

南あわじ市教育委員会は、弥生時代の金属原料の流通や入手状況の実態を解明するために、平成28年度に松帆銅鐸の鐸7点と、平成29年度に舌7点に使用された青銅のICP分析と鉛同位体比分析調査を実施しました。両者の測定結果の検討を行いましたので、発表します。

1 松帆銅鐸の鐸・舌^{ぜつ}の化学分析結果について

- ① ICP分析結果、松帆銅鐸の青銅の成分が、銅70～81%、錫10～16%、鉛4～18%であることがわかり、古い銅鐸の青銅の成分比率と類似する。
- ② 鉛同位体比分析の結果、松帆銅鐸の鐸と舌^{ぜつ}は朝鮮半島産の鉛を使っていることがわかった。
- ③ 3次元計測結果と実物の比較検討の結果により、舌4号と舌7号が同範であることがわかった。

2 評価と意義

- ① 古い型式の銅鐸の青銅成分には錫と鉛が多く含まれ、新しい型式の銅鐸になると、銅の比率が高くなり、錫・鉛が10%以下になる傾向がある。松帆銅鐸では錫・鉛の比率が比較的高く、古い銅鐸と似た成分比率となった。
- ② 鐸^{ぜつ}と舌が一体で出土したことから、それぞれの鉛同位体比が、朝鮮半島産領域の中に収まっていることから、松帆銅鐸の舌が中期以降の新しい時期に付け替えられた可能性は低く、両者が近接した時期に採掘された鉛で鑄造されている可能性が高い（別紙資料）。
- ③ 松帆銅鐸が朝鮮半島産の鉛を使用していることは、同時期の菱環鈕式・外縁付鈕1式銅鐸の鉛同位体比分析の結果とも整合する。（島根県荒神谷出土の菱環鈕式・外縁付鈕1式銅鐸の鉛は、朝鮮半島産の領域に含まれ、それ以降の新しい銅鐸では中国前漢鏡の領域となることが従来の研究で明らかとなっている。）
- ④ 全国で12点の青銅製の舌が見つまっているが、舌の同範品が見つかったのは今回が初めて。
⇒ これまでの調査で同範銅鐸（2、4号）が判明しており、松帆銅鐸のうち2号、4号、7号の鐸と舌は近似した時期に、同一の工人集団によってセットで製作された可能性が高くなった。

3 今後の予定

- ① 平成28・29年度に実施したボーリング調査から、松帆銅鐸が埋納された時代の旧地形を復元し、弥生時代の三原平野の環境を解明するとともに、松帆銅鐸の埋納推定地を絞り込む。
- ② これまでの調査成果をとりまとめて、平成31年度末に松帆銅鐸調査報告書（仮）を刊行する予定である。

参考

1. 鉛同位体比分析

青銅は銅・錫・鉛の合金であり、銅は70～95%、錫は5～30%、鉛は5～20%含まれる。鉛の同位体比が各地の鉱山ごとに異なることを利用して、合金中に含まれる鉛の同位体比を測定し、原料の産地を推定する分析方法。

この鉛の原子核にふくまれる陽子と中性子の数とを足したものを質量数といい、原子番号が同じで質量数が違う原子を、同位体という。

松帆銅鐸と同じ時期の銅鐸である菱環鈕式銅鐸と外縁付鈕1式銅鐸に使用された鉛は朝鮮半島系、外縁付鈕2式以降は中国華北産であることがこれまでの研究で判明している。

2. ICP 分析法

高周波の誘導結合プラズマ (Inductively Coupled Plasma) による発光分光分析法。分析試料にプラズマを与え、試料中の原子が反応した結果、放出される発光線を測定し、その波長と強さによって元素の種類、含有量を測定する。反応する発光線すべてを分析することから、試料に含まれる複数の元素を同時に分析することが可能である。

