

漢式鏡の化学的研究（1）

—鏡の鑄造時に鉛は加えられたか—

馬淵 久夫

●キーワード：漢式鏡（Han-style mirror）、化学組成（chemical composition）、
三角縁神獸鏡（triangular-rimmed mirror with divinity and animal figures）、鉛（lead）、
鉛同位体比（lead isotope ratio）

1. はじめに

漢式鏡の化学成分については、先学によって確立されたつぎのような定式がある。

「舶載鏡の銅・錫・鉛の成分重量比は69：24：6である。」

これは昭和10（1935）年前後に小松茂・山内淑人によって分析された銅鏡の結果（小松・山内1937）から梅原末治が結論づけた定式（梅原1937）で、最近では山崎一雄によって追認されている¹⁾。中国の専門書もこの定式を引用している（孔・劉1984, ）。

筆者もこれら先学の築いた定式を貴重な財産とし、それを基にして研究を続けてきた。筆者の手がけた鉛同位体比法は、梅原がいう成分3金属の一つである鉛を対象にする。その鉛の同位体比が、前漢鏡と後漢・三国鏡とでは別グループになるという至極単純な結果がでたとき、頭のなかでは暗黙のうちに添加された鉛の元になる鉛鉱石の違いを想定していた。

ところが、多数のデータと多様な情報が蓄積されるにつれて、一つの疑念が生まれてきた。

梅原・山崎の美しい単純明快な定式にはレトリックの陥穽があるのではないか²⁾。あの数量比は、分析結果として金属の存在の割合を示しているのであって、必ずしも二千年前に工人が鏡を製作したときの調合の比率を表すものではない。銅と錫については工人が意図しなければ

ばあのような定まった数量比にはならない。しかし、5～6％程度の鉛は、銅あるいは錫に付随した不純物と考えられないだろうか。

このような疑念に対しては、いや、少量の鉛は鑄上がりを良くするために加えたのだ、という意見がある。そうかもしれない。しかし、このような考え方には、現代のノウハウをもって過去の技術を推し量るという不確かさが残る。いま必要なことは、蓄積された科学的データから鉛添加の痕跡があるかないかを見出すことだと思う。昔と違って、現在は化学分析値だけでなく鉛同位体比もかなり測定されている。両者を合わせて考えると、いまままでわからなかったことが見えてくるかもしれない。

以上のような考えから、筆者は思考の試行錯誤とデータ解析を繰り返してきた。その結果、一つの結論に到達した。それは、中国製の漢式鏡には確かに鉛を加えた可能性が高く、その痕跡が見いだせる。しかし、「舶載」三角縁神獸鏡の場合には、加えていない可能性がある、というものである。鉛を加えていない鏡がわかると、銅または錫の原材料についての情報がえられるはずである。

小論では、このような結論に至った根拠を、論理の順を追って記そうと思う。

2. 銅・錫・鉛を指す文字資料

化学分析値の議論の前に、考古学の見解を見ておく必要がある。筆者の専門分野ではないので、文字通り管見

である。誤りについては識者のご教示があれば幸いである。

2.1 『周礼』考工記

『周礼』考工記には有名な「金有六齐」が記されているが、これには小林（1962）の解釈がある。

六齐とは、鐘鼎・斧斤・戈戟・大刃・削殺矢・鑿燧についての調合法で、6番目の鑿燧（鏡）には「金錫半」という記述がある。古鏡を最初に分析した近重（1919）が「錫は合金の半分」と解釈したのに対し、小林は、近重の解釈では錫が50%になる、これは分析結果と違いすぎる。この場合、金は銅を指すと考え、「錫は銅の半分」とすれば、錫が33%となって近重の分析結果と大きくへだたっていない、と述べている³¹⁾。

さて、この小論で重要なことは、「金有六齐」には銅と錫しかなく、鉛の記載がないことである。それでは、そのことを基にして漢式鏡に鉛は加えられなかったと断定できるだろうか。これにはいくつかの問題がある。

まず、考工記の成立時に鉛という金属が認識されていたかどうかである。金（2008, p.40）によると、安陽小屯の発掘遺物のなかに鉛錠（インゴット）があるという。従って、商（殷）代よりはるかに後の考工記の成立時（春秋時代末または戦国時代）に、鉛という物質が認識されていたことは間違いない。鉛という字も尚書（いわゆる書経）の「兎貢」篇に現れるという（頼 1984）。物質として存在し、認識され、文字もあったのに、なぜ「金有六齐」に成分として記載されなかったか。筆者には、紀元前5－6世紀ころには鉛を入れる習慣がなかったか、あるいは鑄上がりを良くするためにほんのわずかなだけ鉛を加えていたが、それは合金成分としての意識がなかったため考工記には記されなかった、という解釈しか思いつかない。

薮内（2004）は考工記に鉛が記載されていないことに気づいていて、「・・・周礼にこれを注意しないのは迂闊であり、それが実情に暗い学者の手になったことを示すものであろう」と述べている。薮内は鑄上がりを良くするために鉛を加えていたことを前提にしているので、このような発想になるのであって、その前提を疑う筆者とは立場を異にする。この種の想像はいろいろできるが、

総合すると、考工記からは鉛を混ぜたかどうかは判断できないというのが筆者の結論である。

2.2 漢式鏡の銘文

漢式鏡の銘文の中に原料に関する文字があることは、よく知られている。孔・劉（1984）はその著書のなかで「漢鏡の金属成分について」という項目を設け、銘文に現れる金属についての劉体智と駒井和愛の解釈を紹介している。

まず、駒井（1953）の考えを要約するとつぎのようになる。

①銅の字が現れる銘文は多い。

「漢有善銅」「新有善銅」「王氏作青同之竟」など。

②錫の字は、おおむね銅と一緒に出現する。

「漢有善銅出丹陽和以銀錫清且明」（銀は錫を形容したもので、銀錫は良質の錫の意と駒井和愛は解釈する）。

③鉛の字も現れる。

「涑治鉛華，以清而明，為鏡，宜文章」（樂浪王光墓発見の連弧文鏡の銘）

④鏡の鑄造に関すると思われる句もある。

「百煉清銅」「合煉白黃」（白は錫，黄は銅を指すと駒井は解釈する）。

「涑治錫銅去其滓辟余不羊宣古市」（涑治＝鍊冶）（銅に錫を加え，その滓を去って立派な鏡を作った一駒井和愛の訳）

⑤解釈が分かれるのは神獸鏡に多い下記の句である。

「吾作明竟幽涑三商」

ここで、「幽」は陰陽思想で「明」との対として入れている。意味のある字は「涑＝鍊」である。「三商」とは時刻を表すこともあるが、淮南子天文訓に「商者金」とあるので，ここでは三種の金属という意味であろう。このように解釈すると，類似の句である「幽涑三羊」「幽涑三章」は「幽涑三商」と同じ音であり（羊＝詳），「幽涑三岡」は「三つの強いもの」という意味で（岡＝剛），すべて同じ意味の句になる。つまり，幽涑三商とは三種の強い金属を鍊冶するという意味である。

⑥「三種の強い金属」とはなにか。

銘文に現れる善銅と銀錫と鉛華，つまり銅・錫・鉛で

あって、これは化学分析の結果と一致する。

他方、劉（1934）は、「銀錫清且明」から三金を銅・銀・錫と解したが、つぎの論考では成分分析を参考に銅・錫・鉛としたそうである（孔祥星・劉一曼 1984, p.260）。これは駒井和愛の論考より約 20 年前のことである。

以上が、劉体智と駒井和愛の解釈であるが、両者とも解釈の根拠に化学成分の分析結果を置いていることは注意すべきである。駒井は「涑治鉛華，以清而明」を鉛使用の根拠の一つにしているが、現在、この銘文は前漢時代の銘帯鏡に「清治銅華以為鏡」とともに頻繁に現れることが知られている（樋口 1979）。わずか 5～6% の鉛のことを「涑治鉛華」というのは奇妙に感じるが、無理に解釈すれば、「鉛を（入れて）鍊冶すれば清にして明なり」ということなのだろうか。

劉体智の解釈はさらに不自然である。「漢有善銅出丹陽和以銀錫清且明」の銀錫を駒井の解釈とは違って銀と錫の 2 物質と理解し、そこから三金をまず銅・銀・錫と推測し、成分分析の結果を見て銀を鉛に置き換えている。この推論は筆者の理解を超えるものである。

