

平成 21 年 5 月 15 日現在

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2007～2008

課題番号：19720209

研究課題名（和文） 蛍光X線分析による高麗鏡の研究

研究課題名（英文） Research of *Korai* Bronze Mirror by Energy Dispersive X-Ray Spectrometry

研究代表者

加藤 俊吾 (KATO SHUNGO)

財団法人大阪市文化財協会・大阪歴史博物館・学芸員

研究者番号：30291181

研究成果の概要：高麗時代および併行期における銅鏡について、非破壊による成分分析（蛍光 X 線分析）を行い、同時併存したと考えられる鏡群に成分上の相違があるか否かを検討した。その結果、明確な時期差として指摘するまでには到らなかったが、錫や水銀などをもとにした鑄造後の表面処理に関する新たな課題が確認でき、今後の発展が期待できると予想される。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2008 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
年度			
総計	1,800,000	540,000	2,340,000

研究分野：人文学

科研費の分科・細目：史学・考古学

キーワード：考古学、高麗鏡、蛍光 X 線分析

## 1. 研究開始当初の背景

本計画に先立って、研究代表者の勤務機関が所蔵する中国・朝鮮鏡の整理作業を行ったところ、それぞれの製作地を推定することが困難な研究状況にあることに気づかされた。理由のひとつには当該時期が政治的な変動期にあたっており多国間での物流が錯綜していたことが考えられ、この時期に製作された銅鏡を研究する上で文様のみには焦点を当てた方法だけでは難しいと感じられた。この状況を前進させるためには新しい着眼点が必要であり、その試みとして成分分析を行い、その成果を従来の伝統的な型式学と組み合わせることで、不可視な属性（＝成分結果）と可視的な属性の対応を比較し、背後にある

相関性を追求できないかと考えた。

事実、高麗鏡あるいは併行期の銅鏡について成分分析を行った事例はすでに古くからあった。しかし、漢～唐時代の銅鏡では分析例が増加しているのに比べて、当該資料に対する分析例はほとんどが数点程度を対象にした成果であり、かつ鏡式も限られていた。したがって、サンプル数の増加が望まれる状況にあったといえるだろう。

## 2. 研究の目的

上述したように、先行研究からのさらなるサンプル数増加が求められていた。おそらく、現在の分析件数を総合しても数十例程度と目される。しかも別々の環境下で測定された

データとなっていることが比較をする上で  
のバイアスとなっていた。

そこで本研究では、まず同じ測定方法で多  
数の試料を分析することに大きな意味を見  
いだす。したがって、対象とする資料は、当  
館所蔵の銅鏡 212 点とし、その傾向を把握す  
ることを目的とした。

### 3. 研究の方法

#### (1)成分分析

対象としたのは大阪歴史博物館が所蔵す  
る銅鏡資料のうち、1963 年に一括で購入され  
たコレクションである。入手の履歴が失われ  
ているため、その資料性が疑問視されるが、  
ここでは明らかに異質なものを除く程度と  
した。また、唐代以前の所産と目されるもの  
も除いている。さらに、測定機器試料室に入  
るサイズである（測定環境を真空で統一する  
ため）ことなどを条件として加えた結果、総  
数 212 点を選出した。

測定の選定に当たっては、事前に X 線透過  
画像を確認し復原部位がある場合はこれを  
避けるなど各資料に応じて定めたが、可能な  
限り縁近位でかつ地金と思われる金属面が  
露出している部分を選択した。ただし、測定  
機器試料室のサイズならびに照射位置との  
関係から、必然的に測点を試料中央（ないし  
鈕）に限定せざるを得ない場合もあった。各  
資料の測点は 2 箇所（表裏で各 1 箇所）であ  
る。測定部分に対して分析前処理はせず、非  
破壊で行っている。

測定機器は大阪歴史博物館設置のエネル  
ギー分散型蛍光 X 線分析装置（EDAX 製 DX95  
改良型）を用いた。測定条件は以下の通りで  
ある。

対陰極：ロジウム  
検出器：半導体検出器  
測定時間：500 カウント  
測定範囲：5mm φ  
管電圧：40kv、管電流：35~60 μA  
測定雰囲気：真空（※）

測定結果については、主要元素 Cu、Sn、Pb  
に着目し、このうち Cu の Net 強度に対する  
Sn・Pb の同比を求め、これにより比較する方  
法をとった。さらに微量元素については各資  
料に応じて同定し、同じく Net 強度をもとに  
その検討・吟味を行った。

