

## 畜産動物運動器病予備検診のための動作解析システム

高橋 裕之, 吉川 毅, 橋場 参生, 大村 功

### A Study on Behavioral Analysis System for Early Detection of Locomotion Disease in Livestock

Hiroyuki TAKAHASHI, Takeshi KIKKAWA, Mitsuo HASHIBA, Isao OHMURA

#### 抄 録

農畜産品の低価格な輸入産品に対抗するため、牛など家畜の生産効率向上による低コスト化が不可欠である。しかし、生産効率の向上を追求すると生産病と呼ばれる一群の疾病に冒されるリスクが増え、場合によっては逆に生産性が低減する。このため、生産病を早期発見して治療を行うことが重要であるが、大規模農場では家畜を個々に管理できないため、疾病の兆候を早期発見することが難しく、重傷化してしまう場合が多い。

運動器病は、家畜の脚に軽度な障害がみられる疾病であり、発症頻度や二次的影響の大きさから主要な生産病と考えられる。このような状況において、運動器病を家畜の運動異常から早期に発見し、生産病を抑制するための予備検診システムの開発が求められる。

そこで本研究では、乳牛を対象として、運動器病の特徴的症状を抽出し、獣医師に診断を促すための予備検診技術の確立を目的として、画像解析および荷重分布計測による家畜動作解析システムの開発を行った。

キーワード：家畜、運動器病、画像解析、荷重分布計測

#### Abstract

It is absolutely necessary to reduce costs by achieving more efficiency in livestock production, against the low-price imports. Although seeking more efficiency in production livestock leads to increase risk of production disease, and more, reduction of productivity. Therefore, It is important to detect and cure the sick livestock in early stages, but it is difficult to find them in large-scale farm, then it is often the case that the symptom becomes more severe.

Locomotion disease is defined by slight failure in the leg of livestock, and so it is believed the major production disease in high incidence and secondary effect.

In these circumstances, it is sought to develop pre-diagnosis system to suppress those disease by the movement failure of livestock.

In this study, to assist diagnosis, we developed a motion analysis system for cattle as livestock by image processing and load distribution measurement of them to extract a characteristic symptom of locomotion disease.

KEY-WORDS : livestock, locomotion disease, image processing, load distribution measurement

## 1. はじめに

北海道酪農は、広大な農場を背景に、大規模な酪農・畜産が行われており、乳牛飼育頭数で全国の31%、生乳生産量で全国の46%を占める最大の酪農・畜産地帯である。また、酪農場では、1戸当たりの飼育頭数が拡大し、個人農場と大規模農場の2極化が進んでいる。現在、大規模農場からの乳製品出荷量が40%にまで至り、さらに大規模化が進むと考えられる。

今後も安全な農畜製品の安定供給が期待されているが、低価格な輸入農畜製品の増加により、これらに対抗するため、乳牛などの家畜の生産効率の向上を図ることで、低コスト化が追求されている。

しかし、このような大規模化や生産効率の向上を追求すると家畜へのストレスなどにより、運動器病や乳房炎などの生産性を低下させる生産病と呼ばれる一群の疾病に冒されるリスクが増える。このため、生産病を早期発見して治療を行うことが重要であるが、大規模農場では個々の家畜を管理できず、また、獣医師を専属化することは高コストであることから困難であり、疾病の兆候を見逃して重症化してしまう場合が多い。重症化し、淘汰せざるを得なくなると、さらに経済損失は大きくなる。

運動器病は、家畜の脚に軽度な障害がみられる疾病であり、発症頻度や二次的影響の大きさから主要な生産病と考えられる。このため、運動器病を家畜の運動異常から早期に発見し、疾病の抑制と原因の解明を行うための予備検診システムの開発が求められている。

そこで本研究では、乳牛を対象として、運動器病の特徴的な症状を抽出し、異常傾向が現れた場合に獣医師の診断を求めするための予備検診技術の開発を目的に研究を行った。

## 2. 動作解析システムの開発

運動器病を発症すると、直立や歩行時に異常な動きが見られることから、これらの動作を解析し、正常時と比較を行うことで、運動器病発症の兆候を見つけられる可能性がある。そこで、動作を解析するために画像処理および荷重分布計測による動作解析システムの開発を行った。

