第 488 回月例研究会資料

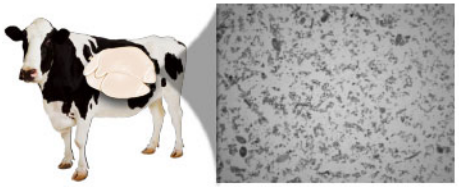
「牛ルーメンからのメタン削減に関する取組」

令和 7 年 5 月 30 日

小池　聡　国立大学法人北海道大学大学院
農学研究院　教授

一般社団法人日本科学飼料協会及びその会員は、「私的独占の禁止及び公正取引の確保に関する法律」等のコンプライアンス（法令順守）の重要性を認識し、これを推進してまいります。

HOKKAIDO UNIVERSITY

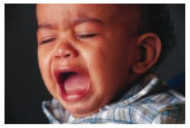


牛ルーメンからのメタン削減に関する取組

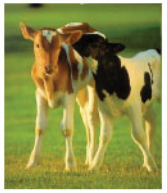
2025年5月30日
科学飼料協会　第488回月例研究会

小池　聡
北海道大学 大学院農学研究院
動物機能栄養学研究室

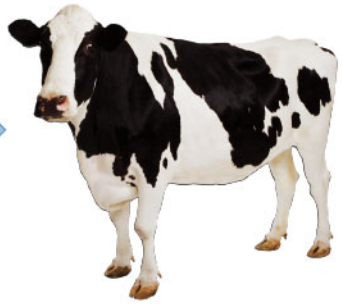
あらためて草食動物ってすごいと思いませんか？



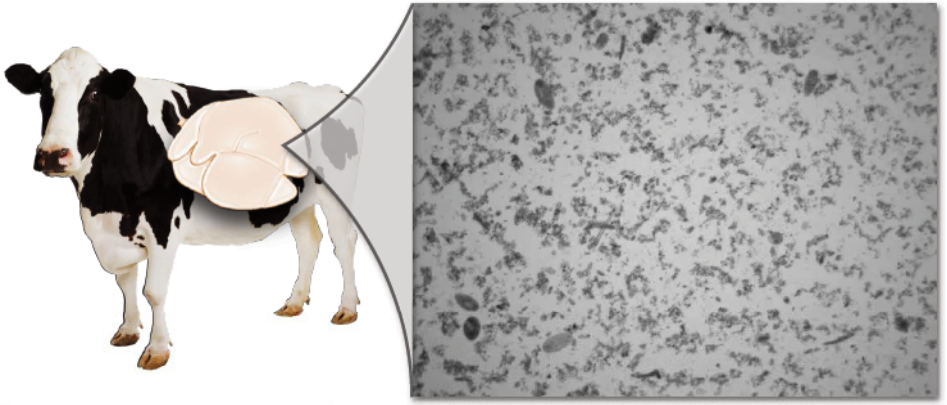
いろいろ食べて体重20倍

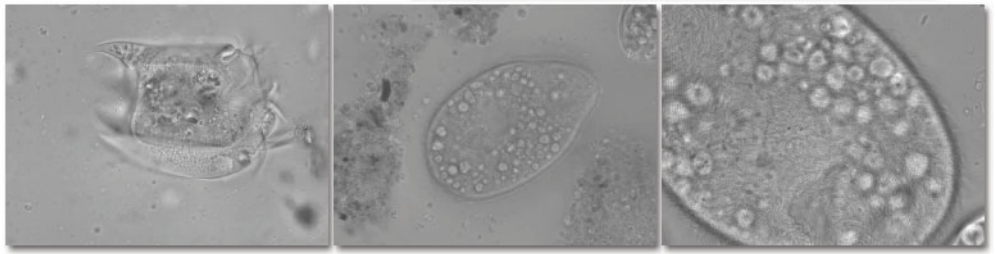


草だけ食べて体重20倍



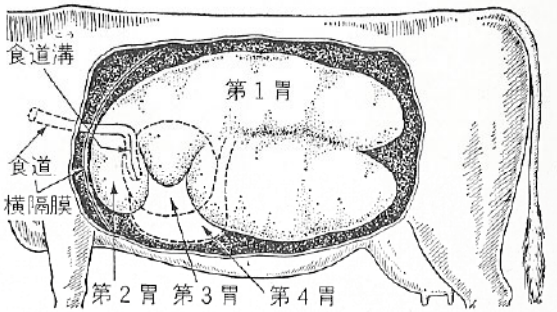
ウシ第一胃（ルーメン）内のミクロコスモス

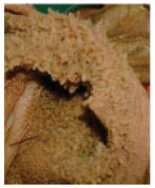




第1胃（ルーメン）発酵タンク、脂肪酸吸収

- 4つの胃の中でもっとも大きい
- 容積はウシで150–200 L
- 胃液の分泌はなく、pHは6程度
- 多くの微生物が生息





- 分解しにくい草をルーメンに長時間とどめる
- 反芻による物理的消化

↓

微生物による分解を促す

第2胃

第3胃

大きな飼料片を第4胃以降に通過させないためのフィルター

反芻動物とルーメン微生物の共生関係

★ルーメンを中性に保つ
・大量の唾液（アルカリ性）を分泌
・短鎖脂肪酸の速やかな吸収

★反芻により草を物理的に破壊して微生物の分解を助ける

細菌 ($10^{10\sim11}$/g)　プロトゾア ($10^{5\sim6}$/g)　真菌 ($10^{4\sim7}$/g)

