

## 論文

## 山梨県指定文化財稲荷塚古墳出土耳環の製作技法と材料産地推定

竹井 良<sup>\*1</sup>・藤澤 明<sup>\*2</sup>

\*1 帝京大学大学院文学研究科日本史・文化財学専攻 \*2 帝京大学文化財研究所

はじめに

I. 対象資料

II. 分析方法

III. 製作技法に関する結果と考察

IV. 材料産地推定に関する結果と考察

おわりに

## はじめに

耳環は古墳時代後期の古墳から普遍的にみられる副葬品で、日本に広く分布し多くの出土報告があり、古墳時代中期ごろから出現した垂飾付耳飾を源流にもつ。垂飾付耳飾は朝鮮半島で発達した文官的装束の一部として日本列島にもたらされ、古墳の被葬者など権力者に受け入れられた。垂飾付耳飾を含む朝鮮半島の装束は時代とともに徐々に消滅していくこととなるが、耳飾りの風習は残り、6世紀半ばころから耳環は日本列島各地に広く浸透していった(渡辺, 1997; 和田, 2015; 中村晋也・中村杏奈, 2020)。

これまでの研究で、耳環の生産や流通、使用者、装着方法などが検討されている(近藤, 1967; 小池, 1987; 辻村, 1997)。また、考古遺物に対し自然科学的手法を用いた研究が増加するとともに、肉眼観察では得られなかった材質や製作技法が明らかになり、耳環の分類についても検討された(村上, 1991; 渡辺, 1997)。近年では、X線CTスキャン等非破壊分析を中心とした手法で耳環を調査する試みがなされている(渡辺, 2018)。耳環の鉛同位体比分析による材料産地推定の研究は数が少ないものの、主に馬淵氏、平尾氏、齋藤氏らによって行われている(馬淵, 1987; 平尾, 1999, 2013; 齋藤・藤尾, 2010; 齋藤, 2019)。さらに耳環の製作技法研究とあわせて産地推定が行われた研究(菅井ほか, 2001)もあるが、耳環の製作技法と産地の関係性については述べられていない。

以上の研究背景をふまえ本研究は、耳環の製作技法調査と鉛同位体比測定による材料産地推定を行い、それらの相関関係について調査し、当時汎日本的に流行した耳環の生産と流通について明らかにするための基礎的情報を得ることを目的とする。

## I. 対象資料

対象とした資料は山梨県甲府市下向山町 1271 番地、曾根丘陵公園内に所在する稲荷塚古墳より出土した耳環 9 点で、内 7 点が中実耳環、2 点が中空耳環である。稲荷塚古墳は 6 世紀後半の中頃に築造され、7 世紀の中頃まで複数回の追葬があったと考えられている。本研究で対象とした 9 点の耳環の他に、銀象嵌大刀や仏教関連遺物である銅椀が出土しており、中央勢力との結びつきがあったとされている。(山梨県教育委員会, 1988)。分析対象の耳環はそれぞれ YID001 から YID009 の資料番号を付与した。9 点の耳環の外観を図 1 に示す。併せて耳環の法量の測定を行った。法量は表 1 に示す。測定箇所は渡辺氏の方法を参考にした(渡辺, 2018)。耳環の外径は、縦 A-A'、横 B-B' で示し、内径は、縦 C-C'、横 D-D' で、断面径は、幅 E-E'、厚み F-F' を示している。

## II. 分析方法

## 1. 顕微鏡観察

耳環表面の劣化状態の観察、接面の仕上げ技法等を調査するにあたり、デジタル顕微鏡(HIROX 製 RH-2000)を使用した。

## 2. X線透過撮影

耳環内部の構造や劣化状態を調査するためにX線透過撮影を行った。使用装置は日立製X線発生装置(MBR-1505TV-3L)である。撮影条件は①管電圧 100 kV・管電流 2 mA・時間 90 s、②管電圧 130 kV・管電流 2 mA・時間 300 s の 2 条件で行った。対象資料は中実のものと同空のものがあり、2条件

で撮影を行うことで、適切なX線透過度の画像を観察することができる。

### 3. 蛍光X線分析

耳環を構成する材料を明らかにするために蛍光X

線分析を行った。分析にはハンドヘルド型蛍光X線分析計（Innov-X Systems DELTA PREMIUM DP-4000, Ta管球）を使用した。分析モードには2 Beam Mining Plus を使用し、測定時間は90sとした。

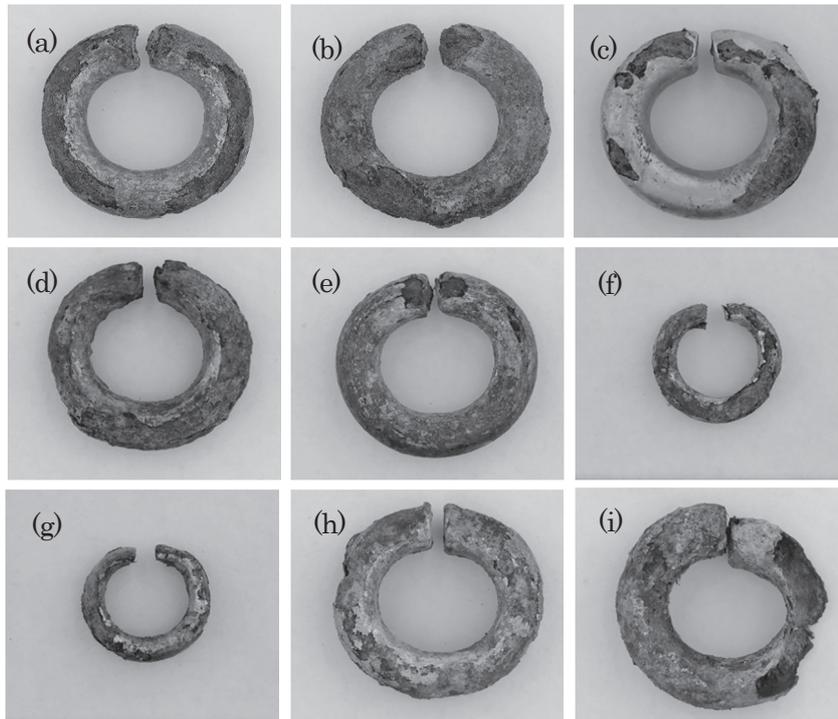
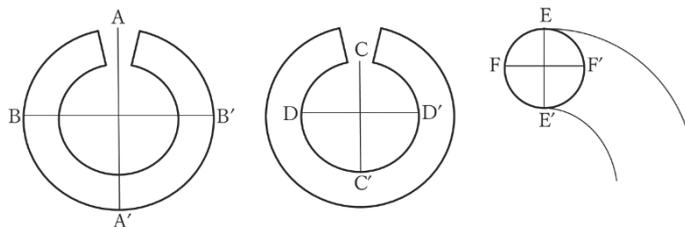


