

ヒマラヤにおけるミタンの利用 —ブータンの交雑家畜の遺伝学研究から—

川本 芳¹⁾、タシ ドルジ²⁾、稲村哲也³⁾

1) 京都大学霊長類研究所

2) ブータン農業省畜産局

3) 愛知県立大学外国語学部

ヒマラヤ南部にはウシ科家畜のミタンが広く分布する。ブータンではミタンがアルナーチャルブラデーシュから輸入され、在来牛との交雑で得る雑種が全国的に搾乳や農耕に利用されてきた。ミタンやその雑種は森林環境に高い適応性を発揮する。ブータンでは伝統的な交配システムにより多様な雑種が生産されてきた。雑種は移牧に供され、亜熱帯から温帯の森林を利用した牧畜が行われている。本稿ではヒマラヤ地域におけるミタンの利用を概説し、森林国における交雑家畜を利用した畜産の特徴を紹介する。さらに、ブータンの在来牛集団へのミタン遺伝子の浸透とミタンの家畜化起源を調べるために行った集団遺伝学的研究の成果について説明し、ヒマラヤにおけるユニークな家畜利用の事例について考える。

はじめに

現代人の祖先は出アフリカ^{1,2)}に続き10万年に満たない時間で人口を増加させ、世界のさまざまな地域にその分布を拡大した^{3,4)}。近年のゲノムやDNAの分析から、先行した人類との混血や、大陸間移動の実態にメスが入り、複雑な拡大の歴史をもつことが明らかになってきた⁵⁻⁹⁾。

たかだか数万年という短い進化時間で拡散した祖先たちの一部は、高地環境に適応し、そこにある環境を改変し、高地に特異的な動植物資源を自分たちに都合よく取り込んで利用してきた。生物学的にみると、こうした高地への環境適応における野生動植物のドメスティケーションは、新たな環境に適応する進化戦略とみなすことができる。こうした戦略は人類に特異的であり、遺伝適応とは異なる文化適応として、重要な研究課題である^{10,11)}。また、高地におけるドメスティケーションと文化適応の関係を探る研究は、高地に適応した人たちの生活さらには高地文明を理解するうえでも興味深いテーマである¹²⁾。

動物のドメスティケーション、つまり家畜化の場合、人が成功した大半はユーラシア産の動物である。「家畜化できている動物はどれも似たものだが、家畜化できていない動物はいずれもそれぞれに家畜化できていないものである」という表現で、アンナ・カレーニナの原則と呼ばれる問題が議論されている¹³⁾。シ

マウマが家畜化されなかった原因を考える場合に、その原因はアフリカ先住民側にあるのではなく、野生のシマウマが家畜化で必要とされる条件を満たしていなかったことが原因という考え方である。家畜化が成功する条件を考えると、餌、成長速度、繁殖、気性やパニックになりにくい性格（慣れやすさ *tameness*）、順位性のある集団を作らない社会性、といった問題への順応性が影響する。ユーラシアの低地民は、おそらくたまたま他の大陸の人たちより家畜化できる中型・大型の草食性哺乳類を受け入れて家畜化できたと考えられている。こうした結果が、ウマ、ウシ、スイギュウ、ヤギ、ヒツジなどの家畜化につながり、家畜化センターからの拡大は、他所の人たちの生存を助けてきた。しかし、こと高地の話になると状況は違ってくる。それは、高地が低地と異なる環境のため、進出した人たちが暮らそうとしたときに、低地の家畜を簡単には利用できないという制約をとまなう環境だったと想像されるからである。

ウシやヒツジなどのように二次的に高地に順応した品種が改良・利用される例を除けば、草食獣家畜の多くでは家畜化センターからの拡大環境に限られている。しかし、高地に適応しようとした人間の中には、新しい環境に適応する中で、そこに生息する野生動物を家畜化し、それらを取り込んだシステム

を生活の基盤にする者(牧民)が現れた。そうした典型が、チベットでのヤク yak の家畜化と、アンデスでのラクダ科動物の家畜化(ゲアナコ guanaco とビクーニャ vicuña からのリヤマ llama とアルパカ alpaca の家畜化)である(図1)。

アジアの山岳地帯、特にヒマラヤ南斜面とその周辺地域では、さらにもうひとつ別の家畜の利用が発展した。それがミタンと呼ばれる家畜である(図1)。ミタンは地域によってガヤール Gayal (インド)、シア Sia (ミャンマー西部)、デュロン Dulong (中国雲南省)と呼ばれ、学名では *Bos frontalis* と記載される¹⁴⁾。インドの場合、Bengali や Hindi では Gayal、Assamese では Mithun と呼ぶ。日本語ではミタンと書くが、英語では Mithun、Mithan、Mythun と違った綴りが使われることがある。

ブータンにもともとミタンはいなかった。ブータンにミタンを供給してきたのはインドのアッサム州の北部に位置するアルナーチャル・プラデーシュ Arunachal Pradesh である。1783年のチベット旅行に関する記述¹⁵⁾に他所から運ばれてきたミタンがあるのを引用し、Simoons & Simoons¹⁴⁾はブータンのミタンはアルナーチャル・プラデーシュからの輸入だと想像している。少なくとも200年以上にわたり、アルナーチャル・プラデーシュがブー

タンにミタンを供給し、ブータンがそれを利用してきた結果、現在ブータン各地でウシとの交雑が起きている^{16,17)}。2007年の統計¹⁸⁾では、ミタン1,865頭、在来牛(Nublang) 208,783頭、に対してミタン交雑牛は48,755頭に及ぶ。これら以外のウシには、ヤク51,500頭、ヨーロッパ品種牛(JerseyとBrown Swiss) 1,370頭、ヨーロッパ品種交雑牛59,126頭がいる。ブータンの農村や森林で見るウシには交雑個体が多く、ミタンとヨーロッパ品種が関係した交雑個体の合計は107,881頭に達し、統計上はほぼ3頭に1頭が交雑牛である。

ミタンの交雑が好まれるのは、特に交雑1代目(F1)が搾乳や使役に有用だからである^{19,20)}。交雑で産まれる牝には繁殖力がない²¹⁻²³⁾。この点はヤクとウシの交雑でも同様である。交雑利用という観点からヤクとくらべると、ブータンのミタン交雑はF1以外の交雑個体も多数いるのが特徴である。ネパールのヤク交雑地域ではトランスヒューマンス(季節的な移牧)が行われている。搾乳のためF1牝は妊娠させるが、限られた草地資源を活かすためF1の後代個体は屠殺する²⁴⁾、乳をやらずに餓死させる²⁵⁾、意図的に生存力の弱い仔牛が産まれるような交配を行う²⁶⁾、といった方法で、数を抑える畜産が行われている。パフォーマンスの低いウシに食わせる草はないと

Domestication Center of the World

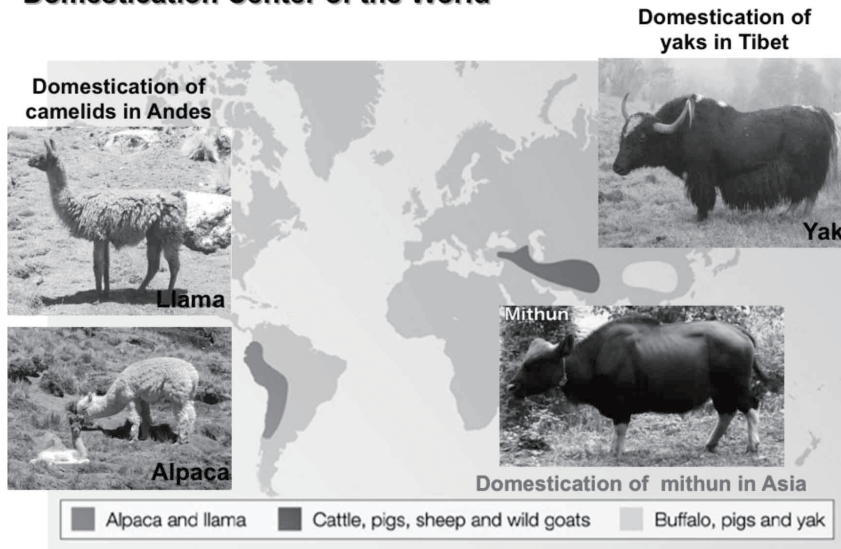


図1 世界の草食獣の家畜化センターの分布 (Bruford et al.⁶⁷⁾ を改変)

