

機関番号：	12601
研究種目：	基盤研究(B)
研究期間：	2008 ～ 2010
課題番号：	20300286
研究課題名（和文）	漢代鏡範の製作技法の科学的解析と再現実験
研究課題名（英文）	Chemical analyses of the Chinese mirror-molds of the Han-Period and restoration experiments of the high-Sn bronze mirror
研究代表者	
	田賀井 篤平 (TAGAI TOKUHEI)
	東京大学・総合研究博物館・名誉教授
	研究者番号：40011738

研究成果の概要（和文）：青銅鏡鏡範の黒色皮殻に対する化学分析の結果、Cu, Sn, Pb, Znなどが確認された。黒色皮殻は、鑄込みに際の鏡範と金属との反応生成物である。更に、SやCを確認したことから、SやCは、離型材・塗型材に由来すると考えた。分析データを基に、Cu, Sn, Pbなどの金属を調合して鑄造実験を行った。塗型材や離型材の素材を変えて鑄込み実験を行い、離型材に油脂を使用した場合に、最も漢代の鑄型に近い黒色皮殻が得られた。分析の結果、黒色皮殻部に、鑄込み金属元素やSの存在が確認できた。Cは還元状態で高温金属に触れた離型材の油脂から生じた煤であると考えられる。

研究成果の概要（英文）：A black crust is often observed on the surface of the mirror-mold. As a result of the chemical analyses, the elements such as Cu, Sn, Pb, and Zn originated in the casting metals were confirmed to exist in the black crust. The black crust is, therefore, thought to be a reaction product of mirror-mold and the metal in the course of the casting process. In addition, S and C were found and it indicates that they might be originated in the coating- or release-agents for the mold. Then, the casting experiments were carried out by the mixture of Cu, Sn, and Pb using several kinds of oil and fat as the coating- or separating-agents. A black crust was well reproduced by using a fat as release-agent. As a result of chemical analyses of the reproduced black crust, the existence of metallic elements and S were confirmed to be in the crust on the surface of the mirror mold. The element of C was not analyzed but C was thought to be a kind of soot caused from burned fats in the course of casting.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	5,600,000	1,680,000	7,280,000
2009年度	2,500,000	750,000	3,250,000
2010年度	2,600,000	780,000	3,380,000
年度			
年度			
総計	10,700,000	3,210,000	13,910,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：文化財科学・文化財科学

キーワード：材質分析

1. 研究開始当初の背景

古代青銅鏡の製作は中国の漢代に最も盛

んであり、数多くの鏡が出土し研究されてきた。それらの鏡は精緻な製品であることから、高度な制作技術が確立していたと考えられる。しかし、出土する青銅鏡は表面が仕上げのために研磨されており、製作過程の痕跡を留めていない。従って、青銅鏡の製作技法の解明にはその鋳型である鏡範の研究が不可欠である。にもかかわらず、鏡範の出土は極めて稀であることや、真贋の問題も残されていることから、鏡範の研究は青銅鏡自身に比べて著しく遅れていた。

古代青銅鏡鏡範の研究は、日本に収蔵されている鏡範について、約15年前から始められた。そこでは古代青銅鏡の鋳造技法や製作方法の研究が行われ、青銅鏡に残る製作の痕跡、熱処理実験、青銅鏡の鋳造実験などが研究されてきた。しかしながら、鏡範の科学的特性化を十分に行っていなかったために、鏡範物質について基本的なデータが欠落していた。数年前から日本に収蔵されている複数の草葉文鏡範について調査研究が行われているが、物質科学的な手法が十分に用いられていないために、鏡範物質の特性化には至っていないのが現状である。近年、中国山東省臨淄市の齊国故城から漢代鏡範が多数出土し、漢代における青銅鏡製作技法を研究する材料が与えられた。しかしながら、鏡範が考古遺物である故に破壊分析が困難であることもあって、科学的なメスが入れられていないのが現状である。鏡範に対する過去の研究の大部分が色や形、割れ方などの表層的な特徴で考察が行われているだけであった。

## 2. 研究の目的

本研究は、中国山東省文物局によって特別に破壊分析のために提供された山東省で出土した前漢時代の草葉文鏡範について物質科学的手法を用いて物理学的・化学的な解析を行い、鏡範物質の特定や微細組織の決定などを通じて鏡範の物質科学的な特性化を行い、その結果に基づいて、鏡範製作技法を推定し、鏡範制作実験を通じて草葉文鏡の再現と製作技法の解明に貢献することを目的としている。

