



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	寒冷環境における離乳子豚の成長と飼料エネルギーの利用に関する研究
Author(s)	秦, 寛
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(農学)
Dissertation Number	乙第3391号
Issue Date	1988-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/32774
Type	doctoral thesis
File Information	3391.pdf



寒冷環境における離乳子豚の成長と 飼料エネルギーの利用に関する研究

秦

寛

寒冷環境における離乳子豚の成長と
飼料エネルギーの利用に関する研究

秦 寛

目 次

第Ⅰ章 緒 言	1
1. 研究の目的	1
2. 従来の研究	3
1) 環境管理と環境生理学	3
2) 子豚の成長と熱的環境	4
第Ⅱ章 群飼離乳子豚の成長と環境温度の関係	8
1. 試験方法	8
2. 結果と考察	9
1) 環境温度と群飼離乳子豚の行動	9
2) 環境温度と群飼離乳子豚の成長	14
第Ⅲ章 寒冷環境における群飼子豚の熱産生量	18
1. 試験方法	18
2. 結果と考察	23
1) 休息時の群の集密度	23
2) 群飼頭数と熱産生量	25
3) 群飼時の熱放散	35
第Ⅳ章 寒冷環境におけるエネルギー代謝と体組成	45
1. 試験方法	45
2. 結果と考察	48
1) 増体量と飼料効率	48
2) 消化率と代謝率	52
3) 熱産生量とエネルギー蓄積量	53
4) 体成分蓄積量	68
5) 体組成と内臓・被毛重量	77
第Ⅴ章 総合論議および結論	97
要 約	108
謝 辞	111
参考文献	112

第 I 章 結 言

1. 研究の目的

現代の養豚生産の基礎は明治時代に外国種豚の輸入などにより築かれたが、昭和30年代の初頭まではあくまでも副業の域を出ないものが大部分であった⁸⁸⁾。しかし、昭和36年の農業基本法公布により豚肉は選択的拡大農産物と位置づけられ、零細副業的生産段階から脱皮し、多頭化と主産地化を目指して飛躍的に発展した⁵⁰⁾。

それにあわせて、生産構造にも大きな変化があった。すなわち、中ヨークシャー種に代わって大型品種・ランドレース種の導入とその交雑種の利用、農産副産物や残飯を中心とした粗飼料に代わる市販配合飼料の大幅な利用、抗生物質に依存した衛生管理などである。さらに、配合飼料の利用を前提とした省力化が図られ、土地から遊離する形での規模拡大が進められるなど、集約的な養豚構造となっている⁹⁷⁾。

多頭化の傾向が認められる昭和38年頃から豚舎の建築に制度資金が導入され、大型の豚舎の建造が開始された。このため、生産者や養豚技術者による各種の豚舎設計が試みられたが、管理作業に関連する平面設計に関するものが多く、豚の生産性に影響する断熱、換気など環境設計についてはほとんど検討されなかった。さらに、昭和37年の豚価の大暴落は危険分散の見地から繁殖・肥育の一貫経営に対する志向を強め⁵⁰⁾、一つの経営において種々のステージの豚が多頭数で飼育される状況を生み出した。

そのような中で寒冷期を中心に、不良な豚舎環境による発育の遅延、飼料効率の低下、疾病の多発など生産性の低下がみられるようになり、飼育規模が小さい副業的な生産段階では重視されなかった豚舎の環境管理が昭和40年代中頃から重要な課題となってきた。

とりわけ寒冷期の環境管理は重要な問題であるが、低温域における豚の生産反応に関する研究は諸外国も含めて極めて少なく、環境生理学的な概念から提出された臨界温度や快適温度が、豚舎の環境設計の基準として用いられているのが現状である。

しかし、生産現場における飼養条件が考慮されていないそれらの温度は、豚にとっては

理想的な環境を与えるが、経済性を重視する環境管理の実態からかけ離れたものとなっている。また、そのことは寒冷期の豚舎で必要以上に高い温度を要求することにつながり、寒冷地において豚舎への過剰な暖房機器の導入や暖房コストの高騰が散見される現象³⁶⁾をも生みだしている。

このような状況を背景に、豚舎の環境設計に利用し得る環境温度の基準を、熱的環境について生産の経済的限界を超えない範囲すなわち生産環境限界として提示しようとする考え方^{4), 66)}が提唱され、肉生産に直結する肥育期についてはそのような方向性をもった研究⁹⁷⁾が最近になってまとめられた。

しかし、肉生産を目的として飼育される肉豚の生産性は肥育期だけで決まるものではなく、前段の離乳期の成長が肥育期の生産性に影響を及ぼすことが報告^{85), 96)}されている。しかも離乳期の子豚では、飼料と環境の急変さらには群の組換えなどの要因が重なるため成長が損なわれ易く²⁶⁾、とくに寒冷期には温度管理に注意を払わなければならない。ところが、生産現場における発育ステージ別の豚の管理では、虚弱な哺育期と肉生産に直結する肥育期の中間に当たる離乳期の子豚についてはあまり関心が払われず、離乳子豚が分娩豚舎あるいは肥育豚舎の一部を利用して飼われているのが実態である。そのため寒冷期に、離乳子豚に対して過剰あるいは過少とも思われる温度環境を与えられているケースが多くみられる。

また、豚の環境生理研究においても、離乳子豚に関する研究は新生豚や肥育豚に比べて少ない^{27), 51)}上に、ほとんどが単飼条件で検討されており、それらに基ずいた現行の離乳子豚に対する温度管理の推奨値^{60), 84)}はかなり高い温度を要求している。

多頭数飼育による一貫経営の進展は、一方で豚の発育ステージ別の環境管理を可能にする要素を生みだしていることから、離乳期の子豚についても実際の環境管理に利用し得る群飼条件を前提とした生産環境限界の提示が必要と考える。

本研究は、離乳子豚の寒冷に対する生産環境限界すなわち低温限界を提示することを目的として、これまでわが国において用られたことのない比較屠殺法、群飼家畜の熱産生量

測定の手法も導入して、寒冷に対する群飼離乳子豚の適応能力と離乳子豚の成長に及ぼす寒冷環境の影響をエネルギー利用の観点から明らかにしようとするものである。

2. 従来の研究

環境管理と環境生理学

環境と動物の関係を生理学的手法により解析する家畜環境生理学は、第2次大戦以降における世界的な集約畜産の進展とともに急速に発展した^{64, 103)}。その背景には、集約畜産においては生産の絶対量だけでなく効率が重要となり、環境効果を最大限に利用して生産効率を高める必要があること、労働生産性の追求が必然的に環境問題を生ずること⁶⁵⁾などがあった。

欧州では1950年代に入り本格的な研究が開始され、イギリスのHannah Dairy Res. Insti. (HDRI) やAgricultural Resach Council (ARC) において、家畜の体温調節機能、暑熱・寒冷環境下の生理反応が調べられ、カロリーメトリックな手法により家畜の臨界温度あるいは熱的中性圏が示されている¹⁰³⁾。欧州における環境生理研究は当初より栄養学と結びつきが深く、環境の影響をエネルギー要求量の側面から把握しようとする研究^{3, 8)}がなされ、ARCの1981年版 The Nutrient Requirements of Pigs²⁾では熱的中性圏以下の温域での要求量が求められるように配慮されている。

アメリカでは同じく1950年頃から Missouri, Cornell, Californiaの各大学を中心に、暑熱地域への家畜導入に伴う環境適応に関する諸問題の解明、合理的で経済性の高い畜舎設計の基礎資料の提供などを目的とした研究が行なわれている¹⁰³⁾。アメリカにおける環境生理研究の特徴は農業工学との結びつきの中で進められてきたことにあり、その成果をAmerican Society of Agricultural Engineers (ASAE) がとりまとめ、Midwest Plan Service (MWPS) から1964年以降、畜舎設計のため

の普及資料⁶⁰⁾が刊行され、その中で家畜のステージ別に温度の推奨値が公表されている。

わが国においても1950年代後半に家畜生産における環境の重要性が論じられ¹⁰³⁾、1960年には三村⁶²⁾によって環境生理学的研究が世界的に第2次大戦後の畜産学における新しい傾向であることが紹介されている。その後、東北大学、九州大学、広島大学、農林省畜産試験場などで反すう家畜を中心とした多くの研究が進められてきたことが山本^{102, 103)}、安保³⁾により総説されている。

しかし、畜舎の環境管理の観点からみると、森田⁶⁷⁾が論説したようにわが国においては農業工学と共同した研究が進められておらず、畜舎設計を目的に行われていないために家畜生理学的研究により得られたデータは畜舎設計の基礎資料として整合性に問題があることが指摘されている⁴⁷⁾。

そのような指摘に対し、生物的・工学的・経営的諸側面が絡み合った畜産における家畜管理を生産の場で統一的に捉え、家畜管理学として体系化を図る試みがなされている^{63, 66)}。そこでは、家畜生産の現場における環境管理を実践する立場から、環境生理学を行動学、農業工学、経営学などに関連させて位置づけ、環境管理の観点では熱的中性圏あるいは生理的適温域よりも生産環境限界すなわち熱的環境について生産の経済的限界を超えない範囲を知ることが重要であるとしている⁴⁾。しかしながら、家畜の生産環境限界については、わずかにSainsbury⁸⁴⁾、三村⁶⁶⁾、所⁹⁷⁾が試みたものがあるだけで、まだ研究の緒についたばかりといえる。

子豚の成長と熱的環境

子豚の環境生理研究については、1950年代のはじめにNewlandら⁷⁷⁾が出生直後の子豚の体温が環境温度によって変化すること、Pomeroy⁸²⁾が出生後の哺乳が遅れるほど子豚の耐寒性が低くなることを報じ、新生豚の体温調節機能に関する研究がいち早く取り組まれた。

新生豚は、熱放散を防ぐ被毛と皮下脂肪が乏しく、体温調節機能が未熟で、代謝エネルギー

ギー源としての体脂肪やグリコーゲンの貯蔵量も少なく、寒冷に対する抵抗力が極めて弱い⁷²⁾。しかし、出生後の時間の経過とともに代謝能力が増大し、断熱層としての皮下脂肪も増える^{70, 72)}。子豚の体温調節機能の発達過程について、生後6日齢までの体温調節機能未発達期、7～20日齢の体温調節機能発達期、20日齢以降の体温調節機能完成期に分けられることが紹介⁴⁾されており、少なくとも3週齢以上の離乳子豚においては十分な体温調節機能を有するとみられる。

子豚の臨界温度は出生直後で34℃と非常に高い⁷³⁾が、発育にともなって次第に低下する。単飼条件での子豚の臨界温度について、Ingram & Mount⁴⁴⁾は体重4～8kgで20℃以上と報告し、Holmes & Close³⁹⁾は体重2～20kgで29～17℃、ARC²⁾は体重5kgで30～25℃、体重15kgで28～21℃の範囲を推定している。

群飼条件の新生豚では互いに体を寄せ合う行動により寒冷下での熱産生量を少なくできることがMount⁶⁸⁾によって示され、その後、肥育豚⁴²⁾、繁殖豚²⁹⁾でも同様の報告されている。そのような寒冷に対する適応的行動は、群飼豚の臨界温度を引き下げることにつながる。

群飼子豚の臨界温度について、Holmes & Close³⁹⁾は体重2～20kgで24～15℃、Le Dividichら⁵⁴⁾は25～36日齢で約28℃、McCracken & Gray⁵⁷⁾は17～43日齢で26～19℃の範囲としている。

但し、1～41日齢の子豚に環境温度を自由に選択させると、新生豚は32℃の温度を好み、それ以上の日齢では単飼、群飼を問わず29～30℃を選ぶことから、熱的中性圏が必ずしも子豚の快適温域とならないことが指摘される⁶⁹⁾。

子豚の熱放散量および熱産生量は、環境温度以外の温熱要因によっても影響を受ける。Mount⁷²⁾は風の影響について、環境温度20～30℃にある20kgの子豚では風速が毎秒10cmから56cmに増すと、無風状態における環境温度4℃の低下に相当す

る熱放散の増加があるとしている。放射熱の影響について, Stephens & Start⁹⁴⁾は10~20℃の環境において新生豚に赤外線ランプを用いると熱産生量が18~41%減少することを報じている。床断熱の影響について, Mount⁷¹⁾は木の床とポリスチレン床では新生豚の豚体から床へ流れる熱量をコンクリート床に比べ47%および84%減少することを示している。またStephens^{93, 94)}は, 新生豚に対してワラを敷料に用いると, 赤外線ランプを用いるのと同様な熱産生量の軽減効果があるとしている。

一方, 離乳子豚の成長と環境温度の関係については, 1965年に至ってFuller²³⁾が10~30℃の環境における離乳子豚の発育成績を報告するまでほとんど注目されることはなかった。その後1970年代に母豚の繁殖サイクルを短縮する技術として早期離乳が検討されたのを機に, 早期離乳子豚に対する温度管理の重要性が指摘され⁵²⁾, 1980年代に入って発育, エネルギー代謝, 体組成など面で急速な進展をみている。

離乳子豚の至適温度について, Fuller²³⁾は単飼条件の2~10週齢の子豚では20~25℃の環境で最も発育が良好であり, それ以下の温域では増体量と飼料効率が低下するとしている。Sugaharaら⁹⁵⁾は, 7~11ないし13週齢の単飼子豚の発育を7, 23および33℃の環境で調べ, 7℃で飼料効率は低下するが増体は最も高いことを報告している。またLe Dividich⁵¹⁾は, 群飼条件で3週齢離乳子豚の離乳後6週間の発育を32~20℃の温域で検討し, 28℃から20℃へ順次低下させた場合に増体が最も高いことを示している。

離乳子豚の発育に及ぼす寒冷の影響について, Hackerら³²⁾, Brownら¹⁰⁾, Le Dividich & Noblet⁵³⁾の研究は, 臨界温度以下の温域では環境温1℃の低下につき11~14gの日増体量の減少があることを示している。

離乳子豚のエネルギー代謝に及ぼす寒冷の影響について, Noblet & Le Dividich⁷⁸⁾は環境温度1℃の低下につき9kJ/kg^{0.75}/日の熱産生量が増加

し、維持に要するMEが増加するとしている。離乳子豚の維持のME要求量(MEm)を検討した研究^{15, 16, 54, 78)}では、環境温度の低下に伴う1日当たりのMEmの増加を $18 \sim 35 \text{ kJ} / \text{kg}^{0.75} / ^\circ\text{C}$ と推定している。さらに、臨界温度以下の温域では飼料摂取に伴う熱増加の一部が体温調節に利用されるので、環境温度の低下によってエネルギーの利用効率(k)が高まることが指摘されている^{15, 78)}。

また体組成に及ぼす環境温度の影響については、寒冷下で脂肪の比率が低下したとする研究^{16, 20, 23, 53)}、寒冷による変化がなかったとする研究^{24, 99)}、寒冷下で背脂肪が増加したとする研究³⁴⁾があり、現在のところ一致した見解は得られていない。

以上のように、離乳子豚の成長と環境温度に関する研究は、この10年間にかなり進展したものの、新生豚や肥育豚における多くの研究に比べ極めて少ない⁵¹⁾。わが国においてはわずかに、離乳子豚に対する赤外線ランプと床暖房の効果^{33, 46)}が検討されている程度である。

第II章 群飼離乳子豚の成長と環境温度の関係

離乳期の子豚では、飼料と環境の急変さらには群の組替えによるストレスなどが加わり成長が損なわれ易い²⁶⁾。また、離乳期の子豚の成長は肥育期の成長にも影響を及ぼすこと^{85, 96)}から、この時期の環境管理は極めて重要である。とりわけ、環境温度は離乳子豚の成長に大きな影響を与える要因であり、単飼条件の離乳子豚について20℃より下の温域では日増体量と飼料効率が低下することが報告²³⁾され、離乳子豚の温度管理では21～29℃の単飼条件での成績に基づいた推奨値^{60, 84)}が使われている。

しかし、通常の飼養管理では離乳子豚を単飼することはなく群飼条件が前提となるが、群飼条件での離乳子豚の成長と環境温度の関係を調べた研究はわずかに20℃以上の温域での報告⁵¹⁾があるにすぎず、低温域における群飼離乳子豚の成長については明らかにされていない。

本章では、群飼条件における離乳子豚の環境温度に対する行動・成長の反応を、低温域も含めて検討した。

1. 試験方法

群飼離乳子豚の5～25℃の温域における行動と成長を調べるため、環境調節室を用いて表1に示す試験1～4を実施した。

環境温度の設定は、試験1では5℃：20℃、試験2では10℃：20℃、試験3では15℃：20℃、試験4では20℃：25℃とし、試験1～4を通じて5～25℃の温域を5℃毎に比較でき、なおかつ20℃の環境温度区を共通してもつように設計した。

供試豚には、4週齢（28～31日齢）で離乳したランドレース種子豚を24頭ずつ計96頭使用した。各試験において、4頭（雄2頭・雌2頭）を一群とし、各環境温度区へ体重と腹の関係が同じくなるように3群ずつを配置した。離乳時の体重は平均7kgで、各群内の標準偏差は0.3～1.5kgの範囲であった。

離乳直後より、各群を4.6 m²の豚房において表2に示す人工乳飼料を不断給餌し、4週間にわたり飼育した。なお、豚房はコンクリート床であり、敷料は用いなかった。

各環境温度における飼料摂取量、日増体量および飼料効率を求めるため、体重は週1回、残飼量は週2回測定した。

また、各環境温度における週齢別の休息行動を調べるため、5週齢（離乳3～5日目）、6週齢（離乳14～16日目）および8週齢（離乳26～27日目）に行動調査を実施し、10分毎の行動形と休息時の群がり方をビデオカメラによって24時間観察した。休息時の行動は次の3つに分類して記録した。1）体を極度に寄せあう休息行動（写真1）：四肢を体の下に折り曲げ、重なりあったり、極度に体を寄せあって群がる；2）体を単に寄せあう休息行動（写真2）：四肢を伸ばし、単に体を寄せあって群がる；3）体の接触がない休息行動（写真3）：四肢を伸ばし、他の豚との接触を持たない個体がみられる。

2. 結果と考察

1) 環境温度と群飼離乳子豚の行動

試験1～4における離乳子豚の1日の行動割合を表3に示す。延べ24回の行動観察を通じて、休息行動が73%（67～81%）と最も多く、次いで採食行動が18%（13～23%）であり、歩行・闘争等その他の行動は9%（5～14%）であった。これらの行動割合には環境温度あるいは週齢による影響は認められず、離乳子豚は1日の大半を休息行動に費やすことが確認された。

休息時の行動を環境温度および週齢別に表4に示す。体を単に寄せあう休息行動は6週齢までは20℃以上の温域のみで認められたが、8週齢では15℃でも観察されるようになり、さらに8週齢の25℃では体の接触のない休息行動もみられた。これらは豚が寒さを感じない環境でみられる休息行動であり、離乳子豚の臨界温度が週齢とともに低下していることを行動面から裏づける。

離乳子豚の臨界温度を熱産生量の測定値から推定した研究^{56, 57, 83)}では、離乳からの

表1 試験設計および環境温度と供試豚の体重 (試験1~4)

		試 験 1		試 験 2		試 験 3		試 験 4	
		5℃	20℃	10℃	20℃	15℃	20℃	20℃	25℃
離 乳 日 齢		28~29		28~30		28~29		28~29	
離乳時 の体重	1 群	6.9	6.8	7.1	6.9	5.3	5.2	6.7	6.6
	2 群	7.8	7.9	7.9	8.1	7.6	7.8	7.5	7.8
	3 群	6.6	6.9	7.3	7.1	7.7	7.7	7.5	7.5
	平 均	7.1	7.2	7.4	7.3	6.9	6.9	7.2	7.3

表2 飼料の化学組成 (試験1~4・試験9~11)

	乾物	粗蛋白質	粗脂肪	粗繊維	粗灰分	N F E	エネルギー (kJ/g)
	(原物中%)						
試験 9	88.6	21.5	5.1	0.9	5.6	55.6	17.0
試験10	88.6	23.7	5.0	1.0	5.6	53.2	17.1
試験11	88.3	22.6	5.2	1.0	5.4	54.1	17.1
平均	88.5	22.6	5.1	1.0	5.5	54.3	17.1

表3 週齢および環境温度別の1日の行動割合(試験1~4)

時期	行動形	5℃	10℃	15℃	20℃				25℃
		試験1	試験2	試験3	試験1	試験2	試験3	試験4	試験4
5週齢	休息(%)	69.4	72.6	69.4	75.2	80.6	67.9	74.5	72.6
	採食(%)	21.9	19.1	18.1	18.2	14.8	18.2	15.1	13.4
	その他(%)	8.7	8.3	12.5	6.6	4.7	13.9	10.4	14.0
6週齢	休息(%)	68.4	74.8	76.9	74.7	77.4	76.0	72.9	68.4
	採食(%)	23.4	15.5	13.2	20.5	13.2	14.8	18.8	22.1
	その他(%)	8.2	9.7	9.9	4.9	9.4	9.2	8.3	9.5
8週齢	休息(%)	67.0	77.3	70.7	71.4	69.1	74.7	69.8	74.7
	採食(%)	22.8	13.4	19.3	22.0	17.2	14.2	16.1	16.5
	その他(%)	10.2	9.4	10.1	6.6	13.7	11.1	14.1	8.9

表4 環境温度に対する群飼離乳子豚の休息時の行動反応(試験1~4)

環境温度	5℃	10℃	15℃	20℃				25℃
試験No	試験1	試験2	試験3	試験1	試験2	試験3	試験4	試験4
5週齢 ¹⁾	●	●	●	●	●	●	●○	●○
6週齢 ²⁾	●	●	●	○	○	○	○	○
8週齢 ³⁾	●	●	●○	○	○	○	○	○□

1) 離乳3~5日後

2) 離乳14~15日後

3) 離乳26~27日後

● 体を極度に寄せあう休息行動

○ 体を単に寄せあう休息行動

□ 体の接触のない休息行動



四肢を体の下に折り曲げ，重なりあったり，極度に体寄せあって群がる。

写真1 体を極度に寄せあう休息行動



四肢を伸ばし，単に体寄せあって群がる。

写真2 体を極度に寄せあう休息行動



四肢を伸ばし，他の豚との接触を持たない個体がみられる。

写真3 体の接触がない休息行動

日齢に伴って臨界温度が低下することが示されている。本研究における群飼子豚の週齢別の環境温度に対する行動反応は、MacRackenら⁵⁷⁾が推定した31日齢で25℃、37日齢で22℃および43日齢で19℃という28日齢離乳子豚の群飼条件での臨界温度を極めて良く説明する。

一方、体を極度に寄せあう休息行動が5週齢では5～25℃の全温域で、6週齢以降は15℃以下の温域で観察された。この休息行動は寒冷環境でみられる体温調節行動の1つで、熱放散にかかわる有効体表面積を少なくするための適応的行動とされている⁶⁶⁾。このような群飼条件での休息行動は新生豚、肥育豚および繁殖豚でも認められ、寒冷下での熱産生量を単飼条件より少なくする効果があることが報告^{68, 42, 29)}されている。離乳子豚においても同様の効果が予測され、休息行動が1日の行動の70%を占める離乳子豚にとって効果的な適応的行動と考えられる。

2) 環境温度と群飼離乳子豚の成長

試験1～4の飼料摂取量、日増体量および飼料効率を表5に示す。試験1では、20℃区より5℃区の体重当たりの飼料摂取量が高い傾向にあり、日増体量と飼料効率が低下した($P < 0.01, 0.05$)。試験2では、20℃区に比べ10℃区の1日および体重当たりの飼料摂取量が増加し飼料効率が低下したが($P < 0.01 \sim 0.05$)、日増体量に差はなかった。試験3と4では、1日当たりの飼料摂取量、体重当たりの飼料摂取量、日増体量および飼料効率に環境温区間で有意な差はなかった。しかし、試験3において離乳時体重が5kgと小さかった1対の群は、離乳時体重が7kgであった他の2対の群によりも体重当たりの飼料摂取量が高く、1日当たりの飼料摂取量、日増体量および飼料効率が低い傾向を示し、その程度は15℃で大きかった。

試験1～4における各群の1日当たりの飼料摂取量、日増体量および飼料効率を一括し、環境温度別に図1に示す。図1では、試験3で離乳体重が小さかった群の15℃でのデータを棄却検定($P < 0.05$)によって除外し、23群について示している。

15℃以上の温域では、1日当たりの飼料摂取量、日増体量および飼料効率に差はなく、

それぞれ平均0.67 kg/頭, 0.43 kg/頭および0.66であった。10℃では、1日当たりの飼料摂取量が0.73 kg/頭に増加し、飼料効率は0.59に低下したが、日増体量は0.43 kg/頭と15℃以上の温域と同水準にあった。5℃では、1日当たりの飼料摂取量は0.63 kg/頭で15℃以上の温域とほぼ同じであったが、日増体量は0.32 kg/頭に低下し、飼料効率も0.51と大きく低下した。

離乳子豚の成長と環境温度の関係について、単飼条件の2～10週齢の子豚では20～25℃での増体が最も良好で、20℃より低い温域では飼料摂取量、増体速度および飼料効率が低下することが報告²³⁾されている。群飼条件では、3週齢離乳子豚の離乳から6週間の日増体重は週齢に伴って28℃から26℃へ下降させた群よりも、20℃から20℃へ下降させた群で高いことが認められている⁵¹⁾。しかし、20℃より低い温域での群飼離乳子豚の成長についてはほとんど検討されていない。

本研究では、15℃の環境下において群飼条件の離乳子豚は体を極度に寄せあって休息する適応的行動を示し、20℃以上の温域と同等の飼料摂取量、日増体量および飼料効率を維持できることが確認された。群飼離乳子豚の15℃以上の温域における日増体量と飼料効率は平均0.43 kgおよび0.66と良好であり、20～32℃の温域で3週齢離乳子豚を飼育した報告^{51, 53)}での平均日増体量0.39 kg (0.30～0.47), 飼料効率0.67 (0.59～0.72) とほぼ同じ水準にあった。本研究での15℃以上の温域における群飼離乳子豚の日増体量 (DG, g/日) と1日当たりの飼料摂取量 (DFI, g/日) の関係について、次のような回帰式が得られた。

$$DG = 0.50 DFI + 97 \quad (n=17, r=0.83, P<0.01) \quad (1)$$

一方10℃では、飼料摂取量を増加させる適応的行動もみられ、飼料効率は低下するが日増体量は15℃以上の温域と同水準に維持された。しかし5℃では、10℃と同様に体を極度に寄せあう休息行動と体重当たりの飼料摂取量の増加が認められたにもかかわらず、日増体量が低下し飼料効率も大きく低下した。このことは、不断給餌条件の群飼離乳子豚が良好な日増体量を維持できる低温の限界が10℃であることを示唆する。

表5 飼料摂取量，日増体量および飼料効率（試験1～4）

	試験 1		試験 2		試験 3		試験 4	
	5℃	20℃	10℃	20℃	15℃	20℃	20℃	25℃
飼料摂取量								
1日当たり (kg/頭)	0.63	0.65	0.73 ^b	0.67 ^a	0.61 (0.67)	0.67 (0.71)	0.69	0.63
体重当たり (g/kg/日)	59.1	54.3	59.1 ^B	53.5 ^A	53.2 (50.9)	54.3 (51.8)	54.9	51.6
日増体量 (kg/頭)	0.32 ^A	0.42 ^B	0.43	0.43	0.39 (0.45)	0.44 (0.48)	0.45	0.43
飼料効率	0.51 ^a	0.64 ^b	0.59 ^a	0.65 ^b	0.62 (0.67)	0.66 (0.67)	0.64	0.68

() 内は離乳時体重が小さかった1群を除いた平均値

A,B 異なる文字間に1%水準で有意差あり

a,b 異なる文字間に5%水準で有意差あり

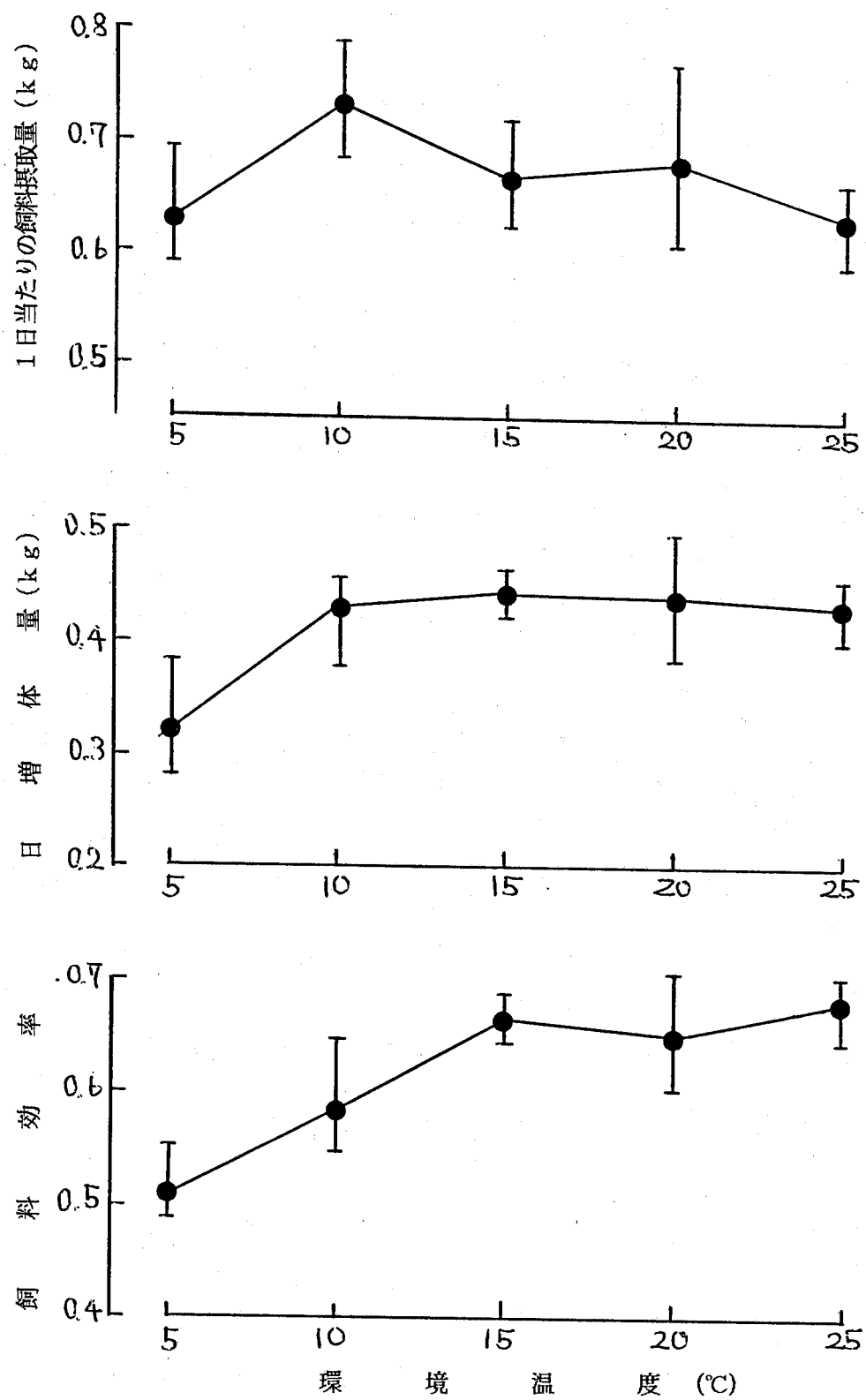


図1 環境温度別の飼料摂取量，増体量および飼料効率（試験1～4）

第Ⅲ章 寒冷環境における群飼離乳子豚の熱産生量

前章において、群飼条件の離乳子豚は単飼条件では日増体量が低下するとされている低温域でも良好な日増体量を維持できることを明らかにし、その原因が群飼条件での適応的行動にある可能性を示した。

豚は寒冷に対して種々の適応的行動を示し、とりわけ群飼条件では互いに体を寄せあう休息行動 (huddling) によって熱産生量を単飼条件より少なくでき、新生豚^{6,8)}、肥育豚^{4,2)}および繁殖豚^{2,9)}では6～37%の群飼による熱産生量の軽減効果が報告されている。しかし、離乳子豚におけるこの種の適応的行動についてはほとんど研究がされておらず、寒冷環境での群飼による熱産生量の軽減効果は明らかにされていない。

さらに、群飼とは一般的には2頭以上での飼育形態を意味するが、群飼による熱産生量の軽減効果は群飼頭数の違いによっても変化することが予測される。ところが、群飼頭数と熱産生量の関係については、わずかに新生豚で1頭から6頭の範囲で群飼頭数の増加に伴って熱産生量が低下することが報告^{6,8)}されているにすぎない。

本章では、寒冷環境における群飼離乳子豚の huddling と熱産生量の関係について検討した。

1. 試験方法

試験5では離乳子豚の huddling における群の集密度を検討するため、床温度を変える処理を設けて休息時の群の床占有面積を調査した。試験6・7では離乳子豚の huddling による熱産生量の軽減効果を、群飼頭数との関係も含めて検討した。さらに、試験8では huddling による外周空気および床への熱放散の抑制が子豚の顕熱放散の軽減に及ぼす効果を推定するため、放射・対流および伝導による熱放散を抑制する処理を設けて子豚の熱的模型からの放熱量の軽減効果を検討した。

【試験5】

群飼離乳子豚の休息時における群床占有面積を、床暖房時と非床暖房時に分けて調査した。試験は冬季の4日間に床暖房を設備している離乳子豚舎の16豚房（各7.3m²）で実施し、前半の2日間は床暖房を用いて、後半の2日間は床暖房を止めて休息時の群床占有面積を測定した。期間中の各豚房における収容頭数は7～12頭、平均体重は10～26kgであった。

各豚房の縦面・横面それぞれ20cm毎に標識をつけ、休息中の群の豚房に対する縦方向の長さと同方向の長さを測定し、その積を群床占有面積とした。群床占有面積の測定は7頭以上が休息している豚房を対象とし、11時から17時の間に1時間間隔で実施した。舎内温度は1時間毎に豚舎中央部で、床温度は1日1回4つの豚房で測定した。

【試験6・7】

表6に示す温度条件の異なる二つの試験を設定し、群飼頭数1～8の範囲で離乳子豚の熱産生量を調査した。

試験6では、大ヨークシャー種2腹から得た25～28日齢離乳子豚8頭を供試した。供試豚は20℃の環境調節室内の豚房で飼育し、熱産生量の測定時のみチャンバーへ収容した。チャンバー内の温度を前半のA期は20℃、後半のB期は28℃に設定し、熱産生量の測定を実施した。

試験7では、27日齢で離乳した雑種子豚（LW・D）8頭を供試した。前半は20℃の環境調節室内の豚房で飼育し、C期に14℃に設定したチャンバー内で熱産生量を測定した。後半は14℃の環境調節室内の豚房で飼育し、D期に同じく14℃に設定したチャンバー内で熱産生量を測定した。

試験6・7とも、給餌は1日1頭当たり110g/kg^{0.75}の子豚用人工乳飼料を半量ずつ9:30と16:30に給与した。熱産生量の測定は13:00から16:30の間に実施した。各期とも群飼頭数を原則として1日毎に8, 6, 4, 3, 2, 1と減じて熱産生量の測定を行なったが、A期では群飼頭数を8頭から1頭まで減じた後、再び8頭まで

