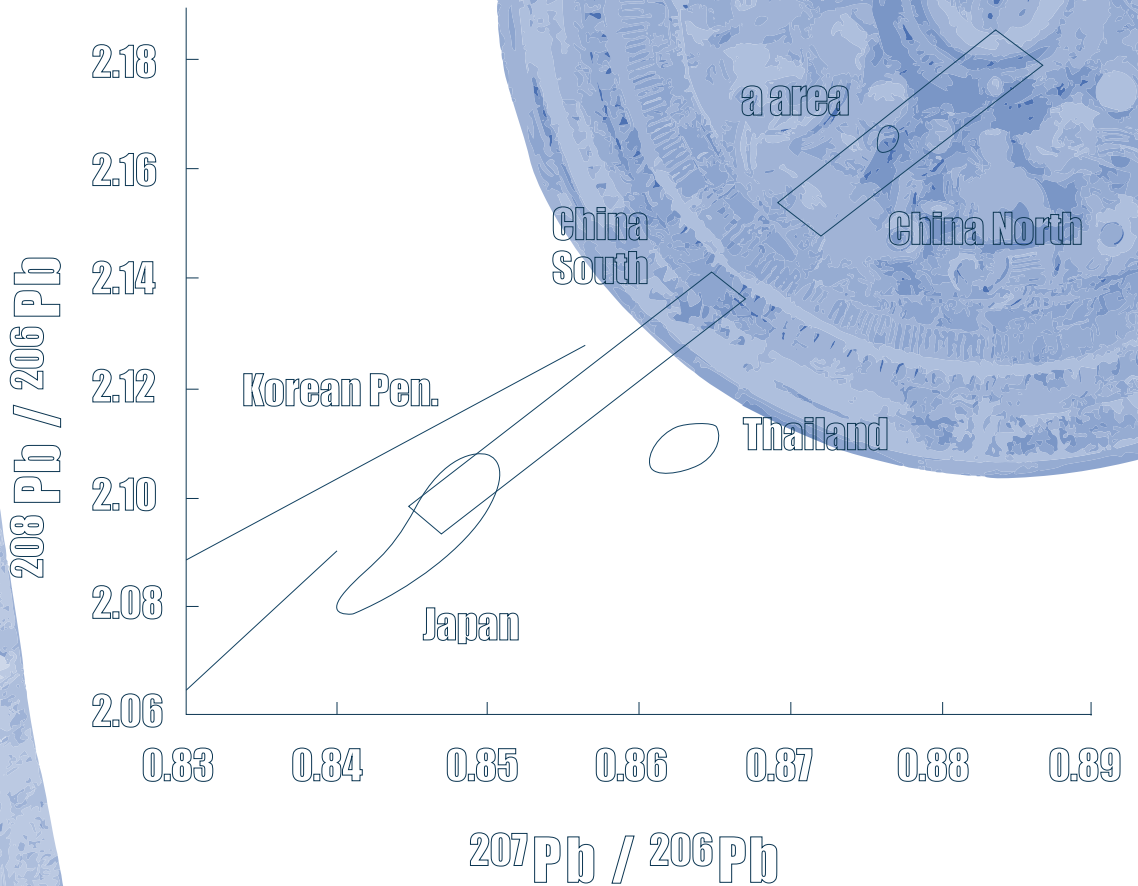


# 埋蔵文化財 ニュース

保存科学  
研究集会  
2018

## CONSERVATION SCIENCE WORKSHOP 2018



同位体比分析と産地推定に関する最近の動向

## ISOTOPE ANALYSIS AND PROVENANCE STUDY



## はじめに

奈良文化財研究所では、文化財の保存に携わる全国の文化財担当者を対象に、文化財の科学的調査法や保存にまつわる様々な問題について、情報共有と意見交換の場として、毎年『保存科学研究集会』を開催しています。今年度は、近年急速にデータの蓄積が進み様々な議論が行われている同位体比分析と産地推定をテーマにとりあげ、「同位体比分析と産地推定に関する最近の動向」をテーマに開催いたしました。

考古学分野において産地推定は常に重要なテーマであり続けています。様々な研究が行われているなか、特に科学的な側面から原料鉍石の産地を推定する方法として、遺物に含まれる鉛に対して鉛同位体比を利用する方法が1960年代に提案されました。日本でも、この手法は1970年代の終わりに導入され、青銅製品やガラス製品に適用されてきました。その後、40年が経過し、現在までに膨大な研究成果が蓄積されています。最近では、鉛以外にもストロンチウムなど様々な元素に対しても同位体比分析が産地推定の方法として導入されるようになってきました。

本研究集会では、これまで長年にわたる日本での鉛同位体比分析の膨大な研究成果を振り返るとともに、第一線の研究者の方々に最新のデータを紹介いただきました。さらに、今回は海外からも専門家をお迎えし、近年欧米を中心に研究が進んでいるガラス製品の同位体比分析による産地推定について、最新の研究成果をご紹介します。

本号の埋蔵文化財ニュースでは、同位体比分析と産地推定のこれまでの成果と課題を確認するとともに、新しい調査研究の方向性についても検討を行い、文化財の産地推定や同位体比分析に対する共通理解と、さらなる発展、応用につながることを目的として、保存科学研究集会で報告されました5件の研究報告について、概要をまとめることといたします。



## 研究集会プログラム

日本における銅・鉛生産の歴史的変遷・・・・・・・・・・・・・・・・	4
平尾良光 [帝京大学]	
弥生時代の青銅器の鉛同位体比分析と I C P 分析・・・・・・・・	16
難波洋三 [奈良文化財研究所]	
The provenance of ancient glass using radiogenic isotopes (放射性同位体を用いた古代ガラスの産地)・・・・・・・・・・・・・・・・	26
Julian Henderson [University of Nottingham]	
日本出土ガラス小玉の産地と流通に関する研究・・・・・・・・	30
田村朋美 [奈良文化財研究所]	
鉛同位体比からみた三角縁神獸鏡の生産地・・・・・・・・	38
大賀克彦 [奈良女子大学]	

# 日本における銅・鉛生産の歴史的変遷

## Historical Transition of Copper and Lead Production in Japan

帝京大学文化財研究所

HIRAO Yoshimitsu

平尾 良光

### 1 : はじめに

日本における金属製品は弥生時代中期から導入され、現代に至っている。各時代に利用された銅および鉛材料がどのように得られたかを概観してみる。

### 2 : 資料の年代

日本の歴史において利用された銅および鉛材料がどこで生産されたのかを鉛同位体比から調べようとする。歴史におけるこれら材料の産地を年代ごとに示そうとしている。そこで、時代の変化を図1として考えてみる。

本報告では金属の中で銅および鉛を用いた各種製品に関してまとめ、鉄は除外する。

Primitive Age	Ancient Time		Medieval Period		Early Mod. Period		
Jomon	Yayoi	Kofun	Nara	Heian	Kama-kura	Muro-machi	Edo
BC10000	AD1	250	710	794	1185	1333	1603
	Korean Pen. China	Japan	Japan	China	Japan	China	Japan

図1 年表

Fig.1 Periodization of Japanese History

弥生時代の始まりは前500年頃とする。

金属の利用開始は前200年頃とされ、鉄と銅と一緒に朝鮮半島から導入される。戦国時代は1500年頃から1637年の島原の乱までとする。

### 3 : 鉛同位体比の測定と表現

鉛同位体比の測定法は今までにいくつか報告(平尾 1999a, 平尾 2001)されているので、本報告では省略する。得られた報告値は $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  -  $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  を A 式 図、 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  -  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  を B 式 図として表現する。産地の判別図は図 2A、B で示す(平尾 1999a, 平尾 2001)。

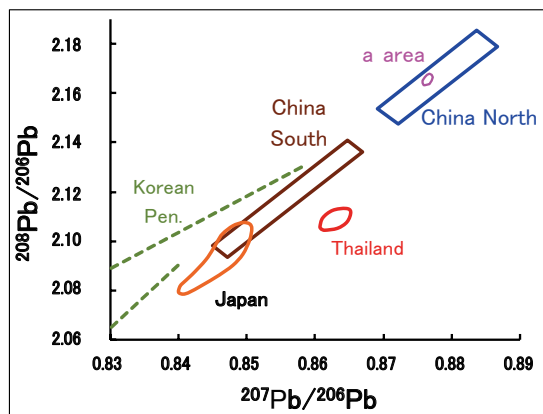


図2 A : 産地推定の概念図  
Fig.2A Estimated Provenance Area

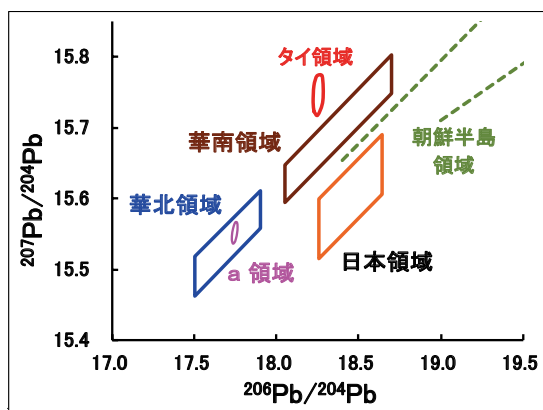


図2 B : 産地推定の概念図  
Fig.2B Estimated Provenance Area

各産地は弥生時代の銅鏡の分布から推定され、日本領域は日本産鉛鉱石などの分布図から推定された。これらの図は弥生時代資料で示されたが、その後の時代にも新しい鉱山の開発や他地域からの鉛の導入などを考慮すると、後世の資料にも判別図として利用できることが判っている。

### 4 : 各時代の資料が示す鉛同位体比

#### (A) 弥生時代 (Yayoi Period)

弥生時代の青銅材料として銅鐸、銅矛、銅劍、銅鏡などがあるが、数と量が多いものは限られる。そこで銅鐸を例として挙げると図3-1と3-2となる(平尾 2003)。銅鐸は古い方から1式(稜環鈕)、2式(外縁付鈕)、3式(偏平鈕)4式(凸線鈕)と時代によって形式が変化する。その鉛同位体比は朝鮮半島産材料から中国華北産材料へ変化している。

この変化は銅矛でも非常にきれいに対応している。図3-3と図3-4で示す。

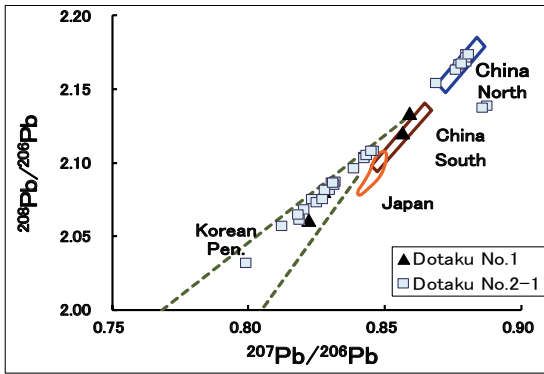


図3-1 : 銅鐸 (1式) と (2-1式) の分布  
Fig.3-1 Distribution of Bronze bells

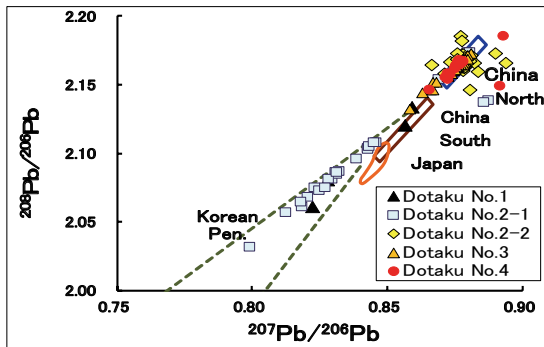


図3-2 : 銅鐸 (2式-2、3式、4式) の分布  
Fig.3-2 Distribution of Bronze bells

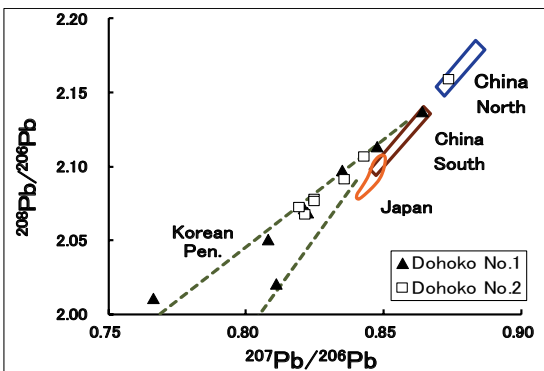


図3-3 : 銅矛 (1式) と (2式) の分布  
Fig.3-3 Distribution of Bronze Spearheads

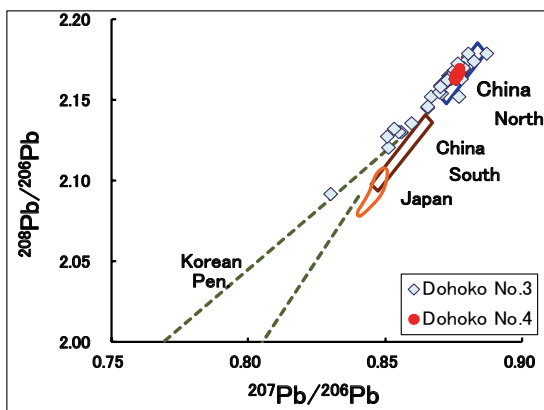


図3-4 : 銅矛 (3式) と (4式) の分布  
Fig.3-4 Distribution of Bronze Spearheads

### (B) 古墳時代 (Kofun Period)

古墳時代の青銅器は中国からの銅鏡、朝鮮半島からの工芸品などがある (平尾ら 2013)。仏教用具はほぼ中国華南産材料である。但し馬具類などは今までの中国華南産材料だけでなく、幅広い分布値を示すことがある。

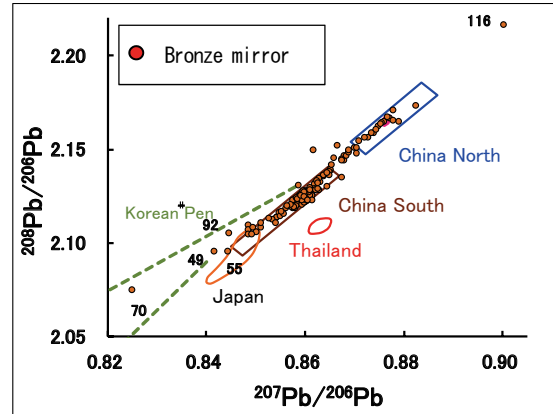


図4 A : 古墳時代の銅鏡  
Fig.4A Bronze Mirror in Kofun Period

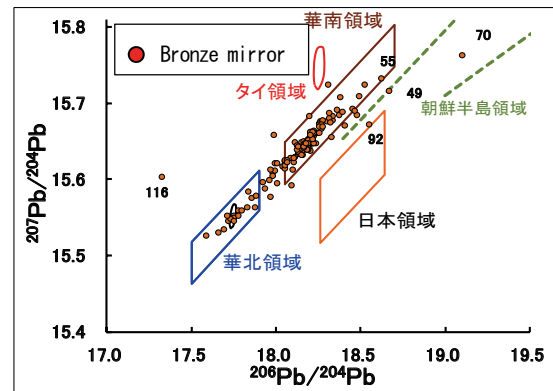


図4 B : 古墳時代の銅鏡  
Fig.4B Bronze Mirror in Kofun Period

### (C) 奈良時代の資料 (Nara Period Objects)

奈良薬師寺講堂の弥勒三尊像の各部分の鉛同位体比値を図 5A、B で示す。図から、総ての測定値は日本産材料領域に含まれている。修復されているものの、大きな修復材料には総て日本産材料が用いられていると示されている。A 式図のほぼ中央やや左下部分に資料が集中している箇所があり、本尊、両脇侍の幾つかの資料が重なることから、三尊の原材料はこの辺りにあり、三尊とも同一材料だったと推定される。本尊の台座は江戸時代に作り直されているという。右上方向に台座資料が集まっていることから、江戸時代の作り直しは本体を構成している部分とは材料産地が異なるようである。

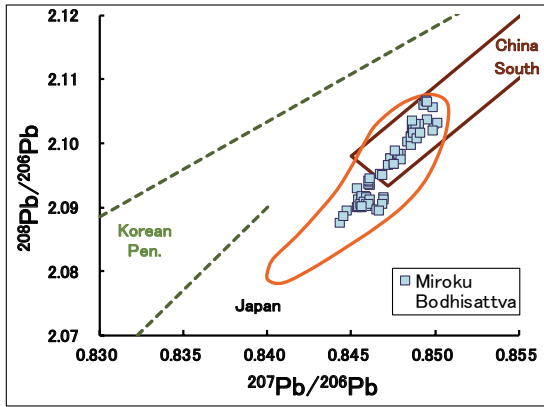


図 5 A : 薬師寺講堂の弥勒三尊像  
Fig.5A Bodhisattva of Nara Yakushiji

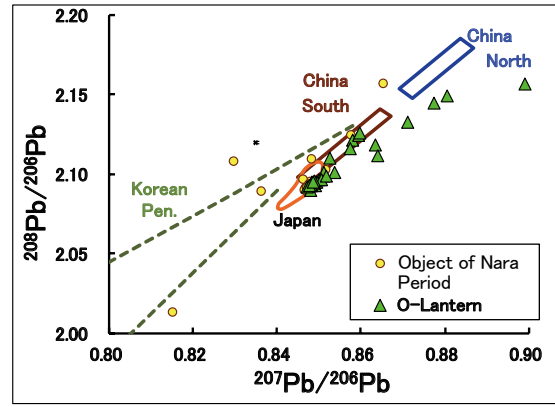


図 6 A : 奈良県東大寺大仏殿前の八角灯籠  
Fig.6A Octagonal Lantern of Todaiji

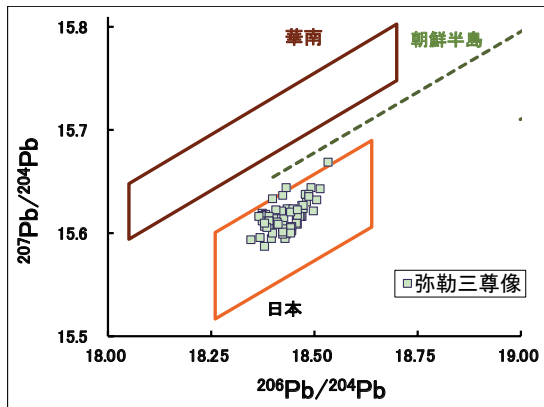


図 5 B : 薬師寺講堂の弥勒三尊像  
Fig.5B Bodhisattva of Nara Yakushiji

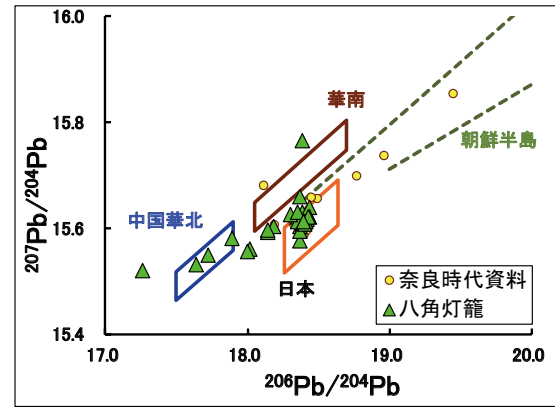


図 6 B : 奈良東大寺大仏殿前の八角灯籠  
Fig.6B Octagonal Lantern of Todaiji

### C - 1 奈良東大寺大仏殿前の八角灯籠 (Octagonal Lantern of Todaiji)

奈良東大寺大仏殿前の八角灯籠の鉛同位体比値を図 6A、B で示す (平尾 1999b)。図から、八角灯籠本体の大部分は日本産材料領域に位置しているため、当初の製作には日本産材料が利用されている。日本産材料領域から大きく外れている資料がいくつか見えるが、それらは資料採取時に修復材料と示唆された部分がほとんどなので、これら部分は修復材料と判断される。大正時代に修復された経緯があるとのことから、外国から流入した材料が利用されていると判断できる (YHirao 1986)。明治時代以降には外国からの材料も各種輸入されているので、材料産地の判断は難しい。

### C - 2 奈良時代の一般資料 (General Object of Nara Period)

奈良時代の一般資料を図 7A、B で示す。一般資料には墓誌、買地券、耳環、水落遺跡の銅管などと長登鉦山の銅鉦石が含まれる。

図 7A、B から日本領域に入る資料と朝鮮半島産材料と中国華南産材料と思われる資料が見られる。奈良時代になっても、朝鮮半島や華南産材料を用いた資料あるいは製品が出回っていることを示唆する。日本領域から外れる資料には複数の耳環があり、朝鮮半島産と考えられる資料なので、朝鮮半島産材料を利用していることは当然かもしれない。なお、水落遺跡の銅管とは西暦660年に中大兄皇子 (後の天智天皇) が漏刻 (水時計) を設置した遺跡と考えられ、その水を引くための管である。資料の図中の位置は日本領域から離れているが、これは三波川変成帯という九州中部・四国中央・紀伊半島中央まで伸びる地質構造線に含まれる銅と同類なので、日本産材料と見ることができ (馬淵ら 1995)。今の所、日本最初の国産銅と見られる。

長登鉦山の銅資料はほぼ一箇所にまとまって



いる。またこの位置は東大寺大仏殿前の八角灯籠が示す中心位置と一致することから、大仏製作に長登産の銅が利用されたとされているので、八角灯籠製作にも長登鉱山産の銅が利用された可能性を示す。

図7では細かいところが見えないので、図8A、Bと拡大して、表現してみる。

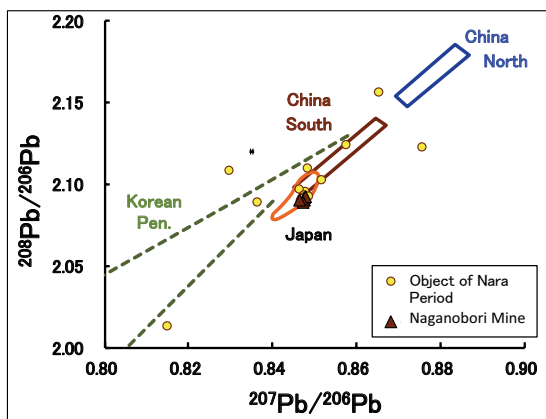


図7A : 奈良時代の一般資料 (A式図)  
Fig.7A General Objects of Nara Period

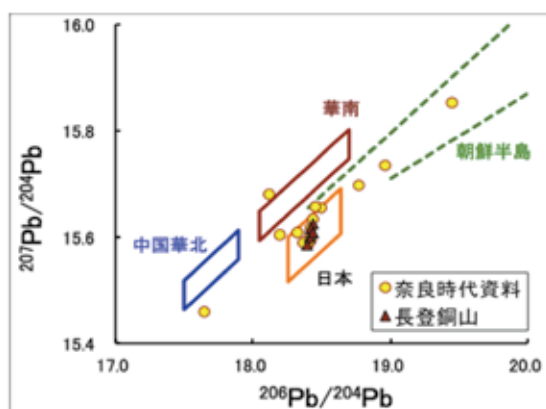


図7B : 奈良時代の一般資料 (B式図)  
Fig.7B General Objects of Nara Period

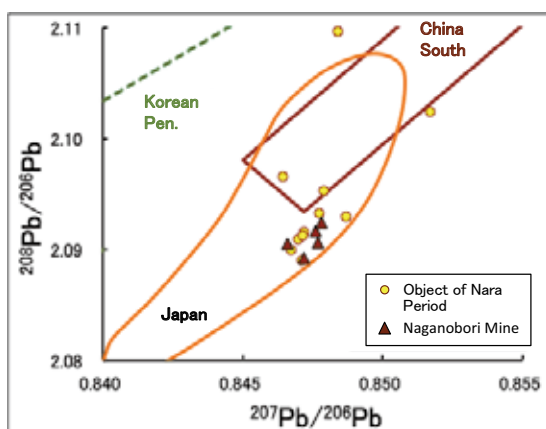


図8A : 図7Aの拡大図  
Fig.8A Enlarged Figure of Fig.7A

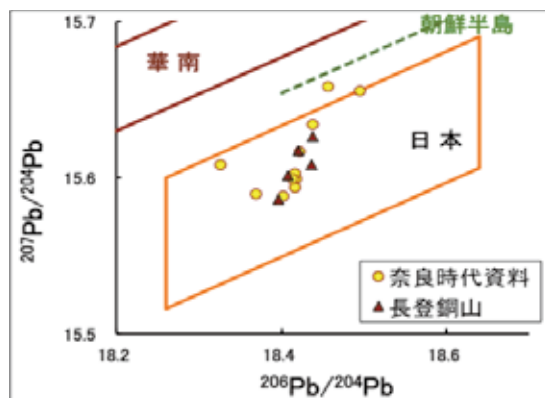


図8B : 図7Bの拡大図  
Fig.8B Enlarged Figure of Fig.7B

拡大図で見ると、一般資料の中でかなりの数の資料が長登鉱山と類似した値を示しており、長登鉱山が当時重要な鉱山であったことを伺わせる。太安萬侶墓誌銅板はまさに長登鉱山のばらつきの中に位置する(馬淵ら 1983)。

