

鉛同位体比を用いた産地推定の基礎

魯 禔玆・西田京平・角川 茂・鶴我公一・平尾良光

はじめに

鉛同位体比が鉱山毎に異なるという原理から出発した金属文化財の産地推定という研究は1965年にアメリカで始まり、日本では1967年にこの研究が初めて行われて以来、約40年が経った。鉛同位体比分析を応用した金属文化財に関する原料の産地推定の研究が始まってから、今までに多くの報告例があり、新たな事実も次々と明らかになってきた。そして、文字記録がない時代に行われた文化交流や人間および物質の移動を理解する際に良い研究方法として認められてきた¹⁻³⁾。

しかし、研究が活発に行われるにつれ、考古学側からはいくつかの疑問点が指摘されている。実際にいくつかの学会やセミナーなどで金属文化財に関する産地推定の研究の結果に関して発表する際に、同位体比が異なることは重さが違うことを意味するため、鉱石から金属鉛を製錬する際に、あるいは再溶融する際に同位体比に変化が起きる可能性や分析結果に関しての信頼性、他原料との混合の問題などがよく質問としてあがってきた。これらの疑問に関して、理学的な分野からは同位体比の分別などの問題は起こらないという意見が主流であるが、考古学分野からはいまだに根強い不信感が残っているような印象を受ける場合がしばしばある。

本論文ではこれまで色々な学会などで受けた質問および疑問の中で、同位体比の変化の有無、分析結果の信頼性、正確さなどに関して実際の実験を通して検証し、これらの疑問点に対して実証的に答えようとした。製錬や再溶融の過程で同位体比が変化する問題に関しては、実際に鉱石の製錬および金属の再溶融の実験を行い、質量差による同位体の分別と同位体比の変化は起こらないことを証明した。分析値の信頼性や正確さに関しては独立した3ヶ所の機関にある質量分析計で同一の資料を測って比較検討して分析結果の信頼性を高めた。また、同一資料を毎測定の際に他資料と一緒に測って、どの程度真の値に近いかを調べることで分析結果の正確さを把握した。

1. 鉛同位体比分析による原料の産地推定

地球生成時にすべての元素の同位体比はそれぞれ一定の値に決まっており、その値は地球のどこでも同じであった。ほとんどの元素の同位体比は現在まで変化しなかった。しかし、幾つかの元素は時間の経過に伴って同位体比の値が変化した。鉛はその例外的な一つの元素である。

鉛には²⁰⁴Pb、²⁰⁶Pb、²⁰⁷Pb、²⁰⁸Pbの4つの同位体が存在するが、岩石・鉱物中のウラン (U)、トリウム (Th) は時間の経過に伴って放射壊変して鉛の同位体へと変化する。放射壊変によって²³⁸U

は ^{206}Pb に、 ^{235}U は ^{207}Pb に、 ^{232}Th は ^{208}Pb に壊変し、 ^{204}Pb は時間およびウラン、トリウムの影響を受けず、地球が生成された時の存在量がそのまま残る。そして、地殻変動などの影響で鉛が濃縮し、鉛鉱床が生成すると、ウランとトリウムは排除され、それ以後に同位体比は変化しない。すなわち、岩石中に含まれている鉛の量とウラン、トリウムの量、共存時間によって鉛の同位体比は地域によって異なる値を示すことになり、それぞれの鉱山の固有値になる²⁻⁵⁾。

考古遺物の原料に関する産地推定の研究は以上のような原理を応用し、考古遺物に含まれている鉛の同位体比を測定し、考古遺物が持つ鉛同位体比値を鉛鉱床あるいは産出地域の鉛同位体比と比較して産地を推定する。

