

関中の馬と大和の馬

菊地 大樹, 覚張 隆史, 丸山 真史

はじめに

古代都市と自然環境との関係性を多角的に検証する「東アジアの歴史都市と自然環境—先端科学が拓く「古都・長安学」」において、我々は中国古代王朝を支えた馬匹生産体制が、都市とその周辺環境のなかでどのように運営されていたのか、考古科学的な視点から復元を試みることを担った。古都長安が位置する陝西省の関中盆地は、およそ紀元前 11 世紀以降、西周、秦、漢、唐といった、古代東アジア文化の礎となった歴代王朝が勃興した地である。2008 年以降、我々はこの地で陝西省考古研究院と古代馬の調査を進めており、研究課題採択後、さっそく王煒林院長（当時）に共同研究について相談したところ、快諾してくださった。そして、鶴間和幸先生を日本側の代表とし、村松弘一先生と我々のほか、半澤恵先生、河野友宏先生、石毛太郎先生（東京農業大学）、米田穰先生（東京大学）や太田博樹先生（北里大学）といった、DNA 分析や同位体化学をご専門とする諸先生にも参画していただき、陝西省考古研究院と「従科技考古的視点分析中国古代馬的譜系以及養馬体制」と題した協議書を交わし、2013 年 10 月より正式に共同研究を進めることとなった。

本稿では、その日中共同調査の成果を報告するとともに、古代中国王朝において確立された馬匹生産体制が、その後、我国日本へどのように波及したのか、古墳時代における馬匹生産の地として注目されている、大和（奈良盆地）へも目を向けてみてみたい。（菊地）

1. 考古科学から導き出される馬匹生産体制

今日、文理融合の学際的研究の推進が提唱されるなか、考古学においても理化学分析の積極的な応用が展開している。遺跡から出土した動物骨を分析対象とする動物考古学においても、動物骨の形態学的分析から、大きさ、年齢や性別のほか、利用形態を復元するとともに、理化学分析を組み合わせ、食性分析や成育地の推定から、家畜化や飼養形態などの議論が進

められている。ここでは、近年技術進歩の著しい同位体化学と古代 DNA 分析を中心に紹介する。

1. 動物考古学的分析による生前の様相

遺跡から取り上げられた馬骨は、クリーニング後、各部位の同定をおこなう。そして、形態学的なデータを得るため、Driesch（1976）の計測方法に基づき計測をおこなう。そして、集積した形態データを基に、体高は林田・山内（1957）、年齢については、Cornwall（1956）、Goody（1983）と西中川・松元（1991）を複合的に用いて推定する。また、犬歯の有無による性差判定、馬銜（ハミ）の痕跡といった使役痕の観察も併せてすすめていく。

2. 同位体化学をもちいた給餌形態の復元

近年は、家畜化や飼育形態の復元といった動物考古学研究のなかで、同位体分析が応用されている（Ballasse et al. 1999, Minagawa et al. 2005）。特に、動物遺存体の軽元素の炭素・窒素の安定同位体比は、その動物が生存中に摂取した食物源の推定が可能のため、過去の家畜に対する給餌実態を議論をするうえで重要な情報を提示すると期待されている。

動物考古学で多用されている同位体分析には、骨コラーゲンの安定同位体分析が挙げられる。骨コラーゲンの安定同位体比は、栄養として取りこまれた食物由来のアミノ酸がどの程度コラーゲンに寄与しているかを評価することが可能だが、アミノ酸以外の食物の寄与率を定量的に評価することが困難である（Jim et al. 2004）。たとえば、多くの草食動物は植物など炭水化物の含有率が高く、摂取するアミノ酸の総量は低いため、炭水化物の含有量が少ない高タンパクな食物摂取の影響を大きく受ける。そのため、家畜に給餌した食物の相対的な摂取量を評価する上で高タンパクな食物を多量に摂取していたと誤って解釈するといった問題点がある。

そこでこの問題点を解決するため、骨ではなく、近年では歯エナメル質のハイドロキシアパタイトの炭酸塩に含まれる、炭素（ $\delta^{13}\text{C}$ ）の安定同位体比を測定する技術が蓄積されてきた（Cerling and Harris 1999）。哺乳動物の歯エナメル質に含まれる炭酸塩の炭素原子は、その動物が摂取した全食物に含まれる炭素に由来している。消化されて血液中に溶出した全食物由来の炭素原子は炭酸として血中に溶けており、歯エナメル質の形成過程において血中の炭素がハイドロキシアパタイトの炭酸塩に沈着し、鉱質化する。このため、歯エナメル質の炭素同位体比の変動は、特定の栄養素由来の炭素原子を含むのではなく、可消化炭水化物・脂質・タンパク質に由来する全炭素の炭素同位体比に依存する。歯エナメル質の炭酸塩の炭素はエナメル質に沈着し、鉱質化する過程で同位体分別が生じる。この同位体分別は哺乳動

物においてほぼ一定であることから、歯エナメル質の炭素同位体比から摂取食物の炭素同位体比を算出することが可能である。

摂取食物の全炭素と骨や歯の主成分であるハイドロキシアパタイトの炭素の同位体比の間には12~14%の差が生じる (Ambrose and Norr 1993, Cerling and Harris 1999, Passey et al. 2005)。この差を遺跡出土動物遺存体に適用することで、歯エナメル質の炭酸塩の炭素同位体比から、摂取した食物の炭素同位体比の範囲を定量的に評価することが可能となる。こうした分析手法は、たとえば、1000万年前から現在に至る古環境の復元に利用されるなど、幅広い研究領域に応用されている (Uno et al. 2011)。

植物は、光合成の代謝経路の違いでC3植物(稲, 麦, 大豆など), C4植物(粟, 黍, トウモロコシなど)とCAM植物(砂漠などに生息する多肉植物など)に大別される。東アジアの自然環境下ではC3植物が優占し, C4植物は粟などの一部の栽培植物のみである。また, CAM植物の分布は狭いため, 食物として利用された可能性は極めて低い。炭素同位体比をみると, C4植物は, C3植物よりも6%高い値を示すことがわかっており, 粟といったC4植物を摂取した哺乳動物の歯エナメル質の炭素同位体比は, C3植物を摂取したものよりも明確に高い値を示すと考えられてきた (Bender 1971)。今日では, C3植物を主に摂取していた場合 (C3-dominant) の炭素同位体比は-8%よりも低く, C4植物が主体の場合 (C4-dominant) の炭素同位体比は-2%よりも高い値を示すことがわかっており, その中間値については, C3植物とC4植物のどちらにも偏ることなく, 両者を摂取している (C3/C4 mixing feeder) と定義されている (Cerling and Harris 1999, Uno et al. 2011)。

