

硫黄同位体分析による西日本日本海沿岸の弥生時代後期から 古墳時代の墳墓における朱の産地同定の試み

南 武 志^{*,†}・河 野 摩 耶^{*}・古 川 登^{**}
高 橋 和 也^{***}・武 内 章 記^{****}・今 津 節 生^{*****}

(2013年7月24日受付, 2013年10月9日受理)

Identification of the sources of vermilion in the burial mounds of the Late Yayoi to Kofun periods in the coast of Japan Sea of western Japan using sulfur isotope ratio

Takeshi MINAMI^{*,†}, Maya KAWANO^{*}, Noboru FURUKAWA^{**},
Kazuya TAKAHASHI^{***}, Akinori TAKEUCHI^{****} and Setsuo IMAZU^{*****}

- * Interdisciplinary Graduate School of Science and Engineering,
Kinki University,
3-4-1 Kowakae, Higashi-osaka, Osaka 577-8502, Japan
- ** Cultural Heritage Center of Fukui City,
4-748 Fuchi, Fukui, 918-8026, Japan
- *** RIKEN,
2-1 Hirosawa, Wako, Saitama 351-0198, Japan
- **** National Institute for Environmental Studies,
16-2 Onogawa, Tsukuba, Ibaraki 305-8506, Japan
- ***** Kyushu National Museum,
4-7-2 Ishisaka, Dazaifu, Fukuoka 818-0118, Japan
- † Corresponding author (minamita@life.kindai.ac.jp)

Vermilion was collected from powerful people's mounds of places of Japan Sea coast depending on the period from the decline of the Yayoi to Kofun and was measured sulfur isotope ratio ($\delta^{34}\text{S}$ value), and compared the value obtained from cinnabar ores of three Japanese mines, Niu, Yamato-suigin, and Sui, and two Chinese mines, Wanshan and Xunyang, which were selected from old records. The vermilion of the late Yayoi period, the 1st to 2nd century A.D., was from China, and the vermilion of the early Kofun period, from the late 3rd century A.D., was from Japan. During the late Yayoi and early Kofun periods, the 3rd century A.D., the vermilion showed the middle of the shift of Japanese cinnabar. It is concluded that the measurement of sulfur isotope of vermilion is an effective method for the determination of original sources of vermilion.

Key words: Vermillion, Sulfur isotope ratio, Burial mound, Yayoi Period, Kofun Period

* 近畿大学大学院総合理工学研究科
〒577-8502 大阪府東大阪市小若江3-4-1

** 福井市埋蔵文化財保護センター
〒918-8026 福井市湊4-748

*** 理化学研究所
〒351-0198 埼玉県和光市広沢2-1

**** 国立環境研究所
〒305-8506 茨城県つくば市小野川16-2

***** 九州国立博物館
〒818-0118 福岡県太宰府市石坂4-7-2

1. はじめに

古代社会において鮮やかな深紅を呈する朱（硫化水銀; HgS ）は、洋の東西を問わず代表的な赤色顔料として彩色に用いられていた。古代日本では、縄文時代後期中葉から後半の土器の彩色に朱が用いられた（成瀬, 1998）。ところが赤色彩色土器を作成する方法が、ベンガラ（酸化鉄(III); Fe_2O_3 ）を塗った後に土器を焼き入れる方法に代わり、弥生時代に入ると朱の使用例が少なくなった。それまでの狩猟生活から定住農耕集落となる弥生時代はおおよそ紀元前600年ころに始まったとされる。一時期使用されなくなった朱は、弥生時代中期の佐賀県吉野ヶ里（紀元前3～4世紀）ごろから権力者の埋葬に伴い施朱という形で用いられ、朱を施した墳墓が列島各地で見られるようになった。本研究は、紀元前後の弥生時代後期から倭国大乱、卑弥呼の登場という弥生時代の終わり（紀元3世紀中頃）を経て、古代大和政権の誕生で古墳時代が始まるまでの紀元1～4世紀ころの墳墓に用いられた朱を対象としている。この時代、すなわち弥生時代後期以降から古墳時代にかけて10 kgを超える多量の朱が1墳墓で使用された例も点在している。また同じ赤色顔料でも遺体周辺部分に朱を用いてその外側にベンガラを用いるという、赤色顔料の使い分けも行われ（本田, 1995; 1998）、これは当時すでに朱を貴重な赤色顔料として取り扱ったことを示している。朱は、辰砂鉱石を細かく砕き、赤色部分を集め、さらに砕く方法で精製する。岡山（1998）は、弥生時代の遺跡出土遺物より辰砂精製作業に3種類の石臼と4種類の石杵を用いたと推測している。