いずれにしても、劉体智と駒井和愛の論拠には鏡に刻された銘文よりは成分分析の結果が重きをなしていることは明らかである。成分分析結果は、すでに述べたように、鉛については必ずしも鑄造時の混合成分であったことを示すものではない。そこで、化学分析値そのものを、特に鉛に注目して検討する必要があると考えた。

従来のほとんどの議論は錫含有量に注目して鉛含有量には触れないのが普通であった。青銅（ブロンズ）の第一義は銅と錫の合金であるからそのような論議の方向性は当然であるが、鉛同位体比の深い考察のためには錫ではなく鉛についても一度は内容を検討しておく必要がある。

3. 漢式鏡の原料についての地球化学的考察

漢式鏡に含まれる鉛を論じる前に、青銅の原料である銅と錫と鉛の素材を鉱石まで遡って見て、筆者の立場を明らかにしておく必要がある。この前提が不一致だと議論がかみ合わないからである。

3.1 銅

一般的に、人類が最初に利用した金属である銅の資源としては自然銅が考えられている。これは、銅鉱床として最も普通な硫化物鉱床などから溶出した銅が、自然界の化学反応によって二次的に生成した鉱物である。地面の表層にあるため採取し易いと考えられる。また自然の分別浄化作用で、不純物が少ないとされる。

金（2008, p. 4）は東アジアで最も早いとされる偃師二里头遺跡（ca. 2000 B. C.）の出土銅器を分析した。その中で紅銅（純銅に近いもの）と分類される筭や残片をみると、およそ鉛 1%，銀 0.15%，その他ヒ素、アンチモン、亜鉛なども微量に含んでいて、自然銅で予想されるよりも多いようにみえる。金正耀もこの件については研究者の見解が一致しないという。金は現在、初期資源のテーマに取り組んでいるので、将来明らかになるであろう。

小論で扱う漢代はどうであろうか。中国の早期の銅鉱遺跡を調査している金正耀は、西周以後は間違いなく硫化物鉱床（孔雀石の場合もある）という（私信）。また華（1999）は古代銭貨の分析から、中国における硫化銅鉱の製錬は西周晩期からとしている。筆者は、商から西周にかけての青銅器時代盛期は、量的にみても硫化物鉱床でなければ成立しなかったのではないかと考えているが、この点は中国での調査研究の進展を待とう。現在の知識を要約すると、遅くとも漢代には硫化物鉱床が主流になっていたと考えられる。漢代の青銅器類の鉛を含めた微量元素の分析値および鉛同位体比からも、このことはつぎのように裏づけられる。

表 1（説明は後出）の No. 2 銅滴および No. 3 棒状銅製品は、それぞれに数%含まれる鉛の同位体比が「前漢鏡タイプ」であり、弥生時代に将来された漢代の銅素材と考えられる。また筆者が前論文で紹介した前漢時代の 8 種類の五銖銭に 4 - 15%含まれる鉛の同位体比も、すべて「前漢鏡タイプ」である（馬淵 2007）。さらに、五銖銭 8 種のうち 5 種はアンチモンを約 0.8%含むが、残り 3 種は 2.0%，2.2%，5.9%のアンチモンを含む（平尾ら 1984）。これら大量のアンチモンは鉛の精錬時に混入し、鉛と誤認して加えられたと考えられる。これらを総合すると、上述の銅滴・棒状銅製品に含まれる銅および

五銖銭に含まれるマクロ量の銅・鉛・アンチモンは、すべて同一地区の鉱床に由来すると考えられる。これらの試料にはヒ素も 0.1～1 %程度は含まれていることを勘案すると、その種類は硫化物鉱床以外には考えられない。

3.2 錫

元素の周期表上で近隣のインジウム (49 番)、アンチモン (51 番) テルル (52 番) がレアメタルと呼ばれて地上に希少であるのに対して、錫が古代から知られるほど多く存在する理由は、原子核のマジックナンバーの一つ、50 番元素のためである。核がマジックナンバーの元素は安定なため、存在量が多い⁴⁾。

錫の主な鉱石は錫石 SnO_2 であるため、鉱床で銅と共存しない場合が多い。世界で歴史的に有名な錫鉱床は英国のコーンウォール (スカルン型) とマレーシア (二次鉱床) である。スカルン型は熱水鉱脈なので銅・亜鉛とも共存するが、二次鉱床は共存金属が少ない。中国には両方のタイプが存在するようで、商から漢の時代までの錫をどこで調達したかは明確でないが、一つの青銅器を作るときに、銅鉱床と同じでない場所から調達したこともあったであろう。これは含有微量元素に関係するので、のちにとり上げよう。

3.3 鉛

地球上では重い元素ほど存在量が少ないが、安定元素で最も重い鉛⁵⁾ は、原子番号 (陽子数) が 82 でマジックナンバーのため、安定で多く存在する。さらに同位体の一つである ^{208}Pb は中性子数が 126 のため、ダブルマジックである。鉛同位体比で ^{208}Pb が最も多いのはこのためである。

鉛の代表的な鉱物は方鉛鉱 PbS で、銅・亜鉛とともに硫化物鉱床に共存する場合が多い。製錬は比較的簡単なので世界のどの地域でも早くから単離されていた。

3.4 銅の中の微量元素

古代の製錬による銅には微量元素が多少なりとも含まれている。その種類と量は、まず鉱床の種類に依存し、つぎに製錬技術に依存するため、一般論として数値が決まるわけではなく、理論的にも扱いにくい。限定された地域と時代の実物の分析結果から判断するしかない。

表 1 に本邦出土で、地域と時代がわかっている銅素材あるいは銅素材からの铸造品 (錫などを加えない) についての成分分析結果を示した⁶⁾。原料の出所は考古学の所見と鉛同位体比によって、No. 1, 2, 3 は漢代の中国、No. 4, 5 は飛鳥・奈良時代の日本ということが確かめられている。No. 6 は中国 2,000 B.C. の資料で、参

表 1 古代銅製品の化学組成
Table 1 Chemical Composition of ancient copper objects

No	資料名 (時代)	出土	Cu %	Sn %	Pb %	As %	Sb %	Total★	分析法	文献
1	銅鏃 (古墳)	岡山県 月の輪古墳	94.77	0.98	2.3	0.39	0.17	96.74	湿式	山崎一雄1987
2	銅滴 (弥生後期)	愛知県 朝日遺跡	95.8	0.48	1.31★★	0.07	0.33	98	放射化	馬淵・平尾1984
3	銅状棒製品 (弥生末)	岡山市 高塚遺跡	93.54	0.05	5.51	0.77	0.05	100	蛍光★★★	MHEH 2000
4	銅造仏 (白鳳)	東京都 国分寺市	88.8	0.34	0.096	0.9	0.058	90.29	原子吸光	MEHKK 1983
5	太安萬侶墓誌 (奈良)	奈良市	99	0.01	≤0.2	n.d	0.02	99.5	EPMA	久野雄一郎1981
6	残片	中国 偃師二里头	96	0.0	1.5	0.277	0.123	98.1	ICP-AES	金正耀2008

Total★: 他の微量元素も含めた合計

1.31★★: 放射化分析で測定できない鉛は、久野雄一郎 (1983) による。

蛍光★★★: 微小部分蛍光X線分析で、測定金属の合計を100として規格化している。異なる部位の測定では、鉛・ヒ素・アンチモンが著しく偏在し、アンチモンが1%を超える場所もある。

MEHKK 1983: 馬淵久夫・江本義理・平尾良光・北田真吾・木村幹1983

MHEH 2000: 馬淵久夫・平尾良光・榎本淳子・早川泰弘 2000

考までに付した。

表1からは、まず日本産の銅の方が中国産の銅よりも微量元素が少ないように見受けられる。しかし、この問題は小論の目的からは外れるので、詳細には立ち入らない。地域と時代によってかなり差がある例として見ておくことにする。

つぎに、No.1, 2, 3のいずれもがヒ素、アンチモン、鉛をかなり(0.1%以上)含んでいることがわかる。3.1で述べたように、これら3資料は鉛同位体比が「前漢鏡タイプ」で、同一地域の鉱山から採った銅であることはほぼ間違いない。ヒ素、アンチモン、鉛はいわゆる親銅元素⁷⁾で、これらの元素が銅にかなりな量で含まれることは、すでに述べたように、硫化物鉱床に由来する証拠ともいえる。ここでは鉛が数%, ヒ素とアンチモンがほぼ0.1%以上含まれることに注意しておこう。

