

牛肉生産システムの大構造改革：科学と国土をフル活用した大革新

研究代表者：

後藤 貴文 鹿児島大学

共同研究者：

- Stephen Smith Texas A&M University
- 盧 尚建 東北大学大学院農学研究科
- Michael Pfaffl Technical University of Munich
- 高橋 秀之 九州大学大学院農学研究院
- 矢部 光保 九州大学大学院農学研究院
- 岡安 崇史 九州大学大学院農学研究院



図1. 4つのアイテムによるプロジェクトの概要

1. 研究の背景と達成目標

現在の畜産は、飼料のほとんどを海外に依存し高騰する輸入飼料相場に翻弄される経営困難に関する問題、循環不可の過剰糞尿処理問題、BSE 等の食の安全に関する問題、脂肪過多牛肉志向で硬直したマーケットに関する問題、さらに集約的飼養による動物福祉等の問題等、多くの問題を抱えている。新しい生物学概念「代謝プログラミング」研究をシーズとしてウシの体の代謝を早期に制御し、その飼料には日本の豊富な植物資源を活用する放牧や国内資源による飼料開発により高度開発し、その飼養管理のために先端 ICT を駆使する。さらに販売には、エシカル(倫理的な)ダイレクトマーケットを構築し、若い農業者が未来に希望をもち、産業として世界と戦えるよう畜産を構造改革し大革新することを目標とした(図1)。

2. 主な研究成果と社会、学術へのインパクト

- (1) 代謝プログラミング研究:新しい生物学概念「代謝プログラミング」研究をシーズとして牛の代謝を早期に制御し、飼料には日本の豊富な植物資源を放牧により高度活用し、産肉量の増量と肉質の向上を目指した。黒毛和種における「代謝プログラミング」に関して分子生物学的解析を進めて、そのメカニズムの一端を明らかとし、日本の植物資源における牛肉生産、いわゆるタンパク質生産の最適メカニズムの一端を構築した。遺伝子発現解析、マイクロアレイ解析、メタボローム解析、DNA メチル化解析を進め、メカニズムの一部を明らかとした。
- (2) 先端 ICT による飼養管理システムの構築:耕作放棄等を活用した放牧飼養に適した先端 ICT システムを構築した。その飼養管理には先端 ICT 放牧管理システムを構築する。ICT 放牧管理システム:放牧肥育牛の素牛を生産するためのシステムとして、耳標の画像解析による個体認識をベースとした遠隔個体給餌システムのしくみを構築した。インプラント体温センサーによるウシの発情看視システムの仕組みを構築した。
- (3) エシカルマーケットの構築のための基礎的研究:国内の植物資源より生産される牧草牛肉のマーケティング構築に関して、エシカル(倫理的な)ダイレクトマーケットの構築に寄与した。牛肉の消費に関して、ウェブアンケートを実施した結果、飼養情報の有無が、牛肉購買行動に与える影響については、海外産牛肉の購入を手控え、国内産牛肉へ購入を増加させる傾向等が見られた。
- (4) 社会、学術へのインパクト

ウシの飼養における代謝プログラミングという概念は、ヒトの健康医学等で肥満や体質に起源する疾病予防のために研究されている分野である。この概念を、食料生産に応用している例は、ほとんどなく、この研究領域を開拓した。日本を代表する和牛肉質の特徴を、エピジェネティクスを基盤とした代謝プログラミングで、輸入穀物でなく、牧草等の植物資源による肥育でも、発揮し生産することの可能性やわが国の植物資源を活用した循環型の生産システムによる世界的にも革新的で有意義な畜産システムを日本から世界へ発信した。生産パッケージとして、多くの民間企業とも連携し、先端 ICT 技術による放牧肥育牛の管理、さらにその販売においては、ダイレクトマーケット技術を用いたエシカル(倫理的)マーケットの構築を行い、耕作放棄地や山林を用いた放牧飼養の省力化についての技術を示した。また、本研究で生産しようとする牛肉は、赤身肉となるが、生産におけるエシカル(倫理的)意味も含めて、その可能性を示した。昨今の赤身牛肉のブームのトレンドもあり、今後さらに本研究結果が社会で活用されることを期待したい。

