

新たな流通戦略を目指した肉用牛の品質評価システムの開発

— 超音波による肥育牛の栄養度判定 —

新居 康生・岡久 靖司・林 和徳

要 約

超音波診断装置を用い、肥育牛の体表5部位（第6, 7肋間上下, 第13肋骨, 尾根, 尻部皮下脂肪厚, ロース芯面積, 脂肪交雑基準 (BMSNo.), 筋間脂肪厚, パラ厚について経時的 (10, 13, 16, 18, 20, 24, 27, 30ヶ月齢) に測定を行い、それぞれに影響する要因と格付成績, 画像解析値との関連性を最小自乗分散分析により解析を行った。結果, ビタミンA濃度との関連性が第13肋骨, 尻部, 尾根部, ロース芯面積, BMSNo. 推定値において高いことや測定月齢の影響が大きい第6, 7肋間下, 尻部, 尾根部皮下脂肪を肥育牛の栄養度を判定する部位として特定した。また, 画像解析値と皮下脂肪との関係では第6, 7肋間下皮下脂肪と画像解析によるロース芯内脂肪率, 尾根部皮下脂肪とロース芯内の粒子数との関連性が高く, 第6, 7肋間下皮下脂肪を16mm以上にすることは脂肪率を向上する効果が高いことや尾根部皮下脂肪を20mm以上にすることによって粒子数を少なくする (大ザシ) 効果が高いことが判明した。また, 第13肋骨, 尾根部, 尻部皮下脂肪厚から重回帰分析により求めた血中ビタミンA値と実測値との相関は0.73 ($p < 0.01$) であり, 超音波皮下脂肪測定値から血中ビタミンA濃度の推定が可能であると考えられた。更に, 出荷牛の超音波ロース芯画像についてテクスチャー解析を利用したロース芯内脂肪率の推定を試みたところ, 逆差分モーメントが最も高い関係であった ($r = 0.61, p < 0.01$)。

目 的

徳島県は中国四国地域において有数の肉牛肥育県であるとともに, 関西地区への牛肉供給基地となっている。更に銘柄牛「阿波牛」を有し, ブランド化を図っているが, その飼養方法については極めて閉鎖的であり一般には開放されていない。一方, 子牛市場においては十分粗飼料を食い込んだ牛よりも, 早くから濃厚飼料多給で飼育された, いわゆる“見たために発育良好な子牛”の方が市場で偏重される傾向にあり, 皮下脂肪, 筋間脂肪の厚い子牛が増えているのが現状である。

特に枝肉流通において脂肪交雑を偏重する余り, 肥育開始直後から濃厚飼料多給による枝肉脂肪過剰蓄積や代謝疾患が発生しており, 牛の栄養状態を客観的に判断することが求められている。

超音波診断については古くから肉牛の生体評価方法として利用され, 特に枝肉価格の決定に大き

な影響を及ぼす脂肪交雑基準の判定に超音波診断装置が利用され, 多くの試験研究機関でもそれに関する報告はなされているが¹⁾²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾¹⁰⁾¹¹⁾¹²⁾, 依然として, その判定には熟練を要し, BMSNo. の判定は非常に高度な技術といえる。

今回, 超音波診断装置を利用し, 経時的に肥育牛の皮下脂肪厚等の測定を行い, 枝肉成績等との関連性について調査を行うことで肥育牛の栄養度判定に係る検討を行った。

材料及び方法

超音波診断機器はスーパーアイミート900型 (株富士平工業) を用い, 徳島県立農林水産総合技術センター畜産研究所肉畜分場, 高知県畜産試験場, 愛媛県畜産試験場, 高知大学及び農家肥育牛128頭について実施した。なお対象品種は高知県畜産試験場, 高知大学が褐毛和種, 他は黒毛和種, F1 (黒毛和種とホルスタインの交雑種) を

