

乳牛の生体リズムと採食行動の発現に関する研究

課題番号：08660323

平8年度～平成9年度科学研究費補助金（基盤研究(C)(2)）

研究成果報告書

平成10年3月

研究代表者 柏村 文郎

(帯広畜産大学畜産学部助教授)

はしがき

近年、乳牛の泌乳能力が急速に高まり、飼養管理面でも高度な知識が要求されるようになってきた。その一つに飼料の多回給与の問題が上げられる。飼料給与回数を増やすことにより、牛はいつでも新鮮な餌を食べることができ、1日の採食パターンも平滑化され、反芻胃の発酵が安定するといわれている。一方、作業者の側からみると、飼料給与回数の増加は過重労働の問題を含んでいる。そこで、飼料給与の自動化が考えられる。ところが、何時いかなる量の飼料を給与すべきかという問題が解決されなければ、本当の飼料給与の効率化には結びつかない。

牛は、基本的には昼行性の動物に分類されるが、ヒトと比べると必ずしもその昼夜リズムは明確でない。例えば、牛は1日11時間程度横臥するが、横臥状態を長時間持続することがなく、夜間でも2~3時間毎に起立・横臥を繰り返す。また、夜間の採食も珍しくない。これは、大動物としての体格的特徴と反芻動物という連続発酵槽の胃をもつためと考えられる。採食行動も生体リズムの影響を受けると思われるが、牛における生体リズムの研究はほとんどなされていない。その理由の一つは、大動物である牛を外部環境刺激から隔離するのが困難であることがあげられる。幸い帯広畜産大学には牛用の低温実験室があり、その中に入った牛には時間の手がかりとなるものはほとんど感知できない。そこで、この施設を使って牛のフリーランリズムについて実験を行った。

本研究の特徴としては、飼料の給与をコンピュータ制御の自動給餌装置で行ったことである。飼料が一定量まで減少すると直ちに追加されるため、牛は常に採食可能であり、飼料給与刺激の影響をほとんど受けない行動が観察できた。

本研究は、大学院生の論文としてまとめられた。本報告書は、修士論文の一部を抜粋して作成した。

なお、試験を行って気が付いた点であるが、牛を単独で低温実験室に入れ、長期間無人管理することは、牛にとってかなり大きなストレスになると思われる。「家畜の福祉」という問題上、本研究のような試験は今後多くはできないと考えられ、その点では貴重なデータが得られたとも言える。

試験の内容は次の通りである

1. 環境制御室の恒常環境試験
2. 環境制御室の明暗周期試験
3. 牛舎内の不断給餌試験
4. 牛舎内の制限給餌試験 (1)
5. 牛舎内の制限給餌試験 (2)

研究組織

研究代表者：柏村文郎（帯広畜産大学畜産学部助教授）

研究分担者：古村圭子（帯広畜産大学畜産学部講師）

研究経費

平成8年度	1,700千円
平成9年度	800千円
計	2,500千円

研究発表

口頭発表

白石達徳・柏村文郎・古村圭子・新出陽三.

生体リズムとしてみた乳牛の行動と体温変化について.

第93回日本畜産学会大会. 1997.8.27

材料及び方法

1. 供試動物

供試動物として本学付属農場におけるホルスタイン種の雌牛を用いた。本実験は恒常性条件下でのウシの生体リズムの確認もしくは確立を行うことから始まるため、ウシに影響を及ぼし得るような外部同調因子の存在は最低限にとどめておく必要がある。即ち、それ自体がウシに時間を知らせることになるような実験室への出入り、特に搾乳行為のような定期的なウシとの接触はあってはならない。一方、実験開始した後、最終的に何らかの周期的な変化を見出すための期間というものが、ある程度長い時間必要であるとすると、この実験期間中、ウシの成長過程において劇的な変化があっては単純に比較することが難しい。以上のことから供試牛に用いる条件として、搾乳の必要がなく尚かつ成長が比較的安定した状態のものが望ましく、本実験においては、未経産の若雌牛あるいは乾乳期に入った直後のウシが適当であるとした。

2. 自動給餌装置

自動給餌装置(本実験においてはAutomatic Feeder:AFとする)は、本実験において乳牛の生体リズムを研究するためには必要不可欠な装置である。自動給餌装置に関する研究は畜産学の各方面において行われており^{25,35)}、自動給餌による多頻度の給餌はウシの日周期的変動を排除するとされ^{20,33)}、特に生化学的あるいは生理学的な研究に有用な結論を導くものであると言われている²⁴⁾。本実験におけるAFに対して最低限要求されることとしては、まずAFによる給餌そのものがウシの採食行動の誘発に対して直接的な引き金とならないこと、そして給与量を適切に調節しながら、常に一定の品質に保たれた餌を給与できるものであることが挙げられる。一方でそうして得られたデータを一つの指標として利用できる形でパソコンで適切に制御するシステムの構築が必要とされる。本実験では、この給餌装置とパソコンの制御装置とをあわせてAFとした(図1a, 1b)。給餌装置は上部に餌を貯蔵するストック部とモーターで稼働するコンベア、そして下部に給与口を有する、小型で簡易なものを業者に委託して製作してもらった。ストック部には最大約60Kgまでの飼料の貯蔵が可能であり、実験者による、このストック部への追加給与は48時間以内であれば比較的任意の時間に行うことができる。これによってストック部への追加給与は不規則で行うことが可能になるため、恒常環境下において採食行動を誘発する同調因子とはなりにくいと考えられる。

餌箱内の餌の重量は自動計量器によって常時計量され、コンピュータにそのデータを送り込んでいる。給餌制御システムは、一分ごとに送られてくる自動計量器の計測値があるレベルを下回るとコンピュータからモーターが稼働するように命令が下り、餌箱への追加給餌が行われるようにプログラムした。餌箱内における餌の維持量は、採食の際にウシの唾液が餌箱内に落下する事による質の劣悪化、それによる採食意欲の減退を防ぐため、少量の維持で、頻回追加給餌するようにプログラムした。

給与する飼料は、供試牛の嗜好性あるいは採食量において差が出るのは必然であり、採食量を一つの指標として利用するには、餌の質は常に一定に保つ必要がある。このことから実験期間中に与える餌の品質を一定に保つことが可能なヘイキューブもしくは嗜好性に応じてTMC(TMRをキューブ状に成形したもの:Total Mixed Cube;第一飼料株式会社)を給与することにした(表3参照)。

3. 実験条件

実験は大きく分けて環境制御試験と給餌制限試験に大別した。環境制御試験としては、24時間恒常明の恒常環境試験と、一つのサイクルが一回の明期と一回の暗期からなる完全光周期の明暗周期試験について行った。給餌制限試験としては、不断給餌試験と6時間の制限給餌試験を、後者に関しては異なる2つの時間帯を用いて行った。以下にそれぞれの試験について説明する。

3. 1. 環境制御室内恒常環境試験

この実験の目的は、周期性を持つ外因性の同調因子のない恒常性条件下でのウシの行動的周期性、即ちウシの内因性リズムの存在の有無について研究し、もし存在するのであれば、それがどのようなものであるかを推測するためのものである。

3. 1. 1. 供試牛

供試牛として本学付属農場のホルスタイン種乾乳牛NO. 821を用いた。このウシの実験開始時の体重、月齢及び産次はそれぞれ760Kg, 60ヶ月齢及び3産で、次の分娩予定日は1996年4月15日であった。供試牛は実験室内に30cm程度の余裕を持ってタイ・ストールでつなぎ飼いし、目の前のAFからの飼料の摂取と自動給水器による水の摂取は可能である。またウシの傍らにはミネラル入り固形塩を置いた。いずれにおいても24時間自由に摂取することが出来る状態(24時間不断給餌)にした。

3. 1. 2. 実験期間

実験期間は1996年2月5日～同年3月5日までの30日間継続して行った。餌の嗜好性及び実験室という特殊な環境への慣れまでの予備期間に加えて、過去の経験を打ち消す

までの期間をあわせて2~3週間、それからのデータ収集の期間を1~2週間として、合計およそ1ヶ月間が実験期間として必要であると考えた。

3. 1. 3. 実験場所

実験場所として本学乳牛代謝試験場内の低温実験室(以下環境制御室とする)を用いた。環境制御室は四方をステンレス製の壁に覆われた完全な密室空間であり、天候条件や照度の変化あるいは気温の変化といった、日周期的な環境のサイクルを制御できる場所である。実験室内の概略は図2を参照とする。給餌装置と制御するコンピュータとは隣接する別々の部屋に配置し、制御を行う上でもウシに対しては何ら影響がないものとした。

3. 1. 4. 環境条件

人工的に恒常環境を作り出すために、まず光については24時間常明で行った。照明の条件には恒常明と恒常暗とが考えられるが、ウシは本質的には昼行性の動物であるため、恒常明下ではより顕著に行動が表現されると思われる。照明は室内の照明装置を用いて行い、照度はウシの目の高さで約60lux程度であった。この照度は室内及び飼箱内の餌を十分確認できる程度の明るさであった。室温に関しては、制御室のエアコンディショナーが壊れていたため、完全に制御することは出来なくなっていたが、換気扇による空気の循環だけでもウシに対して生理的に影響を与えにくい範囲を得ることができ、実験期間を通しての平均温度は13.8℃、日内変動幅にして約2℃程度であった。音に関しては、室内は構造的にもほぼ無音の状態であったが、人間にとっては確実に何も聞こえない状態であったとしても、ウシには何らかの音が聞こえている可能性がある。外部から漏れてくる音というのは、日周期下で行動しているあらゆる生

物から発せられるものであり、それゆえに周期性を有している。他の動物種において、行動リズムが周期的な音に同調することが報告されているため¹⁴⁾、これらを考慮に入れた白色雑音を録音したエンドレステープを24時間流し続けた。また換気扇の音も雑音として外部の情報を遮断するのに役立ったと思われる。ウシの外因性リズムに影響を与える外部同調因子としては環境的な要因の他に社会的な要因が存在するため、供試牛は一頭のみで行った。このため、環境制御室内においてウシ間での相互な社会的接触はないが、制御室とAFの構造上、糞尿の処理と餌の追加給与のために実験者が実験室内に入る必要がある。両方の作業ともに、ある程度の不定間隔で作業を行う自由度があるため、AFの性質から、追加給与の作業時刻に準じて、糞尿の処理を同時に行った。

3. 1. 5. 給与飼料

給与飼料は実験開始してしばらくの間はヘイキューブを給与したが、予備期間中、極端に採食意欲が減退したため、最終的には嗜好性の高いTMCを給与した。本学のウシがキューブ状の飼料に慣れていないこと、また突然環境が変わったこと等のためにこのようなことが起こったと考えられる。ヘイキューブは高エネルギーのTMCよりも長期の実験には適していると思われたが、これにより餌の変更を余儀なくされた。TMCへの変更以後は特に問題はなかった。

AFによる餌箱への追加給与は、餌箱内の餌の量が5Kg未満となり、尚かつ、はかりが安定した状態の時(1分間約254個のサンプリングデータにおいて標準偏差が0.1未満の時)に行われるように設定した。

3. 1. 6. 調査項目及び調査方法

調査項目として、一つは行動的に見た周期性とし、起立行動、横臥行動、及び採食

行動に費やした時間を、環境制御室内に設置したビデオカメラで24時間撮影を行うことによって測定した。また咀嚼計(ストレンゲージ)を用いて反芻行動の記録もまた自動記録計に測定した。もう一方で生理的な周期性の指標として体温を測定した。体温の変動に関しては、サーミスタセンサを膻内に挿入して高感度温度計を用いて膻温として測定した。また室温も連続的に測定した。温度計から出力された信号はAD変換して給餌装置を制御するコンピュータ内に、1分間約254個の体温及び室温のデータをそれぞれ平均値として納めた。その他、給餌装置の制御のための1分ごとの餌箱重量の変動、あるいはAFの稼働の有無に関しても一つのデータとして利用できる形にして、コンピュータ内に記録保存した。コンピュータ内のデータは1日1回フロッピーディスクに落とすようにした。予備期間を通じて、システムのにもまたウシの行動的にも安定したのは2月20日であったため、データの収集及び分析はこれ以後行った。

統計分析に関しては、各行動内及び行動間の平均時間の有意差についてSASの一般線形モデル(GLM)を用いて、Tukeyのスクエード化した範囲の検定を行った。

3.2. 環境制御室内明暗周期試験

この実験の目的は、一定期間中、恒常明にさらし、その環境に馴化したウシに明暗の周期を与えることで、行動的あるいは生理的に影響される要素があるかどうかを調べることにある。言い換えるならば、ウシの行動に対して光そのものが及ぼす影響、即ち、光が外的同調因子として存在することの重要性について考察する事を目的とする。

3. 2. 1. 実験期間

本実験は恒常的環境下での実験に引き続いて行い、環境制御室における先の実験開始から1ヶ月を経過した1996年3月6日～同年3月14日までの9日間を実験期間とした。

3. 2. 2. 供試牛及び実験場所

供試牛には本学付属農場のホルスタイン種乾乳牛NO. 821を、実験場所には環境制御室を用いた。

3. 2. 3. 環境条件

明暗周期の明期及び暗期の間隔については様々なパターンが考えられるが、日周期と比較的近い形がより強い同調を示し、その特徴をはっきりさせるであろうと考えられるため、一つのサイクルが一回の12時間暗期と一回の12時間明期からなる完全光周期を与えることにした。明暗の与え方は、環境制御室の照明装置のスイッチを操作することで行った。実験室内に外部から光が侵入することはないが、ウシにしか感じ取れない何か(宇宙線や放射線など)によって朝と夜を感知しているかも知れないことを考慮に入れ、外部環境とは昼夜が逆転するように、朝の7:00～19:00までの12時間は消灯して暗期に、また夜の19:00～翌朝7:00までの12時間は点灯して明期とした。従ってウシにとっての主観的な夜は外部環境での朝7:00から始まり、反対に主観的な夜明けは外部環境での夜19:00から始まることになる。明暗周期では明期における照度も周期性に影響を及ぼす要因である。これに関してはリズムの同調に必要な照度は動物種によって異なるという報告がある^{16,17)}。ウシを用いた実験においては、照度はウシの目の高さには約200luxを用いているものが多いが、特にその理由については定かではなく、実験室内が十分確認できる範囲の明るさに設定されたものと思われる。本実験において

は照明装置点灯時の照度はウシの目の高さで60lux程度であったが、消灯時は0luxであった。恒常明環境下での実験において、60luxが採食や飲水などの生存に必須となる行動に関して何ら障害がなかったこと、また明暗周期の暗期は明期とある程度の照度差があれば同調するともいわれていることから、特別な照度の操作は行わなかった。光以外の環境条件については恒常明条件下での実験と同様のものとした。

3. 2. 4. 調査項目及び調査方法

恒常明条件下での実験と同様のものとする。

3. 2. 5. 給与飼料

恒常明条件下での実験と同様に、TMCを不断給与した。

3. 3. 特別管理牛舎内不断給餌試験

この実験の目的は日内で変動する気温や光、また不特定多数のヒトや牛舎内にいる複数のウシによる視覚的及び聴覚的な影響を受ける環境下、即ち比較的一般的な環境において不断給餌を行った場合、ウシがどのようなリズムで行動するかを検討するものである。

3. 3. 1. 供試牛

供試牛として本学付属農場のホルスタイン種未経産牛NO. 920を用いた。このウシの実験開始時の体重及び月齢はそれぞれ676Kg及び36ヶ月齢であった。このウシはフィステルが装着されおり、本実験ではこれを利用してルーメン内の温度を測定した。供試

牛は鎖の長さ1m程度の余裕を持ってタイ・ストールでつなぎ飼いたため、比較的行動の自由度は大きく、無理のない状態であった。

3.3.2. 実験期間

実験期間は1996年7月16日～同年8月8日までの25日間継続して行った。

3.3.3. 実験場所

実験場所として本学付属農場内特別管理牛舎の管理小屋に接する分娩房を使用した。実験区域の概略は図3を参照とする。特別管理牛舎は室内環境に相当するが、利用した分娩房は天候条件、例えば気温や湿度あるいは照度等の影響を直接的に受ける場所である。また牛舎内には不特定多数のヒトが作業のために出入りするほか、別の分娩房内には数頭のウシも存在するため、これらによる社会的接触もまた受けるだろうと予想される。ズートロン内での実験と同様に、給餌装置の制御は隣接する管理小屋にて行った。

3.3.4 環境条件

実験区域の環境に対しては特別な処置は施していない。ただしビデオカメラによる記録を行うため、白熱灯を用いて夜間も薄明かり(12lux)を点灯し続けた。またそれとは別に特別管理牛舎内の作業のために、夕方17:00～19:00頃までは室内照明が点灯された。牛舎内の平均気温は18.5℃であった。湿度は天気の影響を受け、実験期間中は70%～90%の間で変動した。他のウシの酪農管理作業のために牛舎内に訪れるヒトは、朝の7:00頃と夕方4:00頃に集中する。実験者による分娩房内の清掃及び給餌装置への追加給与は、朝9:00～10:00ぐらいの間に行った。

3.3.5. 給与飼料

給与飼料は、供試牛がヘイキューブに対して拒絶するような様子は見られなかったため、実験の終始にわたってヘイキューブを用いた。飼養条件については環境制御室での実験同様、AFからの飼料の摂取と自動給水器による水の摂取が可能であり、またその傍らにはミネラル入り固形塩を置いた。いずれにおいても24時間自由に摂取できる状態(24時間不断給餌)で行った。

AFによる餌箱への追加給与は、餌箱内の餌の量が3Kg未満となり、尚かつ、はかりが安定した状態の時(1分間約254個のサンプリングデータにおいて標準偏差が0.1未満の時)に行われるように設定した。

3.3.6. 調査項目及び調査方法

調査項目及び調査方法ともに、環境制御室における実験とほぼ同様に行った。異なる点としては、咀嚼計による反芻行動の調査を中止したこと、また生理的指標として従来までの体温の調査に加えて、今回から新たにルーメン内の温度を測定したことが挙げられる。体温及びルーメン内温度はサーミスタセンサを前者は膈内に、後者はルーメン内に挿入して高感度温度計を用いて1分ごとに測定し、コンピュータ内にデータを記録保存した。環境温度と湿度についてはデータロガーを用いて10分ごとに測定した。際だって特殊な環境ではないため、予備期間は5日間とし、7月21日からデータの収集及び分析を行った。

統計分析に関しては、環境制御試験と同様に、各行動内及び行動間の平均時間の有意差についてSASの一般線形モデル(GLM)を用いて、Tukeyのチューデント化した範囲の検定を行った。

3. 4. 特別管理牛舎内制限給餌試験1

この実験の目的は先に行った特別管理牛舎内での実験と同様の環境条件下において給餌の方法を24時間不断給餌から制限給餌に変えることで、ウシの行動リズムに何らかの影響が及ぼされるかを検討するものとする。

