

B-2. メタン・亜酸化窒素の放出源及び放出量の解明に関する研究

(4) 家畜等畜産からの放出量の解明に関する研究

① 家畜からのメタンの放出量の解明に関する研究

研究代表者 農林水産省畜産試験場 柴田正貴

農林水産省 畜産試験場

栄養部 栄養第1研究室 柴田正貴（現農林水産技術会議事務局）・栗原光規・西田武弘  
寺田文典（現九州農業試験場）

平成2年度－6年度合計予算 14,200 千円  
(平成6年度予算額 2,962 千円)

〔要旨〕反芻家畜からのメタン放出量を解明するために、①第一胃（ルーメン）でのメタン発生とルーメン内発酵産物との関係、②メタン発生量に及ぼす給与飼料構成の影響、③反芻家畜からのメタン発生量の簡易な推定式の作成について検討した。さらに、作成したメタン発生量推定式を用いて、日本の家畜及び世界の主要地域における牛からのメタン発生量を試算した。主要な成果は、以下のとおりである。①ルーメン内発酵産物である酢酸、プロピオン酸、酪酸からのメタン産生は、殆どないことを示した。②メタン発生量は、山羊<羊<牛の順に多くなるが、摂取乾物当たりでは動物間に有意な差がないことを示した。③メタン発生量は、乾草と濃厚飼料の給与比率に影響されることを示した。④先進国型の良質な飼料を給与されている場合の反芻家畜からのメタン発生量（Y, l/day）は、乾物摂取量（X, kg/day）のみを説明変数とする回帰式  $Y = -17.766 + 42.793X - 0.849X^2$  により推定できることを示した。⑤低消化性低蛋白質飼料を給与している地域の反芻家畜からのメタン発生量を推定する場合には、先進国型の良質飼料を給与された反芻家畜からのメタン発生量の当面0～10%程度増とする必要があることを示した。⑥日本の家畜からのメタン発生量は、0.345テラグラム(Tg)であることを示し、全世界での家畜からのメタン発生量に対する割合は約0.5%であることを明らかにした。⑦世界の主要地域における牛からメタン発生量は、年間66.7～70.8 Tgと推定された。

〔キーワード〕反芻家畜、メタン発生量、乾物摂取量、飼料構成、推定式

1. 序

反芻家畜からのメタン発生は、飼料の質及び量、家畜の生理状態等種々の要因によって変化するが、これらについての定量的な解析はこれまで十分になされてはいない。牛などの反芻家畜におけるメタン発生量の推定については、可消化の炭水化物成分摂取量による推定式が提唱されているが、推定には消化試験と煩雑な成分分析が必要であり、統計数値等から国レベルの発生量を推定するためには使用できない。したがって、大気中のメタン濃度の増加に対する家畜からの負

荷量を明らかにし、さらには有効なメタン発生抑制技術を開発するためには、反芻家畜からのメタン発生の変動要因を解明し、それら変動要因とメタン発生量との関係を簡易な方法で定量的に把握する手法の開発が必要である。

本研究では、牛、羊及び山羊を用い、各反芻家畜のメタン発生量を明らかにするとともに飼料摂取量、給与飼料構成、第一胃（ルーメン）内発酵産物等とメタン発生量との関係を明らかにし、簡易なメタン発生量推定手法を確立するとともに日本及び全球的な家畜からのメタン発生量の推定を行うことを目的として一連の実験を行なった。

## 2. 研究目的及び方法

### (1) 実験 1

反芻家畜からのメタン発生とルーメン内発酵産物との関係を明らかにするために実験 1 を行った。

実験にはルーメンフィステル装着乾乳牛 2 頭を用い、各種の揮発性脂肪酸（VFA）混合液をルーメン内へ注入して、維持エネルギー給与水準における二酸化炭素、メタン及び熱発生量を測定した。試験期間は 1 期 14 日間とし、後半 4 日間を試験期として消化試験及び呼吸試験を実施した。また、併せてナイロンバッグ法によるルーメン内乾物消化率の測定及びルーメン pH の連続測定を行なった。エネルギー給与量は、代謝エネルギー（ME）換算で維持の半量を基礎飼料として乾草のみまたは乾草と濃厚飼料を 7 : 3 の割合で与え、VFA を維持要求 ME の半量与えた。注入 VFA の組成は、酢酸 : プロピオン酸 : 酪酸をモル比率で、7:2:1(A7P2)、4.5:4.5:1(A4.5)、2:7:1(A2P7) の 3 処理とし、そのほか基礎飼料を全量、半量給与および絶食の計 6 処理を設けた。

### (2) 実験 2

反芻家畜のメタン発生量に及ぼす給与飼料構成の影響の解明と簡易なメタン発生量推定式の作成を目的として、実験 2 を行った。

実験には牛、羊及び山羊を用い、給与飼料を乾草と濃厚飼料としてその給与比率を、100:0 (H100)、70:30 (H70) 及び 30:70 (H30) とした 3 処理について二酸化炭素、メタン及び熱発生量を測定した。試験期間は 1 期 14 日間とし、後半 2 ~ 4 日間に呼吸試験を実施した。

