

# 個別アミノ酸窒素同位体分析による 梶子遺跡の古代官衙におけるブタ利用の 多様性の検証

Diversity of pig used in an ancient government office at the Kajiko site by  
compound-specific nitrogen isotope analysis of amino acids.

板橋 悠<sup>1\*</sup>・米田 穰<sup>2</sup>・井口 智博<sup>3</sup>・丸山 真史<sup>4</sup>

Yu ITAHASHI<sup>1\*</sup>, Minoru YONEDA<sup>2</sup>, Tomohiro IGUCHI<sup>3</sup>, Masashi MARUYAMA<sup>4</sup>

## 【要旨】

日本列島では弥生時代にヒトによる本格的なブタの管理が開始されたとする説が有力である。ところが、古墳時代から近世遺跡の出土イノシシ類骨で野生イノシシと家畜ブタが明確に区別された例は多くない。野生状態と飼育状態の個体による食性の相違に注目した遺跡出土骨コラーゲンの炭素・窒素安定同位体分析は、表現型や遺伝形質の違いではなく各個体の生活スタイルの違いから飼育個体を検出できる手法として有効である。さらに本稿では動物性タンパク質寄与率の推定に秀でた新手法である個別アミノ酸の窒素同位体分析を行い、奈良～平安時代の官衙遺跡、梶子遺跡から出土したイノシシ類骨を対象に家畜ブタの有無や野生イノシシ・家畜ブタの利用・管理について検討した。分析の結果、梶子遺跡のイノシシ類にはコラーゲン、個別アミノ酸共に同位体比の異なる個体が混在しており、食性や生息環境の異なるグループが含まれていることが明らかとなった。これは梶子遺跡において異なる環境・飼育条件で育ったイノシシ類個体が利用されていたことを示しており、官衙施設である梶子遺跡では自給自足的にブタを飼育するだけでなく周辺の農村部から持ち込むなど複数のルートでブタを賄っていた可能性が示唆される。

キーワード：個別アミノ酸の窒素同位体分析、食性、家畜ブタ、供給、古代官衙

## 【Abstract】

It is a major theory that pigs became institutionally managed in Japan during the Yayoi period. However, there are few cases in which wild boars and domestic pigs have been clearly distinguished in archaeological bones from sites of the following Kofun period and after. One of the reasons for the lack of discussion on the use of domestic pigs in Japanese history is that it is difficult to distinguish between wild boars and domestic pigs based on the morphology of the fragmented bones. On the other hand, carbon and nitrogen stable isotope analysis of bone collagen, which focuses on differences in feeding habits between wild and domesticated individuals, has been used as an effective method to detect managed individuals based on changes in diets, rather than changes in phenotype or genetic profiles. In addition, we conducted a new method of compound-specific nitrogen isotope analysis of individual amino acids for more precision dietary reconstruction. In this study, we measured two isotopic analyses for the pig and other animal bones from the Kajiko site, one of the Iba site groups, a government office in the Nara and Heian periods. We discussed the existence of domestic pigs and the use and management of wild boars and domestic pigs in the ancient government office site. According to the results, the pig bones from the Kajiko site were composed of a

1 筑波大学 〒305-8571 茨城県つくば市天王台 1-1-1

University of Tsukuba, Tennodai 1-1-1, Tsukuba, Ibaraki 305-8571

2 東京大学総合研究博物館 The University Museum, The University of Tokyo

3 浜松市文化財課 Hamamatsu City's cultural assets

4 東海大学 Tokai University

\*Corresponding author: itahashi.yu.ga@u.tsukuba.ac.jp

2025年4月1日受付 2025年10月1日受理 Received 1 April 2025; Accepted 1 October 2025

mixture of four groups with different isotopic compositions in both bulk collagen and individual amino acids, indicating the possibility that pigs with different diets and habitats were used in the government office. The compound-specific nitrogen isotope analysis of individual amino acids is a powerful tool to better define feeding to animals and accumulation of them in a regional center in ancient societies.

**Keywords:** compound-specific nitrogen isotope analysis, diet, domestic pig, supply, ancient government office

## 1 | 日本列島の家畜ブタ

ブタはイノシシが家畜化された動物である。家畜の定義は研究者や分野によって違いが見られるが、畜産大事典(1996)では「家畜とはその生殖が人間の管理のもとにある動物」とされている。また「家畜は祖先の野生種と判別できる形質が遺伝されていなくてはならない」とする定義もある(黒澤2013)。累代飼育された動物が野生個体と生殖を隔離され、野生下ではあった自然選択が弱まり、あるいは人為的な選択がかかるようになることで、家畜個体には野生個体とは区別できる違いが表れるようになる。しかし野生種と家畜の関係は連続的であり、形質や遺伝的な差異による区別は難しい場合も多い。

一方、給餌や飼育などのヒトによる動物の管理は必ずしも家畜のみに対して行われる行為ではない。野生個体の生け捕りや餌付けのように、生殖管理や累代飼育を伴わない野生イノシシの管理も想定される。歴史上のイノシシ/ブタ利用を理解する上では、「家畜」と「野生」という二項対立ではなく、ヒトとどのような関係にあった個体が獲得・利用されていたのかを検証する必要がある。野生イノシシと家畜ブタの総称を本稿では「イノシシ類」と称する。イノシシ科には複数の種が含まれるが完新世の日本には*Sus scrofa*のみが生息し、家畜利用されるとされるため、本稿で言及するイノシシ類も*Sus scrofa*の野生個体か飼育個体である。ただし、ニホンイノシシやリュウキュウイノシシを*Sus scrofa*の亜種ではなく別種とする意見もある。

日本列島で家畜ブタが出現する時期については諸説あるが、弥生時代にヒトによるブタの飼育が開始されたとする説が有力である(Hongo and Anezaki 2007; 松井ほか2021; 米田ほか2023)。ところが、その後の古墳時代から近世までになると、遺跡で出土したイノシシ類骨における野生イノシシと家畜ブタが明確に区別された例

は多くない。すなわち弥生時代に家畜ブタが出現したとしても、その後も継続的にブタが飼育されていた状況はみられず、わずかに中・近世の遺跡の出土骨のミトコンドリアDNA分析や安定同位体分析によって家畜ブタないし飼育個体が含まれていることが指摘されるに留まる(丸山2018)。日本における家畜ブタ利用の伝統に関する議論が不十分である背景には、遺跡から出土する破片化した骨格部位の形態では野生イノシシと家畜ブタの区別が困難であることがあげられる。それに対して、野生下と管理下の個体間の食性の相違に注目した遺跡出土骨の安定同位体分析による食性復元は、表現型や遺伝形質の変化ではなく野生では想定しづらい人為的な餌の影響から飼育個体を検出できる方法として、イノシシの家畜化に関する議論に一石投じることになった(松井ほか2021; Itahashi et al. 2022; Matsui et al. 2005)。

一般的にイノシシは雑食動物とされ、昆虫やカエルなどの小動物を捕食しているとされる。また、インドネシアの島嶼では浜辺に打ち上げられた魚や貝類を半野生イノシシが捕食している姿が観察されている(Masseti 2007)。しかし食物組成を量的に見ると、野生イノシシが摂取する食物の90%以上を植物が占めており、また魚などの水産資源も主要な食料ではないことが報告されている(野林2009; Ballari and Barrios-Garcia 2014)。過去の野生イノシシも集落周辺の廃棄物や残飯漁りなどで人為的な影響を受けない限り、植物食動物に近い食性であったと考えられている。一方で、家畜化されてヒトの管理下にあるブタになると肉や魚などの動物性の食品を含む残飯や動物の内臓や乳製品の副産物である乳清、芋の皮などの食品加工に伴う残渣を与えられるようになる(Halstead and Isaakidou 2011)。ヒトと類似した食性に変化することで動物性タンパク質の寄与が上昇すると、骨の同位体比に変化が表れることで検出可能である。

ただし、放し飼いのブタやイヌは人糞を好んで食べる

ことが知られており（野林 2009；Butler et al. 2018）、同位体比の変化は直接的に動物性タンパク質を摂取していたのではなく人糞を食べていた影響である可能性もある。中国では歴史的に人糞を与えてブタを飼育する施設である豚便所が利用されており（西谷 2001；Liu and Jones 2016）、同様の施設は日本でも近世の琉球や奄美大島で作られていたことが知られている（森田 2016）。豚便所のような人糞や残飯でブタを養育する専用のシステムは構築されていなくても、放し飼いの個体が便所や生ゴミの廃棄場、炉端の排泄跡で人糞や残飯を漁っていた可能性はあり、餌のソースの一つとして考慮する必要がある（松井 2005）。

上記の通り、日本の古代における家畜ブタの存在や飼育方法は不明な点が多い。本稿が対象とする梶子遺跡が含まれる伊場遺跡群は、官衙に関連する遺構や遺物が出土している古代の地域センター的遺跡であり、渡来人や国外からの来賓の逗留も想定される遺跡である。本稿では奈良～平安時代の官衙遺跡から出土したイノシシ類の食性から、古代日本における家畜ブタの有無や野生イノシシ・家畜ブタの利用・管理方法について検討する。

## 2 | 同位体分析によるブタへの給餌の復元

近年の先史時代の家畜ブタに関する研究の多くは、遺跡から発掘された個々のイノシシ類骨の同位体分析をすることで、過去の社会でイノシシ類がどのような食物を食べていたかを推定している。骨コラーゲンのバルク炭素・窒素安定同位体比（ $\delta^{13}\text{C}_{\text{col}}$  と  $\delta^{15}\text{N}_{\text{col}}$ ）に基づく食性復元は、過去の人々の食習慣を調べる手法として知られているが、同様に動物骨の分析により個体が生前に何を食べていたかを明らかにすることができる。各生物の  $\delta^{13}\text{C}_{\text{col}}$  と  $\delta^{15}\text{N}_{\text{col}}$  は、その生物の生態と食物連鎖における位置により特徴的な値を示す（Schoeninger and DeNiro 1984；Yoneda et al. 2004）。通常、生物の  $\delta^{13}\text{C}_{\text{col}}$  は、主に消費した穀物の識別と海産物の寄与を評価するために使われる。アワやキビ、トウモロコシのような  $\text{C}_4$  植物の  $\delta^{13}\text{C}$ （ $-12\text{‰}$ ）は、多くの草本や木本を構成する  $\text{C}_3$  植物の  $\delta^{13}\text{C}$ （ $-26\text{‰}$ ）とは異なる値を示す（O'Leary 1981）。また、海洋植物は陸上  $\text{C}_3$  植物よりも  $\delta^{13}\text{C}$  値が高い（Tauber 1981）。捕食者の体組織の  $\delta^{13}\text{C}$