図1 稲荷塚古墳出土土耳環の外観

(a) YID001, (b) YID002, (c) YID003, (d) YID004, (e) YID005, (f) YID006, (g) YID007, (h) YID008, (i) YID009

表1 耳環の法量（長さの単位はmm）

資料番号	重さ(g)	A-A'	B-B'	C-C'	D-D'	E-E'	F-F'
YID001	12.1	24.9	26.8	12.6	14.8	6.3	6.4
YID002	14.2	26.1	29.1	13.7	15.6	6.6	6.9
YID003	22.3	27.1	30.8	13.3	16.4	7.1	7.8
YID004	13.6	27.4	29.1	13.7	15.6	6.5	7.4
YID005	13.8	25.8	27.8	13.5	15.5	6.0	7.0
YID006	1.4	13.7	14.4	8.5	8.9	2.8	4.3
YID007	1.6	13.3	14.4	8.6	9.2	2.7	4.6
YID008	5.9	28.0	30.0	14.0	17.6	6.5	8.5
YID009	4.3	29.0	測定不能	14.8	測定不能	7.3	9.1



※耳環の法量測定箇所（渡辺, 2018）を参考に作成

#### 4. X線 CT スキャン

耳環の内部構造をより詳しく調査するために、高精度マイクロフォーカスX線CT装置（東芝ITコントロールシステム製TOSCANER-30000 $\mu$ CM）を使用した。測定条件は管電圧280 kV、管電流160  $\mu$ A、ビュー数1200枚、積算枚数2枚、フィルタ2 mm、ゲイン0.25 pf、積分時間499 msである。YID001～002およびYID004～009について東京都立産業技術研究センターにて測定を行った。

#### 5. 鉛同位体比測定

耳環の材料産地推定を行うため、鉛同位体比測定を行った。鉛同位体比の測定には表面電離型質量分析計（Finnigan MAT262）を用いた。表面電離型質量分析計での鉛同位体比の分析は鉛の純度が高いほど測定の精度が上がるため、鉛の単離を行った。資料の保存修復処置中にクリーニングで得られた微少試料（～1 mg）を、石英製ビーカーに入れ、硝酸0.3 mLを加え、1日放置して溶解した。溶解した後、超純水で5～10 mLに希釈し、電極に白金板を利用し、直流電圧2 Vで電気分解した。鉛は酸化され、二酸化鉛として陽極の白金電極上に析出するので、この白金電極を取り出して硝酸と過酸化水素水で鉛を還元溶解した。通常、この溶液の鉛濃度をICP発光分光分析法で測定し、300 ngの鉛を分取するが、測定により鉛濃度が検出限界に近かったため、還元溶解で得られた溶液を全量用いて蒸発乾固を行い、鉛を固化した。この鉛にリン酸1  $\mu$ Lとシリカゲル3  $\mu$ Lを加えてレニウムフィラメント上に載せ、加熱し、測定に供した。フィラメント温度が約1200  $^{\circ}$ Cで鉛同位体比を測定し、測定値は同一条件で測定した標準鉛試料NBS-SRM-981で規格化した（平尾・馬淵, 1989）。

### Ⅲ. 製作技法に関する結果と考察

#### 1. 接面

顕微鏡観察では特に開口部の円形端面（以下、接面とする）の仕上げ技法に着目し観察を行い、得られた顕微鏡観察像を図2に示す。

図2(a)に示すYID005の接面は、表面層が折り込まれている箇所がみられる。よって、この耳環の接面の仕上げはたたみ込み技法によるものと推定される。その他、たたみ込み技法によって

接面の仕上げがなされていると考えられる耳環は、YID001、YID002、YID004である。また、図2(b)に示すYID003の接面は、しわが中央に向かって伸びているため、絞り込み技法によるものと推定される。図2(c)に示すYID008は中空耳環であり、接面部が平らで蓋のような板が被せている様子がみられる。さらに、図3に示すX線透過像より、矢印部分に蓋状の板が確認できる。耳環の端部に蓋となる薄板を被せる、薄板技法が用いられていると推定される。同じく、YID009についても同様の技法が確認される。なお、YID006、YID007は接面部表面層が剥落しているため判別が不可能である。

他の資料の顕微鏡観察像を付録1に、X線透過像を付録2に示す。

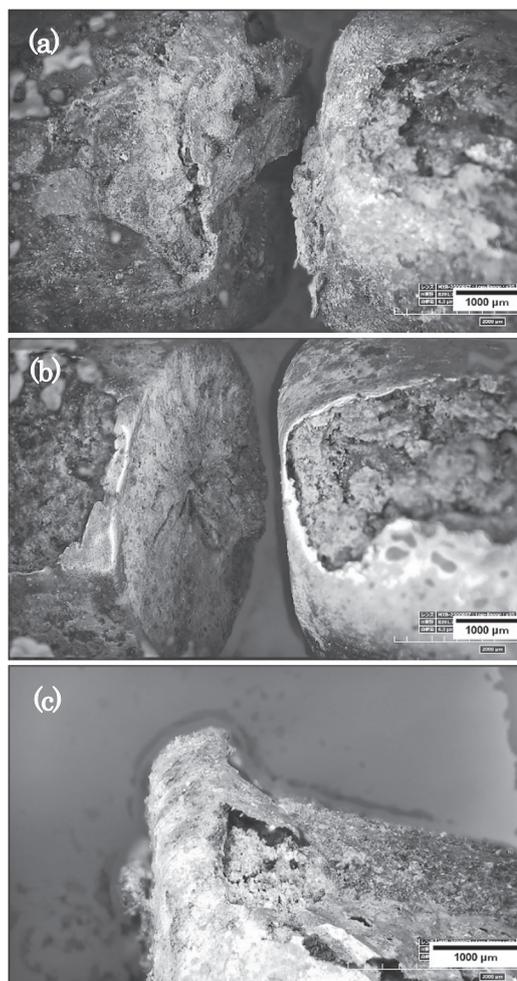


図2 接面部の顕微鏡観察像  
(a) YID005, たたみ込み技法  
(b) YID003, 絞り込み技法  
(c) YID008, 薄板技法

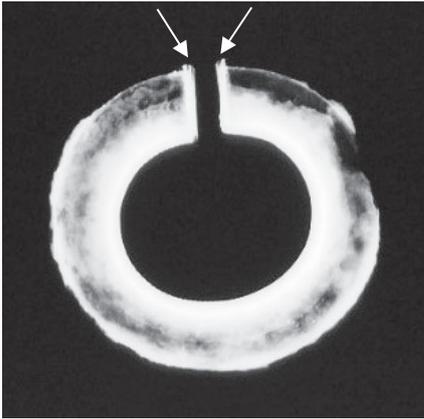


図3 YID008のX線透過像  
管電圧100kV・管電流 2mA・時間90s

## 2. 表面処理

表面の材質と処理方法を検討するため蛍光X線分析計にて元素分析を行った。得られた結果を図4に示す。スペクトルは管電圧 10 kV と 40 kV で測定したものを重ねて図示している。