### 2.1 動画像解析システムの開発

#### 2.1.1 システムの概要

運動器病発症の兆候をみつけるためには、蹄や脚の付け根、頭部など、特定の部位の動きを追跡する必要がある。動画像から対象物を抽出する手法としては、背景差分法やフレーム間差分法などが知られている。これらの手法は、変化した対象物を抽出するために有効な手法であるが、歩行している牛などの局所的な領域を直接抽出することはできない。特定

の領域を追跡するには、領域の濃度値を既知のパターンに関するモデルとして定義し、入力パターンとの比較により最も整合性の高いパターンを選択するテンプレートマッチングが一般的である。テンプレートマッチングでは、既知となるモデルパターンが特徴的なパターンを有する場合に有効であるが、対象を牛の脚の付け根などとした場合には、パターンの変化が少なく難しい場合が多い。このため本開発では、追跡対象を蹄や模様による限定された小領域および人為的に装着したカラーマーカーとして、これら対象の図形に対する特徴量を基に、次のフレームにおける特徴量との比較から識別する手法について検討を行った。

#### 2.1.2 画像処理手法の開発

本処理手法は、対象となる図形中の座標を指示し、その画素情報から色および形状によるパラメータを抽出し、連続したフレーム画像間で追跡する。

具体的には、初期画像中の特定部位座標を基準画素とする。このとき、基準画素は、エッジで囲まれた小領域(図形)内の点であり、対象がカラーマーカーのように予め形状がわかっている場合には、図形重心を算出し、重心を基準画素とすることができる。図1に示す通り、図形の特徴量を明度画像において基準画素座標から8方向に延ばした線分方向に対して

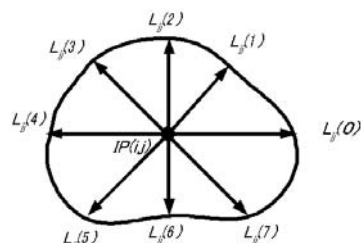


図1 形状定義の概念図

濃度差が大きい画素までの長さで定義した。これは、基準座標からの図形周囲までの距離を表す。

また、前処理として、対象図形の明度、色相、彩度の色情報を抽出して、各色情報に幅を持たせたLUT(ルックアップテーブル)を設定しておく。処理画像を明度(図2-b)、色相(図2-c)、彩度(図2-d)に分割した各画像に対して、LUT変換処理により2値画像を取得した。この各2値画像に対しての論理演算処理を行い、特徴量を比較するための識別画像(図2-e)を算出した。このとき、論理演算処理は、論理和、論理積、反転を対象図形に適したように設定できる。

この識別画像で得られた画素に対する明度画像の特徴量を求め、先の基準画素の特徴量との比較により整合性の高い画素を候補とし、候補画素の中から、基準画素座標に近いものを同一図形の画素として取得した。

基準画素との比較は、次式により求めた。

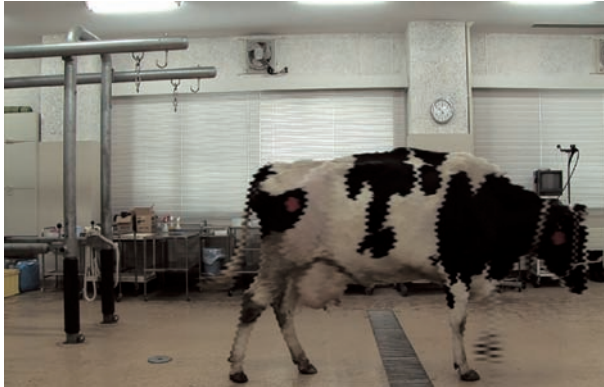
$$e = \min_{i,j} \left[ \sum_{d=0}^7 (L(d) - L_{ij}(d))^2 \right] \quad (1)$$

