

# 超音波肉質診断技術に基づいた肉牛肥育診断システムの確立に関する研究

川田智弘<sup>1)</sup>、枝野龍之<sup>2)</sup>、堀井美那<sup>3)</sup>、半田真明<sup>4)</sup>、蓼沼亜矢子<sup>4)</sup>、阿久津友紀子、白井幸路、野沢久夫、岡英雄<sup>2)</sup>

1)現 那須農業振興事務所、2)現 産業技術センター、3)現 県南家畜保健衛生所、4)現 県北家畜保健衛生所

## 要 約

肉牛肥育診断システムの確立のため、超音波診断画像のコンピュータ解析技術利用により、黒毛和種去勢肥育牛を経時的に超音波診断し、産肉形質の変化を分析した。この結果、産肉形質の経時的発達パターンと枝肉成績との間に関係が見られ、胸最長筋面積は20～22ヶ月齢で枝肉成績の判定が可能であることが判明した。また、脂肪交雑は20ヶ月齢時点において枝肉格付の判別は可能であるが、肥育末期において脂肪交雑の発達を示唆されたことから、BMS No. の推定には24～28ヶ月齢における複数回の測定が有効であることが判明した。また、肥育牛の血統による胸最長筋面積、脂肪交雑の発達ピークの違いにより、各産肉形質の発達パターンと遺伝的背景との関連性が示唆された。

なお、コンピュータ上で、各産肉形質の計測および脂肪交雑等級の客観的自動判定が可能な解析システムを試作した。このシステムで、脂肪交雑について超音波診断により格付値との間に概ね80%程度の精度で推定値を得ることが出来た。

## 目 的

肉用牛の肥育技術向上には、肥育期間中における産肉形質の変化を把握し、これと血統や飼養環境との関係性を解明することが重要である。これに対し、超音波が生体内を伝播する際に物理的特性の異なる組織の境界面で反射される特性を利用し、肥育途中の肉牛の生体内を非破壊的に測定して産肉成績を推定する試みが行われている。我が国では、土屋ら<sup>1)</sup>、原田ら<sup>2)</sup>、渡辺ら<sup>3)</sup>により皮下脂肪厚、胸最長筋面積、脂肪交雑の測定等に関する先駆的な研究が試みられ、その後、電子リニア式診断装置を用いてLellahら<sup>4)</sup>、宮島<sup>5)</sup>、徳丸ら<sup>6)7)</sup>が超音波診断を用いた枝肉形質の早期推定に関する報告を行っており、その有効性が実証されている。しかし、超音波診断では、技術者によって計測値や判定評価にバラツキがみられることから、これまで、肉用牛改良における利用は必ずしも進んでいるとは言えない。

我々は、これまで超音波を利用した肉用牛の肉質診断技術について研究を行い、高精度での診断技術の確立を図っており、また、肉質の診断基準作成や技術講習会などを通して技術の平準化を進めている。その一つとして、超音波診断画像をコンピュータを利用して解析する技術を検討し、肥育牛の枝肉形質を客観的かつ高精度に判定できることを報告した<sup>8)</sup>。一方、栃木県では、超音波肉質診断装置を、県内6カ所の農業振興事務所に配備し、肥育農家の指導に利用している。しかし、肥育農家にとって非常に有用な技術である超音波肉質診断技術も、現状では十分な活用がなされているとは言い難く、これは、

技術の習熟や人手不足・産肉生理に基づく基準となる診断データの不足などが原因と考えられる。また、我々が検討したコンピューター画像解析による脂肪交雑推定方法は、汎用の画像解析ソフトを用いているために、作業が繁雑であり、フィールドでの診断において利用するためには専用の診断システムを開発する必要がある。

そこで、本研究では、我々が検討したコンピューター画像解析方法による超音波診断技術を活用し、黒毛和種去勢牛の肥育期間中における枝肉形質の経時的変化の解析から、その変化パターンと枝肉成績や遺伝的背景との関係について解明するとともに、畜産技術者が肥育農家に対し超音波肉質診断に基づく技術指導を行う際の、支援技術としての客観的な肥育診断システムを確立することを目的とした。なお、本研究のうち、肥育診断システムの開発については栃木県産業技術センターとの共同研究とした。また、本論文の内容の一部は、既発表の「黒毛和種去勢牛における産肉形質の経時的発達パターンと枝肉成績との関係」<sup>9)</sup>「超音波肉質診断画像のコンピュータ解析による脂肪交雑推定システムの開発」<sup>10)</sup>および「脂肪交雑推定システムの性能向上と診断データのデータベース構築」<sup>11)</sup>を基に再構成したものである。

## 研究1「肥育牛における産肉形質の経時的発達パターンに関する研究」

### 材料及び方法

#### (1) 供試牛について

供試牛は栃木県畜産試験場において種雄牛「美津福」

を交配して生産された5頭、および種雄牛「北国7の8」を交配して生産された5頭の黒毛和種去勢牛計10頭を用いた。肥育期間は10～32ヶ月齢とし、飼養管理は栃木県畜産試験場の定法に従い全頭同一条件により行った。なお、供試牛は、肥育期間終了後、東京食肉市場へ出荷し、(社)日本食肉格付協会格付員による枝肉格付評価を受け、これを枝肉実測値とした。

## (2) 超音波による生体診断

供試牛は、1ヶ月毎に超音波測定を実施した。超音波測定は超音波肉質診断装置スーパーアイミート SSD500 (SEM:富士平工業、アロカ社、東京)を用い、枝肉切開部位に準じた第6～7肋骨間の断層画像を測定し、超音波診断値を求めた。なお今回、枝肉形質のうち産肉量の指標として胸最長筋面積、肉質の指標として脂肪交雑を測定項目とし、この際の測定位置の決定方法および画像解析によるBMS NO. 推定は川田ら<sup>9)</sup>に基づき次のように実施した。まず、診断測定については、初めに供試牛を正姿勢で直立させ、Probeを牛の肩甲骨後角から約10cm後方の位置に当てた後、SEMモニター上のリアルタイム画像を見ながら適切な測定位置へProbeを誘導した。誘導においては、まず牛体軸に対してProbeを水平に移動して前後における測定位置を決定し、その後背部から腹部へ牛体軸に対し鉛直方向に移動させるものとし、広背筋端周辺、腸筋筋周辺、胸最長筋周辺の3カ所で静止させて画像を録画した。なお、広背筋端周辺を測定する場合には、Probeを肋骨に沿うよう若干斜め方向に移動させた。測定時のSEMの超音波強度(STC)ゲイン値はMain55 Near24 Far1.5に設定し、超音波診断画像の録画は、装置本体の画像出力とデジタルビデオカメラ(ソニーDCR-PC105)の入力を直結し、被検牛が静止した状態で、デジタルビデオテープに動画像として各部位約30秒ずつ録画した。