は餌よりも  $3.6\text{‰}$ ～ $5.3\text{‰}$ と上昇するため、この捕食に伴う  $\delta^{13}\text{C}$  の上昇を補正することで  $\text{C}_4$  植物や海産物の食性への寄与を推定できる（Fernandes et al. 2012；Froehle et al. 2010）。また、捕食者の体組織の  $\delta^{15}\text{N}$  は、餌よりも  $1.5\text{‰}$ ～ $5\text{‰}$ 上昇するため、動物の  $\delta^{15}\text{N}_{\text{col}}$  は動物の捕食-被捕食関係を示す指標となる（Hedges and Reynard 2007；McCutchan et al. 2003；Minagawa and Wada 1984）。また、ヒトやイヌ、ブタなどの雑食動物の場合は、 $\delta^{15}\text{N}_{\text{col}}$  は食事に占める動物性タンパク質の比率の指標となる（Minagawa et al. 2005）。人の飼育下にある家畜ブタは食性が野生イノシシとは異なってくるとされ、イノシシ類の  $\delta^{13}\text{C}_{\text{col}}$  と  $\delta^{15}\text{N}_{\text{col}}$  の変化に基づいて家畜ブタの出現を検証する試みが進められている（Hu et al. 2009；Itahashi et al. 2022 など）。

日本の事例では、縄文時代の本州のイノシシ類の多くはニホンジカと同等の  $\delta^{13}\text{C}_{\text{col}}$  と  $\delta^{15}\text{N}_{\text{col}}$  を持っており、縄文時代のイノシシ類からは残飯などの明確な給餌の証拠は見えておらず（覚張・米田 2014；Minagawa et al. 2005）、集落内のゴミ漁りなどのイノシシ側の片利共生的な集落への接近も明確ではない。一方で、弥生時代における現在の奈良県一帯では、シカとは異なりヒトやイヌに近い  $\delta^{15}\text{N}_{\text{col}}$  を持つ、動物性タンパク質を多く摂取した個体が確認されるようになる（米田 2015；米田ほか 2023）。奈良県の唐古・鍵遺跡で出土したイノシシ類の  $\delta^{15}\text{N}_{\text{col}}$  がヒトと同程度に高い群とニホンジカと同程度に低い群に二極化することが報告されている（米田 2015）。これは唐古・鍵遺跡で出土したイノシシ類に、ヒトから餌を与えられていた家畜ブタと野生イノシシの両方が含まれていた証拠であると考えられている。同様に、イノシシ類が  $\delta^{15}\text{N}_{\text{col}}$  で 2 群に分かれる傾向は神奈川県池子遺跡でも確認される（米田 2018；米田ほか 2023）。しかし、熊本県の上代町遺跡では、弥生時代から古墳時代までの時代の異なるイノシシ類骨が見つまっているが、唐古・鍵や池子遺跡の様な明確な  $\delta^{15}\text{N}_{\text{col}}$  の二峰性は確認されなかった（板橋 2022）。上代町の弥生時代のイノシシ類の  $\delta^{15}\text{N}_{\text{col}}$  は幅広い分布を示しており、値の高い一部の個体は人為的な影響を受けている可能性があるが、全体が連続的に分布しているため野生と家畜の識別や餌の定性的な評価が難しい。一遺跡から出土す

る植物食動物の  $\delta^{15}\text{N}_{\text{col}}$  にもある程度の幅が見られることが通例で、ヒトやイノシシ類の餌の同位体比を一意的に定めることは難しく、雑食動物の食性の定量的な復元は可能性のある範囲を示すに留まってしまう (Styring et al. 2017 など)。また、上代町の古墳時代のイノシシ類は  $\delta^{13}\text{C}_{\text{col}}$  と  $\delta^{15}\text{N}_{\text{col}}$  が高く海産物の寄与が認められるため人為的な餌を食べていたと考えられる。しかし、それ以外の同時代の本州遺跡で家畜ブタと指摘された例はほとんどなく、古墳時代には弥生時代の一部の遺跡で想定されていた残飯の給餌を伴うイノシシ類飼育が衰退した可能性も考えられる。以上の様に歴史を通じて家畜ブタの存在が曖昧であった日本において野生と飼育個体を識別し歴史的なブタ利用の変化を評価するためには、コラーゲンの炭素・窒素同位体分析に加えて、他の指標による評価も行う必要がある。

### 3 | 個別アミノ酸の窒素安定同位体分析

本研究ではイノシシ類の食性から飼育個体と野生イノシシを識別し、家畜ブタにどのような給餌が施されていたのかを復元するため、従来のバルクコラーゲンの炭素・窒素同位体分析に加えて、より高解像度で食性復元が可能な個別アミノ酸の窒素同位体分析を行った。

コラーゲンなどのタンパク質を構成する個々のアミノ酸を単離して窒素同位体比を測定する手法は、動物の食性をより高精度で計算する方法として開発され (力石ほか 2007)、考古学研究にも応用が始まっている (板橋ほか 2022; Fontanals-Coll et al. 2023; Itahashi et al. 2020; Lin et al. 2023; Styring et al. 2010)。その生物が生態系の中で繰り返される食物連鎖のどこに位置するのかを示すため、生態学では栄養段階 (Trophic position、以下 TP) という数値が定義されている。栄養段階は食物連鎖の起点である植物の TP は 1、食物連鎖の 2 段階目に位置する植物食動物は 2、3 段階目の肉食動物は 3 というように、その生物が食物連鎖の何番目に位置するのかを数値であらわしたものである。食物連鎖の関係が陸上生態系よりも多重に連続する海洋生態系では、TP がより高い段階の動物が多く存在する。個別アミノ酸の窒素同位体分析は、対象の個体の持つ 2 つのアミノ酸 (グルタミン酸とフェニルアラニン) の窒素同位体比の差に

基づいて食物消費を計算するため、従来の全タンパク質 (コラーゲン) の炭素・窒素同位体分析のように食物の同位体比を基準として必要とせず、TP をより高精度で推定することができる (Ohkouchi et al. 2017)。餌生物からそれを食べる消費者へ取り込まれる際に、グルタミン酸の  $\delta^{15}\text{N}$  値 ( $\delta^{15}\text{N}_{\text{Glu}}$ ) は  $+8.0 \pm 1.1\text{‰}$  増加するのに対し、フェニルアラニンのそれ ( $\delta^{15}\text{N}_{\text{Phe}}$ ) は  $+0.4 \pm 0.4\text{‰}$  程度とほとんど増加しない (Chikaraishi et al. 2010)。陸上の維管束植物の  $\delta^{15}\text{N}_{\text{Glu}}$  値と  $\delta^{15}\text{N}_{\text{Phe}}$  値の差 ( $\Delta^{15}\text{N}_{\text{Glu-Phe}}$ ) は変動が少なく一律の値を示すことが報告されており (Ramirez et al. 2021)、動物の  $\Delta^{15}\text{N}_{\text{Glu-Phe}}$  値は一次生産者から食物連鎖が上がるごとに増加する (Tejada et al. 2021)。したがって、 $\Delta^{15}\text{N}_{\text{Glu-Phe}}$  から個体の TP、そしてヒトやイノシシ類のような動物性と植物性食物の両方を食べる雑食動物の場合は動物性タンパク質摂取率を推定することができる (Itahashi et al. 2022)。また動物の糞の  $\Delta^{15}\text{N}_{\text{Glu-Phe}}$  はその動物の骨コラーゲンの  $\Delta^{15}\text{N}_{\text{Glu-Phe}}$  と近似した値を示す傾向があり (板橋 未公表)、人糞の摂取はヒトの肉を食べた場合と同様に動物性タンパク質の寄与として対象動物の  $\Delta^{15}\text{N}_{\text{Glu-Phe}}$  に表れる。そのため、人糞を餌としていた場合にもイノシシ類の  $\Delta^{15}\text{N}_{\text{Glu-Phe}}$  は上昇する。

また陸上の維管束植物に対し、水系生態系の一時生産者である藍藻類や植物プランクトンは  $\Delta^{15}\text{N}_{\text{Glu-Phe}}$  の値が異なっているため、陸上と水系の生態系では同じ TP にある動物でも  $\Delta^{15}\text{N}_{\text{Glu-Phe}}$  が異なることが知られている。そのため、陸上の生態系と海や川などの水系の生態系では TP の計算式が以下のように異なっている (Chikaraishi et al. 2010; Naito et al. 2016)。

$$\text{TP}_{\text{陸}} = [(\Delta^{15}\text{N}_{\text{Glu-Phe}} + 8.4) / 7.6] + 1$$

$$\text{TP}_{\text{水}} = [(\Delta^{15}\text{N}_{\text{Glu-Phe}} - 3.4) / 7.6] + 1$$

同じ TP の生物を比較した場合、水系の動物の方が陸上動物よりも  $\Delta^{15}\text{N}_{\text{Glu-Phe}}$  が高いことから、ある個体が水系と陸上の双方の生態系に由来する食物を合わせて摂取した場合には実際の食物連鎖の段階と同位体比から計算される TP にはズレが生じ、陸と水系の中間的な TP を取ると考えられる。また海産魚や淡水魚などの水生動物は  $\delta^{15}\text{N}_{\text{Phe}}$  が陸上植物食動物 (6~12‰程度) よりも低い傾向があり、例えば中国の浙江省の新石器時代遺跡出土

の淡水魚の  $\delta^{15}\text{N}_{\text{Phe}}$  は  $2.3 \pm 2.4\text{‰}$  である (板橋ほか 2022)。このため、 $\Delta^{15}\text{N}_{\text{Glu-Phe}}$  と  $\delta^{15}\text{N}_{\text{Phe}}$  を指標として、ヒトや動物の食性への水産資源の寄与を識別することが可能である (Fontanals-Coll et al. 2023; Itahashi et al. 2017, 2019; Naito et al. 2013, 2016)。海の生態系の動物は  $\text{C}_3$  植物を一次生産者とした一般的な陸上生態系の動物よりも炭素と窒素同位体比が有意に高いことが知られており、従来からコラーゲンの炭素・窒素同位体分析によってヒトや動物の海産物の消費が議論されてきた (南川 2001; Yoneda et al. 2002)。一方で、淡水魚のコラーゲンの炭素・窒素同位体比は比較的陸上動物と近い値であり、陸上動物と淡水魚の値が重なり合うことも多いため、淡水資源の部分的な寄与を識別することは難しかった。しかし、個別アミノ酸窒素同位体分析は陸上生態系と水生生態系の識別に秀でており、コラーゲンの炭素・窒素同位体分析よりも淡水産資源の寄与を高感度で検出することが可能である。寄与が少ない淡水魚の利用を検出することに優れるので、イノシシがヒトの残飯や排泄物などを通じて水産物を利用していたとすれば、その寄与を検出できる。

