

論文

鉛同位体比法による江戸時代の真鍮生産関連遺物の産地推定

—平安京左京三条四坊十町跡で出土した資料から—

三浦麻衣子^{*1}・藤澤 明^{*2}・平尾 良光^{*3}^{*1}・^{*2}・^{*3} 帝京大学文化財研究所

はじめに

I. 分析資料

II. 分析方法

III. 分析結果と考察

おわりに

はじめに

平安京左京三条四坊十町跡では江戸時代前期に金属生産の工房が営まれていたことが発掘調査により明らかとなっている。金属生産に関わる遺物も多く出土しており、2004年に刊行された報告書では鋳滓や坩堝など、一部の資料に化学分析がなされており、本遺跡では真鍮にかかわる生産が行われていたことがわかっている（財団法人 京都市埋蔵文化財研究所, 2004）。

日本では大阪府羽曳野市野中寺遺跡出土品に飛鳥時代の真鍮製遺物が確認されている（早川・犬塚, 2019; 西山, 2019）。また正倉院宝物にも真鍮製の合子や香炉が知られ、唐で製作され日本にもたらされたとみられている（成瀬, 2002）。古代から真鍮製品が認められているが、真鍮生産の痕跡は発見されておらず、古代の真鍮製品は海外からもたらされたものと考えられている。日本国内においていつから真鍮生産が行われていたかは未だに不明な点が多い。

坪根は文献資料や考古遺物から日本における真鍮素材の受容と生産形態について、次のような三段階の設定を行っている（坪根, 2018a・2018b）。

第1段階：中国等から真鍮インゴットを輸入し、これらを原料とした製品の製造を行う段階（14世紀以降）

第2段階：金属銅と亜鉛鉱石（炉甘石：菱亜鉛 $ZnCO_3$ ）による真鍮地金を生成し製品とする段階（16世紀中頃以降）

第3段階：金属銅とインゴットとして輸入した金属亜鉛との混合による地金の生成を行う段階（近世初頭）

第1段階を裏付ける資料としては、韓国新安沖で

沈没した船から見つかった真鍮インゴットの存在が報告されている（平尾, 2013）。

日本国内における真鍮生産を示す資料としては把手付坩堝が挙げられる。把手付坩堝に化学組成分析を行うと、銅と亜鉛が検出されることが多いという報告がある（伊藤, 2008）。坪根は前掲の2本の報告において、把手付坩堝の出土状況の整理も行っている。現状では岐阜市の鷺山遺跡群出土品が16世紀前半までさかのぼり、以降、16世紀後半から17世紀前半にかけて中世大友府内跡や堺環濠都市遺跡、黒崎城跡、大坂城跡でも出土している。

本研究の対象となる平安京左京三条四坊十町跡は坪根の設定した真鍮素材の受容と生産形態の第3段階にあたり、金属生産工房の操業時期は発掘調査により1650～1680年頃とみられ、本遺跡からも把手付坩堝が出土している。また、平安京左京三条四坊十町跡では真鍮生産の材料となった亜鉛インゴットや工房で生産したとみられる真鍮材等、当時の真鍮生産の状況を示すような遺物が数多く出土している。工房の操業時期が明確であり、真鍮の生産を示す遺物が豊富に出土することから平安京左京三条四坊十町跡の出土遺物は日本における真鍮生産の歴史を考える上で優良な資料群である。

本研究では平安京左京三条四坊十町跡で出土した資料に対して、蛍光X線分析と鉛同位体比分析を行う。蛍光X線分析では資料の化学組成を明らかにし、鉛同位体比分析では資料の材料産地を推定する。これらの分析によって17世紀中頃の日本における真鍮材料の入手状況や制作技法などの実態を検討した。

I. 分析資料

平安京左京三条四坊十町跡で出土した真鍮生産関連資料から本研究に供された資料は7点である。形態ごとの内訳は亜鉛インゴット・1点、真鍮材・3点、坩堝蓋・1点、坩堝・1点、取瓶・1点である。亜鉛インゴットの写真を図1に示す。また、分析資料の一覧を表1に示す。

No.1の亜鉛インゴットは表面が酸化し、白色を呈している。No.2～No.4は真鍮材で表面は錆である緑青に覆われている。No.5の坩堝蓋、No.6の取瓶、No.7の坩堝には溶融物が付着しており、分析は付着した溶融物を対象とする。

II. 分析方法

科学的調査は蛍光X線分析と鉛同位体比分析の2つの方法で行った。蛍光X線分析では資料の化学



図1. 亜鉛インゴット

組成を調査した。本研究の対象資料とは異なる資料であるが2004年の報告においても蛍光X線分析が行われ、平安京左京三条四坊十町跡において真鍮生産が行われていたことが証明されている（財団法人京都市埋蔵文化財研究所，2004）。今回の蛍光X線分析による調査では2004年の報告と比較しながら、考察を行った。もう一つの調査は資料の材料産地を推定できる鉛同位体比分析である。鉛同位体比分析は資料の銅・亜鉛・スズなどに不純物として含まれている鉛、あるいは製品を作る際に加えられた鉛の鉛同位体比から、資料の産地を推定する方法である（平尾，1998・2008）。産地の情報は資料の特徴を明らかにする上で有用である。

