

氏名(本籍) 李^リ 相^{サン} 洛^{ラク}
学位の種類 農 学 博 士
学位記番号 農 博 第 3 8 9 号
学位授与年月日 平 成 元 年 3 月 2 4 日
学位授与の要件 学位規則第5条第1項該当
研究科専攻 東北大学大学院農学研究科
(博士課程) 畜産学専攻
学位論文題目 反復寒冷暴露メンヨウの熱収支に関する
研究

論文審査委員 (主 査)

教授 佐々木康之

教授 堀口 雅昭

教授 正木 淳二

論文内容要旨

家畜は、温度環境の作用を受けつつ生活する。恒温動物である家畜は、温度環境の変化に対応して、さまざまな生理的機能を動員し、熱の生産と放散のバランス（熱収支）を維持することによって体温を一定に保つ。一方、家畜をとりまく環境温は一定ではなく、絶えず変化し、日内気温も周期的に変動する。日内温度変動の大きさやパターンは地域あるいは季節によって異なるが、一般に、日中にくらべ夜間は相対的に気温が低く、家畜にとって負の熱負荷が大きくなる。

野外で飼育されることの多い反芻家畜は、このような日内温度変動に曝されることが多いが、日内の温度変動に対応してどのように熱収支を調節しているのか、不明の点が多い。これまで、常温、寒冷または暑熱などの一定の温度環境下における熱収支に関する実験的研究は、人体での研究をはじめとして早くから数多く行われてきたが、日内に気温変化をもたせた温度環境での研究はほとんどない。熱収支をきめる要因の一つである熱の生産は、飼料由来のエネルギー基質の消費によって行われるので、熱収支とそれに関連のある体温調節機構を明らかにすることは、家畜の生産性向上にとって重要な課題である。

そこで、本研究では、日内に気温変動をもたせた寒冷環境における反芻家畜の熱収支、および熱収支の調節にかかわる生理機能の関連性を明らかにするために一連の実験を行った。

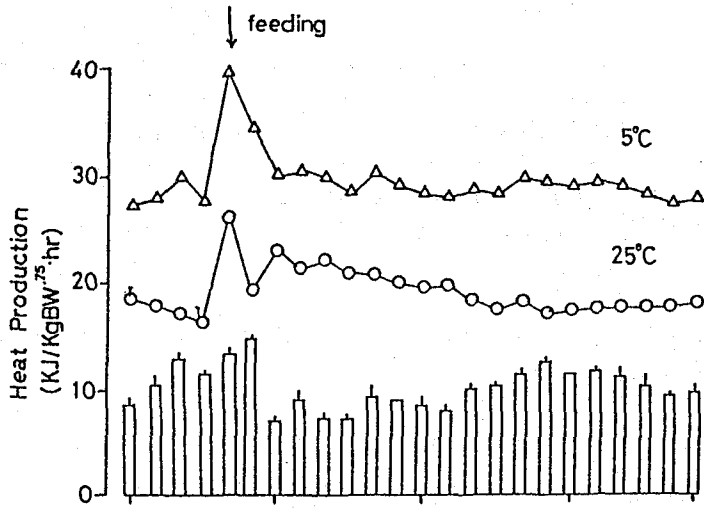
1. 連続および反復寒冷暴露時におけるメンヨウの熱生産量

以下、本研究における実験では、日内に気温変化をもたせない連続常温（25℃）を対照期として、その後、日内に気温変動をもたせない連続寒冷（5℃）、あるいは、日内に12時間常温（25℃）・12時間寒冷（5℃）の気温変動をもたせた反復寒冷に動物を暴露し、主として対照期との比較および連続寒冷と反復寒冷との比較を行った。

反復寒冷暴露時におけるメンヨウの熱生産量の大きさと日内変動パターンを調べるために、3頭のメンヨウを供試し、3日間の対照期における測定のうち、メンヨウを連続寒冷（1800-1800h；5℃）および反復寒冷（1800-0600h；5℃、0600-1800h；25℃）に7日間暴露し、熱生産量を1時間毎に測定し、両暴露について比較検討した。

