

# 地球温暖化と畜産

久米新一

京都大学大学院農学研究科

# 気候変動に関する政府間パネル(IPCC) 第4次評価報告書(2007年)

## --ノーベル平和賞受賞

- 1906-2005年世界の平均気温は $0.74^{\circ}\text{C}$ 上昇
- 主要な温室効果ガスである二酸化炭素濃度は産業革命以前の約1.4倍、メタンは約2.5倍になり、地球温暖化は人間活動による温室効果ガス排出による可能性が高い
- **21世紀末の平均気温の予測：**  
省資源で環境に配慮した循環型社会では約 $1.8^{\circ}\text{C}$ ( $1.1\text{--}2.9^{\circ}\text{C}$ )上昇、化石燃料に依存した高度経済成長では約 $4^{\circ}\text{C}$ ( $2.4\text{--}6.4^{\circ}\text{C}$ )上昇

# 地球と日本の平均気温番付(カッコ内は 平年差:朝日新聞;2006.1.22)

---

順位	地球	日本
1	98年 (0.37°C)	90年 (1.04°C)
2	05年 (0.33°C)	04年 (0.99°C)
3	03年 (0.31°C)	98年 (0.98°C)
4	02年 (0.31°C)	94年 (0.82°C)
5	04年 (0.27°C)	99年 (0.76°C)

---

20世紀には地球の平均気温は0.6°C上昇

# 地球温暖化をめぐる流れ

- 1980年代後半: 地球環境問題の顕在化  
-- 地球温暖化、オゾン層破壊、酸性雨



それ以前は局地的・地域的な大気汚染

- 石炭や重油の燃焼に伴う硫黄酸化物
- 自動車排ガスによる窒素酸化物
- 紫外線により生成する光化学オキシダント

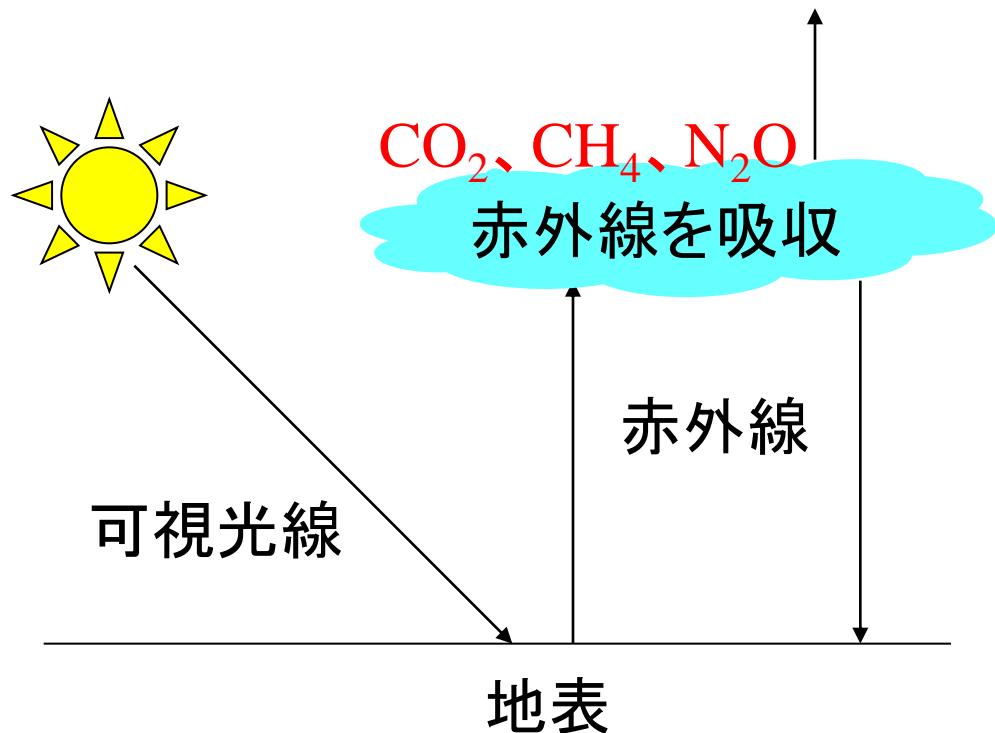
# 地球規模の大気環境問題

- 自動車や工場の排ガス・煙などによる局所的な問題から、オゾン層破壊やCO<sub>2</sub>などによる地球温暖化など地球規模の大気環境問題へと発展
- 影響をうける地域が地域や国を超えた地球規模であること、その原因が産業・経済活動だけでなく、生活活動にもある



自然と調和した持続性ある社会の構築

# 温室効果



温室効果：

大気中に存在する  
赤外線を吸収する  
気体により、地表  
が日射以上に暖  
められる現象

# 温室効果ガス

- 温室効果ガス：温室効果をもたらす気体で、二酸化炭素( $\text{CO}_2$ )、メタン( $\text{CH}_4$ )、亜酸化窒素(一酸化二窒素： $\text{N}_2\text{O}$ )、フロン、オゾンなどがある



地球に温室効果ガスがないと地球表面の平均気温は-18°Cになるが、温室効果ガスがあることにより約15°C(33°Cも高い)に保たれている

# 温室効果

- ・ フーリエ(1827): 温室効果を初めて認識
- ・ ティンダル(1863): 水蒸気やCO<sub>2</sub>の温室効果により、地球が適度な暖かさをもつ
- ・ アレニウス(1895): 大気中のCO<sub>2</sub>が2倍になると、地球の気温が5°C高くなる



IPCC: 過去100年間の0.6°Cの気温上昇は異常であり、温室効果ガス濃度の上昇に起因している(2001)

# 京都議定書(1997年)

- 京都議定書で指定された温室効果ガス：  
二酸化炭素

メタン

亜酸化窒素(一酸化二窒素)

ハイドロフルオロカーボン類

パーフルオロカーボン類

六フッ化硫黄

(水蒸気、オゾン、フロン類も温室効果ガス)

# 温室効果ガスの濃度と増加速度

化合物	濃度		増加速度 1990年代
	1750年	1998年	
CO <sub>2</sub>	280ppm	365ppm	1.5ppm/年 (0.4%)
CH <sub>4</sub>	700ppb	1745ppb	7.0ppb/年 (0.8%)
N <sub>2</sub> O	270ppb	314ppb	0.8ppb/年 (0.25%)
CFC-12(フロン)	0	533ppt	4.4ppt/年

