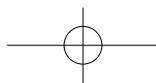
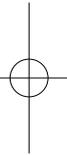
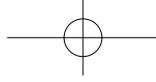


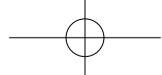
Asian High-Tin Bronzes

Production Technology and Regional Characteristics

論 文







日本伝世の古代金属鏡浅説

菅谷文則（奈良県立橿原考古学研究所）

1) 日本の金属製品の使用開始

日本の歴史では、新石器時代を前後の二時期に分けている。前期とした時期は縄文時代という。B.C.12000年頃から、B.C.700～500年頃であり、金属器の使用が認められない。ただし、山形県飽海郡遊佐町三崎山からは、縄文時代の遺跡から中国殷時代の青銅刀子が発見されているが、偶然の出土であり、考古報告書がないので、不明としておくべきであろう。

弥生時代になると、青銅器・鉄器ともに使用が開始される。弥生時代開始の当初から金属器使用が行われていたか否かは、次の理由によって、判断を留保しておくべきである。弥生時代の開始時期について、定説化していた年代は、B.C.3世紀(または、B.C.2世紀後半)とされてきたが、弥生前期遺跡の発掘調査の増加と、出土した木製品の年輪年代学、放射性炭素14の分析、さらには土器表面付着の炭化した有機質の放射性炭素14の分析などから、弥生時代の始まりの年代を、B.C.5世紀とB.C.7世紀とする研究も発表されている。このB.C.5～7世紀については、研究方法論の問題もあり、研究者間で意見の一致を見ていない。わたしは、弥生時代を専門に研究していないので、自分の意見を開陳することをしないでおく。

弥生時代前期の青銅器は輸入されたものを中心である。鏡・戈・鉞などがあるが、ともに鑄造された青銅器で、鍛造されたものはない。日本列島での生産品も、鑄造品が中心である。鉄器については、鑄造された鉄斧と、鍛造された武器類や工具類がある。

弥生時代の後半には銅鐸のように、日本列島独自の青銅器が出土し、その数も500を越えている。日本列島独自の青銅器である銅鐸の祖形は、中国大陸東北部と朝鮮半島の小銅鐸であるが、その何倍もの(最大の野洲銅鐸では、高さにして約25倍もの大きさ)銅鐸を創出した。この銅鐸も鑄造であった。金属器なかでも、銅鏡は鑄造したのち、いく度もの研磨が加えられてのち、光沢を発する。鏡面には、かすかな傷や凸凹もないことが一級品である。ところが、鏡縁と、鏡背の一部には、研磨痕がよく残されていることが多い。この痕跡は、船載とされる鏡にも、仿製とされる鏡にも残されているが、両者相互の技法の一致または、不一致まで研究は進んでいないのが現状である。ただし、回転ロクロを用いて、器物を高速回転させ、これに砥石類を接触させて研磨する技法は見出すことが出来ず、キサゲ類(手動切削具)を用いて切削研磨し、さらに砥石(豆砥ということもある)を用いて、切削痕を平滑にしている。このような状況は、古墳

時代を通じても見れる。銅鏡については、平安時代前半の日本製のものには見られる

古墳時代後期から終末期に至って、新しい銅器(銅を主要成分とした合金による容器と承台など)が出土する。毛利光俊彦氏の集成と研究によると、1978年以前に90点出土している。その後も、古墳発掘調査数の増加に伴い出土が増加している。^①

古墳出土銅鏡類については、先行研究も多い。出土銅鏡類については、1970年頃までは、出土数の少ない事例として注目される程度で、系統的研究は見られなかった。ところが、群馬県高崎市観音山古墳から出土した6世紀後半の蓋付水瓶は、法隆寺や正倉院に伝世していた仏教寺院に伴う7、8世紀の水瓶との関係で、大いに注目された。器高が高く、高台の外表面は美しく整形しているが、高台内部の削り出しが、ほとんどなく、厚く作られている。水瓶底部も厚く、水瓶底部に高台を貼り付けたかとも思えるように、器表の凹凸と、器胎の凸凹がほとんど一致している。無台の水瓶に高台を取り付けたとしてよい器形であった。宝珠形の蓋内面に2本の円棒状のバネ(時には舌と表現されることもある)が取り付けられていて、器と器蓋が振動などによって、離れることを防止している。^②

この水瓶の出土は、日本では6世紀後半代の水瓶の初出土例である。銅合金の成分分析は、定量分析が考古報告書には付けられていないが定性分析では、銅・鉛・錫からなっている合金と報告されている。なお、水瓶の名称のように水の容器ではなく、香水壺とわたしは考えている。

ところが、7世紀代の法隆寺伝来の銅製仏器とは、金属組成が大きく違っていた。バネ付きの王子形蓋をもつ卵形水瓶であるが、法隆寺例が銅と錫の合金であり、鉛の含有の有無が違っていた。前者は青銅器で、後者は白銅(佐和理)製であった。器種的には、ほぼ同類の水瓶製作が、青銅に始まり、白銅に移ったことを示している。当然のことながら、白銅(佐和理)を原料として以後は、器本体と高台が1体で鑄造したのち、ロクロ挽き成形をしているが、この点が古墳時代6世紀後半の観音塚古墳出土例と本質的に異なる点である。^③

2) 仏教寺院と銅合金容器

日本における青銅製容器は、古墳からの出土にはじまるが、古墳時代の巨大古墳、大型古墳の中心と言ってもよい近畿地方からの出土は、銅鏡に限ってみれば、きわめて少ないことが大きい特色である。

関東地方から東北地方の出土は、近畿地方に比して相対的に多い。これは、近畿地方で大型古墳の数が減少する7世紀代に至って関東地方では、大形古墳が出現することと関係があると思う。埼玉県小見真観寺古墳、千葉県上総金鈴塚古墳などは、その代表であると言えよう。

古墳に続く奈良時代・平安時代に至ると、青銅器製容器の大部分は正倉院を含む寺院において伝世、あるいは出土する。もちろん、銘板等を伴う火葬墓の外容器もあるが、これも仏塔下の舍利奉安具との類似性があるものと考えてよい。

正倉院宝庫の佐和理銅鏡・佐和理銅匙などは、北倉の伝来ではなく、南倉伝来を中心とする。

中倉と南倉の伝来品の多くは、大仏開眼に伴うものであり、さらには東大寺の各堂舎あるいは倉から移されてきたものも混じっている。^③つまり、7世紀後半から8世紀を中心とする法隆寺、東大寺に代表される伝世の佐和理は、ともに仏教にかかわるものであった。それらの用途は、一般に次のように分類されている。それに若干の容器以外を加えたのが下表である。^④

供膳具	飯器	鏡 鉢
	托	
	蓋杯	
	匙・杓・箸・案(机・食膳)	
貯蔵具	瓶	
	浄瓶	
雑器	熨斗	
	柄香盒	
	高足香盒	
	骨蔵器	
	幡	干頭の竜頭など
	梵鐘	

あえて、これに増加するならば、建築物関係の構造材と装飾材である。

構造材としては、塔頂の九輪・水煙・伏鉢・露盤などである。装飾材としては、垂木先や尾垂木先・破風板などに打ち付けられる各種各様の金銅などの装飾板がある。時には、高欄の梓木の接続金具などもある。

こうして仏教と青銅容器は建築材を通じて、より深い関係をもつようになったと推測できる。

天平十九年二月十一日に勘録された『大安寺伽藍縁起并流記資財帳』には、銅工房(合金を含む)があったことを示している。その部分を以下に抄録する。^⑤

(上略)

合水銀貳百拾壹斤伍兩

合水鏡壹仟玖百貳拾壹斤伍兩_小 肆拾斤陸兩_大

合銅伍萬貳仟參百陸拾貳斤_小、(割注省略)

合鉄壹百伍拾陸延

(下略)

とある。

このうち、銅には割注が以下のようにある。

生銅五万一千六十二斤

鍊銅五百九十斤

熟銅三百廿七斤

悪荒銅三百八十三斤

生銅・鍊銅・熟銅・悪荒銅の区分があった。従前からの研究では、この4種の銅分類の現在における名称比定は確実とはなっていない。小文は、その比定を目的としたものではないので、悪荒銅についてのみ私見を記しておく。結論的に言うなれば管見の及ぶ範囲において、九世紀以前の記録にはこの単語は見られない。しかしながら、精錬する以前のものでなく、器物生産中に生じた未製品の断片や、器物生産途中あるいは製品などの回収銅であることは、間違いないようである。

国家の大寺の大安寺以外にも同様の記録がある。天平19年2月11日勘録の『法隆寺伽藍縁起并流記資財帳』である。

(上略)

合水錫壹仟漆百玖拾壹兩參分

合白鑄壹百壹斤捌兩

合黒鑄伍拾壹斤

の記述である。法隆寺は天平の時代では、平城京を遠く離れていること、規模が決して大きくないということによって、天平の大寺の制では、小規模寺院とされていた。ここにも銅合金の原料を所有していたのである。

大安寺や法隆寺における銅工房の遺構の発掘調査例はないが、ともに古代の羽口(陶製送風管)が出土しており、寺域内のいずれかの地で、銅工房があったことが推測できる。^⑥

東大寺は本尊である大仏鑄造と関連建築に伴う銅工房以外にも、小規模の器物を製作する工房があった。正倉院は架蔵されている『造東大寺司牒解』のなかには、造東大寺司の下司には鑄所があった。正倉院文書からは、木工所・造瓦所・鑄所・造仏所などがあったことがわかり、他に画所などもあったと推測できる。

鑄所は、判官・(主典)史生・將領の四等官制で、その下部の実務工人として、雑工、仕丁、雇工などが実務にあたっていた。この鑄所とは、別に造東大寺司に隷属していた造石山寺所、造香山薬師寺所などにも鑄工などがいたようである(銅筋つまりハリガネなどを製作していた)。

このように、造東大寺司などの造寺組織は、鑄銅などをいわゆる下請け(奈良時代後半には民間工房もあった)には出さずに、自己完結で運営されていた。このため、生産すべき器種や器形の変化、つまり需要の変化にも、即応できたであることが容易に推測できる。

このことは、その後の日本の工芸発達史に大きい影響を及ぼした。

3) まとめ 一神社と仏寺と銅器一

日本古代の律令制では、神社は現在いうところの国教の位置を占めていたことは、いわゆる『二官八省』の制によく現れている。太政官の上位に神祇官が位置することは、令文の配例がよく示している。一方、仏寺の機構については、玄蕃寮に委ねられている。しかし、国家経済に占める割合は、明らかに仏寺に注がれる経費は、神社へのそれに比して、比較できないほど大きい実態があった。これらが、すべて令外官として経営されていたことに、奈良時代の実像が示されている。

神宮(一般には伊勢神宮と言われることが多い)は、国家祭祀の根幹となる神社であり、20年に1回の建築などの造替(式年遷宮という)が行われている。これに必要な器材のうち、木材、屋根葺材、石材、塗料材などの調達を除くすべては、朝廷において製作し、伊勢に運んでいる。つまり、伊勢では製作工房を必要としていないのであった。銅工もしかりである。この朝廷において神宝と装飾品を調達することは、現在に残る重要文化財の『皇太神宮儀式帳』と写本として伝わる『止由受宮儀式帳』に明示されている。この両儀式帳は、ともに延暦23年(804)8月になったもので、前書は写本としても書写年代が古ので、重要文化財の指定を受けている。

朝廷において製作するということは、その後の歴代の『送官符^{おくりかんぷ}』を見れば、厳格に守られていたことがよく分かる。また、祭祀に用いられる器具は木製品を中心とし、生花や造花で装飾(仏教では装嚴の用語を多く用いる)しないことも相まって、銅製品を多用する文化が神社運営ではみられなかった。神社で多く用いられる神酒壺も、現在は白磁あるいは素焼白陶のものが多いが、近世以前は多く木製であった。こうして神社祭祀では、銅器は用いられず、現在に至っている。

もちろん、古代末以降の神仏混合の諸儀式によって、銅器も神まつりに用いられたが、明治以降の神道の古代復帰をうけた明治後半の祭式統一後は、ほとんど用いられることがなくなった。

一方、仏教は銅器をきわめて重視したそのことは、先に記した中央の大寺には鑄所があり、不断に銅器を作製していた。こうして、中央の仏寺の装嚴は地方にも浸透していった。さらには、空海と最澄に始まる密教、なかでも大壇作法は、唐の密教法具がすべて銅製であったことをうけて、さらに銅器の尊重を流行させた。

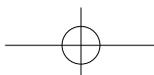
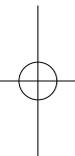
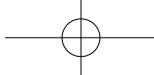
考証を省略して結論を急ぐと、中国大陸の明時代に始まる仿古銅器も仏寺(おもに禅宗を通じて)には容易に入り込むことが出来た。いま、日本に残されている古代以来の多くの銅器は、ほぼ仏寺に残され、神社に残されていない。

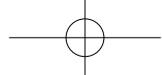
古墳時代に銅・錫・鉛の合金製の銅容器を輸入した日本は、飛鳥奈良時代そして平安時代と、ほぼ仏寺にこの伝統が継承されて、その内部の生産体制をも利用しつつ、多産化したのであった。

正倉院の銅容器の多くは、宮廷調度品ではなく、仏寺において使用されたものであったので、未使用のものが残されているのである。決して新羅からの輸入品で価値が高いから残されたものではなく、仏会の参列者の数よりも多く輸入された結果としたい。ただし、朝鮮半島では、その後ユギとして日常的な飯器となったのとは異なり、日本では、ほぼ仏寺での使用となったのであった。この点が、日韓の銅器使用の歴史的違いが認められるのである。

(注)

- ①毛利光 敏彦 「古墳出土銅鏡の系譜」 考古学報誌 64-1 1978年
奈良文化財研究所 『古代東アジアの金属製容器 II』 奈良文化財研究所史料 第71冊 2005年 この本に毛利光氏のその後の研究が開陳されている。
- ②群馬県埋蔵文化財調査団 『綿貫観音山古墳 II』 1999年
- ③正倉院事務所編 『正倉院宝物 I 北倉 I』 1994年 毎日新聞社発行 この解説がこのことをよく記述している (p 240~p 262)
- ④注①の2005年による
- ⑤以下の抄録は、竹内理三 『寧楽遺文』 中巻、東京堂発行による。一部の字体は新字体とした。
- ⑥銅合金には、かなりバラつきがあり、一定の混合比率を示していないことは、このことを傍証するものである。主な分析データは、以下を参照。法隆寺伝来品に関しては、注① 2005年の村上隆 「材質と構造の歴史的変遷」の179件のデータがある。法隆寺献納宝物に関しては、東京国立博物館 『法隆寺献納宝物特別調査報 供養具1と供養具2』 2004年 2005年にデータが示されている。正倉院のものについては『正倉院年報』に順次発表されている。





現代アジアの高錫青銅器製作技術の比較

三船 温尚 (富山大学)

1. はじめに

古代から青銅器は各地域で作られてきた。その中に錫を多く含む高錫青銅で作る特殊な青銅器の一群がある。錫の含有率が高まると硬くなり、銀白色に近づく。この性質を利用して武器や鏡などが作られた。錫が20%を越えると硬くなり、衝撃で割れやすくなる。30%では一層硬くなり少しの衝撃でガラスのように割れる。錫40～50%ではやや軟らかくなり削りやすくなるが、鑄造時の凝固収縮によって鑄型の中で割れやすい。錫50～60%では更に柔らかくなりサクサクと割れるが、同様に凝固で割れることがある。70～80%では一段と柔らかくなり、特に80%では削ると粘りがあり、鑄造で割れることはない。銀白色の色調は、錫30%を超えると、それ以上の錫含有率でも見た目には変わらない。

高錫青銅の脆性を改善するために赤色になるまで加熱し水に入れて急冷する焼入れが行われる。焼入れ前の銀白色は、焼入れ後に、低錫青銅と同じ黄橙色に内部まで変わるため、色からはその青銅の錫比率の高低は分からない。焼入れ後、鉄のハンマーで強く叩いても激しく窪むことはなく、高錫青銅の硬度は焼入れによって著しく低下しない。

一般的に、青銅器は鑄造で作られる。高錫青銅器は鑄造の他に、赤色になるまで加熱して鍛造する方法(熱間鍛造)でも作ることができる。高錫青銅は硬いため薄く作っても、焼入れ後に曲がってしまうことはない。現代のインドの工房で、熱間鍛造で作る高錫青銅鏡は、全体が0.5mmほどで薄く、部分的に厚さ0.2mmにもなる。鏡の口縁を手で押すと楕円形に変形するが弾力があり元の円形に戻る。錫15%程度の高錫青銅で作った鑄造の鏡を、焼入れしないで轆轤で約0.3mmまで薄く削った復元実験もあり⁽¹⁾、錫20%を越える割れやすい鑄造の高錫青銅器も、焼入れ後に、同様に薄く轆轤加工できると考えられる。鍛造で作った高錫青銅器の表面を研磨しハンマーの打ち目痕跡を消してしまえば、鍛造か鑄造のいずれで作ったのか、外見からは判断できない。しかし、鏡の底に高台(圈足)が付くものや、蓋に摘みがあるもので、これらをリベットや半田付け、鑢付けなどで接合していない製品は、鑄造製と考えてよいであろう。最終的には金属組織を観察して、鑄造か鍛造かが確定でき、更に詳細な製作技法の情報が得られる。

特殊な一群の高錫青銅器の古代製作技術の解明は、1) 考古学的検証、2) 遺物の成分分析と金属組織観察、3) 現代の製作技術調査と製品の金属組織観察、4) 復元実験による検証、などを複合的に組み合わせて為し得るものである。そして、国を越えた国際的な研究協力によ

て、高錫青銅器製作技術の発生、伝播、受容、変化を研究することができる。

本稿は、筆者が現代の高錫青銅器製作工房で技術調査をしたものと、筆者以外の者が、近年、調査したビデオ映像記録によるもの、報告書等で技法が分かるものなどを報告し、古代の高錫青銅器製作技術研究の基礎資料とするものである。なお、インドより西のアジア地域についての調査は、現時点で実施できていない。

2. 大韓民国

韓国には錫22%、銅78%の高錫青銅で鍮器(ユギ)を生産する工房や工場がある。鍮器は鏡、匙、箸などの食器や銅鑼(側面が垂直に立ちあがった円形の皿を伏せた形で、打面中央にヘソと呼ぶ半球形の凸部が無い)などの楽器、その他に宗教具などがある。2007年7月、2008年2月、2008年8月に韓国で計8箇所(2)の鍮器工房と工場を調査した。これらを技術別に分けると、①熱間加工の鍛造・熱間加工のグングルムオクソン技法併用が1工房、②鑄造が3工場、③熱間鍛造・鑄造・熱間スピニング加工併用が2工場、④鑄造・熱間スピニング加工・熱間プレス加工併用が1工場、⑤熱間プレス加工・熱間スピニング加工併用が1工場であった。これらの韓国の熱処理技術の詳細は既に別稿で報告しているが⁽²⁾、概要は以下の通りである。いずれも各工房で鑄造工人や鍛造工人、機械加工工人などが作業の合間や工程の流れの中で焼入れをする。各工房には轆轤研磨の設備を有している。①は工人が1名、他は鑄造工人2～4名とスピニング工人1～4名、プレス工人1～4名、轆轤工人2～4名がいる。轆轤研磨できない匙などを研磨する工人もいる。③の鍛造は1工場では2工人、1工場では3～4工人で叩く。後者は写真で確認したもので実見していない。同じ工人がスピニングとプレスの2つの機械加工を担当する場合もあるが、鑄造と轆轤の工人は、各作業以外は担当しない。

現代の鍮器の鑄造は生型鑄造技法で行う。これは近代的な量産型の鑄造方法である。2つの鉄枠で2つの鑄型を作るため複雑な形状製品の鑄造には適さない。古代の高錫青銅器は、土製鑄型を焼成して鑄造する方法か、単純な形状は石鑄型などで鑄造後に、熱間鍛造して成形する方法であったと思われる。近代に登場する生型鑄造は鑄型焼成の工程が省け、鑄造鍮器の量産の助けとなった。そのために製作時間のかかる鍛造鍮器が減少し肉厚の薄い製品が姿を消した。鑄造鍮器においても、轆轤切削で薄い製品を作ることはできるが、生産性を高めるために電動轆轤で表面を綺麗に仕上げることが目的とし、時間をかけて薄く作ることを目指さなかったであろう。グ

ングルムオクソン技法は、鍛造鋤器において、口縁下部を内側から押し出して胴よりも口縁をすぼめた形状の鏡を短時間で製作する技法として用いられた。しかし、生型鑄造においても原型の銅鏡を上下に分割して中型を嵌める方法を開発し、口縁をすぼめた鑄造鏡の製作が可能となり、ングルムオクソン技法は廃れていったと考えられる。このように現在では、鋤器の鏡や匙などの食器はほとんどが生型鑄造で作られるようになり、肉厚の製品となっている。銅鑼は鑄造では音色が悪く、そのため現在も熱間鍛造で成形し、焼入れ後、冷間鍛造で調音する技法が続いている。

3. インド

2009年2月と9月にケララ州で鏡や楽器、鏡などを作る6工房を調査した。これらを技術、製品の別に分けると、①合范鑄造(鑄型合わせ法)による鏡製作が2工房、②蠟型鑄造によるベル・水盤製作が1工房、③蠟型鑄造による水差し・容器製作と鍛造による容器製作が1工房、④熱間鍛造による鏡・食器・楽器製作が1工房、⑤熱間鍛造による楽器製作が1工房、である。①の鏡は錫32.6%の高錫青銅を使い⁽³⁾、鑄造で作り熱処理は行わない。②は錫10数%のベルと真鍮の水盤で、ともに熱処理は行わない。③の水差しなどは、錫10数% (13～15%程度か)で鑄造し、鍛造の容器は銅板を使い鑢付けで接続する。④と⑤は錫21～22%、銅78～79%の高錫青銅で⁽⁴⁾、厚さ1cm、直径12～15cm程の円板や匙形を鑄造し、それを熱間鍛造で成形し、最後に焼入れする。焼入れ後、更に冷間鍛造を少ない回数行い、鏡などは形を整え、楽器は調音する。

②と③の工房にハンドグラインダーなどの小型電動工具有り、これで研磨仕上げをしている。③の工房に電動轆轤、手動轆轤がある。④と⑤の工房は、焼入れ後、鋼の手工具(キサゲ)で切削して完成となる。これは鍛造の打痕を消す目的ではなく、切削による光沢をすることで、鏡や平板ゴング(直径18cm、厚さ5mmほどの円形の平板で端に穴を2箇所開け、紐を通して吊るし、木製棒で叩いて鳴らす)などは切削方向を変えて光りの反射を違え文様を作る。③の手動轆轤は、横方向の丸棒にロープを巻きつけて、ロープの両端を両手で交互に引っ張って回転させるが、左右の手で回転方向が異なり、回転方向が途中で変わる。引っ張る距離で回転の距離が操作でき、水差しの長い注ぎ口の手前で回転方向を変えることができる。青銅器の底を丸棒の先に蠟(あるいは樹脂)で貼り付け鋼の切削工具を当てて削る。回転させる工人と切削する工人の2人で行う。本稿では、熱処理工程がある④と⑤の工房について詳細を述べる。

1) APPUNI (KALADIPARAMBIL CHERUKUDANGAD P.O PALLIPURAM,PATTAMBI,KERALA,INDIA)