3. 研究成果

- (1) 代謝プログラミング研究: 新生児期の代謝プログラミング処理により、草食で肥育しても 30 カ月齢時の肉質が大きく変化することが明らかとなった。新生児期の代謝プログラミングの黒毛和牛における効果に関して、マイクロアレイデータの解析、メタボローム解析、DNA メチル化解析についてデータ分析を進めた。代謝プログラミングを施したウシの 3, 10, 14, 20 及び 30 カ月齢に採取した胸最長筋のバイオプシーサンプル及び屠畜時採取サンプルを用いてマイクロアレイ解析を行った。その結果、8759 個のアップレギュレーションあるいはダウンレギュレーションに係る遺伝子群が見いだされた。牛肉における適度な脂肪交雑(15-20%)は、肉のジューシーさやフレーバーを向上させることが知られており、それを草食で生産することにより脂肪酸構成も健康に貢献する不飽和脂肪酸が増加することが確認された。そのため、演者らは、今回骨格筋内の脂肪形成に注目した。処理直後の 10 カ月齢時には、代謝プログラミングは脂肪形成に関する多くの代謝系に影響を及ぼすことが示された。ヒートマップ解析では、代謝プログラミング処理後の同様の肥育飼料での飼養でも代謝プログラミング処理の影響と示唆されるダイナミックな遺伝子発現の変化を見せ、14 カ月齢以降の草食への代謝プログラミングの効果により牛体の代謝における反応、予測そして調整効果が認められた。候補遺伝子に関してはシンポジウムにて紹介する。筋と肝サンプルを用いたメタボローム解析及び DNA メチル化解析については、シンポジウムにて結果を紹介したい。

2016 年 8 月に福岡市にて、アジア大洋州畜産学会議が開催され、学会公式シンポジウムとして「Future Beef Production in Asia」を主催し、世界7カ国から先端研究者を招へいし、意見交換した。200 名近い参加者があった。

- (2) 先端 ICT を活用した耕作放棄地等の放牧肥育の実証試験: 放牧飼養により、多くの管理作業は省力化されるものの、農家が分娩・発情を知ることや、放牧飼養においても発育に応じて補助飼料給与を制御するといった管面については ICT 技術の活用による情報提供・遠隔制御が望まれている。本研究では ICT を活用した、国土のフル活用を目指して、周年放牧における放牧牛用の個体識別機能付補助飼料給飼機の開発を行った。放牧肥育牛の素牛を生産するためのシステムとして、個体管理を実現するために、耳標の画像解析による個体認識をベースとした構築したクラウドと連携した遠隔個体給餌システムのしくみを構築した。農家の省力化のため、スマートフォンやタブレット上のアプリをワンクリックするだけで牛の呼寄せから給餌までの一連の操作が完了するよう、システムの全自動化を図った(図 2)。

放牧飼養により、多くの管理作業は省力化されるものの、農家が分娩・発情を知ることや、発育に応じて補助飼料給与を制御するといった管理面については AI や ICT 技術の活用による情報提供・遠隔制御が望まれている。ウシの分娩・発情の際には体温が変化するが、その変化は 1℃以下であり、放牧飼養のような屋外環境下で検出することは困難である。本研究では、IT 企業と連携して体温センサーや通信システムの試作機器によるデータの取得・評価や得られたデータと発情・分娩等に係る行動等との関係性を評価した。そのためにインプラント体温センサーによるウシの発情看視システムの仕組みを構築した(これらの研究は、一部以下の研究とともに実施した。農林水産省 革新的技術開発事業・緊急展開事業、うち人工知能未来農業創造プロジェクト、課題名: AIやICTを活用した周年親子放牧による収益性の高い子牛生産技術の開発)。研究の中でドローンによる放牧肥育牛看視および放牧地管理の可能性も確認した。