#### (D) 平安時代の資料 (Heian Period Objects)

奈良時代・平安時代のまとめた資料として、皇朝十二銭がある。これら以外を一般資料としてまとめる。

##### D-1 皇朝十二銭

(Twelve Coinages Minted in Japan)

奈良時代から平安時代にかけて日本で発行された貨幣は皇朝十二銭と呼ばれる。これら古銭の鉛同位体比の分布を図9A、Bで示す(馬淵 1982、齊藤 2001)。図9A、Bから日本領域外に位置する資料がいくつか見えるが、全体的に日本産材料が利用されている。日本産材料でない場合は朝鮮半島産材料、華南産材料のように見える。中でも和同開珎に日本産材料領域から外れる資料が多く見つかる。これは和同開珎が日本で最初の鑄造であり、当時の日本の政府が利用できた材料をできるだけ多く利用したと考え、中国・朝鮮半島産材料あるいは製品の廃物なども含まれると見ることもできる。それ以降に発行された貨幣には日本産材料が主として利用されており、国産の銅の生産が順調だったことを示す。但し、時代が後になればなるほど、銅に鉛を多く加えた質の悪い貨幣が出回り、最後の乾元大宝では鉛が80%も含まれる貨幣も見つかっている。また、乾元大宝は発行予定枚数の1/3しか発行できておらず、貨幣の大きさは直径で和同開珎の頃の7割程度となっている(飯沼 2008)。そして乾元大宝以後、貨幣は発行されなくなる。このことをどのように考えるかは

問題であるが、乾元大宝の時期までに日本における銅生産が急激に落ち込んだことを示唆する。すなわち日本では銅の生産が行き詰まったのである。このことを自然科学的に考えれば奈良時代以降、銅の生産には酸化銅鉱石を使っていたが、この鉱石が底をついたのであろう。日本という地質環境では鉱石となる酸化銅鉱石は著しく少なく、いくら鉱山を探しても、大きな酸化銅鉱床は日本には見つからなかったのであろう。

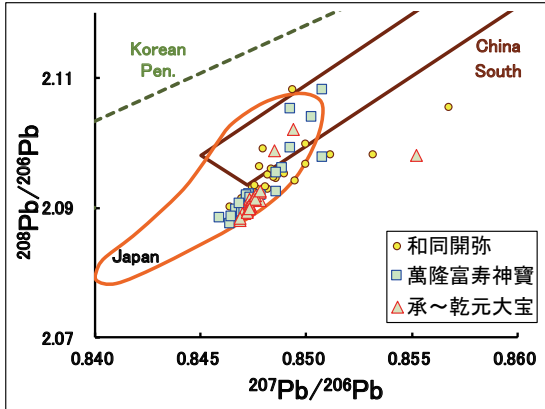


図9A：皇朝十二銭

Fig.9A Twelve Coinages minted in Japan

跡出土の和鏡の2点である。両資料とも和鏡であることから、中国で生産されたとは考えにくく、日本で中国産材料あるいは製品の廃棄物で再製造された可能性がある。しかし、資料の年代が平安時代とされてはいるが、後期であれば日本産材料を利用できずに中国産材料が利用されるようになるので、このような値を示す資料があっても当然かもしれない。

これら資料の中で、長登鉱山に依存する資料は多い。

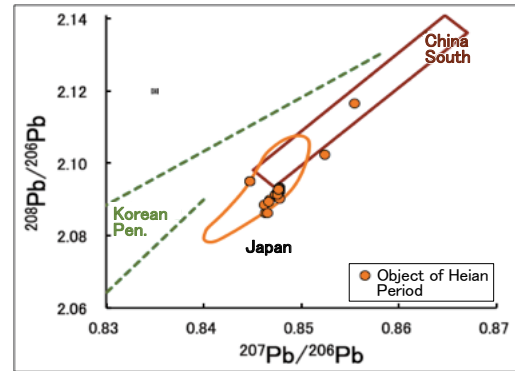


図10A：平安時代の一般資料

Fig.10A Heian Period Objects

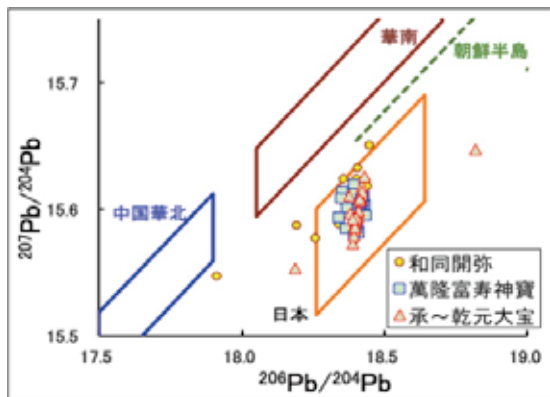


図9B：皇朝十二銭

Fig.9B Twelve Coinages minted in Japan

皇朝十二銭は708年から958年までに発行された12種の銭貨である。図中の●は和同開珎(708年)、■は万年通寶、神功開寶、隆平永寶、富寿通寶、△は承和晶寶、長年大寶、饒益神寶、貞觀永寶、寬平大寶、延喜通寶、乾元大寶を含む。

## D-2 平安時代の一般資料

### (Objects of Heian Period)

平安時代の一般資料の鉛同位体比値を図10A、Bで示す。平安時代の一般資料には火熨斗(ひのし)(平尾1997b)や和鏡、小仏像などが含まれており、日本産材料が多くなる。図10Aで示されるように、華南産領域に位置する資料は茨木県の前田村遺跡出土の和鏡と埼玉県の寺内遺

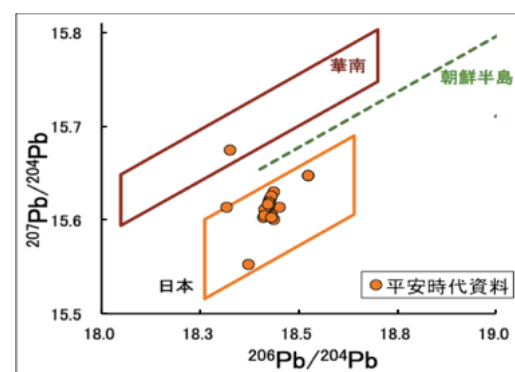


図10B：平安時代の一般資料

Fig.10B Heian Period Objects

## D-3 経筒 (Sutra Cases)

経筒は末法思想の影響で平安時代後期から鎌倉時代に亘って作られたと考えられている。測定した資料数は100以上あるが、その中で年号が記されている約20資料の経筒があるので、それらを図11A、Bとして示す(原田2006、石川2008)。

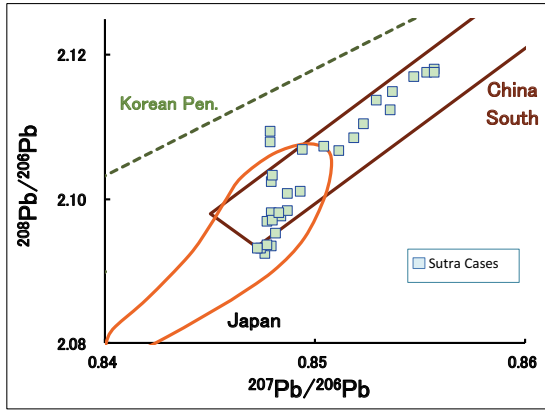


図11A : 経筒分布  
Fig.11A Sutra Cases

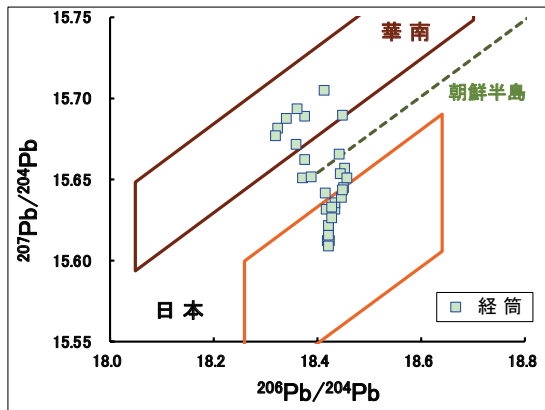


図11B : 経筒の分布  
Fig.11B Sutra Cases

図11A、Bで各経筒の分布位置を確かめ、中国華南産材料を利用している場合、日本産材料を利用している場合、日本と中国産材料を混合している場合という3つのグループに分類し、年号順に並べてみると図12となる。

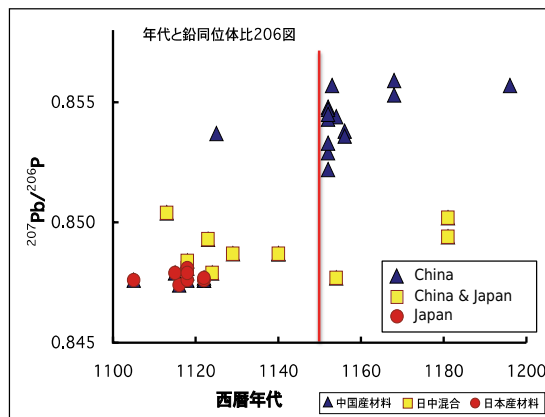


図12 : 経筒の年代と材料産地  
Fig.12 Period and Provenance of Sutra Cases

図12から判断すると、平安時代末期1100年から1140年頃までは日本産の銅が利用されている

と示される。1140～1150年頃になると日本産材料だけで製作された経筒は少なくなり、1150年以降には中国華南産材料が利用されていることが示されている(平尾 2009)。これは先に日本産の銅は原料鉱石が無くなり、銅の生産ができなくなったと述べたが、この無くなった部分を補填するために中国産材料が導入されたことになる。材料の入手経路や地域差の問題もあり、まだまだこの問題は調べる価値があると思われる。

### (E) 鎌倉時代の資料

#### (Kamakura Period Objects)

鎌倉時代の資料としてまとまった資料がないので、全ての資料を一般資料として図13A、Bで示す。一般資料とは鎌倉大仏、雲版、小仏像、和鏡などである。資料の年代が平安時代末～鎌倉時代や11世紀末～12世紀などと表現されている場合があり、時代区分をこの図では表現しきれない。しかし、鎌倉時代になると極端に日本産材料が減り、中国産材料が増えてくるのが実情である。また、鎌倉大仏周辺遺跡から出土した銅滓も同図で示されているが、そのほとんどが華南産材料領域の中央に集中しており、宋銭などが集中している部分と重なっている。これら大仏周辺遺跡は大仏の頭頂部へ向かう斜面上にできていることから、大仏を鑄造するために銅材料を溶解した作業場と推定されている。それ故、大仏は宋銭を主材料として鑄造された可能性が高く、その他の銅製品も同様に宋銭を主材料として作られたと推定される。

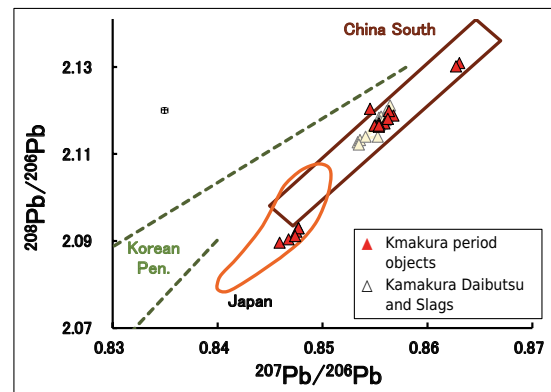


図13A : 鎌倉時代資料  
Fig.13A Kamakura Period Objects

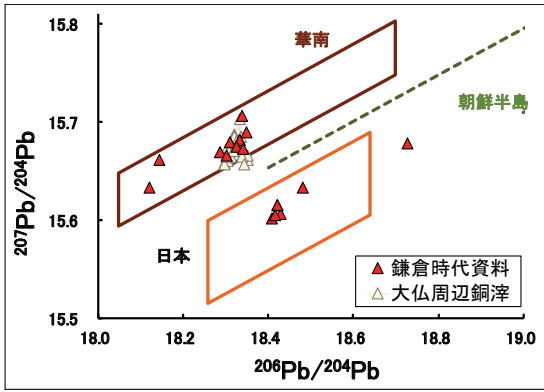


図13B : 鎌倉時代資料  
Fig.13B Kamakura Period Objects

(F) 室町時代前期の資料

(Early Muromachi Period Objects)

室町時代は後期に戦国時代となり、外国産材料が日本へ大量に持ち込まれる。それ故、前期と後期とは社会情勢や経済状態が異なるので、前・後期と分けて説明する。

室町時代前期の資料は図14で示されるように、中国産材料だけでなく、日本産材料も見受けられる。資料数は少ないが、中国と日本産材料が見られることは事実である。

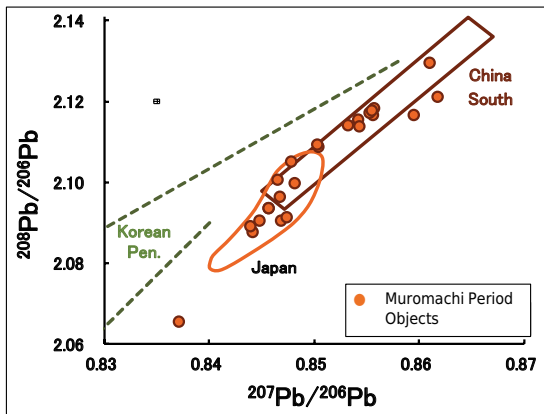


図14A : 室町時代前期資料  
Fig.14A Early Muromachi Period Objects

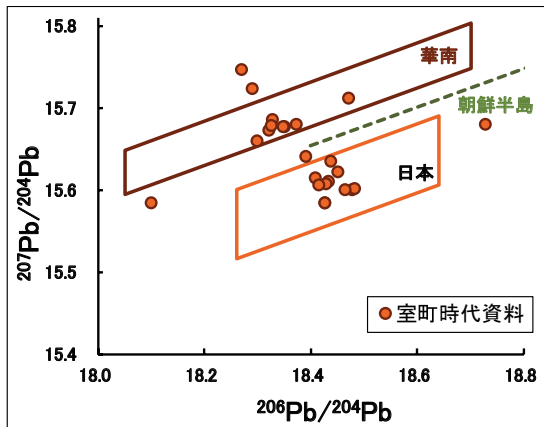
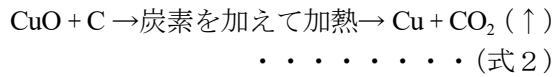
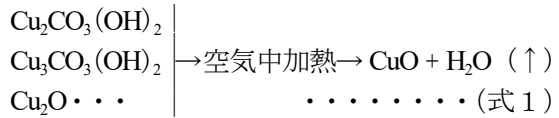


図14B : 室町時代前期資料  
Fig.14B Early Muromachi Period Objects

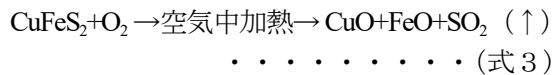
室町時代になって日本産の銅が検出されるようになった事は、室町時代になって日本で銅が生産されるようになったことを示唆する。これは奈良時代から平安時代中頃までは銅を日本国内で生産していたが、その後、しばらくの間は生産できなかった。それが室町時代になってできるようになったのである。これを科学的に考えてみると次のように示すことができる。

奈良時代、平安時代には酸化銅鉱(孔雀石、藍銅鉱など)から銅製錬を進めてきたが、その酸化銅鉱は地質学的にみて日本には非常に少ないため、鉱石が潤渇した。それ故、銅生産ができなくなり、不足分を中国から輸入した。そして、~300年後の室町時代になって中国あるいは朝鮮半島から硫化銅鉱(黄銅鉱、輝銅鉱など)を利用する新しい銅の製錬法が伝来したと考えられる。酸化銅鉱の場合には鉱石に炭素を混合し、加熱すればよかった。硫化銅鉱の場合には炭素を混合し、加熱する方法では銅を得られない。化学式で表すと、酸化銅鉱の場合は式(1)(2)として示される。



酸化銅鉱を利用する場合、鉱石試料は最初、異なる化学組成をしていても、加熱することで酸化銅となる(式1)。この酸化銅を炭素で還元すれば(式2)で、銅金属を得ることができる。

硫化銅鉱の場合は銅と硫黄の結びつきが強く、炭素と共に加熱しても銅を得ることはできない。そこで、もう一工夫必要である。(式3)で示されるように硫化銅鉱を空气中で加熱するのである。そうすると、硫黄は亜硫酸ガス(二酸化硫黄:  $\text{SO}_2$ )として空气中へ放出され、銅は酸化銅となる。



生成された二酸化硫黄は空气中へ逃げ、銅と鉄の酸化物が残る。できた酸化銅を(式2)で炭素還元すれば、銅金属を得ることができる。硫化銅鉱は鉱石として日本に大量あるため、銅生産に利用できる。この方法がどのように中

国、朝鮮半島から伝来したのかは定かではない。しかし、室町時代から急に日本産の銅が出現し、戦国時代～江戸時代を通じて日本の主輸出産業へと行って行く。

この新しい製錬法訪の導入は考古学的な発掘で証明されることが必要であろう。

### (G) 室町時代後期の資料

#### (Later Muromachi Period Objects)

室町時代後期になると南蛮貿易の影響が入ってくる。南蛮貿易はヨーロッパ勢力が1543年以降、日本へ東南アジアやヨーロッパの製品を持ち込み、日本から銅や銀を持ち出すことになる。日本は戦国時代であり、富国強兵策の一環として鉄砲の導入が不可欠で、鉄砲の需要が急速に伸びている時代である。それ故、南蛮貿易の根幹は鉛と火薬の導入であり、絹織物や陶磁器は付加的要素だったろう。火薬は日本で生産されておらず、中国や東南アジアからの輸入に100%頼っていた。また鉛は日本国内で生産されてはいたが1533年に灰吹き法という鉛を用いる銀製錬法が導入され、鉛は銀製錬として必要不可欠であった。それ故に、外国産の鉛は鉄砲用に必要であった。

戦国時代の鉛玉に外国産の鉛が利用された例として、1575年の長篠の戦い（織田・徳川連合軍と武田勝頼軍）、1587年の熊本県三加和町田中城の戦い（九州平定の秀吉軍と反乱軍）、1587年の大友宗麟の居城での戦い（大友氏と島津氏）、1637年の島原の乱（幕府と反乱軍）の鉛玉を挙げる。

#### G - 1 愛知県長篠の戦跡出土の鉛玉

##### (Bullets of Nagashino)

長篠の戦いにおける鉛玉、銅玉は長篠城と白兵戦が行われた設楽原から、今までに45個が発見されており、その鉛同位体比が測定されている。図15A、Bで示す。これをまとめると、

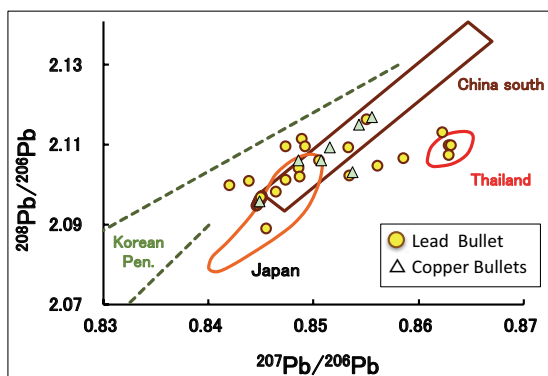


図15A：愛知県長篠の戦跡出土の弾丸  
Fig.15A Bullets of Nagashino

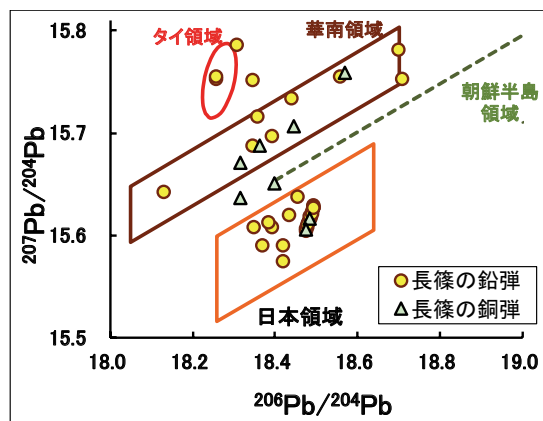


図15B：愛知県長篠の戦跡出土の弾丸  
Fig15B Bullets of Nagashino

表1：長篠の戦いで用いられた鉄砲玉

Table.1 Bullets of Nagashino

地域	鉛玉	銅玉	鉄玉	合計
朝鮮	3	0	0	
日本	24	2.5	0	
中国	3.5	5	0	
タイ	4.5	0.5	0	
不明	1	0	1	
	36	8	1	45

表1で示されるように、鉛玉は日本産材料が主体であるが、全体の約10%がタイ産鉛であり、外国産鉛の総計は30%に及ぶ。長篠の戦いは鉄砲の威力を示した初期の戦いであるが、既にこの時に外国産の鉛が30%にも達していたことは、外国産の鉛を如何に手に入れるかが戦国時代を勝ち抜くために重要な要素だったことを示唆している。東国では南蛮船が来なかったことから、鉄砲隊を十分に組織できなかったと示唆される。

#### G - 2 熊本県田中城跡出土の鉛玉

##### (Bullets of Tanaka)

田中城は秀吉が九州を平定した時に、破壊した城の一つである。田中城の戦いは秀吉軍5万、籠城軍2千とも言われ、圧倒的に秀吉軍が多かった。鉛玉は56個発見されており、鉛同位体比を図16A、Bで示す。おそらくほとんどの鉄砲玉は秀吉軍からの玉であろう。

この図から、鉛玉の産地のまとめとして表2が得られる。表から南蛮貿易で持ち込まれるタイと中国華南産の鉛が50%（未知地域は東南アジアと推定）で、朝鮮半島からの鉛を加えると50%以上が外国産鉛となる。

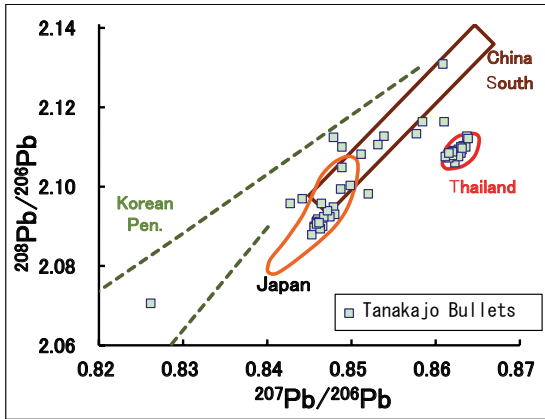


図16A：熊本県田中城跡出土の鉛弾  
Fig.16A Bullets of Tanaka Fort

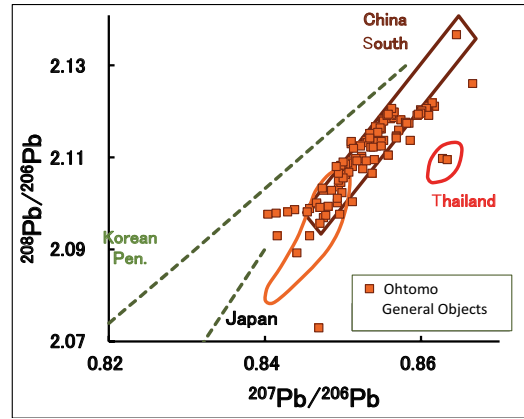


図17A：大分県大友府内町跡出土の一般資料  
Fig.17A Ohtomo General Objects

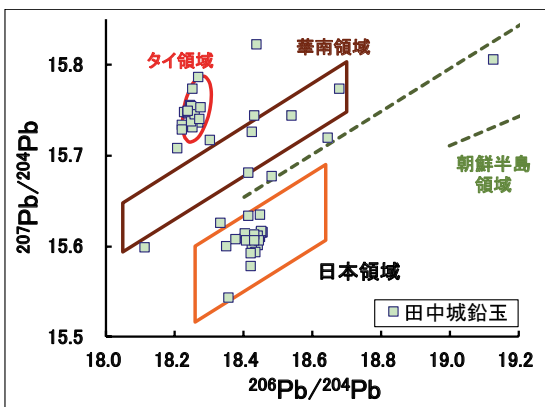


図16B：熊本県田中城跡出土の鉛弾  
Fig.16B Bullets of Tanaka Fort

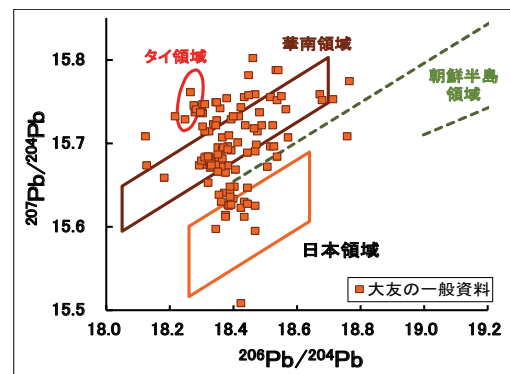


図17B：大分県大友府内町跡出土の一般資料  
Fig.17B Ohtomo General Objects

表2：熊本県田中城跡出土鉄砲玉の産地  
Table.2 Bullet's Provenance of Tanaka Fort

Country	鉛玉数	%
Korean Pen.	3	5
Japan	25	45
China South	6	11
Thailand	21	37
Unknown	1	2
合計	56	100

