

公開シンポジウム

「未来をになうAnimal Sciencenの発展と展開」

日 時：2022年9月17日（土）13：30～17：40

開催方式：Zoomを使用したオンライン開催（ライブ配信）ならびに講演者および関係者は対面

プログラム：

13：30～13：50 開会挨拶 半澤 恵（東京農業大学農学部）

第1部：世界の家畜を視野に入れた多様な家畜の可能性

13：50～14：10 林 義明（名城大学農学部）

「世界で主要な家畜，ヤギ」

14：10～14：30 相馬 幸作（東京農業大学生物産業学部）

「新規動物資源エゾシカとエミューの産業化と研究支援」

14：30～14：50 小川 博（山階鳥類研究所）

「6次産業化を目指したホロホロチョウ生産」

第2部：野生動物学から生命科学まで

15：00～15：20 松林 尚志（東京農業大学農学部）

「野生ウシ・ボルネオバンテンは実在するのか？」

15：20～15：40 小林 朋子（東京農業大学農学部）

「畜産の発展と牛伝染性リンパ腫ウイルスの過去・現在・未来」

15：40～16：00 尾畑 やよい（東京農業大学生命科学部）

「生命をつなぐ生殖細胞～受精卵ができるまで～」

第3部：SDGs への取組み

16：10～16：30 八代田 真人（岐阜大学応用生物科学部）

「陸の豊かさを守る手段としての放牧」

16：30～16：50 白砂 孔明（東京農業大学農学部）

「“ウシの妊娠”は私たちの生活に重要でしょうか？」

16：50～17：10 島 亜衣（東京大学大学院情報理工学系研究科）

「培養肉：おいしいお肉を食べ続けるための新しい選択肢」

17：10～17：40 総合討論

17：40～17：50 閉会挨拶

※時間は予定です。

なお、本シンポジウムは公益社団法人伊藤記念財団の助成を受けています。

開催にあたって

東京農業大学農学部
半澤 恵



ご挨拶

動物性タンパク質の安定的な生産を継続するために解決すべき課題は、資源動物の保全、動物福祉、環境負荷、感染症対策、担い手不足とスマート化など多岐にわたります。これに対し家畜生産を支える畜産学は、科学と社会の発展に伴い深化と拡大をとげ、医学・生命科学、環境共生科学を含む広大な領域に有能な人材を輩出し、それぞれの立場から動物の生命・生産、動物との共生を追求しています。

そこでこのシンポジウムでは、未来を担う若人および一般消費者に、畜産が、持続可能な豊かな社会にとって重要であることを認識してもらい、その一翼を担う動機づけとすることを目指しています。

具体的には

第1部：世界を視野に入れた多様な家畜の可能性、

第2部：野生動物学から生命科学まで、

第3部：SDGsへの取組み、について各分野の第一線で活躍される先生方に講演して頂きます。

大会に出席している学生会員に加えて、日本全国の高校生などにもオンラインでの参加を呼び掛けることで、より多くの若者に参加の機会を提供します。

プログラムは前ページに示したとおりです。皆様のご参加を心よりお待ちしております。

【略歴】

1977年県立厚木高等学校卒業。

1978年弘前大学農学部入学。

1980年同大学畜産学教室・豊川好司博士に師事。

1981年同教室卒業。

1982年東京農業大学大学院博士前期入学。畜産学科家畜生理学研究室・渡邊誠喜博士に師事。

1984年同博士後期課程中退。1985年同研究室に奉職（副手）。

1998年厚木キャンパスに移転。

2002年同教授。

2018年動物科学科動物生理学研究室に名称変更、現在に至る。

世界で主要な家畜, ヤギ

名城大学農学部
林 義明



【世界における飼養】世界でのヤギの飼養頭数は急増しており、2020年までの20年間で1.49倍の増加と、同期間でのウシの1.16倍、ブタの1.06倍を凌ぐ。この増加は、乳、肉、毛、皮、堆肥等を目的とした増頭によると推測され、特に開発途上国での生産が貧困削減や農業開発に貢献することも特筆される。ヤギ飼養の他目的として、環境保全の役割も注目される。一例として欧州の乾燥地域では山火事予防の防火帯での除草にヤギが用いられる。また、ヤギの放牧による生物多様性の維持や、適切な飼養管理での気候変動緩和にも貢献する。そのため、2030年までの国際目標「持続可能な開発目標（SDGs）」にも貢献し得る家畜である。さらに、贈答物としての扱い、宗教的祝賀や儀式での利用例もある。したがって、ヤギは世界中で飼養され、人間生活や地球環境の質向上に資する家畜である。

【日本における飼養】日本でのヤギ飼養は他の家畜に比べて独特で、経済や環境の状況に影響されてきた。1950年代には生産物の自家消費や水田周辺地の除草のために飼養され、1957年に約67万頭（日本復帰前の沖縄を除く）の飼養頭数を記録した。しかし、経済発展に伴い、生産物の需要や収益性の低下により飼養頭数は減り、2010年には約1万4千頭となった。その後、ヤギ飼養の機運が高まり、2020年には飼養頭数が約3万1千頭とされている。飼養頭数の増加は生産物への関心の高まりのみならず、耕作放棄地等での除草、小中学校での情操教育、アニマルセラピーを含む伴侶動物としての利用によると考えられる。乳はヨーグルト、チーズ等にも加工され、ペット用乳としても取り扱われる。肉は南西諸島で伝統的に消費されてきたが、近年は全国各地に肉料理を提供する飲食店が増え、国産ヤギ肉の需要も増加している。

