

4. 「失鉛法」をめぐる諸問題 “失鉛法” 相关问题

丹羽崇史・長柄毅一・三船温尚

1. 問題の所在

春秋戦国時代は、それまでとは異なった形態・紋様の青銅器が出現するとともに、新たな青銅器製作技術が出現したことが明らかになっている（蘇ほか1995、江村2000）。そのうちの一つとして失蠟法が出現したことが想定されているが、蠟以外の消失原型の存在も想定され、鉛原型を用いて鑄型製作する「漏鉛法」（李1984, 2008）、あるいは錫鉛合金を用いる「失蠟法」（張2001）が提示されている（丹羽2008）。実際にこうした技法が春秋戦国時代に存在をしていたか否かは現状では明らかではないが、蠟以外の消失原型の可能性はユーラシア各地の金属製品の製作技法研究からも想定されており（丹羽2013）、考古学的調査、製作実験、自然科学分析、民俗調査など多面的なアプローチにより今後それらの実態について検討する必要がある。

上述のとおり、李志偉氏や張光遠氏は、鉛や錫鉛合金を用いて製作実験を行ったことを記しているが（張2001、李2008）、実験の詳細については記していない。筆者らは、実際に「失鉛法」による製作実験を行い、こうした手法により鑄型製作が可能であることを改めて明らかにした。さらには実験製作品・鑄型の自然科学分析を行い、それらの試料が有する特徴の解明を行った。これらの成果が波及する製作技法をめぐる論点についても整理する。

2. 「失鉛法」による鑄型製作実験

実験は2016年12月17・18日、富山大学芸術文化学部にて実施した。

原型は幅2mmの螺旋状鉛線（図1）を用い、9点の鑄型を製作した。原型を鑄物土でくるみ、炭火で約30分、重油炉で4時間半にわたり燃焼し、原型溶解（脱鉛）を試みた（図2・3）。結果9点いずれも脱鉛による鑄型製作に成功した。このうち4点は鑄型のまま保管し（以下、1～4鑄型とする）、残りの5点を銅錫の二元合金（Cu78%、Sn22%）を用いて鑄造し（図4）、製品を製作することができた（以下、5～9鑄型、5～9鑄造品とする）¹⁾。

3. 製品・鑄型の自然科学分析

鉛原型から製作した鑄型で鑄造した製品、ならびに鑄型に残る鉛の分布等の特徴を明らかにするため、鑄型・鑄造品の蛍光X線、電子顕微鏡による分析を実施した。分析は富山大学長柄研究室で行った。

(1) 分析1 蛍光X線

使用機器：アワーズテック 100FA 型

測定条件：管電圧40kV、管電流0.5mA、ターゲットPd、X線照射径3mmΦ以下、大気雰囲気中、測定時間100s

○3鑄型（未鑄造）：①真土部分、②③ガラス化した鉛（脱鉛痕）部分を測定（図5左）。

①：Cu、Pbなどを検出

②③：Pbを検出

○5鑄型（鑄造済）：鑄型断面の①外部分（真土）、②内側部分を測定（図5右）。

①：Cu、Pbなどを検出

②：Cu、およびPb（少量）を検出

○5鑄造品：①湯口中央付近、②湯口周辺部分、③螺旋部分（鑄造品本体）を測定（図6）。

①②③：Cu、Pb、Snを検出

(2) 分析2 電子顕微鏡

使用機器：日立ミクスコープ TM3000、オックスフォード インストゥルメンツ SwiftED3000

測定条件：加速電圧15kV、測定時間10s

○ 9 鑄型（螺旋部分の残った鑄型片）

螺旋状部分に集中して斑点状の痕跡が残る（点状分布）。Pb を検出。螺旋部分以外からは Pb 検出なし（図 7）。

○ 9 鑄造品（螺旋状部分を切断・研磨して測定）

鑄造品表面に鉛の付着を確認した。さらに断面観察から、鑄造品内部に鉛が入っていることも確認できた（図 8・9）。

4. 考察とまとめ

今回の実験・調査により、以下のような内容を明らかにした。

①鉛原型を用いて鑄型製作、ならびに製品の鑄造が可能であること。

②炭火（約 30 分）、重油炉（約 4 時間半）での燃焼による脱鉛作業を経ても、鑄型面に鉛が残存すること。

③「失鉛法」で製作した鑄型を用いて鑄造した製品において、その表面や内面に鉛が付着すること。

「1. 問題の所在」で述べた通り、過去の時代における多様な消失原型法の存在の有無を探るため、先行研究では鉛や錫鉛合金などの金属のほか、獣脂・縄・布・木・紙などの有機質物質を用いた消失原型による製作実験が行われてきた（Bunker, Ternbach1970, 譚 1994, 張 2001, 李 2008, 荒ほか 2012, 三船・長柄ほか 2012, 三船・畠山ほか 2012, 田尾ほか 2013, 丹羽ほか 2013・2014）。しかしながら、こうした手法により実験製作した試料について、どのような材質の特徴が残るかについては検証されずにいた。

