

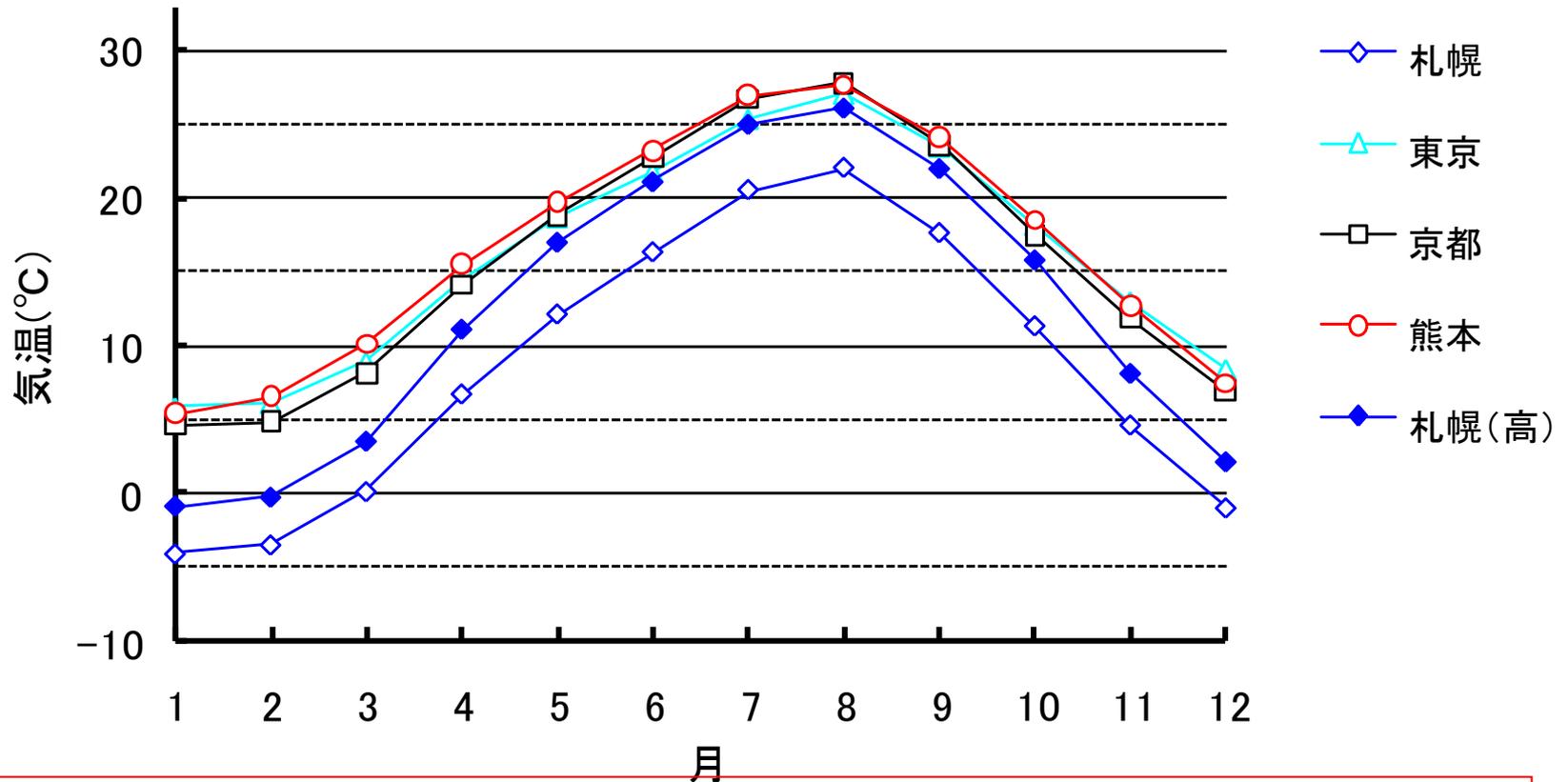
# 「高泌乳牛の移行期の栄養管理 と周産期病の予防③」

京都大学大学院農学研究科  
久米新一

# 夏季における栄養管理と 周産期病の予防

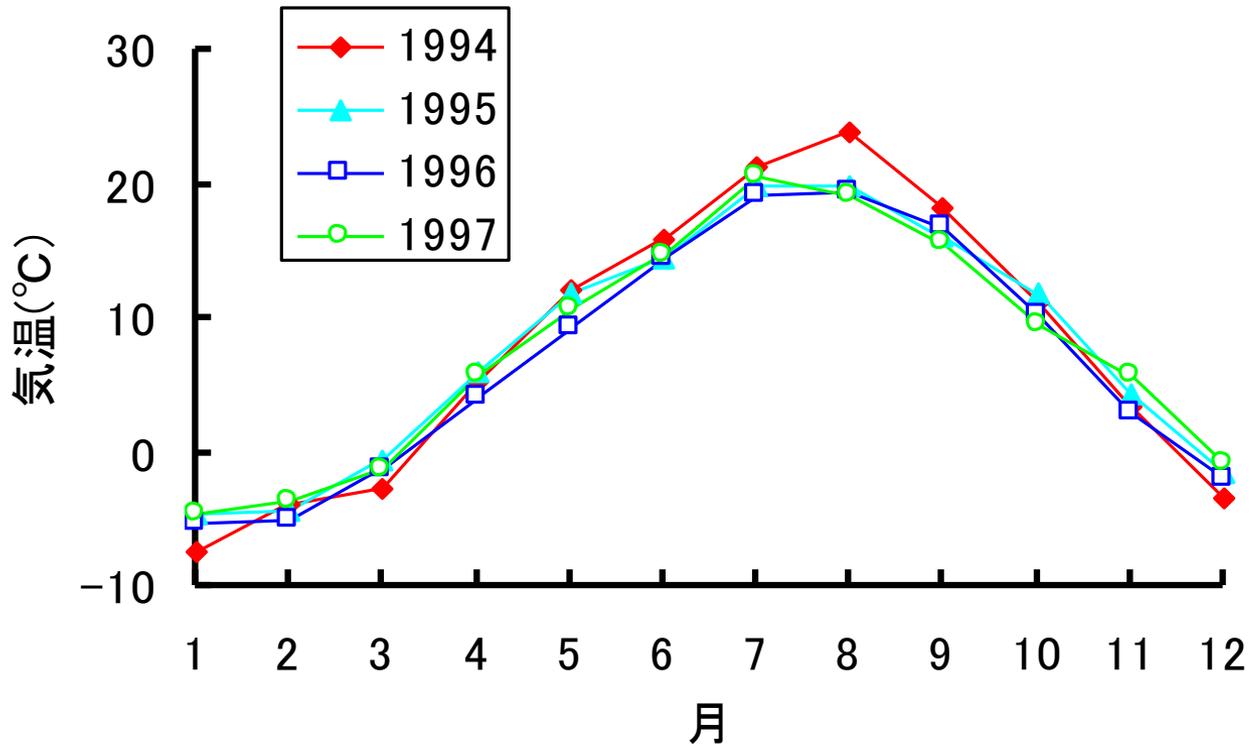
- ・暑熱ストレスの影響を低減することが重要
- ・都府県だけでなく、北海道でも暑熱ストレスの影響が大きい

# 暑熱ストレスの影響：日本 (1970-2000年) の平均気温と最高気温



わが国では高泌乳牛では暑熱ストレスの影響は20°C程度から生じる：夏季の高温多湿の影響

# 札幌・北農研(1994-1997年)の気温



8月の気温

1994:23.9°C

1995:20.0°C

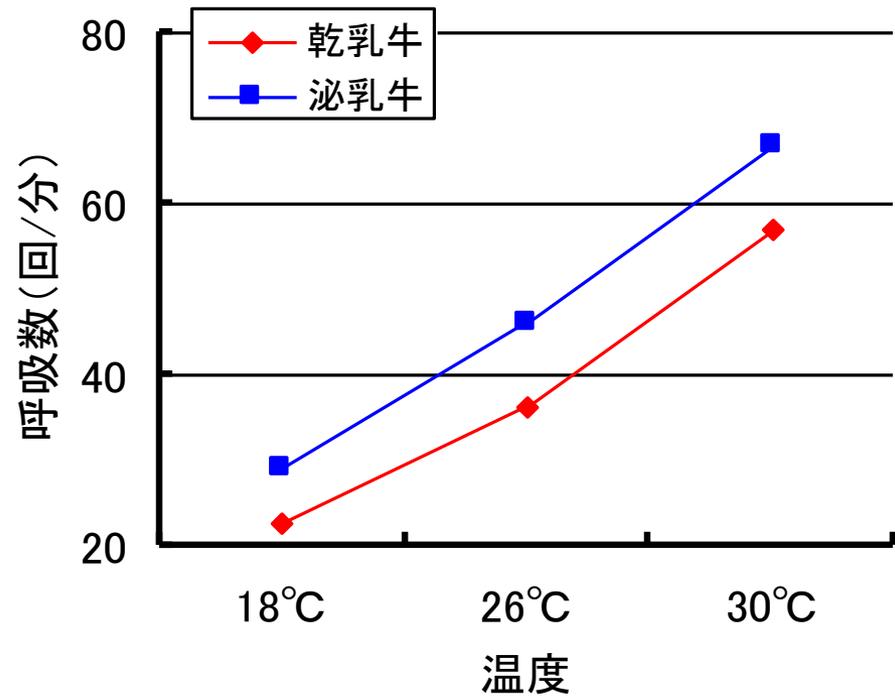
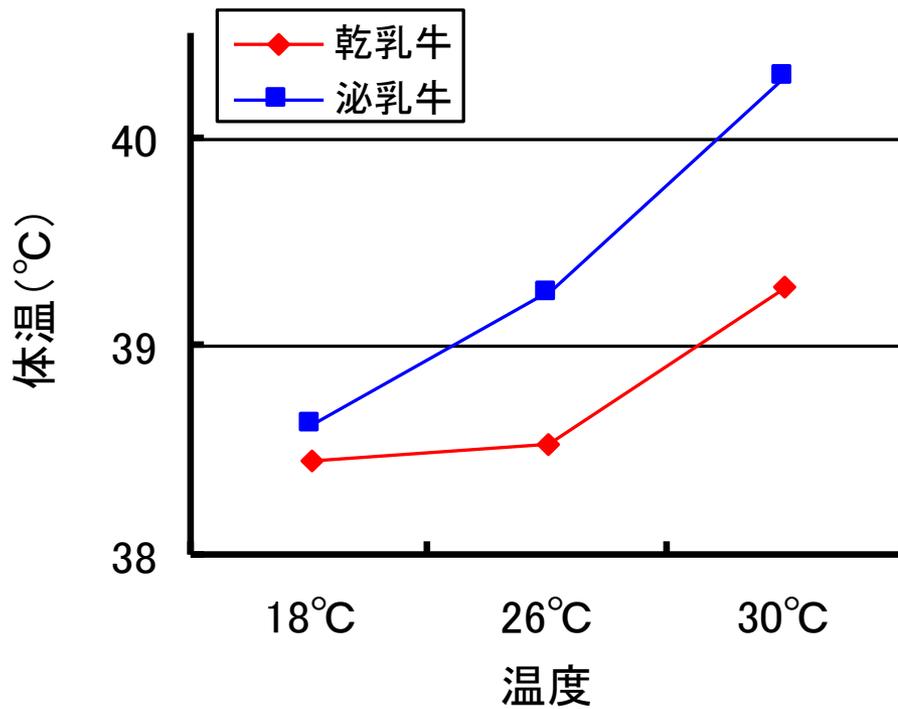
1996:19.5°C

