緒　　言

１．研究の背景

乳牛を放し飼いで飼養するフリーストール牛舎は米国ワシントン州の酪農家 Adolph Oien によって 1959 年に考案されたと報告されている（Bickert, 2000）。それまでの放し飼い牛舎は、パドックを中央に配置し、そのまわりに放し飼いのルースバーン牛舎、飼槽、搾乳舎を配置した方式であった（Lewiz と Johnson, 1954）。

このルースバーン牛舎では敷料資材が多量に必要で、面積あたりの乳牛頭数に対して敷料の使用量が少なくなると、糞尿によって牛体が汚れ搾乳時の乳房の清拭作業が長くなること、乳房炎が発生することが問題であった。しかし、牛舎内に個別に利用できる牛床を設置することにより、敷料の量が少なくても牛体を清潔に保てるようになった。

フリーストール牛舎における牛床の基本条件は、乳牛を清潔に保てること、および乳牛にとって快適な空間であること、とされている（Bickert, 2000）。牛床が適切に設計され乳牛にとって必要な空間、柔らかさ、乾燥状態が保たれることにより、牛床での横臥時間が確保され乳房を流れる血流が増加し乳生産の増加が期待され生産性の向上に結びつく（Rulquin,1992）。

乳牛を放し飼いで飼養するフリーストール牛舎において、現在ではさまざまな牛床資材が開発され、多くの乳牛が牛床で横臥休息している状況は、現在の酪農場では普通の光景となっている。しかし、我が国でフリーストール方式の牛舎導入が急増した 1990 年代初期には、牛床を利用せず通路で立ったままの牛や、通路で横臥する乳牛が多く見られ、フリーストール牛舎では乳牛が汚れ乳房炎が増加すると言われていた（伊藤ら, 1996）。こうしたフリーストールで横臥しない乳牛を、どのようにフリーストールに馴らしたらよいかということが重要な課題であり、通路で寝る牛を牛床で横臥させるための矯正用ストールが開発されている(原田 1996、早坂 1999,2000A)。

道立根釧農業試験場では、6 ヵ月以上の育成牛を 6～10 月の約 5 ヶ月間、終日放牧で飼養している。このため、舎飼い期のコンクリートの上に乾牧草を敷いたフリーストールでは全く横臥休息せず、敷料の乾草を通路に引き出してその上で横臥する状況であった。そのため牛体には糞がこびりつき汚れ、非常にみすぼらしい状態であった。そこで、試験場として「乳牛をフリーストールに馴致する方法」を示すべく、乾草をフォレージハーベスタで細断して供給したり、数日間、育成牛をフリーストールにつないだりしたが、「牛をフリーストールで横臥休息させる」という目標を達成することはできなかった。

1992 年 9 月～10 月に、北海道の技術者海外研修の機会を得、米国とオランダ、そしてドイツのフリーストール牛舎と糞尿処理方法について研修することができた。この時、Cornel 大学の Dr. Irish が研究をしていたゴムチップを詰めた牛床を利用している酪農場を視察し、その構造と効果について指導を受けた。帰国後、早速、ゴムチップと被覆シートを探し、1994 年 1 月にバラ詰め方式のゴムチップマットレスを育成牛舎の牛床に設置した（高橋と飯島, 1995A）。

それまで、いろいろな対応をしても全くフリーストールで横臥休息しなかった育成牛が、ゴムチップマットレス設置直後からフリーストールで横臥休息するようになった。これほど劇的な牛床利用の変化を目の当たりにし、改めて牛床構造と床素材の重要性を認識することとなった。

こうした経験を踏まえて、乳牛の行動および牛床の物理性の解析により、乳牛が好み、積極的に横臥利用できる資材の探求とフリーストール牛舎の牛床の快適性を客観的に評価する方法の確立が重要であり急務であると考えた。

牛床構造のうち、牛床寸法の推奨値や、推奨される隔柵形状・寸法については収容する乳牛の大きさに対応した値が示されている。これまでのフリーストール前方柵の改修試験の経験から、こうした空間寸法の改善は効果が現れるまでに数週間という時間が必要であった。しかし、先に述べたように牛床資材の変更や敷料の投入に対して乳牛は劇的に反応し、対策が快適な方向に向いているかどうかは判断しやすい。

しかし、こうした資材を牛舎に設置した場合、

何を指標にして評価するのか、ということが新たな問題となった。

これまでも牛舎での乳牛行動をもとに、どの資材を選択したらよいのか、同一資材の牛舎の中ではどういった状態であれば問題がないか、ということは示されてきた。例えば、A、B、Cという資材を設置した牛床を用意した区画に数頭、あるいは一頭の乳牛を入れ、試験期間にどの資材をどれだけ占有したかを調査し、どの資材が乳牛にとって「好み」であるかを示してきた。また、一定間隔で乳牛が牛舎の中でいつ、どこで何をしているのかを 24 時間にわたって記録し、牛床での横臥・起立時間、採食時間、反芻時間などを算出し標準値と比較し「妥当性」を判定してきた。

行動調査から得られる、牛床利用頭数のうち横臥休息する頭数割合を示す「横臥率」は、直感的に牛床の快適性を示す値とされ「快適指数」とも表現されている。

選択試験による複数の床資材に対する乳牛の反応については客観性があるようであるが、供試している乳牛がそれまでにどのような場所で飼育されてきたかに影響を受ける。例えば、オガクズ、砂そしてゴムチップマットレスを設置した牛床を用意した選択試験の例では、オガクズ牛床で飼養されたA群は最初からオガクズ牛床を選択したが、砂牛床で飼養されたB群は最初はオガクズ牛床を選んだが最終的に砂牛床の方を選択したといったことがみられている(Tucker ら, 2003)。道立根釧農業試験場の例では、育成から放牧とゴムチップマットレスで飼養されているので、ゴムチップマットレスでの横臥時間の成績が一番よいといったことである。

そこで、本研究の目的を、乳牛にとっての牛舎の快適性を乳牛の行動調査から得られる指標として、牛床利用頭数のうち何割横臥しているかという「牛床横臥率」を用い、①現地牛舎実態調査から牛床横臥率は何割であればよいのかを行動学的解析により明らかにすること、②乳牛の横臥行動に直接的に関係する牛床の柔らかさについて、牛床資材の種類別と敷料の使用量も含めて工学的手法により数値化すること、③牛舎および牛床の快適性を高めるための牛床資材の条件を行動学的、工学的解析手法を用いて総合的に検討して明らかにすること、④これらを現場で実践するための手法および組織について示すこと、とした。

２．既往の研究と本研究の位置付け

乳牛の行動調査による乳牛の行動時間および牛舎施設の評価に関する研究として、Lewis ら(1954)はルース・ハウジングでの乳牛行動の調査法と乳牛の行動時間を報告した。また、Albright と Timmons(1984)は 1 日の中で乳牛がどのように牛床や飼槽を利用しているのかを 3 段階の飼槽幅について比較するとともに、タイムラプスカメラを用いた乳牛行動調査方法について報告している。また、国内では、鈴木ら(1974,1978)は牛舎内における乳牛の休息横臥の状態を夜間 2 回の調査で報告している。また、牛の居住感を横臥姿勢で分析した。臼井ら(1991,1992)は 1 日 1 回の観察により牛床占有状況を明らかにするとともに、乳牛密度と牛床の占有状況について示した。西埜ら(1993、1995)は牛舎条件と飼養頭数全頭に対する横臥率の変化を比較し報告した。長谷川(1995)は畜舎機能の評価指標として既存の試験から動作行動調査の有用性と重要性を述べた。早坂ら(2000B)はフリーストールの牛床利用について日中の 1～2 回の観察で比較し牛舎内の場所による占有に有意な差があることを示した。

こうした乳牛行動の観察から得られる乳牛の情報と牛舎施設構造、牛床の快適性に関する研究の重要性が認識されるようになった。

乳牛にとって、あるいは乳生産を高める上で牛舎の快適性が重要であることは、古くから指摘されており、1898 年の Cottrell らによるカンサス大学の試験農場の報告では、清潔で良好に乾燥した敷料と、快適な係留方法で乳生産が高まるとしている。

乳牛にとっての快適性として、①新鮮な空気を確保するための十分な換気、②起立横臥を妨げず、怪我をせず、長く横臥できる牛床などがあげられる(Bickert, 2000)。「起立横臥を妨げない」ためにはまず、牛床の空間的な広さについての検討が必要である。牛床の空間的広さを決定しているのは、牛床の高さ・長さ・幅、勾配、隔柵の寸法・形状、前面柵の有無、ブリスケットボードの有無と位置、ネックレールの有無と位置である。これらの牛床

の寸法と乳牛の牛床選択性、牛床での横臥時間、横臥姿勢に関する研究としては、Gaworsk ら(2003)、House ら(2003)、安藤ら(1993)、森田ら(2004, 2006, 2007)、Tucker ら（2004B,2005,2006）、Palmer ら（2005）、竹内ら（2006B）など多くの研究がある。また、Veissier ら(2004)は牛舎構造の推奨値と実際の設計値が異なることを示し、牛床構造のうち前方柵は不要であり、ネックレールとブリスケットボードの位置について改造と乳牛の反応を報告した。

牛床条件のもう一つである「怪我をせず、長く横臥できる」ためには、柔らかく弾力性がある牛床資材と、乾いた清潔な敷料の利用が重要である。

牛床資材による乳牛の選択試験は古くから実施されており、牛床資材と乳牛の牛床占有率、横臥時間、選択性が検討されている（Natzke ら(1982)、Muller ら(1997)、House(1999)、Tierney ら(1999)、Rodenburg ら(2000)、Bernard ら(2002)、Palmer ら(2003)）。検討された資材もゴムマット、カーペット、レイヤードマット、発泡ゴム、木製、ゴムタイヤ＋砂、砂、厚手ゴムマット、ゴムチップマットレス、ウォーターベッド、EVA マット、EPA マットなど多岐に渡っている。

国内の研究では安藤(1992)が牛床に要求される条件として経済性、耐久性、作業性と牛の選択性をあげ、さらに牛が好む牛床の条件として牛床の物理性を示した。原田ら(1995)は牛床資材として砂、ゴムマット、乾草、火山灰について給飼から横臥するまでの時間や横臥時間、回数について検討しゴムマットは薄く横臥しにくいと報告した。高橋ら(1995B,1998,2000)は、ゴムチップマットレスを簡易牛舎に設置し乳牛の利用状況を検討し、横臥頭数が多いことを示した。また、バラ詰め方式のゴムチップマットレスの構造と乳牛の横臥状況について検討し横臥頭数が多いと報告した。早坂ら(2000C)は、新たに開発した成形ゴムチップマットの利用性を比較検討し横臥時間が長くなったと報告した。

牛床資材および敷料の量による乳牛の飛節の怪我、牛体の汚れとの関係についての研究として、Rodenburg ら(1994)の、ゴムチップマットレスとゴムマットの農家 18 戸について牛の清潔度合い、飛節の怪我、牛床利用について調査し、ゴムチップマットレスの方が牛がきれいで怪我が少ないという報告がある。House ら(1994)はオンタリオ州における牛床マットレスについて、ゴムチップの使用により敷料が減り、乳牛がきれいになり快適性が増したと述べ、マットレスの問題点として防水性と微生物の繁殖、耐久性をあげた。Mowbray ら(2003)は、乳牛が怪我をするような牛床は明らかに欠点があるとし、飛節の怪我が多くみられることから、マットレスと砂の牛床について飛節と飛節先端の傷の大小とオガクズによって傷を減らせるかについて報告した。Cook ら(2004)は、跛行スコアと牛床資材の関係について明らかにするとともに、マットレスと砂の牛床について横臥時間により比較し、マットレスの方が牛床起立時間が長く跛行が増えると報告した。DePalo(2006)は EVA マット、PVA マット、オガクズと戻し堆肥の牛床について選択試験と嫌忌試験を実施し、横臥時間は選択試験では EVA が長いが嫌忌試験ではオガクズが長く、EVA マットと PVA マットの資材表面は糞尿で汚れ、横臥時間は短くなると報告した。

乳牛の行動と敷料の状態や使用量との関係についての研究では、Gebremedhin ら(1985)は土の牛床とコンクリート、ゴムマットそしてカーペットについてオガクズの量を通常よりも多くして比較検討し敷料を 3 倍以上入れた土の牛床が好まれたと報告した。Britten(1994)は既存の試験結果を基にフリーストールの設計には敷料の選定が重要であるとして、オガクズと戻し堆肥は糞尿処理には適すがバクテリアが増殖する、砂と石灰ではバクテリアは少ないが糞尿処理が難しいと述べ、新しい合成牛床（マットレス方式）は安全で経済的な敷料システムを提供すると述べた。Fregonesi ら(2007)は敷料が乾いているか濡れているかによる牛床横臥時間の変化を計測し、乳牛は乾いたほうを好むことを示した。また、Tucker と Weary(2004B)は同じゴムチップマットレスであっても敷料の量によって横臥時間と選択性に差が生ずることを示し、快適性を増すためには敷料を入れた方がよいとした。

乳牛にとっての快適性の評価方法に関する研究として、Rushen ら(2001)は、マットレスとコンクリート、砂の牛床、ゴムマットと麦稈の牛床に

ついて利用性を調査し、異なる床資材について乳牛行動を指標にして快適性が評価できると報告している。Overton（2003）らは、給飼効率と運動器障害防止のため牛は長時間横臥する必要があることから、フリーストール牛舎の快適評価方法として全牛横臥割合、非採食横臥割合、快適指数（牛床横臥頭数／牛床利用頭数）について、129 頭を収容した砂の 144 牛床のフリーストールで比較検討し、快適指数の変動が小さく指標として適しているとした。Cook(2005)らは、牛群の快適性を評価するための指標について横臥率、利用率などを比較し、牛床起立割合を指標として評価するのがよいとした。また、この指標を搾乳前 2 時間に観察するとよいとした。向(2002)は快適な牛舎の条件として①暑熱対策、②柔らかく弾力性があって乾燥した清潔な牛床、③採食が容易な飼槽、④滑りにくく乾燥した通路、をあげた。集治(2005)は、放牧時の快適性を評価する指標を示した。