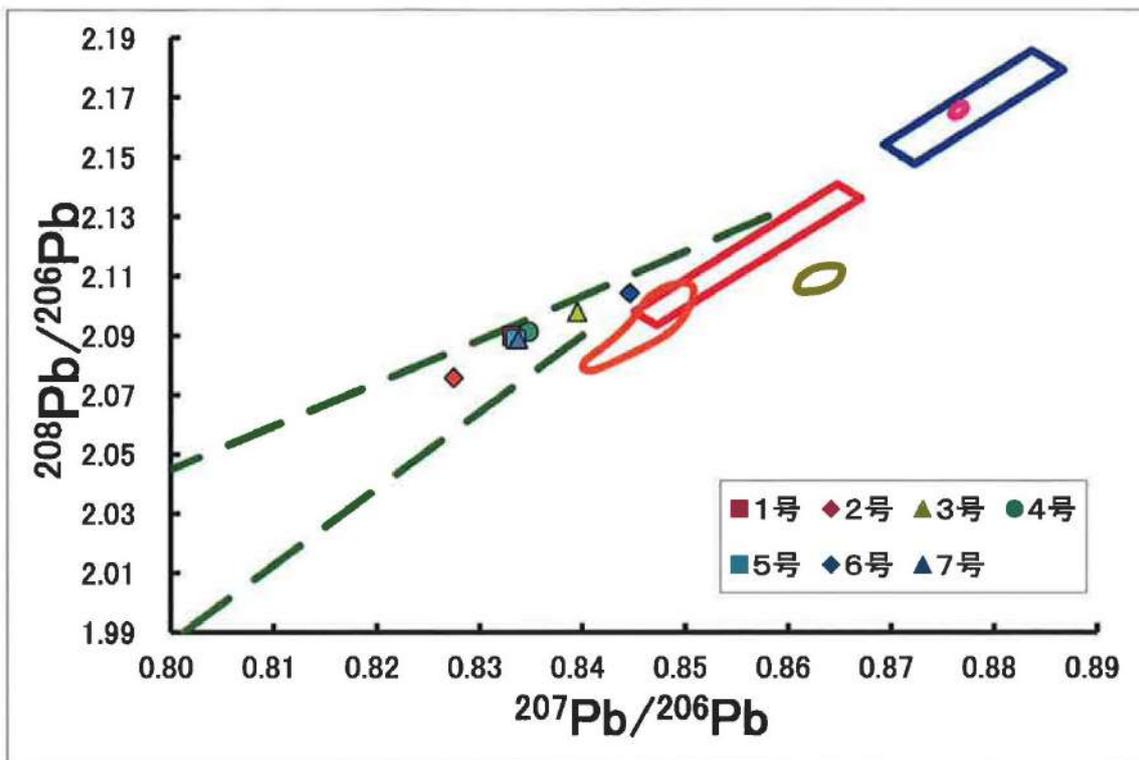
(液体試料にどの元素がどれくらい含まれているかわかる)

3. 3次元計測

立体的なものをデータ化することの総称であり、直接対象物に触れずに計測できるため、近寄ることができない場所や触ることができない物を測定できる。

手法としては、レーザーを発し、対象物から反射して戻ってくるまでの時間差で対象物との距離を測るレーザー計測と、写真に写った対象物と実際の対象物の数学的な関係から形状に関する情報を計算する写真計測がある。

試料名	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$
NBS-SRM-981	16.896	15.438	36.533	0.9137	2.1622
1号	18.832	15.691	39.357	0.8332	2.0898
2号	18.999	15.721	39.437	0.8275	2.0758
3号	18.667	15.670	39.163	0.8395	2.0980
4号	18.787	15.682	39.290	0.8347	2.0913
5号	18.834	15.698	39.339	0.8335	2.0887
6号	18.515	15.638	38.961	0.8446	2.1042
7号	18.799	15.673	39.268	0.8337	2.0888
NBS-SRM-981	16.894	15.434	36.521	0.9136	2.1618
測定精度	±0.010	±0.010	±0.030	±0.0003	±0.0006