1997:19.1°C

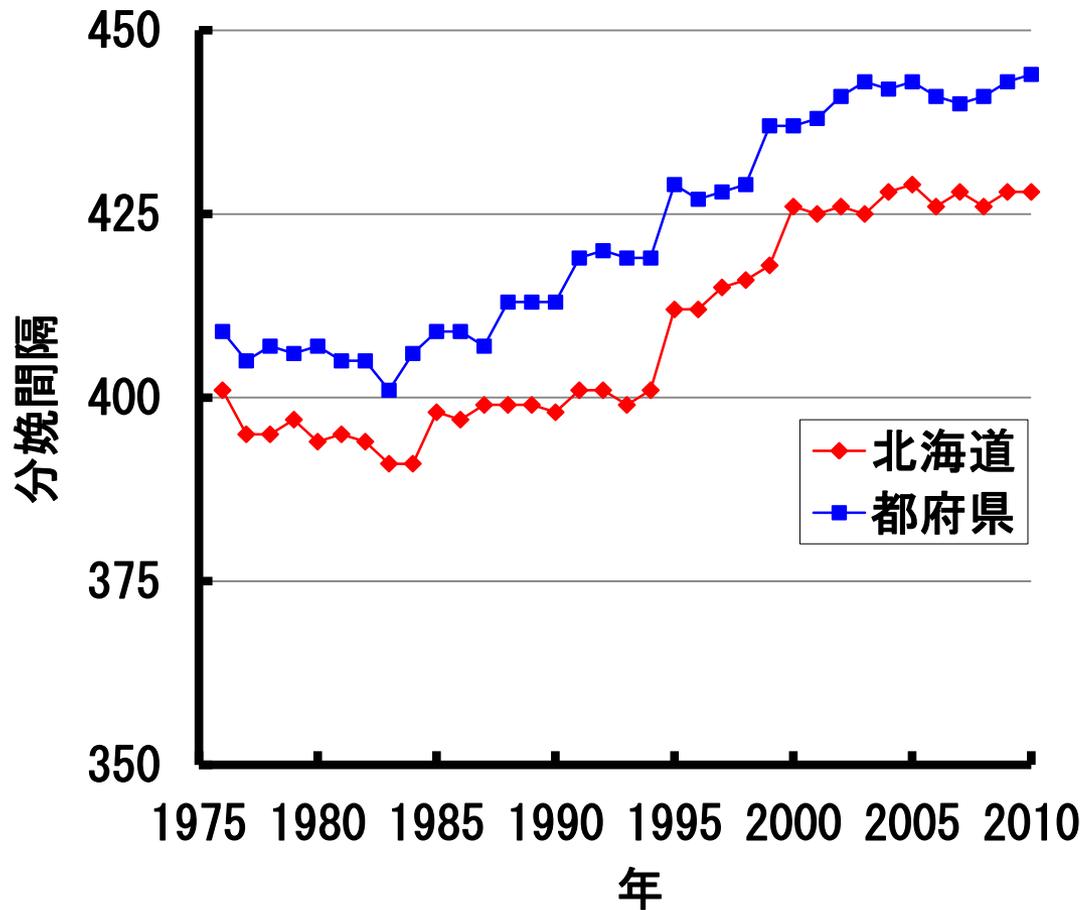
(1994年:全国  
で4600頭の乳  
牛が死廃)

猛暑による夏季分娩牛への悪影響

# 図、乾乳牛と泌乳牛の直腸温・呼吸数 (栗原ら、1995)



# 都府県と北海道の乳牛の分娩間隔



・分娩間隔:平22年

428日(北海道)

444日(都府県)

・分娩間隔は猛暑の年に上昇する

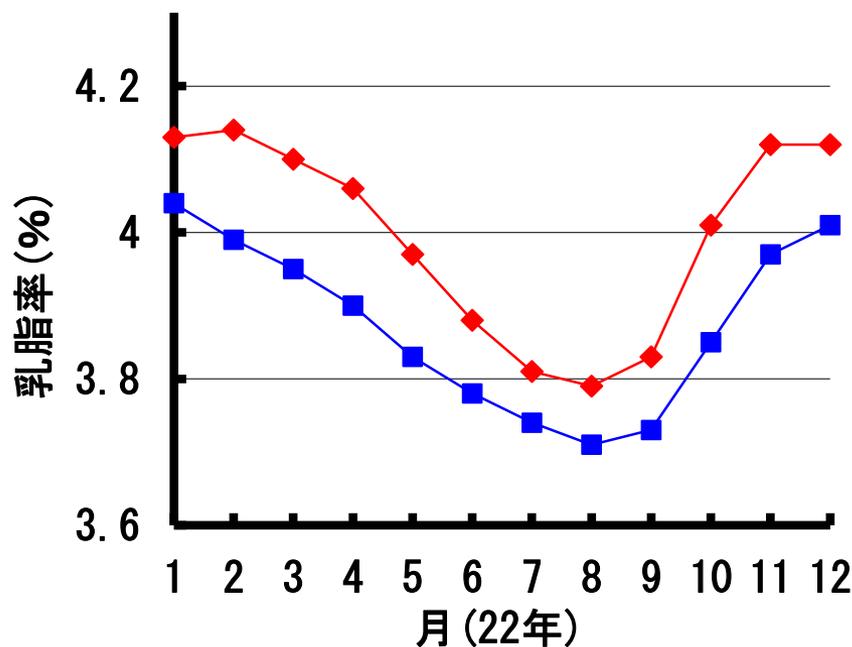
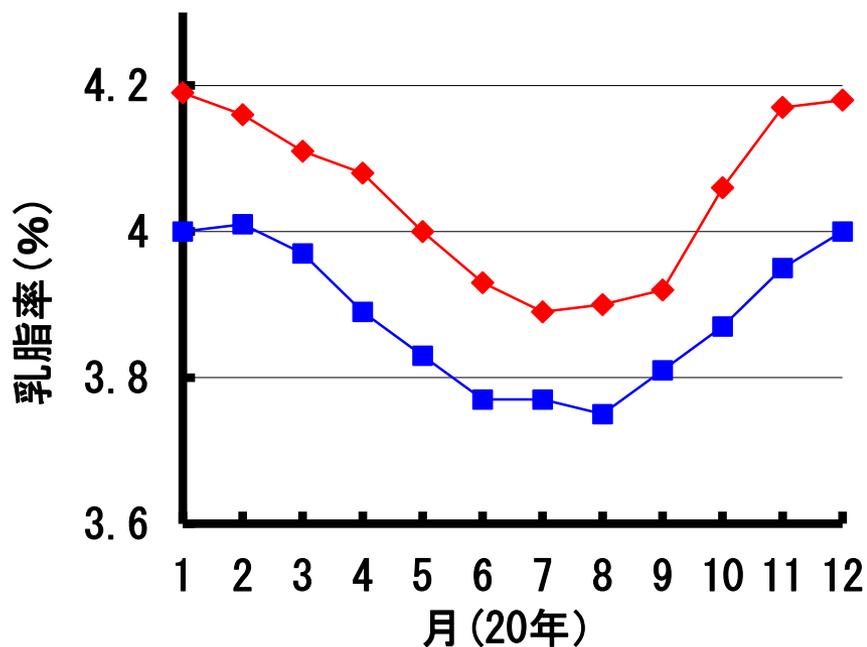
・分娩間隔はその後回復しない

(猛暑の1994年:10日以上の上昇)

(牛群検定成績)

# 都府県(■)と北海道(◆)の乳脂率

## 夏季・猛暑における乳脂率の低下



(牛群検定成績:平成20年と猛暑の22年)