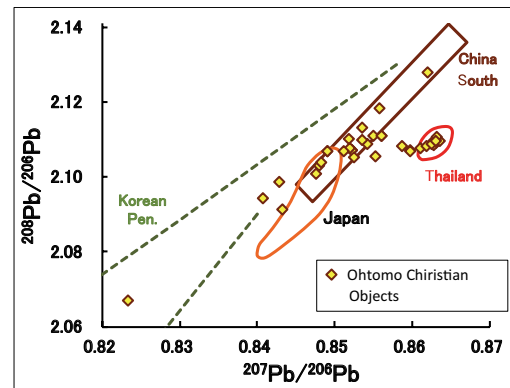


図18A：大友府内町跡のキリスト教関連資料  
Fig.18A Ohtomo Christian Objects

### G-3 大分県府内町跡出土の資料 (Ohtomo General Objects)

大友宗麟は1550年代以降九州大分県を中心に勢力を張った武将である。鉄砲伝来と共に外国貿易を進めて覇を唱えた。1587年に大友の居城があった府内町（現在の大大分市）は島津に攻められて壊滅する。その火災層下の資料が調査された。

図17、図18で示されるように一般資料で約90%、キリスト教関連資料では100%が外国産材料である。

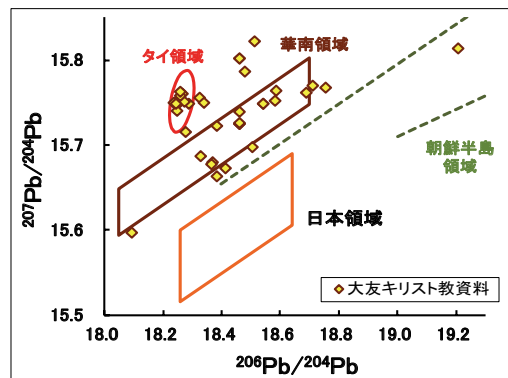


図18B：大友府内町跡のキリスト教関連資料  
Fig.18B Ohtomo Christian Objects

G-4 島原の乱の鉛玉とキリスト教関連資料  
(Lead Bullet of Harajo in Nagasaki and Provenance of Christian Objects)

幕府が長崎でキリスト教徒迫害や、領主の年貢の過酷な取り立てなどの圧政を押しすすめたため、住民、あるいはキリスト教徒が1637年に起こした戦いが島原の乱とされる。反乱軍は島原半島の原城に立てこもり、幕府に応戦したが、鎮圧された。近年になって原城の発掘調査が始まり、当時の遺品が出土している(松本2009)。

i) 鉛玉 (Lead bullet)

発掘された遺品の中に多くの鉛玉が含まれており、その一部の鉛玉に関して鉛同位体比が測定されている。鉛同位体比値を図19A、Bで示す。

島原の乱では幕府軍12万、籠城軍4万とも推定され、発射された鉛玉のほとんどは装備と数でまさる幕府軍の玉と推定される。図から日本産材料よりもタイを含む東南アジアや中国産鉛が多く利用されているように見える。図19Aで日本領域の右上部分に集中し、図19Bで日本領域の中央付近に分布する鉛鉱床として日本では大分県の尾平鉱山、木浦鉱山、宮崎県の土呂久鉱山の鉛が挙げられる。この時代にこれらの鉱山が活発に稼働していたことは知られておらず、同時代のベトナムの銅鼓に類似した値が認められることから、東南アジア産材料である可能性が示唆され、外国産鉛が非常に多く利用されていると推定される。しかし、東南アジア地域の鉛の産地がまだ詳細にはわかっていないので、この図の最終判断はまだ先になる。

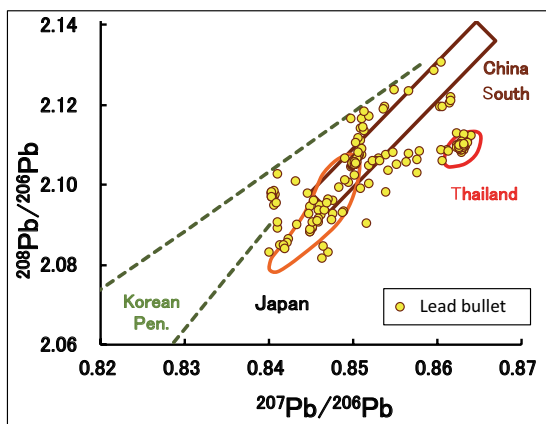


図19A : 長崎県原城跡出土の鉄砲玉  
Fig.19A Lead Bullets of Harajo in Nagasaki

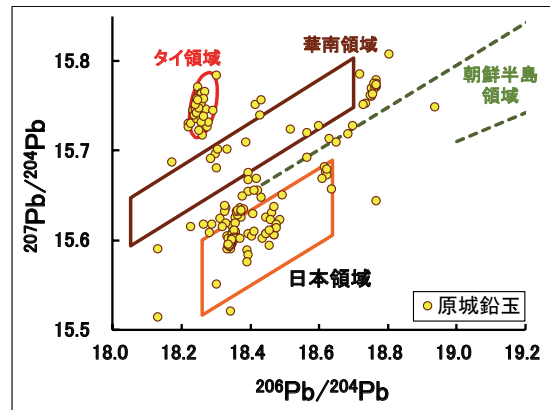


図19B : 長崎県原城跡出土の鉄砲玉  
Fig.19B Lead Bullets of Harajo in Nagasaki

鉄砲玉とキリスト教関連資料を表3にまとめる。鉄砲玉では日本産材料は20%に過ぎず、キリスト教関連資料では日本産材料はさらに低い。

表3 : 長崎県原城跡出土の鉄砲玉とキリスト教関連資料の産地

Table.3 Lead Bullets of Harajo in Nagasaki and Provenance of Christian Objects

Country	Lead Bullet		Christian Ob.	
	Numbers	%	Numbers	%
Korean Pen.	30	15	2	5
Japan	35	18	6	14
China S.	10	5	10	23
Thailand	56	28	15	35
Unknown	69	34	10	23
Total	200	100	73	100

(H) 江戸時代の資料 (Edo Period Objects)

H-1 江戸時代の寛永通宝 (Kan'ei Coin)

江戸時代の資料としてかなりの種類と数が考えられるが、今までにそれ程の種類をまとめていない。寛永通宝に関しては約200点の鉛同位体比が測定されているので、それをまとめる(馬淵1982、斉藤2001、矢野2004)。寛永通宝は1659年までに発行された分を古寛永と呼び、その後の1668年以降に発行された分を新寛永と呼ぶ。その鉛同位体比分布を図20A、Bで示す。図20A、Bの分布から、殆どの資料は日本産材料で作られていると示される。日本が鎖国していたので当然であろう。しかし、古寛永には中国産材料が含まれており、新寛永にはタイ産の材料が含まれているようであるが、それなりに理由はある。ただし、それ程多くはない。

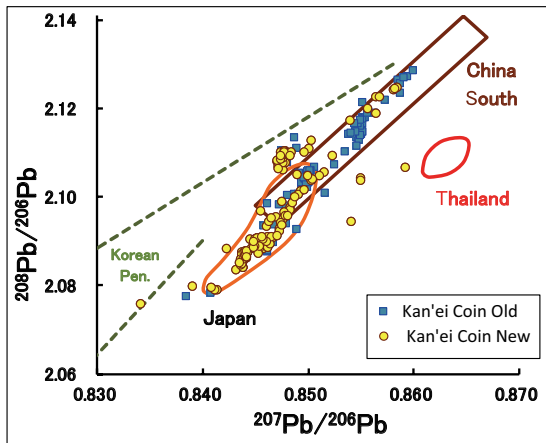


図20A : 江戸時代の寛永通宝  
Fig.20A Kan'ei Coin

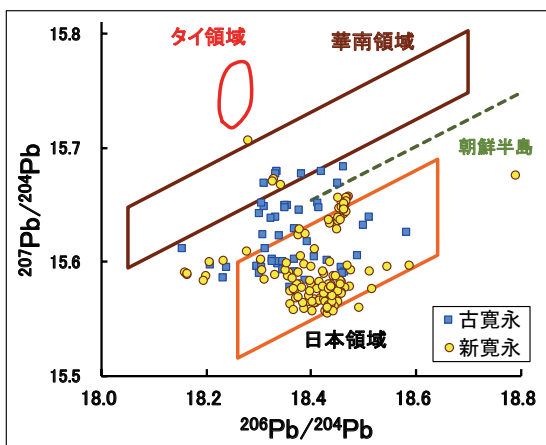


図20B : 江戸時代の寛永通宝  
Fig.20B Kan'ei Coin

代わって幾つかの国の鉛が輸入されるようになる。日本、オーストラリア、その他の国の鉛が混合したために何処の国の鉛であるか判らなくなる。鉛をどの国から輸入するかは政治的な判断であるため、自然科学的には判断できない。

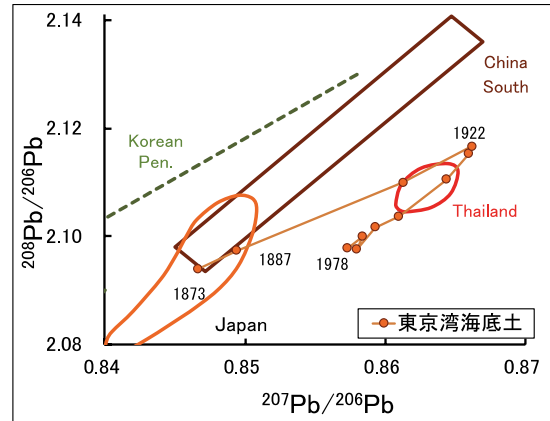


図21A : 東京湾海底土  
Fig.21A Tokyo Bay Sediments

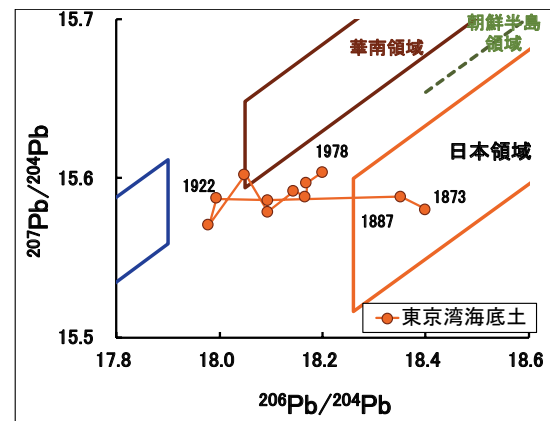


図21B : 東京湾海底土  
Fig.21B Tokyo Bay Sediments

## (I) 明治時代以降の資料

### (Meiji Period Objects)

明治時代以降になると、鉛を含む資料の種類と数は非常に多くなり、まとめきれない。そこで、東京湾の海底土に集められた鉛の同位体比を調べて見る (Hirao 1986)。

#### I - 1 東京湾海底土 (Tokyo Bay Sediments)

東京湾の海底土には東京周辺で使われた鉛材料のある程度の平均値が集まっていると考える事ができ、ある種の平均を示している可能性がある。そこで東京湾海底土の鉛同位体比を図21A, Bで示す。

海底土の年代は  $^{210}\text{Pb}$  で測定され、最深部は1873年である。1887年頃までの資料に外国の鉛の影響が出ているが、それ程顕著ではない。その後、オーストラリアのブローケンヒル鉱山の鉛が導入され、1922年まで海底土に堆積する鉛の同位体比は日本産材料から大きく変化した。その後、オーストラリア鉛は急に来なくなり、

#### 引用・参考文献

- 1) 飯沼賢司：「銭は銅材料となるのかー古代～中性の銅生産・流通・信仰ー」、編者：小田富士雄、平尾良光、飯沼賢司：『経筒が語る中世の世界』、別府大学文化財研究所企画シリーズ-1 (思文閣) p.1-19、2008
- 2) 石川ゆかり・平尾良光：「九州出土経筒の鉛同位体比が語るもの」、『経筒が語る中世の世界』、共編：小田富士雄、平尾良光、飯沼賢司、思文閣出版 (京都)、別府大学文化財研究所企画シリーズ-1、p.35-41、2008
- 3) 齋藤努：日本の銭貨の鉛同位体比分析、「同位体・質量分析法を用いた歴史資料の研究」、斎藤努編、国立歴史民俗博物館研究報告 86集、p.65-128、2001



- 4) 原田一敏・平尾 良光：東京国立博物館所蔵経筒の科学的研究－蛍光 X 線分析、鉛同位体比法分析－、東京国立博物館紀要」41、p.151-250、2006
- 5) Y.Hirao・H.Mabuchi・E.Fukuda・H.Tanaka・T.Imamura・H.Todoroki・K.Kimura・E.Matsumoto: Lead isotope ratio in Tokyo Bay sediments and their implications in lead consumption of Japanese industries, *Geochemical Journal* 20,1-15,1986
- 6) 平尾良光・榎本淳子・早川泰弘・竹中みゆき・内田哲男・加藤千春：「奈良県薬師寺講堂の薬師三尊像に関する鉛同位体比」、『薬師寺講堂重要文化財銅造薬師如来両脇土像修理報告書』（調査編）、薬師寺編集、p.52-75、1997a
- 7) 平尾良光・榎本淳子 早川泰弘：長野県和手遺跡出土の火熨斗の科学的調査、『和手遺跡－カインズホーム建設に伴う緊急発掘調査報告書Ⅱ』長野県塩尻市教育委員会編、p.37-49、1997b
- 8) 平尾良光編「古代青銅の流通と鑄造」、鶴山堂（東京）、p.347、1999a
- 9) 平尾良光・早川泰弘・鈴木浩子：鉛同位体比の分析、「東大寺国宝金銅八角灯籠修理報告書」p.47-63、1999b
- 10) 平尾良光編「古代東アジア青銅の流通」、鶴山堂（東京）、pp344、2001
- 11) 平尾良光：鉛同位体比の測定と分析、「第6巻、弥生・古墳時代、青銅・ガラス製品」『考古資料大観』、森田稔・井上洋一編、小学館（東京）、p.345-368、2003
- 12) 平尾良光：「材料が語る中世－鉛同位体比測定からみた経筒－」、『経筒が語る中世の世界』、共編：小田富士雄、平尾 良光、飯沼賢司、思文閣出版（京都）文化財研究所企画シリーズ－1、p.21-33、2008
- 13) 平尾良光・榎本淳子・鈴木浩子 2013 古墳時代青銅製品の鉛同位体比、考古学雑誌97、p.27-62、2013
- 14) 松本慎二：「原城出土のキリシタン遺物」、『キリシタン大名の考古学』、編集：別府大学文化財研究所・九州考古学会・大分県考古学会編、「別府大学文化財研究所企画シリーズ No. 2」p.102-115、2009
- 15) 馬淵久夫・平尾良光・佐藤晴治 緑川典子・井垣謙三：古代東アジア銅貨の鉛同位体比、考古学と自然科学 15、p.23-39、1982
- 16) 馬淵久夫・江本義理・平尾良光・北田真吾・木村幹：鉛同位体比法による太安萬侶墓誌銅板および武蔵国分寺付近出土銅造仏の原料産地の推定、古文化財の科学 28、p.65-69、1983
- 17) 馬淵久夫・平尾良光：鉛同位体比による水落遺跡出土銅管の原料産地推定、『飛鳥・藤原宮発掘調査報告Ⅳ－飛鳥水落遺跡の調査－』、奈良国立文化財研究所編、p.143-150、1995
- 18) 矢野雅子・平尾良光：稲荷谷近世墓地から出土した寛永通寶の鉛同位体比分析、「国道 502 号改良工事に伴う埋蔵文化財発掘調査報告書」竹田市教育委員会編、p.363-368、2004

## 弥生時代の青銅器の鉛同位体比分析 と ICP 分析

Lead Isotope Analysis and ICP Analysis of  
Bronze Artifacts in Yayoi Period

独立行政法人国立文化財機構  
奈良文化財研究所

NAMBA Yozo  
難波 洋三

### 1 : いくつかの問題点

#### 1. 1 : 鉛同位体比分析における試料の汚染

日本出土の考古資料に鉛同位体比分析が広く実施されるようになった理由の一つは、当初、「本法はほとんど非破壊法と云って差支えない。弥生時代遺跡や古墳から出土する青銅遺物にほとんど常に生じている銹を微量（～1 mg）用いればよいので、遺物からこぼれ落ちる緑色の銹で十分である。」（馬淵・平尾 1982 b）とされたためである。

1984 年に島根県斐川町荒神谷遺跡で出土した銅剣 358 本についても銹を試料として鉛同位体比分析がなされ、銅剣の並び順に従って鉛同位体比が連続的に変化しているという分析結果が得られ、これについて馬淵久夫らは鑄造順を保って銅剣を埋納したとの見解を示した（馬淵ほか 1991・1996）。しかし、鑄造→型ばらし→仕上げ→使用→×印の刻印→埋納、の過程を通じて、鑄造当初の製作順が乱れないように銅剣を保管することは非常に困難である。これは、隣接する銅剣から溶け出した鉛で銹が汚染されたため、見かけ上、このような分析結果となった可能性が高い（難波 2009 a）。

静岡県浜松市前原Ⅷ遺跡出土の三遠式銅鐔については、銅鐔本体からの距離と土壌内の銅・鉛・リン濃度の関係が検討されており（青木 1991）、銅鐔から溶出した鉛の濃度は、銅鐔の外では、銅鐔に接する土壌で約 2.5 mg/g、銅鐔から 2 cm の距離で約 1 mg/g、銅鐔の内では、銅鐔に接する土壌で 5 mg/g 余り、銅鐔から 2 cm の距離で約 3 mg/g と、銅鐔近くではかなり高いことが確認できる。

長野県中野市柳沢遺跡でも青銅器埋納坑とその周辺の土壌中の銅・錫・鉛濃度が測定さ

れており、錫石（SnO<sub>2</sub>）を安定固相として形成し青銅器の表面や近傍にとどまりやすい錫に対し、銅や鉛は地下水に溶け込んで 2 m 程度移動していることが判明している（三ツ井 2012）。

東京国立博物館所蔵の福岡県春日市須玖岡本遺跡出土青銅器の鉛同位体比分析の報告では、銹を試料とした最初の測定では汚染によって測定結果に混乱が生じたという（井上ほか 2002）。

これらを踏まえると、銅剣が多数密着して埋納されていた荒神谷遺跡の場合、銅剣の表面の銹は隣接した銅剣から溶出した鉛の汚染を受けた可能性が高く、その程度は銹の種類や状態、局所的な埋納環境などによって相当異なると考えられる。

また、出土状態が明確でない資料や出土後に長期を経た青銅器については、修理時の補色やハンダの使用などによる汚染を受けた可能性もある。

このような問題を避けるため、鉛同位体比分析には、銹ではなく腐食していない金属部分を使用すべきであり、既発表の鉛同位体比の測定値を使用するにあたっては、測定試料が銹か腐食していない金属部分かに充分注意を払うべきである。特に複数個一括出土した青銅器は、近接した青銅器から溶出した鉛で銹が汚染されている可能性が高く、銹の測定値については取り扱いに注意が必要である。

#### 1. 2 : ICP 分析の問題点

ICP（高周波誘導結合プラズマ）分析は、溶液化した試料を霧状にし、これにプラズマのエネルギーを与えて測定する方法で、励起された含有元素の原子が低いエネルギー準位に戻るときに放出する発光線（スペクトル線）を測定し、発光線の位置（波長）から成分元素の種類を判定し、その強度から各元素の含有量を求める ICP 発光分析と、イオン化した各元素を電場や磁場を用いて分離し、それぞれの濃度を測定する ICP 質量分析がある。

古代の青銅製品を分析する場合は、前者が主要金属の銅・錫・鉛などの分析に適しているのに対し、後者は微量元素の分析に適しており、両者を組み合わせて分析をおこなうことが多い。

## 偏析の影響

青銅器の成分分析では、試料量が少なく偏析の影響が大きくなり、青銅器全体の平均的な組成を知ることが困難となる。ICP分析の場合、偏析の影響を避けるためには腐食していない金属部分の試料が50 mgほど必要であるが、約100 mgの試料を採取して測定を2回おこない、その平均値を使用することが多い。よって、弥生時代の銅鏃のような小型品や、銅銭のような薄手のものについては、成分分析で各元素の正しい含有量を求めることが困難である。

銅鐸の場合、厚さがあり外観への影響が少ない内面突帯に直径5 mm余りの穴を穿って分析試料を採取することが多いが、全高20 cm余りの小型の銅鐸では内面突帯から試料を採取しても鏃が混入することがある。たとえば荒神谷遺跡出土銅鐸の各元素の測定値のwt.%の合計は、2号鐸が88.8%、3号鐸が92.1%、4号鐸が92.0%と、100%を大きく下回っているが、これは分析試料に鏃が混入したためと考えられる。このような試料の分析値は、鏃をほとんど含まない試料の分析値とは同等に扱えない。

大型厚手の青銅器で凝固時間が長い場合などは、重力偏析の影響にも注意が必要である。平尾良光らは荒神谷遺跡出土のC96銅劍について脊の6カ所(C96-A~C96-F)から試料を採取してICP分析をおこない、6カ所の分析値がICP分析の誤差内(3~5%)にあるので、脊部分では偏析の影響で化学組成が大きく変化することはないと結論した(平尾ほか1996)。

ただ、この6カ所の分析値のうち鉛濃度を見ると、鑄造時に上であった部位ほど鉛濃度が低い傾向があり、かつ、最下のC96-Fとその上のC96-EではC96-Fのほうが、鉛濃度がやや低い。これは、C96-Fの位置では銅劍の厚みや幅が小さく凝固時間が短かったため重力偏析の影響が小さく、一方、それより上では凝固時間が長かったため重力偏析の影響がより顕著に表れた可能性がある。

私は重力偏析の影響を確認するために、京都国立博物館所蔵の大分県臼杵市坊主山遺跡出土の1・3~7号広形銅矛について、それぞれ鋒と関で資料を採取してICP分析

をおこなったが、明確な重力偏析の影響は確認できなかった。重力偏析の程度を左右する熔銅の凝固時間の長短は、製品の形状、熔銅の流入状況、鑄型の熱伝導度、鑄型の余熱、製品の大きさなどに影響を受けると考えられ、広形銅矛で重力偏析が確認できなかったのも、これらの要因が関係するのであろう。

いずれにせよ、偏析の影響を小さくするためには、各種の青銅器について試料を採取する部位を同じにする(たとえば銅鐸では内面突帯で採取する)などの工夫も必要となろう。

## 元素の誤比定

まとまった数の弥生時代の青銅器についてICP分析がなされた最初の例は、1996年に報告書が刊行された、前記の荒神谷遺跡出土の銅劍・銅鐸・銅矛である。ICP分析の試料を得るためには、青銅器から相当量の腐食していない金属部分を切削しなければならないこともあり、その後、近年まで弥生時代青銅器の分析例はわずかであったが、その中で注目されるのは、2002年に報告された東京国立博物館所蔵の銅鐸3個とそのうちの2個の銅鐸の鑄掛け部分2箇所のICP分析である。

これは東京国立博物館所蔵の弥生時代青銅器の相当数についての鉛同位体比分析と合わせて報告がなされたもので(井上ほか2002)、使用装置、使用条件、分析者などが記されていないが、分析結果をみると、荒神谷遺跡出土青銅器の分析結果(平尾ほか1996)、島根県雲南市加茂岩倉遺跡出土銅鐸の分析結果(齋藤ほか2016)、その後、私が科研費で実施した分析結果などと比較して、いずれも亜鉛濃度が異常に高い。具体的には、加茂岩倉遺跡出土銅鐸の測定値では0.004 wt.%以下しかない亜鉛濃度が、東京国立博物館所蔵銅鐸の測定値では0.510~0.617 wt.%となっている。この東京国立博物館所蔵銅鐸の測定結果について、私は長く疑問を持っていた。

その後、2008年に二宮修治による佐賀県唐津市桜馬場遺跡出土の巴形銅器と内行花文鏡のICP分析の結果が公表されたが、興味深いことにこの測定値でも、亜鉛濃度が前者は0.48 wt.%、後者は0.44 wt.%と、東京国立博物館の銅鐸の測定値と同じく異常に高く

なっていた。ちなみに、私の科研費による漢鏡 16 面の ICP 分析では、亜鉛濃度が 0.021 wt.% 以下である。巴形銅器は弥生時代後期の日本製、内行花文鏡は後漢時代の中国製であり、製作地が明らかに異なるにもかかわらず共に亜鉛濃度が異常に高いのは、分析に問題があったと考えざるを得ない。おそらく、東京国立博物館所蔵銅鐸の分析の場合も含め、発光線の波長に元素を比定するにあたって間違いがあったのであろう。

このように、いくら精度の高い機器を使用しても、人為的なミスがあれば測定結果は信頼できないものになってしまう。分析に当たっては、それに熟練した機関に依頼する必要がある。また、このような間違いを避けるためには、鉛同位体比分析でおこなわれているように、標準資料を適宜測定して測定値の客観性を保証するといった工夫も、今後は必要となるであろう。

