

牛ルーメンマイクロバイーム完全制御によるメタン80%削減に向けた新たな家畜生産システムの実現

プロジェクトマネージャー（PM）：小池 聡
国立大学法人北海道大学 教授

研究期間：2020年度～2024年度

キーワード：牛ルーメン、マイクロバイーム、スマートピル、メタン削減、生産性向上

研究背景と達成目標

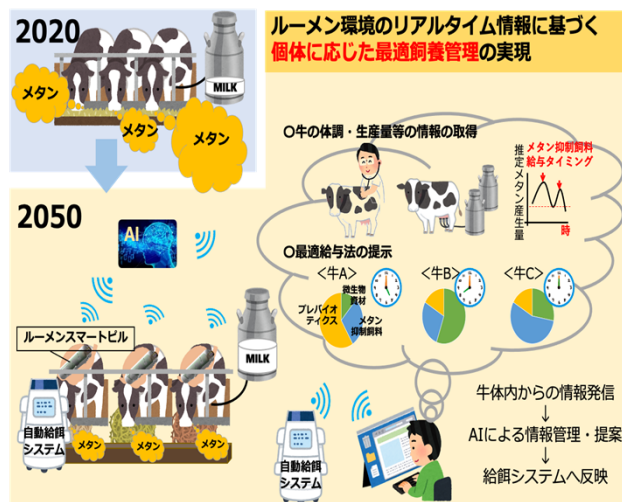
プロジェクトの背景と必要性

温室効果ガスであるメタンは、牛ルーメン（第1胃）内の微生物発酵で生じ、環境負荷のみならず飼料エネルギー損失の原因となります。牛ルーメン発酵の制御によりメタンの発生を最小化し、多くのエネルギーを乳肉生産に振り分ければ、温暖化緩和と家畜生産向上の両立につながります。

技術開発目標

ルーメンのマイクロバイーム（微生物群）制御のため、メタン低減飼料添加資材とスマートピル（留置型ルーメン発酵計測・通信装置）を開発し、牛のメタン発生を2030年までに50%削減します。

2050年に目指す家畜生産の姿



主な研究成果

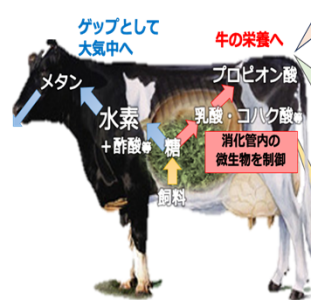
- ① ルーメン内の発酵で生じ、牛のゲップで大気中に放出されるメタンを減らす嫌気性菌（プロピオン酸増強菌）を分離・特許出願し、30ℓタンクによる大量培養に成功しました。
- ② 発酵で生じるメタンと関連の深い揮発性脂肪酸（VFA）の測定センサを搭載したスマートピルを開発し、ルーメン内での連続計測とデータ発信を実証しました。
- ③ 試験管内でメタン発生を9割以上抑制する有望な植物由来素材を発見しました。

【具体的成果】

メタン削減の鍵となる新種細菌を分離培養化

低メタン牛のルーメンマイクロバイームの特徴を解明し、プロピオン酸増強の鍵となる新規細菌 *Prevotella lacticifex* やその発酵補助機能を持つサポーター菌の分離培養に成功し、発酵特性を解明しました。その菌のための完全合成培地を開発し、飼料添加資材化の前提となる培養のスケールアップに成功しました。

低メタン産生牛の
微生物相の解明と応用
(プロピオン酸産生増強によるメタン削減と生産性向上)



- P. lacticifex菌を分離し、応用利用へ**
 - ・プロピオン酸産生を増強するプレボテラ属新細菌を発見・特許化
 - ・完全合成培地を開発（飼料安全法対応）
 - ・資材化に向け、民間企業との共同研究で30ℓタンクでの大量培養に成功
- P. lacticifex菌の機能を増強するサポーター菌の特定と活用**
 - ・サポーター菌の特定と分離培養化に成功
 - ・高効率で乳酸からプロピオン酸を産生することを確認
- P. lacticifex菌の増殖資材の開発**
 - ・ゲノム解読でのプレバイオティック資材の推定と評価

経口投与可能なスマートピルプロトタイプを開発

小型（コイン程度の大きさ）のセンサ駆動用・無線通信用回路モジュールを開発するなどして、牛への負担をできるだけ低減したVFA総量センサを搭載した経口投与可能なサイズのスマートピルのプロトタイプデバイスを製作しました。

VFA総量センサとして、VFAを感度よく測定するための共振式センサ^注を開発し、牛ルーメン内で一般的に変動するVFA濃度範囲を検出出来ることを実験的に明らかにしました。