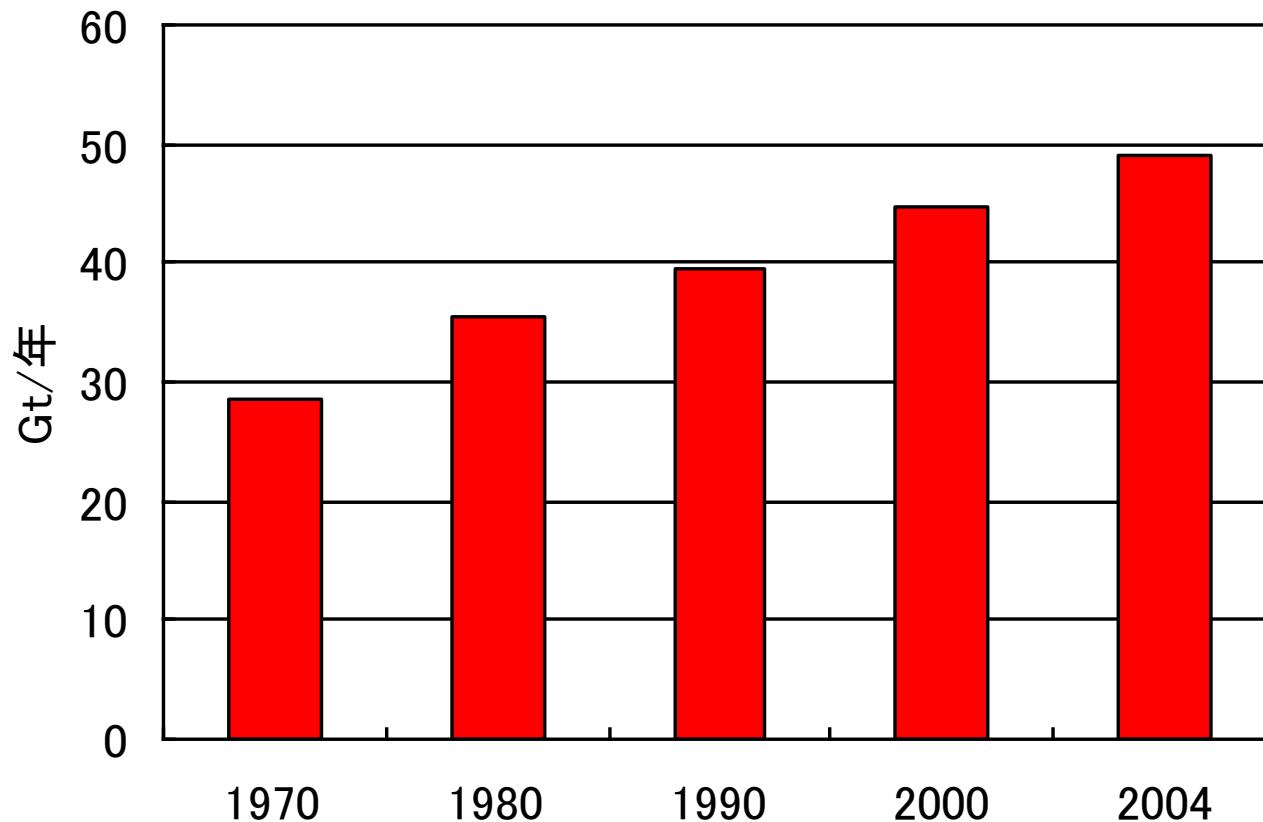
IPCC(2001)

# 温室効果ガスの年間発生量と温室効果への寄与率

化合物	年間発生量 1990年代	寄与率
CO <sub>2</sub>		63%
CH <sub>4</sub>	600Tg	20%
N <sub>2</sub> O	16. 4TgN	6%
SF <sub>6</sub>	6Gg	

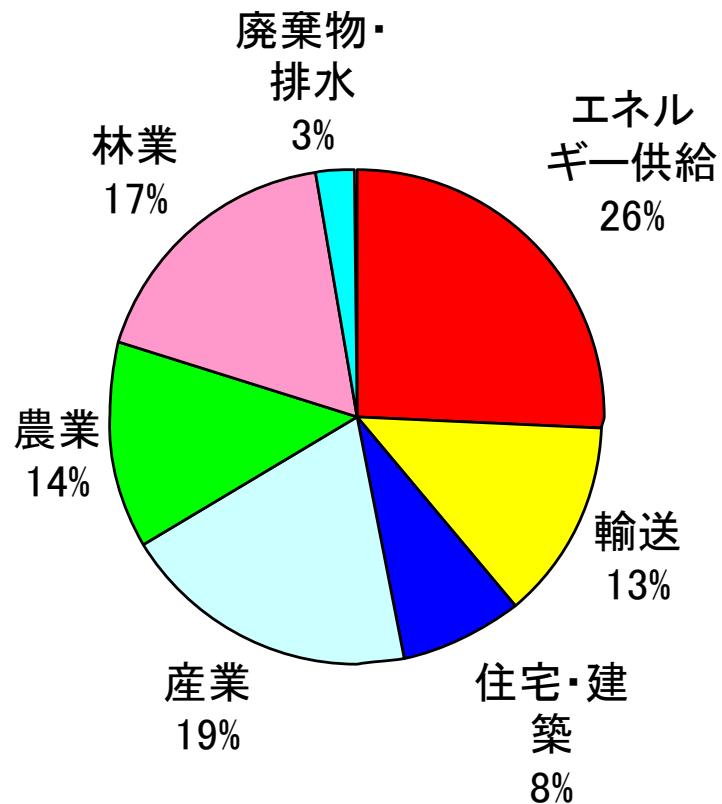
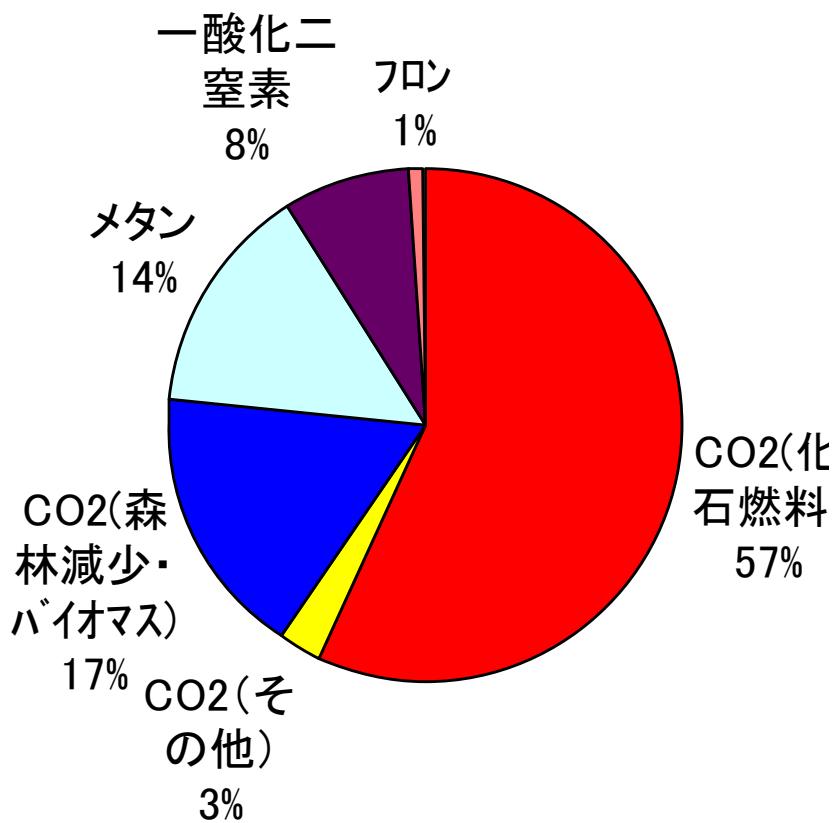
IPCC(2001)

