

温室効果ガスの抑制

日本の気候(高温多湿)

- 暑熱の影響： $a \times \text{温度} + b \times \text{湿度} + c \times \text{放射熱量} - d \times \text{風速}$
- 日本はアジアモンスーン地帯にあり、夏季の高温多湿が大きな特徴
- 夏季に高気温になると、温度よりも高湿度の影響が大きい(適温域では湿度や風はほとんど問題にならない)

表，飼料自給率の推移(%)

| | 昭50 | 平 2 | 平21 |
|---------|------|------|------|
| 酪農 (全国) | 44.7 | 39.6 | 33.8 |
| 北海道 | 74.8 | 60.7 | 51.5 |
| 都府県 | 31.8 | 26.1 | 15.4 |
| 肉牛・繁殖 | 71.4 | 63.5 | 48.2 |
| 肉専肥育 | 14.8 | 8.2 | 2.1 |
| 乳雄肥育 | -- | 3.6 | 0.9 |

粗飼料によるメタン抑制

- 粗飼料によってメタン発生量が異なる：繊維の消化が良い場合と全体の消化が良い場合にメタン発生量が多い
- **イネ科牧草**：一般的な粗飼料で、繊維含量が多い（イタリアンライグラス、チモシーなど）
- **マメ科牧草**：繊維が少なく、消化管通過速度が速い（アルファルファ、クローバ類）
- **トウモロコシ**：高エネルギー飼料で、消化率が高い

ホルスタイン種乳牛



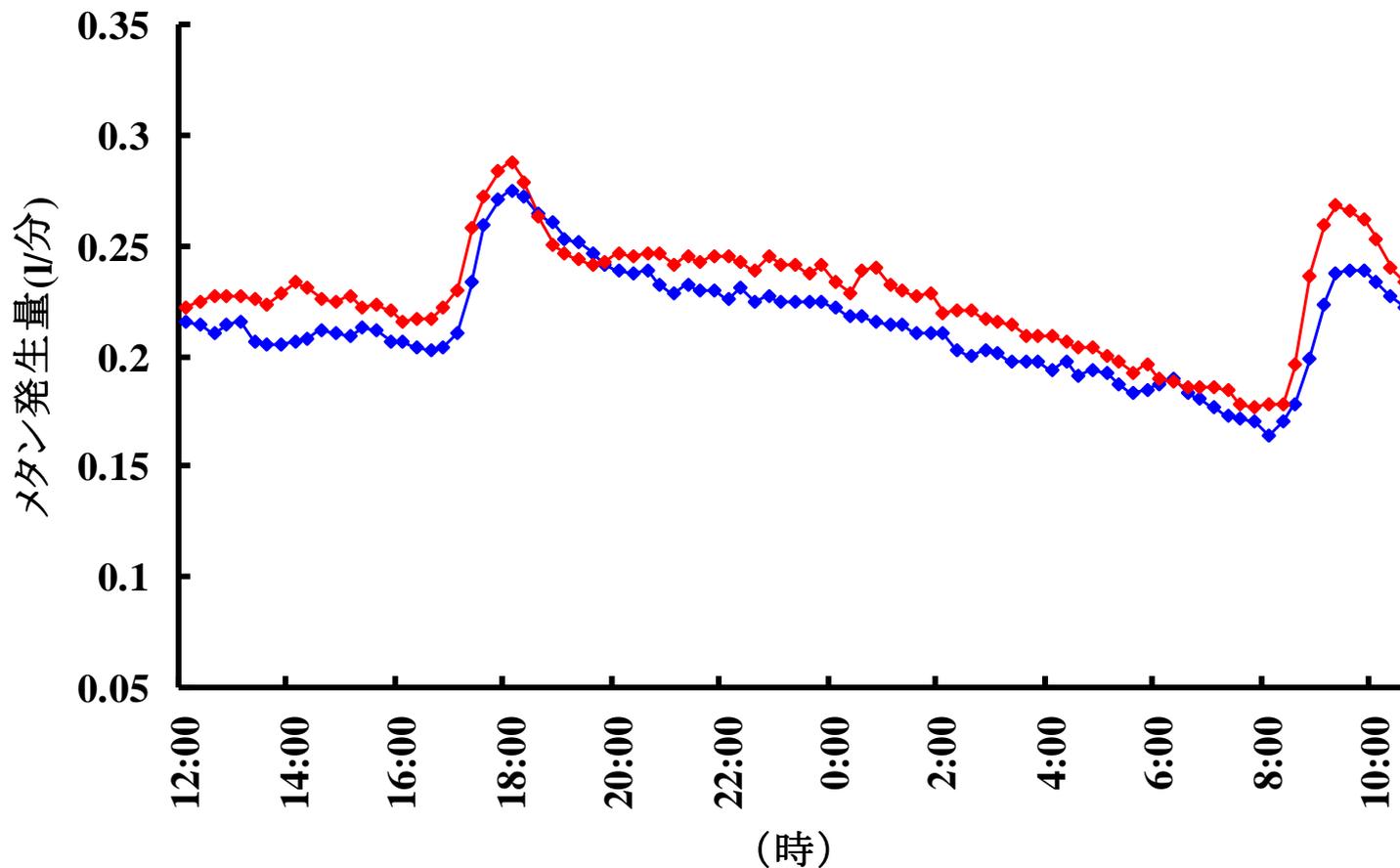
黒毛和種



褐毛和種



チモシー給与牛のメタン発生量 (早刈り乾草区と遅刈り乾草区)

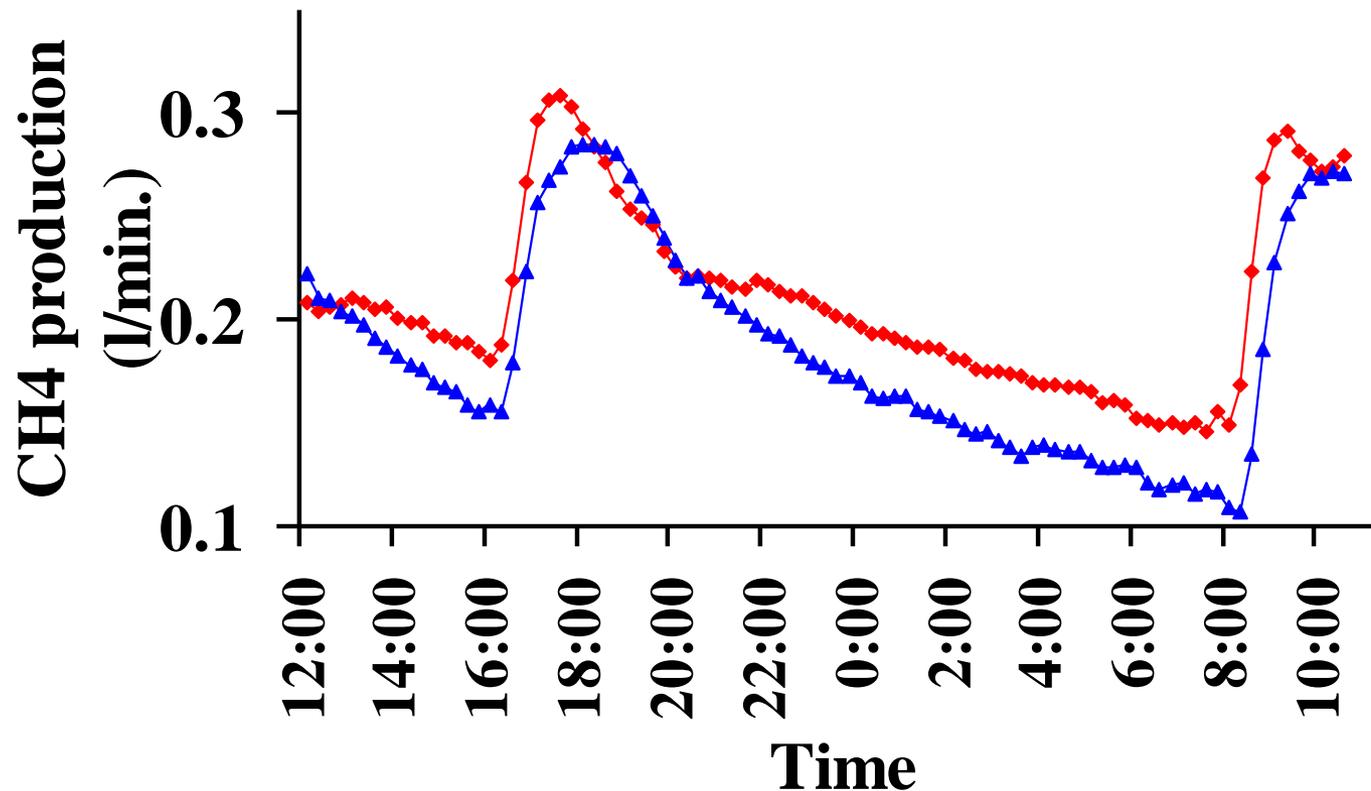


図、早刈り乾草区(◆)と遅刈り乾草区(■)のメタン発生量.