弥生時代中期以降になぜ葬送儀式に朱が用いられるようになったのだろうか。古代中国において朱は悪鬼から使用者を守ると考えられ、春秋戦国時代の山東省仙人台遺跡などで棺に朱が塗布されている。古代中国の影響が日本に伝わったとき、墳墓に施朱を行う風習も伝わったと思われる。それが10 kgを超える朱を1つの墳墓に用いるという権力者の権威の誇示に発展していった可能性が示唆される。では、どこから朱はそれらの墳墓にもたらされたのであろうか。例えば、中国産の朱を用いた場合、中国との交易が考えられ、丹生鉱山産や大和水銀鉱山産などの朱を用いた場合、畿内勢力との関係が議論の対象となるであろう。すなわち、遺跡に用いられた朱の産地が推定できれば、古墳時代黎明期における権力の流れの一端が見えてくる可

能性があり、我々は朱の産地推定という課題に取り組むこととした。

我々は、朱の構成成分である硫黄の同位体比から、遺跡出土朱の産地推定を行ってきた（Minami *et al.*, 2005）。硫黄には放射性同位体は存在せず、安定同位元素として ^{32}S , ^{33}S , ^{34}S , ^{36}S の4つを持ち、その存在割合は95.02%, 0.75%, 4.21%, 0.02%である。この内、 ^{32}S と ^{34}S の存在割合を標準物質であるキャニオン・ディアブロ隕石の硫化鉄に含まれる両者の存在割合と比較して硫黄同位体比（ $\delta^{34}\text{S}\%$ ）で表す。Ishihara *et al.*（2000）は、中部地方から九州地方までの新生代後期の鉱床より硫黄含有鉱石中の硫黄同位体比から、鉱物種や鉱床種より地域性に著しく規制されることを見出し、前弧側で負の値を、背弧側で正の値を一般に示すことを報告している。また、この負の値は奈良県大和地方でも認められた。このように硫黄同位体比には地域性が認められることから、辰砂鉱石の硫黄同位体を測定した。遺跡で用いられた朱の産地である辰砂鉱山を同定するにあたり、古墳時代以前に辰砂鉱石を採取していた鉱山として次の条件を満たす鉱山を選んだ。すなわち、①古文書や考古学資料から紀元3～4世紀以前に辰砂鉱石の採取が行われた可能性のある鉱山。②採掘技術が未発達な古代においては露頭付近から採取した可能性が高いことから、露頭付近に辰砂鉱石が散在している鉱山。③当時の技術であっても数 kg の朱が採取されていたと思われることから、多量の辰砂鉱石を有する鉱山。以上の3条件を満たす鉱山とした。古代中国の辰砂鉱山について、われわれは辰砂鉱石の巨大な産地である貴州省満山特区より先に陝西省旬阳县青銅地区で辰砂鉱石の採取が行われた可能性について報告している（南ほか, 2004; 2009）。日本では北海道と中央構造線沿いに辰砂鉱山が多数存在している（南ほか, 2008）が、三重県丹生鉱山周辺では縄文時代にすでに採取が行われていたと考えられ、辰砂原石が新徳寺遺跡、天白遺跡、および勢和村池ノ谷遺跡から出土している（奥, 1998）。また徳島県水井鉱山のふもとにある若杉山遺跡では、弥生時代中期末から後期初頭には辰砂鉱石の精製が行われていた（岡山, 1998）。一方、奈良県大和水銀鉱山周辺には採取や精製が行われた遺跡は出土していないが、三重県丹生鉱山に隣接する宇陀地方の大和水銀鉱山は古くから水銀鉱山として知られ、硫黄同位体分析の結果から大和水銀鉱山産の朱を用いたと思われる墳墓も確認されている（Minami *et al.*, 2005）。北海

