉の生産遺跡も発見されている南～東南アジア地域が生産地と考えられる。Group SIVは、コバルト原料がGroup PIと共に、日本列島における流通時期もGroup PIと重なることから、南インドもしくは東南アジアで生産された可能性が高い。

一方、植物灰ガラス (Group SIIIB、Group SIIIC、重層ガラス玉、勾玉の素材) は、メソポタミア地域ないしは中央アジア地域で生産されたガラスの特徴とされる (Lankton et al.2006、Liu et al.2012 など)。この

うち、通有の引き伸ばし法で製作された Group SIIIB の植物灰ガラスは、MgO と K<sub>2</sub>O の含有量に変異が大きいのに対し、今回まとまった数の分析を実施することのできた Group SIIIC は、分布の凝集性が高く、MgO > K<sub>2</sub>O の傾向が顕著であることから、Group SIIIB とは製作技法だけでなく基礎ガラスの系譜も異なる可能性が高い。植物灰ガラスの中でも MgO > K<sub>2</sub>O となるのはメソポタミア産の特徴と考えられている。今回、錫酸鉛で着色された黄色不透明の Group SIIIC に帰属するガラス片（その他 58）について、鉛同位体比分析（日鉄住金テクノロジーに委託）を実施した（表 3）。その結果、ガラス製遺物では、地中海周辺産と推定されるナトロンガラス（Group SI）（コバルト着色）(Tamura and Oga 2016) と比較的類似の値を示した。さらに、イラン産の鉛鉱石にも比較的類似した鉛同位体比を持つものが報告されている (Stos-Gale 2004) (図 4)。錫酸鉛を用いた着色技法は、Group SIIIC に先行して Group SIIB に認められる着色技法で、日本および韓国で出土した 5 ~ 6 世紀の錫酸鉛で着色された黄色および黄緑色の Group SIIB の鉛同位体比は、タイの Song Toh 鉱山の鉛鉱石などから設定された領域 N に一致することが知られているが (平尾 2013)、本研究により Group SIIIC の着色に用いられた錫酸鉛の原料はイラン産の可能性が高いことが明らかとなつた。すなわち、黄色不透明の Group SIIIC は、メソポタミア産の植物灰ガラスにイラン産の鉛原料から製造された錫酸鉛を添加して着色したものと考えられる。

以上、飛鳥寺塔心礎出土のガラス玉にはインド～東南アジア産と考えられる小玉 (Group PI、Group SIIIB、Group SIV)、メソポタミア～中央アジア産と考えらえる植物灰ガラス小玉 (Group SIIIB、Group SIIIC、重層ガラス玉)、およびこれらのガラス小玉やその破損品を素材とし、鋳型を用いて再生したガラス小玉など、二次的に生産されたガラス玉から構成されていることが明らかとなった。なお、勾玉は、未加工の植物灰ガラス素材から製作したと考えられる。いずれの種類についても、古墳時代後期末までに日本列島に流入したガラスである (肥塙ほか 2010、Oga and Tamura 2013 など)。すなわち、飛鳥寺塔心礎出土のガラス玉類は、創建時に埋納可能な種類から構成されており、すべて創建当初の埋納物であると判断される。具体的な流入経路が問題となるが、近年、飛鳥寺との関係性が指摘される韓国王興寺址から類似の形態と化学組成の特徴を有するガラス小玉が出土している (国立扶餘文化財研究所 2009)。また、詳細な形状は不明であるが、錫酸鉛が着色に用いられた黄色不透明を呈する植物灰ガラス小玉が北周武帝孝陵出土品において確認されている (成倩・張建林 2011)。百濟では 6 世紀後半に中国北朝との関係が強まったことが指摘されており (窪添 2010)、流入経路を解明する手掛かりとなる。一方で、東南アジアにおいてまとめた量の Group SIIIC の出土事例が確認できないことなどを考慮すると、メソポタミア地域で生産されたガラスが内陸ルートを経由して東アジアへ流入したと考えられる。さらに、東アジアにもたらされたこれら西方のガラス小玉は、6 世紀後半ごろに百濟にもたらされ、最終的に『日本書紀』にみえる百濟国から献られた仏

