奈良文化財研究所研究報告　第17冊

藤原宮跡出土馬の研究

独立行政法人　国立文化財機構
奈良文化財研究所
2016

序

藤原宮跡の発掘調査では、藤原宮の造営時に開削された運河を中心に、馬や牛をはじめとする動物遺存体が出土しています。これらの動物は、造営資材の運搬などに利用されたものと考えられます。

奈良文化財研究所は、平成22年から25年にかけて、東京大学と連携して藤原宮跡出土の馬骨・馬歯の同位体分析を実施しました。その結果、藤原宮跡出土の馬の多くが東日本の内陸部で産まれた個体であること、同時に、馬に与えていた飼料に多様性があったことなどが明らかになりました。これらの成果と、史料から知られる古代の牧や馬の利用に関する規定などを総合することで、古代の馬生産や馬の資源利用に関する研究がより深化するものと期待されます。遺跡から出土する動物の骨や歯から、その産地や飼育環境の解明に迫る手がかりが得られる見通しが立ったことは重要です。

そうした学際的な連携研究の成果を、ここに報告書としてまとめることにしました。本報告書が動物考古学や環境考古学はもちろんのこと、広い分野の研究に活用されることを願ってやみません。

最後になりましたが、本連携研究の実施や報告書の作成に際しまして、多大なご協力をいただきました関係者の皆様に厚く御礼を申し上げます。

平成28年3月

独立行政法人　国立文化財機構
奈良文化財研究所
所長　松村恵司

例　言

1　本書は、平成22年度から25年度にかけて実施した、奈良文化財研究所と東京大学による連携研究の成果を取りまとめた報告書である。

2　本連携研究は、藤原宮跡から出土した馬の飼育形態や産地推定の復元を目的として実施したものである。本連携研究の奈良文化財研究所の担当者は石橋茂登・降幡順子・山崎健（主担当）、東京大学の担当者は米田穣・覚張隆史（主担当）である。出土品の調査には都城発掘調査部（飛鳥・藤原地区）考古第一研究室が協力した。写真撮影は栗山雅夫、飯田ゆりあ、中村一郎がおこなった。

3　本書の執筆分担は、各章の末尾に記載した。報告にあたり、深澤芳樹、玉田芳英、馬場基、山本崇、廣瀬覚、小田裕樹、諫早直人をはじめとする奈良文化財研究所員の協力を得た。

4　執筆に際しては、以下の方々から多くのご教示やご協力を得た（敬称略・50音順）。ここに記して謝意を表する。
植月学、鵜野光、河村正二、菊地大樹、河野重行、齋藤めぐみ、座覇えみ、申基澈、鈴木希実、谷村好洋、富岡直人、中野孝教、本郷一美、丸山真史、望月悠佑、屋山洋、吉永淳

5　本書の編集は、所長松村恵司のもと、石橋茂登と降幡順子の協力を得て、山崎健がおこなった。

第1章　藤原宮跡から出土した動物遺存体

藤原宮跡（飛鳥藤原第153次、第160次、第163次、第169次、第179次、第182次）から出土した動物遺存体について、基礎データの提示を目的として、報告をおこなう。

1. 出土遺構

藤原宮跡における動物遺存体の出土遺構を図1-1に示す。奈良文化財研究所紀要の報告に基づき（玉田ほか2009、山本ほか2010、若杉ほか2011、高橋ほか2012、今井ほか2013、桑田ほか2014、森川ほか2015）、動物遺存体が出土した遺構の概要を述べていく。遺構の時期は、藤原宮造営期と藤原宮期に分かれ、SH10802以外はすべて藤原宮造営期の遺構である。

運河SD1901A　藤原宮中軸から約15m東を南北に貫流する素掘溝。第18次調査区の北面中門下層を北端とし、第169次調査までの総長は570mに達する。第153次調査と第169次調査で最下層まで調査し、計157点の動物遺存体が出土した。

第153次調査区では幅約3～4m、深さ約2m。埋土は、下から機能時の堆積を示す粗砂層（40～50cm）、細砂層（30cm）、埋め立て時の青灰色粘質土層（60cm）である。埋め立てに際しては、SD10801Aの底と同じ高さまで埋めた後、瓦を一括投棄し、さらに青灰色粘質土（30～70cm）で一気に埋めている。

第169次調査区では幅約9m、深さ約2m。東肩はテラス状に緩斜面をなしており、それを除く中心部分の幅は約6mを測る。運河底部には拳大の礫を含む青灰色砂礫（粗砂層・細砂層）が堆積し、土器、木器、獣骨が大量に投棄された状態で出土した。その上部は、地山起源のシルト、整地土と同質の粘質土・砂質土で一気に埋め戻す。運河の埋土はそのまま第二次整地土に移行しており、第二次整地土造成の一環として運河の埋め立てがなされた様子がみてとれる。

南北溝SD10705　第182次調査西区の西寄りで検出した南北方向の素掘溝で、調査区を縦断し、さらに北へ延びる。幅約2.3m、深さ約0.9m。既往調査の成果を考慮すると、先行朱雀大路東側溝と考えられる。土器片や木片とともに、斎串が28点以上出土した。先行四条大路と先行朱雀大路との交差点に近いこととの関連性がうかがわれる。動物遺存体が7点出土した。

南北溝SD10707　第182次調査西区の西寄りで検出した南北方向の素掘溝で、SD10705のすぐ西側にある。調査区を縦断し、第20次で検出した南北溝SD1925につづくとみられる。幅約2.0～3.9m、深さは約1.4m以上である。動物遺存体が3点出土した。

斜行溝SD10801A　第153次の調査区中央でSD1901Aから枝分かれし、北東方向へ延びる素掘溝。約15mで途切れ、北へは続かない。幅約2.2～4m、深さ50～80cmでSD1901Aに取り付く部分ではラッパ状に広がる。底面はSD1901Aより約1m高く、運河本流から水を引き込んで、造営資材を運ぶための機能が考えられる。動物遺存体が1点出土した。

斜行溝・南北大溝SD10801B　SD1901AとSD10801Aを埋めた後に新たに掘削する素掘溝。第153次調査南側の運河調査区2でSD1901A東肩と重複してSD10801Bの東肩としていることから、

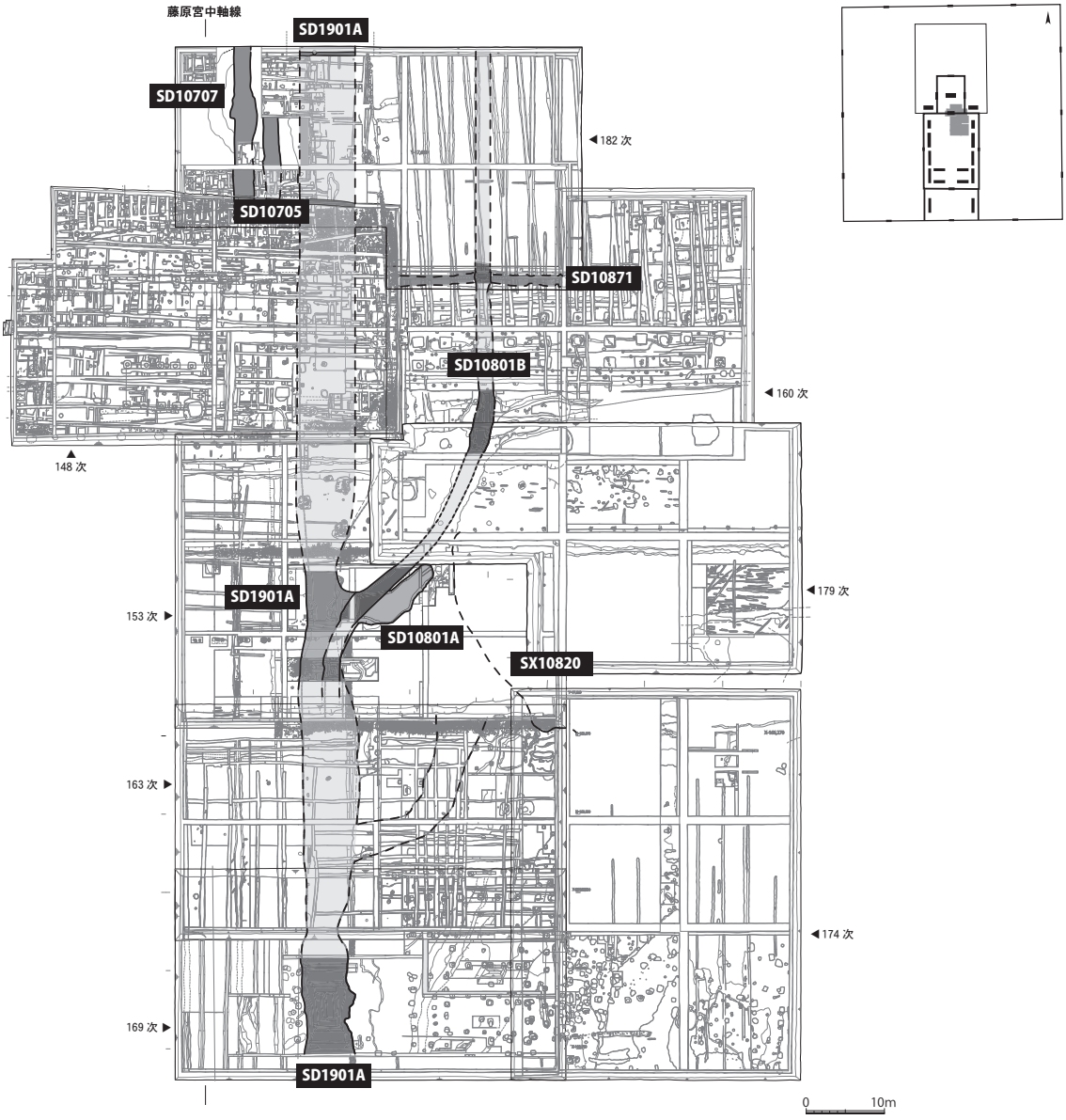

図 1-1　遺構位置図

SD1901A の埋め立てと SD10801B の掘削の時間差はあまりなかったものと考えられる。第 160 次調査区西部で延長部25m 分を確認し、調査区北へさらに延びる。大極殿院南門を避けるように曲がっていることから、南門建設開始後に掘削されたものとみられる。第 153 次調査区では幅約 1.8 ～ 2m、深さ約 70 ㎝、第 160 次調査区では幅約 2m、深さ約 1m である。動物遺存体が 3 点出土した。

東西溝 SD10871　第 160 次調査の東北調査区で約 4.5m 分、西北調査区で約 6m 分を確認した東西方向の素掘溝。また、第 182 次調査東区の東南隅および西南隅でも検出し、西へ 23m 分延びることを確認した。既往調査の成果を考慮すると、先行四条大路北側溝と考えられる。動物遺存体が 9 点出土した。

沼状遺構 SX10820　第 153 次、第 160 次、第 163 次、第 174 次で確認した大規模な沼状の遺構。動物遺存体は、第 153 次調査区と第 163 次調査区から出土した。第 153 次調査区では東側の北壁、南壁の断割トレンチ内で検出し、第 163 次調査区東北隅で検出した。動物遺存体が 2 点出土した。

礫敷広場 SH10800　各調査区の全面に広がる礫敷の広場。23 点の動物遺存体が出土したが、全体的に保存状態は悪い。

2. 分析方法

出土した動物遺存体の同定は現生骨格標本との比較によりおこない、比較標本には環境考古学研究室が所蔵する標本を用いた。同定をおこなった資料について調査次数ごとに番号を登録し、同定結果（種名、部位、左右、残存位置、癒合状況）と、観察結果（カットマークや骨角製品の製作痕跡、イヌの咬み跡）を記録した。解剖学用語は、後藤ほか編（2014）および König・Liebich（2010）に従った。また、癒合完了が確認できた資料については、Driesch（1976）や茂原（1986）に従って計測した。計測にはデジタルノギスを用いて、0.01mm の単位まで計測した。

「種名」は同定した動物の分類群、「部位」は同定した骨格部位名、「左右」は部位の左右、「残存部位」は骨格部位の残存状況を示している。「癒合状況」は、同定された資料の骨端における癒合状況である。「癒合」は骨幹と骨端は完全に癒合し、骨端線が消失した資料、「癒合（骨端線あり）」は骨端線が認められる資料を示す。「未癒合脱落」は骨幹と骨端の癒合が完了しておらず、未癒合の骨端が脱落した資料、「未癒合骨端」は脱落した未癒合の骨端のみの資料を示す。「カットマーク」は、線状痕や切断痕など、解体作業の際に残されたと考えられる加工痕である。「イヌ咬み痕」は、円形の溝や孔が集中的に認められる痕跡と定義して、記録した。これらは食肉類の咬み痕と考えられ、藤原宮跡ではイヌが想定される。

哺乳類の上顎骨・下顎骨の残存状況と歯の萌出段階については、別に記録した。［ ］は顎骨の残存位置を示す。またそれぞれの歯について、＜ ＞は未萌出の段階、（ ）は萌出中の段階、×は顎骨から脱落した歯を示している。

3. 分類群の記載

同定した動物遺存体は計 205 点であった。以下、分類群ごとに記載していく。

（1）貝類

カワニナ　*Semisulcospira libertina*

淡水産貝類で、北海道、本州、四国、九州、沖縄、朝鮮半島に分布し、山間部の川や比較的冷たい水が安定して流れている細流、用水路などの砂礫底・砂泥底に生息する（紀平ほか 2009）。SD1901A の粗砂層から２点出土した。１点が計測可能で、殻高 23.28mm であった。

アカニシ　*Rapana venosa*

海産貝類で、北海道南部から台湾、中国沿岸の水深 30m 以浅の砂泥底に生息する（奥谷編 2000）。SD1901A の埋立土である淡青灰粘質土層から破片が１点出土した。同じ層からアカニシの可能性がある細片（「アカニシ？」と記載）が２点出土した。遺跡周辺で獲得できない海産貝類であるが、奈良県域では四条遺跡（松井 1998）と平城京左京二条二坊・三条二坊（松井 1995a）において出土事例が

ある。

（2）魚類

板鰓亜綱　Elasmobranchii sp.

板鰓亜綱は、サメ類やエイ類などで構成される分類群の総称である。SD1901A の細砂層から椎骨が１点出土した。椎体縁辺のみが残存していた。神経棘や血管棘の離脱痕が明瞭な孔を成しており、椎体横径が 9.25mm であることから、エイ類ではなく、サメ類の椎骨である可能性が高い。奈良県域では、弥生時代の唐古・鍵遺跡（田原本町教育委員会 2004）や大福遺跡（樽野 1978）、飛鳥時代の飛鳥京苑池（丸山・松井 2007）において、サメ類やエイ類の出土事例がある。

マダイ　*Pagrus major*

海産魚類で、北海道～九州南岸の水深 30 ～ 200m の岩礁、砂礫底、砂底に生息する（中坊編 2013）。SD1901A の粗砂層から主上顎骨（右側）が１点出土した。計測可能な部分が残存しており、計測部位「主上顎骨⑤（MG-MH）」が 9.37mm、計測部位「主上顎骨⑫（MK-ML）」および「主上顎骨 B」が 7.59mm であった。これらの計測値からこのマダイの標準体長は 30 ～ 35cm 程度と推定することができる（堤ほか 1982、石丸 2005）。また主上顎骨の外側には、縦方向の切断痕が１か所と、斜め方向の線状痕（幅 0.1 ～ 0.3mm）が３ヶ所観察された。奈良県域では、縄文時代晩期の橿原遺跡からマダイが出土している（酒詰 1961、丸山ほか 2011）。

（3）両生類・爬虫類

無尾目　Anura sp.

いわゆるカエル類である。SD1901A の粗砂層から脛腓骨１点と椎骨１点の計２点が出土した。

ニホンスッポン　*Pelodiscus sinensis*

SD1901A の粗砂層から背甲肋骨板３点、下腹甲板１点、背甲骨板あるいは腹甲骨板１点の計５点が出土した。多量の牛馬骨が出土した湿地や流路からスッポンや他のカメ類も出土する事例が多いことから、牛馬の死体を目的に肉食性のカメ類が集まってきた可能性が指摘されている（久保 1999a）。本遺跡でも運河内に近寄ってきたスッポンを利用した可能性を考慮する必要があろう。

ヘビ亜目　Serpentes sp.

いわゆるヘビ類である。SD1901A の粗砂層から椎骨８点が出土した。

（4）鳥類

タカ科　Accipitridae sp.

SD1901A の細砂層から出土した。全身骨格が揃っている訳ではなく、手根中手骨のみ１点が単独で出土している。手根中手骨の形態的特徴からは、タカ科以下の分類群に同定することは困難であった。そこで、現生タカ科鳥類８属 12 種 132 個体の手根中手骨の計測値と比較した。遺跡出土資料の計測値（GL：105.89mm、Bp：23.78mm）はオオワシ、オジロワシ、イヌワシ３種の範囲内に位置したことから、

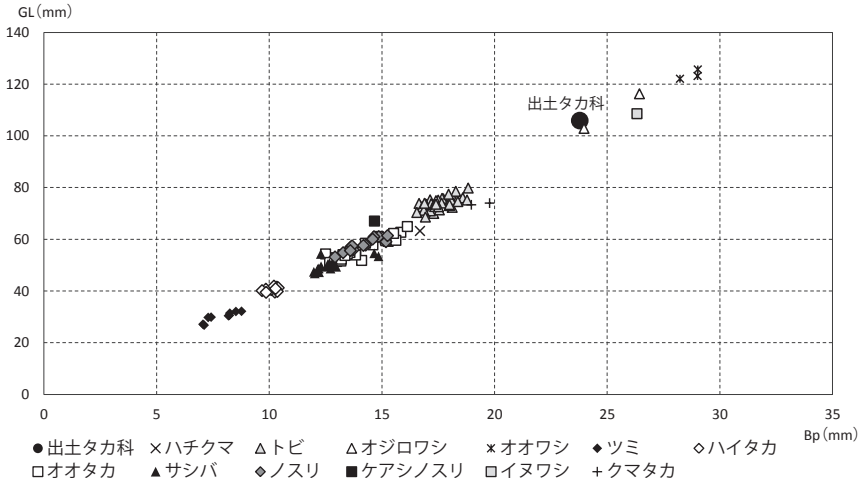

図 1-2　出土資料と現生タカ科標本の比較

体サイズやプロポーションに時代差がなければ、オオワシ、オジロワシ、イヌワシの３種の可能性が高いと考えられる（図 1-2、山崎 2015）。これらの種は比較的大型のタカ科鳥類で、いわゆるワシ類である。現在の分布をみると、近畿周辺にはイヌワシが周年生息しており、オジロワシは冬季に、オオワシも不定期に飛来している（森岡ほか1995、日本鳥類目録2012）。

手根中手骨は、第３中手骨と第４中手骨が半弓状に癒合したもので、翼を構成する骨格部位の１つである。第3中手骨遠位部（遠位端から約14.5mm）の背側面に、線状痕跡が認められた。長さ3.5mm、幅1.0mm、断面はＶ字状を呈している。解体痕跡は関節部に見られず、関節を外した際に残された痕跡とは考えにくい。また、手根中手骨は翼の先に位置する骨格部位で、筋肉はほとんど付着しておらず、羽根（初列風切）が付着している。すなわち、出土した手根中手骨に残る解体痕跡は、羽根を切り離した際に残された痕跡と考えられる。

（5）哺乳類

ウマ　*Equus caballus*

出土状況　報告した動物遺存体の中でもっとも多く 68 点が出土した。SD1901A、SD10705、SD10707、SD10801B、SD10871、SX10820、SH10800 から出土しており、とくに SD1901A から 45 点が出土している。全身骨格が揃って出土したものはなく、すべて散乱した状態であった。

SD10871 では基節骨・中節骨・末節骨が連結した状態で出土しており、切り落とした肢先と考えられる（写真 1-1）。また SD10705 では数多くの斎串とともに出土しており、犠牲の可能性も考慮する必要がある。

死亡年齢　歯の萌出・交換・咬耗状況による歯牙年齢を用いた年齢推定と、骨の癒合状況による骨年齢を用いた年

写真 1-1　SD10871 出土の馬の肢先
※左側：ウマの現生骨格標本、右側：出土資料

表 1-1　藤原宮跡出土ウマの推定年齢

資料番号	遺構	時期	動物種	部位	左右	残存部位	歯冠高・咬耗	推定年齢	備考
182-10	SD10707	藤原宮造営期	ウマ	遊離歯	右	上顎歯（M2）	81.90 >	3歳以下	同一個体？
182-11	SD10707	藤原宮造営期	ウマ	遊離歯	右	上顎歯（M3）	未咬耗		
153-32	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	遊離歯	右	下顎歯（dm3）	乳歯	3歳前後	同一個体？
153-31	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	遊離歯	右	下顎歯（P4）	未咬耗		
153-30	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	遊離歯	左	下顎歯（M3）	未咬耗		
153-55	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	遊離歯	左	上顎歯（P3/P4/M1/M2）	67.85	3-4歳	TG111003
153-4	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	遊離歯	右	下顎歯（P4/M1/M2）	72.08 >	4歳以下	TG111005
153-53	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	遊離歯	右	上顎歯（M3）	63.79 >	4歳以下	TG102204
163-1	SX10820	藤原宮造営期	ウマ	遊離歯	右	上顎歯（P3/P4/M1/M2/M3）	63.75 >	4歳以下	TG111011
153-75	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	遊離歯	右	上顎歯（P3/P4/M1/M2）	66.11	4歳	TG111002
153-5	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	遊離歯	右	下顎歯（P4/M1/M2）	71.00	4-5歳	TG102203
153-78	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	遊離歯	左	下顎歯（P3/P4）	64.02	4-5歳	TG111004
153-42	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	遊離歯	右	下顎歯（P4/M1/M2）	61.13	5-6歳	TG102202
153-54	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	遊離歯	右	上顎歯（P2）	30.16	9歳	TG102205
153-94	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	遊離歯	左	上顎歯（P3/P4/M1/M2）	35.46	9-11歳	TG111001

※西中川駿らの推定式（西中川ほか2015）の推定式によって、歯冠高から死亡年齢を推定した。

齢推定から検討した。歯牙年齢は、歯の萌出交換（Schmid 1972）や歯冠高（西中川ほか 2015）から推定した。今回の出土資料は顎骨に植立した歯がなく、すべて遊離歯であった。遊離歯の歯種は、歯冠部だけでなく、歯根部の形態も考慮して、慎重におこなった（写真 1-2）。その結果、3 ～ 6 歳程度と 9 ～ 11 歳程度に大きく分かれ、とくに 3 ～ 5 歳に集中した（表 1-1）。また、四肢骨の骨端癒合状況から骨年齢を推定すると、18 点 22 部位の骨端癒合がすべて完了しており、3 歳未満の個体が認められないという歯牙年齢の結果と整合的である。

体　高　Driech の計測部位（Driech 1976）に従い、癒合完了が確認できた資料を対象として計測をおこなった。次に、四肢骨全長が計測できた資料について、林田重幸と山内忠平の推定Ⅲ式（林田・山内 1957）から体高を算出すると、No.153-1 は 128.5cm（橈骨 GL：316.36mm）、No.153-8 は 131.8cm（第 3 中手骨 GL：215.49mm）と推定できる。林田重幸の分類（林田 1956、1968、1974）では、御崎馬や木曽馬に代表される中形馬の大きさに相当する。

骨に残る病変　出土したウマの中に、病変が認められる骨（No.153-6）が 1 点含まれていた。飛節（足根関節）を構成する距骨と中心足根骨が癒合しており、距骨遠位部と中心足根骨の内側に異常な骨増殖が認められ、肥大して瘤状になっていた。肥大した部分は骨棘や骨梁が形成されてスポンジ状を呈している。この資料は、①飛節の内側に瘤状の骨増殖が形成されている、②距骨と中心足根骨が癒合する、という特徴から飛節内種の症例であると考えられる（山崎 2011）。馬の飛節は、役畜の運動生理を考える上で極めて重要な部分である。とくに労役馬や競走馬のように飛節を酷使する場合には炎症を起こしやすく、慢性化すると飛節を構成する骨が癒合して、歩行に際して大きな障害（跛行）となる（市井 1942、野村 1997、加藤・山内 2003）。この飛節内腫の主な原因として、過度の運動による飛節への過重負担が挙げられる（新獣医学辞典編集委員会編 2008、König・Liebich 2010）。この病変のある骨は、藤原宮造営当初に機能した資材運搬用の運河から出土した資料であるため、この馬に対する過重な負担とは、宮造営のための資材運搬であると考えられる。

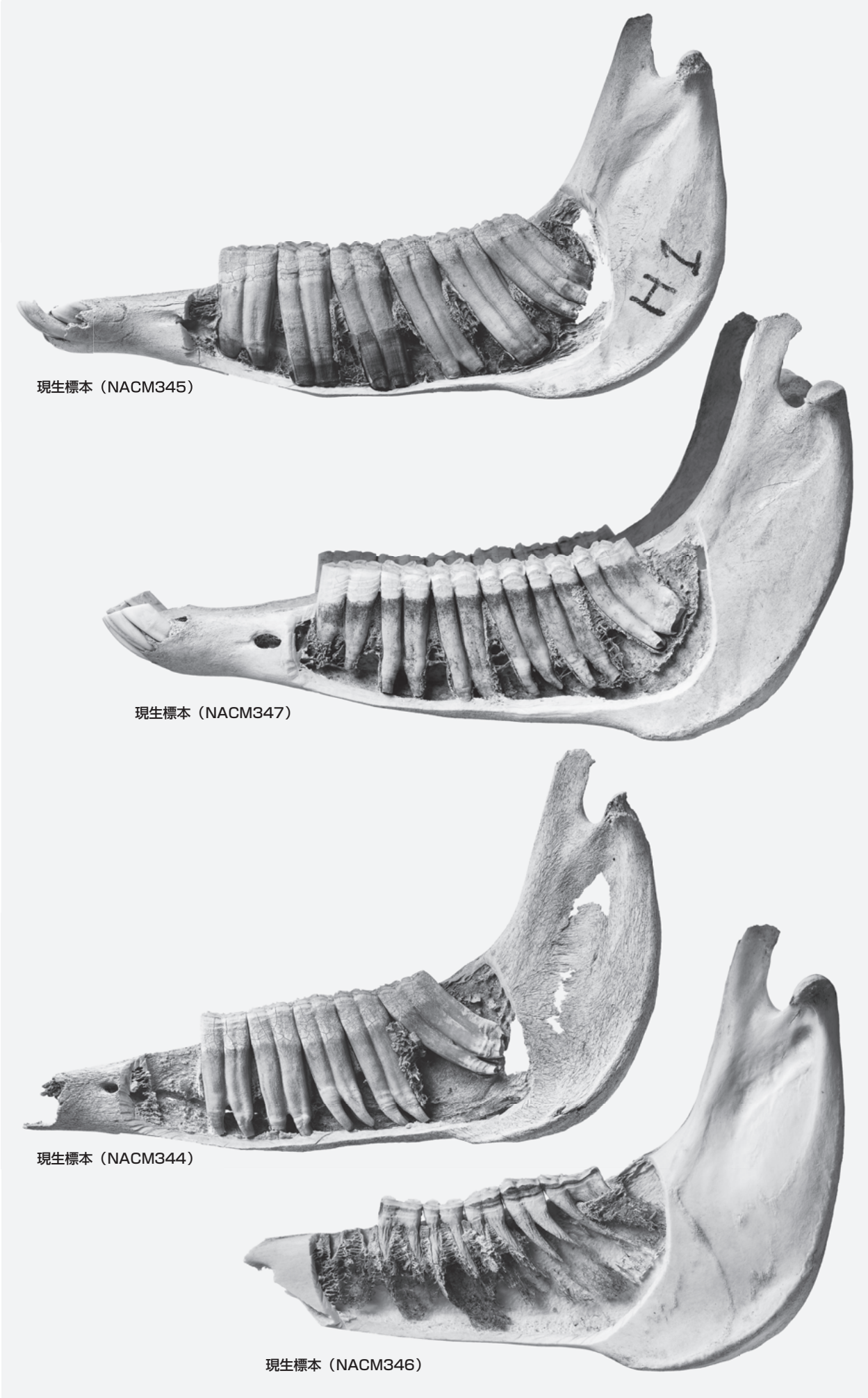

写真 1-2　現生ウマの歯根露出標本（縮尺 1/3）

表1-2　藤原宮跡出土ウマの計測値

資料番号	遺構・層位	動物種	部位・左右	計測部位	計測値（mm）
153-1	SD1901A 細砂層	ウマ	橈骨（左）	GL	316.36
				PL	304.18
				Ll	298.92
				Bp	74.23
				BFp	69.02
				SD	34.51
				Bd	68.75
				BFd	58.71
153-2	SD1901A 粗砂層	ウマ	上腕骨（右）	SD	31.93
				Bd	74.95
				BT	67.48
153-8	SD1901A 細砂層	ウマ	第3中手骨（右）	GL	215.49
				GLl	213.33
				Ll	209.55
				Bp	42.69
				Dp	29.56
				SD	28.88
				DD	21.53
				Bd	48.08
				Dd	31.99
153-9	SD1901A 粗砂層	ウマ	上腕骨（右）	SD	31.88
				Bd	67.79
				BT	74.05
153-10	SD1901A 細砂層	ウマ	上腕骨（左）	SD	32.45
				BT	66.45
169-20	SD1901A 青灰粗砂	ウマ	寛骨（右）	LA	61.97
				LAR	56.43
				SH	35.73
				SB	18.54
169-21	SD1901A 青灰粗砂	ウマ	寛骨（左）	LA	61.83
				LAR	56.23
				SH	36.81
				SB	20.16
169-28	SD1901A 明緑灰粘質土	ウマ	寛骨（左）	LAR	54.50
182-1	SD10705 暗灰砂	ウマ	肩甲骨（左）	GLP	83.76
				SLC	58.63
182-3	SD10705 暗灰砂	ウマ	中節骨（不明）	Bp	44.49
182-4	SD10705 暗灰砂	ウマ	基節骨（不明）	GL	76.53
				BFp	42.00
				Dp	29.18
				BFd	39.59
182-14	SD10871 暗灰粘土	ウマ	基節骨（左）	GL	69.78
				BFp	38.87
				Dp	29.82
				SD	26.79
				Bd	37.01
				BFd	34.66
182-15	SD10871 暗灰粘土	ウマ	中節骨（左）	Bp	42.07
				SD	35.61

※計測部位は、Driesch（1976）に従った。

表1-3　藤原宮跡出土ウシ・ニホンジカの計測値

資料番号	遺構・層位	動物種	部位・左右	計測部位	計測値（mm）
182-13	SD10871 暗灰砂	ウシ	橈骨（右）	BFp	78.14
153-3	SD1901A 細砂層	ウシ	橈骨（右）	Bp	85.55
				BFp	78.46
169-56	SD1901A 青灰粗砂	ウシ	第3中足骨（左）	GL	215.58
				Bp	51.14
				SD	30.61
				DD	29.96
				Bd	57.25
				Dd	31.82
169-30	SD1901A	ニホンジカ	肩甲骨（右）	GLP	48.11
				LG	36.90
				BG	33.57
153-11	SD1901A 粗砂層	ニホンジカ	橈骨（左）	GL	186.04
				Bp	35.05
				SD	20.07
				BFd	30.64
153-12	SD1901A 粗砂層	ニホンジカ	脛骨（右）	GL	317.48
				Bp	59.24
				SD	26.78
				Bd	37.19
169-26	SD1901A	ニホンジカ	踵骨（右）	GB	21.64

※計測部位は、Driesch（1976）に従った。

骨に残る痕跡　右側の上腕骨遠位部の前方に線状痕が観察された（No.153-2）。上腕骨稜と鈎突窩の間に斜め方向の深い線状痕が2本認められる。幅0.6～0.8mm、長さは12～19mmであった。また、それに平行する浅い線状痕も連続して観察できる。また、腰椎横突起の背側と腹側に線状痕が観察された（No.153-74）。椎弓と横突起の境界部分に横方向（頭尾方向）の細く鋭い線状痕が3～4本認められる。幅は0.1～0.3mm、長さは12～20mmであった。

ウシ　*Bos taurus*

SD1901A、SD10705、SD10871 から計 14 点が出土した。頭骨や四肢骨が散乱した状態で出土している。No.153-3 は右側の橈尺骨で、尺骨近位端は未癒合脱落しており、橈骨近位端が癒合完了、橈骨遠位端が癒合しているものの骨端線が消失していなかった。骨端の癒合状況から 3.5 歳前後と推測できる（Schmid1972）。その他は、橈骨近位端（No.182-13）や中足骨（No.169-56）ですべて骨端の癒合が完了していた。

イノシシ　*Sus scrofa*

SD1901A から肩甲骨、脛骨、膝蓋骨、距骨の 4 点、SX10820 から切歯 1 点の計 5 点が出土した。肩甲骨の肩甲頸内側面に、斜め方向の線状痕が連続して認められた（No.169-41）。浅い線状痕で幅は 0.2 ～ 0.3mm、長さ 3 ～ 4mm であった。

ニホンジカ　*Cervus nippon*

SD1901A や SD10801B から計 17 点が出土した。骨端が未癒合である資料が多い。骨端の癒合状況から年齢を推定すると（山崎 印刷中）、2 歳以下の個体が比較的多いことが注目される。宮城県の山王遺跡や市川橋遺跡では、古墳時代後期以降に幼若齢へ偏ることから、狩猟圧の上昇が指摘されている（菅原 2001a,b）。皮や角といった鹿から得られる素材の需要が増加した可能性を考慮する必要があろう。また、右側の脛骨近位部に線状痕が観察された（No.153-12）。脛骨体の外側に斜め方向の線状痕が連続して認められる。浅い線状痕で幅は 0.2 ～ 1.0mm、長さは 10 ～ 16mm であった。

イヌ　*Canis lupus familiaris*

SD1901A や SD10801B から計 32 点が出土した。出土状況は埋葬や遺棄を示すような全身骨格が揃った状態ではなく、散乱した状態であった。四肢骨は骨端がすべて癒合し、上顎骨や下顎骨もほとんどが萌出完了していることから、ほとんどが成獣である（表 1-4）。1 点のみ、第 2 乳臼歯と第 3 乳臼歯が植立した頭蓋骨（No.169-32）が認められ、生後 4 ヶ月未満と推定できる（森 1930、井尻・藤田 1962、Schmid 1972）。

茂原信生の計測部位（茂原 1986）に従い、癒合完了が確認できた資料を対象として計測をおこなっ

表 1-4　藤原宮跡出土イヌの顎骨残存状況

資料番号	遺構	時期	動物種	部位	左右	I1	I2	I3	C	P1	P2	P3	P4	M1	M2	M3	備考
153-13	SD1901A	藤原宮造営期	イヌ	頭蓋骨	左	〔×	×	×	×	×	P2	×	P4	M1	M2〕		
					右	〔×	×	×	×	×	P2	×	P4	M1	M2〕		
153-14	SD1901A	藤原宮造営期	イヌ	下顎骨	左								〔×	M1	M2	×〕	TG111022：M1
153-15	SD1901A	藤原宮造営期	イヌ	下顎骨	右	〔×	×	×	×	×	P2	P3	P4	×	M2	M3〕	TG111023：P2
153-71	SD1901A	藤原宮造営期	イヌ	下顎骨	左				〔×	×	P2〕						
153-79	SD1901A	藤原宮造営期	イヌ	下顎骨	左					〔×	×	×	×	×	M2	×〕	TG111021：M2
153-106	SD1901A	藤原宮造営期	イヌ	下顎骨	右	〔×	×	×	C	P1	P2	P3	P4	M1	M2	×〕	
153-107	SD1901A	藤原宮造営期	イヌ	下顎骨	右	〔×	×	×	×	×	P2	×	P4	M1	M2	×〕	
169-22	SD1901A	藤原宮造営期	イヌ	下顎骨	右	〔×	×	×	×	×	△	P3	P4	×	M2	M3〕	
169-32	SD1901A	藤原宮造営期	イヌ	頭蓋骨	右				〔×		×	dm2	dm3	(M1)〕			
169-39	SD1901A	藤原宮造営期	イヌ	下顎骨	右	〔×	×	×	×	×	P2	P3	×	M1	M2	?〕	

※［ ］は顎骨の残存位置を示す。それぞれの歯について、＜ ＞は未萌出の段階、( ) は萌出中の段階、×は顎骨から脱落した歯を示している。

表 1-5　藤原宮跡出土イヌの計測値

資料番号	遺構・層位	動物種	部位・左右	計測部位	計測値（mm）
153-13	SD1901A 粗砂層	イヌ	頭蓋骨	最大頭蓋長	161.14
				基底全長	149.61
				頬骨弓幅	90.67
				脳頭蓋長	87.89
				頭蓋幅	52.18
				バジオン-ブレグマ高	60.84
				最小前頭幅	32.01
				前頭骨頬骨突起端幅	40.28
				後頭三角幅	60.63
				最小眼窩間幅	28.11
				顔長	78.85
				吻長	67.01
				吻幅	31.56
				硬口蓋長	78.84
				硬口蓋最大幅	53.68
153-14	SD1901A 細砂層	イヌ	下顎骨（左）	下顎枝幅	29.54
				下顎体高（1）	21.31
				下顎体高（2）	22.26
				下顎体厚	11.39
				M1 近遠心径	9.61
				M1 頬舌径	5.30
				M2 近遠心径	18.74
				M2 頬舌径	7.42
153-15	SD1901A 細砂層	イヌ	下顎骨（右）	下顎骨全長（1）	111.52
				下顎骨全長（2）	109.25
				下顎枝幅	27.49
				下顎体幅（1）	21.24
				下顎体幅（2）	20.47
				下顎体幅（3）	19.49
				下顎体厚	9.93
				P2 近遠心径	6.76
				P2 頬舌径	3.56
				P3 近遠心径	7.89
				P3 頬舌径	3.89
				P4 近遠心径	7.90
				P4 頬舌径	5.06
				M2 近遠心径	6.54
				M2 頬舌径	5.39
				全歯列長	76.73
				頬歯列長	72.19
				小臼歯列長	31.27
				臼歯列長	59.62
				大臼歯列長	29.67
				犬歯部長	12.51
153-71	SD1901A 細砂層	イヌ	下顎骨（左）	P2 頬舌径	3.95
				P2 近遠径	7.43
153-79	SD1901A 粗砂層	イヌ	下顎骨（左）	下顎枝高	35.92
				下顎体高（1）	18.43
				下顎体高（2）	18.77
				下顎体高（3）	17.16
				下顎体厚	10.53
				M2 近遠心径	8.76
				M2 頬舌径	6.65
				大臼歯列長	32.55
153-106	SD1901A 粗砂層	イヌ	下顎骨（右）	下顎枝高	48.15
				下顎枝幅	31.39
				下顎体幅（1）	22.19
				下顎体幅（2）	23.41
				下顎体幅（3）	21.02
				下顎体厚	11.12
				P1 近遠心径	4.20
				P1 頬舌径	3.04
				P2 近遠心径	8.16
				P2 頬舌径	4.14
				P3 近遠心径	9.85
				P3 頬舌径	4.92
				P4 近遠心径	11.44
				P4 頬舌径	5.79
				M1 近遠心径	19.91
				M1 頬舌径	8.50
				M2 近遠心径	8.22
				M2 頬舌径	6.07
				頬歯列長	82.25
				小臼歯列長	34.95
				臼歯列長	66.15
				大臼歯列長	32.40
				犬歯部長	15.97
153-107	SD1901A 粗砂層	イヌ	下顎骨（右）	下顎骨全長（2）	112.66
				下顎枝幅	29.49
				下顎体幅（1）	23.72
				下顎体幅（2）	22.02
				下顎体幅（3）	20.33
				下顎体厚	9.90
				P2 近遠心径	6.70
				P2 頬舌径	4.07
				P4 近遠心径	10.14
				P4 頬舌径	5.60
				M1 近遠心径	20.31
				M1 頬舌径	8.62
				M2 近遠心径	8.33
				M2 頬舌径	6.38
				頬歯列長	78.76
				小臼歯列長	34.05
				臼歯列長	65.90
				大臼歯列長	33.61
				犬歯部長	13.24
153-107	SD1901A 粗砂層	イヌ	下顎骨（右）	下顎骨全長（2）	112.66
				下顎枝幅	29.49
				下顎体幅（1）	23.72
				下顎体幅（2）	22.02
				下顎体幅（3）	20.33
				下顎体厚	9.90
				P2 近遠心径	6.70
				P2 頬舌径	4.07
				P4 近遠心径	10.14
				P4 頬舌径	5.60
				M1 近遠心径	20.31
				M1 頬舌径	8.62
				M2 近遠心径	8.33
				M2 頬舌径	6.38
				頬歯列長	78.76
				小臼歯列長	34.05
				臼歯列長	65.90
				大臼歯列長	33.61
				犬歯部長	13.24
169-22	SD1901A 青灰粗砂	イヌ	下顎骨（右）	下顎骨全長（2）	113.94
				下顎枝高	45.96
				下顎枝幅	29.70
				下顎体幅（1）	23.71
				下顎体幅（2）	22.01
				下顎体幅（3）	20.01
				下顎体厚	9.67
				P3 近遠心径	8.53
				P3 頬舌径	4.22
				P4 近遠心径	9.34
				P4 頬舌径	5.58
				M1 近遠心径	17.85
				M1 頬舌径	7.24
				全歯列長	77.74
				頬歯列長	73.45
				小臼歯列長	33.30
				臼歯列長	46.92
				大臼歯列長	29.18
				犬歯部長	28.52
169-39	SD1901A 青灰細砂	イヌ	下顎骨（右）	下顎枝高	44.28
				下顎体高（3）	18.06
				下顎厚	10.04
				P2 近遠心径	7.20
				P2 頬舌径	3.63
				P3 近遠心径	8.41
				P3 頬舌径	4.01
				M1 近遠心径	19.49
				M1 頬舌径	7.45
				小臼歯列長	29.05
153-40	SD1901A 粗砂層	イヌ	遊離歯（右）	上顎 P3 近遠心径	10.56
				上顎 P3 頬舌径	3.82
153-69	SD1901A 粗砂層	イヌ	肩甲骨（左）	関節窩幅	15.76
				関節窩長	22.85
				頸部最小幅	21.39
				下部幅	25.49
153-61	SD1901A 細砂層	イヌ	上腕骨（右）	下端最大幅	31.40
153-51	SD1901A 粗砂層	イヌ	橈骨（左）	全長	148.47
				頸部最小幅	12.96
				中央横径	11.97
				中央矢状径	7.91
				下端最大幅	20.99
				下端最大矢状径	12.49
153-92	SD1901A 粗砂層	イヌ	橈骨（左）	全長	144.90
				上端最大幅	17.52
				上端最大矢状径	11.97
				頸部最小幅	13.26
				中央横径	11.18
				中央矢状径	7.81
				下端最大幅	22.13
				下端最大矢状径	12.89
169-36	SD1901A 青灰粗砂	イヌ	橈骨（右）	上端最大幅	13.87
				頸部最小幅	11.39
				中央横径	9.86
				中央矢状径	6.33
153-63	SD1901A 細砂層	イヌ	大腿骨（右）	下端最大幅	25.39
153-108	SD1901A 粗砂層	イヌ	大腿骨（右）	全長	159.61
				中央横径	13.44
				中央矢状径	12.92
				下端最大幅	27.70
169-42	SD1901A 青灰細砂	イヌ	脛骨（右）	下端最大幅	17.35
169-74	SD1901A	イヌ	踵骨（右）	全長	35.46

※計測部位は、茂原（1986）に従った。

た。計測値を長谷部言人の基準（長谷部 1952）で分類すると、小級～中大級まで幅広い大きさのイヌが確認できた。茂原信生氏は縄文時代～近世におけるイヌの形態変化を考察したが、出土事例の少ない古代は検討されていなかった（茂原 1986）。近年では、宮城県市川橋遺跡（菅原 2001a）や兵庫県大物遺跡（丸山ほか 2005）において、中大級に属する古代のイヌが出土している。

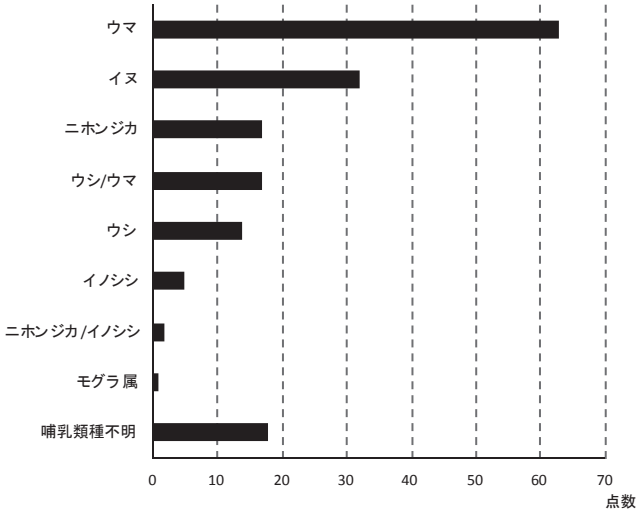

図 1-3　哺乳類組成（藤原宮造営期）

モグラ属　*Mogera* sp.

