

## 藤ノ木古墳石室内の分析調査と鞍金具の保存修理

沢田正昭

### 1. はじめに

ユネスコの世界遺産保護条約委員会は、1993年12月、法隆寺を文化遺産として登録、決定した。藤ノ木古墳は、その法隆寺の西方、約350mのところにある。1985年5月9日～7月8日、奈良県生駒郡斑鳩町教育委員会が主体となって、第1次調査がおこなわれた。墳丘の規模や範囲を確認することが目的であった。その後、1988年5月9日～7月8日に第2次調査が、同年9月30日～12月28日には第3次調査がおこなわれた。第1次調査では、石室の中の遺物の調査がおこなわれ、第2、3次調査では石室内部の調査が重点的におこなわれた。

藤ノ木古墳では、石棺のふたと身が密着した状態にあったので発掘当初から未盗堀の古墳と推定していた。そこで、ふたを開ける前に、ふたと身のわずかな隙間から径6mm程度のごく細いファイバースコープ(内視鏡)を挿入し、徹底した内部状況の観察と調査をおこなった。内部の遺物保存や調査の対応策を事前に検討しておくためである。

調査の結果、棺内には相当量の水がたまっていること、そして大量の有機質遺物が浮遊していること、石棺内には赤色顔料の朱が塗られていることなどが確認できた。また、水中には副葬品の冠・耳環・首飾り・履・玉などの装身具、銅鏡、刀剣、刀子、織物、そして人骨などが残存していることも確認できた。こうした豊富な副葬品を確認したことからも、藤ノ木古墳の石棺はまだ開けられたことがないという可能性が非常に高いことがわかる。1988年10月7日、石棺のふたを開け、本格的な調査を開始した。小文では、特に保存科学の観点から石室の中をのぞき込んでみることにする。

### 2. 石室と石棺

藤ノ木古墳は、6世紀後半築造の円墳で、墳丘の径は約48m、高さは約8mである。墳丘の南側には開口部をもつ大形の横穴式石室がある。石室は、玄室と羨道を含めて全長約14.5mあり、玄室と羨道の天井にはそれぞれ3個の巨石が載っている。

石室には、玄室の奥壁から手前(南方向)約80cmの位置に石棺が安置されていた(図1)。その奥壁と石棺の間には、馬具・鎧などの副葬品が、玄室の入り口近くの左側隅には須恵器や土師器約70点などが納められていた。

#### (1) 棺内の空気と水

---

奈良国立文化財研究所：〒630 奈良市二条町2丁目9番1号

石棺には、約10cm くらいの深さにまで水がたまっており、有機質の浮遊物があった。各種の異なる素材の遺物が絡みあうようにして残存しており、また、それらはきわめてもろく、しかも水に漬かっているために取りあげることが大変難しい状況であった。棺内の水が少々ゆれるだけでも遺物はくずれそうな状態にあった。水がゆれないように静かに水を抜き取ることからはじめ、遺物表面に付着するコロイド状の細かい粘土はイオン水を使用して洗い落とした。将来、遺物の微量分析の必要が生じた際に、余分なものが混入しないよう配慮したためである。

一般に、遺体や副葬品が石室内に密封された場合、当初は酸化状態になっているが、やがてバクテリアなどの微生物が発生し、遺体や有機質の副葬品などを分解することが予想される。その結果、炭酸ガス、アンモニア、アミン酸、そしてメタンなどを生成し、石棺内部の雰囲気は還元状態に移行していく。長い年月の間には、石室内に地下水や植物の根などが侵入することもあり、多少の空気も補給されるであろうことは、容易に想像できる。しかし、長い期間の間には密封された石棺の内部は、酸化の状態から次第に還元的な雰囲気に移行し、ある種の平衡状態に到達していくものと推定される。したがって、こうした環境条件のもとでは、炭酸ガスの濃度は大気中の50倍以上にもなるのが普通である。

藤ノ木古墳の石棺内部の炭酸ガス濃度の分析結果（表1、参考文献6）、新井英夫、P.155、表42）では、石棺内部と外気との差はほとんどなかった（図2）。棺内のそれは外気の1.5～1.9倍ほどであった。通常、棺内が密閉状態にあれば、二酸化炭素の含有量は異常に多くなるのだが、藤ノ木古墳の場合には、石棺内部と外気は通気していたことがわかる。また、石棺内の空気に含まれる微生物の量は、1立方メートルあたり、糸状菌が1万～2万個、細菌が5千～1万個ほどと報告されている。この程度の量では、石棺内には微生物に影響を与えるような因子がほとんど存在しないことを示しているという。つまり、微生物に分解されるような遺体などがもはや存在していないとの見方もできる。

採集した水は、銅イオン濃度が異常に高く（22.6ppm）、銅製の遺物がかなりの期間、水漬け状態にあったことがわかる。また、カルシウム（Ca）、カリウム（K）、ナトリウム（Na）、ケイ素（Si）などのイオン量は、通常の水に比べてより多く含まれていた（表2、参考文献6）、豊田忠三・松沢一幸、

