

## 出土鑄型からの鉄製梵鐘の復元

工藝文化研究所 鈴木 勉・浜田善玲

### 1 研究復元の概要

#### 1) 研究復元対象遺物（鑄型）

新地町向田A遺跡出土梵鐘

#### 2) 研究の期間

2003年8月～2004年3月

### 2 形態を考える



図1 梵鐘鑄型



図2 梵鐘鑄型上帯部

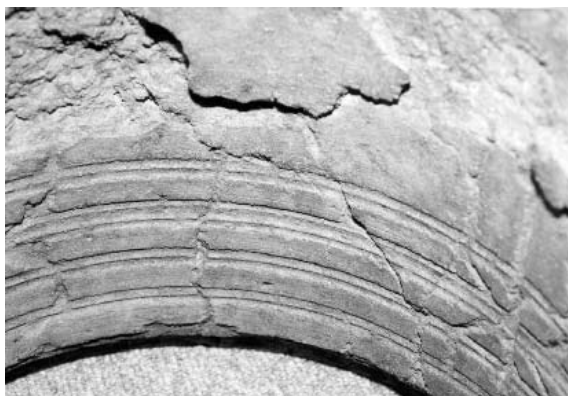


図3 梵鐘下帯部



図4 梵鐘鑄型袈裟襷部

鑄型を観察すると上下帯などの袈裟襷文様が明瞭に残っている（図1～4）。円周方向の線は挽き型を回転させて、縦方向の線はへら押しで施文されていることがわかる。しかし、肩の位置や笠型の形態などは明瞭ではない。

報告書によれば、口径 25.0 cm（計測値）、肩高 25.0 cm（計測値）、総高 30.0 cm（推定値）となっている。鑄型は真土型で、仕上げ真土が使われていると観察される（1）。

### 3 関連梵鐘の調査

向田A遺跡の梵鐘鑄型は9世紀第1四半期のものと推定されている。

現存する紀年銘梵鐘で最も古いものが戊戌年（西暦698年）の銘を持つ京都妙心寺鐘であるが、それ以降12世紀までの現存梵鐘の中で、口径約30cm前後の小型鐘を以下に挙げる。

表1 現存する平安時代以前の小型梵鐘など（単位：cm）

県名	名称	所在	紀年	西暦	口径	備考
東京	文化庁蔵鐘		宝亀5年	774	29.4	（東博蔵）
高知	延光寺鐘	宿毛市寺山	延喜11年	911	23.2	原・弥勒寺鐘
東京	井上ふみ蔵鐘	世田谷区世田谷2丁目	貞元2年	977	16.0	
岩手	衣川村出土鐘	平泉文化史館蔵	平安時代	1100	19.0	銘あるも判読不能
岩手	大竹廃寺出土鐘	北上市立博物館蔵	平安時代	1100	21.0	鉄鐘、無銘、昭和40年出土、総高24.5cm
長野	畠山忠雄旧蔵鐘	北佐久郡浅科村	平安時代	1100	31.4	鉄鐘、重文、現藤沢平治氏蔵
高知	正念寺鐘	土佐市宇佐	平安時代	1100	17.4	
京都	広隆寺鐘	京都市右京区太秦峰岡町	建保5年	1217	31.2	鉄鐘

全く同時期の小型鐘は現存しないが、復元鐘の肩より上部の形態は、表1の現存梵鐘の形態から類推することとし、実見調査を実施した。

関連梵鐘の実見調査の目的は、向田A遺跡出土梵鐘鑄型からでは推定できない部分の形態復元である。それは以下の通りである。

- ① 肩から笠型にかかる部位の形態
- ② 竜頭の形態
- ③ 各部の厚さ

#### 1) 大竹廃寺出土鐘（図5～7）

大竹廃寺鐘は、保存処理後の法量について、重量6kg、厚さは駒の爪で1.5cm、腹部あたりで3.5～4mm、頂部面（笠型か？）で5mmと報告されている（2）。形態は肩の部分で面取りされた形で、青銅製梵鐘ではこの形態は見られない。

#### 2) 衣川村出土鐘（図8～13）

一時、行方不明とされていた梵鐘であるが、現在は平泉文化史館に蔵される。厚さは駒の爪で10mm、下帯部で6mm（スケールで実測）、池の間部で3～4mm、上帯部で6～7mm、笠型部10～12mm（筆者らの手指の触感による推測）である。この梵鐘には銘文がないとされてきたが、今回の調査で銘文の一部を読みとることができた。一部は「真祢曰」と読める。写真

