

肉用牛における肉質の早期推定技術の確立
および客観的評価に関する研究

橋元 大介

2014

目 次

	頁
第 1 章 緒 論-----	1
第 2 章 食肉流通業者による牛肉の官能評価と理化学的特性との関係	
1. 緒 言-----	10
2. 材料および方法-----	12
3. 結 果-----	17
4. 考 察-----	23
5. 摘 要-----	30
第 3 章 超音波エコー画像を用いた牛枝肉脂肪交雑推定プログラムの開発	
1. 緒 言-----	31
2. 材料および方法-----	33
3. 結果および考察-----	43
4. 摘 要-----	55
第 4 章 バイオプシーによる牛枝肉脂肪交雑および胸最長筋粗脂肪含量の推 定	

1 . 緒 言-----	57
2 . 材料および方法-----	58
3 . 結果および考察-----	61
4 . 摘 要-----	70
第 5 章 生体インピーダンス法による牛枝肉脂肪交雑および胸最長筋粗脂肪含量の推定	
1 . 緒 言-----	72
2 . 材料および方法-----	74
3 . 結果および考察-----	79
4 . 摘 要-----	88
第 6 章 総合考察-----	90
要 約-----	101
謝 辞-----	105
引用文献-----	107

略 号

本文中において使用する主な略号を以下に示す。

BIA (Bioelectrical Impedance Analysis): 生体インピーダンス法

BMS No. (Beef marbling standard number): 脂肪交雑基準

C_m (Capacitance of cellular membrane): 細胞膜容量

GLDM (Gray level difference method): 濃度レベル差分法

GLHM (Gray level histogram moment): 濃度ヒストグラム法

MUFA (Mono unsaturated fatty acid): 一価不飽和脂肪酸

PC (Personal computer): パーソナルコンピューター

SFA (Saturated fatty acid): 飽和脂肪酸

SGLDM (Spatial gray level dependence method): 空間濃度レベル依存法

R_{ex} (Resistance of extracellular): 細胞外抵抗

R_{in} (Resistance of intracellular): 細胞内抵抗

RSD (Residual standard deviation): 残差標準偏差

USFA (Unsaturated fatty acid): 不飽和脂肪酸

第 1 章 緒 論

1. わが国の肉用牛生産の現状

畜産における肉類生産は、ヒトへのタンパク質供給源として大きな役割を担っている。世界的にみると、動物性タンパク質供給は食肉で最も多く、その中でも牛肉の占める割合が最も多い（森田と清水 1999）。わが国での牛肉の消費量は、牛肉輸入自由化以後大幅に増加し、2000年には1985年の478千トンと比較して約2倍の959千トンまで増加した。2001年に国内、2003年に米国で発生したBSEの影響により減少したが、最近5ヵ年（2008～2012年度）では、825千トンから859千トンと上昇傾向である（農林水産省 2014）。供給面では、832千トンから865千トンと上昇しているが、国内生産量は360千トン程度で推移し、牛肉の自給率は42%程度である（農林水産省 2014）。このように、国内での牛肉消費は堅調に推移する傾向が認められ、この傾向は今後も維持されることが予想される。一方、わが国の肉用牛飼養頭数は2013年2月現在で2,642千頭、飼養戸数は61,300戸である（農林水産省 2013）。2008年以降の推移をみると、飼養頭数はほぼ同程度であるのに対し、飼養戸数は15,000戸を越す大幅な減少がみられる。今後も国内生産量を確保するには、飼養戸数の減少を抑え、生産基盤である農家の経営安定が必要である。

わが国の牛肉生産においては、牛肉の輸入自由化以降、外国産牛肉との違いを明確化するため、脂肪交雑を追求する肥育方法が行われてきた。特に、高品

質な牛肉生産を行う場合，脂肪交雑の評価が重視され，脂肪交雑の程度は牛枝肉単価の決定に大きく影響を及ぼす（八巻ら 1996；広岡と松本 1998；岡本ら 2003）．また，肉用牛の肥育期において穀物主体の濃厚飼料を多給する給与体系が一般的に行われており，より一層エネルギー効率を高めつつ生産性の向上を図っている．これまで，脂肪交雑を中心とし，肉質向上を目指すために行われてきた牛の飼養管理に関する研究には，黒毛和種の脂肪交雑に関する遺伝的能力の改良（向井 1991；並河 1991；向井と大山 1996），ビタミン A の制御技術の確立（岡 1999；九州農業試験研究推進会議 1999）およびビタミン C の投与技術の開発（松下と森下 2001；明間と吉田 2006）などがあり，生産現場で活用されている．また，生産コストの低減を目的とした飼養管理に関する研究には，肥育期間を短縮する技術の開発（橋元 2013）や放牧飼養を取り入れた肥育方法の検討（丸山 2007）などがある．

2．牛肉の客観的評価

近年，消費者からは安心・安全で，かつ美味しい牛肉が求められるようになった．同時に，牛肉の取引価格は外観による格付け等級だけでなく，産地ブランドによる影響も受け，高価格で取引されることもある（柳と飯澤 1999）．ブランド力の強化も重要となっており，全国では 280 を超すブランド牛肉がある（早川 2009）．食肉の味はうま味と肉様の味が主体であり，畜種間での違いはそれらの強度だけとされている（沖谷 2001）．また，食肉の「美味しさ」を構

成する食感，味および香りは，屠畜後の熟成で向上する（沖谷 2006）．これは筋肉熟成中におけるミオシンとアクチン間結合の弱化（Fujimaki ら 1965；Okitani ら 1967；Ikeuchi ら 1994）や遊離アミノ酸増加による味の向上（Rhyu ら 1992；Nishimura ら 1988）に起因するとされている．その中でも，牛肉の「美味しさ」の解明に関する研究には，これまでに多くの報告があり，牛肉中の脂肪含量（木村 2001；山口 2002），呈味成分（沖谷 2006；Nishimura ら 1988），脂肪の質（木村 2001；農林水産省農林水産技術会議事務局 1987），香り（松石 ら 1993，2004）などが牛肉の「美味しさ」に関与しているとされている．また，2007年に開催された第9回全国和牛能力共進会から，「肉牛の部」において外観や「美味しさ」に関与するとされている「脂肪の質」に客観的評価法が加えられている．これらのことを踏まえると，今後，銘柄化を図るためには，「美味しさ」が重要な指標の1つとなると考えられる．

一般に，食肉の官能評価は食味などについて訓練されたパネリストを用いる分析型官能評価と一般消費者を用いる消費者型官能評価に大別される（（独）家畜改良センター 2005）．つまり，前者は食肉の特徴を明らかにすることを目的とするのに対し，後者はどのような人達はその食肉を嗜好するかを明らかにすることを目的とする場合が多い．これまで，一般消費者が牛肉の「美味しさ」について評価した報告では，品種間の比較や消費者をパネリストとした官能評価がみられる（山口ら 2009；松原ら 1998）．一方，屠畜後の牛肉の流通経路は，買受人，仲買人，食肉センターおよび食肉加工メーカーなどを介して，外食店，

量販店および専門小売店などに卸され、消費者が購買することとなる((社)中央畜産会 2010)。そのため、買受人および仲買人などの食肉流通業者は、消費者の意見や感想を反映させながら牛肉の購買に当たっていることが予想され、牛肉の流通過程において価格形成や消費者ニーズへの対応などにおいて重要な役割を果たしていると考えられる。しかし、これまで、食肉流通業者が食肉、特に黒毛和種牛肉をどの程度評価できるのかについての報告は見当たらない。

3. 肉用牛における肉質の早期推定技術

肉用牛については、肥育を開始して牛肉となるまでには約 14～20 ヶ月間を要し、新しい技術に取り組んだとしても、その産肉性を評価するには、長期間を要する。また、その産肉性の評価は、屠畜後の枝肉が中心となる。肥育技術の向上をより迅速に行うためには、肥育期における産肉形質、特に脂肪交雑基準(以下、BMS No.)の変化を把握し、これらと血統や飼養環境との関係を解明することが重要であり、生産現場からも求められている。また、肥育途中で BMS No.を高い精度で推定することができれば、飼養管理の改善や適切な出荷時期の判断に応用できる。牛の場合、各個体の経済的価値が高いこと、産子数が少なく、かつ世代交代が長いことなどから、産肉能力検定を経て優秀な種雄牛を得るには長期間を要する。このことを考慮すると、生体のまま屠体形質を推定することは、肉用牛における選抜・改良への有効な手段の 1 つにもなり得ると考えられる。

生体時における肉用牛の BMS No. や枝肉形質推定には、超音波肉質診断装置が広く利用されている。これには、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ならびに非侵襲的に測定できる特性を利用している。海外では、アンガス種 (Sapp ら 2002)、ブランガス種 (Stelzleni ら 2002)、シンメンタール種 (Crews ら 2003) について、若雄雌牛を 12 ヶ月齢時に超音波診断を行うことで、その後代牛の枝肉形質を推定することができ、種雄牛や繁殖牛の選抜に有効であると報告されている。また、韓牛の脂肪交雑が比較的高い精度で予測可能であるとの報告もある (Hassen ら 2001 ; Song ら 2002)。わが国では、皮下脂肪厚、胸最長筋面積および脂肪交雑の測定などに関する研究が試みられ (土屋ら 1967 ; 原田と熊崎 1979 ; 渡辺ら 1986)、その後、電子リニア式診断装置を用いた超音波診断を用いた枝肉形質の早期推定に関する報告 (Lellah ら 1997 ; 徳丸ら 1999 ; 宮島 2001) があり、その有効性が実証されている。しかし、それらは判定者が超音波エコー画像の静止画や動画中の白点の状態を目視する方法であるため、主観的要素が入る可能性があり、推定精度を高めるにはかなりの熟練を要することが知られている (坂東島ら 2007)。坂東島ら (2007) は客観的な BMS No. 推定のために画像中の輝度レベルに関する画像解析から BMS No. を推定する手法を提案した。また、川田ら (2008) は超音波エコー画像のテクスチャ解析を行い、その特徴量から BMS No. の推定手法を提案している。川田ら (2008) の手法では、高精度な BMS No. 推定を実現しているものの、ロース芯部分を含めた 4 領域から抽出した特徴量を

