

論文

# X線CTスキャンと三次元データを利用した耳環の調査 — セット関係特定のための新手法の試み —

渡 辺 智恵美

## 【要旨】

これまで自然科学的な手法を用いて、古墳時代後期に出土する耳環の材質や製作技法の調査を行い、分類するとともにセット関係や配布状況について明らかにしてきた。今回、耳環のセット関係の調査に、断面形状を正確に把握できるX線CTスキャンとその画像をもとに作成した三次元データを利用して、さらに精度の向上を図った。この新手法を応用して福岡県築上郡上毛町に所在する百留横穴から出土した耳環を調査し、セット関係や同じ時期に製作されたと考えられるグループの存在を明らかにすることができた。

## 【キーワード】

耳環、セット関係、断面形状、X線CTスキャン、三次元データ、自然科学的調査、百留横穴

## 1. はじめに

古墳時代後期に出土する耳環は、本来一対で使用されたものと考えられる。しかし、追葬を基本とする横穴式石室から出土するため、原位置からの移動や散逸によりセット関係を特定するのが困難な遺物である。考古学的な耳環のセット関係の調査は、肉眼による観察（形状や色調など）で決定することが多いが、肉眼による観察だけでは十分な情報が得られないため、自然科学的手法を利用して製作技法や材料から耳環の分類とセット関係について調査を行ってきた<sup>註1</sup>。今回は、さらに精度を向上させるためにX線CT画像を加工した三次元データを用いて形状の比較を行い、耳環のセット関係や同時期に製作されたグループの特定を試みた。

## 2. X線透過撮影の文化財への応用

わが国におけるX線透過試験の文化財への応用は、1934年に大阪府高槻市に所在する阿武山古墳出土の夾紵棺の透視が行われたのが最初である。その後、1978年に埼玉県行田市稲荷山古墳から出土した鉄剣の調査で115文字の金象嵌が発見されて以降、出土金属製品へのX線透過試験が本格化し、さまざまな成果を上げてきた。しかし、X線透過試験法は、立体を平面化する2次元の撮影方法であるため、形状を立体的に把握するには、「ステレオビューアー」と呼ばれる特殊な用具を用いて確認しなければならなかった。また、X線CTスキャン（以下、X線CTとする）に比べて得られる情報量も少ない。立体的で断層的な透過試験が行えるX線CTの文化財への応用は1980年に始まった<sup>註2</sup>。2005年、九州国立博物館に大型のX線CT装置が設置されたのを機に

X線CTを利用した調査が本格化した。その後、福岡県の九州歴史資料館や東京、京都、奈良の各国立博物館、国立民族学博物館、民間の研究機関にも導入され、埋蔵文化財から仏像、美術品に至るまでさまざまな調査がなされている。最近では、発掘調査の現場でもX線CTを利用した調査が行われるようになってきた<sup>注3</sup>。

### 3. 調査資料

調査資料として、福岡県築上郡上毛町に所在する百留横穴墓群から出土した耳環（37点）と町内に所在する上唐原村ノ内遺跡（3点）、榎町Ⅱ-1遺跡（2点）、土佐井地区遺跡（1点）甚吾久保遺跡（1点）出土の耳環（合計44点）を用いた。これらを九州国立博物館に設置されているX線CT装置と三次元計測装置を利用して調査を実施した。

37点の耳環が出土した百留横穴墓群は、福岡県東端の上毛町大字百留に所在する49基からなる横穴墓群で、山国川左岸の丘陵の壁面に造営されている。装飾古墳として知られており、地元では古くから「百穴」として周知されていた。後世の盗掘や倉庫利用によりすべての穴は開口した状態であった。戦後は倉庫や物置、遊び場として使用されていたため、遺物はほとんど残っていなかったが、いくつかの横穴墓で大刀や刀子、馬具などの破片、土器が大量の玉類や耳環とともに出土している。これらの遺物から、この横穴墓群の造営時期は6世紀後半から7世紀前半頃に比定されている（写真1）。