では再現が難しいほど僅かに突出する陽鑄文字である。

形態は平安時代末期特有の肩部を張り出した特徴が見える。畿内の鑄物師が設計に関わった可能性が見いだせる洗練されたデザインと言えよう。

向田A遺跡の梵鐘鑄型からシリコンで型どりしたもの（図14）については、肩部以下のアウトラインは衣川村出土鐘に似ており、平安時代鐘の特徴を備えていると言えよう。そうしたことから笠型部の形態はこれに準じて設計することとなった（吉田秀享氏設計）。

#### 4 鑄型の制作と鑄造工程

鑄造は3回行ったが、工程はどれも同じであるので、2, 3回目は省略した。

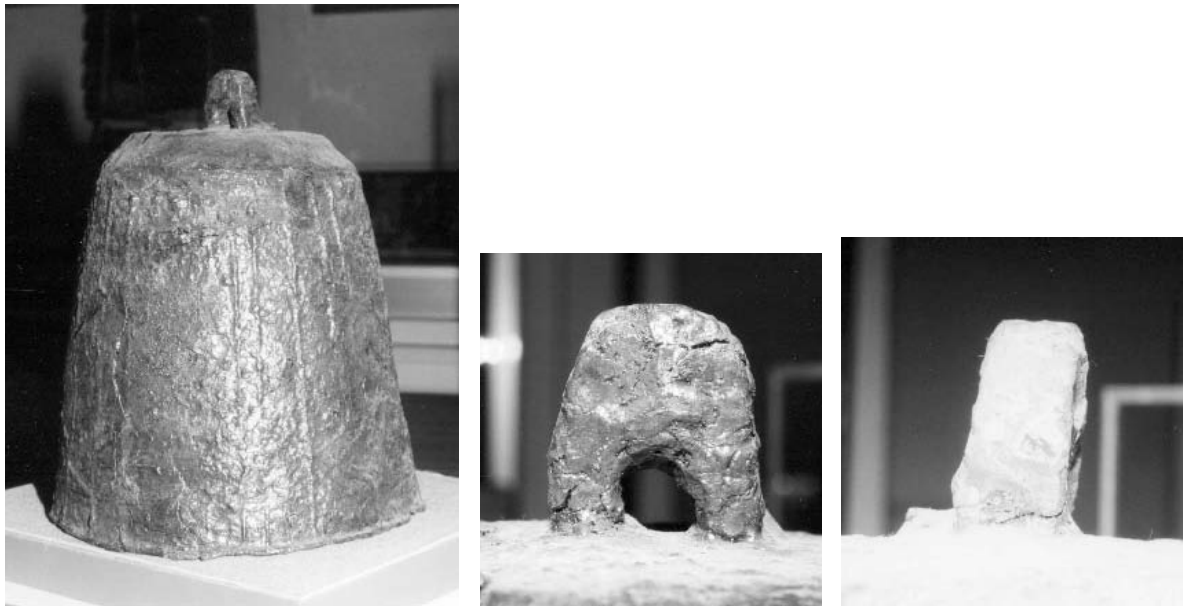


図5～7 大竹廃寺出土梵鐘とその竜頭



図8, 9 衣川村出土梵鐘とその竜頭

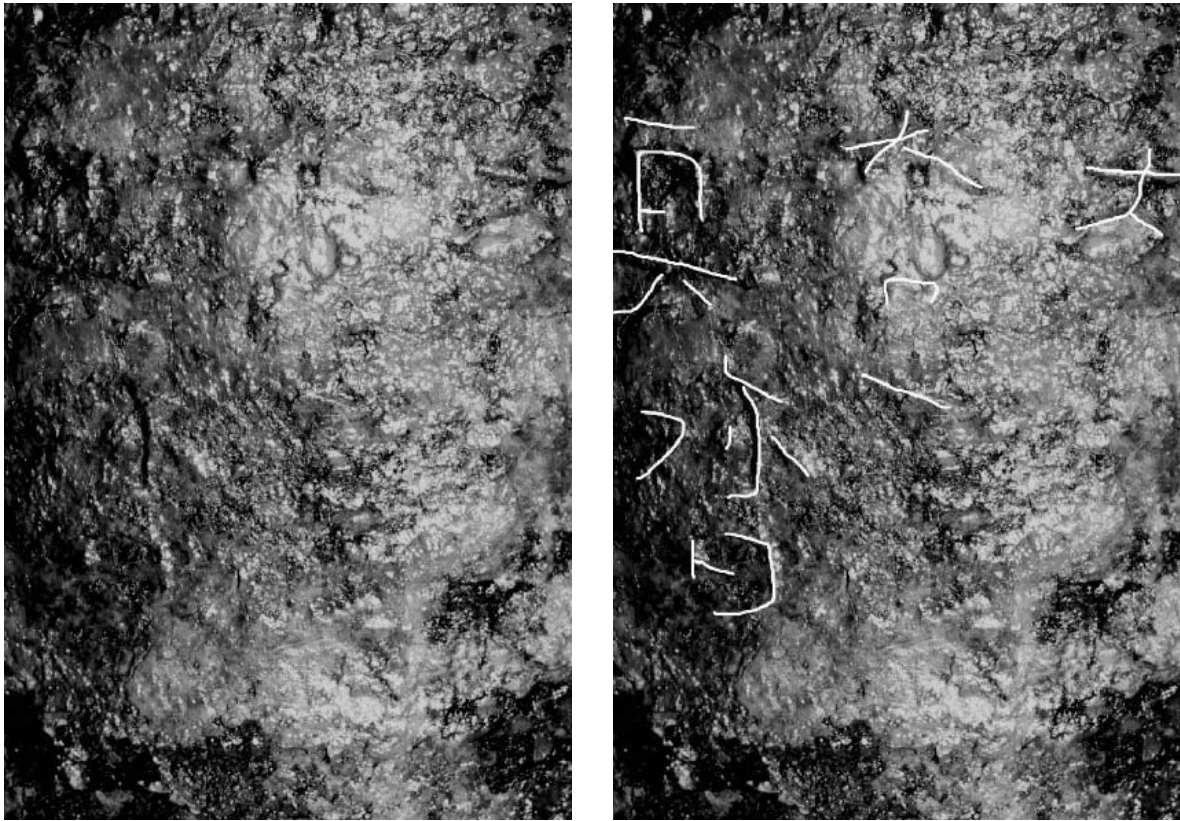


図 10、11 衣川村出土鐘銘文（3行目は「真祢曰」と解釈できる）

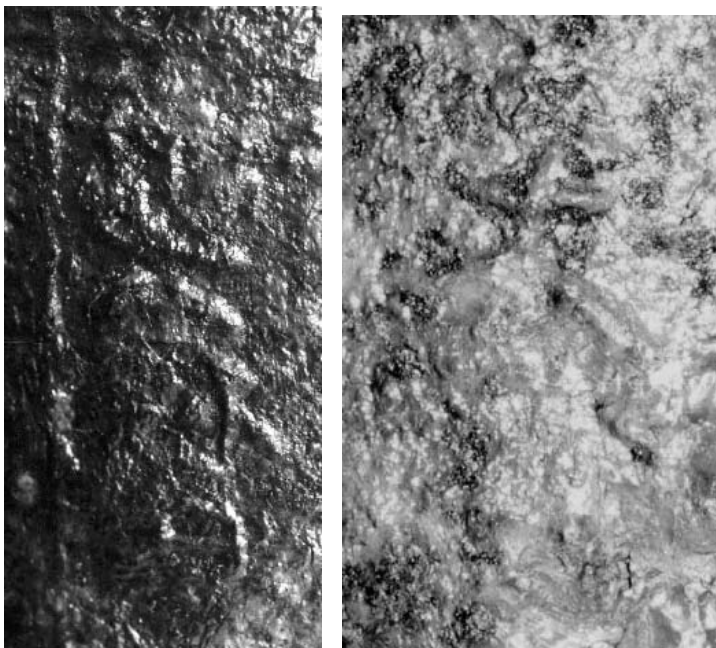


図 12、13 衣川村出土鐘銘文  
左：第3行（真祢曰） 右：第1行（大？）



図 14 向田 A 遺跡出土鑄型をシリコンで型どり(吉田秀享氏作成)