いう厳しい自然環境がその原因と考えられる。ヤクが高地に適応し、草を食べる動物であるのに対して、ミタンはヤクほど高い標高に暮らすわけでなく、草も食べるが森では樹木の葉を餌としている^{27,28)}。ブータンやアルナーチャル・プラデーシュにおけるミタン放牧は、ヒマラヤの他地域の草食獣家畜と様相が異なっており、高地の草地より低い温帯から亜熱帯の森林が動物の餌場、放牧地になっている。草食獣の採食生態特徴²⁹⁾ からみると、ミタンはグレーザー (grazer: 禾本科などの草を食む動物) というよりはブラウザー (browser: 木本類の葉を食む動物) といえる。採食生態がヤクと異なる家畜を使い、森林環境を利用した結果が、ブータンやアルナーチャル・プラデーシュでミタンおよびウシとの雑種を取り込んだ独特の生業や文化を形成していったと考えられる³⁰⁾。そして、ブータンにおけるミタンの交雑利用では、さらに殺生を嫌う宗教や生活規範を背景にした歴史があることも無視できない³¹⁾。

本稿では、ヒマラヤ地域でのミタンの利用を概説し、ブータンの広域とアルナーチャル・プラデーシュの一部地域で行われているミタン交雑家畜を利用する畜産の特徴を紹介する。最後にブータンの在来牛集団へのミタン遺伝子の浸透とミタンの家畜化起源を検討するために行った集団遺伝学的研究の成果について説明し、ブータンにみられるユニークな家畜利用の事例について考える。

ミタンという家畜

ミタンは謎の多い家畜である。その原分布地は、インド (Arunachal Pradesh, Naga Hills, Manipur, Lushai (Mizo) Hills)、ミャンマー (Chin Hills, Arakan Hills)、中国 (雲南省)、バングラデシュの Chittagong Hill Tracts をカバーしている¹⁴⁾ (図2)。ミタンは、食肉や、婚資に代表される祭礼儀式の供物に利用されることが多いものの、ミルクの利用は少ない¹⁴⁾。バターやチーズなどの乳製品を加

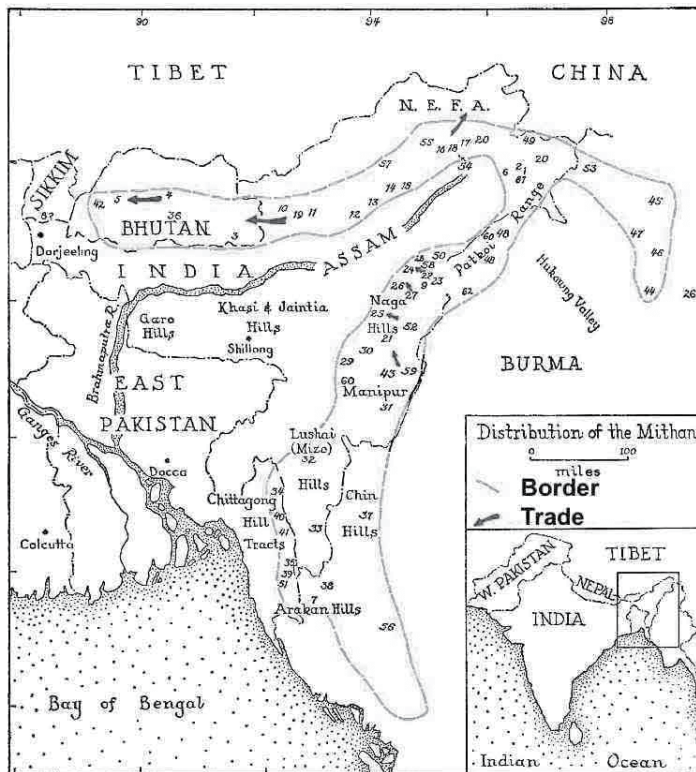


図2 ミタンの分布地域と家畜交易 (Simoons & Simoons¹⁴⁾ を改変)

工するのにミタンの乳脂肪率が低いわけではなく、インドでの研究では泌乳期により7.2～10.25パーセントと報告されている³²⁾。一方、ブータンでは、伝統的に在来牛との交雑で得た雑種が盛んに搾乳に利用されている^{19,20,33)}。ブータンに関する報告では、ミタンの乳脂肪率は10パーセント以上で、ミタンと在来牛の交雑個体で8.6パーセント、在来牛は交雑牛の半分程度となっている³⁴⁾。

そもそもミタンがどこでどのように家畜化されたかということは、よくわかっていない。しかし、その野生原種として、アジアの森林地帯に生息し、絶滅が危ぶまれているガウル (Gaur, 学名で *Bos gaurus*) の関与が考えられる。この野生動物は、国際自然保護連合 (IUCN) のレッドリストで、現在危急種にされている³⁵⁾。ガウルは体重が1トンにも達する巨牛の仲間、3亜種が区別され、インド、ネパール、ブータン、ミャンマー、中国 (雲南省)、タイ、カンボジア、マレーシア (半島部) に生息する³⁶⁾。肩峰の隆起が顕著で、体色は成獣では黒色で、四肢にはソックスをはいたような白色部がある (図3)。角は太く、付け根からゆるやかに上方外側に湾曲し、額部はウシにくらべて広い。これらの形態特徴はミタンにも共通するが、家畜化されたミタンでは、体がガウルより小さく、全白色やささまざまなサイズの白斑をもつ個体もある¹⁴⁾。

ミタンの家畜化起原には3つの仮説がある³⁷⁾。第1はガウルからの直接家畜化²¹⁾である。第2は交雑起原説で、ガウル牡とゼブー (インド系のウシ) 牝の交雑由来という考えである (Carey & Tuck³⁸⁾ <Simoons & Simoons¹⁴⁾ が引用>、Lan et

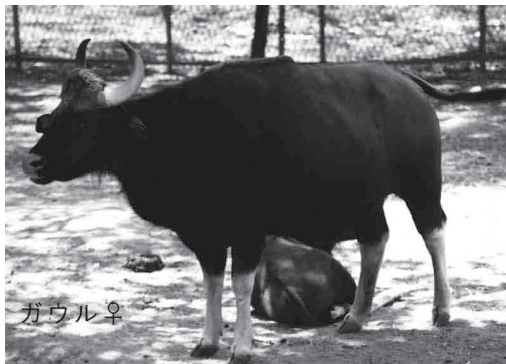


図3 インドのガウル *Bos gaurus* (撮影: 宗近 功氏)

al.³⁹⁾。第3はすでに絶滅してしまった野生のウシ科動物を原種と考える説である⁴⁰⁾。いずれが妥当かは論争中で、どの地域が家畜化センターかについても定説がない。

ブータンにおけるミタンの利用

ブータンの牧民や農民が利用するウシ科家畜は、ウシ、ミタン、ヤクである。ウシの代表は在来牛の Nublang (牡) と Thrabum (牝) である。雌雄の呼称がちがいが、ブータンのウシの約85パーセントはこの仲間とみなされている⁴¹⁾。この在来牛は肩峰 hamp (こぶ) と胸垂 dewlap (前胸から垂れ下がる贅) が発達しており、ゼブー系のウシに似ている。その起原は、Haa 県にある Sombeykha 谷といわれる⁴²⁾。これまでブータンの在来牛はシリ Siri 牛と紹介されてきた。しかし、この呼称はヒンズークシヒマラヤで飼われている在来牛全体を意味するため、ブータンの在来牛を区別して示すときには使われなくなってきた。Siri はチベット由来のタウルス系 (ヨーロッパ系) 牛の影響を受けたインド亜大陸由来のゼブー系牛だと考えられている^{43,44)}。しかし、ブータンの Nublang や Thrabum でマイクロサテライト DNA 変異を分析した研究では、近隣のネパールやインドの在来牛からの分化が認められている⁴⁵⁾。

