

畜産からの温室効果ガスの排出抑制技術

農業・食品産業技術総合研究機構 畜産草地研究所

長田 隆・永西 修

1. はじめに

集約化、経済的効率化の進んだ畜産経営のもたらす環境負荷は、悪臭や水質汚濁などの地域限定的な事項にとどまらず、地球温暖化に影響を及ぼす重大事項と認識されている。近年の報告書によれば、現在、陸上の30%、農業用地の約70%が家畜生産のために使用されており、活動全体からの温室効果ガス発生は、二酸化炭素等量で18%に達すると算定されている(FAO2006)。畜産業起源の京都議定書対象温室効果ガスの中で農業活動独特のメタンと亜酸化窒素について言及し、その発生抑制の取り組みに関して報告する。

2. 我が国の畜産業と温室効果ガス排出

畜産経営内から排出するメタンと亜酸化窒素は、大きく2つに区分される。家畜の飼養時に消化管から発生するメタンと、排せつされるふん尿の取り扱いから発生するメタンと亜酸化窒素である。年間808.8万トンの生乳、34.6万トンの牛肉、87.4万トンの豚肉、134万トンの鶏肉と251.4万トンの鶏卵などの畜産物を食卓に供給するために、89.8万haの飼料作付圃場などから、622.2万TDNトン(TDN:可消化養分総量)の飼料を供給、不足分の飼料(1898.6万TDNトン)を輸入して、168.3万頭の乳牛、280.5万頭の肉牛、972.4万頭の豚、1億7455万羽の採卵鶏と1億490万羽の肉用鶏を飼養して、8844万トンの排出されるふん尿を処理・利用している(18年度、農水省)。この生産活動の中で、反すう家畜(牛、めん羊、山羊など)を主体に709.5万トンC02eq、家畜排せつ物管理から726.1万トンC02eqの温室効果ガスの排出が算定されている(18年度算定値、(独)国立環境研究所地球環境研究センター温室効果ガスインベントリオフィス:GI0)。

3. 畜産業からの排出量

畜産経営から排出する温室効果ガスは、家畜の消化管内発酵と家畜排せつ物管理を合わせて1435.6万トンC02eqであり、農業区分からの排出(2760万トンC02eq)の約半分を占め、日本国温室効果ガス総排出量(13億5700万トンC02eq)の約1%にあたる。日本は農業活動が主要な国内産業ではなく、その割合は比較的小さい。しかし、メタン総排出量の39.5%(消化管29.1%+ふん尿10.4%)、亜酸化窒素総排出量の18.2%が畜産業を起源としている(18年度算定値、環境省GI0)。

表1 国内の主要家畜飼養頭数と排出される年間ふん尿排出量

畜種	飼養頭羽数 ×千 頭羽	排せつ物量(千 tons)			有機物・窒素排せつ量(千トン)	
		ふん	尿	合計	有機物(O.M)	窒素(N)
乳用牛	1,683	21,206	6,261	27,467	3,424.2	134.9
肉用牛	2,805	18,990	6,872	25,862	3,452.5	130.9
豚	9,724	7,857	14,586	22,443	1,644.3	151.5
採卵鶏	174,550	7,698		7,698	1,154.6	154.0
ブロイラー	104,950	4,975		4,975	746.2	99.5
Total		60,725	27,719	88,444	10,421.9	670.8

これは、畜産業がメタンの発生源である有機物や亜酸化窒素発生源である窒素を多量に取り扱っている活動である事による。国内最大の有機性廃棄物である家畜排せつ物中には、年間排出量 1042 万トンの有機物と 67 万トンの窒素排出が算定される(2004 年度算定値)。国内約 12 万戸の畜産農家からの温室効果ガス排出量は、その経営規模だけでなく、飼養する畜種、飼養管理(エサや畜舎構造など)やふん尿管理等により大きく異なる。

