

家畜由来の温室効果ガス低減の取り組み

野中最子*

〔キーワード〕：畜産，温室効果ガス，牛メタン，排せつ物，アミノ酸

1. はじめに

日本人の食生活はここ 50 年で大きく変わっており，食料需給表（農林水産省，2022）によると 1970 年代には動物性タンパク質の 7 割を魚介類から摂取していたが，2021 年には魚介類は 4 割となり，食肉が 6 割を占めるようになってきている．2021 年における 1 人当たりの食肉の年間消費量は，鶏肉 14kg，豚肉 13kg，牛肉 6kg と合計で 34kg にも及ぶ．その他，鶏卵 290 個，牛乳 30L，チーズ，ヨーグルトなどの乳製品は 60kg も消費しており，畜産物は私達の食卓になくなくてはならないものになっている．

一方で他の産業と同様に，畜産業からも温室効果ガスが排出されており，国内の農林水産分野において，家畜の消化管内発酵由来メタン，家畜排せつ物管理由来一酸化二窒素（ N_2O ）とメタンでおよそ 3 割を占めている（図 1）．今後の持続的な畜産業の展開を図るためにも，生産性向上と環境負荷低減を同時に達成することが大きな課題となっている．

そのような中，わが国において持続可能な家畜生

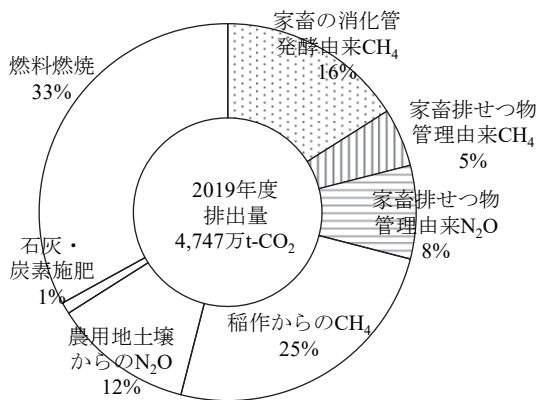


図 1 国内農林水産業および畜産からの GHG 排出
農林水産省 web サイトの図を改変。

産体系の確立のため，2017 年から農林水産省委託プロジェクト研究「農業分野における気候変動緩和技術の開発」（畜産分野における気候変動緩和技術の開発），2020 年から内閣府ムーンショット型農林水産研究開発事業「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」が開始された．これらは，おもにウシ消化管を由来とするメタン，家畜排せつ物処理から発生するメタンと N_2O を削減するための技術開発を目的としている．これらプロジェクト内で得られた成果を中心に先行研究とともに紹介する．

2. ウシ消化管由来メタンの削減

ウシには胃が 4 つあり，1 番目（ルーメン）と 2 番目の胃の中にはたくさんの微生物が生息している．その微生物がまず，ウシが食べた飼料を分解し，発酵させて，ウシがエネルギー源として使える形（短鎖脂肪酸）に変換する．さらに，自分たち微生物を増やし，それらが 3，4 番目の胃へ，そして小腸へ流れていく過程で，ウシのタンパク質源（微生物態タンパク質）として利用される．このようにウシは，ヒトが栄養として利用できない牧草などの繊維質を，微生物の力を借りて，ミルクや肉を生産する仕組みを持っている．ただ，これら微生物は飼料を分解，発酵する過程で，副産物として二酸化炭素や水素などのガスを産生し，その一部はメタン細菌等に利用されてメタンとなり，他のガスと一緒にいわゆる「あい気（ゲップ）」として放出される．このようにウシからメタンが出てくるのは必然であるが，このメタンを減らすためのアプローチとして次の 4 つが考えられている．

(1) 飼料，栄養管理の工夫，資材の添加

採食する飼料の量や種類によってメタン排出量は変わる．採食量の増加に伴いメタン排出量は増加するが，採食量当たりのメタン排出量は減少する．牧草より穀類などの濃厚飼料割合が増えるとメタ

ン産生量は減少する。牧草などの粗飼料は刈り取り時期によって栄養価は異なることは知られているが、メタンの排出量も異なる。飼料中の脂肪含量を高める、あるいは、脂肪酸カルシウムを添加するとメタン排出量を減らすことができる。

