

であり、古墳時代と飛鳥時代の境目に位置する飛鳥寺のガラスの実態が明らかになれば、前後の時代の研究にも資するであろう。

また近年、日本や韓国での発掘調査の進展とともに塔心礎出土品にあらためて注目が集まっている。韓国では扶余の王興寺塔跡や益山の弥勒寺西塔から舍利容器と荘嚴具が出土した。これら舍利荘嚴具には多數のガラス玉をはじめとする玉類、金環、装身具類、刀子、金板、雲母など、飛鳥寺と共に通する要素が多くみられる。その一方で、飛鳥寺塔心礎出土馬具については加耶系馬具を製作する倭の工房との関係も考えられている（諫早 2015）。塔心礎出土品は後期古墳の副葬品との類似性が強調されていたが、百済の舍利埋納儀礼はもちろん、朝鮮半島諸地域と列島内のさまざまな要素を視野に入れて検討する必要があろう。

2. 飛鳥寺塔心礎出土ガラス玉研究の背景

日本列島では弥生時代以降多くのガラス製品が流通していた。しかしながら、7世紀の後半に奈良県飛鳥池工房遺跡で国産ガラスの生産が開始されるまで、ガラス製品の大多数は、ユーラシア大陸の各地で生産されたものが製品として日本列島にもたらされていた。

近年、玉類を中心としたガラス製遺物を製作技法と化学組成の両面から検討する考古科学的な研究が進み、日本列島で流通したガラス製品の生産地や流入経路の変化についての新しい知見が得られつつある。その中で、古墳時代後期末に従来のものとは製作技法および化学組成の両面で系譜の全く異なるガラス小玉が出現することが明らかとなってきた。これらのガラス小玉は、一方の端面の角が丸味を持ち、両端面が非対称となる特徴的な形状を呈する。このようなガラス小玉の存在は既往研究でも繰り返し指摘されており、須恵器編年 TK209期に出現することが確実視されている（大賀 2002、大賀 2010a）。そして、この両端面が非対称な特殊な形態のガラス小玉が飛鳥寺塔心礎出土品に多数含まれていることは、筆者らもこれまでに指摘したことのある（田村 2011、Oga and Tamura 2013）。そして、このようなガラス小玉の日本列島への流入年代の指標となり、かつ、流入経路を考える上でも極めて重要な資料となるのが飛鳥寺塔心礎出土品である。一部の資料についてはこれまでにも分析調査を実施し、成果を公表したことがあるが（田村 2011）、ガラス玉類全体についての網羅的な調査は行えていなかった。

本研究では、飛鳥寺塔心礎出土のガラス玉類について、製作技法を推定するとともに基礎ガラスの種類および着色剤の特徴を把握することを目的として各種の自然科学的調査を実施した。以下、その成果について報告する。飛鳥寺は百済の工人の指導の下に建立された日本ではじめての本格的な寺院といわれており、その舍利荘嚴具の重要な要素であるガラス玉類の起源を知ることは、当時の物流を解明するだけでなく、東アジアにおける初期仏教文化とガラス玉との関係やその伝播の過程を解明することにもつながると期待される。

3. 資料と方法

3-1. 調査資料の概要

今回の調査にあたって飛鳥寺塔心礎出土のガラス製遺物の再整理を実施し、約3000点のガラス玉およびガラス小玉片を確認した。そのほとんどが単色のガラス小玉であった。これらのガラス小玉には、連状に繋げられた状態で展示・保管されているものが6連（1717点）あり、ここでは最も点数の多い連から第1連～第6連と呼ぶこととした。第1連は779点（No.1-001～1-779）（写真1）、第2連は423点（No.2-001～2-423）、第3連は379点（No.3-001～3-379）、第4連は76点（No.4-001～4-076）、第5連は33点（No.5-001～5-033）、第6連は27点（No.6-001～6-027）からなる。各個体に分析番号を与えており、文末の付表の分析番号および添付のDVDに



