

交雑種一産取り肥育牛における超音波画像を用いた皮下脂肪の経時的な推移

武藤美鈴¹・前田さくら¹・阿佐玲奈¹・佐藤幸信²・緒方三華³・口田圭吾¹

¹ 帯広畜産大学, 帯広市 080-8555

² 地方独立行政法人北海道立総合研究機構農業研究本部畜産試験場, 北海道新得町 081-0038

³ 株式会社ノベルズ, 北海道上士幌町 080-1408

(2015. 1. 7 受付, 2015. 4. 28 受理)

要約 26頭の交雑種一産取り肥育牛を用い, 肥育開始0, 2, 4, 6, 8, 10ヵ月時に超音波診断装置(超音波)により皮下脂肪の程度を観測した。枝肉格付時にミラー型牛枝肉撮影装置(ミラー型)で枝肉横断面画像を撮影した。枝肉格付と超音波による皮下脂肪厚との相関係数は $r = 0.67$ と中程度であった。ミラー型および超音波から得られた10cm幅の皮下脂肪面積と, ミラー型からの皮下脂肪全体面積との相関係数はそれぞれ $r = 0.80$ および 0.78 となった。各肥育期間での10cm超音波面積とミラー型からの皮下脂肪全体面積との相関係数は肥育開始4ヵ月($r = 0.65$; $P < 0.05$)を境に高くなった。測定時まで測定し得る体重および10cm超音波面積を用い, ミラー型からの皮下脂肪全体面積を推定したところ, 肥育開始2ヵ月で有意な決定係数($R^2 = 0.57$; $P < 0.01$)が得られ, その後肥育が進むにつれ決定係数は高くなった(10ヵ月で $R^2 = 0.83$; $P < 0.01$)。

日本畜産学会報 86 (3), 359-365, 2015

キーワード: 超音波測定, 枝肉横断面画像, 交雑種, 一産取り肥育牛, 皮下脂肪

交雑種一産取り肥育牛(以下, 一産取り肥育牛)とは, 子牛を分娩させた後に肥育した交雑種メス牛のことである。この肥育手法は, 交雑による雑種強勢効果および補完効果によって交雑種メス牛の強健性や繁殖性が向上すること(川西ら1992)に加え, 子牛生産を含めることによって, 牛肉生産の増加や生産効率の向上が期待されるため, 関心が高まっている。これらは分娩による肉質の低下を懸念されるが, 分娩後のメス牛の肉質は未経産牛と同等である(額田ら1994; Zembayashi 2001)と報告されている。しかしながら, 本研究の協力農場における一産取り肥育牛は枝肉における余剰な脂肪が多いことが問題となっており, 格付の歩留等級にも影響している。平成25年度の枝肉格付記録(日本食肉格付協会2014)から, 一般の交雑種メス牛のC等級率が11.7%であったのに対して, 同農場からのそれは18.1%と高い値であった。余剰な脂肪のひとつとして, 皮下脂肪が考えられる。黒毛和種去勢肥育牛の皮下脂肪に関する研究は多数報告されているが(徳丸ら2001; 福田と岡垣2008; 宮腰ら1995), 一産取り肥育牛は妊娠および分娩を経てから肥育されるため, 通常肥育された個体と肥育開始時の生理状態が異なる。したがって, この分娩による生理状態がその後の肥育期間中の皮下脂肪の経時的な変化に影響をおよぼす可能性が考えられる。

1960年代から70年代にかけて, 主としてアメリカ

(Stoufferら1961; Watkinsら1967; StoufferとWestervelt1977)およびオーストラリア(CampbellとWhile1968)において, 超音波診断装置を用いて肉用牛の生体の皮下脂肪厚を非侵襲的に測定する研究が進められた。超音波診断装置を用いて肥育期間中の皮下脂肪厚の経時的変化を計測し, どの時期に皮下脂肪が増加するかを把握することは, 肥育農家の飼養管理によって無駄な脂肪の蓄積を抑制できるため, 歩留の良い肉牛生産に大きく貢献する。他方, 格付での皮下脂肪厚と超音波診断装置によって測定された皮下脂肪厚との相関を見ると, サーロイン側で格付を実施する海外では, 非常に高い相関係数($r = 0.92$; Brethour1992, $r = 0.89$; Greinerら2003)を示しているのに対し, 6-7肋骨間で格付を行うわが国では中程度の相関係数($r = 0.73$; 原田1996)が報告されている。さらに, 現行の枝肉格付においては, 6-7横断面における皮下脂肪厚を歩留基準値の算出に用いているが, 1ヵ所のみ厚さでその枝肉全体の皮下脂肪量を表すことは困難である。そのため, より枝肉全体の皮下脂肪量を表す新たな形質が必要であると考えた。