【全国山羊ネットワーク】ヤギやその生産物に興味のある人々の集まりで、ヤギに関して情報交換し、我が国でのヤギ振興を目的とする全国山羊ネットワークが1999年より活動している。全国山羊サミット開催、会報発行、日本山羊研究会開催と研究会誌発行、ヤギに関する地域団体支援、オンラインでの情報発信、家畜改良センター茨城牧場長野支場や畜産技術協会との連携、ヤギの研究/生産に資する世界的ネットワーク International Goat Association (IGA) への加盟での国外機関との情報交換を行う。これまでに、「乳及び乳製品の成分規格等に関する省令（乳等省令）」での「殺菌山羊乳」の成分規格改正の厚生労働省への提案、国内のヤギ飼養での課題収集と解決への取り組み、ヤギの飼料計算プログラムの試作等も実施してきた。ヤギを産業動物と限定せず、実験動物、伴侶動物としても位置付け、多様な利用価値があると考え、農業技術、研究、教育等、多方面からヤギを捉え、人類とヤギの関わりを深めている。

【ヤギの乳肉】全国山羊ネットワークと日本綿羊協会（現 畜産技術協会）との共同提案により、2014年12月に乳等省令での殺菌山羊乳の成分規格が、無脂肪固形分7.5%以上、乳脂肪分2.5%以上に改正され、国内での飲用乳としての生産/販売の環境が改善された。他方、農林水産省により2020年に設定された家畜改良増殖目標では、ヤギ生産物の需要拡大に 대응するため、安定した生産体制作りと、泌乳能力や乳成分、産肉能力の向上に努めることが示された。ヤギ乳は牛乳に比べて乳中の脂肪球が小さく、胃内で形成される凝乳が軟らかいため乳タンパク質が消化されやすく、アミノ酸が吸収されやすいとされる。また、乳タンパク質の主成分であるカゼイン中、 α_{s1} カゼインが牛乳より少なく、乳アレルギーを引き起こさない例がある。さらに、乳中の遊離アミノ酸であるタウリン含量が牛乳より多いとされる。他方、ヤギ肉は低脂肪、高タンパク質で、脂肪は他の反芻家畜より不飽和脂肪酸が多く、リノール酸に富む。また、ヤギ肉の摂取により血圧は上昇しないことも報告されている。飼料の種類や摂取量がヤギ生産に影響を及ぼすことは周知されており、放牧または舎飼い等、異なる飼養形態でのヤギの乳肉生産に関する研究が実施されている。引き続き、研究成果の収集/整理を行い、関連学会での成果発表と、国内でのヤギ生産の向上を図りたい。一方、国内でのヤギのと畜先が限定されることが喫緊の課題であり、一層の課題解決への取り組みが必要である。

【略歴】

1994年 広島大学生物生産学部 卒業。

1996年 広島大学大学院生物圏科学研究科 博士課程前期修了。

1996年～2003年 国際協力機構（JICA）青年海外協力隊員、酪農ヘルパー、JICA 専門家等。

2006年 広島大学大学院国際協力研究科 博士課程後期修了。

その後、帯広畜産大学畜産学部研究員、名城大学農学部助教、准教授。全国山羊ネットワーク事務局、IGA 日本代表を担当。

新規動物資源エゾシカとエミューの 産業化と研究支援

東京農業大学生物産業学部
相馬 幸作



1. 新規動物資源による地域振興

近年、野生鳥獣やダチョウをはじめとする新規動物資源の肉に接する機会が増えてきた。野生鳥獣の活用は、農林業被害対策の一環として駆除された個体の処理対策として、廃棄から有効活用へ発想転換したものであり、新規動物資源の生産は食や畜産物の多様化が背景となっている。どちらも地域の特産物となり得る資質を有していたことから、地域振興の一端を担うまでになっている。その先陣を切り、我が国の食料生産の要となっている北海道は、様々な「食」としての取り組みが実践されている。

2. 北海道における新規動物資源の活用

(1) エゾシカの活用

北海道の主な野生鳥獣の活用はエゾシカである。これまで、エゾシカによる農林業被害対策は主として銃捕獲による個体数調整であったが、2015年から鹿肉を中心とした有効活用に舵が切られた。しかし、当時の鹿肉の評価は低く、食肉処理過程の工夫と鹿肉の活用方法の提案が必要であった。このため、北海道は鹿肉の普及へ向けた活動と共に、有効活用や衛生処理方法のマニュアルを策定し、銃捕獲による駆除個体の活用だけでなく、生体捕獲した後に短期飼育による鹿肉生産(一時養鹿)という新たな事業に取り組んだ。一時養鹿事業は一定品質の鹿肉生産が可能となった。これにより、エゾシカ肉の評価が高まり、現在では銃捕獲による鹿肉を含め、首都圏を中心に需要が高まり、北海道内のスーパーでも取り扱われるまでになっている。