表1 古墳空気試料中の二酸化炭素濃度測定結果  
Table.1 Concentration of CO<sub>2</sub> in the stone chamber

試料名	ピーク面積	濃度 (ppm)	平均値 (ppm)
外気 (No. 5)	615	354	
外気 (No. 5)	617	355	355
B (No. 1)	923	529	
B (No. 1)	883	506	518
C (No. 6)	1208	691	
C (No. 6)	1183	677	684

P.161, 表46)。

そもそも、石棺内にたまっていた水は、墳丘の封土を滲みとおして石室内に落下したもので、凝灰岩製の石棺材を抜けて棺内に侵入したものである。したがって、表2にみられる成分は、雨水そのものに含まれていることのほか、墳丘の封土に含まれていた化学成分（農薬などに起因する）に起因するところが大きいと思われる。封土を通して石室を抜けた水が石棺の上に落下する現象はかなり古くからはじまっていたらしく、凝灰岩製石棺の上部には水の落下による小さな窪みが無数に認められた。

凝灰岩にしみこんだ水は、さらに石棺内部へと浸透したであろう。また、蓋と身の間のわずかな隙間からも水は侵入したことでであろう。こうして溜った水は、棺内に滞留し遺物が水漬け状態になった。棺内の炭酸ガス濃度が外気と大差なかった

ことは、棺内への水の侵入がひとつの原因と考えられる。石棺に侵入した水は、透水性のある凝灰岩を時間をかけて抜けていく。しかし、その間にも水が侵入してくる。時には水が棺内から溢れてしまった時期もある。石棺内部にみられる水の侵入の痕跡からそれをうかがい知ることができる。つまり、棺内の水は常に増減を繰り返していたと思われる。そのため、遺物の残存状態は決して良いものではなかったはずである。石棺内の銅製品の銅の溶出状況をもふまえ、遺物を水中から取り上げ、すみやかに適切な保存処理を施すことが最良の保存措置であるとの結論に達し、石棺の蓋を開け、すべての遺物を取り出すことに決定したのである。

## (2) 副葬品の取り上げ

すべての遺物は、素手では持ち上げられないほどに劣化しもろくなっていた。したがって、石棺の中から遺物を取り出すには、まず遺物自体を補強し、さらに遺物を支える支持体を添えて取り上げなければならなかった。遺物のごく表面には合成樹脂を塗布して強化する。さらに、布を貼り付けて補強する。必要に応じて、これをベニヤ板などを添えて支持し、すくい上げるようにして静かに取り上げる。特に、太刀類は保存状態がきわめて悪く、息を吹きかけるだけでさびた金属が崩壊しそうな状態だ。したがって、素手では持ち上げることさえできない状態である。さらに、遺物は微粒子の粘土で覆われていた。水に混じって棺内に侵入したコロイド状の微粒子粘土が、長くて静かな時間的空間の中で沈澱し、遺物をうっすらと覆いつくしたのである。

表2 金属元素の定量分析結果一覧

Table.2 Quantitative analysis of metallic elements in the water

元素	天井水滴 (PPm)	上層 (PPm)
Ca	5.34	5.40
Fe	0.03	0.07
B	0.03	0.05
Hg	※不検出	※不検出
Mn	0.21	0.25
Ge	※不検出	※不検出
Mg	1.02	1.49
Zn	0.04	0.08
Pb	不検出	※不検出
Cu	不検出	22.6
Si	12.5	24.6
P	不検出	※不検出
Al	0.76	0.11
Na	4.47	10.5
K	6.97	4.06
Cd	不検出	※不検出
As	不検出	※不検出

※印は、検出限界及びプロフィールより判断した。

遺物の保存作業は、まずこの粘土の除去からはじめなければならなかった。なぜなら、もろくて壊れやすい遺物をまんべんなく覆いつくしている土壌は、粒子が細かく、遺物から離脱しにくいのである。ごく小さな振動や衝撃も与えないように細心の注意をしながらイオン水を静かにふりかけながら土壌を洗い落とした(図3)。ほんやりと見えにくかった土壌を一度ずつ剥ぐようにして洗浄が進むと、遺物の形態が明確に浮かび上がり、同時に遺物があまりにももろく壊れやすい状況にあることがみえてくる。

### 3. 鞍金具の保存処理

石室内で発見された馬具の中でも、鞍金具の前輪・後輪を飾る銅板には、パルメット文と亀甲繫ぎ文の透かし彫りがほどこされている。亀甲繫ぎ文の中には、竜、鳳凰、象、兎、鬼面などが彫られていた。このような文様の系譜は、かつて東アジアでは類例のなかった資料として注目をあびた。鞍金具は、全体に金鍍金(金メッキ)が施してあった。しかし、1400年の長い年月が、その黄金色を緑色のさびで覆い隠してしまっただ。この緑青さびを安全に除去し、藤ノ木古墳出土の鞍金具や杏葉の豪華な輝きを取り戻すことに成功した。今回は、最近までにおこなってきた保存処理の成果を報告する。

