

3：農林業生態系を対象とした温室効果ガス吸収排出制御技術の開発と評価

(3 a) 農業生態系におけるCH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>Oソース抑制技術の開発と評価

(2) わが国とアジア諸国の畜産業に由来するCH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>Oソース制御技術の開発と広域評価

1) アジア諸国において有効な反すう家畜由来CH<sub>4</sub>発生制御技術の開発とソースデータベースの構築および削減効果の評価

独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構 畜産草地研究所

畜産温暖化研究チーム

永西 修

独立行政法人国際農林水産業研究センター

畜産草地部

西田武弘

<研究協力者>

独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構 畜産草地研究所

畜産温暖化研究チーム

野中最子・藪元悠介

栄養素代謝研究チーム

樋口浩二

平成15～19年度合計予算額	44,991千円
(うち、平成19年度予算額	8,714千円)
上記の合計予算額には、間接経費	10,384千円を含む

[要旨] わが国とアジア諸国の畜産業における実効的なCH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O発生制御技術の開発とその削減効果の広域評価を目的として、各地で畜産業からの温室効果ガス発生量と削減技術について実測データの蓄積を行い、データベースと広域評価モデルの構築を行うことを目的とする。そのために、測定例のほとんどないインドネシア、中国、タイ等のアジア地域における代表的飼養条件下の反すう家畜からのメタン発生量のデータを蓄積し排出係数を求める。さらに、人工ルーメンを用いて上記地域の多様な飼料給与時におけるメタン排出量を推定する手法を開発するとともに、アジア地域に適用できる簡易で安価な削減技術の開発を行なう。これらの検討結果を踏まえながら、アジア地域のソースデータベースの構築と削減効果の評価を行う。

ルーメンでの蛋白質や炭水化物の分解性が異なる飼料をホルスタイン種泌乳牛に給与した結果、大麦よりもトウモロコシを給与した場合にメタン発生量が多いこと、ルーメン内温度が高い場合にメタン発生量は減少することを明らかにした。一方、メタン削減技術では、モネンシン、フマル酸を飼料に添加することでメタン発生量が10～30%減少することが明らかになった。また、製造副産物である糖蜜・尿素、醤油製造副産物、ビール粕、トウフ粕、およびポラードを粗飼料に添加することで、反すう家畜からのメタン発生量が減少(乾物摂取1kg当たり7.9～22.6%)するとともに、増体日量も増えたことから、生産性の向上とともにメタン発生量の抑制が可能であることが示された。そのほかのメタン抑制天然物質としてタンニンについて検討した結果、加水分解型より縮合型タンニンでメタン発生抑制効果が高く、飼料中に縮合型タンニンを2.5%添

加することで生産性に影響を及ぼすことなく、メタン発生抑制が可能であることが明らかとなった。また、反すう家畜からのメタン発生の簡易推定法として、インビトロガス培養法が実用的な方法であることを明らかにした。

[キーワード] メタン、反すう家畜、インビトロガス培養法、飼料、食品製造副産物、広域評価

## 1. はじめに

地球規模でのメタン(CH<sub>4</sub>)および亜酸化窒素(N<sub>2</sub>O)放出量のそれぞれ約40%は、農耕地と畜産業等、農業生態系が起源となっている<sup>1)</sup>。これらのソースは、水田面積の拡大、家畜頭数の増加、窒素肥料使用量の増加など、食糧生産の増大と密接に関係し、19世紀以降の大気中でのこれらの温室効果ガス(GHG)濃度の大幅な増加に大きく影響してきた。一方、気候変動に関する政府間パネル(IPCC)第三作業部会報告書でも指摘されているように、これらのソースは、反芻動物の飼育方法、畜産廃棄物の処理方法などの技術開発により、地球温暖化の緩和へ大きな貢献の出来る可能性がある<sup>2、3、4)</sup>。実際、これまでの研究から、数多くの効果的な制御技術が提案されており、国内外の関連学会や地球圏生物圏国際共同研究(IGBP)等の場において活発な議論がなされている。

しかし、これら検討の主体は先進国中心であり、アジア等の開発途上国における家畜を対象とした温室効果ガスに関する研究は極めて少ない。また、これまでの検討では、家畜の飼料等が各地域で異なるため、点データから広域評価を可能とするためのデータベースの構築とソース制御技術の定量的評価が十分に行われていないとの指摘がある。

## 2. 研究目的

上記の問題に対し、本研究では、わが国とアジア諸国の畜産業に由来する実効的なメタン、亜酸化窒素発生制御技術の定量的総合評価とその広域削減予察評価を目標としている。具体的には、わが国の畜産業(反すう家畜の消化管発酵由来メタンにおける実効的なメタン制御技術の開発試験を協力研究者の所在する各地で行い、それらの定量的評価を行う。同時に、わが国で開発されたこれらのGHGソース制御技術について、インドネシア、中国、タイでの有効性を評価する。一方、わが国とアジア地域における農業生態系からのメタン発生に関するデータベースを構築する。さらに、構築したデータベースとGHGソース制御技術の定量結果から、わが国とアジア地域における農業生態系からのメタン発生制御技術の削減効果に対する広域評価を行う。これらの成果をサブテーマ(2)として総合し、サブテーマ(1)における農耕地課題の成果とあわせて、わが国とアジア諸国の農業生態系におけるメタン、亜酸化窒素制御技術を確立するとともに、それらのソースインベントリを精緻化し、削減効果の定量的評価を可能とすることを目的とする。

## 3. 研究方法

本サブテーマ3a-(2)-1)では、反すう家畜由来のメタン発生量について、(1)測定例のほとんどないタイ、インドネシア、中国等のアジア地域における代表的飼養条件下の反すう家畜からの

測定事例を蓄積し排出係数を求める、また、(2)人工ルーメンを用いて上記地域の多様な飼料給与時におけるメタン排出量を推定する手法を開発するとともに、アジア地域に適用できる簡易で安価な削減技術の開発を行う。これらの検討結果を踏まえながら、アジア地域のソースデータベースの構築と削減効果の評価を行うことを目的とする。

畜産草地研究所

(1) 試験1：ルーメンでの分解性が異なる蛋白質源および非構造化炭水化物源の給与がホルスタイン種泌乳牛のメタン発生量に及ぼす影響：(平成15年度)

ホルスタイン泌乳牛ヘルルーメンでの消化性の異なる蛋白質源2種(大豆粕(SBM)と加熱大豆粕(HSBM))と非繊維性炭水化物源2種(全粒蒸煮圧ペントウモロコシ(SRC)と全粒蒸煮圧ペン大麦(SRB))を組み合わせた4種の配合飼料とイタリアンライグラス乾草を50:50の割合で給与し、メタン発生量低減効果を検討した。

(2) 試験2：環境温度の違いがホルスタイン泌乳牛のメタン発生量に及ぼす影響：(平成16年度) 18、26、28および30℃の環境温度条件下で飼育しているホルスタイン泌乳牛を用いた68回のエネルギー出納試験から、メタン発生量に及ぼす環境温度と給与飼料の影響を検討した。

(3) 試験3および4：尿素・糖蜜および醤油製造副産物の給与が若雌沼沢水牛のメタン発生量に及ぼす影響：(平成15年度)

インドネシアにおいて若雌沼沢水牛に、稲ワラのみ、または、これに尿素(40g/日)・糖蜜(150g/日)を補給した飼料を給与し、メタン発生量低減効果を検討した(試験3)。また、若雌沼沢水牛に、基礎飼料としてネピアグラス乾草70%と市販配合飼料30%、または基礎飼料のうち市販配合飼料の25%を醤油製造副産物(以下、醤油粕)に換えた飼料を給与し、メタン発生量低減効果を検討した(試験4)。

(4) 試験5および6：オンゴール交雑種若雌牛およびリムジン交雑種若雌牛のメタン発生量と給与回数の影響：(平成16年度)

インドネシアにおいて、集約的飼養時におけるオンゴール(在来種)交雑種若雄牛(6ヶ月齢、平均体重78kg)およびリムジン(外国種)交雑種若雄牛(6ヶ月齢、平均体重91kg)からのメタン発生量を測定した。給与飼料は、ネピア乾草を飽食とし、濃厚飼料を体重の1.5%量給与した(試験5)。

オンゴール交雑種若雄牛8頭(6ヶ月齢、平均体重90kg)を用いて、濃厚飼料給与回数(1回/日または2回/日)がメタン発生量に及ぼす影響を検討した。給与飼料はネピア乾草と濃厚飼料を4:6とし、体重の3.5%量を給与した(試験6)。