解析に用いており，多数の解析領域選択による操作の煩雑さが残る．さらに，推定モデリング手法として重回帰分析を用いているため，画像特徴量と BMS No.との複雑な関係を十分に表現できていない可能性がある．海外における超音波エコー画像を用いた肉質評価の研究では，画像から算出した輝度情報を含むスコアと脂肪交雑値の間に高い相関があり (Brethour 1990)，モデリング手法としてニューラルネットを採用することで，推定精度を向上させることが報告されている (Brethour 1994)．しかし，わが国の肥育牛生産現場，特に黒毛和種肥育において超音波エコー画像に基づく脂肪交雑推定を適用し，パーソナルコンピュータ (以下，PC) 上で高い操作性を有し，効率的に作業できる肉質推定自動プログラム (以下，推定プログラム) を開発した研究は見当たらない．

超音波診断は肉質の早期推定に有効な方法ではあるものの，高価な超音波装置を肉用牛生産農家が個人的に所有し，活用するのは困難である．そこで，低コストかつ客観的な脂肪交雑推定法を確立することも重要な課題である．超音波以外の手法による肥育牛生体の BMS No.や枝肉形質推定に関しては，X 線 CT 装置を用いた研究があり，牛の胸部構造や筋肉内脂肪の脂肪交雑状況の把握が可能であるとされている (佐久間 2007)．しかし，家畜生体用 X 線 CT 装置はわが国内に 1 台しかなく，超音波装置以上に高価であることから，実用化には至っていない．一方，生体から筋肉や脂肪を直接採取する方法としてバイオプシーがあり，これまでにバイオプシーによる生検筋肉材料の組織学および組織化学的特性と BMS No.の関係を明らかにした報告 (岩元ら 1995；後藤 2001)

や生検脂肪材料を用いた脂肪酸組成の変動に関する報告(石田ら 1988;片岡ら 2008)がある。BMS No.は第 6-7 肋骨間切開面における胸最長筋(以下,リブローズ)ならびに背半棘筋および頭半棘筋の断面により判断される((社)日本食肉格付協会 2010)が,その BMS No.と第 10 胸椎部辺り以降の胸最長筋(以下,第 10 胸椎サーロイン)部位の脂肪交雑には正の相関関係があるとされている(浜崎ら 2005;中橋ら 2007,2008)。また,第 10 胸椎サーロイン部位は僧帽筋,菱形筋および背半棘筋に囲まれたリブローズに比べ,体表に近く,表皮および皮下脂肪の下部に位置しており(加藤と山内 1995),バイオプイシーによる生検筋肉材料採取が容易であると予想される。しかし,生検筋肉材料の化学成分,特に水分または粗脂肪含量と BMS No.の関係を明らかにした研究は見当たらない。

生体インピーダンス法(Bioelectrical Impedance Analysis:以下,BIA)は医用工学部門や食品の品質モニタリングなど幅広い分野で応用されている手法である(宮脇ら 2007;豊田と井原 2009)。これまでに肉用牛では,電気的特性による牛肉の品質評価への応用が検討され,Hayden ら(1969)および Zhang ら(1990)が提案した細胞組織の電気的等価回路(Hayden model)は,牛肉にも適用できることが示されている(谷原ら 2003)。また,BIA は牛肉の品質評価(BMS No.,きめおよびしまり)手法として有効であり,品種や筋肉部位の特定も可能とされている(谷原ら 2004;谷原 2006)。前述したように,サーロイン部位の BIA によりその電気特性を測定することが容易であると予想される

が、BIAにより肥育牛生体から肉質推定を試みた研究は見当たらない。

4. 本研究の目的および内容

以上のことを背景として、本研究では、肉用牛およびその牛肉に焦点を絞り、黒毛和種牛肉の官能評価および牛肉の理化学分析を行い、両者の関係を検討するとともに、肥育牛生体時のBMS No.推定技術について検討した。すなわち、第2章では、牛肉の「美味しさ」に關与する要因を明らかにすることで、より厳密で客観的な牛肉の官能評価法を確立するための指針を得ることを目的とし、牛肉に精通した食肉流通業者のパネリストによる黒毛和種牛肉の官能評価と理化学分析値との関係を検討した。次に、第3章では、超音波エコー画像を用いて肥育牛のBMS No.を生体で客観的に推定するため、PC上で作業できるように作成したBMS No.推定プログラムの最適なモデルの構築を検討するとともに、アルゴリズムの各種パラメータを調整し、BMS No.実測値を用いたBMS No.推定精度を検討した。また、第4章では、肥育牛最後位胸椎位胸最長筋（以下、サーロイン）の生検筋肉材料をバイオプシーにより採取し、その水分または粗脂肪含量、リブローズの粗脂肪含量およびBMS No.の相互関係を調査し、バイオプシーによる肥育牛生体での枝肉肉質の推定技術について検討した。さらに、第5章では、サーロインのBIA値と、BMS No.および枝肉リブローズ粗脂肪含量の相互関係を調査し、BIAによる肥育牛生体での枝肉肉質の推定技術について検討した。最後に、第6章では、第2～5章で得られた黒毛和種牛肉の官能評

価および牛肉の理化学分析の関係および低コストかつ各生産者が保有し活用し
得る肥育牛生体時の BMS No.推定技術を基に，今後の肉用牛生産のあり方に関
して，生産者のみならず，消費者の視点からも提言すべく，肉質の客観的評価
および早期推定技術確立の可能性について総合的に考察した．

第2章 食肉流通業者による牛肉の官能評価と理化学的特性との関係

1. 緒言

現在の牛肉の評価は、社団法人日本食肉格付協会による肉質等級(脂肪交雑、肉色など)のような外観からの指標で行われており((社)日本食肉格付協会 2010)、一般に、枝肉格付成績が高いほど販売価格が高単価で取引される。そのため、これまで生産者は格付の高い牛肉生産を目差し、技術向上に取り組んできた。しかし、近年、牛肉を含む食肉に対する消費者の嗜好は、安心・安全に加え、「美味しさ」を求める傾向にある。また、牛肉の取引価格は、外観や等級だけでなく、産地ブランドによって影響され、高価格で取引されることもあり(柳と飯澤 1999)、ブランド力の強化も重要となっている。

牛肉の「美味しさ」の解明に関する研究は、これまで多くの報告があり、牛肉中の脂肪含量(木村 2001; 山口 2002)、呈味成分(沖谷 2006; Nishimura ら 1988)、脂肪の質(木村 2001; 農林水産省農林水産技術会議事務局 1987)などが牛肉の「美味しさ」に関与しているとされている。また、2007年に開催された第9回全国和牛能力共進会から、「肉牛の部」において外観や「美味しさ」に関与するとされている「脂肪の質」に客観的評価法も加えられている。流通業者への聞き取り調査の結果では、流通過程で同じ格付評価の牛肉であっても、その「美味しさ」には違いがあるとされている。全国に280を越す牛肉ブランド(早川 2009)がある中で、今後、銘柄化を図るためには、「美味しさ」が重

要な指標の1つとなると考えられる。

一般に、官能評価は食味などについて訓練されたパネリストを用いる分析型官能評価と一般消費者を用いる消費者型官能評価に大別される((独)家畜改良センター 2005)。つまり、前者は食肉そのものの特徴を明らかにすることを目的とするのに対し、後者はどのような消費者がその食肉を嗜好するかを明らかにすることを目的とする場合が多い。これまで、一般消費者が牛肉の「美味しさ」について評価した報告では、品種間の比較や消費者をパネリストとした官能評価がみられる(山口ら 2009; 松原ら 1998)。一方、屠畜後の牛肉の流通経路は、買受人、仲買人、食肉センターおよび食肉加工メーカーなどを介して、外食店、量販店および専門小売店などに卸され、消費者が購買することとなる((社)中央畜産会 2010)。そのため、買受人および仲買人などの食肉流通業者は、消費者の意見や感想を反映させながら牛肉の購買に当たっていることが予想され、牛肉の流通過程において価格形成や消費者ニーズへの対応などにおいて重要な役割を果たしていると考えられる。しかし、これまで、食肉流通業者が食肉、特に黒毛和種牛肉をどの程度評価できるのかについての報告は少ない。

そこで本章では、より厳密で客観的な牛肉の官能評価法を確立するための指針を得ることを目的とし、日常的に牛肉を取扱う食肉流通業者による黒毛和種高品質牛肉の官能評価およびその肉の理化学分析を行い、両者の関係を明らかにした。

2. 材料および方法

供試した牛肉は 27.0~31.3 ヲ月齡出荷の黒毛和種雌または去勢牛肉であり、長崎県内産を 1 サンプル、それ以外は全国の主要な産地 4 ヲ所から 1 または 2 (1 ヲ所のみ 2 サンプル) サンプルずつ収集し、ブランド牛肉合計 6 サンプルとした(表 2-1)。各サンプルについては、すべて肉質等級 4 で BMS No.6 または 7 のリブローヌ芯部位を供試した。また、供試牛肉を官能評価当日まで冷蔵保存(2)した。牛肉は市販角型ホットプレートを用いて調理した。食肉の調理法は(独)家畜改良センター(2005)の「食の官能評価ガイドライン」に準じ、ホットプレートを表面温度約 220 で両面(2 面)それぞれ約 60 秒ずつ焼いた。