### (3) 実験 3

簡易なメタン発生量推定式を作成するために、反芻家畜を供試した 190 回の呼吸試験データを用いて、メタン発生量と乾物摂取量との関係を検討した。

供試動物は、ホルスタイン種乳牛（泌乳牛、妊娠牛、乾乳牛、未経産牛及び肥育去勢牛）、黒毛和種（妊娠牛、成雌非妊娠牛及び肥育去勢牛）、コリデー種成去勢雄めん羊及び日本在来種成去勢雄山羊であった。供試動物には、いずれも粗飼料及びトウモロコシ、大麦、大豆粕を主原料とする濃厚飼料を給与した。また、推定式と日本飼養標準による乾物摂取量及び家畜頭数から、日本の家畜からのメタン発生量を推定した。

#### (4) 実験4

発展途上国の飼料給与形態を想定して、木質飼料にイタリアンライグラス乾草ウェファーを少量混合して低消化性低蛋白質飼料を調製し、低栄養条件下における飼料摂取量とメタン発生量との関係を検討した。

供試牛はフィステル装着乾乳牛4頭であり、基礎飼料をTDNで維持の50%量給与し、ルーメンへの尿素注入により窒素摂取水準を、0(N0)、維持の50%量(N50)及び維持量(N100)の3水準設定して、乾物摂取量とメタン発生量との関係を検討した。尿素は、維持の50%のエネルギー量のVFA混合液にミネラルとともに溶解して注入した。試験は1期14日間とし、後半4日に消化試験及びエネルギー出納試験を行いメタン発生量を測定した。

#### (5) 実験5

試験4と同様の目的で、基礎飼料として木質飼料とイタリアンライグラス乾草ウェハーを混合して高消化性低蛋白質飼料を調製し、低栄養条件下における飼料摂取量とメタン発生量との関係を検討した。

供試牛は、フィステル装着乾乳牛3頭とした。基礎飼料をTDNで維持の50%量、CPで維持の60%量給与するN60区及びN60区と同じ基礎飼料に維持の40%量の窒素をルーメンへの尿素注入したN100区を設定した。また、両区には維持の50%量の代謝エネルギーをVFA混合液として注入した。試験は1期14日間とし、後半4日に消化試験及びエネルギー出納試験を行いメタン発生量を測定した。

### 3. 実験結果及び考察

#### (1) 反芻家畜からのメタン発生とルーメン内発酵産物との関係

表1に、実験1の各処理におけるメタン及び二酸化炭素発生量及び熱発生量を示した。

絶食によりメタン発生は無視できる程度に減少した。ルーメン内pHは、いずれの基礎飼料においてもほぼ常時6.0以上を示し、VFA注入のルーメンpHに対する影響は大きなものではなかった。メタン発生量は繊維成分の摂取量に影響されると言われているが、本実験において乾物(DM)及び粗繊維消化率に大きな変動が認められず、また、ルーメン内乾物消化率及びルーメンpHも注入による大きな低下を示さなかったことから、VFA注入によるルーメン内発酵、特にメタン生成への悪影響はなかったものと判断される。

VFA注入処理と基礎飼料50%給与との間に有意なメタン発生量の差は認められなかった。メタン菌による酢酸からのメタン生成が行なわれるとの報告もあるが、本実験の結果から、いずれの飼料においても反芻家畜におけるメタン発生はルーメン発酵の過程で生じる炭素及び水素から行なわれ、主要なルーメン内発酵産物であるVFAからのメタン発生はほとんど無視し得るものと考えられた。二酸化炭素発生量及び熱発生量は摂取エネルギーの増加にともなって増加した。飼料半量と全量給与の摂取乾物及び摂取エネルギー当りの二酸化炭素、メタン及び熱発生量を比較すると濃厚飼料多給時も乾草給与時と同様に全量給与で低下を示し、その低下率は濃厚飼料給与時に大きかった。

以上の結果から、ルーメン内発酵産物であるVFAからのメタン発生は殆どないものと考えられた。また、低栄養水準では高栄養水準の時より摂取飼料当たりのメタン発生量は増加するものと言える。

表1 メタン、二酸化炭素及び熱発生量 (実験1、1日1頭当たり)