$L(d)$  : 基準画素の特徴量

$L_{ij}(d)$  : 比較画素  $(i, j)$  における特徴量

$i_{\min} \leq i \leq i_{\max}, j_{\min} \leq j \leq j_{\max}$

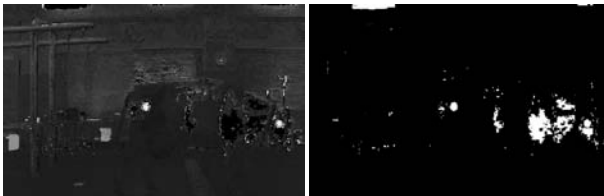
$(i_{\min}, j_{\min}) - (i_{\max}, j_{\max})$  : 算出領域



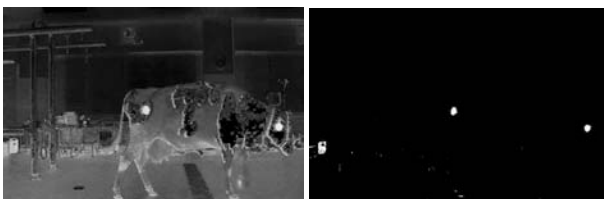
a) 原画像



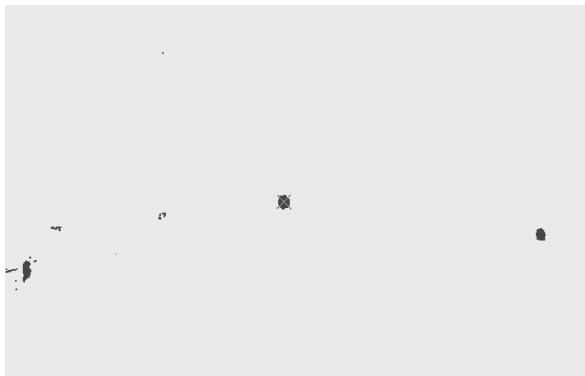
b) 明度濃淡画像, 明度 2 値画像



c) 色相濃淡画像, 色相 2 値画像



d) 彩度濃淡画像, 彩度 2 値画像



e) 識別画像

図 2 画像追跡処理結果 (カラーマーカー抽出)

連続的に領域を追跡するときには、算出した画素値を基準画素として、パラメータを再設定し直して処理を行った。

### 2.1.3 評価試験および考察

抽出した画素の座標データをグラフ表示した結果を図 3 に示す。



図 3 追跡結果表示例

本評価試験では、計測対象として、脚の付け根部分に付けた赤のカラーマーカーおよび蹄とした。赤のカラーマーカー追跡では、動きによる形状の変化が少なく、背景に同系色のものがなかったことから、目視との比較で数画素程度の誤差内で座標値が得られた。この誤差要因としては、照明などの撮像条件により、識別画像で形状に欠けなどがみられたことが原因と思われる。照明条件を適正化することにより、さらに良好な結果を得ることができると思われる。

また、蹄の追跡処理では、蹄は動きが速く、形状の変化が大きいことから、識別できないことがあった。背景が同系色であったことも要因のひとつと思われる。識別できなかった場合には、基準画素を再設定し直して処理を継続させたが、蹄は止まっていることが多いため最初に設定した基準画素を利用することで誤識別した場合でも、継続して計測可能であると思われる。

追跡結果を基に、最大振幅、移動距離(速度)、部位間の相対距離などのパラメータを算出し、グラフおよびアニメーション表示などを行うことにより、動作評価を支援する機能を付加した。図 4 にアニメーション表示例を示す。上部に表示されているのは、縦軸方向にフレーム間垂直方向差分、横軸方向に水平方向差分をプロットしたグラフである。このように、数値化したデータの表示結果や蓄積した歩行データとの比較から異常と判断される場合に、獣医師の診断を促すことが可能となり、疾病の早期発見が期待できる。