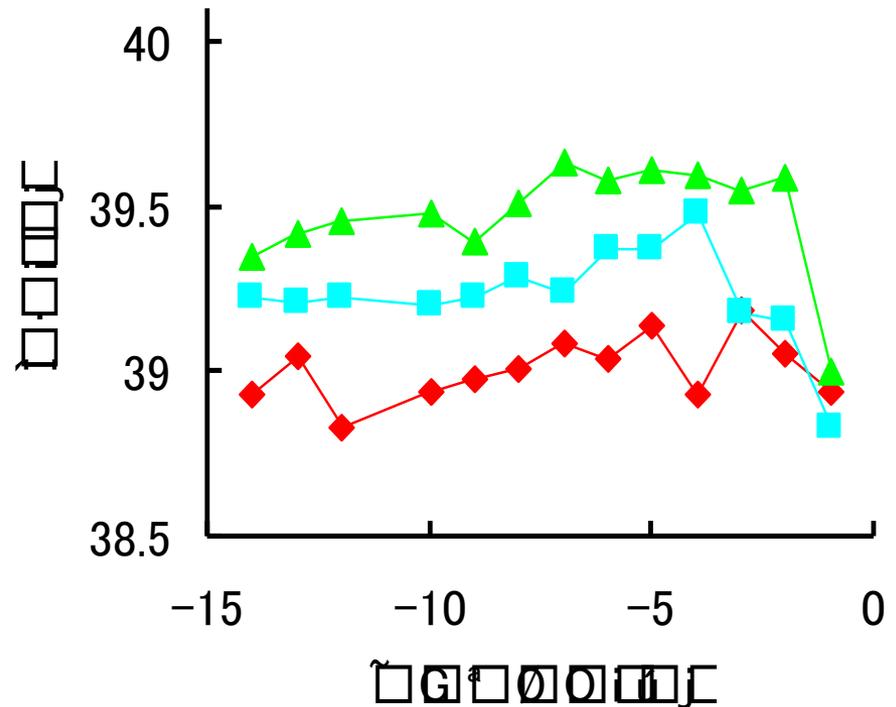
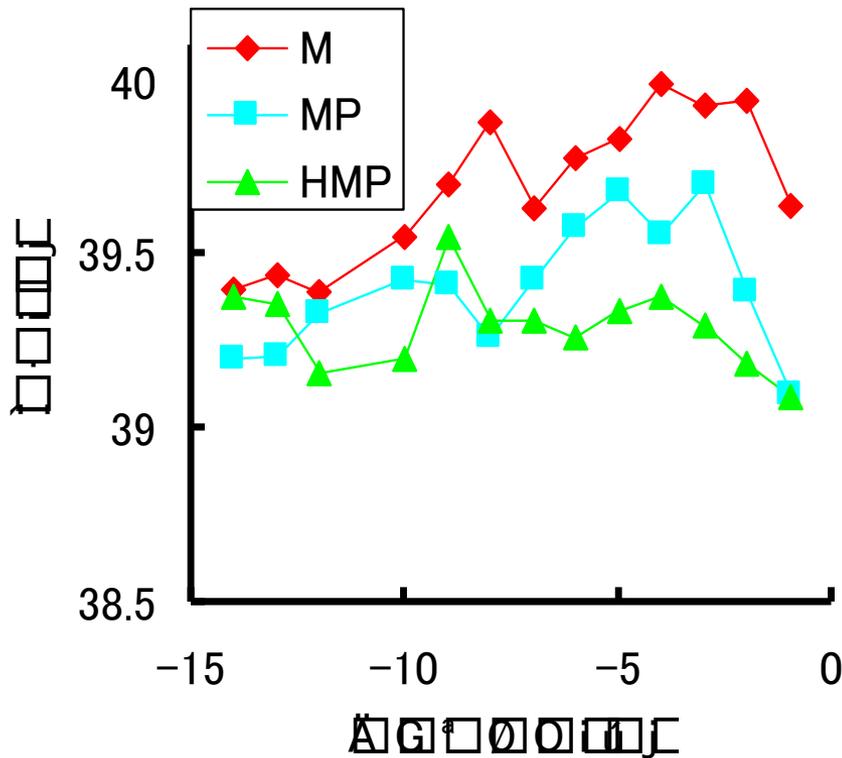
都府県と北海道の分娩間隔の変動と近似している

表、妊娠牛の分娩前の乾物摂取量  
 (分娩4週間前から分娩時まで給与)

	夏季			秋季		
	M	MP	HMP	M	MP	HMP
例数	4	8	4	4	8	4
妊娠期間、日	284	281	281	285	282	283
体重、kg	663	664	679	560	651	665
増体率、kg/日	0.21	0.17	1.35	0.17	0.79	0.80
DMI、kg/日	6.09	8.50	10.4	6.04	8.63	10.3

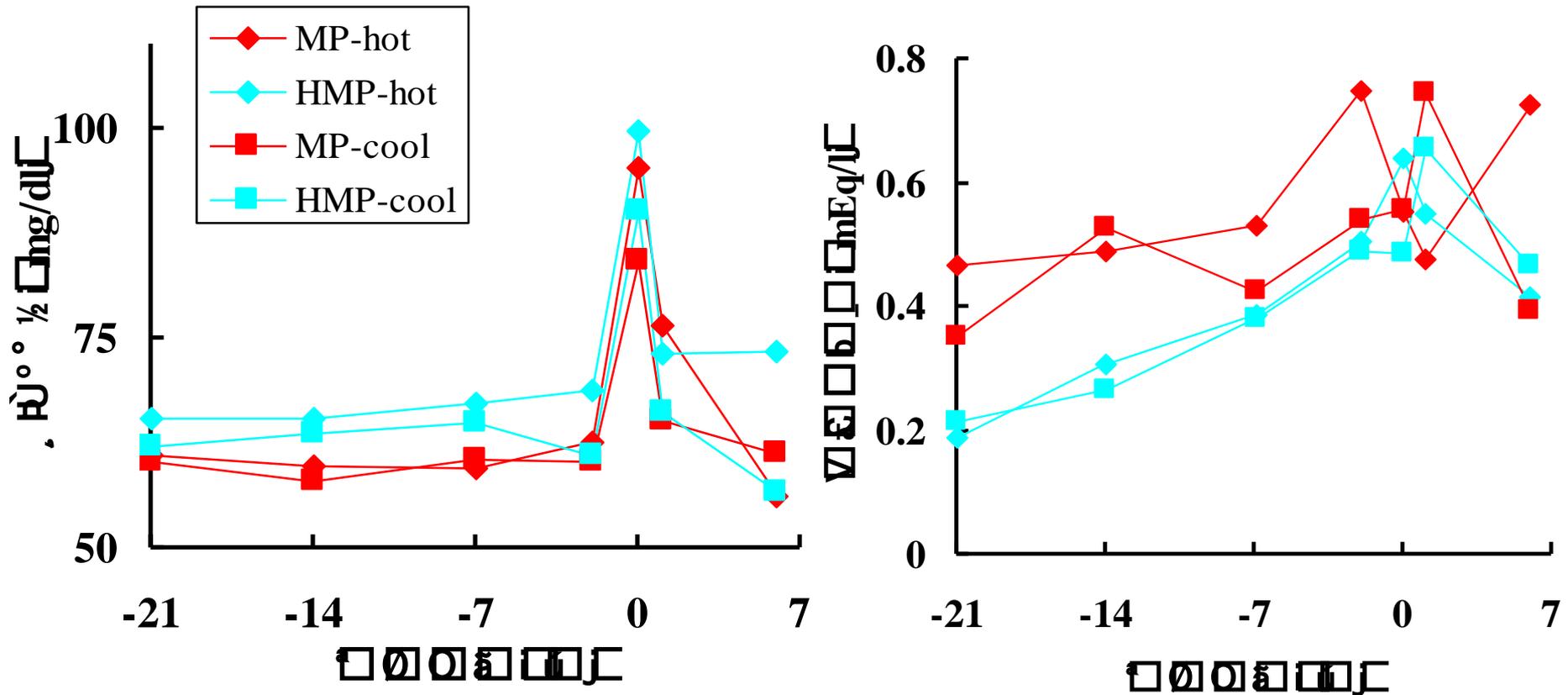
夏季分娩牛の増体率の低下が問題

# 図、夏季・冬季分娩牛の直腸温(15:30)の変動: 夏季の栄養不足による体温上昇(40°C以上)で 分娩後2頭が体調不良



夏季分娩牛では体脂肪を動員してエネルギー不足を補うが、不適切な熱放散によって体温が上昇する

# 図、乳牛の血漿グルコースと遊離脂肪酸の変動：栄養不足による遊離脂肪酸の上昇



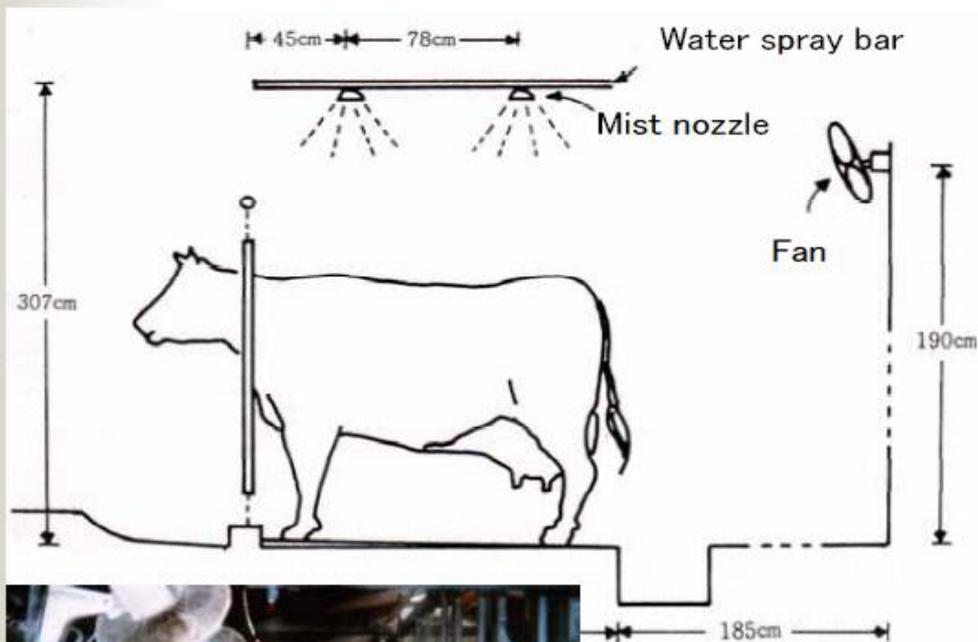
# 表、供試牛の血漿・初乳中ミネラル濃度

	夏季			秋季			効果	
	M	MP	HMP	M	MP	HMP	飼料	季節
血漿、mg/dl								
Ca	9.81	9.72	9.69	9.70	9.83	9.99	NS	NS
Pi	5.45	4.89	4.78	5.07	4.85	4.26	NS	NS
Mg	2.03	2.13	2.19	2.22	2.18	2.04	NS	NS
初乳、mg/dl								
Ca	201	164	192	210	247	233	NS	**
P	183	152	169	203	214	295	NS	**
Mg	36	27	35	43	48	42	NS	**

