

対照実験を主軸とした
東アジア鑄造技術史解明のための実験考古学的研究
以对照实验为中心解明东亚铸造技术史的实验考古学研究



2016～2019年度（平成28年度～令和元年度）科学研究費助成事業（若手研究（A））
（課題番号：JP16H05946）研究成果報告書

2020年3月

研究代表者 丹羽崇史

独立行政法人国立文化財機構 奈良文化財研究所

表紙：2018年12月 鑄造実験（芦屋釜の里）
撮影：丹羽崇史

裏表紙：鑄造実験試料（2014年度）
撮影：奈良文化財研究所写真室

対照実験を主軸とした
東アジア鑄造技術史解明のための実験考古学的研究
以对照实验为中心解明东亚铸造技术史的实验考古学研究

2016～2019年度（平成28年度～令和元年度）科学研究費助成事業（若手研究（A））
（課題番号：JP16H05946）研究成果報告書

2020年3月

研究代表者 丹羽崇史
独立行政法人国立文化財機構 奈良文化財研究所

例言

1. 本書は2016～2019年度科学研究費助成事業（若手研究（A））「対照実験を主軸とした東アジア鑄造技術史解明のための実験考古学的研究」（課題番号：JP16H05946, 研究代表者：丹羽崇史）の成果のうち、鑄造実験、および実験製作品の分析・検討に関する内容を主に収録したものである。上記課題のほか、以下の課題で実施をした実験の成果を含む。

・2012～2014年度科学研究費助成事業（基盤研究（B））「三次元デジタル計測技術を活用した中国古代青銅器の製作技法の研究」（課題番号：JP24320164, 研究代表者：谷豊信）

・2009～2012年度科学研究費助成事業（若手研究（B））「東アジアにおける失蠟法の出現と展開に関する考古学的研究」（課題番号：JP21720295, 研究代表者：丹羽崇史）

・高梨学術奨励基金 2016年度若手研究助成「土製鑄型の機能比較のための実験考古学的研究」（申請者：丹羽崇史）

2. 本研究課題の経費は以下のとおりである。

12,480千円（直接経費：9,600千円、間接経費：2,880千円）

2016年度：4,030千円（直接経費：3,100千円、間接経費：930千円）

2017年度：2,730千円（直接経費：2,100千円、間接経費：630千円）

2018年度：2,860千円（直接経費：2,200千円、間接経費：660千円）

2019年度：2,860千円（直接経費：2,200千円、間接経費：660千円）

3. 本書第Ⅰ部は、これまで発表した日本語論文の内容を加筆修正し、中国語訳文を併記した。中国語訳は唐麗薇（大阪大学大学院博士後期課程）がおこなった。一部の論文は中国語版を発表しているが、全体の体裁・用語の統一を図るため、唐が改めて中国語訳をおこなった。各論文の初出はそれぞれの文末、および「本研究成果一覧」に記す。

4. 本書第Ⅱ部は、2019年2月24日に開催した国際研究会「陶範技術の実験考古学」で報告いただいた蘇榮譽、張昌平、廉海萍より、当日発表原稿に加筆修正をいただいた玉稿を掲載した。日本語訳は大平理紗（京都府立大学大学院博士後期課程）、丹羽がおこなった。

5. 本書「研究の経緯と概要」「例言」の中国語訳は唐がおこなった。

6. 「実験製作品一覧」の写真の撮影は、奈良文化財研究所（奈文研）写真室による。その他の写真・図については、各論文に出典等を記す。

7. 本書の編集は丹羽がおこなった。

8. 本研究課題を実施するにあたり、以下の個人・機関の方々に多大なる協力をいただいた（五十音順・敬称略）。

（共同発表者・共同研究者）赤田昌倫、新郷英弘、田中麻美、長柄毅一、樋口陽介、廣川守、三船温尚、八木孝弘

（国際研究会報告者・寄稿者）蘇榮譽、張昌平、廉海萍

（調査協力者）荒木臣紀、安藤智子、飯塚義之、石谷慎、伊藤幸司、今津節生、内田純子、海原靖子、王金平、王先福、太田三喜、隠岐まこ、大日方一郎、賀利、河合咲耶、河野一隆、川村佳男、菊池望、木川りか、金東河、金武重、胡趙建、小泉武寛、苟欽、黄金洲、黄盼、高振龍、郜向平、坂川幸祐、佐々木英理子、新尺雅弘、鈴木舞、谷豊信、田林啓、田村朋美、譚德叡、崔文禎、陳彦如、坪井久子、徳留大輔、橋詰文之、堀内快、村上由美子、村野正景、八波浩一、山内紀嗣、山中理、山本堯、葉恵玲、吉澤悟、李点点、李暉、林玉雲、渡辺貫太

Amand A. Imai, Susan L. Beningson

芦屋釜の里、和泉市久保記念美術館、出光美術館、永青文庫、河南省文物考古研究院、九州国立博物館、京都大学総合博物館、京都文化博物館、国立慶州文化財研究所、湖北省博物館、泉屋博物館、中央研究院歴史語言研究所、鄭州大学歴史学院、天理大学附属天理参考館、東京国立博物館、富山大学芸術文化学部、奈良国立博物館、白鶴美術館、山西省考古研究所、上海博物館、湖北省博物館

Asian Art Museum, Brooklyn Museum, The Metropolitan Museum of Art

说明

1. 本书收录了2016～2019年度科学研究费资助项目（青年研究者（A））《以对照实验为中心解明东亚铸造技术史的实验考古学研究》（课题编号：JP16H05946，项目负责人：丹羽崇史）之中，以铸造实验、实验制品分析和相关讨论为主的研究成果。除上述课题外，也包含进行以下课题的部分实验成果。

• 2012～2014年度科学研究费资助项目（基础研究（B））《基于三维数据测量技术的中国古代青铜器制作技法研究》（课题编号：JP24320164，项目负责人：谷丰信）

• 2009～2012年度科学研究费资助项目（青年研究者（B））《关于东亚地区失蜡法出现和发展的考古学研究》（课题编号：JP21720295，项目负责人：丹羽崇史）

• 高梨学术奖励基金2016年度青年研究者资助项目《泥范功能对比的实验考古学研究》（申请者：丹羽崇史）

2. 本研究课题获得的经费资助明细如下：

共计1248万日元（直接经费960万日元、间接经费288万日元）

2016年度：403万日元（直接经费310万日元，间接经费93万日元）

2017年度：273万日元（直接经费210万日元，间接经费63万日元）

2018年度：286万日元（直接经费220万日元，间接经费66万日元）

2019年度：286万日元（直接经费220万日元，间接经费66万日元）

3. 本书第I部以日文写就的文稿均已刊行，在此基础上原作者又对论文内容进行了改订。改订后的论文均附有中文译稿，译文由唐丽薇（大阪大学大学院博士后期课程）提供。为保持整体形式和用语的一致性，曾以中文刊发的论文也由译者重新进行了翻译。各篇论文的原始出处请参考相应文末的“初刊”及本书卷末的《相关研究成果一览》。

4. 本书第II部收录了苏荣誉、张昌平、廉海萍等诸位学者于2019年2月24日莅临“陶范技术的实验考古学”国际研讨会时的发言稿，集结刊行时由发言者对各自的稿件进行了润色订正。该部分的日文译稿均由大平理纱（京都府立大学大学院博士后期课程）、丹羽崇史提供。

5. 本书“研究经过及概要”、“说明”的中文译文由唐丽薇提供。

6. “实验制品一览”的摄影工作由奈良文化财研究所（奈文研）摄影技术室进行。其他照片、图片等图版的出处也已在相关论文当中注明。

7. 本书的编纂工作由丹羽崇史进行。

8. 本研究课题实施之际，承蒙以下各机构单位、有关人员鼎力协助（以姓氏日语读音为序，敬称略）。

（合作者）赤田昌伦、新乡英弘、田中麻美、长柄毅一、樋口阳介、广川守、三船温尚、八木孝弘

（国际研讨会发言者、撰文者）苏荣誉、张昌平、廉海萍

（调查协助者）荒木臣纪、安藤智子、饭塚义之、石谷慎、伊藤幸司、今津节生、内田纯子、海原靖子、王金平、王先福、太田三喜、隐岐まこ、大日方一郎、贺利、河合咲耶、河野一隆、川村佳男、菊池望、木川りか、金東河、金武重、胡赵建、小泉武宽、苟欢、黄金洲、黄盼、高振龙、郗向平、坂川幸佑、佐佐木英理子、新尺雅弘、铃木舞、谷丰信、田林启、田村朋美、谭德睿、崔文祯、陈彦如、坪井久子、德留大辅、桥诘文之、堀内快、村上由美子、村野正景、八波浩一、山内纪嗣、山中理、山本尧、叶惠玲、吉泽悟、李点点、李晖、林玉云、渡边贯太

Amand A. Imai, Susan L. Beningson

芦屋釜之乡、和泉市久保惣纪念馆、出光美术馆、永青文库、河南省文物考古研究院、九州国立博物馆、京都大学综合博物馆、京都文化博物馆、国立庆州文化财研究所、湖北省博物馆、泉屋博古馆、中央研究院历史语言研究所、郑州大学历史学院、天理大学附属天理参考馆、东京国立博物馆、富山大学艺术文化学部、奈良国立博物馆、白鹤美术馆、山西省考古研究所、上海博物馆、湖北省博物馆 Asian Art Museum, Brooklyn Museum, The Metropolitan Museum of Art

目次／目录

例言／说明

目次／目录

研究の経緯と概要／研究经过及概要	丹羽崇史…… 1
第 I 部 对照実験研究／对照实验研究	
1. 楼空青銅器の製作技法解明のための对照実験 以解明楼空青铜器制作技法为目的的对照实验	丹羽崇史・新郷英弘・樋口陽介・八木孝弘…… 6
2. 人工刻線の機能解明のための对照実験 以解明人工刻线功能为目的的对照实验	丹羽崇史・廣川守・新郷英弘・樋口陽介・八木孝弘……14
3. X線 CT スキャナによる鑄造実験試料の内部構造調査 利用 X 光 CT 扫描技术进行的铸造实验样品内部结构分析	丹羽崇史・赤田昌倫・田中麻美・樋口陽介・新郷英弘……19
4. 「失鉛法」をめぐる諸問題 “失铅法”相关问题	丹羽崇史・長柄毅一・三船温尚……22
5. 土製鑄型の機能解明を目的とした実験考古学的研究序説 以解明泥范功能为目的的实验考古学研究序论	丹羽崇史・樋口陽介・新郷英弘……28
6. レプリカ法による東周時代楼空状青銅器紋様の実験鑄造試料の比較検討 基于复制法的东周时期楼空青铜器纹饰实验铸造样品的对比研究	丹羽崇史・樋口陽介・新郷英弘……34
第 II 部 陶范技術の実験考古学／陶范技术的实验考古学	
1. 商周青銅鑄造泥模範の七個問題 商周青銅鑄造土製範・原型をめぐる七つの問題	蘇栄誉……40
2. 中国青銅器研究中的实验考古 中国青銅器研究における実験考古	張昌平……60
3. 上海博物館的陶范实验研究 上海博物館における陶范実験研究	廉海萍……72
附 実験製作品一覧／实验制品一覧	……82
本研究成果一覧／相关研究成果一覧	……92

研究の経緯と概要／研究经过及概要

丹羽崇史

殷周青銅器は複雑・高度な鑄造技術で製作されたが、その実態は未だに不明な点が多く、現代に伝わっていないものも存在する。このような青銅器製作技術に関する研究は多数存在するが、それらの大部分は製品に残された製作痕跡と実際の技法との関係が不明なまま、研究者のイメージで製作技法が想定されたものであった。この現況を打開するため、筆者は異なった条件（原型（模）素材・鑄型（范）構造など）で実験鑄造した試料どうしを比較検討する「対照実験」の手法¹⁾を提唱し、鑄造実験を実施した。考古資料調査、対照実験、自然科学分析の実践によりそれぞれのデータを蓄積し、考古資料上の特徴と製作技法の関係性を実証的に解明する本研究は、実験考古学の方法論的な転換にもつながるものであると言えるであろう。

2012年度から2014年度までの実験は、科学研究費助成事業（若手研究（B））「東アジアにおける失蠟法の出現と展開に関する考古学的研究」（課題番号：JP21720295, 研究代表者：丹羽崇史 2009～2012年度）や科学研究費助成事業（基盤研究（B））「三次元デジタル計測技術を活用した中国古代青銅器の製作技法の研究」（課題番号：JP24320164, 研究代表者：谷豊信 2012～2014年度）の調査・研究の一環として実施した。その後、2016年度からは科学研究費助成事業（若手研究（A））「対照実験を主軸とした東アジア鑄造技術史解明のための実験考古学的研究」（課題番号：JP16H05946, 研究代表者：丹羽崇史 2016～2019年度）に採択され、2018年度まで継続的に実験を実施した。また、2016年度は、高梨学術奨励基金若手研究助成（課題名「土製鑄型の機能比較のための実験考古学的研究」）に採択された。本書では、これまで発表した論文等のうち、鑄造実験、ならびに実験試料を対象とした調査・研究にかんするものを本書第Ⅰ部に収録した。

また、後述のように2019年2月24日には国際研究会「陶範技術の実験考古学」を開催した。研究会で報告いただいた蘇栄誉氏（中国科学院自然科学史研究所）、張昌平氏（武漢大学）、廉海萍氏（上海博物館）に本書への発表原稿の寄稿を要請したところ、ご快諾いただいた。蘇氏、張氏、廉氏の玉稿を本書第Ⅱ部に収録した。

以下に、上記の科学研究費により2012年度から実施してきた実験、ならびに調査・研究について紹介する。

2012年度・2013年度は、中国ならびに日本国内の機関が所蔵する関連資料の調査成果にもとづき、2013年3月、2014年度3月に芦屋釜の里にて実験を実施した。実験では、複数の条件の異なる鑄型構造・原型素材によって同一の試料を製作する対照実験、また接合実験や鉄製小手を用いた原型の成形実験も実施した（本書Ⅰ-1）。

2014年度は、泉屋博古館所蔵青銅器の調査成果にもとづき、青銅器に残る人工刻線の意味の解明を目的とした対照実験を2014年12月に芦屋釜の里にて実施した（本書Ⅰ-2）。

2016年度は、中国・日本における出土鑄型の分析事例、突帯状痕跡を有する青銅器、過去の実験考古学的研究成果などの集成を進めるとともに、国内機関のほか、中国、アメリカ合衆国、韓国、台湾の各機関の所蔵青銅器・生産関連遺物などの調査をおこなった。これらの調査で得た成果をもとに、2016年12月に富山大学芸術文化学部、2017年1・2月に芦屋釜の里にて鑄造実験を実施した。富山大学芸術文化学部では鉛製の原型を用いた鑄型製作・溶解・鑄造実験を実施し（本書Ⅰ-4）、芦屋釜の里では日本の土素材を用いて殷周時代の古陶範の性能に近い鑄型の製作を試み、それを用いた対照鑄造実験を実施した（本書Ⅰ-5）。

2017年度は、前年度に引き続き、出土青銅器・鑄型など関連資料の集成を進めるとともに、泉屋博古館等の国内機関のほか、中国、韓国、台湾の機関にて資料調査等を進めた。2018年2・3月に芦屋釜の里にて鑄造実験を実施した（本書Ⅰ-5）ほか、富山大学にて前年度の実験製作品の自然科学分析も行った（本書Ⅰ-4）。また、2017年度から2018年度にかけて、九州国立博物館にて実験製作試料のX線CTスキャナによる内部構造調査を実施した（本書Ⅰ-3）。

2018年度は、泉屋博古館・永青文庫等の国内機関、ならびに山西省考古研究所等の中国の機関にて、鑄型・青銅器を中心とした資料調査をおこなうとともに、国内では泉屋博古館にて所蔵青銅器の樓空青銅器紋様のレプリカ法による調査を実施した。これらの成果をもとに、2018年12月には芦屋釜の里にて樓空青銅器紋様の製作技法の比較を主眼とした対照鑄造実験を実施した（本書Ⅰ-6）。また、2019年2月23日～28日には、蘇栄誉氏、張昌平氏、廉海萍氏を招聘し、24

日には奈良文化財研究所にて国際研究会「陶範技術の実験考古学」を開催した。研究会では蘇氏、張氏、廉氏による、中国における陶範（土製鑄型）の研究についての報告とともに、廣川守氏（泉屋博古館）、丹羽がそれぞれの実験内容について報告した。また、本科研による実験を中心に、これまで製作した実験試料（鑄造試料、土製鑄型試料等）を一堂に展示し、参加者が観察・議論をするワークショップも併せて開催した。研究会終了後、蘇氏、張氏、廉氏とともに、奈良国立博物館・泉屋博古館の所蔵青銅器の調査を行うとともに、京都文化博物館・芦屋釜の里・九州国立博物館を見学した。

2019年度は、山西省考古研究所等の中国の機関にて、鑄型を中心とした資料調査を実施するとともに、蘇荣誉氏と今後の研究について協議を進めた。またこれまでの成果をまとめ、本書の編集を行った。

これまでの調査・研究により、殷周時代を中心とした鑄造技術の実態に迫ることができたが、残された課題も多い。特に本書第Ⅱ部の蘇氏、張氏、廉氏の論文でも述べられるように、青銅器を鑄造した鑄型については、技術論的にも考古学的にも未解明な点が多い。土製鑄型のさらなる研究が進めば、当該期の技術変革の要因の解明につながるほか、青銅器の生産体制・流通形態、製作者の技術交流の実態解明にもつながる成果が得られるであろう。今後もさらなる研究を進める所存である。

註

1) こうした「対照実験」の手法による実験の実践例として以下のようなものがある。

鈴木勉・河内國平編 2005『復元七支刀－東アジアの鉄・象嵌・文字－』雄山閣

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

商周青銅器采用复杂而高级的铸造技术制成，但其真实面貌究竟如何疑点众多，当时的一些工艺技法也早已失传。尽管涉及这一时期青銅器制作技术的研究成果已有了相当程度的积累，但多为研究者对青銅器制作技法的推测，缺乏实证，青銅器表面遗留的制作痕迹与制作技术之间的关系仍不明确。因此，笔者建议采用“对照实验”¹⁾这一方法进行铸造实验，即通过设置实验变量（模的材质、范的结构等）将实际铸造出的样品进行比较讨论。本研究通过考古资料调查、对照实验、自然科学分析等实践手段收集各类数据，力图从实证性角度解明遗物的考古资料属性与其制作技法之间的关系，也可以说是实验考古学在方法论转换这一层面的一种尝试。

2012年度至2014年度进行的实验是以下课题调查、研究的环节之一。

①科学研究费资助项目（青年研究者（B））《关于东亚地区失蜡法出现和发展的考古学研究》（课题编号：JP21720295，项目负责人：丹羽崇史 2009～2012年度）。

②科学研究费资助项目（基础研究（B））《基于三维数据测量技术的中国古代青銅器制作技法研究》（课题编号：JP24320164，项目负责人：谷丰信 2012～2014年度）。

此后，自2016年度起，《以对照实验为中心解明东亚铸造技术史的实验考古学研究》（课题编号：JP16H05946，项目负责人：丹羽崇史 2016～2019年度）获得科学研究费资助项目（青年研究者（A））的资金支持，实验持续至2018年度。2016年度《泥范功能对比的实验考古学研究》获得高梨学术奖励基金青年研究者资助项目的资金支持。

本书选取的论文之中，与铸造实验、实验制品分析有关的调查研究成果收录于本书第Ⅰ部。

另外，后文提到，2019年2月24日国际研讨会“陶范技术的实验考古学”召开。本书编者向一同与会的苏荣誉（中国科学院自然科学史研究所）、张昌平（武汉大学）、廉海萍（上海博物馆）三位学者发出邀请，希望将其各自的演说文稿收入本书，得到了欣然允诺。三位学者的尊稿收录于本书第Ⅱ部。

以下简要介绍上述科研经费支持的自2012年度起实施的各项实验、调查和研究。

2012年度、2013年度，基于中国及日本国内相关机构所藏资料的调查成果，本书编者于2013年3月、2014年3月在芦屋釜之乡进行了实验。实验包括采用不同结构的模、不同材质的范制作同一实验样品的对照实验，以及接合实验、使用铁制小压勺对模进行修整的成形实验（本书Ⅰ-1）。

2014年度，编者基于泉屋博古馆所藏青铜器的调查成果，为解明残存于青铜器表的人工刻线的意义，于2014年12月在芦屋釜之乡进行了对照实验（本书I-2）。

2016年度，随着相关资料收集工作（中国、日本出土陶范的个案分析、留有突带状痕迹的青铜器和以往的实验考古学研究成果等）的进行，除了日本国内的有关机构，编者还在中国、美国、韩国等地的有关机构对其各自收藏的青铜器及相关遗物进行了调查。以上述调查取得的成果为基础，编者先后于2016年12月在富山大学艺术文化学部、2017年1月和2月在芦屋釜之乡实施了铸造实验。在富山大学艺术文化学部实施的是使用铅模进行的制范、熔模和铸造实验（本书I-4）；在芦屋釜之乡，编者使用日本粘土为原材料尝试制作了性能近似于商周时期古陶范的铸型，并使用该铸型实施了对照铸造实验（本书I-5）。

2017年度，对出土青铜器、陶范等相关资料进行收集的工作继续进行，编者在泉屋博古馆等国内收藏机构以及中国、韩国等地相关机构的资料调查也在推进。除了2018年2月和3月在芦屋釜之乡进行的铸造实验（本书I-5），编者还在富山大学对上一年度的实验制品进行了自然科学分析（本书I-4）。另外，2017年度～2018年度，编者在九州国立博物馆使用X光CT扫描技术对实验制作样品的内部结构进行了调查（本书I-3）。

2018年度，编者在泉屋博古馆、永青文库等日本国内机构以及中国的山西省考古研究所等机构进行了以泥范、青铜器为中心的资料调查，同时还使用复制法，对国内泉屋博古馆所藏青铜器的镂空纹样进行了调查。以上述成果为基础，编者于2018年12月在芦屋釜之乡进行了以镂空青铜器纹样制作技法比较为主要着眼点的对照铸造实验（本书I-6）。此外，2019年2月23日～28日聘请苏荣誉、张昌平、廉海萍，于24日在奈良文化财研究所召开国际研讨会“陶范技术的实验考古学”。在研讨会上，苏、张、廉三位学者围绕中国陶范的研究进行了汇报，广川守（泉屋博古馆）、本书编者对各自的实验内容进行了汇报。不仅如此，此次研讨会以本科研究项目的诸项实验为中心，对之前制作的实验样品（铸造样品、陶范样品等）进行了集中展示，与会者参与观察、讨论的观摩研习会也一同举行。大会结束后，编者与苏、张、廉三位学者对奈良国立博物馆、泉屋博古馆所藏青铜器进行了调查，并参观了京都文化博物馆、芦屋釜之乡和九州国立博物馆。

2019年度，编者在山西省考古研究所等中国的有关机构实施了以泥范为中心的资料调查，并就今后的研究与苏荣誉先生达成了协议，还对以往的成果进行了汇编。

通过以上的调查和研究，我们虽然得以逐渐接近商周时期铸造技术的实况，但今后面临的课题仍然很多。特别是像苏、张、廉三位学者在本书第II部中论述的那样，关于铸造青铜器的陶范，无论是从技术论的角度还是从考古学的角度，都存在诸多令人疑惑不解之处。如果能够推进关于陶范的深层次研究，那么对于解明这一时期技术变革的主要原因以及青铜器的生产体制、流通形式、制作者之间的技术交流等诸多方面的实态，将会涌现出更多的成果。因此，今后我们还会进行更加深入的研究。

注

1) 以下也是采用这种对照实验法进行的研究：

鈴木勉、河内国平編：《復元七支刀－東アジアの鉄・象嵌・文字－》雄山閣，2005年。

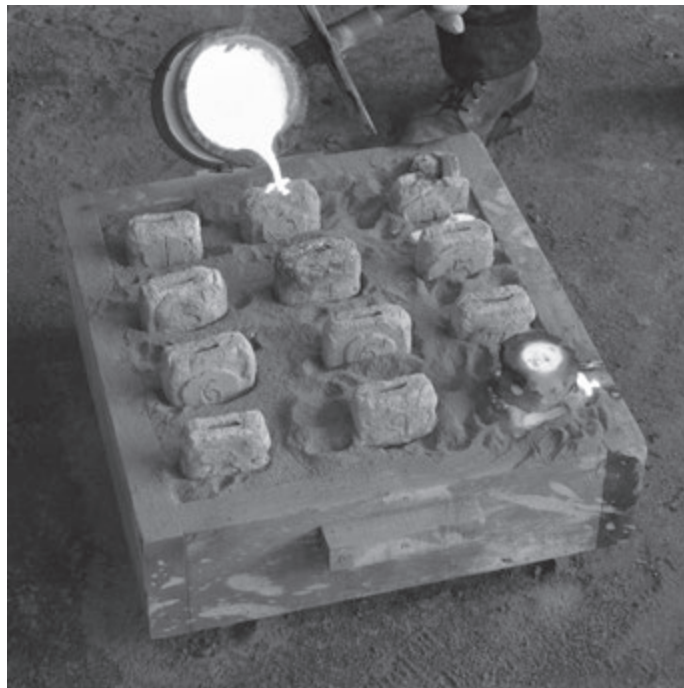
荒友里子、島山禎、高濱秀、三船温尚：《南シベリアの青銅鍍の鑄造技術に関する調査と実験》，《FUSUS》4，2012年。

（唐丽薇 译）



国際研究会「陶范技術の実験考古学」
国际研讨会“陶范技术的实验考古学”

第 I 部
対照実験研究
对照实验研究



芦屋釜の里での鑄造実験

芦屋釜之乡的铸造实验

2014年3月16日

1. 楼空青銅器の製作技法解明のための対照実験 以解明楼空青铜器制作技法为目的的对照实验

丹羽崇史・新郷英弘・樋口陽介・八木孝弘

1. はじめに

殷周青銅器の製作において、原型（模）の種類や範（鋳型）の構造など、さまざまなヴァリエーションがあり、多様な製作技術に基づき生産がおこなわれていたことが明らかになっている（蘇ほか1995）。春秋戦国時代には、それまでとは異なった形態・紋様が出現するが、「曾侯乙」墓尊盤（図1）や浙川下寺2号墓出土銅禁などの楼空青銅器もその一つである。これらの製作方法に関して、楼空状部分を失蠟法、他の部分を分割範による製作と考えられてきた（華・郭1979、湯1981）。しかし、楼空状部分もふくめ全体を分割範による製作とする説（周ほか2006）、鉛の原型を用いたとする説（李1984）など、製作方法をめぐりさまざまな仮説が提示されている。さらに失蠟法によって実際に復元製作も行われている（黄2008）。さらには盤の楼空部分のパーツに残る痕跡から、失蠟法による製作の根拠と考える説も提示されている（張2007、2009）。

このように楼空青銅器の製作方法をめぐり、異なる見解が提示されているものの（丹羽2008）、これらの多くは研究者・技術者の経験則・イメージに基づき判断されてきたものであり、実際の製作技法とできあがった製品との関係を対比した研究は多くはない。筆者らはこうした状況を打開するため、「曾侯乙」尊盤の調査成果に基づき、複数の条件・方法によって同一の製品を製作する対照実験を行った。また、接合実験や鉄製小手を用いた原型の整形実験も実施した。

2. 湖北省における調査

2011年12月（丹羽）、2012年4月（丹羽・新郷）の二回に渡り、湖北省博物館所蔵の「曾侯乙」盤破片（図2）の調査を実施した。本例は発掘時に採取された盤の楼空部分のパーツで、張昌平氏は表面の「皺状痕跡」を「湯が冷却した後の状態、蠟原型が加熱後に形成された流態を反映」で失蠟法の根拠となるものとしている（張2007、2009）。調査ではこの「皺状痕跡」を確認するとともに、本例が25mm未満の非常に小形のものであることを確認した。また、「皺状痕跡」については、蠟原型へ小手を用いて整形した可能性が考えられた。さらに鑛剤の痕跡が確認できず、一体で鑄造された可能性が高いものであることを確認した。また、博物館展示室では、「曾侯乙」墓盤をガラスケース越しに詳細に観察した。

随州市では、黄金洲氏を訪問し、氏の製作された「曾侯乙」尊盤複製品や楼空部分の蠟原型（図3）を実見した。

3. 対照実験

調査の成果を踏まえ、また数回にわたる実験内容の協議を経て、2013年3月16・17日に第1回実験、2014年3月15・16日に第2回実験を芦屋釜の里にて実施した。

(1) 第1回実験

①原型溶解・鑄造実験

原型の種類に違いを設け、同一形状の製品を製作する実験を行った。実験では以下のような形状の原型から範を製作し、実験鑄造を実施した。実験では安全上の理由から、金属原型は鉛ではなく錫を用いた。使用合金は、銅80、錫15、鉛5%である。

1) 板状テストピース 幅50mm、高さ60mm、厚さ5mm（図4）

- ・石膏原型（分割範）
- ・錫原型（非分割範）
- ・蜜蠟原型（非分割範）

2) らせん線状テストピース（幅2mm）（図5）

- ・錫原型（非分割範）

- ・蜜蝋原型（非分割範）
- ・マイクロワックス原型（非分割範）

②原型への小手あて実験

「曾侯乙」盤破片に見られた「皺状痕跡」を再現するため、火で熱した小手を用いて以下のような種類の原型（幅2mmの小形棒状品）を整形し、「皺状痕跡」を再現する実験をおこなった。

- 1) 蜜蝋原型
- 2) マイクロワックス原型
- 3) 錫原型

③接合の対照実験

「曾侯乙」盤の樓空部分と同じ幅（2mm）の棒状製品を複数の方法で接合する対照実験を実施した。

- 1) 一体鋳造
- 2) 先鋳（先に鋳造した部分を範に込め、残りの部分を鋳造して接合する方法）
- 3) 鑢付け（銲接）

結果

①については、錫原型でも溶解・鋳造を行うことができた（図7）。板状テストピースは分割箇所以外にも「線状痕跡」が形成された（図6）。また、らせん線状テストピースは太さや表面の状態に若干の差異が生じる結果となった（図8）。分割箇所による試料は、製品表面に「線状痕跡」が形成されやすいことなど、範の構造と原型の素材は、製品表面の状態と一定の関連がみられた。

②については、わずかな加熱による小手の押圧で蜜蝋・マイクロワックスの原型に「皺状痕跡」を整形することができたが、錫原型では困難であった。実験鋳造した試料も、「曾侯乙」盤の破片に残る痕跡と類似した「皺状痕跡」を再現できた（図9）。ただし、「曾侯乙」盤例よりも、表面の凹凸が著しい点など若干形状が異なる。

③については、鑢付けは明らかな鑢剤の痕跡が残ったが、一体鋳造と先鋳は鋳造後に違いが分かりにくい。

（2）第2回実験

①範製作・鋳造実験

前回と同一の条件で板状テストピース製作を行い、結果を再検証したほか、よりヴァリエーションを持たせた実験を行った。合金比率は、第一回実験と同じ銅80%、錫15%、鉛5%である。

今回の実験では範の構造とともに、範表面に意図的に線状刻み目（凹線）を設け、できあがる製品の表面状態に差異が生じるかを検証した。

製作試料：板状テストピース 幅50mm、高さ60mm、厚さ5mm（図10）

- | | |
|-------------------|----------------------|
| 1. 蜜蝋原型・分割範（線状刻み） | 2. 蜜蝋原型・分割範 |
| 3. 蜜蝋原型・非分割範 | 4. 蜜蝋原型（線状突起つき）・非分割範 |
| 5. 錫原型・分割範（線状刻み） | 6. 錫原型・分割範 |
| 7. 錫原型・非分割範 | 8. 錫原型（線状突起つき）・非分割範 |
| 9. 土製原型・分割範（線状刻み） | 10. 土製原型・分割範 |
| 11. 木製原型・分割範 | |

※3、7は2点製作し、1点は範のまま保存。11点のうち3は鋳造時に損壊した。

②棒状蜜蝋原型への小手あて実験

「曾侯乙」盤例により類似した「皺状痕跡」を再現するため、整形に用いる小手の温度を調整し、実験を行った。

結果

①では、錫原型の製品は前回と同様な鋳肌となったが、土製原型のものはやや粗い鋳肌となり、木製原型のものは木目

が確認できる。このように原型の質感が製品に顕著に反映される結果となった。また、線状刻みや突起の有無によって製品に大きな差異は認められない(図11)。

②では、先端面を扁平に加工し、沸騰した熱湯に浸した小手を曲がった状態の蜜蝋原型に軽く押し当てることにより、「曾侯乙」盤破片の「皺状痕跡」により近いものを整形することができた(図12・13)。

4. まとめ

本報告では、湖北省における調査に基づき、対照実験を行った。原型素材と范の構造によりヴァリエーションを持たせた対照実験を実施した。その結果、錫原型による溶解、鑄造が可能であることを確認したほか、蠟原型の小手当てによる「皺状痕跡」の整形も行うことができた。原型・范をはじめとした複数の要因が、製品に残る痕跡に影響を与えている可能性が窺われた。線状刻みや突起の影響は確認できなかったが、形態や手法を変え、再度実験を試みる必要もある。小手あてについては、原型以外にも小手の温度調整が成形上、重要であると考えられる。

引用文献

- 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
- 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
- 華覚明・郭德維 1979 『曾侯乙墓青銅器群鑄鋳技術与失蜡法』 『文物』 1979 - 7
- 黄金洲 2008 「曾侯乙尊盤採用失蜡法工藝鑄造毋庸置疑一与《中国青銅時代不存在失蜡法鑄造工藝》討論」 『江漢考古』 2008 - 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
- 蘇榮譽・華覚明・李克敏・盧本珊 1995 『中国上古金属技術』 山東科技出版社
- 湯文興 1981 『浙川下寺一号墓青銅器的鑄造技術』 『考古』 1981 - 2
- 張昌平 2007 「關於曾侯乙尊盤是否採用失蜡法鑄造争論的述評」 『江漢考古』 2007 - 4
- 張昌平 2009 『曾國青銅器研究』 文物出版社
- 周衛榮・董亜巍・万全文・王昌燧 2006 「中国青銅時代不存在失蜡法鑄造工藝」 『江漢考古』 2006 - 2

1. 前言

现已明确，商周青銅器在模的种类与范(铸型)的结构等方面存在多种变化，其生产基于技术的多样化进行(苏等1995)。在春秋战国时期的青銅器之中，出现了不同于以往的形态和纹饰，“曾侯乙”尊盤(图1)与浙川下寺2号墓出土銅禁等镂空青銅器便是其中的代表。关于这些青銅器的制作方法，有研究认为其镂空状部分由失蜡法制作、其他部分为分割范鑄造制作(华、郭1979，汤1981)。不过，关于制作方法，还有其他研究者提出的包括镂空部分在内的整体均由分割范制作(周等2006)、或使用铅模进行制作(李1984)等假说。此外，有研究者运用失蜡法实际进行了复原制作(黄2008)，还有研究者指出青銅盤镂空部分部件上残存的痕迹应为该盤由失蜡法制作而成的证据(张2007、2009)。

如此，关于镂空青銅器的制作方法虽然存在多种不同见解(丹羽2008)，但其中大多是依据研究者、技术人员的经验或印象进行判断而得出的结论，运用实验手段制作青銅制品并将其进行对比的研究则较为少见。因此，笔者等人基于“曾侯乙”尊盤的调查结果进行了采用多种条件、方法来制作同一青銅制品的对照实验。此外，还进行了接合实验以及使用铁制小压勺对模进行加工的成形实验。

2. 在湖北省的调查

笔者等人于2011年12月(丹羽)、2012年4月(丹羽、新乡)先后两次对湖北省博物馆收藏的“曾侯乙”盨兽形饰件残片(图2)进行调查。该残片为发掘时采集的青铜盨镂空部分的部件,张昌平先生认为其表面的“皴状痕迹”(即“这些褶皱”)“应当是较稠浓的流体冷却的形态,它或者反映的是蜡模加热后形成的流态”,并以此作为该器物由失蜡法制作而成的直接证据(张2007, 2009)。调查确认了该“皴状痕迹”,同时也判明本例为尺寸小于25mm的微型部件。关于该“皴状痕迹”,笔者认为其有可能是使用压勺修整蜡模形状时的残留。并且由于焊接的存在无法确认,所以笔者认为兽形饰件残片整体铸造的可能性的确很高。另外,笔者在湖北省博物馆展厅详细观察了“曾侯乙”尊盨,并到随州市拜访了黄金洲先生,亲眼看到了他制作的“曾侯乙”尊盨复制品以及镂空部分的蜡模(图3)(黄2008)。

3. 对照实验

根据调查结果,并经过对实验内容的多次商议,笔者等人在芦屋釜之乡于2013年3月16~17日进行了第一次实验,2014年3月15~16日进行了第二次实验。

(1) 第一次实验

①熔模和铸造实验

实验采用不同种类的模,制作同一形态的制品,使用以下形状的模制范,进行了实验铸造。为确保实验的安全性,金属模原料使用锡而非铅,合金比例为铜80%、锡15%、铅5%。

1) 板状实验样品(宽50mm,高60mm,厚5mm)(图4)

- 锡模(整体范(未分割范))
- 蜂蜡模(整体范)
- 石膏模(分割范)

2) 螺旋线状实验样品(宽2mm)(图5)

- 锡模(整体范)
- 蜂蜡模(整体范)
- 微晶蜡模(整体范)

②使用压勺修整模的实验

为了再现“曾侯乙”盨兽形饰件残片上的“皴状痕迹”,实验使用火加热过的铁制小压勺(工具)修整以下各类模(宽2mm的小型棒状物)的形状,再现“皴状痕迹”。

- 1) 蜂蜡模
- 2) 微晶蜡模
- 3) 锡模

③关于接合方法的对照实验

使用多种方法接合与“曾侯乙”盨镂空部分宽度相同(2mm)的棒状制品,进行对照实验。

- 1) 浑铸
- 2) 先铸
- 3) 焊接

实验结果

①熔模和铸造实验表明:一,锡模也能够熔化并用于铸造(图7);二,板状实验样品在范的分割处以外也有“线状痕迹”形成(图6),螺旋线状实验样品则在粗细、表面状态等方面产生了若干差异(图8)。由此可见,分割范结构制品的表面易产生所谓的“线状痕迹”等变化,范的结构、模的质地与制品表面状态存在一定的关联。

在②模的修整实验中,笔者发现,使用略经加热的小压勺按压可以使蜂蜡模、微晶蜡模表面形成“皴状痕迹”,但在使用锡模时这一点难以做到。而且在实验铸造的样品中也可以看到与“曾侯乙”盨残片上类似的“皴状痕迹”(图9)。不过,

这种痕迹与见于“曾侯乙”盘的痕迹相比形状略有不同，比如表面存在凹凸分明的点等。

关于③接合方法，在焊接实验中，焊料留下了清晰的痕迹，但在浑铸和先铸这两项实验中，也存在铸造后无法分辨的情况。

（2）第二次实验

①制模和铸造实验

第二次实验除了采用与之前相同的条件制作板状实验样品并验证其结果之外，还增加了实验的变量。合金比例与第一次实验相同，为铜 80%，锡 15%，铅 5%。

在本次实验中，根据范结构的差异，在其中一些分割范的表面有意识地设置了线状刻痕（凹线），以此验证实验制品的表面状态是否存在差异。

制作样品：板状实验样品（宽 50mm，高 60mm，厚 5mm）（图 10）

1. 蜂蜡模、分割范（线状刻痕）
2. 蜂蜡模、分割范
3. 蜂蜡模、整体范
4. 蜂蜡模（附有线状突起）、整体范
5. 锡模、分割范（线状刻痕）
6. 锡模、分割范
7. 锡模、整体范
8. 锡模（附有线状突起）、整体范
9. 泥模、分割范（线状刻痕）
10. 泥模、分割范
11. 木模、分割范（线状刻痕）

※“3”和“7”各制作两件，其中各有一件未经铸造。这 11 件范之中只有“3”浇铸时损坏。

②使用压勺修整模的实验

为了制出与“曾侯乙”盘兽形饰件更为相似的“皴状痕迹”，我们调节了用于修整形状的小压勺的温度，进行了实验。

实验结果

在①中，锡模制品的表面情况与第一次实验结果相同，但泥模的制品表面略显粗糙，木模制品表面出现了木纹。由此可见，模的质地能够显著地反映在制品上。此外，是否有线状刻痕与突起并未对制品产生很明显的影响（图 11）。

在②中，我们将顶端平面加工为扁平状，用浸过沸水的小压勺轻触熔融状态下的蜂蜡模，出现了与“曾侯乙”盘残片“皴状痕迹”更为相近的形状（图 12、13）。

4、总结

本报告是笔者等人基于湖北省的实地调查并进行对照实验的研究成果。该对照实验通过对模的材料与范的结构进行多种组合而使制品产生变化。结果表明，可通过熔化锡模来进行铸造，可使用压勺触碰熔融状态下的蜡模使其表面形成“皴状痕迹”。由此可见，通过调整以模、范为代表的多种变量，制品表面留下的痕迹也有可能产生相应的变化。但是，目前尚无法确认线状刻痕与突起带来的影响，还需要改变其形状与操作方法再次实验。另外，在使用小压勺按压蜡模时，除了模本身，小压勺的温度也是影响纹饰成形的重要因素之一。

