

黒毛和種子牛の非接触型体重・体型推定システムの検討

堀川寛通・岩田和大*

Consideration of contactless estimation system for weights and body shape of Japanese Black calves

Hiromichi HORIKAWA and Kazuhiro IWATA

要 約

黒毛和種子牛において深度カメラを用いた非接触型の体重・体型推定システムの構築を検討した。黒毛和種子牛の推定体重は、腹幅/2×腹深/2×円周率×水平体長に一定の係数を加えて計算した推定式で求めることができる。

構築した体重・体型推定システムから求めた推定体重と実測体重の相関係数は0.86、推定腹幅と実測腹幅の相関係数は0.73、推定腹深と実測腹深の相関係数は0.75、推定体長と実測体長の相関係数は0.70、となり、深度カメラを用いた非接触型の体重・体型推定の可能性が示唆された。

キーワード：深度カメラ、体重推定、非接触

緒 言

子牛の体重と体型は、家畜市場における価格決定に大きな要因となっている。また、飼養管理の面では、牛の体重と体高が発育状態の目安や、給与量の決定などの指標として利用されている。しかし、体重計や体尺計を所有している繁殖農家はほとんどなく、市販されている黒毛和種の体重推定尺の測定値を参考に、子牛出荷の有無を決定している。

体重を簡易に推定する手法は、黒毛和種においては胸囲、斜体長の実測値から体重推定が可能と報告されている¹⁾。乳用種、交雑種においては胸囲、寛幅、腹囲、体長、胸幅の実測値から体重推定が可能と報告されている²⁾。

体型測定は、子牛の捕獲及び保定に重労働と時間を要すとともに、牛の接触による作業者の危険を及ぼす。富士平工業の黒毛和種体重推定尺を用いた体重測定もまた胸囲を測定するため、非接触による体重推定機器の開発が求められている。

また、近年では3Dデジタルカメラ1台を用いて、放牧牛(ホルスタイン種、黒毛和種)を撮影し、その3Dデジタルカメラ画像を解析し牛体型を推定する手法が研究されている³⁾。これにより、高い精度で体高を推定できることが報告されている。

しかし、この手法では横幅の測定が行われていないため、高さや幅及び奥行きを測定を行うことにより、より正確な体重推定が期待されると考えられた。

そこで、本試験では牛体に触れることなく体重及び体型を推定するシステムの構築を目的として、黒毛和種子牛の牛体測定を行い、各測定部位の実測値から体重の推定式を決定した。その後、簡易に持ち運びが可能な深度カメラ3台で黒毛和種子牛を撮影し、その牛体3D画像から各測定部位の測定値を求め、体重推定式に代入して推定体重を求める手法について検討した。

材料及び方法

試験1 体重推定式の作成

(1) 黒毛和種子牛の体重測定と体型測定

調査対象牛は、当研究所で飼養中の3～300日齢の黒毛和種子牛45頭を用いた。調査期間は2020年5月から2021年5月とし、毎月体重測定と体型測定を行い、のべ808頭(去勢牛350頭、雌牛458頭)のデータを採取した。

測定項目は体重のほか、体高、十字部高、水平体長、胸囲、腹囲、胸深、胸幅、腹深(腹囲測定部線上の季肋骨から下腹部に至る直線距離)、腹幅

*：岡山県工業技術センター

(腹囲測定部の肋骨幅)(図1)の10項目とした。

体重は可搬式体重計を、体高、十字部高、体長は体尺計を、胸囲、腹囲は体重推定尺を、胸深、胸幅、腹深、腹幅はキャリパー測定器を用いて計測した。

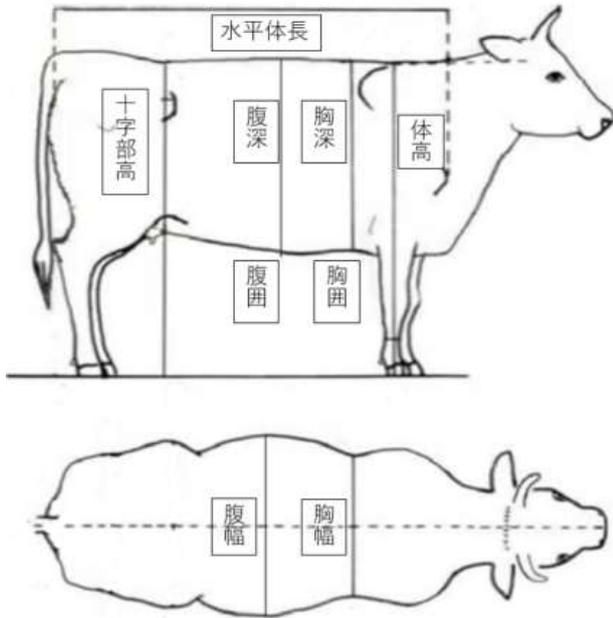


図1 体型測定部位

(2) 体重推定式の検討

和牛の表面積と体積は体重と指数関係を示し、高い相関がある⁴⁾。このことから、実測体重を目的変数として、表1に示すように体測した各部位を単独又は組み合わせて作ったものを説明変数として、単回帰分析を行い、単回帰式を作成し雌雄それぞれの体重推定式を検討した。