(2) エミューの生産

新規動物資源の生産について、全国的にダチョウの生産が先行していた。しかし、東京農業大学北海道オホーツクキャンパスが所在する網走市において、民間の牧場を中心に置いた産官学によるエミューの生産事業が始まると、全国的に注目されるようになった。エミューはダチョウに次ぐ大きさの走鳥類であり、原産国はオーストラリアである。生産物は肉や卵などダチョウに準じるが、一番の大きな特徴は脂肪の生産である。エミューの脂肪から得られるエミューオイルは、アボリジニの治療薬として経験的に活用されていたが、近年の研究では鎮痛作用や美肌効果などの特徴を有していることが判明し、高い評価を得ている。また、牧場の未利用資源活用など飼育しやすいことや愛玩性が評価され、地域振興としてエミュー牧場が各地で開設されるようになった。

3. 東京農業大学の研究支援

エゾシカの有効活用やエミューの生産について、東京農業大学北海道オホーツクキャンパスの研究施設が有効に活用されてきた。また、事業を実施している団体との共同研究を通じ、実規模の研究も進めてきた。いずれも、学部の基本理念(生産-加工-流通)を生かした学科横断的な取り組みとして支援を進めることにより、一定の評価が得られたと考えている。

エゾシカの有効活用に関する研究支援は、北海道が取り組んでいる一時養鹿事業に関連し、飼育方法や給餌飼料による鹿肉成分の影響、他団体との加工品開発の橋渡しなど、学部の特色を生かした支援を通じ、エゾシカ肉を中心とした生産物の有効活用に貢献してきたと考えている。一方、エミューの生産については、増殖や飼育の方法、加工品開発、流通に至る一連の流れを整理し、一つのパッケージを提示することができたと考えている。これらの取り組みは学生教育にも取り入れられ、地域の方々との協働による研究支援などにもつながっていると感じている。

4. さいごに

新規動物資源はマイナーな存在であることから、大学など単機関で取り組むことが多い。このため、結果を出すまでに1年以上を要することに対し、生産者目線からは速度感があるとは言い難い状況である。また、現在のエゾシカの一時的養鹿事業は素ジカの確保と、より多くの生産物の活用など、見直しの時期に来ていると考える。エミューについても国内初の高病原性鳥インフルエンザによる全羽殺処分という悲報があった。これらの対応について相談を受ける都度、新規動物資源は地域振興としての取り組みやすさがある反面、消費者目線では「食材が継続的に提供されるのか」といった不安があることを再認識している。一過性ではなく、「安全」「安心」を担保とする既存の畜産と同じ感覚で取り組んでいるのか、新規動物資源の活用について多方面から見直す必要があると考える。

【略歴】

1993年 東京農業大学生物産業学部生物生産学科卒業。1998年 東京農業大学大学院博士後期課程修了。
1998年 北海道技術吏員(農業改良普及員)。2005年 東京農業大学生物生産学科(2018年 北方圏農学科に改称)講師を経て2015年 教授。2021年から東京農業大学網走寒冷地農場 農場長。

6次産業化を目指したホロホロチョウ生産

山階鳥類研究所
小川 博



ホロホロチョウは、西アフリカ原産のキジ目ホロホロチョウ科の鳥で、原産地で貴重なタンパク質供給源として重要視されているだけでなく、肉用家禽としてフランス、イタリア、東欧などで生産が盛んである。日本では一般に入手しづらく高級食材としてレストランなどで提供されたり、燻製として高値で販売されたりする例が見受けられる。また、ホロホロチョウ卵については市場にはほとんど流通していない。しかしながら、ホロホロチョウ卵は、卵殻が厚くて硬いこと、卵黄比が高こと、カラザが無い（見えない？）こと、卵黄中のコレステロール含量が鶏卵より少ないこと、オレイン酸やリノレン酸などの不飽和脂肪酸を多く含むことなどの食用卵としてすぐれた特徴を有しているが、卵用家禽としての利用はほとんど行われていない。近年、集約的な大規模養鶏経営だけでなく、地方の品種を用いた地域ブランドの創生が全国で試みられている。この場合、付加価値を高めるためには他との差別化が必要であり、様々な日本在来鶏が素材として用いられている。この点でホロホロチョウは、卵生産と肉生産の双方の素材として有望であり、生産から加工販売までの6次産業化の素材として適している。さらに、小規模な養鶏農家においても鶏の施設を流用することで、設備投資をすることなく飼育生産に取り組むことができる。そこで、6次産業化を目指したホロホロチョウ生産における諸課題に取り組んだ。

1). 飼育・繁殖方法

①ホロホロチョウは繁殖期に番を形成することから計画的な増殖が難しく、産業的な雛生産の現場では人工授精による繁殖が行われている。液状精液での人工授精は、3~5倍希釈で7~5日に一度実施することで良好な受精率が得られる。液状精液を用いた人工授精は農家単位での実施が可能であるが、繁殖期が限定されるのが課題である。凍結精液による人工授精法は、ジメチルホルムアミドを凍結保護剤とした方法が確立されているが、凍結時の厳格な温度管理が必要であり、農家レベルでの実施は難しい。一方、孵化時期により冬季であっても産卵する個体が出現したことから、単飼で産卵率の高い夏季に人工授精を実施して繁殖させるのが効率的である。今後、年間並びに冬季の産卵成績を基に選抜することにより更なる産卵成績の向上が期待出来る。