また、画像解析による産肉形質の計測およびBMS NO.の推定方法については次のとおりであった。まず、測定用静止画像の作成として、録画したデジタルビデオ動画像を非圧縮方式の動画像ファイルとしてコンピュータ(Dell Dimansion8250 3.02MHz)に読み込み、コンピュータに読み込んだ一連の診断動画像ファイルから、画像解析用の静止画像ファイルを作成した。

次に、超音波画像上での各産肉形質の大きさを米Scion社の画像解析用フリーソフトウェア「Scion Image Ver. 1.61」により、コンピュータのモニター上でトレースし計測した。特に、胸最長筋面積については、計測値が連続してほぼ同じ値を示すまで複数回トレースを繰り返し、その値を計測値とした。

画像解析によるBMS NO.の推定方法については、まず、解析画像上に、胸最長筋全体および中心領域、

僧帽筋中心部領域、背半棘筋領域の4カ所の解析領域をプロットし、胸最長筋における解析領域を関心領域、その周辺部分の解析領域を比較領域と設定し、胸最長筋全体の範囲を第1関心領域(region of interest:RI1)、胸最長筋中心部の50×50ピクセルの範囲を第2関心領域(RI2)、胸最長筋直上における僧帽筋内中心部の50×50ピクセルの範囲を第1比較領域(region of comparison:RC1)、背半棘筋が超音波診断画像上で胸最長筋の右上付近に隣接している部分内の50×50ピクセル領域を第2比較領域(region of comparison:RC2)とし、この4つの領域内の各輝点濃度を数値データに変換した。次に、この数値データを基に濃度共起行列を作成し、領域内の全ての画素について、ある画素とその画素から見てθ方向に距離dだけ離れた画素を画素対とし、各画素の濃度がそれぞれ*i*および*j*であった場合、その頻度を行列(*i, j*)<sub>(i, j=0, 1, 2, …, 31)</sub>の対応する項に累積し、これを濃度共起行列*p*(*i, j*)とした。画像特徴量は、この行列を正規化し次式を用いて、3つの特徴量を算出した。

$$Q1 = \sum_i \sum_j \{p(i, j)\}^2 \quad (1)$$

$$Q2 = \sum_i \sum_j (i - j)^2 \cdot p(i, j) \quad (2)$$

$$Q3 = -\sum_i \sum_j p(i, j) \cdot \log p(i, j) \quad (3)$$

また、同様に輝点濃度の数値化データから、正規化された濃度ヒストグラム(pH)を求め、これから次式により輝点濃度の平均(Q4)(4)を算出した。

$$Q4 = \sum_{i=0}^{n-1} i \cdot pH(i) \quad (4)$$

なお、実際の解析特性解析にあたっては、画像処理・解析ソフト「Popimaging Ver1.33」((有)デジタル・ビーイング・キッズ社)のテクスチャー解析機能を用いた。

以上により求められた画像特徴量から、次のとおり局所一様性 $U_1$ :(RI1-RI2)、エントロピー $E_2$ :(RI2-RC1)、輝度平均 $B_1$ :(RI1-RI2)、輝度平均 $B_3$ :(RI1-RC2)、の各差分値および胸最長筋面積測定値 $A_1$ を重回帰式

$$y = 13.32U_1 + 1.232E_2 - 0.121B_1 - 0.079B_2 + 0.076A_1 + 0.197$$

に代入し、算出値を四捨五入したものを推定BMS NO.とした。

本実験では、胸最長筋面積は13ヶ月齢から30ヶ月齢の期間について測定を行ったが、脂肪交雑については胸最長筋面積が画像解析可能な大きさまで発達した20ヶ月齢以降について解析を行った。

なお、実験の際、動物の取り扱いには産業動物の飼養および保管に関する基準(総理府告示1987年10月)に従

った。

(3) データ処理

超音波による測定値のデータは主に SAS の GLM プロシジャを用いて解析し、枝肉格付における胸最長筋面積値、または脂肪交雑格付値による区分を要因とする 1 元配置分散分析を行った。さらに有意差が示されたものについて LSD (最小有意差) 法による多重比較を行った。

結果及び考察

(1) 各産肉肉質の経時的変化と枝肉出荷成績の関係

供試牛 10 頭の枝肉成績は表 1 のとおりであった。各供

表1 供試牛の枝肉出荷成績(n=10)

	平均値	標準偏差	最大値	最小値
出荷月齢(ヵ月)	31.5 ±0.9		33.0	30.1
枝肉重量(kg)	499.2 ±70.29		582.0	324.0
胸最長筋面積(cm <sup>2</sup> )	54.3 ±7.97		64.0	42.0
バラの厚さ(cm)	8.34 ±1.29		10.5	7.0
背脂肪厚(cm)	2.80 ±0.66		3.7	1.6
歩留基準値	73.15 ±1.77		75.7	70.6
BMS No.	8.3 ±1.57		11	5
格付			A5	A3

試牛の胸最長筋面積は 64~42 cm<sup>2</sup> と広い分布を示したことから、これらを、と畜時の面積に応じてほぼ等間隔に 64~58cm<sup>2</sup> の群 (L 区) 4 頭、48cm<sup>2</sup>~58cm<sup>2</sup> の群 (M 区) 3 頭、42~48cm<sup>2</sup> 未満の群 (S 区) 3 頭の 3 つのクラスに等分し、13~30 ヶ月齢までの超音波診断による胸最長筋面積を区ごとに比較した。

図 1 は、各群の胸最長筋面積平均値であるが、各群の関係をみると 24 ヶ月齢の時点で M 区と S 区との

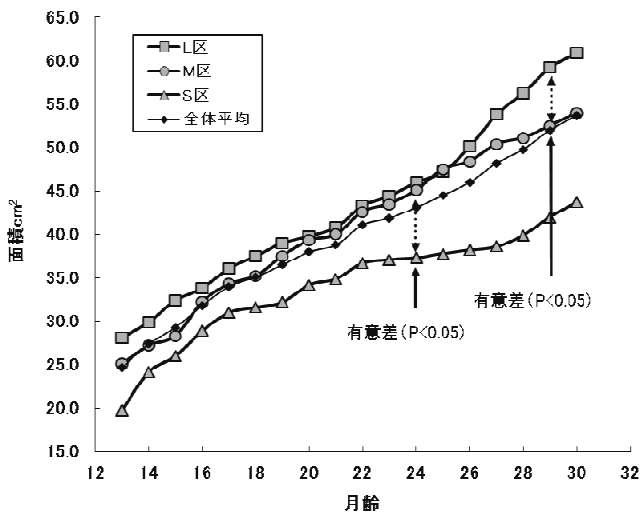


図1 超音波診断による胸最長筋面積の推移

- L 区：枝肉実測値の胸最長筋面積が 58cm<sup>2</sup> 以上の群
- M 区：枝肉実績値の胸最長筋面積が 48~58cm<sup>2</sup> の群
- S 区：枝肉実測値の胸最長筋面積が 48cm<sup>2</sup> 未満の群

