

(文化財科学研究の最前線 産地推定)

鉛同位体比による産地推定研究の動向

— 導入から今後の展開へ向けて —

齋藤 努

●キーワード：鉛同位体比 (lead isotope ratio), 青銅 (bronze), 弥生時代 (Yayoi Period), 古墳 (ancient burial mound), 銅鐸 (bronze bell), 青銅鏡 (bronze mirror)

1. 研究の背景と歴史

「産地」という言葉には二つの意味がある。一つは「製作地」であり、通常はこちらの意味で使うことの方が多いであろう。もう一つは「原料の産出地」である。この二つが同じか近い場合も多いが、金属のように、素材や半製品が運ばれて別の場所で製品が作られたり、鋳直しなど再利用の可能性が考えられたりするものでは、区別して考える必要がある。

これらのうち、製作地は、考古学や美術史学などの研究により、資料の型式や文様などに基づいて推定される。原料の産出地は、同様に肉眼観察や顕微鏡観察で推測する場合もあるが、近年は自然科学的な分析によって推定されることが多くなっている。歴史資料を自然科学の手法で調査解析する文化財科学の分野では、そのような方法で原料の産出地を推定する研究のことを「産地推定」という。

産地推定に利用される自然科学的方法には、主成分や微量成分の分析、鋳物組成分析などいくつかのものがあるが、ここでは、青銅器などに適用されて考古学研究に大きく寄与している鉛同位体比法について紹介する。

地質学や鋳床学など、広く地球科学とよばれる分野では、鉛の安定同位体比が鋳床によって異なっており、それを調べることで地質学的年代や鋳床の成り立ちがわかるということは従来から知られていた。この性質を文化

財に適用し、主として青銅器を対象として、資料に含まれる鉛同位体比を測定することによって原料の産地を推定しようというのが、鉛同位体比産地推定法の基本的な考え方である。他に測定対象となる資料としては、銅・鉛鉱石、製錬時の鋳滓（スラグ）、熔融物のような鋳造関連遺物、鉛釉・鉛ガラス、鉛を副成分として含む銅製品やスズ製品などがある。

この方法は産地推定を目的としてはいるが、実際には、原料の産出した場所、特に鋳山までを特定することは容易ではない。現在稼働している鋳山のデータを蓄積することによって、地域ごとの傾向をつかむことはできる。しかし、過去に稼働していた鋳山が採掘をやめてから長期間が経過し、現在では知られなくなってしまっている場合も多く、また全く異なる場所にある鋳山の鉛同位体比が偶然に類似した鉛同位体比を示すこともある。したがって、現在稼働している個々の鋳山の鉛同位体比を昔の青銅資料の測定値と直接むすびつけることは通常できない。文字通りの「産地推定」を行うためには、対象とする青銅資料と同時期の鋳山遺跡や製錬遺跡からの出土遺物とデータを比較し、資料とそれらの遺跡との歴史的なつながりなども含めて、総合的に考察して判断をくだしていく必要がある。実際上は、考古学的・美術史的な知見などに基づいて選択された資料どうしについてデータを比較し、それらの関連性をさぐっていくことが多い。

以下、鉛同位体比による産地推定研究の歴史を述べる。

本章の内容は、山崎（1987, 2001）、馬淵（2007）、平尾（2013）などの総括を参考にした。なお、弥生時代の暦年代は、2003年以來、国立歴史民俗博物館の年代測定グループによって提案されているもの（藤尾：2003, 春成・今村編：2004, 藤尾：2009, 2011, 2013）をあてはめている。

1.1. 鉛同位体比産地推定法の開発

文化財に対し、初めて鉛同位体比法を適用したのは米国コーニングガラス博物館の R.H. Brill で、最初の発表は1965年のボストン美術館におけるセミナーの講演であった。また論文としては、Brill・Wampler（1967）によって執筆された、「青銅やガラスに含まれる鉛は産地となる鉛床によって同位体比が異なっているため、それらを比較することによって原料の産地が推定できるのではないか」というものがある。遺物と鉛鉛石としては、ギリシャ、英国、スペインのものなどが分析された。この時にはまだ表示法も定まっておらず、横軸に $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ 、縦軸に $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ と $^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ をとる二重の図が用いられていた。

その後、Brill et al.（1973）において、青銅、絵画顔料、ガラス、貨幣などの鉛同位体比に関する総合的な報告が行われた。この時の分析は米国国立標準局の I.L. Barnes が行い、結果の表示には現在日本で主に行われているのと同じ $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ と $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ を両軸に取る方法が使われている。Brill の研究対象は、主として世界各地のガラス資料であり、数多くの報告が行われている（Brill et al.：1991 など）。なお、Barnes が1990年に逝去したあとは、1991年から室蘭工業大学の白幡浩志が Brill に協力して鉛同位体比を測定している。

1.2. 鉛同位体比法の日本への導入

日本への鉛同位体比法の導入は名古屋大学の山崎一雄によって行われ、1970年に Brill へ送られていた佐賀県唐津市の甕棺墓から出土した鉛矛のほか、中国戦国時代の璧、弥生時代の管玉、古墳時代の玉、正倉院のガラス、その他のガラスなど、計22点の分析結果が、コーニング博物館の中国ガラス、日本と中国産の鉛鉛石とともに、Brill et al.（1979）において発表された。

日本国内における鉛同位体比分析は、山崎一雄が資料を提供し、室蘭工業大学の室住正世が測定をすることによって始まった。最初の対象資料は青銅器で、三角縁神獸鏡、前漢鏡、中国古銭、そして日本の鉛鉛石が分析された（山崎・室住：1976）。山崎は、この分析結果を通じて、「考古遺物の鉛同位体比を既知鉛山の鉛と比較して直ちにその産地を推定することは必ずしも容易ではない。指紋の判定と同じとは限らない。むしろ各種の遺物を多く測定して、それらの鉛同位体比の分布から産地についての情報を得たい」（山崎：2001）という考えを持つに至る。これは、日本におけるその後の産地推定研究の基本姿勢につながるもので、研究の精神的確に言いあらわしている。鉛同位体比による産地推定について、「鉛同位体比は指紋と同じようなものだから鉛山は簡単に特定できる」という説明が行われる場合があるが、鉛山を特定するところまで考察を進めることは、実際にはそれほど容易なことではないのである。

1.3. 特定研究とその成果

1976-1978年度、1980-1982年度の2次にわたって、文部省科学研究費補助金による特定研究「自然科学の手法による遺跡・古文化財等の研究」が実施され、山崎一雄、室住正世、江本義理（東京国立文化財研究所）、馬淵久夫（同）、平尾良光（青山学院大学）、増田彰正（神戸大学）が「鉛同位体比測定による日本および中国出土の考古遺物の産地の研究」という題目で参加した（増田は第1次のみ）。日本文化財科学会は、この時の特定研究がもととなって設立されたものである。

この科研費の研究から、山崎らは主として京都大学考古学研究室の資料を、樋口隆康との協力のもとで分析していった。対象資料は、中国・日本の古代ガラス、前漢鏡、銅鐸、銅矛などの利器、綏遠銅器、寺院関係遺物などである。それらの成果は多岐にわたっており、この総説では紹介しきれないので、以下に主なものをあげる。

- ・前漢鏡と後漢鏡では、鉛同位体比に差異がみられる（山崎ら：1979）。
- ・京都府椿井大塚山から出土した4組の三角縁神獸鏡の同型鏡のうち、13号と15号は同位体比がきわめて近く、同一材料で同時に鑄造された可能性がある。

これは、そのような技法が確認された最初の例である。

- 銅鐸の中に、前漢鏡と同じ範囲の鉛同位体比を示すものがある（山崎ら：1978）。
- 東京大学考古学研究室所蔵の銅矛は、 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ の数值が0.72台と、きわめて低い数值を示す。
- 大阪府南河内郡塚廻古墳出土管玉には朝鮮半島系の鉛が使用されている（山崎：1990）。
- 薩摩切子には日本産原料が使われている（山崎：2001）。
- 福岡県福岡市博多遺跡群出土ガラスには、中国産のものと対州鉍山産のものがある（山崎・肥塚：1993, 山崎ら：1996a, 1996b, 1996c）。
- 大阪府南河内郡塚廻古墳の陶棺および同アカハゲ古墳出土の陶硯の鉛釉には朝鮮半島系原料が使用されている（山崎：1990）。

1.4. 4つのグループの提唱

このように、山崎一雄によって導入された鉛同位体比法は、青銅、鉛釉、ガラスなど、幅広い資料に適用され、従来の考古学研究では得られなかったいくつかの重要な指摘が行われた。それらの結果を受け、さらに発展させていったのは、東京国立文化財研究所（東文研：現在の

東京文化財研究所）の馬淵久夫と青山学院大学の平尾良光（1987年より東文研に移る）である。彼らは東京国立博物館の西田守夫らと協力し、弥生時代から古墳時代を経て古代にいたるまでの時期を中心として、日本で出土した中国・朝鮮半島系の青銅資料と、日本で作られた青銅資料を系統的に分析した。また、通産省工業技術院地質調査所（現在の産業技術総合研究所地質調査総合センター）から提供を受けた現代の日本、中国、朝鮮半島産の鉛鉍石も測定した。

それらの成果は、馬淵・平尾（1982a, 1982b）、馬淵ら（1983）、馬淵・平尾（1987, 1990）など一連の論文にまとめられ、青銅原料の産地に関する大まかな流れが、次第に整理されてみえるようになっていった。

はじめに、中国・朝鮮半島系の青銅資料と日本で作られた青銅資料、それから日本産の鉛鉍石の範囲から、図1a, bのような分布図が得られた。おおまかに下記の4つのグループに分かれている。

- A：弥生時代に日本へもたらされた前漢鏡が示す数值の領域。弥生時代に日本で作られた青銅資料の多くはここに含まれる。
- B：後漢・三国時代の舶載鏡が示す数值の領域。古墳出土の青銅鏡の大部分はここに含まれる。
- C：日本産の鉛鉍石の大部分が含まれる領域（神岡鉍

