

三ヶ日町猪久保遺跡出土銅鐸の保存修復に関する研究

(受託研究報告第59号)

青 木 繁 夫

1. はじめに

本研究は、三ヶ日町教育委員会の依頼により、昭和61年度の受託研究として行ったもので、研究期間は昭和61年5月15日から昭和62年3月31日である。研究対象になった銅鐸は、昭和40年静岡県引佐郡三ヶ日町猪久保遺跡¹⁾から発見された。佐原真氏の型式分類に従えば突線鈕式銅鐸の内、近畿Ⅲと^{2),3)}いうことになり、その時期は弥生後期末になる。

研究項目は、銅鐸の錆の安定化処理と修復、腐食生成物調査、材質調査、原料産地推定、製作技法の調査で、研究の分担は、以下の通りである。

保存修復

修復技術部：青木繁夫

腐食生成物調査（X線回折分析）

保存科学部：江本義理，門倉武夫

材質調査（ICP分析）

保存科学部・馬淵久夫，富沢 威

原料産地推定（鉛同位体比の測定）

保存科学部：馬淵久夫

製作技法の調査（X線透視撮影）

保存科学部：三浦定俊

修復技術部：青木繁夫

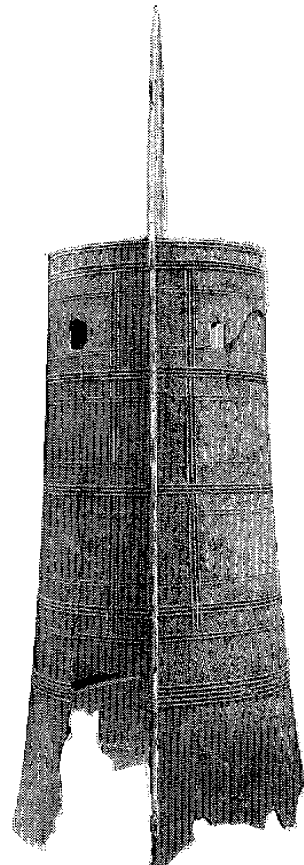
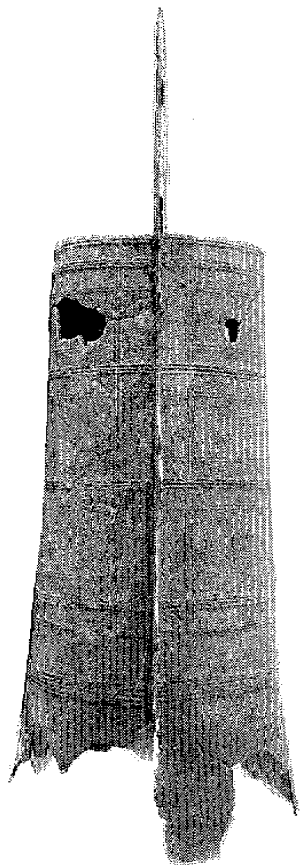
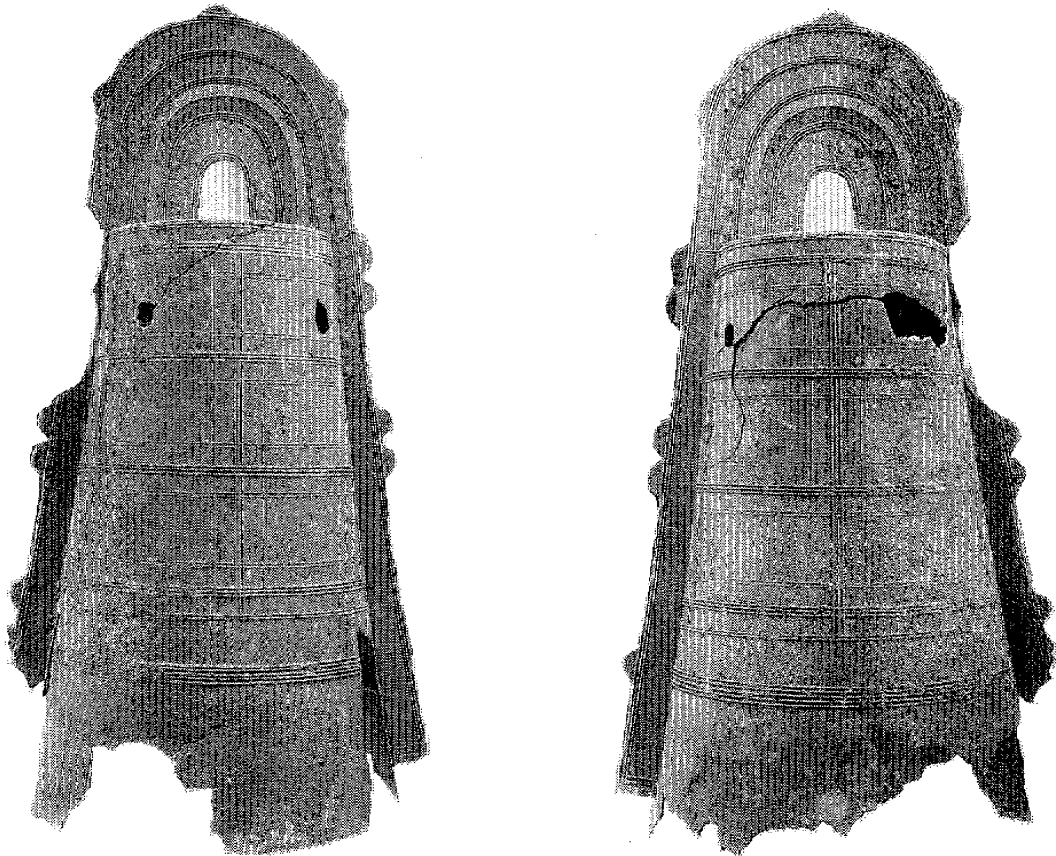
写真撮影