2. 同位体比変化の可能性

鉛同位体比分析による原料の産地推定の研究においてよく受ける質問の一つは、鉛鉱石から鉛を製錬する時に鉛の一部が蒸発し、重さが違う鉛の同位体に分別が起こり、同位体比に変化がある可能性に関することである。すなわち、製錬あるいは再溶融の過程で軽い同位体と重い同位体の分別が起こり、実際の鉱石が持つ鉛の同位体比と抽出された金属鉛の同位体比が異なることになり、鉛同位体比分析から原料の産地を推定することはできないという意見である。この疑問について次のような実験を実施して鉛の同位体分別の問題を検討した。

2.1 鉱石から金属鉛の製錬

一つの鉛鉱石 (PbS) を用意し、鉛同位体比分析用の試料とした。この鉛鉱石を細かくつぶし、約 30 g 程度を小型坩堝の中に炭素粉末と一緒に重ねて入れた。この坩堝を炭火の上に載せ、1 時間ほど強熱した。溶けて坩堝の底に固まった金属鉛 (5 g 程度) から鉛同位体比分析用の試料を採取した。この過程ではより早くに金属化した部分に軽い同位体が集まる可能性を期待した。この鉛製錬実験を新しい鉱石を用いて計 3 回行った。3 回の製錬で得られた金属鉛は 5 点で、1 回目の製錬から 2 点を、2 回目の製錬から 1 点、3 回目の製錬から 2 点の金属鉛を得た。製錬の際に同位体比が変化するかどうかを確認するために、鉛鉱石自身を加えて、実際の分析試料は計 6 点である。

この実験は製錬の前と後の鉛同位体比を比較することで、鉱石を金属に加工する際にみられる同位体比の変化を調べることが目的である。小規模で簡単な方法で実験を行ったため、製錬の度合いあるいは加熱温度や時間にも制限があった。しかし、この実験の目的は前述したように同位体比の変化を確認することであり、製錬の際に同位体比の分別が起きるかどうかの判断には利用できる方法と考えた。

計 6 点の試料に関して鉛同位体比分析を行った結果、すべての試料は誤差範囲内の同一の場所に重なって分布した (表 1、図 1 と図 2)。これは鉛鉱石が持つ同位体比の値と製錬から得られた金属鉛の同位体比値には差異がないことを意味する。すなわち、この結果は鉱石が同一であり、途中に新たな原料の添加がない限り、製錬する際に同位体の分別による同位体比変化は起こらないこと

を示している。あるいは現在の測定精度 ($^{207}\text{Pb} / ^{206}\text{Pb}$ と $^{208}\text{Pb} / ^{206}\text{Pb}$ に関しては ± 0.0003 、 0.0006 、 $^{206}\text{Pb} / ^{204}\text{Pb}$ と $^{207}\text{Pb} / ^{204}\text{Pb}$ に関しては ± 0.01) では測定できないことを示している。

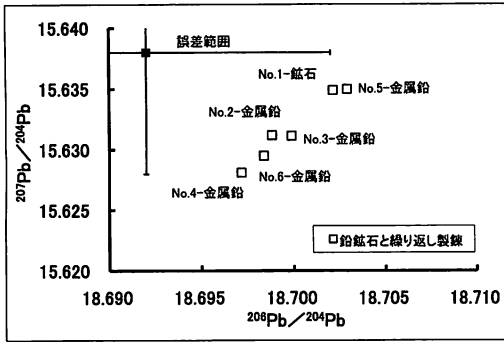


図1. 鉛鉱石と製錬した金属鉛の鉛同位体比 ($^{206}\text{Pb} / ^{204}\text{Pb}$ - $^{207}\text{Pb} / ^{204}\text{Pb}$)

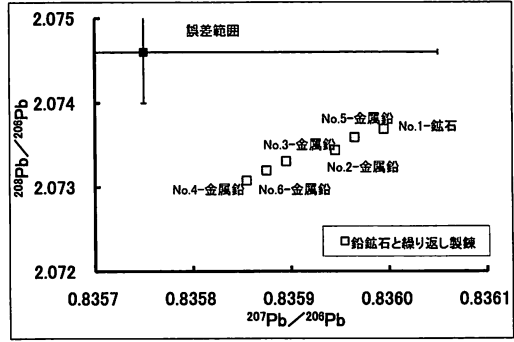


図2. 鉛鉱石と製錬した金属鉛の鉛同位体比 ($^{207}\text{Pb} / ^{206}\text{Pb}$ - $^{208}\text{Pb} / ^{206}\text{Pb}$)

