

# 中国西南部における鉄器出現期の銅鉄複合製品の構造と材質の研究

研究代表者：東北大学大学院文学研究科 松本 圭太

研究分担者：東北大学学術資源研究公開センター 総合学術博物館 藤澤 敦

A Study on the Structure and Materials of Copper-Iron Composite Products from the Iron Age Emergence Period in Southwest China

MATSUMOTO Keita<sup>1</sup>, FUJISAWA Atsushi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Graduate School of Arts and Letters, Tohoku University

<sup>2</sup> Tohoku University Museum

Keywords: Bronze-handled iron sword · X-ray CT analysis · Yunnan region · Iron Age · Casting techniques

Abstract To elucidate the process of iron utilization in Eastern Eurasia, a copper-hilted iron sword originating from southwestern China was analyzed using X-ray CT equipment managed by the Tohoku University Museum of Integrated Sciences. The results revealed that the joint between the iron blade and the copper hilt was unexpectedly shallow, and that multiple iron rods were embedded within the copper hilt. These facts were previously unknown and are of critical importance in reconstructing the casting method of these copper-hilted iron swords. Further analysis using neutron beams is expected to provide a more detailed understanding of the structure.

## 1. 緒言 (Introduction)

ユーラシア大陸では前 2 千年紀末から前 1 千年紀半ば頃までを中心に、青銅器時代から鉄器時代へと移行したことが知られている。この移行は、金属利器の材質のみならず、生産、技術、社会そして思想上における極めて大きな変化を伴いつつ、ユーラシア大陸の東西で 500 年程度という極めて限られた期間で起きた。この変化の歴史的背景を解明するためには、ユーラシア各地における青銅器時代から鉄器時代への移行過程を広域的に明らかにする必要がある。青銅器から鉄器への移行時期において、ユーラシア各地で共通して知られているのが、銅鉄複合 (バイメタル) 製品である。例えば、イラン (西アジア) では銅柄鉄剣が前 2 千年紀に出現するが、SPring-8 の高エネルギー X 線を用いた高分解能 CT 画像撮影によって、鉄刃の茎を手がかりにして、鋳型に青銅を流し込んで柄部を形づくる「鋳ぐるみ」技術が使われていたことが判明している。一方で、中国においては前 8~前 3 世紀頃にバイメタル製の剣が生産されているが、材料学・考古学を併せた視点からこれらが検討されたことは少ない。本研究は、日本国内に所蔵される中国のバイメタル製品を分析し、それらの製作技術を明らかにするとともに、イランなどユーラシアの他地域における製作技術との比較を行う基礎データを蓄積することを一つの目的としている。

## 2. 研究方法 (Research procedure)

本研究では、東アジア青銅器文化研究所 (兵庫県加東市) から借用した、中国西南部に由来すると考えられる銅柄鉄剣 3 点 (紀元前後) につき、東北大学総合学術博物館所管の X 線 CT 装置 (コムスキャンテクノ株式会社製 ScanXmate-D180RSS270 高出力大型標準用装置、株式会社 Voxel Works 改修) を使用して計測し、それらの内部構造を調査した。X 線 CT の撮影条件は、X 線管電圧 190kV、X 線管電流 120  $\mu$  A、2500 プロジェクションである。断層像の再構成には coneCTexpress (有限会社ホワイトラビット) を使用し、撮影データの表示、解析には Molcer および Molcer Plus (ともに有限会社ホワイトラビット) を使用した。

借用した銅柄鉄剣には、状態が良くないものの鉄刃部分が長く残っている。本研究では鉄刃と銅柄の接合法を検討したいので、まず銅柄と鉄刃接合部を含むイメージを計測 (2025 年 11 月 27 日) し、興味深い構造がみられた部分につき拡大して計測を行った (2026 年 3 月 6 日)。計測時は報告者らとともに、東北大学総合学術博物館・鹿納晴尚氏に機器の操作をお願いし、計測方法や結果についても協力を得た。