②動物福祉を考慮すると平飼いで群飼が望ましいことから、4羽の小規模な群での個体間の関係について調査した。ホロホロチョウを雄のみの群で飼育した場合、つつき行動による順位形成が認められ、この順位は給餌器の占有時間の順位と一致していた。雌のみではつつき行動は認められない場合があったが、給餌器の占有時間には個体差が認められたことから、雌の個体間においても順位存在が示唆された。雌雄2羽ずつの群飼の場合、雄同士のつつきあいによる劣位個体が群の中で最も給餌器の占有時間が短くなる傾向が認められた。なお、順位の高い個体は体重が大きい傾向が認められた。

2). 早期雌雄鑑別方法 ①性染色体上に存在する遺伝子を用いた雌雄判別法を検討した結果、シギダチョウで雌雄判別可能なSpindlin遺伝子のプライマーを用いることにより、雌雄判別が可能であることが明らかとなった。

3). 生産物の付加価値の向上

①健康志向の高い消費者に対するアピールするため、飼料中にサチャインチの種子の粉末を5%添加して給与したところ、肉（もも肉と胸肉）の総脂肪酸量（特に飽和脂肪酸量）が減少した。不飽和脂肪酸は、 ω 6不飽和脂肪酸は減少したが、 ω 3不飽和脂肪酸量が増加した。卵黄では ω 3脂肪酸である α -リノレン酸およびドコサヘキサエン酸等の不飽和脂肪酸含量が増加した。なお、ホロホロチョウ肉の一般成分は、サチャインチ粉末を給与したことによる違いは認められなかったが、ニワトリのプロイラーと比べると、低水分、高タンパク質であり、肉質は剪断力価（噛みちぎりに要する力）が高かった。

4). ホロホロチョウ卵を用いた加工製品の開発

①ホロホロホロチョウ卵を用いた加工品としてプリンおよびカタラーナを試作販売した。

【略歴】

1978年 東京農業大学農学部畜産学科卒業

1980年 東京農業大学大学院農学研究科農学専攻博士前期課程修了 修士（農学）

2005年 東京農業大学大学院農学研究科畜産学専攻 博士（畜産学）

1980年~2022年 東京農業大学短期大学農場、短期大学部生物生産技術学科、農学部畜産学科、バイオセラピー学科、生物資源開発学科勤務

2021年~2022年 山階鳥類研究所スペシャルアドバイザー 2022年~ 山階鳥類研究所 所長

野生ウシ・ボルネオバンテンは実在するのか？

東京農業大学農学部
松林 尚志



東南アジアにはバンテン (*Bos javanicus*) という野生ウシが生息している。四肢と臀部、口唇は白く、体色は地域により異なり、概して大陸部のオスは茶色に対し島嶼部のオスは黒色、メスは大陸部・島嶼部共に茶色、オスはメスに比べて筋肉質で角も体サイズも大きい。本種は、分布域によって大陸のビルマバンテン、ジャワ島・バリ島のジャワバンテン、そしてボルネオ島のボルネオバンテンの3亜種に分類される。生息地の乱開発や乱獲により絶滅の危機に瀕しており、近年、各地でバンテンの保全策が進められているが、ボルネオバンテンについては、家畜ウシとの交雑疑惑があり対策が遅れていた。また、3亜種の中で唯一ボルネオバンテンは、飼育個体がおらず染色体数も不明で情報が著しく少ない。そこで我々は、ボルネオバンテンの生息状況の実態把握ならびに交雑の有無を検証するために、ボルネオ島・マレーシア・サバ州において、広域での自動撮影カメラ調査に加え、糞ならびに頭骨に残された歯髄由来のミトコンドリア DNA 解析を行った。その結果、自動撮影カメラ調査からは、木材の切り出しを行う商業林3カ所において幼獣を伴う集団を見出し、孤立した繁殖集団が残存していることが分かった。糞由来のミトコンドリア DNA 内の2つの領域の各一部配列ならびに歯髄由来のミトコンドリア DNA 全長配列の結果からは、家畜ウシとの交雑は確認されなかった。さらに、ボルネオバンテンはバンテンの他の2亜種よりも、別種の野生ウシ・ガウル (*Bos gaurus*) に近縁であるということが判明した。これらの結果から、ボルネオバンテンの保全価値を示し、新たに見出した繁殖集団を用いた飼育繁殖プロジェクトを実現すること、核ゲノム DNA も対象として分類そのものを再検討することの必要性を示した。本発表では、ボルネオバンテンを取り巻く状況、これまでの経緯、そして今後の展望について紹介する。

【略歴】

宮城県石巻市生まれ。東松島市育ち。子供の頃愛読した動物雑誌『アニマ』（平凡社）の影響を受け、熱帯雨林での野生動物研究に憧れを抱く。学部（家畜生理）、大学院修士課程（分子進化）では分子生物学の道へ踏み入るも、沿岸小型捕鯨生物調査での経験がきっかけで熱帯雨林への思いが再燃。大学院博士課程1年の1997年、はじめてマレーシアの熱帯雨林へ。それ以来、博士課程5年、ポスドク8年、マレーシア・サバ大学の教員3年、そして東京農業大学の教員として、ボルネオ熱帯雨林で野生動物の生態や生息地保全に関する研究を実施・継続中。