パネリストには、食味などに関する訓練を受けた経験がなく、2008 年 9 月 11 日に株式会社佐世保食肉センターで開催された枝肉共励会に購買者として参加した食肉流通業者 24 名(男性、平均年齢 46 歳)とした。パネリストに対して、供試牛肉の説明および官能評価内容について説明した後、まず、生肉リブローヌ断面外観の好ましさの評価を求めた。次に、10×25×40 mm(厚さ×横×縦)にカットされた前述の供試牛肉を A、B、C、D、E および F と表し、それぞれ 1 カットにつき食味評価に供した。パネリストは供試肉の評価ごとに市販の水で口腔内を洗浄させ、前肉の風味が口腔内に残留しないように留意した。全牛肉のアンケート回答は、試食後 5 分以内に行われた。なお、パネリストには産地およびブランドを匿名とし、A、B、C、D、E および F の順に外観評価を実施

表2 - 1 供試牛肉の概要

牛肉名 (産地)	性別	脂肪交雑基準 (BMS No.)	と畜から検査 までの日数	肥育出荷 月齢
A (M市)	雌	7	20	30.2
B (G市)	去勢	6	13	27.0
C (M市)	雌	6	14	30.4
D (I市)	雌	7	35	27.6
E (K市)	雌	6	22	29.8
F (N市)	去勢	6	10	31.3

した後，加熱した供試牛肉を D，E，F，A，B および C の順に無作為に配膳することで，産地およびブランドが外観評価と官能評価の結果に影響しないよう配慮した．官能評価では，外観の好ましさおよび食味後の嗜好性としての「美味しさ」の 2 項目について，それぞれ好ましいとする順から順位づけ（1～6）させた．

牛肉の理化学分析には，呈味成分（遊離アミノ酸，核酸およびジペプチド）含量分析を除いて官能検査直後の生肉を供試した．また，牛肉の品質評価のための理化学分析マニュアル Ver.2（（社）畜産技術協会 2003）に基づいて，以下の理化学的特性に関する調査を行った．

水分，粗蛋白質および粗脂肪含量については，供試牛肉をフードプロセッサーでミンチにして測定した．

保水力（加圧ろ紙法）測定用サンプルとして，供試牛肉を筋繊維に沿って約 10×10×5 mm で 450～550 mg になるような肉片に整形した．その整形サンプルを直径 70mm(No.2)のろ紙にのせ，アクリル板に挟み，加圧計を用い 35 kg/cm²f で 1 分間加圧し，肉汁面積と肉片面積をプランナーで測定した．また，保水力を次式により測定した．

$$\text{保水力} = [1 - (\text{肉汁面積 cm}^2 - \text{肉片面積 cm}^2) \times 9.47 / (\text{肉片重量 mg} \times \text{水分含量 \%})] \times 100$$

加熱損失率測定用サンプルとして，筋繊維に沿って 20×20×40 mm の肉片に整形してビニール袋に入れ，70 の温湯で 1 時間加温し，加熱により減少した重

量から加熱損失率を算出した。

剪断力価測定用サンプルとして、加熱損失率を測定したサンプルを 10×10×40 mm に整形した。剪断力価測定には、カミソリ刃ブランジャーを装着したレオメータ（NRM-2019J-CW，不動工業株式会社，東京）を用い、剪断速度 60mm/分 とした 2 kg ロードセルで筋線維に対して垂直に測定した。

脂肪融点については、供試牛肉の皮下脂肪を細断し、濾紙を用いて 105 の恒温器で 4 時間溶解後、濾過し、ガラス毛细管に詰めて 5 で 24 時間保存した後、上昇融点法により測定した。

肉色については、官能評価に供試したロース芯部分を約 10mm 程度の厚みに切り出し、色差計（NR-3000，日本電色工業株式会社，東京）を用いて L*a*b* 表色系を各サンプルにつき 5 回測定して平均値を求めた。

脂肪酸分析については、皮下脂肪約 0.1 g を用いて、クロロホルムで抽出し、ナトリウムメトキシドメタノールでメチルエステル化した脂肪酸をガスクロマトグラフ/水素イオン化検出器（GC/FID）（GC-17A，株式会社島津製作所，京都）により測定した。検出器温度は 280 とした。分析カラムは、極性カラム（Rtx-2330，レステック社，米国）を使用した。キャリアガスは、ヘリウムを使用し、全流量 37 mL/分，カラム流量 2 mL/分およびスプリット注入モード（スプリット比：1/10）で分析した。注入口温度は 250 とした。オープンの昇温条件は、初期温度を 160 とし、15 分保持させ、160 から 200 まで 4 /分，200 から 230 まで 30 /分で昇温した後、230 で 2 分間保持した。

脂肪中の脂肪酸割合は，ミリスチン酸（以下，C14:0），ミリストレイン酸（以下，C14:1），パルミチン酸（以下，C16:0），パルミトレイン酸（以下，C16:1），ステアリン酸（以下，C18:0），オレイン酸（以下，C18:1 cis），リノール酸（以下，C18:2 cis）の7種類の脂肪酸に分けて，これらの脂肪酸総量を100として脂肪酸割合を算出した．また，二重結合を持たない脂肪酸の総量を飽和脂肪酸（以下，SFA），一価の二重結合を持つ脂肪酸の総量を一価不飽和脂肪酸（以下，MUFA）および二重結合を持つ脂肪酸の総量を不飽和脂肪酸（以下，USFA）として各割合を求めた．

遊離アミノ酸，核酸およびジペプチドの呈味成分分析には，官能評価直後の生肉を真空包装し，液体窒素下で瞬間凍結させたものを-80℃で保存したサンプルを用いた．また，細分化したロース芯部分を0.01N塩酸含有アセトニトリル溶液を用いて除蛋白し，高速液体クロマトグラフタンデム質量分析計（LC-MS/MS，Applied Biosystems/MDS Analytical Technologies社製，米国）を用いて遊離アミノ酸21種類（Arg，Ala，Asp，Cys，Cystine，Asn，Glu，Gln，Gly，His，Ile，Lys，Leu，Met，Pro，Phe，Ser，Trp，Tyr，ThrおよびVal），核酸2種類（イノシンおよびイノシン酸）およびジペプチド（カルノシン）の計24種類の同時分析を行った．また，遊離アミノ酸の味複合成分として，甘（Ala，Gln，Gly，SerおよびThrの総量），甘苦（Cys，MetおよびValの総量），旨（AspおよびGln），苦（Arg，His，Ile，Leu，Lys，Pro，PheおよびTrpの総量）を比較した．

得られたデータのうち，外観および官能評価の各順位のパネリスト間の一致性については Kendall の一致度の検定，各順位間差については Newell & MacFarlane の検定（日本フードスペシャリスト協会 2006），両順位間の関連および官能評価と理化学成分値との関連については Spearman の順位相関係数を求めて検討した．

3. 結 果

(1) 供試牛肉の外観および官能評価

食肉流通業者パネリストによる牛肉の外観および官能評価を表 2 - 2 に示した．外観および官能評価（美味しさ）の順位についてパネリスト間の Kendall の一致度係数を検定したところ，有意であり（ $P < 0.01$ ），パネリスト全体の見方として概ね一致していた．

「外観評価」は D，F，B，C，A および E の順に好ましいと評価された．また，D は A，C および E との間，E は F との間でいずれも有意差が認められた（ $P < 0.05$ ）．「美味しさ」についての官能評価は C，F，D，A，E および B の順であり，C は A，B および E との間で有意差が認められた（ $P < 0.05$ ）．また，外観評価と官能評価との間の Spearman の順位相関係数を求めたところ，0.414（ $P > 0.10$ ）であり，両者間に関連性は認められなかった．M 市および G 市は主要な牛肉の産地として知られているが，それらの地域で生産された牛肉 A，B および C が必ずしも高く評価されるとは限らないことが明らかとなった．

表2 - 2 食肉流通業者パネリストによる牛肉の外観および官能評価

牛肉名	外観評価		官能評価(美味しさ)	
	平均順位 ¹⁾	相対順位 ²⁾	平均順位	相対順位
A	4.2	5 ^{bc}	3.9	4 ^b
B	3.6	3 ^{abc}	4.1	5.5 ^b
C	3.8	4 ^{bc}	2.2	1 ^a
D	2.2	1 ^a	3.6	3 ^{ab}
E	4.4	6 ^c	4.1	5.5 ^b
F	2.9	2 ^{ab}	3.1	2 ^{ab}

¹⁾ 順位の平均値 (n = 24)

²⁾ 平均順位に対する相対的な順位

本官能評価パネリスト間のKendallの一致係数による一致度 (P<0.01)

^{a-c} 同一列内異肩文字間に有意差あり (P<0.05)

(2)供試牛肉の理化学的特性

1)化学成分，物理性および肉色

供試牛肉の理化学的特性とそれらの官能評価との関係を表 2 - 3，肉色と外観評価との関係を表 2 - 4 にそれぞれ示した．水分含量は B で最大（52.0%），F で最小（43.7%）であり，粗脂肪含量は F で最大（41.0%），B で最小（30.4%）であった．脂肪融点は B で最高（30.4 ），E で最低（21.1 ）であった．供試した牛肉はすべて 4 等級であり，BMS No.6 または 7 であった．理化学的特性と官能評価との Spearman の順位相関係数は，水分含量との間で-0.76(P<0.10)，粗脂肪含量との間で 0.77 (P<0.10) であり，牛肉中の水分含量が高いほど官能評価が低く，粗脂肪含量が高いほど官能評価が高い傾向が認められたが，その他の理化学的特性については官能評価との有意な相関関係はみられなかった．また，肉色と外観評価との間で有意な相関関係はみられなかった．