3.5 錫の中の微量金属

わが国でも、弥生時代・古墳時代の錫塊あるいは錫製品が発掘されているが、それらが含む微量元素の分析値は知られていない。平尾良光によると、古墳時代の錫について鉛同位体比測定を試みたが、超微量の鉛もえられないほどきれいなものだったとのことである(私信)。筆者は、1980年代末に福岡カルメル修道院内遺跡出土の錫鉛(当時、銅鉛と誤認されていた)について、微量の白色錆から鉛を抽出して同位体比を測定することができた(馬淵・平尾1990)。その同位体比は、青銅器には存在しないものだったので、錫に付随する鉛のものであることは間違いない。微量とはいえ、鉛が含まれていた例である。

古代の錫の中に、ヒ素・銀・アンチモンなど漢式鏡につねに含まれる微量元素がどの程度含まれているかの分析結果は知られていない。これら3元素が親銅元素であることからすると、親石元素(酸素と結び付いた形で産する元素)に属する錫にはあまり含まれないと思われる。

最近、Spring-8による古代青銅鏡研究グループが、戦国鏡・漢初螭文鏡・漢三国鏡・仿製鏡の銀・アンチモン・錫の蛍光X線強度比から鏡式による違いをみようと試みた。報告書では、縦軸Ag/Sn、横軸Sb/Snの図で議論が展開されている(泉屋博古館古代青銅鏡放射光

蛍光分析研究会2004)。報告書の図16で仿製鏡の分布をみると、非破壊X線分析なのでばらつきは大きいがおおむね縦軸と横軸が正の相関をもって右上方に広がっている。これは、銀(報告者は銅に付随するとしている)とアンチモンが類似の化学的挙動によって、銅に付随するという証拠のようにみえる⁸⁾。

3.6 鉛の中の微量金属

弥生時代の鉛の蛍光X線分析が報告されている(平尾・榎本1993, 1998)。表面の白色粉末について、微量の銀とアンチモンが検出されている。完全な金属部を測定していないことと、X線ピークの強度比なので、含有%は不明だが、両元素ともかなり少量である。なお、この鉛の産地は朝鮮半島南部の可能性が高い。

4. 漢式鏡の鉛量とその解釈

4.1 漢式鏡の化学分析値の精選

漢式鏡の化学分析は近重(1918)以来、数名の化学者によって断続的に行われた。これらの中から、①ある程度まとまった資料数であること、②舶載鏡で、鏡式がわかっていること、③試料が金属部分で、100mg以上を使って測定していること、④分析値が信頼できること、という4条件を満たすものを選び、データ解析を行うことにした。その結果、つぎの2グループの分析値を選んだ。

a) 漢式鏡一般(小松・山内1937)

初めて行われた漢式鏡の化学組成についての本格的な分析である。試料入手の関係で、これだけの広範な資料の分析は以後行われていない。結果は梅原(1937)によって考古学的な解釈が加えられ、はじめに述べたとおり、銅・錫・鉛の平均的組成が69:24:6であると示された。発表された論文には分析法の詳細な記述があり、その内容と、元素分析値の合計が78~100.6%の中に収まるという、湿式重量分析としてきわめて妥当な数値であることをみて、信頼できるデータと判断した。

表2に小松・山内の漢式鏡一般の分析値を示す。分析した資料は唐代以後の鏡や日本での仿製鏡も含んで57種類にのぼるが、その中から秦、前漢、後漢、三国六朝とされる計34面のデータをピックアップして表示した。

表2 漢式鏡の化学組成（小松・山内 1937 による）

Table 2 Chemical composition of Han-style mirrors (data by Komatsu and Yamanouchi)

号鏡	資 料	時 代	Cu %	Sn %	Pb %	As%	Sb%	total%	Sn/Cu %	Pb/Cu %
16	細文地四鳳鏡	秦式	71.19	7.90	16.88	0.22	0.29	97.11	11.1	23.71
31	羽状変様獸文地丁字鏡	秦式	70.59	26.88	0.79	0.16	0.10	99.04	38.1	1.12
36	細文地四葉鏡	秦式	74.84	20.80	1.94	0.09	0.14	98.16	27.8	2.59
38	蟠螭鏡	秦式	66.65	20.67	10.04	0.19	0.20	98.26	31.0	15.06
56	重圈蟠螭鏡	秦式	68.87	21.64	6.82	0.17	0.23	98.13	31.4	9.90
1	変形龍文鏡	前漢初	68.38	22.60	6.53	0.34	0.40	98.74	33.1	9.55
2	重圈清白鏡	前漢	68.22	23.38	4.92	0.24	0.38	97.71	34.3	7.21
3	内行花文明光鏡	漢（前）	67.22	24.88	4.75	0.34	0.42	97.99	37.0	7.07
17	方格四乳葉文鏡	前漢	67.13	23.49	5.69	0.28	0.51	97.58	35.0	8.48
18	四乳変形龍文鏡	漢（前）	68.99	23.34	5.07	0.17	0.36	98.35	33.8	7.35
19	内行花文清白鏡	漢（前）	68.88	23.55	4.97	0.32	0.34	98.52	34.2	7.22
39	内行花文変形蟠螭鏡	前漢初	62.92	25.91	6.24	0.33	0.49	96.69	41.2	9.92
40	内行花文清白鏡	漢（前）	60.56	24.99	4.81	0.59	0.34	91.72	41.3	7.94
57	方格丁字蟠螭鏡	前漢初	69.03	25.33	3.79	0.41	0.37	99.41	36.7	5.49
4	君宜高官内行花文鏡	漢（後）	69.21	23.01	6.44	0.38	0.30	99.61	33.2	9.31
13	長宜子孫内行花文鏡	漢（後）	66.72	23.64	6.86	0.26	0.34	98.32	35.4	10.28
20	内行花文鏡	漢（後）	68.24	23.75	4.62	0.22	0.27	97.57	34.8	6.77
21	波文獸帶鏡	漢（後）	68.87	24.47	4.88	0.37	0.53	99.46	35.5	7.09
22	流雲文方格規矩匹神鏡	漢（後）	66.70	24.22	5.18	0.27	0.37	96.96	36.3	7.77
23	流雲文方格規矩匹神式鏡	後漢	69.62	23.96	4.70	0.42	0.35	99.42	34.4	6.75
24	波文方格規矩禽鳥鏡	後漢	68.60	24.70	4.64	0.41	0.59	99.41	36.0	6.76
41	方格規矩禽獸帶鏡	漢（後）	68.40	24.30	4.86	0.31	0.38	98.60	35.5	7.11
42	尚方獸帶鏡	後漢	68.87	25.20	4.70	0.39	0.50	100.05	36.6	6.82
50	長宜子孫内行花文鏡	漢（後）	64.38	26.36	6.68	0.47	0.15	98.46	40.9	10.38
5	位至三公変形双龍鏡	三国・六朝初	71.69	22.21	4.69	0.23	0.42	99.67	31.0	6.54
6	盤龍鏡	漢末三国	69.98	23.47	5.88	0.15	0.20	99.98	33.5	8.40
7	画像鏡	漢末三国	66.48	23.01	7.34	0.22	0.35	97.71	34.6	11.04
32	三角縁画像式鏡	後漢末	70.58	24.35	2.99	0.46	0.30	99.09	34.5	4.24
33	半円方形帶鏡	漢末三国	67.31	23.52	6.16	0.30	0.48	98.14	34.9	9.15
34	画文帶環状乳神獸鏡片	三国・六朝	68.08	23.20	6.13	0.33	0.42	98.47	34.1	9.00
43	四乳変形禽文鏡	漢末魏晉	69.50	24.80	3.95	0.78	0.31	99.71	35.7	5.68
49	波文二神二獸鏡	漢末魏晉	68.79	22.80	5.75	0.34	0.28	98.27	33.1	8.36
51	正始元年神獸鏡	魏	66.80	24.00	5.28	0.37	0.37	97.23	35.9	7.90
52	尚方盤龍獸帶鏡	漢末魏晉	64.67	26.59	4.10	0.35	0.38	96.47	41.1	6.34

註：原論文の表には鉄，ニッケル，亜鉛の数値もあるが省略した。total%は測定された元素すべての合計である。
鏡群の分別はおおむね原著によったが，厳密なものではない