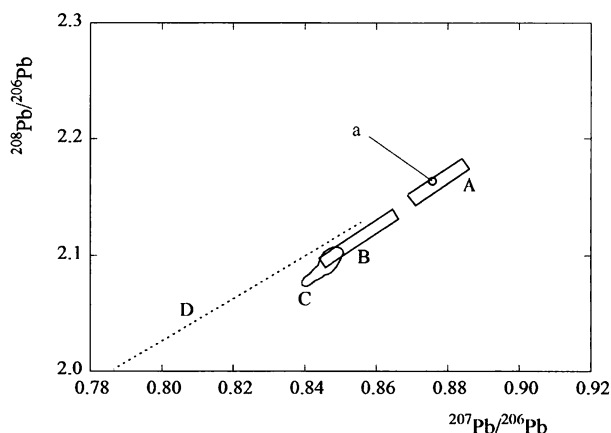


図 1a 東アジアの鉛同位体比分布図 (a 式図)
A：前漢鏡の領域 B：後漢・三国鏡の領域
C：日本産鉛の領域 D：朝鮮半島系遺物ライン

Fig. 1a Schematic diagram of lead isotope ratios for distinguishing between ancient Korean, Chinese and Japanese bronzes (style-a)
A: Western Han mirrors B: Eastern and Post-Han mirrors C: Japanese lead D: Korean mirrors and weapons

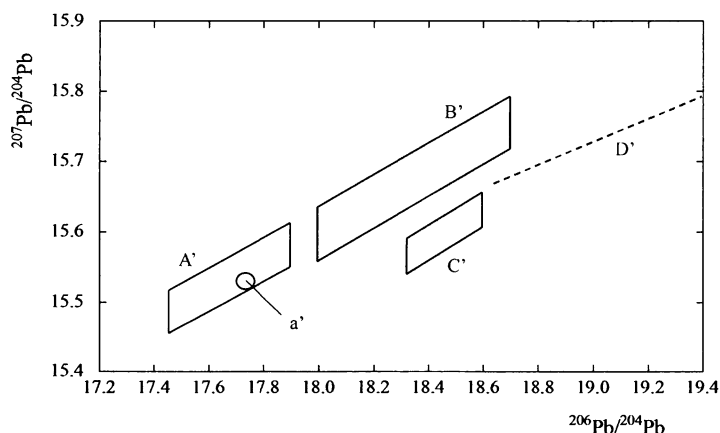


図 1b 東アジアの鉛同位体比分布図 (b 式図)
Fig. 1b Schematic diagram of lead isotope ratios for distinguishing between ancient Korean, Chinese and Japanese bronzes (style-b)

山などの例外を除く)。

D：多鈕細文鏡や細形銅利器など、弥生時代に日本へもたらされた朝鮮半島系遺物が位置するライン。

なお、馬淵久夫の論文では、領域設定が資料に基づいて行われていることと、考古学の型式分類と紛れないようにするために、それぞれにW, E, J, Kを使用している場合がある(順に Western Han, Eastern Han, Japanese, Korean の頭文字)。ここでは、その後新しく設定された他の領域名との整合性を取るために、A, B, C, Dを使用する。

結果の表示には、通常、グループ分けが有効に行えるように、同位体比が変動する ^{206}Pb , ^{207}Pb , ^{208}Pb を組み合わせた $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ と $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ の図が使用される(図1a)が、これには地球科学的な意味はない。また、この表示だけでグループへの帰属がわかりにくい場合には、 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ と $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ の図が併用される(図1b)。こちらは地質年代などを得るのに地球科学で従来から用いられている表示法で、特にB領域とC領域の識別をするのに有効である。前者はa式図、後者はb式図とよばれている。

A領域とB領域は、中国の鉛鉱石の分析値との比較が行われた。もともなったデータは馬淵・平尾(1987)であるが、その後、馬淵(2012)において新試料の追加と鉛同位体比進化の理論的考察が行われた。それらによれば、前者は華北産鉛の分布範囲内、後者は華中～華南産鉛の分布範囲内にある。そのため、報告書によっては簡略化して、「華北の鉛」「(華中～)華南の鉛」と呼んでいる場合もあるが、領域設定自体は、上記のように、あくまでも青銅資料の測定結果に基づいて行われたものである。A領域、B領域をめぐるより詳細な議論は、最近、馬淵久夫の一連の論文によって展開されている(馬淵：2010, 2011, 2012)。それらについては4.1. で述べる。

C領域について、日本の鉱山の中でなぜ神岡鉱山が例外的な値をとるのかということ、他の大部分の鉱床の年代がいずれも新生代であるのに対し、神岡鉱山は鉱床生成年代がそれよりも古いためである(馬淵：1987)。

D領域については、現在の朝鮮半島産鉛鉱石の中に該当する鉱山は見つかっていない。しかし、朝鮮半島南部

の岩石中に放射性鉱物が多く含まれており、慶尚北道や江原道の鉱山で $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ と $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ が他よりも小さい数値をとるものがあるという地質学的な考察から、これも簡略化して「朝鮮半島の鉛」とよばれることがある。しかし、領域設定は、あくまでも青銅資料の測定結果に基づくものであることに留意しなければならない。またこれは、朝鮮半島での採鉱や製錬がいつから始まったのかという問題や、最近発表された韓国国内の鉛鉱石の分析結果も併せて考える必要がある。これらについては3.2. と4.2. で述べる。

日本への最初の青銅製品の導入は、弥生時代前期前葉(B.C.8世紀末)の今川遺跡(福岡県福津市)で出土した銅鑿と銅鏃である。これらは、中国東北部を源流とし朝鮮半島で広く分布していた遼寧式銅剣の破片を加工したものであった。その後、弥生時代の前期末から中期初頭(B.C.4世紀)にかけて、青銅器の本格的な供給が行われ、細形銅剣、細形銅矛、細形銅戈、多鈕細文鏡などももたらされた。このうち、銅矛は、製作時期に応じて、大きく(1)細形、(2)中細形、(3)中広形、(4)広形の4つにわけられる。平尾・鈴木(1999)により、鉛同位体比からみると、(1)はD領域、(2)はD領域を主体とし、A領域のものが入り始める、(3)はA領域がほとんどだが、D領域のものも少し混ざっている、(4)はA領域のうち、図1中にある「a」という狭い範囲内とその周辺に分布することがわかった。

1.5. 日本で作られた青銅資料の原料の推移

日本へ青銅器の本格的な流入が始まった弥生時代のこの時期から、奈良・平安時代にかけて、日本で作られた青銅資料を分析し、1.4. の4グループに当てはめたところ、下記のような推移を示すことがわかった。

馬淵・平尾(1982b)によれば、佐原真が鈕式に着目して提示した銅鐸の編年(佐原・春成：1982, 佐原：1996)や古墳出土鏡との間に対応関係が見出された。

銅鐸の菱環鈕式(最古段階I-1式, I-2式)と、外縁付き鈕1式(古段階II-1式)24鐸のうち19鐸がD領域に含まれる。後者の段階から、中国系とみられるA領域の原料が入ってきたと考えられる。

これまでに測定された外縁付き鈕2式(古段階II-2

式), 扁平鈕1式・2式(中段階Ⅲ-1式・Ⅲ-2式), 突線鈕1式・2式(新段階Ⅳ-1式・Ⅳ-2式)の鉛同位体比はA領域に入る。

突線鈕3式・4式・5式(新段階Ⅳ-3式・4式・5式)の近畿式・三遠式では, A領域の中でも, 「a」と名付けられたきわめて狭い領域内に数値が分布する。なお, 分析された突線鈕2式(新段階Ⅳ-2式)の5鐸のうち3鐸もこのa領域内にある。

古墳から副葬品として出土する仿製鏡などの青銅製品は, B領域の数値をとるものが多い。

日本産原料が大量に使用され始めるのは8世紀からであり, 10世紀までは, 銭貨のほか, 仏具などにC領域に含まれる原料がみられる。青銅製品や鉛釉では, そのうち特に齋藤(2001), 齋藤ら(2002)が示した「I」という領域に数値の集中するものが多く, これらは山口県の長登銅山(美東町教育委員会:1990, 1993, 1998, 渡辺:1994)や蔵目喜鉞山産の原料と推定されている。日本で作られた青銅製品や鉛製品の原料に関するその後の研究については, 3.4.で述べる。

1.6. 中国の古代青銅器への適用

1991年から2000年にかけて東京国立文化財研究所で共同研究を行った中国社会科学院の金正耀(2006年より中国科学技術大学へ移る)は, 中国古代の青銅資料を系統的に分析し, 以下の諸点を見出した。

まず, 夏王朝(B.C.2090年~B.C.1600年)には, 遼寧省や山東省から中原地域にかけての幅広い範囲から集められた青銅原料が使用されていたとみられる。

中国四川省の三星堆遺跡(B.C.2000年頃もしくは以前)や, 商代(B.C.1600年~B.C.1046年)遺跡の偃氏商城・鄭州商城(商代早期), 鄭州二里岡窖藏・湖北省盤龍城(商代中期), 安陽殷墟・江西省新干大型墓(商代後期)から出土する青銅資料は, 特異な鉛同位体比(金正耀はこれを「高放射性起源鉛」とよぶ)を示す(金:2001a)。ただしそれはほんの数百年間で検出されなくなり, 周代の遺跡ではほとんど姿を消してしまう。この結果について, 金(2001b, 2001c, 2001d)は, 四川省・貴州省・雲南省の境にある鉞床が原料の産地ではないかと推定している。

これに対し齋藤(2003)は, 金が同地域で産地の候補としてあげている会沢鉞山など, 貴州省・四川省・雲南省の境界付近にある鉞床鉛の数値(柳・林:2000など)から, a式図では分布傾向が重なるが, b式図では異なっているという点で疑問を呈している。

また, これらの特異的な鉛同位体比は, 数値からみると1.4.で馬淵・平尾が設定したD領域と重なる分布を示していることから, 新井(2000, 2007)は, 商代青銅資料のものと同じ原料が朝鮮半島系資料や燕国の匱字刀銭(金ら:1993, 金:2001e)の原料として使用されたのではないかと推測した。