SD1901A の粗砂層から肩甲骨が1点出土した。

4. 藤原宮跡から出土した馬の様相

同定した動物遺存体 205 点のうち、194 点（94.6%）が藤原宮造営期の資料であった。そこで、藤原宮造営期の資料でみると、ウマが63 点（37.3%）と最も多く、イヌが32 点（18.9%）、ニホンジカが17 点（10.1%）とこれに次いでいた。ウシは14 点（8.3%）であった（図1-3）。

藤原宮跡から出土した馬の様相を明らかにするために、以下、周辺地域で飛鳥・奈良時代の動物遺存体がまとまって出土した遺跡を抽出し、哺乳類組成や牛馬比率、ウマの年齢や体高を比較する。

（1）比較する遺跡の概要

比較する遺跡は、奈良県域の四条遺跡、平城京左京二条二坊・三条二坊、平城京右京八条一坊十一坪、大阪府域の難波宮跡、森の宮遺跡、長原遺跡である。これらの遺跡から出土した動物遺存体について、飛鳥・奈良時代の資料を比較対象とした。動物遺存体の帰属時期は、発掘調査報告書とともに別所・積山編（2005）や宮崎編（2005）も参考とした。

四条遺跡　奈良盆地南部の飛鳥川と桜川に挟まれた扇状地上に所在する。条坊側溝や自然流路などから、ウマを中心とする飛鳥時代の動物遺存体が出土しており、解体痕跡も確認されている（金子 2005、パリノ・サーヴェイ 2010、松井 1995、1998）。

平城京左京二条二坊・三条二坊　東二坊々間路 SD4699 や濠状遺構 SD5100・SD5300 から、奈良時代前半の動物遺存体が出土した。ウシやウマに偏らずに、イヌ、ニホンジカ、イノシシも多く含まれており、周囲の邸内で食用とされた残滓が主体と考えられる（松井 1995a）。

平城京右京八条一坊十一坪　西一坊々間大路の西側溝 SD920 から、ウマを主体とする動物遺存体が出土した。時期は奈良時代末～平安時代初めを主体とする（松井 1984）。

難波宮跡　前期難波宮の造営期に埋め立てられた谷の埋土を中心として、数多くの動物遺存体が出

土している（安部 2010a、樽野 1981、2000、丸山 2010、2013a、2015、宮路・松井 2004a）。NW90-7 次調査では、前期難波宮の南西部にある龍造寺谷を埋める整地層から多数の牛馬骨が出土し、解体痕跡も認められることから、前期難波宮の造営に伴い大量の牛馬（とくに牛）が使役され、牛馬を解体処理や皮革生産をおこなう官営工房があったと考えられる（宮路・松井2004a、積山2007）。

森の宮遺跡　上町台地東裾の沖積低地に所在する。前期難波宮の東に約 0.7km しか離れていないものの、難波京の条坊制が施行された痕跡を確認できないことから、京域外あるいは京域内でも整備されなかった低湿地と考えられる。幅10m程度、深さ0.5mの自然流路SD701から7世紀後半～末頃の動物遺存体が出土した。人為的に割られたウマの頭蓋骨も出土しており、脳髄を摘出した痕跡と考えられる（久保1996）。

長原遺跡　瓜破台地の北東部とその周辺の沖積低地に所在する。古墳時代から中世にかけて通時的に動物遺存体が出土しているが、ここでは飛鳥・奈良時代の資料のみを対象とした（安部2004、久保1993、1994、1997、1999b、1999c、久保編 1999、久保ほか 2000、櫻井 1993、高志・安部 2005、樽野・杉本 2008、藤田ほか 2002、松井 2001、松本 1999、丸山 2014、宮路・松井 2004b）。古墳時代と飛鳥時代以降でウマの出土状況は異なり、古墳時代では集落から必ずといってよいほど出土するのに対し、飛鳥時代以降になると水田耕作土や灌漑用水路からの出土が目立つようになる（久保1994、1995）

（2）哺乳類組成

藤原宮跡、四条遺跡、森の宮遺跡、難波宮跡、長原遺跡、平城京左京二条二坊・三条二坊、平城京右京八条一坊十一坪で哺乳類組成を比較した（図 1-4）。比較にあたっては、資料採集方法の影響があるネズミ類やモグラ類のデータは除いた。

平城京左京二条二坊・三条二坊以外の遺跡では、ウシやウマが 50 %以上を占める点で共通する。平城京左京二条二坊・三条二坊は、ニホンジカを主体としており、他遺跡と様相が大きく異なる。藤原宮跡は、他遺跡と比べて、イヌが多く出土している点が特徴的である。次に、ウシやウマを主体とする遺跡で牛馬比率を検討すると、難波宮跡はウシの方がわずかに多く出土するが、それ以外の遺跡はウマが多く出土した（図1-5）。

藤原宮跡における哺乳類組成は、ウマを主体として、イヌが比較的多く出土する点が特徴といえる。とくにウマを主体とする点は、飛鳥・奈良時代の他遺跡と共通する傾向であるが、難波宮跡とは異なっていた。史料によれば、安閑 2 年（535）から霊亀 2 年（716）にかけて、難波の大隅嶋と媛島松原に牛牧が置かれていた。前期難波宮と藤原宮にみられる牛馬比率の違いは、造営という臨時かつ非常に大きな需要に対して、牛馬を供給できた地域の違いを反映した可能性がある。

（3）馬の年齢と大きさ

馬の年齢　馬の死亡年齢を比較できる遺跡は、四条遺跡、難波宮跡、森の宮遺跡、長原遺跡の 4 遺跡であった。発掘調査報告書に歯冠高の値が記載されている資料は、西中川駿らの推定式（西中川ほか 2015）によって死亡年齢を推定した。計測値が記載されていない資料については、報告された死亡年齢を示した。四条遺跡、難波宮跡、森の宮遺跡、長原遺跡の 4 遺跡では幅広い年齢段階が認められたのに対し、藤原宮跡では3～5歳に死亡年齢が集中していた（表1-6）。

馬の体高　大阪府蔀屋北遺跡では、土坑 A940 から 5 世紀の埋葬馬の全身骨格が非常に良好な状態

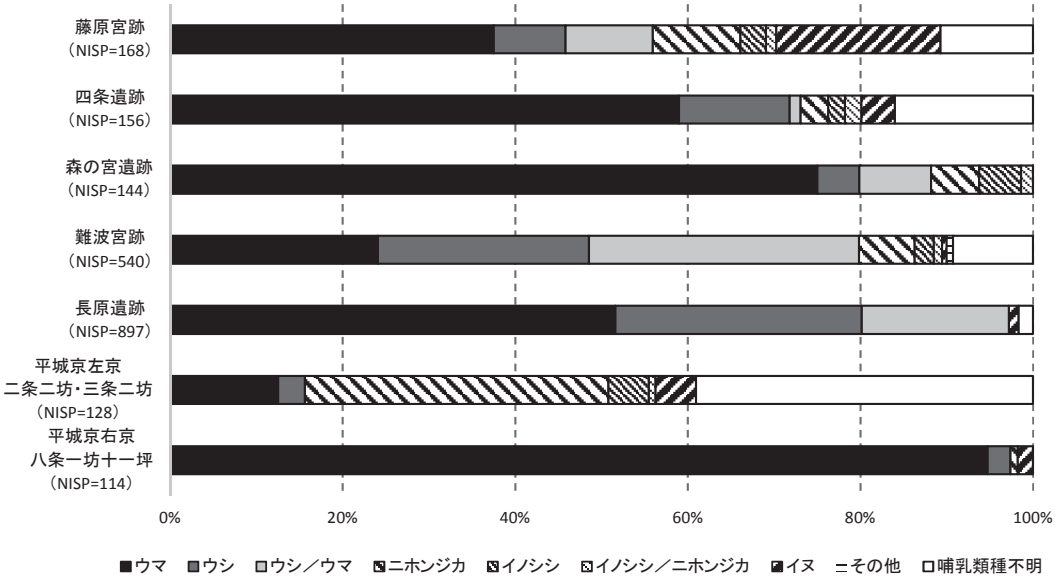

図 1-4　哺乳類組成の比較

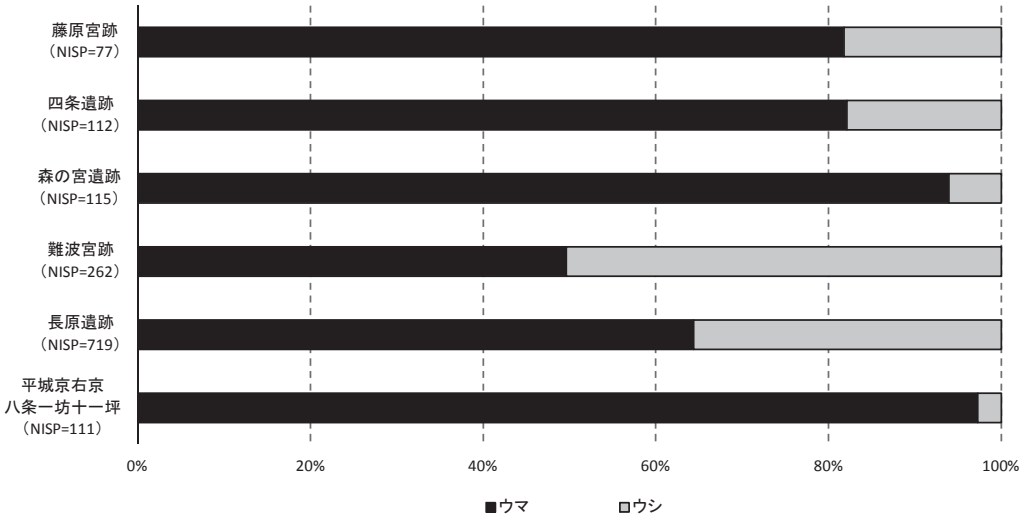

図 1-5　牛馬比率の比較

で出土した。この埋葬馬は、御崎馬に比べて頭部が非常に大きく、現生の日本在来馬のプロポーションとは異なっていたことが明らかとなった（安部 2010b）。近畿地方における古墳時代の馬を集成した丸山真史氏も、四肢骨の計測値から推定された体高よりも、臼歯列長から推定された体高の方が大きくなる可能性を指摘した（丸山 2013b）。したがって、馬の大きさを検討する際には、頭部と四肢を分けて比較する必要がある。

藤原宮跡から出土した馬は、頭蓋骨や下顎骨の臼歯列長を計測できる資料は認められなかった。そのため、他遺跡と馬の体高を比較するにあたり、検討する部位は四肢骨の全長のみとした。馬の体高を比較できる遺跡は、難波宮跡、森の宮遺跡、長原遺跡の３遺跡であった。

日本在来馬は、トカラ馬（体高 108 ～ 122cm 程度）などの小型馬と、木曽馬（体高 124 ～ 142cm 程度）

表1-6　他遺跡におけるウマの推定年齢

遺跡	調査次数	遺構・層位	帰属時期	部位	左右	歯冠高（mm）	推定年齢	資料番号	文献
四条遺跡	25次	西六坊大路西側溝 SD102	藤原宮期	下顎P4	右	74 ±	3-5歳	No.481,482	パリノ・サーヴェイ（2010）
				下顎M1	右	61 ±			
				下顎M2	右	67 ±			
				下顎M3	右	71 ±			
				下顎P3	右	55 ±	5-6歳	No.497	
				下顎P4	右	61.3			
				下顎M1	右	57.2			
				下顎M2	右	62.2			
		四条条間路北側溝 SD109	藤原宮期	上顎P2	右	42 ±	5-6歳	No.451,470	
				上顎P4	左	57 ±			
		河道 SD147	飛鳥時代	下顎P2	右	47.1	3-5歳	No.535	
				下顎P4	右	70 ±			
				上顎M2	左	64 ±	4-5歳	No.514	
				上顎M2	右	66 ±			
				下顎M1	右	63.6			
				上顎P2	左	40 ±	5-8歳	No.535	
				上顎P3	左	51 ±			
				上顎P4	左	51 ±			
				上顎M1	左	42 ±			
				上顎M2	左	51 ±			
				下顎M1?	左	38 ±	9歳	No.514	
				下顎P4	右	31.6	11-13歳	No.504	
				下顎M3	左	39.2			
				下顎M3	右	34 ±			
	27次	西六坊大路西側溝 SD102	藤原宮期	上顎P2	左	46.0	4-6歳	No.42	
				上顎P4	左	55.5			
				上顎M1	左	54.5			
				下顎P3	右	40.9	8-9歳	No.51	
				下顎P3	左	38.7			
				下顎P4	左	49.0			
				下顎P4	右	49.9			
				下顎M3	右	46.2			
				下顎M1	右	34.8	10歳	No.48	
				上顎M1	左	31.5	11-13歳	No.42	
				上顎M3	右	31.9			
				下顎M1	左	19.6	16歳	No.51	
難波宮跡	大坂城03-1	谷	飛鳥～奈良時代	下顎臼歯（P3-M2）	左	64.5	4-5歳	4260-1	安部（2010）
	OS03-13	SK902	7世紀後半	上顎P2	左	44.2	4-6歳	474-1	
				上顎P2	右	39.5		474-7	
				上顎P3	左	46.0		474-2	
				上顎P3	右	47.7		474-8	
				上顎P4	左	61.1		474-3	
				上顎M1	左	58.9		474-4	
				上顎M2	左	54.3		474-5	
				上顎M2	右	54.3		474-11	
	NW12-4	第8b層	前期難波宮期	下顎P2	右	21.7	10-12歳	R309-1	丸山（2013）
				下顎P4	右	34.5			
				下顎M3	右	42.7			
	NW13-5	第5層	前期難波宮造営期	上顎P2	右	31.5	8歳	R097	丸山（2015）
森の宮遺跡		溝（自然流路？） SD701	7世紀後半～末	下顎骨	左		2歳	160	久保（1996）
				上顎骨	右		4-4.5歳	128	
				下顎骨	左		5歳±	159	
				下顎骨	左右		8歳	158	
				下顎骨	左右		15歳		
				下顎骨	右		15歳		
長原遺跡	NG86-58	長原6Ai層	奈良時代	下顎臼歯	右		5歳前後		久保（1993）
	NG87-27	長原6A層	奈良時代	下顎骨	左右		5-10歳		久保（1994）
	NG94-63	第17（長原6B）層	飛鳥時代	上顎I2	右		9-10歳	資料27	久保（1999c）
	NG95-14	窪地 SX701	6世紀末-7世紀中葉	上顎P2	右	46	4歳		久保ほか（2000）
				上顎M1	左	約62	4歳		
				上顎P2	左	47	4歳		
				下顎P4	左	67≦	5歳以下		
				上顎M1	右	50	6歳		
				上顎P4	左	56	6歳		
				上顎P4	左	52<	7歳以下		
				上顎P4?	左	53	7歳		
				上顎P2	左	30	9歳		
				上顎P3	左	35	9歳		
				上顎M1	左	36	9歳		
				上顎P2	右	27	10歳		
				上顎P4	右	36	11歳		
				上顎P4	左	36	11歳		
				下顎M1	右	31	12歳		
				上顎M2	右	32	12歳		
				上顎M1	左	28	12歳		
				下顎P3	左	24	13歳		
				下顎M2?	左	約31	13歳		
				上顎M1?	右	27	13歳		
				下顎P3	右	約23	14歳		
				上顎M2	右	22	16歳		
	NG01-14	自然流路 NR501 第5a層	8世紀前半	下顎骨	左		5-6歳	R460	宮路・松井（2004）
				下顎骨	右		5-6歳	R592	
		自然流路 NR501 第5a層基底	8世紀前半	下顎骨	左		5-6歳	R206	
				下顎骨	右		5-6歳	R209	
		自然流路 NR501 第5b層	8世紀前半	下顎骨	右		5-6歳	R267	
				下顎骨			3-4歳	R403	
		自然流路 NR501 第5b層下部	8世紀前半	上顎骨	左右		8-9歳	R283	
		自然流路 NR501 第5b層基底	8世紀前半	下顎骨	右		3-4歳	R268	
				下顎骨	左		5-6歳	R269	
	NG12-3	土手 SX-A19	8世紀初頭	下顎P3	左	68.5	4歳	試料28	丸山（2014）
				下顎M1	左	70.7			
				下顎P4	左	49.8	8歳	試料27	

※発掘調査報告書に歯冠高の値が記載されている資料は、西中川駿らの推定式（西中川ほか2015）の推定式によって死亡年齢を推定した。
※計測値が記載されていない資料については、報告された死亡年齢を示した。

表 1-7　出土ウマの推定体高

遺跡	調査次数	遺構・層位		時期	部位	左右	GL（mm）	推定体高（cm）	資料番号	文献
藤原宮跡	153次	運河SD1901A細砂層		藤原宮造営期	橈骨	左	316.4	128.5	153-1	
					第3中手骨	右	215.5	131.8	153-8	
難波宮跡	大坂城03-1	谷		飛鳥～奈良時代	橈骨	不明	269.6	102.7	3927	安部（2010）
森の宮遺跡		溝（自然流路？）SD701		7世紀後半～末	橈骨		338.0	138.4	137	久保（1996）
					第3中手骨		211.0	127.8	145	
					脛骨		327.0	127.8	149	
					第3中足骨		250.0	124.3	150	
長原遺跡	NG95-14	窪地SX701		6世紀末-7世紀中葉	橈骨	右	308.0	124.4		久保ほか（2000）
					脛骨	右	347.0	137.5		
					脛骨	右	320.0	124.1		
					脛骨	右	365.0	145.4		
					第3中足骨	左	268.0	132.9		
					第3中足骨	左	267.0	132.5		
	NG96-71	長原6層		奈良時代	第3中手骨		252.5	150.2	29	松井（2001）
	NG01-14	自然流路NR501	第5a層	8世紀前半	橈骨	右	335.0	137.1	R623-1	宮路・松井（2004）
			第5a層基底	8世紀前半	上腕骨	左	276.1	128.7	R212	
			第5b層上部	8世紀前半	橈骨	左	319.0	129.8	R145	
					橈骨	左	306.0	123.3	R346	
					橈骨	右	323.0	131.7	R437	
					第3中手骨	不明	207.2	126.4	R430	
					大腿骨	右	345.0	117.6	R271	
					第3中足骨	左	275.1	136.4	R233	
			第5b層下部	8世紀前半	脛骨	左	306.6	116.8	R371-1	
					第3中足骨	右	254.0	126.2	R179	
			第5b層基底	8世紀前半	第3中手骨	左	219.8	134.4	R286	
					第3中手骨	左	216.3	132.3	R401	
					第3中手骨	左	214.5	131.2	R456	
					第3中足骨	左	262.1	130.1	R266	
	NG12-3	土手SX-A19		8世紀初頭	第3中手骨		225.1	137.5	28	丸山（2014）

※林田重幸と山内忠平の推定Ⅲ式（林田・山内1957）によって、全長（GL）から体高を推定した。

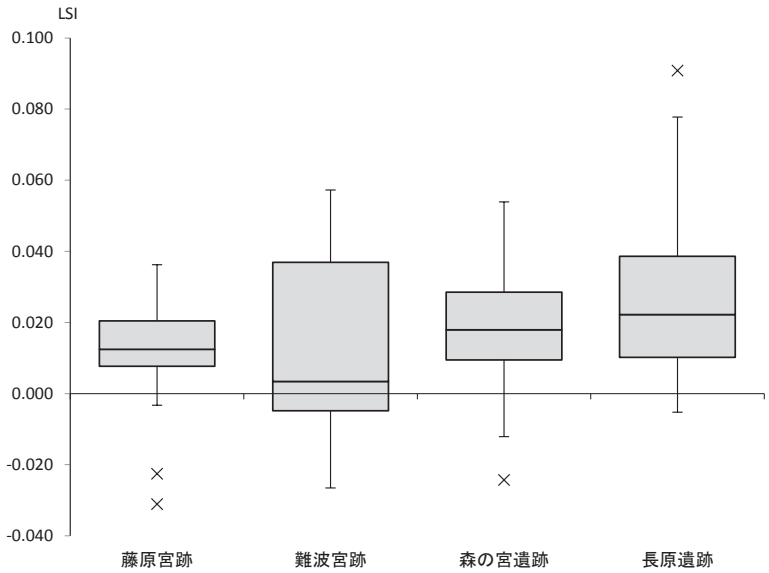

図 1-6　出土馬の大きさの比較（LSI）

や御崎馬（体高124～138cm程度）などの中型馬に分けられる（林田1956、1968、1974）。藤原宮跡では、出土馬の体高は128.5cm（No.153-1）と131.8cm（No.153-8）と推定され、中型馬に相当する。森の宮遺跡はすべて中型馬で、長原遺跡は中型馬が主体であるが、小型馬から体高が140cm以上の大きな個体も認められた。難波宮跡は小さな馬が認められたが、体高が推定できたのは1個体のみであった（表1-7）。

馬の大きさ　次にLSI（Log Size Index）法で、出土馬の大きさを遺跡間で相対的に検討する。LSIの算定にあたっては、山崎（2001）、姉崎（2003）、植月（2011）を参考とした。各遺跡から出土した馬の計測値を、基準標本の計測値と比較することによって、相対的な大きさに置き換えることができる。LSIが0は基準標本の大きさであり、基準標本よりも大きいものは正の値、小さいものは負の値で示される。現生トカラ馬の骨格標本を基準標本として、主要四肢骨各部位の計測値を基準値とした。計測部位はDriech（1976）に従った。出土馬の四肢骨の計測にあたっては、成獣で大きさを検討するために、骨端癒合が確認できた資料のみを対象とした。

得られた各遺跡のLSI値から箱ひげ図を作成し、遺跡間で馬の大きさを相対的に比較した（図1-6）。箱内部の線は中央値、箱の上端と下端は四分位範囲、ひげの上端と下端は四分位範囲の1.5倍、×は外れ値を示す。飛鳥・奈良時代の他遺跡と比較して、藤原宮跡から出土した馬は、大型の個体が少なく、全体的にやや小型であった。

（山崎健）

本研究の一部は、科学研究費補助金・若手研究（B）「古代における食生活の復元に関する環境考古学的研究」（課題番号26870928）の成果によるものである。

引用文献

姉崎智子（2003）「先史時代におけるイノシシ飼育の検討―臼歯サイズの時間的変化」『動物考古学』20、23-39頁

安部みき子（2004）「動物骨」『長原遺跡発掘調査報告XI』大阪市文化財協会、18-19頁

安部みき子（2010a）「難波宮址出土の動物遺存体」『東アジアにおける難波宮と古代難波の国際的性格に関する総合研究』平成18～21年度科学研究費補助金（基盤研究（B））研究成果報告書（研究代表者：積山洋）、293-300頁

安部みき子（2010b）「蔀屋北遺跡出土の動物遺存体」『蔀屋北遺跡Ⅰ　総括・分析編』大阪府埋蔵文化財調査報告2009-3、249-323頁

石丸恵利子（2005）「魚類の体長復元と中世の調理方法―草戸千軒町遺跡出土のマダイ・クロダイを例として―」『考古論集―川越哲志先生退官記念論文集―』川越哲志先生退官記念事業会、689-704頁

井尻正二・藤田恒太郎（1962）「犬の歯の萌出時期」『解剖学雑誌』37-5、331-338頁

市井正次（1942）『馬学精鋭』朝倉書店

今井晃樹・森川実・星野安治・庄田慎矢・藤井裕之・降幡順子・木村史明（2013）「朝堂院朝廷の調査―第174次」『奈良文化財研究所紀要2013』奈良文化財研究所、86-96頁

植月学（2011）「出土馬歯計測値の比較のための基礎的研究」『動物考古学』28、1-22頁
奥谷喬司編（2000）『日本近海産貝類図鑑』東海大学出版会
加藤嘉太郎・山内昭二（2003）『新編　家畜比較解剖図説』上巻、養賢堂
金子浩昌（2005）「骨・貝の種類　結果および考察（四条遺跡2004（30次））」『奈良県遺跡調査概報2004年度（第2分冊）』、25-27頁
紀平肇・松田征也・内山りゅう（2009）『日本産淡水貝類図鑑 ①琵琶湖・淀川産の淡水貝類』ピーシーズ
久保和士（1993）「動物遺体」『長原・瓜破遺跡発掘調査報告VI』大阪市文化財協会、156頁
久保和士（1994）「長原6層中から出土したウマの骨」『長原・瓜破遺跡発掘調査報告VII』大阪市文化財協会、74-78頁
久保和士（1995）「動物遺体の調査結果」『長原・瓜破遺跡発掘調査報告VIII』大阪市文化財協会、233-241頁
久保和士（1996）「動物遺体の調査結果」『森の宮遺跡II』大阪市文化財協会、134-233頁
久保和士（1997）「動物遺体」『長原・瓜破遺跡発掘調査報告IX』大阪市文化財協会、204頁
久保和士（1999a）「スッポン遺体について」『堂島蔵屋敷跡』大阪市文化財協会、68-70頁
久保和士（1999b）「動物遺体の調査結果と検討」『長原遺跡東部地区発掘調査報告II』大阪市文化財協会、107-120頁
久保和士（1999c）「動物遺体の調査結果」『長原・瓜破遺跡発掘調査報告XIV』大阪市文化財協会、40-43頁
久保和士編（1999）『長原・瓜破遺跡発掘調査報告XIII』大阪市文化財協会
久保和士・松井章・宮路淳子・佐久間桂子（2000）「長原遺跡95-14次調査出土の動物遺存体」『長原・瓜破遺跡発掘調査報告XV』大阪市文化財協会、159-172頁
桑田訓也・今井晃樹・森川実・廣瀬覚・山崎健（2014）「朝堂院朝庭の調査―第179次」『奈良文化財研究所紀要2014』奈良文化財研究所、82-88頁
後藤仁敏・大泰司紀之・田畑純・花村肇・佐藤巌編（2014）『歯の比較解剖学 第2版』医歯薬出版株式会社
酒詰仲男（1961）「自然遺物」『橿原』奈良県教育委員会、263-280頁
櫻井久之（1993）「長原6Bi層出土遺物」『長原・瓜破遺跡発掘調査報告VI』大阪市文化財協会、65頁
茂原信生（1986）『東京大学総合研究資料館所蔵長谷部言人博士収集犬科動物資料カタログ』東京大学総合研究資料館標本資料報告13、東京大学総合研究資料館
新獣医学辞典編集委員会編（2008）「飛節内腫」『新獣医学辞典』チクサン出版社、1100頁
菅原弘樹（2001a）「動物遺体」『市川橋遺跡の調査』宮城県文化財調査報告書第184集、203-233頁
菅原弘樹（2001b）「動物遺体」『山王遺跡八幡地区の調査2』宮城県文化財調査報告書第186集、167-180頁
積山洋（2007）「牛馬観の変遷と日本古代都城」『古代文化』59-1、40-55頁
高志こころ・安部みき子（2005）「長原遺跡（NG02-8・03-6次）出土の動物遺存体について」『長原遺跡発掘調査報告XII』大阪市文化財協会、280-282頁
高橋知奈津・廣瀬覚・山崎健・桑田訓也・森先一貴・若杉智宏（2012）「朝堂院朝庭の調査―第169

次」『奈良文化財研究所紀要2012』奈良文化財研究所、84-93頁
玉田芳英・小田裕樹・市大樹・高田貫太・木村理恵・豊島直博・山崎健（2009）「朝堂院の調査―第153次」『奈良文化財研究所紀要2009』奈良文化財研究所、50-61頁
樽野博幸（1978）「大福遺跡出土の獣骨について」『大福遺跡―桜井市大福所在遺跡の調査報告―』奈良県史跡名勝天然記念物調査報告第36冊、127-128頁
樽野博幸（1981）「動物遺体」『難波宮址の研究 第七（報告篇）』大阪市文化財協会、228-232頁
樽野博幸（2000）「脊椎動物」『難波宮址の研究 第十一』大阪市文化財協会、199-206頁
樽野博幸・杉本厚典（2008）「NG03-5次調査地出土の動物骨同定とウマの埋葬」『長原遺跡発掘調査報告XVII』大阪市文化財協会、129-132頁
田原本町教育委員会（2004）『唐古・鍵考古学ミュージアム展示図録』
堤俊夫・川島卓・浜田勘太（1982）「三浦市大浦山海蝕洞穴より出土した魚骨の種属判定と体長の推定」『京急油壷マリンパーク水族館年報』11、69-76頁
中坊徹次編（2013）『日本産魚類検索 全種の同定』第三版、東海大学出版会
西中川駿・幸村真由美・吉野文彦・塗木千穂子・松元光春（2015）「ウマの臼歯の計測値から体高および年齢の推定法」『動物考古学』32、1-9頁
日本鳥類目録編集委員会（2012）『日本鳥類目録改訂第7版』日本鳥学会
野村晋一（1997）『概説馬学（新装版）』新日本教育図書
林田重幸（1956）「日本古代馬の研究」『人類学雑誌』64-4、197-211頁
林田重幸（1968）「本邦家畜の起源と系統―特に馬を中心として―」『日本民族と南方文化』平凡社、375-402頁
林田重幸（1974）「日本在来馬の源流」『日本古代文化の探求・馬』社会思想社、215-262頁
林田重幸・山内忠平（1957）「馬における骨長より体高の推定法」『鹿児島大学農学部学術報告』6、146-156頁
パリノ・サーヴェイ株式会社（2010）「四条遺跡出土骨の同定」『四条遺跡II』奈良県立橿原考古学研究所報告第106冊、419-428頁
長谷部言人（1952）「犬骨」『吉胡貝塚』文化財保護委員会、145-150頁
藤田正勝・宮路淳子・松井章（2002a）「NG00-11次調査出土の動物遺存体の検討」『長原遺跡発掘調査報告IX』大阪市文化財協会、55頁
別所秀高・積山洋編（2005）「考古」『大阪の部落史 第1巻 史料編 考古／古代・中世／近世1』部落解放・人権研究所、1-123頁
松井章（1984）「動物遺存体」『平城京右京八条一坊十一坪発掘調査報告書』奈良国立文化財研究所、54-56頁
松井章（1995a）「平城京左京三条二坊・二条二坊出土の動物遺存体」『平城京左京二条二坊・三条二坊発掘調査報告―長屋王邸・藤原麻呂邸の調査―　本文編』奈良国立文化財研究所、573-576頁
松井章（1995b）「動物遺存体」『奈良県遺跡調査概報1994年度（第2分冊）』、33頁
松井章（1998）「動物遺存体（四条遺跡第23・24次発掘調査報告）」『奈良県遺跡調査概報1997年度（第2分冊）』、43頁
松井章（2001）「1996年度調査出土の動物遺体」『長原・瓜破遺跡発掘調査報告XVI』大阪市文化財

協会、206頁
松本啓子（1999）「NG96-47次調査」『大阪市埋蔵文化財発掘調査報告―1996年度―』、16-18頁
丸山真史（2010）「難波宮下層から出土した動物遺存体」『難波宮址の研究 第十六』大阪市文化財協会、73-81頁
丸山真史（2012）「難波宮址（NW10-4次）調査出土の動物遺存体」『難波宮址の研究 第十八』大阪市文化財協会、151-160頁
丸山真史（2013a）「難波宮跡・大坂城跡発掘調査（NW12-4）から出土した動物遺存体」『難波宮址の研究 第十九』大阪市文化財協会、127-136頁
丸山真史（2013b）「古墳時代に飼育された馬―近畿地方のウマ遺存体を中心に―」『古墳時代中期の馬生産と鉄生産』古代学研究会2013年度拡大例会シンポジウム、8-18頁
丸山真史（2014）「長原遺跡（NG12-3次調査）出土の動物遺存体」『長原遺跡発掘調査報告第28冊』大阪文化財研究所、122-124頁
丸山真史（2015）「難波宮跡NW13-5次調査出土の動物遺存体」『難波宮址の研究 第二十―朝集殿院東方の調査―』大阪市文化財協会、49-52頁
丸山真史・橋本裕子・松井章（2011）「橿原遺跡出土の動物遺存体」『重要文化財 橿原遺跡出土品の研究』橿原考古学研究所研究成果第11冊、281-294頁
丸山真史・藤澤珠織・松井章（2005）「大物遺跡出土の人骨および動物遺存体について」『尼崎市埋蔵文化財調査年報 平成7年度（6）―大物移籍第1次調査概要 その5―』尼崎市教育委員会、31-70頁
丸山真史・松井章（2007）「飛鳥京苑池遺構から出土した動物遺存体」『青陵』123、1-5頁
宮崎泰史編（2005）「大阪府域の牛馬骨出土遺跡一覧」『大阪の部落史 第1巻 史料編 考古／古代・中世／近世1』部落解放・人権研究所、別添CD-ROM
宮路淳子・松井章（2004a）「NW90-7次調査地から出土した動物遺存体」『難波宮址の研究 第十二―宮殿周辺地域の調査―』大阪市文化財協会、193-202頁
宮路淳子・松井章（2004b）「長原遺跡（NG01-14次）調査出土の動物遺存体について」『長原遺跡東部地区発掘調査報告VII』大阪市文化財協会、55-69頁
森忠夫（1930）「本邦産雑種犬二於ケル歯牙形態及ビ其ノ二代歯列発生ノ時期ニ就テ」『日本歯科学会雑誌』23-5、227-256頁
森岡照明・叶内拓哉・川田隆・山形則男（1995）『図鑑日本のワシタカ類』文一総合出版
森川実・若杉智宏・清野孝之・大谷育恵・星野安治・山崎健（2015）「藤原宮大極殿院の調査―第182次」『奈良文化財研究所紀要2015』奈良文化財研究所、86-96頁
山崎京美（2001）「遺跡イノシシの骨学的研究」『縄文時代島嶼部イノシシに関する基礎的研究』平成11～12年度科学研究費補助金（基盤研究（C）(2)）研究成果報告書（研究代表者：山崎京美）、4-25頁
山崎健（2011）「藤原宮造営期の馬の骨に認められる骨病変」『奈良文化財研究所紀要2011』奈良文化財研究所、74-75頁
山崎健（2012）「藤原宮造営期における動物利用―使役と食を中心として―」『文化財論叢Ⅳ―奈良文化財研究所創立60周年記念論文集―』奈良文化財研究所学報第92冊、345-365頁

山崎健（2015）「古代における鷲羽の利用」『奈良文化財研究所紀要 2015』奈良文化財研究所、72-73頁

山崎健（印刷中）「ニホンジカの骨端癒合時期」『動物考古学』33

山本崇・高橋知奈津・豊島直博・石田由紀子・若杉智宏（2010）「朝堂院回廊・大極殿回廊の調査―第160次」『奈良文化財研究所紀要2010』奈良文化財研究所、80-90頁

若杉智宏・石橋茂登・山崎健・山本崇・森先一貴（2011）「朝堂院朝庭の調査―第163次」『奈良文化財研究所紀要2011』奈良文化財研究所、82-90頁

Driesch,A. (1976) *A Guide to the Measurement of Animal Bones from Archaeological Sites*. Peabody Museum Bulletin 1.

König,H.E.・Liebich,H.G. (2010)『カラーアトラス獣医解剖学 増補改訂版 下巻』カラーアトラス獣医解剖学編集委員会監訳、チクサン出版社

Schmid,E. (1972) *Atlas of animal bones*. Elsevier Publishing Company, Amsterdam.