- 工程 1 設計図に基づき、挽き型を制作した (図 15)
- 工程 2 挽き型を使って、荒真土、中真土、仕上げ真土の順で挽いていく (図 16)  
 荒真土を挽いては焼成し乾燥させて後、中真土を挽く。また焼成し乾燥させてから仕上げ真土を挽く (図 17)
- 工程 3 袈裟襷の円周方向は挽き型の作業で作るが、縦方向の袈裟襷は和紙に下書きし、それを外型に貼り付け、へら押しする (図 18)
- 工程 4 乳は、下書きに従ってへら押しする (図 19)
- 工程 5 外型を焼成する (図 20)
- 工程 6 焼成が終わった外型に真土を充填して中子を作る (図 21)
- 工程 7 外型を割って中子を取り出す (図 22)
- 工程 8 あらかじめ作って焼成しておいた竜頭の鑄型を埋け込む (図 23)
- 工程 9 中子を焼成し乾燥させる (図 24)
- 工程 10 黒味 (グラファイト) を塗り、外型を炭火で乾燥する (図 25)
- 工程 11 中子のヒビを補修する (筆で真土と粘土を塗り込む) (図 26)
- 工程 12 外型と中子を組み上げる (僅かなズレも許されない) (図 27)
- 工程 13 材料を溶解する (図 28)
- 工程 14 鑄込む (図 29 ~ 39)

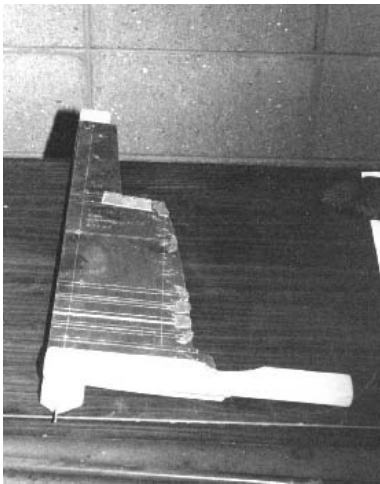


図 15 挽き型



図 16 挽き型を使って真土を挽く



図 17 仕上げ真土を挽き終わった



図 18 縦方向の袈裟襷を書いた薄紙を貼る



図 19 乳を押し



図 20 外型を焼成する



図 21 外型に真土を込めて中子を作る



図 22 外型をあけて中子を取り出す



図 23 外型に竜頭の鑄型を埋け込む



図 24 中子を焼成し乾燥させる



図 25 外型を焼成する



図 26 中子のヒビを修正する



図 27 鑄型を組み上げる



図 28 鉄を溶解する



図 29 溶けた鉄をとりペに取る



図 30 カーボンボイリングが激しい



図 31 鑄込み



図 32 溶湯の不足を2つ目のとりペで補う



図 33 鑄込み直後（カーボンボイリングが残る）



図 34 製品の取り出し（中子から壊していく）

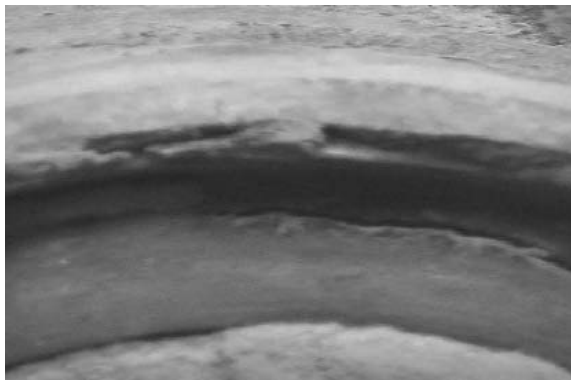


図 35 製品が収縮して鑄型との間にできた隙間



図 36 取り出す前の鑄型



図 37 製品の取り出し



図 38 取り出し直後



図 39 出来上がった製品（二郎鐘）

## 5 鑄造

本研究復元では、合計3回の鑄込みを行った。材料については、向田A遺跡が砂鉄製鉄を伴う遺構であることから、現代の砂鉄製鉄で得た鋤に含まれる銑（ズク）（炭素量2%程度以上、以後「鋤押し銑」という）を主材料とした。今回は日本刀剣保存協会から研究復元の目的で購入した。かねてより、鋤押し銑は鑄造に難しいとの風評があり、本研究復元ではその解明も試みたいと考えた。そこで第1回目の鑄造は下記の条件で行った。