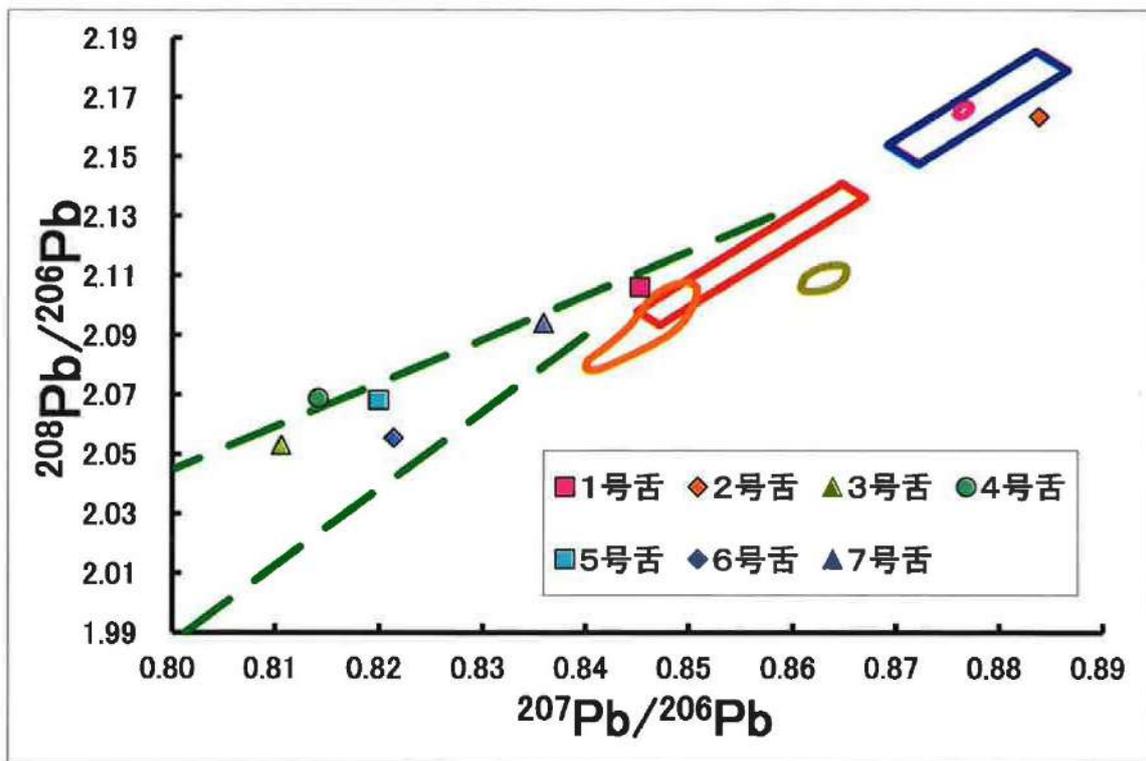


A式図

- : 中国前漢鏡の領域
- : 中国後漢・三国鏡の領域
- : 日本産鉛の領域
- : 朝鮮半島系遺物ライン
- : タイ領域

松帆銅鐸の鉛同位体比測定結果

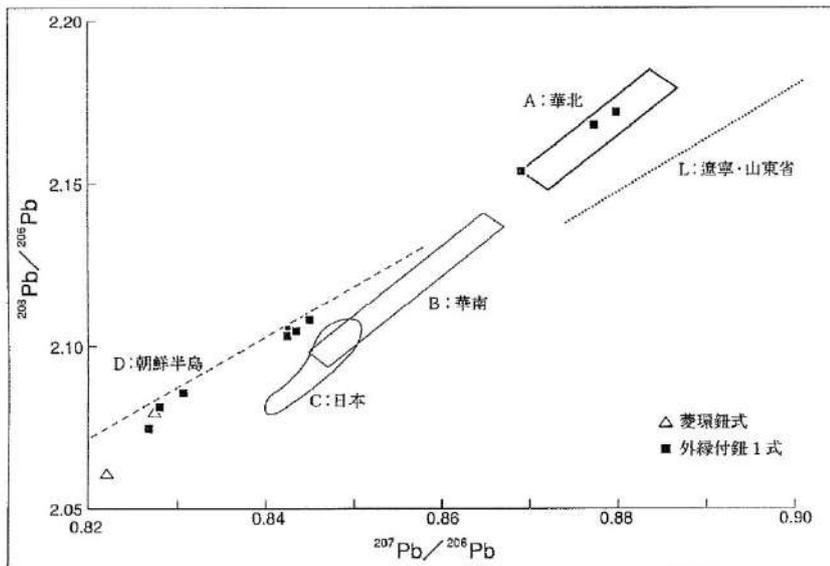
試料名	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$
NBS-SRM-981	16.893	15.432	36.511	0.9135	2.1613
1号舌	18.506	15.642	38.975	0.8452	2.1061
2号舌	17.482	15.451	37.820	0.8838	2.1633
3号舌	19.503	15.809	40.044	0.8106	2.0532
4号舌	19.418	15.809	40.174	0.8141	2.0689
5号舌	19.236	15.772	39.785	0.8199	2.0682
6号舌	19.152	15.730	39.368	0.8213	2.0556
7号舌	18.772	15.692	39.309	0.8359	2.0940
NBS-SRM-981	16.894	15.433	36.516	0.9136	2.1615
測定精度	±0.010	±0.010	±0.030	±0.0003	±0.0006



