

令和 4 年 6 月 20 日現在

機関番号：33111

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2018～2021

課題番号：18K18533

研究課題名（和文）SPring-8のマイクロCTを利用した福井洞窟出土縄文草創期焼骨群の種同定

研究課題名（英文）Species identification of burnt bones excavated from Fukui Cave in the Incipient Jomon period using micro-CT at SPring-8

研究代表者

澤田 純明（Sawada, Junmei）

新潟医療福祉大学・リハビリテーション学部・准教授

研究者番号：10374943

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,800,000円

研究成果の概要（和文）：大型放射光施設「SPring-8」の高精細マイクロCTを利用して、長崎県佐世保市福井洞窟から出土した更新世末期の焼骨小片を対象に、非破壊的な組織形態解析による動物種の同定を試みた。その結果、1) 福井洞窟出土焼骨はイノシシやニホンジカなどの中型陸生哺乳類である可能性が高い、2) ナウマンゾウやヤベオオツノジカといった大型動物やヒトは含まれていない、などを明らかにした。本研究の結果は、縄文時代に盛行する中型哺乳類狩猟が更新世末期に開始されていたことを示唆するものである。

研究成果の学術的意義や社会的意義

国指定史跡である福井洞窟から出土した更新世末期の焼骨小片について、これらがイノシシやニホンジカなどの中型陸生哺乳類である可能性が高いことを明らかにし、当時の人々の狩猟活動を探る上で重要な知見を提供した。本研究は、大型放射光施設「SPring-8」の高精細マイクロCTを利用することで、貴重な骨資料を破壊せずに組織形態学的種同定を実施できることを示し、文化財資料の保護と活用に有益な新たな方法を提示した。

研究成果の概要（英文）：Fukui Cave, Nagasaki Prefecture, unearthed small fragments of burned bones from the late Pleistocene period. Using the high-resolution micro-CT at SPring-8, we attempted to identify animal species by nondestructive histomorphometric analysis of the bone fragments. As a result, it was found that: 1) the bone fragments excavated from Fukui Cave were most likely medium-sized land mammals such as wild boar or sika deer, and 2) large mammals such as Naumann's elephant and Yabe's giant deer and humans were not included in the excavated bones.

研究分野：人類学、動物考古学、解剖学

キーワード：SPring-8 マイクロCT 福井洞窟 微小焼骨片 骨組織形態学的種同定 非破壊分析 更新世末期 縄文時代草創期

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

土器の利用開始は、人類社会に強いインパクトを与えたヒトの歴史上の一大イベントである。日本列島で土器が出現したのは更新世末期にあたる縄文時代草創期であるが、これは世界的にみてかなり古く、国内外の多くの研究者の注目を集めてきた。なかでも長崎県の福井洞窟は、草創期の最古級の土器群と、それに先行する旧石器時代終末期の石器群が、連続した層序から出土したことで著名であり、当該期の代表的な遺跡の一つに数えられている。注目すべきは、草創期および旧石器時代終末期の層準から、数十点の焼けた骨片が出土したことである(柳田, 2016)。土器の利用と密接に関係することが想定される動物利用の様相の解明は、土器が出現した背景を探る上で重要である。日本列島で、ヒトの直接的な関与を強く示唆する焼骨が、この時期の人類遺跡から出土した例は他になく、福井洞窟の焼骨は土器出現期の動物利用を探る上で貴重な資料と言える。しかし、福井洞窟から出土した焼骨はいずれも 1cm 以下の微細な小片であり、肉眼観察では種の識別が不可能であった。