熱生産量は、両寒冷暴露により大きく増加したが、反復寒冷暴露実験の寒冷時間帯に相当する対照期の1800-0600hにおける値からの増加量は、連続寒冷暴露時に高く、反復寒冷暴露時に低かった（表1）。これは、寒冷時間帯（1800-0600h）に移行しても、環境温は既に低下しているにもかかわらず、熱生産量はすぐには高レベルに達せず徐々に増加する傾向にあるために、それだけ熱生産量が少ないことによるものと考えられた（図1）。心拍数は両暴露時に同様に増加し、呼吸数は減少し、直腸温の低下は反復寒冷暴露で大きかった（表1）。

連続寒冷暴露



反復寒冷暴露

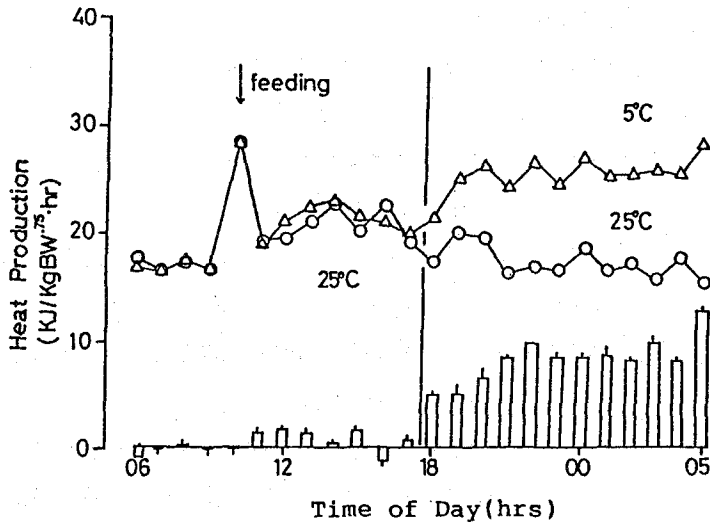


図1) 対照期および寒冷暴露時におけるメンヨウの熱生産量の日内変動

- 対照期
- △ 寒冷暴露
- 対照期と寒冷暴露時の差

表1) 連続あるいは反復寒冷暴露によるメンヨウの熱生産量, 直腸温, 心拍数
および呼吸数の増加

寒冷暴露	熱生産量 (KJ/Kg ^{0.75} /h)	直腸温 (°C)	心拍数 (回/分)	呼吸数 (回/分)
連続寒冷暴露	10.77 ± 0.25	0.05 ± 0.11	35.2 ± 2.8	-7.5 ± 1.0
反復寒冷暴露	8.74 ± 0.20**	-0.15 ± 0.12*	23.4 ± 2.0	-8.1 ± 1.0

結果は, 対照期からの増加を3頭の平均値±標準誤差で示した。

両寒冷暴露間に有意差がある値を*(p<0.05), **(p<0.01)で示した。

II. 連続および反復寒冷暴露時におけるメンヨウの体熱量と熱生産量の関係

反復寒冷暴露時の寒冷時間帯初期に熱生産量増加が少ないことから, 特に体熱量と熱生産量の関連について検討を加えた。メンヨウ5頭を供試し, 対照期における測定のもの, それぞれ3日間の連続寒冷暴露(0900-0900h; 5°C)および反復寒冷暴露(0900-2100h; 5°C, 2100-0900h; 25°C)実験を行い, 頸動脈温(深部体温)と10ヶ所の皮膚温を0800-2200hの間に連続測定して体熱量を推算し, 熱生産量の変化と比較した。

連続および反復寒冷暴露時に熱生産量はほぼ同水準に増加したが, 反復寒冷暴露において寒冷時間帯初期の熱生産量は連続寒冷暴露時より低かった(図2)。

連続寒冷暴露においては対照期に比較して深部体温は高く, 逆に平均皮膚温および平均体温は大きく低下したが, いずれも測定時間帯内においてほぼ安定したレベルで推移した(図3)。一方, 反復寒冷暴露において, 深部体温は一旦低下したのちきわめて徐々に回復し, 平均皮膚温および平均体温は急速に低下したのちその水準で推移し, 常温時間帯に入ると対照期的水準まで回復した。寒冷時間帯の直前の常温時(0800-0900h)に測定した深部体温が, 対照期同時刻のそれよりも著しく高いことはきわめて特徴的であった(図3)。