間に 5% 水準で有意差が生じ、25 ヶ月齢の時点で L 区と S 区との間に 5% 水準で有意差が見られた。また、29 ヶ

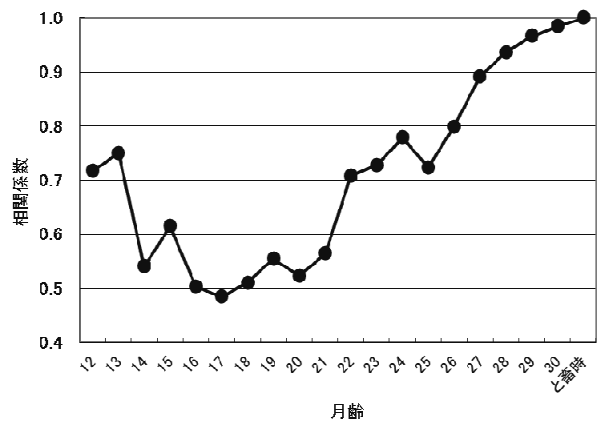


図2 胸最長筋面積の各月齢における超音波測定値と枝肉実測値との相関

月齢の時点で L 区と M 区との間に 5% 水準で有意差が生じた。なお、各区間の値は有意差が生じた月齢以降も続けて 5% および 1% 水準で有意差がみられた。

また、各月齢における超音波測定値と枝肉実測値との相関を比較したところ、図 2 のとおり肥育開始時に一時期比較的高い相関を示しはしたが、その後 0.6 前後の相関係数で推移し、22 ヶ月齢以降急激に相関が上昇する傾向が見られ、26 ヶ月齢で相関係数が 0.8 を超える値を示した。

また、これらの群の肥育前期(12~18 ヶ月齢)、中期(18~24 ヶ月齢)、後期(24~30 ヶ月齢)における胸最長筋面積の増加量を比較した。図 3 はこれをグラフ化したもので

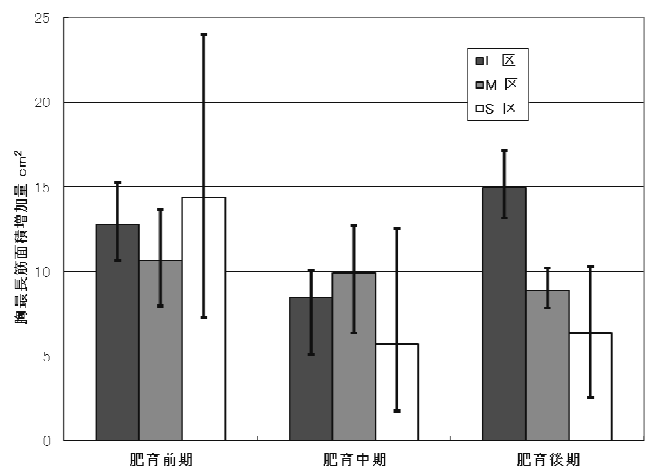


図3 胸最長筋面積の枝肉実測値の大きさと各肥育期間中の面積増加量との比較

- L 区：枝肉実測値の胸最長筋面積が 58cm<sup>2</sup> 以上の群
- M 区：枝肉実績値の胸最長筋面積が 48~58cm<sup>2</sup> の群
- S 区：枝肉実測値の胸最長筋面積が 48cm<sup>2</sup> 未満の群

あるが、L 区は肥育前期と後期の増加量が大きく、中期の増加量が他の 2 期間に比べて有意に低い値であったが、M 区のもののは後期が若干小さいものの、各区の増加量は

ほぼ同じであり、S区は肥育前期に対して中期、後期が小さい傾向が見られた。また、肥育後期の増加量について、L区とM区、S区との間に有意差 ( $P < 0.01, P < 0.05$ ) が見られた。

同様に脂肪交雑についても、月齢毎の超音波診断画像を解析してBMS No.を推定し、この値と枝肉格付における格付等級および脂肪交雑等級との比較を行った。格付がA3の個体が1頭のみだったことから、A4とA5の群で比較を行ったが、図4に示したとおり格付がA5とA4

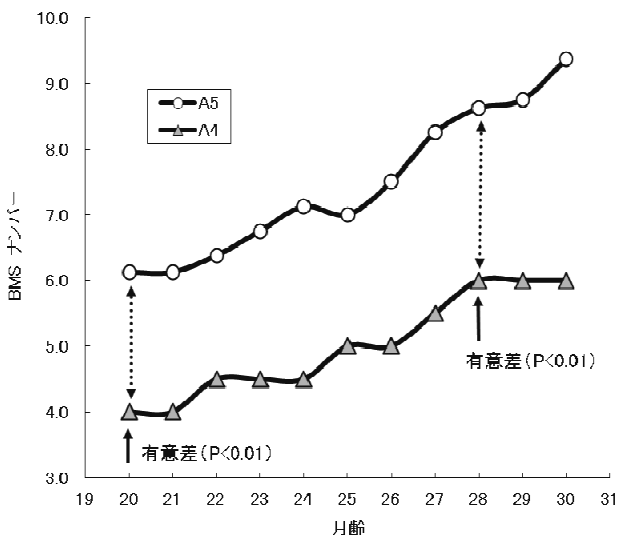


図4 超音波診断による各月齢におけるBMS No.推定値

に評価された牛群間の間に、20ヶ月齢において5%水準で、24ヶ月齢において1%水準で有意差が見られた。また、月齢毎のBMS No.推定値と枝肉のBMS No.評価値との相関を比較すると(図5)、24ヶ月以前は相関係