#### (1) 金銅製品の鍍金

古代の金銅製品の鍍金部分の厚さは、総じて0.005mmから0.03mm程度(5~30 $\mu$ )である。鍍金の薄い層には、多かれ少なかれ、無数の空隙ができていす。古代金銅製品の鍍金技術は、金に水銀を混ぜたアマルガムをかけて、これを熱して水銀を蒸発させて金を銅表面に定着させる方法である。そのため、鍍金層には水銀の蒸発したあとが空隙として残っていることが多い(図4)。そのため、金銅製品がさびて緑青さびが発生すると、それは隙間だらけの鍍金層の間から抜け出し、製品の表面を被覆する。たいいていの金銅製品の表面が緑色のさびで覆われているのはそのためである。

#### (2) さびの生成過程

銅や青銅製品にみられる、主なさびは塩基性炭酸銅である。これが緻密で均一な場合には、遺物の表面を覆いつくし、外気から遺物を遮断し、むしろ遺物を守る「良いさび」となる。しかしながら、発掘したあと、しばらくしてこの緑色のさびが粉状の白緑色のさび(塩基性塩化銅)に変化するようなら、遺物は「ブロンズ病」をわずらっており、適切な化学処置が必要になる。通常、博物館などでみられる青銅製品は、長年月の間、土中に埋もれていたものが多く、ほとんどのものはすでにさびてしまっている。銅製品の場合、まず酸化第一銅が生成し、次いで塩基性炭酸銅などを生成する。緑色のさびの多くは、孔雀石と同じ塩基性炭酸銅からなっている。

また、銅製品が塩化物と接触した場合には、塩化第一銅が生成する。それは、空気中の酸素と水分の供給を受けて塩基性塩化銅を生成する。このさびは白緑色の粉状を呈している。これらの生成過程で遊離塩酸が発生する。これが新たに銅成分と反応すると、また新しく塩化第一銅を生成する。これが空気に触れて同じような化学反応が繰り返される。このサイクルが繰り返されれば、継続的に腐食

が進行し、粉状になったさびはこぼれ落ちてしまうので、やがて製品そのものが消滅することになる。したがって、ブロンズ病にかかっているか否かを早期に発見して、すみやかに適切な処置をほどこすことが肝要である。

藤ノ木古墳出土の馬具にも、塩基性塩化銅が確認されたので、発掘後、応急処置を施し、ことなきを得ている。このようなさびの進行を抑止するには、製品に含まれる塩化物イオンを抽出して、「悪いさび」の素を断つ処置をおこなう。あるいは塩化物イオンの化学的な反応を抑制する措置をとる。

#### 4. 緑青さびの除去法

鍍金層を被覆する緑青さび（主として塩基性炭酸銅）を除去するには、二通りの方法が考えられる。ひとつは、歯科医が使用するような小型のグラインダーで削り落とす方法である。他のひとつは、緑青さびを化学薬品で溶かして取り除く方法である。

前者の物理的な方法では、さびの直下のごく薄い鍍金層を傷つけることなく、さびを削り取るのはきわめて難しい問題である。まして、金銅製品に線刻が施されている場合には、小さく細い溝にもさびがはまっており、鍍金層を傷つけずにさびを削り落とすのは至難の技である。また、程度の差こそあれ、鍍金層の下部も腐食しているのが普通で、このような箇所にはごく小さな衝撃を与えても陥没してしまうことがあり、鍍金層ともども損壊する危険をはらんでいる。

一方、化学薬品でさびを溶かす方法にも、次のような短所があり、これも敬遠されがちであった。すなわち、鍍金層には空隙が多く、化学薬品を使った場合には、溶液は内部に簡単に浸透する。腐食が激しい部分では、水溶液はより浸透しやすく、処理後の薬品による影響ははかりしれない。たとえ、弱酸性の水溶液を使用したとしても、いずれ、薬品は内部に浸透し、表面さびのみならず遺物自体をも溶かしてしまう恐れがある。また、薬品を十分に洗浄するにしても、完全に除去できるという保障はなく、処理後、長い年月の間には、遺物本体への影響は避けられない。

今回、藤ノ木古墳出土の馬具を保存修理するにあたり、表面の緑青さびを取り除くことになった。そのためには、これらの方法の欠点をすべて解消し、安全にさび取りができる方法でなければならない。しかも、さびの除去にあたっては、単に表面をクリーニングするというだけでなく、藤ノ木古墳出土の馬具には塩基性塩化銅という、製品のためには好ましくないさびも検出されており、同時にさび止めの処置をしなければならなかった。

線刻文様がある部分には、さびが細い溝に埋まった状態のものが見受けられる。しかも、文様が精緻なものであればあるほど、溝は細くなり、溝にはまっているさびを物理的に削り出すことがむづかしくなる。また、硬質のさびが表面を覆っていることもある。このような条件のもとでは、物理的な手法よりも化学薬品を使う方がむしろ安全といえる。そして、化学薬品を使うのですが、それが遺物内部に浸透しないように工夫したのである。