# 世界の温室効果ガス排出量(CO<sub>2</sub>換算) (IPCC2007)



温室効果:メタンガスはCO<sub>2</sub>の約21(25)倍、亜酸化窒素は約310(298)倍 ( )内はIPCC2007の数値

# 2004年の温室効果ガス (IPCC2007)

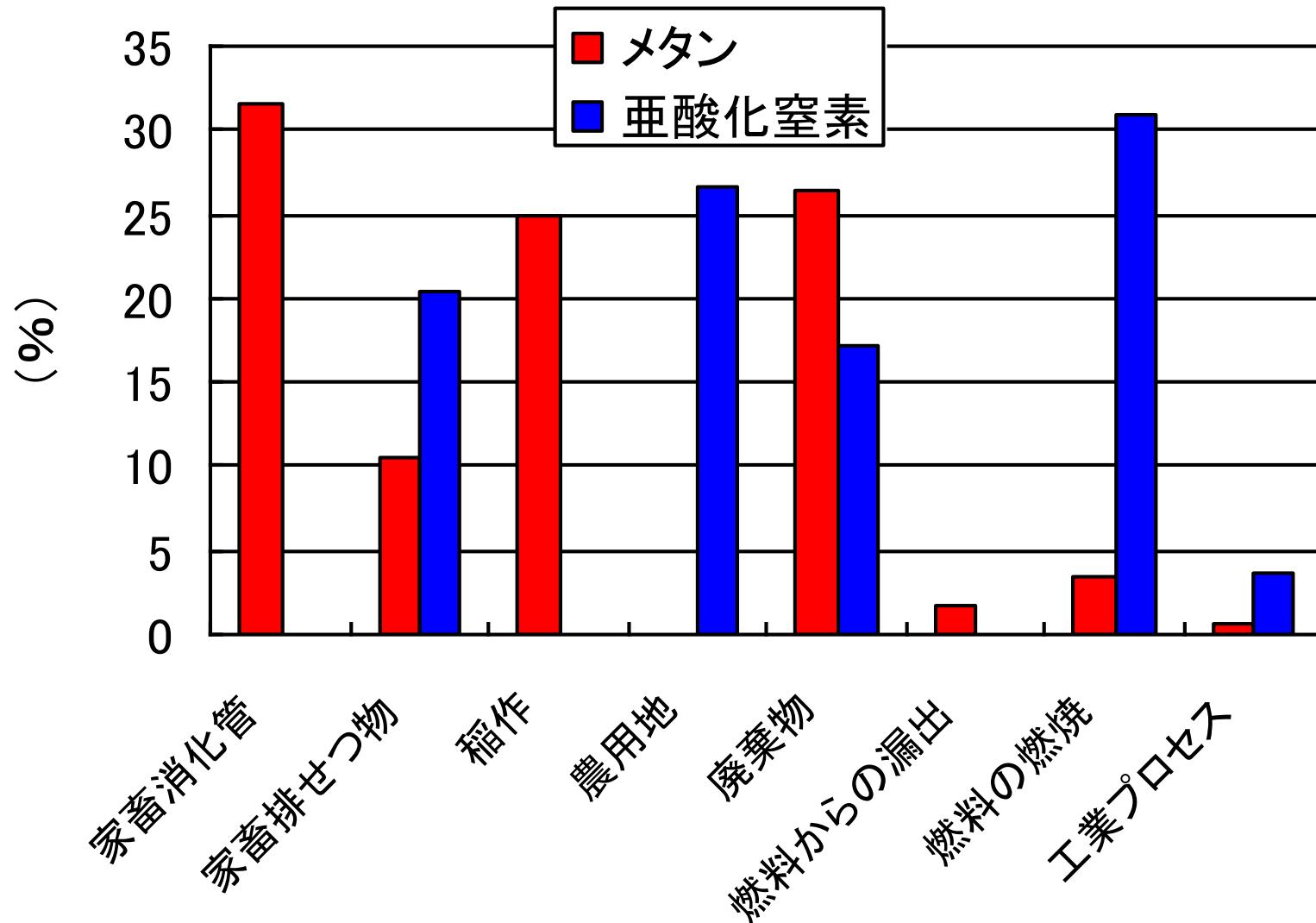


# 日本の温室効果ガスの排出比率 (2001)

- 二酸化炭素(CO<sub>2</sub>) 93.4% : 石炭、石油、天然ガスの燃焼など
- メタン(CH<sub>4</sub>) 1.6% : 農業関連、廃棄物の埋め立て、燃料の燃焼
- 一酸化二窒素(N<sub>2</sub>O) 2.7% : 燃料の燃焼、肥料の生産・使用など
- HFCs(ハイドロフルオロカーボン類) 1.2% : 冷媒、断熱材の発泡剤、半導体の洗浄剤
- PFCs(パーフルオロカーボン類) 0.8% : 半導体の洗浄ガスなど
- 六フッ化硫黄(SF<sub>6</sub>) 0.3% : 変圧器などの絶縁ガス

# 国内の温室効果ガス発生量(2007年)

メタン:239万t、亜酸化窒素:486万t



# 地球温暖化への取り組み

- ・ 気候変動に関する国連枠組み条約第3回締約国会議(京都会議、1997年)では、炭酸ガス、メタンガス、亜酸化窒素などの6種類の温室効果ガスの削減合意
- ・ 京都会議で採択された京都議定書への対応として、温室効果ガスのモニタリングと排出削減技術の開発が求められている
- ・ 1990年を基準にして、わが国では2008－2012年に温室効果ガスの6%低減が必要