製作する製品は鏡、大型の匙、平板ゴング、シンバル(直径18cm、厚さ5mmほどのやや湾曲した円板の中央

を更に直径6cmほど強く突出させその先端に穴を1箇所開け、紐を通して両手に1枚ずつ持ち、その2枚を打ち当てて鳴らす)等である。工房主のAPPUNI(推定年齢は50歳代後半)のほか、親戚3名の作業者がいた。調査のために親戚が急遽集まったとのことである。工房主の父親と思える高齢の工人もいるが、通常の作業を行うには高すぎる年齢であり隠居している。毎日、製造している工房ではないようで、シンバルの中央の膨らみの打ち出しや、鏡の熱間鍛造で、割れが発生するなど、いくつか失敗が見られた。需要が減り生産数は減少しているようである。工房は林の木陰の中にあり、地面より高い土間面に柱を立て屋根を架けている。壁は風の吹き込む方向にのみ作られている(巻頭写真1)。

この工房の浅い底の鏡製作工程を以下に述べる。(1)古い製品の銅鏡を鉄ハンマーで軽く叩いて割って8kg用の坩堝に入れ、木炭で錫22%前後の高錫青銅を溶解する。(2)円形の土製スタンプで鑄型砂(湿気のある砂で、粘土をほとんど含まず粒子は粗い。炭化物を含むため黒色である)に直径約13cm、深さ1.5cmの窪みを作る(土製スタンプは各種の大きさがある)。鑄型土は乾燥や焼成はしない。(3)窪みに穀物殻粉を撒いて再びスタンプで押し、溶解した高錫青銅を窪みに注湯する(巻頭写真3)。(4)厚さ1cmほどの円板を鑄型から取り出す(円板は均一の厚さになっていない)。(5)土間に直径約5cmの穴を開け、太さ7mmの鉄棒を2本渡し、加熱炉の風の吹き出し口を作る(穴は真下に10数cm下がり、そこから1mほど真横に向かい牛革製手轆につながらる)。(6)吹き出し口の上に火の着いた小さく切った木炭を山積み置き送風する。(7)一気に4枚の円板を加熱炉の中に置き水に濡らした手箒で散らばった木炭を円板の上に巧みに集める。(8)2枚ずつの円板を重ねて、左手に持った鉄の火挟みで掴み、右手に持った先が直角に曲がった鉄棒で円板を回転して均一に加熱する。(9)工房主が両手に持った火挟みで挟んで2枚重ねたままの円板を窪んだ石台に置き、工房主が円板を回し、3人の叩き手が約50秒間で合計80回前後、鉄ハンマーで叩いて湾曲するように打ち延ばしていく(円板の赤味が残る時や消えた時、消えてしばらく後など鍛造をやめるタイミングは一定していない)。叩き初めは、円板の縁の少し内側を1周叩きのぼし、徐々に中心に向かって叩いて終わる。冷めやすい縁寄りを先に叩き、冷めにくい中心部を最後に叩く。早く冷めて中心部を叩き残す場合もあるが、基本的には、縁から中心に向かう叩き方が繰り返される(巻頭写真6)。(10)次は加熱した1枚だけを石台に置き、同様に約50秒間で合計80回前後叩いて鍛造する。(11)新たに2枚の円板を加熱し同様に2枚重ねて鍛造する。(12)再度2枚重ねで約50秒間鍛造し、次は3枚重ねで約60秒間を3度繰り返す、4枚重ねで約60秒間を1度行う。(13)加熱炉の上で6枚全部を重ね、挟んだまま

表裏を返して加熱する（木炭が隙間に入っても気にしていない）。（14）6枚重ねで、約60秒間で合計100回叩いて整形する（中心部は赤味が残る状態で鍛造を中止する。円板が打ち延ばされて薄くなっても重ねることで冷めにくくなり長時間鍛造が可能となる。厚さも均一に成形でき量産ができる）。工房主は座って短い火挟みで6枚重ねを回転する（巻頭写真7）。この後3度繰り返して同じ状態で6枚重ね鍛造を行う。（15）工房主が長い火挟みに持ち替え立ち上がって6枚重ねを回し（重ねた錠の角度が大きくなり垂直に近くなるため側面が叩きやすくなる）、7度繰り返して鍛造する。初めの回はやや高温に加熱し一気に形が大きくなる。薄くなったため溶かさないように高温加熱しないことと冷めやすくなったため、後半は30秒間ほどの短い鍛造時間で回数は60回ほどになる。（16）赤味を帯びない程度に低温で加熱して、工房主は短い火挟みで挟んで低く座り、6枚重ねで錠の底面を20秒ほど一人叩きで2度繰り返して鍛造する（ここまでは同じ石台を使用する）（巻頭写真8）。（17）直径が30cm弱になった浅底錠の6枚重ねを1枚ずつに分離する。（18）任意に2枚を組み合わせて低温で加熱し、鉄台に斜めの角度に立てて、打ち面の広い鉄ハンマーで内側から側面を叩いて均す。底面と側面の角がない錠の形になる。（19）1枚ずつゆっくりと加熱し、全体が均一の赤色を帯びると、伏せた状態で、火挟みで挟み、素早く斜め方向に入水して焼入れをする（焼入れ水は定置の水槽に溜めた濁った水で、特殊な水ではないようだ）。合計3個の角のない錠を焼入れする。（20）鉄台で側面を叩いた後、2枚重ねて加熱して錠の底面と側面の形を彫った石台に置き、2枚重ねたまま木製槌で錠の内面を叩いて底面と側面の角を作る（底面と側面の形を彫った石台は他にも形の異なる2種類がある）（巻頭写真9）。（21）角のない錠とは明らかに低い温度（赤味を帯びない部分もある状態）で加熱し、素早く錠を水槽の上に運び裏返して伏せて垂直に落下させて焼入れする（それぞれの錠の焼入れ加熱温度は錠の色からも厳密には一定でないことが分かる。錠を伏せることは共通するが入水角度は一定ではない）。角のある錠は合計3個焼入れする（巻頭写真10）。（22）焼入れ後、鉄台と鉄ハンマーを用いて冷間鍛造で凹凸を均す。（23）錠の口縁が波打って高さが揃っていないので、鋼の鑿（タガネ）にハンマーを打ちつけて切り揃え、ヤスリで削って口縁の形を整える（巻頭写真11）。（24）木製柄のついた鋼の切削手工具で錠の内面だけを削る。工具刃先の研ぎは砥石を用いず、木製板に刃幅の溝を作り微細な砂を溝に入れて刃を前後させて研ぐ。

匙は長さ50cmほどの大型のもので、加熱調理や鍋から料理を取りわけるときに使用されると思われる。円板と同じ方法で匙の窪み型に錫22%前後の高錫青銅を鑄造して厚さ1cmのおおまかな形を作る。先に柄を熱間鍛造

し柄だけ加熱して柄部分を焼入れし、次に掬う部分を熱間鍛造で打ち広げて更に湾曲させて窪ませる。最後に全体を加熱し、柄と水面がほぼ水平になる方向で入水して（加熱した匙を水槽の縁に横たえて置き、2本の棒で押して水中に落とし入れる）全体を焼入れし、取り出してすぐに冷間鍛造で柄の歪みを直し掬う面の凹凸を均す。掬う部分の側面の角をヤスリで削り、表面だけを鋼の手工具で研磨して完成となる。

平板ゴングとシンバルの鍛造法と成分は錠とほぼ同様である。シンバルの中央の突出した膨らみは、石の窪み型の上に置いて木製の先の丸い杭を内側から打ち込んで作る。紐通しの穴はシンバルが冷めないうちに先の尖った釘状の鉄棒を打ちこんで開ける。平板ゴングは垂直に入水して焼入れ後、音を聞きながら響きの良い吊るす位置を探し（巻頭写真12）、手回しドリルで2箇所穴を開け、紐を通す。これらは厚さが5mmほどあり、錠に比べて厚いため、焼入れは火挟みに挟んだまま垂直方向に錠よりもゆっくりと入水する。

2) ALA FORGE : K.R.SUKU (KOPARAMPATHU KADAVLOOR P.O TRISSUR DIST.,KERALA,INDIA)

この工房で製作する製品は平板ゴングとシンバルで楽器が主のようである。男4兄弟の工房で長男の推定年齢は40代初めである。工房は3面に壁がありやや狭いが機能的に作られている。ここでは平板ゴングの製作を記録したが、各作業が速く迷いなく的確で、日常的に製作し慣れた様子が伺えた。

平板ゴングの工程を以下に記す。（1）土間に直径35cm、高さ6cmほどの円板状に鑄型砂（黒色で粘土分がほとんどない湿気を含む砂）を盛り、それに直径約13cm、厚さ1cmの土製スタンプを押しつけて窪みを作り穀物殻粉を撒く。（2）破断面が銀白色の高錫青銅（錫22%、銅78%）（*4）を6kg用の坩堝に入れ木炭で溶解して注湯する。（3）1分後に鑄型から取り出し、直ぐに石台の上で、柄のない直径5cm、長さ20cmの鉄の丸棒で円板の縁近くを一周叩く。次に、石台の上に円板を垂直に立て円板側面を一周叩く（40秒間でこれらの作業を行う）（巻頭写真23）。（4）縁を叩いた2枚の円板を、小さく切った木炭の加熱炉に同時に入れ加熱する（長男は円板を回しながら濡れた手箒で炭を扱うが、手回し送風機を操作する次男も加熱炉に近い位置に居るため、送風しながら濡れた手箒と先の曲がった鉄棒で炭を扱う。加熱炉の構造はAPPUNIの工房と同じ）（巻頭写真24）。（5）2分間加熱炉で温め、1枚目を石台に置き、鑄造直後に鍛造した箇所と全く同じ箇所を40秒間で叩く。2枚目も同様である。（6）送風機操作が4男に代わり、次男、三男の2人が叩き手になり、長男が両手に持った火挟みで円板を回し、縁を叩いて薄くしないよう縁の内側を一周叩いて行く（巻頭写真26）。続けて中心に向かって螺旋状に叩き進み全面を叩く。20秒間で47回前後叩いて



写真1 ミャンマー銅鑼の熱間鍛造
折り曲げた側面の角を内側から木槌で鍛造する。(三好正豊氏撮影ビデオより)



写真2 ミャンマー銅鑼の焼入れ
加熱した銅鑼を伏せて水槽に入れ焼入れる。(三好正豊氏撮影ビデオより)



写真3 ミャンマー銅鑼の冷間鍛造
焼入れ後、木棒で押さえてハンマーで叩く。(三好正豊氏撮影ビデオより)

1枚を終わる。(7)再度同じ工程を行うが、24秒間になり60回前後叩く。(8)送風が次男に代わり、三男一人で、ハンマーの打ち面が半分円板の縁からはみ出す位置に一周打ち当て、20秒間で43回叩く。(9)縁の内側一周から螺旋状に中心に向かう叩き方を三男一人で、20秒間で40回叩いて行う。2人叩きよりは弱く叩く。(10)三男一人で、ハンマーの打ち面が半分円板の縁からはみ出す叩き方を20秒間で一周する。これを2度繰り返す。この工程で円板の側面の厚さが5mmほどに作られる(ここまで全て石台を使い、2枚共に同じ工程を経るが、全て同じ面を叩いており、反対側の面は一度も叩いていない)。(11)僅かに窪んだ木製台に三男が置いて回し、最初に使った鉄の丸棒で長男が縁の内側を一周叩く。膨らみを調整すると思われる。(12)別の木製台に円板を垂直に立て、三男が回しながら長男が小ぶりの柄付き鉄ハンマーで円板の側面を小刻みに一周叩く(巻頭写真27)。これを3度繰り返す。(13)長男が石台の上で回し、打ち面が直径8cmくらいの木槌でこれまで一度も叩かなかった膨らんだ面を三男が叩いて平らに近づける(僅かな膨らみを残す)。20秒前後で60回ほど叩く。2度繰り返す(ここまでは全て熱間鍛造)。(14)全体が均一に赤くなるまで加熱し、三男が2本の火挟みで挟み、大きめのバケツに溜めた濁った水に垂直に入水し焼入れる。入水速度は特別速くはないが意図的にゆっくりでもない。(15)2枚のうち、1枚は焼入れて変形(歪みが発生)したため、加熱し木槌で叩いて整形し、再度焼入れをしたが少しの変形が現れた。(16)鉄台の上で約2分間、冷間鍛造し変形を直す(巻頭写真28)。木棒で叩いて音を確認する。(17)円板の側面はヤスリで削り、僅かに凹面になった表面を鋼の手工具で切削する。切削痕跡が光りの反射によって文様に見える。裏の凸面は酸化膜で濃い灰色を呈し、木炭で花模様を下描きし鋼手工具で線上を切削し線模様を作る。(18)切削仕上げの後、円板の端を指でつまみ、木棒で打って響きの良い場所を2箇所探す。そのつまんだ位置に穴を開け、紐を通して完成となる。

4. ミャンマー

金工作家 みよし まさとよ 三好正豊氏(大阪市北区在住)が2002年に調査記録したビデオと三好氏の報告書(平成13年度文化庁

派遣芸術家在外研修報告書)からミャンマーの高錫青銅器製作技法を紹介する。

大型銅鑼(ほぼ垂直に曲がった側面のある円形皿を伏せた形で、中央にヘソと呼ぶ半球形の凸部が有る)の製作工程は次の通りである。(1)直径40cm弱、深さ2.5cmほどの窪みを持つ粘土製鑄型(粘土に粉殻を混ぜたもので成形し、乾燥後、炭火で焼成する)に高錫青銅(錫22.2%に、銅77.8%に計算した青銅)を流し入れ、表面に凝固してできる膜を木棒で挟んで鑄型の外に引き落として浮いた炭などのゴミを膜と一緒に除去する。(2)回し手(円板を回す作業)が鉄の火挟みで掴み先の曲がった鉄棒で円板を回して加熱することはインドや韓国の工房と同じである。木炭の加熱炉への送風は垂直に立てた2本の円筒形の手轆で行う。加熱炉と鍛造台との移動は、火挟みに結んだ紐を天井の滑車に通して別の者が引っ張って行う。(3)最初に円板を垂直に立てて、円板の側面(厚みの部分)を叩いて行く。(4)次からは、鉄台(直径10cm余りの鉄棒を地面に埋め込み、台の打ち面はこの円形となる)の上に円板を横向きに置いて、回し手の向かいで椅子に座る3人の叩き手が鍛造する。(5)円板が大型であり、鍛造中に回し手が火挟みで鉄台に当てる円板の角度を固定することができないため、鉄台の回し手寄りに2つの粘土の山を作りそれに載せて円板を浮かせ、鉄台の面と円板との角度を固定する。粘土の山の位置や高さを変えながら銅鑼の形を作って行く。円板の中心を掴む回し手の火挟みは、横に25cmほど離れた2つの粘土の山の間を通る。(6)1回目の鍛造は約30秒間で45回ほど叩く。円板を回しながら中心寄りから叩きはじめる。円板は赤味があるが一周の距離が短いため早めに鍛造を終える。(7)2回目は更に外寄りを叩き、これ以降、徐々に縁に向かう。そのため粘土の山は鉄台から離れて回し手に近づき高くなる。1度の鍛造時間は概ね約30秒間で、叩く回数是一周の距離が長くなり70回前後になる。縁を曲げて銅鑼の側面も概ね作られる。(8)皿形の銅鑼の底面と側面の角を鋭角に作るため、鉄台面の叩き手側半分に鉄板を立てて、台面と鉄板面が作る90度の角に銅鑼の角を置き、内側面から鋭角な木槌で叩く(写真1)。(9)中心に直径20cmほどの穴がある広

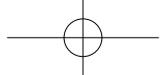


写真4 インドネシア銅鑪の熱間鍛造
鉄鎚の鍛造の合間に木槌で叩いて成形する。(三好正豊氏撮影ビデオより)



写真5 インドネシア銅鑪の熱間鍛造
側面は高く、口縁は強くすばまる。(三好正豊氏撮影ビデオより)



写真6 インドネシア銅鑪の冷間鍛造
焼入れ後、木棒で押さえて鉄鎚で叩き成形する。(三好正豊氏撮影ビデオより)

い木板に銅鑪を仰向けに置き、銅鑪の中心のへソ(凸部)を裏から木槌や先の丸い木の杭で叩き出す。同時に2人の叩き手が木槌で底面を均す(ここまでは全て熱間鍛造である)。面径が80cmほどの大型銅鑪になる。10)加熱炉で伏せて回しながら均一に加熱する。焼入れ温度を見極めるため、表面に乗った炭粉をこまめに棒の先の布でぬぐい青銅の色を見る。加熱炉から水槽まで5秒で運び、伏せたまま入水し焼入れる(写真2)。(11)音をよくするために、冷間鍛造で成形する。木棒で押さえて振動を少なくして金槌で叩く方法と(写真3)、鉄台に載せて金槌で叩く方法がある。叩く面は表裏面である。紐通しの穴を2つ開けて完成する。

長さ17cmほどの匙製作は、先ず、油を塗った石鑄型の深めの窪みに高錫青銅(錫比率は不明)を注湯する。鑄造の段階で、掬う部分は平板ではない。注湯8秒後、高温な間に鉄台(直径13cmほどの円柱を地面から6~10cm程度飛び出すように埋め込んでいる。台の面は平面ではなく緩やかな凸面になっている)に当てて鉄ハンマーで1回目の鍛造を20秒間行う。最初に柄を縦方向に平らにして、火挟みで挟みやすくし次に掬う部分を叩き広げる。炭火で加熱し更に鍛造し柄は横方向に平らに戻す。6枚の匙を重ねて鍛造する。重ねることで冷めにくく長時間鍛造ができ、早く同じ形に作るができる。掬う部分は木を窪めた型に当てて先の丸い鉄ハンマーで叩き曲面を揃える。全て熱間鍛造で加工し、焼入れ後、切削、研磨して完成する。

小鉢は直径5cm、厚さ1cmほどの高錫青銅の円板を鑄造し、高温な間に1回目の鍛造を鉄台に当てて行う。中心寄りを強く叩き薄くした後、垂直に立てて側面を一周叩く。これは縁が伸びて縁に亀裂が発生することを防止する。その後、中心から縁に向かいながら、一周ずつ叩く。直径が9cmほどになると4枚重ね、同じように中心から1週ずつ縁に向かって打ち広げていく。1度の加熱で概ね1周叩く。中心から縁に向かう1工程を複数回行う。木の窪み型に底面と側面の角を当てて、先の丸い木槌で、4枚重ねのまま内面側から叩いて角を丸くする。1枚にばらして同じ方法で側面も木槌で叩いて均す。ここまでは全て熱間鍛造で加工し、口径12cm、高さ6cm

ほどの丸底鉢ができる。焼入れ後、鉄台に当てて鉄ハンマーで冷間鍛造して縁の円形や形を均す。均して切削する。

切削する轆轤は、インドの手動轆轤と同じ原理で回転する。回転軸に巻かれた紐の下端は板のペダルにつながり、上端は竹棒の先につながっている。左足でペダルを踏むと回転し、足をゆるめると竹の弾力で逆回転する。竹は釣り竿のように、しなりを繰り返す。蠟などで青銅器を回転棒に貼り付けて鋼の切削工具で削る。

5. インドネシア

同じく三好正豊氏が調査したビデオからインドネシアの高錫青銅器製作技術を報告する。

大型銅鑪(側面のある円形皿を伏せた形で、中央にへソと呼ぶ半球形の凸部が有る)の製作工程は次の通りである。(1)直径40cm、厚さ2cmほどの高錫青銅(錫の比率は不明)の円板を、円形窪みの鑄型で鑄造し、加熱後、垂直に立てて円板の側面を鉄ハンマーで叩く。(2)電動送風機で風を送る木炭の加熱炉の上に円板を置き、長い2本の鉄棒で円板の回転、反転を行う。(3)地面に埋め込まれた鉄台(台の面は平面で約30cm×10cm)の上に横たえて4人の叩き手が立って熱間鍛造する。円板が鉄台に当たる角度は、粘土の山の高さで決める。回し手の左に粘土の山、右から向かい側に叩き手を配置する。表面が明るい赤色(ややピンク色)から叩き初め表面の赤色が消え芯にかすかに赤味が残る程度で止める。(4)初めは45秒間で108回、54秒間で139回叩く。縁より10cmほど内側を半周叩き、次の回では更に縁寄りを半周叩いて、縁に向かって外に広げて行く。半周まで叩くと逆回転し半周を越えない。半分が終わると、残りの半分を同じように叩く。薄くなり冷める時間が速くなり30秒間で70回ほどの叩き数に減る。チョークのようなもので白線を円板に描き、叩き終わった位置と次の叩き始めの位置を合わせる。中心直径20cmほどを叩かないでその外側を叩き広げて行く。(5)鉄ハンマー鍛造の間に、木槌を持った2人の叩き手で打ち延べとは異なる成形を目的とした鍛造を行う(写真4)。(6)作業の後半は中心から縁に向かって鍛造を繰り返し、打ち延べして縁を曲げて高く立てて行く(写真5)。(7)地面に埋め



写真7 インドネシア銅鑼製品
工房の入口に並べられた銅鑼。
(三好正豊氏撮影ビデオより)



写真8 小出シンバル製作所の焼入れ
1mmほどの薄い高錫青銅円盤を焼入れ
し、冷間加工する。



写真9 りんよ工房のおりんと呼び鈴
共に錫20数%の高錫青銅で鑄造し、加熱
徐冷している。(写真提供 白井克明氏)

た鉄台の横に開けた直径18cmほどの穴の上に置いて鉄ハンマーで叩いて中心のヘソ(凸部)を打ち出す。この凸部成形の厚さを確保するために前半は中心部を叩かない。(8) この穴に入れて回しながら縁の付け根を外側に叩いて規定の外径に合うまで叩く。垂直面の鉄台に銅鑼をやや傾けて置き、縁を当てて内側から木槌で叩いて側面を成形し、口のすばまった形に仕上げる。面径が70cm余りの大型銅鑼になる。(9) 加熱炉で裏表反転しながら加熱し、赤くなるまで加熱したら仰向けで置いて縁に鉄の輪を嵌め(焼入れでの変形防止か)、加熱炉から2人が火挟みで挟んで水槽まで運び4秒後に入水し焼入れする。仰向けに入水するため別の1人が棒で押して沈める。(10) 焼入れ後、冷間鍛造して成形する。木棒で押さえて振動を小さくして鉄ハンマーで叩く方法、鉄台に当てて鉄ハンマーで叩く方法があり表裏面を行う(写真6)。鉄台に当てて側面の内側からも叩く。表裏面に握りこぶし大の粘土を貼り付けて銅鑼を鳴らすことや、鳴らして表面にかすかに指で触れて振動の差を測ることによって叩く位置を探り、調音を進め完成する(写真7)。

6. 日本

工房調査で技法を実見したもの、あるいは報告書があり技法が分かるもの3件を以下に報告する。現在、日本国内に、他の高錫青銅器工房があるのかどうかは把握できていない。

大阪市平野区にある小出シンバル製作所の調査を報告する。この工房では、現代音楽に使うドラムセットのシンバルを、錫20%、銅80%の高錫青銅で作る。真鍮のシンバルは練習用で、本製作所では高錫青銅のシンバルだけを製作する。1998年ころから、代表取締役の小出俊雄氏が独学でシンバル製作を始め、現在に至っている。高錫青銅の材料をトルコから輸入し、薄い円板を加熱炉で加熱して焼入れした後に(写真8)、冷間でスピニング加工する。冷間で加工するため、焼入れ温度の管理が重要で、十分に加熱する必要がある。スピニング加工の後に、冷間鍛造で調音する。スピニング加工後や冷間鍛造後は、しばらく時間が経過しなければシンバルの音に伸びがないことや、また、使用してある程度年数が経過すると音の出が悪くなるなど、高錫青銅の打楽器には奥深

い点が多い。シンバルで良い音を出すためには、1mm以下の極めて薄い大型の円板を整った形に成形することが重要である。完成しても使用時に激しく叩いて割れることがあり、シンバル製作は良質な音と、割れない強度を備えることに注意を払い行われる。