また、この牛床の床条件の工学的な評価方法としては、硬度計、すべり試験器が用いられてきた（佐藤, 1995、加茂, 1998）。しかし、これらはゴムマットのように形の定まったものには対応できるが、オガクズや砂を数 cm の厚さに投入した場合や、放牧地のように草が茂っている場所の数値を求めることはできず、「ニードロップテスト」と呼ばれる自分の膝で感触を確かめる、あるいは、膝を落として痛くないかどうか確かめるという試験をするしかなかった（伊藤ら, 1996）。これでは、牛床資材の柔らかさの数値評価は難しく、どういった資材をどのくらいの敷料を使って利用したらよいのか、ということを示すことができなかった。この、牛床資材を工学的に評価する手法として、Dumelow(1995)は硬さを計測するために乳牛の起立横臥動作時の荷重を決め硬度計を改良した加圧試験器を作成し、耐久性も評価できる機器を示し、複数の牛床資材について評価した。Tierney と Thomson（2003）は、加速度計を内蔵した落下試験装置を試作し、これを用いて牛床の衝撃力を示した。Fulwider と Palmer(2004)は、市販の衝撃力試験器（インパクトテスター）を用いてさまざまな資材の衝撃値を計測するとともに、これらの資材を牛舎内に設置して乳牛の選択試験をし、衝撃値と乳牛の占有率などについて報告している。竹内ら（2006A,2006C）は加速度計を内蔵した落下試験装置を用いて敷料の量による衝撃力の変化と、現地農家の牛床の衝撃力を計測し報告した。山口ら（2007）は、加速度計内蔵の落下試験装置を用いて牛床資材の衝撃力を計測し、資材別に乳牛の起立横臥動作の所要時間を計測するとともに起立・横臥時間等から快適な資材かどうかの判定をした。

このように、本研究に関連する分野については多くの研究が報告されているが、牛床資材の工学的評価法と乳牛行動による評価法の両者を用いて現地農家における牛床の快適性を総合的に評価するという研究はみられない。さらに、こうした総合的評価による牛床の快適性の判定方法と、牛床横臥率を高めるための現場で利用できる牛床資材の衝撃力の推奨値を示した研究はほとんどみられない。

３．本研究の構成

本研究の構成と内容は以下のとおりである。

Ⅰ章では、まず、現地農家のフリーストール牛舎の実態を把握するために、牛舎構造について調査し各農家の牛舎の特徴を明らかにした。また、乳牛行動調査によりフリーストール牛舎内での乳牛の行動について明らかにするとともに、現地農家における管理作業との関連について述べた。そして、各牛舎の乳牛行動出現割合と牛床利用率、牛床横臥率について比較検討するとともに、日平均牛床横臥率による牛床の快適性評価方法について考察した。同時に、牛床の快適性を簡易に評価する工学的な方法の確立が必要であること述べた。

Ⅱ章では、乳牛行動に基づく解析法の検討として、市販されている牛床資材 3 種類について、実際に牛舎に設置して乳牛の利用性について述べた。つぎに、各資材での牛床横臥率について比較考察し牛床横臥率と横臥時間によって牛床の快適性を評価できることを述べた。

Ⅲ章では、牛床資材の工学的解析法として、試作した加速度計を内蔵した落下装置を用いて牛床資材の衝撃力を計測して評価する方法を述べた。また、さまざまな市販資材の衝撃力をコンクリートや放牧地での衝撃力の値と比較した。さら

に、敷料の一つであるオガクズの使用量による衝撃力の緩和程度について述べた。

Ⅳ章では、乳牛の行動学的解析手法としての横臥率と、工学的解析手法としての牛床資材の衝撃力とを用いて、現地農家のフリーストール牛舎での調査により牛床の快適性を総合的に検証した。

Ⅴ章では、総合考察として牛床横臥率と牛床衝撃力の関連から、牛舎の快適性を高めるための牛床条件について考察した。さらに、これまでの米国の普及資料に基づいた試験研究から、本研究で示した現場での調査研究から新しい技術を組み立て、再度現場での取り組みに活用するという研究のあり方と、さまざまな分野の関係者から構成された普及組織が重要であると結論するとともに、その事例として道立根釧農業試験場が中心となって設置した「快適牛舎研究会」を紹介した。

第Ⅰ章　フリーストール牛舎における乳牛行動と牛床利用の実態

１．序文

Ⅰ章では、まず、フリーストール施設構造の実態と、乳牛行動を把握するため、現地農家 12 戸のフリーストール牛舎について実態調査を実施し、フリーストール牛舎内での乳牛行動の特徴を検討した。

牛舎内で乳牛がどのような行動をしているのかという乳牛行動の調査・解析は古くから実施され、その成果により牛舎内での乳牛行動（横臥時間、起立時間、採食時間など）が解明され、省力的で機能的な牛舎の開発および牛床の改善に利用されてきた。

乳牛行動調査については、Lewis と Johnson(1954)はルース･ハウジングで 20 頭のブラウンスイス牛を用いて、10 分毎に乳牛の位置と行動を牛番を識別して記録し、24 時間 6 日間の連続観察をし、乳牛の休息時間が飼料の種類によって変化することや、給飼回数が 1 回の場合は朝搾乳の直後に給与する必要性を述べている。Albraight と Timmons (1984)はタイムラプスカメラを用いて牛舎内を 2 分間隔で撮影し、撮影間隔をどの程度に設定したらよいかを検討し、16 分間隔としても行動割合に大きな差がみられないことを示した。また、乳牛行動観察時の留意点として、少なくとも 3 日間、100 回以上の観察が必要であることを述べている。この他、人間による行動観察を主とした研究では、1 日に数回の定時観察での行動調査も広く実施されてきた（鈴木ら(1974,1975); Gebremedhin ら(1985); 臼井ら(1991);早坂(2000); Bernard ら(2002)）。

乳牛行動を指標とした牛舎や牛床の快適性との関連についての検討では、Overton ら(2003)がフリーストール牛舎の快適性の評価方法として全牛横臥割合、非搾乳牛横臥割合、快適指数（CCI：Cow Comfort Index；牛床利用頭数のうちの横臥頭数割合）の各指標について、実際の行動調査により適応性を検討している。タイムラプスビデオを用いた 1 時間毎の撮影による観察では全牛横臥割合は搾乳作業による頭数変化により大きく変動すること、非採食牛横臥割合は搾乳後の経過時間および暑熱期の起立牛の増加によって大きく変動すること、快適指数は全体的に変動が小さく評価指標として利用できると述べている。さらに、Cook ら(2005)は、快適指数が横臥行動と関係があり広く使われているが、その他の簡易な指標について検討するために、12 の牛舎においてデジタルビデオカメラを用いて 30 秒に 1 回（1 秒間）の撮影により乳牛行動を解析し、快適指数で牛床資材の快適性を評価できること、また、牛床起立割合も快適指数と相関があり搾乳 2 時間前に牛床起立割合を計測することで群の日起立時間が推定されるとしている。

このように、乳牛行動の観察方法や、それに基づく乳牛行動の指標化の取り組みと研究が進められてきた。我が国においてフリーストール方式での飼養が急激に増加したのは 1990 年代で、さまざまな牛床形式、牛舎レイアウト、乳牛管理方法が紹介され、現地へ導入されてきたが、牛舎内で乳牛がどのような生活をしているのかについては依然として不明な点が多かった。牛舎施設の構造が乳牛とって快適かどうかを判断するために、牛舎内で乳牛がどのような行動、生活をしているのかを知ることが基本であり極めて重要である。そこで、現地牛舎の実態と乳牛行動を把握し、乳牛行動の解析方法とフリーストールの快適性の判定法を確立することを目的に、根室管内のフリーストール牛舎導入農家 12 戸について、24 時間の行動調査と牛舎構造調査を実施した。

２．材料と方法

１）現地農家のフリーストール牛舎構造の実態

調査対象は根室管内のフリーストール飼養農家 12 戸で、飼養頭数、牛床数、牛床列数、牛床の床資材、敷料、飼槽幅、給飼回数、給与飼料について調査した。このうちの 7 戸について牛舎配置、換気方式、隔柵形状と牛床各部寸法の詳細について調査した。

牛舎配置はフリーストールが設置された休息舎の牛床列の方向と搾乳室の位置および乳牛の移動経路の関係から、休息舎の牛床列と直角にパーラ室を配置したＬ型、休息舎の中央部に牛床列と直角方向にパーラ室を配置したＴ型、休息舎の

牛床列方向にパーラ室を配置したＩ型に分類した。また、飼槽を含む給飼通路と休息舎との位置関係により、休息舎の片側に飼槽が配置されたものを片側給飼方式、給飼通路の両側に休息舎が配置された中央給飼方式と区分した。

調査は1996年6～11月に実施した。

２）フリーストール牛舎における乳牛行動

調査農家は根室管内のフリーストール飼養農家12戸で、24時間の行動観察を実施した。

調査は対象農家全戸が1997年6～11月、および対象農家のうち3戸（Ｅ、Ｆ、Ｋ）について1998年6～11月に再調査を実施した。

３）乳牛行動調査における観察記録方法

乳牛行動観察の方法は、あらかじめ牛舎の牛床レイアウト図を作成しておき、15分毎（Ｂ農家のみ20分毎）に乳牛行動を起立：Ｓ、横臥：Ｌ、採食：Ｆ、飲水：Ｄに分類し、これに反芻：Ｒの有無を加えて牛床レイアウト図中の乳牛位置に記入した。

乳牛は個体識別をしなかった。また、牛床起立牛では前脚2本だけを牛床に載せて起立する乳牛も多くみられ、これを「脚掛け牛」と分類して調査したが、解析および取りまとめでは特に断りがない限り4本とも牛床に載せて起立している牛と脚掛け牛とは区別せず「牛床起立」と記載した。

４）牛床利用率および牛床横臥率

24時間の乳牛行動観察から各観察時の牛床利用率、牛床横臥率を求めた。牛床利用率および牛床横臥率は次の式で求めた。

牛床利用率（%）＝牛床にいる頭数÷牛舎内にいる乳牛の総頭数×100

牛床横臥率（%）＝牛床で横臥している頭数÷牛床にいる頭数×100

なお、牛床利用率が30%以上の時の日平均を日平均牛床横臥率（以下「平均横臥率」とする）とした。

３．結果と考察

１）現地農家のフリーストール牛舎構造の実態

全戸の調査結果を表1に、牛床寸法などの調査結果を表2に示した。

調査農家の飼養頭数は57～117頭で平均82頭であった。群分け数は1～4群で1群管理が6戸、2群管理が4戸、4群管理が2戸であった。飼槽列に対する牛床配列数は1～4列で3列が6戸、2列が4戸、1列と4列が1戸ずつであった。利用可能な牛床数は53～119牛床で平均85.8牛床であった。飼養頭数を利用可能牛床数で割った収容率は73～136%で、100%以上の農家は4戸で平均97.6%であった。特に密飼いしていたのはC農家で135.8%と高かった。

飼槽長は32.0～69.6mで牛床あたりの飼槽長は62cm/牛床、飼養頭数あたりでは63cm/頭であった。飼槽列に対する平均牛床列数は2.6列であった。この飼槽長は単純に牛床幅(120cm)を牛床列数で割った40cmよりも大きいが、飼槽長として牛床横断通路と待機室の幅が含まれていることを考慮すると、牛床列が3列であっても一頭あたりでは広い飼槽幅が確保されていたと考えられた。給与飼料はグラスサイレージと濃厚飼料を分離給与している1戸以外はTMR給与で、給与回数は1～2回であった。

牛床の床構造はコンクリートが5戸、マットレスが4戸、木が2戸、ゴムマットが1戸であった。敷料はオガクズが6戸で麦稈・乾草が5戸、砂が1戸であった。麦稈・乾草はコンクリート、木の床構造で多く利用されていた。

詳細調査農家の牛舎配置はＬ型が多くＴ型は1戸であった。換気方式については、壁面はカーテンの開閉式であった。屋根部分の換気方法はオープンリッジが5戸、セミモニタが2戸であった。隔柵は全てミシガン型であった。牛床の長さは220～240cmで平均231cmであった。牛床の縁石高さは23cm～30cmで平均28cmとMWPS（1996）の推奨値25cmよりも少し高かった。ネックレールの高さは105～115cmで平均110cmであった。ネックレールの位置は牛床後端から167cm、ブリスケットボードの位置は同じく180cmでこの両者間には有意差がみられた（$P<0.05$）。これは、それぞれ同じ位置に設置するとしたMWPS（1996）の推奨方法とは異なり、実際に飼養している乳牛の行動に合わせた数値へと変化していた。飼槽の前面柵の形状は横パイプを用いている農家が7戸中6戸と多く、セルフロックスタンチョンを全面または併設している農家は3戸であった。

