

家畜用歩行計量器の計量精度を 左右する要因

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・西岡 廉生³

(受理：1990年11月30日)

Factors influencing the measurement accuracy of the livestock walk-through scale

Jisheng LONG¹, Hidehiko TAKAHATA¹, Kazutaka UMETSU¹
Hideo HOSHIBA¹, Takashi IKETAKI², Ichiro TAKEYAMA³
and Yasuo NISHIOKA³

摘 要

家畜歩行計量器の計量精度を左右する要因を明らかにすることを目的とし、ホルスタイン種を対象にして実験的検討を試みた。具体的には、牛の歩行荷重出力と歩行状態及び計量台の設置条件の関係を調べ、牛の歩行荷重変動の計量精度に及ぼす影響について解析し、計量台の適正長さについて考察を試みた。

実験の結果、計量台上の牛の歩数、通過速度及び計量台と通路の段差が計量精度を左右する主な要因であることが明らかになった。牛が2歩で計量台を通過した場合、成牛と仔牛の個体測定誤差の最大値はそれぞれ-2.03%と-3.22%であったが、3歩以上の場合には-1.13%以内であり、計量精度が向上した。また計量台を通過する速度が速いほど計量精度が低下する傾向が認められた。通路と計量台の段差が無い場合、3.50 mの計量台の計量誤差は、牛のサイズ及び歩行状態と関係なく、個体誤差は体重の±1.01%以内、正確度Eと精密度2σはそれぞれ±0.4 kgと2.04 kg以内であった。以上の結果、通路と計量台の段差を除くことによって、3.50 mの計量器でも、正確さ・精密さともに実用的に十分な精度が得られることが実験的に立証された。

キーワード：計量精度、荷重変動、歩数、通過速度、段差

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.

緒 言

我々は、高能率・高精度の家畜計量システムを確立するため家畜歩行計量器及び周辺装置の開発を行った。歩行計量器の設計原理についての報告¹⁾に続き、試作した計量器と周辺装置の機能に関する実験結果を報告する。実験は、帯広畜産大学附属農場のホルスタイン種の成牛(乾乳牛)と仔牛を供試し、計量精度を左右する要因について実験的考察を試みた。さらに、計量精度向上に関する技術的対応策及び計量台の適正な長さについて考察を試みた。

材 料 と 方 法

1. 供試計量器及びアニマルスペース

供試歩行計量器は、本研究のため設計・試作したロードセル式で、計量台を通過する家畜の荷重変動データから、家畜の真の体重を推定する¹⁾。

歩行計量するには牛を1頭ずつ分離する必要がある。

即ち、前の牛が計量台上にある間、次の牛はその計量を妨害しないようにする必要がある。内外の研究事例では、Turner²⁾が通路、盲板シュート及び気圧閉閉式入口ゲートを用い牛を分離する方式を考案し、Andersonら³⁾は計量器の出口のゲートと連動する分離ゲート式スペースを開発し、電子計量器及び個体識別システムとドッキングした。梅津ら⁴⁾は手動式の出入口ゲート付の家畜計量器に家畜を1頭ずつ誘導するため、S字型のワーキングシュートを考案し並進防止効果を確認実用化した。しかし、いずれも分離精度については、なお改良の余地があるとされている。我々が今回試作したアニマルスペースの構造を図1に示す。牛はシングルファイルシュートを通してアニマルスペースへ進む。牛が回転柵を押しながら前へ進むと同時に、反対側の回転柵は牛の尻の後ろに当り、後続牛の前進を阻む。逆転防止付の回転柵と回転柵ストッパによって牛は1頭ずつ仕切られる。この様に確実に牛を分離できる構造に特徴がある。