このような焼骨小片の種を同定するには、骨構造のオステオンやハバース管の形態解析が有効である (Mulhern and Ubelaker, 2012; Sawada et al. 2014)。しかし、通常の組織学的方法では骨を薄切する必要があるが、貴重な文化財資料の破壊が避けられない。コンピュータ断層撮影 (CT) による内部観察ならば資料を破壊せずに済むものの、一般の工業用・医療用マイクロ CT 像では十分な解像度が得られない。そこで、播磨科学公園都市の大型放射光施設「SPring-8」の高性能マイクロ CT で福井洞窟出土焼骨を断層撮影し、骨組織形態解析を試みた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、「SPring-8」の高精細マイクロ CT を用いて、福井洞窟から出土した更新世末期の焼骨の骨構造を非破壊的に形態解析し、焼骨の動物種を同定することである。日本列島の考古遺跡から出土した骨片の高精細マイクロ CT 分析は前例がなく、本研究はその端緒を切り開き、貴重な文化財資料を非破壊的に分析する新たな方法の開拓を目指すものである。

3. 研究の方法

(1) 資料

福井洞窟第 4 層 (約 1.6 万年前) から出土した焼骨小片のうち、形状から哺乳類の緻密骨片と推測された 11 点を資料とし (福井資料: FK-B-001~011)、これらを SPring-8 のビームライン BL20B2 の CT で撮影した。また、中・大型哺乳類を主体とする日本列島の更新世・完新世動物群 21 種 145 標本の緻密骨切片を比較用標本に用いた。

(2) 骨組織形態計測

福井資料のうち、3 点の CT 像において、オステオンとハバース管を確認できた。これらのオステオン横断像について、骨構造の識別を容易にするため画像のコントラストを画像加工ソフト (Adobe Photoshop) で調節し、ImageJ (NIH) で、完形のオステオンとそのオステオン内にあるハバース管の面積を計測した。

比較用標本について、緻密骨切片を光学顕微鏡に接続した CMOS カメラで骨組織像を撮影し、ImageJ を用いて、福井資料と同様に骨構造の面積を計測した。

(3) 焼成による資料の収縮について

骨は焼成により収縮する。本研究では、焼成による骨構造の収縮率を検討した Absolonova et al. (2012) の実験結果を参考に、福井資料のオステオンとハバース管の面積が焼成温度 700°C で 10%、800°C で 20% 収縮しているものと仮定して、焼成する前の本来の面積値を計算し、これを焼成前推定値とした。

(4) 統計的検討

オステオンの面積とハバース管の面積のそれぞれについて、オステオンとハバース管を計測できた福井資料 3 点と比較用標本の間で、平均値の差の検定を行った。オステオン面積とハバース管面積の両方とも計測値の分布が正規分布に従わないことが仮定されたため、ノンパラメトリック法の Games-Howell 検定を適用した。有意水準は 5% とした。

4. 研究成果

(1) 福井資料 CT 像の観察所見と骨組織形態計測値

福井資料 3 点 (FK-B-002・003・006) の CT 像に、オステオンと葉状骨 (偶蹄類などヒト以外の動物骨にしばしば現れる骨構造) を認めた。また、別の 1 点 (FK-B-007) にも葉状骨を確認した。

表1 福井洞窟出土焼骨資料のオステオンの面積 (μm^2)

福井資料	オステオンの数	実測値		焼成前推定値 (700°C)		焼成前推定値 (800°C)	
		平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
FK-B-002	3	13743.9	2766.0	15271.0	3073.3	17179.9	3457.5
FK-B-003	21	18174.1	5226.5	20193.5	5807.3	22717.6	6533.2
FK-B-006	6	15936.1	3689.1	17706.8	4099.0	19920.2	4611.4

表2 福井洞窟出土焼骨資料のハバース管の面積 (μm^2)

福井資料	ハバース管の数	実測値		焼成前推定値 (700°C)		焼成前推定値 (800°C)	
		平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
FK-B-002	3	490.5	190.6	545.0	211.7	613.1	238.2
FK-B-003	21	478.7	186.2	531.9	206.9	598.4	232.8
FK-B-006	6	500.5	370.7	556.1	411.9	625.6	463.4

