

## 放牧牛の体温調節行動に関する研究(1)

誌名	草地試験場研究報告
ISSN	03850196
著者	桜井, 茂作 土肥, 宏志
巻/号	38号
掲載ページ	p. 1-13
発行年月	1988年1月

# 放牧牛の体温調節行動に関する研究

## I 暑熱条件が放牧牛の被毛温度並びに暑熱回避行動に及ぼす影響

桜井茂作・土肥宏志

生態部 家畜生態研究室  
(昭和62年8月26日受理)

### 要 約

桜井茂作・土肥宏志(1988):放牧牛の体温調節行動に関する研究 I 暑熱条件が放牧牛の被毛温度並びに暑熱回避行動に及ぼす影響. 草地試研報 38:1-13.

暑熱条件下における放牧牛の被毛温度を測定し,被毛温度の変化と暑熱回避行動との関係について,黒毛和種を用いて,1983-1985年の間,試験を実施した。得られた結果は次のとおりであった。

- 1) 放牧牛の被毛温度は気温の上昇に伴って上昇し,側腹被毛温( $y$ )と環境温度( $x$ )との間に, $y=0.814x+11.57$  ( $r:0.972$ )の一次式が得られた。同様に,皮膚温( $y$ )と環境温度( $x$ )の間に, $y=0.45x+22.95$  ( $r:0.861$ ),直腸温( $y$ )と環境温度( $x$ )の間に, $y=0.021x+38.314$  ( $r:0.696$ )の一次式が得られた。
- 2) 放牧牛の被毛温は太陽の直射光を受けると上昇し,側腹の被毛温( $y$ )と日射量( $x$ )の間にも $y=18.08x+30.62$  ( $r:0.824$ )の一次式が得られた。
- 3) 放牧牛は日射量が $0.45\text{ cal/cm}^2/\text{min}$ を超えると,放射面の被毛温が $40^\circ\text{C}$ を超え,暑熱回避行動がみられた。
- 4) 日射量が $0.35\text{ cal/cm}^2/\text{min}$ 以下の庇陰下では,被毛温は $35^\circ\text{C}$ 以下に低下し,起立休息した。
- 5) 暑熱回避行動を規制すると,放射面の被毛温は $45^\circ\text{C}$ 以上に上昇し,呼吸数は $80\text{ 回}/\text{min}$ から $120-160\text{ 回}/\text{min}$ に増加し,口から泡や舌を出し,直腸温が $40^\circ\text{C}$ を超えるものが見られた。放牧牛は密集した群を形成し,相互遮蔽を利用して頭部を日陰に入れるようになった。
- 6) 集合した牛の相互遮蔽により形成された日陰により,地表温度は下がり,下腹部被毛温の上昇が抑えられた。
- 7) 環境温度が $30^\circ\text{C}$ 以下の場合,日中の採食行動再開がみられるが,被毛温が $40^\circ\text{C}$ を超えると約30分で日陰に戻る行動をとった。
- 8) 庇陰場所のうち最もよく利用されたのは風通しのよい庇陰林,次いで寒紗日除け,スレート屋根の庇陰舎の順であった。午前中の暑熱回避には東又は南側庇陰林を利用し,午後になると主として西側庇陰林に移動した。
- 9) 牛体に吹き付ける風速の変動に伴って,被毛温は敏感に変化した。風速が $2-3\text{ m/s}$ に高まると,被毛温は $2-3^\circ\text{C}$ 低下し暑熱回避行動はみられなかった。また,被毛温( $y$ )と風速( $x$ )との間に,放射面で $y=-2.16x+45.44$  ( $r:0.963$ )非放射面で $y=-1.534x+38.45$  ( $r:0.7687$ )の一次式が得られた。
- 10) 雲などによって日射量が $0.5\text{ cal/cm}^2/\text{min}$ より低い場合は,被毛温の上昇が抑えられ,暑熱回避行動はみられなかった。
- 11) 暑熱条件下の放牧地では8時から15時までの7時間の中で暑熱回避行動がみられた。

### 結 言

放牧牛の体温調節行動は,夏季の暑熱回避行動と冬季の寒冷回避行動に分けられる。放牧期間の主要部分を占める夏季放牧においては,暑熱回避行動によって採食時間,採食量が大幅に制約され,放牧牛の夏季生産停滞を起す1つの要因と考えられている。したがって,暑熱条

件下における体温調節行動は,夏季における生産性向上に重要な意味をもっている<sup>6)</sup>。Bennett<sup>2)</sup>らは耐暑性品種の選定に当たって日陰の利用と呼吸数の二つの要因をあげ,体温調節行動は耐暑性との相関が高いことを報告している。

家畜の人工気象室等を使用し,家畜を拘束した条件下で,環境条件の変化が家畜の生理的諸元に及ぼす影響に

について報告されている<sup>4,5,6,7)</sup>。

しかし、そのような条件下での実験結果からは、実際の放牧地において、どのような気象条件で暑熱回避を起すか、その行動は放牧牛の周辺環境と、どのように関わっているかなど推定が困難である。暑熱条件下の放牧管理技術を改善するためには、暑熱回避行動の動機、暑熱回避場所の選択、採食行動を再開するための条件はどうかなどについて解明する必要がある。本研究のねらいは、暑熱条件下における暑熱回避行動について、保健行動学的視点から関連諸要因との関係を明らかにしようとするものである。

### 材料及び方法

試験地は草地試験場の放牧地約 6 ha を使用した。試験地は標高 320 m, 年平均気温 12.2°C, 年平均降水量 1,675 mm 夏季最高気温 32°C である。放牧地は造成後約 5 年を経過したオーチャードグラス主体の混播草地、追肥は草地化成 (17-17-17) を年間 10 a 当たり 100 kg を、3 回に分けて施した。

供試牛は黒毛和種の繁殖牛 (体重 460-490 kg) 12 頭, 育成牛 (体重 240-280 kg) を 15 頭使用した。放牧は輪換放牧によって、4 月中旬から 11 月末まで実施した。供試牛の中から 3 頭のテスター牛を選定し、人間

に対する恐怖感を和らげ、至近距離からの測定を容易にするため、飼料を手渡しで給与したり、呼び寄せなどの学習を行って、群行動中における測定の円滑化を図った。調査期間は 1983-1987 年の 5 か年間、暑熱の厳しい 7-8 月の間に測定した。牛群の行動に関連する環境諸要因並びに放牧牛の測定項目については表 1 に示した。測定は採食行動が始まる日の出前から開始し、日没後採食行動を終了し、横臥休息に入った時まで行った。測定中は主として牛群と同行し、採食行動中、暑熱回避行動を起す時点、日陰に移動後、採食行動の再開時点等において、牛体の被毛温、皮膚温、直腸温を測定した。同時に放牧牛の周辺微気象について測定した。皮膚温は側腹の被毛を 5×5 cm 剃り落した部分を測定した。直腸温は捕獲せずに直腸に体温計を挿入して測定した。呼吸数は側腹の呼吸に伴う振動数により測定した。庇陰施設の配置を図 1 に示した。庇陰林の樹種は 30-40 年生のアカマツとナラの混交林、一部にスギ、ヒノキ、ヤマザクラが混在した。樹高 5-10 m, 林帯幅約 5 m, 林帯の長さ 30 m, 庇陰林内の遮光率 50-80% であった。放牧地の中央にスレート屋根 (5×5 m) の庇陰舎、遮光率 75% の黒色寒冷紗 (5×5 m) の日除けを設置し暑熱回避場所として利用状況を調査した。

