

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 6月14日現在

機関番号：37502

研究種目：基盤研究（C）（一般）

研究期間：2008～2011

課題番号：20520669

研究課題名（和文） 自然科学的手法を用いた古墳時代の金属器製作技術の調査と工具の復元

研究課題名（英文） The research for the hardware production technology in KOFUN age with Scientific Methods and the reconstruction of the tool

研究代表者

渡辺智恵美（WATANABE CHIEMI）

別府大学・文学部・准教授

研究者番号：40175104

研究成果の概要（和文）：

古墳時代の金属製品（刀やよろい、馬具、耳飾りなどの装身具）に残された製作時の痕跡から、それらを製作する技術や道具を調査した。調査方法として顕微鏡観察のほか、X線CTスキャンや三次元計測、材料の成分分析といった自然科学的方法も応用した。その結果、耳飾りの製作工程の復元を通して、使用された道具や方法を解明することができた。また、よろいなどの鉄製品に残された、板を切断した痕跡から、使用された道具の刃先の大きさも推定できた。

研究成果の概要（英文）：

I investigated a technique and the tool which produced them from a trace at the time of production left to a metal product (swords and armors, harness, accessories) of KOFUN age. I applied X-rays CT scanning and a three-dimensional measurement, the method of the natural science such as the ingredient analysis of materials, microscopy. As a result, through the reconstruction of the production process of the earring, I was able to elucidate a used tool and method. In addition, I was able to estimate the size of the chisel edge used from the trace that cut a board left for the iron such as armors.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2009年度	600,000	180,000	780,000
2010年度	400,000	120,000	520,000
2011年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：人文学

科研費の分科・細目：史学・考古学

キーワード：出土金属製品 耳環 製作技法 工具 鍛冶具 X線CTスキャン 三次元計測
自然科学的手法

1. 研究開始当初の背景

出土金属製品のうち、遺存状況の良好な銅（青銅）製品や鉄製品には、切断痕や研磨痕など、製作時の痕跡が認められることが多い。また、古墳時代中期に導入されたとされる金銅装の馬具や装身具は、板金、鍛金、彫金、鍍金などの金工技術を駆使して製作されて

おり、遺物を通して当時の製作技法や材料の産地が推定できる場合がある。これらを製作した金属加工具（以下、鍛冶具もしくは工具とする）には、鉄鉗、鉄槌、鉄砧、鑿、鑿などがあげられ、出土例は少ないが、古墳から出土している。しかし、鉄製品であるため、ほとんどの場合土中に埋まっている間に腐

食して刃先の形状などがわからなくなっており、遺物の方が製作時の痕跡を残していることが多い。

2. 研究の目的

1の状況をふまえて、本研究は、つぎの3点の解明を目的として行った。

(1)自然科学的手法を用いて出土金属製品に残された製作時の痕跡や工具を調査し、従来の考古学的成果とあわせて総合的に検討することにより、金属製品の製作技術や方法を解明すること

(2)製品に残された痕跡から製作に用いた工具を推定し復元すること

(3)材料や製作技術から金属製品の流通などの社会的背景を明らかにすること

3. 研究の方法

今回対象とした出土金属製品は、金銅製品(耳環など)、大刀、鉄鏃、短甲などの鉄製品および金属器製作の際に屑として残る切片、鍛冶具、工具類である。あわせて、彫金技術を検討する材料として経筒に彫られた銘文の鑿の痕跡を調査した。

まず、マイクロウォッチャー(デジタル実体顕微鏡)を用いて微視的な観察を行い、切断痕や研磨痕などの金属加工技術、彫金の痕跡などを調査した。その後、自然科学的手法として、蛍光X線分析やX線CTスキャンおよび三次元計測を利用して遺物の構造調査や材料の成分分析、形状比較を行い、製作技法や共同体内における製品の配分、材料の供給などを解明する一助とした。

とくに耳環については、一つの古墳内から複数個出土することが多く、過去の研究(『古墳から出土する金銅製品の製作技法と材質の相関関係について』科学研究費助成基盤研究(C)(2)平成11年度~13年度 研究代表者・渡辺智恵美)で、材質と製作技法に相関関係があることや材料の成分の違いから供給源に違いがあることが想定されたため、さらに調査を進めた。あわせて、製作技法を比較するため、韓国で出土している耳環を調査した。