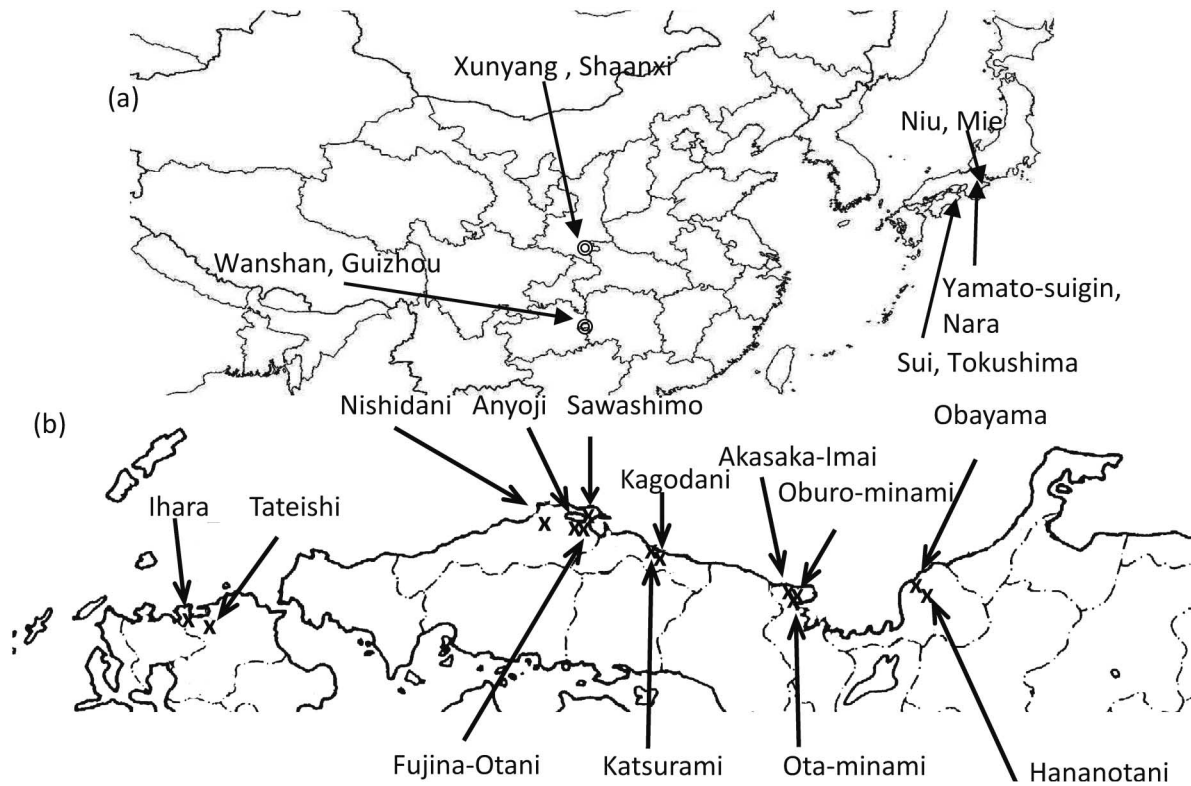


Fig. 1 Places of cinnabar mines and burial mounds of the Coast of Japan Sea from the late Yayoi to Kofun periods.
(a) Cinnabar mines in Japan and China, (b) Burial mounds of Japan Sea Coast.