これまで中国の動物考古学では, 主に骨コラーゲンの炭素・窒素同位体比をもちいて, 家畜などの食性復元を議論してきた (管ほか 2008, Barton et al. 2009, Hu et al. 2014)。骨コラーゲンは, 動物が生存期間において摂取した食物由来のアミノ酸の平均値をもつ (Libby et al. 1964)。一方, 歯エナメル質のハイドロキシアパタイトは, 一度エナメル質の鉱質化が完了すると外部からの炭素供給が止まり, 後に摂取した食物由来の炭素原子の影響を受けない。その形成時期は歯種によって異なっており, 馬は産まれる前の母体中から第1後臼歯 (M1) の形成がはじまり, 第3後臼歯 (M3) 歯根部のエナメル質鉱質化が完了し, 永久歯が完全に生え揃うまでの期間はおおよそ60ヶ月齢を要する。そのため, 臼歯には0歳齢から4歳齢における炭素同位体比の変動が記録されている (Hoppe et al. 2004, 図1)。そこでこの特性を利用し, 臼歯の萌出段階や四肢骨関節部の癒合状態から年齢を推定したのち, 歯エナメル質の形成時期を考慮し, 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, 仔馬の成長過程における給餌実態を復元することが可能であると考え, 分析を試みている。このほか, 飼養地の推定や外部地域からの移入個体の有無を検証するため, ストロンチウム

同位体比の分析も同時に進めている。

ストロンチウム同位体比の分析は、移動した個体の識別する手法としてヒトの移動復元において強力なツールとして利用されてきた（Hodell et al. 2004, Bentley 2006）。

動物が摂取するストロンチウムの起源は地質由来し、岩石に含有するストロンチウムが地下水などに溶解し、飲み水や植物を通じて動物に摂取されて骨や歯に蓄積される。そのため移動した個体の識別に有効な手段となる（Hodell et al. 2004, Bentley 2006）。

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安定同位体が4つ

(^{84}Sr , ^{86}Sr , ^{87}Sr , ^{88}Sr) あり、 ^{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 と自然存在比に近い ^{86}Sr の比率 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) 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などにより様々な値を示す（倉沢 1970, 加々美ほか 2008）。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、堆積年代によって 0.707~0.709 の範囲を示す。

また、ストロンチウム同位体比は、 ^{86}Sr と ^{87}Sr の質量数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ないことがわかっており、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）。そこでこの性質を利用し、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分析は、炭素同位体比の分析でもちいる歯のエナメル質で分析できることから、炭素同位体比と組合せることで、おおまかな時期的変動を捉えることが可能となり、飼育地の移動の有無と合わせて食性の変化も評価することができる。また、同一サンプルで分析できるため、サンプリングによる形態への損傷も最小限に留める利点もある。

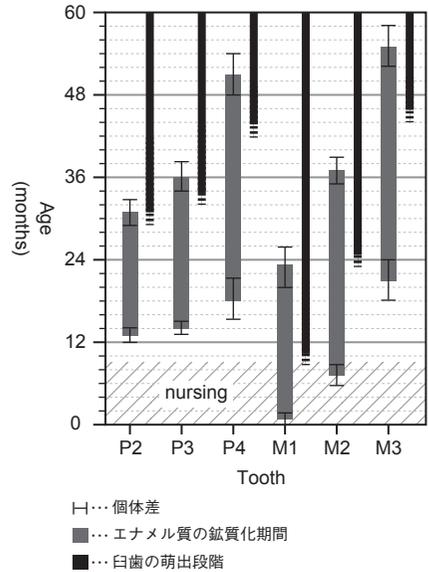


図1 馬歯のエナメル質形成段階
(出典：Hoppe 2004 をもとに筆者改変)

3. 古代 DNA 分析による馬の毛色の復元と次世代シーケンサーによる解析の試み

本プロジェクトでは、馬の生態復元に加えて中国の遺跡出土馬の古代 DNA 分析も進めている。古代 DNA 分析は、遺跡から出土する動物遺存体から直接的に遺伝情報を抽出し、過去から現代までにその動物がたどった遺伝学的な変遷を復元する手法である。古代 DNA 分析から得られた情報は、系統や血縁関係の評価だけでなく、皮膚の色や縮毛といった外部の特徴の復元に役立つ。この古代 DNA 分析は、今日までに様々な技術革新の変遷を辿っており、その技術革新は大まかに二つの項目に大別される。ひとつは、分析対象となる生物のうち、どの様な部位・組織を採取し、分析に用いるかという点、もうひとつは、抽出された古代 DNA をいかに効率よく配列決定するかという点である。

古 DNA 分析は、多様な試料に応用されてきた。1980 年代初頭の博物館標本（ウマ科絶滅動物のクアッガや古代エジプトのミイラなど）の分析に始まり、その後 1990 年代に硬組織である骨や歯の分析が主流となった。2015 年以降になると、ヒトの骨の部位のなかでも側頭骨の一部分や、歯のセメント質を分析対象とすることで、DNA 分析の成功率を飛躍的に向上することに成功している（Pinhasi et al. 2015, Hansen et al. 2017）。

また、古代 DNA 分析の技術的な革新として、「次世代シーケンス技術（Next-Generation Sequencing technology (NGS)）」と呼ばれる技術が備わった DNA 配列決定に用いる分析機器の登場が挙げられる。従来の古代 DNA 分析は、特定の短い DNA 配列を対象にして、人為的にその DNA 配列を増幅させる PCR 法（Polymerase Chain Reaction）を採用してきた。PCR 法は、調べたい DNA の両末端 20 塩基の DNA に対して相補的な人工 DNA（プライマー）を結合させ、特定の DNA 配列のみを選択的に増幅させた後に配列を決定する手法である。対象となる DNA 配列が 1 コピーでも DNA 抽出液に含まれていれば DNA 配列決定が可能であり、極めて高感度な分析手法といえる。しかしながら、古代 DNA 分析では、この超高感度が信頼性の高いデータ取得の弊害となる。なぜなら、古代 DNA 分析を実施する際に、現代の同種生物由来の DNA 分子が混入した場合、PCR 法で増幅させた配列が骨由来の古い DNA 分子か、現代由来の分子かを識別することが不可能になるからである。この問題点を大きく改善したのが、NGS で可能となった古代 DNA 分子の特徴を検出する技術である。

NGS の特徴は、PCR 法とは異なり特定領域の DNA 配列を解読するのではなく、試料から抽出された DNA 溶液の中に含まれる DNA 分子すべての DNA 配列を決定することである。また、PCR 法では両末端にプライマーが結合するために、プライマーが結合する両末端の 20 塩基は古代 DNA 自体の配列を解読することができない。一方、NGS では、プライマーを使用しないため、人工 DNA と古代 DNA の情報が混ざることがないため、古代 DNA 分子の両末端 20 塩基の配列情報が得られる。この末端の配列をみると、古代 DNA 分子の