写真1 百留横穴遠景

### 4. 調査方法

X線CTはX線透過撮影と比べて内部構造や断面形状など、より多くの情報を得ることができる。また、三次元計測は、耳環のような曲面と光沢を有する資料の計測には不向きであるが、X線CT画像（以下、CT画像とする）を三次元データにすることによりこれを解消できる。この方法を利用してCT画像から三次元画像を制作し、一対になると推定した耳環の画像を重ね合わせることによってセット関係を特定した。X線CT調査を実施する前に、従来から実施している蛍光X線分析や顕微鏡観察によって得られた材質や製作技法等の情報と外見の要素（法量や色調）をもとに耳環を大まかに分類した（写真2）。

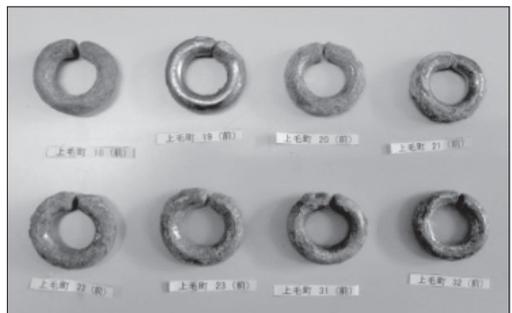


写真2 外見要素と材質・製作技法による分類

その後、X線CT撮影を行い、得られた画像をコンピュータ処理してデータ化し、従来の方法で分類した耳環グループ内で比較検討した。

三次元データを用いた形状の比較調査では、耳環の製作に関与していると思われる環断面、内側面の形状、全体形状等に留意して比較検討した。断面形状については、開口部の正反対側(↓部分)を中心に環を8等分し、1～7(図1左側)の箇所

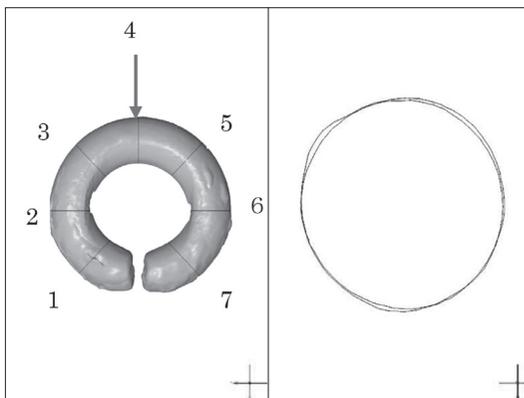


図1 三次元データと断面形状の一例

の箇所をデータ化した。あわせて、C状方向で半裁したデータも制作した。これらのデータをもとに先述したグループ内で断面形状について一致度を比較した(図1右側)。この手法により、環全体の形状や断面形状の一致度の検討が容易になり、セット関係を特定しやすくなった。

なお、耳環各部の名称と分類については、文末に図示した<sup>註4</sup>。

## 5. 調査結果

### 5-1 X線CT調査により得られた知見

耳環は、土佐井地区遺跡出土の1点を除きすべて芯を持つ中実タイプである。蛍光X線分析の結果に基づき耳環を分類したところ、銅芯銀板巻鍍金技法によるものが30点、銅芯金板巻鍍金技法によるものが1点、銅芯銀板巻鍍金技法によるものが3点、銅芯鍍金技法によるものが3点、銅芯の表面に帯状の細板を巻いたものが1点、銅地銀板巻鍍金(中空)1点、表面層が剥落して装飾方法が不明なものが5点であった。

以下、X線CT調査により得られた知見について記す。

まず、土佐井地区遺跡から出土した中空耳環について述べる(写真3)。この耳環は薄い銅板を管状にして環本体を製作し、その上に銀の薄板を巻き鍍金を施したものである。現在は大部分の鍍金が剥落し、暗い銀灰色を呈している。CT画像より、環の内側面で銅板の合わせ目が確認できた(写真4)。また耳朶に接する部分(以下、接面とする)は、断面と同じ形状に製作した銅板を環の内側に落とし蓋状にはめ込み、環の端を直角に折り曲げて固定している(写真5、6)。