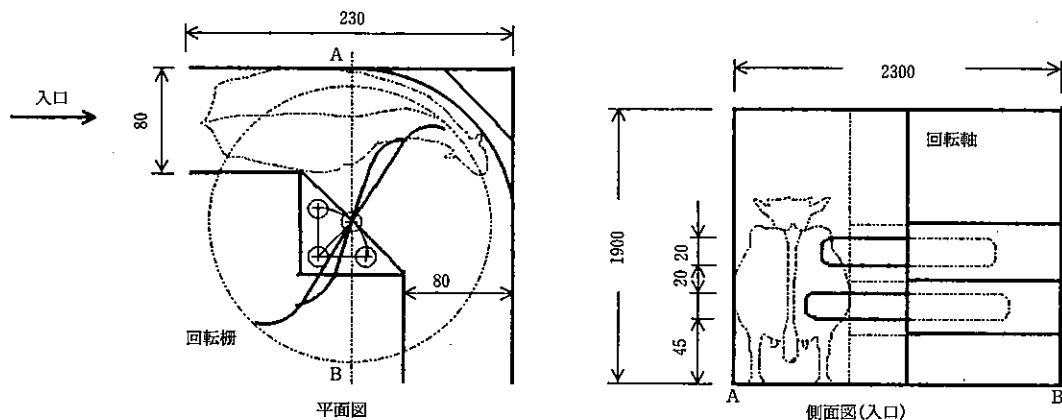


図1 アニマルスペース

2. 牛の歩数と計量台の長さに関する実験

牛の歩幅・歩数・歩行距離の測定装置を図2に示す。成牛14頭を用い、反復実験を行った。計量台の側面に10 cm 間隔に目盛りを付け、牛の通過時の歩行状態を27 m 離れた位置のビデオカメラによって撮影した。撮影画像をコマ送り再生し、牛の歩行速度・歩幅・歩数・歩行距離などを読み取り、牛の歩数と計量台の長さの考察を試みた。

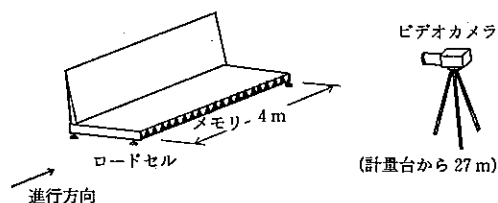


図2 歩幅・歩数の測定に用いた装置

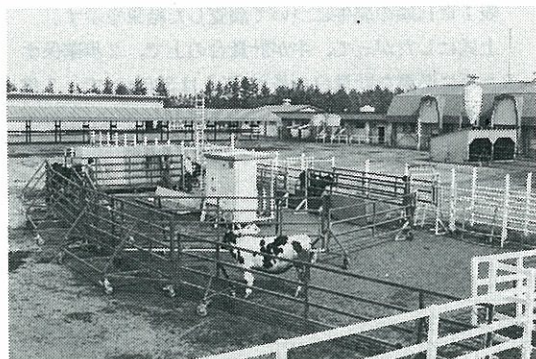


図3 歩行計量の実験装置の配置

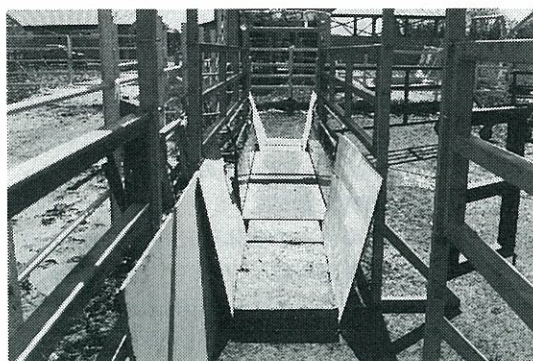


図4 計量器前後のステップ台

3. 計量精度に関する実験

(1) 供試計量器の計量精度の測定

図3に歩行計量の実験装置の配置を示す。牛はコラールからシュートに追い込まれ、シングルファイルシュートを通りスペースによって1頭ずつ分離される。シングルファイルシュートの両側に盲板を取り付けた。コラールの可動フェンスは牛を押し込む役割を果たす。

成牛と仔牛のそれぞれ12頭と14頭について反復実験を行い、3.50 mの計量器の計量精度を測定した。なお、計量中牛が排糞・排尿した場合は、直ちに静止体重を計量した。

(2) ステップ台と計量精度に関する実験

3.50 mの計量台の前後にステップ台（コンクリートパネル）を敷いて段差を無くした場合（図4）と段差のある場合について計量精度の比較実験を行った。実験手順は3(1)と同じである。供試牛は成牛と仔牛各7頭である。