現在, 堀ら(2005)によってミラー型牛枝肉撮影装置が開発され, 高精細な枝肉横断面画像を得ることができるようになり, 得た画像を用いて格付時に用いられる6-7横断面の客観的な評価が可能になった。そこで本研究では,

連絡者: 口田圭吾 (fax: 0155-49-5462, e-mail: kuchida@obihiro.ac.jp)

超音波診断装置により得られた画像（以下、超音波画像）とミラー型牛枝肉撮影装置によって得られた枝肉横断面画像（以下、ミラー型画像）とを比較することで、枝肉の状態における最終的な皮下脂肪量をより高い精度で測定する方法を検討し、その後、検討した方法を用いて肥育期間中のどの時期の皮下脂肪が最終的な皮下脂肪量に関係するかについて調査することを目的とした。

材料および方法

1. 供試牛

供試牛は北海道士幌町の協力農家で飼養された交雑種経産メス牛（黒毛和種♂×ホルスタイン種♀、以下、一産取り肥育牛）26頭を用いた。これら供試牛は2010年9月～2011年4月に出生し、協力農家に素牛として約8ヵ月齢で導入され、屠畜まで当該農場の飼育管理方法にしたがい飼養された。また、13.5ヵ月齢より黒毛和種受精卵の移植を開始し、平均15ヵ月齢で受胎させた。10ヵ月の妊娠期間を経て約25ヵ月齢から肥育を開始した。肥育期間は約10ヵ月で、おおよそ32～35ヵ月齢で屠畜した。枝肉格付形質については、公益社団法人日本食肉格付協会による評価を用いた。

2. 皮下脂肪に関する各形質の定義

本研究に用いる皮下脂肪に関する形質を以下のように定義する。

格付記録厚

日本食肉格付協会の格付員により測定された皮下脂肪の厚さ

超音波厚

超音波画像上において、日本食肉格付協会の定める方法に準じて測定した皮下脂肪の厚さ

ミラー型厚

ミラー型画像上において、日本食肉格付協会の定める方法に準じて測定した皮下脂肪の厚さ

皮下脂肪全体面積

ミラー型画像上の皮下脂肪全体の面積

10cm 超音波面積

超音波画像上の広背筋の上端から腹側へ10cmまでの皮下脂肪の面積（図1）

10cm ミラー型面積

ミラー型画像上の広背筋の上端から腹側へ10cmまでの皮下脂肪の面積（図1）

6-7横断面上の1箇所を測定する皮下脂肪厚よりも、6-7横断面における皮下脂肪全体の面積の方が、枝肉全体の脂肪量をより代表していると考えられる。そこで、得られた超音波画像ならびにミラー型画像について上記のような長さや面積を計測し、精度の比較を行った。10cm超音波面積は、超音波測定に用いているプローブ（センサー幅12cm）では、ミラー型画像に準じた皮下脂肪全体面積を超音波画像上に映すことができないため、超音波画像

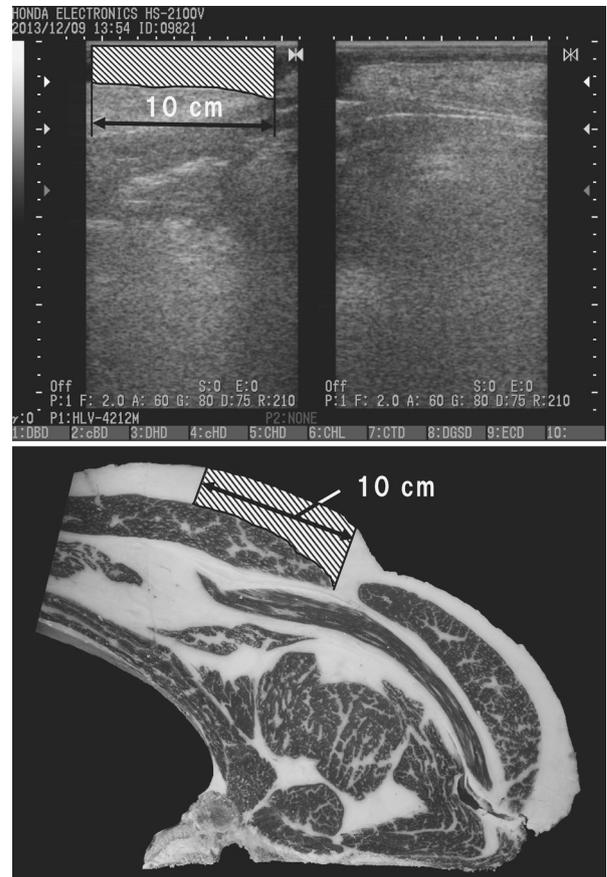


Figure 1 Subcutaneous fat area along 10cm by ultrasounding and image analyzing.