(2) ルーメン微生物の制御

メタン排出量を低減する微生物相改変資材の1つであるカシューナッツ殻液の添加は、飼料の消化率や乳生産性を低下させることなく1割弱の低減が可能である(真貝ら, 2014)。また、最近になり、乳牛の第一胃から、プロピオン酸前駆物質を既知の近縁菌より多く産生する新種の嫌気性細菌が発見された(Shinkai et al., 2022)。プロピオン酸とメタンはともに水素を利用する拮抗関係にあるため、この新しい細菌は、ウシにおけるメタン産生量の低減とプロピオン酸産生による生産性の向上に資することが期待されている。

(3) 1頭当たりの生産性の向上

育種改良や飼養・栄養管理技術の高度化により、1頭当たりの乳生産量や増体速度は年々増加している。1頭当たりの生産量の増加に伴い1頭当たりのメタン排出量は増えるが、生産物当たりのメタン排出量は減る。つまり、1頭当たりの生産性の向上は、飼養頭数の減少につながるため、全体としてメタン排出量が減ることになる。また、ウシ1頭当たりからのメタン排出量は、摂取量が多くなるほど排出量も多くなるため、ウシの栄養要求量に合わせて給与し、必要以上に食べさせないことも重要である。他

にも、初産の分娩月齢の遅れや、乾乳期間の長期化は、生産物当たりのメタン排出量を増加させることから、繁殖を順調に回すことも大切である。さらに、子牛の損耗や乳房炎などの生産病も少ない方が良く、健全性を高めることも重要である。

(4) メタン排出量の少ないウシの選抜

これまで述べてきたようにウシからのメタン排出量は、飼料や微生物相によって変わるが、食べた飼料の種類、量が同じであってもメタン排出量は個体によって異なる。さらに、その特性は産子に遺伝するという事も徐々に明らかにされてきた。つまり、メタン排出量の少ないウシを選び(育種選抜)、その子孫を増やしていけば、将来においてウシ消化管からのメタン排出量を減らせる可能性がある(Uemoto et al., 2020)。

ただ、メタン排出量の少ないウシを選ぶことが極めて難しい。育種選抜には多頭数のメタン測定値が必要だが、ウシからのメタン排出量を測定することが困難であるからだ。これまでは、開放型呼吸試験チャンバー(写真1)やヘッドボックスの中にウシを数日間滞在させる方法で、ウシからのメタン排出量を定量的に測定していた。この方法は最も精密に測定できるが、国内では農研機構が保有する4台のみで、育種改良に必要な何百、何千という多頭数のデータを得るには向いていない。そこで、呼気ガスの一部を採取して、そのガス中のメタン/二酸化炭素比(CH_4/CO_2 比)をもとにメタン排出量を推定するヨーロッパで開発された手法を日本の牛に適したものに改良した(Suzuki et al., 2021)。搾乳ロボット(写真2)や個体別飼槽においてその場に滞在中のウシの呼気を数分間1日に2~3回、7日間連続で



写真1 呼吸試験チャンバー
成牛1頭が滞在できる大きさ。



写真2 搾乳ロボット

採取し平均的な CH₄/CO₂ 比を求め、牛個体からのメタンを推定できる簡便かつ安価な「スニファー法によるメタン排出測定システム」を開発した。今年度より5年間の計画で開始された農林水産省委託プロジェクト研究「畜産からの GHG 排出削減のための技術開発」では、このシステムを用いて、複数の公設試や大学などで飼育されているウシから、メタン排出量を測定する予定である。これによりメタン排出量の少ないウシを選んで増やしていけば、時間はかかるかもしれないが、牧草を栄養とすることができるウシの利点を生かしながらメタン排出量を減らすことができると期待している。

3. 家畜ふん尿由来一酸化二窒素およびメタンの削減

飼料のタンパク質はエネルギーと同様に、家畜自身の維持や成長のみならず、泌乳や妊娠などにも必要な主要栄養素の1つであるが、体内で利用されなかったタンパク質やアミノ酸は、ふん尿として排せつされる。このふん尿に含まれる窒素こそが、温室効果ガスの一つである N₂O と、N₂O の前駆物質で臭気（悪臭）とも深く関わっているアンモニア（NH₃）の発生源である。ふん尿中の窒素が減少することで N₂O と NH₃ も減ることから、体内で必要な分だけのタンパク質やアミノ酸の給与が環境負荷ガスの削減につながる。ただし、単純に、飼料のタンパク質量を減らすと、畜産物の生産量まで低下してしまうので、不足するアミノ酸を添加することがポイントである。このような考え方に基づいて設計した飼料のことをアミノ酸バランス改善飼料と呼んで、肥育豚とブロイラーでは温室効果ガス排出