これらの研究を通して、耕作放棄地や限界集落、未利用な山林及び離島等の植物資源を放牧活用するための管理を省力化・効率化する ICT システムの一端を構築することができた。

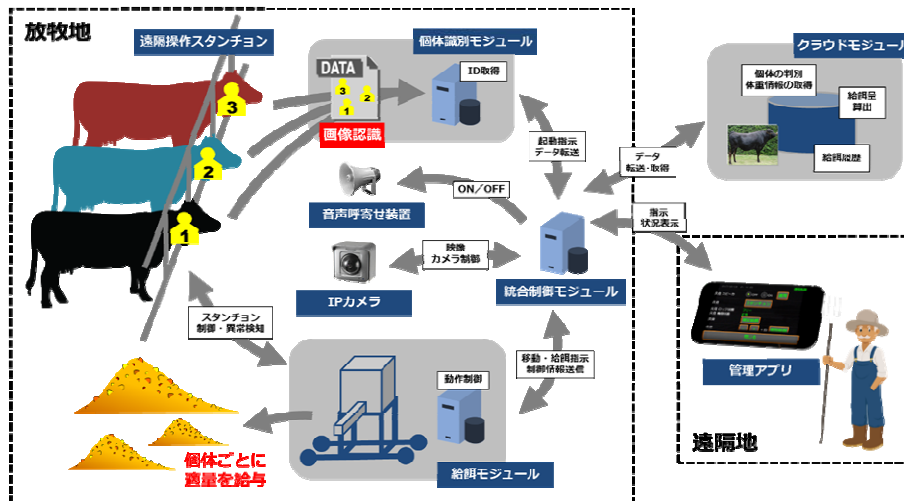


図2. 個体識別遠隔自動給餌システムの概念図

(3) エシカルマーケットの構築のための基礎的研究: 国内外で生産された牛肉に関して、詳細な飼養環境の情報の提供が、消費者の牛肉購買行動に与える影響を WEB 調査により明らかにすることであった。その結果、高所得者階層では、安全・健康志向として、ステーキ用として 100 グラム 2000 円以上の価格でも、国産の放牧牛肉や代謝プログラミングを施した放牧肥育牛の購入者が一定数、存在していることが明確に確認できた(図3)。さらに、その場合より正確な購買行動の情報を得るため、日常的に国産和牛肉を購入していると思われる年間世帯所得 1000 万円以上層のみ調査対象とし、さらに、これまでの研究から、所得階層によって購買行動が異なることを確認したので、1000 万円～1499 万円層と 1500 万円層に分けて購入行動を比較した。また、アンケート回答者とアンケート非回答者で個人属性が異なる場合、そのことが消費行動に影響を与える可能性があるため、アンケート回答の有無でグループ間比較も行い、より一般的な消費者行動分析を行うことも目的とした。牛肉購買行動に関するアンケートは、WEB 調査で実施した。調査対象者は、調査会社に登録している世帯所得 1000 万円以上で、全国の 20 歳以上の男女をランダムサンプリングした。