表 1 各測定項目と測定法

測定項目	主な測定部位	測定機具
気 温 日 射 量 風 速 雨 量 (放牧牛関係)	場内気象観測記録を使用	
被 毛 温 度	側腹部	放射温度計 (バーンズ 14-220)
皮 膚 温 度	側腹部 (毛刈部分)	抵抗温度計 (ムラヤマ DP-21)
直 腸 温 度	直 腸	体温計 (オムロン, MC-11)
湿 度	周辺相対湿度	温・湿度計 (シンエイ TRH-CZ)
風 速	周辺風速	微風速計 (リオン AM-03)
(周辺環境要因)		
土 壤 水 分	起立・横臥場所	風乾土・乾焼器
上 空 放 射 温 度	晴天、曇天時	放射温度計
樹 葉 ・ 屋 根 温 度	庇陰林・庇陰舎	上 記
地 表 (草上) 温 度	放牧地・庇陰内	上 記
飲 水 温 度	飲水槽内水温	上 記

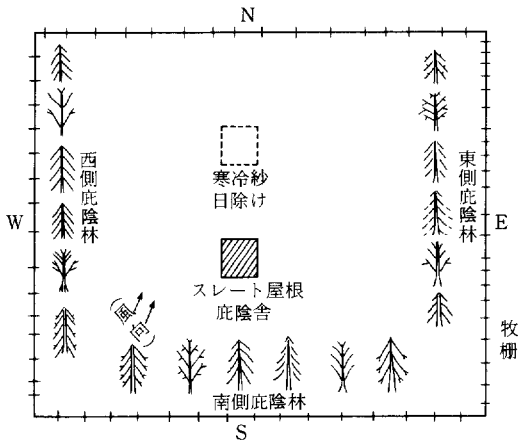


図1 庇陰場所の配置図(面積約3ha)樹種30年生アカマツ、クヌギ、ナラの混交林、林高約15mうっぺい度40~70%

結果及び考察

1. 放牧牛の環境温度・日射量の変化が被毛温、皮膚温、直腸温に及ぼす影響

暑熱条件下において、放牧牛の被毛温、皮膚温、直腸温が環境温度や日射量の影響を受け、どのように変化するかを解明するため、昼夜を通して放牧牛の環境温度と被毛温を測定し、図2に示した。晴れた夜間の放牧地の環境温度は放射冷却も加わって、日中の32-33℃から22-23℃に低下し、横臥休息する周辺の草上温度も約

20℃となった。放牧牛が横臥休息する放牧地の草上温度は、庇陰林や庇陰舎内の地表温度よりも低く、夜間休息場所を選定する場合、放牧効果を高めるため、温度のより低い場所を選択しているものと考えられた。環境温度が下がると被毛温も30℃前後に低下した。また、夜間に低下した放牧地の環境温度は日の出とともに上昇し、被毛温もこの上昇に伴って35℃以上に上昇した。このように放牧牛の被毛温は環境温度の変化に連動して変化し、被毛温(y)と環境温度(x)との間に  $y=0.814x+11.57$  ( $r:0.972$ ) の一次式が得られた(図3)。

同様に、環境温度の変化に伴う皮膚温の変化を測定した。その結果、皮膚温(y)と環境温度(x)との間に  $y=0.45x+22.95$  ( $r:0.861$ ) の一次式が得られた(図4)。皮膚温の変化が被毛温の変化に比較して小さい理由は、被毛により環境温度の影響が和らげられることと、体内からの代謝熱の影響が加えられているためと考えられる。次に環境温度の変化と直腸温との関連を測定した。その結果、直腸温(y)と環境温度(x)の間には、 $y=0.021x+38.31$  ( $r:0.696$ ) の一次式が得られた(図5)。日射量の増加は放射面の被毛温や皮膚温を上昇させ、体内への熱浸透により、直接的に体温を上昇させる働きを示している。他方、環境温度の上昇は非放射面の被毛温や皮膚温を上昇させる。環境温度が32℃前後に上昇すると被毛温、皮膚温、直腸温はほぼ同一になり、体表面からの放熱が抑えられる。暑熱回避行動は皮膚を流れる血液温度の上昇により、大脳の視床下部にある温度中枢を刺激して、体温の上昇を抑えるための行動的対応と考えられる。

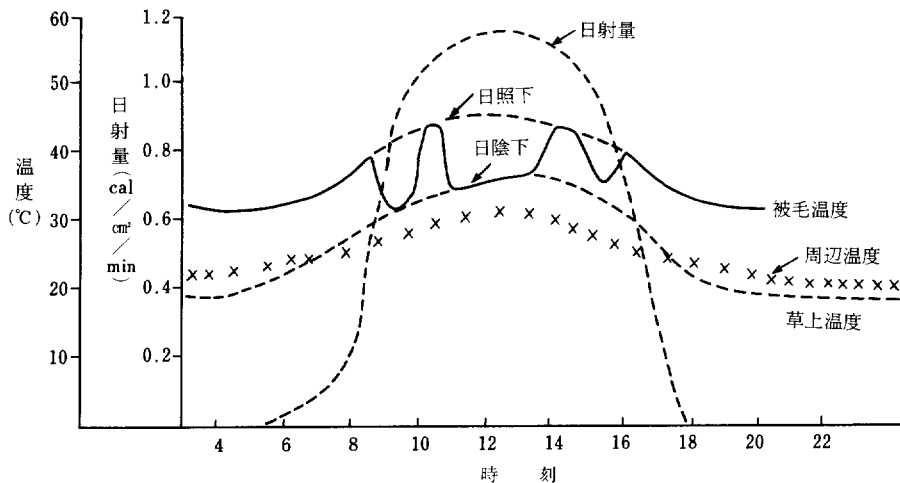


図2 周辺温度、日射量の日変化と放牧牛の暑熱回避行動による被毛温度の変化(1984. 8. 6)