馬淵(2007)は, 鉛同位体比研究の総括の中で, 佐々木昭の説明を引用して「韓国東部の鉞山で観測されたミシッピ・ヴァレー型の鉞床は, 韓国の中央部(ソウルの南)を横断し黄海を通過して中国南部へ伸びるベルト状の地帯のどこにあらわれてもおかしくない」と述べている。また, その後, 馬淵(2012)においては, 鉛鉞石のモデル年代と地質構造帯に基づく考察から, 韓国慶尚北道の第一蓮花鉞山, 第二蓮花鉞山, 蔚珍鉞山と, 中国雲南省の会沢鉞山をミシッピ・ヴァレー型鉞床と位置付けている。ただし, これらの論文ではいずれも, 三星堆遺跡や商代遺跡から出土した資料にみられる特異的な鉛同位体比との関連性までは言及されていない。

しかし, このような古い時期に, 現地の材料を用いず, 4000kmも離れた遠隔地からわざわざ運んでくることは考え難い。さらに, 特異的な鉛同位体比を示す青銅資料が出土している三星堆遺跡や商代遺跡の年代が紀元前2000年~紀元前1400年頃であるのに対し, D領域のような分布を示す朝鮮半島系資料や燕国の匱字刀銭が製作されるのは紀元前4世紀頃以降と, 時間的な隔たりがきわめて大きい上に, それら両者の時期の間は, 同様の数値を示す資料が見つからない空白の期間となっているが, 新井(2000, 2007)はその点について言及していない。このほか, 1~2世紀の資料である韓国慶尚南道の内德里古墳群の木棺墓から出土した方鉛鉞の鉛同位体比がD領域上にあること(齋藤・藤尾:2006), 8世紀の資料である島根県の出雲国庁跡出土の和同開珎銀銭(島根県八雲立つ風土記の丘所蔵)に含まれる鉛が, 同じくD領域上にあること(馬淵・平尾:1989)から,

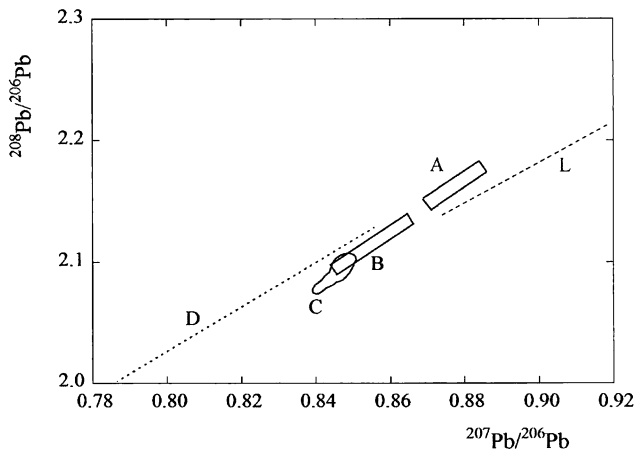


図2 図1 aにL領域を加えた図 (a式図)

Fig. 2 Schematic diagram adding Region L to Fig. 1a (style-a)

この領域は、朝鮮半島産の原料を示している可能性が高いとみた方がよい。

これらの事例では、あらためて、鉛同位体比による産地推定研究の基本的な考え方を適用する姿勢に立ち返る必要があると考えられる。すなわち、まず地球化学や鉛床学を踏まえ、鉛同位体の進化の裏付けとなる地質構造にしたがって推論していく必要がある。また、違う場所の原料であっても、測定誤差の範囲内で同じ数値を示す場合があるということに注意を払っておかなければならない。さらに、現在の鉱山ではなく、当時稼働していた鉱山の遺跡や製錬遺跡を発見し、そこから出土する資料との比較を行うこと、そして歴史的・考古学的な背景を踏まえて議論を進めていくことが重要である。

その後、周代になると、この高放射性起源鉛は使用されなくなり、再び中原地域の原料が使われるようになる。ただし、それらは夏王朝の時に比べると、同位体比からみてかなり狭い地域内の素材といってよい。

戦国時代には、刀銭、布銭、蟻鼻銭、環銭といった、特徴的な形をした銭貨が発行された。馬淵ら(1982)の分析の結果、それらの鉛同位体比は、大きくわけて、A領域に含まれるものと、図2のように、a式図においてA領域の下側に位置し、遼寧省の青城子鉱山と錦西鉱山を結ぶ領域に分布する資料(L領域)の2系統のあることがわかった。L領域には、燕、齊、魯など、遼寧省—渤海湾—山東省地域の資料が分布する(金ら:1993)。

2. 原理と装置

2.1. 原理

鉛には、化学的性質が同じで、重さ(質量数:原子核中の陽子の数+中性子の数)だけがわずかに異なる4種類の鉛原子、すなわち同位体が存在しており、それぞれ ^{204}Pb 、 ^{206}Pb 、 ^{207}Pb 、 ^{208}Pb と表記される。それらの存在比を同位体比という。

地球ができた時には、鉛の4つの同位体の混合比率は、どの場所でもほとんど差異がなかった。これを始原鉛という。しかし、 ^{238}U 、 ^{235}U 、 ^{232}Th という放射性元素の壊変によって鉛同位体が少しずつ生成し、 ^{206}Pb 、 ^{207}Pb 、 ^{208}Pb は時間の経過とともに少しずつその量が増えていく。

鉛、ウラン、トリウムは、超微量ではあるが普通の岩石中にも含まれている。岩石が生成して長い時間が経過すると、中にある ^{206}Pb 、 ^{207}Pb 、 ^{208}Pb が増加し、鉛同位体の混合比率が変化していく。そして、この岩石が生成して何億年か経ったある時、何らかの地質学的過程によって岩石中から鉛が抽出・濃縮されて鉛鉱床を形成すると、その時点で鉛はウラン、トリウムから切り離されるため、これより後には、 ^{206}Pb 、 ^{207}Pb 、 ^{208}Pb の付加は起こらず、鉛同位体比が固定される。つまり、ある鉱床の鉛同位体比の値は、鉱床ができる前の岩石中に含まれていたウラン、トリウムおよび鉛の濃度や存在比率、それらが共存していた期間などの地質学的な履歴によって定まり、鉱床ごとに固有の値をもつことになる。

こうして鉛は鉱床によって同位体比に差異が生じるため、それを調べることで、青銅資料の原料として使用された鉛の産地が推定できることになる。

同位体は化学的な性質が同じであるので、酸化などの化学変化の際にもまったく同じ挙動をとる。したがって錆びても同位体比は変化しないので、成分組成を分析する場合とは異なり、金属部分ではなく錆の部分であっても分析用試料を採取することができるため、資料の外観を損ねにくいという利点がある。また青銅器中には鉛が数パーセント～数10パーセントの濃度で含まれているのに対して、土壌中ではその千分の1～一万分の1ほどの濃度であるので、通常は埋蔵環境中からの鉛の混入を

無視することができる。ただし、資料中の鉛の濃度が非常に低い場合や、すぐ近くに他の青銅資料があり、その一部が土壌中の水によって溶け出して鏽の中に混ざりこんでしまうような状況の場合には注意が必要である。

2.2. 装置

鉛のそれぞれの同位体には同じ数の陽子が含まれており、原子核をとりまく電子も、陽子と同数だけ存在して、全体として電氣的に中和されている。原子の性質は電子の数によって決まるため、電子の数が同じである同位体は、みな化学的に同じ性質をもっている。これはつまり、試料を溶かしたり蒸発させたり、発光させたり、X線をあてたり、といった通常の分析法では、同位体は同じ振る舞いをしてしまい、互いに識別できないことを意味している。同位体を分離し、それぞれの存在比率を調べるためには、質量分析法という方法が用いられる。

試料から鉛を抽出するための方法にはいくつかのやり方があり、例えば、山崎一雄が共同研究を行っていた、室住正世をはじめとする室蘭工業大学グループは溶媒抽出法などをとった。東京国立文化財研究所の馬淵久夫・平尾良光（2003年より別府大学に着任）は電気分解法によって、硝酸中で溶かした試料の中に白金電極を入れて電気を流し、マイナス極に付着した鉛を硝酸で溶かして回収している。また国立歴史民俗博物館の齋藤努は、高周波加熱分離法により、石英ガラスの中に入れた試料粉末を高周波加熱して鉛だけを蒸発させ、上部にかぶせた石英ビーカーの内壁に付着させて、希硝酸で溶かして回収する方法をとっている。

文化財を対象として鉛同位体比を測定する機器として、日本では、従来から使用されている表面電離型質量分析装置（TI-MS）が主流であったが、近年では、最近進歩が著しいマルチコレクター誘導結合プラズマ質量分析装置（MC-ICP-MS）が使われる事例が増えてきた。

まず、TI-MSによる同位体比測定の方法について述べる。抽出した鉛を、金属（レニウムがよく用いられる）フィラメント上にリン酸・シリカゲルとともに塗布し、乾固させてイオン源部に入れ、真空中でフィラメントに電流を流して抵抗加熱を行うと、鉛は蒸発する。この時、一部の鉛は電子がとれて Pb^+ というイオンになる（イオン化という）。この鉛イオンは、電位差のある何段か

のスリットを通過する間に加速され、電磁石による磁場のかかった分析管に導入される。ここでフレミングの左手の法則によってイオンは横向きの力を受け、その軌跡はカーブを描くが、軽いイオンほど曲がり方が大きいので、各同位体のイオンはその重さに応じて分離されることになる。各同位体のイオンを複数の検出器で同時に受け、それぞれのイオン強度（イオンが運んだ電気量）の比率から、鉛同位体比の比率を求める。ここで、昇温時における蒸発効率の違いや原子核の大きさによる体積の違いなどの影響により、測定された同位体比は、実際の数値から少しずれた値をとる。そこで、そのずれを補正するために、あらかじめ同位体比がわかっている標準試料と一緒に分析し、得られた測定値を使って補正を行う。この分析法は、鉛同位体比分析の初期から使用されている信頼性の高い方法であり、高精度のデータが得られるという利点がある。しかし、その一方で、検出器の特性に合わせた鉛の量の調整、分析時の高純度リン酸とシリカゲル混濁液の準備、高価なレニウムフィラメントの使用など、分析時に手間を要する。