引用文献

华觉明、郭德维 1979：《曾侯乙墓青铜器群铸焊技术与失蜡法》，《文物》1979-7。

黄金洲 2008：《曾侯乙尊盘采用失蜡法工艺铸造毋庸置疑——与《中国青铜时代不存在失蜡法铸造工艺》讨论》，《江汉考古》2008-4。

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。

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。

汤文兴 1981：《浙川下寺一号墓青铜器的铸造技术》，《考古》1981-2。

张昌平 2007：《关于曾侯乙尊盘是否采用失蜡法铸造争论的述评》，《江汉考古》2007-4。

张昌平 2009：《曾国青铜器研究》，文物出版社。

周卫荣、董亚巍、万全文、王昌燧 2006：《中国青铜时代不存在失蜡法铸造工艺》，《江汉考古》2006-2。

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。

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）。

【初出／初刊】

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

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

（唐丽薇 译）



图1 「曾侯乙」尊盘(湖北省博物館所蔵)
图1 “曾侯乙”尊盘(湖北省博物館藏品)



图2 「曾侯乙」盤獸形飾破片(張2007)
图2 “曾侯乙”盤獸形飾件殘片(張2007)

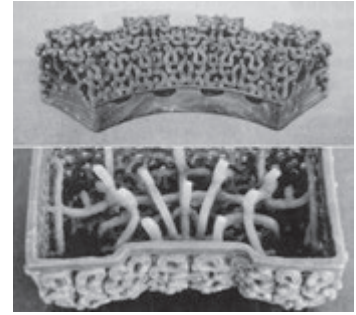


图3 黄金洲氏製作「曾侯乙」盤
鏤空部分の蠟原型(黄2008)
图3 黄金洲制作的“曾侯乙”盤
鏤空部分的蜡模(黄2008)

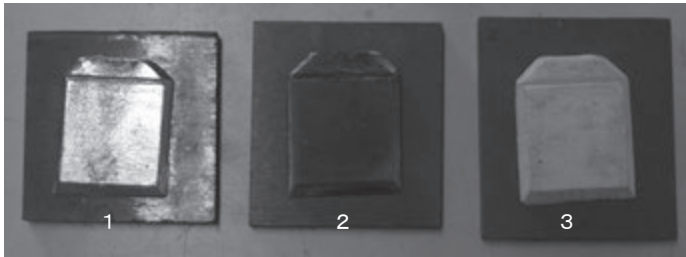


图4 第1回実験 板状テストピース(原型)
1. 錫原型(非分割範) 2. 蜜蠟原型(非分割範) 3. 石膏原型(分割範)

图4 第一次实验 板状实验样品(模)
1. 锡模(整体范)、2. 蜂蜡模(整体范)、3. 石膏模(分割范)
丹羽撮影/丹羽拍摄

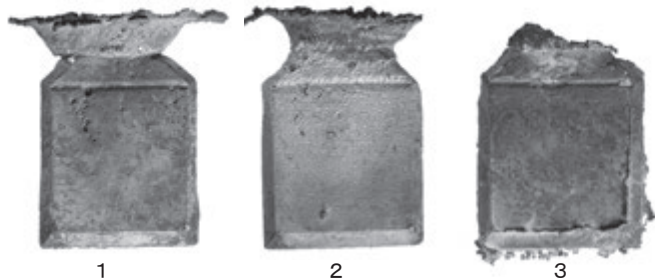


图6 第1回実験 板状テストピース(铸造後)

图6 第一次实验 板状实验样品(铸造后)
奈文研写真室撮影/奈文研摄影技术室拍摄



图7 第1回実験 錫原型の溶解

图7 第一次实验 熔化锡模
丹羽撮影/丹羽拍摄



图9 第1回実験 「皺状痕跡」の再現実験品

图9 第一次实验 重现“皱状痕迹”的实验样品
奈文研写真室撮影/奈文研摄影技术室拍摄



图5 第1回実験 らせんテストピース(原型)

1. 蜜蠟原型(非分割範) 2. 錫原型(非分割範)、
3. マイクロワックス原型(非分割範)

图5 第一次实验 螺旋线状实验样品(模)

1. 蜂蜡模(整体范)、2. 锡模(整体范)
3. 微晶蜡模(整体范)

丹羽撮影/丹羽拍摄

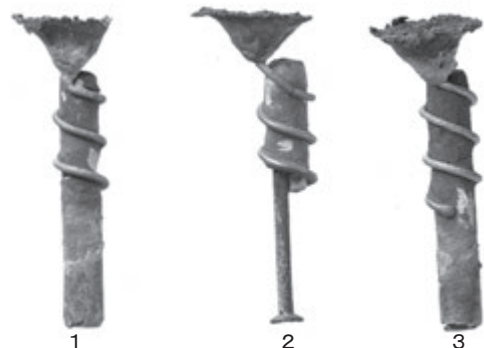


图8 第1回実験 らせんテストピース(铸造後)

图8 第一次实验 螺旋线状实验样品(铸造后)
奈文研写真室撮影/奈文研摄影技术室拍摄

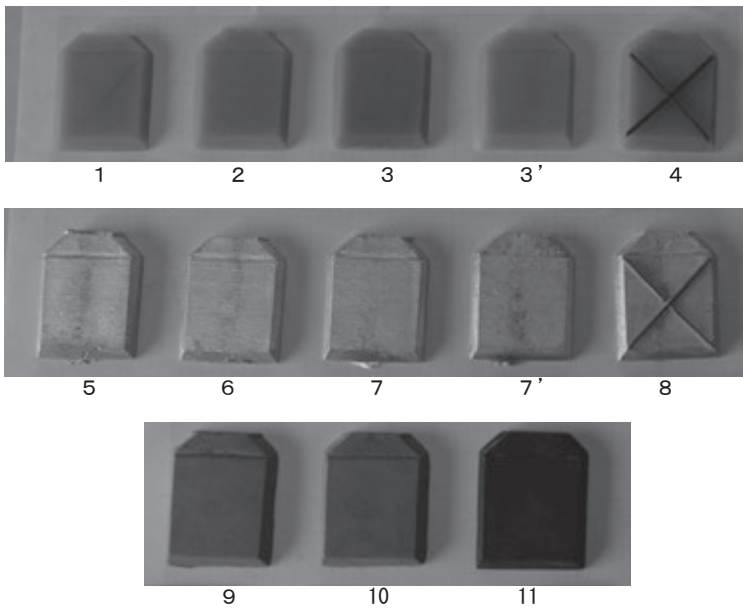


图 10 第 2 回実験 板状テストピース (原型)

- | | |
|--------------------|-----------------------|
| 1. 蜜蝋原型・分割范 (線状刻み) | 2. 蜜蝋原型・分割范 |
| 3. 蜜蝋原型・非分割范 | 4. 蜜蝋原型 (線状突起つき)・非分割范 |
| 5. 錫原型・分割范 (線状刻み) | 6. 錫原型・分割范 |
| 7. 錫原型・非分割范 | 8. 錫原型 (線状突起つき)・非分割范 |
| 9. 土製原型・分割范 (線状刻み) | 10. 土製原型・分割范 |
| 11. 木製原型・分割范 | |

图 10 第二次实验 板状实验样品 (模)

- | | |
|-------------------|---------------------|
| 1. 蜂蜡模、分割范 (线状刻痕) | 2. 蜂蜡模、分范 |
| 3. 蜂蜡模、整体范 | 4. 蜂蜡模 (附有线状突起)、整体范 |
| 5. 锡模、分割范 (线状刻痕) | 6. 锡模、分割范 |
| 7. 锡模、整体范 | 8. 锡模 (附有线状突起)、整体范 |
| 9. 泥模、分割范 (线状刻痕) | 10. 泥模、分割范 |
| 11. 木模、分割范 | |

丹羽撮影 / 丹羽拍摄



图 12 第 2 回実験
蜜蝋原型への小手あて

图 12 第二次实验
用小压勺轻触熔融状态下的蜂蜡模
丹羽撮影 / 丹羽拍摄

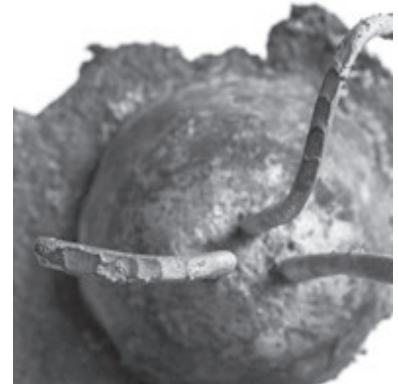


图 13 第 2 回実験
「皺状痕跡」の再現実験試料

图 13 第二次实验
重现“皱状痕迹”的实验样品
奈文研写真室撮影 / 奈文研摄影技术室拍摄

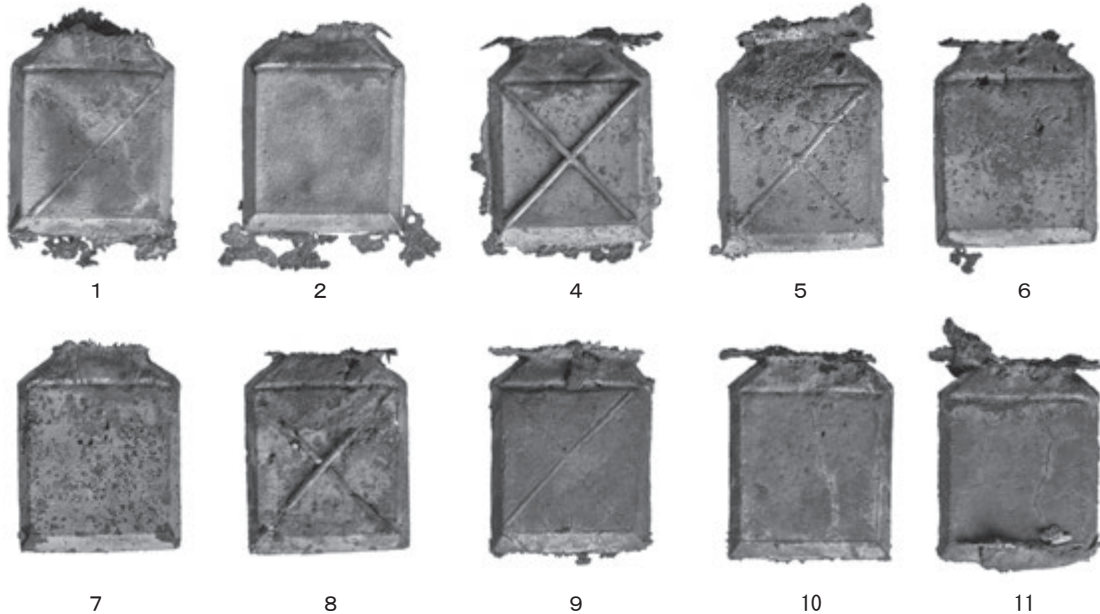


图 11 第 2 回実験 板状テストピース (铸造後)

图 11 第二次实验 板状实验样品 (铸造后)

奈文研写真室撮影 / 奈文研摄影技术室拍摄

2. 人工刻線の機能解明のための対照実験 以解明人工刻线功能为目的的对照实验

丹羽崇史・廣川守・新郷英弘・樋口陽介・八木孝弘

1. はじめに

筆者（丹羽）は、東周時代の楼空青銅器の製作技法をめぐる議論を整理し、先行研究の多くが製品にみられる製作痕跡と実際の技術の相互関係が不明なままである点を指摘した（丹羽 2008）。こうした現況を打開するため、同一の製品を複数の異なった原型（模）の素材や范（鋳型）の構造などで製作し、できあがった製品どうしを比較検討する「対照実験」を 2012 年度より、芦屋釜の里にて継続的に実施している。

これまでの実験により、以下のような内容が明らかとなった（丹羽ほか 2013, 丹羽ほか 2014, Niwa etc 2014）。

- ①楼空青銅器の代表例である「曾侯乙」尊盤の楼空部分の一部は、蠟などの低温で溶解・加工可能な素材を原型とし、小手状の工具で原型表面を加工していた可能性が高いこと
- ②錫の原型を加熱して溶解させ、范を製作するのが可能であること
- ③分割范の製品の場合、非分割范のものに比べて鋳造欠陥ができてくいが、范内面の亀裂に起因すると考えられる痕跡が生じやすいこと

2014 年は、商周期の青銅器の外底部にみられる人工刻線の意味・機能を明らかにすることを目的として、対照鋳造実験を実施した。

2. 商周青銅器の外底部にみられる人工刻線

西周時代を中心とした青銅器のうち、鼎や簋とよばれる器種の底部には、人工的に刻まれた線状痕跡を有するものがある。このような人工刻線には、網状のものや Y 字状のもの、「十」字状のものなど、形態にはさまざまなヴァリエーションが存在する。この痕跡の性格について、蘇榮譽氏は加強筋、装飾の機能のほか、注湯時の范内の排気をよくし、気孔等の鋳造欠陥の発生を防ぐ効果など、複数の可能性を指摘した（蘇 1988）。もし人工刻線がこのような鋳造効率を高める機能がある場合、そのあり方は商周時代の鋳造技術や製作者の評価にも関わってくると考える。しかしながら、実際に実験によってこの仮説の検証は行われておらず、人工刻線の機能については、いまだ明らかではない。

こうした現況を踏まえ、青銅器に残る人工刻線の意味の解明を目的とし、筆者らは青銅器の調査、ならびに対照鋳造実験を実施した。

3. 泉屋博古館所蔵青銅器の調査

2014 年 11 月 6 日・7 日、泉屋博古館にて、商代晩期～西周前期の青銅簋 7 点の調査を実施した（図 1・2）。

7 点中 5 点の簋の外底部（圈足内面）に人工刻線があり、網の目状のものや「十」字と「L」字を組み合わせたものなど形態にもヴァリエーションがある。人工刻線の多くは凸線だが、商代晩期の「父乙」簋は凹線と凸線の両方がみられた。「父乙」簋にみられる線の幅は約 0.5mm で、いずれの線も鋳肌面がマイクロスコープで観察できた。このことから鋳造後に後刻されたものではなく、底范に刻まれた刻線が青銅器に転写されたものであることを確認した。

4. 対照鋳造実験

(1) 実験の概要

対照鋳造実験は、2014 年 12 月 20 日・21 日に芦屋釜の里にて実施した（図 3）。

人工刻線を有する簋のうち、初期のものの一つと考えられる「父乙」簋をモデルとし、底范内面に網の目状の刻線を入れたものとないものとをそれぞれ 2 点ずつ製作した。実験製作品は、製作の都合上、口径 12cm、高さ 10.5 cm と実物よりも小形のものとした。湯口とガス抜き口は圈足先端部に設け、范を反転した状態で鋳造した。内范と外范の間には、3 か

所に青銅製のスペーサー（型持ち）を設けた。合金比率は、銅80%、錫15%、鉛5%。なお、今回は人工刻線の機能解明を目的としたため、商周時期とは異なる、外范を分割しない挽型法による方法で范を製作している。

（2）実験の結果

人工刻線の有無に差異を設けた范2点ずつを1つの坩堝で一度に鑄造し、計2回の注湯を実施して合計4点の製品を製作した（図4）。1回目は人工刻線を有するものを先に鑄造し、その後ないものを鑄造した。2回目は人工刻線のないものを先に鑄造し、その後あるものを鑄造した。2回の注湯のいずれの場合も、人工刻線を有するものの方が鑄造欠陥の少ない結果となった。2回の実験を経たのみであるが、人工刻線が鑄造効率をよくする機能があった可能性がある。

また、人工刻線の有無に関わらず、底部に設けたスペーサーの部分の一部が空洞となった。原因は不明であるが¹⁾、こうした現象は、三船温尚氏らの鑄造実験でもみられたものである（三船・長柄2012）。

5. まとめ

今回の実験の結果、范に人工刻線を設けることにより、製作品の鑄造欠陥を少なくする効果がある可能性を指摘した。鑄金家の小泉武寛氏によれば、実際の鑄造において、無地の部分に比べ紋様が描かれている部分の方が、鑄造欠陥ができていく傾向があるとのことである²⁾。当該期の製作者が、人工刻線にこのような機能があることを経験的に理解していた可能性もありうる。

西周時代までの青銅器は、春秋時代以降に比べ、分鑄技術によってパーツを個別で鑄造する割合が少なく、器全体を一体鑄造する場合が多い（郭1981、蘇ほか1995）。こうした時期にこそ、このような人工刻線を用いる技法が普及したのかもしれない。個々の部位を分割鑄造する分鑄技術が本格化する春秋時代以降、このような人工刻線を有する青銅器は徐々に少なくなる。

今後はより資料の実態に即してさらに実験を継続して行うとともに、自然科学分析なども実施し、人工刻線の機能の解明にも取り組みたい。また、伝統鑄金の分野で同様な事例の集成も行いたい。

註

1) 伊藤幸司氏より注湯時の液体化した青銅とスペーサーの温度差により「湯境」(cold shut)が生じた可能性、蘇栄誉氏、張昌平氏より鑄造後の范解体時にスペーサーが外范に付着して抜けた可能性をご教示いただいた。

2) 小泉氏からの直接のご教示による。

引用文献

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・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」『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・長柄毅一2012「鑄造実験による大型金銅仏の分割型鑄造の検証」『アジア鑄造技術史学会研究発表概要集』6

郭宝鈞1981『商周銅器群総合研究』文物出版社

蘇栄誉1988「宝鷄 国墓地青銅器鑄造工藝研究」『宝鷄 国墓地』文物出版社

蘇栄誉・華覚明・李克敏・盧本珊1995『中国上古金属技術』山東科技出版社

T.Niwa, H. Shingo, T. Yatsuki, Y. Higuchi 2014 Experimental archaeological study for reconstructing the relationship between technologies and the remains of metal artifacts: Based on an investigation of Zun Pan vessels from the Zengzhou Yi tomb, The proceedings of The 8th conference of the Beginning of the Use

1. 前言

笔者(丹羽)通过整理东周时期镂空青铜器制作技法的研究史,指出之前的研究大多只针对制作技术提出各种假说,而对于制品中可观察到的制作痕迹与实际技术之间的关系还未能明确(丹羽2008)。因此,自2012年度起,笔者等人长期在芦屋釜之乡进行“对照实验”,使用多个材质不同的模以及结构不同的范来铸造制品,并将铸成的制品进行对比。通过实验,我们得出如下结论(丹羽等2013、丹羽等2014、Niwa etc2014)。

①作为镂空青铜器代表的“曾侯乙”尊盘,其镂空部位之中极有可能存在以蜡等可低温熔化加工的材料为模、再以小压勺状工具对模表面进行修整的部分。

②加热锡模使其熔化,可用来制范。

③比起整体范制品,分割范制品发气性良好、不易导致铸造缺陷,但较易产生因范内面龟裂而出现的痕迹。

为了明确商周时期青铜器外底部线状痕迹的功能和意义,笔者等人于2014年度进行了对照铸造实验。

2. 商周青铜器外底部的人工刻线

在时代以西周时期为主的青铜器中,特别是鼎、簋等器物底部,存在一些人工刻线痕迹。此类人工刻线有的呈网状,也有的呈“Y”字形或“十”字形,形态多变。关于其性质,苏荣誉先生指出,除了作为“加强筋”或起到装饰作用以外,还存在使浇铸时产生的气体顺利排出、防止因气孔存在而引发铸造缺陷等问题的可能性(苏等1988)。如果人工刻线确实具备提高铸造效率的功能,那么我们可以认为它的存在是商周时期铸造技术发展以及青铜器制作者人为干预的结果。然而,目前还未见到通过实验方法来验证这一假说的有关研究,此种刻线痕迹的功能也尚未明确。

因此,为了弄清楚残存于青铜器表面线状痕迹的性质,笔者等人实施了青铜器调查并进行了对照铸造实验。

3. 泉屋博古馆藏青铜器的调查

笔者等人于2014年11月6日、7日在泉屋博古馆对7件商代晚期~西周早期的青铜簋进行了调查(图1、2)。

7件簋中有5件的外底部(圈足内面)存在人工刻线,有的呈网状,有的呈“十”字及“L”字组合状,具备多种形态。其中,多数刻线为凸线,商代晚期的“父乙”簋刻线中凹线凸线兼有。见于“父乙”簋的刻线宽约0.5mm,所有刻线均可通过显微镜在铸造面观察到,可以肯定其并非后刻。

4. 对照铸造实验

(1) 实验概要

对照铸造实验于2014年12月20日、21日在芦屋釜之乡进行(图3)。

笔者等人在施有人工刻线的簋之中,选取年代被推定为最早之一的“父乙”簋为模型,分别制作了底范内面施有网状刻线及未施网状刻线的样品各两件。考虑到制作的时间问题,我们将样品的尺寸设定为口径12cm、高10.5cm,使其体量小于实物;浇口和冒口设置在圈足底端,铸造时将范倒置;内范和外范之间的3处置有青铜垫片;合金比例为铜80%、锡15%、铅5%。另外,由于本次实验以明确线状痕迹的功能为目的,因而采用不分割外范的“刮板法”(日本称作“挽型法”)来制范,这与商周时期青铜器的常见制作技法不同。

(2) 实验结果

一次使用一个坩埚浇铸施有及未施网状刻线的范各一件,共浇铸两次,铸造出四件样品(图4)。第一次实验先铸造施有人工刻线的样品,后铸造未施人工刻线的样品;第二次实验则先铸造未施人工刻线的样品,后铸造施有人工刻线的样品。两次实验结果都表明施有人工刻线的样品气孔更少,铜液流动性也更好。虽然只进行了两次实验,但这表明在范上施以人工刻

线可能有助于提高铸造效率。

另外，无论是否事先在范表面施加线刻，样品底部设置有垫片的部位均有一部分变为空洞。虽然造成这一现象的原因还不能肯定¹⁾，但在三船温尚等人的铸造实验当中也出现了相同的状况（三船、長柄 2012）。

5. 总结

通过本次实验，笔者等人认为，为了减少青铜器制品的气孔，有意识地在范表面施以线刻的可能性是存在的。铸铜师小泉武宽认为，实际铸造时，比起无纹饰的部分，施有纹饰的部分更不易产生铸造缺陷²⁾。商周时期的青铜器制作者也有可能是出于同样的经验，从而发现并确定了人工刻线的功能。

相对于春秋时期之后的青铜器，西周之前采用分铸技术分别铸造部件的青铜器比例较低，而采用整体铸造器物的浑铸法制作出的青铜器比例较高（郭 1981、苏等 1995）。也许正是因为处在当时这样的技术背景下，人工刻线技法的应用才得以普及。春秋中期以后，将器物各个部位分割开来进​​行铸造的分铸技术正式普及，施有此类人工刻线的青铜器便逐渐减少了。

今后，为了更加趋近考古资料的实态，笔者等人还将继续进行实验，同时采用自然科学的分析手段，尽可能明确青铜器外底人工刻线的功能。另外，对于传统铸造领域内的同类事例，我们也将有意识地进行资料的收集整合工作。

注

1) 浇铸时因铜液与垫片之间存在温度差，铜液迅速冷凝时二者间可能会产生冷隔（日文称之为“汤境”，英文称之为 cold shut），这一点承蒙伊藤幸司先生提示；另外，铸造完成后拆解范时，有可能会出​​现垫片因附着于外范而与铜器分离的现象，这一点承蒙苏荣誉、张昌平诸位先生指出。

2) 由小泉先生告知。

引用文献

郭宝钧 1981：《商周铜器群综合研究》，文物出版社。

苏荣誉、卢连成、胡智生、陈玉云、陈依慰 1988：《宝鸡西周墓地青铜器铸造工艺考察及金属文物检测》，《宝鸡西周墓地》，文物出版社。

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。

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、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》，《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 2012：《鑄造実験による大型金銅仏の分割型鑄造の検証》，《アジア鑄造技術史学会研究発表概要集》6。

T. Niwa, H. Shingo, T. Yatsuki, Y. Higuchi 2014 Experimental archaeological study for reconstructing the relationship between technologies and the remains of metal artifacts: Based on an investigation of Zun-Pan vessels from the Zenghou Yi tomb, The proceedings of The 8th conference of the Beginning of the Use of Metals and Alloys (BUMAS) "Cultural Interaction and the Use of Metals"

【初出／初刊】

丹羽崇史・廣川守・新郷英弘・樋口陽介・八木孝弘 2015 「中国青銅器の製作技法解明のための対照実験（3）」『アジア鑄造技術史学会研究発表概要集』9（唐丽薇译）



图1 父乙簋（泉屋博古館蔵，商代後期）
口径 23.8cm 高さ 17.8cm

右は外底部（圈足内面）拡大

图1 “父乙” 簋（泉屋博古館蔵，商代晩期）

口径 23.8cm 高 17.8cm

右：外底部（圈足内面）特写

泉屋博古館提供／泉屋博古館提供



图2 直文簋（泉屋博古館蔵，西周前期）

口径 20.1cm 高さ 14.6cm

右は外底部（圈足内面）拡大

图2 直纹簋（泉屋博古館蔵，西周早期）

口径 20.1cm 高 14.6cm

右：外底部（圈足内面）特写

泉屋博古館提供／泉屋博古館提供



图3 对照鑄造実験の様子（2014年12月20日・21日 芦屋釜の里）

左：刻み目を入れた外底范 中：スペーサー（型持）を設置した中子（内范） 右：鑄込み

图3 对照鑄造実験（2014年12月20日、21日 芦屋釜之郷）

左：施有人工刻線の外范底部 中：設置有垫片の内范 右：澆鑄

丹羽撮影／丹羽撮影

1回目注湯
第一次澆鑄



1. 人工刻線あり／施有人工刻線

2. 人工刻線なし／未施人工刻線

2回目注湯
第二次澆鑄



3. 人工刻線あり／施有人工刻線

4. 人工刻線なし／未施人工刻線

图4 実験製作品（研磨・整形は行っていない）

图4 実験制作样品（未进行磨光修整）

奈文研写真室撮影／奈文研摄影技术室拍摄

3. X線CTスキャナによる鑄造実験試料の内部構造調査 利用X光CT扫描技术进行的铸造实验样品内部结构分析

丹羽崇史・赤田昌倫・田中麻美・樋口陽介・新郷英弘

1. これまでの研究経緯と問題の所在

筆者ら（丹羽・樋口・新郷）は、2012年度より異なった条件で実験鑄造した試料どうしを比較検討する「対照実験」を実施している。2014年度の実験では先行研究の成果にもとづき、范（鑄型）に人工的な線状刻み目を設けることにより鑄造効率を高める可能性がありうると想定し、底部内面に網の目状の人工刻線の有無に違いを設けた范をそれぞれ2点ずつ、計4点製作して、青銅容器試料の実験鑄造を行った。その結果、人工刻線を有する試料の方が、気孔が少なく、湯まわりがよい結果となった（丹羽ほか2015）。

しかしながら、これらの所見は実験鑄造した青銅容器の肉眼観察による外面の状態から判断したものであり、実際の青銅容器内部における鑄造欠陥の状態などについては検証できずにいた。そのため鑄造実験にて製作した青銅容器4点を対象として、九州国立博物館にてX線CTスキャナによる内部構造調査を実施した。

2. X線CTスキャナによる内部構造調査

使用した機器は九州国立博物館のX線CT（YXLON International社製、Y-CT Modular 320 FPD）である。対象試料は青銅製品であるため、透過能力を重視し電圧は320kV・電流は2.5mAとした。また、試料全体の撮影を目的としたためフラットパネルからの距離を471mmと定めた。なお、ピクセル分解能は0.31mmであった。撮影時は口縁を下にした反転状態、および横向きに設置して撮影を行った。内部構造調査の検証と観察についてはこの2つの撮影データを使用し解析を行った。

人工刻線のある試料（1・3）とない試料（2・4）の底部の内部構造を比較した結果、後者が前者よりも巣が目立つ傾向がみられた（図1～4）。ただし、底部以外の部分は刻線との明確な相関関係は確認できなかった。また、実験試料1の胴部側面に外面では確認できない「亀裂」状痕跡がみられた（図5）。

なお実験試料について三次元計測を行ったところ、胴部下半部が上半部や底部と比べて薄い造りになっていることが判明した。胴部下半部の薄さが要因で湯回り不良を起こした可能性が考えられる。

3. まとめ

今回の調査の結果、底部の巣の入り方が刻線の有無で若干の差異が見られる点、底部以外の部分は刻線との明確な相関関係は見られない点等を確認した。今後も様々な手法で実験結果について再検証したい。

引用文献

丹羽崇史・廣川守・新郷英弘・樋口陽介・八木孝弘 2015 「中国青銅器の製作技法解明のための対照実験（3）」『アジア鑄造技術史学会研究発表概要集』9（本書I-2）

1. 过去的研究及问题所在

筆者（丹羽、樋口、新郷）自2012年度起在不同条件下进行了比较分析实验铸造样品之间差异的“对照实验”。基于这一成果，2014年度我们设想，通过在范上有意识地施以网状的人工刻线来提高铸造效率这一可能性应当存在。于是，我们以范底部内面网状人工刻线的有无为基准，每一种分别制范2件，共计4件，进行了青铜容器样品的实验铸造。结果表明，施有人工刻线的样品比起未施人工刻线的样品气孔更少、铜液的流动性也更好（丹羽等2015）。

但是，上述结论仅为肉眼观察样品外部状态所得出的判断，关于青铜容器内部的状态，如是否存在铸造缺陷等未能进行

验证。因此，我们以上述铸造实验制作的 4 件青铜容器为对象，在九州国立博物馆使用 X 光 CT 扫描技术对其内部结构进行了分析。

2. X 光 CT 扫描技术的内部结构分析

本次分析使用的设备是九州国立博物馆的 X 光 CT 扫描仪（YXLON International 公司制、Y. CT Modular 320 FPD）。由于对象样品为青铜制品，所以我们格外注意射线的穿透性，将电压设定为 320kV、电流设定为 2.5mA。另外，为完整拍摄样品，我们将样品到平板（Flat Panel）之间的距离设定为 471mm、像素分辨率设定为 0.31mm。摄影时将镜头向下翻转或横置进行拍摄。关于青铜容器内部结构分析的验证和观察，我们利用其各自的影像数据进行了解析。

将施有人工刻线的样品（1 和 3）与未施人工刻线的样品（2 和 4）底部的内部结构进行比较，我们发现比起前者，后者明显更易出现气孔（图 1～4）。不过，底部之外的其他部分与刻线之间是否存在明确的相关性还未能确认。另外，影像显示出了肉眼在器表不能确认的、显现于实验样品 1 器身侧面的“龟裂”状痕迹（图 5）。

除此之外，我们还进行了实验样品的 3D 测量，发现比起器身的上半部或底部，下半部更薄。我们认为，器身下半部厚度偏薄可能是引起铜液流动不畅的重要原因。

3. 总结

通过本次调查，我们得出如下结论：一，实验样品底部是否产生气孔与范底部内面人工刻线的有无具有一定的相关性；二，实验样品底部之外的其他部分与范底部刻线的有无是否存在相关性还未能确认。今后，我们也将采用多种方法对实验结果进行验证和讨论。

引用文献

丹羽崇史、廣川守、新郷英弘、樋口陽介、八木孝弘 2015：《中国青銅器の製作技法解明のための対照実験（3）》，《アジア 鑄造技術史学会研究発表概要集》9（本书 I - 2）

【初出／初刊】

丹羽崇史・赤田昌倫・田中麻美・新郷英弘・樋口陽介 2019 「X 線 CT スキャナによる鑄造実験試料の内部構造調査」『日本文化財科学会第 36 回大会研究発表要旨集』

（唐丽薇 译）

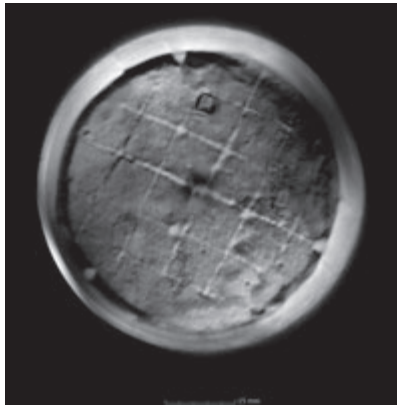


図1 実験試料1（人工刻線あり）

图1 实验样品1（施有人工刻线）

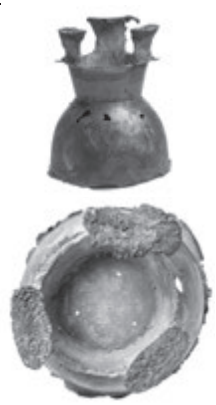
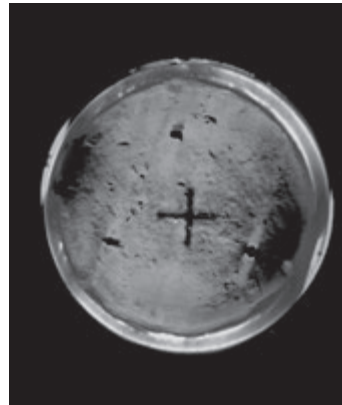


図2. 実験試料2（人工刻線なし）

图2 实验样品（未施人工刻线）

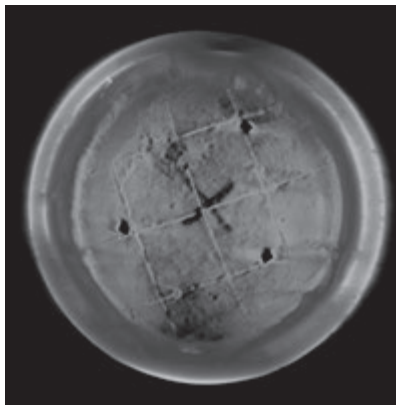


図3 実験試料3（人工刻線あり）

图3 实验样品3（施有人工刻线）

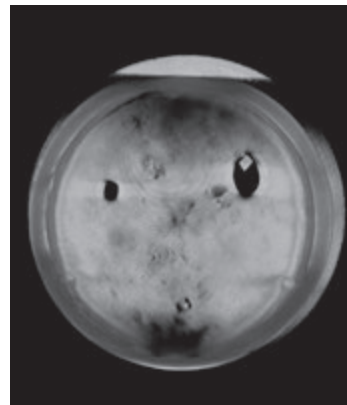


図4. 実験試料2（人工刻線なし）

图4 实验样品（未施人工刻线）

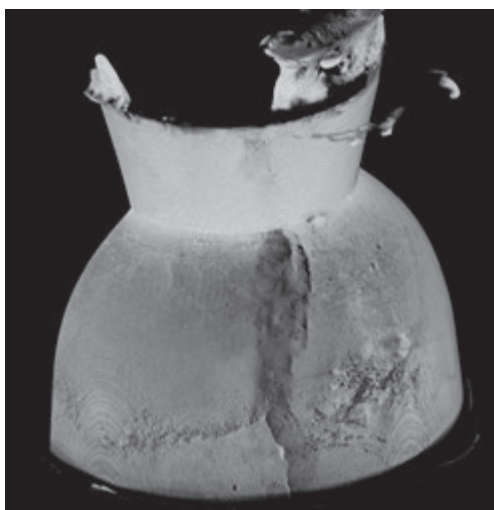


図5 実験試料1の器身部側面の「亀裂」状痕跡

图5 实验样品1器身侧面的“龟裂”状痕迹



図1～5 CT画像：九州国立博物館提供 図5右：丹羽撮影 その他：奈文研写真室撮影

图1～5 CT画像：九州国立博物馆提供 图5右：丹羽拍摄 其他：奈文研摄影技术室拍摄

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「失鑿法」（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：日立ミニスコープ 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証明—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）

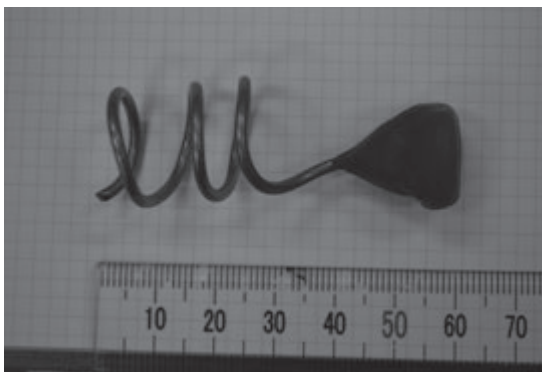


図1 鉛原型（湯口部分はワックス）

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

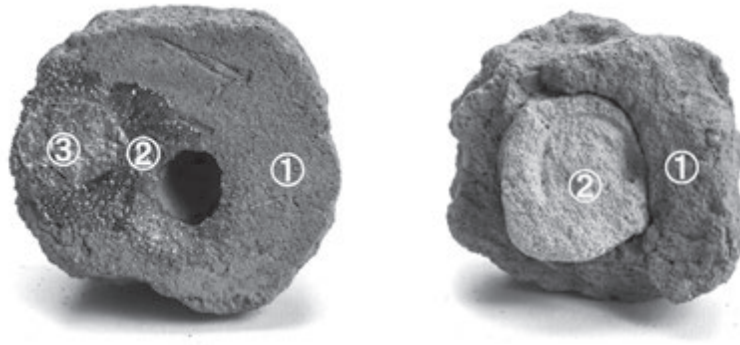


图5 蛍光 X 線測定箇所 左：3 鑄型 右：5 鑄型

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

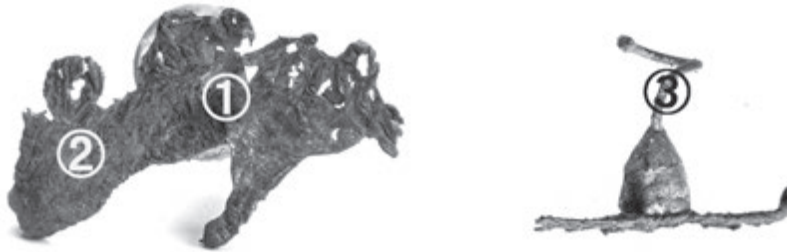


图6 蛍光 X 線測定箇所 5 鑄造品

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

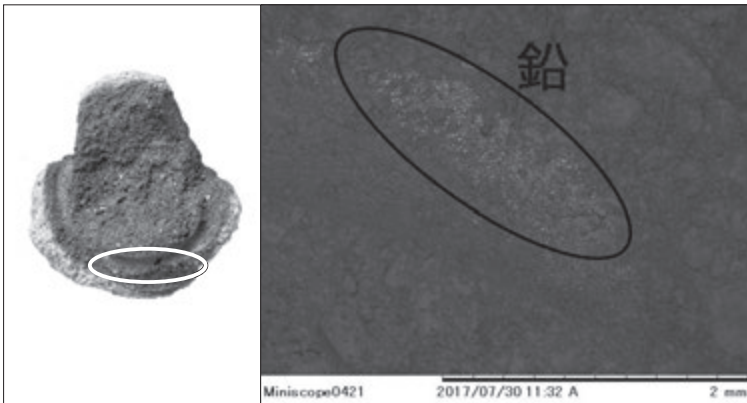


图7 9 鑄型 螺旋部分の SEM 像
螺旋状部分に斑点状の痕跡 (鉛)

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

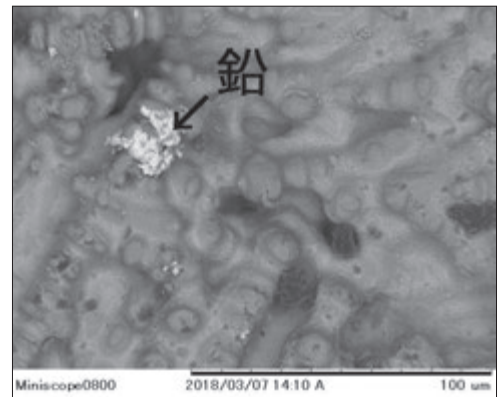


图8 9 鑄造品 表面の SEM 像
残留鉛が見られる

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

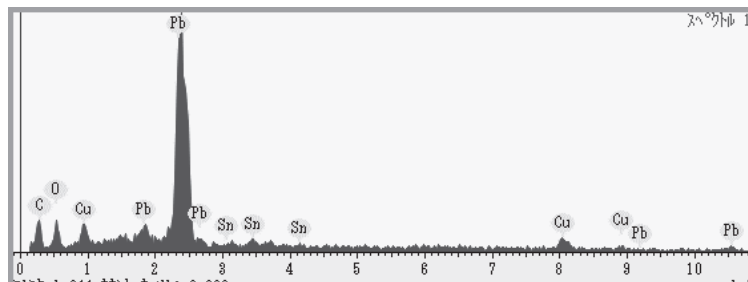


图9 9 鑄造品 图8 的白色部分の EDS スペクトル図

图9 鑄造品 9 图8 白色部分的 EDS 光谱图

5. 土製鑄型の機能解明を目的とした実験考古学的研究序説 以解明泥范功能为目的的实验考古学研究序论

丹羽崇史・樋口陽介・新郷英弘

1. 問題の所在

筆者らは、2012年度より異なった条件で実験鑄造した試料どうしを比較検討する「対照鑄造実験」を実施している（丹羽ほか2013, 2014）。2014年度の実験では、鑄型に人工的な線状刻み目を設けることにより、鑄造効率を高める可能性がありうると想定した（丹羽ほか2015）。しかしながら、これまでの実験では芦屋釜の里で用いられてきた真土型を使用しており、中国の殷周時代の鑄型とは異なったものであった。