ウシが食べた草（植物繊維）を分解・発酵して増殖

酢酸、プロピオン酸および酪酸など短鎖脂肪酸を産生

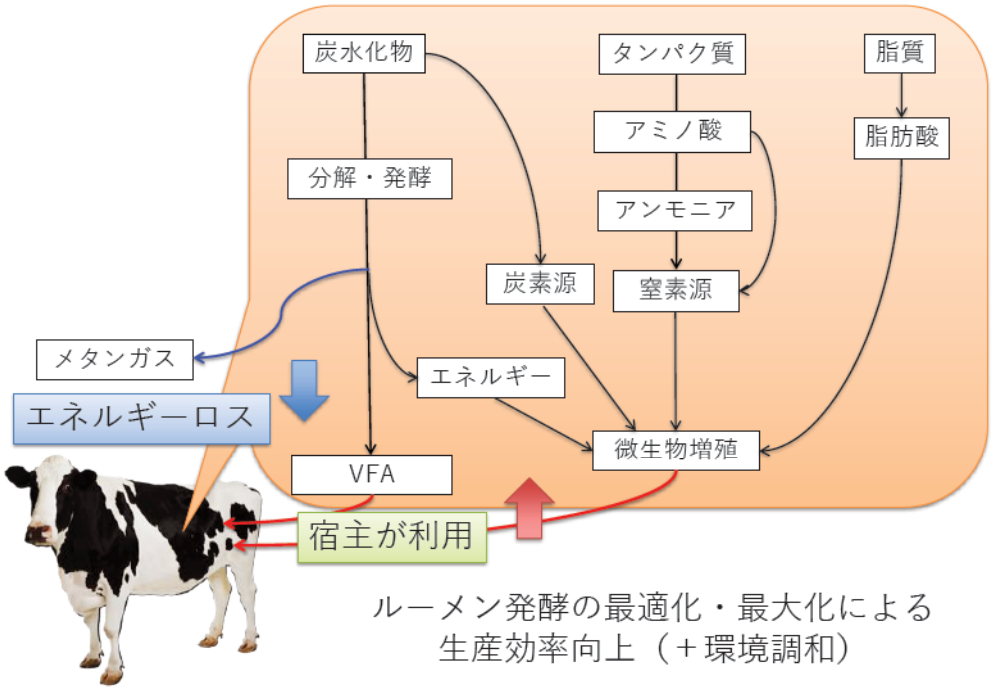
タンパク源として利用

エネルギー源として利用

下部消化管へ流下

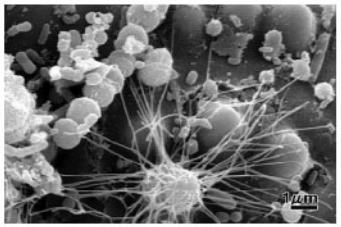
ルーメンで微生物を介してエネルギー源とタンパク源を得ている

ルーメン微生物による栄養素の変換



ルーメン発酵の最適化・最大化による
生産効率向上（＋環境調和）

ウシにとって微生物は小さな存在？



細菌の重さ
7×10^{-16} kg

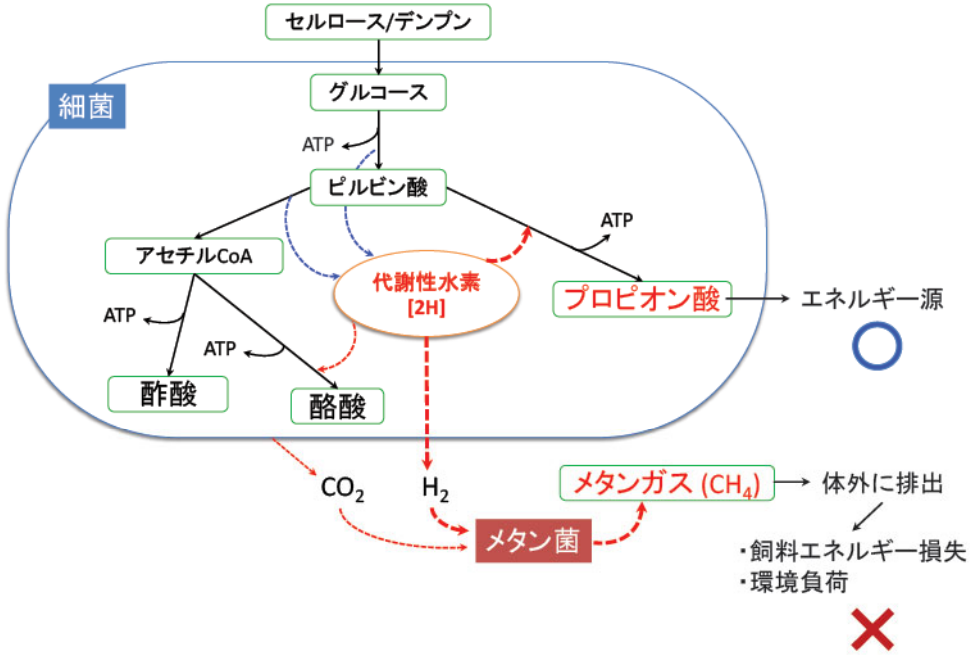
細菌のバイオマス
10^{11} 細胞/g ルーメン内容物
➢ 100 kg ルーメン内容物/ウシ

10^{16} 細胞
↓
7 kg

ウシ肝臓重量 = 体重の1.2%
(体重600 kgのウシで7.2 kg)

ルーメン微生物群集 ＝ 肝臓に匹敵する臓器

ルーメンでのプロピオン酸とメタン生成の拮抗関係



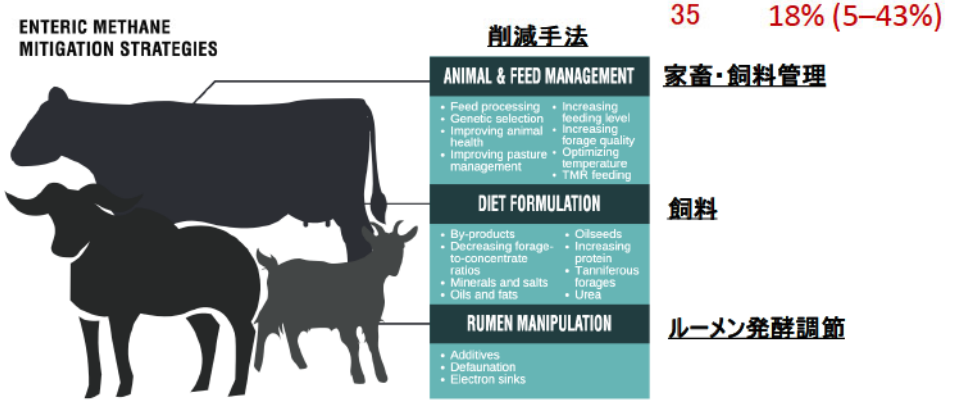
PNAS RESEARCH ARTICLE | SUSTAINABILITY SCIENCE OPEN ACCESS Published May 10, 2022.