用いた。超音波測定条件はBモード画像においてメインゲイン 53, コントラスト 4 とし, イコライザーの設定は写真 1 に示すとおりとした。超音波測定部位は図 1 に示すように①の部位で皮下脂肪厚, ロース芯面積, BMSNo., ②の部位で皮下脂肪厚, 筋間脂肪厚, バラ厚を③~⑤部位では皮下脂肪厚の測定を行った。測定時期は導入月齢を 10 ヶ月齢, 出荷月齢を 30 ヶ月齢と想定し, 定期的 (10, 13, 16, 18, 20, 24, 27, 30 ヶ月齢) に測定を行った。なお, 計測は超音波診断装置から静止画像記録装置 MV シリーズ (株 TEAC) 光磁気ディスク (MO) に取り込んだデジタル画像を用い, 同社製画像解析ソフト PL-A7500J により行った。定期調査終了後, 出荷した牛についてドーム型撮影装置⁷⁾, デジタルカメラ (Nikon coolpix950) により格付面の写真が採取できたものについては画像解析ソフト Ribeye, 脂肪交雑評価用ソフト Marbling, arasa プログラム (帯広畜産大学 口田圭吾)⁸⁾⁹⁾, Popimaging (㈲デジタル・ビーング・キッズ) によりロース芯内脂肪率, 脂肪交雑粒子の粗さを計測した。なお, 一般的画像処理は Photoshop (Adobe 社) を用いた。



写真 1 超音波イコライザー設定状況

調査項目は図 1 に示す皮下脂肪厚, ロース芯面積, 筋間脂肪厚, バラ厚, BMSNo. を測定し, 枝肉成績, 画像解析値との関連性について解析を行うとともに, 一部, 血中ビタミン A 値についても併せて解析を行った。



図 1 測定部位及び項目

また定期調査の終了した肥育牛及び県内外の出荷牛 79 頭について画像解析ソフト Popimaging により MO に取り込んだ超音波画像のロース部位についてテクスチャー解析を行い, 出荷後の枝肉について Marbling で算出したロース芯内脂肪率との関連性について解析を行った (図 2, 3)。テクスチャーの解析方法は空間濃度レベル依存法 (エネルギー, エントロピー, 相関, 局所一様性, 慣性), 濃度レベル差分法 (コントラスト, 角度別 2 次モーメント, エントロピー, 平均, 逆差分モーメント) により実施した。空間濃度レベル依存法は, 画像における濃度 i の画素から θ 方向に距離 d だけ離れた画素の濃度が j である確率 $P(i, j)$, ($i, j = 0, 1, 2, \dots, n-1$) を要素とする同時生起行列を求め, その行列から次に示すテクスチャーの特徴を求める方法であり, エントロピー計算における \log は自然対数 (底 = e) を用いている。濃度レベル差分法は, ある画素から θ 方向に距離 d だけ離れた画素の濃度差が k である確率 $p(k)$, ($k = 0, 1, 2, \dots, n-1$) を要素とする行列を求め, その行列から次に示すテクスチャーの特徴を求める方法であり, エントロピー計算における \log は自然対数 (底 = e) を用いている。Popimaging では, θ として $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$ の 4 方向, d として 1, 2, 4, 8 の 4 種類の距離を利用しており, 距離 d は解析サイズとして変更することができる。今回, 使用した条件は色: 青, 距離 d : 1 とした。また, 出力データは $0^\circ, 45^\circ,$

90°, 135°の4方向の値が算出され、これに対する逆数、対数、対数の逆数値も併せて算出した。なお、超音波画像については同一牛、同一条件下においても牛の僅かな挙動により得られる画像がその都度、若干異なるため、1頭につき3画像を選び、それぞれについてテクスチャー解析を行い、その平均の値を元に解析を行った。

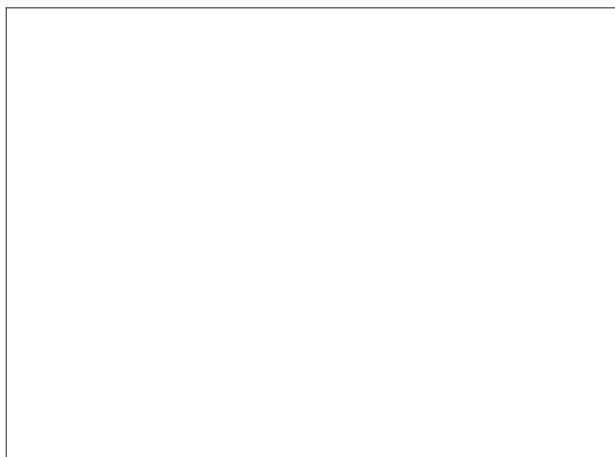
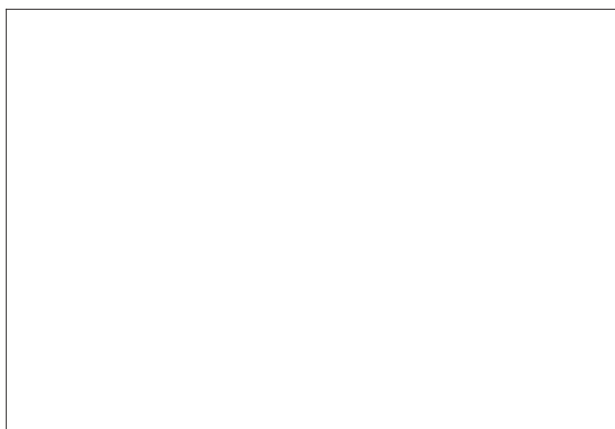