アルファルファ

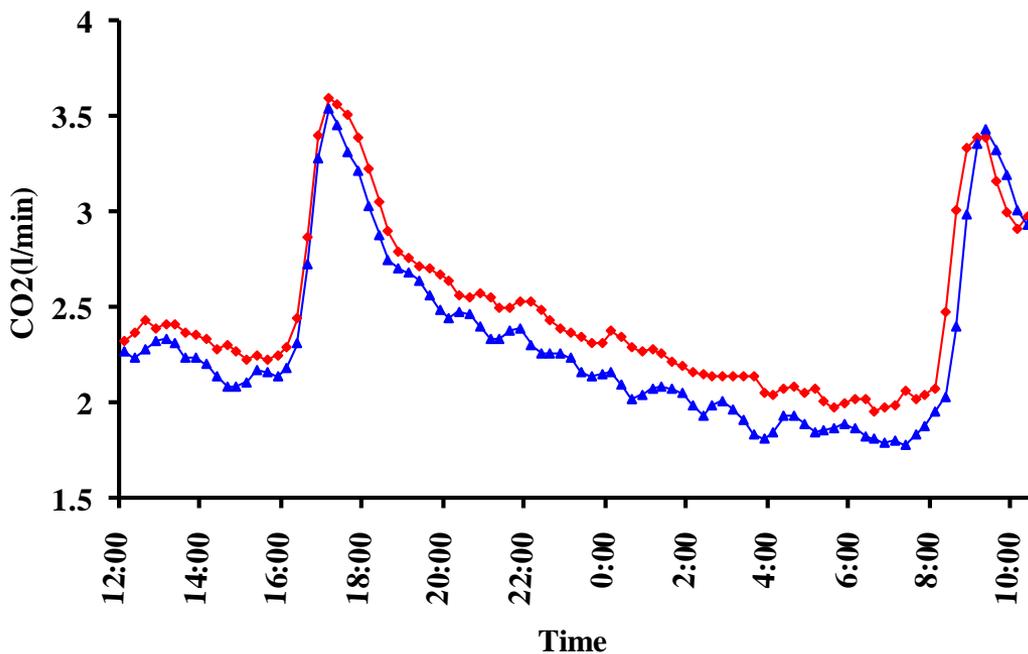
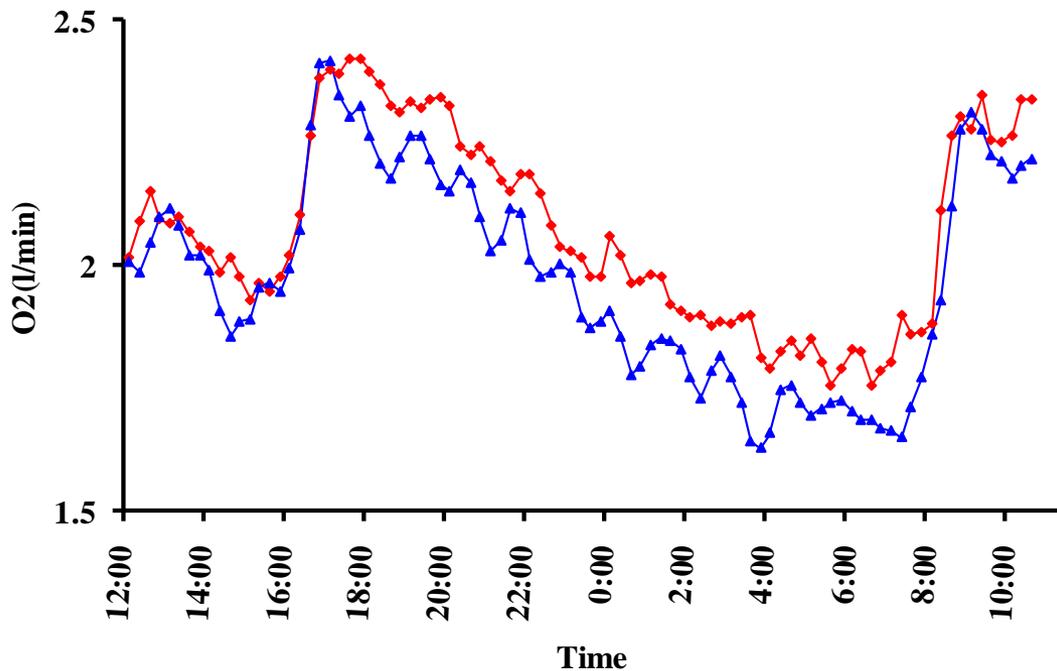


乳牛のメタン発生量(グラス給与区とグラス+アルファルファ給与区)

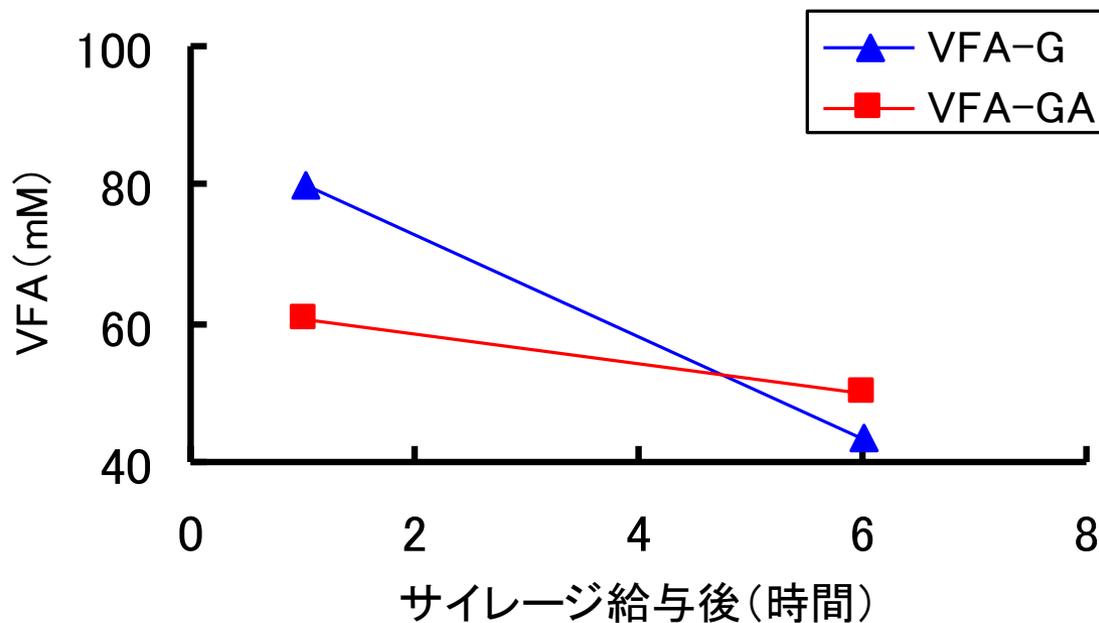
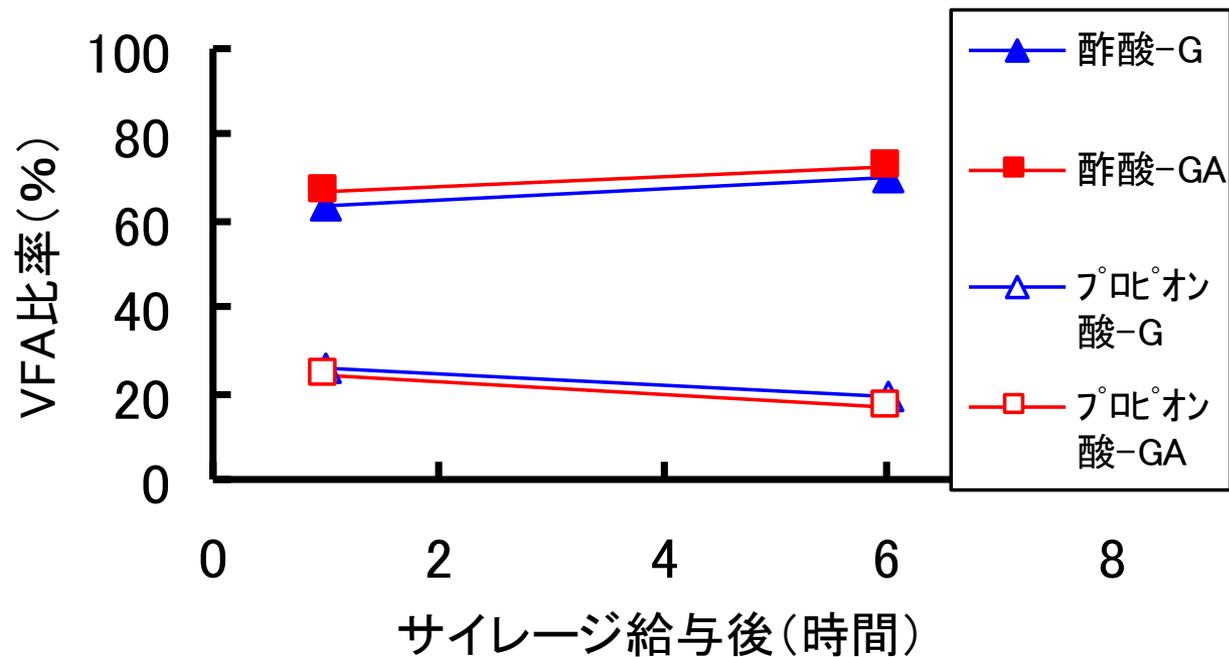


図、グラス給与区(◆)とグラス+アルファルファ(1:1の比率)給与区(■)のメタン発生量.