2-1. 蛍光X線分析の方法

化学組成分析には可搬型蛍光X線分析装置（Innov-X Systems DELTA PREMIUM DP-4000）を使用し、非破壊で行った。測定部位は各資料とも目視観察で均一な状態に見え、錆が少ないと考えられる位置を選定した。分析モードは2 Beam Mining Plusを使用し、タンタル管球の電圧を自動で40kVと15kVに切り替えて測定することにより塩素、硫黄、カルシウムなどの軽元素の分析も可能である。また、ファンダメンタルパラメーター法により簡易的ではあるが、各元素の半定量値を算出することが可能である。分析時間は90 [sec]とし、X線の照射範囲は約10mmφである。

2-2. 鉛同位体比分析の方法

鉛同位体比の測定には表面電離型質量分析計（Finnigan MAT262）を用いた。表面電離型質量分析計での鉛同位体比の分析は鉛の純度が高いほど測定

表1. 分析資料

NO.	資料名	出土遺構	寸法	報告書* 資料No.
1	亜鉛インゴット	1区工房第2床面	縦13.5cm,横14.0cm,高さ6cm	575
2	真鍮材	1区建物63	長さ25.9cm,幅1.6cm,厚さ0.5cm	577
3	真鍮材	2区炉2317	長さ14.0cm,幅2cm,厚さ0.4cm	578
4	真鍮材	2区土壌2364	長さ13.7cm,幅2.6cm,厚さ0.6cm	580
5	坩堝蓋	2区土壌2106	径12.5cm,厚さ4.2cm	342
6	取瓶	2区第3層	径5.2cm,高さ2.5cm	352
7	坩堝	1区竪穴276	径17.7cm,高さ16.7cm	331

*財団法人京都市埋蔵文化財研究所（2004）

の精度が上がるため、鉛の単離を行った。資料から微量 (~1 mg) のサンプルを採取し、石英製ビーカーに入れ、硝酸 0.3ml を加え、1 日放置して資料を溶解した。資料が溶解した後、蒸留水で 5~10ml に希釈し、電極に白金板を利用し、直流電圧 2V で電気分解した。鉛は酸化され、二酸化鉛として陽極の白金電極上に析出するので、この白金電極を取り出して硝酸と過酸化水素水で鉛を還元溶解した。この溶液の鉛濃度を ICP 発光分光分析法で測定し、300ng の鉛を分取した。この分取した鉛にリン酸とシリカゲルを加えてレニウムフィラメント上に載せ、加熱固化し、測定に供した。測定諸条件を整え、鉛同位体比を測定し、測定値は同一条件で測定した標準鉛試料 NBS-SRM-981 で規格化した(平尾・馬淵, 1989)。

鉛同位体比は $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ - $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ (A 式図)、 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (B 式図) で表現されることが多く、本研究においてもこの 2 つの図で表現することにした。先行研究の成果により 2 つの図ではそれぞれの地域で産出される鉛が日本、朝鮮半島、中国華北・華南などの領域として示される(平尾, 1999・2001)。未知資料の測定結果を 2 つの図に当てはめた時、双方の図において、同じ領域の中に含まれれば、その地域で産出した鉛が含まれている可能性が高いとされる。

地殻変動時には鉛とともに、銅・亜鉛・スズなどの元素も類似して挙動すると言われ、銅製品に含まれる鉛は一般的には銅鉛床を生成した鉛床生成活動に付随した鉛である。各金属は最終的には鉛と別々の鉛床を生成するが、鉛は銅・亜鉛・スズなどから完全には分離されず、少量の鉛が各金属鉛床の中に残される。昔の金属精錬方法では共存した鉛を除ききれず、鉛は精錬した各種金属に少量残ることが普通である。このことから、銅・亜鉛・スズなどの金属についても鉛同位体比法により産地を推定することができる。

III. 分析結果と考察

3-1. 蛍光 X 線分析

表 2 に測定結果を示す。化学組成は合金成分のみで算出している。

No. 1 の亜鉛インゴットは不純物として 1 mass% 程度の鉛が含まれているが、銅やスズなどの元素は

含まれず、純度の高い亜鉛である。No. 2~No. 4 の真鍮材からは銅、亜鉛、鉛が検出され、化学組成の比は異なるものの、3 点とも不純物として 1.5~3.0 mass% の鉛を含む真鍮である。検出された銅と亜鉛の比をみていくと、No. 2 は銅：亜鉛 = 15 : 1、No. 3 は銅：亜鉛 = 6 : 1、No. 4 は銅：亜鉛 = 3 : 1 であり、銅と亜鉛の混合比により真鍮は色味と機械的性質が異なることから、真鍮材を製作する際に銅と亜鉛の混合比を調整して色味と機械的性質をコントロールしていた様子がうかがえる。No. 5 の坩堝蓋と No. 7 の坩堝からも銅と亜鉛、そして不純物程度の鉛が検出され、真鍮製造に使用された坩堝であることが判明した。検出された銅と亜鉛の比は No. 5 で銅：亜鉛 = 3 : 2、No. 7 で銅：亜鉛 = 1 : 1 となる。真鍮材よりも亜鉛の比率が高い要因は亜鉛の沸点が 907℃ と低いことから、加熱中に亜鉛が蒸発し、坩堝の蓋の裏や坩堝内の壁面に付着した為であると考えられる。No. 6 の取瓶からも銅、亜鉛、鉛が検出された。銅が 96.0 mass% であり、亜鉛は 1.1 mass% ときわめて少量である。亜鉛インゴットや真鍮材、坩堝は真鍮生産関連の資料であるが、取瓶から検出された金属元素は純度の高い銅であり、銅製品の生産に利用されたと考えられる。