| 項目                  |     | 半量    | A2P7  | A4.5  | A7P2  | 全量    | 絶食   |
|---------------------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| 基礎飼料-乾草             |     |       |       |       |       |       |      |
| 乾物消化率               | (%) | 64.5  | 65.7  | 66.9  | 70.9  | 66.4  |      |
| 粗繊維消化率              | (%) | 70.9  | 65.6  | 67.1  | 70.9  | 66.1  |      |
| ルーメン内乾物消化率          | (%) | 84.1  | 78.8  | 78.2  | 81.0  | 82.9  |      |
| CH <sub>4</sub> 発生量 | (l) | 150   | 140   | 136   | 136   | 266   | 11   |
| 摂取乾物当り (1/kgDM)     |     | 34.4  | 32.2  | 31.4  | 31.4  | 30.9  |      |
| CO <sub>2</sub> 発生量 | (l) | 2502  | 3077  | 3072  | 3166  | 3719  | 1618 |
| 摂取GE当り (1/McalGE)   |     | 135.3 | 116.2 | 118.0 | 122.6 | 101.7 |      |
| 基礎飼料-濃厚飼料及び乾草(7:3)  |     |       |       |       |       |       |      |
| 乾物消化率               | (%) | 68.6  | 72.7  | 71.9  | 70.5  | 69.3  |      |
| 粗繊維消化率              | (%) | 56.0  | 59.4  | 53.6  | 49.6  | 54.5  |      |
| ルーメン内乾物消化率          | (%) | 78.9  | 84.0  | 82.3  | 83.8  | 81.6  |      |
| CH <sub>4</sub> 発生量 | (l) | 157   | 136   | 145   | 144   | 264   | 11   |
| 摂取乾物当り (1/kgDM)     |     | 46.1  | 40.5  | 43.2  | 42.6  | 38.9  |      |
| CO <sub>2</sub> 発生量 | (l) | 2259  | 2828  | 2799  | 2933  | 3106  | 1516 |
| 摂取GE当り (1/McalGE)   |     | 154   | 125   | 126   | 131   | 106   |      |

## (2) 反芻家畜からのメタン発生量に及ぼす乾草給与割合の影響

表2に、実験2の各処理におけるメタン、二酸化炭素発生量及び熱発生量を示した。

メタボリックボディサイズ(体重の0.75乗)当りの酸素消費量並びに二酸化炭素及び熱発生量は羊、山羊に比較して牛が高かったが、処理間には有意な差が認められなかった。動物種別の1日当りメタン発生量は山羊<羊<牛の順に多く、牛の発生量はめん羊の7倍、山羊の9倍であった。しかし、摂取DM当りでは動物間に有意差は認められなかった。メタン発生量の処理間差は有意なものであり、乾草70%給与区に対して30%給与区が有意に少なかった。これは、乾草摂取量減少、濃厚飼料摂取量増加に伴う全給与飼料中のセルロース含量の低下、繊維成分消化率の低下及びルーメン内プロピオン酸生成の増加等の要因に起因するものと考えられた。DM当りのメタン発生量には動物間に差がなく、処理間にも差を認めなかった。したがって、乾物摂取量を説明変数として用いれば、牛、山羊、羊に共通のメタン発生量の簡易な推定式を求めることができると考えられた。

表2. メタン、二酸化炭素及び熱発生量 (実験2、1日1頭当り)

|          |          | 動物    |       |       | 処理    |       |       | 処理効果 |    |
|----------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|----|
|          |          | 牛     | 羊     | 山羊    | H100  | H70   | H30   | 動物   | 処理 |
| 酸素消費量    | (1/MBS)  | 34.0  | 22.0  | 21.8  | 26.3  | 26.3  | 25.2  | **   | NS |
| 二酸化炭素発生量 | (1/MBS)  | 35.6  | 22.4  | 23.4  | 26.7  | 27.9  | 26.8  | **   | NS |
| 熱発生量     | (kJ/MBS) | 719.1 | 461.6 | 462.0 | 550.9 | 556.9 | 534.9 | **   | NS |
| メタン発生量   | (1/MBS)  | 2.6   | 1.43  | 1.7   | 1.9   | 2.2   | 1.6   | **   | ** |
| メタン発生量   | (1)      | 230.9 | 34.3  | 25.2  | 93.0  | 115.0 | 82.5  | **   | *  |
| 摂取DM当り   | (1/kg)   | 28.4  | 25.9  | 27.1  | 26.0  | 29.9  | 25.4  | NS   | *  |

MBS:メタボリックボディサイズ (体重・kg<sup>0.75</sup>)

(3) 反芻家畜からのメタン発生量の推定

推定式の検討に用いた家畜種別の乾物摂取量及びメタン発生量を表3に、また、乾物摂取量を説明変数とした推定式を表4に示した。

家畜種別に比較すると、乾物摂取量が多い家畜種ほどメタン発生量は多かったが、乾物摂取量当たりのメタン発生量は逆に減少した。また、家畜の可消化エネルギー (DE) 摂取水準を維持摂取量の1.5倍未満、1.5~2.5倍、2.5倍超の3水準に分けて、メタン発生量(Y, l/頭/日)と乾物摂取量(X, kg/日)との回帰分析を行った結果では、摂取水準が高いほど乾物摂取量の回帰係数が小さくなっており、エネルギー摂取水準の増加につれて単位乾物摂取量当たりのメタン発生量は減少していると考えられた。これらのことから、1日当たりのメタン発生量と乾物摂取量との関係は曲線的であり、回帰分析の結果では以下に示す2次式が得られた。

$$Y = -17.766 + 42.793(\pm 1.727)X - 0.849(\pm 0.075)X^2 \quad (r = 0.966, P < 0.01)$$