図2. 画像解析ソフト Popimaging



脂肪交雑粒子割合 : 46.32% (脂肪交雑粒子面積 0.1 cm²以上)

図3. ロース芯内脂肪率の算出 (Marbling)

結果及び考察

(1) 皮下脂肪厚

皮下脂肪厚については体表5部位とも肥育の進行とともに漸増傾向にあった(図4, 5, 6)。

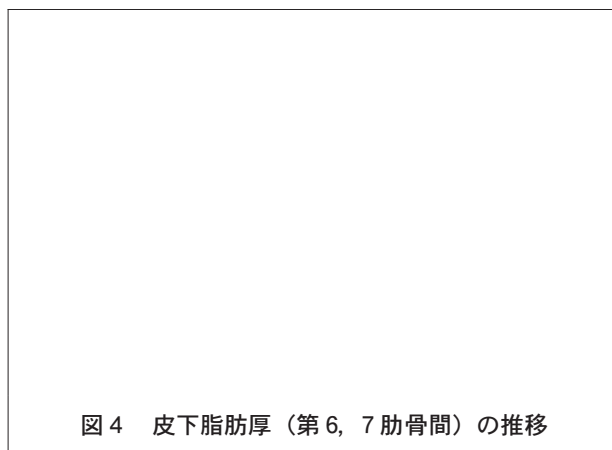


図4 皮下脂肪厚(第6, 7肋骨間)の推移

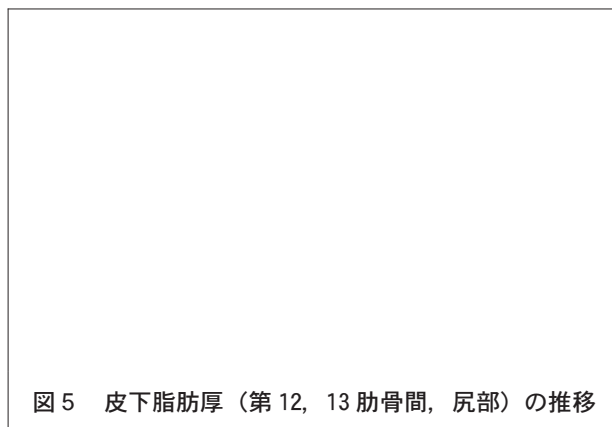


図5 皮下脂肪厚(第12, 13肋骨間, 尻部)の推移



図6 皮下脂肪厚(尾根部)の推移

n=40, 延べ288頭

(2) バラ厚, 筋間脂肪厚

バラ厚, 筋間脂肪厚については皮下脂肪厚に比べ, バラツキは小さく推移する傾向にあった(図7)。筋間脂肪厚は数値に若干, 変動が認められ, 測定部位が無意識の内になされたものと思われた。また, バラ厚については肥育の進行とともに部位の特定が判断しづらくなった。

