

リキッド・バイオプシー生体予測診断技術 “AIビーフ”の事業化 ～畜産業界のアップデート:ステークホルダーが より幸せになる次世代の畜産業界を創る～

近畿大学 生物理工学部 教授 松本 和也

【要約】

われわれの研究グループでは、長年、畜産業界の悩みの一つである「肉質は牛を出荷しないと分からない（割ってみないと分からない）」を解決することを目指し研究を進めてきた。20年の研究開発期間を経て、肉用牛（黒毛和種）の血液から生体のまま肥育状態を計測・可視化する生体予測診断サービス技術“AIビーフ”の技術を確立した。この技術シーズを実装することで、枝肉品質の向上や出荷の安定などさまざまな効果が期待できる。

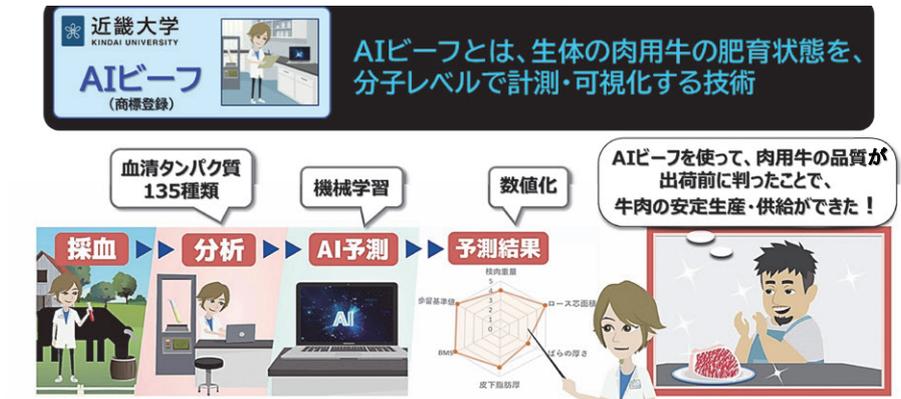
1 はじめに

畜産業は、世界各国に存在する一次産業であり、栄養学的重要性やほかの産業との密着性から代替できない産業である。そのため、畜産業の発展は、国全体の経済成長に貢献している。さらに、食料安全保障の観点からも、畜産業を強化することは重要である。

そこで、筆者の研究グループは、ビジョン「次世代の持続可能な畜産業の実現から日本の食料安全保障に貢献する」を掲げて、畜産

業界における悩みの一つである「肉質は牛を出荷しないと分からない（割ってみないと分からない）」を解決することを目指した。このミッションの下に、20年間の研究開発期間を経て、リキッド・バイオプシー^(注1)生体予測診断サービス技術“AIビーフ（商標登録証：登録第6523541号）”（以下「AIビーフ」という）を世界で初めて開発した（図1）。このAIビーフは、血清の定量的プロテオミク

図1 リキッド・バイオプシー生体予測診断サービス技術“AIビーフ”



資料：筆者作成

ス解析（ウシ血清中タンパク質の網羅的定量解析）、バイオインフォマティクス（生命情報学）、そしてAI（人工知能）を含む機械学習を駆使した技術シーズであり、肉用牛を生体のまま分子レベルで把握し、遺伝的能力の発揮度に関する統合的理解から、肉用牛の産肉形質を出荷前に生体予測診断できる技術である。

この20年間の研究開発は、国立研究開発法人科学技術振興機構（以下「JST」という）・アグリバイオインフォマティクスの高度活用技術の開発（平成15～20年）から開始し、独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構・生物系特定産業技術研究支援センター・イノベーション創出基礎的研究推進事業（発展型）（21～23年）、日本中央競馬会・畜産振興事業（25～27年、28～30年、31～令和3年、4年）、そして日本

学術振興会（JSPS）・科学研究費助成事業 挑戦的萌芽研究（平成26～27年、28～29年）、同事業 基盤研究（B）（令和2～5年）、さらにJST・研究成果展開事業・大学発新産業創出プログラム（START）・プロジェクト推進型 ビジネスモデル検証支援（2年）、同プログラム・プロジェクト推進型 起業実証支援（4～6年）などの外部競争的資金の支援を受けたものである。