\*P<0.05, \*\*P<0.01, \*\*\*P<0.001

乳中含量、mg/dl : Ca(120)、P(90)、Mg(10)

# 物理的暑熱対策技術・・・牛からの熱放散の促進



改良型気化冷却装置の効果

	Mist & Fan	Fan	Cont
BT, 14:00	39.3	39.6*	40.1**
BT, 20:00	39.1	39.6*	40.1**
RR, 14:00	53	59*	69**
RR, 20:00	52	66	77**
Liveweight	597	594	594
Forage intake	9.39	9.25	8.65
<b>Milk yield</b>	<b>20.3*</b>	<b>19.4</b>	<b>18.4**</b>

BT, Body temperature; RR, Respiration rate

(Aii et al. 1988)



妊娠末期の暑熱対策の重要性：  
気化冷却の活用

# タンパク質栄養の改善による 周産期病の予防

- ・非分解性タンパク質の給与
- ・血漿中(乳中)尿素態窒素の適正化

# タンパク質と乳生産 (NRC、2001)

$$\text{乳量(kg)} = 0.8 * \text{DMI} + 2.3 * \text{CP} - 0.05 * \text{CP}^2 - 9.8$$

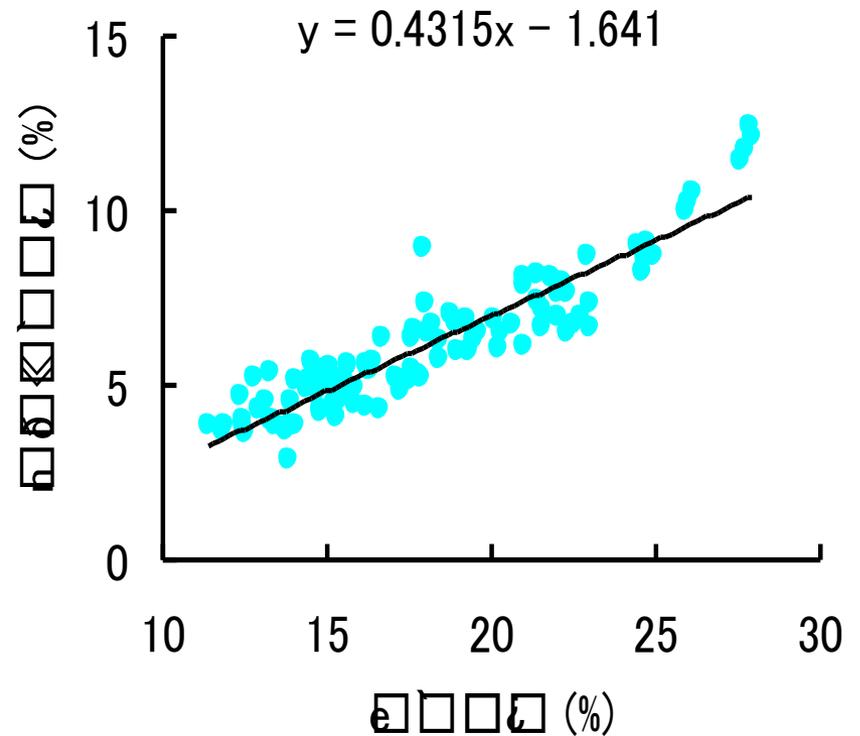
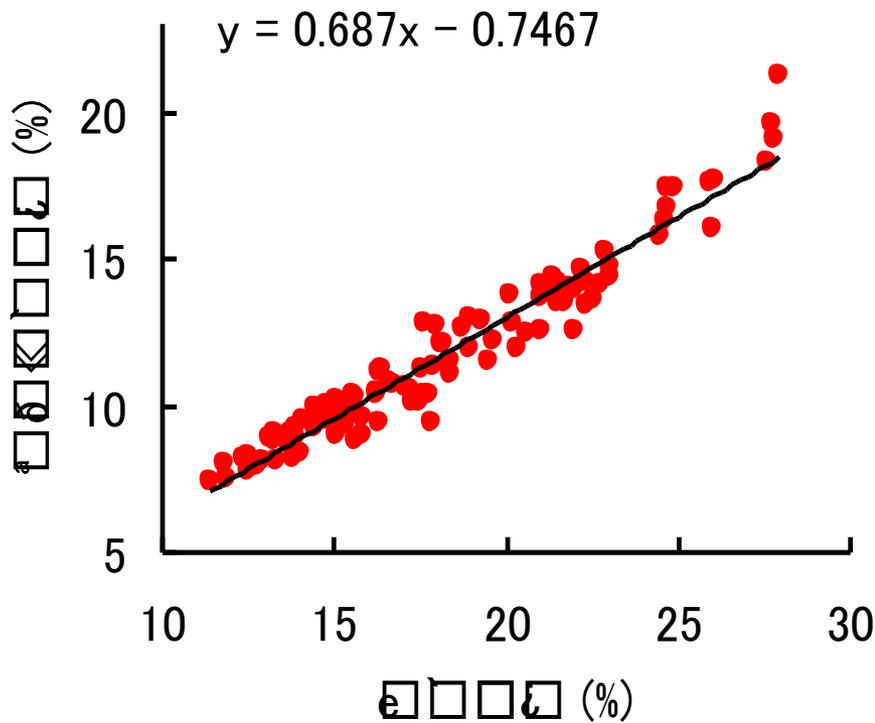


- ・モデルの変動の60%はDMI、40%はCP
- ・DMIを固定すると、CP23%で最高乳量になる



- ・CPが14%から18%に増加: 乳量は2.8kg増
- ・高CP給与は繁殖性に悪影響(19%以上で受胎率低下)を及ぼすとともに、糞尿中への窒素排泄量が増加する(血漿尿素態窒素の上昇)

# 図、アルファの分解性・溶解性 蛋白質の比率

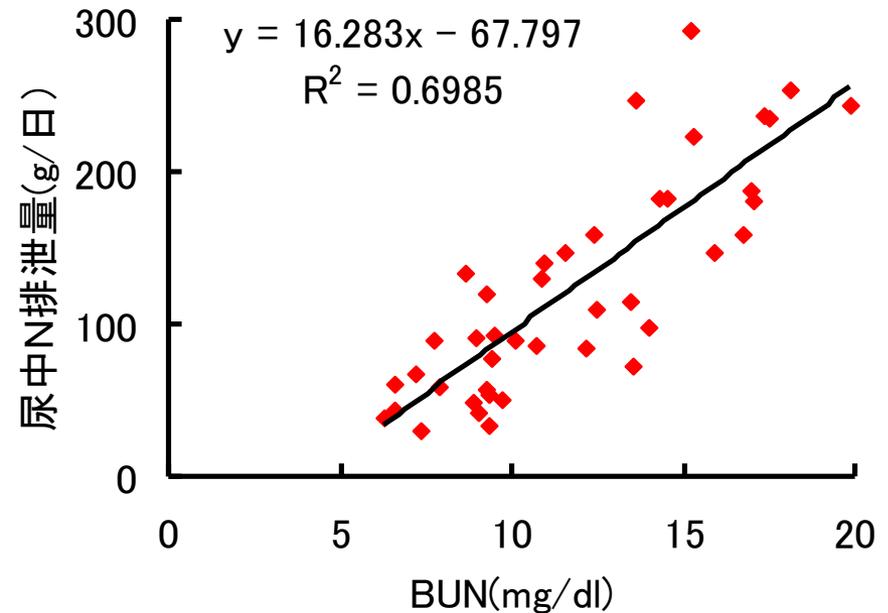
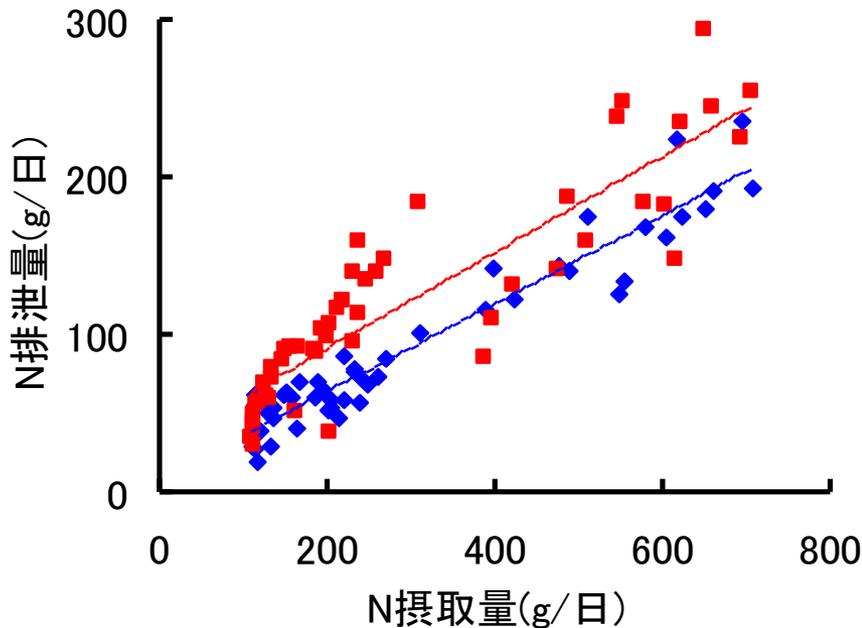


# 表、サイレージの分解性 (CPd)・ 溶解性 (CPs) タンパク質含量

	イネ科牧草	アルファルファ	トウモロコシ
CP (%)	10.4	18.1	7.3
CPd (%)	6.6	10.5	4.9
CPd/CP	(63.8)	(58.0)	(66.5)
CPs (%)	4.4	9.7	3.6
CPs/CP	(42.7)	(53.5)	(49.5)