表3. 家畜別の乾物摂取量及びメタン発生量 (実験3)

| 項目        | 単位     | 動物                  |                     |                     |                     |                     |                    |
|-----------|--------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------|
|           |        | HL-L                | HL-PD               | HL-S                | JB-PD               | JB-S                | SG                 |
| 乾物(DM)摂取量 | kg/day | 17.46 <sup>a</sup>  | 7.96 <sup>b</sup>   | 7.83 <sup>b</sup>   | 6.31 <sup>c</sup>   | 5.66 <sup>c</sup>   | 1.09 <sup>d</sup>  |
| 可消化DM摂取量  | kg/day | 11.48 <sup>a</sup>  | 5.41 <sup>b</sup>   | 5.42 <sup>b</sup>   | 3.37 <sup>c</sup>   | 4.10 <sup>c</sup>   | 0.72 <sup>d</sup>  |
| メタン発生量    | l/day  | 464.04 <sup>a</sup> | 268.43 <sup>b</sup> | 259.32 <sup>c</sup> | 211.65 <sup>d</sup> | 205.63 <sup>d</sup> | 28.55 <sup>e</sup> |
| 摂取DM当り    | l/kg   | 27.17 <sup>a</sup>  | 33.84 <sup>b</sup>  | 33.85 <sup>b</sup>  | 33.40 <sup>b</sup>  | 36.49 <sup>b</sup>  | 26.70 <sup>a</sup> |

HL:ホルスタイン種, JB:黒毛和種, SG:めん山羊, L:泌乳牛, PD:妊娠牛及び乾乳牛, S:肥育去勢牛

表4. メタン発生量推定式（実験3）

| DE 摂取量<br>(x 維持) | N   | 回 帰 式   | r <sup>2</sup> | 回帰の<br>有意性 |
|------------------|-----|---|----------------|------------|
| <1.5             | 108 | Y=- 0.127+34.360X   | 0.899          | **         |
| 1.5-2.5          | 68  | Y= 29.973+27.047X   | 0.928          | **         |
| >2.5             | 14  | Y= 347.992+ 6.741X  | 0.016          | NS         |
| 全データ             | 190 | Y= 54.663+24.133X<br>Y=- 17.766+42.793X-0.849X <sup>2</sup> | 0.889<br>0.934 | **<br>**   |

Y, メタン発生量(1/頭/日); X, 乾物摂取量(kg/日)

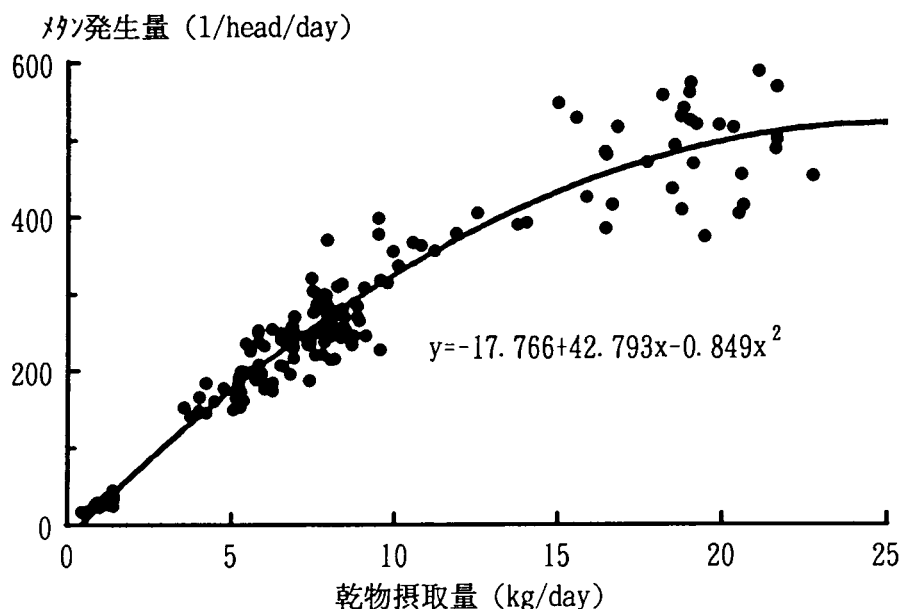


図1. 乾物摂取量とメタン発生量との関係

#### (4) 低質飼料給与時のメタン発生量

表5に、低質飼料を給与した試験4及び5における養分摂取量及びメタン発生量を示した。

低消化性低蛋白質飼料を給与した実験4の成績では、飼料摂取量が極端に少ない個体もみられ、メタン発生量も個体間で非常に大きく変動した。また、粗蛋白質要求量を充足したN100処理においても、給与飼料の消化性が非常に低かったため、ルーメンでの微生物活性が低く、1日当たりのメタン発生量も非常に低い値を示した。それに対し、飼料の消化性が高い実験5の成績では、飼料摂取量の増加により1日当たりのメタン発生量は高まっており、ルーメン内におけるメタン発酵が活発であったものと考えられた。しかし、先進国型の飼料を給与された反芻家畜に対するメタン発生量推定式による推定値と実測値との比較では、乾物消化率の低い場合には実測値が8%高かったが、乾物消化率が高い場合には実測値が13%低かったことから、低蛋白質飼料であ

