

近年、畜産学分野においても Sustainable Development Goals の推進が求められている。我々アニマルサイエンティストは、持続可能な食料生産に貢献する研究を実施することが必要である。主な反芻動物であるウシは、人間が消化できない草植物などを第一胃（ルーメン）や腸内などに生息している微生物によって分解・吸収・代謝し、肉や乳などの動物性タンパク質などを提供してくれる。一方で、温室効果ガスであるメタンガスをあい気により大気に排出するため、これらのバランスを上手く取ることが重要である。以前より和牛の霜降り形成メカニズムの解明に関する研究に従事していた筆者は、肉質特に霜降り形質とルーメンおよび腸内微生物叢との関連性に興味を持ち、在外研究先を探すこととした。乳牛及び肉牛における微生物叢のオミックス解析で世界的に有名なカナダ・アルバータ州エドモントンにあるアルバータ大学の Dr. Leluo Guan 教授を知り合いの先生に紹介して頂き、連絡したところ快諾して下さい、今回の貴重な経験を得た。筆者は、アルバータ大学農学生命環境学部、農学・食品・栄養学科、動物科学分野に所属させて頂くことになった。

本来ならば、2020年4月より出発する予定であったが、COVID-19感染拡大のため、延長を余儀なくされた。2022年4月1日より在外研究の予定で準備を始めたが、就労許可証の連絡が来たのが2022年4月3日であった。そこから航空機など諸々の手配・手続きをおこない、2022年4月22日に出発した。当初、2023年4月21日まで滞在する予定であったが、一身上の都合により2023年4月4日に帰国することとした。

Dr. Leluo Guan 教授と在外研究計画についてミーティングした結果、以下のことについて研究を進めることとした。肉牛の肉質における微生物叢、トランスクリプトーム、メタボローム、メタン排出、飼料効率及び宿主遺伝との関連性について、Dr. Guan 教授の研究室で実施されてきた研究結果および近年に発表された学術論文を調査し、総説を執筆することとした。以下にその概要の一部について報告する。

ウシは、反芻動物特異的である複数胃の第一胃（ルーメン）に生息している多数の微生物により、様々な代謝を介して健康、成長、生産を維持している。それら微生物のほとんどが嫌気性であるため、従来の培養方法などでの研究が困難であり、微生物叢の研究の進捗状況は緩やかであった。しかしながら近年、主にゲノミクス・トランスクリプトミクス・メタボロミクス・プロテオミクスなどのハイスループットな分子生物学研究の急速な進展によりこれまで困難であった微生物叢研究が加速していった。更にそれらのデータを用いたマイニング手法も多く開発され、ウシルーメン及び腸内微生物叢と宿主の遺伝や代謝などとの関連性についての研究が可能となった。経済的に重要な形質の一つに肉質がある。肉質に影響を及ぼすのは、餌などの環境要因と親から受け継がれる遺伝的要因の2つがある。また、近年注目されている形質は、飼料効率とメタンガス排出がある。これらは環境負荷と与える飼料の削減に深く関与している。本研究では肉質に着目し、ルーメン微生物叢・腸内微生物叢・飼料効率・メタン排出・宿主遺伝との関連性について明らかにすることを目的とした。

牛肉は、主に筋肉と脂肪で構成されている。タンパク質を構成するアミノ酸組成や含量と脂肪を構成する脂肪酸組成や含量が肉質に大きく影響を及ぼしている。中でも霜降り形質は筋肉内に脂肪が沈着する現象で美味しさや経済価値に大きな影響を及ぼす。世界に存在する様々な品種の中でも、日本在来の黒毛和種（和牛の一種）は遺伝的に霜降り形質に優れていることが知られている。肉質に影響を及ぼしている宿主の遺伝的な変異探索に関する研究が多くあるが、

肉質と微生物叢との関連性に関する研究はまだ乏しいのが現状である。また、近年の研究では、香り成分なども肉質に影響を及ぼしていることが明らかとなっている。このような形質に関する研究もより美味しい肉質に貢献すると考察した。