畜産の発展と牛伝染性リンパ腫ウイルスの 過去・現在・未来

東京農業大学農学部
小林 朋子



牛伝染性リンパ腫 (enzootic bovine leukosis: EBL) は、ウシの監視伝染病の中でもっとも届出件数の多い疾病であり、令和3年度には約4,000件もの届出が報告されている。EBLは近年増加傾向にあり、その理由として国内の乳牛・肉牛における牛伝染性リンパ腫ウイルス (bovine leukemia virus: BLV) の感染率が増加していることが懸念されている。BLV感染牛のうちEBLを発症する牛は数パーセントとごく少数であるが、この疾病には治療法がなく予後不良であることから、畜産業界に大きな経済的損失をもたらしている。私達は、BLVの世界的な感染拡大と日本への移入の過程、そして、現状の感染状況、さらにはこれらの知見を踏まえた現実的な対策方法について興味を持ち、研究を行ってきた。本講演では、これらの研究の中で得られた成果を紹介したい。

EBLが世界で初めて報告されたのは、1878年の東プロイセンのメーメル地方である。この疾病は、当初地方病的な発生の様相を呈していたが、1900年代初頭にはヨーロッパ全土から報告されるようになった。EBLはヨーロッパの家畜牛において突如出現した疾病のように認識されているが、その原因ウイルスであるBLVについて、起源となる宿主や、ヨーロッパへの到達経路については、不明な点が多かった。我々は、アジアの様々な在来牛においてBLV遺伝子の探索を行い、得られた配列を用いて動的系統樹解析を行った。その結果、BLVはアジアのゼブ牛が保有していたウイルスを祖先とし、南米において家畜牛に伝播した後、貿易や品種改良に伴う牛の移動に伴って、世界に拡散したことが分かった。日本においても、各地に保存されていた過去の病理組織標本の解析により、牛の輸入が活発化した1970年代に南米由来のBLVが米国経由で日本に侵入したことが分かった。

それでは、日本においてBLVの感染はどのように広がっているのだろうか。それを知るために、農場ごとに感染ウイルスの多様性と、個体識別番号を利用した牛の移動歴を紐づけて解析を行った。その結果、牛の導入や預託などにより牛の出入りの多い農場では、BLVの配列多様性も高く、自家産で牛の出入りのほとんどない農場ではBLV配列の多様性が低かった。つまり、BLVは国内においても牛の移動によって拡散していることが客観的データからも示された。このように日本に広く浸潤しているBLVであるが、地域特定品種の中にはBLVに抵抗性を示す品種が存在することや、EBL抵抗性の種雄牛の血統が存在することなどについても明らかとなった。

感染拡大が止まらないBLVであるが、今後どのような対策を講じることができるだろうか。効果的に、かつ経済的損失をできるだけ抑えた対策を行うには、農場の汚染状況により対策目標を設定していくことが重要と考える。例えば、感染率の低い農家では、導入や預託前後のこまめな検査によるBLV感染牛の把握と隔離が必要である。また、感染率が50%前後の農場では、遺伝的に感染しにくい牛を用いた感染拡大防止などが考えられる。そして、感染率の高い農家では、対策の対象はBLV感染から発症へとシフトし、発症リスクの高い牛の抽出と、的確な病勢把握が有効であると考えられる。私達は、発症牛において上昇するBLV感染細胞のクローナリティに着目し、次世代シーケンサーによる病勢把握の手法を開発してきた。さらには、PCR法とサンガーシーケンス法を用いて、より簡易に感染細胞のクローナリティを把握する手法についても開発を進めている。EBLは発症しても特異的な症状に乏しく、畜産現場においては診断に苦慮するケースが多い。予後不良のEBLと、治療可能なそれ以外の疾病との類症鑑別が可能となれば、その後の牛の処遇を決める際の重要な情報提供となる。私達が開発した検査法を活用することにより、と畜せずともEBLの可能性を否定でき、安心して飼養を続けられるような判断の一助となるようにしたい。

今後もBLVの基礎的な研究を行い、感染機構や病態発現機構に基づいた防除法や対策方法を考えたい。

【略歴】

- 2007年3月 酪農学園大学 獣医学部 獣医学科 卒業
- 2011年3月 京都大学 医学研究科 医学専攻 博士課程 修了
- 2011年4月 農研機構博士研究員 動物衛生研究所 ウイルス疫学領域 タイ-日本人獣感染症共同研究センター
- 2012年7月 京都大学ウイルス研究所 ウイルス病態研究領域 博士研究員
- 2014年4月 東京農業大学 農学部 畜産学科 (現:動物科学科) 助教
- 2020年4月 同 農学部 動物科学科 准教授

生命をつなぐ生殖細胞 ～受精卵ができるまで～

東京農業大学生命科学部
尾畑 やよい



卵子，精子，あるいはその発生運命をコミットされた細胞は生殖細胞と総称され，生命を次世代へとつなぐ役目を担う．生殖細胞がその機能を果たすためには，減数分裂を完了して正常な半数体ゲノムを次世代に継承すること，そしてゲノミックインプリンティングなどを完了して正常なエピゲノムを次世代に継承することが求められる．