情報資料部：橋本弘次

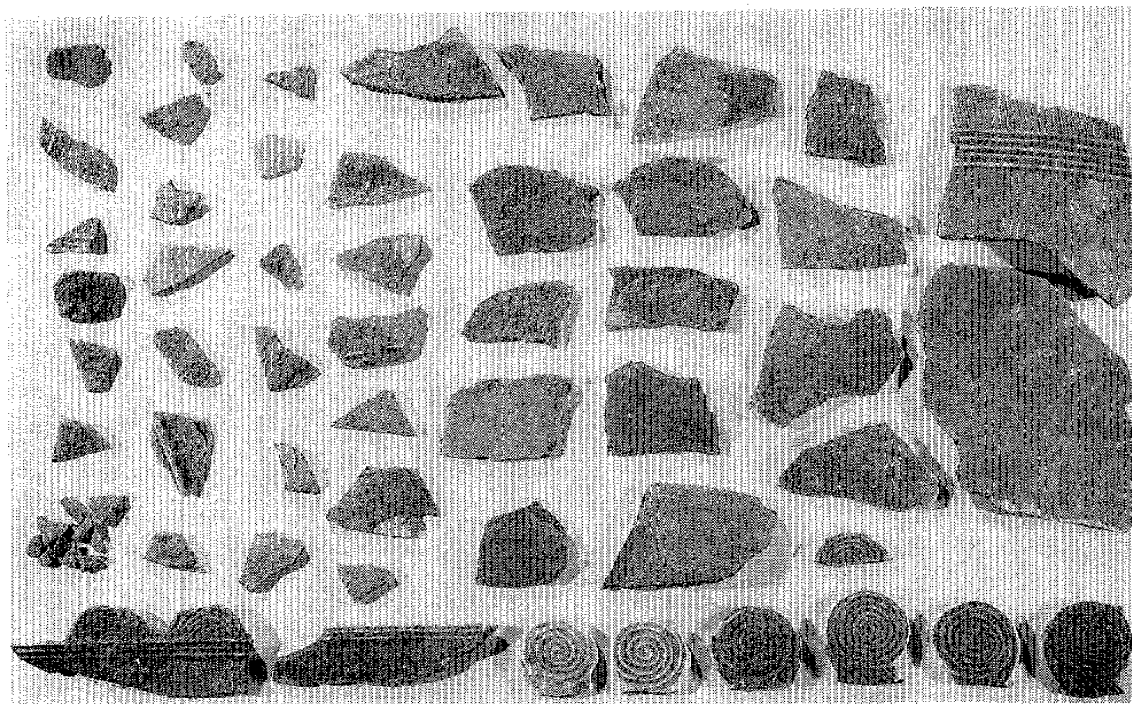
2. 品質形状および損傷状態

この銅鐸は、6区画の袈裟襷文と、鈕にとりつけられた三個の双頭渦文飾耳、顕著な突線帯によって特徴づけられる。鐸身は、両側に三条の突線の縁取りある斜格子と、中央に三条の突線を加えた縦横帯斜格子で飾る。縦帯は、上縁横帯の中央突線に始まり裾の鋸歯文帯の前で終る。横帯の中央突線は、第二、第三の横帯では、縦突線をすべて貫いているが、第四横帯では、互いに交叉している。裾は、鋸歯文帯と五条の突線帯で区切っている。鑄から鈕にかけては、三条の突線で縁取られた、内向鋸歯文帯があり、六カ所に半円渦文装飾が配されている。