京都市南区にある仏具のおりんを製作する「(有)りんよ工房」の調査を報告する。工房主の白井克明氏の系譜は、白井氏によると1843年の創業まで遡る。その創業時から現在まで、製作技法を変えていない。製品は、おりんや祇園祭りの山鉦(はやしがね)など鳴り物である。伝統的な真土型鑄造法(焼成した砂と粘土を混ぜた土で鑄型を作り、その鑄型を焼成して鑄造する方法)を用いて、錫20数%、銅70数%の高錫青銅でおりんの形(碗形)を鑄造する。それを加熱した後に入水して焼入れし、轆轤で切削する。研磨した後に、表面に鑿(たがね)で文様を彫り描く製品もある。最後に、再度加熱し徐冷して完成となる。この熱処理は音の良し悪しに関連する工程で、極めて重要である。こういった熱処理工程を経て本工房のおりんはやや高音の長い響きを持つ(写真9)。

魚住為楽氏は、1937年ころより大阪の仏具製作所で働きながら独学で銅鑼製作技術を研究し、金沢に戻り銅鑼製作を始めた。ゲージを回転して作る土製の内型に蠟板を貼り付け鑄造する蠟型鑄造法で錫20.6%、銅79.4%の高錫青銅(銅100に対して錫26)の銅鑼の形を鑄造し、研磨仕上げ後、焼入れし冷間鍛造する。その後、再び暗紅色加熱し徐冷して完成する⁽⁵⁾。他の地域の鍛造で作る銅鑼とは異なり、鑄造で形を作り焼入れを経て最後に加熱徐冷を行う。為楽氏は1964年に死去し、その後は後継者が高錫青銅器を製作している。為楽氏の銅鑼の形状は、側面のある円形皿を伏せた形で、中央にヘソと呼ぶ半球形の凸部が有る。

7. まとめ

高錫青銅器を鍛造で作る方法は、熱間鍛造で成形し、焼入れ後に冷間鍛造で形を均す。楽器の焼入れ後の冷間鍛造は、調音に関連する。インド、ミャンマー、インドネシアでは叩き進め方や焼入れの入水角度などが異なるが、全体のおおまかな工程はほぼ同じである。韓国大邱の鑼器博物館に展示された写真からは、インドやミャン

マーの鏡や匙同様に、複数枚重ねて熱間鍛造する銅鑼製作が近年まで韓国でも行われていたことが分かる。今後、中国大陸での高錫青銅器製作技術との比較をしなければならないが、インド、ミャンマー、韓国において極めて類似した熱間鍛造、焼入れ技法が行われていたことが分かる。

韓国高麗時代、朝鮮時代の銅鏡は錫20～21%の高錫青銅で、金属組織観察から熱間鍛造、焼入れされたと分かるものがある⁽⁶⁾。これらは厚さが0.3mm程と薄い。インドの工房の高錫青銅鏡も同じ薄さであり、両者は同じ製作方法である可能性が高い。同じく高麗時代の錫20%の銅鏡には、金属組織から鑄造品を焼入れしたものがある⁽⁶⁾。これには高台(圈足)が付き、この形状を鍛造で作ることは困難である。

現代の日本の高錫青銅のおりんは、最後に加熱徐冷する点で、他地域の高錫青銅器とは異なる特殊な熱処理法である。この技術発生の地域、時期については今のところ不明であるが、おりんは弱く叩かれることと音質の好みから、加熱徐冷という割れやすくなる熱処理法を最後に行うと思われる。魚住氏の銅鑼は、高錫青銅のおりんと技法が似ている点から、おりんの技法を参考にした可能性もある。茶室で使う魚住氏の銅鑼は、南アジアや韓国の銅鑼に比べ弱く叩かれるが、高錫青銅のおりんより強く叩かれることから、おりんよりも錫比率を下げて割れにくくしているのであろう。

東京国立博物館法隆寺宝物館に展示される銅鑼は、鎌倉時代、面径35.0cm、高さ5.4cm、厚さ4mmと解説がある⁽⁷⁾。中央の半球形の凸部(ヘソ)が無く現代の韓国の銅鑼に似るが、表面(打面)がほぼ平らな韓国銅鑼に対し、中央が窪む。全面にある打痕は粗く、表面には同心円状のハンマー痕が深く鮮明に残る。これが高錫青銅製であるなら、このような深い痕跡は熱間鍛造によるものであろうが、銅鑼の裏面を鉄台に当て表面を鉄ハンマーで叩いており、現代の韓国、ミャンマー、インドネシアなどの銅鑼が裏面を熱間で叩いて成形することと異なる。東アジアの銅鑼製作技術史研究が進むなかで、その位置づけが明らかになるであろう。

近年、ベトナム中部で菅谷文則氏が購入した銅鑼(形状はミャンマー、インドネシアに類似し中央に半球形凸部のヘソが有り、インドネシアの銅鑼のようにヘソの周辺の平滑面の更に縁寄りには凹曲面が一周巡る)は、直径31cm、縁高さ4cm、厚さ0.8～1.2mm、成分は亜鉛32%、銅68%の真鍮で⁽⁴⁾、全面に打痕があり冷間鍛造で作られたと考えられる。凹曲面の部分は表面から叩いて鍛造している。高錫青銅製の銅鑼の技法が真鍮製に変化したものかなどの詳細は分からない。

中国を除いた、インドより東の主要なアジアの地域の近現代の高錫青銅器工房の技法を、本報告で提示した。中国の現代の高錫青銅器技法については、今後、中国等

の研究者によって調査され、やがて提示され研究情報が整備され、更にインドより西の地域の高錫青銅器工房調査が進展し、アジア全域の現代の高錫青銅器製作技法が集成されるであろう。現代の各地域の技法の部分的な幾つかは近世になって伝播した可能性もあり、古代の技術発生と伝播については、考古学的な視点から慎重に検討されなければならない。現代の錫20%を超える高錫青銅器工房の調査によって、古代からの高錫青銅器製作技術史が、より具体的に、より現実的に考察できることとなり、当初の研究目標が達成できたと考えている。

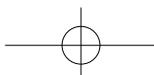
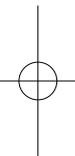
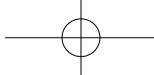
謝辞

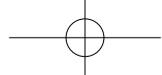
本稿執筆にあたっては、調査させていただいたインドと韓国の高錫青銅器工房の方々と、以下の方々にご支援、ご教示いただきました。感謝申し上げます(敬称略)。

李恩碩、Srinivasa Ranganathan、R.M.Pillai、Sharada Srinivasan、Vimal Kumar、三好正豊、小出俊雄、白井克明、清水康二、長柄毅一、島添貴美子、柴田早穂

参考文献・注

- 1) 富山県高岡市在住の轆轤師 和田任市氏が群馬県出土の銅鏡を復元した。
- 2) 長柄毅一・三船温尚 編集、『韓半島の高錫青銅器の熱処理技術・製作技術一』平成21年度独立行政法人日本学術振興会 二国間交流事業<韓国とのセミナー>報告書 (ISBN978-4-9905066-0-5)、富山大学芸術文化学部、2010
- 3) Sharada Srinivasan, Ian Glover Skilled mirror craft of intermetallic delta high-tin bronze (Cu31Sn8,32.6% tin) from Aranmula, Kerala, Heat Treatment and Casting Techniques of Asian High-Tin Bronze Wares, Faculty of Art and Design, University of Toyama, PP.3-8, 2008
- 4) 富山大学 長柄毅一氏が、製品の表面を研磨して蛍光X線成分分析した数値である。
- 5) 木村弘道、「魚住為楽・銅鑼の製作工程」、『人間国宝シリーズ 28 佐々木象堂、海野清、魚住為楽』所収、講談社、1979
- 6) 長柄毅一、李相龍、「高麗、朝鮮時代の高錫青銅器の金属組織」、『韓半島の高錫青銅器の熱処理技術・製作技術一』平成21年度独立行政法人日本学術振興会 二国間交流事業<韓国とのセミナー>報告書 (ISBN978-4-9905066-0-5) 所収、pp.81-93、pp.194-196、富山大学芸術文化学部、2010
- 7) 『法隆寺献納宝物』、東京国立博物館、1975





佐波理伝来

—二元系高錫青銅容器の来た道—

清水康二(奈良県立橿原考古学研究所)

I. はじめに

アジアの東端、日本列島に残る正倉院あるいは法隆寺の宝物の中には、数多くの佐波理製の青銅容器が見られる。佐波理という名称自体は、それほど古い呼び名ではなく近世以降のものであり、古代には白銅と呼ばれていた(成瀬 2002)。また、中国では響銅と呼称され、銅鑼等の鳴り物にも採用されている。佐波理の実態は、基本的に銅と錫の二元合金で鉛を含まないことを特徴とする。二元系高錫青銅器は、鍛造あるいは鑄造によって作られ、焼き入れ等の熱処理を行って脆性の改善や研磨等の作業時に破損しにくくするのが普通である。東アジアにおいては、中国古代の銅鏡に代表される鉛を含む三元系高錫青銅器が著名であるが、それと同時に少数ではあるが二元系高錫青銅器も古くから存在する。しかし、正倉院御物の佐波理容器と比較する二元系高錫青銅器の東アジアでの出現は、比較的時期が降るようで、おそらくは東アジア地域以外で確立した技術が日本列島に新しく伝わってきた可能性が高い(清水 2009)。

この論文では、合金成分、成形技法(鍛造、鑄造)、熱処理技術を基準に管見にとまった資料を俎上にあげて、その年代と分布を検討したい。今後、この作業によって、二元系高錫青銅器の製作技術の起源地と伝播ルートを明らかにすることができる可能性がある。なにぶん広い地域を扱うため、資料の蓄積の粗密は避けられない。また、科学分析が行われた資料も少ないため、厳密な論証は難しいが、これらの概況を把握して二元系高錫青銅器に関する研究を一步でも先に進めたいと思う。

II. 二元系高錫青銅器とその分類

・二元系高錫青銅器の定義

まず、考察の対象にする二元系高錫青銅器の定義を明確にしておくべきであろう。歴史的用語として見れば、これらは東アジアで「佐波理」「響銅」「白銅」と呼ばれてきた錫比率の高い青銅器である。特に正倉院や法隆寺の宝物の中に見られる佐波理製品は、その重要性から非破壊分析にとどまっているものの、遺存状況の良好さもあって、鉛を含まないSn20%前後の数値が出ているものがある(成瀬 2002、村上 2005)。また、現代韓国の鍮器製作に使用される成分比率もほぼ同様である。鍮器製作における銅：錫の比率は、尺貫法による1斤：4.5両とのことであり(庄田ほか 2009)、ほぼCu78%、Sn22%となる。また、工学的な高錫青銅の定義については、Sn10%以上を広義の高錫青銅、Sn16%以上を狭

義の高錫青銅とし、Sn10%以上16%未満を低高錫青銅、Sn16%以上25%未満を中高錫青銅、Sn25%以上を高錫青銅とする見解があり(長柄 2008)、中高錫青銅は、成形後の研磨、使用時等の脆性を除去するために、基本的に熱処理が行われることを特徴とする。したがって、中高錫青銅を熱処理型高錫青銅と呼称する(長柄 2010)。

熱処理型高錫青銅の範囲であるSn16%以上25%未満は、熱間加工が可能な範囲であるが、Sn25%以上になると、成形後に熱処理を行っても α 層が消失し、高錫青銅の脆弱性を十分改善できるとは言い難い。したがって、轆轤による仕上げ等を必要とする熱処理型高錫青銅の範疇に入れるにはふさわしくないが、ここではさらに広く捉えて高高錫青銅の範囲も含めておく。

次に、鉛の有無の問題がある。東アジアの高錫青銅器として代表的な青銅鏡においては、鉛を5%前後含むのが通常である。しかし、二元系高錫青銅器である以上、基本的に鉛を含まないのが原則であるが、その実態は様々である。二元系高錫青銅器には鍛造成形を伴うことが多いが、鉛を含むことによって鍛造成形に影響が出ることが指摘されている(Craddock et al. 1988)。鉛は銅、錫との合金化後も固まりのようになって残り、鍛造時の打撃によって亀裂が生じやすくなる。もっとも鉛の有無については、「人為的な混入」、「精錬技術の未熟さからくる鉱石由来による混入」、「既製品の再利用による混入」のいずれかを区別するのは極めて難しい。ここでは、便宜的に鉛1%未満を二元系高錫青銅器の属性とする。

さらに、熱処理技術を見ると、現代に残る韓国の鍮器製作、インドの高錫青銅器製作においても、最終的な加工研磨の際には熱処理技術が用いられている(長柄ほか 2009)。基本的に熱処理技術は、高錫青銅器の加工研磨と使用中の毀損を防ぐために必要なものである。ただし、Sn22%前後の高錫青銅器でも熱処理技術を省略している実例がある。

最後に、鍛造、鑄造の区別がある。東アジアにおいては高錫青銅を含めて、伝統的に主要成分に銅を用いる製品では鑄造が多い。しかし、中近東では古くから純銅あるいは銅比率の高い合金製品においては、鍛造成形が用いられている。また、高錫青銅器でも鍛造により成形が行われているものがあるが、これは高錫青銅であるからであり、基本的に成形は熱間鍛造によるものと考えて良い。もちろん、熱処理を行った後の小規模な形状変更や銅鑼等に代表される打楽器の調律等では、冷間鍛造が用いられることがある。しかし、器形の大まかな形状は熱

間鍛造によって決まる。この他に、二元系高錫青銅器の成形に鑄造を用いるものがある。鍛造と鑄造の関係であるが、鉛を含まないことを二元系高錫青銅器の大きな特徴とするならば、鉛の有無が鍛造成形に影響を与える以上、二元系高錫青銅器の本来的な製作技術は熱間鍛造成形であると考えらるべきであろう。

・二元系高錫青銅器の分類基準

これまでに見てきたことを基に、二元系高錫青銅器の分類基準を設定したい。

Sn16%以上のものをS(a)、それ以下のものをS(b)とする。この場合、S(b)の成分値の下限は低高錫青銅の範囲とする。また、鉛1%未満のものをP(a)、それ以上のものをP(b)とする。熱処理技術についても、焼き入れ、焼き鈍し等の熱処理が確認できるものについてはH(a)、確認できないものをH(b)とする。最後に、成形の方法であるが、鍛造によるものをF(a)、鑄造によるものをC(b)とする。これらの各属性の中で(a)としたものが、二元系高錫青銅器に本来的に備わっているべきものである。したがって、S(a)+P(a)+H(a)+F(a)という構成をとるものが、典型的な二元系高錫青銅器と考えて良い。逆に、S(b)+P(b)+H(b)+C(b)という構成をとるものは、二元系高錫青銅器としての属性を一つも持っていないことになる。

さて、この分類要素の中でも重要度には違いがあろう。最も重要な分類基準は、錫比率と成形技法である。したがって、S(a)+F(a)の組み合わせのものをA型、S(a)+C(b)のものをB型、S(b)+F(a)のものをCA型、S(b)+C(b)のものをCB型とする。これらをさらに熱処理技術の有無と鉛の含有量を基に細分すると表1のようになり、理論上は二元系高錫青銅器の要素を有するA1～CB4型の16型式に分類することが可能である。

III. 各地域の様相 (図1・2)

ここでは、アジアの二元系高錫青銅器を概観するが、青銅器類の関係が密接であるため、特に注意を払うことにする。また、各地域の概要については、先行論文を記している(清水 2009)、それ以降に得た知見と概略を示すのみとする。

・日本列島

日本列島では、弥生時代の前期に高錫青銅器を確認することができる。しかし、それらは韓半島からの舶載青銅器であり、鉛を含む三元系高錫青銅器である。弥生時代後期に至ると、倣製鏡の中に中国大陸の漢式鏡に劣らない錫比率の三元系高錫青銅鏡が製作される。その合金比率は中高錫青銅の範疇に達する(久野 1989)。

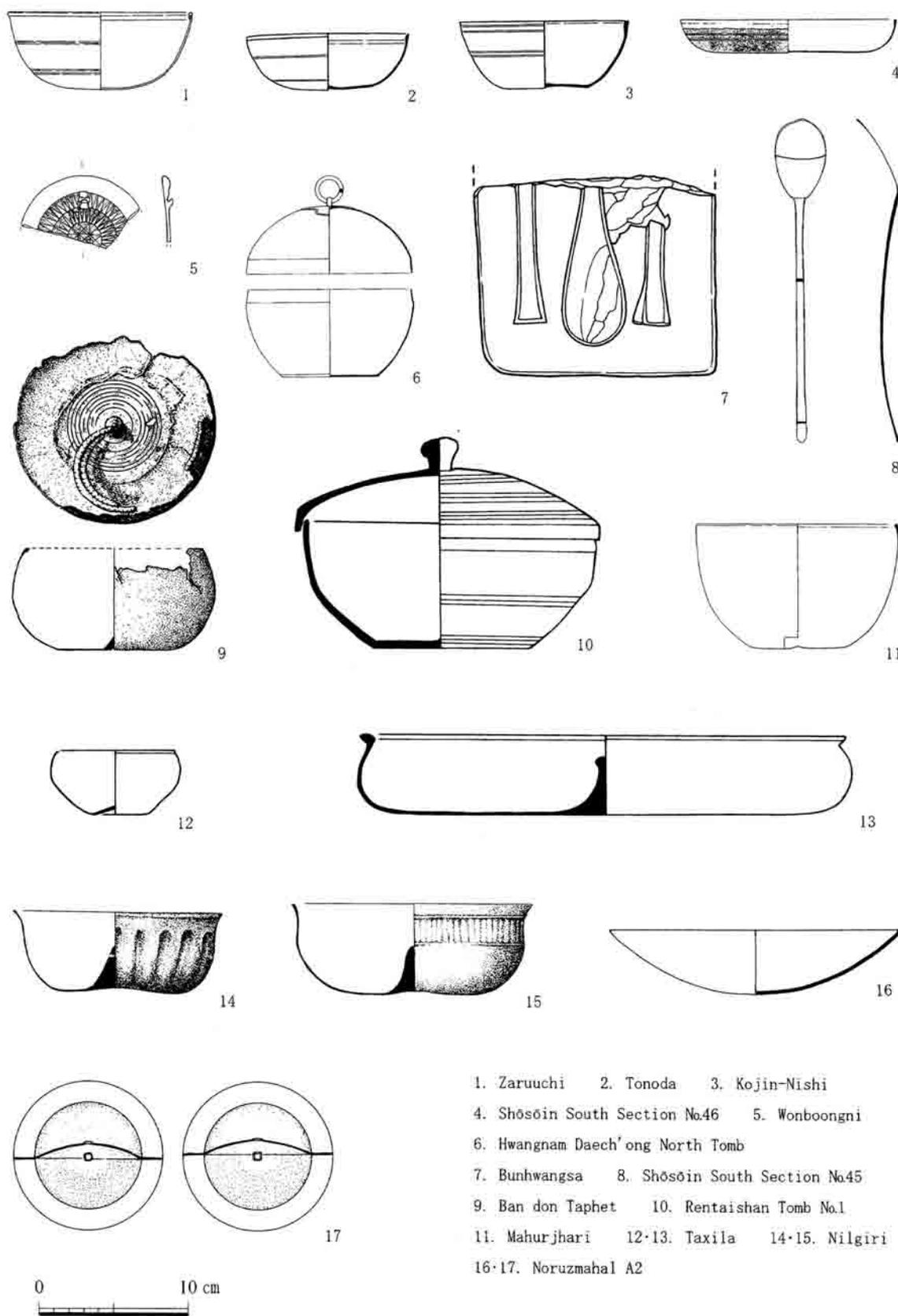
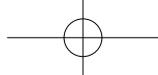
二元系高錫青銅器の可能性のある資料としては、古墳時代後期の6世紀前半以降の古墳から出土した銅鏡を中心とする青銅器類があげられる。古墳時代の銅鏡は、集成によれば113の出土例が確認されている(毛利

表1 二元系高錫青銅器の分類

Type	
A 1型	S(a)+F(a)+H(a)+P(a)
A 2型	S(a)+F(a)+H(a)+P(b)
A 3型	S(a)+F(a)+H(b)+P(a)
A 4型	S(a)+F(a)+H(b)+P(b)
B 1型	S(a)+C(b)+H(a)+P(a)
B 2型	S(a)+C(b)+H(a)+P(b)
B 3型	S(a)+C(b)+H(b)+P(a)
B 4型	S(a)+C(b)+H(b)+P(b)
CA 1型	S(b)+F(a)+H(a)+P(a)
CA 2型	S(b)+F(a)+H(a)+P(b)
CA 3型	S(b)+F(a)+H(b)+P(a)
CA 4型	S(b)+F(a)+H(b)+P(b)
CB 1型	S(b)+C(b)+H(a)+P(a)
CB 2型	S(b)+C(b)+H(a)+P(b)
CB 3型	S(b)+C(b)+H(b)+P(a)
CB 4型	S(b)+C(b)+H(b)+P(b)

光 1991)。しかし、破壊分析された詳細な分析値が公表されたものが少なく、二元系高錫青銅器として良いかどうかは不明な点が多い。当然のことながら、金相分析はなされておらず、鍛造、鑄造の弁別は青銅器の形態と鋳痕等の観察によるほかはない。今のところ、古墳時代の典型的な二元系高錫青銅器(A1型)は確認されておらず、今後の詳細な分析が必要とされる。いくつかの数少ない事例をあげてみると、福島県茨内横穴出土の資料はCu70%、Sn25%、Pb5%であり、形状からして鑄造品と判断されており(押本 2002)、B2型もしくはB4型に分類される。次に、岡山県殿田古墳出土の銅鏡はCu70%、Sn17%、Pb13%の高錫青銅であるが、鉛を多く含んでいる(持田ほか 2010)。これだけ鉛を含むと鍛造は難しいと考えられるので、鑄造により成形されたものであろう。同じく、岡山県荒神西古墳出土の銅鏡はCu83%、Sn1%、Pb16%の分析結果が出ている(持田ほか 2010)。これらは鉛を多く含むため、鍛造が行われたとは考えにくく、熱処理もしていなかったと推測して良いだろう。殿田古墳出土の銅鏡はB4型である。荒神西古墳出土の銅鏡はSn1%であるため、二元系高錫青銅器に特徴的な銅鏡という器種であるにもかかわらず、その製作技術は二元系高錫青銅器の属性を一つも持たない。

これに対して、奈良時代を中心とした資料である正倉院御物の佐波理製品は伝世品であるが、遺存状況が良好であるために非破壊ではあるが、二元系高錫青銅器と判断してよいものが含まれている。飛鳥時代以降の資料を含む法隆寺宝物の佐波理製品も、やはり伝世品であるために非破壊ではあるが、信頼のできる分析値が公表されている。分析報告によれば(村上 2005)、A.D.6～7世紀の資料はいずれも銅に20%前後の錫を含み、他の不



- 1. Zaruuchi 2. Tonoda 3. Kojin-Nishi
- 4. Shōsōin South Section No.46 5. Wonboongni
- 6. Hwangnam Daech'ong North Tomb
- 7. Bunhwangsa 8. Shōsōin South Section No.45
- 9. Ban don Taphet 10. Rentaishan Tomb No.1
- 11. Mahurjhari 12-13. Taxila 14-15. Nilgiri
- 16-17. Noruzmahal A2