この際，測定された金属の合計が90%に満たないものは，鍍部分の混入が多いと思われるので除いた。

b) 京都府椿井大塚山古墳出土鏡

この出土鏡群の分析は，1953年に梅原末治が山崎に依頼し，1964年には分析が終了していた（山崎ら1992）。銅・錫・鉛は定電位電解法（湿式重量分析の一種）で，微量元素は発光分光分析法（断続弧光を光源とする写真法）で行った。元素分析値の合計が86～100%の中に収まり，信頼できるデータである。これらの分析法はマクロ量がないと不可能なので，当議論のデータとして適している。

表3に山崎らの分析値を示す。分析された資料は当古墳の出土鏡37面のうち24面であり，その22面が三角縁神獸鏡である。このうち11号鏡（86.0%）と18号鏡（89.1%）が金属合計90%未満であるが，90%に近く，鉛銅比を検討する小論の目的には差し支えないので表に掲載してある。

4.2 錫とヒ素・アンチモンの含有量

小論の目的である「鉛は加えられたか」を検討するためには，鉛と銅の比をみるのがよい。そこで表2・表3にはPb/Cu%の欄を加えた。また，参考までにSn/Cu

%も計算してある。これら各元素%および元素比%の鏡群別の平均値を表4にまとめた。Pb/Cu%とSn/Cu%は通常の含有%よりも大きな数値になる。鏡の中の%を知りたい場合には、銅の含有比率、約0.7（銅含有量は平均68%）をかければよい。

ここで、両鏡群のデータの質を比較評価するため、鉛を論じる前に時代別の鏡群の錫量とヒ素・アンチモンの量を確認しておく。まず、表2を見よう。

Sn/Cuは、戦国鏡（秦式）を除くと、31～41%の中に収まり、一定している。表4にまとめた平均値でも前漢鏡群36.3%、後漢鏡群35.9%、三国六朝鏡群34.8%と、時代とともにわずかに減少傾向にあるようにもみえるが、ほとんど変わらないとみてよいだろう。これは鏡の中の錫量としては22～28%に相当する。

表3の三角縁神獣鏡ではSn/Cuは28～43%と少し広がり示す。平均が33.9%と三国六朝鏡群よりもわずかに

に小さい値だが、大きな違いではない。鏡の中の錫量としては20～30%に相当する。この程度の広がりならば、やはり一定とみてよいであろう。

別扱いにした表2の戦国鏡（秦式）は錫量が一定でないことも認められるが、ヒ素・アンチモン含有量に漢式鏡とは差があるように見受けられる。その模様は、表2をみれば明らかである。鏡群別の平均値を示した表4を見ると、前漢鏡群・後漢鏡群・三国六朝鏡群、さらに分析者が違う椿井大塚山鏡群が、いずれも平均値でAs 0.35%、Sb 0.38%の前後であるのに対して、5面の戦国鏡の平均はAs 0.17%、Sb 0.19%と約半分である。多分、銅鉱床の性格の違いを反映しているであろう。戦国鏡のヒ素・アンチモンの少ないことは、小松・山内の原論文にも記述がないように見受けられるので、ここに記しておく。

表3 椿井大塚山出土鏡の化学組成と鉛同位体比（山崎・室住・馬淵 1992；馬淵 2010 による）

Table 3 Chemical composition and lead isotope ratios of bronze mirrors excavated from the Tsubai-Otsukayama tomb (Yamazaki, Murozumi and Mabuchi 1992; Mabuchi 2009)

号鏡	資 料		Cu %	Sn %	Pb %	As%	Sb%	total%	Sn/Cu %	Pb/Cu %	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁶ Pb	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb
1	「長宜子孫」連弧文鏡		64.0	26.6	4.89	0.35	0.38	96.7	41.6	7.64	0.8738	2.1580	17.765
2	方格規矩四神鏡		71.0	22.7	4.63	0.30	0.32	99.3	32.0	6.52	0.8644	2.1413	18.110
	(三角縁神獣鏡)	表現											
3	唐草文帯四神四獣鏡	④	62.3	27.1	3.91	0.34	0.46	94.6	43.5	6.28	0.8611	2.1302	18.189
4	張氏作四神四獣鏡	①	70.4	21.8	4.01	0.33	0.36	97.1	31.0	5.70	0.8600	2.1258	18.109
5	吾作徐州銘四神四獣鏡	⑩	67.0	25.3	4.33	0.33	0.35	97.7	37.8	6.46	0.8620	2.1324	18.137
6	張是作四神四獣鏡	⑨	68.9	25.5	1.48	0.44	0.51	97.4	37.0	2.15	0.8582	2.1232	18.242
7	吾作四神四獣鏡	①	72.2	20.8	3.74	0.43	0.43	98.0	28.8	5.18	0.8654	2.1393	18.067
8	吾作四神四獣鏡	①	72.9	22.2	2.43	0.33	0.36	98.5	30.5	3.33	0.8656	2.1380	18.030
9	櫛齒文帯四神四獣鏡	①	64.9	25.7	3.62	0.40	0.39	95.5	39.6	5.58	0.8587	2.1262	18.289
10	櫛齒文帯四神四獣鏡	①	62.1	25.8	3.68	0.32	0.33	92.7	41.6	5.93	0.8588	2.1248	18.162
11	画文帯五神四獣鏡	⑥	57.6	24.0	3.24	0.36	0.34	86.0	41.7	5.63	0.8565	2.1186	18.310
13	獣文帯四神四獣鏡	②	72.5	21.7	3.51	0.28	0.30	98.6	29.9	4.84	0.8628	2.1307	18.128
14	獣文帯四神四獣鏡	②	71.1	20.5	5.34	0.46	0.48	98.4	28.8	7.51	0.8596	2.1270	18.222
15	獣文帯四神四獣鏡	②	61.4	25.8	4.61	0.30	0.29	62.9	42.0	7.51	0.8631	2.1362	18.126
16	獣文帯四神四獣鏡	②	71.0	21.6	2.20	0.32	0.42	97.6	30.4	3.10	0.8593	2.1253	18.316
17	獣文帯四神四獣鏡	③	69.9	22.7	4.02	0.29	0.35	97.3	32.5	5.75	0.8524	2.1149	18.444
18	櫛齒文帯四神四獣鏡	③	63.4	20.8	3.60	0.41	0.50	89.1	32.8	5.68	0.8514	2.1121	18.426
19	獣文帯三神三獣鏡	③	73.3	20.8	4.35	0.34	0.39	99.6	28.4	5.93	0.8615	2.1300	18.239
20	吾作三神五獣鏡	⑦	73.6	21.6	2.40	0.37	0.34	98.8	29.4	3.26	0.8623	2.1316	18.151
21	張氏作三神五獣鏡	①	69.3	24.0	3.71	0.30	0.40	98.1	34.6	5.35	0.8593	2.1262	18.311
22	吾作五神四獣鏡	①	65.4	23.5	4.69	0.45	0.41	94.9	35.9	7.17	0.8574	2.1214	18.293
23	陳是作四神二獣鏡	④	68.0	22.3	3.99	0.28	0.34	95.1	32.8	5.87	0.8594	2.1238	18.230
24	獣文帯二神二獣鏡	⑤	70.9	20.4	5.70	0.50	0.42	98.3	28.8	8.04	0.8570	2.1215	18.279
25	獣文帯同向式神獣鏡	②	72.2	21.1	3.61	0.30	0.36	98.1	29.2	5.00	0.8595	2.1268	18.232

表4 鏡群別の含有量平均値

Table 4 Average contents of metals in different groups of mirrors

鏡 群	面数	Cu%	Sn%	Pb%	As%	Sb%	Sn/Cu%	Pb/Cu%	文 献
戦国（秦式）	5	X	X	X	0.17	0.19	X	X	小松・山内1937
前漢鏡	9	66.8	24.2	5.20	0.34	0.40	36.3	7.80	小松・山内1937
後漢鏡	10	68.0	24.4	5.36	0.35	0.38	35.9	7.90	小松・山内1937
三国・六朝鏡	10	68.4	23.8	5.23	0.35	0.35	34.9	7.67	小松・山内1937
後漢・三国鏡（椿井大塚山）	2	67.5	24.7	4.76	0.33	0.35	36.8	7.08	山崎ら1992
三角縁神獣鏡（椿井大塚山）	22	68.2	23.0	3.74	0.36	0.39	33.9	5.51	山崎ら1992