鈕では、三条の突線でふりわけられた綾杉文のある隆起帯を中心に、その外側の二重の内縁には鋸歯文が彫られ、三カ所に双頭渦文飾耳がある。腐食のためかなり形が崩れているがおおよそ正方形をした型持孔が鐸身上部に四カ所ある。さらに裾部にも四カ所あるが、腐食が著しく元の形状はわからない。

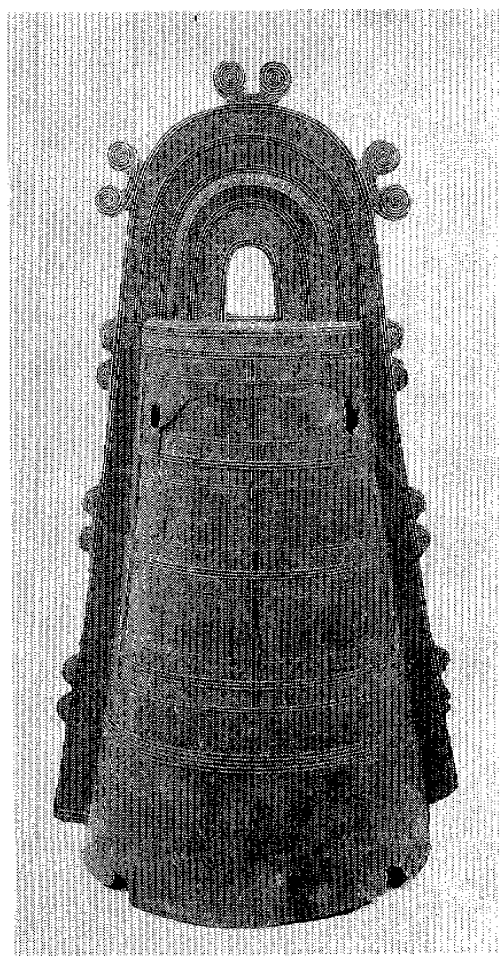
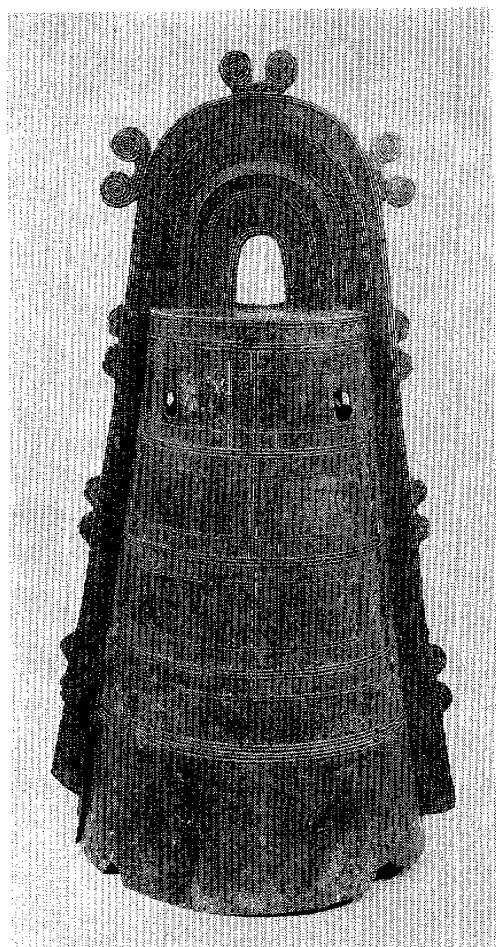
処置前の重量 15.86 kg, 総高 96 cm, 鐸身の高さ 64.5 cm, 裾部幅 42 cm, 裾部短幅 34 cm,