平均体温から推算した体熱量の経時的変動は, 連続寒冷暴露時においてきわめて小さく, 体熱量はほぼ一定して推移したが, 反復寒冷暴露時には体温の変化と同様に寒冷時間帯初期に著しく減少した(図2)。このことは, この時期に動物の体熱の放散が著しいことを示している。また, 常温時間帯(0800-0900h)から寒冷時間帯初期の過程で失われる体熱量は, 連続寒冷暴露に比較して少なかった熱生産の量に類似していた。このような熱生産量および体熱放出量との類似性は繰り返される暴露毎に再現されるものであった。これらのことから, 放出した体熱量に相当する量の熱生産量を寒冷時間帯初期に減少させたことが考えられ, 体熱量を調節して熱生産を節約する効果が反復寒冷時にあらわれるものと考えた。

また, 反復寒冷暴露の寒冷時間帯に減少した体熱量は, 常温時間帯にもどると漸次回復した。

寒冷時間帯の直前の常温時（0800-0900h）に測定した体熱量が対照期同時刻のそれよりも著しく大きかったことは、常温時間帯において対照期よりも大きい体熱の蓄積が起こる可能性を示唆している。

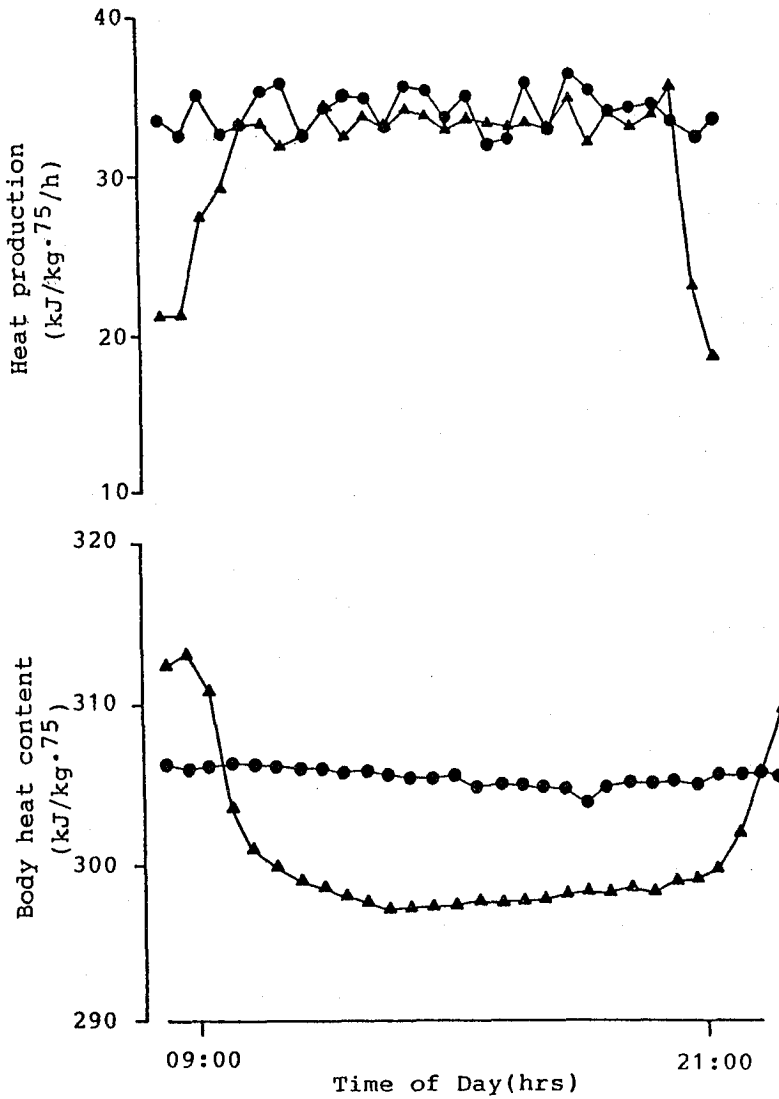


図2) 連続および反復寒冷暴露時におけるメソウの熱生産量および体熱量の変動

- 連続寒冷暴露
- ▲ 反復寒冷暴露

連続寒冷暴露

反復寒冷暴露

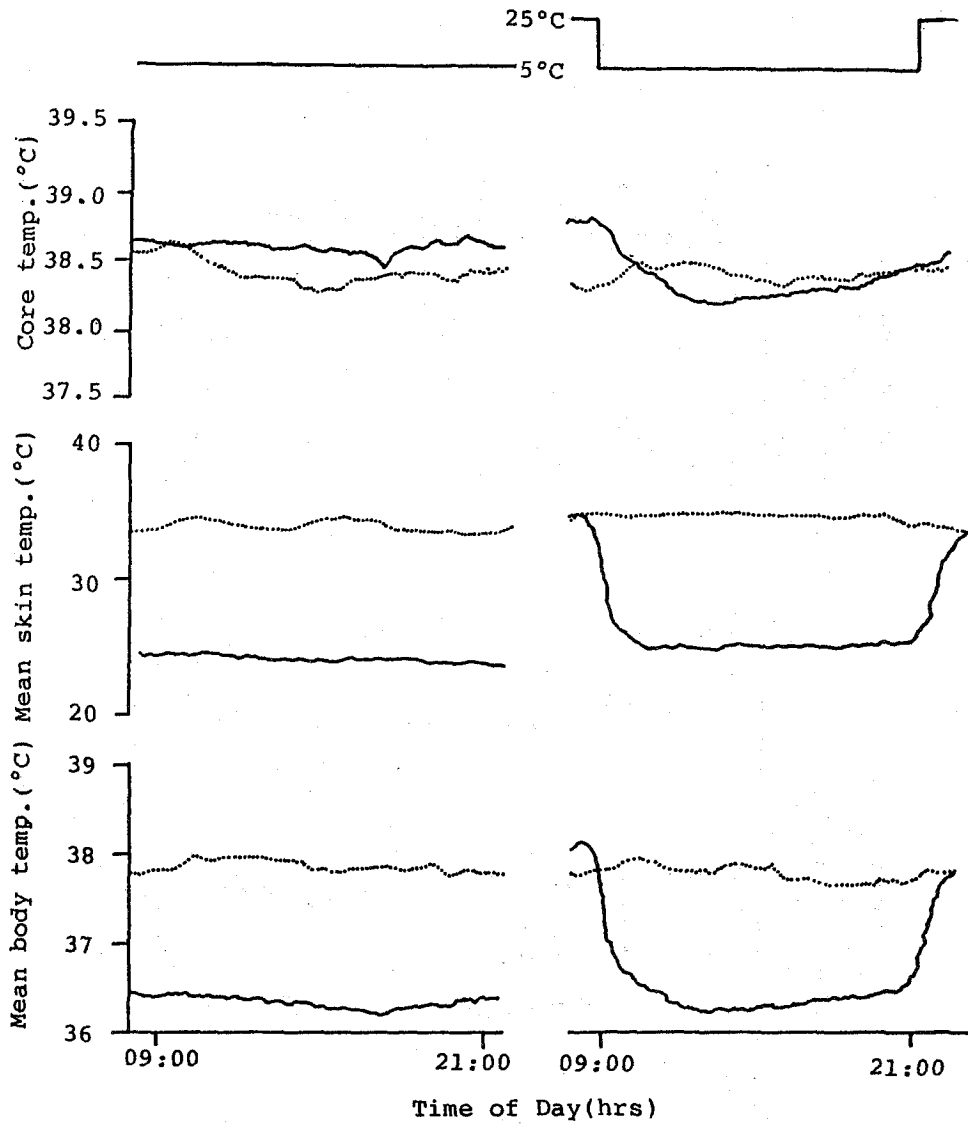


図3) 対照期および寒冷暴露時におけるメンヨウの体温の変動
-----対照期
———寒冷暴露

Ⅱ. 反復寒冷暴露時におけるメノヨウの体熱量調節

反復寒冷暴露の寒冷時間帯の初期に放出される体熱量が、いつ、どのような機構で蓄積されるかを検討するために、5頭のメノヨウを供試し、対照期における測定ののち、8日間の反復寒冷