X 変動が大きく、平均値が無意味なもの

4.3 鉛の含有量

ここからが小論の中心課題「鉛は加えられたか」である。

まず鏡群別の平均値（表4）でみると、前漢鏡群・後漢鏡群・三国六朝鏡群に比べて三角縁神獣鏡の鉛量の少ないことがわかる（Pb%およびPb/Cu%）。分析者の違いによる系統的誤差の恐れがあるので、三角縁神獣鏡と一緒に測定された後漢・三国鏡2面（「長宜子孫」連弧文鏡と方格規矩四神鏡）をみると、小松・山内の測定値とほぼ同じなので、その心配は不要とわかる。

三角縁神獣鏡は紀年銘や銘文などによって魏鏡とされながらも、出土が日本のみであるところから論争の続く鏡式である。そこで、鉛量の分布を漢式鏡一般と比較して詳しく見てみよう。

図1に鏡群別のPb/Cu%の頻度分布を示した。横軸（Pb/Cu%）の数値は四捨五入して整数でとってある。図から明らかなように、前漢鏡群と後漢鏡群は6～10%の中できわめて似た分布をし、平均値もそれぞれ7.8、7.9とほとんど同じである。三国・六朝鏡は4～11%と少し広がるが、平均は7.7で、前の2鏡群とほとんど同じである。三角縁神獣鏡は平均が5.5、分布範囲が2～8%、と明らかに漢式鏡一般よりも2%以上低い数値である。極端に低い2～3%の4面を除いて、5%以上の平均をとっても6.1%である。

4.4 鉛は加えられたか

多数の商周青銅器を分析したフリーア美術館のR. J. ゲッテンスはその著書の中でつぎのように述べている（Gettens 1969, p.42）。

約4%までの鉛はブロンズの融解液のなかに溶け込む。

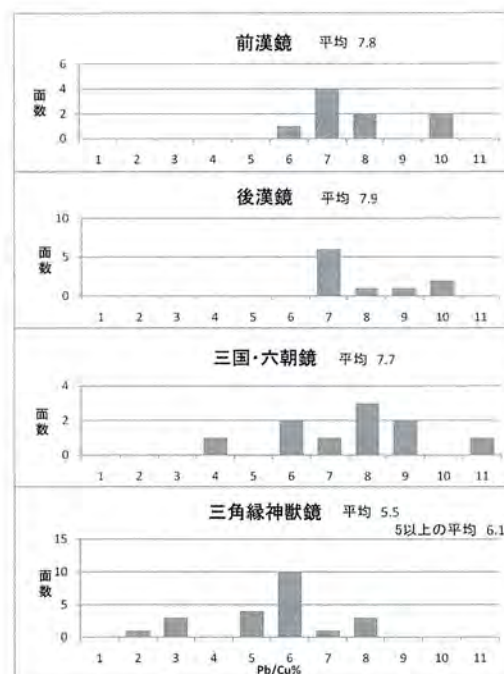


図1 鏡群別の（鉛/銅）比の分布

Fig.1 Lead-to-copper ratios (%) for different groups of mirrors

しかし、それを超す量の鉛は、ゆっくり冷却すると融解液から分離して坩堝あるいは鋳型の底に沈積する。

この観察に記載されている4%は、錫を含んだブロンズ（錫%の記載なし）についてのものである。仮に錫20%とすると、銅との比率では約5%までの鉛が溶け込むということになる。ただし、銅中の錫が鉛の混和を援けている可能性があるので、ブロンズでなく銅の場合には、溶け込んで5%より少ない可能性が高く、それ以上は排除されると解釈できる。このような鉛の性質は、製錬中の銅に付随する鉛についても適用できるであろう。つまり銅に付随する鉛量の上限は約5%ということである。

このような知識をもって表1を見直すと、No.3棒状

銅製品が上限の約5%, No.1, No.2は2%程度と、それぞれ銅に付随する鉛として解釈できることがわかる。

金正耀によると、中国三代（夏・商・周）の青銅器を研究する中国の研究者の間では、以前から青銅器の中の3%以上の鉛とスズは人為的に加えたものとみなすという不文律があった。それが、最近2%を境界にしようという話になっている。しかしこの2とか3とかいう数字には何らの科学的根拠もないとのことである（金 2008, p. 40）。

以上の情報を総合すると、ほとんどの鏡がPb/Cu 6%（錫が20数%入った鏡として4%）を超える前漢鏡群・後漢鏡群・三国六朝鏡群には、鉛が人為的に加えられたと解釈できることがわかる。それでは、どの程度の量が加えられたであろうか。漢式鏡の場合、銅に付随する鉛も混ざっている筈だからである。表1のヒ素・アンチモンの量が一つの目安になるので試算してみよう。

硫化物鉱床から銅に付随してきた鉛とヒ素・アンチモンの間に大まかな量的関係があると想定して、Pb/(As+Sb)を計算すると、No.1, No.2はそれぞれ4.1, 3.3となる（No.3は微小面積の蛍光X線分析で、数値が部位で大きくばらつくのでこの計算には不適当）。大ざっぱにいうと、鉛は（ヒ素+アンチモン）の3~4倍ということになる。ここで、作業仮説としてNo.1, No.2の平均3.7を使い、前漢鏡群・後漢鏡群・三国六朝鏡群の銅に付随する鉛量の平均値を推定してみよう。

$$0.35(\text{As}) + 0.38(\text{Sb}) = 0.73$$

$$0.73 \times 3.7 = 2.7 \text{ (鏡の中の銅付随のPb\%)}$$

$$\text{Pb/Cu} = 2.7 \div 68 \text{ (鏡の中の銅\%)} = 0.040$$

つまり、鏡のPb/Cu=4%が銅に付随する鉛の平均値である。3鏡群のPb/Cuの平均は7.8%であるから、鑄造の際に人工的に加えた鉛の推定値は

$$7.8 - 4.0 = 3.8\%$$

である。つまり銅原材料104（銅100+鉛4）に対して鉛3.8を加え、銅にもともと入っていた4と合同して7.8になったということになる（3.8の小数点は無意味で4としてもよいが、銅に付随する4と混同しないように、3.8で話をすすめる）。

さて、前漢から後漢を経て三国六朝に至るまで、鏡に含まれる銅に対する鉛の比率の平均はほぼ7.8%と変わ

らず、ヒ素・アンチモンの含有量も変わらないので、鉛同位体比が示すように前漢時代と後漢以後の銅の出所が違ったとしても、それらは類似の性格の銅鉱床だったのであろう。そして、添加する鉛量の銅に対する比率3.8%も一定に保たれていたと考えられる。では、図1の3鏡群の分布はそれで説明できるのだろうか。これによって、作業仮説の当否が分かるはずである。

銅に付随する鉛の銅に対する比率は、ゲッテンスの実験の上限と表1のNo.1, No.2, No.3のデータからみて、ほぼ2~6%の分布（錫が入った鏡として1.4~4.2%に相当）とみて大きな違いはないであろう。

これに処方として、3.8%の鉛が添加されるとする。当然、製品の鏡の中の鉛は銅に対して5.8~9.8%となり、4~11%に広がる図1の3鏡群の分布範囲とほぼ一致する。この様子を図2に模式的に示す。

このように、Pb/(As+Sb)=3.7とした作業仮説はおおむね妥当であったと考えられる。

4.5 漢式鏡の鉛同位体比の意味

ここまでの推論で、漢式鏡に含まれる鉛は、銅に付随するものと添加されたものの二者混合であることがわかった。平均的にはそれらの比率は1:1であることも推算された。この事実、これまで暗黙のうちに一元的に考えてきた漢式鏡の鉛同位体比の解釈に問題を投げかける。たとえば、前漢鏡タイプと後漢・三国鏡タイプとはどういう意味かというような疑問である。

この問題は、つぎのように考えられる。

通常の硫化物鉱床には銅鉱石と鉛鉱石は共存し、銅と鉛の製錬が同じ場所あるいは近い場所で行われることが普通であった。漢代には、鉛が銅と違う遠隔地から運ばれてくる必要はなかった。従って、漢式鏡を作るときに鉛を加えても、同位体比に大きな差がないもの同士の混合で、同位体比の移動は小さく、前漢鏡タイプとか後漢・三国鏡タイプという領域ができたのであろう。

