

滋賀県多賀町敏満寺遺跡石仏谷墓跡出土火葬骨のSr同位体分析  
Sr isotopic analysis of cremated bones excavated from the Ishibotokedani site  
in Binman-ji Temple, Taga, Shiga Prefecture, Japan

澤田 陸<sup>1\*</sup>・若木重行<sup>2</sup>・南 雅代<sup>3</sup>  
Hitoshi Sawada<sup>1\*</sup>, Shigeyuki Wakaki<sup>2</sup>, Masayo Minami<sup>3</sup>

<sup>1</sup>名古屋大学大学院環境学研究科・<sup>2</sup>JAMSTEC 高知コア研究所・  
<sup>3</sup>名古屋大学宇宙地球環境研究所

<sup>1</sup> Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, Nagoya 464-8601, Japan

<sup>2</sup> Kochi Institute for Core Sample Research, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC), Kochi 783-0093, Japan

<sup>3</sup> Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University, Nagoya 464-8601, Japan

\*Corresponding author. E-mail: sawada.hitoshi@c.mbox.nagoya-u.ac.jp

### Abstract

Bone mineral components (bioapatite) are susceptible to soil contamination during burial, but bones heated at high temperatures (>600°C) could retain their original information due to increased crystallinity. Many cremated bones heated with high temperature were excavated from the Ishibotokedani Hakaato site in Binman-ji Temple in Taga, Shiga Prefecture. It is thought that the buried people are monks and ordinary people of Binman-ji Temple in the 12th and 15th centuries. The purpose of this study is to reveal the living area of the buried people by Sr isotopic analysis of the cremated bones from the Ishibotokedani Hakaato site, and to get information about the cultural history of the Middle Ages in Japan.

Stream sediments and water from rivers (Uso, Inukami, and Seri Rivers) flowing in the surrounding area, soil from Ishibotokedani site were collected and measured of <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr. The exchangeable (ex) fraction, which is obtained by extraction with 1M CH<sub>3</sub>COONH<sub>4</sub>, of the stream sediment showed a very close values (0.70926 to 0.71176) to those of stream water and cremated bone. The ex fraction of stream sediment and stream water of Uso River and Inukami River, where Koto Rhyolite is distributed, have <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr values of 0.71135 to 0.71176, and stream water of Seri River, where limestone and basic volcanic rocks are distributed, has a low value of 0.71093. Furthermore, the cremated bones from the Ishibotokedani site showed <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr of 0.70990 to 0.71037, agreement with <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr values of the ex fraction of the Ishibotokedani soil and stream water of Seri River. These results suggest that the cremated bones from the Ishibotokedani site might belong to the people who lived around Binman-ji Temple or near Seri River.

**Keywords:** cremated bone; Binman-ji Temple; Sr isotopic analysis

### 1. はじめに

<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr同位体比は産地推定のマーカーとして広く用いられている。<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Srは岩石の年代や種類によって変動するので、地域により特徴的な値を示す。斜長石は化学的風化を受けやすく、カリ長石や雲母は化学的風化を受けにくいいため、河川堆積物や土壌全体（バルク成分：bulk）の<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Srは、酸

で抽出した成分（交換態成分：ex）の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ と異なる値を示す。動物や植物は食物連鎖の過程で交換態Srを取り込むことから、その $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ は生育した地域の河川堆積物や土壌の交換態 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 及び植物や河川水の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ を反映するため、 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ は動物や植物の産地推定に有効だと考えられている。

骨の無機成分（バイオアパタイト）は埋没中に土壌からの汚染を受けやすいため、元の情報を保持していないことが多く、分析に使えないと考えられていた。しかし、Snoeck et al. (2015) は異なる温度で加熱した骨を $^{87}\text{Sr}$ 濃縮溶液に異なる期間浸す実験を行ない、 $600^\circ\text{C}$ 以上の高温で加熱された骨は結晶度が高くなりSrの交換がほぼ起こらないことを示した。そのため高温で焼かれた火葬骨は生前の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ を保存していると考えられ、火葬骨と地質試料の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ を比較することで生前の居住地の推測が可能である。

本研究においては、滋賀県多賀町に位置する敏満寺遺跡石仏谷墓跡から出土した火葬骨の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ と、周辺の河川から採集した地質試料のうち河川堆積物・土壌の交換態成分と河川水の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ を比較し、石仏谷墓跡に埋葬されている人の生前の居住地を探ることを目的とした。