とミラー型画像とを比較するために設定した。なお、超音波画像において、上記条件による10cmを確保できなかった場合、

$$10\text{cm 超音波面積}(\text{cm}^2) = \frac{(10 \times \text{超音波皮下脂肪実測面積}(\text{cm}^2))}{\text{超音波皮下脂肪実測長さ}(\text{cm})}$$

により皮下脂肪面積を補正した。長さや面積の計測には、Photoshop CS6 (Adobe Systems Inc., San Jose, CA, USA) を用いた。

3. 体重および超音波の測定

26頭の供試牛それぞれについて、肥育開始後0, 2, 4, 6, 8, 10ヵ月の計6回の体重および超音波測定を実施した。なお、6回目（10ヵ月）の測定は屠畜11日前に行った。超音波診断装置にHS-2100V（本多電子、愛知）、プローブに2MHzの超音波を発するHLV-4212M（同、センサー幅12cm）を用いた。牛体左側に流動パラフィンを塗布し、枝肉横断面に準じた第6-7肋骨間にプローブを当てて測定を行った。超音波測定時は、背正中線から腹部にかけてプローブを移動させて連続的に動画を記録し、得られた動画から、僧帽筋側から1枚、広背筋側から1枚を静止画とし、保存した。

4. ミラー型画像の撮影

ミラー型牛枝肉撮影装置 (HK333: 早坂理工, 札幌) を用いて枝肉左半丸の第 6-7 肋骨間横断面における高精細画像を撮影した。撮影は、枝肉処理施設において、屠畜 2 日後に日本食肉格付協会による格付とほぼ同時刻に行った。

5. 統計分析

肥育期間における最終的な皮下脂肪量の推定可能な時期を調査するために、まず皮下脂肪全体面積を目的変数とした重回帰分析を行った。各肥育月齢の超音波測定時までに測定し得る体重および 10cm 超音波面積の中から、選択される変数の数を 3 変数に制限してモデルを決定し、肥育期間ごとにステップワイズ法を用いて分析を行った。その後、各肥育月齢における皮下脂肪全体面積の観測値と重回帰分析から得られた皮下脂肪全体面積の予測値との関係性を調査した相関係数を算出した。すべての統計処理は、SAS (1990) を用いて実施した。

結果および考察

1. 皮下脂肪量の測定方法の検討

供試牛の枝肉格付形質、超音波画像の測定値ならびにミラー型画像の測定値の基礎統計量を表 1 に示した。格付による皮下脂肪厚は平均 2.9 ± 0.6 cm、枝肉重量は平均 516.1 ± 52.2 kg であり、中台ら (2011) により報告された一般的な交雑牛の値よりも高い値となった。これは、一産取り肥育牛は分娩後に肥育するため、皮下脂肪が蓄積しやすく、一般交雑牛よりも平均月齢が高いために枝肉重量も大きくなったと考えられる。

ミラー型厚、超音波厚および格付記録厚のそれぞれの相関係数を表 2 に示した。格付記録厚とミラー型厚との相関係数は $r = 0.85$ と高い値を示し、ミラー型厚は格付記録厚と概ね同様の測定ができていたことが示された。他方、格付記録厚と超音波厚との相関係数は $r = 0.67$ と中程度であり、Brethour (1992)、Smithら (1992) により報告された相関係数よりも低くなった (それぞれ $r = 0.90$ および 0.81)。これは 6-7 横断面が 12-13 横断面よりも

筋肉が多く構成が複雑であり、皮下脂肪厚の測定が困難であるためと考えられる。それに加えて、超音波測定対象牛の姿勢や動きにより、皮下脂肪の測定部位が若干変化することや、生体の状態と懸垂された枝肉の状態の違い、超音波測定の際にプローブを押し当てることによって皮下脂肪の形状が変化することが要因となり、海外の報告よりも低い相関係数の値を示したのではないかと考えられる。