### 1) 第1回目の鑄造

鑄込みの条件は以下のとおりである。



材 料：鋤押し銑 100%

溶解炉：電気炉

鋤押し銑の成分（例）

：炭素量 2.31%、珪素 0.02%、マンガン 0.008%（佐藤健二氏の研究で分析）

鑄込み温度：鑄物師濱田氏による目測で1500℃前後

その結果、図40の梵鐘を得た（太郎鐘）

大きなヒビが多数発生し、肌も荒れがひどかった（図41～43）。鑄込み時には線香花火の様な火花（カーボンボイリング）が鑄込みをする人間の胸の高さまで上がり、湯口が全く見にくいほどであった。



図40 1号鐘（第1回鑄造）



図41 肩部の大きなひび割れと孔（鑄造欠陥）

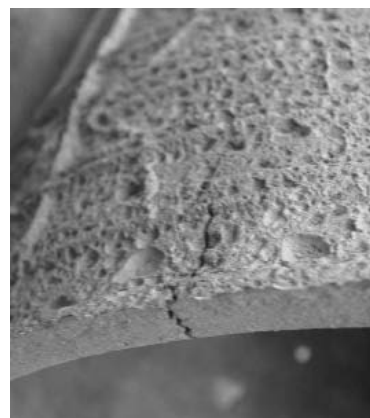


図42 口唇部のひび割れ



図43 1号鐘の笠型部のあばた



図44 2号鐘（第2回鑄造）



図45 3号鐘（第3回鑄造）

## 2) 第2回目の鑄造

第1回目の鑄造の失敗の原因を鋳押し銑の難しさにあると考え、条件を以下の通りとした。

材 料：鋳押し銑 50%、低硫黄銑鉄 50%

溶解炉：電気炉

鋳押し銑の成分（例、佐藤健二氏の研究で分析）

：炭素量 2.31%、珪素 0.02%、マンガン 0.008%

低硫黄銑鉄の成分（例、佐藤健二氏の研究で分析）

：炭素量 4.2%、珪素 1.8%

鑄込み温度：鑄物師濱田氏による目測で1500℃前後

その結果、図44の梵鐘を得た（二郎鐘）

ヒビは生じなかったが、肌荒れがひどかった。鑄込み時には線香花火の様な火花（カーボンボイリング）が鑄込みをする人間の顔の高さまで上がり、湯口が全く見えないほどであった。

肌の荒れは、カーボンボイリングによる炭酸ガスなどの大量発生によるものと考えた。そこでカーボンボイリングが起きにくくなるよう佐藤健二氏にお願いをした。佐藤氏によれば炭素と脱酸剤としてのチタンの添加で炭素の酸化が押さえられるという（佐藤氏報文参照）。

大熊氏の参加を得て、音の計測を行った。大熊氏によれば想像以上にきれいで余韻のある音を発し、優秀な銅鐘に匹敵する余韻の長さが得られたという。大熊氏の予想を上回る「良い」音が生成されたのである（大熊氏報文参照）。

## 3) 第3回目の鑄造

第2回目の結果の改善という目標を立て、以下の様な条件で鑄込みを行った。

材 料：鋳押し銑 90%、低硫黄銑鉄 10%、チタンと粉碎した炭を微量添加  
（詳細は佐藤氏報文を参照）

溶解炉：電気炉

（鋳押し銑と低硫黄銑鉄の成分は第2回目と同じである）

鑄込み温度：鑄物師濱田氏による目測で1500℃前後

その結果図45の梵鐘を得た。

鑄肌はきれいに上がり、ほぼ目的とした梵鐘を鑄込むことができた、と考えた。しかし、鑄込みの翌日、大熊氏が音の計測をした。すると、その音は低く余韻も極めて短かった。基音の減衰時間は2号鐘が36秒であるのに対し、3号鐘は4秒であるという（大熊氏報文を参照）。

## 6 考 察

### 1) 金属の減衰能について

今回の復元製作は形状の復元を目的として始まった。その成果は3号鐘の「すがた」として、ほぼ達成したと言える。しかしながら、私たちが大きな衝撃を受けたのは、「音」についての結果である。研究復元の途中から大熊氏の参加を得たわけであるが、その段階では3号鐘のよ

うな「音が響かない」梵鐘が生まれるとは全く考えていなかったのである。私たちは誰ともなく「金属で梵鐘を作るのであるからそれなりの金属音がするだろう」と思いこんでいた。したがって、2号鐘で大変余韻の長い音を聞いたときも、大熊氏から「これは比較的音響性能の良い昭和時代の青銅鐘と較べても遜色のない＜良い音＞が出ている」と聞いたときも、それほど重大な結果だとは考えが及ばなかったのである。