ブータンの在来牛には、ほかに Bajo と Jaba がある²⁰⁾。Bajo は Bumthang、Merak-Sakten、Laya、Linghsi の高地におり、チベット由来のタウルス系牛である。この牡ウシは Langu ないしは Goleng と呼ばれ、伝統的にヤクとの交雑に利用されている。Jaba はアッサムからのゼブー系牛で、インド国境付近の地域で飼われてきた。Thrabum と交配してからミタンにかけると優良な交雑個体が得られると考えられている²⁰⁾。

さらに、1970年代以来ヨーロッパから改良品種 (ジャージー Jersey やブラウンスイス Brown Swiss といった乳用牛) が導入され、在来牛との交雑に利用されている^{20,34)}。

交雑利用に関わる家畜の種類が多いので、それだけでも複雑だが、さらに家畜を多様化させているのは、伝統的な交配システムにある。混乱を避けるため、ここでは典型的な交配システムとして、ミタンと在来牛 (Thrabum) の交配を例に挙げて紹介する。図4はブータンで伝統的に採用されてきた交配シス

テムを表す^{46,47}。雑種強勢を発揮する交雑1代目(F1)の動物は現地のゾンカ Dزونgkha 語で、牝をジャツサ (ジャツァ) Jatsha、牝をジャツサム (ジャツァム) Jatsham と呼ぶ。Jatsha には繁殖力がないが、急峻な山岳地帯を耕すのに卓越した力を発揮するため、役畜として高い需要がある。一方、Jatsham は高質の乳を提供し、生活に不可欠の家畜となっている。搾乳には Jatsham を妊娠させる必要があるが、その際には在来牛 Nublang に戻し交配 (backcross) することが多い。こうして得られる2代目 (F2) のウシは、牝がヤンクー Yanku、牝がヤンクム Yankum と呼ばれる。さらに戻し交配を重ねてグレーディング (grading) が進むと、3代目 (F3) では、牝をドエブ Doeb、牝をドエブム Doebum と呼び、4代目 (F4) では牝をドエトゥラ Doethra、牝をドエトゥラム Doethrabum ないしはドエトゥラム Doethrum と呼ぶ。グレーディングが代を重ねるうちに牝には繁殖力をもつ個体が産まれるようになる。5代目 (F5) では牝がダータ Data、牝がダータム Datum と呼ばれ、これくらいまでグレーディングが進むと、外貌や繁殖力でも在来牛と同様の成績を示すようになるため、牝が Nublang、牝が Thrabum と呼ばれるようになり、在来牛との区別がなくなる。しかし、F2 から F5 までの各世代で、遺伝子ではミタン由来のゲノム成分がそれぞれ25パーセント、12.5パーセント、

6.25パーセント、3.125パーセントほど残ることになる (図4)。このため、識別や呼称と実際のゲノム構成の関係は一致しなくなる⁴⁷。こうしたシステムで家畜の繁殖が進むと、ミタンの遺伝子が在来牛に流れ込むことになる。

ウシの交雑利用としては、ネパールのシェルバを代表とする山岳民が伝統的に行っているヤクとの交雑利用が有名である^{24,25,26,48}。ブータンでのミタンとウシの交雑利用の特徴は、図4に代表されるような交配システムが、好成绩を示すF1だけでなく交雑2代目以降の個体も利用する点にある。図5はネパールのソル地区の牧民が飼うヤク-ウシ交雑個体を撮影したものである。写真のF1牝は、ミルクが出せるように死亡した仔ウシの遺体 (皮膚) の前に置かれて搾乳を待っていた。家畜の飼養頭数は移牧で得る餌資源量に規定されることは容易に想像できるが、ヤク-ウシの交雑では、高地の草資源が制限要因になると考えられる。一方、ミタン-ウシの交雑では、餌になる葉や草は温帯から亜熱帯の森林に豊富である。ミタンの生息地であるインドやミャンマーでも、森林での放牧は普通に行われている^{27,28}。これは、ミタンやミタン-ウシ雑種が草食だけでなく葉食に適応しているから可能だといえる。ミタンを利用する地域が森林地帯であることに注目する必要がある

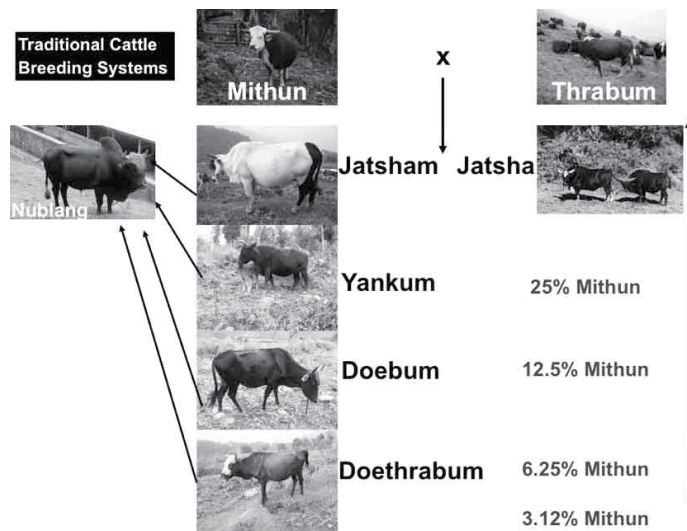


図4 ブータンで伝統的に行われているミタンと在来牛の交雑方法の事例⁴⁶。



図5 ネパールにおける雑種利用。仔牛(遺体)の皮膚を前に搾乳を待つゾム Zom (ヤクとウシを交雑した第1代目)。Solu の Kipzib にて川本撮影。

ある。ヒマラヤ山岳地帯では、飼料資源の質と量の違いが、交雑家畜の利用でヤクとミタンに違いを生んでいる。

一般に、小型獣は木本の葉や果実など良質の食物を選択的に食べ、大型獣はイネ科の葉や稈などの繊維質、つまり草を多く食べる傾向がある^{29,49,50}。動物の代謝量は食べ物の要求量と比例するが、これらの量と体重の関係を調べた採食生態学の研究から、体重が増加するほどには食物要求量は増えず、体重の3/4乗に比例するという経験則(クライバーの規則)が認められている⁵¹。体重の大きな動物は、小さな動物に比べて、体重の割に栄養摂取(採食によるエネルギー摂取)量が低くても生きていけることになり、草食者(グレイザー)では体重が重く、葉食者(ブラウザー)では体重が軽いことを説明しやすい。草食獣の野生種では、バイソンやスイギュウやシマウマが前者で、マメジカやダイカーなどが後者の代表である。このように考えると、ミタンないしはその家畜化に関係するガウールは例外的な存在といえる。ウマ、ウシ、スイギュウなど有蹄類家畜の多くは草食性であるのに反して、ミタンは葉食性をもつ大型家畜である。つまり、ミタンには森林環境で放牧利用できるように家畜化されたという特徴がある。そして、この家畜をウシに交配して利用し、そのうえ森林環境で飼育するのに定牧だけでなく移牧まで行うようになったのがブータンやアルナーチャル・プラデーシュ

で山岳民が創り上げた進化戦略であり文化といえる。ブータンの土地利用では、国土(38,394平方キロメートル)の72.5パーセントが森林で占められ、牧草地の比率は3.9パーセントにすぎない⁵²。ブータンは国民総幸福を国是に自然との調和を計り、森林という再生可能資源を利用しながら水資源で得る電力を輸出している。豊富な森林資源をもつ国が森林環境に適応力の高い家畜ミタンを導入し、在来牛との交雑を利用する畜産文化を進展させたことには、合理性がある。

しかし、なぜブータンを中心にこうした文化が発展したかには不明な点が多い。そもそも、ミタンはいつ、どこで、誰により家畜化され、交易によりいつ頃からブータンに入ってきたのか。現在ブータンに見られるようなウシとの多様な交雑は、いつから、どのようににはじまったのか。この新たな畜産文化の成立を支えた人たちは、いつどこからやってきて、どのように農業との関係を創り上げていったのか。これらの疑問は今後に残された課題である。