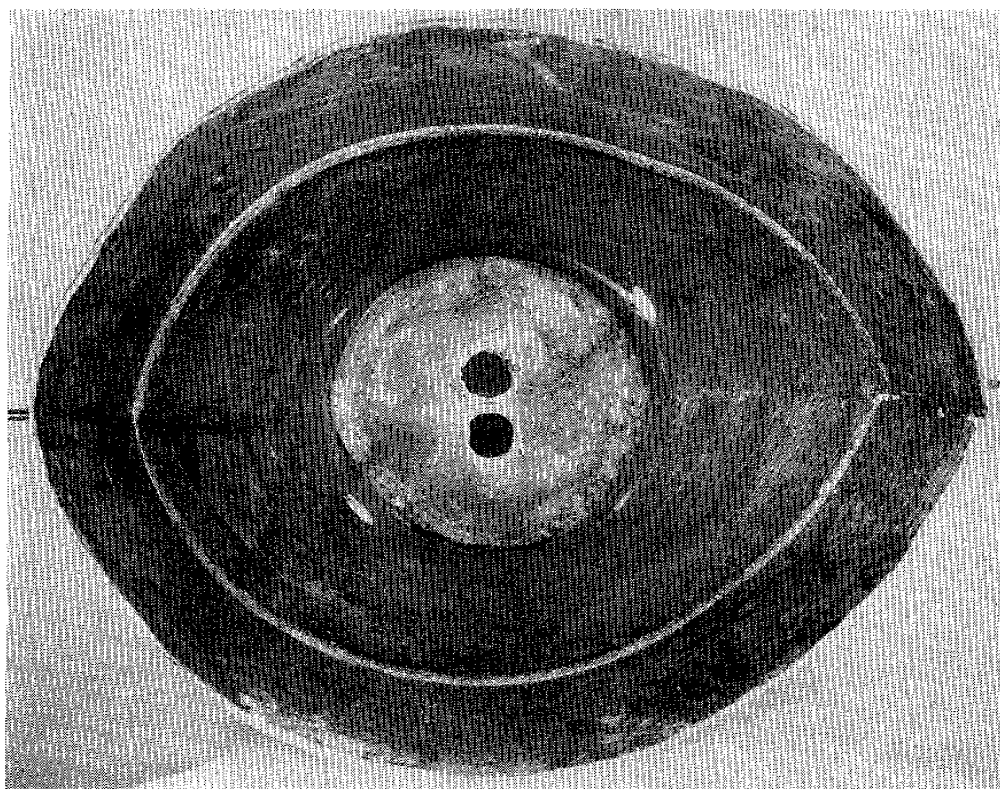
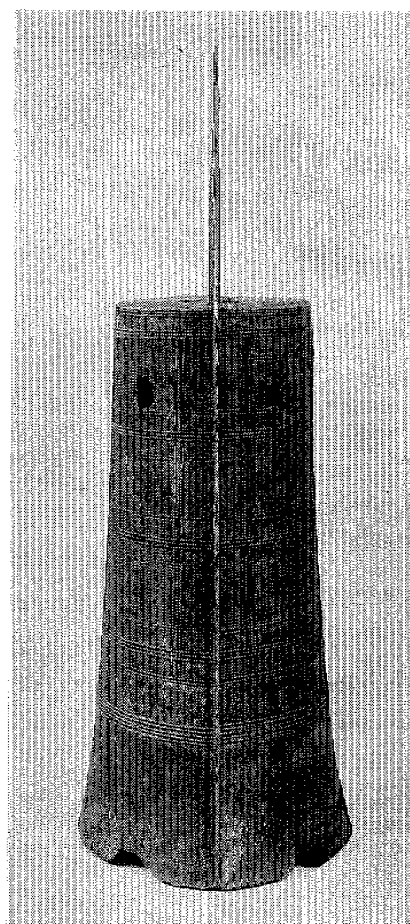
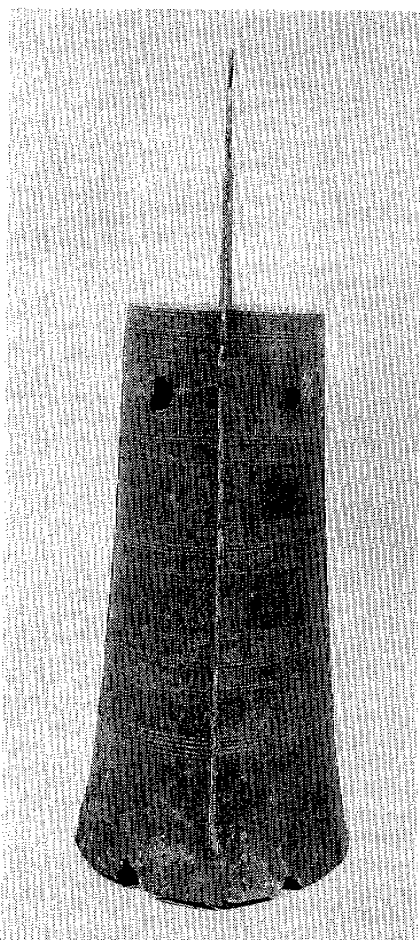
処 置 前 (Before Treatment)