ところが、3号鐘が出来上がり、その想像をこえる短さの音、つまり余韻が全くないような音を聞いた時にようやく大熊氏の先の発言の意味を理解した。

「減衰能」の語は、機械材料の性能を論ずる中で見る単語であったが、梵鐘の研究復元の中でそれが話題になるとは全く考えていなかった。

減衰能とは工学では次のように説明される。

「振動周期中内部摩擦によって吸収される内部エネルギーの大きさをいう。＜中略＞もともと減衰容量（能）とは、振動エネルギーを熱に変える粘性変形によっておこる材料の性質をいう。＜中略＞減衰容量（能）が大きいということは、振動の吸収能力が大きいということになるので、工作機械のベッド材などとしては適している。」（川口寅之輔編『金属材料辞典』日刊工業新聞社刊 1963年）

梵鐘の音は打撃された時の body の振動によって起き、その振動の持続が余韻となって私たちの耳に届くのであるから、その減衰能が梵鐘の性能に関して多大な影響を及ぼすことは当然のことだと言える。

考古学的に梵鐘を扱う場合、概してその形が主となりがちであるが、本来梵鐘は音を出すのが使命である。出土鋳型を頼りに復元を始めた今回の研究では音に関する予察が全く不足していたと猛省せねばならない。

鋳鉄の減衰能について鹿取一雄氏は著書の中で次のように述べていた。

「片状黒鉛がよく伸びている鼠鋳鉄は減衰能が特に大きいので、たとえば工作機械などのベッドなどに使うと振動を吸収してくれる利点がある。しかしその反面喚鐘や風鈴などの鳴り物にはならない。鋳鉄で鳴り物をつくるのには黒鉛が晶出しないように、炭素を2.4～2.8%に、珪素を0.6～1.0%と低い組成にして、生型などに鋳込んで冷却速度を早めにする。こうすると黒鉛の晶出がなく、組織はセメントタイト（Fe<sub>3</sub>C）とパーライトだけになり、破面が白い、いわゆる白銑鋳物になって、減衰能が小さくなってより鳴り響く。」（鹿取一雄『美術鋳物の手法』1983年アグネ刊）

現代の工業的に「良い鉄鋳物」とは鼠鋳鉄を指すことが多いのであるが、それは私たちが近年触れる鉄鋳物の多くが機械のBodyに使われていることによる。鳴り物である鉄鐘としては、減衰能の高い鼠鋳鉄は「悪い鉄」である。一方、工業的には「悪い鉄」である減衰能の低い（つまり、振動がなかなか収まらない）白銑こそが梵鐘には「良い鉄」であるのだ。

今回の研究復元では白銑鋳物の2号鐘こそ成功例であり、ねずみ鋳鉄となってしまった3号鐘は姿は美しいとは言え、やはり失敗例として考えなくてはなるまい。

## 2) 白銑の難しさ

現段階で私たちは白銑鑄物で肌を美しく仕上げる技術を得ていない。今回の研究復元では、砂鉄から精錬される玉鋼の製造過程で得られる銑鉄（鉤押し銑）を使って製作することを条件とした。向田A遺跡の周辺では砂鉄を使った製鉄が平行して行われていたからである。砂鉄精錬で得られる銑鉄は現代の普通鑄鉄に較べて炭素が少なく、珪素も少ない。したがって、鑄造段階では白銑になる可能性が極めて高い。過去に著名な鑄物師が鉤押し銑を使って鉄鏡の鑄造を試みたが大きなヒビが入って割れてしまったとの話を耳に挟んでおり、鉤押し銑を分けていただいた日本刀剣保存協会においてバラバラにわれたその鉄鏡の破片を見せていただいた。つまり、白銑にしかかなり得ない鉤押し銑を使うがために鑄造が難しくなっているのである。では、鉤押し銑を使った白銑鑄物がなぜ難しいのであろうか？今回の研究復元で得た結果を以下に整理してみた。