自然科学的手法として、新たにX線CTスキャンと三次元計測を用いた。X線CTスキャンは、対象物の立体的な画像が得られるため、従来のX線透過試験に比べて情報量が多い。また得られた画像を自由な角度で観察できるため、遺物の構造を細かく観察するうえで有効な手段となる。三次元計測は、近年遺跡や遺物の測量に多用されるようになってきた方法である。今回は遺物表面に打たれた鑿痕の観察と耳環の形状比較に用いた。三次元計測は表面光沢のあるものや曲面を有す

る耳環のような遺物は難しいため、X線CT画像(以下、CT画像とする)を応用した。

4. 研究成果

本研究における最大の成果は、X線CTスキャンと三次元計測を応用することにより、遺物細部の構造調査、鑿の溝の形状や深さ測定、形状の比較が効率的に行えるようになったことである。とくに耳環は金銅装で曲面を有するため全体や断面の形状比較が難しく、「観察・実測と材質と製作技法の一致により一対となる耳環を特定する」という従来の方法に比べて、格段に精度を上げることができるようになった。同方法を用いた調査の一例として、福岡県築上郡上毛町内から出土した耳環(百留横穴群ほか)の調査について(1)で述べる。

また、製作技法や工具を推定するために耳環を復元して検証した。内部が空洞になっている中空耳環については、X線CTスキャンによる情報しか得られず、今回復元は行わなかった。これについては韓国・新羅時代の垂飾付き耳環の親環が中空に作られていることが多いため、韓国の遺物や復元事例から製作技法の相違点を確認した。これらについては(2)で述べる。

遺物に残された工具の痕跡については、鉄製品は宮崎県や鹿児島県などの地下式横穴墓から出土する遺存状態の良好な遺物について調査を行った。金銅製品馬具や冠片などの調査を行った。また、参考資料として経筒に刻まれた銘文の鑿痕を詳細に調査し、金工技法や鑿を打つ方向、深さなどについて検討するとともに銅板に銘文や文様を復元して比較検討した。これらについては(3)で述べる。

以下、それぞれの項目毎に記す。

(1)百留横穴群ほか出土耳環の調査

今回調査の対象とした耳環は、百留横穴群出土37点と上唐原村ノ内遺跡出土3点、榎町II-1遺跡出土2点、土佐井地区遺跡および甚吾久保遺跡から出土した各1点、合計44点である。

百留横穴群は福岡県築上郡上毛町に所在する6世紀後半~7世紀前半に営まれた横穴群で、総数49基で構成されている。耳環や玉類のほか、銅釧や鉄製品、土器など多数の遺物が出土している。装飾古墳としても有名な遺跡である。上唐原村ノ内遺跡や榎町II-1遺跡は、百留横穴群とともに山国川流域に沿って位置し、土佐井地区遺跡は百留横穴群が造営された丘陵の反対側に位置する。

古墳時代の耳環は金属製で、金・銀・銅・錫・鉛・青銅・鉄を材料としている。これらを単体(無垢)で使用したり、組み合わせて使用したりしている。構造的には、芯を持つ

もの(中実)と持たない管状のもの(中空)、無垢の3タイプに分類できる。また、耳環は材料の材質と製作技法によって、無垢環・銅芯薄板貼(金や銀板)・銅芯銀板貼鍍金・鉄芯錫板貼・中空銅地鍍金(金銅環)・中空銅地板貼(金や銀板)・中空板作り(金や銀の無垢板)などに分類することができる⁽¹⁾。顕微鏡および蛍光X線分析による調査の結果、中空耳環1点、銅芯銀板貼鍍金30点、銅芯鍍金3点、銅芯金板貼もしくは銀板貼が5点、いずれの技法にも属さない特異な仕様のものが1点(写真1,2)、腐食が著しく表面層が剥落して技法がわからないものが4点で、無垢環はなかった。中空耳環については(2)で、韓国の中空耳環と比較して述べる。



写真1 特異な仕様



写真2 同左拡大

上記44点について、X線CTスキャンおよびCT画像を利用した三次元計測を実施した。この調査は、外部からは判別できない耳環の構造調査と全体形状と断面形状を比較し、その一致度からグループを特定することを目的として行った。

耳環は本来一対で使用される。したがって材質と製作技法、全体形状および断面形状が一致すれば(鑄や使用時の変形や摩耗などの後天的要素により若干の形状変化はあるものとする)、同一グループとして製作されたと考えることができる。また、遺跡内での分布状況を把握することによって、工人集団や共同体社会のあり方など、考古学的な問題を考察する上で役立つのではないかと考えている。