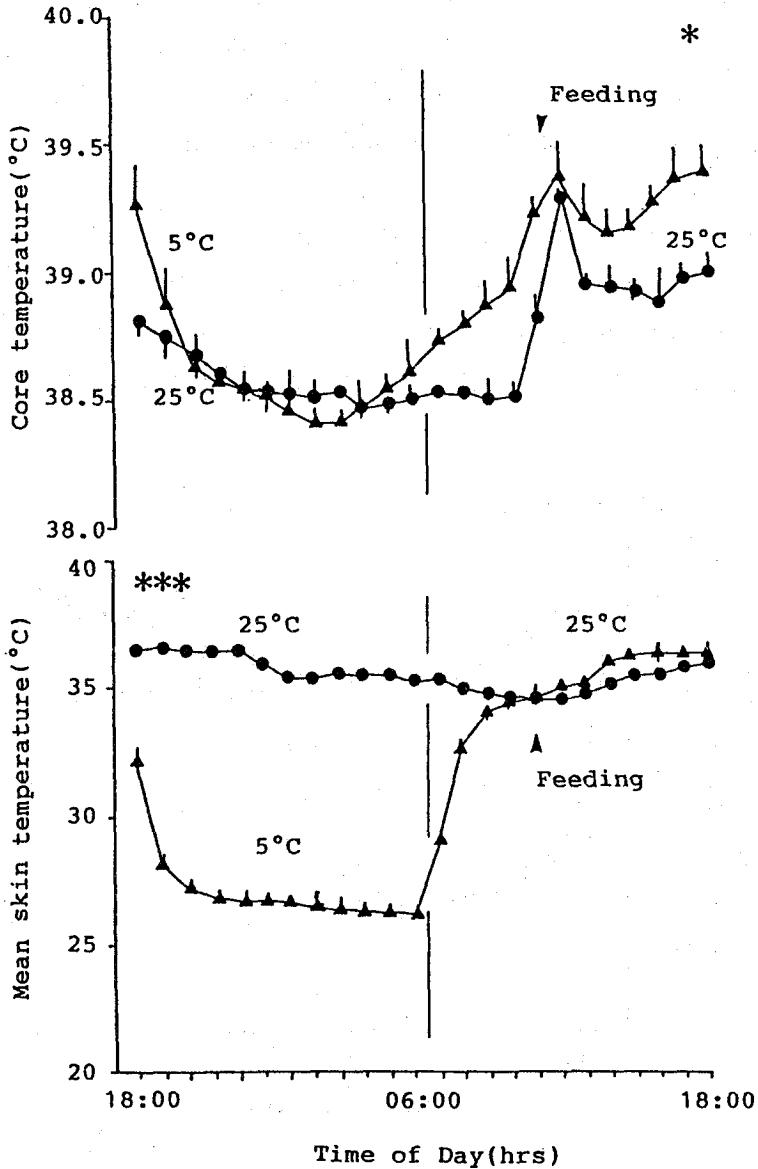


図4) 対照期および反復寒冷暴露時におけるメノヨウの体温の日内変動

●対照期 ▲反復寒冷暴露

12時間の平均値について対照期と反復寒冷暴露時の間に有意差がある場合、

* ($p < 0.05$), ** ($p < 0.01$), *** ($p < 0.001$) で示した。

暴露（1800-0600h；5℃，0600-1800h；25℃）を行い，暴露後7日目と8日目に寒冷および常温の両時間帯における各部体温を測定して体熱量を推算し，あわせて熱生産量，呼気性熱放散量，生理諸元についても測定を行い，特に常温時間帯について検討を加えた。

反復寒冷暴露の寒冷時間帯（1800-0600h）における体温（図4）および体熱量（図5）は，初期に大きく低下し，前回の実験結果を再現した。常温時間帯に入ると寒冷時間帯において低かった体温および体熱量は初期から上昇をはじめ，時間の経過とともに対照期を凌駕する水準に達した。このことから，常温時間帯において動物に体熱の大きい蓄積が起こることが明らかになった。

体熱の蓄積は，その時期に，熱生産量が熱放散量を越え，あるいは熱放散量が熱生産量より少ないときに起こる。本実験の常温時間帯における熱生産量は対照期とほぼ同程度で，対照期を越える熱生産量の増加は認められなかった（図6）。一方，熱放散系の機能の一指標として測定した呼気性熱放散量は，常温時間帯に移行後も直ちに増加することではなく，移行後約3時間は寒冷