配列は、対象となる生物には存在しないエラーが多く蓄積されている。一方、ここ 100 年程度で生じた現代生物由来の DNA 分子には、そのエラーがほとんど存在しない。つまり、両末端に存在する配列エラーが古代 DNA 分子と同定するための指標となる。今日では、NGS で DNA 配列情報を取得した後、末端にのみエラーが生じている分子を選別・抽出することで、分析対象生物がもっていた過去の DNA 配列を信頼性の高い情報として解析することが可能となった。

本研究では、初期解析として PCR 法を使用しつつ、NGS 法を用いた古代 DNA 分析の条件見当も合わせて実施し、形質に関する遺伝学的な検討と、NGS に基づく遺跡出土馬の DNA 保存性について報告する。

現在、我々は遺跡から出土した馬骨から DNA を抽出し、当時の馬の毛色を復元する分析を進めている（図 2）。古代 DNA 抽出は、北里大学医学部解剖学教室および金沢大学国際文化資源学研究所の古 DNA 分析専用クリーンルーム内で実施している。古代の試料から DNA を抽出するには、まず、現代の DNA の汚染を低減させる必要があり、はじめに UV クロスリンカーという装置にて、試料を UV 照射する。その後、シリカ粒子もしくは限外濾過フィルターを用いた Rohland・Hofreiter 法（Rohland & Hofreiter 2007）もしくは Gamba 法（Gamba et al. 2014）という DNA 抽出法にもとづき、骨および歯から DNA を抽出・精製する。DNA 抽出された溶液は、さらに、シリカ吸着カラム（QIAGEN 社）という器具をもちいて再精製される。次に、精製された DNA にウマ由来の DNA が含まれているかを検証するために、金沢大学学際科学研究センターにて、ポリメラーゼ連鎖増幅反応（PCR）を実施する。PCR 増幅には、ウマのミトコンドリア DNA（mtDNA）である、特異的なプライマーペア（MT113F および MT113R）を用いる。これらのプライマーにより増幅される断片サイズは 113 塩基対（base pair: bp）で

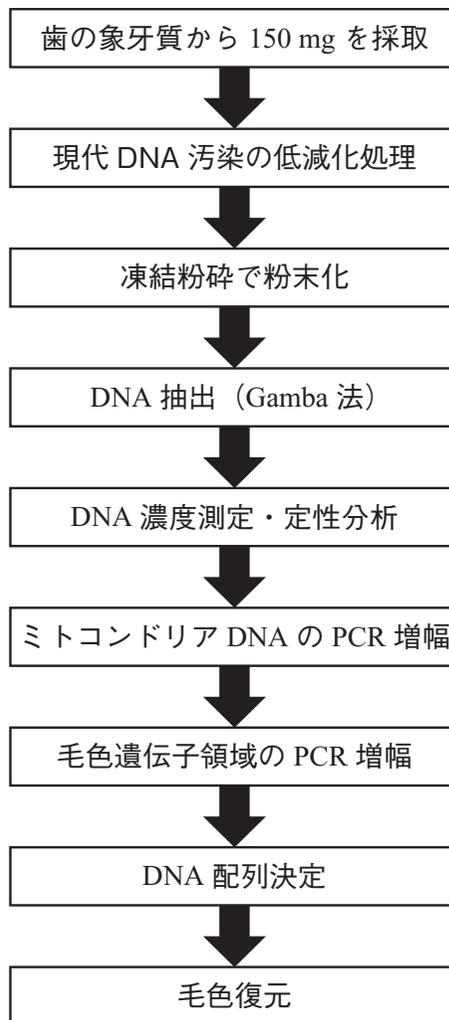


図 2 古代 DNA 分析作業手順
（出典：筆者作成）



図3 東京農薬大学生物資源ゲノム解析センター DNA 自動シーケンサー
(出典：石毛太郎氏提供)

あり、増幅される領域は mtDNA の D-loop 領域となる。そして、毛色に関連する遺伝子に基づいて毛色を推定するために、PCR のための試薬組成および増幅条件を調整し、9 遺伝子座の PCR 増幅および配列決定をおこなう。

アガロース電気泳動およびエチジウムプロマイド染色の後、UV 照射により PCR 増幅が確認された試料の PCR 産物は、DNA 配列決定のために Big Dye v. 3.1 cycle sequencing kit (Applied Biosystems) および PCR の際と同一の各プライマーを用いてシーケンス反応を実施する（直接塩基配列決定法）。反応後の産物は Big Dye X terminator kit (Applied Biosystems 社) を用いて不純物を除去した後に、東京農薬大学生物資源ゲノム解析センターの DNA 自動シーケンサー (ABI3130, Applied Biosystems 社、図 3) を用いて塩基配列を決定する。

PCR 増幅に成功したすべての試料は、直接塩基配列決定法による塩基配列決定を試みる。決定された塩基配列は、基準となる配列 (EqCab2.0) に基づいて比較することで、ウマ mtDNA 配列であることを確認する。また、毛色関連遺伝子である 9 遺伝子の各塩基置換サイト (一塩基多型) の配列を決定し、鹿毛・栗毛・芦毛・青毛といった毛色の遺伝型 (ジェノタイプ) を決定していく。

毛色復元以外に、馬の系統を復元する試みも進めている。現在、mtDNA の D-loop 領域という限られた箇所について先行して分析をおこなっている。しかし、こうした少ない情報から現生の在来馬や他遺跡における母系統との関わりを紡ぎだしていく作業は非常に難しく、母系統を詳細に調べるためには、全 mtDNA 配列の決定を実施していくことが望まれる。そして、母系の系統だけでなく、ゲノム全体から、これらのウマの系統や、毛色以外の形質を

詳細に調べるには、最終的に全ゲノム配列決定をする必要がある。

全 mtDNA 配列決定や全ゲノム解析を実現するためには、DNA 抽出液に少なくとも 1% 以上のウマ DNA が含まれていることが望ましい。しかし、温暖な地域において、従来の DNA 抽出法である Gamba 法では、1% を超える成績を示すことは少ない。さらに、最も DNA の保存状態が良いとされる側頭骨からの DNA 分析はヒトの研究例しかなく、ウマの側頭骨のどの部位を分析に用いればよいか研究例が皆無であった。本研究では、ウマの側頭骨の内耳内表層部と内耳外緻密層からそれぞれサンプリングを実施し、DNA 抽出および NGS による DNA 配列決定を実施した。その結果、内耳内表層部のウマ DNA 含有率は約 1% だったのに対し、内耳外緻密層では約 50% 以上のウマ DNA 含有率を示した。ゲノム解析の基準が 1% であるとしたが、どちらの部位でもゲノム解析が可能であることが示されたことから、今後、遺跡出土馬の全ゲノム解析に基づく中国在来馬の起源研究の進展が期待される。さらに、内耳外緻密層は現生馬のゲノム解析とさほど変わらないコストで全ゲノム解析が可能であり、今後この DNA 抽出液を用いて中国古代馬の個体数の変遷や交雑の過程を追跡できると思われる。（覚張）