耳環9点の分析を通して確認できた主な金属元素は、Cu(銅)、Au(金)、Ag(銀)、Hg(水銀)、Fe(鉄)、As(ヒ素)、Pb(鉛)である。検出した元素のうちFeは資料表面に付着している土や砂由来であると考えられる。また、YID001、YID004、YID005、YID006、YID007、YID008、YID009、計7点の耳環からHgが検出された。よって、これらの耳環の表面層は水銀アマルガム法によって鍍金が施された可能性が高い。代表的なものとして図4(a)にYID004のスペクトルを示す。なお、図4(a)のTi(チタン)はFeと同様に土や砂由来であると考えられる。Hgが検出されなかった耳環2点のうち、図4(b)に示すYID002は銀環で、図4(c)に示すYID003は金環である。よって、鍍金を行わず金や銀の薄板を芯材に巻き付けたままの耳環である可能性が高い。

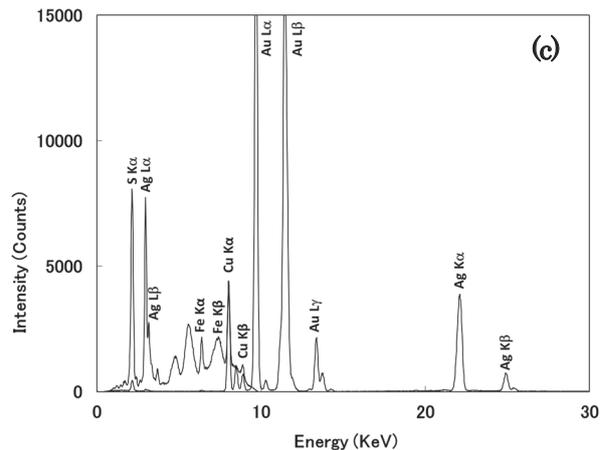
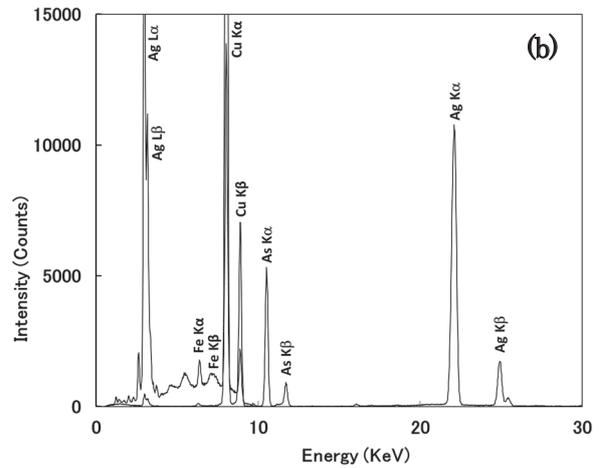
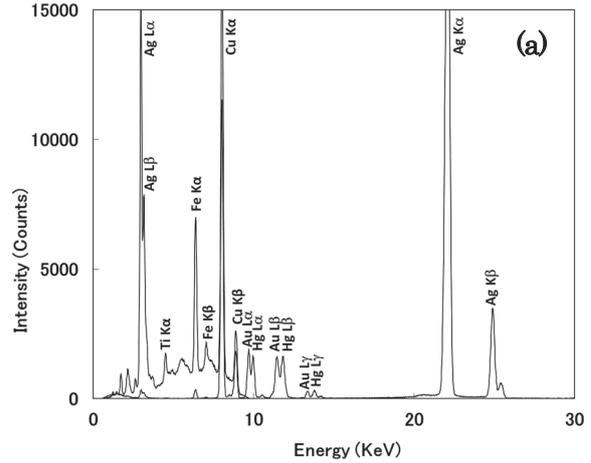


図4 蛍光X線スペクトル  
(a) YID004, (b) YID002, (c) YID003

### 3. 芯材および管材

X線透過像では資料内部の立体的構造の把握が難しく、X線CTスキャンによりその解明を試みた。得られたCT画像を図5に示す。図5(a)と(b)で示すようにYID004とYID005の芯材の内部に空隙が確認できる。これは先行研究でも報告があり(渡辺, 2018)、芯材の製作技法との関係が示唆されている。しかし具体的な加工方法との関係はいまだ明らかとなっていない。素材が有していた欠陥が鍛造により引き延ばされている可能性がある。

図5(c)と(d)で示すように、YID008とYID009は芯材がなく中空構造となっている。YID008は耳環が一枚の板で構成されているのに対し、YID009は板が二重で構成されている。よってYID008は、銅地の上から鍍金をする中空金銅環で、YID009は、銅地の上に銅の薄板を巻き付け鍍金する中空銅地銅板巻鍍金であると推定される。また、YID008とYID009の空洞の内側面を観察すると、内側面の板間に多くの気泡が確認できる。これは金属蠟であり、板の接合に使用されたと考えられる。板材は純度の高い銅であり、金属蠟はこれより融点が高い金属が使用されているはずである。また気泡を多く含む特徴から銀蠟である可能性が高い。銀は溶解中に大気中の酸素を溶解する性質を持ち、凝固時に多くの気泡を形成しやすい(日本金属学会, 1995)。

以上より推定された耳環の分類と蛍光X線分析の結果を表2に示す。なお、検出された金属元素は簡易的ではあるがFP法により半定量化し、数値が高いものから並べた。特徴的な不純物元素は、銅鉱石由来と思われる元素を挙げている。また、耳環の分類および名称は、渡辺氏の研究に準じた(渡辺, 2018)。他資料のCT画像を付録3と4に示す。