A式図

- : 中国前漢鏡の領域
- : 中国後漢・三国鏡の領域
- : 日本産鉛の領域
- : 朝鮮半島系遺物ライン
- : タイ領域

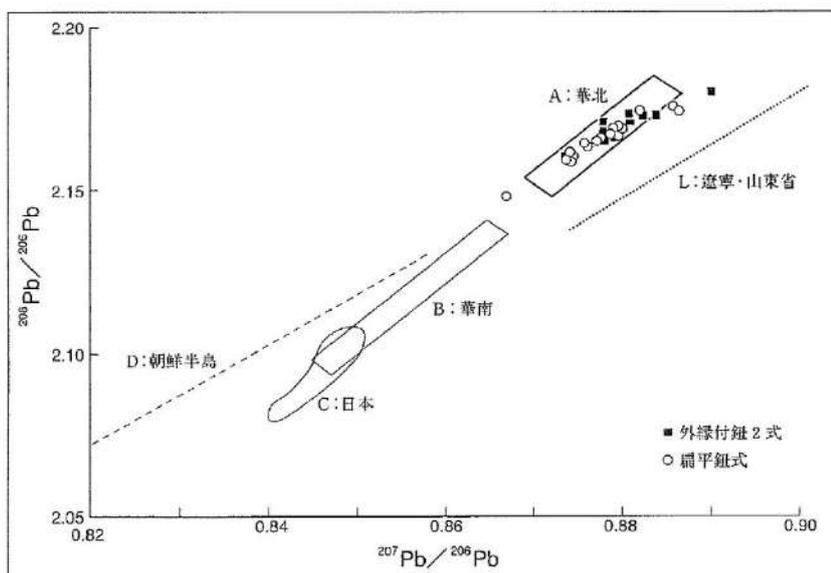
松帆銅鐸舌の鉛同位体比測定結果



朝鮮半島製の青銅器と共通する鉛を使用

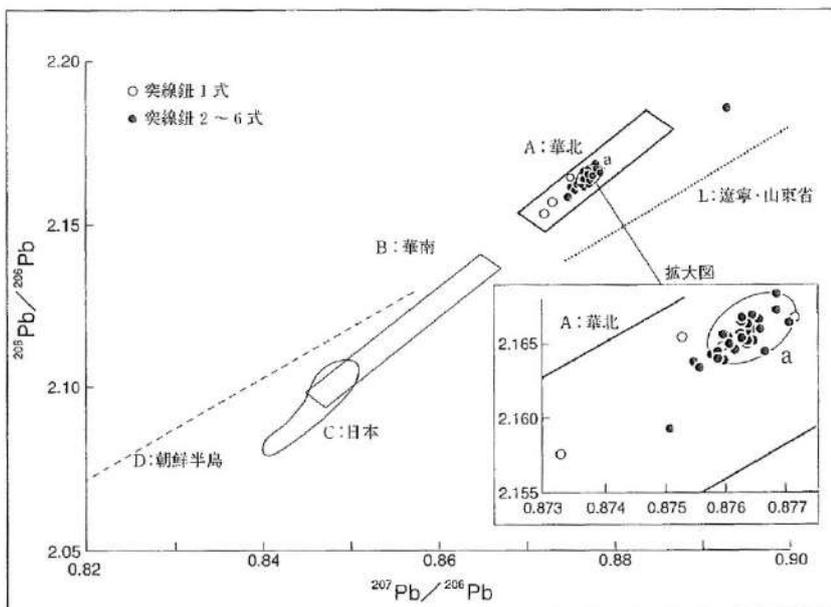
松帆銅鐸

菱環鈕式・外縁付鈕1式銅鐸



前漢鏡と共通する鉛を使用

外縁付鈕2式・扁平鈕式銅鐸



前漢鏡と共通する鉛を使用

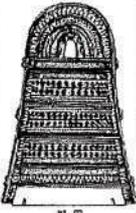
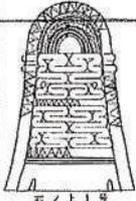
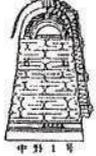
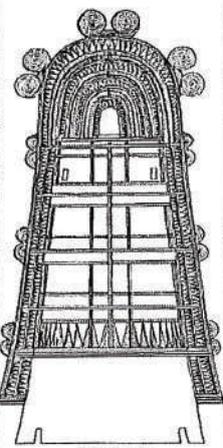
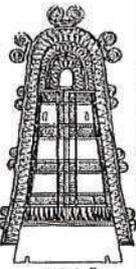
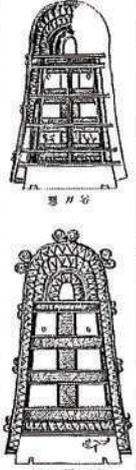
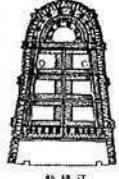
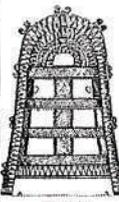
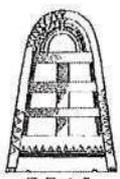
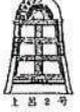
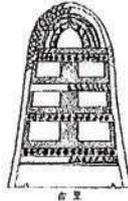
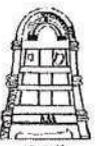
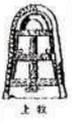
近畿式と三遠式銅鐸は極めて画一的な鉛を使用