(5) 試験7：ビール粕およびトウフ粕の給与が水牛または羊のメタン発生量に及ぼす影響：(平成17年度)

インドネシアにおいて水牛8頭(Swamp種、12ヵ月齢、160kg)からのメタン発生量を測定した。給与飼料は、対照区が稲わらと濃厚飼料の比率を50:50とし、体重の3.5%相当量を給与した。試験区は濃厚飼料の50%をビール粕に置き換えた。さらに、羊4頭(ガルート種、12ヵ月齢、33.5kg)

からのメタン発生量を測定した。給与飼料はネピア乾草とトウフ粕を飼料中0、20、40%となるように設計した。

(6) 試験8：小麦ポラードの添加が羊のメタン発生量に及ぼす影響：(平成19年度)

インドネシアにおいて、羊12頭(在来種、12ヵ月齢、23kg)からのメタン発生量を測定した。基礎飼料として羊にネピアグラスを自由採食させ、小麦ポラードを体重の0(0区)、1(P01区)および2%(P02区)添加区をそれぞれ設けた。(ポラード：ヌカ、アリュールン層、胚乳部分からなる麺を製造する際に産出する副産物。)

(7) 試験9：中国内モンゴル自治区における乳牛への飼料給与状況と、メタン発生量抑制の試み(平成16年度)

中国において、*in vitro*法によりメタン発生量に及ぼすモネンシン及びフマル酸の抑制効果を検討するとともに、内モンゴル地域で急増している酪農の現状を調査した。

(8) 試験10：カシミヤ山羊のメタン発生量(平成17年度)

中国において、山羊(カシミヤ種)からのメタン発生量を推定するために、標準的な草地(5種類)の試料について、開放式呼吸試験装置とインビトロ培養試験との比較検討を行った。さらに、内モンゴル地域などで収集した36種類の牧草や利用可能な野草の試料(Leguminous:9点; Chico:9点; Feverfew:7点; Gramineous:11点)について、インビトロ培養法を用いてそれぞれメタン発生量を測定した。これらのデータを用いて草種や嗜好性など区分した5種類の草地からのメタン発生量を求め、内モンゴル地域で飼育している反すう家畜からのメタン発生量を推定した。

(9) 試験11：フタコブラクダのメタン発生量(平成18~19年度)

中国において、放牧をしているフタコブラクダからのメタン発生量を推定するため、標準的な5種類の試料をフタコブラクダに給与しSF6法によりメタン発生量を測定するとともに、*in vitro*ガス培養試験法との比較検討を行った(平成18年度)。さらに、34種類の放牧草(Chenopodiaceae、Leguminosae、Zygophyllaceae、Compositae、Gramineae)を採食したフタコブラクダのメタン発生量を、昨年度作成したインビトロ培養法による推定式を用いて求めた(平成19年度)。

#### 4. 結果・考察

1) 試験1：ルーメンでの分解性が異なる蛋白質源および非構造的炭水化物源の給与がホルスタイン種泌乳牛のメタン発生量に及ぼす影響：

泌乳牛の乾物摂取日量(平均：20kg)、乾物消化率(平均：69%)、日乳量(平均：23kg)および乳質には大きな差を認めなかった。しかし、メタン発生量には、乾物摂取量(DMI)1kg当たりでは19.4~22.3g、4%脂肪補正乳量(FCM)1kg当たりでは17.3~20.6g、メタン変換率(MCR、MJ-CH<sub>4</sub> production per 100MJ of gross energy intake)では5.9~6.8の幅が認められ、SBM・SRB

表1. 蛋白質源および非構造的炭水化物源が異なる飼料を給与したホルスタイン泌乳牛のメタン発生量

試験1	SBM-SRB (大豆粕+コーン)	HSBM-SRB (加熱大豆+コーン)	SBM-SRB (大豆粕+大麦)	HSBM-SRB (加熱大豆粕+大麦)
メタン発生量 g/日	396	385	430	422
g/kg-DMI	20.2	19.4	22.3	21.2
g/kg-4%FCM	17.6	17.3	20.6	18.3
MJ/100MJ of GE	6.2	5.9	6.8	6.5

給与時>HSBM・SRB給与時>SBM・SRC給与時>HSBM・SRC給与時に低下した。また、FCM当たりではSBM給与時と比べてHSBM給与時に1.3g少ない傾向(p<0.1)を、SRB給与時と比べてSRC給与時に2.0g低かった(p<0.05)。したがって、メタン発生量は飼料中蛋白質および非構造的炭水化物のルーメン内消化性により影響を受け、配合飼料原料の組み合わせを工夫することにより、乳生産性に影響することなく最大で15% (FCM 1kg当たり3.3g) 抑制できるものと考えられた。

2) 試験2：環境温度の違いがホルスタイン泌乳牛のメタン発生量に及ぼす影響：

ホルスタイン種泌乳牛からのメタン発生量に及ぼす高温の影響と給与飼料による低減18℃と比べて高温時における乾物摂取量当たりのメタン発生量は、高繊維飼料給与時(ADF=28%)には増加したが、低繊維飼料給与時(ADF=21%)時には低く推移した(表2)。また、メタン発生量と給与飼料中成分との重回帰分析(18~30℃)において

$CH_4(g/d) = 37.0 - 0.0468 * CP(g/d) - 0.114 * EE(g/d) + 0.0240 * NFC(g/d) + 0.0497 * NDF(g/d)$  R=0.82;  
 $30℃$ において $CH_4(g/d) = -278 * ME(MJ/kgDM) + 900$  r=0.73 であったことから、高温時におけるメタン発生量抑制にはME(代謝エネルギー)、CP(粗蛋白質) およびEE(粗脂肪)の含量を高め、NDF(中性デタージェント繊維) およびADF(酸性デタージェント繊維)の含量を低減することが示された。また、高温時におけるメタン発生量は、飼料を組み合わせることにより、乳生産性に影響することなく、最大で40%(FCM 1kg当たり8.5g)抑制できる場合もあることが示された。

表2. メタン発生量に及ぼす環境温度の影響(試験2)

	高繊維ADF28%			低繊維ADF21%		
	18℃	26℃	30℃	18℃	26℃	30℃
乾物摂取量(kg/日)	15.8	15.3a	12.9b	18.1a	14.8ab	12.1b
4%補正乳量(kg/日)	19.6	18.1	16	23.5	20.1	16.9
メタン発生量						
g/日	375	390	335	336a	278ab	210b
g/乾物摂取量kg	23.8	25.4ab	26.3b	18.5	18.9	18.2
%/総エネルギー	7.3	7.8ab	8.1b	5.8	5.9	5.7
g/kgFCM	19.5	21.5	21.1	14.1a	13.8a	12.6b

ab, p<0.05; AB, p<0.01

表3. 連続培養試験成績

	培養液pH		培養温度	
	7.0	6.0	39℃	41℃
乾物分解率(%)	60A	42B	53	49
メタン発生量				
g/乾物kg	10.3A	3.4B	6.4	7.2
%/総エネルギー	3.4A	1.1B	2.1	2.4

AB, P<0.01

次に、メタン発酵槽である家畜のルーメンを模したルシテック培養槽の培養条件を変えて、高温時におけるメタン発生量の変動を解析した結果、培養温度よりもpHの影響が大きく、低pH時に乾物分解率が有意(p<0.01)に低下し、メタン発生量も有意(p<0.01)に低下した。(表3)

3) 試験3および4：尿素・糖蜜および醬油製造副産物の給与が若雌沼沢水牛のメタン発生量

に及ぼす影響：（平成15年度）

稲ワラに尿素・糖蜜を添加することより、乾物摂取日量（DMI）は2.6kgから3.1kgには有意（ $p < 0.05$ ）に増加し、摂取乾物1kg当たりのメタン発生量は稲ワラ給与時（24.0 g/kg-DMI、MCR:8.4）と比べて尿素・糖蜜添加時（21.4g/kg-DMI、MCR:7.6）に低下傾向を示した。しかし、増体日量はともにマイナス（平均-0.16kg）であり、1日当たりのメタン発生量（平均65g/日）にも差を認めなかった。一方、配合飼料の25%量の醤油粕を給与することにより乾物摂取日量（平均4.7kg）には差を認めなかったが、増体日量は0.35kgから0.45 kgに高まった。そのため、MCRは12.0~10.5と稲ワラ給与時より高かったが、増体日量1kg当たりのメタン発生量は443 g から295 g に醤油粕給与時に有意（ $p < 0.001$ ）に減少した。したがって、インドネシアにおいて一般的な醤油粕をうまく利用することにより、家畜の増体向上とメタン発生量抑制が達成できると考えられた（表4）。