2.2 金属鉛の再溶融

鉛同位体比分析による原料の産地推定の研究において、金属の再利用という問題はよく受ける質問の一つである。鉱石からインゴットを作り、それを溶かして製品を製作する場合ははじめ、何回かの铸造の後に残った原料を集めて一つの製品を作る可能性、破損した金属遺物を溶かして新たな製品を作る可能性やそれに新たな原料を加えて新製品を作る可能性などが課題になる。

鉛同位体比分析による原料の産地推定の研究は原料の混合が行われなかったことを前提にしているため、複数の鉱山から得られた原料を混ぜて製作されたインゴットあるいは金属遺物、これらに既製のインゴット・金属製品を混ぜて新たなインゴットや金属製品を製作した可能性などに関しては、その原料の産地を推定することには限りがある。

ここでは同一原料を何回か溶融しても同位体比は変化しないことを実際の実験から検討した⁶⁾。

2.1では鉛鉱石から金属鉛を製錬する際に鉛鉱石の同位体比と金属鉛の同位体比には違いがないことを中心的に調べたが、2.2では製作された金属製品に関して溶融と繰り返し铸造の過程で、同位体比に変化がみられるかどうかを検討した。

再溶融と繰り返し铸造による同位体比の変化を確認するため、市販の銅、錫、鉛を用いて質量200gの青銅板 (40×50×10mm) を製作した。青銅板として銅94%、錫5%、鉛1%と銅75%、錫20%、鉛5%の2種類を用意し、前者を青銅板A、後者を青銅板Bとした。青銅板の铸造は別府大学歴史文化総合研究センターが所有するヤマト科学

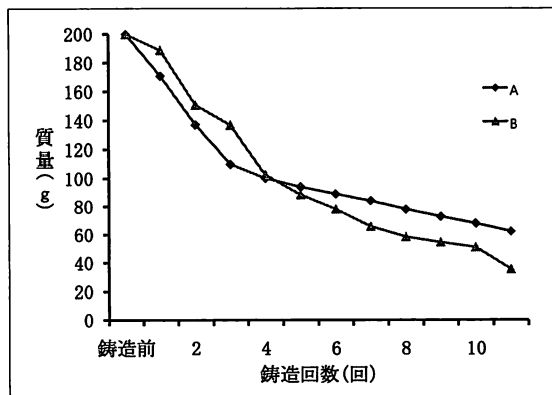


図3. 繰り返し铸造した青銅板の質量変化

株式会社マッフル炉 Model F0200で行った。

坩堝に一定の銅、錫、鉛を入れ、1,160℃に設定した電気炉の中に入れて10分程度加熱して溶かした。金属を充分溶解してから炉より坩堝を取り出し、鑄型に熔融金属を流し込んだ。熔融した金属が固まるのを待って、鑄型から金属を取り出し、研磨して金属面を出した。製作した青銅板 A と B の上部、中部、下部（金属板の下から40mm、20mm、5 mm）の 3ヶ所から鉛同位体比分析用の試料を採取した。その後、また炉に入れて金属の溶解と青銅板の鑄造を11回繰り返した。毎鑄造後には所定の 3ヶ所から測定用の試料採取を行い、計66点の試料に関して鉛同位体比分析を行った。各鑄造後には青銅板の質量を測り、毎鑄造後にどのくらい質量が減少したかを確認した。