## 3. 結果および考察 (Results and discussion)

いずれの銅柄鉄剣にも、表面からは観察できない特異な構造が見られた。

### ① 銅柄と鉄刃の接合部について

鉄刃は柄から連続する銅製装飾部分の上半分以下にしか挿入されていなかった (図 1)。以前に行われた同種の剣 (型式や年代は異なる) の X 線分析例 (石川 1977) では、鉄刃の茎部は柄部の約半分の長さであり、地域と時代は異なるが、イラン由来の銅柄鉄剣の分析例でも比較的長い茎部が確認されている (Arimatsu2026)。これら踏まえると、今回の結果は意外であるが、3 本とも同じような様相であった。装飾部分に挿入された鉄製部分は、外形を鋸歯状にしており (図 4)、銅製部分との連結を密にする意図があったものと思われるが、全体の形は刃の基部状で、明確な茎部とはなっていない。出土例から考えて 50cm 以上ある刃部を支える構造としては、やや不安な感がぬぐえない。鉄製部分の直下には隔壁があり、それより下 (装飾部分から柄にかけて) は、中空もしくは中子 (内筋・内側の鋳型) 土が詰まっている状態であり、銅ムクではない。

### ② 銅柄内部の鉄棒について

柄部から装飾部分にかけて、垂直 (柄の長さ方向) に 1 本 (A 棒とする)、水平方向 (柄の幅方向) に複数本 (B 棒とする) の棒状の構造がみられた (図 2,3,5)。A・B 棒ともに、柄の青銅部分より密度が低いことが示されており、おそらくは鉄製であったことがうかがわれる。

A 棒はきしめんのような扁平な形状をしており、柄頭の部分から上記の隔壁のある部分の直前まで、柄の中心から

ややずれた部分を走っている。個体によっては、先端がカギ状に折れ曲がっている。

B 棒は 2mm 程度の断面円形のシリンダー状の棒で、いずれも両端がそれぞれの両側壁に埋め込まれている。こうした事実を元に観察を行うと、B 棒が埋め込まれている部分の表面には、直径数ミリの鉄錆が浮き出ていることが認められる。

第 2 個体では、柄の断面を観察すると、中子土と思われるものが全体に詰まっており、一定の分割線が観察できる(図 6)。そして、A 棒は分割線上に乗っている。

以上のことから、現状では以下のような一つの鑄造法(部分)が推測できる。

1. 鉄刃を用意し、その基部を鋸歯状に加工する
2. 加工した鉄刃を組み込んだ鑄型を準備する
3. 鑄型の詳細な復元は今後の課題であるが、大きく言うと、上下の分割範である。
4. 分割範の片(下)側を作り、その中子の平面上に、A 棒を置いた。
5. 同様に B 棒も置くが、それは鑄型全体を貫通していた(現状よりずっと長かった)可能性がある。
6. 鑄造後、柄の器壁から突き出た B 棒を折り取って、研磨した。

A・B 棒は、中子の支えという役割を一部では担っていたであろうが、どうしてこのような大掛かりな棒状装置を使う必要があったのか(小さいスペーサーを配置するだけではなぜいけないのか)、なぜ棒の素材は鉄なのか(柄と同じ銅を使用するのは不都合なのか)、などの疑問は解消されていない。

なお、第 2 個体では中子の空洞に銅湯が流れ込んでいる部分がある(図 6)。鑄造時に、銅柄器壁から漏れ出したものと思われる。銅湯の流れ方、ひいては湯口の位置を推測しようとしたが、確定的結論はでていない。また、本個体では、柄や装飾部分全体の表面に区別できる薄い層が一枚のっている可能性を指摘できる(図 5 矢印)。昨年度実施した蛍光X線分析ではいずれの表面からも 26-59wt.%の錫が検出されているので、錫メッキの可能性も今後検討すべきである。

第 1 個体では、一つの B 棒の両端に器壁(銅)や棒(鉄)とは異なる密度の物質がついていることが示された。これが中子であるとすると、それ以外の部分では中子が排出されていることになる。どのような方法を用いて排出したのか、検討が必要である。