サイレージは分解性タンパク質が多い

# 図、乳牛のN摂取量と糞(◆)・尿(■)中N排泄量とBUNの関係

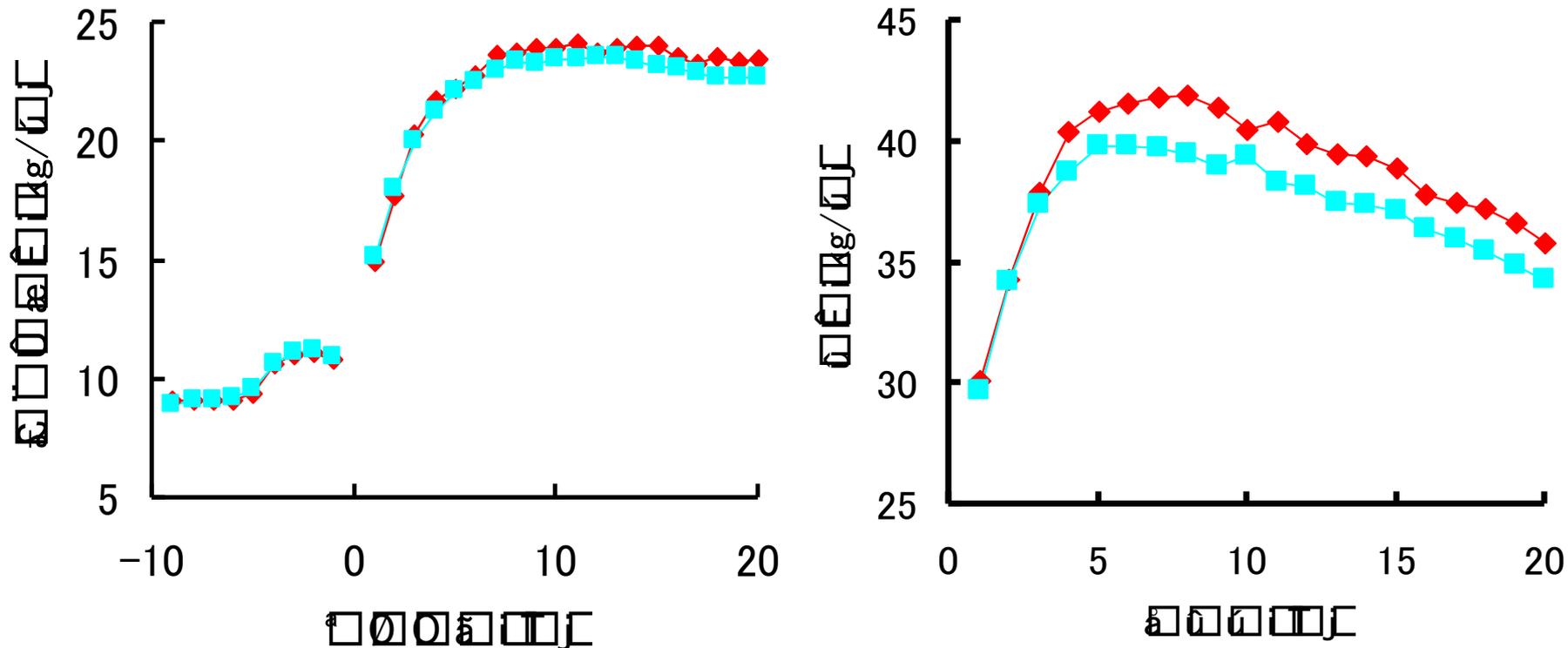


**尿中窒素排泄量の増加**：窒素が無駄になるだけでなく、窒素の処理によるエネルギー消費と尿素としてのエネルギーの損失

表、魚粉区と対照区の飼料組成と栄養価

	分娩前		分娩後	
	対照区	魚粉区	対照区	魚粉区
給与飼料(% of DM)				
チモシー乾草	45.5	45.5	26.0	26.0
アルファルファ乾草	24.5	24.5	14.0	14.0
配合飼料	26.3	27.5	52.6	55.0
大豆粕	3.7	--	7.4	--
魚粉	--	2.5	--	5.0
栄養価 (UIPは非分解性タンパク質)				
CP, %	15.0	15.1	16.3	16.4
UIP, %	4.6	5.1	5.6	6.6

# 図、魚粉(◆)区と大豆粕(■)区の乾物摂取量と体重



魚粉はBSE発生により、現在は使用禁止であるが、加熱大豆などでも同様の効果が得られる

# 表, 魚粉給与牛の乳生産と 繁殖成績: 茨城畜試 (<sup>a,b</sup>P<0.05 )

	魚粉区	大豆粕区
頭数	44	44
DMI、kg/日	22.6	22.3
乳量、kg/日	38.9 <sup>a</sup>	37.5 <sup>b</sup>
乳蛋白質量、kg/日	1.17 <sup>a</sup>	1.13 <sup>b</sup>
発情回帰日数、日	58.8	57.8
初回授精日数、日	80.0	81.3
授精回数、回	1.31	1.27
受胎率、%	54.6	59.1

・受胎率は分娩後144日までの成績

# 蛋白質栄養と乳生産、繁殖成績

- ・分解性蛋白質と非分解性蛋白質の給与  
(蛋白質の過剰摂取による受胎率低下)



過剰な蛋白質、分解性蛋白質給与を避ける



血漿中(乳中)尿素態窒素の適正化  
分娩後の乳量増加・繁殖成績改善

# ミネラル栄養の改善による 乳熱の予防

- ・カリウム摂取量の低減による乳熱予防
- ・イオンバランスによる乳熱予防

# 細胞内液と外液のイオン組成 (mM)

---

陽・陰イオン	細胞内液	細胞外液
--------	------	------

---

Na <sup>+</sup>	5-15	145
-----------------	------	-----

K <sup>+</sup>	140	5
----------------	-----	---

Ca <sup>2+</sup>	10 <sup>-4</sup>	1-2
------------------	------------------	-----

Mg <sup>2+</sup>	0.5	1-2
------------------	-----	-----

H <sup>+</sup>	7x10 <sup>-5</sup>	4x10 <sup>-5</sup>
----------------	--------------------	--------------------

(pH)	(7.2)	(7.4)
------	-------	-------

---

Cl <sup>-</sup>	5-30	110
-----------------	------	-----

HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	10	30
-------------------------------	----	----

---

血漿の浸透圧は約280mOsm/kgH<sub>2</sub>O

# 乳熱(起立不能症)とは

- 乳牛の生産病(代謝障害)の代表的なものの一つで、被害は甚大
- 分娩後2-3日以内に低Ca血症になり、筋肉の痙攣・麻痺が生じ、起立不能となる(最悪の場合は致死)
- 乳熱に関する研究は昔から数多いが、効果的な予防方法はまだない

# NRC2001の乳熱発生要因

1) KあるいはNa過剰摂取による代謝性アルカローシス



副甲状腺ホルモン(PTH)受容体の機能低下



活性型ビタミンD低下によるCa吸収量減少・  
骨吸収減少

2) 妊娠牛の低Mg血症



PTH分泌量減少とPTH受容体の機能低下

# カルシウムの働き

- Caは骨の主要成分で、骨に局在している(99%)が、血漿中のCa濃度は非常に狭い範囲内(9-10mg/dl)に維持されている
- Caは細胞と血液間の濃度差が大きく(1万分の1)、この濃度差を利用してさまざまな働きをしている
  1. 細胞間の情報伝達、細胞の接着
  2. 神経の興奮伝達、内・外分泌線の機能調節
  3. 筋肉の収縮
  4. 血液凝固

# 血漿中Ca濃度の調節因子 —厳密な制御

1. 副甲状腺ホルモン(PTH)
2. 活性型ビタミンD ( $1,25(\text{OH})_2\text{D}_3$ )
3. カルシトニン(CT)
4. その他の因子(成長ホルモン、エストロゲン、アンドロゲン、副腎皮質ホルモン、甲状腺ホルモンなど)