ブータンではミタンとウシの交雑個体を移牧に利用する。この移牧は夏期には2,000~3,000メートル、冬期には1,000~2,000メートルの標高帯で行われ、温帯林から亜熱帯林が利用される。この場合、純粹のミタンは農村かその周辺に置かれ、移牧に参加するのは交雑個体である。一方、他のヒマラヤ山岳地域と同様に、ブータンでもヤクとその雑種(高地牛との交雑個体)の移牧が行われる。こちらは、夏期には4,500~5,000メートル、冬期には2,500~3,000メートルの標高帯で行われ、高地から温帯の草地が利用される。つまり、ブータンでは、ヤクおよびウシとの交雑個体によるシステムと、ミタンとウシの交雑個体によるシステムの二つを連動させるという特徴的な移牧が営まれている。このユニークな移牧システムに関する研究は乏しい。標高2,500~3,000メートルの中間山岳地帯では、冬期にヤクとその雑種が、夏期にミタンの雑種が放牧されるため、畜種を変えた周年に及ぶ食圧が原因と考えられる草地消失や斜面崩壊といった弊害も起きているが、その実態研究も遅れている。

ブータンのミタン利用に関する遺伝学調査

ブータンではアルナーチャル・プラデーシュカ

ら導入したミタンを1970年代から西部（Chukha 県にある Wangkha）と東部（Samdrup Jongkhar 県にある Aerong）の二箇所にある国営牧場で管理し、種畜の世代更新と仔牛の供給事業を続けている（西部の牧場は2006年から中部の Zhemgang 県の Wangdigang へ移転した）。しかし、国内ではウシとの交雑利用が盛んになる一方で、インドからの輸入の機会が少なくなり、種畜が十分に供給できない状況が続いている。

各地では交雑の世代が進み、さまざまな種類の雑種が生じてきたため、ブータン政府は在来牛へのミタンや外来牛品種からの遺伝子流入により交雑に有用な在来牛資源の消失を懸念するようになった^{20,33,34}。そこで、ブータン在来牛の交雑状況を調査するため、乳タンパク質の遺伝子変異を探索した。この遺伝標識に注目したのは、(1) 野外で試料採集が行いやすいこと、(2) 比較対象となるネパール在来牛、ヤク、インド系牛、ヨーロッパ系牛に関する情報が得られていたこと、(3) 分析手法（等電点電気泳動法）が確立できておりブータンで実験が可能と判断されたこと、が理由である。

この調査では、ブータン国内で利用されているウシ科家畜の11集団を対象に、計372個体から得た乳試料を分析した（表1⁵³）。この対象には国営牧場のミタン1集団と在来牛（Thrabum）3集団が含まれている。また、ウシの比較のため、Jaba、ヨーロッパ品種（Jersey と Brown Swiss）を

加えた。交雑牛では、Jatsham（ミタンと在来牛を交配した交雑第1代目）、Yankum（Jatsham を在来牛 Nublang に戻し交配した交雑2代目）、Doebum（Yankum を在来牛 Nublang に戻し交配した交雑3代目）を比較した。また、ヤクおよびその牛との交雑家畜ゾム Zom も分析した。この調査で注目したことは、(1) ミタン、ウシ、ヤクのそれぞれのウシ科家畜が乳タンパク質遺伝子を標識に区別できるか、(2) インド系のウシの影響があるといわれるブータン在来牛の Thrabum や Jaba はヨーロッパ品種とどのような関係を示すか、(3) ミタンと在来牛の雑種は遺伝的にどのように評価できるか、(4) 純粋な在来牛と称される Thrabum にミタンからの遺伝子流動の証拠はあるか、の諸点である。

家畜牛やヤクでは、乳タンパク質の主要成分であるカゼイン casein やラクトグロブリン lactoglobulin に遺伝的多型があり、ネパールの調査ではヤクに特異的な遺伝子が報告されている⁵⁴。ミタンの交雑評価の研究では、等電点電気泳動法により3種類の乳タンパク質、 β -ラクトグロブリン（ β -Lg）、 α_{S1} -カゼイン（ α_{S1} -Cn）、 κ -カゼイン（ κ -Cn）にみられる遺伝子変異を調査した。この実験で、 β -Lg が示す遺伝子多型の中に、ミタンに特異的なタイプがあることが判明し、これを M 遺伝子と命名した（図6, 表2）。

集団調査の結果では、複雑な交雑を反映して3種類の乳タンパク質遺伝子に多様な遺伝子タイプ

表1 乳タンパク質の遺伝子変異調査に利用した試料

調査集団	試料数
ミタン Mithun (<i>Bos frontalis</i>)	41
トラバム Thrabum 1 (Sombekha)	29
トラバム Thrabum 2 (Trashiyangphu)	42
トラバム Thrabum 3 (Wangdueほか農村部)	30
インド系牛 Jaba	24
ヨーロッパ系牛 European (Jersey & Brown Swiss)	21
ジャッサム Jatsham (ミタンーウシ F1)	66
ヤンクム Yankum (ジャッサムーウシ F2)	40
ドエブム Doebum (ジャッサムーウシ F3)	17
ヤク Yak (<i>Bos grunniens</i>)	48
ゾム Zom (ヤクーウシ F1)	14
計	372