2012年4月、丹羽、新郷は殷周青銅器の復元製作を行っている湖北省の鄂州博物館の董亜魏氏の工房を訪問し、鑄型剤や離型材を用いず、内・外面で土の使い分けをしない単層式鑄型でも製品が鑄造可能であることを確認した。このようなあり方は、粒度の異なる真土を使い分けて鑄型を製作する日本の伝統鑄金の方法とは異なり、鑄型材質面での明確な「差異」が存在しているものと考えられる。しかしながら、殷周時代の古陶范、現代の中国の鑄型を含め、日本の鑄型との材質・技法面での「差異」の実態については解明されていない。

そのため、筆者らは土製鑄型の機能解明を目的として殷周時代の古陶范の性能に近い鑄型の製作を試み、それを用いた対照鑄造実験を実施した。

2. 実験の概要

譚徳馥氏は中国の古陶范の特徴として以下のような項目を挙げている（譚1999）。

- ①可塑性・転写性・可彫性・脱模性が良好であること。
- ②乾燥・湿気に強度があり、乾燥すると固くなること。
- ③耐火度があり、化学的に安定していること。
- ④収縮・膨張率が低いこと。
- ⑤鑄造等によるガスの発生量が低いこと。
- ⑥鑄造後の冷却時の収縮に適応できるものであること（退讓性があること）。
- ⑦湯回りが良いこと（充型性能があること）。

今回の実験では日本の素材を用いて上記のような特徴を有する鑄型の製作を目的とした。鑄型材や離型剤を用いず、同一の土素材で製作した単層式鑄型を高温焼成し、実際に鑄造が可能かを検証した。

実験は2017年1・2月、2018年2・3月に芦屋釜の里にて行った。

○第1回実験（2017年1月・2月）

（1）板状試料製作実験

粘土と珪砂の割合や粃殻・藁スサの混入の有無など、条件の異なる板状の試料（サンプル）を複数製作し、それらを電気炉で高温焼成して収縮率や亀裂の有無を調べた。

（2）鑄型製作・鑄造実験

板状資料製作実験の結果、高温焼成に耐え収縮・亀裂の少ないものを用いて鑄型を製作し、対照鑄造実験を行った。商周青銅器外底部の網の目状の人工刻線（凸線状痕跡）の機能比較実験（丹羽ほか2015）を今回製作した土製鑄型を用いて再検証を行った。

◆材料

伊賀木節粘土：9号珪砂＝7：3（重量比） 混和剤：粃殻、藁

◆製作鑄型

底部人工刻線 1. あり 2. なし 混和剤 a. 粃殻 b. 藁

→ ①1+a（製品1）、②2+a（製品2）、③1+b（製品3）、④2+b（製品4）の4パターンを製作。

◆製作品

2014年度実験と同じ「父乙」簋(泉屋博古館蔵)、『泉屋博古 中国古銅器編』20)を小型・単純化したものをモデルとした。今回は石膏原型から外範・内範を型取りし、実際の殷周時代の鑄型に合わせて3分割¹⁾した後、分割部分に粘土を塗り固定するなど、2014年度実験とは鑄型の製作方法を変更している。鑄型は、3分割した側面外範、底外範、内範からなり(図1)、乾燥後に電気炉で高温焼成した。また、鑄造試料の合金比率は2014年実験と同じCu80%、Sn15%、Pb5%とした。

(3) 実験の結果

①～④いずれも2014年度鑄型よりも湯回りが良く、人工刻線の有無による違いは確認できなかった。また、①③については凸線になるはずの人工刻線が凹線となった(図2・3)。

○第2回実験(2018年2月・3月)

(1) 鑄型製作・鑄造実験

◆材料

粘土：9号硅砂＝7：3(重量比)の鑄型土を用いて高温焼成した鑄型。藁・初殻を抜いたものを使用。

◆製作品²⁾

①大1～3(モデル：父乙簋(『泉屋博古 中国古銅器編』20))

原型から抜くことができるよう器身の上半部は省略(下半部のみ製作)。外径18cm。高さ9cm。厚み3mm。

大1：外底部は細線(1mm)刻み 大2：外底部は太線(3mm)刻み 大3：外底部は刻みなし

②小1～3(モデル：饗鬻文尊(『泉屋博古 中国古銅器編』80))

より急こう配でガス抜けの悪い構造。器身部を省略(圈足・底部のみ製作)。外径13.5cm。高さ9.5cm。厚み3mm。

小1：外底部は細線(1mm)刻み 小2：外底部は太線(3mm)刻み 小3：外底部は刻みなし。

今回はガス抜けの悪い構造を意図して①②とも外範を分割せず、それ以外は前回と同じ方法で製作した。小1～3・大2・3は2月、大1は3月に実験鑄造を実施した。鑄造効率改良のため、後者は前者よりも湯口を若干大きく設定し鑄造を試みた。合金比率は前回と同じCu80%、Sn15%、Pb5%のものを用いた。

(2) 実験の結果

人工刻線がある大1・小1が他と比べて湯回りが良い傾向がみられた。大1・小1の細線(1mm)刻みは第1回実験と同様、凹線となったが、大2・小2の太線(3mm)刻みは凸線のままであった(図4)。

3. 考察とまとめ

今回の実験では伊賀木節粘土など日本の材料を用い、単層式で高温焼成による鑄型を製作し、製品を鑄造することに成功した。また、外範を分割していない第2回実験品よりも、3分割した第1回実験の製品のほうが、全体的に湯回りの良い傾向がある。鑄型の分割部分がガス抜けに働き、湯回り効率が高まったものとみられる。

さらに凸線になるはずの外底部の人工刻線が凹線となる予想外の結果となった(第1回実験製品1・3、第2回実験大1・小1)。原因として鑄造時に発生したガスが鑄型に反射し、青銅(湯)側に圧力をかけた可能性がある(飯塚義之氏ご教示)。ただしその場合、今回製作した鑄型は通気性の悪い構造であったと考えられ、人工刻線じたいは2014年度実験で用いた通気性の良い真土型のような鑄型であれば、ある程度機能する可能性があるものと考えられる。なお今回モデルとした「父乙」簋底部の線状痕にも同様な凹線のものの確認でき(丹羽ほか2015)、「父乙」簋が類似した条件で鑄造された可能性も想定できるであろう。

外範の分割や人工刻線のほか、鑄型に設置した湯口の大きさや鑄造時の湯の流動性など、鑄造効率はさまざまな要因により変動するものと考えられる。今後もさまざまな条件での実験を継続したい。

註

1) 実際の青銅容器の外範には、3分割以外にも、2分割、4分割、6分割など多様な種類が存在する。

2) 初出論文では製品の法量に誤りがあったため、訂正した。

引用文献

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」『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）

丹羽崇史・廣川守・新郷英弘・樋口陽介・八木孝弘 2015「中国青銅器の製作技法解明のための対照実験（3）」『アジア鑄造技術史学会研究発表概要集』9（本書Ⅰ-2）

譚德叡 1999「中国青銅時代陶范鑄造技術研究」『考古學報』1999-2

1. 問題所在

筆者自 2012 年度起，在不同条件下进行了对比讨论实验铸造样品的“对照铸造实验”（丹羽等 2013, 2014）。通过 2014 年度的实验，我们设想人工在范上施以线刻而使得铸造效率提高的可能性应当是存在的（丹羽等 2015）。不过，在之前的实验中我们一直使用的是砂质粘土范（“真土型”），这种范在芦屋釜之乡被长期使用，与中国商周时期的范有所不同。

2012 年 4 月，丹羽、新乡参观访问了复原铸造商周青铜器的湖北省鄂州博物馆董亚魏先生的作坊，确认了不使用涂型剂或分型剂、只采用内外两侧不区分土质的单层范也能够完成青铜制品的铸造。这种情况与日本传统冶金铸造技术中区别使用粒度不同的砂质粘土制范的做法不同，我们认为这表明两类范在质地方面存在明确的“差异”。但是，商周时期的古陶范以及现代中国的范，它们与日本的范在质地、技术层面上存在的“差异”究竟如何还不明确。

因此，笔者以解明泥范功能为目的尝试制作性能接近商周时期古陶范的制品，并以之进行了对照铸造实验。

2. 实验概要

譚德睿曾列举出中国古陶范的以下各项特征（譚 1999）。

1. 可塑性、复印性、可雕性、脱模性良好。
2. 足够高的干、湿强度和干硬度。
3. 足够高的耐火度和化学稳定性。
4. 收缩-膨胀率低。
5. 发气量足够低。
6. 能够适应铸造后冷却时的收缩变形（足够好的退让性）。
7. 足够好的充型性能。

本次实验的目的是使用日本的材料来制作具有上述特征的范，并在不使用涂型剂或分型剂的前提下，高温烧制以该粘土材料制作而成的单层范，验证其用于实际铸造是否可行。

实验于 2017 年 1～2 月、2018 年 2～3 月在芦屋釜之乡进行。

第一次实验（2017 年 1～2 月）

(1) 板状样品制作实验

以粘土和石英砂的比例以及是否掺杂稻谷壳、秸秆等条件为变量，制作多个实验样品，将其放入电炉内进行高温烧制，检验其收缩率如何、是否存在裂痕。

(2) 制范和铸造实验

根据板状样品制作实验的结果，我们使用耐高温且收缩率低、裂痕少的材料制范，进行了对照铸造实验。对于商周青铜

器外底部网状人工刻线（凸线状痕迹）的性能（丹羽等 2015），我们使用此次制作的泥范再次以对照实验的方式进行了验证。

◆材料

伊贺木节粘土：9 号石英砂 = 7：3（重量比） 掺合料：稻谷壳、秸秆

◆制范

底部人工刻线 1. 有 2. 无 掺合料：a. 稻谷壳 b. 秸秆

→制作① 1 + a（制品 1）、② 2 + a（制品 2）、③ 1 + b（制品 3）、④ 2 + b（制品 4）等四种样品。

◆实验制品

与 2014 年度的实验相同，以小型简化的“父乙”簋（泉屋博古馆藏）（《泉屋博古 中国古铜器编》20）为模型。此次从石膏模上翻出外范和内范，按照商周时代范的实物将其三等分¹⁾后，将分割部分涂以粘土进行固定，同 2014 年度的实验相比，变更了制范方法。该范由三等分的侧面外范、底外范、内范组成（图 1），干燥后以电炉高温烧制。另外，铸造样品的合金比例与 2014 年度的实验相同，分别为铜 80%、锡 15%、铅 5%。

(3) 实验结果

范①~④当中任何一件的铜液流动性都好于 2014 年度所制的范，因人工刻线的有无而造成的差异无法确认，即人工刻线的有无与铸造效率的高低之间并不存在必然联系。另外，范①和范③上本该成为凸线的人工刻线变成了凹线（图 2、3）。

第二次实验（2018 年 2 ~ 3 月）

(1) 制范和铸造实验

◆材料

以粘土：9 号石英砂 = 7：3（重量比）的比例高温烧制而成的范，该范未掺杂秸秆、稻谷壳。

◆实验制品²⁾

①大 1 ~ 3（模型：“父乙”簋（《泉屋博古 中国古铜器编》20））

为了能够顺利脱模，我们省略了器身上半部分的制作（仅制作下半部分）。外径 18 cm、高 9 cm、厚 3 mm。

大 1：外底部刻有细线（1 mm）

大 2：外底部刻有粗线（3 mm）

大 3：外底部无刻线

②小 1 ~ 3（模型：饕餮纹尊（《泉屋博古 中国古铜器编》80））

采用底部坡度大且透气性差的结构，省略了器身的制作（仅制作圈足和底部）。外径 13.5 cm、高 9.5 cm、厚 3 mm。

小 1：外底部刻有细线（1 mm）

小 2：外底部刻有粗线（3 mm）

小 3：外底部无刻线

此次有意采用了透气性差的结构，①②的外范均不分割，余下的采用与上次实验相同的方法进行制作。小 1 ~ 3 和大 2 ~ 3 在 2 月、大 1 在 3 月进行了实验铸造。为了提高铸造效率，比起前者我们增大了后者的浇口，进行了试铸。合金采用了与上次相同的比例，分别为铜 80%、锡 15%、铅 5%。

(2) 实验结果

实验结果表明，带有人工刻线的大 1 和小 1 比起其他实验制品，铜液的流动性更好。大 1、小 1 的细线刻痕（1 mm）与第一次实验相同，均变为凹线，但是大 2、小 2 的粗线刻痕（3 mm）仍旧保持着凸线的状态（图 4）。

3. 考察和总结

本次实验使用伊贺木节粘土等日本的材料，高温烧制出单层范，并成功铸造了器物。而且，比起未被分割外范的第二次实验品，外范被三等分的第一次实验品在整体上显示出更加良好的铜液流动性能。这表明范的分割处起到了透气作用，铜液流动的效率也因此得到了提高。

另外，据推测本应变为凸线的外底部人工刻线成为了凹线，这是意料之外的结果（第一次实验制品1和3、第二次实验的大1和小1）。原因可能是铸造时产生的气体投射到范上，从而给铜液一侧施加了压力（承蒙饭冢义之先生赐教）。不过在当时的情形下，我们认为这是由于本次制作的范透气性能较差而导致的结果，人工刻线若施于2014年度实验时使用的透气性良好的砂质粘土范上，则有可能发挥某种程度的作用。另外，通过此次实验可以确认，用作模型的“父乙”簋底部的线状痕迹也为凹线（丹羽等2015），因此我们推测“父乙”簋也有可能是在相似条件下铸造而成的。

除了外范分割和人工刻线，我们认为范上设置的浇口的大小以及铸造时铜液的流动性等，也是导致铸造效率变化的重要原因。今后，我们还会在多种多样的条件下继续实验。

注

- 1) 青铜容器的外范实物，除三等分外，还有二等分、四等分、六等分等多种形式。
- 2) 旧版论文中，制作品的尺寸有误，特此更正。

引用文献

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

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》，《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）。

丹羽崇史、廣川守、新郷英弘、樋口陽介、八木孝弘 2015：《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（3）》9（本书I - 2）。

【初出／初刊】

丹羽崇史・樋口陽介・新郷英弘 2018「土製鑄型の機能解明を目的とした実験考古学的研究序説」『アジア鑄造技術史学会研究発表概要集』12

（唐丽薇 译）

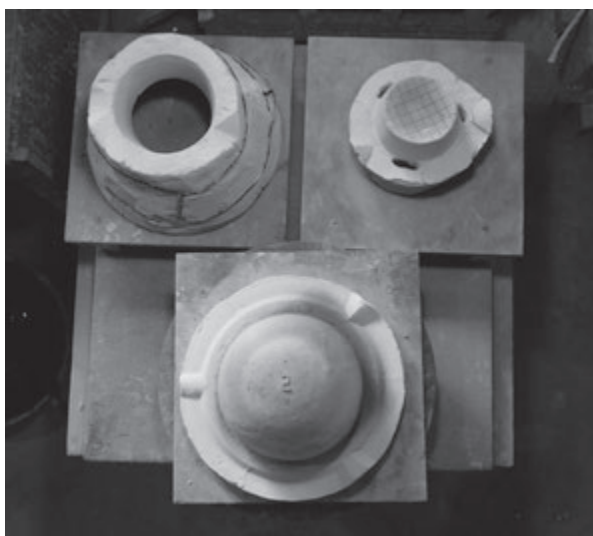


图1 第1回実験の製作鑄型

图1 第一次实验时所制范
丹羽撮影／丹羽拍摄

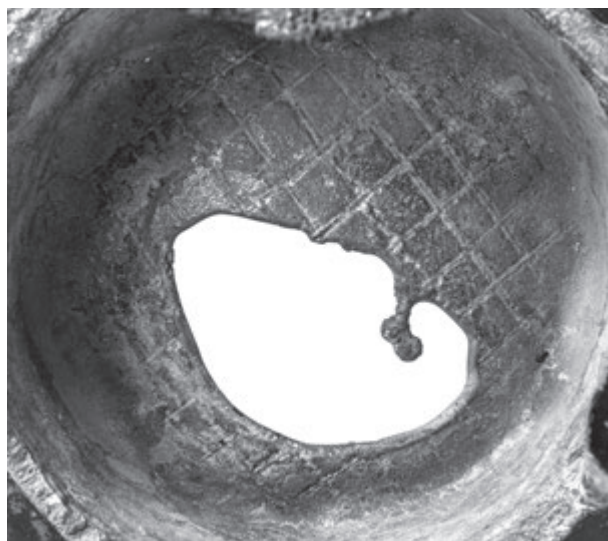


图2 第1回実験の製品1 凹線となった底部人工刻線

图2 第一次实验的制品1 变为凹线的底部人工刻线
奈文研写真室撮影／奈文研摄影技术室拍摄

製品 1 / 制品1 	外底部は細線（1mm）刻み。 結果 刻線部分が凹線になる。 胴部○、底部△。	製品 2 / 制品2 	外底部は刻みなし。 結果 胴部○、底部○。
	外底部刻有细线（1mm）。 結果 刻线处成为凹线。 器身○、底部△。		外底部无刻线。 結果 器身○、底部○。
製品 3 / 制品3 	外底部は細線（1mm）刻み。 結果 刻線部分は凹線になる。湯境。 胴部○、底部△。	製品 4 / 制品4 	外底部は刻みなし。 結果 胴部△、底部△。
	外底部刻有细线（1mm）。 結果 刻线处成为凹线。出现冷隔。 器身○、底部△。		外底部无刻线。 結果 器身△、底部△。

図3 第1回実験結果（湯回りの度合いを相対的に○△×で表記）／图3 第一次实验结果（铜液的流动程度分别以○△×表示）
 奈文研写真室撮影／奈文研摄影技术室拍摄

小1製品 / 小1制品 	外底部は細線（1mm）刻み。 結果 刻線部分が凹線になる。湯境。 胴部○、底部○。	大1製品 / 大1制品 	外底部は細線（1mm）刻み。 湯口を他より大きく設定。 結果 刻線部分が凹線になる。 胴部○、底部○。
	外底部刻有细线（1mm）。 結果 刻线处成为凹线。出现冷隔。 器身○、底部○。		外底部刻有细线（1mm）。 设定浇口尺寸大于其他制品。 結果 刻线处成为凹线。 器身○、底部○。
小2製品 / 小2制品 	外底部は太線（3mm）刻み。 結果 刻線部分は凸線のまま。湯境。 胴部△、底部△。	大2製品 / 大2制品 	外底部は太線（3mm）刻み。 結果 刻線部分は凸線のまま。 胴部△、底部△。
	外底部刻有粗线（3mm）。 結果 刻线处仍为凸线。出现冷隔。 器身△、底部△。		外底部刻有粗线（3mm）。 結果 刻线处仍为凸线。 器身△、底部△。
小3製品 / 小3制品 	外底部は刻みなし。 結果 胴部○、底部×。	大3製品 / 大3制品 	外底部は刻みなし。 結果 湯境。胴部△、底部○。
	外底部无刻线。 結果 器身○、底部×。		外底部无刻线。 結果 出现冷隔。器身△、底部○。


図4 第2回実験結果（湯回りの度合いを相対的に○△×で表記）／图4 第二次实验结果（铜液的流动程度分别以○△×表示）
 奈文研写真室撮影／奈文研摄影技术室拍摄

6. レプリカ法による東周時代镂空状青銅器紋様の実験鑄造試料の比較検討 基于复制法的东周时期镂空青铜器纹饰实验铸造样品的对比研究


丹羽崇史・樋口陽介・新郷英弘

1. これまでの研究経緯と問題の所在

これまで東周時代の镂空状青銅器の製作技法をめぐり、蠟などの消失原型（模）使用の有無（范の分割の有無）、原型の素材（蠟・鉛）などについて、さまざまな仮説が提唱されてきた（丹羽 2008）。筆者らは湖北省隋州市の曾侯乙墓から出土した镂空状盤の破片（張 2007）にみられる波状痕跡を蠟原型の加工痕跡と解釈し、再現実験により镂空部分は蠟を原型として用いた可能性が高いとした（丹羽ほか 2013・2014）。しかしながら、镂空状紋様を複数の方法で製作した場合の差異については、実験で検証できずにいた。

レプリカ法はシリコンを用いて構造を三次元的に把握できる手段として、これまでさまざまな考古資料で活用されてきた。今回、泉屋博古館の了解のもと、同館所蔵の蟠螭紋 （『泉屋博古 中国古銅器編』117）の耳部（図 1・2）を対象にレプリカ法によるシリコン型取りを実施し、鑄造実験を行った。

2. 泉屋博古館所蔵青銅器の調査

対象とした蟠螭紋  は春秋前中期ごろの青銅器で、耳部が透彫の镂空状紋様で表現されている。耳部のシリコンによる型取り調査は 2018 年 5 月 16 日に行った。型取りを樋口、写真撮影・調書作成を丹羽がそれぞれ担当した（図 3・4）。また、7 月 10 日に丹羽が実測図作成のための追加調査を行った。

3. 鑄造実験

筆者らがこれまで実践してきた「対照実験」の手法をもとに、2018 年 12 月 1・2 日に芦屋釜の里にて原型・范製作、および鑄造実験を行った。実験では 2016・2017 年度の実験で試作した伊賀木節粘土と 9 号珪砂の混合物による単層式で高温焼成による范（丹羽ほか 2018）を用いた。

実験では、構造や原型の素材などの条件を変えた以下の 9 点の范を製作した。

范 1 シリコン范→蠟原型→非分割范→脱蠟（范のまま残す）

范 2 シリコン范→蠟原型→非分割范→脱蠟→焼成（范のまま残す）

范 3・4 シリコン范→蠟原型→非分割范→脱蠟→焼成→鑄造（原型は蜜蠟 70%、パラフィン 30%）

范 5・6 シリコン范→蠟原型→非分割范→脱蠟→焼成→鑄造（原型はパラフィン 80%、蜜蠟 20%）

范 7～9 シリコン范→石膏原型→分割范（范へ転写）→鑄造（范 9 は転写時に離型剤使用、范 7・8 は離型剤を用いず製作・転写）

このうち范 7 は石膏原型転写時に壊れたため、范 3～6・8・9 の 6 点を実験鑄造した（図 5～8）。その結果、複雑な镂空状紋様を鑄造製作することに成功し、実験鑄造した製品には若干の差異も見て取ることができた（図 9）。

4. 製作実験試料の対比

実験鑄造試料の特徴は表 1 のとおりである。法量 A・B は図 10 参照。表中の「石膏原型」は 8・9 の原型、「蠟原型」は范の製作に用いたものとは別にシリコン范から起こしたものである。

一部先端部分の欠損などもあるが、以下のような特徴が指摘できる。

①蜜蠟 70%、パラフィン 30% の原型を用いた 3・4 はほかよりも法量が小さくなる傾向がある。

②石膏原型から范に転写した 8・9 よりも蠟原型から范を製作した 3～6 の方がより紋様が鮮明。

③ 3～6 にはシリコン范に由来する范線、8・9 には鑄造時の范の分割部分に湯が流れ込み形成された范線が確認できる。


ただし前者よりも後者の方が太く面的な范線となる傾向があり（図 11）、本実験試料に関しては両者の識別は可能である。

引用文献


- 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・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」『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)
- 丹羽崇史・樋口陽介・新郷英弘 2018 「土製鑄型の機能解明を目的とした実験考古学的研究序説」『アジア鑄造技術史学会研究発表概要集』12 (本書 I - 5)
- 張昌平 2007 「關於曾侯乙尊盤是否採用失蠟法鑄造爭論的述評」『江漢考古』2007- 4

1. 以往的研究及问题所在

围绕东周时期镂空青铜器纹饰的制作技法，关于制作过程中是否使用了蜡等“消失”模（是否对范进行分割）以及模的材质（蜡、铅）等问题，研究者们曾经提出过多种假说（丹羽 2008）。笔者认为，湖北省随州市“曾侯乙”墓出土的镂空盘残片（张 2007）上所见的皴状痕迹应当是使用蜡模加工时留下的，通过再现实验，利用蜡模制作镂空部分的可行性很高（丹羽等 2013、2014）。但是，关于运用多种方法制作镂空纹饰时存在的差别还未能进行实验验证。

复制法作为利用硅胶范把握实验对象立体结构的一种手段，曾被应用于多种考古资料。在得到泉屋博古馆许可后，笔者以该馆所藏蟠螭纹 （《泉屋博古 中国古铜器编》117）的耳部（图 1、2）为对象，进行了复制法硅胶范翻模实验和铸造实验。

2. 泉屋博古馆所藏青铜器的调查

该蟠螭纹  为春秋早中期青铜器，耳部施以透雕镂空纹饰。耳部的硅胶范翻模实验于 2018 年 5 月 16 日进行，翻模工作由樋口负责，摄影和文字记录工作由丹羽负责（图 3、4）。之后，为了绘制线图，由丹羽在 7 月 10 日进行了补充调查。

3. 铸造实验

以笔者实施过的“对照实验”这一方法为基础，我们于 2018 年 12 月 1 日、2 日在芦屋釜之乡进行了模、范的制作并进行了铸造实验。实验使用 2016、2017 年度实验时高温烧成的单层范，这种单层范以伊贺木节粘土和 9 号石英砂混合物为原料制作而成（丹羽等 2018）。

本次实验通过改变范的结构、模的原料等条件，制作了以下 9 件样品。

范 1 硅胶范→蜡模→整体范→脱蜡（未铸造）

范 2 硅胶范→蜡模→整体范→脱蜡→烧制（未铸造）

范 3、4 硅胶范→蜡模→整体范→脱蜡→烧制→铸造（模的成分为蜂蜡 70%、微晶蜡 30%）

范 5、6 硅胶范→蜡模→整体范→脱蜡→烧制→铸造（模的成分为微晶蜡 80%、蜂蜡 20%）

范 7~9 硅胶范→石膏模→分割范（翻模）→铸造（范 9 在脱模时使用分型剂，范 7、8 在未使用分型剂的情况下完成了脱模）

其中，因范 7 在脱石膏模时发生了损坏，所以只使用范 3~6、8、9 这六件进行了实验铸造（图 5~8）。

最后，复杂的镂空纹饰铸造成功，实验铸造的制品之间存在的差异也得以确认（图 9）。

4. 实验制作样品对比

实验铸造样品特征参见表 1。尺寸 A、B 参见图 10。表中的“石膏模”是范 8、9 的模，而“蜡模”只是从硅胶范翻出，

并非用于范 1～6 的制作。

尽管个别样品的上部边缘发生了损坏，但我们仍然能够发现以下特征：

- ①含蜂蜡 70%、微晶蜡 30% 的范 3、4 与其他的范相比，尺寸缩小。
- ②比起利用石膏模翻出的范 8、9，利用蜡模翻出的范 3～6 的纹饰更加清晰可辨。
- ③范 3～6 之中存在的来自硅胶范的范线、以及范 8、9 在铸造时由流入其分割部分的铜液而形成的范线得以确认。不过比起前者，后者的范线更宽、呈面状（图 11），因此本次实验的样品之间的差别是可以辨认并区分的。

引用文献

张昌平 2007：《关于曾侯乙尊盘是否采用失蜡法铸造争论的述评》，《江汉考古》2007-4。

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、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》《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）。

丹羽崇史、樋口陽介、新郷英弘 2018：《土製鑄型の機能解明を目的とした実験考古学的研究序説》《アジア鑄造技術史学会研究発表概要集》12（本书 I - 5）。

【初出／初刊】

丹羽崇史・樋口陽介・新郷英弘 2019「レプリカ法による東周時代樓空状青銅器紋様に関する実験考古学的研究」『日本文化財科学会第 36 回大会研究発表要旨集』

丹羽崇史・樋口陽介・新郷英弘 2019「樓空状青銅器紋様の実験鑄造試料の比較検討」『アジア鑄造技術史学会研究発表概要集』13

（唐丽薇译）



图 1 泉屋博古館所藏蟠螭紋
（『泉屋博古 中国古銅器編』117）
图 1 泉屋博古館所藏蟠螭紋
（『泉屋博古 中国古銅器編』117）

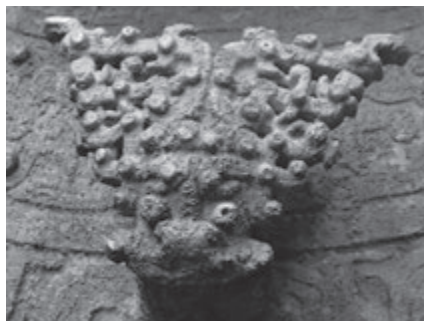


图 2 泉屋博古館所藏蟠螭紋 耳部
图 2 泉屋博古館所藏蟠螭紋 耳部
丹羽撮影／丹羽拍摄

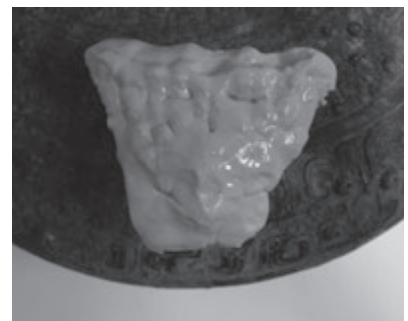


图 3 シリコンによる型取り
（2018 年 5 月 16 日泉屋博古館）
图 3 硅胶翻模
（2018 年 5 月 16 日泉屋博古館）
丹羽撮影／丹羽拍摄



图4 型取りしたシリコン范
图4 翻模后的硅胶范
丹羽撮影／丹羽拍摄

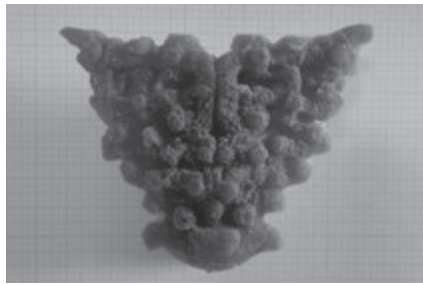


图5 蠟原型(范3)
图5 蜡模(范3)
丹羽撮影／丹羽拍摄



图6 石膏原型
图6 石膏模
奈文研写真室撮影／
奈文研摄影技术室拍摄

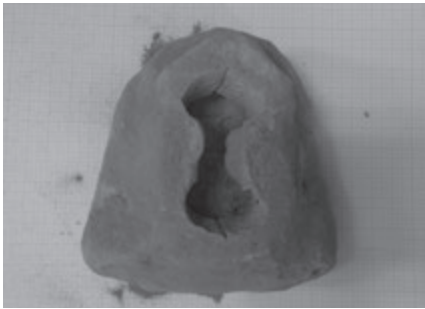


图7 脱蠟を終えた范(范3)
图7 脱蜡完成后的范(范3)
丹羽撮影／丹羽拍摄



图8 范への鑄造
图8 浇铸到范
丹羽撮影／丹羽拍摄



图9 実験製作試料(蠟原型・范3)
图9 实验铸造样品(蜡模・范3)
奈文研写真室撮影／
奈文研摄影技术室拍摄

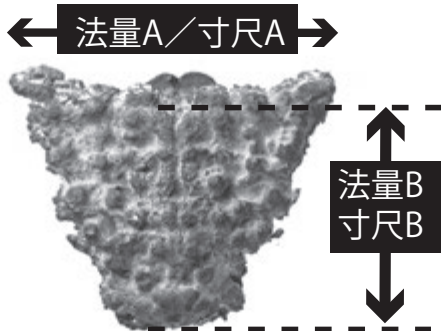


图10 実験製作試料の法量・特徴比較(石膏原型・范8)
图10 实验铸造样品尺寸及特征的比较(石膏模・范8)
奈文研写真室撮影／
奈文研摄影技术室拍摄

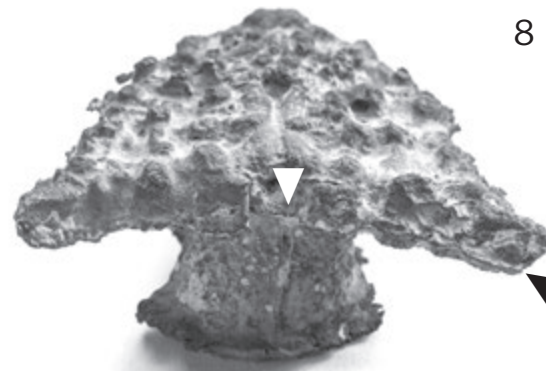
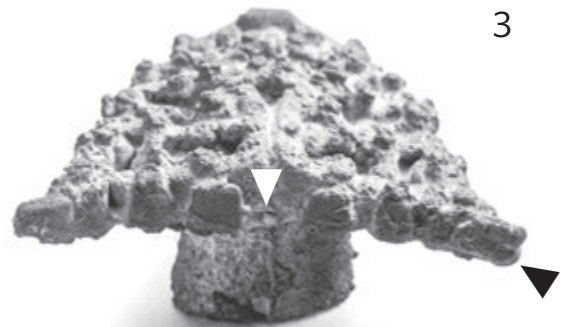


图11 蠟原型による実験鑄造試料(范3)(上)と石膏原型による実験鑄造試料(范8)(下)の范線の対比
图11 蜡模实验铸造样品(范3)(上)与石膏模实验铸造样品(范8)(下)范线的对比
奈文研写真室撮影／奈文研摄影技术室拍摄

表1 実験鑄造試料の特徴／实验鑄造样品特征

試料 样品	法量A 尺寸A	法量B 尺寸B	表面状態 (○鮮明⇔×不鮮明) 表面状态 (○清晰⇔×不清晰)	范線 范线	備考 备注
3	9.0	6.1	○	細 窄	
4	9.0	6.1	○	細 窄	
5	9.3	6.2	○	細 窄	
6	8.5	6.2	○	細 窄	先端部分欠損 上部的边缘部分损坏
8	9.3	6.3	×	太 宽	
9	9.3	6.3	△	太 宽	
石膏原型 石膏模	9.3	6.2			
蠟原型 蜡模	8.5	6.0			先端部分欠損 上部的边缘部分损坏

第Ⅱ部

陶范技術の実験考古学

陶范技术的实验考古学



国際研究会「陶范技術の実験考古学」

国際研讨会“陶范技术的实验考古学”

2019年2月24日

1. 商周青铜铸造泥模范的七个问题

商周青铜铸造土製范・原型をめぐる七つの問題

蘇榮譽

人类发明冶金术时即已认识到金属液的流动性和赋形能力，将熔融金属注入一定形状的型腔，凝固后可获得型腔的形状并保持金属的原有性能，这即是铸造技术的嚆矢。目前可追溯到公元前六千纪末的塞尔维亚（Serbia）的铜石并用时代遗址Majdanpek和Pločnik¹⁾。

世界上主要文明的青铜器制作，是以锻造为基础，锻、铸并行的技术系统，铸造则以石范浇注工具和兵器等小件器物、以失蜡法浇注复杂器物，也采用泥范铸锭和简单器物，但比例甚低。唯独中原古代青铜器，独以铸造成形、且几乎仅以泥范块范法铸造成器²⁾。明确认识到这一点，与中原早期考古发现的遗物密不可分。

古代铸型是先民铸造金属的遗存，包括范（mold）、芯（core）、浇注系统（gating system）和其他相关废弃物。按照铸件成形方式，可分为整体铸型和分块铸型，前者如失蜡法（lost-wax process），后者可称之为块范法（piece-molds）。但通常意义的块范法指铸型中包括两块以上范（或另加一块或数块芯）的铸型结构。按照铸件材质，可以分为铸铜（及其合金，下同）、铸铁、铸金、铸银、铸铅、铸锡等类型，铸铁对铸型的耐热性要求最高，在1400℃左右，其次是铜和金，浇注温度在1000-1100℃左右，其余金属的浇注温度在250-900℃之间。按照材质可以分为石、泥砂、铜、铁等种类，其中只有泥砂可以制作复杂铸件的整体铸型。

因中国古代青铜器十分精美，古代典籍没有关于其制作的记载，当西方学者在十九世纪末和二十世纪初接触到这些艺术品时，很自然认为是失蜡法铸造的³⁾。直到二十世纪二十年代末，安阳殷墟开始的考古发掘，发现了铸造青铜器的模范，并经西方学者深入讨论后，泥范块范法铸造了中国古代青铜器才成为共识⁴⁾。

近百年来研究和探索，虽然构建了中国古代铸造技术的发展框架，并揭示出了其中的不少奥妙和细节，随着更多材料的发现、发表和研究工作的推进与深化，也揭示出若干未曾思考与证实的问题，有既往人云亦云之工序和工艺，也有不少新问题，其中某些可能还相当重要。现不揣浅陋，将自己一些不成熟的思考和疑虑，或者仅仅是问题和盘托出，以请教高明。

1. 关于中国早期青铜器生产中泥范块范法的独占性

中国的冶金术起源尚不清楚，新石器时代的金属制品，既有铸造也有锤锻成形，虽然均可上溯到仰韶文化半坡类型出土的黄铜片和管，但十分偶然，也缺乏连续性，迄今还不能梳理出发展脉络和彼此关联⁵⁾。

到二里头文化阶段，青铜时代得以肇建，铸造成形是唯一的青铜器制作技术，石和泥质铸型都已出现。自二里头文化二期开始，形成了独树一帜的泥范块范法工艺，并很快建立起别具一格的青铜技术体系和传统，泥范块范法在铜器制作中具有独占的支配地位⁶⁾（图1）。与之相表里的青铜器，除刀、镞之类小用具外，所铸造的容器如爵、罍、角、鼎、盃等，兵器如戈，饰品如牌和合瓦截面的铃等⁷⁾，均是其他文明不曾有的造型，实用性甚差而不便，通常将之归为祭祀或随葬的彝器（图2）；继之的商早期青铜器，以郑州商城二里岗期青铜器为代表，普遍以兽面纹、夔纹和牺首装饰器物，精细而华美⁸⁾，均是其他文明不曾有的装饰（图3）。技术上的独特与造型、装饰上的别致，共同构成了中国古代青铜器的表里，具有尚未被揭示的内在联系。贝格立（Robert W. Bagley）讨论块范法与纹饰的关系⁹⁾，试图解析独特的块范法工艺与纹饰关系，但块范法工艺体系在纹饰尚未出现时已经形成。

泥范块范法的技术基础当然是新石器时代发达的制陶术，是故墨子（？476BC-？390BC）将陶铸并称（《墨子·耕柱》），孟子（？372BC-289BC）将陶冶并论（《孟子·滕文公上》）。对泥砂性质的深刻认识和得心应手的运用，很可能是陶工发明了冶金术，并在金属技术的初期，也是陶工将其技艺转向铸造青铜工具、用具和饰品制作，以至技艺纯熟，铸造陶礼器式样的铜器，迎来和塑造了中国青铜时代。这些所谓的礼器，目前对其内涵与使用还不很清楚，应具有某种神秘或至上的精神或权力象征，具有符号化特征。也正是如此，掌握青铜礼器铸造者及其所有者，在发展块范法铸造技艺的同时，排斥锻造加工技术，抑制石范铸造工艺，逐步取得了独占地位，支配着青铜器制作和生产¹⁰⁾。

继之，二里岗时期及其后的青铜技术传播和扩展，青铜工业的勃发和繁荣，不但囿于泥范块范法铸造体系，而且通过许

多工艺发明和技术创造强化了这一体系，使得中国古代的青铜技术后来居上，青铜艺术别开生面。当然，也形成了古代最为复杂的技术体系（图4）。

2. 关于铸型材料

二十世纪五十年代，即有学者分析商周泥范，但结果几乎都只是化学成分或组分，近于土壤，因同构材料很多，分析结果不能反映其物质形态。近些年来开展岩相分析（petrographic analysis）认识其物质组成，但发表的结果尚不多。

据岩相分析结果，商周铸铜的泥质模、范和芯的材料，基本上是细粉砂，粒度多在140目（104μm）以下，多孔，均匀，偶尔包含略大的砂粒或有机质。和陶器材料对比，可知是黄土经筛选、淘洗并分选而得，或者其中还羼和了别的细砂（图5），有些样品几乎不含粘土¹¹⁾（图6）。淘洗粘土可以提高耐火度，增加铸型刚度，减少粘砂缺陷，早期的制陶术即有类似处理。若泥范将粘土淘洗净，必然引发新的问题：这些粉砂是如何粘结在一起制作成范和芯的。James B. Stoltman等依据电镜扫描结果，推测可能以石灰（CaO）为粘结剂，氧化钙是黄土的基本组分，其分布的均匀性和铸型尚有一定的差别¹²⁾。

对比砂型铸造，铸型通常使用石英质硅砂，占比为82%~99%，为改善性能或添加别的物质。湿型的粘结剂为膨润土（bentonite），干型粘结剂是普通粘土，即高岭石（kaolinite, $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ ）组粘土矿，粘结剂以粘结膜形式包覆砂粒，构成耐热的毛细管多空隙体，使砂型具有必要的强度和韧性，具有一定透气性。小于0.02毫米的细质需水洗去除，并以浮选减少型砂中中长石、云母和铁矿¹³⁾；还加入煤粉和淀粉，前者提高抗夹砂性和溃散性，后者以增加砂的粘性和起模性，也可能加入油脂提高型砂的造型性¹³⁾。

鉴于岩相分析的制样对分析结果影响较大，需要更多研究机构交差分析才能揭示出商周铸铜泥范的粘结剂问题。果若粘土很少或不存在，淀粉和油脂类有机粘结剂应成为探索的重要方向。