## 4 | 対象

### (1) 伊場遺跡群と梶子遺跡

分析資料である動物遺存体が出土した梶子遺跡は、静岡県西部の浜松市に位置する、縄文時代から近世までの複合遺跡である (浜松市教育委員会 2019)。梶子遺跡は、北に赤石山地、東に天竜川、西に浜名湖があり、南は遠州灘に面する浜松低地にあり、この低地は東西にのびる砂丘が発達している (図 1)。

梶子遺跡周辺には、伊場遺跡、城山遺跡、梶子北遺跡、中村遺跡、三永遺跡、九反田遺跡、鳥居松遺跡、畷東遺跡があり、伊場遺跡群として総称される。これらの遺跡では伊場遺跡で検出された大溝 (伊場大溝) の延長がそれぞれにも見られており、関連する一つの施設であった可能性がある。伊場遺跡群からは古代の官衙に関連する遺構や遺物が出土し、出挙などの収納に関わる木簡も検出されており、遠江国敷智郡衙として郡内の物資が集積する地域センターであったと見なされている (大橋 2024)。また奈良時代前後に日本へ導入された儀礼である積奠では、供犠として三牲 (大鹿、小鹿、豚) が捧げ



図 1 梶子遺跡所在地 (浜松市教育委員会 2019)

られていたとされ、これらの犠牲は国郡司によって調達されていた可能性が指摘されている（戸川 1995）。この「豕」が野生イノシシか飼育されたブタかは明らかでないが、官衙においてイノシシ類の需要があったことが見受けられる。また渡来人や国外からの来賓の逗留も想定される施設であることから当地では食肉の需要があり、その一つとして「豚肉」の利用があったことが予想される。

## (2) 分析資料

梶子遺跡出土動物骨の中で、種類が同定された 428 点の中で哺乳類が 365 点と最も多く、そのうちでイノシシ類は 39 点である。他に魚類が 53 点（淡水魚 35 点、海産魚 18 点）、甲殻類 4 点、両生類 3 点、鳥類 3 点が出土している（丸山 2019）。分析資料となる動物遺存体が出土したのは、梶子遺跡 19 次調査で検出した大溝 SD01 およびその内部に形成された小貝塚の SS05、SS06 である。大溝 SD01 は伊場大溝の延長であり、最下層は古墳時代、最上層は中世の遺物を包含しており、本研究の分析資料は古代の堆積土層から出土したものであり、官衙施設に関係したものであることが想定される。

本稿では梶子遺跡出土動物骨 23 点（イノシシ類 16 点、ニホンジカ 6 点、ウマ 1 点）でコラーゲン抽出を行い、炭素・窒素安定同位体分析に供した（表 1）。また抽出コラーゲンを加水分解し、個別アミノ酸の窒素安定同位体分析を行った。分析資料の出土層位の内訳は次の通りである。Ⅳ層は、奈良時代から平安時代（8 世紀後葉～10 世紀前葉）の遺物を含み、分析資料はイノシシ 11 点、シカ 6 点、ウマ 1 点である。分析試料としたウマ 1 点は、以前の報告書ではイノシシ/ブタと報告していたが（丸山 2019）、形態を再検討し再同定された。Ⅴ層は、奈良時代（8 世紀前葉～中葉）の遺物を含み、分析資料はイノシシ 2 点である。SS05 と SS06 は大溝 SD01 のⅣ層で検出した小規模な地点貝塚であり、奈良時代から平安時代（8 世紀後葉～10 世紀前葉）の遺物を含み、分析資料はそれぞれイノシシ 1 点である。これらには同一個体が含まれている可能性もあるが、大部分は別個体であると推測される。

## 5 | 方法

### (1) 動物骨資料の同定

本研究の分析資料の種や部位の同定は、現生骨格標本との形態学的特徴の比較によって行った（丸山 2019）。また、成長度は四肢骨の骨端の癒合状況および歯牙の萌出、咬耗状況に基づいて評価した。分析資料は、同一遺構からの出土であっても地点が異なるもの、保存状態が異なるもの、成長度が異なるものを選出し、個体識別を行った。

### (2) ゼラチン（水溶化コラーゲン）の抽出処理

骨試料のコラーゲン抽出処理はゼラチン化を用いて先行研究の方法をふまえて実施した（Longin 1971；Itahashi et al. 2019）。骨試料はサンドブラスターにより表面を研磨された後に、超純水中で超音波洗浄され、付着物を除去された。続いて試料をセルロース膜に封入の上、0.4 mol/L の HCl に 48 時間浸して脱灰し、骨中の無機分画や分子量の小さい有機物（12000～14000 Da 以下）を透析により除去した。超純水により中性化した試料を 0.1 mol/L NaOH 溶液中で遠心分離し、土壌由来の有機酸を除去した。試料を超純水で中性化した後に、pH 4 の HCl 中で 90℃、48 時間加熱してコラーゲンを水溶性ゼラチン化させ、ガラスフィルターでろ過することで不溶性有機物と分離した。回収した試料を凍結乾燥し、得られたゼラチンを同位体比分析に供した。

### (3) 遺跡出土骨抽出ゼラチンの品質評価

遺跡出土骨中のコラーゲンは土壌埋没中に続成作用による化学変化や土壌有機物の沈着、バクテリアや酵素反応によって変性し、バルクコラーゲンの炭素・窒素同位体比が本来の値から変化している可能性がある。現代の骨コラーゲンの炭素/窒素のモル数比（C/N 比）は 2.9～3.6 の範囲にあり、考古資料でも C/N 比がこの範囲にあるゼラチンは外来有機物の混入や変性が少なく、同位体比の変化も小さいと判断されている（DeNiro 1985）。

また、ゼラチンから単離・精製した個別アミノ酸の同位体分析であれば、C/N 比が 2.9～3.6 の範囲から外れた試料であっても、C/N 比が範囲内にある試料と変わ

表1 動物骨のコラーゲンと個別アミノ酸の同位体分析結果

| Sample name  | 層位        | 成長度  | 部位  | 左右 | コラーゲン<br>回収率 | %C   | %N   | C/N | $\delta^{13}\text{C}_{\text{col}}$ | $\delta^{15}\text{N}_{\text{col}}$ | $\delta^{15}\text{N}_{\text{Glu}}$ | $\delta^{15}\text{N}_{\text{Phe}}$ | $\Delta^{15}\text{N}_{\text{Glu-Phe}}$ | TP <sub>産</sub> | TP <sub>水</sub> |
|--------------|-----------|------|-----|----|--------------|------|------|-----|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|--|-----------------|-----------------|
| イノシシ_2726-2  | V         | 若獣   | 大腿骨 | 左  | 10.9         | 40.2 | 15.0 | 3.1 | -21.4                              | 4.1                                | 5.8                                | 2.6                                | 3.2                                    | 2.5             | 1.0             |
| イノシシ_1641    | V         | 成獣   | 上腕骨 | 右  | 10.8         | 43.7 | 15.4 | 3.3 | -21.6                              | 5.9                                | 7.6                                | 6.9                                | 0.7                                    | 2.2             | 0.6             |
| イノシシ_449     | IV        | 幼獣   | 上顎骨 | 右  | 10.6         | 41.8 | 15.9 | 3.1 | -19.4                              | 5.2                                | 7.5                                | 2.3                                | 5.3                                    | 2.8             | 1.2             |
| イノシシ_2177-14 | IV        | 幼獣   | 頭蓋骨 | 左  | 16.4         | 40.5 | 14.7 | 3.2 | -19.8                              | 4.8                                | 7.5                                | 2.5                                | 5.0                                    | 2.8             | 1.2             |
| イノシシ_2309    | IV        | 若獣   | 頭蓋骨 | 左  | 13.8         | 42.4 | 15.4 | 3.2 | -19.6                              | 4.2                                | 5.9                                | 4.1                                | 1.8                                    | 2.3             | 0.8             |
| イノシシ_2311-3  | IV        | 若獣   | 大腿骨 | 左  | 13.5         | 42.1 | 15.1 | 3.3 | -21.0                              | 3.7                                | 5.3                                | 3.4                                | 1.9                                    | 2.4             | 0.8             |
| イノシシ_442     | IV        | 成獣   | 下顎骨 | 左  | 11.9         | 42.7 | 15.4 | 3.2 | -19.7                              | 4.6                                | 6.4                                | 4.8                                | 1.6                                    | 2.3             | 0.8             |
| イノシシ_1025    | IV        | 成獣   | 大腿骨 | 右  | 14.9         | 40.3 | 14.9 | 3.2 | -20.0                              | 4.3                                | 6.5                                | 3.7                                | 2.8                                    | 2.5             | 0.9             |
| イノシシ_1646-6  | IV        | 成獣   | 上腕骨 | 右  | 13.3         | 38.3 | 14.6 | 3.1 | -21.0                              | 6.4                                | 8.0                                | 6.2                                | 1.8                                    | 2.3             | 0.8             |
| イノシシ_1646-20 | IV        | 成獣   | 頭蓋骨 | 右  | 19.2         | 40.0 | 15.0 | 3.1 | -20.9                              | 4.7                                | 7.0                                | 5.1                                | 1.8                                    | 2.3             | 0.8             |
| イノシシ_1919-2  | IV        | 成獣   | 上腕骨 | 左  | 9.8          | 43.8 | 15.8 | 3.2 | -19.6                              | 4.7                                | 6.7                                | 5.4                                | 1.3                                    | 2.3             | 0.7             |
| イノシシ_1949    | IV        | 成獣   | 下顎骨 | 左  | 10.5         | 42.7 | 15.9 | 3.1 | -21.0                              | 5.0                                | 7.3                                | 5.1                                | 2.3                                    | 2.4             | 0.8             |
| イノシシ_2311-13 | IV        | 成獣   | 下顎骨 | 左  | 12.7         | 42.2 | 15.2 | 3.2 | -19.9                              | 3.7                                | 5.0                                | 3.9                                | 1.2                                    | 2.3             | 0.7             |
| イノシシ_2512    | IV        | 成獣   | 脛骨  | 右  | 10.6         | 44.0 | 15.9 | 3.2 | -20.7                              | 6.8                                | 7.8                                | 6.2                                | 1.5                                    | 2.3             | 0.8             |
| イノシシ_2057    | IV (SS05) | 成獣   | 下顎骨 | 右  | 13.3         | 43.0 | 15.5 | 3.2 | -21.3                              | 6.5                                | 8.7                                | 6.7                                | 2.0                                    | 2.4             | 0.8             |
| イノシシ_2461    | IV (SS06) | 成獣   | 下顎骨 | -  | 14.2         | 42.1 | 15.9 | 3.1 | -20.5                              | 5.1                                | 6.5                                | 5.2                                | 1.3                                    | 2.3             | 0.7             |
| シカ_434       | IV        |      | 下顎骨 | 左  | 11.8         | 46.4 | 17.1 | 3.2 | -20.9                              | 4.2                                | 5.9                                | 8.5                                | -2.6                                   | 1.8             | 0.2             |
| シカ_460       | IV        |      | 尺骨  | 左  | 14.8         | 44.3 | 16.8 | 3.1 | -20.5                              | 4.5                                | 6.8                                | 7.0                                | -0.3                                   | 2.1             | 0.5             |
| シカ_1686      | IV        |      | 尺骨  | 左  | 16.4         | 46.5 | 17.3 | 3.1 | -20.1                              | 3.7                                | 5.7                                | 7.7                                | -2.1                                   | 1.8             | 0.3             |
| シカ_1948      | IV        |      | 頭蓋骨 | 右  | 12.4         | 46.5 | 17.2 | 3.2 | -19.1                              | 3.7                                | 5.7                                | 6.5                                | -0.8                                   | 2.0             | 0.4             |
| シカ_2311-11   | IV        | 成獣   | 下顎骨 | 右  | 9.9          | 46.7 | 17.2 | 3.2 | -20.5                              | 4.6                                | 6.1                                | 6.9                                | -0.9                                   | 2.0             | 0.4             |
| シカ_1687      | IV上部      |      | 下顎骨 | 左  | 10.2         | 47.6 | 17.2 | 3.2 | -19.8                              | 4.1                                | 5.2                                | 6.7                                | -1.5                                   | 1.9             | 0.4             |
| ウマ_1646-7    | IV        | 幼/若獣 | 上腕骨 | 右  | 10.9         | 42.4 | 14.9 | 3.3 | -19.4                              | 6.9                                | 8.3                                | 8.7                                | -0.3                                   | 2.1             | 0.5             |