はじめは質量が200 gであった銅、錫、鉛合金の青銅板の質量は鑄造毎に徐々に減少し、11回の繰り返し鑄造が終わった後の青銅板は最初に比べ、その質量は40%以下に減少した（図3）。青銅板の質量が減少したのは、主として鑄造時のバリやこぼれなどによる結果である。また、化学組成が均一であることを蛍光 X 線分析法で確かめた。

鉛同位体比分析の結果、青銅板 A と B はそれぞれほぼ同じ値を示すことがわかった（表2と3、図4と図5）。これらの青銅板は両図中で誤差範囲内に重なって分布したが、これは鑄造をくり返し行う際に新たな原料が加えられなければ、繰り返し鑄造が何回行われても重さの違いや蒸発による同位体の変化は起こらないことを示す実験的な証拠であろう。

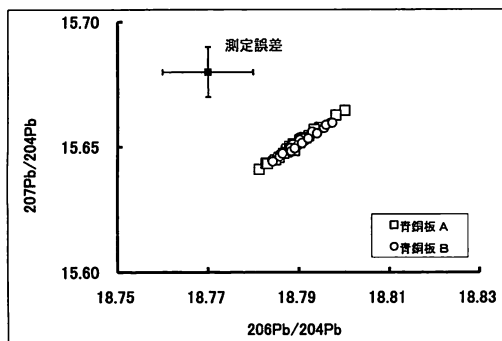


図 4. 青銅板の鉛同位体比
($^{206}\text{Pb} / ^{204}\text{Pb}$ - $^{207}\text{Pb} / ^{204}\text{Pb}$)

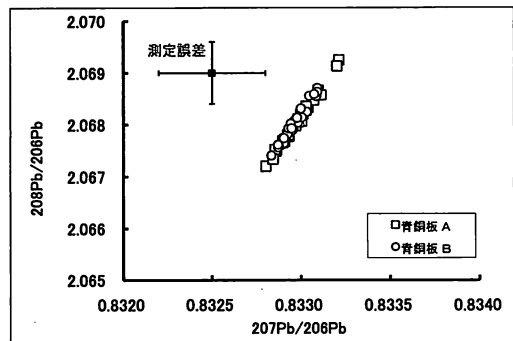


図 5. 青銅板の鉛同位体比
($^{207}\text{Pb} / ^{206}\text{Pb}$ - $^{208}\text{Pb} / ^{206}\text{Pb}$)

3. 分析の信頼性

原理的に通常の鉛同位体比分析では質量分析計が正常に制御されていると仮定して、同一資料であれば質量分析計が異なってもその値は同じである。ただし、別府大学歴史文化総合研究センターが所有している表面電離型質量分析計の場合、レニウムフィラメント上に鉛試料をリン酸とシリカゲルと共に載せて分析を行うが、シリカゲル溶液の作り方によって質量分析計内における鉛の蒸発やピークの強度に大きな影響を与える。このことは同一資料であっても測定条件によって、みかけ上の鉛同位体比值が異なる可能性があることを示唆する。また、毎回の測定には機械的および人為的な原因による微妙な誤差、汚染などの問題が発生する可能性も出てくる。そのため、鉛同位体比

分析を行う時は絶対値が判っている標準鉛NBS（National Bureau of Standard：現NIST）-SRM-981を測定資料と同一条件で測り、その値との比較で未知資料の値を補正する方法が一般的に利用されている。

ここでは鉛同位体比の分析結果の信頼性を検討するため、機器および測定条件が異なった場合の鉛同位体比の違い、そして、1つの未知資料を毎回の分析時に測り、その値のズレを把握することで、分析の確度を調べた。

3.1 研究室間の分析結果の比較

鉛同位体比分析による産地推定の研究において、分析結果が特異であれば、測定自体が違ったのではないかと、あるいは機器によって異なる値が出るのではないかなどの疑問を持たれる場合がある。ここでは同一資料を独立した3ヶ所の質量分析計（別府大学：サーモエレクトロン社製表面電離型質量分析計MAT262、高知大学コア総合研究センター：サーモエレクトロン社製ICP質量分析計NEPTUNE-ES、産業技術総合研究所つくばセンター：VG社製表面電離型質量分析装置SECTOR54）で測定を行い、機器・分析条件による鉛同位体比の違いを比較し、分析値の確度を調べ、信頼性を高めることを試みた。