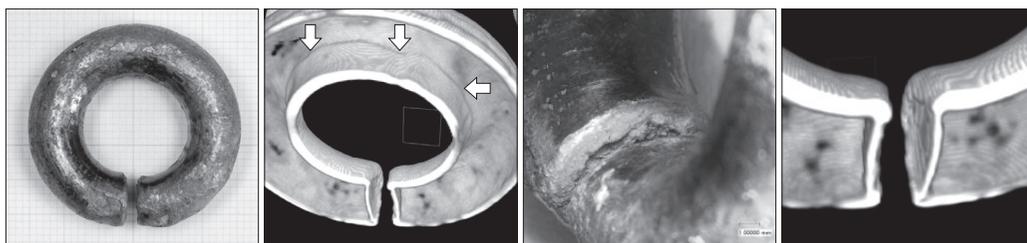


写真3 中空耳環

写真4 環の合せ目

写真5 接面付近

写真6 同左CT画像

つぎに芯を有する耳環について述べる。X線CT調査から、環の断面形状に3つのタイプがあることが判明した。一つは正円に近いもので、比較的大型の耳環に多く見られる。二つ目は縦楕円になるもの、三つ目は蒲鋒形になるもので、環の内側面が直線に近くなる(写真7)。断面形状の違いは、耳環を製作する際の調整方法の違いによると思われる。写真7の断面形状については、2-6方向(図1参照)で切断したデータを用いている。

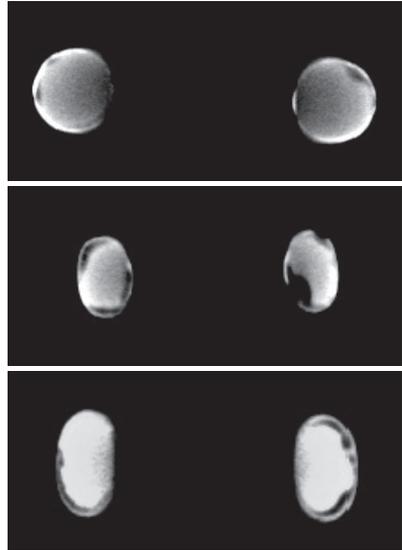


写真7 断面形状の違い (CT画像)

また、44点中7点の耳環で銅芯の中央部に空隙を持つものが確認できた。銅芯の製作に関わる現象と考えられる(写真8、9)。写真からもわかるように、CT画像では、空隙部の位置や太さなどの情報が的確に把握できる(写真10、11)。

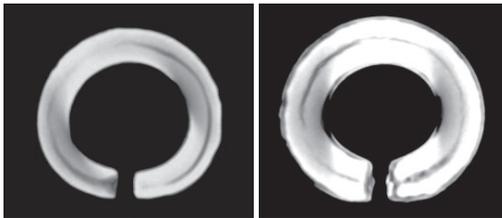


写真8、9 内部の空隙 (透過X線画像)

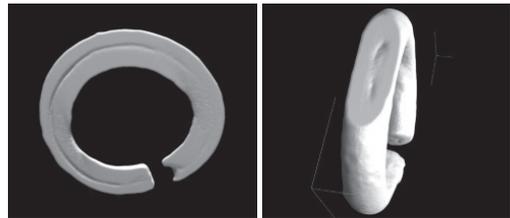


写真10、11 内部の空隙 (CT画像)

## 5-2 三次元データによる形状の比較

つぎに三次元データを利用した耳環のセット関係やグルーピングについて述べる。

形状比較は図1に示した環断面と環をC状方向で半裁した断面を利用して行った。この調査では、環形や断面形状の一致度を比較して特定するため、製作方法が重要となる。最も出土例の多い銅芯銀板巻鍍金技法で製作された耳環の場合、①芯となる銅の棒を作製する、②銅芯に銀の薄板を巻き付ける(銅芯を環状に曲げることを念頭に置き、銀板の端部を重ね合わせて固定する)、③銀板を巻いた芯を環状に曲げる(円柱状の棒などに銅芯を巻きながら環形を調整する)、④③の工程と同時に進行で接面を仕上げる、⑤鍍金を施したのち研磨して光沢を出す、という工程で製作されたと考えられる。同時に製作された耳環は、材質や製作技法だけでなく、①および③の工程により、環の太さや環形、断面や内側面の形状が同じ仕上がりになると考えられるため、材質とともに環形や断面形状を比較することでセット関係やグループを特定できる。