報告書(財団法人京都市埋蔵文化財研究所, 2004)でも一部資料に対して蛍光 X 線分析が行われている。鉍滓については切断を行い錆の影響のない地金部分が測定されている。4 点の分析が行われ、3 点は銅と亜鉛、少量の鉛が検出され、真鍮滓であることが報告されている。銅と亜鉛の比はそれぞれ異なり、銅：亜鉛 = 9 : 1、8 : 2、7 : 3 であり、銅と亜鉛の混合比を変えていた可能性が指摘されている。

今回の真鍮材の分析は非破壊分析のため、表面に

表 2. 蛍光 X 線分析の結果

No.	資料名	(mass%)			
		Cu	Zn	Pb	Sn
1	亜鉛インゴット	—	98.7	1.3	—
2	真鍮材	91.8	6.8	1.5	—
3	真鍮材	82.8	14.2	3.0	—
4	真鍮材	72.8	24.3	3.0	—
5	坩堝蓋	59.7	39.8	0.4	—
6	取瓶	96.0	1.1	3.0	—
7	坩堝	47.9	51.1	1.1	—

形成された銅鍍である緑青の影響により分析結果は銅の比率が高いものの、銅と亜鉛の混合比を調整していたとみられる点で同様の結果である。

また、報告書において鉍滓の1点は不純物である鉛が若干含まれるが純度の高い銅であると報告されている。この報告に対応するように、今回分析した取瓶でも純度の高い銅の付着が確認された。

報告書では文献資料を提示して平安京左京三条四坊十町跡の工房は銅の生産から真鍮の生産に移行したことが示され、また、純度の高い銅の鉍滓が真鍮関連遺物より古い時期の層より出土していることから出土遺物からも銅の生産から真鍮の生産への移行が確認できたとしている。さらに鉍滓以外にも罎塙や炉の蓋や壁に対して分析が行われ、すべての資料から銅と亜鉛が検出され、真鍮を生産するための道具、設備であったことが証明されている。

今回の調査でも罎塙と罎塙蓋から銅と亜鉛が検出され、真鍮生産に利用された資料であることが確認できた。

本研究における蛍光 X 線分析の結果は 2004 年刊行の報告書の分析結果と極めて類似しており、改めて本遺跡において真鍮の生産が行われていたことが証明された。

3-2. 鉛同位体比分析

鉛同位体比分析の測定値を表 3 に示す。また、 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ - $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ (A式図)、 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (B式図)を図 2(a)、(b)として示す。

No.1 の亜鉛インゴットは A 式図、B 式図においてどの領域にも含まれず、現状では産地が不明である。

No.2 の真鍮材、No.4 の真鍮材、No.7 の罎塙は A 式図において中国華南領域に含まれ、B 式図では中国

華南領域と日本領域の間に位置し、朝鮮半島領域にととれる位置である。しかし、A 式図において中国華南領域に位置し、かつその位置が日本領域寄りに位置していることから、朝鮮半島産材料とは考えにくい。鉛同位体比は異なる産地の材料を混合させた場合、各産地の領域の間の値を示すので、B 式図での位置は材料の混合によるものと考えられる。よって、これら資料の材料産地としては、中国華南産亜鉛と日本産銅の混合、または産地不明亜鉛インゴットと日本産銅の混合と考えられる。

No.3 の真鍮材は A 式図では中国華南領域に、B 式図では日本領域に含まれる。B 式図において日本領域に位置しているが、中国華南領域に寄っている。以上から、本資料も中国華南産亜鉛と日本産銅の混合、または産地不明亜鉛インゴットと日本産銅の混合と考えられる。

No.5 の罎塙蓋は A 式図、B 式図ともに中国華南領域に含まれるので中国華南産と推定できるが、日本産銅材料と産地不明亜鉛インゴットの混合と考えることも可能な位置にある。

No.6 の取瓶は A 式図では中国華南領域に、B 式図では中国華南領域と日本領域の間に位置する。B 式図では朝鮮半島産の可能性を示すが、A 式図において中国華南領域の中でも日本領域に近接していることから、中国華南産銅と日本産銅の混合であると推定できる。

今回の分析結果から本遺跡が操業していた江戸時代前期には日本で日本産の銅と外国産の亜鉛を混合し、真鍮の合金化が行われていたと判断できる。

文献史料から 17 世紀前半から日本は中国船やオランダ船を通して大量の亜鉛を輸入していたことがわかっており、オランダ商館仕訳帳によればオランダ

表 3. 鉛同位体比の測定値

No.	資料名	鉛同位体比值					鉛同位体比 測定番号
		$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	
1	亜鉛インゴット	18.400	15.801	38.913	0.8588	2.1149	TC5116_1
2	真鍮材	18.352	15.645	38.692	0.8525	2.1084	TC5117
3	真鍮材	18.354	15.620	38.698	0.8511	2.1085	TC5118
4	真鍮材	18.346	15.639	38.688	0.8525	2.1088	TC5119
5	罎塙蓋	18.423	15.713	38.885	0.8529	2.1107	TC5120
6	取瓶	18.399	15.657	38.788	0.8510	2.1082	TC5121
7	罎塙	18.282	15.640	38.721	0.8555	2.1180	TC5122