表1 説明変数及びそのイメージ

説明変数	説明変数のイメージ
胸囲	円周
腹囲	円周
体高×体長×胸幅	直方体
体高×体長×腹幅	直方体
十字部×体長×胸幅	直方体
十字部×体長×腹幅	直方体
胸深/2×胸幅/2×円周率×水平体長	円柱
腹深/2×腹幅/2×円周率×水平体長	円柱

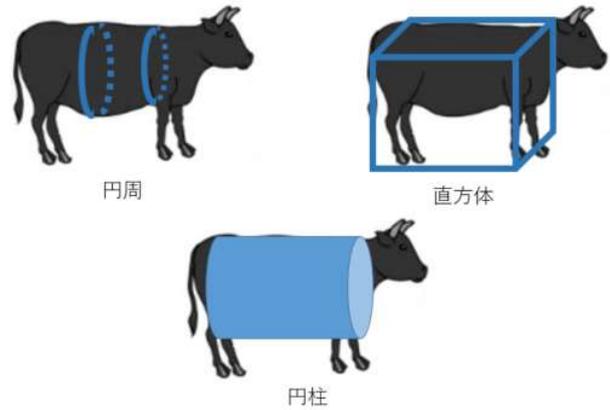


図2 説明変数のイメージ

試験2 深度カメラによる牛体撮影

(1) 牛体測定原理

体重・体型推定システムの測定原理を図3に示した。深度カメラ3台を三脚の上部、中央部、下部に設置し、牛体の右半身を3方向から撮影し、後背部から腹部までの点群データを取得した。取得した点群データを座標変換することで1つの3次元合成データを構築した。これを対象コピーすることで牛の全身の3次元画像を作成した。3次元画像は点群データであるため、画面上の2点を指定することにより、各部位の測定に必要な長さを求めた。

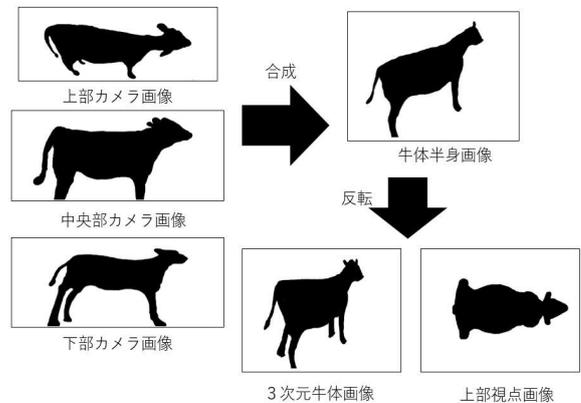


図3 測定原理

(2) 画面上の体測方法

画像解析により推定する牛体型測定部位は、3次元画像のき甲部の端点と地面との距離を体高、腰角と背中線との交点と地面との距離を十字部高、肩端から坐骨端までの距離を水平体長、中央部カメラ画像の胸囲測定部及び腹囲測定部の垂直距離を胸深及び腹深、上部視点画像の胸囲測定部及び腹囲測定部の幅を胸幅及び腹幅とした。

胸囲及び腹囲は3次元画像から断面図の点群データが取得可能であるため、その画像の円周から測定した(図4)。

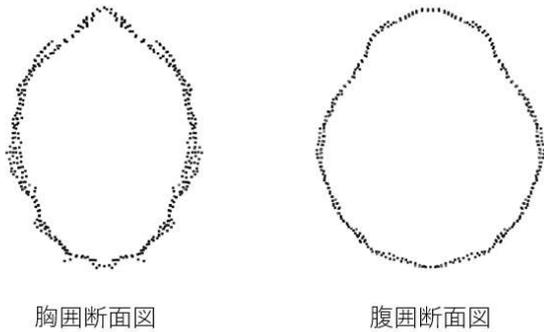


図4 胸囲・腹囲の断面図

(3) 撮影機材

深度カメラは(Intel RealSense Depth Camera D455, インテル株式会社, 東京)を用いた。カメラはUSB 端子を用いて接続するため、撮影用パソコンはUSB 端子が3箇所接続可能な機器を用いた。3D画像のデータ処理には Python により作成したプログラムを使用した。点群処理と座標変換には Python の拡張モジュールである Numpy と Open3D を使用した。