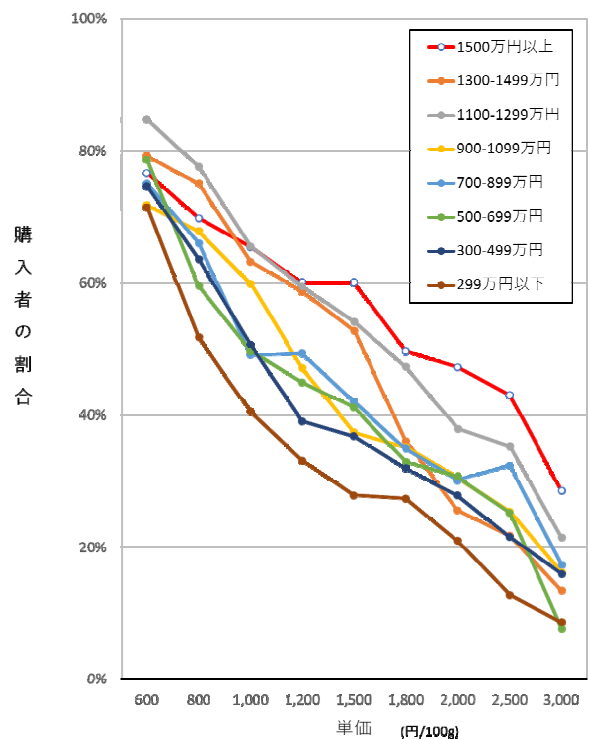


図3. 牧草牛肉(著者の開発した九州大学ブランドビーフ QBeef を例とした場合)の単価と購入してもよいと考える人の所得階層別割合

まず、モニター5,000 人に対して、アンケート依頼のメールを発信した。回答期間の中で、回答者は 1,475 名、非回答者は 3,525 名であった。その中から、回答者については、肉牛の飼養情報の有無×2つの所得階層(世帯所得 1,500 万円以上と 1,000 万円～1,499 万円)の4区分し、各区分から 200 サ

サンプルをランダムに抽出した。他方、非回答者については、2つの所得階層から各々400サンプルをランダムに抽出した。合計1600のサンプルについて、回答者からはモニター登録情報とアンケート回答情報を得るとともに、非回答者からはモニター登録情報のみを得た。

その結果牛肉の消費に関して、ウェブアンケートを実施した結果、飼養情報の有無が、牛肉購買行動に与える影響については、海外産牛肉の購入を手控え、国内産牛肉へ購入を増加させる傾向が見られた。牛肉の消費に関して、ウェブアンケートを実施した。その結果、飼養情報の有無が、牛肉購買行動に与える影響については、6種類の牛肉の購入順位で評価された。牛肉の飼養方法や肉質の情報提供は、3種類の国産牛肉への購買行動をより強め、外国産牛肉の購入を減少させる傾向を若干もたらししたが、牛肉選択の順位を大きく変化させるほどではなかった。言い換えれば、海外産牛肉の購入を手控え、国内産牛肉へ購入を増加させる傾向が見られた。ただし、米国产牛肉の減少は統計的に有意であったが、国内牛肉へのシフトは、国産和牛、国産 Beef、国産放牧牛に、それぞれ別れて増加したため、各牛肉で統計的に有意なほどの増加にはならなかった。このように所得層の高い消費者で国産牛肉に意識が高いことから、まずは、国産で肉質や肉量、そして生産方法を環境保全型のエシカルなシステムにしていくことで、国内の畜産消費を変えることができることが示唆された。

また、実証的な試みとして、代謝プログラミングを施した黒毛和牛を、佐賀県鹿島市の耕作放棄地で ICT 放牧管理システムを活用して放牧肥育し、その肥育終了牛の試食会を東京のレストランにて実施した。鹿島市長も参加して、にぎやかに開催され、好評であった。

4. 今後の展開

今後さらに国内の植物資源、すなわち耕作放棄地や限界集落、未利用な山林及び離島等の植物資源を活用して省力的、低コストで牛肉生産を向上させるウシ代謝プログラミングのメカニズム探究とその実証研究を追究していく。ICT 放牧管理システムは、IT メーカーやその他の関連企業と連携して、より最適なスマート放牧管理システムを創造し畜産業の新たな幕を開けるとともに、それに関連したビジネスも創出していく。さらに昨今、日本がオーストラリアやニュージーランドに依存している牧草牛肉の3000億円以上のマーケットを国内産の牧草牛で少しでも置き換えるための、啓蒙活動とWEBと連携したダイレクトマーケティングを構築する。これらの取組により、日本の畜産業を発展させるとともに、国土のフル活用を基盤とした、特にタンパク質生産における食料安全保障やビジネス創出、離島などのウシにより実効支配する国土安全保障政策の提案など、日本の持続的発展に寄与していきたい。植物資源を活用したウシ代謝プログラミングによる肥育システムは、未だ報告は少ないが、現在の牛肉生産は、穀物飼料の多給型システムで多くの問題を抱えずぎており、持続的な継続は困難と予想される。地方の未利用地における放牧を活用した牛肉生産は、業界に大きく影響を及ぼすと確信している。また、ICTによる放牧管理システムも日々進歩するネットワーク及びセンサー技術をバージョンアップすることで、ビジネスのイノベーションを起こすだろう。さらに地域の植物資源を活かした牛肉生産は、ダイレクトマーケットのシステムの構築により、日本中の消費者を相手にした地方のビジネスの創出となり、農産業6次化の新しい姿を形成していこうと予測している。