青铜的自由收缩率为1.4%，受阻收缩率为1.2%¹⁴⁾，铸型特别是芯的退让性是困扰商周铸工的难题，因为这一阶段盲芯退让性差导致鼎足出现裂纹者比比皆是。从西周中期开始，大量鼎足截面设计为槽形以应对收缩看，古代多数铸工没能找到合适的芯材。

3. 关于模

模在青铜器铸造中具有核心作用，贝格立推测二里头文化初铸容器未必有模，倪克鲁（Lukas Nickel）认为安阳和西周时期某些青铜器铸造未有模的说法都难以成立¹⁵⁾。但明显的事实是，除却侯马晋国铸铜遗址¹⁶⁾，其他遗址中出土模的数量很少，与侯马遗址形成巨大反差，当然也缺乏研究和理解器物设计的诸多资料。有学者推测的石、玉、木、竹、牙或金属质地的模，甚至以铜器为模，迄今也未有认定¹⁷⁾。

以安阳殷墟铸铜遗址为例，虽然二十世纪三十年代已经发现并辨识出容器泥模，但迄今还未发现较为完整的器模，都是局部或附饰模¹⁸⁾（图7）。即使是这些泥模，虽然个别有附贴纹饰的现象，但几乎不见塑制雕刻的痕迹，基本是翻制之品¹⁹⁾，也就是说这些遗物不是原始模，而是次生的次代模。可以推测，原始模只是容器的局部，或附饰或局部装饰，不是泥质而是其他材质的材料，经雕刻后被翻制成二代模，它们再组装成为完整的器模用于翻范，如此非常容易出现倪克鲁指出的不对称现象。果真如此，万家保推测的范作纹和模范合作纹几乎不存在。翻制二代模的遗物，或者被认为铸范亦未可知。当然，这一推测需要依靠铸铜遗址出土遗物和对它们的深入研究予以证实或否定。

同样，尽管侯马铸铜遗址出土泥模的数量巨大，也发现有原始设计的泥模，但细密纹饰的泥模俱是次代模而非原始模，原始模属于非泥质的可能性很大²⁰⁾。

很明显，原始模的材料与形式、二代模组合成为整体泥模都是待解之谜²¹⁾。当然，商代是否存在或在什么程度上存在翻制纹饰范片以组合到铸型中的方法（pattern block），也是饶有趣味的问题。

4. 关于充型能力

充型能力是指熔融的金属或合金充满型腔、获得形态完整并具有清晰轮廓铸件的能力，通常是液态金属充满型腔，但也

有边充型边结晶的情况。实践证明，不同的金属，不同的铸造方法以至不同的铸型类型，充型能力不同，充型能力首先取决于金属或合金的流动性，也受铸型性质和浇注条件、铸件结构等因素的影响²²⁾。

青铜是铜锡合金或铜锡铅合金，锡青铜的结晶温度范围宽（图8），呈糊状凝固，枝晶发达，很快在铸件内形成晶体骨架，开始线收缩，容易发生热裂²³⁾。砂型铸造锡青铜（Sn9%-11%，Zn2%-4%），浇注温度为1040℃时，流动性是420毫米，远低于C+Si为5.9%铸铁在1300℃浇铸、砂型铸造的1300毫米²⁴⁾。因此，铸件的壁厚有最低限制，因不同的铸造方法有所不同，铜合金砂型铸造小件最小壁厚为2-3毫米，熔模铸造尺度在50-100毫米铸件的最小壁厚2.0-2.5毫米，100-200毫米铸件的最小壁厚2.5-3.0毫米²⁵⁾。国际材料学会推荐最小值为2.5毫米²⁶⁾。显然，青铜合金的流动性不好。

但是，商周青铜器铸造质量精良，不仅造型复杂、纹饰华美，而且不乏薄壁铸件。早在青铜器的初始阶段的二里头文化时期，青铜器往往壁厚在两毫米之内，且不少的壁厚在一点五毫米左右甚至不到一毫米。说明那时铸工已经成功解决了充型问题，材料是成分波动较大的锡青铜或铅锡青铜，流动性不佳，提高充型能力的方向只能在于铸型和浇注过程。

虽然迄今已发现了若干商周铸铜遗址，发现了不少铸铜遗迹，出土了大量铸铜遗物，但商周青铜器的浇注过程，目前还只是推测，不能给出确定的工序和参数。发现的铸型很确切，虽有不少学者进行了复原试铸，但全面发表操作过程和结果的不多。谭德睿积多年调查研究传统铸造工艺的经验，以对古代铸型材料研究为基础，进行了多年的复原试铸，结果将古代铸型的优异充型能力归结为铸型中的植物硅酸体²⁷⁾。

然而，古代铸型中植物硅酸体的含量和普遍性是需要调查确认的，植物硅酸体增强充型能力的作用机理还不十分清楚，怎样比例的植物硅酸体可以改善或大幅度提高充型能力，也是有待研究的问题。当然，临淄出土范范比重小于一，其材料和制作工艺，同样需要深入研究才能突破。

5. 关于浇注与铸型的行为

熔融青铜浇注入铸型后，冷却凝固形成铸件。熔炉流出的青铜会迅速散失热量而凝固，因此，控制熔炼温度、增强浇包（pouring ladle）保温、缩短炉与铸型距离、设计合理的浇注系统、烘烤铸型，都可以是保证合适浇注温度的措施。

在关于中国古代青铜器铸造工艺的讨论中，常有加热或烘焙铸型、热型浇铸的说法，但迄今发现的铸铜遗址并没有提供有关证据。浇注前对铸型的烘焙可能相当普遍，以降低其水分、减少发气量，但与热型浇铸无关。

熔融的金属注入铸型后，形成了一千多摄氏度的温度场，必然会与铸型发生物理的、化学的和机械的作用，除在铸件上形成夹砂、沙眼、气孔、粘砂、热裂等缺陷外，在铸型上遗留了怎样的痕迹，或者对铸型产生了怎样的影响，迄今还是一个未被认真关注的问题。这些问题包括：不同的铸范会碎裂到怎样的程度，不同铸范的型腔表面会被烧蚀到怎样的程度，芯会发生怎样的形变与烧蚀，它们的硬度和强度会发生怎样的变化，等等。当然，这些问题直接涉及到对铸铜遗址中遗物的认识和判断，包括对使用有机质粘结剂的判定。

商周青铜器生产中，容器数量很大，说明芯用量很多，泥芯在浇铸后只能被一点点掏出，从圈足器底残存未完全清理的泥芯看，经过了一千来度的高温，已经坚硬如砖，一方面说明芯的溃散性差，另一方面也说明掏出泥芯实属不易，是故有些圈足器底部的泥芯也就没有清理干净甚至只清理了一部分，而器腹中残存泥芯的情况较少，说明大量的泥芯还是被掏出了，但铸铜遗址罕见报道这类信息。同样，考古发现的范数量，在安阳远多于芯，使用过的范也应有烧结痕迹，但考古发掘的这类材料很少，背景若何？

对侯马出土泥模、范和芯的观察，出自灰坑和房基的，基本上都是未经浇铸的，甚至有已经组合成铸型而未浇注的，且模的数量远较范和芯数为多，较完整的也基本是模²⁸⁾。即使少量范，缘何废弃也是未被关心的问题，是因缺陷而丢弃？抑或因组装铸型尺寸不合而不用？陈志达指出安阳存在后一现象但却没有对具体的范进行讨论²⁹⁾，尚属概念性的。在安阳铸铜遗址中发现的形状较为完整、纹饰清晰的范没有被浇铸，可能有共同的原因，是否属于生产次代模的“母模”，值得研究。

由此引申，对于铸铜遗址出土的范，能否完全根据它们对具体器物的铸型结构做出推测，如某些器物的水平分范问题，还需要更多验证和更多证据支持。前揭关于模的讨论，原始模的来源和二代模的生成是否与这些遗物有关，值得探讨。

6. 关于铸型的结构与制作

铸铜遗址发现的范和芯均残碎，结合青铜器遗留的披缝和空腔，可据以复原铸型。石璋如、巴纳（Noel Barnard）都是这样做的，但明显的事实是早期学者对铸型的划分很细，石璋如如此，巴纳较为极端。万家保先生建立起来的纵向分型、最少分型的框架，既符合铸造原理，也吻合所发现的泥范和器物遗迹。他率先确认极少数青铜觚曾水平分范，并通过模拟实验认识泥型的特点和问题，而后对某些器类的铸造作纵向的系统分析³⁰⁾。华觉明先生参照他们的研究结果，也曾展开模拟实验认识泥型，对铸型结构提出了新认识，将铸接的研究向前推进了一大步³¹⁾。及至我们一代，将成批成组器物聚合并对比研究成为可能和方向，发现了活块模和铸型现象³²⁾。

安阳孝民屯铸铜遗址发现了不少具有边缘的范，被认为曾经存在较为普遍的水平分范实例³³⁾（图9），似有回归到巴纳说法的倾向。从铸造工艺实践看，如此分型不仅风险很大，而且会造成巨大的披缝清理工作量。从青铜器实物看，纵向的披缝多存在于器表，部分被打磨，但水平分型的披缝却几乎全然不见。对此，首先需要微痕分析确定水平披缝存在与否，果然曾经有大量的水平分型，无论对铸后加工研究，还是对审美角度的探讨，都应是难得的材料。

泥芯的制作是很少为人所关心的问题。最早讨论这一问题的是石璋如，他认为铸工将泥模均匀刮削一层成为泥芯，刮去层即器壁厚度³⁴⁾。这样既回答了缘何出土泥模数量过少的问题，也解决了芯的制作及其与范的配合问题。六十多年来，虽然有更多铸铜遗址被发现、更多遗物出土，但能证明石氏假说的并不多。考虑到芯头的存在和泥芯的分段，石氏推测的可行性不大。除此之外的制作方法，推测的成分仍然较多³⁵⁾。至于模-芯合作纹器物，泥芯必须翻制，加之侯马铸铜遗址所出泥芯均为芯盒翻制而成，商代器物的泥芯也应普遍是芯盒翻制的。当然，问题依然是铸铜遗址中可以认定为芯盒的遗物极少，或者还没有被辨识出来。

7. 关于浇注系统

浇注系统是铸型不可或缺的组成部分，功能是将熔融的金属导入型腔并充满之。现代工业铸造的浇注系统，通常由浇口杯（pouring cup）、直浇道（sprue）、直浇道窝（sprue base）、横浇道（runner）和内浇道（ingate）组成（图10）。参照砂型铸造，金属在浇注系统和型腔的流动属于粘性流体在多空管中不稳定流动，属于紊流（turbulence）。浇注系统的基本要求包括：

A，在一定浇注时间内，保证充满型腔，保证铸接轮廓清晰，防止出现浇不足缺陷；

B，能控制金属液流入型腔的速度和方向，尽可能平稳流入，防止发生冲击、飞溅和漩涡等，以免铸件产生氧化夹渣、气孔和砂眼等缺陷；

C，能将金属液中的熔渣和气体挡在浇注系统里，防止产生夹渣和气孔缺陷；

D，能控制铸件凝固时温度分布，减少或消除铸件产生缩孔、缩松、裂纹和变形等缺陷；

E，结构应力求简单，简化造型、减少清理工作量和液态金属的消耗。

根据金属液注入型腔形式，通常可将浇注系统划分为有顶注式、底注式、中注式、阶梯式、缝隙式和复合式等类型，各有特点或适用铸件³⁶⁾。商周青铜器的浇注，因缺乏浇注系统实物，多根据器物上浇口遗留，做出的推断只有顶注式一种，是否别有式样，值得关注。

铜合金密度大，导热性好、充型容易。锡青铜的结晶温度范围宽，易产生缩松（shrinkage）缺陷，但氧化倾向较小。对小型实体铸件，可采用压边浇口；对大中型复杂铸件，可采用雨淋式等顶注式浇注系统。复杂中小锡青铜铸件的浇注系统建议浇道截面比为：直浇道：横浇道：内浇道=1: (1.2-2): (1.2-3)³⁷⁾。

迄今发现的商周青铜铸范，具有浇注系统痕迹的不多，完整的浇注系统尚未得见。结合青铜器上内浇道的痕迹，可以知道内浇道的设计，但对于整个浇注系统的复原还停留在猜想的阶段，也基本上只有顶注式一种。一件青铜器浇注系统的压头多高，浇口杯、直浇道和内浇道等哪些因素存在并如何演变，浇注系统与铸件质量或缺陷间的关系如何，还缺乏资料和研究。但汉代铸钱规模宏大，存留有大量钱范和叠铸范盒，应是探讨这一问题不可多得的材料，廉海萍等有深入研究和复原实验³⁸⁾，期待将来再能计算获得定量数据，早年对温县烘范窑的铸铁叠铸研究和计算值得借鉴³⁹⁾。

关于中国古代青铜铸造技术的诸多方面还不清楚或有待推进，如原料来源特别是锡来源问题、砷铜原料问题、熔炉与鼓风问题、工场布局问题、焊接问题、铸后加工与刻纹问题、废品与回炉问题，等等。这里就模范问题粗略举例如上，有些困扰我的时间很长，有些是近些年才反思和遭遇的新问题，希望得到大家的指点、批评，也期待着与大家合作。

作者附记

1979-1983年，笔者在西安交通大学机械工程系铸造工艺与设备专业学习，记得是1982年初夏，教研室主任周庆德教授邀请千叶工业大学大野笃美教授给我们上“金属凝固理论”课（朱宪华老师翻译），虽然只有两次，但清晰，简洁，印象很深。这是我第一次接触日本人和日本学者，不能磨灭。尔后笔者从事金属史研究，日本诸多前辈考古学、艺术史和金工史家的好奇心、求知欲和认真态度，令人折服。在与日本学者的交往中，与很多学者结下了深厚的友谊，丹羽崇史是其中的一位。在他组织的“陶范技术的实验考古学研究会”（奈良：2019.2.24）上，作者便将困惑很久的问题托出，一则反哺自己从日本学者受到的教益，二则寄望推动新的合作。拙稿曾呈西安交大铸工91同学求正，权以之纪念四十年前我们成为同学学习铸造。

荣誉乙亥年冬月三十于北京

注

- 1) M. Radivojević, Th. Rehren, E. Pernicka, D. Šljivar, M. Brauns, & D. Borić, On the origins of extractive metallurgy: new evidence from Europe. *Journal of Archaeological Science*, 37 (2010), pp. 2775-2787.
- 2) 苏荣誉：《块范法与中原式失蜡法：春秋世变下青铜技术的本与末》，“中国早期的数学、艺术与文化交流：庆贺李零先生七秩华诞暨从事学术研究四十周年”学术讨论会论文，2017年6月12-13日：杭州，即刊。
- 3) Stephen W. Bushell, 1904, *Chinese Art*, volume I, London: Wyman and Sons, p. 73; 1907, p. 76. W. Perceval Yetts, 1929, *The George Eumorfopoulos Collection, Catalogue of the Chinese and Corean Bronzes, Sculpture, Jades, Jewellery and Miscellaneous Objects, Volume One, Bronzes: Ritual and Other Vessels, Weapons, etc.*, London: Ernest Benn, Ltd., pp. 35-38. 张子高：《中国化学史稿·古代之部》，科学出版社，1964年，第21页。
- 4) 刘屿霞：《殷代冶铜术研究》，《安阳发掘报告》第一册，1929年，商务印书馆，第681-696页。Orvar Karlbeck, *Anyang Moulds*, *Bulletin of the Museum of Far Eastern Antiquities*, No. 7, pp. 39-60.
- 5) 苏荣誉：《原始黄铜初探》，《青铜文化研究》第7辑，黄山书社，2011年，第148-158页。苏荣誉等：《中国上古金属技术》，山东科学技术出版社，1995年，第4-51页。
- 6) 苏荣誉、华觉明、李克敏、卢本珊：《中国上古金属技术》，山东科学技术出版社，1995年，第95-99页。廉海萍、谭德睿、郑光：《二里头遗址铸铜技术研究》，《考古学报》，2011年第4期，第561-575页。
- 7) 中国社会科学院考古研究所：《偃师二里头：1959-1978年考古发掘报告》，中国大百科全书出版社，1999年；《二里头：1999-2006》，文物出版社，2014年。
- 8) 河南省文物考古研究所：《郑州商城：1953-1985年考古发掘报告》，文物出版社，2001年。
- 9) Robert W. Bagley, 1980, *The Beginning of the Bronze Age: The Erlitou Culture Period*, in Wen Fong ed., *The Great Bronze Age of China, An Exhibition from the People's Republic of China*, New York: The Metropolitan Museum of Art, pp. 69-73; *Shang Ritual Bronzes Casting Technique and Vessel Design*, *Archives of Asian Art*, Vol. 43 (1990), pp. 6-20.
- 10) 苏荣誉：《二里头文化与中国早期青铜器生产的国家性初探——兼论泥范块范法铸造青铜器的有关问题》，《夏商都邑与文化》（一），中国社会科学出版社，2014年，第342-372页。
- 11) 岳占伟、荆志淳、刘煜、James B. Stoltman, Jonathan M. Kenoyer：《殷墟青铜器铸造技术相关问题》，《故宫文物月刊》第355期，2012年，第46-54页。

- 12) James B. Stoltman, Zhenwei Yue, Zhichun Jing, Jigen Tang, James H. Burton, Mati Raudsepp, New insights into the composition and microstructure of ceramic artifacts associated with the production of Chinese bronzes at Yinxu, the last capital of the Shang dynasty, *Archaeological Research in Asia*, 2017, pp. 1-13.
- 13) 柳百成、黄天佑主编《材料铸造成形工程》(上)(《中国材料工程大典》第18卷), 化学工业出版社, 2006年, 页571-591。Thomas S. Piwonka, *Aggregate Molding Materials*, in D. M. Stefanescu ed., *ASM Handbook*, vol. 15: Casting, 1998, The Materials Company, 1992, p. 457.
- 14) Thomas S. Piwonka, *Aggregate Molding Materials*, in D. M. Stefanescu ed., *ASM Handbook*, vol. 15: Casting, 1998, The Materials Company, 1992, p. 776.
- 15) Robert W. Bagley, *The Beginning of the Bronze Age: The Erlitou Culture Period*, in Wen Fong ed., *The Great Bronze Age of China, An Exhibition from the People's Republic of China*, New York: The Metropolitan Museum of Art, 1980, pp.69-73. Lukas Nickel, *Imperfect Symmetry Re-Thinking Bronze Casting Technology in Ancient China*, *Artibus Asiae*, Vol. 66, No. 1 (2006), pp. 5-39. Robert Bagley, *Anyang Mold-making and the Decorated Model*, *Artibus Asiae*, Vol.69, No.1 (2009), pp. 39-90.
- 16) 山西省考古研究所:《侯马铸铜遗址》, 文物出版社, 1993年;《侯马白店铸铜遗址》, 科学出版社, 2012年。
- 17) 华觉明、冯富根、王振江、白荣金:《妇好墓青铜器群铸造技术的研究》,《考古学集刊》第1集, 中国社会科学出版社, 1981年, 第244-272页。中国社会科学院考古研究所:《殷墟发掘报告1958-1961》, 文物出版社, 1987年, 第33页。
- 18) 石璋如:《小屯后五次发掘的重要发现》,《六同别录》(上)(国立中央研究院历史语言研究所集刊外编第三种), 中央研究院历史语言研究所, 1945年, 第32页。中国社会科学院考古研究所:《殷墟发掘报告1958-1961》, 文物出版社, 1987年, 第31-33页。
- 19) 陈志达:《殷墟陶范及其相关的问题》,《考古》, 1986年第3期, 第269-277页。
- 20) 苟欢:《侯马铸铜遗址出土陶模范的纹饰研究》, 中央美术学院硕士论文, 2017年。
- 21) 李钟天:《模与范——以安阳孝民屯商代铸铜遗址出土泥模、范为对象》, 南京艺术学院硕士论文, 2019年。
- 22) 中国机械工程学会铸造分会编:《铸造手册第5卷·铸造工艺》(第2版), 机械工业出版社, 2003年, 第11-13页。
- 23) 陆文华、李隆盛、黄良余主编:《铸造合金及其熔炼》, 机械工业出版社, 1996年, 第340-346页。
- 24) 螺旋试样, 沟道截面8×8mm。柳百成、黄天佑主编《材料铸造成形工程》(上)(《中国材料工程大典》第18卷), 北京:化学工业出版社, 2006年, 页429, 表3.3-2。
- 25) 曲卫涛主编:《铸造工艺学》, 西北工业大学出版社, 1994年, 表12-1、表12-3。
- 26) Henry W. Stoll, *Casting Design and Processes, Casting Design and Performance*, Material Park: ASM International, 2009, p. 12, table 3.
- 27) 谭德睿:《中国青铜时代陶范铸造技术研究》,《考古学报》1999年第2期, 第211-250页。
- 28) 石璋如:《殷代铸铜工艺》,《中央研究院历史语言研究所集刊》第26本, 1955年, 第95-129页。Noel Barnard, *Bronze Casting and Bronze Alloys in Ancient China*, Canberra: The National University of Australia, 1961.
- 29) 陈志达:《殷墟陶范及其相关的问题》,《考古》, 1986年第3期, 第269-277页。
- 30) 李济、万家保:《殷墟出土青铜觚形器之研究》(古器物研究专刊第一本), 中央研究院历史语言研究所, 1964年;《殷墟出土青铜爵形器之研究》(古器物研究专刊第二本), 同上, 1966年;《殷墟出土青铜罍形器之研究》(古器物研究专刊第三本), 同上, 1968年;《殷墟出土青铜鼎形器之研究》(古器物研究专刊第四本), 同上, 1970年;《殷墟出土伍拾叁件青铜容器之研究》(古器物研究专刊第五本), 同上, 1972年。万家保:《安阳出土青铜三足器的演变》,《大陆杂志》第45卷4期(1972), 第1-11页。万家保:《辉县及汲县出土东周时期青铜鼎形器的铸造及合金研究》,《大陆杂志》第50卷第6期(1975), 第253-277页。苏荣誉:《2015d 万家保先生研究殷墟青铜器铸造技术管窥》,《中华艺术鉴赏》2015年第9期, 第92-103页。
- 31) 冯富根、王振江、白荣金、华觉明:《商代青铜器试铸简报》,《考古》, 1980年第1期, 第91-94页。冯富根、王振江、华觉明、

- 白荣金：《殷墟出土商代青铜觚铸造工艺的复原研究》，《考古》1982年第5期，第532-539、527页。华觉明、冯富根、王振江、白荣金：《妇好墓青铜器群铸造技术的研究》，《考古学集刊》第1集，中国社会科学出版社，1981年，第244-272页。
- 32) 苏荣誉等：《**虢**国墓地青铜器铸造工艺考察和金属器物检测》，卢连成、胡智生：《宝鸡 **虢**国墓地》，文物出版社，1988年，第597-605页。
- 33) 李永迪、岳占伟、刘煜：《从孝民屯东南地出土陶范谈对殷墟青铜器的几点新认识》，《考古》2007年第3期，第52-63页。张昌平、刘煜、岳占伟、何毓灵：《二里冈文化至殷墟文化时期青铜器范型技术的发展》，《考古》，2010年第8期，第79-86页。
- 34) 石璋如：《殷代铸铜工艺》，《中央研究院历史语言研究所集刊》第26本，1955年，第95-129页。
- 35) 岳占伟、刘煜、岳洪彬、荆志淳：《殷墟陶模、陶范、泥芯的制作工艺研究》，《南方文物》2016年第2期，第129-140页。
- 36) 曲卫涛主编：《铸造工艺学》，西北工业大学出版社，1994年，第226-227页。
- 37) 柳百成、黄天佑主编《材料铸造成形工程》（上）（《中国材料工程大典》第18卷），北京：化学工业出版社，2006年，页795-824。
- 38) 廉海萍、丁忠明、周祥、徐惠康：《汉代叠铸法铸钱工艺研究》，《文物保护与考古科学》第20卷增刊（2008），第53-61页。
- 39) 河南省博物馆、《中国冶金史》编写组：《汉代叠铸：温县烘范窑的发掘和研究》，文物出版社，1978年。

人類が冶金技術を発明した時とは、液体化した金属には流動性と変形能力があり、溶解した金属を一定の形状の型に注入し、凝固すると、型の形状を呈し、かつ金属に既存の性能を保持したものが得られるのが認識されたということであり、これがすなわち鑄造技術の嚆矢である。現在は紀元前6千年期末のセルビア（Serbia）の銅石併用時代の遺跡であるマイダンペック（Majdanpek）とプロシュニク（Pločnik）まで遡ることができる¹⁾。

世界の主要な文明における青銅器の製作は、鍛造を基礎とし、鍛造・鑄造併行の技術系統をもつ。鑄造はすなわち、石範鑄造で工具や兵器など小型の器物を、失蠟法を用いて複雑な器物を、土製範を用いてインゴットや簡単な器物を製作するものであり、技術水準は甚だ低かった。中原の古代青銅器のみが、鑄造成形のみによって、かつほとんど土製範^{訳注1)}の分割範（鑄型）法のみで器物を鑄造成形した²⁾。この点を明確に認識すると、中原初期の考古学的発見による遺物と密接で不可分であるとわかる。

古代の鑄型は古人が金属を鑄造した遺物であり、範（mold）、中子（core）、湯口系統（gating system）とその他関連する廃棄物を含んでいる。鑄造製品の成形方法をみれば、一体式の鑄型と分割範に分けることができる。前者は失蠟法（lost-wax process）などであり、後者は分割範法（塊範法、piece-molds）と称する。ただし通常、分割範法とは2つ以上の範（あるいはさらに1～数個の中子が加わる）から成る鑄型構造を指す。鑄造製品の材質からみれば、鑄銅（およびその合金、以下同様）、鑄鉄、鑄金、鑄銀、鑄鉛、鑄錫などの類型に分けることができる。鑄鉄は鑄型に必要な耐熱性が最高となり、1400℃前後、次点は銅と金で、鑄込み温度は1000～1100℃前後となる。その他の金属の鑄込み温度は250～900℃の間である。材質からみると石・泥砂・銅・鉄などの種類があり、その中で泥砂だけが複雑な器物の一体式の鑄型の製作を可能にする。

中国古代の青銅器は十分に精美であり、古典籍にはその製作に関する記載がみられない。そのため西方の研究者が19世紀末から20世紀初めに初めてこの芸術品に触れた際、疑うことなく失蠟法で鑄造されたものと認識した³⁾。20世紀20年代末になって、安陽殷墟で始まった発掘調査において青銅器を鑄造した原型と範が発見され、西方の研究者が詳しく討論した結果、中国古代青銅器は土製範の分割範法で鑄造したというのが共通認識となった⁴⁾。

百年近くにわたる研究と探索の末、中国古代鑄造技術の発展の骨子は形成されたとはいえ、少なからず深妙で細かな問題も提示されてきた。また、さらに多くの資料が発見・発表されるにしたがって、研究作業は推進され、深化し、若干の思考と実証が及んでいない問題が浮上した。既往の研究において言及された工程と技術についても少なからず新たな問題があり、その中にはいくらか相当重要とみられるものもある。本文は、僭越ながら、私自身の未成熟な思考と疑問を顧み

ずに執筆するものであり、あるいはただ単に問題を提示するに留まる恐れもあるが、以って大方の教示を乞いたい。

1. 中国初期青銅器生産における分割範法の独占について

中国の冶金技術の起源はなお不明確であり、新石器時代の金属製品には、鑄造されたものと鍛造成形されたものがある。とはいえ、おしなべて仰韶文化半坡類型出土の黄銅の破片と管まで遡ることができるのであるが、ただし、偶然で、連続性にも乏しく、いまだに発展の脈絡を整理して、関連づけることができない⁵⁾。

二里头文化の段階になり、青銅時代が開始した。鑄造成形は唯一の青銅器製作技術であり、石製・土製鑄型がすでに出現していた。二里头文化2期より、独自の方法である土製範の分割範法が形成され、しかも急速に独特の風格を湛えた青銅技術体系と伝統が築かれた。土製範の分割範法は銅器製作において独占的で、支配的な地位を占めている⁶⁾ (図1)。これによって製作された青銅器は、刀や鏃といった小型器具を除き、鑄造された爵・罍・角・鼎・盃などの容器、戈などの武器、牌と断面が紡錘形の鈴などの装飾具⁷⁾は、どれも他の文明では見られない造形であり、実用性が低く不便でもあるため、通常は祭祀あるいは副葬の彝器と考えられる (図2)。これに次ぐ商代前期の青銅器は、鄭州商城二里崗期の青銅器を代表とし、獣面紋・夔紋・犧首を装飾した器物が普遍的に存在する。精細かつ華やかで美しく⁸⁾、他の文明では見られない装飾である (図3)。技術上の独自性と造形・装飾の奇抜性は、中国古代青銅器の表裏を構成しており、なおかつ未だ明らかにされていない関係性を内包している。バグリー (Robert W. Bagley) が分割範法と紋飾の関係を論じており、これらの独特な関係を図解する試みを行っている⁹⁾。ただし、分割範法の技術体系は紋飾が出現する以前に形成されていたものである。

土製範の分割範法の技術的な基礎は、当然ながら新石器時代に発達した製陶技術にある。墨子 (B.C. 476 ? -B.C. 390 ?) が陶・鑄を併称し (『墨子』耕柱)、孟子 (B.C. 372 ? -B.C. 289) が陶・冶を併論する (『孟子』滕文公上) のがこの所以である。泥砂の性質に対する深い知識と、それを思いのままに運用する技術を見ると、陶工が冶金技術を発明した可能性は高い。しかも金属技術の初期において、陶工がその技術を青銅工具・用具・装飾の製作のために使い、技術が成熟してもなお、陶製礼器に似た銅器が鑄造されることにより、中国青銅時代が始まり、形成された。このような、いわゆる礼器については、現在もなお内包する意味や使用法が曖昧であるが、ある種の神秘性や至上の精神・権力などを象徴しており、記号化の特徴をもつ。このように青銅礼器の鑄造を掌握、あるいは所有する者は、分割範法による鑄造技術の発展と同時に、鍛造加工技術を排斥し、石範鑄造技術を抑制し、徐々に地位を独占して青銅器の製作と生産を支配した¹⁰⁾。

二里崗期およびその後の青銅技術の伝播と拡大、青銅工業の勃発と繁栄においては、土製範の分割範法による鑄造体系のみにとらわれず、多くの技術の発明と創造によりこの体系が強化されていった。このように中国古代青銅技術は他ものを追い抜き、新領域を開いた。当然、古代において最も複雑な技術体系をも形成した (図4)。

2. 鑄型の材料について

20世紀50年代、商周時代の土製範を分析した研究者がいたが、ほとんど化学成分あるいは組成のみの分析であった。これらは土壌に近く、同じ構成をもつ材料が多いため、分析結果はその物質の形態を反映したものにはならなかった。近年行われている岩相分析 (petrographic analysis) では物質の組成を知ることができるが、未だに発表されている成果は多くない。

岩相分析の成果によれば、商周時代の鑄銅用の土製の原型・範・中子の材料は基本的に細粉砂であり、粒度は多くが140目 (104 μm) 以下で、孔が多く、均質で、まれにやや大きな砂粒や有機質を含む。土器の材料と比較すると、黄土を篩にかけ水簸選別して得られたものであることがわかる。あるいはその中に別の細砂を加えたかもしれない (図5)。このようなものはほとんど粘土を含まない¹¹⁾ (図6)。水簸した粘土は耐火度を高めることができ、鑄型の強度を増強させ、焼付きによる欠陥を減少させる。初期の製陶技術では類似の処理を行っている。もし土製範が粘土を水簸して製作したも

のだとすると、必然的に新たな問題が浮上する。この粉砂はどのように結合して范と中子を形成しているのかということだ。James B. Stoltmanらは、走査型電子顕微鏡により、石灰 (CaO) を粘結剤としており、酸化カルシウムが黄土の基本成分であろうと推測するが、その分布の均質性は鑄型とは一定の差異がある¹²⁾とした。

砂型鑄造と比較すると、鑄型は通常、石英質珪砂を使用しており、82～99%を占める。性能を改善するために別の物質を加えることもある。生型の鑄型の場合、粘結剤はベントナイト (bentonite) であり、乾燥型の鑄型の粘結剤は普通の粘土、すなわちカオリナイト (kaolinite, $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) で構成される粘土鉱である。粘結剤は粘結膜となって砂粒を覆い、耐熱性をつくる毛細管と多くの空隙を生み、砂型に必要とされる強靱さを持たせ、一定の通気性が備わる。水洗して0.02mm以下の細質を除去し、浮上分離で砂中の長石・雲母・鉄鉱を減少させる。さらに煤と淀粉を加える。前者は砂かみを防ぎ (抗夾砂性)、鑄ばらし時の鑄型の崩壊性 (潰散性) を高め、後者は砂の粘性と原型の型離れ (起模性) を向上させるためである。油脂を加えることで型砂の造形性を高めることも可能である¹³⁾。

岩相分析における試料調整の分析結果への影響が大きいかを考慮すると、より多くの研究機構が交差分析することで商周時代の鑄銅用土製范の粘結剤の問題を明らかにできる。もし粘土が少ないあるいは存在しないとすると、淀粉や油脂類といった有機質の粘結剤が検討における重要な対象となるであろう。

青銅の自由収縮率は1.4%、成形収縮率は1.2%¹⁴⁾である。鑄型、特に中子の退讓性は商周時代の鑄工の難題を複雑化する。この時期の青銅器の脚の内面にみられる中子の退讓性のちがいが原因となり、鼎の脚に亀裂が発生している。西周時代中期から、多数の鼎の脚が断面を槽形に設計して収縮に対応していたのを見ると、古代の多くの鑄工をもってしても適切な中子の材料が見つからなかったとみられる。

3. 原型について

原型は青銅器鑄造において核となる作用を有する。バグリーは二里頭文化で初めて鑄造された容器に原型があったとは限らないと考え、ニッケル (Lukas Nickel) は安陽と西周時期の一部の青銅器鑄造は原型を用いていなかったという説はいずれも成立し難い¹⁵⁾。ただし、侯馬晋国鑄銅遺跡¹⁶⁾を除き、その他の遺跡から出土した原型の数量は非常に少ない。こうした状況は侯馬遺跡と大きく異なり、当然、器物の設計を研究・理解するための多くの資料が欠乏しているのは明らか事実である。石・玉・木・竹・牙・金属質の原型、または銅器を原型としたのではないかと推測する研究者もいたが、未だに認定されてはいない¹⁷⁾。

安陽殷墟の鑄銅遺跡を例として、20世紀30年代にはすでに容器の土製原型が発見され認識されていたが、ただし今までに完形に近い原型が発見されたことはなく、すべて部分あるいは付飾品の原型であった¹⁸⁾ (図7)。土製原型であるとしても、これらには個別に紋飾を貼り付ける現象はあるが、整形・彫刻の痕跡はほとんどみられず、基本的には転写して製作したもの¹⁹⁾と考えられる。すなわち、これらの遺物は一次原型ではなく、次世代に発生した原型ということである。一次原型に該当するのは容器の部分原型、あるいは付飾品・部分装飾のみであり、本来の一次原型は土製ではなく他の材質によるもので、彫刻した後に転写して二次原型を製作、それらを再度組み立てて一つの原型をつくり、范に転写したと推測できる。このように考えれば、ニッケルの指摘した対称現象は容易に発生する。そうであるとすれば、万家保の推測した范に刻む装飾と原型・范の両者に刻む紋飾はいずれもほとんど存在しないことになる。二次原型を転写した遺物は、鑄范と認定できるのかもまた判らない。当然、この推測は鑄銅遺跡から出土した遺物と、それらに対する深化した研究によって実証あるいは否定されなければならない。

同様に、侯馬鑄銅遺跡から出土した土製原型の数量は非常に多く、最初に設計された本来の土製原型も発見されている。ただし、細密な紋飾をもつ土製原型はいずれも二次原型であり、一次原型に該当するものは存在しない。一次原型は土製ではない可能性が高い²⁰⁾。

明らかなのは、一次原型の材料と形式、および二次原型を組み合わせる一つの土製原型をつくることなどは、いずれも解明されていない謎であることである²¹⁾。また当然ながら、商代に紋飾を転写した部分范を組み合わせる鑄型とする方法

(pattern block) が存在したか否か、あるいはどの程度用いられたのかということも非常に興味深い問題である。

4. 充填性能について

充填性能とは溶解した金属あるいは合金を型の空隙に充填させ、形態を整えて輪郭のはっきりした製品を生み出す能力である。通常は液体化した金属を鋳型の隙間に充填されることであるが、充填して結晶化する状況でもある。異なる金属、異なる鋳造方法、そして形式の異なる鋳型では、いずれも充填性能は異なること、また、充填性能はまず金属あるいは合金の流動性によって決まり、鋳型の性質と注湯条件、製品の構造などといった要素の影響も受けることが実践的に証明されている²²⁾。

青銅は銅と錫の合金もしくは銅・錫・鉛の合金であり、錫青銅の結晶化温度の幅は広い(図8)。糊状凝固^{訳注2)}を呈し、樹枝状結晶(デンドライト)が発達して、製品内で素早く結晶骨格を形成する。その後、線収縮を開始し、高温割れが容易に生じる²³⁾。砂型で鋳造した錫青銅(Sn9～11%、Zn2～4%)は、鋳込み温度が1040℃の時に流動性は420mmとなり、C(炭素)とSi(シリカ)が5.9%の鋳鉄で、鋳込み温度1300℃で砂型を用いて鋳鉄した際の流動性1300mmには程遠い²⁴⁾。このため、鋳造製品の厚みには最低制限があり、鋳造方法が異なれば、厚みの最小値も異なる。銅合金を砂型で鋳造した小型製品の厚みの最小値は2～3mmであり、消失原型による鋳造で大きさが50～100mmの製品は最小値が2.0～2.5mm、大きさ100～200mmの製品の厚みの最小値は2.5～3.0mmとなる²⁵⁾。国際材料学会が勧める最小値は2.5mmである²⁶⁾。ここから明らかかなように、青銅合金の流動性は良好ではない。

ただし、商周青銅器の鋳造は質量とも精良であり、造形が複雑であるだけでなく、紋飾は華やかで美しく、なおかつ器壁の薄い製品が少なくない。青銅器の初期段階でも早い時期に当たる二里頭文化の時期において、青銅器は往々にして器壁が2mm以内で、かつ1.5mm前後から1mmに満たない厚さのものも少なくない。これは当時の鋳造工人がすでに充填性能の問題を解決していたことを説明している。材料は起伏が大きい錫青銅あるいは鉛錫青銅で、流動性は良くなく、充填性能を高める鍵は鋳型と鋳込みの工程のみである。

今までに発見された商周時代の鋳銅遺跡は若干数であるとはいえ、検出された鋳銅遺構は少なくなく、多量の鋳銅遺物が出土している。ただし、商周青銅器の鋳造工程は今なお推測の域を出ず、正確な工程とパラメーターを確定することはできない。発見された鋳型はとても精確で、多くの研究者が復元するための実験鋳造を行ったが、操業の過程と結果を全面的に発表しているものは多くない。譚徳叡は、長年伝統鋳造技術の調査研究を行ってきた経験から、古代の鋳型材料研究を基礎として、長期にわたる復元鋳造実験を行った。その結果は、古代の鋳型の優れた充填性能は鋳型中の植物珪酸体(プラントオパール)に帰結されるというものであった²⁷⁾。

しかるに、古代の鋳型の中の植物珪酸体の含有量と普遍性は調査をして確認する必要がある。植物珪酸体が充填性能を増強する仕組みはまだ不明確であり、どのような比率の植物珪酸体が存在すれば充填性能を改善、あるいは大幅に高めることができるか、ということも特に究明すべき問題である。当然ながら、臨淄出土の鏡範の比重は1.0より小さく、その材料と製作技術について、同様に研究を深めれば現状を突破することができよう。

5. 注湯と鋳型に関する操業

溶解した青銅を鋳型に流し込んだ後、冷却し凝固させて製品を形成する。熔解炉から流れ出た青銅は急速に熱を奪われて凝固する。このため、溶解温度をコントロールし、取瓶(pouring ladle)の保温性能を増強し、炉と鋳型との距離を短縮させ、合理性のある鋳込み系統を設計して、鋳型を加熱させる。これらは全て適切な注湯(鋳込み)温度を保証するための対策である。

中国古代青銅器鋳造技術に関する議論では、加熱または焼成した鋳型、すなわち「加熱鋳型」^{訳注3)}へ注湯したという見解がある。しかしこれまで発見された鋳銅遺跡からは関連する証拠は明らかではない。注湯前の鋳型の焼成は相当普遍的である可能性があり、これによって水分を低下させ、ガス発生量を減少させる。ただし加熱鋳型への注湯とは関連性が

ない。

溶解した金属を鑄型に注入したのち、摂氏 1000 度以上の温度場を形成すると、鑄型には必然的に物理的・化学的・機械的作用が働く。製品に砂かみ・砂孔・巣・焼付き・高温割れなどの欠陥が生じることを除くと、鑄型にはどのような痕跡が残るのか、あるいは、どのような影響があるのか、これまでに真剣に注目されたことのない問題である。この問題には、異なる鑄型はどのような程度で破砕するのか、鑄型の空洞部の表面の融蝕（すり減り）はどの程度か、中子にはどのような変形と融蝕が生じるのか、硬度と強度にはどのような変化が生じるか、などの疑問も含まれる。当然、これらの問題は鑄銅遺跡の遺物の認識と判断に直接的に関わる。有機質粘結剤の使用に対する判断をも含む。