前漢鏡タイプの鉛についてはこのような解釈を裏づける証拠がある。表1のNo.3棒状銅製品は前漢鏡タイプの鉛を5%程度含む銅素材である一方で、五銖銭や貨泉は10~20%もの鉛を含み、その同位体比は完全に同じ前漢鏡タイプである（馬淵 2007）。

漢式鏡の場合、近畿式・三遠式銅鐸のように同位体比が1点に収斂せず、ある程度の幅と長さをもった領域に分布するのは、人為的に鉛を加えたためだと解釈できる。

4.6 三角縁神獸鏡の鉛量

すでに4.3で述べたように、図1の4種類のヒストグラムを見ると、三角縁神獸鏡のPb/Cuが2%以上低い方へずれていることがわかる。さらに細部を見ると、2~3%と5~8%との2グループに分かれている。

このPb/Cu=2~3%のものは表3の6号鏡・8号鏡・16号鏡・20号鏡の4面で、鏡のPb含有量でいうと、それぞれ1.5%・2.4%・2.2%・2.4%と平均の半分以下の鉛量である。これは前節の解析結果から判断すると、人為的な鉛添加がなかったのではないかという疑問を生む。山崎の分析はマクロ量の試料で実施しているので、鉛が偏析して少ない部分を測ったためということとは考えられない。

一方、Pb/Cu=5~8%のグループ(18面)は平均が6.1%で、間違いなく鉛を添加したものと思われる。前節と同じ手順で添加量を計算してみよう。

まず、ヒ素・アンチモン量は3鏡群とほとんど同じであるが、漢式鏡で作業仮説に用いた銅素材などは前漢鏡タイプの鉛を含むものであった。三角縁神獸鏡の材料は後漢鏡タイプの鉛を含むから、産出鉱床が異なる。したがって、平均Pb/Cu量の4%を適用するのは適切でない。しかし、いま疑問を提起した表3の6号鏡・8号鏡・16号鏡・20号鏡の4面に鉛添加がなかったことは後述のように確かなので、それらのヒ素・アンチモン・鉛の関係から計算するとつぎのようになる(4面の選別には低含有量というバイアスがかかっているので、4面の鏡の鉛量の平均値2.1%をそのまま使うことは避ける)。

6号鏡・8号鏡・16号鏡・20号鏡のPb/(As+Sb)の平均は2.9である。これら4面を除いた18面のヒ素とアンチモンの平均値とその和はつぎのようになる。

$$0.36(\text{As}) + 0.39(\text{Sb}) = 0.75$$

$$0.75 \times 2.9 = 2.2 \text{ (鏡の中の銅付随のPb\%)}$$

$$\text{Pb/Cu} = 2.2 \div 68 \text{ (鏡の中の銅\%)} = 0.032$$

つまり、鏡のPb/Cu=3.2%が銅に付随する鉛の平均値である。18面のPb/Cuの平均は6.1%であるから、

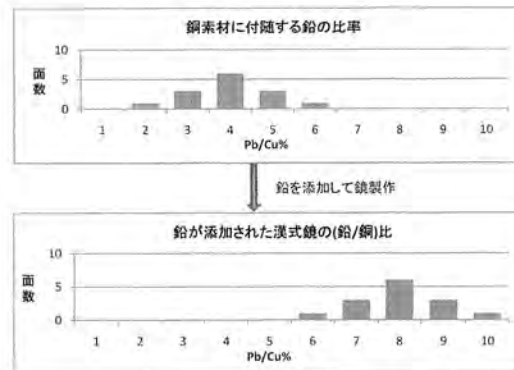


図2 漢式鏡製作時の鉛添加の模式図

Fig. 2 Schematic diagram illustrating the addition of lead at the casting of mirrors

鑄造の際に人工的に加えた鉛の推定値は

$$6.1 - 3.2 = 2.9\%$$

となる。これは前漢鏡など3鏡群の添加量の約四分の三である。

このような事情は、たとえば、魏が倭国のために特鑄したとか倭国で作ったとか、漢式鏡の中でいわば特殊な鏡とされているこの鏡式の製作を考えると一つの要素になるであろう。

4.7 三角縁神獸鏡の銅原材料の鉛同位体比

人為的な鉛添加がないと思われる鏡が4面も見つかったことは、三角縁神獸鏡を解析する新しい糸口になる。それは、銅素材に錫を加えただけの青銅の鉛同位体比を与えるからである。

図3は人為的な鉛添加がないと仮に判断した4面の鏡の鉛同位体比分布図である。この図の意味については別の報文で詳しく説明した(馬淵2010)。その中で、三角縁神獸鏡が密集する部分を「領域Es」と定義したが、当の4面の鏡はEsのほぼ全域をカバーして完全な一直線上に並ぶ。

このような同位体比の変動は大きな鉱床の中ではときどき見受けられる³⁾。別の見方を見ると、まったく別の地域の鉱床に由来する原料が偶然4資料も一直線に並ぶことは考えられない。したがって、4面の鏡の鉛およびそれを含む銅は、かなり大きな同一鉱床から来たと見做してよいであろう。

また、さきに、4面の鏡には人為的な鉛添加がなかったのではないか、という疑問を呈したが、このように直

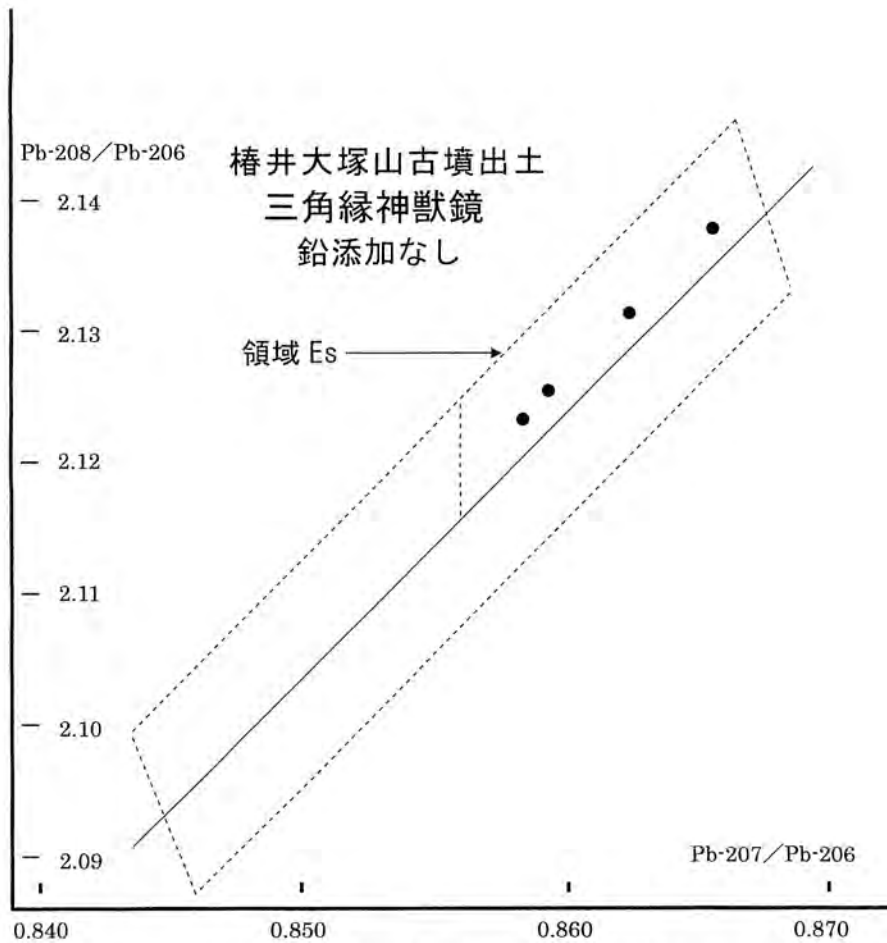


図3 鉛添加のない舶載三角縁神獣鏡の鉛同位体比
Fig. 3 Lead isotope ratios of TRDA mirrors free from lead added at casting

線上に並ぶことは、鉛添加がなかったことの証になると考える。

図3はもう一つの重要な事項を示唆している。錫に付随する鉛についてである。これら4面の鏡には22～26%の錫が含まれている。もし、錫にある程度の鉛が含まれていれば、それはまったく異なる同位体比の鉛である可能性が高いので、銅に含まれる鉛と混ざったとき、その同位体比を動かすであろう。そのようなぶれがまったく観察されず、4面が一直線上に並ぶので、3.5で紹介した平尾の経験のように、鉛をほとんど含まない錫が加えられていたことがわかる。