表１　牛舎調査結果

農家区分	飼養頭数	群分け数	牛床配列(列)	利用可能牛床数(床)	収容率(%)	飼槽長(m)	飼槽長(cm/頭)	飼槽長(cm/牛床)	給与回数(回/日)	牛床構造	敷料種類	給与飼料(注)
A	77	2	3	81	95.1	42.0	55	52	2	ﾏｯﾄﾚｽ	ｵｶﾞｸｽﾞ	TMR1
B	117	1	3	119	98.3	72.0	62	61	2	木	麦稈	TMR+CCF
C	91	1	3	67	135.8	60.0	66	90	1	ｺﾝｸﾘｰﾄ	麦稈	GS+C
D	69	1	4	73	94.5	32.0	46	44	1	ｺﾞﾑﾏｯﾄ	ｵｶﾞｸｽﾞ	TMR+CCF
E	68	4	2	64	106.3	42.0	62	66	1	ﾏｯﾄﾚｽ	ｵｶﾞｸｽﾞ	TMR2
F	69	2	3	94	73.4	44.4	64	47	1	木	麦稈	TMR1
G	98	1	3	104	94.2	49.2	50	47	2	ｺﾝｸﾘｰﾄ	乾草	TMR+PC
H	57	1	1	53	107.5	43.2	76	82	2	ｺﾝｸﾘｰﾄ	ｵｶﾞｸｽﾞ	TMR1
I	78	1	3	96	81.3	44.4	57	46	2	ｺﾝｸﾘｰﾄ	麦稈	TMR
J	93	2	2	96	96.9	67.2	72	70	1	ﾏｯﾄﾚｽ	ｵｶﾞｸｽﾞ	TMR1
K	87	4	2	100	87.0	69.6	80	70	2	ﾏｯﾄﾚｽ	砂	TMR1
L	83	2	2	82	101.2	58.8	71	72	2	ｺﾝｸﾘｰﾄ	ｵｶﾞｸｽﾞ	TMR2
平均	82.3	1.8	2.6	85.8	97.6	52.1	63.4	62.1	1.6			
偏差	16.3	1.1	0.8	19.1	15.6	13.0	10.3	15.0	0.5			

注：数字は飼料の種類数、CCF：濃厚飼料自動給餌機、GS：グラスサイレージ、C：濃厚飼料、PC：パーラ内濃厚飼料給与

表２　詳細調査農家の概要

農家区分	牛舎レイアウト	換気方式	隔柵形状	牛床長さ(cm)	縁石高さ(cm)	ＮＲ高さ(cm)	ＮＲ位置(cm)*1	ＢＢ位置(cm)*2	飼槽柵構造*3
A	L	ｵｰﾌﾟﾝﾘｯｼﾞ	ﾐｼｶﾞﾝ	240	33	107	150	190	P
B	L	ｾﾐﾓﾆﾀ	ﾐｼｶﾞﾝ	225	24	108	180	176	Ｓ＋Ｐ
C	L	ｵｰﾌﾟﾝﾘｯｼﾞ	ﾐｼｶﾞﾝ	240	25	116	190	なし	S
D	L	ｾﾐﾓﾆﾀ	ﾐｼｶﾞﾝ	230	23	110	170	180	P
E	T	ｵｰﾌﾟﾝﾘｯｼﾞ	ﾐｼｶﾞﾝ	220	30	115	140	190	Ｓ＋Ｐ
F	L	ｵｰﾌﾟﾝﾘｯｼﾞ	ﾐｼｶﾞﾝ	225	30	105	175	171	P
G	L	ｵｰﾌﾟﾝﾘｯｼﾞ	ﾐｼｶﾞﾝ	240	30	110	165	175	P
平均				231	28	110	167*4	180*4	
偏差				8.5	3.8	4.1	17.3	8.0	

注　*1：ＮＲはネックレールのこと。　*2：ＢＢはブリスケットボードのこと。
*3：Ｐは横パイプ式、Ｓはセルフロックスタンチョン。
*4：□で囲んだネックレール位置とブリスケットボード位置の間には有意差有り(P<0.05)。

２）フリーストール牛舎における乳牛行動

調査農家のうち代表的な農家の乳牛行動について検討した。

①Ａ農家

牛床横臥出現割合が 52.0%のＡ農家の牛舎は片側給飼の牛床 3 列の牛舎であった。

朝の搾乳は 6:00 頃から始まり、a 群を飼槽側へ移動し b 群を待機室へ移動した。次に牛床間通路を除糞し敷料を投入した。b 群の搾乳が終了近くなると、a 群を待機室に入れ、飼槽側通路を除糞した。搾乳終了後待機室を除糞した。夜の搾乳は 17:00 前に始まり、手順は朝搾乳と同様であった。給飼作業は a 群の搾乳中の朝 8:50 頃、夕方 18:15 頃の２回であった。飼槽の掃き寄せは３～４回/日であった。

24 時間行動観察結果を図 1 に示した。

採食行動は、a 群が搾乳前に飼槽側に集められるため一度増加し、搾乳後の飼料給与で最大となっていた。b 群は搾乳後、飼料給与まで牛床で横臥している頭数が多かった。その後の行動は両群ともほぼ同様の傾向であった。牛床で起立している頭数のうち、前脚だけの脚掛け状態で起立して

いる頭数が多かった。夜間の乳牛行動は搾乳後の採食頭数が多く、その後徐々に横臥が増加し、搾乳終了後約２時間で横臥頭数は最大となった。Ａ農家では夜間にも時々飼槽の掃き寄せ作業をしていることもあって 0:00 頃に採食頭数が増加して牛床利用頭数が減少する傾向にあった。その後、再度横臥頭数がピークとなった。

②Ｂ農家

牛床横臥出現割合が 62.8％と高かったＢ農家は、主牛舎と別棟の簡易牛舎からなり、これらはパドックで結ばれていた。パドック内に濃厚飼料自動給餌機（ＣＣＦ）が４台設置されていた。24 時間行動観察結果を図 2 に示した。

搾乳終了前後に TMR 飼料が給与されており、この直後と午後の掃き寄せ時に採食頭数が増加した。夜間は搾乳後の採食が多く、徐々に牛床横臥頭数が増加し 21:00 頃に一旦ピークとなった。23:00 頃に減少したが再度増加し 4:00 頃に再びピークとなった。日中の横臥頭数は給飼、掃き寄せにより増減していたが搾乳前にピークが見られた。パドックでの横臥頭数は 1～2 頭と少なかった。

③Ｅ農家

牛床横臥出現割合が 55％であったＥ農家の牛舎は、中央給飼方式で牛床３列と外向き牛床２列の配列となっていた。

6:00 過ぎから牛床の糞を落としながら初産牛を待機室へ入れ搾乳を開始した。その後 7:00 過ぎに経産牛を待機室に入れ通路を除糞をした。夜搾乳では 17:00 過ぎに経産牛を待機室に入れ、18:00 過ぎに初産牛を待機室に入れ、通路の除糞をした。給飼は各群とも１日１回で、初産牛群と経産牛群に 19:00 頃に同一飼料を給与した。掃き寄せは１日５回前後であった。

図 3 に 24 時間行動観察結果を示した。朝の搾乳終了後採食頭数がピークとなるが、その後一旦低下し夜搾乳に向けて再度増加した。横臥頭数は採食頭数がピークとなった後に増加し始め、9:00～10:00 に最大となった。その後は徐々に低下した。夜間の行動は搾乳終了後採食し、その後横臥に移った。23:00 頃から再度採食頭数が増加した。朝の搾乳前に掃き寄せをするため、再び採食頭数が増加した。

④Ｆ農家

牛床横臥出現割合が 42～44％と低いＦ農家の牛舎は片側給飼の牛床３列の牛舎であった。経産牛と初産牛の２群に分けていた。24 時間行動観察結果を図 4 に示した。

6:00 過ぎに経産牛群、初産牛群とも飼槽側へ集めた後、牛床間通路の除糞をした。その後、初産牛群を経産牛群の牛床側通路に移動し、さらに経産牛群を待機室に移してから飼槽側通路を除糞した。経産牛の搾乳が終了した後、初産牛群を待機室に入れた。夜も同様に、17:00 過ぎに初産牛群、経産牛群を飼槽側に集めて搾乳を開始した。飼料給与は 8:30 頃であった。搾乳終了後一旦横臥頭数が増加し、その後 10:00 頃をピークに採食頭数が増加していた。経産牛では 8:00～9:00 に横臥頭数がピークとなった後は、牛床利用頭数に変化はないが横臥頭数が徐々に低下し、脚掛け状態の乳牛が増加した。牛床に 4 本の脚を載せて起立している頭数は非常に少なかった。

⑤Ｇ農家

牛床横臥出現割合が 36.7％と最も低いＧ農家の牛舎は片側給飼の牛床３列の牛舎であった。

24 時間行動調査結果を図 5 に示した。搾乳作業時に飼料が給与されていたので、乳牛は搾乳後採食してから横臥するという行動であった。14:00 頃に掃き寄せがあり、採食頭数が一時増加したが、１時間足らずで牛床起立に移行していた。夜間は搾乳～採食～横臥となっていた。22:00 頃採食頭数が増加していた。

⑥Ｋ農家

牛床横臥出現割合が 66.9％と最も高かったＫ農家の牛舎は中央給飼のＴ型配置の牛舎であった。牛床は木製牛床の上にバラ詰めのゴムチップマットレスを設置したが、マットレスの破損が激しいため、その上に砂を投入していた。経産牛群の 24 時間行動観察結果を図 6 に示した。

夜の搾乳時と 9:00 頃に飼料を給与していた。そのため、夜の搾乳後は採食頭数が多かった。搾乳

終了後約２時間で横臥頭数が増加、安定した。夜間の横臥頭数は若干増減していたが 35 頭前後であった。朝の搾乳時に掃き寄せをしていた。朝搾乳後は、いったん飼槽に行き採食したがすぐに横臥する乳牛が増加した。

乳房炎を防ぐために、搾乳直後は乳頭口が閉じるまで採食をさせ、通路で立たせた方がよいとされている（Johansson, 1999）。この搾乳後の乳牛の行動は、飼料給与時間によってほぼ決定されていた。すなわち、搾乳後に飼料給与がされていると、搾乳～横臥～採食というパターンが多くみられたが、搾乳中に飼料給与がされたり掃き寄せがあると、搾乳～採食～横臥というパターンがみられた。

DeVries ら(2003)は、1 日 2 回給飼の搾乳牛の採食行動の日変化について、その要因を餌の掃き寄せ時刻との関連で検討し、掃き寄せ作業よりも給飼および搾乳作業の方が乳牛の採食行動を促進するとした。さらに DeVries と von Keyserlingk (2005)は、乳牛の採食行動と横臥行動の日変化に及ぼす給飼と搾乳時刻の関連について検討し、群飼養の乳牛の採食行動には新鮮な餌の給与時刻が大きく影響しているとし、1 日の採食時間は搾乳 6 時間後の給飼のほうが増加するが、搾乳終了から牛床での横臥開始までの時間は短くなるとした。

これらのことから、搾乳中に給飼をしたほうが搾乳直後の牛床横臥を防ぐことが可能と考えられた。しかし、労働力の限られた家族経営によるフリーストール牛舎管理では、搾乳と同時に除糞と飼料の混合給与をすることは時間的に限界があり困難な場合もみられる。しかし、搾乳中の飼料給与ができない場合には、搾乳後の採食行動を刺激するため、少なくとも餌の掃き寄せ作業を実施する必要がある。

牛床横臥頭数は、日中は搾乳または採食後多くなり、夕方の搾乳に向けて徐々に低下する傾向にあった。夜間は飼料残量が少ないと搾乳後から徐々に増加するが、飼料残がある場合には夜中に一度採食行動が見られ横臥頭数は減少した。また、日中は人間の作業が入るため横臥頭数の変動が激しく、夜間は比較的安定している農家が多かった。