図1 高錫青銅器

純物が少ないが、8世紀に入ると錫の量が減るとともに鉛が増加し、中世では鉛の量が10%を越えるものもある。

正倉院御物の佐波理容器もまた非破壊分析ではあるが、成分分析値が公表されている。一例をあげると、南

倉46佐波理皿第59号(10口)はCu80%弱、Sn20%強で、微量のFe、Ni、Agを含んでいる(木村ほか1989)。

正倉院御物、法隆寺宝物の佐波理製品は、いずれも非破壊分析であるために金相断面を確認することができな

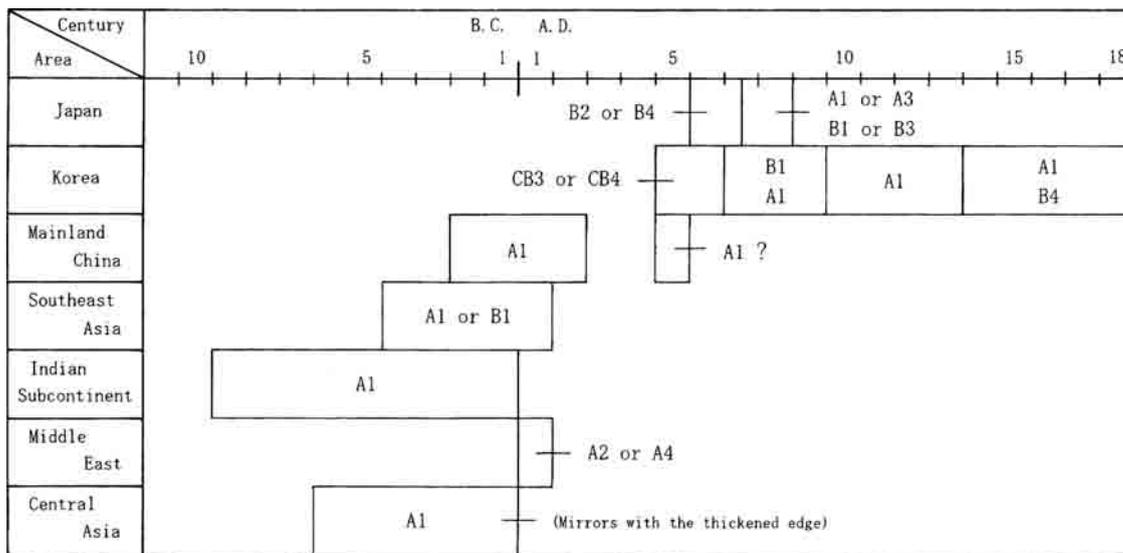


図2 二元系高錫青銅容器の出現時期

いが、形状から確実に鍛造と判断できるものとしては、正倉院御物に見られる銅匙がある。これも非破壊分析の一例(南倉45銅匙第6号20口)ではあるが、Cu80%弱、Sn20%強であり、Pbについては、未検出が12点、微量から少量含まれているものが8点ある(木村ほか1992)。韓国慶尚北道慶州市の芬皇寺出土の鋳型(국립경주문화재연구소2006)から類推すれば、正倉院御物の銅匙の匙部には鍛造痕が明らかなので、熱間鍛造とその後の熱処理を想定して良いが、熱処理に関しては確実ではない。したがって、正倉院御物の匙に関してはA1型もしくはA3型と考えられるが、形状からして熱処理がなされなければ実用に供することができないためA1型と考えられる。また、他の銅鏡等で鋳造成形によって作られた鉛を含まない二元系高錫青銅器はB1型もしくはB3型となる。

日本列島の二元系高錫青銅器の概況をまとめると以下のようなになる。弥生時代から三元系高錫青銅器の製作は行われるが、二元系高錫青銅器と関係が強い青銅容器類の出土は古墳時代後期の6世紀前半までしか今のところ遡ることはできない。古墳時代の銅鏡については、一部の器種を除いては製作地を今の段階では明確にすることができないが、鉛同位体分析の成果を仮に重視するならば、日本列島製、韓半島製の両者があるようである(馬淵1994)。しかし、分析例が少ないこともあって、確実に熱間鍛造を行うもの、鉛を含まないものについても現状では確認することができない。その後の飛鳥・奈良時代(A.D.7~8世紀頃)の青銅容器類についても製作地に関しては、個々の遺物について特定することは現状では容易ではないが、出土量、伝製品の多さから、新羅を中心とした韓半島製以外にも日本列島製が含まれていたであろうと想定できる。そして、飛鳥・奈良時代の銅鏡、銅匙には鉛を含まないものが確認できる点が、古墳時代

の鉛を含む銅鏡の状況とは明確に異なっている。また、製作地の問題はあがあるが、正倉院御物の匙に熱間鍛造が想定できることにも注意が必要であろう。

日本列島の二元系高錫青銅打楽器製作の歴史については、現状でははっきりとしない。正倉院御物や古代に属する法隆寺の宝物に銅鑼や銅鈸が含まれないことから、その伝来の時期は二元系高錫青銅容器の伝来時期より新しいと判断すべきである。滋賀県東近江市百濟寺に「建長八年」(A.D.1256)銘の韓半島で製作されたと考えられる銅鑼と同時期のものと推定されている銅鈸が所蔵されている(岡本1995)。銅鑼については、中央が突起する東南アジア系の銅鑼が用いられることもあるが、現在は茶道具として位置づけられているため、茶道が盛行した安土桃山時代以降に利用された可能性がある(岡本1995)。

・韓半島

初期鉄器時代(B.C.3~1世紀)から18世紀までの青銅製品(105点)を分析した박장식의研究を参照し、概況を把握する(Park et al. 2007)。初期鉄器時代の資料としては、青銅の武器、工具、鏡が分析され、いずれも鋳造品のみで、焼き入れ処理は見られない。初期鉄器時代(B.C.2~1世紀)の忠清南道院北里出土の多鈕鏡は鋳造成形で、Sn32%で鉛を含む例であるが、Sn17%の銅剣も出土しており、大田広域市炭坊洞遺跡からはSn22%、Pb9%の銅矛(B.C.3~2世紀)が出土している。

三国時代(A.D.4~7世紀)の資料では、青銅容器5点が分析され、4点が鋳造品、1点が鍛造品である。青銅容器としては、楽浪郡の後漢墓から銅鏡が出土しており、引き続き三国時代の墳墓から出土する青銅容器の類例が増加する。著名な例をいくつかあげるとすれば、慶州の金冠塚、天馬塚、皇南大塚北墳、公州の武寧王陵があり、統一新羅時代では雁鴨池がある(朝鮮総督府1924・文

化財管理局 1973・1974・1985・1986)。金属成分比率は判明していないが、鑄造品以外では金冠塚、天馬塚、皇南大塚北墳に鍛造成形によって作られた青銅容器が存在する(毛利光 1978・イ 2000)。

皇南大塚北墳には鑄造品と鍛造品の銅容器があって、鍛造品はほぼ純銅、鑄造品はSn15%で焼き入れ処理は施されていないので、CB3型もしくはCB4型である。統一新羅時代(A.D.7～10世紀)には、Sn24%で鉛を含まない二元系高錫青銅容器に焼き入れ処理をしたものが現れる。ただし、錫比率との関係が明確に示されているのは鑄造品のみであり、これはB1型に分類できる。また、銅匙を中心に鍛造成形の後に焼き入れ処理を行ったA1型が確認できる。統一新羅時代の銅匙の石製鑄型が慶州の芬皇寺から出土しているが、湾曲のない器形からすれば、鑄造後に鍛造成形されたと考えて良い。作られた製品の金属成分比率については厳密には不明であるが、二元系高錫青銅器の可能性が高い(국립경주문화재연구소 2006)。次の高麗時代(A.D.10～14世紀頃)に至ると、青銅容器も銅匙もA1型の二元系高錫青銅器となる。朝鮮時代(A.D.14～18世紀頃)の銅匙と青銅容器は基本的に高麗時代と同じく、二元系高錫青銅を用いた鍛造成形と焼き入れ処理が施されたA1型であるが、青銅容器のうち、1例のみは鑄造品で、Sn23%の高錫青銅ではあるものの、Pb4%、As1%を含むB4型である。

以上のことから、統一新羅時代には銅匙を中心にA1型の二元系高錫青銅器が現れたが、青銅容器はB1型で製作されていた。その後、高麗時代になると、銅匙、青銅容器はA1型の二元系高錫青銅器となり、朝鮮時代では同じくA1型の二元系高錫青銅容器も製作されるが、B4型のように典型的な二元系高錫青銅器製作技術からは遊離したのも見られる。

現代韓国では、銅鑪(甕)に代表されるSn22%のA1型の二元系高錫青銅打楽器が未だ盛んに製作されているが、その伝統はそれほど古くは遡らないようであり、統一新羅には二元系高錫青銅打楽器である銅鑪の製作はまだ始まっていないと考えられており、滋賀県百濟寺の銅鑪を韓半島製とすれば、高麗時代には銅鑪製作が開始されていたようである(岡本 1995)。

・中国大陸

青銅容器に限らなければ、中国大陸ではすでに二里頭期(B.C.19世紀～16世紀頃)にSn23%を超える分析例が報告されている(曲ほか 1999)。その他にも、いくつかの分析例が紀元前二千年紀の青銅器の分析事例に見受けられる。なかでも注目すべきものは、内蒙古自治区朱開溝遺跡出土の耳環(B.C.17世紀頃)、内蒙古自治区大甸子遺跡出土の耳環(B.C.21～16世紀頃)であろう(李ほか 2000、李ほか 2003)。朱開溝遺跡の耳環はCu81.3%、Sn17.0%であり、熱間加工が施されているため、A1型もしくはA3型と考えて良い。大甸子遺跡出

土の耳環にはCu81.8%、Sn15.1%、Pb3.1%で、熱間鍛造が行われたものと、Cu80.8%、Sn18.7%で鑄造成形のものがある。前者はCA2型もしくはCA4型、後者はB1型もしくはB3型である。その後も鉛の有無にかかわらず高錫青銅器は断続的に製作されるが、注目すべきものは近年分析が行われた河南省南陽市斗王廟出土の銅舟である(何ほか 2010)。年代は漢代と幅広く捉えられているが、Cu79.0%、Sn18.73%の二元系高錫青銅容器である。これは熱間鍛造と熱処理までが施されたA1型であり、今のところ、中国の青銅容器としては最も古い事例である。この他にも商代に属する事例(郝ほか 2001)や二里頭期に属する事例(孫 1998)は知られているが、いずれも鉛を含んでいる。したがって、斗王廟出土の銅舟は、少なくとも漢代には外来の二元系高錫青銅器製作技術が伝来していた可能性を示している。

銅鑪等では今のところ、科学分析でA1型の二元系高錫青銅器として確認できるのは、北宋代(A.D.960～1127)以降の銅鑪、銅鈸等の打楽器であり(何ほか 2009)、法隆寺献納宝物中に南北朝時代(A.D.439～589)に製作されたと考えられる銅鑪がある(香取 1984)。「旧唐書」(A.D.945)の記載(「銅拔、亦謂之銅盤、出西戎及南蛮。」)からすれば、外来の製作技術である可能性が高い(清水 2009)。

・東南アジア

タイを中心に高錫青銅器が確認できる。B.C.4世紀～A.D.1世紀頃のBan don Taphet遺跡から青銅容器が163点出土している(Bellina et al. 2004)。Rajpitakにより銅鈸4点の分析報告がなされているが(Rajpitak et al. 1979、Srinivasan et al. 1995)、いずれもSn20～23%の範囲であり、鉛を含まず熱処理が見られるため、A1型もしくはB1型である。この他には、A.D.500年頃のPimai遺跡(Smith 1973)、Ban Chaing遺跡の紀元前一千年紀後半の首飾り(Wheeler et al. 1976)などが高錫青銅器とされている。

東南アジアではその後、銅鑪を中心としたA1型を含む二元系高錫青銅を材質とした打楽器の製作が盛んになるが(Goodway et al. 1987)、その製作開始年代、変遷等も現時点では不明と言わざるを得ない。

・インド亜大陸

インドでは、比較的多くの二元系高錫青銅器を確認することができる。Taxila遺跡ではSn21～25%の二元系高錫青銅器が確認できるが、金相断面等の観察はなく、熱処理、成形技法については判断できない(Marshall 1951)。年代はB.C.3世紀～A.D.1世紀である。南インドのTamil Nadu州のNilgiri遺跡(紀元前一千年紀中葉～後葉)から出土した青銅容器(Srinivasan et al. 1995)、同じくTamil Nadu州のAdichanallur遺跡から出土した紀元前一千年紀前葉～中葉とされる青銅容器の分析によれば(Ghosh 1990・Srinivasan et al. 1995)、いずれも

Sn22%前後のA1型の二元系高錫青銅容器である。

最近の新たな分析例として、B.C.800年頃の年代と考えられるMaharashtra州のMahurjhari巨石墓群から出土した銅鏡が、Sn16%ながらA1型の二元系高錫青銅器であることが判明している(長柄ほか 2010)。

すでに、インダス文明に属するB.C.2000年頃のMohenjo-daro遺跡では、Sn22.6%、Pb0.86%の二元系高錫青銅器が出現しており(Mackay 1938・Srinivasan 1997)、今後の出土遺物に注意を向ける必要がある。

・中央アジアと中近東

二元系高錫青銅器として最も西方で確認できるのは、カスピ海南岸のDailaman盆地のNoruzmahale A2号墓から出土したA.D.1世紀頃の銅鏡である(江上ほか 1966)。Sn21.38%で、鍔痕が明瞭であり、鉛が1%をわずかに超えるが、熱処理については不明なため、A2型もしくはA4型に限定できる。初期イスラム時代のイランでも、半球形の単純な形をした高錫青銅器が見られるとのことで、器形が単純なのは、熱間鍛造により成形されたためと考えられている(Allan 1979)。

今のところ、中央アジアでは二元系高錫青銅器は確認できていないが、二元系高錫青銅で製作する縁厚の柄鏡が知られている(Ravich 1996)。20例が分析報告されているが、この中にはA1型が含まれている。また、錫比率も1例を除き20%以上である。年代はB.C.6世紀頃～A.D.3世紀であるが、大半は紀元前の資料である(図4)。

二元系高錫青銅打楽器については、Noruzmahale A2号墓から先述の二元系高錫青銅器とともにシンバルが出土しているが、成分分析は行われていない。

IV. 二元系高錫青銅器の起源と伝播(図5)

錫比率が16%を超えること、鉛を含まないこと、熱間鍛造成形であること、熱処理をすることを基本的な属性とする二元系高錫青銅器は、器種としては青銅容器、あるいは打楽器と密接な関連を持っているように見える。ただし、これ以外の器種にも内蒙古の朱開溝遺跡出土の耳環のように、二元系高錫青銅器の典型例としたA1型が存在することも確かである。ここでは、二元系高錫青銅器の起源地を限られた資料ではあるが想定し、大まかな伝播ルートも提示したい。

まず、問題になるのは最古の二元系高錫青銅器の所在であろう。現状では中国の朱開溝遺跡、大甸子遺跡出土の耳環などが候補にあがる。しかし、朱開溝遺跡出土の耳環(サンプル番号2699-2)1点は確かにA1型に属するものの、同時期と判断されている4点の耳環ではSn8.3～12.5%の値が出ており、低高錫青銅の範疇に入るものすら1例に過ぎない(李ほか 2000)。このことから判断すると、A1型に属する1例のみが中高錫青銅の範疇に入ることは、必ずしもこの時期に二元系高錫青銅器

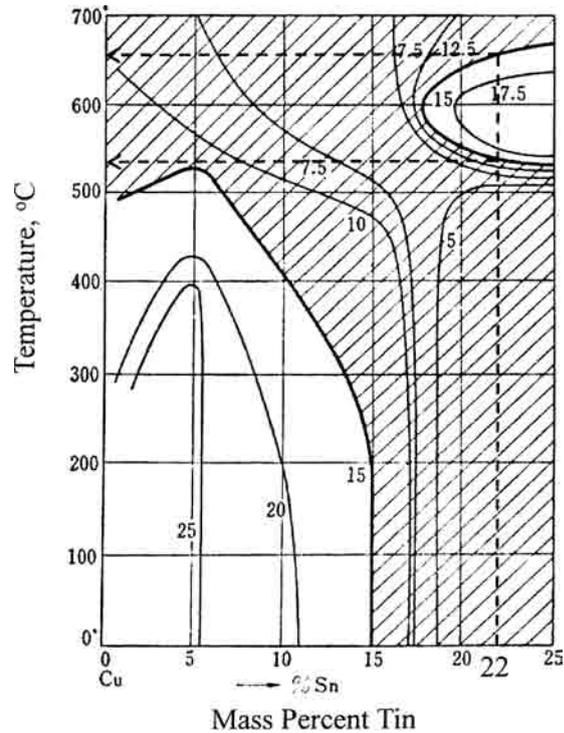


図3 鍛造加工に適した温度
(濱住 1972論文より・長柄毅一により一部改変)

の技術が普遍的ではなかった可能性も示している。同じく、夏家店下層の時期である大甸子遺跡出土の耳環(M453:2)には、CA2型もしくはCA4型の例があり、同時に指輪にもB1型もしくはB3型の事例が確認できる(李ほか 2003)。また、高錫青銅であっても鑄造と鍛造に成形技法が異なる点は、二元系高錫青銅器の製作技術が完全に確立していないことを伺わせる。中国においては、この後も二元系高錫青銅器と密接な関係を有すると考えられる青銅器類が明瞭ではない点にも注意する必要がある。漢代の南陽斗王廟村出土の銅舟までA1型の二元系高錫青銅器を確認することはできない。したがって、朱開溝遺跡、大甸子遺跡に存在する二元系高錫青銅器製作技術との直接的な系譜を想定することについては大いに疑問が残る。

これに対して、インド亜大陸では紀元前一千年紀前半から二元系高錫青銅器が確認できる。Adichanallur遺跡、Nilgiri遺跡出土の銅鏡はいずれもA1型で、且つ重要なのはSn22%前後を示している点であろう。鍛造に適した錫比率と加熱温度を図示したものによれば(濱住 1972)、右上部分が高温の熱間鍛造に適した範囲であり、左下部分も鍛造に適した範囲となり、斜線部分が鍛造に適さない範囲である(図3)。これを見ると、Sn22%前後は熱間加工の可能範囲の温度が660°C～530°Cと広がっている。したがって、加熱炉から青銅器を取り出した後の加工可能な時間も長くなり、熱間鍛造に適した錫比率であると言える。このように、二元系高錫青銅器製作技術の典型例であるA1型の中でも、Sn22%前後の

比率をとる技術的に完成された一群が、紀元前一千年紀前半にインド亜大陸で確認することができる点は、典型的な二元系高錫青銅容器製作技術がインド亜大陸もしくはその周辺で確立したことを示唆している(清水 2009)。

カスピ海南岸のDailaman盆地に二元系高錫青銅容器が確認できるが、インド亜大陸より西方では、高錫青銅で容器を製作する伝統は基本的には見受けられない。主要な技術伝統は、比較的錫比率の低い青銅を鍛造成形により容器に形作る手法である。アレクサンダー大王の東征に伴ったネアルコス(紀元前334-323)の記述からも、インドの高錫青銅容器に関する素直な驚きが記されたこととされる記事があり(ストラボン『地理誌』)、紀元前一千年紀のインド亜大陸より西方では二元系高錫青銅容器製作の伝統がなかったことが推測される。インド亜大陸で二元系高錫青銅容器製作が盛行した理由としては、中央アジアからの影響があった可能性を考えたい。インド亜大陸では錫鉱山は比較的稀少であるが、ウズベキスタン、タジキスタン周辺にはKarnab遺跡(紀元前二千年紀)に代表される古代からの錫鉱山が発見されており(Cierny et al. 2003)、大量の錫を消費する高錫青銅器製作にはふさわしい地域である。

これに関連して、中央アジアに見られる熱間鍛造で製作された縁厚の柄鏡の一群に注意すべきであろう(図4)。柄鏡の形態自体は鑄造成形による方が容易と思われるが、わざわざ鍛造で成形される点で、強い熱間鍛造成形技術

の伝統の存在が想定できる。Karnab遺跡の所在する錫鉱山や周辺のいくつかの鉱山は、これら一群の柄鏡の分布の中心に位置している。また、今のところ年代的には、インド亜大陸の青銅容器資料を遡らないが、B.C.6世紀のA1型の柄鏡の資料が存在するので、二元系高錫青銅器の起源地候補となろう。柄鏡以外の青銅器の器種については情報を把握していないが、今後の精査が必要である。仮に紀元前1千年紀前葉以前の中央アジアにおいて、二元系高錫青銅器製作技術が存在しないとすれば、二元系高錫青銅器製作技術の確立は、インド亜大陸周辺で起こったと推測する方が現状では穏当である。その場合、青銅容器を鍛造で製作する技術がインド亜大陸の西方に存在するため、そのような技術伝統と中央アジアの高錫青銅器製作技術の伝統が融合し、インド亜大陸の北方周辺で二元系高錫青銅器製作技術が確立した可能性がある。これに関連して注意しておくべきことは、インド亜大陸における乗馬の風習の伝来についてである。現在のところ、最古の一群に属する二元系高錫青銅器でA1型の銅鏡が出土しているMahurjhari巨石墓群などでは、紀元前一千年紀前葉のインド亜大陸初期の馬具が確認されている(Deo 1973)。時期的にも出土遺跡的にも、初期の馬具と二元系高錫青銅器には関連が認められるため、インド亜大陸への二元系高錫青銅器製作技術の伝播に中央アジアの騎馬民族文化が関係した可能性が想定できよう。

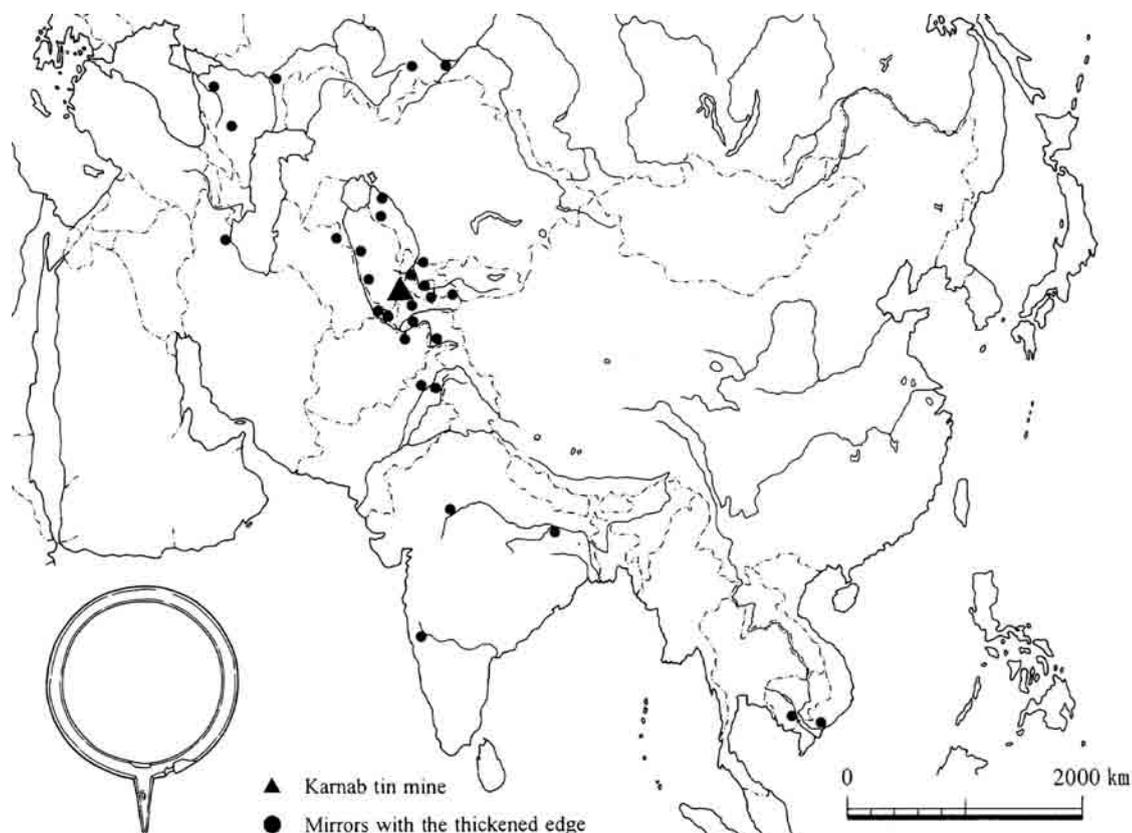


図4 縁厚の鏡の分布とKarnab錫鉱山(Ravich 1996論文より一部改変)