増加させた。

チャンバーは気容積 2.187 m^3 ($1.80\text{ m} \times 1.35\text{ m} \times 0.90\text{ m}$) のものを用い、全頭休息時に所定の温度になるようにチャンバー内の温度を調節した。チャンバー内の風速は平均毎秒 0.6 m であった。酸素濃度をパラマグネット式酸素分析器 (Morgan, M500D) で測定し、McLean & Watts の急速応答法⁵⁹⁾ を簡易化した方法¹⁰⁵⁾ により熱産生量を1分毎に算出した。なお、熱産生量測定システムの校正は窒素ガス注入法によって行なった¹⁰⁴⁾。

熱産生量測定時の子豚の行動は1分毎に記録し、全頭が10分以上連続して休息している時の測定値を休息時の熱産生量とした。

【試験8】

放射・対流および伝導による熱放散を抑制する処理として上部暖房、床暖房および床断熱を選び、子豚の熱的模型からの放熱量の軽減効果を検討した。上部暖房に赤外線ランプ、床暖房に電熱マット、床断熱にポリスチレン床を用い、環境調節室内を5, 10, 15および20℃に制御し、表7に示す6つの処理を設定した。

処理Cはコンクリート床、処理Pはポリスチレン床、処理Mは電熱マット床で、いずれも上部暖房がない処理である。また、処理CLはコンクリート床、処理PLはポリスチレン床、処理MLは電熱マット床で、いずれも上部暖房を用いた処理である。

上部暖房の赤外線ランプは200Wを用い、床上70cmに懸架した。床暖房の電熱マットは130W (ナショナル子豚マット) を、床断熱のポリスチレン床は20mm厚のフォームポリスチレン板を使用した。

子豚熱的模型の概要は図2のとおりである。模型はステンレス製であるが、輻射熱の吸収を考慮して表面を豚のなめし毛皮で被覆した。各処理において、模型内の水温をヒーター (300W) とサーモスタット (OMRONサーモ5) で $40 \pm 0.5^\circ\text{C}$ に保ち、ヒーターの電気消費量を2時間間隔で12時間連続して測定し、模型全体からの放熱量を算出した。さらに、模型の上面および底面における放熱量も併せて測定した。

表6 試験設計および熱産生量測定時の環境温度と供試豚の体重（試験6・7）

	試 験 6			試 験 7			
	予備期	A 期	B 期	予備期	C 期	予備期	D 期
離乳後日数*	4~9	10~21	22~27	7~12	13~26	27~29	30~37
平均体重(kg)	—	6.3~9.2	9.9~12.5	—	7.1~10.6	—	13.7~17.3
飼育温度(℃)	25~20	20	20	20	20	14	14
チャンバー内温度(℃)	—	20	28	—	14	—	14

* 供試豚の離乳日齢は、試験6で25-28日齢、試験7で27日齢であった。

表7 上部暖房，床断熱および床暖房の処理（試験8）

	床の種類	上部暖房	環境温度
C	コンクリート	なし	
P	ポリスチレン	なし	5℃
M	電熱マット	なし	× 10℃
CL	コンクリート	赤外線ランプ	15℃
PL	ポリスチレン	赤外線ランプ	20℃
ML	電熱マット	赤外線ランプ	

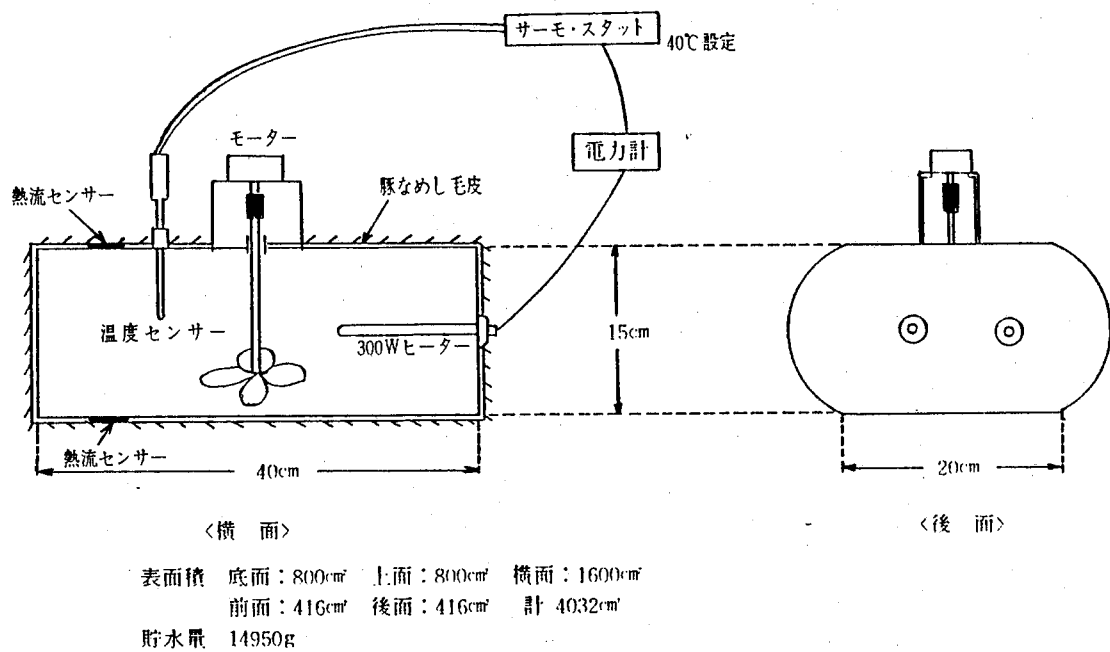


図2 子豚熱的模型の概略（試験8）

また、模型の設置前に、各処理における床温度ならびに床上15 cm（模型の高さ）と1 mの気温と黒球温度を3時間連続して測定した。

各温度は銅・コンスタンタン熱電対で、模型の上面および底面での放熱量は熱流センサー（昭和電工HFM-ES）で測定し、データ・ロガ（エーアンドデイ5312）により30分間隔で記録した。

2. 結果と考察

1) 休息時の群の集密度

試験5における温度環境と休息時床占有面積を表8に示す。舎内温は床暖房時、非床暖房時とも平均15℃であったが、床温度は床暖房時の平均28.5℃、非床暖房時14.6℃と非床暖房時で低かった。

1頭あたりに換算した休息時床占有面積は、平均体重10～14 kg、15～19 kgおよび20～26 kgの群について、床暖房時それぞれ1983、2189および3875 cm²、非床暖房時それぞれ1341、1458および2549 cm²であり、いずれも非床暖房時に有意（ $P < 0.05$ ）に減少した。

群飼豚は臨界温度より下の温域では互いに体を寄せあう休息行動すなわちhuddlingをするが、huddlingにおける群の集密度は臨界温度との差が大きくなるほど高まることが休息時の群床占有面積を指標としたBoon⁸⁾の研究で示されている。かれは群飼条件の肥育豚について、臨界温度より5℃高い環境下に比べ、臨界温度より3℃低い環境下では休息時の床占有面積が体重30～35 kgの群で24%、体重60～65 kgの群で22%減少したことを報じている。

本研究で、離乳子豚は舎内温度15℃の非床暖房時にhuddlingを示し、休息時の床占有面積を床暖房時に比べ32～34%減少させた。温度条件が必ずしも同じではないので単純な比較は難しいが、少なくとも離乳子豚のhuddlingにおける群の集密度は肥育豚でのそれに相当するものと考えられる。

表8 温度環境と群飼離乳子豚の休息時の床占有面積 (試験5)

	床 暖 房 あ り			床 暖 房 な し		
	測定数	範 囲	平 均	測定数	範 囲	平 均
温 度 環 境 (°C)						
舍 内 温 度	18	13.8-17.3	15.8	18	12.0-16.9	15.3
床 温 度	8	25.0-30.0	28.5	8	12.5-16.0	14.6
床占有面積 (cm ² /頭) *						
体重 10 - 14kg	48	1100-2833	1983 ^b	33	800-1341	1341 ^a
体重 15 - 19kg	24	1600-3589	2189 ^b	15	935-1800	1458 ^a
体重 20 - 25kg	6	3429-4286	3875 ^b	10	1667-3643	2549 ^a

* 7頭以上で休息している際の床占有面積

a, b 異なる文字間に5%水準で有意差あり

また、床暖房時においては離乳子豚の h u d d l i n g は観察されなかった。このことは、舎内温度が非暖房時とほぼ同じであるにもかかわらず、床暖房時の熱的環境は臨界温度以上の環境に相当していたことを意味し、豚体と床面での熱移動が休息時の豚体からの熱放散に大きな位置を占めていることを示唆する。

2) 群飼頭数と熱産生量

試験 6・7 における休息時の行動を表 9 および写真 4～7 に示す。子豚の h u d d l i n g はチャンバー内温度 28℃ (B 期) では認められなかったが、20℃ (A 期) と 14℃ (C, D 期) で観察された。

離乳子豚の h u d d l i n g は、これまでの試験 1～5 では離乳直後を除いて 15℃ 以下の温域でみられたのに対し、試験 6 では 20℃ でも観察された。これは試験 6・7 のチャンバー内では空気を攪拌しているために風速の影響があり、チャンバー内の環境が無風状態に比べ寒冷であったためと理解される。チャンバー内の風速が 0.6 m/秒であったことを考慮すると、20℃ 以下のチャンバー内は離乳子豚にとって寒冷的な環境と判断できる。

試験 6 における群飼頭数別の休息時の熱産生量を図 3 に示す。20℃ (A 期) での熱産生量は、1 頭から 4 頭まで群飼頭数の増加に伴い最大 17% の低下をみたが、4 頭以上での差はなく、体重当たりの熱産生量は 1, 2, 3, 4, 6 および 8 頭でそれぞれ 19.0, 18.2, 17.2, 15.7, 15.5 および 15.2 kJ/kg/時であった。また、28℃ (B 期) での熱産生量には群飼頭数による違いは認められず、1 頭から 8 頭までの平均は 14.6 ± 0.8 kJ/kg/時であった。

さらに A 期の熱産生量を測定順に、測定時の体重も加えて図 4 に示す。供試豚の平均体重は試験の進行に伴って 6.3 kg から 9.2 kg まで直線的に増加した。しかし、熱産生量は群飼数 8 頭から 4 頭でほぼ一定であり、3, 2, 1 頭と急激に増加した後、1 頭から 4 頭まで急激に低下し、再び 4 頭以上でほぼ一定となるパターンを示した。このことは、A 期における熱産生量の変化が子豚の増体に伴うものではないことを意味する。

14℃で測定した試験7の休息時の熱産生量を図5に示す。C期の熱産生量は、試験6の20℃(A期)と同様に、1頭から4頭まで最大15%の低下を認めたが4頭以上では差がなく、1, 2, 3, 4, 6および8頭でそれぞれ17.3, 16.0, 15.2, 14.7, 14.3および14.9 kJ/kg/時であった。一方D期では、子豚がhuddlingをしていたにもかかわらず休息時の熱産生量に違いはなく、1頭から8頭までの平均は14.7±0.4 kJ/kg/時であった。

群飼豚は寒冷下でhuddlingをすることにより熱産生量を単飼豚よりも少なくできることが新生豚⁶⁸⁾、肥育豚⁴²⁾および繁殖豚²⁹⁾で報告され、それぞれ28~37%, 6~23%および18~21%の群飼による熱産生量の軽減効果が推定されている。

本研究で、離乳子豚における群飼による熱産生量の軽減効果は4頭以上の群で15~17%と推定された。その効果は新生豚で報告されているものよりは小さいが、少なくとも肥育豚および繁殖豚での効果に匹敵するものと考えられる。

また、28℃と14℃(D期)では、休息時の熱産生量に群飼による変化は認められなかった。そのうち28℃では、チャンバー内の環境が温暖でありhuddlingをしなかったために熱産生量の変化がなかったのであろう。一方14℃(D期)において、子豚がhuddlingしていたにもかかわらず熱産生量に群飼の効果がみられなかったことの原因について十分な考察は難しい。しかし、D期ではA, C期より供試豚の日齢が進み、体重も大きくなっていったこと、また14℃の環境に馴致されていたことから、離乳子豚の増体および寒冷馴化に伴って臨界温度が変化している可能性が考えられる。

一方、群飼頭数と熱産生量の関係について、Mount⁶⁸⁾は新生豚で1頭から6頭まで群飼頭数の増加に伴って熱産生量が低下したことを報告している。しかし本研究では、離乳子豚の熱産生量は1頭から4頭まで群飼数の増加に伴って低下するが、4頭以上ではほとんど変わらないことが確認された。

寒冷下での群飼による熱産生量の軽減は、豚がhuddlingをすることで放熱にかかわる有効体表面積を減少させ、その結果として熱放散量が少なくなることによる現

象と理解される。すなわち、huddlingの際に生じる豚体と豚体の接触面では温度差がほとんどないことから断熱と同様の効果がもたらされ、接触面での熱放散が抑制されるためである。従って、群飼による熱産生量の軽減効果は、群全体の体表面積に占める豚体同士の接触面積の比率によって変化すると考えられる。

群飼豚のhuddlingにおいて、豚体同士の接触面は群飼頭数が増加するほど多くなり、群全体の体表面積に占める豚体同士の接触面積の比率は高まる。その関係は、他の豚の上に重なる個体がない休息形態で個体間の接触面積が同じであると仮定すると、次のようにモデル化できる。すなわち、個体の体表面積 A 、個体間の接触面積 a 、群飼頭数 N 、個体の体表面積に対する個体間の接触面積の比 r とすると、群全体の総体表面積に占める豚体同士の総接触面積の比率 A_R (%) は以下のように表される。

$$A_R = 2 \cdot (a/A) \cdot (1 - 1/N) \cdot 100 = 200 \cdot r \cdot (1 - 1/N) \quad (2)$$

(2) 式を用いて、群飼頭数 (N) による群全体の総体表面積に占める豚体同士の総接触面積の比率 (A_R) の変化を図6に示す。群飼頭数の増加に伴い A_R は増加するが、 A_R の増加量は頭数が多くなるにしたがって小さくなる。さらに、 A_R の増加量が頭打ちとなる頭数は r が小さいほど低いことがわかる。群飼頭数が1頭増えることによる A_R の増加量 (ΔA_R) は(2) 式の微分式から次のように求められ、 ΔA_R が2%以下となる頭数は r が0.4, 0.3, 0.2および0.1の場合にそれぞれ7頭, 6頭, 5頭および4頭と計算される。

$$\Delta A_R = 200 \cdot r \cdot (1/N^2) \quad (2')$$

これらのことは、群飼頭数の増加に伴い熱産生量が1頭から6頭まで低下したとする新生豚での報告と4頭以上では熱産生量に変化がなかった離乳子豚での本研究との相違について、離乳子豚と新生豚における個体の体表面積に対する個体間の接触面積の比率の違いが関与していることを示唆する。

さらに、群飼による熱産生量の軽減効果が離乳子豚では新生豚より小さかったことについて、離乳子豚のhuddlingにおける群の集密度は新生豚より低く、とくに多頭数

表9 群飼離乳子豚の休息時の姿勢と行動 (試験6・7)

		試 験 6		試 験 7	
		A 期	B 期	C 期	D 期
姿勢	四肢を伸ばす	-	+	-	-
	体を丸める	+	-	+	+
huddling		+	-	+	+



四肢を体の下に折り曲げ，体を丸める。

写真4 寒冷下における単飼時の休息行動（A期）



四肢を伸ばし，弛緩した姿勢をとる。

写真5 温暖下における単飼時の休息行動（B期）



極度に体を寄せあったり，重なりあったりする（huddling）。

写真6 寒冷下における群飼時の休息行動（A期：6頭）



四肢を伸ばし，重なりあいはみられない。

写真7 温暖下における群飼時の休息行動（B期：6頭）

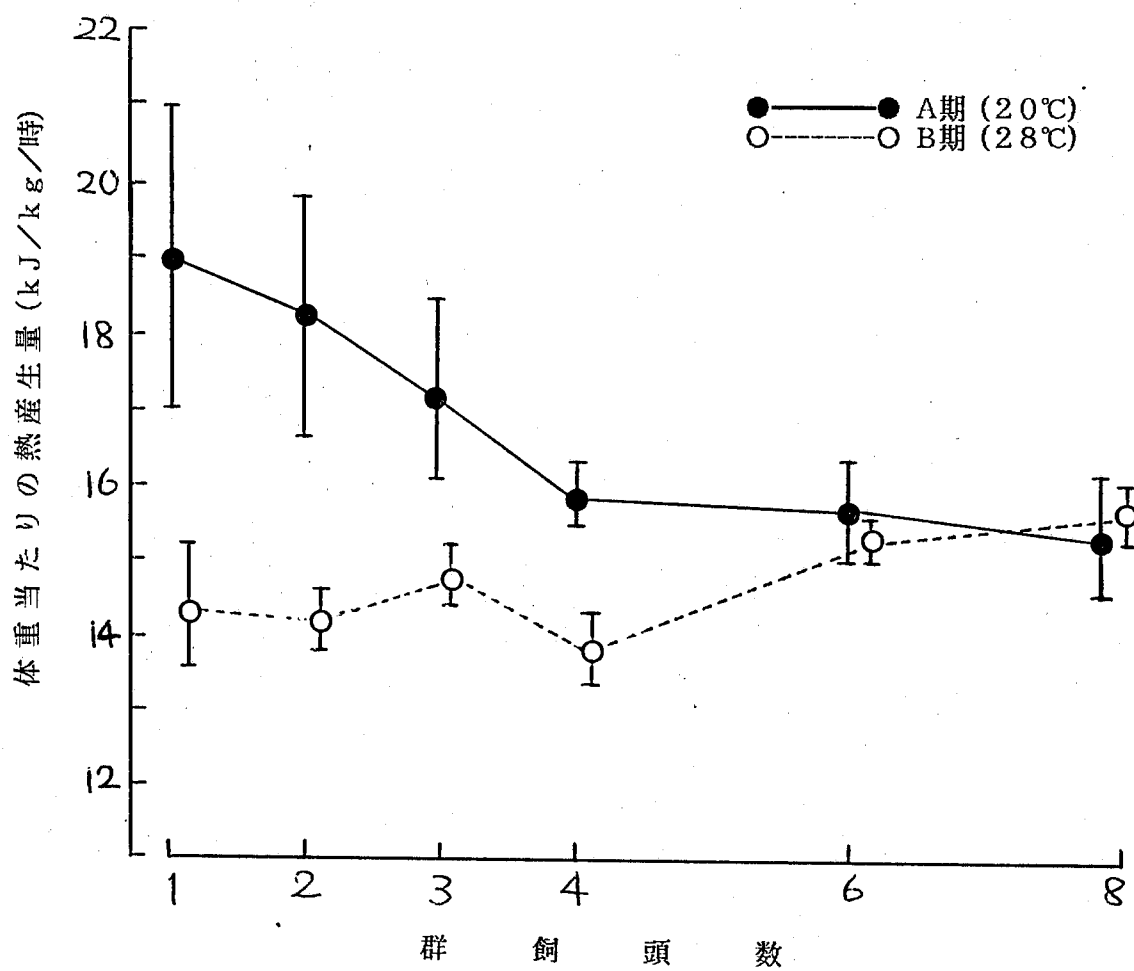


図3 群飼頭数と休息時の熱産生量の関係(試験6)

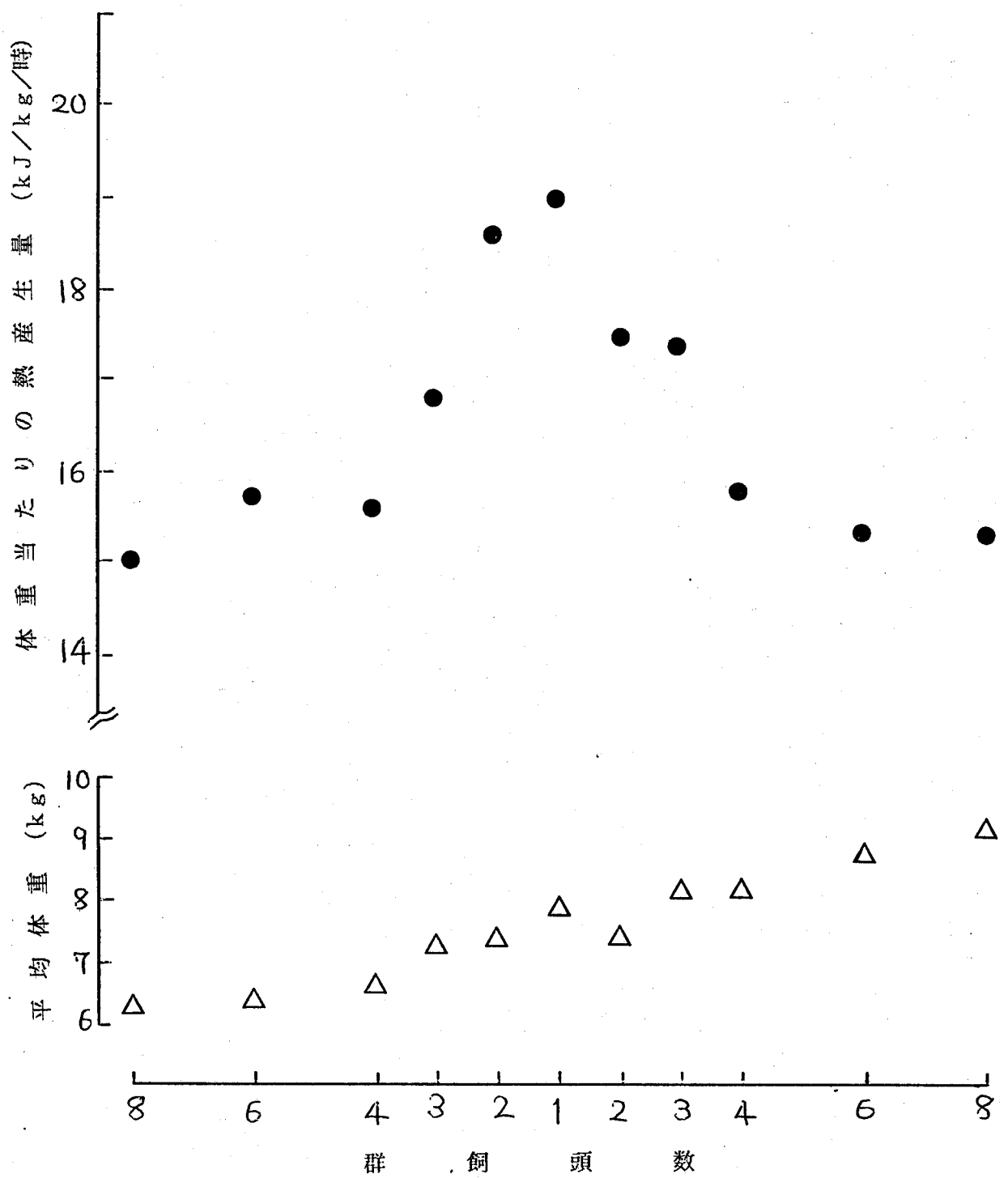


図4 試験の進行順に示した熱産生量の推移(試験6; A期)

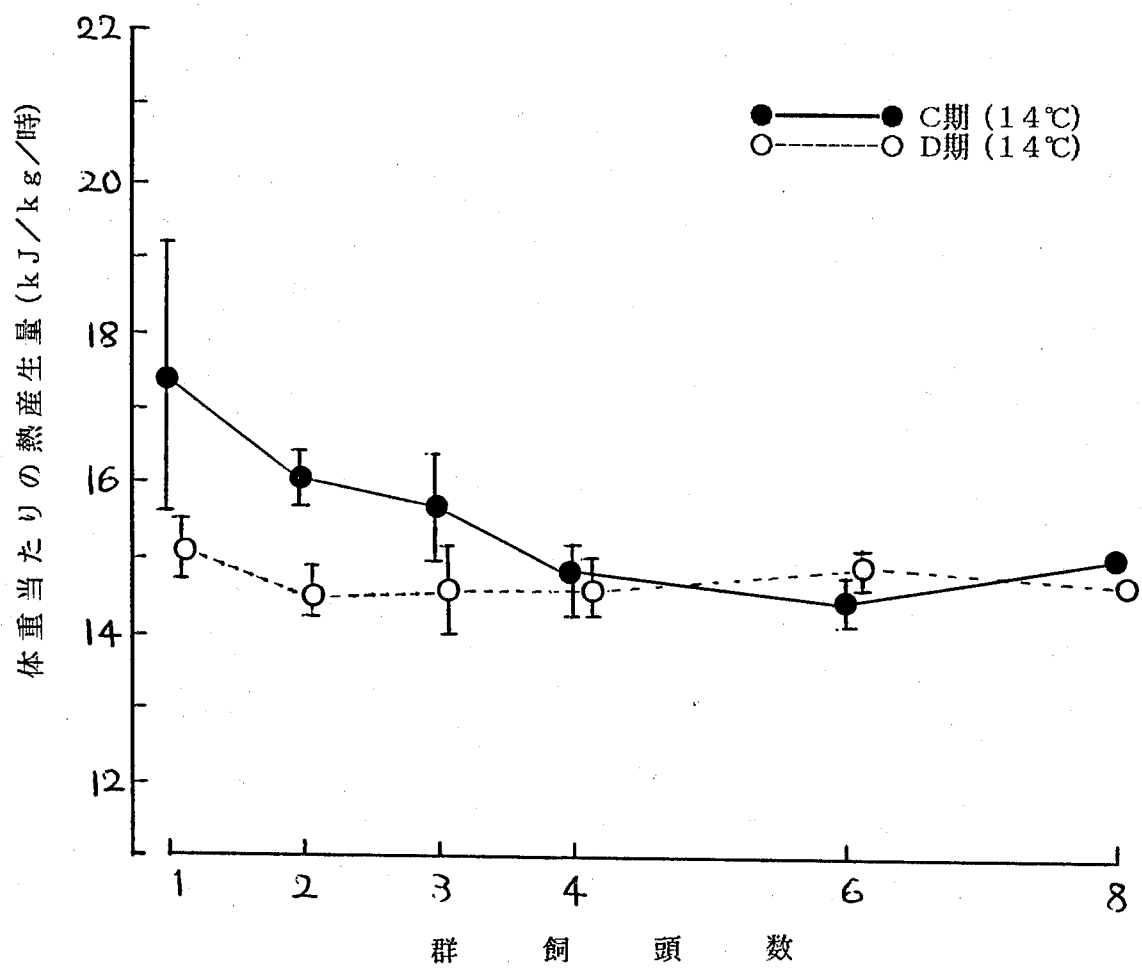


図5 群飼頭数と休息時の熱産生量の関係(試験7)

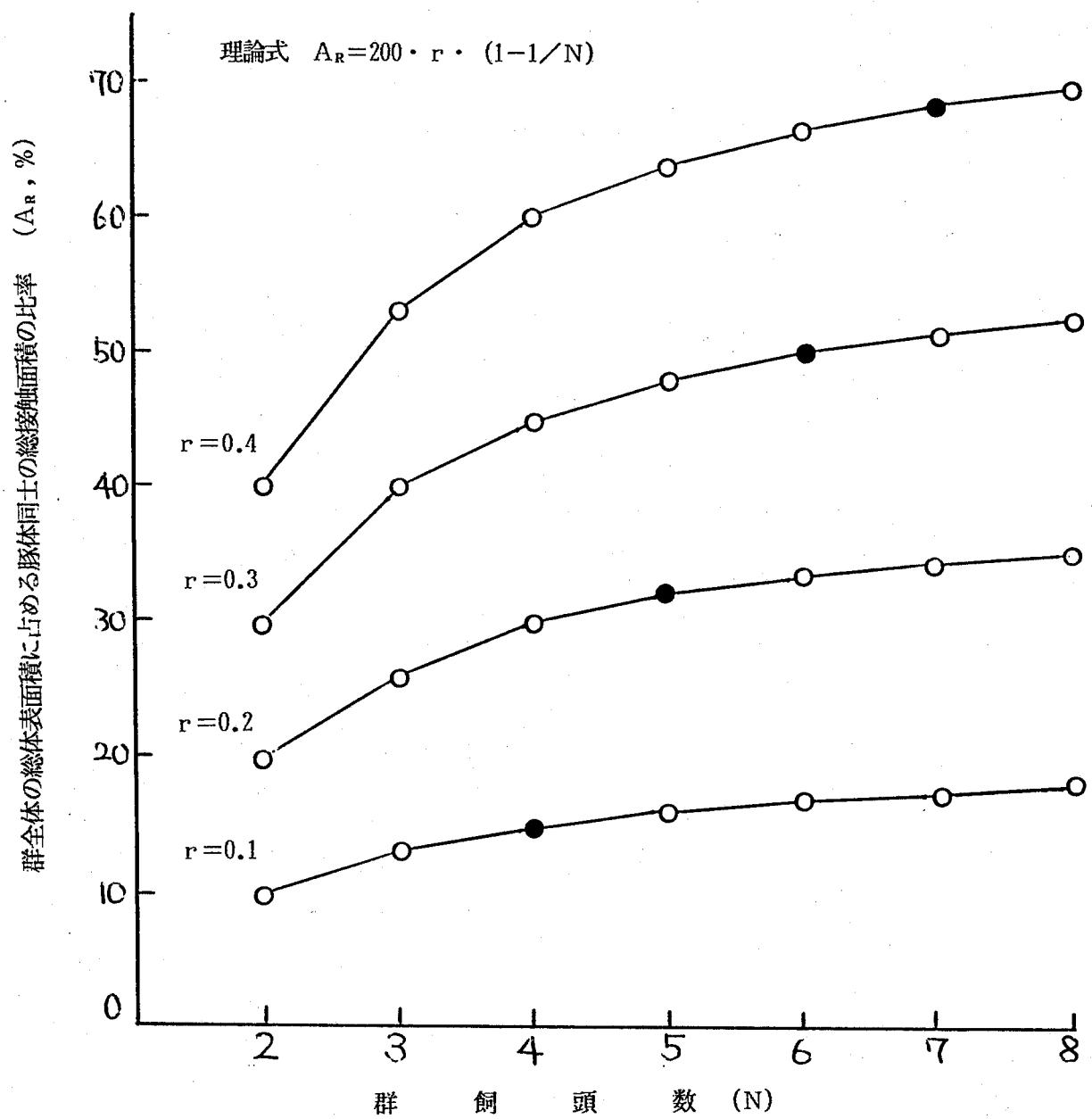


図6 群飼頭数と群全体の総体表面積に占める豚体同士の総接触面積の比率の関係

群飼時に他の豚の上で休息する個体数が少ないことも関係している可能性が考えられる。

3) 群飼時の熱放散

群飼豚の huddling では図 7 に示すように重なりあいのない休息形態と互いに重なりあう休息形態の 2 つが観察され、他の豚の上に重なって休息する個体が多いほど床占有面積で表される群の集密度は高まる。

一方、休息時の豚体からの顕熱放散は外周空気への放射・対流による熱放散と床面への伝導による熱放散とに大別でき、群飼時の熱発生量の軽減効果は huddling における豚体同士の接触面で外周空気あるいは床面への熱放散が抑制される結果としてもたらされる。

並んで体を寄せあう休息形態（図 7 a）での豚体同士の接触面においては、各個体の外周空気への熱放散が抑制される。それに対し、互いに重なりあう休息形態（図 7 b）での豚体同士の接触面においては、下になる個体では外周空気への熱放散が抑制されるが、上になる個体では床面への熱放散も抑制されることになる。従って、huddling における群の集密度の違いは熱放散が抑制される面積だけでなく、軽減される熱放散の内容にも影響を与える。

群飼豚の huddling による外周空気および床面への熱放散の抑制が子豚の顕熱放散の軽減にどのような意味を持つのか推定するため、試験 8 では子豚の熱的模型を用いて検討した。

試験 8 の各処理における温度環境を表 10 に示す。環境調節室中央床上 1 m で測定した環境温度は、それぞれの設定温度に対し $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ の範囲内にあった。床上 15 cm の気温は、処理 C と P では環境温度とほぼ同じであったが、処理 M で $1\sim 4^{\circ}\text{C}$ 、処理 CL と PL で $2\sim 3^{\circ}\text{C}$ 、処理 ML で $4\sim 9^{\circ}\text{C}$ 環境温度より高かった。床上 15 cm の放射温度についても、処理 C と P では環境温度と同じであったが、処理 M で $2\sim 6^{\circ}\text{C}$ 、処理 CL と PL で $4\sim 5^{\circ}\text{C}$ 、処理 ML で $6\sim 9^{\circ}\text{C}$ 環境温度より高かった。床温度は、処理 C と P では環境温度と変わりがなかったが、処理 CL と PL で $4\sim 7^{\circ}\text{C}$ 、処理 M で $19\sim 30^{\circ}\text{C}$ 、処理 ML

で28～32℃環境温度より高かった。

各処理における模型上面での放熱量を図8に示す。模型上面での放熱量は、赤外線ランプを用いなかった処理C、PおよびMに比べ、赤外線ランプを用いた処理CL、PLおよびMLで155～284 kJ/m²/時(38～57%)減少した。

同様に、模型底面での放熱量を図9に示す。模型底面での放熱量はコンクリート床の処理CとCLに比べ、ポリスチレン床の処理PとPLで477～674 kJ/m²/時(87～92%)減少した。また、電熱マット床の処理MとMLでは模型底面で578～877 kJ/m²/時の受熱があった。

さらに、模型全体からの放熱量を図10に示す。模型全体からの放熱量は処理Cで最も大きく、次いで処理CL、P、PL、Mの順であり、処理MLで最も小さかった。図10の関係を用いて、上部暖房、床断熱および床暖房による模型全体からの放熱量の軽減効果について表11で検討した。赤外線ランプによる上部暖房は、コンクリート床において平均9%(4～12%)、ポリスチレン床においても平均9%(8～13%)、電熱マット床において平均30%(11～44%)の軽減効果があった。床断熱の効果について、ポリスチレン床はコンクリート床よりも平均18%(14～23%)の放熱量を減少させた。また、床暖房の効果では、電熱マット床はコンクリート床よりも平均53%(44～73%)の放熱量を減少させた。さらに、床断熱と上部暖房の併用により平均26%(21～30%)、床暖房と上部暖房の併用により平均66%(50～85%)の軽減効果があった。

放射・対流による熱放散を抑制する上部暖房の効果について、Adamsら¹⁾は赤外線ランプを用いることによって新生豚の育成率と増体量が高まることを報じている。本研究においても、赤外線ランプを用いることにより模型上面での放熱量が38～57%減少し、模型全体からの放熱量を4～13%軽減させる効果があった。

伝導による熱放散を抑制する床断熱の効果について、Mount⁷⁾は新生豚の豚体から床面への熱流量を測定し、ポリスチレン床では床への熱放散量がコンクリート床に比べ

80～85%減少することを報告している。Stephens⁹³⁾, Verstegen & Van der Hel¹⁰⁰⁾は、床断熱により豚の熱産生量が減少し増体量が高まったとしている。本研究においても、ポリスチレンによる床断熱は模型底面での放熱量をコンクリート床に比べて87～92%減少させ、模型全体からの放熱量を14～23%軽減させることが認められた。

伝導により給熱する床暖房の効果について、萩原³³⁾, 糟谷⁴⁶⁾, McGinnis⁵⁸⁾は子豚の損耗率や増体量に明らかな影響が認められなかったとしている。しかし本研究では、電熱マットによる床暖房は模型底面において578～877 kJ/m²/時の熱を流入させ、模型全体からの放熱量を44～73%減少させる大きな効果があった。前述のように、床断熱だけでも子豚の熱産生量および増体量に効果が認められていることから、さらに給熱がある床暖房の効果がないとは考え難く、子豚に対する床暖房の効果についてより慎重な検討が必要であろう。