道には日本最大の埋蔵量を誇るイトムカ鉱山をはじめ多数の辰砂鉱山が点在し、さらに縄文時代に朱を利用していた遺跡も存在する。しかし、本研究の対象とする弥生時代後期から古墳時代の西日本各地の墳墓で北海道産と思われる副葬品が観察されなかったことから、北海道の辰砂鉱山は今回の比較対象より省いた。以上より、中国貴州省満山特区と陝西省旬陽県青銅地区の2鉱山と、日本では三重県丹生鉱山、奈良県大和水銀鉱山、および徳島県水井鉱山の3鉱山を調査対象とした。中国貴州省満山特区と陝西省旬陽県青銅地区の鉱山鉱石は大きい正の $\delta^{34}\text{S}$ 値を示し、三重県丹生鉱山、奈良県大和水銀鉱山、および徳島県水井鉱山鉱石は負の $\delta^{34}\text{S}$ 値を示したことから、遺跡出土朱の硫黄同位体比を測定すれば産地推定が可能と考えた (Minami *et al.*, 2005)。しかも正の $\delta^{34}\text{S}$ 値を示す朱を有する墳墓は弥生時代後期の山陰地方を含む日本海沿岸で認められた (Minami *et al.*, 2005; 南ほか, 2011)。Ishihara *et al.* (2000) は、山陰地域の硫黄含有鉱物の硫黄同位体比は正の値を示すと報告しているが、山陰地域には辰砂鉱山の存在は報告されておら

ず、朱は他地域よりもたらされたと考えられる。本研究においては、西日本の日本海沿岸における弥生時代後期から古墳時代の墳墓出土朱の産地について、これまでに報告した硫黄同位体分析結果に新たな試料の分析結果を加えて総括し、朱の使用についての知見を述べる。Fig. 1に、今回の議論の対象とした日本と中国の辰砂鉱山および古墳時代黎明期の日本海沿岸の墳墓の位置関係を示す。

2. 分析試料および方法

今回新たに研究対象とした墳墓は、福井県の小羽山30号墓と花野谷1号墳である。小羽山30号墓は弥生時代後期後葉の越前地域の代表的な墳墓であり、同時代の島根県出雲西谷3号墓より規模は小さいが類似の四隅突出型墳墓である。小羽山30号墓では採取部位を記録しながら朱の採取を行った。Table 1に示す採取位置 (b) の横には鉄の短剣が副葬されていたことから、採取位置 (b) は遺体の頭部部分と推定し、採取位置 (a) は遺体の足部分と推定した。一方、花野谷1号墳は古墳時代前期の4世紀前半の墳墓と考えら

Table 1 Ratio of sulfur isotope of vermilion collected from burial mounds in Fukui Prefecture. Vermilion samples were collected from the area of the foot of the remains (a) and from the area of head of the remains (b) in Wooden coffin.

Burial mound	Collecting place	Period	$\delta^{34}\text{S}\text{‰}$
Obayama No. 30	a	Decline of Yayoi	+6.4
	b	Decline of Yayoi	+5.4
Hananotani No. 1		Early Kofun	-3.4

れ、前漢時代の連弧文銘帯鏡と三角縁神獣鏡が副葬されていた。特に三角縁神獣鏡は奈良県黒塚古墳と同型鏡であり、大和政権との繋がりが示唆されている。

弥生時代後期において朱の精製は、辰砂原石を割って辰砂を取り出し、石杵で敲打して潰し、水簸で比重選鉱し、さらに細かく擦り潰したことによって行われたと、各地の遺跡より朱が付着した石臼と石杵が発掘されたことから推測されている（岡山，1998）。およそ20 μm の粒径の朱を用いたり、およそ50 μm の粒径の朱を用いたり、墳墓によってほぼ同じ粒径の朱が用いられていたことより、朱が水面に浮いてしまう水簸ではなく風の力を利用した風簸で均一化していた可能性もある。また、化学反応や火を用いていないことから、同位体分別は朱の精製過程で生じていないと推察する。

従来、我々は朱サンプルを逆王水（濃塩酸：濃硝酸＝1：3）で溶解した後、Minami *et al.* (2005) の方法に従って硫黄同位体を測定していた。すなわち、朱約10 mg に逆王水（硝酸：塩酸＝3：1）5 ml を加え、ホットプレート上で100°C に加熱し、さらに臭素を1滴加えたのち100°C で再加熱する。臭素が蒸発したことを確認後、冷却したのちに蒸留水を加える。これを強酸性陽イオン交換樹脂（Dowex 50 W-X 8）20 ml 上へのせ、素通りした液を集める。1 M 塩化バリウム溶液を加え、60°C で加熱して生じた硫酸バリウムを収集する。この沈殿物約10 mg に五酸化バナジウムと酸化ケイ素をそれぞれ100 mg 加え、混和したのちに石英ガラス管に入れ470°C で1時間乾燥を行い還元銅を加え、真空条件下で950°C に加熱する。生じた二酸化硫黄ガスを採取し、同位体分析用質量分析計（Thermo Finnigan DELTAplus; Thermo Fisher Scientific, Yokohama, Kanagawa, Japan）で硫黄同位体（ ^{32}S , ^{34}S ）を測定する。測定精度は $\delta^{34}\text{S}\leq 0.2\text{‰}$ であった。この方法ではおよそ10 mg のサンプルを分析に供する必要があった。しかしながら、遺跡より採取できる朱の量は多くの場合ごく微量であったこと