近年は、ICP質量分析装置の機能が向上し、マルチコレクター（複数の検出器）方式の装置で、TI-MSにほぼ匹敵する精度での同位体比測定が可能となってきている。通常のICP質量分析装置と同様に、ネブライザーを通してイオン源となるICPの中へ試料溶液を噴霧する。ここでイオン化された鉛は電位差のあるスリットを通過する間に加速され、電磁石の磁場の間を通過して同位体ごとに分離される。各同位体のイオンは複数の検出器で同時に受け、それぞれのイオン強度の比率から、鉛同位体比の比率を求める。測定された同位体比は、TI-MSと同様に、実際の数値から少しずれた値を示すので、タリウム（鉛とは重ならない ^{203}Tl と ^{205}Tl の同位体をもつ）を添加して補正に使用する。ICPは、イオン源として表面電離型ほどの安定性がないため、四重極質量分析器で微量元素の濃度を測定するには適していたが、磁場型の質量分析器では、たとえ走査を行ったとしても、産地推定に使える精度での鉛同位体比分析はできないと以前は考えられていた。しかし、イオン源の改良やマルチコレクターの装備によって、精度が飛躍的によくなった。この方法の利点は、装置における分析時の前処理が簡略化

できることと、測定が短時間で済むことである。

3. 最近の課題と議論

ここでは最近提示されているいくつかの課題とそれをめぐる議論について紹介する。

3.1. 古墳時代の資料をめぐる展開

1.4. と 1.5. で述べたように、古墳時代の国産青銅製品について、これまでの鉛同位体比研究や考古学研究では漢式鏡を中心とする考察が中心になっていたという経緯もあって、B 領域内に入る分析値を示すものは中国華中～華南産原料であるという推定が行われてきた。しかし、近年の考古学研究では、古墳時代における朝鮮半島とのつながりに関する研究が、大きな比重を占めるようになってきている。そして、この時期の資料の中に、鉛同位体比からみて朝鮮半島産原料と推定できそうなものがあるということ、馬淵・平尾はかなり早い段階から気づいていた。図3は、いったん図1のような領域が定められた後に展開された研究によって、新たに提議された領域を付け加えた図である。ここで、D₂ の位置に分布する資料があることは以前からわかっていたが、国内では事例が少なく正式報告も行われていなかったため、当初、領域としては示されなかった。その後、韓国の三国時代の鏡（7世紀、全羅北道）、統一新羅時代の銅鐸（8世紀、江原道；9世紀、全羅北道）・鉛釉（8世紀？、

慶尚北道）や、時期は古いが福岡県板付田端遺跡（弥生時代前期末～中期初）出土細形銅剣・細形銅矛などでもこのような分布をする資料が見出され（平尾・鈴木：1999, 金・李：2001）、新たな領域の一つとして設定されるに至った。これは慶尚北道（新羅地域）の鉛鉱石の鉛同位体比分布と重なることから、朝鮮半島産と考えられている。

また、図3中にPで示した領域はこれまでの東アジア青銅製品にはみられなかった数値であるが、7世紀の百濟地域における韓国全羅北道益山市（百濟地域）にある武寧王の王宮里遺跡から出土したガラス生産関連資料や弥勒寺址から出土した緑釉瓦の分析結果として見出されたものである（魯ら：2007, 金ら：2007a, 2007b）。最近の研究では、日本出土の青銅製品やガラスでもここに分布するもの（鳥取県福本70号墳（7世紀中頃）出土銅匙、福岡県宮地嶽古墳（6世紀）出土ガラス）が見つかっている（齋藤・藤尾：2010, 平尾：2013）。なお、この領域をあらわす記号については現在のところまだ確定していないが、分析者である魯禔玆らの最近の用法に準じてここではP領域とした。

3.2. 韓国出土資料をめぐる展開

そのほかに、韓国出土資料の分析結果からも、B領域についての見直しが行われつつある。

齋藤ら（2009）は、日本と朝鮮半島との関係をうかがわせる馬形帯鉤や筒形銅器などを含めて、韓国の慶尚道など嶺南地域（旧加耶諸国および新羅の一部）から出土したB.C. 2世紀～A.D. 7世紀の資料を分析した結果、特にデータの集中する「GA」と「GB」の2つのグループを見出した（図3）。

グループGAのデータは、「規格品の原料」と称され馬淵・平尾によって「a領域」と名づけられた近畿式・三遠式銅鐸（1～2世紀末）の鉛同位体比の分布範囲（図1）と一致し、2世紀後半～4世紀の嶺南地域出土資料、東京大学が所蔵する楽浪土城出土資料（B.C. 2世紀～A.D. 4世紀）など、全体として年代の重なり合う資料が含まれている。またそれぞれのデータの一致性はきわめて高い。分析を行った楽浪土城出土資料の半数以上（44点中28点）がグループGAとその周辺にまとまっ

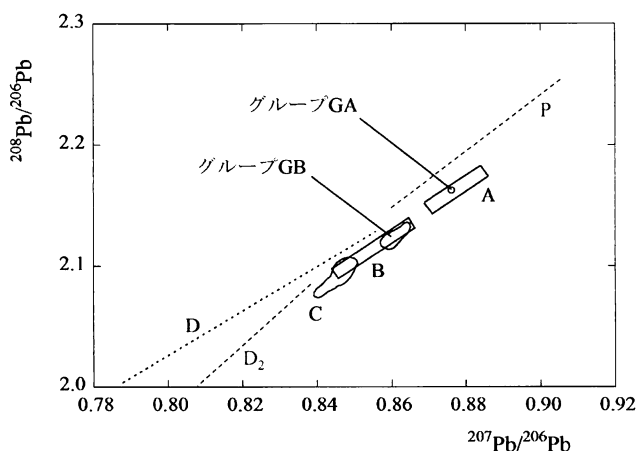


図3 図1aにD₂領域、P領域、グループGA、グループGBを加えた図(a式図)

Fig. 3 Schematic diagram of lead isotope ratios adding Region D₂, Region P, Group GA, Group GB to Fig. 1a (style-a)

て分布していることから、A領域について前述した、楽浪郡の設置と関連付けて考えてよいであろう。原料産地の候補としては中国華北があげられる。

グループGBはGAに比べて分布に多少広がりがあるが、測定を行った韓国嶺南地域出土青銅製品の3分の1近く(143点中43点)という多くの資料がここに含まれており、この時期の韓国青銅製品の鉛原料の主要な産地の一つと推測できる。韓国で出土した馬形帯鉤の多くはこれと一致する数値を示す。年代はほぼ4~7世紀と、グループGAよりも全体として新しい。

またグループGBについては、これまでの鉛同位体比研究の結果に従えば、中国華中~華南産原料の数値範囲内ということになるが、一方で、韓国慶尚北道にある漆谷鉍山産の鉛鉍石の示すデータ(馬淵・平尾:1987)がこれと近接していることや、Jeong et al.(2012)によって示された韓国内の鉛鉍石の分析結果のうち、地域Ⅲに含まれる資料(4.2.参照)の分布状況からみて、原料が朝鮮半島南部地域の鉍床からもたらされた可能性を考慮する必要がある。

以上述べてきたように、グループGBと、前述したD₂領域、P領域はいずれも朝鮮半島産原料の可能性が考えられる数値分布範囲であると言ってよい。ただし、それはあくまでも鉛同位体比分析結果からの推定であり、韓国では鉍山遺跡や製錬遺跡の考古学的調査事例がまだ十分ではないため、朝鮮半島でいつから採鉍や製錬が始まったかはよくわからない状況にある。

しかし、もしグループGBが朝鮮半島産原料であったとするならば、基本的に4世紀以降の資料で構成されていることから、313年の楽浪郡の滅亡による青銅関係技術者たちの朝鮮半島南部地域への流入の可能性と、朝鮮半島南部地域における古代国家形成の大きな動きが4世紀にあったということとの関連を考える必要が出てくるであろう。

また、いわゆる倭系遺物の出自をめぐる議論への影響にも注意を払っておく必要がある。齋藤ら(2009)は、調査対象の中に、代表的な倭系遺物である馬形帯鉤と筒形銅器を意識的に含ませていたので、その結果を検討してみたい。

まず馬形帯鉤については、出土地が圧倒的に朝鮮半島

に多く、日本では2遺跡(岡山県榊山古墳の6点と長野県浅川端古墳の1点)でしか見つかっていないということや、4世紀には基本的に日本には馬がほとんどおらず精緻な造形や装飾を日本で行えたとは考えにくいこと(渡来人が作ったという説明の余地はある)などから、朝鮮半島製(百済・加耶系)であることが研究者の共通認識となっている。それらの鉛同位体比については、これまでのところグループGBに属するものが多く、それはまた時期的な知見とも合致する。

一方、筒形銅器については、以前は日本での出土が多いとされていたが、近年は韓国での出土例が増加し、現在は数が拮抗しており、量的な観点からどちらの製作であるかは判断しかねる状況にある。鉛同位体比分析では測定資料のうちの約半数(25点中11点)がグループGBに属していたが、この結果からは朝鮮半島製である可能性も、朝鮮半島から持ち込まれた原料を使って日本で製作された可能性も考えることができるため、製作地を鉛同位体比の数値のみから判定するのは困難である。ここから先は、馬形帯鉤をめぐる議論と同様に考古学的な解析によって研究を深めていかなければならないだろう。

韓国資料の分析によってグループGBというデータ集中域が見出されたことは、鉛同位体比から原料の産地を推定する自然科学的な解析方法自体にも影響が及ぶことになる。馬淵・平尾が設定したB領域について、これまでは中国華中~華南産と判定されてきたが、その中に朝鮮半島産のものが含まれている可能性が出てきたからである。

3.3. 中世の青銅原料・鉛原料をめぐる展開

わが国では、10世紀半ばの乾元大寶をもって、公的な錢貨の発行がいったんとだえ、再び米や絹による売買が行われるようになった。しかし、12世紀後半~13世紀以降、平安時代後期から鎌倉時代にかけて、日宋貿易によって中国から渡来錢が大量に輸入され、日本国内でそのまま通貨として使用された。この時期の青銅製品自体それほど多くは調べられていないが、仏像や寺院関係資料でも日本産原料はほとんど見られない(平尾ら:2002, 平尾:2008a)。平尾良光は、鎌倉時代の資料として、鎌倉大仏、小金銅仏、寺院装飾品などを分析し、

中国産原料（B領域）であったことから、大量に輸入された中国銭貨が、これらの原料として使用されたのではないかと推論している。

なお、日本への輸入をよく示している考古学的な証拠としては、韓国全羅南道の新安郡沖で発見された「新安沖沈船」がある。これは、1323年に中国の寧波から日本の博多へ物品を運ぶ途中で航路を失い、沈没した船で、多くの貿易品が積載されたままになっていた。その中には28トンもの銭貨が含まれており、当時、大量の銅銭が日本へ流入していた様子をうかがうことができる。