このように上部暖房、床断熱および床暖房はいずれも豚体からの熱放散量を軽減する効果を有すると考えられるが、模型全体からの放熱量の軽減効果を比較すると、床面からの給熱がある床暖房での軽減効果が最も大きく、床面への熱放散を抑制する床断熱の効果は外周空気への熱放散を抑制する上部暖房よりも大きいものと推察される。また、試験6・7で離乳子豚のhuddlingは休息時の熱産生量を15～17%減少させることを明らかにしたが、その効果は試験8において15℃の環境下で赤外線ランプを用いた効果に匹敵するものと考えられる。

さらに、各処理における模型全体からの放熱量 (Y , kJ/時) と模型上面および底面での放熱量 (X_1 および X_2 , kJ/m²/時) の間に以下の重回帰式が得られ、模型全体からの放熱量の92%までが上面と底面での放熱量によって説明された。

$$Y = 0.20X_1 + 0.08X_2 + 80.91 \quad (n=24, R^2=0.92, p<0.01) \quad (3)$$

X_1 と X_2 の標準偏回帰係数は0.505および0.768, 相対重要度は30.2%および69.8%であり、模型の底面積が全表面積の20%でしかないにもかかわらず模型

底面での放熱量が模型全体の放熱量に大きく影響し、模型底面での放熱量の抑制は模型上面での放熱量の抑制よりも模型全体からの放熱量を軽減する効果が高いことを意味する。

このことから、床面への伝導による熱放散の抑制は、外周空気への放射・対流による熱放散の抑制よりも休息時の豚の頭熱放散を軽減する効果が高いことが推察され、群飼豚の huddling において他の豚の上に重なって休息する個体が多いほど熱産生量の軽減効果は高まるものと考えられる。

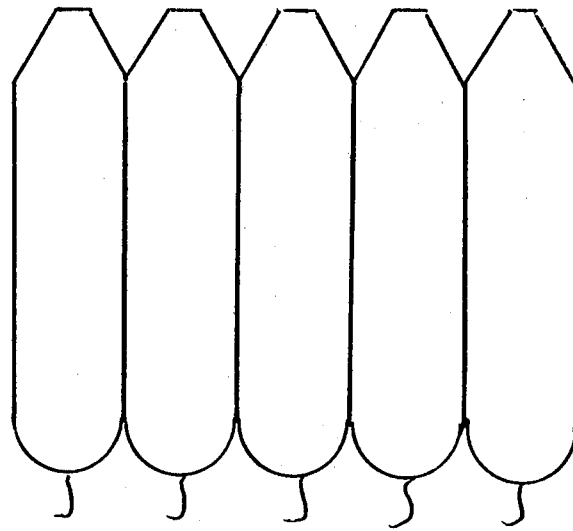


図 7a 重なりあいのない休息形態

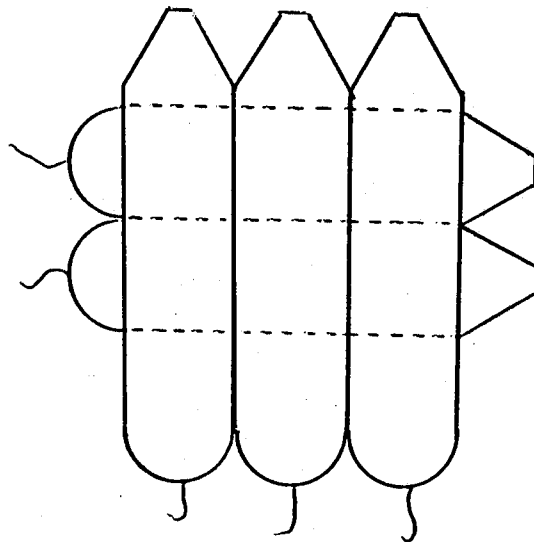


図 7b 互いに重なりあう休息形態

図7 群飼豚の huddling における休息形態

表10 各処理における温度条件¹⁾ (試験8)

環境温度 度	処理	気 温 (°C)		床上15cmの 放射温度 ³⁾ (°C)	床温度 (°C)
		室温 ²⁾	床上15cm		
5 °C	C	4.4	4.7	4.5	5.4
	P	4.4	5.1	5.1	5.0
	M	4.4	7.5	7.5	23.8
	CL	4.5	7.7	9.2	10.4
	PL	4.4	8.0	10.2	10.2
	ML	4.5	11.5	13.4	33.5
10 °C	C	9.6	9.6	9.6	9.3
	P	9.7	9.7	9.8	10.0
	M	9.7	11.2	11.8	39.6
	CL	9.7	12.0	13.6	14.0
	PL	9.8	11.7	13.4	14.7
	ML	9.9	13.6	16.1	41.7
15 °C	C	14.6	14.4	14.5	13.6
	P	14.6	14.7	14.9	15.0
	M	14.6	17.4	18.5	40.7
	CL	14.8	17.5	19.0	19.8
	PL	14.7	17.1	19.1	20.4
	ML	14.8	20.2	21.3	44.7
20 °C	C	20.0	19.8	19.9	19.5
	P	19.3	19.6	19.6	19.7
	M	19.4	23.6	25.7	43.9
	CL	19.4	21.1	23.3	23.8
	PL	19.6	22.0	24.0	26.6
	ML	19.6	24.5	29.4	47.7

1) 模型設置前3時間の中央値

2) 環境調節室中央床上1mの気温

3) 床上15cmの気温と黒球温度から算出

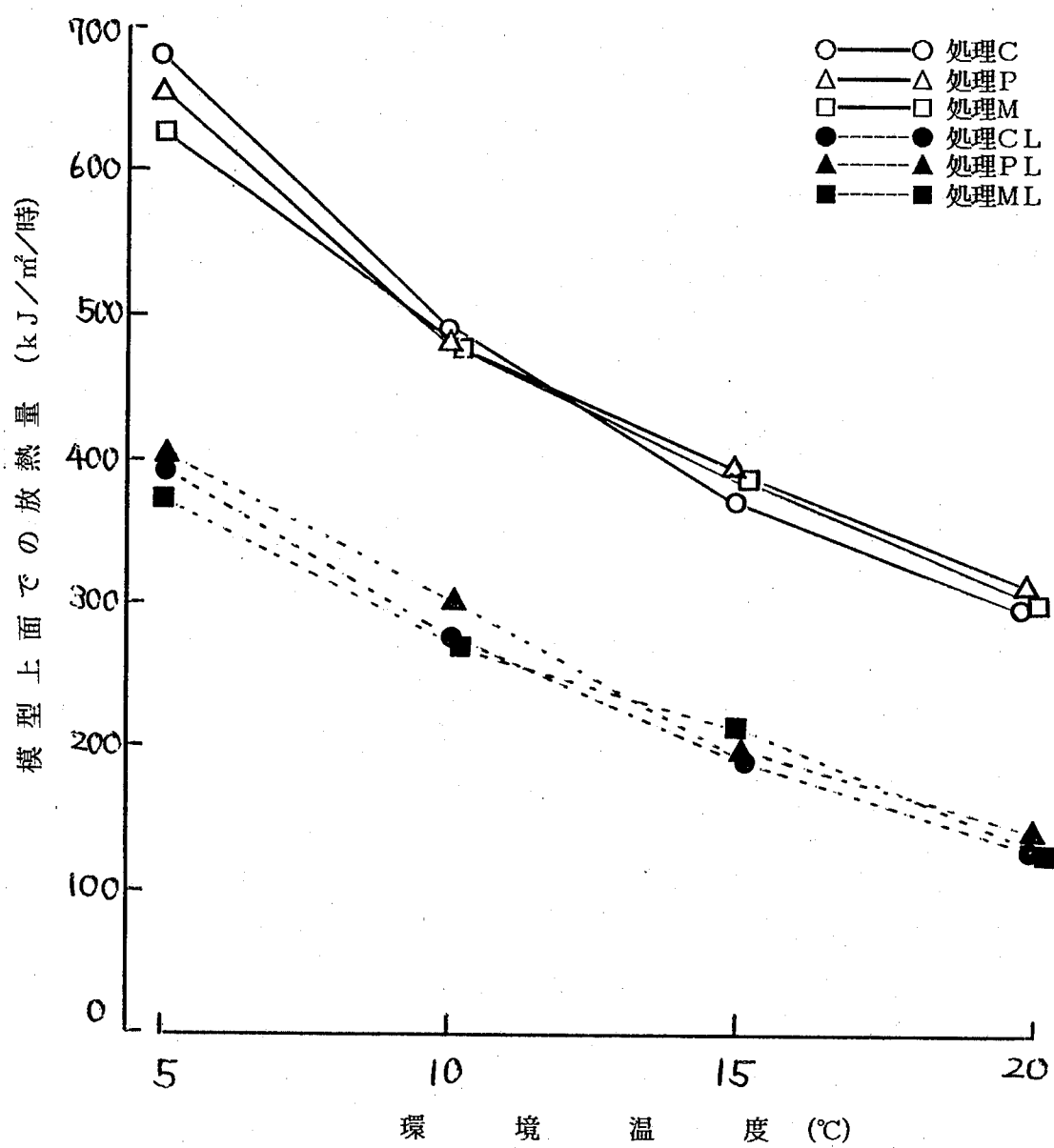


図8 模型上面での放熱量 (試験8)

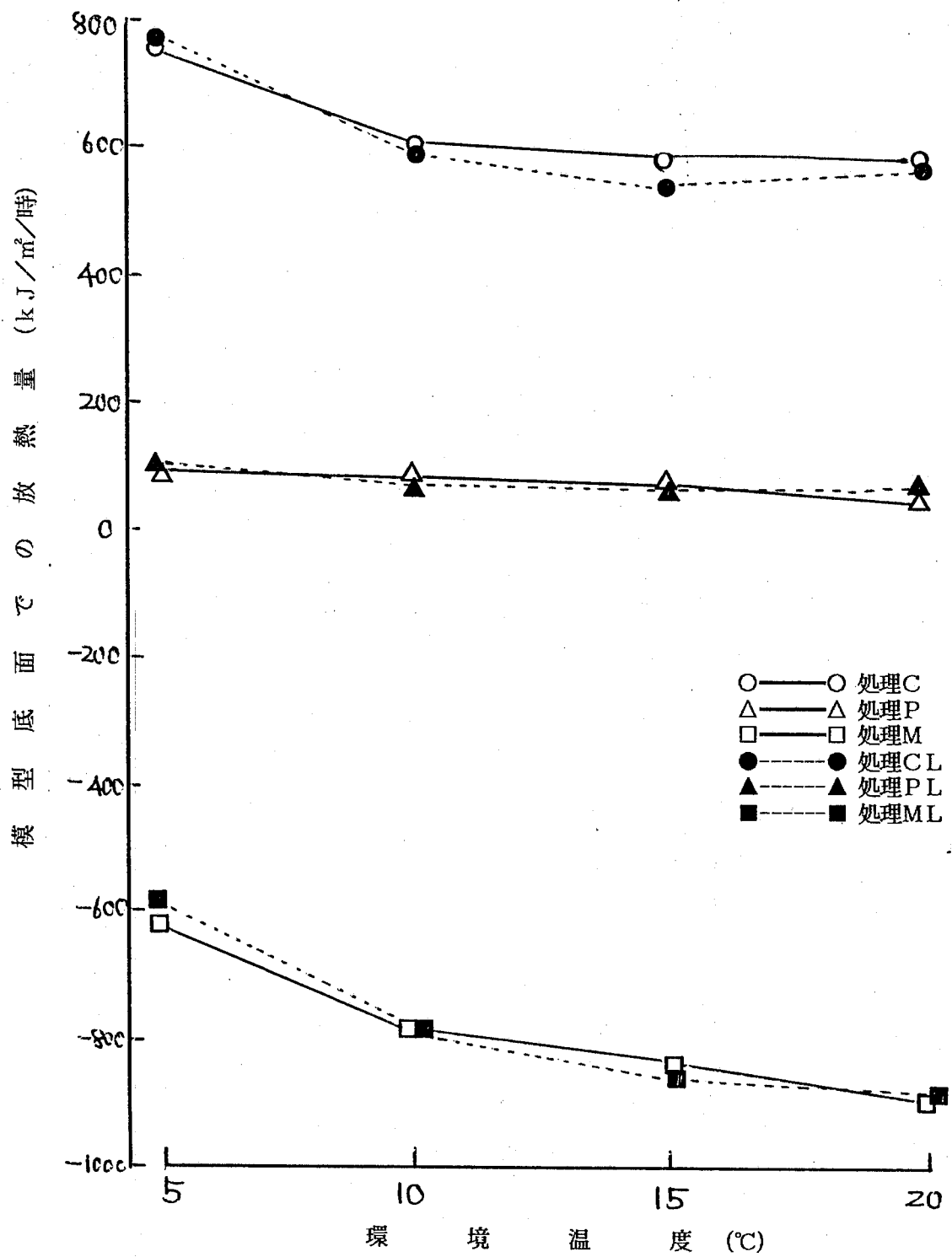


図9 模 型 底 面 で の 放 熱 量 (試験 8)

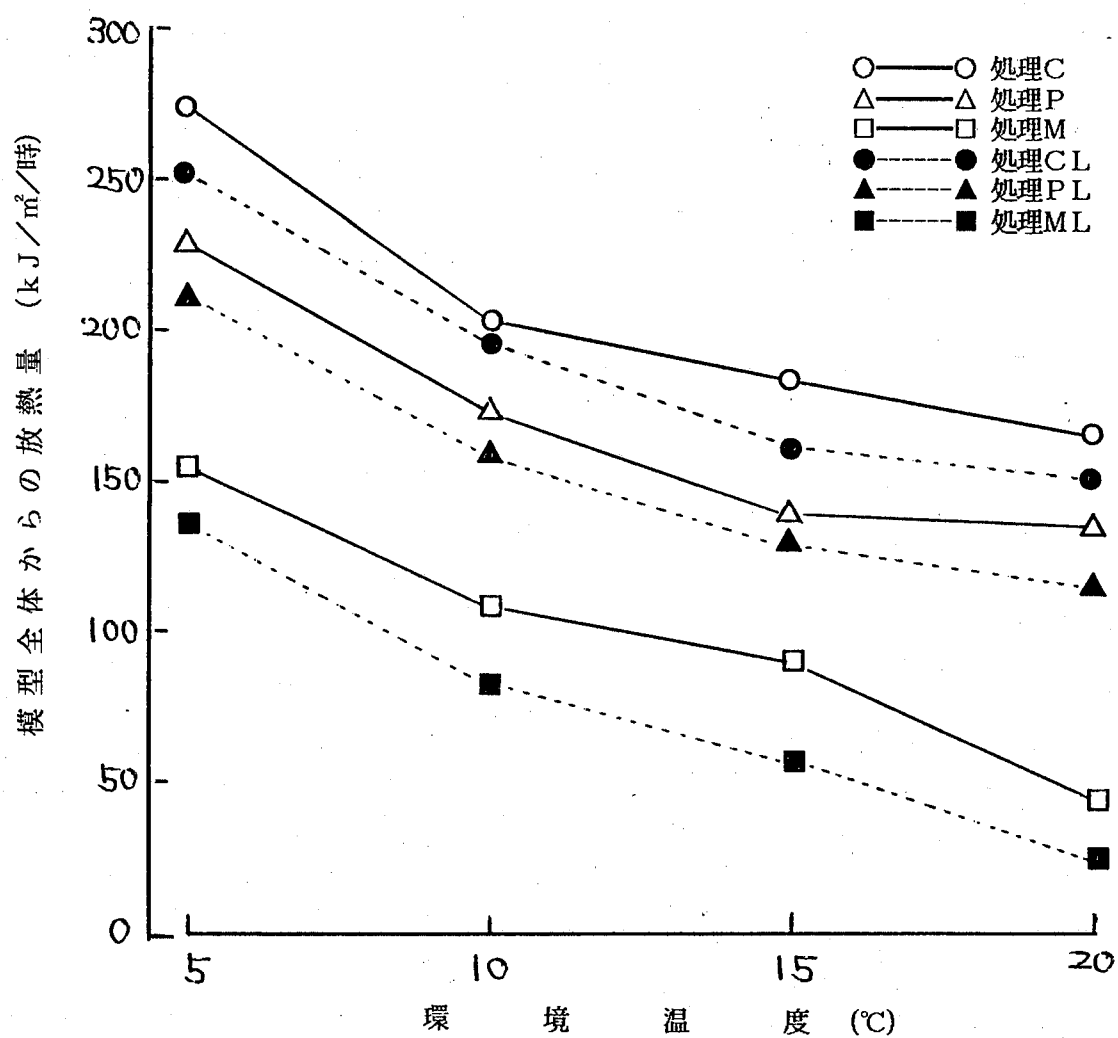


図10 模型全体からの放熱量 (試験8)

表11 模型全体からの放熱量に及ぼす床断熱，床暖房および上部暖房の効果 (試験8)

各効果の算定式		環 境 温 度			
		5℃	10℃	15℃	20℃
<床の効果>					
Cに対するPの効果	$(1-P/C) \times 100$	17	14	23	19
Cに対するMの効果	$(1-M/C) \times 100$	44	46	49	73
<上部暖房の効果>					
Cにおける効果	$(1-P/C) \times 100$	8	4	12	10
Pにおける効果	$(1-M/C) \times 100$	8	8	8	13
Mにおける効果	$(1-M/C) \times 100$	11	25	39	44
<上部暖房と床の効果>					
Cに対するPLの効果	$(1-P/C) \times 100$	23	21	29	30
Cに対するMLの効果	$(1-M/C) \times 100$	50	60	69	85

第IV章 寒冷環境におけるエネルギー代謝と体組成

II章では、群飼条件の離乳子豚は環境温度の低下に対して互いに体を寄せあう休息行動 (huddling) を示し、単飼条件では日増体量が低下するとされる温域でも良好な日増体量を維持する現象を明らかにした。さらにIII章では、群飼離乳子豚の huddling について熱収支の面から検討を加え、寒冷環境における群飼の有利性を立証したが、一方、群飼離乳子豚の低温限界を究明するためは、寒冷が飼料のエネルギー利用、増体、体成分蓄積など離乳子豚の成長にどのような影響を及ぼすのか明らかにする必要がある。

しかし、離乳子豚の成長に及ぼす寒冷の影響について、飼料として摂取したエネルギーが体蓄積されるまでの一連の過程で調べた研究は少なく、とくに体組成に及ぼす寒冷の影響については明らかにされていない。

そこで本章では、寒冷の影響が明瞭に現れる単飼条件の離乳子豚を用いて、離乳子豚の成長に及ぼす寒冷の影響をエネルギー代謝と体成分蓄積の面から検討した。

1. 試験方法

単飼離乳子豚にとって明らかに寒冷である5℃と適温と考えられる25℃の環境において、比較屠殺法 (comparative slaughter technique)^{9, 53, 78)} に基づく試験9・10・11を実施した。

異なった環境温度下での長期にわたる豚の成長やエネルギー蓄積などを比較する際には、環境温度以外に必ず体重、日齢および飼料摂取量の要因が関与し、それら3要因を同時に等しくして検討することは難しい。

そこで、試験9は日齢と飼料摂取量の条件が同じくなるように、試験10は体重と飼料摂取量の条件が同じくなるように、また試験11では飼料摂取量を調節して体重と日齢の条件が同じくなるように試験条件を設定し、離乳子豚の成長、エネルギー出納、体成分蓄積などに及ぼす寒冷の影響を検討した。

試験 9, 10 および 11 の設計を表 12 に示す。各試験において, 28 日齢 (体重約 7 kg) で離乳したランドレース種雄子豚を 4 腹から各 3 頭ずつ供試し, 計 12 頭を環境調節室内の代謝ケージで飼育した。

【試験 9】

供試豚を 25℃ で 1 週間予備飼育し, 35 日齢に初期屠殺区 (以下, IS 区), 5℃ 区および 25℃ 区へ腹と体重を考慮して 4 頭ずつ配した。試験期間を 35~63 日齢の 4 週間とし, IS 区は 35 日齢の試験開始時に屠殺・解体した。5℃ 区と 25℃ 区は日量原物 $110\text{ g/kg}^{0.75}$ の飼料を給与してそれぞれの環境温度下で飼育し, 63 日齢に屠殺・解体した。

【試験 10】

供試豚を体重 9 kg 時まで 25℃ で予備飼育し, 体重 9 kg 時に IS 区, 5℃ 区および 25℃ 区へ腹と日齢を考慮して 4 頭ずつ配した。試験期間を体重 9 kg 時から 26 kg 時までとし, IS 区は体重 9 kg の試験開始時に屠殺・解体した。5℃ 区と 25℃ 区は試験 9 と同じ日量 $110\text{ g/kg}^{0.75}$ の飼料を給与してそれぞれの環境温下で飼育し, 体重 26 kg 時に屠殺・解体した。

【試験 11】

試験期間を試験 9 と同様に 35~63 日齢の 4 週間とし, 供試豚を 25℃ で 1 週間予備飼育した後, 35 日齢に IS 区, 5℃ 区および 25℃ 区へ腹と体重を考慮して 4 頭ずつ配した。IS 区は 35 日齢の開始時に屠殺・解体した。25℃ 区は日量 $90\text{ g/kg}^{0.75}$ の飼料を給与し, 63 日齢に屠殺・解体した。5℃ 区は日増体重が 25℃ 区と同じになるように飼料給与量を増加させ, 結果的に日量 $140\text{ g/kg}^{0.75}$ を給与して 63 日齢に屠殺・解体した。

各試験において, 群飼条件での試験 1~4 と比較し得るように同一の人工乳飼料 (表 2, $GE\ 17\text{ kJ/g}$, $CP\ 22\%$) を用い, 週 2 回の体重測定により飼料給与量を決定した。排糞量と排尿量は毎日測定し, 一部をサンプルとして採取した。屠殺時に屠体を血液, 被

表12 試験設計と供試豚の日齢，体重および飼料給与量（試験9・10・11）

		試 験 9			試 験 1 0			試 験 1 1		
		I S	5 °C	25°C	I S	5 °C	25°C	I S	5 °C	25°C
供試頭数		4	4	4	4	4	4	4	4	4
飼料給与量 (g/kg ^{0.75} /日)		—	110	110	—	110	110	—	140	90
平均日齢	離乳時	28	28	28	28	28	28	28	28	28
	試験開始時	35	35	35	37.5	36.0	36.0	35	35	35
	試験終了時	—	63	63	—	81.0	66.3	—	63	63
平均体重 (kg)	離乳時	6.8	6.8	6.8	7.2	7.1	6.8	6.5	6.9	7.0
	試験開始時	7.0	7.5	7.6	9.2	8.8	9.3	7.4	8.3	8.3
	試験終了時	—	16.0	20.0	—	25.8	25.9	—	20.6	20.4

毛，消化管内容物，内臓（消化管，肺，肝臓，腎臓，脾臓）および枝肉（皮下組織と筋肉・骨）に分割し，秤量した。血液のサンプルは屠殺時に採取し，凍結保存した。内臓と枝肉は凍結保存し，全量をチョッパーで磨砕・攪伴した後，サンプルを採取した。

飼料，残飼および糞は70℃で乾燥後サンプルを調製し，エネルギーと一般組成の分析に供した。尿，血液，内臓および枝肉のサンプルは凍結乾燥し，エネルギー，蛋白質，脂肪，灰分および水分の分析に供した。エネルギーはボンブカロリーメーター（島津CA-3）で，蛋白質（N）はミクロケルダール法で測定した。屠体の脂肪含量については，乾物から蛋白質と灰分を差し引いたものとした。

エネルギーと各体成分の蓄積量は比較屠殺法で求めた。すなわち，5℃区と25℃区の試験開始時における消化管内容物を除いた体重（EBW）とその組成をIS区より推定し，試験期間中のエネルギーと各体成分の蓄積量は試験開始時と終了時のEBW中含量の差として求めた。蛋白質および脂肪として蓄積されたエネルギー量は，Brouwer⁹⁾の式に従ってそれぞれの蓄積量に23.8 kJ/g，39.7 kJ/gを乗じて算出した。熱産生量は，ME摂取量からエネルギー蓄積量を差し引いて求めた。

2. 結果と考察

1) 増体量と飼料効率

試験9～11における飼料摂取量，日増体量および飼料効率を表13に示す。試験9と10では5℃区と25℃区の飼料摂取量に差はないが5℃区の日増体量が低下し，試験9で5℃区の終了時体重が4 kg小さく（ $P < 0.01$ ），試験10で5℃区の飼育期間が15日長くなった（ $P < 0.01$ ）。また試験11では，両区の日増体量と終了時体重をほぼ同じにできたが，そのためには5℃区では25℃区よりも1日当たりで241 g，代謝体重（MBS）当たり41 g/kg^{0.75}/日の飼料が余分に必要であった（ $P < 0.01$ ）。飼料効率については，試験9～11を通じて5℃区で約30%の低下が認められた（ $P < 0.01$ ）。

5℃と25℃の間で日増体量および飼料効率に与える環境温度の影響が直線的であると仮定すると、環境温度1℃の低下につき日増体量は試験9・10より7.0～7.7g、飼料効率は試験9～11より0.009～0.011低下すると計算される。

豚の日増体量に及ぼす環境温度の影響についての報告値を表14に示す。環境温度の低下に伴う離乳子豚の日増体量の減少はおよそ7～14g/℃ (Le Dividich & Noblet⁵³⁾, Hackerら³²⁾, Brownら¹⁰⁾, 試験9・10)であり、肥育豚での14～22g/℃ (所⁹⁷⁾, Fuller & Boyne²⁴⁾, Versteegenら⁹⁹⁾) に比べて小さい。しかし、これを体重当りに換算すると、肥育豚の0.22～0.32g/℃/kgに対し、離乳子豚では0.44～0.98g/℃/kgと大きな値となり、離乳子豚は肥育豚よりも寒冷の影響を強く受けることを示唆する。

一方、試験11の結果から、25℃の環境下と同様な日増体量を得るためには、環境温度1℃の低下につき2.1g/kg^{0.75}/日の飼料が余分に必要となることが確認された。この量は、試験9・10の日増体量と飼料効率から計算される必要量2.2～2.4g/kg^{0.75}/日と一致する。

試験9～11の1日当たり飼料摂取量と日増体量の関係を、一括して図11に示す。1日当たりの飼料摂取量 (DFI, g/日) と日増体量 (DG, g/日) の間には有意 ($P < 0.01$) な正の相関があり、以下の回帰式が得られた。

$$5^{\circ}\text{C}: \quad \text{DG} = 0.50 \text{ DFI} - 13 \quad (n=12, r=0.86, P<0.01) \quad (4)$$

$$25^{\circ}\text{C}: \quad \text{DG} = 0.54 \text{ DFI} + 98 \quad (n=12, r=0.89, P<0.01) \quad (5)$$

各試験において飼料効率は25℃に比べ5℃で有意に低下しているにもかかわらず、(4)・(5)式の回帰係数に有意な差は認められなかった。このことは、飼料摂取量の変化に対する日増体量の反応は環境温度の影響を受けず、5℃での飼料効率の低下は維持に要するエネルギー量の増大に起因することを示唆する。共通の回帰係数を用いて(4)・(5)式を表すと以下ようになり、飼料摂取量100g/日の増加に伴う日増体量の増加は52gと推定される。

表13 飼料摂取量，日増体量および飼料効率 (試験9～11)

	試 験 9		試 験 1 0		試 験 1 1	
	5 °C	25°C	5 °C	25°C	5 °C	25°C
飼料摂取量						
(g/kg ^{0.75} /日)	106	104	109	110	127 ^B	86 ^A
(g/日)	631	667	851	855	824 ^B	583 ^A
飼育期間(日)	28	28	45.0 ^B	30.3 ^A	28	28
日増体量(g)	304 ^A	443 ^B	397 ^A	551 ^B	439	433
飼料効率	0.48 ^A	0.66 ^B	0.45 ^A	0.65 ^B	0.53 ^A	0.75 ^B

A, B 異なる文字間に1%水準で有意差あり

表14 環境温度の低下に伴う豚の日増体量の変化

試 験 期 間		温度範囲 °C	日増体量の減少量		研 究 者
体重 kg	週 齢		g/°C *	g/kg/°C**	
離乳 (6-19)	3-8	24~18-28~22	12.2	0.98	Le Dividich & Noblet 1982 ⁵³⁾
子 (8-28)	5-16	2-20	13.7	0.76	Hackerら 1973 ³²⁾
豚 (10-27)	6-12	2-20	11.2	0.61	Brown ら 1976 ¹⁰⁾
豚 (8-16)	5-8	5-25	7.0	0.58	本研究 試験9
9-26	(5-11)	5-25	7.7	0.44	本研究 試験10
肥育 20-90	—	5-13	17.8	0.32	Fuller & Boyne 1971 ²⁴⁾
豚 60-100	—	4.3-12.5	22.4	0.28	Verstegenら 1979 ⁹⁹⁾
豚 45-85	—	5-15	14.1	0.22	所 1984 ⁹⁷⁾

() 内は低温下での体重および週齢

* 環境温度1°Cの低下に伴う減少量

** 環境温度1°Cの低下に伴う体重1 kg 当たりの減少量

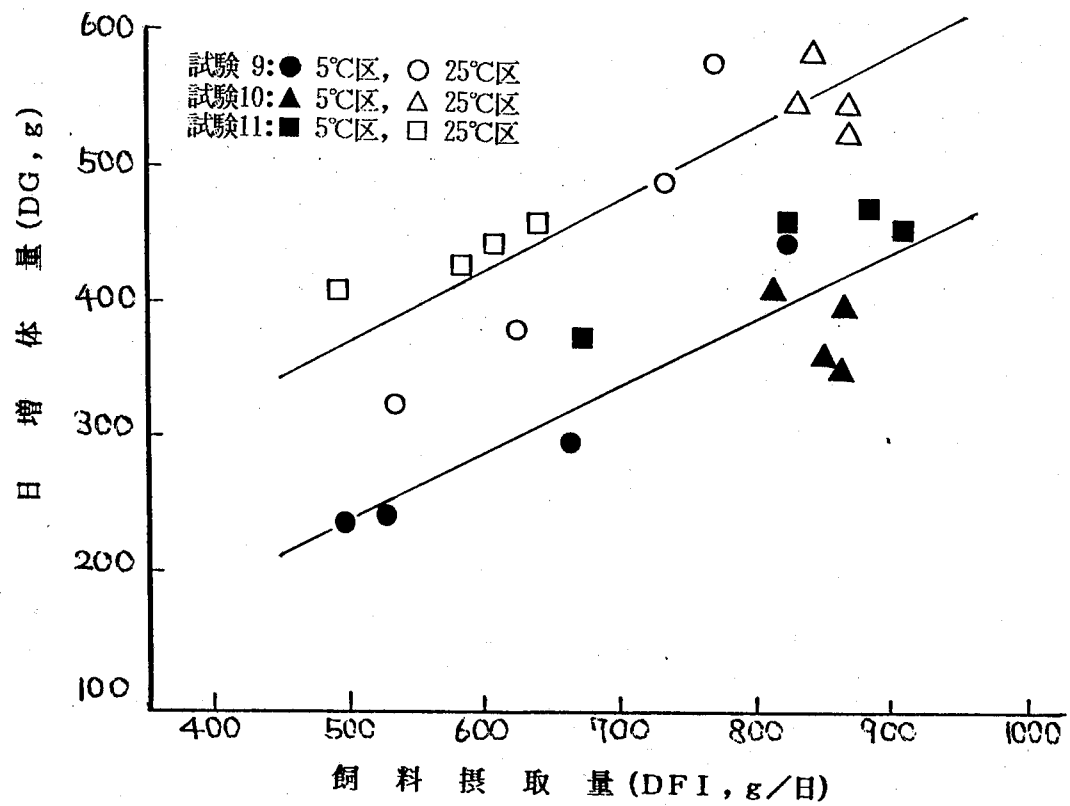


図11 飼料摂取量と日増体量の関係 (試験 9~11)

$$5^{\circ}\text{C}: \text{DG} = 0.52 \text{DFI} - 26 \quad (4')$$

$$25^{\circ}\text{C}: \text{DG} = 0.52 \text{DFI} + 111 \quad (5')$$

(4')・(5')式より、日増体量は 25°C に比べ 5°C では 137g 低下し、环境温度 1°C の低下に伴う日増体量の減少は 6.9g と計算される。また、 25°C での飼料摂取量を $\text{DFI}_{25}(\text{g}/\text{日})$ とすると、 25°C と同じ日増体量を 5°C で得るために必要となる飼料摂取量 $\text{DFI}_5(\text{g}/\text{日})$ は次のように表される。

$$\text{DFI}_5 = \text{DFI}_{25} + 264 \quad (6)$$

(6)式は、 25°C と同じ増体速度を 5°C で得るためには1日当たり 264g の飼料の増給が必要となることを示し、試験11での実測値とほぼ一致する。

2) 消化率と代謝率

飼料成分の消化率について表15に示す。各成分の消化率は、粗繊維の消化率が試験10の 5°C 区で低かったことを除き环境温度による差は認められず、試験9～11の各区を通じて乾物、粗蛋白質、粗繊維、粗脂肪およびNFEそれぞれ平均 91% 、 90% 、 41% 、 89% および 95% であった。

エネルギー出納について表16に示す。エネルギーの消化率に环境温度による差は認められず、試験9～11の各区を通じて平均 92% であった。代謝率は 5°C 区で尿中へのエネルギー排泄の増加あり全体では有意($P < 0.01$)に低下したが、その差は極めてわずかであった。エネルギーの代謝率は、試験9～11の各区を通じ平均 88% であった。

窒素出納について表17に示す。窒素の消化率に环境温度による変化はなかったが、 5°C 区で尿中への窒素排泄の増加がみられ、蓄積率は 5°C 区で平均 46% 、 25°C 区で平均 60% と寒冷によって有意($P < 0.01$)に低下した。

そのため、摂取ME当たりの尿中窒素排泄量は 25°C 区の平均 $7.3 \times 10^{-4} \text{g}/\text{kJ}$ に対し、 5°C 区では平均 $11.1 \times 10^{-4} \text{g}/\text{kJ}$ と有意($P < 0.01$)に増加した。

豚の消化率と环境温度の関係について、寒冷によって乾物、エネルギーおよび窒素の消化率が低下したとする報告^{23, 25, 81)}がある一方で、粗繊維を除く各成分の消化率に寒冷

による変化は認められないとする報告¹⁰⁶⁾もみられる。本研究では、離乳子豚の消化率に寒冷による影響はとくに認められず、後者の結果と一致した。

反すう家畜では寒冷によって粗飼料給与時の消化率が低下すること^{11, 12, 48)}が示され、食粥の消化管内通過速度が寒冷によって加速されること^{11, 30, 49, 101)}が主要な原因とされている。また寒冷下では甲状腺機能が高まり⁸⁹⁾、甲状腺ホルモンが消化管の運動を促進すること^{49, 61)}から、内分泌系の関与も示唆⁷⁴⁾されている。しかし、反すう家畜でも濃厚飼料給与時の消化率には環境温度の影響は認められない⁷⁶⁾。

反すう家畜でのこれらの結果は、穀類主体の飼料が給与され消化管内滞留時間が短い豚の消化率に及ぼす寒冷の影響について、飼料の種類および給与レベルの面からの検討が必要であることを示唆する。

寒冷下で窒素およびエネルギーの尿中排泄が増加する現象が認められた。同様のことは子豚²³⁾および肥育豚²⁵⁾でも報告されている。寒冷によって豚の甲状腺機能が昂進⁸⁹⁾し、カテコールアミンの代謝産物であるバニルマンデル酸の尿中排泄量が増えること⁹²⁾が報じられている。また寒冷下では、体温維持に用いる基質を供給するために皮下組織の蛋白質分解が起こり、尿中への窒素およびエネルギーの排泄が増加することが指摘³¹⁾されている。