4. 牛の歩行荷重変動

図5に測定装置を示す。計量台通過中の牛の歩行荷重はロードセルによって電圧信号に変換され、そのアナログ電圧をA/Dコンバータを通してデジタル化し、PC-9801UVで演算処理した。処理したデータをディスプレイに表示し、さらにフロッピーディスクに記録し

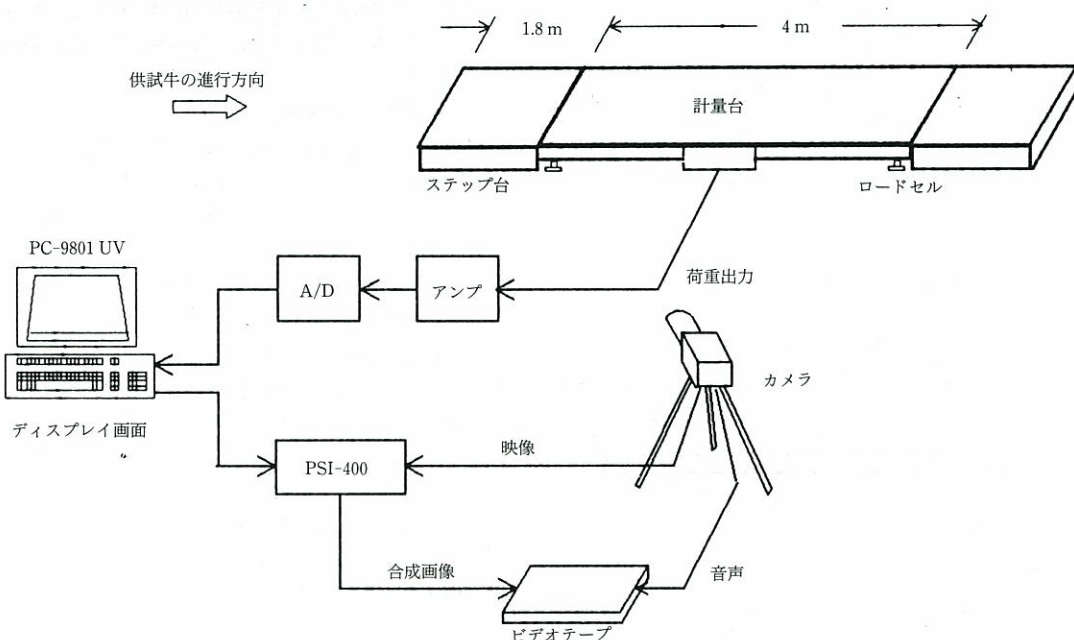


図5 荷重出力と歩行挙動の関係の実験装置

た。牛の歩行状態はビデオカメラによって撮影した。PSI-400 ボード (パーソナル・スーパー・インポーザ) によって、牛の荷重出力の情報を示すパソコン画面を牛の歩行挙動の画像と同期合成した。合成した画像をビデオテープに記録し、その画像をコマ送り再生して、牛の歩行荷重出力と歩行挙動の関係を調べた。

(1) 歩行速度と荷重変動

牛の歩行速度と歩行荷重変動の関係を求めるために、14頭の成牛を供試し、常歩 (約 1m/s) と速歩時 (1.5m/s 以上) の牛の歩行時の荷重出力を測定した。

(2) ステップ台と荷重変動

計量台の設置条件と牛の歩行荷重変動の関係を求めるために、ステップ台がある場合と無い場合の牛の歩行荷重を測定記録し、牛が計量台上に乗る時の衝撃荷重について比較考察した。成牛と仔牛各 7 頭を供試した。

結果及び考察

1. 牛の歩数と計量台の長さ

牛が自然状態で計量台を通過する時の歩行状態を図 6 に示す。h は歩幅、s は前足と後足の距離、d は後足が最初に計量台上に着いた地点から入口までの距離を示す。入口から前足の第 2 歩までの距離を L_2 、第 3 歩までの距離を L_3 とする。