ても飼料の消化率が高い場合にはメタン発生量は低減するものと思われた。

表5. 養分摂取量及びメタン発生量（実験4、5）

| 項 目                                      | 実験4   |       |       | 全平均   | 実験5  |       | 全平均   |
|--|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|
|  |       |       |       |       |      |       |       |
|  | N0    | N50   | N100  |       | N60  | N100  |       |
| <b>飼料摂取量</b>                             |       |       |       |       |      |       |       |
| 木質飼料 (kg/日)                              | 3.75  | 3.74  | 2.43  | 3.45  | 0.39 | 0.39  | 0.39  |
| イソアクリルガス (kg/日)                          | 0.38  | 0.37  | 0.24  | 0.35  | 3.75 | 3.75  | 3.75  |
| <b>養分摂取量</b>                             |       |       |       |       |      |       |       |
| 乾物(DM) (kg/日)                            | 2.81  | 2.90  | 2.02  | 2.66  | 3.35 | 3.35  | 3.35  |
| 可消化乾物 (kg/日)                             | 1.47  | 1.09  | 0.80  | 1.19  | 2.15 | 2.21  | 2.18  |
| 乾物消化率 (%)                                | 27.5  | 29.3  | 33.8  | 29.5  | 64.4 | 66.2  | 65.3  |
| CH <sub>4</sub> 発生量 (l/日)                | 44.48 | 50.09 | 46.29 | 46.75 | 98.2 | 107.3 | 102.8 |
| CH <sub>4</sub> エネルギー/GE (%)             | 6.10  | 5.06  | 7.20  | 6.00  | 4.5  | 4.8   | 4.7   |
| CH <sub>4</sub> /摂取DM (l/kg)             | 26.67 | 22.12 | 31.47 | 26.22 | 29.1 | 31.9  | 30.5  |
| 実測CH <sub>4</sub> /推定CH <sub>4</sub> (%) | 115.3 | 81.4  | 131.7 | 107.7 | 84.0 | 92.3  | 87.4  |

注) CH<sub>4</sub>発生推定値=-17.766+42.793×DM-0.8486×DM<sup>2</sup>

CH<sub>4</sub>発生量の推定に用いたDM摂取量には尿素を含まず。

以上の結果から、低消化性低蛋白質飼料を給与しているような地域におけるメタン発生量を推定する場合には、先進国型の良質飼料を給与された反芻家畜からのメタン発生量の当面0~10%増とするのが適当と思われる。しかし、発展途上国における反芻家畜からのメタン発生量の推定精度を向上させるためには、その飼料給与形態を正確に把握し給与飼料の消化特性を把握するとともに、飼料の蛋白質含量及び乾物消化率と乾物当たりメタン発生量との関係を更に検討し、データを蓄積する必要がある。

#### (5) 日本および世界中における主要地域の家畜からのメタン発生量の推定

表6に、日本で飼養されている家畜からのメタン発生量の推定値を示した。

(3)で求めた推定式に日本飼養標準等<sup>6,7,9)</sup>から推定した平均乾物摂取量をあてはめ、家畜頭数<sup>9)</sup>を乗じてわが国における家畜からのメタン発生量を推定すると、乳牛からは、年間0.182テラグラム(Tg)、肉牛からは0.150Tgと計算された。また、豚及び馬をも含めた全家畜からのメタン発生量は0.35Tgであり、全世界での家畜からのメタン発生量に対する割合では0.5%以下を占めるに過ぎなかった。

表7に、これまでのデータ並びにEPA(1994)<sup>4)</sup>に示された世界各地域で飼養される牛のタイプ(泌乳牛、肉用牛、成牛、子牛、舎飼、放牧など)及びそれらの推定エネルギー摂取量から各々

イブの牛の乾物摂取量を推定し、さらに、FAO(1992)<sup>5)</sup>の家畜統計を用いて世界の主要地域における牛からのメタン発生量を試算して示した。

表6. わが国の家畜からのメタン発生量

| 家畜                | DMI<br>(kg) | メタン<br>発生量<br>(1/日/頭) | 家畜<br>頭数 <sup>2)</sup> | メタン<br>発生量<br>(Tg/year) |
|-------------------|-------------|-----------------------|------------------------|-------------------------|
| 乳牛                |             |                       | 1,904,875              | 0.182                   |
| 泌乳牛               | 15.8        | 446.5                 | 1,082,000              | 0.126                   |
| 乾乳牛 <sup>1)</sup> | 7.5         | 255.4                 | 332,300                | 0.022                   |
| 育成牛<2歳            | 7.9         | 267.3                 | 490,575                | 0.034                   |
| 肉用牛               |             |                       | 2,292,700              | 0.150                   |
| 繁殖雌牛              | 5.8         | 201.9                 | 696,450                | 0.037                   |
| 肥育牛               |             |                       |                        |                         |
| 和牛 >1歳            | 7.3         | 249.4                 | 565,000                | 0.037                   |
| <1歳               | 5.2         | 181.8                 | 226,500                | 0.011                   |
| 乳用種               | 9.5         | 312.2                 | 804,750                | 0.066                   |
| めん山羊              | 0.8         | 15.9                  | 66,800                 | <0.001                  |
| 豚 <sup>3)</sup>   |             | 4.2                   | 11,335,000             | 0.012                   |
| 馬 <sup>4)</sup>   |             | 69.0                  | 24,300                 | <0.001                  |
| 合計                |             |                       | 15,623,675             | 0.345                   |