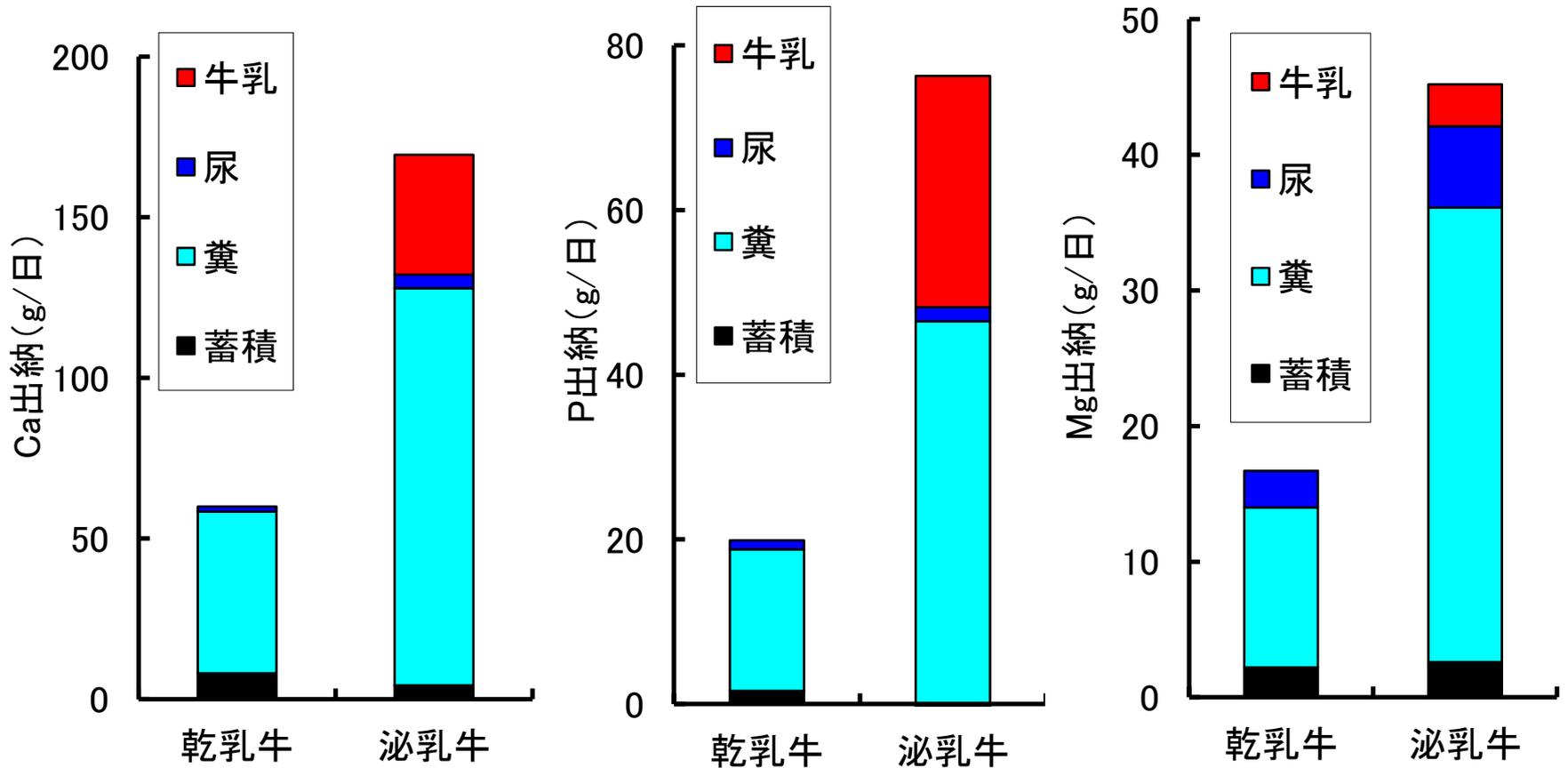
# リンの働き

PはCaとともに骨の主要成分で、骨に局在している(85%)が、恒常性維持のために体内で非常に重要な働きをしている



1. 体内のエネルギー源(ATP, GTPなど)
2. 遺伝子(核酸)の成分
3. 体内の情報伝達系の働き
4. 生体膜(リン脂質)の成分

# 図、乳牛のCa、PとMg出納

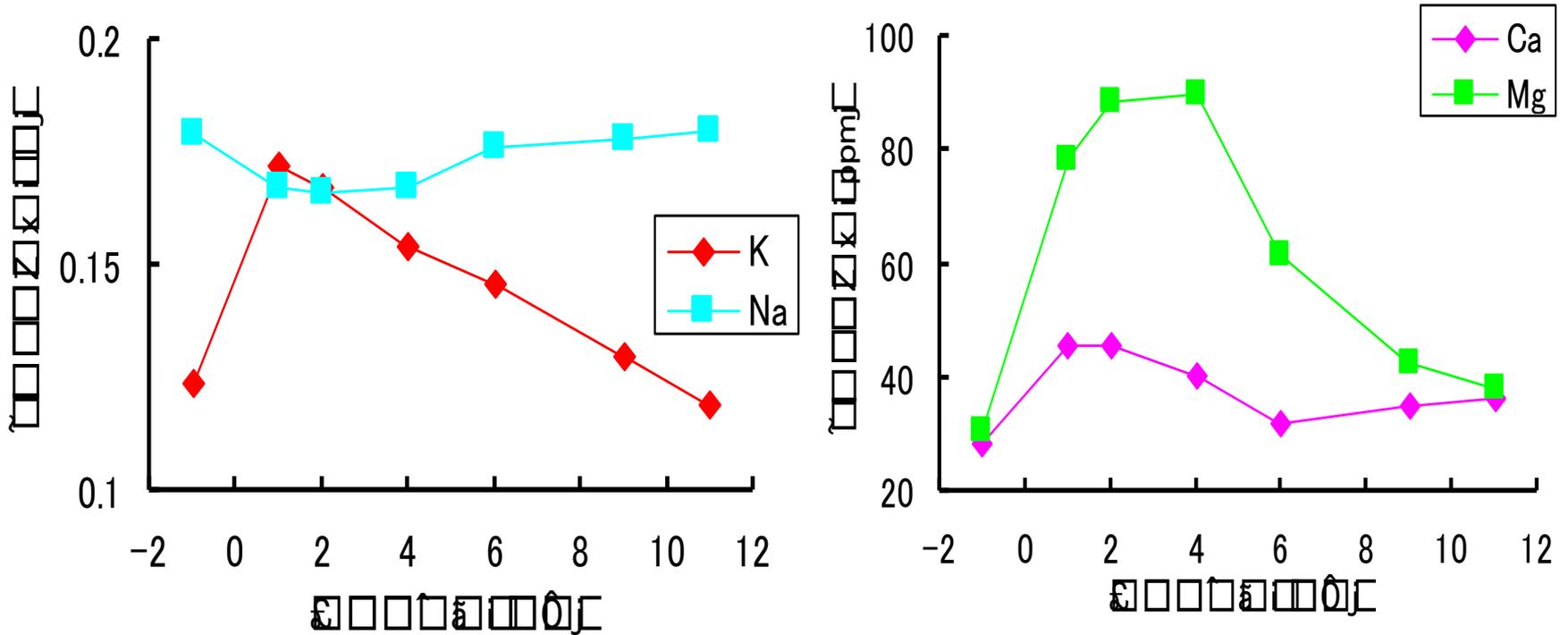


CaとPと比べて、Mgは乳中への分泌量が非常に少ない

# マグネシウムの働き

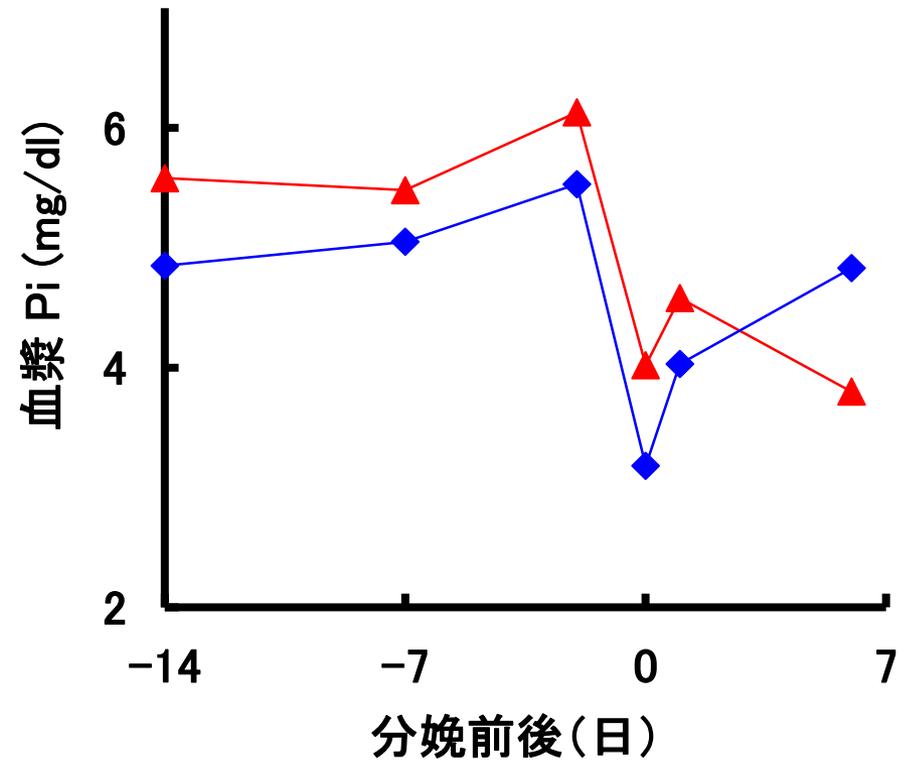
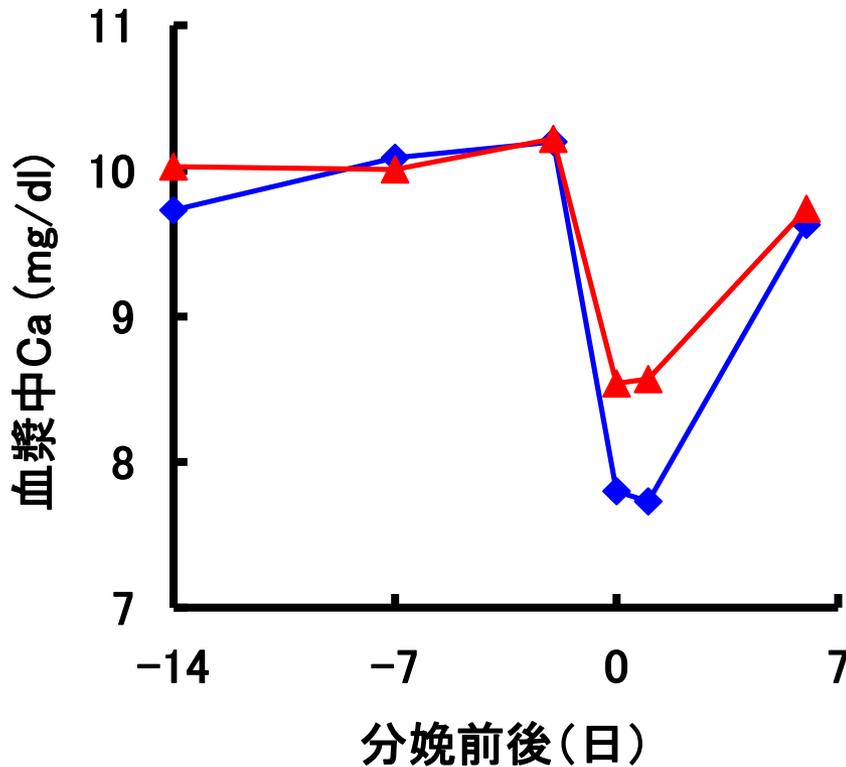
- 乳牛体内に含まれているMgの約60%は骨格に存在し、Mgは体内で酵素の活性化、神経伝達、骨の形成などの働きをしている
- 乳牛のMgの主な吸収部位はルーメンであるが、ルーメンpHが6.5を超えるとMgの溶解性が低下し、Mgの吸収率も低下する
- 飼料中のK含量が高いとルーメンpHが上昇し、KはMgの吸収に対して拮抗的に作用するため、乾乳後期には乳熱予防のためにMgの給与量を増やすことが推奨されている