表 1-8　藤原宮跡出土の動物遺存体

資料番号	大地区	小地区	遺構	層位	時期	動物種	部位	左右	残存部位	癒合状況	備考
169-30	5AJF	HG34	SD1901A		藤原宮造営期	ニホンジカ	肩甲骨	右	関節窩	骨端線あり	製作痕跡？
153-50	5AJF	NE33	SD1901A	細砂層	藤原宮造営期	ウマ	後頭骨				
153-16	5AJF	NE33	SD1901A	細砂層	藤原宮造営期	ニホンジカ	尺骨	左	近位端・滑車切痕	未癒合脱落	
153-101	5AJF	NG34	SD1901A	細砂層	藤原宮造営期	スッポン	背甲肋骨板	不明	肋骨板		
153-97	5AJF	NG34	SD1901A	粗砂層	藤原宮造営期	スッポン	背甲肋骨板	不明	肋骨板		
153-98	5AJF	NG34	SD1901A	粗砂層	藤原宮造営期	スッポン	腹甲肋骨板	不明	下腹骨板		
153-12	5AJF	NG34	SD1901A	粗砂層	藤原宮造営期	ニホンジカ	脛骨	右	完存	近位端癒合 遠位端癒合	カットマーク
153-63	5AJF	NH34	SD1901A	細砂層	藤原宮造営期	イヌ	大腿骨	右	遠位端	癒合	TG111012
153-68	5AJF	NH34	SD1901A	細砂層	藤原宮造営期	ウシ	遊離歯	左	上顎歯（P3/P4）		
153-65	5AJF	NH34	SD1901A	細砂層	藤原宮造営期	ウシ／ウマ	椎骨		椎体板	未癒合骨端	
153-7	5AJF	NH34	SD1901A	細砂層	藤原宮造営期	ウマ	上腕骨	右	遠位端	癒合	
153-67	5AJF	NH34	SD1901A	細砂層	藤原宮造営期	ウマ	遊離歯	左	下顎歯（P3/P4/M1/M2）		未咬耗
153-1	5AJF	NH34	SD1901A	細砂層	藤原宮造営期	ウマ	橈骨	左	完存	近位端癒合 遠位端癒合	
153-64	5AJF	NH34	SD1901A	細砂層	藤原宮造営期	哺乳類種不明	腰椎		完存	癒合	イヌ程度の大きさ
153-66	5AJF	NH34	SD1901A	細砂層	藤原宮造営期	哺乳類種不明	尾椎		完存		
153-62	5AJF	NH34	SD1901A	細砂層	藤原宮造営期	哺乳類種不明	腓骨	左	完存	近位端癒合 遠位端癒合	イヌ程度の大きさ
153-23	5AJF	NH34	SD1901A	青灰色粘土層	藤原宮造営期	ウマ	遊離歯	右	下顎臼歯		未咬耗
153-59	5AJF	NH34	SD1901A	青灰色粘土層	藤原宮造営期	哺乳類種不明	尾椎		完存		
153-79	5AJF	NH34	SD1901A	粗砂層	藤原宮造営期	イヌ	下顎骨	左			TG111021
153-106	5AJF	NH34	SD1901A	粗砂層	藤原宮造営期	イヌ	下顎骨	右			
153-107	5AJF	NH34	SD1901A	粗砂層	藤原宮造営期	イヌ	下顎骨	右			
153-44	5AJF	NH34	SD1901A	粗砂層	藤原宮造営期	イヌ	距骨	右	完存		
153-69	5AJF	NH34	SD1901A	粗砂層	藤原宮造営期	イヌ	肩甲骨	左	関節窩	癒合	TG111017
153-43	5AJF	NH34	SD1901A	粗砂層	藤原宮造営期	イヌ	尺骨	左	滑車切痕		
153-108	5AJF	NH34	SD1901A	粗砂層	藤原宮造営期	イヌ	大腿骨	右	完存	近位端癒合 遠位端癒合	
153-52	5AJF	NH34	SD1901A	粗砂層	藤原宮造営期	イヌ	大腿骨	左	骨幹部	不明	TG111019
153-40	5AJF	NH34	SD1901A	粗砂層	藤原宮造営期	イヌ	遊離歯	右	上顎P3		TG111024
153-51	5AJF	NH34	SD1901A	粗砂層	藤原宮造営期	イヌ	橈骨	左	完存	近位端癒合 遠位端癒合	
153-35	5AJF	NH34	SD1901A	粗砂層	藤原宮造営期	イヌ	橈骨	右	近位端	癒合	
153-24	5AJF	NH34	SD1901A	粗砂層	藤原宮造営期	イヌ	脛骨	左	完存	近位端癒合 遠位端癒合	
153-19	5AJF	NH34	SD1901A	粗砂層	藤原宮造営期	ウシ	大腿骨	左	骨幹部		
153-45	5AJF	NH34	SD1901A	粗砂層	藤原宮造営期	ウシ	中手骨／中足骨	不明	遠位端	不明	
153-33	5AJF	NH34	SD1901A	粗砂層	藤原宮造営期	ウシ	遊離歯	右	上顎P2		
153-34	5AJF	NH34	SD1901A	粗砂層	藤原宮造営期	ウシ	遊離歯	右	上顎歯（P3/P4）		
153-25	5AJF	NH34	SD1901A	粗砂層	藤原宮造営期	ウシ／ウマ	椎骨		椎体	癒合	
153-56	5AJF	NH34	SD1901A	粗砂層	藤原宮造営期	ウシ／ウマ	肋骨	左	肋骨頭＋肋骨頸		
153-74	5AJF	NH34	SD1901A	粗砂層	藤原宮造営期	ウマ	腰椎			癒合	カットマーク
153-9	5AJF	NH34	SD1901A	粗砂層	藤原宮造営期	ウマ	上腕骨	右	遠位端	癒合	
153-2	5AJF	NH34	SD1901A	粗砂層	藤原宮造営期	ウマ	上腕骨	右	完存	近位端癒合 遠位端癒合	カットマーク
153-46	5AJF	NH34	SD1901A	粗砂層	藤原宮造営期	ウマ	第2中足骨	右	近位端		
153-78	5AJF	NH34	SD1901A	粗砂層	藤原宮造営期	ウマ	遊離歯	左	下顎歯（P3/P4）		TG111004
153-42	5AJF	NH34	SD1901A	粗砂層	藤原宮造営期	ウマ	遊離歯	右	下顎歯（P4/M1/M2）		TG102202
153-53	5AJF	NH34	SD1901A	粗砂層	藤原宮造営期	ウマ	遊離歯	右	上顎歯（M3）		TG102204
153-75	5AJF	NH34	SD1901A	粗砂層	藤原宮造営期	ウマ	遊離歯	右	上顎歯（P3/P4/M1/M2）		TG111002
153-55	5AJF	NH34	SD1901A	粗砂層	藤原宮造営期	ウマ	遊離歯	左	上顎歯（P3/P4/M1/M2）		TG111003
153-22	5AJF	NH34	SD1901A	粗砂層	藤原宮造営期	ウマ	遊離歯	不明	切歯		
153-84	5AJF	NH34	SD1901A	粗砂層	藤原宮造営期	ウマ	遊離歯	不明	切歯		
153-102	5AJF	NH34	SD1901A	粗砂層	藤原宮造営期	カワニナ					
153-103	5AJF	NH34	SD1901A	粗砂層	藤原宮造営期	カワニナ					
153-48	5AJF	NH34	SD1901A	粗砂層	藤原宮造営期	ニホンジカ	基節骨	不明	完存	近位端癒合 遠位端癒合	
153-28	5AJF	NH34	SD1901A	粗砂層	藤原宮造営期	ニホンジカ	肩甲骨	左	関節窩	癒合	TG102207
153-37	5AJF	NH34	SD1901A	粗砂層	藤原宮造営期	ニホンジカ	中節骨	不明	完存	近位端癒合 遠位端癒合	病変？
153-11	5AJF	NH34	SD1901A	粗砂層	藤原宮造営期	ニホンジカ	橈骨	左	完存	近位端癒合 遠位端癒合	イヌ噛み跡
153-38	5AJF	NH34	SD1901A	粗砂層	藤原宮造営期	ニホンジカ	橈側手根骨	右			
153-80	5AJF	NH34	SD1901A	粗砂層	藤原宮造営期	ニホンジカ／イノシシ	椎骨		棘突起		
153-18	5AJF	NH34	SD1901A	粗砂層	藤原宮造営期	ヘビ亜目	椎骨		完存		
153-47	5AJF	NH34	SD1901A	粗砂層	藤原宮造営期	モグラ属	肩甲骨	左	完存	癒合	
153-26	5AJF	NH34	SD1901A	粗砂層	藤原宮造営期	哺乳類種不明	椎骨		椎弓	不明	
153-36	5AJF	NH34	SD1901A	粗砂層	藤原宮造営期	哺乳類種不明	不明	不明	不明	癒合	
153-49	5AJF	NH34	SD1901A	粗砂層	藤原宮造営期	哺乳類種不明	不明	不明	不明		
153-39	5AJF	NH34	SD1901A	粗砂層	藤原宮造営期	哺乳類種不明	遊離歯	不明	不明		
153-41	5AJF	NH34	SD1901A	粗砂層	藤原宮造営期	哺乳類種不明	遊離歯	不明	不明		
153-77	5AJF	NH34／NI34	SD1901A	粗砂層	藤原宮造営期	ニホンジカ	中手骨	右	近位端	癒合	スパイラル剥離
153-100	5AJF	NI33	SD1901A	細砂層	藤原宮造営期	ウマ？	中足骨？	不明	骨幹部	不明	カットマーク？
153-15	5AJF	NI34	SD1901A	細砂層	藤原宮造営期	イヌ	下顎骨	右			No.153-14と 同一個体？ TG111023
153-14	5AJF	NI34	SD1901A	細砂層	藤原宮造営期	イヌ	下顎骨	左			No.153-15と 同一個体？ TG111022
153-71	5AJF	NI34	SD1901A	細砂層	藤原宮造営期	イヌ	下顎骨	左			
153-61	5AJF	NI34	SD1901A	細砂層	藤原宮造営期	イヌ	上腕骨	右	遠位端	癒合	
153-72	5AJF	NI34	SD1901A	細砂層	藤原宮造営期	イヌ	遊離歯	左	下顎C		

表1-8（つづき）

資料番号	大地区	小地区	遺構	層位	時期	動物種	部位	左右	残存部位	癒合状況	備考
153-3	5AJF	NI34	SD1901A	細砂層	藤原宮造営期	ウシ	橈骨＋尺骨	右	尺骨：完存	近位端未癒合脱落 遠位端癒合	
									橈骨：完存	近位端癒合 遠位端癒合 （骨端線あり）	
153-58	5AJF	NI34	SD1901A	細砂層	藤原宮造営期	ウマ	下顎骨	右	下顎角		
153-57	5AJF	NI34	SD1901A	細砂層	藤原宮造営期	ウマ	下顎骨	右	筋突起＋関節突起		
153-29	5AJF	NI34	SD1901A	細砂層	藤原宮造営期	ウマ	下顎骨	左右	槽間縁		TG102206
153-6	5AJF	NI34	SD1901A	細砂層	藤原宮造営期	ウマ	距骨＋ 中心足根骨	左	完存		病変
153-10	5AJF	NI34	SD1901A	細砂層	藤原宮造営期	ウマ	上腕骨	左	遠位端	癒合	TG102208
153-8	5AJF	NI34	SD1901A	細砂層	藤原宮造営期	ウマ	第3中手骨	右	完存	近位端癒合 遠位端癒合	
153-32	5AJF	NI34	SD1901A	細砂層	藤原宮造営期	ウマ	遊離歯	右	下顎dp4		No.153-31と 同一個体 No.153-30と 同一個体？
153-30	5AJF	NI34	SD1901A	細砂層	藤原宮造営期	ウマ	遊離歯	左	下顎M3	未咬耗	No.153-31,32と 同一個体？
153-31	5AJF	NI34	SD1901A	細砂層	藤原宮造営期	ウマ	遊離歯	右	下顎P4	未咬耗	No.153-32と 同一個体 No.153-30と 同一個体？
153-4	5AJF	NI34	SD1901A	細砂層	藤原宮造営期	ウマ	遊離歯	右	下顎歯（P4/M1/M2）		TG111005
153-5	5AJF	NI34	SD1901A	細砂層	藤原宮造営期	ウマ	遊離歯	右	下顎歯（P4/M1/M2）		TG102203
153-17	5AJF	NI34	SD1901A	細砂層	藤原宮造営期	板鰓亜綱	椎骨				椎体横径：9.20mm
153-13	5AJF	NI34	SD1901A	粗砂層	藤原宮造営期	イヌ	頭蓋骨		完存		
153-92	5AJF	NI34	SD1901A	粗砂層	藤原宮造営期	イヌ	橈骨	左	完存	近位端癒合 遠位端癒合	
153-76	5AJF	NI34	SD1901A	粗砂層	藤原宮造営期	ウシ	頸椎			未癒合脱落？	TG111018
153-91	5AJF	NI34	SD1901A	粗砂層	藤原宮造営期	ウシ／ウマ	椎骨		椎体	癒合	
153-89	5AJF	NI34	SD1901A	粗砂層	藤原宮造営期	ウマ	尺骨	右	滑車切痕	不明	TG111015
153-54	5AJF	NI34	SD1901A	粗砂層	藤原宮造営期	ウマ	遊離歯	右	上顎歯（P2）		TG102205
153-94	5AJF	NI34	SD1901A	粗砂層	藤原宮造営期	ウマ	遊離歯	左	上顎歯 （P3/P4/M1/M2）		TG111001
153-95	5AJF	NI34	SD1901A	粗砂層	藤原宮造営期	スッポン	背甲肋骨板	不明	肋骨板		
153-20	5AJF	NI34	SD1901A	粗砂層	藤原宮造営期	ニホンジカ	尺骨	左	近位端・滑車切痕	未癒合脱落	イヌ噛み跡
153-96	5AJF	NI34	SD1901A	粗砂層	藤原宮造営期	ニホンジカ ／イノシシ	指骨	不明	遠位端	不明	
153-73	5AJF	NI34	SD1901A	粗砂層	藤原宮造営期	マダイ	主上顎骨	右			MG-MK：9.37mm MK-ML（主上顎骨B）：7.59mm
153-90	5AJF	NI34	SD1901A	粗砂層	藤原宮造営期	哺乳類種不明	脛骨？	不明			病変あり
169-44	5AJG	HG33	SD1901A	淡青灰粘質土	藤原宮造営期	アカニシ？	貝殻片				
169-26	5AJG	HG34	SD1901A		藤原宮造営期	ニホンジカ	踵骨	右	完存	癒合	
169-35	5AJG	HH33	SD1901A	青灰細砂	藤原宮造営期	イヌ	大腿骨	左	近位端	癒合	
169-5	5AJG	HH33	SD1901A	青灰粗砂	藤原宮造営期	イヌ	遊離歯	左	切歯		
169-9	5AJG	HH33	SD1901A	青灰粗砂	藤原宮造営期	ウシ	遊離歯	左	上顎歯（M2/M3）		
169-4	5AJG	HH33	SD1901A	青灰粗砂	藤原宮造営期	ウシ／ウマ	肋骨	左	肋骨頸		
169-6	5AJG	HH33	SD1901A	青灰粗砂	藤原宮造営期	ウマ	遊離歯	左	切歯		
169-8	5AJG	HH33	SD1901A	青灰粗砂	藤原宮造営期	スッポン	背甲骨板／ 腹甲骨板	不明	不明		
169-10	5AJG	HH33	SD1901A	青灰粗砂	藤原宮造営期	ニホンジカ	大腿骨	左	完存	近位端未癒合 遠位端未癒合	カットマーク？ イヌ噛み跡
169-47	5AJG	HH33	SD1901A	青灰粗砂	藤原宮造営期	ヘビ亜目	椎骨				
169-48	5AJG	HH33	SD1901A	青灰粗砂	藤原宮造営期	ヘビ亜目	椎骨				
169-49	5AJG	HH33	SD1901A	青灰粗砂	藤原宮造営期	ヘビ亜目	椎骨				
169-50	5AJG	HH33	SD1901A	青灰粗砂	藤原宮造営期	ヘビ亜目	椎骨				
169-51	5AJG	HH33	SD1901A	青灰粗砂	藤原宮造営期	ヘビ亜目	椎骨				
169-52	5AJG	HH33	SD1901A	青灰粗砂	藤原宮造営期	ヘビ亜目	椎骨				
169-53	5AJG	HH33	SD1901A	青灰粗砂	藤原宮造営期	ヘビ亜目	椎骨				
169-7	5AJG	HH33	SD1901A	青灰粗砂	藤原宮造営期	魚類種不明	鰭棘	不明			
169-46	5AJG	HH33	SD1901A	青灰粗砂	藤原宮造営期	無尾目 （カエル目）	椎骨				
169-45	5AJG	HH33	SD1901A	青灰粗砂	藤原宮造営期	無尾目 （カエル目）	脛腓骨	左			
169-40	5AJG	HH33	SD1901A	青灰粘砂	藤原宮造営期	ニホンジカ	肩甲骨	左	関節窩	不明	
169-33	5AJG	HH33	SD1901A	淡青灰粘質土	藤原宮造営期	アカニシ	貝殻片				
169-71	5AJG	HH33	SD1901A	淡緑灰粘質土	藤原宮造営期	イノシシ	脛骨	左	骨幹部		スパイラル剥離 イヌ噛み跡
169-31	5AJG	HH33	SD1901A	明緑灰粘質土	藤原宮造営期	ニホンジカ	角	不明			製作痕跡
169-32	5AJG	HH34	SD1901A	青灰細砂	藤原宮造営期	イヌ	頭蓋骨	右	上顎骨		乳歯
169-42	5AJG	HH34	SD1901A	青灰細砂	藤原宮造営期	イヌ	脛骨	右	遠位端	癒合	
169-3	5AJG	HH34	SD1901A	青灰細砂	藤原宮造営期	ウマ	遊離歯	不明	切歯		
169-2	5AJG	HH34	SD1901A	青灰細砂	藤原宮造営期	タカ科	手根中手骨	左	完存	近位端未癒合 遠位端未癒合	カットマーク GL：105.89mm Bp：23.78mm
169-22	5AJG	HH34	SD1901A	青灰粗砂	藤原宮造営期	イヌ	下顎骨	右			
169-24	5AJG	HH34	SD1901A	青灰粗砂	藤原宮造営期	イヌ	橈骨	右	骨幹部	不明	
169-54	5AJG	HH34	SD1901A	青灰粗砂	藤原宮造営期	ウマ	遊離歯	不明	切歯		
169-29	5AJG	HH34	SD1901A	青灰粗砂	藤原宮造営期	ウマ	橈骨	左	骨幹部	不明	
169-23	5AJG	HH34	SD1901A	青灰粗砂	藤原宮造営期	哺乳類種不明	腰椎		完存	癒合	イヌ程度の大きさ
169-25	5AJG	HH34	SD1901A	青灰粗砂	藤原宮造営期	哺乳類種不明	頭蓋骨		破片		
169-76	5AJG	HH34	SD1901A		藤原宮造営期	イヌ	遊離歯	右	上顎犬歯		
169-74	5AJG	HH34	SD1901A		藤原宮造営期	イヌ	踵骨	右	完存	癒合	
169-73	5AJG	HH34	SD1901A		藤原宮造営期	魚類種不明	椎骨あるいは 基底後頭骨？				切断痕跡
169-75	5AJG	HH34	SD1901A		藤原宮造営期	哺乳類種不明	基節骨	不明	完存	近位端癒合 遠位端癒合	イヌ程度の大きさ

表1-8（つづき）

資料番号	大地区	小地区	遺構	層位	時期	動物種	部位	左右	残存部位	癒合状況	備考
169-77	5AJG	HH34	SD1901A		藤原宮造営期	哺乳類種不明	不明	不明			骨角器
169-55	5AJG	HI33	SD1901A	青灰細砂	藤原宮造営期	ウシ	下顎骨	右	筋突起＋関節突起		
169-58	5AJG	HI33	SD1901A	青灰粗砂	藤原宮造営期	ウマ	遊離歯	右	上顎歯（P3/P4/M1/M2）	未咬耗	
169-59	5AJG	HI33	SD1901A	青灰粘砂	藤原宮造営期	ウマ	遊離歯	不明	臼歯		
169-34	5AJG	HI33	SD1901A	淡青灰粘質土	藤原宮造営期	アカニシ？	貝殻片				
169-38	5AJG	HI33	SD1901A	淡青灰粘質土	藤原宮造営期	イノシシ	膝蓋骨	右	完存		
169-41	5AJG	HI33	SD1901A	明緑灰粘質土	藤原宮造営期	イノシシ	肩甲骨	左	肩甲頸	不明	カットマーク イヌ噛み跡
169-39	5AJG	HI34	SD1901A	青灰細砂	藤原宮造営期	イヌ	下顎骨	右			
169-1	5AJG	HI34	SD1901A	青灰細砂	藤原宮造営期	ウマ	寛骨	左	腸骨	不明	
169-57	5AJG	HI34	SD1901A	青灰細砂	藤原宮造営期	ウマ	遊離歯	不明	切歯		
169-17	5AJG	HI34	SD1901A	青灰粗砂	藤原宮造営期	イヌ	遊離歯	右	下顎I3		
169-36	5AJG	HI34	SD1901A	青灰粗砂	藤原宮造営期	イヌ	橈骨	右	近位端	癒合	
169-14	5AJG	HI34	SD1901A	青灰粗砂	藤原宮造営期	イノシシ	距骨	左			
169-56	5AJG	HI34	SD1901A	青灰粗砂	藤原宮造営期	ウシ	第3中足骨	左	完存	近位端癒合 遠位端癒合	
169-13	5AJG	HI34	SD1901A	青灰粗砂	藤原宮造営期	ウシ／ウマ	肋骨	右	肋骨頭＋肋骨頸		
169-20	5AJG	HI34	SD1901A	青灰粗砂	藤原宮造営期	ウマ	寛骨	右	完存	癒合	No.169-21と 同一個体？
169-21	5AJG	HI34	SD1901A	青灰粗砂	藤原宮造営期	ウマ	寛骨	左	完存	癒合	No.169-20と 同一個体？
169-12	5AJG	HI34	SD1901A	青灰粗砂	藤原宮造営期	ウマ	尺骨	右	滑車切痕	不明	
169-72	5AJG	HI34	SD1901A	青灰粗砂	藤原宮造営期	ウマ	遊離歯	不明	切歯		
169-16	5AJG	HI34	SD1901A	青灰粗砂	藤原宮造営期	ウマ	橈尺骨	右	橈骨：骨幹部	不明	
									尺骨：滑車切痕	不明	
169-37	5AJG	HI34	SD1901A	青灰粗砂	藤原宮造営期	ニホンジカ	橈骨	右	遠位端	癒合	
169-15	5AJG	HI34	SD1901A	青灰粗砂	藤原宮造営期	哺乳類種不明	肋骨	不明			解体痕跡
169-28	5AJG	HI34	SD1901A	明緑灰粘質土	藤原宮造営期	ウマ	寛骨	左	寛骨臼	癒合	
169-43	5AJG	HJ33	SD1901A	緑灰粘質土	藤原宮造営期	ニホンジカ	脛骨	左	近位端	未癒合骨端	
182-8	5AJF	MI36	SD10705	暗灰粘土	藤原宮造営期	ウマ	大腿骨	右	大腿骨頭	不明	
182-4	5AJF	MJ36	SD10705	暗灰砂	藤原宮造営期	ウマ	基節骨	右	完存	近位端癒合 遠位端癒合	No.182-3と同一個体？
182-1	5AJF	MJ36	SD10705	暗灰砂	藤原宮造営期	ウマ	肩甲骨	左	関節窩	癒合	
182-3	5AJF	MJ36	SD10705	暗灰砂	藤原宮造営期	ウマ	中節骨	不明	近位端	癒合	No.182-4と同一個体？
182-2	5AJF	MJ36	SD10705	暗灰砂	藤原宮造営期	ウマ	橈骨	左	近位端	癒合	
182-6	5AJF	MJ36	SD10705	暗灰土	藤原宮造営期	ウシ	中手骨／中足骨	不明	遠位端	癒合	
182-9	5AJF	MJ36	SD10705	灰白粗砂	藤原宮造営期	ウシ／ウマ	脛骨	右	骨幹部	不明	
182-10	5AJF	MJ37	SD10707	暗灰土	藤原宮造営期	ウマ	遊離歯	右	M2		No.182-11と 同一個体？
182-11	5AJF	MJ37	SD10707	暗灰土	藤原宮造営期	ウマ	遊離歯	右	M3	未咬耗	No.182-10と 同一個体？
182-12	5AJF	MJ37	SD10707	暗灰土	藤原宮造営期	ウマ	遊離歯	不明	切歯		
153-88	5AJF	NI29	SD10801A		藤原宮造営期	哺乳類種不明	肋骨	右	肋骨頭＋肋骨頸		イヌ程度の大きさ
160-1	5AJF	MD27	SD10801B	埋土	藤原宮造営期	イヌ	頭蓋骨		頭頂骨＋頭頂間骨＋後頭骨	骨端線あり	オス？
153-21	5AJF	NE33	SD10801B	暗灰粘土	藤原宮造営期	ニホンジカ	尺骨	左	近位端	癒合	TG111013
153-83	5AJF	NH32	SD10801B		藤原宮造営期	ウマ	遊離歯	不明	臼歯		
182-31	5AJF	MD28	SD10871		藤原宮造営期	ウシ	中手骨／中足骨	不明	骨幹部	不明	
182-14	5AJF	MD31	SD10871	暗灰粘土	藤原宮造営期	ウマ	基節骨	左	完存	癒合	No.182-15,16と 同一個体
182-15	5AJF	MD31	SD10871	暗灰粘土	藤原宮造営期	ウマ	中節骨	左	完存	癒合	No.182-14,16と 同一個体
182-16	5AJF	MD31	SD10871	暗灰粘土	藤原宮造営期	ウマ	末節骨	左	完存	癒合	No.182-14,15と 同一個体
182-19	5AJF	MD31	SD10871	暗灰粘土	藤原宮造営期	ウマ	橈骨	右	骨幹部	不明	
182-13	5AJF	MJ36	SD10871	暗灰砂	藤原宮造営期	ウシ	橈骨	右	近位端	癒合	
182-18	5AJF	MJ36	SD10871	暗灰粘土	藤原宮造営期	哺乳類種不明	歯破片	不明			
182-17	5AJF	MJ36	SD10871	暗灰粘土	藤原宮造営期	哺乳類種不明	不明	不明			
182-21	5AJF	MK36	SD10871		藤原宮造営期	ウマ	第3中手骨／第3中足骨	不明	遠位端	癒合	
163-1	5AJF	NB25	SX10820		藤原宮造営期	ウマ	遊離歯	右	上顎歯（P3/P4/M1/M2/M3）		TG111011
153-85	5AJF	NG24	SX10820	暗灰色粘質土	藤原宮造営期	イノシシ	遊離歯	右	下顎C		TG11025
153-27	5AJF	ND35	SH10800		藤原宮期	ウマ	遊離歯	左	下顎臼歯		
179-4	5AJF	NF18	SH10800	第二次整地土	藤原宮造営期	ウシ／ウマ	遊離歯	不明	臼歯		破片一括
153-93	5AJF	NH34	SH10800		藤原宮期	ウマ	遊離歯	左	下顎臼歯		
153-86	5AJF	NJ26	SH10800		藤原宮期	ウマ	遊離歯	不明	歯種不明		TG102201
179-1	5AJF	NL26	SH10800		藤原宮期	ウシ／ウマ	遊離歯	不明	臼歯		破片一括
153-81	5AJF	NL38	SH10800		藤原宮期	ウマ	遊離歯	右	上顎歯（P3/P4/M1/M2）		
179-2	5AJF	NM29	SH10800		藤原宮期	ウシ／ウマ	遊離歯	不明	臼歯		破片一括
179-3	5AJF	NN29	SH10800		藤原宮期	ウシ／ウマ	遊離歯	不明	臼歯		破片一括
169-67	5AJG	HG34	SH10800	第二次整地土	藤原宮造営期	ウマ	遊離歯	不明	臼歯		破片一括
169-70	5AJG	HG38	SH10800	最終整地土	藤原宮造営期	ウシ／ウマ	遊離歯	不明	臼歯		破片一括
169-66	5AJG	HH31	SH10800	第二次整地土	藤原宮造営期	ウシ／ウマ	遊離歯	不明	臼歯		破片一括
169-63	5AJG	HH33	SH10800	最終整地土	藤原宮造営期	ウシ／ウマ	遊離歯	不明	臼歯		破片一括
169-78	5AJG	HH35	SH10800	礫直下層	藤原宮期	ウマ	遊離歯	不明	不明		
169-65	5AJG	HH35	SH10800	礫直直下	藤原宮造営期	ウシ／ウマ	遊離歯	不明	臼歯		破片一括
169-60	5AJG	HH37	SH10800	礫直直下	藤原宮造営期	ウマ	遊離歯	不明	臼歯		破片一括
169-64	5AJG	HH37	SH10800	礫直直下	藤原宮造営期	ウマ	遊離歯	不明	下顎臼歯		破片一括
169-69	5AJG	HI30	SH10800	第二次整地土	藤原宮造営期	ウシ／ウマ	遊離歯	不明	臼歯		破片一括
169-68	5AJG	HI33	SH10800	第二次整地土	藤原宮造営期	ウシ／ウマ	遊離歯	不明	臼歯		破片一括
169-62	5AJG	HJ35	SH10800	最終整地土	藤原宮造営期	ウシ／ウマ	遊離歯	不明	臼歯		破片一括
163-4	5AJG	HM30	SH10800	灰褐色砂質土	藤原宮期	ウシ／ウマ	遊離歯	不明	不明		破片一括
163-3	5AJG	HN31	SH10800	灰褐色砂質土下層	藤原宮期	ウシ／ウマ	遊離歯	不明	不明		破片一括
163-2	5AJG	HQ31	SH10800	灰褐色砂質土下層	藤原宮期	ウシ／ウマ	遊離歯	不明	不明		破片一括
179-5	5AJG	NE18	SH10800	第二次整地土	藤原宮造営期	ウシ／ウマ	遊離歯	不明	臼歯		破片一括

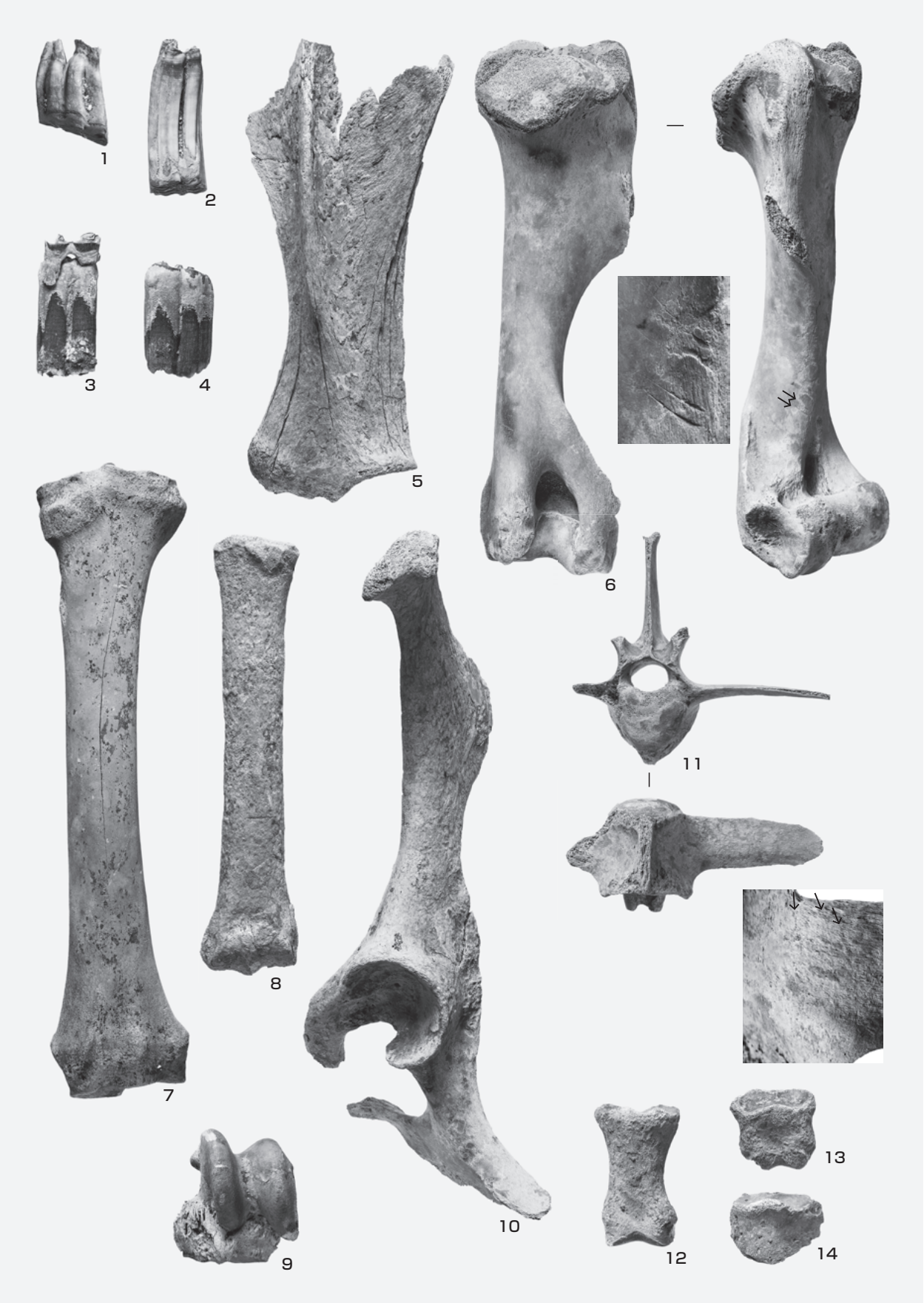

写真1-3　ウマ（縮尺1/3）

1：上顎歯（No.153-54）、2：上顎歯（No.153-75）、3：下顎歯（Np.153-31,32）、4：下顎歯（No.153-30）、5：肩甲骨（No.182-1）、6：上腕骨（No.153-2）、7：橈骨（No.153-1）、8：第3中手骨（No.153-8）、9：距骨＋中心足根骨（No.153-6）、10：寛骨（No.169-21）、11：腰椎（No.153-74）、12：基節骨（No.182-14）、13：中節骨（No.182-15）、14：末節骨（No.182-16）

写真1-4　イヌ・イノシシ・ニホンジカ・ウシ（縮尺1/3）

1：イヌ・頭蓋骨（No.153-13）、2：イヌ・頭蓋骨（No.169-32）、3：イヌ・下顎骨（No.169-22）、4：イヌ・上腕骨（No.153-61）、5：イヌ・橈骨（No.153-92）、6：イヌ・尺骨（No.153-43）、7：イヌ・大腿骨（No.169-35）、8：イヌ・脛骨（No.153-24）、9：イノシシ・肩甲骨（No.169-41）、10：ニホンジカ・角（No.169-31）、11：ニホンジカ・橈骨（No.153-11）、12：ニホンジカ・尺骨（No.153-20）、13：ニホンジカ・大腿骨（No.169-10）、14：ニホンジカ・脛骨（No.153-12）、15：ウシ・橈尺骨（No.153-3）、16：ウシ・第３中足骨（No.169-56）

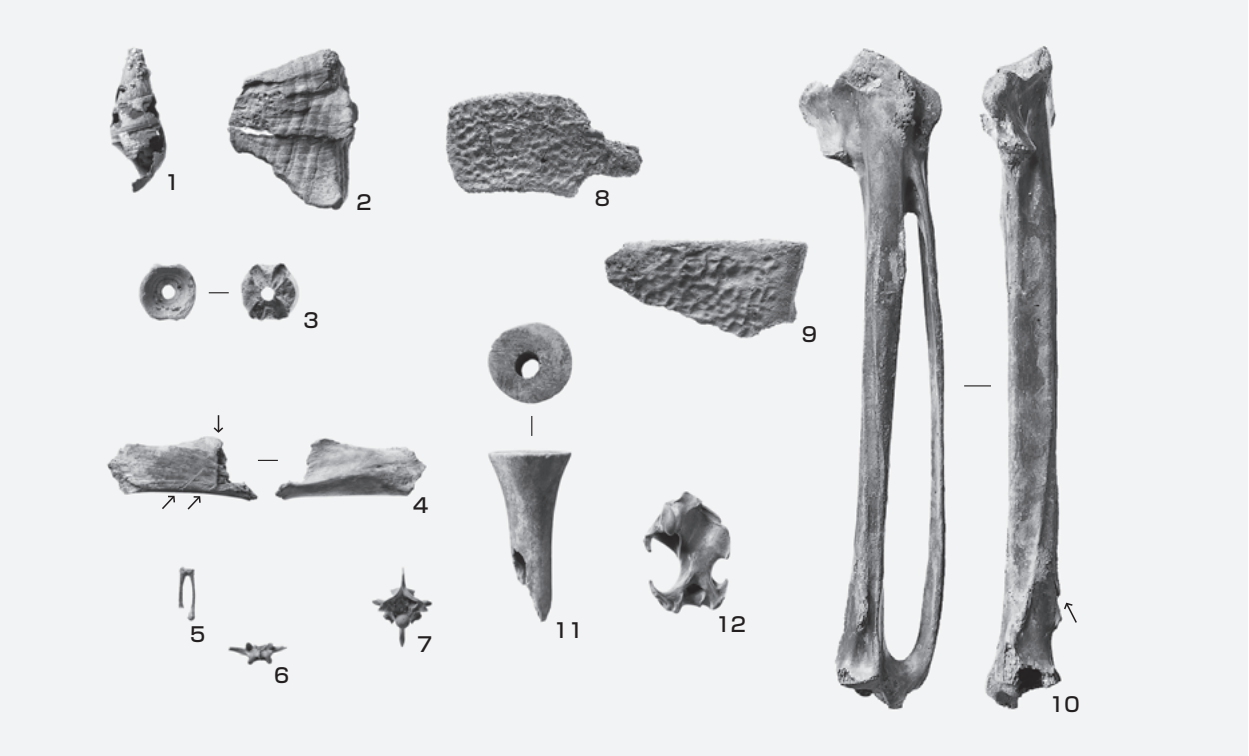

写真1-5　貝類・魚類・鳥類・哺乳類・骨角器（縮尺3/4）

1：カワニナ（No.153-102）、2：アカニシ（No.169-33）、3：板鰓亜綱・椎骨（No.153-17）、4：マダイ・主上顎骨（No.153-73）、5：無尾目・脛腓骨（No.169-45）、6：無尾目・椎骨（No.169-46）、7：ヘビ亜目・椎骨（No.153-18）、8：スッポン・背甲肋骨板（No.153-97）、9：スッポン・腹甲肋骨板（No.153-98）、10：タカ科・手根中手骨（No.169-2）、11：骨角器・哺乳類種不明（No.169-77）、12：モグラ属・肩甲骨（No.153-47）

第2章　事前調査

1. 背景

近年、遺跡から出土する動物遺存体や古人骨の化学分析が盛んにおこなわれている。とくに、骨や歯に含まれるコラーゲンとハイドロキシアパタイトの同位体分析は、欧米を中心として精力的な研究が進められている。一方で、遺跡出土の骨や歯は、埋没中に堆積土壌に含まれる有機物および無機物を吸着する場合があり、その動物が本来生体時に有していた生化学的情報が失われてしまうことがある。こうした汚染を受けた骨や歯は、化学分析を実施したとしても有効な結果を得ることが難しい。また、遺跡から出土する動物遺存体も貴重な文化財であるため、もし化学分析に適切な試料をあらかじめ選定することができれば、文化財のむやみな破壊を避けられることが可能となる。

そこで本章では、動物遺存体の本格的な化学分析を実施する前に、適切な試料を選別するための事前調査をおこなう。事前調査は、分析内容に応じて適切な調査を実施する必要がある。動物遺存体に対する化学分析については、分析対象によって有機物分析と無機物分析に大別することができる（図2-1）。

今日では一般的な分析手法となりつつある放射性炭素年代測定や食性分析といった有機物分析は、骨に含まれるコラーゲンが主に分析対象となる。ただし、日本列島は温暖湿潤で酸性土壌の地域が多く、遺跡から出土する骨の保存状態は必ずしも良いとは言えず、出土資料にコラーゲンが全く残存していない場合もある。そこで本分析を実施する前に、有機物分析に適していない試料を本分析の対象から外すため、ごく少量の試料からコラーゲンの残存量を評価する。

無機物分析としては、歯のエナメル質を用いた同位体化学分析がある。この分析は主にエナメル質中に含まれるハイドロキシアパタイトを分析対象としており、動物遺存体の移動履歴や雑穀類の摂取率推定など生態学的な情報を検討することが可能である。この分析に対する事前調査は、歯エナメル質の元素濃度や結晶成分を測定し、生体時に哺乳類がとり得る範囲を逸脱していないかを検討することによって、無機物分析に適した試料であるかを判断する。

これらの評価法は主に欧米において実践されてきてはいるものの、日本国内における適用例はまだ無いのが現状である。

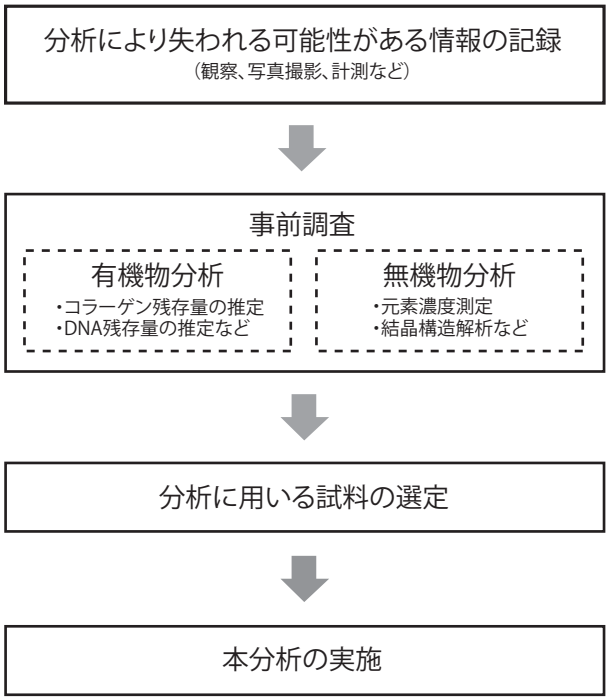

図2-1　事前調査の工程

2. 目的

藤原宮跡から出土する動物遺存体は、運河 SD1901A のように水浸状態の堆積環境で保存状態の良好な資料だけでなく、礫敷広場 SH10800 のように保存状態の悪い資料まで含まれている。骨の劣化によって、生体時の構成元素や分子に変化が生じ、同位体比にも影響が出ている可能性がある。また、1977 年に実施された飛鳥藤原第 20 次調査でも同じ運河 SD1901A から多くの動物遺存体が出土している。出土から 30 年以上経過した資料では、動物遺存体に含まれる生化学的情報が失われてしまう可能性がある。

そこで、藤原宮跡から出土した動物遺存体に事前調査を実施し、同位体分析を実施する際に問題となる土壌由来成分の汚染および続成作用の評価を試みた。その結果に基づいて、本格的な同位体化学分析（以下、「本分析」とする）を実施する前に、動物遺存体の保存性の評価と本分析を実施する出土資料の選定をおこなった。

3. 試料

事前調査に用いた試料は、飛鳥藤原第 20 次の出土資料 2 点と飛鳥藤原第 153 次の出土資料 6 点である（表 2-1）。第 153 次調査では、保存状態の異なる資料を比較するために、保存状態の良好な運河 SD1901A の出土資料と保存状態の悪い礫敷広場 SH10800 出土資料を分析対象とした。また、同じ堆積環境での経年変化を検討するために、第 20 次調査（1977 年実施）と第 153 次調査（2008 年実施）で運河 SD1901A から出土した資料を分析対象とした。コラーゲンの残量評価のためにウマの骨 3 点、ウシあるいはウマの骨 1 点、ニホンジカの骨 1 点、ハイドロキシアパタイトの保存状態の評価のためにウマの歯 3 点から試料を採取した。

4. 方法

藤原宮跡から出土した馬の同位体化学分析を実施するにあたって、コラーゲンの残存量評価とエナメル質の元素濃度および結晶構造解析を事前調査として実施した。

まず事前調査をおこなう動物遺存体について、写真撮影と計測をおこない、本分析によって失われる可能性のある情報を記録した。そして、分析前と分析後の写真を撮影し、事前調査において失われ