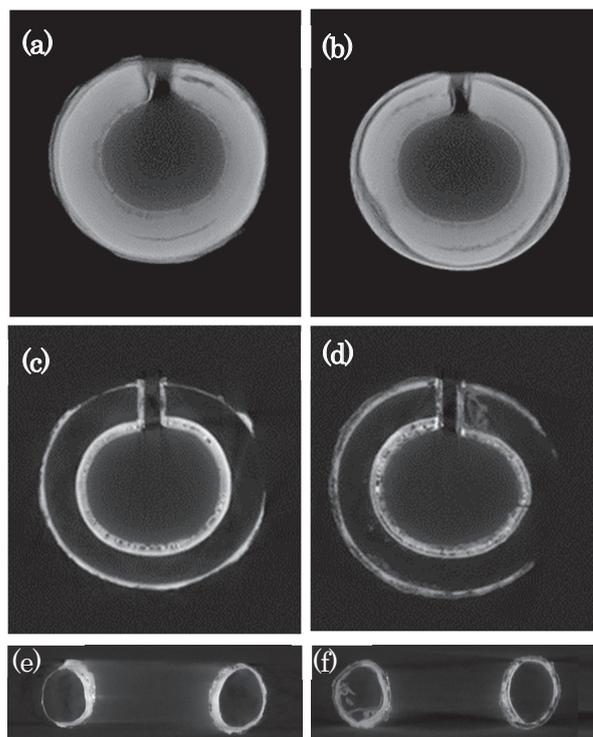


図5 CT画像  
(a) YID004の横断面, (b) YID005の横断面,  
(c) YID008の横断面, (d) YID009の横断面,  
(e) YID008の縦断面, (f) YID009の縦断面

表2 耳環の製作技法および蛍光X線分析結果

資料番号	分類	接面の仕上げ技法	推定された産地領域	検出された主な金属元素	特徴的な不純物元素 【( )内は1%未満】
YID001	銅芯銀板巻鍍金	たたみ込み技法	朝鮮半島領域A	Cu, Ag, Au, Hg, Pb, Fe	(Pb)
YID002	銅芯銀板巻	たたみ込み技法	日本領域	Cu, Ag, As, Fe	As
YID003	銅芯金板巻	絞り込み技法	朝鮮半島領域B	Cu, Au, Ag, Fe	
YID004	銅芯銀板巻鍍金	たたみ込み技法	朝鮮半島領域B	Cu, Ag, Au, Hg, Fe	
YID005	銅芯銀板巻鍍金	たたみ込み技法	朝鮮半島領域B	Cu, Ag, Au, Hg, Fe, Pb	(Pb)
YID006	銅芯鍍金	不明	遼寧・山東半島領域	Cu, Au, Ag, Hg, Fe	
YID007	銅芯鍍金	不明	日本領域	Cu, Au, Ag, Hg, Fe	
YID008	中空金銅環	薄板技法	朝鮮半島領域B	Cu, Au, Ag, Hg, Fe, Pb	Pb
YID009	中空銅地銅板巻鍍金	薄板技法	遼寧・山東半島領域	Cu, Au, Ag, Hg, Fe, Pb	Pb

#### IV. 材料産地推定に関する結果と考察

製作技法と材料産地の関係を明らかにするために鉛同位体比より材料産地推定を行った。得られた鉛同位体比値を表3に示す。各試料について30回測定を行い、示した誤差範囲内にあることを確認している。また、 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ - $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ （A式図）、 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ （B式図）を図6に示す。

稲荷塚古墳出土耳環の材料産地は大きく3グループに分かれる。1つ目のグループはYID001、YID003、YID004、YID005、YID008が含まれる朝鮮半島領域であるが、YID001とその他では同位体比値が大きく異なるため、以降便宜上YID001を朝鮮半島A、それ以外を朝鮮半島Bと区別する。2つ目のグループはYID002、YID007で日本領域であり、3つ目のグループはYID006、YID009で遼寧・山東半島領域である。

1つ目のグループは耳環5点ある。A式図を確認すると、YID003とYID004が華南領域内に位置しているが、B式図では華南領域と日本領域の中間にあり、朝鮮半島領域にも位置している。また、YID005やYID008はA式図で華南領域や日本領域より下部に位置しているが、B式図ではYID003やYID004と近い位置にまとまっている。よってA式図とB式図から、華南産と日本産の混合もしくは朝鮮半島産と考えられる。しかし、近年の研究で得られた韓国産鉛鉱石の鉛同位体比値（鄭, 2019）と耳環の鉛同位体比値が近いことから、朝鮮半島産の可能性があると推定される。YID001はA式図、朝鮮

半島領域よりやや上部に位置しているが朝鮮半島領域と推定される。この領域周辺に分布する資料は、梶栗浜出土の多鈕細文鏡やカルメル修道院出土の銅釦など主に弥生時代の資料にみられる（馬淵・平尾, 1982, 1990; 平尾, 1999）。また、同時代資料の菅沢谷横穴墓群出土耳環や朝鮮半島の三国時代の資料の値と近いが、この領域の産地の鉱山についての詳細は不明とされている（齋藤, 2019）。

2つ目のグループはA式図、B式図ともに日本領域内に位置している。従来の研究で日本産銅の利用がみられるのは、8世紀以降の資料である（平尾, 1999）。また、近年の研究では、日本産銅の使用開始時期が7世紀中葉以前さらに6世紀後葉に遡る可能性があること（澤田ほか, 2019）が指摘されている。これは、稲荷塚古墳の年代とある程度一致している。しかし、従来研究で日本産材料が使用されていると示唆される資料は、6世紀後半以降の中国地方で数点あるのみで、東日本ではみつかっていない（齋藤, 2019）。よって、日本産材料が使用されているとは考えにくい。今後の検討課題である。

3つ目のグループは、遼寧・山東半島領域に位置する。A式図では、YID006が領域付近に位置しているがYID009は領域から離れている。これは鉱山帯で岩盤が異なるために起こると考えられる（平尾, 1999）。また、同時代資料の愛媛県東野お茶屋遺跡の出土耳環2点、愛媛県客谷4号墳1号石室の出土耳環1点が遼寧・山東半島領域にあたる鉛同位体比値を持つことが報告されている（平尾, 2013）が、数は多くない。

表3 稲荷塚古墳出土耳環の鉛同位体比値

資料番号	鉛同位体比値					分析番号
	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	
YID001	18.827	15.725	39.746	0.8352	2.1111	TC0058
YID002	18.395	15.629	38.640	0.8496	2.1005	TC0059
YID003	18.345	15.646	38.693	0.8528	2.1091	TC0060
YID004	18.416	15.662	38.860	0.8505	2.1100	TC0061
YID005	18.367	15.653	38.492	0.8522	2.0957	TC0062
YID006	17.717	15.591	37.953	0.8800	2.1422	TC0063
YID007	18.375	15.612	38.683	0.8496	2.1052	TC0064
YID008	18.410	15.638	38.461	0.8494	2.0891	TC0065
YID009	17.548	15.546	37.506	0.8860	2.1374	TC0066
誤差(±)	0.010	0.010	0.030	0.0003	0.0006	