II. 中国古代王朝の馬匹生産

中国では、およそ紀元前 14 世紀の殷王朝後期に、突如として馬車に繋がれた大量の馬が出現する。甲骨文字からは、当時すでに殷王朝が養馬技術を備えていたことが窺え、殷墟遺跡出土馬骨の DNA や同位体化学の分析からは、多様な系統のウマが持ち込まれていた可能性が指摘されている（趙 2015, 趙ほか 2015）。その後、西周王朝に受け継がれた馬匹生産体制は、戦乱の春秋戦国時代を経て秦漢王朝で確立していく。しかし、中国古代養馬史については、これまで文献史料の豊富な秦漢王朝を中心に研究が進められており、形成過程にあたる西周時代から春秋戦国時代の実態については、ほとんど不明であった。そこで、我々は上述した考古科学的な分析手法を援用することで、断片的にしか窺い知ることができなかった中国古代王朝の馬匹生産体制像に迫ることとした。

1. 西周王朝の馬匹生産

少陵原西周墓地は、西安市長安区の東南およそ 5 km に位置し、西周前期から後期の墓 429 基、馬坑 3 基と仰韶時期の灰坑 12 基が検出されている（陝西省考古研究院 2009）。3 基の馬坑は I 区から V 区まである墓域の III 区と V 区で発見され、そこから計 10 個体の馬が出土している。1 号馬坑（K1）からは 6 個体、2 号馬坑（K2）と 3 号馬坑（K3）からはそ

れぞれ2個体ずつ馬が出土した。

1号馬坑には、草木で編まれた蓆上に、犠牲馬6個体が折り重なるように埋葬されていた。1,2,4号馬は、それぞれ完全な状態で取り上げられたが、3,5,6号馬は一部が混在した状態であった(菊地ほか2014, 図4)。そのため、整理作業時に歯冠高計測値および四肢骨の骨端癒合段階などから判断して個体を選別した。

1号馬坑に埋葬された馬はほとんどが仔馬であったが、参考値も含めると推定体高域は132~142 cmとなる。また、性別が確認できた個体はすべてオスであった。2号馬坑からは、2歳以下の仔馬と11~12歳のオスの牡馬が埋葬されており、牡馬の推定体高はおおよそ132 cmとなる。また、3号馬坑には15~16歳と18~19歳の老馬が埋葬されており、うち1個体はメスであった。推定体高は132~136 cmとなる。メスの老馬には、左右の下顎第2前臼歯(P2)咬合面中央に、歯列と直交する方向で幅0.8~0.9 mm、断面半円形を呈する磨滅痕が確認された。これは馬銜の咬合わせ不良によって生じたものと推察される。さらに、側面から下顎の歯列を観察すると、第4前臼歯(P4)と第1後臼歯(M1)を境に前後の歯列が異常に咬耗しており、その痕跡は左右の歯列で共に確認できることから、ストレスが生じる環境で飼養管理された際に生じる異常咬耗の可能性が想定された。

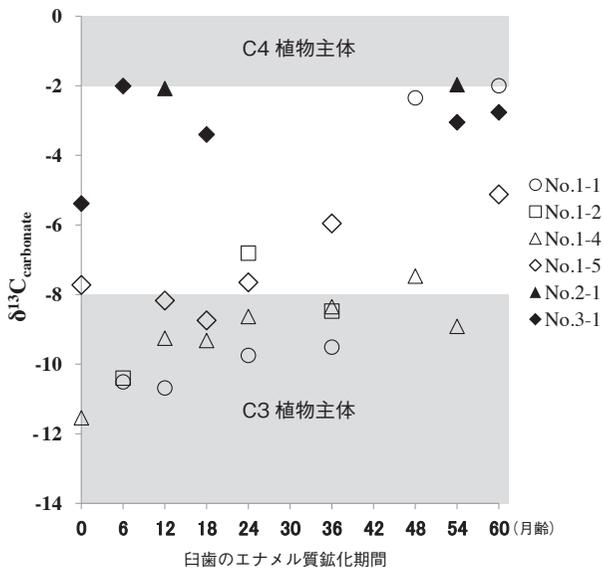
このように、少陵原西周墓地出土馬は132~142 cmと、一般的な蒙古馬系統の中型馬の体高域にあり、西周時代の他の遺跡出土馬の体高域とほぼ同じであった(菊地2013)。そして、若馬のほか、仔馬やメスの老馬が確認され、老馬にはストレスマーカーも認められた。こうした人為的な家畜管理の様相が垣間見えたことから、飼養管理の具体像を探るため同位体化学を応用した食性分析を実施した。

出生時から全臼歯萌出完了までの変遷を網羅できる後臼歯(M1, M2, M3)を中心として、馬歯のエナメル質の形成期間を考慮し、歯冠と歯根部分からサンプリングして炭素同位体比の変遷を捉えた。分析可能な6個体の分析結果は、1号馬坑の1号馬(No. 1-1)が $-10.7\sim -2.0\%$ 、2号馬(No. 1-2)が $-10.4\sim -6.8\%$ 、4号馬(No. 1-4)が $-11.5\sim -7.5\%$ 、5号馬(No. 1-5)が $-8.7\sim -5.1\%$ であった。また、2号馬坑および3号馬坑は、それぞれ、牡馬(No. 2-1)が $-2.1\sim -2.0\%$ 、老馬のメス馬(No. 3-1)が $-5.4\sim -2.0\%$ となる。分析結果をみると、1号馬坑出土馬の0~2歳齢に形成された部位の炭素同位体比は、大半が -8% 以下であり、主にC3植物に依存していたと考えられる。また、1号馬を除いた3個体は、 -2% 以上の炭素同位体比を示さなかったことから、1歳齢以降もC4植物に強く依存していなかったと考えられる。一方、1号馬は3~4歳齢の間に急激なC4植物の摂取比率の上昇が確認された。このほか、2号馬坑のオスの牡馬と3号馬坑のメスの老馬は、1~4歳齢の間で一貫してC4植物に強く依存しており、1号馬坑の1号馬にみられるような