商周時代の青銅器生産では、容器の数量が非常に多い。これは中子の使用量も多いということでもある。中子は鑄込みの後ひとつひとつ取り出すしかなく、圈足をもつ器物の底部に残る除去しきれなかった中子を見ると、1000℃程の高温を経て、磚のように硬くなっている。このことは一方では中子の崩壊性に違いがあること、また他方では中子を取り出すのが容易でないことを示している。このため、圈足器の底部に残る中子も除去していない、もしくは一部分のみを除去したものであることになる。また、器物の腹部に中子が残存している状況は比較的少なく、やはり多量の中子を取り出されているということである。ただし、鑄銅遺跡の調査ではこのような情報はあまりみられない。同様に、出土した範（外範）の数量を見ると、安陽では中子よりはるかに多い。使用済みの範にも焼結痕跡が残るはずだが、考古発掘資料にはこのようなものはわずかである。これはどのような背景によるものであろうか。

侯馬出土の土製原型・範・中子を観察すると、土坑と建物から出土したのは基本的には未鑄造のものであり、しかもすでに組み合わせたのみで鑄込みを行っていない鑄型までである。なおかつ、原型の数量が範と中子に比べて多く、ほぼ完形のものも基本的に原型であった²⁸⁾。すると、少量の範は何をもって廃棄されたのかというのも、これまで関心をもたれなかった問題である。欠陥があつて廃棄されたのだろうか。組み合わせた鑄型の大きさが合わず用を成さなかったのであろうか。陳志達は安陽では後者の現象がみられることを指摘しているが、具体的な範について検討を行っておらず²⁹⁾、なお概念に留まっている。安陽鑄銅遺跡から発見された、比較的完形で紋飾が明瞭な範は、鑄込みを経ておらず、共通の原因による可能性がある。これらは二次原型を生産するための本来の原型（母模）ではないのか、研究の価値がある。

このことから派生するのは、鑄銅遺跡から出土した範のみから、具体的な器物の鑄型の構造について推測できるかどうかということである。例えば、青銅器の水平方向の範の分割の問題については、やはり更なる検証と証拠が必要である。前掲の原型についての議論における、一次原型の由来と二次原型の生成について、これらの遺物と関係性があるのかどうか、探るに値する。

6. 鑄型の構造と製作について

鑄銅遺跡から発見される範と中子はいずれも破片であるが、青銅器に残る範線と空隙をあわせて検討することで、これらを根拠として鑄型の構造を復元することができる。石璋如やバーナード (Noel Barnard) はいずれもこの方法を用いているが、明らかな事実として、初期の研究者は鑄型の分割についての仮説がとて細かいことである。石璋如はかくの如しであり、バーナードはより極端である。万家保氏によって築かれた垂直方向の分割および、最少の分割の枠組みは、鑄造の原理に適っており、出土した土製範と器物に残る痕跡にも合致している。彼は率先してごく少数の青銅觚が水平方向の範によるものであると確認し、模擬実験を通して土製範の特性と問題を認識し、その後、一部の器類の鑄造における垂直方向分割を系統的に分析した³⁰⁾。華覚明氏は彼らの研究結果を参照し、模擬実験を行って土製鑄型を理解し、鑄型構造について新知見を提示し、鑄接の研究を大きく前進させた³¹⁾。そして我々の世代では、多くの器物を集めて対比研究を行い、可能性と方向性を探ることができるようになり、分割原型と鑄型現象を発見した³²⁾。

安陽孝民屯鑄銅遺跡では多くの辺縁をもつ範が発見され、普遍的に水平方向の分割範の実例の存在が認知され³³⁾ (図9)、バーナードの説に回帰するような傾向となっている。鑄造技術の実践から見ると、このような鑄型の分割はリスクが高いだけでなく、範線を除去する作業が非常に多くなる。青銅器の実物からみれば、垂直方向の範線は表面に多く存在し、一

部は研磨されているが水平方向の分割による范線はほとんど確認できない。まず、わずかな痕跡から水平方向の范線が存在するか否かを確定する必要がある。もし水平方向に分割された鑄型が多量にあったとすれば、無論、鑄造後加工の研究や審美的視点からの研究などにとって、得難い材料となるだろう。

土製中子の製作は関心を寄せる人が非常に少ない問題である。最も早くこの問題を議論したのは石璋如であり、鑄造工人は土製原型を均一な厚みで削りとって中子を製作し、削りとった厚みがすなわち製品の厚みであると考えた³⁴⁾。なぜ出土する土製原型の数量が少なすぎるのかという問題に答えており、中子の製作と、中子と范の組立ての問題をも解決している。それから60年来、さらに多くの鑄銅遺跡が発見され、出土した遺物も増加したが、石氏の仮説を証明できる材料はそう多くはない。中子受け(幅木)の存在と土製中子の水平方向の分割を考慮すると、石氏の推測の妥当性は高くはない。これを除く製作方法についても、推測にもとづく要素は今なお比較的多い³⁵⁾。原型-中子を組み合わせると紋飾を製作する器物に至っては、土製中子は転写して成形しなければならない。さらに、侯馬鑄銅遺跡から出土した土製中子は全て中子范^{訳注4)}を転写して成形されたものであった。商代青銅器の土製中子もまた基本的に中子范を反転して製作したものである。当然、問題は依然として、鑄銅遺跡で出土する中子范と認定できる遺物が極めて少ない、もしくは識別できていないということである。

7. 湯口系統について

湯口系統は鑄型に不可欠な構成要素であり、溶解した金属を鑄型の空洞部に注入して充満させる役割がある。現代の工業鑄造の湯口系統は、通常、受口(pouring cup)、湯口(sprue)、湯口底(sprue base)、湯道(runner)、堰(ingate)から成り立っている^{訳注5)}(図10)。砂型鑄造を参照すると、湯口系統と鑄型の空洞部での流動は粘性流体に属し、多空管の中では不安定に流動するものであり、乱流(turbulence)に属する。湯口系統において基本的に求められることは以下の条件である。

- A. 一定の注湯時間内で鑄型の空洞を充満させること。さらに鑄接の輪郭が明瞭であることが保証され、湯まわり不良による鑄造欠陥の発生を防止できること。
- B. 鑄型の空洞に金属液を流入する速度と方向をコントロールすることができ、可能な限り安定して流入できること。衝撃・飛散・渦などの発生を防止し、鑄造製品に酸化スラグ・巣・砂孔などの欠陥が発生しないこと。
- C. 金属液中のスラグと気体の発生を湯口系統のなかで抑え、スラグ巻き込みや巣などの欠陥が発生しないこと。
- D. 鑄造製品が凝固する際の温度分布をコントロールでき、収縮巣(ひけ巣)^{訳注6)}・亀裂・変形などの欠陥を減少もしくは除去できること。
- E. 構造はなるべく簡単にし、単純化した造形によって、調整作業と液体金属の消耗を減少できること。

金属液を注入する鑄型の空洞部の形状により、通常、湯口系統は頂注式・底注式・中注式・階段式・間隙式・複合式などに分類でき、それぞれに特徴と適した製品がある³⁶⁾。商周青銅器の注湯は、湯口系統の実物に乏しいため、多くの場合、器物の湯口の痕跡に基づき、頂注式のみと推断したのであるが、他に方式があるか否かは注目に値する。

銅合金は密度が高く、熱伝導性が良く、充填が容易である。錫青銅の結晶温度範囲は広く、収縮巣(shrinkage)を生じ易いが、酸化傾向は比較的低い。小型の単純な製品には圧辺湯口^{訳注7)}が適しており、大・中型の複雑な製品には雨淋式などの頂注式の湯口系統が適している。複雑な中・小型の錫青銅製品の湯口系統では、湯口の断面を湯口：湯道：堰=1:(1.2-2):(1.2-3)とすることが勧められている³⁷⁾。

これまでに発見された商周青銅器の鑄型は、湯口系統の痕跡が残るものは多くはなく、完形の湯口系統は未だかつて見つかっていない。青銅器の堰の痕跡を検討すれば、堰の設計は知ることができるが、湯口系統全体の復元は想像の段階に留まっており、基本的には頂注式のみである。1点の青銅器の湯口系統の湯口から堰まで^{訳注8)}の長さはどのくらいか、受け口、湯口、堰などにどのような要素があって、どのように展開するのか、湯口系統と製品の質量あるいは欠陥の間にどのような関係性があるのか、いまだに資料と研究が乏しい。ただし、漢代には鑄銭の規模が拡大しており、多量の銭范

と壘铸母范が遺存している。この問題を深く検討するには得難い材料であろう。廉海萍らは深化した研究と復元実験を行っており³⁸⁾、将来的には定量データを算出することが期待される。研究初期における温県烘范窯の铸鉄壘铸研究と計算は参考にする価値がある³⁹⁾。

中国古代青銅铸造技術は多方面において未だ不明確で、進展が待たれる部分がある。原料の由来の問題、特に錫の由来の問題、砒素銅の原料の問題、溶解炉と鑪の問題、工房の配置の問題、鑢付け（鋲接）の問題、铸造後の加工と刻紋の問題、廢品と铸つぶしなどの問題などがある。本文では原型と范の問題を粗略に列挙したが、長い間私を悩ませてきた問題もあり、近年再考を行い、新たに遭遇した問題もある。読者の指摘と批評を希望し、共同研究も期待している。

作者附記

1979～1983年、筆者は西安交通大学機械工程系にて铸造技術・設備を専攻した。1982年の初夏、教研室主任・周慶徳教授の招聘により千葉工業大学・大野篤美教授の「金属凝固理論」課（朱憲華先生翻訳）を受講したのを覚えている。2回のみであったが、明瞭・簡潔で深く印象に残った。これが私にとって初めて日本人と日本の研究者と接した機会であり、忘れられない記憶となっている。その後筆者は金属史の研究に従事し、日本の考古学・芸術史・金工史の多くの諸先輩方の好奇心、探究心、実直な態度には頭の下がる思いがした。日本の研究者との交流の中で、多くの研究者と親交を結んだが、丹羽崇史はその中の一人である。彼が開催した「陶范技術的実験考古学研究会」（2019年2月24日、奈良）では筆者が長年頭を悩ませてきた問題を引き出された。一つには日本の研究者からフィードバックを受け、二つには新たな共同研究への希望を託した。拙稿は以前、西安交通大学铸工91期の同級生に差し上げてご指摘をいただいた。今回の発表ができたことを、40年前に我々が同級生となり铸造を学んだ記念に捧げるものである。

榮譽乙亥年冬月三十于北京

註

- 1) M. Radivojević, Th. Rehren, E. Pernicka, D. Šljivar, M. Brauns, & D. Borić, On the origins of extractive metallurgy: new evidence from Europe. *Journal of Archaeological Science*, 37 (2010), pp. 2775-2787.
- 2) 蘇榮譽「塊范法与中原式失蠟法：春秋世變下青銅技術的本与末」『中国早期的数述・芸術与文化交流：慶賀李零先生七秩華誕暨從事學術研究四十周年』學術討論會論文、2017年6月12-13日、杭州、既刊。
- 3) Stephen W. Bushell, 1904, *Chinese Art*, volume I, London: Wyman and Sons, p. 73; 1907, p. 76. W. Perceval Yetts, 1929, *The George Eumorfopoulos Collection, Catalogue of the Chinese and Corean Bronzes, Sculpture, Jades, Jewellery and Miscellaneous Objects, Volume One, Bronzes: Ritual and Other Vessels, Weapons, etc.*, London: Ernest Benn, Ltd., pp. 35-38. 張子高『中国化学史稿 古代之部』科学出版社、1964年、21頁。
- 4) 劉嶼霞「殷代冶銅述研究」『安陽發掘報告』第1冊、1929年、商務印書館、681-696頁。Orvar Karlbeck, Anyang Moulds, *Bulletin of the Museum of Far Eastern Antiquities*, No. 7, pp. 39-60.
- 5) 蘇榮譽「原始黃銅初探」『青銅文化研究』第7輯、黄山書社、2011年、148-158頁。蘇榮譽他「中国上古金属技術」山東科学出版社、1995年、4-51頁。
- 6) 蘇榮譽・華覺明・李克敏・盧本珊『中国上古金属技術』山東科学技術出版社、1995年、95-99頁。廉海萍・譚德勸・鄭光「二里頭遺跡铸銅技術研究」『考古學報』2011年第4期、561-575頁。
- 7) 中国社会科学院考古研究所『偃師二里頭：1959～1978年考古發掘報告』中国大百科全書出版社、1999年、および『二里頭：1999～2006』文物出版社、2014年。
- 8) 河南省文物考古研究所『鄭州商城：1953～1985年考古發掘報告』文物出版社、2001年。
- 9) Robert W. Bagley, 1980, *The Beginning of the Bronze Age: The Erlitou Culture Period*, in Wen Fong

ed., *The Great Bronze Age of China, An Exhibition from the People's Republic of China*, New York: The Metropolitan Museum of Art, pp.69-73; *Shang Ritual Bronzes Casting Technique and Vessel Design*, *Archives of Asian Art*, Vol. 43 (1990), pp. 6-20.

10) 蘇榮譽「二里頭文化与中国早期青銅器生產的国家性初探——兼論泥范塊范法鑄造青銅器的有關問題」『夏商都邑与文化』(一)、中国社会科学出版社、2014年、342-372頁。河南省文物考古研究所『鄭州商城：1953～1985年考古發掘報告』文物出版社、2001年。

11) 岳占偉・荆志淳・劉煜・James B. Stoltman, Jonathan M. Kenoyer「殷墟青銅器鑄造技術相關問題」『故宮文物月刊』第355期、2012年、46-54頁。

12) James B. Stoltman, Zhenwei Yue, Zhichun Jing, Jigen Tang, James H. Burton, Mati Raudsepp, *New insights into the composition and microstructure of ceramic artifacts associated with the production of Chinese bronzes at Yinxu, the last capital of the Shang dynasty*, *Archaeological Research in Asia*, 2017, pp. 1-13.

13) 柳百成・黃天佑主編「材料鑄造成形工程」(上)『中国材料工程大典』第18卷、化学工業出版社、2006年、571-591頁。Thomas S. Piwonka, *Aggregate Molding Materials*, in D. M. Stefanescu ed., *ASM Handbook*, vol. 15: Casting, 1998, The Materials Company, 1992, p. 457.

14) Thomas S. Piwonka, *Aggregate Molding Materials*, in D. M. Stefanescu ed., *ASM Handbook*, vol. 15: Casting, 1998, The Materials Company, 1992, p. 776.

15) Robert W. Bagley, *The Beginning of the Bronze Age: The Erlitou Culture Period*, in Wen Fong ed., *The Great Bronze Age of China, An Exhibition from the People's Republic of China*, New York: The Metropolitan Museum of Art, 1980, pp.69-73. Lukas Nickel, *Imperfect Symmetry Re-Thinking Bronze Casting Technology in Ancient China*, *Artibus Asiae*, Vol. 66, No. 1 (2006), pp. 5-39. Robert Bagley, *Anyang Mold-making and the Decorated Model*, *Artibus Asiae*, Vol.69, No.1 (2009), pp. 39-90.

16) 山西省考古研究所『侯馬鑄銅遺跡』文物出版社、1993年、および『侯馬白店鑄銅遺跡』科学出版社、2012年。

17) 華覺明・馮富根・王振江・白榮金「婦好墓青銅器群鑄造技術的研究」『考古學集刊』第1集、中国社会科学出版社、1981年、244-272頁。中国社会科学院考古研究所『殷墟發掘報告 1958～1961』文物出版社、1987年、33頁。

18) 石璋如「小屯後五次發掘的重要發現」『六同別錄』(上)(国立中央研究院歷史語言研究所集刊外編第三種)、中央研究院歷史語言研究所、1945年、32頁。中国社会科学院考古研究所『殷墟發掘報告 1958～1961』文物出版社、1987年、31-33頁。

19) 陳志達「殷墟陶范及其相關的問題」『考古』1986年第3期、269-277頁。

20) 苟歡『侯馬鑄銅遺跡出土陶模範的紋飾研究』中央美術院碩士論文、2017年。

21) 李鐘天『模与范-位安陽孝民屯商代鑄銅遺跡出土泥模、范為对象』南京芸術学院碩士論文、2019年。

22) 中国機械工程学会鑄造分会編『鑄造手冊』第5卷・鑄造工藝(第2版)、機械工業出版社、2003年、11-13頁。

23) 陸文華・李隆盛・黃良余主編『鑄造合金及其溶鍊』機械工業出版社、1996年、340-346頁。

24) 螺旋仕様で、溝の断面は 8×8 mmである。柳百成・黃天佑主編「材料鑄造成形工程」(上)『中国材料工程大典』第18卷、化学工業出版社、2006年、429頁、表3.3-2。

25) 曲衛濤主編『鑄造工藝學』西北工業大学出版社、1994年、表12-1・表12-3。

26) Henry W. Stoll, *Casting Design and Processes, Casting Design and Performance*, Material Park: ASM International, 2009, p. 12, table 3.

27) 譚德叡「中国青銅時代陶范鑄造研究」『考古學報』1999年第2期、211-250頁。

28) 石璋如「殷代鑄銅工藝」『中央研究院歷史語言研究所集刊』第26本、1955年、95-129頁。Noel Barnard, *Bronze Casting and Bronze Alloys in Ancient China*, Canberra: The National University of Australia, 1961.

- 29) 陳志達「殷墟陶範及其相關的問題」『考古』1986年第3期、269-277頁。
- 30) 李濟・万家保『殷墟出土青銅觚形器之研究』(古器物研究專刊第一本)、中央研究院歷史語言研究所、1964年、および『殷墟出土青銅爵形器之研究』(古器物研究專刊第二本)、同上、1966年、および『殷墟出土青銅斝形器之研究』(古器物研究專刊第三本)、同上、1968年、および『殷墟出土青銅鼎形器之研究』(古器物研究專刊第四本)、同上、1970年、および『殷墟出土伍拾叁件青銅容器之研究』(古器物研究專刊第五本)、同上、1972年。万家保「安陽出土青銅三足器的演變」『大陸雜誌』第45卷4期(1972)、1-11頁。万家保「輝県及汲県出土東周時期青銅鼎形器的鑄造及合金研究」『大陸雜誌』第50卷第6期(1975)、253-277頁。蘇榮譽2015「万家保先生研究殷墟青銅器鑄造技術管窺」『中華藝術鑑賞』2015年第9期、92-103頁。
- 31) 馮富根・王振江・白榮金・華覺明「商代青銅器試鑄簡報」『考古』1980年第1期、91-94頁。馮富根・王振江・華覺明・白榮金「殷墟出土商代青銅觚鑄造工藝的復原研究」『考古』1982年第5期、532-539頁。華覺明・馮富根・王振江・白榮金「婦好墓青銅器群鑄造技術的研究」『考古學集刊』第1集、中國社會科學出版社、1981年、244-272頁。
- 32) 蘇榮譽他「**強**國墓地青銅器鑄造工藝考察和金屬器物檢測」、盧連成・胡智生『**寶鷄強**國墓地』、文物出版社、1988年、597-605頁。
- 33) 李永迪・岳占偉・劉煜「從孝民屯東南地出土陶範談對殷墟青銅器的幾點新認識」『考古』2007年第3期、52-63頁。張昌平・劉煜・岳占偉・何毓靈「二里岡文化至殷墟文化時期青銅器範型技術的發展」『考古』2010年第8期、79-86頁。
- 34) 石璋如「殷代鑄銅工藝」『中央研究院歷史語言研究所集刊』第26本、1955年、95-129頁。
- 35) 岳占偉・劉煜・岳洪彬・荊志淳「殷墟陶模、陶範、泥芯的制作工藝研究」『南方文物』2016年第2期、129-140頁。
- 36) 曲衛濤主編『鑄造工藝學』西北工業大學出版社、1994年、226-227頁。
- 37) 柳百成・黃天佑主編「材料鑄造成形工程」(上)『中國材料工程大典』第18卷、化學工業出版社、2006年、795-824頁。
- 38) 廉海萍・丁忠明・周祥・徐惠康「漢代量鑄法鑄錢工藝研究」『文物保護與考古科學』第20卷增刊(2008)、53-61頁。
- 39) 河南省博物館『中國冶金史』編寫組『漢代量鑄：溫縣烘範窯的發掘和研究』文物出版社、1978年。

訳注

- 1) 原文の「泥範」は「土製範」、「泥模」は「土製原型」、「泥質」は「土製」と訳し、そのほかの「泥砂」などはそのまま表記するか、文脈から「土製」と訳したものもある。廉海萍「上海博物館における陶範実験研究」(本書Ⅱ-3)で述べられるように、「泥」は「(水分の有無に関わらず)極めて細微な顆粒の集合体」を指す。
- 2) マッシイ型凝固。金属の凝固形態の一つで合金全体がほぼ同時に凝固するもの(自動車用語辞典編集委員会『日英中自動車用語辞典』社団法人自動車技術会、2006年、665頁)。
- 3) 原文は「熱型」。内部に巣や不純物の偏析がない製品を得るため、注湯時にあらかじめ加熱された鑄型のこと(大野篤美「加熱鑄型を用いた連続鑄造法O.C.C.」『日本金属学会会報』23-9、1984年)。
- 4) 原文は「芯盒」。中子を成形するための範。
- 5) 湯口系統の日本語名称については、以下の文献で用いられるものに従った。
日本鑄造工学会(編)「湯口系」『図解 鑄造用語辞典』日刊工業新聞、1995年。
- 6) 原文の「縮孔」、「縮松」はいずれも「収縮巣(ひけ巣)」と理解した。
- 7) 側面に設けられた湯口(堰)を指す。適切な訳語が不明なため、原文の「圧辺」をそのまま用いる。
- 8) 原文は「圧頭」。頂注式の湯口系統における、受け口から湯口・湯道・堰までの全体を指すものとみられる。

(大平理紗・丹羽崇史 訳)

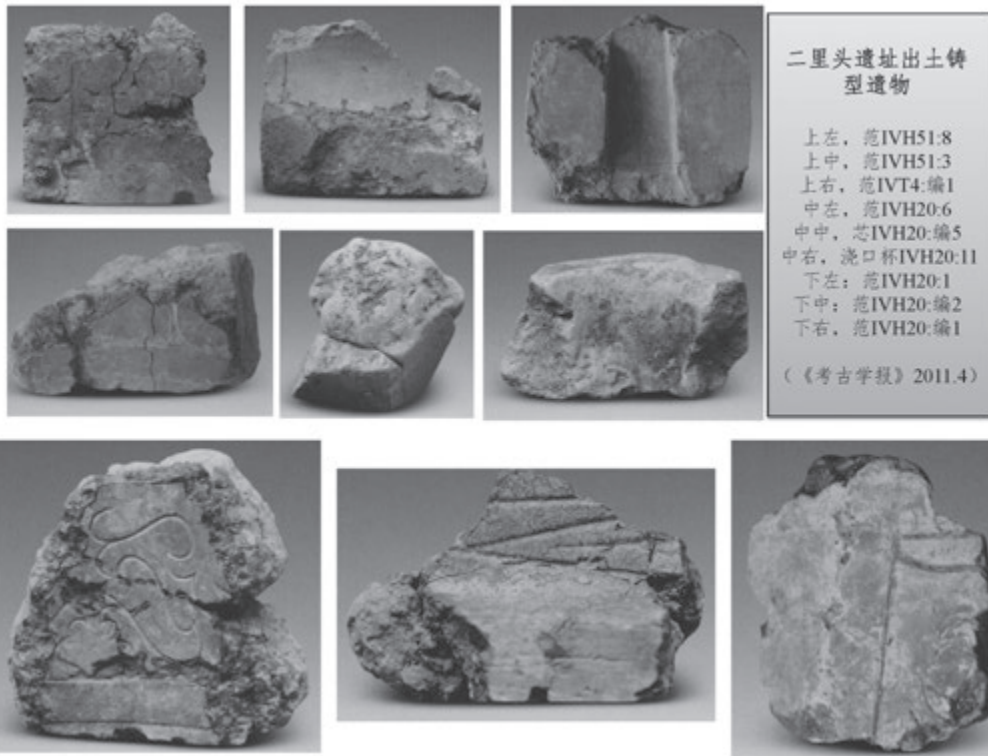


图1 二里头遗址出土铸铜遗物 (《考古学报》2011年第4期)

图1 二里头遗址出土铸铜遗物 (《考古学报》2011年第4期)



图2 二里头遗址出土青铜器

(中国青铜器全集编辑委员会(编)《中国青铜器全集1 夏·商1》文物出版社、1996年。中国社会科学院考古研究所(编)《偃师二里头1999-2006》文物出版社、2014年。中国社会科学院考古研究所(编)《偃师二里头: 1959年~1978年考古发掘报告》中国大百科全书出版社、1999年)

图2 二里头遗址出土青铜器

(中国青铜器全集编辑委员会(编)《中国青铜器全集1 夏·商1》文物出版社、1996年。中国社会科学院考古研究所(编)《偃师二里头1999-2006》文物出版社、2014年。中国社会科学院考古研究所(编)《偃师二里头: 1959年~1978年考古发掘报告》中国大百科全书出版社、1999年)



图3 郑州商城出土商早期（二里岗期）青铜器

(河南省文物考古研究所(编)《郑州商城 1953-1985年考古发掘报告》文物出版社, 2001年)

图3 郑州商城出土商代前期（二里岗期）青铜器

(河南省文物考古研究所(编)《郑州商城 1953-1985年考古发掘报告》文物出版社, 2001年)

泥范块范法铸铜流程图 苏荣春绘制于二零一七年

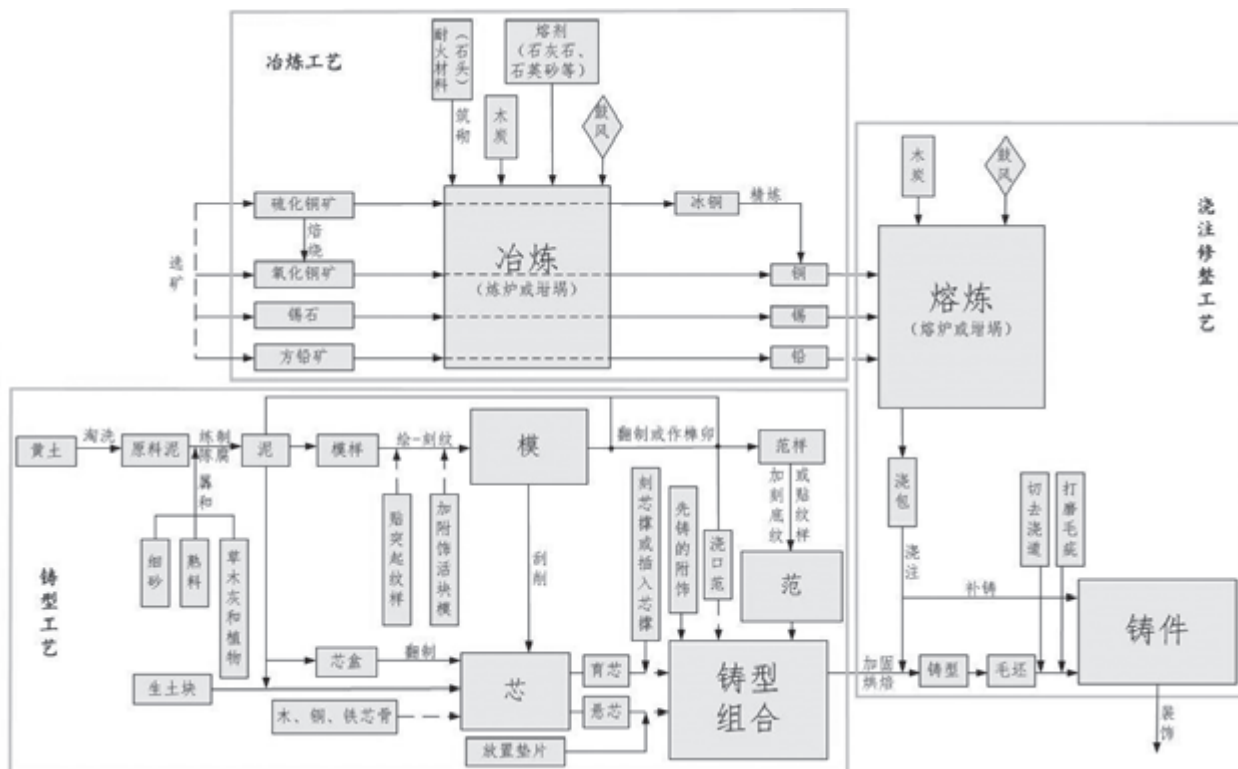


图4 泥范块范法铸铜流程图 (笔者绘制于2017年)

图4 土製范の分割范法の工程 (筆者2017年作成)

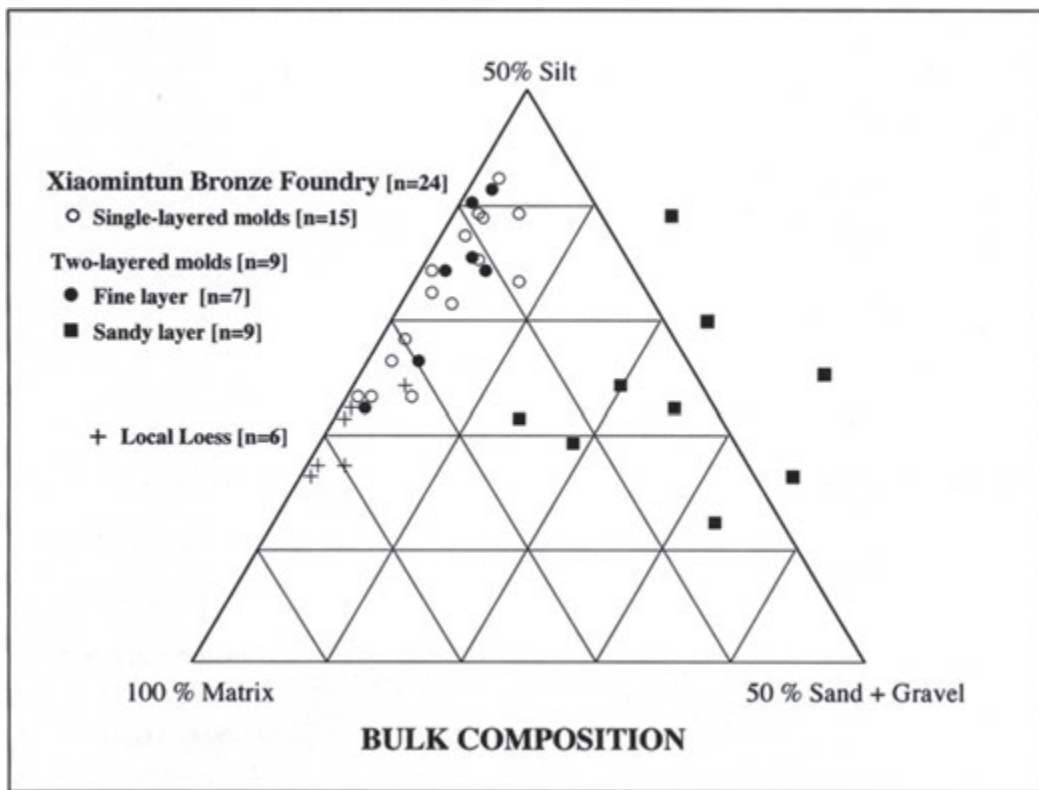


图5 安阳孝民屯铸铜遗址出土泥范组分（荆志淳教授惠供）

图5 安陽孝民屯鑄銅遺跡出土土製範の組成（荆志淳教授提供）

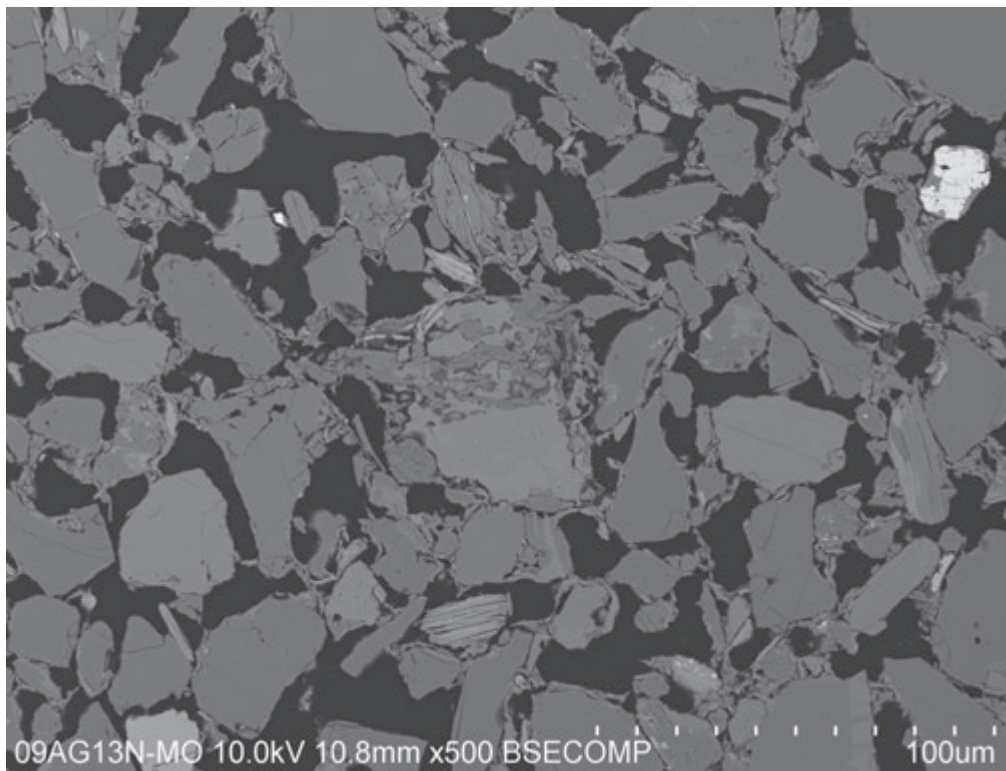


图6 安阳孝民屯出土泥范岩相结构（《故宫文物月刊》第355期 [2012] 48 页图4）

图6 安陽孝民屯出土土製範の岩相構造（『故宮文物月刊』第355期 [2012] 48 頁圖4）

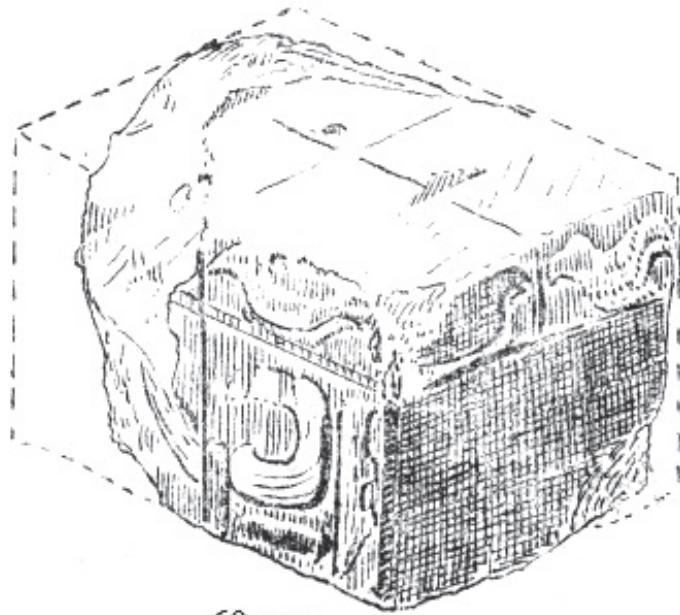


图7 安阳小屯出土泥方彝模 (中央研究院历史语言研究所《六同别录》上册第32页插图11, 1945年)
 图7 安阳小屯出土方彝土製原型 (中央研究院历史语言研究所《六同别录》上册32页插图11, 1945年)

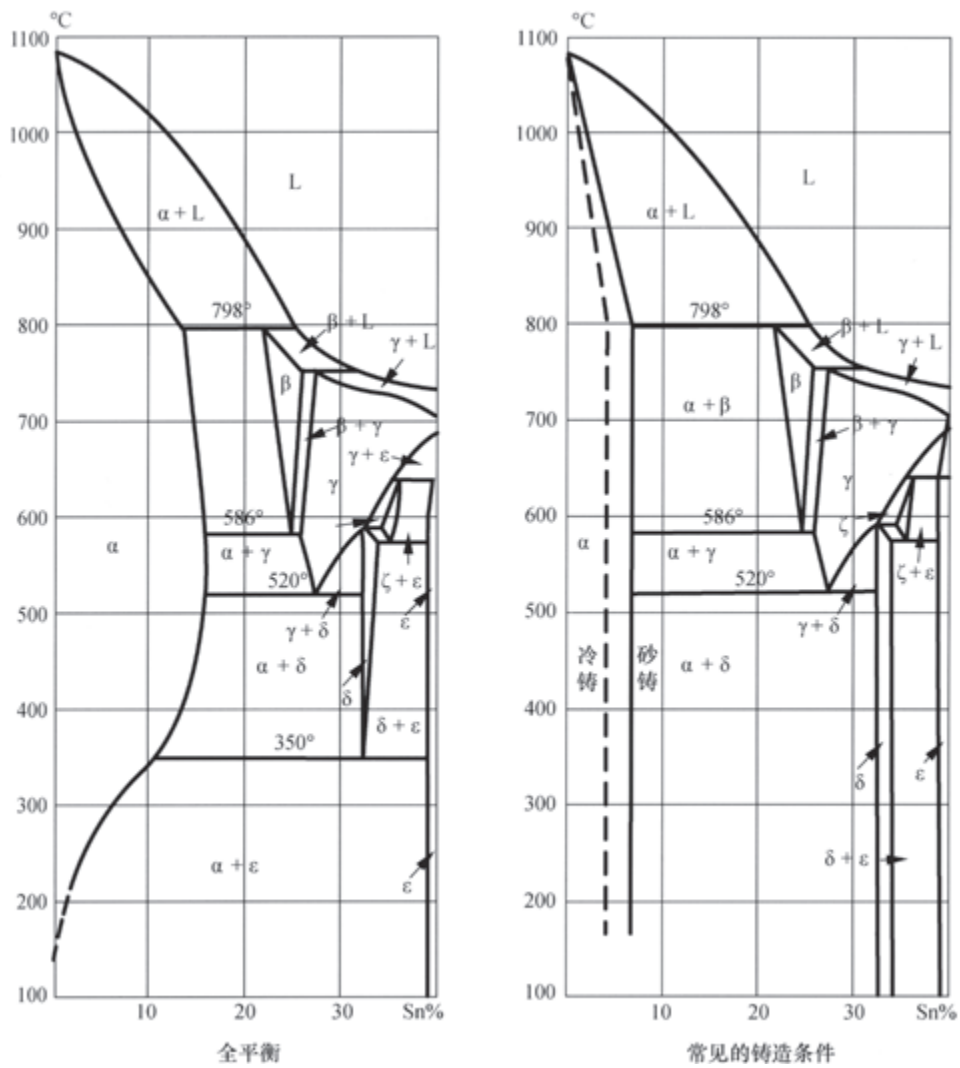


图8 铜-锡平衡态(左)和铸态(右)相图
 图8 铜-锡平衡状态图(左)与铸造组织状态图(右)的比较

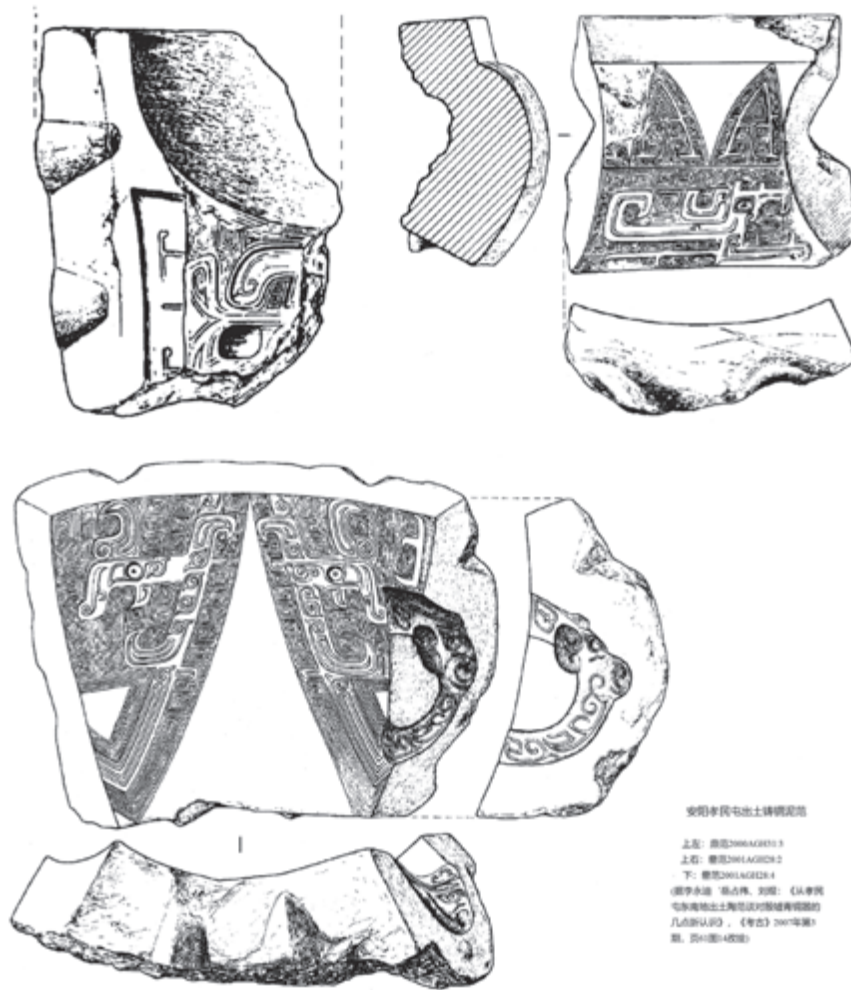


图9 安阳孝民屯出土水平分型范 (《考古》2007年第3期 61页图14改绘, 比例尺不同)
 图9 安陽孝民屯出土水平分割范 (『考古』2007年第3期 61頁圖14改變 縮尺不同)