今回は実験とともに自然科学的分析を併せて実施したことにより、「失鉛法」による製作品・鑄型の明瞭な特徴を明らかにすることができた。出土鑄型や青銅器の考古学・自然科学的調査成果との対比により、過去の時代における蠟以外の消失原型の存在の有無を明らかにするうえで、大きな手掛かりを得たといえるであろう。今後は出土鑄型や青銅器の分析データとの対比を進めるとともに、実験とその製作試料の自然科学分析を並行した実験考古学的研究を推進していきたいと考える。

註

1) 初出論文では「2. 「失鉛法」による鑄型製作実験」の記述に誤りがあったため、訂正した。

引用文献

荒友里子・畠山禎・高濱秀・三船温尚 2012 「南シベリアの青銅鍍の鑄造技術に関する調査と実験」『FUSUS』 4

江村治樹 2000 『春秋戦国秦漢時代出土文字資料の研究』汲古書院

田尾望・三船温尚・長柄毅一 2013 「失紙法の鑄造実験」『FUSUS』 5

丹羽崇史 2008 「中国における失蠟法の出現をめぐる学史的検討—東アジアにおける失蠟法の出現と展開に関する研究序説（1）—」『FUSUS』 1

丹羽崇史 2013 「中国周辺地域における出現期「失蠟法」の比較検討—東アジアにおける失蠟法の出現と展開に関する研究序説（2）—」『FUSUS』 6

丹羽崇史・新郷英弘・八木孝弘・樋口陽介 2013 「中国青銅器の製作技法解明のための対照実験（1）」『亜細亜鑄造技術史学会研究発表資料集』 7（本書 I - 1）

丹羽崇史・新郷英弘・樋口陽介・八木孝弘 2014 「中国青銅器の製作技法解明のための対照実験（2）」『アジア鑄造技術史学会研究発表概要集』 8（本書 I - 1）

三船温尚・長柄毅一・畠山禎・高濱秀・劉治国・荒友里子 2012 「失木法の鑄造実験」『FUSUS』 4

三船温尚・畠山禎・高濱秀・長柄毅一・劉治国・荒友里子 2012 「古代における燃焼消失原型鑄造法使用の可能性」『FUSUS』 4

李志偉 1984 「曾侯乙墓編鐘及尊、尊座鑄造方法新探—兼論先秦青銅鑄造工藝」『楚史論叢』初集 湖北人民出版社

李志偉 2008 「有關曾侯乙尊盤鑄造方法的證明—論中国青銅時代的熔模鑄造」『南方文物』 2008- 2

蘇榮譽·華覺明·李克敏·盧本珊 1995『中国上古金属技術』山東科技出版社

譚德叢 1999「中国青銅時代陶范鑄造技術研究」『考古學報』1999- 2

張光遠 2001「中国最早「失鑄法」- 春秋中期「蛇網蓋冠龍虎方壺」的鑄法論証」『海峽兩岸春秋鄭公大墓青銅器學術研討會論文集』國立歷史博物館

Bunker, Emma C. Ternbach, Joseph. 1970 Lost Wax Process, Expedition vol. 12

1. 问题所在

春秋战国时期,伴随着与此前形态、纹样不同的青铜器的出现,青铜器制作的新技术也应运而生,这一点已经逐渐明了(苏等 1995、江村 2000)。在这些新技术之中,被认为确实已经出现的有失蜡法这一技法。但是,也有研究者认为,除蜡之外还存在其他质地的熔模,并见于相同原理的其他制范技法中,比如使用铅模制范的“漏铅法”(李 1984、2008)或使用铅锡合金制范的“失鑄法”(张 2001)等(丹羽 2008)。实际上这类技法在春秋战国时期是否存在,目前尚不能确定,但是,在欧亚大陆各地区金属制品制作技法的相关研究当中,研究者们认为蜡模以外还有可能存在其他质地的“消失”模(丹羽 2013)。因此,今后借助考古学调查、制作实验、自然科学分析、民俗调查等多种手段来讨论这类制作技法似乎很有必要。