形状の比較調査では、材質や色調などの方法で分類したグループの耳環について、1~7の断面データ(図1参照)を重ね合わせて断面形状の一致度を比較検討した。さらに環の形状と内側面の一致度を比較するためにC状方向で半裁したデータを重ね合わせて検討した。

その結果、いくつかの耳環で断面およびC状に半裁した形状の一致度の高いものが確認でき、それらは同じ横穴墓から出土する耳環が一致する傾向が窺えた。

以下、一致度の高かった耳環について記述する。

### 【39号横穴墓出土耳環No.20～23 (写真12・図2～5)】

4点とも銅芯銀板鍍金巻技法で製作された耳環で、材質の組成も酷似している。色調や腐食状況から判断して、No.20-21、No.22-23がそれぞれ一対になると考えられる(写真12)。環断面の比較は、まずこのセット関係で行い、さらに4点を一括で比較検討した(図2)。C状方向の半裁断面形状の比較をすべての耳環について行った結果、それらの一致度が高かった(図3)。環断面も若干のズレは認められるが、形状的には酷似している。また、2-6方向(図1参照)の環断面は4点とも蒲鋒形を呈している(図4～5)。以上の考察より、39号横穴墓から出土した耳環4点は同時期に製作され、同じ横穴墓に埋葬された家族に配布された可能性が高いと考えられる。また、銅芯の中心部付近に空隙を有するものについて5-1項で記述したが、この横穴墓から出土したNo.20と21に空隙が認められた。No.22と23には認められないが、この空隙は一つの耳環内でも途切れることがX線CT調査で確認されており、銅芯を製作する際に部分的に生じたものと考えられる。したがってNo.20～23が同時期に製作されたことを否定する根拠にはならない。

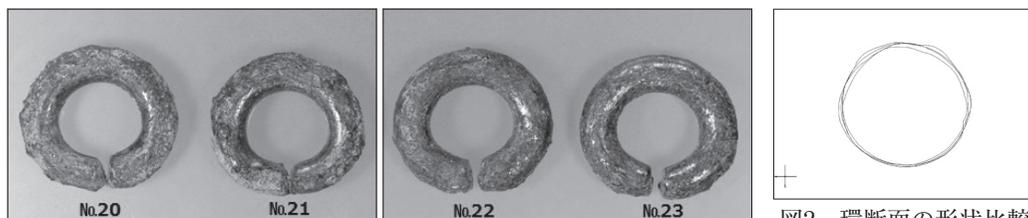


写真12 39号横穴出土耳環 (No.20～23)

図2 環断面の形状比較 (図1の4 断面)

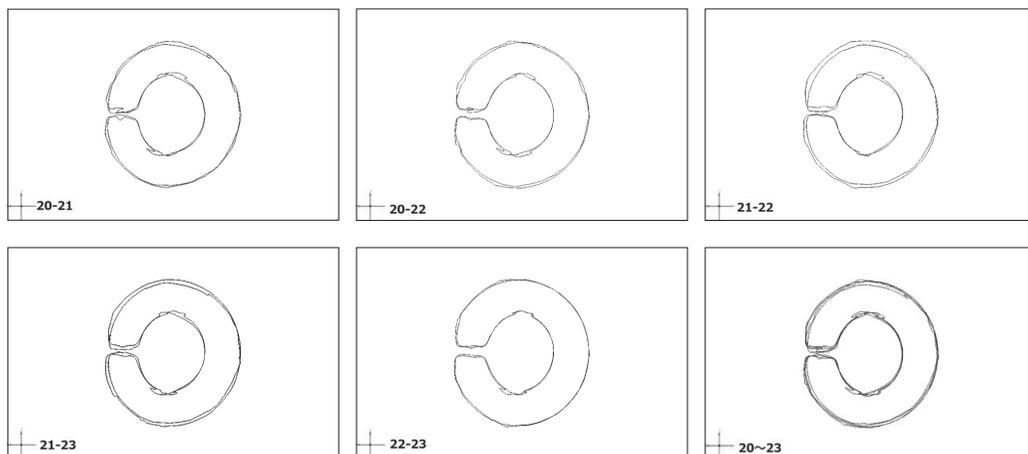


図3 C状方向の半裁断面の形状比較 (左下数字は耳環番号)