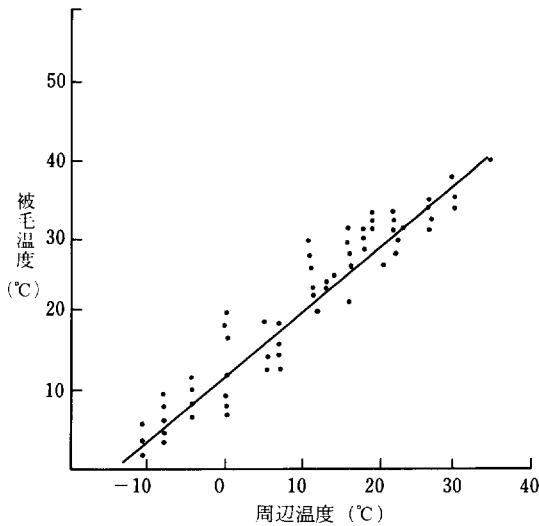


図3 周辺温度と被毛温度との関係

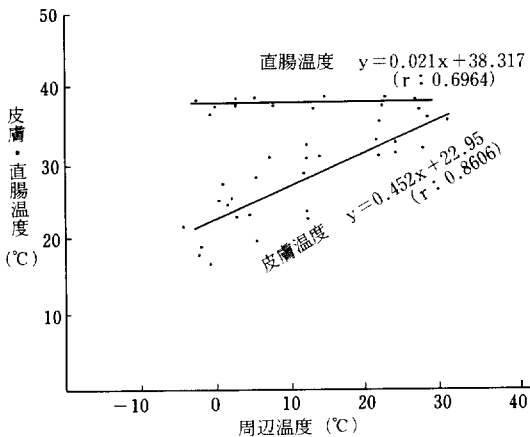


図4 周辺温度と皮膚温度・直腸温度の関係

## 2. 外部からの熱浸透と暑熱回避行動の発現

暑熱条件下、環境温度の上昇と日射量の増加によって、外部から体内への熱浸透の増加を回避するため、どの時点で回避行動を起すかを調査し、表2に示した。7月下旬—8月中旬の盛夏の場合、午前5時の日の出から3—4時間経過して、午前8—9時になると太陽の高度も高くなり、日射量は $0.45\text{--}0.50\text{ cal/cm}^2/\text{min}$ に増加する。その結果、牛体の放射面被毛温は $40^\circ\text{C}$ 以上に上昇し、日陰に移動する暑熱回避行動が起る。回避行動が発現する放牧地地表温度は、日射量の増加に伴って $30^\circ\text{C}$ 以上に上昇していた。また、風速が $0.5\text{ m/sec}$ 以下では、相対湿度 $65\%$ 以上、環境温度 $25^\circ\text{C}$ 以上の高温多湿状態

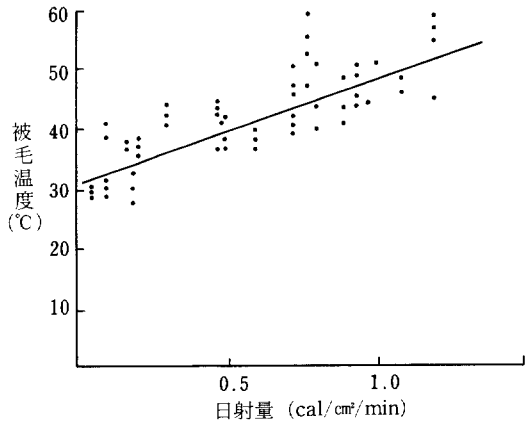


図5 日射量と被毛温度との関係

で回避行動がみられた。

放牧牛の被毛を通しての熱収支をみた場合、被毛温度( $y$ )は次の要因の関数とみることができる。

$$y = \Sigma(\text{CR} + \text{GCR} + \text{ACR}) \rightarrow \Sigma(\text{SDR} + \text{GR} + \text{AR})$$

(日の出前)                      (回避行動を起す状態)

すなわち、日の出前までは晴れた上空からの放射冷却(CR)と地表温の低下による地表放射冷却(GCR)、空気放射冷却(ACR)により被毛温は低下し、体表面を通して体熱の放散が促進される。日の出とともに太陽の直接放射(SDR)により放射面の被毛温を上昇させ、体内への熱浸透が増加する。地表温度の上昇は地表放射(GR)を、環境温度の上昇は空気放射(AR)を増加させ、非放射面の被毛温を上昇させて、体熱の放散を小さくする原因となっている。その結果、パンティング(熱性多呼吸)によって呼吸による体熱の放散を高めると同時に、外部から加えられる熱を少なくするための暑熱回避を行っていると考えられる。

皆川ら<sup>7)</sup>は牛体の被毛は直射光の約 $20\%$ を反射し、 $80\%$ の熱を吸収して被毛温を上昇させる。照井ら<sup>12)</sup>はホルスタイン種が約 $450\text{ kcal/m}^2/\text{h}$ の日射を受けると、気温が $5^\circ\text{C}$ 高い条件と同じ温熱作用をもつことを明らかにしている。これらの結果からも、太陽の直接放射の強さが暑熱回避行動に大きく関与していることがうかがえる。

## 3. 暑熱回避後の被毛温の低下

暑熱回避行動により移動した日陰の微気象と被毛温の変化は前述の表2の通りである。日陰に入った放牧牛は起立姿勢のまま、通風性のよい場所を選んで休息した。

休息場所として選択した庇陰林内は、樹葉によって日射が遮えざられ、外部の $0.8\text{ cal/cm}^2/\text{min}$ から $1/2$ の

表 2 暑熱条件下における放牧牛の暑熱回避行動発現前後の周辺微気象と放牧牛の状態<sup>b)</sup>

測定項目	早朝の採食行動開始時 (4-5時)	暑熱回避行動発現時の状態 (8-9時)	選択された庇陰林内 <sup>a)</sup> (10-12時)
	cal/cm <sup>2</sup> /min	cal/cm <sup>2</sup> /min	cal/cm <sup>2</sup> /min
日射量	0-0.1	0.5-0.7	0.3-0.4
周辺温度	22-24°C	25-27°C	24-26°C
地表温度 <sup>c)</sup> (草上温度)	19-21°C	28-32°C	23-25°C
上空放射温度	-7-+8°C	-7-+8°C	-7-+8°C
樹葉温度	21-23°C	24-26°C	25-26°C
被毛温度	30-33°C	40-42°C	34-37°C
皮膚温度	34-36°C	37-38°C	35-37°C
直腸温度	38-39°C	38-40°C	38-39°C
呼吸数	75-80回/分	125-136回/分	78-85回/分