表4. 蛋白質源および非構造性炭水化物源が異なる飼料を給与したホルスタイン泌乳牛のメタン発生量

	試験 3		試験 4	
	稲わら	尿素・糖蜜	市販配合	醤油粕
メタン発生量g/日	63	67	151	131
乾物摂取量1kg当たり	24	21.4	31.8	28.7
体重1kg当たり増体なし	増体なし	増体なし	443A	295B
%/総エネルギー	8.4	7.6	12	10.5

4) 試験5および6：オンゴール交雑種若雌牛およびリムジン交雑種若雌牛のメタン発生量と給与回数の影響：（平成16年度）

総エネルギー（GE）摂取量当たりのメタン発生量（MCR: CH<sub>4</sub> MJ/100MJ GE）は、オンゴールおよびリムジンの交雑種とも約 9 であり品種間差は認められなかったが、開発途上国の非泌乳牛（低質飼料給与時）からのMCR

推奨値として IPCC（2000）に示されている  $7 \pm 0.5$  よりも高い値であった。（表 5）また、濃厚飼料の給与回数を 1 回から 2 回に増やすと、MCR は 9.4 から 7.8 に有意（ $p < 0.01$ ）に低下した。また、

表5. オンゴール種およびリムジンのメタン発生量

	試験 5		試験 6	
	オンゴール	リムジン	1回給与	2回給与
乾物摂取量(kg/日)	2.11b	2.99a	3.25	3.27
増体日量 (kg/日)	0.33	0.44	0.38	0.44
メタン発生量g/日	46.9b	66.2a	118	107.3
g/乾物摂取量kg	22.8	22.0	36.3	32.8
%/総エネルギー	9.2	8.7	9.4A	7.88
g/増体日量kg	146	164	225a	161b

ab,  $P < 0.05$ ; AB,  $P < 0.01$

量も 225 g/kg から 161 g/kg に有意（ $p < 0.05$ ）に約 30%低下した。（表 5）

5) 試験7：ビール粕およびトウフ粕の給与が水牛または羊のメタン発生量に及ぼす影響：（平

成 17 年度)

水牛を用いた試験 (表6) では、ビール粕を添加することで飼料摂取量(DMI)とともに増体日量(DG)が増加した。特にビール粕を添加することで給与飼料中の粗タンパク質含量は対照区が569g/日であったのに対し、ビール粕添加区は744g/日と多く、ビール粕に由来したタンパク質が水牛の増体に寄与したものと考えられる。また、メタン発生量はビール粕添加区が対照区よりも低い傾向にあり、摂取エネルギーに占めるメタン割合は9.7%から7.3%に低下した。その結果、飼料へのビール粕添加は反すう家畜からのメタン発生抑制に有効であることが示された。ビール粕には粗脂肪が多く(7.5%)含まれていることから、繊維の消化率が低下することが予測されたが、対照区が50.2%に対し、ビール粕添加区は52.5%と差は認められなかった。アジアの発展途上国での反すう家畜からのメタン発生量の測定は特別な施設やコストが必要であることから、既存の反すう家畜からのメタン発生量推定式(柴田ら  $Y=-17.766X+42.793X-0.849X^2$ ; Y:メタン発生量(L/日)、X:乾物摂取量kg/日; 栗原ら  $Y=63.27+0.02678X$ ; Y:メタン発生量(L/日)、X:乾物摂取量kg/日)の適合性について検証した。その結果、柴田らの式での推定値と実測値の差は対照区が-42L/日、ビール粕区が-3L/日、栗原の式での推定値と実測値との差は対照区が-11L/日、ビール粕区が29L/日であり、両方の式とも対照区よりビール粕区での推定精度が高かった。

ガルート種羊を用いた試験(表7)では、トウフ粕の比率が高まるにつれて乾物摂取量と増体日量は増加する傾向にあった。一日当たりと乾物摂取1kg当たりのメタン発生量はトウフ粕の比率が高まるにつれて減少する傾向にあった。摂取エネルギーに占めると増体1kg当たりのメタン発生量はトウフ粕の比率が高まるにつれて有意に低下した(表6)。

6) 試験8:小麦ポラードの添加が羊のメタン発生量に及ぼす影響:(平成19年度)

(3)ポラードを飼料に添加することで乾物摂取量(DMI)や増体日量(DG)は大幅に増加した。また、メタン産生量はポラードを添加することで増加したものの、増体日量当たりのメタン産生量は大幅に減少したことから、ポラードの添加は生産性を改善するだけでなく、生産物当たりのメタン産生量を低減できることが明らかとなった(表8)。

表6. 水牛のメタン発生量

	対照区	ビール粕添加区
乾物摂取量(kg/日)	4.01	4.55
増体日量(kg/日)	0.36a	0.61b
メタン発生量		
g/日	130.1	111.6
g/乾物摂取量kg	32.7	25.3
%/総エネルギー	9.7a	7.3b
g/増体日量kg	372a	195b

ab, P<0.05

表7. 羊のメタン発生量

	トウフ粕添加量		
	0%区	20%区	40%区
乾物摂取量(kg/日)	1.21	1.26	1.31
増体日量(kg/日)	0.06	0.08	0.11
メタン発生量			
g/日	39.6	38.4	34.6
g/乾物摂取量kg	32.9	30.3	25.7
%/総エネルギー	11.4A	10.2B	6.3C
g/増体日量kg	7.0a	516b	335c

ABC, P<0.01; abc, P<0.05

5

表8. 羊のメタン発生量

	ポラード添加		
	0%区	1%区	2%区
乾物摂取量(kg/日)	729a	1013b	908b
増体日量(kg/日)	14.6a	60.5b	94.1c
メタン発生量			
g/日	31.5a	40.2b	40.2b
g/乾物摂取量kg	432	39.7	44.3
%/総エネルギー	12.9	11.8	12
g/増体日量kg	2865a	522b	390c

abc, P<0.05

7) 試験9：中国内モンゴル自治区における乳牛への飼料給与状況と、メタン発生量抑制の試み（平成16年度）

内モンゴル自治区における標準的酪農家の泌乳牛（平均日乳量19.7kg）の飼養状況を調査した結果、1日の平均的な給与飼料

は濃厚飼料9.0kgの他、乾草とコーンサイレージ飽食であり、給与飼料全体の化学組成は粗蛋白質17～18%、粗繊維15～17%であった。この地域の多くの酪農家は北海道において酪農研修を受けており、飼料構成も類似していることから、当該地域の泌

**表9. モネンシン、フマル酸添加によるメタン抑制**

	対照区	処理1	処理2	処理3
<b>モネンシン</b>				
添加量mg	0	0.2	0.3	0.4
メタン抑制%	0a	10bc	17c	29d
<b>フマル酸</b>				
添加量g	0	0.03	0.04	0.05
メタン抑制%	0a	13bc	24d	29d

培養液20mlに対する添加量  
a b c d, P<0.05

乳牛からのメタン発生量推定には、柴田らの推定式が適用できると考えられた。また、モネンシン、フマル酸とも培養試験により10～30%のメタン発生抑制効果を示すことが示された（表9）

8) 試験10：カシミヤ山羊のメタン発生量（平成17年度）

山羊のルーメン液を用いてインビトロガス培養法と開放式呼吸試験によるメタン発生量を比較検討した結果、インビトロガス培養法は化学分析値で推定したメタン発生量よりも開放式呼吸試験装置で求めたメタン発生量との相関が高かった。

得られた単回帰式は

$$\text{山羊からのメタン発生量 (g/kgDM)} = 0.9311 X + 13.966, R^2=0.8977$$

$$X = \text{インビトロガス培養法で測定したメタン発生量 (g/kgDM)}$$

このことから、実験アでも明らかとなったようにインビトロガス培養法は反すう家畜(山羊)からのメタン発生量の推定に有効であることが確認された。

インビトロガス培養法で測定した36種類の試料からのメタン発生量はLeguminousが14.0から28.2g/kgDM、Chicoが17.6から34.8g/kgDM、Feverfewが16.4から25.1g/kgDM、Gramineousが19.4から26.6g/kgDMであった。さらに内モンゴル放牧草地を草種構成や嗜好性をパラメータとして5区分（Excellent、Good、Medium、Poor、Inferior）に分け（表10）、それぞれの草地からのメタン発生量を以下の式により推定した。

$$CH_4 = 100 \times DMI \times \sum (A_i \times B_i \times C_i) / \sum (B_i \times C_i) \quad \text{ただし、} i=1 \text{ から } 5$$