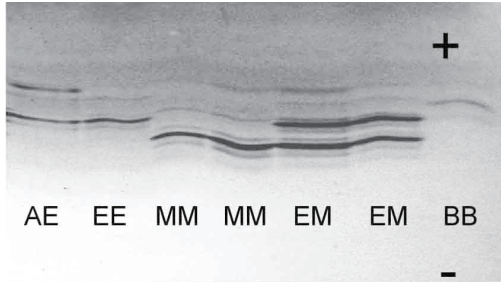


図6 乳タンパク質の一種β-ラクトグロブリンの等電点電気泳動像。

Mタイプは新たに発見したミタンに特異的な遺伝子産物で、家畜間の遺伝子流動を探るのに有効な遺伝子標識になる⁵³⁾。

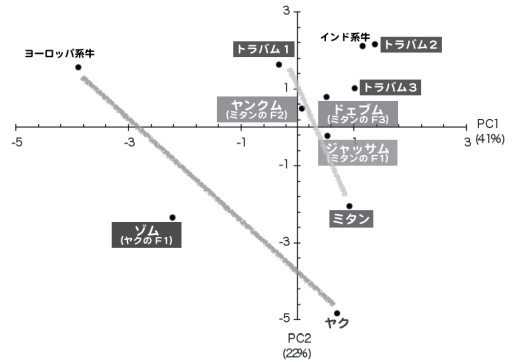


図7 乳タンパク質の遺伝子頻度をもとに評価した集団の関係。

主成分分析で得た第1主成分(寄与率41パーセント)と第2主成分(寄与率22パーセント)のスコアから各集団をプロットした結果を示す⁵³⁾。

表2 ブータンのウシ科家畜集団にみられる乳タンパク質遺伝子の多型。表中の値は遺伝子頻度の推定値を、括弧内の値はその誤差を示す⁵³⁾。

遺伝子座	対立遺伝子	集 団										
		Mithun (n=41)	Thrabum 1 (n=29)	Thrabum 2 (n=42)	Thrabum 3 (n=30)	Jaba (n=24)	European (n=21)	Jatsham (n=66)	Yankum (n=40)	Doebum (n=17)	Yak (n=48)	Zom (n=14)
β-ラクトグロブリン	A	0	0	0	0.02 (0.02)	0.04 (0.03)	0.29 (0.07)	0.02 (0.01)	0.01 (0.01)	0.03 (0.03)	0	0
	B	0	1.00	1.00	0.63 (0.06)	0.94 (0.03)	0.71 (0.07)	0.44 (0.04)	0.79 (0.05)	0.79 (0.07)	0	0.32 (0.09)
	E	0.41 (0.05)	0	0	0.30 (0.06)	0.02 (0.02)	0	0.23 (0.04)	0.08 (0.03)	0.06 (0.04)	1.00	0.68 (0.09)
	M	0.59 (0.05)	0	0	0.05 (0.03)	0	0	0.30 (0.04)	0.13 (0.04)	0.12 (0.06)	0	0
α _{s1} -カゼイン	A	0	0	0	0	0.05 (0.03)	0	0	0	0	0	0
	B	0	0.24 (0.06)	0.07 (0.03)	0.08 (0.04)	0.10 (0.04)	0.17 (0.06)	0.09 (0.03)	0.11 (0.04)	0.09 (0.05)	0	0.39 (0.09)
	C	0.96 (0.02)	0.72 (0.06)	0.88 (0.04)	0.90 (0.04)	0.85 (0.05)	0.79 (0.06)	0.84 (0.03)	0.88 (0.04)	0.88 (0.06)	0.75 (0.04)	0.54 (0.09)
	E	0.04 (0.02)	0	0	0	0	0	0.03 (0.01)	0	0	0.25 (0.04)	0.07 (0.05)
	X	0	0.03 (0.02)	0.05 (0.02)	0.02 (0.02)	0.04 (0.03)	0	0.04 (0.02)	0.01 (0.01)	0.03 (0.03)	0	0
κ-カゼイン	A	0	0.41 (0.06)	0.50 (0.05)	0.58 (0.06)	0.65 (0.07)	0.29 (0.07)	0.08 (0.02)	0.19 (0.04)	0.21 (0.07)	0	0
	B	0.70 (0.05)	0.59 (0.06)	0.50 (0.05)	0.42 (0.06)	0.35 (0.07)	0.71 (0.07)	0.72 (0.04)	0.68 (0.05)	0.62 (0.08)	0.28 (0.05)	0.64 (0.09)
	X	0.30 (0.05)	0	0	0	0	0	0.20 (0.04)	0.14 (0.04)	0.18 (0.07)	0.72 (0.05)	0.36 (0.09)

が検出された。 β -Lg、 α_{s1} -Cn、 κ -Cnのそれぞれで4つ、5つ、3つの遺伝子が区別できた(表2)。調査した集団ごとに遺伝子頻度を推定し、互いの関係を評価したところ、プータンの現状を考えるのに興味深い結果が得られた⁵³⁾。図7は主成分分析により調査した集団を2つの主成分の軸で描ける平面にプロットした結果である。まず各家畜種をくらべてみると、ミタン、ヤク、ウシがそれぞれに区別できた。ウシのプロットでは、インド系牛(Jaba)がヨーロッパ系牛(JerseyやBrown Swiss)と明瞭に区別され、プータンの在来牛Thrabumで調べた3集団(図中のトラバム1~3)は、いずれもインド系牛の近くにプロットされた。一方、交雑家畜のうち、ミタンの交雑1代目にあたるジャッサム Jatsham は、ミタンとトラバム1のほぼ中間にプロットされ、トラバム2やトラバム3とミタンの中間から外れた位置にプロットされた。交雑2代目にあたるヤンクム Yankum は、ジャッサムとトラバム1の中間、つまりミタンからトラバム1に向かう線上でほぼ4分の3の位置にプロットされた。さらに、交雑3代目にあたるドェブム Doebum になると、トラバム1へ向かう線からインド系牛側に外れた位置にプロットされた。これらの結果より、(1) 調査した在来牛トラバムの3集団の性格は異なり、ミタンとの交雑勾配を反映する在来牛集団はトラバム1である、(2) 在来牛は全体にインド系牛への近縁性が高い、(3) ミタン特異的な β -LgのM遺伝子がトラバム3で検出されたことから(表2)、ミタンの影響が在来牛の少なくとも一部に及んでいる、ことが明らかになった。トラバム1は原産地と考えられているHaa県のSombeykhaからの試料である。トラバム2はTrashigang県のTrashiyangphuにある国营Nublang牧場からの試料である。ミタン遺伝子の流入が予想されたトラバム3はWangdue、Trongsa、Zhemgang、Mongar県の農村部の試料をプールしたものである。従って、プータンの農村部ではおそらく伝統的交雑システムによる戻し交配が原因で、ミタン遺伝子をもつウシが在来牛とみなされる状況が生じている。

今後の畜産を考えると、ミタンの飼育・生産拠点の維持に加え、他の家畜との交雑の進んでいない、つまり遺伝的劣化のない在来牛を維持管理し、交雑に利用することが重要になる。今回の調査か

ら、Sombeykha(トラバム1集団)の在来牛を保存し、利用するのが望ましいと考えられた。

ヤクとウシの交雑家畜ヅム(交雑1代目)は、図7でヤクとヨーロッパ系牛の中間にプロットされた。ヤクはインド系牛ではなく、チベット由来のタウルス系牛の牡ウシLanguないしはGolengと交配させられることを反映した結果と解釈でき、ネパールでの調査結果を裏付けている⁵⁴⁾。図7の結果は、プータンにふたつの交雑家畜利用システムが共存すること、さらに利用家畜が重ならないことから、ミタン-ウシ(正確にはプータン在来牛ないしはインド系牛)とヤク-ウシ(正確にはチベット牛)の交雑利用は、別々のシステムとして成立しうることを示している。チベットでのヤク家畜化は、最終水期につづく後水期の早い時期からはじまったと示唆されている⁵⁵⁾。家畜化が早い分、ウシとの交雑利用の発生も早いとすれば、プータンで前者のシステムより後者のシステムが先に定着した可能性が考えられそうである。しかし、ミタンの導入や交雑利用がいつ頃からはよくわかっていないため、どちらのシステムが先に成立したかは不明である。プータンでの交雑システムの発生だけでなく、ミタンは家畜化の経緯そのものが未知な動物である。

プータンのミタンの起原に関する遺伝学調査

ミタンの家畜化に関係する野生牛ガウール gaur は東南アジアから南アジアの熱帯・亜熱帯林地帯を中心に分布する(図8)。ガウールとミタンの関係を遺伝学的に調査した研究には、染色体、タンパク質、DNAに関するものがあり、ガウールからの直接家畜化(一元説)か、ウシとの交雑起原(二元説)かが議論されている^{14,39,56)}。また、ガウール以外の野生牛の関与を議論しているDNA研究もある⁴⁰⁾。

染色体数はミタンの家畜化を考えるのに重要な情報である。ミタンの場合、中国、ミャンマーなど広い地域すべてで、58本の染色体が確認されている^{39,57,58)}。アルナーチャル・プラデーシュからプータンに導入されたミタンでも、染色体数は58である²¹⁾。一方、ガウールには地域差があり、56本が中国⁵⁹⁾、タイ^{60,61)}、マレーシア^{62,63)}で、58本がインド⁶⁴⁾で確認されている。ウシは60本

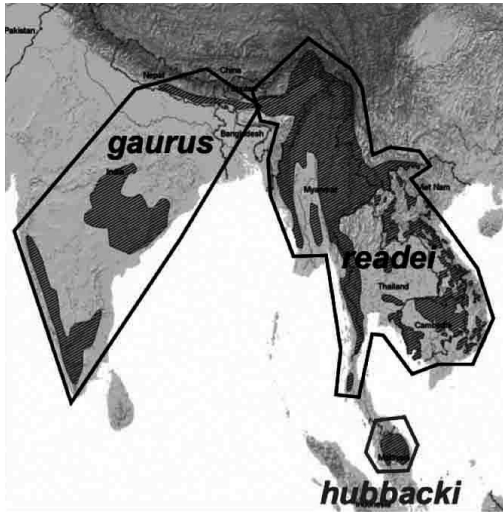


図8 ガウルの亜種とその予想分布域。

のため、交雑起原なら、56本のガウールが相手でないとは58本のミタンにはならない。ミタンの58本をガウールからの直接的な家畜化で説明しようとするなら、ガウールが58本のものでないと矛盾してしまう。つまり、家畜化の起こった場所が58本の染色体をもつガウールの生息地ならば一元説が、また56本の染色体をもつガウールの生息地ならば二元説が、支持されることになる。しかし、ガウールの染色体数がどのような地域差を示すのか、またそれが亜種の区別と相関するかは、わかっていない。