如前所述,李志伟、张光远曾提到使用铅、铅锡合金进行制作实验一事(张 2001、李 2008),但是实验细节并未记述。因此,笔者实地进行了运用“失铅法”的制作实验,再次证明采用这一手段可以制范,并对实验制品和范进行自然科学分析,解明了这些实验样品所具有的特征。下文将对反映上述成果的制作技法以及围绕这一技法的相关论点进行梳理。

2. “失铅法”制范实验

实验于 2016 年 12 月 17 ~ 18 日在富山大学艺术文化学部进行。

熔模以宽 2 mm 的螺旋状铅线(图 1)制成,共翻出 9 件范。我们尝试将熔模用土包裹,以炭火加热约 30 分钟后,再使用柴油炉烧制 4 个半小时,使熔模熔化(即脱铅)(图 2、图 3)。结果,这 9 件通过脱铅制作的范均烧制成功。我们在这 9 件范中取出 4 件保存(后文称“范 1 ~ 4”),其余 5 件则用于以铜锡二元合金(铜 Cu78%、锡 Sn22%)为原材料进行的铜器铸造(图 4),并成功制出了铸造品(后文分别称“范 5 ~ 9”、“铸造品 5 ~ 9”)¹⁾。

3. 制品及范的自然科学分析

为了明确铅模铸出的制品(铸造品 5 ~ 9)以及范内残留铅的分布状况等特征,我们对范以及铸造品进行了 X 射线荧光分析(XRF)和电子显微镜分析。分析在富山大学长柄研究室进行。

(1) 分析 1 X 射线荧光分析(XRF)

使用设备: OURSTEX 100FA 型

测定条件: 管电压 40kV、管电流 0.5mA、溅射靶材: 钨、X 光照射直径小于 3 mm Φ 、大气氛围中、测定时间 100s

○范 3 (未铸造): 测定了①砂质粘土部分以及②③玻璃化铅(脱铅痕迹)部分(图 5 左)。

①: 检测出 Cu 和 Pb 等。

②③: 检测出 Pb。

○范 5 (铸造完成): 测定了范断面上的①外侧部分(砂质粘土)和②内侧部分(图 5 右)。

①: 检测出 Cu 和 Pb 等。

②: 检测出 Cu 以及少量 Pb。

○铸造品 5: 测定了①浇口中央附近、②浇口周边部分、③螺旋部分(铸造品本身)(图 6)。

①②③: 检测出 Cu、Pb、Sn。

(2) 分析 2 电子显微镜

使用设备：日立 Miniscope TM3000、Oxford Instruments SwiftED3000

测定条件：加速电压 15kV、测定时间 10s

○范 9（残存螺旋部分的范片）

残存有集中于螺旋部分的斑点状痕迹（呈点状分布），从中检测出 Pb。螺旋部分以外未检出 Pb（图 7）。

○铸造品 9（将螺旋部分切断并研磨后进行测定）

我们确认铸造品表面附着有铅，之后，通过观察断面，确认了铸造品内部也含有铅（图 8、图 9）。

4. 考察和总结

通过本次实验和调查，我们明确了以下几点。

①使用铅模制范并铸造制品是可行的。

②即使经过约 30 分钟的炭火加热和约 4 个半小时柴油炉加热的脱铅工序，范表面仍然残存有铅。

③在以“失铅法”翻出的范铸造出的制品上，其表面或内侧附着有铅。

如同本文“1. 问题所在”叙述的那样，为了探讨过往的时代中多种多样的“消失”模法是否存在，研究者在以往的研究当中，除了使用铅或铅锡合金等金属，还使用过动物油脂、绳子、布、木材、纸等有机物，进行“消失”模铸造器物的实验（Bunker, Ternbach 1970, 谭 1999, 张 2001, 李 2008, 荒等 2012, 三船、长柄等 2012, 三船、阜山等 2012, 田尾等 2013, 丹羽等 2013、2014）。但是，关于采用以上方法进行实验制出的样品，它们具有怎样的材质特征，这一点还未进行过检测和验证。

由于本次实验与自然科学分析一道进行，采用“失铅法”铸造出的制品及范的显著特征得以明确。通过与出土范以及青铜器考古学、自然科学调查等成果进行对比，在阐明过去的时代里除了蜡以外是否还存在其他“消失”模这一问题的基础上，可以说已经获得了很重要的线索。今后，随着与出土范、青铜器分析数据相关的对比研究的进行，我们希望能够继续推进实验以及实验制作样品自然科学分析这二者并行的实验考古学研究。