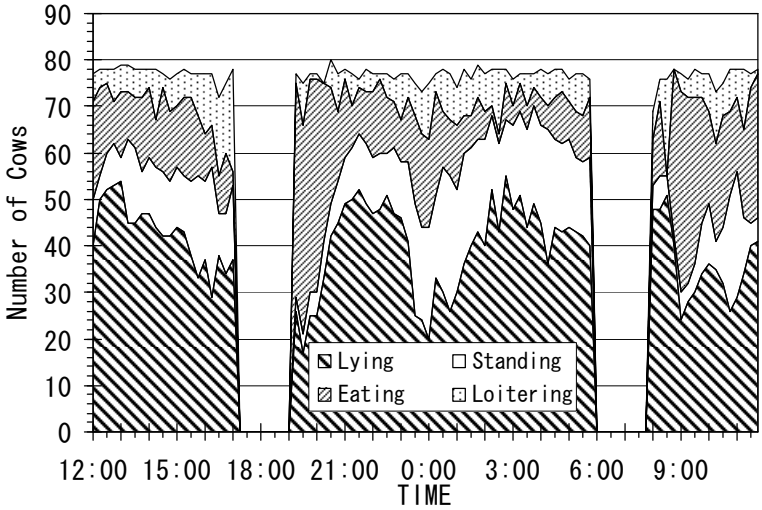

図1　Ａ農家の乳牛行動の日変化

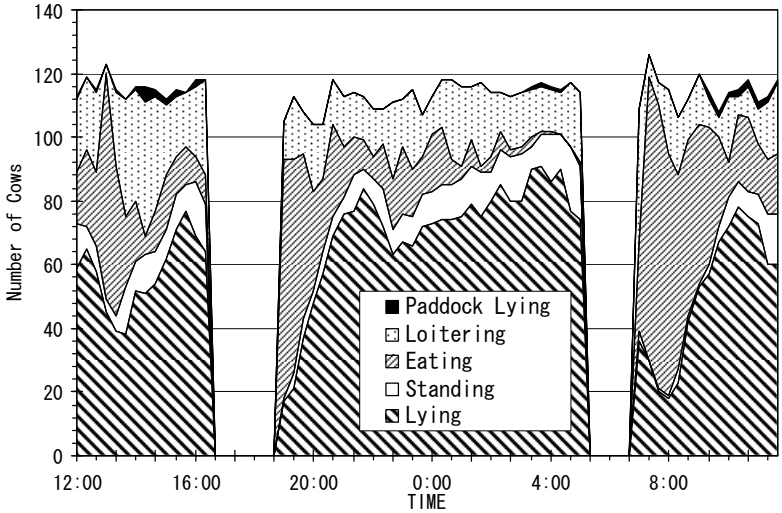

図2　Ｂ農家の乳牛行動の日変化

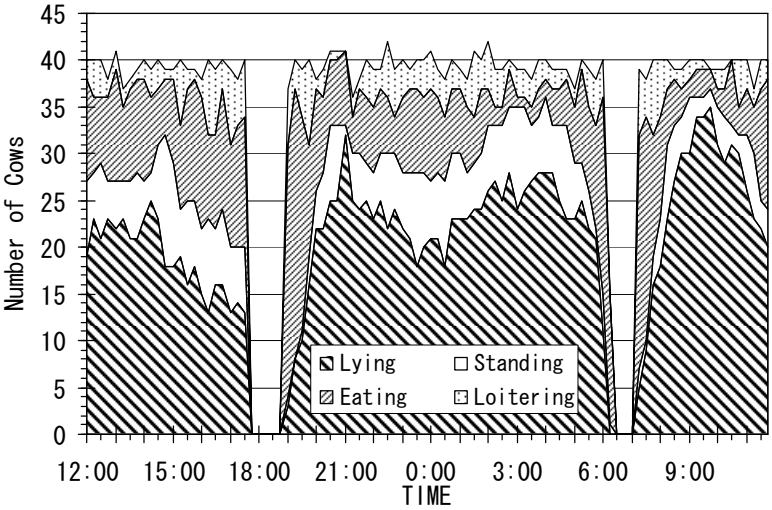

図3　Ｅ農家の乳牛行動の日変化

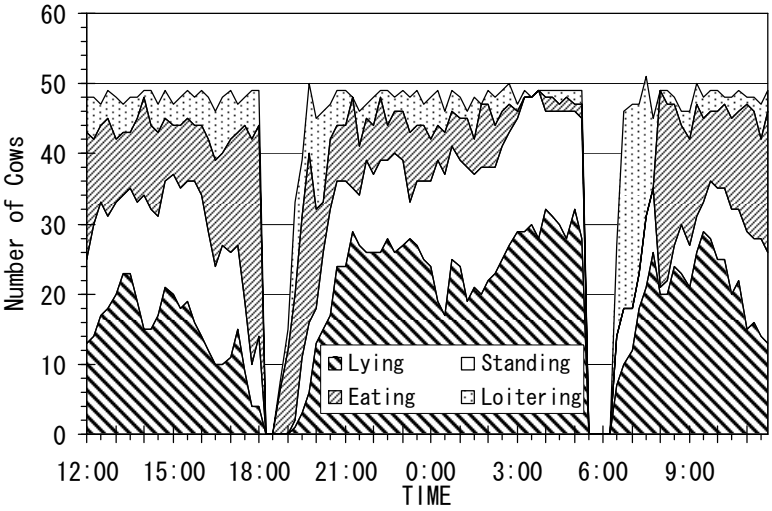

図4　Ｆ農家経産牛行動の日変化

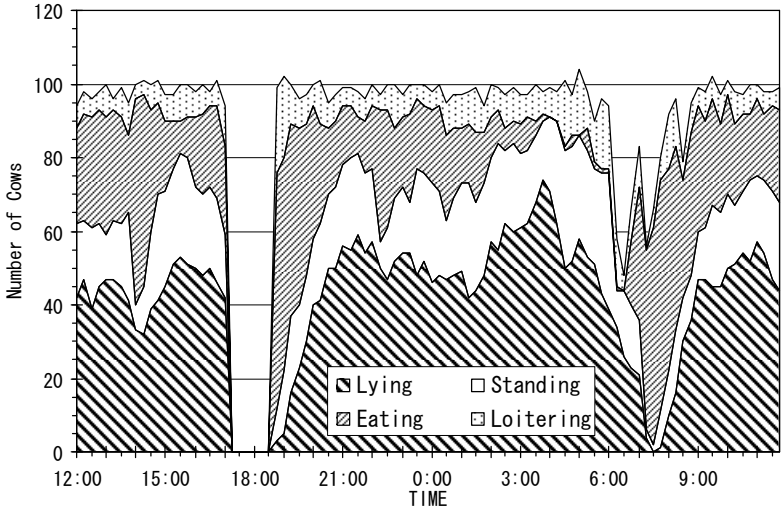

図5　Ｇ農家の乳牛行動の日変化

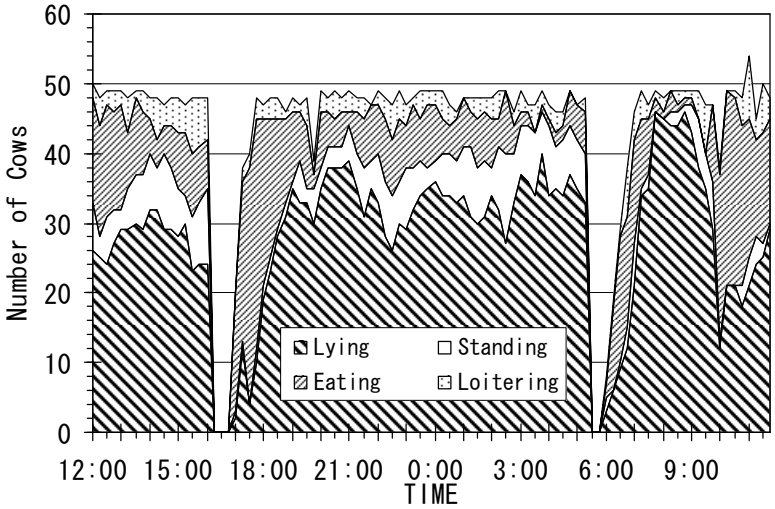

図６　Ｋ農家経産牛の行動の日変化

３）乳牛の行動解析

表 3 に調査農家 12 戸の 24 時間行動調査時の全調査期間での牛床横臥、起立等の行動出現時間と観察回数割合を示した。初産牛を別群で飼養しているＥ、Ｆ、Ｋの農家については、経産牛と初産牛とを分けて示した。

牛床横臥時間は 8.4～15.2 時間で平均で 11.8 時間、牛床起立時間は 1.6～6.5 時間であった。快適な牛床では少なくとも 12 時間以上横臥するとされる（Tucker ら,2004)が、横臥時間は 9.4～14.7 時間であった。横臥時間が 10 時間未満の農家はＤ、Ｆ、Ｇであった。また、12 時間以上の農家はＢ、Ｅ、Ｉ、Ｊ、Ｋ、Ｌであった。牛床起立時間は平均で 3.4 時間であった。Ｃ、Ｋ－２が短く、1.6 時間であった。牛床横臥時間が短いＦ、Ｇ農家がそれぞれ 5.8、6.5 時間と長かった。

牛床での横臥行動出現割合は平均で 52.7％であった。Ｆ、Ｇ、Ｈ農家が 36.7％～44.1％と低く、牛床横臥時間も長いＢ、Ｋ農家が 62.8～66.9％と高かった。牛床起立行動の出現割合は、横臥行動の割合の比較的高いＢ、Ｃ、Ｋ農家が低く平均で 15.0％であった。通路での起立行動は牛床間、飼槽側あわせて 10.6％であった。採食行動の出現割合は平均で 21.7％で変動は小さかった。

横臥時間が短く横臥出現割合の低い農家の牛床（カッコ内は敷料）は木（麦稈)、コンクリー

ト（乾草、オガクズ）であった。しかし、横臥出現割合の高い農家と牛床起立行動出現割合の低い農家の一部でも木（麦稈）、コンクリート（麦稈）の牛床で条件は変わらなかった。また、ゴムチップマットレスを設置している農家の牛床横臥出現割合は52%～56%と平均より高かった。

この調査では敷料の使用量の検討をしていなかったため、牛床条件と横臥出現割合の間の相関を明確にすることはできなかった。そのため、牛床条件と平均横臥率の関係について解析するために、牛床の硬さを数値化する光学的手法の確立も必要で、敷料使用量、牛床空間、牛床の硬さ、乳牛行動等も含めた、工学的手法による解析と行動学的手法による解析とを用いた総合的な検討が必要である。

H農家で顕著に採食行動割合が低く通路起立が多く記録されたが、この農家の行動調査が牛の間に入っての調査であったため、調査員の移動により採食している牛が移動したためと考えられた。

牛床横臥出現割合に対するその他の行動出現割合の相関を図7に示した。牛床横臥と牛床起立および通路起立の出現割合に負の相関がみられた。また、牛床横臥と牛床起立の出現割合の合計として牛床利用出現割合を求めると平均 68%で変動係数は 7.2%と最も小さかったことから、牛床を利用している時間割合（牛床横臥＋牛床起立）は農家間で顕著な差はみられず、牛床利用のうち「牛床横臥」に注目することで牛床の利用性を評価できると考えた。横臥出現割合と採食出現割合には相関はみられなかったことから、横臥時間が長くなっても採食時間には影響はないと考えられた。

乳牛行動に対する気象の影響は、調査期間が 6月～11 月でさらに冷涼な夏であったため、牛舎内温度は最も気温が高い期間でも 16.4℃～27.3℃であったことから、暑熱による影響は小さかったと考えられた。また、最終の調査時期が 11 月であったことから寒冷による影響も少なく、乳牛行動には調査時期による気象の影響はないと考えた。

表3　調査期間での乳牛行動の出現時間および割合（%）

農家区分*1	牛床横臥 (h)	牛床起立 (h)	牛床横臥	牛床起立	(牛床利用)	牛床側通路起立	飼槽側通路起立	(通路起立)	採食
A	10.0	3.5	52.0	18.4	(70.4)	1.3	6.9	(8.2)	21.4
B	14.5	2.1	62.8	9.0	(71.8)	2.3	4.1	(6.4)	21.8
C	11.5	1.6	58.3	8.0	(66.3)	7.9	7.3	(15.2)	18.5
D	9.4	2.8	45.9	13.6	(59.5)	7.6	7.1	(14.7)	25.8
E-1	12.2	3.2	55.6	14.5	(70.1)	2.4	5.6	(8.0)	21.9
E-2	11.8	2.1	52.1	9.1	(61.2)	6.2	8.1	(14.3)	24.5
F-1	9.5	5.8	42.1	26.0	(68.1)	3.1	7.4	(10.5)	21.4
F-2	9.9	3.4	44.8	15.2	(60.0)	4.7	8.4	(13.1)	26.9
G	8.4	6.5	36.7	28.7	(65.4)	4.7	10.7	(15.4)	19.2
H	10.0	4.8	44.1	21.0	(65.1)	-	20.3	(20.3)	14.6
I	13.0	4.3	55.2	18.4	(73.6)	1.5	4.7	(6.2)	20.2
J	13.5	3.2	56.3	13.5	(69.8)	1.2	4.7	(5.9)	24.3
K-1	15.2	2.6	63.4	10.6	(74.0)	1.7	4.2	(5.9)	20.1
K-2	15.2	1.6	66.9	7.0	(73.9)	1.2	4.9	(6.1)	20.0
L	12.5	3.0	53.8	12.9	(66.7)	1.8	6.4	(8.2)	25.1
平均	11.8	3.4	52.7	15.0	(67.7)	3.2	7.4	(10.6)	21.7
偏差σ	2.2	1.5	8.6	6.4	(4.9)	2.4	4.0	(4.6)	3.2
変動係数	18.8	43.5	16.3	42.7	(7.2)	75.0	54.1	(43.4)	14.7

*1：農家区分（-1）：経産牛、（-2）：初産牛、下線は（平均±σ）の範囲外の値

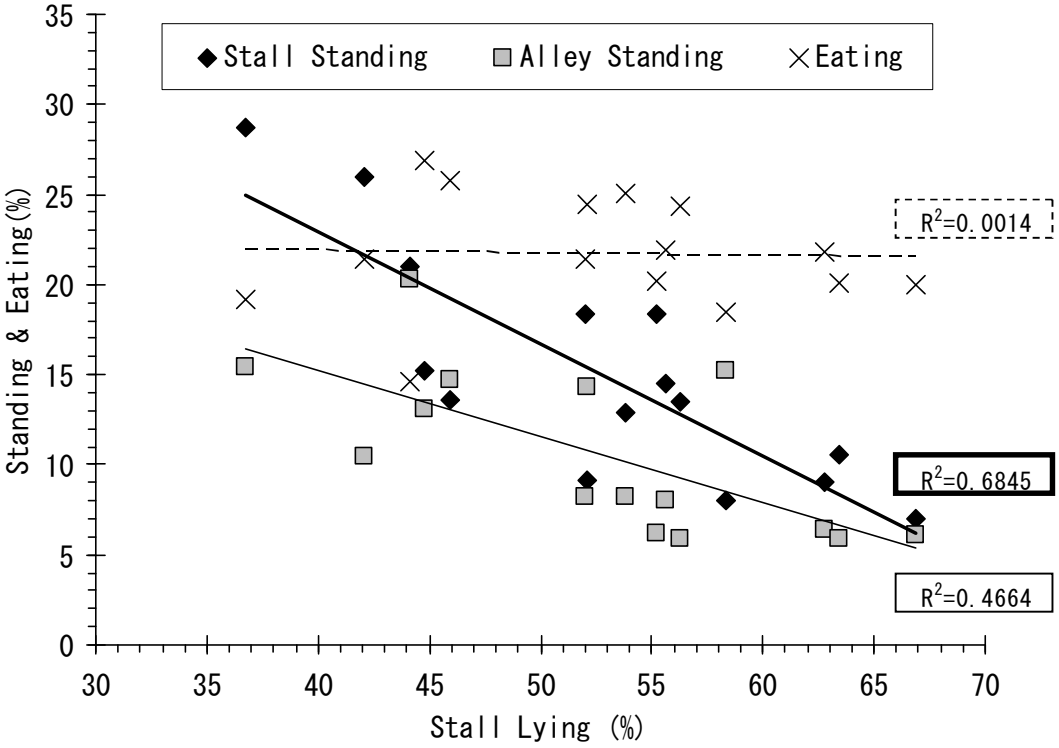

図7　牛床横臥出現割合に対するその他の行動出現割合との関係

４）牛床横臥率による乳牛の牛床利用の評価

表 4 に、初産牛単独飼養を除いた農家の 24 時間行動観察に基づく平均横臥率と平均牛床利用率を示した。データには 1997 年の調査と 1998 年に実施した反復調査を加えた。