3. 4. 1. 実験期間

実験期間は1996年9月10日～同年9月24日までの15日間継続して行った。

3. 4. 2. 供試牛及び実験場所

特別管理牛舎内不断給餌の実験と同様に、供試牛には本学付属農場のホルスタイン種未経産牛NO. 920を、実験場所には本学付属農場特別管理牛舎内の分娩房を用いた。

3. 4. 3. 環境条件

特別管理牛舎内不断給餌の実験と同様のものとした。

3. 4. 4. 給与飼料

給与飼料には特別管理牛舎内不断給餌下での実験同様ヘイキューブを与えたが、追加給餌の時間を制限し、19:00～翌1:00までの6時間のみとした。この時間帯は、気温の日内変動の影響によりウシの体温が上昇する時間帯に合わせ、採食によって、より体温の変動が著しくなるように働くよう設定したものである。給餌方法に関しては、1:00になった時点での残余飼料の回収は行わないため、この時間を過ぎてもウシは採食が可能な時間があった。即ち1:00以後の餌箱内の残余飼料はウシの任意によって処理されたことになる。自動給水器による水の摂取及び岩塩の摂取に関しては24時間、

ウシが任意の時刻に行えるようにした。

3.4.5. 調査項目及び調査方法

調査項目及び調査方法に関しては特別管理牛舎内不断給餌の実験と同様のものとした。予備期間として9月10日～9月13日までの4日間は特別管理牛舎内不断給餌での実験と同様に、飼料の不断給餌を行ったため、データの収集及び分析は9月14日～9月24日までとした。

3.5. 特別管理牛舎内制限給餌試験2

この実験の目的は、同じ制限給餌でも当てはめる時間帯によってウシの行動リズムに影響が現れるかどうかについてを検討するものとする。

3.5.1. 実験期間

本実験は制限給餌1試験に引き続き、実験期間は1996年9月25日～同年10月9日までの15日間継続して行った。

3.5.2. 供試牛及び実験場所

特別管理牛舎内不断給餌及び制限給餌試験1の実験と同様に、供試牛には本学付属農場のホルスタイン種未経産牛NO. 920を、実験場所には本学付属農場特別管理牛舎内の分娩房を用いた。

3.5.3. 環境条件

特別管理牛舎内不断給餌及び同制限給餌1の実験と同様のものとする。

3.5.4. 給与飼料

給与飼料に関しては特別管理牛舎内不断給餌及び制限給餌1の実験と同様にヘイキューブを与えたが、追加給餌の時間を制限し、0:00～6:00までの6時間のみとした。この時間帯は、制限給餌試験2とは反対に、ウシの体温の変動が小さくなるように働くよう設定したものである。自動給水器による飲水及びミネラル入り固形塩の摂取に関しては、ウシが24時間任意の時刻に行うことが出来るようにした。

3.5.5. 調査項目及び調査方法

調査項目及び調査方法に関しては、特別管理牛舎内不断給餌及び同制限給餌1の実験と同様のものとする。予備期間として9月25日～9月28日までの4日間は特別管理牛舎内不断給餌の実験と同様に、飼料の不断給餌を行ったため、データの収集及び分析は9月29日～10月9日までとした。

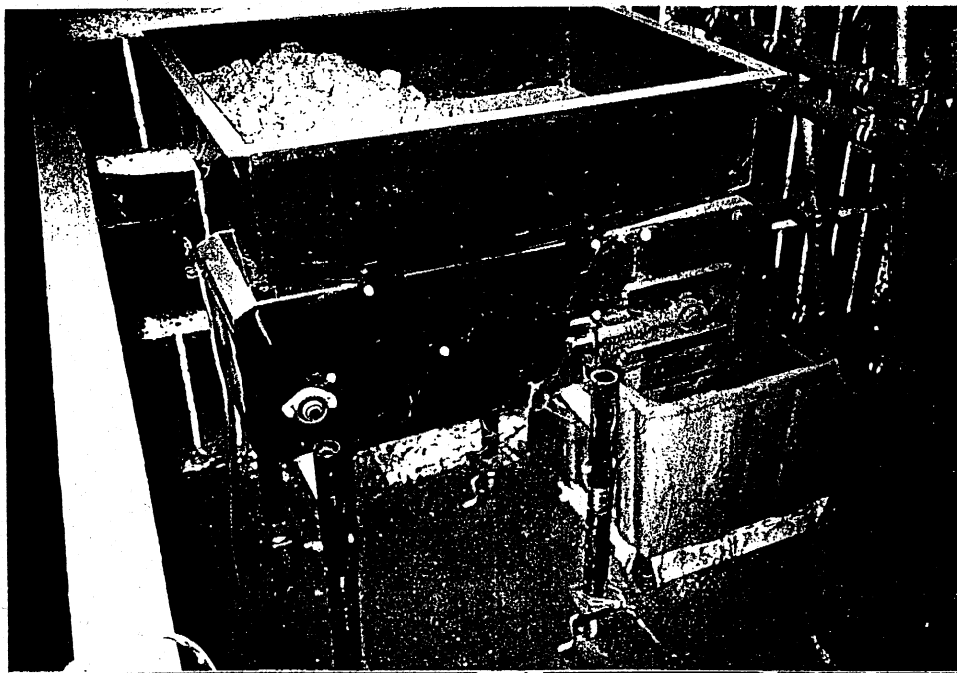
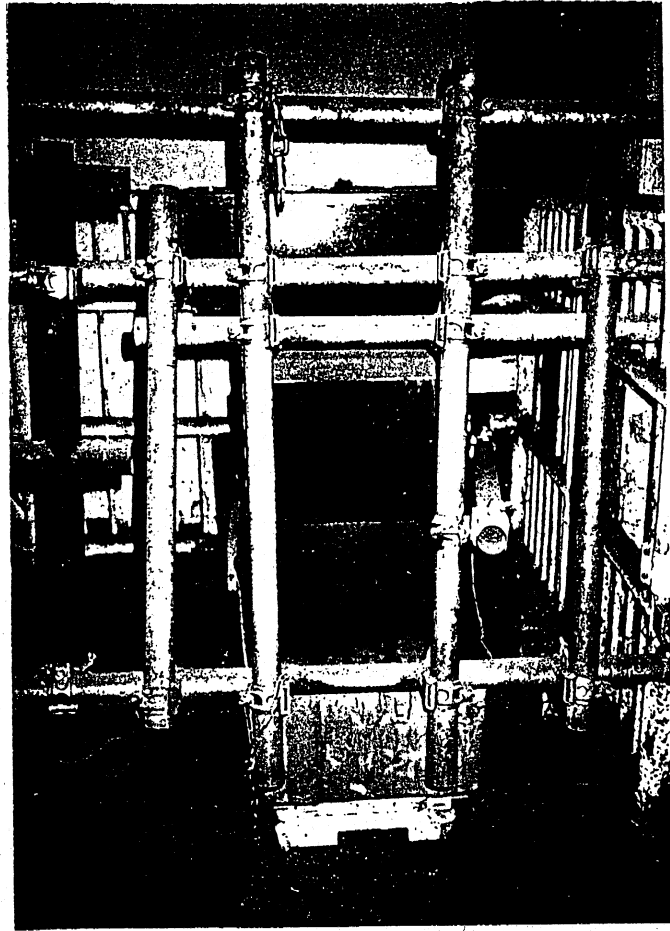


図1. 本実験のために独自に開発した自動給餌装置

a: 正面図 b: 側面図

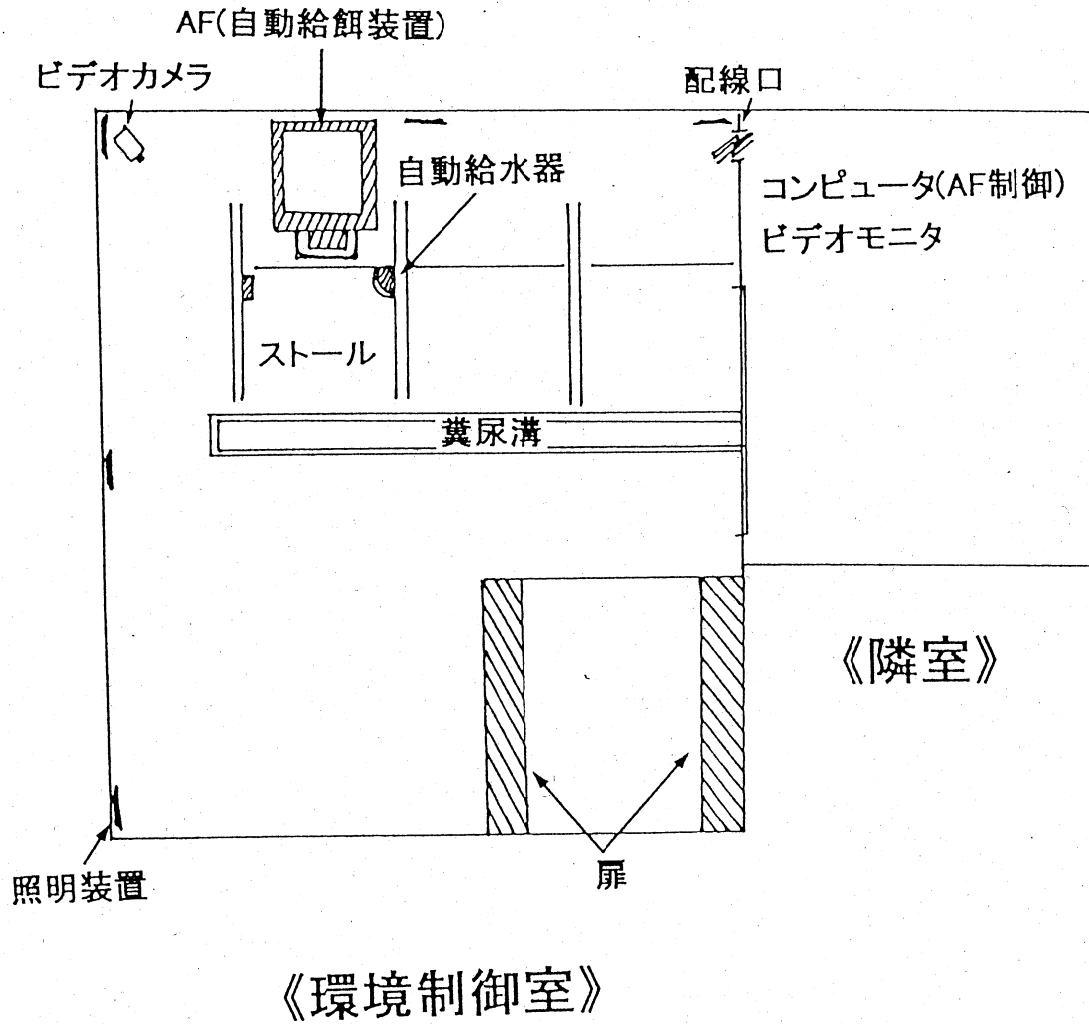


図2.乳牛代謝試験場内環境制御室と主要設備の概略図

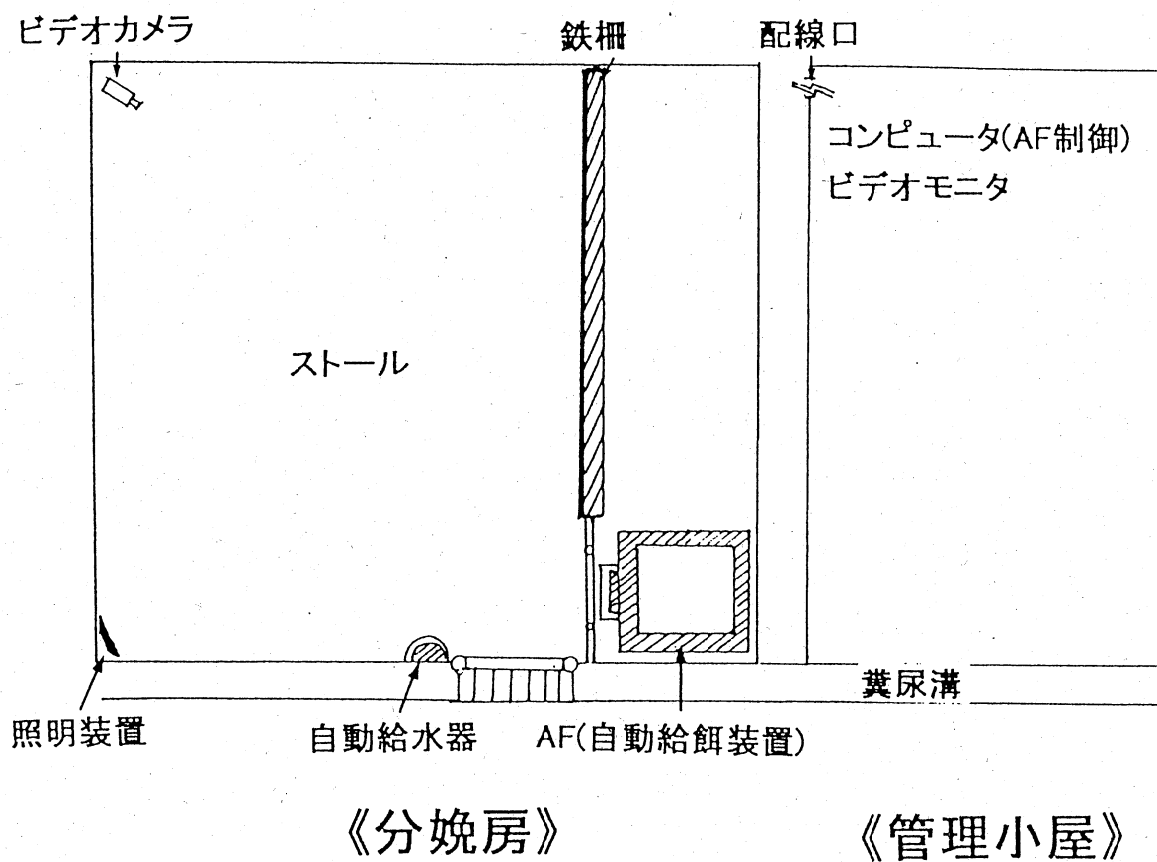


図3.特別管理牛舎内分娩房と主要設備の概略図

結 果

1. 各環境条件下における行動の比較

1.1 起立行動・横臥行動及び採食行動に費やした時間

1.1.1. 環境制御室内恒常環境試験

環境制御室内恒常環境下におけるウシの起立行動・横臥行動及び採食行動に費やした時間は表1.1.1に示した。この試験は24時間恒常明であるが、後のズートロン内明暗条件下との比較のために7:00～19:00までをCL1(Constant Light1)、同様に19:00～翌7:00までをCL2(Constant Light2)とした。

CL1とCL2との測定日ごとの比較においては、起立行動・横臥行動及び採食行動のいずれに関しても明らかにどちらかが長いとはいえなかった。実際、起立行動に関しては、12時間当たりの最小時間は212分で、それに対して最大時間は528分と、2倍以上の差があった。横臥行動に関しても最小で192分の時があったのに対して、最大では508分の時があり、起立行動と同様に2倍以上の差があった。また採食行動においても、最小時間が69分であったのに対して最大時間は237分と、3倍以上の差が認められている。ただし、ここで分けたCL1及びCL2は便宜上の分類であり、振り分けた12時間の時間帯において、ウシの行動が24時間の周期性を持たないようなものであれば、必然的にずれていってしまうため、明確にはなりにくくなると思われる。それが指し示すように、全測定日の平均で見ると、起立行動では334分に対して378分、横臥行動では387分に対して342分、また採食行動では165分に対して135分と、いずれの行動においても有意な差は見られなかった($p < 0.05$)。また24時間の範囲で行動を振り分けた場合にも、起立時間と横臥時間は712分に対して729分と、ほぼ均等に1日(1440分)が配分されているよ

うに思われる。

1. 1. 2. 環境制御室内明暗周期試験

環境制御室内明暗周期下におけるウシの起立行動・横臥行動及び採食行動に費やした時間は表1. 1. 2に示した。実験条件に従って、暗期(Dark:D)と明期(Light:L)で分類した。これは実際の時間ではそれぞれ7:00~19:00までと19:00~翌7:00までのそれぞれ12時間(720分)に相当するものとする。

明期と暗期との差は明確なものとなった。起立行動と採食行動に関しては、どの測定日においても明期に行われる時間が長く、一方、横臥行動に関しても同様に、いずれの期間においても暗期に行われる時間が長くなった。従って、全測定日の平均においても明期と暗期との間に有意な差が見られた($p < 0.05$)。起立行動と横臥行動の比較においては、暗期においも明期においても横臥行動に費やした時間の方が長く、24時間当たりでは起立行動の545分に対して横臥行動は896分と、横臥行動に費やした時間の方が明らかに長かった。

1. 1. 3. 特別管理牛舎内不断給餌試験

特別管理牛舎内不断給餌下におけるウシの起立行動・横臥行動及び採食行動に費やした時間は表1. 1. 3に示した。この季節は日の出が4:30頃、日の入りが19:00頃であった。牛舎内は外部環境の影響を受けるため、はっきりとした明期と暗期の境はないが、牛舎内が十分明るくなるのが5:00頃、また暗くなるのが6:30頃であったため、主として7:00~19:00までを日中(Day Time:DT)とし、19:00~翌7:00までを夜間(Night Time:NT)とした。

7月23日~7月24日の24時間を除いた他のすべての期間中において、起立行動に関し

ては夜間よりも日中に行われる時間が長く、横臥行動に関しては、日中よりも夜間に行われる時間が長かった。また採食行動に関しては、全ての測定日において、日中よりも長い時間が費やされた。従って、夜間の平均時間と日中の平均時間との比較においては、起立及び採食行動に関しては日中に長く、横臥行動に関しては夜間に有意に長くなった ($p < 0.05$)。24時間当たりの起立時間と横臥時間を比較してみると、起立が678分に対して横臥は764分と、わずかに横臥行動に費やす時間が長かったが明確な差ではなく、比較的均等に配分されているように思われた。

1.1.4. 特別管理牛舎内制限給餌1

特別管理牛舎内制限給餌1下におけるウシの起立行動・横臥行動及び採食行動に費やした時間は表1.1.4に示した。起立行動に関しては、各測定日によって日中に費やす時間が長かったり、あるいは夜間に費やす時間の方が長かったりと、明白ではなく、全測定日の平均では日中に343分、夜間に280分と、若干日中に費やされる時間の方が長いが有意な差ではなかった ($p > 0.05$)。これは横臥行動に関しても同様に当てはまるものであり、全測定日の平均においては日中の378分に対して夜間の440分と、夜間に費やされた時間が長かったが、これも有意な差ではなかった ($p > 0.05$)。採食行動に関しては、19:00~1:00まで制限給餌を行ったため、夜間に行われる時間が有意に長くなった ($p < 0.05$)。24時間での平均の起立時間と横臥時間とを比較してみると、起立の623分に対して横臥の818分と、横臥行動に費やした時間の方がわずかに長いですが、明白な差ではなかった。

1.1.5. 特別管理牛舎内制限給餌2

特別管理牛舎内制限給餌2下におけるウシの起立行動・横臥行動及び採食行動に費や

した時間は表1. 1. 5に示した。起立行動と横臥行動はともに、各測定日によって日中に長く費やしていたり、あるいは夜間に長く費やしていたりしているが、全測定日の平均では、起立行動に関しては日中の299分に対して夜間の301分、横臥行動に関しては日中の418分に対して夜間の420分と、どちらも有意な差が見られなかった($p>0.05$)。採食行動に関しては、0:00~6:00までの制限給餌を行ったため、夜間において有意に長い時間が費やされた($p<0.05$)。24時間当たりの平均の起立時間と横臥時間とを比較すると、起立の599分に対して横臥の838分と、横臥行動に費やした時間の方が長かった。