なお、表3には岸本（1989）による「表現」の番号が入れてある。号鏡ごとの「表現」に、岸本の作鏡群と福永（2005）のABCD・4段階編年を併記するとつぎのようになる。

6号鏡	表現⑨	陳氏作鏡群	B段階
8号鏡	表現①	四神四獣鏡群	A段階

16号鏡 表現② 四神四獣鏡群 B段階

20号鏡 表現⑦ 陳氏作鏡群 A段階

要約すると、三角縁神獣鏡の製作においては、鉛を加えない鏡の鑄造が早い段階から時々あり、それは四神四獣鏡群と陳氏作鏡群の両方の工程で起こっていた、ということになる。

図4は上記4面を除いた残り18面をプロットした図である。それらは、図3の銅原材料の上下左右に散らばって分布しているが、添加した鉛のためとして解釈できる。領域Esから左に飛び出す2面は「異質」の鉛としてすでに指摘した（馬淵2010）。これについては稿を改めて論ずることとする。

5. おわりに

「鉛は加えられたか」という疑問を基軸として、漢式鏡の2グループの分析値を解析した。要約するとつぎのようになる。

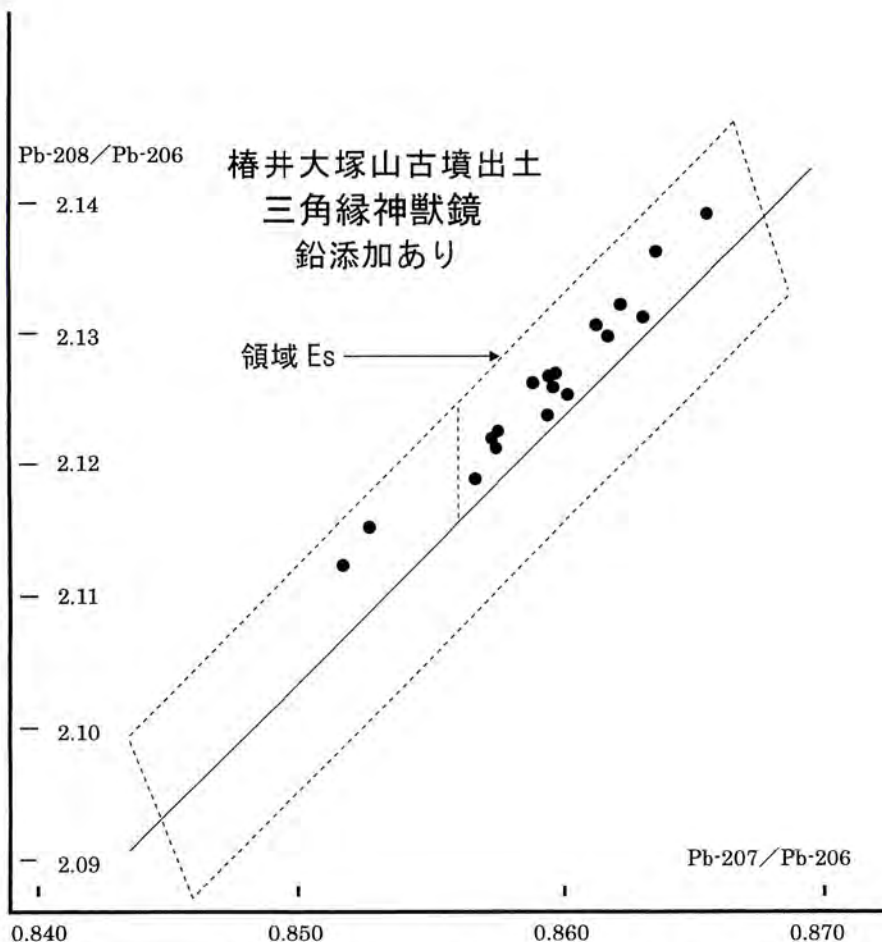


図4 鉛添加のある舶載三角縁神獸鏡の鉛同位体比

Fig. 4 Lead isotope ratios of TRDA mirrors with a portion of lead added at casting

まず、小松・山内（1937）のデータから、漢式鏡の銅・錫・鉛の組成比が、梅原末治が解釈した通り、前漢時代から三国六朝時代に至るまでほぼ一定であることを確認した。そのうち鉛について、その後の分析データと比較することにより、銅の約4％に相当する鉛が人為的に加えられ、それと銅に付随した鉛が混合したものであることが推算された。

つぎに、山崎ら（1992）による京都府椿井大塚山古墳出土の三角縁神獸鏡のデータを解析した。上記の漢式鏡一般と比較した結果、三角縁神獸鏡は相対的に鉛量が少なく、特に22面のうち4面には鉛が添加されていないと判断した。残りの18面は銅の約3％程度しか鉛が添加されていないと推算された。

鉛が添加されていない4面の鉛同位体比は領域 Es（分布図で三角縁神獸鏡が集中する部分）に正確に一直線上に並び、銅原材料に付随する鉛であることが裏づけられた。この発見は今後のデータ解析に役立つ情報と考

えられる。

三角縁神獸鏡の鉛添加量が少なかった、あるいはなかった、という推定は、製作技術の面からも、たとえば鋳上りの良否などと併せて議論される要素である。

謝 辞

文献資料のお世話を頂いた東京文化財研究所の佐野千絵氏および市川久美子氏に厚くお礼を申し上げます。

註

- 1) 山崎は70：25：5という表現を使っている（山崎・室住・馬淵 1992, p.247）。梅原の数字は合計すると99になるが、残りの1％は微量元素を考慮したと思われる。これは分析の初期期としては驚くべき慧眼である。本小論の推計によると、微量元素の合計は1％強であり、漢代の平均組成は69：24.5：5.5と、梅原と山崎の中間の数値となる。

- 2) 福永ら (2003, p.141-142) の「三角縁神獣鏡の定量分析表」の註に「分析者・分析方法・資料の状態などによってデータの意味に違いが生ずる。鑄造時の分量比を示すわけではない」とあるが、これは筆者と類似の考えであろうか。
- 3) 筆者は、小林行雄が解釈した錫 33% でもまだ数値が大き過ぎると思っている。鉛が 6% 含まれるとして、小林流の鑿燧之齊に従って作られた鏡の銅・錫・鉛の比率は四捨五入して、63:31:6 となる。鍍化した部分を含まない限り、錫が 30% を超す高濃度の鏡は検出されていない。小林も含めて一般的に、「金錫半」を重量として考えているが、容積として考えれば、錫の密度が銅よりも小さいので、分析値に近い鏡がえられる。ちなみに、密度は、Cu: 8.96 g/cm³, Sn: 7.31 g/cm³ (β スズ) なので、銅 2 容と錫 1 容から鏡を作ると、銅・錫・鉛の比は 67:27:6 と計算される。これは梅原末治の与えた 69:24:6 にきわめて近い。金属の容積は適当な大きさの水槽があれば簡単に計れるので、中国の先秦時代には行われていたのではないかと思う。なお、このように単純なことは、すでに先学によって指摘されているかもしれないが、念のために付記しておく。
- 4) 核のマジックナンバーとは陽子数あるいは中性子数が 2, 8, 20, 28, 50, 82, 126 のもの。錫の存在量が多いといっても相対的なことで、やはり地表の存在量に限度がある貴重な元素である。
- 5) ひと昔前まではビスマスが最も重いとされていたが、2003 年、その唯一の同位体 ²⁰⁹Bi が超長寿命の放射性核種であることがわかった。半減期 1.9×10^{19} 年、 α 壊変で ²⁰⁵Tl になる。
- 6) No. 5 の大安萬侶墓誌銅板は鑄造後、鍛造または圧延したものと推定されている。
- 7) 地球化学の創始者 V. M. ゴールドシュミットによって 20 世紀初頭に提案された地表の元素分布大別の一つ。親気元素、親石元素、親銅元素、親鉄元素に分ける。親銅元素は硫黄と結びついて硫化物を作りやすい元素群である。親石元素・親鉄元素とともに、鉱床における元素分布はほぼこの分類に従う。
- 8) 報告者は、2004 年の論文ではアンチモンが錫に付随すると考えて議論を進めた。2008 年の再検討の論文 (泉屋博古館古代青銅鏡放射光蛍光分析研究会 2008) で、アンチモンが銅に付随することを半ば認めているように見受けられるが、仿製鏡の錫含有量が 10~18% 程度のものが多いことには触れていない。図 16 の仿製鏡の分布の広がり、錫の低含有量の裏返しのように筆者には思える。
- 9) 鉛鉱石の実測 (馬淵・平尾 1987) によると、通常の鉱山では同位体比は一定であるが、大鉱床の場合に 0.1~1% 程度の変動が異なる試料の間にみられることがある。それらの同一鉱山の測定値は鉛同位体比図上で本事例に類似した斜線上に並ぶ。その原因は、おそらく、鉱床をつくった母物質の鉛同位体進化に部分的な不均一性があったためと思われる。