## 2：鉛同位体比分析と ICP 分析からわかったこと

### 2. 1：遺物の考古学的研究の深化の重要性

鉛同位体比分析や ICP 分析の結果は、遺物の正確で詳細な分類や編年と合わせて検討することで、初めて歴史的な解釈に結びつけることができる。たとえば、銅鐸や後漢鏡については近年の研究で製品の工房ごとの特長が判明しており、今後、そのような正確で詳細な最新の考古学的研究の成果と化学分析の結果を合わせて検討することで、原料金属の入手状況の工房ごとの異同なども解明できるはずである。

遺物の編年の正しさが、科学分析の結果によって検証できることもある。たとえば、鉛同位体比分析の成果と佐原真による銅鐸の分類・編年はよく整合しており、その正しさを裏付けることになった(馬淵・平尾 1982 b)。ただし、佐原分類にも問題点があり、私はこれを改訂・細分した(難波 1986・1991・2011 b ほか)。なお、改訂にあたって佐原の型式名称を踏襲してはいるが分類基準が異なっているため、比定型式が佐原と異なる銅鐸も相当数あることに注意が必要である。鉛や銅の朝鮮半島産から中国産への移行状況や、鉛の前漢鏡タイプ(A領域)から画一的な前漢

鏡タイプ(a領域)への移行状況などの詳細な検討にあたっては、だれの分類・編年案を採用するかが大きな問題となる。

佐原分類の改定の正しさを化学分析の結果によって確認できた例の一つに、私が摂津の東奈良遺跡とその付近で製作されたと考える外縁付鈕式の銅鐸群(縦型流水文銅鐸と三対耳四区袈裟襷文銅鐸)の場合がある。佐原はこれらの銅鐸の多くを外縁付鈕1式に比定したが、私は舞の型持の数が身の上半の型持の位置などに着目して、そのほとんどを外縁付鈕2式と考えた(難波 1986・1991)。

その後の鉛同位体比の測定例の増加により、これらの銅鐸はいずれも前漢鏡系の鉛を含んでいることが判明し、私の分類・編年の正しさを裏付けることができた。製作数や原料金属の入手・使用量からみて、東奈良遺跡とその付近は周辺的な製作地であり、摂津産の外縁付鈕2式銅鐸が古い特徴を多く残しているのは、これと関係すると考えられる。

### 2. 2：鉛の産地

#### **朝鮮系遺物タイプから前漢鏡タイプへの移行の様相**

馬淵・平尾による鉛同位体比分析の成果により、銅鐸に含まれる鉛は、朝鮮半島系遺物タイプ(Dライン)→前漢鏡タイプ(A領域)→画一的な前漢鏡タイプ(a領域)、と変化したことが判明した(馬淵・平尾 1982 b ほか)。

外縁付鈕1式銅鐸には、朝鮮半島系遺物タイプの鉛を含むものが多いが、前漢鏡タイプの鉛を含むものもある。これについては、朝鮮半島系遺物タイプから前漢鏡タイプへの鉛の変化が漸移的で2種の鉛が長期間併存したと考えるか、外縁付鈕1式末に短期間で前者から後者へと移行したと考えるか、二つの解釈がありうる。私は、外縁付鈕1式で前漢鏡タイプの鉛を使った銅鐸の多くは飾耳や文様構成に新しい特徴を確認できるので、銅鐸では鉛が朝鮮半島系遺物タイプから前漢鏡タイプへと外縁付鈕1式末に短期間で移行したと考えている(難波 2011 b)。

なお、前記の二つの解釈のいずれが正しいかを明らかにするためには、朝鮮半島系遺物タイプと前漢鏡タイプの鉛の混用例がどの

程度あるのかを確認することも重要となるが、この混用の有無を鉛同位体比分析の結果だけで判断することは難しい。なぜなら、同位体比の異なる二種の鉛の混合物の同位体比は、A・B式図では両者を結ぶ直線上に位置するが、朝鮮半島系遺物タイプの鉛の同位体比は前漢鏡タイプの鉛の領域（A領域）に向かって延びる長い直線（Dライン）をなして分布するので、朝鮮半島系遺物タイプと前漢鏡タイプの鉛を混ぜて使っても、前漢鏡タイプの鉛の比率が低い場合や、朝鮮半島系遺物タイプの鉛がA領域から遠く離れた同位体比を持つ場合は、混合物の同位体比はDライン上に位置することになるからである。

朝鮮半島産と中国産の原料金属の混用の有無を判断するためには、ICP分析の結果、中でもヒ素やアンチモン濃度を合わせて検討することが有効である。たとえば、荒神谷遺跡の14本の中広形銅矛のうち、4・5・10号は朝鮮半島系遺物タイプの鉛を使っていることが同位体比分析で判明している（馬淵ほか 1996）。ところが、これらの中広形銅矛は、ヒ素とアンチモンを、朝鮮半島系遺物タイプの鉛を含む菱環鈕式銅鐸や外縁付鈕1式銅鐸に比して、ずっと高い濃度で含んでいる。これは、朝鮮半島系遺物タイプの鉛を含む原料のみを使ったのではなく、これと前漢鏡タイプの鉛を含む原料を混ぜて使ったことを示しているであろう（難波 2009a）。

同じ荒神谷遺跡出土の中広形銅矛のうち、8・13号は、鉛同位体比が朝鮮半島系遺物タイプと前漢鏡タイプの間値となっており、これを根拠として、両者の鉛を含む原料を混ぜて使った可能性がすでに指摘されている（馬淵ほか 1996）。この2本についてはヒ素とアンチモン濃度が4・5・10号に比べて高いことから、前漢鏡タイプの鉛を含む原料への朝鮮半島系遺物タイプの鉛を含む原料の混入が、4・5・10号に比べて少なかったと考えられる（難波 2009a）。

この2本を含めれば、荒神谷遺跡の14本の中広形銅矛のうち5本、すなわち4割近くが、前漢鏡タイプの鉛を含む原料に朝鮮半島系遺物タイプの鉛を含む原料を多少なりとも混ぜて使ったことになる。ただし、荒神谷遺跡出土品の同位体比については、前記のよう

に汚染の問題があり、金属部分を試料とした測定とそれを踏まえた再検討が、今後必要となろう。

### 前漢鏡タイプから画一的な前漢鏡タイプへの移行の様相

銅鐸の型式学的研究の進展、特に銅鐸群の詳細な動向の解明により、近畿式・三遠式銅鐸の成立過程が明確になった（難波 2007・2011a）。具体的には、①佐原が、近畿式銅鐸は突線鈕2式で成立するのに対し三遠式銅鐸はそれよりやや遅れて突線鈕3式で成立するのに対し、三遠式銅鐸も突線鈕2式で成立すること、すなわち近畿式銅鐸と三遠式銅鐸は同時期に成立したこと、②突線鈕1式と2式の製作時期が大きく重複しており、近畿式・三遠式銅鐸出現前夜の状況を検討するためには、突線鈕1式と2式を合わせて検討する必要があること、③近畿式・三遠式銅鐸の成立直前の突線鈕1・2段階には銅鐸群が5群あり、各群の製作数や原料入量は大きな差がなかったこと、すなわち、銅鐸分布圏内には近畿式・三遠式銅鐸成立直前に独自の特徴を持つ銅鐸を製作する有力な地域勢力5つあり、それらの力関係には明確な優劣がなかったこと、そしてそれらの銅鐸群が統合されて近畿式銅鐸や三遠式銅鐸が成立したこと、④この段階で原料金属の流通状況にも大きな変化があったこと、以上などが判明した。

この段階の銅鐸群についての以上の分析成果を踏まえ、近年の測定例も加えて突線鈕1・2式の銅鐸の鉛同位体比を再検討しよう（難波 2011a）。

近畿式・三遠式銅鐸成立前の突線鈕1・2式で、鉛同位体比が測定されているのは11個である。そのうち、近畿式銅鐸や三遠式銅鐸の鉛と同位体比が近似する鉛を含む例は、岡山県草ヶ部鐸、徳島県源田1号鐸、奈良県石上1号鐸、以上の3個のみで、東海派C類の伝淡路出土辰馬考古資料館409鐸・愛知県小島鐸、迷路派流水文銅鐸A類の島根県中野1号鐸・出土地不明辰馬410鐸・岡山県妹鐸、横帯分割型D類の福井県新町鐸、石上型の伝推定奈良県内出土辰馬考古資料館406鐸・奈良県石上2号鐸、以上の8個は、これとは異

なる領域の同位体比の鉛を含む。

すなわち、近畿式・三遠式銅鐸の成立直前には近畿式銅鐸や三遠式銅鐸に含まれている画一的な同位体比を持つ前漢鏡タイプの鉛（a領域の鉛）は、まだまとまって入るようになっておらず、また、特定の銅鐸群にそれが集中することもないのである。特に、この段階の11個の銅鐸の中でも製作が新しい岡山県妹鐸や福井県新町鐸が、近畿式銅鐸や三遠式銅鐸とは異なる、同位体比がA領域の鉛をまだ含んでいることは、注目してよいであろう。

成立直後、すなわち突線鈕2式段階の近畿式・三遠式銅鐸で鉛同位体比が測定されているのは、近畿式の高知県正善鐸、岡山県高塚鐸、和歌山県晩稻鐸、三重県高茶屋1号鐸、静岡県才四郎谷鐸、三遠式の滋賀県大岩山1881年出土辰馬考古資料館445鐸、静岡県前原鐸、以上の7個であるが、すべてa領域の画一的な同位体比の前漢鏡系の鉛を含んでいる。

このように、銅鐸群についての前記の分析を踏まえた検討でも、近畿式・三遠式銅鐸の成立とa領域の画一的な同位体比の前漢鏡系の鉛の大量流入の開始が連動していることは明らかである。

北部九州製の銅矛の場合はどうであろうか。中広形銅矛で鉛同位体比が測定されているのは54本で、同位体比がほぼa領域の鉛を含む例は約10本である。一方、広形銅矛は、鉛同位体比が測定された39本中37本が、ほぼa領域としてよい画一的な同位体比の鉛を含む。また、広形銅矛を脊に鎔を鋳出す古式とこれを鋳出さない新式に分けて検討しても、a領域の画一的な同位体比の鉛を含む個体の比率に明確な差はない。よって、広形銅矛の成立とほぼ時を同じくして、鉛に前記の変化があったと考えられる。

以上により、近畿式銅鐸、三遠式銅鐸、広形銅矛の成立と、画一的な同位体比の前漢鏡系の鉛（a領域の鉛）の大量流入の開始が同時期に起こったことを再確認できた。おそらく、近畿を中心とした地域と東海地方でそれぞれ新たな集団関係が生まれ、それに伴って東海・近畿・北部九州の地域間の関係や中国との関係も整備され、その結果、画一的な原

料金属がまとまって入手できるようになったのであろう。

なお、岡山市高塚遺跡出土の棒状青銅製品が、近畿式銅鐸や三遠式銅鐸の原料として使われた出来合いの青銅インゴットの実例であるとする説が流布している。この棒状青銅製品は、鋳造後に丁寧に加工している。しかし、普通、労力を使う上に金属を損失する鋳造後の加工を金属インゴットにすることはない。また、金属インゴットは、通常、開放型単范で鋳造し、この棒状青銅製品のように両面鋳型で鋳造することはあまりない。開放型単范で鋳造すれば鋳造後の湯口やバリの切除などの加工が不必要であり、金属の損失も防げるからである。以上から、私は高塚遺跡出土の棒状青銅製品がインゴットである可能性は低いと考える（難波 2007・2011a）。

## 2. 3：銅の産地

馬淵・平尾らによる鉛同位体比分析によって、弥生時代の青銅器に含まれている鉛の産地とその変化については明確になったが、その後も青銅器の主原料の銅については国産の自然銅を使用したとする説と輸入説が長年対立してきた。

そして、このいずれの立場をとるかは、銅鐸の製作が始まる弥生時代中期に遡って、近畿を中心とする地域が朝鮮半島や中国につながる長距離交易のネットワークを安定的に維持しようとする発展段階に達していたのか、そうではなかったのかという評価と連動しており、さらには邪馬台国の所在問題や、ヤマト王権成立に畿内が主導的な役割を果たしたのか、そうでなかったのかという、考古学的に非常に重要な議論にも影響することになる。

また、外縁付鈕1式末以降、銅鐸の原料金属の鉛と銅がいずれも中国からの輸入品であるとすれば、当然その交易ネットワークを通じて弥生時代中期からすでに鉄を安定的に入手することも困難ではなかったことになり、いわゆる近畿の「見えない鉄器」問題にも影響を与えることになる。

この問題を検討するにあたって大きな障害となってきたのは、弥生時代や中国・朝鮮半島の同時代の青銅器の微量元素を含めた精度の高い成分分析例が極めて少なかったことで

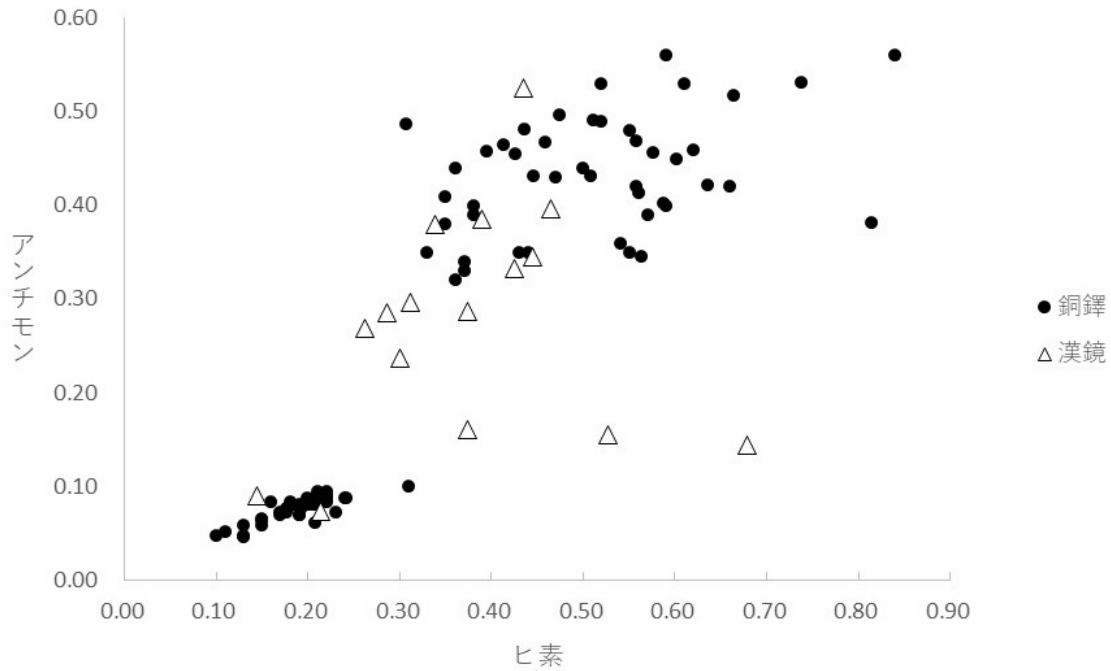


図1 銅鐸・漢鏡のアンチモン・ヒ素濃度  
Fig.1 Scatter diagram of Sb vs As concentration of "Dotaku" and Han mirrors

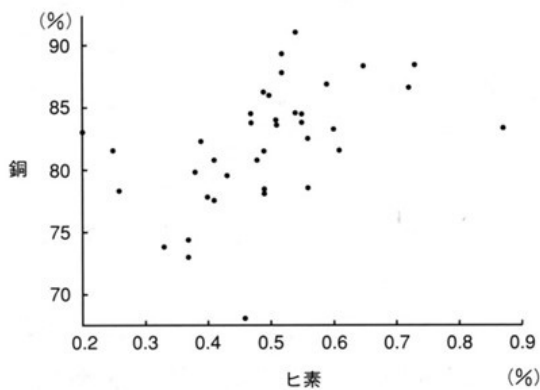


図2 荒神谷銅剣の銅・ヒ素濃度 (難波 2009a)  
Fig.2 Scatter diagram of Cu vs As concentration of bronze swords excavated from Kojindani site (Namba 2009a)

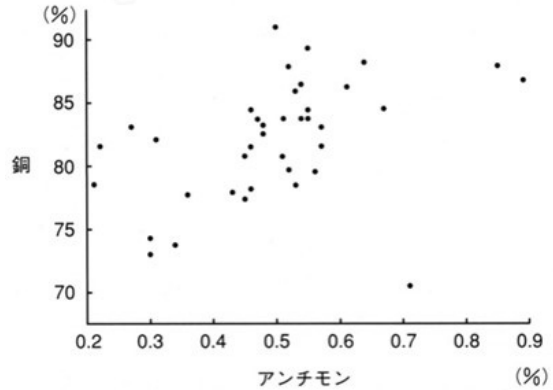


図3 荒神谷銅剣の銅・アンチモン濃度 (難波 2009a)  
Fig.3 Scatter diagram of Cu vs Sb concentration of bronze swords excavated from Kojindani site (Namba 2009a)

ある。荒神谷遺跡出土青銅器についての ICP分析は、まとまった数の弥生時代青銅器に対し精度の高い成分分析がなされた魁であり、その成果を踏まえて平尾が先駆的な検討をしたが (平尾ほか 1996)、当時はまだ荒神谷出土青銅器と同じ精度で成分分析をした、他遺跡出土の弥生時代の青銅器や同時代の中国や朝鮮半島で出土した青銅製品がなく、検討には限界があった。その後発見された加茂岩倉遺跡出土銅鐸については、銅・錫・鉛の主要3元素の分析値のみが 2007 年に公表されたが (肥塚ほか 2007)、微量元素も含む値は 2016 年になってようやく公表された (齋藤ほ

か 2016)。これによって、微量元素を含めて弥生時代の青銅器の成分を検討するための基礎データは、ようやく充実してきたといえる。

これとは別に、私は弥生時代の青銅器の銅の産地問題を考えるにあたって、青銅中の微量元素濃度の正確な測定が特に重要であると考へ、2011 年より科研費などによって京都国立博物館・辰馬考古資料館・兵庫県立考古博物館などの所蔵する銅鐸をはじめとする弥生時代の青銅器や鳥取県内出土の弥生時代の青銅器の ICP分析を鉛同位体比分析と合わせて実施するとともに、その分析結果と比較検討するために漢鏡 16 面をはじめとする中国

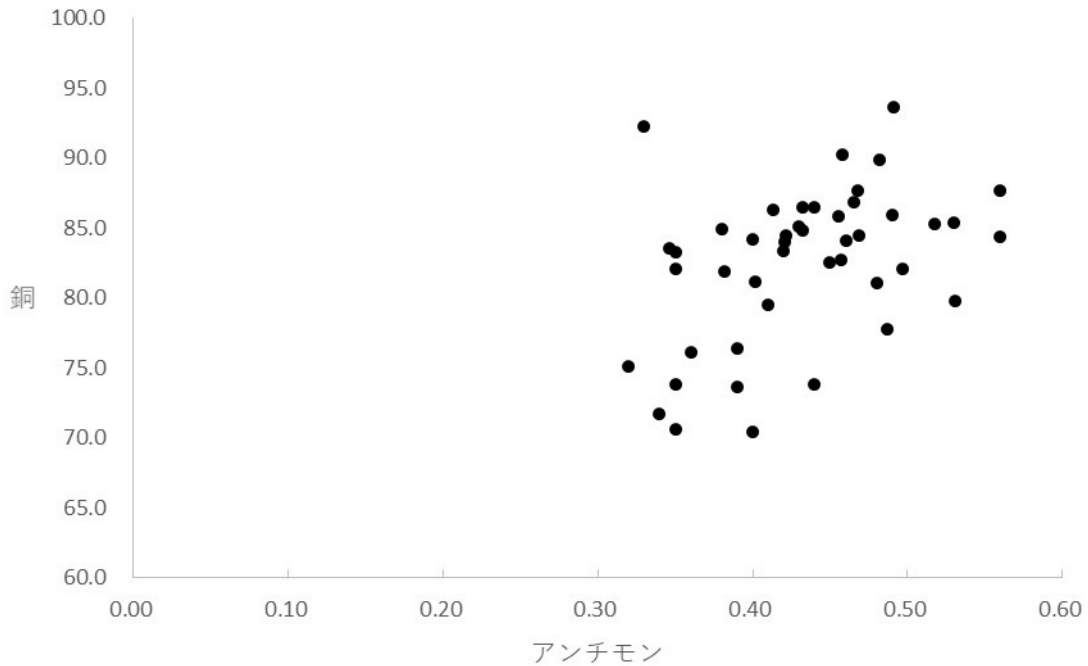


図4 前漢鏡系の鉛を使った銅鐸の銅・アンチモン濃度

Fig.4 Scatter diagram of Cu vs Sb concentration of “Dotaku” containing the same type Pb as former Han mirrors

古代の青銅製品についても同様の分析をおこなった。これによって、弥生時代の青銅器の鉛だけでなく銅についても、一貫して輸入品であったとの見通しを得た。以下、その概要を説明する。

弥生時代の青銅器の主原料である銅の産地を検討するにあたって特に注目されるのは、ヒ素とアンチモンの濃度である。外縁付鈕1式末より古い、朝鮮半島系遺物タイプの鉛を含む銅鐸は、以後の前漢鏡タイプの鉛を含む銅鐸に比してヒ素・アンチモン濃度が低い。そして、両者のアンチモン濃度には、明確な不連続がある(図1)(難波 2009 a・2009 b・2012)。

この弥生時代の青銅器に含まれるヒ素とアンチモンの由来については、以下のように考える。荒神谷遺跡出土銅剣358本のうち、50本についてはICP分析がなされている。これらの銅剣はすべて中細形銅剣c類で、同じ工人集団が同時期に作ったと考えられる。また、錫濃度・鉛濃度の個体差が大きいことも、以下の検討に役立つ。さらには、同じ機関で同じ機器を使用して同時期に測定をしている点も、測定値の詳細な検討に適している。この50本のうち前漢鏡タイプの鉛を含む37本のICP分析の結果を検討すると、銅濃度が高くなるほどヒ素とアンチモンの濃度も高く

なること、一方、鉛・錫についてはそれらの濃度が高くなるほどヒ素およびアンチモンの濃度が低くなることを確認できる(図2、3)。すなわち、前漢鏡タイプの鉛を含む中細形銅剣c類においては、ヒ素およびアンチモンが、銅・錫・鉛のうち、銅に最も高濃度で含まれていたことになる(難波 2009 a)。また、この50本の銅剣の銅濃度は平均で82.2%であることを考え合わせれば、銅剣に含まれているヒ素とアンチモンのほとんど、すなわち約8割以上が銅由来となる。

既発表の測定結果に私の科研費で実施したICP分析の結果を加えて、前漢鏡タイプの鉛を含む銅鐸について銅・錫・鉛とヒ素・アンチモンの濃度の相関を確認した。その結果、銅・錫・鉛とヒ素の濃度の相関は明確でなかったが、アンチモンについては、銅濃度が高くなるほどアンチモン濃度が高くなること、錫濃度が高くなるほどアンチモン濃度が低くなることを確認でき、銅鐸についてもアンチモンのほとんどが銅由来のものであることが判明した(図4)。

銅鐸に比して荒神谷遺跡出土銅剣は、銅・錫・鉛の濃度とヒ素・アンチモンの濃度の相関が明確であるのは、荒神谷銅剣が前記のようにすべて中細形銅剣c類で、同じ工人集団が短期間で製作した可能性が高く、同時期の



限られた鉱山の原料金属を使ったと推定できることと関係するのであろう。今後、測定値が増加すれば、銅鐸についても、型式や群を限定した比較が可能となり、そのような条件が整えば、ヒ素の濃度と銅・錫・鉛の濃度の相関もより明確になる可能性がある。

以上の検討で、前漢鏡系の鉛を含む銅鐸中の少なくともアンチモンについても、そのほとんどが銅に由来することが確認できた。そして、前記のように、アンチモンの濃度が外縁付鈕1式末までは非常に低かったが、外縁付鈕1式末以降は高くなり、両者の間に明確な不連続があることから、この時期に銅の産地が変化したと推定できる。さらに、この銅の産地の変化が鉛の朝鮮半島産から中国産への変化と連動していることから、銅についても朝鮮半島産から中国産に変化したと推定できるであろう。

また、アンチモン濃度が朝鮮半島系遺物タイプの鉛を含む銅鐸と前漢鏡タイプの鉛を含む銅鐸でまったく異なっており、両者の中間的な濃度となった例が現状ではないことは、朝鮮半島産の銅と中国産の銅を混用することが銅鐸では基本的になかったことを示している。すなわち、朝鮮半島産の銅から中国産の銅へと短期間で移行したこと、菱環鈕式や古式の外縁付鈕1式を鑄潰して外縁付鈕1式末以降の銅鐸の原料の一部とすることが基本的になかったことを、そこからは推定できる。

弥生時代の青銅器の原料として国産の自然銅のみあるいは相当量の自然銅を使ったとの説を積極的に唱えたのは、久野雄一郎であった(久野 1979・1985・1986)。久野の主張の主要な根拠は、氏が大阪府羽曳山鐸の破面や研磨面で確認した赤銅鉱の結晶を、原料の自然銅に共生した赤銅鉱が熔けきれずに残ったと判断したことにある。しかし、赤銅鉱の結晶は、青銅器の緑青錆の下や空隙などに普遍的に観察できる。久野が確認した赤銅鉱も、青銅器から溶出した銅が酸素と結びついて結晶となったものと考えられる(馬淵・平尾 1982 b)。