削減方策として提案してきた（図2）。ここでは、農林水産省委託プロジェクト研究推進事業「農業分野における気候変動緩和技術の開発」（2017-2021）において新しく取り組んだ採卵鶏と肉用牛について紹介する。

(1) 採卵鶏におけるアミノ酸バランス改善飼料の取り組み

採卵鶏は150日齢から600日齢くらいまで産卵を続ける。茨城県畜産センター（飯尾ら、2021）では、ジュリア種採卵鶏を用い、200日齢から300日齢の産卵前期試験、および400日齢から600日齢までの産卵中後期試験を行った。産卵前期の飼料粗タンパク質（CP）含量は原物当たり対照区19%、試験区17%、産卵中後期の飼料CP含量は原物当たり対照区16%、試験区14%に設定した。このように産卵前期、後期ともに対照区と試験区で2%ポイントの差を設け、さらに試験区の飼料には採卵鶏の要求量を満たすため、リジン、メチオニン、トリプトファンを添加した。その結果、試験区では対照区と比較し、採食量や産卵成績に差は認められず、排せつされる窒素量を前期では2割削減した（産卵中後期の結果は現在取りまとめ中）。さらに、産卵前期においてこれら飼養試験で得られた排せつ物を実際に堆肥化して温室効果ガスを測定したところ、対照区と比較して試験区では、N₂O や NH₃ だけでなくメタンも減少しており、アミノ酸バランス改善飼料の温室効果ガス削減への有効性を明らかにすることができた。この成果をもとに一般の農家でポリスブラウン種を用いて実証試験を行った。その結果、産卵前期、中後期とも、アミノ酸バランス改善飼料を給与しても産卵成績などの生産性に影響はないこと

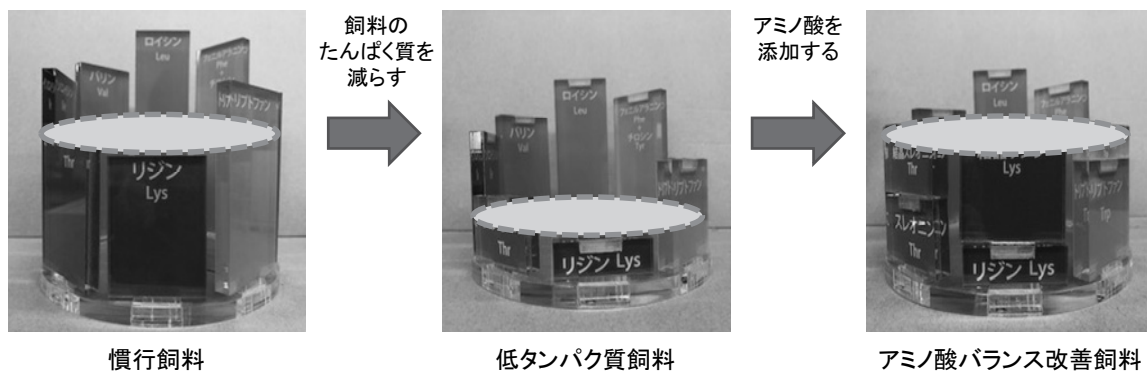


図2 アミノ酸バランス改善飼料のイメージ

が確認された。

(2) ホルスタイン種肥育去勢牛へのアミノ酸バランス改善飼料の給与

前述のとおりウシのルーメンには微生物が生息しており、ヒトが栄養として利用できない繊維成分や尿素なども微生物態タンパク質やアミノ酸に変換する。そのため、ウシのアミノ酸の要求量を精密に知ることは鶏や豚などの単胃動物と比較して難しい。このプロジェクトで Kamiya ら (2021) は、肥育前後期あわせて 12 カ月以上の飼養試験によって生産性維持と環境保全の両立に関する検証を行った。ホルスタイン種去勢牛 8 頭 (対照区 4 頭, 試験区 4 頭) を供試し, 肥育前期 (7~10 カ月齢) の飼料 CP 含量を乾物当たり対照区 17.2%, 試験区 14.4%, 肥育後期 (10~18 カ月齢) の飼料 CP 含量を対照区 14.5%, 試験区 11.4% に設定した。試験区の飼料には, 1 日 1 頭当たりリジン (前期 13g, 後期 22g) とメチオニン (前期 1g, 後期 2g) をルーメン保護アミノ酸 (ルーメン内の微生物が利用しにくい形) として添加した。その結果, 飼料 CP 含量を減らした試験区では対照区と比較し, 採食量や増体量などの飼養成績, あるいは枝肉重量やロース芯面積など生産性に差は認められず, ふん尿中への窒素排せつ量は 15% 程度減少した (図 3)。