銅鐸破片処置前 (Before Treatment)



処置後 (After Treatment)



処置後銅鐸底部より内部を見る (After Treatment)

上端部舞幅 25.7 cm, 上端部舞短幅 23.5 cm, 鈕の高さ 25.1 cm。

全体にかなり腐食が進行している。内側は、鑄出したままで何等手がかえられていないため比較的腐食も少ないが、磨かれて整形された表面は、腐食がひどく全体に錆が粉状になり手で触るとチョークを使用したときのように錆が手に付着する。果樹園造成中のブルドーザーによって掘りおこされたためか損傷が著しい。鈕に配された双頭渦文飾耳や鱗の一部、さらには裾部が折損している。舞から型持孔にかけての鐸身上部には、大きな亀裂と歪みがある。

3. 腐食生成物, 材質と原料産地推定

I. 腐食生成物分析

1) 試料

初めに試料採取を行わず裾部の破片及び双頭渦文飾耳破片の白緑色粉末状の腐食部分について非破壊式X線回折装置で測定した。次に双頭渦文飾耳の白緑色粉末状の腐食部分については、筆先で容易に錆が採取出来たので、粉末としガラス板上でX線回折装置で測定した。

2) 分析結果

1破片に対し、数カ所測定した結果、いずれも同一のピークパターンが得られた。検出鉱物は、塩基性炭酸銅 (malachite, $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$) であった。塩基性炭酸銅は、安定した銅錆である。また石英 (SiO_2) が、検出されているが、これは付着していた泥に由来するものと思われる。

3) 所見

銅製品に塩化第一銅 (nantokite, CuCl) が存在すると、塩化第一銅中に含まれる塩素と水が反応し、塩酸ができる。この塩酸が、銅を腐食し塩化第一銅および塩基性塩化銅 (atakamite, $\text{Cu}_2(\text{OH})_3\text{Cl}$, paratacamite, $\text{Cu}_2(\text{OH})_3\text{Cl}$) を生成する。この腐食反応サイクルをブロンズ病と呼んでいる。この腐食現象は、銅製品を完全に崩壊するまで侵食する。病気を確認するにあたって、塩化第一銅は不安定な化合物であるため検出しにくいので、塩基性塩化銅を検出して判断している。

分析の結果、ブロンズ病の塩基性塩化銅は検出されなかった。一般的に銅製品の錆は、しばしば点状に塩化第一銅を含んでいる。今回のように分析が、表面の錆層だけに止まった場合塩基性塩化銅は、検出されないことがある。したがって塩基性塩化銅が検出されなくとも錆の安定化処理を行ったほうが良いと考えられる。

II. 材質調査

1) 試料

(A)銅の金属部分が残っている、(B)黒色金属部分、(C)緑色錆のそれぞれ状態の異なる3小破片を分析試料にして、プラズマ発光分光分析法によって定量分析を行なった。

2) 分析結果

状態の異なる3破片を定量したが、(A)は12元素の定量値の合計がほぼ100%であり、

表-1 ICP による材質分析
Analysis of the Materials by Inductively
Coupled Plasma Emission Spectrometry