そして、久野は、氏が弥生時代の青銅器の主原料と考えた自然銅がヒ素やアンチモンを含んでいないにもかかわらず、自ら分析した大阪府羽曳山鐸を含め、日本出土の古代の青

銅製品が両元素を普遍的に含んでいることについては、ヒ素は熔銅の流れをよくするために加えたものであり、アンチモンはヒ素と共生したものが混入したと説明し、矛盾の解決を図った。

さらに、甲賀宜政・道野鶴松の分析成果を引用し、中国古銭にはヒ素とアンチモンは含まれていないので、中国古銭を鑄つぶして銅鐸などを鑄造したことは考えられない、とも記している。しかし、久野自身が分析した五銖銭には、ヒ素が 0.21%、アンチモンが 0.008%含まれており、この矛盾について久野が検討を深めることはなかった。

また、久野は、中国古代青銅器の分析例を見ると鉄・鉛の含有量が日本の青銅器に比べて多いので、中国青銅器を鑄つぶして日本の青銅器を鑄造するためには、金属銅を添加する必要があるとし、自説の補強を図っている。ここで久野が中国古代青銅器の鉄濃度が高いとしたのは、自らの五銖銭の分析値や道野の中国古銭の分析値を根拠とするようである。

しかし、久野が参考文献としてあげた田辺義一の論文(Tanabe 1962)によって、漢鏡など中国の青銅製品には弥生時代の青銅器と同程度のヒ素やアンチモンを含むものが多いこと、漢鏡の鉄・鉛濃度が銅鐸のそれと大差ないことなどは、豊富な分析例で容易に確認できたはずである。ところが、この田辺の分析成果について、久野はまったく言及していない。

結果として、久野は羽曳山鐸に発見した赤銅鉱が国産自然銅に由来するとの自説を固守するため、不正確なものを多く含む都合の良い分析値を使用し、弥生時代の青銅器に含まれるヒ素やアンチモンなどについて、誤った解釈に導かれてしまったといえる。なお、弥生時代の青銅器に含まれている 0.6%以下のヒ素やアンチモンでは、青銅の凝固温度のそれほどの低下は期待できない(難波 2012)。

久野をはじめとする多くの研究者が弥生時代の青銅器の原料金属について誤った解釈に導かれた最大の原因は、関係資料の正確な成分分析例が不足していたことにある。そこで、前記のように、近年、私は弥生時代の青銅器や漢代の青銅製品の ICP 分析を積極的におこなっている。その結果、漢代の青銅製品は、

外縁付鈕1式末以降の銅鐸などと同程度の濃度のヒ素やアンチモンを含んでいることが明確となった(図1)。これと前漢鏡タイプの鉛を含む銅鐸や銅劍のヒ素・アンチモンのほとんどは銅の不純物である、鉛が朝鮮半島産から中国産へと変化するのと連動して銅の産地も変化するという前記の検討結果を考え合わせれば、外縁付鈕1式末以降の銅鐸などに含まれている銅は中国産と考えるべきであり、国産の自然銅を大量に使ったとする久野説が成立しないことは明確である。

なお、漢鏡のヒ素・アンチモン濃度が銅鐸のそれよりも全体としてやや低いのは、漢鏡は錫濃度が22~24%と銅鐸よりも高いため、錫・鉛よりもヒ素とアンチモンを高濃度で含んでいる銅の濃度が低くなっていることに起因するのであろう。

また、漢鏡のヒ素・アンチモン濃度は、弥生時代の青銅器のヒ素・アンチモン濃度よりもばらつきがある。これは、弥生時代には中国産の原料金属を基本的に朝鮮半島を経て入手したため、結果として中国内の限定された地域の原料金属を使用することになったことを反映していると考えられる。弥生時代の新式の青銅製祭器、すなわち近畿式銅鐸、三遠式銅鐸、広形銅矛の鉛が前漢鏡系のものであり、後漢鏡系の鉛は使っていないことも、このような流通状況と関係する可能性が高いが、庄内式期の上限年代が遡上することと連動し、銅鐸などの製作年代の下限が古くなることと関係する可能性も、慎重に検討する必要がある。

弥生時代に、銅鐸の原料金属の銅・錫・鉛は、どのような形で流通していたのであろうか。佐賀県唐津市久里大牟田遺跡と福岡県八女市野田遺跡で朝鮮半島産の鉛で鑄造したと考えられる中細形の鉛矛が出土していること、吉野ヶ里遺跡妙法寺地区で中期前半の土器とともに錫塊が出土していることを考えれば、朝鮮半島産の原料金属を使っていた段階においては、原料金属は合金ではなく単体で流通することが多かった可能性が高い。

外縁付鈕1式の兵庫県桜ヶ丘1号鐸とその同範銅鐸の計5個では、一番目の兵庫県桜ヶ丘1号鐸、二番目の出土地不明辰馬405鐸、三番目の滋賀県新庄鐸、以上の3個は鉛同位

体比がほぼ一致しており、同じ材料を使って鑄造した可能性が高いという(平尾ほか2003)。1~3番目の銅鐸の合計重量は約16.5kgであるが、重量が16.5キログラムもある朝鮮半島産の同時期の青銅器はないので、輸入した1個の青銅器を3個の銅鐸に改鑄することは不可能である。この点からも、この段階ですでに金属地金を原料として使用していたと考えられる。そして、鉛濃度を7%とすると、同位体比が同じ鉛が1.1kg以上あったことになる。

一方、同じ外縁付鈕1式の、松帆2・4号鐸、松帆3号鐸と加茂岩倉27号鐸、舌4・7、加茂岩倉4・7・19・22号鐸、加茂岩倉6・9号鐸、加茂岩倉14・33号鐸は、同範であるが鉛同位体比がかなり異なる。これらの例の多くでは、同位体比の同じ鉛あるいはそれを含む合金が、それほどまとまった量はなかったようである。すなわち、同じ外縁付鈕1式段階でも、原料金属のロットの大きさには、かなりばらつきがあった可能性がある。今後、同範銅鐸の鉛同位体比の正確な測定例が増加すれば、使用した原料金属の大きさなどを、より正確に推定できるようになると期待できる。

鉛が単体で流通していたか、銅や錫との合金の形で流通していたかについては、次の方法でも確認できるであろう。前記のように同範の兵庫県桜ヶ丘1号鐸、出土地不明辰馬405鐸、滋賀県新庄鐸は、ほぼ同じ同位体比の鉛を使っているが、これらの銅鐸の成分分析のデータが揃い、銅や錫と鉛の濃度比が同じであれば鉛は合金の状態、異なれば鉛単体として、流通していたことになる。

なお、銅鐸に含まれる鉛が朝鮮半島産から中国産に変る原因については、紀元前108年の漢による楽浪郡設置をその契機とする説が有力であったが、弥生時代の各期の実年代が大きく遡るようになった現状を踏まえれば、別の歴史的要因を検討する必要がある。

#### 引用・参考文献

- 1) 青木繁夫：前原銅鐸保存処理について「浜松市博物館館報」Ⅲ、浜松市博物館、1991

- 2) 新井宏：三角縁神獸鏡の微量成分問題—泉屋博古館の解析方法には重大な誤り—、「季刊邪馬台国」第 87 号、梓書院、2005
- 3) 井上洋一・松浦宥一郎・平尾良光・早川泰弘・榎本淳子・鈴木浩子：東京国立博物館所蔵弥生時代青銅器の鉛同位体比「MUSEUM」第 577 号、東京国立博物館、2002
- 4) 岩永省三：考古学からみた青銅器の科学分析「月刊考古学ジャーナル」No.470、2001
- 5) 川本耕三・山田卓司・魯禎玆・平尾良光・二宮修治：第IV章 佐賀県唐津市桜馬場遺跡出土青銅製品の自然科学的分析「桜馬場遺跡」、唐津市文化財調査報告書 第 147 集、2008
- 6) 久野雄一郎：伝羽曳山出土（狭山藩旧蔵）銅鐸の金属学的調査報告「樞原考古学研究所紀要 考古学論攷」第 3 冊、1979
- 7) 久野雄一郎：自然銅考「末永先生米壽記念獻呈論文集」坤、1985
- 8) 久野雄一郎：古代青銅器の原料産地推定への私見「青陵」第 60 号、1986
- 9) 肥塚隆保・高妻洋成・降幡順子・山崎修・松本岩雄：重要文化財島根県加茂岩倉遺跡出土銅鐸の保存修理—保存科学調査から—「日本文化財科学会第 24 回大会研究発表要旨集」2007
- 10) 齋藤努・肥塚隆保・高妻洋成・澤田正明・中川寧・増田浩太：加茂岩倉遺跡出土銅鐸の化学分析結果について「古代文化研究」第 24 号、島根県古代文化センター、2016
- 11) 難波洋三：銅鐸「弥生文化の研究」第 6 卷 道具と技術Ⅱ、雄山閣出版、1986
- 12) 難波洋三：同范銅鐸 2 例「辰馬考古資料館考古学研究紀要」2、1991
- 13) 難波洋三：難波分類に基づく銅鐸出土地名表の作成、平成 15 年度～18 年度科学研究費補助金 基盤研究(C) 研究成果報告書、2007
- 14) 難波洋三：柳沢遺跡出土の銅鐸と銅戈「山を越え川に沿う—信州弥生文化の確立—」長野県立歴史館 平成 21 年度秋季企画展図録、2009 a
- 15) 難波洋三：銅鐸の鑄造、「銅鐸—弥生時代の青銅器生産—」奈良県立樞原考古学研究所附属博物館特別展図録、第 72 冊、2009 b
- 16) 難波洋三：扁平鈕式以後の銅鐸「大岩山銅鐸から見えてくるもの」滋賀県立安土城考古博物館平成 23 年度春季特別展図録、2011 a
- 17) 難波洋三：「銅鐸群の変遷」「豊饒をもたらす響き 銅鐸」大阪府立弥生文化博物館図録 45、2011 b
- 18) 難波洋三：柳沢遺跡出土銅鐸の位置づけ「中野市柳沢遺跡」長野県埋蔵文化財センター発掘調査報告書 100、2012
- 19) 難波洋三・篠宮正・高妻洋成：兵庫県加古川市望塚出土銅鐸の研究「兵庫県立考古博物館研究紀要」第 8 号、2015
- 20) 平尾良光・内田哲男・久保田裕子・二宮修治：神庭荒神谷遺跡出土青銅製品の化学組成「出雲神庭荒神谷遺跡」第 1 冊 発掘調査報告 本文編、島根県古代文化センター、1996
- 21) 平尾良光・早川泰弘・鈴木浩子：辰馬考古資料館が所蔵する銅鐸の鉛同位体比「辰馬考古資料館 考古学研究紀要」5、2003
- 22) 馬淵久夫・江本義理・門倉武夫・平尾良光・青木繁夫・三輪嘉六：島根県荒神谷遺跡出土銅劍・銅鐸・銅矛の化学的調査—非破壊分析と鉛同位体比測定—「保存科学」第 30 号、東京文化財研究所、1991
- 23) 馬淵久夫・江本義理・門倉武夫・平尾良光・青木繁夫・三輪嘉六：神庭荒神谷遺跡出土青銅器の非破壊分析と鉛同位体比測定「出雲神庭荒神谷遺跡」第 1 冊 発掘調査報告 本文編、島根県古代文化センター、1996
- 24) 馬淵久夫・平尾良光：鉛同位体比法による漢式鏡の研究「MUSEUM」第 370 号、東京国立博物館、1982 a
- 25) 馬淵久夫・平尾良光：鉛同位体比からみた銅鐸の原料「考古学雑誌」第 68 巻第 1 号、1982 b
- 26) 三ツ井誠一郎：青銅器の埋蔵環境について「中野市柳沢遺跡」長野県埋蔵文化財センター発掘調査報告書 100、2012
- 27) Tanabe, G.: A Study on the Chemical Compositions of Ancient Bronze Artifacts Excavated in Japan. *Journal of the Faculty of Science, University of Tokyo, Sect. V, vol. II, pp.261-319, 1962.*

## The provenance of ancient glass using radiogenic isotopes

*Professor of archaeological science and Li Dak Sum Chair Professor in Silk Road Studies*  
Nottingham University UK and Nottingham University Ningbo Campus, Ningbo, China

Julian Henderson

### 1 : Introduction

Ancient glass is a complex and intriguing material. Unlike metal and pottery it was made with multiple raw materials. One characteristic that sets glass apart from other materials is the fact that ancient glassmakers were able to produce such a wide range of translucent and opaque colours from different colorant raw materials. It is evident that the earliest glass was manufactured in imitation of semi-precious stones like lapis lazuli and perhaps this is the reason why glass was invented in the first place.

This talk will illustrate how chemical and isotopic analysis can be used to investigate ancient glass and glass production. The talk will start by briefly defining glass as a material, the raw materials use to make it and the furnaces and crucibles in which it was fused and worked.

Secondly a brief description of the scientific techniques used (electron probe microanalysis, laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry and thermal ion mass spectrometry) will be given. The rest of the talk will be devoted to a case study on the production and provenance of Late Bronze Age glass in western Asia.

### 2 : Late Bronze Age glass in western Asia

The earliest glass was probably made in western Asia c. 2400 BC. For around the next 800 years or so only glass beads were made. The first glass vessels were made from about 1600 BC probably in what is now Turkey and western Syria: the sites of Büklükale and Alalakh have produced some of the earliest vessels (see Fig. 1, Matsumura 2018). Until about 10 years ago Mesopotamia was considered to be the main centre for the manufacture of Late Bronze Age glass and that glass production in Egypt relied on

the import of glass from Mesopotamia. Scientific analysis (especially isotope analysis) of samples of glass from a range of sites in Egypt and Mesopotamia has now provided clear evidence that glass was fused from raw materials in both Mesopotamia and Egypt. It has also shown for the first time that there were multiple production centres in Mesopotamia (Fig 2; Henderson *et al.* 2010).

Scientific analysis has therefore proved to be invaluable because it has overturned the accepted wisdom about where some of the earliest glass was made, providing a proper provenance for the glass for the first time. It has also provided clear evidence for different colour specialisations in different parts of ancient western Asia and definite proof of where specific vessel forms were made.

Scientific analysis is only one part of the picture. The social and ritual contexts in which such early glass was made and used is also very important. It is clear that glass production at the time was a high status industry. It is also clear that the control of glass production was by the social elites and that it occurred in prestigious contexts. Lengthy and detailed textual evidence in the form of cuneiform tablets found in Iraq demonstrates quite clearly how valuable glass was and that ritual played a very important part in its production.

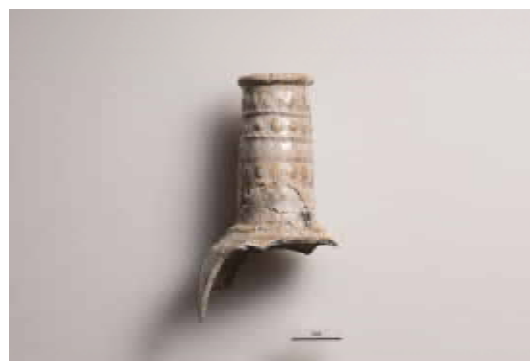


Fig.1 The neck of an opaque white flask from Büklükale, Turkey, possibly the earliest glass vessel in the world (Matsumura 2018)

Therefore by using modern scientific techniques, especially radiogenic isotope techniques, it becomes possible to investigate in detail the technology of the earliest glass including the raw materials used to make it and at the same time to cast light on the complexities of where this very valuable elite material was made and how it was traded across the international Late Bronze Age trade networks.

#### References

- 1) Matsumura, K. 2018 The Glass Bottle and Pendant from Büklükale and Their Dating, *Journal of Anatolian Archaeology* XXI.
- 2) Henderson, J., Evans, J. and Nikita, K. 2010. Isotopic evidence for the primary production, provenance and trade of late Bronze Age glass in the Mediterranean. *Mediterranean Archaeology and Archaeometry*, Vol. 10, no. 1, 1-24.

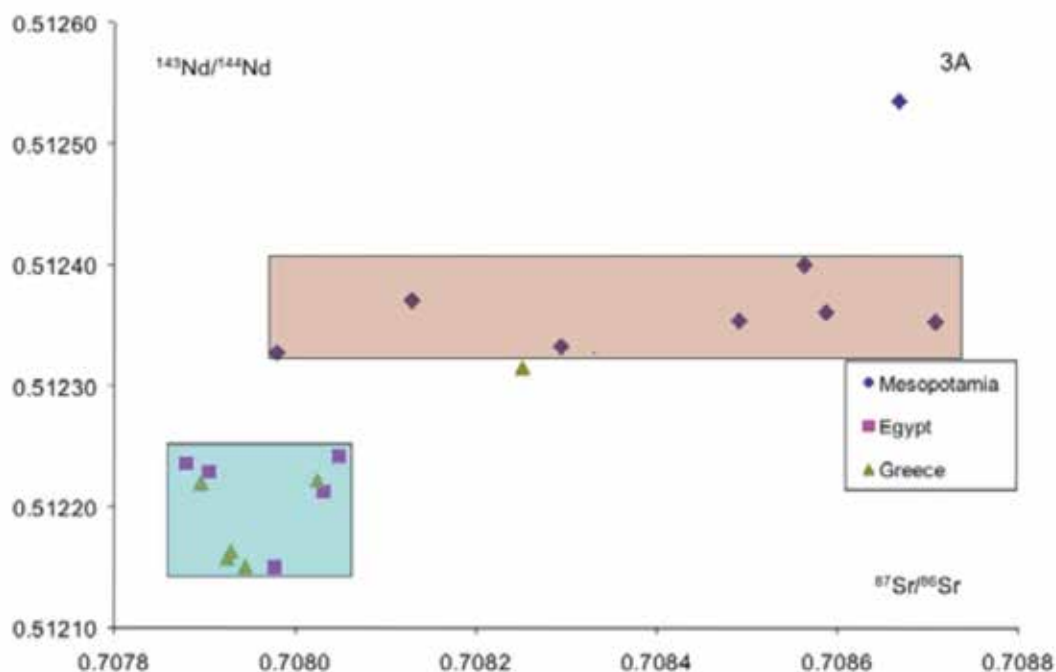


Fig.2 The results from using radiogenic isotope analysis of Late Bronze Age glass from western Asia provide the first clear isotopic evidence for different production zones in Egypt and Mesopotamia and also sub-zones in Mesopotamia

#### Acknowledgments

I am deeply indebted to Dr Omura and Dr Matsumura of the Japanese Institute for Anatolian Archaeology for their support and collaboration in the investigation of the earliest Turkish glass. I am also grateful to my colleagues Dr. Evans and Dr Cheney for assistance and collaboration in the use of TIMS and LAICPMS. Furthermore I thank the British Academy for funding.

## 放射性同位体を用いた古代ガラスの 産地

*Professor of archaeological science and Li Dak  
Sum Chair Professor in Silk Road Studies*  
Nottingham University UK and Nottingham  
University Ningbo Campus, Ningbo, China  
Julian Henderson

### 1 : はじめに

古代ガラスは複雑で興味深い材料である。金属や土器とは異なり、ガラスは複数の原材料から製造された。ガラスを他の材料と区別する特徴のひとつは、古代のガラス製作者が、半透明のものから不透明なものまで様々な色調のガラスを異なる着色剤原料から生成することができるという事実である。最古のガラスは、ラピスラズリのような半貴石の模造品として製造されていたことは明らかである。これが最初にガラスが発明された理由である。

この講演では、化学分析および同位体分析を古代ガラスやガラス生産の研究にどのように利用できるかを説明する。講演では、まず材料としてガラス、ガラス製造に使用される原材料、そしてガラスを熔融し加工する炉および坩堝について簡単に定義する。

次に、使用される科学技術（電子プローブ微小分析 (EPMA)、レーザーアブレーション誘導結合プラズマ質量分析 (LA-ICP-MS)、および熱イオン化質量分析 (TIMS)) の簡単な説明を行う。最後に、西アジアの後期青銅器時代のガラス生産と産地に関する事例研究について議論する。

### 2 : 西アジア後期青銅器時代のガラス

最古のガラスは、おそらく紀元前 2400 年頃に西アジアで作られたであろう。それから 800 年の間は、ガラス玉のみが製作された。

最初のガラス容器は、おそらく現在のトルコおよびシリア西部で紀元前 1600 年頃に製作された。Büklükale および Alalakh 遺跡では、最も初期の容器がいくつか生産されている (図 1、Matsumura 2018 参照)。約 10 年前まで、メソポタミアが後期青銅器時代のガラスの製造の中心であり、エジプトのガラス生産はメソポタミアからの輸入に依存していたと

考えられていた。しかし、エジプトとメソポタミアにおける広範囲の遺跡からのガラス資料の科学的分析（特に同位体分析）により、メソポタミアとエジプトの両方でガラスが原料から製造されたという明確な証拠が得られた。また、メソポタミアに複数の生産拠点があることが初めて示された (図 2 : Henderson *et al.* 2010)。

したがって、科学的分析は、最も初期のガラスの生産地について、それまで受け入れられてきた通説を覆し、ガラスが最初に作られた正しい場所を明らかにするため、非常に価値があることが分かった。また、古代西アジア各地における色調による専門化と、特定の様式の容器が作られた場所についての明確な証拠を提供した。

科学的分析は絵の一部にすぎない。初期のガラスが作られ使用された社会的および儀式的文脈もまた非常に重要である。当時のガラス生産が高位産業であったことは明らかである。ガラス生産の支配は社会的エリートによるものであり、権威ある文脈で生じたこともまた明らかである。イラクで発見された楔形文字による長文で詳細な文書の証拠は、ガラスがいかに貴重であり、儀式がガラス生産において非常に重要な役割を果たしていたことを明確に示している。

したがって、現代の科学技術、特に放射性同位体技術を利用することにより、使用された原料を含む最古のガラスの技術を詳細に研究することが可能になり、同時にこの非常に貴重なエリート材料がどこで作られ、後期青銅器時代の国際的な貿易ネットワークでどのように取引されたのかという複雑な問題を解決する手がかりが得られる。



図 1 : トルコの Büklükale 遺跡から出土した不透明な白色フラスコの頸部。おそらく世界で最も古いガラス容器 (Matsumura 2018)

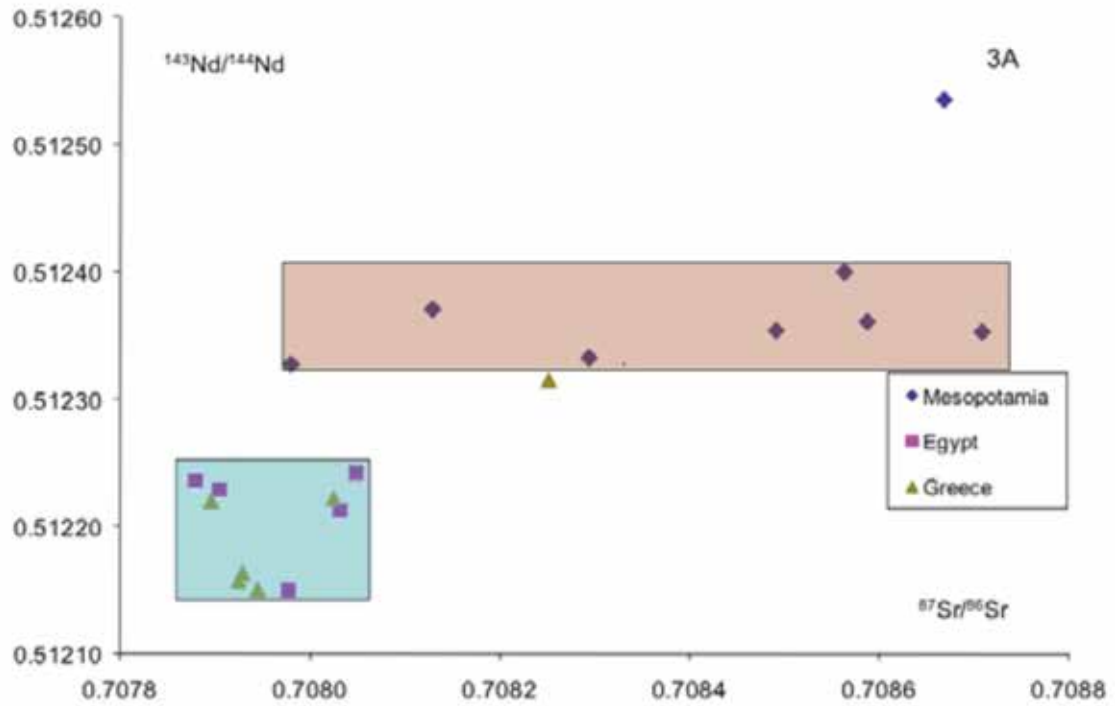


図2：西アジアの後期青銅器時代のガラスの放射性同位体分析結果は、エジプトとメソポタミアに、さらにメソポタミア内の小地域にも異なる生産地域があるという最初の明確な同位体的根拠を提供する。

#### 謝辞

古代トルコのガラス調査においては、アナトリア考古学研究所の大村博士と松村博士の支援と協力を深く感謝いたします。TIMS と LA-ICP-MS の使用に関しては、同僚の Evans 博士と Chenery 博士の助力と協力を感謝いたします。また、英国アカデミーの資金援助に感謝します。

#### 引用・参考文献

- 1) Matsumura, K. 2018 The Glass Bottle and Pendant from Büklükale and Their Dating, *Journal of Anatolian Archaeology* XXI.
- 2) Henderson, J., Evans, J. and Nikita, K. 2010. Isotopic evidence for the primary production, provenance and trade of late Bronze Age glass in the Mediterranean. *Mediterranean Archaeology and Archaeometry*, Vol. 10, no. 1, 1-24.