Ｃ農家は牛床あたりの頭数が 1.32 頭と極めて高く条件が異なるため平均から除外した。平均横臥率は 74.9%、牛床利用率は 70.2%であった。「横臥率×牛床利用率/100」(全頭数に対する横臥頭数割合)は平均で 52.6%であったが、K農家は 66.2%と高かった。

反復調査はＥ、Ｆ、Ｋの３戸について実施した。Ｆ農家については合計３回調査した。それぞれの農家の平均横臥率の変化はＥ農家は 72.1～78.8%、Ｆ農家は 62.0～68.4%、Ｋ農家は 78.6～85.7%で変動の範囲は 6.4～7.1%であった。Ｆ農家の同一年の反復では差は 1%であったことから、こうした横臥率の変動は調査時期が異なり収容されている乳牛構成に変化があったためと考えられた。さらに横臥率の変動幅は、調査時期が異なってもおおよそ 8%、最大でも 10%の範囲に収まると考えられた。

牛床横臥率から一般的な牛床の快適性を判断するための指標を、平均横臥率 74.9%で偏差 7.4%をもとに検討した。標準的な範囲を（平均±σ）とすると平均横臥率の範囲は 67.5～82.3%となる。これをもとにして、乳牛の行動が比較的安定している状態での 24 時間観察の平均的な牛床横臥率の範囲を 70～80%、牛床が快適で横臥しやすいと考えられる平均横臥率を 80%以上、牛床に何らかの問題があり改修を考える必要がある平均横臥率の範囲を 70%以下と設定することで、牛床横臥率を牛床の快適性判断の目安として利用できると考えた。

このように牛床横臥率の判定の目安を設定したが、農家で 24 時間の行動観察をすることはできないため、どの時間帯に牛舎を観察すると平均横臥率と同程度の乳牛行動となるかを検討した。図 8 に平均横臥率が異なる 3 農家の横臥率変化を示した。搾乳作業と給飼・掃き寄せ作業によって

横臥率が変動しているが、比較的作業者の影響を受けにくい夜の搾乳・給飼・掃き寄せ作業の約 2 時間後の 22:00 頃にどの農家もほぼ平均横臥率に近い値を示していることから、この時間帯に牛床で横臥している乳牛の行動を観察して横臥率を算定すると良いと考えられた。また、各農家での牛床横臥率は朝の搾乳・給飼・掃き寄せ作業の 1～2 時間後の 8:00～9:00 に最大値を示していた。

しかし、牛舎内で通常と異なる発情行動の強い乳牛がいる場合や、特殊な作業をしている場合には乳牛の行動も平時と異なるためこの時の平均横臥率は適応できない。

Overton ら(2003)は、（牛床横臥頭数/牛床にいる牛の頭数）を乳牛の快適指数（CCI:Cow Comfort Index）と定義し、快適指数は 85%以上であれば良いとした。さらに快適指数は早朝の搾乳 1 時間後に最大となるとした。本研究においても図 8 に示したように朝搾乳後 1～2 時間で最大となるが、この時の横臥率（快適指数）は最高値を示しているだけにすぎず、乳牛行動はその時間以外で大きく変化しており対象牛舎の牛床の総合的な良否をこの値で判定することはできない。また、この時間帯の値がその牛舎の最高値を示すとすると、少なくともこの値は 90%以上は必要ではないかと考えられた。また、夜搾乳の 2 時間後の観察で平均横臥率を推測することでその牛舎の平均横臥率がわかる。これらの時間帯での乳牛観察により牛床横臥率の平均と最大値を推定することが可能となり、これらを活用することで牛床の快適性を改善するための牛舎管理を進めることができる。

表 4　24 時間乳牛行動調査による平均横臥率、平均牛床利用率

農家区分*	横臥率A (%)	牛床利用率B (%)	横臥時間 (h)	起立時間 (h)	牛床あたりの頭数(頭/床)	A*B
F0	62.0	70.3	9.5	5.8	0.81	43.6
H	66.3	63.9	10.0	4.8	1.02	42.4
F2	67.4	70.2	－	－	0.91	47.3
F1	68.4	65.2	－	－	0.81	44.6
G0	68.9	70.6	8.4	6.5	0.92	48.6
E1	72.1	72.0	－	－	0.93	51.8
A0	74.4	70.1	10.0	3.5	0.95	52.2
I0	74.5	78.6	13.0	4.3	0.76	58.6
D0	77.3	62.9	9.4	2.8	0.92	48.6
K1	78.6	65.6	15.2	1.6	1.05	51.6
E0	78.8	74.2	12.2	3.2	0.98	58.4
J0	80.0	77.7	13.5	3.2	0.87	62.1
L0	81.0	66.1	12.5	3.0	0.88	53.5
K0	85.7	77.2	15.2	2.6	0.96	66.2
B0	87.4	68.0	14.5	2.1	0.96	59.4
平均	74.9	70.2	12.0	3.6	0.91	52.6
偏差	7.4	5.0	2.4	1.5	0.08	7.1
C0	87.9	66.3	11.5	1.6	1.32	58.3

注：農家区分の後の数字は、0 は 1997 年、1～2 は 1998 年の反復調査回数である。

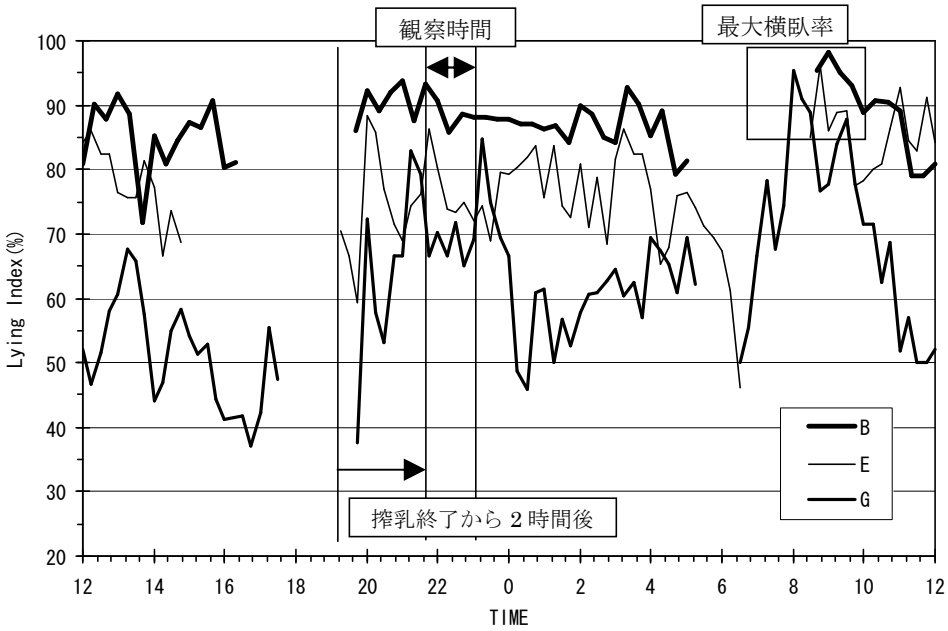

図８　平均横臥率の異なる農家の横臥率の変化
（平均横臥率　Ｂ：87.4%、Ｅ：78.8%、Ｇ：68.9%）

４．小括

Ⅰ章では、まず、フリーストール施設構造の実態と乳牛行動を把握するため、現地農家 12 戸のフリーストール牛舎について実態調査を実施し、フリーストール牛舎内での乳牛行動の特徴を検討した。

調査農家の牛床資材はコンクリート 5 戸、マットレス 4 戸、木 2 戸、ゴムマット 1 戸で、敷料はオガクズ 6 戸、麦稈・乾草 5 戸、砂 1 戸であった。隔柵は全てミシガン型であった。牛床幅は 120cm で、各部寸法の平均値は長さ 231cm、縁石高さ 28cm、ネックレール高さ 110cm であった。ネックレールとブリスケットボードの位置はそれぞれ 167cm、180cm で両者間には有意な差がみられ ($P<0.05$)、海外の推奨値そのままの利用から実際に飼養している乳牛に合わせた数値へと移行していることが示された。

搾乳時の給飼により飼槽に新鮮な飼料がある場合には、搾乳後の乳牛行動は採食頭数が多く採食時間も長いが、飼料が少ない場合には、しばらく採食するがすぐに横臥する頭数が増加することから、搾乳後の乳牛の行動は、飼料の給与時間によって左右されることが明らかとなった。

牛床横臥頭数は、日中は飼料採食後多くなり、夕方の搾乳に向けて徐々に低下した。夜間も飼料採食後多くなり残飼料がある場合には夜中に一度減少するが、その後朝搾乳に向け増加した。

牛床横臥行動出現割合は平均 52.7%で、45%以下の低いグループと 60%以上の高いグループに分けられた。採食行動は平均 21.7%で変動は小さかった。牛床条件と横臥率の関係は、敷料使用量、牛床空間、硬さ等の工学的解析手法も含めた総合的な検討が必要であることが明らかとなった。

最大牛床横臥率は朝搾乳・給飼・掃き寄せ作業 1～2 時間後に現れ、平均横臥率と同程度の値を示す時間は夜搾乳・給飼・掃き寄せ作業の 2 時間後から約 1～2 時間であることを示した。

フリーストールの牛床資材と乳牛行動の実態に関する以上の結果から、酪農の現場が参考とし得る、あるいは、現場に対して推奨しうる牛床の諸元や資材等の牛床構造を提案するためには、牛床構造の解析手法として行動学的な手法だけでなく、工学的な手法も必要であることが明らかになった。

第Ⅱ章　異なる牛床資材条件における乳牛行動の解析

１．序文

フリーストール牛舎の普及に伴って、乳牛の牛体汚染や乳房炎発生を防止し牛床利用率を高めるために、「乾燥し清潔で快適な牛床」のための資材が開発されてきた。国内にフリーストール方式が急速に普及した 1990 年代前半の牛床は、木材＋敷料をはじめコンクリート＋敷料、土間＋敷料、ゴムマット＋敷料、タイヤ埋め込み＋敷料などさまざまな資材が試されていた（McFarland(1992); McFarland と Gamorth(1994)）。

フリーストール牛舎用のさまざまな牛床資材の試験としては、乳牛の好みを判定指標に利用する選択試験や、乳牛の利用性を指標にして牛床横臥時間、牛床起立時間から判断する方法が数多く実施されてきた（Natzke ら(1982); Gebremedhin ら(1985); 原田ら(1995); Muller と Botha(1997); House ら(1999); Bernard ら(2002); Palmer と Wagner-Storch(2003); DePalo ら(2006)）。

しかし、木材やゴムマット、タイヤ埋め込み＋敷料といった牛床資材は最新技術として現地農家に導入されたが、濡れると非常に滑りやすい、あるいは漏乳などによって汚染され一旦乳房炎が発症するとその防除が非常に難しいといった問題点が、導入直後から多く指摘された。そのため、新たに開発された牛床資材については、実際に牛舎に設置し搾乳牛を用いた行動試験を実施して、乳牛の利用性、乳牛の状態などを把握することが重要となった。

本章では、2000 年当時、新たに開発された成形ゴムマット、ゴムチップマットレス、ウォーターベッドの 3 種類の牛床資材について乳牛の行動解析と牛床の利用性を、オガクズを敷料として利用した牛床を対照区として、Ⅰ章において明らかにした平均横臥率による牛床資材の判定法に基づいて比較・検討した。

２．材料と方法

１）調査牛床資材

供試した市販牛床資材は厚さ 30mm の成形ゴムマット（ゴムチップを接着剤で圧着したもの）、ゴムチップマットレス、ウォーターベッドの 3 種類である。

試験時には各牛床資材の上にオガクズ約 2kg（スコップ 1 杯）を毎日投入した。

対照区として「コンクリート＋硬質ゴムマット」牛床に約 8kg のオガクズを投入した区を設定した。

２）乳牛行動調査

①調査開始期日：オガクズ区
：2000 年 12 月 21 日
成型ゴムマット 1 区
：2001 年 1 月 17 日
成形ゴムマット２区
：2001 年 3 月 27 日
ゴムチップマットレス区
：2001 年 4 月 17 日
ウォーターベッド区
：2001 年 5 月 14 日

②調査場所：道立根釧農業試験場の旧総合試験牛舎フリーストール牛床棟の 10 牛床

③調査方法:予備期 2 週間（牛舎内の仕切りなし、乳牛の選抜なし。ウォータベッドのみ予備期 3 週間）、本期 1 週間（10 頭選抜、10 ストール限定）、最終日に 24 時間行動調査を実施