従来使用された化学薬品には、アンモニアや塩酸などがあった。いうまでもなく、この方法では薬

品が鍍金層を通り抜けて内部に浸透し、製品自体を損傷することが容易に予測できる。化学薬品が遺物内部に浸透するという致命的な欠点を解決したのが、高吸水性樹脂を利用する方法である。これは、アクリル酸とビニールアルコールの共重合体からなる高吸水性の高分子物質で、水と接触すると短時間のうちに吸水する。しかも、いったん吸収された水は保持されたままで、いかなる圧力を加えても離脱しない。それは、自重の数百倍から千倍もの水を吸着する能力をもっている。

さび取りの新手法は、この高吸水性樹脂を利用するものである。まず、化学薬品のぎ酸(H・COOH)の数%水溶液をつくり、これを高吸水性樹脂に混ぜてペースト状のものをつくる。これを遺物表面のさびのうえにのせて、ごく短時間に限って放置する。ぎ酸を含んだペースト状の物質は、さび層との接点でのみ反応し、しかも、ぎ酸水溶液が流れ出したり、遺物内部にしみ出すことはない。ぎ酸がさびを溶かして、さびを一層ごとに排除していく。さびの層が厚い場合には、ある程度まで物理的な方法で削り取ることもある。部分的にもろいところや鍍金がすでに失われていて、薬品が直接に遺物本体にも影響しそうな場合には、あらかじめ合成樹脂を塗布して保護し、ぎ酸の水溶液と接触しないよう、事前に処理をしておく。使用される合成樹脂は、必要に応じて再溶解できるタイプの、いわゆる「熱可塑性合成樹脂」を主に利用する。ただし、さびの構造や状態に合わせて、物理的な手法も積極的に取り入れ、化学的な方法と併用するようにする。

## 5. まとめ

1) 金属製遺物が劣化する要因のひとつに塩化物イオンがある。これを取り除くことが遺物を恒久的に保存するひとつの手段である。鉄製品の場合には、水酸化リチウムのアルコール溶液に漬けて塩化物イオンを除去する方法が実用化され、成果をあげている。銅製品の場合には、塩化物イオンに起因して腐食を増大させるが、これは塩化第一銅に由来している。塩化第一銅は水に溶けにくく、脱塩処理が困難なため、保存の対策は含有する塩化物イオンを活性化させないように化学的に固定する方法をとる。

2) 今回は、ベンゾトリアゾール (BTA) という銅の防錆剤を使用した。これは、銅製品の地金や銅化合物 (銅イオン) に反応して、塩化物イオンに侵されないような被膜を形成して、遺物の安定化をはかる性質のものである。

さびを取り除いた後は脱塩処理をおこない、さらに遺物全体を合成樹脂をしみこませて強化する。腐食してもろくなっている遺物は、全体を強化すると同時に外気と遮断して防錆効果を高めるために、脱塩処理後、アクリル系の合成樹脂を減圧方式で内部まで十分にしみこませるようにする。

3) 合成樹脂や接着剤、充填剤は多種類のもので市販されているが、文化財の補修にあたっては、使用目的を明確にして、それに適したものを選定しなければならない。たとえば、再溶解が可能な接着剤を使用する。逆に、強固な接着強度が必要で、後に解除する可能性が少ない場合には、それなりに接着強度の優れた「熱硬化性合成樹脂」を使うこともある。欠損部を補填したり、補強

のために部分的に補填するなどの整形材料についても同じ配慮が要求される。再溶解することのない、強靱な整形材料には石英やガラスなどの粉末とエポキシ系の合成樹脂を練り合わせたものが市販されており、金属製品の補修にも利用されることがある。

- 4) 通常では、遺物の内部をくわしくのぞきこむ機会はありませんが、修理作業中では、いろいろと新しい発見をすることがある。たとえば、鞍金具には金鍍金を施しているが、鞍金具の一部で木製の居木に取り付けるための鉸具があるが、通常では木材の中に打ち込まれるのでみえないところだが、部分的に銀鍍金（銀色）を施してから、その上に金鍍金（金色）をしているところが見受けられる。これは、古代技法の重要な新発見であると同時に、次々にあらわれる新しい構造・材質の遺物に対処できる保存処理技術の開発にもつながるものである。
- 5) 文化財の保存修理とは、こうした次々に出題される宿題をこなす一方で、常により優れた保存科学技術の開発に迫られ、永久に終わりが無いようである。また、今日の自然科学手法の進展もめざましいものがある。たとえば、人骨から血液型や古代人の食生活を探る研究なども急速に進展しつつあり、考古学の分野に新しい情報を発信している。
- 6) 藤ノ木古墳の発掘調査は、奈良県立橿原考古学研究所と生駒郡斑鳩町教育委員会がおこなったもので、筆者の所属する奈良国立文化財研究所が担当したのは文化庁の事業としての出土品の保存処理に関することである。したがって、発掘調査に関することや発掘調査時におこなった水質や空気の分析などは奈良県立橿原考古学研究所がそれぞれの専門の研究者に依頼しておこなったものである。