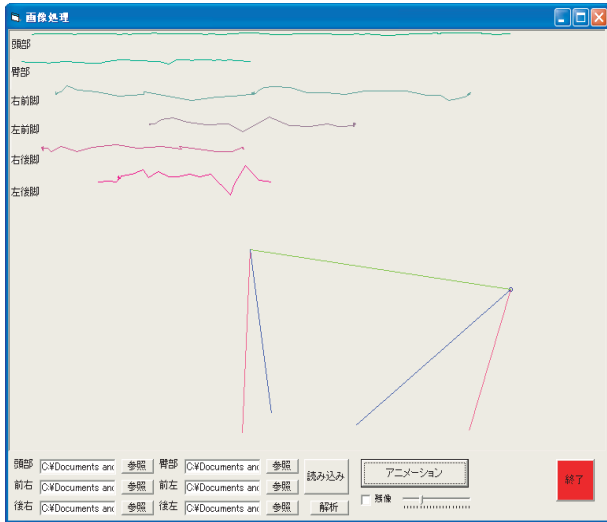


図4 アニメーション表示例

## 2.2 フォースプレートを用いた荷重分布計測システムの開発

### 2.2.1 システムの概要

牛の歩行動作において、脚が受ける床反力および蹄の面圧分布を計測して飼育環境の改善や疾病予防に役立てる研究が行われている<sup>1)</sup>。

一方、係留飼育においては、牛は各々の区画内に拘束されて主に起立・横臥・採食を繰り返す。本研究では、係留飼育におけるこれらの動作中の床反力を測定することにより、牛の各動作毎の特徴量を抽出することを試みた。これらの特徴量を継続的に計測し、その変化を解析することによって、運動器病の発症を推定できると考える。

本研究で開発した荷重分布計測システムは、フォースプレートと称する2台の床反力測定板(前脚および後脚用)、データ計測用のパーソナルコンピュータおよび動作確認用カメラで構成される。

#### (1) フォースプレート

フォースプレートは牛の体重および動作時の衝撃荷重に耐え得る設計とし、独自に試作開発した(図5)。前脚および後脚用の2枚のアルミニウム製プレートと、各々の四隅に設けたひずみゲージ式荷重センサ機構からなる。これら8点の荷重センサの反力測定値  $R_{fl} \sim R_{fd}$ ,  $R_{rl} \sim R_{rd}$  と設置位置から前脚荷重  $W_{front}$ 、後脚荷重  $W_{rear}$  および全荷重  $W_{all}$  と各々の重心位置  $(x_f, y_f)$ ,  $(x_r, y_r)$ ,  $(x_{all}, y_{all})$  が計算により求められる。

ひずみゲージ式荷重センサ機構を図6に示す。測定原理は、両端支持はりの中央部に集中荷重を受ける機構により、その中央部のひずみ測定結果から荷重を取得するものである。当场保有の材料試験機(島津製作所製オートグラフ)を用いて、0~10kN間におけるひずみ測定値と負荷荷重の校正を行い、

後述の荷重分布計測試験を実施した。

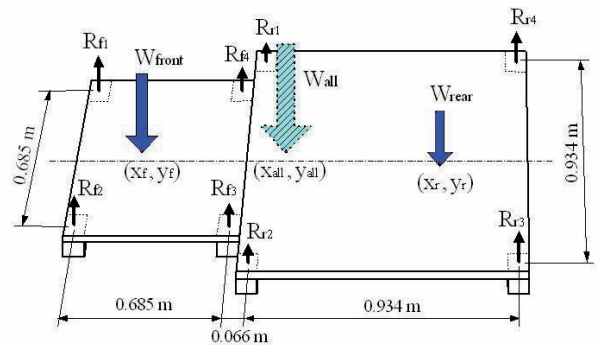


図5 フォースプレート

#### (2) 動作確認用カメラ

荷重分布計測試験場所に小型のWebカメラを設置して、1分毎に試験対象牛の動作画像を取得した。取得された画像データは、後述する動作解析時に、荷重分布計測データと比較して動作特徴量を抽出するために使用した。

