

家畜の自動計量に関する研究

龍 吉生¹・高畑 英彦¹・梅津 一孝¹
干場 秀雄¹・池滝 孝²・竹山 一郎³

(受理: 1990年5月31日)

Study on automatic livestock walk-through scale

Jisheng LONG¹, Hidehiko TAKAHATA¹, Kazutaka UMETSU¹
Hideo HOSHIBA¹, Takashi IKETAKI², and Ichiro TAKEYAMA³

摘 要

家畜計量の自動化を目的とし、ロードセル式歩行計量器を試作した。ロードセルで検出した家畜の歩行荷重変動をアンプで増幅し、ローパスフィルタを通す。AD変換後ハミング窓付移動平均法で処理し体重を求める方式を採用した。歩行速度が1.5m/s以下の乳用牛について、この試作計量器を用いて、測定した結果は次のようである。測定値と静止体重の平均較差は、殆ど零に近く、測定誤差の分布範囲は+2.7kgであった。即ち、正確さ、精密さともに実用的に十分な精度であることが実験的に立証された。

キーワード: 歩行計量, ロードセル式計量器, 移動平均処理, ハミング窓関数, 動的質量推定アルゴリズム。

緒 言

家畜の歩行計量とは、ロードセルを設置した計量台を通過する家畜の荷重変動データから、家畜の質量を推定する方式であり、マイクロプロセッサを使って実際の測定時間内で処理を行う。

英国では、SmithとTurner¹⁾は家畜計量用の電子

秤を開発し、平均荷重算出方式が静定荷重検出方式より精度が高いと報告している。さらに、Filbyら²⁾は歩行計量の応用について、個体識別装置と牛の分離装置の必要性を指摘している。また、ニュージーランドのHirsch³⁾は載台に付けたロードセル式トランスジューサから信号をえ、家畜の体重を計算し、デジタルで表示する計量器を報告している。さらに、アメリカでは、

¹ 帯広畜産大学草地畜産機械学講座畜産機械学研究室

² 帯広畜産大学附属農場

³ 株式会社クボタ技術開発研究所

¹ Laboratory of Machinery for Animal Husbandry, Department of Agricultural Machinery, Obihiro University of Agriculture and Veterinary Medicine.

² University Farm, Obihiro University of Agriculture and Veterinary Medicine.

³ KUBOTA, LTD, Research & Development.

7基のポータブルスケールと一つの気候ステーションを使って、全自動放牧牛データ収集システムを開発し、牛個体のデータ収集の無人化を図っている¹⁾。また、AndersonとWeeks⁶⁾は放牧中における自動計量と個体識別の応用について報告している。

わが国では、草地試験場の佐藤ら⁹⁾が家畜の歩行体重計量技術の開発について報告している。また、帯広畜産大学とクボタ技術開発研究所⁷⁾による家畜動態計量技術に関する研究もある。

本研究は、「歩行計量技術」の確立を目的とし、動的質量推定アルゴリズムと秤本体並びに信号検出ハー

ドウェアの試作を行い、実際の牛群を用い、計量精度について調査し、その結果に基づき、家畜の自動計量に関する検討を試みた。

家畜の歩行特性と動的質量推定理論

図1に牛と計量台の位置関係を示す。また、図2に牛の歩行時の荷重の変動を示す。全重が計量台に乗っているのは区間(t_s, t_e)で、その前後は、いずれかの足が地面を踏んでいるので、区間(t_s, t_e)の計量値から牛の体重を推定することになる。牛の歩行パターンの特徴をまとめると、次のようになる。