二元説では、ゼブー系の牝ウシに牡ガウールが交配したと考えられている³⁷⁾。母系がウシに由来するかは、母性遺伝するミトコンドリアDNA (mtDNA) のタイプから判定できる。つまり、ミタンのmtDNAがウシタイプなら二元説が、ガウールタイプなら一元説が支持される。ブータンの調査で得ていたのは乳試料だった。乳試料の中にも乳腺由来の細胞が混入している。そこで、この細胞に含まれるDNAを標的に、KOD FXというDNA増幅酵素(ポリメラーゼ)を使い、生の乳試料を直に反応液に加えてポリメラーゼ連鎖反応(PCR: polymerase chain reaction)を行い、mtDNAの増幅産物を得た⁶⁵⁾。

この実験ではmtDNAの16S rRNAをコードする領域の一部(246塩基)を解読し、ミタンとガウー

ル、ヤク、ウシの違いを比較した。塩基配列の違いをもとに、関係を推定した結果が図9である。ブータンのミタン27個体を調べたところ3タイプが認められた。タイプ1、2、3の頻度はそれぞれ81、11、7パーセントで、すべてがガウールの配列(インドから報告されデータベースに登録された情報)と同じグループになり、ウシと同じグループに入るものはなかった(図9)。また、関係者の協力で得たブータン出自のガウール3個体も調べたところ、すべてミタンのタイプ1に一致し、一元説を支持する結果になった⁶⁵⁾。

アルナーチャル・プラデーシュに由来するブータンのミタンの祖先がどのように家畜化されたかを考える場合、一元説(ガウールからの直接家畜化)なら母系もガウールになるはずで、mtDNAはガウールタイプになる。一方、二元説(牡ガウールと牝ゼブー牛の交雑による家畜化)なら母系はウシなので、mtDNAはウシタイプになる。さらにガウールでもウシでもない絶滅種が関与したなら、別のmtDNAタイプになると期待される。今回の分析では、ミタンのmtDNAがガウールに近く、ウシとは遠いタイプと評価された。従って、ガウールからの直接家畜化の考えを支持する結果だといえる⁶⁵⁾。

これに反する結果が中国から報告されている。雲南省のミタン1個体のmtDNAとY染色体(染色体の形)を調べた結果では、母系がウシで、父系がガウールと判定されている³⁹⁾。1例ではあるが、この結果は二元説を支持する。さらにブータンのミタンについても、最近1例だけウシタイプのmtDNAをもつアルナーチャル・プラデーシュ由来のミタンが報告された⁶⁶⁾。

限られた情報とはいえ、これまでの結果を総合すると、ミタンの起原は単純ではない。これまでミタンの染色体数はすべて58本と報告されていることを考えると、58本のガウールからの直接家畜化と、56本の牡ガウールと60本の牝ウシ(おそらくゼブー系)の交雑による家畜化の両方、つまり2種類のドメスティケーションが関わる可能性が考えられる⁶⁵⁾。もしこの仮説が正しいなら、ミタンは別々の場所で家畜化され、広がったという結論になる。これを証明するには、絶滅が危惧される野生牛ガウールの染色体や特異遺伝子タイプを各地で比較し、さらに家畜ミタンについても、

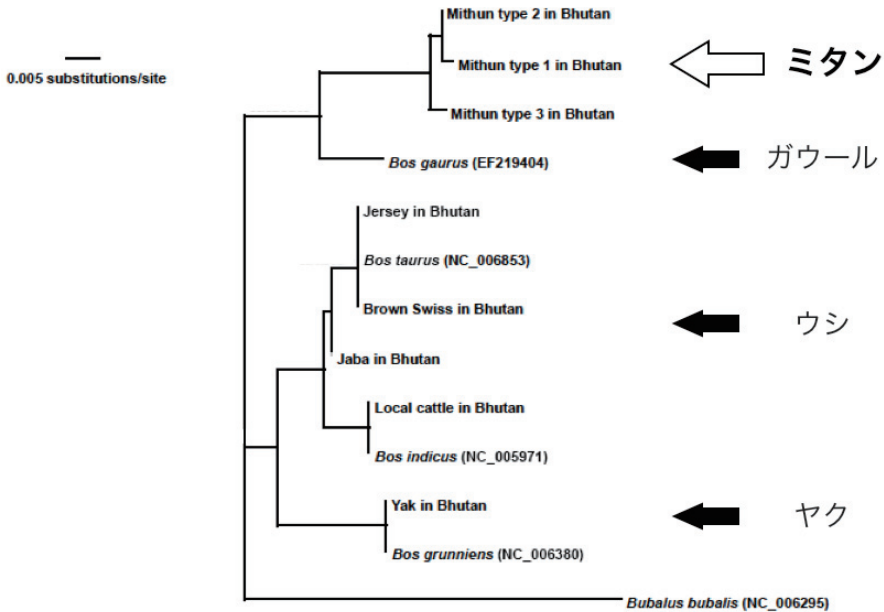


図9 mtDNAの塩基配列から推定したミタンの系統関係⁶⁵⁾。

同様の比較を進める必要がある。そして、この生物学的な調査と平行で、ミタンの飼育、繁殖、利用に関係する文化の多様性を明らかにし、両者の関係から家畜と人の歩んできた道を明らかにするという課題が、今後の研究に残されている。

最後に

ブータンは2008年7月に憲法を公布・施行し王制から立憲君主制に移行した。自然環境保護と幸福大国を国是とする方針は変わらないものの、近代化やグローバル化の影響はブータンにも及んでいる。農村の電化促進、通信網や交通網の発達は、明らかに農民、牧民、そして急増中の首都住民の生活を変えはじめている。観光客、冬虫夏草（Chinese caterpillar, セミタケの一種で生薬として中国に輸出）やマツタケ（日本に輸出）などの林産物輸出、の増加も影響の一因になっている。

図10は2011年9月にブータン東部のMerakで撮影したジャツサムゾム（ジャツサムゾム）Jatsham Zomと呼ばれていた交雑家畜である。これは、牝ヤクとJatsham（ミタンとトラバムThrabumの交雑1代目）の交配で産まれた動物で、



図10 ヤク、ウシ、ミタンの三元交雑で産まれた家畜。2011年9月に、ブータン東部のタシガンTrashigang県 Merakに近いCheablingの放牧地にて川本撮影。

ヤク、ミタン、ウシの三元交雑が発生している証拠である。冬期をひかえた時期に訪れた放牧地で、ヤク、ミタン、トラバム、ゴレンGoleng（チベット系牛）、写真の個体以外にも複雑に交雑したさまざまな個体を目にした。こうした多元交配が生じる背景には、伝統的に利用してきた家畜の供給、

飼育、繁殖の環境変化や、牧畜に関わる人たちの生活変化が想像できる。ブータンやアルナーチャル・プラデーシュで受け継がれてきた家畜ミタンの利用は新しい局面を迎えており、こうした変化の実態を調査することも、今後に残された課題である。

謝辞

本稿で紹介した遺伝学研究成果は、著者の一人であるタシ ドルジの博士学位研究で得たものである。この研究では、ブータン農業省の関係者、神戸大学大学院農学研究科の万年英之博士、名古屋大学大学院生命農学研究科の並河鷹夫博士に指導と研究支援をいただいた。また、ブータンにおける調査では、総合地球環境学研究所のプロジェクト『人の生老病死と高地環境—「高地文明」における医学生理・生態・文化的適応』（リーダー 奥宮清人博士）に加えていただき、フィールド研究を支援いただいた。ご協力いただいた関係者の方々に謝意を表する。