2 歩 (Y_2) または 3 歩 (Y_3) 確保するために必要な計量台の長さ (Y) (信頼度 99.7%) は次式で示された。

$$Y_2 = L_{2avg} + 3\sigma_2$$

$$Y_3 = L_{3avg} + 3\sigma_3$$

ここで、 σ_2 、 σ_3 は L_{2avg} 、 L_{3avg} の標準偏差である。

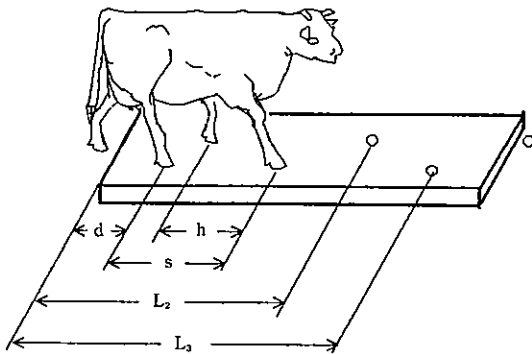


図 6 牛の歩数・歩幅・歩行距離

表 1 に 14 頭の成牛について調査した結果を示す。

上式にしたがって、牛が計量台の上で、2 歩確保するために必要な計量台の長さ (Y_2) は 326 cm で、3 歩の場合は 395 cm であった。これらの供試牛は、比較的大きい牛であったことから、このデータは計量台の標準的所要長さと考えられる。

表 1. 歩数と歩行距離

| 供試牛 牛種 | 頭数 | 静止体重 (kg) Range | | L_2 (cm) | | | L_3 (cm) | | |
|-----------|----|-----------------------|-----|------------|------|-----|------------|------|--|
| | | Avg. | Max | σ_2 | Avg. | Max | σ_3 | | |
| 成牛 | 14 | 547~801 | 268 | 320 | 19.3 | 339 | 370 | 18.4 | |

2. 歩数と計量精度

表 2 に歩行計量の測定結果を歩数別に示す。歩数が 2 歩の場合では、成牛と仔牛の歩行計量の個体誤差は最大値がそれぞれ体重の 1.27% と 0%、最小値がそれぞれ体重の -2.03% と -3.22% とその変動幅が著しかった。計量値の正確度と精密度ともに大きかった。しかし、3 歩以上の場合その個体誤差は体重の -1.13 ~ -0.17% とその変動幅が著しく低下し、標準偏差も小さくなり、計量台上での歩数は計量精度に極めて大きく影響することが明らかになった。この実験結果から、ステップ台が無い場合、牛が計量台の上において 3 歩以上確保できれば、高い計量精度が得られることが分かった。なお、3 歩を確保するため計量台の長さは 395cm 以上が必要である。

3. 通過速度と計量精度

牛の計量台を通過する歩数と通過速度の相関関係は明らかである。しかし、牛の体格及び計量中の歩行状態に個体差があるので、その関係は必ずしも比例関係とはならない。

図 7 に成牛の通過速度別測定の代表的例を示す。牛 No. 1 は通過速度が 2.70 m/s と極めて速く、2 歩で計量台を通過した場合であり、4 kg の計量誤差があった。牛 No. 2 と No. 3 ではやや速い場合と通常歩行の例であるが、歩行体重値と静止体重値は一致した。

表 3 に測定結果を通過速度別に示す。成牛と仔牛ともに、通過速度が 1.50 m/s 未満の歩行計量データは 1.50 m/s 以上の歩行計量データより個体測定誤差、正確度並びに精密度ともに優れていた。即ち、測定誤差は通過速度が速いほど大きくなることが明らかになった。