これまでに，家畜や絶滅に瀕した動物の繁殖あるいはヒト不妊治療を目的として様々な生殖補助技術（Assisted reproductive technology; ART）が開発されてきた．中でも精子を活用する ART，人工授精，体外受精あるいは顕微授精は畜産分野や医療分野で実用化され，驚くべきことに試験的にはフリーズドライ保存された精子からも顕微授精でマウス産仔が誕生している．こうした事実は，精子はゲノムとエピゲノムさえ正常であれば，顕微授精で十分に生殖細胞としての機能を果たせることを示している．一方，卵子の機能はゲノムとエピゲノムが正常であっても既存の ART で克服できない課題が多い．その理由のひとつは，卵子は受精卵に母性因子を継承する必要があるからである．母性因子とは mRNA，タンパク質および細胞小器官であり，卵子は卵母細胞成長過程で母性因子を産生し細胞質内に蓄積していく．母性因子の獲得は機能的な卵子の産生に重要であるが，これらは多岐に渡っており未だに全容は明らかになっていない．さらに，卵子の数的な制限は現状の ART により克服できない．ホルモン処置などにより排卵を誘起することは可能であるが，卵巣から排卵される卵子数は精巣で産生される精子数とは比較にならないほど限定的である．哺乳類では卵巣内に卵子の幹細胞が存在するか否か議論されて久しいが，少なくとも生理的条件下で卵巣内の卵子は枯渇することから，それを補完できる幹細胞は存在しない．つまり，生殖に利用できる卵子数は非常に限定的といえる．

卵子形成過程を再構築する体外培養系は，機能的な卵子が産生される過程や機構を解明する研究ツールとして，また，卵巣内に潜在する未成長の卵母細胞を成熟卵子として活用するツールとして役立てることが期待できる．哺乳類の卵子形成は胎仔期から始まるが，私たちは世界に先駆けて，マウス胎仔の卵巣から成熟卵子を産生する，つまりマウス卵子形成の全過程を再構築する培養系を開発してきた．残念ながら，現在の体外培養系では，卵子形成および卵胞形成のいずれも体内に匹敵するレベルにはまだ到達していない．例えば，この体外培養系で産生された卵子は体外受精，胚移植をへてマウスを誕生させることができるが，その率は低い．ART として活用するには更なる検討が必要である．しかしその一方で，体外培養で産生された卵子は体内で産生された卵子とどう違うのかを詳細に解析していくと，卵子形成や卵胞形成に関する新たな分子機構が見えてくる．

本シンポジウムでは，私たちが開発したマウス卵子形成を再構築する培養系を紹介させていただくとともに，卵子形成機構に影響しうる要因について言及する．

【略歴】

- 1999年3月 東京農業大学大学院農学研究科畜産学専攻博士後期課程修了 博士（畜産学）
- 1999年4月 群馬大学遺伝子実験施設（現 生体調節研究所附属生体情報ゲノムリソースセンター）助手
- 2003年4月 東京農業大学応用生物科学部バイオサイエンス学科 講師
- 2010年10月 同 准教授
- 2016年4月 同 教授（改組により2017年4月より現職）

陸の豊かさを守る手段としての放牧

岐阜大学応用生物科学部
八代田 真人



世界中のウシのおよそ1/4, さらにヒツジとヤギの半分以上は、放牧で飼育されており、南極大陸を除く世界の陸地面積のおよそ25%が、家畜の放牧に利用されている。つまり、広大な面積を利用して、人類は自らの食料供給のための多くの家畜を放牧しているが、とくに乾燥地域では、草の生産力を上回る家畜が放牧されることにより砂漠化などの土地の劣化が問題になっている。一方、日本国内でも統計上では、およそ20%のウシが放牧を利用して飼育されているが、乳や肉などの畜産物を生産するための飼育方式としてはあまり一般的とは言えない。放牧は家畜と植物が相互に作用する生態系であり、餌資源となる草の量と質は、それを摂取する家畜や季節の影響を受けて常に変化する。また、放牧されている家畜が、どのような栄養価をもつ草を、いつ、どれだけ摂取したのかを正確に把握することも難しい。放牧地で草を食むウシの姿はなにより“自然”であり、健康にみえるし、それを見ている我々の心を和ませるが、こうした理由から大量かつ効率的・安定的な生産を求める近代的な畜産業とは必ずしも相性がよくなかった。

近代的な農畜産業が、食料の供給や食生活の質の向上に寄与してきたことは間違いない。一方で、農業従事者の減少や高齢化とあいまって、あまり条件のよくない農地や草地、あるいは林地の利用を放棄することにも拍車をかけてきた。農地や草地、林地は、人が自然に働きかけることで創り出した二次的自然であるが、食料などの恵をもたらすだけでなく、多くの動植物の生息地にもなっている。したがって、持続可能な形で活用していく方法を模索する必要がある。

放牧は、放棄され雑草が繁茂するような農地や草地、あるいは林地に生育する下草を省力的に活用できる有効な手段かもしれない。我々はヤギを放牧することで耕作放棄地の再活用と土地の保全に取り組んできているが、これまでに耕作放棄地の植生でもヤギの飼育は可能であり、かつ放牧前よりも植物種数および多様性が増加することを明らかにしてきた。また、管理をしない場合や人力で除草した場合に比べ、放牧の方が植物の種数と多様性が増加することを示唆する結果も得ている。さらに、ササが優占する林地に黒毛和種繁殖牛を放牧した場合、春から夏にかけてはウシの栄養を満たせるが、秋にはエネルギー摂取量が不足するなどの適切な管理に必要な条件を示唆してきた。