- ①鉤押し銑を入れるとカーボンボイリングが起こる
- ②炭素と珪素が少ない溶湯は温度を高くしても粘度が低くなりにくい
- ③炭素と珪素が少ない鉤押し銑は融点が高い
- ④カーボンボイリングのせいで、ガス欠陥が生じやすい
- ⑤白銑鑄物は凝固時の収縮が大きく、かつ硬いのでヒビが入りやすい
- ⑥白銑鑄物は凝固時の収縮が大きいので、中子のある鑄型を使う梵鐘などでは、中子が鑄物の収縮を阻害し、結果として鑄物はひび割れする

(1) 今回の復元では、カーボンボイリングを起こしにくくするため、3号鐘の鑄造ではチタンや炭素を添加したが、それらが原因で鼠鑄鉄となってしまった。

(2) 粘度が低くなりにくかったため、必要以上に溶解に時間がかかり、結果的に必要以上に炭素を減少させてしまった。

(3) 鑄造後凝固時に収縮するのを妨げないために、濱田父子は凝固しきらないうちに中子を壊し始めた。2号鐘の成功はその瞬時の対応によるところが大きい

## 3) 向田A遺跡における鉄素材と梵鐘に関する推察

砂鉄精錬を行っていた向田A遺跡周辺における梵鐘鑄造は、現代の銑鉄に比較して炭素量が少な目な銑鉄が用いられた可能性がある。また、ねずみ銑で鉄鐘を作ることは音の出ない梵鐘を作ることになり、それでは古代において梵鐘の存在意味はないとさえ言える。従って向田A遺跡の鑄型では白銑の鉄鐘が作られていたと想定することが許されよう。

我が国上代の鉄製梵鐘の現存例は、岩手県衣川村出土鐘、同大竹廃寺出土鐘、長野県畠山忠雄氏旧蔵鐘の三例だけである。中世から近世にかけても我が国に鉄鐘の遺存例は極めて少ない。中国における鉄鐘の数の多さに較べれば、不思議なこととさえ言えそうなほどの数である。

その原因の一つとして、彼我における原料鉄の性質の違いと鑄鉄の熱処理技術の有無が考えられよう。白銑になってしまう鉤押し銑で梵鐘を作ったとしても鑄込みが難しく、成功率が少

なかったことがまず考えられよう。次に、鑄造に成功したとしても白銑の硬さは尋常ではなく、熱処理技術がなかったと仮定すれば、仕上げ加工の刃物を全く寄せ付けなかったことが考えられる。研磨で微量ずつ削っていくしかないのだが、それではあまりにも労力と時間がかかりすぎる。また、白銑のままでは、僅かな衝撃で割れてしまう可能性が高く、熱処理しなければ使えないとは考えられない。もし熱処理技術があったとすれば、中国でそうであったように白銑鑄物でもっと数多くの梵鐘が作られたであろうから、現存鉄鐘の少なさは、その技術がなかったことを示している可能性がある。向田A遺跡の未使用の鉄鐘鑄型はそのような高難度な技術に挑戦して諦めてしまったことの証なのかもしれない。

梵鐘の研究復元の一年前私たちは、新地町向田A遺跡出土獣脚付き容器（羽釜）と相馬市山田A遺跡出土風鐸と相馬市山田A遺跡出土獣脚付き容器の復元を行った。これらの容器と梵鐘は、中子や埋け込み型の使用など鑄型の構造においてはほとんど同じだと言って良い。しかしながら容器と鳴り物である梵鐘の技術は全く異なるものであった。いや正反対の技術であったとさえ言える。梵鐘の鑄型と容器やその獣脚の鑄型とは同じ遺跡から出土しているのであるから、性質や用途の全く異なるものを同じ工人グループが作っていたことになる。出土点数から考えれば、この工人グループが担当した主製品は容器類であり、梵鐘はその副業として行われた可能性がある。しかしながら形や鑄型の構造は似ていても鑄造の要点は全く異なるのであるから、わたしたちが研究復元で失敗を繰り返したのと同じように、容器を作っていた工人グループは鉄製梵鐘を作るのに大変な苦勞を重ねたのではないだろうか。それでも成功は容易なことではない。場合によっては成功せずにやむなく断念したことも想像が許される範囲ではないだろうか。それほど容器と鳴り物の鑄造技術は対極にあると言える。

#### <文 献>

- (1) 相馬開発関連遺跡調査報告Ⅰ 2 本文2)
- (2) 北上市教育委員会編『文化財調査報告第十一集 北上市極楽寺跡』昭和47年8月