現在、われわれはAIビーフのデータベースプラットフォームを技術基盤として、複数の技術シーズの開発を展開し、それらを活用したスタートアップの創出を目指している。本稿では、AIビーフの科学的正確性とその現場実装、さらに今後の展望について紹介する。

（注1）血液などの体液を採取し、その中に含まれる細胞や微量なタンパク質・RNA・DNAなどを用いた検査の総称。

2 AIビーフの科学的正確性について

肉用牛（黒毛和種）の枝肉形質の遺伝的能力の評価は、推定育種価とSNPs情報（遺伝子情報）を踏まえたゲノム育種価で行われ、家畜の改良と選抜に活用されている（引用文献1）。一方で、生体の遺伝的能力の発揮度は、タンパク質レベルで第一義的に評価しなければならないが、現場で実装可能な生体評価方法が未だ確立されていなかった。

そこで、遺伝的能力の発揮度を生体評価し、家畜生産の効率化ならびに生産性の向上などに寄与することを目的に、われわれは、肉用牛（黒毛和種）の肥育期間中に経時的に採取した血清を対象とした定量プロテオミクス（SWATH: Sequential Windowed Acquisition of all Theoretical fragment ions）解析情報^{（注2）}に基づき牛の産肉形質

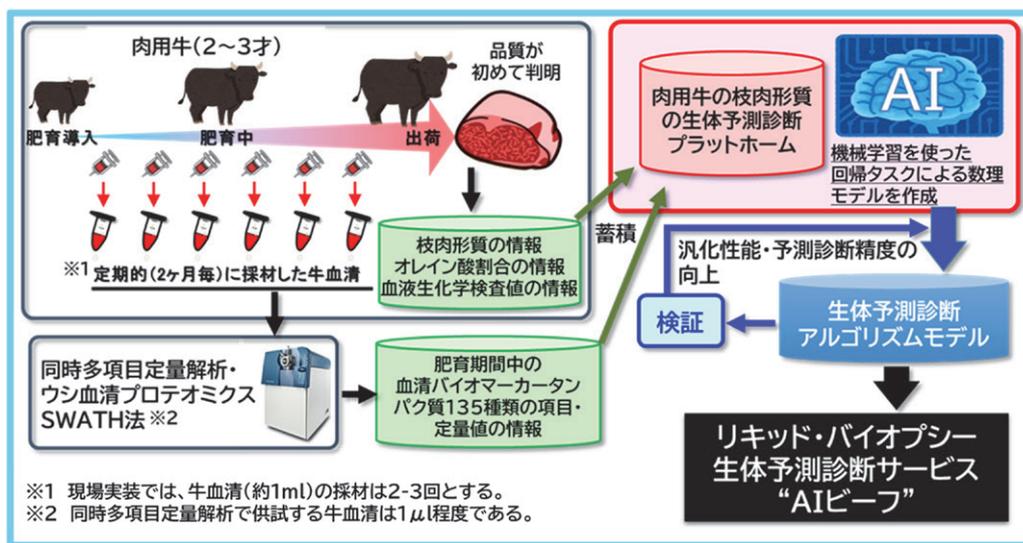
の発育状態や肥育状態を生体評価するシステムの開発と、その結果から得られるウシ血清バイオマーカータンパク質^{（注3）}の情報を基盤にした産肉制御の分子機構の統合的理解に関する研究開発を進めてきた。

まず、肉用牛の主要6項目の産肉形質（枝肉重量・ロース芯面積・バラの厚さ・皮下脂肪の厚さ・歩留基準値・脂肪交雑）の発育を肥育期間中にそれぞれ生体評価するウシ血清バイオマーカータンパク質延べ168個を明らかにした（特許8件）。さらに、われわれは、ウシ血清に特化した飛行時間型質量分析装置を用いた定量プロテオミクスSWATH法を確立して、血清1マイクロリットル中から135種類のバイオマーカータンパク質を同時定量解析する技術を開発してAIビーフを