4. 家畜の消化管内発酵からのメタン発生の特徴と制御

世界の家畜からのメタン産生量は約 80Mt/年と推定され、豚などの非反すう家畜からの発生は少なく、その約 80%は牛や水牛の反すう家畜の消化管内発酵に由来するものである。これらの反すう家畜のルーメン(第一胃)には細菌、原生動物などの嫌気性微生物が多数生息し、摂取した飼料を分解し、発酵に伴い生じた揮発性脂肪酸(VFA)を家畜はエネルギー源として利用するほか、水素、炭酸ガス、ギ酸などからメタンが生成する。反すう家畜でのメタン発生量は、飼料の種類、環境温度、生産レベルなどによって変動し、飼料中の炭水化物発酵と密接な関係があることが指摘されている。一方で、飼料自給率の向上はわが国での安定的な畜産物生産に重要な課題であり、自給飼料の増産や低・未利用飼料資源の利用促進などの取り組みが強化されている。メタンは飼料として摂取したエネルギーの3~13%を占めることから、メタンとして失われるエネルギーを低減することは飼料エネルギーの有効利用につながる。そのため、メタン発生量の低減は地球環境保全の面から重要であるほか、家畜の生産性の改善にも重要な意味を持つ。

メタン発生量低減に向けた研究としては、1) 家畜の生産性の改善(個体での乳・肉の生産量を向上し、相対的にメタン発生量を低減)、2) 栄養管理技術の改善(炭水化物の種類、採食量、粗飼料の生育ステージや調製・保存法、飼料給与回数などを操作)、3) ルーメン内発酵の制御(脂肪酸、ポリフェノールなどの添加物の利用、プロトゾアの除去など)などが挙げられる。また、新たな研究シーズとして、最近ではプロバイオティクス、バクテリオシン、有機酸、植物抽出物などを用いた反すう家畜での新たなメタン発生抑制法への取り組みが始まっている。メタン発生抑制法を明らかにするためには、削減効果の安定・持続性、家畜や生産物への安全性、削減コストなどの評価が重要であることから、実験室レベルでの評価のみならず、実際に家畜を用いて生体内での抑制メカニズムや効果の評価などを組み入れた総合的な検討を行う必要がある。考慮すべきことは、生産性を低下させることなく、メタン発生量を抑制することであるが、反すう家畜でのメタン発生抑制メカニズムに関しては十分に解明されているわけではない。近年の遺伝子解析を用いた微生物の解析など、反すう家畜でのメタン生成やルーメン微生物叢との関係などの解明により、メタン発抑制メカニズムを解明し、より効果的かつ斬新的な技術開発がなし得ると考えている。



写真1：開放式呼吸試験装置(牛用、家畜の発生メタン等を精密測定する)

5. ふん尿処理からの発生の特徴と制御

日本における家畜排せつ物起源の温室効果ガス発生は、メタンは年間 250 万トン CO₂eq、亜酸化窒素は年間 470 万トン CO₂eq で、合わせて日本国温室効果ガス総発生量の 0.54% を占める（18 年度算定値、環境省 GIO）。これらは畜種毎に分類されたふん尿処理手法毎に、その処理物質（ふん尿）に含有される有機物（VS: volatile solid）と全窒素を算出し、各処理からの発生係数を勘案した上でメタンと亜酸化窒素排出係数をそれぞれに積算し、全区分を加算して家畜ふん起源排出総量が算出されている。各処理での温室効果ガス発生係数、すなわち単位有機物（あるいは窒素）あたりの発生率が大きく異なるからである。たとえば乳牛ふんで、メタンの発生係数は、汚水浄化処理では 0.019%（gCH₄/g 有機物）と低いのに対し、堆積堆肥処理では 3.8%、貯留処理では 3.9%と 200 倍も高い。乳牛ふんの亜酸化窒素発生係数は、貯留方式（0.1% gN₂O/gN）や強制通気型堆肥化（0.25%）で低く、堆積堆肥（2.4%）や汚水浄化（5.0%）で高い。家畜排せつ物として排泄される窒素 66 万トン程度であるが、このうち堆肥化処理で 42.7 万トン、汚水浄化や貯留で 12.8 万トン、そして乾燥処理で 8 万トン程度が処理されており、特にこの 3 つの区分での温室効果ガス発生削減技術が求められている。