## 3. 研究の方法

本研究は、大きく二つの手法からなる。その第一は、中国山東省文物局から特別に提供される齊国故城から発掘された草葉文鏡範の

物理学・化学的解析を行い、鏡範の科学的性質のデータを収集することである。第二は、収集されたデータを解析して鏡範製作技法を解明して、鏡範再現実験を行うことである。さらに、完成した鏡範を使用して、青銅鏡の鋳造を試み、鋳造に伴う金属と鏡範との反応を解析することである。

## 4. 研究成果

中国の山東省臨淄齊国故城から発掘された青銅鏡の鏡範が当時の高度な鋳造技術の解明を目的とした分析実験に提供された。臨淄齊国故城から出土した鏡範には、金属を鋳込んだ際に生じたと考えられる黒色の皮殻が観測される。

黒色皮殻の化学分析を EPMA によって行った結果、黒色皮殻中に Cu, Sn, Pb, Zn などの鋳込み金属に由来する元素の存在が確認された。このことから、この黒色皮殻は鋳込み金属と鏡範との反応によって生じた反応物であると考えた。また EPMA の分析結果から、黒色皮殻には S が存在していた。

さらに、黒色物質の有機微量分析から C の存在も確認できた。これらの S や C は、鋳込み金属や岩石質である鏡範に本来存在しないことから、金属の鋳込みに際して人為的に加えられた物質に由来すると考えられ、離型材や塗型材を候補とした。これらの元素の空間的な配置を調べるために EPMA の Mapping 分析を行った。その結果、Pb と S の空間的な分布が類似しており、黒色皮殻内で PbS として存在する可能性が高い。

黒色皮殻中に存在する Cu の存在状態を調べるために、放射光による X 線吸収実験を行った。EXAFS, XANES の結果、黒色皮殻内では Cu は 2 価のイオンで存在し、かつ硫化物ではなく酸化物として存在していることがわかった。従って、Cu は黒色皮殻内で CuO として存在していることを初めて確認した。黒色皮殻内に S や C が存在するは、金属鋳込みが還元状態で進行したことを示しており、CuO が存在することと矛盾する。この点に関しては、今後の研究課題であるが、現時点では、CuO は鏡範が土中に長時間放置されていた過程で、二次的に生じたと考えている。

鏡範の黒色皮殻部には、鏡範内部よりも多くの Ca が存在することが特徴的である。従って、Ca は塗型材か離型材に由来する可能性が高いと考えた。そこで、金属とは接触して

いない塗型材の EPMA による分析を試みた結果、塗型材には Ca が含まれていないことが確認された。この点は未解決の問題であり、当時の金属鑄込み技術ばかりでなく製錬技術にも係わる重要な情報を含んでいると考えている。

以上の研究結果を基にして、鑄造実験を行った。臨淄齊国故城出土の鏡範の特徴である多孔質で比重 1 程度の軽量の鑄型を試作した。まず、化学組成の類似した粘土を調合し、多量の矽殻灰を混入して、焼成して、軽量で多孔質の鑄型を作成した。鑄込み金属として Cu, Sn, Pb, Zn 等の金属を調合した。また、塗型材の素材や離型材の素材などの条件をいろいろ変えて鑄込み実験を行った。

その結果、離型材として動物性の油脂を使用した場合、最も臨淄齊国故城出土の鏡範に見られる黒色皮殻に類似する黒色皮殻が得られた。鑄造実験で得られた黒色皮殻部を EPMA によって分析した結果、黒色部に、鑄込み金属元素が分布していることが確認された。

また、黒色部には S の存在も確認された。しかし、S については、まだ未確認の点が残されている。S は離型材として用いた油脂に含まれている可能性とともに、鑄込み金属中にも存在していた可能性が高い。その理由は、青銅鏡の分析の結果、金属中に S が Pb と類似した空間分布を示して存在することである。しかし、鑄造実験では金属中に S は存在しない。出土した鏡範の黒色部にも、鑄造実験で生じた黒色部にも、同様に S が存在することは、S の存在様態にも多様な可能性を闡明しなければならない。