## 2. 敏満寺遺跡

敏満寺は、12世紀ごろから16世紀にかけて存在した寺院である。石仏谷墓跡は敏満寺に隣接する遺跡であり、敏満寺の僧侶や周辺の住民が埋葬されたと考えられている。石仏谷墓跡では墓跡をA～Gの調査区に分け大規模な発掘調査が行なわれており、大量の火葬骨が発掘されている。当時、庶民の間では土葬が一般的であったため、石仏谷遺跡から発掘された骨がほぼすべて火葬骨であるということは文化的に非常に興味深い。さらに、土葬された骨は、日本の土壌が酸性土壌であるため残りにくい、石仏谷遺跡では、火葬されていたために土壌中で分解しないで残存したと考えられる。この時代の僧侶や周辺住民の骨がこれだけ大量に形をとどめて残っている石仏谷墓跡は、中世の考古学研究においてきわめて重要である。

## 3. 周辺地質

敏満寺遺跡は滋賀県多賀町に位置し、隣接する石仏谷墓跡は青龍山の西斜面に位置する（図1）。石仏谷墓跡の東約10 kmには標高1000-1200 mの鈴鹿山脈が滋賀県・三重県の県境を南北方向に伸びている。また鈴鹿山脈を源流域とする芹川・犬上川・宇曾川・愛知川などの河川が東から西へ流れており、これらは琵琶湖に流れ込んでいる。

この地域では様々な種類・年代を持つ岩石が存在する。鈴鹿山脈は美濃・丹波帯に含まれる古生代の付加体が主な岩体である。鈴鹿山脈西側には石灰岩や塩基性火山岩が分布し、石仏谷墓跡周辺や南側には中生代白亜紀後期の湖東流紋岩類が分布する。石仏谷墓跡が位置する青龍山は湖東流紋岩の岩体である。石仏谷墓跡の西側には平地が広がっており、新生代第四期更新世から完新世にかけて形成された堆積物が分布する。

芹川は鈴鹿山脈の石灰岩が分布する地域を源流域とし、主に石灰岩と玄武岩が分布する地域を流れている。犬上川は湖東流紋岩類の分布する地域を源流域とし、主に湖東流紋岩類が分布する地域を流れるが、一部の支流の流域には玄武岩が分布している。宇曾川は湖東流紋岩類が分布する地域を源流域とし、湖東流紋岩類が分布する地域を流れる。本研究では石仏谷墓跡周辺の河川のうち、芹川・犬上川・宇曾川で試料を採取した。

## 4. 試料

河川堆積物は宇曾川、犬上川支流、犬上川本流の3地点で試料を採取した。河川堆積物はその場所に露出する岩石に加え、上流で風化され流されてきた岩石の破片も含まれているため、採取地点より上流の地質を反映している。試料は、 $180\ \mu\text{m}$ 以下の粒径のものを採集した。

河川水試料は宇曾川、犬上川支流、犬上川本流、芹川下流、芹川上流の5地点で採取した。このうち芹川下流の採取地点では川岸に近い場所にヘドロが堆積し、発泡していることが確認できた。

今回、さらにA区、F区、G区の墓から出土した火葬骨にSr同位体分析を行った。火葬骨は蔵骨器に入れられた状態と、直接土壌に埋葬された状態で発掘された。それぞれの骨の埋没状態、ならびに<sup>14</sup>C年代はMinami et al. (2020)を参照されたい。地質試料の<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Srとの比較には、今回の測定結果に加え、Mukumoto (2017)の火葬骨の<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr測定結果を用いる。Mukumoto (2017)では名古屋大学のTIMS (VG Sector 54) と高知コアセンターのTIMS (Thermo TRITON) でそれぞれ測定を行っているが、今回の比較には、誤差が小さく、信頼性がより高いと考えられるThermo TRITONで測定したデータを用いる。土壌試料は石仏谷墓跡のA区で採集した。

## 5. 手法

河川堆積物と土壌の交換態成分については試料200 mgを量りとり、1 M酢酸アンモニウム5 mLを加え混ぜた後1日放置した。3000 rpmで10分間遠心分離した後上澄みを回収し、ホットプレート上で乾固した。さらに硝酸を数滴加え乾固する操作を2回行なった。乾固後は2.4 M塩酸3.5 mLを加えて3000 rpmで10分間遠心分離した。陽イオン交換樹脂 (BioRad AG50WX8, 200-400mesh) を詰めた石英カラムを用いてSrを分離しテフロンビーカーに回収し、乾固した。さらに硝酸を数滴加え乾固する操作を2回行なった。河川水試料は0.45 μmのメンブレンフィルターを通して濾過した後、ホットプレート上で乾固した。さらに硝酸を数滴加え乾固する操作を2回行なった。その後の操作は交換態成分と同様である。