注 a) 庇陰林の樹種：アカマツ、ナラの混交林、樹高6-7m、うっぺい度40-80%

b) 供試牛は黒毛和種育成牛15頭(うちテスター牛3-4頭)を使用

c) 放牧草地はオーチャードグラス主体の混播草地

0.4 cal/cm<sup>2</sup>/min 以下に低下していた。樹林内の地表温度も外部より5-7°C低い23-25°Cに低下した。このため、庇陰林に入った放牧牛の被毛温は約10分経過すると40-42°Cから35-37°Cに低下し、パンティングによる呼吸数も125-136回/分から78-85回/分に段階的に低下した。また、回避後30分を経過すると反芻を開始した。太陽の直接放射を遮断する庇陰林の樹葉温度は26-29°Cを示し、晴天時の上空放射温度が-2-+7°Cに比較して25°Cも高く、庇陰林内に休息する放牧牛には、樹葉放射(IDR)が加えられる。樹林内に休息する放牧牛の被毛温(y)は次の要因の関数とみることができる。 $y = \Sigma(1/3-1/2 \text{ SDR} + 2/3-3/4 \text{ GR} + \text{AR} + \text{IDR})$  すなわち、庇陰林内では直接放射(SDR)は

放牧地に比較して1/3-1/2に減衰するため、放射面から体内への熱浸透が減少する。樹林内の地表放射(GR)も放牧地に比較して2/3-3/4に減少するため、下腹部等の被毛温の上昇が抑えられ、体熱の放散低下が防止されるものと思われる。鈴木ら<sup>11)</sup>は放牧牛による庇陰林の利用は気温が高くなると高まり、最高気温が27-28°Cを超すと日中は林内で過す。林内に入るか否かは、日射や降雨の影響が大きいと報告しており、本調査の結果とも一致している。

#### 4. 暑熱回避行動を規制した場合の対応行動

放牧牛の環境温度が25°C以上に上昇して、風速が弱い状況下では、日射量が0.5 cal/cm<sup>2</sup>/minを超えると、被毛温は40°Cを超え、暑熱回避行動により日陰を求め

表 3 暑熱回避行動の発現を阻止した状況下における放牧牛周辺微気象要素と放牧牛の状態<sup>b)</sup>

測定項目	暑熱回避行動の発現により 庇陰林内に移動する時点 <sup>a)</sup>	回避行動を規制した状態
	日射量	0.45-0.50 cal/cm <sup>2</sup> /min
周辺温度	27-29°C	28-32°C
相対湿度	73-81%	65-76%
地表温度 <sup>c)</sup> (草上温度)	28-32°C	32-45°C
平均風速	0.2-0.5 m/S	0.3-0.6 m/S
上空放射温度	-	-2-+7°C
樹葉温度	26-27°C	-
被毛温度	40-42°C	43-47°C
皮膚温度	37-37°C	38-40°C
直腸温度	38-39°C	39-41°C
呼吸数	125-136回/分	157-164回/分

注 a) 庇陰林の樹種、アカマツ、ナラの混交林、樹高6-7m、うっぺい度40-80%

b) 供試牛は黒毛和種育成牛15頭(うちテスター牛3-4頭)を使用

c) 放牧草地はオーチャードグラス主体の混播草地

るようになる。このような状況下で牧棚により日陰への移動を規制した場合の外部気象条件並びに皮膚温等を表3に示した。表のように暑熱条件下、日射量は  $0.8 \text{ cal/cm}^2/\text{min}$  を超え、 $0.5 \text{ m/s}$  の微風速下、相対湿度  $65\%$  以上、環境温度  $31^\circ\text{C}$  の炎天下では、放牧牛の放射面被毛温は  $45^\circ\text{C}$  前後に上昇する。しかし、歩行と補食を繰り返すことにより、体方位は移動し、牛体の放射面が部分的に移動する結果、被毛温は  $45^\circ\text{C}$  以上には上昇せず、放射面の部分的過熱は防止されていた。呼吸数は環境温度が  $30^\circ\text{C}$  を超えると、 $70\text{--}80$  回/分から  $120\text{--}160$  回/分に増加し、平常時の  $200\%$  近くに達する。一部の個体は口から舌を出し、よだれが増加し、泡を吹く様子がみられた。このような状況下では、一部の個体の直腸温は  $41^\circ\text{C}$  を超えるものもみられた。このような個体は

歩行をやめ、頭部を太陽と反対方向にして起立したまま静止する。

群として暑熱回避を起した時の気象条件を表4に、回

表4 暑熱回避のため集合した牛群<sup>a)</sup>が形成した気象要素

項目	集合した牛群内	周辺放牧地
日射量	$\text{cal/cm}^2/\text{min}^{\text{c)}}$	
日射量	$0.5\text{--}0.7^{\text{c)}}$	$0.8\text{--}1.0^{\text{c)}}$
周辺温度	$29\text{--}30^\circ\text{C}$	$30\text{--}31^\circ\text{C}$
風速	$0.5\text{--}0.7 \text{ m}$	$0.7\text{--}1.2 \text{ m}$
相対湿度	$68\text{--}72\%$	$66\text{--}70\%$
地表温度	$27\text{--}28^\circ\text{C}$	$32\text{--}45^\circ\text{C}$
被毛温度 <sup>b)</sup>	$35\text{--}37^\circ\text{C}$	$37\text{--}39^\circ\text{C}$