ウシの消化器官の微生物叢には、細菌、古細菌、プロトゾア（原生動物）、真菌などが生息している。微生物叢はセルロース分解菌、デンプン分解菌、水溶性糖類分解菌、メタン古細菌など多数の微生物が共生してルーメン内及び腸内の状態を維持している。食餌は、このような微生物により、揮発性脂肪酸（酢酸・酪酸・プロピオン酸）などを産生する。これら揮発性脂肪酸は、ウシの健康維持、ミルク生産、牛肉生産の重要な基質となり、それ以外に単糖類であるグルコースも基質となる。これらを含めた基質の代謝を解析するのが、リピドームやメタボロームである。主な解析対象臓器は、ルーメン・腸・肝臓・血液・筋肉である。近年、こうした解析が精力的に実施されてきたことにより、バイオマーカーとなるような重要な因子が発見されてきた。

ウシを飼育する上で最大のコストとなるのが、飼料代である。ウシの飼料には大きく分けて、稲藁などの粗飼料と栄養価の高い濃厚飼料がある。近年の飼料原料の高騰により、如何に飼料代を抑えて、効率よく牛乳や肉の生産ができるかに注目されている。その形質が、飼料効率であり最近多く用いられている指標が、余剰飼料摂取量（residual food intake）である。これは、ウシの生産性と体の維持に必要な摂取量と現実的に牛が摂取している飼料量の違いを示す指標である。この形質はルーメン及び腸内微生物叢及び宿主の遺伝と関連性があることが近年の研究で明らかとなった。飼料効率と肉質との関連性に関する論文は、少ないがいくつかの報告があった。飼料効率がよく肉質も良いのが理想的である。このような状態にするためには、胃腸内微生物叢の操作が必要であると考察した。

ウシの消化管内で水素を利用してメタン生成菌によって生成されるメタンは、ゲップ（あい気）により大気中に放出される。消化管内で発生する水素メタンは温室効果ガスの一種で畜産業界でもその削減に関する研究が精力的に行われている。メタン放出は宿主の遺伝に関連していることが報告されている。中でもメタン排出を抑制する様々な飼料添加物に関する研究が多くなされているが、それら代謝物と肉質との関連に関する研究は少ないが、サプリメント添加におけるメタン削減と肉質の効果についての研究がいくつか実施されている。今後の研究に期待したい。

**Conjugated linoleic acid (CLA)**は共役リノール酸と呼ばれ、人間の健康維持にも優れた脂肪酸である。この脂肪酸は牛乳や牛肉に含まれていることが知られている。牛肉の脂肪内に含まれるCLA含量は、品種、部位、微生物細菌叢に影響されていることが明らかになってきた。CLA含量の向上も今後の牛肉業界の重要な課題となるだろう。そのためにはルーメン微生物叢の操作を可能になるような研究が望まれる。

今後の肉牛微生物叢の操作は、最先端技術を用いた飼養学・栄養学・遺伝学などの観点からの研究と応用に期待する。このような研究プラットフォームの確立が今後の未来の動物タンパク質資源生産に必要不可欠であると結論した。

海外で約1年間過ごすという貴重な機会を得たので、カナダの生活についても報告する。カナダの生活については、広報誌「明治」第98号に寄稿する機会を得たので、参照して頂きたい。本報告書では、寄稿した文章を一部抜粋し改変して報告する。

エドモントンはカナダのアルバータ州にあり、州都である。エドモントンの夏は湿度が低くてとても涼しく過ごしやすかった。街から一歩出て郊外に行くと、見渡す限りの牧草地と小麦畑が広がっていた。日本では見ることのできない光景であった。エドモントン付近の木々のほとんどが針葉樹で、秋になると見事なまでの黄金色になり心が躍った。11月になると雪が降り、一面白銀の世界が広がった。11月から3月まで最高気温が0℃以上になることは少なかった。その間、何度か-30℃の世界を経験した。身体全体がこれまでに経験したことがないような感覚になり、とても貴重な体験であった。私が住んでいた地域は、様々な国から来ている人々が多く住んでいるエリアで異国情緒たっぷりであった。カナダに住んでいる人々は、とても親切で思いやりのある行動が多く見受けられた。カナダは、「Thank you」と「You're welcome」と「笑顔」に満ち溢れた素敵な国であった。

最後に、本在外研究を実施するにあたり、多くの農学部教員及び事務職員の協力を得た。心より感謝申し上げます。本当にありがとうございました。