二元系高錫青銅容器の製作技術は、インドをへて東アジアに伝播したと考えられる。その時期は、南陽斗王廟出土の銅舟が漢代とされているので、少なくとも漢代以前にはその技術が伝えられたのではないかと推測できる。南陽斗王廟出土の銅舟が中国の二元系高錫青銅器製作技術の系譜にのる可能性も残るが、A1型の青銅容器がそれ以前には見られない点から、ここでは外来の技術と想定する。漢代は仏教が中国へ伝えられた時期でもあり、二元系高錫青銅容器が仏具に採用されるものが多いことは示唆に富んでいる。その後、東晋代の南京人台山一号墓出土の青銅容器などが形態的に佐波理容器との関連性があると述べられているが、科学分析はなされていない(橋詰 1999)。また、口頭発表のみで詳細な報告は未発表ではあるが、北燕の馮素弗墓(A.D.5世紀前半)出土の青銅容器の中に二元系高錫青銅容器が存在する可能性が指摘されている(Han 2009)。中国大陸の後続する時期の青銅容器についても科学分析が行われているものは少なく、二元系高錫青銅容器のその後の変遷ははっきりとしない。

中国大陸から韓半島への技術伝播に関しても、5世紀代以前の青銅容器類の分析が進んでおらず、はっきりとしたことはわからない。しかし、統一新羅時代以降は高麗・朝鮮時代を通じて、A1型の二元系高錫青銅容器が確認でき、熱間鍛造に最も適したSn22%前後の合金成分も使用されている。また、正倉院御物の佐波理容器を

新羅製とすれば、鑄造と鍛造成形の両者が用いられていたものと思われる。

日本列島の古墳時代後期(A.D.6~7世紀)に青銅容器が初めて出土するが、奈良時代の正倉院御物、法隆寺宝物に至るまで、その製作地を明確にすることはできない。正倉院の佐波理容器の研究によれば、新羅製の青銅容器が含まれているが、全てが日本列島以外の製作とは考えられないであろう。このことについては、鉛同位体分析から(馬淵 1994)、古墳時代後期の銅鏡に日本列島製と韓半島製があることが知られている。ここでは、形状によって列島製、半島製の弁別を行えないことを前提に論を進めるが、今のところ日本列島では、古墳時代に鉛を含まない二元系高錫青銅容器は確認されていない。金相分析も行われていないので、熱間鍛造、熱処理についても確認することができない。また、形状から積極的に熱間鍛造を推測できる資料はないが、形状から鑄造成形を推定できる資料(例えば水瓶、高台付鏡、宝珠つまみ付蓋など)はある。これらに鉛を含むものがあるという点からも、鍛造成形とは考えにくだろう。そうだとすると、古墳出土の青銅容器類は基本的に鑄造成形されたものが多いと言えよう。奈良時代の正倉院御物、法隆寺宝物に見られる佐波理容器でも、形状的に鍛造成形が確認されているものは銅匙のみである。日本列島で二元系高錫青銅器が製作されていたとしても、鑄造成形のみで製作されていた可能性があり、鍛造成形の技術が二元系高

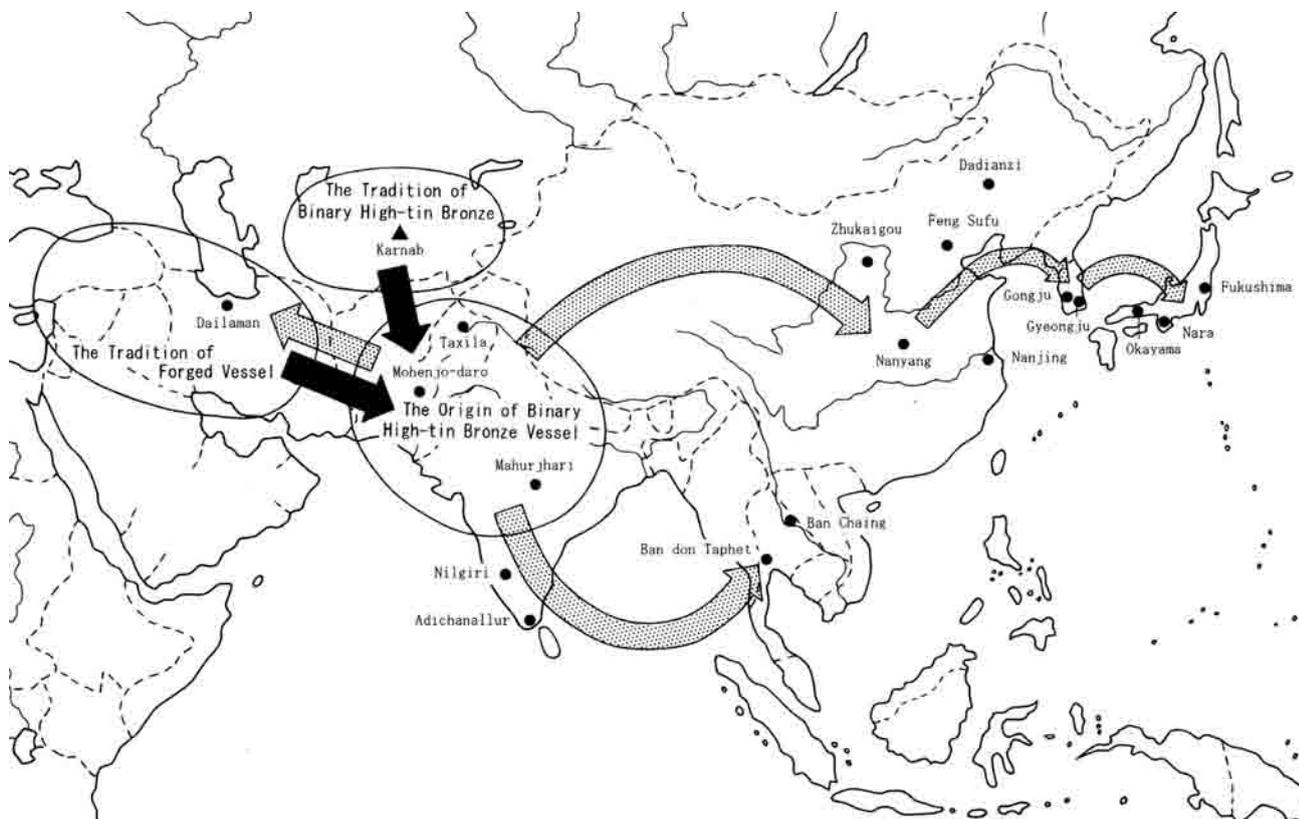


図5 二元系高錫青銅容器の伝播経路

錫青銅器製作技術に伴って伝えられなかった可能性もある。上記のように、技術の部分的な受容であったかどうかは今後の科学分析の進展に伴い明らかになる。ここで注意しなければならないのは、仮に日本列島に鑄造成形の技術しか伝えられていなかったとしても、鉛を含まず、Sn22%前後の一群は、明らかに熱間鍛造を行う典型的な二元系高錫青銅器製作技術の系譜を引いているということである。先述したように、鉛を含まないことは鍛造成形に適しているし、Sn22%という合金比率は熱間鍛造成形にこそ適したものである。しかし、鑄造成形にもかかわらず鉛を含まず、Sn22%で製作を続けるのは、二元系高錫青銅器製作の技術伝統に属するからであろう。

インドと東南アジアへの二元系高錫青銅器の技術伝播の問題に関しても、インドからの輸入品の可能性を排除することはできない。Ban don Taphet遺跡の青銅器の中には、底部中央が突起するものがあり、インドの青銅器に類似する。しかし、東南アジアは錫鉱山の多い地域でもあるため、全てを輸入品と考えなければ、B.C.4世紀頃に二元系高錫青銅器製作技術が伝播していた可能性がある。

最後に、二元系高錫青銅器にかかわる銅鑼等の打楽器に関して簡単にまとめてみたい。インドでは、現在も二元系高錫青銅打楽器としてシンバルが製作されているが、その起源が何時まで遡るかは判然としない。インドと東南アジアはBan don Taphet遺跡に見る通り、青銅器については密接な関係がある。しかし、銅鑼、シンバル等については、今のところ明確な起源地を想定することは難しい。銅鑼については、東南アジアで盛行することを理由に、東南アジア起源を考えることもでき、現代の東南アジアの銅鑼の成分分析を見ても、A1型でSn22%前後のものが多い(Goodway et al. 1987)。中国でも現在のところ、確実に科学分析が行われて二元系高錫青銅打楽器と判明しているのは北宋代からであり、韓国でも統一新羅には銅鑼は確認できない。日本でも正倉院御物、法隆寺宝物の中に奈良時代に遡るものはないので、二元系高錫青銅器と二元系高錫青銅打楽器の伝播の時期は異なると考えるべきであろう。日本列島の事例からすれば、仏具に用いられる銅鉞(シンバル)、打面が平坦な銅鑼と茶道具に用いられる中央部分が突起する銅鑼とでは、起源地からの伝来ルートも異なる可能性がある。とりあえず憶測に過ぎないが、中央部分が突起する銅鑼については東南アジアから東アジアへの伝来を想定し、銅鉞(シンバル)、打面が平坦な銅鑼については仏具と同様の伝来ルートを今後よりいっそう検討する必要がある。

この論文の作成に関しては、下記の方々のご助力とご教示を得ました。記して感謝申し上げます。上杉彰紀、宇野隆夫、熊博美、小茄子川歩、澤田秀実、長柄毅一、

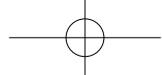
丹羽崇史、三船温尚、持田大輔(敬称略)。

参考文献

(日本語)

- 江上波夫ほか 1966『デーラマンII』東京大学東洋文化研究所
- 岡本文雄 1995『銅鑼 そのルーツを訪ねて』ビジネス教育出版社
- 押本信幸 2002「筑内37号横穴墓出土銅鏡の復元について」(財)福島県文化振興事業団ほか『研究紀要2001』福島県教育委員会
- 香取忠彦 1984「梵音具」『新版仏教考古学講座 第5巻 仏具』雄山閣出版株式会社
- 木村法光・成瀬正和 1989「年次報告」『正倉院年報』11 宮内庁正倉院事務所
- 木村法光ほか 1992「年次報告」『正倉院年報』14 宮内庁正倉院事務所
- 久野雄一郎 1989「奈良県榛原町野山遺跡群出土鏡の金属学的調査」『野山遺跡群 II』奈良県立橿原考古学研究所
- 清水康二 2009「アジアにおける二元系高錫青銅器の展開」長柄毅一ほか(編)『韓半島の高錫青銅器の熱処理技術・製作技術研究』鑪器製作技術研究会ほか
- 朝鮮総督府 1924『慶州金冠塚とその遺宝 古跡調査特別報告3』
- 長柄毅一 2008「補遺 高錫青銅の錫比率」『Heat Treatment and Casting Techniques of Asian High-tin Bronze Wares』富山大学芸術文化学部
- 長柄毅一ほか(編) 2009『韓半島の高錫青銅器の熱処理技術・製作技術研究』鑪器製作技術研究会ほか
- 長柄毅一ほか 2010「インド・マフルジャリ(Mahurjhari)遺跡の銅鏡について」『アジア鑄造技術史学会 研究発表概要集』4号 アジア鑄造技術史学会
- 長柄毅一 2010「現代のインド、韓国における高錫青銅器の加工と熱処理 —熱間加工温度と熱処理温度の調査報告—」本書所収
- 成瀬正和 2002「無機材料金属材」東京国立博物館ほか(監)『日本の美術 正倉院宝物の素材』No.439 至文堂
- 橋詰文之 1999「正倉院の佐波理」『古代文化』51-8 古代学協会
- 濱住松二郎 1972『非鉄金属および合金』内田老鶴圃
- 馬淵久夫 1994「荒神西古墳および殿田古墳から出土した銅鏡の原料産地について」『作陽音楽大学 作陽短期大学 研究紀要』27-2 作陽学園学術研究会
- 持田大輔ほか 2010「6-7世紀における銅製容器の生産体制(予察)」『2010アジア鑄造技術史学会出雲大会研究発表概要集』アジア鑄造技術史学会
- 毛利光俊彦 1978「古墳出土銅鏡の系譜」『考古学雑誌』64-1 日本考古学会

- 毛利光俊彦 1991 「青銅容器・ガラス容器」『古墳時代の研究』8 雄山閣
- 村上隆 2005 「材質と構造に関する歴史的変遷」毛利光俊彦『古代東アジアの金属製容器Ⅱ（朝鮮・日本編）』奈良文化財研究所史料第71冊 独立行政法人文化財研究所奈良文化財研究所奈良文化財研究所
- (韓国語)
- 국립경주문화재연구소 2006 『특별전 芬皇寺 출토유물』
- 文化財管理局 1973 『武寧王陵』
- 文化財管理局 1974 『天馬塚 発掘調査報告書』
- 文化財管理局 1985 『皇南大塚 北墳発掘調査報告書』
- 文化財管理局 1986 『雁鴨池 発掘調査報告書』
- 庄田慎矢ほか 2009 「현대 한국의 고석청동 제작 현황 — 봉화군 봉화유기공방, 봉화군 내성유기공방, 금천시 고려방자 조사보고 —」長柄毅一ほか (編)『韓半島の高錫青銅器の熱処理技術・製作技術研究』鑄器製作技術研究会ほか
- 이난영 2000 「한국 고대의 금속공예」서울대학교출판부
- (中国語)
- 郝欣ほか 2001 「盤龍城商代青銅器的檢驗與初步研究」『盤龍城』文物出版社
- 何堂坤ほか 2009 「宋代鑼鈸磬的科学分析」『考古』7 期
- 何堂坤ほか 2010 「南陽漢代銅舟科学分析」『中原文物』4 期
- 李延祥ほか 2003 「大甸子墓地出土銅器初步研究」『文物』7 期
- 李秀輝ほか 2000 「朱開溝遺址出土銅器的金相学的研究」『朱開溝 — 青銅時代早期遺址發掘報告』文物出版社
- 曲長芝ほか 1999 「二里頭遺址出土銅器 X 射線螢光分析」『偃師二里頭 (1959 ~ 1978 年考古發掘報告)』中国大百科全书出版社
- 孫淑雲 1998 「鄭州南順城街商代窖藏青銅器金相分析及成分分析測試報告」『鄭州商城窖藏銅器』科学出版社
- (英語)
- Allan, J. W. 1979 Persian Metal Technology 700 - 1300 AD. London.
- Bellina, B., Glover, I. 2004 The Archaeology of Early Contact with India and the Mediterranean World, from the Fourth Century BC to the Fourth Century AD. In Southeast Asia from Prehistory to History. Oxfordshire
- Cierny, J. et al. 2003 Bronze Age Tin Mines in Central Asia. In The Problem of Early Tin. London.
- Craddock, P., et al. 1988 Problems and Possibilities for Provenancing Bronzes by Chemical Composition with special reference to Western Asia and the Mediterranean in the Early Iron Age. In (ed. Curtis, J.) Bronze-working Centres of Western Asia c.1000-539 B.C.. London.
- Deo, S. B. 1973 Mahurjhari excavation, 1970-1972. Nagpur.
- Ghosh, A. 1990 An Encyclopaedia of Indian Archaeology. Leiden.
- Goodway, M., Conklin, H. C., 1987 Quenched High-Tin Bronzes from the Philippines. Archeomaterials Vol.2 No.1
- Han, R 2009 Metallographic Study of 28 Metallic Artifacts Unearthed from Two Sarcophagus Tombs at Beipiao, Liaoning Province. In The 7th International Conference on the Beginnings of the Use of Metals and Alloys. Bangalore.
- Mackay, E. J. H., 1938 Further Excavations at Mohenjodaro. Dehli.
- Marshall, J. 1951 Taxila An Illustrated Account of Archaeological Excavations. Cambridge.
- Park, J-S., Gordon, R., 2007 Traditions and transitions in Korean bronze technology. Journal of Archaeological Science 34
- Rajpitak, W. , Seeley N. J. ,1979 The Bronze Bowls from Ban Don Ta Phet, Thailand: An Enigma of Prehistoric Metallurgy. World Archaeology. vol. 11
- Ravich, I. G. 1996 The Origins and the Composition Peculiarities of the High-Tin Hot-Forged Bronze Mirrors with the Thickened Edge. 金属博物館紀要 26
- Smith, C.S., 1973 Bronze technology in the east: a metallurgical study of early Thai bronzes. In Changing Perspectives in the History of Science: Essays in honour of Joseph Needham. London.
- Srinivasan, S., Glover, I., 1995 Wrought and quenched, and cast high-tin bronzes in Kerala State, India. The Journal of the Historical Metallurgy Society Vol.29 No.2
- Srinivasan, S., 1997 Present and Past of Southern Indian Crafts for Making Mirrors, Lamps, Bells, Vessels, Cymbals, and Gongs: Links with Prehistoric High Tin Bronzes from Mohenjodaro, Taxila, South Indian Megaliths, and Later Finds. South Asian Studies 13
- Wheeler, T.S., Maddin, R., 1976 The techniques of the early Thai metalsmith. Expedition. 1975-1976. 18



現代のインド、韓国における高錫青銅器の加工と熱処理

—熱間加工温度と熱処理温度の調査報告—

長柄毅一 (富山大学)

1. はじめに

青銅 (Bronze) は銅 Cu に錫 Sn を添加した合金をいう。Sn の添加は、母合金である Cu の融点を下げるだけでなく、機械的性質を改善する。青銅合金の歴史は紀元前にさかのぼり、古くより利用されてきた。Sn の含有量が 10% を超えるようになると冷間での加工が困難になり、一般にこれは高錫青銅と称せられる。なかでも、錫含有量が 16% ~ 25% 程度のものは、室温では脆いが、溶体化処理、焼き入れといった特殊な熱処理によって靱性が増し、割れにくくなるという特徴をもつ。錫含有量が 25% を超えるようになると焼き入れが困難になり、きわめて割れやすいことから用途も鏡などに限定される。しかも、焼き入れが成功しても金属組織中から α 相は消失するため、脆弱性を十分改善できるとは言いがたい。本稿では、熱処理によって金属組織や機械的性質が劇的に変化する錫含有量 16 ~ 25% の高錫青銅 (本稿では以下、「熱処理型高錫青銅」と称する) を対象としている。この熱処理型高錫青銅は、鑄造材をそのまま冷間で塑性加工することがきわめて難しく、所定の温度に加熱して加工する、いわゆる熱間加工法により銅錠や銅鑼などの形状に成形される。ここで、高錫青銅製品の製作工程に必要な技術について述べる。まず、合金の成分比を安定させるために、銅や錫地金の重さを正確に量らなくてはならない。器物の形状をそろえるには、長さなどの寸法を正確に測定しながら加工することも必要である。そして、熱処理型高錫青銅においては、所定の温度にて所定の時間加熱し、鍛造加工、焼き入れ熱処理などを行う必要があり、正確な温度測定技術、時間の測定技術などが必要になってくる。すなわち、高品質の青銅製品を作っていくためには、長さ、重さ、時間、温度を正確に測定する技術が鍵となる。これらのうち長さや重さをはかることは簡単にできるし、時間の測定もそう難しいこととは思われない。ところが、正確な温度を知ることがそう簡単ではない。まして、600 ~ 800℃ といった高温を測定するためには、センサ技術などの高度な技術力が必要になってくる。工房の職人が熱処理技術を次の世代へ伝承していくためには、熱加工温度や焼き入れ熱処理温度を伝えることが重要であるが、銅椀を 520℃ 以上に加熱して…といった作業手順書を作成することは到底できなかったと考えられる。古来、職人たちは、加熱した銅の色によって加工温度や焼き入れ温度を知ったのだと考えられるが、正確な温度を伝えることは極めて難しかったと推察できる。そして、センサ技術が発達し、さまざまな温

度測定手段がある現代においても、伝統的な高錫青銅器の製作現場において、そのような温度管理がなされることはこれまでになかった。一方、このような伝統的な技術が途絶えていっている現在、こうした加工温度、熱処理温度を記録し、後世に伝えることは極めて重要であると考えられる。ただし、熱処理型高錫青銅の熱加工温度や焼き入れ温度に関する科学的なデータの報告は見当たらない。

われわれは古代の高錫青銅器と鍔器の金属組織の比較によって、古代の高錫青銅器製作技術の詳細が解明できないかと考え、2007 年から韓国の鍔器調査を開始した。解明のためには、鍔器の加工工程と熱処理温度、そしてその金属組織を知ることが、この研究の極めて重要な点であった。2008 年 2 月に奉化、金泉、8 月に金泉、居昌、宝城の 6 工房において、鑄造温度や熱処理温度を測定し、加工技法を調査した。2009 年 2 月と 9 月にはインド南部における工房を調査した。温度測定の方法としては、熱電対を使用するのが最も正確な方法であるが、作業を中断したり、作業性を低下させることになっては、本来の温度データであるかどうか疑わしい。そこで、非接触で温度測定できる方法として赤外線放射温度測定法に着目し、調査を行った。本論はこれらの調査のうち、主として熱間鍛造および熱処理について報告するものである。熱間で行う鍛造等の加工時の製品の温度分布、温度低下速度、加工温度範囲や焼き入れ温度などを紹介する。

2. 熱処理型高錫青銅 (Heat-Treatable High Tin Bronze)

2.1 熱処理型高錫青銅の温度と相変化

図 1 に Cu-Sn 二元系合金状態図¹⁾を示す。ある組成の青銅合金をある温度に加熱して一定時間保持し、平衡状態になったときに、どのような相から構成されているのかを知ることができる。Cu に Sn を添加した場合、Cu 原子が Sn 原子によって置き換わる。Cu 原子は、単体で面心立方 (FCC=Face Centered Cubic) 構造の結晶をつくるが、FCC 構造は対称性が高いため、すべり系が多く、展延性に富む。Sn 原子が Cu 原子に置き換わっても、ある量まではこの FCC 構造は維持される。これを α 固溶体という。加熱すれば α 固溶体には Sn を最大 16% まで固溶させることができ、急速に冷却すれば、常温でもその状態は維持される。これを過飽和固溶体 (Super saturated solid solution) とよぶ。FCC 構造が維持されるため、当然展延性は高い。ところで、熱処理型高錫青銅を溶解して冷却すると、 α 相のほかにも δ 相とよばれる極めて脆い