1. 2. 起立行動・横臥行動及び採食行動一回当たりに費やした時間

1. 2. 1. 環境制御室内恒常環境試験

環境制御室内恒常環境下におけるウシの起立行動・横臥行動及び採食行動、それぞれ一回当たりに費やした時間を表1. 2. 1に示した。CL1とCL2の比較においては、起立行動及び採食行動ともに、測定日によってばらつきがあった。全測定日の平均においては、起立行動に関してはCL1に対してCL2の方が54.7分に対して78.2分と、一回当たりに費やす行動時間はCL2の方が長くなったが、これは有意な差ではなかった($p>0.05$)。横臥行動に関してもCL1とCL2の間に有意な差はなかった($p>0.05$)。採食時間に関しては、2月25日~2月26日の測定日において、CL1には他よりも明らかに長い採食行動が行われている。これは一回当たりの採食行動を考えたときに、採食の途中で飲水や排泄などによる短時間の中断が見られることから、これらを排除してひとまとめにする規則として、採食後3分以内に次の採食が行われた場合はこれを一続きの採食行動と見なし、一方、採食後3分以上経過した後に次の採食が行われた場合を次の採食としてまと

めた結果、採食回数が偶然的に少なくなった結果と考えられる。

起立行動及び横臥行動に関して、一回当たりの行動時間の回数を10分間隔を一つの階級として、度数分布に表したものを図1.2.1に示した。起立行動に関しては、11分～20分の短いものが最も多いが、際だって多いとはいえ、1分～70分までのもので全体の7割に相当した。横臥行動に関しては、31分～40分のもものが最も多いが、この階級と91分～100分のもものが2つのピークを示す形で、平均的に分布しているように思われた。

1.2.2. 環境制御室内明暗周期試験

環境制御室内明暗周期下におけるウシの起立行動・横臥行動及び採食行動、それぞれ一回当たりに費やした時間を表1.2.1に示した。起立行動に関しては、すべての測定日において、明期一回当たりに行われた時間の方が長く、全測定日の平均において、明期と暗期との間に有意差が見られた($p < 0.05$)。一方、横臥行動に関しては各測定日によってばらついており、全測定日の平均においては、暗期の82.6分に対して明期の81.0分と、明期と暗期の間に有意な差は見られなかった($p > 0.05$)。採食行動に関しても横臥行動と同様に、測定日によってばらついており、全測定日の平均においては、明期と暗期はともに約10分であり、有意な差は見られなかった。($p > 0.05$)

起立行動及び横臥行動に関して、一回当たりの行動時間の回数を、10分間隔を一つの階級として度数分布に表したものを図1.2.2に示した。起立行動に関しては31分～40分までのものが最も多く、続いて11分～20分のもものが多かった。これらは他と比べても際だって多く、2つを合わせると全体の3割以上を占める。それ以外はそれぞれ全体の1割に満たないものであった。横臥行動に関しては、61分～70分のもものが最も多く、続いて91分～100分のもものが多かった。横臥行動は61～70分の階級を中心に分布してい

るように思われる。次に、この図を明期と暗期とに分けたものをそれぞれ図1. 2. 2a及び図1. 2. 2bに示した。

起立行動に関しては、明期では21分未満のものではなく、71分～80分のを最大として、21分～60分までの各階級は同程度に11%の割合で存在した。一方、暗期では、11分～20分及び31～40分のところが、それぞれ全体の四分の一を占め、残りはそれぞれ全体の1割以下であった。横臥行動に関しては、明期では61分～70分の20%が最大で、71分～80分及び91分～100分の階級が16.7%と後に続いた。また100分を越える長い横臥時間についてはほとんどなかった。一方、暗期では41分～50分のものが最大であり、続いて51分～60分、81分～90分、91分～100分、及び121分～130分とが同程度に存在しており、短時間よりも長時間のものが多く見られる傾向にあった。

1. 2. 3. 特別管理牛舎内不断給餌

特別管理牛舎内不断給餌下におけるウシの起立行動・横臥行動及び採食行動一回当たりにより費やした時間は表1. 2. 3に示した。起立行動に関してはすべての測定日において日中に行われる時間が長く、全測定日の平均において夜間と日中との間には有意差が見られた($p < 0.05$)。横臥行動に関しては測定日によって異なり、全測定日の平均においては日中の85.2分に対して夜間が69.9分であり、わずかに夜間の方が長かったが、これは有意な差ではなかった($p > 0.05$)。採食行動においても同様に測定日による違いがあったが、全測定日の平均においては日中の11.2分、夜間の10.4分と有意な差はなかった($p > 0.05$)。

起立行動及び横臥行動に関して、一回当たりの行動時間の回数を、10分間隔を一つの階級として、度数分布に表したものを図1. 2. 3に示した。起立行動に関しては41分～50分までのものが最大であったが約60分を中心に分布していると考えられる。横臥行

動に関しては51分～60分及び61分～70分のものが最大であり、約80分を中心に分布していると考えられる。また、2時間を超える長時間の起立あるいは横臥行動も認められた。

1. 2. 4. 特別管理牛舎内制限給餌1

特別管理牛舎内不断給餌下におけるウシの起立行動・横臥行動及び採食行動一回当たりにより費やした時間を表1. 2. 4に示した。起立行動に関しては測定日によってばらつきがあり、全測定日の平均においては日中で70.6分、夜間で66.2分と有意な差は見られなかった($p>0.05$)。横臥行動に関しては9月14日～9月15日の測定日を除いたすべての測定日で、日中よりも夜間の方が一回当たりの時間が長く、全測定日の平均においては夜間で108.8分、日中では72.9分と、夜間の方が有意に長かった($p<0.05$)。採食行動に関しては、19:00～1:00までの間の制限給餌による影響により、夜間の方が有意に長くなった($p<0.05$)。

起立行動及び横臥行動に関して、一回当たりの行動時間の回数を、10分間隔を一つの階級として度数分布に表したものを図1. 2. 4に示した。起立行動に関しては、21分～30分のものが最大で、全体の約15%を占めており、ここを中心に分布した形と考えられる。続いて11分～20分及び51分～60分のもが多く、その他はそれぞれ10%に満たないものであった。横臥行動に関しては、71分～80分までのものが最も多いが全体の11%に留まり、60分～140分までは同程度に分散している。

1. 2. 5. 特別管理牛舎内制限給餌2

特別管理牛舎内不断給餌下におけるウシの起立行動・横臥行動及び採食行動一回当たりにより費やした時間を表1. 2. 5に示した。起立行動に関しては、測定日によってばらつき

があるが、全測定日の平均においては、日中で66.3分、夜間で60.6分であり、日中と夜間との間に有意な差はなかった($p>0.05$)。横臥行動に関しても同様に、測定日によって差があるが、全測定日の平均においては日中で78.3分、夜間で73.5分であり、両者に有意な差は見られなかった($p>0.05$)。採食行動に関しては、0:00~6:00までの制限給餌による影響で日中よりも夜間の方が一回当たりの時間は有意に長く($p<0.05$)、夜間は日中の約2.5倍であった。

起立行動及び横臥行動に関して、一回当たりの行動時間の回数を10分間隔を一つの階級として、度数分布に表したものを図1.2.5に示した。起立行動に関しては、31分~40分、11分~20分及び1分~10分の比較的短い時間のものが多く、全体の4割以上を占め、それ以外のものは7%未満であった。横臥行動に関しては、91分~100分のものが唯一全体の1割を越えているのを除き、それ以外はそれぞれ1割に満たず、20分~150分まで均等に分散した。

1.3. 起立後に行われる行動

ウシにとって起立が行う目的の一つは餌を食べたり、水を飲んだりする、いわゆる摂取行動が挙げられる。それ以外にも、ウシは排泄行動の際、特に尿の排出に際しては、体を弓なりに曲げる姿勢をとり、この場合に至っては横臥の最中であっても起立する。また横臥時間が長時間継続した場合、足が痺れるため起立するとも考えられている。本実験はウシが有する内因性の行動的周期性に関する研究のため、ここで起立の目的が何であるかについての検討をする。起立して3分以内に採食行動が行われたものを採食行動Aとし、また、起立後3分以上を経過しても横臥するまでの起立継続中に採食行動が一回でもあった場合を採食行動B、起立から横臥に至るまでの間、一度も採

食が行われなかった場合をその他として、表1.3.1～表1.3.5に示した。

いずれの実験条件下においても起立後に採食が行われた割合は平均して7割を超えた恒常環境下では、採食行動Aが採食行動Bをわずかに上回っているが、その他の実験条件下においては採食行動Bの方が採食行動Aを上回っている。明暗周期下では、明期中に採食する割合が多いということから考えると、明期中には採食行動Aが起りやすい。即ち、ウシは明期中には採食行動を目的として起立行動を誘発させることが多いと考えられる。その一方で暗期中においては横臥時間が長くなる傾向にあったことから、姿勢を変えることを第一の目的とした起立が起り、時にはそれに付随して採食行動が行われると思われる。これらのことから、恒常環境下以外の実験条件下では、採食行動Bの割合が多くなると考えられる。

特別管理牛舎での二つの制限給餌試験では、不断給餌試験よりも採食行動Aの回数が増えた。これは起立して採食を行おうとしても餌箱に餌の無い時間帯が存在したため、不断給餌に比べてより生命維持に関して危機感が高くなり、結果として採食行動を目的とした起立が増えるものと考えられる。

その他の行動に関しては、いずれの実験条件下においても、排泄を目的に起立行動が行われることが多かった。ただ排泄のみの場合とそれに飲水行動が含まれる場合があった。一日当たりの起立回数は少ないときで4回、多いときで13回の時もあったがウシの排泄行動は一日当たり10回程度は行われるため、たいていの起立行動には排泄行動が伴っているといえる。従って、その他の目的で起立する割合というのは低く、一般的には採食を目的に起立を行うことが多いといえるだろう。

ウシは気まぐれで起立と横臥を繰り返すわけではなく、それら一回について目的が伴うと考えられる。この目的は生理的事象に付随して起こることから、細部にまで目を凝らしていけば、行動的周期性の分析の精度をより上げることが出来るだろう。

2. 起立・横臥の一連の行動の時系列分析

生体リズムの多くは非線形振動といわれており²¹⁾、その解析は容易ではないため、一定の順序に従って解析していかなければならない。そのためには得られた情報の特徴を客観的にする必要がある。本実験においても、起立行動あるいは横臥行動と言った行動データを分析する方法によって数値化し、恒常性条件下における乳牛の行動リズムを起立・横臥を一つのサイクルとして、数学的に解析する方法を検討した。

2.1. 行動データを時系列分析するための波形変換

起立・横臥行動を時系列的にデータを分析するにあたって、起立行動と横臥行動が相反する連続性を持って行われる一つの周期として考えた。データはビデオカメラの記録の観察を元に一分ごとに記録し、ある時刻に起立行動が行われていた場合、これを数値の1とし、また横臥行動が行われていた場合は、これを数値の-1とした。このようにして一日当たり1と-1だけの1440個のデータを作成した。次に連続した1あるいは-1の和を計算し、行動が開始された時刻にその数値をおいた。これは一回当たりの各行動時間に相当する。この時系列データをx軸に時刻、y軸に起立あるいは横臥行動の継続時間として、各頂点を結んだ直線は図2.1のようになった。この図においては0を中心としてそれより上は起立行動の継続時間をそれより下は横臥行動の継続時間を表している。各頂点は、ある時刻に行われた行動時間を表し、この連続する頂点を結んで波形図にした。上の頂点から次の上の頂点まで、あるいは下の頂点から次の下の頂点までが起立・横臥を一連とした行動の一周期に該当する。また振幅の大きさは、行動の継続時間が長いほど大きな幅で示されることになる。

この方法によって得られた波形図は起立・横臥の一連の行動の周期性について、波形に必要なデータを含めた形となっており、次に周期性の分析に一般的に良く用いら

れる方法で、起立・横臥行動の行動的周期性の分析を行うことにする。

2.2. 自己相関法を用いた分析

等間隔で得られたデータに周期性があれば、あるデータとその周期性に等しい間隔で得られたデータは相関性が高いことが予想される。この原理を用いてリズムの有無を判定するために考案されたのが自己相関法(コレログラム)である¹⁵⁾。

自己相関に用いたデータは恒常環境試験で測定した期間の中でもより制度が高く行えたと思われる2月25日～2月28日までの4日分とした。相関係数の計算には1分ごとに行うよりも30分間のデータをまとめて一つのデータにする方が楽であり、またグラフにした際には大まかな形がわかりやすいため、30分間で一つのデータにする方法を用いた。自己相関法を用いて恒常環境下におけるウシの起立・横臥行動の周期性について分析した結果を図2.2に示した。

一日周期、すなわち概日リズムが存在する可能性を考慮に入れ、自己相関は48時間ずらしたところまでとった。自己相関法によって分析した結果、全体的に見て高い相関は得られなかった。しかし周期性とおぼしきものは180分付近、450分付近及び1530分付近に見られた。事によれば気まぐれでさえ起こりうる行動のような、複雑なものを分析するには自己相関分析では、周期性をはっきりさせるのには不十分であると考え、次に最大エントロピー法を用いた分析を行った。

2.3. 最大エントロピー法(MEMスペクトル)を用いた分析

一見して不規則に変動しているように見える波形から周期性を見つけるのに有効な

手段としてスペクトル(周波数分布)解析と呼ばれるものがある^{23,28,39)}。スペクトル解析にはいくつかの種類が存在し、ある行動の周期性に関して、観測波形(あるいはその自己相関係数)をフーリエ級数展開することによっても求めることが可能である。しかしフーリエ変換を用いて精度良く周期性を推定するためには、ある現象の測定時間がその周期性よりも十分長いことが必要である。フーリエ変換は有用であるが、本実験に関してはいうならば、ウシの行動的周期性を調べる実験としてはその測定期間は短いものである。そこで有限な測定データからそれだけでは測定不可能なラグを持つ自己相関係数を、情報エントロピーが最大になるように推定することによってスペクトル推定を行うことが出来る最大エントロピー法を用いて分析することにした。

2.3.1. 環境制御室内恒常環境試験

分析にあたっては、自己相関法と同様に2月25日～2月28日までの4日分の測定データを用いた。MEMスペクトル分析で得られた結果は図2.3.1に示した。

最大エントロピー法で強い周期性を得たのは波長域171.4のところと380.2のところであった。この波長域は起立・横臥一回ずつを一周期として表したものであるため、その単位は時間(分)に相当する。従って、約3時間と約6時間の周期性が強いと考えられる。ただし後者は3時間の倍時間に相当するため、3時間が影響して出現した周期性ではないかと考えられ、結論として、最大エントロピー法による分析では約3時間の周期で起立・横臥の一連の行動が行われているという結果が導かれたことになる。

2.3.2. 環境制御室内明暗周期試験

分析に用いた測定データは、3月8日～3月13日までの6日分とした。明暗周期下でのMEMスペクトルによる行動的周期性の分析結果は図2.3.2に示した。ピークは1600.0分、

711.1及び309.7分当たりが強いと思われるが、極めて大きくはなく、またその他のピークについても際だって小さいというわけではなく、複雑な形となった。711.1分はおそらく12時間の明暗に付随しているのではないかと考えられる。

2.3.3. 特別管理牛舎内不断給餌試験

分析に用いた測定データは、7月21～7月28日までの8日分とした。不断給餌下でのMEMスペクトルによる行動的周期性の分析結果は図2.3.3に示した。ピークは474.1分と1422.2分のところに極めて強く現れた。474.1分の周期性に関しては、およそ農場の作業時間の開始時刻となる8:00と終了時刻となる16:00に同調して現れたもの、すなわち社会的接触による影響であるか、もしくは日の出と日没によるもの、すなわち日周期による影響と考えられる。一方、1422.2分は約24時間にあたるため、環境周期を持つ同調因子の影響を受けて、概日リズムが現れたのではないかと考えられる。

2.3.4. 特別管理牛舎内制限給餌1試験

分析に用いた測定データは9月14日～9月18日までの5日分とした。制限給餌1下でのMEMスペクトルによる行動的周期性の分析結果は図2.3.4に示した。ピークは711.1分、486.1分、及び240分のところに極めて強く現れた。またそれ以外にも362.3分と179.4分のところに周期性が見られた。711.1分は240分よりもパワーが弱く、240分の3倍周期が影響して現れたものと考えられる。480分は240分の倍時間に相当するが、240分よりも強いパワーを示していることから、単純に240分の周期が影響を及ぼしているとは考えにくい。240分の周期は24時間の6分の1に相当するが、この実験環境下では、数々の要因が含まれており、直接的にどのような作用が働いて現れた周期であるかは不明である。

2.3.5 特別管理牛舎内制限給餌2試験

分析に用いた測定データは9月30日～10月8日までの9日分とした。制限給餌2下でのMEMスペクトルによる行動的周期性の分析結果は図2.3.5に示した。1476.9分、474.1分及び286.6分に明確な強い周期性を示した。474.1分は農場の作業時間の開始と終了に同調した、社会的接触の影響によるものと推察できる。また1476.9分は約24時間の概日リズムが現れたものと考えられ、これは日周期的に変動する同調因子によって影響されたものではないかと考えられる。286.6分に関しては、何の影響によって現れたものであるかは不明である。

2.4. 移動平均法を用いた分析

最大エントロピー法によって、各試験にそれぞれ特徴を持った周期性が見られたが、推定した周期性がどの程度の信頼性を持っているかは疑問である。そこで恒常環境下において起立・横臥行動の最小単位が約3時間であったという結果が納得のいくものであるかどうかを調べるために、移動平均法を用いて変動係数の推移を分析した。

分析にあたっては、自己相関法及び最大エントロピー法と同様の実験期間を用いておこなった。データの数は一分ごとに一つ、一日で1440個のデータとして、起立行動が行われた場合を数値の1で表し、それ以外、即ち横臥行動が行われている間は数値の0で表し、これを分析にかけた。最大エントロピー法による分析の結果から、約3時間までは顕著な変化が見られるであろうと予想し、集計時間を1時間単位で行った。まず移動平均を算出して、その平均値及び標準偏差を算出した。そこから変動係数を求め、集計時間との関係を図2.4に示した。

変動係数は3～4時間ずらしたところまではある程度急激に落ちていき、それ以後カ

ープはなだらかになった。図2.4においては9時間の集計時間まで変動係数は減少し続けている。これ以降も減少し続けていくことが予想されるが、おそらく0.2付近に収束すると思われる。すなわち、周期性が安定に導かれるまでは3時間前後必要であると考えられ、この結果から最大エントロピー法により推定された起立・横臥行動の最小単位として約3時間が適当であるというのは、納得のいくものであるだろうと推察した。

3. 各実験条件下における体温あるいはルーメン内温度の変動

本実験では行動的周期性の研究を目的とされているが、ウシの生体情報を知る上で、生理的指標として最も頻繁に用いられているのは体温の変動である。そこで、ここでは本実験で得られた体温とルーメン内温度のデータを元に、結果の報告と考察を行うことにする。

体温の変動について5つの環境条件下で試験した結果を図3.1～図3.5に示した。

図3.1は恒常環境下におけるウシの平均体温を表したものである。体温は日周期下における変動に似た変動を示しており、概日リズムを刻んでいるように思われる。しかし、環境制御室内の温度は変動幅約 2°C 未満に押さえられており、それ自体が外因性の同調因子とはなりえず、体温の変動幅は 0.3°C 程度に収まっていた。このことから、恒常明環境下では、体温には24時間の概日リズムは残っている。