#### **4. まとめ(Conclusion)**

今回の測定によって、これまで知られていなかった、銅柄鉄剣の柄の構造を明らかにすることができた。従来、中国考古学における鉄製品の出現については、鉄器そのものの形態や技術からのアプローチが主であったが、バイメタルという銅と鉄を組み合わせた技術を調べることによって、中国へ伝達した技術系統をより詳細に明らかにできる可能性が出てきた。このような検討を今後も継続して行いたい、次のような方向が考えられる。

①CT 計測例を増やす。東アジア青銅器文化研究所には他に数例の銅柄鉄剣が保管されているので、それについて分析したい。

②本3例につき、中性子線を利用した分析を行い、現状では密度による推定である素材について、確定したい。

③鑄造技法の復元。上記 A・B 棒の役割を明らかにしたい。可能であれば、鑄造の専門家のアドバイスを受け、実験も行いたい。また、文様をどのように鑄込んだのかなど、他にも解明すべきことは多い。

④ユーラシア草原地帯との繋がり。新知創造学際ハブ第 7 回研究会で松本が報告したように、中国西南部の青銅器文化の起源は、草原地帯にある可能性がある。その際に鍵となるのが秦式剣である。この種の剣に関しても CT 分析を同様にを行うことで、技術伝播を大陸規模で明らかにしうる可能性がある。

#### **謝辞(Acknowledgement)**

本研究を進めるにあたっては学際ハブ推進室および学際ハブプロジェクトの多大な支援を得ました。また分析に当たっては、東北大学総合学術博物館・鹿納晴尚氏に多く協力いただいた。心より感謝いたします。また、貴重な資料をご提供くださった、東アジア青銅器文化研究所にも御礼申し上げます。

#### **引用文献(Reference)**

- 1) 石川睦郎 1977「構造と材質調査」『Museum』312、p.11
- 2) Arimatsu, Y. 2026 Using high energy X-ray imaging to reveal the internal structure of bronze-hilted Iron swords. Journal of Archaeological Science: Reports, 69