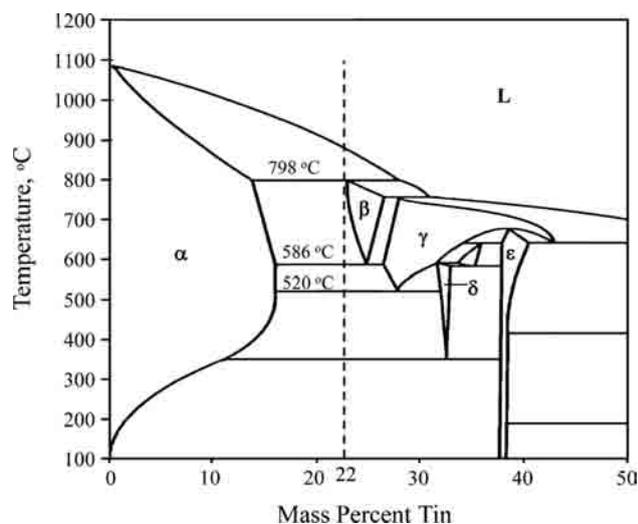


図1 Cu-Sn 二元系合金状態図
Fig.1 Cu-Sn binary alloy phase diagram

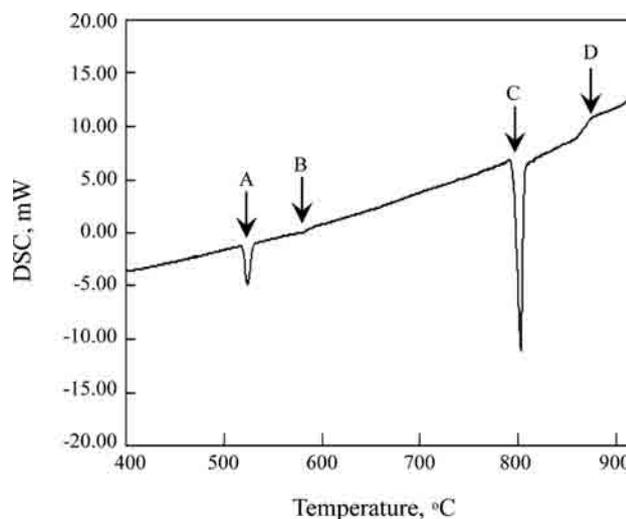


図2 Cu-22Sn 鋳造合金のDSC曲線
Fig.2 DSC curve of Cu-22Sn cast alloy

金属間化合物相がみられる。この δ 相は複雑な構造を持ち、ガラスのように脆いため、塑性加工しようとする、これが起点になって全体が破壊してしまう。したがって、高錫青銅を加工したり、そののち割れにくくしたりするためには、この δ 相をいかにしてなくすかが重要なポイントとなってくる。図1をみればわかるが、熱処理型高錫青銅は520°C以上で δ 相が消失し、その一部が γ 相になる。さらに加熱して586°C以上になると γ 相は β 相になる。 β 相は体心立方構造(BCC=Body Centered Cubic)の過飽和固溶体であり、展延性に富む。 γ 相はBCCをベースにした金属間化合物であり、 α 相のように加工性がよいわけではないが、 δ 相に比べると軟らかく展延性がある²⁾。

ところで、熱処理型高錫青銅といっても、韓国鎗器やインドの銃、銅鑼などはSnを22%含む組成のもの(以下、Cu-22Snと記す。)が多い。このCu-22Sn合金について図1に示された変態温度を実際に検証するために、熱分析実験(DSC)を行った。図2にその結果を示す。図中にA~Dの吸熱ピークが認められる。A(524°C)は δ 相 \rightarrow γ 相への変態による吸熱ピークである。B(580°C)は γ 相 \rightarrow β 相への変態を示す。C(802°C)は固相の一部が液相に変態したことを示す。このときの液相の割合は、図1の状態図から槓桿関係(Lever law)を用いて計算すると70%となる。液相の量は温度が上がるに従い増えていくが、D点(875°C)ですべてが液相となる。このように図1にしめされる変態点はすべて熱分析実験により確認できた。Cu-22Sn合金では、最適な熱間加工温度はアイゾッド衝撃試験の結果から、およそ530~650°Cとされている²⁾。熱分析の結果から考えても、524°C~800°Cの温度域で加工することが必要である。なお、室温における高錫青銅製品の靱性を高めるため、 δ 相を消失させる目的で焼入れ熱処理が必要である。そのため、 β 領域から急冷する必要があり、586°C~800°Cに加熱

して冷却する。こうした観点で、インド、韓国各地の高錫青銅工房がどのような温度条件で熱間加工、焼き入れ加熱を行っているのかを評価した。

2.2 高錫青銅の加工履歴と一般的な金属組織

青銅合金はその組成、加工方法によって微細組織が変わる。つまり、金属組織を解析することによって、どのように作られたのか、熱処理がされたのかどうかを知ることができる。巻頭写真33~36はインドケララ州PalakkadのAPPUNI氏の工房で作られたCu-22Sn合金の金属組織である。写真33は鋳造組織である。凝固の過程で成長した α 相のデンドライトと、これらの中に $\alpha + \delta$ 共析組織がみられる。この鋳造品を熱間鍛造すると写真34に示すようにデンドライトが分断され、 α 相が等軸状に分布する再結晶組織になる。いずれも、 δ 相が存在するため、脆く、冷間での鍛造は不可能である。写真35は熱間鍛造後、586°C以上に加熱して δ 相を β 相に変態させ、水中に焼き入れすることによって δ 相の再析出を防いで冷却したものの組織である。等軸状の α 相と β' マルテンサイト組織がみられる。また、 α 相中には焼まし双晶がみられる。これも鍛造成形されたことの証拠となる。写真36は35と似たような組織であるが、 α 相や β 相中に研磨傷のようにみえる線が多くみられる。これは、すべり線といわれるものであり、冷間加工されたことを示すものである。すべり線の存在は、焼き入れされた組織が通常の金属材料のように容易に塑性変形されることを示している。

3. 温度計測

本研究においては、熱処理温度を計測するために、赤外線放射温度計(NEC三栄製 TH9100MR:以下、サーモトレーサと称する)を用いた。これは、測定対象物から放射されている赤外線放射エネルギーを検出器により電気信号に変換し、カラーの熱画像として表示する装置で

ある。なお、赤外線放射率は物体によって異なるので、物体や表面の状態によって、適正な放射率を選択することが必要である。とくに金属材料の放射率は表面の状態や温度によって大きく異なるので、測定は難しいとされている。われわれはこれまでの報告³⁾で、鍛造のように繰り返し熱処理をして、表面が黒く酸化したものについては、装置の取扱説明書に添付されていた放射率表⁴⁾を参照し、黒く酸化した銅の放射率 $\varepsilon = 0.88$ を使用して表面温度の測定を行ったが、実はこれは100℃における放射率であり、600～700℃程度と推定される熱加工温度や焼き入れ温度の評価には正確性を欠くと考えられる。そこで、文献を再調査したところ、538℃の酸化銅の放射率が $\varepsilon = 0.77$ であるとのデータを得た⁵⁾ことから、この放射率を用いて過去のデータも含めて温度測定データを再評価した。なお、サーモトレーサによる温度測定の際、ノイズ（測定対象物以外からの赤外線の入射）に注意すべきであるとされており、炉の上で加熱されている青銅器物などの測定は難しい。巻頭写真41や55、56、59のデータはそのような環境で得た情報であるとの認識があらかじめ必要である。

4. 調査結果(熱間加工温度と熱処理温度)

4.1 インド

2009年2月と9月にケララ州の工房6箇所を調査した。伝統的な手法で、熱処理系高錫青銅の熱間鍛造による銅錠、銅鑼づくりをおこなっていたのは2工房であった。これらの工房において実施した熱間加工および焼入れ熱処理時の温度計測調査の結果を述べる。

1) E.T. APPUNI (KALADIPARAMBIL CHERUKUDANGA-DU PALAKKAD DIST. KERALA, INDIA)

E.T.APPUNI氏の工房では、銅錠、匙、平板ゴング、シンバルなどを製作している。工房主と親戚3名による銅錠製作工程について熱間加工温度の調査を行った。まず、Cu-22Sn組成の溶湯を砂のくぼみに注湯し（巻頭写真3）、鍛造の出発材料となる円板がつくられる。溶湯温度の測定も試みたが、溶湯の表面に酸化膜がすぐできてしまうために、正確な値を求めることに苦心した。溶解したCuの放射率は $\varepsilon = 0.13 \sim 0.16$ であるが、溶湯表面がむき出しになることは殆どないので、酸化膜の放射率 $\varepsilon = 0.77$ を適用して溶湯温度を求めると、およそ1170℃であった。精度に問題はあるだろうが、参考値として示す。こうして鑄造された円板を鍛造し、ゴングやシンバル、銅錠などが製作される。まず、ゴングの成形が始められた。このとき、15回、熱間加工の温度測定を行い、最高764℃、最低600℃、平均685℃という結果が得られたが、円板のエッジ部に割れが生じた。この日の午後、シンバルの製作が行われ、11点のデータを得た。シンバルの熱間加工温度は最高753℃、最低575℃、平均687℃とこれもゴング同様、比較的高温で

行われ、中央部のくぼみを作る工程で割れが発生した。翌日、銅錠の成形が行われた。銅錠は複数枚の板を重ねて鍛造成形が行われる。成形が進むほど、重ねる枚数は多くなっていく。巻頭写真37は6枚重ねで鍛造しているときの熱画像であり、38はそのときの可視画像である。加熱炉上で銅錠が所定の温度になるとAPPUNI氏が判断したのち、鍛造成形を始めた直後の画像で、平均温度は740℃であった。巻頭写真39は鍛造を一旦やめて再加熱される直前にとった熱画像である。40の可視画像をみてもわかるように、まだ、赤みがのこっている段階で止めている。このときの平均温度は630℃であった。この銅錠製作工程では40点のデータを採取し、最高温度は780℃、最低温度556℃、平均温度680℃であった。Cu-22Sn合金は800℃で一部が液相になることから、かなり高温に加熱していることがわかる。熱間鍛造時の平均温度も割れが発生したゴングやシンバルより、若干低くはあるがほぼ同じ程度であった。ただし、このときは銅錠に割れは発生していない。

熱間鍛造によって所定の形状に加工された銅錠は、そのままでは簡単に割れてしまう。金属組織中にきわめて脆い金属間化合物である δ 相が含まれているからである。この δ 相を消失させ、強靱にするために、焼入れが行われた。巻頭写真41が焼入れのための加熱をしているときの熱画像である。銅錠の平均温度は730℃であった。 δ 相が完全に β 相に変態する温度域にはいつている。なお、加熱炉の上での測定のため、ノイズとして、加熱炉自身からの信号が入ってきている恐れがあるため、実際の温度は若干低いかもしれない。ただし、焼入れのために必要な加熱温度は586℃以上であり、そこまでの誤差があることは考えられないため、焼入れは問題なくおこなわれたと考えられる。

2) K.R. SUKU (ALA FORGE: KOPARAMPATHU KADAVLOOR TRISSUR DIST. KERALA, INDIA)

SUKU氏の工房(ALA FORGE)では、ゴング、シンバルを主に製作している。APPUNI氏とは遠戚にあたるこのことである。ここでは、4人の兄弟が、息のあった作業を行っていた。

まず、APPUNI工房と同様、鑄造によって円板が作られる。これを熱間鍛造により所定の形状に成形していく。ここでは、ゴングの成形における熱加工温度を測定したのでその結果を示す。巻頭写真43は鍛造開始時点の円板の熱画像である。(44は可視画像)円板の平均温度は632℃であった。巻頭写真45が鍛造を一旦やめて再加熱される直前にとった熱画像である。平均温度は546℃であった。このとき、円板の赤みは消えていたが、それは可視画像(巻頭写真46)からも確認できる。この工房ではゴングの熱間加工工程の温度データは15回測定した。最高温度は725℃、最低温度546℃、平均温度646℃であった。APPUNI氏の工房に比べると、かなり

低い温度域で成形されていることがわかる。なお、Cu-22Sn合金の最適熱加工温度は530℃～650℃であり、それからは若干高めではあるが、成形されたゴングに割れは発生していない。

このゴングも、室温における脆弱性を改善するため、焼入れが行われる。巻頭写真47は焼入れされる直前のゴングの熱画像である。使用しているサーモレーサでは熱画像と可視画像の取り込みにわずかにタイムラグがある。(可視画像のほうが、後になる。)巻頭写真48は47と同時にセーブした可視画像データであるが、47の熱画像は、加熱炉から水がめまでの途中にあり、48は水中に投入されている。つまり、47のデータはまさに水中投入される直前の温度データであるといえる。なお、このときのゴングの平均温度は725℃であった。これは、APPUNI工房とほぼ同じ温度である。

4.2 韓国

韓国では、鍮器と呼ばれるCu-22Sn高錫青銅器が現代でも作られている。2008年2月、2008年8月に韓国で計6箇所の鍮器工房を調査した。本稿では、奉化郡の鑄造鍮器工房2箇所における焼入れ温度、金泉市の鍛造鍮器における熱間加工温度と焼入れ温度、居昌郡の現代の鍮器工場における熱間プレス加工温度、宝城郡のバンバンチャ鍮器におけるグングルム技法の熱間加工温度の調査結果について報告する。

1) 高泰柱(奉化郡)

奉化の鍮器は500年の歴史を持つ⁶⁾。高泰柱氏の工房は100年つづく鑄造鍮器工房であり、銅鏡、箸、匙、やかん、香炉ほか、多くの製品を鑄造法により製作している。鑄造時の溶湯温度は1160℃程度であった。鑄造された製品はそのままでは α 相と $\alpha + \delta$ 共析組織で構成され、硬くて脆いため、焼入れ熱処理が施される。焼入れのための加熱温度は、670℃程度であった。工房内は薄暗く、焼入れのための製品温度が見やすい。そのため、インドの銅鏡よりも低温で熱処理されているのかもしれない。なお、金属組織の変化という観点から見ると、いずれの場合も問題なく δ 相が消失する。

2) 金善益(奉化郡)

金善益氏の工房は200年の歴史を持つ。高泰柱氏の工房と同様、銅鏡、箸、匙ほか、さまざまな製品を製作している。焼入れのための加熱温度は645℃であった。

3) 金一雄(金泉市)

金泉市の金一雄氏は、慶尚北道無形文化財第9号に指定されている。氏の工房では、バンバンチャ鍮器と鑄造鍮器が作られている。このうち、バンバンチャ鍮器は、熱間鍛造によって銅鑼などの比較的大型の製品をつくる方法である。ここでは、伝統的なバンバンチャ鍮器製作工程における銅鑼の熱間鍛造温度、焼入れ温度を調査したほか、スピニング(へら絞り)といった現代的方法による銅鏡の熱間成形温度を調査した結果を記す。

まず、巻頭写真49はバンバンチャ工程における銅鑼の縁部分を鍛造しているときの熱画像である。銅鑼はサイズが大きいため、全体を均一に加熱するのではなく、変形させたい部分を中心に加熱される。そのため、加工部分の平均温度が690℃であったのに対し、その反対側の縁は420℃程度であった。銅鑼の内側の面は二人がかりで鍛造加工される。このときの熱画像が巻頭写真51である。若干の温度部分分布はあるが縁に比べるとほぼ均一であり、平均の温度は660℃である。銅鑼の熱間加工工程については、12回の温度測定をおこない、最高温度が713℃、最低温度が566℃、平均温度が657℃という結果を得た。Cu-22Sn合金は550℃を下回ると、急に脆くなっていくため、かなり低い温度になるまで加工が続けられたことがわかる。この銅鑼の成形をおこなう部屋は工房内部の窓の無い部屋で、かなり薄暗く、ほの赤い銅鑼の色まで確認しやすくなっていたために、割れが発生しやすい危険域ぎりぎりまで加工をおこなうことができるのだろうと考えられる。所定の形状に加工された銅鑼は、焼入れ熱処理が施される。焼入れ温度は736℃であった。巻頭写真53が焼入れ直前の銅鑼の熱画像である。巻頭写真54に焼入れ直後の可視画像を示す。鍛造加工温度が低いわりには、焼入れ温度は比較的高温で、インドの2工房のデータとほぼ同じ値であり、奉化の鑄造鍮器2工房よりも高い。銅鑼が大きいため、全体を均一な温度にするためには、ある程度高い温度に加熱せざるを得ないためではないかと考えられる。

なお、金一雄氏の工房では、スピニングマシンを使った銅鏡の成形も行われている。通常、スピニングは軟らかい金属を用いて冷間で行われることが殆どであるが、高錫青銅は熱間加工でないと割れてしまうことから、バーナーで加熱しながら加工する熱間スピニング加工がおこなわれていた。高速で回転する板の温度測定なので、通常のセンサによる温度測定は行えないが、サーモレーサを用いれば簡単に対象の温度を測定できる。巻頭写真55はスピニングによって絞られはじめたときの熱画像である。そして巻頭写真57にかなり絞られたときの銅鏡のスピニング加工中の熱画像を示した。スピニングに関しては41回の測定を行い、最高温度730℃、最低温度589℃、平均温度647℃という結果を得た。なお、スピニング加工された銅鏡は、重油バーナー炉の中に複数個入れられ、加熱後、順に焼入れされていく。巻頭写真59はこのときの重油バーナー炉の熱画像である。なお、この炉内のデータに限っては、銅鏡の放射率を適用せず、赤レンガの放射率 $\epsilon = 0.93$ を用いて表示した。高温部は740℃であるがこの放射率($\epsilon = 0.93$)も常温におけるものなので、今後、より適正な放射率を検討する必要がある。なお、この画像から炉内で置かれた位置によって銅鏡の温度が違っていることがわかる。温度の高いものと低いもので100℃くらいの差はある。作業者

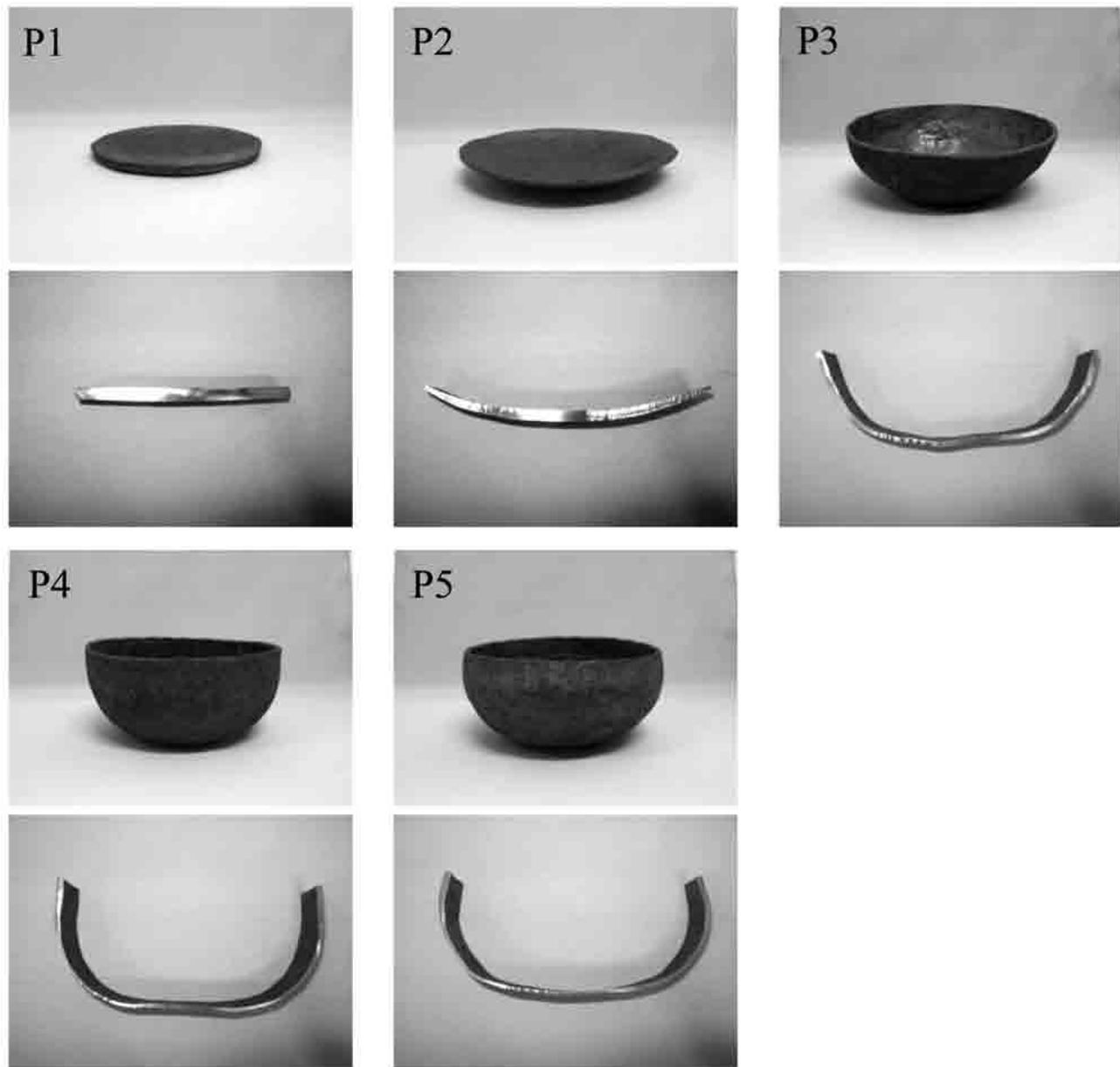
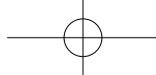


図3 ハンバンチャ鋳器の熱間鍛造工程ごとの器形の変化 上段：外観、下段：断面
Fig.3 Changes in form of forged bowl by hot forging process of ban-bangjja.

は、なかの様子を見ながら、それぞれの位置を交換しつつ、所定の温度になったとみられるものから順に、水をためた大きな容器に投入し、焼入れしていく。

4) イソンスル(居昌郡)

プレス機械を使った大量生産用の工場である。鑄造板をローラーで引き伸ばし、プレス打ち抜きした後、スピニングなどの方法で鉢形状に変形させる。これらはすべて熱間で行われる。最後に重油加熱炉内で加熱した銅鉢をプレスマシンにセットし、口をすぼめる。巻頭写真61はプレスマシンにより口縁絞り加工をしているときの熱画像である。この工程について10回の温度測定を行い、最高672℃、最低626℃、平均653℃という結果を得た。なお、このプレス加工をした銅鉢は、そのまま連続して速やかに水中に投入され、焼入れ熱処理が行われる。そのため、焼入れ温度は、この650℃程度かそれ

よりも少し低い温度であると考えられる。

5) 韓相椿(宝城郡)

鋳器には鑄造鋳器と鍛造鋳器があり、鍛造鋳器はバンチャ (bangjja) とよばれるものとハンバンチャ (ban-bangjja) とよばれるものに分かれる。バンチャ鋳器はくぼみに注湯した鑄物の板をたたいて成形していく方法である。ハンバンチャは砂型鑄造によってつくられた板を鍛造成形していく方法であり、グングルム技法という器の口縁をすぼめる特徴的な工程³⁾をもつ。韓相椿氏はこのハンバンチャ鋳器の伝承者である。

図3にハンバンチャ鋳器の工程ごとの器形の変化を示す。P1は鑄造された板でこれが出発材料となる。これを石臼のくぼみを利用してたたいていくと器形はP2、P3、P4のように変化していく。断面写真をみると板厚も順に薄くなっていく様子が見られる。P5はグングルム

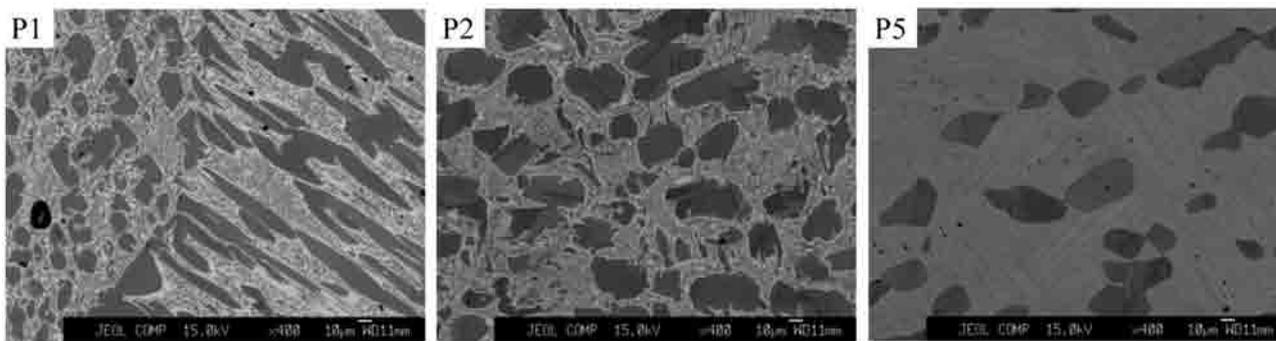


図4 ハンバンチャ鋳器製造過程における金属組織変化
Fig.4 Microstructures of Cu-22Sn alloy for P1, P2 and P5. Sample P5 was quenched into water.