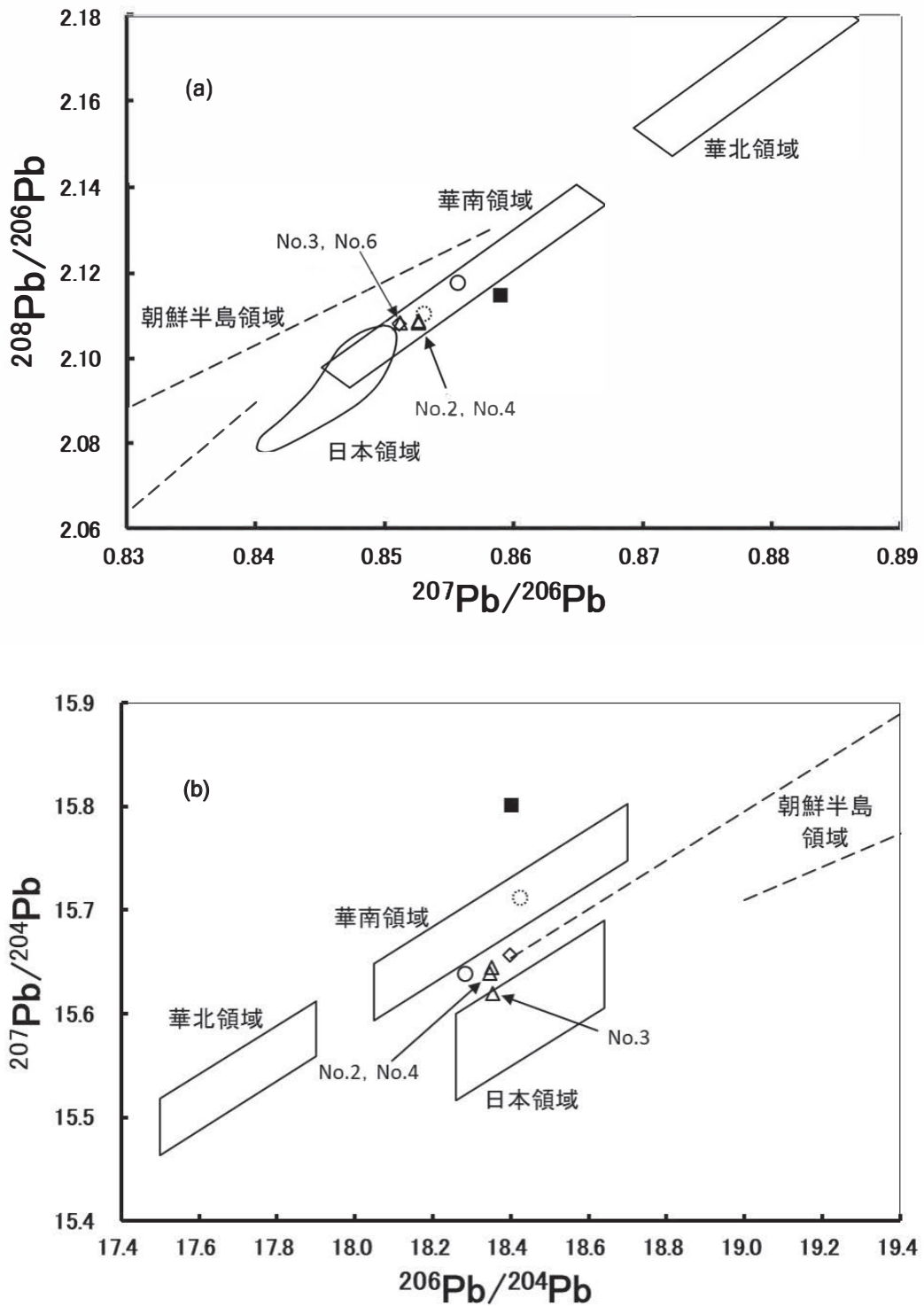


図2. 平安京左京三条四坊十町跡出土遺物の鉛同位体比分布. (a) A式図, (b) B式図
 ■No.1 垂鉛インゴット △No.2 真鍮材 △No.3 真鍮材 △No.4 真鍮材
 ○No.5 埴塼蓋 ◇No.6 取瓶 ○No.7 埴塼