分析を行った資料は熊本県上日置夫木遺跡出土の小銅鐸1点、用七遺跡出土の珠文鏡1点である。これら資料の一部から鉛を電気分解法で集めて原溶液を調整した。この2種の溶液を3つに分けて3ヶ所の機関の異なる質量分析計で各研究機関毎に行っている通常方法で鉛同位体比分析を行った。その結果としてすべてが誤差範囲内に重なって分布した（表4、図6と図7）。このことは機械的な故障や人為的な汚染などの問題が起こらない限り、質量分析計で測定された鉛同位体比には違いがないことを示している。質量分析の過程が異なると同位体比にズレが出てくる可能性があるが、それは誤差範囲内でのズレ程度で、原料の産地を推定するには問題はないと判断した。

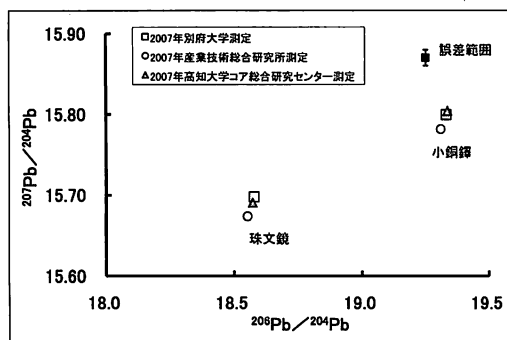


図6. 3ヶ所測定した鉛同位体比
($^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$)

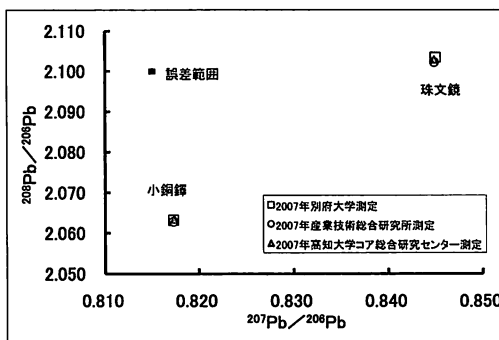


図7. 3ヶ所測定した鉛同位体比
($^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 、 $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$)

3.2 未知資料の測定値比較による確度確認

鉛同位体比分析を行う際には国際標準鉛NBSを未知資料と同一条件で測り、アメリカ国立標準局

が発表した値との比較を行う。NBSは機器の安定性や再現性を含む精度を示す指標で、アメリカ国立標準局が発表した値と実際に測定したNBSの値を比較することで、分析結果の精度を判断する。別府大学歴史文化総合センターでは毎回測定する際にNBS以外にも「高麗仏（長崎県松浦市金泉寺所蔵の銅造如来坐像：以後、高麗仏）」といった未知資料も測り、測定値がどの程度真の値に近いかを確認することで分析の確度を検討するための指標とした。

ここでは2005年～2009年にかけて、毎回測定の際に未知資料と同じ条件で測定した高麗仏131点の鉛同位体比分析結果をまとめた（図8と図9）。131点の高麗仏はかなり狭い範囲に重なって分布し、毎回の分析時の条件、機器状態、分析者が異なっても鉛同位体比には大きな影響はなく同一値を示すことを確認できた。

分析を繰り返す際に高麗仏の測定値が平均値から大きくかけ離れた場合もあるが、その時はそれぞれの数値を考察し直すか、試料を再測定した。このように測定値が平均値と大きく異なる原因として、高麗仏およびNBS標準試料の測定値が通常値から離れた値を示した可能性が考えられる。この原因として、シリカゲルの安定性、外部からの汚染、機器の異常などが想定される。この場合は一緒に測定した他試料の値を検討し、分析結果の正確さを保つために、通常は再測定を行った。