小文の作成にあたり、種々の資料を快く提供していただいた奈良県立橿原考古学研究所に深謝申し上げます。

#### 参 考 文 献

- 1) よみがえる古代・藤ノ木古墳が語るもの、季刊考古学・別冊1, 雄山閣, 1989年3月
- 2) 特別展・藤ノ木古墳—古代の文化交流を探る—, 奈良県立橿原考古学研究所附属博物館特別展図録, 第31冊, 明新印刷株式会社, 1989年4月
- 3) 斑鳩藤ノ木古墳概報—第1次調査～第3次調査—, 奈良県立橿原考古学研究所編, 吉川弘文館, 1989年6月
- 4) 斑鳩・藤ノ木古墳・第1次調査報告, 奈良県立橿原考古学研究所, 便利堂, 1990年2月
- 5) 藤ノ木古墳と東国の古代文化, 第35回企画・特別展, 群馬県立歴史博物館, 上毛新聞社出版局, 1990年4月
- 6) 斑鳩藤ノ木古墳, 第二・三次調査報告, 分析と技術編, 奈良県立橿原考古学研究所, 1993年3月



図1 未盗掘の石棺  
Fig.1 Undisturbed stone coffin

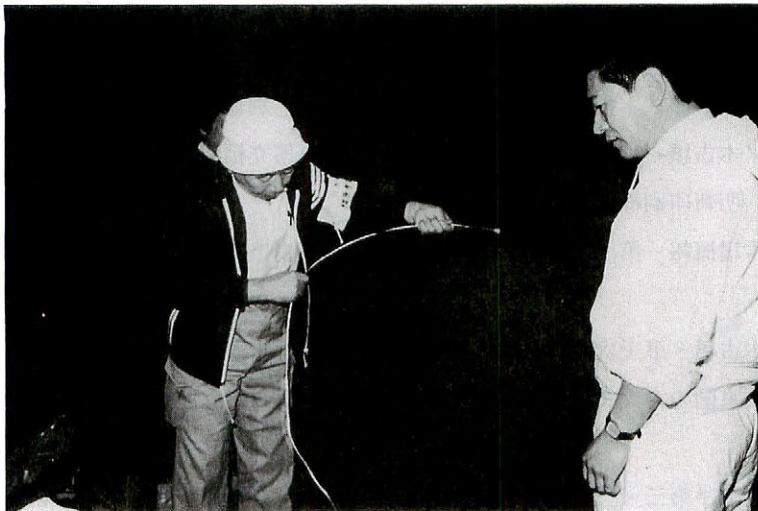


図2 石棺内空気の採取状況  
Fin.2 Sampling of air gas



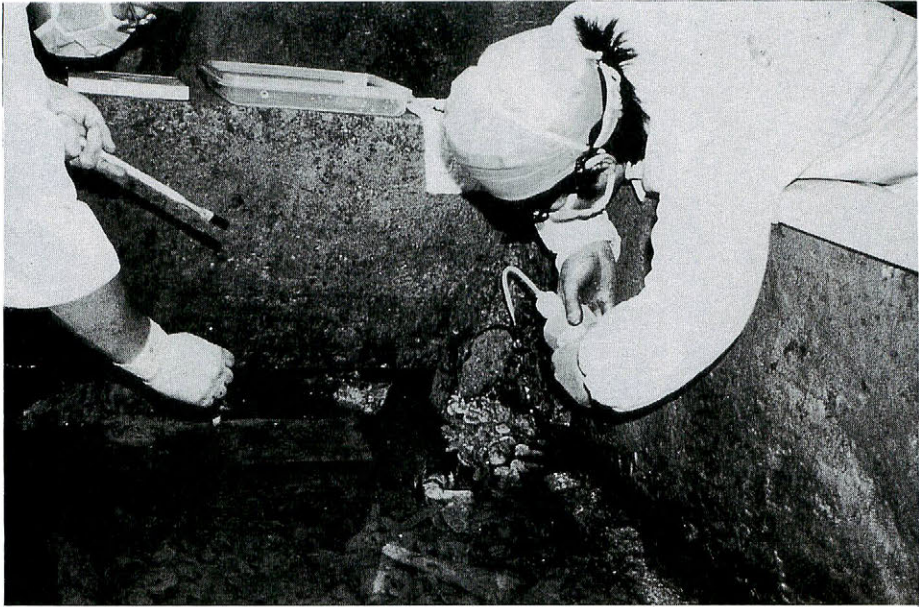


図3 棺内遺物の洗浄状況

Fig.3 Cleaning objects in the stone coffin

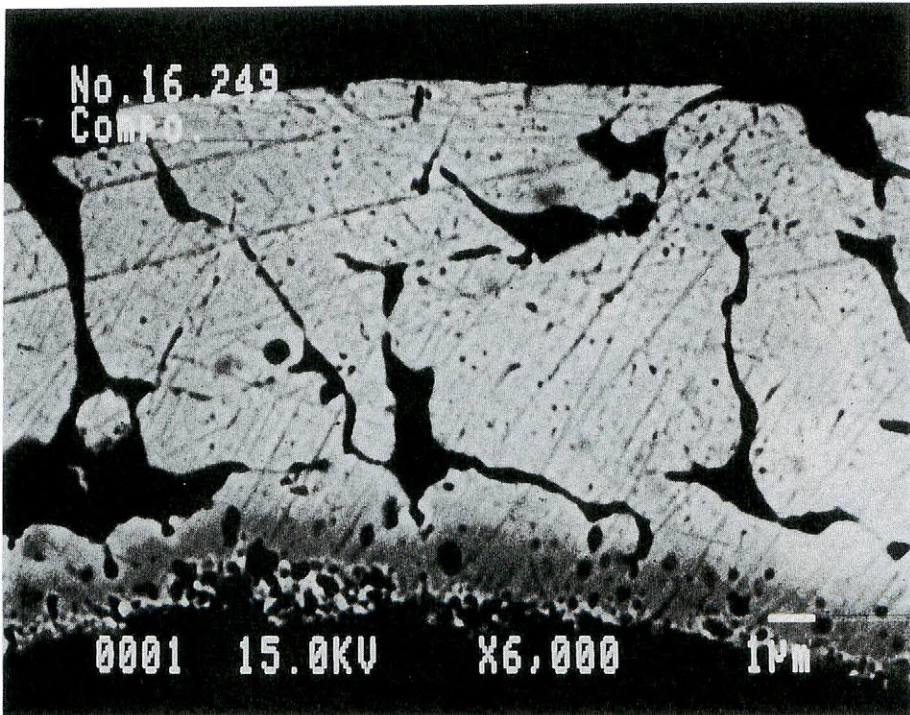


図4 鍍金層の拡大図、