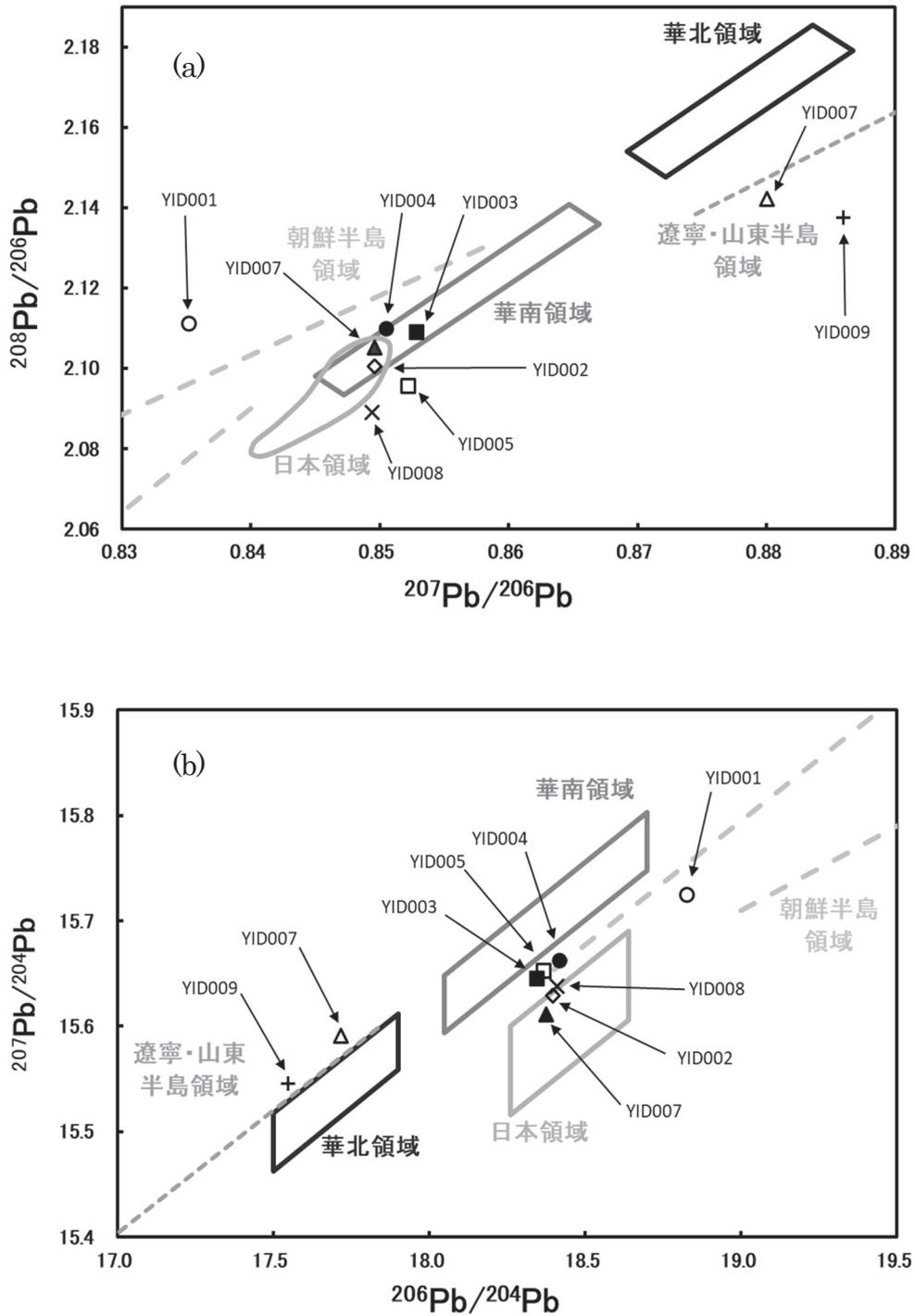


図6 稻荷塚古墳出土土耳環の鉛同位体比分布 (a)A式図, (b)B式図  
 ○ YID001 銅芯銀板巻鍍金 ◇ YID002 銅芯銀板巻 ■ YID003 銅芯金板巻  
 ● YID004 銅芯銀板巻鍍金 □ YID005 銅芯銀板巻鍍金 △ YID006 銅芯鍍金  
 ▲ YID007 銅芯鍍金 × YID008 中空金銅環 + YID009 中空銅地銅板巻鍍金

以上の結果を表4にまとめて示す。この表より対象とした耳環の製作技法と材料産地に明確な相関関係がみられない。外観およびサイズからペアであると考えられるYID006とYID007、YID008とYID009においても、推定された材料産地は異なる。これは製作された工房において、複数の由来の材料を用いた可能性と、別の工房で作られた製品をペアとして組み合わせて使用した可能性が考えられる。

## おわりに

本研究では、稲荷塚古墳出土耳環9点を対象に、自然科学的手法を用いて製作技法調査と材料の産地推定を行い、その相関関係を検討した。得られた結果は以下である。

- ・最も多い耳環の分類は銅芯銀板巻鍍金であり、他に銅芯銀板巻、銅芯金板巻、銅芯鍍金、中空金銅環、中空銅地銅板巻鍍金がある。
  - ・接面の仕上げには、たたみ込み、絞り込み、薄板技法が使われている。
  - ・材料産地は、大グループとしては朝鮮半島領域、日本領域、遼寧・山東半島領域の3つに分かれ、さらに朝鮮半島領域は2つに分けることができる。
  - ・耳環の製作技法と材料の産地に直接的な結びつきがない。
- 対象とした耳環9点は、製作技法の点から6種類

に分類される。一つの工房内で大きく異なる複数の技法が併用されていたとは考えにくい。よって複数の工房で製作された耳環が一つの古墳に埋葬されている。また、同じ製作技法であっても材料産地が異なることから、同一工房内で異なる産地の材料を使用していた可能性と特定の技法を使用する複数の工房があった可能性、もしくはその両方が考えられる。

今回推定された産地は明確なものが少なく、今後より多くの耳環の調査とともに考古学情報、歴史学情報と併せて考察していく必要がある。

## 謝辞

本研究を行うにあたり、山梨県立考古博物館の一人瀬敬一氏には、貴重な資料を提供していただきました。また、帝京大学文化財研究所の平尾良光先生には、多くのご教示を賜りました。心より感謝申し上げます。