## 日本出土ガラス小玉の産地と流通に関する研究

### A Study on the Provenance and Trade of Ancient Glass Beads Found in Japan

独立行政法人国立文化財機構  
奈良文化財研究所

TAMURA Tomomi

田村 朋美

#### 1：日本出土ガラスの分類と産地

日本列島では、弥生～古墳時代の墳墓を中心に大量のガラス玉が発見されている。これらのガラス玉は、製作技法や化学組成による分類が進み、種類ごとの時期的な変遷や地域性が明らかとなってきている。

日本の弥生～古墳時代の遺跡から発見されるガラスは、鉛ガラス系、カリガラス系、ソーダ石灰ガラス系に大別される。鉛ガラス系は、鉛バリウムガラス (Group LI) とバリウムを含まない鉛ガラス (Group LII) に大別される。カリガラス系は、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  と  $\text{CaO}$  の含有量から、Group PI と Group PII に区分される。色調と明確な相関が認められ、前者はコバルト着色の紺色透明のガラス小玉に対応し、後者は銅着色の淡青色透明のガラス小玉に対応する。ソーダガラス系は多様で、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  と  $\text{CaO}$ 、 $\text{MgO}$  と  $\text{K}_2\text{O}$  の含有量から5種類 (Group SI～Group SV) に区分されるが、製作技法や流通時期によってさらに細分される (表1)。

ガラスの化学組成は、ガラスを製造する時に使用する原料の組み合わせを反映しており、ガラスの産地を示す指標となる。産地遺跡の分布や製品の流通状況を考慮して、現状では図1に示した地域にそれぞれの材質の産地が存在したと考えている (Oga and Tamura 2013)。

ただし、明確な産地が発見されていない種類も多く、産地の候補となる地域として、「地中海世界」や「西アジア～中央アジア」、「インド～東南アジア」といった大きな地域的まとまりを示すにとどまっており、それぞれの種類に対応する産地の特定には至っていない。

そこで、筆者らは日本列島で出土するガラス製遺物の具体的な産地推定のためのアプローチとして同位体比分析に注目し、データの蓄積を進めてきた。本稿では、その最新の研究成果について紹介する。

#### 2：鉛同位体比による産地の検討

考古資料の産地推定を行う上で有効な分析手法として、鉛の同位体比を利用する方法がある。ガラス製遺物の産地研究としても古くから鉛同位体比分析が利用されてきた。筆者らも、既存データに新たなデータも追加しつつ積極的に検討してきた (Oga and Tamura 2013, Tamura and Oga 2014, 2016, 大賀・田村 2016 など)。

ガラスに含まれる鉛は、鉛ガラスや鉛バリウムガラスなどの鉛系ガラスに融剤として添加された鉛 (主原料) と、着色剤成分に由来する鉛に大きく分けられる。前者の鉛同位体比分析は主原料の産地を検討する指標となり、後者では着色剤の産地を示唆する点は注意する必要がある。

このうち、鉛系ガラスの鉛同位体比分析は早くから注目されており、多くの報告があるため、本稿では先行研究の成果を紹介するにとどめる。解明されていない問題も残るが、概ね以下のような状況が明らかとなっている。

弥生時代の鉛バリウムガラスは、鉛同位体比より中国で生産されたものであると考えられている。バリウムを含まない鉛ガラスに関しても、弥生時代後期～終末期に流通したものは中国産と考えられる。

古墳時代後期末以降に再び出現する鉛ガラスに関しては、鉛同位体比から二つの産地が識別されている。ひとつは、古墳時代後期末に北部九州を中心に流通するもので、朝鮮半島の百済で生産されたことが明らかとなっている。もう一方は、国産の鉛を原料としたもので、奈良県飛鳥池遺跡で生産が確認されており、奈良時代へ継続する。

一方、着色剤成分に由来する鉛の同位体比については、先行研究でも分析値の報告はあるものの、基礎ガラスや着色剤の種類など関連付けた系統的な調査は十分でない。

そこで、本稿では以下に挙げる三種類の着色剤について、基礎ガラスの種類および製作技法と鉛同位体比の関係から検討する。

##### (1) コバルト着色のガラス

日本列島で流通したガラス玉で最も多いのがコバルト着色の紺色ガラス小玉である。しかし、これらの紺色ガラス小玉に用いられた



表1 日本列島で流通したガラスの分類 (Oga and Tamura 2013 改変)

Table 1 A summary of compositional groups of glass artifacts excavated in Japan. (Oga and Tamura 2013)

材質分類		製作技法	着色剤	時期	推定出土量	生産地	
大別	細別						
鉛ガラス	鉛バリウム	Group LIA	巻き付け	銅	B.C.3c-B.C.2c	100±	中国東北部
		Group LIB	振り巻き	銅, 銅+漢青, 漢青	B.C.1c-A.D.2c	2500±	中国南部
		Group LIC	包み巻き	銅	A.D.1c	200±	中国
	鉛	Group LIIA	巻き付け	銅	A.D.1c-A.D.2c	1000±	中国
		Group LIIB	巻き付け	銅, 鉄	A.D.7c	3000+	百済→日本
カリガラス	中アルミナ	Group PI	引き伸ばし, 包み巻き, 加熱貫入	コバルト, 鉄, 銅+マンガン	B.C.3c-(A.D.5c)	80000±	南アジア
	高アルミナ	Group PII	引き伸ばし	銅	B.C.1c-(A.D.3c)	60000+	ベトナム北半~中国南部
ソーダガラス	ナトロン	Group SIA	包み巻き/連珠	コバルト	A.D.2c	150±	地中海周辺
		Group SIBa	巻き付け	コバルト	early A.D.5c	100±	地中海周辺
		Group SIBb	包み巻き	コバルト	early A.D.5c	500±	地中海周辺
		Group SIBc	包み巻き, 連珠	コバルト	early A.D.5c	500±	地中海周辺
	高アルミナ	Group SIIA	引き伸ばし	コバルト	latter A.D.1c-(A.D.5c)	5000±	南アジア, 東南アジア
		Group SIIb	引き伸ばし, 連珠	銅, 銅+マンガン, 鉄, 銅コロイド, 酸化銅コロイド, 錫酸鉛, 銅+錫酸鉛, マンガン, コバルト	A.D.4c-A.D.6c	150000+	南アジア, 東南アジア
	植物灰	Group SIIIA	包み巻き	鉄	late A.D.1c	10+	中央アジア~西アジア
		Group SIIIB	引き伸ばし, 連珠	コバルト, 鉄	latter A.D.5c-A.D.6c	100000±	中央アジア~西アジア
		Group SIIIC	変則的引き伸ばし	コバルト, 銅, マンガン, 錫酸鉛, 銅+錫酸鉛	early A.D.7c	10000±	中央アジア~西アジア
	ナトロン主体	Group SIV	引き伸ばし	コバルト	A.D.2c-(A.D.5c)	10000±	南アジア, 東南アジア
	プロト高アルミナ	Group SVA	引き伸ばし	銅+錫酸鉛, 銅	latter A.D.1c-A.D.2c	5000±	南アジア, 東南アジア
		Group SVB	連珠	銅	latter A.D.2c-A.D.3c	500±	不明
		Group SVC	加熱貫入	銅	A.D.4c	500+	不明

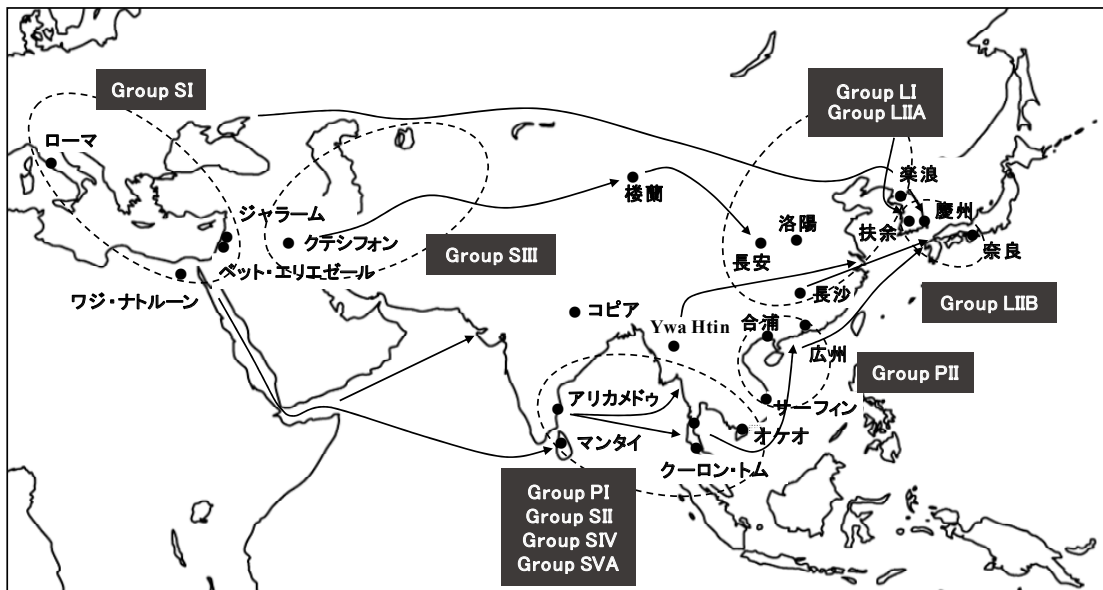


図1 日本列島へ流入するガラス玉類の生産地と流通経路 (Oga and Tamura 2013 一部改変)

Fig. 1 Provenience and trade routes of imported glass beads in ancient Japan. (Oga and Tamura 2013)

コバルト原料は一種類ではなく、不純物と考えられるマンガン (MnO)、銅 (CuO)、鉛 (PbO) の含有量の異なるいくつかの種類が存在する。

中アルミナタイプのカリガラス (Group PI) に用いられたコバルト原料は、例外なく 1～2% の MnO を伴い、かつ PbO と CuO の含有量が極めて少ない (<0.1%) 特徴を持つ。MnO と Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> には明確な相関がある。そして、Group PI とほぼ同時期に流通する Group SIIA や Group SIV にも共通のコバルト原料が用いられている (Oga and Tamura 2013)。これらのガラスは、製作技法や化学組成から、いずれも南～東南アジア産と推定されるが、基礎ガラスの種類が異なるため、個々の生産地は異なると考えられる。コバルト原料は入手が容易でなく、特定の産地の原料が比較的広範囲に流通した可能性が考えられる。

一方で、西アジアもしくは中央アジア産と推定している植物灰ガラス (Group SIIIB および Group SIIIC) に使用されたコバルト原料は MnO が少なく (<0.6%)、少量の PbO (0.1～0.5%) と CuO (0.1～0.3%) を含有する点で、上記 3 種類のガラスに用いられたコバルト原料と明らかに異なる。

地中海世界で生産されたと推定しているナトロンガラス (Group SI) に使用されたコバルト原料は、上述の Group SIII と同じ種類と考えている。すなわち、MnO が少なく、少量の PbO と CuO を含有するタイプである。Group SI には一部に MnO を多く含む種類があるが、Group PI など MnO が多い他のコバルト着色のガラスに見られるような MnO と Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> の明確な相関はない。地中海世界で出土するナトロンガラスには、消色剤としてマンガンが添加される場合や基礎ガラス原料の不純物として MnO が多く含まれる場合があることから、日本列島で出土する一部の Group SI に多く含まれる MnO は着色剤のコバルト原料に付随するものではないと考えている。

なお、インドから東南アジア産と考えられる高アルミナタイプのソーダガラス (Group SIIIB) にもコバルト着色のガラス小玉が少数ながら存在し、MnO が少ないタイプのコバルト原料が用いられている。ただし、コバルト着色の Group SIIIB にはやや MgO が多い個体

が散見されることから、Group SII に Group SIII が混合された可能性もあると考えている。

以上のようなコバルト着色剤の種類と基礎ガラスとの関係性を踏まえて、コバルト着色のガラス小玉の鉛同位体比を検討する。

まず、MnO が多いコバルトで着色された Group PI に関しては、出土遺跡ごとに鉛同位体比が大きく異なる。ただし、上述したように Group PI のカリガラスは、PbO の含有量が極めて少なく、土壌や他の資料からの汚染なども懸念されるため、現状では、鉛同位体比分析の結果を積極的に評価することは難しい。同種のコバルト原料が用いられていると考えられる Group SIV についても状況は同じであった。

一方、MnO 含有量の少ないコバルト原料で着色された Group SI、Group SIIIB および Group SIIIC の鉛同位体比は、互いに類似した鉛同位体比を示す。いずれも <sup>208</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb と <sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb の値が小さく、<sup>206</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb の値が大きいという特徴を持つ (図 2)。他のいずれの種類ガラス玉とも異なり、また、同時期の青銅製品にも類似した値をもつものは認められない。一方で、既発表の鉛同位体データではイラン、パキスタン、オマーン等に類似の値を示すものが存在する (大賀・田村 2017)。このことは、基礎ガラスの生産地との関係からも整合的に理解できる。

さらに、日本列島以外の地域における植物灰ガラスの先行研究を参照すると、Lankton ら (Lankton *et al.* 2006) が vNC と呼んでいるグループが Group SIIIB と対応する可能性がある。vNC はコバルト原料の特性からイラン産のコバルトを使用して、メソポタミア地域で製造されたものと考えられている。Group SIIIB の鉛同位体比が一部のイラン産の鉛同位体と類似の値を示していることは、先行研究の理解とも整合的である。

なお、Group SI について仔細に見ると、<sup>208</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb と <sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb の値がより小さいグループとやや大きいグループに分かれる。前者がいずれも 5 世紀前半に初めて出現する種類であるのに対し、後者はアンチモン (Sb) を含有する Group SIA など Group SI のなかでも古い様相を示す個体に偏る点は注目される。

## (2) 銅着色のガラス

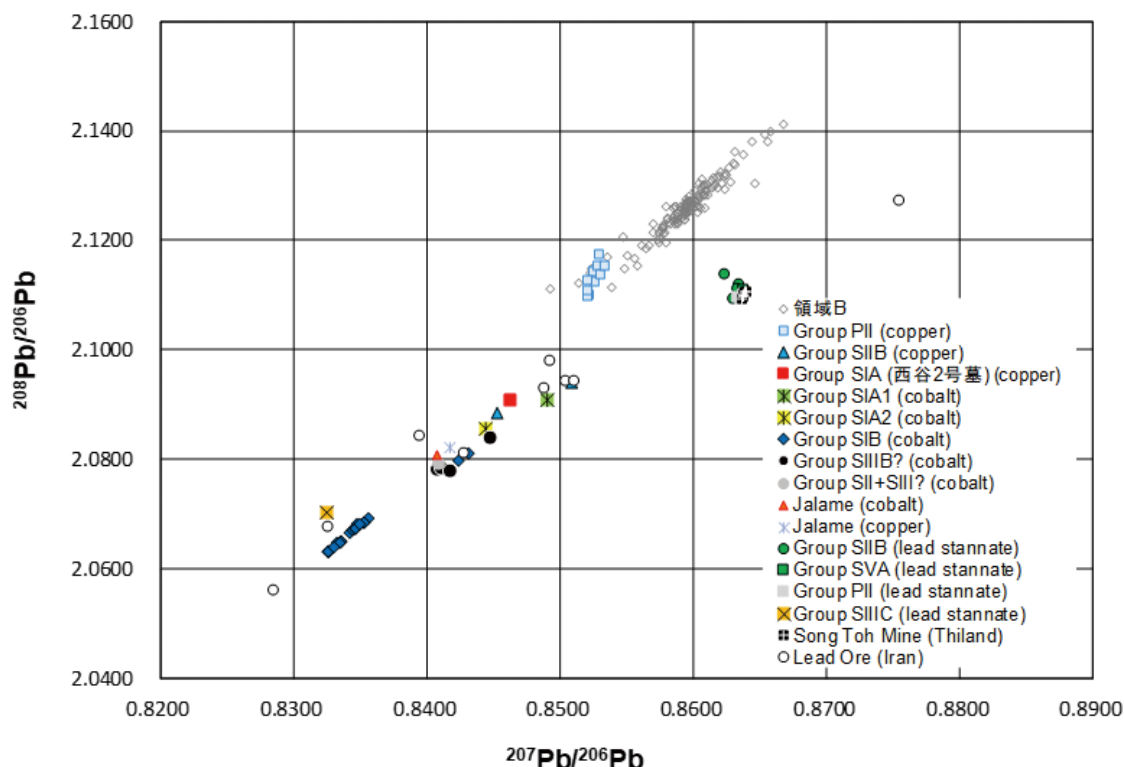


図2 日本出土ガラスおよび比較資料の鉛同位体比 (A 式図)

Fig.2 Pb isotope ratios of glass beads in Japan and comparisons.

銅もガラスの着色剤として頻繁に利用される。銅着色のガラスは様々な色調を呈するが、アルカリガラスの場合、最も普遍的な色調は淡青色である。日本列島で出土する銅着色の淡青色ガラスには、微量の鉛および錫を含むものと含まないものがあり、着色剤として利用した銅原料が異なると考えられる。とくに前者は、着色剤として青銅が用いられた可能性が指摘されている (肥塚 1995)。

銅着色の淡青色ガラス小玉のなかでも、高アルミナタイプのカリガラス製小玉 (Group PII) は、銅 (CuO) を 1~2% 前後含有するのに加え、ほぼ例外なく微量の鉛および錫を含む。Group PII は、基礎ガラスの化学組成から、先行研究における mKA-lowC (Lankton *et al.* 2006)、あるいは m-K-Al (Lankton *et al.* 2013) と呼ばれるガラスに相当し、製品の流通範囲から、生産地はベトナム中部から中国南部の沿岸部が想定されている (Lankton *et al.* 2006)。

日本列島で出土した Group PII のガラス小玉の鉛同位体比については、きわめて狭い範囲にすべてまとまり、弥生~古墳時代の日本列島で流通した青銅製品などの鉛同位体比と比較すると、領域 B<sup>註1)</sup> ※の中でも華中~華南産の可能性の高い青銅鏡がまとまる領域と

重複する (図 2) (Oga and Tamura 2013、大賀・田村 2016)。この結果は、製品の流通状況を根拠に Group PII の生産地をベトナム中部から中国南部の沿岸部とした先行研究の判断と整合的である。なお、Group PII はほとんど例外なく同種の銅原料で着色されているため、ガラスの生産と着色剤の添加は同じ場所で行われたと考えられる。

ところで、古墳時代前期後半には、上述の Group PII のカリガラスと入れ替わるように、同じく銅着色の淡青色の高アルミナタイプのソーダガラス (Group SII B) が出現する。これらのガラス小玉も、微量の錫および鉛を含むことから、Group PII と同じの銅原料が用いられていることが想定されたが、鉛同位体比はまったく異なることが分かった。

Group SII B の鉛同位体比と類似の同位体比を持つのは、上述のナトロンガラス (Group SI) である。とくに、出雲市西谷 3 号墓 (2 世紀) から出土した銅着色のナトロンガラス製 (Group SI) の管玉と近似の値をとる点は注目される。

### (3) 錫酸鉛で着色されたガラス

もう一つ着色剤に由来する鉛として注目さ

れるのが、黄色人工顔料の錫酸鉛 ( $\text{PbSnO}_3$ 、 $\text{Pb}_2\text{SnO}_4$  など) に由来する鉛の同位体比である。日本列島では、熊本県小田良古墳出土の高アルミナタイプのソーダガラス (Group SIIB) 4点および福岡県門田辻田1号土壙墓から出土した Group SVA と考えられる1点<sup>註2)</sup> がタイのソントー鉱山 (Song Toh Mine) 産の鉛と一致することが示されている (平尾 2013)。

ソントー鉱山と一致する鉛同位体比を持つガラス玉は韓国、東南アジア、南インドにおいても確認されている。とくに東南アジアでは、Group PII と考えられるカリガラスにも、錫酸鉛で着色された黄色不透明または黄緑色半透明ガラスが一般的に出現する<sup>註3)</sup>。Group PII についても、分析を実施した資料はすべてソントー鉱山と一致する鉛同位体比を示した。

すなわち、インドもしくは東南アジア地域で製造されたと考えられるガラスには、いずれもタイのソントー鉱山産の鉛を原料とした着色剤 (顔料) が用いられていることが明らかとなった。

一方、奈良県飛鳥寺遺跡から出土した錫酸鉛によって着色された黄色不透明のガラス小玉は、全く異なる鉛同位体比を示した。注目すべきは、本資料が  $\text{K}_2\text{O} < \text{MgO}$  となる明確なメソポタミア系の植物灰ガラス (Group SIIIC) という事実である。そして、本資料の鉛同位体比は、上述のコバルト着色のナトロンガラス (Group SI) と近似し、一部のイラン産の鉛鉱石などと類似の値であった。

すなわち、基礎ガラスの化学組成から想定されるガラスの産地と添加された着色剤の原料産地には明確な相関関係が認められた。

さらに、インドもしくは東南アジア地域で製造されたガラスにおいては、材質の異なるガラスに同じ産地の鉛を用いた着色剤 (錫酸鉛) が利用されることも分かった。すなわち、ケイ砂や融剤の選択によって決まる基礎ガラスの材質がある程度狭い範囲内のガラス生産集団の活動を反映するのに対して、着色剤はより広範囲の取引圏を示す指標になる。

### 3 : ガラスの Sr 同位体比分析

ここまで、日本出土の古代ガラスの産地について、化学組成と鉛同位体比から検討してきた結果、ガラス材質と着色剤の産地には一定の関係性が認められることが明らかとなっ

た。一方で、化学組成による各分類単位に対応するような具体的な生産地の特定には至っておらず、新しい取り組みが求められる。

近年、地中海世界で出土するガラスを対象に、Sr 同位体比による産地推定が試みられており、一定の成果が得られている。

上述したように、日本列島でも地中海世界で生産されたナトロンガラス製と考えられるガラス小玉 (Group SI) が一定量出土することが確認されている。これらについては、鉛同位体比分析から着色に利用されたコバルト原料がイラン産の可能性を示すなど、化学組成以外の点でも地中海世界で生産されたガラスである証拠を示してきた。

さらに、筆者らは日本出土の Group SI を地中海世界で出土したナトロンガラスとの化学組成の対比を試みた (Tamura and Oga 2016)。その結果、現イスラエル付近で製作されたとされる「Levantine I」タイプに該当する種類が存在することが明らかとなったものの、多くの種類については、対応する既存の材質グループを見出すことができなかった。

両者の比較を困難にしている要因として、日本列島出土品がいずれもコバルトで強く着色されているのに対し、比較対象となる地中海世界のナトロンガラスは、無色あるいは意図的な着色が行われていない自然発色のガラスが選択的に分析されていることがあげられる。そこで、基礎ガラス成分であるカルシウム (Ca) に付随するストロンチウム (Sr) の同位体比分析に着目した。

また、日本列島出土のナトロンガラス (Group SI) については、もう一つ解決すべき重要な問題がある。すなわち、主成分の化学組成は Group SI と類似するが、典型的な Group SI と比較すると微量元素や製作技法の点でいくつかの重要な相違があるため、筆者らが「ナトロン主体ガラス」(Group SIV) として典型的なナトロンガラス (Group SI) からは除外しているグループの問題である。Group SIV のガラス小玉は、製作技法上は典型的なインド・パシフィックビーズであり、日本列島では比較的多く出土する種類でもあるため、本グループのガラス素材が地中海地域産なのか、インド～東南アジア産なのかという問題は、古代のモノや人、技術の移転を考えるうえで極めて重要である。