5. 発表実績

- (1) Ouanh, P., Takahashi, H., Ha, M.T., Shiotsuka, Y., Matsubara, A., Sugino, T., McMahon, C., Etoh, T., Fujino, R., Furuse, M. and Gotoh, T.* Effects of nutrient status on hormone concentration in the somatotropin axis and metabolites in the plasma and colostrum of Japanese Black cows. *Animal Science Journal*, 88, 4, 643-652(2017)

- (2) Albrecht, E., A., L. Schering, Y. Liu, K. Komolka, C. Kühn, K. Wimmers, T. Gotoh, and S. Maak. Factors influencing bovine intramuscular adipose tissue development and cellularity. *Journal of Animal Science*, 95, 2244-2254 (2017)
 - (3) Takahashi, H., A. Matsubara, A. Saito, O. Phomvisith, A. Shiga, H.T. Mai, T. Sugino, C. D. McMahon, T. Etoh, Y. Shiotsuka, R. Fujino, M. Furuse and T. Gotoh. Higher Intake of milk-replacer pre-weaning enhances post-weaning insulin-like growth factor 1 levels in Japanese Black cattle. *Journal of Veterinary Science & Technology*, 8:1, 409 (2017) (doi: 10.4172/2157-7579.1000409)
 - (4) Lu, J., L.Zhang, D. Zhang, S. Matsumoto, H. Hiroshima, R. Maeda, M. Sato, A. Toyoda, T. Gotoh, N. Ohkohchi. Development of Implantable Wireless Sensor Nodes for Animals Husbandry and MedTech Innovation. *Sensors* 18, 979, <http://dx.doi.org/10.3390/s18040979> (2018)
 - (5) Gotoh T, Nishimura T, Kuchida K, Mannen H.. The Japanese Wagyu beef industry: current situation and future prospects - A review, *Asian-Australasian Journal Animal Sciences*, 31(7):933-950 (2018) (DOI: <https://doi.org/10.5713/ajas.18.0333>)
 - (6) Stephen BS, Gotoh T, Paul LG. Current situation and future prospects for global beef production: overview of special issue. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 31(7): 927-932(2018) (DOI: <https://doi.org/10.5713/ajas.18.0405>)
 - (7) 後藤貴文. (招待講演) 日本エピジェネティクス研究会第 11 回年会、牛肉生産におけるエピジェネティクス応用とその可能性、一橋大学一橋講堂、平成 29 年 5 月 23 日
 - (8) 後藤貴文. (招待講演) 日本アミノ酸学会 第 7 回夏のシンポジウム、代謝プログラミングの牛肉生産への応用のポテンシャル、箱根湯本温泉 天成園、平成 29 年 8 月 18 日
 - (9) Gotoh, T. (招待講演) Metabolic programming and intramuscular adipogenesis. Triennial Growth and Development Symposium: New Perspectives on Intramuscular Adipo Tissue(American Society of Animal Science) (Salt Lake City, USA, July 19-23, 2016).
- 後藤 貴文. (招待講演) 放牧型畜産への利活用：IT 技術を活用した高度放牧管理システム. 公益社団法人日本畜産学会 第 125 回大会公開シンポジウム「スマート畜産：IoT・人工知能」およびロボット技術の利活用」(2019 年 3 月 28 日、麻布大学にて)