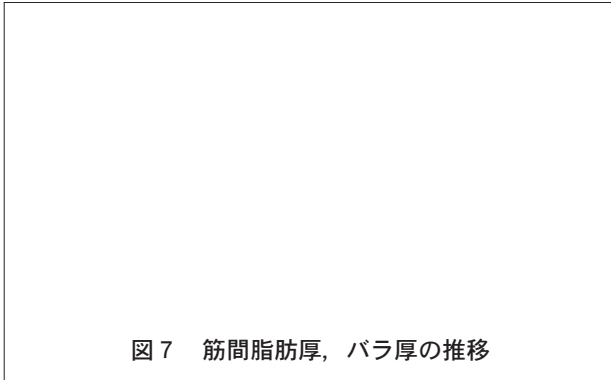


図7 筋間脂肪厚, バラ厚の推移

(3) ロース芯面積

ロース芯面積は加齢と共に増加傾向にあった(図8)。



図8 ロース芯面積の推移

また、出荷が終了した39頭について20ヶ月齢時のロース芯面積、体高、胸囲、筋間脂肪厚から重回帰分析(重回帰式: 出荷時ロース芯面積 = 1.229436×20 ヶ月齢ロース芯面積 + $0.102084 \times$ 筋間脂肪厚 + $0.204985 \times$ 体高 - $0.26625 \times$ 胸囲 + 22.75619)により出荷時ロース芯面積の推定を行った(図9)。その結果、20ヶ月齢時のロース芯面積、体高、胸囲、筋間脂肪厚から出荷時ロース芯面積の推定が可能であると考えられた。

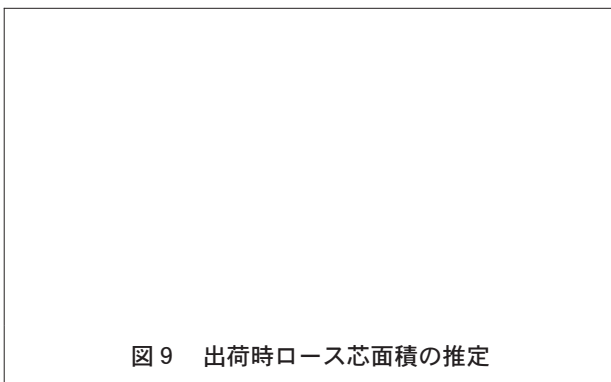


図9 出荷時ロース芯面積の推定

(4) 脂肪交雑基準値(BMSNo.)

肥育が終了し、枝肉成績が判明した54検体の脂肪交雑等級別のBMSNo.の推移を図10に示す。18ヶ月齢と20ヶ月齢の超音波画像を比較すると出荷後、高成績(BMSNo.10)であったものは18ヶ月齢の段階で既にロース芯内に脂肪交雑粒子の増加が確認されたが、逆に成績が悪かった牛(BMSNo.2)については20ヶ月齢時点でもロース芯内には脂肪交雑粒子の増加は確認されなかった。表1に20ヶ月齢時点で推定したBMSNo.と格付員により判定された格付値(BMSNo.)との関係を示す。20ヶ月齢でBMSNo.2と判断された牛が出荷後もBMSNo.が変わらず2であったものは6検体、3へ1つ良くなったものは11検体、4となったものは2検体認められた。一方、20ヶ月齢で4以上に判断された牛で、出荷後の格付が4等級以上であったものは15検体中、12検体であった。このことから20ヶ月齢時点で4以上と判断された牛については出荷後において好成績が期待できる反面、3以下、特に2以下に判断された牛については肉質面であまり期待ができないことから肉量を重視した早期出荷等の飼養管理に切り換える等の処置が適当であると思われた。このように20ヶ月齢時点で判断することは、早期の肉質判定による効率的飼養管理の改善が期待できる一方、超音波画像からBMSNo.を判定する技術者側にとっても出荷時の画像に比べ、判断し易いといったメリットがあると思われた。特に経験が浅い技術者にとっては、この時点であればおよそBMS



図10 脂肪交雑等級別のBMSNo.の推移

表1 20月齢 BMSNo. 推定値と枝肉 BMSNo. (格付値) との関係

	枝肉 BMSNo. (格付値)							
	2	3	4	5	6	7	8	9
20月齢 BMSNo. 推定値	2	6	11	2				
	3		5	10	3	1		1
	4		1	2	4	2		
	5				1	1	1	1
	6					1		1

n = 54

No. 5 の範囲内と想定されるため、より少ない選択肢の中で判断し易い画像が得られるということは大きな利点であると考えられる。

(5) 皮下, 筋間脂肪, ロース芯面積, BMSNo. に影響する要因の検討

経時的に測定した皮下, 筋間脂肪厚, ロース芯面積, BMSNo. について, それぞれに影響する要因を最小自乗分散分析で解析した結果, ビタミン A 濃度との関連性が第 13 肋骨, 尻部, 尾根部, ロース芯面積, BMSNo. 推定値において高いことや測定月齢の影響が大きい第 6, 7 肋間下, 尻部, 尾根部皮下脂肪を肥育牛の栄養度を判定する部位として特定できた (表 2)。