元 素	含 有 量 (%)		
	A. 銅 色 金属片 (121.9mg)	B. 黒 色 金属片 (91.9mg)	C. 緑色錆 (50.8mg)
銅 Cu	95.2	72.2	44.0
錫 Sn	3.2	7.5	15.1
鉛 Pb	4.1	7.0	13.1
クロム Cr	0.03	0.04	0.07
鉄 Fe	0.09	0.12	0.33
ニッケル Ni	0.11	0.05	0.06
亜鉛 Zn	0.03	0.12	0.01
銀 Ag	0.21	0.24	0.56
アンチモン Sb	0.09	0.68	0.22
金 Au	0.02	0.02	0.04
計 Total	103.1	87.9	73.5

良好な金属状態の部分であることがわかる。(B)と(C)は合計が100%より低く、残りの約12%(B)および26%(C)は酸素や炭素(炭酸塩として)などの非金属と考えられる。またBとCはAと比較して錫、鉛が濃縮し、銅が溶出しているのが明瞭に見られる。微量成分についても、鏝の進んだB、Cはアンチモンに大きな変動がみられる。これらのデータから、銅鏝本来の成分として信頼できる定量値はAについてであり、BとCは除外すべきことがわかる。

3) 所 見

銅鏝の化学組成で従来注目されているのは、錫量の変化である。銅に対する錫の割合の値を報告された他の銅鏝の結果と比較すると表—2のようになる。

表—2 銅鏝の銅・錫比
Copper and Tin Abundance Ratio

出 土 地	型 式	Su/Cu	分 析 者	文 献
泊	外縁付鈕 I	0.191	亀井 清	4)
神 於	外縁付鈕 I	0.165	山崎 一雄	5)
神 戸	外縁付鈕 II	0.091	近重 真澄	6)
倭 文	外縁付鈕 II	0.041	亀井 道	4)
道 堂	突線鈕 3	0.055	田辺 義一	7)
羽曳野(伝)	突線鈕 4	0.051	亀井 清	4)
栄 根	突線鈕 5	0.046	近重 真澄	8)
三ヶ日	突線鈕	0.034	本資料 (A)	

過去の分析値は分析者、分析法、試料の状態がまちまちであり、かなりの誤差を見込む必要があるので断定はできないが、本銅鏝は近畿式、三遠式銅鏝の従来値と良く一致している⁹⁾。

III. 鉛同位体比による原料産地推定

1) 試 料

破片の腐食部分から試料を採取して、鉛同位体分析を行なった。

2) 分析結果

表—3 鉛同位体比
Lead Isotope Abundance Ratio

$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$
17.732	0.8762	2.1644
± 0.007	± 0.0002	± 0.0006

3) 所 見

この鉛同位体比は、従来馬淵らが画一的な華北産の鉛として類別している近畿式、三遠式銅鏝の値に完全に一致している⁹⁾。

IV. X線透視撮影

X線透視撮影については以下の条件で行った。

撮影装置	フィリップス工業用X線発生装置
二次電圧	130 kv, 150 kv

電 流	5 mA
露出時間	30分, 45分
使用フィルム	富士フィルム工業用 IX 100
現像時間	レンドール 3 分 (摂氏20度)

所見：裾部には鬆がほとんどみられず上部に行くにしたがい多くなる。鈕にはバリ跡の白い線が写し出されている。全体に緻密で良い鑄上り状態である。

4. 製作技法について

この銅鐸は、鑄掛の跡もなく厚さも比較的均一で、大変良い鑄上がり状態である。

ICP 分析によれば錫、鉛量共に少なく銅の量が多いことに気づく。純銅の融点は 1083°C であるが、3%程度の錫と4%程度の鉛が混合されていることから、この合金の融点は、1050°C 前後であると考えて差し支えないと思われる。この銅鐸の重量は約 15 kg あるが、東京芸術大学鑄金科の戸津氏の教示によれば、鑄造の際に湯口漏斗や湯道に残る銅量や余裕を見ると少なくとも約 30 kg の銅が必要であると思われ、またこのような大量の銅を熔したとすれば、1,500°C 前後の熔融温度がなければならないとのことである。

鑄型は、土鑄型の惣型を使用したと考えられる。鑄型は、まず真土（砂を粘土汁でこねたもので粒子が粗い）に藁くずとか麻の繊維を混ぜたものをよくたたいてのち乾燥させ裏型を作る。この裏型の表面に真土をのせ規型を回転させると鐸身ができる。これに平面原型をのせ、真土の上に線を引き鈕と鱗をヘラを用いて彫刻する。これらに描れている突線については、等間隔に並んだ状態を見て、何らかの定規があったものと思われる。綾杉文や鋸歯文については、しっかりした割り付けをしてあるが、細部の線間隔はかなり不揃いである。このことから、だいたいの割り付け後、フリーハンドでヘラ押ししたと考えられる。鐸身文様の観察から、まず規型に釘を取付け、それを回転させ横突線を彫り、次に縦突線を、そして最後に斜格子文をヘラ押ししたようである。