寒冷下では体温維持のために内分泌系を介した代謝の昂進が起こり、その結果として代謝産物の尿中排泄が増加するのであろう。しかし、それらの尿中物質自体のエネルギー量は極めて小さく、エネルギーの代謝率にはほとんど実質的な影響を与えないものと判断される。

3) 熱産生量とエネルギー蓄積量

熱産生量とエネルギー蓄積について表18に示す。試験9・10では、5℃区と25℃区のME摂取量に差はないが、5℃区で熱産生量が有意($P < 0.01$)に増加し、エネルギー蓄積量、蛋白質および脂肪としてのエネルギー蓄積量が低下した($P < 0.01 \sim 0.05$)。

試験 11 では両区の日増体重を同じくするために、5℃区で1日当たり4.1 MJ, MBS 当たり 575 kJ/kg^{0.75}/日のME量が25℃区より余分に必要となった。その結果、5℃区では熱産生量、エネルギー蓄積量および脂肪としてのエネルギー蓄積量が増加した ($P < 0.01$)。

試験 11 において両区の日増体量が同じであったにもかかわらず5℃区のエネルギー蓄積量が増加したことは5℃区の脂肪蓄積量が増えていることで説明されるが、そのことは寒冷による増体量の低下を補うためのME量は単にエネルギー蓄積を等しくする量では不足し、体重増加の内容を考慮しなければならないことを意味する。

試験 9 ~ 11 の1日当たりのME摂取量 (DME, MJ/日) と熱産生量、エネルギー蓄積量、蛋白質および脂肪としてのエネルギー蓄積量 (DHP, DER, DPR および DFR; MJ/日) の間に以下の回帰式が得られた (図 12a)。

$$5^{\circ}\text{C}: \text{DHP} = 0.627 \text{DME} + 1.061 \quad (n=12, r=0.96, P<0.01) \quad (7)$$

$$25^{\circ}\text{C}: \text{DHP} = 0.534 \text{DME} + 0.952 \quad (n=12, r=0.96, P<0.01) \quad (8)$$

$$5^{\circ}\text{C}: \text{DER} = 0.373 \text{DME} - 1.061 \quad (n=12, r=0.89, P<0.01) \quad (9)$$

$$25^{\circ}\text{C}: \text{DER} = 0.466 \text{DME} - 0.952 \quad (n=12, r=0.95, P<0.01) \quad (10)$$

$$5^{\circ}\text{C}: \text{DPR} = 0.113 \text{DME} + 0.118 \quad (n=12, r=0.82, P<0.01) \quad (11)$$

$$25^{\circ}\text{C}: \text{DPR} = 0.120 \text{DME} + 0.571 \quad (n=12, r=0.79, P<0.01) \quad (12)$$

$$5^{\circ}\text{C}: \text{DFR} = 0.260 \text{DME} - 1.179 \quad (n=12, r=0.85, P<0.01) \quad (13)$$

$$25^{\circ}\text{C}: \text{DFR} = 0.346 \text{DME} - 1.523 \quad (n=12, r=0.87, P<0.01) \quad (14)$$

熱産生量、エネルギー蓄積量、蛋白質および脂肪としてのエネルギー蓄積量について、5℃と25℃の回帰式の係数間に有意差は認められず、共通の回帰係数を用いると次のように表される。

$$5^{\circ}\text{C}: \text{DHP} = 0.583 \text{DME} + 1.560 \quad (7')$$

$$25^{\circ}\text{C}: \text{DHP} = 0.583 \text{DME} + 0.434 \quad (8')$$

$$5^{\circ}\text{C}: \text{DER} = 0.417 \text{DME} - 1.560 \quad (9')$$

$$25^{\circ}\text{C}: \text{DER} = 0.417 \text{DME} - 0.434 \quad (10')$$

$$5^{\circ}\text{C} : \text{DPR} = 0.117 \text{ DME} + 0.078 \quad (11')$$

$$25^{\circ}\text{C} : \text{DPR} = 0.117 \text{ DME} + 0.603 \quad (12')$$

$$5^{\circ}\text{C} : \text{DFR} = 0.300 \text{ DME} - 1.639 \quad (13')$$

$$25^{\circ}\text{C} : \text{DFR} = 0.300 \text{ DME} - 1.037 \quad (14')$$

(7') ~ (14') 式より，環境温度 1°C の低下にともなう 1 日当たりの熱産生量の増加量とエネルギー蓄積の減少量は 56 kJ ，蛋白質および脂肪としてのエネルギー蓄積の減少量はそれぞれ 26 kJ および 30 kJ と推定される。

一方，MBS 当たりでは試験 9・10 の結果より，環境温度 1°C の低下にともなう熱産生の増加量とエネルギー蓄積の減少量は $8.2 \sim 9.5 \text{ kJ} / \text{kg}^{0.75} / \text{日}$ ，蛋白質としてのエネルギー蓄積の減少量は $3.2 \sim 4.3 \text{ kJ} / \text{kg}^{0.75} / \text{日}$ ，脂肪としてのエネルギー蓄積の減少量は $6.4 \sim 7.1 \text{ kJ} / \text{kg}^{0.75} / \text{日}$ と計算された。

これらの値は，環境温度 1°C の低下にともなう熱産生の増加量を $9 \text{ kJ} / \text{kg}^{0.75} / \text{日}$ ，蛋白質および脂肪としてのエネルギー蓄積の減少量を 4.0 および $6.5 \text{ kJ} / \text{kg}^{0.75} / \text{日}$ であるとした Noblet & Le Dividich⁷⁸⁾ の報告値と一致し，寒冷によるエネルギー蓄積の減少は蛋白質蓄積よりも脂肪蓄積に起因する部分が多いことを示す。

試験 9 ~ 11 の MBS 当たりの ME 摂取量 (ME, $\text{kJ} / \text{kg}^{0.75} / \text{日}$) と熱産生量，エネルギー蓄積量，蛋白質および脂肪としてのエネルギー蓄積量 (HP, ER, PR および FR; $\text{kJ} / \text{kg}^{0.75} / \text{日}$) との単回帰関係は以下のようであった。

$$5^{\circ}\text{C} : \text{HP} = 0.466 \text{ ME} + 430 \quad (n=12, r=0.77, P<0.01) \quad (15)$$

$$25^{\circ}\text{C} : \text{HP} = 0.448 \text{ ME} + 267 \quad (n=12, r=0.86, P<0.01) \quad (16)$$

$$5^{\circ}\text{C} : \text{ER} = 0.534 \text{ ME} - 430 \quad (n=12, r=0.81, P<0.01) \quad (17)$$

$$25^{\circ}\text{C} : \text{ER} = 0.551 \text{ ME} - 267 \quad (n=12, r=0.91, P<0.01) \quad (18)$$

$$5^{\circ}\text{C} : \text{PR} = 0.175 \text{ ME} - 85 \quad (n=12, r=0.75, P<0.01) \quad (19)$$

$$25^{\circ}\text{C} : \text{PR} = 0.014 \text{ ME} + 242 \quad (n=12, r=0.11, \text{N.S.}) \quad (20)$$

$$5^{\circ}\text{C} : \text{FR} = 0.359 \text{ ME} - 345 \quad (n=12, r=0.71, P<0.01) \quad (21)$$

$$25^{\circ}\text{C} : \text{FR} = 0.537 \text{ ME} - 509 \quad (n=12, r=0.87, P<0.01) \quad (22)$$

MBS 当たりの熱産生量，エネルギー蓄積量および脂肪としてのエネルギー蓄積量については，5℃と25℃で回帰係数に有意差はなく，ME 摂取量の増加に従って増加する関係にあった。しかし，蛋白質としてのエネルギー蓄積量は，5℃ではME 摂取量の増加に伴って増加するが，25℃ではME 摂取量に関係なく平均 $263 \pm 21 \text{ kJ/kg}^{0.75}/\text{日}$ とほぼ一定であった。そのためMBS 当たりでは，寒冷によるエネルギー蓄積の減少は脂肪蓄積による部分が多いが，その比率は図12bに示すようにME 摂取量が低くなるにつれて小さくなるものと考えられる。

さらに，エネルギーの利用効率と維持のME 要求量について検討を加えた。(17)・(18) 式より，増体に対するME の利用効率 (k) は5℃と25℃で0.53および0.55，維持のME 要求量 (ME_m) は5℃と25℃で $805 \text{ kJ/kg}^{0.75}/\text{日}$ および $485 \text{ kJ/kg}^{0.75}/\text{日}$ と推定された。

また，維持のME 要求量 (ME_m) と蛋白質蓄積および脂肪蓄積に対するME の利用効率 (k_p および k_f) を， $ME = ME_m + (1/k_p) PR + (1/k_f) FR$ のモデル²⁾により推定した。なお以下の重回帰式の計算にあたり，5℃では試験期間が他のものより平均15日長く日齢の進んでいた試験10のデータを含めると， k_f が1.0を超えるためそれらを除外した。

$$5^\circ\text{C}: ME = 940 + 2.22 PR + 1.10 FR \quad (n=8, R^2=0.80, P<0.01) \quad (23)$$

$$25^\circ\text{C}: ME = 651 + 1.59 PR + 1.46 FR \quad (n=12, R^2=0.81, P<0.01) \quad (24)$$

(23)・(24) 式から，5℃と25℃における ME_m は940および651 $\text{kJ/kg}^{0.75}/\text{日}$ ， k_p は0.45および0.63， k_f は0.91および0.68と推定された。

離乳子豚の k ， ME_m ， k_p および k_f についての報告値^{15, 17, 21, 54, 55, 78, 86)} を表19に示す。離乳子豚の k については，0.46～0.91の値が報告されている。Noblet & Le Dividich⁷⁸⁾ と Close & Stanier¹⁵⁾ は，熱的中性圏以下の温域では飼料摂取に伴う熱増加の一部が体温調節に使われるので環境温度の低下によって k が高まるとしている。しかし，本研究では5℃と25℃の k に有意な

差は認められず、5℃と25℃を込みにした k は0.54となり、次式より環境温度1℃の低下に伴うエネルギー蓄積の減少量は $9.6 \text{ kJ/kg}^{0.75}/\text{日}$ と算定される。

$$5^\circ\text{C}: \text{ER} = 0.543 \text{ ME} - 445 \quad (17')$$

$$25^\circ\text{C}: \text{ER} = 0.543 \text{ ME} - 254 \quad (18')$$

離乳子豚の維持のME要求量について、18℃以上の温域での推定値は報告によって274～721 $\text{kJ/kg}^{0.75}/\text{日}$ とかなりの変動がみられる(表19)。このような変動の原因として、環境温度の他に日齢⁴⁵⁾、群サイズ¹³⁾、測定方法⁸⁰⁾などの要因が考えられている。但し、環境温度の低下によってME_mが増加する傾向については一致しており、環境温度1℃の低下に伴うME_mの増加は18～35 $\text{kJ/kg}^{0.75}/\text{日}$ の範囲が推定されている。

本研究での5℃と25℃のME_mの推定値は、(17')・(18')式から820および468 $\text{kJ/kg}^{0.75}/\text{日}$ 、(23)・(24)式より940および651 $\text{kJ/kg}^{0.75}/\text{日}$ と計算され、5℃については比較し得るデータはないが、25℃のME_mについては上述の報告値の範囲にあった。また、環境温度1℃の低下に伴うME_mの増加量はそれらの式より14.5～17.6 $\text{kJ/kg}^{0.75}/\text{日}$ と推定された。

離乳子豚の k_p については0.50～0.84、 k_f については0.72～0.84の推定値が報告されている(表19)。環境温度の影響を検討した研究^{15, 78)}では、環境温度の低下によって k_p が高まることを認め、その原因として臨界温度より下の温域では蛋白質蓄積に由来する余剰な熱の一部が体温調節に使われることを挙げている。

しかし本研究では、 k_f が25℃での0.68から5℃での0.91に高まったのに対し、 k_p は25℃の0.63から5℃での0.45に低下した。このことは、環境温度の低下により高まるとされている k に環境温度による変化が認められなかったことを説明する。

5℃における k_p の低下は上記の研究に比べて厳しい寒冷条件下で熱産生を増大させるために体蛋白質の分解が促進されることに起因し、5℃での k_f の向上は(23)式で k_p

が低下することに伴って脂肪蓄積に関係するMEの配分が相対的に小さくなったためと理解される。

寒冷下で体温維持に必要とされ余剰の熱産生に体蛋白質が使われている可能性は、その分解産物である窒素の尿中排泄が増加していることから指摘できる。熱産生量 (HP, $\text{kJ}/\text{kg}^{0.75}/\text{日}$) と尿中窒素排泄量 (UN, $\text{g}/\text{kg}^{0.75}/\text{日}$) の間に図13および以下に示す関係が認められ、寒冷下での尿中への窒素排泄の増加が熱産生の増加に伴った変化であることを示唆する。

$$\text{UN} = 0.0026\text{HP} - 1.27 \quad (n=24, r=0.87, P<0.01) \quad (25)$$

さらに, Fuller & Boyne²⁴⁾, Holmes & McLean⁴¹⁾も、寒冷で熱産生量の増加に伴って尿中への窒素排泄量が増加し、窒素蓄積量が減少することを認めている。

肥育豚の熱的中性圏における k_p と k_f の報告値^{5, 14, 18, 28, 38, 43)} を表20に示す。 k_p について0.52~0.63, k_f について0.62~0.92の推定値が求められており, ARC²⁾ は肥育豚の熱的中性圏における k_p 値として0.56, k_f 値として0.74を採用している。離乳子豚の熱的中性圏における k_p についてMac Crackenら⁵⁾ とClose & Stanier¹⁵⁾ は2~5週齢間で0.72~0.74と肥育豚よりも高い値を報告しているが, 5~8週齢間で求めた本研究25℃の k_p 値 (0.63) と k_f 値 (0.68) は肥育豚での推定値に近いものであった。

表15 飼料成分の消化率(%) (試験9~11)

	試験 9		試験 10		試験 11	
	5℃	25℃	5℃	25℃	5℃	25℃
乾物	89.5	90.4	90.5	91.3	91.7	91.8
粗蛋白質	87.8	88.9	90.5	89.8	91.2	91.5
粗繊維	30.1	32.0	43.2 ^a	53.2 ^b	43.3	43.9
粗脂肪	85.9	87.9	91.4	90.6	90.9	89.6
N F E	95.1	95.3	94.8	95.6	95.6	95.8

a,b 異なる文字間に5%水準で有意差あり

表16 エネルギーの消化率および代謝率 (試験9~11)

	試験 9		試験 10		試験 11	
	5℃	25℃	5℃	25℃	5℃	25℃
----- <kJ/kg ^{0.75} /日> -----						
G E 摂取量	1794	1768	1872	1882	2158 ^B	1472 ^A
糞中エネルギー量	172	157	159	151	181 ^B	114 ^A
D E 摂取量	1622	1611	1713	1731	1977 ^B	1358 ^A
尿中エネルギー量	74	54	89	61	99 ^B	55 ^A
M E 摂取量	1548	1557	1625	1670	1878 ^B	1303 ^A
----- <%> -----						
消化率	90.4	91.1	91.5	92.0	91.6	92.3
代謝率	86.3	88.1	86.8 ^A	88.7 ^B	87.0	88.5
M E / D E	0.95	0.97	0.95 ^A	0.97 ^B	0.95	0.96

A,B 異なる文字間に1%水準で有意差あり

表17 窒素の消化率および蓄積率 (試験9~11)

	試験 9		試験 10		試験 11	
	5℃	25℃	5℃	25℃	5℃	25℃
----- <g/kg ^{0.75} /日> -----						
窒素摂取量	3.60	3.54	4.16	4.14	4.81 ^B	3.21 ^A
糞中窒素排泄量	0.44	0.40	0.39	0.42	0.42 ^B	0.28 ^A
可消化窒素量	3.16	3.15	3.76	3.72	4.39 ^B	2.94 ^A
尿中窒素排泄量	1.53 ^B	1.14 ^A	1.90 ^B	1.22 ^A	2.20 ^B	0.95 ^A
窒素蓄積量	1.63 ^A	2.01 ^B	1.86 ^A	2.50 ^B	2.19 ^B	1.99 ^A
----- <%> -----						
消化率	87.8	89.0	90.4	89.9	91.2	91.5
蓄積率	45.3 ^A	56.8 ^B	44.7 ^A	60.4 ^B	45.5 ^A	62.0 ^B

A,B 異なる文字間に1%水準で有意差あり

表18 熱 産 生 量 お よ び エ ネ ル ギ ー 蓄 積 量 (試験9~11)

	試 験 9		試 験 1 0		試 験 1 1	
	5 ℃	25℃	5 ℃	25℃	5 ℃	25℃
----- <kJ/日> -----						
M E 摂 取 量	9263	9966	12645	12983	13184 ^B	9063 ^A
熱 産 生 量	6971 ^B	6256 ^A	9091 ^b	7800 ^a	9463 ^B	6027 ^A
エネルギー蓄積量	2292 ^A	3710 ^B	3554 ^A	5183 ^B	3721 ^b	3036 ^a
蛋白質としての蓄積量 *	1164 ^A	1659 ^B	1442 ^A	2116 ^B	1628	1745
脂肪としての蓄積量**	1175 ^A	2124 ^B	2088 ^A	3053 ^B	1969 ^b	1251 ^a
----- <kJ/kg ^{0.75} /日> -----						
M E 摂 取 量	1548	1557	1625	1670	1878 ^B	1303 ^A
熱 産 生 量	1166 ^B	976 ^A	1168 ^b	1004 ^a	1310 ^B	853 ^A
エネルギー蓄積量	382 ^A	581 ^B	457 ^A	667 ^B	568 ^b	450 ^a
蛋白質としての蓄積量 *	193 ^A	257 ^B	186 ^A	271 ^B	251	260
脂肪としての蓄積量**	195 ^A	337 ^B	266 ^A	393 ^B	298 ^b	184 ^a

* P=23.8 kJ/g, ** F=39.7 kJ/g Brouwer(1965)

A,B 異なる文字間に1%水準で有意差あり

a,b 異なる文字間に5%水準で有意差あり

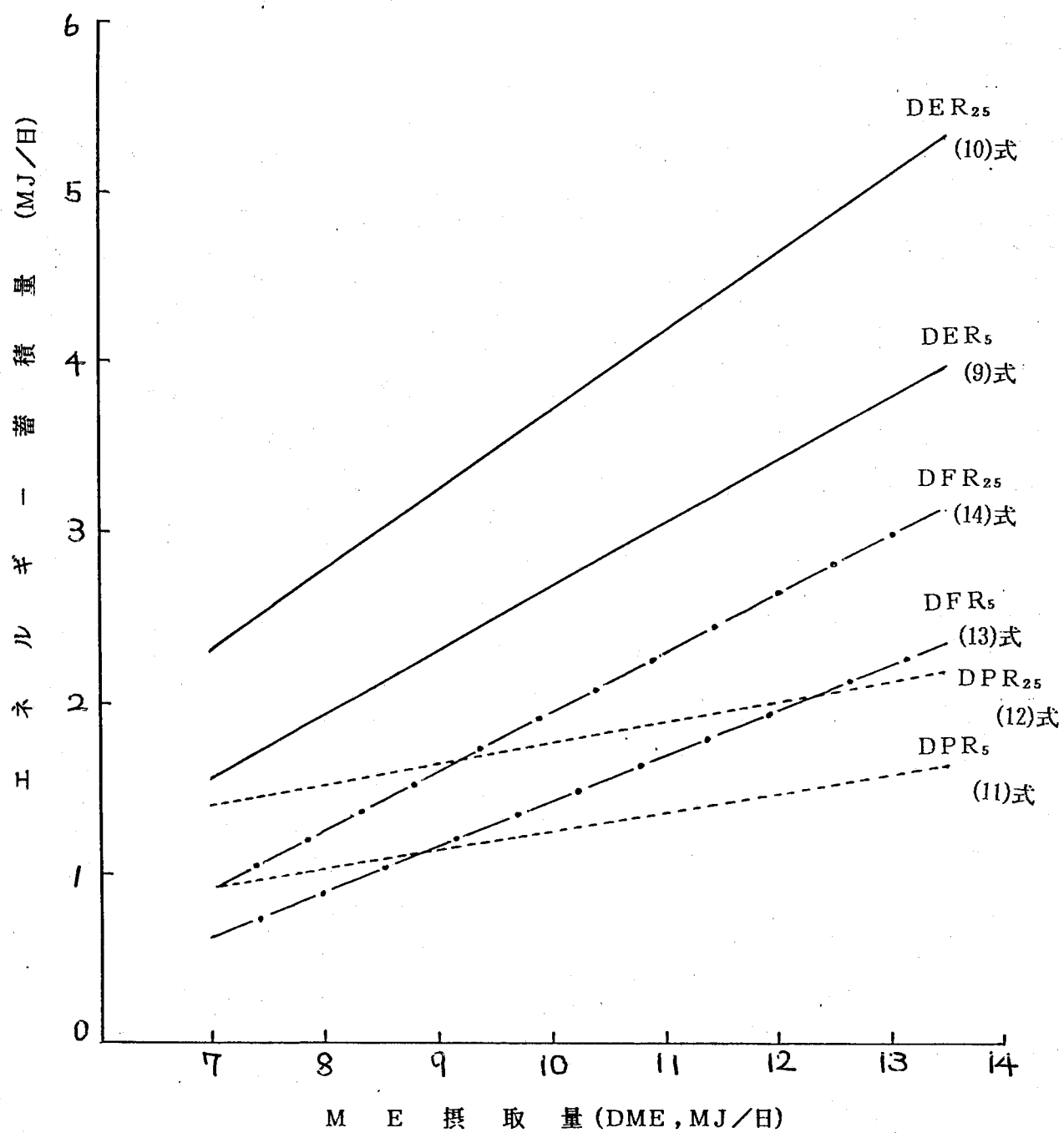


図1 2a 1日当たりのME摂取量とエネルギー蓄積量の関係 (試験 9~11)

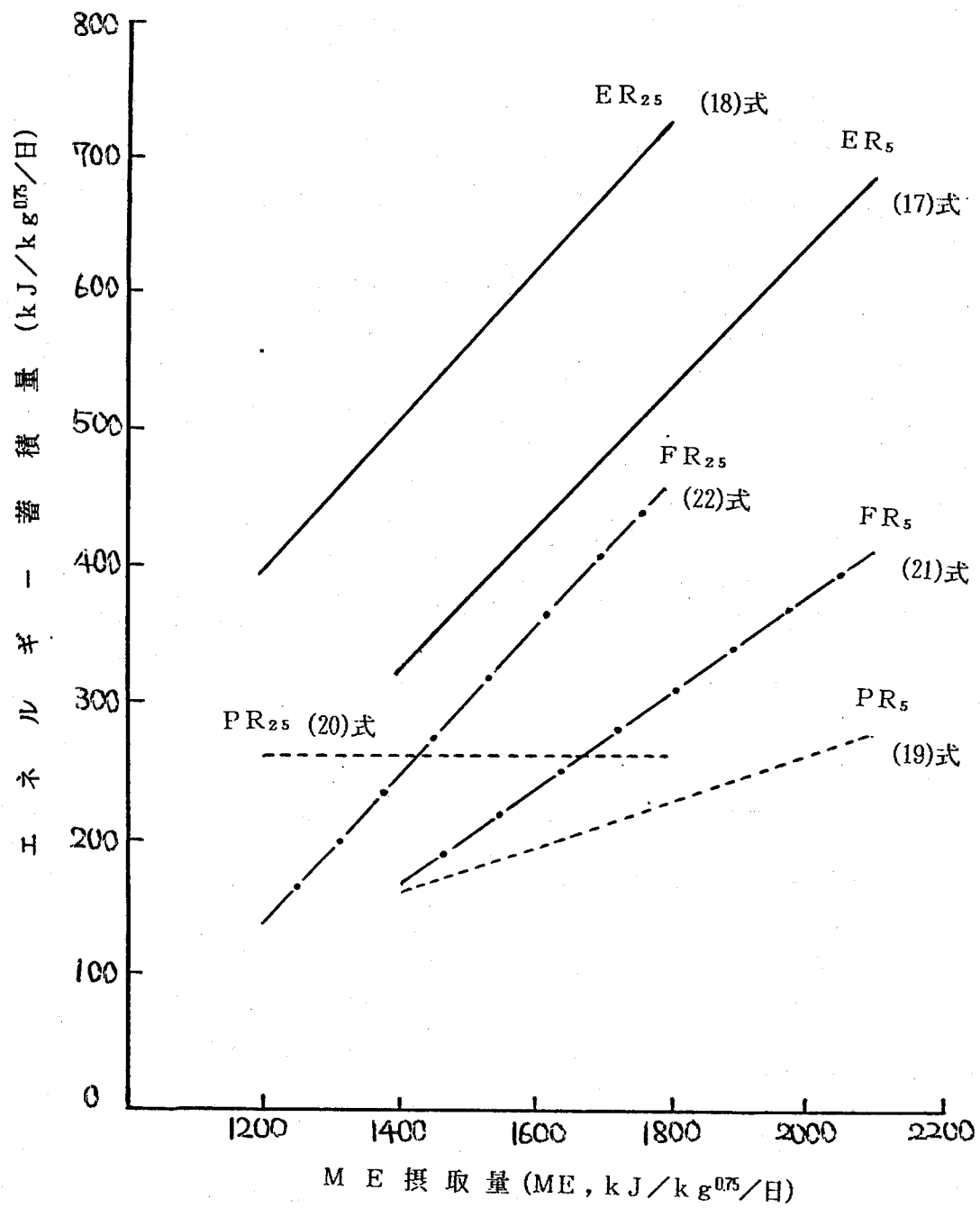


図1 2b 代謝体重当たりのME摂取量とエネルギー蓄積量の関係 (試験 9~11)

表19 離乳子豚におけるエネルギーの利用効率

離乳 週齢	試験 週齢	環境温 度(°C)	飼育 条件	M E m kJ/kg ^{0.75} /日	エネルギーの利用効率			研 究 者
					K	Kp	Kf	
3	4-8	26	単飼	529	0.69	—	—	De Goey & Evan 1977 ²¹⁾
1	2-5	29-23	単飼	573	0.68	0.72	0.81	Mc Cracken ら 1980 ⁵⁵⁾
2	3-5	18	群飼	721	0.80	—	—	Close & Stanier 1980 ¹⁵⁾
2	3-5	23	群飼	623	0.82	0.84	0.82	
2	3-5	28	群飼	544	0.71	0.74	0.72	
3	3-5	20	群飼	571	0.91	—	—	Le Dividich ら 1980 ⁵⁴⁾
3	3-5	24	群飼	497	0.76	—	—	
3	3-5	28	群飼	411	0.79	—	—	
3	3-10	24-18	単飼	649	0.71	0.64	0.84	Noblet & Le Dividich 1982 ⁷⁸⁾
3	3-10	28-22	単飼	508	0.60	0.50	0.84	
3	3-10	32-26	単飼	445	0.60	—	—	
5	5-9	26	単飼	274	0.46	—	—	Seve 1982 ⁸⁶⁾
2	2-5	18	単飼	739	0.58	—	—	Close & Stanier 1984 ¹⁷⁾
2	2-5	23	単飼	615	0.81	0.60	0.82	
2	2-5	28	単飼	550	0.74	0.65	0.86	
4	5-9	5	単飼	820	0.53	0.45	0.91	本 研 究
4	5-9	25	単飼	468	0.55	0.63	0.68	本 研 究

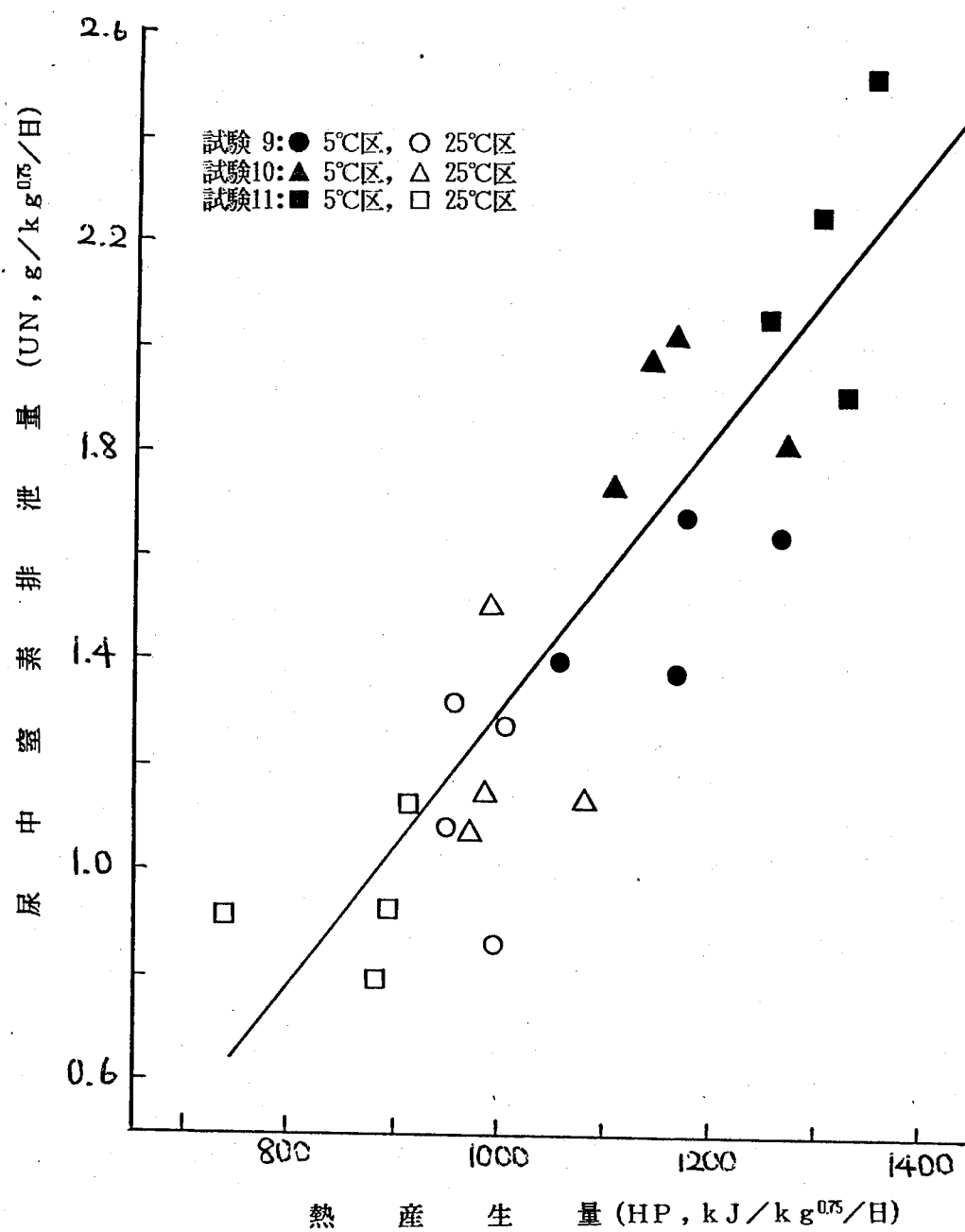


図13 熱産生量と尿中窒素排泄量の関係 (試験 9~11)

表20 肥育豚の熱的中性圏におけるエネルギーの利用効率

体 重 k g	M E m kJ/kg ^{0.75} /日	Kp	KI	研 究 者
23-42	511	0.58	0.70	Closeら 1973 ¹³⁾
20-50	440	0.63	0.70	Close & Mount 1976 ¹⁴⁾
20-90	429	0.55	0.62	Houseman & McDonald 1973 ⁴³⁾
30-110	397	0.52	0.70	Gädekenら 1974 ²⁸⁾
30-90	460	0.53	0.69	Holmes ら 1980 ³⁸⁾
40-110	477	0.53	0.92	Berschauerら 1980 ⁵⁾

4) 体成分蓄積量

蛋白質、脂肪、灰分および水分の蓄積量を表21に示す。試験9・10では、5℃区で日増体重の低下に伴って各成分の蓄積量が減少した ($P < 0.01 \sim 0.05$)。試験9・10の結果より、環境温度1℃の低下に伴う蛋白質、脂肪、灰分および水分蓄積の減少量は、1日当たりで1.0~1.4, 1.2, 0.2および3.9~5.4 g, MBS当たりで0.14~0.18, 0.16~0.18, 0.03および0.49~0.60 g / kg^{0.75}/日と計算された。また、両区の日増体量が同じであった試験11では、両区の蛋白質と水分の蓄積に差はなかったが、脂肪と灰分の蓄積量が5℃区で増加した ($P < 0.05, 0.01$)。

試験9~11の1日当たりの飼料摂取量と体成分蓄積量の関係を、一括して図14a~17aに示す。1日当たりの飼料摂取量 (DFI, g/日) と蛋白質、脂肪、灰分および水分の蓄積量 (P, F, AshおよびMoi; g/日) との間に、以下に示す回帰式が得られた。

$$5^{\circ}\text{C}: P = 0.075 \text{ DFI} + 1.3 \quad (n=12, r=0.82, P<0.01) \quad (26)$$

$$25^{\circ}\text{C}: P = 0.079 \text{ DFI} + 22.0 \quad (n=12, r=0.79, P<0.01) \quad (27)$$

$$5^{\circ}\text{C}: F = 0.100 \text{ DFI} - 33.3 \quad (n=12, r=0.86, P<0.01) \quad (28)$$

$$25^{\circ}\text{C}: F = 0.134 \text{ DFI} - 39.8 \quad (n=12, r=0.85, P<0.01) \quad (29)$$

$$5^{\circ}\text{C}: \text{Ash} = 0.016 \text{ DFI} - 0.2 \quad (n=12, r=0.70, P<0.01) \quad (30)$$

$$25^{\circ}\text{C}: \text{Ash} = 0.019 \text{ DFI} + 1.0 \quad (n=12, r=0.81, P<0.01) \quad (31)$$

$$5^{\circ}\text{C}: \text{Moi} = 0.254 \text{ DFI} + 39.8 \quad (n=12, r=0.73, P<0.01) \quad (32)$$

$$25^{\circ}\text{C}: \text{Moi} = 0.270 \text{ DFI} + 108.7 \quad (n=12, r=0.76, P<0.01) \quad (33)$$

(26) ~ (33) 式のうち、各成分の5℃と25℃での蓄積量を示す2つの回帰式の係数間に有意な差はなく、飼料摂取量の変化に伴う各成分の蓄積反応は環境温度の影響を受けないものと判断される。そこで(26) ~ (33) 式を、各成分毎に共通の回帰係数を用いて表すと以下のとおりである。

$$5^{\circ}\text{C}: P = 0.077 \text{ DFI} + 0.1 \quad (26')$$

$$25^{\circ}\text{C}: P = 0.077 \text{ DFI} + 23.3 \quad (27')$$

$$5^{\circ}\text{C}: F = 0.116 \text{ DFI} - 45.2 \quad (28')$$

$$25^{\circ}\text{C}: F = 0.116 \text{ DFI} - 27.4 \quad (29')$$

$$5^{\circ}\text{C}: \text{Ash} = 0.018 \text{ DFI} - 1.6 \quad (30')$$

$$25^{\circ}\text{C}: \text{Ash} = 0.018 \text{ DFI} + 2.0 \quad (31')$$

$$5^{\circ}\text{C}: \text{Moi} = 0.262 \text{ DFI} + 33.8 \quad (32')$$

$$25^{\circ}\text{C}: \text{Moi} = 0.262 \text{ DFI} + 114.6 \quad (33')$$

蛋白質、脂肪、灰分および水分の蓄積量は(26')～(33')式より、5℃では25℃よりそれぞれ23.2, 17.8, 3.6および80.8 g/日少なく、環境温度1℃の低下に伴う減少はそれぞれ1.2, 0.9, 0.2および4.0 g/日と推定される。また、飼料摂取量100 g/日の増加による蛋白質、脂肪、灰分および水分蓄積量の増加は、同じく7.7, 11.6, 1.8および26.2 g/日と計算される。