確立した（図2）。具体的には、血清バイオマーカータンパク質135種類について、その生物学的機能で大別すると図3のようになり、アルブミン（複合系に分類）やグロブリン（免疫系に分類）のほかに、脂質輸送に関連するアポリポタンパク質やビタミン輸送タンパク質、ホルモンや脂質代謝調節および細胞分化に関与するタンパク質なども含まれていた。また、肥育期間中のバイオマーカータンパク質の動態解析から、例えばウシ血清中には血液生化学値（図4では血中総コレステ

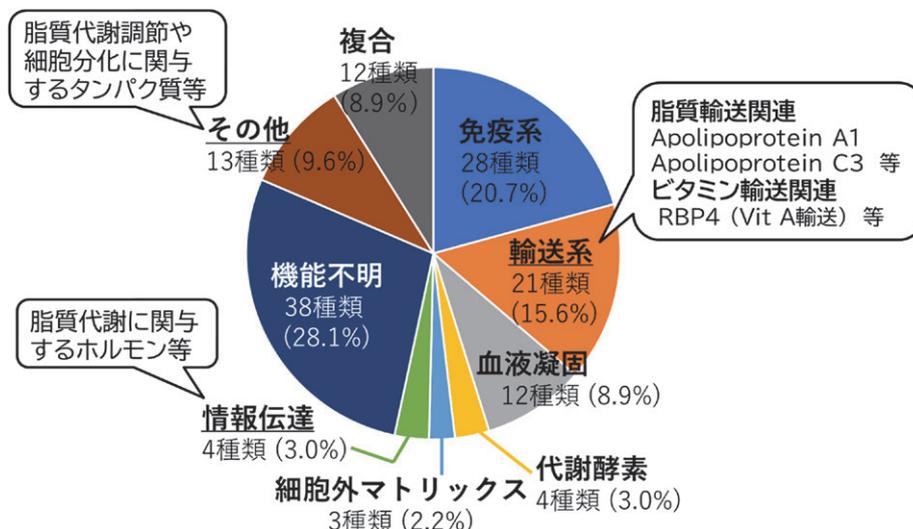
ロール濃度）と高い相関性を示すタンパク質（図4ではアポリポタンパク質A1とC3）が多数存在していることも確認されたことから、血清タンパク質は肥育期間中の肉用牛の生理状態を反映していることが認められた（図4）。次に、肥育期間中（10～28カ月齢）のバイオマーカータンパク質135種類の定量データに基づく主成分分析の結果から、ウシ血清中のバイオマーカータンパク質の量は遺伝的背景や肥育期間中の環境効果（飼養する肥育農家）を反映していることが明らかに

図2 AIビーフのフロー図



資料：筆者作成

図3 SWATH解析によって同定・定量されるウシ血清バイオマーカータンパク質（135種類）の機能分類

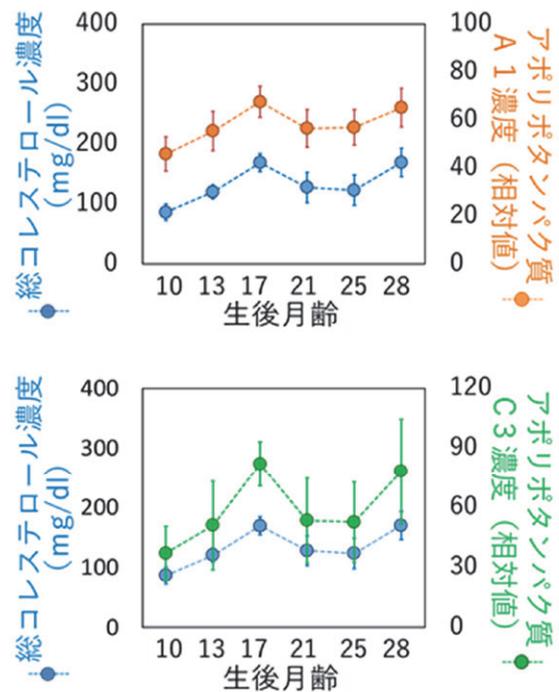


資料：筆者作成

なった（図5）。さらに、同一肥育農家で肥育された牛の肥育期間中の経時的な血清バイオマーカータンパク質の定量情報の主成分分析から、血清バイオマーカータンパク質情報は、肉用牛の月齢の経時的变化を示していることが認められた（図6）。