この鐸身の無文様部分の平滑な面は、砥石等で研磨したものであろう。文様部分については、バリなどをタガネで若干調整したと思われるが、その肌から見て、おそらく砥石を用いての積極的な調整はされていないと思われる。もしこの銅鐸鑄造に使われた真土が、鐸身内側にみられるような粗い鑄肌を出すような砂を混入した真土であるならば、この文様部分のような平滑さは望み得ないので、真土の表面に粘土をおいたのではないかと考えられる。中口裕¹⁰⁾によれば「袈裟襷文は、粘土の上にヘラを押しても、ヘラが粘土にねばりついて、これまたうまくゆかない。」とのことであるが、粘土の乾燥状態によっては、ヘラ押しあるいは釘状の工具で彫ることも可能であると考えられるので、この種の文様を持つ銅鐸鑄型表面への粘土の使用を全面的に否定するわけにはいかないのではないかと。

X線透視写真の所見によれば、この銅鐸の裾部には鬆がなく、鐸身の中程にいわゆるゴミ鬆（熔銅表面の酸化膜などをまき込んだ際にできる）と呼ばれている不整形な鬆がある。ガスを抱き込んだためにできる鬆は、上部に行くにしたがい多くなり、とくに鈕部分に集中する。しかも鈕の上部に行くにしたがい鬆の形が大きくなる。重い熔銅を注いだ場合、その圧力で鑄型下部に行くにつれ銅の質が緻密になり、鬆は湯口や上がりに近い所に多くなる。もし裾部に湯口を設け、そこから熔銅を流し込んだ場合には、X線の所見と違い裾部に行くにしたがい鬆が多くなるはずである。またこの銅鐸には、裾部に湯口を設けた場合にできるはずの裾部裏側のバリを取り除いた形跡がない。少なくとも鬆やゴミ鬆の分布から判断すると鈕を上にして鈕から裾部に向かって熔銅を流し込んだ可能性がある。

バリの部分は、急激に冷却されるため、他の部分と比べて金属組織が緻密（チルド現象）になる。そのためX線には白い線として写し出される。銅鐸内側の数ヶ所に鑄造時に中子型の真土に亀裂が入ったために起ったバリが存在する。表面の観察では判別できないが、X線によれば鈕部分にもバリの白い線が写し出されている。注入された熔銅は凝固する時にガスを放出し、鑄型に対して強い圧力を生ずるが、鬆やバリの分布状況から、内圧を均等に分散させ得たことが推定でき、かなり理想的な形で鑄造に成功している。

5. 保 存 修 復

幸いにしてブロンズ病の塩基性塩化銅は、検出されなかったが、一般的に銅製品の錆は、塩基性炭酸銅の下に酸化第一銅の錆層を持つ事が多い。この錆層は、しばしば点状にブロンズ病の原因である塩化第一銅を含んでいる。今回のように腐食生成物の分析が、表面の厚い錆層だけに止まった場合ブロンズ病の腐食生成物である塩基性塩化銅は、分析では検出されないことがある。したがって、たとえ塩基性塩化銅が検出されなくとも錆の安定化処理を行ったほうが良いと考えられる。

そこで今回の保存修復では、錆の安定化処理で現在までのところ最も効果をあげているベンゾトリアゾール法を採用することにした。

1) クリーニング

銅鐸の錆がかなり進行しており、溶剤の中でのブラッシングやエアブラシ装置などでクリーニングをすると粉末状になった錆が取れ文様が失われてしまう。そこで表面に付着している土は、カッターナイフ、メス、竹べら、針などを利用して機械的に取り除いた。

2) 錆の安定化処理

ベンゾトリアゾール3%エチルアルコール溶液に銅鐸を30日間浸漬。

3) 効果の判定

ベンゾトリアゾール処理の終わった銅鐸を高湿度下に1週間置き処理効果を判定した。ベンゾトリアゾール処理の効果がないものは2日程でブロンズ病の特徴である白緑色粉状の錆が発生するが、今回1週間放置してもななら変化が認められなかったので、ベンゾトリアゾール処理が有効であると判定した。