(CH<sub>4</sub>：メタン発生量g/kgDM、DMI：乾物摂取量kg/日、A：それぞれの草地区分での平均メタン発生量g/kgDM、B：各草地区分の平均草種構成%、C：各草地区分の嗜好性、35、25、20、15、5、%は草地区分)

それぞれの区分でのメタン発生量は順にExcellent 24.3g/kgDM、Good 24.7g/kgDM、Medium 22.3g/kgDM、Poor

**表10. 各草地区分からのメタン発生量**

	分布 (%)	嗜好性	メタン発生量 (g/乾物kg)
Excellent	8.7	35	24.29
Good	21.4	25	26.67
Medium	27.7	20	22.96
Poor	23.3	15	22.47
Inferior	15.3	5	20.46



22.5g/kgDM、Inferior 20.6g/kgDMと推定された（表10）。以上の結果より内モンゴル地域で飼育されている山羊からのメタン発生量を推定すると、成山羊の採食量は1.2~1.8kg/日であることから、38.2~42.2g/kgDM、子山羊の採食量は0.5~0.84g/kgDMであることから、10.48~19.7g/kgDMとなる。統計より2005年6月30日では内モンゴル地域に成山羊が17366.7千頭、子山羊が10720.4千頭飼育されていることから、内モンゴル地域での山羊からのメタン発生量は成山羊が159.4~267.4千トン/年、子山羊が41.0~77.1千トン/年で、山羊全体では200.4~344.7千トン/年のメタンが発生すると推察された。

9) 試験11：フタコブラクダのメタン発生量（平成18~19年度）

フタコブラクダのルーメン液を用いて検討した結果、SF6法と *in vitro* ガス培養法で求めたメタン発生量との相関が高かった（図1）。放牧草の中性デタージェント繊維 (NDF)、酸性デタージェント繊維 (ADF)、酸性デタージェントリグニン (ADL) 含量は全体的に高かった。また、放牧草によるメタン発生量やメタン変換効率に違いが認められた。中でもメタン発生量はGramineaeが最も多く、Zygophylloaceaeが最も少なかった。

放牧草を採食している各生育期のフタコブラクダのメタン発生量を表11に示した。成長期のメタン発生量は339.0g/日、成熟過程が515.1g/日、成熟期が277.0g/日である。1日当たりのメタン発生量に各期の日数を乗じて各期でのメタン発生量を計算し、さらに全生育期でのメタン発生量を求めると137.7kgであった。

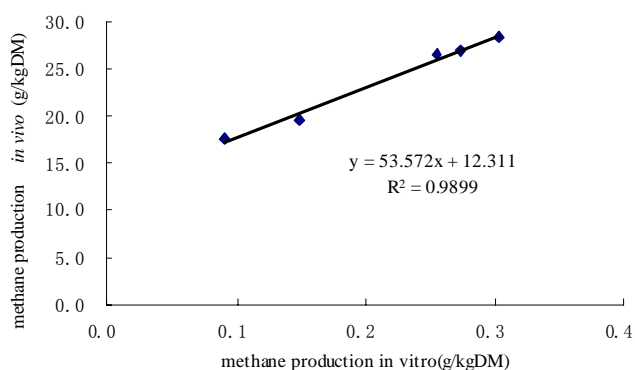
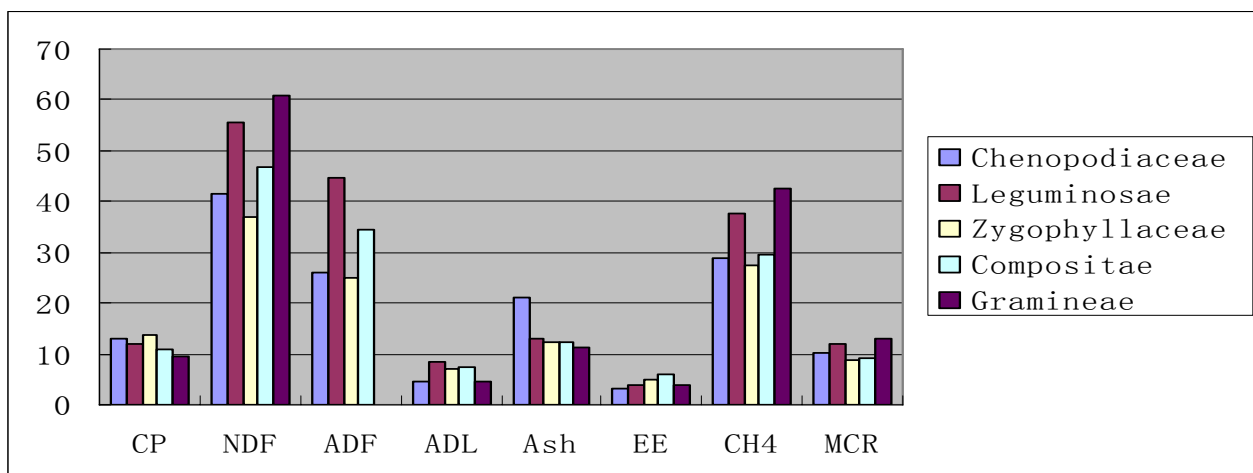


図1. フタコブラクダにおけるSF6法とインビトロガス培養法で測定したメタン発生量の関係



CP：粗蛋白質、NDF：中性デタージェント繊維、ADF：酸性デタージェント繊維、ADL：酸性デタージェントリグニン、Ash：粗灰分、EE：エーテル抽出物

図2. 放牧草の飼料成分とフタコブラクダからのメタン発生量(g/乾物kg)およびメタン変換効率(%)

フタコブラクダのメタン発生量 (g/kgDM) は  $=54.421X + 12.154$ 、 $R^2=0.99$   
 $X$ =インビトロガス培養法で測定したメタン発生量 (g/kgDM)

表11. フタコブラクダの各生育期でのメタン発生量

	中性データー 繊維 (%)	酸性データー 繊維 (%)	酸性データー トリグロン (%)	可溶無窒 物 (%)	乾物摂取 量 (kg)	メタン発生量	
						g/日	各期 (kg)
成長期 (122日)	51.4	33.3	7.26	16.7	11.6	399.0b	48.7
成熟過程 (152日)	42.9	27.7	5.38	20.9	17.5	515.1b	46.9
成熟期 (152日)	61.9	37	11.3	11.2	9.94	277.0a	42.1

ab, P<0.05

#### 国際農業研究センター

1) 試験12および13: ホルスタイン種交雑泌乳牛からのメタン発生量の給与粗飼料による低減: タイにおいてホルスタイン種交雑種泌乳牛に、粗飼料としてカバルケード乾草または稲ワラ

(大豆粕を補給) (試験12) を、トウモロコシサイレージまたは稲ワラ (大豆粕を補給) (試験13) を給与し、メタン発生量に及ぼす影響を検討した。粗飼料と配合飼料の給与割合は、35:65とした (平成15年度)。

2) 試験14: タイ国における反すう家畜からのメタン発生量:

タイにおいて、ブラーマン種去勢牛、タイ在来種去勢牛、水牛(去勢)およびホルスタイン種交雑種雌牛(非泌乳)を用い、ルジーグラス乾草と大豆粕の混合比率が異なる4種(100:0, 92:8, 84:16, 76:24)の飼料を給与した時のメタン発生量を測定した。1日の飼料給与量(乾物)はすべての処理区ならびに畜種で体重の1.6%とし、2回に分けて給与した (平成16年度)。

3) 試験15: 飼料へのビール粕添加がブラーマンのメタン発生量に及ぼす影響:

タイ国東北部における肉用牛飼養の大部分は小規模複合経営によるものであり、繊維質飼料主体の飼養体系である。この体系に本地域で利用可能な食品製造副産物を加えることにより、メタンガス排出効率を抑制できる可能性がある。そこで、ビール粕を用いた飼料構成の改善によるウシ由来メタンガス抑制技術開発を目的とした検討を行った。ブラーマン種去勢牛4頭(平均体重、335kg)を供試動物とした。青刈りサトウキビ(製糖用品種Utong1)と乾燥ビール粕を混合したものを給与飼料とした。ビール粕混合割合の低いL区(70:30)およびビール粕配合割合の高いH区(60:40)を設け、それぞれ体重の1.5%量を1日2回(8:30および20:30)給与した。試験は1期14日間(馴致期、8日間; 全糞全尿採取期、6日間)で行い、1期目にH区飼料を、2期目にL区飼料をそれぞれ給与した。全糞全尿採取期間中の3日間に開放型呼吸試験装置を用いて家畜の呼気を連続的に採取し、酸素消費量、二酸化炭素発生量およびメタンガス発生量を測定した。これらの測定値から給与飼料のエネルギー価およびメタンガス産生量を算出した (平成17年度)