一方、BMSナンバーを生体予測する回帰モデル式の説明変数（選択された血清バイオ

図4 血中アポリポタンパク質濃度と総コレステロール濃度の動態

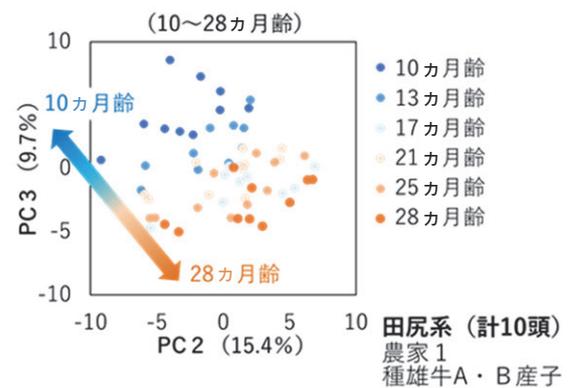


資料：筆者作成

マーカータンパク質項目と各定量データ）を用いた因果ネットワーク解析（IPA：Ingenuity Pathway Analysis）^{（注4）}を実施したところ、経験的に指摘されている筋肉内脂肪細胞が形成される時期と合致して、BMSナンバーに関わる血清バイオマーカータンパク質の上流因子と下流表現型の因果ネットワークがダイナミックに変化していることが認められた（図7）。このことから、われわれのデータから肥育期間中の脂肪交雑の生理的状態を分子レベルで理解し、説明することが可能であることが明らかになった。

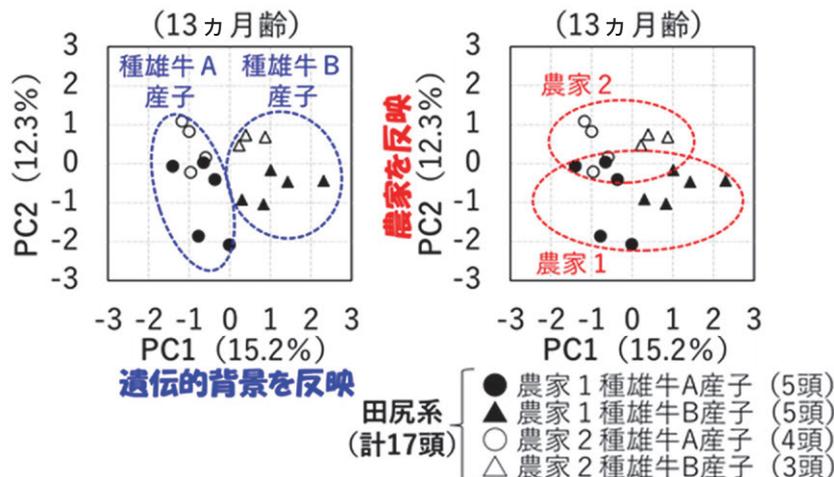
以上のことから、ウシ血清バイオマーカータンパク質の情報に基づいて、肉用牛（黒毛

図6 血清バイオマーカータンパク質の主成分分析の結果②（PC2とPC3）



資料：筆者作成

図5 血清バイオマーカータンパク質の主成分分析の結果①（PC1とPC2）



資料：筆者作成

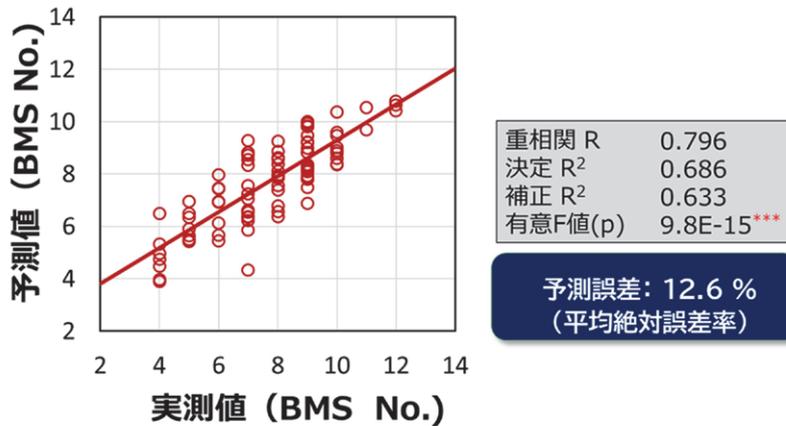
和種)の産肉制御の分子機構を統合的に理解することが可能となり、AIビーフの科学的正確性を担保できることが認められた。