デバイスが一定の時間牛ルーメン内で想定通り稼働することを確認しました。



共振式VFA総量センサ

直径35 mm 長さ110 mm



連絡先：牛メタン削減プロジェクト

<https://anim-func-nutr.agr.hokudai.ac.jp/ms-pj/ms-pj-introduction/>

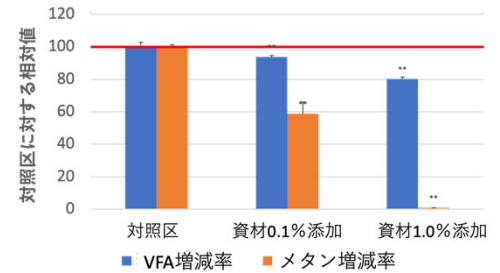


北海道大学
HOKKAIDO UNIVERSITY

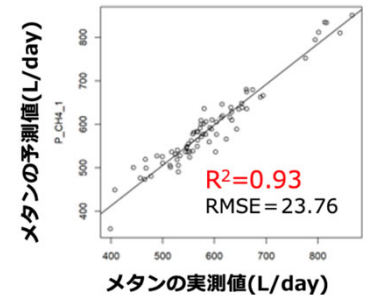
有望素材のスクリーニングと飼料からメタン発生までの関係性を可視化するシミュレーションを可能に

試験管内でメタン発生を9割以上抑制する植物由来素材のスクリーニングに成功しました。その他、複数の新規メタン抑制素材も見いだしており、有望素材の飼料添加資材化が期待されます。

乳牛の飼養試験で得られた乳、飼料給与、ルーメン液、血液等の30項目からメタン産生量推定に寄与する説明変数を6項目に絞り込み、メタン推定モデルを構築しました。また、確率モデルネットワークにより変数の関係性を可視化し、ルーメン液の性状、乳量、飼料、牛の生体情報などからメタン発生に影響を及ぼす可能性がある要因を解析するシミュレーション技術を構築しました。



植物由来素材によるメタン抑制効果



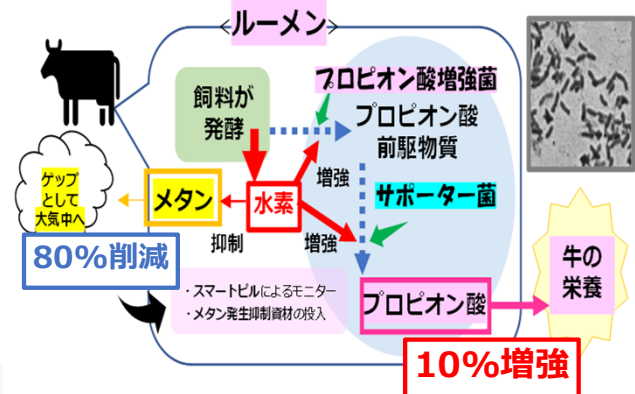
メタン推定モデル

今後の研究の展開方向

スマートピルの利用などでメタン発生が少ないルーメン発酵条件とルーメンマイクロバイオームを解明します。開発する新規微生物を用いたプロバイオティクス（動物によい影響を与える生きた微生物やそれらを含む飼料・飼料添加資材）、天然素材由来のメタン削減資材等を用いて、メタン発生が少ないルーメン発酵条件を再現する最適な飼養管理法を開発することで、2030年までに牛群レベルでのメタン削減50%を実現します。

ありたい姿

2050年までに、牛のゲップ由来メタンを80%削減し、温暖化抑止を図るとともに、牛の乳・肉生産効率を10%向上させます。同時に飼料に用いていた穀物を100%人類に回せるような家畜生産システムを構築し、人類の食料リスク回避に貢献します。



プロジェクト内の研究開発テーマ構成

小池 聡 PM

代表機関：北海道大学

1. ルーメンマイクロバイオーム (2, 3, 4)

2. スマートピル (2, 5, 6, 7)

3. メタン生産抑制飼料 (1, 2, 8, 9)

<研究担当機関>

(1)北海道大学/ (2)農業・食品産業技術総合研究機構/ (3)名古屋大学/ (4)全農飼料畜産中央研究所/ (5)物質・材料研究機構/ (6)東京大学/ (7)産業技術総合研究所/ (8)帯広畜産大学/ (9)北海道立総合研究機構

注) 共振式センサ：特定の化学物質を高感度に検出できるガスセンサの一種。

Realization of a new livestock production system to reduce methane by 80% through complete control of the bovine rumen microbiome

Project Manager (PM): Satoshi Koike
Professor, Hokkaido University

Project Year: FY2020~FY2024

Keywords : bovine rumens, microbiome, smart pill, methane reduction, productivity improvement