らない窒素同位体比が得られることが報告されている (Itahashi et al. 2017; Naito et al. 2013)。遺跡出土骨から抽出されたゼラチンのC/N比が変化する要因の一つに植物性の腐植酸（フミン酸やフルボ酸）の沈着がある (板橋 2020)。フミン酸やフルボ酸は窒素含有率がアミノ酸やコラーゲンに対して非常に低いため、植物性の腐植酸が残存したゼラチンは窒素に対して炭素の含有量が上昇する。個別アミノ酸の窒素同位体分析では、骨から抽出されたゼラチンをアミノ酸に加水分解した上で、精製処理やガスクロマトグラフィによるアミノ酸の単離を行い、アミノ酸以外の成分を除去している。このため、個別アミノ酸の窒素同位体分析では、コラーゲン抽出処理ではゼラチンから除ききれなかった外来成分も除去されてから同位体比が測定されるために窒素同位体比への影響が顕在化しづらいつと考えられる。しかしながら、ゼラチンのC/N比が変動する要因は外来炭素の沈着だけでなく、ペプチドの分解によるアミノ酸組成の変化なども考えられるため、C/N比以外にも考古資料から抽出されたゼラチンの品質評価に使われる骨からのコラーゲ

ン回収率 (> 1%) (Ambrose 1993) などの指標も合わせて用いることで、保存状態の悪いゼラチン試料は議論から除外した。

#### (4) バルクコラーゲンの炭素・窒素同位体分析

ゼラチン（水溶性コラーゲン）の炭素および窒素の重量含有率および安定同位体比は、東京大学 総合研究博物館 放射性炭素年代測定室において、EA-IRMS (Thermo Flash2000 elemental analyzer and Thermo Delta V Advantage isotope ratio mass spectrometer) で測定した。ゼラチン 0.4mg の窒素同位体比 ( $\delta^{15}\text{N}_{\text{col}}$ ) と炭素同位体比 ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{col}}$ ) を測定した。 $\delta^{15}\text{N}_{\text{col}}$  は標準大気、 $\delta^{13}\text{C}_{\text{col}}$  は国際標準である Vienna Pee Dee Belemnite の同位体比で標準化した。測定誤差は、同位体比が値付けされているアミノ酸標準物質を試料と同時に測定することで標準偏差を計算した。通常の測定では、 $\delta^{15}\text{N}_{\text{col}}$  の測定誤差は  $\pm 0.1\%$ 、 $\delta^{13}\text{C}_{\text{col}}$  の誤差は  $\pm 0.1\%$  である。

## (5) 個別アミノ酸の窒素同位体分析

個別アミノ酸の窒素同位体分析のため、上述のコラーゲン抽出処理で回収されたゼラチンに加水分解処理とガスクロマトグラフィに供するための誘導体化処理を実施した (Itahashi et al. 2020)。ゼラチン試料 2mg を 12 mol/L の HCl で 110°C、12 時間加熱してゼラチンタンパク質のペプチド鎖を切断し、個別のアミノ酸に分解した。続いて、アミノ酸溶液にヘキサン/ジクロロメタン (3/2, v/v) を加えて攪拌し、脂質などの夾雑物を含む有機層 (ヘキサン/ジクロロメタン) を取り除いた。試料溶液を乾燥させた後に、塩化チオニル/イソプロパノール (1/4, v/v) を加えて 110°C、2 時間加熱した。窒素吹付け乾燥で反応試薬を取り除いた後に、塩化ピバロイル/ジクロロメタン (1/4, v/v) を加えて 110°C、2 時間加熱した。再度の窒素吹付け乾燥で反応試薬を取り除いた後に、超純水とヘキサン/ジクロロメタン (3/2, v/v) を加えて攪拌し、誘導体化アミノ酸を含む有機層を回収した。回収した誘導体化アミノ酸溶液は濃度を調整した上で窒素同位体比分析に供した。

個別アミノ酸の窒素安定同位体比は、東京大学 総合研究博物館 放射性炭素年代測定室において、GC-C-IRMS (TRACE1310GC, Isolink II and Thermo Delta V Advantage isotope ratio mass spectrometer) で測定した。測定誤差は、同位体比が値付けされているアミノ酸標準物質を試料と同時に測定することで標準偏差を計算した。アミノ酸標準物質の  $\delta^{15}\text{N}_{\text{Glu}}$  の測定誤差は  $\pm 0.4\%$ 、 $\delta^{15}\text{N}_{\text{Phe}}$  の測定誤差は  $\pm 0.4\%$  である。本稿では  $\delta^{15}\text{N}_{\text{Glu}}$  と  $\delta^{15}\text{N}_{\text{Phe}}$  および  $\Delta^{15}\text{N}_{\text{Glu-Phe}}$  を用いて計算した TP を報告する。

## 6 | 結果

### (1) バルクコラーゲンの炭素・窒素同位体比分析

本研究で前処理に供した梶子遺跡出土骨の回収ゼラチンは、すべての試料で骨からのコラーゲン回収率が 1% よりも高く、C/N 比は 2.9~3.6 の範囲に収まっており、同位体分析の結果に影響を与えるような変性や外来成分の沈着はないと判断された (表 1)。

梶子遺跡出土のイノシシ類、ニホンジカおよびウマの分析結果を表 1、図 2 にまとめた。コラーゲンの炭素・

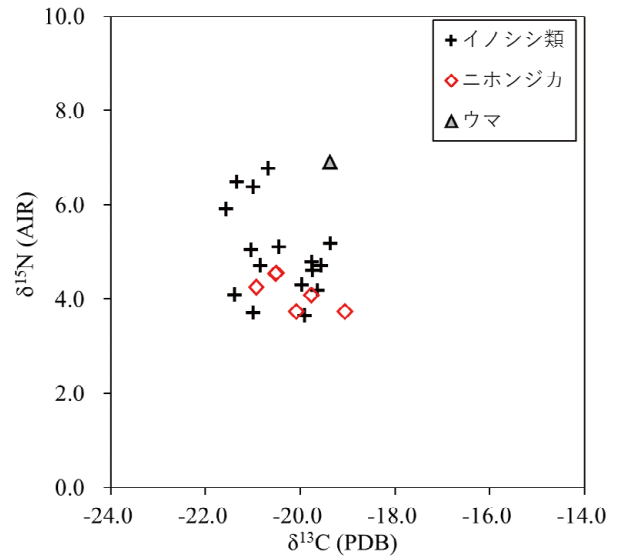


図 2 骨コラーゲンの炭素・窒素同位体比

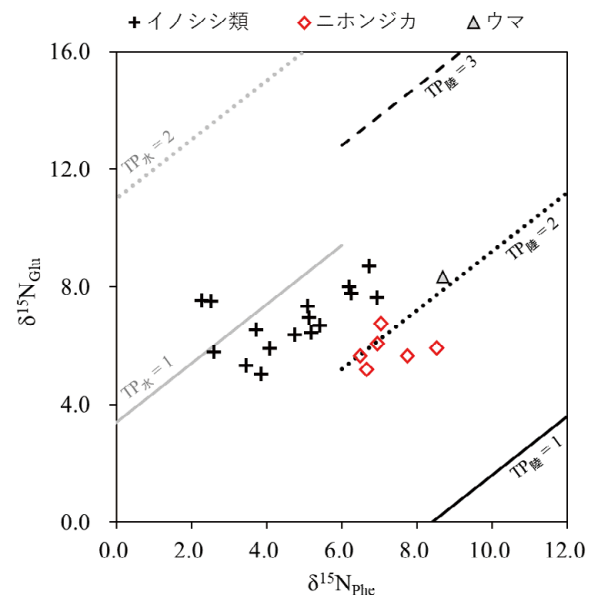


図 3 個別アミノ酸 (グルタミン酸: Glu とフェニルアラニン: Phe) の窒素同位体比

窒素同位体比分析の結果、イノシシ類の  $\delta^{13}\text{C}_{\text{col}}$  は  $-20.5 \pm 0.7\%$  (平均  $\pm$  標準偏差)、 $\delta^{15}\text{N}_{\text{col}}$  は  $5.0 \pm 1.0\%$  となった (表 1、図 2)。ニホンジカの  $\delta^{13}\text{C}_{\text{col}}$  は  $-20.1 \pm 0.7\%$ 、 $\delta^{15}\text{N}_{\text{col}}$  は  $4.2 \pm 0.4\%$  であった。ウマ 1 個体の  $\delta^{13}\text{C}_{\text{col}}$  は  $-19.4\%$  でニホンジカやイノシシ類と重なる値となったが、 $\delta^{15}\text{N}_{\text{col}}$  は  $6.9\%$  とイノシシ類よりも高い値を示した。