写真1 飛鳥寺塔心礎出土ガラス玉
保管状態の一例（第1連）

収めた顕微鏡写真の番号と対応している。これら第1～6連のガラス小玉は、すべての個体について製作技法の推定と化学組成の分析調査を実施した。

ガラス小玉には、上述の第1～6連以外に、個別に保管されている資料が1209点以上（完形995点、破片214点以上）存在する。これらについては、可能な限り製作技法の推定を実施したうえで、第1～6連に含まれていない種類のガラス小玉を中心に、飛鳥寺塔心礎出土ガラス玉に出現するすべての種類を網羅できるよう注意して選別した81点（完形77点、破片4点）について材質分析を実施した。分析を実施した資料には、個別の分析番号を与えた（その他01～その他35-02、その他57-01、その他57-02、その他58）。

小玉以外のガラス製品としては、勾玉が1点およびトンボ玉が3点（トンボ玉1～3）出土している。勾玉は半分以上が欠損しており、頭部のみ残存している。トンボ玉については、紺色透明を呈する母体に黄緑色半透明および黄色不透明のガラスを象嵌しているもの2点と、紺色透明の母体に半円弧形の金属線が象嵌されているもの1点が出土している。他に、個別保管資料中に紺色透明を呈する無孔の半球状品が2点確認された。

3-2. 調査の方法

顕微鏡観察ならびにX線透過撮影をおこない、製作技法を検討した。X線透過撮影には、マイクロフォーカスX線拡大撮像システム（富士フィルム社製μFX-1000）とイメージングプレート（IP）を用いたCR法と、硬X線透過撮影装置（リガク社製250EGS2）とフィルムを用いた撮影を併用した。CR法の撮影条件は、管電圧40-60kV、管電流40-60μA、露光時間60-120秒の範囲内である。硬X線透過撮影の撮影条件は、管電圧150kV、管電流5mA、露光時間150秒である。

ガラスの成分分析には蛍光X線分析を適用した。測定結果は、測定試料と近似する濃度既知のガラス標準試料（CG-A、SG5、SG7、SGT5、NIST620）を用いて補正したFP法により、検出した元素の酸化物の合計が100%になるように規格化した。測定に用いた装置は、エネルギー分散型蛍光X線分析装置（エダックス社製EAGLEⅢ）である。励起用X線源はMo管球、管電圧は、FP法を用いたガラスの定量分析では20kVに設定し、一部の資料については20keV以上のスペクトルを検出するため、50kVに設定した。管電流は100μA、X線照射径は112μm、計数時間は300秒とし、測定は真空中で実施した。ただし、ガラス玉に象嵌された金属線の材質分析においては、管電圧40kV、管電流30μAに設定した。

ガラス玉に含まれる顔料などの結晶物質の同定には、ラマン分光分析（ラムダビジョン社製microRAM-300Ⅱ）を適用した。励起レーザーには波長532nmのダイオードレーザーを使用した。レーザー強度は26mW、パルス時間は1秒、積算回数は10回であった。

4. 調査結果

4-1. 製作技法

（1）ガラス小玉

ガラス小玉について、完形品および製作技法が検討可能な程度残存している破片資料あわせて約2926点以上について調査した結果、引き伸ばし法（完形1959点、破片210点以上）、変則的な引き伸ばし法（完形535点、破片1点）、鋳型法（完形214点）、連珠法（重層）（破片2点）、二次的な巻き付け法（完形4点、破片1点）の5種類の製作技法が確認できた。内訳の詳細は表1に示す。

引き伸ばし法は、軟化したガラスを引き伸ばしてガラス管を製作し、それを分割して小玉を得る方法で、分割後に加熱整形することで丸味を帯びた端面が形成される。孔壁面が平滑で、孔と平行方向に並ぶ気泡列または気泡筋が認められるのが特徴である（写真2上）。本資料中で最も多く、全体（分析対象の1798点



写真2 ガラス小玉の製作技法（上：引き伸ばし法、中：変則的な引き伸ばし法、下：鋳型法）