なお、高麗鏡の組成成分と比較検討するた  
めの参考資料として、高麗時代の銅銭（7 点：  
個人所有）についてもあわせて分析を行った。  
取得した測定データの統計解析には SPSS  
Base 13.0 をもちいた。

#### (2) 先行事例との比較

過去に当該資料を対象とした分析事例は  
多くなく、管見に触れたものすべてを比較対

象としたが、残念ながら先行分析値が定量分  
析による重量パーセント濃度（wt%）を用い  
る場合が多く、今回の測定数値と直接の比較  
はできない。ただし、大まかな傾向を把握す  
るには強度比の比較でも可能であることか  
ら、慎重を期しつつも参考とした。

### 4. 研究成果

#### (1)測定結果

今回対象とした 154 面の内、当初高麗鏡と  
考えられたものが約 50%を占め、実質的には  
高麗鏡（らしき銅鏡）が多いコレクションと  
いうことがわかってきた。コレクションの内  
容からは、高麗鏡は分類した鏡式群をまんべ  
んなく含むのに対して、高麗へ移行期のもの  
と判断された資料はやや時代ごとの傾向を  
示しており、これが当時の流通鏡式の全体傾  
向を示すとは言い切れないものの、少なから  
ず影響を受けていると考えられる。したがっ  
て、高麗鏡の特徴として、併行期の鏡式が自  
国内で生成されたもの以外も多数含み、これ  
らが複合されていた可能性が極めて高いこ  
とが再確認される。

主成分として取り上げた Sn・Pb の銅に占  
める値を時期別にみていく。

第 1 表 時代毎に見た Sn の傾向

Sn / Cu の比統計量(鏡背)					
グループ	平均値	中央値	最小	最大	標準偏差
唐	0.268	0.113	0.088	0.602	0.29
唐か	0.205	0.162	0.103	0.504	0.142
遼か	<b>0.281</b>	0.281	0.281	0.281	
遼(または金)か	<b>0.119</b>	0.119	0.119	0.119	
高麗	0.334	0.196	0.045	1.133	0.29
高麗か	0.387	0.289	0.049	1.3	0.278
宋か	0.228	0.21	0.094	0.47	0.129
宋~金か	0.457	0.457	0.403	0.511	0.076
金	0.111	0.111	0.051	0.17	0.084
金か	0.453	0.294	0.087	2.178	0.566
明か	0.126	0.126	0.078	0.174	0.068
明~清	<b>0.004</b>	0.004	0.004	0.004	
不明	0.305	0.223	0.018	0.891	0.242
全体	0.333	0.247	0.004	2.178	0.291

Sn / Cu の比統計量(鏡面)					
グループ	平均値	中央値	最小	最大	標準偏差
唐	0.248	0.117	0.11	0.515	0.232
唐か	0.199	0.144	0.085	0.523	0.148
遼か	<b>0.475</b>	0.475	0.475	0.475	
遼(または金)か	<b>0.058</b>	0.058	0.058	0.058	
高麗	0.273	0.132	0.026	1.09	0.3
高麗か	0.25	0.176	0.035	0.786	0.197
宋か	0.172	0.134	0.122	0.334	0.07
宋~金か	0.285	0.285	0.195	0.374	0.126
金	0.057	0.057	0.018	0.096	0.055
金か	0.145	0.132	0.008	0.278	0.102
明か	0.05	0.05	0.048	0.051	0.002
明~清	<b>0.003</b>	0.003	0.003	0.003	
不明	0.229	0.127	0.021	0.709	0.199
全体	0.228	0.146	0.003	1.09	0.205

まず Sn においては、唐から時代が下って  
いくにつれて、数値が下がっていくことがわ  
かる。特に金代から明・清代の資料では唐代  
の半分程度にまで少なくなっている。その中

で、高麗時代に属すると考えられる資料では、やや高めの値を示し、唐代に近い値あるいはそれ以上を示すことがわかる。

また、鏡面・鏡背の比較をすると、鏡面よりも鏡背においてより高い値で確認できる（全資料の標準偏差値平均）ことがわかった。鏡面での鍍錫が先行研究などでも言及されることがあり、むしろ鏡面で数値が高くなることが予想されたが、これとは逆の結果となった。また、実際に表面に薄膜の剥離らしき状態を観察することができた試料があったが、必ずしも Sn の数値が高いわけではなく、Sn と表面処理の問題は今後の課題といえる。

次に Pb であるが、まず青銅のような合金において Pb が偏析という状態で存在することがすでに指摘されている。今回の測定結果については、事前に X 線透過画像での確認を行っていたとはいえ、こうした外れ値が存在した。したがって、全体の統計処理に際してはこうした値を取り除き、検討を行った。