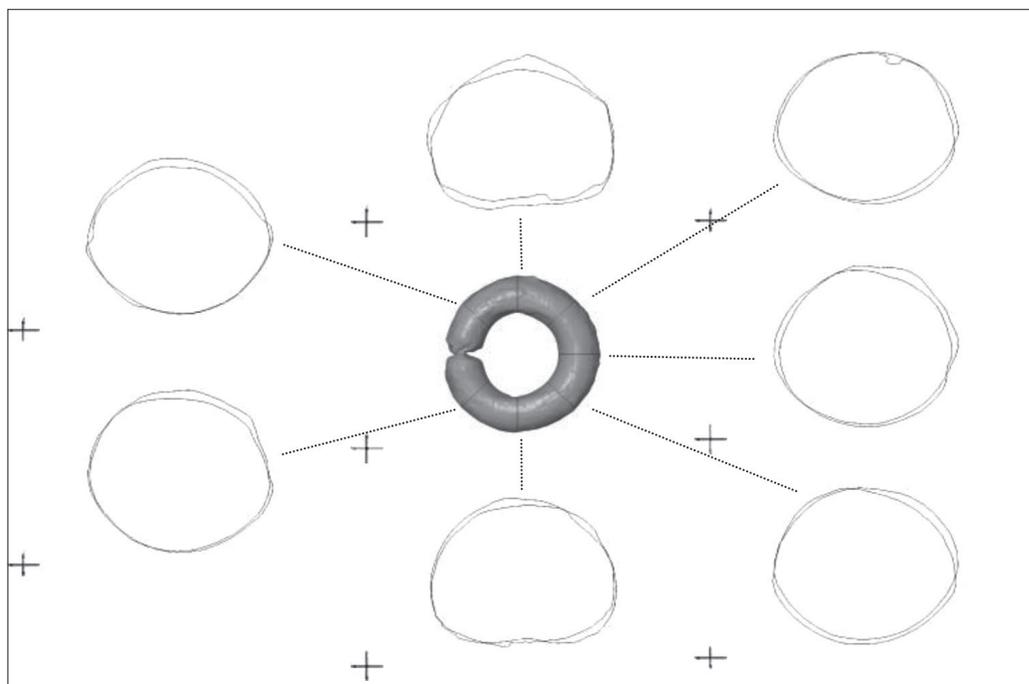


図4 環断面の形状比較 (No.20-21)

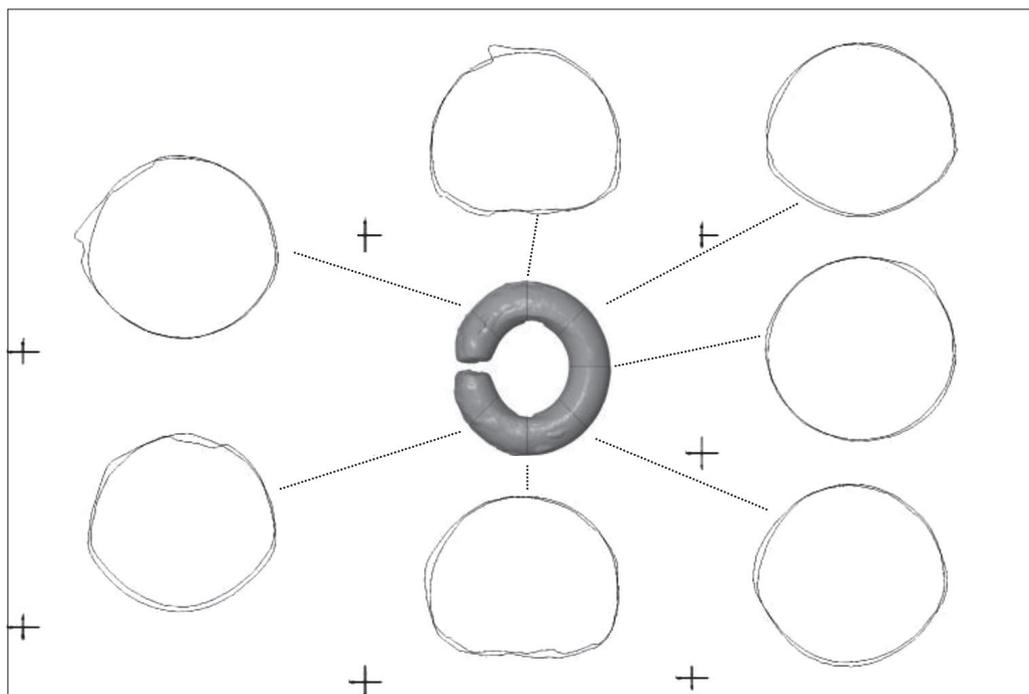


図5 環断面の形状比較 (No.22-23)