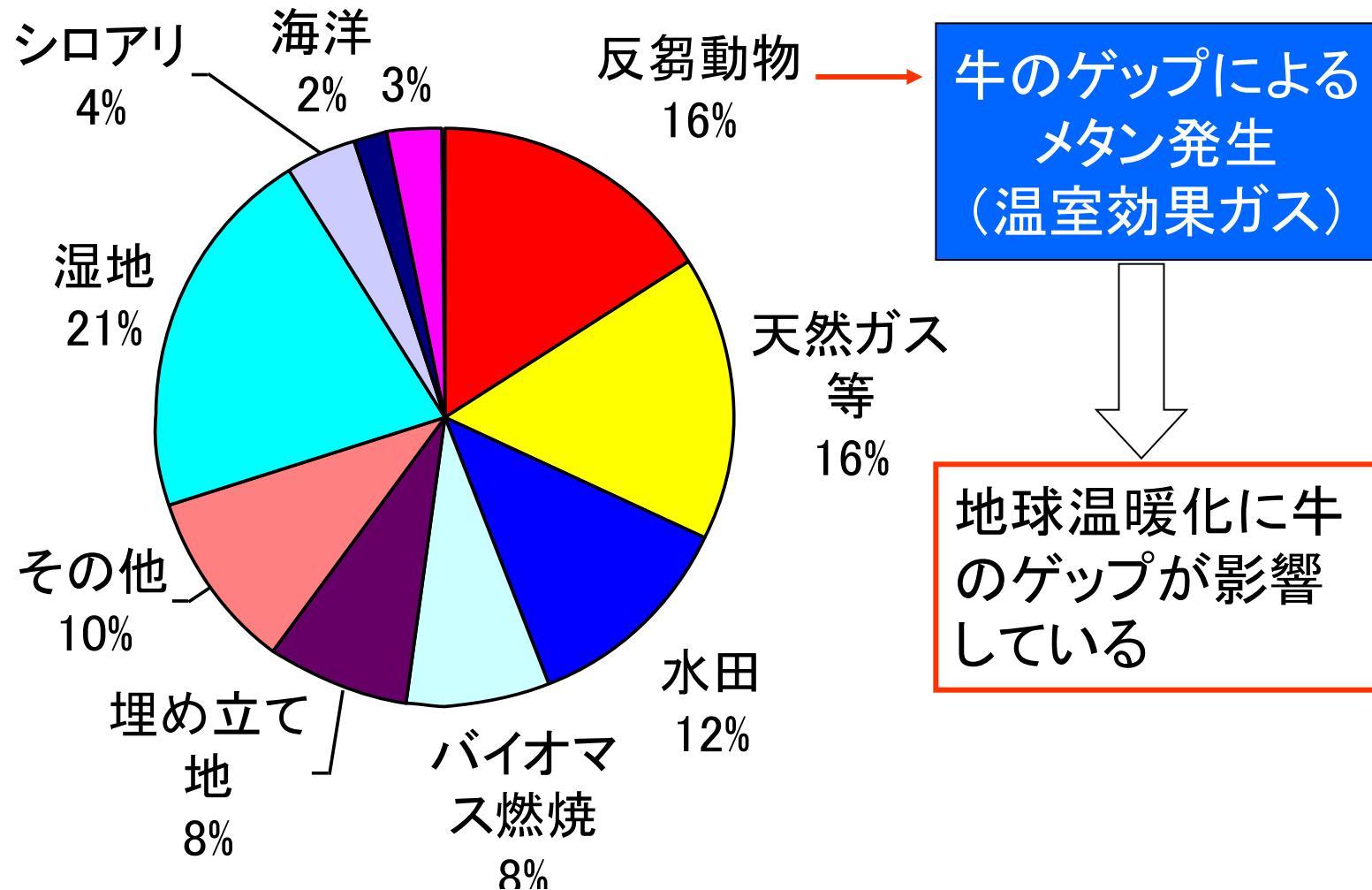
# 温暖化が農業生産に及ぼす影響

- ・ 作物生産は気温、降水量などの気候因子に大きな影響を受け易いことから、農業生産への悪影響が懸念される。
- ・ 農業生産量の低下：阻害要因の増大（高温による生育障害、降水パターンの変化、病虫害や雑草の発生など）
- ・ 農業生産物の品質の低下
- ・ 栽培適地の移動

# 地球温暖化研究と畜産

- ・ 畜産が関係する温室効果ガス：メタン（主に反芻動物のルーメン発酵由来と糞尿由来）と亜酸化窒素（糞尿由来）。これらの発生量の推定と抑制法の開発研究が進展
- ・ わが国のメタン発生量に占める家畜生産の割合は約32%（反芻家畜由来24%、糞尿由来8%）、亜酸化窒素では約6%
- ・ 温室効果：メタンガスは $\text{CO}_2$ の約23倍、亜酸化窒素は約296倍と高い(IPCC,2001)

# 地球のメタンガス発生源の推定 (IPCC,1997年)



# 温室効果ガス発生量の推定

- ・ 畜産からの温室効果ガスの発生量の推定にはさまざまな機関が取り組んでいる
- ・ 温室効果ガスの予測：予測方法によって大きな相違が生じる
- ・ 生産水準と生産技術の発展：人口増加、乳肉生産の増加の試算が影響する。特に、発展途上国では急激な人口増加や牛肉、牛乳に対する所得弹性値が高いことから、生産増加率が非常に高くなる。

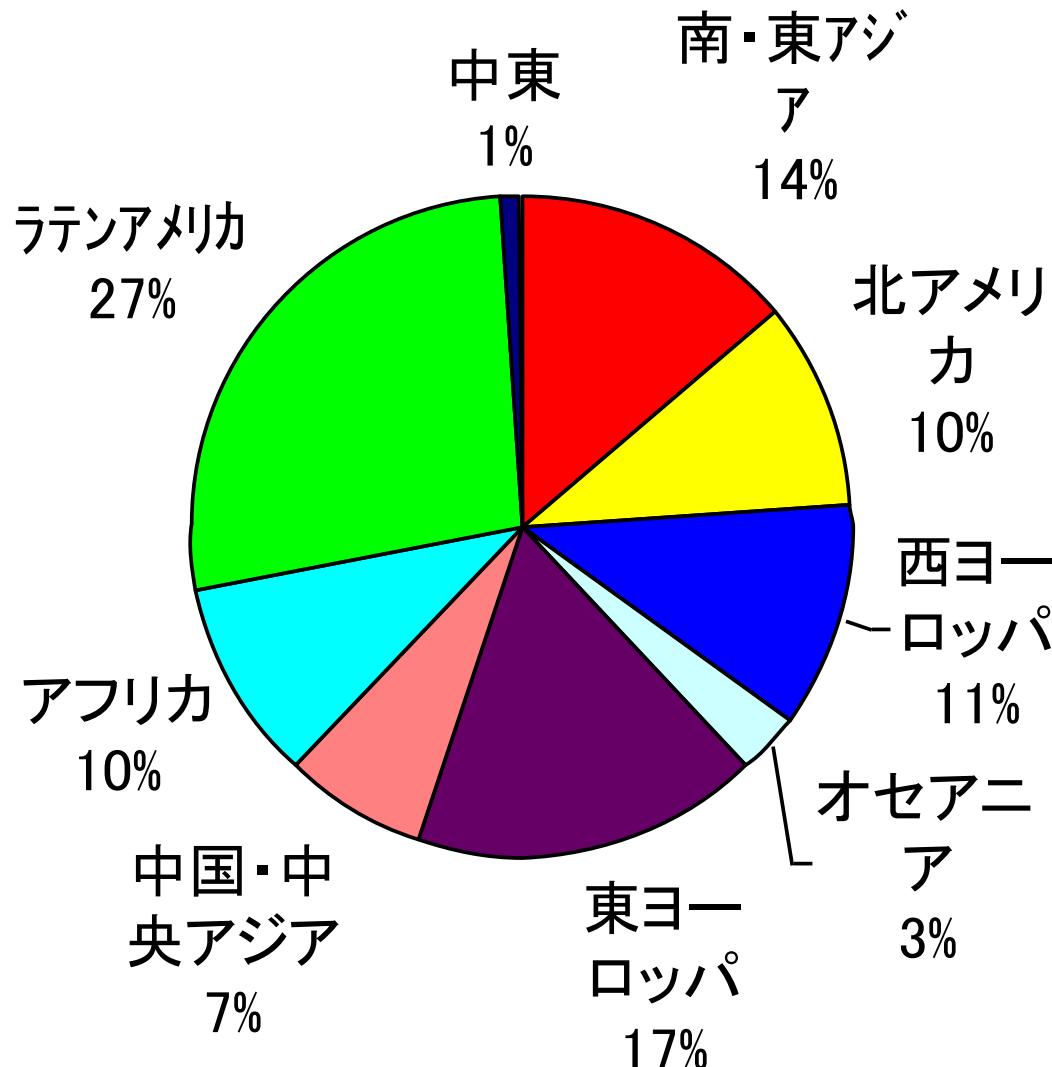
# 動物のメタン発生量(Crutzenら,1986)

	メタン発生量 (頭・kg/年)	頭数 (百万頭)	総メタン (Tg/年)
牛 (先進国)	55	572.6	31.5
(発展途上国)	35	652.8	22.8
水牛	50	142.1	6.2
めん羊 (先進国)	8	399.7	3.2
山羊	5	476.1	2.4
豚(先進国)	1.5	328.8	0.5
馬	18	64.2	1.2
ヒト	0.05	4669.7	0.3
野生動物	1-50	100-500	2-6
合計			75.7-79.7