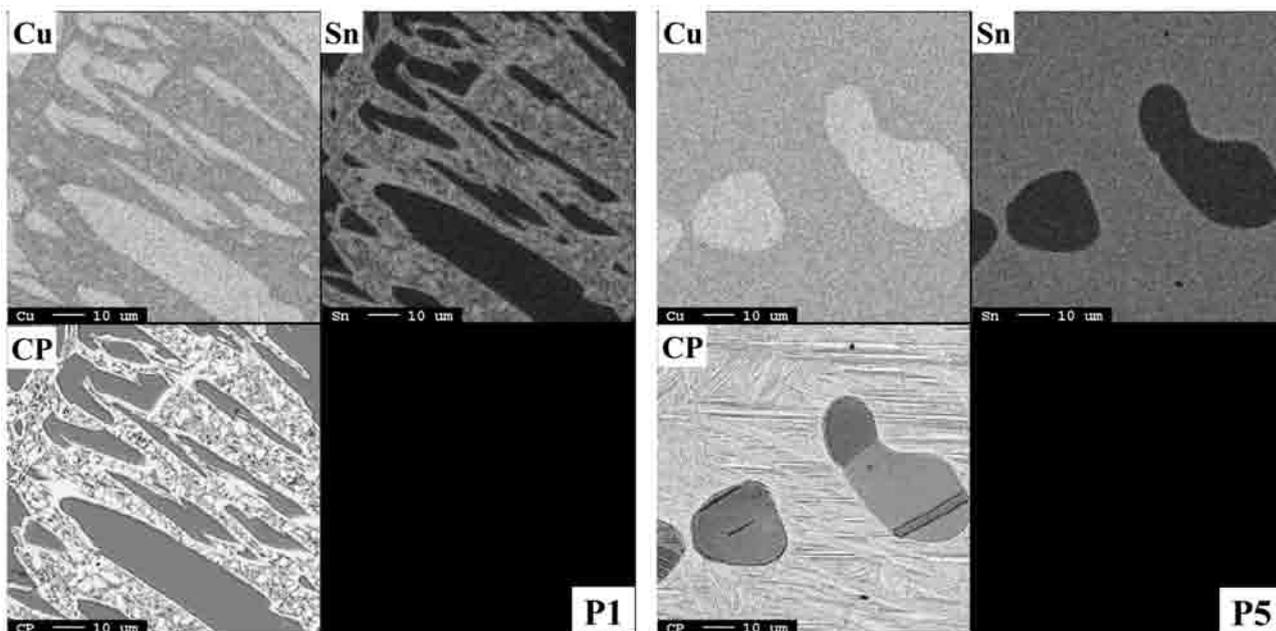


図5 P1 およびP5 の金属組織における元素分布
Fig.5 X-ray images of the samples,P1 and P5.

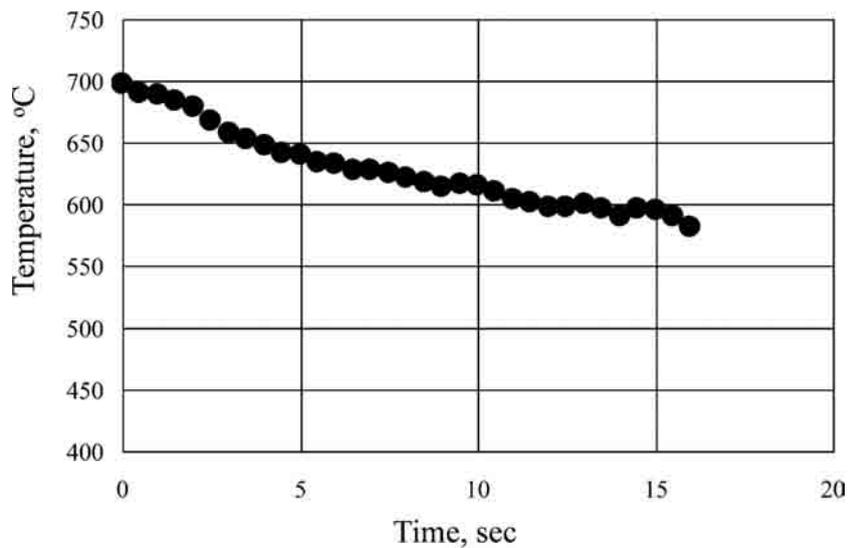


図6 ゲングルム技法における熱間加工工程中の温度変化
Fig.6 Change in temperature during hot working process of ban-bangjja.

表1 熱処理データのとまとめ

Table 1 Hot working temperatures and quenching temperatures which is applied for high tin bronze making.

	Craftman	Forming process	Hot working temperature			Quenching Temperature (°C) n=1	Object
			Max. (°C)	Min. (°C)	Ave. (°C)		
INDIA	E.T.APPUNI (Palakkad)	Traditional hot forging	764 (n=15)	600 (n=15)	685 (n=15)	-	GONG
			753 (n=11)	575 (n=11)	687 (n=11)	-	SYMBAL
			780 (n=40)	556 (n=40)	680 (n=40)	730	BOWL
	K.R.SUKU (Kandavaloor)	Traditional hot forging	725 (n=15)	546 (n=15)	646 (n=15)	725	GONG
KOREA	Go Tae Ju (Bonghwa)	Traditional casting	-	-	-	672	BOWL
	Kim Sun Ick (Bonghwa)	Traditional casting	-	-	-	645	BOWL
	Kim Il Oung (Gimcheon)	Traditional hot forging	713 (n=12)	566 (n=12)	657 (n=12)	736	GONG
		Contemporary method (spinning)	730 (n=41)	589 (n=41)	647 (n=41)	740	BOWL
	Lee Sun Sul (Geochang)	Contemporary method (mechanical press)	672 (n=10)	626 (n=10)	653 (n=10)	653	BOWL
	Han Sang-chun (Boseong)	Traditional hot working of ban-bangija	698 (n=1)*	581 (n=1)*	628 (n=1)*	-	BOWL

•図6のデータより(工程としては1回なのでn=1とした)

技法によりP4の器形から口縁を絞り、その後、焼入れ熱処理をおこなったものである。図4の金属組織をみると、P1はデンドライト状の α 相と $\alpha + \delta$ 共析相からできていることがわかる。これを鍛造したP2の金属組織では、 α 相が等軸状になり、また、焼なまし双晶の生成も認められた。P5は焼入れ後の試料であるため、金属組織からは δ 相が消失し、 α 相と β' マルテンサイト相からなる。なお、P1とP5の金属組織をさらに詳細にみる。図5はこれらの組織のX線像であり、図中Cu(左上)とあるのはCuの分布状態、Sn(右上)はSnの分布状態、CP(左下)は組成像を示す。P1のX線像からわかるように、共析組織では α 相と δ 層が微細に混在しているためCuとSnの存在もまばらである。ただし、 α 相内でのミクロ偏析は認められない。P5の組成像(CP)では、 α 相と細かい線が多く入った β' マルテンサイトがみられるが、マルテンサイト部分の元素分布は、焼入れ前の溶体化処理によって均一である。

さて、グングルム技法における熱加工温度を調べた。巻頭写真63は、グングルム技法を行っているときの熱画像である。このように加工開始時から0.5秒おきに加工される器の温度を測定し、プロットした結果を図6に示す。加工は、器の温度が700℃から580℃にある16秒間の間に行われた。この後、焼入れも行われたが、熱処理作業とデータ取り込みのタイミングがあわず、デー

タは取得できなかった。

5. まとめ

インドと韓国で、Cu-22Sn組成の熱処理型高錫青銅器の熱間加工工程ならびに焼入れ熱処理工程における温度測定をおこなった。これまで、工人が長年の勘と経験から伝承してきた鍛造技術の科学的なデータを取得し、蓄積することができた。表1にこれらのデータをまとめて示す。

インドでは、明るい昼間に半屋外で作業が行われることから、鍛造加工温度、焼入れ温度ともに若干高めになっていることがわかった。そのためか、日頃から頻繁に作業を行っていない工房では、割れが発生する場合がある。韓国の鑄器は、伝統的な技を保護するために、国や地域が重要無形文化財に指定する制度も持つなど後継者を育てて技術が絶えないようにするための支援を行っている。薄暗い状況下で温度の判定をやすくするための工夫があり、加工はCu-22Sn合金の最適加工温度に近いところで行われる。

アジアの他の地域における高錫青銅熱加工温度、熱処理温度をひきつづき精査し、これを基点として各地域における古代高錫青銅技術の詳細を解明することが今後の課題である。

謝辞

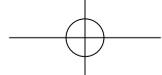
本稿執筆にあたっては、調査させていただいたインド、韓国の高錫青銅器工房の方々と以下の方々にご支援、ご教授いただきました。感謝申し上げます。(敬称略)

李恩碩、李相龍、権柱翰、Srinivasa Ranganathan、R.M.Pillai、Sharada Srinivasan、Vimal Kumar.V.A.、三船温尚、清水康二、庄田慎矢、村松洋介

なお、本研究の一部は科学研究費補助金（課題番号 21300328、19300299）で実施したものである。

参考文献

- 1) N.Saunders and A.P.Miodownik in T.B.Massalski (ED.) Binary Alloy Phase Diagrams, ASM (1990) pp.1481-1483.
- 2) 濱住松二郎：非鉄金属および合金、内田老鶴圃 (1972) pp63-73.
- 3) 長柄毅一、三船温尚 編集、：韓半島の高錫青銅器の熱処理技術・製作技術研究（平成 21 年度独立行政法人日本学術振興会 二国間交流事業<韓国とのセミナー> 報告書 (ISBN978-4-9905066-0-5)、富山大学芸術文化学部、2010
- 4) Mikael A Bramson, infrared radiation (A handbook for application pp535-536
- 5) IR Thermometers & Emissivity Tables, <http://www.bacto.com.au/downloads/IR%20&%20Emissivity.pdf> (access 2010-08-20)
- 6) 金夏廷：作品「WAVE」シリーズについて (2006) pp68-95



中国における高錫青銅器の展開

—先秦期を中心に—

丹羽崇史 (奈良文化財研究所)

1. はじめに

中国における青銅器製作技術の研究では、鑄造技術とともに青銅器の成分比率が多く取り上げられてきた。「鑄造工芸と合金配合は青銅器製作技術の二つのキーワードであり、前者はいかに成形するか、後者はどのような材料で成形し、その機能はどうであるかということと関係する」(蘇ほか1995 pp.185)といわれるように、成分比率は青銅器の原料や機能と密接に関連している。また、中国では青銅器の破片サンプルを用いた分析が比較的盛んであることも、成分比率に積極的に言及することができた背景となっているといえよう。

今回のテーマである高錫青銅器についても、主に自然科学の分野の研究者を中心にさまざまな成果がある。李敏生氏は、商代に入って鉛錫青銅・鉛青銅の割合が高まり、殷墟期には「婦好」墓などの高階層の墓では錫青銅が主体であるのに対し、鉛器や鉛青銅は一般の墓で見られ、鉛と錫の利用が明確に区分されるようになると指摘する(李1984)。蘇栄誉氏は、先秦青銅器には低錫から高錫への歴史的変遷があり、殷墟期に銅 - 錫、もしくは銅 - 錫 - 鉛の高錫青銅が合金の主体となる。西周期以降、銅 - 錫 - 鉛の三元合金が主体となり、以後中国青銅器における基本的なあり方となることを指摘している(蘇ほか1995)。華覚明氏も青銅容器の合金配合の変遷過程を、1) 純銅や錫・鉛の少ない青銅を用いた二里頭期まで、2) 錫の含有量が比較的少ない錫青銅や鉛青銅が主体の二里岡期まで、3) 錫青銅(高錫青銅)が主流となる殷墟期以降、の三段階に分ける(華1999)。

以上のように先行研究により高錫青銅器のおおよその変遷過程は明らかであるが、それ以後に発表された分析の成果も多く、かつ同時期の地域差も検討する必要がある。本稿では先秦期における青銅器を対象とし、発掘出土青銅器の成分比率に関する分析事例を集成し、高錫青銅器の展開過程をまとめる。また、錫青銅における錫の含有率と熱処理技術は密接な関連性が知られている(鹿取1985 pp.87、西村2000、長柄2008)¹⁾。熱処理技術の展開過程についても、分析報告を参考に筆者の理解した範囲で触れることにしたい²⁾。

これまでの先行研究では10%以上の錫の含有をもって高錫青銅器とする(蘇ほか1995、長柄2008)。蘇氏は鉛の含有率も重要な要素であるとして、錫と鉛の含有率に基づき、図1のように分類し(蘇ほか1995)、高錫青銅は次のような3類型を想定する。

II H 鉛2%以下の典型的な錫青銅。銅錫二元合金

IV S 鉛2%以上10%以下の高錫鉛錫合金

IV B 鉛10%以上の高錫高鉛鉛錫合金

本稿でもこの分類に従うとともに、高錫青銅器の錫の含有率にも着目する。本来であれば、報告で提示された成分比率の数値がすべて正確であるかどうかは検討を要するが、おおよその傾向をみることに主眼を置き、高錫青銅器の歴史的変遷を述べることにしたい。

2. 新石器時代～二里頭時代

新石器時代から二里頭時代にかけての青銅器は、中国における「初期青銅器」とされており、これまで500点余り知られている(白2002)。新石器時代の青銅器の成分分析はいくつか行われており、甘肅省東郷林家より出土した馬家窯文化の銅刀は錫6～10%とされている(孫ほか1997)ほか、西北地区を中心に錫青銅が知られている。しかし、錫を10%以上含む高錫青銅は、管見の限り知られていない。韓汝玢氏は、この時期の錫青銅は銅錫共生鉱の精錬により得られたものとしている(北京鋼鉄学院冶金史組1981)。

二里頭時代に至り、高錫青銅器が出現する。黄河中流域の河南偃師二里頭遺跡においては、3期の環首刀(錫15.4%、II H)、4期の銅盃(錫13.9%、IV B)、釣針(錫23.09%、IV B)、銅鏃(錫10.41%、IV S)、銅鑿(錫14.15%、IV B)、および時期不明の銅条(錫17.04%、II H)がある(李1984、曲ほか1999、早川ほか1999)。黄河下流域の山東泗水尹家城遺跡出土の銅錐は、錫15.12%の高錫青銅(IV S)であることが確認されている(北京科技大学冶金史研究室1990)。また、内蒙古朱開溝遺跡では夏家店下層期から商代並行期の青銅器がみられるが、前者のなかでは高錫青銅の針(錫10.6%、IV S)、耳環2点(錫12.5%、IV Sおよび17%、II H)が確認されている。さらに熱加工(焼き鈍し?)や熱冷加工(常温加工)もなされているという(李ほか2000)³⁾。このほか、孫淑雲氏によれば、甘肅省酒泉干骨崖の四壩文化遺跡より出土した錫青銅のうち錫10%を越えるものが3点あり(孫ほか1997)、また、河北省唐山小官庄の夏家店下層文化の銅耳環も約10%の錫を含むという(北京鋼鉄学院冶金史組1981)。なお、高錫青銅ではないが熱処理関連資料として、山東泗水尹家城遺跡出土の鉛32%の鉛青銅の銅刀1点は加熱鍛造の成形とされ、齊家文化の紅銅の銅錐1点も熱鍛造成形とされる(北京科技大学冶金史研究室1990)。

3. 商代

二里岡期段階のものでは、各地で分析事例がある。鄭州商城では南順城街の窖藏青銅器が分析されており、簋（13%、IVS）、方鼎（錫17.8%、IVB）が高錫青銅である（孫1999）。このほかにも鄭州出土品では、鼎（錫13.4%、IIH）、盤（錫10.9%、IIH）、罍（錫10.7%、IVS）などの高錫青銅器が知られている（河南省文物研究所ほか1983、何1997）。また、山西長治出土の銅罍（錫19.43%、IVS）の金相分析を行った田長澍氏によれば、退火（焼き鈍し）がなされたとされる（田1985）。山西垣曲商城出土の爵（錫14.995%、IVS）、鼎（錫11.542%、IVB）、罍（錫15.576%、IVS）も高錫青銅である（姚1996）。長江流域では湖北黃坡盤龍城遺跡出土の容器を中心とした青銅器の分析報告がある。点数が多いため詳細は略すが、多くが高錫高鉛青銅（IVB）で、同時期の鄭州と比べ鉛の比率が高いのが特徴とされる（図2・3）（郝ほか2001）。ただし、何堂坤氏も盤龍城出土青銅器の別のサンプルを用いたこれまでの分析事例を紹介しているが、それらは錫・鉛ともに若干低い数値を得ている（何2001）。なお、郝欣氏は、一部の青銅器が鑄造後の熱鍛加工がなされたと指摘する（郝ほか2001）。北方地区では、内蒙古朱開溝遺跡の商代並行期の青銅器では、錫35.9%の削刀（IIH）はじめ11点の高錫青銅がみられ、内訳は、容器3点（すべてIVB）、武器・工具6点（IVS5点、IIH1点）、その他2点（残圈IIH、耳環IIH）（李・韓2000）。北京昌平張營遺跡でも、鏃（錫17%、IIH）、刀（錫26%、IIH）の2点の高錫青銅が知られる（崔ほか2007）。

殷墟期では、高錫青銅がより主体的にみられるようになる（蘇ほか1995、華1999）。また、殷墟内では階層差によって鉛と錫の利用が明確に区別されるとする指摘もある（李1984）。実際、王妃とされる「婦好」墓出土青銅器では、分析サンプル112点中110点が高錫青銅であることが確認されているが、鉛を10%以上含む高錫高鉛青銅（IVB）は1点もない（図4）（中国社会科学院考古研究所実験室1982、鄭州工学院ほか1982）。また、殷墟小屯西区では、前半期の青銅容器は高錫青銅、武器は鉛青銅が多く、後半期の容器は鉛の使用が多くなり、武器は錫が多くなるとされる（図5）（李ほか1984）。殷墟出土青銅器約200点を新たに分析した趙春燕氏は、容器の錫は徐々に減少し、武器は殷墟三期までは錫が減少して鉛が増加するが、四期には鉛が減少するとしている（趙2004）⁴。熱処理に関して、内田純子氏は中央研究院歴史語言研究所の殷墟青銅器の金相分析を実施し、戈より均質な組織を確認した。氏はこれを淬火⁵の結果と推測する（内田ほか2009）。

山西靈石旌介墓では、殷墟のものとは銅の比率が高く、銅90%代の資料が多い。高錫青銅は、錫13.2%の尊（IVS）のみ。この尊は熱処理の痕跡はないが、ほか

の資料で受熱の確認できるものがあり、そのなかで鑄造偏析が残るものと目立たないものがあるという（陳ほか2006）。陝西長武碾子坡からは高錫青銅の甗2点（錫18.27%・IVS、錫15.85%・IVS）が検出されている（梅ほか2007）。長江流域では、江西新干大洋洲墓の分析が行われ、分析サンプル20点中、高錫青銅は10点で、容器5点（錫最高18.44%、IVS4点・IIH1点）、武器・工具5点（錫最高34.04%、IVS2点・IIH3点）（樊ほか1997）。また、蘇栄誉氏は修刀や刻刀の金属組織に単一な δ 相を見出し、高錫青銅器に対する淬火（焼き入れ）を想定する（図6）（蘇ほか1997）⁶。四川広漢三星堆遺跡出土青銅器では分析サンプル13点中、高錫青銅は7点で、内訳は容器5点（錫最高18.6%、IVB2点・IVS2点・IIH1点）、ほかは戈（錫12.3%・IIH）と銅皮（錫10.2%・IVS）（金ほか1999）。

4. 周代（西周・春秋戦国時代）

（1）華北地域

西周前～中期の陝西宝鶏「虢国」墓地（紙坊頭・竹園溝・茹家荘）出土青銅器では、162点のサンプルの成分分析が行われている。高錫青銅は82点（錫最高22%、IIH21点・IVS34点・IVB27点）が確認され、錫・鉛とともに含む三元合金が主流を占める。また、当盧（錫9.97%、竹園溝7号墓出土）と鳥耳盒（成分値記載なし、茹家荘2号墓出土）の金属組織からは α 相単相の退火（焼き鈍し）が確認されている。西周中期の竹園溝9号墓からは錫を主成分とする錫鼎（錫90.69%）と錫簋（錫87.13%）、茹家荘2号墓からは小錫魚（錫98.95%）が出土している（蘇ほか1988、蘇ほか1995）⁷。なお錫器は、西周～春秋前期の山西天馬 - 曲村墓地でも多数出土している（北京大学考古学系商周組ほか2000）。西周中期の張家坡152号墓出土銅戈を分析した韓汝珍氏によれば、刃部は錫平均22.5%で、退火（焼き鈍し）と冷加工がなされているという（韓1995）。北京琉璃河墓地の西周前期の青銅器サンプル10点が分析され、8点が高錫青銅（錫最高15.953%、IIH6点・IVS2点）。鉛の割合が低くすべて10%以下。戈には鍛打痕が認められる（何1988）。西周後期の河南三門峽「虢国」墓地では、30点の分析サンプル⁸中、高錫青銅は23点（錫最高25.2%、IIH2点・IVS12点・IVB9点）。方壺（錫14.5%・IVS）・方甗（錫8.2%）・鼎2点（錫11.4%・IVS、錫11.2%・IVB）・簋（錫12.4%・IVB）・盤（錫4.7%）など容器の金属組織に、鑄造後の加熱による均質化が認められるとする（李ほか1999）。

春秋後期の山西太原金勝村251号墓出土青銅器は33点のサンプルが分析され、ほとんどが高錫青銅（IIH2点・IVS23点・IVB8点）である。この報告では、同一サンプルを原子吸収分光法とエネルギー分散型X線分析とで比較し、前者が錫の含有が高く出る傾向があることも指摘

する(孫1996)。春秋中後期の山西臨猗程村墓地は、サンプル30点中高錫青銅は19点(錫最高19.95%、ⅡH3点・ⅣS2点・ⅣB14点)(李2003)。春秋中期～戦国期の山西長治分水嶺墓地では59点の青銅器サンプルが分析され、うち54点が高錫青銅(錫最高30.7%、ⅡH7点、ⅣS26点、ⅣB22点)。容器・楽器・武器など各種で退火が認められる(韓ほか2010)。春秋中後期ごろの河南新鄭祭祀坑出土青銅器は63点のサンプルが分析され、うち高錫青銅は12点(錫最高12.7%、ⅡH1点・ⅣS7点・ⅣB4点)(黄ほか2006)。河南陝県後川墓地出土の戦国期青銅器は、サンプル18点中高錫青銅が4点(錫最高14.86%、ⅡH1点・ⅣS2点・ⅣB1点)(中国社会科学院考古研究所実験室1994)。山東臨沂鳳凰嶺墓出土の春秋後期青銅器は、サンプル9点すべてが高錫青銅。鉛は殆ど含まれない(山東省兗石鐵路文物考古工作队1988)。