### (2) 個別アミノ酸の窒素同位体比分析

梶子遺跡出土の動物骨の個別アミノ酸の窒素同位体分析の結果を表 1、図 3 にまとめた。イノシシ類の  $\delta^{15}\text{N}_{\text{Phe}}$

( $4.6 \pm 1.5\%$ ) はニホンジカ ( $7.2 \pm 0.8\%$ ) とは異なる値を示しており、ニホンジカとは異なる食物連鎖の食物を消費していたようである。ウマはニホンジカやイノシシ類よりも高い  $\delta^{15}\text{N}_{\text{Phe}}$  ( $8.7\%$ ) を持っている。

イノシシ類の  $\text{TP}_{\text{陸}}$  は  $2.4 \pm 0.2$  と計算され、雑食傾向が示された。ニホンジカの  $\text{TP}_{\text{陸}}$  は  $1.9 \pm 0.1$  と計算され、理論的な陸上植物食動物の値を取った。バルクコラーゲンではイノシシ類よりも高い  $\delta^{15}\text{N}_{\text{col}}$  を示したウマだが、個別アミノ酸分析では  $\text{TP}_{\text{陸}}$  は  $2.1$  と生態から予想される植物食動物としての値を示した。

## 7 | 考察

個別アミノ酸の窒素同位体比分析でイノシシ類の  $\delta^{15}\text{N}_{\text{Phe}}$  ( $4.6 \pm 1.5\%$ ) はニホンジカ ( $7.2 \pm 0.8\%$ ) とは異なる値を示しており、ニホンジカとは異なる食物連鎖の食物を消費していたようである (図3)。ウマはニホンジカやイノシシ類よりも高い  $\delta^{15}\text{N}_{\text{Phe}}$  ( $8.7\%$ ) を持っていることから、他の動物とは異なる  $\delta^{15}\text{N}$  が高い植物を与えられていたと考えられる。ウマのバルクコラーゲンの  $\delta^{15}\text{N}_{\text{col}}$  がイノシシ類よりも高かった要因も与えられていた植物の違いにあると考えられる。

イノシシ類が消費していたニホンジカとは異なる食物連鎖の餌として検討すべき候補の一つが海産物である。

$\delta^{15}\text{N}$  と  $\delta^{13}\text{C}$  が陸上動植物より高い海産物を多量に摂取していた場合、イノシシ類は  $\delta^{15}\text{N}_{\text{col}}$  と同時に  $\delta^{13}\text{C}_{\text{col}}$  も相関して高くなるはずである。先行研究において、海産物を摂取していたと見なされている熊本県の上代町遺跡から出土した古墳時代のイヌ ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{col}}$ :  $-16.6 \pm 0.6\%$ 、 $\delta^{15}\text{N}_{\text{col}}$ :  $10.2 \pm 0.4\%$ ) は、同遺跡のニホンジカ ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{col}}$ :  $-21.5 \pm 0.0\%$ 、 $\delta^{15}\text{N}_{\text{col}}$ :  $4.7 \pm 0.6\%$ ) (板橋ほか2022) よりも炭素と窒素の両方が有意に高い値を示している。しかし、梶子遺跡のイノシシ類では海産物の大きな寄与を示す  $\delta^{15}\text{N}_{\text{col}}$  と  $\delta^{13}\text{C}_{\text{col}}$  が共に高い個体は見られず、 $\delta^{13}\text{C}_{\text{col}}$  はニホンジカと重なる範囲にある。 $\delta^{13}\text{C}_{\text{col}}$  が  $-20.5 \pm 0.7\%$  と低いことから梶子遺跡のイノシシ類は海産物や海獣類、海貝などの海産物はほとんど食べていなかったようである。

個別アミノ酸の窒素同位体分析において、 $\Delta^{15}\text{N}_{\text{Glu-Phe}}$  は値が高いほど肉食性が強い、もしくは水産資源の寄与が大きいと解釈される (Fontanals-Coll et al. 2023; Itahashi et al. 2017, 2019)。また水系生態系の  $\delta^{15}\text{N}_{\text{Phe}}$  は陸上生態系よりも低く、水産資源を食べている個体は同じ遺跡の陸上植物食動物よりも  $\delta^{15}\text{N}_{\text{Phe}}$  が低くなる (Fontanals-Coll et al. 2023; Itahashi et al. 2017)。そのため、個体によって水産資源消費の多寡に個体差がある集団は、図4のような  $\Delta^{15}\text{N}_{\text{Glu-Phe}}$  を縦軸、 $\delta^{15}\text{N}_{\text{Phe}}$  を横軸

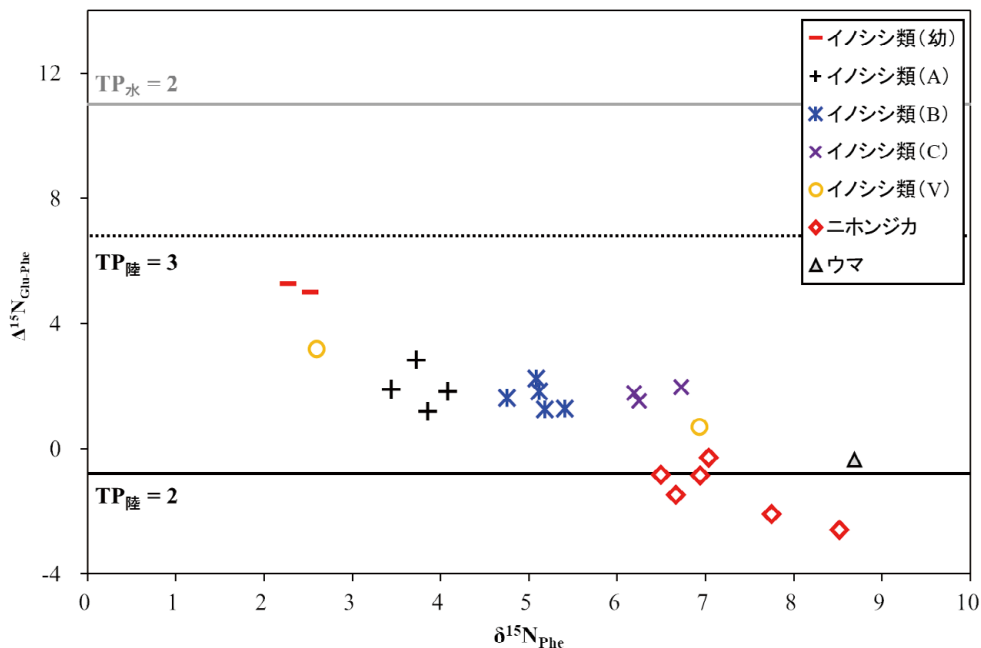


図4 横軸：フェニルアラニンの窒素同位体比、縦軸：グルタミン酸とフェニルアラニンの窒素同位体比の差

にした図において、水生動物（左上）と陸上植物食動物（右下）を結ぶ斜めの直線上に並ぶと予想される。ただし、バルクコラーゲンの  $\delta^{13}\text{C}_{\text{Col}}$  では海産物の寄与が見られないことから、イノシシ類の成獣や若獣が多様な  $\delta^{15}\text{N}_{\text{Phe}}$  を示した理由として海産資源の多寡は余り関係していないと考えられる。

梶子遺跡のイノシシ類はバルクコラーゲン、個別アミノ酸共に異なる傾向を示す個体が混在しており、食性や生息環境の異なる個体が含まれていると考えられる（図2、図3）。バルクコラーゲンの炭素・窒素同位体分析では、池子遺跡や唐古・鍵遺跡（米田 2018；米田ら 2023）と同様に、シカと重なる  $\delta^{15}\text{N}_{\text{Col}}$  の低い群（3.7~5.2‰）

とシカよりも高い  $\delta^{15}\text{N}_{\text{Col}}$ （5.9~6.8‰）を持つ群の2群に分かれているように見受けられる（図2）。イノシシ類の中で  $\delta^{15}\text{N}_{\text{Col}}$  の違いが見られた要因として海産物摂取の多寡以外の理由を考える必要がある。梶子遺跡のイノシシ類では  $\delta^{15}\text{N}_{\text{Phe}}$  が3‰を下回る2個体が他よりも高い  $\Delta^{15}\text{N}_{\text{Glu-Phe}}$  を示した。しかし、この2個体はM1が放出中の幼獣であり、授乳の影響が骨の同位体比に残っている可能性がある（図4）。母親の母乳を飲んでいる幼獣は、同位体動態では母親の肉を捕食しているのと同様と見なすことができる（蔦谷・米田 2015）。バルクコラーゲンとアミノ酸の安定同位体比の相関を示した図においても、幼獣2個体は若獣や成獣イノシシ類とは異なる