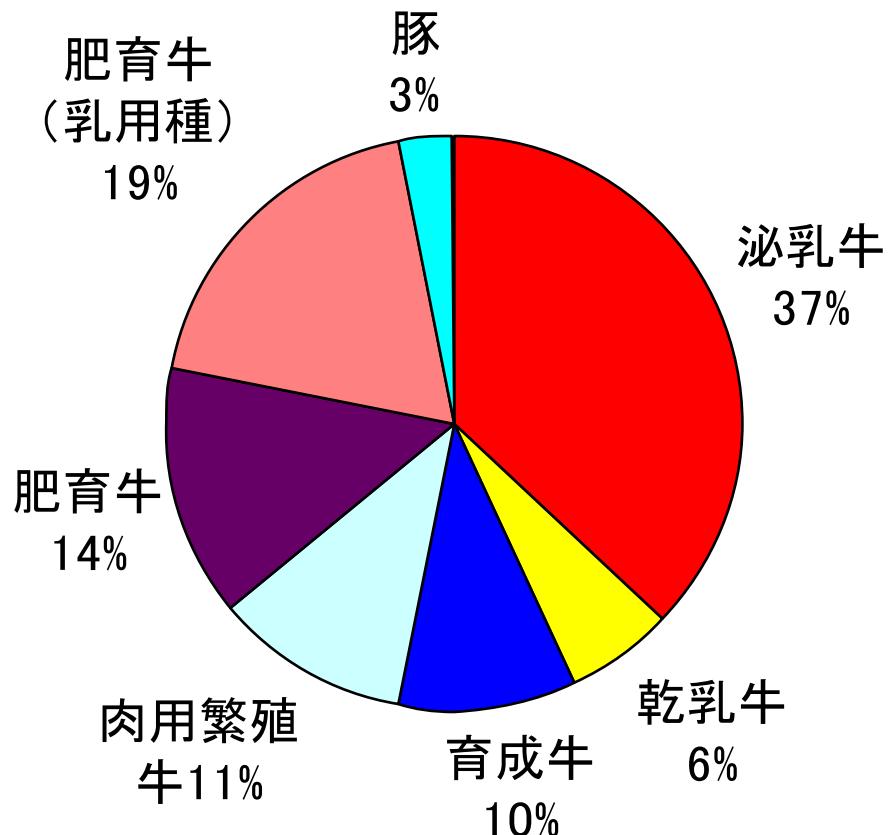
Tg=10<sup>9</sup>kg=10<sup>6</sup>t

(7割程度は牛から発生)