図3.2は明暗周期下における全測定期間の平均体温を表したものである。体温は1.5時間程度の周期で頻繁に上昇と下降を繰り返した。最も低くなったのは19:00頃でありこの時間は明暗周期試験における明期の開始時刻に相当した。この図からは明期中には体温が上昇し、暗期中には下降するという傾向が見られた。

図3.3は特別管理牛舎における不断給餌下での全測定期間の平均体温を示したものである。体温の変動は安定しており、7:00に下のピークを19:00頃には上のピークを示した。体温は環境の変化から日周期的な影響を受け、概日性を示した。

図3.4及び図3.5は特別管理牛舎における制限給餌条件下での全測定期間の平均体温を示したものである。制限給餌1下においては不断給餌下と同様に、8:00頃に下のピークを示したが、その後においては不断給餌下での直線的な上昇に対して、制限給餌1下では二次曲線的な上昇を示した。一方、制限給餌2下では際だったピークを示さず、通常の日内周期による影響が、給餌を制限したことによって相殺されたような形となっ

た。

以上の結果において、恒常明環境下では24時間の概日リズムを示す傾向にあったが、起立・横臥行動のスペクトル分析においては明確な24時間の概日性は示していないことから、起立・横臥行動またはそれに付随する採食行動について、これらは直接的に乳牛の体温に影響を及ぼしうるものではなく、その他の環境因子によって行動が影響されて概日性を持ち、体温変動の周期性の位相に行動的周期性の位相が重なるものと考えられる。

図3.6～図3.8は特別管理牛舎における給餌制限試験での平均ルーメン内温度の変動を示したものである。ルーメン内は、ウシが飲水を行うことによって急激な温度の低下が生じるため、すべての期間の平均を取ってみても、針が細かく振れたような形となった。

不断給餌下ではルーメン内温度は体温の変動と似た変動を示した。このことから、ルーメン内温度も体温と同様に概日性の周期を持って変動していると考えられる。しかし、制限給餌1及び制限給餌2下においては、体温の変動とはすぐわなない変化を示し、体温とルーメン内温度とは、あたかも独立しているかのようにさえ思われる。ルーメン内の温度が著しく変動し始めたのは、制限給餌1では20:00頃、また制限給餌2では0:00頃であり、これは制限給餌の開始時刻に相当する。制限給餌が行われていない時間帯においては、両制限給餌条件ともに、ルーメン内の温度は安定しており、この間、外部環境の温度変化に強い影響を受けているとは考えにくい。これらのことから推察すると、ルーメン内の温度は、給餌が制限されないような環境下では体温の影響を受けた変動を示し、一方給餌が制限された環境下では、それでもルーメン内部の恒常性を保つような恒常性の維持機構が働くものと考えられる。不断給餌下において、体温の変動から少し遅れてルーメン内温度の変動がついてくるような形を示していること、

また、飲水は体温を低下させる目的にも行われていることなどを総合して、体温とルーメン内温度とは、ある意味では独立した維持活動を行いながらも、一方的ではなく相互的に影響を及ぼし合い、一つの生体を司っていると考えられる。従って、よりウシを知る上では体温の変動だけでなく、ルーメン内温度にも注目する必要があると考えられる。

表1.1.1.1. 恒常環境下で牛が起立・横臥及び採食行動に費やした時間

	起立			横臥			採食				
	CL1	CL2	TOTAL	CL1	CL2	TOTAL	CL1	CL2	TOTAL		
2/20~2/21	382	313	695	339	407	746	199	88	287		
2/21~2/22	337	212	549	384	508	892	211	81	292		
2/22~2/23	305	392	697	416	328	744	192	237	429		
2/25~2/26	288	456	744	433	264	697	148	147	295		
2/26~2/27	314	346	660	407	374	781	134	113	247		
2/27~2/28	328	528	856	392	192	584	210	149	359		
2/28~2/29	383	401	784	338	319	657	69	129	198		
AVERAGE	334	378	712	NS	387	729	NS	166	135	301	NS

表中の値は時間(分)を表す

CL1は常明を意味し、7:00~19:00に相当する

CL2は常明を意味し、19:00~翌7:00に相当する

NSはCL1とCL2との間に有意差がないことを示す(p>0.05)

表1.1.2. 明暗周期下で牛が起立・横臥及び採食行動に費やした時間

	起立			横臥			採食		
	D	L	TOTAL	D	L	TOTAL	D	L	TOTAL
3/8~3/9	226	305	531	495	415	910	57	153	210
3/9~3/10	231	329	560	490	391	881	67	193	260
3/10~3/11	235	306	541	486	414	900	62	166	228
3/11~3/12	259	368	627	462	352	814	111	153	264
3/12~3/13	179	287	466	542	433	975	102	130	232
AVERAGE	226	319	545	495	401	896	80	159	239

表中の値は時間(分)を表す

Dは暗期(Dark)を意味し、実際の時間は7:00~19:00に相当する

Lは明期(Light)を意味し、実際の時間は19:00~翌7:00に相当する

*はDとLとの間に有意差があることを示す(P<0.05)

表1.1.3. 不断給餌下で牛が起立・横臥及び採食行動に費やした時間

	起立			横臥			採食		
	DT	NT	TOTAL	DT	NT	TOTAL	DT	NT	TOTAL
7/21~7/22	367	142	509	354	578	932	155	51	206
7/22~7/23	492	185	677	229	538	767	201	80	281
7/23~7/24	359	379	738	362	341	703	123	87	210
7/24~7/25	457	276	733	264	444	708	135	69	204
7/25~7/26	481	189	670	240	531	771	135	75	210
7/26~7/27	367	254	621	354	466	820	109	44	153
7/27~7/28	480	315	795	241	405	646	196	53	249
AVERAGE	429	249	678	292	472	764	151	66	216

表中の値は時間(分)を表す

DTは日中を意味し、7:00~19:00までに相当する

NTは夜間を意味し、19:00~翌7:00までに相当する

*はDTとNTとの間に有意差があることを示す(p<0.05)

表1.1.4. 制限給餌1下で牛が起立・横臥及び採食時間に費やした時間

	起立			横臥			採食		
	DT	NT	TOTAL	DT	NT	TOTAL	DT	NT	TOTAL
9/14~9/15	458	207	665	263	513	776	93	118	211
9/15~9/16	402	217	619	319	503	822	43	173	216
9/16~9/17	241	251	492	480	469	949	52	158	210
9/17~9/18	353	246	599	368	474	842	42	144	186
9/18~9/19	396	332	728	325	388	713	39	176	215
9/19~9/20	320	235	555	401	485	886	33	149	182
9/22~9/23	310	400	710	411	320	731	18	172	190
9/23~9/24	261	354	615	460	366	826	14	179	193
AVERAGE	343	280	623	NS	378	NS	42	159	200

表中の値は時間(分)を表す

DTは日中を意味し、7:00~19:00までに相当する

NTは夜間を意味し、19:00~翌7:00までに相当する

NSはDTとNTとの間に有意差がないことを示す(p>0.05)

*はDTとNTとの間に有意差があることを示す(p<0.05)

表1.1.5. 制限給餌2下で牛が起立・横臥及び採食行動に費やした時間

	起立			横臥			採食		
	DT	NT	TOTAL	DT	NT	TOTAL	DT	NT	TOTAL
9/29~10/1	343	266	609	348	454	802	19	127	146
10/1~10/2	247	308	555	474	412	886	37	115	152
10/2~10/3	299	284	583	422	436	858	30	137	167
10/3~10/4	330	341	671	391	379	770	47	136	183
10/4~10/5	236	356	592	485	364	849	11	157	168
10/5~10/6	297	216	513	424	504	928	51	104	155
10/6~10/7	281	344	625	440	376	816	25	134	159
10/7~10/8	358	289	647	363	431	794	55	154	209
AVERAGE	299	301	599	418	420	838	NS	34	167

表中の値は時間(分)を表す

DTは日中を意味し、7:00から19:00までに相当する

NTは夜間を意味し、19:00から翌7:00までに相当する

NSはDTとNTとの間に有意差がないことを示す($p>0.05$)

*はDTとNTとの間に有意差があることを示す($p<0.05$)

表1.2.1. 恒常環境下で牛が起立・横臥及び採食行動一回当たりにより費やした時間

	起立			横臥			採食		
	CL1	CL2	TOTAL	CL1	CL2	TOTAL	CL1	CL2	TOTAL
2/20~2/21	47.8	34.8	41.3	48.4	45.2	46.9	13.3	9.8	12.5
2/21~2/22	48.1	23.6	35.9	48.0	50.8	49.4	21.1	10.1	17.2
2/22~2/23	33.9	56.0	45.0	46.2	46.9	46.6	19.2	18.2	19.5
2/25~2/26	48.0	114.0	81.0	61.9	52.8	57.4	29.6	13.4	18.4
2/26~2/27	62.8	86.5	74.7	67.8	74.8	71.3	16.8	11.3	13.7
2/27~2/28	65.6	132.3	99.0	78.4	64.0	71.2	17.5	8.3	12.4
2/28~2/29	76.6	100.3	88.5	67.6	79.8	73.7	8.6	10.8	9.9
AVERAGE	54.7	78.2	66.5	59.8	59.2	59.5	NS	11.7	14.8

表中の値は時間(分)を表す

CL1は常明を意味し、7:00~19:00に相当する

CL2は常明を意味し、19:00~翌7:00に相当する

NSはCL1とCL2との間に有意差がないことを示す (p>0.05)

*はCL1とCL2との間に有意差があることを示す (p<0.05)

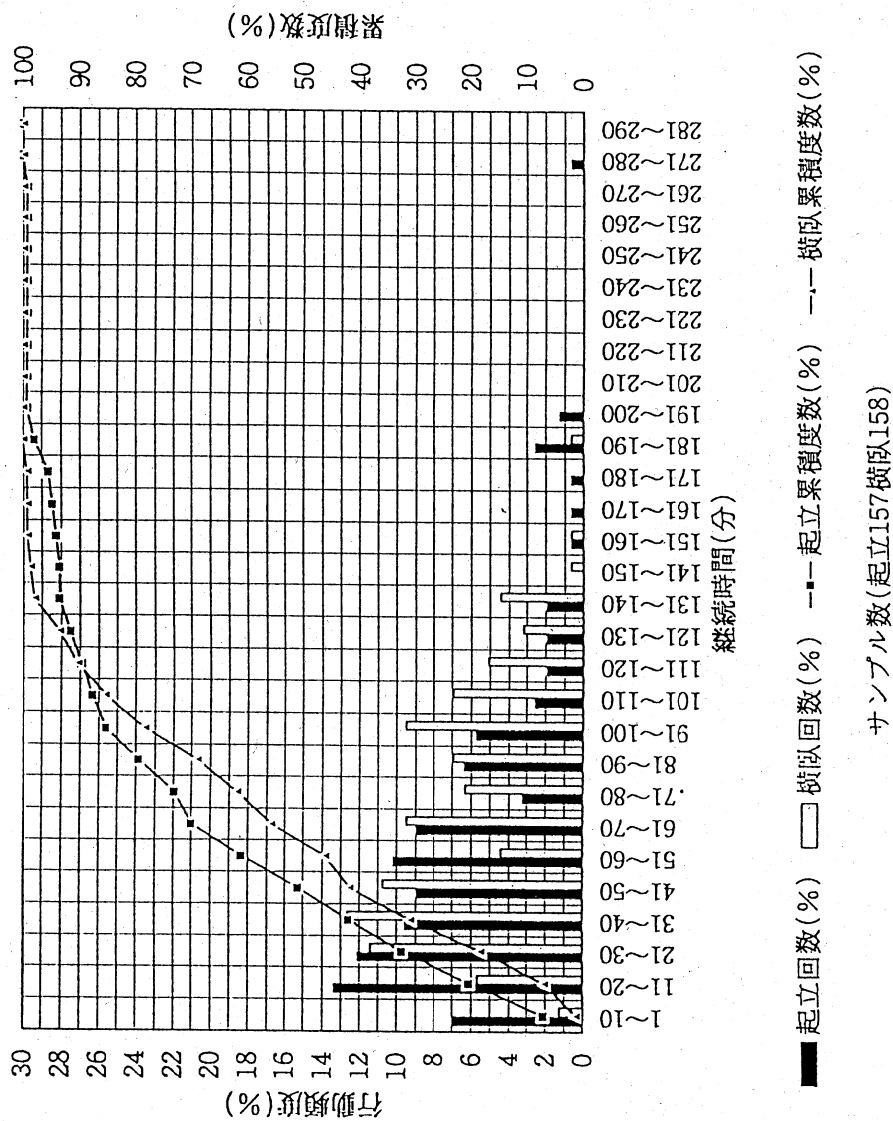


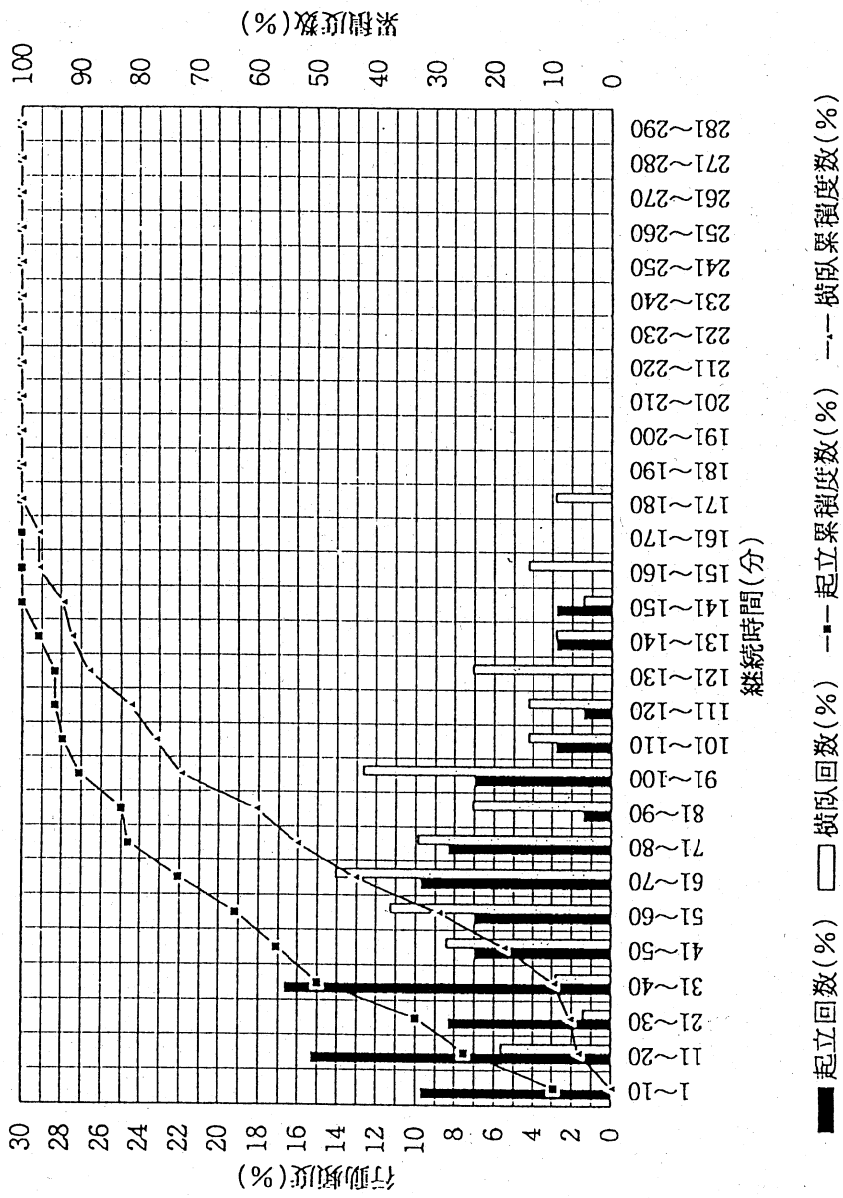
図1.2.1.1. 恒常環境下での一回当たりの起立・横臥継続時間の度数分布表

表1.2.2. 明暗周期下で牛が起立・横臥及び採食行動一回当たりにつき費やした時間

	起立			横臥			採食			
	D	L	TOTAL	D	L	TOTAL	D	L	TOTAL	
	3/8~3/9	11.9	50.8	31.4	49.5	69.2	59.4	7.1	10.2	9.1
3/9~3/10	28.9	54.8	41.9	70.0	78.2	74.1	8.4	13.8	11.8	
3/10~3/11	33.6	61.2	47.4	69.4	82.8	76.1	7.8	9.8	9.1	
3/11~3/12	51.8	73.6	62.7	115.5	88.0	101.8	11.1	9.8	8.8	
3/12~3/13	35.8	57.4	46.6	108.4	86.6	97.5	14.6	6.8	8.9	
AVERAGE	32.4	59.6	46.0	* 82.6	81.0	81.8	NS 9.8	10.1	9.5	NS

表中の値は時間(分)を表す

Dは暗期(Dark)を意味し、実際の時間は7:00~19:00に相当する
 Lは明期(Light)を意味し、実際の時間は19:00~翌7:00に相当する
 *はDとLとの間に有意差があることを示す(P<0.05)
 NSはDとLとの間に有意差がないことを示す(p>0.05)



サンプル数(起立72横臥71)