以下、環の構造調査、断面形状や三次元計測による一致度(以下、マッチングとする)について述べる。

【構造調査】

X線CTスキャンの結果、いくつかの中実の耳環で、芯の中央部に細い空隙が発見された(写真3,4)。これらはほぼ芯の中央部を貫通している。おそらく芯を製作するときの痕跡であると考えられる。金属棒の製作には二通りの作り方が考えられる。一つは、針金を作る要領で穴を通して引っ張りながら均一な太さの棒を得る方法で、もう一つは板を折り曲げて叩きながら一定の太さの棒にする方法である。どちらの方法で芯を製作したか、現在のところ不明である。今後の課題とした。

【環の断面形状】

今回調査を行った耳環では、CT画像を観察した結果、正円にちかいかいもの、蒲鉾型、縦長楕円の3つのタイプに分類することができた(写真5)。これまでの調査で、年代が下がるほど縦長楕円になる傾向があることが判明しているが、とくに百留横穴群については横穴の時期差が明らかでないため精査はで



きなかった。

写真3,4 芯の内部に見られる空隙



写真5 環の断面形状(左から正円・蒲鉾型・縦長楕円)

【形状のマッチング】

形状や色調、材質や製作技法が似ている耳環について、三次元計測で得られた画像をコンピュータ上で重ね合わせて形状のマッチングを行った。その結果、百留横穴第25号横穴(耳環No.13)と第36号横穴(耳環No.17)、上唐原村ノ内遺跡出土耳環No.38とNo.39が高い一致度を示した(写真6,7)。No.38とNo.39については同じ遺跡内からの出土であり、本来一対として使用されていたと考えられる。No.13とNo.17については異なる横穴からの出土であり、同時に配布されたものが偶然片方ずつ残ったのか、あるいは一対であったものが分けられたのかは不明であるが、興味深い現象である。

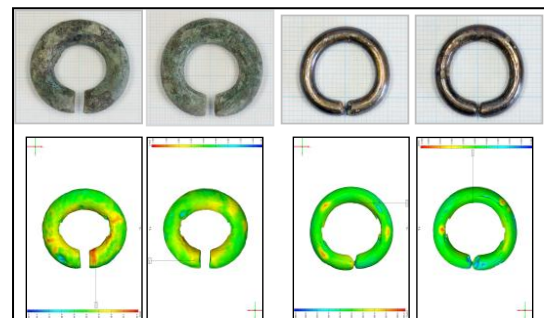


写真6 No.13・No.17(上) とマッチング図(下) 写真7 No.38・No.39(上) とマッチング図(下)

※緑色部分が多いほど一致度が高い

(2) 遺物の復元を通じた製作用具の復元

【中実耳環の製作技法】

X線CTスキャンによる構造調査や顕微鏡観察を通して得られた知見を基に中実耳環を復元し、遺物に残されている製作の痕跡と復元品を比較し、製作技法を検証した。

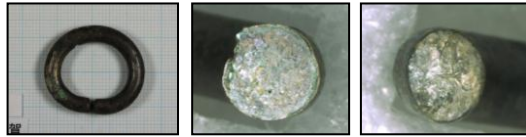


写真8 全体 写真9 断面 写真10 接面

復元には大阪府下の古墳から出土した銅芯銀板貼耳環をモデルとして用いた(写真8~10)。銅芯は径約5^{ミリ}、銀板厚約0.09^{ミリ}である。

耳環の製作工程を大きく分けると、①芯を製作する、②環状に曲げる、③表面を装飾する、という3つの工程になる。芯を曲げてから表面を装飾すると考えていたが、今回の復元で、この方法では銀の板を貼れないことが判明した⁽²⁾。したがって工程は、銅芯を製作したのち銀板を貼り環状に曲げて仕上げることになる。また、接面をどの時点で仕上げるかが問題となるが、今回は環を90%程度まで仕上げた時点で行った。

以下、復元工程について述べる。

- ①銅芯および銀板を加熱し焼き鈍す(写真11)
- ②銀板を巻き両端を捻って固定する(写真12)
- ③木型に合わせて環を曲げる(写真13, 14)
- ④一打毎に合せ目を木篋で押さえる(写真15)
- ⑤全体を焼き鈍して軟らかくする(写真16)
- ③~⑤を繰り返して環状に仕上げる
- ⑥両端の捻り部分を切断し、接面を折り込みながら仕上げる(写真17, 18)