2 週間の予備期ではフリーストール牛舎にいる全頭（約 40 頭）が供試牛床資材を利用できるようにし、その後、10 頭を選抜して試験牛床 10 床に限定した区画内で本期として 1 週間飼養し、最終日前日から 24 時間の乳牛行動調査（15 分間隔）を個体識別をして実施した。

搾乳作業は 9:00～11:00 と 18:30～19:30 に実施された。飼料給与は 9:30～10:00 と夜の搾乳後であった。掃き寄せは 16:00 頃に実施されていた。

④供試乳牛：各試験区とも 10 頭使用。供試乳牛は 1～6 産で合計 16 頭の泌乳牛を用いた。うち 4 頭については全資材について、1 頭は成形ゴムマット 1 以外の 4 区、5 頭はオガクズ区以外に供試した。成形ゴムマット２区以降は同一牛で試験を実施した。

⑤分析項目：牛床利用頭数変化、横臥率変化、牛床利用時間など

３）乳牛行動調査における観察記録方法

あらかじめ牛舎のレイアウト図を作成しておき、15 分毎に乳牛行動を起立：Ｓ、横臥：Ｌ、採食：Ｆ、飲水：Ｄに分類し、これに反芻：Ｒを加えて図上の乳牛位置に記入した。

４）牛床資材による牛床横臥率

24 時間の乳牛行動観察から各観察時の牛床利用率、牛床横臥率を求めた。牛床利用率および牛床横臥率は次の式で求めた。

牛床利用率（%）＝牛床にいる頭数÷牛舎内にいる乳牛の総頭数×100

牛床横臥率（%）＝牛床で横臥している頭数÷牛床にいる頭数×100

また、牛床利用率が 30%以上の時の日平均を平均横臥率とした。

３．結果と考察

１）牛床資材による乳牛行動の特徴

①オガクズ牛床での乳牛行動

対照区としてのオガクズ牛床での乳牛行動を図 9 に示した。

朝搾乳の後、全頭採食していた。日中は半数の牛が牛床を利用していた。夜搾乳後は採食頭数が多かったが 21:00 頃には牛床での横臥頭数が増加した。夜半に通路で起立・移動する乳牛が多くみられた。4:00 頃に再度横臥頭数が増加した。牛床起立頭数は少なかった。

牛床横臥頭数は日中の方がやや少なかった。

②成形ゴムマット 1 での乳牛行動

成形ゴムマット 1 区の乳牛行動を図 10 に示した。

朝搾乳の後、全頭採食していた。その後牛床を利用する乳牛もみられたが頭数は少なかった。通路の糞が凍結し始め日中でも除糞をするようになったため、14:00 頃に乳牛をパドックに出した。この時に除糞と飼槽の掃き寄せをした。パドックから戻った後は採食頭数が増加した。日中の牛床利用頭数は平均で 3 頭程度で少なかった。16:00 の掃き寄せで再度採食頭数が増加した。夜の搾乳後の傾向はオガクズと同様であったが、牛床起立頭数が多かった。夜間には牛床に隣接したパドックへの出入り通路で横臥する乳牛がみられたが、通路横の牛床からオガクズが移動して牛床と同じような状態となっていたためと考えられた。調査時期が 1 月であったため通路の糞尿凍結が始まるなど、寒冷が乳牛行動にも影響を与えていると考えられた。

③成形ゴムマット 2 での乳牛行動

成形ゴムマット 1 と同じ牛床資材について気候が穏やかになった 3 月に実施した。結果を図 11 に示した。

朝搾乳後採食が多かった。その後、牛床利用が増加した。16:00 に掃き寄せがあり採食頭数が増加した。夜搾乳後は採食頭数が増加した。夜間の乳牛行動は成形ゴムマット 1 と同様の傾向であった。パドックへの出入り通路で横臥する乳牛はみられなかった。日中の牛床横臥頭数も増加したがオガクズほどではなかった。

④ゴムチップマットレス牛床での乳牛行動

ゴムチップマットレス牛床での乳牛行動を図 12 に示した。日中の牛床利用頭数は多かった。13:00 と 17:00 頃に掃き寄せがありそれに合わせて採食頭数が増加した。夜搾乳後は採食頭数が多く、その後牛床利用に移ったが、夜半に採食・通路起立が増加した。6:00 頃に牛床横臥頭数が増加していた。

⑤ウォーターベッドの乳牛行動

ウォーターベッドでの乳牛行動を図 13 に示した。牛床資材内に水を入れるので牛が載ると資材表面が揺れるため、乳牛が前脚をかけた直後に動けなくなるなど、乳牛の馴致に時間を要した。資材に慣れるまでに、牛床に前脚をかけて上半身のみが牛床に載った状態で横臥するなどの行動を示す乳牛もみられ牛体が汚れた。行動調査時の乳牛行動は、朝搾乳終了後ほぼ全頭採食していた。その後、牛床利用が増えた。夜搾乳後も採食が多いが、やがて牛床利用へ移行した。夜半に採食頭数が急増した。その後は約 8 頭の牛床利用となった。牛床での起立が多かった。

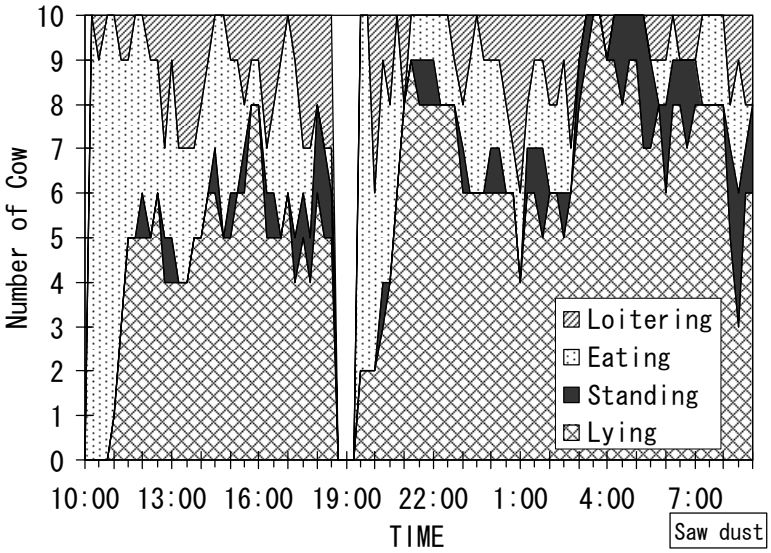

図９　オガクズ牛床の乳牛行動

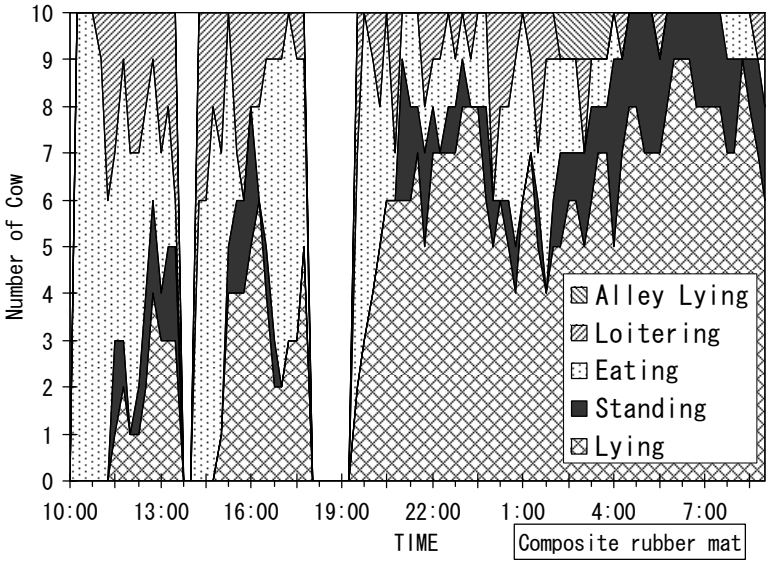

図 10　成形ゴムマット１の乳牛行動

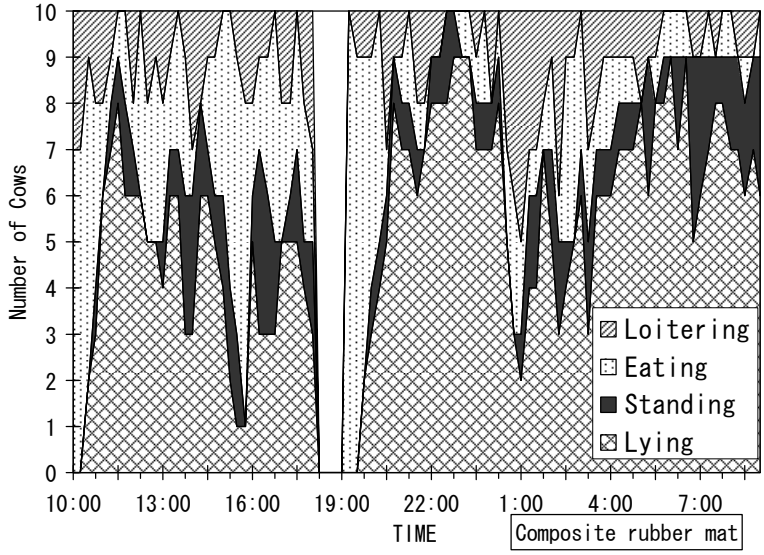

図 11　成形ゴムマット２の乳牛行動

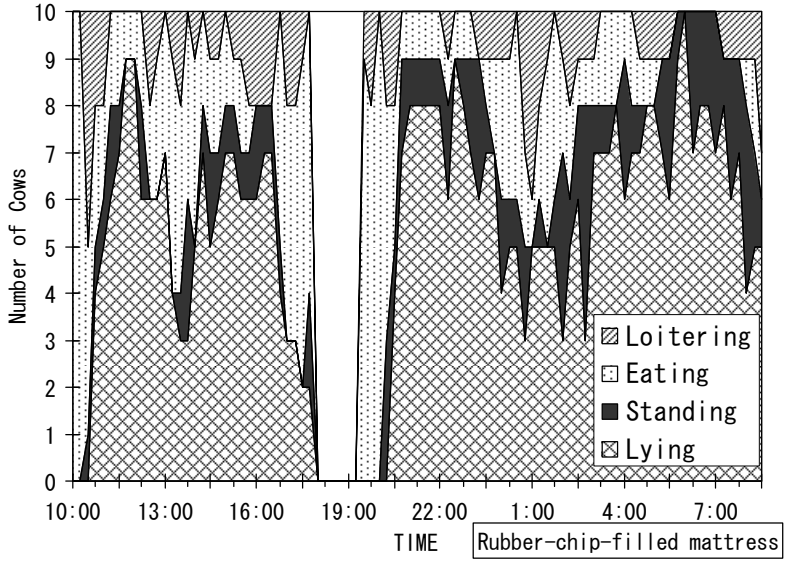

図 12　ゴムチップマットレス牛床の乳牛行動

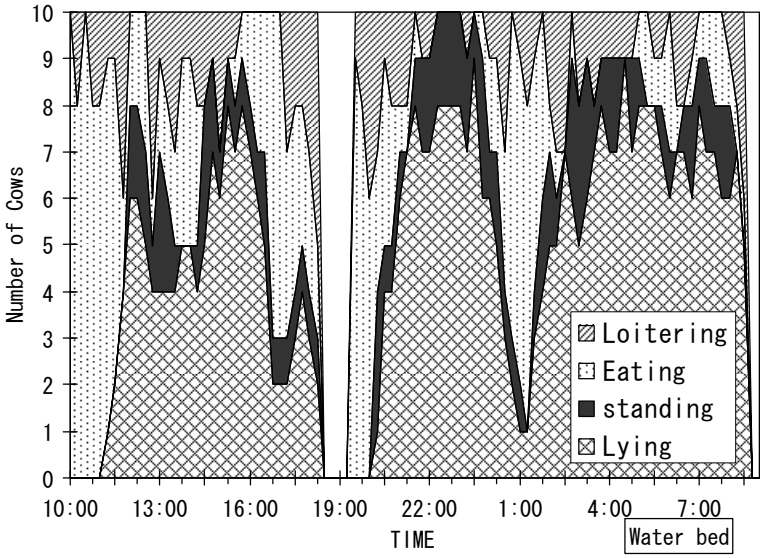

図 13　ウォーターベッドの乳牛行動

２）牛床資材による牛床横臥率

各資材別の平均横臥率を表 5 に示した。

平均横臥率はオガクズが最も高く 90.7%であった。他の資材では大きな差はなく 82.2～82.6%であった。また、横臥率が 80%を超えた観察の出現割合はオガクズが 70.3%であるのに対し、成形ゴムマット 2 が 56.0%で、ゴムチップマットレスが 53.8%となり、寒冷時の調査結果である成形ゴムマット 1 とウォーターベッドは 42.9%と低かった。

各資材の横臥率の日変化を図 14 に示した。供試頭数が 10 頭と少ないため横臥率の変動が大きく現れた。オガクズの横臥率は日中と夜間の差があまりみられず 80～100%の範囲で約 1 時間間隔で変化した。成形ゴムマット 1 は牛床利用率が低く日中は横臥率が検討できる時間が少なく、夜間は 80%を中心に 70～90%の範囲を 1～2 時間で変化した。成形ゴムマット 2 では横臥率の変動が大きく日中は 50～100%、夜間は 60～100%の範囲を 1～2 時間で変化した。ゴムチップマットレスにおいても変動が大きく日中は 70～100%、夜間は 60～100%で変化していた。特に 22:00～8:00 では 1 時間毎に大きく上下していた。ウォーターベッドでは成形ゴムマット 1 と同じような小さな変化で、日中は 60～100%の範囲を 2 時間毎に、夜間は 80～85%を中心に 1 時間毎に小さく変化していた。