# 地域別の牛からのメタンガス発生量 (EPA, 1994年)

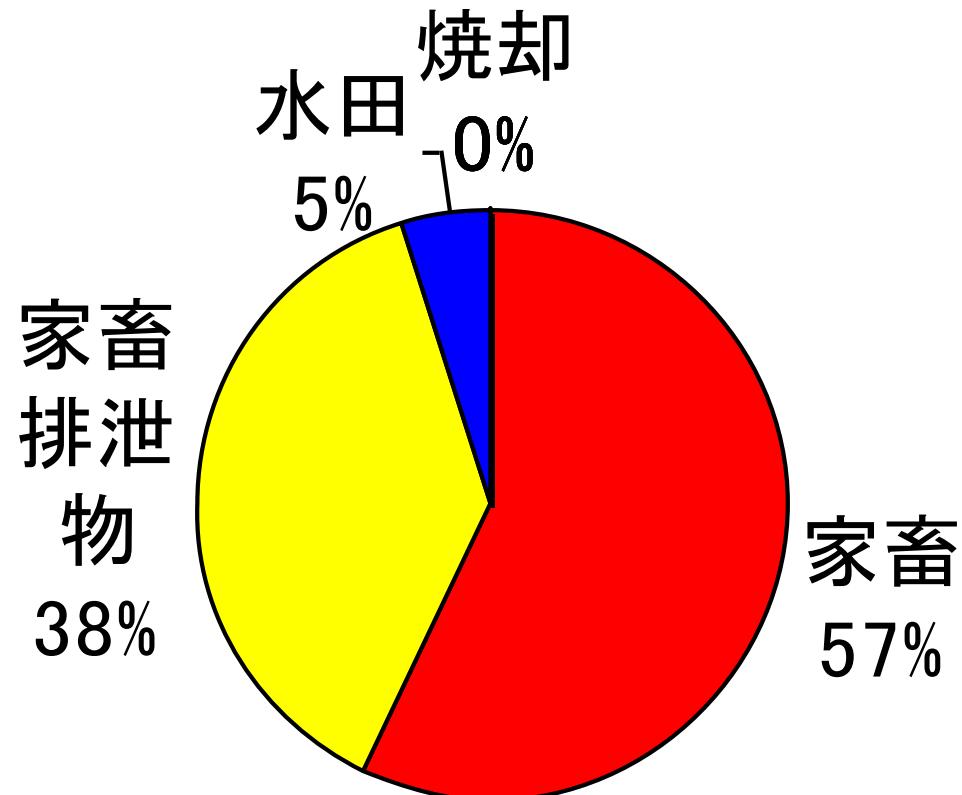


# わが国の家畜からのメタンガス発生量 (Shibataら、1993、2009年)

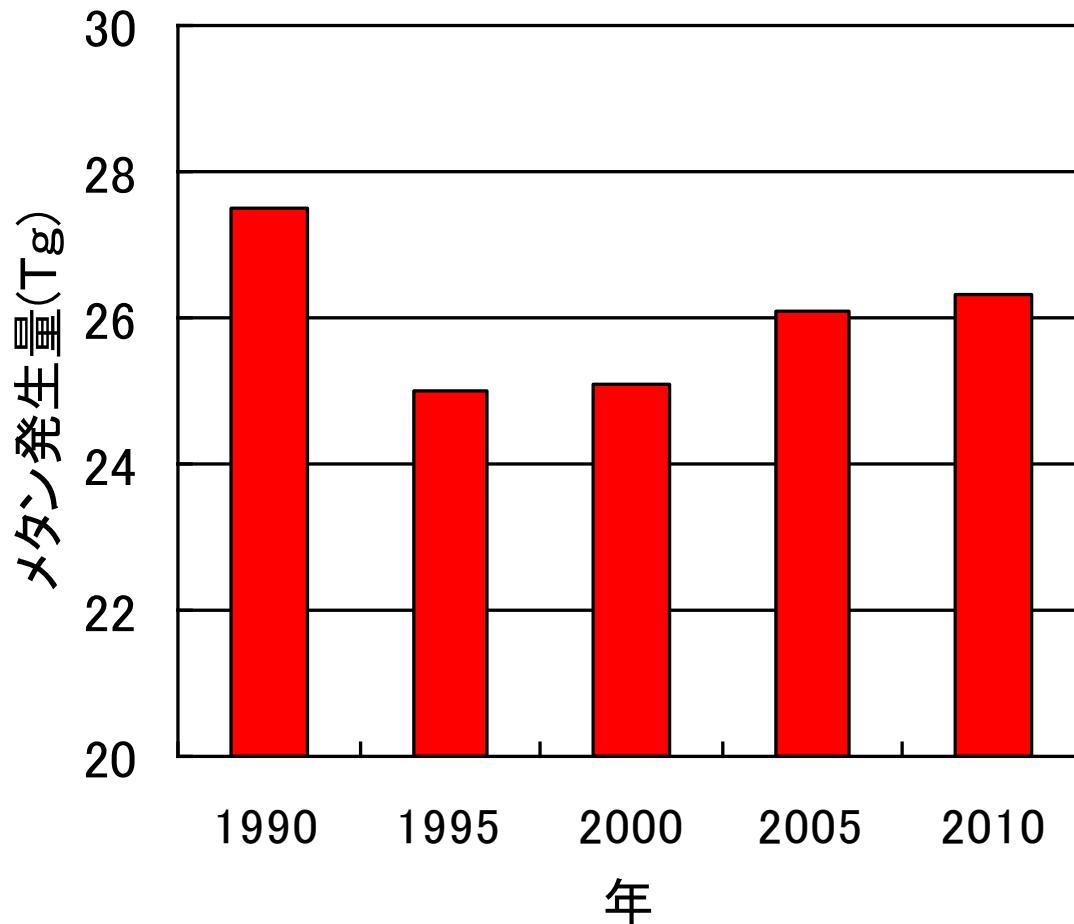


- ・わが国のメタン発生量(0.35Tg)は世界の0.45%に相当する
- ・2006年の発生量は0.335Tgとなり、世界の0.36%に相当する

# 米国の農業からのメタンガス発生量 (EPA、1998年)



# 先進国における家畜からの メタン発生量(EPA、2001)



# 家畜のメタン発生量の推移予測

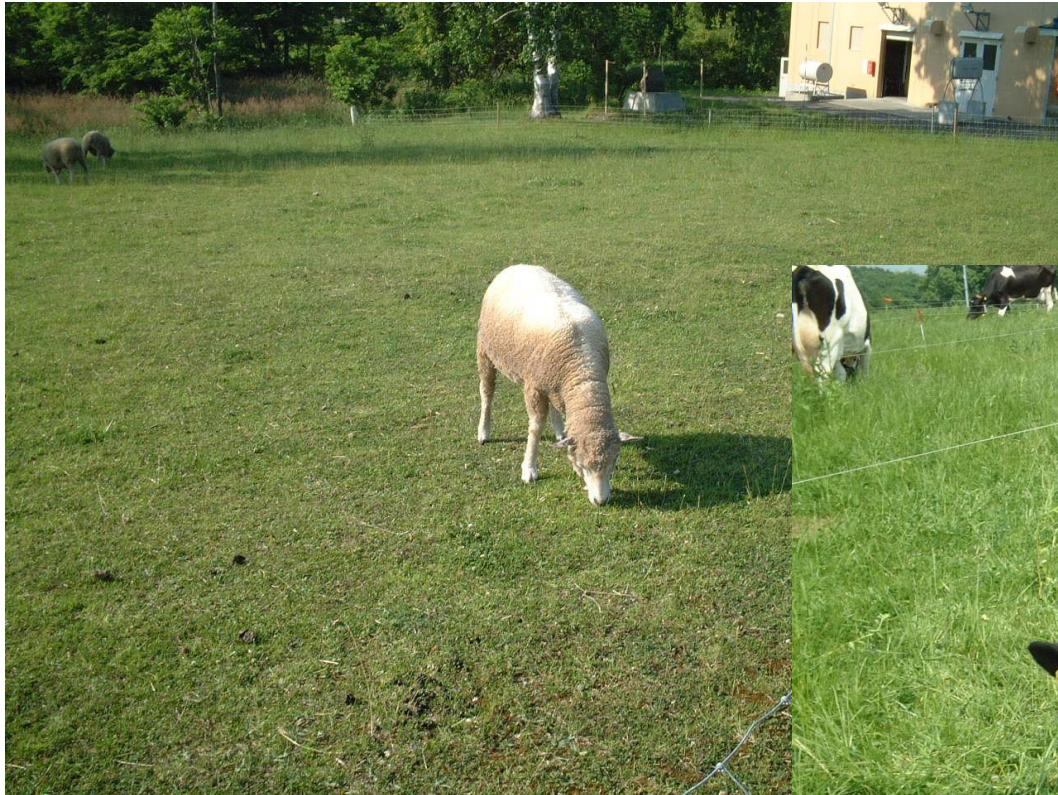
	1985	1990	2000	2010	2050
アフリカ	8.6	9.8	13.2	16.5	33.1
アジア	22.0	23.8	28.6	34.1	61.1
計画経済	4.9	5.2	5.7	6.2	8.6
アジア(中国も)					
ラテンアメリカ	16.0	18.0	22.0	26.0	40.0
米国	7.1	7.8	8.8	8.9	6.6
世界	77	84	99	114	173

(IPCC,1992)

# 温室効果ガス発生量の抑制

- 畜産からの温室効果ガス抑制方法の開発は世界的に取り組まれている
- 欧米、日本、豪州などの先進国で積極的に調べているが、発展途上国における抑制方法はまだ明確でない：今後の重要な課題

# 反芻動物(牛・ヒツジなど)ではなぜメタンが発生するのか？



反芻動物はなぜ纖維を利用できるのか？



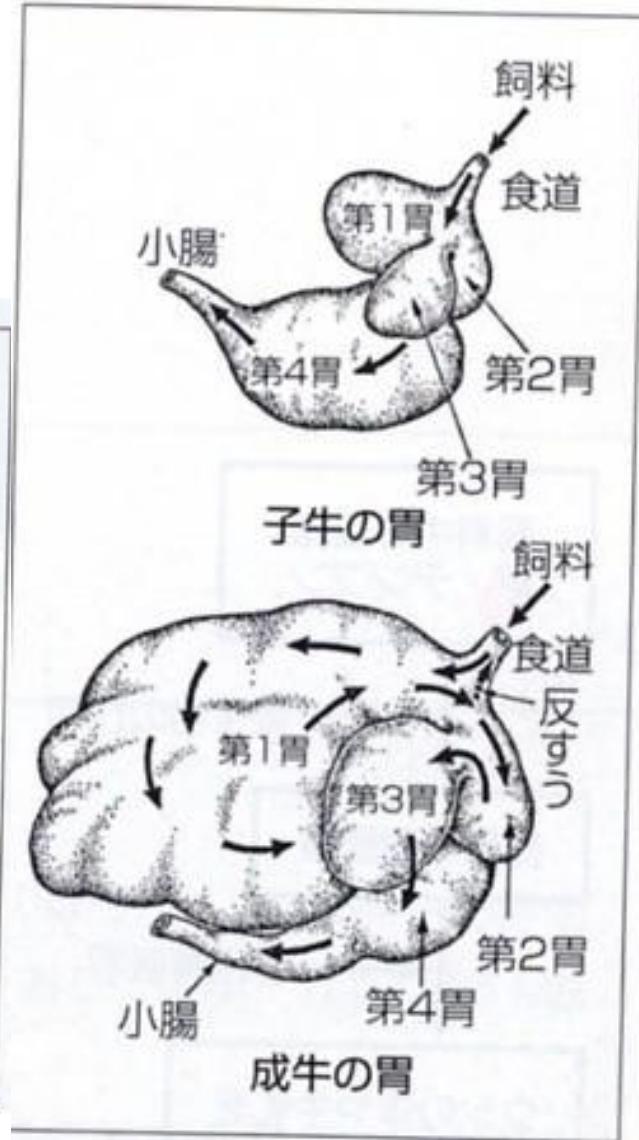
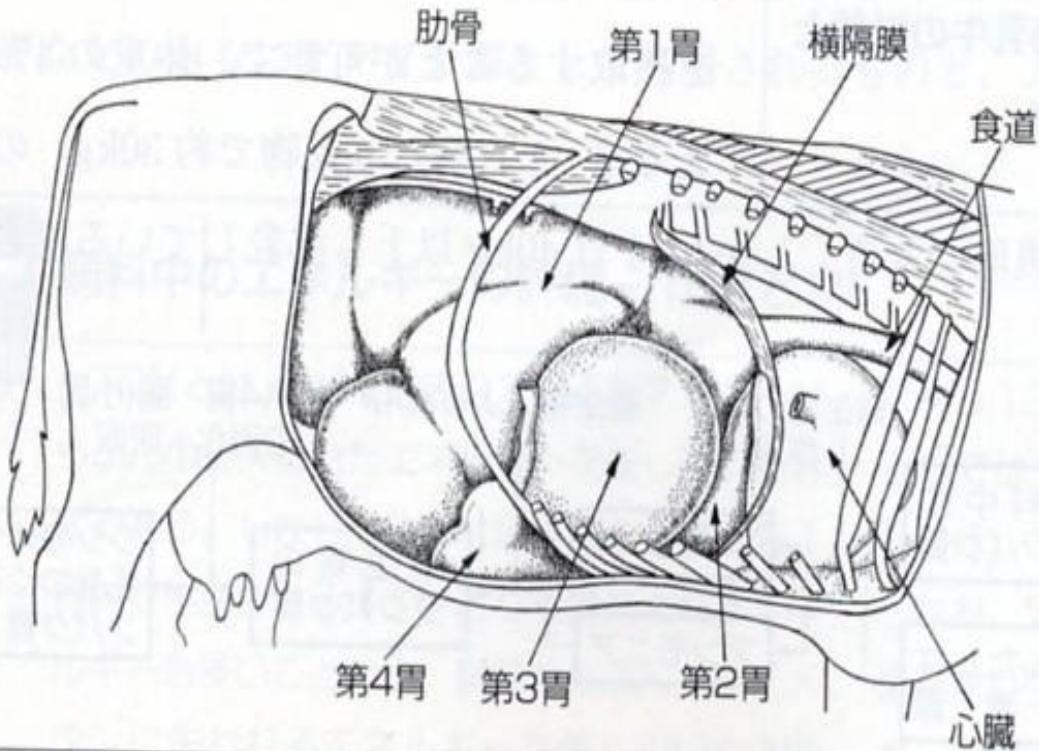
相利共生：異なる生物種  
が互いに利益を得る関係  
(牛とルーメン微生物)