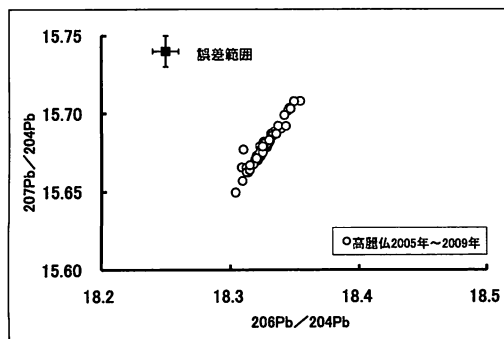


図 8. 高麗仏の鉛同位体比
($^{206}\text{Pb} / ^{204}\text{Pb}$ - $^{207}\text{Pb} / ^{204}\text{Pb}$)

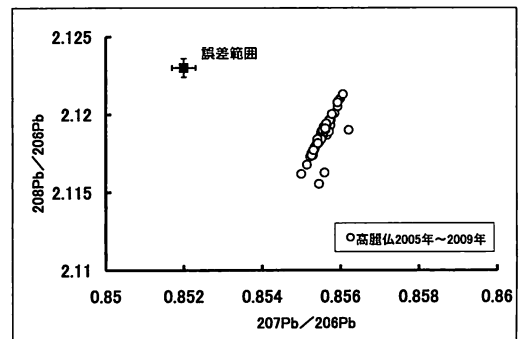


図 9. 高麗仏の鉛同位体比
($^{207}\text{Pb} / ^{206}\text{Pb}$ - $^{208}\text{Pb} / ^{206}\text{Pb}$)

まとめ

本研究では鉛同位体比分析による原料の産地推定の研究に対して指摘されているいくつかの疑問を少しでも解決できるように実際の実験を試みた。実験で明らかにしようとしたのは製錬および鑄造する際に鉛同位体比の変化の有無、そして測定値をどこまで信頼できるか、測定の確度に関する問題である。前者のためには、鉛鉱石を製錬して金属鉛を作り、また青銅板を製作して、何回かに亘って繰り返し鑄造を行い、鉱石の鉛同位体比と製品化された金属の同位体比を比較した。その結果、これらの過程の中で同位体比の変化は起こらないことを確かめた。後者の場合として同一試料を3ヶ所の機関で鉛同位体比分析を行って分析結果を比較検討し、同一試料であれば、機器および分析条件が少し異なってもその結果は変わらないことを確認した。また、未知試料（高麗仏）を毎

回の測定時に他試料と一緒に測り、分析結果の確度をより高めた。

本研究で行われた実験は鉛同位体比分析による原料の産地推定の研究に関する疑問を少しでも解くことが目的であった。今後もこのような実験を通して、鉛同位体比分析による原料の産地推定の研究に持たれる疑問点などを説明する努力が必要である。

[本研究は科学研究費新学術領域研究「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」の一部である]

※参考文献

- 1) 平尾良光・飯沼賢司、2009「大航海時代における東アジア世界と日本の鉛流通の意義」『キリシタン大名の考古学』別府大学文化財研究所企画シリーズ②、p.144～p.166
- 2) 馬淵久夫・富永 健、1981「考古学のための化学10章」東京大学出版会、p.157～p.178.
- 3) 馬淵久夫・富永 健、1986「考古学のための化学10章」東京大学出版会、p.129～p.150.
- 4) 国立歴史民俗博物館、1993「科学の目でみる文化財」p.207～p.221.
- 5) 平尾良光編、1999「古代青銅の流通と鑄造」鶴山堂、p.31～p.39
- 6) 角川 茂、2007「古代・中世における青銅製文化財の産地推定－主に鉛同位体比法を用いて」別府大学大学院修士学位論文.