C については化学分析を行っていないが、存在様態から、高温金属に触れた離型材の油脂から生じた煤であると考えられる。

以上の結果から、鏡範の黒色皮殻の原因は、離型材として用いられた可能性の高い油脂の燃焼による C、PbS などの鑄込み金属と離型材との反応による金属硫化物、CuO のような金属の二次的な生成物である酸化物の複合的な存在に依ることが確認された。これらの結果は、精緻な青銅鏡を実現していた漢代の高度な鑄造技術の解明に貢献したと考えている。

しかし、黒色皮殻部の Ca の存在や S の多様な可能性など、まだ未解決な問題が残されている。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 6 件)

①田賀井篤平、白雲翔、三船温尚、韓偉東、清水康二、杉山和正、三河内岳：鏡範面の金属鑄込みに伴う皮殻形成の研究 — (3) 塗型材と黒色皮殻の構成物質一。FUSUS、第 3 巻 査読有 (2011) (印刷中)

②田賀井篤平、白雲翔、三船温尚、韓偉東、清水康二、三河内岳、杉山和正：鏡範面の金属鑄込みに伴う皮殻形成の研究 その 4 塗型材の分析。アジア鑄造技術史学会研究発表概要集 4 号、13-16 査読有 (2010)

③田賀井篤平、白雲翔、三船温尚、韓偉東、清水康二、三河内岳：鏡範面の金属鑄込みにともなう皮殻形成の研究 (2) 黒色皮殻の化学分析。FUSUS、第 2 巻、28-34 査読有 (2010)

④田賀井篤平、白雲翔、三船温尚、韓偉東、清水康二、杉山和正：鏡範面の金属鑄込みにともなう化学変化の研究 その 3 鏡範面の黒色皮殻の構成物質。アジア鑄造技術史学会研究発表概要集 3 号、72-74 査読有 (2009)

⑤田賀井篤平、三船温尚、清水康二：鏡範面の金属鑄込みに伴う化学変化の研究 (1) 黒色皮殻を持たない臨淄齊国故城出土の漢代鏡範について。FUSUS、第 1 巻、23-32 査読有 (2008)

⑥田賀井篤平、白雲翔、三船温尚、韓偉東、清水康二：鏡範面に見られる黒色皮殻についての研究 (2) 黒色皮殻の化学分析。アジア鑄造技術史学会研究発表概要集 2 号、5-7 査読有 (2008)

〔学会発表〕(計 4 件)

①田賀井篤平、白雲翔、三船温尚、韓偉東、清水康二、三河内岳、杉山和正：鏡範面の金属鑄込みに伴う皮殻形成の研究 その 4 塗型材の分析。2010年8月28日 アジア鑄造技術史学会 (島根県立出雲古代博物館)

②田賀井篤平、白雲翔、三船温尚、韓偉東、清水康二、杉山和正：鏡範面の金属鑄込みにともなう化学変化の研究 その 3 鏡範面の黒色皮殻の構成物質。2009年8月30日 アジア鑄造技術史学会 (東京芸術大学)

③田賀井篤平、白雲翔、三船温尚、韓偉東、清水康二、杉山和正、三河内岳：鏡範に見られる黒色皮殻の原因の研究。2009年9月9日

中国紹興・銅鏡と古代文明国際学術フォーラム招待講演（中国浙江省紹興）

④田賀井篤平、白雲翔、三船温尚、韓偉東、清水康二：鏡范面に見られる黒色皮殻についての研究（2）黒色皮殻の化学分析。2008年9月21日 アジア鑄造技術史学会（福岡市埋蔵文化財センター）

〔図書〕（計1件）

①鏡范：漢式鏡の製作技術（奈良県立橿原考古学研究所，中国社会科学院考古研究所，山東省文物考古研究所編）、八木書店（2009）

〔その他〕

ホームページ等  
特記すべきものなし

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

田賀井 篤平 (TAGAI TOKUHEI)  
東京大学・総合研究博物館・名誉教授  
研究者番号：40011738

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

三船 温尚 (MIFUNE HARUHISA)  
富山大学・芸術文化学部・教授  
研究者番号：20181969  
清水 康二 (SHIMIZU YASUJI)  
奈良県立橿原考古学研究所・主任研究員  
研究者番号：90250381  
杉山 和正 (SUGIYAMA KAZUMASA)  
東北大学・金属材料研究所・教授  
研究者番号：40196762

### 協力研究者

白 雲翔 (BAI YUNXIANG)  
中国社会科学院考古研究所・副所長  
韓 偉東 (HANG WEIDONG)  
中国山東省臨淄齊國故城遺跡博物館・館長