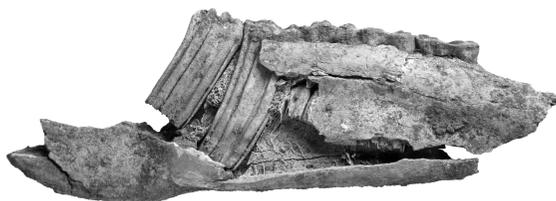
関中の馬と大和の馬（菊地）



少陵原西周墓地 1号馬坑



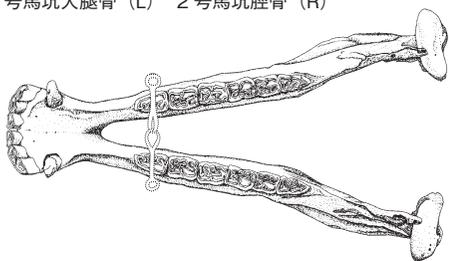
2号馬坑大腿骨（L） 2号馬坑脛骨（R）



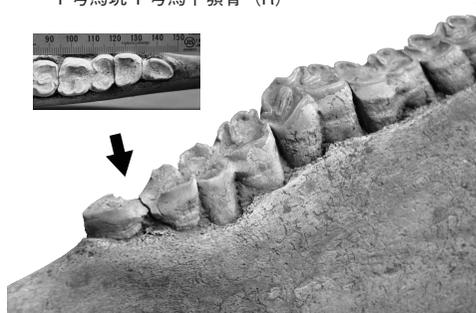
1号馬坑 2号馬下顎骨（R）



1号馬坑 1号馬下顎骨（R）



下顎第二前臼歯磨減痕から想定される利用形態



3号馬坑下顎骨（L）

図4 少陵原西周墓地出土馬骨と炭素同位体比の分析結果
 (出典：遺構写真は陝西省考古研究院 2009 より転載。その他は筆者撮影と作成)

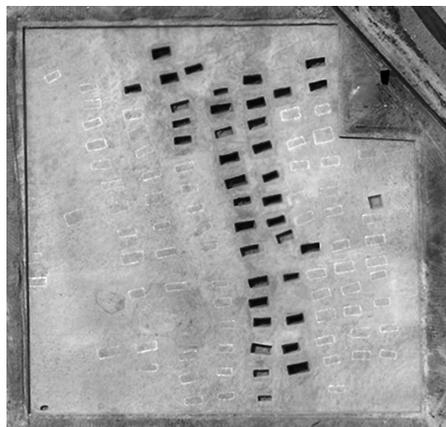
時期的変化は認められなかった。

仔馬たちが野草を代表とする C3 植物を摂取していた値は、通常、草原地帯のように自由に牧草を食んでいた自然放牧の飼養形態が想定される。一方、オスの牡馬やメスの老馬にみられた雑穀を代表とする C4 植物の高摂取率や、仔馬の成長過程で C4 植物の摂取率が急激に上昇する現象を捉えた結果は、放牧を主体としない人為的な飼養環境を考えなくてはならない。西周時代中期には、すでに秦漢王朝にみる馬匹生産体制の萌芽的な制度が垣間見えることが指摘されており（菊地 2012）、少陵原西周墓地遺跡における考古科学分析は、それを強く肯定するものとなった。

2. 戦国時代秦国の馬匹生産

閻家寨遺跡は咸陽市にある西安咸陽国際空港そばに位置し、37 基の祭祀坑が発見されている（図 5）。祭祀坑にはそれぞれ馬が一頭ずつ埋葬されており、出土遺物から祭祀坑の年代は戦国中期後葉と推定される。この祭祀坑群の南側には、秦恵文王の子である武王の永陵に比定される司家莊秦陵が位置していることから、祭祀坑群は永陵に属するものであると推定される。我々はそのうち 33 基から取り上げられた馬骨の分析をおこなった。体高推定可能な個体は 24 個体であった。分析結果は 125~151 cm と蒙古系統馬の中型から大型馬の体高域に収まり、そのうち半数以上が 140 cm 以上の大型馬であった。推定年齢可能な 32 個体は、3~5 歳が 11 個体、5~10 歳が 19 個体、12~13 歳が 2 個体と、ほとんどが若馬であり、性別確認可能な個体はすべてオスであった。少陵原西周墓地出土馬にみられたストレスマーカーについても注視したが、特異な痕跡は認められなかった。次に、少陵原西周墓地出土馬と同様、馬歯のエナメル質の同位体分析を実施した。閻家寨遺跡では、炭素同位体比のほか、酸素同位体比とストロンチウム同位体比の変遷もあわせてみることにした。

同時代の古典籍や出土文字資料には、馬を飼養する「牧」の存在や馬の授受や売買にかんする記載が散見される。たとえば『周礼』夏官廋人には、王の厩舎で飼われている馬に、年齢に応じて 2 歳で去勢、3 歳で訓練をはじめることが記されており、少陵原西周墓地出土馬には、2~3 歳にかけて C4 植物の摂取比率が増加する仔馬が確認でき、他の仔馬とは異なった環境下での飼養が示唆された。日本ではストロンチウム同位体分析による馬の移動復元がすでに試みられており（覚張 2009, 青柳ほか 2016）、同一サンプルで分析可能という利点もある。また、酸素同位体比も移動復元に有効な同位体であり、こちらも同じサンプル内で分析できることから、三者を合わせて測定することで、食性変遷と移動の関係を検証することにした。ほとんどの個体は保存状態が良く臼歯が植立していたため、サンプリング可能な遊離歯が選択できる個体は 9 個体であった。



閻家寨遺跡全景



18号祭祀坑

図5 閻家寨遺跡
(出典：曹龍氏提供)

分析結果は、 $\delta^{13}\text{C} = -4.2 \pm 1.8\%$ （炭素）、 $\delta^{18}\text{O} = -6.4 \pm 0.3\%$ （酸素）、 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.71124 \pm 0.00010$ （ストロンチウム）であり^[1]、まず、炭素同位体比の変動を評価すると、①生後～4歳まではほぼC3植物を摂取している個体、②生後～1歳までC3植物食の摂取率が高いものの、2歳頃からC4植物の摂取比率が高くなる個体、③生後～4歳まではほぼC4植物を摂取している個体が認められた。多くが②に集中しており、次にストロンチウム同位体比の変動を検証したところ、炭素同位体比で2歳以降C3植物から完全にC4植物の摂取が主体となる特徴的な個体（K19）に、食性変遷と連動するように飼育地が移動した可能性がみられた。この特異な傾向を示す個体に注目しつつ、酸素同位体比との整合性を評価したところ、こちらもほぼ一致していることが明らかとなった。