Full adoption of the most effective strategies to mitigate methane emissions by ruminants can help meet the 1.5 °C target by 2030 but not 2050

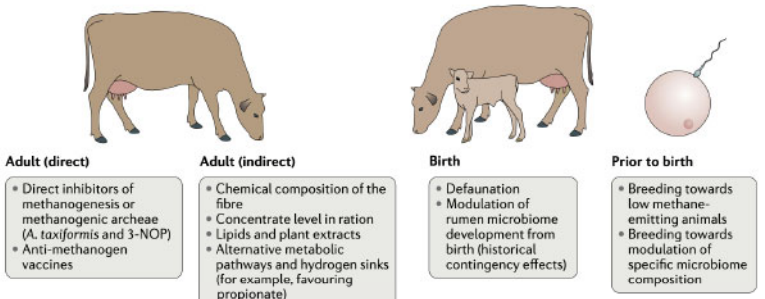
Claudia Arndt[a,1], Alexander N. Hristov[b], William J. Price[c], Shelby C. McClelland[d], Amalia M. Pelaez[b,e], Sergio F. Cueva[b], Joonpyo Oh[b], Jan Dijkstra[e], André Bannink[a], Ali R. Bayat[f], Les A. Crompton[g], Maguy A. Eugène[h], Dolapo Enahoro[a], Ermias Kebreab[i], Michael Kreuzer[j], Mark McGee[k], Cécile Martin[h], Charles J. Newbold[l], Christopher K. Reynolds[g], Angela Schwarm[m], Kevin J. Shingfield[f,2], Jolien B. Veneman[n], David R. Yáñez-Ruiz[o], and Zhongtang Yu[p]