注 a) 牛群16頭が頭部を中心に向けた集合状態  
 b) 被毛温度は下腹部(非放射面)を測定  
 c) 日射量は集合した牛群内で一部遮光された状態

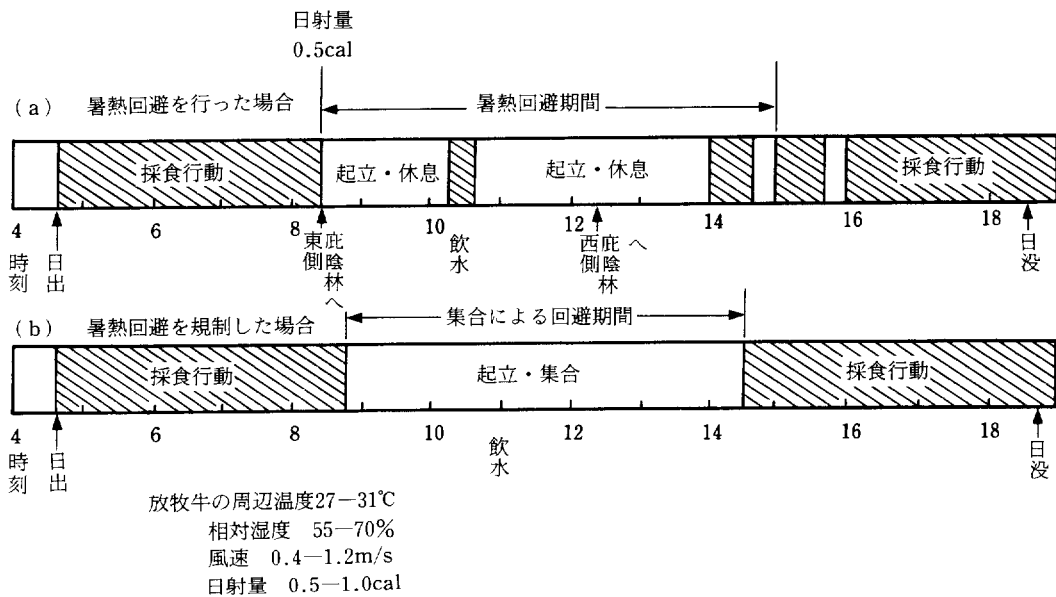


図6-1 暑熱回避行動を規制した場合の行動様式

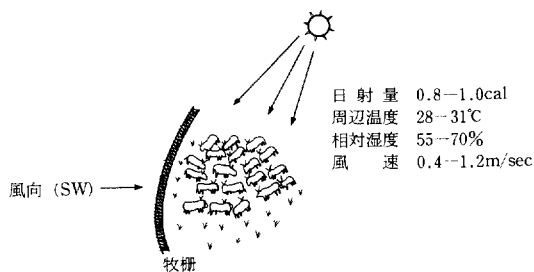


図6-2 密集した群の形成による暑熱回避

避行動を規制した時の対応を図6-1, 6-2に示した。群としての対応行動は午前10—11時から始まり、牧区内で風通しのよい場所を選び、風上に近い牧柵付近を選んで密集した群を形成する。多くの個体は頭部を他の個体の日陰に入れ、集合による相互遮蔽を利用した対応行動がみられた。集合によって日陰面積が拡大すると、日陰の地表温度は32℃以上から27—28℃に低下して、日よりも5℃以上も低くなり、地表放射も減少した。その結果、下腹部の被毛温も38—39℃から36—37℃に下がり、下腹部からの放熱が促進されると考えられる。更に、通風のよい場所を選んで起立集合する場合、2 m/sの風速があると被毛温は更に2—3℃低下し、下腹部の被毛温は35℃以下となり、放熱が一段と促進される。したがって、炎天下で適当な日陰が得られない場合、風通しのよい場所に集合して群を形成する行動は、集合によって相互遮蔽が利用でき、牛体における放射面積の縮小、特に頭部や腹部への熱浸透の抑制、日陰の拡大による地表放射の減衰、通風による体内からの放熱の促進等により暑熱回避が行われているものと考えられる。

#### 5. 暑熱回避後の採食行動の再開と被毛温

暑熱回避のため日陰に入った放牧牛が採食行動を再開した時の気象条件及び放牧牛の被毛温を表5に示した。

回避行動によって日陰に移動した放牧牛は被毛温も35℃以下となり、パンティングも減少して呼吸数は70回/分に戻った。その後、採食行動を再開する場合の気象条件としては、晴天の場合、日射量が0.6 cal/cm<sup>2</sup>/min以上でも、風速が2 m/sに高まると、日陰から出て採食行動に移った。しかし、採食行動中に直接放射と地表放射によって、被毛温が40℃以上に上昇すると、採食行動を30分前後で終了させて、再び日陰に戻り、通風のよい場所で風上に体を向け、起立姿勢で体を冷却させた。被毛温が35℃に低下すると、約30分前後の休

息後、採食行動を再開した(図7)。このような行動は、日中を通じて2—3回繰り返された。しかし、0.5 m/sの微風速と0.8 cal/cm<sup>2</sup>/minの高日射、32℃前後の高湿、65%以上の高湿度条件下では、日陰でも被毛温が37—39℃を示し、日中の3—4時間は採食行動の再開がみられなかった。

採食時間と気象の関係について、Seath & Miller<sup>9)</sup>、Bennie<sup>9)</sup>は気温26℃を超えると採食時間が減少し、Dwyer<sup>9)</sup>は平均気温21—32℃の間では、温度1℃の上昇ごとに採食時間は0.2時間減少したとしている。また、Arnold & Dudzinshi<sup>1)</sup>は気温が21—32℃の間では、1日の採食時間=8.12-0.07×平均気温の式が成立することを報告し、更に高湿度条件が加わると、採食時間が短縮し、逆に風速を増せば、採食時間の短縮を防ぐ効果があるとしている。本調査においても、暑熱条件下における日中の採食行動は、放牧牛に加えられる太陽からの直接放射の強さと、地表温度の上昇に伴う、地表放射による被毛温の上昇などが密接に関連することが示された。したがって、夏季における採食量の低下を防ぐためには、庇陰や通風をようすることによって、体内からの熱放出が促進される。このことにより採食行動が増加し、夏季の発育停滞防止に役立つものと考えられる。

#### 6. 暑熱回避のための場所の選択と環境要素、時刻による場所の移動

放牧牛が暑熱を回避するために求める庇陰条件を明らかにするため、庇陰林、スレート屋根の庇陰舎、寒冷紗の日除けを比較した。庇陰施設の配置は前述の図1のようである。また、これらの場所の気象状況を表6に示した。各庇陰施設のうちで、家畜が最もよく利用したのは庇陰林で、次いで寒冷紗の日除け、スレート屋根の庇陰舎の順であった。庇陰林が暑熱回避場所として、最もよく利用される理由は、樹冠の温度が庇陰舎より低いためで、

表5 暑熱回避後、採食行動を再開する条件と被毛温度<sup>a)</sup>

項 目	暑熱回避した庇陰林内の微気象	暑熱回避から採食行動を再開する放牧地の微気象 <sup>c)</sup>
日 射 量 <sup>b)</sup>	0.2—0.4 cal/cm <sup>2</sup> /min	0.4—0.8 cal/cm <sup>2</sup> /min
周 辺 温 度	26—28℃	28—30℃
地 表 温 度 (草上温度)	25—27℃	28—35℃
風 速	0.7—1.2 m/s	1.0—2.2 m/s
上 空 放 射 温 度	—	-2—+7℃
樹 葉 温 度	26—28℃	—
被 毛 温 度	34—37℃	39—42℃