湖北省雲夢県睡虎地からは、秦の法律および法律関連文書が書かれた竹簡 1155 枚が被葬者とともに発見され（雲夢睡虎地秦墓編写組 1981）、「睡虎地秦簡」と名付けられたこれら竹簡には、秦が実施していた馬匹生産にかかわる政策の一端を知ることができる（睡虎地秦墓竹簡整理小組編 1990）。田律や倉律などには、大量の家畜を維持するための飼葉、藁や穀類を徴収していたことが記されており、給餌される飼料は厳格に管理されていたことがわかる。また、駅伝制が整備されていた当時、各地を往来する伝馬といった労働力が求められる使役馬には、栄養価の高い雑穀類が労役に応じて支給されていた。閻家寨遺跡の分析結果では、ほとんどの馬が成長するに従いC4植物の摂取率が上昇していることは、調教がはじまり、徐々に労役を課せられる割合が高まった結果とも考えられる。このほか、秦律の法律答問には、個人でも馬を所有していたことが窺え、古典籍には成長に応じた飼養段階が準備されていたと記されていることから、出生時とその後で飼育地が移動していた個体が認められ

たことは、歴史学からみる秦国の馬匹生産体制像を補強するものとなった。

3. 中国古代における馬匹生産体制の形成

西周時代と戦国時代それぞれの遺跡から出土した馬骨の分析結果を報告した。これまで中国古代養馬史研究は、秦漢時代を中心として歴史学に牽引されてきた。一方、文献史料の乏しい先秦時代の馬匹生産についてはその具体像を提示することが難しかったが、今日進展の著しい考古科学を援用することで、その一端を垣間見ることが可能となった。実際に遺跡から出土した馬骨からは、当時利用されていた馬の大きさ、年齢構成や性別のほか、飼養管理下における給餌実態を読み解くことが可能となり、こうした情報は新たな研究視角を提起するものである。また、西周王朝では、すでに馬の生態を熟知した飼養管理がはじまっていたことが認められるものの、いまだ萌芽的であった。一方、戦国時代の秦国では、離乳期から調教開始時期の間に、雑穀類を代表とするC4植物の摂取率が大幅に上昇する傾向が確認され、個体差があるもののそうした動向が同調していく様相を捉えることが出来た。こうした飼育技術の発展段階的な状況は、その後の厳格な制度下で馬を飼養管理する馬匹生産体制を確立させた秦漢王朝への形成過程と評価することができる。また、『周礼』や『礼記』といった古典籍や、「睡虎地秦簡」を代表とする簡牘に馬の授受や売買の内容が記されているが、こうした馬の移動が盛んであった可能性が閻家寨遺跡出土馬から窺えたことも、本研究の成果のひとつとなる。馬の管理は広大な敷地を要することから1か所で飼養管理することは難しく、王都直属の牧（官牧）と一般集落（私的な牧）というような、性格の異なる複数の牧の存在が想定される。今後、分析データが蓄積することにより、馬を介したネットワークの提示が可能となろう。（菊地）

III. 古墳時代の馬匹生産

日本の国家形成期にあたる古墳時代は、韓半島系の渡来集団が保持した高度な技術の移植により、手工業生産がめざましい発展を遂げたことが判明しつつある（青柳編 2012）。本州・九州では、馬の本格的な普及が古墳時代中期（5世紀前半～中半）のことであり（松井・丸山 2014・丸山 2016）、乗馬の風習を伴って馬が渡来したと考えられ（小林 1951）、古墳時代の王権の基盤を構成する重要な要素のひとつとして、馬の生産およびその利用は注目されてきた。王権中枢の所在は大和と河内にまたがるが、今回は大和（奈良盆地）における馬利用について報告する。

日本の古墳時代は、一般的にはウマ遺存体は散乱状態で出土するが、大阪府部屋北遺跡や

長野県宮外垣遺跡などの全身埋葬例がある。奈良盆地も同様であり、橿原市南曾我遺跡で全身埋葬が指摘され（村田編 2012）、それ以外の遺跡では散乱状態での出土である。馬は最終的には解体されることが一般的であり、後述する南郷大東遺跡や十六面・薬王寺遺跡では明瞭な解体痕が見られることから、食用となった可能性が指摘できる。特殊な事例として田原本町唐古・鍵遺跡があり、廃絶した井戸の埋め立て最終段階で、容器に入れられた状態と考えられる馬骨が出土している（丸山・藤田 2014）。年齢は生後4～5年、オス、日本在来馬の中型馬に相当する体格であり、祭祀に伴う馬の犠牲を想定できる。共伴する土器群から5世紀前半に位置づけられており、奈良盆地では馬が普及し始めた段階の馬利用の様相を示す。

唐古・鍵遺跡から南西に3 km 程度離れた十六面・薬王寺遺跡では、5世紀中頃の土坑から馬骨が散乱状態で出土している（青柳・丸山編 2017）。馬骨は6頭分と推定され、若齢馬2個体、壮齢～老齢馬4個体と推定される。臼歯列、四肢骨から推定される体高は、日本在来馬の中型馬に相当する。祭祀に関連する木製品、鹿角製品、完形の土器、海産魚貝類が共伴することや、馬の下顎骨や寛骨には明瞭な解体痕が見られる。御所市の南郷大東遺跡では、5世紀中頃の木槿を使用した祭祀遺構から馬歯・馬骨が出土している。馬歯・馬骨は祭祀遺構としての機能を終えた後の所産と考えられる。幼齢・若齢馬の占める比率が高く、乳歯と思われる上顎臼歯1点も出土している。解体痕が見られる上腕骨があり、意図的に屠殺されたことが想定される（丸山・青柳 2015）。体格は、小型馬、中型馬に相当する個体がある。

これらの遺跡のうち、十六面・薬王寺遺跡と南郷大東遺跡から出土した馬歯の安定同位体分析を行った。十六面・薬王寺遺跡では、3個体のストロンチウム安定同位体の測定を行ったところ、外部からの移入を示す個体は見られなかったが、南郷大東遺跡では13個体のうち2個体は東日本で成育した可能性が高い個体であることが明らかになった（覚張 2017）。このような東日本から移入された可能性のある個体は、繁殖地が遠隔地にあることを示唆する。炭素同位体の測定では、十六面・薬王寺遺跡で2個体のうち1個体がC4植物を比較的多く摂取していることが明らかになった。南郷大東遺跡の炭素同位体比では、36月齢（生後3年）以後で、9個体はC4植物の摂取量が比較的多く、その他を含めて大部分の個体にC4植物摂取率は上昇傾向が見られるが、2個体は変化が見られない。日本の野生植物でC4植物は稀であり、生後3年頃から雑穀を含む餌を摂取したことが考えられる。