430報の審査済み論文に公表されたメタン削減手法について横断的に解析

有効な手法	平均メタン削減率
35	18% (5–43%)



メタン削減のための戦略



Methane mitigation strategies
(Mizrahi et al., 2021)

成牛
- メタン菌を直接阻害
- メタン菌のワクチン
- 植物繊維の化学組成
- 飼料中の濃厚飼料含量
- 脂質もしくは植物抽出物
- ルーメン発酵経路の調節
- 抗生物質（モネンシン）
- 水素消費経路の増進

出生時
- 原虫（プロトゾア）除去
- ルーメン細菌叢の改変

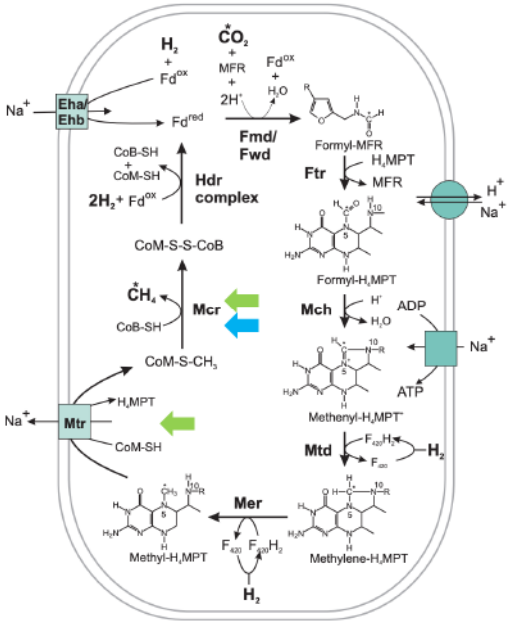
出生前
- 低メタン個体の育種
- 特定のルーメン菌叢の選抜育種

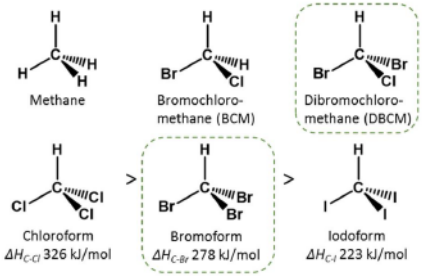
上市されているメタン削減資材

日本でGHG削減飼料添加物として認可

開発国	会社名	製品名・ブランド等	メタン低減効果	由来	概要
日本	エス・ディー・エス バイオテック（出光興産）	ルミナップ	約20～40%	天然物	カシューナッツ殻液由来のフェノール成分によるルーメン発酵調節
日本	味の素	AjiPro-L	約10%	化学物質	アミノ酸バランス改善を通した生産性向上によるメタン排出量削減
豪州	FutureFeed	Future Feed	約40～80%	天然物	カギケノリ由来のハロゲン化合物によるメタン合成経路の阻害
オランダ	dsm-firmenich	Bovear	約30～45%	化学物質	合成化合物 3-ニトロオキシプロパノール（3-NOP）によるメタン合成経路の阻害
スイス/米国	Agolin/Alltech	Agolin Ruminant	約6～30%	天然物	エッセンシャルオイル混合物の抗菌活性によるルーメン発酵調節
スイス	Mootral	Mootral Ruminant	約30%	天然物	ニンニクと柑橘類抽出物の抗菌活性によるルーメン発酵調節

ハロゲン化合物と3-ニトロオキシプロパノールによるメタン生成阻害





紅藻類に含まれるハロゲン化合物

➡ **MtrやMcrに競合的に結合**
最大98％のCH_4抑制

3-NOP

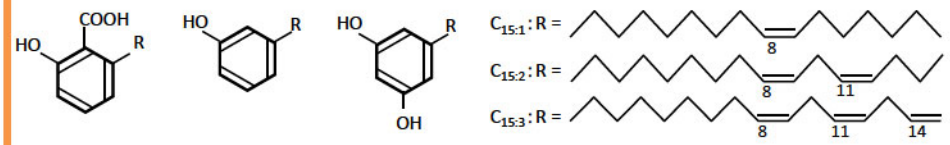
合成化合物

➡ **Mcrの活性部位に結合**
30～40％のCH_4抑制

カシューナッツ殻液 (CNSL)