2)皮下脂肪の脂肪酸組成

表 2 - 5 に供試牛肉の皮下脂肪の各脂肪酸含量と脂肪酸総量に占める各脂肪酸割合およびそれらと官能評価との関係を示した．いずれの牛肉も C18:1，C16:0 および C18:0 の順に多く，その他の脂肪酸は 0.6 ~ 5.2%の範囲であった．C18:1 は E で最大値（60.3%），B で最小値（50.3%）を示した．SFA 割合は B で最大値（40.7%），E で最小値（31.6%），MUFA 割合は E で最大値（67.3%），B で最小値（55.9%），USFA 割合は E で最大値（68.4%），B で最小値（59.3%）であった．また，各脂肪酸割合と官能評価との間で有意な相関関係はみられな

表2 - 3 供試牛肉の理化学的特性およびそれらと官能評価との関係

牛肉名	化学成分			物理性			脂肪融点 ()
	水分(%)	粗脂肪 (%)	粗蛋白質 (%)	加熱損失 (%)	加圧 保水力(%)	剪断力価 (kg/cm ²)	
A	50.5	32.7	15.7	21.8	82.5	0.71	22.1
B	52.0	30.4	17.0	21.9	72.2	0.56	30.4
C	44.7	39.7	15.0	21.9	78.0	0.56	25.5
D	50.5	32.8	15.9	21.4	77.6	0.58	27.0
E	48.7	35.8	15.3	21.9	78.6	0.57	21.1
F	43.7	41.0	13.5	20.6	79.2	0.48	27.1
相関係数 ¹⁾	-0.76	0.77	-0.71	-0.43	0.26	-0.30	-0.29
危険率	0.09	0.08	0.11	0.38	0.56	0.52	0.95

¹⁾官能評価とのSpearmanの順位相関係数

表2 - 4 供試牛肉の肉色およびそれと官能評価との関係

牛肉名	肉色		
	L*値 (明るさ)	a*値 (赤色度)	b*値 (黄色度)
A	48.3	31.6	18.2
B	46.0	27.6	15.4
C	43.2	27.3	14.6
D	45.6	29.6	17.4
E	46.4	28.3	17.0
F	45.3	30.9	18.1
相関係数 ¹⁾	-0.54	0.09	0.09
危険率	0.22	0.85	0.85

¹⁾官能評価とのSpearmanの順位相関係数

表2-5 供試牛肉の皮下脂肪の脂肪酸総量に占める各脂肪酸割合およびそれらと官能評価との関係

牛肉名	C14:0	C14:1	C16:0	C16:1	C18:0	C18:1	C18:2	—%—	
								飽和脂肪酸 (SFA)	一価不飽和脂肪酸 (MUFA)
A	1.7	0.8	22.0	4.2	9.9	59.6	1.8	33.6	64.6
B	3.2	1.5	26.5	4.1	11.0	50.3	3.4	40.7	55.9
C	2.1	0.6	21.8	4.7	13.3	57.4	1.8	37.2	61.0
D	2.6	0.9	25.2	3.7	12.7	52.6	1.9	40.4	57.7
E	1.8	0.9	20.1	5.0	9.7	60.3	1.1	31.6	67.3
F	2.3	1.4	22.8	5.2	10.1	55.6	1.1	35.2	63.7
相関係数 ¹⁾	-0.14	-0.56	-0.26	0.31	0.54	0.09	-0.41	-0.03	0.03
危険率	0.75	0.22	0.57	0.48	0.22	0.85	0.36	0.95	0.95

C14:0 ミリスチン酸、C14:1 ミリストレイン酸、C16:0 パルミチン酸、C16:1 パルミトレイン酸

C18:0 ステアリン酸、C18:1 オレイン酸、C18:2 リノール酸

¹⁾ 官能評価とのSpearmanの順位相関係数

かった。

3)呈味成分

表 2 - 6 に供試牛肉の遊離アミノ酸 ,核酸およびジペプチドの呈味成分含量を示した。なお , 遊離アミノ酸については , 含量の高かったアラニン (Ala) , グルタミン (Gln) および遊離アミノ酸総量を示した。遊離アミノ酸総量は D で最高 (210.5 mg/100 g) , C で最低 (146.2 mg/100 g) , Gln 含量は F で最高 (64.9 mg /100 g) , C で最低 (37.8 mg/100 g) であった。核酸含量については , C でイノシン , A でイノシン酸がいずれも最高であった。ジペプチドであるカルノシンは E で最高 (199.0 mg/100 g) , D で最低 (155.9 mg/100 g) であった。味複合成分含量については , F で甘味および旨味 , D で甘苦味および苦味がいずれも最高であった。また , 遊離アミノ酸 , 核酸 , ジペプチドまたは味複合成分含量と官能評価との間で有意な相関関係はみられなかった。

4. 考 察

わが国の牛枝肉取引規格では , 脂肪交雑 , 肉の色沢 , 肉の締まりおよびきめといった外観の基準が重要となり , 客観的判定は諸外国の規定よりもかなり明瞭であり , 牛肉の生産技術は流通業者の規格に沿って組み立てられてきたとされている ((独) 農業・食品産業技術総合研究機構 2009) . 本試験における食肉流通業者の外観評価は D>F>B>C>A>E の順であり , いくつかの牛肉間で有意な順位差もみられたことから , 同程度の脂肪交雑 (BMS No.6 ~ 7) であっても ,

表2-6 供試牛肉の遊離アミノ酸, 核酸, ジペプチドおよび味複合成分含量およびそれらと官能評価との関係

牛肉名	遊離アミノ酸			核酸				ジペプチド			味複合成分 ¹⁾		
	アラニン	グルタミン	総量	イノシン	イノシン酸	カルノシン	甘	甘苦	旨	苦			
A	28.2	42.7	169.0	21.1	59.7	180.2	88.3	17.0	45.1	48.0			
B	23.8	48.0	146.5	26.7	38.2	191.4	87.7	11.1	50.2	35.0			
C	24.9	37.8	146.2	30.3	43.4	184.9	78.2	13.9	39.9	40.2			
D	31.7	43.6	210.5	17.8	28.1	155.9	99.4	22.9	47.0	66.2			
E	22.7	45.4	152.2	27.6	42.4	199.0	83.5	13.7	47.5	41.6			
F	29.4	64.9	164.5	25.6	37.4	175.0	107.8	9.9	66.5	34.6			
相関係数 ²⁾	0.54	-0.37	-0.03	0.09	-0.03	-0.54	0.09	0.14	-0.37	-0.09			
危険率	0.22	0.41	0.95	0.85	0.95	0.22	0.85	0.75	0.41	0.85			

¹⁾ 甘 : Ala+Gln+Gly+Ser+Thr, 甘苦 : Cys+Met+Val, 旨 : Asp+Gln, 苦 : Arg+His+Ile+Leu+Lys+Pro+Phe+Trp

²⁾ 官能評価とのSpearmanの順位相関係数

外観上の違いが比較的明瞭であることが示された。

流通業者の外観評価と供試牛肉の肉色との間で明確な関係は認められなかった。常石と西村（1989）によると、牛肉の評価において、外観の印象では肉色（鮮やかさおよび明度）と脂肪交雑が重要としている。また、緒方ら（1997）は褐毛和種、ホルスタイン種および交雑種（黒毛和種×ホルスタイン種）の各品種間で肉色に差がみられ、ホルスタイン種の肉色が他種と比べ濃く評価されるとしている。しかし、本試験で供した牛肉は黒毛和種の同一部位（リブロー）であるとともに、同程度の脂肪交雑であったことから、肉色の差はほとんどなく、肉色は外観評価にあまり影響を及ぼさなかったものと考えられる。また、本試験では枝肉格付け成績において肉色を示す牛肉色基準（BCS No.）のデータが得られなかったため、BCS No.と外観評価との関係は不明であった。近年、コース芯断面を画像解析する技術（堀ら 2005）や脂肪交雑粒子の細かさ（コザシ）として数値化する方法（口田ら 2002）が開発されており、コザシが官能評価に影響を与えることも報告されている（丸山ら 2006）。また、和牛のように脂肪交雑の多い枝肉について、筋肉色を色差計などで測色するのは困難であり（口田ら 2001）、高精細牛枝肉横断面撮影装置により非常に高い精度でBCS No.が判定可能であるとされている（高橋ら 2006）。本試験では、供試牛肉断面の画像解析を行っていないため、脂肪交雑粒子の細かさおよび画像解析による肉色と外観評価との関係について考察することはできないが、外観評価にいくつかの牛肉間で有意な順位差が認められたことから、肉色、締まりおよ

びきめならびに脂肪交雑の状態などにより流通業者の経験を基にした総合的な外観評価がなされたものと考えられる。

一方、官能評価を行った結果、 $C>F>D>A>B=E$ の順に美味しいと評価され、外観評価とともに比較的明瞭な順位差が認められた。しかし、「美味しさ」についての官能評価は、目視による外観評価と必ずしも一致していなかったことから、食肉に熟知した食肉流通業者であっても、外観評価から「美味しさ」を見極めるのは困難であると考えられる。このことから、今後、牛肉の「美味しさ」に何らかの基準を設ける場合、外観の基準による牛肉格付け以外に、「美味しさ」の要因となる客観的な指標が必要であると考えられた。

前述したように、供試牛肉の水分が少ないあるいは粗脂肪が多いほど官能評価は高い傾向を示した。供試牛肉中の粗脂肪含量と「美味しさ」についての官能評価との関係をみると、粗脂肪含量は $F>C>E>D>A>B$ の順に高く、Eを除く官能評価の順位とおおよそ一致していた。牛肉を好む人ほど霜降り肉を望み、好みの程度が下がるにつれて赤身を好む人が増えるとする報告（山口ら 2009）がある。今回のパネストである食肉流通業者が牛肉を好むかどうかについては、事前の聞き取り調査を行っていないため、不明であるが、官能評価の結果から、同程度の品質の黒毛和種牛肉の場合でも、粗脂肪含量を重視し、「美味しさ」の主要因としているものと推察された。しかし、牛肉中の粗脂肪や脂肪交雑が一定量を超えると、むしろ旨味が減少すること（山口 2002）、粗脂肪含量の適度な増加は食味を向上させるが、過度な増加は食味の向上を抑制させるだけでな