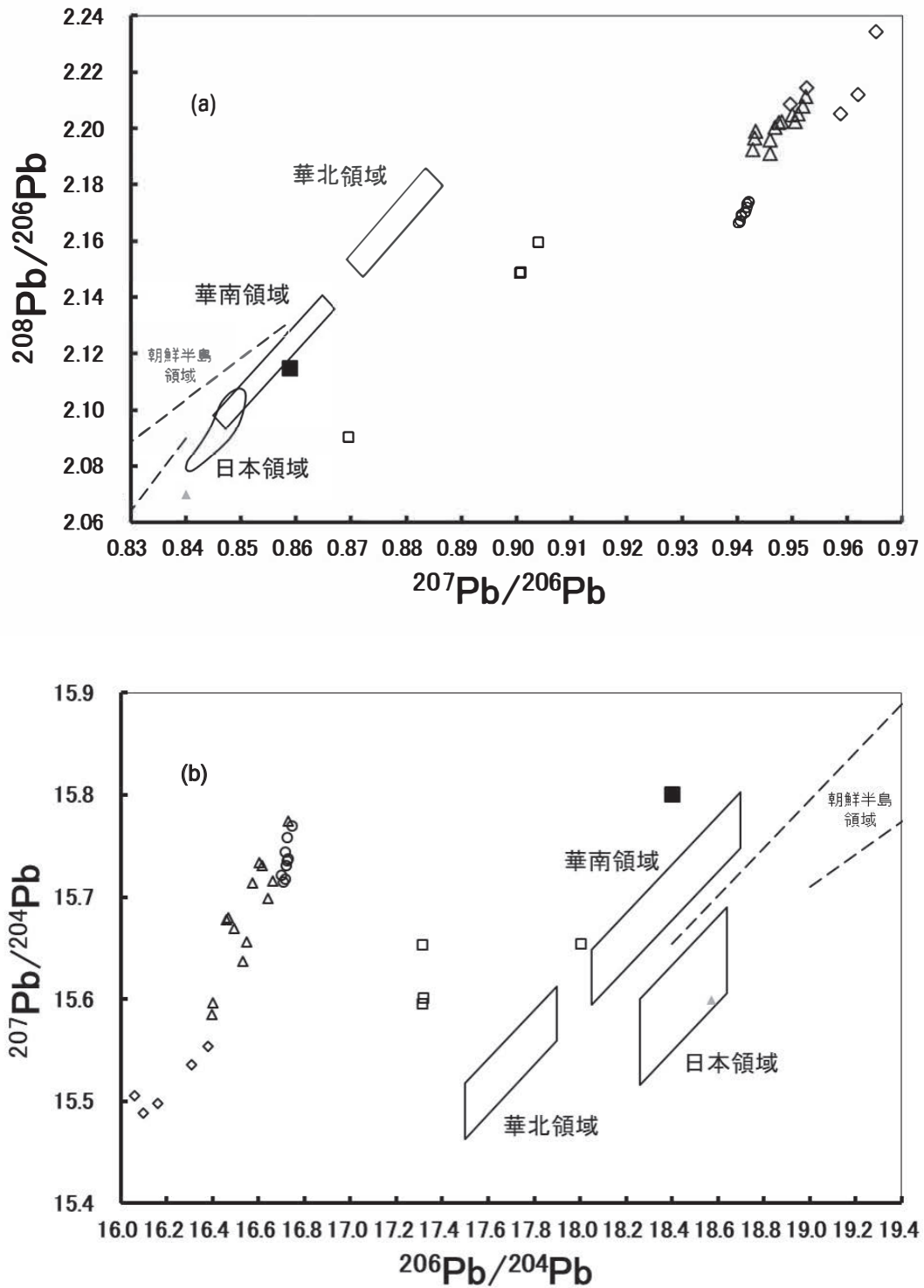


図3. 亜鉛インゴットとインド鉱山の鉛同位体比分布. (a) A式図, (b) B式図
 ■No.1 亜鉛インゴット ○ Agnigundala △ Zawar
 ◇ Dariba □ Ambaji ▲ Ambadongar