表2 肥育牛の超音波測定値に対する影響要因の推定

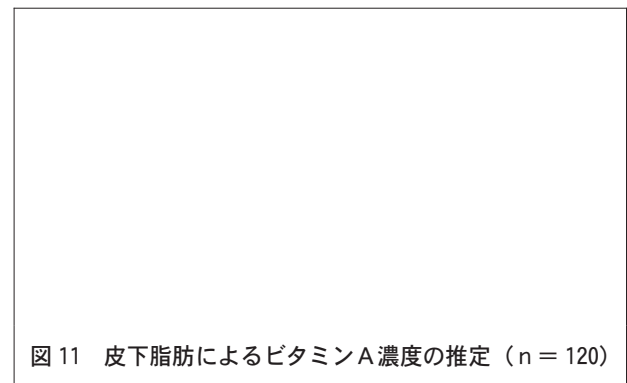
項目	最小自乗分散分析 F 値						
	第 6 肋骨上部	第 6-7 肋骨下部	第 13 肋骨部	尻部	尾根部	ロース	BMSNo.
種雄牛 (遺伝的要因)	11.01**	7.474**	12.55**	11.29**	21.08**	16.75**	8.30**
品種	3.26*	16.03**	33.15**	1.89	33.88**	12.65**	1.88
生年	0.67	1.13	6.55*	1.73	5.99*	0.79	0.02
性別	1.18	2.23	2.38	3.34	3.44	0.62	0.43
VA濃度測定区分	1.14	0.46	2.16**	1.73*	1.84*	1.79*	2.05*
測定月齢 L	6.27**	8.11**	6.89**	25.44**	15.03**	38.07**	23.49**
測定月齢 Q	0.47	0.18	0.10	1.09	0.00	1.57	3.80

VA濃度測定区分: 測定月齢, 濃度により水準値化

- 測定区分: 11 月齢以下区, 12 ~ 15 月齢区, 16 ~ 20 月齢区, 21 ~ 25 月齢区, 26 月齢以上区 = 水準値 1 ~ 5
- VA濃度水準: 0-50IU/dl 区, 51-75IU/dl 区, 76-100IU/dl 区, 101-125IU/dl 区, 125IU/dl 以上区 = 水準値 1 ~ 5

(6) 皮下脂肪厚測定による肥育牛生体のビタミン A 濃度の推定

黒毛和種, 褐毛和種を対象とした超音波皮下脂肪測定値と肥育牛生体 (10 ~ 28 ヶ月齢) の血中ビタミン A 濃度の関連性を重回帰分析で解析した結果, 超音波による第 13 肋間部, 尾根部, 尻部皮下脂肪値, 最小自乗分散分析による効果値で補正した品種を説明変数に加えることによって, ビタミン A 濃度を推定することが可能であった (重回帰式: ビタミン A 濃度 = $-0.52 \times$ 第 13 肋骨皮下脂肪厚 $- 0.66 \times$ 尻部皮下脂肪厚 $- 0.71 \times$ 尾根部皮下脂肪厚 $+ 122.49$) (図 11)。



(7) 肥育牛生体の超音波測定による皮下脂肪厚と枝肉成績, 画像解析値との関連性

肥育牛の超音波測定による皮下脂肪厚と枝肉成

績、画像解析値と皮下脂肪の関連性の関連性を最小自乗分散分析で解析した結果、第6、7肋間下皮下脂肪と画像解析によるロース芯内脂肪率、尾根部皮下脂肪とロース芯内の粒子数との関連性が高く、第6、7肋間下皮下脂肪を16mm以上にする

ことは脂肪率を向上する効果が高いことや尾根部皮下脂肪を20mm以上にすることによって粒子数を少なくする（大ザシ）効果が高いことが判明した（表3）。

表3 肥育牛の画像解析値に対する影響要因の推定

項目	最小自乗分散分析 F値				
	脂肪率	粒子数	形状係数	粗さ値	あらさ指数2
遺伝的要因（種雄牛）	14.582**	8.129**	8.735**	13.793**	23.854**
第6－7肋間上皮下脂肪	0.901	0.667	1.069	0.798	0.631
第6－7肋間下皮下脂肪	2.756**	0.655	1.112	1.151	0.91
第12－13肋間上皮下脂肪	1.331	1.404	1.258	0.153	0.334
尾根部皮下脂肪	0.953	1.854*	0.775	0.83	1.075
尻部皮下脂肪	1.218	1.276	0.895	1.55	0.558
出荷年	1.468	0.766	0.46	5.156*	21.497**
性別	0.77	0.276	0.037	0.477	2.009
測定区分	5.59**	2.969*	2.913*	2.402	0.4
REGRESSIONS					
出荷齢 L	2.299	2.895**	2.834	0.003	34.467**
出荷齢 Q	2.289	1.453	0.265	19.735**	0.866