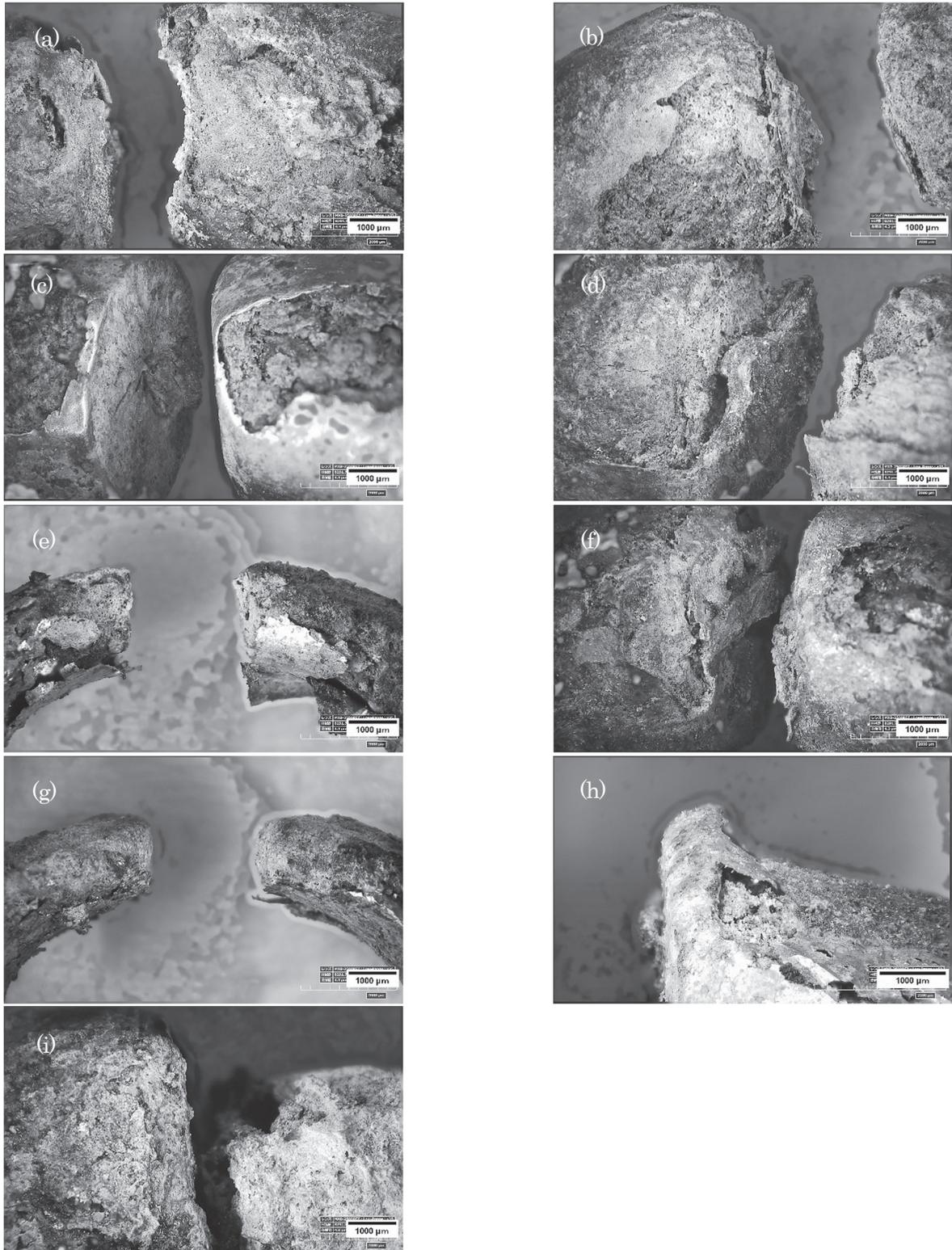
## 文献

- 小池寛, 1987, 中空耳環について. 京都府埋蔵文化財論集. 1, 141-149.
- 近藤義郎, 1967, 農民と耳飾り. 考古学研究. 13, 46-48.
- 斎藤努, 藤尾慎一郎, 2010, 日韓青銅器の鉛同位体比を利用した産地推定の研究. 国立歴史民俗博物館研究報告. 158, 163-230.
- 斎藤努, 2019, 鉛同位体比からみた日韓青銅資料の原料と産地. 国立歴史民俗博物館研究報告. 213, 69-124.
- 澤田秀実, 斎藤努, 長柄毅一, 持田大輔, 2019, 中国四国地方

表4 稲荷塚古墳出土耳環の製作技法と材料産地

資料番号	分類	接面の仕上げ技法	推定された産地領域
YID001	銅芯銀板巻鍍金	たたみ込み技法	朝鮮半島領域A
YID002	銅芯銀板巻	たたみ込み技法	日本領域
YID003	銅芯金板巻	絞り込み技法	朝鮮半島領域B
YID004	銅芯銀板巻鍍金	たたみ込み技法	朝鮮半島領域B
YID005	銅芯銀板巻鍍金	たたみ込み技法	朝鮮半島領域B
YID006	銅芯鍍金	不明	遼寧・山東半島領域
YID007	銅芯鍍金	不明	日本領域
YID008	中空金銅環	薄板技法	朝鮮半島領域B
YID009	中空銅地銅板巻鍍金	薄板技法	遼寧・山東半島領域