注

1) 旧版论文中“2. ‘失铅法’制范实验”的相关制品编号有误，特此更正。

引用文献

李志伟 1984：《曾侯乙墓编钟及尊、尊座铸造方法新探—兼论先秦青铜铸造工艺》，《楚史论丛》初集，湖北人民出版社。

李志伟 2008：《有关曾侯乙尊盘铸造方法的证明—论中国青铜时代的熔模铸造》，《南方文物》2008-2。

苏荣誉、华觉明、李克敏、卢本珊 1995：《中国上古金属技术》，山东科技出版社。

谭德睿 1999：《中国青铜时代陶范铸造技术研究》，《考古学报》1999 - 2。

张光远 2001：《中国最早“失蜡法”——春秋中期“蛇网盖冠龙虎方壶”的铸法论证》，《海峡两岸春秋郑公大墓青铜器学术研讨会论文集》，国立历史博物馆。

荒友里子、阜山禎、高濱秀、三船温尚 2012：《南シベリアの青銅鍍の鑄造技術に関する調査と実験》，《FUSUS》4。

江村治樹 2000：《春秋戦国秦漢時代出土文字資料の研究》，汲古書院。

田尾望、三船温尚、長柄毅一 2013：《失紙法の鑄造実験》，《FUSUS》5。

丹羽崇史 2008：《中国における失蠟法の出現をめぐる学史的検討—東アジアにおける失蠟法の出現と展開に関する研究序説（1）—》，《FUSUS》1（中文版：丹羽崇史（陈洪译）2017：《关于中国失蜡法出现之学史讨论—关于东亚地区失蜡法出现与发展之研究序论（1）》，《三代考古》7）。

丹羽崇史 2013：《中国周辺地域における出現期「失蠟法」の比較検討—東アジアにおける失蠟法の出現と展開に関する研究序説（2）—》，《FUSUS》6（中文版：丹羽崇史（黄盼译）2019：《中国周边地区早期“失蜡法”的比较研究—关于东亚地区失蜡法出现与发展之研究序论（2）》，《三代考古》8）。