表 3 Group SIIIC (黄色不透明) (その他 58) の鉛同位体比

分析 No.	基礎ガラス	着色剤	$^{207}\text{Pb} / ^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb} / ^{206}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb} / ^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb} / ^{204}\text{Pb}$
その他 58	Group SIIIC	錫酸鉛 ( $\text{Pb}_3\text{SnO}_4$ )	0.8325	2.0704	18.858	15.699

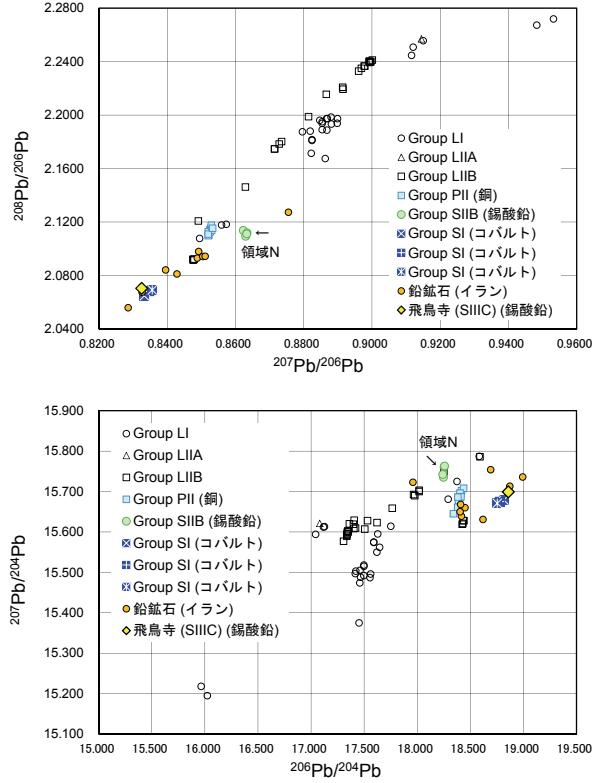


図 4 Group SIIIC (錫酸鉛着色) の鉛同位体比  
(上：A 式図、下：B 式図)

舍利に伴って飛鳥寺に到達したというルートを想定することができるかもしれない<sup>13)</sup>。さらに、メソポタミア産のガラス小玉が日本列島にもたらされるその経路上のいずれかの地点で南～東南アジア産のガラス小玉と合流しており、どのような経緯で産地の異なるガラス玉が飛鳥寺の塔心礎と一緒に埋納されたのかについても、解明すべき重要な課題である。本研究がこれらの問題をはじめ、古代のユーラシア大陸の東西を結ぶモノや人、文化や技術の流れを解明する端緒となれば幸いである。

#### 註

- 1) 古代においては銅 - 銀合金も利用されており、日本列島でも 7 世紀中頃の水落遺跡（奈良県明日香村）で出土した小銅管で銀蝶（銅 - 銀合金）が確認されている（肥塚ほか 1993）。本資料も銅 - 銀合金の可能性は否定できない。
- 2) 微細な破片資料を含めて網羅的に調査したが、鉛系のガラスは検出されなかった。このうち、表面が白色化しているもの（その他 32-3 など）はカルシウムを主成分としており、真珠の可能性があると考えているが、これについては現在調査を継続中である。
- 3) これらの中には、K<sub>2</sub>O の測定値が少ないものがあるが、風化の影響によると考えられる。
- 4) 以下、化学組成による基礎ガラスの分類は (Oga and Tamura 2013) に依拠する。
- 5) 2 点 (No.3-099 および No.3-163) のみ 0.14 – 0.15% の PbO が検出された。
- 6) この色調のものは、破片になりやすく、破片を含めると本来の存在数はさらに増加する。
- 7) 硫黄 (S) などが代表的な還元剤であるが、本調査では装置の特性上硫黄の多寡を比較することができなかった。
- 8) 完形品も劣化が進んだものが多く、破片を含めると本来の存在数は増加する可能性がある。
- 9) 報告書では銅コロイド着色による「赤色不透明ガラス小玉」が 39 個出土したと記載されており、今回調査した第 1 ~ 6 連および個別保管資料以外にも所在が確認できていない資料が存在する可能性がある。
- 10) このグループは化学組成に変異が大きく、一部に上記の基準値を逸脱するものがある。特に、No.1-478 および No.2-314 は、CaO が少ない領域に外れており、今後帰属判断を変更する可能性を残す。
- 11) 個別保管の紺色透明を呈する 17 点については定量分析を実施していないが、定性分析により同質のソーダガラスであることを確認している。
- 12) MgO-K<sub>2</sub>O 含有量にばらつきが大きく Group SIIIB の変異と重複することと、PbO 含有量が少ないとから、色調の共通する Group SIIC が素材となった可能性は低いと考えている。
- 13) なお、この後の 7 世紀から 9 世紀にかけて、特に関東から東北北部の太平洋側で大量に流通する Group SIIC のガラス小玉については、異なる流入経路を想定している。