引用文献

- 梅原末治 1937「古鏡の化学成分に関する考古学的考察」『東方学報・京都』第8冊，東方文化学院京都研究所 pp.32-55
- 華 覚明 1999『中国古代金属技術・銅和鉄造就の文明』大象出版社
- 岸本直文 1989「三角縁神獣鏡製作の工人群」『史林』第72巻 第5号 pp.1-43
- 金 正耀 2008『中国鉛同位素考古』中国科学技術大学出版社
- 久野雄一郎 1981「墓誌銅版の金属学的調査」『奈良県史跡名勝天然記念物調査報告』第43冊 奈良県立橿原考古学研究所編 太安万侶墓』奈良県教育委員会 pp.57-68
- 久野雄一郎 1983「愛知県朝日遺跡出土銅滴の調査報告」『考古学の広場』第1号 考古学フォーラム pp.47-53
- 孔 祥星・劉 一曼 1984『中国古代銅鏡』文物出版社，日本語訳：高倉洋彰正・田崎博之・渡辺芳郎
1991『中国古代銅鏡史』中国書店
- 小林行雄 1962『古代の技術』塙書房
- 駒井和愛 1953『中国古鏡の研究』岩波書店
- 小松 茂・山内淑人 1937「古鏡の化学的研究」『東方学報・京都』第8冊，東方文化学院京都研究所 pp.11-55
- 泉屋博古館古代青銅鏡放射光蛍光分析研究会 2004「Spring-8を利用した古代青銅鏡の放射光蛍光分析」『泉屋博古館紀要』第20巻 pp.1-35
- 泉屋博古館古代青銅鏡放射光蛍光分析研究会 2008「Spring-8を利用した古代青銅鏡の放射光蛍光分析（Ⅱ）」『泉屋博古館紀要』第24巻 pp.1-24
- 近重真澄 1918「東洋古銅器の化学的研究」『史林』第3巻 第2号 pp.177-211
- 近重真澄 1919「化学より見たる東洋上代の文化」『史林』第4巻 第2号 pp.169-196
- 樋口隆康 1979『古鏡』新潮社
- 平尾良光・泉谷明人・八木謙二・木村 幹・馬淵久夫 1984「前漢銭および模鑄銭の化学組成」『古文化財の科学』29号 pp.27-34
- 平尾良光・榎本淳子 1993「佐賀県唐津市久里大牟田遺跡から出土した鉛製矛の自然科学的研究」『MUSEUM』509号 pp.26-34
- 平尾良光・榎本淳子 1998「福岡県八女市野田遺跡から出土した鉛製矛の自然科学的研究」『MUSEUM』556号 pp.31-38
- 福永伸哉（司会）・岡村秀典・岸本直文・車崎正彦・小山田宏一・森下章司 2003『シンポジウム三角縁神獣鏡』学生社
- 福永伸哉 2005『三角縁神獣鏡の研究』大阪大学出版会
- 馬淵久夫・江本義理・平尾良光・北田真吾・木村 幹 1983「鉛同位体比による太安萬侶墓誌銅版および武蔵国分寺附近出土銅造仏の原料産地推定」『古文化財の科学』第28巻 pp.65-69
- 馬淵久夫・平尾良光 1984「愛知県朝日遺跡出土銅滴の放射化分析と鉛同位体比測定」『考古学の広場』第2号 考古学フォーラム pp.25-26
- 馬淵久夫・平尾良光 1987「東アジア鉛鉱石の鉛同位体比」『考古学雑誌』第73巻 第2号 pp.71-82
- 馬淵久夫・平尾良光 1990「福岡県出土の鉛同位体比」『考古学雑誌』第75巻 第4号 pp.1-20
- 馬淵久夫・平尾良光・榎本淳子・早川泰弘 2000「高塚遺跡出土の銅鐸・貨泉・棒状銅製品の鉛同位体比」

- 岡山県埋蔵文化財発掘調査報告 150『高塚遺跡・三手遺跡2』pp.1063-1070
- 馬淵久夫 2007「鉛同位体比による青銅器研究の30年ー弥生時代後期の青銅原料を再考する」『考古学と自然科学』vol. 55 pp.1-29
- 馬淵久夫 2010「鉛同位体比からみた三角縁神獣鏡の舶載鏡と仿製鏡」『日本考古学』第29号, pp.1-18
- 薮内清 2004『中国古代の科学』講談社学術文庫
- 山崎一雄 1987『古文化財の科学』思文閣出版
- 山崎一雄・室住正世・馬淵久夫 1992「椿井大塚山出土鏡の化学成分と鉛同位体比」『樋口隆康・三角縁神獣鏡綜鑑』（付篇）新潮社 pp.239-252
- 頼惟勤 1984「“鉛”考」『お茶の水大学文学会報』第3号 pp.16-27
- 劉 体智 1934『善齋吉金録』
- Gettens, R. J. 1969 “The Freer Chinese Bronzes II”, Washington
- (2009年10月13日受付, 2010年3月25日受理)

Studies on Some Chemical Aspects of Chinese Han-Style Mirrors (1): Was Lead Added at the Casting of Mirrors?

Hisao MABUCHI

Researcher Emeritus, National Research Institute for Cultural Properties
(Domicile) 1-4-8 Nishikamata, Ohta-ku, Tokyo 144-0051 Japan

In 1937, Komatsu, Yamanouchi and Umehara reported that Han-style mirrors had a uniform chemical composition, i. e. 69% copper, 24% tin, and 6% lead. They analyzed more than 30 specimens of Han-style mirrors and concluded that the Chinese craftsmen kept very faithfully this prescription during the periods covering from the Western Han to Western Jin dynasties (the 2nd century B. C - A. D. 4th century). Recent analyses, however, of copper and bronze objects revealed that raw copper material in the Han dynasty period always contains a few percent of lead as an accessory metal. It follows from this fact that some portion of lead in the mirrors must be of copper origin. Because the composite nature of lead in the Han-style mirrors influences the interpretation of lead isotope ratios, the present author undertook a detailed data analysis of Han-style mirrors, using two groups of published reliable analytical data and focusing on their lead-to-copper ratios.

a) Twenty-nine specimens of Han-style mirrors (Komatsu and Yamanouchi 1937)

The average lead-to-copper ratios (Pb/Cu%) were calculated to be 7.8 for 9 Western Han mirrors, 7.9 for 10 Eastern Han mirrors, and 7.7 for 10 post-Han mirrors. The copper accessory part of the lead was estimated to be 4.0% from the contents of accessory metals, i. e. arsenic and antimony, in raw copper material of the Han dynasty period. Consequently, a portion of about 3.8% on average of the lead in the mirrors was estimated to have been added by the Han craftsmen. In sum, it was confirmed from the analytical data that the lead existing in the Han-style mirrors is a half-and-half mixture of copper accessory lead and artificially added one.

b) Twenty-two specimens of the TRDA mirrors (Yamazaki 1992)

The triangular-rimmed mirrors with divinity and animal figures (TRDA) are the most mysterious among various types of Han-style mirrors on the point that they have never been excavated outside Japan.

The average lead-to-copper ratios (Pb/Cu%) were calculated to be 5.5 for 22 specimens, a far lower value than those of the Han-style mirrors mentioned above. Among others, four specimens of them showed extremely low values ; 2.2%, 3.1%, 3.3% and 3.3%. These mirrors were estimated to be free from lead added. The lead isotope ratios of these four TRDA mirrors form exactly a straight line on the $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ vs. $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ diagram, showing their provenance from a single big ore deposit. The discovery of this type of lead (copper accessory) will be quite useful for elucidating the nature of the TRDA mirrors. As to the 18 TRDA mirrors, the rest of 22, the quantity of added lead was estimated to be 2.9%, about three quarters of lead in the case of Han-style mirrors in general.