く、むしろ低下を招くこと(佐久間ら 2012)などから、本試験で供した品質(BMS No.6 および 7)以上の脂肪交雑を含む場合に同様の評価が得られるかどうかは不明であり、今後の検討が必要であると思われた。

官能評価、脂肪融点および脂肪酸組成との関係について検討したところ、高い官能評価を示した C および F の脂肪融点は、低い官能評価を示した B の脂肪融点より低かった。このことは牛脂肪の USFA 割合が高く、融点が低いほど風味が良いとするこれまでの報告(松原ら 1998)と一致する。ただし、A および E については、脂肪融点が 21~22 と他のサンプルに比べ低く、USFA 割合も 66.4~68.4%と他のサンプルに比べ高かったが、官能評価は下位であった。前述したように、A の粗脂肪含量は 32.7%と官能評価が優れた C および F と比べ低いことから、官能評価が劣ったものと考えられる。しかし、E の粗脂肪含量は 35.8%と比較的高かった。実際、E と B の官能評価はいずれも最低であったものの、E の粗脂肪含量(35.8%)は B(30.4%)より 5 ポイント以上高かった。本試験では、官能評価で供試したリブロー ス芯部位の脂肪融点の測定を行っていないが、同一個体内の部位間相互の USFA 割合には有意な正の相関関係がある(野儀と岡垣 2007)とされているため、皮下脂肪の USFA 割合と融点との間の Spearman の順位相関係数を算出した。その結果、 -0.879 と有意な ($P<0.05$) 相関が得られ、皮下脂肪の USFA 割合および融点はリブロー ス芯部位のそれらを反映したものと考えられる。また、牛肉の脂質性状は皮下脂肪において USFA 割合が 63%以上あれば、満足できるものの、68%以上の USFA 割合は必要ない

(常石ら 1994)とされている。さらに、MUFA 割合は脂っぽい香りや甘い香りに強く影響し、50%前後より 60%前後の方で甘い香りの評価値が高くなるとされ(佐久間ら 2012)、市場関係者による枝肉の脂肪性状評価では、皮下脂肪の MUFA 割合が 61~64%の場合に評価が高くなると報告されている(西岡ら 2008)。本試験においても、官能評価の低かった B および E の MUFA 割合は、それぞれ 55.9%および 67.3%であり、評価が高くなるとされる 60%前後と 5 ポイント程度異なった。本試験では、官能評価と脂肪融点および脂肪酸組成との間で有意な相関関係は認められなかったが、前述した点から、22.1 以下の低い脂肪融点、68%以上の高い MUFA 割合および 60%前後から 5 ポイント以上異なる MUFA 割合は「美味しさ」に負の影響を与え、脂肪融点、MUFA 割合あるいは MUFA 割合が「美味しさ」に複合的に影響を与える要因になり得るものと考えられた。一方、官能評価と呈味成分含量との間で有意な相関関係はみられず(表 5)、呈味成分が官能評価に影響を与えるかどうかについては不明であった。ただし、本試験で用いたサンプルは、と畜から検査までの日数が大きく異なっていた。食肉中の遊離アミノ酸、核酸およびジペプチドは、と畜後の熟成によって大きく変化する(西村 2006)ため、全国の産地から収集したサンプルで官能評価を実施する場合、可能な限りこれらの条件を合わせることが重要であると思われる。今後は河村(2009)が述べているように、脂肪交雑の重要性を踏まえながら、同一保存条件での屠畜後の日数経過に伴う脂肪含量、脂肪酸組成などのバランス、さらには、赤身肉由来の遊離アミノ酸などの影響につい

ても検討する必要があると思われる。

以上のことを総括すると、供試牛肉を高品質黒毛和種牛肉に絞り、食肉流通業者をパネリストとした官能評価を行った結果、目視による外観および官能評価の順位はそれぞれパネリスト間でほぼ一致したが、両者間の順位は必ずしも一致しなかった。一方、牛肉の脂肪含量、脂肪融点、USFA 割合および MUFA 割合が黒毛和種牛肉の「美味しさ」に複合的に影響を及ぼすものと考えられ、外観評価よりもむしろその理化学分析値から官能評価を類推する可能性が示唆された。また、牛肉に精通した食肉流通業者の場合、消費者の意見や感想を反映させながら牛肉の購買に当たっており、食肉流通業者が美味しいとするものは、消費者の嗜好を反映しているものと考えられる。今回のように肉質等級に大差がない場合には「美味しさ」に複合的に影響を及ぼすと思われる脂肪含量、脂肪融点、USFA 割合および MUFA 酸割合の明瞭な数値的指針を明らかにすることはできなかったものの、和牛肉の銘柄化を図るためには、外観評価とともに「美味しさ」に複合的に影響を及ぼす理化学特性を有することが必要であると考えられる。

なお、本試験では、牛肉の理化学的特性を生肉の分析値から明らかにし、官能評価については加熱処理した肉で実施したが、牛肉の官能評価においては、加熱処理によって生成する“和牛香”が重要であるとの指摘（沖谷 2006）もあることから、脂肪酸や旨味成分などが複合的に関与している“和牛香”の生成過程と「美味しさ」との関係の解明が今後の課題である。

5. 摘 要

牛肉の「美味しさ」に關与する要因を明らかにすることで、より厳密で客観的な牛肉の官能評価法を確立するための指針を得ることを目的とし、牛肉に精通した食肉流通業者 24 名のパネリストによる 6 種類の黒毛和種雌および去勢牛肉（肥育出荷月齡は平均 29.4 ヲ月、肉質等級 4 で BMS No.6 および 7 のリブローース芯）の官能評価と理化学分析値との關係を検討した。目視による外觀評価および官能評価の各順位についてパネリスト間の Kendall の一致度係数を検定したところ、有意な ($P < 0.01$) 一致がみられたが、両者間の Spearman の順位相関係数は 0.414 ($P > 0.10$) であり、必ずしも一致せず、外觀評価から「美味しさ」を見極めることは困難であることが示唆された。一方、牛肉の粗脂肪含量、皮下脂肪の USFA 割合、脂肪融点または MUFA 割合が官能評価に対して複合的に影響を及ぼすものと考えられた。したがって、牛肉の外觀評価よりもむしろ理化学分析値から官能特性を類推する可能性が示唆されたが、本試験のように肉質等級に大差がない場合、官能評価に關与する理化学的特性の明瞭な数値的指針を特定するには至らなかった。

第 3 章 超音波エコー画像を用いた牛枝肉脂肪交雑推定

プログラムの開発

1. 緒 言

わが国の肉用牛生産において、高品質牛肉生産を目指す場合には、脂肪交雑の評価が重視され、脂肪交雑の程度が牛枝肉単価の決定に大きく影響を及ぼしている(八巻ら 1996; 広岡と松本 1998; 岡本ら 2003)。牛肉の脂肪交雑は(社)日本食肉格付協会によりシリコン樹脂製の牛 BMS No.ならびに小ザシ部分を加味した各 BMS No.の写真を基に判定されている((社)日本食肉格付協会 2010)。この基準はヒトの視覚による方法であり、主観的判断が含まれる可能性があることから、より客観的な評価手法が望まれる。第 2 章では、より厳密で客観的な牛肉の官能評価法を確立するための指針を得ることを目的として、日常的に牛肉を取扱う食肉流通業者による黒毛和種高品質牛肉の官能評価およびその肉の理化学分析を行い、両者の関係を明らかにした。その結果、牛肉の「美味しさ」は牛肉の外観評価よりも粗脂肪含量、皮下脂肪の USFA 割合、脂肪融点または MUFA 割合などの理化学分析値によって官能特性を類推する可能性が示唆された。

一方、牛肉生産段階では、脂肪交雑を中心とする肉質向上を目指しており、肥育期における産肉形質、特に BMS No.の変化を早期に把握し、これと血統や飼養環境との関係を解明することが求められている。肥育期間中に肉質を高い

精度で推定することができれば，飼養管理の改善や適切な出荷時期の判断に応用できる．そこで，肥育途中に枝肉形質を推定するために超音波肉質診断装置が広く利用されており，BMS No.を高い精度で推定可能とする報告がある（原田 1996；宮島 2001）．しかし，それらは判定者が超音波エコー画像の静止画や動画中の白点の状態を目視する方法であるため，主観的要素が入る可能性があり，推定精度を高めるにはかなりの熟練を要することが知られている（坂東島ら 2007）．坂東島ら（2007）は客観的な BMS No.推定のために画像中の輝度レベルに関する画像解析から BMS No.を推定する手法を提案した．また，川田ら（2008）は超音波エコー画像のテクスチャ解析を行い，その特徴量から BMS No.の推定手法を提案している．テクスチャ特徴量は輝度や位置の 2 次元的な変化パターンであり，粗さや方向性，コントラスト，規則性などの性質を定量的に表す統計量で，Haralick ら（1973）によって提案されて以来，画像識別の分野において幅広く利用されてきた．川田ら（2008）の手法では，高精度な BMS No.推定を実現しているものの，ロース芯部分を含めた 4 領域から抽出した特徴量を解析に用いており，多数の解析領域選択による操作の煩雑さが残る．また，推定モデリング手法として重回帰分析を用いているため，画像特徴量と BMS No.との複雑な関係を十分に表現できていない可能性がある．

海外における超音波エコー画像を用いた肉質評価の研究では，画像から算出した輝度情報を含むスコアと脂肪交雑値の間に高い相関があり（Brethour 1990），モデリング手法としてニューラルネットを採用することで，推定精度を向上さ

せることが報告されている (Brethour 1994) .