横臥率の変化が大きいということは、牛床で起立・横臥動作を繰り返していることを示している。この変動の間隔が短いのは、起立横臥の間隔が短く、変動が大きいのは起立横臥動作をする頭数が多いことを示している。これは、起立横臥動作のしやすさと関連すると考えられるが、この変化がどのように快適性と関連しているかは解析できなかった。

表 6 に牛床資材別の平均行動時間を示した。

調査時間は 21.0～22.3 時間と差があるが、牛床横臥時間は 10.7～13.1 時間で、採食時間は 4.9～5.7 時間であった。牛床横臥時間ではオガクズと成形ゴムマット１、成形ゴムマット２とウォーターベッドで有意差があった($P<0.05$)。

調査時間に対する行動時間割合についてみると、牛床横臥時間割合はオガクズが高く 58.8%で、ついでゴムチップマットレス 56.1%、成形ゴムマット２が 53.8%で、成形ゴムマット１とウォーターベッドはそれぞれ 50.8%と 50.1%であった。牛床横臥時間割合ではオガクズと成形ゴムマット１に有意差がみられた($P<0.05$)。牛床起立ではオガクズが 6.2%と低くほかの資材では 11%以上でオガクズと成形ゴムマット２に有意差がみられた($P<0.05$)。また、採食では成形ゴムマット１が 27.3%と最も高く他の資材と有意差があり($P<0.05$)、成形ゴムマット２とウォーターベッド

間に有意差がみられた(P<0.05)。

牛床での横臥時間は 1 日あたり 10～15 時間とされ、12 時間以上は必要であるとされている(Tucker ら, 2004)。こうしたことから、オガクズと成形ゴムマットは 12 時間以上で、ゴムチップマットレスは 11.9 時間とほぼ良好な横臥時間を示した。また、成形ゴムマットについては厳寒期にはオガクズと有意な差がみられたことから気象の影響を受けやすいと考えられ、敷料を多く投入して気温の影響を緩和する必要があると考えられた。ウォーターベッドは他の資材と異なり乳牛が上に載ると表面が揺れるため乳牛が慣れるのに時間を要したが、平均横臥時間も 10 時間を超え、さらに採食時間の割合も 25.5%で他の資材と大きな差はなかったことから、利用のための馴致に時間をかけることで十分に利用できる資材であると判断した。

表 5　牛床資材別の平均横臥率

項　　目	オガクズ	成形ゴムマット 1	成形ゴムマット 2	ゴムチップマットレス	ウォーターベッド
日平均横臥率(%)	90.7	82.6	82.4	82.6	82.2
横臥率 80%以上の出現割合(%)	70.3	42.9	56.0	53.8	42.9

表6　牛床資材別の乳牛行動の平均時間と割合

項　目	区　分	オガクズ	成形ゴムマット 1	成形ゴムマット 2	ゴムチップマットレス	ウォーターベッド
平均時間（h）	全体	22.3	21.0	22.3	21.3	21.8
	牛床横臥	13.1[ac]	10.7[bd]	12.0[bc]	11.9[abcd]	10.9[ad]
	牛床起立	1.4 [a]	2.4[ab]	3.1 [b]	2.7[ab]	2.6[ab]
	通路起立	2.2[ac]	1.9[abc]	1.7[abc]	1.4 [b]	2.4 [c]
	採食	5.3[abc]	5.7 [a]	5.1[bc]	4.9 [c]	5.6[ab]
	その他	0.3	0.3	0.4	0.4	0.3
割　合（%）	牛床横臥	58.8 [a]	50.8 [b]	53.8[ab]	56.1[ab]	50.1[ab]
	牛床起立	6.2 [a]	11.2[ab]	13.8 [b]	12.7[ab]	11.7[ab]
	通路起立	9.7[ab]	9.0[ab]	7.8[ab]	6.5 [a]	11.1 [b]
	採食	23.8[ab]	27.3 [c]	22.8 [a]	23.1[ab]	25.5 [b]
	その他	1.6	1.7	1.8	1.6	1.5

注：異なる文字間に有意差有り(P<0.05)。

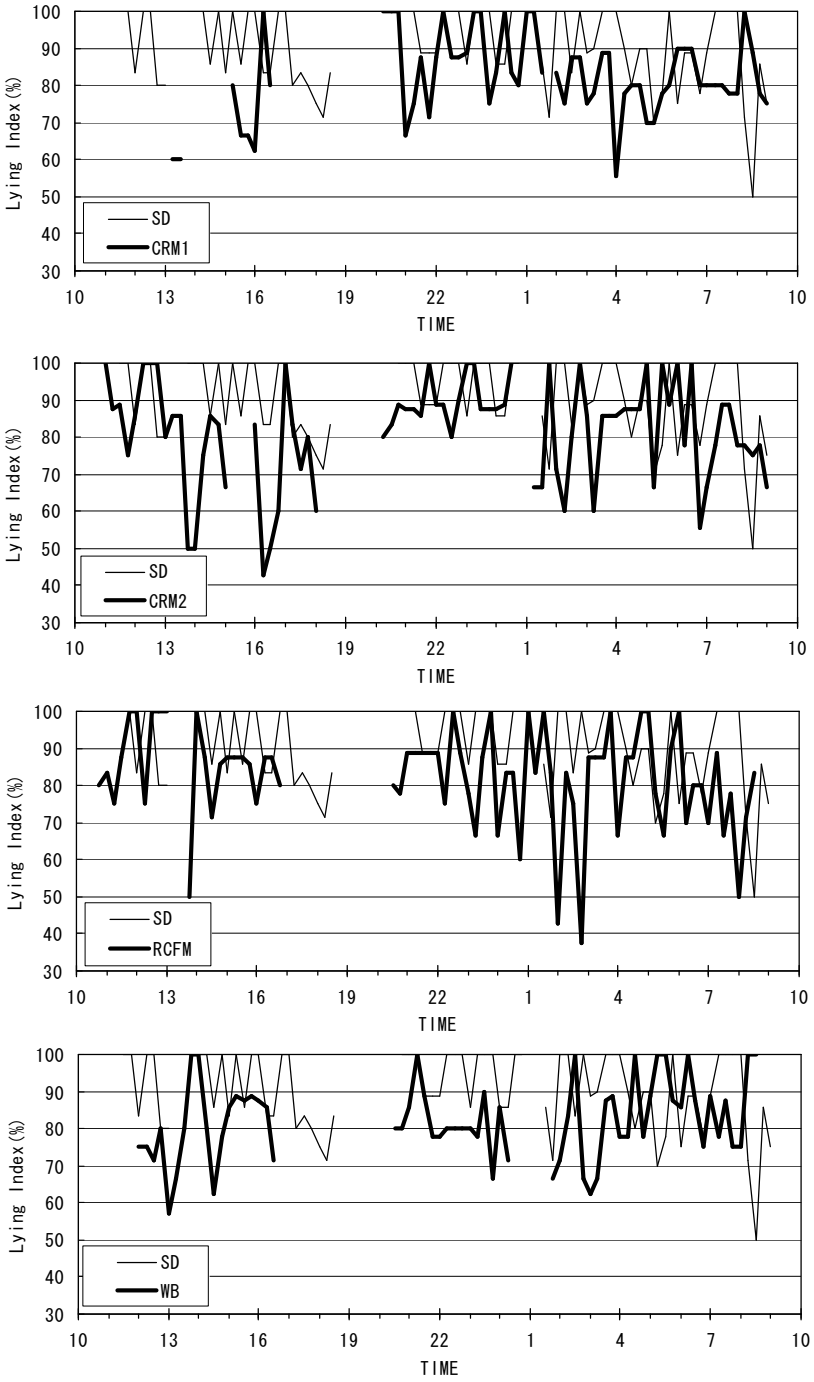

図 14　各牛床資材の牛床横臥率の変化

（凡例注　SD オガクズ、CRM 成形ゴムマット、RCFM ゴムチップマットレス、WB ウォーターベッド）

４．小括

Ⅱ章では、解析法の検討として、Ⅰ章で明らかにした平均横臥率を基にした行動学的解析法を用いて、異なるフリーストール牛床資材の快適性を解析、評価する手法について検討した。

市販の 3 種類の牛床資材（成形ゴムマット、ゴムチップマットレス、ウォーターベッド）と対照区としてオガクズのみの牛床について、10 床のフリーストールに順次資材を設置し乳牛 10 頭を用いた 24 時間の行動調査を実施した。日平均牛床横臥率および横臥時間は、それぞれオガクズ(12 月調査)90.7%、13.1 時間、ゴムチップマットレス

(4 月調査)82.6%、11.9 時間、成形ゴムチップ 2(3 月調査)82.4%、12.0 時間、成形ゴムチップ 1(1 月調査)82.6%、10.7 時間、ウォーターベッド(5 月調査)82.2%、10.9 時間であったことから、牛床の快適性では、オガクズ牛床が最も高く、3 月調査の成形ゴムマット 2 とゴムチップマットレスが高い資材と判断された。また、ウォーターベッドの快適性は他の資材ほど高くはないが特に問題となるものでもないと判断できた。

行動学的解析から得られる牛床横臥率と牛床横臥時間を用いてフリーストール牛床資材の快適性を評価する手法を確立することができた。

第Ⅲ章　落下試験装置による牛床の物理性評価

１．序文

これまで検討してきたように、乳牛が横臥する牛床に設置する資材にはコンクリート、砂、ゴム、ゴムチップ、ウレタンをはじめ様々な素材が利用され、横臥時間が長くなるように牛床の快適性を高めるようになってきた。こうしたことから、どのような物理的特性を持った素材の牛床資材が適しているのかという工学的解析法を用いた判断が必要となってきた。

これまで牛床資材の工学的評価では、実験室内での「荷重－変位」の計測による牛床資材の工学的評価は試みられていた（Dumelow(1995); Tierney と Thornson(2003)）。しかし、この方法では試験サンプルを切り出す必要があり、牛舎内での利用状態のままでの試験は困難であった。

Fulwider と Palmer（2004）は牛床の硬さの計測に既存の重錘が 20kg と大型の衝撃力計測装置 Clegg Impact Tester を用いたが、これでは衝撃力の大きさが 0～100 の数字で表示されるだけであった。Tierney と Thornson (2003)は、加速度計を用いた落下試験装置により牛床資材の柔らかさ、弾力性、反発性を衝撃力として計測・評価する方法を提示した。これを応用することにより、様々な素材の牛床資材について落下衝突時の最大加速度を計測し、基本的な飼養環境である放牧地などとの比較により、それぞれの資材の特性について検討することが可能である。

そこで、本試験では、試作した加速度計を内蔵した落下試験装置を用いて、現在使用されているさまざまな牛床資材の硬さを評価した。さらに、酪農場での実態を踏まえ敷料使用による衝撃力の緩和程度を調べた。

２．材料と方法

１）落下試験装置の構成

衝撃力の計測に用いた落下試験装置は Tierney と Thomson(2003)が提案した計測方法を参考に試作した。この装置は竹内ら(2006A、2006B)が用いたものと同じ装置で、約 4.5kg のハンマーに加速度計（AS-200A（200G 用），共和電業）を組み込んだ落下装置（総重量 4.75kg）と、これを一定の高さから落下するための架台で構成されている（写真 1，図 15）。落下高さはゴムチップマットレスの牛床に乳牛が横臥する時の衝撃力とされる 2000～3000N(Dumelow(1995))をもとに、Tierney と Thomson (2003)は 8kg の落下装置で 174mm としたが、本試験の落下装置は重量が 4.75kg であるため重量を勘案し 200mm とした。加速度計からの出力は変換器（PCD－300、共和電業）をとおし、コンピュータに収録した。収録したデータは表計算ソフトを用いて落下装置が床材に衝突した時の最大加速度を求めた。

２）落下試験装置による衝撃力の計測

落下試験時の加速度の計測例を図 16 に示した。落下装置の 1 回目の衝突時の加速度（G1）のピークから得られる値を牛床資材の衝撃力(N)とした。また、落下装置が資材に衝突して跳ね返った後、再度、衝突したときの加速度（G2）の G1 に対する比率（G2／G1）を表示した。この値は、床面に衝突した落下装置が大きく跳ね返って高く上がって落ちると G2 も大きく G2／G1 も大きな値になる。これに対し、反発力が小さくあまり大きく跳ね返らない資材の場合には G2 が小さくなり G2／G1 も小さくなる。これらのことから G2／G1 は資材の反発性を示すと考えられる。

３）牛床資材の種類

調査した牛床資材の種類を表 7 に示した。

牛床資材として販売されているものでは、ゴムチップマットレス 1 種、ウレタン製 3 種、ゴムマット 5 種、ゴムチップ成型マット 1 種、内部に詰め物をした複合マット 1 種の合計 11 種である。市販の資材以外のものとしては、コンクリート仕上げ面、道立根釧農業試験場の黒色火山性土のチモシー主体の放牧草地、模擬牛床での砂の牛床（厚さ 150mm）の 3 種類である。オガクズなどの敷料は使用しない状態で衝撃力を計測した。

落下回数は 1 資材あたり 5～20 回でそれぞれ別の場所に落下して計測した。未使用の資材は場所による変動が少ないので落下回数は 5 回とした。牛舎内で使用しているゴムチップマットレスは

場所による変動が大きいため落下場所を 20 箇所とした。

４）敷料使用量と衝撃力

コンクリートとゴムマット C を対象として、敷料資材のオガクズを厚さ 1、2、3、5、10cm に変えたときの牛床衝撃力を計測し、オガクズ敷料による衝撃力の緩和効果を検討した。