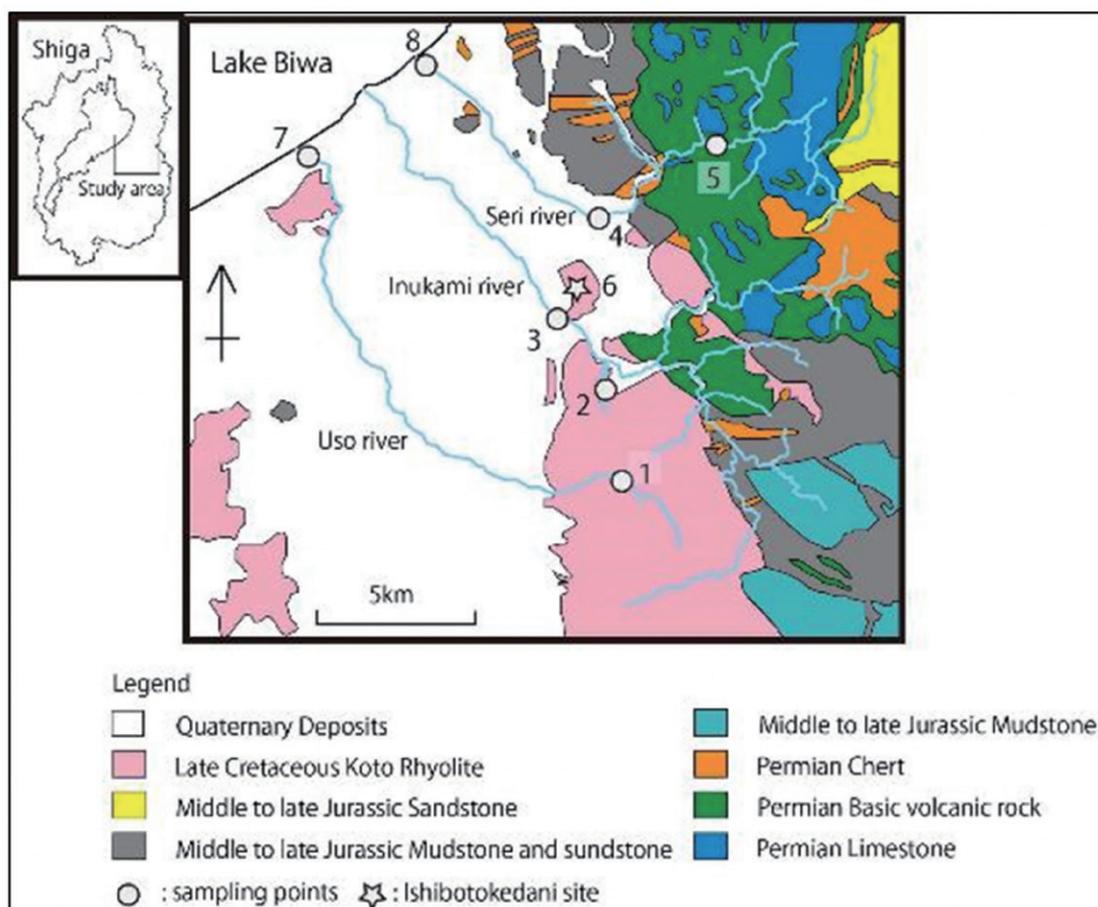


図1 滋賀県多賀町敏満寺遺跡周辺地質と試料の採取地点

火葬骨試料は、試料1gを試料瓶に量りとり、0.1 M酢酸60 mLを加えたフラスコ内に入れた。エタノールと液体窒素の寒剤を用いて-90℃で冷却し酢酸を凍らせた。このフラスコを真空ラインにつなぎ、フラスコ内を真空に引いた後真空ラインから外した。酢酸が完全に溶けた後試料を酢酸と1時間反応させた。再び真空ラインにつなぎ、フラスコ内を真空に引いた後真空ラインから外した。試料は遠沈管に入れ、Milli-Q水で繰り返し洗浄した後、凍結乾燥した。試料をマッフル炉内で825℃で5時間加熱し有機物を取り除いた。この試料を10-50 mg量りとり、2.4 M塩酸を加えホットプレート上で加熱溶解後、乾固した。さらに硝酸を数滴加え乾固した後、3 M硝酸に溶かした。Srの分離はSr spec resin (Eichrom)で分離した。Sr同位体比測定には高知コアセンターのTIMS (Thermo TRITON)を用いた。測定値は $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0.1194$ で規格化した。標準試料はNIST SRM987を用い、その平均値は $0.710240 \pm 0.000014$  ( $2\sigma$ ,  $n=11$ )であった。