表 4 に成牛を対象として調査した歩行速度と荷重変

表2. 歩数別計量精度の比較

| 供試牛 | | | 歩数 | 静止体重 (kg) | | 測定誤差 (kg) (%) | | | | 正確度 E | | 精密度 2σ | | 備考 通過速度(%) | |
|-----|----|----|----|-----------|---------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------|-------|--------|------|------------|-----------|
| 牛種 | 頭数 | 点数 | | Avg. | Range | e _{max} | e _{min} | e _{max} | e _{min} | (kg) | (%) | (kg) | (%) | Avg. | Range |
| 成牛 | 12 | 24 | 2 | 610.7 | 537~693 | 8 | -14 | 1.27 | -2.03 | -3.5 | -0.58 | 7.98 | 1.24 | 1.88 | 0.64~2.53 |
| | | 18 | 3 | 612.0 | 537~787 | 1 | -4 | 0.17 | -0.63 | -1.6 | -0.27 | 2.68 | 0.45 | 1.31 | 0.87~1.92 |
| | | 15 | ≥4 | 682.2 | 569~787 | 0 | -4 | 0 | -0.64 | -1.6 | -0.24 | 2.51 | 0.37 | 0.97 | 0.55~1.18 |
| 仔牛 | 14 | 10 | 2 | 331.1 | 285~390 | 0 | -11 | 0 | -3.22 | -2.1 | -0.62 | 6.10 | 1.76 | 1.97 | 1.15~3.69 |
| | | 52 | 3 | 323.3 | 260~390 | 0 | -3 | 0 | -1.13 | -1.2 | -0.38 | 1.48 | 0.46 | 1.44 | 0.71~2.60 |
| | | 7 | ≥4 | 313.9 | 259~390 | 0 | -2 | 0 | -0.53 | -0.9 | -0.26 | 1.66 | 0.46 | 1.16 | 0.89~1.43 |

表3. 通過速度別計量精度の比較

| 供試牛 | | | 速度区分 (%) | 静止体重 (kg) | | 測定誤差 (kg) (%) | | | | 正確度 E | | 精密度 2σ | | 備考 歩数 |
|-----|----|----|-----------|-----------|---------|---------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------|--------|------|-------|
| 牛種 | 頭数 | 点数 | | Min~Max | Avg. | Range | e _{max} | e _{min} | e _{max} | e _{min} | (kg) | (%) | (kg) | |
| 成牛 | 12 | 29 | 0.55~1.49 | 652.3 | 569~787 | 0 | -4 | 0 | -0.64 | -1.3 | -0.21 | 2.36 | 0.38 | 2~5 |
| | | 28 | 1.50~2.53 | 606.7 | 537~693 | 8 | -14 | 1.27 | -2.03 | -3.5 | -0.58 | 7.38 | 1.14 | 2~3 |
| 仔牛 | 14 | 43 | 0.70~1.49 | 332.3 | 259~390 | 0 | -3 | 0 | -0.79 | -1.1 | -0.31 | 1.50 | 0.40 | 2~4 |
| | | 25 | 1.50~3.00 | 307.3 | 260~390 | 0 | -11 | 0 | -3.22 | -1.7 | -0.56 | 4.06 | 1.18 | 2~3 |

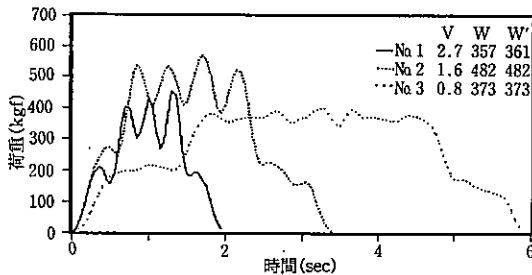


図7 歩行速度と計量精度の事例
注：V は通過速度；W は歩行体重(kg)；W'は静止体重(kg)

動幅の関係を示す。歩行速度が1.50 m/s未満の場合について、測定毎にピークの平均値と体重の比は平均値が105.7%、標準偏差がわずか2.0%であり、かなり穏やかな荷重変動を示している。しかし、歩行速度が1.50 m/s以上の場合では、その比は平均値が114.3%と大きく、最大値が145%に達し、標準偏差も9.4%まで増加した。即ち、歩行速度が速いほど荷重変動幅は大きくなり、かなり不安定な荷重変動波形を示す。牛が素早く計量台を通過すると、荷重変動データの情報が少なくなると同時に、牛の重心の上下移動に伴い荷重