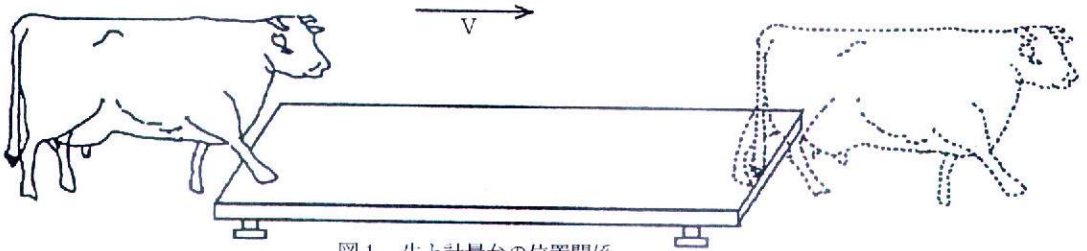


図1 牛と計量台の位置関係

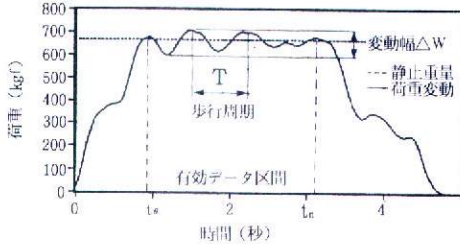


図2 歩行荷重の変動

- (1) 荷重の変動幅Δwは、歩行の状態によって異なる。通常の歩行では、その変動幅は体重の5～10%の範囲にあるが⁸⁾、駆け抜けや跳躍の場合では、50%にも達することが考えられる。
- (2) ピークは前足の踏みこみに対応して現れ、それに続く後ろ足の踏みこみは殆ど識別できない。したがって、前足の挙動を基準にして、ピーク間の歩行周期をTと定義する。
- (3) 歩行姿勢が元の状態に戻る間に、その荷重は通常2周期分変動する。

被計量物(家畜)を剛体と見なして、力学モデルを立てる。ただし、運動方向は計量に最も関係の深い重力方向を考える：

$$MZ'' + R(Z, Z') = -MG + W(t) \quad (1)$$

$t > t_0$

ただし、Mは家畜の質量、Zは家畜の重心位置、W(t)は秤の反力、R(Z, Z')は内部状態に起因する非線形力、Gは重力加速度、t₀は計量を開始した時刻である。

家畜の歩行は一定の周期性があることから、Z(t) = Z(t+T)とZ'(t)は連続関数であると仮定ができる。

式(1)の両辺を時間幅Tで積分すれば、左辺の第2項は、家畜の筋肉で発生、散逸されるエネルギーに起因する力であり、右辺の項に比べて十分小さいと考えられる。左辺の第1項の積分は、殆ど零になると仮定できる。実際には、歩行状態が揺らいで周期性や連続性が乱れるために零にはならないが、式(1)右辺の項に比べると十分小さい。

そこで、左辺の第1項を微小変動項ΔW'(t)と見なして、式(1)を書き換える：

$$W'(t) = W_s + \Delta W'(t) \quad (2)$$

$$\Delta W'(t) \ll W_s$$

ただし、W_s = MGは静止重量、W'(t)は平均反力である。

反力 $W'(t)$ を計算値の時系列データで代用すると、平均反力 $W'(t)$ は計算で求めることができる。結局、式(2)は、静止重量 W_s が計量値の平均から推定できることを示している。ただし、推定を正しく行うためには、計量誤差に相当する $\Delta W'(t)$ の変動幅を要求精度以内に抑える必要がある。

通常の歩行状態では、牛の歩行周期 T は0.3~0.7秒の範囲にあるが、歩行状態(速足か遅足)によってかなり違って来る。このような特性を持つ出力信号から周波数 $f_w=1/T$ の成分を抽出するには、移動平均処理がかなり有効である。しかし、実際の歩行には必ず揺らぎが伴い、歩行周波数が f_w の回りに分散し、強い干渉信号あるいはノイズが周波数 f_w の近傍に付随するので、平均処理だけでは減衰しきれない変動成分が残留することになる、これがばらつきの要因であり、精度を乱す原因になる。そこで、変動成分 $\Delta W'(t)$ が充分減衰するように、(1)窓関数の併用と(2)平均区間を広げる2つの方法を用いる。

方法(1)は、家畜計量の動的質量推定アルゴリズムに使用する場合、条件が厳しく、抽出周波数の成分以外の信号は、 $1/100$ 以下に減衰しなければならない。高周波成分はアナログフィルタによって、デジタルフィルタに入る前に除去される。即ち、窓関数の選択に当たっては、低周波数帯域におけるノイズを除去する特性が主な選択要因となる。また、窓関数の特性としては、減衰率と抽出周波数帯域の間で、妥協しなければ