- 1) 2歳以上の育成牛を含む。
- 2) 平成3年2月1日調査畜産統計による<sup>8)</sup>。
- 3) メタン発生量は斉藤<sup>9)</sup>による。
- 4) メタン発生量はCrutzenら<sup>3)</sup>による。

世界各地における牛のタイプ別の推定乾物摂取量を当研究室で求めたメタン発生量推定式にあてはめ、家畜頭数を乗じて求めた牛からの推定メタン発生量は、年間66.7~70.8 Tgであった。この推定値は、Crutzenら(1986)<sup>3)</sup>、Bouwmanら(1992)<sup>2)</sup>及びEPA(1994)<sup>4)</sup>により示された54.3Tg、53.3Tg及び58Tgより多かったが、Blake(1984)<sup>1)</sup>が牛からのメタン発生量の上限值として示した95Tgよりは少なかった。家畜からのメタン発生量の多い地域は、南アメリカ、旧ソ連を含む東ヨーロッパ及び東南アジアであり、全世界からのメタン発生量に占める割合はそれぞれ26、15及び13%であった。また、世界の牛の総数及び推定メタン発生量に占める発展途上国の割合は71%及び62%であった。さらに、表7の結果から泌乳牛及びその他の牛において乾物摂取量当たりのメタン発生量を算出すると、先進国ではそれぞれ31及び351であり、発展途上国ではそれぞれ35及び351



であった。これらのことから、メタン発生量と家畜の飼養形態との関係を解析し、その変動要因を給与栄養素構成との関係で説明することにより、先進国においても飼料給与法を改善することによって泌乳牛以外からのメタン発生量を13%低減でき、また、発展途上国においては全メタン発生量を13%低減できることが示唆された。

表7. 世界の主要地域における牛からの推定メタン発生量

| 地域                    | 乾物摂取量       |      | メタン発生量     |       | 家畜頭数     |           | メタン発生量<br>Tg/year        |
|-----------------------|-------------|------|------------|-------|----------|-----------|--------------------------|
|                       | 泌乳牛         | その他  | 泌乳牛        | その他   | 泌乳牛      | その他       |                          |
|                       | kg/day/head |      | l/day/head |       | 1000head |           |                          |
| アフリカ                  | 4.95        | 3.73 | 173.3      | 129.9 | 37,505   | 150,018   | 6.78(7.46) <sup>2)</sup> |
| 北アメリカ                 | 16.20       | 5.79 | 452.7      | 201.5 | 11,256   | 101,305   | 6.65                     |
| 中央アメリカ                | 8.00        | 6.65 | 270.2      | 229.4 | 6,533    | 43,722    | 3.08(3.39)               |
| 南アメリカ                 | 8.00        | 6.65 | 270.2      | 229.4 | 36,075   | 241,428   | 16.98(18.68)             |
| 日本、韓国                 | 15.80       | 4.39 | 446.4      | 153.7 | 1,659    | 5,883     | 0.43                     |
| 中央アジア                 | 7.70        | 5.69 | 261.4      | 198.4 | 2,771    | 89,598    | 4.82(5.30)               |
| 東南アジア                 | 6.33        | 2.98 | 218.9      | 102.4 | 41,196   | 233,447   | 8.58(9.44)               |
| 中東                    | 4.95        | 3.73 | 173.3      | 129.9 | 4,636    | 18,545    | 0.84(0.92)               |
| 西ヨーロッパ                | 13.75       | 6.20 | 410.1      | 214.9 | 27,301   | 60,767    | 6.32                     |
| 東ヨーロッパ, 旧ソ連           | 11.00       | 7.24 | 350.2      | 247.6 | 41,366   | 96,519    | 10.01                    |
| オセアニア                 | 9.50        | 7.33 | 312.2      | 250.2 | 2,285    | 30,362    | 2.17                     |
| 先進国 <sup>1)</sup>     | 12.49       | 6.46 | 384.3      | 223.4 | 83,867   | 294,836   | 25.58                    |
| 発展途上国 <sup>1)</sup>   | 6.42        | 4.74 | 221.9      | 166.1 | 128,717  | 776,757   | 41.08(45.18)             |
| 全世界主要地域 <sup>1)</sup> | 8.55        | 5.20 | 286.0      | 181.8 | 212,584  | 1,071,593 | 66.65(70.76)             |

1) 家畜頭数を重みづけした平均値または合計値

2) 括弧内の値は、発展途上国からのメタン発生量を10%増として試算した場合の値。

#### 4. まとめ

反芻家畜のルーメン発酵の過程で発生するメタンが、反芻家畜の主要なエネルギー源であるVFA由来でないことから、繊維質のルーメン内発酵産物であるVFAを利用できる反芻家畜の消化特性を維持しながらメタン発生量を制御できる可能性が示唆された。また、高栄養時と比べて低栄養時に単位乾物摂取量当たりのメタン発生量が低下したこと、および給与飼料中の乾草割合によりメタン発生量が影響されたことから、反芻家畜からのメタン発生量は栄養管理により制御できる可能性が示された。