これらのことは、蛋白質蓄積量と脂肪蓄積量の環境温度による変化は蛋白質蓄積で大きいのに対し、飼料摂取量による変化は脂肪蓄積で大きいことを示す。

一方、増体量(DG, g/日)と蛋白質および脂肪蓄積量(PおよびF, g/日)の関係について以下の重回帰式が得られた。

$$\text{DG} = 5.2 \text{ P} + 0.9 \text{ F} + 25 \quad (n=24, R^2=0.97, P<0.01) \quad (34)$$

(34)式は、蛋白質と脂肪の蓄積量各1 gの変化が日増体量の5.2 gおよび0.9 gの変化をもたらすことを意味し、その値はLe Dividich & Noblet⁵³⁾の報告値と近似している。

環境温度1℃の低下による蛋白質と脂肪蓄積の減少量は(26')～(29')式から1.2 g/日および0.9 g/日と推定されたが、それらに関連する日増体量の減少量は(34)式によりそれぞれ6.2 g, 0.8 gとなり、その合計は(4')・(5')式から求めた日増体量の減少量6.9 gと一致する。このことは、寒冷によって引き起こされるエネルギー蓄積の低下は脂肪蓄積の減少による部分が大きかったのに対し、増体量の低下は脂肪蓄積よりも蛋白質蓄積の減少による部分が大きいことを示唆する。

また、飼料摂取量の増加による蛋白質と脂肪蓄積の増加量は同じく(26')～(29

') 式から飼料摂取量 100 g/日 の増加につき 7.7 g/日 および 11.6 g/日 と推定されたが、それらに関連する日増体量の増加は (34) 式よりそれぞれ 40.0 g , 10.4 g となり、その合計は (4') ・ (5') 式から求めた日増体量の増加量 52 g と適合する。このことは、飼料摂取量の増加による蛋白質と脂肪蓄積の増加は脂肪蓄積で大きいにもかかわらず、そのことによって引き起こされる増体量の变化は蛋白質蓄積の増加による部分が多いことを意味する。但し、寒冷による場合に比べると、増体量の变化に占める蛋白質蓄積に関連した部分の比率は小さい。

以上のことは、環境温度に起因する増体量の变化と飼料摂取量に起因する増体量の变化とではその内容が異なることを示し、試験 11 において寒冷による増体量の低下を飼料の増給で補った 5°C 区で脂肪蓄積量が増加した理由を説明する。

図 18 はこれまで述べた 5°C と 25°C における飼料摂取量と日増体量、蛋白質および脂肪の蓄積量の関係を整理し、試験 11 の結果と共に示したものである。飼料摂取量が 583 g/日 である離乳子豚の 25°C での日増体量、蛋白質および脂肪の蓄積量は $414, 68$ および 40 g/日 (実測値 $433, 73$ および 32 g/日) であるが、 5°C では寒冷により蛋白質と脂肪の蓄積量が 23 および 18 g/日 減少し日増体量 137 g の低下がもたらされる。一方、 5°C で寒冷による日増体量の低下を補うためには飼料 264 g/日 (実測値 241 g/日) の増給が必要であり、そのことによって蛋白質蓄積量と脂肪蓄積量の 20 および 31 g/日 の増加が起こり、飼料摂取量 847 g/日 (実測値 824 g/日) での日増体量、蛋白質および脂肪の蓄積量は $414, 65$ および 53 g/日 (実測値 $439, 68$ および 50 g/日) となる。従って、 5°C において日増体量を飼料の増給によって 25°C と同等にすると、蛋白質蓄積量が 3 g/日 (実測値 5 g/日) 減少し、脂肪蓄積量が 13 g/日 (実測値 18 g/日) 増加することとなる。

すなわち、環境温度 1°C の低下に伴う日増体量 6.9 g の低下は蛋白質蓄積 1.2 g/日 および脂肪蓄積 0.9 g/日 の減少によって引き起こされるが、飼料摂取量 13.2 g/日 の増加に伴う日増体量 6.9 g の増加は蛋白質蓄積量 1.0 g/日 および脂肪蓄積量

表21 化学成分の蓄積量に及ぼす環境温度の影響 (試験9~11)

	試 験 9		試 験 1 0		試 験 1 1	
	5 ℃	25℃	5 ℃	25℃	5 ℃	25℃
----- <g/H> -----						
蛋 白 質	48.9 ^A	69.7 ^B	60.6 ^A	88.9 ^B	68.4	73.3
脂 肪	29.6 ^A	53.5 ^B	52.6 ^A	76.9 ^B	49.6 ^b	31.5 ^a
灰 分	8.6 ^a	13.2 ^b	13.7 ^a	17.6 ^b	14.5 ^B	13.2 ^A
水 分	208 ^A	285 ^B	225 ^A	332 ^B	272	278
----- <g/kg ^{0.75} /日> -----						
蛋 白 質	8.1 ^A	10.8 ^B	7.8 ^A	11.4 ^B	10.6	10.9
脂 肪	4.9 ^A	8.5 ^B	6.7 ^A	9.9 ^B	7.5 ^b	4.6 ^a
灰 分	1.5 ^a	2.0 ^b	1.8 ^a	2.3 ^b	2.2 ^B	2.0 ^A
水 分	34.4 ^A	44.2 ^B	29.0 ^A	42.7 ^B	42.1	41.5

A,B 異なる文字間に1%水準で有意差あり

a,b 異なる文字間に5%水準で有意差あり

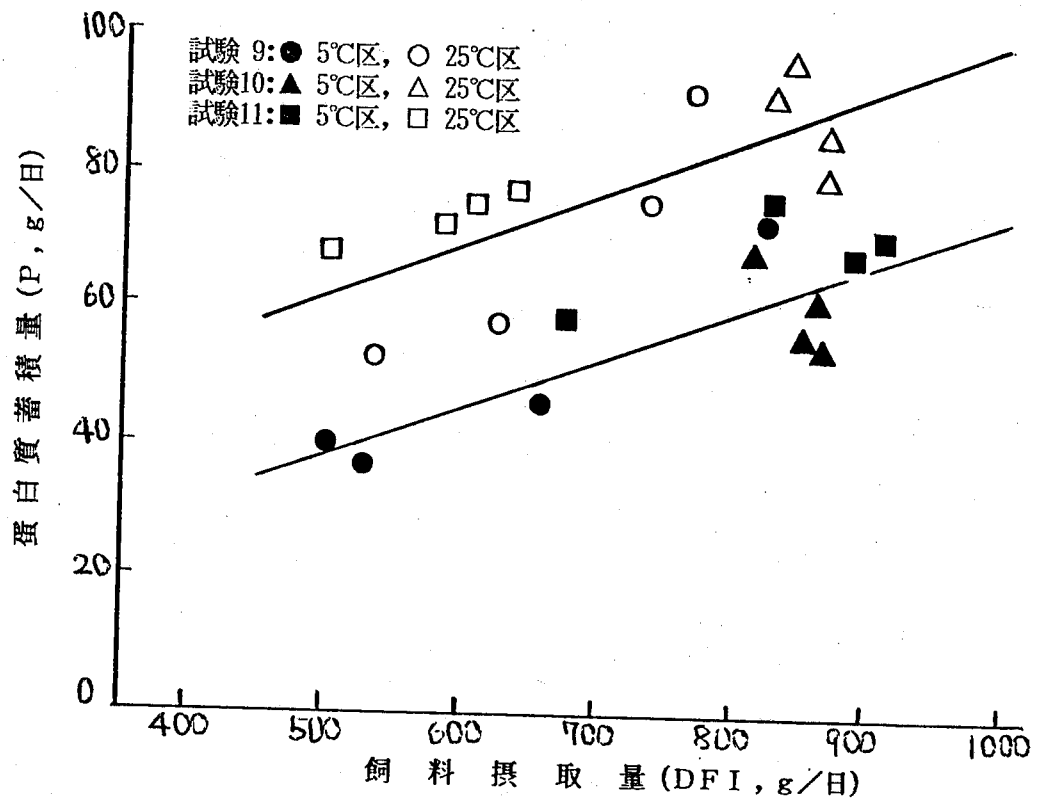


図14a 1日当たりの飼料摂取量と蛋白質蓄積量の関係 (試験 9~11)

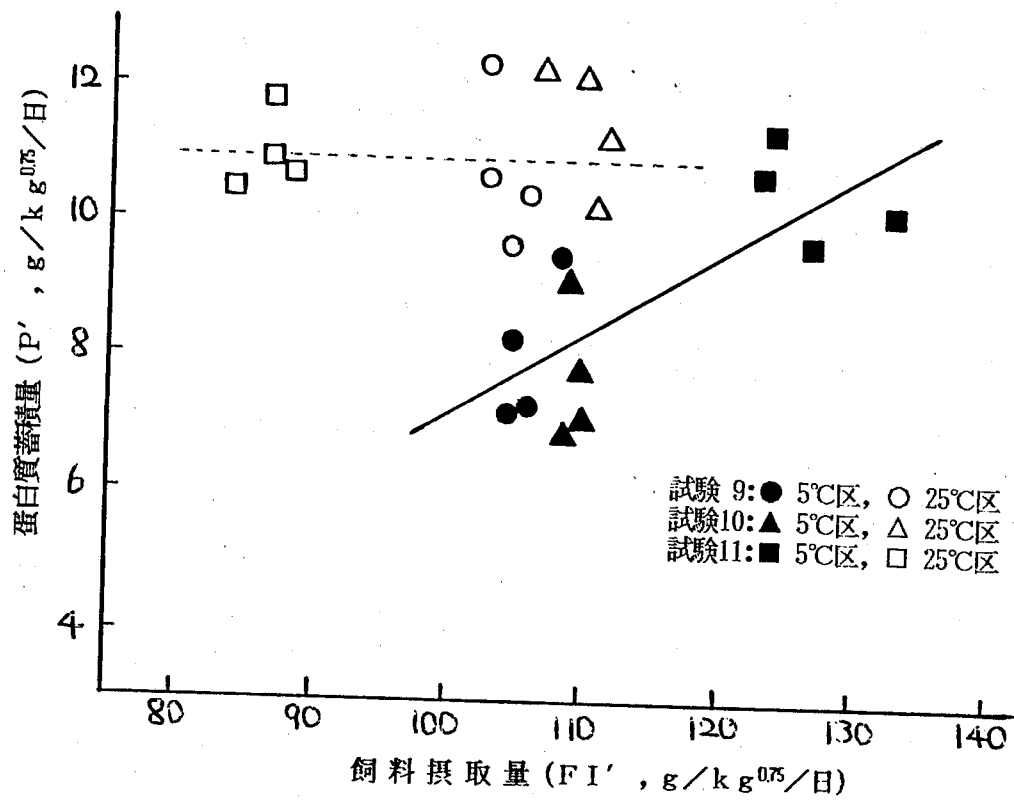


図14b 代謝体重当たりの飼料摂取量と蛋白質蓄積量の関係 (試験 9~11)

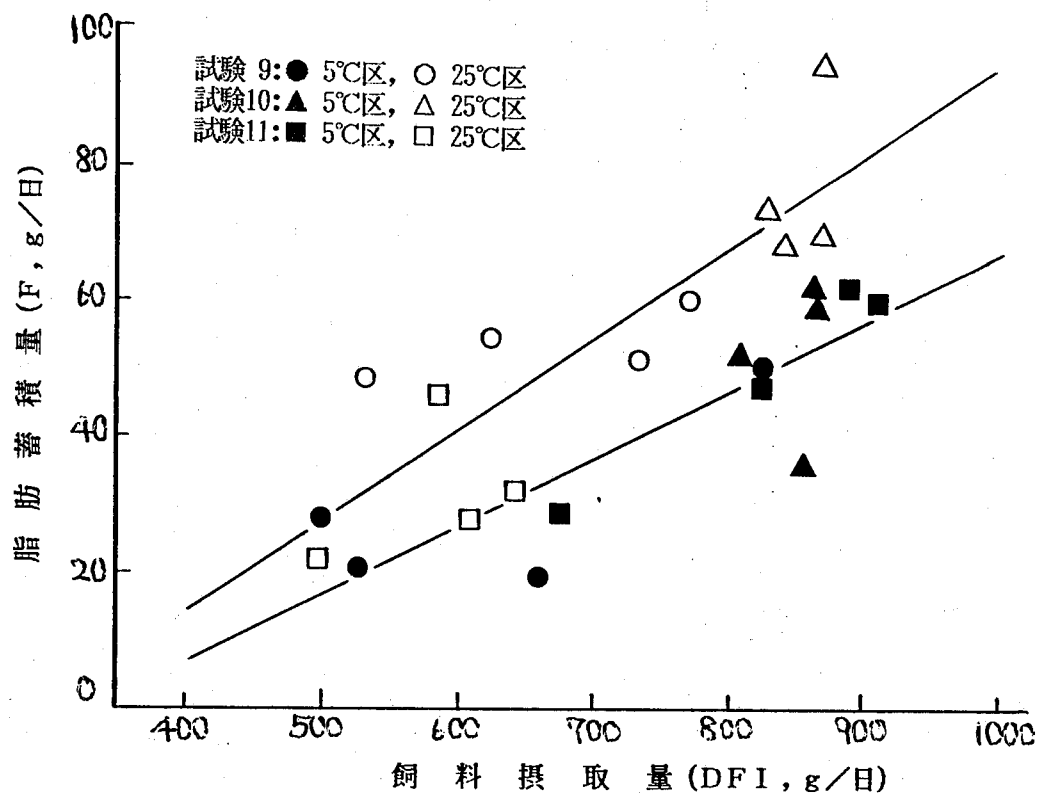


図15a 1日当たりの飼料摂取量と脂肪蓄積量の関係 (試験 9~11)

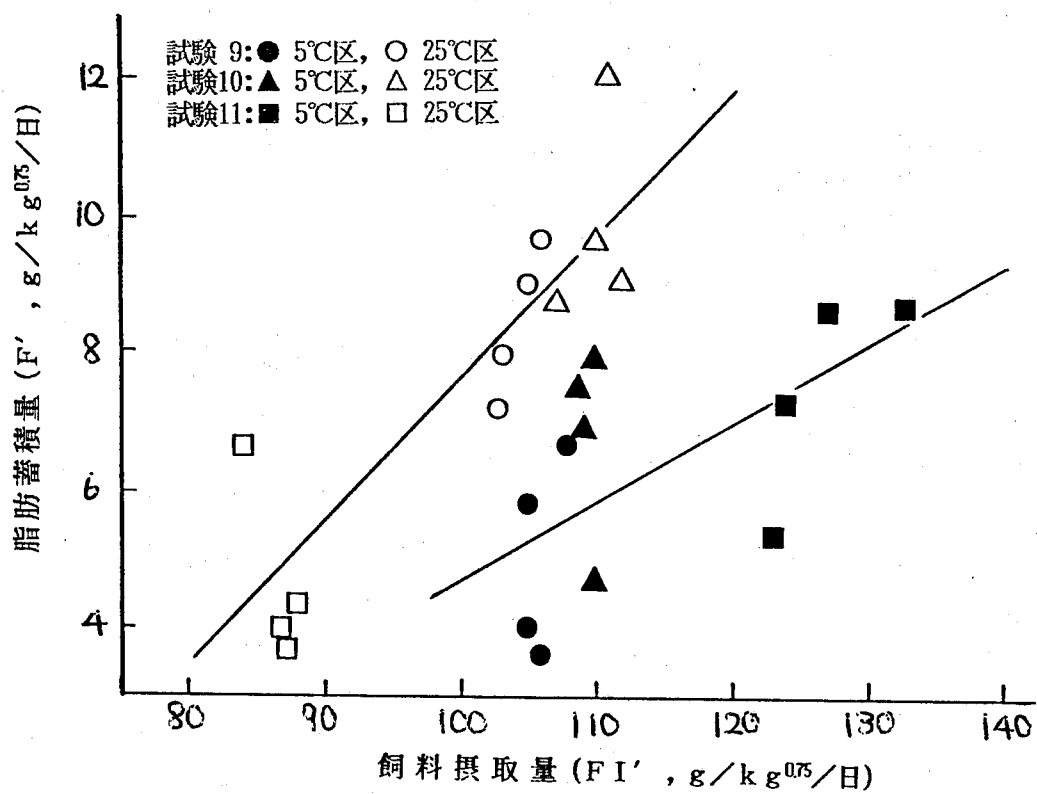


図15b 1kg体重当たりの飼料摂取量と脂肪蓄積量の関係 (試験 9~11)

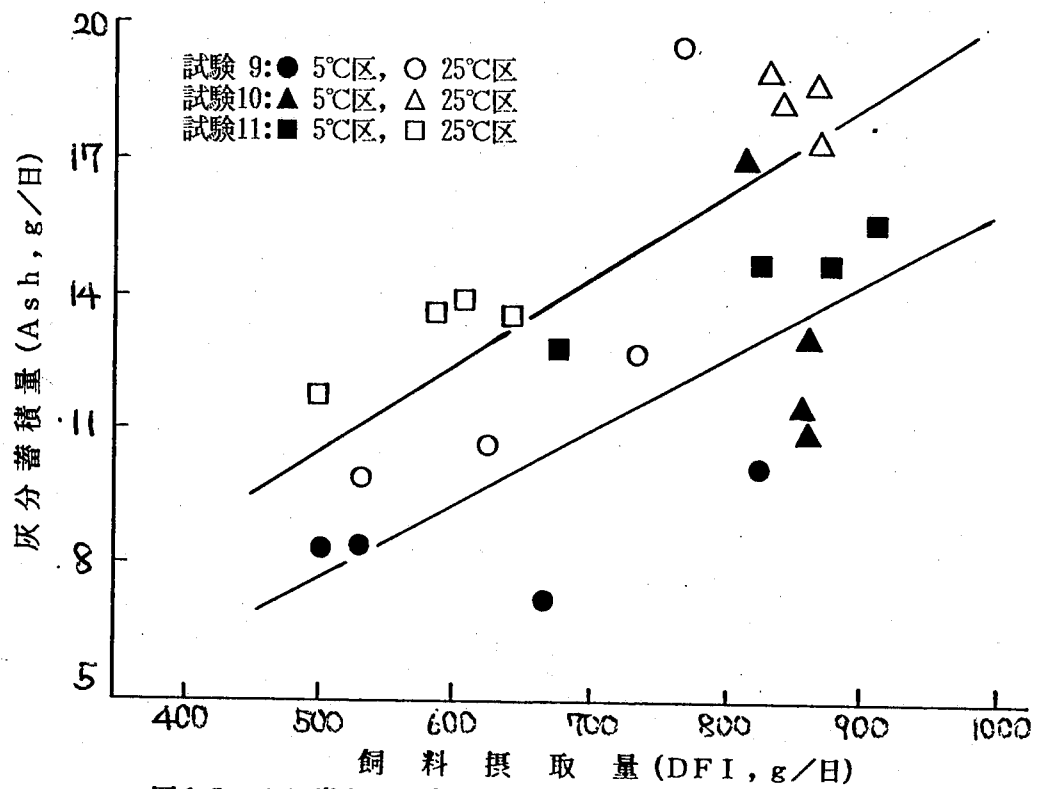


図16a 1日当たりの飼料摂取量と灰分蓄積量の関係 (試験 9~11)

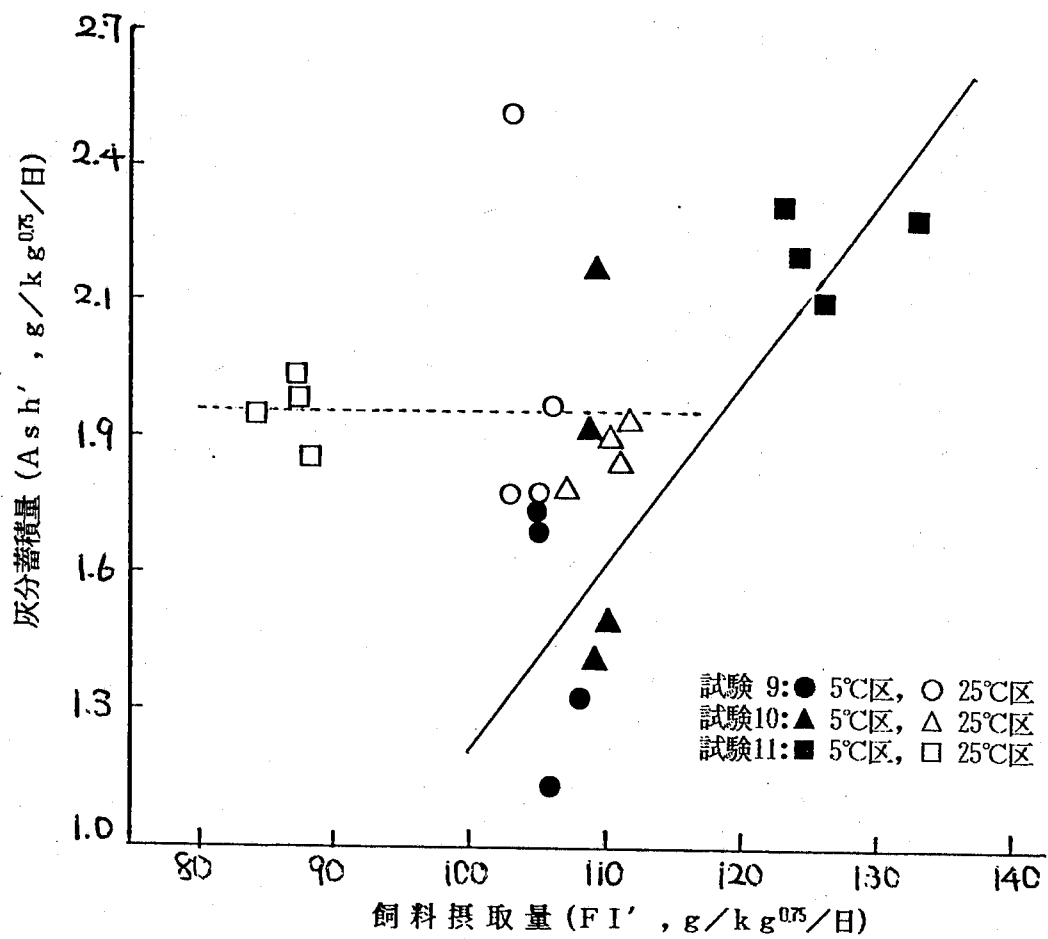


図16b 代謝体重当たりの飼料摂取量と灰分蓄積量の関係 (試験 9~11)

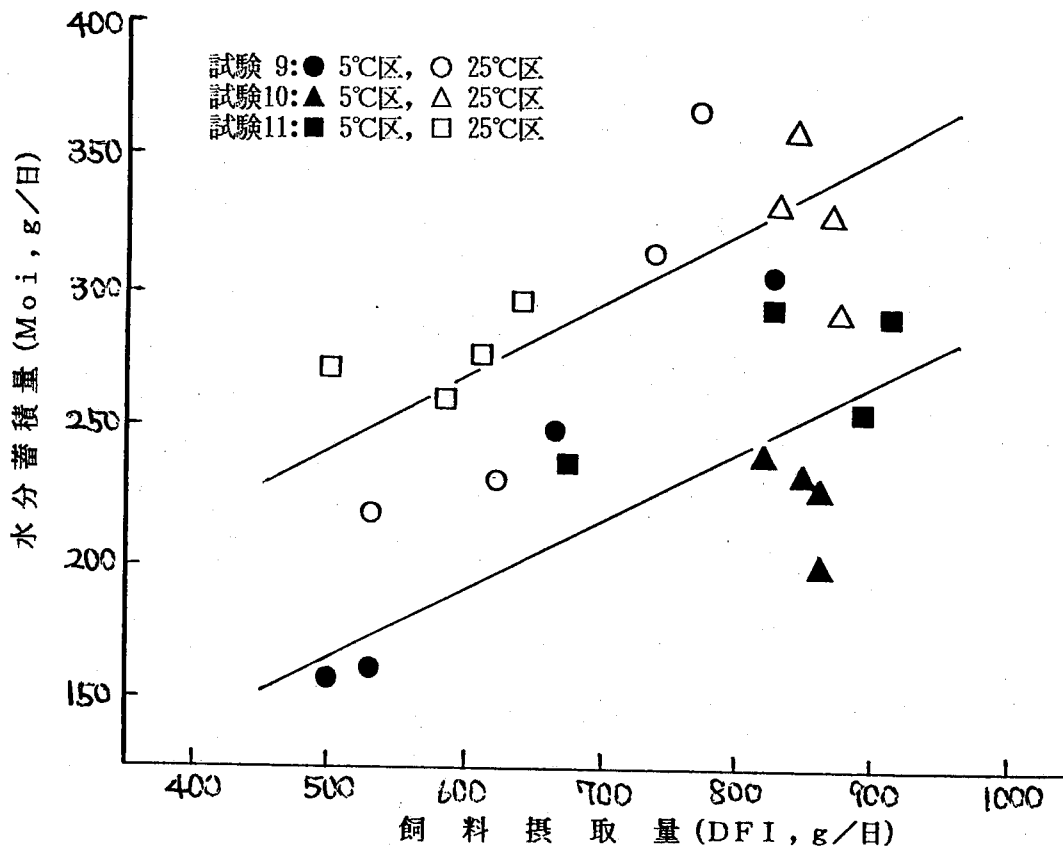


図17a 1日当たりの飼料摂取量と水分蓄積量の関係 (試験 9~11)

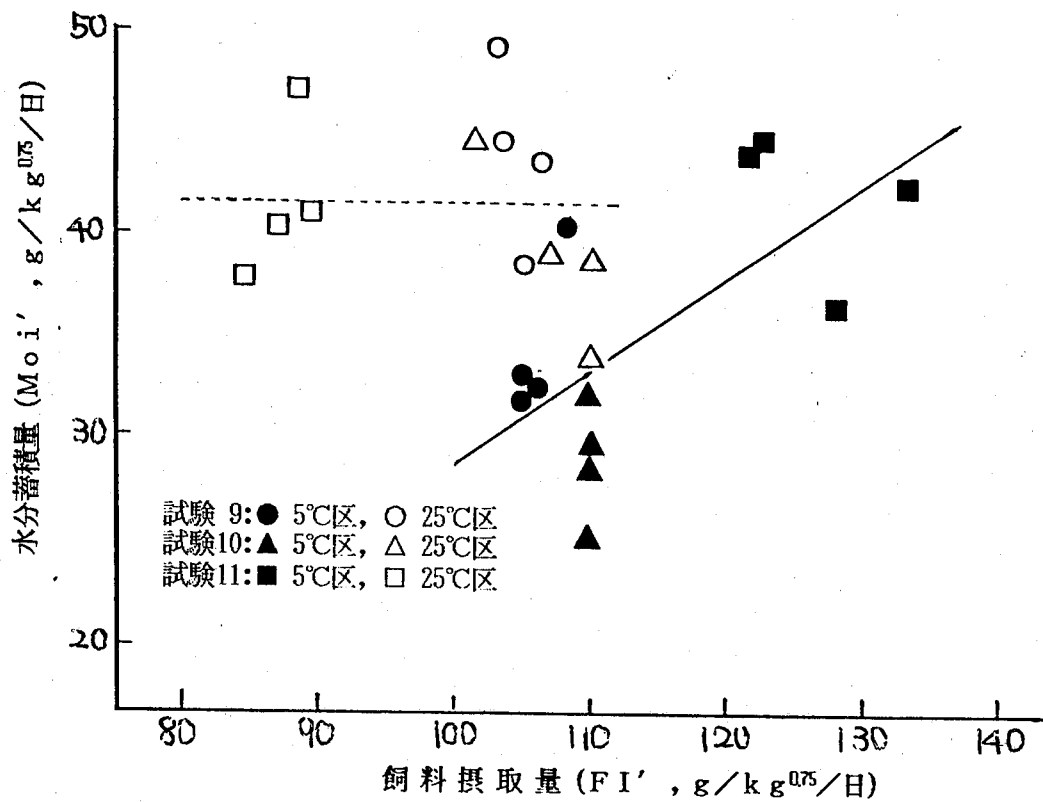


図17b 代謝体重当たりの飼料摂取量と水分蓄積量の関係 (試験 9~11)

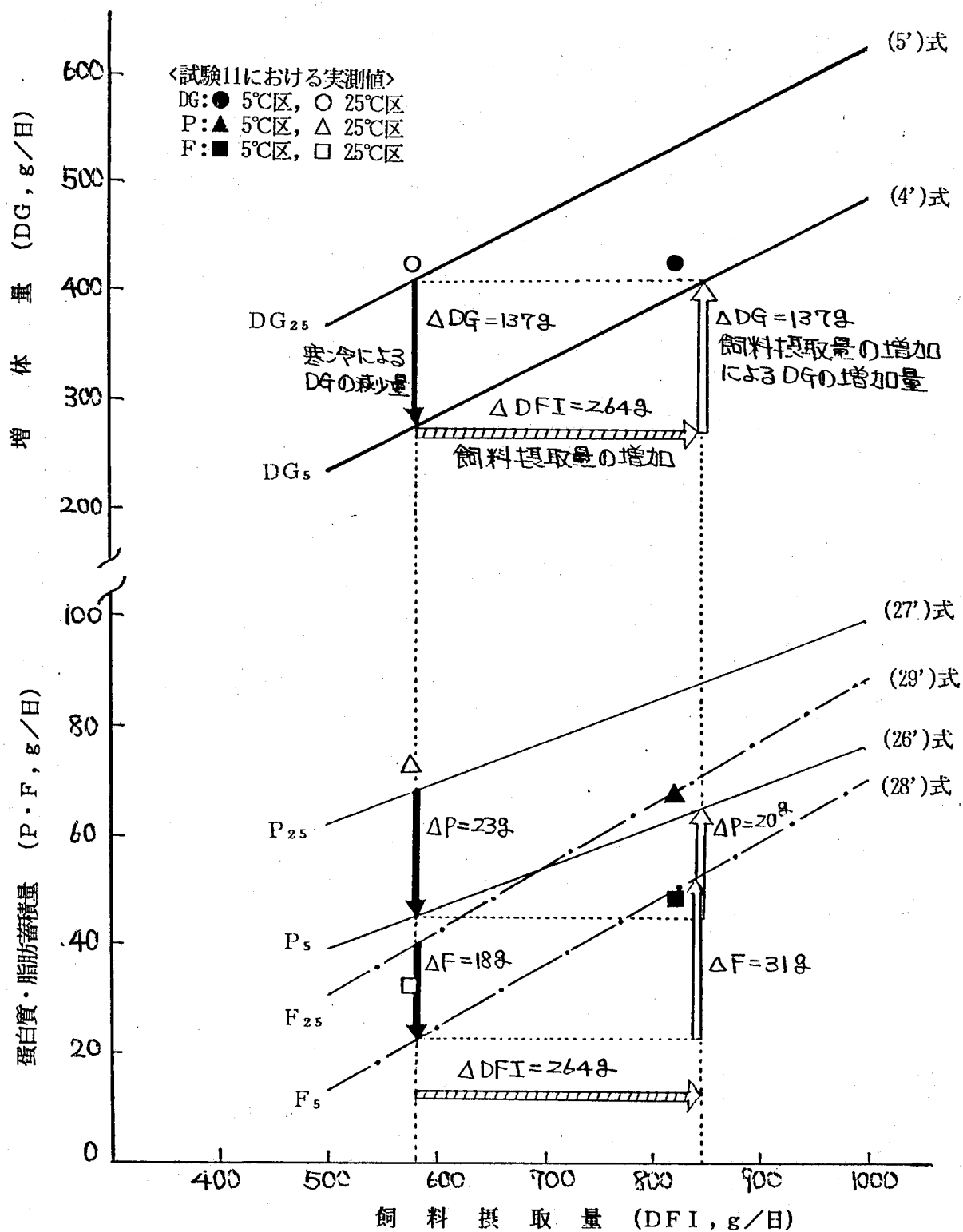


図18 日増体量、蛋白質および脂肪蓄積に及ぼす環境温度と飼料摂取量の影響
 (試験 9~11)

1. 5 g/日の増加によって引き起こされ、寒冷による増体量の低下を飼料の増給で補うと、蛋白質蓄積量はあまり変化しないが、脂肪蓄積量は温度差1℃当たり0.6 g/日増加することを示している。

試験9～11のMBS当たりの飼料摂取量と体成分蓄積量の関係を、一括して図14b～17bに示す。MBS当たりの飼料摂取量 (FI' , g/kg^{0.75}/日) と蛋白質, 脂肪, 灰分および水分の蓄積量 (P' , F' , Ash' および Moi' ; g/kg^{0.75}/日) の関係は以下のとおりで、5℃では各成分について有意 ($P < 0.01$) な正の相関があったが、25℃では脂肪以外の成分について有意な相関関係は認められなかった。

$$5^{\circ}\text{C}: F' = 0.112 FI' - 6.4 \quad (n=12, r=0.60, P<0.05) \quad (35)$$

$$25^{\circ}\text{C}: F' = 0.211 FI' - 13.4 \quad (n=12, r=0.89, P<0.01) \quad (36)$$

$$5^{\circ}\text{C}: P' = 0.121 FI' - 4.9 \quad (n=12, r=0.77, P<0.01) \quad (37)$$

$$25^{\circ}\text{C}: P' = 0.010 FI' + 10.1 \quad (n=12, r=0.12, \text{N.S.}) \quad (38)$$

$$5^{\circ}\text{C}: Ash' = 0.031 FI' - 1.7 \quad (n=12, r=0.71, P<0.01) \quad (39)$$

$$25^{\circ}\text{C}: Ash' = -0.002 FI' + 2.2 \quad (n=12, r=-.10, \text{N.S.}) \quad (40)$$

$$5^{\circ}\text{C}: Moi' = 0.464 FI' - 17.8 \quad (n=12, r=0.71, P<0.01) \quad (41)$$

$$25^{\circ}\text{C}: Moi' = -0.020 FI' + 43.8 \quad (n=12, r=-.05, \text{N.S.}) \quad (42)$$

(37)～(42)式は、MBS当たりの蛋白質、灰分および水分の蓄積量が、5℃では飼料摂取量10 g/kg^{0.75}/日の増加につき1.2, 0.3および4.6 g/kg^{0.75}/日増えるのに対し、25℃では飼料摂取量に関係なく平均11.0±0.9, 2.0±0.2および41.7±4.3 g/kg^{0.75}/日とほぼ一定であることを示している。

しかし、25℃において脂肪を除く各成分のMBS当たりの蓄積量に飼料摂取量による変化がなかったことに対する十分な考察は難しく、この点については飼料摂取水準の範囲をさらに広げて検討する必要があるだろう。

5) 体組成と内臓・毛重量

消化管内容物を除いた体重の増加量すなわち empty body weight gain (EBWG) 中の化学組成を表22に示す。試験9では、5℃区で脂肪の比率と