•測定区分：11月齢以下区，12～15月齢区，16～20月齢区，21～25月齢区，26月齢以上区

(8) 画像解析ソフトPopimagingによるテクスチャー解析

超音波画像の輝度に係る画像解析を利用したBMS評価の試みは撫ら¹⁰⁾、原ら¹¹⁾により報告がされているが、Popimagingを利用したテクスチャー解析の試みは川田ら¹²⁾が行っている。川田らが超音波診断装置の500型を用いたのに対し、今回は、900型を使用し、Popimagingはバージョンアップ版(Ver. 3.10)を用いた。これにより従来は矩形領域に対するテクスチャー解析しか行えなかったものが、任意領域の形状に対する解析が可能となった。また川田らはテクスチャー解析とBMSNo.との関連性について報告しているが、今回はテクスチャー解析とロース芯内脂肪率について検討を行った(表4、図12)。ロース芯内脂肪率は脂肪

交雑粒子の大きさ毎(全体，0.01，0.05，0.1，0.5，1cm²以上)に算出しており、今回、テクス

表4 テクスチャー解析とロース芯内脂肪率との関連性

解析項目	相関係数	解析値
逆差分モーメント	0.61**	1/対数
平均	0.58**	対数
コントラスト	0.55**	1/対数
慣性	0.55**	1/対数
エントロピー	0.53**	1/対数
相関	0.51**	1/対数
局所一様性	0.50**	1/対数
角度別モーメント	0.46*	1/対数
エネルギー	0.24	1/対数

n = 79

図 12 ロース芯内脂肪率と超音波推定値の関係

チャー解析値と最も関連性が高かったのは粒子面積 1 cm²以上のものであった。解析項目の中で逆差分モーメントが最も高い関係を示したが、あまり高い相関は得られなかった。医療分野ではテクスチャー解析を利用した超音波乳房画像診断に係る報告がされているが¹⁶⁾、肉牛の BMSNo. 評価については今回の試みでは実用レベルの結果は得られなかった。

ま と め

肥育牛への超音波診断の応用は国内では原田らを中心とした取り組みにより、またそれと併せた機器の軽量、コンパクト化が図られたことにより、今では全国の試験研究機関において機器の導入が進み、その手法についてもほぼ確立されたかのように思われる。しかし、昨今の種雄牛の、特に脂肪交雑を中心とした急激な改良が進むにつれ、ロース芯内の脂肪率が 40% を超える肥育牛も珍しくなくなってきた。このことにより従来、超音波画像において BMSNo. を推定する際、最も考慮されていたロース芯内の脂肪割合だけではなく、新たに脂肪交雑粒子の粗さといったものの判断基準が必要となってきた。今回、枝肉のロース芯断面のデジタル写真が採取できた検体について一部、画像解析によるロース芯内脂肪率の推定という試みも実施したが、最終は肉眼的判断によるところが大きいものと思われる。また超音波画像から BMSNo. を推定する際、通常、既に BMSNo. の判明している超音波画像との対比により判断を

行っているが、BMSNo. ではなくロース芯内脂肪率、脂肪交雑粒子の粗さ値等との比較を行うことにより、より正確な判断が可能になるものと思われる。特に問題点として出荷時 BMSNo. 推定値と格付値に 2 以上の差異を認めた検体が若干、認められたこと、更に同じ BMSNo. であってもロース芯内脂肪率にバラツキ(表 5)¹³⁾ が存在することから、超音波画像から BMSNo. を推定する際は格付値との対比ではなく、画像解析値(ロース芯内脂肪率、脂肪交雑粒子の粗さ値)を用いた方が客観的な判断基準として妥当であると思われる(図 13)。また、数枚の静止画像からは得られる情報量に限りがあり、脂肪交雑粒子の粗さ、極めの細かさ等といったものについては判断が非常に困難であり、既に他の試験研究機関においてはビデオ機器を用いた動画による判断手法について検討しているところも増えつつある¹⁴⁾¹⁵⁾。今後は更に画像解析を利用したロース芯内脂肪率等、更にパソコンに取り込んだデジタルビデオカメラによる動画画像を組み重ねる事で超音波診断技術の精度向上を図っていく必要があると思われる。