写真11 工程①



写真12 工程②



写真13 工程③



写真14 工程③



写真15 工程④



写真16 工程⑤



写真17 工程⑥



写真18 工程⑥

写真19, 20は耳環を復元する際に使用した木型と鍛冶具である。銀板を芯に巻くときの重なりは1^{ミリ}とした。また、環を曲げる際に伸び縮みが発生するため、両端は3^{ミリ}程度の重なるようにした。また、環を曲げる際には合せ目部分が開いてくるため、一打毎に木篋で銀板を伸ばす必要がある。

復元終了後、製作痕跡を比較した結果、モデルとした耳環とほぼ同じ痕跡を留めていたため、中実耳環の製作はこのような方法で作られたと推定した(写真21, 22)。



写真19 耳環製作用木型



写真20 耳環製作用鍛冶具



写真21 復元耳環



写真22 同左接面

【中空耳環の製作技法の比較】

国内で製作されたと考えられる中空耳環には、①金銅環-銅の薄板の上に鍍金したもの、②銅地板貼(鍍金)-銅の地板のう上に金や銀の薄板を貼ったもの(さらに鍍金する場合もある)、③板造り-金や銀の薄板のみで環を製作したものの3タイプがある。

土佐井地区遺跡から出土した中空耳環は、大ぶりで銀色を呈しているが、部分的に表面層が剥落して銅地が露呈していることから、銅地板貼と判断できた。しかし表面層をX線顕微鏡で観察すると、部分的に金や水銀の痕跡が残っており、銅地板貼鍍金の耳環であることが判明した。X線CTスキャンの結果、環を内側面で重ね合わせており、内部には合わせ目の段差が確認できた。この段差は表面(外側)では観察できないが、合わせ目の痕跡は確認できる。重なり部分を銀蠟で固定した例が報告されているが⁽³⁾、この耳環では確認できなかった。また、耳朶に接する部分(以下、接面と

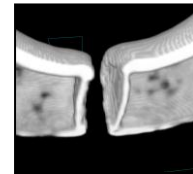
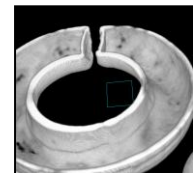
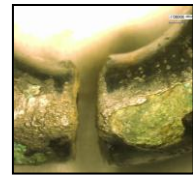


写真23~26 上から中空耳環全体、接面拡大、X線CT画像、同拡大

する)は“落とし蓋”状に仕上げられていた(写真23~26)。

一方、韓国の中空耳環は大部分が垂飾付き耳環の親環であり、環の中央部で接合されている。韓国での耳環調査は肉眼による観察にとどまったが、復元製作を実見する機会を得たので、以下に記す。

まず地板となる薄板(金無垢が多い)を半球状に凹ませた金型に嵌めて加圧し、半球状の環を2個製作する。これらを環状になるように合わせて臘付けして仕上げている。したがって、合わせ目は外側面と内側面の両方に認められる。接面については開放状態のものが多い。

復元品は金型で製作していたが、本来は木型であったと思われる。この方法で製作された国産と考えられる例は、愛媛県 経ヶ岡古墳から1点出土しているが、非常に稚拙な造作である。中空耳環の場合、垂飾の有無の違いはあるが、韓国とわが国では製作技法が全く異なっていると思われる(写真27,28)。



写真 27,28 中空耳環の復元(韓国)

(3) 製作痕と鍛冶具の推定

【鉄製品】

出土鉄製品は、腐食が著しいため、痕跡は消失している場合が多く、製作の細かな痕跡は不明である。しかし、まれにサビによる影響を受けていないものが出土し、それらの遺物は製作痕をよく留めている。とくに信濃地方の一部や南九州でその傾向が強い。今回調査の対象としたのは、宮崎県下の地下式横穴墓から出土した短甲や武器類である。一例として三角板鉾留短甲について述べる。いくつかの箇所では鑿の痕跡や鉾を打つための孔や短甲を構成する板の仕上げ方などの情報を得ることができた。短甲の板には鑿で切断されたとみられる痕跡が残り、切断幅は20ミリを超えるものと13ミリ前後の2種類が確認できた。鉾孔は鉾が収まりやすいようにするためか、外側に向かって角度を付けており、外側の孔径の方が大きい。また、板端部は切り放しではなく、やや丸みを帯びており、研磨処理されていたと推定される(写真29,30)。