また、反芻家畜からのメタン発生量推定式を求めるために、種々の飼料構成の良質飼料を給与

して測定した牛、羊、山羊からのメタン発生量 (Y, l/day) に関する実験データを解析した。その結果、乾物摂取量 (X, kg/day) のみを説明変数とする簡易な推定式

$Y = -17.766 + 42.793X - 0.849X^2$  が得られ、これは日本及び先進国において良質飼料を給与された全反芻家畜に適用できるものと考えられた。

さらに、発展途上国を想定した低質飼料条件下における牛からのメタン発生量についても検討した。その結果、蛋白質含量と消化率の低い飼料給与時における反芻家畜からのメタン発生量は、先進国型の良質な飼料給与時におけるメタン発生量推定式で得られる値と比較して、0~10%増加するが、低蛋白質飼料であっても消化率が高い場合にはメタン発生量が低減することが示唆された。しかし、例数が少なく不確定要素もあることから、低質飼料給与時におけるメタン発生量の補正值を確定するまでには至らなかった。

現在までの成果から、日本及び世界の主要地域の牛からのメタン発生量を推定すると、それぞれ年間0.33Tg及び年間67~71Tgであった。

今後の研究方向としては、反芻家畜に低質飼料を給与している地域からのメタン放出量の推定精度を高めるために、データの蓄積を継続する必要がある。また、メタン発生量の変動要因を解析し、メタン発生量を制御する飼養技術の開発に取り組む必要がある。

## 5. 本研究により得られた成果

牛、羊及び山羊を用いて、給与飼料構成によるメタン発生量の変動要因を検討し、①ルーメン内発酵産物である酢酸、プロピオン酸、酪酸からのメタン産生はほとんど無いこと、②メタン発生量は、山羊、羊、牛の順に多くなるが、摂取乾物当たりでは動物間に有意な差がないこと、③メタン発生量が、乾草と濃厚飼料の給与比率に影響されたことから、メタン菌の増殖は給与飼料構成に影響されることが示された。また、反芻家畜を供試した190回の呼吸試験データから、メタン発生量の簡易な推定には飼料乾物摂取量が有効であることを明らかにし、ホルスタイン種（泌乳牛、妊娠牛、乾乳牛、未経産牛及び肥育去勢牛）、黒毛和種（妊娠牛、成雌非妊娠牛及び肥育去勢牛）、コリーデール種成去勢雄めん羊及び日本在来種成去勢山羊を用いて、④先進国型の良質な飼料を給与されている場合の反芻家畜からのメタン発生量 (Y, l/day) は、乾物摂取量 (X, kg/day) のみを説明変数とする回帰式  $Y = -17.766 + 42.793X - 0.849X^2$  により推定できることを明らかにした。しかし、低栄養条件下における飼料摂取量とメタン発生量との関係から、⑤低消化性低蛋白質飼料を給与している地域の反芻家畜からのメタン発生量を推定する場合には、先進国型の良質飼料を給与された反芻家畜からのメタン発生量の0~10%程度増とする必要があることを示した。また、これらのデータを基に、⑥日本の家畜からのメタン発生量を0.345Tgと推定し、全世界での家畜からのメタン発生量に対する割合は約0.5%であることを明らかにした。さらに、⑦世界の主要地域における牛からのメタン発生量は、年間66.7~70.8 Tgと推定された。

## 6. 参考文献

- 1) Blake D.R.: Increasing Concentration of Atmospheric Methane, 1979-1983, PhD Thesis. University of California. Irvine. 1984.

- 2) Bouwman, A.F., G.J. Van Den Born and R.J. Swart: Land-use related sources of CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O. Current global emissions and projections for the period 1990-2100. National Institute of Public Health and Environmental Protection Bilthoven. The Netherlands, Report 222901004. 1992.
- 3) Crutzen, P.J., I. Aselmann and W. Seiler: Methane production by domestic animals, wild ruminants, other herbivorous fauna, and humans. *Tellus*, 33B: 271-284. 1986.
- 4) EPA: International Anthropogenic Methane Emissions: Estimates for 1990. U.S. EPA 230-R-93-010. 1994.
- 5) FAO: Production 1991. in "FAO yearbook". FAO. Rome Italy. 1992.
- 6) 農林水産省技術会議事務局: 日本飼養標準(肉用牛). 中央畜産会. 東京. 1987.
- 7) 農林水産省技術会議事務局: 日本飼養標準(乳牛). 中央畜産会. 東京. 1987.
- 8) 農林水産省: 畜産統計. 農林統計協会. 東京. 1992.
- 9) Saitoh, M., Methane excretion in fattening pigs and pregnant sows. *Jpn. J. Zootech. Sci.*, 59: 773-778. 1988.