図1.2.2. 明暗周期下での一回当たりの起立・横臥継続時間の度数分布表

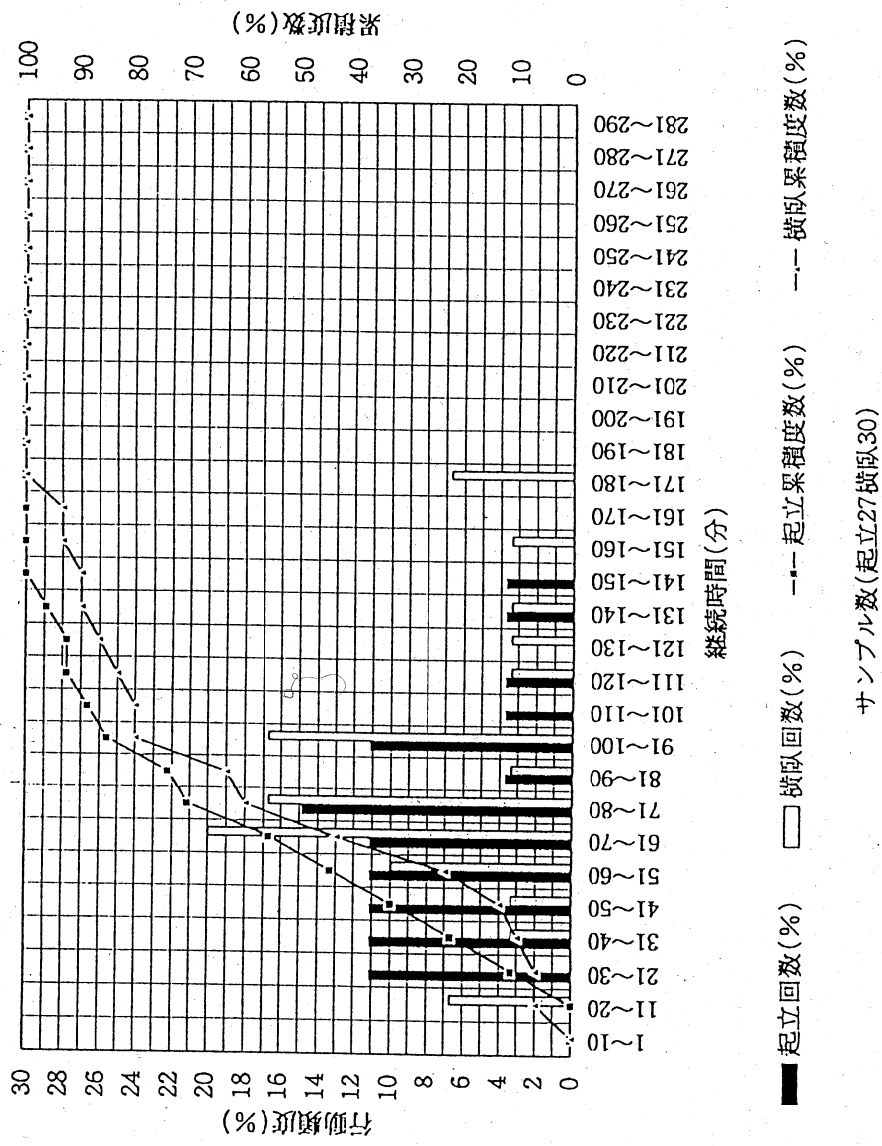
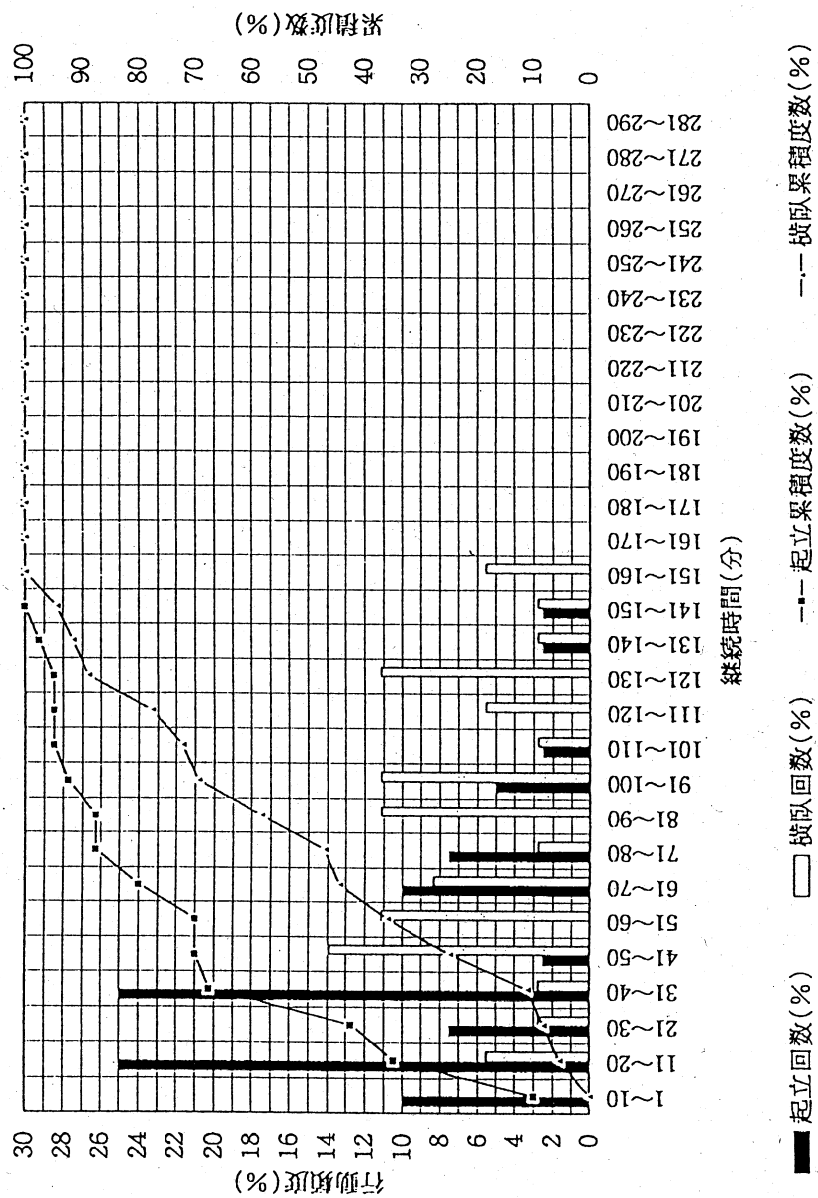


図1.2.2a. 明暗周期明期下での一回当たりの起立・横臥継続時間の度数分布表



サンプル数(起立40横臥36)

図1.2.2b. 明暗周期暗期下での一回当たりの起立・横臥継続時間の度数分布表

表1.2.3. 不断給餌下で牛が起立・横臥及び採食行動一回当たりに費やした時間

	起立			横臥			採食		
	DT	NT	TOTAL	DT	NT	TOTAL	DT	NT	TOTAL
7/21~7/22	91.8	28.4	60.1	88.5	72.3	80.4	8.2	10.2	8.6
7/22~7/23	98.4	37.0	67.7	45.8	89.2	67.5	13.4	13.3	13.4
7/23~7/24	89.8	75.8	82.8	72.4	68.2	70.3	11.2	9.7	10.3
7/24~7/25	91.4	55.2	73.3	66.0	88.8	77.4	12.3	9.9	11.3
7/25~7/26	120.3	47.3	73.8	48.0	132.8	90.4	7.9	15.0	9.5
7/26~7/27	91.8	42.3	67.6	88.5	77.7	83.1	7.8	7.3	7.7
7/27~7/28	160.0	52.5	106.3	80.3	67.5	73.9	17.8	7.6	13.8
AVERAGE	106.2	48.4	75.9	69.9	85.2	77.6	11.2	10.4	10.7
				*		NS			NS

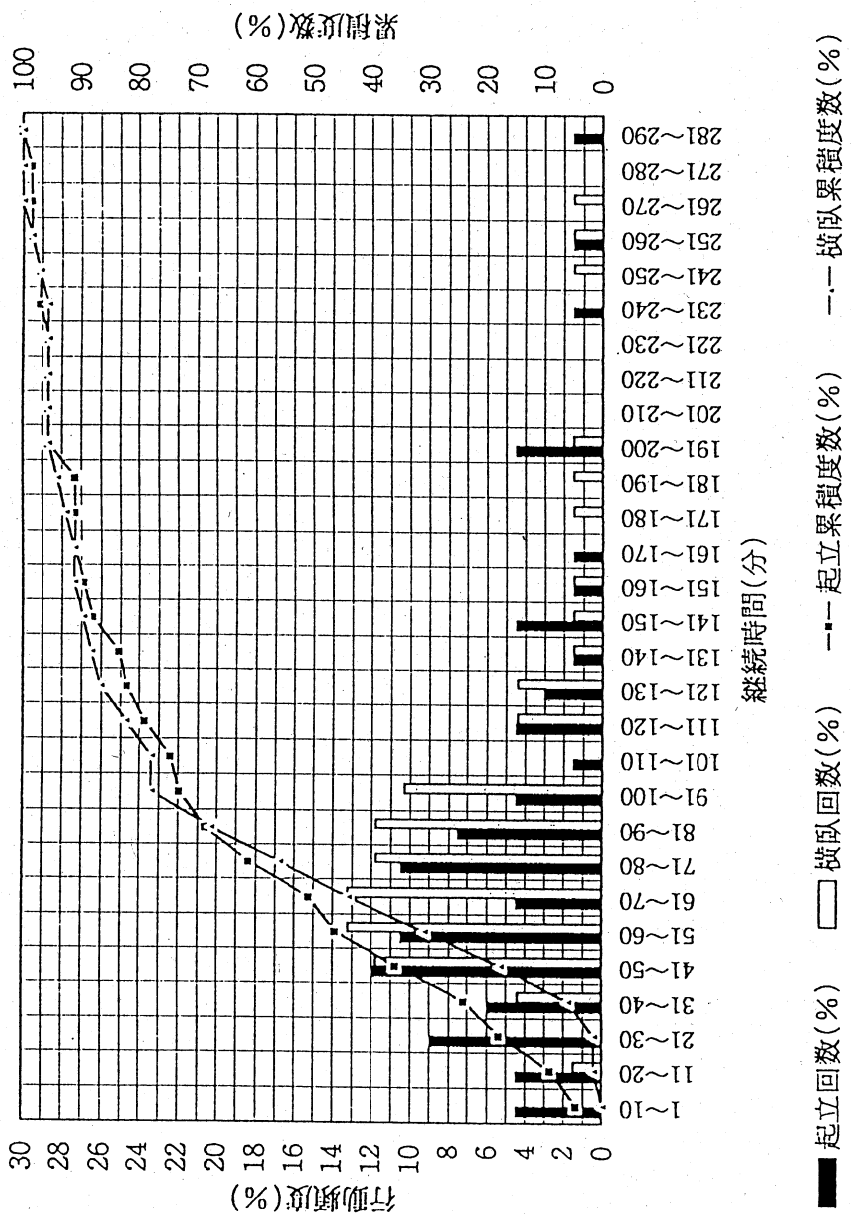
表中の値は時間(分)を表す

DTは日中を意味し、7:00~19:00までに相当する

NTは夜間を意味し、19:00~翌7:00までに相当する

*はDTとNTとの間に有意差があることを示す(p<0.05)

NSはDTとNTとの間に有意差があることを示す(p>0.05)



サンプル数(起立67横臥68)

図1.2.3. 不断給餌下での一回当たりの起立・横臥継続時間の度数分布表

表1.2.4.制限給餌1下で牛が起立・横臥及び採食時間一回当たりにより費やした時間

	起立			横臥			採食		
	DT	NT	TOTAL	DT	NT	TOTAL	DT	NT	TOTAL
9/14~9/15	152.7	34.5	98.6	87.7	85.5	86.6	5.2	11.8	8.6
9/15~9/16	80.4	43.4	61.9	63.8	100.6	82.2	3.3	24.7	10.8
9/16~9/17	48.2	50.2	49.2	96.0	117.3	106.7	3.7	22.6	10.5
9/17~9/18	58.8	61.5	60.2	61.3	118.5	89.9	4.2	20.6	10.9
9/18~9/19	66.0	110.7	88.4	46.4	129.3	87.9	3.9	29.3	13.4
9/19~9/20	64.0	58.8	61.4	80.2	121.3	100.8	5.5	14.9	11.4
9/22~9/23	62.0	100.0	81.0	82.2	106.7	94.5	3.6	14.3	11.2
9/23~9/24	32.6	70.8	51.7	65.7	91.5	78.6	4.7	14.9	12.9
AVERAGE	70.6	66.2	69.1	72.9	108.8	90.9	4.3	19.1	11.2

表中の値は時間(分)を表す

DTは日中を意味し、7:00~19:00までに相当する

NTは夜間を意味し、19:00~翌7:00までに相当する

NSはDTとNTとの間に有意差がないことを示す(p>0.05)

*はDTとNTとの間に有意差があることを示す(p<0.05)

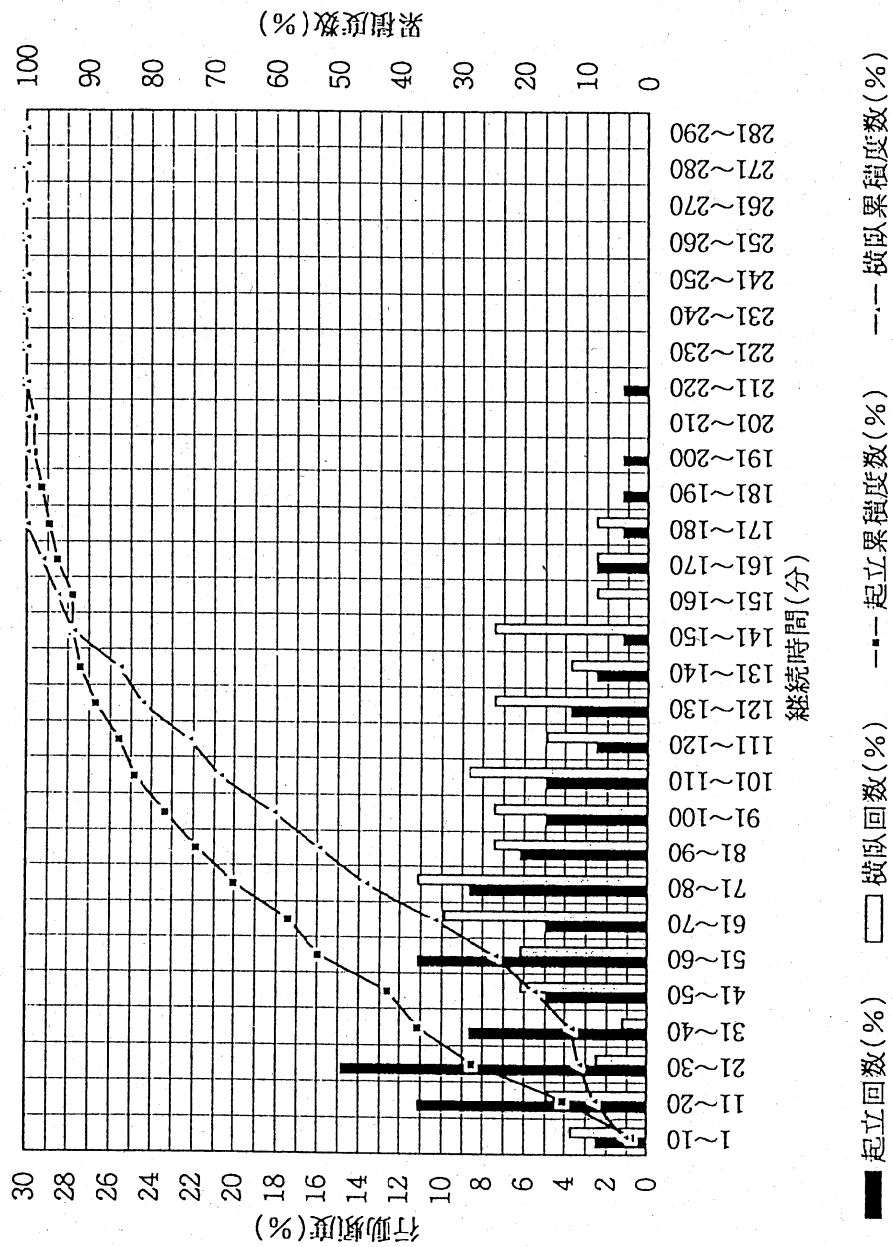


図1.2.4. 制限給餌1下での---一回当たりの起立・横臥継続時間の度数分布表

表1.2.5. 制限給餌2下で牛が起立・横臥及び採食行動一回当りに費やした時間

	起立			横臥			採食		
	DT	NT	TOTAL	DT	NT	TOTAL	DT	NT	TOTAL
9/29~10/1	93.3	38.0	65.7	69.6	56.8	61.2	2.7	10.6	7.7
10/1~10/2	61.8	51.3	56.6	94.8	68.7	81.8	4.1	7.2	6.1
10/2~10/3	49.8	47.3	48.6	70.3	62.3	66.3	3.8	10.5	8.0
10/3~10/4	82.5	85.3	83.9	78.2	94.8	86.5	3.6	7.6	5.9
10/4~10/5	47.2	89.0	68.1	97.0	72.8	84.9	1.6	11.2	8.0
10/5~10/6	59.4	36.0	47.7	70.7	84.0	77.4	5.1	8.7	7.0
10/6~10/7	46.8	68.8	57.8	73.3	62.7	68.0	3.1	11.2	8.0
10/7~10/8	89.5	68.8	79.2	72.6	86.2	79.4	7.9	9.6	9.1
AVERAGE	66.3	60.6	63.5	78.3	73.5	75.7	4.0	9.6	7.5

表中の値は時間(分)を表す

DTは日中を意味し、7:00から19:00までに相当する

NTは夜間を意味し、19:00から翌7:00までに相当する

NSはDTとNTとの間に有意差がないことを示す($p>0.05$)

*はDTとNTとの間に有意差があることを示す($p<0.05$)

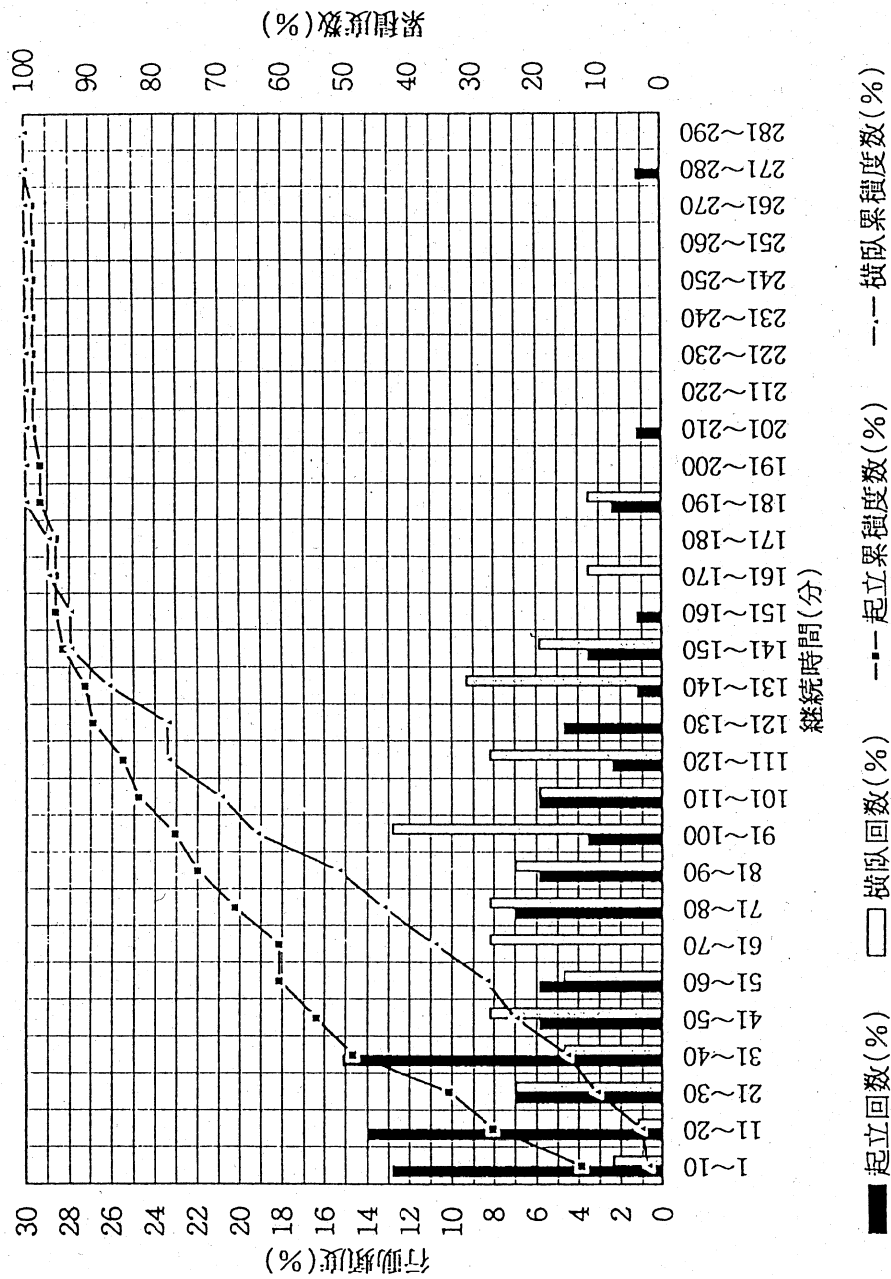


図1.2.5. 制限給餌2下での一回当たりの起立・横臥継続時間の度数分布表

表1.3.1. 恒常環境試験下で起立後に採食行動が行われた割合

恒常環境	採食行動A(回)	採食行動B(回)	その他(回)	起立回数(回/day)	割合(%)
96.2.20	4	9	4	17	76.47
96.2.21	5	4	6	15	60.00
96.2.22	7	3	6	16	62.50
96.2.23	4	5	3	12	75.00
96.2.24	7	0	3	10	70.00
96.2.25	3	3	5	11	54.55
96.2.26	4	3	1	8	87.50
96.2.27	6	2	1	9	88.89
96.2.28	2	4	2	8	75.00
96.2.29	3	2	1	6	83.33
96.3.1	6	1	4	11	63.64
96.3.2	6	5	0	11	100.00
96.3.3	5	4	3	12	75.00
96.3.4	3	4	3	10	70.00
96.3.5	4	4	1	9	88.89
平均±SD	4.6±1.5	3.5±2.1	2.9±1.9	11.0±3.1	75.38±12.6