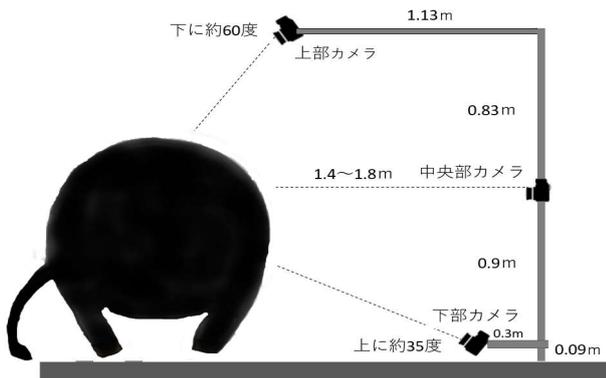


図5 体重・体型推定システムの撮影条件

(4) 撮影条件及び測定方法

調査対象牛は当研究所で飼養中の3~6ヶ月齢の黒毛和種子牛 28 頭を用いた。子牛はスタンションで捕獲後、ロープで柱に保定して個体ごとに牛の側面を撮影した。撮影距離は 1.8m 以内なるべく水平な場所で撮影した(図5)。

測定項目は体重、体高、十字部高、水平体長、胸囲、腹囲、胸深、胸幅、腹深、腹幅である。体高、十字部高、体長は体尺計を、胸囲、腹囲は体重推定尺を、胸深、胸幅、腹深、腹幅はキャリパー測定器を、体重は可搬式体重計を用いて計測した。

結果及び考察

(1) 体重推定式の作成

単回帰分析から求めた各説明変数の決定係数を雌雄それぞれ表2、表3に示した。決定係数が最も高い説明変数を図6、図7に示した。

表2 雌子牛の体重(kg)と各説明変数との関係

説明変数	決定係数：R ²
胸囲	0.950
腹囲	0.935
体高×体長×胸幅	0.954
体高×体長×腹幅	0.971
十字部×体長×胸幅	0.955
十字部×体長×腹幅	0.972
胸深/2×胸幅/2×円周率×水平体長	0.955
腹深/2×腹幅/2×円周率×水平体長	0.975

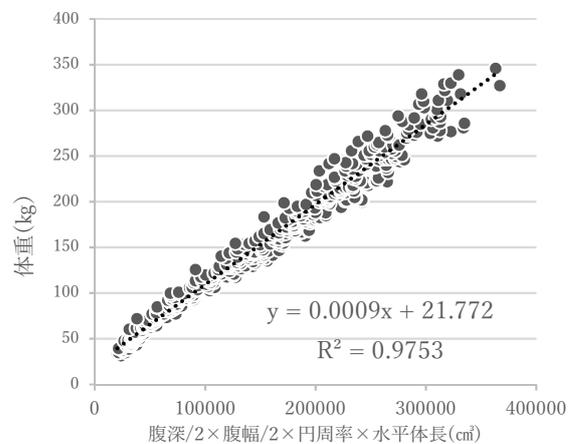


図6 雌子牛の体重と説明変数の関係

表3 雄子牛の体重(kg)と各説明変数との関係

説明変数	決定係数：R ²
胸囲	0.941
腹囲	0.929
体高×体長×胸幅	0.945
体高×体長×腹幅	0.965
十字部×体長×胸幅	0.946
十字部×体長×腹幅	0.964
胸深/2×胸幅/2×円周率×水平体長	0.955
腹深/2×腹幅/2×円周率×水平体長	0.968

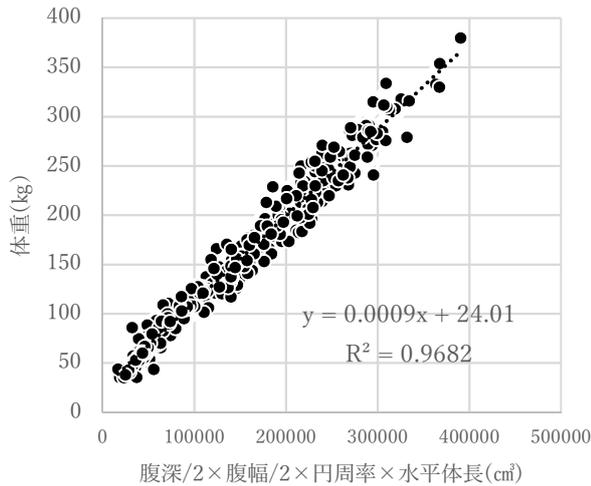


図7 雄子牛の体重と説明変数の関係

子牛では体重に対して、腹深/2×腹幅/2×円周率×水平体長において決定係数 R^2 が最も高く、雌では推定体重=腹深/2×腹幅/2×円周率×水平体長× $8.72 \times 10^{-4} + 22.17$ 、 $R^2 = 0.9753$ 、雄では推定体重=腹深/2×腹幅/2×円周率×水平体長× $8.76 \times 10^{-4} + 24.01$ 、 $R^2 = 0.9682$ であった。