[研究発表の状況]

1. 論文等発表

- 1) Terada, F., T. Nishida and M. Shibata: Metabolizable energy requirements of Holstein cows during single and twin pregnancy with different breed's fetuses (Japanese Black Breed). *Proc. 12th Sympo. on Energy Metabolism of Farm Animals. EAAP Pub. No.58. p341-344. 1991.*
- 2) Shibata, M., F.Terada, K.Iwasaki, M.Kurihara, T.Nishida: Methane production in heifers, sheep and goats consuming various hay-concentrate ratios: *Anim. Sci. Technol. (Jpn.)*, 63: 1221-1227. 1992.
- 3) Shibata, M., F.Terada, M.Kurihara, T.Nishida, K.Iwasaki: Estimation of methane production in ruminants. *Anim. Sci. Technol. (Jpn.)*, 64: 790-796. 1993.
- 4) Shibata, M: CH<sub>4</sub> emission from livestock in Japan. *Proc. on Disturbed Climate Vegetation and Foods. J. Agr. Met.*, 48: 707-710. 1993.
- 5) Shibata, M., M. Kurihara, T. Nishida, F. Terada, Agung Purnomoadi and J.C. Ku Vera: Efficiency of energy utilization of volatile fatty acids by mature cattle given a hay or high-concentrate diet. *Proc. 13th Sympo. on Energy Metabolism of Farm Animals. EAAP Pub. No.76. p171-174. 1994.*
- 6) Shibata, M.: Methane Production in ruminants. In "CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O global emissions and controls from rice fields and other agricultural and industrial sources" (Minami, K., A. Mosier and R. Sass, eds.) p105-115. Yokendo Pub. Tokyo. 1994.
- 7) Shibata, M., M. Kurihara, T. Nishida and Agung Purnomoadi: Dietary factors affecting methane production. *Proc. of controlling methane and nitrogen cycle on farms. Silsoe Res. p45-48. UK-Japan Workshop. Bedford. 1995.*

## 2. 学会等発表

- 1) 柴田正貴・寺田文典・西田武弘・鎌田八郎：乳牛における揮発性脂肪酸（VFA）のエネルギー利用 1. 乾草給与時におけるVFA注入の維持エネルギー水準での検討. 第84回日本畜産学会. 1991年 3月.
- 2) 柴田正貴・寺田文典・西田武弘：乳牛における揮発性脂肪酸（VFA）のエネルギー利用 2. 濃厚飼料多給時におけるVFA注入の維持エネルギー水準での検討. 第85回日本畜産学会. 1992. 3.
- 3) 寺田文典・西田武弘・柴田正貴・阿部啓之・鎌田八郎・小沢明仁：去勢牛の肥育時におけるエネルギー要求量について. 第85回日本畜産学会. 1992. 3.
- 3) Shibata, M: CH<sub>4</sub> production in ruminants. Proc. CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O Workshop. 106-115. 1992.
- 4) 柴田正貴・寺田文典・岩崎和雄・栗原光規・西田武弘：牛、めん羊及び山羊のメタン発生量に及ぼす乾草と濃厚飼料給与比率の影響. 第86回日本畜産学会. 1992. 8.
- 5) 柴田正貴・寺田文典・栗原光規・西田武弘・岩崎和雄：反芻家畜からのメタン発生量の推定. 第87回日本畜産学会. 1993. 3.
- 6) 柴田正貴・栗原光規・西田武弘：乳牛における揮発性脂肪酸（VFA）のエネルギー利用 4. 乾草給与及び濃厚飼料多給時における維持の1.5倍水準での検討. 第88回日本畜産学会. 1994. 3.
- 7) 栗原光規・西田武弘・柴田正貴：微生物の動態および窒素出納に及ぼす揮発性脂肪酸（VFA）の影響 2. 乾草給与時における乾乳牛での検討. 第88回日本畜産学会. 1994. 3.

## 3. 雑誌等発表

- 1) Shibata, M: Ruminant livestock and global warming. Farming Japan. 25:39-43. 1991.
- 2) 柴田正貴：反芻家畜と地球温暖化. FEEDING. p53-71. フカフ出版社. 1992.
- 3) 柴田正貴：反芻家畜からのメタン生成量とその抑制. 地球温暖化とわが国の畜産. p17-36. 畜産技術協会. 東京. 1992.
- 4) 柴田正貴：反芻家畜からのメタン生成量とその制御. 地球温暖化とわが国の畜産 第二集. p24-51. 畜産技術協会. 東京. 1993. 3.
- 5) 柴田正貴：反芻家畜からのメタン発生と地球の温暖化. 中国農試畜産部資料. P1-12. 農
- 6) 柴田正貴：動物から発生するメタンと地球温暖化. Newton. 8: 134. 教育社. 東京. 1993. 水省中国農試. 1993.
- 7) 柴田正貴：反芻家畜のメタン発生と地球の温暖化. 畜産コンサルタント. 29: 43-47. 中央畜産会. 東京. 1993.
- 8) 柴田正貴：地球温暖化が飼料作物および家畜生産におよぼす影響とその対策. 地球温暖化とわが国の畜産 第三集. p87-99. 畜産技術協会. 東京. 1994.