表1. 鉛鉱石の製錬から得られた金属鉛の鉛同位体比值

番号	資料名	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	測定番号
1	鉱石	18.702	15.635	38.782	0.8360	2.0737	BP1925
2	1回目鑄造－1	18.699	15.631	38.771	0.8359	2.0734	BP1926
3	1回目鑄造－2	18.700	15.631	38.771	0.8359	2.0733	BP1927
4	2回目鑄造	18.697	15.628	38.761	0.8359	2.0731	BP1928
5	3回目鑄造－1	18.703	15.635	38.782	0.8360	2.0736	BP1929
6	3回目鑄造－2	18.698	15.630	38.765	0.8359	2.0732	BP1930
	誤差	±0.010	±0.010	±0.030	±0.0003	±0.0006	

表4. 3ヶ所の機関で測定した小銅鐸・珠文鏡の鉛同位体比值

番号	資料名	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	測定番号
1	別府/小銅鐸	19.332	15.800	39.885	0.8173	2.0632	BP1303
2	別府/珠文鏡	18.578	15.698	39.077	0.8450	2.1034	BP1304
3	産総研/小銅鐸	19.310	15.781	39.832	0.8173	2.0628	－
4	産総研/珠文鏡	18.552	15.674	39.000	0.8448	2.1022	－
5	高知/小銅鐸1	19.336	15.804	39.898	0.8173	2.0634	－
6	高知/小銅鐸2	19.336	15.804	39.897	0.8173	2.0634	－
7	高知/珠文鏡1	18.572	15.691	39.054	0.8449	2.1028	－
8	高知/珠文鏡2	18.572	15.691	39.054	0.8448	2.1028	－
	誤差	±0.010	±0.010	±0.030	±0.0003	±0.0006	

表 2. 青銅板 A の鉛同位体比值

番号	資料名	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	測定番号
1	1回目 上	18.792	15.654	38.869	0.8330	2.0684	BP2154
2	1回目 中	18.788	15.650	38.854	0.8330	2.0680	BP2155
3	1回目 下	18.781	15.641	38.825	0.8328	2.0672	BP2156
4	2回目 上	18.791	15.654	38.866	0.8330	2.0683	BP2157
5	2回目 中	18.791	15.653	38.863	0.8330	2.0682	BP2158
6	2回目 下	18.791	15.653	38.865	0.8330	2.0683	BP2159
7	3回目 上	18.800	15.665	38.902	0.8332	2.0693	BP2160
8	3回目 中	18.783	15.644	38.834	0.8329	2.0675	BP2161
9	3回目 下	18.790	15.652	38.860	0.8330	2.0681	BP2162
10	4回目 上	18.798	15.663	38.896	0.8332	2.0691	BP2163
11	4回目 中	18.795	15.658	38.880	0.8331	2.0687	BP2164
12	4回目 下	18.790	15.653	38.863	0.8330	2.0683	BP2165
13	5回目 上	18.792	15.654	38.865	0.8330	2.0682	BP2166
14	5回目 中	18.789	15.651	38.856	0.8330	2.0681	BP2167
15	5回目 下	18.794	15.656	38.874	0.8331	2.0685	BP2168
16	6回目 上	18.789	15.649	38.850	0.8329	2.0678	BP2169
17	6回目 中	18.793	15.657	38.875	0.8331	2.0686	BP2170
18	6回目 下	18.783	15.643	38.832	0.8328	2.0674	BP2171
19	7回目 上	18.790	15.652	38.858	0.8330	2.0680	BP2172
20	7回目 中	18.786	15.646	38.839	0.8329	2.0675	BP2173
21	7回目 下	18.788	15.648	38.847	0.8329	2.0677	BP2174
22	8回目 上	18.788	15.649	38.849	0.8329	2.0678	BP2175
23	8回目 中	18.787	15.648	38.847	0.8329	2.0677	BP2176
24	8回目 下	18.787	15.649	38.848	0.8329	2.0678	BP2177
25	9回目 上	18.791	15.653	38.864	0.8330	2.0682	BP2178
26	9回目 中	18.789	15.649	38.847	0.8329	2.0675	BP2179
27	9回目 下	18.787	15.648	38.847	0.8329	2.0677	BP2180
28	10回目 上	18.788	15.649	38.850	0.8329	2.0678	BP2181
29	10回目 中	18.785	15.645	38.835	0.8328	2.0673	BP2182
30	10回目 下	18.787	15.649	38.852	0.8330	2.0680	BP2183
31	11回目 上	18.787	15.647	38.844	0.8329	2.0676	BP2184
32	11回目 中	18.791	15.653	38.865	0.8330	2.0684	BP2185
33	11回目 下	18.788	15.650	38.855	0.8330	2.0681	BP2186
誤差		±0.010	±0.010	±0.030	±0.0003	±0.0006	