これらの式を体重・体型推定システムに利用するため、Pythonのプログラムに推定式を書き加えた。

(2) 深度カメラによる牛体撮影

3D画像上のき甲部と中央部に設置した深度カメラの距離を計測したところ、平均値は165.6cm、標準偏差は0.15cmであった。撮影時間は30秒/頭で各項目の推定値解析時間はおよそ2分/頭であった。

表4に撮影した子牛の体高、十字部高、水平体長、胸囲、腹囲、胸深、胸幅、腹深、腹幅の実測値と3D画像からの推定値を示した。

表4 各項目の実測値及び推定値

測定項目	平均値(cm)	最大値(cm)	最小値(cm)	標準偏差(cm)	相関係数	有意性
体高	実測値	104.4	114.8	92.6	5.74	0.936 **
	推定値	110.1	118.5	98.5	5.40	
十字部高	実測値	107.1	119.4	97.2	5.67	0.941 **
	推定値	110.9	123.4	100.4	5.59	
水平体長	実測値	108.0	122.4	90.0	8.48	0.793 **
	推定値	105.0	118.4	84.7	8.53	
胸囲	実測値	129.9	144.0	108.9	1.83	0.480 **
	推定値	150.6	176.8	128.1	1.92	
腹囲	実測値	158.4	181.0	124.0	14.52	0.877 **
	推定値	174.1	195.7	143.7	13.46	
胸幅	実測値	28.7	34.0	23.0	2.80	0.317 **
	推定値	35.8	45.6	28.4	3.97	
胸深	実測値	48.7	54.0	41.0	3.39	0.701 **
	推定値	57.4	63.5	48.9	3.84	
腹幅	実測値	42.9	52.0	30.0	5.35	0.727 **
	推定値	49.4	56.6	36.7	5.16	
腹深	実測値	52.5	60.0	43.0	4.06	0.754 **
	推定値	61.0	67.8	51.2	4.56	

子牛の体高、十字部高、腹囲、腹幅、腹深の実測値と推定値について0.936、0.941、0.877、0.727、0.754と有意な相関関係が得られた($P < 0.05$)。

喜田ら³⁾は、黒毛和種子牛の3Dデジタルカメラを用いた体高解析において相関係数が0.921であったと報告しており、本報告での解析の精度は高い結果となった。

各項目では、体高、十字部高、胸囲、腹囲、胸深、腹幅及び腹深では全ての個体で推定値が実測値よりも大きくなり、この要因としては子牛の体型測定を行う際に、体尺計、推定尺、キャリパー測定器は牛体の体毛を抑えて測定しているが、牛体撮影では体毛を抑えることができないため、推定値が実測値よりも大きくなった可能性がある。

一方で体長と胸幅では、推定値が実測値よりも小さくなる個体を確認された。この要因としては、撮影時の牛の姿勢による影響が考えられる。

ある個体では中央部カメラ画像では牛体の正姿勢が確認されたが、上部カメラ画像では頭頸部が左方向に曲がり、背線が直線ではなかった。このため体長、胸幅が正確に計測出来なかった。

表5は、各測定項目の測定誤差(実測値と推定値の差の絶対値)と誤差率{(実測値-推定値)÷実測値×100}の絶対値を示したものである。

表5 各項目の測定誤差と誤差率

測定項目		平均値	最大値	最小値	標準偏差
体高	測定誤差(cm)	5.72	8.47	2.59	1.47
	誤差率(%)	5.53	8.61	2.53	1.57
十字部高	測定誤差(cm)	3.77	7.03	1.36	1.38
	誤差率(%)	3.54	6.79	1.29	1.33
水平体長	測定誤差(cm)	2.96	10.65	0.00	3.98
	誤差率(%)	3.55	9.44	0.00	2.97
胸囲	測定誤差(cm)	20.69	34.04	4.00	7.78
	誤差率(%)	16.17	29.56	2.80	6.56
腹囲	測定誤差(cm)	15.66	28.60	5.41	5.09
	誤差率(%)	10.09	17.65	3.24	3.73
胸幅	測定誤差(cm)	7.13	13.57	3.61	3.33
	誤差率(%)	26.06	42.40	7.18	9.59
胸深	測定誤差(cm)	8.75	13.27	3.00	2.11
	誤差率(%)	18.08	28.85	6.00	4.70
腹幅	測定誤差(cm)	6.50	12.14	1.12	2.86
	誤差率(%)	15.68	31.96	2.49	7.84
腹深	測定誤差(cm)	8.53	14.76	4.18	2.26
	誤差率(%)	16.36	27.86	8.20	4.56