この結果をもって, 実際に肉用牛を飼っている農家においてアミノ酸バランス改善飼料を用いた試験を実施した (写真 3)。その結果, 試験区と対照区で, 増体成績, 枝肉重量やロース芯面積, 歩留まりに差は認められなかった。また, 肉質にも差は認め

られないという成績が得られた。

4. おわりに

以上のように, ウシ消化管からのメタン排出量の低減, 排せつ物処理からのメタンと N_2O の低減技術はいくつか開発されてきているが, 食料生産と環境負荷軽減を同時に達成しなければならない課題であるため, 短期間に大幅な削減を行うことはかなり難しい。しかし, 畜産経営は, 飼料生産, 栄養・飼養管理, ふん尿処理・利用などで複合的に成り立っていることから, システム全体として温室効果ガスの低減を考えていくことで, この問題の解決に貢献することができるものと考えている。その際には, 生産者への技術導入を促すような方策も視野に入れつつ, その取り組みを消費者へもアピールし, 理解を深めてもらうことも重要であろう。

引用文献

- 飯尾恒・山下薫・島田理紗・荻野暁史・野中最子・長田隆 2021. 産卵前期採卵鶏への低タンパク質飼料給与が生産性や堆肥化過程における環境負荷ガス排出に及ぼす影響. 日本畜産学会報 92 : 485-491. <https://doi.org/10.2508/chikusan.92.485>
- Kamiya M., Yamada T. and Higuchie M. 2021. Effects of low-crude protein diets supplemented with rumen-protected lysine and methionine on fattening performance and nitrogen excretion of Holstein steers. *Animal Science Journal*, 92(1). e13562. <https://doi.org/10.1111/asj.13562>
- 農林水産省 web サイト. 食料需給表 2022. <https://www.maff.go.jp/j/zyukyu/fbs/>
- 農林水産省 web サイト. みどりの食料システム戦略 2021. <https://www.maff.go.jp/j/kanbo/kankyos/seisaku/midori/index.html>

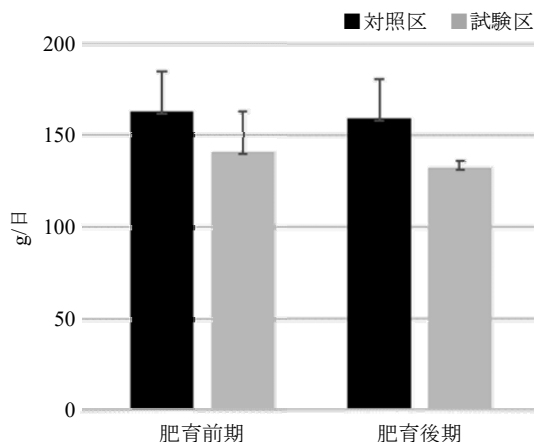


図 3 肉用牛におけるふん尿からの窒素排せつ量



写真 3 実証試験牧場の肥育牛

- 真貝拓三・永西修・三森眞琴・長嶋協・小林泰男 2014. カシューナッツ殻液を利用した乳用牛からのメタン低減技術. 栄養生理研究会報 58 : 45-51. <https://agriknowledge.affrc.go.jp/RN/2030873698.pdf>
- Shinkai T., Ikeyama M., Kumagai M., Ohmori H., Sakamoto M., Ohkuma M. and Mitsumori M. 2022. *Prevotella lactificex* sp. nov., isolated from the rumen of cows. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology 72(3). <https://doi.org/10.1099/ijsem.0.005278>
- Suzuki T., Kamiya Y., Oikawa K., Nonaka I., Shinkai T., Terada F. and Obitsu T. 2021. Prediction of enteric methane emissions from lactating cows using methane to carbon dioxide ratio in the breath. Animal Science Journal 92. e13637. <https://doi.org/10.1111/asj.13637>
- Uemoto Y., Takeda M., Ogino A., Kurogi K., Ogawa S., Satoh M. and Terada F. 2021 Genetic and genomic analyses for predicted methane-related traits in Japanese Black steers. Animal Science Journal, 91(1) e13383. <https://doi.org/10.1111/asj.13383>