含有フェノール成分

アナカルド酸　カルダノール　カルドール



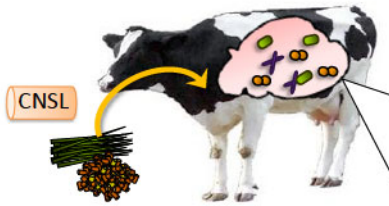
グラム陽性菌に対して抑制効果

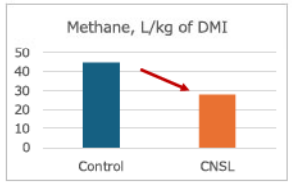
CNSLの成分比率

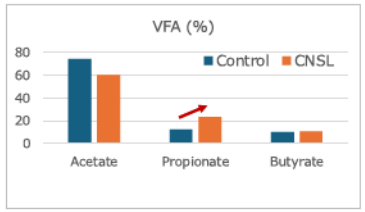
主要成分はアナカルド酸

アナカルド酸			カルダノール			カルドール			水分	その他
C15:1	C15:2	C15:3	C15:1	C15:2	C15:3	C15:1	C15:2	C15:3		

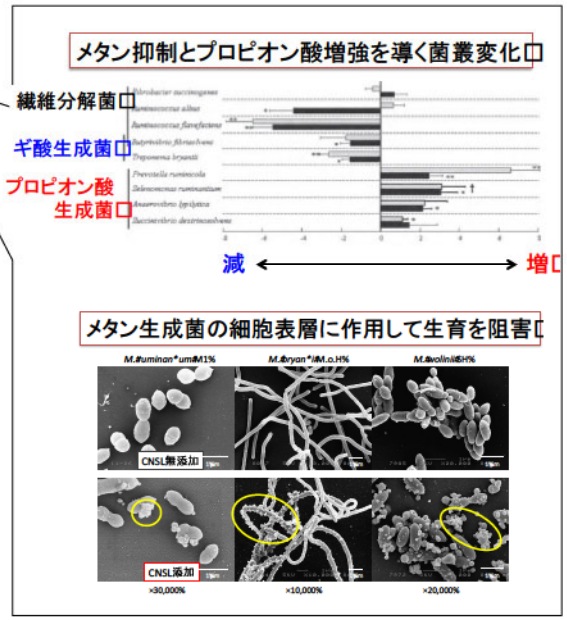
カシューナッツ殻液のメタン低減効果と作用機序







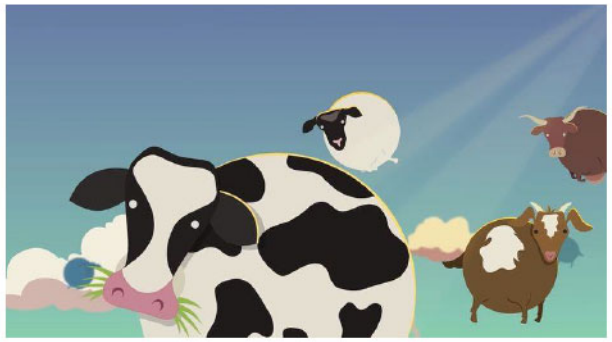
メタン低減とプロピオン酸増強



Shinkai et al., 2012; Wakai et al., 2021

ルーメンマイクロバイオ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

PM　小池 聡（北海道大学）



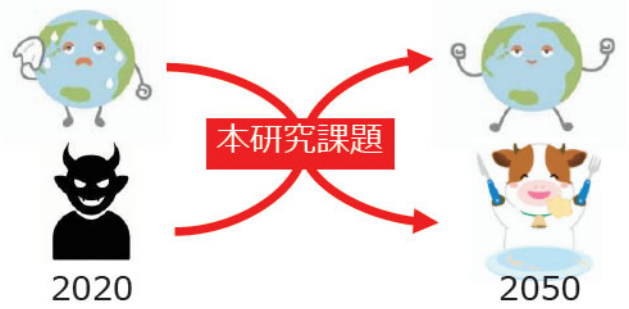
農研機構　全農　名古屋大学　東京大学　産総研　JSFA 一般社団法人 日本科学飼料協会　物質・材料研究機構 National Institute for Materials Science　FUSO　北海道　エスティーエス バイオテック　東亜薬品工業株式会社

MOONSHOT RESEARCH & DEVELOPMENT PROGRAM

内閣府 Cabinet Office　BRAIN

ムーンショット型研究開発制度は、我が国発の破壊的イノベーションの創出を目指し、従来技術の延長にない、より大胆な発想に基づく挑戦的な研究開発（ムーンショット）を推進する新たな制度です。