Background and Goals

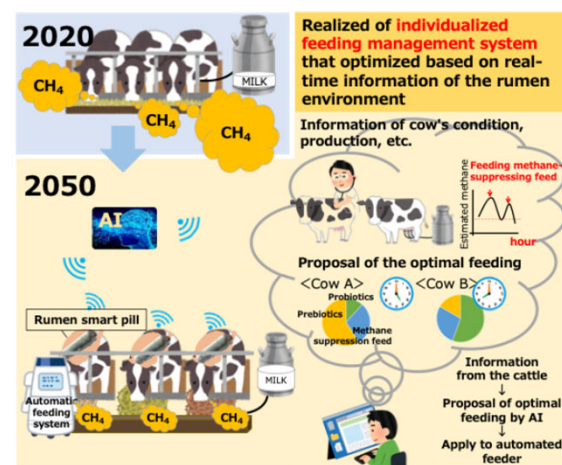
Project Background and Rationale

Methane, a potent greenhouse gas, is produced through microbial fermentation in the bovine rumen (first stomach). This not only contributes to environmental burden but also results in the loss of feed energy. By controlling rumen fermentation to minimize methane emissions and redirecting more energy toward milk and meat production, it is possible to achieve both climate change mitigation and improved livestock productivity.

Technology Development Goals

We aim to develop methane-reducing feed additives and a smart pill—an indwelling device for measuring and transmitting rumen fermentation data—to control the rumen microbiome and reduce methane emissions from cattle by 50% by 2030.

Livestock production in 2050



Key Research Achievements

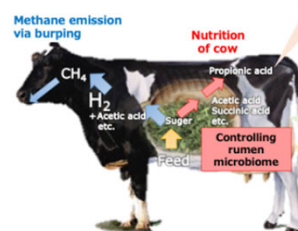
- (1) We isolated and filed a patent application for anaerobic bacteria (propionate-enhancing strains) that reduce methane produced during rumen fermentation and emitted through cattle belching and successfully achieved large-scale cultivation in 30-liter tanks.
- (2) We developed a smart pill equipped with a sensor to detect volatile fatty acids (VFAs), which are closely associated with methane production, and demonstrated continuous in-rumen monitoring and wireless data transmission.
- (3) We discovered a promising plant-derived compound that suppresses methane production by over 90% in vitro.

[Detailed Achievements]

Isolation and cultivation of novel bacteria key to methane reduction

We identified key features of the rumen microbiome in low-methane-emitting cattle and successfully isolated *Prevotella lactificifex*, a novel bacterium that enhances propionate production, along with supportive strains that aid its fermentation activity. We characterized their fermentation properties, developed a fully synthetic growth medium tailored to these strains, and achieved scale-up cultivation—laying the groundwork for their use as methane-reducing feed additives.

Identifying and controlling of the microbiota to produce low methane production cows
(Increased production of propionic acid reducing methane and improving productivity)



Isolation and utilization of *P. lactificifex*

- Discovered and patented a new of *Prevotella* species that enhances propionic acid production.
- Developed the complete synthetic medium (to comply with the feed safety act).
- Succeeded in cultivating the bacterium in a 30-liter tank with a company towards mass production.

Isolation and utilization of supporter bacteria

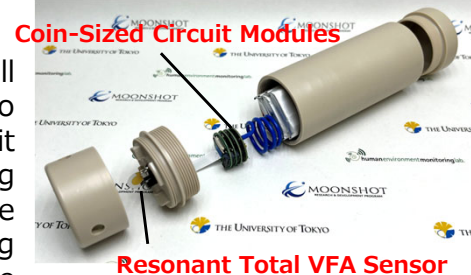
- Succeeded in isolating a supporter bacteria that enhances the function of *P. lactificifex*.
- Conversion of lactate produced by *P. lactificifex* into propionic acid with high efficiency.

Development of growth materials for *P. lactificifex*

- Prediction and evaluation of prebiotic materials through genome sequencing

Development of an orally administered smart pill prototype

We developed a prototype of an orally administrable smart pill equipped with a total volatile fatty acid (VFA) sensor, designed to minimize stress on cattle. The device incorporates compact circuit modules for sensor operation and wireless communication, achieving a circuit size comparable to a coin. As the core VFA sensor, we developed a high-sensitivity resonant-type sensor capable of detecting VFA concentrations within the typical fluctuation range found in the rumen. Experimental testing confirmed that the device functions as intended over a sustained period within the rumen of cattle.