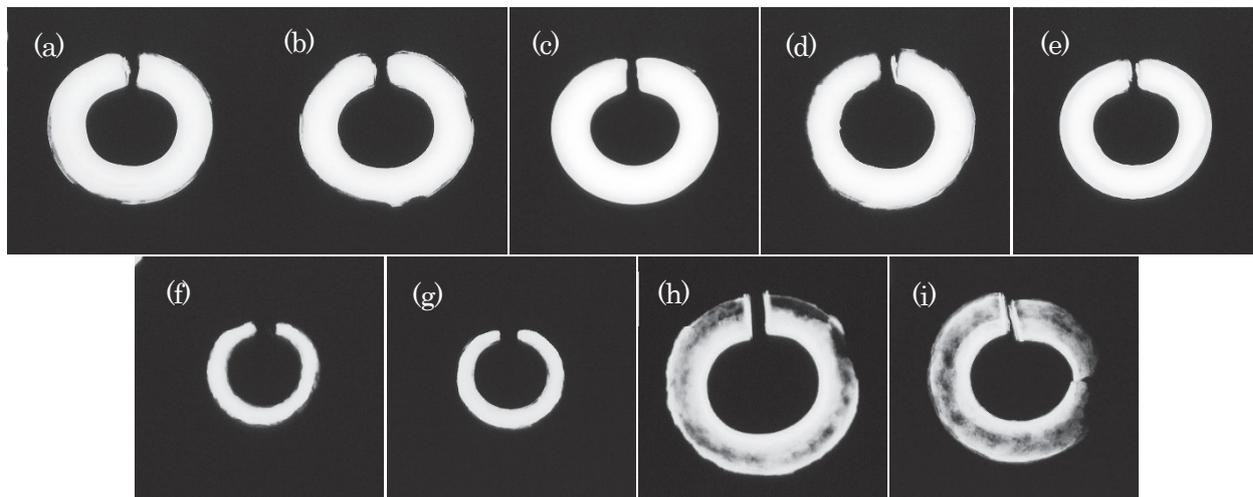
- で出土した銅鏡からみた国産銅鉛原材料の産出地と使用開始時期. 国立歴史民俗博物館研究報告. 213, 31-40.
- 菅井裕子, 渡辺智恵美, 平尾良光, 榎本淳子, 早川泰弘, 2001, 筑内古墳群出土遺物の自然科学的調査. 福島県出土古墳時代金工遺物の研究. 福島県文化財センター白河館研究紀要. 27-33.
- 鄭淵中, 2019, 韓半島南部における金属鉱山の方鉛鉱試料の鉛同位体比及び地域別分布図作成. 国立歴史民俗博物館研究報告. 213, 69-124.
- 辻村純代, 1997, 耳環考. 古文化談叢. 39, 201-218.
- 中村晋也, 中村杏奈, 2020, 子浦小谷屋横穴古墳群・聖寺川山横穴古墳群(宝達志水町)出土耳環の自然科学的研究. 金沢学院大学紀要. 18, 235-245.
- 日本金属学会, 1995, 改訂5版 金属便覧. 650-651.
- 平尾良光, 馬淵久夫, 1989, 表面電離型固体質量分析計 VG-Sector の規格化について. 保存科学. 28, 17-24.
- 平尾良光, 1999, 古代青銅器の流通と生産. 鶴山堂, 31-39, 110-114.
- 平尾良光, 2013, 「鉛」から見える世界 第Ⅱ章 歴史的文化財資料に関する鉛同位体比の研究. 平尾良光先生古稀記念論集 文化財学へのいざない. 平尾良光先生古稀記念論集刊行会編, 40-47.
- 馬淵久夫, 平尾良光, 1982, 鉛同位体比からみた銅鐸の原料. 考古学雑誌. 68, 42-45.
- 馬淵久夫, 1987, 鉛同位体比による原料産地推定. 出雲岡田山古墳. 167-171.
- 馬淵久夫, 平尾良光, 1990, 福岡県出土青銅器の鉛同位体比. 考古学雑誌. 75, 1-9.
- 村上隆, 1991, 高川古墳群出土の耳環の構造と材質について. 高川古墳群. 83-87.
- 山梨県教育委員会, 1988, 稲荷塚古墳. 山梨県埋蔵文化財センター調査報告書 38, 1-28.
- 和田晴吾, 2015, 古墳時代の生産と流通. 吉川弘文館, 194-195.
- 渡辺智恵美, 1997, 耳環小考—製作技法、材質からみた分類—. 元興寺文化財研究所 創立三十周年記念誌. 73-83.
- 渡辺智恵美, 2018, 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—. 史学論叢. 48, 1-9.



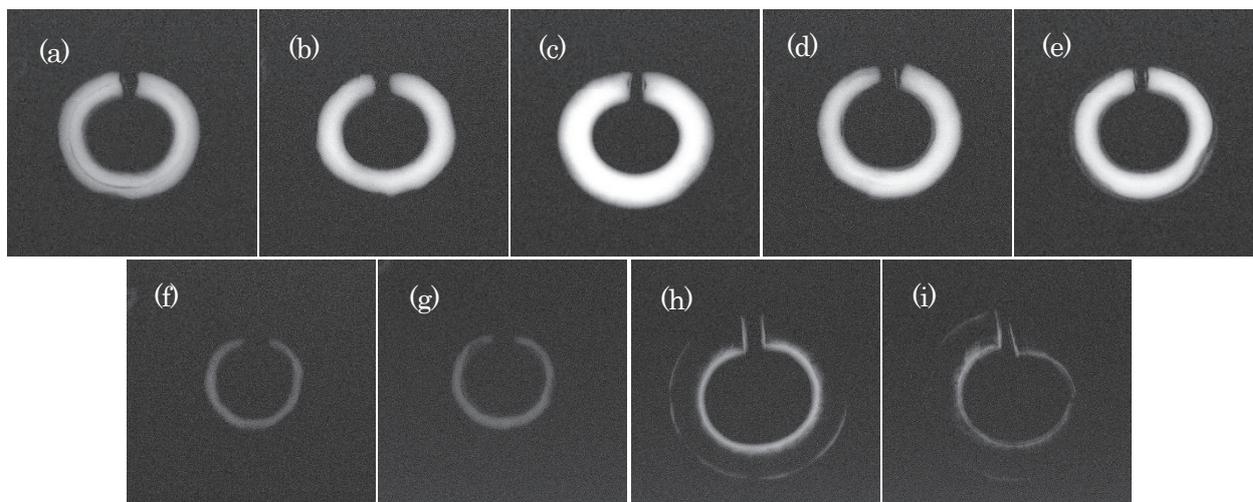
付録1 接面部の顕微鏡観察像

(a) YID001、(b) YID002、(c) YID003、(d) YID004、(e) YID005、  
(f) YID006、(g) YID007、(h) YID008、(i) YID009