突線鈕式銅鐸

ICP分析結果(酸化溶分の定量)

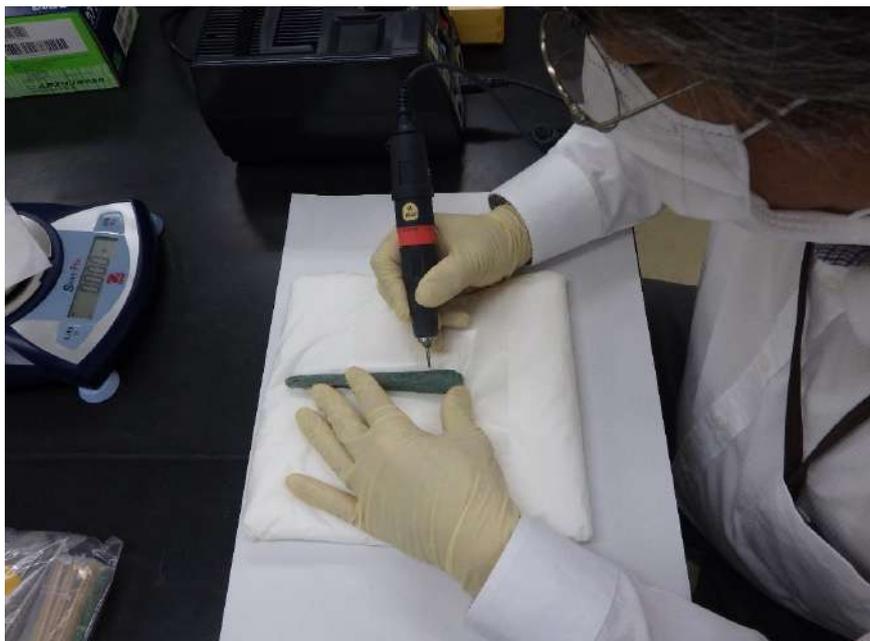
(単位:wt%)

試料名	Cu (銅)	Sn (スズ)	Pb (鉛)	As (ヒ素)	Bi (ビスマス)	Ni (ニッケル)	Zn (亜鉛)	Fe (鉄)	Mn (マンガン)	Ag (銀)	Sb (アンチモン)	Co (コバルト)	Au (金)	Cr (クロム)	Mg (マグネシウム)	Si (ケイ素)	Ca (カルシウム)	Al (アルミニウム)
松 叡 銅 鑛	1号	76.17	12.48	7.77	0.193	0.047	0.126	0.008	0.004	0.106	0.077	0.062	0.004	< 0.001	0.006	< 0.001	0.019	0.003
	2号	75.72	11.35	4.20	0.207	0.033	0.094	0.005	0.001	0.093	0.062	0.060	0.004	< 0.001	0.003	0.001	0.017	0.005
	3号	75.90	13.42	8.11	0.199	0.039	0.124	0.003	0.007	0.116	0.086	0.047	0.006	< 0.001	0.002	< 0.001	0.016	0.003
	4号	80.04	11.27	5.00	0.176	0.034	0.124	0.003	0.001	0.112	0.077	0.032	0.005	< 0.001	0.003	0.002	0.016	0.003
	5号	76.13	12.63	7.36	0.206	0.034	0.128	0.002	0.033	0.110	0.088	0.039	0.004	< 0.001	0.004	0.007	0.016	0.024
	6号	78.33	12.36	6.54	0.196	0.042	0.128	0.001	0.001	0.112	0.080	0.039	0.004	< 0.001	0.002	< 0.001	0.017	0.001
	7号	75.73	15.28	7.58	0.177	0.038	0.142	0.002	0.014	0.117	0.073	0.043	0.006	< 0.001	0.003	0.002	0.015	0.002
松 叡 銅 鑛 ・ 舌	1号	78.49	14.00	8.01	0.245	0.028	0.136	0.016	0.011	0.135	0.087	0.031	0.005	< 0.001	0.020	0.003	0.018	< 0.001
	2号	70.89	10.70	18.0	0.371	0.050	0.137	0.003	0.056	0.148	0.104	0.031	0.004	< 0.001	0.002	0.007	0.018	< 0.001
	3号	74.41	15.96	8.58	0.141	0.028	0.127	0.002	0.008	0.099	0.070	0.054	0.004	< 0.001	0.002	0.008	0.018	< 0.001
	4号	77.60	11.58	9.88	0.189	0.025	0.122	0.005	0.006	0.122	0.066	0.033	0.005	< 0.001	0.003	0.011	0.020	< 0.001
	5号	81.27	11.30	5.91	0.134	0.016	0.170	0.002	0.005	0.111	0.075	0.044	0.004	< 0.001	0.002	0.008	0.020	< 0.001
	6号	73.44	14.99	9.58	0.211	0.030	0.123	0.006	0.030	0.128	0.159	0.046	0.004	< 0.001	0.002	0.029	0.022	< 0.001
	7号	78.03	13.39	7.58	0.171	0.026	0.123	0.003	0.005	0.109	0.073	0.037	0.004	< 0.001	0.003	0.005	0.019	< 0.001