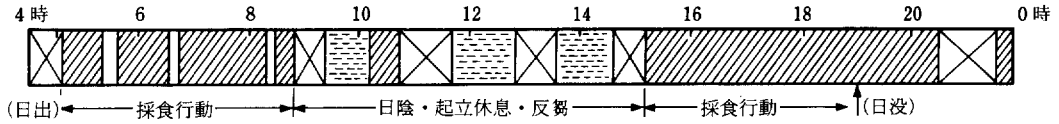
注 a) 供試牛は黒毛和種育成牛15頭を使用

b) 日射量は雲により太陽光の断続的遮断が起っている状態

c) 風が吹き出し、風速が高まってきた状況下の放牧地と庇陰林内

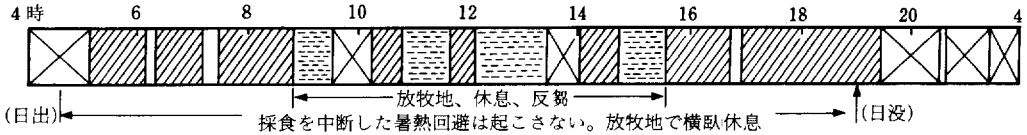


(1) (高温・晴天下)……日中の採食行動が大巾に制約される、夜中の採食行動が起る



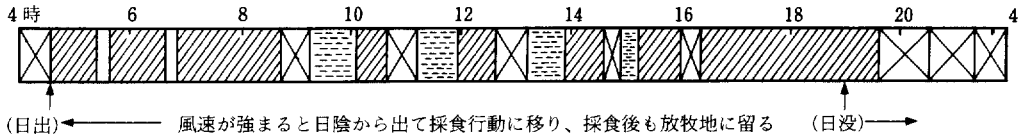
注：周辺温度30-32℃，相对湿度58-75%，日射量0.8-1.0cal/cm/min，  
風速0.2-0.5m/s，地表温度35-45℃，上空放射温度-4-+7℃

(2) (曇天下)……日中の採食行動が大巾に増加する。朝の採食開始が遅れる



注：周辺温度25-27℃，相对湿度78-86%，日射量0-0.3cal/cm/min，  
風速0.3-0.8m/s，上空放射温度23-26℃

(3) (晴天・風速が強まる)……風速が2-3 m/secを超えると、日中の採食行動が増加する。  
暑熱回避行動は起こさない



注：周辺温度27-31℃，風速2-4 m/s，相对湿度40-55%，日射量0.7-1.0cal/cm/min，  
地表温度28-32℃，上空放射温度-4-8℃

▨ 採食    ▨ 反芻    ⊠ 休息    □ 歩行

図7 暑熱回避行動と環境条件 (黒毛和種育成牛)

表6 暑熱回避行動として選択された庇陰休息場所内の微気象と放牧牛の被毛温度<sup>a)</sup>

項目	場所	庇陰林 <sup>b)</sup>	寒冷紗 <sup>c)</sup>	スレート屋根 <sup>d)</sup> 庇陰舎	日陰 <sup>e)</sup> 放牧地	対照 <sup>f)</sup> 日向放牧地
		cal/cm <sup>2</sup> /min	cal/cm <sup>2</sup> /min	cal/cm <sup>2</sup> /min	cal/cm <sup>2</sup> /min	cal/cm <sup>2</sup> /min
日射量		0.3-0.4	0.4-0.5	0-0.1	0-0.3	0.6-0.8
周辺温度		28-29℃	29-30℃	29-30℃	27-29℃	29-31℃
地表温度 (草上温度)		27-28℃	28-29℃	28-29℃	24-27℃	32-41℃
上空放射温度		-	-	-	-5-+7℃	-
樹冠・屋根温度		27-29℃	30-33℃	45-55℃	-	-5-+7℃
風速		0.5-1.0 m/s	0.6-1.2 m/s	0.6-1.2 m/s	0.8-1.5 m/s	-
放牧牛 被毛温度		34-36℃	35-38℃	37-38℃	33-35℃	39-43℃

注 a) 供試牛：黒毛和種 15頭 (うちテスター牛 3頭) を使用  
 b) 庇陰林樹種はアカマツ，ナラの混交林，樹高5-6m，うっぺい度70-80%  
 c) 黒色・遮光度約75%  
 d) 5m×6m×3m  
 e) 日陰放牧地は午後西側庇陰林によって，午後2時頃から日陰が形成された草地  
 f) 対照区としては隣接する日向放牧地

逆にスレート屋根の庇陰舎の利用が低いのは、強い日射を受けたスレート屋根温度が45—55℃に上昇し、放射が高まったためと考えられる。寒冷紗表面温度は、両者の中間であったが、樹冠により近いことが庇陰舎より利用が多い理由と考えられる。

次に太陽の動きによって午前中は日が当たるが、午後になると庇陰林によって、約半日の日陰が形成される放射地では、放牧地の上空が樹葉で覆われていないため、放射冷却が働いて、地表温度（草上温度）や放牧牛の被毛温は、庇陰林内の休息場所に比較して低く、牛体の放冷効果も高いことが示された。午後になって、このような日陰が形成されると、放牧牛群は庇陰林内から出て、日陰が形成された放牧地で午後の採食行動を再開する。採食後も庇陰林内には戻らないことが多かった。日陰の位置が時刻によって移動する場合、牛群は日陰の移動に伴って休息場所を移動させた。このように放牧牛は午前中の休息場所として、牧区の東側や南側の庇陰林を利用するが、午後になると西側の庇陰林に移動し、スレート屋根の庇陰林は午前中、屋根温度が40℃以下の状況下で利用するが、屋根温度が上昇すると庇陰林等を利用した。

7. 暑熱回避行動及び被毛温に及ぼす風の影響

放牧牛の体表面周辺の風速が牛の姿勢や位置によって、どのように異なるかを調査し、表7に示した。風が牛体の側腹に正面から吹きつける場合、風速は牛体に近づくほど減衰し、牛体表面の風速は周辺風速の約1/2に低下する。牛体の風上と風下の風速を比較すると、風下側の

風速は周辺風速の約1/4に低下する。風速の振幅は牛体に近い所で拡大した。風速による被毛温の変化を表8に示した。放射面の被毛温は、日射量が0.8 cal/cm<sup>2</sup>/minの場合、43—45℃に上昇したが、風速が2—3m/sを超えると、40℃前後となった。風速による被毛温の変化は、放射面が非放射面より大きかった。下腹部の非放射面被毛温は、風速が2—3m/sを超えると37—39℃から33—35℃に低下した。放射面の被毛温(y)と風速(x)との間に  $y = -2.156x + 45.44$  (r: 0.963) の一次式が得られ、非放射面の被毛温(y)と風速(x)の間にも、 $y = -1.534x + 38.45$  (r: 0.7687) の一次式が得られた(図8)。

放牧家畜は盛夏でも風速2—3m/sを超えると暑熱回避行動を起さないことが多かった。暑熱条件下で日陰にいる場合は、風速が2m/s前後に強まると、日陰から出て採食行動を再開した。また、風速が弱まると、放射面の被毛温は40℃以上に上昇するため、採食行動を1時間前後で中断して日陰に戻り、風通しのよい場所で起立したまま休息した。このように放牧牛の採食や暑熱回避に風の影響の大きいことが明らかとなったが、これは風によって、体感温度や地表近くの環境温度が低下するためといえる。

8. 曇天時の気象条件と被毛温

曇天下において、暑熱回避がみられない場合の気象条件と放牧牛の被毛温を表9に示した。曇天下では日射量は晴天時の1/2—1/3の0.3—0.5 cal/cm<sup>2</sup>/min以下に