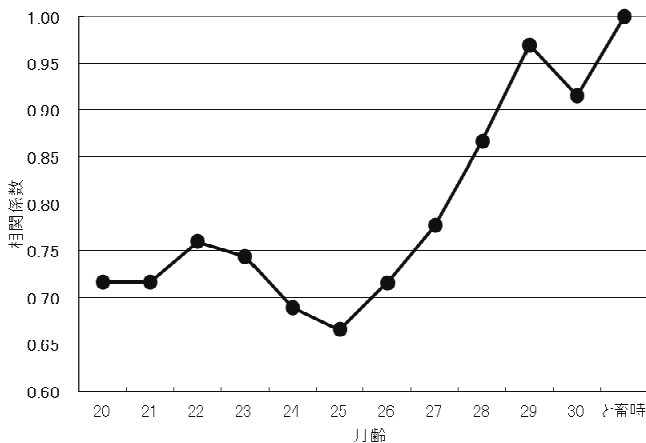


図5 脂肪交雑の各月齢における超音波推定値と枝肉評価値との相関

数が低い、24ヶ月齢以降から相関係数が上昇し、肥育末期になるほど相関が高くなる傾向が示された。

(2) 供試牛の血統と産肉形質の経時的変化との関係  
超音波による産肉形質の経時的変化と各供試牛の血統との関係を比較した。図6は種雄牛の違いによる各肥育期間の胸最長筋面積の増加率を比較したものである。種雄牛間において増加率に有意差は見られなかったが、増加率の変化パターンは、種雄牛「北国7の8」の方が種雄牛「美津福」に比較し肥育前期における増加率が大きく、またその増加率は後期になるにしたがって低下するの

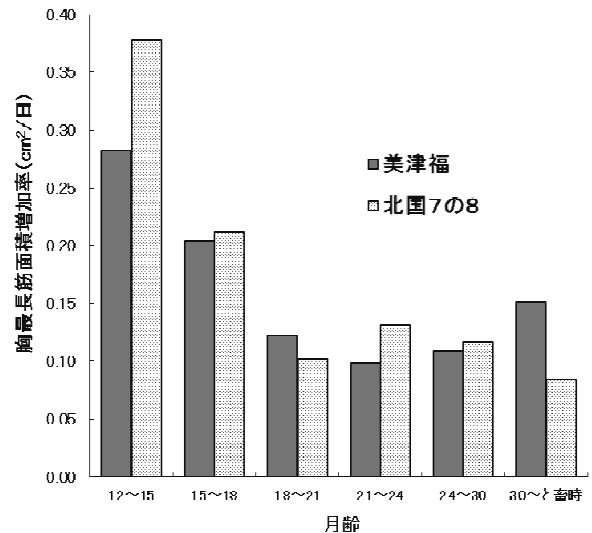


図6 種雄牛の違いによる胸最長筋面積増加率の比較

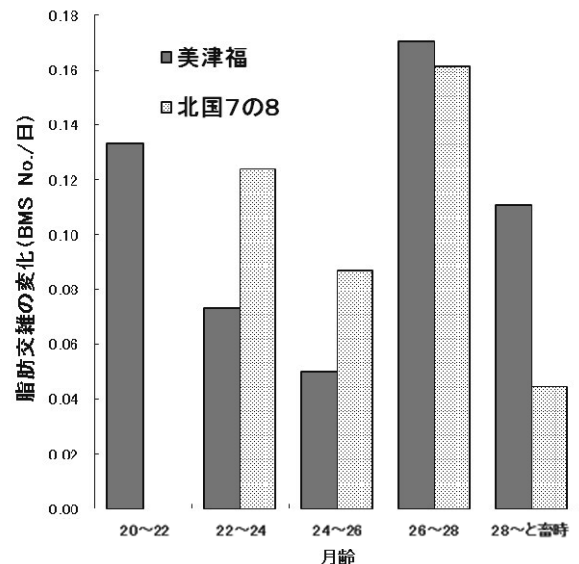


図7 種雄牛の違いによる脂肪交雑増加率の比較

対し、種雄牛「美津福」は肥育後半に増加率が上昇する傾向が見られた。また、図7はBMS No.の変化について、種雄牛の違いを比較したものである。どちらの種雄牛においても最も増加率が高かったのは26ヶ月齢であり、各種雄牛間に統計的に有意な差は見られなかった。しかし、22~24ヶ月齢付近において種雄牛「北国7の8」

は種雄牛「美津福」に比較して高い増加率を示したのに対し、出荷直前である26ヶ月齢から30ヶ月齢の時点においては、種雄牛「美津福」の方が種雄牛「北国7の8」に比較して高い値を示した。

### (3) 考察

本研究では、超音波診断により肥育牛の生体での産肉形質の詳細な発達を調査し、と畜時における枝肉成績との関係を比較検討した。超音波を利用した枝肉成績の早期推定技術については、国外においては Crews ら<sup>12)</sup>や、Brethour<sup>13)</sup>による外国種肥育の研究により、その有効性が報告されている。国内においても前述のとおり、LeIlah ら<sup>4)</sup>、宮島<sup>5)</sup>、徳丸ら<sup>6) 7)</sup>などが、黒毛和種肥育牛を用いて早期推定に関する研究を行っている。今回の研究では、特に牛肉の市場評価に重要である胸最長筋面積および脂肪交雑の2つの形質に着目し、早期推定の可能性を検討した。その結果、超音波による推定値が胸最長筋面積については22ヶ月齢で、脂肪交雑については20ヶ月齢で枝肉成績に対する相関係数0.7以上を示したことから、超音波による生体診断によって肥育中期である20~22ヶ月齢時点でと畜時における産肉成績の良否判定が可能であると考えられる。栃木県における黒毛和種去勢肥育牛の平均出荷月齢は約32ヶ月齢、全国平均では約29ヶ月齢であることから、超音波による生体診断は通常のと畜よりも8~10ヶ月程度早い段階で産肉成績の優良な個体を判別できることを示しており、これにより、種牛の能力評価が早期化可能である。これまで、黒毛和種の超音波診断による枝肉成績の早期推定については、徳丸ら<sup>7)</sup>や宮島<sup>5)</sup>が本研究と同様に22ヶ月齢前後において判定可能であると報告している。その中で徳丸ら<sup>7)</sup>は胸最長筋面積の経時変化は20~22ヶ月齢まで急激な増加速度を示し、その後の肥育終了まで増加速度は鈍るとしている。本研究でも、全体的には18ヶ月齢以降の増加率はほぼ横ばいを示しているが、枝肉実測値の面積が大きい群においては肥育後期において、面積の増加率が上昇しており、それに対して面積が小さい群において肥育後半に増加率が低下するというように、枝肉成績により面積の増加パターンが異なる結果が示された。このことから、超音波診断により任意の個体に対する経時的な発達パターンを比較することは、胸最長筋面積の早期推定の精度向上に有効であると考えられる。