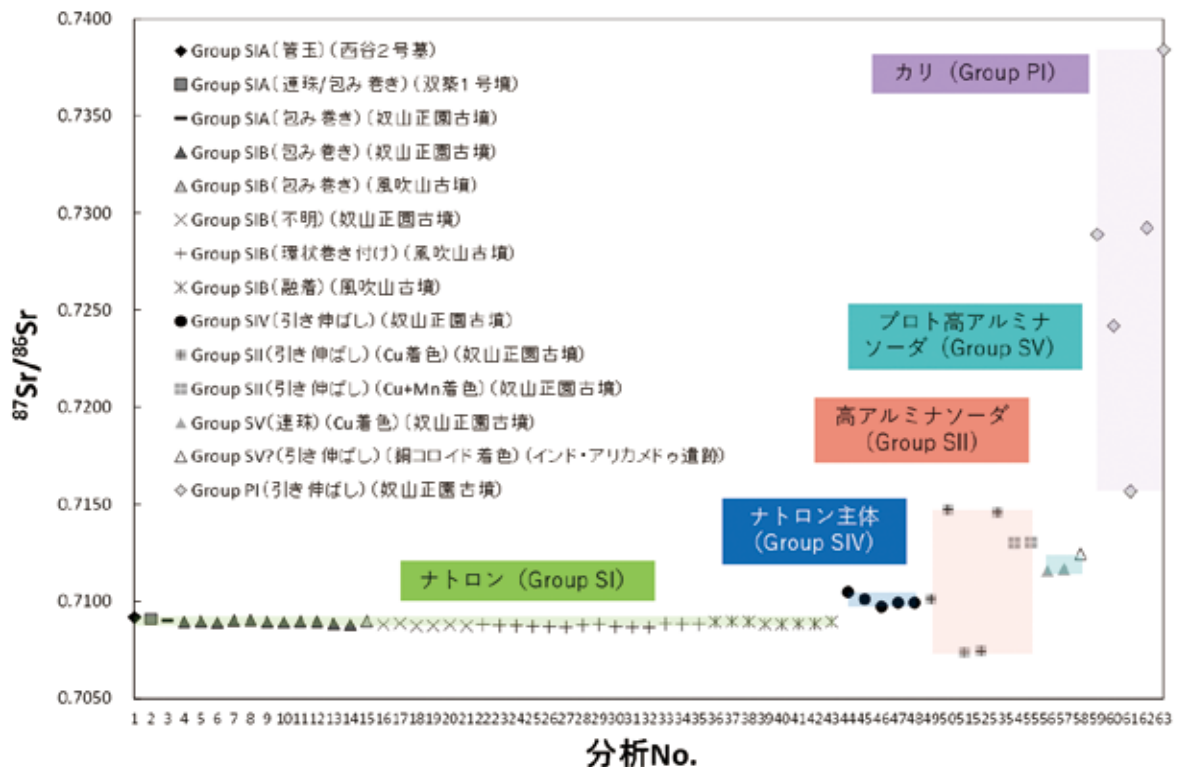
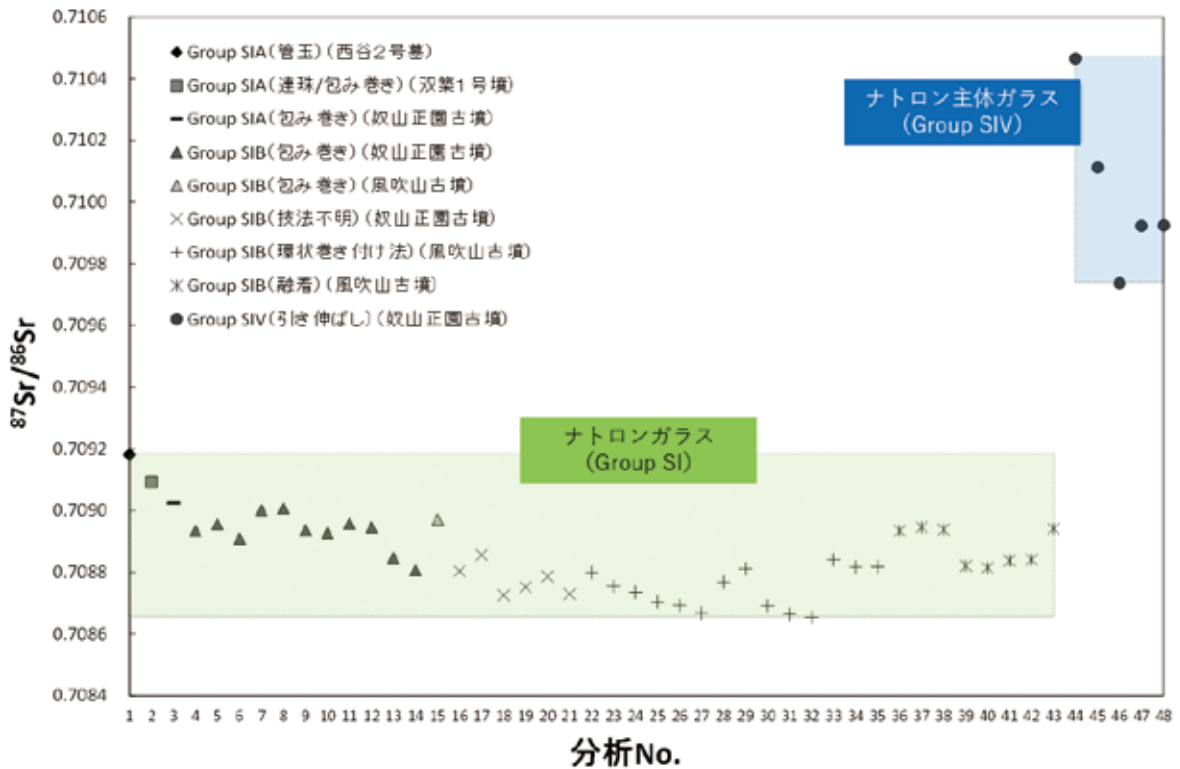


図3 ガラス製遺物の Sr 同位体比  
 上：ナトロンガラス (Group SI) とナトロン主体ガラス (Group SIV)  
 下：南～東南アジア系の各種ガラス製遺物との比較 (田村・申 2017)

Fig.3 Sr isotope ratios of Glass beads  
 Upper: Sr isotope ratios of Group SI and Group SIV  
 Bottom: Sr isotope ratios of glass beads originated in S-SE Asia compared with Group SI and SIV

そこで、Sr 同位体比を利用することにより、日本列島出土のナトロンガラス (Group SI) について、化学組成からは困難であった具体的な生産地の特定を試みるとともに、ナトロン主体ガラス (Group SIV) が地中海世界で生産された「真正の」ナトロンガラスに相当するか否かについて検討した。

測定対象とした資料は、日本列島の弥生時代後期後半から古墳時代中期前半の墳墓 (4 府県 4 遺構) から出土したナトロンガラス製小玉 (Group SI) 43 点である。さらに、ナトロン主体ガラス製小玉 (Group SIV) 5 点の他、インド～東南アジア産と考えている高アルミナタイプのソーダガラス製小玉 (Group SIIB) 7 点、中アルミナタイプのカリガラス製小玉 (Group PI) 5 点、プロト高アルミナタイプのソーダガラス小玉 2 点 (Group SVB) および南インドのアリカメドゥ遺跡において採集されたソーダガラス小玉 1 点を含めた計 63 点の分析を実施した。

測定は、ガラス資料をフッ酸、硝酸、過塩素酸で分解、Sr スペックレジンで Sr を単離し、MC-ICP-MS (Thermo Scientific 製 NEPTUNE plus) を用いて  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  を測定した。

日本出土のナトロンガラス (Group SI) の  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  の値は、0.7087-0.7092 の範囲内に集中することが明らかとなった (図 3 上)。先行研究によると、地中海世界で出土するナトロンガラスは、 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  が 0.7095 よりも低い値を示すことが知られており、整合的な結果であった。

さらに、古墳時代中期前半に流入した Group SIB の Sr 同位体比は、ナトロンガラスの生産地のなかでも Bet Eli'ezer や Bet She'an などのイスラエルの遺跡から出土するナトロンガラスの値ときわめて類似する (Freestone *et al.* 2003)。これらは貝殻由来の Ca を多く含む東地中海沿岸の砂 (Coastal sand) を主原料としたと考えられている。一方、同じナトロンガラスでも石灰岩起源の Ca を多く含む砂 (limestone-rich sand) が利用されたと考えられている中部エジプトのナトロンガラスでは、 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  の値が低く (<0.7080)、日本列島出土品とは明らかに異なる。以上の結果は、一部の Group SI の化学組成の特徴が「LevantineI」と一致したこれまでの研究成果とも整合的であり、日本列島出土の Group SI の多くが地中

海世界でも特にレバント地方で生産された可能性が示された。

さらに仔細に検討すると、日本列島への流入時期の古いアンチモン (Sb) を含む Group SIA の Sr 同位体比がやや高く、古墳時代中期前半に流通した環状状巻き付け法による Group SIB の Sr 同位体比がやや低い傾向が認められる。これらの差異は、原料となるケイ砂の採取地点の違いを反映している可能性があり、時期や製作技法と一定の相関が認められる点で注目される。

一方、ナトロン主体ガラス (Group SIV) については、典型的なナトロンガラスである Group SI よりも Sr 同位体比が高い値 (0.7097-0.7105) にまとまる結果となった。これらの値は地中海地域で出土するナトロンガラスとは明らかに異なる。すなわち、Group SIV は地中海周辺地域で生産されたいわゆる「真正の」ナトロンガラスと判断することはできないという結論が得られた。ただし、他の「アジアのガラス」に比べると低い値であることから、ナトロンガラスとアジアのガラスが混合された可能性は残る。

さらに、比較資料として測定した南アジア～東南アジア産と考えられるガラス小玉類の結果について概観する。一部の高アルミナタイプのソーダガラス (Group SII) を除いて概ね Group SI より大きい値をとる。特にカリガラス (Group PI) は今回調査した資料の中で最も高い値を示した (図 3 下)。バラつきが極めて大きい点も含め、先行研究と一致する。筆者らは製品の流通状況などから Group PI のカリガラスについてインド産の可能性があると考えているが、インドのガンジス川流域などでは先カンブリア紀の花崗岩や片麻岩の風化に起因する高い Sr 同位体比をもつことが知られており (Krishnaswami *et al.* 1992)、関連性が注目される。

#### 4 : まとめ

以上、日本列島出土のガラス製遺物について、化学組成による分類と想定される生産地を示すとともに、鉛同位体比分析で、主に着色成分に由来する鉛について検討した結果、基礎ガラスの材質との明確な相関関係が確認された。

また、新たに適用した Sr 同位体比分析では、

日本出土のナトロンガラスの具体的な生産地について一定の示唆を与えるものであった。さらに、主成分組成が類似し、これまでもしばしば地中海世界で生産されたナトロンガラスと報告されたことのある Group SIV については、地中海世界で生産された真正のナトロンガラスではないことを Sr 同位体比から示すことができた。

本稿で紹介した同位体比分析の結果は極めて限定的なものであり、Sr 同位体比と併せて検討されることの多い Nd 同位体比などの他の同位体比分析の導入や、他地域の含め資料数を増やして今後さらに検討を進めていきたい。

#### 謝辞

本研究の一部は、科学研究費補助金（課題番号25702013代表者：田村朋美）および総合地球環境学研究所の同位体環境学共同研究事業の支援を受けた。

#### 註

- 1) 筆者らは、三角縁神獣鏡、上方作系浮彫式獣帯鏡、吾作系斜縁神獣鏡、呉の紀年銘鏡によって設定される領域として理解している（大賀・田村2016）。
- 2) 馬淵（1989）では、「鉛ライム系」のガラスとされているが、錫酸鉛の影響で鉛の含有量が多く見積もられている可能性が高い。ライム（石灰）がある程度検出されていることから、ソーダガラスの可能性が高いと考えている。
- 3) 日本列島でも門田辻田13号土壙墓などから出土しているが、鉛同位体比が測定された例はない。

#### 引用・参考文献

- 1) 大賀克彦・田村朋美：「日本列島出土カリガラスの考古科学的研究」『古代学』第8号 pp.11-23、2016
- 2) 大賀克彦・田村朋美：「植物灰ガラスの多様性と生産地に関する考古科学的研究」『日本文化財科学会第34回大会研究発表要旨集』pp.126-127、2017
- 3) 肥塚隆保：「古代珪酸塩ガラスの研究」『奈良国立文化財研究所創立40周年記念論文集 文化財論叢II』pp.929-967、1995
- 4) 田村朋美・申基澈：「Sr 同位体比による日本

出土古代ガラスの産地推定試み」『日本文化財科学会第34回大会発表要旨集』pp.34-35、2017

- 5) 独立行政法人国立文化財機構奈良文化財研究所 飛鳥資料館 2016『ガラス玉類の考古科学的研究』（『飛鳥資料館研究図録』第19冊）
- 6) 平尾良光：「鉛」から見える世界『平尾良光先生古稀記念論集 文化財学へのいざない』2013
- 7) 馬淵久夫：『本邦出土古代ガラスの原料産地と材質の変遷』（『昭和61・62・63年度科学研究費補助金試験研究（1）研究成果報告書』1989
- 8) Freestone, I.C., Leslie, M., Gorin-Rosen, Y.: Strontium isotopes in the investigation of early glass production: Byzantine and early Islamic glass from the Near East. *Archaeometry* 45, pp.19-32, 2003
- 9) Krishnaswami, S., Trivedi, J.R., Sarin, M.M., Ramesh, R., Sharma, K.K.: Strontium isotopes and rubidium in the Ganga-Brahmaputra river system: weathering in the Himalaya, fluxes to the Bay of Bengal and contributions to the evolution of oceanic  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ . *Earth Planet. Sci. Lett* 109, pp.243-253.1992
- 10) Lankton, J. W., Dussubieux, L. : Glass in Asian Maritime Trade: A Review and an Interpretation of Compositional Analyses. *Journal of Glass Studies*, 48. pp.121-144, 2006
- 11) Lankton, J.W., Dussubieux, L.. Early Glass in Southeast Asia. in Janssens, K. (ed), *Modern Methods for Analysing Archaeological and Historical Glass*, pp.414-443, 2013
- 12) Oga, K., Tamura, T.: Ancient Japan and the Indian Ocean Interaction Sphere: Chemical Compositions, Chronologies, Provenances and Trade Routes of Imported Glass Beads in Yayoi-Kofun Period (3rd Century BCE-7th Century CE). *Journal of Indian Ocean Archaeology*, 9, pp.35-65, 2013.
- 13) Tamura, T. and Oga, K.: Archaeometrical investigation of natron glass excavated in Japan, *Microchemical Journal* vol.126 pp.7-17, 2016
- 14) Tamura, T., Oga, K.: Distribution of Lead-Barium Glasses in Ancient Japan. *Crossroads* 9, pp.63-82, 2014

## 鉛同位体比からみた三角縁神獸鏡の生産地

Discussion on Production Area of  
“Sankakubuchi-Shinjyukyo” Based on  
Lead Isotope Ratios

奈良女子大学大和・紀伊半島学研究所  
古代学・聖地学研究センター

OGA Katsuhiko

大賀 克彦

### 1：三角縁神獸鏡とその考古学的重要性

弥生～古墳時代の日本列島においては、主に墳墓の副葬品として、多数の青銅製の鏡が出土する。これらの青銅鏡は、鏡背面の主文様からいくつかの鏡式に大別される。一方、主文様に基づいた鏡式の区分とは別に、日本列島の外部で製作され、搬入された「舶載鏡」と、舶載鏡を手本として模倣製作された「仿製鏡」という区分も用いられる。弥生時代中期前葉の日本列島において最初に出現する青銅鏡は朝鮮半島産のものであるが、その後の「舶載鏡」のほとんどは中国産である。

日本列島で出土する様々な鏡式の中に、「三角縁神獸鏡」と呼称されるグループが存在する。三角縁神獸鏡は、縁部の断面形が高い三角形を呈することや、内区の主文様として神獸像を配置することが一般的であることから命名された名称である。直径が20 cmを超える大型鏡がほとんどであることや、鈕孔の形状が扁平な長方形を呈するといった特徴を持つ。いずれの特徴もすべての個体に例外なく共有されるわけではないが、全体としてみれば、他の鏡式からは明確に区別される独立性の高いグループとして存在している。

三角縁神獸鏡はこれまでに600面弱が確認されており、出土鏡の約1割を占める。ただし、その中には同範鏡もしくは同型鏡と考えられる文様が基本的に共通する個体が多数存在することから、種類としては約200種類である。しばしば外区に銘文帯を持ち、特に出現期に製作されたと考えられるものに「景初三(239)年」や「正始元(240)年」の紀年銘を持つものが存在することから、製作の開始時期が判断できる。

三角縁神獸鏡は、日本列島の国家形成期を

特徴付ける巨大な墳丘墓である前方後円墳の成立と相前後して出現し、その流通は当該期において「倭国」と呼称された政治的統合体の成立や拡大とも因果的に結び付いていると考えられる。また、魏から下賜されたと記録される「銅鏡百枚」の有力な候補である点でも、極めて重要な考古資料であると考えられている。

### 2：考古学的にみた三角縁神獸鏡の生産地

三角縁神獸鏡の生産地に関しては、文様要素、銘文、製作技法といった考古学的な知見に基づいて、多くの議論が積み重ねられてきた。これらの理解は大きく次の3つの立場にまとめることができる。

- ①中国産から日本列島産へ転換
- ②すべて日本列島産
- ③すべて中国産

①は最初に提起されたもので、長らく最も通説的な理解でもあった(富岡1920、小林1956など)。基本的には、鑄上がりや銅質がよく、古い時期に製作されたと考えられるグループを中国産、質が低下し、新しい時期に製作されたと考えられるグループを日本列島産と判断し、それぞれを「舶載三角縁神獸鏡」と「仿製三角縁神獸鏡」と呼称してきた。

②は、①に対する反論として提示されてきた(森1962、王1992)。ごく一部に中国製を含む可能性を認める論者も含まれる。根本的に言えば、日本列島においてこれほど大量に出土する三角縁神獸鏡が、中国大陸において1枚も出土しないことを最大の根拠としている。

ただし、「舶載三角縁神獸鏡」と「仿製三角縁神獸鏡」は系統的な連続性が明確であるとともに、古墳時代の日本列島で製作された確実な仿製鏡とはモチーフ及び製作技法に関して関連性が乏しい。そのために、三角縁神獸鏡の全体が中国産であるという理解が提起された(車崎1999・2000)。筆者は、当初よりこの理解を支持している(大賀2002)。

①の立場では、「正始元年」や「銅出徐州、師出洛陽」などといった銘文の内容から、中国の中でも三国時代の魏で製作されたと考えられてきた(富岡1920など)。それに対して、②の立場では、流行する鏡式や文様モチーフの地域性から呉の工人との関係が強調されて



きたが（王 1992 など）、中国出土の銅鏡に関する研究の進展によって、三角縁神獣鏡は魏の領域から出土する銅鏡と銘文、モチーフ、製作技法のいずれに関しても関連が深いことが確実となった（福永 2005 など）。

考古学的な知見からは、すべての三角縁神獣鏡が魏の領域のいずれか（洛陽周辺、華北東部、華北北部、楽浪郡・帯方郡）で製作されたと考える③の立場が最も合理的である。一方、②の立場は魏の工人が、倭の工人と 100 年余りも没交渉のまま活動していた

という不自然さを除けば、論理的な不可能性は見出せない。それに対して、①の立場は②と③の弱点をいずれも受け継いでしまい、かつ一貫性を欠く理解である。そのため、近年では、鏡研究者が①の立場を明言することは稀となってきたようにみえる。

以上のように、三角縁神獣鏡の製作地に関する論争は最終的な決着には到達していない。ただし、近年、三角縁神獣鏡の原料産地に関する知見を根拠とした国産説が発表された（新井 2005・2006、馬淵 2013・2018）。この論説に関する妥当性を検討する。

### 3：列島出土遺物からみた鉛原料の変遷

日本考古学において、鉛同位体比に着目した産地推定法が導入された当初の目的的研究から、古代における鉛原料の基本的な変遷は明らかにされている（平尾（編）1999 など）。ただ、その後、雑多な考古資料を追加する中で、鉛同位体比が集中する範囲などが不明瞭となった側面も認められるので、基準とな

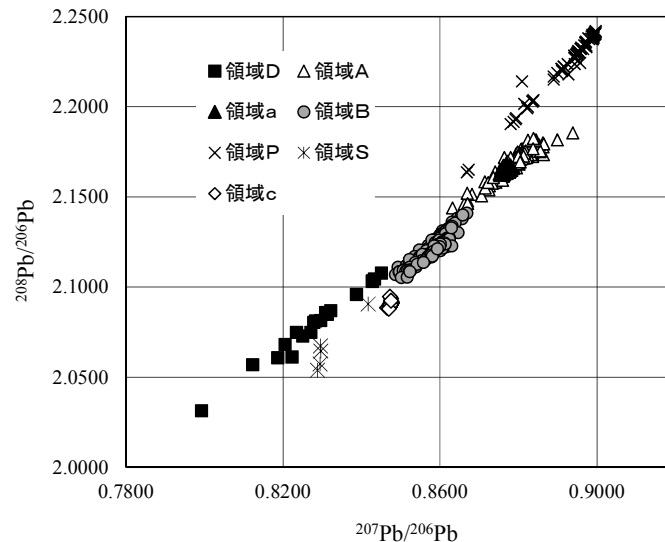


図 1：日本列島出土青銅・鉛ガラス製品の鉛同位体比  
Fig.1 Lead isotope ratios of bronze and lead glass artifacts found in ancient Japan

る考古資料を限定して、改めて図示する（図 1）。基準とした考古資料は、領域D：菱環鈕式～外縁付鈕 1 式の銅鐸、領域A：外縁付鈕 2 式～突線鈕 1 式の銅鐸および中広形銅戈、領域 a：突線鈕 2 式以降の銅鐸、領域B：後漢後期～三国時代併行期の銅鏡（詳細は後述）、領域P：百済出土の鉛ガラス製品、領域S：新羅産の鉛釉陶器、領域c：奈良～平安時代の鉛釉陶器、である。

以上の領域区分に関しては、先行研究において十分に検証されている。しかし、それぞれの領域の成り立ちや、原料産地の具体的な特定に関しては検討すべき問題が残されている。また、時期的な変遷に関しても、大枠としては共通見解に達している。詳細にトレースするならば、日本列島産の器物と舶載された器物では異なる場合があることや、鉛を含む器物が非常に寡少となる時期が存在することなどが留意される。具体的な変遷は表 1 にまとめる。

表 1：日本列島出土青銅・鉛ガラス製品の鉛同位体比の変遷

Table.1 The transition of lead isotope ratios of bronze and lead glass arifacts found in ancient Japan

		弥生時代					古墳時代					奈良	
		中期			後期		前期	中期	後期		終末期		
		前葉	中葉	後葉	前半	後半			前半	後半	前半		後半
中国製	青銅			A	A→B	B	B	B					
朝鮮半島製	青銅	D											
	鉛ガラス										P	S	
日本列島製	青銅	D	A	A	a	a	B	B	B			(c)	c
	鉛ガラス											(c)	c

#### 4：三角縁神獣鏡の鉛同位体比に関する認識

本発表の目的である三角縁神獣鏡はすべて領域Bに帰属する。しかし、三角縁神獣鏡が示す鉛同位体比のまともは領域Bの全体には広がらない(西田 1986、馬淵 2013 など)(図 2)。三角縁神獣鏡とともに、後漢後半～三国時代の中国鏡を加えると、領域Bの全体を覆うこととなる。ここでは、変則的な鉛同位体比を持つ資料が稀な上方作系浮彫式獣帯鏡と斜縁神獣鏡を代表として表示した。ともに徐州系もしくは華北東部系と呼称されており

(岡村 1999、森下 2007)、三角縁神獣鏡に若干先行する二世紀後半～三世紀前半に華北東部地域で製作されたものである。三角縁神獣鏡と三角縁神獣鏡以外の後漢後半～三国時代の中国鏡は明らかに原料産地が異なると考えられるが、それぞれの鉛同位体比が示す領域は重複部分が多い。

さらに、三角縁神獣鏡自体に関しても、「舶載三角縁神獣鏡」と「仿製三角縁神獣鏡」で鉛同位体比の領域は異なる(西田 1986)。ただし、正確に言えば、鉛同位体比の変化は「舶載三角縁神獣鏡」から「仿製三角縁神獣鏡」への変化に対応しない。「舶載三角縁神獣鏡」の中でも新しく製作された波文帯鏡群は、「仿製三角縁神獣鏡」と共通の鉛同位体比を持つからである。筆者は、この点に注目し、製作年代論的な含意について言及した(大賀 2002)。その後、馬淵(2010 a)は、岸本(1989)による神獣像表現に基づいた「舶載三角縁神獣鏡」の分類との対応関係を検討し、鉛原料の変化が岸本分類による表現⑪、表現⑫、表現⑬以降に生じることを指摘した。ただし、これは考古学的な通説における波文帯鏡群のまともを優先したもので、鉛同位体比のみから言うと、表現⑪と

表現⑫のみが「仿製三角縁神獣鏡」と共通する(大賀 2013)。この画期は、古墳における三角縁神獣鏡の共伴関係とも整合的である。以下では、「舶載三角縁神獣鏡」から表現⑪と表現⑫を除いたものを三角縁神獣鏡(古段階)、「仿製三角縁神獣鏡」に表現⑪と表現⑫の「舶載三角縁神獣鏡」を加えたものを三角縁神獣鏡(新段階)と呼称する。

三角縁神獣鏡(古段階)と三角縁神獣鏡(新段階)の鉛同位体比は明確に分離される(図 3)。管見では、三角縁神獣鏡(新段階)の鉛同位体比は42枚が測定されており、5枚のみ三角縁神獣鏡(古段階)が示す領域に入るだ