4) 試験16: ココナツ粕およびパーム粕添加がブラーマン去勢牛のメタン発生量に及ぼす影響:

タイにおいて、ブラーマン種去勢牛4頭(平均体重、373.5kg)を供試動物とした。実験用飼料の混合比率は、1) カバルケード乾草100%、2) カバルケード乾草77.1%+パンゴラグラス乾草22.9%、3) パンゴラグラス乾草59.7%+ココナツ粕40.3%、4) パンゴラグラス乾草45.9%+パーム核粕54.1%の4種類とした。それぞれ体重の1.5%量を1日2回(9:30および16:30)給与した。試験は1期14日間

(馴致期、7日間；全糞全尿採取期、7日間)で行い、4頭のブラーマン去勢牛(平均体重)に4種類の飼料を給与する、4×4のラテン方格法を採用した。全糞全尿採取期間中の3日間に、開放型呼吸試験装置を用いて家畜の呼気を連続的に採取し、メタンガス発生量を測定した。これらの測定値から、給与飼料のエネルギー価およびメタンガス発生量を算出した(平成18年度)。

5) 試験17~19: タイ国東北部における肉用牛飼養の大部分は小規模複合経営によるものであり、繊維質飼料主体の飼養体系である。イナワラは、栄養価は高くはないが熱帯地域で広く牛用飼料として用いられており、特に雨季と乾季の明確な地域では、乾季の飼料として重要である。また、パープルギニアグラス種はタイ農業協同省畜産振興局の推奨品種になっており、栽培が奨励されている。さらに熱帯地域では、雨季には放牧に加えて生草を刈り取って牛舎に持ち帰り、そのまま給与する形態も数多く見られる。これら雨季の代表的な飼養形態として、パープルギニアグラス種生草および乾季の代表的な飼養形態としてイナワラを中心にして肉牛に給与し、ウシ由来メタンガス発生量のより精密な推定を行った。また、牛胃液との混合培養法を用いた、飼料からのメタン発生量の簡易な予測の可能性について検討を行った(平成19年度)。

#### 試験17: イナワラの品種の違いがメタン発生量に及ぼす影響

タイ在来種去勢牛4頭(平均体重275kg)およびブラーマン種4頭(平均体重472kg)にもち米およびうるち米イナワラと大豆粕を給与し、代謝試験を実施した。実験用飼料の混合比率は、1) もち米イナワラ85%+大豆粕15%、2) うるち米イナワラ85%+大豆粕15%、3) もち米イナワラ75%+大豆粕25%、4) うるち米イナワラ75%+大豆粕25%の4種類とした。それぞれの牛の維持量の飼料を1日2回(9:30および16:30)給与した。試験は1期21日間(馴致期、14日間；全糞全尿採取期、7日間)で行い、それぞれの品種の4頭の牛に4種類の飼料を給与する、4×4のラテン方格法を採用した。全糞全尿採取期間中の3日間に、開放型呼吸試験装置を用いて家畜の呼気を連続的に採取し、メタンガス発生量を測定した。これらの測定値から、給与飼料のエネルギー価およびメタンガス発生量を算出した。

#### 試験18: パープルギニアグラスの調製法の違いがメタン発生量に及ぼす影響

ブラーマン種去勢牛4頭(平均体重、300-400kg)を供試動物とした。実験用飼料の混合比率は、パープルギニアグラス種乾草100%およびパープルギニアグラス種生草100%とした。実験開始前に試験飼料を12日間飽食量給与し、自由採食量を算出し、その90%量を1日2回(9:30および16:30)給与した。試験は1期15日間(馴致期、9日間；全糞全尿採取期、6日間)で行った。全糞全尿採取期間中の3日間に、開放型呼吸試験装置を用いて家畜の呼気を連続的に採取した。これらの測定値から、給与飼料のエネルギー価およびメタンガス発生量を算出した。

#### 試験19: インビトロガス培養法による飼料からのメタン発生量の測定

では、ブラーマン種牛の第一胃から採取したルーメン液を用いて、過去に実験で使用した2種類のパンゴラグラス乾草(識別のために便宜的にAとする)、パンゴラグラス乾草(同様にBとする)、もち米イナワラ、うるち米イナワラおよび大豆粕をMenkeの手法で24時間体外培養し、メタン発生量を測定した。

1) 試験12および13:ホルスタイン種交雑泌乳牛からのメタン放出量の給与粗飼料による低減:

交雑種泌乳牛の乾物摂取日量 (平均: 10kg)、乾物消化率 (平均: 67%) および日乳量 (平均: 14kg) には大きな差を認めなかった。しかし、給与した粗飼料により、メタン発生量は、DMI1kg当たりでは15.6~22.2g、FCM1kg当たりでは 12.6~16.6g、

表12. ホルスタイン種交雑泌乳牛からのメタン発生量の給与粗飼料による

	試験12		試験13	
	カルバード	稲ワラ	トウモロコシ	稲ワラ
メタン発生量 g/日	225	190	157	195
g/kg-DMI	22.2a	17.8b	15.6	19.4
g/kg-4%FCM	15.7	13.3	12.6	16.6
MJ/100MJ of GE	6.6a	5.4b	4.7b	6.0a

ab, P<0.05

MCRでは4.7~6.7の幅が認められた。メタン発生量は、カルバード給与時>稲ワラ・大豆粕給与時>トウモロコシサイレージ給与時の順となり、粗飼料の質の向上により減少した。一方、このMCRはIPCCにおいて開発途上国の泌乳牛のMCRとして推奨されている6.0±0.5とほぼ同じであった。また、これらのメタン発生量は試験1のわが国での測定値よりも低い傾向にあったが、これはわが国のホルスタイン種泌乳牛と比べてタイの交雑種泌乳牛が小型であること、および配合飼料 (一般的には多給するほどメタン発生量が減少する) 給与量が多量であったことと関係すると考えられた。

2) 試験14: タイ国における反すう家畜からのメタン発生量

タイ国における反すう家畜からのメタン発生量を表12に示した。飼料構成が1日の体重あたりメタン発生量に及ぼす影響は畜種により異なり、畜種を通した一定の傾向は見られなかった。MCRは在来種と水牛がブラーマン種とホルスタイン交雑種よりも低い傾向にあった。IPCC報告(2000)では、開発途上国の非泌乳牛のMCRは低質飼料給与時で7±0.5、

表13. タイにおける反すう家畜からのメタン発生量

	ブラーマン種	在来種	ホルスタイン交雑種	水牛
体重kg	411	166	375	430
乾物摂取量 g/代謝体重・日	71.8	56.7	65	68
乾物消化率 (%)	58.8	57.1	55.3	54.2
メタン発生量 g/日	121	40.8	110.3	88.1
g/乾物kg	18.4	15.5	20	13.6
%/総エネルギー (%)	5.7	4.8	6.2	4.2

良質飼料給与時6±0.5であり、この推定値と本試験結果を比較すると、ブラーマン種とホルスタイン交雑種牛では良質飼料給与時の値と近似した値であったが、在来種と水牛ではIPCC(2000)推奨値よりも本試験結果の方が低かった。また、インドネシアにおける水牛のMCRと比較しても低かった。その要因としては、給与飼料、用いた水牛の年齢および生理状態などが関係していると考えられ、今後の更なるデータ蓄積が必要と考えられた。

3) 試験4: 飼料へのビール粕添加がブラーマンのメタン発生量に及ぼす影響:

高ビール粕添加区 (H区) は低ビール粕添加区 (L区) に比べビール粕配合割合が高いため、タンパク質含量および粗脂肪含量がH区の方が高かった(表2)。日本飼養標準乳牛(1999)では飼料中

の粗脂肪含量を5-6%以下にすることが推奨されているが、両区とも推奨上限以下であった。L区で残飼が見られたため、乾物摂取量はH区の方が高くなった(表2)。乾物および中性デタージェント繊維消化率に両処理間に差は見られなかった。1日の体重あたりメタン産生量に処理間差は見られなかったが、メタン転換効率ならびに飼料乾物あたりメタン発生量はH区の方がL区よりも有意に低かった。L区飼料はH区に比べ、可消化養分総量含量は高かったがメタン産生によるエネルギー損失のため、代謝エネルギー価は逆にL区の方が低くなった。以上の結果から、飼料中のビール粕含量を30%から40%まで高めることによって、単位摂取量あたりのメタン産生量を抑制できることに加え、エネルギー価も向上することが示された。