ムーンショット目標５
2050年までに、未利用の生物機能等のフル活用により、
地球規模でムリ・ムダのない持続的な食料供給産業を創出

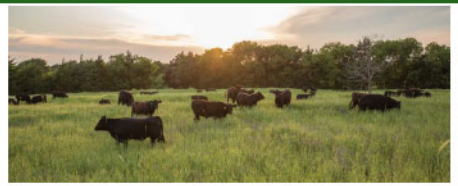


環境保全と
畜産物供給増
の両立

牛とメタン削減

貴重な食料供給源

・牧草から肉やミルクを得る
・家畜として8000年以上の歴史



温室効果ガス排出源

・牛1頭あたり乗用車1.7台分の温室効果ガスを排出

395万頭
＝790万台相当

15億頭
＝30億台相当

6,200万台

15億台*

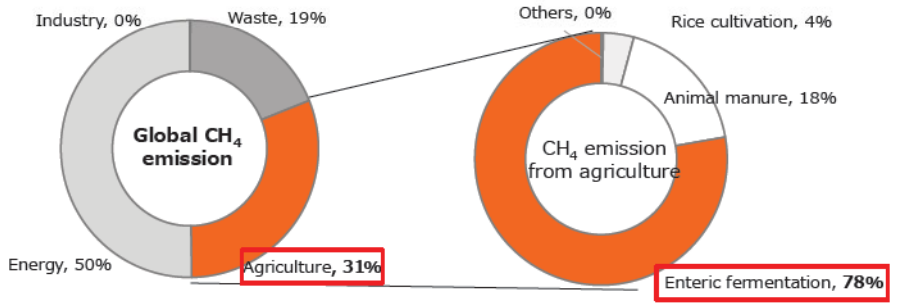
食料供給と環境調和の両立が課題

*トラックなど含む

北海道大学

深刻化する地球温暖化に対し、温室効果ガス排出量の削減が急務

✓ 温暖化は全世界で災害の原因となっている
✓ パリ協定で「日本は2050年までにGHGの80%削減」を表明
✓ 農業はメタンガスの主要な排出源で、主に消化管発酵由来である。
✓ 私たちの研究ではウシ第一胃（ルーメン）由来メタンの80% 削減をはかる



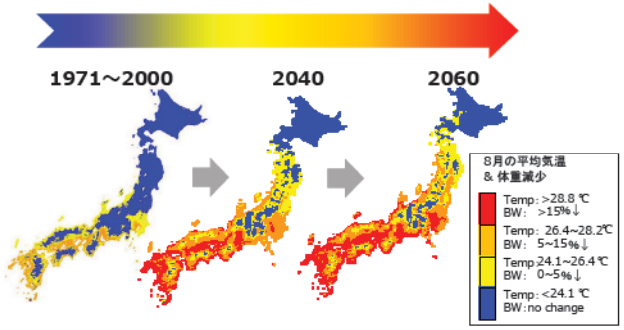
United Nations Framework Convention on Climate Change(UNFCC)
Green House Gas Inventory Data 2015

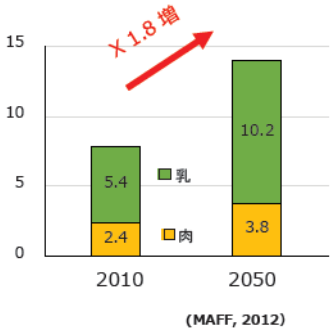
北海道大学

乳・肉生産への地球温暖化の影響と世界の畜産物需要量の見通し

✓ ウシは暑熱耐性が低く、温暖化がつづくと生産の減少は必至
✓ 畜産物の需要は 2050年に1.8倍（2010年比）に高まる ←人口増加と経済の進展

気温上昇& 家畜生産減少





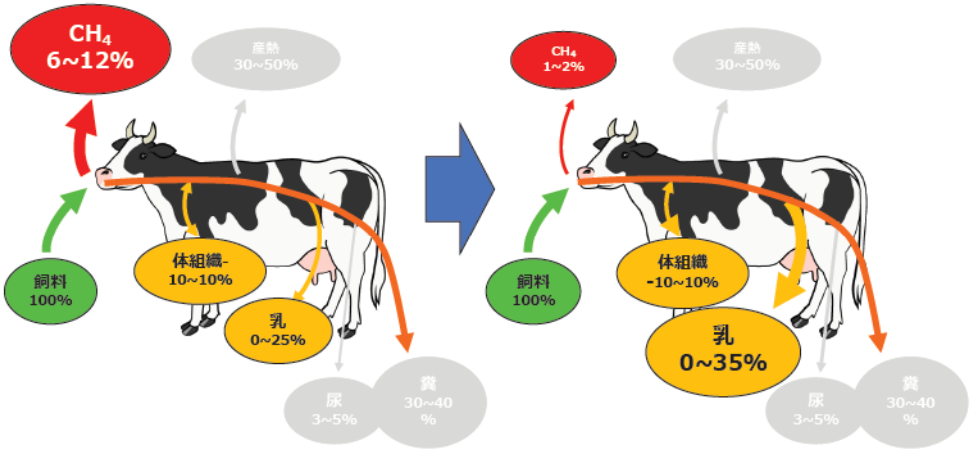
(MAFF, 2012)