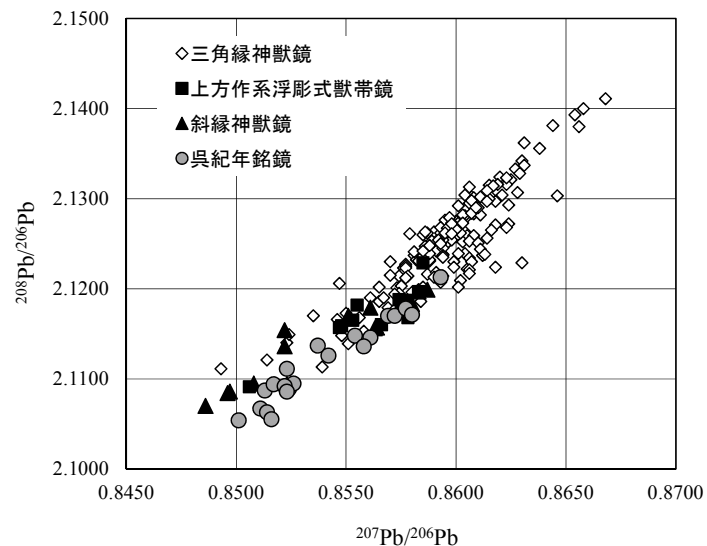


図 2：領域Bの細分  
Fig.2 The subdivision of Area B

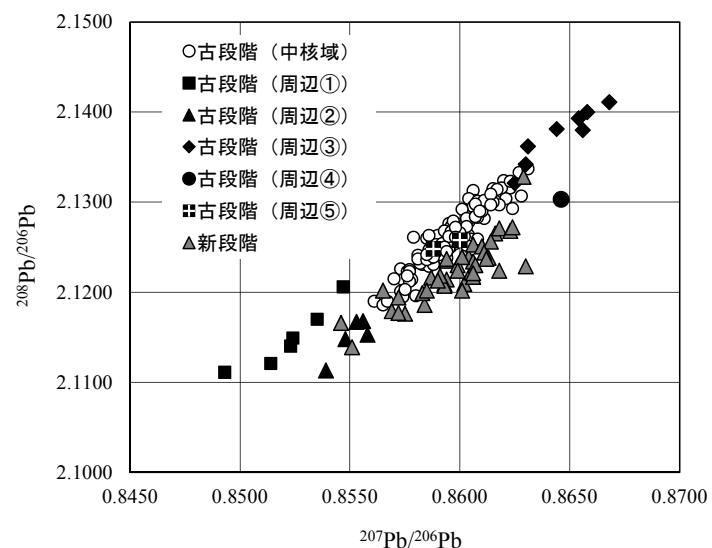


図 3：三角縁神獣鏡の鉛同位体比  
Fig.3 Lead isotope ratios of the bronze mirror, "Sankakubuchi-shinjyukyou"

けである。ただし、三角縁神獸鏡（古段階）の鉛同位体比を仔細に検討すると、直線的に凝集する中核的な範囲と、周辺に分散的にプロットされるものに区分されるように見える。そこで、産地推定上の区別の必然性は明確ではないが、暫定的に区分して検討する。ここでは、A式図から4つ（周辺①～周辺④）、B式図から1つのグループを分離する（周辺⑤）。実は、次章で概観する国産説は、この周辺のグループの評価に大きく依存したものである。

### 5：鉛同位体比を根拠とする国産説の論理

まず、三角縁神獸鏡の原料産地および製作地に関して包括的な理解を提示した馬淵

（2010 a・2013・2018）の見解を概観する。馬淵は、三角縁神獸鏡の鉛同位体比を大きく4つのグループに区分し、それぞれに対して原料産地を推定した。4つのグループとは、前述の三角縁神獸鏡（古段階）の中核域、周辺①、周辺②、三角縁神獸鏡（新段階）の中核域である。

領域Bの鉛原料は、地質構造のマクロな検討から揚子地塊または南中国褶曲系に所在する鉍床に由来すると判断した上で、既発表の鉍石データから貴州省や広東省・広西チワン族自治区を除外し、三角縁神獸鏡（古段階）の中核域に関しては長江中流域を想定した。三角縁神獸鏡（古段階）の中核域は、その領域の上半部に湖南省北東部に所在する桃林鉍山の鉛同位体比がプロットされることと、馬淵が「骨格ライン」と呼称する京都府椿井大塚山古墳出土の4枚の三角縁神獸鏡、鉛の含有量が特に少なく意図的には添加されていないと考えられる、の鉛同位体比を中心としてばらつくように形成されることが根拠となっている。さらに踏み込んで、桃林鉍山の鉛と近隣に所在する著名な湖北省銅緑山鉍山の銅が混合されて形成されるという具体的な想定にも言及されている。

しかし、銅素材に付随する少量の鉛の影響で鉛同位体比のばらつきが生じると考えるならば、鉛の添加量が多い銅鏡の方が「骨格ライン」の近傍に集中するはずである。また、銅緑山鉍山の鉍石の鉛同位体比は周辺で出土した銅インゴット（銅錠）からかなり低い値を前提しているのであるから、この点でも整

合性を欠く。

三角縁神獸鏡（新段階）に関しては、三角縁神獸鏡（古段階）よりも一貫して錫の含有量が少ないことから、錫素材の節約を目的として、三角縁神獸鏡（古段階）の中核域の材料に銅素材を混合したものと説明した。このモデルは、青銅の材質と鉛同位体比の系統的な変化を整合的に説明するが、添加されたと考えられている集約的な鉛同位体比を持つ銅原料の使用が実証されていないという不備が残る。

一方、三角縁神獸鏡（古段階）の周辺①および周辺②に関しては、三角縁神獸鏡（古段階）の中核域の材料に、それぞれ領域Dの青銅および銅緑山鉍山の銅素材が混合されたものと説明した。特に前者に関しては、領域Dを朝鮮半島系の鉛の鉛同位体比であるという従来の見解を踏襲した上で、朝鮮半島系の鉛が混合されるのは朝鮮半島または日本列島に限定されると判断した。そして、朝鮮半島では三角縁神獸鏡が出土しないことから、その製作地は日本列島となる。ちなみに、混合された領域Dの青銅の素材としては、弥生時代中期前半に製作された多鈕細文鏡が想定されている。

以上の論理展開は首肯し難い。まず、領域Dが朝鮮半島系の鉛であるという通説自体に疑問がある。次章で検討するように、朝鮮半島の鉍石データは領域Dと合致しない。いくつかの鉍床に関しては、半直線状となる領域Dの端部付近と近似する鉛同位体比を持つが（嶺南山塊北部の Jukbyeon 鉍山など）、全体として相違は大きい。また、日本列島では領域Dに帰属する青銅製品は、いずれも弥生時代中期の遺構から出土する。長野県社宮司遺跡出土の多鈕細文鏡の鏡片が弥生時代後期の資料であると言及される場合があることも考慮されたと思われるが、共伴する玉類から中期後半の栗林式期の資料であることは間違いない。そもそも三角縁神獸鏡に比べて、多鈕細文鏡の出土枚数は極めて寡少で、小型で重量が少ないものが過半を占め、周辺①のような変則的なグループを形成するほどの影響を持つとは考えられない。ただし、三角縁神獸鏡よりも僅かに先行する時期に呉の領域で製作されたと考えられている椿井大塚山古墳出土の画文帯対置式神獸鏡が領域Dに帰属する

ことから、領域Dに帰属する青銅との混合自体はありえるかもしれない。馬淵は、日本列島で製作されたと考えられる三角縁神獣鏡の範囲を拡張するさらに問題が多い論理も提示しているが、検討を省略する。

また、国産説の問題とは直接、関連はしないが、三角縁神獣鏡の主要な鉛原料の産地を長江中流域に求めている点の方が考古学的には問題が大きい。三角縁神獣鏡は三世紀中葉に生産が開始され、約100年間継続したと考えられるが、特に西晋によって統一されるまでの約40年間は、魏・呉・蜀の三国が厳しく対立している時期である。三角縁神獣鏡の生産地が魏の領域内、もしくは魏と友好的な関係にある倭のいずれかで製作されたとしても、原料が継続的に供給されたとはいえ難い。実際、魏と呉の政治状況と紀年銘鏡の製作を詳細に検討した車崎(1999・2000)を参照しながら、紀年銘鏡の鉛同位体比を比較すると、両国間の対立関係から独自の銅鏡生産が行われていたと判断される時期、すなわち呉が魏から自立した黄龍元(229)年から西晋が呉を併合する太康元(280)年前後までは、それぞれの地域の紀年銘鏡の鉛同位体比が明確に相違する。しかも、その時期に製作された魏の紀年銘を持つ銅鏡のみ、鉛同位体比が三角縁神獣鏡(古段階)の中核域と合致するのである。ただし、太康年間以降の紀年銘鏡の鉛同位体比が、三角縁神獣鏡(新段階)の中核域と合致しないことは、その製作地を推定する上での重要な制約条件となる。

一方、新井(2005・2006)による国産説には、二つの根拠が挙げられている。一つは三角縁神獣鏡(古段階)の周辺③の一部および周辺⑤の鉛同位体比が、岐阜県神岡山産鉛鉱石の鉛同位体比と類似することである。この点は、研究史上で繰り返し指摘されてきた。ただし、あくまで鉛同位体比のみの現象的な類似で、それも領域の縁部が僅かに重複するだけである。しかし、日本列島において古墳時代以前に鉛資源の開発が行われていたという直接的な証拠は全く存在しないし、それが神岡山から始められたと考えるのは、他の考古学的な状況と極めて不整合である。

もう一つは、「確実な中国鏡」や「確実な仿製鏡」の鉛同位体比との比較から、三角縁神獣鏡の鉛同位体比は前者とは一致せず、後者

と一致すると判断し、国産説を主張する。しかし、新井の検討は類似するという判断に統計学的な問題が大きい点が指摘されている

(下司2009)。また、比較対象の選定においても、製作時期や製作地の認識に問題が大きい。しかも、舶載説においては、青銅素材自体の輸入が想定されているのであるから、日本列島産鉛石にしか出現しないような鉛同位体比が存在し、それが三角縁神獣鏡と合致するというような状況でなければ、国産説の根拠とはなり得ない。

以上のように、鉛同位体比を根拠とする三角縁神獣鏡の国産説は支持できるものではないと判断する。ただし、近年、以上の研究が前提としていたよりもはるかに膨大な鉛床データが公表されている。これらのデータに基づいて、あらためて原料産地の問題を検討することには意味があるだろう。

## 6：鉛石試料との比較

### ①日本

日本列島の鉛床の鉛同位体比に関しては、佐々木ほか(1982)や馬淵・平尾(1987)においてまとめたデータが公表されている。ただし、これらのデータを利用する際には、日本列島産鉛の鉛同位体比の集中域から外れる資料がしばしば捨象されること、小地域ごとのまとまりが検討されていないこと、開発が古代に遡る可能性が高い西日本の諸地域の試料に欠落が多いことなどの問題点が指摘できる。そこで、以上の課題を念頭において、データの追加と検討を行った(大賀2018)。すなわち、グループI a、グループI b、グループI c、グループII、グループIII、グループIVに大別し、それぞれの地域分布を検討した。ちなみに、考古学的な産地推定において通説的に「日本列島産鉛」の範囲として表示されているのは、グループI aとグループI bを合わせた範囲である。

これまで指摘されてきたように、岐阜県神岡山を代表とするグループIIと分類した鉛床の鉛同位体比は、三角縁神獣鏡(古段階)と類似する。しかし、B式図によるならば、両者が合致するとは言えない。一方、福井県中竜山などグループI cと分類した鉛床の鉛同位体比は、B式図では比較的類似するが、A式図では区別される。また、日本列島の鉛

鉱床の中では三角縁神獸鏡と類似する鉛同位体比を示す鉱山は、いずれも地域的に古代における開発が想定し難い点も注意しなければならない。

### ②朝鮮半島

朝鮮半島の鉱床の鉛同位体比に関しては、馬淵・平尾（1987）がほとんど唯一のデータセットであったが、Jeongほか（2012）によって、少なくとも南部に関しては地域的な傾向が明確となった。すなわち、地質帯とほぼ整合するように、慶尚盆地、嶺南山塊北部、太白山盆地東部、太白山盆地西部、嶺南山塊中南部、沃川変成帯、京畿山塊南部、京畿山塊北部が区別される。ただし、嶺南山塊中南部と沃川変成帯は地質帯としては区別されているが、鉛同位体比的には区別できない。

単独の鉱床のみで、三角縁神獸鏡が示す鉛同位体比の範囲と対応するものは存在しない。しかし、嶺南山塊中南部や沃川変成帯に所在する鉱床の鉛同位体比は、全体として三角縁神獸鏡の鉛同位体比とよく一致する。すなわち、朝鮮半島産の鉛が三角縁神獸鏡の原料として利用された可能性は否定できないと考える。

### ③中国

中国で産出した鉱石試料の鉛同位体比に関しては、長らく馬淵・平尾（1987）がまとめたほとんど唯一のデータであり、その後、齋藤（2003）が四川省および雲南省の特徴的なデータを紹介した。また、馬淵（2012）は既存のデータに基づいて、中国におけるマクロな鉛同位体比の異同を議論している。しかし、地域区分の解像度が低いため、産地推定としての実質的な意味が乏しい。一方で、近年、中国国内で鉱産資源の重点的な探査が行われた結果、鉛同位体比のデータが急激に公表されるようになった。そこで、管見に触れた新しいデータを中心に、三角縁神獸鏡が示す鉛同位体比のまとまりとの比較を行った。

ここ約10年間に公表されたデータはあまりに膨大であることから、今回の作業の目的を考慮して、対象地域としては新疆ウイグル自治区や青海省といった西方地域は除外した。また、鉛を稼行対象とした鉱床で産出した方鉛鉱の鉛同位体比を主に用いるが、地域的な

空白を埋めるために、鉛を稼行対象としない鉱床を加える場合もある。方鉛鉱の鉛同位体比が公表されていない場合は黄鉄鉱または黄銅鉱のデータで代用した（図中のキャプションでは「Fe」または「Cu」を書き加える）。ただし、現在において経済的な価値が大きくないために、データが欠落する地域が少なくないことや、同一鉱山においても対象鉱物によって鉛同位体比が系統的に相違する場合があることなど、課題も多く残される。また、馬淵・平尾（1987）が報告したものと同一の鉱山に由来するデータも少なくないので、結果の比較を行った。多くの場合には類似する結果が得られているが、雲南省会沢鉱山や広西チワン族自治区泗頂鉱山に関しては大きく相違しており、データの評価に注意を要する。

地域別にみると、まず魏の領域に対応する長江以北では、 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ の値が0.8700以上となる鉱床が過半を占める。しかし、一方でいくつかの鉱床に関しては $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ の値が0.8500~0.8700のやや小さい値を示す。例えば、河南省南部に所在する銀銅溝鉱山の鉛同位体比は、A式図において三角縁神獸鏡（古段階）が示す領域の下端付近に位置し、注目される。

呉の中心地である長江下流域の江蘇省および安徽省の中～南部や浙江省では、地域的な相違が認められる。長江以北の安徽省六安市周辺の鉱床では $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ の値が0.8700以上となる。それに対して、長江南岸の安徽省銅陵市周辺の鉱床では、 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ の値が0.8400~0.8600となる。この値は江西省北部の徳興市周辺の鉱床とも共通する。ただし、江蘇省南京市郊外に所在する棲霞山鉱山は、長江の北側と類似した鉛同位体比を示す。また、青銅鏡生産との関係が指摘されている浙江省五部鉱山は（馬淵2013）、広い意味で江南地域に一般的な鉛同位体比ではあるが、銅陵市周辺や徳興市周辺の鉱床とは異なる。

長江中流域では、地域的な空白が大きいが、湖南省中部の衡陽市周辺、南部の湘南地域、北西部の湘西地域のデータが豊富に存在する。不規則に散在する分析値を捨象すると、湘南地域の鉱床は $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ の値が0.8400~0.8500、湘西地域の鉱床は $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ の値が0.8600~0.8700と別れて集中域を形成する。また、湘西地域に近接する重慶市石堤鉱山や

貴州省塘辺鉛山の鉛同位体比は、湘西地域の鉛床と類似の傾向を示す。一方、貴州省西部の鉛床は異なった鉛同位体比を持ち、特に納雍枝鉛山は $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ の値が0.8750~0.8800のかなり大きな値を持つ点が注意される。また、馬淵(2013)が注目する湖南省桃林鉛山は三角縁神獸鏡(古段階)が示す鉛同位体比の範囲に入る点で重要であるが、周辺の湖南省北東部もしくは湖北省南部の鉛床データが乏しく、その一般性に関しては今後の課題である。ただし、馬淵(2013)が注目し、銅のインゴットである銅錠から間接的に推定した湖北省銅鏡山鉛山に関しては、銅錠と類似する鉛同位体比とともに、全く異なった鉛同位体比を持つ2種類の鉛石が確認されており、評価に注意を要する。

さらに南方の華南地域では、広東省北部のデータがまとまっている。北接する湖南省の湘南地域よりも $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ の値がやや大きく、0.8500~0.8550程度の値を持つものが多いが、大宝山鉛山は湘南地域が示す範囲に含まれる。広東省に一般的な鉛同位体比は、浙江省五部鉛山とも類似するもので、青銅鏡の鉛原料を考える上で無視できない。広西チワン族自治区のデータはやや少なく、地域的にもまとまりを欠いている。広い意味では江南に通有の鉛同位体比であるが、産地推定論的にはさらにデータの追加が期待される。

蜀の領域、もしくはその後背地に当たる四川省や雲南省では、雲南省北東部、西部、北西部のデータが多数、公表されている。四川省に関してはデータが寡少であることから、齋藤(2003)が紹介しているデータを加えた。ただし、その中で当該地域に特徴的に出現すると言われる $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ の値が0.8000以下となるような鉛床に関しては、ここでの検討に関係しないので、図では表示していない。四川省中部の團宝山鉛山、四川省南部の涼山自治州周辺の鉛床、雲南省北東部の鉛床の多くは貴州省西部の天橋鉛山とともに一体的な鉛同位体比を示し、さらに小地域ごとに細分が可能に見える。ただし、富楽鉛山は雲南省西部の西邑鉛山や、北西部の怒江自治州周辺の鉛床と類似していることや、図示を省略した $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ の値が極端に小さい鉛床も地域内に存在することなどから、慎重な取り扱いが必要である。また、四川省南部や雲南省北

東部の鉛床が集中する領域は、三角縁神獸鏡や後漢鏡よりも $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ の値が小さい方へずれることから、鉛原料の産地としての可能性は低いと考えられる。

## 7: まとめ

以上、まず鉛同位体比のデータを根拠とした三角縁神獸鏡の国産説を検討し、その判断が妥当ではないことを示した。さらに、近年、公表された各地域の鉛石データから、鉛同位体比のミクロな地域性を把握し、三角縁神獸鏡の原料産地としての可能性を検討した。その結果、日本列島産の鉛原料が利用された可能性は乏しいが、朝鮮半島南半部産の鉛原料が使用された可能性は否定できないことが判明した。今後は、比較的長距離に及ぶことになる原料の運搬の可能性について、検討を行う必要がある。また、中国産の鉛石についても除外はできないが、既存のデータは合致しないものがほとんどである。ただし、分析対象とされた鉛石の選択が現代における経済的な価値に大きく影響されており、考古学的な知見から有望と考えられる地域に関するデータ不足が明らかである。拙速な判断を行うことなく、引き続き検討を継続する必要があると考える。

## 付記

本稿では、紙幅の都合から、個々の鉛同位体比が報告された文献のほとんどを捨象した。準備中の別稿において掲載する予定であるので、併せて御参照頂ければ幸いである。

## 引用・参考文献

- 1) 新井宏：鉛同位体比から見た三角縁神獸鏡の製作地、「情報考古学」11-2、pp.1-13、2005
- 2) 新井宏：鉛同位体比から見て三角縁神獸鏡は非魏鏡、「東アジアの古代文化」129、pp.54-83、2006
- 3) 岩本崇：「仿製」三角縁神獸鏡の生産とその展開、「史林」86-5、pp.1-39、2003
- 4) 岩本崇：三角縁神獸鏡の生産とその展開、「考古学雑誌」92-3、pp.1-51、2008
- 5) 上野祥史：神獸鏡の作鏡系譜とその盛衰、「史林」83-4、pp.30-70、2000

- 6) 上野祥史：赤鳥年前後の呉鏡の製作動向、「泉屋博古館紀要」23、pp.1-12、2007
- 7) 王仲珠：「三角縁神獸鏡」、pp.1-352、1992
- 8) 大賀克彦：凡例 古墳時代の時期区分、「小羽山墳墓群」、pp.1-20、2002
- 9) 大賀克彦：前期古墳の築造状況とその画期、「前期古墳からみた播磨」、pp.61-96、2013
- 10) 大賀克彦：日本列島産鉛石の鉛同位体比分析とその考古学的含意、「古代学」10、pp.31-48、2018
- 11) 岡村秀典：「三角縁神獸鏡の時代」、pp.1-203、1999
- 12) 岡村秀典：景初三年における三角縁神獸鏡の成立、「先史学・考古学論究」V、pp.471-483、2010
- 13) 笠野毅：三角縁神獸鏡は語る、「古代を考える 邪馬台国」、pp.145-180、1998
- 14) 岸本直文：三角縁神獸鏡製作の工人群、「史林」72-5、pp.1-43、1989
- 15) 車崎正彦：副葬品の組み合わせ、「季刊考古学」別冊8、pp.53-74、1999
- 16) 車崎正彦：三角縁神獸鏡をめぐって、「栃木考古学会誌」21、pp.1-35、2000
- 17) 小林行雄：前期古墳の副葬品にあらわれた文化の二相、「京都大学文学部五十周年記念論集」、pp.721-744、1956
- 18) 齋藤努：鉛同位体比産地推定法とデータの解釈について、「国立歴史民俗博物館研究報告」108、pp.257-279、2003
- 19) 佐々木昭・佐藤和郎・G.L.カミング：日本列島の鉛床鉛同位体比、「鉛山地質」32-6、pp.457-474、1982
- 20) 下垣仁志：「三角縁神獸鏡研究事典」、pp.1-554、2010
- 21) 下司和男：「三角縁神獸鏡魏鏡説」は危機に瀕しているか、「古代史の海」57、pp.41-53、2009
- 22) 富岡謙蔵：「古鏡の研究」、pp.1-416、1920
- 23) 西田守夫：鉛同位体比法による漢式鏡研究への期待と雑感、「MUSEUM」370、pp.13-17、1982
- 24) 西田守夫：「鉛同位体比法による漢式鏡の研究(二)」の資料蒐集と雑感、「MUSEUM」382、pp.31-36、1983
- 25) 西田守夫：「三角縁神獸鏡の製作地の研究」、pp.1-42、1986
- 26) 魯禔玆：韓国出土の馬形帯鉤の産地推定研究、「文化財学へのいざない」、pp.122-129、2013
- 27) 平尾良光(編)：「古代青銅の流通と鑄造」、pp.1-347、1999
- 28) 平尾良光：古墳時代青銅製品の鉛同位体比、「考古学雑誌」97-3、pp.27-62、2013
- 29) 福永伸哉：「三角縁神獸鏡の研究」、pp.1-358、2005
- 30) 藤本昇：「卑弥呼の鏡」、pp.1-160、2016
- 31) 馬淵久夫：鉛同位体比からみた三角縁神獸鏡の舶載鏡と仿製鏡、「日本考古学」29、pp.1-18、2010a
- 32) 馬淵久夫：漢式鏡の化学的研究(1)、「考古学と自然科学」61、pp.1-16、2010b
- 33) 馬淵久夫：漢式鏡の化学的研究(3)、「考古学と自然科学」63、pp.1-27、2012
- 34) 馬淵久夫：三角縁神獸鏡の原材料産地に関する考察、「考古学雑誌」98-1、pp.1-49、2013
- 35) 馬淵久夫：漢式鏡の化学的研究(4)、「考古学と自然科学」66、pp.1-24、2014
- 36) 馬淵久夫：三角縁神獸鏡の製作地について、「考古学雑誌」100-1、pp.1-50、2018
- 37) 馬淵久夫・平尾良光：東アジア鉛鉛石の鉛同位体比、「考古学雑誌」73-2、pp.71-82、1987
- 38) 森浩一：日本の古代文化、「古代史講座」3、pp.197-226、1962
- 39) 森下章司：古墳時代前期の年代試論、「古代」105、pp.1-27、1998
- 40) 森下章司：前期古墳副葬品の組合せ、「考古学雑誌」89-1、pp.1-31、2005
- 41) 森下章司：銅鏡生産の変容と交流「考古学研究」54-2、pp.34-49、2007
- 42) Jeong, Y., Cheong, C., Shin, D., Lee, K., Jo, H., Gautam, M., Lee, I.: Regional variations in the lead isotopic composition of galena from southern Korea with implications for the discrimination of lead provenance, Journal of Asian Earth Sciences, 61, pp.116-127, 2012

---

平成 31 年 2 月 26 日発行  
埋蔵文化財ニュース 174 号

保存科学研究集会  
同位体比分析と産地推定に関する最近の動向

独立行政法人国立文化財機構 奈良文化財研究所 埋蔵文化財センター  
〒630-8577 奈良市二条町 2-9-1  
お問い合わせ先:0742-30-6733

---