以上の奈良盆地の古墳時代の遺跡から出土したウマは、幼齢から老齢まで幅広い年齢層で構成されるが、若齢、壮齢個体、すなわち働き盛りで死んだ馬が多くいることがわかる。出土状況、遺構の性格、共伴遺物を考え合わせると、祭祀に伴う犠牲であったことが推測され、前述のように解体痕がみられることから、最終的には解体、食用となったものがあったと考えられる。その中には、東日本から連れて来たウマもあり、また栽培植物である雑穀を含む

餌を人為的に与えた可能性があることから、自然放牧ではなく一定の管理のもと飼育されていたことが推測される。

ウマが日本列島に普及しはじめた5世紀中頃には、ウマの飼育・管理、奈良盆地への供給が可能となっており、働き盛りのウマを屠殺するだけの繁殖技術も備わっていたと推定される。ウマが渡来しはじめた5世紀前半には、乗馬技術だけでなく、飼育・管理などの馬文化がセットとして伝わっていたことが指摘される。(丸山)

おわりに

関中盆地で確立された馬匹生産体制は、秦漢王朝以降、領域拡大とともに周辺へ伝播していく。東アジア馬文化の東端にあたる日本へは、馬は朝鮮半島を經由して日本の国家形成期にあたる古墳時代(5世紀)によく乗馬技術とともに渡来し、その後、急速に全国へ普及する様相がみられる。その背景には、飼養管理体制を含めて伝わっていたことが動物考古学から指摘されており、給餌形態に注目すると、大和盆地の南郷大東遺跡の分析結果では、2~3歳にかけてC4植物の摂取率に上昇が認められるという。このほか、古代の豪族居館が発見された群馬県三ツ寺遺跡出土馬でも、粟といった雑穀類を給餌されていた可能性が示唆されている(覚張 2015)。日本ではC4植物の自生が稀であることから、C4植物の摂取および摂取率の上昇は、敢えて雑穀類を給餌する技術が用いられたことを意味し、すなわち大陸由来の養馬技術が伝わってきたことを示唆する。また、古墳時代には、広範囲において馬が移動していたことがストロンチウム同位体分析から明らかとなっており、こうした王権を中心とした馬匹生産体制の維持は、日中ともに共通する現象として捉えることができる。しかし、祭祀に伴う犠牲をみると、少陵原西周墓地や閩家寨遺跡のように全身骨格をともなって埋葬される中国に対し、日本では解体、食用となる事例が確認されるなど、利用形態に差が認められる。こうした差異については、さらに当時の社会的背景を追求する必要があるが、ともに馬の消費を支える生産基盤が備わっていたことは確かであろう。いまだ分析データの蓄積に乏しく予察的な結論ではあるものの、本プロジェクトを通じて、動物考古学と理化学分析を融合させることで、古典籍や出土文字資料からでは窺い知ることができなかった新たな馬匹生産体制像を提示することが出来た。今後、更にデータを蓄積していくことで、古代東アジアにおける馬匹生産体制像の復元を目指したい。古代DNA分析による毛色の復元については現在解析中であり、結果が出た段階で改めて報告する次第である。

謝辞

本稿をまとめるにあたり、プロジェクト代表の鶴間和幸先生、村松弘一先生や学習院大学長安学プロジェクトの皆様、資料提供をしてくださった孫周勇院長、王煒林前院長をはじめとする陝西省考古研究院の先生方、また、分析協力の各研究機関に末筆ながら感謝申し上げます。尚、本研究は、平成25年度～平成29年度文部科学省私立大学戦略的研究基盤形成支援事業「東アジアの歴史都市と自然環境—先端科学が拓く「古都・長安学」(研究代表者：鶴間和幸)」(事業番号：S1391002)、平成29年度～平成31年度科学研究費補助金基盤研究(C)「春秋戦国時代の馬匹生産体制形成過程にかんする実証的研究(研究代表者：菊地大樹)」(課題番号：17K03207)、平成27年度～平成30年度若手研究(A)「新規データに基づく東アジアにおける家畜化および家畜利用に関する総合的研究(研究代表者：覚張隆史)」(課題番号：15H05348)、平成29年度～平成31年度若手研究(B)「古墳時代の馬飼いに關する動物考古学的研究(研究代表者：丸山真史)」(課題番号：17K13569)、平成26年度～28年度基盤研究(C)「国家形成期における馬の飼育と利用に関する基礎的研究(研究代表者：青柳泰介)」(課題番号：26370911)による研究成果の一部である。

注

- [1] 閭家寨遺跡の分析結果については、菊地大樹・曹龍・耿慶剛・覚張隆史「閭家寨遺跡出土馬骨研究」『考古与文物』(待刊)を参照されたい。

参考文献

(日文)

- 青柳泰介編(2012)『集落から探る古墳時代中期の地域社会—渡来文化の受容と手工業生産—』古代学研究会
- 青柳泰介・覚張隆史・丸山真史(2016)「南郷大東遺跡から出土した馬歯の化学分析—安定同位体分析による食性および生育環境の復元の試み—」『青陵』146号, pp. 1-3
- 青柳泰介・丸山真史編(2017)『国家形成期の畿内における馬の飼育と利用に関する研究』榎原考古学研究所
- 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)「在来馬と人間とのかかわり」『BIOSTORY』vol. 11, pp. 27-35
- 覚張隆史(2015)「歯エナメル質の炭素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』第32号, pp. 25-37
- 覚張隆史(2017)「同位体化学に分析に基づく遺跡出土馬の生態復元」『国家形成期の畿内における馬の飼育と利用に関する研究』榎原考古学研究所, pp. 27-36
- 菊地大樹(2012)「先秦養馬考」『文化財論叢IV』奈良文化財研究所, pp. 871-892
- 菊地大樹(2013)「中国先秦時代馬の様相」『動物考古学』第30号, pp. 153-170
- 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』第14号, pp. 85-102
- 倉沢一(1970)『同位体地質学』ラティス丸善

- 小林行雄 (1951) 「上代日本における乗馬の風習」『史林』第34巻第3号, pp. 1-18
- 西中川・松元 (1991) 「遺跡出土骨同定のための基礎的研究—とくに在来種および現代種の骨, 歯の計測値の比較—」西中川駿編『古代遺跡出土骨からみたわが國の牛, 馬の渡来時期とその経路に関する研究』鹿児島大学農学部, pp. 164-188
- 林田重幸・山内忠平 (1957) 「馬における骨長より體高の推定法」『鹿児島大学農学部学術報告』第6号, pp. 146-156
- 松井章・丸山真史 (2014) 「日本在来馬の起源」『ビオストーリー』vol. 21, pp. 14-18
- 丸山真史・藤田三郎 (2014) 「唐古・鍵遺跡出土の古墳時代中期の馬骨について」『田原本町文化財調査年報22』田原本町教育委員会, pp. 149-156
- 丸山真史 (2016) 「古墳時代の馬の普及と飼育・管理」『古代学研究』208 古代學研究會, pp. 12-19
- 丸山真史・青柳泰介 (2015) 「南郷大東遺跡の馬」『青陵』143号, pp. 1-3
- 村田裕介編 (2012) 『南曾我遺跡』元興寺文化財研究所