エネルギー含量が低下し、水分の比率が高まった ($P < 0.01$)。試験10では、両区の蛋白質、脂肪、灰分、水分の比率およびエネルギー含量に有意な差はなかった。試験11では、5℃区の脂肪の比率とエネルギー含量が増加 ($P < 0.05$) し、蛋白質と水分の比率が低下 ($P < 0.01$) した。また屠体の組成も、表23に示すようにEBWG中の化学組成の関係をそのまま反映したものとなっている。

豚の体組成に及ぼす環境温度の影響については、寒冷下で脂肪の比率が低下したケース^{10, 16, 20, 23, 32, 53}、寒冷による変化がなかったケース^{24, 99}および寒冷下で背脂肪が増加したケース³⁴が報告されており、いままでのところ見解は必ずしも一致していない。本研究においても、25℃区に対する5℃区のEBWG中および屠体の組成は、試験9、10および11で全く異なる関係を示している。

豚の体組成は飼料摂取量⁴⁰あるいは体重^{19, 87}によっても変化することが報告されており、それらの要因の関与が寒冷環境における豚の体組成についての理解を複雑にさせているものと思われる。そこで、試験9～11における飼料摂取量、体重および日齢の条件と脂肪比率の変化との関係を整理し、既往の研究結果と共に表24に示す。

飼料摂取量と日齢の条件は同じであり屠殺体重が5℃区で小さい試験9では、5℃区の脂肪比率が低下した。飼料摂取量と体重の条件は同じであり屠殺日齢が5℃区で高い試験10では、両区の脂肪比率に差異はなかった。日齢と体重の条件は同じであり飼料摂取量が5℃区で多い試験11では、5℃区の脂肪比率が増加した。

このように5℃区の脂肪比率の変化は、体重と飼料摂取量の違いに対応していることがわかる。さらに既往の研究についても、寒冷下で脂肪比率が低下したとする研究、寒冷による脂肪比率の変化がないとする研究および寒冷下で背脂肪が増加したとする研究の試験条件は、それぞれ試験9、10および11で設定した条件と一致する。

これらのことは、寒冷環境で飼育された豚の体組成の変化は直接的には飼料摂取量と体重に起因し、寒冷や日齢は間接的な要因であることを示唆する。また、そのことは屠体の成分量の検討からも指摘できる。

試験 9 ~ 11 における屠体の蛋白質, 脂肪, 灰分, 水分およびエネルギー量と体重の関係を, IS 区のデータも含めて図 19 ~ 23 に示す。体重 (BW, kg) と屠体の蛋白質, 脂肪, 灰分, 水分量 (P, F, Ash, Moi; kg) およびエネルギー量 (E, MJ) の関係は以下のように表される。

$$P = 0.160 BW - 0.133 \quad (n=36, R^2=0.99, P<0.01) \quad (43)$$

$$Ash = 0.032 BW + 0.009 \quad (n=36, R^2=0.98, P<0.01) \quad (44)$$

$$Moi = -0.008 BW^2 + 0.851 BW - 0.974 \quad (n=36, R^2=0.99, P<0.01) \quad (45)$$

$$F = 0.006 BW^2 - 0.066 BW + 0.831 \quad (n=36, R^2=0.91, P<0.01) \quad (46)$$

$$E = 0.240 BW^2 + 1.185 BW + 29.258 \quad (n=36, R^2=0.97, P<0.01) \quad (47)$$

これらの式の決定係数は, 蛋白質, 灰分および水分量の分散の 98% 以上を, 脂肪量についても 91% までを体重だけで説明できることを意味し, 屠体の成分量は基本的には体重に規定されていることを示す。さらに, 他の成分の極めて高い決定係数に比べ脂肪の決定係数が低いことは, 屠体の脂肪量が体重以外の要因によっても影響を受けていることを意味し, 同一体重での体組成の変化は主として脂肪量の変化に起因することを示す。

また, (43) ~ (47) 式の微分式 (43') ~ (47') 式は, 体重の変化に伴う蛋白質, 灰分, 水分, 脂肪およびエネルギーの変化量 (ΔP , ΔF , ΔAsh , ΔMoi ; g および ΔE ; kJ) を表し, 体重 1 kg の増加に伴う蛋白質と灰分の増加量は 160 および 32 g と一定であるのに対し, 水分の増加量は体重が重くなる程小さく, 脂肪とエネルギーの増加量は体重が重くなる程大きくなることを示す。そのことは, 体重の増加に伴って蛋白質と灰分の比率は変化せず, 水分と脂肪が置き代わることにより脂肪の比率が高まるという体重と体組成の概括的な関係を裏づける。

$$\Delta P = 160 \quad (43')$$

$$\Delta F = 12 BW - 66 \quad (46')$$

$$\Delta Ash = 32 \quad (44')$$

$$\Delta Moi = -16 BW + 851 \quad (45')$$

$$\Delta E = 480 BW + 1185 \quad (47')$$

試験 9 ~ 11 の 5℃ 区と 25℃ 区の 24 頭のデータを用い, 屠体の成分量を規定する要因として体重, 飼料摂取量, 環境温度および日齢を取り上げた重回帰分析の結果を表 25 に示す。脂肪, 水分およびエネルギー量については, 体重との間に有意 ($P < 0.01$)

な2次の関係が認められたので、(49)，(51)，(52)式にその関係を導入した。

(48)～(52)式の決定係数は、上記の4つの要因で屠体の蛋白質、脂肪、灰分、水分およびエネルギー量の分散のそれぞれ99%，86%，95%，98%および95%まで説明できることを意味する。さらに(48)～(52)式の相対重要度は、屠体の蛋白質、灰分および水分量はほとんど体重によって規定されているのに対し、脂肪量は体重だけでなく飼料摂取量によっても変化するが環境温度と日齢による影響は極めて小さいことを示す。

以上のように、屠体の成分量あるいは体組成に及ぼす寒冷そのものの影響は極めて小さく、寒冷下での体組成の変化は体重と飼料摂取量に関連した脂肪量の変化で説明できる。

一方、化学成分の屠体内での分布が環境温度によって変化する可能性が指摘³⁹⁾されている。そこで、化学成分の屠体内分布に及ぼす寒冷の影響について検討した。

試験9～11の屠体各部位の重量を表26に、屠体内の蛋白質、脂肪、灰分、水分およびエネルギーの分布状況を表27～31に示す。各試験のIS区、5℃区および25℃区を通じ、脂肪は皮下組織、骨・筋肉、内臓、血液の順に、蛋白質とエネルギーは骨・筋肉、皮下組織、内臓、血液の順に、灰分と水分は骨・筋肉、内臓、皮下組織、血液の順に多く存在した。各成分について屠体内の分布に5℃区と25℃区で変化が認められたのは、試験10の水分および試験11の蛋白質・水分であり、いずれも5℃区で骨・筋肉の比率が低くなり内臓の比率が増加した($P<0.05$)。

そのうち試験10の水分分布の変化は、内臓の水分量が5℃区で増加したことに起因するが、その生理的な解釈は不明である。また、試験11の蛋白質と水分分布の変化は、5℃区の内臓重量の増加によるもので、5℃区の飼料摂取量が多いことに関係した変化と考えられる。各成分の屠体内分布について、試験9～11を通じて共通した変化が認められないことから、寒冷による直接的な影響はないものと判断される。

Holmes & Close³⁹⁾は屠体内の脂肪分布が環境温度によって変化する可能性を指摘しているが、実際に子豚の体組成に及ぼす環境温度の影響を化学成分の屠体内

分布まで言及した研究は Fuller²³⁾ および Dauncey & Ingram²⁰⁾ の報告があるにすぎない。かれらは、蛋白質の分布に環境温度による変化はないが、脂肪とエネルギーの分布は寒冷により皮下組織中の比率が低下し筋肉・内臓中の比率が高まったとしている。しかし、これらの研究では寒冷区の子豚の体重が対照区より小さくなっているため、脂肪とエネルギーの分布の変化を必ずしも寒冷のみの影響とみることはできない。さらに Stanier⁹¹⁾ は、寒冷下で飼育したマウスの皮下脂肪の比率が低飼料摂取水準では低下するのに対し、高飼料摂取水準では変化しないことを指摘しており、寒冷下で認められる化学成分の屠体内分布の変化は寒冷だけで説明できないことを示唆する。

試験 9～11 の内臓器重量について表 3 2 に示す。試験 9 では 5℃区と 25℃区の各臓器重量に有意な差はなく、試験 10 では胃、心臓および腎臓の重量が、試験 11 では肝臓、心臓および腎臓の重量が 5℃区で 25℃区よりも有意 ($P < 0.05$) に増加した。

寒冷下で認められた臓器重量の変化のうち、試験 10 での増加は 5℃区の日齢が進んでいることで、試験 11 での増加は 5℃区の飼料摂取量が多いことで説明される。

Sugahara⁹⁵⁾, Fuller²³⁾, Stahly & Cromwell⁹⁰⁾ も寒冷下で飼育した豚の心臓、脾臓および腎臓の重量増加を報じているが、それらは寒冷下で飼料摂取量が増加したことに関連した変化であるとしている。飼料摂取量と日齢の条件が同じである試験 9 では臓器重量に変化がないことを考えあわせると、寒冷下での臓器重量の増加は直接的には飼料摂取量と日齢に起因すると判断される。

また被毛の重量について、試験 9～11 を通じて 5℃区で 25℃区より増加する傾向が認められた (表 3 2)。Fuller²³⁾ は寒冷下で子豚の被毛重量が増加することを報じ、寒冷に対する断熱的な適応であることを指摘している。そのような現象は大型の哺乳動物では一般的にみられ、Blaxter⁷⁾ は体表面積当たりの被毛重量の増加が生体全体の断熱性を向上させるとしている。しかし Mount⁷⁰⁾ は、2週齢の子豚から被毛を剃りとっても断熱性に有意な低下はなく、豚では皮下脂肪が断熱性に大きな役割を占めていることを報告している。

表22 空体重増加 (EBWG) 中の化学組成 (試験9~11)

	試験 9		試験 10		試験 11	
	5℃	25℃	5℃	25℃	5℃	25℃
開始時EBW(kg)	7.2	7.3	8.2	8.6	7.6	7.5
終了時EBW(kg)	15.5 ^A	19.1 ^B	24.1	23.9	18.9	18.6
EBWG(kg)	8.3 ^A	11.8 ^B	15.9	15.3	11.3	11.1
蛋白質(%)	16.6	16.5	17.2	17.3	16.9 ^a	18.5 ^b
脂肪(%)	9.8 ^A	13.0 ^B	14.9	15.0	12.1 ^b	8.0 ^a
灰分(%)	3.1	3.1	3.9	3.4	3.6	3.3
水分(%)	70.5 ^B	67.4 ^A	64.0	64.3	67.4 ^A	70.2 ^B
エネルギー(kJ/g)	7.8 ^A	8.9 ^B	10.1	10.1	9.1 ^b	7.7 ^a

A, B 異なる文字間に1%水準で有意差あり

a, b 異なる文字間に5%水準で有意差あり

表23 屠体 (EBW) 中の化学組成 (試験9~11)

	試験 9			試験 10			試験 11		
	IS	5℃	25℃	IS	5℃	25℃	IS	5℃	25℃
蛋白質(%)	15.3 ^a	16.0 ^b	16.0 ^b	15.7 ^a	16.7 ^b	16.7 ^b	15.3 ^a	16.3 ^b	17.2 ^b
脂肪(%)	10.4	10.2	12.0	10.5 ^a	13.5 ^b	13.4 ^b	8.0 ^a	10.4 ^b	8.0 ^b
灰分(%)	3.9	3.4	3.4	3.6	3.8	3.5	3.6	3.6	3.4
水分(%)	70.4 ^b	70.4 ^b	68.6 ^a	70.3 ^b	66.1 ^a	66.5 ^a	73.1 ^c	69.7 ^a	71.4 ^b
エネルギー(kJ/g)	7.5	7.7	8.4	7.7 ^a	9.3 ^b	9.2 ^b	6.8 ^a	8.2 ^c	7.3 ^b

a, b, c 異なる文字間に5%水準で有意差あり

表24 寒冷下における脂肪比率の変化と屠殺体重，屠殺日齢および飼料摂取量との関係

温度範囲 (°C)	豚の種類	適温下に対する低温下での条件と反応				研 究 者
		飼 料 摂取量	屠殺 体重	屠殺 日齢	脂肪 比率	
5-25	離乳子豚	=	-	=	-	本研究 試験9
5-25	離乳子豚	=	=	+	=	本研究 試験10
5-25	離乳子豚	+	=	=	+	本研究 試験11
24~18-32~26	離乳子豚	=	-	=	-	Le Dividichら 1982 ⁵³⁾
10-35	離乳子豚	=	-	=	-	Dauncy & Ingram 1983 ²⁰⁾
18-28	離乳子豚	=	-	=	-	Close & Stanier 1984 ¹⁶⁾
2-20	離乳子豚	=	-	=	-	Brownら 1976 ¹⁰⁾
2-20	肥育豚	=	-	=	-	Hacker 1976 ³²⁾
5-23	肥育豚	=	=	+	=	Fuller & Boyne 1971 ²⁴⁾
14~4 -17~8	肥育豚	=	=	+	(=)	Verstegenら 1979 ⁹⁹⁾
13-25	肥育豚	+	=	=	(+)	Haleら 1968 ³⁴⁾

() 内は背脂肪の変化

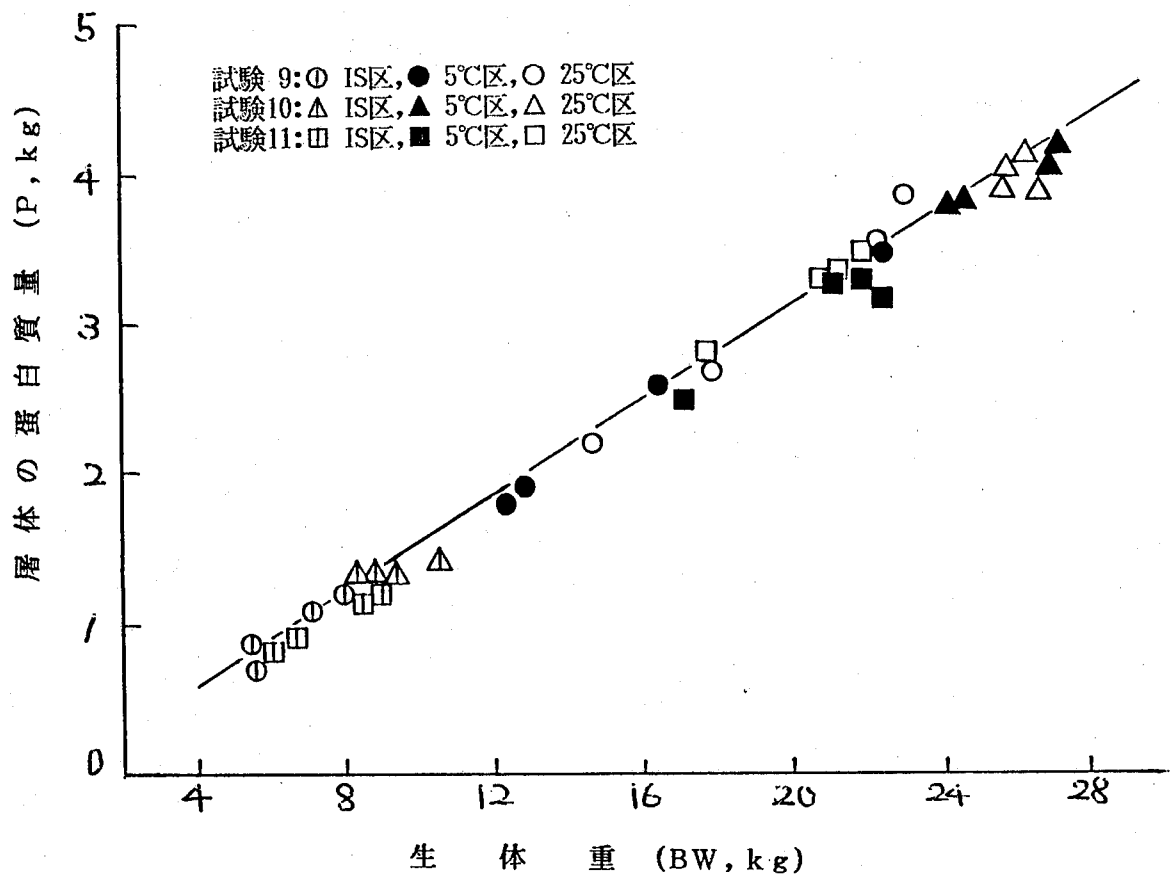


図19 屠体の蛋白質量と体重の関係 (試験 9~11)

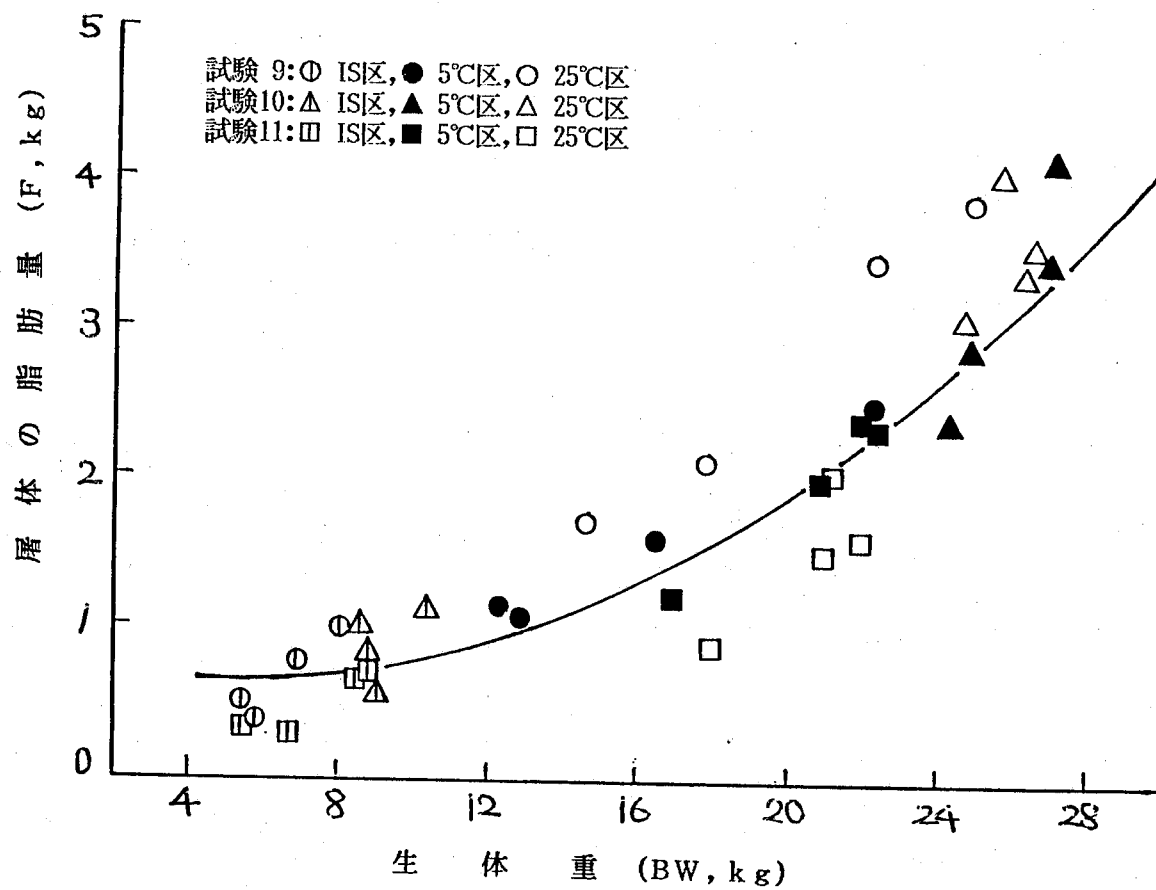


図20 屠体の脂肪量と体重の関係 (試験 9~11)

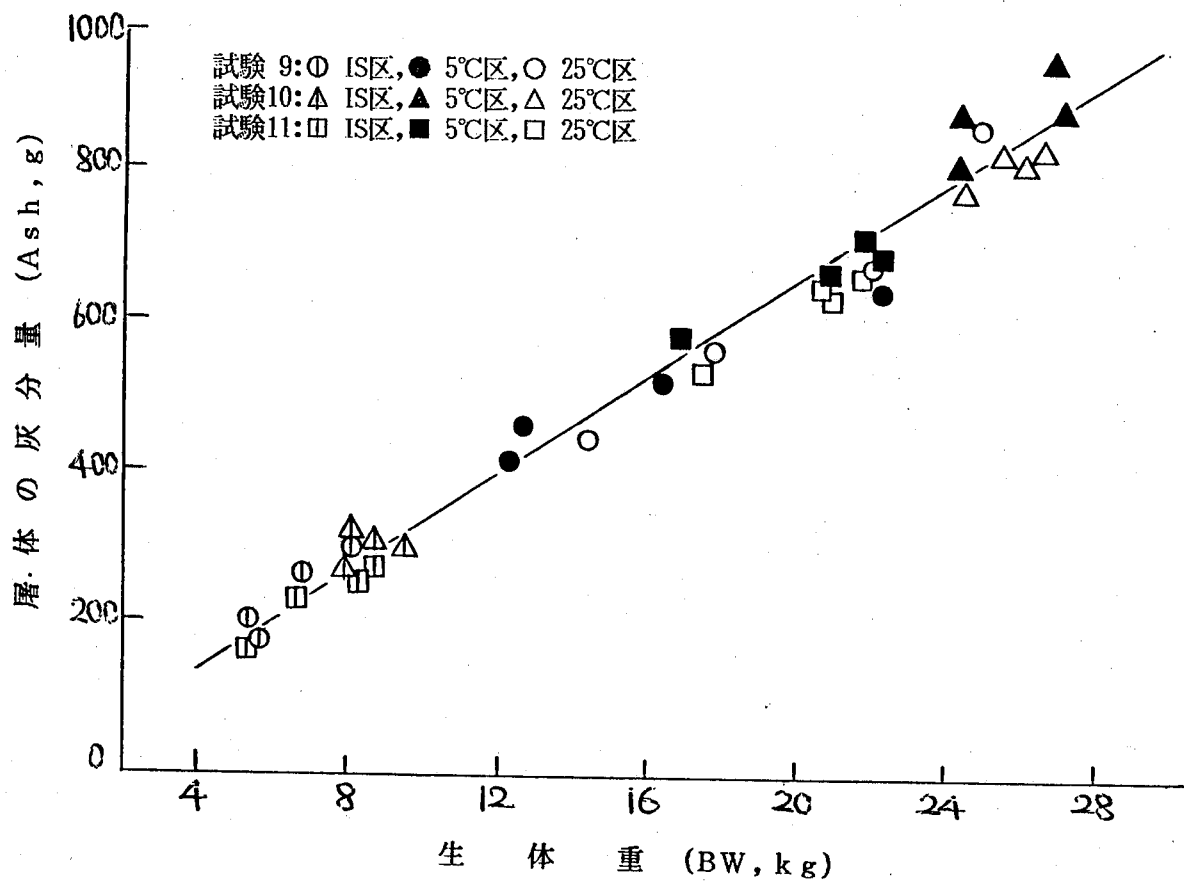


図21 屠体の灰分量と体重の関係(試験9~11)

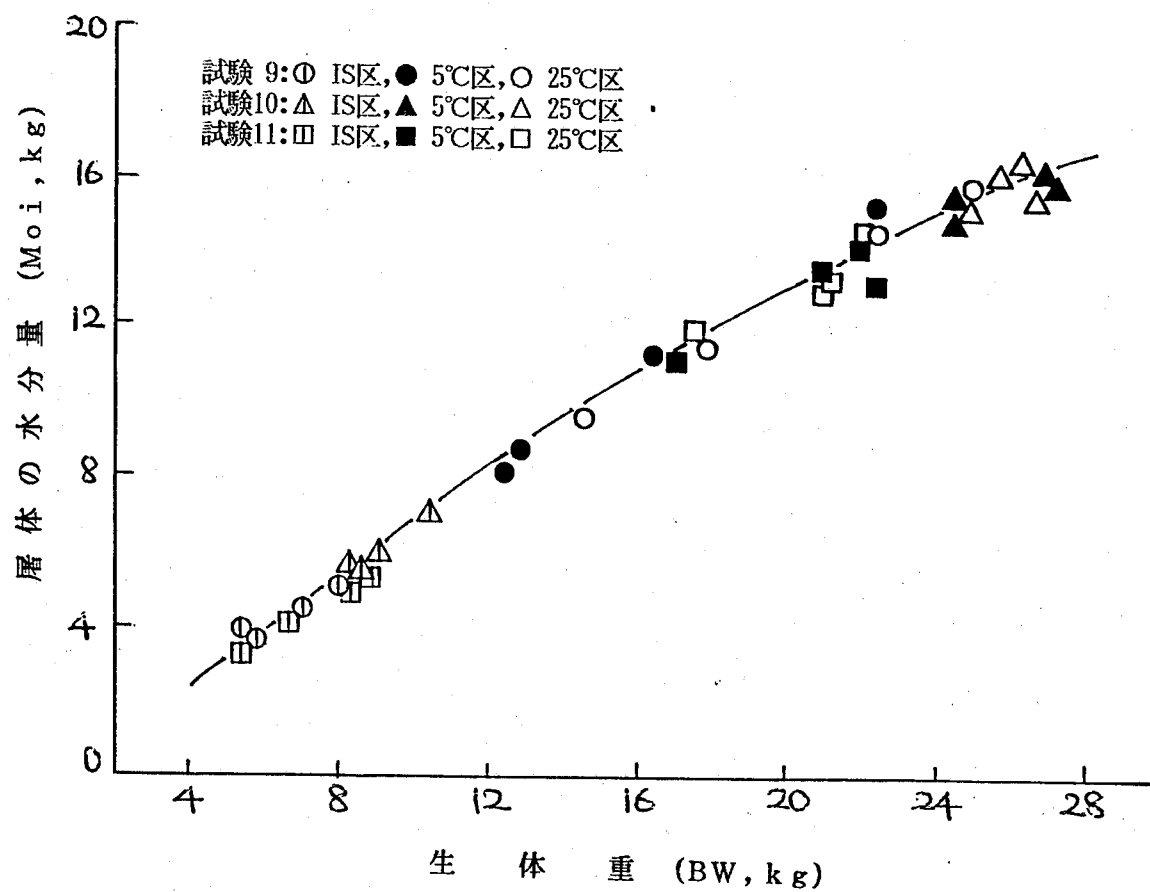


図22 屠体の水分量と体重の関係 (試験 9~11)

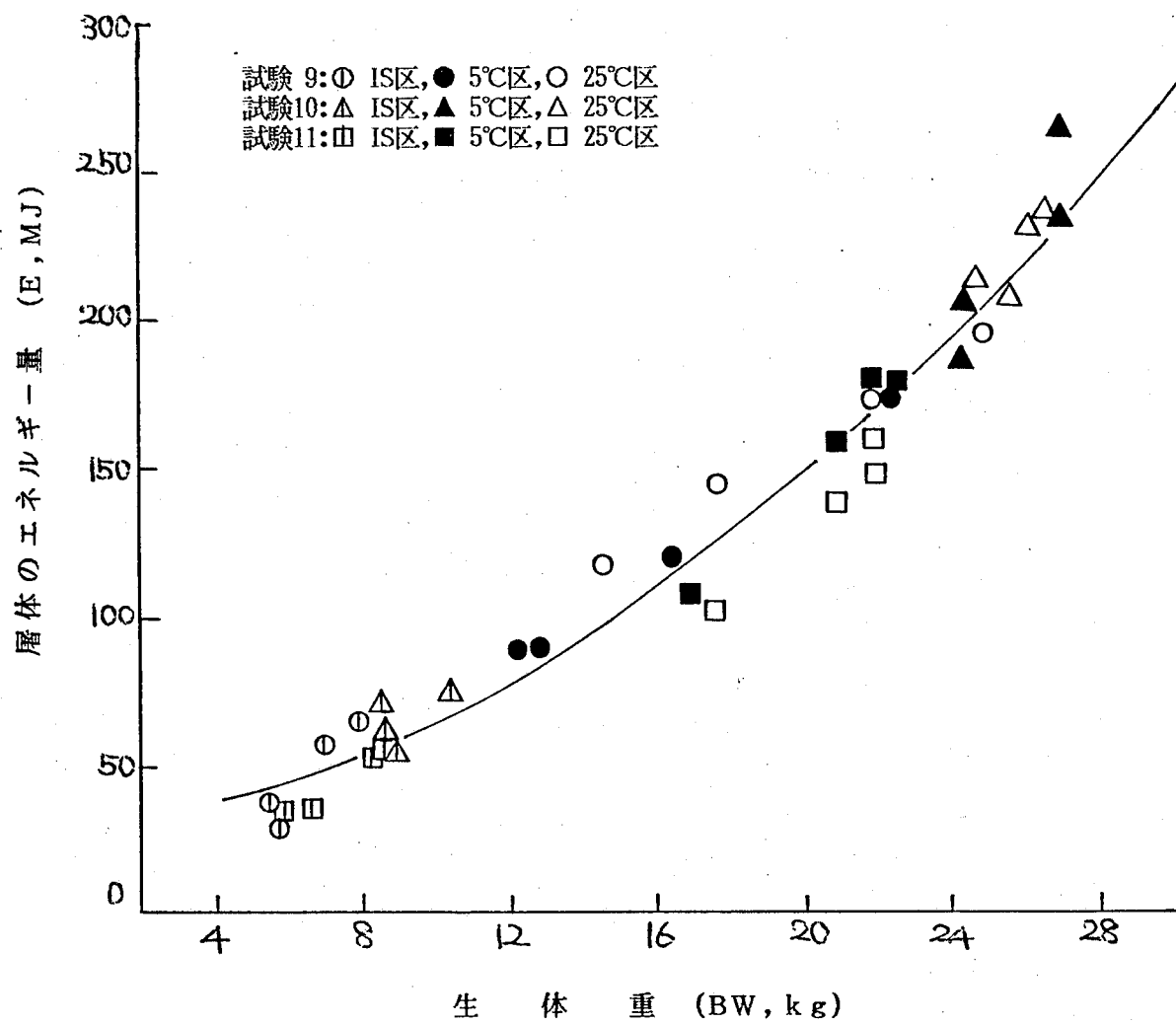


図23 居体のエネルギー量と体重の関係 (試験 9~11)

表25 屠体の成分量についての重回帰分析

<重回帰式>

$$P = 0.1931X_1 - 0.0009X_2 - 0.0046X_3 - 0.0107X_4 + 0.6204 \quad (n=24, R^2=0.99, P<0.01) \quad (48)$$

$$F = 0.6512X_1 + 0.0019X_2 - 0.0123X_3 - 0.0284X_4 - 50.6102 \quad (n=24, R^2=0.89, P<0.01) \quad (49)$$

$$(X_1' = 0.014 X_1^2 - 0.411 X_1 + 4.210)$$

$$Ash = 36.61X_1 - 0.1292X_2 - 2.0682X_3 + 1.3372X_4 - 46.3610 \quad (n=24, R^2=0.95, P<0.01) \quad (50)$$

$$Moi = 1.0804X_1' - 0.0011X_2 - 0.0081X_3 - 0.0211X_4 + 36.5517 \quad (n=24, R^2=0.95, P<0.01) \quad (51)$$

$$(X_1' = -0.012 X_1^2 + 1.029 X_1 - 2.636)$$

$$E = 0.6772X_1'' + 0.0967X_2 + 0.6191X_3 + 1.1991X_4 - 2164.56 \quad (n=24, R^2=0.95, P<0.01) \quad (52)$$

$$(X_1'' = 0.521 X_1^2 - 10.338 X_1 + 141.717)$$

<標準偏回帰係数>

$$P \text{ (48)式} : X_1 = 1.1987, \quad X_2 = -.1858, \quad X_3 = -.0655, \quad X_4 = -.1004$$

$$F \text{ (49)式} : X_1' = 0.5463, \quad X_2 = 0.0123, \quad X_3 = 0.1439, \quad X_4 = 0.2180$$

$$Ash \text{ (50)式} : X_1 = 1.0489, \quad X_2 = -.1197, \quad X_3 = -.1363, \quad X_4 = 0.0577$$

$$Moi \text{ (51)式} : X_1' = 1.0686, \quad X_2 = -.0621, \quad X_3 = -.0337, \quad X_4 = -.0575$$

$$E \text{ (52)式} : X_1'' = 0.6472, \quad X_2 = 0.2783, \quad X_3 = 0.1268, \quad X_4 = 0.1607$$

<相対重要度>

$$P \text{ (48)式} : X_1 = 93.8, \quad X_2 = 3.0, \quad X_3 = 0.8, \quad X_4 = 2.4$$

$$F \text{ (49)式} : X_1' = 47.9, \quad X_2 = 27.9, \quad X_3 = 8.9, \quad X_4 = 15.2$$

$$Ash \text{ (50)式} : X_1 = 93.0, \quad X_2 = 1.6, \quad X_3 = 4.4, \quad X_4 = 1.0$$

$$Moi \text{ (51)式} : X_1' = 98.2, \quad X_2 = 0.4, \quad X_3 = 0.3, \quad X_4 = 1.1$$

$$E \text{ (52)式} : X_1'' = 64.1, \quad X_2 = 18.3, \quad X_3 = 7.0, \quad X_4 = 10.6$$

P=蛋白質量 (kg), F=脂肪量 (kg), Ash=灰分量 (g), E=エネルギー量 (MJ)
 X_1 =体重 (kg), X_2 =飼料摂取量 (g/日), X_3 =環境温度 (°C), X_4 =日齢 (日)

表26 E B W および屠体各部位の重量 (kg) (試験9~11)

	試 験 9			試 験 1 0			試 験 1 1		
	I S	5 °C	25°C	I S	5 °C	25°C	I S	5 °C	25°C
E B W	6.2 ^A	15.3 ^B	18.3 ^C	8.6 ^A	23.9 ^B	24.1 ^B	6.8 ^A	18.9 ^B	18.6 ^B
枝 肉	4.7 ^A	12.2 ^B	15.4 ^C	6.5 ^A	19.1 ^B	19.7 ^B	5.1 ^A	14.6 ^B	14.9 ^B
皮下組織	-	-	-	1.6 ^A	4.7 ^B	4.7 ^B	1.2 ^A	3.5 ^B	3.2 ^B
筋肉・骨	-	-	-	4.9 ^A	14.5 ^B	15.0 ^B	3.9 ^A	11.1 ^B	11.7 ^B
内 蔵	1.2 ^A	2.4 ^B	2.8 ^B	1.5 ^A	3.3 ^B	3.2 ^B	1.3 ^A	3.3 ^C	2.8 ^B
血 液	0.3 ^A	0.8 ^B	0.8 ^B	0.5 ^A	1.5 ^B	1.2 ^B	0.4 ^A	1.0 ^B	0.9 ^B

A, B, C 異なる文字間に1%水準で有意差あり

表27 屠体中の蛋白質の分布状況

(試験9~11)