試験5：ココナツ粕およびパーム粕添加がブラーマン去勢牛のメタン発生量に及ぼす影響：  
ココナツ粕とパーム核粕を混合した飼料は、脂肪含量がやや高かったが、繊維その他の成分の消化率に悪影響を与えることはなく、むしろ粕を混合した飼料の方が有意に高い値を示した。メタン発生量に関しては、1日あたりの総発生量、体重あたりおよび飼料摂取量あたりの発生量のいずれにおいても、乾草のみを給与するよりも、パーム核粕を混合した飼料を給与した場合の方が、有意に低い値を示した。可消化養分総量含量および代謝エネルギー価のいずれも、乾草のみよりも粕類を混合した飼料の方が有意に高かった。以上の結果から、乾草に熱帯地域特有の副産物を混合することによって、単位摂取量あたりのメタン産生量を抑制できることに加え、エネルギー価も向上することが示された。

表 14. ブラーマン去勢牛での採食量、消化率およびエネルギー価

		L	H	Significant difference
<b>摂取量</b>				
乾物	g/kgMBW <sup>¶</sup>	57.0 ± 1.0*	65.4 ± 1.5	<0.01
総エネルギー	kJ/kgMBW	1079.6 ± 28.6	1260.2 ± 19.2	<0.01
可消化エネルギー	kJ/kgMBW	685.0 ± 53.5	802.7 ± 24.1	<0.01
代謝エネルギー	kJ/kgMBW	580.6 ± 51.4	715.9 ± 18.3	<0.01
<b>消化率</b>				
乾物	%	63.8 ± 1.2	64.0 ± 1.2	0.91
粗蛋白質	%	49.5 ± 3.8	68.1 ± 4.0	<0.01
中性テターシメント繊維	%	49.8 ± 1.4	51.6 ± 1.4	0.24
<b>エネルギー価</b>				
可消化養分総量	%DM	66.7 ± 1.1	66.9 ± 1.2	0.90
代謝エネルギー	MJ/kgDM	10.2 ± 0.2	10.9 ± 0.2	<0.01
メタン発生量	kJ/kgMBW	77.7 ± 4.6	73.1 ± 3.7	0.31
	g/kgMBW	1.404 ± 0.1	1.323 ± 0.1	0.30
メタン変換効率	MJ/100MJGE <sup>†</sup>	7.2 ± 0.3	5.8 ± 0.3	<0.01
メタン発生量	g/kg	24.7 ± 1.1	20.2 ± 0.9	<0.01

\*Mean ± SE

<sup>¶</sup>MBW, 代謝体重

<sup>†</sup>GE, 総エネルギー

<sup>‡</sup>DMI, 乾物摂取量

表 15. 供試飼料の乾物摂取量, 消化率, 可消化養分総量およびエネルギー含量

	CV	PG-CV	PG-CCM	PG-PKM	SE	P
飼料構成 (% of DM)						
カバルケード乾草	100	77.1	0	0		
パンゴラグラス乾草	0	22.9	59.7	45.9		
ココナツ粕	0	0	40.3	0		
パーム核粕	0	0	0	54.1		
乾物摂取量 (kgDM/d)	5.57	5.74	5.49	5.58	0.07	0.22
乾物摂取量/体重 (%)	1.55	1.56	1.51	1.53	0.01	0.19
消化率 (%)						
乾物	54.1a	54.8a	58.2ab	60.0b	1.3	0.06
有機物	56.0a	56.9a	61.3b	62.3b	1.2	0.03
粗蛋白質	52.2a	48.6b	53.5a	61.3c	0.8	<0.01
中性デタージェント繊維	47.6a	48.9a	54.0ab	60.9c	1.9	0.01
酸性デタージェント繊維	37.6	38.2	41.3	49.9	3.6	0.17
可消化養分総量 (%)	53.7a	55.9a	63.1b	63.3b	1.0	<0.01
可消化エネルギー(MJ/kgDM)	8.82a	8.87a	10.13b	10.52b	0.2	<0.01
代謝エネルギー(MJ/kgDM)	6.85a	6.94a	8.37b	8.92b	1.2	<0.01
メタン発生量 (L/d)	221.7a	230.5a	198.8ab	185.8b	6.5	0.02
メタンエネルギー (kJ/kg <sup>0.75</sup> )	99.3ab	102.5a	91.7bc	84.9c	2.8	<0.01
メタン変換効率	0.088a	0.090a	0.083ab	0.075c	0.06	<0.01
メタン/乾物摂取量 (L/kg)	39.7A	40.3A	36.1a	33.5Bb	0.6	<0.01
メタン/有機物摂取量 (L/kg)	38.7a	39.7a	37.1a	33.9b	0.8	0.01

CV, カバルケード乾草; PG, パンゴラグラス乾草; CCM, ココナツ粕; PKM, パーム核粕; SE, 標準偏差

DMI, 乾物摂取量; BW, 体重; DM, 乾物; OM, 有機物; CP, 蛋白; NDF, 中性デタージェント繊維; ADF, 酸性デタージェント繊維; TDN, 可消化養分総量; DE, 可消化エネルギー; ME, 代謝エネルギー

a, b, c, P<0.05; A, B, P<0.01

#### 試験 6 : イナワラの品種の違いがメタン発生量に及ぼす影響

メタン発生量は、総量および飼料摂取量当たりの発生量のいずれももち米の方が高かった。総エネルギー摂取量に対するメタンエネルギー排出量の比率や、乾物摂取量1kg当たりのメタン発生量は在来種よりもブラーマン種の方が低かった。

#### 試験 7 : バーブルギニアグラスの調製法の違いがメタン発生量に及ぼす影響

パープルギニアグラスでは、消化率やエネルギー含量は、乾草と生草の間で大きな違いはみられなかった。総エネルギー摂取量に対するメタンエネルギー排出量の比率は、乾草の方が生草よりも高かった。1日当たりのメタン総発生量は、生草よりも乾草の方が低かったが、乾物摂取量1kg当たりのメタン発生量は乾草の方が高かった。

#### 試験8：インビトロガス培養法による飼料からのメタン発生量の測定

ルーメン液との体外混合培養で発生した乾物1kg当たりのメタン発生量は、パンゴラグラス乾草A、パンゴラグラス乾草B、もち米イナワラ、うるち米イナワラおよび大豆粕でそれぞれ15.1、13.2、10.4、10.1および20.1Lであった。牛からのメタン発生量は、粗飼料を多給した方が高く、濃厚飼料給与時に低くなる場合が多いので、この結果は逆の傾向を示している。

イナワラおよびパープルギニアグラスの摂取エネルギーのメタンエネルギーへの損失割合は、6.7 - 9.7%であり、パープルギニアグラス乾草が最も高かった。乾物摂取量1kg当たりのメタン発生量は、24.5 - 39.4 L/kgであり、パープルギニアグラス乾草が最も高かった。パープルギニアグラスは、乾草に調製給与した場合のメタン発生量は高いが、生草給与時はイナワラと同様の値であった。



表 16. イナワラ，パープルギニアグラス乾草および生草をブラーマン種および在来種に給与した場合の消化率，可消化養分総量(TDN)およびエネルギー含量

供試牛品種	ブラーマン種		在来種		ブラーマン種	
	イナワラ品種				パープルギニアグラス	
	もち米	うるち米	もち米	うるち米	乾草	生草
消化率 (%)						
乾物	48.0	51.1	49.3	51.1	59.8	58.2
有機物	54.4	55.5	54.8	54.7	62.9	62.5
蛋白	77.1	75.7	80.8	78.1	60.7	58.9
中性繊維	52.2	58.0	55.7	57.6	65.1	64.3
酸性繊維	56.4	60.1	56.9	66.1	64.1	61.8
可消化養分総量 (%)	48.1	49.7	48.3	49.3	55.4	55.3
総エネルギー (MJ/kgDM)	14.87	15.27	14.87	15.27	16.60	16.00
可消化エネルギー (MJ/kgDM)	6.92	7.45	6.94	7.44	9.44	9.51
代謝エネルギー (MJ/kgDM)	5.22	5.83	5.40	5.94	7.49	7.92
メタンエネルギー (kJ/kg <sup>0.75</sup> )	99.6	83.5	104.5	89.1	96.5	86.2
メタンエネルギー/GE	7.8	6.7	8.4	7.3	9.7	8.0
メタン発生量 (L/d)	256.3	228.0	178.6	160.5	184.0	222.9
(L/DMI/d)	28.9	24.5	31.9	27.8	39.4	29.3