第2表 時代毎に見た Pb の傾向

Pb / Cu の比統計量(鏡面)					
グループ	平均値	中央値	最小	最大	標準偏差
唐	0.12	0.03	0.025	0.305	0.161
唐か	0.079	0.064	0.007	0.208	<b>0.068</b>
遼か	0.117	0.117	0.117	0.117	
遼(または金)か	0.071	0.071	0.071	0.071	
高麗	0.218	0.11	0.016	1.095	0.249
高麗か	0.159	0.142	0.02	0.573	0.128
宋か	0.156	0.114	0.024	0.399	0.123
宋～金か	0.073	0.073	0.057	0.089	<b>0.023</b>
金	0.065	0.065	0.038	0.092	<b>0.038</b>
金か	0.102	0.073	0.013	0.276	<b>0.086</b>
明か	0.155	0.155	0.025	0.285	0.184
明～清	0.027	0.027	0.027	0.027	
不明	0.128	0.098	0.011	0.967	0.155
全体	0.148	0.104	0.007	1.095	0.157

Pb / Cu の比統計量(鏡背)					
グループ	平均値	中央値	最小	最大	標準偏差
唐	0.157	0.052	0.022	0.398	0.209
唐か	0.066	0.06	0.016	0.156	<b>0.051</b>
遼か	0.062	0.062	0.062	0.062	
遼(または金)か	0.208	0.208	0.208	0.208	
高麗	0.265	0.205	0.022	0.78	0.216
高麗か	0.249	0.18	0.019	0.86	0.197
宋か	0.175	0.144	0.039	0.364	0.12
宋～金か	0.104	0.104	0.066	0.141	<b>0.053</b>
金	0.16	0.16	0.13	0.189	<b>0.042</b>
金か	0.285	0.149	0.018	0.969	<b>0.281</b>
明か	0.358	0.358	0.045	0.671	0.443
明～清	0.027	0.027	0.027	0.027	
不明	0.187	0.177	0.012	0.54	0.131
全体	0.22	0.166	0.012	0.969	0.189

その結果、金代の資料においては値が低くなる傾向が看取できた。また、鏡面と鏡背でも Sn 同様、鏡背で数値が高くなる結果となった。なお、測定試料のなかに、鈕を鉛を使って補ったと考えられる例を確認できた。おそらく鑄造時に何らかの理由で欠損していたものを、低融点金属である鉛を用いて「鑄掛け」たのでは無いかと考えられる。

鏡面と鏡背における測定結果の傾向は何に基づく結果なのか、現在の所判断すること

ができないが、まずは、個体内での偏差状況を確認した上で、製品の表面処理の問題や鑄造品内部の金属組織がどのような状態になっているかを調べることに解決の糸口があるかもしれない。

微量元素については、今回重量パーセント濃度数値を得ていないため詳細な検討を行うことはできなかったが、いくつかの元素について興味深い結果が得られている。ひとつは Zn (亜鉛) で、対象とした試料のうち、鏡面 17 例、鏡背 7 例で確認された。数値には幅があり、最も高い数値を示した試料の所属時期は金代かと考えられるものであった。

Hg (水銀) も測定中目に付いた元素のひとつで、123 例 (鏡面)・64 例 (鏡背) [Hg が検出された全ての試料を対象にカウント] というように、鏡面で確認されたケースが多い。また、鏡面・鏡背いずれにおいても測定されたケースでは、鏡面側での値が高くなっていた。こうしたことから、鏡面処理の過程でアマルガム素材として使用された可能性が考えられるが、具体的な様相については明らかにするに到っていない。

第3表 鏡面(F)と鏡背(R)における Hg の検出

		HgL(Net)				合計	
		0.5未満	0.5~4.4	4.5~13.4	13.5以上		
side	F	度数	1	82	31	9	123
		side の %	8%	66.7%	25.2%	7.3%	100.0%
	R	度数	5	47	11	1	64
		side の %	7.8%	73.4%	17.2%	1.6%	100.0%
合計		度数	6	129	42	10	187
		side の %	3.2%	69.0%	22.5%	5.3%	100.0%
		総和の %	3.2%	69.0%	22.5%	5.3%	100.0%