から、もっと少量で測定できる分析法の開発が課題であった。そこで、新たに朱サンプルを直接ガス発生装置に入れ、発生した二酸化硫黄ガスを同位体分析用質量分析装置に導入する方法を用いることとした。すなわち、朱サンプル約400 μg をスズカップに入れ、あらかじめ酸化タンゲステンと還元銅を入れたフロントリアクター上部に投入し、Elemental Analyzer (Euro EA HEKAtech GmbH, Germany) で飽和酸素条件下に1,000°C で加熱し、二酸化硫黄ガスを得る。このガスを直接同位体分析用質量分析計 (IsoPrism High Performance Stable Isotope Ratio MS, GV Instrument Ltd., EVISA, Germany) に導入して硫黄同位体分析を行った。測定精度は $\delta^{34}\text{S}\leq 0.2\text{‰}$ であった。新法では約500 μg の朱で分析可能であり、従来法の約1/20量である。従来法と同じ辰砂鉱石サンプルを用いて新法の測定値を比較したところ、従来法で+14.93%と-15.99%を示した2サンプルが、新法では+21.69%と-12.63%を示し、新法で正の側にずれていたが理由は不明である。それ以外の13サンプルは直線上に沿い Fig. 2に示す良好な相関関係 ($r=0.971$, $n=15$) が得られ、新法で得た $\delta^{34}\text{S}$ 値を従来方法で得た $\delta^{34}\text{S}$ 値と比較することは可能と判断し、新法で以後分析を行うこととした。

3. 結果および考察

古代に朱の採取が行われたと推定した中国貴州省満山特区辰砂鉱石の硫黄同位体比は $+22.58\pm 3.63\text{‰}$ ($n=15$) であり、中国陝西省旬陽の辰砂鉱石の硫黄同位体比は $+10.5\pm 0.1\text{‰}$ ($n=4$) であった。また、三重県丹生鉱山鉱石は $-7.26\pm 1.85\text{‰}$ ($n=34$) を示し、徳島県水井鉱山鉱石は $-2.38\pm 1.44\text{‰}$ ($n=17$)、奈良県大和水銀鉱山鉱石は $-2.05\pm 1.62\text{‰}$ ($n=66$) を示した（南ほか，2011）。中国の2鉱山鉱石と日本の3鉱山鉱石の硫黄同位体比は有意に異なる $\delta^{34}\text{S}$ 値であり、さらに丹生鉱山産鉱石と水井鉱山産鉱石あるいは大和水銀鉱山産鉱石の間にも統計的に有意な差が認