A



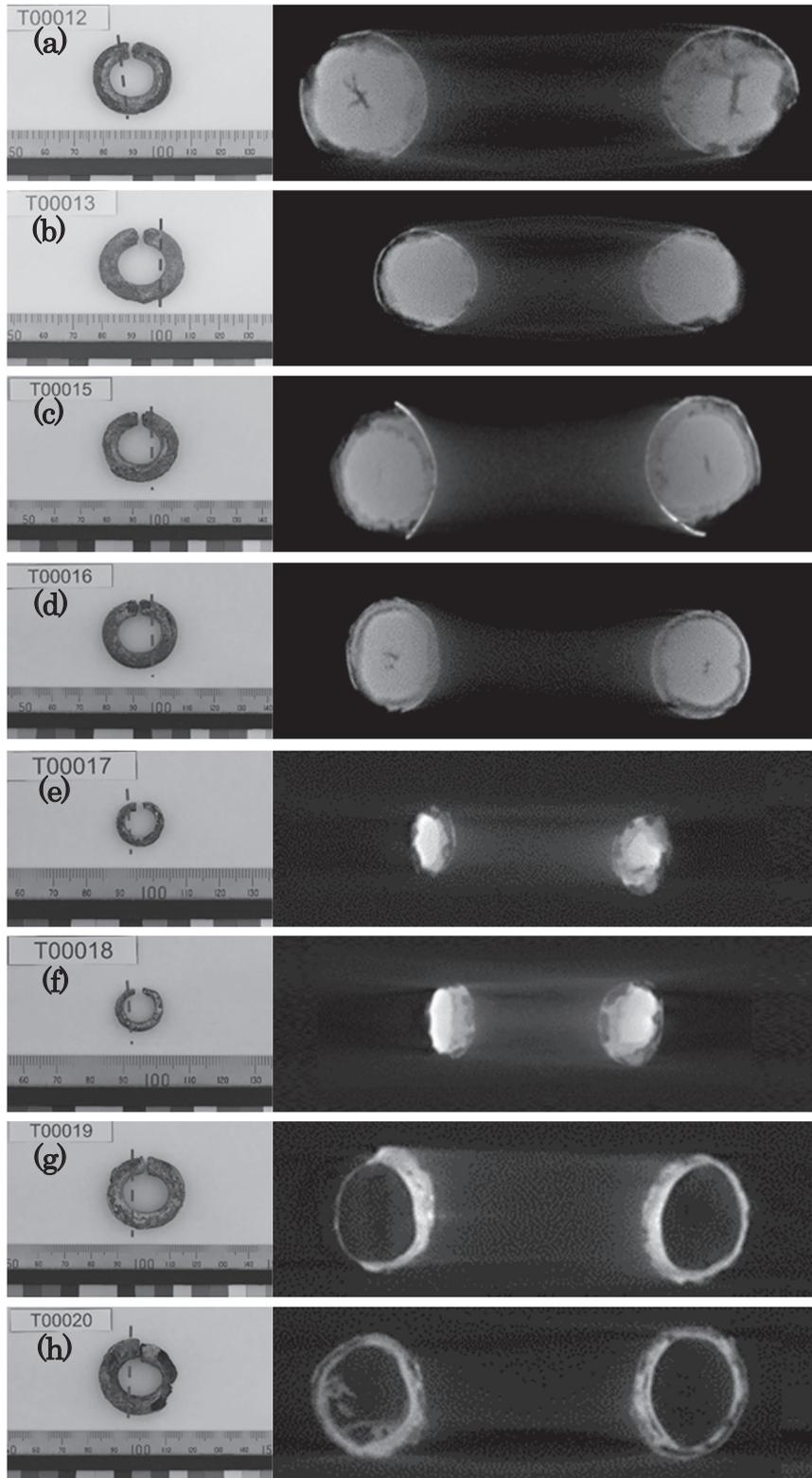
B



付録2 X線透過像

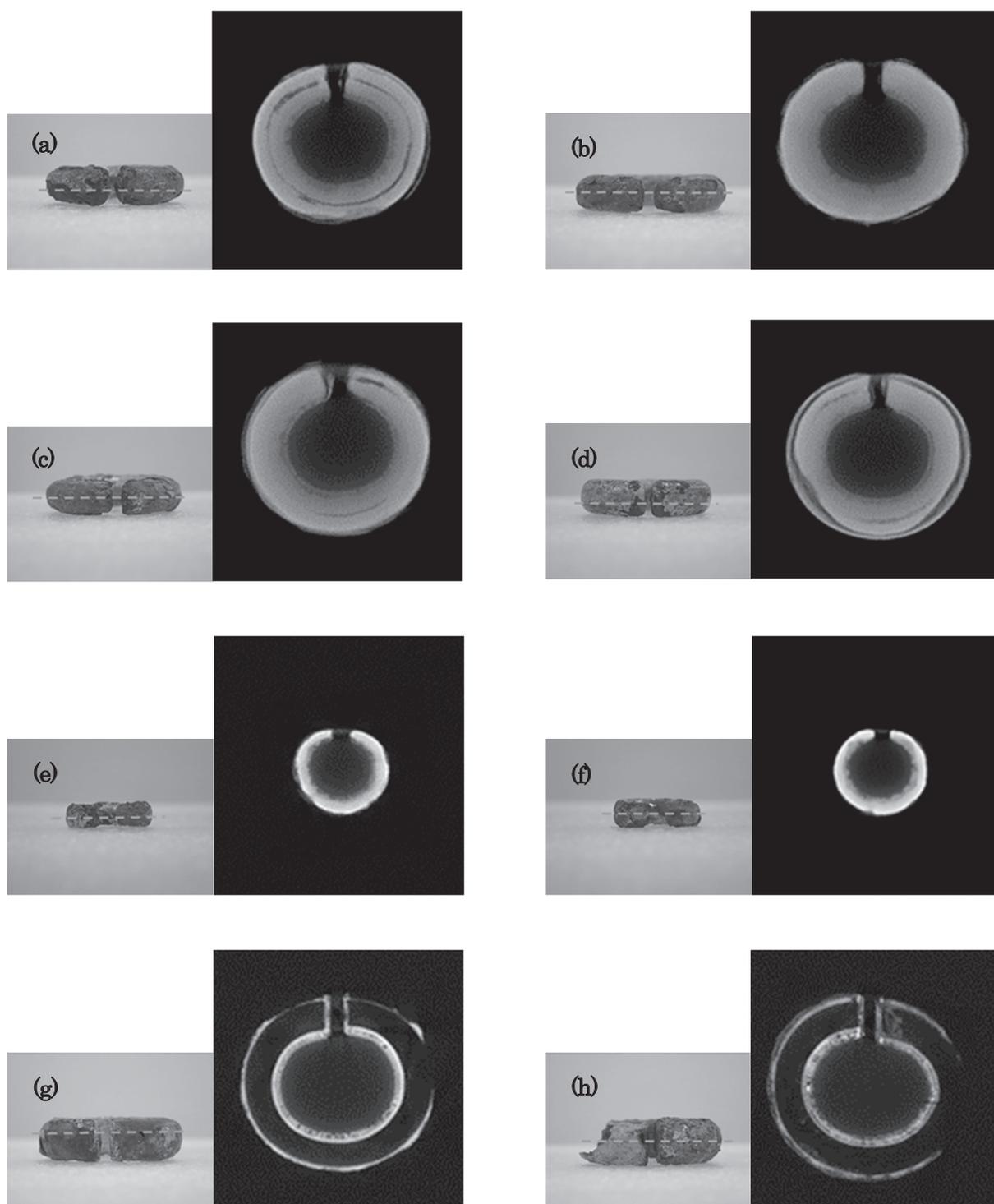
A : 管電圧 100 kV、管電流 2 mA、時間 90 s B : 管電圧 130 kV、管電流 2 mA、時間 300 s

(a) YID001、(b) YID002、(c) YID003、(d) YID004、(e) YID005、(f) YID006、(g) YID007、  
(h) YID008、(i) YID009



付録3 CT画像（断面箇所と縦断面図）

(a) YID001、(b) YID002、(c) YID004、(d) YID005、  
(e) YID006、(f) YID007、(g) YID008、(h) YID009



付録4 CT画像（断面箇所と横断面図）  
(a) YID001、(b) YID002、(c) YID004、(d) YID005、  
(e) YID006、(f) YID007、(g) YID008、(h) YID009