	試験 1			試験 2			試験 3		
	I S	5 °C	25°C	I S	5 °C	25°C	I S	5 °C	25°C
絶対重量	<g>								
全体	962 ^a	2460 ^b	3054 ^c	1339 ^a	3991 ^b	4024 ^b	1034 ^a	3076 ^b	3212 ^b
枝肉	747 ^a	1992 ^b	2526 ^c	1037 ^a	3230 ^b	3312 ^b	805 ^a	2407 ^b	2623 ^c
皮下組織	-	-	-	212 ^a	619 ^b	611 ^b	174 ^a	481 ^b	501 ^b
筋肉・骨	-	-	-	825 ^a	2610 ^b	2702 ^b	631 ^a	1925 ^b	2116 ^c
内臓	174 ^a	352 ^b	410 ^c	221 ^a	502 ^b	497 ^b	179 ^a	512 ^c	427 ^b
血液	40 ^a	116 ^b	118 ^b	81 ^a	259 ^b	214 ^b	50 ^a	157 ^b	162 ^b
含量	<原物中重量%>								
全体	15.3 ^a	16.0 ^b	16.0 ^b	15.7	16.7	16.7	15.3 ^a	16.3 ^b	17.2 ^c
枝肉	15.8 ^a	16.3 ^b	16.3 ^b	16.1	16.9	16.8	15.7 ^a	16.5 ^b	17.6 ^c
皮下組織	-	-	-	13.4	13.3	13.0	14.0 ^a	14.0 ^a	15.9 ^b
筋肉・骨	-	-	-	16.9	18.0	18.0	16.2 ^a	17.3 ^b	18.0 ^b
内臓	13.9	14.9	14.6	14.4 ^a	15.2 ^b	15.5 ^b	14.2 ^a	15.6 ^b	15.3 ^b
血液	14.4	15.0	15.4	14.8 ^a	17.7 ^{ab}	18.4 ^b	14.2 ^a	15.7 ^{ab}	17.6 ^b
全屠体蛋白質に対する比率	<%>								
全体	100	100	100	100	100	100	100	100	100
枝肉	77.5 ^a	80.5 ^{ab}	82.4 ^b	77.5 ^a	80.9 ^a	82.3 ^b	77.9 ^a	78.2 ^a	81.7 ^b
皮下組織	-	-	-	15.9	15.5	15.2	16.7	15.7	15.7
筋肉・骨	-	-	-	61.6 ^a	65.4 ^b	67.1 ^b	61.2 ^a	62.5 ^{ab}	66.0 ^b
内臓	18.2 ^b	14.7 ^a	13.7 ^a	16.5 ^b	12.6 ^a	12.4 ^a	17.2 ^b	16.7 ^b	13.3 ^a
血液	4.3	4.8	4.0	6.0	6.5	5.3	4.9	5.2	5.0

a,b,c 異なる文字間に5 %水準で有意差あり

表28 屠 体 中 の 脂 肪 の 分 布 状 況

(試験9~11)

	試 験 1			試 験 2			試 験 3		
	I S	5 °C	25°C	I S	5 °C	25°C	I S	5 °C	25°C
絶 対 重 量	-----<g>-----								
全 体	665 ^a	1591 ^b	2262 ^c	902 ^a	3248 ^b	3223 ^b	551 ^a	2009 ^c	1501 ^b
枝 肉	615 ^a	1488 ^b	2097 ^c	845 ^a	3123 ^b	3055 ^b	521 ^a	1898 ^c	1405 ^b
皮下組織	-	-	-	533 ^a	1773 ^b	1878 ^b	316 ^a	1044 ^b	762 ^b
筋肉・骨	-	-	-	321 ^a	1350 ^b	1177 ^b	196 ^a	854 ^c	644 ^b
内 臓	48 ^a	95 ^b	159 ^c	47 ^a	120 ^b	164 ^b	38 ^a	108 ^b	94 ^b
血 液	3 ^a	7 ^b	6 ^b	1 ^a	5 ^b	3 ^b	1 ^a	2 ^b	2 ^b
含 量	-----<原物中重量%>-----								
全 体	10.4	10.2	12.0	10.5	13.5	13.4	8.0 ^a	10.4 ^b	8.0 ^a
枝 肉	12.6	11.9	13.8	13.1	16.2	15.5	9.8 ^a	12.8 ^b	9.3 ^a
皮下組織	-	-	-	33.3	37.5	39.8	24.5 ^a	29.2 ^b	23.2 ^a
筋肉・骨	-	-	-	6.5 ^a	9.3 ^b	7.8 ^{ab}	5.0 ^a	7.6 ^b	5.5 ^a
内 臓	3.8 ^a	4.0 ^a	5.7 ^b	3.0	3.6	5.2	3.0	3.2	3.4
血 液	1.0	1.0	0.8	0.2	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2
全屠体脂肪に対する比率	-----<%>-----								
全 体	100	100	100	100	100	100	100	100	100
枝 肉	91.6	93.2	92.6	94.6	96.2	94.8	92.8 ^a	94.5 ^b	93.6 ^{ab}
皮下組織	-	-	-	59.3	54.3	58.3	56.1	51.4	49.9
筋肉・骨	-	-	-	35.3	41.9	36.6	36.7	43.1	43.7
内 臓	8.0	6.3	7.2	5.3	3.6	5.1	7.1 ^a	5.4 ^b	6.3 ^{ab}
血 液	0.4	0.5	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

a,b,c 異なる文字間に5 %水準で有意差あり

表29 屠 体 中 の 灰 分 の 分 布 状 況

(試験9~11)

試 験 1				試 験 2				試 験 3			
I	S	5℃	25℃	I	S	5℃	25℃	I	S	5℃	25℃
絶 対 重 量				<g>							
全 体	242 ^a	515 ^b	649 ^b	302 ^a	898 ^b	832 ^b		240 ^a	674 ^b	637 ^b	
枝 肉	208 ^a	442 ^b	558 ^b	259 ^a	762 ^b	708 ^b		213 ^a	563 ^b	544 ^b	
皮下組織	-	-	-	11 ^a	30 ^b	32 ^b		15 ^a	39 ^b	37 ^b	
筋肉・骨	-	-	-	249 ^a	732 ^b	676 ^b		198 ^a	524 ^b	507 ^b	
内 臓	31 ^a	66 ^b	83 ^c	36 ^a	119 ^b	111 ^b		23 ^a	102 ^b	83 ^b	
血 液	3 ^a	8 ^b	8 ^b	6 ^a	17 ^b	13 ^b		4 ^a	10 ^b	10 ^b	
含 量				<原物中重量%>							
全 体	3.9 ^b	3.4 ^a	3.4 ^a	3.6	3.8	3.5		3.6	3.6	3.4	
枝 肉	4.4 ^b	3.7 ^a	3.6 ^a	4.0 ^{ab}	4.0 ^b	3.6 ^a		4.2 ^b	3.9 ^a	3.6 ^a	
皮下組織	-	-	-	0.7	0.6	0.7		1.2	1.1	1.2	
筋肉・骨	-	-	-	5.1 ^{ab}	5.1 ^b	4.5 ^a		5.1 ^b	4.7 ^a	4.3 ^a	
内 臓	2.5 ^a	2.8 ^{ab}	3.0 ^b	2.4 ^a	3.6 ^{ab}	3.5 ^b		1.9 ^a	3.1 ^b	3.0 ^b	
血 液	1.0	1.0	1.0	1.1	1.2	1.1		1.1	1.0	1.1	
全屠体灰分に対する比率				<%>							
全 体	100	100	100	100	100	100		100	100	100	
枝 肉	86.2	85.7	85.4	86.0	84.9	85.1		88.7 ^b	83.4 ^a	85.4 ^{ab}	
皮下組織	-	-	-	3.6	3.3	3.8		6.1	5.7	5.8	
筋肉・骨	-	-	-	82.4	81.6	81.3		82.6 ^b	77.7 ^a	79.6 ^{ab}	
内 臓	12.7	12.9	13.3	12.0	13.2	13.4		9.6 ^b	15.1 ^a	13.0 ^a	
血 液	1.1	1.4	1.3	2.0	1.9	1.5		1.6	1.5	1.6	

A,B,c 異なる文字間に5 %水準で有意差あり

表30 屠 体 中 の 水 分 の 分 布 状 況

(試験9~11)

	試 験 1			試 験 2			試 験 3		
	I S	5 °C	25°C	I S	5 °C	25°C	I S	5 °C	25°C
絶 対 重 量	<g>								
全 体	4353 ^a	10748 ^b	12970 ^c	6022 ^a	15793 ^b	16034 ^b	4931 ^a	13134 ^b	13284 ^b
枝 肉	3133 ^a	8275 ^b	10200 ^c	4329 ^a	12030 ^b	12674 ^b	3612 ^a	9732 ^b	10350 ^b
皮下組織	-	-	-	832 ^a	2255 ^b	2189 ^b	741 ^a	1917 ^b	1896 ^b
筋肉・骨	-	-	-	3498 ^a	9774 ^b	10485 ^b	2870 ^a	7814 ^b	8455 ^b
内 臓	989 ^a	1837 ^b	2139 ^c	1233 ^a	2576 ^c	2429 ^b	1023 ^a	2567 ^c	2189 ^b
血 液	231 ^a	635 ^b	630 ^b	460 ^a	1185 ^c	932 ^b	296 ^a	835 ^b	745 ^b
含 量	<原物中重量%>								
全 体	70.4 ^b	70.4 ^b	68.6 ^a	70.3	66.1	66.5	73.1 ^c	69.7 ^a	71.4 ^b
枝 肉	67.2	68.0	66.3	66.8	63.0	64.1	70.4 ^b	66.9 ^a	69.5 ^b
皮下組織	-	-	-	52.6	48.6	46.6	60.3 ^b	55.7 ^a	59.7 ^b
筋肉・骨	-	-	-	71.5 ^b	67.6 ^a	69.7 ^{ab}	73.7 ^b	70.4 ^a	72.2 ^b
内 臓	79.8 ^c	78.3 ^b	76.6 ^a	80.2 ^b	77.7 ^a	75.8 ^a	81.0 ^b	78.1 ^a	78.4 ^a
血 液	83.6	83.1	82.8	83.9 ^b	80.8 ^{ab}	80.2 ^a	84.6 ^b	83.1 ^{ab}	81.1 ^a
全屠体水分に対する比率	<%>								
全 体	100	100	100	100	100	100	100	100	100
枝 肉	71.9 ^a	76.5 ^b	78.3 ^b	72.0 ^a	76.2 ^b	79.1 ^c	73.3 ^a	74.0 ^a	78.0 ^b
皮下組織	-	-	-	13.8	14.3	13.7	15.0 ^b	14.6 ^{ab}	14.2 ^a
筋肉・骨	-	-	-	58.2 ^a	61.9 ^b	65.4 ^c	58.3 ^a	59.4 ^{ab}	63.7 ^b
内 臓	22.8 ^b	17.6 ^a	16.7 ^a	20.4 ^c	16.3 ^b	15.1 ^a	20.6 ^b	19.6 ^b	16.5 ^a
血 液	5.3	6.0	5.0	7.6	7.5	5.8	6.1	6.4	5.6

a,b,c 異なる文字間に5 %水準で有意差あり

表31 屠体中のエネルギーの分布状況

(試験9~11)

	試験 1			試験 2			試験 3		
	I S	5 °C	25°C	I S	5 °C	25°C	I S	5 °C	25°C
絶 対 量	< MJ >								
全 体	47.6 ^a	118.5 ^b	158.4 ^c	66.1 ^a	223.5 ^b	222.6 ^b	46.1 ^a	156.0 ^b	136.6 ^b
枝 肉	40.3 ^a	102.8 ^b	138.7 ^c	56.5 ^a	197.4 ^b	196.7 ^b	39.1 ^a	133.2 ^b	117.2 ^b
皮下組織	-	-	-	25.5 ^a	83.7 ^b	87.3 ^b	16.6 ^a	53.0 ^b	42.0 ^b
筋肉・骨	-	-	-	31.0 ^a	113.7 ^b	109.4 ^b	22.5 ^a	80.2 ^b	75.2 ^b
内 臓	6.3 ^a	12.8 ^b	16.8 ^c	7.6 ^a	19.6 ^b	20.5 ^b	5.8 ^a	18.8 ^c	15.4 ^b
血 液	1.0 ^a	2.9 ^b	3.0 ^b	2.0 ^a	6.5 ^b	5.4 ^b	1.2 ^a	3.9 ^b	4.0 ^b
含 量	< kJ / 原物 1g >								
全 体	7.5	7.7	8.4	7.7 ^a	9.3 ^b	9.2 ^{ab}	6.8 ^a	8.2 ^b	7.3 ^a
枝 肉	8.3	8.3	9.0	8.7	10.3	10.0	7.5 ^a	9.0 ^b	7.8 ^a
皮下組織	-	-	-	16.0	17.7	18.5	13.0 ^a	14.9 ^b	12.9 ^a
筋肉・骨	-	-	-	6.3 ^a	7.8 ^b	7.3 ^b	5.8 ^a	7.2 ^c	6.4 ^b
内 臓	5.0 ^a	5.4 ^b	6.0 ^c	4.9 ^a	5.9 ^b	6.4 ^b	4.6 ^a	5.7 ^b	5.5 ^b
血 液	3.7	3.8	3.9	3.7 ^a	4.5 ^{ab}	4.6 ^b	3.5 ^a	3.9 ^b	4.3 ^c
全屠体エネルギーに対する比率	< % >								
全 体	100	100	100	100	100	100	100	100	100
枝 肉	84.0 ^a	86.2 ^{ab}	87.3 ^b	85.4	88.2	88.4	84.7	85.2	85.7
皮下組織	-	-	-	38.4	37.1	39.2	35.1	33.4	30.3
筋肉・骨	-	-	-	47.1	51.1	49.2	49.6 ^a	51.7 ^{ab}	55.5 ^b
内 臓	13.7 ^b	11.3 ^{ab}	10.8 ^a	11.5 ^b	8.9 ^{ab}	9.2 ^a	12.6 ^b	12.2 ^{ab}	11.4 ^a
血 液	2.3	2.5	1.9	3.1	3.0	2.4	2.7	2.6	2.9

a, b, c 異なる文字間に5 %水準で有意差あり

表32 内臓および被毛重量 (g/kg^{0.75}) (試験9~11)

		試験 9			試験 10			試験 11		
		IS	5℃	25℃	IS	5℃	25℃	IS	5℃	25℃
内臓	胃	13.0	15.6	14.0	12.9 ^a	17.2 ^b	13.7 ^a	13.2 ^a	16.1 ^b	14.3 ^{ab}
	肝臓	47.8 ^a	59.6 ^b	59.1 ^b	55.3	57.2	59.6	49.8 ^a	71.6 ^c	58.7 ^b
	心臓	10.5 ^a	12.9 ^b	12.6 ^b	9.9 ^a	11.4 ^b	9.4 ^a	8.3 ^a	12.3 ^c	11.0 ^b
	肺	18.8	20.4	22.6	20.8	25.1	26.7	26.0	23.5	22.7
	腎臓	10.4	12.1	12.4	10.8 ^a	13.8 ^b	10.4 ^a	9.3 ^a	15.6 ^b	10.4 ^a
	脾臓	3.8 ^a	5.0 ^b	4.8 ^{ab}	4.4	5.5	4.5	3.5 ^a	4.6 ^b	4.7 ^b
被毛		-	3.9	2.5	4.5 ^b	4.7 ^b	3.0 ^a	4.2 ^b	4.1 ^b	3.0 ^a

a,b,c 異なる文字間に5%水準で有意差あり

第V章 総合論議および結論

本研究は、離乳子豚の成長に及ぼす寒冷の影響をエネルギー代謝と体成分蓄積の面から明らかにするとともに、群飼条件下における離乳子豚の寒冷に対する適応的行動を検討し、群飼離乳子豚の適応的行動も考慮した低温限界を提示することを目的とした。

1. エネルギー蓄積と増体に及ぼす寒冷の影響

増体速度や飼料効率など離乳子豚の成長に与える寒冷の影響は、基本的には豚と外周とのエネルギー収支の関係で捉えることができる。その関係を量的に表す上では、熱的中性圏の下限すなわち下臨界温度の概念が必要となる。

単飼子豚の体重2～20 kgの下臨界温度について、30～21℃の範囲が推定されている^{2, 44)}。臨界温度は日齢、飼料摂取量、群・単飼の違い、風などの要因によって変化するので臨界温度を固定した値で表すことは好ましくないが、本研究では寒冷の影響を解析するために単飼条件における28日齢離乳子豚の離乳後4～6週間の下臨界温度を平均25℃とみなし、単飼離乳子豚のエネルギー蓄積と増体に及ぼす寒冷の影響をIV章で検討した。

下臨界温度以下の温域では化学的調節による体温維持機能が働くため、熱産生量が増大し、エネルギー蓄積量が減少する。単飼条件の離乳子豚について、寒冷による熱産生量の増加は環境温度1℃の低下につき1日当たり56 kJであり、そのことによって蛋白質および脂肪としてのエネルギー蓄積量が1日当たりそれぞれ26 kJおよび30 kJ低下すると推定され、寒冷下でのエネルギー蓄積量の減少は脂肪蓄積の減少による部分が多いことが示された。

一方、寒冷による日増体量の減少は環境温度1℃の低下につき7 gであり、そのうち蛋白質蓄積に関連する部分は6.2 g、脂肪蓄積に関連する部分は0.8 gと推定され、寒冷下での増体量の減少はエネルギー蓄積とは逆に蛋白質蓄積の減少に関連した部分が多い。

このような寒冷によるエネルギー蓄積や日増体量の低下を、飼料の増給によって補うことが可能である。寒冷による日増体量の低下を補うための飼料の増給は、単にエネルギー蓄積を等しくする量では不足であり、環境温度1℃の低下につき日量13g (ME195 kJに相当)が必要と計算された。

また、下臨界温度より下の温域では、飼料摂取や代謝に伴う熱増加の部分が体温維持に使われるので理論的にはエネルギーの利用効率(k)が高まると考えられている。既にいくつかの研究^{15, 78, 98)}ではそのような効果が認められており、 k の変化が k_p の向上によることを示唆している^{15, 78)}。

しかし、本研究におけるエネルギーの利用効率は、 k_p が25℃の0.63から5℃の0.45に低下するのに対し、 k_f は25℃の0.68から5℃の0.91に高まり、その結果として5℃と25℃の k に差がないことを示している。5℃での k_p の低下は、上記の研究に比べて厳しい寒冷条件下で体温維持に必要となる余剰の熱産生に体蛋白質が使われている可能性を示唆する。そのことは、5℃で尿中への窒素排泄量が増加していること(表17)、さらに尿中窒素排泄量の増加が熱産生量の増加に伴った変化であること(図18)からも推察される。一方、5℃での k_f の増加は(23)式で k_p が低下することに伴って脂肪蓄積に関係するMEの配分が相対的に小さくなったためと考えられ、生物学的には熱増加が体温調節に利用されることによる効率の向上分を脂肪蓄積の効率の方へ見積もったためと解釈される。従って、5℃の寒冷下では k_f には実質的な変化はなく、 k_p が低下するため体温維持に熱増加の部分が使われることによる k の向上効果が相殺されたのであろう。このことは、寒冷の厳しい条件下ではエネルギーの利用効率を引き下げる要因も派生することを示唆する。

2. 体組成に及ぼす寒冷の影響

寒冷下で豚の体組成が変化することが認められている。しかし、その変化は報告によって異なり、①寒冷下で脂肪の比率が低下したケース^{10, 16, 20, 23, 32, 53)}、②変化がなかったケース^{24, 99)} および③寒冷下で脂肪が増加したケース³⁴⁾に分類され、IV章の試験9、

10および11でもその各ケースが認められた。

寒冷下では日増体量が低下するため、体重・日齢・飼料摂取量の3要因を同時に等しくさせて体組成に与える寒冷の影響を検討することはできず、そのことが寒冷下での体組成について異なった結果を導く原因と考えられる。

寒冷下で脂肪比率が低下した①のケースでは、飼料摂取量と日齢の条件は同じであるが体重は寒冷区で小さくなっており、脂肪比率の低下が体重の違いに起因している可能性がある。豚体の成分量と体重の関係を示した(48)～(52)式の決定係数および図19～23は、豚体の成分量は大部分が体重によって規定され、体重が小さくなるほど脂肪比率が低下することを表している。

寒冷下で脂肪比率が増加した③のケースでは、体重と日齢の条件は同じであるが飼料摂取量は寒冷区で高くなっており、脂肪比率の増加が飼料摂取量の違いに起因している可能性がある。寒冷下での日増量の低下を飼料の増給で補うこのケースでは、日増体量の寒冷による低下と飼料の増給による増加では内容が異なるため、図18に示す関係により脂肪蓄積量が温度差1℃当たり日量0.6g増加すると推定される。

一方、寒冷下で体組成の変化が認められなかった②のケースでは、日齢の条件は異なるが、体重・飼料摂取量の条件は等しく設定されている。さらに、豚体の成分量を規定する要因として体重、飼料摂取量、環境温度および日齢を取り上げた重回帰分析の結果(表25)は、豚体の脂肪量の分散はほとんど体重と飼料摂取量によって説明され、環境温度と日齢による影響は小さいことを示している。

以上のことから、寒冷下での体組成の変化は直接的には体重と飼料摂取量の違いに起因しており、寒冷は間接的な要因にすぎないことが指摘される。

3. 寒冷に対する適応能力

野生動物や大型家畜では冬に皮下に分布する脂肪が多くなり²²⁾、毛皮の断熱性も高まること^{6, 35)}が知られており、それらは寒冷に対する最も効果的な生体の適応である。豚についても体内の脂肪分布が環境温度によって変化する可能性が指摘されている³⁹⁾が、

離乳子豚の体成分の体内分布を検討したIV章では脂肪の体内分布に環境温度による変化はみられなかった。一方、寒冷下で脂肪分布に変化を認めた研究^{20, 23)}ではむしろ皮下組織中の比率の低下を報告している。但し、これらの研究では寒冷区の体重が対照区よりも小さいので、脂肪分布の変化を必ずしも寒冷のみの影響とみることはできない。本研究の結果も含め現在までのところ、離乳子豚に関して寒冷下で皮下への脂肪分布を増加させる断熱的適応は確認されていない。

子牛は寒冷下で被毛の単位面積当たり重量、長さおよび太さを増し^{35, 36)}、そのことは組織の断熱性だけでなく空気層の断熱性も高める効果を有する^{6, 7)}。しかし、牛に比べ被毛の長さ・密度が乏しい豚においては皮下脂肪が断熱の主体となり、被毛の役割は小さい。皮下脂肪が極めて少ない新生豚では被毛の有無が断熱性に影響するが、2週齢の子豚では被毛を剃りとっても断熱性に差がみられない⁷⁰⁾。IV章では、寒冷による離乳子豚の被毛の重量増加が認められたが、その断熱的效果は大きくないものと考えられる。

豚は寒冷に対して、体表面積を小さくする姿勢をとる、互いに体を寄せあう、採食量を増すなどの適応的行動を示す⁷³⁾。

特に群飼豚では、互いに体を寄せあう行動 (huddling) によって寒冷下での熱放散・熱産生量を単飼豚より少なくすることができる。寒冷下での群飼による熱産生量の減少について、新生豚⁶⁸⁾では28～37% (環境温度20℃)、肥育豚⁴²⁾では6～23% (環境温度9℃)、繁殖豚²⁹⁾では18～21% (環境温度14～8℃) の軽減効果が認められている。

離乳子豚について、II・III章において群飼条件では寒冷下でhuddlingをすることが認められ、4頭以上の群飼による熱産生量の軽減効果は15～17% (環境温度14℃) であることがIII章で明らかにされた。この離乳子豚での群飼による熱産生量の軽減効果は、試験8において15℃の環境下で赤外線ランプを用いた効果に匹敵する。

寒冷下での熱産生量と群飼頭数の関係について、新生豚では1頭から6頭まで群飼頭数の増加に伴う熱産生量の減少が報告⁶⁷⁾されているが、離乳子豚においては4頭以上では

頭数増による熱産生量の変化は認められなかった。

寒冷下での群飼による熱産生量の軽減は豚の *huddling* により放熱にかかわる有効体表面積が小さくなることに起因し、その軽減効果は群全体の総体表面積に占める豚体同士の接触面積の比率 A_R が大きいほど高まる。(2) 式および図6は、群飼頭数の増加に伴い A_R は増加するが頭数が多くなるに従って A_R の増加量は小さくなることを示し、離乳子豚の群飼において4頭以上では頭数増による熱産生量の変化がみられなかったことを説明するとともに、新生豚との相違が個体の体表面積に対する個体間の接触面積の比率の差異にあることを示唆する。

また、群飼豚の *huddling* は豚体同士の接触面において外周空気への放射・対流による熱放散あるいは床への伝導による熱放散を抑制することで熱産生量を軽減するが、休息時の熱産生量を軽減する効果は後者の方が高いことが熱的模型を用いた試験8の結果から推察された。従って、*huddling* において他の豚の上に重なって休息する個体が多いほど床への熱放散を抑制する効果が高くなり、熱産生量の軽減効果は高まるものと考えられる。

このような適応的行動による熱産生量の減少は群飼子豚の下臨界温度を引き下げることにつながる。群飼子豚の下臨界温度について、MacCracken⁵⁷⁾は28日齢離乳子豚に対して31日齢で25℃、37日齢で22℃、43日齢で19℃と推定している。その推定値は、Ⅱ章における群飼離乳子豚の週齢別の環境温度に対する行動反応を極めて良く説明する。

群飼離乳子豚の15℃における日増体量は450g、飼料摂取量は670g/日であった(試験3)が、飼料摂取量が同じである単飼離乳子豚の15℃における日増体量は(4')・(5')式より391gと計算される。そのことは、日増体量に対する群飼の効果は15%であることを示し、群飼による熱産生量の軽減効果と一致する。

さらに、寒冷に対する豚の適応的行動として採食量の増加が挙げられる。Ⅱ章では、不断給餌条件の群飼離乳子豚は、10～15℃の範囲で環境温度1℃の低下に対し12g/

日の飼料摂取量を増加させ、日増体量の低下を補うことが認められた。その増加量は、単飼離乳子豚で(4')・(5')式から求めた日増体量の低下を補うために必要な飼料の増給量13 g/日/℃とほぼ一致する。但し、採食量の増加で寒冷による増体量の低下が補われた場合に、前述のように体組成が変化することを考慮する必要があるだろう。

4. 群飼離乳子豚の成長と低温限界

これまでにいくつかの家畜の生産環境限界^{66, 84, 97)}の提示がなされているが、子豚について触れているのはSainsbury⁸⁴⁾のものだけで、離乳子豚に対し21~24℃の温度を要求している。さらに、現在のところ、豚に対する実用的な温度管理の公的な推奨値はMWPSの公表値⁶⁰⁾しかなく、子豚について体重5~14 kgで29℃、14~34 kgで24℃としている。この推奨値は、単飼離乳子豚の下臨界温度よりもむしろ高く設定されている。

通常の離乳子豚の飼養管理では群飼条件が前提となるので、離乳子豚に対する低温限界の設定においては、少なくとも群飼条件での適応能力を考慮しなければならない。しかし、離乳子豚の成長と環境温度の関係について群飼条件での調べた研究は極めて少なく、ほとんどが単飼条件で検討されており、単飼条件では20℃より低い温域では日増体量と飼料効率が低下することが報告²³⁾されている。

II章において、群飼条件の離乳子豚はhuddlingをすることにより、環境温度の低下に対し15℃まで日増体量と飼料効率を損なうことなく良好な成長を示すことを明らかにした。群飼離乳子豚の15℃以上の温域における日増体量と飼料摂取量の回帰式(1)と単飼離乳子豚の25℃における同様の回帰式(5)の回帰係数および定数に有意な差が認められないことから、群飼条件での15℃以上の環境は単飼条件の25℃の環境に相当すると判断され、群飼条件では熱的中性圏が15℃まで低減すると考えられる。

そのような環境における離乳子豚の日増体量(DG, g/日)と飼料摂取量(DFI, g/日)の関係は、(1)・(5)式の共通の回帰係数と定数を用いて群・単飼に関係なく次のように示される。

$$DG = 0.53 DFI + 88 \quad (53)$$

群飼離乳子豚は15℃より下の温域では採食量を増す適応的行動を示し、飼料効率は低下するものの10℃まで日増体量を15℃以上の温域と同等に維持できることが認められた。しかし、5℃では群飼離乳子豚のhuddlingおよび体重当たりの飼料摂取量増加がみられたにもかかわらず、日増体量・飼料効率ともに低下した。

群飼離乳子豚の15℃より下の環境温度 t ℃における日増体量(DG_t , g/日)は、環境温度1℃の低下に伴う日増体量の減少が(4')・(5')式より6.9gと推定されることから(53)式より以下のように表される。

$$DG_t = 0.53 DFI + 6.9t - 15.5 \quad (54)$$

また、15℃より下の環境温度 t ℃において群飼離乳子豚が15℃以上の温域と同等の日増体量を維持するのに必要な飼料摂取量 DFI_t は、15℃以上の温域における飼料摂取量を DFI_{15} とすると以下の式で示される。

$$DFI_t = DFI_{15} - 13.0t + 195.3 \quad (55)$$

不断給餌条件の群飼離乳子豚の飼料摂取量は15℃以上の温域では平均670g/日、10℃では730g/日、5℃では630g/日であったが、(55)式より15℃以上の温域と同等の日増体量を維持するのに必要な飼料摂取量は10℃で735g/日、5℃で800g/日と計算され、群飼離乳子豚が15℃以上の温域と同等の日増体量を10℃では維持でき、5℃では維持できなかったことを裏付ける。

一方、体重5～20kgの離乳子豚に対する期待日増体量について、1975年版日本飼養標準⁷⁹⁾は平均330g、1979年版NRC飼養標準⁷⁵⁾はそれより高い平均400gに設定している。さらに、離乳子豚の飼料効率について、20～28℃の温域で平均0.67(0.59～0.72)の値が報告^{51, 53)}されている。

これらのことから、不断給餌条件の群飼離乳子豚の適応的行動を考慮した低温限界は次のように設定される。すなわち、日増体量と飼料効率を損なわない低温限界は15℃であり、そこでの飼料摂取量は670g/日、日増体量は443g(実測値450g)、飼料

効率は0.66（実測値0.67）と推定される。また、日増体量を損なわない低温限界は10℃であり、そこでの飼料摂取量は730 g/日、日増体量は440 g（実測値430 g）、飼料効率は0.60（実測値0.59）と推定される。

これらの低温限界は、MWPSの推奨値よりも10℃以上低い、NRC飼養標準の期待日増体量および20℃以上の温域での飼料効率を満たすものである。

さらに、15℃より下の温域で群飼離乳子豚が採食量を増やす適応的行動により日増体量の低下を補った場合に体組成の変化が予測されるが、15℃以下の環境温度 t ℃における群飼離乳子豚の飼料摂取量（DFI, g/日）を考慮した蛋白質、脂肪、灰分および水分蓄積量（ P_t , F_t , Ash_t および $Moist_t$; g/日）は、(26') ~ (33') 式より以下のように示される。

$$P_t = 0.077 DFI + 1.16 t + 5.9 \quad (56)$$

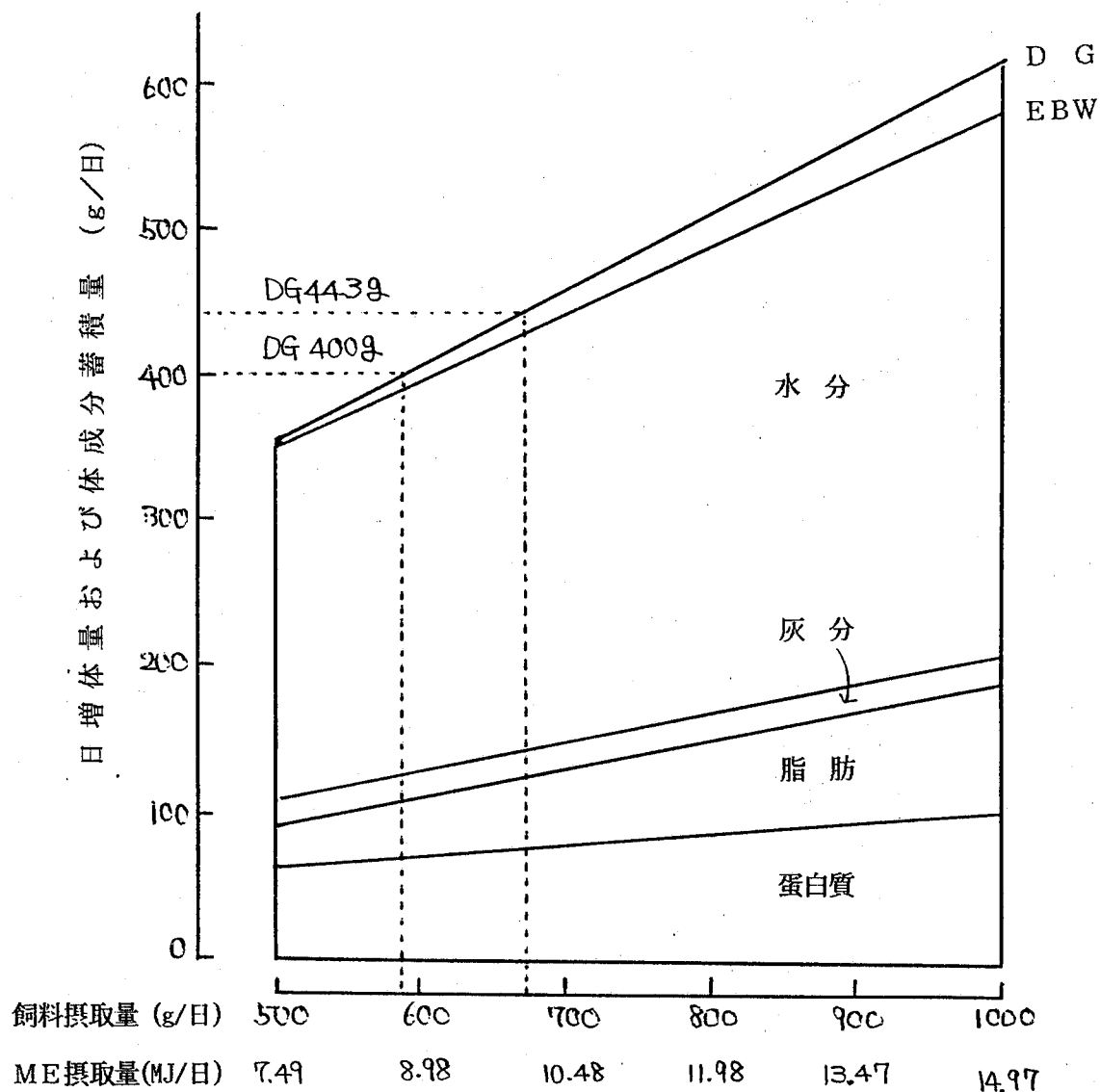
$$F_t = 0.116 DFI + 0.89 t - 40.8 \quad (57)$$

$$Ash_t = 0.018 DFI + 0.18 t - 0.7 \quad (58)$$

$$Moist_t = 0.262 DFI + 4.04 t + 54.0 \quad (59)$$

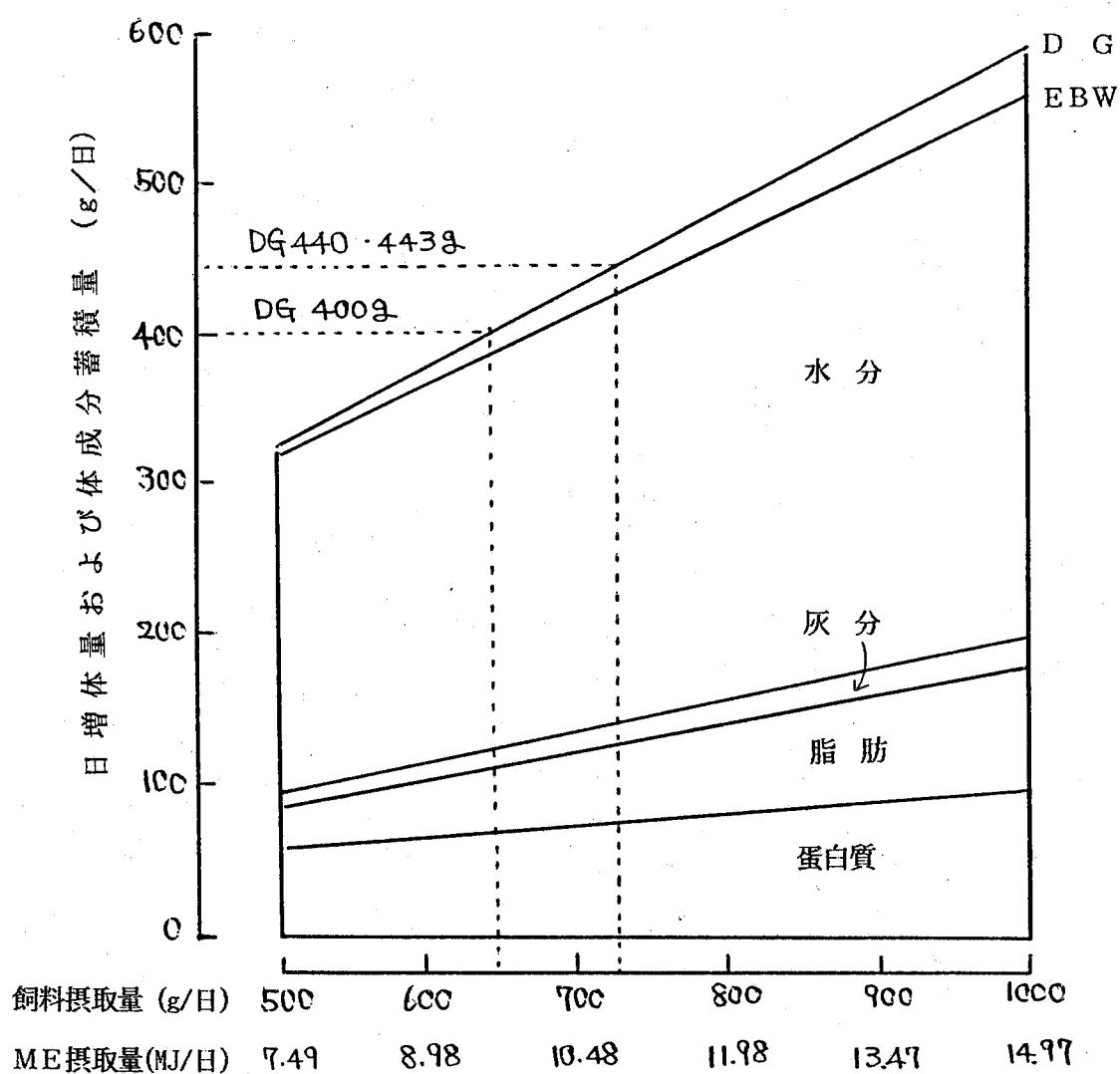
これらの関係を用いて、群飼離乳子豚の飼料摂取量と日増体量および体成分蓄積量の関係を環境温度別に示すと図24~26のとおりである。採食量を増やす適応的行動によって日増体量の低下を防止できる低温限界10℃における群飼離乳子豚の体組成は、(55)と(56)~(59)式から1日当たり3 gの脂肪蓄積量の増加と水分蓄積量の低下が起こることが推定され、脂肪の比率が高くなるものと考えられる。