表7 放牧牛の周辺風速に及ぼす姿勢及び位置の影響

項目	放牧地		放牧牛姿勢		放牧牛(横向き)		放牧牛(正面向き)
	1m高さ	30cm高さ(地表)	起立	横臥	風向面	風下面	
	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s
風速	2.0—3.0	0.8—1.2	1.0—1.5	0.3—0.6	1.0—1.5	0.4—0.8	1.8—2.5
周辺温度	28℃	30℃	29℃	30℃	29℃	30℃	28.5℃
被毛温度	—	—	37℃	38℃	29℃	39℃	36℃

注：供試牛は黒毛和種育成牛(8か月齢)6頭、風速の測定部位は側腹被毛の2—3cm上部で測定

表8 風速が放牧牛の被毛温度ならびに周辺温度に及ぼす影響

項目	周辺温度	風速		備考
		0—1m/s	2—3m/s	
被毛温度	30℃	43—45℃	38—40℃	日射量は0.8 cal/cm <sup>2</sup> /min 湿度50—55% 側腹部
非放射面	30℃	37—39	33—35	下腹部
地表温度 (草上温度)		33—38	28—33	O.G主体の混播、草丈 20—40cm

注：供試牛は黒毛和種育成牛(8か月齢)6頭、放牧条件で測定

下がり、地表温度(草上温度)は日射量の低下に伴って、晴天時より5—9℃低く、27—31℃となった。このような状況下では、被毛温は晴天時に比較して、3—5℃も低い37—40℃を示し、暑熱回避行動はみられなかった。また、日陰で休息していた放牧牛は曇天になると日陰を出て採食行動を再開し、採食後も庇陰施設には戻らなかった。

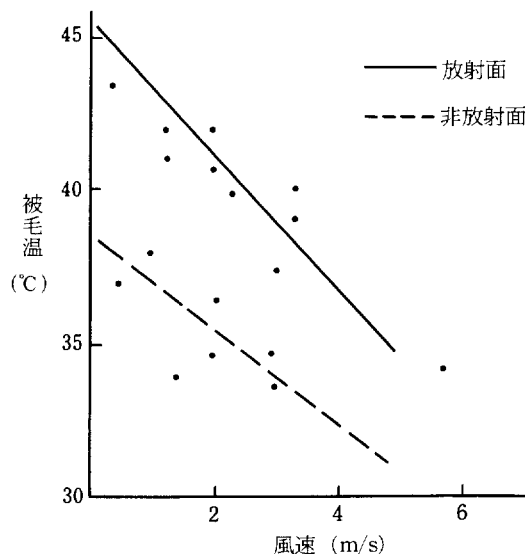


図8 放牧牛の被毛温度と風速の関係

## 結 論

暑熱条件下において、放牧家畜は暑熱ストレスに対する適応行動として、暑熱回避行動を起すが暑熱回避行動と気象条件との関係について、黒毛和種を供試して解析を行った。

暑熱回避行動の役割は外部から加えられる熱を回避することと、体内からの放熱を促進する2つが上げられる。暑熱回避行動がみられる条件は、放牧地の環境温度が25℃以上になり、放射量が約0.5 cal/cm<sup>2</sup>/min以上に増加すると、地表温度(草上温度)は30℃以上に達する。更に、平均風速0.5 m/sの微風速と相対湿度60%以上の高温多湿の状況下でみられた。晴天で風が弱い日では午前8—9時から午後3時前後、6—7時間の時間帯であった。

放牧牛の放射面被毛温は日射を受けると40℃以上に上昇し、皮膚温や直腸温を超え、体内への熱浸透が加速されるものと考えられる。一方、下腹部などの被毛温は環境温度の上昇に伴って上昇するが、直腸温を上回る上昇はみられないことから、非放射面の被毛温の上昇は、体熱の放散を抑える役割をしていることが考えられる。皮膚を流れる血液温度の上昇は、大脳の視床下部にある温度中枢を刺激して暑熱回避行動を起す働きをしている。暑熱回避行動によって選択される場所は、庇陰林が多く、次いで寒冷紗の日除け、スレート屋根の庇陰舎の順であった。家畜が選択する庇陰場所の気象条件は、太陽の直接放射の遮断機能と体熱の放散機能の2面が求められることが明らかとなった。1日のうちでも、午前中風が弱く、環境温度が低い状況下では、太陽の直接放射を遮断する割合が大きい落葉広葉樹林内が選択され、パンティング

表9 曇天下において暑熱回避がみられない場合の放牧地・庇陰場所の微気象と放牧牛の被毛温度<sup>a)</sup>

項 目	放 牧 地	庇 陰 林 <sup>b)</sup>	寒 冷 紗 <sup>c)</sup>	スレート屋根 <sup>d)</sup> 庇 陰 舎
	cal/cm <sup>2</sup> /min	cal/cm <sup>2</sup> /min	cal/cm <sup>2</sup> /min	cal/cm <sup>2</sup> /min
日 射 量	0.3—0.5	0.2—0.3	0.3—0.4	0—0.2
周 辺 温 度	29—31℃	28—30℃	28—30℃	28—30℃
相 対 湿 度	53—67%	57—76%	55—75%	54—75%
地 表 温 度 (草上温度)	27—31℃	26—28℃	27—30℃	27—29℃
上 空 放 射 温 度	11—23℃	—	—	—
樹 葉・屋 根 温 度	—	26—29℃	27—30℃	29—35
風 速	0.8—1.6 m/s	0.5—0.9 m/s	0.4—1.0 m/s	0.5—1.1 m/s
放 牧 牛 被 毛 温 度	37—40℃	36—38℃	36—38℃	35—38℃

注 a) 供試牛は黒毛和種15頭(うちテスター牛3頭)を使用  
 b) 樹種はアカマツ・ナラの混交林、樹高5—6m、うっぺい度60—80%  
 c) 黒色・遮光率75%  
 d) 5m×6m×3m

(熱性多呼吸)により、呼気による放熱が行われる。午後になり環境温度の上昇、風速の増加、相対湿度の低下等により、遮光率は落葉広葉樹林より低い、通風性のよい針葉樹林内が選択され、熱せられた体熱の放散が行われる。

暑熱回避行動がみられない条件としては、雲により日射量が  $0.5 \text{ cal/cm}^2/\text{min}$  以下に低下した場合、風速が  $2 \text{ m/s}$  以上に増加した場合であった。前者の場合、被毛温の上昇が  $40^\circ\text{C}$  以下に抑えられ、パンティングも減少した。後者の場合は、風速によって被毛温が  $40^\circ\text{C}$  以下に直接的に下げられ、外部からの熱浸透を抑えると同時に、体熱の放散が促進させる働きをもっている。放牧牛の日射量の低下と風速が増加する状況下では庇陰林から放牧地に移動する理由は、通風性を利用した暑熱回避と考えられる。したがって、暑熱回避行動は家畜が受けた熱を効率よく放散させ、採食行動の再開を早める役割をもっている。したがって、暑熱回避行動によって日中の採食行動が制約される6-7時間のうち、採食量の低下を防ぐためには、午後の採食行動の再開を早めることが求められる。そのため、西日を遮えぎり午後の早い時期から日陰を形成する西側庇陰林並びに東向き傾斜草地の利用、風を有効利用するため、南西方向からの通風性を高めるような庇陰林内の整備、日中の採食行動を確保するため、遮光率の低い針葉樹林の林内草地の併設が必要と考えられた。