表 2-1　事前調査に用いた藤原宮跡出土の動物遺存体

資料番号	分析番号	遺構	時期	分類群	部位	左右	部分	組織
153-86	TG102201	SH10800	藤原宮期	ウマ	遊離歯	不明	歯種不明	歯エナメル質
153-42	TG102202	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	遊離歯	右	下顎歯（P4/M1/M2）	歯エナメル質
153-53	TG102204	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	遊離歯	右	上顎歯（M3）	歯エナメル質
153-29	TG102206	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	下顎骨	左右		骨
153-28	TG102207	SD1901A	藤原宮造営期	ニホンジカ	肩甲骨	左	関節窩	骨
153-10	TG102208	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	上腕骨	左	遠位端	骨
20-1	TG102209	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	下顎骨	右		骨
20-2	TG102210	SD1901A	藤原宮造営期	ウシ・ウマ	四肢骨	不明	骨片	骨

る形態情報の記録につとめた。試料全体のレプリカ作成は試料破損が生じる可能性があるため、今回の事前調査では試料採取部位に限定した箇所の局所表面レプリカの作成にとどめた。

（1）コラーゲンの残存量評価

コラーゲン抽出率の推定に関する研究は窒素・炭素含有量に基づく推定方法が既に報告されている（Brock et al. 2012）。歯や骨に含まれる成分は、無機物質のハイドロキシアパタイトや、有機物質の多糖類、脂質、そしてタンパク質の中でもコラーゲンおよび非コラーゲン性タンパク質（オステオカルシン、フォスフォフォリンなど）があり、とくにハイドロキシアパタイトとコラーゲンの含有量がその多くを占めている。コラーゲン分子に含まれる元素は、炭素、窒素、酸素、水素、硫黄であり、とくに窒素および炭素の含有率と骨コラーゲン抽出率との間には有意な相関関係がある。これらの先行研究を藤原宮跡出土獣骨に適用し、コラーゲン抽出率の推定を試みた。

デンタルドリルを用いて表面の土壌を除去し、骨表面を約 1mm 除去した。表面を除去した骨試料から約 5-10mg の骨粉を採取した。その内の約 2mg を元素分析用のスズカプセルに包み、元素分析計（Flash 2000、Thermo）で炭素、窒素含有率を算出した。元素分析用の炭素、窒素の標準物質は、コラーゲンを構成する炭素含有率および窒素含有率の近いアトロピンを使用した。アトロピン 3 点の測定結果に基づく内挿補正法で、未知試料の炭素含有率および窒素含有率を算出した。

得られた元素含有率からコラーゲン抽出率を推定するために、日本の遺跡出土試料をリファレンスデータとして採用した（東京大学総合研究博物館米田研究室 未発表データ）。リファレンスデータに基づき、炭素含有率および窒素含有率からコラーゲン抽出率の推定式を作成し、推定式に藤原宮跡出土獣骨の値を代入してコラーゲン抽出率を算出した。

（2）歯エナメル質における続成作用の評価（Sr濃度測定）

哺乳類の骨および歯のストロンチウムは、生体では25ppm～600ppmの濃度範囲をとり（Rosenthal et al. 1972）、遺跡から出土した動物遺存体にそれ以上のストロンチウムが検出された場合は、土壌由来のストロンチウムの汚染を考慮する必要がある。これらの汚染は酢酸バッファーなどの弱酸溶液を用いることで、ある程度低減させることができるが、ストロンチウム同位体分析を効率よく実施する上では、これらの試料の分析は避けるべきである。

そこで、遺跡出土馬の歯エナメル質のストロンチウム濃度を測定し、汚染の相対的な評価を試みた。デンタルドリルを用いて歯セメント質を除去した後に、歯エナメル質から約10mgの骨粉を採取した。採取した試料は、2.5 %次亜塩素酸ナトリウムに室温で 12 時間反応させた後に、超純水で中性に戻した。次に、0.1N酢酸バッファー（pH 4.5）に常温で12時間反応させた後、超純水で中性に戻した。洗浄後、凍結乾燥させ、HF 分解法によって試料を完全溶解させた。溶解させた試料は、ICP 質量分析計（ICPM-8500　島津製作所製）を用いてストロンチウム濃度を測定した。

（3）歯エナメル質における続成作用の評価（成分分析）

哺乳類の骨および歯に含まれるハイドロキシアパタイトは、主に$Ca_{10}(PO_4)_6OH_2$の分子式で表され、リン酸基（PO_4^{3-}）と水酸基（OH^-）に酸素が含まれている。とくにリン酸基の酸素原子は、ハイドロキシアパタイトの結晶構造で主要な分子骨格部にあたる。土壌由来の地下水に含まれる溶存イオンの

影響によって、ハイドロキシアパタイトとは異なるリン酸基を含んだ二次的な鉱物が結晶成長する可能性がある。この場合、これらの結晶状態および結晶成分が変化して、酸素同位体比に変動がみられることがある（McArthur and Herczeq 1990）。

より正確な酸素同位体比を測定するためには、リン酸基の結晶構造が生体時における結晶状態から逸脱しているかを評価する必要がある。リン酸基の結晶構造の評価法は、赤外光を透過させることでリン酸基特有の赤外光吸収波長を検出し、それらの波長が生体時の吸収波長域の範囲に収まるかを検証するものである。そこで、フーリエ変換赤外分光光度計（FT-IR）を用いて、歯エナメル質のリン酸基の結晶構造を評価することを試みた。

デンタルドリルを用いて歯エナメル質から約 2mg の骨粉を採取した。採取した試料は、2.5 %次亜塩素酸ナトリウムに室温で 12 時間反応させた後に、超純水で中性に戻した。次に、0.1N 酢酸バッファー（pH 4.5）に室温で 12 時間反応させた後、超純水で中性に戻した。洗浄後、凍結乾燥させ、KBr（臭化カリウム）と混合して測定用カプセルを作成した。リン酸基の吸収波長の検出は、FT-IR（日本分光㈱製　FT-IR-610）を用いた。ν_4PO^4 のピーク相対強度は、Weiner *et al.*（1993）の方法に基づいて算出し、クリスタリニティ・インデックス（Crystallinity Index: CI）を求めた。

5. 結果

コラーゲンの残存量を評価するために、元素分析計を用いてタンパク質の構成成分である窒素の含有率を測定した。元素分析計で測定された窒素含有率は 0.25 ～ 2.03 %、炭素含有率は 2.72 ～ 8.52 %であった（表2-2）。

次に、歯エナメル質の続成作用を評価するため、Sr 濃度測定を実施した。その結果、測定試料のストロンチウム濃度は 400ppm ～ 870ppm であった（表 2-3）。礫敷広場 SH10800 から出土した No.153-86（TG102201）は、生体の歯エナメル質に含まれるストロンチウム濃度の範囲を明らかに超えた値を示した。

表2-2　藤原宮跡出土動物遺存体の炭素・窒素含有率

資料番号	分析番号	遺構	時期	分類群	部位	左右	試料量（mg）	窒素含有率（%）	炭素含有率（%）
153-29	TG102206	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	下顎骨	左右	2.40	0.25	2.72
153-28	TG102207	SD1901A	藤原宮造営期	ニホンジカ	肩甲骨	左	2.29	2.03	8.52
153-10	TG102208	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	上腕骨	左	3.15	1.07	5.7
20-1	TG102209	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	下顎骨	右	1.97	1.24	6.93
20-2	TG102210	SD1901A	藤原宮造営期	ウシ・ウマ	四肢骨	不明	2.09	0.82	5.72

表2-3　藤原宮跡出土動物遺存体のストロンチウム濃度

資料番号	分析番号	遺構	時期	分類群	部位	左右	部分	採取量（mg）	Sr concentration（ppm）
153-86	TG102201	SH10800	藤原宮期	ウマ	遊離歯	不明	歯種不明	7.5	870
153-42	TG102202	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	遊離歯	右	下顎歯（P4/M1/M2）	8.1	400
153-53	TG102204	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	遊離歯	右	上顎歯（M3）	9.3	490

最後に、歯エナメル質の構成成分を評価するため、測定試料のリン酸基のピークに基づいてクリスタリニティ・インデックス（CI）を求めた。CIはNo.153-86（TG102201）で3.2、No.153-53（TG102204）で2.66であった（表2-4、図2-2、図2-3）。

表2-4　藤原宮跡出土動物遺存体のクリスタリニティ・インデックス

資料番号	分析番号	遺構	時期	分類群	部位	左右	部分	試料採取量（mg）	CI.（クリスタリニティ・インデックス）
153-86	TG102201	SH10800	藤原宮期	ウマ	遊離歯	不明	歯種不明	2.3	3.23
153-53	TG102204	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	遊離歯	右	上顎歯（M3）	2.1	2.66

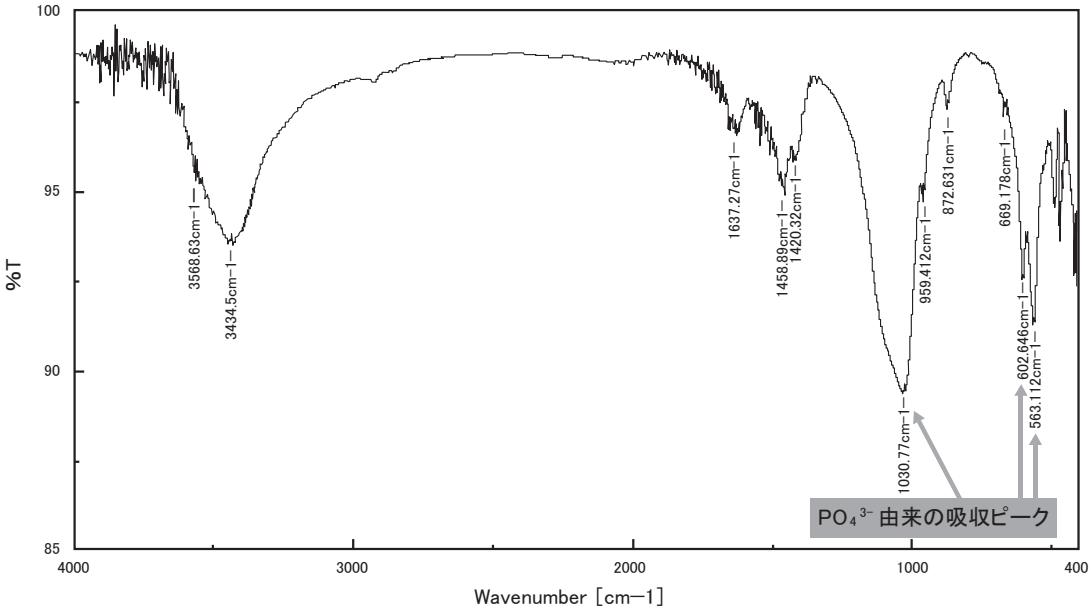

図2-2　No.153-86（TG102201）の赤外光吸収波長

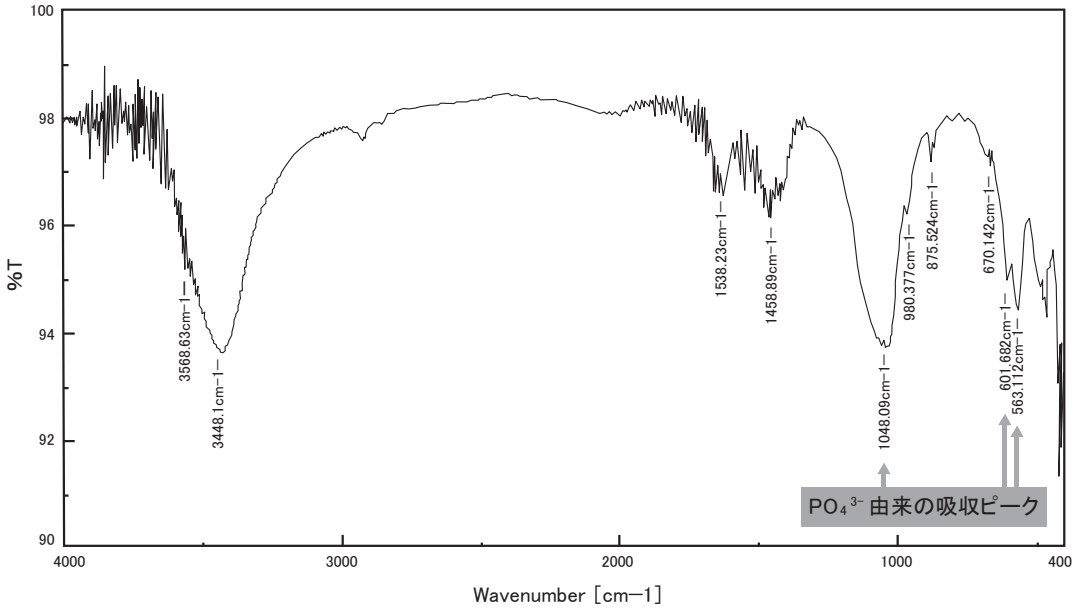

図2-3　No.153-53（TG102204）の赤外光吸収波長

6. 考察

(1) コラーゲン抽出率の推定

測定で得られた炭素含有率および窒素含有率を、リファレンスデータに基づいた炭素、窒素含有率とコラーゲン抽出率の線形回帰式（図 2-4、図 2-5）に代入した結果、推定されたコラーゲン抽出率は1.36～8.08％の範囲に推定され、平均値は5.16％、標準偏差は2.47％であった（表2-5）。

これらの結果は、骨中に窒素が１％以上含有しており、本分析に必要なコラーゲン量がほぼすべての試料から抽出できる可能性を示唆している。藤原宮跡出土獣骨の炭素、窒素含有率は、これまで日本列島の 22 遺跡で得られた既知コラーゲン抽出率試料のデータセットに基づく場合、コラーゲン抽

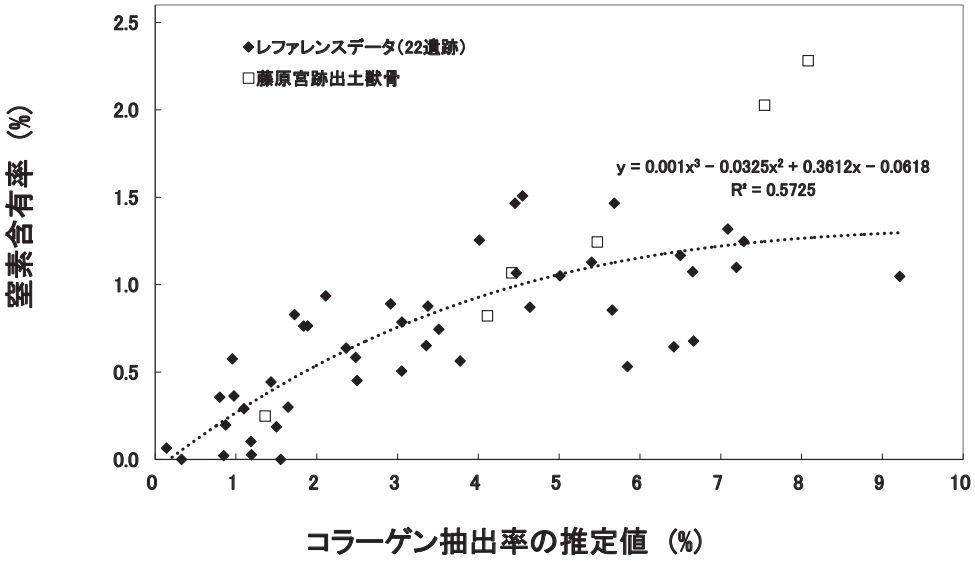

図2-4　窒素含有率に基づくコラーゲン抽出率の推定

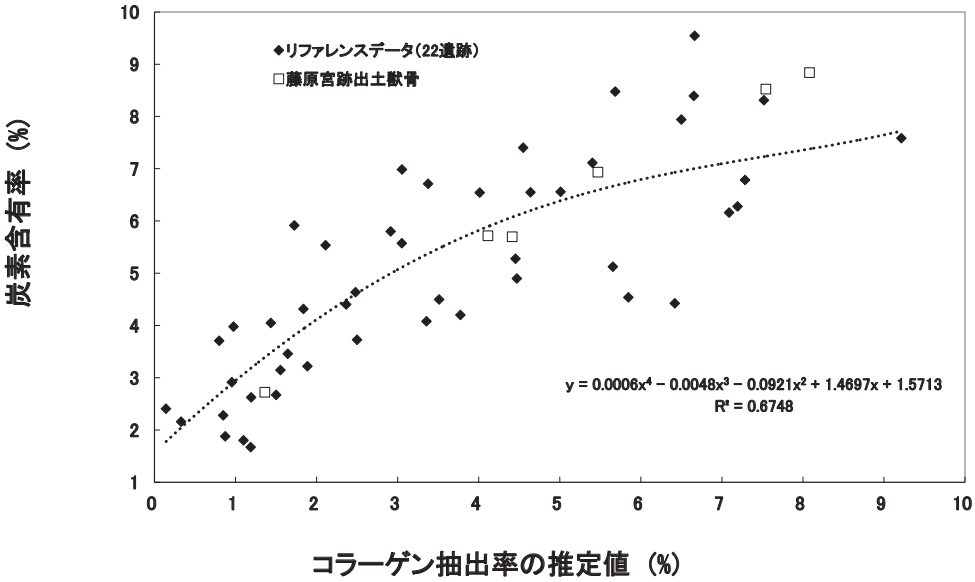

図2-5　炭素含有率に基づくコラーゲン抽出率の推定

表2-5　藤原宮跡出土動物遺存体の炭素・窒素含有率から推定されたコラーゲン抽出率

資料番号	分析番号	遺構	時期	分類群	部位	左右	窒素含有率（%）	炭素含有率（%）	コラーゲン抽出率推定値（%）
153-29	TG102206	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	下顎骨	左右	0.25	2.72	1.4
153-28	TG102207	SD1901A	藤原宮造営期	ニホンジカ	肩甲骨	左	2.03	8.52	7.5
153-10	TG102208	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	上腕骨	左	1.07	5.7	4.4
20-1	TG102209	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	下顎骨	右	1.24	6.93	5.5
20-2	TG102210	SD1901A	藤原宮造営期	ウシ・ウマ	四肢骨	不明	0.82	5.72	4.1

出率は平均で約５％を示した（覚張未公表データ）。また、試料によってはコラーゲン抽出率が１％付近を示した（表 2-5 を参照）。この結果は、コラーゲンを用いた年代測定および同位体分析に用いる際に、土壌からの有機物の汚染程度が非常に低く、出土した動物が生存時に代謝した炭素および窒素の同位体比を保持している可能性が高い。したがって、実施予定である骨コラーゲンによる炭素・窒素同位体分析の材料となりうることが示された。

事前調査によって得られた興味深い結果として、推定されたコラーゲン抽出率が極めて高い点があげられる。炭素・窒素同位体分析は放射性炭素年代測定と合わせて実施される場合が多く、少なくとも約 3mg のコラーゲンが必要である。今回の結果に基づくと、平均で約５％のコラーゲン含有率と推定されており、コラーゲン抽出に必要な試料量（骨）は約 0.06g となる。これは、従来の分析に必要とされた試料量である約 0.5g に対して、約 1/10 の試料量で分析可能であることを示唆している。これまで研究機関や民間分析会社で骨コラーゲンを用いた炭素・窒素同位体分析を実施する場合には、骨コラーゲンの放射性炭素年代測定とあわせた試料量として 0.5g が採取されていた。しかし、帰属時期が明確で炭素・窒素同位体分析のみを実施する場合は、出土状況や研究目的に応じてさらに分析に必要な試料量を減らすことが可能である。例えば、コラーゲンの炭素・窒素同位体分析のみでは、必要とされるコラーゲン量は約 500μg であり、藤原宮跡出土動物骨からこのコラーゲン量を得るためには、約 0.01g で可能となる。これは従来の分析量に対して約 1/50 になり、さらなる試料の破壊を避けることが期待される。

今回の分析は５点の骨試料であったが、藤原宮跡出土骨試料において、コラーゲンの同位体分析に適する試料が他にも多く存在すると考えられる。また、コラーゲンや DNA などの骨中の有機物の多くは、出土直後の含有量が最も多く、その後急速に減少する（Pruvost *et al.* 2007）。事前調査では、発掘されてから 30 年以上経過した試料も分析に用いたが、それでもなお多くのコラーゲンが残存する可能性が示唆された。また、埋没環境下において、骨よりも有機物の保存性が高い歯の象牙質では、本分析で得られたコラーゲン抽出率よりもさらに高い値を示すことが期待される。このように、藤原宮跡の出土資料は、歯や骨の有機物分析に比較的適しており、同位体分析による信頼性の高い生態復元が可能であると期待される。

（2）歯エナメル質におけるストロンチウムの残存量と続成作用の評価

エナメル質のストロンチウム濃度を測定し、藤原宮跡から出土した馬歯エナメル質からストロンチウム同位体比測定が可能であるかを評価した。表面電離型質量分析計（TIMS）及びマルチコレクター型プラズマ誘導同位体比質量分析計（MC-ICP-MS）でストロンチウム同位体比を測定する際、約 100ng のストロンチウムが要求される。本分析で得られたストロンチウム濃度は、この要求量を満

たす試料であった。

次に、生体時にとり得るストロンチウム濃度から逸脱していないか評価をおこなった。その結果、藤原宮跡出土の動物遺存体には、ストロンチウム濃度が現生哺乳類の範囲（50 ～ 700ppm）から逸脱しない試料が多く認められたが、あわせて分析に適さない試料（礫敷広場 SH10800 出土の No.153-86）も検出された。また、フーリエ変換赤外分光光度計を用いて、エナメル質の結晶状態を評価した。その結果、エナメル質の主要成分であるハイドロキシアパタイトの特徴といえるリン酸基（PO_4^{3-}）の特徴を示す波形結果が得られ、ストロンチウム濃度の結果と同様に、現生哺乳類の範囲から逸脱した試料と逸脱しなかった試料の両者が検出された。

このように、事前調査では、礫敷広場 SH10800 出土の No.153-86 が無機元素の同位体分析に適さない可能性が指摘でき、より精度の高い遺跡出土動物の生態復元が可能になると期待される。

7. まとめ

本章では、藤原宮跡から出土した動物遺存体の同位体化学分析に用いる試料を選定するための事前調査をおこなった。その結果、藤原宮跡出土の動物遺存体は、有機物および無機物ともに同位体化学分析に適する試料が得られる可能性が高いことが示された。そして同時に、分析に適さない試料の存在も把握することができた。こうした試料は、本分析をおこなわないことによって不必要な破壊を避けており、次章以降で扱った本分析の試料は、これらの基準を満たすものを対象としている。

（覚張隆史・山崎健・降幡順子・石橋茂登・米田穣）

表2-6　事前調査と本分析で必要な試料量

	事前調査	本分析
有機物分析 （骨）	2mg （残存量の評価）	500mg （放射性炭素年代測定・ 炭素同位体分析）
無機物分析 （歯エナメル質）	2mg （残存量・続成作用の評価）	10mg （炭素同位体分析・ ストロンチウム同位体分析・ 酸素同位体分析）

引用文献

Brock, F., Wood, R., Higham, T. F. G., Ditchfield, P., Bayliss, A., Ramsey, C. B. (2012) Reliability of Nitrogen Content (% N) and Carbon:Nitrogen Atomic Ratios (C:N) as Indicators of Collagen Preservation Suitable for Radiocarbon Dating. *Radiocarbon*. 54. pp. 879-886

McArthur, J. M. and Herczeq, A. (1990) Diagenetic stability of the isotopic composition of phosphate-oxygen: palaeoenvironmental implications. *Geological Society*. 52. pp. 119-124

Pruvost, M. R., Schwarz, R., Bessa Correia, V., Champlot, S., Braguier, S., Morel, N., Fernandez-Jalvo, Y.,, Eva-Maria Geigl, T. (2007) Freshly excavated fossil bones are best for amplification of ancient DNA. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 104. pp.739-

744

Rosenthal, H. L, Conchban, O. A., Eves, M. M. (1972) Strontium Content of Mammalian Bone, Diet and Excreta. *Environmental Research*. 5. pp. 182-191

Weiner, S., Goldberg, P., Bar-Yosef, O. (1993) Bone preservation in Kebara Cave, Israel using on-site Fourier transform infrared spectroscopy. Journal of Archaeological Science. 20. pp. 613-627

第3章　骨コラーゲンの炭素同位体分析に基づく馬の食性復元

1. 背景

(1) 遺跡出土動物遺存体を用いた同位体分析とは

本研究では主に考古生物学としての研究姿勢で分析を試みている。考古生物学における研究の基本姿勢として、あくまで分析対象である生物の生き様を自然科学的な情報に基づいて評価することにある。対象となる生物がどのように生きたかという問いに答えるために、考古生物学では様々な手法が開発されており、現在までに形態学・遺伝学・地球化学・情報科学の大きく4つに大別できる研究手法が研究開発されてきた。本研究で取り扱う手法は、考古生物学の中の形態学と地球化学の研究領域で開発されたものである。形態学は主に動物種の同定、動物の体サイズや年齢の復元、病変の同定、遺伝的小変異形質の同定などが挙げられる。これらを復元することで、どのような形のウマがいたか、推定が可能である。一方、地球化学的手法は、形態学からは推定が困難な、動物の生態学的情報の抽出を得意とする。生態学的情報とは、平易な言葉でいうと「いつ・どこで・どのように生きていたか」という情報である。これらの情報を遺跡出土動物遺存体から抽出するために、骨や歯に含まれる元素や同位体という指標が注目されてきた。

骨や歯を用いた地球化学的分析で最初に登場した手法は、元素分析である。元素分析は、骨や歯に含まれる元素組成に基づいて、生態学的情報を抽出しなければならない。研究例としては、歯のエナメル質に含まれるカルシウム、ストロンチウム、バリウム、マグネシウムの濃度を比較し、肉食動物か草食動物か識別した研究が挙げられる。草食動物は、土壌から吸収されたバリウム、マグネシウムを豊富に含む植物を摂取している。一方、肉食動物は、バリウム、マグネシウムが相対的に少ない筋肉組織や内臓を摂取する割合が高い。このため、肉食動物になればなるほど、同じ骨や歯であったとしても、草食動物よりもバリウム、マグネシウムの比率が低くなる。つまり、これらの元素組成に基づいて、摂取食物の復元が可能といえる。しかし、元素組成は生息地域によって大きく異なる値を示すことが分かっており、異なる地域から移動してきた個体がいた場合に、正確な生態情報を復元することが困難であった。さらに、飢餓や病気のために代謝の恒常性が維持できない場合、食性の復元が困難である場合もある。

一方、同位体分析は元素分析で得られた結果に対して、さらに正確な解釈を与える手法といえる。同位体とは、同じ元素の中でも異なる質量数を持つ物質を意味する。例えば、水素の中には陽子と電子が一つずつ存在するが、これとは別に、電気的な影響が生じない（電荷がない）中性子という粒子が入っている水素も存在する。この中性子の数が異なるもの同士を同位体と呼ぶ。各同位体は中性子分の質量数が異なるものの、化学反応時の挙動は各同位体間ではほぼ同じである。唯一異なる点として、中性子分の質量数が変化することで、化学反応速度も変化するという点である。例えば、中性子数が多い同位体は、中性子数が少ない同位体と比べて、早く反応する。この反応速度の違いが原因となり、様々な物質で各同位体の存在割合が僅かに異なる。この存在割合を一般的に同位体比と呼ぶ。水を例に挙げると、常温の水を沸騰させる際に出てくる水蒸気に含まれる水素の同位体比は、沸騰し

たお湯の水素同位体比よりも低い（軽い）同位体比を示すことが分かっている。これは、質量数の少ない（軽い）水素同位体が、質量数の多い（重い）水素同位体よりも反応速度が速いため、水蒸気として先に反応して出てくるのは、移動速度の速い（軽い）同位体だからである。水蒸気の例に限らず、化学反応が生じるあらゆる現象において、物質内の同位体比は変化を伴い、多様な値を示す。このような現象を動的同位体分別効果と呼び、様々な物質間で動的同位体分別効果が生じている。

化学反応の仕組みが類似した物質間では、物質内の同位体比も近似した値を示す。例えば、植物の代謝のしくみが異なるC3植物とC4植物の炭素同位体比が代表的な例として挙げられる。C4植物はC3植物と異なり、乾燥した環境下に適した植物群で、C3植物が持たないハッチスラック回路という特殊な代謝経路をもつ。この代謝の違いによって、大気中の二酸化炭素の取り込みが変化し、C3植物とC4植物に含まれる主要成分であるセルロースの炭素同位体比は大きく異なる同位体比を示す。このように、何もわからない植物体の同位体分析によって、その植物体がC3植物かC4植物か判別することができるのである。この識別法および評価法を遺跡出土の動物遺存体に応用したのが、本研究である。

（2）コラーゲン分子の同位体比に基づく食性復元

近年、遺跡出土動物遺存体の同位体分析から、動物の食性を復元する試みが行われてきた。なかでも、骨コラーゲンの炭素・窒素同位体比は、動物の生存時における約10年間の内で得られたタンパク質由来の炭素・窒素同位体比の平均値を表すため、動物の平均的な食生態を復元する上で、重要な指標として扱われている。ウシなどの反芻類を除いて、哺乳動物の代謝系はそれぞれ類似しており、その影響は同位体比にもみられる。現生実験動物の給餌実験から、同一の餌を給餌した場合、各動物種は近似した炭素・窒素同位体比を示すことが知られている（Jim *et al.* 2004）。また、餌の内容が異なる2つのグループの炭素・窒素同位体比を調べると、動物の種類に関係なく、同じ餌を摂取した個体同士で同位体比が近似することが分かっている。このことから、消化吸収のしくみが大まかに類似した動物間であれば、餌の同位体比とその餌を摂取した動物の同位体比の間で、常に一定の関係性をもつことが分かるのである。また、この餌と動物間の炭素・窒素同位体比の関係性は数式で表現できるために、動物の炭素・窒素同位体比を測定することで、餌の炭素・窒素同位体比に変換することが可能となる。

この技術は、文献情報が乏しい先史時代の試料に対して数多く応用されてきた。とくに、様々な動物種の家畜化に関わる兆候を検出する際に応用されるなど、強力なツールとして一般化し始めている（Minagawa *et al.* 2005、Barton *et al.* 2009、Hu *et al.* 2014）。一方、これらの研究手法は、文献史料が充実した歴史時代の動物考古学研究にはほとんど応用されておらず、多くの研究課題が残されている。

炭素・窒素同位体比は食べ物の情報を表す指標であるため、同位体情報から家畜に与えていた飼料情報を抽出することが可能である。例えば、炭素同位体比は植物の中でも光合成代謝回路が異なるC3植物とC4植物の摂取割合を評価する際に利用可能である。C4植物は栽培植物のアワ・ヒエ・キビなどの雑穀類が挙げられる。C4植物は東アジアの自然環境下では優占種ではなく、ほぼC3植物が優占している。そのため、C4植物の摂取割合が野生動物よりも大きく異なれば、栽培植物を摂取していたことを示唆できる。この特性を利用して、動物に雑穀類を給餌する時代の特定が行われた。

古くから雑穀類を栽培していた黄河流域の遺跡出土イノシシが分析され、約7000年前からイノシ

シは栽培植物を与えられていたことが示されている（Barton *et al.* 2009）。また、同様に、ネコにおいても約5000年前から、栽培植物を摂取した兆候が検出された（Hu *et al.* 2014）。このように、今まで形態学的な議論や発掘状況を考慮して家畜の可能性を議論してきたが、同位体比は動物1個体ごとの生態を復元するという全く異なる情報を提示する。とくに、遺跡から出土する動物遺存体の炭素同位体分析は、過去の動物飼育の有無を検証する上で重要な示唆を与える。

日本においては、中国と同様に、C4植物は馬飼育以前からアワ・ヒエ・キビなどの雑穀類が先行して利用されていた。また、日本の里山や森林地帯、半自然草原下ではC3植物が優占するために、C4植物摂取の兆候が強い場合、その個体が雑穀類の人為的な給餌を受けた可能性を示唆する。一方、沖縄や南西諸島では沿岸部における半自然草原にC4植物が優占しており、沿岸部における限定飼育の兆候をとらえることも可能である（覚張　未発表データ）。したがって、遺跡出土馬の炭素同位体比からは、雑穀類の摂取と島嶼地域からの移動の可能性を示唆する上で有用な指標となり得る。

現在の動物考古学的研究に基づくと、藤原宮が造営された7世紀後半は、日本列島では本州・四国・九州から馬が出土しているが、同時期の琉球列島における遺跡からは未だ馬が検出されていない。これを仮定した場合、藤原宮跡から出土した馬の炭素同位体比は、琉球列島以北における馬の食生態や給餌様式を反映すると期待される。

（3）C3植物・C4植物とは

C3植物とは、二酸化炭素を吸収した後に、光合成によって最初に合成される物質（Phosphoglyceric acid（PGA）、$C_3H_5O_6P$）の炭素数が3つであることに由来する植物の総称である。生物種の分類とは異なり、光合成のしくみの違いに基づいた分類群を示す。C3植物は、葉の気孔から二酸化炭素を吸収し、カルビンベンソン回路で光合成する。世界の植物のうちその多くはC3植物であり、ツンドラ地帯から熱帯気候まで全球的に広く自生している。栽培植物ではイネ・コムギ・オオムギ・ダイズなどが挙げられる。また、木本類のほぼすべての種はC3植物である。馬の飼育に関連する植物の中で、イグサや稲わらなどはC3植物に分類される。

C4植物とは、二酸化炭素を吸収した後に、光合成によって最初に合成される物質（Oxaloacetic acid（オキサロ酢酸）、$C_4H_4O_5$）の炭素数が4つであることに由来する植物の総称である。C4植物は、大気中の二酸化炭素を葉の気孔から取り込み、葉肉細胞中で二酸化炭素とホスホエノールピルビン酸（PEP）からオキサロ酢酸を合成する。また、オキサロ酢酸はリンゴ酸（Malic acid、$C_4H_6O_5$）を合成した後に、維管束鞘細胞に輸送される。維管束鞘細胞内のリンゴ酸は二酸化炭素を遊離した後にオキサロ酢酸として、葉肉細胞に輸送される。維管束鞘細胞内はリンゴ酸由来の二酸化炭素で満たされた後に、カルビンベンソン回路を経て光合成が行われる。C4植物は主に温帯および熱帯地域に自生する草本植物が多くを占めている。亜寒帯気候の乾燥地帯おいて、アワ・ヒエ・キビなどの雑穀類が栽培されており、これらの植物は現在では半自然草原において再野生種として自生していることが多い。馬の飼育に関連する植物の中で、アワ・ヒエ・キビなどはC4植物に分類される。

2. 目的

本分析は藤原宮跡出土獣骨の骨コラーゲンが実際に抽出できるかを検証し、抽出した骨コラーゲン

の炭素・窒素同位体比を測定した。とくに、炭素同位体比に焦点を当て、藤原宮跡出土馬が雑穀類にどれだけ依存していたかを評価した。これらの分析結果に基づいて、藤原宮で出土した馬の雑穀利用の復元を試みた。

3. 試料

本分析では、藤原宮造営期にあたる溝から分析資料を採取し分析に供した。採取した試料はウマと、C3植物食者の動物であるニホンジカの計5点を用いた。

4. 方法

(1) 分析器具について

東京大学先史人類学研究室において実施されるコラーゲン抽出で使用されるガラス器具類は、マッフル炉内で高温燃焼することで外部有機物由来の炭素汚染を最小限にするように心がけている。また、試料が直接触れる器具も同様に、外部汚染の影響に対する対策を実施している。

(2) コラーゲン抽出の分析手順

骨コラーゲンの抽出法は、Yoneda *et al.*（2002）の方法に基づいて実施した。はじめに、歯科用デンタルドリルを用いて、馬および鹿の骨片を採取した。採取した骨の表面はサンドブラスターで土壌物質を除去した。超純水中で超音波洗浄し、表面の微細な汚染を除去した。洗浄した試料は0.2N NaOHに浸し、4℃下で12時間反応させ、表面に付着する有機物汚染の影響を除去した。0.2N NaOHを除去し、超純水で洗浄する。試料を浸した超純水の酸性度が中性になったことを確認し、凍結乾燥器にて12時間乾燥させた。乾燥させた試料は粉砕器具にて粉末化した。粉砕した試料はセルロースチューブ内で1.2N HClに反応させ、炭酸カルシウムを除去した。反応が終わったことを確認し、1.2N HCl内にて4℃下で12時間の脱灰反応を行った。脱灰後は、1.2N HClを除去し、セルロースチューブ内が中性に戻るまで超純水を繰り返し交換した。中性に戻した後に、12時間超純水内に入れた。脱灰後の試料溶液をガラス管に移し、遠心分離して上澄みを凍結保存した。沈殿物に超純水を加え、ブロックバスにて90℃で12時間の反応を行い、コラーゲンをゼラチン化させた。ガラス管を遠心分離し、上澄みに溶解しているゼラチン化したコラーゲンをガラスフィルターにて濾過した。濾過された試料溶液は2日間凍結乾燥させた。

(3) 炭素・窒素同位体測定

抽出されたコラーゲンは国立科学博物館の元素分析計―同位体比質量分析計（EA-IRMS）を用いてδ^{13}C、δ^{15}Nおよび炭素・窒素比（C/N）を測定した。EA-IRMSの測定系は、はじめに元素分析計（FLASH2000、Thermo）で固体試料（コラーゲン）が燃焼・還元され、生じたガスはキャピラリーガスクロマトグラフによって二酸化炭素・窒素ガスに分離される。分離されたそれぞれのガスを同位体比質量分析計（MAT253、Thermo）に導入するために、ガスの流量を調節するインターフェイス

（ConFlo Ⅳ、Thermo）を接続することで、元素分析計で分離したガスから一度に両同位体比の測定が可能になった実験系である。炭素・窒素同位体比の測定は測定用の精製コラーゲン 0.5mg をスズ箔に包み、上述したEA-IRMSで測定を実施した。

測定された炭素・窒素同位体比は国際標準物質の値を基準に補正した値を後の解析に用いる。炭素同位体比の標準物質はPDB、窒素同位体比は現代大気（AIR）を基準とし、これらの標準物質の同位体比からの差分を千分率（‰：パーミル）で表記する。この値はδ（デルタ）と表記する。同位体比の補正計算は（式1）の通りである。また、本分析における同位体比の測定精度は、炭素同位体比は標準偏差 ± 0.1 ‰、窒素同位体比は標準偏差 ± 0.1 ‰であった。

$$\delta {}^{*}X = [\{({}^{*}X/X)_{sample} / ({}^{*}X/X)_{standard}\} - 1] \times 1000 \text{（‰）・・・（式1）}$$

X は同位体、${}^{*}X > X$

土壌由来の有機物汚染の影響がある分析試料を除外するために、生体のコラーゲンがもつ C/N=2.9 ～ 3.6 の基準から逸脱した試料は、同位体比の比較には用いなかった（Deniro 1985）。

5. 結果

コラーゲン抽出に使用した骨重量と抽出したコラーゲン重量から骨コラーゲン抽出率を求めた結果、コラーゲン抽出率は 1.36 ～ 7.54 % を示した（表3-1）。骨から 1 % 以上のコラーゲンが抽出された場合、同位体分析の信頼性が高いことを意味する（Deniro 1985）。比較的にコラーゲンの保存状態が良いとされる縄文時代における貝塚出土の骨コラーゲン抽出率は 1 % を超える試料は少ないが、本分析では 1 % 以上の個体が複数確認された。さらに、生体時のコラーゲンが示す炭素・窒素比（C/N）は 2.9 ～ 3.6 を示すが（Deniro 1985）、本分析では全ての個体が C/N = 3.1 を示した。この結果に基づくと、藤原宮跡出土獣骨の骨コラーゲンは、非常に保存状況が良いといえる。また、コラーゲン残存率が非常に高いことから、骨含有有機物が総じて良く保存されている可能性が高いと推察され、古代DNA 分析や他の有機物に関する分析が将来的に実施できると思われる。

骨コラーゲンの炭素・窒素同位体比測定の結果、炭素同位体比は $\delta^{13}C$ = -20.0 ～ -15.2 ‰（Mean = -17.6 ‰、SD = 1.7 ‰）、窒素同位体比は $\delta^{15}N$ = 3.5 ～ 5.7 ‰（Mean = 4.3 ‰、SD = 0.8 ‰）であった（表3-1 参照、図3-1）。とくに、C3 植物食であるシカの炭素同位体比が -22.0 ‰であり、ウマと比べると相対的に低い炭素同位体比を示した。また、ウシもしくはウマの四肢骨の炭素同位体比は $\delta^{13}C$ = -18.8 ‰、窒素同位体比は $\delta^{15}N$ = 5.5 ‰であった。

表3-1　藤原宮跡出土動物遺存体の炭素・窒素同位体比

資料番号	分析番号	遺構	時期	動物種	部位	左右	窒素同位体比（骨コラーゲン）‰	炭素同位体比（骨コラーゲン）‰
153-29	TG102206	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	下顎骨	左右	3.5	-15.2
153-28	TG102207	SD1901A	藤原宮造営期	ニホンジカ	肩甲骨	左	5.1	-22.2
153-10	TG102208	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	上腕骨	左	5.7	-20.0
20-1	TG102209	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	下顎骨	右	4.0	-17.3
20-2	TG102210	SD1901A	藤原宮造営期	ウシ・ウマ	四肢骨	-	5.5	-18.8

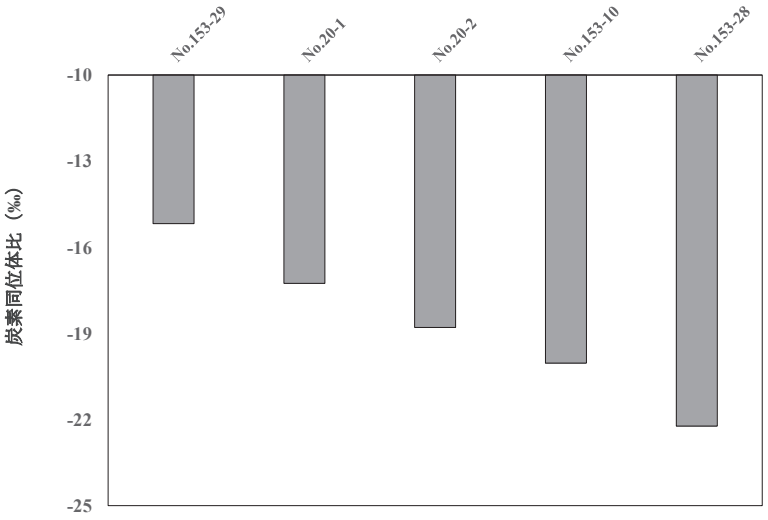

図３-１　骨コラーゲンの炭素同位体比

6. 考察

本分析で得られた同位体比が、実際にその動物の食生態を反映しているか評価するために、窒素同位体比に着目した。動物骨の窒素同位体比は、栄養段階が高いほど高い値を示し、草食動物よりも肉食動物が高い値を示す（Minagawa&Wada 1984）。また日本列島において、肉食動物や雑食動物は約８‰以上の値を示し、草食動物はそれよりも低い値を示すことが分かっている。本分析では、草食動物の特徴である３‰～６‰の範囲を示しており、縄文遺跡から出土している日本列島の野生草食動物（Minagawa *et al.* 2005）と有意な差は無かった（U 検定、P > 0.05）。したがって、本分析で得られた窒素同位体比は、草食動物に期待される同位体比の範囲から逸脱しておらず、矛盾がない。さらに、野生動物であるシカの炭素同位体比は、-22 ‰を示しており、ウマに比べて低い同位体比を示した。シカは木の葉を食べる動物（ブラウザー）で、ウマは下草を食べる動物（グレイザー）であり、食生態が異なる。また、木の葉の大半はC3 植物であるが、下草にはわずかに野生のC4 植物があり、同一生態系に生息していたとしても、シカの方がより軽いC3 植物由来の炭素を摂取する。本分析で得られた結果は、動物種間における生態情報の違いも保持していると推察される。

次に、藤原宮跡出土馬のC4 植物の摂取について評価を行った。C3 植物食の草食動物の炭素同位体比の平均値は約 -20 ‰、C4 植物食の草食動物の炭素同位体比の平均値は約 -10 ‰であることを考慮すると（Barton *et al.* 2009）、藤原宮跡出土馬はその中間的な値を示しているため、C3 植物とC4 植物の両方を摂取していたといえる。また、ウマの個体間でも炭素同位体比が多様な値を示しており、個体間におけるC4 植物の摂取割合が異なっていた可能性が推察される。なかでも、炭素同位体比が -15.2 ‰を示した個体（No.153-29）が検出されたが、この炭素同位体比は本州および九州本土において分析された馬のなかでも最も高い値を示した。これは、藤原宮跡出土馬が他の地域よりも何らかのC4植物に相対的に強く依存していた可能性が考えられる。

厩牧令ではC4 植物であるアワを給餌する制度が記されており、体格の優劣を考慮してアワの給餌割合をかえていることが明記されている。一方、体格が優れたウマであったとしても、アワ以外にコメや乾草などいくつかのC3植物も与えられていたとされている。例えば、豆・干し草・青草・木葉・

イネなどのC3植物を馬が多く摂取した場合、シカなどのブラウザーがもつ炭素同位体比に近似した値を示すと期待される。しかし、本分析結果はシカとは異なる炭素同位体比を示しており、栽培植物のイネの藁などを多量に与えていた積極的な証拠は無い。また、アワとイネが半々くらいで与えられていた場合、炭素同位体比はC3植物とC4植物を同じ割合で摂取した場合の範囲に収まる。これらの結果を合わせて考慮すると、本分析で得られた結果は、C3植物とC4植物の両者の摂取兆候が見えるだけ各植物を給餌していたと考えられ、厩牧令に記載された給餌内容と矛盾はない。

今後、分析個体数を増やして議論した場合、C4植物摂取傾向の高いウマが多数検出されると期待される。しかし、本分析で得られた結果では、同一産地における給餌内容の差異を反映しているか、複数産地における自然植生および給餌内容の差異を反映しているか、炭素同位体比のみでは区別できないため、厩牧令の詳細な内容を炭素同位体比のみで評価することはできない。

このように、一集団内における雑穀給餌量の差か、異なる生態系からの移入個体なのかを識別するには、炭素同位体比では困難であるため、移入個体か識別するための新たな指標が求められる。藤原宮周辺域で飼育された個体であるか、比較的に遠方の異なる地域から移入された個体であるかを識別することで、ウマの飼育に関する文献記録の乏しい藤原宮跡造営期におけるウマのより具体的な利用形態の一端が評価できると期待される。

（覚張隆史・米田穣）

引用文献

Barton, L., Newsome, S. D., Chen, F., Wang, H., Guilderson, T. P., Bettinger, R. (2009) Agricultural origins and the isotopic identity of domestication in northern China, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106, 14, pp. 5523-5528

Deniro, M. J. (1985) Postmortem preservation and alteration of in vivo bone collagen in relation to palaeodietary reconstruction, *Nature*, 317, pp. 806-809

Hu, Y., Hu, S., Wang, W., Wu, X., Marshall, F. B., Chen, X., Hou, L., Wang, C. (2014) Earliest evidence for commensal processes of cat domestication, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111, pp. 116-120.