一産取り肥育牛は、産後に肥育されるために脂肪がつきやすく、一般的な交雑牛と比較して皮下脂肪が厚い傾向がある。このような脂肪が多い肥育牛の 6-7 横断面の皮下脂肪の厚さは一定でないことがあり、現在の枝肉格付における皮下脂肪厚の測定方法では、その枝肉に対して相応な皮下脂肪の程度が測定できない場合がある。例として、同一の格付記録厚でも皮下脂肪の全体的な量が大きく異なる枝肉が見られることが挙げられる (図 2: どちらも格付記録厚は 2.6 cm)。これらのことより、6-7 横断面における皮下脂肪は、個体によっては一定の形状をしておらず、斉一性が低い形質であるため、本研究のように皮下脂肪蓄積の経時的な変化を検討する場合、1 か所の厚さによって最終的な皮下脂肪の程度を判断するのは困難な場合があると考えた。

そこで、一部の皮下脂肪面積を用いることで、皮下脂肪の程度を評価することが可能か検討した。各面積と格付記録厚およびミラー型厚との相関を表 3 に示す。10cm ミラー型面積と 10cm 超音波面積との相関係数は $r = 0.78$ と皮下脂肪厚のそれら ($r = 0.54$) より高くなり、より高い精度で皮下脂肪の程度を反映していることが示され

Table 2 Correlation coefficients among subcutaneous fat thicknesses by ultrasonding, grading and image analyzing

| | SFT by grading | SFT by image analyzing |
|---------------------|----------------|------------------------|
| SFT by ultrasonding | 0.67** | 0.54** |
| SFT by grading | — | 0.85** |

** ; $P < 0.01$, SFT : subcutaneous fat thickness

Table 1 Basic statistics of carcass, ultrasound image and mirror image traits

| Trait. | Mean \pm S.D. | Min. | Max. |
|------------------------------------|------------------|-------|-------|
| Age in months at first measurement | 24.5 \pm 1.7 | 23.0 | 29.3 |
| Age in months at final measurement | 33.8 \pm 1.7 | 32.3 | 38.7 |
| Weight at first measurement (kg) | 549.9 \pm 53.3 | 415.0 | 676.0 |
| Final weight (kg) | 872.8 \pm 82.0 | 676.0 | 992.0 |
| Carcass weight (kg) | 516.1 \pm 52.2 | 383.0 | 580.0 |
| SFT by ultrasonding (cm) | 2.4 \pm 0.4 | 1.5 | 3.0 |
| SFT by grading (cm) | 2.9 \pm 0.6 | 1.8 | 4.3 |
| SFT by image analyzing (cm) | 3.0 \pm 0.5 | 2.2 | 4.4 |

SFT : subcutaneous fat thickness.

た。10cm ミラー型面積および10cm 超音波面積と皮下脂肪全体面積との相関係数もそれぞれ $r = 0.80$ および 0.71 となり、10cm という一部分の皮下脂肪面積から皮下脂肪全体面積の推定が十分に可能であることが示された。したがって、本研究における皮下脂肪の蓄積推移の調査は10cm 超音波面積を用いて行うこととした。

2. 皮下脂肪量の推移の調査

全個体の10cm 超音波面積および超音波厚の平均値は、肥育期間に伴って同様の増加傾向を示した(図3)。図4に

皮下脂肪全体面積および10cm 超音波面積の各肥育期間における散布図を示す。肥育開始4ヵ月を境に相関係数が高くなり、この段階で皮下脂肪の面積が大きい個体は、最終的な皮下脂肪量も有意に多くなるという傾向が示された ($P < 0.05$)。本研究とは異なる交雑種一産取り肥育牛を供試牛として用いた中西ら(2003)は、枝肉に対する脂肪の割合は、肥育開始6ヵ月以降で増加する傾向を見せたが、有意ではなかったことを報告している。中西らの報告における供試牛のDGは6ヵ月の段階で0.88kgであったが、本研究における供試牛は1.12kgと高く、中西らの供試牛と比較して皮下脂肪の蓄積速度が速くなり、4ヵ月の段階で皮下脂肪の蓄積がおおよそ完了したのではないかと考える。

次に、皮下脂肪全体面積が100cm²以上の個体を皮下脂肪量が多い個体と定義したところ、26頭中11頭(A等級1頭、B等級9頭、C等級1頭)が抽出された。肥育中におけるこれらの個体の脂肪が大きく増加する期間を調査するため、各肥育期間の10cm 超音波面積の増加量と皮下脂肪全体面積との相関係数を求めたところ、相関係数は-0.16~0.55と低から中程度であり、肥育開始0-2ヵ