福田ら(2010 ,2012)は超音波エコー画像からのテクスチャ特徴量抽出処理 , 主成分分析およびニューラルネットワークによるモデリング処理から構成される推定手法について検討し , ニューラルネットを用いた推定は重回帰分析に比べ , 高い精度で可能であり , 解析領域を 2 領域にした場合でも , 十分な精度で BMS No. を推定できることを明らかにしている . これらの研究成果を基に , 生産現場において超音波エコー画像に基づく脂肪交雑推定が利活用されるためには , PC 上で高い操作性を有し , 効率よく作業できる推定プログラムの開発が必要となる . そのためには , エコー画像の入力から BMS No. 推定結果のフィードバックシートの出力までオールインワン・システムで構成され , 生産現場での高い利便性を有する BMS No. 推定プログラムプロトタイプの作成および BMS No. 実測値を用いた BMS No. 推定精度の解明が必要となる . また , BMS No. 推定精度の向上に適したパラメータの調整を検討する必要がある .

そこで本章では , さらなる BMS No. 推定精度の向上を目的とし , 推定プログラムプロトタイプの作成および最適な BMS No. 推定モデルの構築を検討するとともに , アルゴリズムの各種パラメータを調整し , BMS No. 実測値を用いた BMS No. 推定精度を検討した .

2 . 材料および方法

(1) 供試牛の概要と超音波測定

供試牛には、長崎県農林技術開発センターおよび長崎県肉用牛改良センターで飼養され、2011年4月から2012年10月に長崎県の佐世保食肉センターに出荷された黒毛和種肥育牛去勢66頭および未經産雌15頭(平均月齢 \pm 標準偏差: 28.5 ± 1.9 カ月齢, 平均体重 \pm 標準偏差: 780.6 ± 65.8 kg)を用いた。枝肉格付成績については(公社)日本食肉格付協会による評価を用いた。供試牛のBMS No.は3~10の範囲であり、その平均値は6.4、標準偏差は2.0であった。

出荷前2週間以内に超音波測定を実施し、測定部位は牛生体左側肩甲骨後ろの第6・7肋骨間とし、超音波測定機器(HS-2100V, 富士平工業(株), 東京)を用いた。超音波診断に際して宮島(2001)の方法を参考にし、ゲイン、フォーカスおよびSTCは一定として測定した。メインゲインの設定値は85、フォーカスは1点を設定した。超音波エコー画像は診断装置本体のNTSC出力端子よりアナログビデオ信号を出力し、その信号をDVDレコーダーに記録、DVD記録メディアをPCにて読み込み後、非圧縮AVI形式に変換した。

(2)牛生体時の画像解析

画像解析手法は原則的に以下の福田ら(2010)の方法に従った。まず、超音波エコー画像テクスチャ特徴量の抽出処理を図3-1に示した(a)胸最長筋内、(b)僧帽筋内部の2領域について行った。解析領域の面積は、(a)が 110×60 ピクセル、(b)が 40×40 ピクセルとした。

テクスチャ特徴量は、領域ごとに空間濃度レベル依存法(以下、SGLDM)により求められるエネルギー、エントロピー、相関および局所一様性、濃度

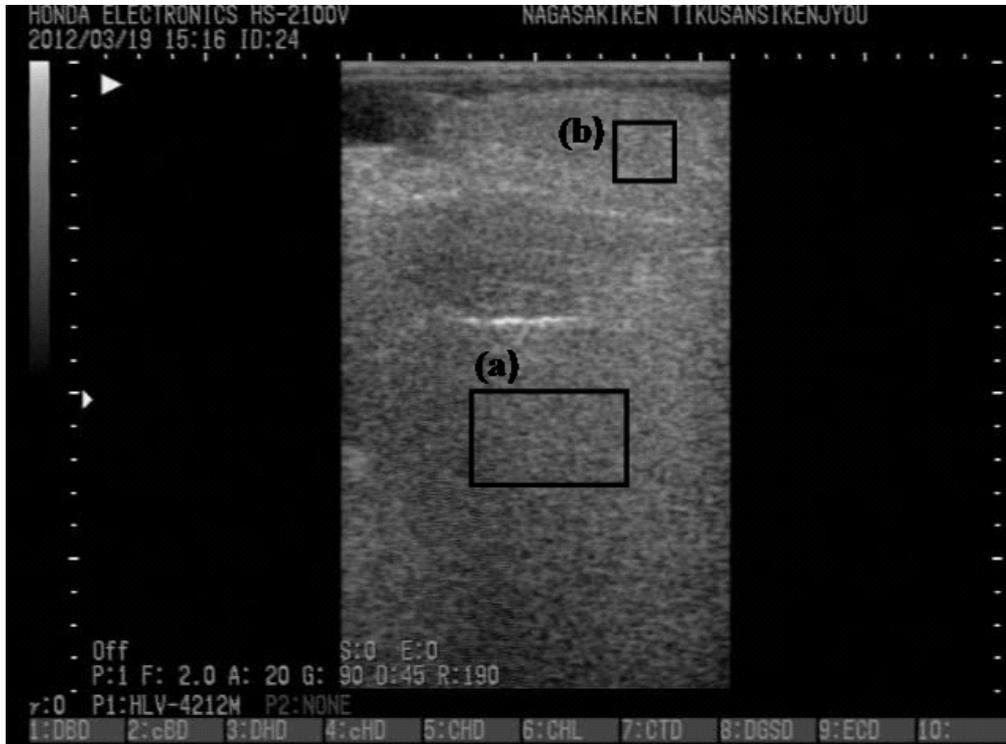


図3 - 1 超音波エコー画像のテクスチャー特徴量抽出領域
(a)胸最長筋内領域 110×60ピクセル (b)僧帽筋内領域 40×40ピクセル

レベル差分法（以下，GLDM）により求められるコントラスト，角度別 2 次元モーメント，エントロピーおよび平均，濃度ヒストグラム法（以下，GLHM）に求められる平均，分散，歪度および尖度の 3 つとした．また，SGLDM および GLDM により得られる 8 種類のテクスチャ特徴量は，濃度共起行列を計算する際にピクセル間の距離を 1，2，4，8 としてそれぞれ算出するため，2 領域合計で 72 種類の特徴量を用いた．次に，72 種類の変数について，次元数を圧縮するとともに，複数の特徴量間での高い相関関係を除去するため，主成分分析を施し，12 次元の変数へと圧縮した．ただし，合成される新たな変数は，福田ら（2010，2012）の報告および予備実験の結果から，固有値が 1 以上となるものは 10～12 変数程度であったため，12 次元の変数への圧縮とした．最後に，ニューラルネットワーク解析もしくは重回帰分析による BMS No. の推定を行った．ニューラルネットワークの構造を図 3 - 2 に示した．ニューラルネットワークは，誤差逆転伝播型のニューラルネットとし，入力層，中間層 1，中間層 2 および出力層の 4 層構造とした．また，ソフトウェアでは学習用データ抽出間隔は 2～5，学習終了閾値は 1.0～3.0（0.5 単位）で選択できることから，ネットワークは推定処理を行う前に学習用データを使って適応学習を実施した．これらの一例を図 3 - 3 に示した．例えば，抽出間隔を 3 とすると，重み更新用の群と過学習チェック用の群が 2:1 に分割され，終了閾値を 2 とすると，両群の自乗誤差関数の値の差が学習用の群の自乗誤差関数の 2 倍となった際に学習が打ち切られる．一方，重回帰分析では，主成分分析で得られた 12 次元の変数を