畜産物供給にかかわる懸念

北海道大学

牛ルーメンマイクロバイオ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

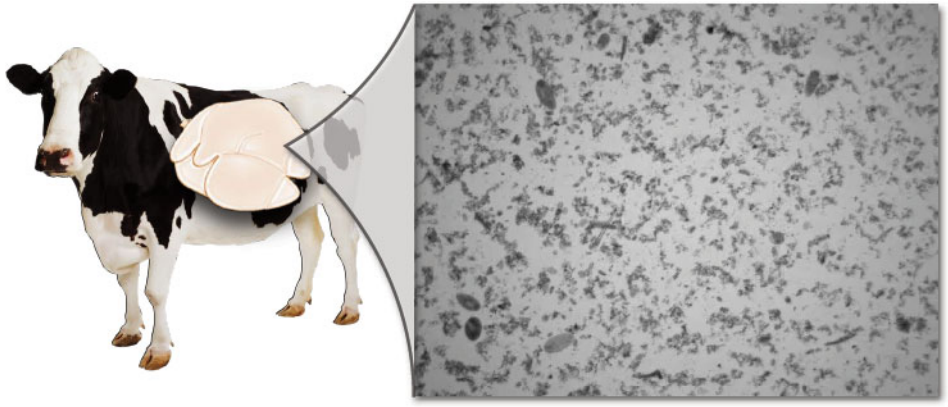
✓ **飼料エネルギーの6-12%がメタンガスとして損失する**
✓ **メタンガスの80%削減は乳肉の生産性を10%改善する**



生産性10%改善は 43%の経営利益向上をもたらす (Fox ら. 2001)

北海道大学

ウシ第一胃（ルーメン）内のマイクロバイオーム（微生物群集）



✓ マイクロバイオームが牧草を発酵して牛の栄養源を供給
✓ 発酵の過程でメタンが作られる

ルーメンマイクロバイオームの制御が牛メタン削減の鍵を握る

北海道大学

ムーンショット牛メタン削減研究プロジェクト参画機関

- 14 大学/研究所/企業/自治体
- 45名の研究者

北海道大学

ムーンショット牛メタン削減研究課題

1. **即効戦略: メタン抑制飼料**

農研機構　FUSO　北海道　JSFA 一般社団法人 日本科学飼料協会

2. **長期的戦略: ルーメン発酵の見える化**

農研機構　全農　名古屋大学　東亜薬品工業株式会社

3. **組み合わせる新技術−スマートピル（ルーメン留置）**

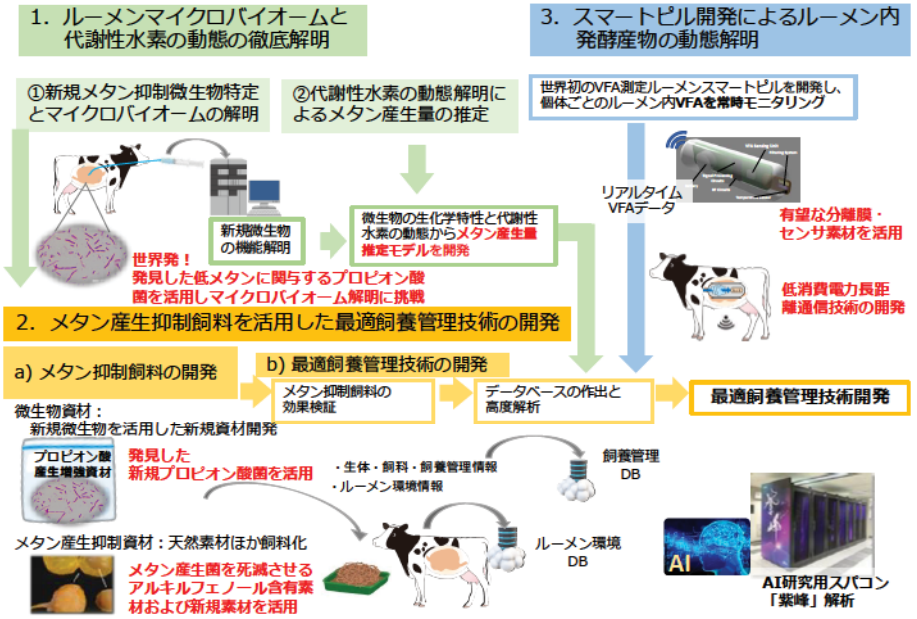
東京大学　農研機構　産総研　物質・材料研究機構 National Institute for Materials Science