## 6. 結果と考察

試料の採取地点別に $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ をプロットした図を図2に示す。交換態成分、植物、河川水、火葬骨の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ は0.70926-0.71176となった。

芹川と宇曾川・犬上川における河川水の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ には違い ( $>0.001$ ) が見られる (図2)。犬上川本流の河川水並びに交換態成分の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ は上流部に湖東流紋岩類が分布する宇曾川と犬上川上流の値に近く、芹川流域には湖東流紋岩類がほぼ分布していないことから湖東流紋岩類の流域分布が河川水と交換態成分の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ に強く影響を与えることが示唆された。

火葬骨の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ は0.709921から0.710421の値を示した。Lewis et al. (2017)は、同じえさで育てられた豚の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ は、最大0.0001程度の差を持つと報告している。この生理的な要因に加え、実際に人々が食べるものはそれぞれ異なることから、同じ地域に住む人でも $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ は0.0001以上の違いを示すと考えられる。以上のことから、今回得られた火葬骨の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ の差は居住地域の違いが原因ではない可能性が大きい。よって石仏谷墓跡に埋葬されている人々は同じ地域で生活していたと推定される。火葬骨と河川水、土壌の交換態成分の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ を比較すると、石仏谷墓跡の土壌の交換態成分及び芹川の河川水と近い値を示している。このことから石仏谷墓跡に埋葬されている人々は敏満寺周辺もしくは芹川の河川水を利用可能な地域で生活していたと考えられる。これは石仏谷墓跡には敏満寺の僧侶や周辺住民が埋葬されているという従来の考えと一致する。

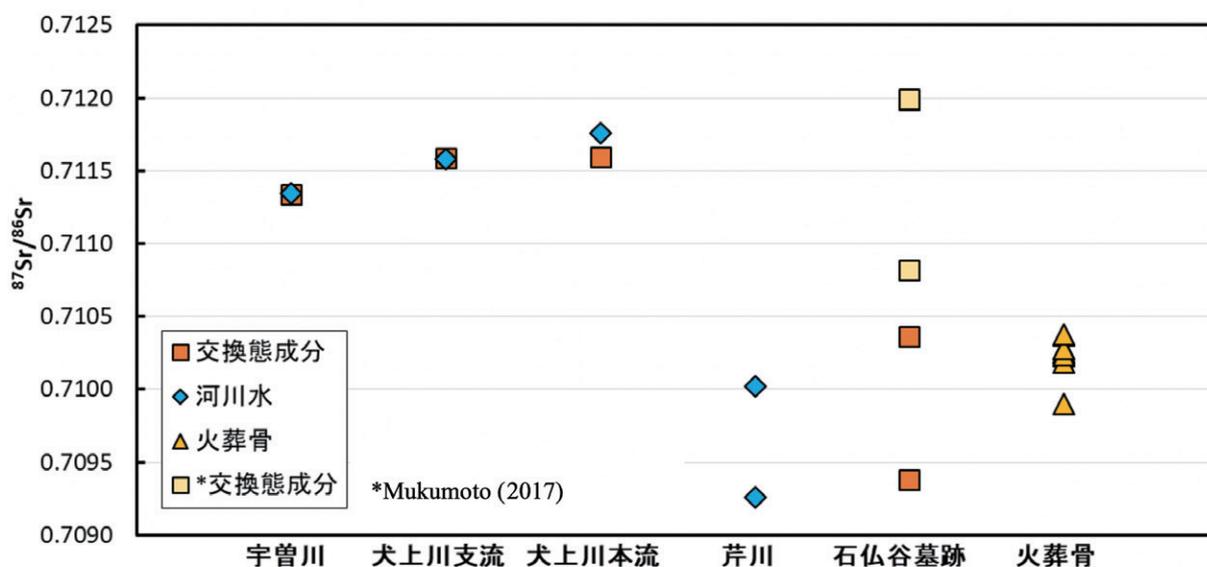


図2 採取地点別の各種試料の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$

## 7. まとめ

採取地点別に各種試料の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ を比較すると、芹川河川水の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ は他の地点より低い値を示した。これは、流域に湖東流紋岩類が分布していないためだと考えられる。火葬骨の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ は狭い範囲に集中し、また石仏谷墓跡の土壤交換態成分と芹川の河川水の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ に近い値を示した。これらの結果から、石仏谷墓跡には敏満寺の周辺もしくは芹川の河川水を利用可能な地域で生活していた人々が埋葬されていることが明らかになった。