图1 第1个体柄·装饰部

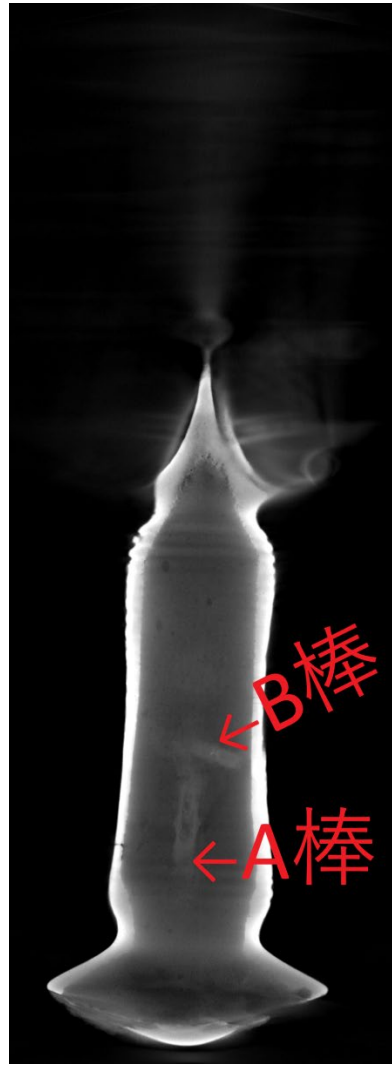


图2 第3个体柄端部

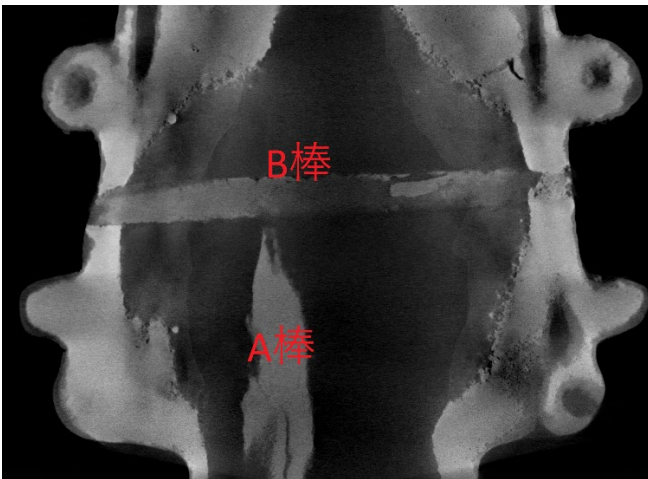


图3 第1个体装饰部

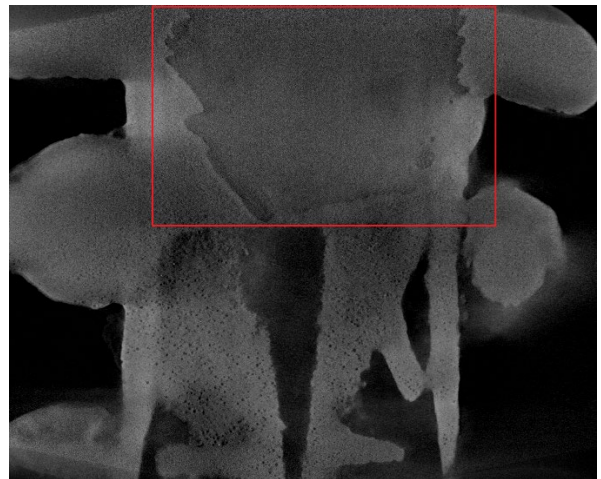


图4 第2个体刃柄接合部

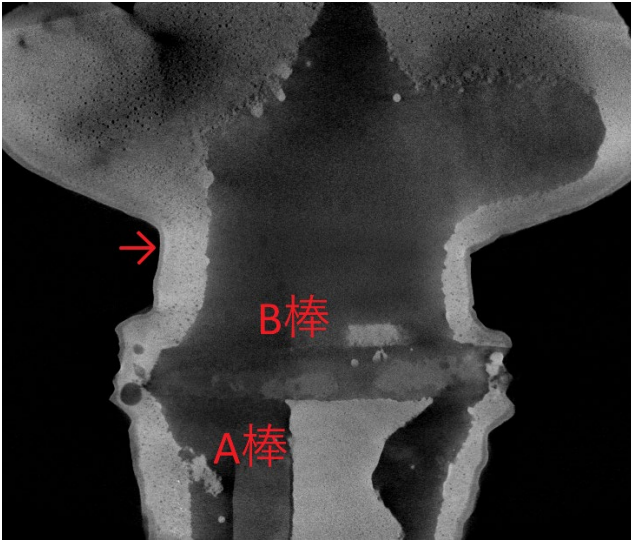


图5 第2个体柄·装饰部

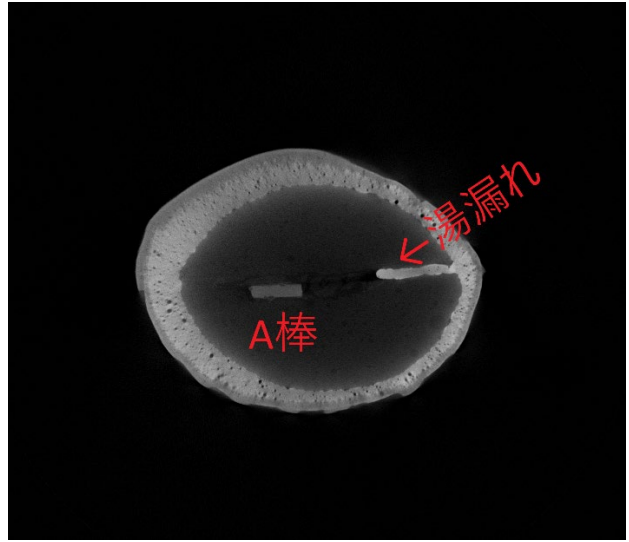


图6 第2个体柄断面