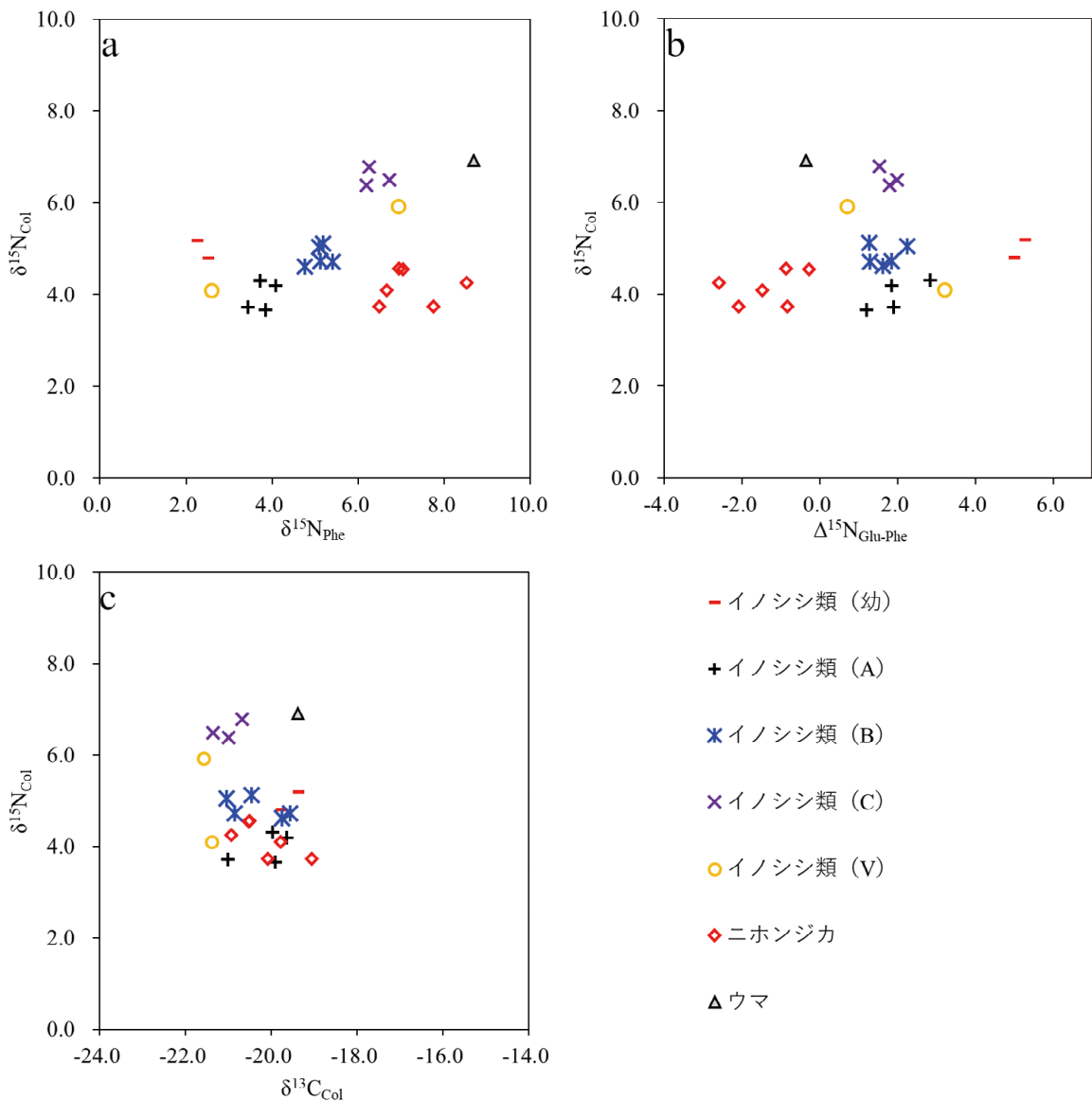


図 5a フェニルアラニンの窒素同位体比とコラーゲンの窒素同位体比  
 図 5b グルタミン酸とフェニルアラニンの窒素同位体比の差とコラーゲンの窒素同位体比  
 図 5c コラーゲンの炭素同位体比と窒素同位体比

る位置にプロットされている。幼獣2個体の高い $\Delta^{15}\text{N}_{\text{Glu-Phe}}$ は水産資源の消費や高い肉食率を示すものではなく、授乳の影響を残していると解釈すべきであろう。また出土層位で見ると、V層出土の2個体は、幼獣を除いたIV層のイノシシ類を挟んだ両端に位置しており、 $\Delta^{15}\text{N}_{\text{Glu-Phe}}$ にも違いが見られる。このうち、 $\delta^{15}\text{N}_{\text{Phe}}$ がIV層の幼獣と同等に低い個体は若獣であり、もう1個体は成獣であるため、成長段階に伴い食性が異なっていた可能性がある。

また興味深いことに、バルクコラーゲンの炭素・窒素同位体比とアミノ酸の窒素同位体比を合わせることで、IV層のイノシシ類の若獣・成獣の同位体比が小グループに分かれる傾向が見えてきた(図5)。そこで本稿では授乳の影響が想定される幼獣を除いたIV層出土のイノシシ類を $\delta^{15}\text{N}_{\text{Phe}}$ によってA群(2.6~4.1‰)、B群(4.8~5.4‰)、C群(6.2~8.7‰)に分けて評価する。A群、B群、C群は $\delta^{15}\text{N}_{\text{Phe}}$ が異なるだけでなく、 $\delta^{15}\text{N}_{\text{col}}$ と $\delta^{15}\text{N}_{\text{Phe}}$ を軸にした図(図5a)、 $\delta^{15}\text{N}_{\text{col}}$ と $\Delta^{15}\text{N}_{\text{Glu-Phe}}$ を軸にした図(図5b)においても分布の違いが示された。バルクコラーゲンの $\delta^{15}\text{N}_{\text{col}}$ と $\delta^{13}\text{C}_{\text{col}}$ を示した図(図5c)では、C群は高い $\delta^{15}\text{N}_{\text{col}}$ によって他の2群と区別されたが、A群の一部とB群は重なる結果となった。

A群はシカと重なる低い $\delta^{15}\text{N}_{\text{col}}$ をもっている一方で、低い $\delta^{15}\text{N}_{\text{Phe}}$ によりニホンジカとは異なる環境の植物の摂食が予想される一群である。骨に未癒合の部位が残ることから若獣と年齢推定された2個体全てがここに分類され、残り2個体も若い個体である可能性が指摘されている。このグループはアミノ酸で見るとシカとは大きく異なる低い $\delta^{15}\text{N}_{\text{Phe}}$ を持っているため、水産資源を餌として与えられていた可能性がある。 $\delta^{13}\text{C}_{\text{col}}$ が低いことから主に寄与した水産資源は、海産物ではなく淡水産であったようである。A群の $\delta^{15}\text{N}_{\text{col}}$ はニホンジカと重なっており、従来のバルクコラーゲンの炭素・窒素同位体分析の解釈では植物食の野生イノシシと考えられていた値を持っている。しかし、個別アミノ酸では植物食のニホンジカと大きく異なる値を示した。このようなバルクコラーゲンと個別アミノ酸の分析で解釈の「不一致」が見られた要因は、A群が $\delta^{15}\text{N}$ の低い食物連鎖網の資源を餌としていたためと思われる。動物の $\delta^{15}\text{N}_{\text{Phe}}$ は食

物連鎖の起点となった植物や植物プランクトンの値を引き継いでいるため、 $\delta^{15}\text{N}_{\text{Phe}}$ はその動物が所属する食物連鎖全体の $\delta^{15}\text{N}$ の指標となる(力石ほか2007; Chikaraishi et al. 2010)。A群は動物性タンパク質や淡水産資源を食べる肉食性の強い雑食であったが、同時にニホンジカよりも $\delta^{15}\text{N}_{\text{Phe}}$ と $\delta^{15}\text{N}$ の低い植物を食べていたために、バルクコラーゲンの $\delta^{15}\text{N}$ ではニホンジカと重なり、草食動物と区別が付かなくなってしまったと考えられる。

島嶼を除いて野生イノシシは植物食傾向が強く、魚や水生動物を多量に食べることはないと考えられるため(野林2009; Ballari and Barrios-Garcia 2014)、A群は生ゴミを漁るかヒトから餌を与えられることで水産資源を得ていたと思われる。梶子遺跡では多数の魚骨が出土しているが、フナやナマズ、コイなどの淡水魚が過半数(35/53)を占めている。なお、残りの18点は汽水あるいは海産魚であるが分類群ごとの出土数は限られている。これらのヒトが漁獲した水産資源が餌として与えられていた可能性がある。もしくは魚を調理した際の廃棄物として出る魚の皮や頭、骨などのヒトが食べない非可食部もブタの餌の候補として重要である。民族事例では、集落から離れた狩猟場所で解体作業が行われる大型の哺乳類よりも、集落内で解体が行われる小型動物の方が廃棄物として集落内で捨てられるタンパク質の量が豊富であったことが報告されている(O'Connell et al. 1988)。同様の現象は集落や住居で解体・調理されたと想定されるフナやナマズなどの淡水魚についても想定でき、集落で魚を調理した後のゴミとしてタンパク質を含んだ残渣が大量に捨てられ、イノシシ類が餌としていたことが考えられる。淡水魚のようなヒトの食物に近い餌を食べていたことから、A群は人の生活圏内に生息する個体群であると思われる。時期の異なるV層でも若獣の $\delta^{15}\text{N}_{\text{Phe}}$ が低いことから、梶子遺跡では人為的な食性を持つイノシシ類を若齢のうちに屠殺していたようである。

また先述の幼獣2個体の $\delta^{15}\text{N}_{\text{Phe}}$ は3群の中ではもともとA群に近い。さらに幼獣のバルクコラーゲンの $\delta^{15}\text{N}_{\text{col}}$ がA群よりもやや高いことも授乳の効果で説明できる(蔦谷・米田2015)。このため、これらの幼獣はA群の属するグループの子どもであったと考えられる。

①自然と異なる餌の摂取、②若齢での屠殺、③そして幼

獣が伴うことから、A群は累代飼育をされていた「家畜ブタ」と見なすことができる。

B群は水産資源の明確な寄与は示されなかったが、 $\delta^{15}\text{N}_{\text{Phe}}$ がニホンジカとは異なっており、異なる食物連鎖に位置づけられる。陸産の動植物を主体とした餌を食べていたが、ニホンジカが生息していた山林とは異なる環境で採餌していたと考えられる。おそらくC<sub>3</sub>植物を中心に陸上動物性タンパク質が少量含まれていたと想定される。トルコやカザフスタンの野生イノシシのTP<sub>陸</sub>が $2.1 \pm 0.1$ であるのに対し (Itahashi 2022; Itahashi et al. 2017, 2020)、B群は $2.3 \pm 0.0$ と高く、より肉食性が強い。人為的な環境から離れて自然環境で採食する野生イノシシに比べて肉食性が上昇していることから、B群も動物性タンパク質を含む生ゴミや人糞を摂食しており、人為的な影響から離れた完全な野生個体を狩猟してきたものではなかったと評価できる。