メタン抑制に関しては、嫌気性条件下で分解性の容易な有機物の存在から生成されて揮散するため、堆積物の物性改善や通気等で酸化的条件に処理システムを変更する事で比較的簡単に削減が可能である。しかし硝化（酸化）でも脱窒（嫌気）でも発生が起こる亜酸化窒素の制御は、処理装置内の条件がヘテロになりやすい実際の処理システムでは簡単ではない。加えて、好気性管理のための通気はエネルギー消費を伴う事からむしろ温暖化に寄与するとも考えられる。単純化した試験系での精緻な評価はもちろん、実際の処理装置として稼働した場合の環境負荷評価には、多くの評価軸を用いた多面的な評価が必須と考える。このようなふん尿そのものの取り扱いの検討に加え、ふん尿管理区分の温室効果ガス削減にはふん尿そのものの絶対量を減らす努力、すなわち飼養効率の改善、窒素給与改善の検討も進行している。



写真 2：堆肥化時の温室効果ガス測定試験装置（約 10m³ のふん尿混合物を評価できる）

6. 畜産物生産と環境負荷／温室効果ガス削減の考え方

他分野・他産業の取り組みと変わりなく、発生制御の要請はより良い生産体系・処理技術開発のチャンスでもある。単位生産物あたりの排出温室効果ガス減少が、食料増産と温暖化防止の両立に必要である。すなわち生産効率の向上が、結局、温室効果ガスの発生量抑制になる。我々畜産草地研究所の畜産温暖化研究チームは、農業環境研究所、環境省 GIO はもとより、各自治体の関連研究機関や関連企業、国外研究機関とも協定・共同研究体制組んで本課題に取り組んでいる。LCA 等の環境負荷全般に関する総合的な評価手法に耐える、実効性のある改善策のオプションを提案していきたい。

日本は農業国ではないため、畜産関連の削減技術適応による国内削減量は国内総排出量の最大1%程度と多くはない。しかし、類似の生産体系・ふん尿処理体系を持つアジア各国などでの削減には非常に大きな地球環境への貢献が出来ると確信している。削減技術と並び、温室効果ガスの測定手法の開発・技術の移転はアジア各国の独自のインベントリー策定に必要であり、日本の関連研究者には多くの期待が集まっている。次世代へ引き継がせる負の遺産を最小限に抑えるため、努力は急務である。

7. 参考資料

- ・ 環境省 (2006) National Greenhouse Gas Inventory Report of Japan, (独)国立環境研究所地球環境研究センター温室効果ガスインベントリオフィス：
<http://www-gio.nies.go.jp/aboutghg/nir/2007/nir2007ver5.0j.pdf>
- ・ (社)畜産技術協会 (2002)「畜産における温室効果ガスの発生制御 総集編」
- ・ R. Bhatta et al. (2006) Influence of temperature and pH on fermentation pattern and methane production in the rumen simulating fermenter (RUSITEC) Asian-Aust. J. Anim. Sci. 19:376-380.
- ・ R. Bhatta et al. (2006) Comparison of sulfer hexafluoride tracer technique, rumen simulation technique and *in vitro* gas production techniques for methane production from ruminant feeds. International Congress Series (Elsevier) 1293C:58-61.
- ・ Shibata et al. (1992) Methane production in heifers, sheeps and goats consuming diets of various hay-concentrate rations. Anim. Sci. Technol. (Jpn)63:1221-1227.
- ・ Kurihara et al. 2002 The prediction of methane conversion rate from dietary factors 2002 Greenhouse gases and animal agriculture. 2002 Elsevier science171-174.
- ・ 農林水産省統計情報部 (1998) 環境保全型農業調査畜産部門調査結果の概要
- ・ 長田隆 (2001) 家畜排泄物からの環境負荷ガスの発生について(総説)、日畜会誌Vol. 71No. 8 p 167-176
- ・ T. Osada and Y. Fukumoto, Development of new dynamic chamber system for measuring harmful gas emission from composting livestock waste. Water Science and technology vol. 44 No. 9 p 79-86 (2001)
- ・ Moiser A. R., Duxbury J. M., Frenney J. R., Heinemeyer O. and Minami K. 1998a. Assessing and mitigating N₂O emissions from agricultural soils. Climatic Change 40, 7-38
- ・ Osada T., Y. Fukumoto, T. Tamura, M. Shiraishi, M. Ishibashi 2005. Greenhouse gas generation from livestock waste composting, Non-CO₂ Greenhouse Gases (NCGG-4), coordinated by A. van Amstel, 2005 Millpress, Rotterdam, ISBN 90 5966 043 9, p105-111