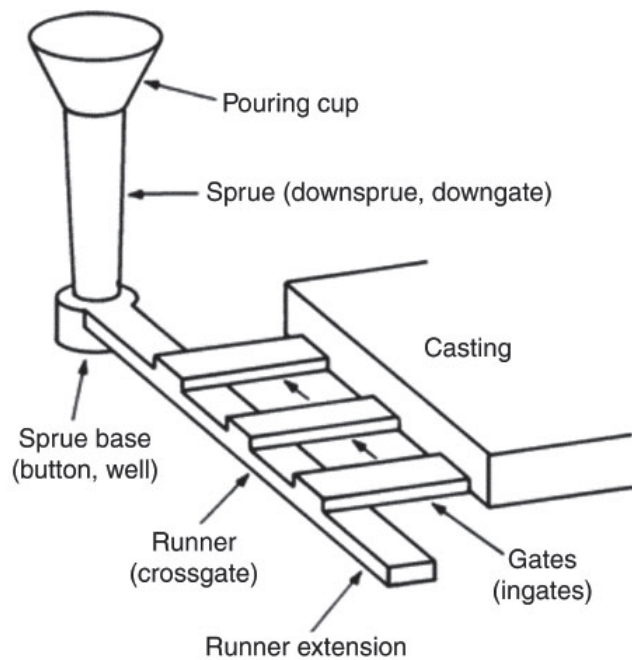


图10 普通浇注系统结构 (Casting Design and Performance, ASM International, 2009, p.73 fig.1)
 图10 一般的な湯口系統の構造 (Casting Design and Performance, ASM International, 2009, p.73 fig.1)

2. 中国青铜器研究中的实验考古 中国青铜器研究における実験考古

張昌平

中国青铜时代青铜器是早期国家文明的最重要成就之一，对其研究一直是考古学热门，因之研究域度既是国际性的，也是多学科的。特别是在近半个世纪以来，艺术史家的研究不再只是关注青铜器的造型和装饰，还会进一步讨论造型和装饰形成的技术背景；技术史家的研究不只是复原青铜器的工艺过程，甚至还尝试实验浇注、以古人的制作方式再现与理解古代青铜器技术。这些研究，大大推进了青铜器研究的深入。

笼统地说，今人模仿商周青铜器的生产都是实验性铸造。而就实施过程而言，从工艺过程到材料结构分别对制范、浇注等环节进行复原研究，基于研究而进行的生产，我们称之为实验考古（试铸）。这样的实验考古，著名的有二十世纪六十年代万家保在史语所的试铸、二十世纪七十年代自然科学所的试铸、二十世纪九十年代上海博物馆的试铸。本文比较研究这些学者的试铸工作，观察其对青铜器工艺研究的意义。

1. 史语所的试铸

最早的青铜器试铸活动，是二十世纪六七十年代之交李济和万家保在台湾中央研究院历史语言研究所（史语所）组织的。李济在殷墟发掘开始后就将青铜器作为重点研究方向¹⁾，史语所迁台后他邀请具有机械学背景的万家保合作进行青铜器技术研究，并于1967年开始在哈佛燕京学社的资助下，进行了为期两年的实验铸造。

在此之前，西方学者如卡尔贝克（Karlbeck）根据对安阳出土陶范的观察，判断殷墟时期青铜器应该是块范法铸造，而不是西方学界认定的失蜡法²⁾，这一认识随后被巴纳（Noel Barnard）系统地论证³⁾。二十世纪五十年代盖屯斯（Rutherford John Gettens）在弗利尔艺术馆建立实验室，对中国青铜器进行全面检测与研究，确认了块范法的铸造技术⁴⁾。万家保则进一步对殷墟青铜器范型、模与范的制作、浇注系统等技术进行了全面的研究⁵⁾。

万家保的试铸，既参考了上述研究成果，也是首次通过试铸对这些研究进行实践与检验。针对当时的学术动态，他设定此次试铸“目的在证实殷商的青铜器系利用块范法铸造”，因此试铸活动“主要的是以范型的制造为主”⁶⁾，合金原料及熔化、设备是现代的，“铜、锡及铅等原料为市面所购置者，熔铜及烧范皆利用电炉”，并铸成兽面纹鼎（此研究以下简称《鼎形器研究》⁷⁾。试铸中以多次试验积累经验，例如以石膏为模型、低温的铅和铅合金开始实验，其后才用青铜试铸。因为史语所当年安阳发掘收获爵的模、范较多，试铸先从爵开始，而后成功地铸出了一件兽面纹鼎。

基于试铸目的，模、范、芯的制作及浇注前配装是工作重点，试铸中对这些环节在操作上都予以重现（图1），这其中各个环节的重点情况有如下一些：

制模：强调低收缩率，避免龟裂，大部分纹饰在模上雕刻。烘焙至600℃左右；

制范：台湾本地黏土为主。强调材料耐温与强度、表面致密可复制清晰花纹、透气性。范上纹饰从模上翻制，泥范烘焙至800℃左右；

制芯：基于石璋如提出芯是由模刮削而成的认识⁸⁾，芯范是以刮削的方式缩小模而成，刮削的厚度即器物厚度；

烘烤：较低的加热速度，避免龟裂；

浇注：器物口部朝下倒浇，鼎的浇口和冒口设在足根；

合金配制：铜79%、锡18%、铅3%，比例接近司母戊方鼎。熔铜温度1200-1300℃左右⁹⁾。

万家保的研究和试铸“第一次全面地、整体性地构建了安阳青铜生产的流程和工艺细节”¹⁰⁾，对殷墟青铜器铸造技术引发多层次的思考，如烘范、浇注方式等等实践提升了对铸造技术许多工序的理解。但由于对试铸的具体环节描述不多，诸多细节问题的考虑和处理方式，未能体现。例如，在制作爵模环节中，何以分制爵体而不是完整地模型？爵足、鬲、柱、帽如何制模又是如何翻范的？芯与范特别是爵鬲芯如何定位？许多技术环节都缺乏交代。此次试铸选取的鼎是殷墟时期常见的兽面纹鼎，但非殷墟发掘品。试铸铸件口径17.1、通高20.4厘米，重3.4公斤，重量控制较好，如妇好墓类似尺寸的小圆鼎，也都在这一重量范围¹¹⁾。同时，试铸鼎纹饰脱范欠佳，在技术性和经验性上应该还明显欠缺（图2）。由此可见，殷墟青铜

器所展示出的艺术成就，所需的技术与经验支撑远远超乎我们的想象。

2. 自然科学所的试铸

二十世纪七十年代后期，侯马铸铜遗址、妇好墓、下寺楚墓、曾侯乙墓等重要遗存出土大批青铜器和青铜器生产遗物，当时适逢中国恢复高等教育与科研，由此青铜器及其技术的研究得到很大的发展。这些研究中，华觉明主导的青铜器技术研究形成了丰富的学术成果¹²⁾，并对当今的技术研究形成较大的影响。1976年妇好墓发掘后，华觉明组织团队对妇好墓青铜器进行技术研究（以下简称《妇好青铜器研究》）¹³⁾，并进行了两次试铸实验。先期的试铸有5件器物，包括刀、戈等工具以及一件圆鼎（以下简称《试铸简报》（图3））¹⁴⁾，后一次试铸了觚（以下简称《青铜觚铸造》（图4））¹⁵⁾。

此次研究特别是试铸团队的组成，考虑到铸造技术的各个不同的环节：

华觉明：中国科学院自然科学研究所冶金史专家，理解青铜时代特别是殷墟文化青铜器铸造工艺；

冯富根：郑州机械科学研究所铸造专家，掌握铸造操作实验；

王振江、白荣金：中国社会科学院考古研究所考古发掘与文物修复专家，熟悉青铜器形制与结构，长于制陶、烧窑、制模技术。

试铸工作由冯富根主导，和万家保的实验一样，试铸的操作是在工艺研究的理论指导下完成。此时的工艺研究，较之万家保的又有多方面的新认识。根据已发现的商周青铜器范、芯，研究认为“材料的主要组成均是粘土和砂，……一般来说，模和范的含泥量要多些，使有良好的可塑性、复印性；芯的含泥量少些，砂粒有时稍粗，可利通气”，而西周陶范的情况表明大型青铜器的陶范可能分为面料和背料。对于花纹的制作，提出浮雕兽面纹“用泥料在模表堆塑成形再雕镂花纹”，衬地的雷纹“是在范面上加工得到的，或者先从模上翻出大体形状再予修整”。铭文则是“先在泥模上阴刻成文，再用泥片复印成阳纹，修整后嵌到芯上”¹⁶⁾。

铸型的问题较为复杂一些。和万家保一样，华觉明等的研究也主要是根据器物表面的范缝来判断铸型。此前万家保《鼎形器研究》认为圆鼎外范三分，在试铸中的兽面纹鼎就是采用的三块外范（图2）。此次华觉明研究认为司母辛“方鼎铸型由芯和底范、四块腹范以及顶范组成”、“腹范从鼎耳上端到鼎足下端，不分段”¹⁷⁾，他们在其后的研究还提出每块腹范还内嵌的6块分范¹⁸⁾。但学者们对方鼎铸型的认识很不一致，华觉明等关于铸型的研究实际上已经参考了此前的研究成果，比如认为“圆形容器的器体，一般是三等分，采用三块腹范，器腹有扉棱时六等分”¹⁹⁾，但他们试铸的殷墟孝民屯M856兽面纹觚仍然采用两块外范（图4）。卡尔贝克（Karlbeck）讨论安阳出土陶范时已经指出，青铜器实物观察到的范缝往往可能少于实际上的分范数量²⁰⁾。孝民屯铸铜遗址发现的陶范表明，加倍分范、分段的现象普遍²¹⁾，我们将此称之为复杂的分范方式，是铸造繁缛细密的纹饰而设置的²²⁾。因此，万家保试铸的兽面纹鼎、冯富根试铸的兽面纹觚，分别应该是6分、4分外范，后者还应该分段。

华觉明、冯富根的研究与试铸反复努力，研究团队对于铸造技术的理论与实践有很好的结合。附表所示，是该团队对工艺研究和试铸各个技术环节的讨论，这些讨论内容表明，试铸实验的重点仍然是在铸前的模范准备阶段。即便如此，冯富根等的试铸工作仍然总结了多方面的经验，并且在多个环节取得了进步。例如，在制范环节注意到留取榫卯装置，增强了合范的装配。又如，理论研究认为出土商周陶范成分为粘土和砂。试铸高度重视范料的配比，实验中取侯马铸铜遗址地下8米的泥土，社科院考古所地下7米的细沙，经过“晾晒、破碎、筛分、混匀、加入适量的水份，和成软硬适度之后，还必须反复摔打、揉搓，并经过较长时间的浸润使之定性”，“经过反复的实践，终于得到了理想的泥

表1 自然科学所研究团队认识的铸造工序

	《妇好青铜器研究》	《试铸简报》	《青铜觚铸造》
工 艺 环 节	造型材料的选取和制备	制模	泥料的准备及加工
		泥料的选用和制备	
	模、范、芯的制作	制范和制芯	翻制范型
	铸型的干燥、焙烧和装配	铸型的干燥与焙烧	范型的阴干
			型范的焙烧、配芯和铭文刻制
	熔化和浇注	熔化与浇注	金属的熔化与浇注
脱范和清理、磨砺			

料配比”²³⁾。在随后试铸青铜觚时，更是明确在泥料中加 30% 细沙、加 20% 熟料，其核心目的是为了降低泥范的收缩率，在烘焙陶范时，设定加温温度为 800℃，操作中温度高至 950℃。

铸造是件经验性极强的工作，此次试铸中也有经验上的进步与总结。如注重模上使用分型剂，方鼎的浇注中分别在鼎足处设两个浇口和冒口。特别是他们在实践中摸索出先制范、后陪芯的方式，在殷墟新发现的芯范研究中得到支持²⁴⁾。试铸多次操作中，在经验上取得收获或突出的难点，有对范、芯湿度和收缩率控制问题，有对范的烘烤与预热、铜水熔与浇的温度问题。这些经验，是我们今天进行试铸时仍然应该重视的。

3. 上海博物馆的试铸

二十世纪九十年代，上海博物馆在马承源馆长支持下发起“中国青铜时代陶范铸造技术研究”，由谭德睿主导进行技术研究和试铸实验。上海博物馆是中国古代青铜器收藏的重镇，对青铜器研究特别是技术研究也有很强的力量。1960 年，上海博物馆设立文物保护与考古科学实验室，这是国内考古与博物馆机构中最早设立的文物保护与考古科技实验室；1989 年，上海博物馆创办《文物保护与考古科学》，也是国内最早的科技考古期刊²⁵⁾。因此由上海博物馆进行的青铜器技术研究和试铸工作，有着良好的学术支撑。

和此前的试铸一样，铸前的范型制作是重点研究和实验的工作。谭德睿总结了陶范应该具备的基本性能，包括 1. 可塑性、复印性、脱模性；2. 足够的强度和硬度；3. 足够的耐火度；4. 低收缩 - 膨胀率；5. 发气量足够低；6. 退让性足够好；7. 充型性足够好。主要是通过化学成分检测，课题组将古陶范对比原生土、陶器等，检测认为古陶范具有强度高、发气量低、足够高的耐火度、膨胀和收缩率低等积极因素，但同时发现古陶范具有透气性不良的消极因素，并认为“各地古陶范的焙烧温度约为 850-920℃”。实际上，殷墟陶范烧成温度检测数据大部分为 550-600℃²⁶⁾。而在实验中“若使用了低于 850℃ 焙烧温度的陶范，铸件废品率就高，若高于 850℃，合格率则高得多”。现在看来，透气性不良和烧成温度高的两个结论，都与实际情况有较大出入，而高温高合格率的实验，问题可能出在陶范材料上。

不过，课题组敏锐地注意到“试验证明，古陶范中可能含有一种仅凭化学成分分析以至 X 射线衍射分析无法分辨的 SiO₂ 含量高的物质，是这种物质改变了范料的充型性能”²⁷⁾。但在试验操作中如果加入细砂，则铸件会出现大面积气孔、凹陷、纹饰不清等等浇不足现象。经过论证和实验认为，应该加入的是植物硅酸体，这是此次研究提出的一个重要观点。

试铸使用的范料“与古陶范配方组成一致”的材料：上海本地的原生土 + 熟料 + 植物灰（马粪、稻草、麦秆、木炭灰等），其比例为 50 : 30 : 20，加水后经过练泥、陈腐。范料中面料颗粒较细，背层加较多植物纤维。制范时一块块外范制作，分型剂使用熏油烟或草木灰。

课题组经过多次实验，试铸出爵、觥这样单次浇注完成的铸件，也完成了鸛卣这样需要连接工艺的铸件，体现了极高的水准。在熟练操作的情况下，完成爵、觥等单次铸件的工时量约 50 天，其具体工序工作量如表 2：

表 2 上海博物馆试铸爵、觥工序与工量

工序	铭文爵	雷纹觥
塑模	11	10
翻外范	9	8
脱模及阴干	5	6
制内范	6	6
制浇口	6	6
预合范	1	4
预焙烧	1	
刻纹饰	0.5	6
合范与焙烧	5-7	7
熔、铸	2	1
铸后	1	1
合计	49.5	55

浇注完成后，铸件“很易脱范，且表面光洁”，说明范料的配比是成功的。同时“脱下的陶范，内表面有一层浅黑褐色，断面呈浅砖红色，与古陶范相似”，但实际上与自然科学所试铸的范表不同，浅砖红色实际上也不同于发掘所见陶范的浅灰色，这或者缘于试铸陶范烧成温度在 850℃ 相关。课题组通过试铸，总结认为范铸技术的关键在于陶范充型性良好、陶范缓慢阴干与捶实、陶范未及陶化等几个方面。

上海博物馆的试铸工作首次系统研究和检测范料及其材料配比，首次批量生产铸件，铸件体现出较好的充型和脱范性能，体现了试铸工作的高水平。总体

而言，他们的试铸工作重点，仍然是在陶范制作上。

总结以上试铸活动，实验所取得的进展无疑是明显的。青铜器铸造非经实践而难以理解工序的具体环节，正如万家保所指出：“以殷商青铜器如此成熟的工业产品而言，必然是经过了一段很长的进化过程所得的成果。青铜的熔合，锡、铅、铜的冶炼，青铜合金的制造以及铸造所用的坩埚、模、炉等必要条件显然都已具备。这每一个条件的形成，定当包含了一套艰苦的试探，失败，改进的历史过程”²⁸⁾。青铜器的试铸也是如此，试铸工作的进展其实也是我们研究青铜器技术的进展。

上述试铸实验都是小型铸件，尚未涉及大体量青铜器。而对于大型的铸件，万家保设想像牛方鼎重 110 公斤左右，所需熔铜当在 150 至 200 公斤始可，“大鼎铸造时系将数个坩埚所熔的青铜注入一件铸物中，故必须控制各坩埚中青铜成分均一，温度的适宜及铸入时间的顺序”，因此“起火之时刻，风箱之缓急，原料之配合，何时何种温度注入，坩埚之注入顺序如何”，需要有经验的人才组织指挥²⁹⁾。在历次试铸中，课题组人员理论、实践知识丰富，尚且反复多次试验，尚且感受到技术之难度。可以理解，殷墟文化晚期青铜时代发展到高峰之际，大邑商青铜铸造业发达之程度、技艺之高超。

华觉明、陈建立等有实验铸造经验的学者都承认，“模拟实验是验证青铜器铸造工艺的重要手段之一”³⁰⁾。华觉明先生更是强调指出：“不准确的缺乏科学性的复原研究不但无助于我们得到正确的认识，相反地，将导致错误的结论，造成混乱”³¹⁾。期待未来的试铸工作，能够有更多、更为接近古代工匠工艺水平的铸件。

注

- 1) 李济：《记小屯出土之青铜器》，《中国考古学报》第三册，1948 年。
- 2) Karlbeck, Orvar, Anyang Moulds, Bulletin of the Museum of Far Eastern Antiquities, pp39-60, No.7 1935, Stockholm.
- 3) Barnard, Noel. Bronze Casting and Bronze Alloys in Ancient China. The Australian National University and Monumenta Serica, 1961.
- 4) Gettens, Rutherford John, The Freer Chinese Bronzes, Volume II, Technical Studies. Smithsonian Institution, Washington, 1969.
- 5) 苏荣誉对万家保的青铜器技术研究有过系统的论述，参考苏荣誉：《论万家保先生对殷墟青铜器铸造技术的研究》，姜振寰主编《技术传播与文化遗产》第 105-125 页，中国科学技术出版社，2013 年。
- 6) 李济、万家保：《殷墟出土五十三件青铜器之研究》第 19 页，台湾中央研究院历史语言研究所，1972 年。
- 7) 李济、万家保：《殷墟出土鼎形器之研究》第 15 页，台湾中央研究院历史语言研究所，1970 年。
- 8) 石璋如：《殷代的铸铜工艺》，《中央研究院历史语言研究所集刊》第 26 本第 127 页，1955 年。
- 9) 《鼎形器研究》不同部分对熔铜温度表述不一致，第 16 页为 1200℃，第 20 页为 1300℃。
- 10) 苏荣誉：《论万家保先生对殷墟青铜器铸造技术的研究》，姜振寰主编《技术传播与文化遗产》第 123 页，中国科学技术出版社，2013 年。
- 11) 中国社会科学院考古研究所：《殷墟妇好墓》第 42 页，文物出版社，1980 年。
- 12) 苏荣誉等：《中国上古金属技术》，山东科学技术出版社，1995 年；华觉明：《中国古代金属技术——铜和铁造就的文明》，大象出版社，1999 年。
- 13) 华觉明等：《妇好墓青铜器群铸造技术的研究》，《考古学集刊（1）》第 244-272 页。中国社会科学出版社，1981 年。
- 14) 冯富根等：《商代青铜器试铸简报》，《考古》1980 年第 1 期。
- 15) 冯富根等：《殷墟出土商代青铜觚铸造工艺的复原研究》，《考古》，1982 年第 5 期。
- 16) 华觉明等：《妇好墓青铜器群铸造技术的研究》，《考古学集刊（1）》第 244-272 页。中国社会科学出版社，1981 年。
- 17) 华觉明等：《妇好墓青铜器群铸造技术的研究》，《考古学集刊（1）》第 244-272 页。中国社会科学出版社，1981 年。
- 18) 冯富根等：《司母戊鼎铸造工艺的再研究》，《考古》1981 年第 2 期。

- 19) 华觉明等：《妇好墓青铜器群铸造技术的研究》，《考古学集刊（1）》第 244-272 页。中国社会科学出版社，1981 年。
- 20) Karlbeck, Orvar, Anyang Moulds, Bulletin of the Museum of Far Eastern Antiquities, pp39-60, No.7 1935, Stockholm.
- 21) 中国社会科学院考古研究所安阳工作队：《2000—2001 年安阳孝民屯东南地殷代铸铜遗址发掘报告》，《考古学报》2006 年第 3 期。
- 22) 张昌平等：《二里冈文化至殷墟文化时期青铜器范型技术的发展》，《考古》2010 年第 8 期。
- 23) 冯富根等：《商代青铜器试铸简报》，《考古》1980 年第 1 期。
- 24) 岳占伟等：《殷墟陶模、陶范、泥芯的制作工艺研究》，《南方文物》2016 年第 2 期。
- 25) 根据《文物保护与考古科学》官方网站消息。此外，中国社会科学院考古研究所于 1965 年设立碳十四测年实验室，稍晚于上海博物馆实验室。
- 26) 刘煜：《殷墟出土青铜礼器铸造工艺研究》第 111-114 页，广东人民出版社，2018 年。
- 27) 谭德睿：《中国青铜时代陶范铸造技术研究》，《考古学报》1999 年第 2 期。
- 28) 李济、万家保：《殷墟出土五十三件青铜器之研究》第 10 页，台湾中央研究院历史语言研究所，1972 年。
- 29) 李济、万家保：《殷墟出土鼎形器之研究》第 29-31 页，台湾中央研究院历史语言研究所，1970 年。
- 30) 陈建立：《中国古代金属冶铸文明新探》第 165 页，科学出版社，2014 年。
- 31) 华觉明：《中国古代金属技术——铜和铁造就的文明》第 120 页，大象出版社。

中国青銅時代の青銅器は初期国家文明の最も重要な成果のひとつであり、考古学における著名な研究分野である。そのためその研究水準はすでに相応の国際性と学際性を有している。特にこの半世紀近くでは、芸術史学者は青銅器の造形と装飾に注目するのみならず、造形と装飾を形成した技術的背景に踏み込んだ研究を行い、技術史学者は青銅器の製作工程を復元するのみではなく、実験鑄造による古人の製作方法の再現と古代青銅器製作技術の理解を試みている。このような研究により、青銅器研究は大幅に深化している。

一般的に言えば、現代人が商周青銅器を模倣してつくるものは全て実験的な鑄造である。実施の過程においては、技術の工程から材料の構成まで、范の製作・鑄造などそれぞれの段階における復元研究を進め、その研究に基づいて製作を行う。我々はこれを実験考古(試鑄)^{註1)}と称する。このような実験考古は、著名なものでは 20 世紀 60 年代に万家保が史語所(台湾中央研究院歴史語言研究所)で行った鑄造実験、70 年代の自然科学史研究所の鑄造実験、そして 90 年代の上海博物館による鑄造実験が挙げられる。本文ではこれらの学者が行った鑄造実験を比較し、その青銅器技術研究における意義を考察する。

1. 史語所の鑄造実験

青銅器の鑄造実験の最も早いものは、20 世紀 60 年代から 70 年代にかけて李濟と万家保が史語所で組織した活動である。李濟は殷墟で発掘をはじめてから青銅器を自身の主要な研究分野とした¹⁾。史語所が台湾に移ったのち、彼は機械学を専門とする万家保を招き、共同で青銅器製作技術研究をすすめることとなった。併せて 1967 年からはハーバード燕京研究所の支援を受け、2 ケ年計画での実験鑄造を実施した。

これ以前には、カールベック (Karlbeck) のような西方の学者が安陽出土陶范の観察に基づき、殷墟時期の青銅器は分割范法(塊范法)で鑄造されたのであり、西方の学界で認識されている失蠟法によるものではないと判断した²⁾。この考えはのちにバーナード (Noel Barnard) によって系統立てて論証されている³⁾。20 世紀 50 年代、ゲッテンス (Rutherford John Gettens) はフリア美術館に実験室を設立し、青銅器の全面的な検測と研究を行い、分割范法による鑄造技術を確認した⁴⁾。万家保はさらに殷墟の青銅器范型、原型(模)と范の製作・鑄造系統などの技術面に対し全面的に研究を進めた⁵⁾。

万家保が行った鑄造実験は、上述の研究結果を参照し、初めて鑄造実験によってこれらの研究の実践と検証を行ったものである。当時の学術の動向を鑑み、彼はこの時の鑄造実験を「殷商の青銅器が分割范法を用いて鑄造されていたことを実証することを目的」とした。そのためこの鑄造実験の活動は「范型の製作を主」⁶⁾とした。合金の原料と溶解方法や設備は現代のものを用い、「銅・錫・鉛等の原料は市販のもので、溶銅と范の焼成には全て電気炉を利用」し、獣面紋鼎を鑄造した（以下、この研究は「鼎形器研究」⁷⁾と省略して記す）。鑄造実験では何度も実験を行って経験を蓄積している。例えば石膏で原型・范をつくり、低温の鉛と鉛合金を使って実験を始め、そのあとでいよいよ青銅を用いた鑄造実験を行った。史語所がかつて安陽で発掘したのは爵の原型・范が比較的多かったため、まず爵から開始し、成功を経て獣面紋鼎を鑄造した。

鑄造実験の目的に基づけば、原型・范・中子（芯）の製作と鑄造前の準備に重点を置き、鑄造実験における各段階はいずれも重視した（図1）。その各段階における要点は以下の通りである。

原型の製作：収縮率が低いことを重視し、亀裂の発生を避け、紋飾の大部分は原型に彫刻した。焼成は600℃前後で行った。

范の製作：台湾現地の粘土を主とした。耐温性と強度、および表面のきめ細やかさがあり、紋様を鮮明に写し取ることができ、通気性があることを重視した。范の紋飾は原型から転写し、土製范は800℃前後で焼成した。

中子の製作：石璋如による、中子は原型を削って製作されるとの見解⁸⁾に基づき、中子は原型を削って縮小して製作した。削り取る厚みは即ち器物の厚みである。

焼成：比較的低い加熱速度により、亀裂の発生を避けた。

鑄込み：器物の口縁部を下に向けて注湯した。鼎の湯口とガス抜口は脚の基部に設けた。

合金の配合比率：銅79%、錫18%、鉛3%とし、比率は司母戊鼎に近いものとした。溶銅温度は1200～1300℃前後である⁹⁾。

万家保の研究と鑄造実験は「最初に安陽青銅器生産の工程と技術の詳細を全面的・全体的に構築」¹⁰⁾し、殷墟青銅器の鑄造技術に対し様々な思考を呼び起こした。例えば、范の焼成、鑄込みの方法などの実践を通して、鑄造技術の多くの工程と順序について理解を深めることになった。ただし、鑄造実験の具体的な段階の説明が充実しておらず、細かな問題の考慮やその対処法については実現していない。例えば以下のようなものである。

- ・爵の原型製作の段階では、完全な原型ではなく、なぜ分割して製作した原型を用いたのか？
- ・爵の脚、持ち手、柱、帽などは、どのようにして原型を製作し、范に転写したのであろうか？
- ・范と中子、特に持ち手の中子はどのように位置を決めてたのであろうか？

このように多くの技術の段階で説明が不足している。この鑄造実験でモデルに選択した鼎は殷墟時期によく見られる獣面紋鼎ではあるが、殷墟で発掘されたものではない。鑄造実験で製作した製品は、口径17.1cm、通高20.4cm、重さ3.4kgであり、重量の調整は比較的良好。例えば、婦好墓出土の類似する大きさの小円鼎などもこのような重量の範囲内に収まる¹¹⁾。同時に、鑄造実験で製作した鼎の紋飾は良くなく（図2）、技術・経験が明らかに不足している。このことからみるに、殷墟青銅器にみられる芸術面での完成度は、求められる技術と経験の水準において我々の想像より遥かに高いのであろう。

2. 自然科学史研究所の鑄造実験

20世紀70年代後半、侯馬鑄銅遺跡、婦好墓、下寺楚墓、曾侯乙墓など重要な遺跡で多くの青銅器と青銅器生産に関わる遺物の出土があった。当時はちょうど中国の高等教育と科学研究が回復していたころであり、青銅器とその生産技術の研究も大きく発展を遂げた時期であった。このような研究の中では、華覚明が率いた青銅器技術の研究が豊富な学術成果を挙げ¹²⁾、現在の技術の研究に大きな影響を与えている。1976年に婦好墓が発掘されたのち、華覚明はチームを組織し、婦好墓の青銅器の技術に関する研究を行った（以下、この研究は「婦好青銅器研究」¹³⁾と省略して記す）。また、2度にわたる鑄造実験を実施した。1度目の実験では刀・戈などの工具、および円鼎1点を含む5点の器物を鑄造し（以下「試鑄簡報」と省略して記す（図3））¹⁴⁾、2度目の実験では觚を鑄造した（以下「青銅觚鑄造」と省略して記す（図4））¹⁵⁾。

この研究において注目すべきは鑄造実験チームを組織したことであるが、それはそれぞれに異なる鑄造技術の段階を考慮したものであった。華覚明は中国科学院自然科学研究所の冶金史専門家であり、青銅時代でも特に殷墟文化の青銅器の鑄造技術に理解が深い。馮富根は鄭州機械科学研究所の鑄造の専門家であり、鑄造の作業を取り仕切り、実験を主導した。王振江・白榮金は中国社会科学院考古研究所の考古発掘と文物修復の専門家であり、青銅器の形態と構造に詳しく、製陶、窯焼成、原型を製作する技術に長けていた。鑄造実験は馮富根が主導し、万家保の実験と同様に、技術研究の理論のもとに行われた。この技術研究では、万家保の研究よりも、多方面の新たな知識が取り入れられた。すでに発見されていた商周青銅器の範・中子から、「材料の主要な組成は粘土と砂であり、・・・、一般的には、原型と範の含有する泥土^{訳註2)}を多くすることにより、良好な可塑性と転写性能を持たせることができる。一方で、中子の泥土量は少なくし、時に砂粒を粗くすることで、通気性が良くなる」ことがわかってきた。西周時代の陶範からは、大型青銅器の陶範は肌土（内面）と外土（外面）に分かれることがわかってきた。紋様の製作については、浮彫の獣面紋は、「原型の表面に泥土を盛って成形し、さらに紋様を彫刻」し、地紋の雷紋は「範面に加工したか、あるいは先に原型から転写した概形をさらに整形した」。銘文は「先に原型に陰刻で文章を表し、泥土を用いて陽文を写し取り、整形したのちに中子に埋め込んだ」¹⁶⁾。

鑄型の問題はもう少し複雑である。万家保と同様に、華覚明らの研究も主に器物の表面に見える範線から鑄型の構造を判断していた。万家保は「鼎形器研究」において円鼎の外範は3分割であると考え、鑄造実験で製作した獣面紋鼎は3分割外範を用いた（図2）。華覚明の研究では、司母辛「方鼎の鑄型は中子と底部範、4分割腹部範、そして頂部範でできており」、「腹部範は耳の上端から脚の基部まで分割されない」¹⁷⁾としたが、その後の研究では、腹部範はそれぞれ6つに分割した範を埋め込んでいたとした¹⁸⁾。ただし、学者たちの方鼎鑄型に対する認識には大きな差異があり、華覚明らの鑄型に関する研究は実際、これまでの研究結果を参考にしていた。例えば、すでに「円形容器を呈する器体は、一般的には3分割であり、3分割の腹部範を用いるが、腹部に扉稜のある場合は6分割」¹⁹⁾であると考えていた。しかし、彼らが実験鑄造した殷墟孝民屯 856 号墓の獣面紋觚は2分割外範を用いている（図4）。カールベック（Karlbeck）は安陽で陶範が出土した際にすでに、青銅器の実物から観察できる範線は往々にして実際の範の分割数よりも少ない可能性があるとして指摘している²⁰⁾。孝民屯鑄銅遺跡で発見された陶範は、倍の数の分範・分段^{訳註3)}という現象が普遍的にあることを証明している²¹⁾。我々はこれを複雑な分範方式と呼ぶ。繁雑で細密な紋飾を鑄造するために用いられたものである²²⁾。したがって、万家保が実験鑄造した獣面紋鼎と馮富根が実験鑄造した獣面紋觚は、6分割、もしくは4分割の外範であり、後者はさらに分段されるものである。

華覚明と馮富根の研究と繰り返し行った実験鑄造により、研究チームは鑄造技術の理論と実践を見事に結合させた。表1には、チームが技術研究と鑄造実験の技術段階について議論した内容を示している。鑄造実験の重点はやはり鑄造前の原型・範の準備段階にあるのであった。それでもやはり、馮富根らの実験鑄造は多方面の経験を総合し、かつ、多くの段階において進歩を実現した。例えば、範を製作する段階ではほぞ（榫卯）を付けておくよう注意し、合わせ型の固定を強化した。また、理論研究では出土した商周陶範

の原料が粘土と砂であると考えた。鑄造実験では範の材料の配合比率を特に重視し、侯馬鑄銅遺跡の地下8mから泥土、社科院考古研究所の地下7mから細粒砂を採取し、「日光に晒し、破碎し、篩にかけ、混ぜ合わせ、定量の水分を加え、硬さを調整したのち、さらに反復して叩きつけと練りを行い、長時間浸潤させて定性を高める必要がある」とした。そして「何度も実践し、ついに理想の泥土の配合比率にたどり着いた」²³⁾。その後、青銅觚を実験鑄造した際には、

表1 自然科学史研究所研究チームの認識した鑄造工程

	「婦好青銅器研究」	「試鑄簡報」	「青銅觚鑄造」
技術段階	陶範製作材料の選択と準備	原型の製作 泥土の選出と準備	泥土の準備と加工
	原型・範・中子の製作	範と中子の製作	
	鑄型の乾燥・焼成・組み立て	鑄型の乾燥と焼成	陶範の陰干し 陶範の焼成・中子の製作・銘文の製作
	溶解と鑄込み	溶解と鑄込み	金属の溶解と鑄込み
	型ばらし（脱範）と調整・研磨		

さらに明確に、泥土に30%の細粒砂、20%のシャモットを加えている。その中心的な目的は土製范の収縮率を低下させることであり、陶范を焼成する際には、温度を800℃に設定し、作業中の温度は950℃まで上げた。

鑄造は経験値が極めて重要な仕事であるため、この鑄造実験の間にも経験上の進歩と成果が得られた。例えば、原型には離型剤を用い、方鼎の鑄込みでは脚にそれぞれ2つの湯口とガス抜き口を設けた。特に、実践中の模索の末にたどり着いた、先に范を製作し、あとで中子を整えるという方法は、殷墟で新たに出土した范・中子の研究でも確認された²⁴⁾。実験鑄造を何度も繰り返すなかで、経験的に獲得、あるいは浮かび上がった難点には、范と中子の湿度と収縮率のコントロール、范の焼成と予熱、湯と鑄込み温度という問題がある。このような経験は、我々が今日鑄造実験を行ううえでもやはり重視すべき点であろう。

3. 上海博物館の鑄造実験

20世紀90年代、上海博物館は馬承源館長の支援のもと、「中国青銅時代陶范鑄造技術研究」を発起し、譚徳叡が主導して、技術研究と鑄造実験を行った。上海博物館は中国古代青銅器の所蔵においては重鎮的な存在であり、青銅器研究、とりわけ技術研究には非常に強い力量をもつ。1960年、上海博物館は文物保護・考古科学実験室を設立したが、これは国内の考古学・博物館関係の機構のなかで最も早く設立された文物保護と科技考古の実験室である。さらに1989年、上海博物館は『文物保護と考古科学』を創刊したが、これも国内で最も早い科技考古の期刊誌である²⁵⁾。ゆえに、上海博物館が行う青銅器技術研究と鑄造実験は、良好な学術的基盤をもって進められた。

前出の鑄造実験と同様に、鑄造前の范型の製作は研究と実験において重要な作業である。譚徳叡は、陶范が備えていなければならない基本的な性能は、1. 可塑性・転写性があること、原型から外しやすいこと、2. 強度と硬度が十分であること、3. 耐火度が十分であること、4. 収縮・膨張率が低いこと、5. ガスの発生量が低いこと、6. 十分な退讓性があること、7. 充填性能が十分にあること、と結論づけた。主に化学成分の検測を通して古陶范と原生土、土器等とを対比した。検測により、古陶范は強度が高く、ガスの発生量が少なく、耐火度が十分であり、膨張・収縮率が低いなどの積極的要素を備えており、同時に古陶范の通気性が不良であるという消極的要素をも見出した。さらに、「各地の古陶范の焼成温度は850～920℃」と考えた。実際のところ、殷墟の陶范の焼成温度の測定数値は大部分が550～600℃であったが²⁶⁾、実験中、「850℃より低い温度で焼成した陶范を用いた場合、鑄造の失敗率は高まり、850℃より高い場合、成功率は上昇する」という結果を得た。現在からみると、通気性の不良と焼成温度の高さという2つの結論は、どちらも実際の状況と大きな相違がある。高温焼成で高成功率の実験結果は、陶范の材料に問題があった可能性がある。

しかしながら、研究課題チームは「実験が証明するように、古陶范は、化学成分分析ないしX線回折分析のみでは判別できないSiO₂の含有量の高い物質を含んでいる可能性があり、この物質が范の充填性能を変化させている」²⁷⁾ことに特に注意を払っていた。しかし鑄造実験の作業中にもし細砂を加えていれば、鑄造製品には広範囲で気孔、引け巣、紋飾の不鮮明化などの鑄造欠陥現象が生じ得たであろう。この研究では、論証と実験を通して植物珪酸体（プラントオパール）を加える必要があるとした。この点はこの研究によって提示された重要な視点である。

鑄造実験で用いた范の「古陶范と配合組成が一致する」材料とは、上海現地の原生土・シャモット・植物灰（馬糞・藁（稲草）・麦わら・木炭灰など）であり、その比率は50：30：20とし、水分を加えたのち、泥土を練り、寝かせた。范の材料のなかでも内面の顆粒は比較的細かく、外面の外土は植物繊維を比較的多く加えた。外范を製作する際、離型剤には熏油烟^{訳註4)}、もしくは草木灰を用いた。

課題チームは何度も実験を行い、爵、觶のような一度の鑄込みで完成する器物を鑄造し、さらに、鴟卣のような接合技術を要する器物をも完成させており、極めて高い水準を示している。熟練した作業のもと、爵、觶など一度の鑄造で完成する製品の製作にかかる作業時間は約50日であり、工程と作業量は表2に示す通りである。

鑄込みが終わり、製品が「容易に范から外れ、かつ表面に光沢がみられる」ことで范の材料の配合が成功したことがわかる。同時に、「外した陶范は内部表面が浅黒褐色、断面は浅磚紅色を呈し、古陶范と相似する」と述べる。ただし、実

際には自然科学史研究所が実験鑄造した范の表面とは異なり、浅磚紅色というのも、実際の発掘した陶范にみられる浅灰色とは異なる。あるいは、鑄造実験での陶范の焼成温度が850℃であったことが関係しているのではないだろうか。課題チームは実験を通して、范鑄技術には陶范の充填性能が良く、陶范が緩やかに乾燥し、叩きが十分で、陶范が陶化にはおよんでいないことなど、いくつかの鍵があると結論付けた。

上海博物館の鑄造実験は、初めて系統研究を行い范の成分と材料の配合比率を検測し、初めてまとまった数量の製品を鑄造したものである。鑄造製品は充填性と型ばらしの性能がよく、実験作業が高水準で行われたことを証明した。まとめれば、彼らの鑄造実験の重点は、やはり陶范の製作にあったのである。

表2 上海博物館による爵、觶の実験鑄造の工程と作業量（数字は日数）

工程	銘文爵	雷紋觶
原型の製作	11	10
外范への転写	9	8
原型から外し、陰干し乾燥	5	6
中子の製作	6	6
湯口の製作	6	6
予備組み立て	1	4
予備焼成	1	
紋飾の彫刻	0.5	6
組み立てと焼成	5-7	7
溶解と鑄込み	2	1
鑄込み後	1	1
合計	49.5	55

以上の鑄造実験活動をまとめると、実験によって進展が得られたことは明らかである。青銅器の鑄造は実践しなければ工程の具体的な段階を理解することが難しく、まさに万家保が指摘するように「殷商青銅器という、これほど成熟した工業製品は、必然的に一定の長い時間において進化し、結実したものである。青銅の溶解、錫・鉛・銅の冶煉（製・精錬）、青銅合金の製造と、鑄造に必要な坩堝・原型・炉などの必要条件は明らかにすでに揃っていた。各々の条件が成立する過程には、一定の試行錯誤と失敗、改善という苦難の歴史が含まれる」²⁸⁾。青銅器の鑄造実験も同様であり、実験作業の進展も実際は我々の青銅器技術に対する研究の進展である。

上述の鑄造実験では全て小型の器物を鑄造しており、大型の青銅器の鑄造には至っていない。大型製品について、万家保は牛方鼎では重さが110kg前後となり、必要とされる溶銅は150～200kg以上と想像した。「大鼎を鑄造する際には、数個の坩堝で溶かした青銅を1つの鑄物に注入するゆえに、各坩堝の青銅成分が均一になるよう温度が適切かどうかや鑄込みの順序をコントロールせねばならない」。このため、「着火時刻、鑄の緩急、原料の配合、注入のタイミングと温度、坩堝の注入順序」など、経験を有する人間が作業を組織し、指揮を執る必要がある²⁹⁾。歴代の鑄造実験では、課題チームのメンバーが理論、実践と知識が豊富で、なおかつ繰り返し何度も実験鑄造をしたうえで技術の難易度を実感するに至った。殷墟文化後期は青銅時代の最高峰の域まで発展し、大邑商の青銅鑄造業の発達の水準、技術は卓越していた。

華覚明、陳建立等、鑄造実験の経験のある学者が皆認めるように、「模擬実験は青銅器鑄造技術を検証する重要な手段の1つである」³⁰⁾。華覚明氏はさらに「不正確で科学性に乏しい復元研究は正確な知識を得る妨げになるだけでなく、反対に、誤った結論を導き、混乱を招く」³¹⁾ことを強調した。将来の鑄造実験では、より多くの、より古代の工人の技術水準に近い鑄造製品が生み出されることを期待する。

註

- 1) 李濟「記小屯出土之青銅器」『中国考古学報』第3冊、1948年。
- 2) Karlbeck, Orvar, Anyang Moulds, Bulletin of the Museum of Far Eastern Antiquities, pp39-60, No.7 1935, Stockholm.
- 3) Barnard, Noel. Bronze Casting and Bronze Alloys in Ancient China. The Australian National University and Monumenta Serica, 1961.
- 4) Gettens, Rutherford John, The Freer Chinese Bronzes, Volume II, Technical Studies. Smithsonian

Institution, Washington, 1969.