# 図、乾草給与後の羊のルーメン液中 ミネラル濃度の変動：



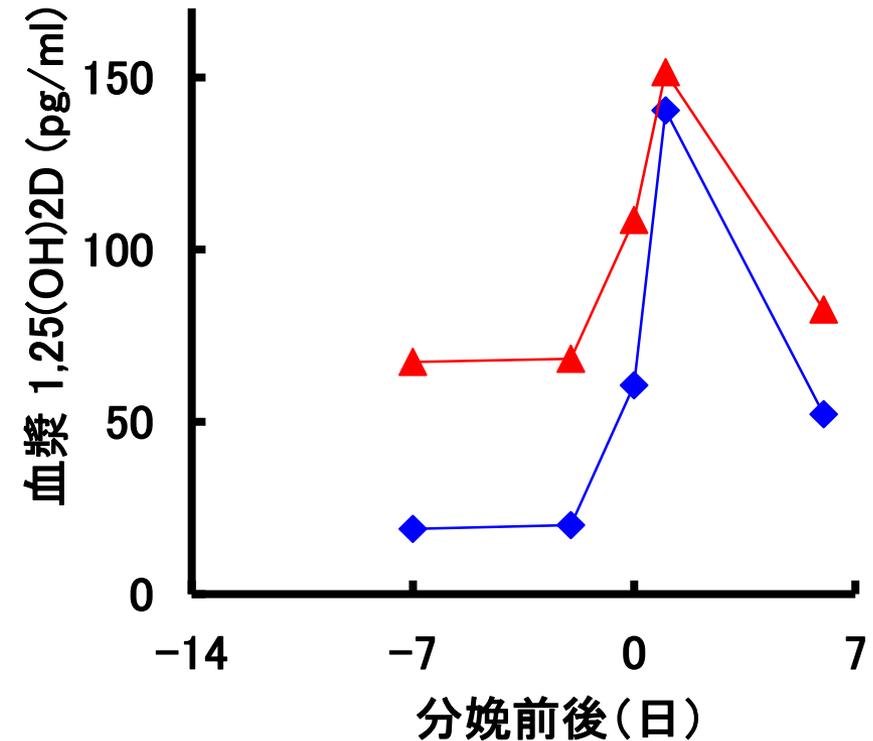
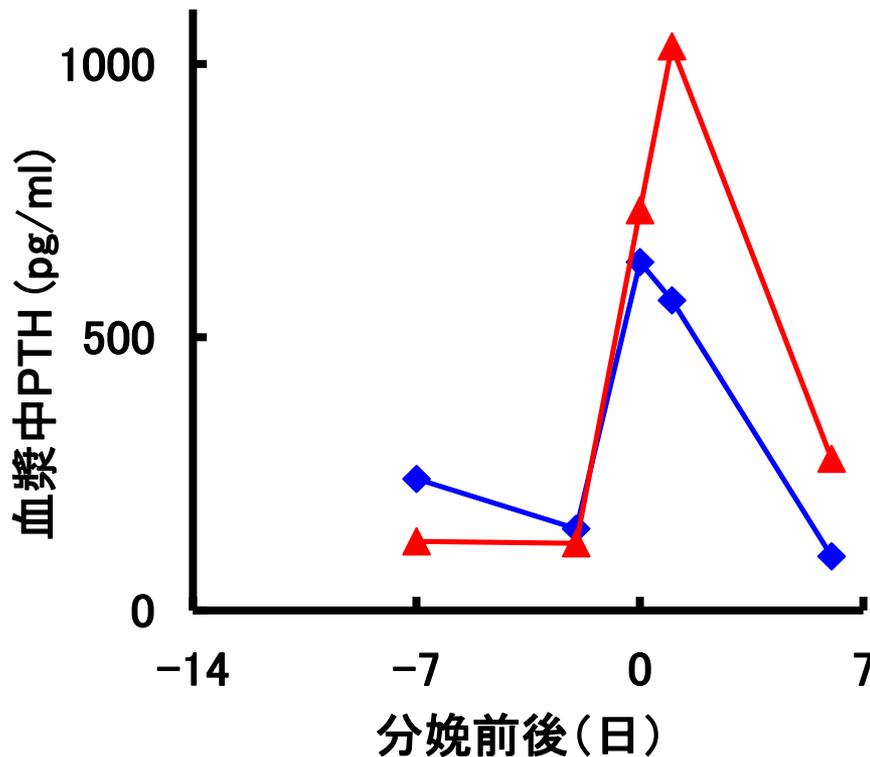
Mgの吸収部位はルーメン：Kによる阻害

図、アルファルファ給与区 (◆) とコーン+アルファルファ給与区 (▲) の血漿CaとPi濃度



分娩直後に血漿CaとPi濃度は低下するが、正常範囲内に維持して、乳熱を予防する

図、アルファルファ給与区 (◆) とコーン+アルファルファ給与区(▲)の血漿PTHと活性型ビタミンD濃度



血漿中副甲状腺ホルモンと活性型ビタミンDは分娩直後に急増して、乳熱を予防する

# 乳牛の分娩前後のCa代謝 (乳熱予防に対する適応反応)

副甲状腺ホルモン分泌→  
(PTH)

腎臓: Ca再吸収  
活性型VD分泌

骨吸収の増加  
(PTH受容体)

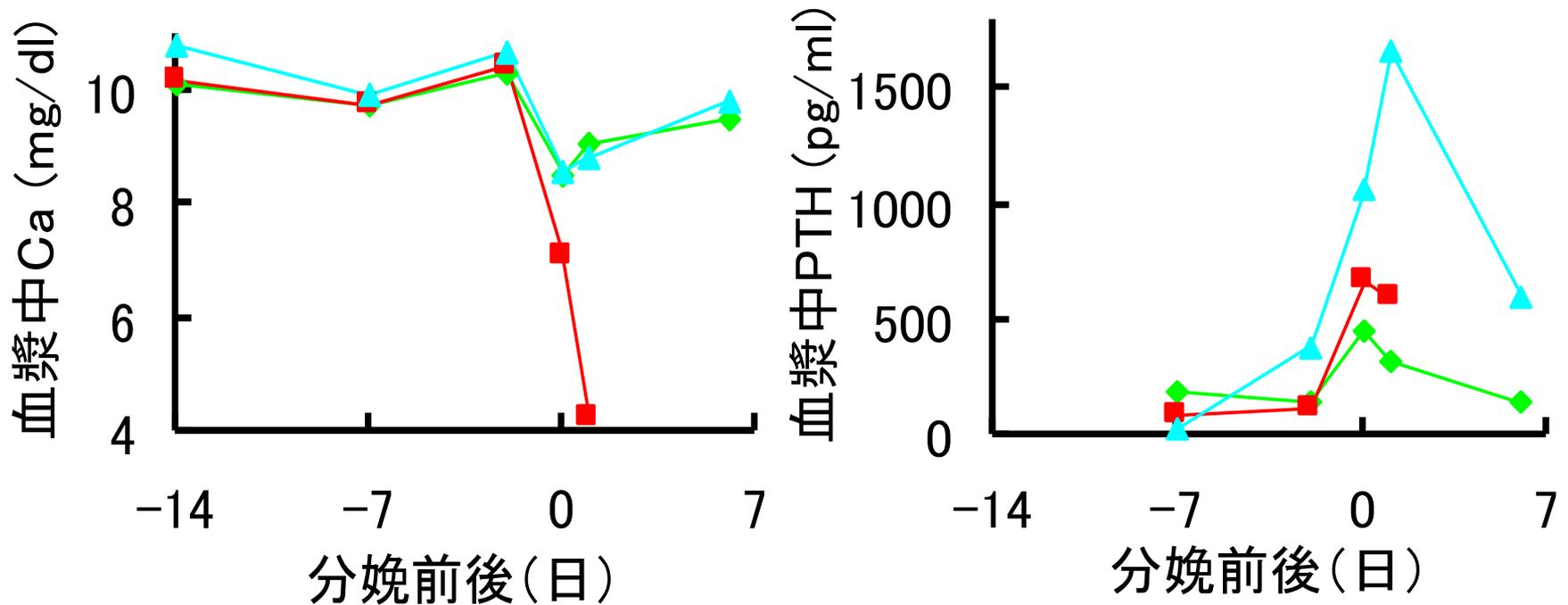
小腸のCa吸収増加  
(ビタミンD受容体)

分娩時におけるCa代謝の正常化

表、乳牛のK摂取量と乳熱発生、低Ca血症  
(7.5mg/dl以下)の関係(Goff,1997)