ならない⁹⁾。しかも、計算誤差の存在のため、実際に非常に高い減衰率を与えることは難しい。以上の条件を満たすために、ハミング窓関数を選択した。

方法(2)は、2周期分あるいはそれ以上の有効データを採用することによって、 f_w の周りの周波数帯域での減衰特性が大幅に改善されて推定幅は狭くなるが、推定精度は更に向上し、静止重量と殆ど一致する。しかし、サンプリング時間を長くするために、計量台を長くする必要があり、計量能率が低下してしまう。そこで、今回は、2周期分の有効データの採用を基準とした。

実際に動的質量推定をする場合は、時間幅の積分ではなく、式(2)をマイクロプロセッサによって実行可能なように離散化しなければならない。即ち、エリアリング(異名現象)を起こさないために、サンプリング周波数は入力信号の持つ最高の周波数の2倍以上に設定することになる。今回は、アナログフィルタを通し、サンプリング周波数を20Hz(サンプリング間隔は50ms)に設定した。

実験の方法

1. 供試計量器の概要

ロードセル4点支持式試作計量台を図3に示す。表示器はデジタル表示、データ出力はRS232C、主電源は6Vのバッテリーを用いた。なお、最大秤量1,000kg、感量0.5kg、最小表示1kgである。

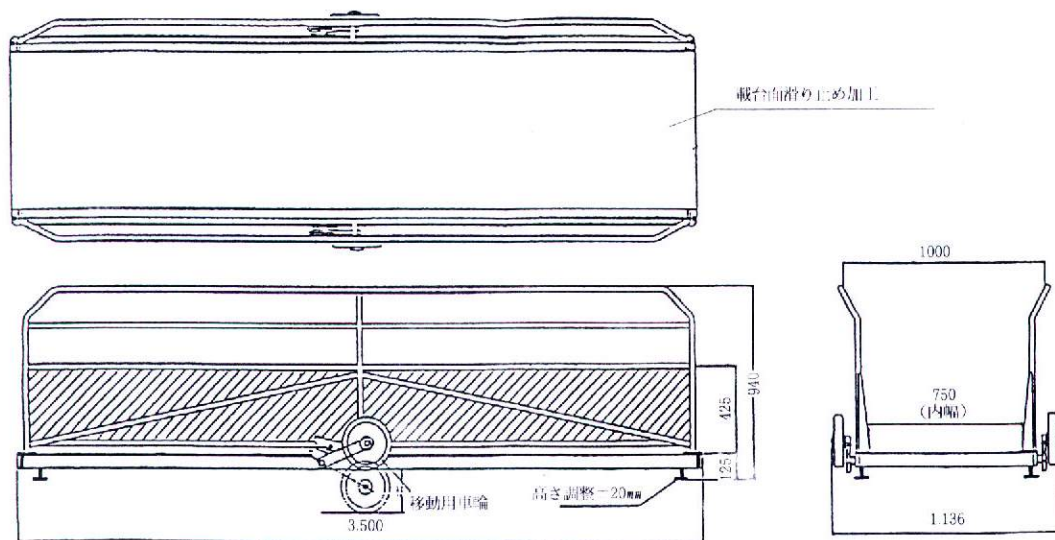


図3 供試計量台

動的質量推定アルゴリズムに必要なハードウェアの構成は、ロードセル付計量台、AD変換器及びマイクロプロセッサである。マイクロプロセッサ付きの表示器の利用により、風袋値の設定、零点復帰や個体データの管理などが簡単に行える。

歩行計量器の基本構成を図4に示す。家畜が載台上に載ると、秤は計量を開始する。即ち、荷重変動をロードセルで検出し、電圧に変換し、この電気信号がアンプで増幅されて入力信号となる。入力信号はローパスフィルタを通してAD変換した後、ハミング窓付き移動平均法で処理し、推定値即ち測定値を表示する。