図、グラス給与区(◆)とグラス+アルファルファ(1:1の比率)給与区(■)の酸素消費量と二酸化炭素発生量.



図、乾乳牛の
VFA産生量
(アルファルファ区と
アルファルファ+グ
ラス区)

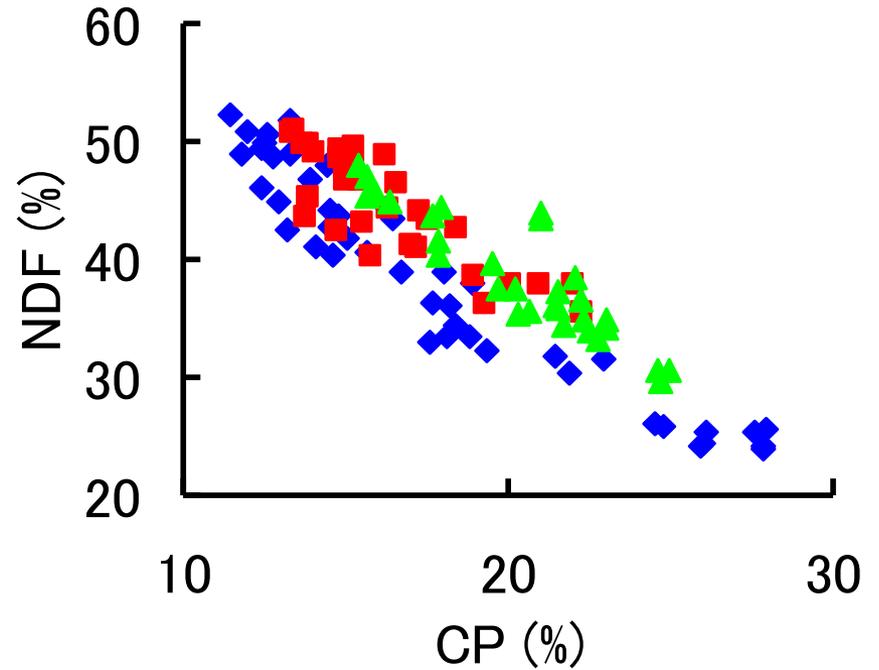
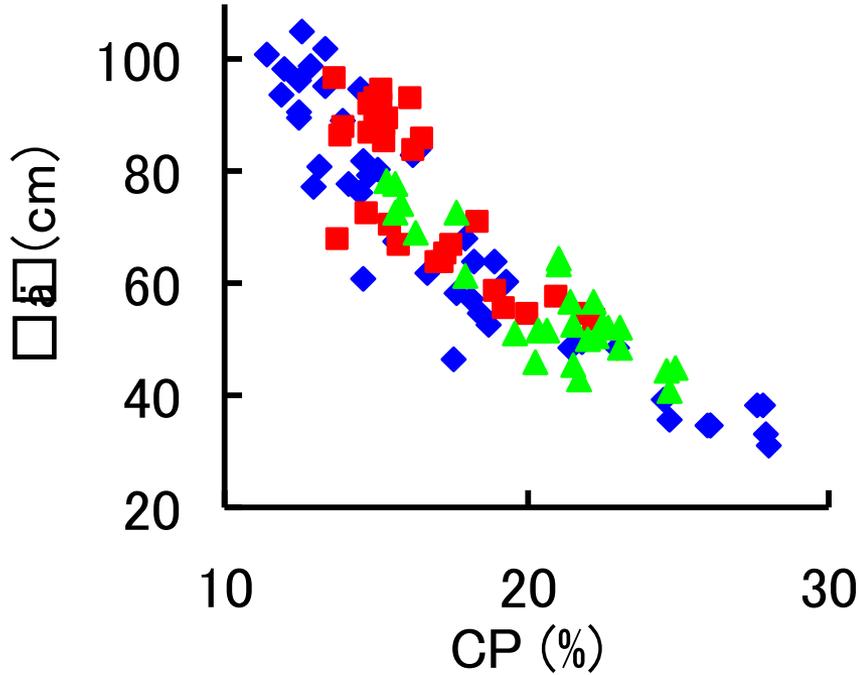


飼料成分と消化率(%)

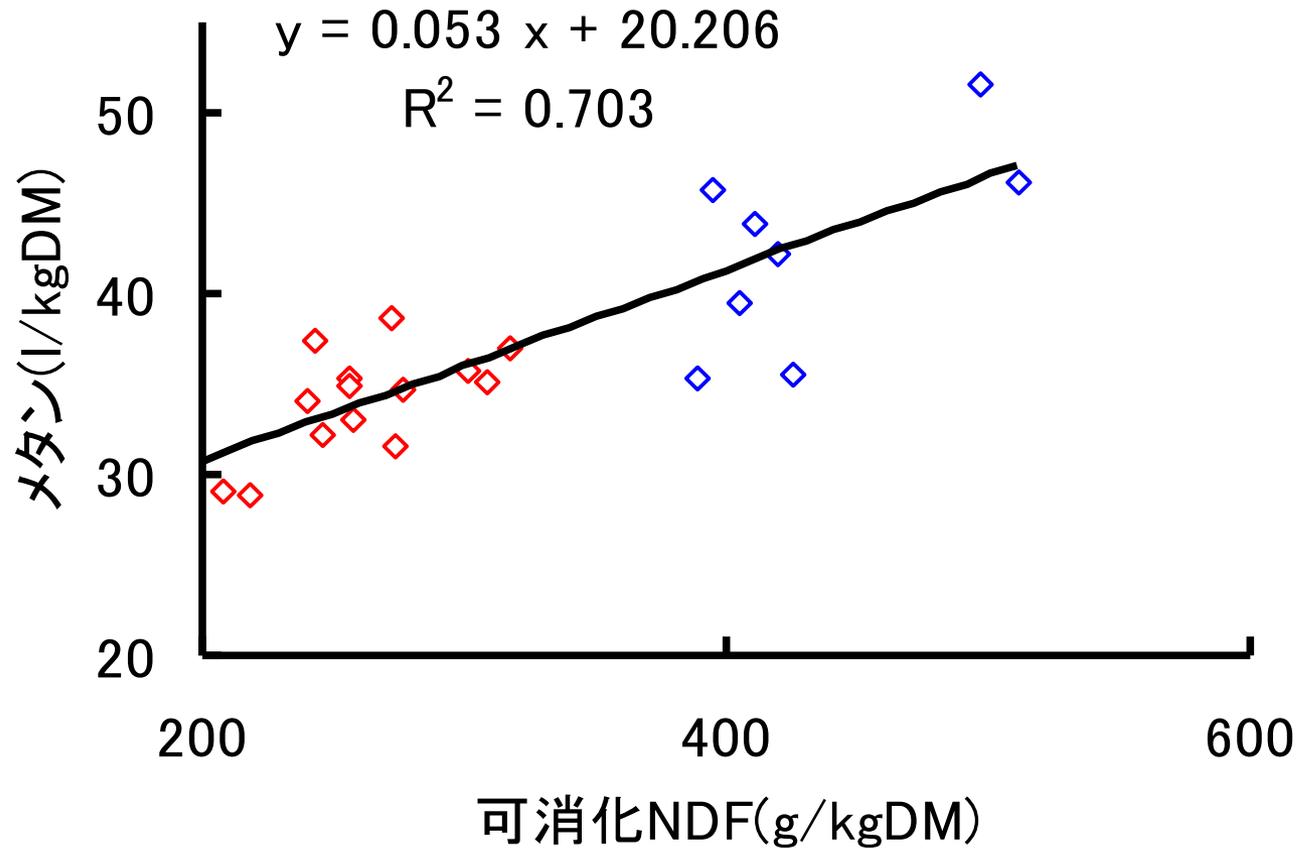
| | | グラス | グラス+アルファルファ |
|-----|-----|-------|-------------|
| 成分 | OM | 93.0 | 91.1 |
| | ADF | 39.2 | 41.3 |
| | NDF | 60.8 | 56.0 |
| 消化率 | OM | 64.0a | 59.7b |
| | ADF | 62.0a | 50.3b |
| | NDF | 65.0a | 52.8b |