Fig.4 Enlarged the part of gilding layer

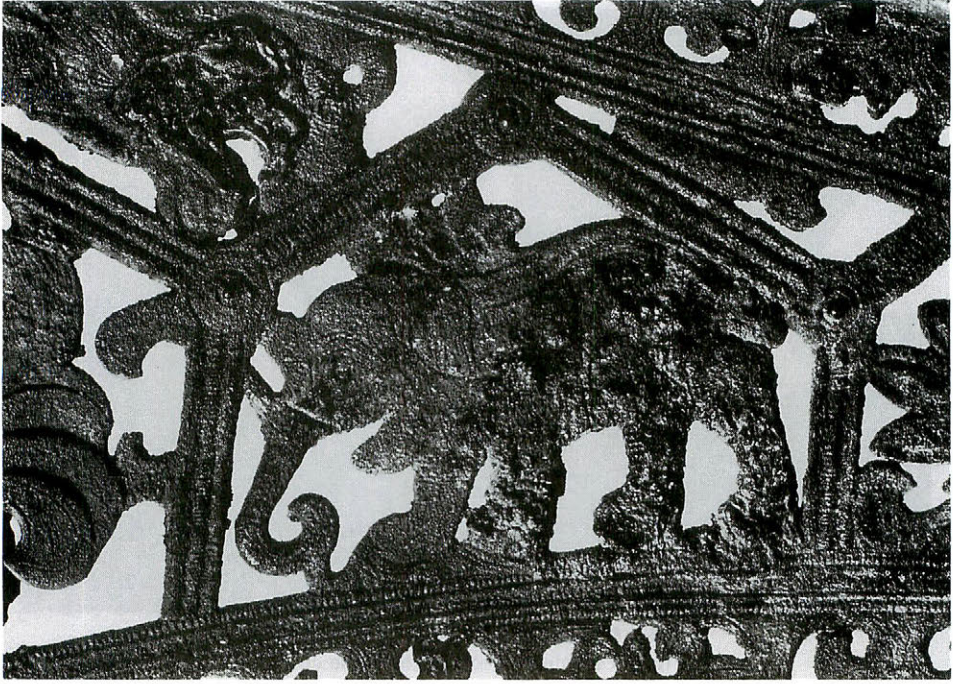


図 5-1 鞍金具の後輪・部分 (処理前)  
Fig.5-1 The part of saddle, before treatment

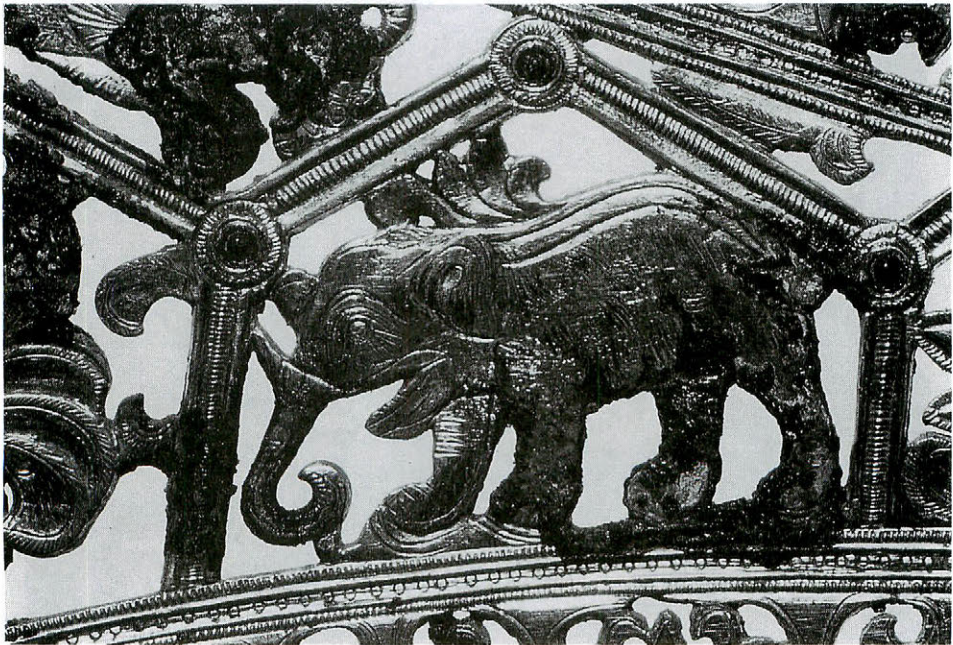


図 5-2 鞍金具の後輪・部分 (処理後)  
Fig.5-2 The part of saddle, after treatment

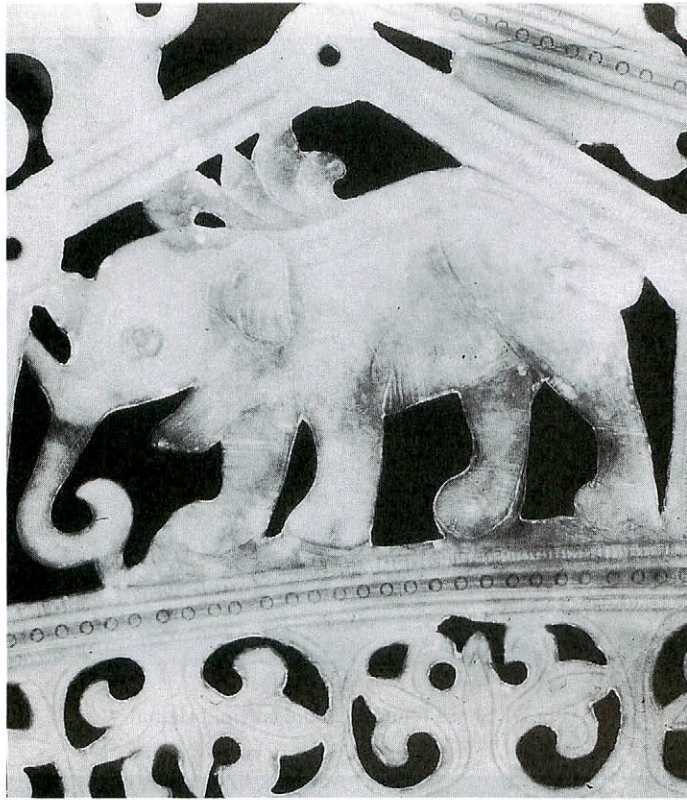


図 6-1 鞍金具の後輪・部分 (X線透過写真)  
Fig.6-1 The part of saddle, X-radiograph

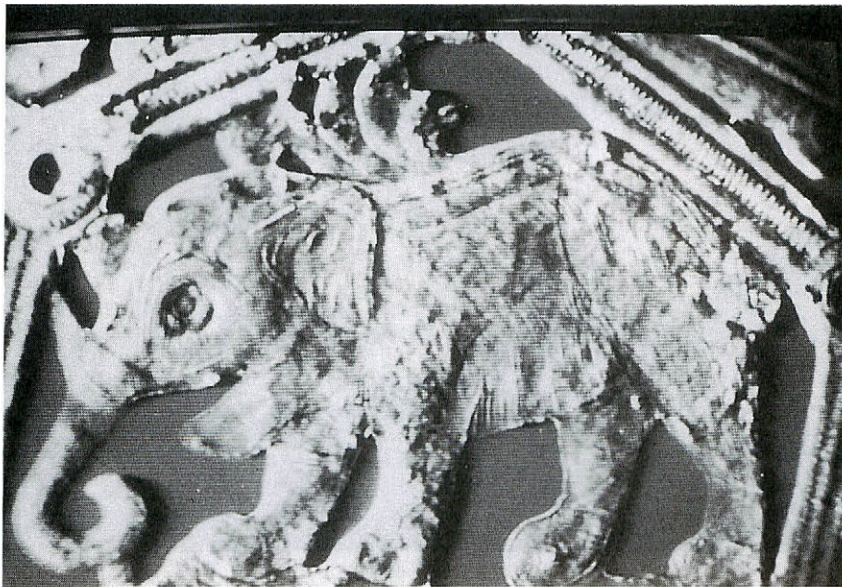


図 6-2 鞍金具の後輪・部分 (X線写真の強調画像)  
Fig.6-2 The part of saddle, treated by computer

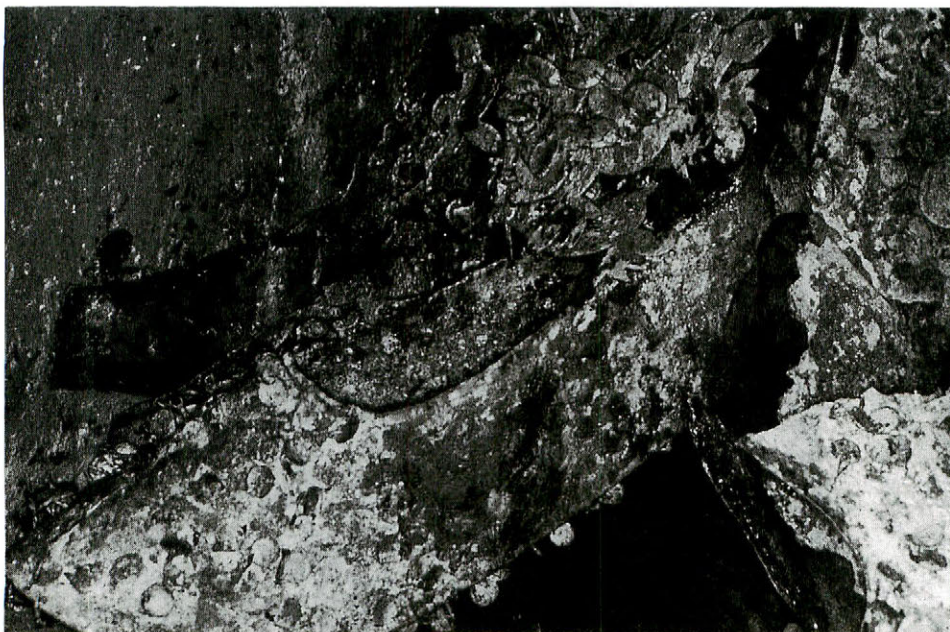


図 7-1 棺内発見の靴 (出土直後)  
Fig.7-1 Shoes founded in the coffin, original

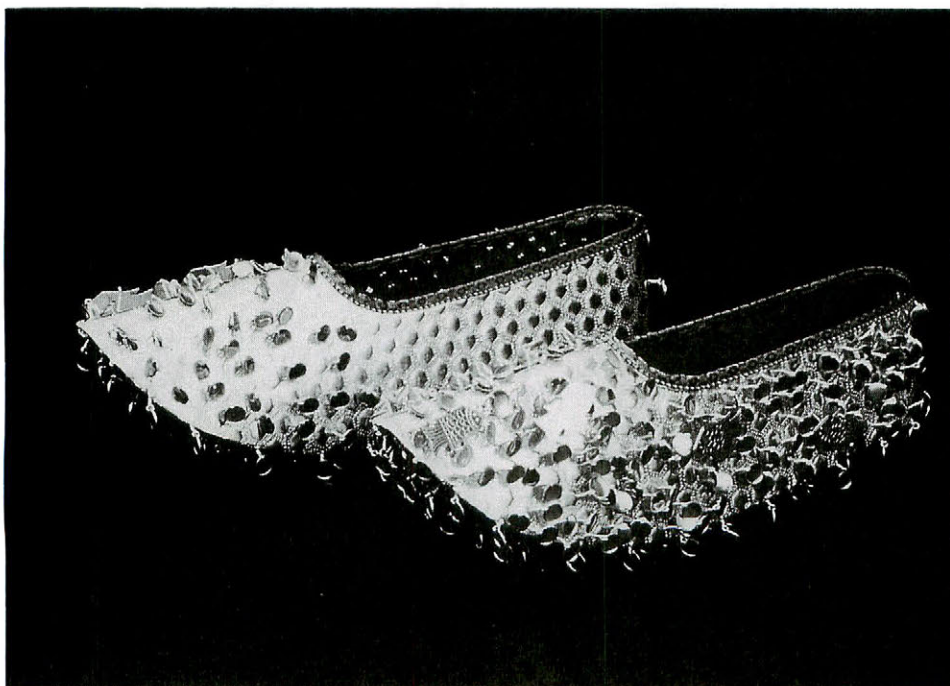


図 7-2 棺内発見の靴 (復原品)  
Fig.7-2 Shoes founded in the coffin, copy

## **Analytical research and treatment of gilded horse trappings excavated at Fujinoki Kofun.**

Masaaki SAWADA

Nara National Cultural Properties Research Institute

2-9-1 Nijo-cho, Nara-shi 630, Japan

The current practice of chemical or mechanical cleaning of corrosion products from copper and copper alloy artifacts can be significantly improved, especially for gilded objects. However the use of each of these methods still causes several problems for an understanding of the original appearance of the objects and also for the long term stabilization of the objects.

The problem with using the chemical method, such as the use of dilute acid to dissolve the corrosion products, is that it dissolves not only the corrosion products but also the underlying metal. Vinyl alcohol and acrylic copolymer is proposed as medium for applying the chemical method of using dilute formic acid. The copolymer has excellent water-absorbent properties which allow precise control, is not toxic, and is almost insoluble in solvents.

A case study is given of the use of this treatment in the conservation of gilded horse trappings excavated at Fujinoki Kofun, Nara prefecture. Corrosion products were removed from the gilded layer without any scratching of the surface, such that the traces of tools used in chasing the decoration were revealed.

Cleaning by this method is also useful in the study of ancient metal working techniques.