→ 最終段階… 個体別飼料給与管理システムの確立・普及

AIがスマートピルからのリアルタイム発酵情報を基にメタン削減に最適な飼料、給与量、給与時間をウシ個体ごとにデザインし、自動給餌機に指令

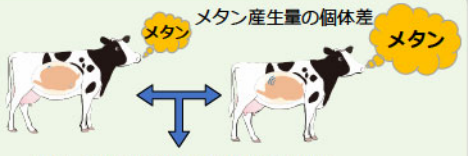
北海道大学

ムーンショット牛メタン削減研究課題の構成



ムーンショット牛メタン削減研究の取組

メタン産生を予測する技術開発

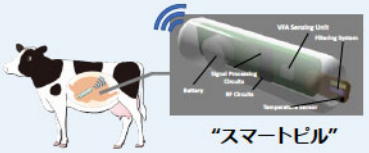


メタン産生に影響する要因を徹底解明

↓

いつ、どのぐらいメタンができるのか予測する技術を開発

メタン産生予測に必要なデバイス開発



“スマートピル”

・経口投与が可能な小型デバイス
・ルーメンに留まりリアルタイムで発酵をモニタリング

メタン抑制飼料の開発

検証試験データ

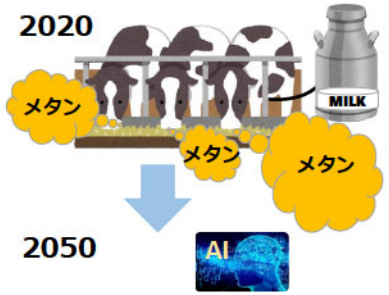
・既存のメタン抑制飼料添加物
・天然素材を中心に新規有用素材の発掘

AI研究用スパコン「紫峰」解析

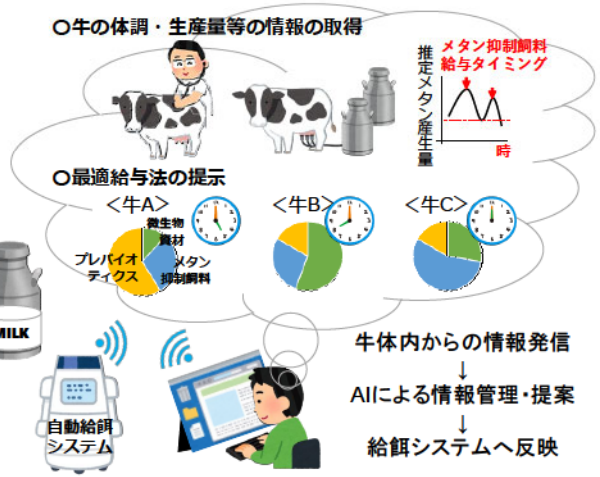
いつ、どんな餌をどれぐらい与えたらメタン抑制が最大になるかを導き出す

強み：要素技術を組合せて最適飼養管理技術を提供

2050年に目標とする家畜生産の姿



ルーメン環境のリアルタイム情報に基づく個体に応じた最適飼養管理が実現



牛体内からの情報発信
↓
AIによる情報管理・提案
↓
給餌システムへ反映

北海道大学

本MS課題がおこすパラダイムシフト

牛は良き家畜（BC8000～AD2000）	牛は悪者（1970–2020）	牛を適正に飼い牛と共生（2021～2050）
良質なタンパク提供	同左	同左
副産物（非可食部）提供	同左	同左
ヒトと食物競合なし	穀物多給（食競合）	食競合なし（100%草で飼う）穀物→ヒト食糧に
	温暖化寄与（メタン）	温暖化最小化（メタン削減）

牛メタン80%削減

気候犯罪者
地球のために牛を食べない
No Beef Monday (Paul McCartney)

徐々にGrass-fed milk & beefへ

飼料の原点回帰と生産性向上←科学技術
畜産物の嗜好転換←国民の認識と産業構造の変換

いずれも本MS課題の力で実現すること！

北海道大学

謝辞

内閣府 Cabinet Office
BRAIN

ムーンショット型農林水産研究開発事業

北海道大学