Jim, S., Ambrose, S. H., Evershed, R. P. (2004) Stable carbon isotopic evidence for differences in the dietary origin of bone cholesterol, collagen and apatite: implications for their use in palaeodietary reconstruction. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 68. pp. 61-72

Minagawa, M., Matsui, A., Ishiguro, N. (2005) Carbon and nitrogen isotope anlyses for prehistoric Sus scrofa bone collagen to discriminate prehistoric boar domestication and inter-islands pig trading across the East China Sea, *Chemical Geology*, 218, pp. 91- 102.

Minagawa, M. and Wada E. (1984) Stepwise enrichment of 15N along food chains: Further evidence and the relation between δ 15N and animal ages. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 48, pp. 1135-1140

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. pp. 529-536.

第4章　歯エナメル質の炭素同位体分析に基づく馬の食性復元

1. 背景

(1) 歯エナメル質の組成

遺跡から出土する動物遺存体の同位体分析は、骨だけでなく、歯などの他部位（組織）についても可能である。同位体分析において骨以外の組織で良く用いられている例として、歯エナメル質が挙げられる。歯エナメル質はハイドロキシアパタイトを主な構成分子としており、約 96 %がハイドロキシアパタイトで占められている。ハイドロキシアパタイトの構成元素は、主にカルシウム、酸素、水素、炭素などであるが、同じハイドロアパタイトの中でもカルシウムがストロンチウムに置換されていたり、水酸基が炭酸基に置換されていたりしており、複数の兄弟分子が存在する。とくに生体中のハイドロキシアパタイトは形成過程が複雑なために、多様な元素が混在する。このように、元素が不均質性であることから、生体のハイドロキシアパタイトは均質な結晶ではない非晶質アパタイトと呼ばれている。この非晶質アパタイトは、生息環境などによって結晶の性質が異なる。例えば、フッ素含有率が高い水を飲んでいたヒトは、フッ素含有率が低い水を飲んでいたヒトよりも結晶の性質が異なる。

ハイドロキシアパタイトの形成環境によって多様な兄弟分子が存在するものの、生体のハイドロキシアパタイトにも一定の組成を持つことも知られている。例えば、歯エナメル質のハイドロキシアパタイトには、水酸基にかわって炭酸塩が約 3 %含まれている。これは、歯エナメル質形成過程において、体液中に溶解する炭酸イオンが OH イオンと置き換わったためである。体液中の炭酸イオンの濃度は、哺乳類がもつ代謝の恒常性に支配されており、歯エナメル質の形成環境中の分圧はほぼ一定である。このため、疾病などの代謝異常がある場合を除いて、炭酸塩は一定の割合でハイドロキシアパタイトに含まれている。

(2) ハイドロキシアパタイトの炭素同位体比

ハイドロキシアパタイトに含まれる炭酸塩の取り込みは、代謝の恒常性に支配されていることから、一定の代謝反応速度をとることが分かっている（岡崎 1992）。一定の代謝反応速度をもつ場合、体液中の炭酸イオンの炭素同位体比と、それを取り込んで形成された歯エナメル質のハイドロキシアパタイトの炭酸塩の炭素同位体比は常に一定の関係性を示すことが期待される。体液中の炭酸イオンは、呼吸で二酸化炭素として体液中に取り込まれた炭素以外に、摂取食物から取り込まれた炭素に大きく依存することが実験的に証明されている（Jim *et al.* 2004）。つまり、歯エナメル質の炭素同位体比を調べることで、摂取食物の炭素同位体比を算出することが可能となる。前章のコラーゲンの炭素同位体分析で取りあげたように、植物は C3 植物と C4 植物など光合成回路が異なる種類が存在しており、歯エナメル質の炭素同位体比を分析することで C3 植物と C4 植物の摂取傾向が評価できる。

骨コラーゲンの炭素同位体分析と歯エナメル質の炭素同位体分析で大きく異なる点として、2 つの要素が挙げられる。一つ目は、骨コラーゲンの炭素と歯エナメル質の炭素の供給源の違いである。骨

コラーゲンの炭素は摂取食物のアミノ酸に含まれる炭素に由来するが、一方、歯エナメル質の炭素は摂取食物に含まれる全炭素に由来する。これは炭素同位体比にも反映しており、骨コラーゲンの炭素同位体比は摂取食物のアミノ酸の炭素同位体比と相関し、全炭素の同位体比との相関が相対的に低い。一方、歯エナメル質の炭素同位体比は摂取食物のアミノ酸の炭素同位体比との相関は低いものの、全炭素の炭素同位体比とは極めて高い相関を示す。ここで重要な点は、歯エナメル質がアミノ酸といった特定の栄養素に依存しない炭素同位体比を反映していることである。

そもそも骨コラーゲンの食性分析は歯エナメル質の炭素同位体分析とは異なり、ある仮定に基づいて食性を評価しており、人が実際に観察して見られる摂取量と一致しないことが多い。例えば、同じ植物の中でも C3 植物（イネなど）の葉の部分のように繊維質が多くアミノ酸含有率が低い餌と、C4 植物（アワ・ヒエなど）の実の部分のようにアミノ酸含有率が C3 植物よりも 2 倍ほど高い餌があったとする。もし、骨コラーゲンの炭素同位体比が C4 植物摂取の兆候を示したとしても、それは C4 植物の餌に 2 倍のアミノ酸が含まれていることが要因で得られた兆候であり、C3 植物の餌の摂取割合を過小評価している可能性を残すことになる。よって、文献上でみられる給餌量と比較するためには、各摂取食物のアミノ酸含有率を考慮した補正が必須となる。残念なことに、遺跡から出土する馬にどの様な摂取植物が与えられたかというメニューがないため、アミノ酸含有率を加味した補正ができない。また、文献上で記載された給餌内容があったとしても、あくまで文献上で記載されている給餌内容を仮定した食性復元にとどまる。このため、馬が実際に摂取した C3 植物と C4 植物の摂取割合は、その実態とずれる潜在的なリスクがある。

一方、歯エナメル質の炭素同位体比は、前述したように特定の栄養素に大きく依存せず、C3 植物と C4 植物の摂取量割合を良く反映する。つまり、当時の人が与えた馬の給餌内容の実態に近い食性の復元が可能となる。南米の C4 植物であるトウモロコシ利用に関する研究や、日本の古墳時代における馬の飼育過程における C4 植物の利用形態に関する研究など、分析上の利点を考慮した先行研究は多数ある（Tykot & Staller 2002、覚張 2015）。

二つ目の重要な点として、歯は骨とは代謝の仕組みが異なり、かつ、形成される時期が異なることが挙げられる。骨に含まれているコラーゲン、ハイドロキシアパタイト、脂肪酸などは、骨芽細胞と破骨細胞という主に 2 種類の細胞によって常に溶解と合成を繰り返している（骨のリモデリング）。骨のリモデリングは、生存中は常に生じており、既に合成されていた骨中の各分子を徐々に新生の分子に置き換えていく。また、新生された各分子の炭素原子は、合成される直前に摂取した食物中の炭素原子に由来する。つまり、歳を重ねるごとに若いころに形成された各分子は消失し、新たに摂取した食物から作られた各分子の情報が蓄積されていくこととなる。この置き換わりの時間は、放射性炭素の半減期を利用して推定されており、10 年以上かかり骨中の各分子は完全に新生の各分子へと置き換わるとされている（Hedges *et al.* 2007）。つまり、骨コラーゲンの同位体情報は、ここ 10 年間の食性の平均値を反映する。一方、歯エナメル質の場合、骨とは異なり骨芽細胞と破骨細胞がそもそも存在せずに主要成分であるハイドロキシアパタイトが形成される。このため、一度形成されたハイドロキシアパタイトは後から形成されたハイドロキシアパタイトに置き換わることは無い。このため、歯エナメル質の炭素原子は、歯エナメル質が形成された比較的若い時期に摂取した食物由来の炭素原子をそのまま保持している。

また、歯エナメル質には形成過程で生じる年輪のような縞状構造（成長線）があり、全ての歯種に

おいて成長線がみられる。この成長線は、ほぼ一日単位で形成されており、各成長線は形成された時期に摂取した食物および飲み水の成分に含まれた原子に由来する成分で構成されている。例えば、馬では60ヶ月分（5年分）の成長線があり（Hoppe *et al.* 2004）、ヒトではおよそ15年分の成長線がある（ヒトの場合、第三大臼歯の形成時期が個人間で大きく異なるため、形成時期には幅がある）。成長線ごとにハイドロキシアパタイトの炭素同位体比を分析することで、馬歯から5年間にわたる歯エナメル質の炭素同位体比の履歴が復元可能となる。このように、歯エナメル質は骨とは異なり、より解像度の高い時間軸を付加した食性復元ができる利点がある。

2. 目的

そこで本章では、前章で示された骨コラーゲンに基づく食性復元について、全く異なる分析手法を用いて再検証することを目的とした。とくに、藤原宮跡出土馬の骨コラーゲンの炭素同位体分析の結果で、1個体の馬がC4植物由来のアミノ酸にやや依存していた傾向を示しているが、前述したように、摂取したC4植物に含まれるアミノ酸含有率が高かったために、C4植物摂取割合を過大評価していた可能性もある。また、骨コラーゲンの分析は歯の分析と異なり、形成時期が明確でなかった。このため、歯エナメル質の炭素同位体分析によって、形成時期ごとのC3植物・C4植物摂取割合を評価することも合わせて試みた。これらの結果に基づいて、炭素同位体比の形成時期別の変動を可視化し、藤原宮跡出土馬の給餌形態について考察することを目的とした。

3. 試料

藤原宮造営期における馬の移動形態を復元するために、ウマ歯エナメル質15点、イヌ歯エナメル質3点、イノシシ歯エナメル質1点を分析した。なお、第2章の事前調査において、飛鳥藤原第20次調査資料も同位体分析に適していることが示されたため、分析資料に加えている（表4-1）。

表4-1　同位体分析に用いた飛鳥藤原第20次の歯エナメル質資料

資料番号	分析番号	遺構	時期	分類群	歯種	左右	歯冠高（mm）	推定年齢（西中川ほか2015）
20-3	TG111006	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	下顎歯（P4/M1/M2）	左	69.52	4-5歳
20-4	TG111007	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	下顎歯（P4/M1/M2）	左	74.08	4歳
20-5	TG111008	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	下顎歯（P3/P4）	左	81.03	4歳
20-6	TG111009	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	下顎歯（P4/M1/M2）	右	80.08	3-4歳
20-7	TG111010	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	下顎歯（P2）	右	49.78	3歳

4. 方法

（1）歯エナメル質のサンプリング

サンプリングは動物遺存体の歯エナメル質を歯科用ドリルにてタングステン・カーバイトのドリル（JET CARBIDE BURS：SHOFU）を装着して、目標のエナメル質の部位からサンプリングした。まず、

ドリルで表面に付着したセメント質を除去し、エナメル質を露出させた。さらに約0.1mm以上の深さで表面のエナメル質表層を除去した後に、新しいドリルに変えて約5～10mgのエナメル質粉末を採取した。また、獣骨からのサンプリングは、骨の緻密層から約5～10mgの骨粉を採取した。

(2) エナメル質粉末の前洗浄

歯エナメル質に含まれる微量の有機物を除去するために、2.5%次亜塩素酸ナトリウムを用いて24時間反応させ、超純水で洗浄した。次に、生存時に沈着した歯石由来の炭酸塩や埋没時における土壌水由来の二次的な炭酸塩の沈着を除去するために、0.1M酢酸バッファーに15分間で2回反応させ、超純水で洗浄した。洗浄した試料は70℃で24時間乾燥させ、乾燥させた試料をアルミナ乳鉢で細かく粉末化させ、粒度を均質化させた。

(3) 歯エナメル質の炭素同位体比測定

歯エナメル質の炭素同位体比測定は、国立科学博物館に設置されたキールデバイス型・同位体比質量分析計（Kiel Device及びMAT 253（Thermo Fisher Scientific））を用いた。測定値は国際標準であるPDBに対する差の千分率（‰）で以下の式（1）で表記される。

$$\delta^{13}C = [\{(^{13}C / ^{12}C)_{sample} / (^{13}C / ^{12}C)_{standard}\} - 1] \times 1000 \ (‰) \cdots (式1)$$

未知試料の分析結果の補正は、国際スタンダードのNBS19、NBS18およびJCp-1の測定値を用いて内挿補正を行った。内部標準による測定精度は標準偏差で0.1‰以下であった。

5. 結果

歯エナメル質の炭素同位体比測定の結果、藤原宮跡出土馬の炭素同位体比は$\delta^{13}C$ = −10.8～−5.8‰（Mean = −8.8‰、SD = 1.4‰）、遺跡出土イヌの炭素同位体比は$\delta^{13}C$ = −14.0～−13.2‰（Mean = −13.7‰、SD = 0.4‰）、遺跡出土イノシシの炭素同位体比は$\delta^{13}C$ = −13.0‰、遺跡出土馬の炭素同位体比は$\delta^{13}C$ = −12.1‰であった（表4-2）。藤原宮跡出土馬と他の動物種との間で炭素同位体比の分散および平均値に差があるか評価するため、F検定およびU検定を実施した。その結果、出土馬と出土イヌの間では分散に有意な差は無く（P=0.08）、平均値に有意な差があった（P<0.01）。次に、出土馬とその他の生物種（イヌおよびイノシシ）との間で炭素同位体比の分散および平均値の差を検証した。その結果、出土馬とその他の生物種（イヌおよびイノシシ）の間では分散に有意な差があり（P=0.05）、平均値にも有意な差があった（P<0.01）。

6. 考察

(1) 藤原宮跡出土動物遺存体の食生態復元

本分析で得られた同位体比が、実際にその動物の食生態を反映しているか評価するために、ハイド

表4-2　藤原宮跡出土動物遺存体の歯エナメル質の炭素同位体比

資料番号	分析番号	遺構	時期	動物種	部位	左右	部分	炭素同位体比（エナメル質）‰	炭素同位体比（摂取植物）‰
153-86	TG102201	SH10800	藤原宮期	ウマ	遊離歯	不明	歯種不明	計測不可	-
153-42	TG102202	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	遊離歯	右	下顎歯（P4/M1/M2）	-7.9	-22.0
153-5	TG102203	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	遊離歯	右	下顎歯（P4/M1/M2）	-8.2	-22.3
153-53	TG102204	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	遊離歯	右	上顎歯（M3）	-8.2	-22.3
153-54	TG102205	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	遊離歯	右	上顎歯（P2）	-7.4	-21.5
153-94	TG111001	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	遊離歯	左	上顎歯(P3/P4/M1/M2)	-7.5	-21.6
153-75	TG111002	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	遊離歯	右	上顎歯(P3/P4/M1/M2)	-9.8	-23.9
153-55	TG111003	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	遊離歯	左	上顎歯(P3/P4/M1/M2)	-8.0	-22.1
153-78	TG111004	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	遊離歯	左	下顎歯（P3/P4）	計測不可	-
153-4	TG111005	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	遊離歯	右	下顎歯（P4/M1/M2）	-5.8	-19.9
20-3	TG111006	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	遊離歯	左	下顎歯（P4/M1/M2）	-9.7	-23.8
20-4	TG111007	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	遊離歯	左	下顎歯（P4/M1/M2）	-10.8	-24.9
20-5	TG111008	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	遊離歯	左	下顎歯（P3/P4）	-10.6	-24.7
20-6	TG111009	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	遊離歯	右	下顎歯（P4/M1/M2）	-10.2	-24.3
20-7	TG111010	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	遊離歯	右	下顎歯（P2）	-8.5	-22.6
163-1	TG111011	SX10820	藤原宮造営期	ウマ	遊離歯	右	上顎歯(P3/P4/M1/M2/M3)	-10.4	-24.5
153-79	TG111021	SD1901A	藤原宮造営期	イヌ	下顎骨	左	採取部位：下顎M2	-	-
153-14	TG111022	SD1901A	藤原宮造営期	イヌ	下顎骨	左	採取部位：下顎M1	-14.0	-28.1
153-15	TG111023	SD1901A	藤原宮造営期	イヌ	下顎骨	右	採取部位：下顎P2	-13.8	-27.9
153-40	TG111024	SD1901A	藤原宮造営期	イヌ	遊離歯	右	上顎P3	-13.2	-27.3
153-85	TG111025	SX10820	藤原宮造営期	イノシシ	遊離歯	右	下顎C	-13.0	-27.1

ロキシアパタイトの炭素同位体比から摂取食物の炭素同位体比へ変換する式に当てはめ、遺跡出土動物が生存時に摂取した摂取食物の炭素同位体比を推定した。Cerling & Harris（1999）の変換式（式2）を用いて、本分析で得られた歯エナメル質の炭素同位体比（$\delta^{13}C_{Enamel}$）から、摂取食物の炭素同位体比（$\delta^{13}C_{Diet}$）を算出した（表4-2参照）。

$$\delta^{13}C_{Diet} = \delta^{13}C_{Enamel} - 14.1 \text{（‰）・・・（式2）}$$

算出の結果、遺跡出土馬の摂取食物の炭素同位体比は、$\delta^{13}C$ = -24.9 ～ -19.9 ‰（Mean = -22.9 ‰、SD = 1.4 ‰）、遺跡出土イヌの摂取食物の炭素同位体比は$\delta^{13}C$ = -28.1 ～ -27.3 ‰（Mean = -27.8 ‰、SD = 0.4 ‰）、遺跡出土イノシシの摂取食物の同位体比は$\delta^{13}C$ = -27.1 ‰、遺跡出土馬の摂取食物の炭素同位体比は$\delta^{13}C$ = -26.2 ‰であった（表4-2参照）。一般的なC3植物は-28 ～ -25 ‰の範囲を示すことが知られているが（Cerling & Harris 1999参照）、遺跡出土動物遺存体のうち、これらの範囲に遺跡出土のイヌおよびイノシシが収まり、遺跡出土馬はC3植物の範囲外の値を示した。日本列島の野生イノシシは森林に生息しており、その炭素同位体比も森林生態系において摂取した食物の炭素同位体比の範囲に収まると期待される。本分析結果は、本来の野生イノシシが示しうる炭素同位体比の範囲に収まっており、生態学的な背景と矛盾しない。一方、ウマはイノシシと生態が異なり、下草食者（グレーザー）であるために、森林以外で下草として自生するC4植物の摂取植物割合がイノシシよりも相対的に高くなる傾向にある。遺跡出土馬の摂取食物の炭素同位体比がC3植物の範囲から外れて

いるのも、このような食生態における動物種間の違いを良く反映している。

また、家畜であるイヌは、人の食物残渣や周囲の環境によって多様な食物を得る可能性がある。例えば、イヌは人の食物残渣のなかで海産物や狩猟で得られた獣肉などを摂取する可能性もある。とくに、海生魚介類や淡水生魚介類の炭素同位体比は -18 ‰よりも高い値を示す場合が多い（Richards *et al.* 2005）。しかし、本分析で得られた遺跡出土イヌの摂取食物の炭素同位体比は、C3植物の炭素同位体比の範囲に収まっていることから、海産物や淡水産の摂取割合が低かったと考えられる。この結果は、藤原宮跡出土イヌが魚介類に依存していなかったことを示唆する。また、C3 植物を摂取したシカ・イノシシの可食部（肉・骨）の炭素同位体比は、C3植物の炭素同位体比の範囲とほぼ変わらない。このため、藤原宮跡出土イヌがC3 植物に依存していたか、シカ・イノシシなどの陸生哺乳類に依存していたかは、方法論的に区別することができない。近年、アミノ酸の炭素・窒素同位体分やマグネシウム同位体分析で肉食の程度を評価することが可能になってきた。今後、これらの手法を組み合わせることで、藤原宮跡出土イヌの食性が植物に依存していたか、陸生哺乳類に依存していたのかを検証することが求められる。

（2）藤原宮跡出土馬の食生態の分類

従来の歯エナメル質の炭素同位体分析では、Cerling & Harris（1999）で提唱された定義に基づいて、大きく 3 つの食性の分類がなされてきた。まず、哺乳動物の歯エナメル質の炭素同位体比が≦ -8 ‰であった個体はC3 植物を主に摂取するC3 植物食者（約 70 %以上 C3 植物を摂取）とし、炭素同位体比は≧ -2 ‰であった個体はC4 植物を主に摂取するC4 植物食者（約 70 %以上 C4 植物を摂取）と、またその中間（-8 ‰～ -2 ‰）に収まる個体をC3/C4 中間食者と定義している（Cerling & Harris 1999、Uno *et al.* 2011）。本分析で得られた歯エナメル質の炭素同位体比に基づいて、これら 3 つに分類した結果、15 点中 10 点がC3 植物食者に、4 点がC3/C4 中間食者に分類された。とくに、No.153-4（TG111005）の炭素同位体比は高い値を示しており、骨コラーゲンで得られた結果と同様に、C4 植物に大きく依存していた個体が存在していると考えられる。

（3）藤原宮跡出土馬のC3・C4植物摂取割合の時間変動

最後に、本分析で採取した歯エナメル質の採取地点から、形成時期を推定し、形成時期と炭素同位体比の変動を可視化することを試みた。歯エナメル質の各採取地点から求めた推定形成時期（Te）は下記の式3で求めた（覚張2015）。

$$T_e = T_{min} + [(L_m - L_s) / L_m \times T_p] \text{（Months）・・・（式3）}$$

西中川ら（1991）で報告されている各歯種の最大歯冠高（L_m、mm）を基準とし、歯根部最下部（エナメル質最下部）からサンプリング地点（サンプリング箇所の最下部）までの距離（L_s、mm）を求め、Hoppe *et al.* 2004 で示された各歯種の形成期間（T_p、Months）および形成開始時期（T_{min}、Months）と対応させた。得られた形成時期は炭素同位体比と対応させ（表4-3）、2次元プロットで可視化した。なお、本分析で使用した馬歯は遊離歯であるため、歯種同定が困難であったものも多かった。このため、歯種同定結果で複数の歯種に同定された場合、歯エナメル質の形成時期幅は同定された歯種内で

最も長い形成時期範囲を示すように記載し（表4-4）、歯種同定における不確かさを図示し考察を試みた（図4-1）。

作成された２次元プロットを見ると、比較的に若い時期に形成された歯エナメル質の炭素同位体比

表4-3　歯エナメル質の推定形成時期の算出

資料番号（分析番号）	遺構（時期）	動物種	歯種	候補歯種	Ls（mm）	Lm（mm）	Tmin（Months）	Tp（Months）	Te（Months）	炭素同位体比
153-42（TG102202）	SD1901A（藤原宮造営期）	ウマ	下顎歯（P4/M1/M2）	下顎P4	10	62.1	19.0	32.0	45.8	-7.9
				下顎M1	10	75.8	0.5	22.5	20.0	
				下顎M2	10	84.4	7.0	30.0	33.4	
153-5（TG102203）	SD1901A（藤原宮造営期）	ウマ	下顎歯（P4/M1/M2）	下顎P4	64	62.1	19.0	32.0	18.0	-8.2
				下顎M1	64	75.8	0.5	22.5	4.0	
				下顎M2	64	84.4	7.0	30.0	14.3	
153-53（TG102204）	SD1901A（藤原宮造営期）	ウマ	上顎歯（M3）	上顎M3	69	75.5	21.0	34.0	23.9	-8.2
153-54（TG102205）	SD1901A（藤原宮造営期）	ウマ	上顎歯（P2）	上顎P2	32	56.5	13.0	18.0	20.8	-7.4
153-94（TG111001）	SD1901A（藤原宮造営期）	ウマ	上顎歯（P3/P4/M1/M2）	上顎P3	36	71.7	14.0	22.0	25.0	-7.5
				上顎P4	36	70.3	19.0	32.0	34.6	
				上顎M1	36	69.6	0.5	22.5	11.4	
				上顎M2	36	85.2	7.0	30.0	24.3	
153-75（TG111002）	SD1901A（藤原宮造営期）	ウマ	上顎歯（P3/P4/M1/M2）	上顎P3	69	71.7	14.0	22.0	14.8	-9.8
				上顎P4	69	70.3	19.0	32.0	19.6	
				上顎M1	69	69.6	0.5	22.5	0.7	
				上顎M2	69	85.2	7.0	30.0	12.7	
153-55（TG111003）	SD1901A（藤原宮造営期）	ウマ	上顎歯（P3/P4/M1/M2）	上顎P3	69	71.7	14.0	22.0	14.8	-8.0
				上顎P4	69	70.3	19.0	32.0	19.6	
				上顎M1	69	69.6	0.5	22.5	0.7	
				上顎M2	69	85.2	7.0	30.0	12.7	
153-78（TG111004）	SD1901A（藤原宮造営期）	ウマ	下顎歯（P3/P4）	下顎P3	62	75.8	14.0	22.0	18.0	計測不可
				下顎P4	62	62.1	19.0	32.0	19.1	
153-4（TG111005）	SD1901A（藤原宮造営期）	ウマ	下顎歯（P4/M1/M2）	下顎P4	60	62.1	19.0	32.0	20.1	-5.8
				下顎M1	60	75.8	0.5	22.5	5.2	
				下顎M2	60	84.4	7.0	30.0	15.7	
20-3（TG111006）	SD1901A（藤原宮造営期）	ウマ	下顎歯（P4/M1/M2）	下顎P4	68	62.1	19.0	32.0	16.0	-9.7
				下顎M1	68	75.8	0.5	22.5	2.8	
				下顎M2	68	84.4	7.0	30.0	12.8	
20-4（TG111007）	SD1901A（藤原宮造営期）	ウマ	下顎歯（P4/M1/M2）	下顎P4	69	62.1	19.0	32.0	15.4	-10.8
				下顎M1	69	75.8	0.5	22.5	2.5	
				下顎M2	69	84.4	7.0	30.0	12.5	
20-5（TG111008）	SD1901A（藤原宮造営期）	ウマ	下顎歯（P3/P4）	下顎P3	72	75.8	14.0	22.0	15.1	-10.6
				下顎P4	72	62.1	19.0	32.0	13.9	
20-6（TG111009）	SD1901A（藤原宮造営期）	ウマ	下顎歯（P4/M1/M2）	下顎P4	72	62.1	19.0	32.0	13.9	-10.2
				下顎M1	72	75.8	0.5	22.5	1.6	
				下顎M2	72	84.4	7.0	30.0	11.4	
20-7（TG111010）	SD1901A（藤原宮造営期）	ウマ	下顎歯（P2）	下顎P2	45	53.4	13.0	18.0	15.8	-8.5
163-1（TG111011）	SX10820（藤原宮造営期）	ウマ	上顎歯（P3/P4/M1/M2/M3）	上顎P3	32	71.7	14.0	22.0	26.2	-10.4
				上顎P4	32	70.3	19.0	32.0	36.4	
				上顎M1	32	69.6	0.5	22.5	12.7	
				上顎M2	32	85.2	7.0	30.0	25.7	
				上顎M3	32	75.5	21.0	34.0	40.6	

表4-4　歯エナメル質の推定形成時期と炭素同位体比

資料番号（分析番号）	遺構（時期）	動物種	歯種	炭素同位体比	最短形成時期（Months）	最長形成時期（Months）	形成時期の中央値（Months）	形成時期の不確かさ（Months）
153-42（TG102202）	SD1901A（藤原宮造営期）	ウマ	下顎歯（P4/M1/M2）	-7.9	20.0	45.8	32.9	12.9
153-5（TG102203）	SD1901A（藤原宮造営期）	ウマ	下顎歯（P4/M1/M2）	-8.2	4.0	18.0	11.0	7.0
153-53（TG102204）	SD1901A（藤原宮造営期）	ウマ	上顎歯（M3）	-8.2	23.9	23.9	23.9	0.0
153-54（TG102205）	SD1901A（藤原宮造営期）	ウマ	上顎歯（P2）	-7.4	20.8	20.8	20.8	0.0
153-94（TG111001）	SD1901A（藤原宮造営期）	ウマ	上顎歯（P3/P4/M1/M2）	-7.5	11.4	34.6	23.0	11.6
153-75（TG111002）	SD1901A（藤原宮造営期）	ウマ	上顎歯（P3/P4/M1/M2）	-9.8	0.7	19.6	10.1	9.4
153-55（TG111003）	SD1901A（藤原宮造営期）	ウマ	上顎歯（P3/P4/M1/M2）	-8.0	0.7	19.6	10.1	9.4
153-78（TG111004）	SD1901A（藤原宮造営期）	ウマ	下顎歯（P3/P4）	計測不可	18.0	19.1	18.5	0.5
153-4（TG111005）	SD1901A（藤原宮造営期）	ウマ	下顎歯（P4/M1/M2）	-5.8	5.2	20.1	12.6	7.4
20-3（TG111006）	SD1901A（藤原宮造営期）	ウマ	下顎歯（P4/M1/M2）	-9.7	2.8	16.0	9.4	6.6
20-4（TG111007）	SD1901A（藤原宮造営期）	ウマ	下顎歯（P4/M1/M2）	-10.8	2.5	15.4	9.0	6.5
20-5（TG111008）	SD1901A（藤原宮造営期）	ウマ	下顎歯（P3/P4）	-10.6	13.9	15.1	14.5	0.6
20-6（TG111009）	SD1901A（藤原宮造営期）	ウマ	下顎歯（P4/M1/M2）	-10.2	1.6	13.9	7.8	6.1
20-7（TG111010）	SD1901A（藤原宮造営期）	ウマ	下顎歯（P2）	-8.5	15.8	15.8	15.8	0.0
163-1（TG111011）	SX10820（藤原宮造営期）	ウマ	上顎歯（P3/P4/M1/M2/M3）	-10.4	12.7	40.6	26.6	14.0

は低い傾向があり、20ヶ月齢以降になると炭素同位体比が安定する傾向を示した（図4-1参照）。具体的に見ると、10ヶ月齢以前に形成された歯エナメル質の炭素同位体比が低い傾向にある。この要因として、授乳の影響が考えられる（Sharp & Cerling 1998）。母乳には母個体が摂取する植物よりも相対的に低い酸素同位体比をもつ。このため、離乳が完了していない時期の炭素同位体比は、離乳が完了した時期と比べて約1‰低い値を示しうる。本分析では、これらの影響が見られることから、生存時における同位体的特徴を良く保持していたと考えられる。一方、No.153-4（TG111005）のように炭素同位体比が高くなる個体なども現れており、授乳効果だけでは説明が困難な個体も存在する。これらの結果は、藤原宮跡出土馬が若齢時において個体ごとに多様な飼育形態をとっていた馬が混在していた可能性を示唆している。

若い時期に形成された歯エナメル質の炭素同位体比が低い傾向にある同様の例として、群馬県高崎市の三ツ寺Ⅰ・Ⅱ遺跡から出土した馬歯エナメル質の炭素同位体分析が挙げられる（覚張 2015）。ただし、藤原宮跡出土馬の炭素同位体比は15ヶ月齢に炭素同位体比がC3/C4中間食者の範囲に入り、-5‰と高い炭素同位体比を持つ個体（No.153-4）が出現するのに対し、三ツ寺Ⅰ・Ⅱ遺跡では、36ヶ月齢以降にC3/C4中間食者の範囲に収まり、C3/C4中間食者の出現時期が異なるという違いが認められる。

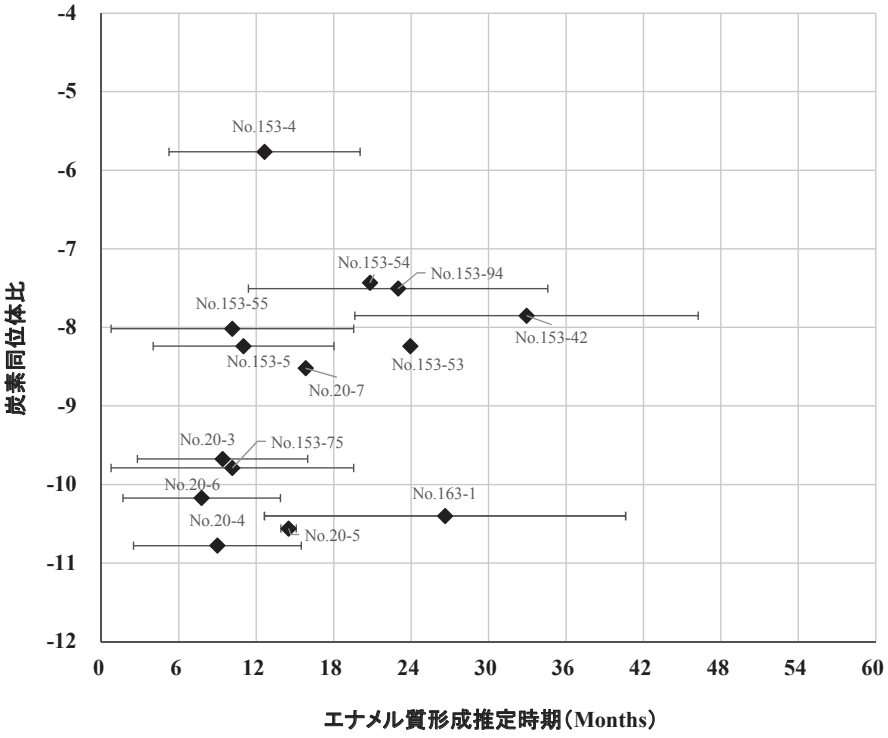

図４-１　歯エナメル質の炭素同位体比変動

今後の課題として、No.153-4（TG111005）のように食性が他の個体と異なる要因を、他の生態学的な指標に基づいて検証することが求められる。例えば、藤原宮跡出土馬は、食性が異なる馬が混在するものの、他の C3 植物食者および C3/C4 中間食者と同じ馬牧で生産されていたかどうかはまだ不明である。出土馬の出生地を評価することによって、給餌形態と産地情報が組み合わさり、当時の複雑な馬飼育形態の復元につながると期待される。第５章と第６章では、これらの馬がどの様な地域から持ち込まれたか、複数の同位体指標を用いて検討を行う。

（覚張隆史）

引用文献

岡崎正之（1992）『歯と骨をつくるアパタイトの化学』東海大学出版会

覚張隆史（2015）「歯エナメル質の炭素安定同位体比に基づく三ツ寺Ⅰ・Ⅱ遺跡出土馬の食性復元」『動物考古学』32、25-37 頁

西中川駿（1991）『古代遺跡出土骨からみたわが国の牛、馬の渡来時期とその経路に関する研究』科学研究費補助金（一般研究（B））研究成果報告書 平成２年

西中川駿・幸村真由美・吉野文彦・塗木千穂子・松元光春（2015）「ウマの臼歯の計測値から体高および年齢の推定法」『動物考古学』32、pp.1-9

Cerling, T. E. and Harris, J. M. (1999) Carbon isotope fractionation between diet and bioapatite in ungulate mammals and implications for ecological and paleoecological studies. *Oecologia*. 120 pp. 347-363.

Jim, S., Ambrose, S. H., Evershed, R. P. (2004) Stable carbon isotopic evidence for differences in the dietary origin of bone cholesterol, collagen and apatite: implications for their use in palaeodietary reconstruction. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 68. pp. 61-72

Hedges, R., Clement, J. G., Thomas, C. D., O'connell, T. C. (2007) Collagen turnover in the adult femoral mid-shaft: modeled from anthropogenic radiocarbon tracer measurements. *American Journal of Physical Anthropology*. 133. pp. 808-816

Hoppe, K., Stover, A., Pascoe, S. M., Amundson, J. R. (2004) Tooth enamel biomineralization in extant horses: implications for isotopic microsampling. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 206. pp. 355-365.

Uno, K. T., Cerling, T. E., Harris, J. M., Kunimatsu, Y., Leakey, M. G., Nakatsukasa, M., Nakaya, H. (2011) Late Miocene to Pliocene carbon isotope record of differential diet change among East African herbivores. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 108 pp. 6509-6514.

Tykot, R. H. and Staller, J. E. (2002) The Importance of Early Maize Agriculture in Coastal Ecuador: New Data from La Emerenciana. *Current Anthropology*. 43. pp. 666-677Richards, M. P., Jacobi, R., Cook, J., Pettitt, P. B., Stringer, C. B. (2005) Isotope evidence for the intensive use of marine foods by Late Upper Palaeolithic humans. *Journal of Human Evolution*. 49. pp. 390-394

Sharp, Z. D. and Cerling, T. E. (1998) Fossil isotope records of seasonal climate and ecology: Straight from the horse's mouth. *Geology*. 26. pp. 219-222.