表1.3.2. 明暗周期試験下で起立後に採食行動が行われた割合

明暗周期	採食行動A(回)	採食行動B(回)	その他(回)	起立回数(回/day)	割合(%)
96.3.6	4	4	1	9	88.89
96.3.7	3	1	0	4	100.00
96.3.8	3	8	4	15	73.33
96.3.9	3	8	2	13	84.62
96.3.10	5	3	2	10	80.00
96.3.11	3	4	1	8	87.50
96.3.12	2	7	1	10	90.00
96.3.13	3	5	1	9	88.89
平均±SD	3.3±0.9	5.0±2.5	1.5±1.2	9.8±3.3	86.65±7.80

表1.3.3. 不断給餌試験下で起立後に採食行動が行われた割合

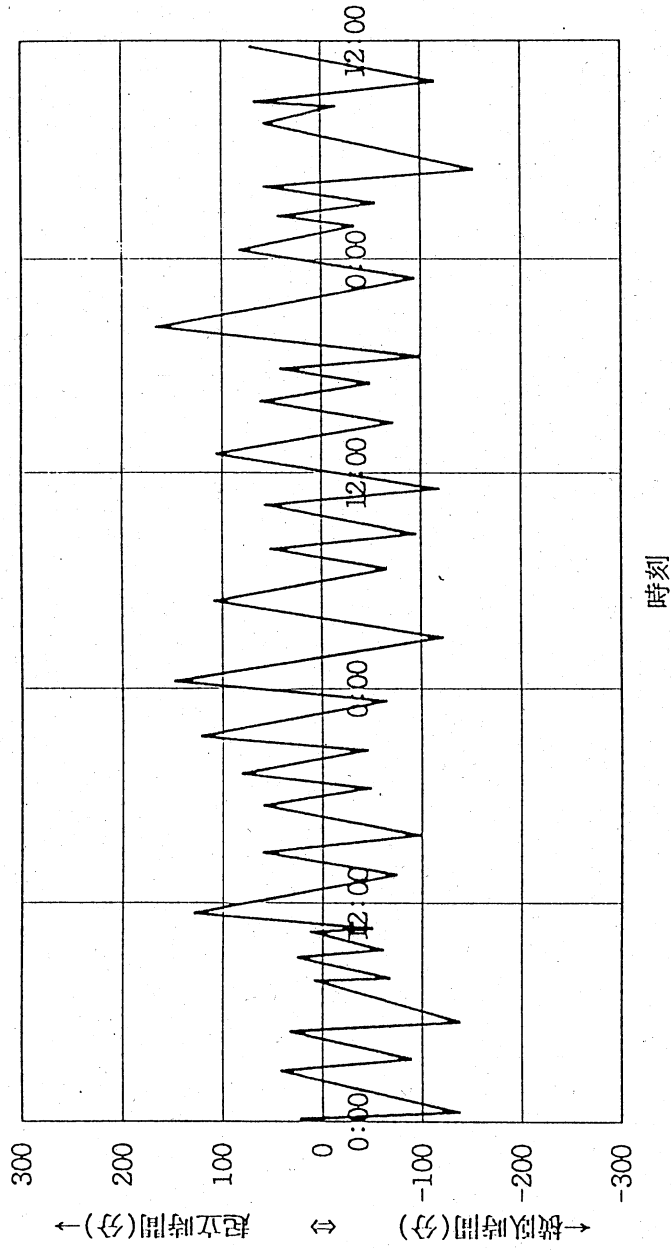
特管不断給餌	採食行動A(回)	採食行動B(回)	その他(回)	起立回数(回/day)	割合(%)
96.7.21	3	5	0	8	100.00
96.7.22	1	9	0	10	100.00
96.7.23	3	5	0	8	100.00
96.7.24	2	4	2	8	75.00
96.7.25	2	5	2	9	77.78
96.7.26	0	5	2	7	71.43
96.7.27	0	5	4	9	55.56
96.7.28	1	5	2	8	75.00
96.7.29	3	5	2	10	80.00
平均±SD	1.7±1.2	5.3±1.4	1.6±1.3	8.6±1.0	81.64±15.42

表1.3.4. 制限給餌1下で起立後に採食行動が行われた割合

特管制限給餌1	採食行動A(回)	採食行動B(回)	その他(回)	起立回数(回/day)	割合(%)
96.9.14	3	4	1	8	87.50
96.9.15	5	3	2	10	80.00
96.9.16	3	5	1	9	88.89
96.9.17	4	4	2	10	80.00
96.9.18	2	5	2	9	77.78
96.9.19	2	3	2	7	71.43
96.9.20	1	3	2	6	66.67
96.9.21	3	0	3	6	50.00
96.9.22	3	4	2	9	77.78
96.9.23	2	4	4	10	60.00
96.9.24	4	2	3	9	66.67
平均±SD	2.9±1.1	3.4±1.4	2.2±0.9	8.5±1.5	73.34±11.77

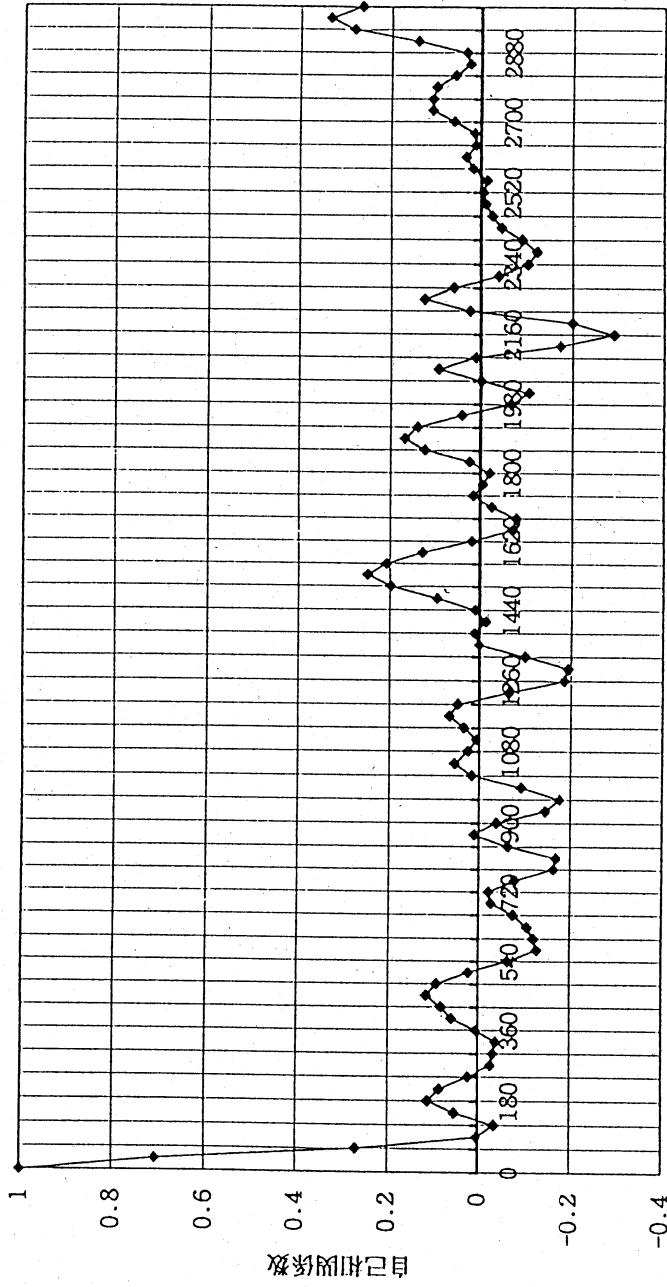
表1.3.5. 制限給餌2下で起立後に採食行動が行われた割合

特管制限給餌2	採食行動A(回)	採食行動B(回)	その他(回)	起立回数(回/day)	割合(%)
96.9.29	4	6	0	10	100.00
96.9.30	5	4	2	11	81.82
96.10.1	3	5	2	10	80.00
96.10.2	2	4	5	11	54.55
96.10.3	4	3	2	9	77.78
96.10.4	1	3	5	9	44.44
96.10.5	2	3	4	9	55.56
96.10.6	4	3	3	10	70.00
96.10.7	3	5	2	10	80.00
96.10.8	2	2	3	7	57.14
96.10.9	4	3	0	7	100.00
平均±SD	3.1±1.2	3.7±1.2	2.5±1.7	9.4±1.4	72.84±18.38



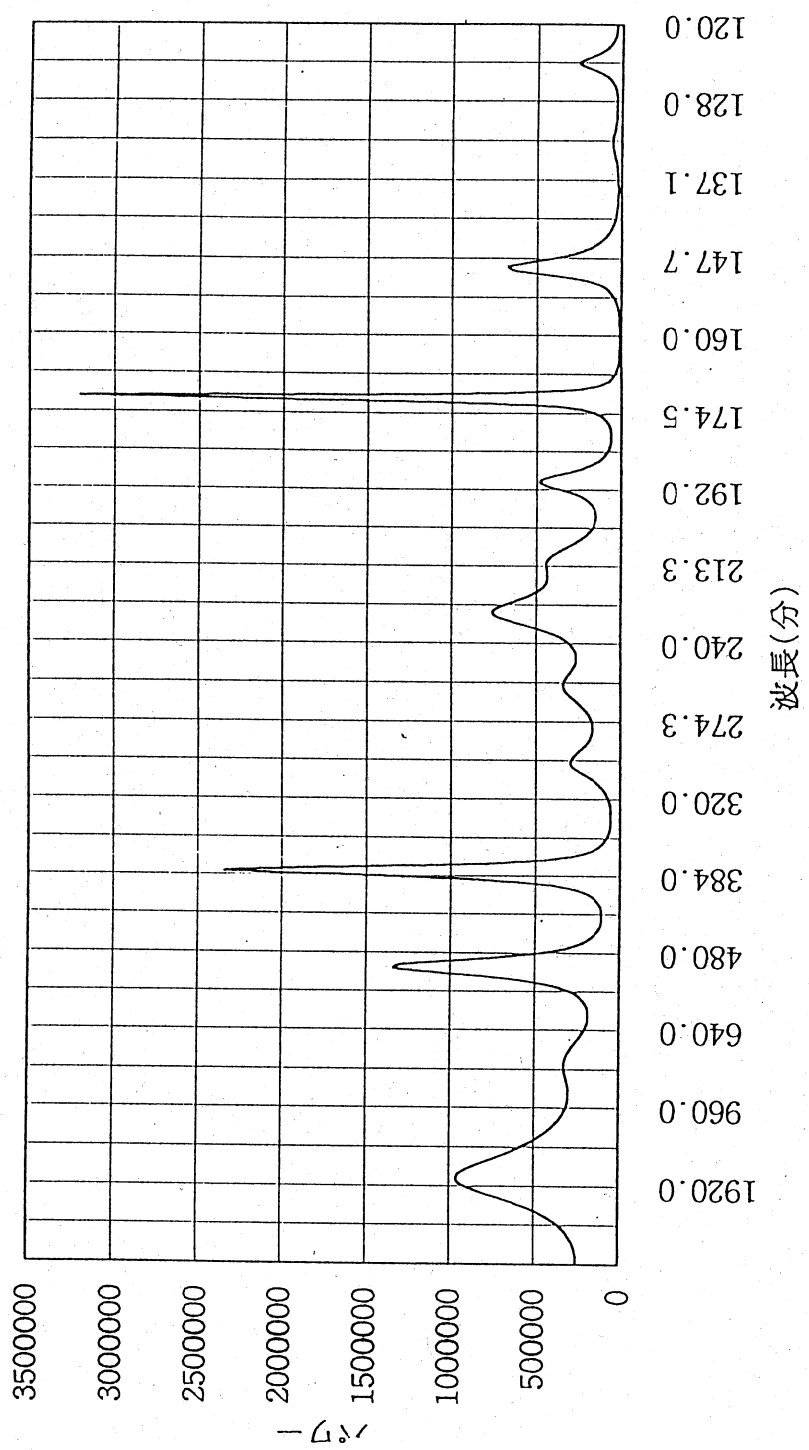
1996.2.25.0:00~1996.2.27.12:00

図2.1. 時系列分析のための牛の起立・横臥行動の波形変換図例



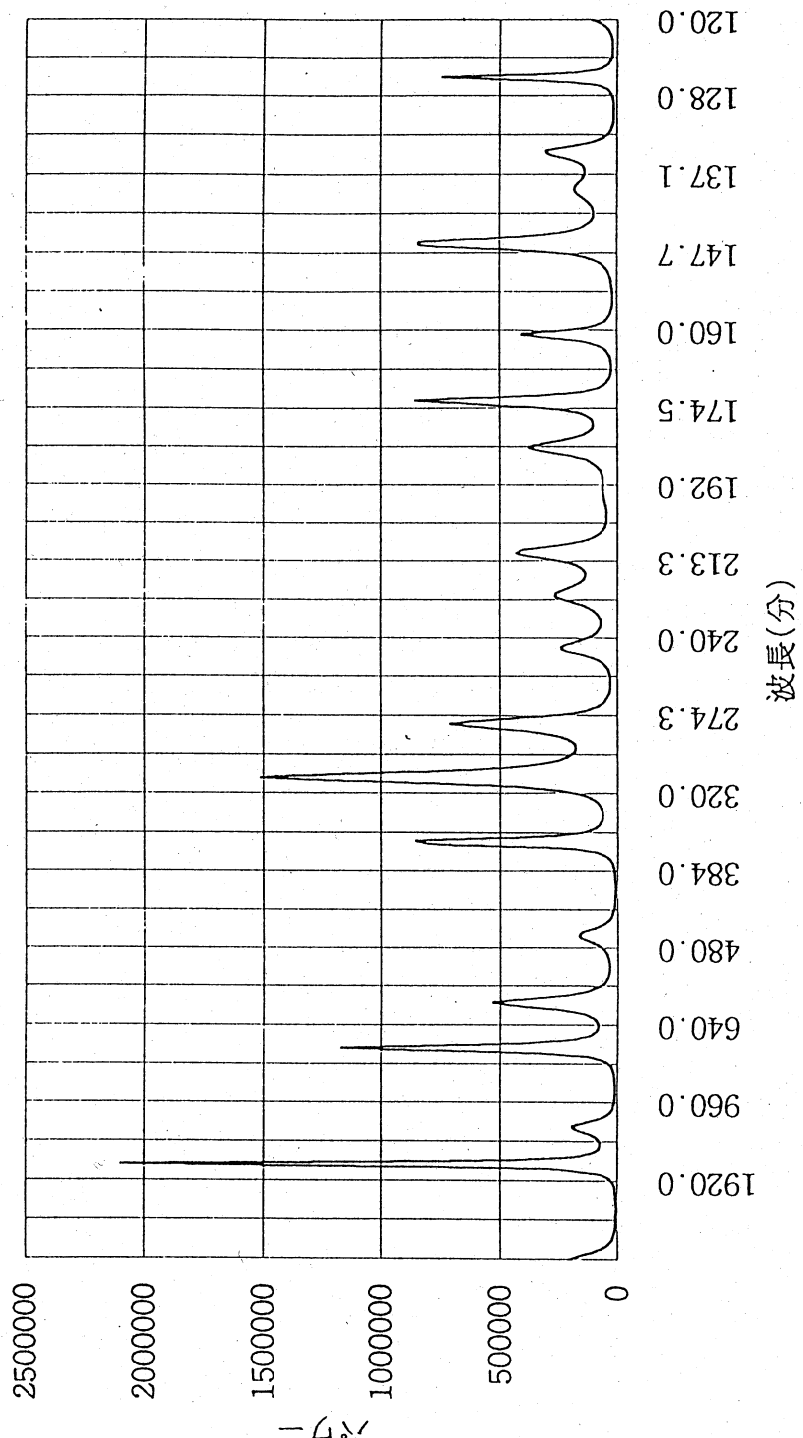
ずらしの間隔(分)