表4. 牛の歩行速度と歩行荷重変動

| 供試牛 | | | 速度区分 (%) | 静止体重 (kg) | | ピークの平均値/体重 (%) | | | | |
|-----|----|----|-----------|-----------|---------|----------------|------|-----|-----|---|
| 牛種 | 頭数 | 点数 | | Min~Max | Avg. | Range | Avg. | Max | Min | σ |
| 成牛 | 14 | 52 | 0.46~1.49 | 660.2 | 561~801 | 105.7 | 111 | 102 | 2.0 | |
| | | 33 | 1.50~4.39 | 648 | 561~800 | 114.3 | 145 | 106 | 9.6 | |

変動が激しくなり、不安定な荷重の情報を示し、体重推定アルゴリズムの平均化処理にも影響を及ぼす。これが精度を低下させる原因と考える。

4. 段差と計量精度

計量台の前後にステップ台が無い場合(段差あり)とステップ台がある場合(段差無し)の歩行計量結果を表5に示す。ステップ台が無い場合は、仔牛の個体測定誤差 e_{min} は体重の-3.22%に達し、成牛についても個体誤差の最大値は体重の-2.03%、正確度と精密度はそれぞれ-2.4 kgと5.86 kgであり、いずれも大きかった。ステップ台がある場合では、牛が2歩で計量台を通過した場合でも、正確度と精密度ともに向上し、個

表 5. ステップ台がある場合と無い場合の歩行計量器の計量精度

| ステップ 台 | 供 試 牛 | | | 静 止 体 重 (kg) | | 測 定 誤 差 (kg) (%) | | | | 正 確 度 E | | 精 密 度 2σ | | 備 考 通過速度(%) 歩数 | | |
|-----------|-------|----|----|-----------------|---------|---------------------|------------------|------------------|------------------|------------|-------|-------------|------|-------------------|-----------|----|
| | 牛種 | 頭数 | 点数 | Avg. | Range | e _{max} | e _{min} | e _{max} | e _{min} | (kg) | (%) | (kg) | (%) | Avg. | Range | |
| 無し | 成牛 | 12 | 57 | 629.9 | 537~787 | 8 | -14 | 1.27 | -2.03 | -2.4 | -0.39 | 5.86 | 0.92 | 1.45 | 0.64~2.53 | ≥2 |
| | 仔牛 | 14 | 69 | 323.7 | 259~390 | 0 | -11 | 0 | -3.22 | -1.3 | -0.40 | 2.78 | 0.82 | 1.49 | 0.71~3.69 | ≥2 |
| あり | 成牛 | 7 | 30 | 604.8 | 575~636 | 1 | -2 | 0.17 | -0.34 | -0.4 | -0.07 | 2.04 | 0.34 | 1.34 | 0.28~2.47 | ≥2 |
| | 仔牛 | 7 | 35 | 329.6 | 270~399 | 0 | -4 | 0 | -1.01 | -0.4 | -0.11 | 1.98 | 0.52 | 1.35 | 0.19~2.94 | ≥2 |

表 6. ステップ台がある場合と無い場合の牛の歩行荷重変動

| ステップ 台 | 供 試 牛 | | | 通 過 速 度 (%) | | 静 止 体 重 (kg) | | 一 つ 目 の ピーク 値 / 体 重 (%) | | | |
|-----------|-------|----|----|----------------|-----------|-----------------|---------|----------------------------|-----|-----|-----|
| | 牛種 | 頭数 | 点数 | Avg. | Range | Avg. | Range | Avg. | Max | Min | σ |
| 無し | 成牛 | 7 | 14 | 0.84 | 0.21~1.17 | 664.3 | 579~794 | 112.4 | 137 | 101 | 7.8 |
| | 仔牛 | 7 | 11 | 0.92 | 0.22~1.37 | 319.2 | 260~388 | 111.3 | 126 | 101 | 6.4 |
| あり | 成牛 | 7 | 12 | 0.86 | 0.47~1.25 | 672.5 | 580~794 | 107.2 | 112 | 102 | 3.1 |
| | 仔牛 | 7 | 10 | 0.92 | 0.41~1.41 | 333.1 | 269~390 | 115.6 | 119 | 106 | 3.6 |