【43号横穴墓出土耳環No.28, 29 (写真13・図6～7)】

2点とも銅芯銀板巻鍍金技法で製作されている。金色を呈し、遺存状況も良好である。材質の成分組成や外見要素からも一対と考えられる耳環である(写真13)。39号横穴墓出土耳環の調査に準じて比較検討した。やや扁平な断面を有する耳環で、環断面やC状方向の半裁断面の一致度も高く、一対と考えられる(図6～7)。

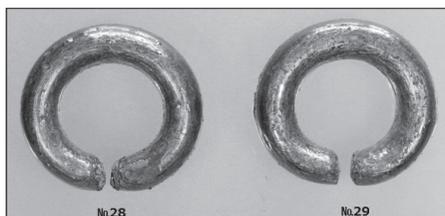


写真13 43号横穴出土耳環No.28, 29

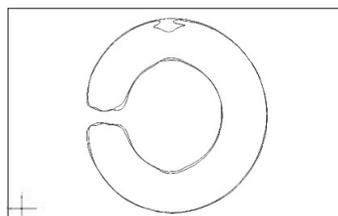


図6 C状断面の形状比較

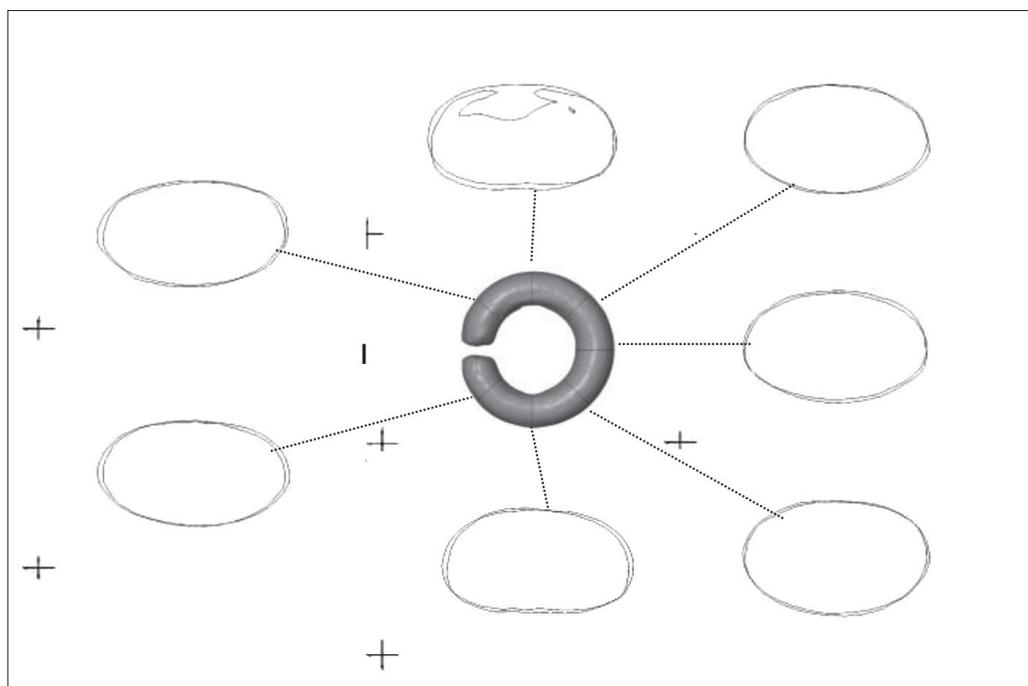


図7 環断面の形状比較

【25号・35号横穴墓出土耳環No.14, 16 (写真14・図8～9)】

2点は異なる横穴墓から出土しているが、ともに銅芯銀板巻鍍金技法の耳環である。部分的に鍍金が消失し銀色を呈している(写真14)。この2点について、同時に製作されたかどうかの検討を行った。検討の結果、環断面で若干一致しない部分もあるが、2点とも断面は楕円形を呈しておりC状方向の半裁断面の一致度は高かった(図8, 9)。以上の結果と外見要素、自然科学的な分析結果より、これらの耳環は同時期に製作されたグループに属する可能性が高いと判断した。