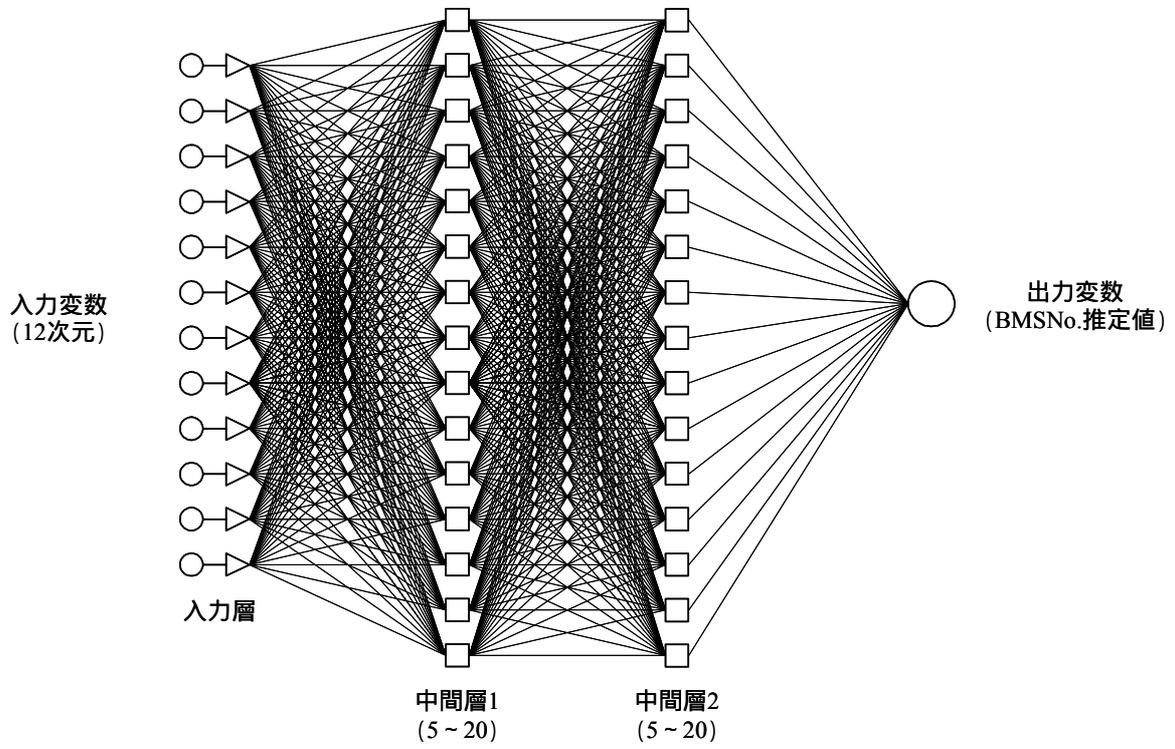
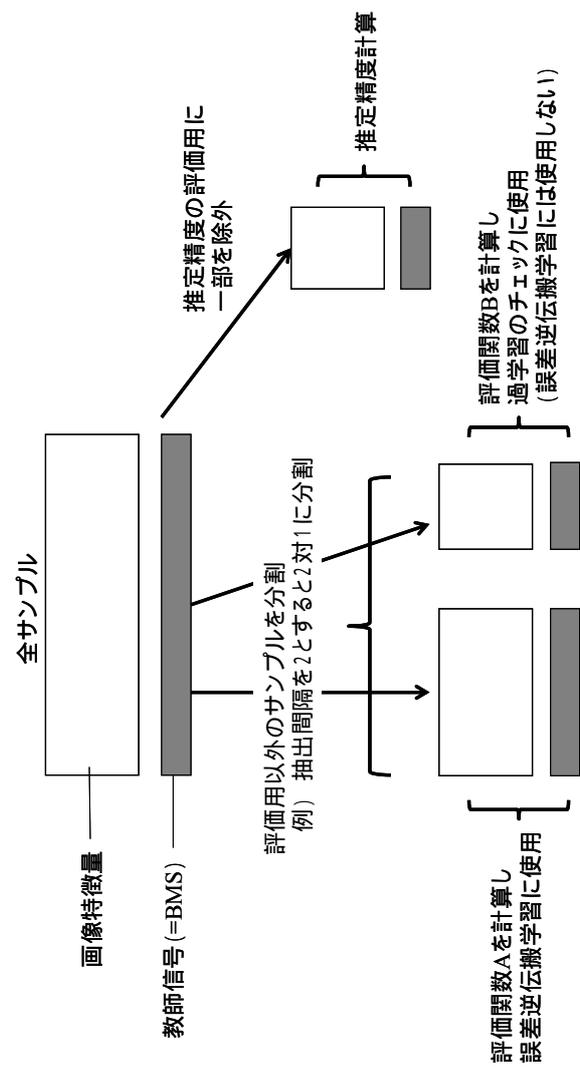
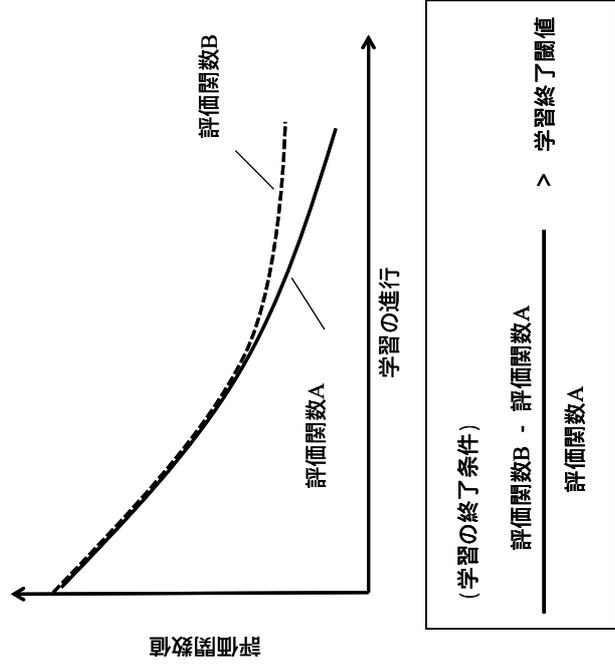


図3 - 2 ニューラルネットワークの構造



分割後のサンプル群には同じ割合のBMSが含まれるように配慮する

(a)抽出間隔について



学習時にはアトラクタが組み込まれており評価関数は単調減少する

(b)終了閾値について

図3 - 3 ニューラルネットワークにおける適応学習

説明変数，BMS No.を目的変数とした．

(3)肉質推定自動プログラム

前述した画像解析による BMS No.推定プログラムプロトタイプのインタフェース画面遷移イメージと入出力および実際のシステム上の画面を図 3 - 4 および 3 - 5 に示した．解析においては，まず，ホーム画面より処理（計測，解析および推定）を選択した．計測処理については，計測画面において診断装置本体の NTSC 出力端子より出力されたアナログビデオ信号をスキャンコンバーターによりデジタル信号に変換し，PC/AT 互換機用ビデオカードによりリアルタイムに BMS No.推定プログラム上で再生および AVI 形式による録画を可能とした．なお，本試験では，前述のとおり，超音波エコー画像を DVD レコーダーに記録し，DVD 記録メディアを PC にて読み込み後，非圧縮 AVI 形式に変換したため，AVI 形式による録画を可能とする機能は利用しなかった．解析処理は，ホーム画面より重回帰分析もしくはニューラルネットワーク解析のいずれかの選択とした．次に，テクスチャ解析画面において AVI 形式に変換された超音波エコー画像を呼び出し，胸最長筋（*M. longissimus thoracic*）および僧帽筋（*M. trapezius*）内の解析範囲を決定し，テクスチャ特徴量を抽出した．抽出された特徴量にはファイル名を入力し，ハードディスクに保存された．推定処理では，BMS No.推定画面において抽出された特徴量ファイルおよび学習用データベースを決定し，前述した推定処理により BMS No.が自動的に表示された．この学習用データベースは，超音波エコー画像 72 次元の特徴量ならびに BMS No. を

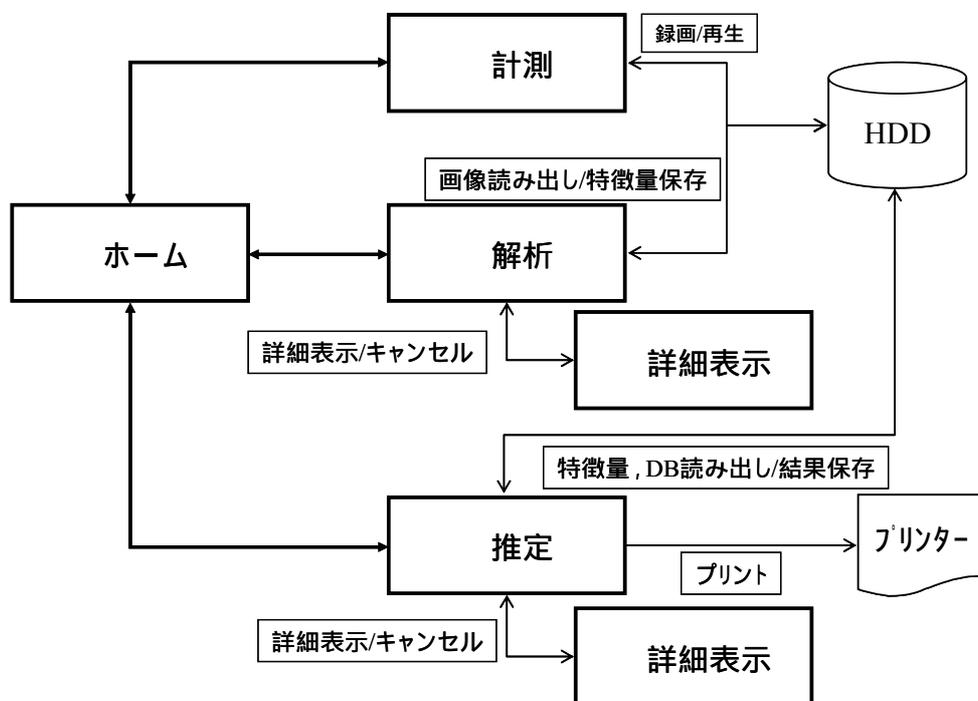
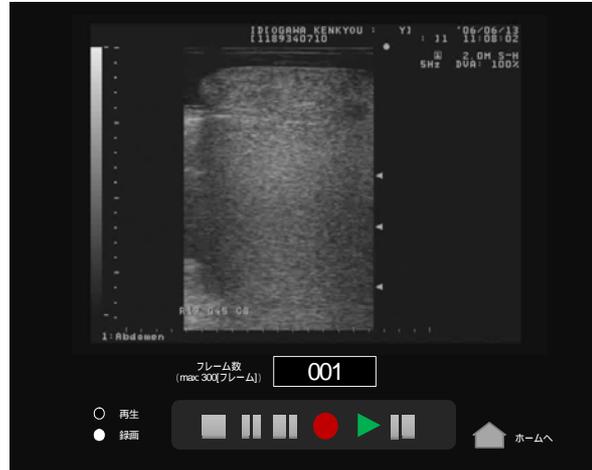


図3 - 4 インタフェース画面遷移イメージと入出力



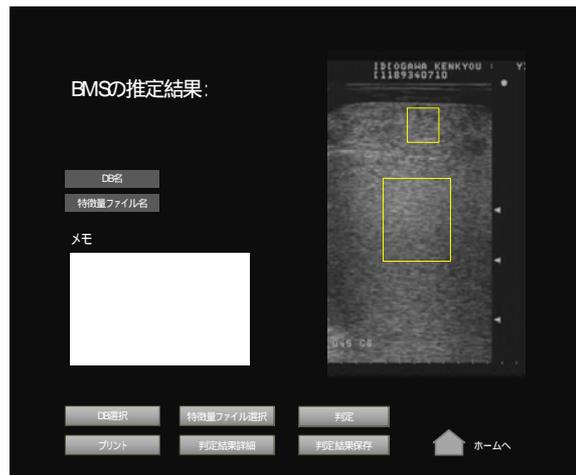
(a)ホーム画面



(b)計測画面



(c)テクスチャー解析画面



(d)BMS推定画面

図3 - 5 システム上の画面

テキスト形式で保存し，事前に準備する必要がある．ニューラルネット解析のパラメータは，中間層 1 および 2 のユニット数，学習用データの抽出間隔および学習終了閾値を選択でき，それぞれの選択範囲は 5～20，2～5 および 1.0～3.0 (0.5 単位) である．本試験では，学習用データベース，BMS No.推定処理の反復回数，ニューラルネット解析の中間層および解析手法（ニューラルネットワークおよび重回帰）によって自動推定された BMS No.と出荷後の BMS No.実測値との関係について単回帰分析を行い，単回帰における分散分析から相関係数 (r) と残差標準偏差 (RSD) を算出し，各回帰式の推定精度を比較検討した (応用統計ハンドブック編集委員会 1989) ．