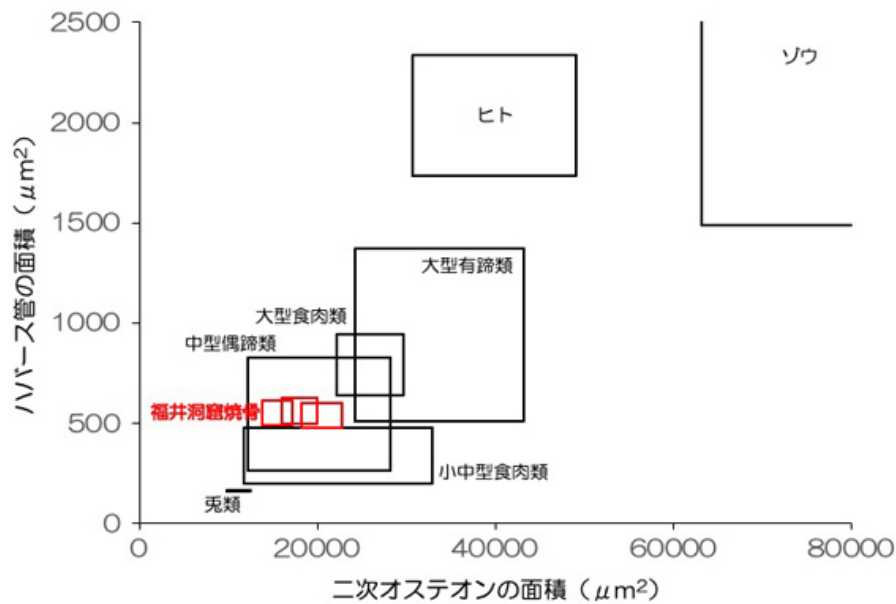


図 福井洞窟出土焼骨試料3点および比較標本の骨組織形態計測値

オステオンを認めた資料3点について、オステオンの面積の計測結果を表1、ハバース管の面積の計測結果を表2に示した。さらに、比較用標本を近縁の動物群（兎類、小中型食肉類、大型食肉類、中型偶蹄類、大型有蹄類、ヒト、ゾウ）にまとめ、各動物群のオステオン面積の平均値とハバース管面積の平均値の範囲を示したグラフを作成し、福井資料3点の値をこのグラフにプロットした（図）。この図において、福井資料の四角形の左下の頂点は計測した実測値を、右上の頂点は収縮率が最も大きくなる焼成温度を800°Cと仮定した際の焼成前推定値を表している。福井資料は中型偶蹄類（イノシシ、ニホンジカ、カモシカ）の範囲に収まっており、それ以外の動物群との関係では、小中型食肉類（キツネ、タヌキ、テンなど）にやや近いところに位置していた。他方、ゾウやヒトといった大型動物や、兎類の値とは離れていた。

Games-Howell 検定の結果では、オステオン面積とハバース管面積において、福井資料とゾウやヒトとの間に5%水準で有意な差が認められた。

(2) 福井洞窟出土焼骨資料の種同定

前項に示した知見より、福井資料に最も近い動物は、中型偶蹄類であると判断された。更新世末期の九州地方に生息した中型偶蹄類はイノシシ、ニホンジカ、カモシカであるが、骨組織形態の様相やオステオンやハバース管の面積はこれら3種の動物間で類似しており、福井資料が中型偶蹄類のいずれの動物に該当するのかを特定するのは困難であった。また、福井洞窟焼骨資料は中型食肉類（タヌキ、キツネなど）にもやや近く、オステオン面積とハバース管面積について、福井資料と中型食肉類の間に統計的に有意な差が見出せなかったことから、中型食肉類に該当する可能性も否定できない。他方、ゾウやヒト、ウサギの骨組織形態とは明らかに異なっており、これらの動物である可能性は排除してよいと思われた。福井洞窟が傾斜地に位置しており、ヤベオオツノジカやウシなど大型偶蹄類が生息できる平野が洞窟周辺にないことを踏まえると、大型偶蹄類の可能性も低いと考えてよさそうである。