参考文献

- 1) Cann RL, Stoneking M, Wilson AC. 1987. Mitochondrial DNA and human evolution. *Nature* 329:31-36.
- 2) Klein RG. 2008. Out of Africa and the evolution of human behavior. *Evolutionary Anthropology* 17:276-281.
- 3) Ingman M, Kaessmann H, Pääbo S, Gyllensten U. 2000. Mitochondrial genome variation and the origin of modern humans. *Nature* 408:708-713.
- 4) Underhill PA, Passarino G, Lin AA, Shen P, Lahr MM, Foley RA, Oefner PJ, Cavalli-Sforza LL. 2001. The phylogeography of Y chromosome binary haplotypes and the origins of modern human populations. *Annals of Human Genetics* 65:43-62.
- 5) Green RE, Krause J, Briggs AW, Maricic T, Stenzel U, Kircher M, Patterson N, Li H, Zhai W, Fritz MH, Hansen NF, Durand EY, Malaspina AS, Jensen JD, Marques-Bonet T, Alkan C, Prüfer K, Meyer M, Burbano HA, Good JM, Schultz R, Aximu-Petri A, Butthof A, Höber B, Höffner B, Siegemund M, Weihmann A, Nusbaum C, Lander ES, Russ C, Novod N, Affourtit J, Egholm M, Verna C, Rudan P, Brajkovic D, Kucan Z, Gusic I, Doronichev VB, Golovanova LV, Lalueva-Fox C, de la Rasilla M, Fortea J, Rosas A, Schmitz RW, Johnson PL, Eichler EE, Falush D, Birney E, Mullikin JC, Slatkin M, Nielsen R, Kelso J, Lachmann M, Reich D, Pääbo S. 2010. A draft sequence of the Neandertal genome. *Science* 328:710-722.
- 6) Reich D, Green RE, Kircher M, Krause J, Patterson N, Durand EY, Viola B, Briggs AW, Stenzel U, Johnson PL, Maricic T, Good JM, Marques-Bonet T, Alkan C, Fu Q, Mallick S, Li H, Meyer M, Eichler EE, Stoneking M, Richards M, Talamo S, Shunkov MV, Derevianko AP, Hublin JJ, Kelso J, Slatkin M, Pääbo S. 2010. Genetic history of an archaic hominin group from Denisova Cave in Siberia. *Nature* 468:1053-1060.
- 7) Currat M, Excoffier L. 2011. Strong reproductive isolation between humans and Neanderthals inferred from observed patterns of introgression. *Proceedings of the National Academy of Sciences of USA* 108:15129-15134.
- 8) de Azevedo S, Nocera A, Paschetta C, Castillo L, González M, González-José R. 2011. Evaluating microevolutionary models for the early settlement of the New World: The importance of recurrent gene flow with Asia. *American Journal of Physical Anthropology* 146:539-552.
- 9) Skoglund P, Jakobsson M. 2011. Archaic human ancestry in East Asia. *Proceedings of the National Academy of Sciences of USA* 108:18301-18306.
- 10) 川本芳. 2005. 遺伝子からみた多様性と人間の特徴. 「生物多様性はなぜ大切か?」(日高敏隆 編), pp.73-96, 昭和堂, 京都.
- 11) 内山純蔵. 2005. 文化の多様性は必要か? 「生物多様性はなぜ大切か?」(日高敏隆 編), pp.97-138, 昭和堂, 京都.
- 12) 山本紀夫. 2008. 「高地文明」の提唱—文明の山岳史観, 「地球時代の文明学」(梅棹忠夫 監修), pp.57-80, 京都通信社, 京都.
- 13) Diamond J. 1997. *Guns, Germs, and Steel: The Fates of Human Societies*. W.W.Norton & Company, New York and London.

- 14) Simoons FJ, Simoons ES. 1968. A Ceremonial Ox of India. The Mithun in Nature, Culture, and History. The University of Wisconsin Press, Madison.
- 15) Turner S. 1800. An Account of an Embassy to the Court of the Teshoo Lama, in Tibet; Containing a Narrative of a Journey through Bootan, and Part of Tibet. London: G. and W. Nicol, 473pp.
- 16) Hickman CG, Tenzin D. 1982. The classical crossbreeding systems in Bhutan. *Bhutan Journal of Animal Husbandry* 5:19-22.
- 17) Phangchung, Roden JA. 1996. Characterisation of the Siri breed and the Mithun cross Siri in Bhutan. *Animal Genetic Resources Information* 20:27-34.
- 18) Department of Livestock, Ministry of Agriculture, Bhutan. 2007. Livestock Statistics 2007, 137 pp.
- 19) Tamang NB, Perkins JM. 2005. Cattle management systems in humid subtropical areas of western Bhutan. *Journal of Bhutan Studies* 13:105-118.
- 20) Dorji T. 2007a. Livestock production in Bhutan: Retrospect, present situation and future outlook. *Report of the Society for Researches on Native Livestock* 24:37-53.
- 21) Winter H, Mayr B, Schleger W, Dworak E, Krutzler J, Burger B. 1984. Karyotyping, red blood cell and haemoglobin typing of the mithun (*Bos frontalis*), its wild ancestor and its hybrids. *Research in Veterinary Science* 36:276-283.
- 22) Winter H, Mayr B, Schleger W, Dworak E, Krutzler J, Kalat M. 1986. Genetic characterization of the mithun (*Bos frontalis*) and studies of spermatogenesis, blood groups and haemoglobins of its hybrids with *Bos indicus*. *Research in Veterinary Science* 40:8-17.
- 23) Winter H, Kalat M, Mayr B, Dworak E, Schleger W. 1988. Mithun cross siri hybrids: cyto- and immunogenetic examination and characterization of abnormal spermatogenesis. *Research in Veterinary Science* 45:86-100.
- 24) Fürer-Haimendorf C von. 1975. Himalayan Traders: Life in Highland Nepal, John Murray.
- 25) 小林茂. 1987. ネパール・ヒマラヤのヤクウシ雑種生産. 「牧畜文化の原像—生態・社会・歴史」(福井勝義・谷泰 編著), pp.207-244, 日本放送出版協会.
- 26) 稲村哲也・本江昭夫. 2000. 多様な家畜と交配のシステム. 「ヒマラヤの環境誌—山岳地域の自然とシェルパの世界」(山本紀夫・稲村哲也 編著), pp.171-181, 八坂書房, 東京.
- 27) Project Maje, February 2004. 2004. Mithuns sacrificed to greed. The forest ox of Burma's Chins. (available at <http://www.projectmaje.org/mithuns.htm>)
- 28) Das KC, Prakash B, Rajkhowa C. 2008. Nutrition and feeding of mithun (*Bos frontalis*) in hill livestock farming system. *Indian Journal of Animal Nutrition* 25:1-10.
- 29) 高槻成紀. 1998. 哺乳類の生物学5: 生態. 東京大学出版会, 東京, 145 pp.
- 30) 安藤和雄, 石本恭子, 宇佐見晃一, 稲村哲也. 2011. 東ヒマラヤのあこがれ地, アルナーチャル・プラデーシュ—その魅力と現代文明への問いかけ. 「生老病死のエコロジー—チベットヒマラヤに生きる」(奥宮清人 編), pp.61-89, 昭和堂, 京都.
- 31) 宮本万里. 2008. 森林放牧と牛の屠殺をめぐる文化の政治—現代ブータンの国立公園における環境政策と牧畜民—. *南アジア研究* 20:77-99.
- 32) Mech A, Dhali A, Prakash B and Rajkhowa C. 2008. Variation in milk yield and milk composition during the entire lactation period in mithun cows (*Bos frontalis*). *Livestock Research for Rural Development*. Volume 20, Article #75.
- 33) Dorji T, Tshering L, Rai DB. 2009. "Conservation of the Last Himalayan Cattle Breed of Bhutan" . Potential Good Practice Note, South Asia Pro Poor Livestock Policy Programme: BHGP04, Delhi, India.
- 34) FAO. 1982. Bhutan cattle breeding programme utilized rare species/genetic breakthrough achieved. FAO Ceres No. 086.
- 35) Duckworth JW, Steinmetz R, Timmins RJ, Pattanavibool A, Than Zaw, Do Tuoc & Hedges S. 2008. *Bos gaurus*. In: IUCN 2011. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2011.2.
- 36) Wilson DE, Reeder DM. 1993. Mammal Species of the World: A Taxonomic and Geographic