第5章　ストロンチウム同位体分析に基づく移入馬の推定

1. 背景

（1）同位体を用いた動物の移動復元

哺乳類の移入復元は分析試料に残された産地情報および生息地情報を復元することを意味する。哺乳類の産地情報を抽出するために、硬組織に含まれる各種元素の同位体比が用いられてきた（Bentley *et al.* 2006）。硬組織に含まれる各元素の濃度は、哺乳類の恒常性によって生体内ではある一定の範囲に保たれており、産地の情報は比較的に乏しい。一方、同位体比は恒常性による制限がなく、元素濃度に比べて生息地に関する多様性をより直接的に反映する。

1990 年代から、同位体比は動物の産地情報の指標として精力的に応用され始めた（van der Merwe *et al.* 1990）。産地情報として応用されている元素は大別して、重元素と軽元素に分けられる。重元素にはストロンチウムや鉛などが含まれ、軽元素では炭素・酸素・水素・窒素などが用いられている。これら重元素と軽元素の同位体に基づく産地推定は、それぞれの元素が異なる同位体化学的挙動を示すために、元素によって評価法がそれぞれ異なる。

重元素の場合、動物体内における重元素の同位体比は生息地にある食物や飲み水に含まれる重元素の同位体比と近似した値をとるものが多い。そのため、重元素の同位体比から生息地を同定する際には、その動物のもつ重元素と同じ同位体比と候補となる生息地の同位体比はそのままの値で照合する（Capo *et al.* 1998）。

ある土地に棲息する動物に地理的な情報を付加し、移動を復元する指標としてストロンチウム同位体比を用いた研究が挙げられる。ストロンチウムはカルシウムとイオン半径が近似しており、その化学的な挙動は類似しているため体内の硬組織に取り込まれる（Faure and Mensing 2005）。ストロンチウムには４つの同位体があり（^{84}Sr、^{86}Sr、^{87}Sr、^{88}Sr）、^{87}Sr は放射性同位体である ^{87}Rb がベータ崩壊することで生じる。地質学的には ^{87}Sr と自然存在比が近い ^{86}Sr の比率（^{87}Sr/^{86}Sr）を測定し、ストロンチウム同位体比とすることが多く、このストロンチウム同位体比は地質の古さ、ルビジウムの含有率および岩石内の閉鎖温度などにより様々な値を示す（倉沢 1970、加々美ほか 2008、Dickin 2005、Faure and Powell 1972）。例えば、火山性地質に含まれる岩石の多くは、0.703～0.706 と低いストロンチウム同位体比を示すのに対し、変成岩などで構成される非常に古い地質では 0.710 ～ 0.730 と高い値を示す。一方、石灰岩地帯などのストロンチウム同位体比は当時の海のストロンチウム同位体比の兆候を表し、0.707～0709 の範囲を示す。

生態系に取り込まれるストロンチウムは、土壌中に様々な濃度で含まれており（0 －約 2000ppm；Bentley 2006、Capo *et al.* 1998）、植物のストロンチウム含有量は、植物の種類および土壌に含まれる土壌水に溶存しているストロンチウム含有量によって多様な濃度を示す（Bentley 2006）。また、草食哺乳類では、植物および飲み水由来のストロンチウムを生体内で恒常的な量に制限する生理機構が存在することが示唆されている（Schrooten *et al.* 2003）。ラットにおいてストロンチウムの過剰摂取は骨の低密度化を引き起こし（Schrooten *et al.* 2003）、欠乏すると骨組織の成長障害などの影響が生

じると報告されている（Motohashi 1994、Underwood 1977）。

また、生物ではカルシウムを消化管で吸収する際に、選択的にバリウムやストロンチウムを吸収しない分別があると報告されている（Elias *et al.* 1982）。肉食哺乳類の餌となる草食哺乳類の可食部（筋組織）ではストロンチウム含有量が比較的少なく、さらに分別が生じるために、肉食哺乳類では草食哺乳類よりもストロンチウムが低濃度になる。このように、栄養段階が上昇するにつれてストロンチウム濃度が減少する生物浄化作用（Biopurification）によって、生態系間および生態系内で生物は多様な濃度を持つことが知られている（Elias *et al.* 1982、Vincent 2004）。

ストロンチウム同位体比は、^{86}Sr と ^{87}Sr の質量数および存在比が近似した値をとるために、化学反応における動的同位体効果の影響が少ない。そのため、同位体分別が動物の生体内ではほとんど生じ無いことがわかっている。よって、軽元素の同位体比とは異なり、同一の地質において生息する生物であれば、栄養段階によらず全ての生物が近似した値をとる（Blum *et al.* 2000）。この性質を利用し、生物に生息地の情報を付加し、動物の移動の復元を目的とした研究が行われてきた（Capo *et al.* 1998）。ストロンチウム同位体比の応用は、北アメリカ、南アメリカ、ユーラシア、アフリカ大陸においては様々な研究が存在し、今日でも世界各地の研究例が蓄積されている。

（2）日本列島におけるSr同位体分析

日本列島の哺乳類に対するストロンチウム同位体比の研究はまだほとんど行われていない。先行して行われた研究として、縄文時代人骨のストロンチウム同位体分析が研究例に挙げられる（Kusaka *et al.* 2009）。この研究は、愛知県渥美半島の吉胡貝塚から出土した人骨コレクションを用いて、ストロンチウム同位体分析を試みており、渥美半島の縄文時代人骨に見られる抜歯形式に関する考古学的な仮説を検証することが目的であった。抜歯する歯種は遺跡によって異なるパターンがあることから、各地域の人々を識別するための目印としても利用されていたと考えらえている（春成 2002）。とくに春成は、渥美半島縄文時代人骨を 4I 型と 2C 型などの抜歯形式に分類し、供伴する遺物などに基づいて、4I 型を在地生まれの人、2C 型を遠方からの移入者と評価した。この仮説を自然科学的に評価するために、日下らは人骨の歯エナメル質のストロンチウム同位体比と、渥美半島および愛知県南東部の植物のストロンチウム同位体比を比較し、4I 型の個体の中に渥美半島外から移入してきた個体がいるか検証した。その結果、在地型と考えられていた 4I 型の抜歯形式をもつ個体の中に、渥美半島の植物のストロンチウム同位体比と一致しない個体が検出された。このことから、4I が必ずしも在地型の指標とならない可能性を示唆するとともに、縄文時代における複雑な社会性を復元した研究例となった。しかし、ヒトのストロンチウム同位体分析は、土器などの調理器具を利用しているため、土器から溶出されたストロンチウムを多量に摂取している可能性が高い。例えば、4I 型の個体が在地で生活していたとしても、外部から持ち込まれた土器を使用することで、在地にいながら外部のストロンチウムを摂取することになる。このため、現時点では、在地で生活する人とストロンチウム同位体比が、水や植物のストロンチウム同位体比と一致するという仮定の上で成り立っていることを意識しなければならない。よって、今後さらなる精査が求められる。

動物遺存体を用いた研究例では、従来のシカ・イノシシだけでなく、多様な動物種を分析する例が挙げられる。覚張は、ヒトのような調理器具などを使用しない動物を指標として、過去の人の移動や交易関係を客観的に評価できるか検証を試みている。検証に用いた遺跡は、神奈川県鎌倉市にある由

比ヶ浜南遺跡（鎌倉～室町時代）である。覚張らは日下らと同様に、植物・水・土壌などのストロンチウム同位体比と、遺跡出土馬・牛・犬・猫のストロンチウム同位体比を比較した。その結果、馬・牛は鎌倉周辺域のストロンチウム同位体比の範囲から逸脱した個体が検出されたが、犬・猫のストロンチウム同位体比は逸脱した個体が検出されなかった。当時の鎌倉市は都市部であり、大型家畜である馬・牛の生産地は鎌倉外であった可能性が高いが、犬・猫は外部であえて飼育されていたとは考えにくい。また、当時の鎌倉内でウマが飼育されていた文献上の証拠がないことや、鎌倉外に多数の馬産地があったことからも、本分析結果は当時の都市部における馬・牛の利用形態を良く反映していると考えられる（Gakuhari *et al.* 2010）。このように、遺跡周辺域の植物だけではなく、同じ遺跡から出土する馬・牛とは異なる動物と比較することで、分析結果の妥当性を評価することが重要である。この妥当性は、大阪府大阪市に位置する長原遺跡（古墳～飛鳥時代）においても同様の結果が得られており、都市部における馬が異なる地域から持ち込まれていることが示されている（日下・覚張 2014）。一方、由比ヶ浜南遺跡と長原遺跡から出土した人骨のストロンチウム同位体比は、馬のストロンチウム同位体比の多様性よりも低く、馬が最も多様なストロンチウム同位体比を示している。これは、人が外部から都市部へ移動してくるよりも、馬が遠方の馬産地から頻繁に都市部へ持ち込まれていた可能性を強く示唆している。本章では、当時の都市部と考えらえている藤原宮出土馬のストロンチウム同位体比を実施し、都市造営期における馬の移動復元を試みた。

2. 目的

藤原宮跡から出土する馬は、主に運搬などの物資運搬としての使役動物として利用されていたと考えられており、藤原京で生活していた人々にとっても比較的に身近な動物であったと考えられる。そこで本研究では、これら藤原宮跡の造営期相当の堆積層から出土する馬歯を中心にストロンチウム同位体分析を実施し、藤原宮跡出土馬が遺跡外から持込まれていた可能性を評価した。

3. 試料

藤原宮造営期における馬の移動形態を復元するために、馬歯エナメル質15点、獣骨７点を分析した。また、馬が外部地域から搬入されたことを実証的に検証するために、藤原宮跡周辺域で飼育されていたと考えられるイヌの歯エナメル質４点を在地動物の指標として分析した（表5-3）。さらに、野生動物が家畜種である馬やイヌと異なる地域から移入されているかを検証するために、藤原宮跡出土イノシシの歯エナメル質１点を分析した。

藤原宮跡出土馬の産地を推定するために、藤原宮跡周辺域（半径 15km）の異なる地質上の植物および河川水を分析した。

4. 方法

(1) 歯エナメル質および植物からのサンプリング

サンプリングは動物遺存体の歯エナメル質を歯科用ドリルにてタングステン・カーバイトのドリル（JET CARBIDE BURS：SHOFU）を装着して、目標のエナメル質の部位からサンプリングした。まず、ドリルで表面に付着したセメント質を除去し、エナメル質を露出させた。さらに約0.1mm以上の深さで表面のエナメル質表層を除去した後に、新しいドリルに変えて約5～10mgのエナメル質粉末を採取した。また、獣骨からのサンプリングは、骨の緻密層から約5～10mgの骨粉を採取した。

また、植物の葉を中心に約10gは電気炉内で450℃に加熱することで、灰化処理を行い、得られた灰化粉末を実験に供した。

(2) ストロンチウム精製

二次的に沈着した炭酸塩を除去するために、採取したエナメル質粉末に0.1M酢酸バッファーを1ml加え、撹拌した後に15分間静置した。次に、5分間遠心分離し（2000 × g）、上精を新しいマイクロチューブに移した。さらに0.1M酢酸バッファーを1ml加え同じ作業を行った。2回のリーチングが終わった後、超純水1mlで2回リンスおよび遠心分離し（2000 × g）、乾燥用オーブンにて60℃で一晩乾燥させた。ストロンチウムを精製するため、灰化した植物および乾燥させた試料に6M HClを加え、約150℃のホットプレート上で一晩再乾固させ、エナメル質粉末を完全に溶解させた。乾固した試料を2M HClで再溶解し、5分間遠心分離し（2000 × g）、上精0.5mlをカラム精製用の溶液とした。試料溶液は陽イオン交換樹脂を充填したSr精製用カラム（AG 50W-X8；200-400mesh）、ムロマチテクノス）を用いてストロンチウム以外の重元素を除去した（Ando *et al.* 2010）。精製したストロンチウム溶液は、70℃ 12時間で蒸発乾固させた。これらの前処理は、汚染をさけるために総合地球環境学研究所に設置されたクリーンルーム内で実施した。

(3) ストロンチウム同位体比測定

$^{87}Sr/^{86}Sr$（ストロンチウム同位体比）の測定は、総合地球環境学研究所が所有する表面電離型質量分析計（Thermal Ionization Mass Spectrometer: Finnigan TORITON、Thermo Fisher Scientific）を使用した。乾固させた試料は、1M硝酸で再溶解させ、TIMSのタングステンフィラメントに全量塗布した。試料溶液を塗布したフィラメントを用いて、ストロンチウム同位体比を測定した。分析試料の測定で得られたストロンチウム同位体比は、同位体比の自然存在比である8.375209で規格化した。また、規格化されたストロンチウム同位体比は国際スタンダードであるSRM987の0.710250で補正し、未知試料のストロンチウム同位体比を求めた。本研究で測定された全ての試料の測定誤差は0.00002以内であった。

5. 結果

藤原宮跡出土馬歯エナメル質および獣骨のストロンチウム同位体比は、それぞれ0.70613～0.71110（平均値±標準偏差；0.70788 ± 0.00167）、0.70783～0.70861（平均値±標準偏差；0.70822 ± 0.00021）

表5-1　歯エナメル質のストロンチウム同位体比

資料番号	分析番号	遺構	時期	動物種	歯種	左右	ストロンチウム同位体比
153-86	TG102201	SH10800	藤原宮期	ウマ	歯種不明	不明	計測不可
153-42	TG102202	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	下顎歯（P4/M1/M2）	右	0.70840
153-5	TG102203	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	下顎歯（P4/M1/M2）	右	0.71106
153-53	TG102204	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	上顎歯（M3）	右	0.70730
153-54	TG102205	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	上顎歯（P2）	右	0.70881
153-94	TG111001	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	上顎歯（P3/P4/M1/M2）	左	0.70877
153-75	TG111002	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	上顎歯（P3/P4/M1/M2）	右	0.70763
153-55	TG111003	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	上顎歯（P3/P4/M1/M2）	左	0.70742
153-78	TG111004	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	下顎歯（P3/P4）	左	0.70748
153-4	TG111005	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	下顎歯（P4/M1/M2）	右	0.71110
20-3	TG111006	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	下顎歯（P4/M1/M2）	左	0.70618
20-4	TG111007	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	下顎歯（P4/M1/M2）	左	0.70613
20-5	TG111008	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	下顎歯（P3/P4）	左	0.70627
20-6	TG111009	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	下顎歯（P4/M1/M2）	右	0.70628
20-7	TG111010	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	下顎歯（P2）	右	0.70619
163-1	TG111011	163次	藤原宮造営期	ウマ	上顎歯（P3/P4/M1/M2/M3）	不明	0.70922

表5-2　獣骨のストロンチウム同位体比

資料番号	分析番号	遺構	時期	動物種	部位	左右	ストロンチウム同位体比
153-21	TG111013	SD10801B	藤原宮造営期	ニホンジカ	尺骨	左	0.70861
153-45	TG111014	SD1901A	藤原宮造営期	ウシ	中手・中足骨	不明	0.70819
153-89	TG111015	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	尺骨	右	0.70820
153-69	TG111017	SD1901A	藤原宮造営期	イヌ	肩甲骨	左	0.70826
153-76	TG111018	SD1901A	藤原宮造営期	ウシ	頸椎	－	0.70783
153-52	TG111019	SD1901A	藤原宮造営期	イヌ	大腿骨	左	0.70820
153-50	TG111020	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	後頭骨	－	0.70824

表5-3　イヌおよびイノシシの歯エナメル質のストロンチウム同位体比

資料番号	分析番号	遺構	時期	動物種	部位	左右	採取部位	ストロンチウム同位体比
153-79	TG111021	SD1901A	藤原宮造営期	イヌ	下顎骨	左	下顎M2	0.70882
153-14	TG111022	SD1901A	藤原宮造営期	イヌ	下顎骨	左	下顎M1	0.70888
153-15	TG111023	SD1901A	藤原宮造営期	イヌ	下顎骨	右	下顎P2	0.70876
153-40	TG111024	SD1901A	藤原宮造営期	イヌ	遊離歯	右	上顎P3	0.70881
153-85	TG111025	SX10820	藤原宮造営期	イノシシ	遊離歯	右	下顎C	0.70985

であった（表5-1、表5-2）。骨は藤原周辺域の動物が取り得るストロンチウム同位体比を示す可能性があるために、歯エナメル質が骨よりもストロンチウム同位体比の分散が大きい場合、藤原宮周辺域とは異なる地域に生息していた可能性を示すと期待される。馬歯と骨の２群に分けてストロンチウム同位体比の等分散性を検定するためにＦ検定を行った。その結果、歯エナメル質の分散は骨よりも有意に高かった（Ｆ検定、$P < 0.01$）（図5-1）。ただし、骨は歯エナメル質よりも続成作用の影響を受けやすい点に注意が必要である。

表5-4　奈良県域における現生植物および河川水のストロンチウム同位体比

分析番号	採取場所	分析試料	緯度	経度	ストロンチウム同位体比
NAR1001P	藤原宮跡周辺	植物	135.8074	34.5022	0.708188
NAR1002P	藤原宮跡周辺	植物	135.8075	34.5004	0.708808
NAR1003P	藤原宮跡周辺	植物	135.8067	34.4998	0.708335
NAR1004P	奈良県吉野郡	植物	135.8550	34.3744	0.709966
NAR1005P	奈良県吉野郡	植物	135.8595	34.3725	0.709647
NAR1006P	奈良県吉野郡	植物	135.8584	34.3753	0.709594
NAR1007P	奈良県宇陀市	植物	135.9462	34.5324	0.707611
NAR1008P	奈良県奈良市	植物	135.6501	34.5563	0.707626
NAR1009P	奈良県橿原市	植物	135.7895	34.4903	0.708401
NAR1010P	奈良県奈良市	植物	135.8540	34.6302	0.708937
NAR1001W	奈良県吉野郡	河川水	135.8551	34.3747	0.708521

遺跡出土犬の歯エナメル質のストロンチウム同位体比は 0.70876 ～ 0.70888（平均値 ± 標準偏差；0.70881 ± 0.00005）であった（表 5-3）。イヌと馬の歯エナメル質の分散を比較するために、イヌと馬の 2 群に分けてストロンチウム同位体比の等分散性を検定した。その結果、イヌの歯エナメル質は馬の歯エナメル質よりも有意に分散が小さいことが示された（F 検定、P ＜ 0.01）（図 5-1 参照）。

奈良盆地および奈良盆地周辺域の植物および河川水のストロンチウム同位体比は 0.70761 ～ 0.70997（平均値 ± 標準偏差；0.70869 ± 0.00079）であった（図 5-1 参照、表 5-4）。藤原宮跡周辺域で採取した植物のストロンチウム同位体比は 0.708 ～ 0.709 を示しており、在地型動物である出土イヌのストロンチウム同位体比の範囲と一致した。また、イヌ以外の動物として測定したイノシシのストロンチウム同位体比は 0.70985 を示しており、奈良盆地を取り囲む高地におけるストロンチウム同位体比の範囲内におさまった（図 5-1 参照）。すなわち、在地型動物であるイヌは、藤原京がある奈良盆地内のストロンチウム同位体比と近似し、野生動物であるイノシシは都市部である奈良盆地以外に、森林地帯である奈良盆地を取り囲む高地の値と近似した値を示している。

また、藤原宮跡出土馬が藤原京周辺域から移入されていたかを評価するために、馬歯エナメル質と植物および河川水のストロンチウム同位体比の分散を 2 群に分けて F 検定した。その結果、藤原宮跡出土馬のストロンチウム同位体比の分散は奈良県域内の植物および河川水のストロンチウム同位体比の分散よりも有意に高い値を示した（F 検定、P=0.02）。

6. 考察

藤原宮跡出土動物遺存体が生存時における生態学的な情報を保持している可能性を検証するために、F 検定を用いて藤原宮跡出土馬のストロンチウム同位体比の分散を、在地型動物のイヌ、植物および河川水のストロンチウム同位体比の分散と比較した。その結果、藤原宮跡出土馬はイヌ、植物および河川水のストロンチウム同位体比の分散よりも有意に大きい値を示した（バートレット検定、イヌ；P=0.001、植物および河川水；P=0.02）。また、藤原宮周辺域に生息していたと考えられる在地型動物であるイヌのストロンチウム同位体比の分散は、植物および河川水のストロンチウム同位体比の分散よりも有意に小さく、全てのイヌのストロンチウム同位体比は、奈良県域内における植物および

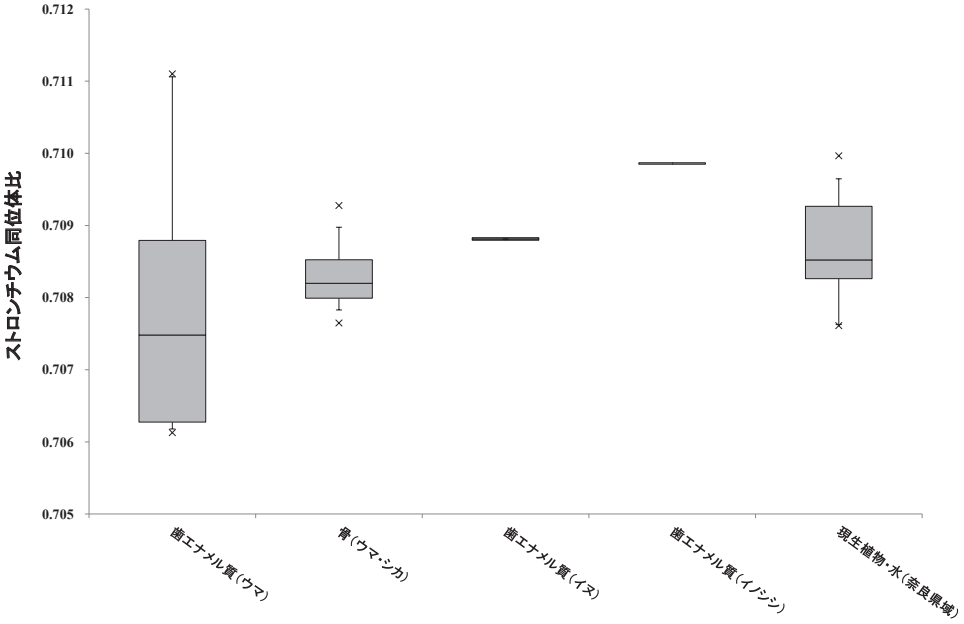

図５-１　藤原宮跡出土動物遺存体・現生植物・河川水のSr同位体比

河川水のストロンチウム同位体比の範囲から逸脱しなかった。これらの結果に基づくと、在地型動物であるイヌの方が移動型動物であるウマよりも移動性が低かったことが示唆される。さらに、イヌのストロンチウム同位体比は藤原京内における植物のストロンチウム同位体比と近似しており、都市部で飼育されていたイヌである可能性が考えられる。

一方で、野生動物であるイノシシの歯エナメル質のストロンチウム同位体比は、藤原京内の値とは近似せず、藤原京の南部である吉野などの野生動物が多く生息する森林地帯と近似した値を示す個体が検出された。このように、それぞれの動物がもつと期待される生態学的な情報が、藤原宮跡から出土する動物遺存体でも同様に保持されている可能性が高い。馬以外の動物種のストロンチウム同位体比の値は、それぞれの動物種の生態から期待される値を示しており、遺跡出土馬においても生存時における馬の生息域の情報を保持している可能性が高い。藤原宮跡出土馬のストロンチウム同位体比が奈良県域内の植物のストロンチウム同位体比の範囲から逸脱したことは、藤原宮跡出土馬が奈良県域外から移入させられた可能性を示唆している。

植物および河川水のストロンチウム同位体比の範囲を、遺跡周辺域で生息した動物がとり得る範囲と仮定した場合、それから逸脱した藤原宮跡出土馬は、15 点中 10 点であった。このように、ストロンチウム同位体比において、藤原宮跡出土馬は約 7 割が外部からの移入個体である可能性が示唆された。また、イヌのストロンチウム同位体比を藤原宮跡周辺域がとりうるストロンチウム同位体比の範囲と仮定した場合、その範囲から逸脱した藤原宮跡出土馬は 13 点であった。本研究で分析した歯種および歯エナメル質の部位はP2～M3の歯冠部を分析しており、これらの部位は4歳以前に形成されていることから、本分析で得られたストロンチウム同位体比は、4歳齢以前に生息していた地域のストロンチウム同位体比を反映している。これらの結果に基づくと、藤原宮跡出土馬の多くは4歳以前に現在の奈良県域外で飼育され、4歳以降に藤原宮に持ち込まれたといえる。また、歯の年齢推定結果では、多くの個体が3～5歳齢であり、持ち込まれてすぐに斃死した可能性が考えられる。一方、9

表5-5　歯エナメル質の推定形成時期とストロンチウム同位体比

資料番号	分析番号	遺構	時期	動物種	歯種	左右	最短形成時期（Months）	最長形成時期（Months）	ストロンチウム同位体比
153-42	TG102202	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	下顎歯（P4/M1/M2）	右	20.0	45.8	0.708395
153-5	TG102203	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	下顎歯（P4/M1/M2）	右	4.0	18.0	0.711061
153-53	TG102204	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	上顎歯（M3）	右	23.9	23.9	0.707301
153-54	TG102205	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	上顎歯（P2）	右	20.8	20.8	0.708810
153-94	TG111001	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	上顎歯（P3/P4/M1/M2）	左	11.4	34.6	0.708775
153-75	TG111002	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	上顎歯（P3/P4/M1/M2）	右	0.7	19.6	0.707628
153-55	TG111003	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	上顎歯（P3/P4/M1/M2）	左	0.7	19.6	0.707425
153-78	TG111004	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	下顎歯（P3/P4）	左	18.0	19.1	0.707482
153-4	TG111005	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	下顎歯（P4/M1/M2）	右	5.2	20.1	0.711102
20-3	TG111006	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	下顎歯（P4/M1/M2）	左	2.8	16.0	0.706178
20-4	TG111007	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	下顎歯（P4/M1/M2）	左	2.5	15.4	0.706128
20-5	TG111008	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	下顎歯（P3/P4）	左	13.9	15.1	0.706266
20-6	TG111009	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	下顎歯（P4/M1/M2）	右	1.6	13.9	0.706281
20-7	TG111010	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	下顎歯（P2）	右	15.8	15.8	0.706186
163-1	TG111011	SX10820	藤原宮造営期	ウマ	上顎歯（P3/P4/M1/M2/M3）	右	12.7	40.6	0.709221

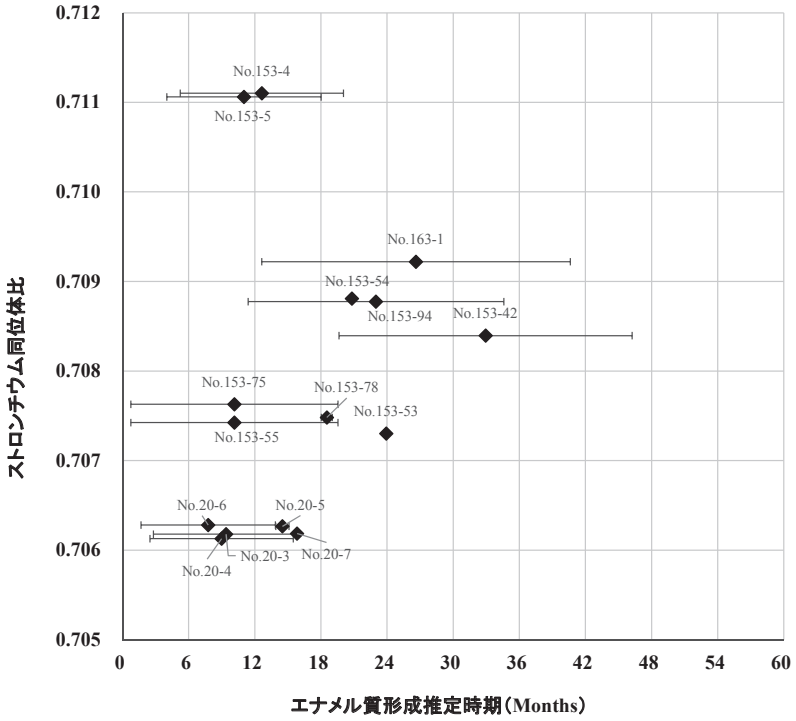

図5-2　歯エナメル質のSr同位体比変動

歳齢前後と推定されたNo.153-54（TG102205）およびNo.153-94（TG111001）の個体のストロンチウム同位体比は、0.7087および0.7088を示しており、藤原宮跡出土イヌのストロンチウム同位体比の範囲に収まっている。藤原宮跡周辺域のストロンチウム同位体比が他の遠方の地域と近似することもあるため、これらの個体が必ずしも在地で飼育された馬であるかは断定できない。しかし、仮にこれら

の個体が在地で飼育されていた場合、持ち込まれた個体はすぐに斃死するが、持ち込まれていない在地の個体はすぐに斃死しないという、ストロンチウム同位体比と年齢構成との関連性があるかもしれない。今後、分析試料数を増やすことでこれらの仮説を検証することが重要である。

最後に、第３章で実施した手法と同様に、本分析で採取した歯エナメル質の各地点に基づいて、形成時期を算出し、形成時期（中央値及び不確かさ）とストロンチウム同位体比を対応させた後に（表5-5）、変動を可視化した（図5-2）。その結果、形成時期が近い部位ごとで類似した値を示す傾向にあった。具体的には、10ヶ月齢以前に中央値を持つNo.20-3（TG111006）、No.20-4（TG111007）、No.20-6（TG111009）はともにストロンチウム同位体比が他の形成部位の中でも最も低い値に集中している（図5-2参照）。次に、10ヶ月齢～20ヶ月齢を見てみると、非常に多様性に富んでいることが分かる。ストロンチウム同位体比が0.7011と高いNo.153-54（TG111005）及びNo. 153-5（TG102203）、ストロンチウム同位体比が0.707～0.708を示すNo.153-75（TG111002）、No.153-55（TG111003）、No.153-78（TG111004）、そしてストロンチウム同位体比が0.706と低いNo.20-5（TG111008）及びNo.20-7（TG111010）と、大きく３つに分かれて分布する傾向にあった。最後に、20ヶ月齢以降を見ると、No.153-53（TG102204）の１点を除いて、0.708～0.709に収まった。20ヶ月齢以前に形成された地点のストロンチウム同位体比は、藤原宮跡周辺域のストロンチウム同位体比の範囲（植物、馬骨および在地型動物であるイヌ）から全ての個体が逸脱していたが、一方で、20ヶ月齢以降に形成された個体の多くが藤原宮跡周辺域のストロンチウム同位体比の範囲に収まっている。このように、歯エナメル質の形成時期ごとに変動傾向に変化が生じており、形成時期が遅くなるにつれて藤原宮跡周辺域のストロンチウム同位体比の範囲に収束していくようにも見える。20ヶ月齢以降の分析試料がやや少ないために、現状では統計的な議論は困難であるが、今後、20ヶ月齢以降に形成された歯エナメル質の部位を同様に分析することで、この仮説を検証することが可能である。仮に、この傾向が確かだった場合、①20ヶ月齢以前は藤原宮跡周辺域外の多様な地域で飼育され、②20ヶ月齢以降は藤原宮跡周辺域で飼育され始める、ということになる。今後さらなる分析地点を増やし、これらの仮説を検証することが求められる。

本分析は、ストロンチウム同位体比に基づいて馬の移入の有無について検証を試みた。しかし、本分析はどの地域から馬が持ち込まれたかといった産地の議論は困難である。なぜなら、日本列島におけるストロンチウム同位体比の分布は、長距離に離れていたとしても近似したストロンチウム同位体比を示す可能性があるためである（覚張2009、日下・覚張2014）。このため、ストロンチウム同位体比以外の指標に基づいて、馬の産地を復元することが求められる。

（覚張隆史・米田穣）

引用文献

加々美寛雄・周藤賢治・長尾隆志（2008）『同位体岩石学』共立出版

覚張隆史（2009）「在来馬と人間のかかわり」『BIOSTORY』11、27-35頁

日下宗一郎・覚張隆史（2014）「長原遺跡（NG12-3次調査）出土の人骨および動物骨の安定同位体分析」『長原遺跡発掘調査報告第28冊』大阪文化財研究所、125-128頁

倉沢一（1970）『同位体地質学』ラティス丸善

春成秀爾（2002）『縄文社会論究』塙書房

Ando, A., Nakano, T., Kawahata, H., Yokoyama, Y., Khim, B. (2010) Testing seawater Sr isotopic variability on a glacial-interglacial timescale: An application of latest high-precision thermal ionization mass spectrometry. *Geochemical Journal*. 44. pp. 347-357.

Bentley, R. A. (2006) Strontium Isotopes from the Earth to the Archaeological Skeleton: A Review. *Journal of Archaeological Method and Theory*. 13. 3. pp. 135-187

Blum, J. D., Taliafero. E. H., Weisse. M. T., Holmes, R. T. (2000) Changes in Sr/Ca, Ba/Ca and $^{87}Sr/^{86}Sr$ ratios between trophic levels in two forest ecosystems in the northeastern U.S.A. *Biogeochemistry*. 49. pp. 87-101.

Capo, R. C., Stewart, B. W., Chadwick, O. A. (1998) Strontium isotopes as tracers of ecosystem processes: theory and methods. *Geoderma*. 82. pp. 197-225.

Dickin, A. P. (2005) *Radiogenic Isotope Geology – second edition-*. Cambridge University Press. Cambridge.

Elias, R. W., Hirao, Y., Patterson, C. C. (1982) The circumvention of the natural biopurification of calcium along nutrient pathways by atmospheric inputs of industrial lead. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 46. pp. 2561-2580.

Faure, G. and Mensing, T. M. (2005) The Rb-Sr Method. *Isotope Principles and Applications Third Edition*. pp. 75-112. John Wiley & Sons, New Jersey.

Faure, G. and Powell, J. L. (1972) *Strontium Isotope Geology*. Springer-Verlag. Berlin.

Gakuhari, T., Uetsuki, M., Uzawa, K., Hongo, H., Mukai, H., Nakano, T., Yumoto, T., Yoneda, M. (2010) Reconstructing horse and cattle transport systems during the Middle Ages in Japan using multiple isotope analyses. *The International Council for Archaeozoology (ICAZ) Proceedings*. p. 135

Kusaka, S., Ando, A., Nakano, T., Yumoto, T., Ishimaru, E., Yoneda, M., Hyodo, F., Katayama, K. (2009) A strontium isotope analysis on the relationship between ritual tooth ablation and migration among the Jomon people in Japan. *Journal of Archaeological Science*. 36. pp. 2289–2297.

Motohashi, T., Sato, T., Yamada, S. (1994) Effects of strontium on calcium metabolism in rats. Ⅰ. A distinction between the pharmacological and toxic doses. *Japanese Journal of Pharmacology*. 64. pp. 155-162.

Schrooten, I., Behets, G. J. S., Cabrera, W. E., Vercauteren, S. R., Lamberts, L. V., Verberckmoes, S. C., Bervoets, A. J., Dams. G., Goodman, W. G., De Broe, M. E., D'Haese, P. (2003) Dose-dependent effects of strontium on bone of chronic renal failure rats. *Kidney International*. 63. pp 927–935.

Underwood, E. J. (1977) *Trace Elements in Human and Animal Nutrition 4th edition*. Academic Press. New York.

van der Merwe, N. J., Lee-Thorp, J. A., Thackeray, J. F., Hall-Martin, A., Kruger, F. J., Coetzee, H., Bell, R. H. V., Lindeque, M. (1990) Source-area determination of elephant ivory by isotopic analysis. *Nature*. 346. pp. 744-746

Vincent, B. (2004) Allometric constraints on Sr/Ca and Ba/Ca partitioning in terrestrial mammalian trophic chains. *Oecologia*. 139. pp. 83-88.

第6章　酸素同位体分析に基づく馬の産地推定

1. 背景

（1）酸素同位体を用いた動物の移動復元

前章では、藤原宮跡出土馬のストロンチウム同位体分析から奈良県域外からの馬の持込みの可能性が示唆された。しかしながら、ストロンチウム同位体比は、遺跡出土馬がどの地域で生産されていたかを評価することは困難な場合が多い。なぜなら、日本国内におけるストロンチウム同位体比の分布が地域内で多様な値を示すために、非常に遠方の異なる地域においても近似したストロンチウム同位体比を示す可能性があり、両者の地域間で識別ができないという分析上の制約がある。また、日本列島全域におけるストロンチウム同位体比分布は調査されておらず、前章で扱ったような比較的に近距離内の移動ならば検出できるが、遠隔地に存在する類似のストロンチウム同位体比を持つ地質上に生息する動物の間では識別ができず、馬のように長距離移動をともなう動物には別の地理的指標を検討する必要がある。そこで本章では、長距離移動の指標として、酸素同位体比に着目した。

酸素同位体比は ^{16}O、^{17}O および ^{18}O で構成されており、それぞれの自然存在比は ^{16}O が 99.7630 %、^{17}O が 0.0375 %、^{18}O が 0.1995 %である。水の酸素同位体比は、主に自然存在比の近い ^{16}O と ^{18}O の比で表記され、酸素同位体比は国際スタンダードである V-SMOW（Vienna Standard Mean Ocean Water；世界の海水標準値）を基準として、千分率（‰）で表記し、$\delta^{18}O$ と表す（酒井・松久 1996）。酸素同位体比は、全球での気候変動を評価する上で利用されており、グリーンランドのアイスコアの分析では、古気温のプロキシとして扱われている（Dansgaard *et al.* 1969）。

これらの分析はアイスコアなどの無生物資料に限らず、動物のハイドロキシアパタイトの酸素同位体比からも環境中の酸素同位体比を復元する研究が盛んに行われてきた。骨や歯の主な成分であるハイドロキシアパタイトは、リン酸基および炭酸基に酸素を含んでいる。リン酸基と炭酸基の酸素は、主に飲み水および食物に含まれる水から合成されている（Kohn *et al.* 1996）。摂取した水は血中で均質化し、骨形成および歯形成の際に血管系から供給されている。哺乳類は恒温動物であるため、ハイドロキシアパタイトの硬質化の代謝反応速度は、代謝系がほぼ一定である同一種内においては近似しており、動的同位体効果はほぼ一定と仮定できる（Yoshida and Miyazaki 1991）。そのため、形成過程で取り込まれたハイドロキシアパタイトの酸素同位体比は、摂取した水の酸素同位体比と高い相関関係がある（Bryant *et al.* 1996、Huertas *et al.* 1995、Longinelli *et al.* 1984）。

馬が飲み水として利用する河川、湖、沼、ため池などの水は、雨水（降水）の総称である表層水に由来しているため、表層水の酸素同位体比が高い地域に生息していた馬の歯のエナメル質の酸素同位体比は高くなり、表層水の酸素同位体比が低い地域に生息していた馬の歯のエナメル質の同位体比は低くなると期待される。また、ハイドロキシアパタイトの酸素同位体比から摂取した水の酸素同位体比を算出する際には、完新世における馬資料に基づいて作成された回帰式（$\delta^{18}O_{phosphate}$ =0.72・δ 18O_{water} + 22.29；R^2=0.90）が利用可能であり、日本列島における馬の歯エナメル質の酸素同位体比から摂取した水の酸素同位体比を算出できると期待される（Huertas *et al.* 1995）。

（2）リン酸塩の酸素同位体比測定

ハイドロキシアパタイトの酸素同位体分析にはリン酸基と炭酸基に含まれる異なる2つの分子における酸素原子が分析可能である。炭酸塩の酸素同位体比は測定条件となるリン酸の温度や遺跡埋没時における続成作用によって、酸素同位体比が変動する可能性があり、遺跡出土試料に応用する際には注意が必要である（Passey *et al.* 2007）。一方、リン酸基の酸素同位体比は続成作用（土壌からの汚染やハイドロキシアパタイト自体の分子構造の変化）の影響が低いことが報告されており、現生資料から化石標本まで幅広く応用可能である（Lee Thorp and van der Merwe 1991）。リン酸基の酸素同位体比測定は、1980年代から精力的に研究されており、五フッ化臭素（BrF5）法が前処理として用いられてきた（Tudge 1960、Wiedemann-Bidlack 2008）。近年では、爆発の危険性があり、レーザーなどの特殊な装置を必要とする五フッ化臭素法を用いた研究は少なくなり、とくに高温で試料を熱分解するTCEAを前処理装置として用いるTCEA-IRMSが市販されてからは、より簡便で安全性の高いリン酸銀法（Ag3PO4）が主流となっている（Vennemann *et al.* 2002）。

リン酸銀法に基づく酸素同位体比測定には、前処理の影響によって酸素同位体比の値に約1‰の変動がみられていたため、前処理工程を含めた国際スタンダードの作製が求められてきた（Vennemann *et al.*2002）。2012年にNBS120cを用いることで前処理工程を加味した補正の妥当性が確認され、V-SMOWを基準としたリン酸銀の酸素同位体比測定が可能となった（Halas *et al.*2011）。現在では、前処理過程におけるスタンダードとしてNBS120cを測定し、合わせて同位体比測定のスタンダードとしてNBS127などを測定して測定値の確度を保証している（Brand *et al.*2009、Skrzypek 2013）。

（3）表層水の酸素同位体比の多様性と産地識別への応用

日本列島における表層水の酸素同位体比は、Mizota and Kusakabe（1994）によって全国規模で調査が実施されており、酸素同位体比の地理的勾配が示されている。日本列島および東アジアにおける表層水の酸素同位体比は-14.7‰～-4.6‰の範囲をとり、約10‰の地理的変動が確認されている。また、これらの酸素同位体比は採取地点の気温および緯度と相関することが示されている（Mizota and Kusakabe 1994）。

水の酸素同位体比が多様な値を示す理由は、^{16}Oと^{18}Oの同位体の間で質量が異なることで、同位体ごとに反応速度が異なるためである。地表にある水は、気温が高い地域では早く蒸発し、気温が低い地域では蒸発は緩やかである。この反応の違いは、酸素同位体比にも表れる。軽い酸素同位体である^{16}Oは、重い酸素同位体である^{18}Oよりも蒸発における反応速度が早い。その結果、気温が高い地域は軽い^{16}Oが地表水から早く蒸発し、地表に残された水である表層水は重い^{18}Oの比率が高くなる。一方、気温が低い地域はその逆で、^{16}Oの蒸散速度が相対的に遅く、軽い^{16}Oが残るため、気温が高い地域の表層水に比べて相対的に^{18}Oの比率が低くなるのである。このように、気候条件や気団によって、酸素同位体比は地域ごとに多様な値を示す（酒井・松久1996）。