このほか、As (砒素)・Bi (ビスマス)・Sb (アンチモン) などが多くの試料で認められたが、その割合は高くないようである。

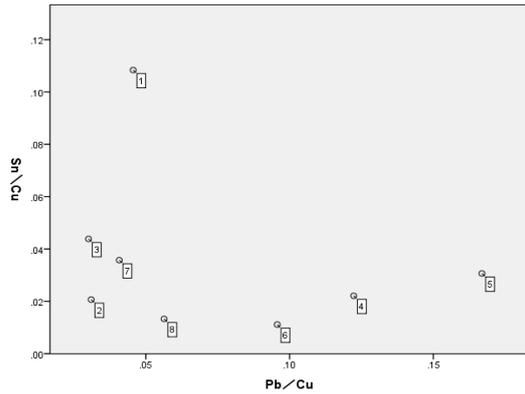
他方、参考資料として追加で測定した銅銭について触れておきたい。

分析を実施した試料は、東國通寶・海東通寶・三韓通寶の3種3点の高麗銭と、唐銭1種1点・北宋銭4種4点の合計8点である。

これらの Sn と Pb の Cu 相対量をプロットしてみると、大きく二つの群に分けられる。ひとつは高 Sn のもの、もうひとつは低 Sn のものである。さらに低 Sn のグループは Pb の多寡により2分されるが、ここで興味深いのは、Pb の濃度差が時代 (初鑄年代) 差として現れていると見なせることである。すなわち年代が新しくなるにつれて Pb が多く検出されており、こうした年代的な傾向はすでに触れた先行事例とほぼ同じ様相を示していることがわかる。

この8点のうち、最も Sn が多かった試料は高麗銭 (東國通寶) で、初鑄年代は

第1図 高麗銭と北宋銭における Sn・Pb 比プロット



998-1097年である。高麗時代において最初に鑄造された独自の銭種として知られており、奇しくも唐代の青銅製品と似た成分傾向を示している点は、高麗における銅製品鑄造を考える上で示唆的である。

また、微量元素でみると、Ag（銀）が検出されるのも高麗銭三種に限られた。なお、北宋銭種である5枚については、Asが高い傾向を示し、かつ5枚中2枚でZnが検出されたが、これが北宋銭として鑄造されたものか、あるいは他国における模倣銭であるのか、その判断はつき難い。

#### (2)まとめと課題

これまでの先行研究からみると、唐代以降の銅鏡においてはCu・Snの含有量が徐々に減っていき、Pbの含有量が反対に増加していくとともに、三元素以外の不純物、特にZnが含まれはじめることがわかっている。こうした不純物の増加傾向は、主要元素であるCu・Snなどの代替物として精錬時に用いられたことを示すと考えられる。

しかし、今回の測定結果からは、Pb含有量が年代を経るにつれて増加するといった傾向は看取できなかった。今のところ考えられる理由として、①もともと当試料群がまとまった時期の所産である、②測点が少なかったために各個体におけるPbの値を正しく反映していない、といった背景を推測することができるかもしれない。これらの理由のいずれを採択すべきかを判断するには、むしろ対象を限定し1試料内でのばらつきなども考慮に入れながら成分分析を行う必要がある。その場合、選定基準として重視すべきは表面（特に鏡面）の状態である。今回おこなった蛍光X線分析では、表面相と鏡胎内部の金属元素を同等に検出してしまうため、その区別が峻別できない。したがって、鏡胎表面付近における結晶状態を回折分析によって検討しつつ、外面に施された最終加工の痕跡を見極めたうえで組成成分の吟味を行うことが、次の課題といえる。

さらにSnの検出が鏡面と鏡背で同じまた

は鏡背側において高レベルで検出されたケースが確認できたが、こうした資料については鑄造後の熱処理を想定することも可能かもしれない。近年中国国内での成分分析事例の多くで、こうした熱処理技術について言及する事例が増加している。また日本国内でも熱処理に関して注意を促す論考も散見されるようになった。今後視野に入れた検討が必要であろう。

また、今回追求しきれなかった問題として、発色の問題がある。これまで、高麗鏡の中で2種類（黒色と緑色）の発色が存在していることを指摘しているが、それが成分の上から見てどのような元素と対応するのか、今回の結果から即断できる状況は見いだせなかった。ただし、Fe（鉄）の含有量がひとつの指標になりうるのではないかという予測を立てている。今後精査していきたい。

#### 5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

#### 6. 研究組織

##### (1)研究代表者

加藤 俊吾 (KATO SHUNGO)

財団法人大阪市文化財協会・大阪歴史博物館・学芸員

研究者番号：30291181

##### (2)研究分担者

( )

研究者番号：

##### (3)連携研究者

( )

研究者番号：