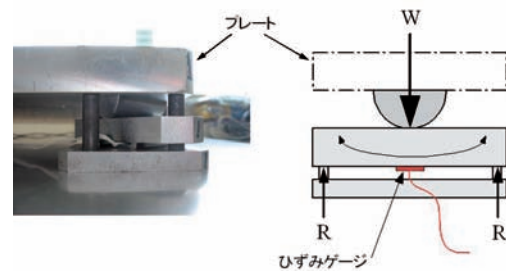


図6 ひずみゲージ式荷重センサ機構

#### 2.2.2 荷重分布計測試験

フォースプレートを用いた本システムを酪農学園大学附属動物病院実習牛係留棟に設置し、その上で試験対象牛を係留飼育しながら荷重分布計測試験を実施した。本試験は、昼夜連続測定で2週間余りにわたり実施した。試験条件を表1に示す。

表1 試験条件

実施日	2005年9月12日~10月3日
	9/12~9/17(6日間) フォースプレート設置 準備期間 9/18~10/2(15日間) 本試験実施
場所	酪農学園大学附属動物病院実習牛係留棟
試験対象牛	健康な実習牛(乳牛) 体重 542kg(試験開始時)
飼育方法	係留飼育、搾乳無し
荷重分布計測システム	試作システム フォースプレート 試作品(2台) ひずみ測定器 (株)共和電業製PCD-300A ひずみゲージ (株)共和電業製 単軸B線式
計測方法	サンプリング周波数 10Hz 計測データ保存 1時間(各36000点) 毎

試験場所である係留飼育棟はコンクリート床の上にゴム製の牛床マット(厚さ20mm)が敷設されている。その牛床マット上にフォースプレートを設置し、さらにフォースプレートの上に同種の牛床マットを固定した。なお、フォースプレートは飼育面積よりも小さいため、周囲を木製材で囲ってフラットな飼育面積を確保した。

フォースプレートを設置し、ひずみゲージ測定器の初期バランス(平衡調整)を実施した後、試験対象牛を係留してから試験を開始した。



図7 フォースプレート設置状態



図8 試験風景(牛の係留飼育状態)

本試験のサンプリング周波数は10Hz、測定データは1時間(36,000点)毎に計測用PCのハードディスクにファイル保存される。図7～図9に試験風景を示す。



図9 試験風景(牛の脚元)