(注2) 質量分析装置を使って細胞や血液などの生体サンプル中に存在するタンパク質の種類と量を網羅的に調べた結果から得られる情報。

(注3) 生物個体の生理状態や病態を示す指標となるタンパク質。

(注4) データの因果関係を解析する手法のこと。この場合は、血清中のバイオマーカータンパク質の因果関係を示す。

図7 脂肪交雑 (BMS No.) の予測診断の精度



資料: 筆者作成

3 AIビーフの現場実装

われわれは、AIビーフのデータプラットフォームを技術基盤として、現場実装する複数の技術シーズを開発している。以下に、その

技術シーズの概要を示すとともに、その目指す適用例についても示す (表)。

表 AIビーフを基盤とした技術シーズ

<p>(1) 技術シーズ1 (開発済) - 肉牛の未来が分かる</p> <p>【概要】市場取引価格に直結する出荷時の枝肉形質 (主要6項目) の格付け評価を肥育期間中に生体予測診断できる技術。</p> <p>【適用例】生産コストの低減、品質の向上、出荷の安定、食肉流通の安定、出荷時期の早期化、濃厚飼料の削減、環境負荷の低減。</p>
<p>(2) 技術シーズ2 (開発中80%) - 肉牛の今が分かる</p> <p>【概要】肉用牛の飼育管理の特徴 (新しい評価指標) を科学的根拠で提示できる技術。</p> <p>【適用例】消費者ニーズに即した国産食肉の生産、輸出先に合致した生産。</p>
<p>(3) 技術シーズ3 (開発中10%) - 未来の肉牛をデザインできる</p> <p>【概要】目標の枝肉形質を持つ肉用牛の最適な生産情報 (デジタル肉用牛) を科学的根拠で提案 (合成生物学的提案) できる技術。例えばAIビーフのDBプラットフォームを活用した生成AIビーフ (希望する肉用牛の肉質の条件を入力すると、肥育牛の飼養条件と遺伝的条件が回答され、それらの諸条件に基づいて肉用牛を生産する)。</p> <p>【適用例】生涯生産性の向上、遺伝的多様性を確保した家畜の系統・品種の活用促進、肉質・繁殖能力の改良の加速化、出荷時期の早期化、輸出先に合致した生産。</p>

資料: 筆者作成

注: 2023年8月現在。

4 おわりに～大学発スタートアップの創出について～

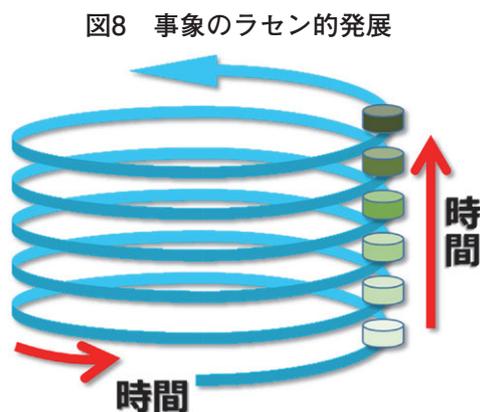
学問体系において、新たなイノベーションが創生されるプロセスに関する示唆的なモデルが提示されている。ドイツの哲学者 G.W.F.ヘーゲルは、『精神現象学（1807年）』の中で「世の中の事象が時間を経てラセン状の階段を上っていくように発展していく様態」を示した「事象のラセン的發展」を提示した（図8）。このラセン的發展では、複数の考え方が理解できるが、ここでは「さまざまな事象は表面上周期性をもって円を一周回って回帰しているようであるが、そこに新たなイノベーションが創生されると一段上の階層へのラセン的發展が行われる。」との視座を示す（引用文献2）。