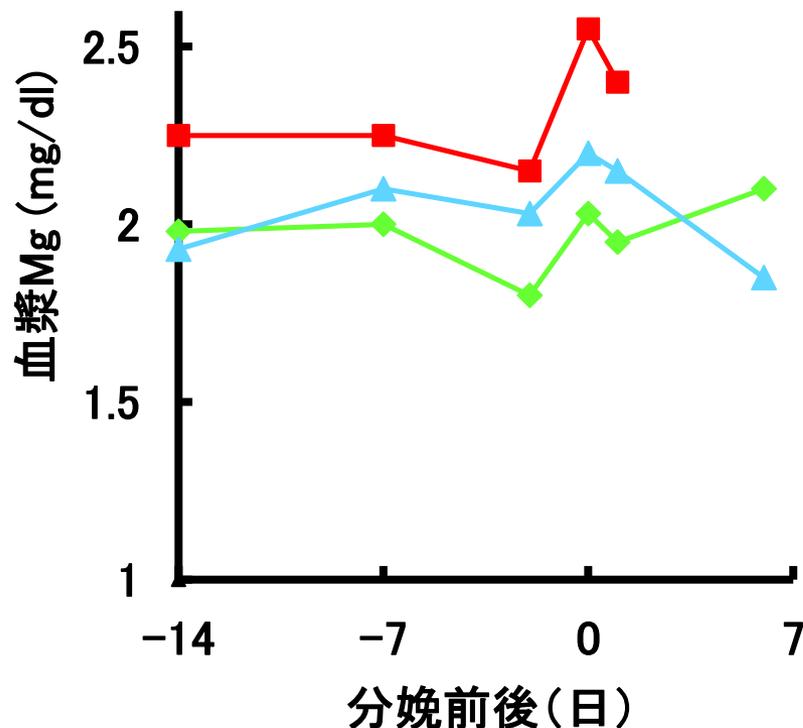
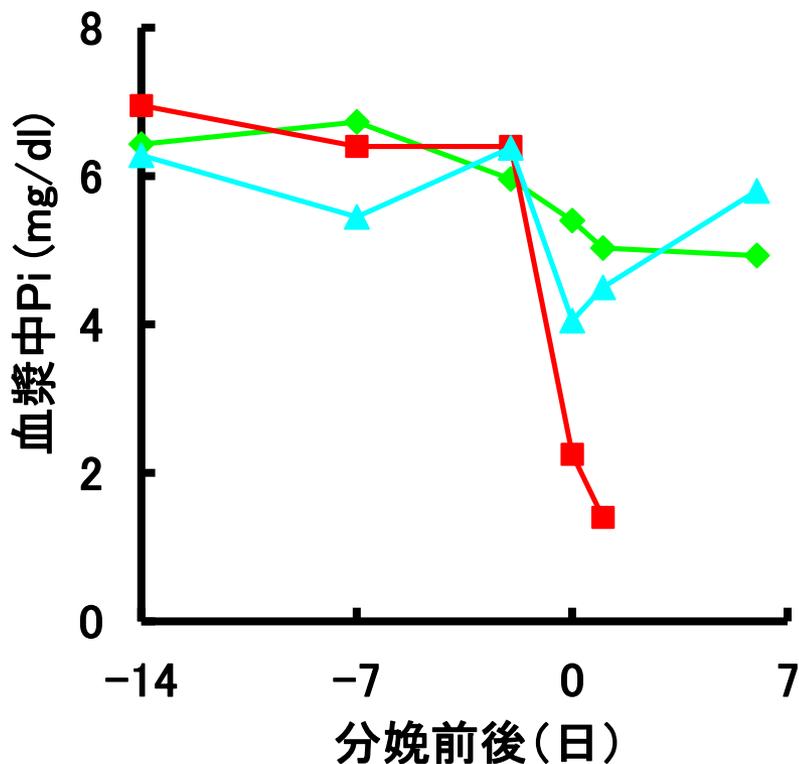
飼料中K	1.1%	2.1%	3.1%	全Ca
<b>Ca, 0.5% (発生頭数 / 供試頭数)</b>				
乳熱発生	0/10	4/11	8/10	12/31
低Ca血症	9/10	11/11	10/10	30/31
<b>Ca, 1.5%</b>				
乳熱発生	2/10	6/9	3/13	11/32
低Ca血症	9/10	9/9	12/13	30/32
<b>全K</b>				
乳熱発生	2/20	10/20	11/23	
低Ca血症	18/20	20/20	22/23	

# 図、グラス区(◆)、アルファルファ-正常(▲)、アルファルファ-乳熱(■)の血液成分



アルファルファ給与による乳熱発生: PTHの分泌は正常なため、発生要因は多い

# 図、グラス区(◆)、アルファルファ-正常(▲)、アルファルファ-乳熱(■)の血液成分



血漿Pi濃度は低下するが、血漿Mg濃度は正常

# NRC2001の乳熱予防法

## 1)飼料中のKあるいはNaの低減

- ・飼料配合、コーンサイレージ利用によるK低減

## 2)陰イオン塩の給与

- ・  $(\text{Na}+\text{K})-(\text{Cl}+\text{S})$  の式で0ミリ当量/kg程度

## 3)Mg剤の給与

- ・分娩前の飼料中Mg含量:0.35-0.40%

## 4)CaとPの給与

- ・適正なCa給与量は未定、P給与量は40-50g

(分娩前のDMIが増加したため、現状ではCaの低減はほとんど不可能)

# カチオン・アニオンバランス (DCAD) の利用 (NRC2001)

飼料中のカチオンとアニオンの差 (ミリ当量表示)

1) Enderの式: 乳熱予防で一般的に使われる式

$(\text{Na}+\text{K})-(\text{Cl}+\text{S})$  --- 負 (-) にすることがよい



乳熱予防で利用 (ノルウエーの研究結果 (1984年) の再評価 (低Ca給与ではなく))

2) Monginの式: 暑熱ストレスでよく利用される式

$(\text{Na}+\text{K})-\text{Cl}$  --- 正 (+) にすることがよい

(1970-1980年代に研究が進展)

# 飼料のイオンバランス (DCAD)

	Na	K	Cl	S	DCAD
配合飼料	0.10	0.81	0.20	0.22	59
大豆粕	0.02	2.33	0.02	0.40	350
イタリアンライグラス	0.08	3.13	1.79	0.24	184
アルファルファ	0.05	3.23	1.02	0.29	379
オーチャートグラス	0.27	2.11	1.17	0.21	200
コーンサイレージ	0.03	1.00	0.27	0.09	139

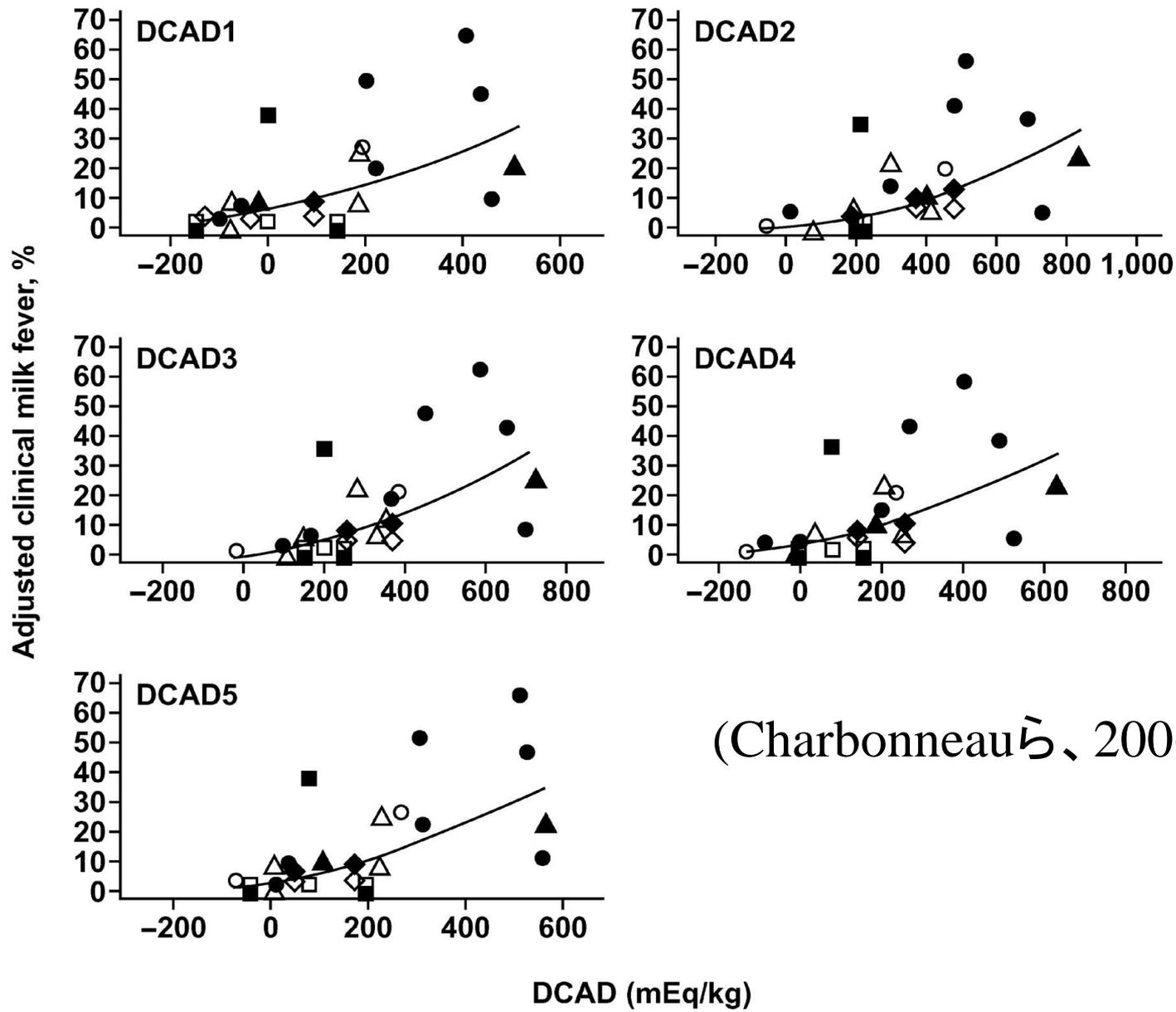
注)  $DCAD = ((Na/23.0 + K/39.1) - (Cl/35.5 + S/16.0)) \times 10,000$  (ミリ当量/kg)

飼料は乾物当たり%

# 表、分娩前のDCADと乳熱(n=45) の関係 (Joyceら、1997)

	+30G	+30A	-7AD
DCAD、ミリ当量/kg	300	350	-70
K含量、%	1.72	2.40	2.51
血中pH(分娩1週前)	7.44	7.44	7.43
尿中pH(分娩1週前)	8.05	8.33	7.35
疾病発生率 (頭数当たり)			
乳熱	3/15	3/15	2/15
非臨床性乳熱	3/15	8/15	4/15
第4胃変位	3/15	2/15	1/15
非臨床性ケ-シ	3/15	2/15	0/15

G:グラス主体給与区、A:アルファアルファ主体給与区



(Charbonneauら、2006)

図、DCAD(5種類の式)給与と乳熱の関係

# 乳熱予防法と今後の課題

1)飼料中のKあるいはNaの低減

2)Mg剤の給与

・分娩前の飼料中Mg含量:0.35-0.40%

3)CaとPの給与

・適正なCa給与量は未定、P給与量は40-50g



分子生物学的な手法を活用して乳熱発生のメカニズムを解明する