a, b $P < 0.05$

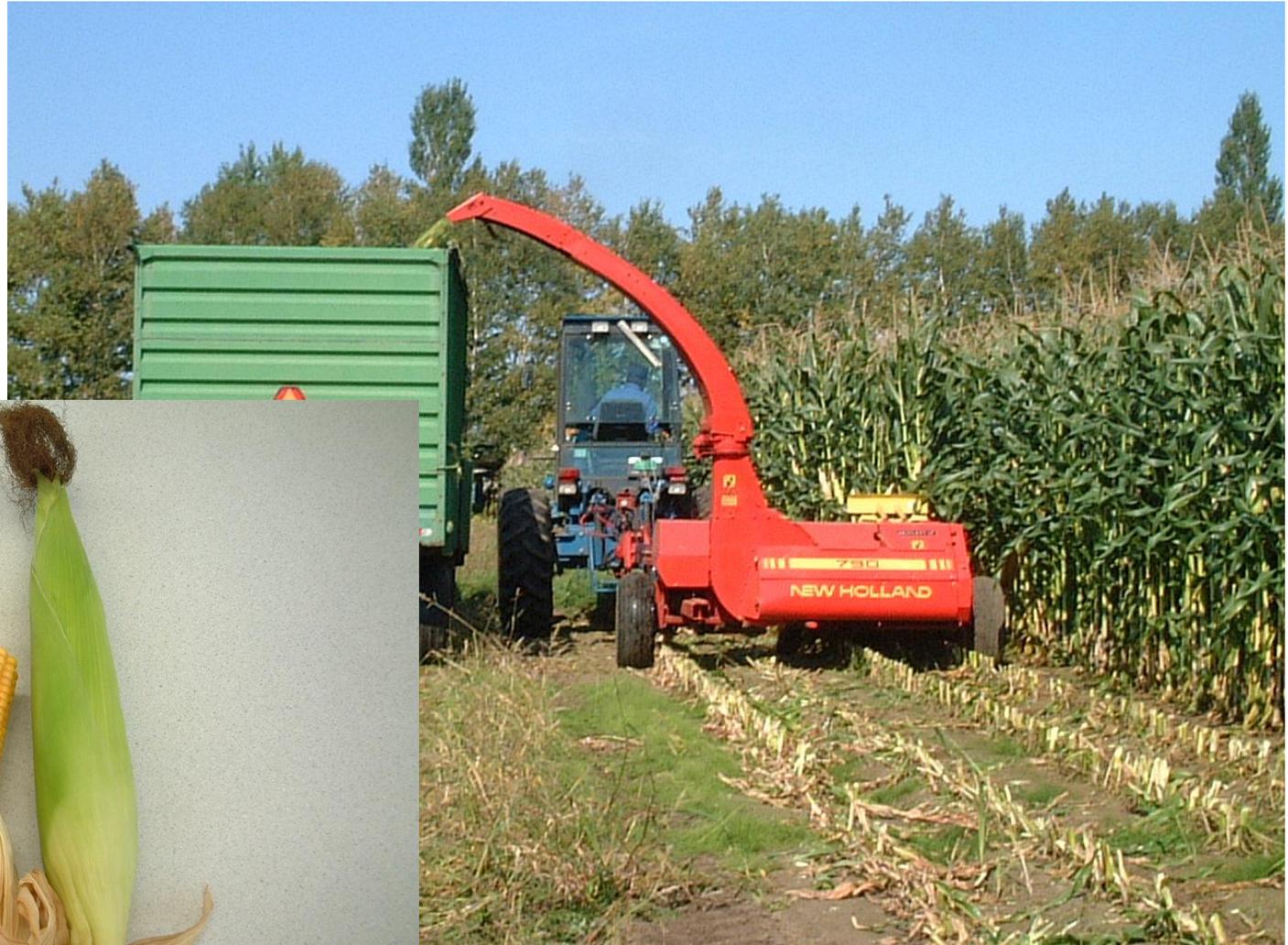
図、アルファルファの一番草(◆)、2番草(■)、3番草(▲)の草丈とNDF



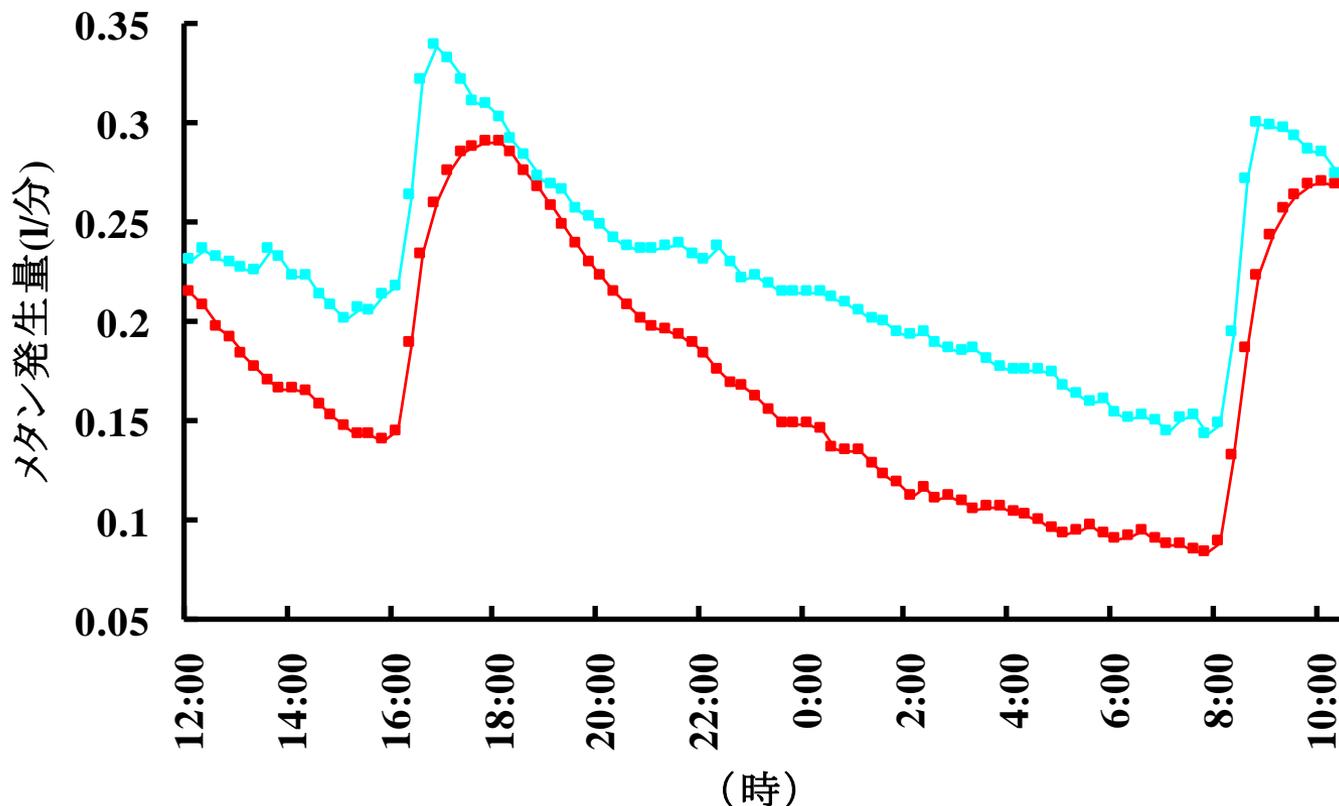
メタン発生量と可消化NDFの関係 (アルファアルファ; \diamond 、グラス; \diamond)



トウモロコシ



乳牛のメタン発生量(アルファルファ 給与区とコーンサイレーズ給与区)



図、アルファルファ給与区(◆)とコーンサイレーズ給与区(■)のメタン発生量.

乾乳牛のメタン発生量

| | イネ科 | アルファルファ | コーン |
|----------------------|------|---------|------|
| DMI、kg/日 | 7.7 | 8.1 | 6.9 |
| エネルギー摂取量に対する損失量の比率、% | | | |
| 糞 | 34.7 | 36.0 | 26.4 |
| 尿 | 4.0 | 4.9 | 4.3 |
| メタン | 8.6 | 7.4 | 9.8 |
| 熱発生量 | 52.5 | 48.4 | 58.1 |

飼料成分と消化率(%) : 乾乳牛

| | | イネ科 | アルファルファ | コーン |
|-----|-----|------|---------|------|
| 成分 | OM | 93.2 | 89.5 | 94.7 |
| | ADF | 37.2 | 35.3 | 23.3 |
| | NDF | 61.9 | 44.9 | 37.8 |
| 消化率 | OM | 68.2 | 66.3 | 75.2 |
| | ADF | 66.0 | 56.8 | 62.5 |
| | NDF | 69.7 | 57.9 | 63.0 |

消化率と飼料摂取量当たりのメタン発生量の関係(Blaxtar ら、1965)

- 維持水準(乾乳牛に相当)給与時:消化率が65%から90%に上昇すると、メタン発生量は7.5%から9%に上昇
- 維持の3倍水準(泌乳牛に相当)給与時:消化率が65%から90%に上昇すると、メタン発生量は6%から5%に低下
- メタン発生量推定式:飼料の消化率と給与水準

泌乳牛の乳生産

| | イネ科 | アルファルファ |
|------------|------|---------|
| 体重、kg | 596 | 592 |
| 乾物摂取量、kg/日 | 19.9 | 22.3 |
| 飲水量、kg/日 | 89.6 | 110.8 |
| 乳量、kg/日 | 29.2 | 31.1 |
| 乳脂率、% | 4.80 | 4.49 |
| 乳蛋白質率、% | 3.38 | 3.31 |