以上をまとめると、1) 福井資料は中型偶蹄類の可能性が最も高い、2) 小中型食肉類が含まれる可能性もある、3) ゾウ類・ヒト・大型偶蹄類・ウサギではない、と結論づけられよう。

(3) 更新性末期の日本列島における狩猟活動

日本列島には多数の更新世人類遺跡が存在するが、動物骨の出土した更新世の遺跡はほとんどなく、ごく少数の動物骨出土遺跡の情報をもとに、ナウマンゾウやヤベオオツノジカなどの狩猟イメージが形作られてきた。研究代表者らは、このイメージの妥当性について、信頼できる実証的なデータに基づいて見直しをはかるべきと提言してきた(澤田 2019)。

更新世の日本列島に生息した動物群には、現在の日本列島に分布する動物群に加え、現在は生息していないゾウ類(ナウマンゾウ、マンモスゾウ)や大型偶蹄類(ヤベオオツノジカ、バイソンなど)などの大型哺乳類が含まれる。これらの大型哺乳類は、縄文時代の遺跡からは出土せず、約2万年前から1万年前に絶滅したと考えられていた(亀井ほか, 1988)。しかし、近年、本州以南の大型哺乳類の年代測定値に、2.5万年前より新しい年代のデータはないことが指摘されている(高橋 2007; Iwase et al. 2012)。ただ、約2万年前より後の更新世末期(特に旧石器時代終末期から縄文時代草創期初頭)の遺跡では、そもそも動物骨が出土した例が少なかったため、従来の資料では、この時期に大型哺乳類の狩猟が行われていなかったかどうかを確かめることが困難であった。

福井洞窟から出土した約1.6万年前の動物骨は、この空白を埋めるものとして重要である。本研究により、詳細な種同定には至らなかったものの、出土骨片が中型偶蹄類に近く、ゾウ類や大型偶蹄類のものではないことを明らかにし得た。すなわち、土器が使われ始めた時期の福井洞窟において、狩猟の対象は大型哺乳類ではなく、中型哺乳類であったことが示唆された。本研究の成果は、従来の肉眼観察では同定が困難であった骨片でも非破壊方法で動物種類をある程度までできることを示しており、今後こうした事例研究が蓄積されることで、更新世末期/旧石器時代終末期/縄文時代草創期の狩猟活動をより明確に復元できるものと期待される。