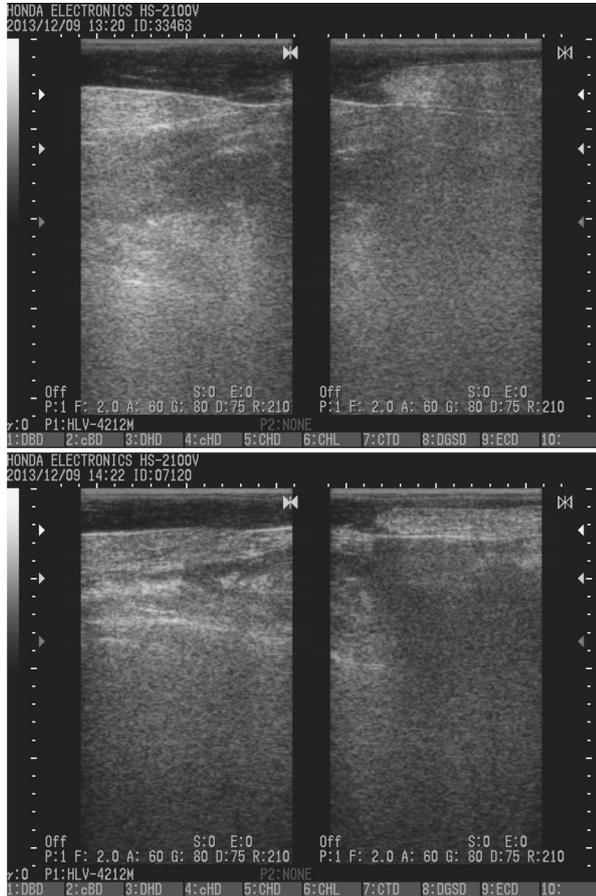


Figure 2 Ultrasounding image of F1 female at 11 days before slaughter with the same grading SFT (2.6cm).

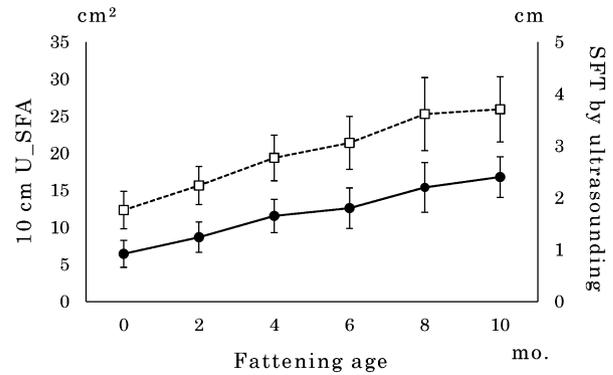


Figure 3 Means of 10cm subcutaneous fat area by ultrasounding (U_SFA) and subcutaneous fat thickness by ultrasounding (SFT) at each fattening period. □ : 10cm U_SFA by ultrasounding, ● : SFT by ultrasounding

Table 3 Correlation coefficients among subcutaneous fat thicknesses and subcutaneous fat areas by ultrasounding, grading and image analyzing

| | SFT by digital image analyzing | Total SFA | 10cm U_SFA | 10cm I_SFA |
|----------------------------------|--------------------------------|-----------|------------|------------|
| SFT by grading | 0.85** | 0.64** | 0.63** | 0.82** |
| SFT by digital image analyzing | — | 0.73** | 0.77** | 0.88** |
| Total SFA | — | — | 0.71** | 0.80** |
| SFA within 10cm by ultrasounding | — | — | — | 0.78** |

** ; $P < 0.01$, SFT : subcutaneous fat thickness, SFA : subcutaneous fat area, 10cm U_SFA : SFA along 10cm by ultrasounding, 10cm I_SFA : SFA along 10cm by image analyzing