丹羽崇史、新郷英弘、八木孝弘、樋口陽介 2013：《中国青銅器の製作技法解明のための対照実験（1）》，《亜細亜鑄造技術史学会研究発表資料集》7（本书I-1）。

丹羽崇史、新郷英弘、樋口陽介、八木孝弘 2014：《中国青銅器の製作技法解明のための対照実験（2）》，《アジア鑄造技術史学会研究発表概要集》8（本书I-1）。

三船温尚、長柄毅一、畠山禎、高濱秀、劉治国、荒友里子 2012：《失木法の鑄造実験》，《FUSUS》4。

三船温尚、畠山禎、高濱秀、長柄毅一、劉治国、荒友里子 2012：《古代における燃焼消失原型鑄造法使用の可能性》，《FUSUS》4。

Bunker, Emma C. Ternbach, Joseph. 1970 Lost Wax Process, Expedition vol.12

【初出／初刊】

丹羽崇史・長柄毅一・三船温尚 2018 「失鉛法」をめぐる諸問題『アジア鑄造技術史学会研究発表概要集』12

（唐丽薇 译）

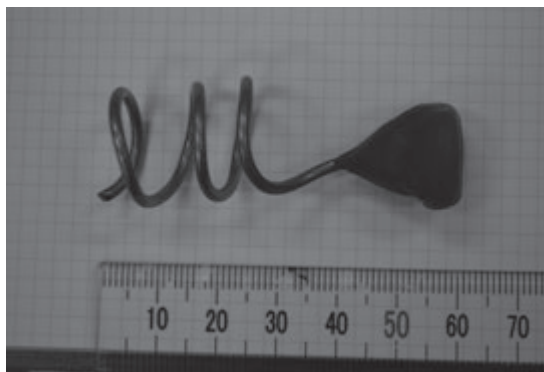


図1 鉛原型（湯口部分はワックス）

图1 铅模（浇口部分为蜡）

丹羽撮影／丹羽拍摄



図2 炭火による脱鉛の様子

图2 炭火脱铅

丹羽撮影／丹羽拍摄



図3 脱鉛を経た鑄型

图3 脱铅后的范

丹羽撮影／丹羽拍摄



図4 鑄造実験の様子

图4 铸造实验

丹羽撮影／丹羽拍摄

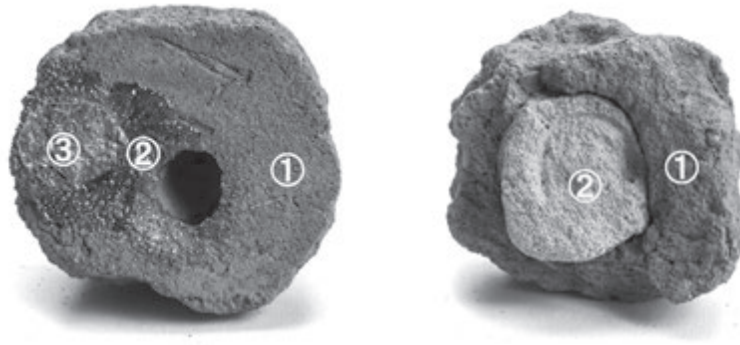


图5 蛍光 X 線測定箇所 左：3 鑄型 右：5 鑄型

图5 X 射线荧光測定部分 左：范3 右：范5

奈文研写真室撮影／奈文研摄影技术室拍摄

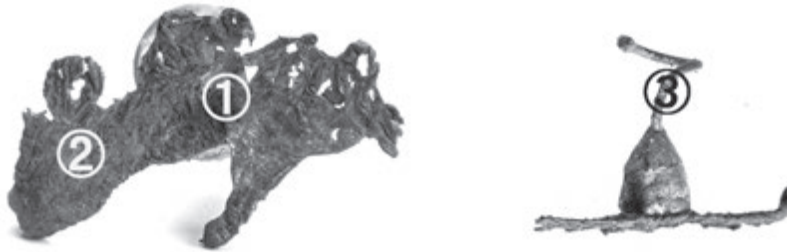


图6 蛍光 X 線測定箇所 5 鑄造品

图6 X 射线荧光測定部分 鑄造品 5

奈文研写真室撮影／奈文研摄影技术室拍摄

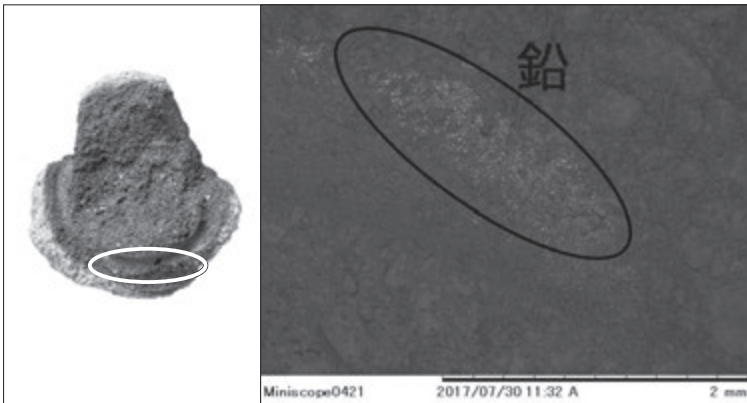


图7 9 鑄型 螺旋部分の SEM 像

螺旋状部分に斑点状の痕跡 (鉛)

图7 范9 螺旋部分的 SEM 影像

螺旋部分呈現的斑点状痕迹 (鉛)

左：奈文研写真室撮影／奈文研摄影技术室拍摄

右：長柄撮影／长柄拍摄

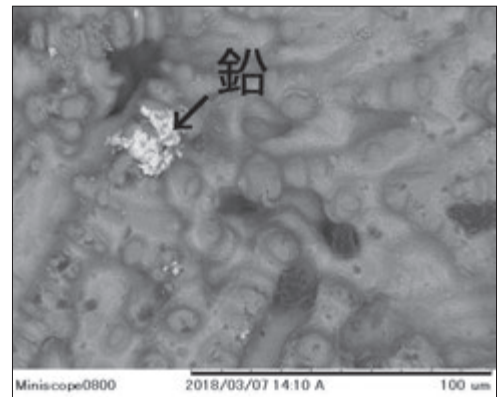


图8 9 鑄造品 表面の SEM 像

残留鉛が見られる

图8 鑄造品 9 表面的 SEM 影像

可见残留鉛

長柄撮影／长柄拍摄

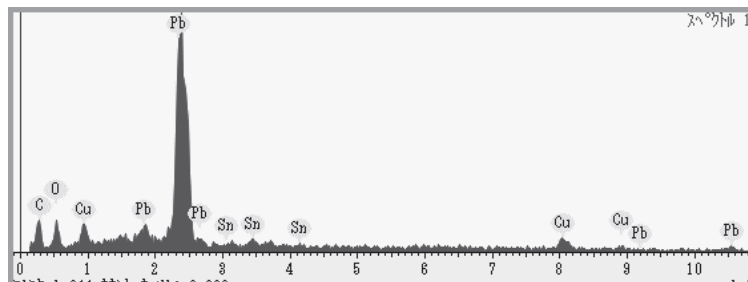


图9 9 鑄造品 图8 的白色部分の EDS スペクトル図

图9 鑄造品 9 图8 白色部分的 EDS 光谱图