体高、十字部高及び水平体長の誤差率は10%未満であり、胸囲、腹囲、胸幅、胸深、腹幅及び腹深の誤差率は10%を超える結果となった。この要因は、半身画像の反転対称が影響している可能性

がある。

体高、十字部高及び水平体長は半身画像から測定するため、反転対称の影響が小さく、一方で胸囲、腹囲、胸幅、胸深、腹幅及び腹深は反転対称後に測定をするため、誤差が大きくなったと考えた。

(3) 体重推定

試験1で作成した和牛子牛の雌雄の体重推定式に、試験2の体重・体型推定システムから推定した各項目の推定値を代入し、実測体重と推定体重の相関性を検討した(図8)。

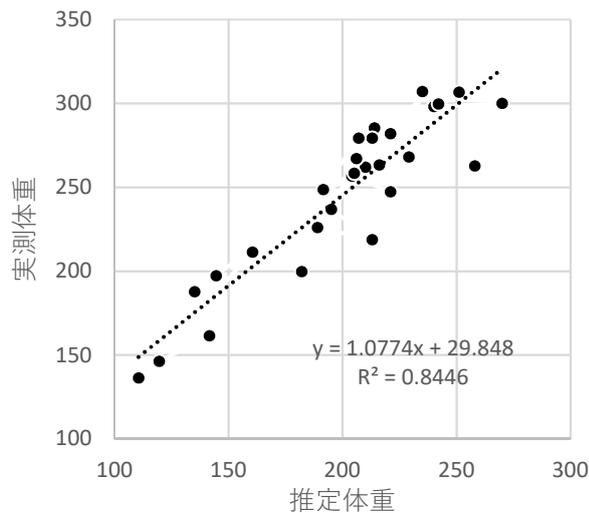


図8 推定体重と実測体重の相関

体重・体型システムから求めた推定体重と実測体重は決定係数 $R^2=0.8446$ となり、高い相関を示す結果となった ($P<0.05$)。測定誤差の平均値は45.38 kg、最大値は72.25 kg、最小値は4.79 kgとなった。また、誤差率の平均値は23.18%、最大値は39.04%、最小値は1.85%となった。体重・体型推定システムは高い相関は見られたものの、精度の向上には更なる検討が必要と考えられた。

撮影した子牛の中には、牛体測定時の正姿勢を維持し、誤差が小さい個体もあった。そのことから、撮影時の牛の姿勢制御と反転対称による誤差が課題と考えられる。現段階では行えていないが、深度カメラを6台用意し、上下左右から撮影した牛体画像を合成することで、体重推定の精度向上が期待される。

以上のことから、深度カメラを用いた体重・体型推定システムは、従来の方法では不可能であった胸囲及び腹囲の推定が可能であり、画面上で断面図が確認出来る。また、牛体型解析は体高、十字部高、体長を体尺計による計測値と誤差率5.53%、3.54%、3.55%程度で推定が可能である。体重推定は体重計の実測値と高い相関を示したが、

実用するにはデータの蓄積及び精度の向上が必要と考えられる。

文 献

- 1) 石原盛衛・吉田武紀・土屋平四郎・吉田正三郎 (1955) : 和牛の簡易体重計算法に関する研究. 中国農業試験場報告, 2(3), 55-72.
- 2) 磯崎良寛・稲田淳・古賀鉄也 (2002) : 乳用種および交雑種去勢肥育牛における牛体各部測定値からの体重推定式, 農研機構研究成果情報, 畜産・草地, 7.
- 3) 喜田環樹・手島茂樹・田中史彦・内野敏剛 (2014) : 3Dカメラによる放牧牛の体型推定. 日本草地学会誌, 60(2), 85-90.
- 4) 皆川秀夫 (1994) : Surface Area, Volume, and Projected Area of Japanese-Shorthorn Cattle Measured by Stereo Photogrammetry Using Non-metric Cameras. 日本農業気象学会誌, 50(1), 17-22.