#### 参考文献

- 諫早直人「飛鳥寺塔心礎出土馬具」『奈文研紀要 2015』。
- 大賀克彦 2002 「日本列島におけるガラス小玉の変遷」『小羽山古墳群』（『清水町埋蔵文化財発掘調査報告書』V）。
- 大賀克彦 2010a 「群集墳築造の二つの契機」『遠古登攀』。
- 大賀克彦 2010b 「日本列島におけるガラスおよびガラス玉生産の成立と展開」『月刊文化財』566 号。
- 瀬添慶文 2010 「南北朝時期の国際関係と仏教」『古代東アジアの仏教と王権 王興寺から飛鳥寺へ』勉誠出版。
- 肥塚隆保・川越俊一・西口壽生 1993 「飛鳥池遺跡出土遺物の材質」『奈良文化財研究所年報』1992。
- 肥塚隆保・大賀克彦・田村朋美 2010 「材質とその歴史的変遷」『月刊文化財』566 号。
- 田村朋美 2011 「日本列島における植物灰ガラスの出現と展開」『文化財論叢』IV。
- 奈良国立文化財研究所『飛鳥寺発掘調査報告』1958。
- 平尾良光 2013 「「鉛」から見える世界」『平尾良光先生古稀記念論集 文化財学へのいざない』。
- 成倩・張建林 2011 「北周武帝孝陵出土玻璃珠的科学分析与研究」『考古与文物』2011 年第 1 期。
- Oga, K., Tamura, T. 2013. Ancient Japan and the Indian Ocean Interaction Sphere: Chemical Compositions, Chronologies, Provenances and Trade Routes of Imported Glass Beads in Yayoi-Kofun Period (3rd Century BCE-7th Century CE). *Journal of Indian Ocean Archaeology*, 9.
- Lankton,J.W., Dussubieux,L. 2006. Glass in Asian Maritime Trade: A Review and an Interpretation of Compositional Analyses. *Journal of Glass Studies*, 48.
- Lankton,J.W., Dussubieux,L., Bernard,G. 2006. Glass from Khao Sam Kaeo : Transferred Technology for an Early Southeast Asian Exchange Network. *Bulletin de L'Ecole Francaise D'Extreme-Orient*, 93.
- Liu,S., Li,Q., 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.
- 国立扶餘文化財研究所 2009 『王興寺址Ⅲ木塔址金堂址発掘調査報告書』（『国立扶餘文化財研究所学術研究叢書』第 52 輯）。
- Brill,R. 1988. Scientific Investigations of the Jalame Glass and Related Finds. in Weinberg,G.D. (ed), *Excavations at Jalame : Site of a Glass Factory in Late Roman Palestine*.
- Tamura, T., Oga K. 2016. Archaeometrical investigation of natron glass excavated in Japan. *Microchemical Journal*, 126.
- Sophie Stos-Gale. 2004. Lead-Isotope Analyses of Glass, Glazes and Some Metal Artifacts. *Serce Limani: An Eleventh-Century Shipwreck*, Volume I.