写真 29 鑿による切断痕

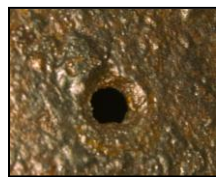


写真 30 鉾孔

【金銅製品】

金銅装の馬具や帯金具などの装身具には、表面に文様を刻んで装飾を施したものが多く見られる。金属の表面に文様や文字を刻むことを彫金と呼ぶ。鍍金、象嵌などとともに金属表面を装飾する金工技術の一つである。

今回調査を行った装身具片には連続した楔形の鑿の痕跡が確認できた。蹴り彫りと呼ばれる線を表現する技法で、鑿の刃先の角を利用して連続した三角形の痕跡が残る。三角形の幅(線幅となる)は約0.3ミリ、長さは約0.7ミリを測る(写真31,32)。三角形短辺の痕跡から、やや丸みを帯びた刃先を想定した(写真33,34)。

彫金用鑿は、彫り方の種類別に鑿が決められているわけではなく、表現したい線や文様によって、その都度刃先を加工して使用するらしく、古墳時代においても同様の状況ではなかったかと推定している。



写真 31 蹴り彫り

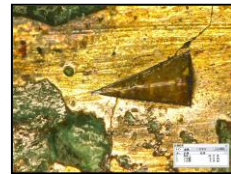


写真 32 鑿痕(拡大)

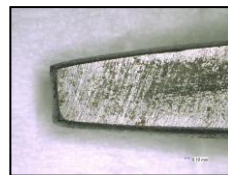


写真 33 復元鑿の刃先



写真 34 同左側面

以上、今回の調査で得られた知見について述べた。今後の課題としては、鉄製品に残された痕跡のより効率的な観察・測定が行えるような方法を確立することである。耳環の形状比較をさらに進め、古墳への埋納に伴う共同体内で家族構成などについても調査していきたいと考えている。

【注】

- (1) 渡辺智恵美「耳環小考」『創立三十周年記念誌』(財)元興寺文化財研究所 1997
- (2) 村上 隆「高川古墳出土の耳環の構造と材質について」『高川古墳群』兵庫県文化財調査報告書第97冊 兵庫県教育委員会 1991
- (3) 高橋正樹「筑内古墳群出土銅芯銀板張り鍍金耳環復元製作実験」『文化財と技術第2号』特定非営利活動法人 工芸文化研究所 2002

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件)

- ① 渡辺智恵美 増田浩太「島根県荒神谷遺跡出土青銅器の保存修復と冶金学的情報」『アジア鑄造技術史学会研究発表概要集』5号 p43-46 2011 査読無
- ② 渡辺智恵美 「百留横穴群ほか出土耳環の自然科学的調査」『百留横穴群』上毛町文化財調査報告第13集 p77-83 図版 p49-53 2010 査読無

[学会発表] (計8件)

- ① 渡辺智恵美 「島根県荒神谷遺跡出土青銅器の保存修復と冶金学情報」アジア鑄造技術史研究会第5回大会 2011.8.25 奈良県立橿原考古学研究所
- ② 鳥越俊行 渡辺智恵美 「X線CTスキャン法による象嵌大刀の調査」日本文化財科学会第28回大会 2011.6.11-12 筑波大学
- ③ 友廣美和 渡辺智恵美 「出土銅釦の集成と調査」日本文化財科学会第28回大会 2011.6.11-12 筑波大学
- ④ 渡辺智恵美 「X線CTスキャン法を応用した耳環の調査(2)」日本文化財科学会第27回大会 2010.6.26-27 関西大学
- ⑤ 友廣美和 渡辺智恵美 「佐賀県小城市布施ヶ里遺跡出土銅釦の保存修復報告」日本文化財科学会第27回大会 2010.6.26-27 関西大学
- ⑥ 渡辺智恵美 「X線CTスキャン法を応用した耳環の調査」日本文化財科学会第26回大会 2009.7.11-12 名古屋大学
- ⑦ 渡辺智恵美 「自然科学的手法を応用した耳環の調査」日韓文化財科学国際シンポジウム 2010.3.27 韓国・国立現代美術館
- ⑧ 渡辺智恵美 「自然科学的手法を応用した耳環の調査」奈良文化財研究所保存科学研究集会 2010.3.4-5 九州国立博物館

6. 研究組織

(1) 研究代表者

渡辺智恵美 (WATANABE CHIEMI)

別府大学・文学部・准教授

研究者番号：40175104