# 反芻動物とルーメン(第一胃)



- ・ヒトと競合しない牧草の利用
- ・飼料自給率の向上とメタン産生

牛のルーメン：ルーメン微生物  
(細菌、プロトゾア、真菌)と共生  
・第一胃の容積:90~220L  
(成牛)



巨大なルーメン(100~200)における纖維の分解

- ルーメン細菌: 10億/ml

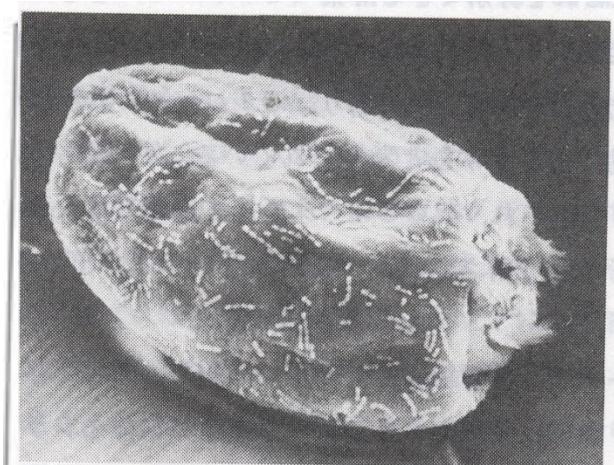
セルロース分解菌: 酢酸

メタン生成細菌: メタン

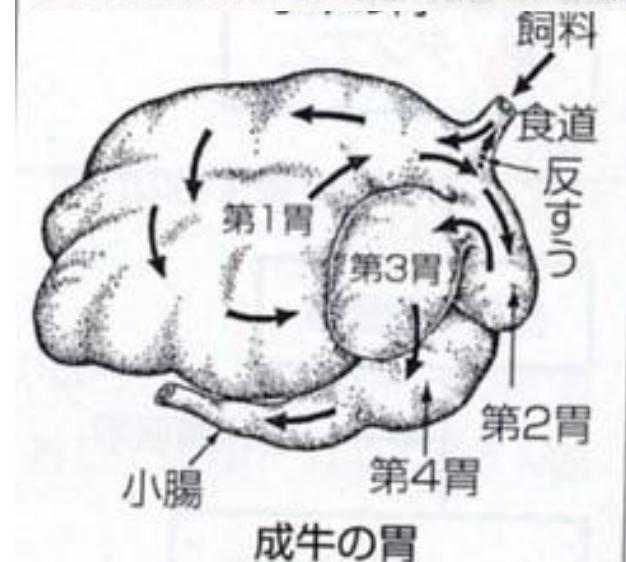
他の細菌とは生化学的性質が異なる古細菌に属する

- プロトゾア: 100万/ml

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

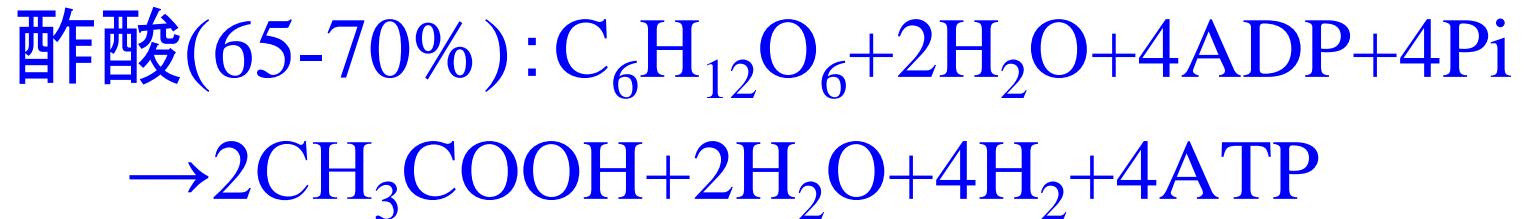


1-27 プロトゾアの体表に付着しているメタン細菌  
(工藤)



# 嫌気性環境のエネルギーの生成

- ・嫌気性環境(牛のルーメン)におけるエネルギーの生成: 主要なエネルギー源



# ルーメン細菌・プロトゾアとメタン产生

- ルーメン細菌(生息密度:  $10^{10} \sim 10^{11}/\text{ml}$ )はセルロース分解などが代表的であり、牛のエネルギー源となる酢酸などを產生する
- メタン生成細菌は、他の細菌とは生化学的性質が異なる古細菌に属し、メタンを產生する
- プロトゾア(生息密度:  $10^5 \sim 10^6/\text{ml}$ )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
- メタン菌による水素の除去はプロトゾアの発酵能の増強に貢献(共存関係)

# ルーメンにおけるメタン発生

- 酢酸・酪酸生成時における水素発生とその除去  
(プロピオン酸生成時には水素は除去される:プロトゾアとの共存関係): $4\text{H}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$   
(水素は微生物にとって有害:プロトゾアとメタン菌の相利共生)  $4\text{H}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$
- ギ酸からの生成: $4\text{HCO}_2\text{H} \rightarrow \text{CH}_4 + 3\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$
- それ以外に、酢酸、メタノール、モノメチルアミンなどのからのメタン生成がある
- エネルギーの損失(メタンのエネルギー価: 13.15kcal/g)と温室効果ガスの一つのため、低減が必要