放牧を家畜の生産や環境保全に活かすには、餌資源である草の量や質を把握し、かつ放牧された家畜がどこで、何をしているのか知る必要がある。かねてよりのこの難題は、ICT・IoTを活用することにより解決が可能になってきている。例えば、上空からドローンによって撮影した草地のスペクトル画像を解析することで、草の量やタンパク質の含量を推定することは、既に可能になっている。放牧家畜の居場所はGPSを使うことで把握することは難しくはなく、加速度センサを家畜の体につけてセンサの振動の頻度や方向から、休んでいる、草を食べている、反芻しているなどの行動を判別することも技術的に可能になってきている。我々は、家畜の頭部に装着した6軸加速度センサの動きを機械学習により判別することで、家畜が食べている草の違いが識別可能かも試みている。

SDGsの推進にみられるように、社会が畜産に求めるものは、従来の安価で、安定的な畜産物の供給に加え、持続可能であり、かつ環境の保全にも貢献できる産業になることである。放牧は、「環境にやさしい」あるいは「持続可能な」飼育方式として、そのポテンシャルが宣伝されることがよくあるが、科学的な証拠と新たなテクノロジーの力を得ることで、その能力を顕在化できる。

【略歴】

岐阜大学応用生物科学部 教授。帯広畜産大学畜産学部を1995年に卒業、北海道大学大学院農学研究科博士後期課程を2000年に修了（博士〔農学〕）。同年から岐阜大学に勤務し、2017年より現職。ウシやヤギの放牧による野草地、林地、耕作放棄地の利用と保全に関する研究に取り組んでいる。

“ウシの妊娠”は私たちの生活に 重要でしょうか？

東京農業大学農学部
白砂 孔明



皆さんは「牛・ウシ」にどのようなイメージを持っているでしょうか？かわいい、白黒の大きな動物、牧場などというのかなものから、牛乳、アイスクリーム、和牛ステーキなど、食べ物を思い浮かべる人も多くいると思います。食べ物を作り出すという点でウシは非常に重要な畜産動物であり、私たちの生活にとって欠かすことができない存在です。ウシから食べ物を安定的・持続的に供給してもらうため、ウシには妊娠して子牛を生んでもらう必要があります。

動物が子を持つためには雄と雌が必要になります。では、皆さんが牧場などを訪れ、白黒の模様があるウシ（ホルスタインと言います）がたくさん飼育されているのを見たとき、その牧場にいたホルスタインは雄でしょうか、それとも雌でしょうか？このような牧場で飼育しているホルスタインのほとんどが雌だと思います。雌ウシは妊娠して子牛を生むことで初めて牛乳を搾ることができるようになるため、酪農経営では雌が大事にされます。しかし、雄ウシがいなければ、雌ウシは妊娠して子牛を生むことができないのではないのでしょうか。実は、ウシが“人為的に”妊娠することができるよう、様々な技術を開発して現代の畜産業が成り立っています。

重要な繁殖技術として「人工授精」があります。広辞苑では「性交によらず、人為的に受精させること。人の不妊治療として行われるほか、家畜繁殖にも応用」と説明されています。畜産業では、優秀な雄ウシから人為的に精液を採取し、雌ウシの生殖器内に入れることで妊娠を成立する技術として活用されています。なんと、日本ではホルスタイン雌ウシに対する人工授精普及率はほぼ100%です。さらに、雌雄選別精液というものを使えば子牛の雌雄産み分けも可能です。

「受精卵移植」という技術の活用も広がっています。畜産業では、優秀な雌ウシから受精卵を採取し、別の雌ウシの生殖器内に移植する技術として活用されます。こちらも雌雄をあらかじめ判別して受精卵を移植することができます。さらに、黒毛和種の受精卵をホルスタイン雌ウシに移植することで、肉用の黒毛和種子牛と牛乳生産の機会が一度に得られるという応用も可能です。その他にも、体外受精・顕微授精・体外受精卵の培養・受精卵凍結保存・卵子凍結保存など、繁殖技術は驚くほど進歩し続けています。

しかし最近では、何度も人工授精や受精卵移植をしてもなかなか妊娠しない“長期不受胎”という状態のウシが増えてきており、大きな問題となっています。私たちの研究チームでは、子宮や腸内の環境など様々な視点から解析を行うことで、なぜ長期不受胎になってしまうのかという原因を明らかにしつつ、繁殖関連技術を駆使して長期不受胎牛の妊娠効率を上げるための研究をしています。この研究で持続的・効率的にウシを妊娠・出産させることができれば、限りあるウシを最大限に活用して安定した食料の供給に貢献できると考えています。

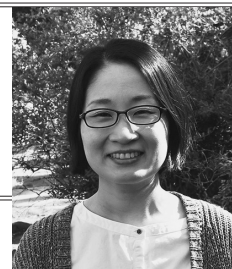
本発表では、活用されている様々な繁殖関連技術に加え、それらを活用してもなかなか妊娠しない長期不受胎牛をどうしたら妊娠させることができるのかという挑戦（と失敗）についても紹介します。