文献

- Absolonova K, Dobisikova M, Beran M, Zocova J, Veleminsky P. 2012. The temperature of cremation and its effect on the micro-structure of the human rib compact bone. *Anthropologischer Anzeiger* 69, 439-460.
- Iwase A, Hashizume J, Izuho M, Takahashi K, Sato H. 2012. Timing of megafaunal extinction in the late Late Pleistocene on the Japanese Archipelago. *Quaternary International* 255, 114-224.
- Mulhern DM, Ubelaker DH. 2012. Differentiating human from nonhuman bone microstructure. In: Crowder CM, Stout SD. (eds.), *Bone Histology: An Anthropological Perspective*, CRC Press, 109-134.
- Sawada J, Nara T, Fukui J, Hirata K, Dodo Y. 2014. Histomorphological species identification of tiny bone fragments from a Paleolithic site in the Northern Japanese Archipelago. *Journal of Archaeological Science* 46, 270-280.
- 亀井節夫・樽野博幸・河村善也. 1988. 日本列島の第四紀地史への哺乳動物相のもつ意義. 第四紀研究 26, 293-303.
- 高橋啓一. 2007. 日本列島の鮮新・更新世における陸生哺乳動物相の形成過程. 旧石器考古学 3, 5-14.
- 澤田純明. 2019. 旧石器時代の動物考古学をめぐる諸問題. 東北日本の旧石器文化を語る会(編) 東北日本の旧石器時代, 六一書房, 35-46.
- 柳田裕三(編). 2016. 史跡福井洞窟発掘調査報告書, 佐世保市教育委員会.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Hattori T, Sawada J, Kanomata Y, Akoshima K, Sato T.	4. 巻 20
2. 論文標題 Animal utilization of the Epi-Jomon and Okhotsk cultures in Sakhalin: A zooarchaeological analysis of the Nobuo Ito Collection	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Bull. Tohoku Univ. Museum	6. 最初と最後の頁 41-66
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 澤田純明・吉永亜紀子	4. 巻 34
2. 論文標題 上黒岩岩陰と縄文草創期の動物利用	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 別冊季刊考古学	6. 最初と最後の頁 32-35
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 米田穰・覚張隆史・小林謙一・遠部慎・奈良貴史	4. 巻 34
2. 論文標題 上黒岩人骨の年代と食性	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 別冊季刊考古学	6. 最初と最後の頁 46-50
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 澤田純明・福井淳一・高島孝宗	4. 巻 10
2. 論文標題 道北更新世人類化石探索の予備的調査報告	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 枝幸研究 (Bulletin of the Okhotsk Museum ESASHI)	6. 最初と最後の頁 13-23
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Sawaura Ryohei, Sawada Junmei, Sato Takao, Suzuki Toshihiko, Sasaki Keiichi	4. 巻 28
2. 論文標題 Late Pleistocene hares of the Japanese archipelago: Paleobiogeographic implication at the Last Glacial Maximum	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 International Journal of Osteoarchaeology	6. 最初と最後の頁 179 ~ 187
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/oa.2645	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 澤田純明	4. 巻 143
2. 論文標題 ストレスマーカーから探る過去の人々の健康状態	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 季刊考古学	6. 最初と最後の頁 43-46
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 澤田純明	4. 巻 714
2. 論文標題 人骨のミクロ・マクロ形態分析による生活環境復元	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 考古学ジャーナル	6. 最初と最後の頁 10-14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 澤田純明・安保凜・佐伯史子・鶴澤和宏・樋泉岳二・柳田裕三・奈良貴史・米田穰
2. 発表標題 SPring-8のX線CTを利用した福井洞窟出土旧石器時代焼骨片の種同定
3. 学会等名 第74回日本人類学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takao Sato, Ryohei Sawaura, Junmei Sawada, Takehiko Watanabe, Takashi Nara
2. 発表標題 Hunting Activities of Upper Paleolithic Humans in the Japanese Archipelago
3. 学会等名 SAA (Society for American Archaeology) the 86th Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 米田穰・阿部芳郎・栗島義明
2. 発表標題 土器付着炭化物と人骨の同位体比の比較
3. 学会等名 第74回日本人類学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 澤田純明
2. 発表標題 長江デルタの新石器時代人骨から得られた骨考古学的知見：特にストレスマーカーと加工人骨について
3. 学会等名 第73回日本人類学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 安保凜・澤田純明・佐伯史子・奈良貴史
2. 発表標題 SPring-8のCTを利用した福井洞窟出土旧石器時代焼骨の種同定
3. 学会等名 第125回日本解剖学会全国学術集会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Junmei Sawada, Masaki Eda, Hitomi Hongo, Takao Sato, Ryohei Takahashi, Takeji Toizumi, Minoru Yoneda, Taichi Hattori, Ryohei Sawaura, Eisuke Yamada
2. 発表標題 The hunting strategy in the Hoabinhian period of northern Vietnam
3. 学会等名 13th ICAZ International Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 中村慎一・劉斌・澤田純明・鶴澤和宏・他(分担執筆)	4. 発行年 2020年
2. 出版社 雄山閣	5. 総ページ数 380
3. 書名 河姆渡と良渚：中国稲作文明の起源	

1. 著者名 柳田俊雄・阿子島香・澤田純明・他(分担執筆)	4. 発行年 2018年
2. 出版社 六一書房	5. 総ページ数 528
3. 書名 東北日本の旧石器時代	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	米田 穰 (Yoneda Minoru) (30280712)	東京大学・総合研究博物館・教授 (12601)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------