このほか、原田・平尾（2006）、平尾（2008b）は、平安時代後期から鎌倉時代の原料使用の変遷をあらわす資料として、紀年銘のある経筒を分析した。その結果、1150年までは日本産と考えられる原料や、日本産と中国産を混合した原料が使われているが、それ以降は大部分が中国産原料へと移り変わることを示した（わずかながら、1180年の資料で混合材料のものもある）。これも、中国から輸入された銭貨が原料になったためと解釈している。

ただし、この時期の原料産地については、博多遺跡群から出土した12世紀後半～14世紀半ばのつぼ付着ガラス質資料で、対州鉾山産のものがあることが報告されている（山崎・肥塚：1994、山崎ら：1996a・1996b・1996c、降幡ら：2012）ので、資料の種類による原料供給状況の違いには注意を払っておく必要があるだろう。

室町時代前期になると、梵鐘、馨などの仏教関連製品、鎧の鉾などの青銅製品に、再び日本産原料（C領域）が使われ始め、中国産原料（B領域）とほぼ半々くらいの割合で見られるようになる。

室町時代後期になると、1533年の灰吹法の導入、1543年頃の火縄銃の伝来に伴い、銀の生産や鉄炮の玉を作るための鉛素材そのものが原料として必要となった。

平尾・榎本（1993）、西田・平尾（未印刷）、後藤（2012）、西田・平尾（未印刷）、魯・平尾（2012）は、それぞれ、1567年の三好家－松永弾正による東大寺南大門の戦い、1575年の長篠の戦い、1587年に島津氏によって焼失した豊後府内の大友宗麟遺構、1587年の熊本県和仁城跡（田中城跡）、1637年の島原の乱における原城跡から出土した鉄炮の鉛玉を分析した（平尾：2013）。

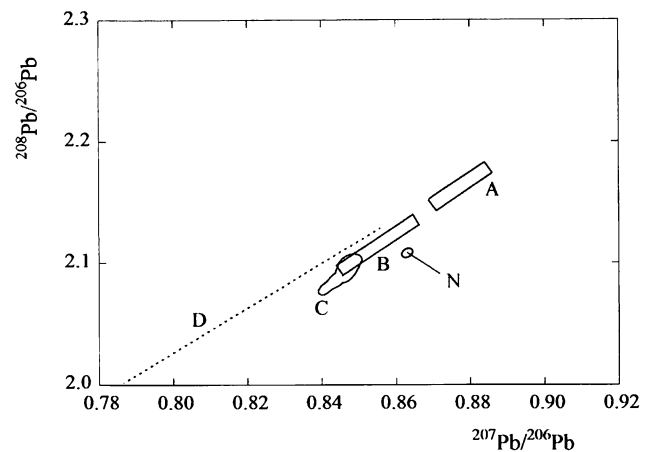


図4 図1aにN領域を加えた図（a式図）
Fig. 4 Schematic diagram of lead isotope ratios adding Region N to Fig. 1a (style-a)

いずれからも日本産、中国産とみられる鉛が検出されたが、その他に、きわめて数値の集中する領域がみつき、N領域と名付けられた（図4）。

その後、タイのソントー鉾山産の鉛が、これと同じ数値を示すことが明らかとなった（平尾ら：2012）。また、同鉾山付近でよく見つかるという鋳型用の素焼き板（直径約5cm、深さ約3cmの穴が並んで空けられている）で作られたと推定される鉛インゴットが大分県の大友遺跡、長崎県の万才町遺跡、高知県の岡豊城遺跡、五島列島の小値賀島、静岡県駿府城遺跡、フィリピン・マニラ沖で1600年に沈んだサンディエゴ号から見つかり、すべての鉛同位体比がN領域内におさまった。N領域の原料が見つかった遺跡などの時期をみると、遅くともB.C.2世紀から現代に至るまで、続けて使用されていることがわかる（平尾：2013）

金・銀鉾山で製錬を行うための灰吹き法の導入に伴い、大量の鉛がそれらの鉾山で使用されるようになった。まず、石見銀山跡から採取された製錬滓について鉛同位体比を測定し、それらが日本産原料（C領域）であることが確認された。石見銀山から採れた方鉛鉾はこれらの分布とは一致しなかったが、石見銀山から北へ約10km離れた場所の、江戸時代に鉛を採掘していた跡のある五十猛鉛鉾山の鉛同位体比がそれと合致していた。石見銀山は長期間にわたって稼働しているため、いつであるかははっきりわからないものの、少なくともいずれかの時期にこの五十猛鉛鉾山の鉛が使われていた可能性が非常

に高いということがわかった（西田・平尾：2012，平尾：2013）。また、佐渡金銀山跡では172枚の鉛インゴットが発見されている。これは長さ70cm，幅30cm，厚さ5cm程度の大きさで，1枚の重量は約40kg，全体では約7トンであった。これは，文献との照合により，1675年に収蔵された鉛インゴットの一部と推定された。鉛同位体比はいずれもほぼ同一の数値を示し，日本産原料（C領域）であることがわかった。近隣の鉛鉱山の中では，新潟県村上市の葡萄鉱山，新潟県加茂市の小乙鉱山がこれらと重なる数値を示している。両鉱山は，いまのところ鉛同位体比上では，はっきり区別できない（魯・平尾：2012，平尾：2013）。

3.4. 日本産原料の使用開始時期をめぐる展開

ここでは，日本における銅や鉛の採鉱はどこまでさかのぼるのかということについてふれる（亀田：2006，馬淵：1996・2007，齋藤：2012）。鉱山跡や製錬遺跡などの存在，青銅製品の鉛同位体比分析結果からみて，8世紀に大量の国産原料が使われ始め，それらの産地が山口県の長登銅山や蔵目喜鉱山である可能性が高いのは前述した通りである。

次に，ここからどこまでさかのぼれるかだが，まず遺跡からみると，山口県美祢市の中村遺跡では7世紀後半代の竪穴住居から銅塊と銅鉱石が出土している（山口県教育委員会：1987）。山口県美祢市の国秀遺跡では7世紀中葉の竪穴住居から，新羅系土器と，銅製錬に伴ってできる不純物の塊であるスラグが，また7世紀前半～8世紀前半の竪穴住居からは銅鉱石，銅塊，銅滓などが出土している。（山口県教育委員会：1992）。これらから，考古学的にみて日本の銅生産は少なくとも7世紀中葉までさかのぼり，またこの地域の銅生産には朝鮮半島からの渡来系の人々が関わっていたことがわかる。

鉛同位体比分析からみると，7世紀後半（白鳳後半期）と推定される武蔵国分寺跡付近銅造仏（東京都国分寺市の武蔵国分寺遺跡から出土した銅造観世音菩薩立像）と，660年製作と考えられる漏刻（奈良県高市郡の飛鳥水落遺跡から出土した，中大兄皇子が作ったと考えられている水時計）の大銅管・小銅管が，日本産原料を使ったと判定されている（馬淵ら：1983・1995）。このように，

考古学と自然科学の両面から証拠が得られているので，日本産原料の使用開始は，7世紀中葉ころまではほぼ確実にさかのぼるものとみてよい。

これよりも前の時期になると，考古学的には事例がみあたらない。しかし，鉛同位体比分析の結果からは，日本産原料の可能性のあるものがいくつか報告されている。それは，島根県出雲市の6世紀後半～7世紀初めころとされる上塩冶築山古墳出土の銅鈴（島根県古代文化センター：1999），島根県安来市の6世紀末～7世紀初めころとされる高広IV区3号横穴墓出土の耳環（島根県教育委員会：1984），岡山県久米郡（現・津山市）の7世紀前半とされる稼山古墳群の中にある荒神西古墳出土の銅鏡（馬淵：1996・2007），島根県出雲市の6世紀末～7世紀初めころとされる中村1号墳出土の馬具4点（出雲市教育委員会：2012）である。

前三者は馬淵久夫によって分析が行われた。上塩冶築山古墳の銅鈴の分析値は，日本産原料のC領域からは外れているものの，島根県平田市後野の鉛鉱石と「ほとんど同じ値」であり，「本資料が現地に産する原料を使って作られたことは間違いないように思われる」としている。また，高広IV区3号横穴墓の耳環の鉛同位体比はC領域内にあり，「同じ値の鉱山は未だ見出されていないが，兵庫県生野，明延（馬淵・平尾：1987）が比較的近い値を示す」としている。荒神谷西古墳の銅鏡もこれと近い値を示す（馬淵：1996）。

中村1号墳の資料は，雲珠2点と杏葉2点のデータがC領域に入った。さらに，雲珠のうち1点はI領域の中に含まれ，もう1点もそれに近い値を取っていた（齋藤：2012）。しかし，長登銅山の採掘開始時期は，これまでの調査結果では7世紀末～8世紀初め（渡辺：1994，美東町教育委員会：1998）と考えられており，中村1号墳の年代（6世紀末～7世紀初め）まではさかのぼらない。

古代の銅の産出地として文献史料に出てくる因幡・周防・武蔵・豊前・長門のうち，『豊前国風土記』逸文で「第二峯有銅并黄楊龍骨等」との記載がある豊前の香春岳（福岡県田川郡）の銅山は古くから注目され，考古学や文献史学による研究が行われてきた（梅崎：1994，香春町：2001など）。香春岳の銅生産そのものに関する考古学的な発掘調査は行われていないが，周辺には関連す

と思われる遺跡がある。亀田修一はそれらの遺跡の調査から、5世紀前半から7世紀後半まで継続して朝鮮半島との関わりを示す資料がみられること、そして7世紀代は特にそうした資料が多いことを明らかにしている(亀田：2004)。これらの資料が香春岳の銅生産と直接結びつくわけではないが、考古学的にみて、日本の銅生産技術は朝鮮半島系の渡来人がもたらしたのではないかという見解がある(江浦：1988)ことを考えると、この香春岳で銅生産が行われたのかどうかという問題は検討する必要があるだろう。また、『続日本紀』和銅3年(710)春正月丙寅(十五日)条にある「大宰府献銅銭」の原料にも、香春岳の銅が使用された可能性が推測されている(亀田：2006)。