### 2.2.3 荷重分布計測による動作解析

荷重分布計測試験データならびに牛の動作画像を基にして、運動器病に関連すると推測される特徴量の抽出を行った。解析対象とした動作は次の通りである。

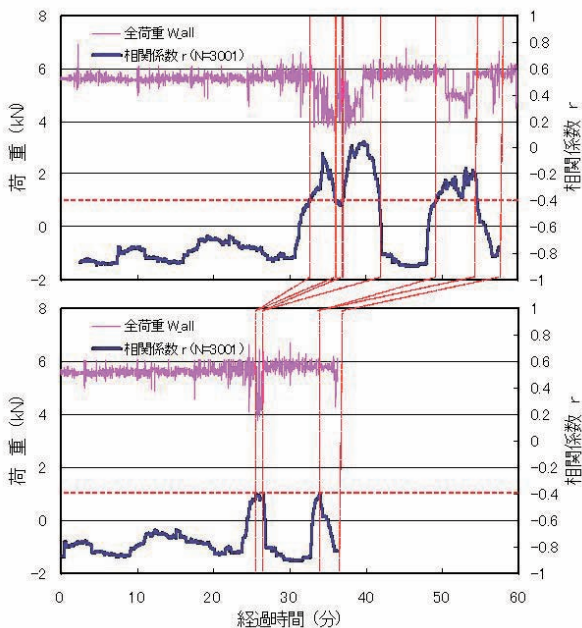
・解析対象動作：5種類

横臥(連続)、採食、起立(連続・静的)、エサ探索、起立横臥動作

・計測データの有効性判定

前後2台のフォースプレートに加わる集中荷重値( $W_f$ ,  $W_r$ )の相関係数 $r$ を評価することにより、計測データの有効性を検証して取捨選択し、得られた有効データから特徴量の解析を行う。本処理は、牛の立ち上がり時や横臥時などの過大な衝撃荷重が発生する時や、フォースプレートの計測エリアから逸脱して計測精度が著しく劣化する場合などに、当該データを除外して良好な解析結果を得るために必要である。今回は、解析点 $\pm 2.5$ 分(合計5分間)の荷重データ3,000点から相関係数を求めて、 $r < -0.4$ (かつ中程度から強い負の相関)時のデータを有効と判定した。全計測データに対して、本判定処理を連続的に適用して得られた有効データに対して特徴量抽出の検討を行った。図10に相関係数による有効データ判定例を示す。

本手法を用いることによって、牛がフォースプレートから逸脱してしまった時や、起立動作時や横臥動作時などの急激な荷重変動の影響を回避することができた。一方で、横臥(連続時)に相関性が低く、有効データ数が減少する傾向にあった。



上：原データ (60分) 下：有効データ (36.3分)

図10 相関係数rによる有効データ判定

・重心動揺

人間の身体バランス、すなわち重心動揺を計測・評価することにより、各種障害の特徴を把握して病巣診断の一助とする手法ならびに計測器がある。この重心動揺の一項目である重心動揺実効値面積(RMS.AREA)を各動作毎に求めて比較を行った。

重心動揺実効値面積：RMS.AREA (cm<sup>2</sup>)

$$RMS.AREA = \left( \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n ((x_i - x_{mean})^2 + (y_i - y_{mean})^2)}{n}} \right)^2 \times \pi \quad (2)$$

n: サンプル個数  
 x<sub>i</sub>, y<sub>i</sub>: 重心の座標値 cm  
 x<sub>mean</sub>, y<sub>mean</sub>: 重心動揺の平均値

解析に使用した計測データは、1日2回(各1時間程度)の有効データ全数とした。また、前脚および後脚RMS.AREAは変動が大きく、特に後脚の変動が大きい。このため、今回は全荷重 W<sub>all</sub> のRMS.AREAについて解析を行った。図11および図12に解析例を、表2に全解析結果を示す。

表2 重心動揺 RMS.AREA

	有効データ (時間)	RMS.AREA (cm <sup>2</sup> )	
		平均	標準偏差
横臥(連続)	9.0	23.7	18.6
採食	20.1	150.5	74.6

横臥(連続)時と採食時では、RMS.AREAの差が大きい。また、横臥(連続)時と起立(連続・静的)時、採食時とエサ探索時は各々、同様のRMS.AREA値を示す。

なお、横臥時は荷重変動が小さくて前後荷重の相関が低い (r ≥ -0.4) ため、有効データ時間が短い場合が多い。また、牛体がフォースプレート上から逸脱してしまい、全荷重の計測ができない場合も観察された。

重心動揺の計測値には個体差があると言われている。したがって、各々の牛ごとに継続観察して、個体データベースを作成する必要があると思われる。

・荷重変動

全荷重の単位時間当たりの変動量を標準偏差 で表し、各動作と比較を行った。前述の図11、図12および表3に横臥(連続)時および採食時の荷重状態例を示す。

重心動揺と同様に、採食時およびエサ探索時は荷重変動が大きい。

表3 荷重変動

	有効データ (時間)	全荷重 W <sub>all</sub> (kN)	
		平均	標準偏差
横臥(連続)	9.0	4.84	0.09
採食	20.1	5.48	0.17