- Reference. Second Edition. Smithsonian Institution Press, Washington and London.
- 37) Simoons FJ. 1984. Gayal or mithun. In: Evolution of Domesticated Animals (ed. by I.L. Mason), pp. 34-39, Longman, London.
- 38) Carey BS, Tuck HN. 1896. The Chin Hills: A History of the People, Our Dealings with Them, Their Customs and Manners, and a Gazetteer of Burma, 236 pp.
- 39) Lan H, Xiong X, Lin S, Liu A, Shi L. 1993. Mitochondrial DNA polymorphism of cattle (*Bos taurus*) and mithun (*Bos frontalis*) in Yunnan province. *Acta Genetica Sinica* 20:419-425.
- 40) Ma G, Chang H, Li S, Chen H, Ji D, Geng R, Chang C, Li Y. 2007. Phylogenetic relationships and status of quo of colonies for gayal based on analysis of cytochrome *b* gene partial sequences. *Journal of Genetics and Genomics* 34:413-419.
- 41) Policy and Planning Division, Ministry of Agriculture, Bhutan. 2003. Facts and Figures of RNR Sector, 2003.
- 42) Luethi NB. 1999. Bovine and Equine in Bhutan. Renewable Natural Resources Research Centre, Jakar, 172 pp.
- 43) Felius M. 1995. Cattle breeds - an encyclopedia, Doetinchem, Netherlands, Misset.
- 44) Payne WJA, Hodges J. 1997. Tropical Cattle: Origins, Breeds and Breeding Policies, Blackwell Science, London.
- 45) Dorji T, Hanotte O, Arbenz M, Rege JEO, Roder W. 2003. Genetic diversity of indigenous cattle populations in Bhutan: Implications for conservation. *Asian-Australian Journal of Animal Sciences* 16:946-951.
- 46) Dorji T. 2007b. Nomenclature for livestock types in the Himalayan Kingdom of Bhutan. *Report of the Society for Researches on Native Livestock* 24:55-60.
- 47) Namikawa T, Dorji T, Kurachi M, Yamagata T, Kurosawa Y, Yamamoto Y. 2007. The traditional cattle breeding system in Bhutan: Genetic implication in the hybrid production process. *Report of the Society for Researches on Native Livestock* 24:61-68.
- 48) 鹿野勝彦. 1978. ヒマラヤ高地における牧畜—高地シェルパの例をとおして. *民族学研究* 43:85-97.
- 49) Lamprey HF. 1963. Ecological separation of the large mammal species in the Tarangire Game Reserve, Tanganyika. *African Journal of Ecology* 1:63-92.
- 50) Jarman PJ. 1974. The social organization of antelope in relation to their ecology. *Behaviour* 48:215-267.
- 51) Kleiber K. 1932. Body size and metabolism. *Hilgardia* 6: 315-351.
- 52) Ministry of Agriculture, Royal Government of Bhutan 2008. Compendium of Renewable Natural Resources Statistics, 52pp.
- 53) Dorji T, Namikawa T, Mannen H, Kawamoto Y. 2010a. Milk protein polymorphisms in cattle (*Bos indicus*), mithun (*Bos frontalis*) and yak (*Bos grunniens*) breeds and their hybrids indigenous to Bhutan. *Animal Science Journal* 81:523-529.
- 54) Kawamoto Y, Namikawa T, Adachi A, Amano T, Shotake T, Nishida T, Hayashi Y, Kattel B, Rajbhandary HB. 1992. A population genetic study on yaks, cattle and their hybrids in Nepal using milk protein variations. *Animal Science and Technology* 63:563-575.
- 55) Guo S, Savolainen P, Su J, Zhang Q, Qi D, Zhou J, Zhong Y, Zhao X, Liu J. 2006. Origin of mitochondrial DNA diversity of domestic yaks. *BMC Evolutionary Biology* 6:73
- 56) Zeuner FE. 1963. A History of Domesticated Animals. Harper & Row, New York and Evanston.
- 57) Shan X, Chen IF, Luo LH, Tsao M, Song JZ, Zeng YZ. 1980. Karyotypic studies on gayal (*Bos frontalis*). *Hereditas (Beijing)* 2:25-27.
- 58) Tanaka K, Mannen H, Kurosawa Y, Nozawa K, Nishibori M, Yamamoto Y, Okabayashi H, Tsunoda K, Yamagata T, Suzuki Y, Kinoshita K, Maeda Y, Nyunt MM, Daing T, Hla T, Win N, Tur T, Aung P, Cho A. 2004. Cytogenetic analysis of mithan in Myanmar. *Report of the Society for Researches on Native Livestock* 21:123-127.
- 59) Chen IF, Shan SN, Tsao HM, Li CY, Yin LY. 1978. Somatic chromosome of *Bos gaurus readei*.

Acta Genetica Sinica 5:249-251.

- 60) Vadhanakul N, Tansatit M, Tunwattana W. 2004. Karyotype of a Thai gaur sire of Khao Kheow Open Zoo. *Journal of the Thai Veterinary Medicine Association under the Royal Patronage* 54:35-45.
- 61) Kakampuy W, Tanomtong A, Chaveerach A, Sangpakdee W. 2007. New Robertsonian translocation chromosomes in captive Thai gaur (*Bos gaurus readei*). *Pakistan Journal of Biological Sciences* 10:2185-2191.
- 62) Bongso TA, Hilmi M, Sopian M, Zulkilli S. 1988. Chromosomes of gaur cross domestic cattle hybrids. *Research in Veterinary Science* 44:251-254.
- 63) Mamat-Hamidi, Idris I, Hilmi M. 2009. Karyotype of Malayan gaur (*Bos gaurus hubbacki*), Sahiwal-Friesian cattle and gaur x cattle hybrid backcrosses. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 12:896-901.
- 64) Riggs PK, Owens KE, Rexroad III CE, Amaral MEJ, Womack JE. 1997. Development and initial characterization of a *Bos taurus* x *B. gaurus* interspecific hybrid backcross panel. *Journal of Heredity* 88:373-379.
- 65) Dorji T, Mannen H, Namikawa T, Inamura T, Kawamoto Y. 2010b. Diversity and phylogeny of mitochondrial DNA isolated from mithun *Bos frontalis* located in Bhutan. *Animal Genetics* 41:554-556.
- 66) Tanaka K, Takizawa T, Murakoshi H, Dorji T, Nyunt MM, Maeda Y, Yamamoto Y, Namikawa T 2011 Molecular phylogeny and diversity of Myanmar and Bhutan mithun based on mt DNA sequences. *Animal Science Journal* 82:52-56.
- 67) Bruford MW, Bradley DG, Luikart G. 2003. DNA markers reveal the complexity of livestock domestication. *Nature Review Genetics* 4:900-910.

Summary

Use of Mithun in Himalaya in View from Genetic Study on Crossbred Livestock in Bhutan

Yoshi Kawamoto¹⁾, Tashi Dorji²⁾, Tetsuya Inamura³⁾

- 1) Primate Research Institute, Kyoto University, Japan
- 2) Department of Livestock, Ministry of Agriculture and Forests, Bhutan
- 3) Aichi Prefectural University, Japan

Mithun, a kind of bovine livestock, is broadly distributed in southern part of Himalayan region. This animal has been introduced from Arunachal Pradesh to Bhutan and its crossbreeds with indigenous cattle are commonly used for farming and milking in Bhutan. Mithun and its hybrids demonstrate high adaptability to forest environment. Various grades of mithun hybrids are produced through traditional system of mating. Herders of those hybrids perform pastoral transhumance in temperate and subtropical zones in the stock farming. In this review, we overviewed the use of mithun in Himalayan region and discussed the characteristics of animal husbandry in the forest country. We also explained the results of our population genetic study to assess gene flow between mithun and local cattle populations in Bhutan and to evaluate domestication origin of Mithun for further understanding of utilization of a unique livestock in Himalayan region.