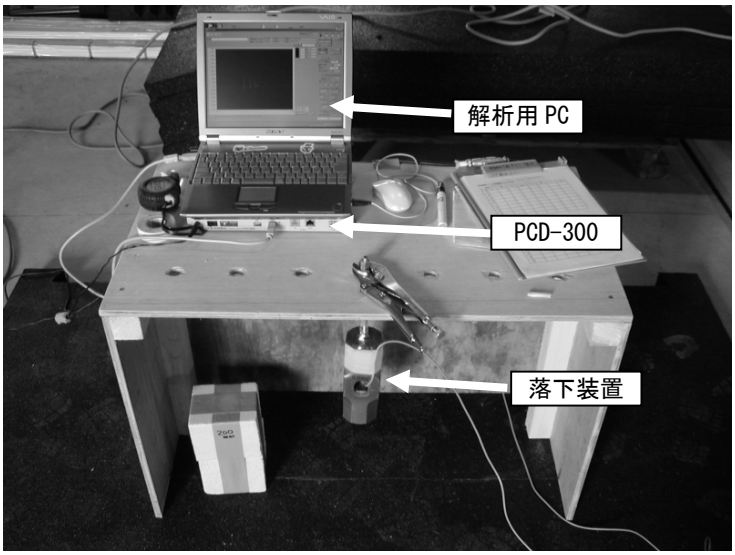

写真 1　落下試験装置全体図

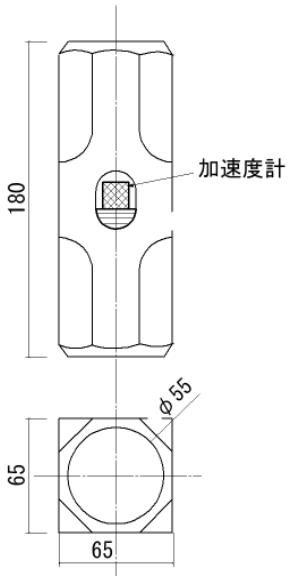

図 15　加速度計を装着した落下装置 (単位 mm)

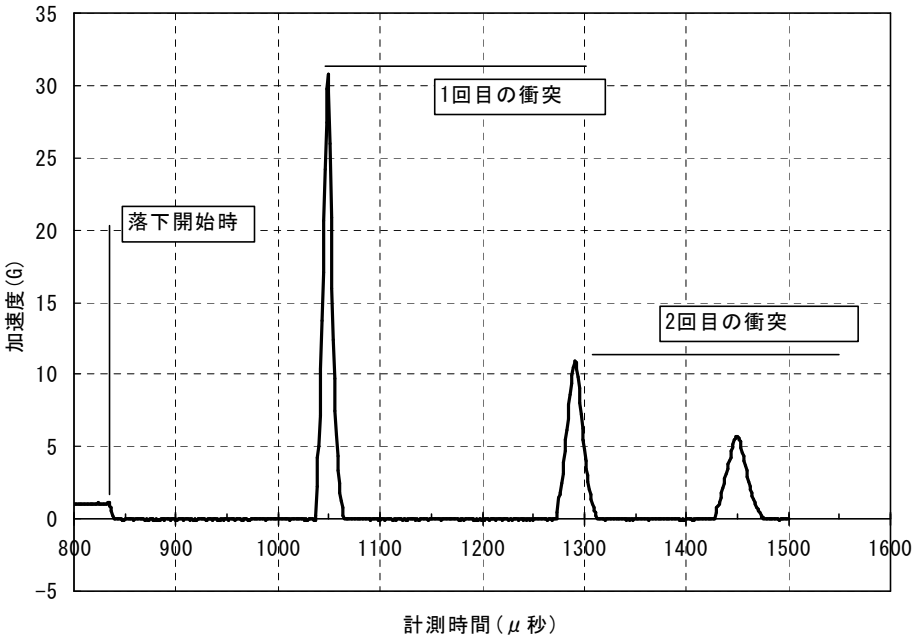

図 16　加速度の変化状況

表 7　落下試験装置による衝撃力測定に供試した牛床資材の一覧

牛床資材名	品　　名	厚さ (mm)	表面／裏面	取り扱い会社	備考
コンクリート		―	平滑／―		
放牧地		―	牧草／―		
砂（模擬牛床）		150	平坦／―		
ゴムチップマットレス	パスチャーマット	50	シート／―	コーンズ AG	1 年使用
ウレタンマット A	M100	30	シート／平面	デラバル	未使用
ウレタンマット B	ノルボコ	30	模様／平面	ピュアライン	未使用
ウレタンマット C	フォーマット	80	模様／平面	個人輸入	未使用
ゴムマット A	ヒューメイン	19	模様／平面	土谷特殊	未使用
ゴムマット B	ウルトラマット	25	平面／平面	トーチク	未使用
ゴムマット C	キングマット	30	模様／平面	MSK 農業機械	未使用
ゴムマット D	RM20N	25	模様／丸突	デラバル	未使用
ゴムマット E	CS カウマット	30	模様／溝	オリオン	未使用
複合マット	シュープリーム	30	模様／平面	土谷特殊	未使用
ゴムチップ成型マット		50	粗面／丸溝	試作品	未使用

３．結果と考察

１）牛床資材別の衝撃力

牛床資材の衝撃力の計測結果を表 8 に示した。コンクリート面は衝撃力が最も大きく平均で 8796N であった。落下装置はコンクリート面に衝突した後、大きく跳ね上がり G2/G1 も 62.9％と最も大きな値であった。放牧地は平均で 1659N、最大でも 1910N であった。G2/G1 は 27.8%と砂の次に小さな値であった。砂の牛床では、平均で 991N で最大値は 1518N であった。落下装置は砂にめり込むような状態でほとんど跳ね返りはみられず G2/G1 は 5.2％と最も小さな値であった。1 年間使

用したゴムチップマットレスは平均 2334N で最大値も 2452N と変動が小さかった。G2/G1 は 43.3%であった。ウレタンマットでは厚さによる影響も見られるが平均値は 917～2611N で最大値も 978～2628N と同じ傾向であった。厚さ 80mm のマットは 917N と砂の牛床と同程度の衝撃力で測定した資材の中で最も衝撃力が小さかった。しかし、G2/G1 は 53.7%と反発性の大きな資材であった。

ゴムマットでは裏面の状態が平面か凹凸があるかという条件と厚さによって衝撃力に差がみられた。裏面が平面の資材では厚さ 19mm のゴムマットAが 6295N と大きな値でコンクリートとの間に有意な差がなかった。厚さ 25mm のゴムマットBでは 5609N、30mm のゴムマットCは 5173N で同程度の衝撃力であった。裏面が丸形の突起のある丸突ゴムマットDは厚さが 25mm であっても 3578N と衝撃力は小さかった。また、厚さ 30mm で裏面に溝が刻まれている溝状ゴムマットEについても 3324N とゴムマットでは衝撃力は小さかった。ゴムマットの G2/G1 は 40～59%であった。ゴムマット内部にウレタンの端材を充填した複合マットは厚さ 30mm でも 1454N と衝撃力は小さく G2/G1 も 33.4%と小さかった。ゴムチップを接着剤と圧着で固めたゴムチップ成型マットは、裏面に山形の丸溝を設けていることと、厚さが 50mm と厚いこともあり衝撃力は小さく 2461N であった。G2/G1 は 45.1%であった。

乳牛が自然な状態で起立横臥すると考えられる放牧地の衝撃力は 1659N 程度であった。これは、複合マットと同程度の衝撃力であった。また、砂、ウレタンマットＡとＣおよび複合マットの衝撃力が放牧地の値よりも小さく、ゴムチップマットレス、ウレタンマットＢ、ゴムチップ成形マットが放牧地よりもやや大きな衝撃力を持つ資材であった。ゴムマットは 3300N から 6300N で放牧地よりもかなり硬い資材であることが示された。

表８　各牛床資材の衝撃力とＧ２／Ｇ１

牛床資材名	衝撃力（N） 平均	最大	G2/G1 (%)	備考 厚さ(mm)	裏面
コンクリート	8796 a	13542	62.9	―	―
放牧地	1659 b	1910	27.8	―	―
砂（模擬牛床）	991 c	1518	5.2	150	―
ゴムチップマットレス	2334 d	2452	43.3	50	―
ウレタンマットA	1149 e	1160	45.2	30	平面
ウレタンマットB	2611 f	2628	48.5	30	平面
ウレタンマットC	917 c	978	53.7	80	平面
ゴムマットA	6295 a	6584	39.9	19	平面
ゴムマットB	5609 g	6009	59.1	25	平面
ゴムマットC	5173 g	5375	46.8	30	平面
ゴムマットD	3578 h	3638	47.8	25	丸突
ゴムマットE	3324 i	3403	40.4	30	溝
複合マット	1454 b	1500	33.4	30	平面
ゴムチップ成型マット	2461 f	3011	45.1	50	丸溝

a,b,c,d,e,f,g,h,i,:異なる文字間で有意差有り(P<0.01)

２）敷料使用量と衝撃力

敷料（オガクズ）の厚さと衝撃力の関係を図 17 に示した。牛床衝撃力は、敷料の厚さ 2cm までは直線的に低下しているが、敷料の厚さが 2cm 以上

になると牛床衝撃力の低下度合いが小さくなり5cmでは牛床の条件に関係なくほぼ同一の値であった。

敷料の厚さが 2cm ではコンクリート床で約2500N、ゴムマットで約2300Nであった。敷料の厚さ3cmではそれぞれ約2200Nと約1800Nとなった。5cmではそれぞれ約1100Nと1200Nであった。10cmでは両者とも約600Nであった。

竹内ら(2006A)の試験ではゴムチップマットレス（敷料なし4166N）を牛床として敷料（オガクズ）の量を単位面積あたりの重量で変化させて同様の測定をしており、4.3kg/m^{2}で平均1886N（1367～2271N）という値を示している。オガクズの嵩密度は約 0.2 であることから敷料の厚さは約2.1cmと推察され、本試験での厚さ2cmの衝撃力（ゴムマット2200N）とほぼ同程度の値であると考えられる。

放牧地での落下試験での衝撃力が約 1700N であることから、コンクリート牛床において敷料のみでこの値まで衝撃力を低下させるためには、3cm以上の厚さで敷料を確保する必要がある。しかし、オガクズのような流動性の高い敷料では、日常管理で常に厚さを 3cm 以上に保つことは非常に困難であることから、牛床の衝撃力を放牧地と同程度に低く保つためには、あらかじめ牛床資材として衝撃力の小さなものを選定することが重要であると考える。

また、牛床資材の適正には、柔らかさの他に耐久性、摩擦力、および衛生上の管理のしやすさも基準とした判断が求められる。

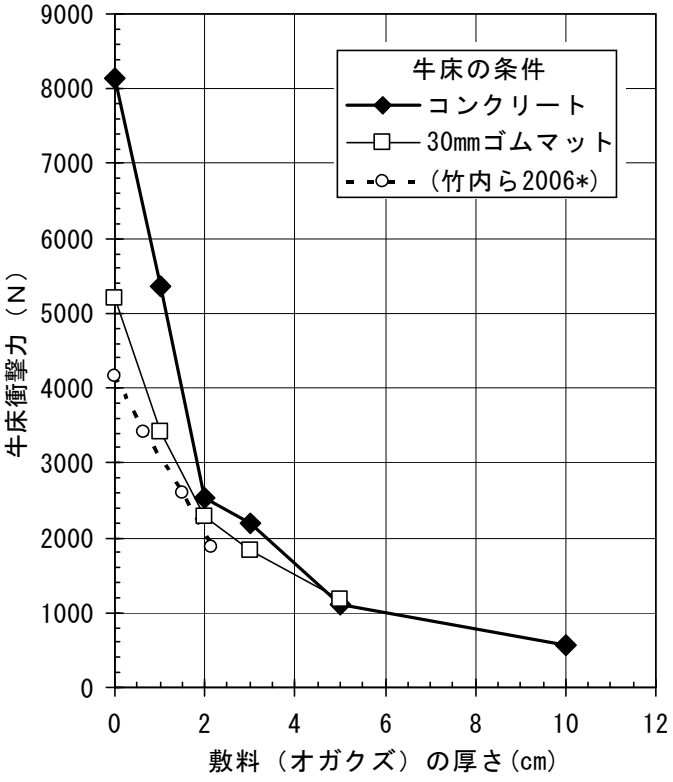

図 17　敷料の厚さによる牛床衝撃力の変化
注*:竹内らの計測結果をオガクズの嵩密度を0.2として敷料厚さに変換しプロットした。

４．小括

Ⅲ章では牛床資材の工学的解析法の検討として、加速度計を内蔵した落下試験装置を試作し、この装置を用いた牛床の快適性評価手法の確立を検討した。この装置を用いて、ゴムマットなどの市販牛床資材 11 種と、比較としてコンクリー

ト、砂、放牧地などを含む合計 14 種類について、衝撃力を計測した。牛床資材の衝撃力はコンクリートが 8796N と最も大きく、砂の牛床と厚さ 80mm のウレタンマットが約 917～991N と最も小さかった。乳牛が自然状態での起立横臥行動を示すと考えられる放牧地は 1659N であった。使用 1 年後のゴムチップマットレスは 2334N、厚さ 30mm のウレタンマットは 1149～2611N、ゴムマットは 3403～6587N であった。

また、現場での管理を踏まえて敷料（オガクズ）の使用厚さ別の衝撃力を計測したところ、厚さ 5cm で約 1100N、10cm で約 600N と衝撃力が大きく低下することを示した。

以上のように、加速度計を内蔵した落下試験装置により、牛床の柔らかさを数値として表現することが可能となり、工学的解析手法を確立することができた。