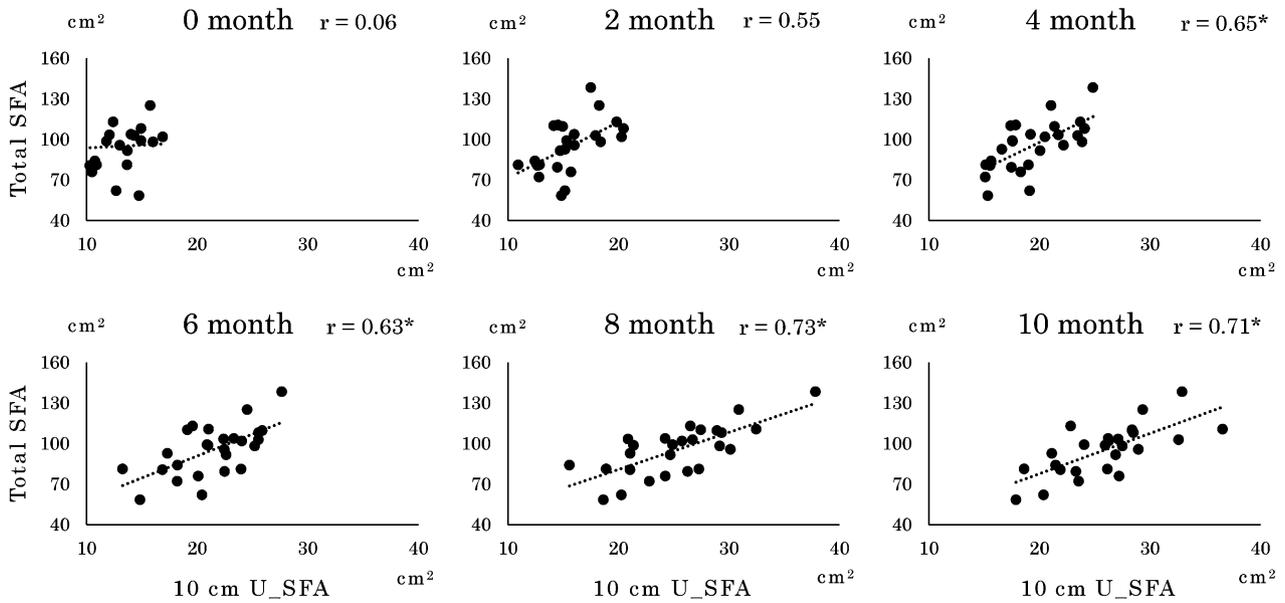


Figure 4 Relationships between total subcutaneous fat area (SFA) by digital image analyzing and 10 cm SFA by ultrasounding (U_SFA) at each fattening period.
* ; $P < 0.05$

月および6-8カ月の皮下脂肪面積増加量と屠畜後の皮下脂肪全体面積との間に有意な相関係数 ($P < 0.05$) が認められた (表4: それぞれ $r = 0.55$ および 0.41)。一産取り肥育牛は分娩した直後に肥育するため、肥育開始0-2カ月の間に摂取した飼料は脂肪として蓄積されやすく、今回認められた0-2カ月の皮下脂肪の増加量と最終的な皮下脂肪の程度との有意な相関係数を示したものと思われる。このような分娩直後の肥育初期に皮下脂肪量が大きく増加するのは、一産取り肥育牛の特徴かもしれない。

各肥育月齢における皮下脂肪全体面積の観測値と重回帰分析から得られた皮下脂肪全体面積の予測値との散布図を図5に示した。ステップワイズ法による重回帰分析の結果、各肥育月齢において表5の変数が選ばれた。肥育開始0カ月を除いたすべての肥育月齢で、3変数のうち1変数が当該または直近の体重、2変数が10cm超音波面積となった。肥育開始0カ月では推定値と皮下脂肪全体面積との間の決定係数が $R^2 = 0.12$ と低かったが、肥育開始2カ月では決定係数が $R^2 = 0.57$ と有意に高い値を示し ($P < 0.01$)、その後、肥育が進むにつれ決定係数は高くなった (10カ月で $R^2 = 0.83$; $P < 0.01$)。皮下脂肪量が多い11頭においても、肥育開始2カ月の段階でその約8割の個体 (11頭中8頭) が将来の皮下脂肪量の多さを予測された。なお、超音波2変数のうち、1変数は当該または直近の測定値、もう1変数は、肥育開始6カ月までは0カ月時の10cm超音波面積が選択され、その回帰係数の符号は負であった。この要因として、0カ月時の超音波測定タイミングが肥育開始前であり、肥育開始前の時点で皮下脂肪の薄い個体はその後の皮下脂肪の蓄積が多くなること

Table 4 Correlation coefficients between increment of 10 cm U_SFA by ultrasounding and total SFA by image analyzing

| Increment of 10 cm U_SFA | Total SFA |
|--------------------------|-----------|
| 0- 2 mo. | 0.55** |
| 2- 4 mo. | 0.33 |
| 4- 6 mo. | 0.11 |
| 6- 8 mo. | 0.41* |
| 8-10 mo. | -0.16 |