バルクコラーゲンの分析において $\delta^{15}\text{N}_{\text{col}}$ が高く従来の解釈に従えば家畜ブタであるとされるC群は、個別アミノ酸の分析により水産資源を含まない、陸産動植物で構成された餌を食べていたことが明らかとなった。 $\delta^{15}\text{N}_{\text{col}}$ が高くなる理由として肉食以外に、施肥を受けた作物の消費が考えられる。個別アミノ酸で見た場合には施肥を受けるとほとんどのアミノ酸の $\delta^{15}\text{N}$ が平行して上昇する (Styring et al. 2014)。そのため、施肥を受けた作物を食べた動物の $\delta^{15}\text{N}_{\text{Phe}}$ や $\delta^{15}\text{N}_{\text{Glu}}$ は上昇するが、その差分である $\Delta^{15}\text{N}_{\text{Glu-Phe}}$ やTPが上がることはない。C群の $\delta^{15}\text{N}_{\text{col}}$ が最も高い理由は施肥を受けた作物を餌として与えられた可能性も考えられる。また植物の水稲は嫌気的な水田土壌の影響で $\delta^{15}\text{N}$ が高くなることが指摘されており (米田ほか 2019)、施肥と同様に水稲は乾燥状態で栽培される畑作の植物よりも各アミノ酸が高い値にシフトしている (Itahashi et al. 2020)。C群の高い $\delta^{15}\text{N}_{\text{col}}$ は水稲のコメを多く消費していたことで説明できるかもしれない。V層出土の成獣個体もC群と近似したバルクコラーゲンと個別アミノ酸の窒素同位体比を示しており、同様の食性であったと考えられる。

梶子遺跡IV層のイノシシ類の同位体比は大きく3タイプに分かれており、管理・給餌方法の異なるブタが利用されていたようである。出土するイノシシ類骨が同位体

比によって異なるグループに分けられる点は唐古・鍵遺跡や池子遺跡など弥生時代の大規模遺跡 (米田 2015, 2018)と同様であるが、植物食の野生イノシシと動物性食物を与えられた家畜ブタの2群の混在として解釈できる弥生時代のイノシシ類利用とは異なる状況が想定される。梶子遺跡のイノシシ類は全体として人為的な餌を採餌しており、人里離れた場所に生息する野生イノシシの狩猟はイノシシ類の供給方法として主要でなかったと考えられる。

ただし、同位体分析による食性復元で識別できることは個体が摂取した餌が人為的であるかどうかである。野生個体を捕獲して餌を与えて肥育していた場合やイノシシ類が自発的に人里の廃棄物を漁りに来ていた場合、野良イヌのように集落内をうろついているがヒトによる繁殖管理や積極的な給餌はされていない野良ブタ状態の個体など、ヒトによって累代管理された完全な「家畜ブタ」とは限らないイノシシ類の利用も想定される。しかしながら、控えめに見積もってC群がヒトに近い環境にまで接近して採餌していた野生イノシシだとしても、A群のように野生では説明がし難い状況の個体が含まれることから、梶子遺跡で家畜ブタが利用されていたのは間違いないと思われる。A群とB群の違いについては、A群は若齢やその可能性がある個体で占められることから、年齢によって異なる餌を選択的に与えていた可能性もあるが、放し飼いのブタと家畜小屋に囲い込んでいたブタといった管理方法の違いである可能性もある。また官衙施設である梶子遺跡の性質を考えると自給自足的にブタを賄うだけでなく、周辺の農村部からの供給が有ったことは想像に難くない。梶子遺跡のイノシシ類が3群、幼獣を入れれば4群に分かれたことは、複数の供給方法でブタが賄われていたことを反映している可能性があり、今後は官衙でのブタの利用と供給に関する当時の文献等での検証が待たれる。

1個体であるが本研究で分析した若齢のウマは、バルクコラーゲンの炭素・窒素同位体比、アミノ酸の窒素同位体比の共にニホンジカともイノシシ類とも異なる値を示した。TPが典型的な植物食動物である一方で $\delta^{15}\text{N}_{\text{col}}$ や $\delta^{15}\text{N}_{\text{Phe}}$ が高いことから、窒素同位体が総じて高い環境の植物を消費していたことが示唆される。現状では比

較対象が野生と思われるニホンジカと雑食動物のイノシシ類しかないため、ウマに与えられていた餌について推測できることは多くない。古墳時代のウマの歯エナメル質の炭素安定同位体分析では、3歳を過ぎた頃からC<sub>4</sub>植物を多く摂取していた個体が多数見つまっている（丸山・覚張 2019）。海岸部や島嶼地域を除いた日本列島の草原や森林ではC<sub>3</sub>植物が優先している。放牧による採餌でウマが歯の炭素同位体比に表れるほどの量のC<sub>4</sub>植物を食べるとは想定しづらく、古墳時代には3歳を超えたウマにはC<sub>4</sub>植物であるアワやキビなどの雑穀を与える風習があったと考えられている。しかし、梶子遺跡のウマの $\delta^{15}\text{N}_{\text{col}}$ にはC<sub>4</sub>植物の影響を見えず、雑穀は与えられていなかったようである。

## 8 | おわりに

本研究では、アミノ酸の窒素同位体分析という近年に開発された新しい手法を古代日本のイノシシ類骨に応用した。本研究は、新手法の有用性を実資料で検証し、可能性を示すことも目的の一つであった。今回の分析対象である梶子遺跡のイノシシ類を従来のバルクコラーゲンの炭素・窒素同位体分析だけで評価すれば、野生と家畜

の2群に分かれるという弥生時代のイノシシ類と同様の評価となっていただろう。しかし、バルクコラーゲンの炭素や窒素同位体比に複数のアミノ酸の窒素同位体比という新たな軸を加えて評価することで、幼獣個体や餌の異なるグループを識別することが可能になり、奈良～平安時代には弥生時代とは異なる複雑なブタ/イノシシ利用があったことが浮き彫りとなった。今回の結果はあくまで一官衙遺跡における結果であり、またその測定データも数が限られるため、古代日本のブタ利用のミッシングリンクを埋めるには至っていないが、今後も本手法による検証を進めることで日本における家畜ブタの歴史とその変遷に迫っていく所存である。

## 謝辞

総合研究大学院大学の本郷一美氏にはイノシシ類利用の歴史に関する広範なご教示を賜った。また東京大学総合研究博物館 放射性炭素年代測定室の斎藤誠史氏をはじめとする皆様には、同位体分析の装置測定を行うにあたり多大な協力を賜った。この場を借りて感謝の意を表する。

## 引用文献

- 板橋悠 2020 「分析試料の正しい取り扱いかた」『ぶんせき』2020 (8) : 276-281
- 板橋悠 2022 「上代町遺跡群出土骨のコラーゲン炭素・窒素同位体分析と個別アミノ酸窒素同位体分析による食性復元」熊本市教育委員会編『上代町遺跡群 IV 一上代町遺跡群第5次調査区発掘調査報告書一』熊本市教育委員会 170-179
- 板橋悠・覚張隆史・米田穰・菊地大樹・丸山真史・劉斌・王寧遠・中村慎一 2022 「個別アミノ酸窒素同位体分析によるイノシシ類の食性と利用の復元」中村慎一編『中国江南の考古学』中国文明起源プロジェクト 213-223
- 大橋泰夫 2024 『郡衙遺跡からみた地方支配』同成社
- 覚張隆史・米田穰 2014 「加曾利貝塚出土イノシシ・シカの安定同位体分析」『貝塚博物館紀要』41 : 1-6
- 黒澤弥悦 2013 「イノシシがブタになるとき—どのように始まるのだろうか?」『All about SWINE』42 : 49-57
- 力石嘉人・柏山祐一郎・小川奈々子・大河内直彦 2007 「生態学指標としての安定同位体：アミノ酸の窒素同位体分析による新展開」『Radioisotopes』56 (8) : 463-477
- 畜産大事典編集委員会 1996 『新編 畜産大事典』養賢堂
- 蔦谷匠・米田穰 2015 「子供の骨から離乳年齢を探る」『考古学ジャーナル』671 : 20-23
- 戸川点 1995 「釈奠における三牲」虎尾俊哉編『律令国家の政務と儀礼』吉川弘文館 200-220
- 西谷大 2001 「豚便所 雛飼養形態からみた豚文化の特質」『国立民族学博物館調査報告』90 : 79-148
- 野林厚志 2009 「ブタ飼育における個体管理—台湾ヤミが行なうブタの舎飼いと放し飼いの比較—」『国立

- 民族学博物館調査報告』84：289-305
- 浜松市教育委員会 2019『梶子遺跡 19・20次 本文編』浜松市教育委員会
- 松井章 2005『環境考古学への招待—発掘からわかる食・トイレ・戦争—』岩波書店
- 松井章・石黒直隆・本郷一美・南川雅男 2001「野生のブタ？飼育されたイノシシ？考古学からみるイノシシとブタ」高橋春成編『イノシシと人間』古今書院 45-78
- 丸山真史 2018「中・近世のイノシシ・ブタ利用」『季刊考古学』144：56-58
- 丸山真史 2019「梶子遺跡における動物利用」浜松市教育委員会編『梶子遺跡 19・20次 古環境調査編』浜松市教育委員会 91-109
- 丸山真史・覚張隆史 2019「動物考古学による古墳時代のウマ研究」右島和夫編『馬の考古学』雄山閣 240-248
- 南川雅男 2001「炭素・窒素同位体分析により復元した先史日本人の食生態」『国立歴史民俗博物館研究報告』86：333-357
- 森山英樹 2016「豚便所フル」尿尿・下水研究会編『トイレ 排泄の空間から見る日本の文化と歴史』ミネルヴァ書房 164-173
- 米田穰 2015「同位体分析からみた家畜化と日本人の食—自己家畜化の視点から」松井章編『食の文化フォーラム 33 野生から家畜へ』ドメス出版 64-86
- 米田穰 2018「池子遺跡のヒトと動物の炭素・窒素同位体比からみた弥生時代の食生活」杉山浩平編『弥生時代食の多角的研究—池子遺跡を科学する—』六一書房 78-87
- 米田穰・本村航介・本郷一美 2023「弥生時代のブタ飼養 神奈川県池子遺跡における試論」春成秀爾編『何が歴史を動かしたのか 第2巻 弥生文化と世界の考古学』雄山閣 43-56
- Ambrose, S.H., 1993. Isotopic analysis of paleodiets: methodological and interpretive considerations, in: Sandford, M.K. (Ed.), *Investigations of ancient human tissue: chemical analyses in anthropology*. Gordon and Breach, Philadelphia, 59-130.
- Ballari, S.A., Barrios-García, M.N., 2014. A review of wild boar *Sus scrofa* diet and factors affecting food selection in native and introduced ranges. *Mammal Review*. 44 (2): 124-134.
- Butler, R.J., Brown, Y.W., Du Toit, T.J., 2018. Anthropogenic food subsidy to a commensal carnivore: the value and supply of human faeces in the diet of free-ranging dogs. *Animals*. 8 (5): 67.
- Chikaraishi, Y., Ogawa, N.O., Ohkouchi, N., 2010. Further evaluation of the trophic level estimation based on nitrogen isotopic composition of amino acids, in: Ohkouchi, N., Tayasu, I., Koba, K. (Eds.), *Earth, Life, and Isotopes*. Kyoto University Press, Kyoto, 37-51.
- Deniro, M.J., 1985. Postmortem preservation and alteration of *invivo* bone-collagen isotope ratios in relation to paleodietary reconstruction. *Nature*. 317 (6040): 806-809.
- Fernandes, R., Nadeau, M.J., Grootes, P.M., 2012. Macronutrient-based model for dietary carbon routing in bone collagen and bioapatite. *Archaeological and Anthropological Sciences*. 4 (4): 291-301.
- Fontanals-Coll, M., Soncin, S., Talbot, H.M., Von Tersch, M., Gibaja, J.F., Colonese, A.C., Craig, O.E., 2023. Stable isotope analyses of amino acids reveal the importance of aquatic resources to Mediterranean coastal hunter-gatherers. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. 290 (1993): 20221330.
- Froehle, A.W., Kellner, C.M., Schoeninger, M.J., 2010. FOCUS: effect of diet and protein source on carbon stable isotope ratios in collagen: follow up to Warinner and Tuross (2009). *Journal of Archaeological Science*. 37 (10): 2662-2670.
- Halstead, P., Isaakidou, V., 2011. A pig fed by hand is worth two in the bush: Ethnoarchaeology