この視座から考えると、20年間研究開発してきたAIビーフのデータベースプラットフォームを技術基盤として開発される複数の技術シーズは、「肉質は牛を出荷しないとわからない（割ってみないとわからない）」という悩みを解決する畜産業界のラセン的發展

を産むイノベーションであると判断している。そこで、われわれはビジョン「次世代の持続可能な畜産業の実現から日本の食料安全保障に貢献する」を実現するために、これらの技術シーズを基盤に、成長ポテンシャルの高い大学発スタートアップの起業を展開している。

すでに、令和2年度にJST・研究成果展開事業・大学発新産業創出プログラム（START）・プロジェクト推進型 ビジネスモデル検証支援（大学の技術シーズを基に成長ポテンシャルの高い大学等発ベンチャーの創出を促進するためのプログラム）の採択を受けて、AIビーフのビジネスモデル検証を実施した（図9、10）。さらに、4年度からJST・研究成果展開事業・大学発新産業創出プログラム（START）・プロジェクト推進型 起業実証支援（事業プロモーターのもと、起業前段階から公的資金と民間の事業化ノウハウなどを組み合わせて、大学などの教職員が職務として開発・発明した技術シーズを基に起業するスタートアップの創出を目的とするプログラム）を受けており、サービス提供に向けた具体的な起業のための活動を進めているところである。

今後、われわれは、畜産業界をアップデートして、畜産農家・飼料会社・食肉処理施設・食肉流通事業者・消費者などの畜産業界に関係する多くのステークホルダーがより幸せになる次世代の畜産業を創ることを目指す。



資料：筆者作成

図9 AIビーフ技術のサービス紹介動画の情報

(JST・研究成果展開事業・大学発新産業創出プログラム(START)・プロジェクト推進型 ビジネスモデル 検証支援(R2)で作成)

<https://youtu.be/o7Y88hU0zrc> (農家対象版)

<https://youtu.be/oLO1ZbjIBLs> (行政対象版)

<https://youtu.be/cRzFs5NcHsw> (企業対象版)



農家対象版のQRコード



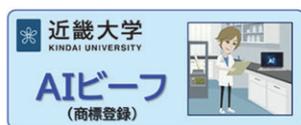
行政対象版のQRコード



企業対象版のQRコード

資料：筆者作成

図10 AIビーフ技術のプロダクトイメージ・ビジネスモデル



顧客	提供価値
飼料会社	牛の肥育状態を早期に把握することで、①肥育管理を適正に制御できる飼料の開発、さらに②開発した飼料に基づき、各畜産農家へオーダーメイドの飼料管理を提供することで、肉牛の品質向上などの生産を支援することが可能となる。 【飼料開発、出荷安定支援、品質の向上支援、生産性アップ支援】
畜産農家	牛の肥育状態を科学的に把握することで、①飼養管理を通して牛肉の品質向上や、②出荷市場の選択や出荷時期の調整による収益向上につなげることが可能となる。 【肥育状態の確認、品質の向上、収益向上】
食肉卸売業者	連携・提携している牧場の肉牛の肥育状態を早期に把握することで、最終的な牛肉の量と質の情報を出荷前に把握し、小売業者へ計画的な流通および安定供給が可能となる 【計画的な牛肉確保、食肉流通安定】
畜産関係組織・機関	関係する農場で肥育管理された肉牛の生理学的な特徴を生体分子レベルで説明できる科学的情報を獲得することで、肉牛に新しいブランド価値を付与することが可能となる。 【肉牛ブランドへの付加価値】
培養肉メーカー	AIビーフ技術のデータベースから生体の生理学的な情報を生体分子レベルで獲得することで、生体により近い培養肉の質の開発が可能となる。 【生体に近い培養肉の質的価値】

※顧客によって、より多様な価値を提供可能

資料：筆者作成

注：2023年8月現在。

引用文献

- 1 渡邊敏夫、黒毛和種経済形質のゲノム育種価評価、The Journal of Animal Genetics 44 : 3-10 (2016)
- 2 松本和也、マンモス復活プロジェクトから考える「応用科学としての動物生殖生物学」の将来展望、畜産学会報 91 (3) : 300-303 (2020)

【“AIビーフ”に関する連絡先】

aibeef@waka.kindai.ac.jp