これらをふまえ、齋藤・藤尾(2010)は香春岳産の鉱石と、香春岳産原料との関連性が考えられている大宰府跡の鑄造工房から出土した銅滓(7世紀後半～8世紀)の鉛同位体比測定を行った。その結果、香春岳の鉱石のデータはばらついた分布を示したが、それらの中に、I領域の範囲内におさまるものが見つかった。また大宰府跡出土の銅滓や羽口付着物にもI領域内やその周辺に分布するものがあつた。

これらの資料は、時期が必ずしも一致していないこと、香春岳の鉱山・製錬遺跡そのものの出土資料でないことから、まだ状況証拠の域を出ない。しかし、青銅資料を分析してI領域の数値を示すものがあつた時、資料の時期によっては香春岳産原料が使用されている可能性も考えておく必要があるということの意味している。

4. 研究の進展状況と将来展望

研究の進展と、それに伴う本研究分野の将来展望について述べる。

4.1. 漢式鏡・三角縁神獸鏡をめぐる研究の深化

馬淵久夫は、「漢式鏡をめぐる化学的研究」として、前漢・後漢・三国・西晋の時代に製作された漢式鏡の化学分析値と鉛同位体比に基づき、A領域とB領域に属する資料に関する詳細な検討を加えている(馬淵：2010・2011・2012)。

その結果、まず、馬淵(2010)において、中国の青銅

器の場合、製錬中の銅へ人為的に加えなければ、銅に付随する鉛の銅に対する比率(Pb/Cu)はほぼ2～6%となることを示した。したがって、青銅器中の鉛濃度がそれ以下の場合、人為的な鉛の添加はなく、逆にそれ以上の濃度で鉛が含まれていれば、鉛が添加されているとみなすことができる。この結論に基づいて、あらためて漢式鏡の化学分析値と鉛同位体比を見直したところ、以下のことがわかつた。

梅原(1937)が小松・山内(1937)のデータから解釈した通り、漢式鏡の銅・スズ・鉛の組成比は、前漢から三国六朝時代にいたるまでほぼ一定であることが確認された。また鏡に含まれている鉛は、銅にもともと付随していた鉛と、銅の約4%に相当する鉛を人為的に添加したものの混合であることが推算された。そして、山崎ら(1992)によって分析された京都府の椿井大塚山古墳出土の三角縁神獸鏡22面を、これに従って解析したところ、4面には鉛の添加がなく、残りの18面も銅の3%程度しか鉛が添加されていないと判断された。このことは、一般の漢式鏡と三角縁神獸鏡との違いを考察していく上で重要な情報の一つとなるであろう。

ここで展開された議論は「鉛複合起源論」として、以下のように要約できる。「漢式鏡の鉛は、銅素材にもともと付随していた鉛と、鑄造時に添加された鉛が混合したものである。前漢時代には、銅と鉛の供給源があまり変わらない同一地域内にあつたため、A領域の範囲内におさまつた。前漢時代末期になると、B領域の銅・鉛原料が入り始め、後漢時代になるとB領域の新材料に置き換わつていった。その移行過程でA領域とB領域間の新旧原料の混合が起きた」

A領域やB領域が設定された当初、漢式鏡全般の詳細な編年は確立していなかつたが、その後、岡村(1984・1993)による論考が行われ、一般に受け入れられている。馬淵(2011)はその岡村編年にしたがって、方格規矩鏡・連弧文鏡・細線式獸帯鏡を中心に、漢鏡2期～6期および復古鏡(3世紀)の鉛同位体比データを整理した。その結果、漢鏡2期・3期(前漢)はA領域、漢鏡4期(前漢末～新)はほとんどがA領域だがB領域のものも現れ始める、漢鏡5期(後漢前期、方格規矩鏡・連弧文鏡・細線式獸帯鏡を含む)にはA領域とB領域のもの

が共存、漢鏡6期（後漢中期）には完全にB領域へと移行、復古鏡はB領域の中でも三角縁神獸鏡が分布する領域範囲（馬淵（2010）ではEsと表示）内に位置していることがわかった。以上からみて、A領域からB領域への推移は、漢鏡4期から5期にかけて行われたことになる。

鉛同位体比分析は、地球の始源物質の中にあつたウラン・トリウムが、時間の経過につれて崩壊して鉛に変わり、それが始源鉛に加わることで同位体比が変化していくという現象を、青銅製品の産地推定に応用したものである。これはもともと地球科学や鉱床学で1940年代から研究されている手法であるので、鉛同位体比産地推定法の解析においても、必要に応じ、その立脚点に戻って考察を行う必要がある。そこで馬淵（2012）は、日本・朝鮮半島・中国という限定された地域を対象として、青銅製品の産地の論議に役立つ可能性のある鉛同位体比成長モデルとして、二段階成長モデルを提案した。鉛同位体比の成長曲線としてよく説明に用いられる単段階成長モデルは、日本・朝鮮半島南部・中国南部の鉛にはあてはまらないことが知られていた。それに対して、これまでにStacey・Kramers（1975）やChen et al.（1982）が二段階成長モデルや多段階成長モデルの適用を試みたが、必ずしも、これらの地域の数値を整合的に説明できるものではなかった。馬淵（2012）が提案する二段階成長モデルでは、各段階の最後の時点における $^{238}\text{U}/^{204}\text{Pb}$ の比を μ とした時、第1段階では μ_1 を一律に8.1とするが、第2段階は地域によって局所的な元素の分別が起こったとして、馬淵・平尾（1987）の鉛鉱石の鉛同位体比値にあわせて、 μ_2 に7~15と一定の数値範囲を持たせている。このうち、特に第2段階で、地域によって μ_2 値が異なっていたとする想定は、これまでのモデルではみられなかった、馬淵モデルの新規な着眼点である。このモデルで産出された日本・朝鮮半島・中国の鉛鉱石のモデル年代は、それぞれの地質構造帯の年代とおおむね整合性がみられた。

4.2. 韓国における鉱床鉛のデータ集成

朝鮮半島の青銅器文化はB.C.10世紀頃から始まる（早乙女：2000）が、朝鮮半島における採鉱や製錬の開

始がいつであったのかについては、まだ十分には明らかになっていない。

近年、韓国内の鉱床の鉛同位体比分析が進み、各地域における数値の特徴が明らかになってきた。Jeong et al.（2012）は、慶尚盆地、太白山盆地、嶺南山塊、沃川褶曲帯、京畿山塊の69鉱床から採取した215資料の分析値を集成した。得られた鉛同位体比のデータは、地質構造に応じて大きく地域Iから地域IVの4つに分けられることがわかった。それぞれに含まれる、地質学的な観点からみた時の地域は下記の通りである。

地域I 慶尚盆地

地域II 嶺南山塊北東部、太白山盆地東部

地域III 嶺南山塊中央部・南西部、太白山盆地西部、沃川褶曲帯

地域IV 京畿山塊西部

地域Iの分布はC領域と接する位置にあり、また地域IIIのデータにはB領域の中にも含まれるものもある。そのため、この報告は、日本の弥生時代から古代、韓国の日韓における青銅原料の流通を明らかにしていく上で、新規な情報を提供するものであり、重要な内容を含んでいる。特に、3.1.で述べたP領域や、3.2.で述べたグループGBの産地を絞り込んでいたための資料として、きわめて有効である。今後、それぞれの鉱山の稼働状況に関する歴史的な背景や産出する鉱石の種類やその量比などを検討するほかに、このデータに基づいて、日本の古墳時代、朝鮮半島の三国時代を中心として、これまでに実施されてきた青銅資料の分析結果をもう一度見直していく必要があるだろう。

4.3. マルチコレクター ICP 質量分析装置による研究の可能性

これまで、日本において歴史資料を対象とする鉛同位体比分析は、表面電離型質量分析装置を使用して行われてきた。しかし、近年は前述したようにMC-ICP-MSの高性能化が進み、その装置を使った鉛同位体比分析の事例が急速に増えつつある。なお、MC-ICP-MSの開発は1994年であったが、それに様々な改良が加えられ、文化財資料の鉛同位体比分析へと適用されるようになったのは2003年ころからである。主なものとしては、ロー

マ帝国時代の銀貨の分析に適用した Ponting et al. (2003), ドイツのザクセン州からチェコのボヘミアにまたがるエルツ山とその周辺遺跡から出土した青銅器との関連性を探った Niederschlag et al. (2003), イエメンの青銅器時代の遺跡から出土した遺物と紅海地域の鉱山との比較を試みた Weeks et al. (2009), 唐三彩に使用されている鉛釉のうち、中国河南省の鞏義窯址出土のものには長江流域の原料が、陝西省の黄堡鎮窯址出土のものには中国北部の原料が使用されていると推定した Cui et al. (2010) などをあげることができる。

MC-ICP-MS では、これまでの TI-MS では分析できなかった元素の同位体比も測定できるようになった。例えば、Wang・Jin (2010) はいくつかの銅の同位体比分析結果を紹介し、自然銅などでは、通常黄銅鉱と異なる銅同位体比をもっている場合があることを示した。また、Yamazaki et al. (2014) は青銅原料の再利用に伴うスズ同位体比の変化を調べる研究について発表しているが、変動が小さいため、今はまだ基礎研究の段階である。

5. まとめ

日本で鉛同位体比分析による産地推定が始まったのは、

1974年のことであり、それ以来、今日にいたるまで、数多くの青銅、鉱石、ガラス、釉薬などに適用されてきた。当初こそ個別資料の分析と解釈から始まったものの、その後、人文科学的な背景のもとに行われる資料選択、得られたデータの歴史や文化の流れの中への位置づけ、そして次の研究段階へ進むために自然科学系研究者と人文科学系研究者との間で交わされた議論と考察が繰り返され、それはやがて、学際性に富む系統だった研究へと進展していった。そこには、もちろん時代の要請もあったであろうが、その一方で、携わった研究者たちが堅持し続けてきた高い自負や見識に加え、分析機器の大幅な進歩に負うところも大きい。

現在は、ようやく多くの基礎データが出揃い、次世代へ進むための大きな一歩を踏み出すことのできる段階にたどり着くことができた。新しい分析機器が日本の文化財資料に対しても導入されることによって、得られる測定データの数も飛躍的に増大することが見込まれる。これまで研究を推進してきてくださった諸先生方の業績を受け、より大きな成果をめざして尽力していくことが、われわれに課された使命なのではないだろうか。