	突線鈕式 とっせんちゆうしき					へんべいちゆうしき 扁平鈕式		がいせんつきちゆうしき 外縁付鈕式		りょうかんちゆうしき 菱環鈕式		縦帯文 おうたいもん (2・3区) 流水文 りゆうすいもん (1区) 文りゆうすいもん (6区) 袈裟文 けさだすきもん (4区)
	5	4	3	2	1		2	1				
銅												
鐸												
の												
編												
年												
				 	 	 						
												
	0 50 100cm (横尺に2分)											



銅鐸サンプリング状況



舌サンプリング状況



サンプリング試料



5号銅鐸サンプリング状況



6号銅鐸サンプリング状況



舌5サンプリング状況



舌7 B面



舌4 B面



舌7 A面



舌4 A面

舌4・7 3次元計測図(120%)

2018. 6. 27 記者発表コメント

松帆銅鐸と舌の科学分析の成果、および舌の同範関係の確認

2018. 6. 23 奈良文化財研究所客員研究員 難波洋三

(鉛同位体比分析の成果)

松帆銅鐸7個(菱環鈕2式1個と外縁付鈕1式6個)と舌6本の鉛同位体比は朝鮮系遺物ライン上に位置しており、これらに含まれている鉛が朝鮮半島産であることがわかる。ただし、舌2の鉛同位体比は弥生時代の青銅器には例があまりない位置(A式図では前漢鏡の領域の右下)にあり、遼寧・山東省産の鉛を含んでいる可能性がある。後述するICP分析の成果によれば、舌2は鉛濃度が18.00%と銅鐸では他に例がないほど高いが、これは舌2が特殊な産地の鉛を含むことと関係するのかもしれない。銅鐸に含まれている鉛は、外縁付鈕1式末に短期間で朝鮮半島産から中国華北産に移行した。松帆銅鐸の鉛同位体比分析の結果も、従来のこの分析結果と矛盾しない。

(ICP分析の成果)

①青銅の主要成分である銅錫鉛の濃度

外縁付鈕1式末より古い型式の銅鐸は、以後の銅鐸に比べて錫濃度が高い。松帆銅鐸と舌の錫濃度は、それぞれ11.27~15.28%、10.70~15.96%と高く、鉛同位体比分析の結果に基づく朝鮮半島産の原料金属を使って製作したという前記の推定と整合している。

②微量元素の濃度

微量元素のうち、ヒ素・アンチモンのほとんどは銅の不純物と考えられる。そして、鉛の朝鮮半島産から中国華北産への変化と連動して、ヒ素・アンチモンの濃度とその比率が大きく変化すること、この変化後の弥生時代の青銅器のヒ素・アンチモン濃度が漢の青銅製品のそれと大差ないことから、私は外縁付鈕1式末に鉛だけでなく、銅も朝鮮半島産から中国産に変化したと推定している(難波2009a・2009b)。

松帆銅鐸のヒ素濃度は0.176~0.207%、アンチモン濃度は0.062~0.088%、舌のヒ素濃度は0.134~0.371%、アンチモン濃度は0.066~0.159%で、銅鐸・舌ともに外縁付鈕1式末以降の銅鐸に比してヒ素・アンチモン濃度が低く、特にアンチモン濃度が目立って低い。これは、外縁付鈕1式末より古い、朝鮮半島産の原料金属を使って鑄造した銅鐸に共通する特徴である(難波2009a・2009b)。