Diameter 35 mm Length 110 mm



Contact: Bovine Methane Reduction Project
<https://anim-func-nutr.agr.hokudai.ac.jp/en/>

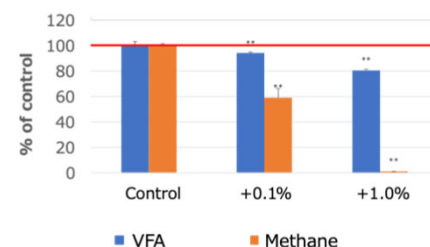


北海道大学
HOKKAIDO UNIVERSITY

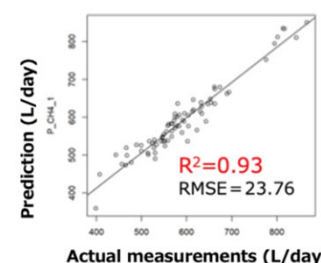
Screening of promising compounds and development of a simulation to visualize the relationship from feed to methane production

We successfully screened plant-derived compounds that suppress methane production by over 90% in vitro, along with several other novel methane-reducing candidates, which show strong potential for use as feed additives.

Using data from dairy cow feeding trials—including 30 variables such as milk yield, feed intake, rumen fermentation, and blood parameters—we identified six key explanatory variables for methane emission estimation and developed a predictive model. Additionally, we established a simulation framework based on probabilistic network modeling to visualize interrelationships among variables. This enables analysis of potential factors affecting methane production, including rumen fluid characteristics, milk yield, feed composition, and animal physiological traits.



Methane suppression effect by plant-derived materials



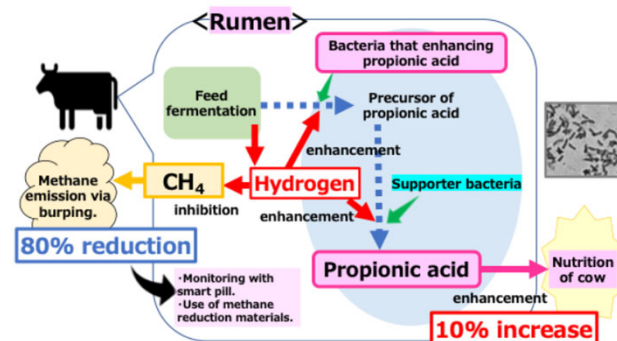
Methane prediction model

Future Directions

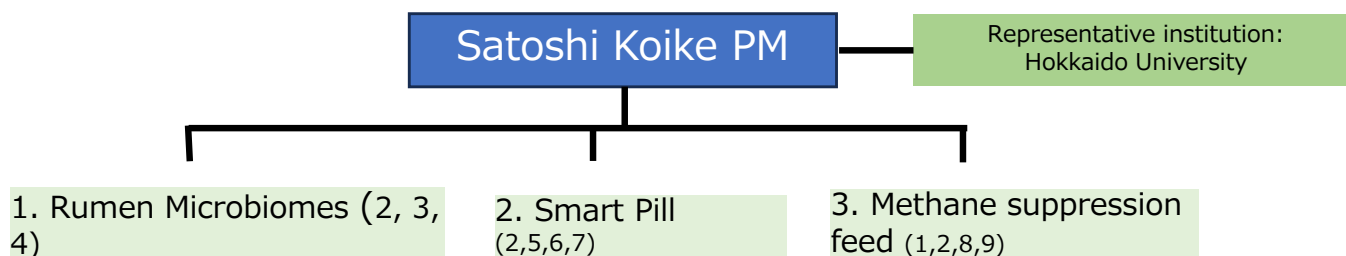
Using tools such as the smart pill, we will identify rumen fermentation conditions and microbiome profiles associated with low methane emissions. By applying newly developed probiotic microorganisms—live microbes that benefit the host animal—and methane-reducing agents derived from natural compounds, we aim to replicate these favorable fermentation conditions. Our goal is to establish optimal feeding and management strategies that achieve a 50% reduction in methane emissions at the herd level by 2030.

What We Aspire To

By 2050, we aim to reduce methane emissions from cattle belching by 80% to mitigate global warming, while improving milk and meat production efficiency by 10%. In parallel, we will establish a livestock production system that enables 100% of feed-grains to be redirected for human consumption, contributing to global food security and risk reduction.



Research Themes and Structure



<Research Institutes>

(1) Hokkaido University / (2) National Agriculture and Food Research Organization / (3) Nagoya University / (4) Central Research Institute of Zen-Noh Feed and Livestock / (5) National Institute for Materials Science / (6) The University of Tokyo / (7) National Institute of Advanced Industrial Science and Technology / (8) Obihiro University of Agriculture and Agriculture / (9) Hokkaido Research Organization

Note: Resonant sensor: A type of gas sensor that can detect specific chemical substances with high sensitivity.