粗飼料と濃厚飼料の比率（60：40）

泌乳牛のメタン発生量

イネ科区 アルファルファ区

エネルギー摂取量に対する損失量の比率, %

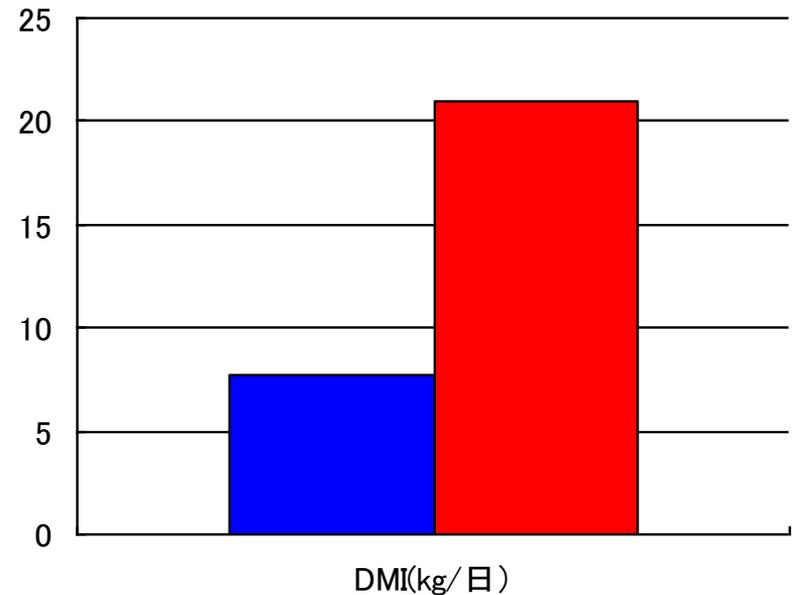
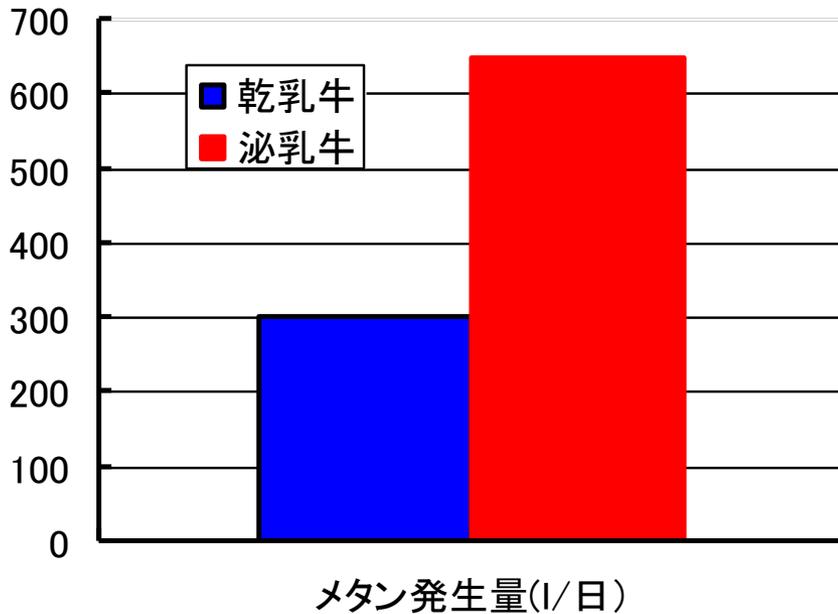
| | | |
|------|------|------|
| 糞 | 30.2 | 31.1 |
| 尿 | 3.1 | 3.3 |
| メタン | 6.5 | 6.3 |
| 熱発生量 | 28.8 | 27.6 |
| 牛乳 | 24.3 | 22.6 |

飼料成分と消化率(%) : 泌乳牛

| | | イネ科 | アルファルファ |
|-----|-----|------|---------|
| 成分 | OM | 93.4 | 91.6 |
| | ADF | 26.6 | 26.1 |
| | NDF | 45.8 | 33.7 |
| 消化率 | OM | 71.5 | 71.1 |
| | ADF | 63.4 | 55.7 |
| | NDF | 64.6 | 52.2 |

粗飼料と濃厚飼料の比率 (60 : 40)

乾乳牛と泌乳牛のメタン発生量と 乾物摂取量



比率
(泌乳牛/
乾乳牛)

2.15倍
(301lと646l)

2.69倍
(7.8kgと21kg)

乾物摂取量とメタン発生量の関係 (柴田ら、1993)

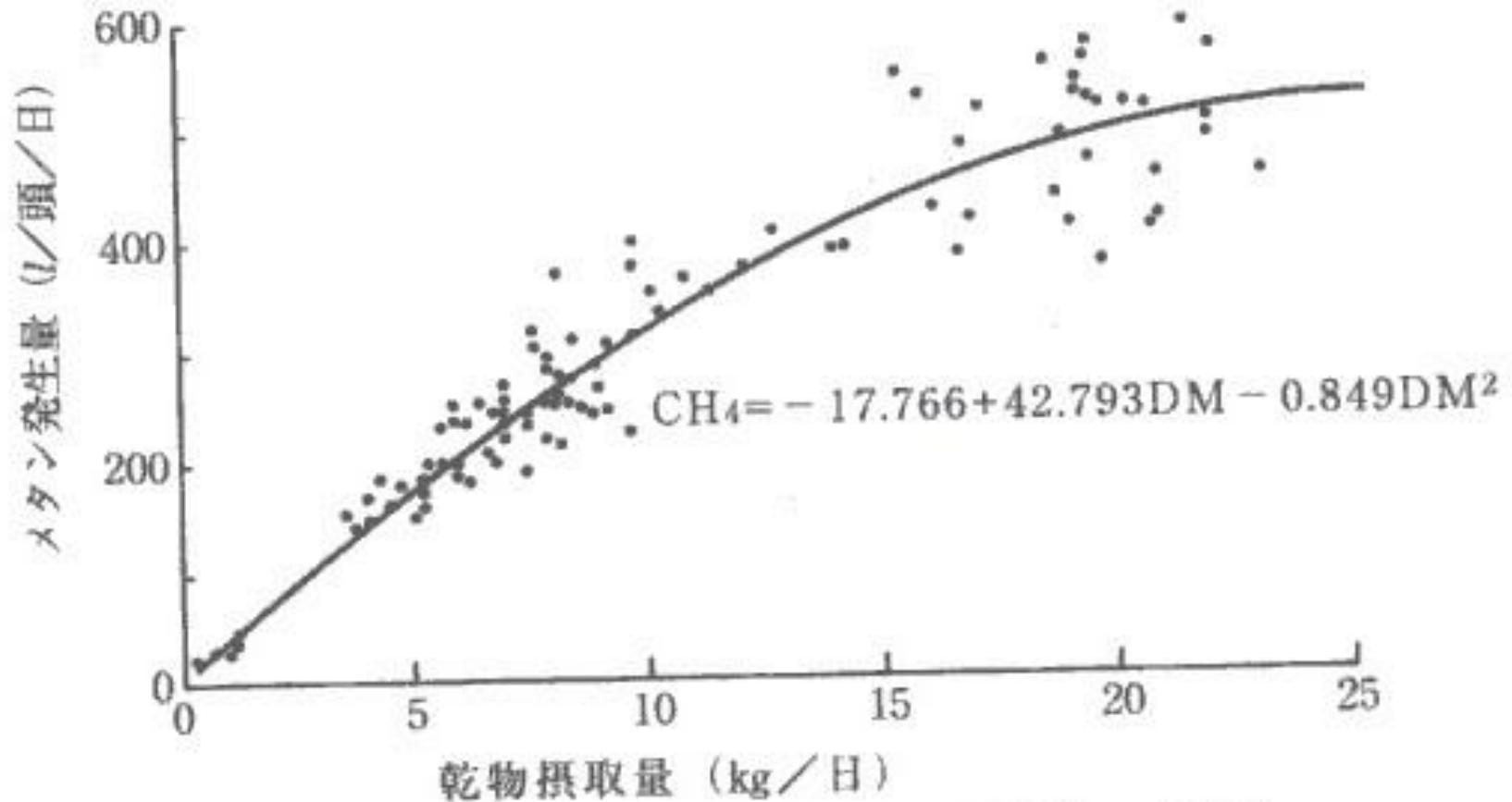
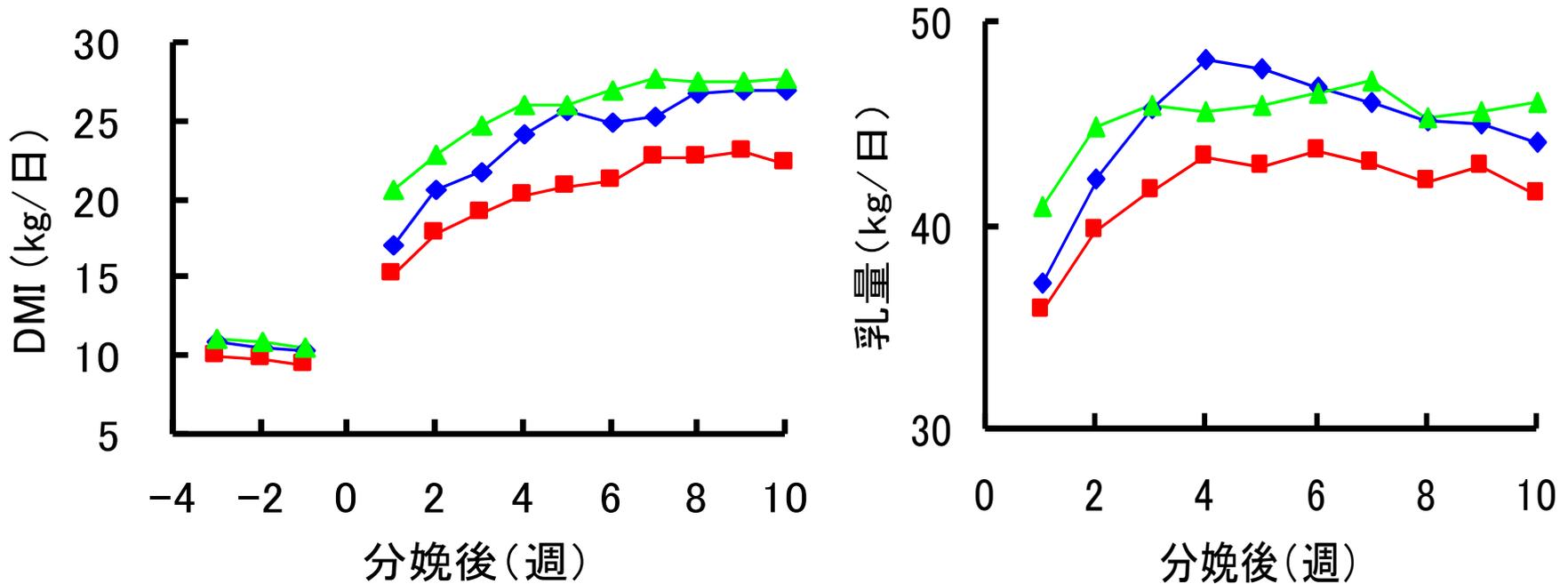