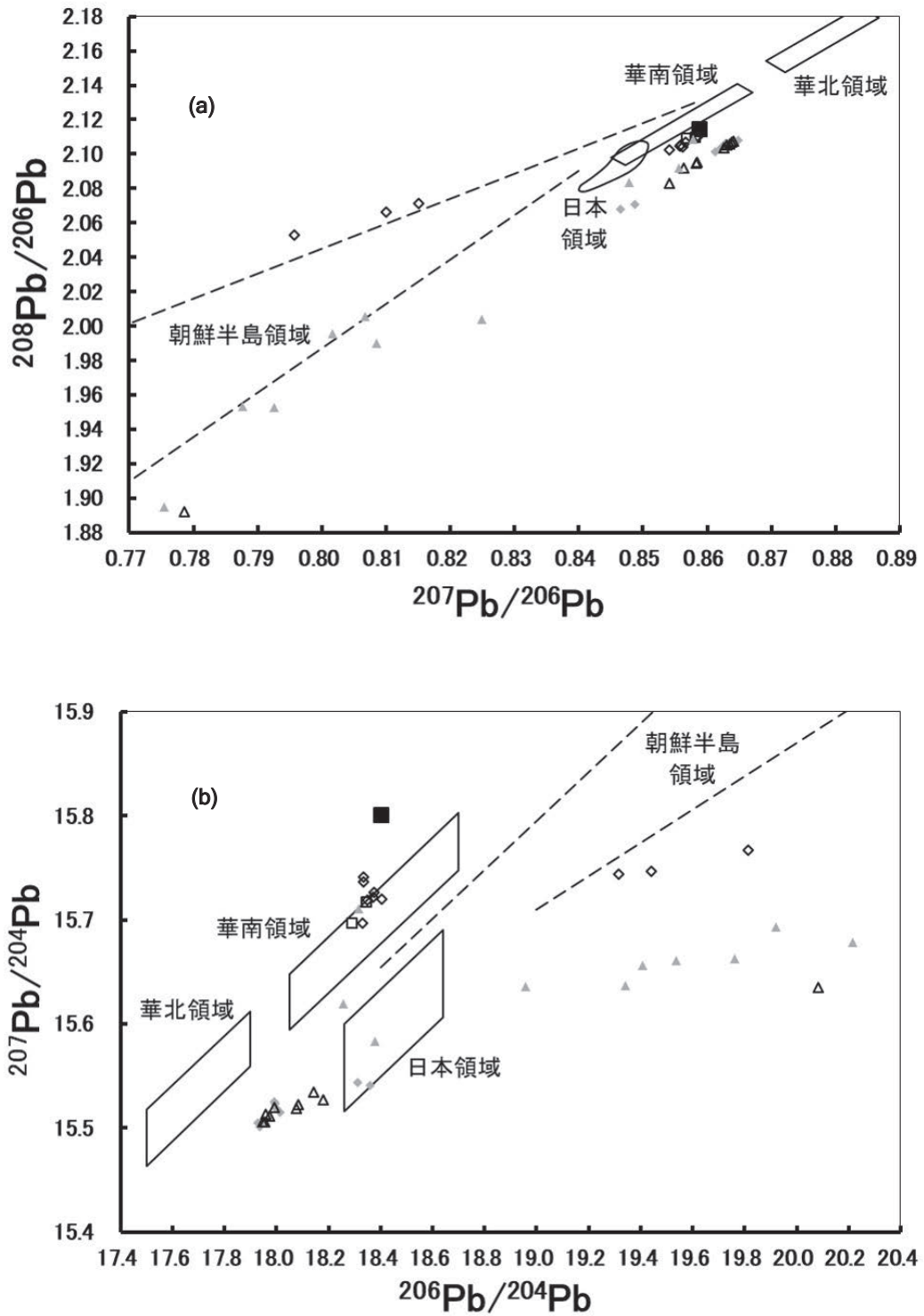


図4. 亜鉛インゴットと東南アジアの銅生産遺跡の鉛同位体比分布。(a) A式図, (b) B式図
 ■No.1 亜鉛インゴット ○Puen Baolo (ラオス) □Thong Na Nguak (ラオス)
 ◆Nil Kham Haeng (タイ) △Non Pa Wai (タイ) ▲Phu Lon (タイ)
 ◇Lang Nhon (ベトナム)

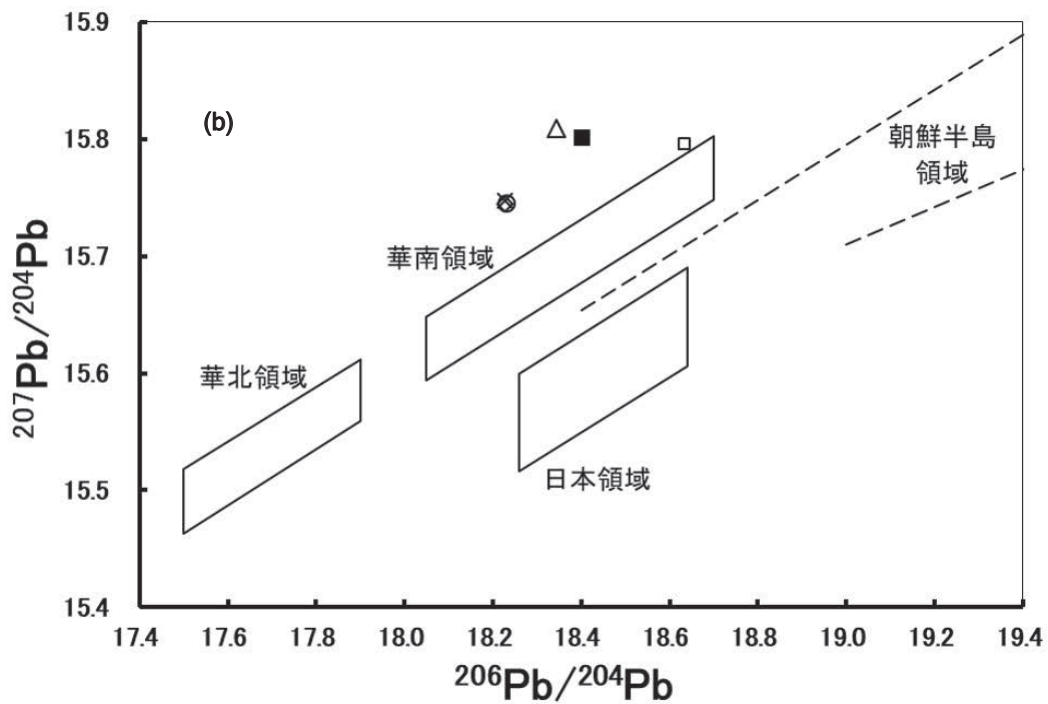
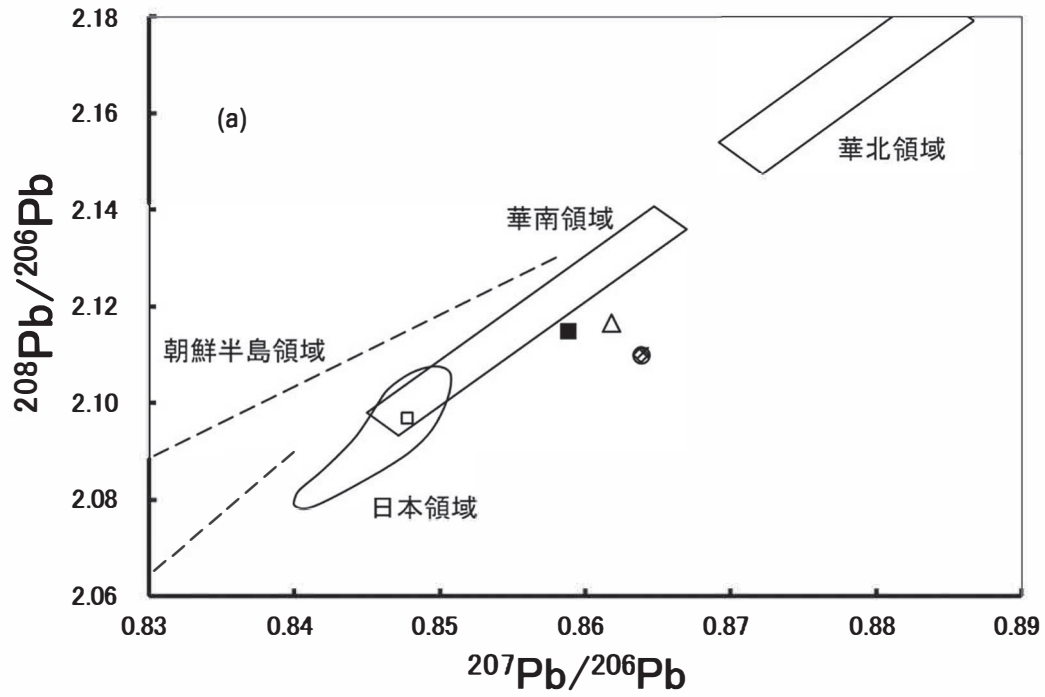