引用文献

- 新井 宏 2000 「鉛同位体比による青銅器の鉛産地推定をめぐって」考古学雑誌 85-2 pp.1-30
- 新井 宏 2007 『理系の視点からみた「考古学」の論争点』大和書房 pp.19-77, pp.116-129
- 出雲市教育委員会 2012 『中村1号墳』351p
- 梅崎恵司 1994 「旧豊前国産銅史考」『研究紀要』8(財)北九州市教育文化事業団埋蔵文化財調査室 pp.41-71
- 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』8 東方文化学院京都研究所 pp.32-55
- 江浦 洋 1988 「日本出土の統一新羅系土器とその系譜」考古学雑誌 74-2 pp.52-88
- 岡村秀典 1984 「前漢鏡の編年と様式」史林 67-5 pp.1-42
- 岡村秀典 1993 「後漢鏡の様式」国立歴史民俗博物館研究報告 55 pp.39-83
- 亀田修一 2004 「渡来人と金属器生産」『鉄器文化の多角的追究』鉄器文化研究会 pp.5-94
- 亀田修一 2006 「日本古代の初期銅生産に関する覚書 ―朝鮮系考古資料との関わりを中心に―」『東アジア地域における青銅器文化の移入と変容および流通に関する多角的比較研究』科学研究費補助金・基盤研究(B)(2)成果報告書, 2003~2005年度 pp.219-270
- 香春町 2001 『香春町史 上巻』1533p

- 金 正耀 2001a 「江西新干大洋洲商墓青銅器の鉛同位体比の研究」『古代東アジア青銅の流通』 鶴山堂 pp.265-269
- 金 正耀 2001b 「広漢三星堆遺物坑青銅器の鉛同位体比の値に関する研究」『古代東アジア青銅の流通』 鶴山堂 pp.270-278
- 金 正耀 2001c 「中国両河流域青銅文明の間の関係－出土商代青銅器の鉛同位体比の研究結果を中心として」『古代東アジア青銅の流通』 鶴山堂 pp.279-286
- 金 正耀 2001d 「商代青銅器中の高放射性成因鉛：三星堆器物とサックラー美術館収蔵品との比較研究」『古代東アジア青銅の流通』 鶴山堂 pp.287-293
- 金 正耀 2001e 「戦国古貨幣の鉛同位体比の研究－また、同時期の広東嶺南の鉛について」『古代東アジア青銅の流通』 鶴山堂 pp.255-264
- 金 正耀・W.T. Chase・馬淵久夫・三輪嘉六・平尾良光・趙匡華・陳栄・華覚明 1993 「戦国古幣の鉛同位素比研究」文物 8 pp.80-89
- 金 奎虎・李 午熹 2001 「韓国で出土した資料の鉛同位体比」『古代東アジア青銅の流通』 鶴山堂 pp.63-91
- 金 奎虎・平尾良光・韓 松伊・魯 禔玟・金 那瑛・林 徳沫 2007a 「益山王宮里遺跡関連のガラス及びルツボの鉛同位体比分析」『國立扶餘文化財研究所學術研究叢書』 44 (王宮의工房Ⅱ-琉璃篇) pp.73-118
- 金 奎虎・平尾良光・韓 松伊・魯 禔玟・金 那瑛・林 徳沫 2007b 「益山王宮里遺跡関連のガラス及びルツボの鉛同位体比分析」『國立扶餘文化財研究所學術研究叢書』 44 (王宮의工房Ⅱ-琉璃篇) pp.185-202
- 後藤晃一 2012 「鉛の流通と宣教師」『鉛同位体比を用いた東アジア世界における金属の流通に関する歴史的研究』科学研究費補助金・新学術領域研究成果報告書, 2009～2011年度 pp.34-54
- 小松 茂・山内淑人 1937 「古鏡の化学的研究」『東方学報・京都』 東方文化学院京都研究所 8 pp.11-55
- 早乙女雅博 2000 『朝鮮半島の考古学』 同成社 260p
- 齋藤 努 2001 「日本の錢貨の鉛同位体比分析」国立歴史民俗博物館研究報告 86 pp.65-128
- 齋藤 努 2003 「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
- 齋藤 努 2012 「中村1号墳出土資料の鉛同位体比分析結果」『中村1号墳』 出雲市教育委員会 pp.167-172
- 齋藤 努・高橋照彦・西川裕一 2002 「古代錢貨に関する理化学的研究－「皇朝十二錢」の鉛同位体比分析および金属組成分析－」『IMES Discussion Paper』 No.2002-J-30 日本銀行金融研究所 92p
- 齋藤 努・藤尾慎一郎(編) 2006 『東アジア地域における青銅器文化の移入と変容および流通に関する多角的研究』科学研究費補助金・基盤研究(B)(2)成果報告書, 2003-2005年度 320p
- 齋藤 努・土生田純之・亀田修一・福尾正彦・鄭 仁盛・高田貫太・風間栄一・藤尾慎一郎・柳 昌煥・趙 榮濟 2009 「鉛同位体比分析による古代朝鮮半島・日本出土青銅器などの原料産地と流通に関する研究－韓国嶺南地域出土・東京大学所蔵楽浪土城出土・宮内庁所蔵の資料などを中心に－」考古学と自然科学 59 pp.57-81
- 齋藤 努・藤尾慎一郎 2010 「日韓青銅製品の鉛同位体比を利用した産地推定の研究」国立歴史民俗博物

- 佐原 真 1996 『歴史発掘 8 まつりのカネ銅鐸』 講談社 174p
- 佐原 真・春成秀爾 1982 「銅鐸出土地名表」考古学ジャーナル 210 pp.30-48
- 島根県教育委員会 1984 『高広遺跡発掘調査報告書－和田団地造成工事に伴う発掘調査』 243 p
- 島根県古代文化センター 1999 『上塩冶築山古墳の研究』 218 p
- 西田京平・平尾良光 2012 「石見銀山の銀鋳滓の鉛同位体比」『鉛同位体比を用いた東アジア世界における金属の流通に関する歴史的研究』科学研究費補助金・新学術領域研究成果報告書, 2009～2011 年度 pp.126-137.
- 春成秀爾・今村峯雄(編) 2004 『弥生時代の実年代－炭素 14 年代をめぐって－』 学生社 253p
- 原田一敏・平尾良光 2006 「東京国立博物館所蔵経筒の科学的研究－蛍光 X 線分析, 鉛同位体比分析－」東京国立博物館紀要 41 pp.151-250
- 平尾良光 2008a 「鉛同位体比法の応用－歴史資料の産地推定－」RADIOISOTOPES 57 pp.709-721
- 平尾良光 2008b 「材料が語る中世－鉛同位体比測定からみた経筒－」小田富士雄・平尾良光・飯沼賢司(編)『経筒が語る中世の世界』文化財研究所企画シリーズ-1 pp.21-33
- 平尾良光 2013 「「鉛」から見える世界」『文化財学へのいざない 平尾良光先生古稀記念論集』 平尾良光先生古稀記念論集編集委員会 pp.25-71
- 平尾良光・榎本淳子 1993 「鉛製弾丸の自然科学的調査, 釘・鋸の化学的調査」『東大寺南大門 国宝木造金剛力士立像修理報告書本文編』文化庁編 pp.142-156
- 平尾良光・鈴木浩子 1999 「弥生時代青銅器と鉛同位体比」『古代青銅の流通と铸造』 鶴山堂 pp.163-208
- 平尾良光・早川泰弘・鈴木浩子 2002 「高德院鎌倉大仏周辺から出土した銅塊の自然科学的研究」『鎌倉大仏周辺発掘調査報告書』 鎌倉市教育委員会 pp.34-43
- 平尾良光・山口将史・Waiyapot Worakanok 2012 「タイ ソントー (Song Toh) 鋳山の鉛」『鉛同位体比を用いた東アジア世界における金属の流通に関する歴史的研究』科学研究費補助金・新学術領域研究成果報告書, 2009～2011 年度 pp.187-210
- 藤尾慎一郎 2003 「弥生開始期の実年代」月刊考古学ジャーナル 510 pp.8-11
- 藤尾慎一郎 2009 「総論 弥生文化の輪郭－時間・地域・年代論－」『弥生時代の考古学』 1 同成社 pp.3-20
- 藤尾慎一郎 2011 『新 弥生時代 五〇〇年早かった水田稲作』 吉川歴史文化ライブラリー 329 271p
- 藤尾慎一郎 2013 「弥生文化の輪郭」国立歴史民俗博物館研究報告 178 pp.85-120
- 降幡順子・玉田芳英・齋藤 努 2012 「飛鳥・藤原京跡出土鉛釉陶器に対する化学分析」東洋陶磁 41 pp.19-34
- 馬淵久夫 1996 「荒神西古墳および殿田古墳から出土した銅鏡の原料産地について」作陽音楽大学・短期大学紀要 2(27) pp.27-33 (原著表題の「殿田」は「殿山」の誤り)
- 馬淵久夫 2007 「鉛同位体比による青銅器研究の 30 年－弥生時代後期の青銅原料を再考する」考古学と自然科学 55 pp.1-29
- 馬淵久夫 2010 「漢式鏡の化学的研究(1)－鏡の铸造時に鉛は加えられたか－」考古学と自然科学 61 pp.1-16
- 馬淵久夫 2011 「漢式鏡の化学的研究(2)－鉛同位体比の「前漢鏡タイプ」から「後漢鏡タイプ」への移