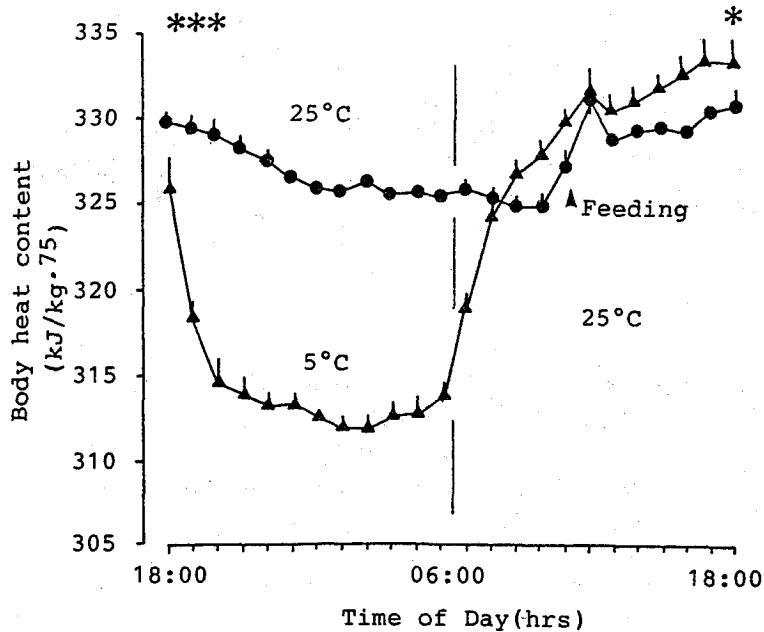


図5) 対照期および反復寒冷暴露時におけるメンヨウの体熱量の日内変動

●対照期 ▲反復寒冷暴露

12時間の平均値について対照期と反復寒冷暴露時の間に有意差がある場合，

* ($p < 0.05$), ** ($p < 0.01$), *** ($p < 0.001$) で示した。

時間帯にみられた低い水準のままにあり (図 7), 動物は熱放散抑制状態にあったものと考えられる。また, この時期における平均皮膚温が対照期の水準以下であったこと (図 4) も, 環境温と皮膚温の熱勾配を小さくして皮膚からの熱放散を低下させる方向に作用したことを示唆している。この時期が著しい体熱量の増加が認められる時期に相当していたこと (図 5) から, 常温時間帯における体熱の蓄積は, この時間帯初期における熱放散系機能の抑制によるところが大きいものと考えられた。

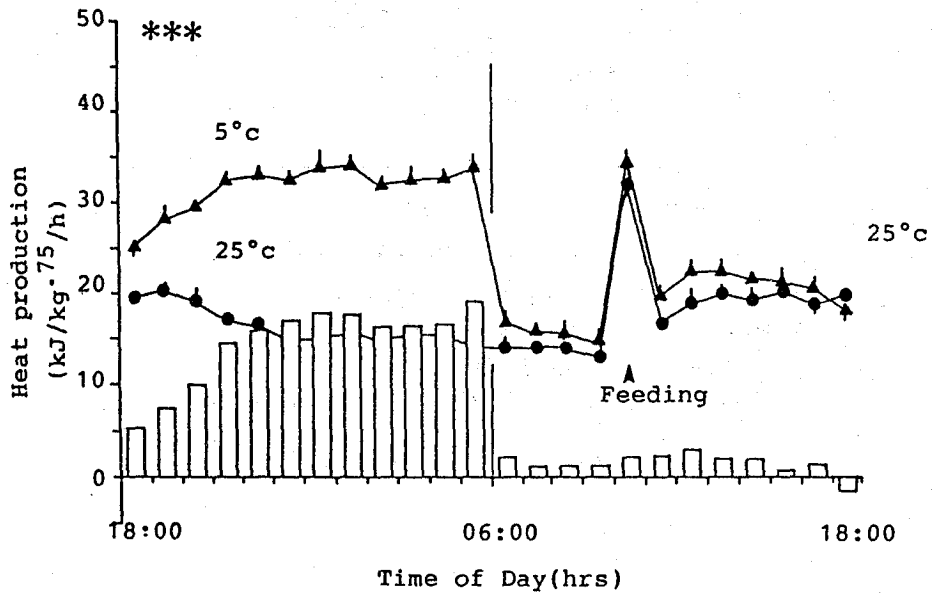


図 6) 対照期および反復寒冷暴露時におけるメンヨウの熱生産量の日内変動

●対照期 ▲反復寒冷暴露
 12時間の平均値について対照期と反復寒冷暴露時に
 有意差がある場合,
 * ($p < 0.05$), ** ($p < 0.01$), *** ($p < 0.001$) で示した。