#### 謝 辞

本研究の計画・推進に当たり、放牧利用部、衛生管理研究室 照井信一室長並びに室員各位、放牧管理研究室各位、業務2科長並びに業務2科職員の方々に御助言、協力をいただき、深く感謝致します。また、各種の測定法については、飼料生産部 館野宏司主任研究官から御助言、協力いただきました。本報告の取りまとめに当たり、貴重な御助言、御校閲をいただきました、生態部長石田良作博士に厚く感謝の意を表します。

#### 引用文献

1. Arnold, G.W. and M.L. Dudzinski: Ethology of free-ranging domestic animals, 1399-1407, 1956.
2. Bennett, I.L., V.A. Finch and Holmes, C.R., (1985): Time spent in shade and its relationship with physiological factors of thermoregulation in three breeds of cattle. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 13: 227-236.
3. Bennie, J.G.S: Grazing behaviour tests with Mauritius Creole cows, *Emp. J. Exp. Agric.* 24: 312-316, 1956.
4. Done-Currie, J.R., Wodzicka-Tomaszewska, M. and Lynch, J.J., (1984): The effects of thermoregulatory behaviour on the heat loss from horn sheep as measured by a model ewe for micro-climate integration, *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 13: 59-70.
5. Dwyer, D.D.: Activities and Grazing Preference of Cows with Calves in Northern Osage Country. Oklahoma. *Bull. Okla. Agric. Exp. Stn.* No. B-588, 61, 1961.
6. Fraser, A.F., (1983): The behaviour of maintenance and the intensive husbandry of cattle, sheep and pigs. *Agric. Ecosystems Environ.* 9: 1-23.
7. 皆川秀夫・大沢龍一・寺田忠幸・立花一雄 (1985): 牛の体表温度と環境条件. *日本家畜管理研究会報*. Vol. 21, No. 1, 20-22.
8. 大井澄雄・岡部利雄 (1958): 家畜の皮膚表面温度に関する研究. II. 牛の皮膚温について. *日畜会報* 29 (3).
9. Seath, D.M. and G.D. Miller: Effect of warm weather on grazing performance of milking cows. *J. Dairy Sci.*, 29: 199-206, 1946.
10. Stewart, R.E. and Brody Samuel (1954): Environmental Physiology and Selter Engineering. XXI Effect of Radiation Intensity on hair and skin temperature and on respiration rates of Holstein, Jersey, and Brahman cattle at air temperature  $45^\circ$ ,  $70^\circ$ ,  $80^\circ \text{ F}$ , *Research Bulletin* 561. University of Missouri, Columbia, Missouri.
11. 鈴木慎二郎・須山哲男・吉村義則: 気象条件と牛による庇陰林の利用. *日草会*. 第37回発表会. 講演要旨. 355-367, 1982.
12. 照井信一・寺田 裕・假屋喜弘 (1985) 気象要因が牛の生理的諸元に及ぼす影響. IV. 高温時の赤外線及び風の感作がホルスタイン種去勢牛に及ぼす影響. *草地試研報* 32: 48-58.

## SUMMARY

Thermoregulatory behaviour of grazing cattle  
I The relationships between hair temperature and  
thermoregulatory behaviour in a hot environment

Mosaku SAKURAI, Hiroshi DOHI

*Department of Ecology, National Grassland Research Institute  
Nishinasuno, Tochigi, 329-27, Japan*

Received August 26, 1987

In order to clarify the relationships between hair temperature and thermoregulatory behaviour of Japanese native black cattle, thermoregulatory behaviour and hair temperatures were observed and measured under hot environmental conditions using a handy radiation thermometer.

1. The regression equation for ambient temperature and hair temperature, skin temperature, rectum temperature of grazing cattle in a hot environment was  $y = 0.814x + 11.57$  (regression coefficient;  $r = 0.972$ ),  $y = 0.45x + 22.95$  ( $r = 0.861$ ),  $y = 0.021x + 38.314$  ( $r = 0.696$ ) and the correlation of direct solar radiation to hair temperature was  $y = 18.05x + 30.62$  ( $r = 0.824$ ).

2. Under conditions in which the ambient temperature went up 25°C with the sun rising in the east causing direct solar radiation to go beyond 0.45 cal/cm<sup>2</sup>/min, the hair temperature went up to 40°C and the grazing cattle began seeking shade.

3. Direct radiation caused the sunny side hair temperature to rise acutely, while the shade side temperature rose gradually the ambient temperature.

4. Under conditions where shade side hair temperature was below 35°C grazing cattle did not begin seeking shade until the hair temperature on the sunny side went up to 40°C.

5. Under tree shade direct radiation was 0.3-0.4 cal/cm<sup>2</sup>/min, the hair temperature went down 35°C lower compared with the hair temperature under the sun went beyond 40°C, rumination started after about thirty minutes under shade.

6. Under ambient temperature of 30°C or below grazing was recommenced after ruminating and when hair temperatures in direct sun light went beyond 40°C for about thirty minutes grazing was stop when and grazing cattle returned to shade.

7. When cattle were kept under direct sun light, hair temperature went beyond 45°C panting incidence increased from 80 to 120-160 per minute, tongues lolled out and foamed at the mouth. A tight standing group was formed and heads were shaded under the bellies of other cattle.

8. The soil temperature of the shaded area under the tight group of cattle was kept lower than that under direct sun light, secondary radiation from the soil was mitigated and hair temperatures of the belly was kept lower.

9. When direct solar radiation was dampened by clouds, the hair temperature rise

was mitigated, grazing was recommenced and cattle no longer sought shade.

10. When wind blew 2-3 m/sec or over hair temperature rise was mitigated by 2-3°C, grazing was recommenced and cattle no longer sought shade, regression equation for wind velocity and hair temperature on direct solar radiation side was  $y = -2.156x + 45.44$  ( $r = 0.965$ ), and hair temperature of against side was  $y = -1.534x + 38.45$  ( $r = 0.7687$ ).

11. On fair and windless days, the duration of over 40°C hair temperatures was 6-7 hours, so that even though afternoons in hilly country became cloudy and windy, thermoregulatory behaviour was mitigated.

*Bull. Natl. Grassl. Res. Inst. 38: 1-13 (1988)*