- 5) 蘇榮譽は万家保の青銅器技術研究について系統的に論述している。蘇榮譽「論万家保先生对殷墟青銅器鑄造技術的研究」、姜振寰主編『技術傳播与文化遺產』105-125頁、中国科学技術出版社、2013年。
- 6) 李濟、万家保『殷墟出土五十三件青銅器之研究』19頁、台湾中央研究院歷史語言研究所、1972年。
- 7) 李濟、万家保『殷墟出土鼎形器之研究』15頁、台湾中央研究院歷史語言研究所、1970年。
- 8) 石璋如「殷代的鑄銅工藝」『中央研究院歷史語言研究所集刊』第26本127頁、1955年。
- 9) 「鼎形器研究」は溶銅の温度の表記が一致しない。16頁では「1200℃」、20頁では「1300℃」と記される。
- 10) 蘇榮譽「論万家保先生对殷墟青銅器鑄造技術的研究」、姜振寰主編『技術傳播与文化遺產』105-125頁、中国科学技術出版社、2013年。
- 11) 中国社会科学院考古研究所『殷墟婦好墓』42頁、文物出版社、1980年。
- 12) 蘇榮譽他『中国上古金属技術』山東科学技術出版社、1995年および、華覚明『中国古代金属技術——銅和鉄造就的文明』大象出版社、1999年。
- 13) 華覚明他「婦好墓青銅器群鑄造技術的研究」『考古学集刊(1)』244-272頁、中国社会科学出版社、1981年。
- 14) 馮富根他「商代青銅器試鑄簡報」『考古』1980年第1期。
- 15) 馮富根他「殷墟出土商代青銅觚鑄造工藝的研究」『考古』1982年第5期。
- 16) 華覚明他「婦好墓青銅器群鑄造技術的研究」『考古学集刊(1)』244-272頁、中国社会科学出版社、1981年。
- 17) 華覚明他「婦好墓青銅器群鑄造技術的研究」『考古学集刊(1)』244-272頁、中国社会科学出版社、1981年。
- 18) 馮富根他「司母戊鼎鑄造工藝的再研究」『考古』1981年第2期。
- 19) 華覚明他「婦好墓青銅器群鑄造技術的研究」『考古学集刊(1)』244-272頁、中国社会科学出版社、1981年。
- 20) Karlbeck, Orvar, Anyang Moulds, Bulletin of the Museum of Far Eastern Antiquities, pp39-60, No.7 1935, Stockholm
- 21) 中国社会科学院考古研究所安陽工作隊「2000～2001年安陽孝民屯東南地股代鑄銅遺跡發掘報告」『考古学報』2006年第3期。
- 22) 張昌平他「二里岡文化至殷墟文化時期青銅器范型技術的發展」『考古』2010年第8期。
- 23) 馮富根他「商代青銅器試鑄簡報」『考古』1980年第1期。
- 24) 岳占偉他「殷墟陶模・陶范・泥芯的制作工藝研究」『南方文物』2016年第2期。
- 25) 『文物保護・考古科学』公式HPによる。このほか、中国社会科学院考古研究所は1965年に炭素14年代測定実験室を、上海博物館の実験室より少し遅れて設立している。
- 26) 劉煜『殷墟出土青銅礼器鑄造工藝研究』111-114頁、広東人民出版社、2018年。
- 27) 譚德叡「中国青銅時代陶范鑄造技術研究」『考古学報』1999年第2期。
- 28) 李濟、万家保『殷墟出土五十三件青銅器之研究』10頁、台湾中央研究院歷史語言研究所、1972年。
- 29) 李濟、万家保『殷墟出土鼎形器之研究』29-31頁、台湾中央研究院歷史語言研究所、1970年。
- 30) 陳建立『中国古代金属冶鑄文明新探』165頁、科学出版社、2014年。
- 31) 華覚明『中国古代金属技術——銅和鉄造就的文明』120頁、大象出版社、1999年。

訳註

- 1) 以下、原文の「試鑄」は「鑄造実験」、もしくは「実験鑄造」と訳す。
- 2) 原文の「泥」、「泥料」、「泥片」、「泥土」はいずれも「泥土」と訳した。簾海萍「上海博物館における陶范実験研究」(本書Ⅱ-3)で述べられるように、「泥」は「(水分の有無に関わらず)極めて細微な顆粒の集合体」を指す。
- 3) 原文では、垂直方向の分割を「分范」、水平方向の分割を「分段」としており、訳文でもそれを用いる。
- 4) 原文のまま。油性離型剤の一種とみられる。

(大平理紗・丹羽崇史 訳)

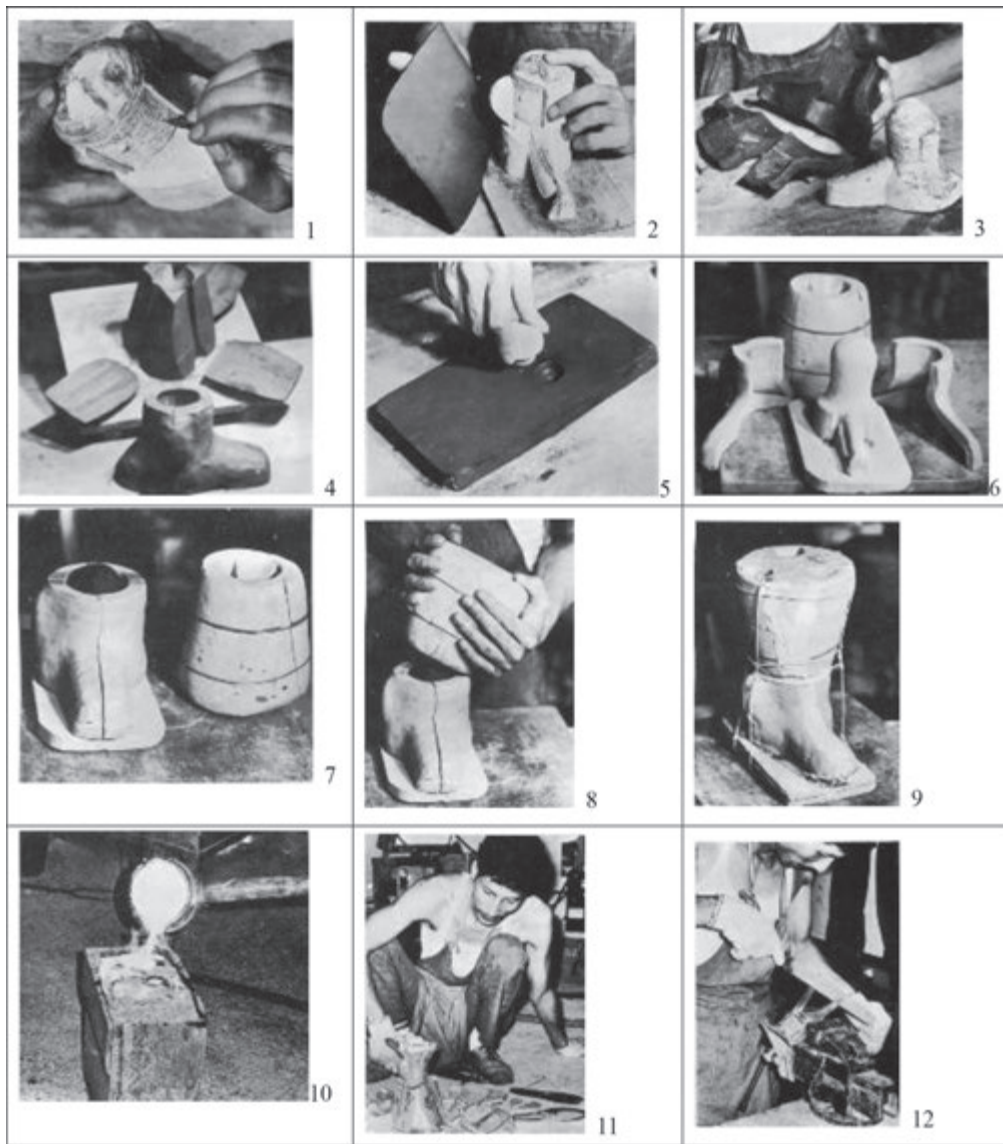


图1 以爵形器为例的试铸操作环节（注6李济、万家保文献：第22、23页）

1. 雕刻模型 2. 以泥片印在模上制范 3. 上身之范制好后自模上脱开 4. 足底的范及上身的范 5. 钮范之制作 6. 烧成后的整套范及心型 7. 心型及上身范之组合 8. 再组合足部的范 9. 组合后再以湿泥填补空隙 10. 熔铜自爵足之顶端铸入 11. 铸好后将范打破取出铸件 12. 修整打磨

图1 爵形器为例とした鑄造実験の各段階（註6李濟・万家保文献22・23頁）

1. 原型を彫刻する 2. 原型から泥土に転写し范をつくる 3. 上半部の范を成形したのち原型から外す 4. 脚と底部の范及び上半部の范 5. 鈕范の製作 6. 焼成後の全体の范一式と中子 7. 中子と上半部范の組み合わせ 8. 再度脚部の范を組み合わせる 9. 組み合わせたのち、すきまに泥土を補填する 10. 脚の頂端部から注湯する 11. 鑄込みののち范を破碎して製品を取り出す 12. 調整・研磨する

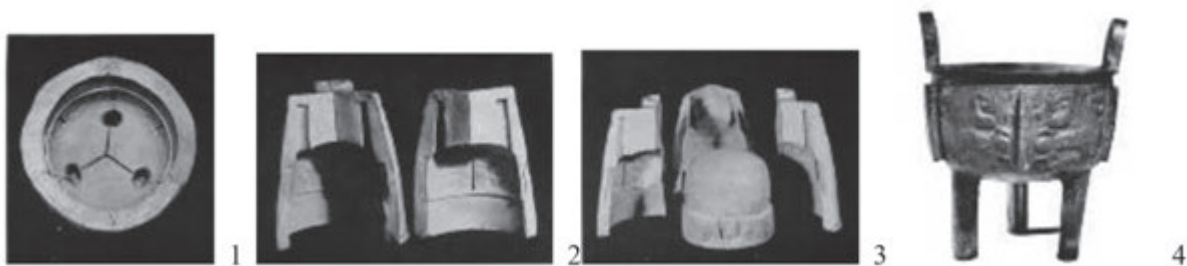


图2 鼎形器的试铸（注7李济、万家保文献：第17-20页）

1. 鼎形器外范合范情况 2. 鼎形器的外范 3. 鼎形器外范和芯范 4. 试铸的鼎形器

图2 鼎の鑄造実験（註7李濟・万家保文献17-20頁）

1. 鼎の外范と范を組み合わせた状況 2. 鼎の外范 3. 鼎の外范と中子 4. 実験鑄造した鼎

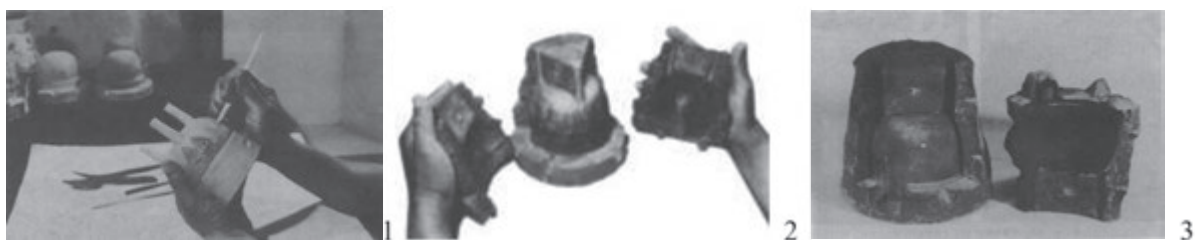


图3 圆鼎的试铸（注15 冯富根等文献：图版拾贰）

1. 制作花纹 2. 脱范 3. 装配范型

图3 円鼎の鑄造実験（註15 馮富根他文献：図版拾貳）

1. 紋様の製作 2. 原型からの型外し 3. 組み立てた范型

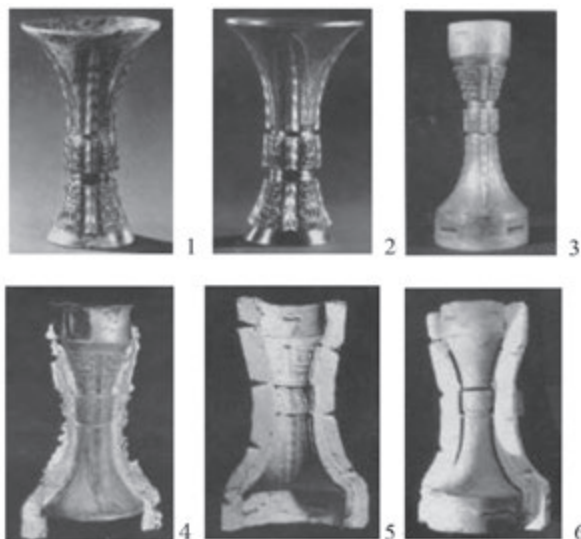


图4 觚的试铸（注15 冯富根等文献：图版拾贰）

1. 殷墟出土的青铜觚 2. 试铸青铜觚 3. 金属模
4. 开范后的铸件 5. 泥质外范 6. 外范及芯范

图4 觚の鑄造実験（註15 馮富根他文献：図版拾貳）

1. 殷墟出土の青铜觚 2. 実験鑄造した青铜觚 3. 金属原型
4. 范を開いた後の製品 5. 泥土の外范 6. 外范と中子



图5 上海博物馆试铸的青铜器（注27 谭德睿论文：图版拾参）

1. 范料中加植物硅酸体（左）与不加植物硅酸体（右）所铸雷文觶比较，
2. 范料中加植物硅酸体（前排）与不加植物硅酸体（后排）所铸铜爵比较，3. 爵复制品

图5 上海博物館が実験鑄造した青铜器（註27 譚德睿論文図版拾参）

1. 范の材料に植物珪酸体を加えたもの（左）、加えないもの（右）の鑄造した雷紋觶の比較
2. 范の材料に植物珪酸体を加えたもの（前列）、加えないもの（後列）の鑄造した銅爵の比較
3. 爵複製品

3. 上海博物馆的陶范实验研究 上海博物館における陶范実験研究

廉海萍

陶范铸造是一种古老的铸造方法，历史悠久，中国考古工作者在河南偃师二里头村南发现了面积超过 1.5 万平方米的铸铜遗址，延续使用时间在 300 年左右（公元前 1800- 前 1500），是中国目前所知年代最早的铸铜遗址，遗址出土有铸造青铜器的陶范、浇口杯、浇注金属液用的浇勺、炼炉炉壁残块、熔铜渣及铜工具等^{1) 2) 3)}，表明中国古代工匠在距今约 3800 年前已经采用陶范铸造青铜器，二里头出土的青铜爵壁厚仅约 1-1.5mm 左右（图 1），达到了很高的技术水平。

要成功的用陶范铸造金属器件，陶范必须具备以下的条件：

- (1) 可塑性、复印性、可雕性。以便于从模上准确地塑制出复杂形状的器形和复印或雕刻出精细的纹饰。
- (2) 足够高的干强度、湿强度和干硬度，保证在陶范制作和浇注金属液时不会变形或毁坏。
- (3) 足够高的耐火度和化学稳定性。能承受金属液的物理 - 化学作用，铸件不产生变形、表面质量不良等缺陷。
- (4) 收缩与膨胀率低。陶范制作完成后，需要经过阴干和焙烧，陶范的收缩 - 膨胀必须足够小才能避免所铸造的金属器物出现形状尺寸偏差、壁厚不均匀等缺陷。
- (5) 发气量足够低。气体会阻碍金属液的充型，易使铸件产生气孔、浇不足等缺陷。
- (6) 足够好的退让性。往陶范中浇注高温金属液后，金属由液态凝固为固态的过程中会产生体积收缩，若陶范退让性不好，铸件易产生热裂等缺陷。

(7) 足够好的充型性能。保证金属液能顺畅地充满铸型型腔的各处，避免产生浇不足、气孔、纹饰不清等缺陷。

为使制作的陶范满足上述条件，必须在造型材料的选取和配制比例、泥料的制备、陶范的制作过程上都合理准确。

上海博物馆文物保护与考古科学实验室在马承源馆长的倡导和支持下于 20 世纪 80 年代后期开展古代青铜器陶范铸造实验，相关的主要课题研究有《中国青铜时代陶范铸造技术研究》（课题负责人：谭德睿，成员：徐惠康、黄龙）和《两汉、南北朝时期钱范与相关铸钱工艺研究》（课题负责人：廉海萍，成员：丁忠明、周祥）。

谭德睿先生首先对郑州、安阳殷墟、新郑、洛阳、侯马等商周铸铜作坊遗址采集的古陶范、古陶瓷和古砖的残片、以及陶范出土地之下的原生土进行了化学成分、X 射线衍射、透气率、比热、发气量、耐火度、热膨胀曲线、焙烧温度等分析检测。在此基础上，《中国青铜时代陶范铸造技术研究》课题组开展了陶范铸造技术复原试验，耗时多年，历经反复多次的摸索，研制出复原试验用范料，确定“原生土 + 熟料 + 植物灰 + 水”的组合是综合性能最佳的组成，植物灰选用木炭灰，原生土选用上海原生土，熟料则为浇注过的残范破碎过筛而成，上海博物馆的陶范实验研究就以这个组成开展工作，以上海博物馆收藏的五件典型器为实例进行了陶范铸造技术复原试验⁴⁾：

1. 爵的铸造——刮模法制内范、活芯块、范纹和铭文的成形、浑铸等技术的应用。
2. 雷纹觶的铸造——贴泥片法制内范、模印连珠纹、浑铸等技术的应用。
3. 鬲的铸造——分模法制活块范、复合陶范法、铭文镶块、贴泥片法制内范、垫片以及浑铸等技术的应用。
4. 戈鸛卣的铸造——模纹的成形、分模法制活块范、复合陶范法、贴泥片法制内范、贴泥片法制阴铭、焚失法铸造及分铸法铸提梁等技术的应用。
5. 鼎耳的预铸——模印纹饰法、批量制作附件等技术的应用。

《两汉、南北朝时期钱范与相关铸钱工艺研究》课题组以上海博物馆收藏的一件五铢金属制范盒和一件大泉五十金属制范盒为基础，分别进行了平板范竖式浇铸工艺中陶范铸钱和叠铸法铸钱工艺的实验，通过实验，对平板范铸钱和叠铸法铸钱、商周陶范铸造技术以及相关的问题有了更深层次的认识⁵⁾。

以下对陶范铸造中的造型材料、基本工具和设备、陶范铸造工艺流程进行介绍。

1. 造型材料

(1) 泥

制作陶范的最主要材料是泥，也称粘土，是极分散的细微颗粒集合体，具有可塑性结构及胶体性质。多为就地取材。上海本地的泥土是黄泥，黄泥在中国分布范围很广，是以粉土为主，并含一定比例细沙的沉积物，具有吸附、膨胀、收缩等特性。好的黄泥具有好的可塑性和高的强度（图2）。

（2）熟料

熟料是粘土或其他原料经高温煅烧后粉碎成一定颗粒组成的粉料，掺入陶范中可减少陶范在干燥和烧成时的收缩，改善陶范耐急热急冷性能，从而减小陶范产生龟裂、翘曲、变形的现象。可以将铸造金属后废弃的陶范经破碎过筛后作为熟料。

（3）植物灰

将烘干的植物焚烧，植物中的碳、氢、氧、氮等元素以二氧化碳、水、氮和氮的氧化物形式散失到空气中，余下一些不能挥发的残烬为植物灰，化学组成是以氧化物、硫酸盐、磷酸盐、硅酸盐等各种矿质形式存在，在陶范中加入植物灰的作用是降低陶范的蓄热系数，改善陶范的透气性和铸造性能，使陶范能够铸出轮廓清晰的铸件。

在对侯马东周铸铜遗址出土的陶范中植物硅酸体的检测分析表明陶范中加入了大量的木炭屑，而该遗址出土的大批陶范制作精良、纹饰精细，是得益于所加入的大量木炭屑⁶⁾。

2. 基本工具和设备

制作陶范所需的工具简单，主要有容器、筛子、刮刀、毛笔、条状木锤、刻刀等（图3）。容器是将造型材料混合均匀的器具，筛子用于将造型材料中的粗颗粒去除，刮刀是造型时刮平或切割泥料，毛笔用于在模表面或泥范分型面上涂刷分型剂，条状木锤是在陶范阴干的过程中敲击陶范外表面以减少陶范的收缩和开裂。刻刀是用于在陶范上刻制纹饰。

造型用的泥和熟料需要经过破碎，可以使用粉碎机或混砂机。

3. 陶范铸造工艺流程

以陶范铸造青铜爵为例，介绍陶范制作的工艺流程。

第一步，陶范混合料的制备。

将泥、熟料、木炭分别在混砂机里经过粉碎后过筛，背层料可粗些，泥芯的材料可以更粗些。使用过的陶范经破碎过筛后作为熟料。植物灰采用木炭灰。制作陶范的泥料质量配比选用：（泥：熟料：木炭灰）=（50：30：20），将泥、熟料、木炭灰称重后倒入盆里，混合均匀后加适量水混合，制成湿度合适的泥团。

第二步，练泥和陈腐工序。

练泥是将泥团反复摔打的过程。练泥的作用是使泥料的组成、结构更趋均匀，可塑性和密度得以提高，使泥料在不同方向上的物理-机械性能尽量一致，不易分层或开裂。

陈腐是将经过练制的泥团在一定的温度和潮湿环境中放置一段时间的过程。泥团经陈腐后，可提高各向均匀性，减少变形和提高强度。

练泥和陈腐工序在陶范的制作过程中非常重要。

第三步，制作爵模（图4）。

用可塑性好的泥料塑造出待铸造爵的形状，在爵口沿处做出泥芯头，便于制作外范与泥芯。制作好的泥模阴干后入炉焙烧，使泥模具有一定的强度和硬度。

第四步，制作陶范铸型（图5、6）。

陶范的制作分为外范（外型）和泥芯制作两个步骤。

1、制外范

依据爵的形状需要分块制作三块外范。先制作一块外范，在爵模上涂刷滑石粉作为分型剂，以面层料顺序在爵模表面按压，使泥料充满爵模表面，再刮毛背面，往其上顺序加背层料，完成一块外范的制作。制作好的外范需要经过缓慢的阴干，阴干速度过快外范会产生开裂。在阴干过程中间断地用条状木锤敲击外范外表面，减少外范的变形、收缩和开裂。阴干后修整分型面，制作定位榫卯。然后在爵模和第一块外范的分型面上涂刷滑石粉作为分型剂，依次制作第二块、第三块外范。完成阴干过程后将三块外范逐个从爵模上取下来。

2、制泥芯

有两种方法：刮模制泥芯与在外范型腔面上贴泥片制泥芯。

刮模制泥芯是先除去爵模上的鏊和三个足，在模的爵腹部均匀刮去一定厚度的泥层后作为泥芯。

贴泥片制泥芯是在三块外范腹部的型腔面上贴一层泥片，泥片的厚度与待铸造爵的壁厚一致，重新组合外范后往里加泥，成型后打开外范，剥除泥片，这样外范与泥芯之间就产生了爵腹部的壁厚空腔。

制鏊芯。在二块外范鏊部位的空腔内填泥，阴干后刮去一层厚度的泥形成鏊的空腔，完成鏊泥芯的制作。

将外范与泥芯依次组合捆扎后继续阴干至不变形为止。

制作浇口和冒口，对于铜爵，浇口设在鏊外立面，冒口设在三个锥足的足端。

第五步，刻纹饰和铭文。

经预焙烧的陶范有一定的强度和不易变形，利于雕刻，因而在外范上刻纹饰之前需要对外范进行低温焙烧，使其具有一定的强度，然后用金属或竹木刻刀在外范型腔面上雕刻出花纹，在鏊泥芯上刻出铭文。

第六步，陶范焙烧。

将外范与泥芯依次组合捆扎后，外面糊上草拌泥固定。阴干。草拌泥的基本组成是：粘土、熟料、已沤烂变软的草纤维。

陶范需要焙烧后才能使用。将组合好的陶范放入焙烧窑内缓慢升温，升温速度要慢以避免陶范在受热过程中产生变形、开裂。升温至 $\sim 850^{\circ}\text{C}$ 保温数小时至十多小时。焙烧时间依陶范的大小、厚薄具体确定。

第七步，浇注。

按需要配制合金成分，放入熔炼炉升温熔合金，熔炼温度设置在比合金熔点高 100°C 的过热度较合适，这可以保证金属液具有好的流动性，又不至于过高温后合金液氧化严重产生较多熔炼渣。

陶范随炉冷至浇注温度后从焙烧炉中取出，将金属液从浇口注入陶范。浇注时陶范的温度视器物情况而定，也可以是冷型浇注，但陶范不能受潮，否则会产生气孔等铸造缺陷（图7）。

第八步，铸后清理。

浇注后待金属液凝固冷却后用木榔头脱除外范，用凿子脱除泥芯，割除浇口与冒口，清理铸造披缝，精整并抛光，获得铜爵成品（图8）。

以上为铜爵的整个陶范铸造过程。

陶范是以泥为主要造型材料，加入适量的熟料和植物灰等，混合均匀后加水制成造型用材料，经过练泥与陈腐后制作出陶范或泥芯，经阴干、焙烧后，获得能够用于铸造金属的铸型，其主要特点是原材料丰富、价廉、易得，所需造型工具简单，制作的陶范表面粒度细，强度高。但是，由于陶范阴干过程长，在阴干过程中陶范的收缩、变形、开裂都需要通过泥料配比、掌握阴干速度等进行控制，对工匠们的技术要求很高。闻名世界的中国青铜时代所铸造的青铜礼器皆得益于中国古代工匠对陶范铸造方法的熟练掌握与运用。

注

- 1) 陈国梁．《二里头文化铜器制作技术概述》，《三代考古》(二)，北京：科学出版社，2004年：183-220页．
- 2) 廉海萍，谭德睿，郑光．《二里头遗址铸铜技术研究》，《考古学报》，2011年第4期：561-575页．
- 3) 中国社会科学院考古研究所编著．《二里头(1999-2006)》，北京：文物出版社，2014年：1500-1503页．
- 4) 谭德睿．《中国青铜时代陶范铸造技术研究》．《考古学报》，1999年第2期：211-250页．
- 5) 廉海萍，丁忠明，周祥，徐惠康．《汉代叠铸法铸钱工艺研究》．《文物保护与考古科学》，Vol.20(2008)增刊：53-61页．
- 6) 注4)谭德睿论文．

陶范を用いた鑄造は古来の鑄造方法のひとつであり、悠久の歴史をもつ。中国では考古学者によって、河南偃師二里头村南で面積1.5万㎡を超える鑄造遺跡が発見された。この遺跡はおよそ300年(紀元前1800～前1500年)にわたり操業されており、現在中国で最も古い年代の鑄銅遺跡として知られる。遺跡からは青銅器を鑄造するための陶范、湯口受口、溶解した金属を流し込むための坩堝、鍊炉炉壁片、溶銅片、銅製工具などが出土^{1) 2) 3)}、中国古代の工人が今からおよそ3800年前にすでに陶范を用いて青銅器の鑄造を行っていたことを知らしめた。二里头遺跡から出土した青銅爵は厚みがわずか1～1.5mmほどであり(図1)、非常に高い技術レベルに到達していたことがわかる。

陶范を用いて金属器鑄造を成功させるためには、陶范が以下の条件を満たさなければならない。

- (1) 可塑性があり、転写ができ、彫刻が容易であること。原型(模)に複雑な形状の器形をつくり出し、細かな紋飾を転写あるいは彫り出しができること。
- (2) 乾燥や高湿状態に強く、乾燥時の硬度があること。陶范自体の製作時や湯(溶解した金属)を流す際に変形もしくは破損しないという保証があること。
- (3) 十分な耐火度と化学的な安定性があり、溶解した湯を受ける際の物理的・化学的作用として、鑄造した製品が変形せず、表面に鑄造欠陥が生じないこと。
- (4) 収縮率と膨張率が低いこと。陶范は成形したのち、陰干しと焼成を経なければならない。陶范の収縮・膨張が少なければ、鑄造した金属製品の形状・サイズに偏りや厚みの不均一などの欠陥を避けることができる。
- (5) ガスの発生量が十分に低いこと。気体は湯が鑄型に充填する際の障害となり、製品に巣(ガス欠陥)や湯まわり不良などの欠陥が生じ易くなる。
- (6) 十分な退讓性があること。陶范の中に高温の湯を流し込んだのち、金属が液体から固体へ凝固する過程で体積が収縮する。もし陶范にほどよい退讓性がなければ、製品は熱による破裂などの欠陥を生じやすくなる。
- (7) 充填性能が良好なこと。湯がスムーズに鑄型に充填する保証があれば、湯まわり不良や巣、紋様が不鮮明になるなどの欠陥を避けることができる。

以上のような条件を満たすには、陶范の製作工程のなかで、材料の選択や配合比率、泥土の調整など、全てを合理的かつ正確に行わなければならない。

上海博物館文物保護・考古科学実験室は、馬承源館長の提唱と支援のもと、20世紀80年代後半から古代青銅器陶范鑄造実験を開始した。関連する主な研究課題には「中国青銅時代陶范鑄造技術研究」(課題責任者：譚德叡、メンバー：徐惠康・黄龍)と「兩漢・南北朝時期錢范と関連する鑄錢技術研究」(課題責任者：廉海萍、メンバー：丁忠明・周祥)がある。

譚德叡氏はまず鄭州・安陽殷墟・新鄭・洛陽・侯馬などの商周鑄銅工房遺跡で採集した古陶范・古陶瓷・古磚の破片および陶范が出土した土中の原生土に対し、化学的成分・X線回折・通気度・比熱・気発量・耐火度・熱膨張曲線・焼成温度などの測定と分析を行った。そのうえで「中国青銅時代陶范鑄造技術研究」課題グループは、陶范鑄造技術の復元実験

を開始した。長い年月を費やして何度も反復して模索し、復元実験に用いる範の材料を絞り込み、「原生土+シャモット+植物灰+水」が総合的に性能の最も良い組み合わせであると確定した。植物灰は木炭灰を、原生土は上海の原生土を、シャモットは湯を流し込む過程で破損した範の破片を篩がけして使用した。上海博物館の陶範実験研究はこの組み合わせで作業を開始し、同館の所蔵する典型的な5点の青銅器を例に陶範鑄造技術の復元実験を行った⁴⁾。

1. 爵の鑄造 削り中子法(刮模法)によって中子(内範)を成形。「活芯塊」^{訳註1)}を用い、範に紋様と銘文を成形し、一体鑄造^{訳註2)}などの技術を応用した。
2. 雷紋觶の鑄造 泥土貼付法(貼泥片法)^{訳註3)}によって中子を成形。連珠紋の押印、一体鑄造などの技術を応用した。
3. 斝の鑄造 分割原型から複数の分割範を成形。銘文は埋め込み式であり、泥土貼付法で中子を成形。スパーサーや一体鑄造などの技術を応用した。
4. 戈鴞卣の鑄造 紋飾は原型に彫刻。分割原型から複数の分割範を成形し、泥土貼付法で中子・陰刻銘を製作した。焼失法(焚失法)^{訳註4)}による鑄造および分鑄法^{訳註5)}で持ち手を鑄造する技術などを応用した。
5. 鼎耳の部分鑄造 押印により紋飾を施し、量産で部品を鑄造する技術などを応用した。

「両漢・南北朝時期錢範と関連する鑄錢技術研究」課題グループは、上海博物館が所蔵する五銖錢の金属製母範^{訳註6)} 1点と大泉五十の金属製母範1点を基礎とし、それぞれ平板範鑄造技術による陶範鑄造と壘鑄法による鑄錢技術の実験を進めた。実験を通して、平板範鑄造と壘鑄法による鑄錢の技術、および商周代の陶範技術や関連する問題に対し、更なる深い知見を得た⁵⁾。

以下では陶範鑄造における陶範製作材料、および基本的な工具と設備・陶範鑄造の工程を紹介していく。

1. 陶範製作材料

(1) 泥土^{訳註7)}

陶範を製作するうえで最も重要な材料は泥土である。粘土とも称し、極めて細微な顆粒の集合体であり、可塑性のある構造と膠質を有するものである。多くの場合、現地で採取する。上海の現地の土質は黄泥土である。これは中国での分布範囲はかなり広く、粉状の土を主とし、一定の比率で細砂状の沈殿物を含み、吸着・膨張・収縮などに特性を持つ。質の良い黄泥土は優れた可塑性と強度を有する(図2)。

(2) シャモット

シャモットは、粘土あるいはその他の原料を高温焼成したのちに破砕すると、一定の顆粒組成を持った粉状の材料となる。これを陶範に混入することで、乾燥と焼成の際の収縮を減少させ、急熱・急冷に対する耐性を向上させる。これにより陶範に生じる亀裂・歪み・変形といった現象を抑える。金属を鑄造した後に廃棄した陶範の破砕し、篩にかけることでシャモットとなる。

(3) 植物灰

乾燥した植物を燃焼させると、植物中の炭素・水素・酸素・窒素などの元素が二酸化炭素・水・窒素と窒素の酸化物質の形となって空气中に発散する。そしてそれ以外の揮発不能の燃え残りが植物灰となる。化学組成は酸化物・硫酸塩・リン酸塩・珪酸塩などからなり、各種の無機質として存在する。陶範に混入された植物灰によって、陶範の蓄熱係数を低下させ、通気性と鑄造性能を改善し、輪郭のはっきりした製品を鑄造成形することができる。

侯馬の東周銅鑄遺跡から出土した陶範に含まれる植物珪酸体(プラントオパール)の測定・分析結果からは、陶範の中に多量の木炭片を加えていたことがわかっている。同遺跡出土の多量の陶範は造りが精良で、紋飾は細緻であるが、これは混入された多量の木炭片の作用である⁶⁾。

2. 基本的な道具と設備

陶範製作に必要な道具はシンプルであり、主に容器・篩・へら(刮刀)・毛筆・叩き板(带状木錘)・刻刀などがある(図3)。

容器は陶範の材料を混合し均質にするためのものであり、篩は材料の中の粗い顆粒を除くためのものである。へらは整形時に泥土を平らに削り、切り分ける際に使用し、毛筆は原型の表面あるいは範の分割面に離型剤を塗布する際に用いる。叩き板は陶範を陰干しする工程で外表面を叩き、収縮と亀裂の発生を抑える。刻刀は陶範に紋飾を彫刻する際に用いる。造型用の泥土とシャモットは予め破碎しなければならないが、粉碎機や混砂機を用いることができる。

3. 陶範鑄造技術の工程

陶範で鑄造する青銅爵を例にとり、陶範製作の工程を紹介する。

(1) 陶範に混合する原料の準備

泥土・シャモット・木炭をそれぞれ混砂機内で粉碎したのち篩にかける。外側の層は少々粗くとも構わず、中子（泥芯^{訳注8)}の材料はさらに粗くてよい。使用済みの陶範を破碎して篩い、シャモットとする。植物灰には木炭灰を用いる。陶範製作の泥土の配合は（泥土：シャモット：木炭灰）＝（50：30：20）とする。泥土・シャモット・木炭灰は計量して容器の中へ入れ、均一に混ぜ合わせたのち適量の水を加え、水分量の適切な泥土塊をつくる。

(2) 泥土を練り、寝かせる工程

泥土を練るとは、すなわち泥土塊を反復して叩き鍛える工程である。これは泥土の組成や構造をより均質にする効果があり、可塑性と密度を高めることができる。泥土のなかの物理的・機械的性能を極力一致させ、分層や亀裂を生じにくくする。

寝かせるとは、練り上げた土を一定の温度と湿度のなかに一定時間放置する工程である。泥土塊は寝かせると、均質性が高まり、変形を抑え、強度を高めることができる。

泥土を練り、寝かせる工程は、陶範の製作において非常に重要である。

(3) 爵の原型の製作（図4）

可塑性の高い泥土を用いて鑄造する爵の形状を成形する。外範と中子の製作のために、爵の口縁端部に原型と一体化した上部の範を成形する。出来上がった土製原型を陰干しした後、炉に入れて焼成し、一定の強度と硬度を持たせる。

(4) 陶範鑄型の製作（図5・6）

陶範の製作は外範製作と中子製作の2段階に分かれる。

1. 外範の製作

爵の形状により、外範を3つのパーツに分けて製作する必要がある。まず第1外範を製作する。原型に離型剤として滑石粉を塗布する。肌土（面層料）を順番に爵模の表面に加え、原型の表面に泥土を隙間なく充填させる。わずかに削って、その上に外土（背層料）を順番に加え、外範の1パーツの製作が完了する。出来上がった外範は緩やかな陰干しを経る必要があり、乾燥の速度が速すぎれば外範は亀裂を生じ得る。陰干しの工程中に断続的に叩き板を用いて範の外表面を叩くことで、外範の変形・収縮・亀裂の発生を抑えることができる。陰干しののち分割面を調整し、定位置にほぞ（榫卯）を設ける。それから原型と第1外範の分割面に離型剤として滑石粉を塗布する。このように、順に従って第2・第3外範を製作する。陰干しが完了したのち、3パーツの外範を順に原型から外す。

2. 中子の製作

2通りの方法がある：削り中子と、外範のすきまに面的に泥土を貼付け製作する中子である。

削り中子はまず、原型の持ち手と3つの脚を取り除き、原型の腹部を均一に一定の厚みを削り取り、中子とする。

泥土貼付け法による中子製作では、3つのパーツの外範の腹部のすきまに泥土を1層貼り付ける。この厚みは鑄造しようとしている爵と同じ厚みとし、内側に土を貼り付けた状態で再度外範を組み合わせ、成形したのち外範を開き、土を剥がす。こうすることで外範と中子の間に爵の腹部の厚みの間隙が生まれる。