写真14 25・35号横穴出土耳環No.14・16

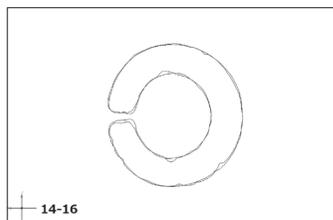


図8 C状断面の形状比較

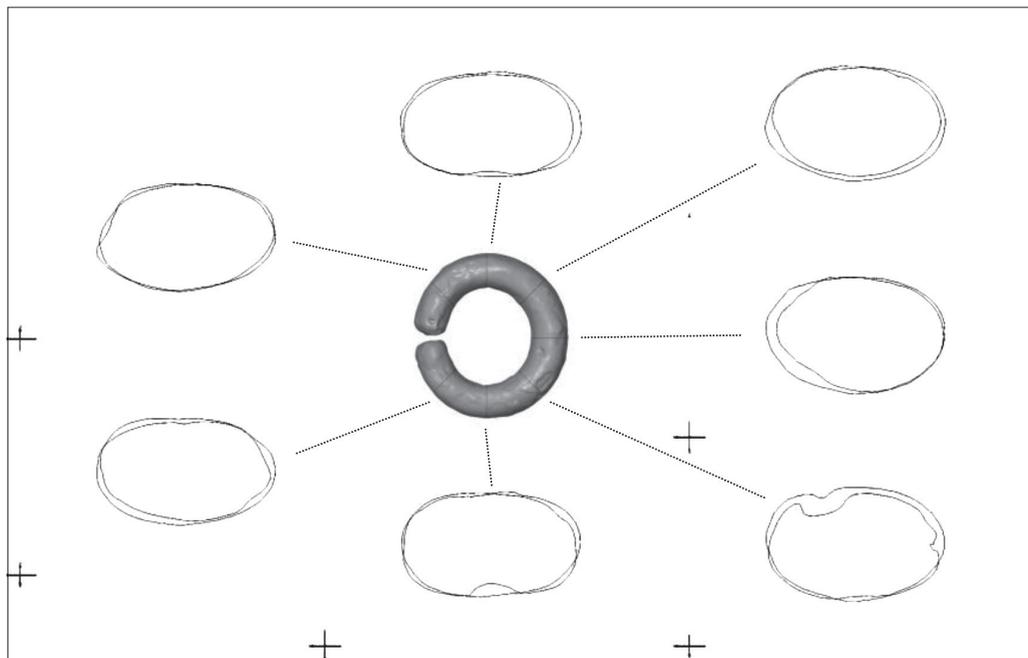


図9 環断面の形状比較

## 5. おわりに

百留横穴墓群は、後世に倉庫や遊び場として利用されていたことや発掘調査範囲の制限により、横穴の築造順序や遺物の出土地点などの考古学的な情報が限られていた。このような場合に自然科学的な手法を用いて考察することで、遺物や遺構に対してより多くの情報を得ることができる。

今回は、出土地点などの情報が極端に少ない耳環に関して、材質の分析や顕微鏡観察に加えて、X線CT調査とその画像を加工した三次元データを解析することで、セット関係や同時期に製作されたと考えられるグループの存在を明らかにすることができた。また、同じグループに属する耳環が異なる横穴墓から出土したことは、当時の社会的背景である「材料の供給と製品の配布」といった考古学的な問題を考えるうえで重要な情報であり、本遺跡を理解するうえで一助となる。