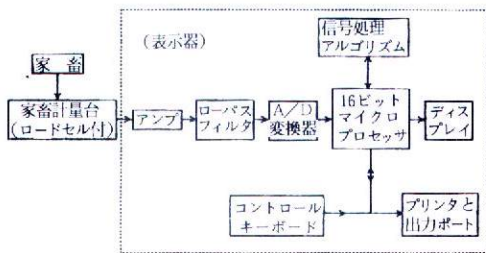


図4 ハードウェアのブロック図

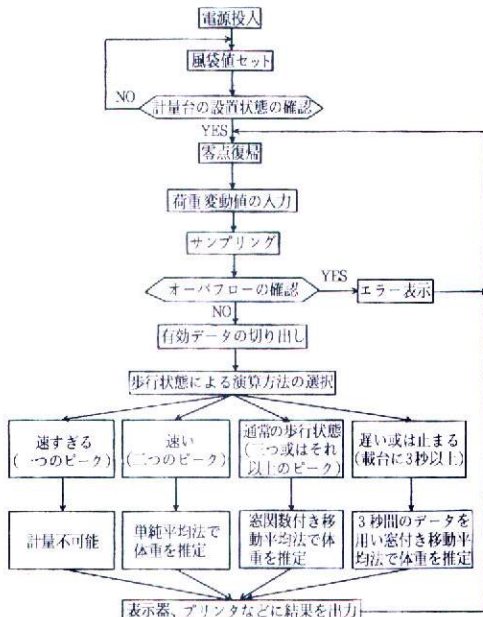


図5 ソフトウェアのフローチャート

図5に動的質量推定アルゴリズムのフローチャートを示す。家畜歩行計量の動的質量推定アルゴリズムの特徴は、質量推定の対象が常に動いていること、さらにその動きが個体及び歩行状態によって異なることがあげられる。

本アルゴリズムは、(1)個体データの収集。(2)有効データの切り出し。(3)平均値の演算。(4)体重の推定。の4つの大きなブロックから構成される。

2. 調査方法

実験装置の配置を図6に示す。移動柵を組み合わせてコラールとシュートを構成し、シュートの先に1頭づつ分離するスペース(試作装置)と計量器2台を直列に並べ、常に静止体重と歩行体重を対比できるようにした。実験の前に供試計量器2台とも基準分銅を用いて静止荷重に対する計量値の正確度について校正した。なお、測定は本学附属農場の乳用牛(ホルスタイン)の若牛と乾乳牛を用いた。

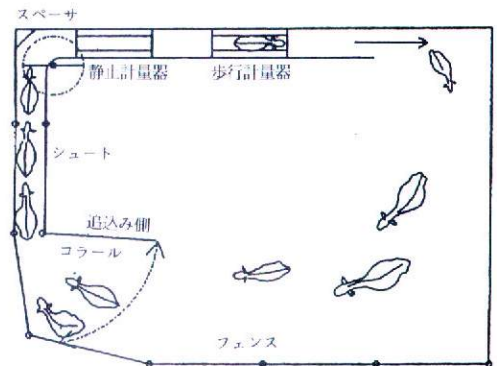


図6 実験装置の配置

測定結果及び考察

今回の実験では、静止体重を毎度3回計量し、その平均値をもって静止体重 s とした。また、歩行体重 d の全平均 D と静止体重 s の全平均 S の較差 $D-S$ を静止体重との平均的偏り E とした。 E は、静止体重と歩行体重の平均誤差であり、正確さを表す。個々の牛についての測定誤差 $e-d-s$ の分布幅が狭いほど精密な(精度の高い)計量を意味する。一般に計量器の精密さは e の標準偏差 σ を求め、精密さを $\pm 2\sigma$ 表示する¹⁰⁾。これは約95.5%の測定値が入る範囲を示す。また、約99.7%の測定値が入る範囲の精密さは $\pm 3\sigma$ で表示する。

家畜計量器の許容誤差についての定説はないが、一般には測定誤差 e を $\pm 5\text{kg}$ 、例外的な誤差については最大誤差 e_{max} を $\pm 10\text{kg}$ または家畜体重の $+1\%$ までとすれば実用性は十分とする考え方が多い。そこで、今回の実験では、評価基準を次のように決めた。

- 最大誤差 $|e_{\text{max}}| \leq \text{体重の} 1\%$
- 正確さ $|E| \leq 2\text{ kg}$
- 精密さ $2\sigma \leq 5\text{ kg}$