【略歴】

2014年4月 東京農業大学 農学部 畜産学科 助教
2017年4月 東京農業大学 農学部 畜産学科 准教授
2020年4月 東京農業大学 農学部 動物科学科 教授

培養肉：おいしいお肉を食べ続けるための新しい選択肢

東京大学大学院情報理工学系研究科
島 亜衣



スーパーマーケットに行けば簡単に手に入り、毎日のように食卓に上るお肉が、近い将来食べられなくなるかもしれない——、増え続ける世界人口と、新興国の経済発展による食生活の変化（肉食の増加）によって、食肉の需要に供給が追いつかなくなることが危惧されている。これは、食肉だけではなく、私たちの身体を作る主要な栄養素であるタンパク質全般について言えることであり、「タンパク質クライシス」と呼ばれる。そこで近年、これまであまり食物として活用されてこなかったタンパク質源を見直そうという動きが高まっている。これらの「代替タンパク質」の例として、昆虫、微細藻類（クロレラやユーグレナなど、現在もサプリメントとして利用されている）、植物性タンパク質がある。植物性タンパク質はこれまででも食べられてきたが、特に、フードテックを利用して大豆やエンドウ豆由来のタンパク質から、見た目と味が肉そっくりの「植物肉」を作る動きが加速している。

また、もうひとつの新しい肉の選択肢として、「培養肉」がある。肉を供給する「畜産」というシステムは、家畜を飼育するための広い土地、大量の水やエネルギー、エサとなる穀物を必要とする。また、ウシのゲップや排泄物は温室効果ガスの排出につながる。このような環境負荷が高い現行の畜産を将来にわたって拡大し続けることは、ほぼ不可能である。そこで、持続可能性の高い畜産を模索する動きと共に注目されているのが、培養肉である。培養肉は、ウシやトリなどの動物から得られた少量の細胞を、適切な栄養素を含んだ培養液の中で増やし、その増やした細胞を使って作製する肉である。動物を死なせなくても作ることができ、細胞を培養して元の何倍もの数に増やす過程を経ることで、家畜を丸ごと一頭育てるよりも効率よく食肉を生産できる、環境に優しい食肉生産方法として期待されている。

この「培養肉」というアイデア自体は古くからあり、1931年に発表されたイギリスの元首相、ウィンストン・チャーチルのエッセイや、1950年代に描かれた手塚治虫の漫画「ジャングル大帝」でも言及されている。そして、その後の細胞培養技術の発展によって、2013年になって初めて、マーストリヒト大学（オランダ）の生理学者マーク・ポストによってその実現可能性が実証された。彼らは、ウシから採取した筋細胞を7~8週間かけて培養して増やし、ハンバーガーのパテ大の培養肉を作製した。さらに、これを調理して実際に食し、「ジューシーさは足りないが、肉らしい風味がある」との感想を発表している。この時作られた培養肉は小さな筋線維の集まりであり、ハンバーガーパテに調理されたことからわかるように、いわばミンチ肉状のものであった。現在は、より幅広い料理に利用可能で、市場価値の高いステーキ肉（かたまり肉）状の培養肉を実現しようと、世界中の大学や食品企業、スタートアップ企業が研究開発を行っている。ステーキ肉は厚みのある大きな組織であり、長い筋線維が同じ方向にそろって並んだ構造をしている（この構造が肉の歯ごたえを生み出していると考えられる）。どうすれば、このような培養肉を作ることができるだろうか。

そもそも、一体どうやって細胞から肉を作るのだろうか？ 私たちが普段食べているお肉の実体は、動物の四肢や体幹を形づくる骨格筋である。細胞と、その細胞が接着する足場、培養液に加える化学的シグナルを様々に変えて、生き物の器官や組織を体外で再現することを試みる学問分野を「組織工学」という。近年、組織工学技術は目覚ましい発展を遂げており、その成果は再生医療や創薬の分野で実を結んでいる。培養ステーキ肉を作るためには、大きく二つの課題がある。一つは厚みのある大きな組織を作ることであり（血管がない組織は、数100 μm以上の厚みになると酸素が内部へ到達せず壊死してしまう）、もう一つは実際の骨格筋のように、筋線維を同じ方向にそろえて並べることである。私たちの研究グループでは、牛肉から採取して増やした筋細胞をゼリー状のコラーゲンゲルに混ぜて薄いシート状に成型し、両端を固定しながら積層して培養することでサイコロステーキ状培養肉を作製した。最初から分厚い組織を作るのではなく、薄いシートを重ねることで、組織内部の細胞死を防ぎ、両端固定により横方向に張力をかけることで、筋細胞を並べることに成功している。

本講演を通じて、培養肉が長年積み上げてきた組織工学技術の粋を集めた成果であること、様々な可能性を秘めた新世代のお肉であることを紹介できれば幸いである。

【略歴】

2006年東京大学教養学部卒業、2011年東京大学大学院総合文化研究科修了（博士（学術））。ペンシルベニア大学・ポストドク研究員、東京大学生産技術研究所・特任研究員等を経て、2019年より東京大学大学院情報理工学系研究科・特任助教。