図2.2. 自己相関法を用いた恒常環境下での牛の起立・横臥行動の周期性の分析



環境制御室恒常環境

図2.3.1.MEMSスペクトルによる牛の起立・横臥行動の周期性



環境制御室明暗条件

図2.3.2.MEMSスペクトルによる牛の起立・横臥行動の周期性

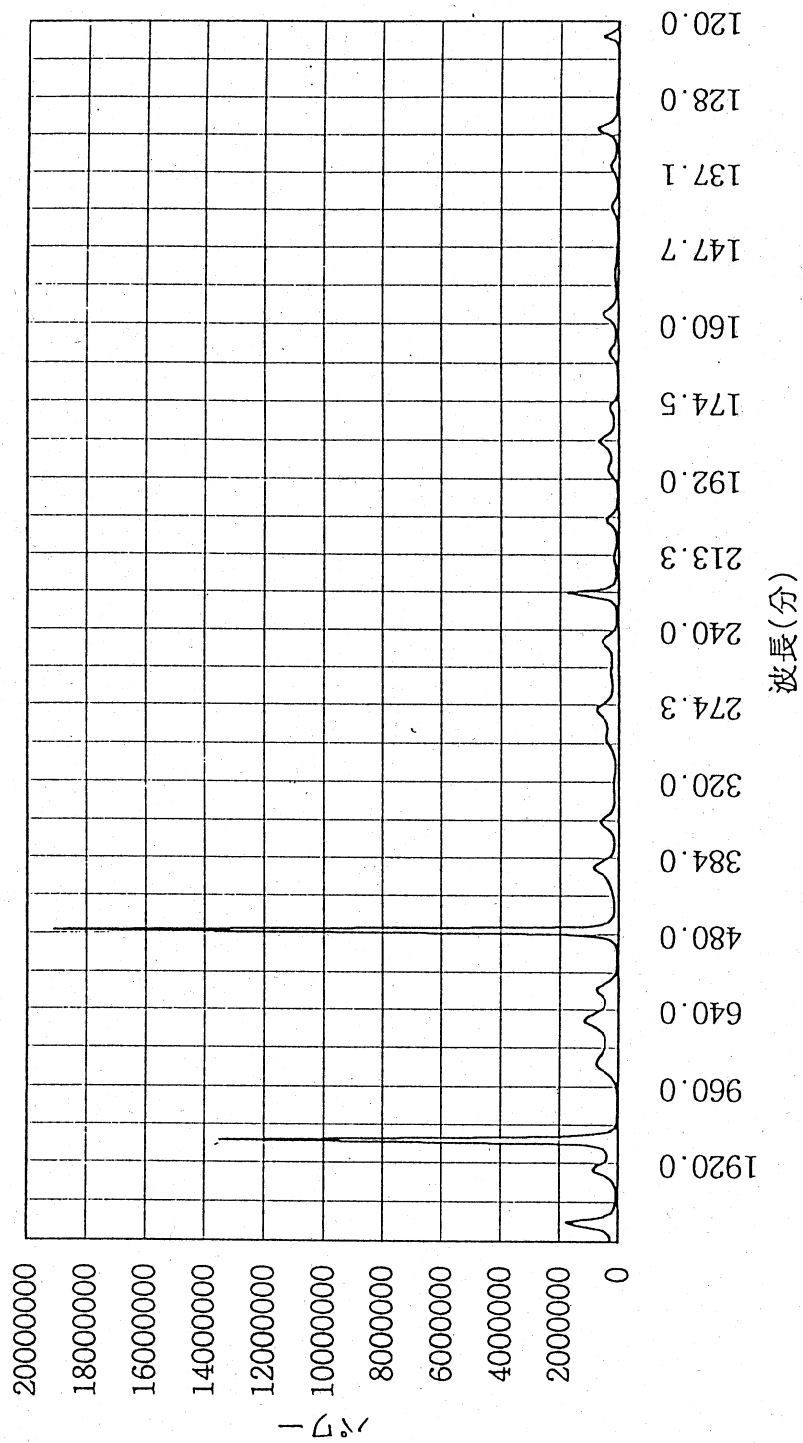
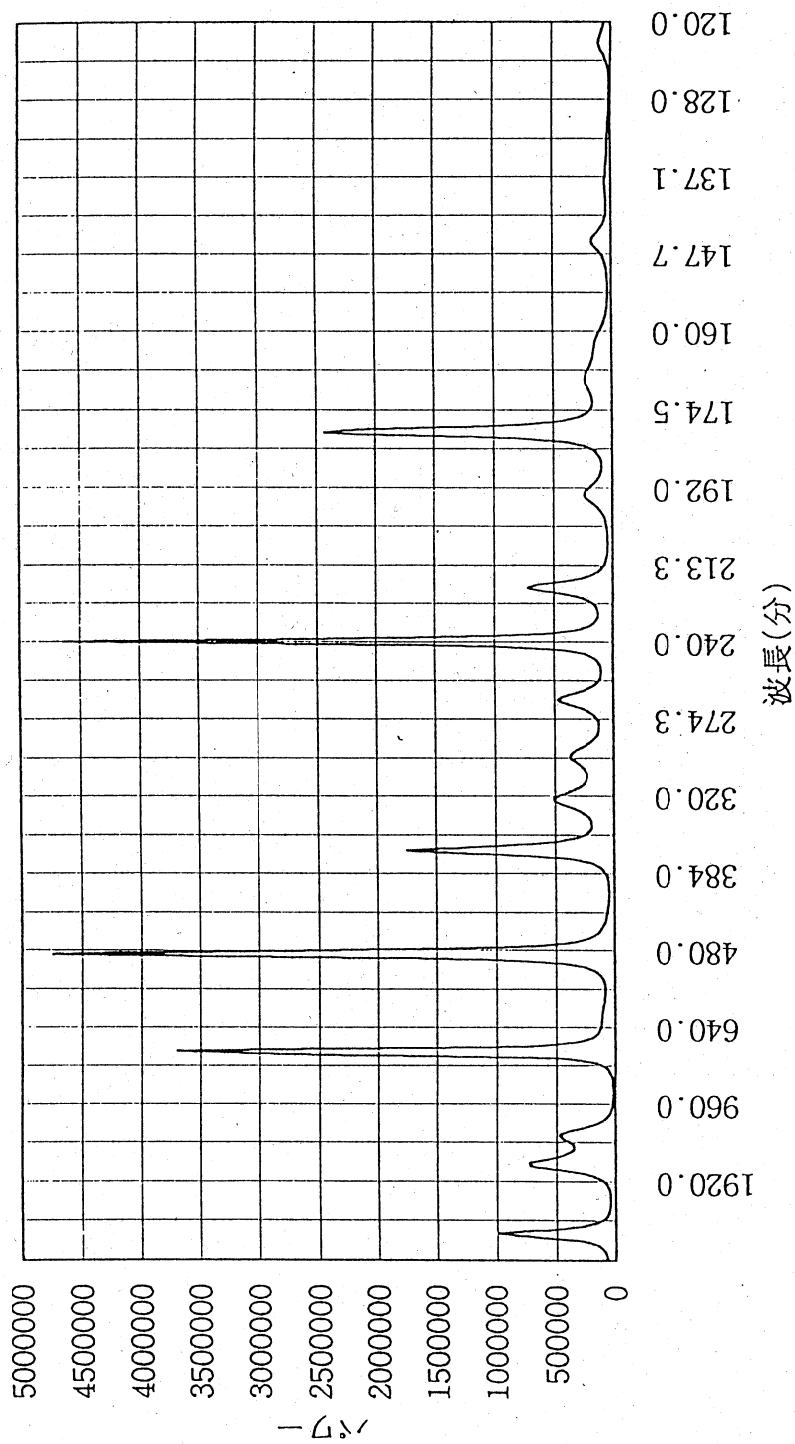
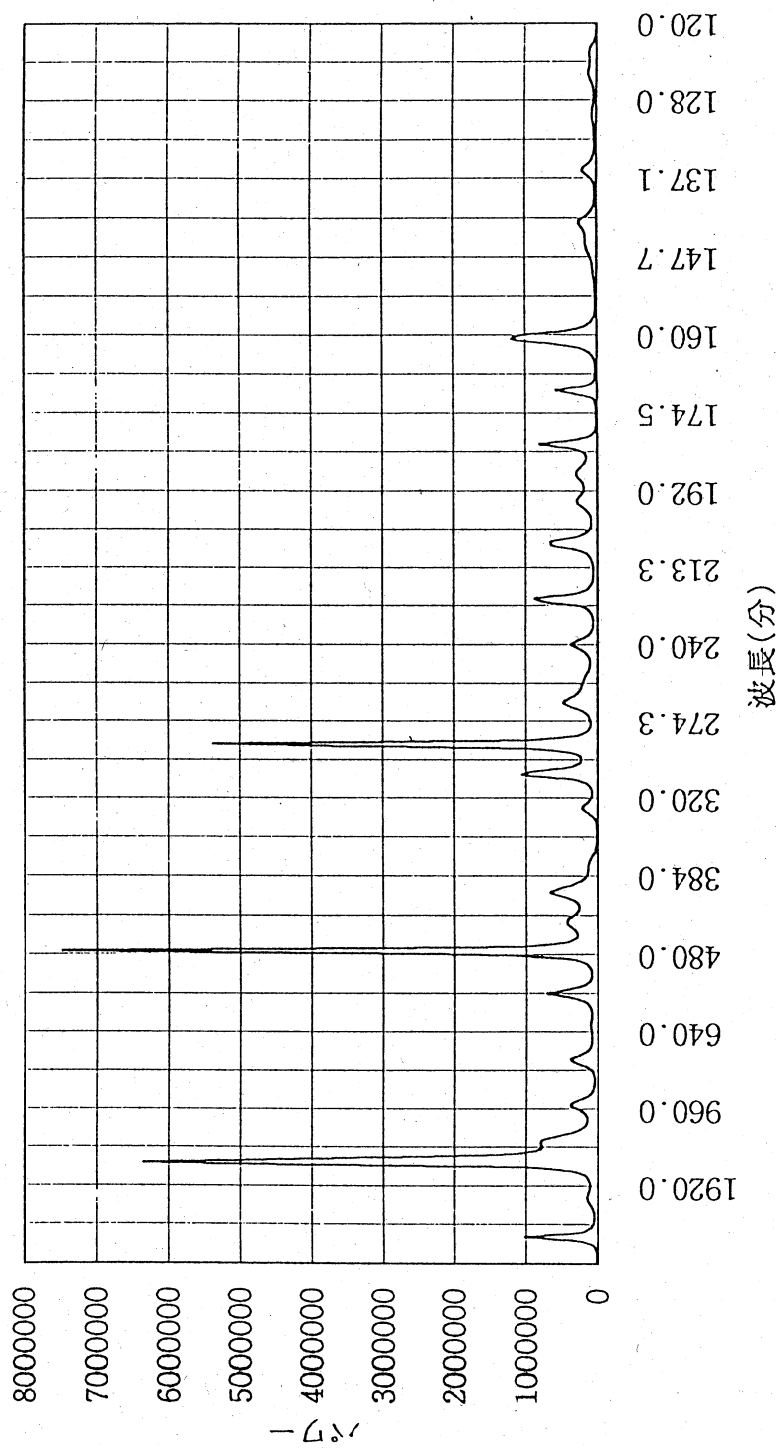