(2)人工ルーメン法による反すう家畜からの簡易メタン排出量推定法とタンニンを用いたメタン発生抑制技術の開発

1) 試験1：反すう家畜由来メタン発生量の簡易評価法の確立：

反すう家畜からのメタン発生量の簡易測定法の開発に向け、5種類の試料（アルファルファ乾草100%：D1；コーンサイレージ91%+大豆粕9%：D2；イタリアンライグラス乾草92%+大豆粕8%：D3；稲わら91%+大豆粕9%：D4；スーダングラス乾草92%+大豆粕8%：D5）を供試して、SF6（六フッ化イオウトレーサー）法、ルシテック（人工ルーメン）法、インビトロガス培養試験法によるメタン産生量の比較検討を行った（平成17年度）。

2) 飼料へのタンニン添加による反すう家畜からのメタン抑制技術の開発：

反すう家畜からのメタン発生量の抑制物質としてタンニンに着目し、縮合型タンニンと加水分

解型タンニン含量が異なる6種類の市販のタンニンを供試して、*in vitro*培養試験法によりメタン発生量の抑制効果を比較するとともに、メタン発生量に及ぼすポリエチレングリコール (PEG-6000) を添加効果も検討した。また、タンニン (No. 3、4、6) について、飼料への添加量の違い (0~25%) がメタン発生量に及ぼす影響を調べた (平成18年度)。さらに、平成18年度の試験結果から縮合型タンニンのメタン産生抑制効果が高かったことから、縮合型タンニンが含まれる市販のタンニンを飼料に0、2.5および5%添加して、日本在来種去勢山羊のメタン産生量に及ぼす影響を調べた (平成19年度)。

### 1) 試験1：反すう家畜由来メタン発生量の簡易評価法の確立

供試試料の粗タンパク質含量は2.8% (D4) から18.9% (D1)、酸性デタージェントリグニン含量は3.2% (D2) から5.3% (D5) と幅広い範囲のものであった。同一試料を用いてSF<sub>6</sub>法、ルシテック法、インビトロガス培養試験法によるメタン発生量を比較検討した結果、全ての試料においてルシテック法はSF<sub>6</sub>法に比べてメタン発生量が低く評価され、相関係数も低かった。また、インビトロガス培養法で測定した培養24時間のD4とD5試料のメタン発生量はSF法とほぼ同じであったが、D1とD2試料では高く、逆にD3試料は低く評価された。SF<sub>6</sub>法と比較して、インビトロガス培養法で測定した培養48時間のメタン発生量は全ての試料で高く測定されたものの、相関係数は高かった (表1)。これらの結果は、インビトロガス培養法が反すう家畜用飼料からのメタン発生量の推定に有効であることを示唆するものである。家畜を用いた試験では特別な施設、労力、コストがかかるものの、インビトロガス培養法は反すう家畜からのメタン発生量を簡易に測定できることから特に多種多様な試料からのメタン発生量のデータの蓄積に効果的である。

表1 各種測定法による試料のメタン発生量

	SF <sub>6</sub>	RUSITEC	IVGPT(24h)	IVGPT(48h)
	Methane (ml/g DM)			
D1	27.4	10.5	35.9	39.5
D2	37.1	10.4	39.3	47.2
D3	30.3	8.7	28.0	37.8
D4	24.5	8.6	23.4	32.6
D5	28.1	12.4	27.0	37.8

### 試験2および3：飼料へのタンニン添加による反すう家畜からのメタン抑制技術の開発：

タンニン (No. 3、4、6) を添加した場合にガス発生量が少なかった。これらのタンニンは加水分解型タンニンと縮合型タンニンが含まれるものである。また、PEG6000を添加した場合、タンニン (No. 1、2、5) ではメタン濃度が添加前と添加後でほとんど変化なかったのに対し、タンニン (No. 3、4、6) ではメタン濃度が増加した。その結果、タンニン (No. 3、4、6) での乾物当たりのメタン発生量は少なく、PEG6000を添加することで大幅にメタン発生量は増加した (表1)。飼料中のタンニン添加割合が高まるとともにメタン発生量は、タンニンNo. 3で38.1から23.5ml/g乾物、4で42.6から23.4ml/g乾物、6で39.2から23.3ml/g乾物にそれぞれ減少した。以上の結果から、飼料へのタンニンの添加は反すう家畜からのメタン産生抑制剤として有望であり、今後家畜を供試した試験を行う必要がある。タンニンの種類により家畜での嗜好性が異なったが、タンニ

ンNo. 4の嗜好性に問題が無かった。タンニンを飼料に2.5%添加により蛋白質の消化率は低下するが(図1)、乾物や繊維の消化率は影響を受けずにメタン発生量は11.4%減少した。しかし、5%添加ではメタン発生量は23.7%減少するが、全ての消化率が低下した(図2)。

表

2. タンニンの種類がメタン発生量に及ぼす影響

タンニン番号	ガス発生量 (ml/200mg)	メタン (%)	L/kg 乾物
1	18.5	13.5	9.2
1+PEG	24.3	13.5	12.0
2	18.2	13.4	9.0
2+PEG	23.6	12.5	11.1
3	0.7	15.1	0.5
3+PEG	9.5	20.2	9.6
4	6.1	14.7	4.5
4+PEG	19.6	19.7	19.3
5	20.7	8.8	6.8
5+PEG	25.7	9.3	8.9
6	0.5	13.8	0.3
6+PEG	9.5	20.3	9.6

1, 2, 5:加水分解型  
3, 4, 6:加水分解型+縮合型:  
メタン(%) : 全ガスに占める割合

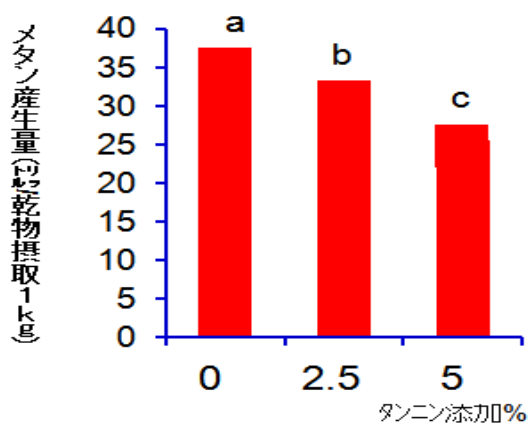


図1. 飼料へのタンニンの添加が山羊のメタン発生量に及ぼす影響

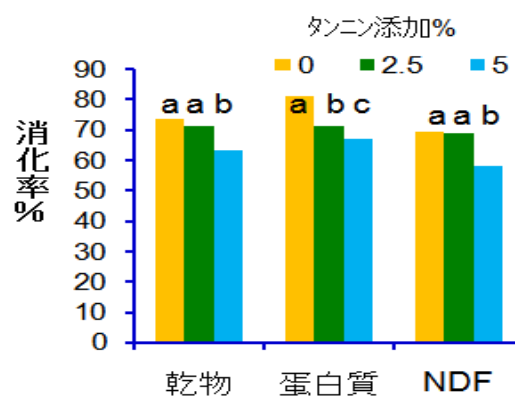


図2. 飼料へのタンニンの添加が消化率に及ぼす影響

a, b, c: 異符号間で有意差あり(p<0.05)

#### 4. 本研究により得られた成果

##### (1) 科学的意義

サブサブテーマ(2)-①において、反すう家畜のメタン発生要因を給与技術面から解析した。

その中で、ルーメン内での蛋白質や炭水化物の分解性の違い、環境温度、給与回数などがメタン発生量に影響することを明らかにしたほか、ほとんど測定例がないアジア地域で飼育されている反すう家畜のメタン発生量の基礎的な知見を得た。また、メタン発生量の抑制については、モネンシンやフマル酸の添加のほか、米ヌカ、ビール粕、トウフ粕、ココナツ粕、パーム核粕およびポラードなどの製造副産物を飼料に添加することで、生産性を向上させるとともにメタン発生量の抑制が可能であることを示した。さらに、ポリフェノールの一つであるタンニンのメタン発生抑制効果を解析した結果、縮合型タンニンでメタン発生抑制効果が高く、飼料に2.5%添加することで生産性を落とすことなく、メタン発生抑制が可能であることを示した。

## (2) 地球環境政策への貢献

本研究で得られたアジアで飼育されている反すう家畜からのメタン発生量の測定結果は、わが国、アジア各国および世界におけるGHGガス排出量インベントリを精緻化すると同時に、削減効果の定量的評価に資するものである。環境省温室効果ガス算定委員会（環境省地球環境局）の農業分科会の検討において、反すう家畜由来のメタン発生量の算定基準の作成に寄与している。また、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（GIO）の要請で温室効果ガス算定に関わる国際ワークショップ（The 4th Workshop on GHG Inventories in Asia Region、14-15 February 2007、 Jakarta、 Indonesia）でアジア各国における反すう家畜由来のメタン発生量の算定法の提案や原著論文、その他の著作物、研究集会発表、各種広報を通じ、成果の広報・普及に努める。

## 6. 引用文献

- (1) IPCC: Climate change 1994, Radiative forcing of climate change, Cambridge University Press (1995).
- (2) IPCC: Climate change 2001, mitigation, Cambridge University Press (2001).
- (3) 環境省：温室効果ガス排出量算定方法検討会：温室効果ガス排出量算定方法に関する検討結果（2002）。
- (4) IPCC: Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories (2000).