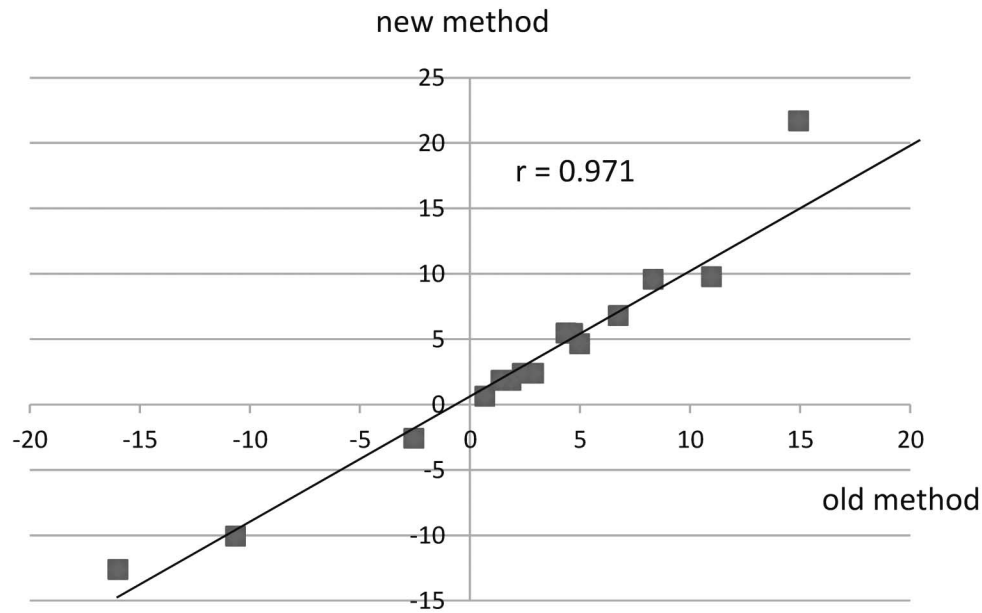


Fig. 2 Relationship between old and new methods for the measurement of sulfur isotope. Fifteen cinnabar ores were measured sulfur isotope ratio using both old and new methods. Old method: Minami *et al.* (2005).

められた。一方、水井鉍山産と大和水銀鉍山産の間には有意な差は認められなかった。

Table 1に示すように、弥生時代後期後葉の越前地域の代表的な墳墓である小羽山30号墓で使用された朱の硫黄同位体分析の結果、頭部部分から採取された朱の $\delta^{34}\text{S}$ は $+6.4\text{‰}$ ($n=2$)、足部分から採取された朱の $\delta^{34}\text{S}$ は $+5.4\text{‰}$ ($n=1$)とどちらも正の $\delta^{34}\text{S}$ 値を示した。Ishihara *et al.* (2000)の報告では、小羽山30号墓周辺に位置する鉍山の硫黄含有鉍物の $\delta^{34}\text{S}$ 値は $+3.3\sim+6.8\text{‰}$ を示しているが、この周辺には辰砂鉍山の存在は報告されていない。中国陝西省産あるいは貴州省産とは $\delta^{34}\text{S}$ 値が少し異なるが、同じ四隅突出型墳墓である西谷3号墓朱の分析結果(南ほか, 2011)と考え合わせ、中国産朱の可能性が高い。一方、古墳時代前期の4世紀前半の墳墓である花野谷1号墳は大和政権との繋がりが示唆されており、硫黄同位体比は -3.4‰ であった。この値から推測すると国内産朱の使用が考えられ、さらに水井鉍山産と大和水銀鉍山産が使用された可能性が示唆される。しかし両鉍山の硫黄同位体比に有意差は認められなかったことから、現段階ではどちらの朱を用いたかの判断はできない。このように、築かれた時代が異なる2つの墳墓で中国産と日本産という産地の全く異なる朱が使用されていた可能性が示唆されたことと、日本海沿岸のい

くつかの弥生時代後期の墳墓で中国産朱の使用が疑われる $\delta^{34}\text{S}$ 値を検出していたことから、いままで測定して発表した中から代表的な墳墓出土朱の $\delta^{34}\text{S}$ 値をTable 2にまとめた。また、Fig. 1にそれぞれの墳墓の場所を示す。

日本海沿岸に位置する弥生時代後期の各地域の王墓と思われる墳墓(Fig. 1)から中国産朱と推定される $\delta^{34}\text{S}$ 値が計測された(Table 2)。一方同じ地域の墳墓から出土した朱で日本産朱と推定される $\delta^{34}\text{S}$ 値が計測された。墳墓が築造されたおよその年代でまとめたところ、弥生時代後期(紀元1~2世紀)は中国産の朱が地域の中心となる王墓に使用され、弥生時代終末期(紀元3世紀)は中国産と日本産の混在あるいは日本産の使用に転換している。さらに古墳時代前期(3世紀後半以降)になると日本産朱の使用に画一化されることが硫黄同位体分析から推察される。弥生時代の終わり頃(後期後葉)に、中国産朱を使用した権力者の近隣地域において日本産、特に丹生鉍山産や大和水銀鉍山産などの朱を用いた権力者が存在していたことが示唆される。これらの地域は当時の重要拠点だった可能性があり、詳細について今後の研究に期待したい。もちろん、各地域において朱が用いられた墳墓すべてを調査しなければ時代による変遷を正確に把握できないし、たとえば北部九州は中国との関係が強

Table 2 Ratio of sulfur isotope of vermilion collected from burial mounds in the coast of Japan Sea of Western Japan from late Yayoi to Kofun periods.