図5. 亜鉛インゴットとタイの現代鉱山の鉛同位体比分布. (a) A 式図, (b) B 式図

■No.1 亜鉛インゴット ◇Song Toh ×Mue Nan

○Bo Yai □Ban Kued Chang △Ban Dong Noi

船が運んだ亜鉛は中国産であると記載がある(行武, 2007; 井澤, 2008)。このことから、分析資料となった亜鉛インゴットについても中国産の可能性を考えていたが、結果としては現状では産地不明である。

Laufer (1919) はヨーロッパへの亜鉛の動きについて、16世紀においては中国やインドから亜鉛が輸入されていたと述べ、また、18世紀についてはBeckmannの文献を引用し、インドから船で輸入されたが亜鉛自体の産地は中国、ベンガル、マラッカ、マラバルであるとしている。16世紀から18世紀にかけて、中国以外にもインドや東南アジアでも亜鉛が産出していたようである。

中世のインドの亜鉛生産に関してCraddock (2013) はインドでは古くから亜鉛の生産が行われていたとし、15~16世紀にはZawar 鉱山において生産がピークに達したという。また、16世紀初頭にはインド産の亜鉛がヨーロッパへ輸出されていたというが16世紀後半にはインドも中国から亜鉛を輸入するようになり、この状況は19世紀まで続いたと述べている。つまり、16世紀後半には世界の多くの地域において中国産の亜鉛が利用されていたと考えられる。本研究の対象となった亜鉛インゴットとインドの鉱山であるAgnigundala, Zawar, Dariba, Ambaji, Ambadongarの鉛同位体比值(Srinivasan, 1999)を比較した図を示す(図3(a)、(b))。亜鉛インゴットとインド鉱山のデータは一致することではなく、インド産亜鉛が17世紀半ば時点では世界へ向けての流通がなくなったことと対応している。

次に東南アジア産の可能性について検討していく。Pryce et al. (2014) は紀元前1世紀~紀元後5世紀までの東南アジアの遺跡から出土した遺物について鉛同位体比の報告を行っている。その報告の中から、銅生産遺跡であるラオスのPuen Baolo, Thong Na Nguak, タイのNil Kham Haeng, Non Pa Wai, Phu Lon, ベトナムのLàng Nhónで出土した遺物のデータを抜粋し、亜鉛インゴットと鉛同位体比值を比較した図を示す(図4(a)、(b))。本研究の対象の亜鉛インゴットは17世紀の遺物であるため比較対象とするには古い時代の遺物の測定結果であるが、どの銅生産遺跡の遺物とも亜鉛インゴットの鉛同位体比值は一致していない。

平尾、山口(2012)はタイの現代鉱山について鉛同位体比分析を行っている。その中に亜鉛インゴットと比較的近い値を持つ鉱山がある。亜鉛インゴッ

トとタイの現代鉱山であるSong Toh, Mue Nan, Bo Yai, Ban Kued Chang, Ban Dong Noiの鉛同位体比值を比較した図を示す(図5(a)、(b))。近い値をとるのはBan Dong Noi 鉱山であり、タイ北部のチェンマイ付近に存在する。鉛同位体比值は比較的近いものの一致していない点には注意を払う必要があり、現段階ではタイ産であると判断するには至らない。

おわりに

本研究において江戸時代前期における真鍮の生産の実態について実際の遺物を分析に供し、検討を行った。銅と亜鉛の合金である真鍮は戦国時代まで中国などの外国産であったと推測されるが、江戸時代前期には日本産銅と中国あるいは産地不明の亜鉛を利用して日本で真鍮の合金製作が行われていたことが証明できた。亜鉛インゴットの産地に関しては従来中国産と考えられてきたが、中国だけではない可能性が示されたことは非常に重要である。現段階では亜鉛インゴットと比較的近い鉛同位体比值を持つ鉱山がタイに存在するが、亜鉛インゴットの産地が東南アジアにある可能性を想起させるのみで確証はない。今後、東南アジアや中国を含むアジア地域の鉱山資料の鉛同位体比測定を行うことで、亜鉛インゴットの産地を特定することが急務である。