(2) 華中地域

長江下流域では、西周～春秋期の所謂「呉国」青銅器が多く分析され、錫と鉛の含有量が非常に多いことで知られている。曾彬氏らの分析によれば、80点中63点が高錫青銅(錫最高40.14%、ⅡH9点・ⅣS36点・ⅣB18点)。鉛も多く含むものが目立ち、銅の含有量が低い。時期が下るとつれ鉛が減少し、錫が増加する⁹⁾(曾ほか1990)。西周中期の江蘇高淳出土の錫23%の剣や春秋後期の丹徒出土の錫23%戦後の戈が淬火処理とする指摘があるほか、武器の退火処理も複数報告されている(肖ほか2004、賈ほか2004)。戦国期では、淮陰高庄墓出土品の分析サンプルはすべて高錫青銅である(孫ほか2009)。長江中流域では、春秋期の河南淅川下寺墓群や湖北宜昌趙家湖墓群の分析では錫・鉛とも5～15%(李ほか1991、孫1992)。湖北随州擂鼓墩1号墓(戦国前期)、2号墓(戦国中期)、湖北荊門包山墓(戦国中期後段)では、高錫青銅(錫41.2%の簋を含む)が多く、ほとんどがⅣS。包山墓資料は鍛打や退火処理が想定される(賈1989、黄ほか2008、何1991)。戦國中後期の湖北荊門左冢墓群は、多くが高錫青銅でⅣSとⅣBがほぼ半数ずつ。加熱処理や熱鍛の痕跡が指摘される。錫27.47%の削刀を含む(羅ほか2006)¹⁰⁾。

なお春秋期の湖北宜昌趙家塆8号墓で錫簋(孫1992)、戦国期の河南新蔡葛陵墓で80点もの錫附飾など(河南省文物考古研究所2003)の錫器が出土している。

(3) 華南地域

西周・春秋併行の広東博羅横嶺山墓地出土の鏃・斧・戈・甬鐘など8点のサンプルが分析され6点が高錫青銅(錫11.4～20.3%、ⅡH2点・ⅣS3点・ⅣB2点)。甬鐘の枚部の金属組織からは錫の逆偏析状態が観察されている(孫2005)。戦国期の高錫青銅(ⅡH・ⅣSのみ)も知られており、金相分析から退火(斧・鼎など)や激冷(焼き入れ)(広東羅定出土篋刀(錫19.5%、ⅡH)など)も確

認されている(徐ほか1986)。また雲南楚雄万家壩墓地からは、錫製の装飾品が出土している(邱ほか1983)。

(4) その他の地域

寺洼文化の甘肅庄浪徐家碾墓地出土青銅器の分析では、サンプル7点中で高錫青銅は鏃1点のみ(錫14.4%、ⅣS)(趙2006)。東北地域の分析資料として、張日清氏らの文献で遼西出土青銅器の64点の測定結果が紹介されている。資料の出典がなく詳細は不明であるが、それによれば高錫青銅を含む錫鉛青銅器が主流であることが分かる(張ほか1982)。

5. まとめ

以上の検討をもとに、先秦期における高錫青銅器と熱処理技術の展開をまとめる。

錫10%以上の高錫青銅器が確認できるのは、二里頭時代の黄河中下流域や長城地帯などである。合金比率は一定しないが、一部では簡易な熱処理加工がなされたようである。商代では、各地で銅錫二元高錫青銅(ⅡH)と銅錫鉛三元高錫青銅(ⅣS・ⅣH)が併存し、二里頭段階に各地へ鑄造技術とともに焼き鈍しや熱鍛加工の技術が伝わっていた可能性が高い。殷墟では器物の違い以外にも、用いる階層によって錫の比率の使い分けがなされていた可能性が高い。また、殷墟や新干大洋州では淬火(焼き入れ)が行われた可能性も指摘される。西周時代以降は、各地で高錫青銅が用いられるとともに地域・遺跡ごとに合金の使用形態の特徴が顕著となる。華北地域のなかでも、春秋以降は錫を多用する山西と鉛を多用する河南で違いが顕著である。華中地域では、長江下流域では錫・鉛ともに含有率が高く、中流域では墓ごとに錫・鉛の割合が異なるが全般に高錫青銅が多い。

本稿では熱処理の各種方法の認定は、分析報告の見解に従っている。しかしながら、本来であれば用語の問題も含め、熱処理方法の認定手法も再検討しなければならないであろう。成分分析についても、盤龍城遺跡例や金勝村251号墓例のように、同一遺跡出土サンプルでも分析者や分析条件のちがいで異なる数値が得られた結果もある。

また、錫は合金材料以外にも、前述の錫器のほか、青銅器のパーツどうしを結びつけるための鋲接剤(蘇ほか1995pp.322)や表面に塗布するメッキ剤(何1988、1991、馬ほか2007)など、多様な用途が想定される。秦漢時代以降も含め、錫を用いた技術の実態とその歴史の変遷に迫ることが今後の課題であろう。

(Endnotes)

- 1 西村氏は近年の中国の分析報告をもとに熱処理の時代・技術的關係をまとめ、鍛造と焼き鈍し(退火)が焼き入れ(淬火)や焼き戻し(回火)に先行するとしている。なお、本稿での熱処理用語の訳については西村氏の案に

従う。

- 2 蘇榮譽氏は「先秦青銅器はほとんど鑄造によるもので、熱処理を経たものはごく少ない」（蘇ほか 1995 pp.279）とするが、一部、退火や淬火などの存在は想定している。
- 3 北京昌平張營遺跡でも夏家店下層期の銅錐から錫 24.54%が報告されるが、資料の表面が腐食しているため、錫が高くなりやすいとされる（崔ほか 2007）。
- 4 殷墟 3 期とされる郭家莊 160 号墓出土青銅器の分析では、容器は高錫青銅（IV S）が多く、武器は高鉛青銅が多いという結果が得られている（中国社会科学院考古研究所 1998）。
- 5 内田氏らは「淬火」を「焼き戻し」としており、西村氏（2000）と異なる。
- 6 別の文献では、この刻刀は錫 28.6%と報告されている（賈ほか 2004）。
- 7 商代においても、殷墟から錫塊と 6 点の錫戈が出土したという記述があるが（邱ほか 1983）、正式報告されてはいない。
- 8 分析したもののうち、錐料は除いている。
- 9 曾氏らは中原類型・仿中原類型・吳類型・楚式類型など系統によっても、鉛錫比率に差異があることを指摘している。
- 10 何堂坤氏によれば、春秋後期の長沙楊家山の銅劍はじめ、戦国期においては各地の鏡や鋒刀器などで淬火・回火がなされているという（何 1993）。

引用文献

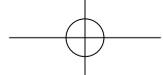
【日文】

- 内田純子・飯塚義之 2009 「中国殷墟の青銅器の化学成分分析」『アジア鑄造技術史学会研究発表概要集』第 3 号
- 鹿取一男 1985 『工芸家のための金属ノート』アグネ技術センター
- 長柄毅一 2008 「補論 高錫青銅の錫比率」『Heat Treatment and Casting Techniques of Asian High-Tin Bronze Wares』富山大学芸術文化学部
- 西村俊範 2000 「錫青銅の熱処理について」『史林』第 83 巻第 5 号
- 早川泰弘・平尾良光・金正耀・鄭光 1999 「ICP-AES/MS による中国二里頭遺跡出土青銅器の多元素分析」『保存科学』第 38 号

【中文】

- 白雲翔 2002 「中国早期銅器的考古發現与研究」『21 世紀中国考古学与世界考古学』中国社会科学出版社
- 北京大学考古学系商周組・山西省考古研究所 2000 『天馬 - 曲村（1980～1989）』科学出版社
- 北京鋼鐵学院冶金史組 1981 「中国早期銅器的初步研究」『考古学報』1981 年第 3 期
- 北京科技大学冶金史研究室 1990 「山東泗水尹家城遺址出

- 土岳石文化銅器鑑定報告」山東大学歴史系考古專業教研室『泗水尹家城』文物出版社
- 陳坤龍・梅建軍 2006 「山西靈石縣旌介村商墓出土銅器的科学分析」海金榮・韓炳華『靈石旌介商墓』科学出版社
- 崔劍鋒・郁金城・郭京寧・吳小紅 2007 「北京昌平張營遺址出土青銅器的初步科学分析」『昌平張營』文物出版社
- 樊祥熹・蘇榮譽 1997 「新干商代大墓青銅器合金分析」江西省博物館・江西省文物考古研究所・新干縣博物館『新干商代大墓』文物出版社
- 韓炳華・崔劍鋒 2010 「長治分水嶺出土青銅器的科学分析」山西省考古研究所・山西博物院・長治市博物館『長治分水嶺東周墓地』文物出版社
- 韓汝玢 1995 「張家坡 M152 出土西周戈的鑑定」『考古』1995 年第 7 期
- 郝欣・孫淑雲 2001 「盤龍城商代青銅器的檢驗与初步研究」湖北省文物考古研究所『盤龍城 -1963～1994 年考古發掘報告』文物出版社
- 河南省文物考古研究所 2003 『新蔡葛陵楚墓』大象出版社
- 河南省文物研究所・鄭州市博物館 1983 「鄭州新發現商代窖藏青銅器」『文物』1983 年第 3 期
- 何堂坤 1988 「几件琉璃河西周早期青銅器的科学分析」『文物』1988 年第 3 期
- 何堂坤 1991 「包山楚墓金屬器初步考察」湖北省荆沙鐵路考古隊『包山楚墓』文物出版社
- 何堂坤 1993 「刻紋銅器科学分析」『考古』1993 年第 5 期
- 何堂坤 1997 「先秦青銅合金技術的初步探討」『自然科学史研究』1997 年第 3 期
- 何堂坤 2001 「盤龍城青銅器合金成分分析」湖北省文物考古研究所『盤龍城 -1963～1994 年考古發掘報告』文物出版社
- 華覺明 1999 『中国古代金属技術 - 銅和鉄造就的文明』大象出版社
- 黃曉娟・李秀輝 2006 「鄭國祭祀遺址青銅器的分析鑑定報告」河南省文物考古研究所『新鄭鄭國祭祀坑』大象出版社
- 黃維・陳建立 2008 「隨州擂鼓墩二号墓出土青銅器的金相實驗研究」隨州市博物館『隨州擂鼓墩二号墓』文物出版社
- 賈瑩・蘇榮譽・林留根 2004 「吳國青銅兵器的金相学考察」肖夢龍・劉偉『吳國青銅器綜合研究』文物出版社
- 賈雲福 1989 「曾侯乙墓部分青銅器及金属彈簧的化学成分檢測」湖北省博物館『曾侯乙墓』文物出版社
- 金正耀・馬淵久夫・Tom Chase・陳德安・三輪嘉六・平尾良光・趙殿增 1999 「廣漢三星堆祭祀坑青銅器的化学組成和鉛同位素比值研究」四川省文物考古研究所『三星堆祭祀坑』文物出版社
- 李連琪 2003 「臨猗程村墓地出土銅器成份分析報告」中国社会科学院考古研究所『臨猗程村墓地』中国大百科全书出版社



- 李敏生 1984「先秦用鉛的歷史概況」『文物』1984年第10期
- 李敏生·黃素英·李連琪 1984「殷墟金屬器物成分的測定報告(二) — 殷墟西區銅器和鉛器測定」『考古學集刊』第4集
- 李秀輝·韓汝玢 2000「朱開溝遺址出土銅器的金相學研究」內蒙古自治區文物考古研究所·鄂爾多斯博物館『朱開溝 — 青銅時代早期遺址發掘報告』文物出版社
- 李秀輝·韓汝玢·孫建國·王斌 1999「虢國墓出土青銅器材質分析」河南省文物考古研究所·三門峽市文物工作隊『三門峽虢國墓(第一卷)』文物出版社
- 李仲達·王素英·華覺明·張宏禮 1991「浙川下寺春秋楚墓青銅器試樣分析報告」河南省文物研究所『浙川下寺春秋楚墓』文物出版社
- 羅武干·秦穎·黃鳳春·龔明·王昌燧 2006「左冢楚墓出土金屬器研究」湖北省文物考古研究所·荊門市博物館·襄荊高速公路考古隊『荊門左冢楚墓』文物出版社
- 馬清林·大衛·A. 斯科特 2007「春秋戰國時期鍍錫青銅板帶鍍錫技術研究」『文物科技研究』第5輯
- 梅建軍·韓汝玢 2007「碾子坡先周文化銅器的金相檢驗和定量分析報告 — 鼎與甗的檢驗分析」中國社會科學院考古研究所『南郊州·碾子坡』世界圖書出版公司北京公司
- 邱宣充·黃德榮 1983「楚雄萬家墳出土錫器的初步研究 — 兼談雲南古代冶金的一些問題」『文物』1983年第8期
- 曲長芝·張日清 1999「二里頭遺址出土銅器 X 射線螢光分析」中國社會科學院考古研究所『偃師二里頭 1959 ~ 1978 年考古發掘報告』中國大百科全書出版社
- 山東省兗石鐵路文物考古工作隊 1988『臨沂鳳凰嶺東周墓』齊魯書社
- 蘇榮譽·胡智生·盧連成·陳玉雲·陳依慰 1988「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
- 蘇榮譽·華覺明·李克敏·盧本珊 1995『中國上古金屬技術』山東科技出版社
- 蘇榮譽·華覺明·彭適凡·詹開遜·劉林·賈瑩 1997「新干商代大墓青銅器鑄造工藝研究」江西省博物館·江西省文物考古研究所·新干縣博物館『新干商代大墓』文物出版社
- 孫淑雲 1992「當陽趙家湖楚墓金屬器的鑑定」湖北省宜昌地區博物館·北京大學考古系『當陽趙家湖楚墓』文物出版社
- 孫淑雲 1996「太原晉國趙卿墓青銅器的分析鑑定」山西省考古研究所·太原市文物管理委員會『太原晉國趙卿墓』文物出版社
- 孫淑雲 1999「鄭州南順城街商代窖藏青銅器金相分析及成分分析測試報告」河南省文物考古研究所·鄭州市文物考古研究所『鄭州商代銅器窖藏』科學出版社
- 孫淑雲 2005「橫嶺山墓地出土的 8 件青銅器成分和金相組織」廣東省文物考古研究所『博羅橫嶺山：商周時期墓地 2000 年發掘報告』科學出版社
- 孫淑雲·韓汝玢 1997「甘肅早期銅器的發現與冶煉、製造技術的研究」『文物』1997年第7期
- 孫淑雲·王金潮·田建花·劉建華 2009「淮陰高庄戰國墓出土銅器的分析研究」淮安市博物館『淮陰高庄戰國墓』文物出版社
- 田長澍 1985「從現代實驗剖析中國古代青銅鑄造的科學成就」『科技史文集』13
- 田長澍 1988『中國古代金屬技術史』四川科學技術出版社
- 肖夢龍·華覺明·蘇榮譽·賈瑩 2004「吳干之劍研究」肖夢龍·劉偉『吳國青銅器綜合研究』文物出版社
- 徐恒彬·黃渭馨·王秀蘭·華覺明 1986「廣東省出土青銅器冶鑄技術的研究」『中國冶鑄史論集』文物出版社
- 姚青芳 1996「山西垣曲古商城遺址青銅器的研究」中國歷史博物館·山西省考古研究所·垣曲縣博物館『垣曲商城(一) 1985-1986 年度勘察報告』科學出版社
- 曾彬·夏鋒·肖夢龍·商志群 1990「蘇南地區古代青銅器合金成分的測定」『文物』1990年第9期
- 張日清·曲長芝 1982「同位素 X 射線螢光法對稀珍文物的無損分析」『考古學集刊』第2集
- 趙春燕 2004「安陽殷墟出土青銅器的化學成分分析與研究」『考古學集刊』第15集
- 趙春燕 2006「甘肅庄浪徐家碾寺洼文化墓葬出土銅器化學組成分析與研究」中國社會科學院考古研究所『徐家碾寺洼文化墓葬 - 1980 年甘肅庄浪徐家碾考古發掘報告』文物出版社
- 中國社會科學院考古研究所 1998『安陽殷墟郭家莊商代墓葬』中國大百科全書出版社
- 中國社會科學院考古研究所實驗室 1982「殷墟金屬器物成分的測定報告(一) — 婦好墓銅器測定」『考古學集刊』第2集
- 中國社會科學院考古研究所實驗室 1994「陝東周墓出土部分銅器的成分分析」中國社會科學院考古研究所『陝東周秦漢墓』科學出版社
- 鄭州工學院·中國科學院自然科學史研究所 1982「婦好墓青銅器及銅觚複製件的化學成分和金相組織」『考古』1982年第5期

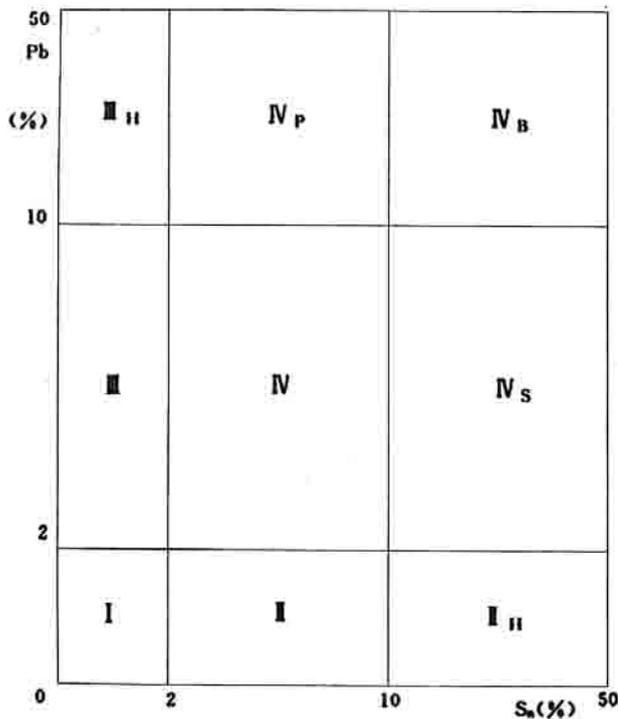


図1 蘇栄誉氏による錫鉛青銅の分類
(蘇ほか1995pp. 186 を一部改変)

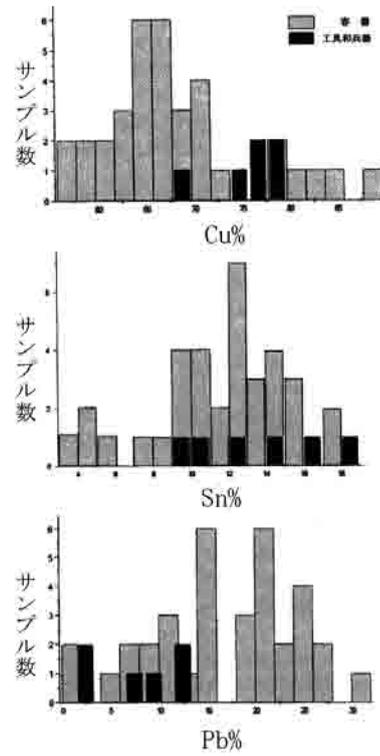


図2 湖北盤龍城遺跡出土青銅器の成分含量ヒストグラム
(郝ほか2001 を一部改変)

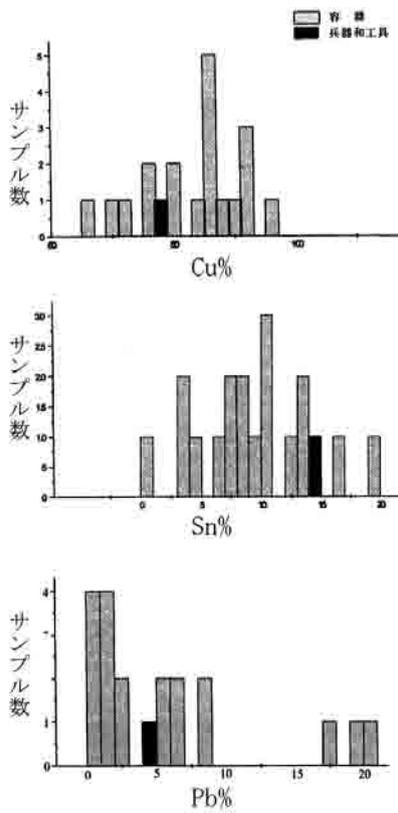


図3 鄭州商代遺跡出土青銅器の成分含量ヒストグラム
(郝ほか2001 を一部改変)

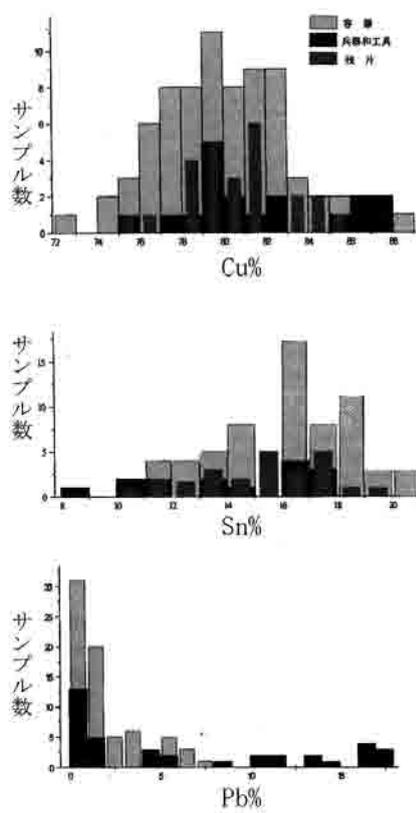


図4 殷墟「婦好」墓出土青銅器の成分含量ヒストグラム
(郝ほか2001 を一部改変)

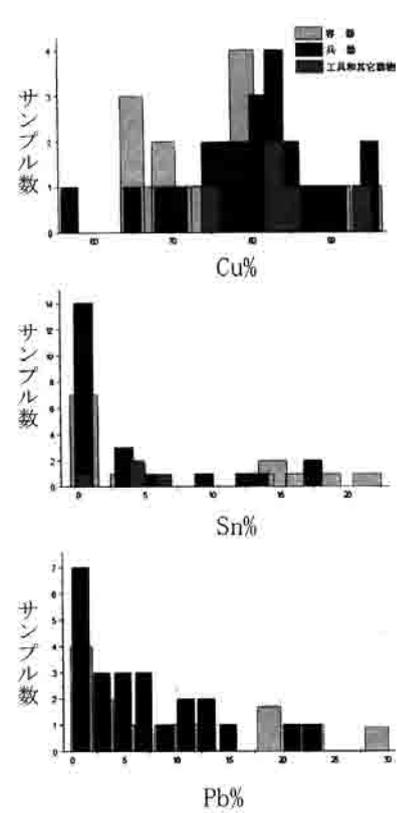
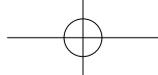


図5 殷墟小屯西区出土青銅器の成分含量ヒストグラム
(郝ほか2001 を一部改変)



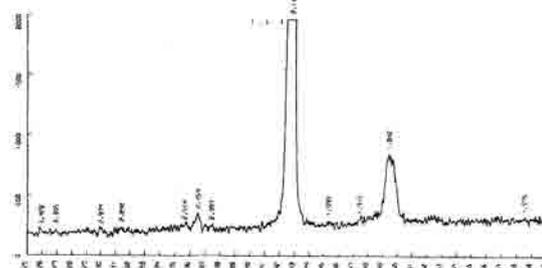
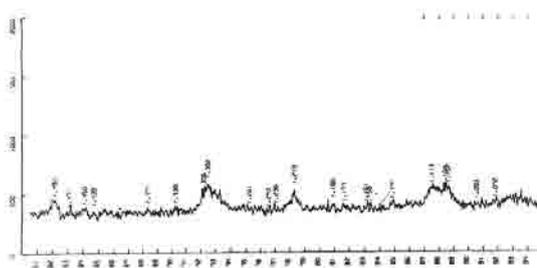
修刀XDM383の金相組織 ×50



修刀XDM383の金相組織 ×500



修刀XDM383と同型式の修刀



X線スペクトル図結果

図6 江西新刊大洋洲出土修刀の分析関連資料 (蘇ほか1997)