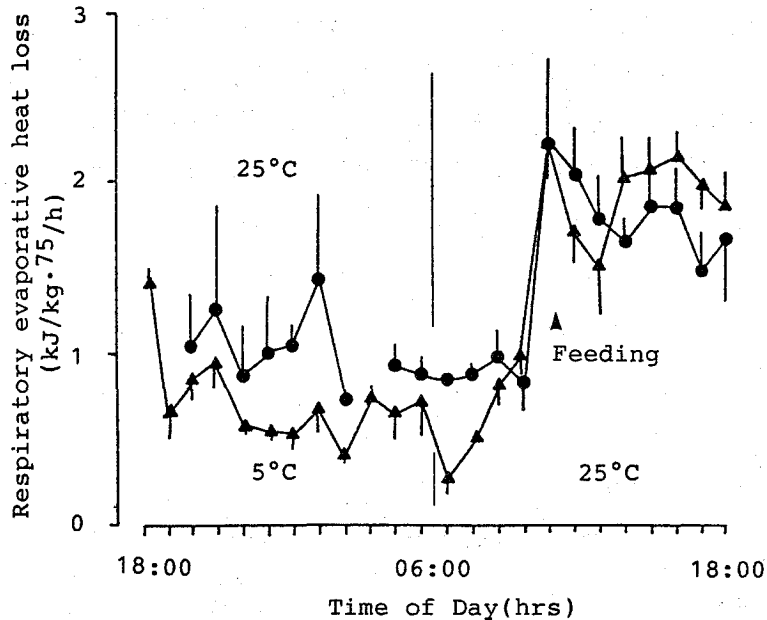


図7) 対照期および反復寒冷暴露時におけるメソウの呼吸性熱放散量の日内変動
 ●対照期 ▲反復寒冷暴露
 12時間の平均値について対照期と反復寒冷暴露時の間に有意差がある場合は、* ($p < 0.05$), ** ($p < 0.01$), *** ($p < 0.001$) で示した。

IV. 反復寒冷暴露時におけるメソウの体熱量および熱生産量におよぼす飼料給与の影響

飼料摂取は一般に熱生産量を高め体温を上昇させることが知られている。そこで、反復寒冷暴露の寒冷時間帯（1800-0600h；5℃）に飼料を給与（2200h）した場合、および常温時間帯（0600-1800h；25℃）に飼料を給与（1000h）した場合の熱生産量および体熱蓄積量について検討を加えた。6頭のメソウを供試し、対照期（1800-1800h；25℃）での測定を行ったのち、反復寒冷に7日間暴露した。

熱生産量は、対照期において、飼料を給与した時間帯で給与しなかった時間帯より多かった（表2）。反復寒冷暴露の常温時間帯では、対照期で認められたように、飼料を給与した場合に熱生産量が高かった。一方、寒冷時間帯においては熱生産量は対照期よりも増加し、飼料を給与した場合に、更に増加した。

体熱の蓄積については、対照期では、飼料を給与した時間帯において体熱蓄積の方向にあり、逆に、飼料を給与しない時間帯において体熱放出の傾向が認められた（表2）。反復寒冷暴露の

表2) 反復寒冷暴露メンヨウの熱生産量および体熱蓄積量におよぼす飼料給与の影響

	環境温 (時間)	熱生産量 (KJ/Kg ^{0.75} /12h)	体熱蓄積量 (KJ/Kg ^{0.75} /12h)
常温時間帯内 (1000h) 給与			
対照期	25℃ (1800-0600h)	194.6 ± 7.1	-2.9 ± 1.0
	25℃ (0600-1800h)	242.3 ± 8.9*	2.9 ± 1.0
反復寒冷暴露	5℃ (1800-0600h)	348.6 ± 5.2	-14.6 ± 1.0
	25℃ (0600-1800h)	248.7 ± 5.1**	14.6 ± 1.0*
寒冷時間帯内 (2200h) 給与			
対照期	25℃ (1800-0600h)	237.9 ± 11.8*	5.1 ± 0.9
	25℃ (0600-1800h)	207.3 ± 8.3	-5.1 ± 0.9
反復寒冷暴露	5℃ (1800-0600h)	381.7 ± 9.4*	-10.0 ± 0.7*
	25℃ (0600-1800h)	204.4 ± 4.5	10.0 ± 0.7