持ち手の中子（鑿芯）の製作は、第2外範の持ち手の部分に泥土を詰め、陰干しした後、1層の厚みを削り取り、持ち手の間隙をつくる。これで持ち手の中子の製作が完了する。

外範と中子を順に組合せ、固定したのち、変形がおさまるまで陰干しを継続する。

湯口とガス抜口の製作は、銅爵の場合、湯口は持ち手の外側に、ガス抜口は3つの脚の端部に設ける。

(5) 紋飾と銘文の製作

予備焼成を経た陶範は一定の強度をもち、変形しにくいいため、彫刻に有利である。紋飾を彫る前に外範を低温焼成をして一定の強度を持たせ、金属あるいは竹木の刻刀で外範のすきまに紋飾を彫る。持ち手の中子には銘文を彫る。

(6) 陶範の焼成

外範と中子を順に組み合わせて固定したのち、外面に草を混ぜた泥土(草拌泥)を塗って固定する。そして陰干しをする。この土の基本的な組成は、粘土、シャモット、および水に浸けて腐らせ、柔らかくした草の繊維である。

陶範は焼成して使用可能となる。組み合わせた陶範を窯に入れ、緩やかに温度を上昇させて焼成する。陶範が熱を受ける過程で変形と亀裂の発生を避けるために、昇温速度は緩慢でなければならない。温度は850℃まで上げて、数時間から十数時間保持する。焼成時間は陶範の大きさや厚みによって決まる。

(7) 鑄込み

合金の材料を準備して溶解炉に入れ、温度を上昇させ、合金を融解する。溶解温度は合金の融点より100℃高く設定するのがより適当である。これにより湯の流動性が良くなり、温度超過による合金の酸化によるスラグの発生には至らない。

陶範を鑄込みの温度まで下げたのち、炉から取り出し、湯(金属液)を湯口から陶範に流し込む。鑄込み時の陶範の温度は器物の状況により決める。冷ました状態で鑄造することも可能であるが、その場合陶範が湿り、巣などの鑄造欠陥が生じてしまう(図7)。

(8) 鑄造後の調整

鑄込みののち、湯が凝固・冷却するのを待って、木製ハンマーを用いて外範を外す。のみを用いて中子を除去し、湯口とガス抜口を切り取る。鑄造時の範線を除去し、研磨により光沢を出し、銅爵が製品として完成する(図8)。

以上が銅爵の陶範鑄造の全工程である。

陶範は泥土を主な材料とし、適量のシャモットと植物灰などを加え、均一に混ぜ合わせたのち、水を加えて陶範の材料をつくる。泥土を練り、寝かせたあと、陶範や中子を成形し、陰干しを経て、焼成し、金属の鑄造に事足りる鑄型が出来上がる。その主な特徴は、原料が豊富で、廉価で、得やすいことである。製作に必要な工具はシンプルで、製作した陶範の表面はきめ細かく、強度がある。ただし、陰干しの時間が長くなると、その過程で陶範が収縮・変形・亀裂を生じるので、泥土の配合比率や陰干しの速度等の製作工程をコントロールするなど、工人にはとても高い技術が求められる。世界で名高い中国青銅時代に鑄造された青銅礼器は、中国古代における工人の熟練した陶範鑄造法とその運用の賜物なのである。

註

- 1) 陳国梁「二里頭文化銅器制作技術概述」、『三代考古』(二)、北京、科学出版社、2004年、183-220頁。
- 2) 廉海萍・譚德叡・鄭光「二里頭遺跡鑄銅技術研究」、『考古学報』2011年第4期、561-575頁。
- 3) 中国社会科学院考古研究所(編著)『二里頭(1999-2006)』、北京、文物出版社、2014年、1500-1503頁。
- 4) 譚德叡「中国青銅時代陶範鑄造技術研究」、『考古学報』1999年第2期、211-250頁。
- 5) 廉海萍・丁忠明・周祥・徐惠康「漢代叠鑄法鑄錢工芸研究」『文物保護与考古科学』、vol.20(2008)増刊、53-61頁。
- 6) 註4：譚德叡論文。

訳注

- 1) 後述の「3. 陶範鑄造技術の工程 (2) 中子の製作」を参照。譚德叡氏は「爵の持ち手の中子を取り出し、外縁側を1層分削り、持ち手の厚みとする。これがすなわち「活芯塊」である」と述べる(註4：譚德叡1999)。
- 2) 原文は「渾鑄」。器身部と附属部分を1回で鑄造する方法。
- 3) 後述の「3. 陶範鑄造技術の工程 (2) 中子の製作」を参照。外範に器身の厚みとなる1層分の土を貼り、中子を

起こす方法を指す。

4) 縄などの可燃性素材を原型とし、土で包んだのち燃焼して原型を燃やして范を制作したのち、鑄造する方法（註4：譚德叡論文、譚德叡「中国古代失蠟法鑄造起源問題的思考」『文物保護与考古科学』1994年第2期）。

5) 持ち手などの附属部分と器身部を別々に鑄造する方法（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、張昌平2009『曾国青銅器研究』文物出版社）。

6) 原文は「范盒」。范を転写成形するための母范・原型范を指す。

7) 原文の「泥」、「泥料」、「泥片」、「泥土」はいずれも「泥土」と訳した。本文中で筆者が述べるように、「泥」は「(水分の有無に関わらず)極めて細微な顆粒の集合体」を指す。

8) 原文の「内范」・「泥芯」はいずれも「中子」と訳す。

(大平理紗・丹羽崇史 訳)



图1 乳釘纹爵，夏代，高22.5厘米，流至尾长31.5厘米，河南偃师二里头出土
(中国青铜器全集編輯委员会(編)《中国青铜器全集1 夏・商1》文物出版社、1996年)

図1 乳釘紋爵，夏代、高さ22.5cm、両端の長さ31.5cm、河南偃師二里头遺跡出土
(中国青铜器全集編輯委员会(編)1996『中国青铜器全集1 夏・商1』文物出版社)

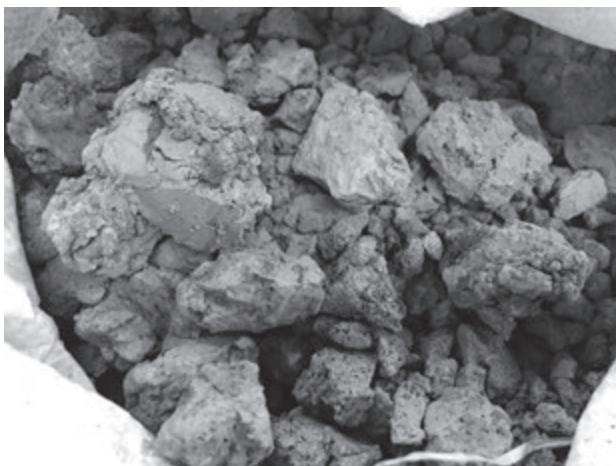


图2 陶范鑄造的主要造型材料之一：黄泥（筆者提供）

図2 陶范鑄造の主要な材料の一つ：黄泥土（筆者提供）



图3 陶范制备时的工具：刮刀、毛笔、条状木锤（筆者提供）

図3 陶范製作の道具：へら・毛筆・たたき板（筆者提供）



图4 爵模（笔者提供）

图4 爵の原型（笔者提供）

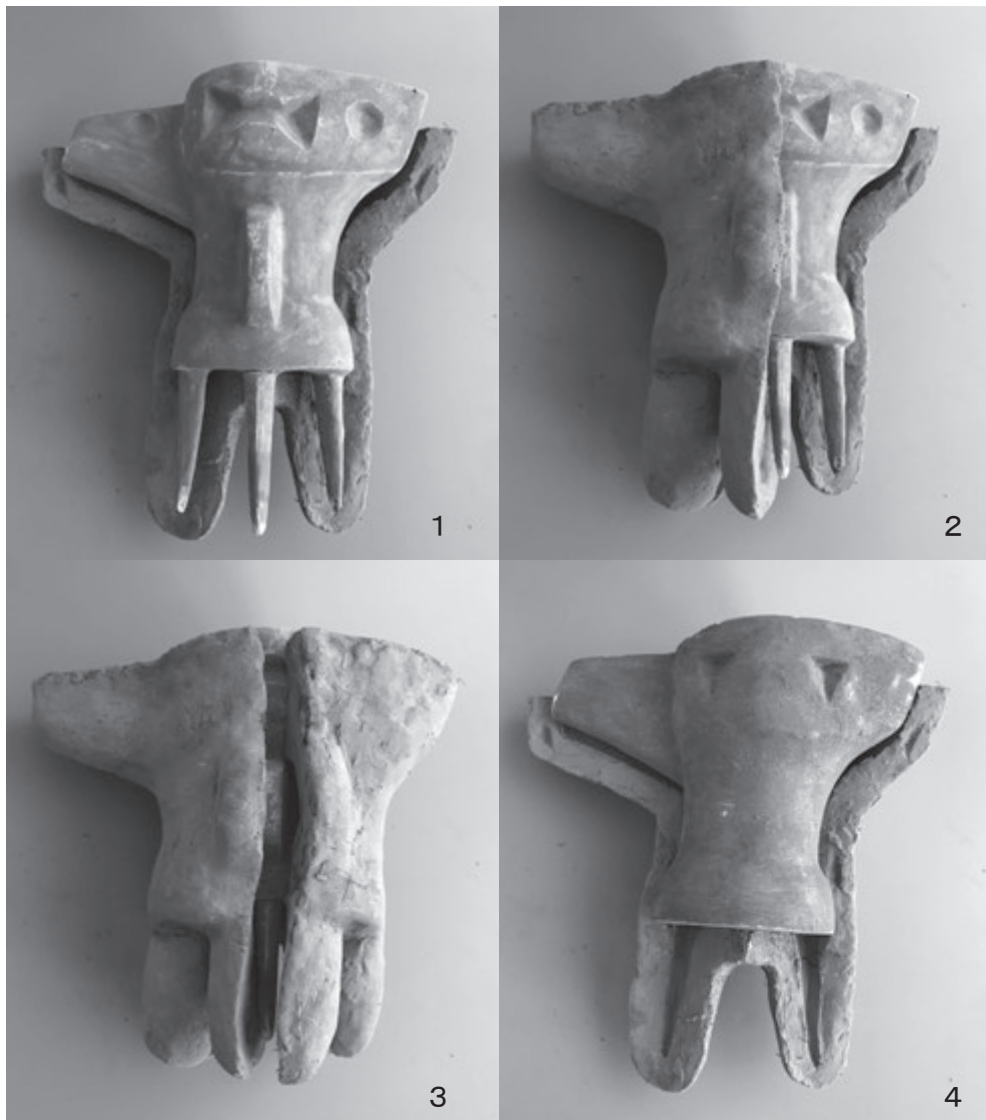


图5 爵的陶范制作过程（笔者提供）

1. 制作第一块外范；2. 制作第二块外范；3. 制作第三块外范；4. 制作泥芯

图5 爵の陶范の製作過程（筆者提供）

1. 第1外范の製作 2. 第2外范の製作 3. 第3外范の製作 4. 中子の製作



图 6 外范与泥芯组合（笔者提供）

図 6 外範と中子を組み合わせさせた状況（筆者提供）



图 7 带有气孔等铸造缺陷的铜爵（笔者提供）

図 7 巣などの鑄造欠陥が生じた銅爵（筆者提供）

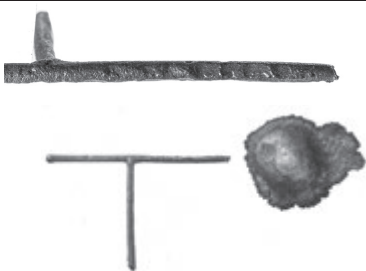
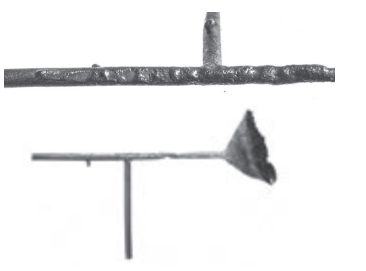






图 8 铜爵（笔者提供）

図 8 銅爵（筆者提供）

実験製作品一覧 / 实验制品一覧

1		実験年月	実施機関	形状	法量 (mm)
		2013年 3月16・17日	芦屋釜の里	板状	縦60 横50 厚5
		条件		備考	
石膏原型・分割范		本書 I-1 図6-3 第1回実験 原型溶解・鑄造実験			
2		実験年月	実施機関	形状	法量 (mm)
		2013年 3月16・17日	芦屋釜の里	板状	縦60 横50 厚5
		条件		備考	
蜜蝋原型・非分割范		本書 I-1 図6-2 第1回実験 原型溶解・鑄造実験			
3		実験年月	実施機関	形状	法量 (mm)
		2013年 3月16・17日	芦屋釜の里	板状	縦60 横50 厚5
		条件		備考	
錫原型・非分割范		本書 I-1 図6-1 第1回実験 原型溶解・鑄造実験			
4		実験年月	実施機関	形状	法量 (mm)
		2013年 3月16・17日	芦屋釜の里	らせん状	幅2 湯口～先端44
		条件		備考	
錫原型・非分割范		本書 I-1 図8-2 第1回実験 原型溶解・鑄造実験			
5		実験年月	実施機関	形状	法量 (mm)
		2013年 3月16・17日	芦屋釜の里	らせん状	幅2 湯口～先端45
		条件		備考	
蜜蝋原型・非分割范		本書 I-1 図8-1 第1回実験 原型溶解・鑄造実験			
6		実験年月	実施機関	形状	法量 (mm)
		2013年 3月16・17日	芦屋釜の里	らせん状	幅2 湯口～先端40
		条件		備考	
マイクロワックス原型 ・非分割范		本書 I-1 図8-3 第1回実験 原型溶解・鑄造実験			

7		実験年月	実施機関	形状	法量 (mm)
		2013年 3月16・17日	芦屋釜の里	棒状・T字状	幅2 横(湯口除く)53 縦34
		条件		備考	
		蜜蝋原型・一体鋳造 加熱した小手による原型整形		本書 I-1 図9 第1回実験 原型への小手あて実験 接合の対照実験	
8		実験年月	実施機関	形状	法量 (mm)
		2013年 3月16・17日	芦屋釜の里	棒状・T字状	幅2 横(湯口除く)58 縦30
		条件		備考	
		マイクロワックス原型 一体鋳造 加熱した小手による原型整形		本書 I-1 第1回実験 原型への小手あて実験 接合の対照実験	
9		実験年月	実施機関	形状	法量 (mm)
		2013年 3月16・17日	芦屋釜の里	棒状・T字状	幅2 横(湯口除く)56 縦35
		条件		備考	
		蜜蝋原型 先鋳		本書 I-1 第1回実験 接合の対照実験	
10		実験年月	実施機関	形状	法量 (mm)
		2013年 3月16・17日	芦屋釜の里	棒状・T字状	幅2 横(湯口除く)53 縦34
		条件		備考	
		マイクロワックス原型 先鋳		本書 I-1 第1回実験 接合の対照実験	
11		実験年月	実施機関	形状	法量 (mm)
		2013年 3月16・17日	芦屋釜の里	棒状・T字状	幅2 横70 縦30
		条件		備考	
		マイクロワックス原型 鍍付け(鋲接)		本書 I-1 第1回実験 接合の対照実験	
12		実験年月	実施機関	形状	法量 (mm)
		2014年 3月15・16日	芦屋釜の里	板状	縦60 横50 厚5
		条件		備考	
		蜜蝋原型・分割範(線状刻み)		本書 I-1 図11-1 第2回実験 範製作・鋳造実験	

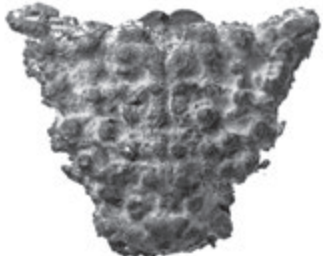


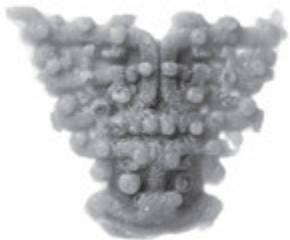
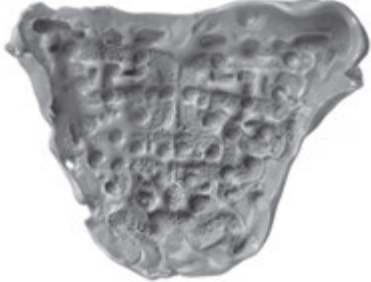


13		実験年月	実施機関	形状	法量 (mm)
		2014年 3月15・16日	芦屋釜の里	板状	縦60 横50 厚5
		条件		備考	
		蜜蝋原型・分割范		本書 I-1 図11-2 第2回実験 范製作・鑄造実験	
14		実験年月	実施機関	形状	法量 (mm)
		2014年 3月15・16日	芦屋釜の里	板状	縦60 横50 厚5
		条件		備考	
		蜜蝋原型 (線状突起つき) ・非分割范		本書 I-1 図11-4 第2回実験 范製作・鑄造実験	
15		実験年月	実施機関	形状	法量 (mm)
		2014年 3月15・16日	芦屋釜の里	板状	縦60 横50 厚5
		条件		備考	
		錫原型・分割范 (線状刻み)		本書 I-1 図11-5 第2回実験 范製作・鑄造実験	
16		実験年月	実施機関	形状	法量 (mm)
		2014年 3月15・16日	芦屋釜の里	板状	縦60 横50 厚5
		条件		備考	
		錫原型・分割范		本書 I-1 図11-6 第2回実験 范製作・鑄造実験	
17		実験年月	実施機関	形状	法量 (mm)
		2014年 3月15・16日	芦屋釜の里	板状	縦60 横50 厚5
		条件		備考	
		錫原型・非分割范		本書 I-1 図11-7 第2回実験 范製作・鑄造実験	
18		実験年月	実施機関	形状	法量 (mm)
		2014年 3月15・16日	芦屋釜の里	板状	縦60 横50 厚5
		条件		備考	
		錫原型 (線状突起つき) ・非分割范		本書 I-1 図11-8 第2回実験 范製作・鑄造実験	

19		実験年月	実施機関	形状	法量 (mm)
		2014年 3月15・16日	芦屋釜の里	板状	縦60 横50 厚5
		条件		備考	
		土製原型・分割范 (線状刻み)		本書 I-1 図11-9 第2回実験 范製作・鑄造実験	
20		実験年月	実施機関	形状	法量 (mm)
		2014年 3月15・16日	芦屋釜の里	板状	縦60 横50 厚5
		条件		備考	
		土製原型・分割范		本書 I-1 図11-10 第2回実験 范製作・鑄造実験	
21		実験年月	実施機関	形状	法量 (mm)
		2014年 3月15・16日	芦屋釜の里	板状	縦60 横50 厚5
		条件		備考	
		木製原型・分割范		本書 I-1 図11-11 第2回実験 范製作・鑄造実験	
22		実験年月	実施機関	形状	法量 (mm)
		2014年 3月15・16日	芦屋釜の里	板状	幅2 湯口幅65 高さ70
		条件		備考	
		蜜蝋原型・一体鑄造 熱湯に浸した小手による 原型整形		本書 I-1 図13 第2回実験 棒状蜜蝋原型への小手あて実験	
23		実験年月	実施機関	形状	法量 (mm)
		2014年 12月20日・21日	芦屋釜の里	容器	口径120 高さ105 厚み3
		条件		備考	
		人工刻線あり 1回目注湯		本書 I-2 図4-1 人工刻線の有無による 対照鑄造実験	
24		実験年月	実施機関	形状	法量 (mm)
		2014年 12月20日・21日	芦屋釜の里	容器	口径120 高さ105 厚み3
		条件		備考	
		人工刻線なし 1回目注湯		本書 I-2 図4-2 人工刻線の有無による 対照鑄造実験	




25		実験年月	実施機関	形状	法量 (mm)
		2014年 12月20日・21日	芦屋釜の里	容器	口径120 高さ105 厚み3
		条件		備考	
		人工刻線あり 2回目注湯		本書 I-2 図4-3 人工刻線の有無による 対照鑄造実験	
26		実験年月	実施機関	形状	法量 (mm)
		2014年 12月20日・21日	芦屋釜の里	容器	口径120 高さ105 厚み3
		条件		備考	
		人工刻線なし 2回目注湯		本書 I-2 図4-4 人工刻線の有無による 対照鑄造実験	
27		実験年月	実施機関	形状	法量 (mm)
		2017年 1・2月	芦屋釜の里	容器	口径120 高さ105 厚み3
		条件		備考	
		鑄型混和剤：矽殻 人工刻線あり 外範3分割		本書 I-5 図3 製品1 第1回実験 鑄型製作・鑄造実験	
28		実験年月	実施機関	形状	法量 (mm)
		2017年 1・2月	芦屋釜の里	容器	口径120 高さ105 厚み3
		条件		備考	
		鑄型混和剤：矽殻 人工刻線なし 外範3分割		本書 I-5 図3 製品2 第1回実験 鑄型製作・鑄造実験	
29		実験年月	実施機関	形状	法量 (mm)
		2017年 1・2月	芦屋釜の里	容器	口径120 高さ105 厚み3
		条件		備考	
		鑄型混和剤：藁 人工刻線あり 外範3分割		本書 I-5 図3 製品3 第1回実験 鑄型製作・鑄造実験	
30		実験年月	実施機関	形状	法量 (mm)
		2017年 1・2月	芦屋釜の里	容器	口径120 高さ105 厚み3
		条件		備考	
		鑄型混和剤：藁 人工刻線なし 外範3分割		本書 I-5 図3 製品4 第1回実験 鑄型製作・鑄造実験	

31		実験年月	実施機関	形状	法量 (mm)
		2018年 2・3月	芦屋釜の里	容器	外径180 高さ90 厚み3
		条件		備考	
		鑄型混和剤：なし 人工刻線：1mm 外範分割なし 湯口を他より大きく設定		本書 I-5 図4 大1製品 第2回実験 鑄型製作・鑄造実験	
32		実験年月	実施機関	形状	法量 (mm)
		2018年 2・3月	芦屋釜の里	容器	外径180 高さ90 厚み3
		条件		備考	
		鑄型混和剤：なし 人工刻線：3mm 外範分割なし		本書 I-5 図4 大2製品 第2回実験 鑄型製作・鑄造実験	
33		実験年月	実施機関	形状	法量 (mm)
		2018年 2・3月	芦屋釜の里	容器	外径180 高さ90 厚み3
		条件		備考	
		鑄型混和剤：なし 人工刻線：なし 外範分割なし		本書 I-5 図4 大3製品 第2回実験 鑄型製作・鑄造実験	
34		実験年月	実施機関	形状	法量 (mm)
		2018年 2・3月	芦屋釜の里	容器	外径135 高さ95 厚み3
		条件		備考	
		鑄型混和剤：なし 人工刻線：1mm 外範分割なし		本書 I-5 図4 小1製品 第2回実験 鑄型製作・鑄造実験	
35		実験年月	実施機関	形状	法量 (mm)
		2018年 2・3月	芦屋釜の里	容器	外径135 高さ95 厚み3
		条件		備考	
		鑄型混和剤：なし 人工刻線：3mm 外範分割なし		本書 I-5 図4 小2製品 第2回実験 鑄型製作・鑄造実験	
36		実験年月	実施機関	形状	法量 (mm)
		2018年 2・3月	芦屋釜の里	容器	外径135 高さ95 厚み3
		条件		備考	
		鑄型混和剤：なし 人工刻線：なし 外範分割なし		本書 I-5 図4 小3製品 第2回実験 鑄型製作・鑄造実験	

37		実験年月	実施機関	形状	法量 (mm)
		2018年12月1・2日	芦屋釜の里	楼空状紋様 (范は隅丸三角形)	縦105 横113
		条件		備考	
		蠟原型・非分割范 未焼成 鋳型のまま残す		本書 I-6 范 1 鋳型製作実験	
38		実験年月	実施機関	形状	法量 (mm)
		2018年12月1・2日	芦屋釜の里	楼空状紋様 (范は隅丸三角形)	縦101 横105
		条件		備考	
		蠟原型・非分割范 焼成済 鋳型のまま残す		本書 I-6 范 2 鋳型製作実験	
39		実験年月	実施機関	形状	法量 (mm)
		2018年12月1・2日	芦屋釜の里	楼空状紋様	幅 (法量A) :90 中央長さ (法量B) :61
		条件		備考	
		蠟原型 (蜜蠟70%、パラフィン30%) 非分割范		本書 I-6 范 3 図9・11上 鋳型製作・鋳造実験	
40		実験年月	実施機関	形状	法量 (mm)
		2018年12月1・2日	芦屋釜の里	楼空状紋様	幅 (法量A) :90 中央長さ (法量B) :61
		条件		備考	
		蠟原型 (蜜蠟70%、パラフィン30%) 非分割范		本書 I-6 范 4 鋳型製作・鋳造実験	
41		実験年月	実施機関	形状	法量 (mm)
		2018年12月1・2日	芦屋釜の里	楼空状紋様	幅 (法量A) :93 中央長さ (法量B) :62
		条件		備考	
		蠟原型 (パラフィン80%、蜜蠟20%) 非分割范		本書 I-6 范 5 鋳型製作・鋳造実験	
42		実験年月	実施機関	形状	法量 (mm)
		2018年12月1・2日	芦屋釜の里	楼空状紋様	幅 (法量A) :85 中央長さ (法量B) :62
		条件		備考	
		蠟原型 (パラフィン80%、蜜蠟20%) 非分割范		本書 I-6 范 6 鋳型製作・鋳造実験	

43		実験年月	実施機関	形状	法量 (mm)
		2018年12月1・2日	芦屋釜の里	楼空状紋様	幅 (法量A) :93 中央長さ (法量B) :63
		条件		備考	
石膏原型・分割 離型剤を用いず 範製作・転写		本書 I-6 範8 図10・11下 鋳型製作・鋳造実験			
44		実験年月	実施機関	形状	法量 (mm)
		2018年12月1・2日	芦屋釜の里	楼空状紋様	幅 (法量A) :93 中央長さ (法量B) :63
		条件		備考	
石膏原型・分割 離型剤を用いて 範製作・転写		本書 I-6 範9 鋳型製作・鋳造実験			
45		実験年月	実施機関	形状	法量 (mm)
		2018年12月1・2日	芦屋釜の里	楼空状紋様	幅 (法量A) :93 中央長さ (法量B) :62
		条件		備考	
石膏原型		本書 I-6 石膏原型 鋳型製作実験 範8 (43) ・範9 (44) の原型			
46		実験年月	実施機関	形状	法量 (mm)
		2018年12月1・2日	芦屋釜の里	楼空状紋様	幅 (法量A) :85 中央長さ (法量B) :60
		条件		備考	
蠟原型 原型のまま残す		本書 I-6 蠟原型 鋳型製作実験			
47		実験年月	実施機関	形状	法量 (mm)
		2018年 5月16日	芦屋釜の里 (泉屋博古館 にて型どり)	楼空状紋様	縦88 横110
		条件		備考	
泉屋博古館所蔵蟠螭紋  より 型どりしたシリコン範		本書 I-6			
48		実験年月	実施機関	形状	法量 (mm)
		2016年 12月17・18日	富山大学 芸術文化学部	らせん状 (範は筒状)	径65 高さ70
		条件		備考	
鉛原型・非分割 焼成済 鋳型のまま残す		本書 I-4 1 鋳型			

49		実験年月	実施機関	形状	法量 (mm)
		2016年 12月17・18日	富山大学 芸術文化学部	らせん状 (范は筒状)	径75 高さ55
		条件		備考	
		鉛原型・非分割范 焼成済 鋳型のまま残す		本書 I-4 2 鋳型	
50		実験年月	実施機関	形状	法量 (mm)
		2016年 12月17・18日	富山大学 芸術文化学部	らせん状 (范は筒状)	径60 高さ60
		条件		備考	
		鉛原型・非分割范 焼成済 鋳型のまま残す		本書 I-4 3 鋳型 図5左	
51		実験年月	実施機関	形状	法量 (mm)
		2016年 12月17・18日	富山大学 芸術文化学部	らせん状 (范は筒状)	径58 高さ77
		条件		備考	
		鉛原型・非分割范 焼成済 鋳型のまま残す		本書 I-4 4 鋳型	
52		実験年月	実施機関	形状	法量 (mm)
		2016年 12月17・18日	富山大学 芸術文化学部	らせん状 (范は筒状)	径60 残存高50
		条件		備考	
		鉛原型・非分割范 鋳造済 製品を取り出した鋳型を残す		本書 I-4 3 鋳型 図5右	
53		実験年月	実施機関	形状	法量 (mm)
		2016年 12月17・18日	富山大学 芸術文化学部	らせん状 (范は筒状)	残存幅20 残存長25
		条件		備考	
		鉛原型・非分割范 鋳造済 製品を取り出した鋳型を残す		本書 I-4 9 鋳型 図7左	
54		実験年月	実施機関	形状	法量 (mm)
		2016年 12月17・18日	富山大学 芸術文化学部	らせん状	幅2 径54 高さ40
		条件		備考	
		鉛原型・非分割范		本書 I-4 5 鋳造品 図6	

55		実験年月	実施機関	形状	法量 (mm)
		2016年 12月17・18日	富山大学 芸術文化学部	らせん状	幅2 径30 高さ35
		条件		備考	
		鉛原型・非分割范		本書 I-4 6 鑄造品	
56		実験年月	実施機関	形状	法量 (mm)
		2016年 12月17・18日	富山大学 芸術文化学部	らせん状	幅2 径30 高さ35
		条件		備考	
		鉛原型・非分割范		本書 I-4 7 鑄造品	
57		実験年月	実施機関	形状	法量 (mm)
		2016年 12月17・18日	富山大学 芸術文化学部	らせん状	幅2 径42 高さ48
		条件		備考	
		鉛原型・非分割范		本書 I-4 8 鑄造品	
58		実験年月	実施機関	形状	法量 (mm)
		2016年 12月17・18日	富山大学 芸術文化学部	らせん状	幅2 径50 残存高さ25
		条件		備考	
		鉛原型・非分割范		本書 I-4 9 鑄造品 分析のため、らせん状部分を 切断・研磨	

※表中にあるもの以外にも、実験で用いた鑄型／范も一部保管している。

本研究成果一覧／相关研究成果一覧

1. 2016～2019年度に実施した本研究課題の成果、および2012～2019年度に実施した実験、および実験製作品の分析・検討に関する成果を公表した学会誌・要旨集等の発表文献、口頭発表・講演等の一覧を示す。
2. 2016年度の実験は本研究課題のほか、以下の課題で実施した実験の成果を含む。
 - ・高梨学術奨励基金 2016年度若手研究助成「土製鋳型の機能比較のための実験考古学的研究」（申請者：丹羽崇史）
3. 2012～2014年度実験は、以下の課題で実施したものである。
 - ・2012～2014年度科学研究費助成事業（基盤研究（B））「三次元デジタル計測技術を活用した中国古代青銅器の製作技法の研究」（課題番号：JP24320164, 研究代表者：谷豊信）
 - ・2009～2012年度科学研究費助成事業（若手研究（B））「東アジアにおける失蠟法の出現と展開に関する考古学的研究」（課題番号：JP21720295, 研究代表者：丹羽崇史）

2012～2014年度実験に関する研究成果

○学会誌・要旨集等

- 丹羽崇史・新郷英弘・八木孝弘・樋口陽介「中国青銅器の製作技法解明のための実験考古学的研究—曾侯乙墓出土尊盤の調査から—」『日本文化財科学会第30回大会研究発表要旨集』pp.204-205, 2013年7月
- 丹羽崇史・新郷英弘・八木孝弘・樋口陽介「中国青銅器の製作技法解明のための対照実験」『亜細亜鋳造技術史学会研究発表資料集』7, pp.111-115, 2013年8月（本書I-1初出）
- Takafumi Niwa, Hidehiro Shingo, Takahiro Yatsuki, Yosuke Higuchi “Experimental archaeological study for reconstructing the relationship between technologies and the remains of metal artifacts :Based on an investigation of Zun-Pan vessels from the Zenghou Yi tomb” The proceedings of The 8th conference of the Beginning of the Use of Metals and Alloys (BUMA8) “Cultural Interaction and the Use of Metals” pp.310-316, 2014年2月
- 丹羽崇史・新郷英弘・樋口陽介・八木孝弘「中国青銅器の製作技法解明のための実験考古学的研究（2）」『日本文化財科学会第31回大会研究発表要旨集』pp.220-221, 2014年7月（日本文化財科学会第8回ポスター賞）
- 丹羽崇史・新郷英弘・樋口陽介・八木孝弘「中国青銅器の製作技法解明のための対照実験（2）」『アジア鋳造技術史学会研究発表概要集』8, pp.90-91, 2014年9月（本書I-1初出）
- 丹羽崇史・新郷英弘・廣川守・樋口陽介・八木孝弘「中国青銅器の製作技法解明のための実験考古学的研究（3）」『日本文化財科学会第32回大会研究発表要旨集』pp.148-149, 2015年7月
- 丹羽崇史・廣川守・新郷英弘・樋口陽介・八木孝弘「中国青銅器の製作技法解明のための対照実験（3）」『アジア鋳造技術史学会研究発表概要集』9, pp.6-8. 2015年9月（本書I-2初出）
- 丹羽崇史・新郷英弘・樋口陽介・八木孝弘「镂空青铜器制作技法对照实验研究—以曾侯乙盘为中心」『曾国考古发现与研究』pp.384-393, 科学出版社, 2018年9月
- 丹羽崇史・廣川守・新郷英弘・樋口陽介・八木孝弘「中国青铜器制作技术复原的对照实验研究—关于青铜器外底“人工刻线”」『商周青铜器铸造工艺研究』pp.203-207, 科学出版社, 2019年4月


○口頭発表・講演・ポスター発表等（上記の「学会誌・要旨集等」に含めたものは除く）

- Takafumi Niwa, Hidehiro Shingo, Takahiro Yatsuki, Yosuke Higuchi “Experimental archaeological study for reconstructing of manufacturing technology of Chinese bronze vessels :Based on an investigation of ZunPan vessels from Zenghou Yi tomb” The 8th International Conference on The Beginnings of the Use of Metals and

- Alloys(BUMA8), 奈良, 2013年9月10-15日
- 丹羽崇史・新乡英弘「所謂“加强筋”の初步研究 - 以叶家山墓地出土青铜器为中心 -」随州葉家山西周墓地国際学術研討会, 武漢, 2013年12月30日
- Takafumi Niwa, Mamoru Hirokawa, Hidehiro Shingo, Yosuke Higuchi, Takahiro Yatsuki. “Contrastive experimental study for reconstructing manufacturing technology of Chinese bronze artifacts” 7th Worldwide Conference, Society for East Asian Archaeology (SEAA7), Boston, 2016年6月8-12日
- 丹羽崇史, ・ 广川守・新乡英弘・樋口陽介・八木孝弘「商周青铜器制作技法对照实验研究」首届中国考古学大会, 鄭州, 2016年5月22日
- 丹羽崇史, ・ 廣川守・新郷英弘・樋口陽介・八木孝弘「中國青銅器製作技術復原的對照實驗研究」商周青銅器暨鑄造工藝研究, 香港, 2016年11月4日
- 丹羽崇史・新郷英弘・樋口陽介・八木孝弘「中国青銅器の製作技法解明のための実験考古学的研究」保存科学研究集会 2017「金属製遺物の調査・研究に関する最近の動向」, 奈良, 2018年3月9日

2016～2019年度に実施した本研究課題の成果（実験以外の成果も含む）

○学会誌・要旨集等

- 丹羽崇史「殷周～秦漢時代における羽口の展開」『鉄の技術と歴史フォーラム 第172回講演大会秋季シンポジウム論文集』 pp. 18-27, 2016年9月
- 丹羽崇史・三船温尚・石谷慎「天理参考館所蔵「铸客」炉の施紋技法の研究」『アジア鑄造技術史学会研究発表概要集』 11, pp. 72-73, 2017年8月
- 廣川守・樋口陽介・八木孝弘・新郷英弘・丹羽崇史「東周時代の鐘の中子製作技法」『アジア鑄造技術史学会研究発表概要集』 11, pp. 70-71, 2017年8月
- 廣川守・樋口陽介・八木孝弘・新郷英弘・丹羽崇史「氏編鐘の中子構造」『泉屋博古館紀要』 33, pp. 61-82, 2017年12月
- 丹羽崇史・三船温尚・石谷慎「天理参考館所蔵「铸客」炉の研究3 - 施紋技法の検討 -」『FUSUS』 10, pp. 37-47, 2018年6月
- 丹羽崇史・三船温尚・長柄毅一「「失鉛法」の実験考古学的研究」『日本文化財科学会第35回大会研究発表要旨集』 pp. 188-189, 2018年6月
- 丹羽崇史・樋口陽介・新郷英弘「土製鑄型の機能解明を目的とした実験考古学的研究序説」『アジア鑄造技術史学会研究発表概要集』 12, pp. 45-47, 2018年9月（本書I - 5初出）
- 丹羽崇史・長柄毅一・三船温尚「「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, pp. 64-66, 2018年9月（本書I - 4初出）
- 丹羽崇史「製作技術からみた九連墩墓地出土青銅器—青銅升鼎の分析を中心に—」『日本中国考古学会2018年度研究発表資料集』 pp. 19-26, 2018年11月
- 丹羽崇史「銘文からみた春秋戦国時代華中地域における青銅器生産—「作器者」銘の分析を中心に—」『東洋文化』 99, pp. 103-121, 2019年3月
- 丹羽崇史・赤田昌倫・田中麻美・樋口陽介・新郷英弘「X線CTスキャナによる鑄造実験試料の内部構造調査」『日本文化財科学会第36回大会研究発表要旨集』 pp. 330-331, 2019年6月（本書I - 3初出）
- 丹羽崇史・樋口陽介・新郷英弘「レプリカ法による東周時代楼空状青銅器紋様に関する実験考古学的研究」『日本文化財科学会第36回大会研究発表要旨集』 pp. 316-317, 2019年6月（本書I - 6初出）
- 丹羽崇史・樋口陽介・新郷英弘「楼空状青銅器紋様の実験鑄造試料の比較検討」『亞洲鑄造技術史學會研究発表概要集』

13, pp. 49-50, 2019年8月(本書I - 6初出)

○口頭発表・講演・ポスター発表等(上記の「学会誌・要旨集等」に含めたものは除く)

Takafumi Niwa, "A transformation of curbed blowpipe [for melting furnace] in Ancient East Asia" 8th World Archaeological Congress, Kyoto(WAC-8 Kyoto), 京都, 2016年8月29日

Takafumi Niwa, "A transformation of casting clay molds in China; Materials, Structures and Technologies" The 9th International Conference on The Beginnings of the Use of Metals and Alloys(BUMA9), 釜山, 2017年10月17日

Takafumi Niwa, Haruhisa Mifune, Takekazu Nagae "Experimental archaeological research on "Lost lead casting"" 8th Worldwide Conference, Society for East Asian Archaeology (SEAA8) 南京, 2018年6月7日

Takafumi Niwa, Yosuke Higuchi, Hidehiro Shingo "Experimental Archaeological Research on Reconstructing Shang-Zhou Clay Molds" Society for American Archaeology (SAA) 84th Annual Meeting, アルバカーキ, 2019年4月13日

丹羽崇史「试论从二里头时期到秦汉时期的“复合生产”现象」第二届世界古都论坛 暨纪念二里头遗址科学发掘60周年学术研讨会, 洛陽, 2019年10月20日

丹羽崇史「从“对照实验”来看古代铸造技术」中国科学院文化遗产科技认知研究中心传统工艺与文物科技讲座第21讲暨IHNS古代科技史学术报告第17讲, 中国科学院自然科学史研究所, 北京, 2019年11月12日

丹羽崇史「从实验考古来看到的古代铸钱技术: 以陶范的问题为中心」造币与王朝 - 国际视野中钱币的影响与改变, 中国国家博物馆, 北京, 2019年11月13日

○本課題で実施した研究会

国際研究会「陶范技術の実験考古学」, 奈良文化財研究所, 奈良, 2019年2月24日

発表者: 蘇榮譽・張昌平・廉海萍・廣川守・丹羽崇史

○その他

丹羽崇史「新たなる実験考古学を目指して」コラム作寶樓, 奈良文化財研究所, 2018年5月

<https://www.nabunken.go.jp/nabunkenblog/2018/05/20180502.html>

対照実験を主軸とした東アジア鑄造技術史解明のための実験考古学的研究
以对照实验为中心解明东亚铸造技术史的实验考古学研究

2016～2019年度（平成28年度～令和元年度）科学研究費助成事業（若手研究（A））
（課題番号：JP16H05946、研究代表者 丹羽崇史）研究成果報告書

発行日 2020年3月31日

編集 丹羽崇史（奈良文化財研究所都城発掘調査部 主任研究員）

発行 独立行政法人国立文化財機構 奈良文化財研究所

〒630-8577 奈良市二条町2-9-1

TEL 0742-30-6733

FAX 0742-30-6730

<https://www.nabunken.go.jp/>

印刷 株式会社アイプリコム

〒636-0246 奈良県磯城郡田原本町千代360-1

TEL : 0744-34-3030

FAX : 0744-34-3040

<https://www.aipricom.co.jp/>

Experimental Archeological Research for Reconstructing
the History of Casting Technology in East Asia
Through a Control Experiment



March 2020

Principal Investigator: NIWA takafumi
Nara National Research Institute for Cultural Properties
National Institutes for Cultural Heritage