図2-7 乾物摂取量とメタン発生量との関係

泌乳牛へのアルファアルファと コーンサイレージ給与

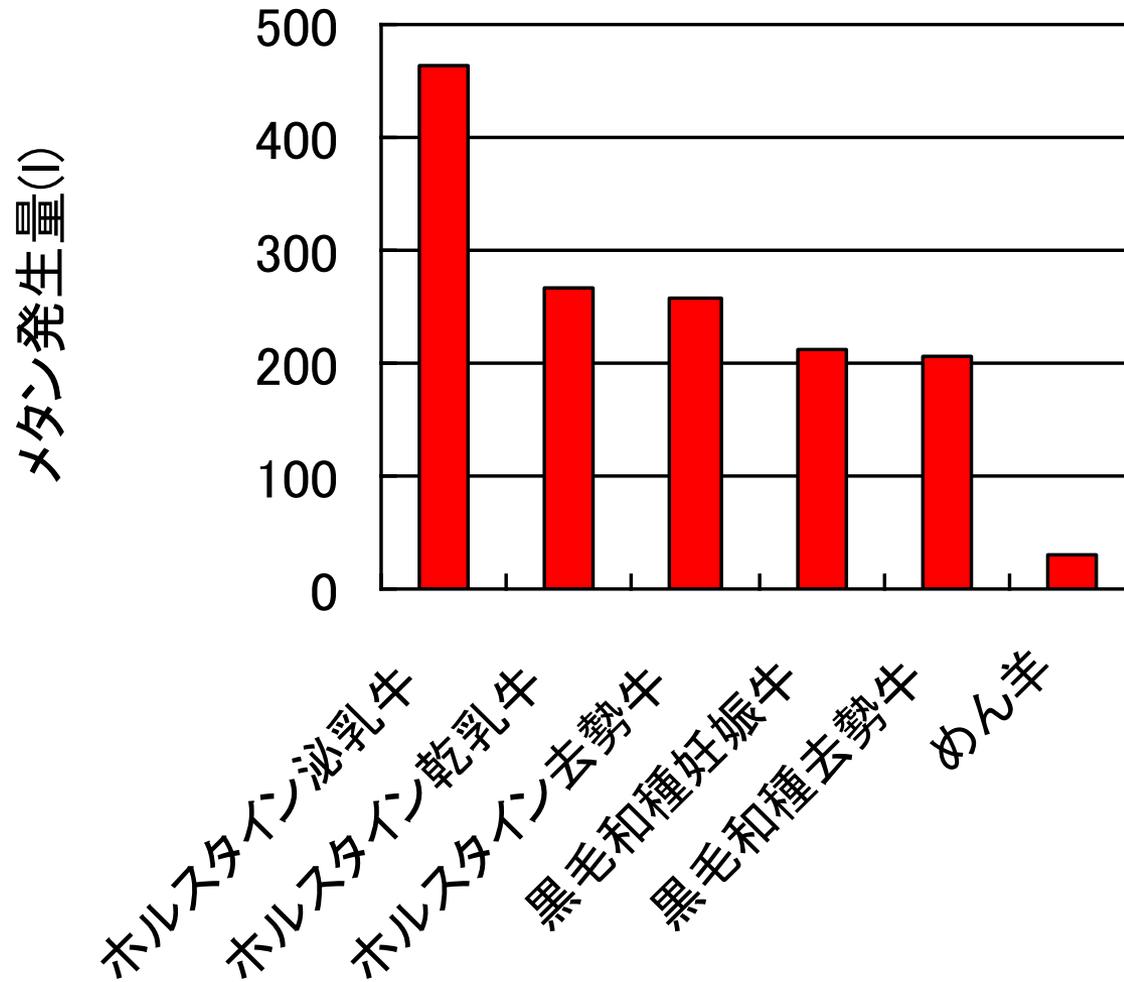


図、アルファアルファ給与区 (◆;n=7)、グラス給与区 (■;n=6)、コーン+アルファアルファ給与区 (▲;n=4)の乾物摂取量と乳量粗濃比: 50:50(グラス、アルファアルファ)、60:40(コーン).

生産性向上によるメタン抑制

- 1990年のメタン発生量の推定:80%が維持を満たすため、生産に係るのは20%
- 1頭当たりの乳生産・肉生産の効率を高めることによって、国内のメタン発生量を低減する(個体ではなく、総合量としてとらえる)
- 濃厚飼料多給が粗飼料多給よりもメタン発生量が少ない:繊維が少なく、生産性も向上する→穀物を多給すると飼料自給率の低下になる

家畜のメタン発生量(柴田ら、1993)

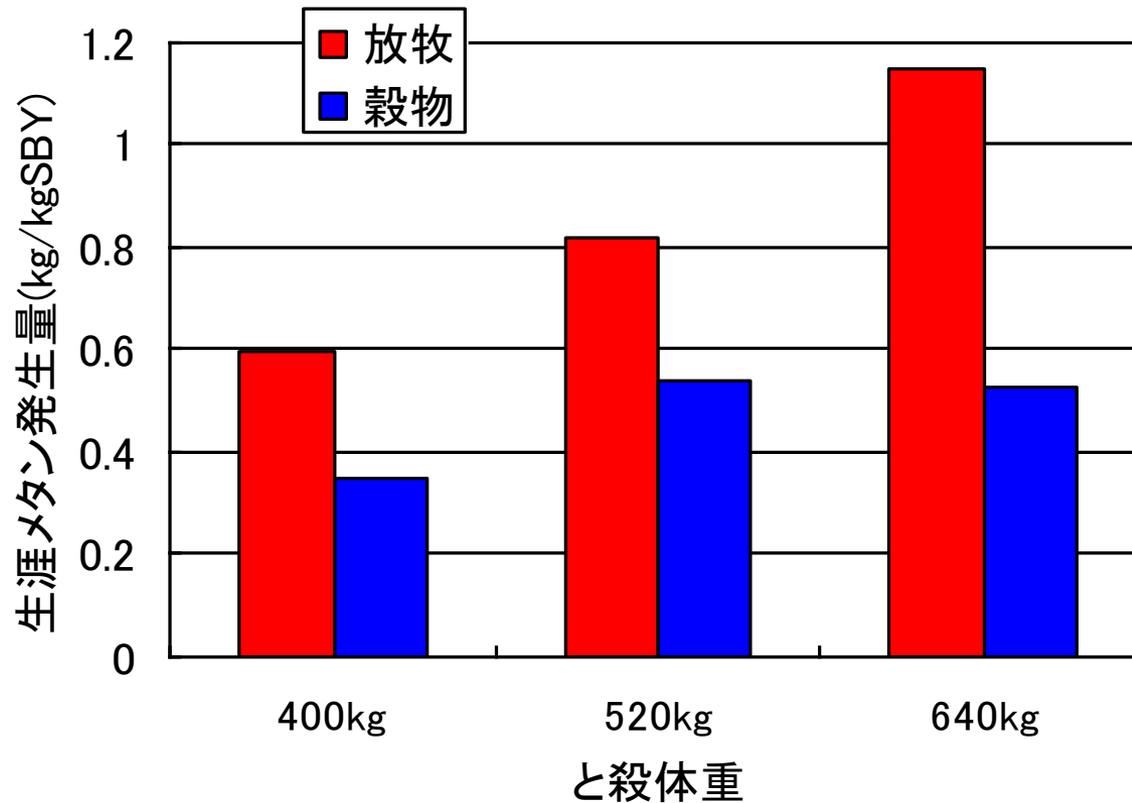


肥育牛では濃厚飼料多給時でもメタン発生量が多い

乳牛・肉牛のメタン発生量推定式

- 乳牛(柴田ら、1993): 乾物摂取量(x)
$$\text{CH}_4 = -17.766 + 42.793x - 0.8486x^2$$
- 繁殖牛(寺田ら、2002): 乾物摂取量(x)
$$\text{CH}_4 = 33.75x$$
- 肥育牛(寺田ら、2002): 摂取水準(可消化エネルギー摂取量/代謝体重: x)
$$\text{MCR}(\text{メタン発生量}/\text{総エネルギー摂取量}) = 13.89 - 8.08x$$