また、本州東日本内陸部である長野・群馬・山梨において非常に低い酸素同位体比を示しており、沿岸部から内陸部の間で酸素同位体比の地理的勾配が確認されている（早稲田・中井1983、Mizota and Kusakabe 1994）。このような酸素同位体比の分布傾向は「高度効果」と呼ばれている。水蒸気に含まれる質量数の高い酸素および水素を含む水分子は、質量数の低い酸素および水素を含む水分子よ

りも相対的に降下しやすい。海上で生じる水蒸気は、天水として沿岸部から標高の高い内陸方向へ降下し、高度上昇とともに気温低下が生じるために、内陸部まで残った水蒸気由来の天水は質量数の高い酸素および水素の比率が低下し、沿岸部よりも相対的に低い同位体比を示す。また、日本海側で発生する水蒸気と太平洋側で生じる水蒸気は、酸素同位体比の値が異なり、天水の起源によって多様な値を示すことが知られている（酒井・松久1996）。

とくに日本列島では、古代の馬産地として知られる本州東日本内陸部において高度効果および内陸効果が顕著にみられることから、ストロンチウム同位体比よりも長距離間の産地識別に応用できると期待される。

2. 目的

藤原宮跡から出土した馬のストロンチウム同位体分析は、奈良盆地および奈良県域外から馬が持ち込まれた可能性を示唆した。しかし、ストロンチウム同位体比のみでは、方法論的な制約から、識別が困難であった。そこで、新たに指標として酸素同位体比を用いて、馬の産地識別を試みた。

日本列島における酸素同位体比分布は、東日本内陸部や東北地方において非常に低い酸素同位体比を示すため、これらの地域で飼育された馬は低い酸素同位体比を示すと期待される。延喜式に記された御牧の多くが東日本内陸部である甲斐・信濃・上野であり、これらの地域の酸素同位体比は、藤原宮跡が立地する中部以南とは大きく異なる酸素同位体比を示す。したがって、酸素同位体比に基づいた産地識別を実施することで、後代の律令に記された東日本内陸部からの馬の持込みを検証することが可能であると考えた。そこで、本分析では、酸素同位体比に基づく産地識別手法の妥当性の検討と、藤原宮跡出土ウマの酸素同位体分析に基づいた産地推定の結果に基づいて、馬の飼育形態の評価を試みた。

3. 試料

藤原宮造営期における馬推定産地を復元するために、馬歯エナメル質 15 点を分析した。この試料は、ストロンチウム同位体分析に供した資料と同一である。また、比較データとして、山梨県の平安遺跡である百々遺跡出土馬 5 個体（平安時代～鎌倉時代）（山梨県教育委員会 2002、山梨県教育委員会 2004）を測定した。また、既に報告されている福岡県福岡市の中世遺跡である博多遺跡群出土馬 9 個体（古代～中世を含む）（米田2010）を比較データとして使用した。

4. 方法

（1）歯エナメル質からのサンプリング

サンプリングは歯科用ドリルにてタングステン・カーバイトのドリル（JET CARBIDE BURS：SHOFU）を装着して、目標の歯エナメル質の部位からサンプリングした。まず、ドリルで表面に付着したセメント質を除去し、エナメル質タテ 10mm ～ 15mm ×ヨコ 10mm ～ 15mm を露出させた。さ

らに約 0.1mm 以上の深さで表面のエナメル質を除去した後に、新しいドリルに変えて約 5 ～ 10mg のエナメル質粉末を採取し、個体の代表値（バルクサンプル）として扱った。また、獣骨からのサンプリングは、骨の緻密層から約5～10mgの骨粉を採取した。

（2）リン酸銀精製

酸素同位体比測定のためのリン酸銀精製は、Vennemann *et al.*（2002）に基づいて実施した。歯エナメル質に含まれる微量の有機物を除去するために、2.5% 次亜塩素酸ナトリウムを用いて 24 時間反応させ、超純水で洗浄した。次に、二次的な炭酸塩の沈着を除去するために、0.1M 酢酸バッファーに15分間で2回反応させ、超純水で洗浄した。

リン酸銀を析出させる際に阻害となるカルシウムを除去するために、洗浄した粉末試料は、2M フッ化水素水溶液 1ml 加え、室温で 24 時間反応させ、CaF_2 としてカルシウムを沈殿させた。CaF_2 を遠心分離した後、リン酸銀を析出させるため、上清に 10% アンモニア水溶液 2ml、1M 硝酸銀 1ml を加え 1 分間撹拌し、ブロックヒーターにて 70 ℃で 16 時間反応させた。リン酸銀（黄緑色の結晶）が析出してきたことを確認した後に、超純水にて沈殿を 7 回洗浄した。洗浄した試料は70℃で24時間乾燥させ、乾燥させたリン酸銀を乳鉢で細かく粉末化させ、0.5 ϕ メッシュで均質化させた。

（3）酸素同位体比測定

リン酸銀の酸素同位体比測定は、総合地球環境学研究所および国立科学博物館に設置された熱分解型元素分析計・安定同位体比質量分析計（TCEA-IRMS, Thermo Fisher Scientific, Finnigan TC/EA および Finnigan MAT 253, DELTA V Plus）を用いた。測定値は国際標準である V-SMOW に対する差の千分率（‰）で以下の式（1）で表記される。

$$\delta^{18}O = [\{(^{18}O / ^{16}O)_{sample} / (^{18}O / ^{16}O)_{standard}\} - 1] \times 1000 \text{（‰）・・・（式1）}$$

未知試料の分析結果の補正は、国際スタンダードの NBS127（9.4 ‰）、NBS120c（21.7 ‰）の測定値を用いて内挿補正を行った。内部標準による測定精度は標準偏差で0.5 ‰以下であった。

（4）地理情報システムに基づく酸素同位体比の空間補間

酸素同位体比に基づく産地推定結果を表現するために、地理情報システム（GIS）に基づく空間補間の手法を用いた。GIS の空間補間法は、IDW 法、スプライン法などがあるが、各地域の平均的な値を推定するうえで最も精度の高い Kriging 法を採用した。表層水の酸素同位体比の地図化を行うために、Kriging 法に基づく離散集合内における空間補間を実施した（Oliver 1990）。本分析では、Kriging 法のなかでも、近接した地域ごとに区分けして経験バリオグラムを用いて空間補間をする Ordinary Kringing（普遍クリンギング）を採用している。この方法は、最も空間補間能が高い手法であり、土壌学、地質学および水文学（真野・中山 2008）、同位体生態学においても応用されている（Ehlreringer *et al.* 2009）。

5. 結果

藤原宮跡出土馬の歯エナメル質の酸素同位体比は 11.1 ～ 16.0 ‰（平均値 ± 標準偏差；13.7 ± 1.5 ‰）であった（表 6-1）。また、馬の酸素同位体比から飲み水の酸素同位体比を求めた結果、-14.7 ～ -8.5 ‰（平均値 ± 標準偏差；-11.4 ± 1.9 ‰）を示した（表 6-1 参照）。一方、百々遺跡出土馬の酸素同位体比は 13.8 ～ 15.5 ‰（平均値 ± 標準偏差；14.4 ± 0.7 ‰）で、飲み水の酸素同位体比は百々遺跡で -11.9 ～ -9.5 ‰（平均値 ± 標準偏差；-11.0 ± 0.9 ‰）、博多遺跡出土馬の酸素同位体比は 15.9 ～ 19.3 ‰（平均値 ± 標準偏差；18.3 ± 1.0 ‰）で、飲み水の酸素同位体比は博多遺跡で -8.7 ～ -4.4 ‰（平均値 ± 標準偏差；-5.6 ± 1.3 ‰）であった（表 6-2・6-3）。

各地域において酸素同位体比の平均値に有意な差があるかを評価するために、3 遺跡におけるウマの酸素同位体比の平均値の差を Kruskal-Wallis 検定および Steel の多重比較で比較した。その結果、3 遺跡間においてウマの酸素同位体比に有意な差があることが示された（Kruskal-Wallis 検定、$P<0.01$）。多重比較の結果、藤原宮跡出土馬と博多遺跡群出土馬、百々遺跡出土馬と博多遺跡群出土馬の間で酸素同位体比の平均値に有意な差があり、博多遺跡群出土馬は藤原宮跡出土馬および百々遺跡出土馬よりも酸素同位体比が有意に高いことが示された（Steel 検定、$P<0.05$）（図 6-1）。

表 6-1　藤原宮跡出土馬の酸素同位体比

資料番号	分析番号	遺構	時期	分類群	歯種	左右	$\delta^{18}O_{V\text{-}SMOW}$	$\delta^{18}O_{Estimated\ drinking\ water}$
153-42	TG102202	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	下顎歯（P4/M1/M2）	右	11.2	-16.0
153-5	TG102203	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	下顎歯（P4/M1/M2）	右	12.7	-13.9
153-53	TG102204	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	上顎歯（M3）	右	13.3	-13.0
153-54	TG102205	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	上顎歯（P2）	右	15.3	-10.3
153-94	TG111001	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	上顎歯（P3/P4/M1/M2）	左	14.4	-11.6
153-75	TG111002	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	上顎歯（P3/P4/M1/M2）	右	14.3	-11.7
153-55	TG111003	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	上顎歯（P3/P4/M1/M2）	左	13.2	-13.2
153-78	TG111004	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	下顎歯（P3/P4）	左	15.0	-10.7
153-4	TG111005	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	下顎歯（P4/M1/M2）	右	16.0	-9.2
20-3	TG111006	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	下顎歯（P4/M1/M2）	左	15.9	-9.4
20-4	TG111007	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	下顎歯（P4/M1/M2）	左	12.4	-14.4
20-5	TG111008	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	下顎歯（P3/P4）	左	13.4	-12.9
20-6	TG111009	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	下顎歯（P4/M1/M2）	右	11.1	-16.2
20-7	TG111010	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	下顎歯（P2）	右	13.5	-12.8
163-1	TG111011	SX10820	藤原宮造営期	ウマ	上顎歯（P3/P4/M1/M2/M3）	右	13.8	-12.4

6. 考察

藤原宮跡出土馬と地理的に離れた2遺跡間で酸素同位体比に差が生じた結果は、馬の飲み水である表層水の酸素同位体比が地理的に大きく異なっていたと考えられる。日本列島における表層水の酸素同位体比の分布と、本分析で得られた馬の酸素同位体比を照らし合わせると、百々遺跡出土馬集団は、山梨県域を含む東日本内陸部の範囲に収まり（図6-2）、博多遺跡出土馬集団も同様に福岡県域を含む九州地方の範囲に収まった（図6-3）。

百々遺跡の周辺域では馬牧の存在を示唆する空閑地があり、馬産地である可能性が指摘されており、百々遺跡出土馬が遺跡周辺域で飼育されていた可能性は高い。本分析で得られた結果は、これらの考古学的背景と矛盾しない。また博多遺跡出土馬については、もともと大宰府に馬を供給する体制が九州で独立していたことが指摘されており、本州や東日本内陸部などから多くの馬を持ち込んでいたとは考えにくい。これらの背景に基づくと、酸素同位体比は、各遺跡出土馬の歴史学的背景と矛盾していない。これは遺跡出土馬の酸素同位体比が、当時の馬の産地に関する情報を保持している可能性を示唆している。

2遺跡の結果と藤原宮跡出土馬の結果を比較した結果、博多遺跡出土馬とは明確に異なり、百々遺跡の酸素同位体比が一致している。藤原宮跡出土馬の酸素同位体比にも2遺跡同様に生存時における産地情報を保持していると仮定するならば、藤原宮跡出土馬は博多遺跡出土馬とは産地が明確に異なり、百々遺跡出土馬と産地が類似していた可能性を示唆する。ただし、百々遺跡及び博多遺跡出土馬

表6-2　百々遺跡出土馬の酸素同位体比

試料名	遺物番号	個体番号	遺構	時期	採取部位	$\delta^{18}O_{V\text{-}SMOW}$	$\delta^{18}O_{Estimated\ drinking\ water}$	文献
Doudo01	N-98-H203		11号溝	平安～鎌倉時代	上顎歯（M1/M2）	14.0	-11.0	山梨県埋蔵文化財センター（2004）
Doudo02	SK16-1-H202		16号土坑	平安～鎌倉時代	下顎歯（P3/P4）	14.3	-10.7	山梨県埋蔵文化財センター（2002）
Doudo03	SK18-2-H204	2-③	18号土坑	平安～鎌倉時代	上顎歯M2	13.8	-11.3	山梨県埋蔵文化財センター（2002）
Doudo04	SK18-3-H209	3-①	18号土坑	平安～鎌倉時代	上顎歯M2	14.5	-10.4	山梨県埋蔵文化財センター（2002）
Doudo05	SK18-4-H207	4-③	18号土坑	平安～鎌倉時代	上顎歯（P3/P4）	15.5	-9.2	山梨県埋蔵文化財センター（2002）

表6-3　博多遺跡群出土馬の酸素同位体比

試料名	遺物番号	時期	採取部位	$\delta^{18}O_{V\text{-}SMOW}$	$\delta^{18}O_{Estimated\ drinking\ water}$	文献
Hakata01	005840001	中世	上顎臼歯	15.9	-8.7	米田ほか（2010）
Hakata02	005840007	中世	下顎歯M1	17.7	-6.4	米田ほか（2010）
Hakata03	861800831-1 1	12世紀後半～末	下顎歯M1	19.2	-4.5	米田ほか（2010）
Hakata04	880610426	8～12世紀	上顎歯P4	19.3	-4.4	米田ほか（2010）
Hakata05	880610407	8～12世紀	上顎歯M2	19.1	-4.6	米田ほか（2010）
Hakata06	955981023-2 1	15～16世紀末	上顎歯M1	19.0	-4.8	米田ほか（2010）
Hakata07	86488313-008	平安時代後期	下顎歯M1	18.7	-5.1	米田ほか（2010）
Hakata08	86488307-013	鎌倉時代	下顎歯M1	17.9	-6.2	米田ほか（2010）
Hakata09	86488307-014	鎌倉時代	上顎歯P2	18.2	-5.8	米田ほか（2010）

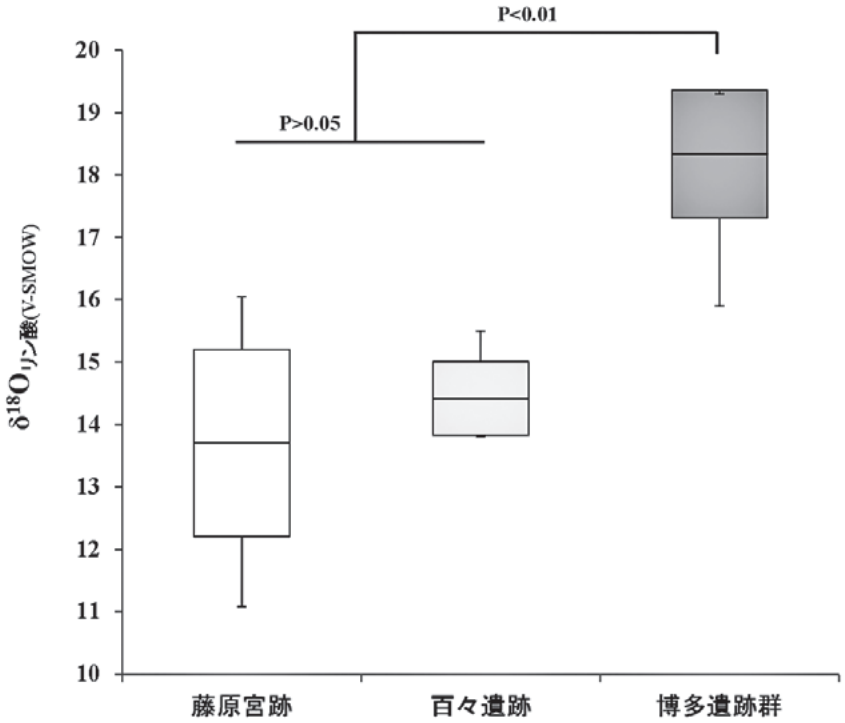

図６-１　歯エナメル質の酸素同位体比　遺跡間比較

は、藤原宮跡出土馬とは時代が異なるため、同時代性を保証した実証的評価はできていない。しかしながら、完新世以降の酸素同位体比の最大変動幅である２‰の差が、例えそれぞれの遺跡の時代間で生じたと仮定したとしても（Dansgaard 1969）、藤原宮跡出土馬の酸素同位体比が博多遺跡出土馬の酸素同位体比とは近似せず、産地が類似していた可能性は極めて低いと考えらえる。

次に、藤原宮跡出土馬各個体の産地を推定するために、酸素同位体比に基づく推定産地の分布を求めた。Kriging 法に基づく酸素同位体比分布を用いた産地推定を実施した結果、15 個体中に３個体は藤原宮跡周辺域を含む範囲が示されたされたものの、他の 12 個体は遺跡周辺域とは異なる地域に推定産地がプロットされた。藤原宮跡周辺域外にプロットされた馬の推定産地は、主に東北北部および東日本内陸部であった（表 6-4）。具体的には、No.153-5（TG102203）、No.153-53（TG102204）、No.153-94（TG111001）、No.153-74（TG111002）、No.153-55（TG111003）、No.20-4（TG111007）、No.20-5（TG111008）、No.20-7（TG111010）、No.163-1（TG111011）の９個体が東日本内陸部に産地推定された。また、これら９個体以外の No.153-54（TG102205）、No.153-78（TG111004）、No.153-4（TG111005）、No.20-3（TG111006）の４個体は、東日本沿岸部および西日本の沿岸部および内陸部の広い範囲に産地が推定された。この４個体の推定産地の地域が広い原因は、日本列島の表層水の酸素同位体比が、これらの広い地域で近似した値をとることから、酸素同位体比では識別できないためであると考えられる。また、No.153-42（TG102202）と No.20-6（TG111009）の２個体は、日本列島の表層水の酸素同位体比の分布範囲にマッピングされず、日本列島の表層水の酸素同位体比分布から逸脱した非常に低い酸素同位体比をもつ個体が検出された。これらの個体は日本列島外から持込まれたウマである可能性もあり、慎重に議論していく必要がある。

日本列島において酸素同位体比がとくに低い地域は、主に北海道内陸部と東日本内陸部が挙げられ

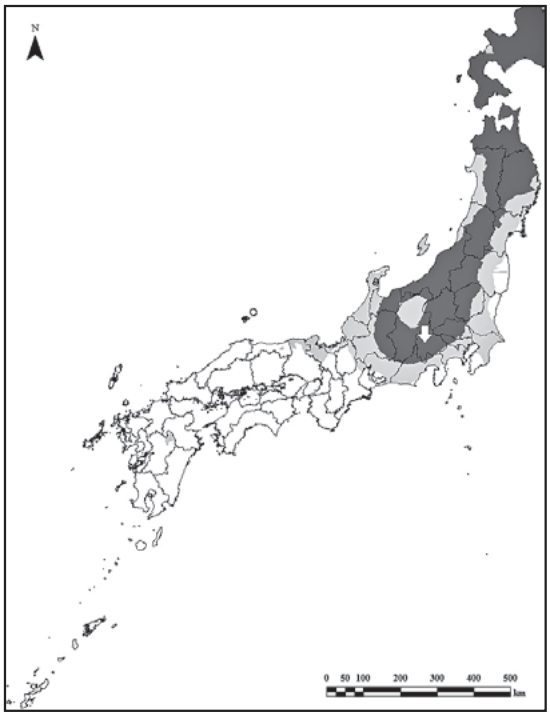

図6-2　百々遺跡出土馬集団の推定産地

図6-3　博多遺跡群出土馬集団の推定産地

る。藤原宮造営期の北海道ではウマの存在が確認されておらず、産地であった可能性は低いと思われる。一方、東日本内陸部では、同時代における遺跡出土馬が多数確認されており、これらの馬と藤原宮跡出土馬の関連性を議論していく必要がある。東日本内陸部における表層水の酸素同位体比データは西日本に比べて明確に低い酸素同位体比を示すが、他の地域と比べてデータ数が相対的にまだ少なく、Kriging 法による空間補間の精度が十分でない可能性も残されている（図 6-4）。今後、東日本内陸部における表層水の酸素同位体比データを蓄積することで、これらの 2 個体の産地が正確に評価されると期待される。一方、本章では、日本国内に限定して酸素同位体比に基づく産地推定を試みたものの、日本国外にも今回の分析で得られた酸素同位体比と近似する場所は様々な地域に分布している。また日本国外の地域で、韓半島、中国、ロシアなどの東アジア諸国における酸素同位体比データはほとんど公表されておらず、本分析法を適用することはまだ困難であった。しかし、今後これらの地域で表層水の酸素同位体比のデータが蓄積され公開されれば、日本国外も視野に入れた推定産地地図が描けると期待される。

最後に、藤原宮跡出土馬集団の酸素同位体比に基づく産地推定を行ったところ、東日本内陸部および東北地方に推定された（図 6-5）。本研究で分析した歯種および歯エナメル質の部位は P2 ～ M3 の歯冠部を分析しており、これらの部位は 4 歳以前に形成されていることから、本分析で得られた酸素同位体比は2歳齢以前に生息していた地域の酸素同位体比を反映している。これらの結果に基づくと、藤原宮跡出土馬の多くは 4 歳以前に現在の奈良県域外で飼育され、4 歳以降に藤原宮に持ち込まれたといえる。また、歯の年齢推定結果では、多くの個体が 3 ～ 5 歳齢であり、持ち込まれてすぐに斃死した可能性が考えられる。一方、9 歳齢前後と推定された No.153-54（TG102205）および No.153-94（TG111001）の個体の酸素同位体比は、No.153-94（TG111001）のみ東日本産である可能性が示された。この個体は、ストロンチウム同位体比では現在の奈良県内の範囲に収まっていたが、酸素同位体

表6-4　藤原宮跡出土馬の推定産地

資料番号	分析番号	遺構	時期	分類群	歯種	左右	推定産地
153-42	TG102202	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	下顎歯（P4/M1/M2）	右	不明
153-5	TG102203	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	下顎歯（P4/M1/M2）	右	東日本内陸部（中部）
153-53	TG102204	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	上顎歯（M3）	右	東日本内陸部
153-54	TG102205	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	上顎歯（P2）	右	北海道・本州・四国・九州
153-94	TG111001	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	上顎歯（P3/P4/M1/M2）	左	東日本内陸部
153-75	TG111002	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	上顎歯（P3/P4/M1/M2）	右	東日本内陸部
153-55	TG111003	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	上顎歯（P3/P4/M1/M2）	左	東日本内陸部
153-78	TG111004	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	下顎歯（P3/P4）	左	東日本・西日本（日本海沿岸部）
153-4	TG111005	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	下顎歯（P4/M1/M2）	右	東日本沿岸部・西日本
20-3	TG111006	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	下顎歯（P4/M1/M2）	左	東日本沿岸部・西日本
20-4	TG111007	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	下顎歯（P4/M1/M2）	左	東日本内陸部（関東・中部）
20-5	TG111008	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	下顎歯（P3/P4）	左	東日本内陸部
20-6	TG111009	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	下顎歯（P4/M1/M2）	右	不明
20-7	TG111010	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	下顎歯（P2）	右	東日本内陸部
163-1	TG111011	SX10820	藤原宮造営期	ウマ	上顎歯（P3/P4/M1/M2/M3）	右	東日本内陸部

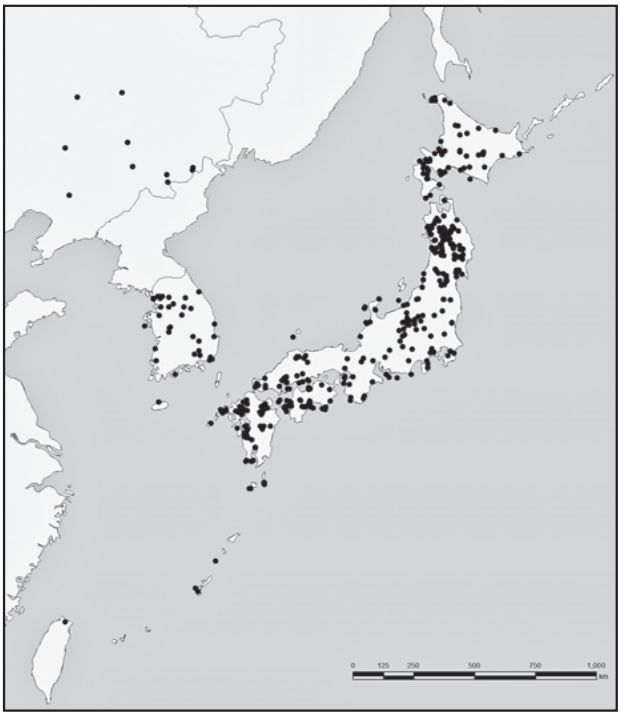

図6-4　表層水の酸素同位体比データ地点

比では奈良県外にプロットされている。これは、No.153-94（TG111001）の個体が藤原宮跡周辺域のストロンチウム同位体比と偶然に近似する遠方の地域で飼育されていたためと思われる。ストロンチウム同位体分析および酸素同位体分析に基づくと、藤原宮跡から出土した馬は、奈良盆地内で産まれた個体はわずかで、藤原京へ馬を供給した生産地は主に東日本内陸部および東北地方の可能性が考えられ、両分析結果の整合性が示される結果となった。前述したように、これらの馬がすべて日本国外から来た馬であったかという可能性は今日の方法論的な限界があるために評価はできないが、少なくとも藤原宮跡出土馬の多くが遺跡周辺域ではない遠方から持ち込まれている可能性だけは高いと考えられる。

また、第４章及び第５章で実施した手法と同様に、本分析で採取した歯エナメル質の各地点に基づいて、形成時期を算出し、形成時期（中央値及び不確かさ）とストロンチウム同位体比を対応させた後に（表6-5）、変動を可視化した（図6-6）。その結果、形成時期中に特徴的な変動傾向は見られなかった。例えば、最も低い酸素同位体比を示したNo.153-42（TG102202）及びNo.20-6（TG111009）

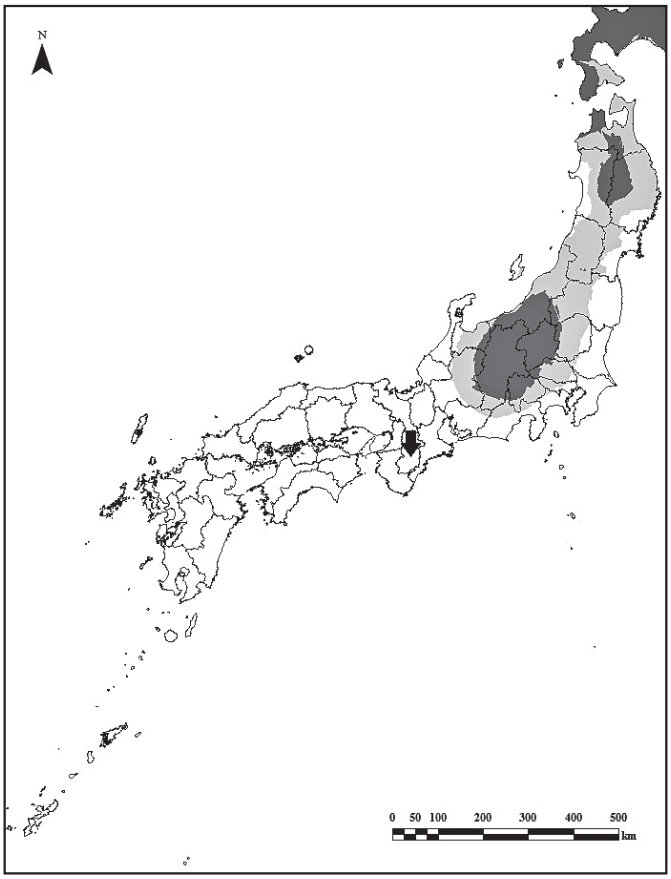

図6-5　藤原宮出土馬集団の推定産地

はそれぞれ33ヶ月齢以前と15ヶ月齢以前であり、形成時期が異なったとしても極めて低い酸素同位体比を持つ。次に、他の同位体比と関連性を見ると、No.153-42（TG102202）はストロンチウム同位体比が藤原宮跡周辺域のストロンチウム同位体比の範囲に収まっていたが、酸素同位体比が極めて低いことから、偶然に酸素同位体比が大きく異なる地域で近似した値を示す地質帯で飼育されていたと考えられる。他にも、炭素・ストロンチウム同位体比がともに高い値を示したNo.153-4（TG111005）は、酸素同位体比も高い値を示しており、興味深い。No.153-4（TG111005）は、酸素同位体比による産地推定の方法論的制約のため、西日本を含めた広い範囲で産地が推定されているが、主要産地と推定された東日本内陸部でない可能性が高い。また、藤原宮出土馬は琉球列島のグスク時代以降の遺跡出土馬や中国北部の西周時代以降の遺跡出土馬でみられるC4植物を極端に多く摂取した場合に示すと期待されるような-10‰付近の炭素同位体比を示す個体は検出されていない（長崎県教育委員会1998、菊地2014）。これらの結果は、東日本内陸部および琉球列島以外において、C4給餌割合が上昇する地域があった可能性を示唆し、必ずしも異なる産地から供給された個体がすべて同様な給餌形態をとっていなかった可能性を示していると考えられる。

（覚張隆史・米田穣）

表6-5　歯エナメル質の推定形成時期と酸素同位体比

資料番号	分析番号	遺構	時期	分類群	歯種	左右	最短形成時期（Months）	最長形成時期（Months）	酸素同位体比
153-42	TG102202	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	下顎歯（P4/M1/M2）	右	20.0	45.8	11.2
153-5	TG102203	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	下顎歯（P4/M1/M2）	右	4.0	18.0	12.7
153-53	TG102204	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	上顎歯（M3）	右	23.9	23.9	13.3
153-54	TG102205	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	上顎歯（P2）	右	20.8	20.8	15.3
153-94	TG111001	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	上顎歯（P3/P4/M1/M2）	左	11.4	34.6	14.4
153-75	TG111002	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	上顎歯（P3/P4/M1/M2）	右	0.7	19.6	14.3
153-55	TG111003	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	上顎歯（P3/P4/M1/M2）	左	0.7	19.6	13.2
153-78	TG111004	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	下顎歯（P3/P4）	左	18.0	19.1	15.0
153-4	TG111005	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	下顎歯（P4/M1/M2）	右	5.2	20.1	16.0
20-3	TG111006	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	下顎歯（P4/M1/M2）	左	2.8	16.0	15.9
20-4	TG111007	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	下顎歯（P4/M1/M2）	左	2.5	15.4	12.4
20-5	TG111008	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	下顎歯（P3/P4）	左	13.9	15.1	13.4
20-6	TG111009	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	下顎歯（P4/M1/M2）	右	1.6	13.9	11.1
20-7	TG111010	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	下顎歯（P2）	右	15.8	15.8	13.5
163-1	TG111011	SX10820	藤原宮造営期	ウマ	上顎歯（P3/P4/M1/M2/M3）	右	12.7	40.6	13.8

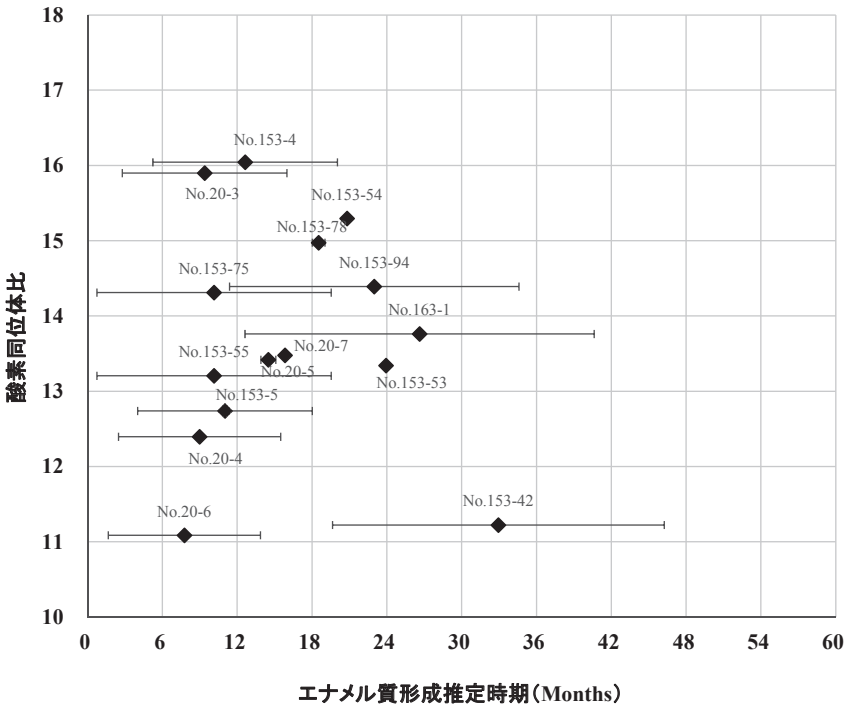

図6-6　歯エナメル質の酸素同位体比変動

引用文献

菊地大樹・覚張隆史・劉呆運（2014）「西周王朝の牧経営」『中国考古学』14、83-100頁

酒井均・松久幸敬（1996）『安定同位体地球化学』東京大学出版会

長崎県教育委員会（1998）『大浜遺跡』長崎県文化財調査報告書第141集

真野明・中山亮二（2008）「地域総合化による確率雨量の空間分布の推定」『水文工学論文集』52、217-222頁

山梨県埋蔵文化財センター（2002）『百々遺跡1』山梨県埋蔵文化財センター調査報告書第201集

山梨県埋蔵文化財センター（2004）『百々遺跡2・4』山梨県埋蔵文化財センター調査報告書第212集

米田穣・覚張隆史・石丸恵理子・富岡直人（2010）「骨の安定同位体分析から中世博多の人々の生活に迫る」『市史研究ふくおか』5、86-101頁

早稲田周・中井信之（1983）「中部日本・東北日本における天然水の同位体組成」『地球化学』17、83-91頁

Brand, W. A., Coplen, T. B., Aerts-Bijma, A. T., Bohlke, J. K., Gehre, M., Geilmann, H., Groning, M., Jansen, H. G., Meijer, H. A. J., Mroczkowski, S. J., Qi, H., Soergel, K., Stuart-Williams, H., Weise, S. M., Werner, R. A. (2009) Comprehensive inter-laboratory calibration of reference materials for δ18O versus VSMOW using various on-line high-temperature conversion techniques. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*. 23. pp. 999-1019.

Bryant, J. D., Koch, P. L., Froelich, P. N., Showers, W. J., Genna, B. J. (1996) Oxygen isotope partitioning between phosphate and carbonate in mammalian apatite. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 60. pp. 5145-5148

Dansgaard, W., Johnsen, S. J., Moller, J. Langway Jr, C.C. (1969) One thousand centuries of climatic record from camp century on the Greenland ice sheet. *Science*. 166. pp. 377-380.

Ehlreringer, J. R., Thompson, A. H., Podlesak, D. W., Bowen, G. J., Chesson, L. A., Cerling, T. E., Park, T., Dostie, P., Schwarcz, H. (2009) A framework for the incorporation of isotopes and isoscapes in geospatial forensic investigations. *In Isoscapes: Understanding movement, pattern, and process on Earth through isotope mapping. ed*. J. B. West, G. J. Bowen, T. E. Dawson and K. P. Tu. Springer. Dordrecht Heidelberg London New York. pp. 357-387.

Halas, S., Skrzypek, G., Meier-Augenstein, W., Pelc, A., Kemp, H. (2011) Inter-laboratory calibration of new silver orthophosphate comparison materials for the stable oxygen isotope analysis of phosphates. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*. 25. pp. 579-584.

Huertas, A. D., Lacumin, P., Stenni, B., Chillon, B. S., Longinelli, A. (1995) Oxygen isotope variations of phosphate in mammalian bone and tooth enamel. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 59. pp.4299-4305

Kohn, M. J., Schoeninger, M. J., Valley, J. W. (1996) Herbivore tooth oxygen isotope compositions: Effects of diet and physiology. *Geochmica et Cosmochimica Acta*. 60. pp. 3889-3896.

Lee Thorp, J. A. and van der Merwe, N. J. (1991) Aspects of the chemistry of modern and fossil biological apatite. *Journal of Archaeological Science*. 18. pp. 343-354.

Longinelli, A. (1984) Oxygen isotopes in mammal bone phosphate: A new tool for paleohydrological and paleoclimatological research? *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 48. pp. 385-390

Mizota and Kusakabe, M. (1994) Spatial distribution of δD-δ^{18}O values of surface and shallow groundwaters from Japan, South Korea and east China. *Geochemical Journal*. 28. pp. 387-410.

Oliver, M. A. (1990) Kriging: A Method of Interpolation for Geographical Information Systems. *International Journal of Geographic Information Systems*. 4 pp. 313-332.

Passey, B. H., Cerling, T. E., Levin, N. E. (2007) Temperature dependence of oxygen isotope acid fractionation for modern and fossil tooth enamels. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*. 21. pp. 2853-2859.

Skrzypek, G. (2013) Normalization procedures and reference material selection in stable HCNOS isotope analyses. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. 405. pp. 2815-2823.

Tudge, A. P. (1960) A method of analysis of oxygen isotopes in orthophosphates-its use in measurements of paleotemperatures. *Geochimca et Cosmochimica Acta*. 18. pp. 8l-93.

Vennemann, T. W., Fricke, H. C., Blake, R. E., O'Neil, J. R., Colman, A. (2002) Oxygen isotope analysis of phosphates: a comparison of techniques for analysis of Ag_3PO_4. *Chemical Geology*. 185. pp. 321-336.

Wiedemann-Bidlack, F. B., Colman, A. S., Fogel, M. L. (2008) Phosphate oxygen isotope analysis on microsamples of bioapatite: removal of organic contamination and minimization of sample size. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*. 22. pp. 1807-1816.

Yoshida, N. and Miyazaki, N. (1991) Oxygen isotope correlation of cetacean bone phosphate with environmental water. *Journal of Geophysical Research: Oceans*. 96. pp. 815-820.

