

付編 大場石棺群出土破鏡の材質

奈良国立文化財研究所 村上 隆

1. はじめに……………23

2. 鏡の材質と表面層について……………23

a) 蛍光X線分析による材質調査……………23

b) X線回析による表面層の同定……………24

3. 表面に付着していた赤色顔料……………25

4. レーザー顕微鏡による  
鏡面の研磨状態の観察……………25

5. むすび……………25

1. はじめに

大場石棺群から出土した破鏡は、割れた鏡に穴を開け、ペンダント状に加工したものである。鏡の表面はもとより、破面も研磨と手擦れのため、実になめらかに仕上がっており、全体の色は光沢のある深い青黒灰色を呈している。本報では、この鏡の材質を調べるとともに、表面の色や研磨の状態などをさまざまな分析装置を用いて探ってみた。

2. 鏡の材質と表面層について

a) 蛍光X線分析による材質調査

破鏡の分析は、非破壊的手法を用いた蛍光X線分析法によって行った。使用装置は、(株)リガク製 文化財用非破壊蛍光X線分析装置C3371（波長分散型）である。管球のターゲットはクロム（Cr）、分析条件は、電圧50kV、電流は50mA、この装置は、資料の下面からX線を照射するタイプで、表面を研磨調整した青銅製標準試料に対するFP法による分析値の再現性が直径20mmφマスク使用時に99%以上になるように調整してある。

この破鏡は、全体が光沢のある青黒灰色をしているが、ところどころ緑色を呈する部分も点在してい

る。

測定は、鏡面の特に青黒灰色の部分に対して行った。測定結果を表1に掲げる。ただし、これらの分析値は資料表面に対する非破壊分析の結果であり、銅鏡本来の成分を示すものではないので取り扱いに注意する必要がある。

分析結果から、この破鏡は、基本的には、銅と錫、それに鉛でできた青銅鏡であることがわかる。その他、ヒ素、銀、アンチモンなども含まれるが、その値は低めである。鉄分は土の影響や赤色顔料の影響も考えられるが、ここでは低めに出ている。これらの分析値からみて、この鏡の製作には、もともと純度の高い銅、錫、鉛が用いられたとみてよいだろう。

表面の状態をさらに精査するために、この破鏡を、(株)テクノス製 微小部蛍光X線分析装置TREX650（エネルギー分散型）によって分析した。この装置は、コリメーターを換えることにより分析領域を最小直径100μmφまで絞ることができ、試料表面細部の比較分析が可能となる。今回は1mmφのコリメーターを使用した。まず、赤色顔料が付着していない鏡面の青黒灰色部に対して行った分析の結果を表2に示す。表1の波長分散型の蛍光X線分析装置の分

表1 非破壊蛍光X線分析装置（波長分散型）による鏡面の分析 (wt%)

銅 (Cu)	錫 (Sn)	鉛 (Pb)	ヒ素 (As)	銀 (Ag)	ビスマス(Bi)	鉄 (Fe)
47	42	9.0	0.7	0.4	0.1	1.0

表2 微小部蛍光X線分析装置（エネルギー分散型）による鏡面青黒灰色部の分析 (wt%)

銅 (Cu)	錫 (Sn)	鉛 (Pb)	ヒ素 (As)	銀 (Ag)	アンチモン(Sb)	ニッケル(Ni)	鉄 (Fe)
44.1	46.7	7.24	0.41	0.23	0.65	0.21	0.43

析結果にはほぼ等しく、基本的に銅に錫と鉛が含まれた青銅鏡であることを示す。ただし、この分析値が、鏡本来の成分を示すものではないことは先の分析結果と同様である。

どちらの分析でも注目したいのは、錫の値が約42%、47%と大きいことである。微小部蛍光X線分析の方が高めに出自しているが、鏡表面はミクロには一様ではなく、この程度のばらつきは許容の範囲である。40%を越える錫の濃度は、一般に製作可能な青銅鏡に含まれる錫の量と比較してかなり高い。これまでに分析した古代の青銅製品でも同様の現象を示すが、これは鏡の表面に錫濃度の高い錫偏析層が形成されているためと思われる。破鏡表面が深い青黒灰色を呈しているのも、この錫偏析層の影響によるものと考えられる。

これまでも黒色表面を持つ青銅器の表面の非破壊分析を行ってきているが、いずれも銅35%前後、鉛7%前後に対して、錫55%前後というように錫の値が大きくなっている。黒色表面を持つ青銅器の場合、表面に形成されている厚さ300  $\mu$ m程度の錫偏析層のために生じる現象であることを資料の断面（クロスセクション）の分析によって確認している。すなわち、このような青銅器では、表面と内部で錫の濃度が大きく違っており、非破壊の蛍光X線分析では、この表面だけを分析していることになるわけである。しかし、大場石棺群出土の破鏡は、光沢のある深い青黒灰色を呈し、分析値も高い錫の値が示しているが、ところどころ緑色の部分も認められる。この表面が古代青銅器の黒色表面と同様の成因によるものなのか、今後さらに検討しなければならないだろう。