** ; $P < 0.01$, * ; $P < 0.05$

を示唆した。また、当該または直近の10cm超音波面積の回帰係数が正であったことは、この期間の皮下脂肪の増加量を反映したものかもしれない。肥育開始8カ月以降は、2カ月時ならびに当該または直近の10cm超音波面積が選択された。このことより、肥育開始2カ月までの毎測定時の体重および10cm超音波面積から、最終的な皮下脂肪量を十分に推定し得ることが示唆された。

3. 結論

以上のことから、画像上の10cm面積を用いることで、皮下脂肪全体面積の推定が十分に可能であることが示された。また、肥育開始2カ月の段階で最終的な皮下脂肪量の傾向を把握することが可能であることが示唆された。この結果を利用し、最終的に皮下脂肪が厚くなる可能性がある個体については、飼料の量などを制御することで余剰な皮下脂肪の蓄積を抑制できる可能性が示唆された。

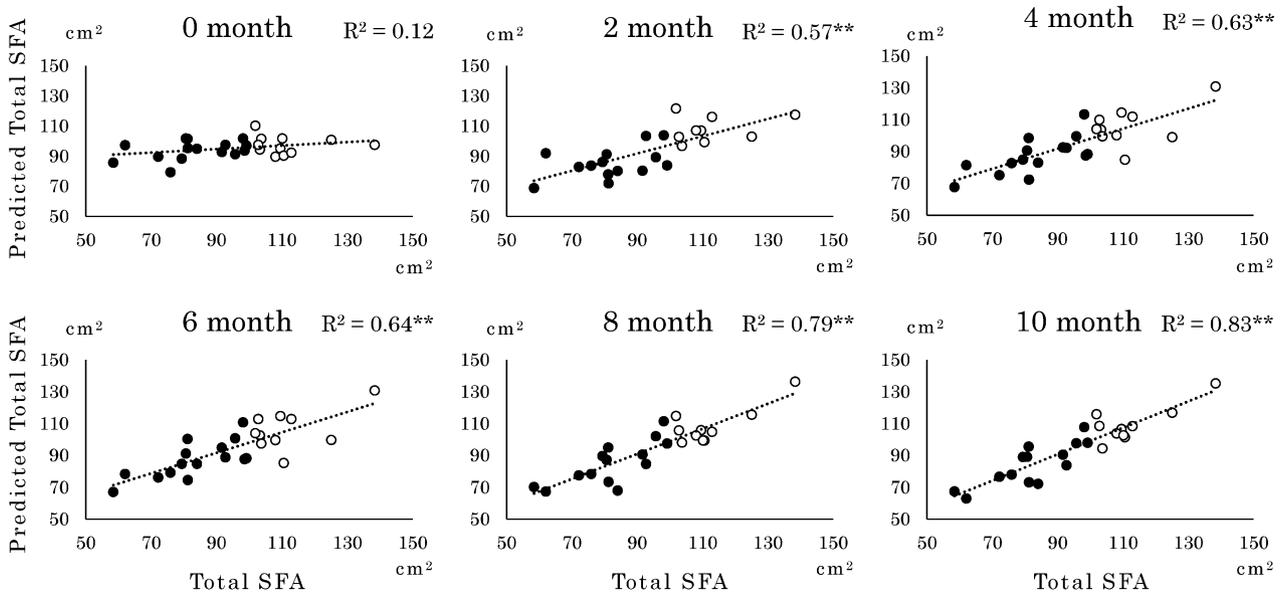


Figure 5 Accuracy of prediction for the subcutaneous fat area (SFA) of image analysis (selected variables were shown in Table 4).

** ; $P < 0.01$, ○ : Over 100 cm² SFA by digital image analyzing

Table 5 Selected variables with their signs (in parenthesis) in the multiple regression analysis to predict subcutaneous fat area by image analyzing

| Fattening age | R ² | Selected variables |
|---------------|----------------|---|
| 0 mo. | 0.12 | Body weight at 0 mo. (+) |
| 2 mo. | 0.57** | Body weight at 0 mo. (+), 10cm U_SFA at 0 mo. (-), 10cm U_SFA at 2 mo. (+) |
| 4 mo. | 0.63** | Body weight at 4 mo. (+), 10cm U_SFA at 0 mo. (-), 10cm U_SFA at 4 mo. (+) |
| 6 mo. | 0.64** | Body weight at 6 mo. (+), 10cm U_SFA at 0 mo. (-), 10cm U_SFA at 4 mo. (+) |
| 8 mo. | 0.79** | Body weight at 6 mo. (+), 10cm U_SFA at 2 mo. (+), 10cm U_SFA at 8 mo. (+) |
| 10 mo. | 0.83** | Body weight at 10 mo. (+), 10cm U_SFA at 2 mo. (+), 10cm U_SFA at 8 mo. (+) |

** ; $P < 0.01$, R² : Determination coefficient.

文 献

Brethour JR. 1992. The repeatability and accuracy of ultrasound in measuring backfat of cattle. *Journal of Animal Science* **70**, 1039-1044.