## 謝辞

石仏谷墓跡の試料採取に協力していただいた元興寺文化財研究所の狭川真一氏、多賀町立博物館の本田 洋氏に感謝いたします。本研究は、科学研究費補助金 基盤研究(B) 265601444「火葬骨の高精度炭素14年代測定と食性解析のための基礎研究・考古資料への展開」(代表者：南 雅代)により行われました。ここに記して、感謝申し上げます。

## 引用文献

- Geological Survey of Japan, Advanced Industrial Science and Technology. (2019) Geochemical Map of Sea and Land of Japan.
- 石田志朗・河田清雄・宮村学 (1984) 5万分の1地質図幅「彦根西部」及び説明書. 地質調査所
- Lewis, J., Pike, A.W.G., Coath, C.D., Evershed, R.P. (2017) Strontium concentration, radiogenic ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) and stable ( $\delta^{88}\text{Sr}$ ) strontium isotope systematics in a controlled feeding study. *Science & Technology of Archaeological Research*, 3, 45-57.
- 宮村学・三村弘二・横山卓雄 (1976) 5万分の1地質図幅「彦根東部」及び説明書. 地質調査所
- Minami, M., Mukumoto, H., Sawada, H., Wakaki, S., Nakamura, T. (2020) Radiocarbon dating of cremated bones from the Ishibotoke-dani of Binman-ji Temple in Taga, Shiga Prefecture, Japan: A preliminary report. *Proceedings of EA-AMS 8 & JAMS-22*, 94-97.
- Mukumoto, H. (2017) Radiocarbon dating and diet analysis of carbonate hydroxyapatite in cremated bones. Department of Earth & Environmental Sciences Graduate School of Environmental Studies Nagoya University MS.
- Snoeck, C., Lee-Thorp, J.A., Schulting, R.J., de long, J., Debouge, W., Mattielli, N. (2015) Calcined bone provides a reliable substrate for strontium isotope ratios as shown by an enrichment experiment. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 29, 107-114.

## 日本語要旨

骨の無機成分(バイオアパタイト)は埋没中に土壌からの汚染を受けやすく、分析に使えないと考えられてきたが、近年の研究から、高温(>600℃)で加熱された骨はアパタイトの結晶度が高まることにより、汚染を受けにくくなり、元の情報を保持し得ることがわかってきた。滋賀県多賀町の敏満寺遺跡石仏谷墓跡からは高温で焼かれた火葬骨が多数出土し、出土土器の型式や古文書の記述から、12-15世紀の敏満寺の僧侶や周辺住民であると考えられている。石仏谷墓跡は、近畿地方における中世の文化史の情報が骨から直接得られるという点で、非常に重要な遺跡である。本研究では、この火葬骨の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 同位体分析から、埋葬されている人の生前の居住地についての情報を引き出すことを目的とする。

石仏谷墓跡周辺の地質の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 分布を明らかにするため、周辺地域を流れる河川(宇曾川、犬上

川、芹川) から地質試料を採取した。これらの試料は、フッ酸や硝酸によって分解後、陽イオン樹脂を用いてSr分画を単離し、TIMSを用いて $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 同位体比を測定した。石仏谷墓跡から出土した火葬骨に対しては、酢酸で二次生成炭酸塩を除去した後、硝酸で分解し、上と同様に $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 測定を測定した。今回得られた地質のSr同位体比結果とMukumoto (2017)の火葬骨及び土壌のSr同位体比の結果を合わせ、河川堆積物、河川水、火葬骨の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ の関係、石仏谷墓跡に埋葬された人々の居住地域について考察した。

測定の結果、河川堆積物の交換態(1M酢酸アンモニウム抽出)成分、河川水、火葬骨はごく近い値(0.70926-0.71176)を示した。湖東流紋岩が流域に分布している宇曾川、犬上川の河川堆積物の交換態成分と河川水は0.71135-0.71176の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ を、主に石灰岩と玄武岩が流域に分布する芹川の河川水は0.71093の低い値を示した。さらに、石仏谷墓跡から出土した火葬骨は、土壌の交換態成分、ならびに芹川の河川水に近い $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ を示した。以上の結果から、石仏谷墓跡に埋葬されている人は、敏満寺周辺もしくは芹川の河川水を利用可能な地域で生活していた人々であると考えられる。