Modern Prefecture	Burial mound	Period	Sulfur isotope ratio ($\delta^{34}\text{S}\text{‰}$)	Reference
Fukuoka	Tateishi	Late of Yayoi	+9.7 \pm 2.0 (3)	a)
Fukuoka	Ihara-yarimizo No. 6	Late of Yayoi	+8.4 \pm 1.5 (2)	b)
Shimane	Nishidani No. 3, Site 1	Decline of Yayoi	+9.0 \pm 1.1 (2)	c)
Shimane	Kagodani-Monjyodani No. 1	Late of Yayoi	+7.8 \pm 2.7 (2)	c)
Kyoto	Oburo-minami No. 1	Decline of Yayoi	+8.5 \pm 1.6 (2)	c)
Fukui	Obayama No. 30	Decline of Yayoi	+6.1 \pm 0.7 (3)	
Shimane	Sawashimo No. 6, Site 1	End of Yayoi		d)
	(Foot part)		+3.5 \pm 1.2 (4)	
	(Head-body part)		-1.8 \pm 0.6 (16)	
Shimane	Fujina-Otani III No. 1, Site 2	Decline of Yayoi	-5.2 (1)	d)
Shimane	Anyoji No. 1, Site 2	End of Yayoi	-4.8 (1)	d)
Kyoto	Akasaka-Imai	End of Yayoi	-7.1 \pm 1.4 (5)	a)
Kyoto	Ota-minami No. 5, Site 1	End of Yayoi	-4.9 \pm 0.9 (2)	e)
Tottori	Katsurami No. 2	Early of Kofun	-5.9 \pm 3.0 (2)	e)
Fukui	Hananotani No. 1	Early of Kofun	-3.4 \pm 0.6 (3)	

Late of Yayoi: start of A.D. 1st C to beginning of 3rd C, Decline of Yayoi: early of A.D. 2nd C to middle of 2nd C, End of Yayoi: end of A.D. 2nd C to beginning of 3rd C, Early of Kofun: middle of A.D. 3rd C to late of 4th C, mean \pm S.D. (number)
a) Minami et al. (2005), b) Imazu & Minami (2006), c) Minami (2006), d) Minami et al. (2011), e) Kawano et al. (2012)

く古墳時代まで継続していた可能性がある（河野ほか，2012）など，地域の特徴も関係しているであろう。しかしながら，島根県の弥生時代後期から古墳時代前期の墳墓11ヵ所から出土した朱に関して硫黄同位体を測定したところ，出雲西谷墳丘墓以外の10ヵ所の墳墓から中国産朱を示す $\delta^{34}\text{S}$ 値が検出されなかったことから（南ほか，2011），硫黄同位体分析が朱の産地推定の有力な手段として用いることが出来，さらにそこから当時の権力推移が見えてくるなど，考古学分野に一石を投じることができると考える。もちろん，多量の朱を1つの墳墓に使用するためには，数年以上かけて埋葬儀式に使用する朱を収集かつ貯蔵していた可能性がある。この場合，1つの鉱山から集めた朱のみを使用したとは考えにくく，複数の鉱山由来の朱を混合した可能性が示唆される。Table 2に示す島根県沢下6号墓から出土した朱の $\delta^{34}\text{S}$ 値は，中国産と日本産の中間値であり，かつ，副葬品から類推する頭部と足部から採取した朱で $\delta^{34}\text{S}$ 値が異なるという結果が得られている（南ほか，2011）。朱の散布部位で中国産と日本産の混合割合を変えた可能性も示唆される。また，鉱山鉱石の $\delta^{34}\text{S}$ 値にも幅があり，たとえ鉱山産 $\delta^{34}\text{S}$ 値と一致したとしてもたまたまであっ