亜鉛インゴットの日本国内での発掘事例は現在、平安京左京三条四坊十町跡からのみであり、日本における真鍮の歴史を考える上で極めて重要な資料である。本資料は現状では産地が不明であるが、産地を明らかにすることは日本のみならずアジアの亜鉛生産、真鍮生産の歴史に非常に重要である。

日本では近年真鍮の生産に関する研究が活発に行われ、真鍮生産の歴史も少しずつ明らかになってきている。今後も真鍮製品や真鍮生産関連遺物・遺跡に注目し、研究を進めていきたい。

謝辞

本研究を行うに際して、大分県立埋蔵文化財センターの後藤晃一氏には多くのご教示を賜りました。また、貴重な資料を提供していただきました公益財団法人京都市埋蔵文化財研究所の皆様にご心より感謝申し上げます。

文献

- 井澤英二, 2008, 江戸時代のトタンと真鍮. 資源・素材 (資源・素材関係学協会合同秋季大会分科研究会資料), 135-138
- 伊藤幸司, 2008, 把手付埴塼の復元的研究—真鍮地金の調査について—. 日本文化財科学会第25回大会研究発表要旨集, 208-209
- 財団法人 京都市埋蔵文化財研究所, 2004, 平安京左京三条四坊十町跡. 124p.
- 坪根伸也, 2018a, 中・近世移行期の施錠具と真鍮生産にみる外来技術導入をめぐる諸問題. 国立歴史民俗博物館研究報告, 210, 123-152
- 坪根伸也, 2018b, 中・近世移行期における真鍮 (黄銅) 関連遺物に関する現状と課題. 博多・山口・大分三都市研究会 第8回研究集会 報告資料集, 75-85
- 早川泰弘, 犬塚将英, 2019, 真鍮資料の分析—大阪府野中寺遺跡出土金属製品・寛治元年銘経筒・美福門院願経断筒・寛永通寶・古代ローマコイン—. 日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究 (A) (一般) 古代～中世の「鍮石」「真鍮」の研究—金に等しい価値があったころ— 2018年度研究報告, 5-12
- 平尾良光, 馬淵久夫, 1989, 表面電離型固体質量分析計 VG-Sector の規格化について. 保存科学, 28, 17-24
- 平尾良光, 1998, 鉛同位体比法. 文化財を探る科学の眼3 青銅鏡・銅鐸・鉄剣を探る, 国土社. 13-19
- 平尾良光編, 1999, 古代青銅の流通と製造. 鶴山堂, 347p
- 平尾良光編, 2001, 古代東アジア青銅の流通. 鶴山堂, 344p
- 平尾良光, 2008, 鉛同位体比法の応用—歴史資料の産地推定—. RADIOISOTOPES, 57, 709-720
- 平尾良光, 山口将史, 2012, Waiyapot Worakanok, タイ ソン トー (Song Toh) 鉞山の鉛, 鉛同位体比法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. 平成21～23年度 (2009～2011) 科学研究費補助金 新学術領域研究 (研究課題提案型) 報告書, 187-210
- 平尾良光, 2013, 「鉛」から見える世界 第II章 歴史的文化財資料に関する鉛同位体比の研究. 平尾良光先生古稀記念論集 文化財学へのいざない, 平尾良光先生古稀記念論集刊行会編, 32-71
- 成瀬正和, 2002, 正倉院宝物の素材. 日本の美術 439, 98p.
- 西山要一, 2019, 真鍮資料の分析 大阪府野中寺遺跡出土金属製品・寛治元年銘経筒・古代ローマコイン. 日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究 (A) (一般) 古代～中世の「鍮石」「真鍮」の研究—金に等しい価値があったころ— 2018年度研究報告, 13-19
- 行武和博, 2007, 近世日蘭貿易の数量的取引実態—17世紀前期オランダ商館作成「会計帳簿」の解説・分析—. 社会経済史学, 72-6, 25-45
- Craddock, P.T., 2013, Two Millennia of the Sea-Bourne Metal Trade with India. Indian Journal of History of Science, 48.1, 1-37
- Laufer, B., 1919, Sino-Iranica. Field Museum of Natural History, 630p.
- Pryce, T.O., Baron, S., Bellina, B.H.M., Bellwood, P.S., Chang, N., Chattopadhyay, P., Dizon, E., Glover, I.C., Hamilton, E., Higham, C.F.W., Kyaw, A.A., Laychour, V., Natapintu, S., Nguyen, V., Pautreau, J., Ernst, P., Pigott, V.C., Pollard, M., Pottier, C., Reinecke, A., Sayavongkhamdy, T., Souksavatdy, V., White, J., 2014, More question than answers: the Southeast Asian Laed Isotope Project 2009-2012, Journal of Archaeological Science, 42, 273-294
- Srinivasan, S., 1999, Lead Isotope and Trace Element Analysis in the Study of Over a Hundred South Indian Metal Icons. Archaeometry, 41-1, 91-116