結果は6頭の平均値±標準誤差。

対照期については両時間帯間の、反復寒冷暴露については寒冷および常温時間帯内の飼料給与の有無間に有意差がある場合、* (p<0.05), ** (p<0.01) で示した。

常温時間帯においては、飼料を給与した場合に体熱の蓄積が大きく、この傾向は、熱生産量について認められた傾向と類似していた。寒冷時間帯においては、いずれの場合にも著しい体熱の放出が認められたが、飼料を給与した場合における方が体熱の放出は少なかった。

以上の結果は、飼料給与は、常温および寒冷のいずれの時間帯においても、熱生産量を高め、体熱を蓄積する方向に作用することを示している。

まとめ

- 1) 寒冷暴露時におけるメソウの熱生産量は、反復寒冷暴露時の方が連続寒冷暴露時より少なかった。これは、反復寒冷時間帯初期の熱生産量の増加が少ないことによるものであった。
- 2) 反復寒冷時間帯初期に熱生産量の増加が少ないのは、この時期に体熱を放出して、熱生産量を節約する効果によるものであると考えられた。
- 3) この時期に放出される体熱は、反復寒冷暴露の常温時間帯に蓄積されたものである。
- 4) 反復寒冷暴露の常温時間帯に体熱の蓄積が大きいのは、常温時間帯における熱放散が抑制されることによる可能性が考えられた。
- 5) 反復寒冷暴露時には、常温時間帯もしくは寒冷時間帯のいずれの時間帯においても、飼料の給与は、熱生産量を高め、体熱を蓄積する方向に作用した。

審査結果の要旨

恒温動物は環境温の変化に対応して、さまざまな生理的機能を調節し、体熱の生産と放散の収支を維持することによって体温を一定に保つ。寒冷環境では、外部環境への体熱放散量が増すので、それを補うために体熱生産量が増加する。このことは、環境温を連続して一定の低温に保った条件下で明らかにされてきた。しかし、反芻動物が、日内に温度変動をともなう寒冷環境下でどのように熱収支を調節するのか不明の点が多い。本論文の著者はこの点に着目し、メンヨウを用い反復寒冷暴露時の動物の熱収支と、それに関与する生理機能の役割を知るため、以下の研究を行った。

まず、連続寒冷および反復寒冷環境下における熱生産量を比較検討し、反復寒冷での熱生産増加量は連続寒冷より少ないことを見出し、これが、反復寒冷時間帯初期の熱生産増加遅延によるものであるという興味ある知見を得た。

そこで、次に深部体温と10ヶ所の皮膚温を連続測定することによって体熱量を推算し、熱生産量の経時的变化と比較したところ、反復寒冷時間帯初期における動物体から外部環境への著しい体熱の放散を反映して、この時期に著明な体熱量の減少が生ずることが明らかになった。一方、この時期に失われる体熱量は、連続寒冷に比較して少なかった熱生産量に類似していたことから、反復寒冷時間帯初期には、放出した体熱量に相当する量の熱生産量を減少させたものと考えられ、体熱量を調節することによって熱生産量を節約する効果が反復寒冷時にあらわれることを示唆した。

次に、放出される体熱量が蓄積される時期と機構について詳細に検討した結果、反復寒冷実験の常温時間帯において動物に体熱の大きい蓄積がおり、体熱の蓄積は寒冷時間帯から常温時間帯に移行したのちに、体熱放散系の機能が抑制されることによることが大きいことを、呼吸性熱放散量および平均皮膚温の変化から明らかにした。

また、反復寒冷暴露時には、常温時間帯もしくは寒冷時間帯のいずれの時間帯に飼料を給与しても、飼料給与は、熱生産量を高め、体熱を蓄積する方向に作用することが確かめられた。

以上、本論文にみられる諸成果は単に家畜生理学の発展に貢献したのみならず反芻家畜の飼育管理に関し多くの有益な知見を与えたものである。よって審査員一同、著者は農学博士の学位を授与されるに値すると判定した。