また、脂肪交雑についても、本研究での超音波診断結果では月齢20ヶ月齢時点で既に枝肉成績A5、A4格付群間において統計的に有意な差が見られたことから、肥育中期にと畜時の優劣の判別は可能であると考えられる。しかし、BMS No. の上昇は肥育末期まで見られる個体もあり、また、BMS No. は、枝肉成績に対する超音波推定値の

相関係数が27ヶ月齢までは0.7前後で横ばいで推移するのに対し、27ヶ月以降においては上昇傾向を示しており、特に枝肉格付値の高いA5の群においては28ヶ月齢以降にも上昇する傾向が見られた。これらのことは、27ヶ月齢から肥育の終了時点まで脂肪交雑の発達が見られることを示しており、と畜時のBMS No. を超音波診断によって推定しようとした場合、24~28ヶ月齢の脂肪交雑の経時的な診断が必要であると考えられる。脂肪交雑について山崎<sup>11)</sup>は段階と畜による調査により24ヶ月齢以降の顕著な増加は見られないとしており、徳丸ら<sup>7)</sup>も超音波による診断結果より同様の報告を行っている。一方、宮島<sup>5)</sup>は脂肪交雑が高い群について22~27ヶ月齢で脂肪交雑の最大増加量を示したと報告しているが、今回の結果は、肥育末期になっても脂肪交雑の発達が見られた点では宮島<sup>5)</sup>の報告に近いものであった。脂肪細胞の発達は、ヒトでは小児期から青年期に決まり、成人になってからはほとんど変化しないという報告があり<sup>14)</sup>、ウシにおいても、生検による分析から、若齢時にすでに筋周囲の脂肪細胞が観察され、その時期に脂肪細胞が多く認められる個体で肥育終了時の脂肪交雑度も高いとの報告がある<sup>15)</sup>。しかし、近年のヒトにおけるアディポサイエンスへの取り組みの中で、杉原<sup>16)</sup>は成熟期の肥満における脂肪組織の増加は脂肪細胞の肥大だけでは説明しきれず、成熟細胞の分裂による増殖が不可欠であると報告している。本研究での超音波診断結果は、従来の脂肪交雑形成の考え方と異なり、肥育末期になっても脂肪交雑の発達が見られ、より脂肪交雑程度の高い群においてその傾向が顕著である可能性が示唆されたが、ヒトの肥満に関する知見を基に検討すると、肥育末期における脂肪細胞の過剰な肥大が限界に達した時点で脂肪細胞の増加が促され、このため脂肪交雑が発達する可能性も否定できないと考える。

なお、本研究では、胸最長筋面積および脂肪交雑の変化パターンと血統などの遺伝的背景との関係を検討するため、供試牛の種雄牛別に個々の形質の変化を比較した。一般的に黒毛和種の系統によっては早熟型や晩熟型などの傾向があるといわれており、牛垣と佐々木<sup>17)</sup>は去勢肥育牛の枝肉市場記録から脂肪交雑のピークに達する日齢およびピーク時の脂肪交雑の入り具合は種雄牛により異なると報告している。本研究では種雄牛「北国7の8」と種雄牛「美津福」をそれぞれ父牛とする2群で比較を行ったが、種雄牛「北国7の8」は島根県で生産された藤良系の種雄牛、種雄牛「美津福」は兵庫県における閉鎖群育種により造成された田尻系の種雄牛であることから、供試牛の遺伝的背景が大きく異なっていると考えられる。今回、胸最長筋および脂肪交雑の発達パターンが両群間で異なる傾向を示したことから、遺伝的背景の違

いは、個体の産肉能力において、個々の形質の発達量が単純に異なるだけでなく、発達ピークの時期や増加率の変化などに影響することが確認できた。

## 研究2「脂肪交雑推定ソフトの開発と診断データベースの構築による肥育診断システムの確立に関する研究」

### 材料及び方法

肥育診断システムの開発においては、システム開発に必要なデータの収集および画像診断方法の基礎的技術の検討を畜産試験場が行い、システム開発を産業技術センターが分担し実施した。

まず、診断画像の濃度共起行列によるテクスチャー解析に入る前の予備試験として、診断画像を比較的解析が容易な濃淡ヒストグラムにより解析し、この解析値から脂肪交雑の推定を行うためのアプリケーションを開発した(図8)。

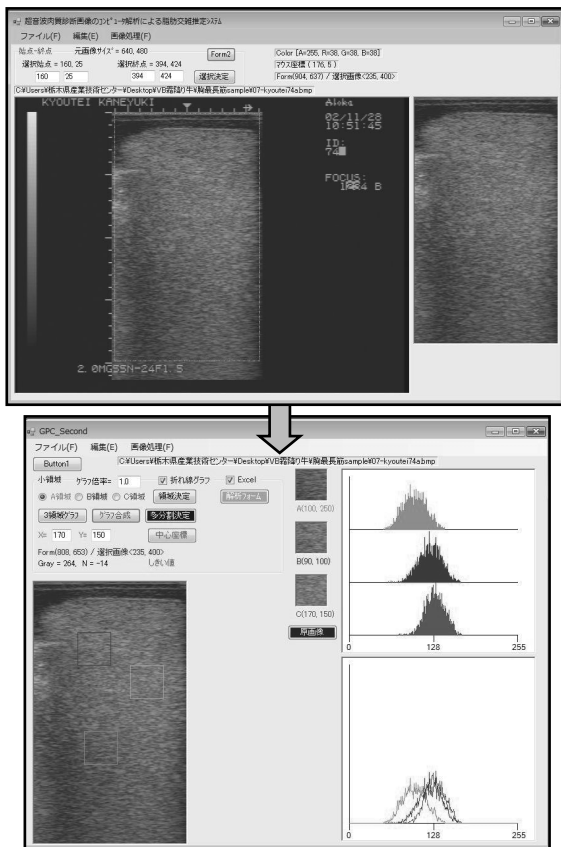


図8 予備試験で作成したアプリケーション

開発するアプリケーションの仕様として

- ① 任意の画像ファイルを表示することができる。
- ② 画像中で任意の3点を指定することができる。
- ③ その指定場所の濃淡ヒストグラムの表示とヒストグ

ラムデータを保存することができる。

- ④ ヒストグラムから、平均、分散、歪度、尖度の各特量が自動計算できる。

とし、各特微量は以下の計算式で算出した。

$$[\text{輝度平均}] \mu = \sum i \times P(i) \dots\dots\dots(1)$$

$$[\text{分散}] \sigma^2 = \sum (i - \mu)^2 \times P(i) \dots\dots(2)$$

$$[\text{歪度}] s = \sum (i - \mu)^3 \times P(i) / \sigma^3 \dots(3)$$

$$[\text{尖度}] k = \sum (i - \mu)^4 \times P(i) / \sigma^4 \dots(4)$$

※ i : 0~255、 P(i) : 正規化したもの

アプリケーション開発に必要なサンプル画像としては、畜産試験場でこれまで調査した診断画像のうち、すでに脂肪交雑等級が判明している画像を用いた。アプリケーションは、診断画像上の胸最長筋部分を関心領域、周辺部分の胸最長筋の上部における僧帽筋、胸最長筋の右上付近にある背半棘筋を比較領域とした各領域の中心部50×50ピクセルの解析エリア(図9)内の輝度から各特微量を算出するよう作成した。これにより算出された計算値とBMS NO.との関係を比較した。