# ルーメンにおけるガスの組成

- ガスの平均組成:CO<sub>2</sub>(65%)、CH<sub>4</sub>(27%)、窒素(7%)、酸素(0.7%)
- 生成したCO<sub>2</sub>の1/4-1/3はルーメン壁から血中に拡散し、肺から排出される
- メタンは肺からほとんど排出されず、口腔からあい氣により排出される(あい氣はルーメン内のがス圧が高まると反射的に起こり、あい氣が正常に行われないとガスがルーメンに充満し、鼓張症になる)

# 家畜からのメタン発生

1. 温室効果ガスの一つであるが、ルーメンのメタン菌が水素をメタンに変換する
2. エネルギーの損失(生産性低下)
3. ルーメン由来と糞尿由来



ルーメンにおけるメタン菌の役割は、微生物の活性を阻害する水素(纖維分解菌の多くが水素を発生)除去の役割が大きい: 纖維を利用するためメタン菌は反芻動物と共に生存

# エネルギー代謝の測定

- ・直接熱量測定法

体から出た熱を水などに吸収させ、その温度上昇度と流量、比熱から熱放散量を求める

- ・間接熱量測定法

酸素、二酸化炭素(メタン)発生量を測定し、熱量を計算する

# 反すう家畜が地球温暖化問題に 関わる課題

1. 反すう家畜からのメタン排出量の精緻化  
: 畜種、飼養条件、環境
  - 1) 飼養試験: チャンバー、マスク法、SF<sub>6</sub>法
  - 2) 培養法: ルシテック、メンケ:ガス培養法
2. 反すう家畜からのメタン排出量の抑制技術  
の開発
3. 地球温暖化が反すう家畜の生産性に及ぼ  
す影響評価と対策技術

# 代謝実験室(チャンバー)

## 北海道農業研究センター

- ・酸素、二酸化炭素、メタンの測定



チャンバー内の流量を一定にして、チャンバー内とチャンバー外の濃度差から、酸素消費量、二酸化炭素排泄量、メタン排泄量を測定する



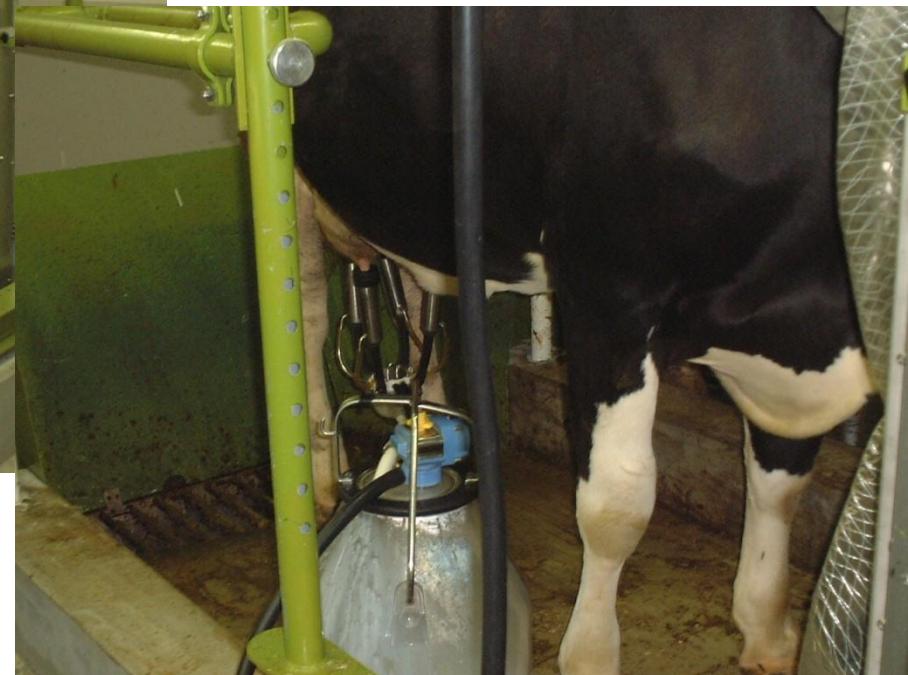
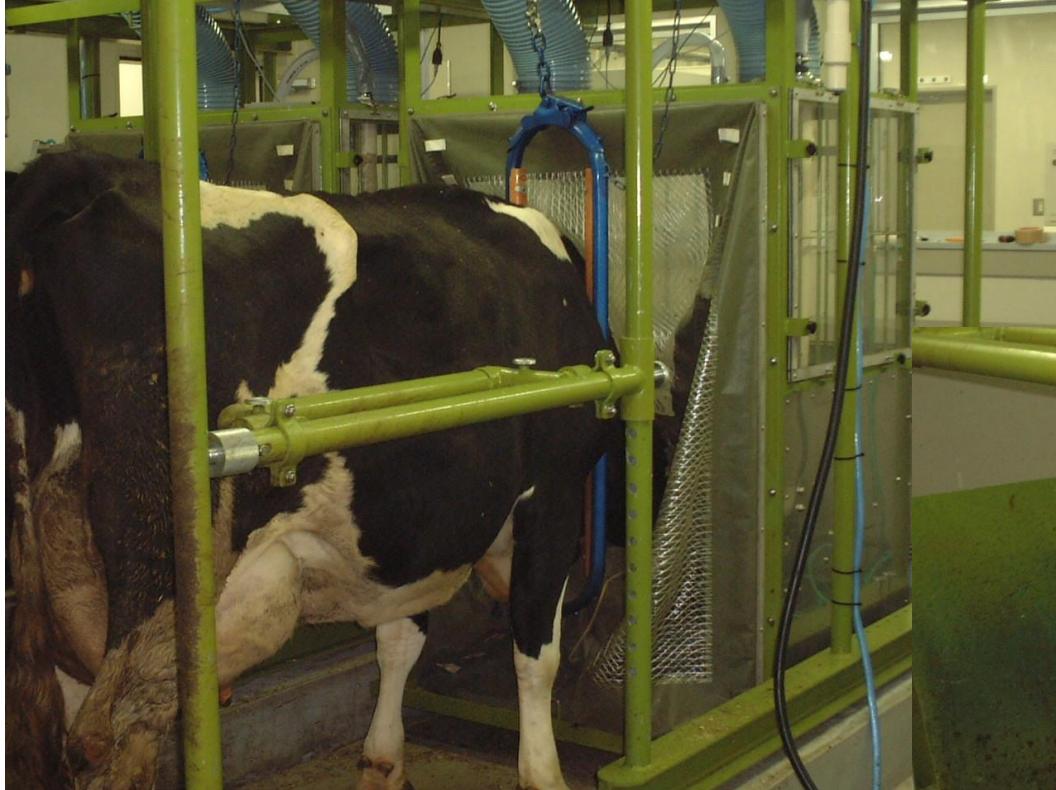
# 畜産草地研究所(つくば) 代謝実験室



# 九州沖縄農業研究センター



# 泌乳牛の代謝試験





- 代謝実験室  
(スイス)





- 韓国の代謝試験

# 各測定法の比較

## 1. チャンバー法:

特殊な装置が必要。実測値が得られ類。家畜を用いるため労力が必要。

## 2. SF6法:

放牧している牛にも利用可能、実測値が得られる。家畜を用いるため労力が必要。

## 3. 人工ルーメン培養法:

特殊な装置は必要、実測値は得られない。多くの点数について測定が可能である。

## 4. インビトロガス分析法:

特殊な装置は不要、実測値は得られない。多くの点数について測定が可能である。