・体重および前後荷重比率

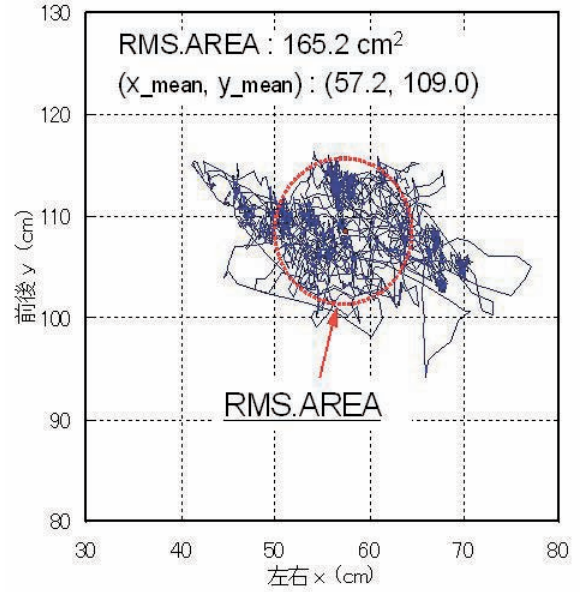
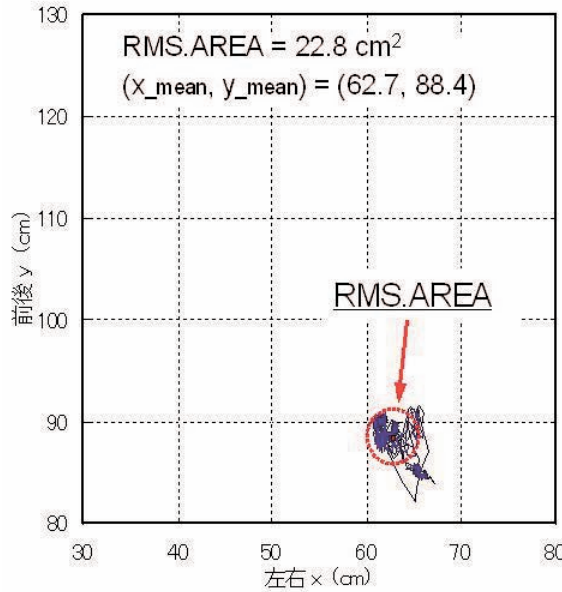
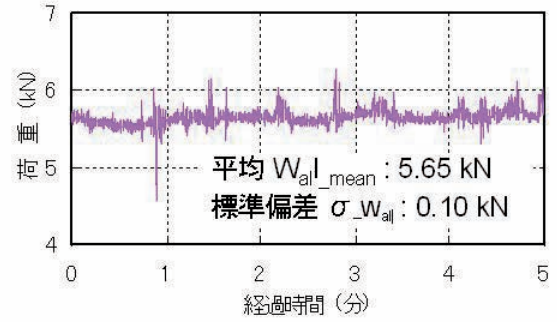
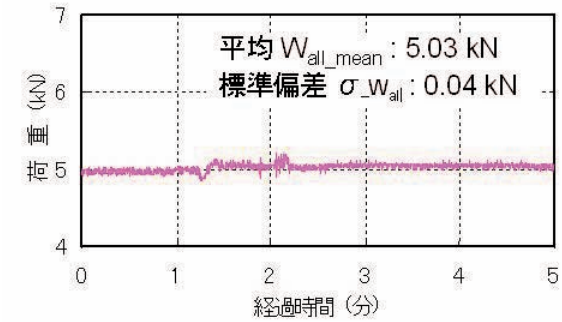
牛の体重ならびに前脚と後脚の荷重比率を継続的に観察することにより、身体バランスの変化を推定できると思われる。特に、荷重計測が安定している起立(連続・静的)時に着目した。図13に各日の体重の前後荷重比率を示す。解析対象としたデータは、午前の採食終了後から午後の採食前までの間(10時~14時程度)の約10~30分間とした。

体重は、試験開始時体重542kgに対して550kg前後を推移している。また、前後荷重比率は約1.2であった。ただし、体重の日間差が大きいことから、牛の起立位置がフォースプレートの計測エリアから逸脱している可能性がある。フォースプレートの設計に際しては、牛の動作範囲に対して十分に余裕のある大きさが必要である。

・横臥時間割合、横臥回数および採食時間

Webカメラにより取得された動作画像から、各日の横臥時間割合、横臥回数および採食時間を求めた。

係留飼育における横臥時間割合は50%強、横臥回数は6~7回との報告がある<sup>1)</sup>。今回の試験結果を図14に示す。試験期間の平均はそれぞれ53.1%(標準偏差6.9%)および6.5回であり、同等の値を示した。また、採食時間は平均2.6時間(標準偏差0.7時間)、採食回数は2回/日であった(午前・午後の各1回の給飼)。