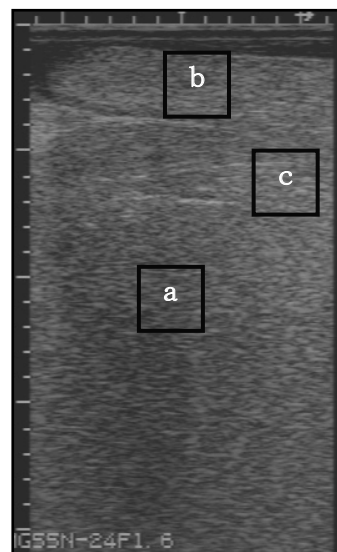


図9 超音波診断画像のヒストグラム解析領域 (50×50ピクセル)

(a) 胸最長筋、(b) 僧帽筋、(c) 背半棘筋

次に、本試験として、川田ら<sup>8)</sup>の方法に基づき、濃度共起行列によるテクスチャー画像解析値を用いたBMS NO.推定を行うためのアプリケーションの開発を行った。

予備試験と同様に、診断画像上に解析領域を設定し、その中の輝点濃度を数値化した濃度共起行列からテクスチャー解析値を算出出来るようにアプリケーションを作成した。この際に解析した画像特微量は「角度別2次モーメント」「相関」「エントロピー」「局所一様性」「慣性」お

よび濃度ヒストグラムから求めた「輝度平均」の6つとした。また、面積および2点間の距離を計る機能も検討した。なお、このアプリケーションで算出した画像特徴量と枝肉成績との比較を行い、脂肪交雑推定の方法を検討した。

さらに、診断システムを運用するためには、多量の画像データや解析結果を管理するためのデータベース環境を整備する必要があるため、簡便にデータの検索や書き込み等ができる管理アプリケーションの作成も行った。

### 結果及び考察

#### (1)濃度ヒストグラムによる解析

図10はBMS No. ごときのヒストグラムをあらわしたものである。これらの結果から脂肪交雑が高いものでは比較的3つの山が重なっており、脂肪交雑が低いものではロース部分の山に対してあとの2つの山が離れている傾向が見て取れる。しかし、12段階の脂肪交雑に分類するための特徴を見出すには、ヒストグラム解析では不十分であることがわかった。

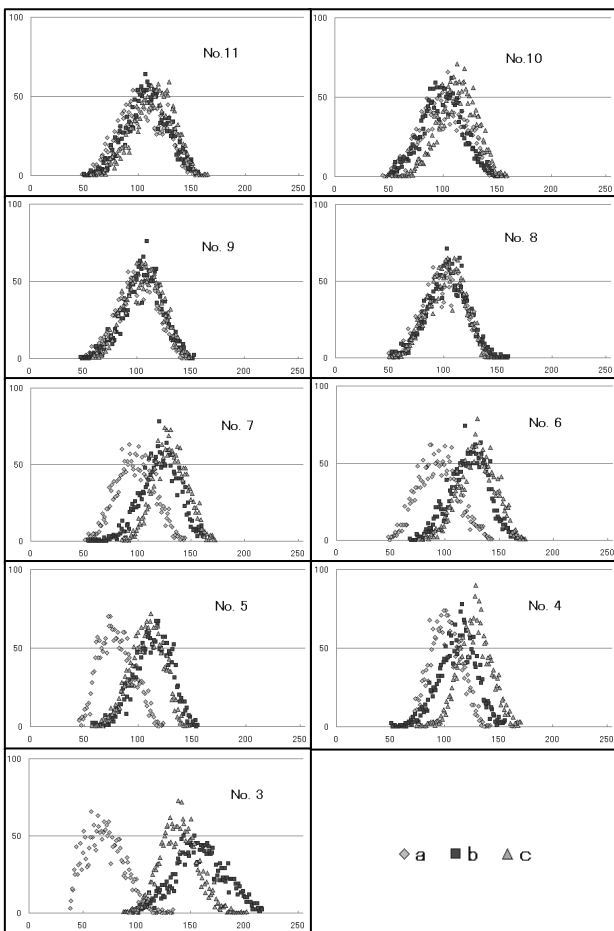


図10 BMSナンバーごとの濃度ヒストグラム解析  
a : ロース芯部、b : 僧帽筋部、c : 背半棘筋部

そこで、BMS No. 8とNo. 7を境にし、BMS No. 8以上を「A5 = 高脂肪交雑グループ」、No. 7以下を「A4以下 = 低脂肪交雑グループ」と大まかに分類することが出来るかを検討した。

上述のように高脂肪交雑牛群の方が、3つの指定領域のヒストグラムが重なる度合いが高い傾向を示したが、これは脂肪交雑が発達するに従い、各組織における画像反応が高くかつ均一になり、3つのどの領域のヒストグラムをとっても、お互いにほぼ同じ様な山の形になると考えられる。

そこで、アプリケーションにより同一画像上の各領域における「輝度平均」「分散」「歪度」「尖度」の画像特徴量を算出し、以下のとおり

$$b - a \text{ (僧帽筋部) - a (ロース芯部)} \dots\dots\dots (5)$$

$$c - a \text{ (背半棘筋部) - a (ロース芯部)} \dots\dots\dots (6)$$

を計算したところ、各領域間の「輝度平均」の差分において、 $b-a=10$ ,  $c-a=20$ のラインを境として”高脂肪交雑”と”低脂肪交雑”を分けるための差異を見ることができた(図11)。特に、 $c-a$ においてはそれなりに二極化してい