た可能性もある。このように，硫黄同位体分析で朱の産地を推定するにはいくつもの課題が残っていることも事実である。しかしながら，硫黄同位体分析が朱の産地推定の有力な手段であることは間違いないと考える。

以上より，遺跡より出土した朱の産地推定法として硫黄同位体分析法を用い，日本海沿岸の古墳時代黎明期の墳墓朱の産地を調べたところ，弥生時代後期後葉の各地域の王墓と思われる墳墓で中国産を示す朱の使用が類推でき，硫黄同位体分析法の有用性が示された。

謝 辞

今回比較対象とした遺跡である，井原ヤリミゾ遺跡朱は糸島市教育委員会より提供していただき，西谷3号墓，沢下6号墓，布志名大谷Ⅲ遺跡1号墓，および安養寺1号墳出土朱は島根県教育庁埋蔵文化財調査センター，出雲市文化財課および島根大学考古学研究室より提供していただいた。また，紙子谷門上谷1号墓と桂見2号墳の朱は鳥取市教育委員会より提供していただき，大風呂南1号墓，太田南5号墳の朱は岩滝町教育委員会と弥栄町教育委員会より提供していただい

た。小羽山30号墓出土朱は小羽山墳墓群研究会より、花野谷1号墳出土朱は福井市教育委員会より提供を受けた。朱試料を提供していただいた関係諸機関に御礼申し上げます。本研究は、環境省国立水俣病研究総合センターの総合的水銀研究推進事業（我が国における歴史的な水銀産生および利用等に関する実証的研究）助成金を用いて行った。深謝いたします。

引用文献

- 成瀬正和（1998）縄文時代の赤色顔料Ⅰ—赤彩土器．考古学ジャーナル，**438**，10-14.
- 本田光子（1995）古墳時代の赤色顔料．考古学と自然科学，**31-32**，63-79.
- 本田光子（1998）弥生時代の墳墓出土赤色顔料—北九州地方にみられる使用と変遷．九州考古学，**62**，39-46.
- 岡山真知子（1998）弥生時代の水銀朱の生産と流通—若杉山遺跡を中心として—．考古学ジャーナル，**438**，19-23.
- 南武志・今井亮・豊遙秋・富田克敏・比佐陽一郎・岡山真知子・楊主明・今津節生（2004）中国貴州省と湖南省辰砂鉱石の硫黄同位体比測定．考古学と自然科学，**46**，67-74.
- 南武志・楊主明・豊遙秋・島崎英彦（2009）中国における辰砂が産出された古代鉱山の探索．考古学と自然科学，**58**，25-29.
- 南武志・豊遙秋・今津節生（2008）日本における辰砂鉱山鉱石のイオウ同位体比分析．近畿大学理工学総合研究所研究報告，**20**，41-48.
- 奥義次（1998）縄文時代の赤色顔料Ⅲ—伊勢における朱の開発をめぐる．考古学ジャーナル，**438**，17-18.
- Minami, T., Imai, A., Bunno, M., Kawakami, K. and Imazu, S. (2005) Using sulfur isotopes to determine the sources of vermillion in ancient burial mounds in Japan. *Geoarchaeology*, **20**, 79-84.
- 南武志・岩橋孝典・大庭俊次・伊藤智・柴崎晶子・坂本豊治・今津節生・渡辺貞幸（2011）硫黄同位体比分析から推測する出雲地域西谷墳墓群および他の墳墓出土朱の産地．考古学と自然科学，**62**，65-72.
- Ishihara, S., Sasaki, A., Minagawa, T., Bunno, M., Shishido, A. and Tanaka, R. (2000) Paired sulfur isotope belts: Late cenozoic ore deposits of southwest Japan. 地質調査所月報，**51**，283-297.
- 河野摩耶・南武志・今津節生（2012）前方後円墳発生前における朱の交易—イオウ同位体比分析による産地推定をとおして—．古代学研究，**196**，33-36.
- 今津節生・南武志（2006）福岡市前原市域出土朱のイオウ同位体．前原市教育委員会編，三雲・井原遺跡．143-144.
- 南武志（2006）出雲市西谷墳丘墓出土赤色顔料の分析．出雲市教育委員会編，西谷墳墓群．pp. 157-160.