オーストラリアの肉牛の飼養形態によるメタン発生量(McCrabb,1998)



SBY=と体重量
- (皮下脂肪重量
+ 骨重量)

月齢: 20 16 28 22 37 24

表、メタン発生量と乳牛の生産性の関係(栗原ら、1996)

| | FCM量 (kg/日) | | | | |
|-----------|-------------|-------|-------|-------|-------|
| | 5 | 10 | 20 | 25 | 30 |
| FCM当たり | 70 | 38 | 22 | 19 | 17 |
| (l/kgFCM) | | (54) | (31) | (27) | (24) |
| 1日当たり | 350 | 380 | 410 | 475 | 510 |
| (l) | | (109) | (126) | (136) | (146) |

()内はFCM5kg時に対する百分率

肥育牛の増体量(DG)当たりの メタン発生量(寺田ら、1997)

- 粗飼料20%以上:

$$\text{CH}_4/\text{DG} = -342 * \text{DG} + 629$$

- 粗飼料20%未満:

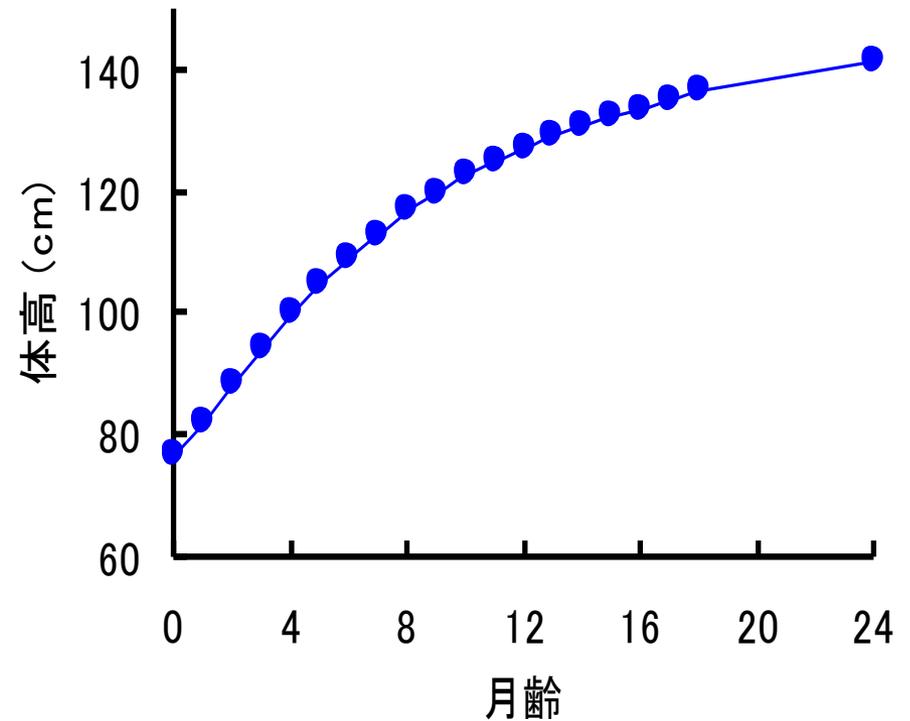
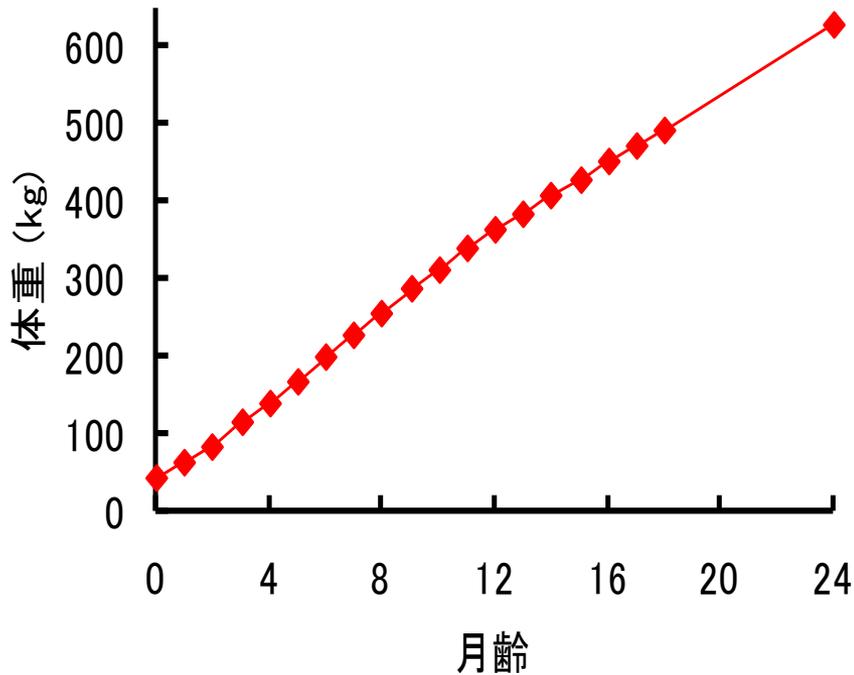
$$\text{CH}_4/\text{DG} = -267 * \text{DG} + 467$$



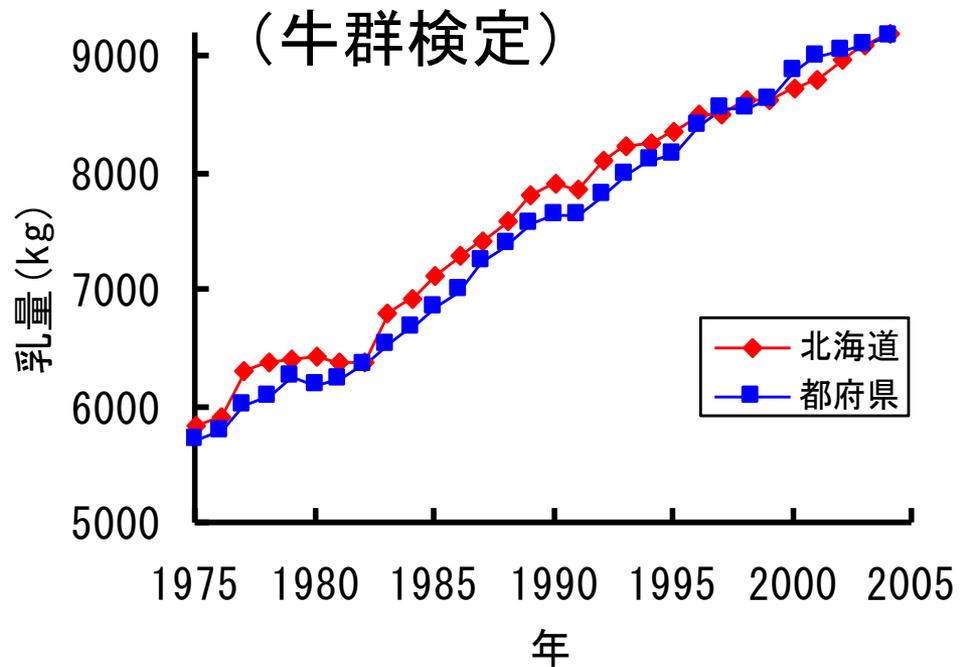
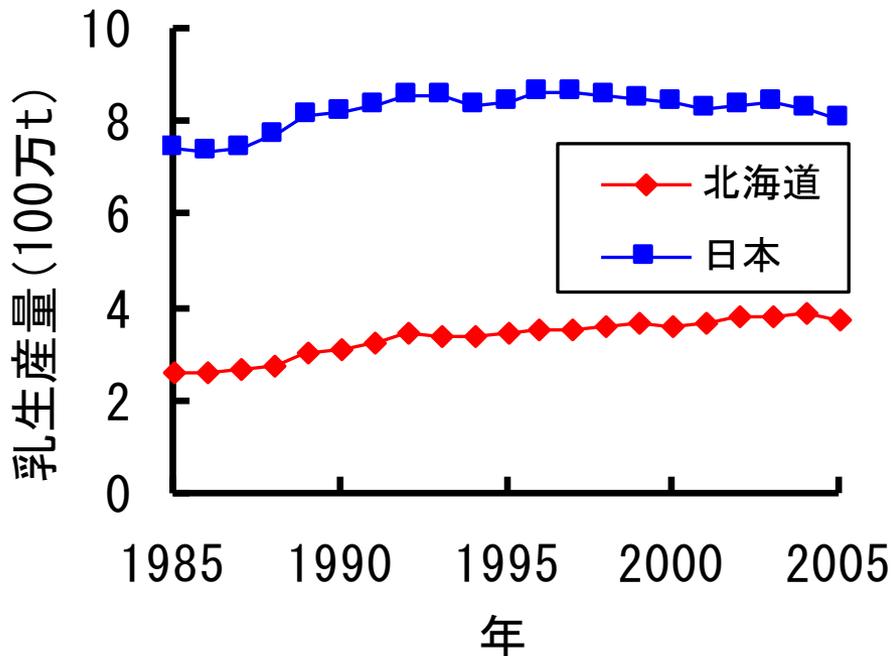
増体量の増加とともに、増体量当たりのメタン発生量が減少する(生産性向上による低減)