## 7. 国際共同研究等の状況

アジア地域の畜産業における実効的なCH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O発生制御技術の定量的総合評価とその広域削減予察評価を効率的に推進するために、各サブ（サブ）テーマにおいて、以下の研究機関との間に研究協定書を結び、連携に努めている。いずれの場合も、共同して研究計画を企画立案するとともに、日本側から研究者が訪問し、必要な指導と支援を行っている。

- (1) 研究所間協定覚え書きに基づく共同研究：インドネシア国Diponegoro大学（代表：Agung Purnomoadi）
- (2) 研究所間協定覚え書きに基づく共同研究：中国内蒙古畜牧科学院畜産研究所（代表：金海）

## 8. 研究成果の発表状況

### (1) 誌上発表

#### <論文 (査読あり)>

- 1) R. Bhatta, K. Tajima, N. Takusari, K. Higuchi, O. Enishi and M. Kurihara: Greenhouse gases and animal agriculture: An update. International Congress, Elsevier 1293C, 58-61 (2006) “Comparison of sulfur hexafluoride tracer technique, rumen simulation technique and in vitro gas production techniques for methane production from ruminant feeds”
- 2) R. Bhatta, K. Tajima and M. Kurihara: Asian-Aust. J. Anim. Sci., 19, 376-380 (2006) “Influence of temperature and pH on fermentation pattern and methane production in the rumen simulating fermenter (RUSITEC)”
- 3) R. Bhatta, K. Tajima, N. Takusari, K. Higuchi, O. Enishi and M. Kurihara: Asian-Aust. J. Anim. Sci., 20, 1049-1056 (2007) “Comparison of In vivo and In vitro techniques for methane production from ruminant diets”
- 4) S. Xue, H. Jin, X. Guo, O. Enishi and Bayasihuliang: Chinese J. Grassland, 29, 22-27 (2007) “Evaluation of nutrition value of predominant pastures from desert grassland of Inner Mongolian” (in Chinese)
- 5) R. Bhatta and O. Enishi: Asian-Aust. J. Anim. Sci., 20, 1305-1318 (2007) “Measurement of Methane Production from Ruminants”
- 6) O. Enishi, N. Takusari, K. Higuchi, I. Nonaka, M. Kurihara and F. Terada: Energy Protein Metabolism Nutr., 619-620 (2007) “Enteric methane emission of Japanese native goats”
- 7) A. Purnomoadi, F.Y. Devi, R. Adiwiniari, E. Rianto, O. Enishi and M. Kurihara: Energy Protein Metabolism Nutr., 611-612 (2007) “Energy utilisation and methane conversion rate in Indonesian indigenous sheep fed Napier grass supplemented with pollard. Energy and protein metabolism and nutrition”

#### <査読付論文に準ずる成果発表> (社会科学系の課題のみ記載可)

なし

#### <その他誌上発表 (査読なし)>

- 1) M. Kurihara, T. Nishida and A. Purnomoadi: Greenhouse Gas Control Technologies, Elsevier Science Press, Volume II: 1791-1794 (2003) “Reduction of methane production from dairy cows by decreasing ruminal degradability of concentrated ingredients”
- 2) A. Purnomoadi, E. Rianto, N. Takusari, F. Terada and M. Kurihara: Progress in research

on energy and protein metabolism, EAAP Publ. No.109, 433-436 (2003) “Energy Utilization of rice straw supplemented with urea and molasses in swamp buffalo heifers”

- 3) A. Purnomoadi, M.Y. Effendi, E. Rainto, K. Higuchi and M. Kurihara : The 11<sup>th</sup> Congress of Asian-Australasian Animal Production, Volume 2, 216-218(2004) “Methane production of Ongole crossbreed and Limousin crossbreed young bulls under intensive feeding management in Indonesia”
- 4) 栗原光規 : 畜産技術, 594, 20-26 (2004) 「ルーメンからのメタン放出とその制御」
- 5) A. Purnomoadi, M.Y. Effendi, E. Rainto, K. Higuchi and M. Kurihara : The 11<sup>th</sup> Congress of Asian-Australasian Animal Production, Volume 2, 216-218 (2004) “Methane production of Ongole crossbreed and Limousin crossbreed young bulls under intensive feeding management in Indonesia”
- 6) 栗原光規 : 環境保全型農業辞典, 丸善, 846-848 (2005) 「11.4 反芻家畜からのメタン産生抑制」

(2) 口頭発表 (学会)

- 1) A. Purnomoadi, E. Rainto, Fuminori Terada and M. Kurihara: Proc. of the 3rd International Methane and Nitrous Oxide Mitigation Conference, Beijing. China, Volume II, 135-142 (2003) “Reduction of methane production from buffalo heifers fed soy-sauce by-product in southeast Asia”
- 2) G.J. McCrabb, F. Rivera, R. Hunter, M. Kurihara, F. Terada and T. Wirth: Proc. of the 3rd International Methane and Nitrous Oxide Mitigation Conference, Beijing. China, Volume I, 281-288 (2003) “Managing greenhouse gas emissions from livestock feeding systems”
- 3) 栗原光規 : 学術セミナー (内蒙古科学院畜産研究所) (2003) 「Methane production from ruminants and the simple method for methane measurement」
- 4) 栗原光規 : 第6回日本呼吸病態生化学研究会学術大会, 12 (2003) 「反すう家畜のエネルギー代謝とガス測定の意義」
- 5) 栗原光規, 田鎖直澄, 寺田文典 : 日本畜産学会第102回大会 (2003) 「六フッ化イオウをトレーサーとした反芻家畜からのメタン発生量測定法の検討」
- 6) 鈴木知之, 尾台昌治, 野中最子, W. Summamal, 川島知之, 寺田文典, 押尾秀一, 栗原光規 : 日本畜産学会第103回大会 (2004) 「タイ国におけるホルスタイン種交雑種泌乳牛からのメタン発生量」
- 7) A. Purnomoadi, E. Rainto and M. Kurihara: The 7<sup>th</sup> International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies. Vancouver. Canada (2004) “Reduction of methane production from Ongole crossbreed cattle in Indonesia by increasing the concentrate

feeding frequency”

- 8) 鈴木知之, 川島知之, 尾台昌治, W. Summamal, 寺田文典, 押尾秀一, 栗原光規: 第104回日本畜産学会 (2005) 「タイ国におけるウシおよび水牛からのメタン発生量」
- 9) M. Kurihara, S. Kume, S. Takahashi, N. Takusari, I. Nonaka, K. Higuchi and T. Aii: The 2<sup>nd</sup> Symposium on Greenhouse Gases and Animal Agriculture, Zurich (2005)
- 10) J. Hai, X. Li, K. higuchi, X. Guo, S. Xue, N. Takusari, O. Enishi and M. Kurihara: 12th AAAP Animal Science Congress (2006) “Comparison of methane production from bactrian camel grassed on pasture estimated by SF<sub>6</sub> with that of in vitro method”
- 11) A. Purnomoadi, S. Setyowening, E. Rianto, O. Enishi and M. Kurihara: 12th AAAP Animal Science Congress (2006) “Methane conversion rate in Indonesian indigenous sheep fed rice bran supplementation”
- 12) R. Bhatta, O. Enishi and M. Kurihara: 12th AAAP Animal Science Congress (2006) “Measurement of methane production from ruminants”
- 13) X. F. Guo, H. Jin, S. Y. Xue, O. Enishi and K. Mitsunori: The 6th Joint Symposium of China-korea-Japan on Rumen Metabolism and Physiology (2007) “Determination of the methane production of Cashmere goats on maintenance level using the sulfur hexafluoride (SF<sub>6</sub>) tracer gas technique”

(3) 出願特許

特に記載すべき事項はない。

(4) シンポジウム、セミナーの開催 (主催のもの)

特に記載すべき事項はない。

(5) マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない。

(6) その他

なし