なお、舌2は前記のように特殊な産地の鉛を含むが、アンチモン濃度が0.104%と低く、錫濃度が10.70%と高いので、この舌の銅も朝鮮半島産で、松帆出土の銅鐸や他の舌と同じ頃に作られた可能性が高い。

すなわち、松帆出土の銅鐸だけでなく舌もすべて、外縁付鈕1式末よりも古い段階に製作されたものであることが科学分析で判明した。おそらく、銅鐸を所有した集団は、銅鐸と舌を同時に入手したのであろう。ちなみに、舌を伴って出土した銅鐸のうち鳥取県泊銅鐸については、2本の舌と銅鐸の鉛同位体比が測定されているが、すべて朝鮮半島産の鉛を含んでおり、この場合も銅鐸と舌を同時に入手した可能性が高い。また、舌に松帆銅鐸より新しい、中国産の原料金属を使って作った例がないことは、松帆銅鐸の埋納時期を検討する上でも新たな情報となる。

(舌の同範および銅鐸と舌の関係)

これまでの難波の検討で、

①松帆2号銅鐸—松帆4号銅鐸—南あわじ市中ノ御堂銅鐸（日光寺蔵）

②松帆3号銅鐸—島根県加茂岩倉27号銅鐸

③松帆5号銅鐸—島根県荒神谷6号銅鐸

以上の同範関係を確認していたが、さらに、

④舌4—舌7

についても、互いに同範であることを新たに確認できた。舌の同範品が見つかったのは、これが初めてである。

舌の孔に付着して残った紐の特徴を要約すると、以下のようになる。

舌3：紐は右に撚った繊維束2本を1本に撚り合わせたものようで、孔を貫通させた紐を別の紐で束ねている

舌4：1本の扁平な組紐

舌6：幅が広く扁平な撚りの見えない繊維束で、孔を通してから結んでいる？

舌7：1本の細い撚り紐のようで、孔を通してから結んでいる？

このように紐の種類・結び目などは多様であり、舌の紐は基本的に異なる機会に付けられた可能性が高い。舌の紐を同時に一斉に取り換えたのではなく、それぞれの銅鐸ごとに舌の紐が切れるあるいは傷んだ際に付け替えたのであろう。そうとすれば、銅鐸と舌のセット関係が変化する機会、すなわち複数の舌の紐を同時に取り換える機会は、多くなかったことになる。以上から、銅鐸と舌のセット関係は、製作から埋納まで、基本的に変わらなかった可能性が高い。

このように、舌と銅鐸のセット関係が入手から埋納まで変化していないとすれば、舌と銅鐸のセット関係と前記の銅鐸および舌の同範関係でつながる一群の銅鐸、具体的には、松帆2・4・7号銅鐸とそれに伴う舌2・4・7、および南あわじ市慶野中の御堂銅鐸、以上が同じ工人集団の製品となる。すなわち、松帆出土の外縁付鈕1式銅鐸6個とそれに伴う舌6本のうち、少なくとも半数が同じ工人集団の製品となる。これは、松帆銅鐸を本来所有していた集団やこれらの銅鐸の製作地などを検討するうえで、重要な手がかりとなるであろう。

なお、同範関係にある松帆2号銅鐸と4号銅鐸、松帆3号銅鐸と加茂岩倉27号銅鐸、舌4と舌7は、同範品でも鉛同位体比がかなり違っている。よって、同じロットの鉛あるいはそれを含む合金を分割して使って同範品を作ったのではないことがわかる。すなわち、これらの銅鐸の製作に使用した鉛あるいはそれを含む合金のロットは、それほど大きくなかったのであろう。

(参考文献)

難波洋三 2009c 「銅鐸の鑄造」『銅鐸—弥生時代の青銅器生産—』奈良県立橿原考古学研究所附属博物館特別展図録 第72冊 pp. 80—87

難波洋三 2009b 「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 pp. 66—79

松帆銅鐸科学分析結果について

吉田 広 (愛媛大学ミュージアム)

松帆銅鐸の最大の特徴が、銅鐸と舌が伴って出土したこと、それらを吊す用途を担うなどの有機質資料の一部が付着残存していたことである。後者の有機質資料の分析(発表済)では、銅鐸の用法や年代観の絞り込みについて貴重なデータを提供した。そして、今回の鉛同位体比分析においては、銅鐸・舌いずれもが朝鮮半島系鉛を用いる段階に製作されたことが明らかになり、銅鐸と舌が本来からセットで製作された可能性を大いに示唆する。