Campbell EA, White A. 1968. Estimation of total muscle in live cattle using ultrasonic measurements. *Australian Veterinary Journal* **44**, 97-100.

福田孝彦, 岡垣敏正. 2008. 鳥取和牛の高産生産技術の確立 (第1報). 鳥取県農林水産部農林総合研究所畜産試験場研究報告 **36**, 1-8.

Greiner SP, Rouse GH, Wilson DE, Cundiff LV, Wheeler TL. 2003. The relationship between ultrasound measurements and carcass fat thickness and longissimus muscle area in beef cattle. *Journal of Animal Science* **81**, 676-682.

原田 宏. 1996. 肉用牛および豚の屠肉形質推定への超音波利用. 日本畜産学会報 **67**, 651-666.

堀 武司, 波 通隆, 本間稔規, 口田圭吾, 宝寄山裕直, 酒井稔史, 小高仁重. 2005. 画像処理による牛枝肉品質自動計測装置の

開発. 北海道立工業試験場報告 **304**, 1-8.

川西隆智, 秋山 清, 宮下泰人. 1992. 交雑牛による肉用牛一貫生産体系に関する試験 (3). 神奈川県畜産試験場研究報告 **82**, 52-60.

宮腰雄一, 本間暁子, 梅崎 薫, 森山則男. 1995. 超音波肉質測定装置を利用した黒毛和種肥育牛の早期肉質判定. 日本畜産学会北陸支部会報 **70**, 5-8.

中台隆寛, 西尾康宏, 緒方三華, 口田圭吾. 2011. 交雑種雌牛に黒毛和種受精卵を移植する一産取り肥育における枝肉特性の調査. 肉用牛研究会報 **90**, 51-53.

中西直人, 青木康浩, 山田知哉, 河上眞一, 山崎敏雄. 2003. 放牧を利用した一産取り肥育における交雑種雌牛の産肉性の変化. 日本畜産学会報 **74**, 51-56.

日本食肉格付協会. 2014. 牛枝肉格付結果 品種別・性別ごとの格付結果. 日本食肉格付協会, [2015年2月アクセス]. <http://www.jmga.or.jp/result/ushi-hinshu.html>

額田和敬, 小福田満郎, 森 大二. 1994. 交雑種肉利用技術の確立 (2). 岡山県総合畜産センター研究報告 **5**, 25-41.

SAS. 1990. *SAS/STAT (R) User's Guide* Version 6 4th edn. pp. 1351-1456. SAS Institute Inc, Cary, NC.

Smith MT, Oltjen JW, Dolezal HG, Gill DR, Behrens BD.

超音波による皮下脂肪の経時推移

1992. Evaluation of ultrasound for prediction of carcass fat thickness and longissimus muscle area in feedlot steers. *Journal of Animal Science* **70**, 29-37.
- Stouffer JR, Wallentine MV, Wellington GH, Diekmann A. 1961. Development and Application of Ultrasonic Methods for Measuring Fat Thickness and Rib-Eye Area in Cattle and Hogs. *Journal of Animal Science* **20**, 759-767.
- Stouffer JR, Westervelt RG. 1977. A review of ultrasonic applications in animal science. *Journal of Clinical Ultrasound* **5**, 124-128.
- 徳丸元幸, 久徳輝幸, 山元隆志, 川久保耕三, 横山喜世志. 2001. 超音波測定による去勢肥育牛の発育様相ならびに脂肪交雑等級の早期予測. 鹿児島県肉用牛改良研究所研究報告 **6**, 9-14.
- Watkins JL, Sherritt GW, Ziegler JH. 1967. Predicting body tissue characteristics using ultrasonic techniques. *Journal of Animal Science* **26**, 470-473.
- Zembayashi M. 2001. Effect of suckling on growth and quantitative and qualitative carcass traits of one-calved heifers. *Meat Science* **58**, 277-282.