今後もこうした手法を応用して、群集墳や横穴墓群から出土する耳環の調査を行い、製作や配布といった社会的背景の一部を解明したい。

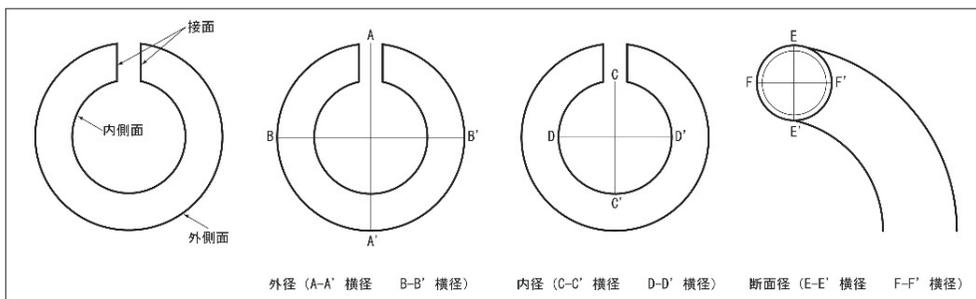
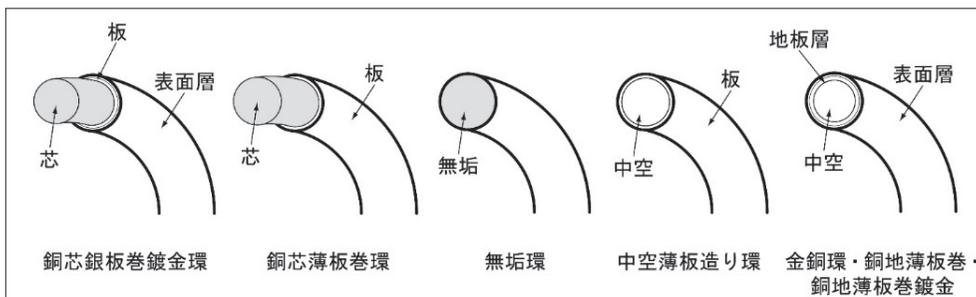
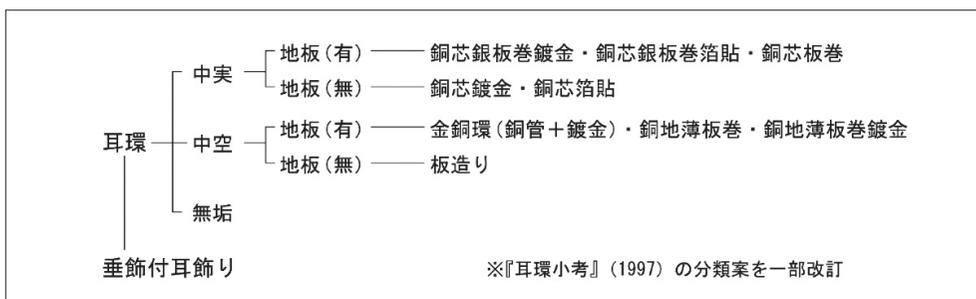
注1 「耳環小考」渡辺智恵美 『創立三十周年記念誌』(財)元興寺文化財研究所1997年

注2 「X線断層撮影による仏像の調査」三浦定俊、本間紀男、馬淵久夫 『計測自動制御学会論文集』1980年

注3 岡山大学が発掘調査した勝負砂古墳や福岡県古賀市に所在する船原古墳の調査に応用されている

注4 耳環の名称については、注1の「耳環小考」および「一須賀古墳群出土耳環の自然科学的調査」『大阪府立近つ飛鳥博物館館報16』(2012年)に材質・製作技法を基にした耳環分類を掲載している

### <耳環の分類と各構造、各部の名称>



### <謝辞>

耳環のX線CT調査を行うにあたり、九州国立博物館および今津節生氏(現奈良大学教授)、鳥越俊行氏(現奈良国立博物館)、輪田 慧氏(現合同会社2Bit)には、X線CT撮影やCT画像の三次元データ化等で大変お世話になりました。また、貴重な資料の調査を快諾いただきました上毛町教育委員会および塩浜浩之氏に、百留横穴についていろいろご教示、ご助言いただきました。皆様に改めてお礼申し上げます。

※本論は、科学研究費助成(基盤C:課題番号20520669)を受け、その一環として2010年日本文化財科学会第27回大会でポスター発表した「X線CTスキャン法を利用した耳環の調査(2)」を改めて文章化、加筆したものである。