また、今回、肥育牛の BMSNo. を含めた皮下脂肪厚等の測定を経時的に行ったことにより第 6, 7 肋間皮下脂肪厚を 16mm 以上にする事でロー

表 5 四国内格付成績の BMSNo. と画像解析による脂肪率の年度推移

BMSNo.	スタンダード脂肪率	脂肪率 (%)		
		H13 年度	H14 年度	H15 年度
2	3.3	17.50±4.57(5)	16.45±4.84(19)	12.23±4.88(13)
3	6.7	21.69±4.27(27)	22.30±4.34(56)	22.42±4.78(56)
4	10.0	28.63±3.77(29)	30.80±4.20(43)	26.70±3.90(31)
5	13.3	31.15±4.18(19)	34.86±4.68(31)	32.40±3.02(23)
6	16.7	34.47±3.06(12)	37.16±5.44(15)	33.41±2.84(8)
7	20.0	38.39±5.00(12)	38.18±4.25(7)	39.60±3.81(8)
8	23.3	38.87±5.23(11)	44.99±5.58(6)	38.40±2.75(5)
9	26.7	42.65±5.69(5)	45.13±2.84(3)	43.54±3.34(5)
10	30.0	49.81±4.28(2)	45.97	(1) 43.40±3.54(3)

() は検体数

ス芯内の脂肪率が向上する効果が高いこと、尾根部皮下脂肪厚を 20mm 以下に抑えることで脂肪交雑粒子が細くなる効果が高いことが判明したが、現場レベルでの利用を考えた場合、簡易皮下脂肪厚測定器等の試用が可能になれば繁殖牛を含めた肉用牛の簡易栄養診断も今後、可能になるものと思われる。

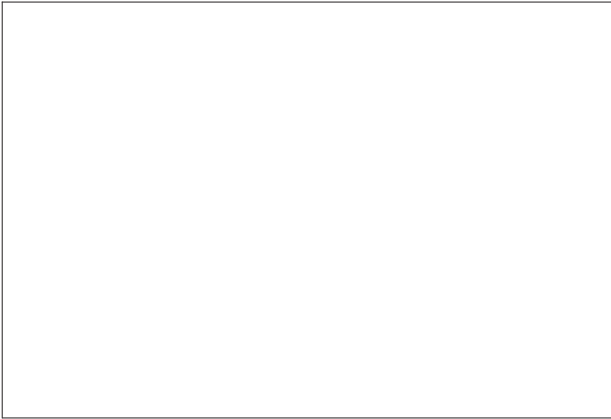


図 13 超音波画像と画像解析値

参考文献

- 1) 氏家ら 宮城県畜試研報, 4:1-6. 1990
- 2) 梅北ら 鹿児島県畜試研報, 25:41-47. 1993
- 3) 原田ら 和牛 :3-11. 1995
- 4) 宮腰ら 新潟県畜試研報, 11:17-22. 1995
- 5) 原田ら 日畜会報, 67:651-666. 1996
- 6) 徳丸ら 鹿児島県肉用牛改良研研報, 6 : 9-14. 2001
- 7) 口田ら 日本畜産学会報, 71:224-231. 2001
- 8) 口田ら 日本畜産学会報, 68:853-859. 1997
- 9) 口田ら 日本畜産学会報, 68:878-882. 1997
- 10) 畜産技術協会 肉用牛高度肥育技術確立推進事業マニュアル, 9. 1998
- 11) 原ら 福島県畜試研報, 10:41-44. 2003
- 12) 川田ら 日本畜産学会報講演要旨, 106. 2002
- 13) 新居ら 徳島畜研研報, 3:44-47. 2003
- 14) 宮島 畜産技術, 544:11-15. 2000
- 15) 川田 臨床獣医, 9:60-64. 2003
- 16) 長澤ら 第17回医療情報学連合大会, 17th. 1997