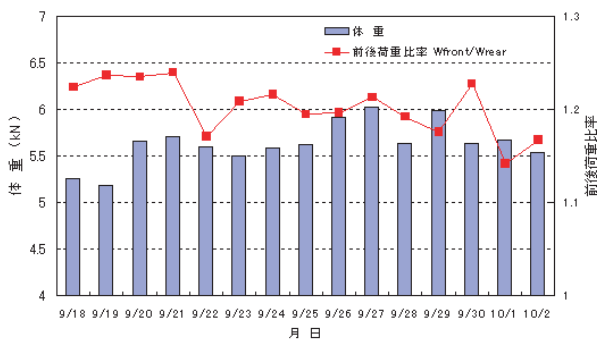


～ 横臥時/全荷重 ～

図11 荷重状態と重心動揺 解析例

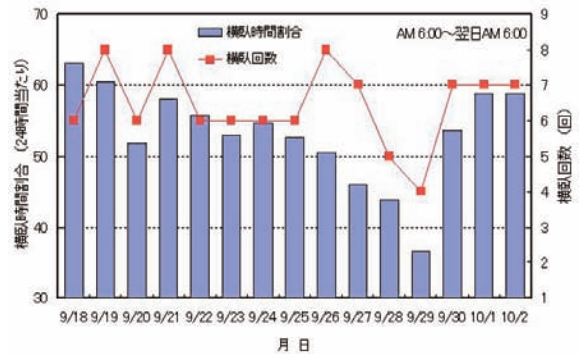
～ 採食時/全荷重 ～

図12 荷重状態と重心動揺 解析例



～ 起立(連続・静的)時 ～

図13 体重と前後荷重比率



横臥回数 : 平均6.5回  
横臥時間割合: 平均53.1%, 標準偏差6.9%

図14 横臥時間割合と横臥回数

横臥時間割合と横臥回数は牛の健康状態を表す指標となることから、計測作業の自動化によって、早期に運動器病発症を推定できる可能性が高い。

### 3. まとめ

本研究では、動画解析システムおよびフォースプレート荷重分布計測システムの開発を行った。これにより、本シス

テムから得られた解析結果を獣医師に提示し、運動器病予備診断を行うための予備検診ツールの構築が可能となった。

今後は、運動器病に特徴的な動作を抽出し、疾病である確度が高い家畜を見つけ、獣医師の診断を促すための予備診断システムの開発を進める。

#### 謝辞

本研究を行うにあたり、試験環境の提供、貴重なご意見をいただきました酪農学園大学獣医学部 田口 清教授、試験にご協力いただきました株式会社デジット三神 毅氏に深く感謝いたします。

#### 引用文献

- 1) 大村功, 堤大祐: FPGAを用いた動きセンサの開発とひと検出への応用, 北海道立工業試験場報告No.303 pp.31-36, (2004)
- 2) P. P. J. van der Tol, J. H. M. Metz, E. N. Noordhuizen-Stassen, W. Back, C. R. Braam, and W. A. Weijs. 2003. The Vertical Ground Reaction Force and the Pressure Distribution on the Claws of Daily Cows While Walking on a Flat Substrate. *J. Dairy Sci.* 86:2875-2883.
- 3) P. P. J. van der Tol, J. H. M. Metz, E. N. Noordhuizen-Stassen, W. Back, C. R. Braam, and W. A. Weijs. 2005. Frictional Force Required for Unrestrained Locomotion in Daily Cattle. *J. Dairy Sci.* 88 : 615-624.
- 4) 重心動揺計取扱説明書, アニマ株式会社
- 5) 高橋圭二・竹中秀行・稲野一郎: 乳牛舎用ゴムチップマットレスによる牛床改善効果, 北海道立農業試験場集報, No.75, pp.89-94 (1998)