このように、銅鐸本体と舌、そして有機質資料の伴った松帆銅鐸の分析により、銅鐸の製作から使用そして埋納に到るライフストーリーに具体的情報を与えることができた点において、青銅器研究上の意義は大きい。

南あわじ市松帆銅鐸の鉛同位体比分析など自然科学的分析結果を見てのコメント

2018年6月27日

関西大学大学院非常勤講師（考古学）

森岡 秀人

兵庫県南あわじ市では、昨年度に引き続き青銅器の専門調査を進めており、6月下旬には、昨年の銅鐸埋納年代とも関わることが期待される鉛同位体比分析の測定結果、所見が発表された。水曜日当日は講義中なので、個人的な受け取り方を箇条書きの形でコメントする。

○昨年度までの AMS 法炭素年代測定、同範銅鐸判別などの諸成果に加え、今回、銅鐸 7、銅舌 7 の青銅（合金）の成分分析値や鉛同位体比分析値測定による鉛鉱床の比定などが判明したことは、大きな成果である。とくに銅鐸にそれぞれ伴っていた銅舌も分析され、対応関係などのまとまったデータが出たのは初めてのことと思われる。

○ICP 分析による成分比は、これまでのデータと比べて古相の特徴を有しており、菱環鈕 2 式銅鐸・外縁付鈕 1 式銅鐸から成る松帆銅鐸の型式と親和的な結果といえ、矛盾はない。成分率は生産が古い段階を示すと言える。

○金属原料の鉛の産地が朝鮮半島産にすべて収まったことにより、銅鐸と銅舌の生産全体が朝鮮半島産原料としてのまとまりを形成しており、銅鐸や銅舌が新しいタイプ（中国華北産、前漢鏡と等しい）の金属原料に更新されていないことを示している。この結果から、对中国交渉の中で青銅原材が流入する次段階のありようとは古相の部分で一旦隔離できる。一般的には、前漢楽浪郡ほか四郡設置（B.C.108）以前、紀元前 2 世紀以前の原料輸入との説明が容認される。

○銅鐸の生産年代は群全体として古くなったと考えており、発見時より主張してきた最古の埋納年代を直接示すわけではないものの、最古埋納説に不利にならない成果と評価できる。

○この点を尊重すれば、弥生時代中期末～後期初頭の埋納段階まで下げて考えてきた加茂岩倉遺跡（島根県）や桜ヶ丘遺跡（神戸市）などの銅鐸型式が中国華北産の鉛同位体比データになるものを含み、それらと同一時期まで年代を下降させることを考えるのが難しくなったのではないか。

○一見古そうに見える荒神谷銅鐸（6 個）は共存した九州系銅矛群の型式から埋納年代は新しくなり、松帆銅鐸は由来原料の問題からみて、中国華北産データを含まない点で、外縁付鈕 1 式段階でもより古い一群になるのではないか。原料産地と深く関わる鉛データは本来、あくまで母材のある場所であり、青銅器の生産地も生産年代も無関係にみえるが、原料産地は明らかに時期による変動があるので、考古学の青銅器型式分類と有意に相関し、結果とし

て、対中国交渉が始まっていない時期ととらえるのが自然であろう。それは原材入手の時間が古いことを暗示している。

○考古学的な埋納作法の古さ、植物など使われていた紐などの科学年代の古さ（紀元前 2～4 世紀）に加え、今回母体原料が古い時期のもので単純化していることは、鐸・舌がセットをなしての古さを示している。これら 3 要素を結合的に評価するなら、松帆銅鐸の生産が古くなることはもちろんのこと、埋納年代も現状では日本列島最古になる蓋然性が大きいことを裏付けているのではないか。松帆銅鐸との同範品の存在（荒神谷・加茂岩倉、中の御堂）は製作時の同時性を限りなく物語るものであるが、これは生産場所での問題であり、使用段階や埋納時点では空間分布も時間も隔たることが普通となると考える。

○これまで唱えてきた「銅鐸段階埋納説」や「紀元前埋納説」はあくまで個人的解釈に違いないが、状況証拠が一つ一つ揃ってきたと判断しており、矛盾がなくなる方向にあると考えている。

【参考文献】

森岡秀人 2016 「大量銅鐸の多段階埋納は証明できるのか」『考古学は科学か』上巻 田中良之先生追悼論集（九州大学 編） 中国書店

森岡秀人 2017 「紀元前の弥生社会と最古の銅鐸埋納」『兵庫県立考古博物館開館 10 周年記念シンポジウム』講演要旨集 同博物館 編