表3. 青銅板Bの鉛同位体比值

番号	資料名		$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	測定番号
1	1回目	上	18.789	15.651	38.857	0.8330	2.0680	BP2187
2	1回目	中	18.789	15.651	38.858	0.8330	2.0681	BP2188
3	1回目	下	18.790	15.650	38.855	0.8329	2.0679	BP2189
4	2回目	上	18.789	15.650	38.856	0.8330	2.0681	BP2190
5	2回目	中	18.791	15.653	38.863	0.8330	2.0682	BP2191
6	2回目	下	18.793	15.656	38.874	0.8331	2.0685	BP2192
7	3回目	上	18.790	15.651	38.856	0.8330	2.0679	BP2193
8	3回目	中	18.789	15.650	38.856	0.8330	2.0681	BP2194
9	3回目	下	18.791	15.653	38.865	0.8330	2.0683	BP2195
10	4回目	上	18.786	15.647	38.843	0.8329	2.0676	BP2196
11	4回目	中	18.786	15.647	38.844	0.8329	2.0677	BP2197
12	4回目	下	18.790	15.653	38.863	0.8330	2.0682	BP2198
13	5回目	上	18.786	15.647	38.843	0.8329	2.0677	BP2199
14	5回目	中	18.788	15.650	38.854	0.8330	2.0680	BP2200
15	5回目	下	18.785	15.646	38.841	0.8329	2.0676	BP2201
16	6回目	上	18.784	15.645	38.838	0.8329	2.0676	BP2202
17	6回目	中	18.789	15.651	38.858	0.8330	2.0681	BP2203
18	6回目	下	18.788	15.650	38.852	0.8330	2.0679	BP2204
19	7回目	上	18.787	15.648	38.847	0.8329	2.0678	BP2205
20	7回目	中	18.790	15.651	38.856	0.8329	2.0679	BP2206
21	7回目	下	18.784	15.644	38.835	0.8328	2.0674	BP2207
22	8回目	上	18.791	15.652	38.860	0.8329	2.0680	BP2208
23	8回目	中	18.788	15.650	38.853	0.8329	2.0679	BP2209
24	8回目	下	18.788	15.648	38.846	0.8329	2.0676	BP2210
25	9回目	上	18.786	15.646	38.842	0.8329	2.0676	BP2211
26	9回目	中	18.797	15.660	38.885	0.8331	2.0687	BP2212
27	9回目	下	18.796	15.658	38.880	0.8330	2.0686	BP2213
28	10回目	上	18.794	15.655	38.872	0.8330	2.0683	BP2214
29	10回目	中	18.792	15.653	38.864	0.8330	2.0681	BP2215
30	10回目	下	18.796	15.659	38.882	0.8331	2.0686	BP2216
31	11回目	上	18.789	15.649	38.851	0.8329	2.0677	BP2217
32	11回目	中	18.797	15.660	38.884	0.8331	2.0686	BP2218
33	11回目	下	18.786	15.647	38.845	0.8329	2.0677	BP2219
誤差			± 0.010	± 0.010	± 0.030	± 0.0003	± 0.0006	