- 行について－」考古学と自然科学 62 pp.43-63
- 馬淵久夫 2012 「漢式鏡の化学的研究(3)－鉛同位体比法に鉛モデル年代の導入を提案する－」考古学と自然科学 63 pp.1-27
- 馬淵久夫・平尾良光 1982a 「鉛同位体比法による漢式鏡の研究」MUSEUM 370 pp.4-10
- 馬淵久夫・平尾良光 1982b 「鉛同位体比からみた銅鐸の原料」考古学雑誌 68-1 pp.42-62
- 馬淵久夫・平尾良光・佐藤晴治・緑川典子・井垣謙三 1982 「古代東アジア銭貨の鉛同位体比」考古学と自然科学 15 pp.23-39
- 馬淵久夫・平尾良光 1983 「鉛同位体比法による漢式鏡の研究(二)－西日本出土の鏡を中心として－」MUSEUM 382 pp.16-26
- 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板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 28 pp.65-69
- 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 73-2 pp.71-82
- 馬淵久夫・平尾良光 1989 「出雲国庁跡出土と同開弥の科学調査」八雲立つ風土記の丘 96 pp.4-5
- 馬淵久夫・平尾良光 1990 「福岡県出土青銅器の鉛同位体比」考古学雑誌 75-4 pp.1-20
- 馬淵久夫・平尾良光・泉谷明人・木村 幹 1995 「鉛同位体比による水落遺跡出土銅管の原料産地推定」『飛鳥水落遺跡の調査』飛鳥・藤原宮発掘調査報告Ⅳ 奈良国立文化財研究所 pp.143-150
- 美東町教育委員会 1990 『長登銅山跡Ⅰ』 114 p
- 美東町教育委員会 1993 『長登銅山跡Ⅱ』 251 p
- 美東町教育委員会 1998 『長登銅山跡Ⅲ』 59 p
- 山口県教育委員会 1987 『中村遺跡』 40 p
- 山口県教育委員会 1992 『国秀遺跡』 56 p
- 山崎一雄 1987 『古文化財の科学』 思文閣出版 360 p
- 山崎一雄 1990 「大阪府塚廻古墳とアカハゲ古墳出土のガラス玉、緑釉棺と黄褐釉円面硯の化学分析と鉛同位体比」古文化財科学研究会第12回大会講演要旨集 pp. 24-25
- 山崎一雄 2001 「鉛同位体比測定の研究史」国立歴史民俗博物館研究報告 86 pp.15-25
- 山崎一雄・室住正世 1976 「鉛の同位体比による産地分析の試み。本邦出土の青銅鏡ならびに古銭について(予報)」考古学と自然科学 9 pp.53-58
- 山崎一雄・室住正世・中村清次・日向 誠・湯浅光秋 1978 「日本産方鉛鉱および考古遺物中の鉛同位体比」日本化学会誌 1978(8) pp.1112-1117
- 山崎一雄・室住正世・中村精次・日向 誠・湯浅光秋・渡会素彦 1979 「日本および中国青銅器中の鉛の同位体比」考古学と自然科学 12 pp.55-66
- 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・三角縁神獸鏡綜鑑』(付篇) 新潮社 pp.239-252
- 山崎一雄・肥塚隆保 1994 「博多遺跡群第62次調査で出土した無釉壺破片に付着した緑色ガラスの化学分析値と鉛同位体比」『福岡市埋蔵文化財調査報告』 397 pp.239-244
- 山崎一雄・肥塚隆保・白幡浩志 1996a 「博多遺跡群第79次調査で出土した緑色ガラス容器の化学分析と鉛同位体比測定」『福岡市埋蔵文化財調査報告』 447 pp.129-131
- 山崎一雄・肥塚隆保・白幡浩志 1996b 「博多遺跡群第71次調査で出土した白磁片とそれに付着した緑色ガラスなどの化学分析および鉛同位体比測定」『福岡市埋蔵文化財調査報告』 450 pp.79-82

- 山崎一雄・肥塚隆保・白幡浩志 1996c 「博多で出土したガラスの材質と産地の推定－特に第 88 次調査出土品を中心として－」博多研究会誌 4 pp.15-18
- 柳 賀昌・林 文達 2000 『滇東北鉛垂鉛銀鉱床規律研究』昆明 雲南大学出版社
- 魯 禔珙・金 奎虎・平尾良光 2007 「武寧王陵から出土したガラスに関する鉛同位体比調査」『武寧王陵』国立公州博物館 pp.126-131
- 魯 禔珙・平尾良光 2012 「江戸時代初期に佐渡金銀山で利用した鉛の産地」『鉛同位体比を用いた東アジア世界における金属の流通に関する歴史的研究』科学研究費補助金・新学術領域研究成果報告書, 2009-2011 年度 pp.156-168
- 渡辺一雄 1994 「長門における産銅の起源－長登銅山開設以前の産銅について－」月刊文化財 374 pp.12-15
- Brill, R.H. and Wampler, J.M. 1967 "Isotope ratios in archaeological objects of lead: Proc. Seminar" Application of Science in Examination of Works of Art 1965 Boston, Museum of Fine Arts, pp.155-166
- Brill, R.H., Shields, W.R. and Wampler, J.M. 1973 "New directions in lead isotope research" Proc. Seminar, Application of Science in Examination of Works of Art 1970 Boston, Museum of Fine Arts, pp.73-83
- Brill, R.H., Yamasaki, K., Barnes, I.L., Rosman, K.J.R. and Diaz, M. 1979 "Lead isotopes in some Japanese and Chinese glasses" *Ars Orientalis* 11 pp.87-109
- Brill, R.H., Barnes, I.L. and Joel, E.C. 1991 "Lead isotope studies of early Chinese glasses: Scientific Research in Early Chinese Glass" Proc. Archaeometry of Glass Sessions of the 1984 International Symposium on Glass with Supplementary Papers, Corning Museum of Glass, Chapter 5, pp.65-89
- Chen, Y. (陳 毓蔚), Mao, C. (毛 存孝) and Zhu, B. (朱 炳泉) 1982 "Lead isotopic composition and genesis of Phanerozoic metal deposits in China" *Geochemistry (in Chinese)* 1(2) pp.137-158
- Cui, J.F., Lei, Y., Jin, Z.B., Huang, B.L. and Wu, X.H. 2010 "Lead isotope analysis of Tang sancai pottery glazes from Gongyi kiln, Henan Province and Huangbao kiln, Shaanxi Province" *Archaeometry* 52 pp.597-604
- Jeong, Y., Cheong, C., Shin, D., Lee, K., Jo, H.J., Gautam, M.K. and Lee I. 2012 "Regional variations in the lead isotopic composition of galena from southern Korea with implications for the discrimination of lead provenance" *J. Asian Earth Sci.* 61 pp.116-127
- Ponting, M., Evans, J.A. and Pashley, V. 2003 "Fingerprinting of Roman mints using laser-ablation MC-ICP-MS lead isotope analysis" *Archaeometry* 45 pp.591-597
- Stacey, J. and Kramers, J. 1975 "Approximation of terrestrial lead isotope evaluation by a two-stage model" *Earth Planet. Sci. Lett.* 26 pp.207-221
- Niederschlag, E., Pernicka, E., Seifert, T.H. and Bartelheim, M. 2003 "The determination of lead isotope ratios by multiple collector ICP-MS: a case study of Early Bronze Age artefacts and their possible relation with ore deposits of the Erzgebirge" *Archaeometry* 45, pp.61-100
- Wang, C. and Jin, Z. 2010 "Copper isotope analyses applied to archaeological studies: a review" *Sciences of Conservation and Archaeology* 22(1), pp.83-88

- Weeks, L., Keall, E., Pashley, V., Evans, J. and Stock, S. 2009 "Lead isotope analyses of bronze copper-base artefacts from Al-Midamman, Yemen: towards the identification of an indigenous metal production and exchange system in the southern Red Sea region" *Archaeometry* 51 pp.576-597
- Yamazaki, E., Nakai, S., Sahoo, Y., Yokoyama, T., Mifune, H., Saito, T., Chen, J., Takagi, N., Hokanishi, N. and Yasuda, A. 2014 "Feasibility studies of Sn isotope composition for provenancing ancient bronzes" *J. Archaeol. Sci.* 52 pp.458-467

(2013年9月30日受付, 2015年1月16日受理)

Provenance Studies of Japanese Artifacts: Use of the Lead Isotope Method from Its Introduction to Japan, into the Future

Tsutomu SAITO

National Museum of Japanese History, 117 Jonai-cho, Sakura, Chiba 285-8502, Japan

Provenance studies using lead isotope methods were first introduced to Japan in the 1970s by Kazuo Yamasaki of Nagoya University. These methods have been continued by Hisao Mabuchi and Yoshimitsu Hirao of Tokyo National Research Institute of Cultural Property, and by Tsutomu Saito of National Museum of Japanese History. From a large amount of lead isotope data, we have been able to elucidate several points regarding the provenance of Japanese metallic artifacts, allowing us to reconstruct historical trends as follows: (1) Line D of Fig. 1 defines a region characterizing mirrors and swords made in the Korean Peninsula at the beginning of the Middle Yayoi Period (4th century B.C.), with a high possibility that these artifacts originated in present-day South Korea. (2) Most bronze bells, weapons, and other bronze artifacts from the Yayoi Period were within Region A of Fig. 1, indicating similarity to Western Han mirrors. This region was assumed to correspond to mines in northern China. (3) Kofun Period bronze mirrors fell within Region B of Fig. 1, indicating similarity to Eastern to post-Han mirrors. This region was initially assumed to correspond to mines in central to southern China, but studies on bronze artifacts in the Korean Peninsula from the 2nd century B.C. to 7th century A.D. and on Korean mines showed an area of concentrated data, named Group GB. These data were distributed on part of Region B, but the isotope data overlapped in some instances for Korean mines, possibly indicating Korean provenance. Therefore, two new regions indicating Korean source were offered: Region D2, corresponding to mines in Korea's Gyeongsangbuk-do Province, and Region P, named after the ancient Paekje Dynasty. (4) Lead isotope results suggested that the earliest samples of Japanese copper containing lead isotope ratios within Region C of Fig. 1 might trace back to the latter half of the 6th century A.D. They were about half a century earlier than currently known archaeological remains. (5) Bronze objects excavated from the Shang Dynasty and Sanxingdui ruins had specific lead isotopic compositions, but these specific compositions were not found in artifacts from the next major dynasty, the Zhou Dynasty. (6) Coins issued by the Yan, Qi, and Lu states during China's Zhanguo (Warring States) Period showed lead isotope ratios typical of the Liaoning Province; this region was denoted Region L. (7) Much isotopic data for lead and bronze in the Middle Ages was concentrated to an area, Region N, which was next to Region B. Most objects found in this region were assumed to be transported by trading ships, and this assumption was supported by data for a Thai mine coincident with this region. (8) A large number of lead isotope analyses concerning ores in Korea have been published recently, which might be useful to further understanding the source of metals in Group GB, Region D2, and Region P.