以上のように、離乳子豚の成長に及ぼす寒冷の影響を飼料のエネルギー利用、増体および体成分蓄積の面から明らかにするとともに、寒冷に対する離乳子豚の適応能力を検討し、不断給餌条件での群飼離乳子豚の適応能力も考慮した低温限界を提示した本研究の成果は、離乳子豚の環境管理を考える際に重要な情報を提供するものである。



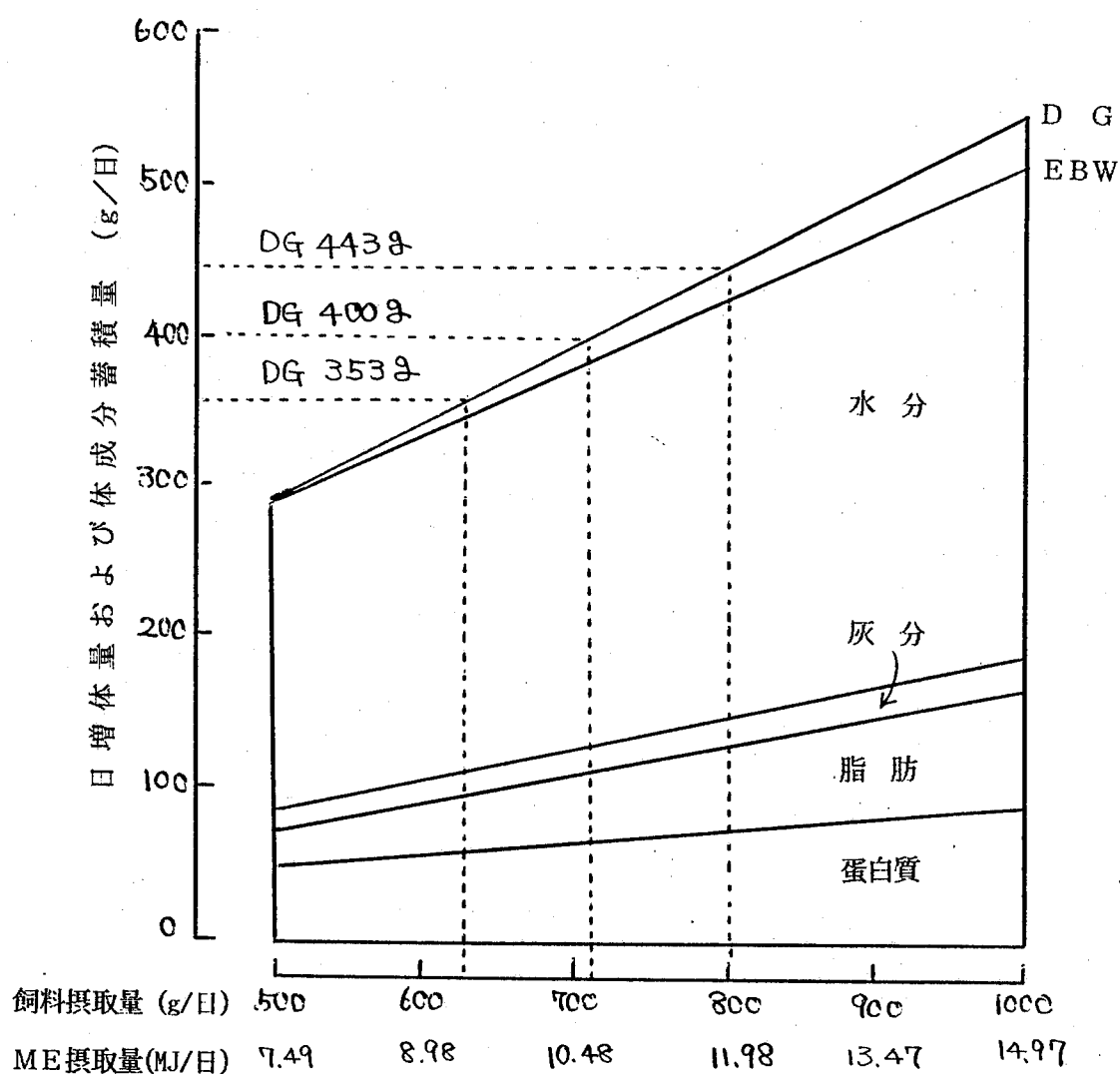
DFI (g/日)	DME (MJ/日)	D G (g/日)	体成分蓄積量 (g/日)				備 考
			P	F	Ash	Moi	
670 *	10.0	443	74.9	50.2	14.1	290.1	* 試験1~4の採食レベル
589	8.8	400**	68.7	40.8	12.6	268.9	**NRCの期待増体量

図2-4 群飼離乳子豚の15℃以上における飼料摂取量と増体量および体成分蓄積量



DFI (g/日)	DME (MJ/日)	D G (g/日)	体成分蓄積量 (g/日)				備 考
			P	F	Ash	Moi	
730 *	10.9	440	73.5	52.7	14.2	285.7	* 試験 2の採食レベル
735	11.0	443**	74.1	53.3	14.2	287.0	**15℃以上での増体量
654	9.8	400***	67.9	43.9	12.9	265.7	***NRCの期待増体量

図25 群飼離乳子豚の10℃における飼料摂取量と増体量および体成分蓄積量の関係



DFI (g/日)	DME (MJ/日)	D G (g/日)	体成分蓄積量 (g/日)				備 考
			P	F	Ash	Moi	
630 *	9.4	353	60.2	36.6	11.5	239.3	* 試験 1の採食レベル
800	12.0	443**	73.3	56.4	14.6	283.8	**15℃以上での増体量
719	10.8	400***	67.1	56.4	13.1	262.6	***NRCの期待増体量

図26 群飼離乳子豚の5℃における飼料摂取量と増体量および体成分蓄積量の関係

要 約

本研究は、群飼離乳子豚の環境温度別の行動と成長を調べ、群飼離乳子豚の寒冷に対する適応的行動が熱収支に与える効果を検討するとともに、離乳子豚の成長に及ぼす寒冷の影響を飼料のエネルギー利用、増体および体成分蓄積の面から究明し、群飼離乳子豚の適応的行動を考慮した低温限界を提示することを目的とした。得られた結果は以下のように要約される。

1. 群飼離乳子豚の環境温度に対する行動の反応は週齢によって変化し、寒冷に対する適応的行動である互いに体を寄せあう休息行動 (huddling) は、離乳直後の5週齢では5～25℃の全温域で観察されたが、6週齢以降では15℃以下の温域だけでみられた。

2. 群飼離乳子豚の5～25℃の温域における成長の反応は次のようであった。15℃以上の温域では飼料摂取量、日増体量および飼料効率に差は認められず、良好な成績を示した。10℃では、日増体量は15℃以上の温域と同水準にあったが、飼料摂取量の増加により飼料効率が低下した。5℃では日増体量・飼料効率ともに低下した。

3. 群飼離乳子豚の寒冷環境における huddling は、休息時の群床占有面積を床暖房時に比べ32～34%減少させる群の集密度を有した。

4. 群飼離乳子豚は、寒冷下で huddling をすることにより、休息時の熱産生量を減少させた。寒冷下での離乳子豚の熱産生量は1頭から4頭まで群飼頭数の増加に応じて低下したが、それ以上では頭数増による変化はなく、4頭以上の群飼による熱産生量の軽減効果は15～17%であった。

5. 互いに重なりあう休息形態をとる huddling では外周空気への放射・対流による熱放散と床面への伝導による熱放散とが抑制されることになるが、子豚の熱的モデルからの放熱量の検討結果より、休息時の豚の頭熱放散を軽減する効果は後者で高いことが推察された。

6. 離乳子豚の飼料の利用性に及ぼす寒冷の影響について、飼料成分の消化率に変化はなかったが、エネルギーの代謝率および窒素の蓄積率は寒冷によって低下した。

7. 寒冷により離乳子豚の熱産生量は環境温度1℃の低下につき1日当たり56 kJ増加し、そのことによる蛋白質および脂肪としてのエネルギー蓄積量の低下は1日当たり26 kJおよび30 kJであり、寒冷下によるエネルギー蓄積量の減少は脂肪蓄積の減少による部分が大きいものと推察された。

8. 離乳子豚のエネルギーの利用効率に及ぼす寒冷の影響について、蛋白質蓄積に対するMEの利用効率 (k_p) は25℃の0.63から5℃での0.45に低下し、脂肪蓄積に対するMEの利用効率 (k_f) は25℃の0.68から5℃での0.91に高まり、その結果として増体に対するMEの利用効率 (k) には5℃と25℃では差が認められず平均0.54と推定された。

9. 寒冷による離乳子豚の日増体量の減少量は環境温度1℃の低下につき7 gであり、そのうち蛋白質蓄積に関連する部分は6.2 g、脂肪蓄積に関連する部分は0.8 gと推定され、寒冷下による増体量の低下は蛋白質蓄積の減少に関連した部分が大きいと判断された。

10. 離乳子豚の体成分蓄積に及ぼす寒冷の影響について、蛋白質、脂肪、灰分および水分の蓄積量は環境温度1℃の低下につきそれぞれ1日当たり1.2 g, 0.9 g, 0.2 gおよび4.0 g減少すると計算された。

11. 飼料摂取量の増加に伴う離乳子豚の体成分蓄積量の増加は環境温度の影響を受けず、蛋白質、脂肪、灰分および水分の蓄積量は1日当たり100 gの飼料摂取量の増加によりそれぞれ7.7 g, 11.6 g, 1.8 gおよび4.0 g増加すると計算された。

12. 寒冷による離乳子豚の増体量の低下を補うために必要な飼料の増給量は、単にエネルギー蓄積を等しくさせる量では不足し、環境温度1℃の低下につき日量13 g (ME 195 kJ相当) が必要であった。

13. 離乳子豚の増体量について、環境温度に起因する変化と飼料摂取量に起因する

変化とではその内容が異なるため、寒冷下における増体量の低下を飼料摂取量の増加によって補うと脂肪蓄積量の増加が起こることが判明し、その場合の脂肪蓄積量の増加は温度差1℃当たり日量0.6gと推定された。

14. 寒冷下における離乳子豚の体組成について、脂肪比率が低下するケース、脂肪比率が増加するケースおよび体組成に変化がないケースの3つを認めたが、それらの変化は直接的には体重と飼料摂取量の違いに起因し、寒冷は間接的な要因であることが明らかとなった。

15. 離乳子豚の被毛重量が寒冷下で増加する現象が認められたが、体成分の体内分布および臓器重量には寒冷に起因する変化はみられなかった。

16. 群飼離乳子豚の環境温度別の行動と成長を調べ、寒冷環境における群飼離乳子豚の適応的行動の熱収支上の有利性を明らかにし、さらに離乳子豚の成長に及ぼす寒冷の影響を飼料のエネルギー利用、増体、体成分蓄積などの面から究明した結果、不断給餌条件の群飼離乳子豚に対する日増体量と飼料効率を損なわない低温限界は15℃と設定された。また、日増体量だけを問題とし、飼料効率の低下および体組成の変化を許容するならば低温限界は10℃まで低下する。

謝

辞

本研究をとりまとめるに当たり、終始懇切なるご指導を賜り、かつご校閲の労をおとりいただいた北海道大学教授朝日田康司博士に衷心から感謝の意を表する。また、北海道大学教授上山英一博士ならびに同助教授大久正彦博士には、ご校閲の労をおとりいただき、有益なるご助言を賜り、さらに北海道立滝川畜産試験場前場長奥村純一博士には、本研究のとりまとめの機会とご激励をいただいた。ここに深甚なる謝意を表する。

本研究は、昭和58年から北海道立滝川畜産試験場および広島大学において実施したものであり、この間、北海道立滝川畜産試験場元場長渡辺寛氏、同場長阿部登氏、同研究部長和泉康史氏、広島大学教授山本禎紀博士、同助教授伊藤敏男博士ならびに同助手藤田正範博士からは多大なるご指導とご便宜をいただいた。

本研究の実施にあたっては、北海道立滝川畜産試験場元飼養科長所和暢博士（現管理科長）、同藤田保氏、同蒔田秀夫氏（現養豚科長）ならびに同岡本全弘博士（現畜産資源開発科長）のご助言とご協力を得、また飼養科ならびに養豚科の諸氏には絶大なるご協力をいただいた。

ここに、以上の各位に哀心より感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- 1) Adams, K. L., T. H. Baker and A. H. Jengen. 1980.
Effect of supplemental heat for nursing piglets.
J. Anim. Sci., 50:779-782.
- 2) Agricultural Research Concil. 1981.
The nutrient requirements of pigs. 1-65.
Commonwealth Agricultural Bureaux, London.
- 3) 安保佳一. 1974.
最近10年間における畜産学の進歩. 家畜・家禽の生理に関する研究の動向.
日畜会報, 45:39-47.
- 4) 朝日田康司. 1979.
豚の環境生理. 「農業技術大系. 畜産編. 4. 豚」. 基125-139.
農山漁村文化協会. 東京.
- 5) Berschauer, F., G. Faus and K. H. Menke. 1980.
Effect of body weight on efficiency of utilization of energy and protein in pigs.
in Energy metabolism (Mount, L. E., ed.), 101-105. Butterworths, London.
- 6) Bianca, W. 1968.
Thermoregulation. *in* Adaptation of domestic animals (Hafez, E. S. E., ed), 97-118.
Lea & Febiger, Philadelphia.
- 7) Blaxter, K. L. 1977.
Environmental factors and their influence on the nutrition of farm livestock.
in Nutrition and the climatic environment (Haresign, W., H. Swan and D. Lewis eds.), 1-16. Butterworths, London.
- 8) Boon, C. R. 1981.
The effect of departures from lower critical temperature on the group postural behaviour of pigs.
Anim. Prod., 33:71-79.

- 9) Brouwer, E. 1965.
Report of sub-committee on constants and factors. *in* Energy metabolism (Blaxter, K. L., ed.), 441-443. Academic Press, London.
- 10) Brown, D. E., R. R. Hacker and G. J. King. 1976.
Growth and ACTH responses to cold stress of young pigs fed ad libitum.
Can. J. Anim. Sci., 56:365-371.
- 11) Christopherson, R. J. 1976.
Effects of prolonged cold and the outdoor winter environment on apparent digestibility in sheep and cattle.
Can. J. Anim. Sci., 56:201-212.
- 12) Christopherson, R. J. and P. M. Kennedy. 1983.
Effects of the thermal environment on digestion in ruminants.
Can. J. Anim. Sci., 63:477-496.
- 13) Close, W. H. 1971.
The influence of environmental temperature and plane of nutrition on heat losses from individual pigs.
Anim. Prod., 13:295-302.
- 14) Close, W. H. and L. E. Mount. 1976.
Gains in protein and fat in the growing pig in relation to environmental temperature. *in* Energy metabolism of farm animals (6th Symp. 1976) (Vermorel, M., ed.), 173-176. Eur. Ass. Anim. Prod. 19, Clermont-Ferrand.
- 15) Close, W. H. and M. W. Stanier. 1980.
The energy requirements for growth in the early-weaned pigs. *in* Energy metabolism (Mount, L. E., ed.), 399-402.
Butterworths, London.

- 16) Close, W. H. and M. W. Stanier. 1984.
Effects of plane of nutrition and environmental temperature on the growth and development of the early-weaned piglet.
1. Growth and body composition.
Anim. Prod., 38:211-220.
- 17) Close, W. H. and M. W. Stanier. 1984.
Effects of plane of nutrition and environmental temperature on the growth and development of the early-weaned piglet.
2. Energy metabolism.
Anim. Prod., 38:221-231.
- 18) Close, W. H., M. W. A. Verstegen and L. E. Mount. 1973.
The energy costs of maintenance and production in the growing pig.
Proc. Nutr. Soc., 32:72A.
- 19) Cuthbertson, A. and R. W. Pomeroy. 1962.
Quantitative anatomical studies of the composition of the pig at 50, 68 and 92kg carcass weight. II. Gross composition and skeletal composition.
J. Agric. Sci., 59:215-223.
- 20) Dauncey, M. J. and D. L. Ingram. 1983.
Evaluation of the effects of environmental temperature and nutrition on body composition.
J. Agric. Sci., 101:351-358.
- 21) De Goey, L. W. and R. C. Ewan. 1975.
Effect of level of intake and diet dilution on energy metabolism in the young pig.
J. Anim. Sci., 40:1045-1051.
- 22) Folk, C. E. Jr. 1974.
Textbook of environmental physiology. 136-

220. Lea & Febiger, Philadelphia.
- 23) Fuller, M. F. 1965.
The effects of environmental temperature on the nitrogen metabolism and growth of the young pig.
Br. J. Nutr., 19:531-546.
- 24) Fuller, M. F. and A. W. Boyne. 1971.
The effects of environmental temperature on the growth and metabolism of pigs given different amounts of food.
1. Nitrogen metabolism, growth and body composition.
Br. J. Nutr., 25:259-272.
- 25) Fuller, M. F. and A. W. Boyne. 1972.
The effects of environmental temperature on the growth and metabolism of pigs given different amounts of food.
2. Energy metabolism.
Br. J. Nutr., 28:373-384.
- 26) 古郡 浩. 1979.
豚の一生と生理的特性. 「農業技術大系. 畜産編. 4. 豚」. 基27-57.
農山漁村文化協会. 東京.
- 27) 古郡 浩. 1985.
豚における栄養生理研究 30年の進歩.
栄養生理研究研究会報, 29:47-66.
- 28) Gädeken, D., H. J. Oslage and H. Fliegel. 1974.
Der Energiebedarf für die Eiweiß und Fettsynthese bei wachsenden Schweinen.
in Energy metabolism of farm animals (6th Symp. 1973) (Menke, K. H., H. J. Lantzsh and J. R. Reichl eds.), 169-172.
Eur. Ass. Anim. Prod. 14, Stuttgart.
- 29) Geuyen, T. P. A., J. M. F. Verhagen and M. W. A. Verstegen. 1984.
Effect of housing and temperature on

- metabolic rate of pregnant sows.
Anim. Prod., 38:477-485.
- 30) Gonyou, H. W., R. J. Christopherson and B. A. Young. 1979.
Effects of cold temperature and winter conditions on some aspects of behaviour of feedlot cattle.
Appl. Anim. Ethol., 5:113-124.
- 31) Graham, N. McC., F. W. Wainman, K. L. Blaxter and D. G. Armstrong. 1959.
Environmental temperature, energy metabolism, and heat regulation in sheep.
I. Energy metabolism in closely clipped sheep.
J. Agric. Sci., 52:13-24.
- 32) Hacker, R. R., M. P. Stefanovic and T. R. Batra. 1973.
Effects of cold exposure on growing pig: growth, body composition and 17-ketosteroids.
J. Anim. Sci., 37:739-744.
- 33) 萩原達也・片寄正歳・佐藤安弘. 1972.
床面温水暖房の肥育効果に関する試験.
神奈川県畜試研報, 59:26-31.
- 34) Hale, O. M., J. C. Johnson, Jr. and E. P. Warren. 1968.
Influence of season, sex and dietary energy concentration on performance and carcass characteristics of swine.
J. Anim. Sci., 27:1577-1582.
- 35) 北海道新得畜産試験場. 1983.
実用化レポート (No118) カーフハッチによる乳用子牛の育成技術.
農林水産技術会議事務局, 東京.
- 36) 北海道滝川畜産試験場. 1982.
無看護分娩時の豚舎保温に関する試験. 北海道農業試験会議資料.

- 37) Holmes, C. W. 1970.
Effects of air temperature on body temperatures and sensible heat loss of Friesian and Jersey calves at 12 and 76 days of age.
Anim. Prod., 12:493-501.
- 38) Holmes, C. W., R. Christensen, J. R. Carr and G. Pearson. 1980.
Some aspects of the energy metabolism of growing pigs fed on diets containing different concentrations of protein.
in Energy metabolism (Mount, L. E., ed.), 97-100. Butterworths, London.
- 39) Holmes, C. W. and W. H. Close. 1977.
The influence of climatic variables on energy metabolism and associated aspects of productivity in the pig. *in* Nutrition and the climatic environment (Haresign, W., H. Swan and D. Lewis eds.), 51-73.
Butterworths, London.
- 40) Holmes, C. W. and W. E. Coey. 1967.
The effects of environmental temperature and method of feeding on the performance and carcass composition of bacon pigs.
Anim. Prod., 9:209-218.
- 41) Holmes, C. W. and N. R. McLean. 1974.
The effect of low ambient temperatures on the energy metabolism of sows.
Anim. Prod., 19:1-12.
- 42) Holmes, C. W. and L. E. Mount. 1966.
Heat loss from young pigs, individually and in groups, at ambient temperatures of 9, 20 and 30°C.
J. Physiol., 186:75-77.

- 43) Houseman, R. A. and I. McDnald. 1973.
The prediction of body composition in
bacon pigs from measurements of feed
intake and live-weight gain.
Anim. Prod., 17:295-304.
- 44) Ingram, D. L. and L. E. Mount. 1965.
The metabolic rates of young pigs living
at high ambient temperatures.
Res. Vet. Sci., 6:300-306.
- 45) Jordan, J. W. and W. D. Brown. 1970.
The retention of energy and protein in the
baby pig fed on cow's milk. *in* Energy
metabolism of farm animals (Schurch, A.
and C. Wenk eds.), 161-165.
Eur. Ass. Anim. Prod. 13, Zurich.
- 46) 糟谷 泰・首藤新一・阿部 登・米田裕紀・所 和暢. 1967.
豚の冬期保温方式に関する研究. 1. 離乳子豚に対する保温効果について.
滝川畜試研報, 5:86-90.
- 47) 片山秀策. 1986.
断熱強制換気による畜舎の環境調節に関する農業工学的研究.
北海道農業試験場研究報告, 145:53-152.
- 48) Kennedy, P. M., R. J. Christopherson and L. P.
Milligan. 1982.
Effects of cold exposure on feed protein
degradation, microbial protein synthesis
and transfer of plasma urea to the rumen
of sheep.
Br. J. Nutr., 47:521-534.
- 49) Kennedy, P. M., B. A. Young and R. J.
Christopherson. 1977.
Studies on the relationship between
thyroid function, cold acclimation and
retention time of digesta in sheep.
J. Anim. Sci., 45:1084-1090.

50) 黒沢不二男. 1983.

肉豚生産の展開構造に関する研究.

北海道立農業試験場報告, 40

51) Le Dividich, J. 1981.

Effects of environmental temperature on the growth rate of early-weaned piglets. Livest. Prod. Sci., 8:75-85.

52) Le Dividich, J. and A. Aumaitre. 1978.

Housing and climatic conditions for early weaned piglets.

Livest. Prod. Sci., 5:71-80.

53) Le Dividich, J. and J. Noblet. 1982.

Growth rate and protein and fat gain in early-weaned piglets housed below thermo-neutrality.

Livest. Prod. Sci., 9:731-742.

54) Le Dividich, J., M. Vermorel, J. Noblet, J. C. Bouvier and A. Aumaitre. 1980.

Effects of environmental temperature on heat production, energy retention, protein and fat gain in early weaned piglets.

Br. J. Nutr., 44:313-323.

55) Mac Cracken, K. J., S. M. Eddie and W. G. Stevensen. 1980.

Energy and protein nutrition of early-weaned pigs. Effect of energy intake and energy:protein on energy utilization and body composition of pigs slaughtered at 32d.

Br. J. Nutr., 43:305-319.

56) McCracken, K. L. and B. J. Caldwell. 1980.

Studies on diurnal variations of heat production and the effective lower critical temperature of early-weaned pigs under commercial conditions of feeding and

- management.
Br. J. Nutr., 43:321-328.
- 57) McCracken, K. L. and R. Gray. 1984.
Further studies on heat production and effective lower critical temperature of early-weaned pigs under commercial conditions of feeding and management.
Br. J. Nutr., 43:321-328.
- 58) McGinnis, R. M., D. N. Marple, V. K. Ganjam, T. J. Prince and J. F. Pritchett. 1981.
The effects of floor temperature, supplemental heat and drying at birth on neonatal swine.
J. Anim. Sci., 53:1424-1431.
- 59) McLean, J. A. and P. R. Watts. 1976.
Analytical refinements in animal calorimetry.
J. Appl. Physiol., 40:827-831.
- 60) Midwest Plan Service. 1983.
Structures and environment hand-book 11th ed.. Midwest Plan Service, Iowa.
- 61) Miller, J. K., E. W. Swanson, W. A. Lyke, B. R. Moss and W. F. Byrne. 1974.
Effect of thyroid status on digestive tract fill and flow rate of undigested residues in cattle.
J. Dairy Sci., 57:193-197.
- 62) 三村 耕. 1960.
家畜管理に関する生態学的研究について.
日畜会報, 31:161-168.
- 63) 三村 耕. 1965.
家畜管理の技術. 養賢堂, 東京.
- 64) 三村 耕. 1969.
家畜の環境調節技術の変遷. 「戦後農業技術発達史 第8巻 畜産編」. 607-618.
日本農業研究所, 東京.

- 65) 三村 耕. 1974.
日畜学会創立50周年シンポジウム記録. 53-64. 日本畜産学会.
- 66) 三村 耕・森田琢磨. 1980.
家畜管理学. 養賢堂, 東京.
- 67) 森田琢磨. 1974.
畜舎と装置化.
日畜会報, 45:569-577.
- 68) Mount, L. E. 1960.
The influence of huddling and body size
on the metabolic rate of the young pig.
J. Agric. Sci., 55:101-105.
- 69) Mount, L. E. 1963.
Environmental temperature preferred by
the young pig.
Nature, 199:1212-1213.
- 70) Mount, L. E. 1964.
The tissue and air components of thermal
insulation in the new-born pig.
J. Physiol., 170:286-295.
- 71) Mount, L. E. 1967.
The heat loss from new-born pig to floor.
Res. Vet. Sci., 8:175-185.
- 72) Mount, L. E. 1968.
The climatic physiology of the pig.
Edward Arnold, London.
- 73) Mount, L. E. 1968.
Adaptation of swine. *in* Adaptation of
domestic animals (Hafez, E. S. E., ed.),
277-291. Lea & Febiger, Philadelphia.
- 74) Mount, L. E. 1978.
Adaptation to thermal environment. 116-144.
Edward Arnold, London.
- 75) National Research Council. 1979.
Nutrient requirements of swine 8th ed..
National Academy Press, Washington.

- 76) National Research Council. 1981.
Effect of environment on nutrient
requirements of domestic animals. 96-108.
National Academy Press, Washington.
- 77) Newland, H. W., W. N. McMillen and E. P.
Reineke. 1952.
Temperature adaptation in the baby pig.
J. Anim. Sci., 11:118-123.
- 78) Noblet, J. and J. Le Dividich. 1982.
Effect of environmental temperature and
feeding level on energy balance traits of
early-weaned piglets.
Livest. Prod. Sci., 9:619-632.
- 79) 農林水産技術会議事務局. 1975.
日本飼養標準 豚. 中央畜産会, 東京.
- 80) Osinka, Z. 1980.
Energy cost of protein and fat deposition
by calves. Z. Tierphysiol.
Tierernähr. Futter-mittelkd., 43:138-145.
- 81) Phillips, P. A., B. A. Young and J. B. McQuitty.
1980.
Weight responses of growing-finishing
swine to acute cold stress.
Can. J. Anim. Sci., 60:557.
- 82) Pomeroy, R. W. 1953.
Studies on piglet mortality. 1. Effect of
low temperature and low plane of
nutrition on the rectal temperature of
the young pig.
J. Agric. Sci., 43:182-191.
- 83) Robertson, A. M., J. J. Clark and J. M. Bruce.
1985.
Observed energy intake of weaned piglets
and its effect on temperature
requirements.

- Anim. Prod., 40:475-479.
- 84) Saisbury, D. 1972.
Pig housing 3rd ed.. 211. Farming Press,
Ipswich.
- 85) 佐野 修・相馬由和・鈴木輝雄. 1979.
5週齡時体重とその後の發育との關係について.
日豚研誌, 16:267.
- 86) Seve, B. 1982.
Age at weaning, development of chemical
body components, and energy utilization in
piglets from 3-25kg live weight.
Livest. Prod. Sci., 9:603-617.
- 87) Schmidt, M. K., T. L. Veum, J. L. Clark and G. F.
Krause. 1973.
Chemical composition of crossbred swine
from birth to 136kg with two planes of
nutrition from 53 to 136 kilograms.
J. Anim. Sci., 37:683-687.
- 88) 首藤新一・朝日田康司. 1980.
北海道養豚史略. 「北海道養豚史」. 1-21.
日本養豚研究会北海道支部, 札幌.
- 89) Sorensen, R. H. 1962.
Influence of climatic environment on pig
performance. *in* Nutrition of pigs and
poultry (Morgan, J. T. and D. Lewis eds.),
88-103. Butterworths, London.
- 90) Stahly, T. S. and G. L. Cromwell. 1979.
Effect of environmental temperature and
dietary fat supplementation on the
performamce and carcass characteristics
of growing and finishing swine.
J. Anim. Sci., 49:1478-1488.
- 91) Stanier, M. W. 1977.
Effect of environmental temperature and
food intake on the distribution of fat in

- growing hairless mice.
Br. J. Nutr. 37:279-284.
- 92) Stefanovic, M. P., H. S. Bayley and S. T. Slinger. 1970.
Effect of stress on swine: heat and cold exposure and starvation on vanilmandelic acid output in the urine.
J. Anim. Sci., 30:378-381.
- 93) Stephens, D. B. 1971.
The metabolic rates of newborn pigs in relation to floor insulation and ambient temperature.
Anim. Prod., 13:303-313.
- 94) Stephens, D. B. and I. B. Start. 1970.
The effects of ambient temperature, nature and temperature of the floor and radiant heat on the metabolic rate of the new-born pig.
Int. J. Biomet., 14:275-283.
- 95) Sugahara, M., D. H. Baker, B. G. Harmon and A. H. Jensen. 1970.
Effect of ambient temperature on performance and carcass development in young swine.
J. Anim. Sci., 31:59-62.
- 96) 高橋 明・谷村一紘・木下正夫・窺 俊定・高木久雄. 1967.
子豚の発育に関する調査 I 生後3週離乳時の体重とその後の発育との関係について.
日豚研誌, 4:21
- 97) 所 和暢. 1984.
寒地における肉豚生産と畜舎環境に関する研究.
北海道立農業試験場報告, 41.
- 98) Verstegen, M. W. A., W. H. Close, I. B. Start and L. E. Mount. 1973.
The effects of environmental temperature and plane of nutrition on heat loss,

energy retention and deposition of protein and fat in groups of growing pigs.

Br. J. Nutr., 30:21-35.

- 99) Verstegen, M. W. A., G. Mateman, H. A. Brandsma and P. I. Haartsen. 1979.

Rate of gain and carcass quality in fattening pigs at low ambient temperatures.

Livest. Prod. Sci., 6:51-60.

- 100) Verstegen, M. W. A. and W. Van der Hel. 1974.

The effects of temperature and type of floor on metabolic rate and effective critical temperature in groups of growing pigs.

Anim. Prod. 18:1-11.

- 101) Westra, R. and R. J. Christopherson. 1976.

Effects of cold on digestibility, retention time of digesta, reticulum motility and thyroid hormones in sheep. Can. J. Anim. Sci., 56:699-708.

- 102) 山本禎紀. 1974.

最近10年間における畜産学の進歩. 家畜・家禽の管理・生態に関する研究の動向. 日畜会報, 45:77-84.

- 103) 山本禎紀. 1976.

畜産領域における環境生理学.

日畜会報, 47:687-697.

- 104) 山本禎紀・秦 寛・隅田真代・宮田マリ子・伊藤敏男. 1986.

熱産生量測定用大小各種チャンバーの急速応答法による校正結果について.

家畜の管理, 22:12-14.

- 105) 山本禎紀・隅田真代・小迫孝実. 1985.

心拍数と熱産生量との関係を解析する研究手法としての急速応答法による熱産生量測定方法の検討.

日畜会報, 56:947-953.

106) 米田裕紀・杉本亘之. 1973.

寒冷環境における肉豚の飼養法改善に関する研究. 第3報 寒冷環境が消化率に及ぼす影響について.

日豚研誌, 10:141.