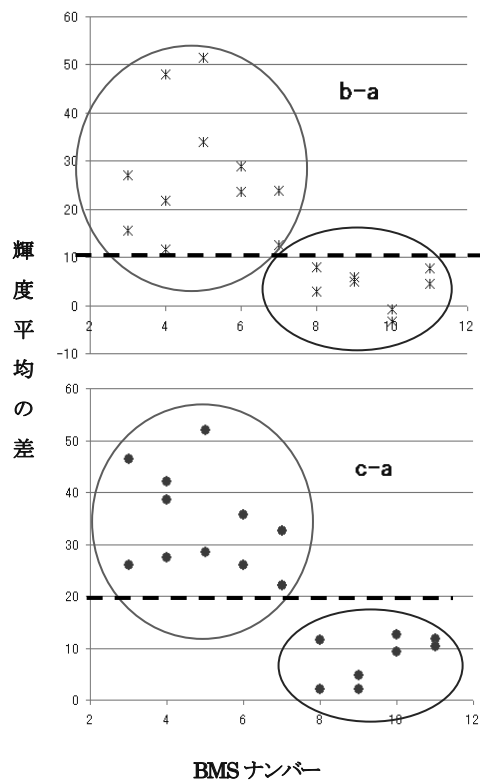


図11 「平均輝度」の各解析領域間の差分と BMSナンバーとの関係

上図 (僧帽筋部b -ロース芯部a)  
下図 (背半棘筋部c-ロース芯部a)

るのが見て取れる。このことから  $c - a = 20$  を条件としてそれ以上なら「低脂肪交雑」、20より小さければ「高脂肪交雑」と判断することにより、画像解析値に基づき肉質を客観的に分類できることが示唆された。

(2) テクスチャー解析を用いた脂肪交雑推定アプリケーションについて

図12はテクスチャー解析を取り入れた脂肪交雑診断アプリケーションの解析Formである。

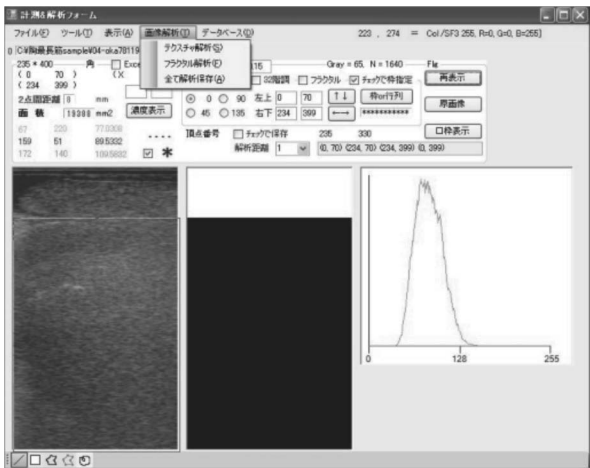


図12 脂肪交雑診断 解析 form

このアプリケーションにより6つの画像特徴量<sup>18)</sup>を解析しBMS NO.と比較したところ、直線的な関係は見られず、川田らの報告と同様にBMS NO.7~8付近を頂点とした副次関数的な関係が見られた。したがって、これらの値から直接的に脂肪交雑の推定は不可能であるため、僧帽筋部分と胸最長筋部分の2つの領域 [w]、[b] を指定し、領域ごとに前述の特徴量に基づいて算出した値に対して、その差 ([w] - [b]) を比較し、比較的相関の高い特徴量を選択した。最終的にシステムに反映させた特徴量は図5のとおり4種類であった。どのグラフにおいてもBMS NO.7以下の「低脂肪交雑」にあたる部分では比較的線形になっているのが見てとれるが、BMS NO.8以上の「高脂肪交雑」に当たる部分では不規則なプロットとなっている。

そこで、まず、BMS NO.3から7の低脂肪交雑に関して脂肪交雑の推定を行うこととし、その部分における近似式を求めた。

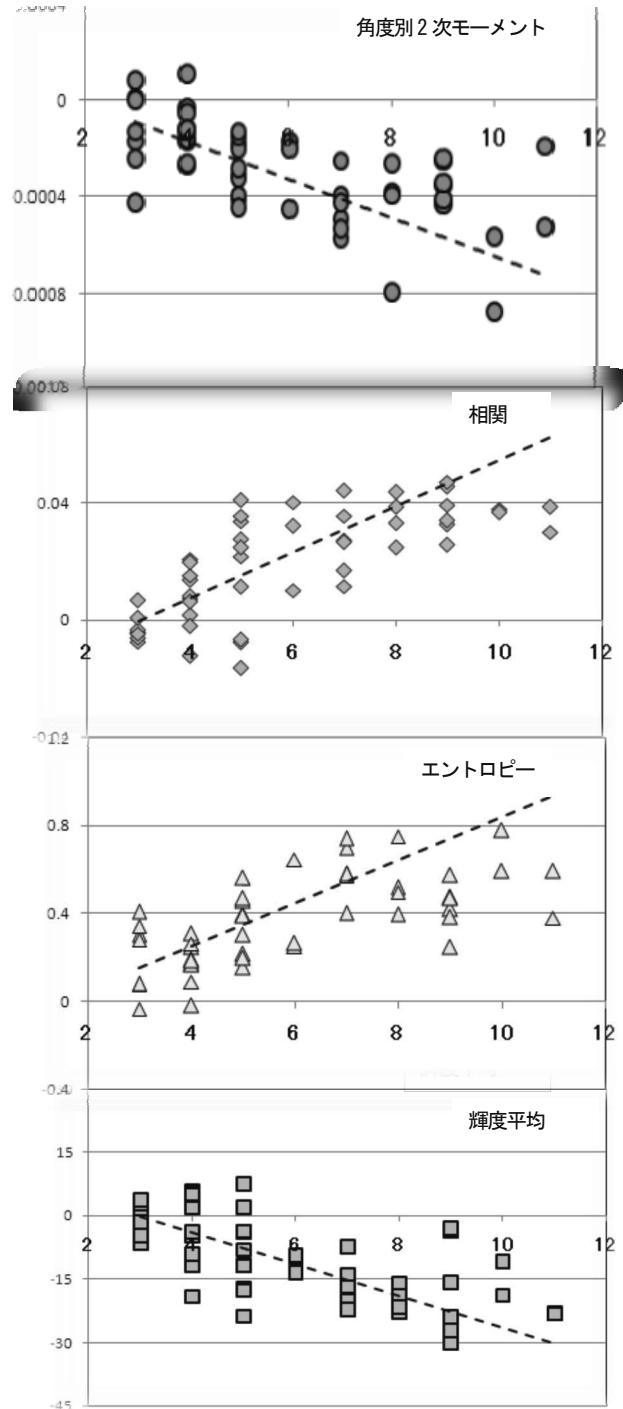
$$y = -0.00008x \quad (\text{角度別2次モーメント})$$

$$y = 0.0007x - 0.024 \quad (\text{相関})$$

$$y = 0.0098x - 0.144 \quad (\text{エントロピー})$$

$$y = -3.732x + 10.81 \quad (\text{輝度平均})$$

(xはBMS NO.、yは[w]-[b]の値)