第7章　藤原宮跡から出土した馬の飼育形態と産地推定

本章では、第1章から第6章までの分析結果を総括して、日本列島における馬の導入と生産に関する考古学と文献史学の先行研究を踏まえたうえで、藤原宮跡から出土した馬の飼育形態と産地推定を考察する。

1. 藤原宮造営における駄馬利用

第1章で、藤原宮跡から出土した動物遺存体を報告した。ほとんどが藤原宮造営期の資料で、ウマが最も多く出土し、ウシはわずかであった。ウマの所見をまとめると、以下のようになる。①関節炎を患うウマの骨が認められ、藤原宮造営に際して資材運搬を担う駄馬であったと推測された。②死亡年齢は満年齢で3～5歳に集中した。③大きさは、大型の個体が少なく、全体的にやや小型であった。④ウマは全身骨格が揃っておらず散乱した状態で出土しており、切り落とされた肢先のみ出土した事例もあった。また解体痕跡のあるウマの骨も見られることから、出土したウマは埋葬や遺棄されたものではなく、解体された残滓であったと考えられた。

藤原京は、天武天皇5年（676）に「新城」として計画され、680年代から造営されたとみられている。その直前である天武天皇元年（672）に、古代における馬政に大きく影響を与えた壬申の乱が起こっている。軍事力として騎馬が重要であることを改めて印象づけた壬申の乱の後、天武天皇や持統天皇は中央における騎馬の確保と訓練を積極的に奨励した。そして、馬の繁殖と調教をおこなう牧を掌握するために、文武天皇4年（700）に諸国に公的な牧の設置を命じた（村岡1984、前沢1991、高島1996、山口1989、1994、2004）。つまり、本分析資料の帰属時期である藤原宮造営期は、中央政府が騎馬の増加と確保を積極的におこなった時期でもあった（表7-1）。厩牧令13牧馬応堪条に、乗用に堪える馬は軍団に所属させるとあることからも、乗用馬が重視されていたことがわかる。

こうした乗用馬ではなく、造営事業の駄馬に注目したのが吉川敏子氏である。吉川氏は、遷都に伴う大規模な造営事業には駄馬が必要であり、厩牧令13牧馬応堪条の軍団には騎馬だけでなく多くの駄馬が含まれており、令制官牧から供給されたと論じた（吉川1991）。それに対して、山口英男氏は、古代の牧に関する史料を見る限り、牧の主目的は乗用馬の生産・飼養であり、駄馬の生産はあくまでも副次的な形態でしか知ることができないとして、駄馬の生産・飼養の実態解明が今後に残された課題と述べている（山口1994）。本研究で扱った藤原宮造営期の出土馬は、都城造営に利用された駄馬の実態を知ることのできる貴重な資料群であると言えよう。

出土した馬には、満3歳未満の個体が認められず、造営事業に利用されなかったと考えられる。馬の成長に関する史料（数え歳表記）をみると、厩牧令6牧牝馬条では、牧の牝馬は基本的に4歳から交尾をさせ、5歳以上で繁殖義務年齢となる。もし3歳で出産した場合には、別に帳簿を作成して報告することが規定されている。

また、養老律令の施行細則を集大成した延喜式をみると、兵部式諸国牧条で牧の馬は5・6歳になると左右馬寮に貢進されたとあり、左右馬寮式御牧条でも4歳以上になると乗用に堪える馬を選抜・調教し、翌年8月に貢進したとある。4歳から乗用に適した馬として調教し、5・6歳になると貢進し

ていたことが確認できる。

厩牧令と延喜式に共通して、馬の育成には数え歳で４歳という生殖可能年齢が考慮されている。この馬の成長に関する規定は、唐令においても共通した記述が認められる（謝 1977）。出土した馬に満３歳未満（数え歳４歳未満）の幼齢馬が含まれないということは、すでに当時から馬の生態を熟知していたことが窺われる。そして唐令の記述とも一致しており、馬の飼育技術が一定以上の水準であったことを示唆するものといえよう。これは現代における馬の飼育とも合致している。一般に牝馬は数え歳４歳の春に初めて種付けをして、母馬となるのは数え歳５歳である（野村 1997）。

さらに、出土馬の推定年齢が３～５歳に集中するということは、多くの馬が満３～５歳で死亡したことを意味する。関節炎を患った骨が出土したことも考慮すると、都城造営という大規模事業では馬の損耗が激しかったことが推察される。そして、全身骨格が揃っておらずに散乱して出土し、骨に解体痕跡が認められたことから、死んだ馬は解体されたことがわかる。平城京や大阪府城山遺跡から出土した８世紀後半～９世紀のウマの頭蓋骨に残された痕跡が、官の牛馬が死んだ場合に皮や脳髄を回収することが規定された厩牧令26官馬牛条と一致することが指摘された（松井 1987）。大阪府森の宮遺跡では、７世紀後半のウマの骨に多数の解体痕跡が認められ、脳髄を摘出したと推定される頭蓋骨も出土している（久保 1996）。すでに死馬から様々な資源を回収することが一般的となっており、それが後に規定となり定型化したと考えられる。

なお、古代の牧に関連すると推定されている山梨県百々遺跡では、平安時代を中心として、多くのウマが出土している。植月学氏は百々遺跡の馬の年齢構成が４歳前後の若齢馬が主体とすることから、大規模な馬匹生産がおこなわれ、貢上の基準に満たない若齢個体を間引いて処分したと論じた（植月 2011、2013）。運河 SD1901A からは過去の調査（飛鳥藤原第 20 次）でも多量の馬が出土していることから、造営中に死んでしまった馬だけではなく、造営事業で利用した馬を処分して、脳や皮などの資源を回収したという可能性も考慮する必要があるかもしれない。

2. 破壊分析における事前調査の有効性

第２章では、同位体化学分析に用いる試料を選定するための事前調査をおこなった。その結果、藤原宮跡出土の動物遺存体は、有機物および無機物ともに同位体化学分析に適する試料が得られる可能性が高いことが明らかとなった。また、分析に適さない試料も把握することができた。こうした試料は、本分析をおこなわないことによって不必要な破壊を避けることができた。

「破壊分析における事前調査」は、「本発掘調査における試掘・試掘調査」と同じ意義をもつ。化学分析は、資料の破壊・非破壊のみが問題とされることが多い。必要な分析が破壊を伴わざるを得ない場合でも、やみくもに破壊してよい訳ではない。破壊をする前にどのような記録を残し、どのようにして最小限の破壊で抑えるのかという議論が今後とも必要であろう。

3. 馬の飼育形態

出土した馬の食性復元をするために、第３章で骨コラーゲンの炭素同位体分析を実施した。その結果、C3 植物と C4 植物の両方を摂取していたが、個体間で多様な値を示しており、C4 植物が非常に高

表7-1　馬および藤原宮・京造営の関連記事

年（西暦）	月日	馬および藤原宮・京造営の関連記事	出典（日本書紀・続日本紀）
応神15年（284）	8月6日	百済王が阿直岐を派遣して、良馬2匹を献上した。そこで、軽の坂の上の厩で、阿直岐に馬を飼育させた。	応神天皇15年8月丁卯条
履中5年（404）	9月18日	淡路島での天皇の狩猟に、河内の飼部らがお伴をして、馬の手綱をとった。	履中天皇5年9月壬寅条
雄略13年（469）	9月	赦免の使者が、甲斐の黒駒に乗って刑場へ行き、死刑を止めた。	雄略天皇13年9月条
清寧2年（481）	11月	播磨国明石郡の縮見屯倉で、億計王（仁賢天皇）と弘計王（顕宗天皇）が牛馬の飼育をしていた。	顕宗天皇即位前紀
顕宗2年（486）	10月6日	天下は安泰で、穀物はよく実り、馬は野に繁殖した。	顕宗天皇10月癸亥条
継体6年（512）	4月6日	百済に、筑紫国の馬40頭を贈った。	継体天皇6年4月辛酉朔丙寅条
安閑2年（535）	9月13日	難波の大隅島と姫島松原に牛を放牧した。	安閑天皇2年9月丙辰条
欽明7年（546）	1月3日	百済の使者が帰国するに際し、良馬70頭と舟10隻を贈った。	欽明天皇7年正月甲辰朔丙午条
欽明14年（553）	6月	百済に、良馬2頭、諸木舟2隻、弓50張、箭50具を贈った。	欽明天皇14年6月条
欽明15年（554）	1月9日	百済の使者に対して、援軍1000人、馬100頭、舟40隻を遣わすと回答した。	欽明天皇15年正月丙申条
欽明17年（556）	1月	百済王子の恵が帰国するに際し、多くの武器や良馬を贈った。	欽明天皇17年正月条
欽明32年（557）	4月15日	欽明天皇が病気になったが、皇太子（敏達天皇）は不在であったため、駅馬を走らせて呼び寄せた。	欽明天皇32年4月戊寅朔壬辰条
推古元年（593）	4月10日	皇后が馬官を視察された時に、厩の戸口で皇太子（聖徳太子）を出産された。	推古天皇元年4月庚午朔己卯条
推古7年（599）	9月1日	百済が、ラクダ1頭、ロバ1頭、ヒツジ2頭、白雉1羽を献上した。	推古天皇7年9月癸亥朔条
推古18年（610）	10月8日	新羅や任那からの客を迎える飾馬の長が任命された。	推古天皇18年10月己丑朔丙申条
推古20年（612）	1月7日	蘇我馬子の歌に答えた推古天皇の歌に「蘇我氏の人々は、馬ならば日向の良馬、太刀ならば呉の国の利剣だ」とある。	推古天皇20年正月辛巳朔丁亥条
推古20年（612）		百済から渡来した路子工の話から、白い斑のある牛馬が国内で飼われていることがわかる。	推古天皇20年是歳条
皇極元年（642）	4月10日	蘇我蝦夷が、百済の翹岐らに良馬1頭、鉄の延べ板20鋌を贈った。	皇極天皇元年4月乙未条
皇極元年（642）	5月5日	河内国の依網屯倉に、百済の翹岐らを呼び、騎射を見物させた。	皇極天皇元年5月乙卯朔己未条
皇極元年（642）	7月25日	村々の祝部の教えに従って、牛馬を殺して諸社の神に祈るなどしたが、雨乞いの効果はなかった。	皇極天皇元年7月戊寅条
皇極2年（643）	11月1日	三輪文屋君が、山背大兄王に深草屯倉から馬に乗って東国へ行くことを勧める。	皇極天皇2年11月丙子朔条
大化元年（645）	8月5日	東国国司は、公用で管内の馬を乗ることができる。	大化元年8月丙申朔庚子条
大化2年（646）	1月1日	都城を創設し、畿内の国司・郡司・関塞・斥候・防人・駅馬・伝馬を置き、駅鈴と木契を作り、山河で土地の区画を定める。	大化2年正月甲子朔条
大化2年（646）	1月1日	官馬は、中級の馬ならば100戸ごとに1頭、良馬ならば200戸ごとに1頭を差し出せ。	大化2年正月甲子朔条
大化2年（646）	3月19日	東国国司が、田部や国造、湯部の馬や牧草を不当に奪い、処罰された。	大化2年3月辛巳条
大化2年（646）	3月22日	死者の馬を殉死させるなどの旧俗を禁止する。	大化2年3月甲申条
大化2年（646）	3月22日	百姓が乗馬で上京する際に、馬が疲労して動かなくなることを心配して、三河と尾張の人を雇って馬を預けることがあった。	大化2年3月甲申条
斉明3年（657）		百済から西海使が帰還し、ラクダ1頭とロバ1頭を献上した。	斉明天皇3年是歳条
天智7年（668）	7月	近江国で戦術を学び、多くの牧場を設けて馬を放牧した。	天智天皇7年7月条
天武元年（672）	6月24日	大海人皇子が、大分君恵尺を留守司の高坂王に遣わして、駅鈴を求めたが拒否される。	天武天皇元年6月甲申条
天武元年（672）	6月24日	大海人皇子が、湯沐の米を運ぶ伊勢国の駄馬五十匹と菟田郡の屯倉あたりで遭遇し、徒歩の者を乗せた。	天武天皇元年6月甲申条
天武元年（672）	6月24日	夜中に隠郡に到着して、隠の駅家を焼いた。	天武天皇元年6月甲申条
天武元年（672）	6月24日	急行して伊賀郡に着き、伊賀の駅家を焼いた。	天武天皇元年6月甲申条
天武元年（672）	6月26日	村国男依が、駅馬に乗って大海人皇子の元に駆けつけた。	天武天皇元年6月丙戌条
天武元年（672）	6月29日	大伴連吹負が、高市皇子と名のり、数十騎を率いた。	天武天皇元年6月己丑条
天武元年（672）	7月9日	置始連菟に千余騎を率いさせ、倭京に急行させた。	天武天皇元年7月戊戌条
天武4年（675）	4月17日	牛・馬・犬・猿・鶏の肉を食べてはならない。それ以外は禁止の事例としない。	天武天皇4年4月庚寅条
天武5年（676）	8月16日	大祓に用いるため、国ごとに馬1匹などを国造が準備する。	天武天皇5年8月辛亥条
天武5年（676）	9月10日	王卿を京と畿内に遣わして、ひとりひとりの武器を調査させた。	天武天皇5年9月乙亥条
天武5年（676）		この年、新城に都を造ろうとしたため、区域内の田畑は公私を問わずに耕作されず、すべて荒れ果てた。しかし、結局都は造らなかった。	天武天皇5年条

表7-1（つづき）

年（西暦）	月日	馬および藤原宮・京造営の関連記事	出典（日本書紀・続日本紀）
天武8年（679）	2月4日	「天武10年に親王・諸臣及び百官の人々の武器と馬を検査するため、あらかじめ準備するように」と言われた。	天武天皇8年2月乙卯条
天武8年（679）	8月11日	王卿に詔して、「乗馬用の馬のほかに、良馬を用意しておき、召されることがあればすぐに差し出せ」と言われた。	天武天皇8年8月己未条
天武8年（679）	8月11日	群卿が用意した良馬を、迹見駅家の路上でご覧になり、馬をみな駆けさせた。	天武天皇8年8月己未条
天武8年（679）	10月17日	新羅が朝貢し、ウマ、イヌ、ラバ、ラクダなど様々な物を献上した。	天武天皇8年9月甲子条
天武9年（680）	9月9日	大山位以下の者の馬をご覧になり、騎射を催した。	天武天皇9年9月癸酉朔辛巳条
天武10年（681）	10月	親王以下および群卿が、装束のととのった飾馬を検閲した。大山位以下はみな馬に乗り、大路に沿って南から北へ進んだ。	天武天皇9年10月条
天武11年（682）	3月1日	小紫三野王と宮内官大夫らに命じて、新城の地形を視察させ、都を造ろうとした。	天武天皇11年3月甲午朔条
天武11年（682）	3月16日	天武天皇が新城に行幸した。	天武天皇11年3月己酉条
天武11年（682）	4月23日	婦人が男子のように馬に乗るようになったのは、この日からである。	天武天皇11年4月己酉条
天武12年（683）	7月18日	天皇が京を巡行した。	天武天皇12年7月癸卯条
天武12年（683）	12月17日	「都城や宮殿は一ヵ所だけということはなく、必ず二、三ヵ所造るものである。そのため、まず難波に都を造ろうと思う。百官の者は、それぞれ難波に行き、宅地を貰い受けよ」と言われた。	天武天皇12年12月庚午条
天武13年（684）	2月28日	浄広肆広瀬王・小錦中大伴連安麻呂および判官・録事・陰陽師・工匠らを畿内に遣わして、都を造るのに適当な所を視察し占わせた。	天武天皇13年2月庚辰条
天武13年（684）	3月9日	天皇が京を巡行して、宮殿を造営する場所を定めた。	天武天皇13年3月辛卯条
天武13年（684）	閏4月5日	「政治の要は軍事である」として、馬を所有する文武官に騎馬軍団としての整備や訓練を要請した。	天武天皇13年閏4月壬午条
天武14年（685）	5月26日	新羅王から、ウマ2頭、イヌ3棟、オウム2羽、カササギ2羽などが献上された。	天武天皇14年5月辛未条
朱鳥元年（686）	1月14日	難波の大蔵省から出火して、宮殿が全焼した。	朱鳥元年正月乙卯条
朱鳥元年（686）	4月19日	新羅から、良馬1頭、ラバ1頭、イヌ2匹などが献上された。	朱鳥元年4月戊子条
朱鳥元年（686）	9月9日	天武天皇の病がついに癒えず、正宮で崩御された。	朱鳥元年9月丙午条
持統元年（687）	2月2日	新羅から、鳥や馬などが献上された。	持統天皇元年2月庚寅朔辛卯条
持統4年（690）	2月5日	持統天皇が公卿大夫の馬をご覧になる。	持統天皇4年2月戊申条
持統4年（690）	10月29日	高市皇子が藤原宮の地をご覧になる。	持統天皇4年10月壬申条
持統4年（690）	12月19日	持統天皇が藤原に行幸して、宮地をご覧になる。	持統天皇4年12月辛酉条
持統5年（691）	3月5日	持統天皇が御苑で公私の馬をご覧になる。	持統天皇5年3月丙子条
持統5年（691）	10月27日	新益京の地鎮祭をおこなった。	持統天皇5年10月甲子条
持統5年（691）	12月8日	宅地の班給基準を定めた。	持統天皇5年12月乙巳条
持統6年（692）	1月12日	持統天皇が新益京の路をご覧になる。	持統天皇6年正月戊寅条
持統6年（692）	5月23日	藤原宮の地鎮祭をおこなった。	持統天皇6年5月丁亥条
持統6年（692）	5月26日	伊勢・大倭・住吉・紀伊の大神に幣を奉納して、新宮のことを報告した。	持統天皇6年5月庚寅条
持統6年（692）	6月30日	持統天皇が藤原宮の地をご覧になる。	持統天皇6年6月癸巳条
持統7年（693）	1月10日	造営で掘り出された屍を埋葬した。	持統天皇7年2月己巳条
持統7年（693）	8月1日	持統天皇が藤原宮の地に行幸した。	持統天皇7年8月戊午朔条
持統7年（693）	10月2日	浄冠から直冠までの位階の者は、武器や鞍を置いた馬をあらかじめ準備するようことを命じた。	持統天皇7年10月丁巳朔戊午条
持統8年（694）	1月21日	持統天皇が藤原宮に行幸し、その日のうちに帰った。	持統天皇8年正月乙巳条
持統8年（694）	12月6日	藤原宮に遷都した。	持統天皇8年12月庚戌朔乙卯条
文武2年（698）	4月29日	雨乞いのため、芳野水分峯神に馬を奉献した。	文武天皇2年4月戊午条
文武2年（698）	5月28日	雨乞いのため、諸神社に馬を奉献した。	文武天皇2年5月丙辰条
文武3年（699）	9月20日	中央官人や京畿に、武器や軍馬の準備を要請した。	文武天皇3年9月辛未条
文武4年（700）	3月17日	諸国に命じて、牧を設置して、牛馬を放牧させた。	文武天皇4年3月丙寅条
大宝2年（702）	4月8日	飛騨国が、神馬を献上した。	大宝2年4月乙巳条
慶雲元年（704）	5月10日	備前国が、神馬を献上した。	慶雲元年5月甲牛条
慶雲元年（704）	11月20日	藤原宮の地を定め、宮内予定地に住宅のあった百姓に布を与えた。	慶雲元年11月壬寅条
慶雲4年（707）	3月26日	鉄印を摂津や伊勢など23ヵ国に与えて、牧の子馬と子牛に焼印させた。	慶雲4年3月甲子条

表7-2　万葉集にみえる馬の飼料

歌	出典
柵越しに麦を食べる仔馬のように、叱られてもやはり恋しくて辛抱できない。	『万葉集』巻12-3110
左奈都良の丘に粟を蒔き、愛しい人の仔馬がそれを食べても、私は「しっしっ」と追うまい。	『万葉集』巻14-3470
春の野で草を食べる仔馬のように、いつも私を偲んでいるだろう、家の妻よ。	『万葉集』巻14-3553
柵越しに麦を食べる仔馬のように、ほんの少し会ったあの子がとても愛しい。	『万葉集』巻14-3558

い値を示した個体も認められた。さらに、食性復元を多角的に検討するために、第4章で歯エナメル質の炭素同位体分析を実施した。その結果、C3植物者（主にC3植物を食べて、C4植物をあまり食べていない個体）からC3/C4植物者（C3植物とC4植物を同じくらい食べていた個体）が確認でき、骨コラーゲンの結果と一致した。

骨コラーゲンの同位体は10年間における食性の平均値を反映しており、馬の死亡年齢を考慮すると生涯にわたる平均的な食性としか判断できない。それに対して、歯エナメル質の形成時期は5歳（60ヶ月齢）までの解像度の高い時間軸での議論が可能となる。歯エナメル質による結果は、基本的に1.5歳までの幼齢段階における食性が反映されたことが明らかとなった。

馬の飼料に関しては、厩牧令1厩細馬条で馬の品質に応じて与える飼料が規定されており、細馬（上馬）には粟1升・稲3升・豆2升・塩2夕、中馬には稲もしくは豆2升・塩1夕、駑馬（下馬）には稲1升を飼料とした。この他に、干し草5囲、木の葉2囲、青草10囲を与えた。11月上旬から干し草を与え始め、4月上旬から青草を与えている。厩牧令の規定は、貢上前からの飼料であるのか、貢上後の飼料であるのかは必ずしも明記されていないが、少なくとも体格や気質など馬の品質が判断できる程の年齢より後の規定であることは間違いない。また万葉集には、馬が食べる植物として、粟、麦、草がみえる（表7-2）。このように史料からは、粗飼料として干し草、木の葉、青草、濃厚飼料として粟、稲、豆、麦、その他に塩が確認できる。

これらの飼料について、炭素同位体分析で用いられるC3植物とC4植物という分類に当てはめてみると、干し草、木の葉、青草、稲、豆、麦がC3植物となる。干し草や青草、木の葉は植物種が不明であるが、日本列島の生態系で牧草となる植物は、基本的にC3植物である。粟のみがC4植物に該当する。史料には見られない種でC4植物に分類されるのは、稗や黍といった雑穀である。

近畿地方では、5世紀後半～6世紀前半にかけて生駒西麓地域で小麦の栽培・利用が急速に普及しており、牧経営をめぐる土地利用の一環として導入された可能性が指摘されている（大庭2010）。また霊亀元年（715）には、飢饉対策として、貯蔵しても腐りにくいことから粟栽培が奨励された（木村1992）。細馬（上馬）には重要な作物と認識されていた粟を与えていたことがうかがえる。

今回の歯エナメル質での分析結果は、基本的に1.5歳までの食性が反映されたものである。各地域において幼齢馬に与える飼料に多様性があり、規定では細馬（上馬）のみに与える粟を多く与えられた幼齢馬も認められ、初期段階から手厚く飼育された個体であったことが推察される。

4. 馬の移入

出土した馬が移入した可能性を検討するために、第5章でストロンチウム同位体分析を実施した。その結果、奈良盆地以外から持ち込まれた個体が非常に多いことが示唆された。

考古資料から馬の導入と生産を検討すると、4 世紀代に遡る散発的な渡来が畿内や中部高地で認められるものの（積山 2010）、日本列島への馬の本格的な渡来は古墳時代中期以降である（小林 1951）。その背景には高句麗の南下や百済との同盟といった朝鮮半島の情勢が大きく影響したと考えられる。正確な実年代は不明であるが、5 世紀前後に百済王から良馬 2 頭が貢上され、軽（奈良県橿原市域）の厩で飼育したとの記述が『日本書紀』にあり、史料と馬具による所見は整合的である（諫早 2012a、千賀 2012）。そしてウマの歯や骨、馬具の様相から、5 世紀後半には九州から東北までの広範囲にわたって、馬が急速に拡散したことが明らかとなっている（桃崎 1993、諫早 2012a,b、千賀 2012）。

6 世紀には百済へ馬を贈ったという記事があり、7 世紀までに馬が急速に普及することから、馬を効率的に生産する施設である牧の導入が 5・6 世紀に遡る可能性が指摘されている（山口 1992、1994）。『日本書紀』によれば、清寧 2 年（481）に播磨国明石郡の縮見屯倉で億計王と弘計王が牛馬の飼育をしていたとあり、皇極天皇 2 年（643）には蘇我入鹿に襲われて生駒山麓に隠れた山背大兄王は深草屯倉から馬に乗って東国に行くことを進言されている。ここから、当時は天皇や朝廷の直轄地である屯倉で牛馬が飼育されていたことがうかがえる（前沢 1991、高島 1996）。天智天皇 7 年（668）には、公的な牧の設置を示す最も古い記事がみられるが、全国的な規模ではなく近江や都周辺であったと考えられる（山口 2004）。文武天皇 4 年（700）、大宝律令に伴う公的な牧が設置され、慶雲 4 年（707）には、仔馬や仔牛に焼印するための鉄印を摂津や伊勢など 23 ヵ国の牧に配布されている。この律令制定に伴う牧は、新たに設定されたものではなく、令制以前から存在した朝廷や豪族の牧が、国家の牧として把握されたものと推察されている（山口 1989、2004）。

天平 4 年（732）に東海道・東山道・山陰道などの諸国から兵器や牛馬を他所に売買し、国境を越えて持ち出すことを禁じた。ただし、例年のように公的に進上する牧馬は対象外とされたことから、各地の牧馬が恒常的に中央へ貢進されていたことがうかがえる。村岡薫氏は、養老～神武年間に中央政府の騎馬需要が急速に増大することから、8 世紀前半に官牧馬の中央貢進が義務づけられ恒常化したとみなした（村岡 1984）。山口英男氏は、大化改新詔にも馬の貢納が見られることから令制当初より牧馬貢上がおこなわれていたと解釈した（山口 1986）。

ストロンチウム同位体分析により、680 年代頃に比定される藤原宮造営期の多くの馬が奈良盆地以外から移入されたことが示され、藤原宮造営に際して外部から馬を持ち込んだ実態が明らかとなった。なお、長原遺跡や難波宮跡のストロンチウム同位体分析から、古墳時代中期や飛鳥時代において移入馬の存在が指摘されており（日下・覚張 2014）、畿内への馬の移入はさらに遡ることが確実である。

5. 馬の産地推定

ストロンチウム同位体分析で移入馬の存在が明らかとなったことから、次に馬の産地を推定するために、第 6 章で酸素同位体分析を実施した。その結果、分析を実施した 15 試料のうち、9 試料が東日本内陸部で産まれた個体、2 試料が東日本沿岸部あるいは西日本で産まれた個体、1 試料が東日本あるいは西日本の日本海沿岸部で産まれた個体と推定された。また、1 試料が本州・四国・九州と幅広い推定範囲を示した（表7-3）。

（1）東日本内陸部

まず、15 試料のうち 9 試料と多くの個体の産地と推定された東日本内陸部から検討していく。4 世紀後半から山梨県域や長野県域でウマの出土例が認められるようになり（村石 1998、2004）、5 世紀前半には伊那谷（長野県飯田市域）でウマの歯や骨がまとまって出土する（澁谷編 2007）。古墳に伴う馬の埋葬例が数多く見つかっており、多量の馬を犠牲にできるほど馬の生産規模が大きく、安定していたものと評価することができる。5 世紀後半になると上野地域（群馬県域）でもウマの歯や骨、馬具が出現する。剣崎長瀞西遺跡では幼齢馬が確認されており、馬の飼育が示唆される（黒田 2000、高崎市教育委員会編 2001）。また、6 世紀初頭に降下した榛名二ツ岳渋川テフラ（Hr-FA）や 6 世紀中頃に降下した榛名二ツ岳伊香保テフラ（Hr-FP）の直下で馬の蹄跡が検出されている。とくに白井遺跡群からは、6 世紀中頃の Hr-FP 直下から約 4 万個におよぶ馬の蹄跡が検出され（井上・坂口 2004）。仔馬の蹄跡も確認されている（宮崎 1996、井上・宮崎 1997）。このように、河内・伊那谷・上野で先行して馬匹生産が盛んになることから、馬による畿内と東国を結ぶ交通路の成立が想定されている（右島 2002、2008、松尾 2008）。さらに、平城京左京三条二坊から出土した長屋王家木簡によって、信濃・甲斐・上野 3 ヵ国の出身者が馬司として採用されたことが明らかとなっている（森 1997）。長屋王家木簡の年紀は、ほぼ和銅 3 年（710）から霊亀 3 年（717）までの範囲に収まる。そして延喜式では、これら信濃・甲斐・上野に武蔵を加えた 4 ヵ国に中央への貢馬として重視された御牧が設置された。

東北地方では、岩手県の中半入遺跡から 5 世紀後半～ 6 世紀初頭のウマが出土している（富岡 2002）。5 世紀の東北地方における馬関連資料やカマド住居、軟質系土器、鍛冶技術関連資料などの朝鮮半島系資料は、福島県郡山市域や中通り周辺地域、宮城県仙台市域および周辺地域にまとまり、群馬県域や栃木県域から多賀城にいたる古代東山道や阿武隈川ルート沿いを北上した状況が推測されている（亀田 2003）。さらに、ウマの歯・骨や馬具から、7 世紀中葉～ 8 世紀前葉には東北北部まで馬産が拡散したことが明らかにされている（松本 2006、杉山 2008、福田 2008）。史料をみると、養老 2

表 7-3　分析結果のまとめ

資料番号	分析番号	遺構	時期	動物種	推定年齢	推定産地	食性分類
153-42	TG102202	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	5-6 歳	不明	C3／C4 中間食者
153-5	TG102203	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	4-5 歳	東日本内陸部（中部）	主に C3 植物
153-53	TG102204	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	4 歳以下	東日本内陸部	主に C3 植物
153-54	TG102205	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	9 歳	北海道・本州・四国・九州	C3／C4 中間食者
153-94	TG111001	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	9-11 歳	東日本内陸部	C3／C4 中間食者
153-75	TG111002	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	4 歳	東日本内陸部	主に C3 植物
153-55	TG111003	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	3-4 歳	東日本内陸部	主に C3 植物
153-78	TG111004	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	4-5 歳	東日本・西日本（日本海沿岸部）	計測不可
153-4	TG111005	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	4 歳以下	東日本沿岸部・西日本	C3／C4 中間食者
20-3	TG111006	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	4-5 歳	東日本沿岸部・西日本	主に C3 植物
20-4	TG111007	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	4 歳	東日本内陸部（関東・中部）	主に C3 植物
20-5	TG111008	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	4 歳	東日本内陸部	主に C3 植物
20-6	TG111009	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	3-4 歳	不明	主に C3 植物
20-7	TG111010	SD1901A	藤原宮造営期	ウマ	3 歳	東日本内陸部	主に C3 植物
163-1	TG111011	SX10820	藤原宮造営期	ウマ	4 歳以下	東日本内陸部	主に C3 植物

年（718）に出羽国と渡嶋の蝦夷が上京して、馬を貢上し、位禄を与えられている。天平４年（732）の越前国郡稲帳には出羽国からの「進上御馬」、天平６年（734）の尾張正税帳や天平10年（738）の駿河国正税帳には陸奥国からの「進上御馬」とあり、少なくとも８世紀前半には中央へ貢馬があったことが確認できる（前沢1991、千葉2004、松本2006）。

なお、官馬を駄馬として利用することは一般的ではなく、日常的な物資輸送には私馬が徴発されていた（望月2008）。藤原宮跡から出土した馬の大きさは全体的にやや小型であり、東日本内陸部から移入された馬の中には粟などC4植物をあまり与えられていなかった個体が認められることから、私馬のような公的な貢進ではない馬が含まれた可能性がある。例えば、厩牧令21公使乗駅条には駅馬や伝馬が不足する場合には私馬を徴発するという規定があり、延喜式主税式上牧馬売却条では貢進されなかった馬は売却するとある。その一方で、幼齢時から粟などC4植物も飼料して与えられ手厚く飼育された馬も含まれており、乗用や儀式用として貢納されるような良馬として育てられた馬であった可能性が高い。そのため、官馬に該当するような公的に貢進された馬でも駄馬としたことが示唆され、日常的な駄馬利用とは異なる大規模な造営事業の特殊な実態がうかがえる。いわゆる律令規定での官馬から私馬に該当するような多様な来歴の馬が、東日本内陸部から多数持ち込まれ、藤原宮の造営事業に用いられたのであろう。

（2）畿内

次に、産地として推定された個体が少ない地域を検討する。藤原京近国にも関わらず、畿内が産地推定の範囲内に含まれた馬は15試料のうち3試料のみであった。

中部高地と同様に、畿内でも古墳時代中期より遡って牛馬が散発的に渡来している（積山2010）。5世紀前半から生駒山西麓や奈良盆地でウマがまとまって出土するようになり、史料に残る河内や大和の馬飼部集団との関連性が考えられる（井上1949、高橋1958、1960、佐伯1974、野島1984）。5世紀後半～６世紀前半には畿内の他地域へと拡散し、７世紀になると生駒山西麓でウマの出土事例が急減して、飛鳥京や難波京、藤原京などに出土事例が集中することから、都城造営との関連性が指摘されている（積山2007、2009、松井・丸山2014、丸山2013）。

大阪府の蔀屋北遺跡では、ウマの歯や骨（埋葬事例を含む）、馬具、製塩土器が出土し、古墳時代における馬飼集団の集落と考えられている。5～６世紀で時代が下るにつれてウマの出土量は減少し、幼若齢主体から老齢主体の年齢構成に変化する（安部2010）。この年齢構成の変化は馬の飼育技術が向上して若年の死亡率が低くなった結果と解釈されているが、畿内全体でみても年齢構成の時代的変化は認められない（丸山2013）。蔀屋北遺跡において、5～６世紀の中で馬の飼育や管理に関わる体制が変化したものと考えられる。

山口英男氏は、貢上制度の整備に伴い、畿内近国にある令制以前の朝廷直轄牧が貢馬の飼養を担当したことにより、後に延喜式段階の近都牧に発展したとの仮説を提示した（山口1986）。千賀久氏も、河内の牧は延喜式にある近都牧のような役割を果たしており、畿内と東国を結ぶルートを利用して東国産の馬を畿内周辺の牧に集中管理して、畿内における馬の需要増加に対応していたと想定した（千賀2001）。

以上、畿内における出土馬の様相をまとめると、①蔀屋北遺跡では、５世紀から６世紀にかけて馬の個体数が減少するとともに、幼若齢馬主体から老齢馬主体へと年齢組成が変化していた、②７世紀

に河内での馬の出土量が激減して、都城関連遺跡に馬の出土事例が集中する、③藤原宮跡出土馬は東日本内陸部で産まれた個体が多く、畿内産の個体が少なかった、となる。この3点から、畿内近国にある牧の主な役割が6～7世紀頃に「繁殖」から「飼養管理」へと変化したと解釈することができ、山口英男氏や千賀久氏の仮説を支持するものといえよう。

(3) 九州

九州地方には合計500基以上の馬具出土古墳が分布し、殉葬馬痕跡も全国の約半数弱を占める（桃崎1993、2012、2014）。馬匹生産は6世紀後半以降に盛んとなる（田中2010）。史料からも、継体天皇6年（512）に筑紫国の馬40頭が百済に贈られ、推古天皇20年（612）に「馬ならば日向の良馬」と言われるほど優秀な馬を生産していた地域である。しかし、東日本内陸部に比べて、九州地方が産地推定の範囲に含まれる個体は少なく、博多遺跡群のように九州地方を産地として特定できる個体は認められなかった。

延喜式段階では、西海道諸国の牧馬は数え歳で5・6歳になると、平安京の左右馬寮ではなく、大宰府へ贈られていた。また前述したように、天平4年（732）の8月甲戌条で牧馬が恒常的に中央へ貢進されていたことがうかがえるが、西海道は例外扱いされていることから、西海道諸国における特別な牧馬貢進が当時から存在していた可能性がある。桃崎祐輔氏は、九州で馬具出土古墳が集中する福岡県域が必ずしも馬匹生産の適地ではないことから、継体・欽明朝段階においても九州中南部から馬が移動して集積したと想定する（桃崎2012、2014）。九州地方から畿内への馬の移入が少なかったという結果は、すでに7世紀後半から九州地方の馬は大宰府へと移動・集積されたことを示唆しており、それが延喜式で条文化されたものと考えられる。

6. まとめ

藤原宮跡では、運河など藤原宮造営期の遺構から数多くの馬が出土し、造営に伴う資材運搬を担う駄馬が中心であったと考えられる。藤原宮造営に際して、名馬の産地とされる東日本内陸部から多くの馬が持ち込まれていた。その一方で、畿内産や九州産の馬は少なかった。これらの馬は、幼齢段階の飼料に多様性があり、粟などC4植物も飼料して与えられ手厚く飼育された個体から、あまりC4植物を飼料として与えられていない個体まで含まれていた。

藤原宮跡から出土した馬の飼育形態と産地推定に関する分析結果は、古代における馬の生産や利用の実態を示すものであり、史料との共通点も多く認められる。ただし、古代の馬関連史料は、あくまでも乗用や儀式用の官馬に関する規定であることに留意する必要があろう。藤原宮の造営には、東日本内陸部で産まれた馬が数多く使われ、幼齢段階に与えられた餌飼料に差異が認められたことから、藤原宮造営という大規模事業の需要に対応して、多様な来歴の馬を柔軟に利用したという実態がうかがえる。

（山崎健・覚張隆史・降幡順子・石橋茂登）

引用文献

安部みき子（2010）「蔀屋北遺跡出土の動物遺体」『蔀屋北遺跡Ⅰ　総括・分析編』大阪府埋蔵文化財調査報告2009-3、大阪府教育委員会、249-323頁

諫早直人（2012a）「馬匹生産の開始と交通網の拡大」『古墳時代の考古学』7、170-182頁

諫早直人（2012b）『東北アジアにおける騎馬文化の考古学的研究』雄山閣

井上昌美・宮崎重雄（1997）「ウマの蹄跡の認定について」『白井遺跡群―古墳時代編―』群馬県埋蔵文化財調査事業団調査報告第219集、439-442頁

井上昌美・坂口一（2004）「古墳時代馬の体高推定―群馬県子持村・白井遺跡群出土のウマの蹄跡からの分析―」『研究紀要―創立25周年記念論文集―』22

井上光貞（1949）「部民の研究」『日本古代史の諸問題―大化前代の国家と社会―』思索社、13-97頁

植月学（2011）「甲斐における平安・鎌倉時代の馬産―ウマ遺体の分析による検討―」『山梨県考古学協会誌』20、97-114頁

植月学（2013）「甲斐周辺における馬埋葬と頭骨埋納―甲府市朝気遺跡出土のウマ遺体―」『山梨県考古学協会誌』22、170-182頁

大庭重信（2010）「渡来人と麦作」『待兼山考古学論集Ⅱ―大阪大学考古学研究室20周年記念論集―』大阪大学考古学研究室、413-427頁

亀田修一（2003）「陸奥の渡来人（予察）」『古墳時代東国における渡来系文化の受容と展開』平成12年度～平成14年度科学研究費補助金（基盤研究(C)(1)）研究成果報告書、55-65頁

日下宗一郎・覚張隆史（2014）「長原遺跡（NG12-3次調査）出土の人骨および動物骨の安定同位体分析」『長原遺跡発掘調査報告第28冊』、125-128頁

久保和士（1996）「動物遺体の調査結果」『森の宮遺跡Ⅱ』大阪市文化財協会、134-233頁

黒田晃（2000）「剣崎長瀞西遺跡と渡来人」『高崎市史研究』12、1-22

小林行雄（1951）「上代日本における乗馬の風習」『史林』34-4、1-18頁

佐伯有清（1974）「馬の伝承と馬飼の成立」『日本古代文化の探求 馬』社会思想社、119-136頁

澁谷恵美子編（2007）『飯田における古墳の出現と展開』飯田市教育委員会

謝成侠（1977）『中国養馬史』千田英二訳、日本中央競馬会弘済会

杉山陽亮（2008）「北方の馬産地―糠部地域における馬産の一考察―」『牧の考古学』高志書院、199-210頁

積山洋（2007）「牛馬観の変遷と日本古代都城」『古代文化』59-1、40-55頁

積山洋（2009）「考古学からみた被差別民―古代」『』

積山洋（2010）「日本列島における牛馬の大量渡来前史」『日本古代の王権と社会』塙書房、71-84頁

高崎市教育委員会編（2001）『剣崎長瀞西遺跡1』高崎市文化財調査報告書第179集

高島英之（1996）「牧と古代の土地開発」『帝京大学山梨文化財研究報告』7、107-136頁

高橋富雄（1958）「古代東国の貢馬に関する研究―「馬飼」の伝統について―」『歴史』17、14-28頁

高橋富雄（1960）「国造制の一問題―その貢馬の意味―」『歴史学研究』244、1-10頁

田中由理（2010）「馬匹生産地とその性格」『待兼山考古学論集Ⅱ―大阪大学考古学研究室20周年記念論集―』、429-444頁

千賀久（2001）「古墳時代の牧と馬飼集団」『季刊考古学』76、57-60頁
千賀久（2012）「馬と馬具」『講座日本の考古学8 古墳時代（下）』青木書店、148-174頁
千葉美加（2004）「古代東国の牧と貢馬」『岩手史学研究』87、23-48頁
富岡直人（2002）「中半入遺跡出土ウマ遺存体」『中半入遺跡・蝦夷塚古墳発掘調査報告書』岩手県文化振興事業団埋蔵文化財調査報告書第380集、296-301頁
野島稔（1984）「河内の馬飼」『万葉集の考古学』筑摩書房、402-408頁
野村晋一（1997）『概説馬学（新装版）』新日本教育図書株式会社
福田友之（2008）「青森県出土の古代の馬関連資料」『私の考古学ノート―北の大地と遺跡と海にひかれて―』弘前大学教育学部考古学研究室OB会、43-50頁
前沢和之（1991）「上野国の馬と牧」『群馬県史 通史編2 原始古代2』、572-606頁
松井章（1987）「養老厩牧令の考古学的考察―斃れ馬牛の処理をめぐって―」『信濃』39-4、231-256頁
松井章・丸山真史（2014）「日本在来馬の起源」『BIOSTORY』21、14-18頁
松尾昌彦（2008）「馬具から見た東国地域史」『古代東国地域史論』雄山閣、179-204頁
松本建速（2006）「蝦夷と馬」『蝦夷の考古学』同成社、17-28頁
丸山真史（2013）「古墳時代に飼育された馬―近畿地方のウマ遺存体を中心に―」『古墳時代中期の馬生産と鉄生産』古代学研究会2013年度拡大例会シンポジウム資料集、8-18頁
右島和夫（2002）「古墳時代上野地域における東と西」『群馬県立歴史博物館紀要』23、1-20頁
右島和夫（2008）「古墳時代における畿内と東国―5世紀後半における古東山道ルートの成立とその背景―」『研究紀要』13、27-56頁
宮崎重雄（1996）「白井北中道Ⅱ遺跡・吹屋犬子塚遺跡・吹屋中原遺跡の馬蹄跡」『白井北中道Ⅱ遺跡・吹屋犬子塚遺跡・吹屋中原遺跡』群馬県埋蔵文化財調査事業団調査報告第207集、358-369頁
村石眞澄（1998）「甲斐の馬生産の起源―塩部遺跡SY3方形周溝墓出土のウマ歯から―」『動物考古学』10、17-36頁
村石眞澄（2004）「甲斐の馬生産の起源Ⅱ」『山梨考古学論集Ⅴ―山梨県考古学協会25周年記念論文集―』、79-97頁
村岡薫（1984）「律令国家の官牧兵馬政策とその意義」『律令制と古代社会』竹内理三先生喜寿記念論文集上巻、84-109頁
桃崎祐輔（1993）「古墳に伴う牛馬供犠の検討―日本列島・朝鮮半島・中国東北地方の事例を比較して―」『古文化談叢』31、1-141頁
桃崎祐輔（2012）「牧の考古学―古墳時代牧と牛馬飼育集団の集落・墓―」『日韓集落の研究―弥生・古墳時代および無文土器～三国時代―（最終報告書）』日韓集落研究会、535-571頁
桃崎祐輔（2014）「九州地方の馬匹生産について」『考古学ジャーナル』658、10-14頁
森公章（1997）「王臣家と馬」『奈良平安時代史の諸相』高科書店、53-68頁
望月悠佑（2008）「律令国家における駄馬」『続日本紀研究』372、20-39頁
山口英男（1986）「8・9世紀の牧について」『史学雑誌』95-1、1-37頁
山口英男（1989）「古代の牧制」『長野県史 通史編1 原始・古代』、615-626頁
山口英男（1992）「農耕生活と馬の飼育」『新版古代の日本⑧ 関東』角川書店、301-330頁

山口英男（1994）「文献から見た古代牧馬の飼育形態」『山形県史研究』2、27-48頁
山口英男（2004）「御牧の成立」『山梨県史 通史編1 原始・古代』、687-710頁
吉川敏子（1991）「古代国家における馬の利用と牧の変遷」『史林』74-4、24-61頁

奈良文化財研究所研究報告　第17冊
藤原宮跡出土馬の研究

発行日　平成28年3月31日

編集・発行　独立行政法人国立文化財機構　奈良文化財研究所
〒630-8577　奈良市佐紀町247-1

印刷・製本　能登印刷株式会社
〒920-0855　石川県金沢市武蔵町7番10号

ISBN　978-4-905338-66-6