4) 強化処理

錆により脆弱になった銅鐸を強化するため、ベンゾトリアゾールを3%含有したアクリル樹脂（インクラック）を含浸した。

5) 復原処理

折損した各破片は、エポキシ樹脂（アラルダイトCY-230、硬化剤エポメートB002及びハイスーパーセメダイン）に顔料を入れて接合した。また立てて展示することを可能にするため、各破片の接合面の裏がわは、エポキシ樹脂FRPにて補強した。欠失部についてもエポキシ樹脂FRPにて補修してある。

裾部の型持孔については、破損及び錆が著しく明確に確認しえないため、位置的に型持孔に当たると考えられる破片部分の断面の錆が、白緑色したところ（型持孔に当たる破片でない場合は、折損断面が新しいために酸化第一銅の暗赤色の断面が見られる）を型持孔と判断して復原をした。

6. お わ り に

以上述べたような方法で、諸調査と保存修復処置がなされた。錆の安定化処理と保存修復が

なされたとはいえ、相対湿度が高いところに保存すれば、再度錆が発生する危険性が大きい。今後は結露しないように相対湿度40%以下の湿度の低いところで保存管理することが望ましい。

銅鐸を乾燥状態で保存展示するため、陳列ケースを新造した。このケースは、内部に乾燥剤（シリカゲル）を入れて相対湿度が、40%以下になるように設計してある。ケース内には、簡易湿度インディケーター（このインディケーターは誤差が5%程度ある。）をいれ湿度をモニターしており、40%以上の相対湿度を示した場合には、乾燥剤を交換できるようになっている。

参 考 文 献

- 1) 向坂鋼二・平野和男「静岡県引佐郡三ヶ日町猪久保出土の銅鐸について」『考古学雑誌』第51巻1号（1965）
- 2) 佐原 真「銅鐸の鑄造」『世界考古学大系』2巻（1950）
- 3) 佐原 真「銅鐸型式分類の研究史」『考古学雑誌』52巻2～3号（1967）
- 4) 亀井 清「神戸市桜ヶ丘出土銅鐸の冶金学的研究」『桜ヶ丘銅鐸，銅戈』兵庫県文化財調査報告第1冊（1972）
- 5) 室住正世・山崎一雄「同位体比による考古遺物の研究」『古文化財に関する保存科学と人文・自然科学』文部省科学研究費特定研究昭和55年度年次報告書（1980）
- 6) 梅原末治『銅鐸の研究』木耳社（1927）
- 7) 田辺義一「A Study on the Chemical Composition of Ancient Bronze Artifacts Excavated in Japan」『Journal of the Faculty of Science, University of Tokyo』Sec. V, Vol. II, part 3, (1962)
- 8) 梅原末治「銅鐸の化学成分について」『白鳥博士還暦記念東洋史論叢』（1922）
- 9) 馬淵久夫・平尾良光「鉛同位体比からみた銅鐸の原料」『考古学雑誌』第68巻第1号（1972）
- 10) 中口 裕『銅の考古学』雄山閣（1972）

Conservation Treatment of *Dotaku* Excavated
at the Ikubo Site, Shizuoka Prefecture

Shigeo AOKI

A *Dotaku* (bronze bell-like object) was excavated at Ikubo in Shizuoka Prefecture in 1965. The *Dotaku* is archaeologically presumed to have been made in the Yayoi Period.

The following facts were found by analysis :

- 1) X-ray diffraction indicates that atakamite (basic copper chloride), which is the cause of bronze disease, is not found in the corrosion products.
- 2) Inductively coupled plasma emission spectrometry shows that the *Dotaku* is made of bronze (Table—1).
- 3) Lead isotope ratios show that the copper used for the *Dotaku* is of Chinese origin (Table—3).

Conservation treatment was done by the following procedure :

- 1) The *Dotaku* was cleaned by a soft glass-fibre brush and a bamboo spatula.
- 2) It was immersed in a 3% ethyl alcohol solution of benzotriazole for stabilization.
- 3) It was impregnated with an acrylic resin solution (Incralac) under reduced pressure for consolidation.
- 4) The *Dotaku* was restored by assembling fragments, using epoxy resin adhesive.