これら4つの近似式から対象となる画像の解析結果としてyが求められ、それによりxの値も算出される。xの小数点以下を四捨五入し、各特徴量ごとのBMS NO.候補値を割りだし(ただし  $x \leq 3$  の場合の候補は3のみ、 $x > 7$  の候補は7のみとした。)、その平均値をBMS NO.推定値とした。この方法により、格付け判定済みのBMS NO.7以下の66頭の画像サンプルにおいて解析・推定を行ったところ、格付け値に対して、推定値が±1の範囲で80.3%という値が得られた。



### (3) 診断データのデータベース化

今回、汎用データベースソフトである Microsoft Access 形式をベースに診断画像のデータベース化を図った。図 13 のような Form を作り、データベースソフトを立ち上げなくても「新規データの追加」、「既存データの変更」、「既存データの削除」、「条件入力による検索」といった基本的な操作を行えるものとし、画像の表示や新規データの場合には、解析後に推定された脂肪交雑の推定値を自動的にリンクさせ表示するようにした。

画像CD	超音波画像	個体名	農家名	BMS
10703	#C:\胸最長筋sample04-c a77-11.bmp	10703	仁定	7
10704	#C:\胸最長筋sample04-c a77-12.bmp	10704	仁定試験場	7
10705	#C:\胸最長筋sample04-c a77-13.bmp	10705	畜産試験場	7
10706	#C:\胸最長筋sample04-c a77-14.bmp	10706	畜産試験場	7
10801	#C:\胸最長筋sample04-c a77-15.bmp	10801	仁定	8
10802	#C:\胸最長筋sample04-c a77-16.bmp	10802	畜産試験場	8
10803	#C:\胸最長筋sample04-c a77-17.bmp	10803	畜産試験場	8
10804	#C:\胸最長筋sample04-c a77-18.bmp	10804	畜産試験場	8
10901	#C:\胸最長筋sample04-c a77-19.bmp	10901	仁定	9

図 13 診断データベース Form

### まとめ

肥育技術を検討する上で、肥育牛が肥育期間中に発育する過程を把握することは重要である。本研究では、超音波肉質診断装置による診断画像をコンピュータ解析し、生体における産肉形質の経時的な変化を詳細に把握することにより、産肉形質の発達パターンの特徴と、それらに影響を与える要因との関係の要因を明らかにすることが出来た。特に、各組織の発達のピークの時期が異なることや、それが血統などの遺伝的要因によって影響を受けることなどが判明したことにより、今後、診断時にこのような要因を加味して指導することにより、超音波診断技術による農家指導の信頼性向上が図られると考えられる。

また、超音波肉質診断において、脂肪交雑の推定は技術者の熟練程度によりバラツキが生じてしまうことから、我々はコンピュータによる画像診断により、客観的な脂肪交雑推定技術を開発したが、汎用の画像解析ソフトを使用したために効率的に行うための環境を整備することが出来なかった。本研究において、超音波肉質診断に特化した解析アプリケーションの基本システムを構築することが出来たことにより、今後の診断の支援への活用が

期待できる。ただし、「高脂肪交雑」の推定においては、診断精度が十分でないことから、画像解析の方法や解析データに基づき脂肪交雑を推定するアルゴリズムを検討する必要がある今後の課題として残った。

今後、アプリケーションを十分にブラッシュアップすることにより、有用な肉牛診断システムが確立できると考えられる。

### 謝辞

本研究の実施に先立ち、超音波診断技術の導入にあたり基本的技術を御指導いただいた宮崎大学農学部 原田宏先生、画像診断技術ご助言頂いた、宇都宮大学大学院 准教授尾崎功一先生に深謝いたします。

## 参考文献

- 1) 土屋平四郎ら(1967)、中国農業試験場報告、B15:43-54
- 2) 原田宏、熊崎一雄(1979)、日本畜産学会報、50:305-311
- 3) 渡辺彰ら(1986)、日本畜産学会報、57:813-817
- 4) Lellah R ら(1997)、Animal science and technology (jap)、68:622- 630
- 5) 宮島恒晴(2001)、西日本畜産学会報、44:35-42
- 6) 徳丸元幸ら(1999)、鹿児島県肉用牛改良研究所研究報告、4:1-8
- 7) 徳丸元幸ら(2001)、鹿児島県肉用牛改良研究所研究報告、6:9-14
- 8) 川田智弘ら、(2008)、日本畜産学会報、79(2):173-183
- 9) 川田智弘(2009)、日本動物超音波技術研究会報、1:14-19
- 10) 枝野龍之ら(2008)、栃木県産業技術センター研究報告、6:91-94
- 11) 枝野龍之ら(2009)、栃木県産業技術センター研究報告、7:106-109
- 11) Crews JR, DH ら(2002)、Journal of animal science、80: 2817-2824
- 12) Brethour JR(2000)、Journal of animal science、78:2055-2061
- 13) 山崎敏雄(1981)、中国農業試験場報告、B23:53 -85
- 14) Kirsty L. Spalding ら(2008)、Nature、453:783-787
- 15) 岩元久雄ら(1995)、日本畜産学会報、66:807-809
- 16) 杉原甫(2003)、第124回日本医学会シンポジウム記録集、71-81
- 17) 牛垣徹、佐々木義之(1990)、日本畜産学会報、70:151-156
- 18) 高木幹雄、下田養久(2004)、新編 画像解析ハンドブック、東京大学出版(東京)

Research on the establishment of a beef cattle fattening diagnostic system based on ultrasonic diagnostic technology.

In order to establish a beef cattle fattening diagnostic system, we used the computer-analysis technology of the ultrasonic-diagnosis images, did the ultrasonic diagnosis of the live beef cattle (Japanese Black) continuously, and analyzed change of the carcass character.

As a result, we solved the relationship between the continuous development pattern of a carcass character, and carcass results. By having solved this, it proved that presumption *M. longissimus thoracic* area of carcass results is possible in 20~22 months after the birth. and, it proved that the judgment of beef marbling ranking can be performed in 20 months after the birth. However, since it was suggested by this research that beef marbling development till the fattening last stage, presumption of BMS No. found that it was required to carry out two measurement or more in 24~28 months after the birth. Moreover, since the difference arose at the development peak of *M. longissimus thoracic* area and beef marbling with the cattle from which blood lines, it turned out that a relation between the development pattern of each carcass character and a genetic background is.

In addition, we made the analysis system in which measurement of each carcass character and the objective judging of BMS No. are possible as an experiment using the computer. By using this system, what can be presumed in general in about 80% of accuracy to actual carcass results was proved.