- of pig husbandry in Greece and its archaeological implications, in: Albarella, U. (Ed.), *Ethnozooarchaeology: The Present Past of Human: Animal Relationships*. Oxbow Books, Oxford, 160-174.
- Hedges, R.E.M, Reynard, L.M., 2007. Nitrogen isotopes and the trophic level of humans in archaeology. *Journal of Archaeological Science*. 34 (8): 1240-1251.
- Hongo, H., Anezaki, T., 2007. Hunting or management? The status of Sus in the Jomon period in Japan, in: Albarella, U., Dobney, K., Ervynck, A. Rowley-Conwy, P. (Eds.), *Pigs and Humans: 10,000 Years of Interaction*. Oxford University Press, Oxford, 109-130.
- Hu, Y., Luan, F., Wang, S., Wang, C., Richards, M.P., 2009. Preliminary attempt to distinguish the domesticated pigs from wild boars by the methods of carbon and nitrogen stable isotope analysis. *Science in China Series D: Earth Sciences*. 52 (1): 85-92.
- Itahashi, Y., 2022. Pig management in the Neolithic Near East and East Asia clarified with isotope analyses of bulk collagen and amino acids. *Frontiers in Ecology and Evolution*. 10: 944104
- Itahashi, Y., Ananyevskaya, E., Yoneda, M., Ventresca Miller, A.R., Nishiaki, Y., Motuzaitė Matuzeviciute, G., 2020. Dietary diversity of Bronze-Iron Age populations of Kazakhstan quantitatively estimated through the compound-specific nitrogen analysis of amino acids. *Journal of Archaeological Science: Reports*. 33: 102565.
- Itahashi, Y., Erdal, Y.S., Tekin, H., Omar, L., Miyake, Y., Chikaraishi, Y., Ohkouchi, N., Yoneda, M., 2019. Amino acid  $^{15}\text{N}$  analysis reveals change in the importance of freshwater resources between the hunter-gatherer and farmer in the Neolithic upper Tigris. *American Journal of Physical Anthropology*. 168 (4): 676-686.
- Itahashi, Y., Miyake, Y., Maeda, O., Kondo, O., Hongo, H., Van Neer, W., Chikaraishi, Y., Ohkouchi, N. Yoneda, M., 2017. Preference for fish in a Neolithic hunter-gatherer community of the upper Tigris, elucidated by amino acid  $\delta^{15}\text{N}$  analysis. *Journal of Archaeological Science*. 82: 40-49.
- Lin, K.C., Lee, C.Y., Itahashi, Y., Zhou, Z., Chen, J., Liu, X., Yoneda, M., 2023. Reconstruction of diets based on the  $\Delta^{15}\text{N}$  values of individual amino acids at three sites in Sichuan, China. *Archaeometry*. 65 (4): 908-923.
- Liu, X., Jones, M., 2016. Under one roof: people, crops and animals in Neolithic North China, in: Boyle, K., Rabett, R.J., Hunt, C.O. (Eds.), *Living in the landscape: Essays in honour of Graeme Barker*. McDonald Institute Monographs, Cambridge, 227-234.
- Longin, R., 1971. New method of collagen extraction for radiocarbon dating. *Nature*. 230 (5291): 241-242.
- Masseti, M., 2007. The economic role of Sus in early human fishing communities, in: Albarella, U., Dobney, K., Ervynck, A., Rowley-Conwy, P. (Eds.), *Pigs and humans: 10,000 years of interaction*. Oxford University Press, Oxford, 156-170.
- Matsui, A., N. Ishiguro, H. Hongo and M. Minagawa, 2005. Wild pig? Or domesticated boar? An archaeological view on the domestication of Sus scrofa in Japan, in: Vigne, J.D., Peters, J., Helmer, D. (Eds.), *The first steps of animal domestication: New archaeozoological approaches*. Oxbow Books, Oxford, 148-159.
- Mccutchan, J.H., Lewis, W.M., Kendall, C., Mcgrath, C.C., 2003. Variation in trophic shift for stable isotope ratios of carbon, nitrogen, and sulfur. *Oikos*. 102 (2): 378-390.
- Minagawa, M., Wada, E. 1984 Stepwise enrichment of  $^{15}\text{N}$  along food chains: Further evidence and the relation between  $\delta^{15}\text{N}$  and animal age. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 48 (5):

1135-1140.

- Minagawa, M., Matsui, A., Ishiguro, N., 2005. Patterns of prehistoric boar *Sus scrofa* domestication, and inter-islands pig trading across the East China Sea, as determined by carbon and nitrogen isotope analysis. *Chemical Geology*. 218 (1): 91-102.
- Naito, Y.I., Chikaraishi, Y., Ohkouchi, N., Yoneda, M., 2013. Evaluation of carnivory in inland Jomon hunter-gatherers based on nitrogen isotopic compositions of individual amino acids in bone collagen. *Journal of Archaeological Science*. 40 (7): 2913-2923.
- Naito, Y.I., Bocherens, H., Chikaraishi, Y., Drucker, D.G., Wißing, C., Yoneda, M., Ohkouchi, N., 2016. An overview of methods used for the detection of aquatic resource consumption by humans: Compound-specific delta N-15 analysis of amino acids in archaeological materials. *Journal of Archaeological Science: Reports*. 6: 720-732.
- Naito, Y.I., Chikaraishi, Y., Drucker, D.G., Ohkouchi, N., Semal, P., Wißing, C., Bocherens, H., 2016. Ecological niche of Neanderthals from Spy Cave revealed by nitrogen isotopes of individual amino acids in collagen. *Journal of Human Evolution*. 93: 82-90.
- O'Connell, J.F., Hawkes, K., Jones, N.B., 1988. Hadza hunting, butchering, and bone transport and their archaeological implications. *Journal of Anthropological Research*. 44 (2): 113-161.
- O'leary, M.H., 1981. Carbon isotope fractionation in plants. *Phytochemistry*. 20 (4): 553-567.
- Ohkouchi, N., Chikaraishi, Y., Close, H.G., Fry, B., Larsen, T., Madigan, D.J., McCarthy, M.D., McMahon, K.W., Nagata, T., Naito, Y.I., Ogawa, N.O., Popp, B.N., Steffan, S., Takano, Y., Tayasu, I., Wyatt, A.S.J., Yamaguchi, Y., Yokoyama, Y., 2017. Advances in the application of amino acid nitrogen isotopic analysis in ecological and biogeochemical studies. *Organic Geochemistry*. 113: 150-174.
- Ramirez, M.D., Besser, A.C., Newsome, S.D., McMahon, K.W., 2021. Meta-analysis of primary producer amino acid  $\delta^{15}\text{N}$  values and their influence on trophic position estimation. *Methods in Ecology and Evolution*. 12 (10): 1750-1767.
- Schoeninger, M.J., Deniro, M.J., 1984. Nitrogen and carbon isotopic composition of bone-collagen from marine and terrestrial animals. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 48 (4): 625-639.
- Styring, A.K., Sealy, J.C., Evershed, R.P., 2010. Resolving the bulk  $\delta^{15}\text{N}$  values of ancient human and animal bone collagen via compound-specific nitrogen isotope analysis of constituent amino acids. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 74 (1): 241-251
- Styring, A.K., Fraser, R.A., Bogaard, A., Evershed, R.P., 2014. Cereal grain, rachis and pulse seed amino acid  $\delta^{15}\text{N}$  values as indicators of plant nitrogen metabolism. *Phytochemistry*. 97: 20-29.
- Styring, A.K., Charles, M., Fantone, F., Hald, M.M., McMahon, A., Meadow, R.H., Nicholls, G.K., Patel, A.K., Pitre, M.C., Smith, A., Soltysiak, A., Stein, G., Weber, J.A., Weiss, H., Bogaard, A., 2017. Isotope evidence for agricultural extensification reveals how the world's first cities were fed. *Nature Plants*. 3 (6): 17076.
- Tauber, H., 1981.  $^{13}\text{C}$  evidence for dietary habits of prehistoric man in Denmark. *Nature*. 292 (23): 332-333.
- Tejada, J.V., Flynn, J.J., Macphee, R., O'Connell, T.C., Cerling, T.E., Bermudez, L., Capuñay, C., Wallsgrove, N., Popp, B.N., 2021. Isotope data from amino acids indicate Darwin's ground sloth was not an herbivore. *Scientific Reports*. 11 (1): 18944.
- Yoneda, M., Suzuki, R., Shibata, Y., Morita, M., Sukegawa, T., Shigehara, N., Akazawa, T.,

2004. Isotopic evidence of inland-water fishing by a Jomon population excavated from the Boji site, Nagano, Japan. *Journal of Archaeological Science*. 31 (1): 97-107.

Yoneda, M., Tanaka, A., Shibata, Y., Morita, M., Uzawa, K., Hirota, M., Uchida, M., 2002. Radiocarbon marine reservoir effect in human remains from the Kitakogane Site, Hokkaido, Japan. *Journal of Archaeological Science*. 29 (5): 529-536.

板橋悠：全体総括、論文執筆、動物骨の同位体分析を担当。米田穰：動物骨の同位体分析を担当。井口智博：動物骨の調査・管理を担当。丸山真史：動物骨の形態分析、論文執筆を担当。