(中文)

- 雲夢睡虎地秦墓編写組 (1981) 『雲夢睡虎地秦墓』文物出版社
- 管理・胡耀武・胡松梅・孫周勇・秦亜・王昌燧 (2008) 「陝北靖辺五庄果櫟動物骨の C 和 N 穩定同位素分析」『第四紀研究』第28巻第6期, pp. 1160-1165
- 睡虎地秦墓竹簡整理小組編 (1990) 『睡虎地秦墓竹簡』文物出版社
- 陝西省考古研究院 (2009) 『少陵原西周墓地』科学出版社
- 趙欣 (2015) 「殷墟出土家馬遺存線粒体 DNA 的研究」第六回全國動物考古学研討会會議資料集 (中国重慶市)
- 趙春燕・李志鵬・袁靖 (2015) 「河南省安陽市殷墟遺址出土馬与猪牙釉質的鋇同位素比值分析」『南方文物』2015年第3期江西省文物考古研究所, pp. 77-80

(英文)

- Ambrose S. H. and L. Norr (1993) “Experimental evidence for the relationship of the carbon isotope ratios of whole diet and dietary protein to those of bone collagen and carbonate” eds. J. B. Lambert and G. Grupe, *Prehistoric Human Bone*, Springer-verlag Berlin Heidelberg, pp. 1-37
- Ballasse M., H. Bocherens, A. Mariotti (1999) “Intra-bone variability of collagen and apatite isotopic composition used as evidence of a change of diet” *Journal of Archaeological Science*, vol. 26, issue 6, pp. 593-598
- Barton L., S. D. Newsome, F. Chen, H. Wang, T. P. Guilderson, and R. L. Bettinger (2009) “Agricultural origins and the isotopic identity of domestication in northern China” *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 106, no. 14, pp. 5523-5528
- Bender M. M. (1971) “Variations in the $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios of plants in relation to the pathway of photosynthetic carbon dioxide fixation” *Phytochemistry*, 10, pp. 1239-1245
- Bentley, R. A. (2006) “Strontium isotopes from the earth to the archaeological skeleton: A review” *Journal of Archaeological Method and Theory* 13, pp. 135-187
- Blum, J. D., Taliaferro, E. H. Weisse, M. T. Holmes, R. T. (2000) “Changes in Sr/Ca, Ba/Ca and $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 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. and Chadwick, O. A (1998) “Strontium isotopes as tracers of ecosystem processes: theory and methods” *Geoderma*, 82, pp. 197-225

- Cerling T. E. and J. M. Harris (1999) "Carbon isotope fractionation between diet and bioapatite in ungulate mammals and implications for ecological and paleoecological studies" *Oecologia*, 120, pp. 347-363
- Cornwall I.W (1956) *Bornes for the Archaeologist*. J. M. DENT & SONS LTD. London
- Driesch, A. von den (1976) *A Guide to the Measurement of Animal Bones from Archaeological Sites*. Peabody Museum Bulletins 1 Harvard University
- 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
- Gamba. C. et al. (2014) "Genome flux and stasis in a five millennium transect of European prehistory" *Nature communications*, 5: 5257, pp. 1-9 (Online paper)
- Goody, P. C (1983) *Horse Anatomy*. J. A. Allen & Company Ltd. London
- Hansen, H. B. Damgaard, P. B. Margaryan, A. Stenderup, J. Lynnerup, N. Willerslev, E. and Allentoft, M. E (2017) "Compering ancient DNA preservation in petrous bone and tooth cementum" *PLOS ONE*, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0170940> (Online paper)
- Hodell D. A, R. L Quinn, M. Brenner, G. kamenov. (2004) "Spatial variation of strontium isotopes ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) in the Maya region: a tool for tracking ancient human migration" *Journal of Archaeological Science* 31 (5): 585-601
- Hoppe A. K., S. M. Stover, J. R. Pascoe and R. Amundson (2004) "Tooth enamel biomineralization in extant horses: implications for isotopic microsampling" *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* vol. 206, pp. 355-365
- Hu Y., S. Hu, W. Wang, X. Wu, F. B. Marshall, X. Chen, L. Hou and C. Wang (2014) "Earliest evidence for commensal processes of cat domestication" *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 111, no. 1, pp. 116-120
- Jim S., S. H. Ambrose, R. P. Evershed (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*, vol. 68, issue 1, pp. 61-72
- Libby W. F., R. Berger, J. F. Mead, G. V. Alexander and J. F. Ross (1964) "Replacement rates for human tissue from atmospheric radiocarbon" *Science*, vol. 146, pp. 1170-1172
- Minagawa M., A. Matsui, and N. Ishiguro (2005) "Carbon and nitrogen isotope analyses 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
- Passey B. H., T. F. Robinson, L. K. Ayliffe, T. E. Cerling, M. Sponheimer, M. D. Dearing, B. L. Roeder, J. R. Ehleringer (2005) "Carbon isotope fractionation between diet, breath CO₂, and bioapatite in different mammals" *Journal of Archaeological Science*, vol. 32, issue 10, pp. 1459-1470
- Pinhasi, R. Fernandes, D. Sirak, K. Novak, M. Connell, S. Alpasalan-Roodenberg, S. Gerritsen, F. Moiseyev, V. Gromov, A. Raczky, P. Anders, A. Pietruszewsky, M. Rollefson, G. Jovanovic, M. Trinhhoang, H. Bar-Oz, G. Oxenham, M. Matsumura, H. and Hofreiter, M (2015) "Optimal ancient DNA yields from the inner ear part of the human petrous bone" *PLOS ONE*, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0129102>, (Online paper)
- Rohland. N. & Hofreiter. M. (2007) "Comparison and optimization of ancient DNA extraction" *BioTechniques*, 42, pp. 343-352
- Uno K. T., T. E. Cerling, J. M. Harris, Y. Kanimatsu, M. G. Leakey, M. Nakatsukasa and H. Nakaya (2011) "Late Miocene to Pliocene carbon isotope record of differential diet change among East African herbivores" *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 108, no. 16, pp. 6509-6514

(きくち ひろき 中国社会科学院考古研究所・日本学術振興会海外特別研究員)
(がくはり たかし 金沢大学国際文化資源学研究所・助教)
(まるやま まさし 東海大学海洋学部・講師)