図2.3.3.MEMSスペクトルによる牛の起立・横臥行動の周期性



特別管理牛舎制限給餌1

図2.3.4.MEMSスペクトルによる牛の起立・横隊行動の周期性



特別管理牛舎制限給餌2

図2.3.5.MEMSスペクトルによる牛の起立・横臥行動の周期性

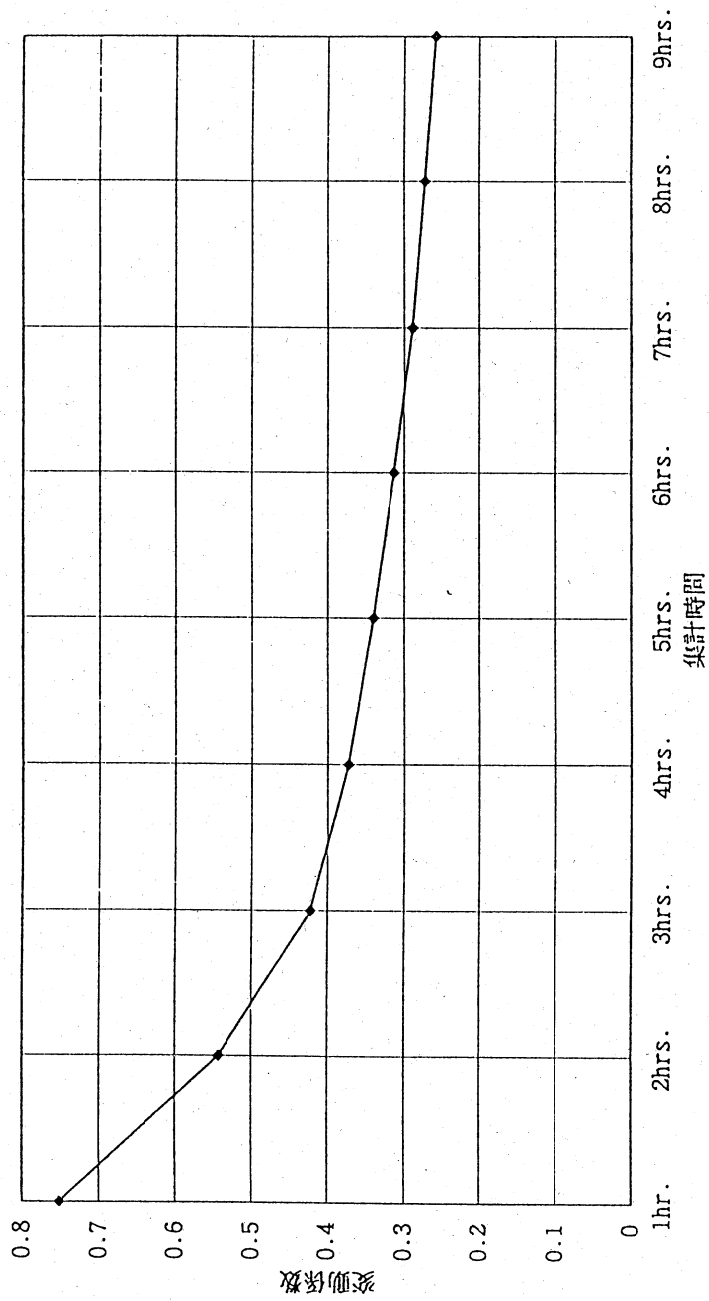


図2.4.移動平均法による環境制御下での牛の起立行動の変動係数の推移

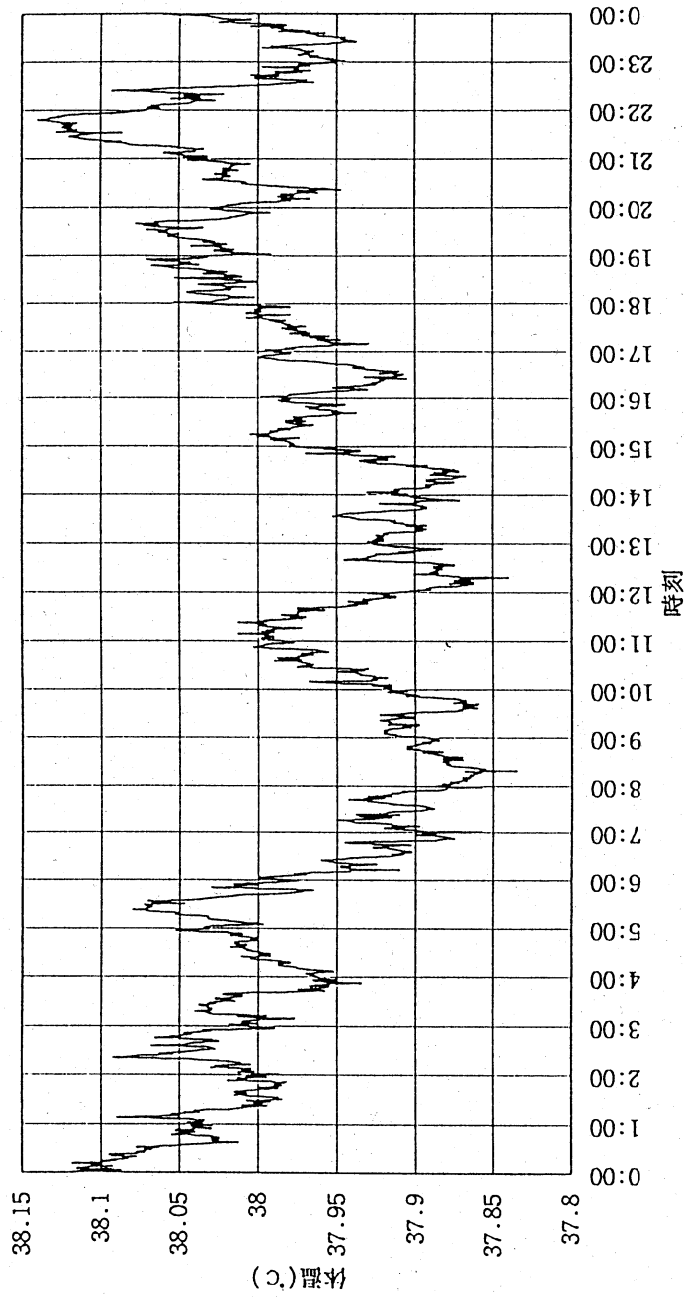


図3.1. 環境制御室内恒常環境下での牛の平均体温変動

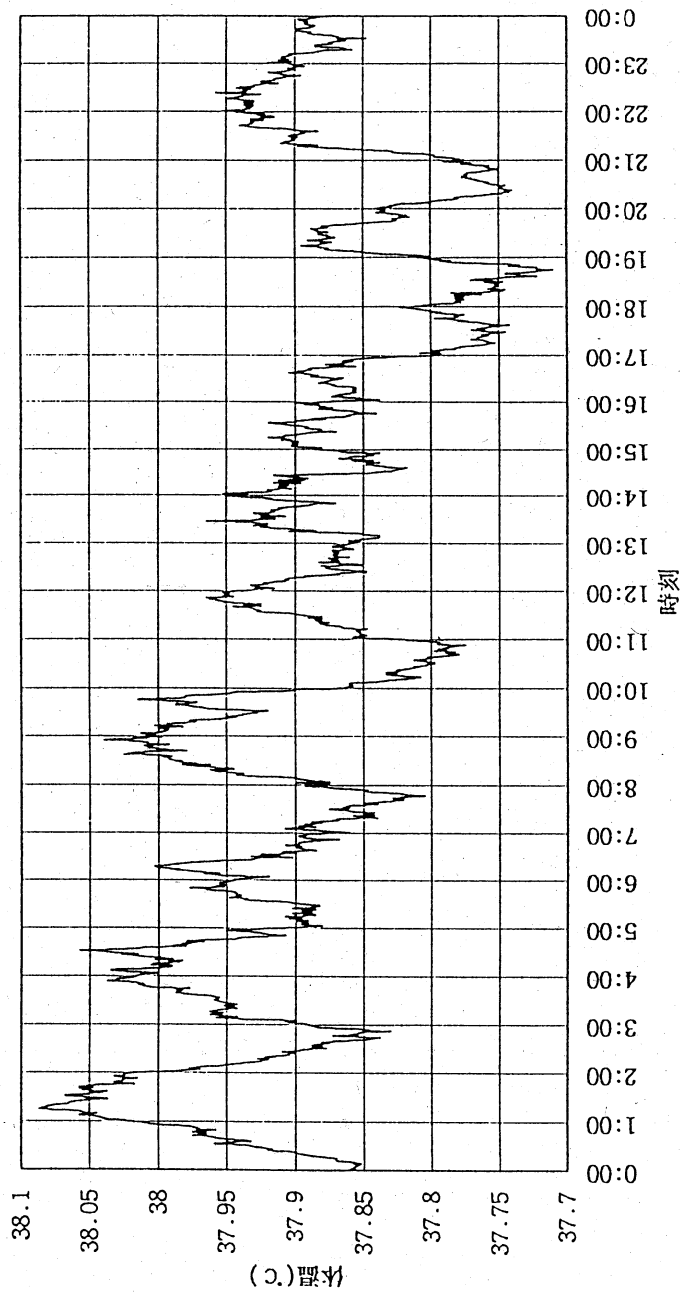


図3.2. 環境制御室内明暗周期下での牛の平均体温変動

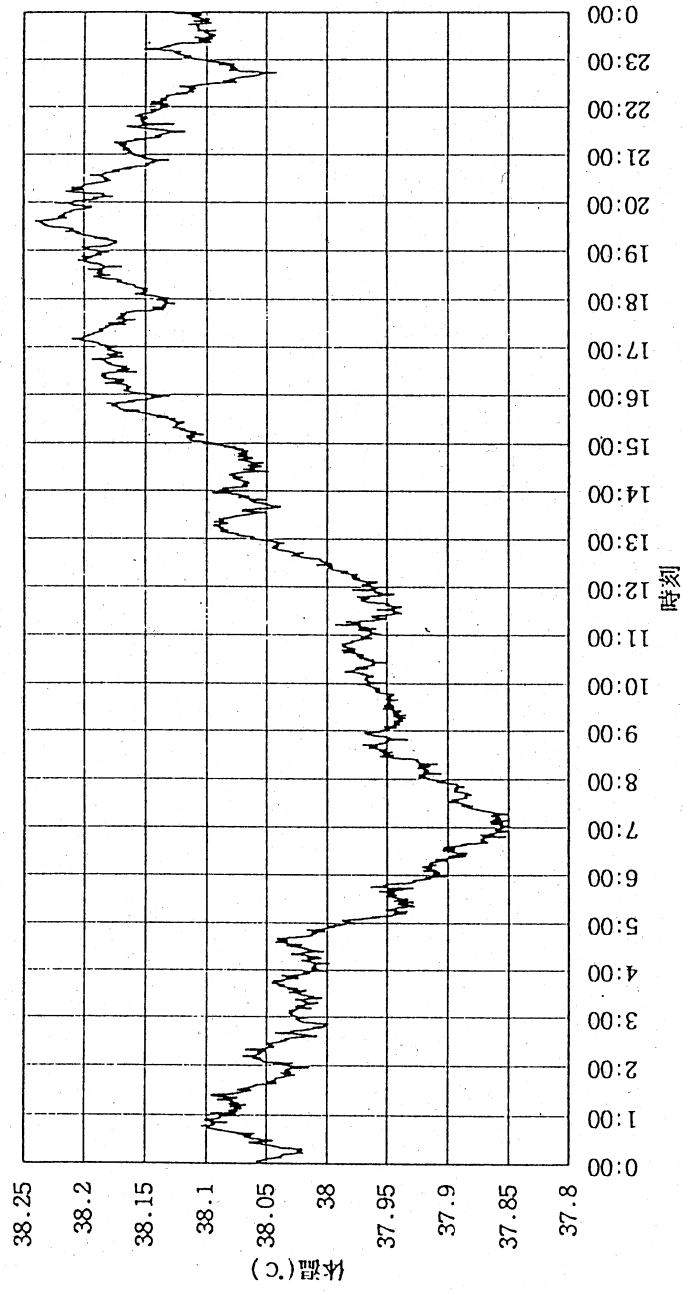


図3.3. 特別管理牛舎内不断給餌下での牛の平均体温変動

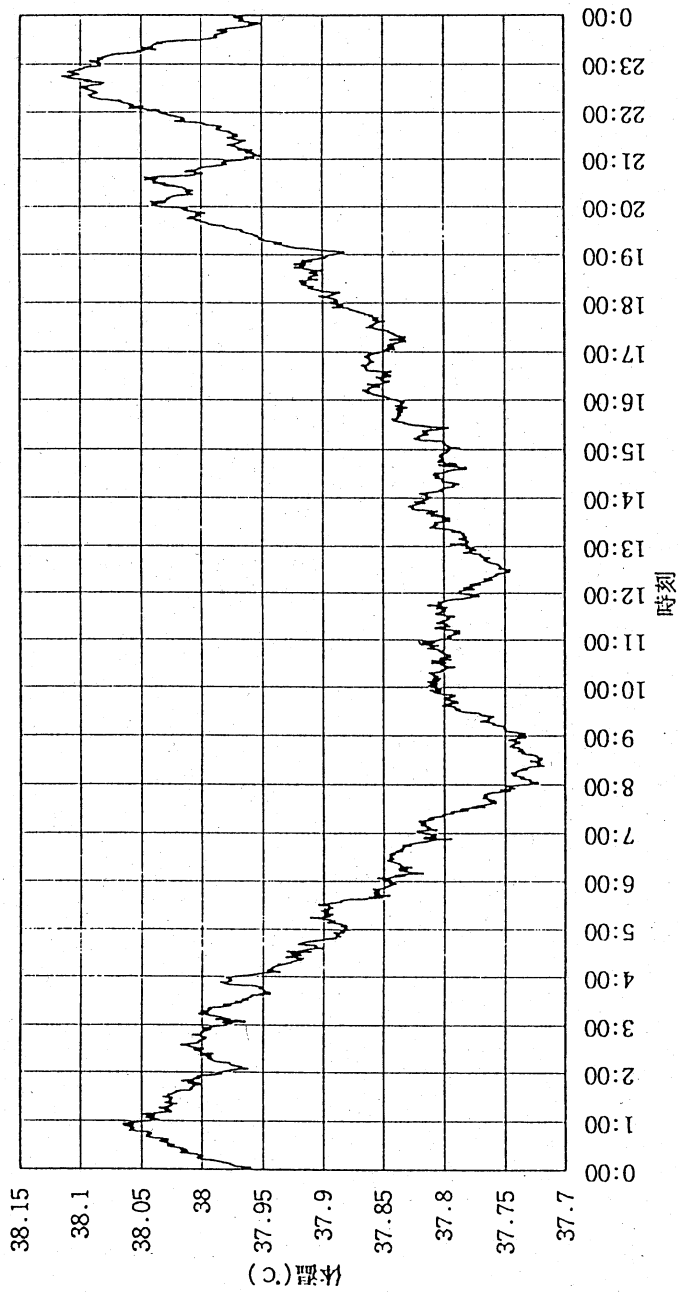


図3.4. 特別管理牛舎内制限給餌1下での牛の平均体温変動

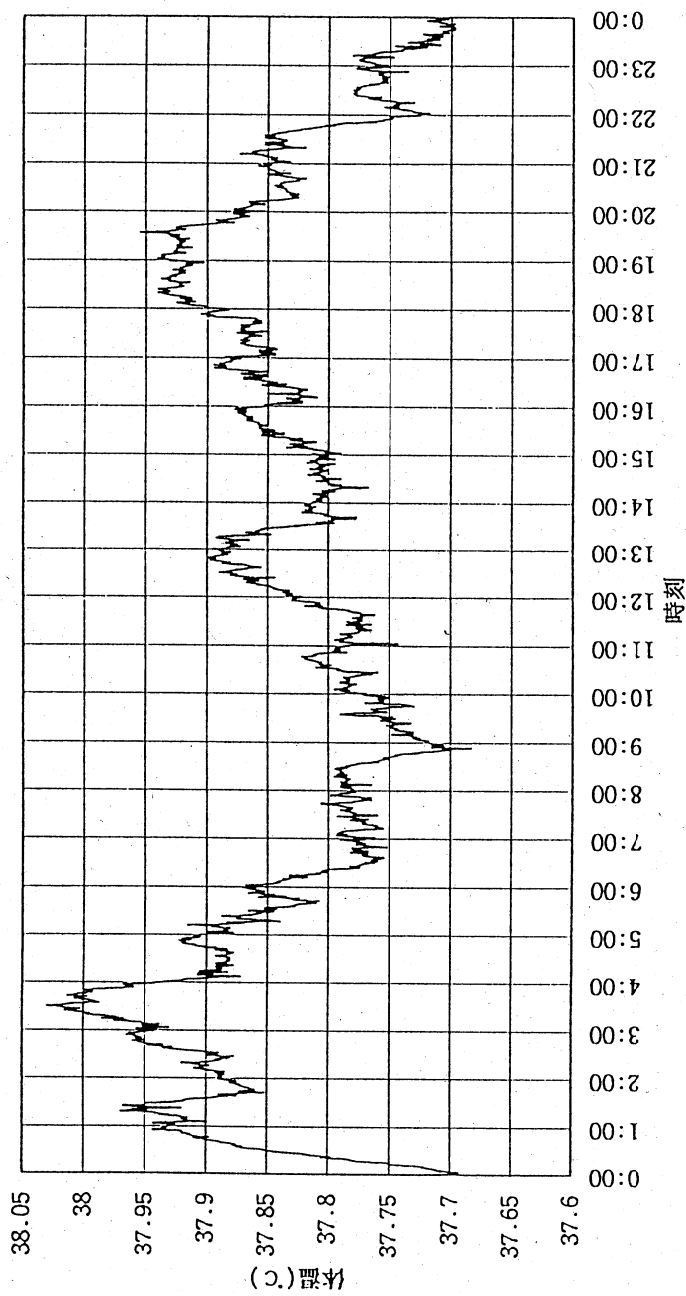


図3.5. 特別管理牛舎内制限給餌2下での牛の平均体温変動

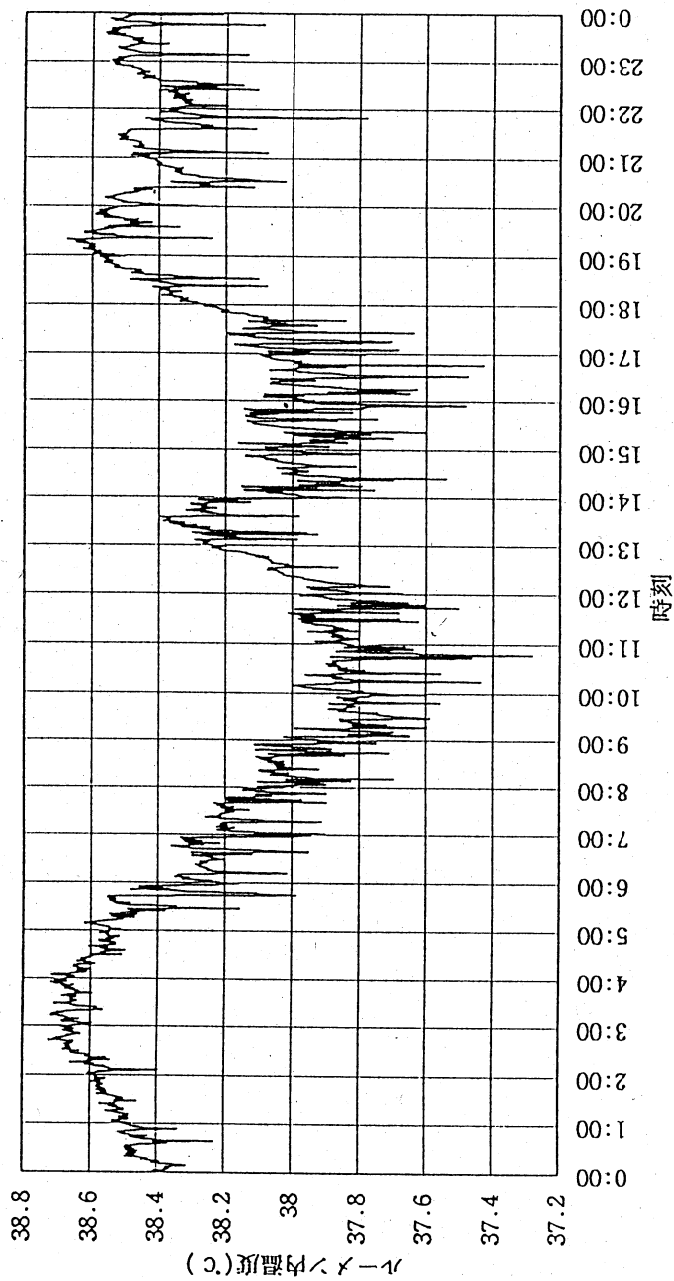


図3.6. 特別管理牛舎内不断給餌下での牛の平均ルーマン内温度変動

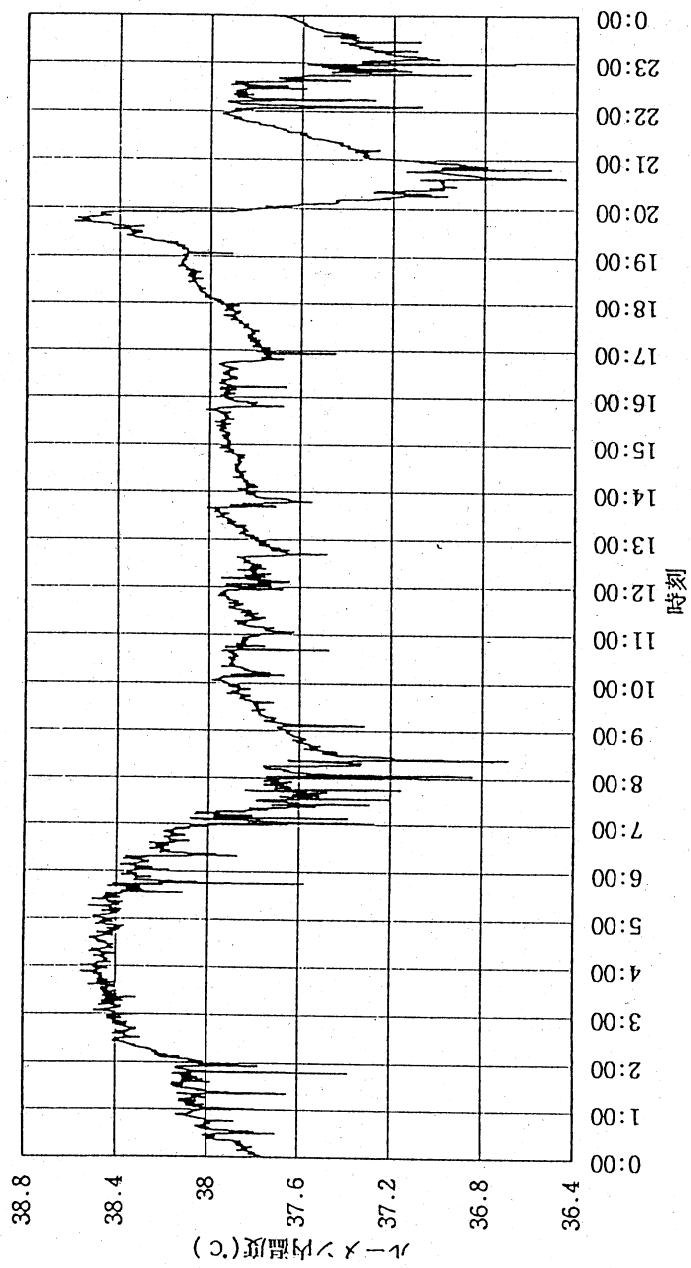


図3.7. 特別管理牛舎内制限給餌1下での牛の平均ルーマン内温度変動

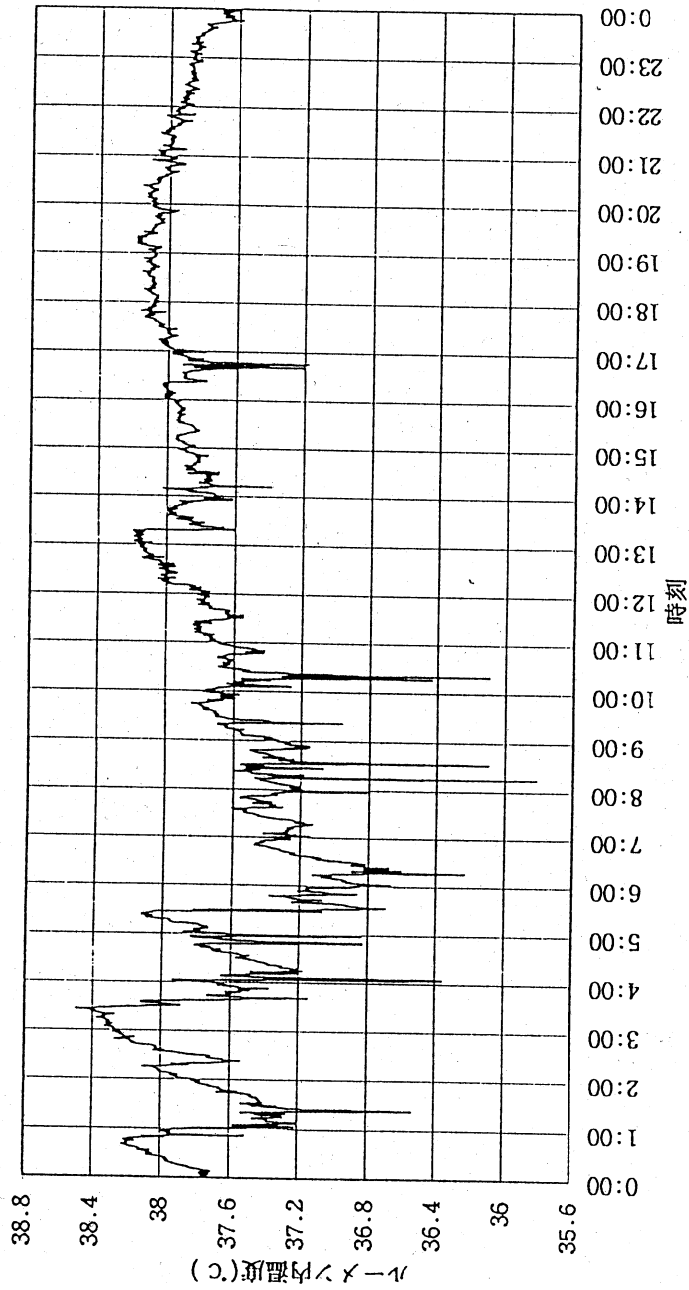


図3.8. 特別管理牛舎内制限給餌2下での牛の平均ルーマン内温度変動

要 約

近年の家畜管理学の研究においては、搾乳ロボットを用いた生産者の労働力を減らす研究が注目されている。これによりそれまでの人の作業体系に合わせた乳牛管理から、ウシの習性や生理に合わせた管理に近づくことが予想される。しかし、ウシがどのような行動的周期性を有しているかという研究報告は少ない。そこで本実験では、ウシが生来有すると思われる内因性リズムについて、特に周期性を持った外的因子に影響されない、恒常環境下で出現するフリーランリズムについて検討した。

本実験は環境を制御する試験と給餌を制御する試験とを行った。環境制御試験は2通りの方法で行い、実験1)ホルスタイン種乾乳牛1頭を用いて外的同調因子の影響を受けない環境制御室内にて、24時間連続照明の恒常的環境下で1ヶ月間飼養した(フリーラン)。実験2)引き続き同供試牛を用いて、同実験場所にて明暗周期条件下(L(明期):D(暗期)=12:12)で9日間飼養した。給餌制限試験は3通りの方法で行い、実験3)フィステル処置を施したホルスタイン種未経産牛1頭を用いて、外的要因の影響を受ける牛舎内で不断給餌条件下で24日間飼養した。実験4)同供試牛を用いて19:00～1:00までの制限給餌条件下で15日間飼養した。実験5)続いて同供試牛を用いて0:00～6:00までの制限給餌条件下で15日間飼養した。

給与飼料にはヘイキューブ(実験3, 4及び5)かコンプリートフィード(実験1及び2)を自動給餌装置を用いて行った。調査項目としては、起立行動・横臥行動及び採食行動をビデオカメラによる24時間行動観察によって測定した。また体温及びルーメン内温度(実験3, 4及び5)をサーミスタセンサを用いて1分ごとに測定した。

恒常的環境下においては行動時間に明確な周期性を示さなかった。明期と暗期の影響はウシの各行動を同調させる方向に働き、明期中には起立時間と採食時間が、また暗期中には横臥時間が有意に長くなった ($p < 0.05$)。制限給餌は与える時間帯によって1日の採食時間に影響を及ぼすことが明らかになった。

起立・横臥の一連の行動的周期性を調べるために、行動時間を時系列分析する方法を考えた。自己相関法では明確な周期性が見られなかった。最大エントロピー法 (MEM) を用いた結果、フリーランしているウシの周期性は171.4分 (約3時間) であると推定した。