体誤差が体重の-1.01%の計量が1回あったものの、計量精度は著しく向上することが明らかになった。

牛の最後の後ろ足が上がり、計量台に乗り込もうとすると、荷重変動は1つ目のピークを示す。ステップ台がある場合と無い場合について、荷重変動の1つ目のピーク値の測定結果を表6に示す。ステップ台が無い場合の1つ目のピーク値と体重の比は最大値が成牛137%、仔牛126%、標準偏差が成牛7.8%と仔牛6.4%であり、1つ目のピーク値のばらつきが大きく、不安定であった。しかし、ステップ台がある場合のその比は最大値が成牛112%、仔牛119%、標準偏差が成牛3.1%と仔牛3.6%と小さく、ステップ台が無い場合と比べるとその変動幅は1/2に低下した。即ち、段差を無くすことによって、計量台に飛び乗る時の衝撃荷重が小さくなり、減衰しやすく平均化処理の正確度が高くなり、計量精度を向上させる原因となったと考えられる。

結 論

以上の結果から、牛の計量台を通過する歩数と通過速度及び計量台と通路の段差は計量精度を左右する主な要因であることが明らかとなった。計量台と通路の段差がある場合、牛が計量台の上で3歩確保できれば、

十分な計量精度が得られるが、3歩確保に必要な計量台の長さは395 cm以上であることが明らかとなった。計量台と通路の段差が無ければ、計量台の上で2歩確保すれば、計量精度の個体誤差、正確度と精密度のいずれも家畜計量器の評価基準りを満たせることが明らかになった。また2歩確保に必要な計量台の長さは326 cm以上であることが明らかとなった。

一般に、計量台が長いほど、計量精度が高くなるとされているが、構造上の強度、コスト、可搬性などの面から、なるべく短い計量台が望ましい。我々は3.50 mの計量器を試作したが、計量台面と通路面を同じ高さになるように設置すれば、十分な計量精度を得られることを実験的に立証した。

参 考 文 献

- 1) 龍 吉生・高畑英彦・梅津一孝・干場秀雄・池滝 孝・竹山一郎 (1990): 家畜の自動計量に関する研究, 帯大研報 I, 17, 31~36.
- 2) M. J. B. TURNER (1984): Cattle Weighing. Farm Building & Engineering 1, 2, 21~24.
- 3) D. M. ANDERSON and D. L. MERTZ (1983): A Mechanical Animal-powered Cow Spacer. Journal of Range Management 36(4): 542

～543.

- 4) 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.

Summary

In order to clarify the sources of measurement errors and to improve the measurement accuracy of the livestock walk-through scale, a series of experiments were undertaken on cows at our University Farm. The results obtained are summarized as follows:

1. The number of steps cattle take walking through the scale platform influenced the measurement errors greatly. For dry cows and calves, the maximum individual measurement errors were as high as -2.03% & -3.22% of bodyweight respectively, when the cows walked through the scale platform with 2 steps, but they were reduced within -1.13% of bodyweight in the case of more than 2 steps. These results show that 2 steps can't produce enough information to obtain a reasonable measurement. However with more than 2 steps the measurement accuracy improved greatly.
2. Cattle gait speed was also a factor influencing the measurement errors. The experimental results showed a tendency for a greater numbers of measurement errors when cattle walked through quickly. The reasons are due to the fact that not only do cattle loads change abruptly, but also because less cattle load information is produced when cattle walk through fast.
3. The height between the surface of the scale platform and the ground was the third factor influencing the measurement errors. The level of individual measurement error was as high as -3.22% of bodyweight, when there was no walk-through approach in front and behind the scale platform. This is because the abrupt loads resulting from cattle stepping onto the scale platform make the averaging operations difficult.
4. The walk-through approach improved the measurement accuracy greatly. The individual error,

accuracy E and precision 2σ of measurement were within $\pm 1.01\%$ of body weight, ± 0.4 kg and 2.04 kg respectively, when a walk-trough approach was used. These results clearly show that a scale platform of 3.50 m can provide a reasonable measurement accuracy which meets the requirements of cattle management very well when the setting condition is satisfied.