ここでさらに注目したのは鏡の割れた破面である。破面も、鏡の表面や背面と同様の色を呈しているの

が興味深い。この鏡の破面のほとんどの部分は、手に馴染むように鋭利な割れ口は研磨されているが、一部には割れた破面が研磨されずにそのまま鋭利な状態で残っている部分もある。微小部蛍光X線分析装置によって、この双方の破面の分析を試みた。その結果を表3に掲げる。分析結果から、錫が60%を越え、逆に銅は20%前後と、どちらの破面も先に分析した鏡面に比べてもさらに錫の値が高くなっていることがわかった。もともと錫濃度が高くなりやすい鏡面部と異なり、青銅の比較的オリジナルに近い分析値が得られるはずの破面の中心部分でも錫の濃度が高くなっているのである。

この破鏡が持つ青黒灰色が人工的な処理によって得られたものか、埋蔵環境中に自然にもたらされたものであるのか、全くの非破壊的な分析手法だけで判断できない。しかし、この破鏡が持つ色は、割れた鏡がペンダント状に加工されたあと、表面も割れ口も同じ条件のもとで形成された錫偏析層によってもたらされているとは考えてよいのではなかろうか。埋蔵環境の下で自然に黒青灰色の錫偏析層が形成された可能性もあるが、手擦れの状態をみてもこの錫偏析層は、ペンダント状に加工されたあとに人工的な処理により形成された可能性も残されている。残念ながらこの破鏡のクロスセクションを観察することができないので、ここではこれ以上の推論を控えることにする。いずれにしろ、この破鏡は青銅器の表面の色を考える上で重要な資料であるといえよう。

#### b) X線回折による表面層の同定

この破鏡の表面は、光沢のある深い青黒灰色を呈している。a)において蛍光X線分析の結果、表面に錫の偏析層が形成されている可能性が高いことがわかった。ここではX線回折により、表面に形成さ

表3 微小部蛍光X線分析装置（エネルギー分散型）による破鏡破面の分析

(wt%)

	銅 (Cu)	錫 (Sn)	鉛 (Pb)	ヒ素 (As)	銀 (Ag)	アンチモン(Sb)	ニッケル(Ni)	鉄 (Fe)
研磨された鏡面 1	25.2	58.4	13.7	0.78	0.29	0.81	0.09	0.75
研磨された鏡面 2	19.3	65.4	12.8	0.49	0.30	0.73	0.09	0.92
研磨されていない鏡面 1	19.5	61.0	16.8	0.28	0.29	0.73	0.30	1.0
研磨されていない鏡面 2	21.6	67.1	8.70	0.48	0.32	0.82	0.28	0.50

れている層の同定を行った。用いた装置は、㈱リガク製文化財用非破壊X線回折装置である。この装置では、資料から分析用サンプルを採らずに資料表面を直接分析することができる。

測定の結果、 $\text{Cu}_4\text{Sn}_{11}$ と $\text{SnO}_2$  (cassiterite) が検出された。特に $\text{SnO}_2$ はシャープな回折ピークが得られず、かなりなだらかなピークしか得られなかった。 $\text{Cu}_4\text{Sn}_{11}$ は、黒色の表面を持つ古代の青銅器から検出されることの多い銅と錫の金属間化合物であり、黒色表面を特徴つける化合物ではないかと考えている。

### 3. 表面に付着していた赤色顔料

破鏡表面に微量ながら赤色顔料が付着していた。古代における赤色顔料は、一般には水銀系の朱か鉄系のベンガラのどちらかを想定できる。微小部蛍光X線分析装置で鏡面に付着した微量の赤色顔料を分析したところ、鉄は検出されたが、水銀は検出されなかった。よって、この赤色顔料は鉄の酸化物を主体とするベンガラと思われる。

### 4. レーザー顕微鏡による鏡面の研磨状態の観察

大場石棺群出土の破鏡の表面はたいへんなめらかに仕上げられている。この表面の研磨状態を探るために、レーザー顕微鏡を用いた。レーザー顕微鏡は、物質表面の微妙な凹凸をレーザー光線を用いてミクロに探る最新の装置である。使用した装置は、㈱オリンパス製 OLS1000である。

グラフ1及びグラフ2に、観察の一例を掲げた。ともに同じ場所であるが、グラフ1は高さ情報を濃淡で示し、グラフ2は三次元のメッシュで示している。肉眼では全体がなめらかに見える鏡面もレーザー顕微鏡で観察すると、一部には鏡の鑄造組織である樹枝状晶（デンドライト）の痕跡が認められる（グラフ中の左側にみられる凹の部分）。しかし、他の部分は驚くほど見事に平面が研ぎ出されている。当時の研磨技術の水準の高さを知ることができる。

### 5. むすび

以上、さまざまな装置を用いて、大場石棺群から出土した破鏡の材質や表面の状態などを探った。表面の色の問題など、完全には解決できていない点も多い。これらは今後の課題としてさらに追求していきたい。最後に、今回調査した大場石棺群出土の破鏡は古代の青銅鏡を知る上で重要なデータを提示できる遺物であると考えられる。