育成牛の体重、体高の変動(n=40)

--初産月齢の早期化(21ヶ月齢)



日本と北海道の乳生産量



・乳牛の飼養頭数は206万頭(平2)から153万頭(平20)に減少しても乳生産量はほぼ維持(平20:795万t)

表、わが国の家畜生産の推移

| | | 平 2 | 平12 | 平20 |
|-------|-------|-------|-------|-------|
| 酪農 | 頭数(万) | 205.8 | 176.4 | 153.3 |
| | 戸数(万) | 6.3 | 3.4 | 2.4 |
| 肉牛 | 頭数(万) | 270.2 | 282.3 | 289.0 |
| | 戸数(万) | 23.2 | 11.0 | 7.7 |
| 豚 | 頭数(万) | 1182 | 988 | 975 |
| ブロイラー | 羽数(億) | 1.50 | 1.08 | 1.03 |
| 採卵鶏 | 羽数(億) | 1.77 | 1.77 | 1.83 |

乳牛・肉用牛飼養頭数減少による メタン抑制

- 1990年に乳牛は205.8万頭が、2008年に153.3万頭に減り、肉牛は270.2万頭から289.0万頭に増えたが、**合計では476万頭から442万頭と約7.2%減少している**



2008-2012年には頭数だけで6%以上減ることが予測できるが、同時にメタン低減のための技術開発を進めることが重要（窒素・ミネラルも同じことがいえる）

新技術開発と生産性・安全性

- プロトゾアの除去と生産性
 ルーメン微生物の制御
- 脂肪酸カルシウムの添加
- 遺伝子組み換えルーメン微生物
- 遺伝子組み換え成長ホルモン
- イオノフォア(抗生物質)の利用

プロトゾアの除去と生産性

- ・プロトゾアはメタンを生成しないが、発酵産物として水素を多く生成するので、メタン菌が付着しやすい



- ・ルーメンからプロトゾアを除去するとメタン生成は約20%低減し、プロピオン酸の比率も高まるが、繊維の消化率が低下する
- ・メタン生成はエネルギーの損失であるが、繊維(セルロース)の利用に欠かせない(水素除去)

各種添加物によるメタン抑制

1. 代謝性水素のメタン以外の還元生成物の増強

プロピオン酸生成の前駆物質の利用

長鎖脂肪酸や天然油脂の添加

2. メタン菌やプロトゾアの抑制

ハロゲン化合物(ブロモクロロメタン)などのメタン
阻害剤

モネンシンなどのイオノファ利用

3. 繊維の消化性の向上

酵母発酵培養物、セロオリゴ糖など

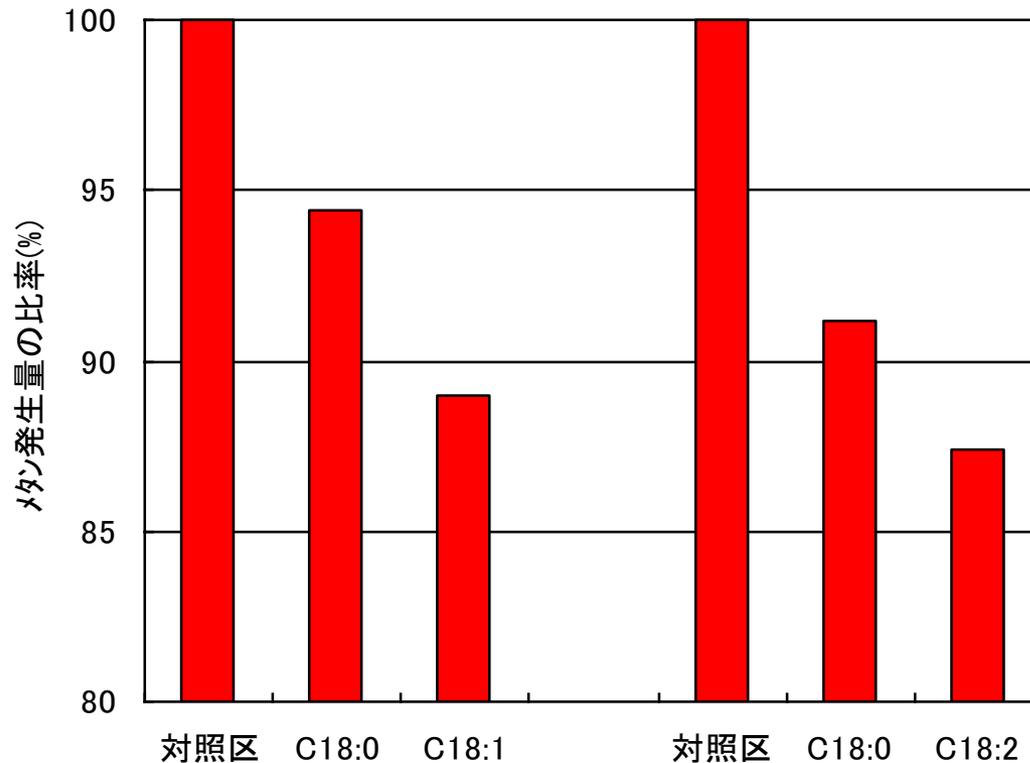
脂肪酸カルシウムの給与

- ルーメン内でメタン生成の基質となる水素を消費する目的で、飼料に不飽和脂肪酸を添加することが効果が高い
- 脂肪酸カルシウムは高エネルギー飼料として、泌乳前期のエネルギー不足時に農家でもよく給与されている



メタン抑制効果はさらに検討が必要

山羊のメタン発生量に及ぼす 脂肪酸カルシウム給与効果(柴田ら)



C18:0(ステアリン酸カルシウム、93.6-97.8%)

C18:1(オレイン酸カルシウム、90.5%)

C18:2(リノール酸カルシウム、C18:1 11%,C18:2 80%)

表、肥育牛のメタン発生量に及ぼす アマニ油脂肪酸カルシウム給与(柴ら,2003)

| | 無給与 | 給与 |
|--------------------|-------|-------|
| 乾物摂取量、kg/日 | 7.3 | 7.4 |
| 開始時体重、kg | 397 | 404 |
| 終了時体重、kg | 591 | 625 |
| 増体率、kg/日 | 0.63 | 0.72 |
| 肥育期のメタン発生量(kl) | 87.7 | 88.2 |
| 増体当たりのメタン発生量(l/kg) | 470.5 | 406.1 |

アマニ油脂肪酸カルシウムを乾物当たり4%給与

第一胃刺激用具（ルーメンファイブ） によるメタン低減



ルーメンファイブ

名和産業製(京都)

- 粗飼料の粗剛性を代替して、ルーメンを刺激する用具
- 濃厚飼料多給条件下の去勢牛で飼料の通過速度の増加により、メタン低減（対照区の37.8l/kgに対して30.7l/kgに低下：松山ら、2003）

遺伝子組換えルーメン微生物

- ルーメン発酵の人為的調節
- 遺伝子工学、分子生物学的手法による新機能のルーメン微生物の開発（繊維の消化を高める新微生物開発）



- ルーメン微生物の遺伝子操作は嫌気性のためスムーズにいかない
- ルーメンに定着しない

遺伝子組換え成長ホルモン(BST)

- 米国では泌乳牛のBSTの使用が1993年に許可された(日本では許可されていない)
- BSTの投与により乳生産に栄養素が優先的に分配され、維持の必要量が減少する
- BSTの投与量を変える(5-50mg/日)と、乳量が増加(3-6kg/日)する



乳量増加によるメタンの低減(約9%)

イオノフォア（抗生物質）の利用

- 細胞膜の透過性に影響してルーメン微生物の代謝活性を変える抗生物質で、**モネンシン、サリノマイシン、ラサロシド（肉牛用飼料添加物として認められている）**がある
- ルーメン発酵を変えて、プロピオン酸産生の増加や水素を生成する微生物増殖を抑制することにより、**メタン産生を5-15%抑制する効果がある**