家畜計量器の計量台上を通過する家畜の歩行速度は、計量器出力から得られる荷重変動及びビデオ画像を解析して求めた。図7に速度検出の一例を示す。牛が計

量台上足を掛けてから計量台下り始めるまでの時間 t と歩行距離(計量台の長さ) 3.5 m から速度 v を求めた。

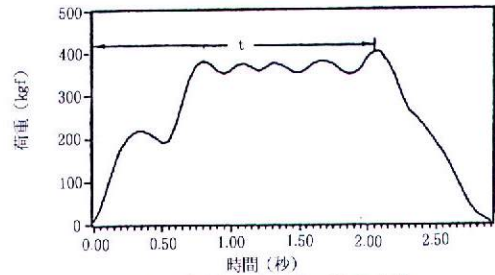


図7 歩行所要時間の検出方法

表1 供試器の測定誤差

供試牛 頭数	歩行速度区分 (m/s)	静止体重 (kg)			歩行体重 (kg)			測定誤差 $e=d-s(\text{kg})$			
		全平均S	最大	最小	全平均D	最大	最小	D-S	2σ	最大	最小
7	遅い ~0.50	625.43	686	556	625.57	686	556	0.14	2.72	3	-1
38	通常 0.51~1.50	582.39	774	428	581.26	775	425	-1.13	2.74	3	-5

表1に静止体重と歩行体重の測定結果を歩行速度別に示す。誤差 e_{reg} , $e_{\text{reg max}}$, E , 2σ のいずれも先に設定した評価基準を満たし、全く問題は認められなかった。特に 0.5 m/s 未満は途中で立ち止まった場合も含んでいるが、静止体重との偏りは、殆ど0に近く極めて正確な計量ができることが明らかになった。 0.5 m/s 以上についても、偏りは -1.13 kg で評価基準の上限値の $\pm 2\text{ kg}$ を下回り、 2σ についても 0.5 m/s 未満の場合と大差なく、正確さ、精密さともに十分な計量ができることが証明できた。

今回の供試牛はおとなしく、歩行速度も 1.5 m/s 以下であった。今後、歩行速度の速い牛、跳躍や掛け抜けをする牛についての計量精度の確認と計量精度向上のためのソフトウェアの改良について研究を進める必要があると考える。

参 考 文 献

1) Smith, R. A., Turner, M. B. J (1974) : Electronic Aids for Use in Fatstock

Weighing, Journal of Agricultural Engineering Research, 19, 299-311
 2) Filby, D. E., Turner, M. J. B., and Street, M. J. (1979) : A Walk-through Weigher for Dairy Cows, Journal of Agricultural Engineering Research 24, 67-78
 3) Hirsch, S. (1985) : The Design of Electronic Stock Weighing Equipment Using a Digital Filtering Technique for Damping. Journal of Agricultural Engineering Research. 32, 131-142
 4) Adams, D. C., Currie, P. O., Knapp, B. W., Mauney, T., and Richardson, D. (1987) : An Automated Rangeland Animal Data Acquisition System. Journal of Range Management 40 (3), 256-258
 5) Anderson, D. M., and Weeks D. L. (1989) : Cattle Liveweight Sampled on a Continuous Versus Intermittent Basis,

- Livestock Production Science, 23, 117-135
- 6) 佐藤純一、葉師堂謙一、新井澄男(1990): 家畜の歩行型体重計量技術(第2報)、農業機械学会第49回大会講演要旨
 - 7) 梅津一孝、高畑英彦、干場秀雄、竹山一郎(1989): 高能率家畜計量器に関する研究、帯大研報I、16:177-184
 - 8) 佐藤義和、筒井吉富、穴戸弘明、山岸規昭(1986): 牛舎の床条件改善のための基礎研究(1)-乳用牛の歩行に関する運動力学的分析-、農業施設、17(3), 27-34
 - 9) Harris, F. J. (1978) : On the Use of Windows for Harmonic Analysis with the Discrete Fourier Transform. Proceedings of the IEEE. Vol. 66, No. 1, 51-83
 - 10) 松代正三他(1964): 工業計測概説/資料、日刊工業新聞社 19-40

Summary

A prototype walk-through stock scale was designed for use with an animal weighing platform that incorporated load cell transducers. The indicator consisted of an amplifier, low-pass filter, A/D converter and microprocessor. The microprocessor provides autotaring and data processing capabilities using the Hamming function. A trial device was tested for its accuracy on cattle which had a walking speed of under 1.5 km/s.

The focus of the experiment, using the trial device, was a comparison between the weight given by walk-through measurement and the weight given by static measurement. With a scale division of 1 kg, all readings by walk-through measurement were within ± 2.7 kg of the static readings. This result shows that the trial device proved to be accurate, fast and easy to use.