1)学習用データ

超音波エコー画像全 81 頭のデータのうち，2011 年 4 月～2012 年 3 月に出荷された 55 頭分 (BMS No.3～10，平均±標準偏差：6.2±2.0) を学習用データとし，2012 年 4 月～10 月に出荷された 26 頭分 (BMS No.3～10，平均±標準偏差：6.8±2.2) を BMS No.推定用として回帰分析に供した．学習用データ 55 頭分のうち，BMS No.6 は 15 頭と最も多く，BMS No.3,9 および 10 は 5 頭と最も少なく，BMS No.ごとの頭数にばらつきがあった．そこで，学習用データを全 55 頭とした場合と BMS No.3～10 の各段階のデータを無作為に 5 頭ずつ抽出し，40 頭分とした場合との推定予測値を比較した．なお，中間層 1 および 2 のユニット数は 15，学習用データの抽出間隔は 2，学習終了閾値は 3 とした．

2)推定処理の反復回数

学習ごとにニューラルネットの初期重み係数をランダムに設定している特徴上、推定する度に異なる BMS No.推定結果が示された。そこで、推定処理の反復回数が推定精度に与える影響を明らかにするため、推定を 1,3 および 5 回行い、その BMS No.推定値の平均と BMS No.の実測値を比較した。なお、中間層 1 および 2 のユニット数は 15、学習用データの抽出間隔は 2、学習終了閾値は 3 とした。

3)ニューラルネット解析における中間層ユニット数

ニューラルネット解析の中間層 1 および 2 の両ユニット数を 5, 10, 15 および 20 と設定し、ユニット数が BMS No.推定精度に与える影響を明らかにするため、ユニット数ごとの BMS No.推定値と BMS No.の実測値を比較した。なお、学習用データの抽出間隔は 2、学習終了閾値は 3 とした。

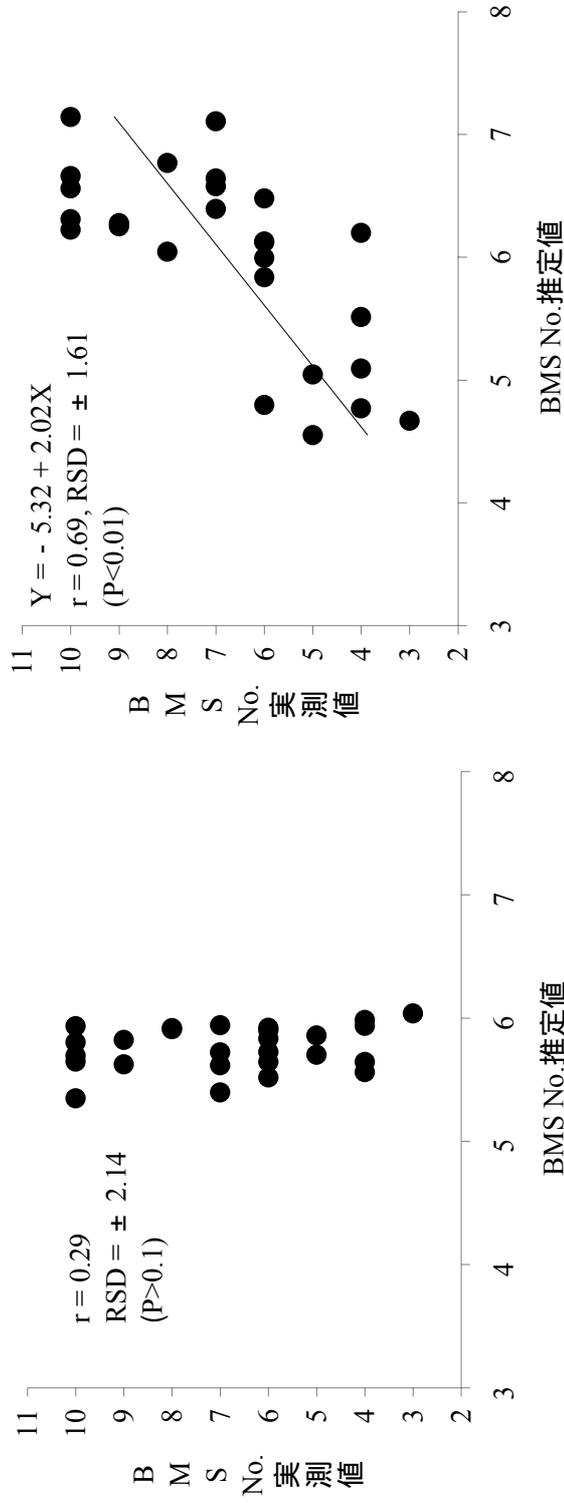
4)ニューラルネットワークと重回帰の比較

BMS No.推定におけるモデリング手法が推定精度に与える影響を明らかにするため、ニューラルネットワークおよび代表的な線形モデリング手法の 1 つである重回帰分析によって自動推定された BMS No.と出荷後の BMS No.実測値との関係について単回帰分析を行い、上記と同様、単回帰における分散分析から r と RSD を求め、各回帰式の推定精度を比較検討した。

3. 結果および考察

(1)学習用データ数が BMS No.の推定精度に与える影響

学習用データ数が BMS No.の推定精度に与える影響を図 3 - 6 に示す。学習用データ全 55 検体を用いた BMS No.推定値と BMS No.実測値との間には、有意な相関は認められなかった ($r=0.29$, $P>0.1$)。一方、BMS No.3 ~ 10 の各段階のデータを 5 頭ずつに揃えた学習用データを用いた BMS No.推定値(X)と BMS No.実測値(Y)との間には、 $Y = -5.32 + 2.02X$ (ただし、 $4 < X < 8$ かつ $3 < Y < 10$) で示される有意な回帰式が得られた ($r=0.69$, $RSD = \pm 1.61$, $P < 0.01$)。本試験と分野は異なるものの、ニューラルネットワークの学習用データは予測値に対して大きな影響を及ぼし、学習用データがパターン認識精度に影響を及ぼすことが報告されている (森田ら 2005)。本試験においても、偏りのあるデータを単純に数多く学習させるよりも、BMS No.ごとに平均的に配置した学習用データを用いることで BMS No.推定精度が向上すると考えられる。本試験の推定プログラムでは、BMS No.推定処理を行う前に学習用データベースを 2 群に分割し、1 群を重みの更新、もう 1 つの群を過学習のチェックのために使用した。また、その群分けの抽出間隔を設定することも可能であった。そのため、BMS No.に偏りがなくとも、BMS No.ごとに 1 頭ずつの学習用データでは学習自体が成り立たず、高い BMS No.推定精度は得られなかった。この点を踏まえると、最低でも BMS No.ごとに 4 頭分以上の学習用データが必要であり、その学習抽出間隔も 2 および 3 程度が適当であると考えられた。



(a) 学習用データのばらつきが大きい場合 (n=55)

(b) 学習用データのばらつきが小さい場合 (n=40)

図3 - 6 学習用データ数がBMS No.の推定精度に及ぼす影響 (n=26)

(2)自動推定の反復回数が BMS No.の推定精度に与える影響

自動推定の反復回数が BMS No.の推定精度に与える影響を図 3 - 7 に示した .

自動推定 1 回のみの BMS No.推定値と BMS No.実測値との間には , $Y = -5.32 + 2.02X$ (ただし , $4 < X < 8$ かつ $3 \leq Y \leq 10$) で示される有意な回帰式が得られた ($r = 0.69$, $RSD = \pm 1.61$, $P < 0.01$). それに対し , 自動推定を 3 および 5 回反復させた場合の推定値と実測値の間には , それぞれ $Y = -8.35 + 2.47X$ および $Y = -9.53 + 2.67X$ (ただし , いずれも $4 < X < 8$ かつ $3 \leq Y \leq 10$) で示される有意な回帰式が得られ (それぞれ , $r = 0.78$, $RSD = \pm 1.40$, $P < 0.01$ および $r = 0.80$, $RSD = \pm 1.33$, $P < 0.01$), 反復を行うことで r は高く , かつ RSD は低くなり , 推定精度は向上した . ニューラルネットを用いた自動推定値は , 重回帰分析などによる予測と異なり , 推定を行う度に異なる結果を示す . そのため , 本試験の結果は自動推定の反復を重ね , その平均を BMS No.推定値とすることで , BMS No.推定精度が向上すると考えられた . この場合 , 反復回数の増加に伴う BMS No.推定値の標準偏差は , 反復 3 回の場合に 0.32 , 反復 5 回の場合に 0.33 であり , BMS No.推定値のばらつきは同程度となった . このことから , 5 回以上の反復が BMS No.推定精度を高める可能性は低いものと考えられた . また , 生産現場での予測を簡易に短時間で行うためにも , 反復回数の増加に伴って推定時間を延長することは好ましくないため , 今後 , 自動推定システム自体に BMS No.推定の反復を 5 回程度と設定することが必要と考えられた .

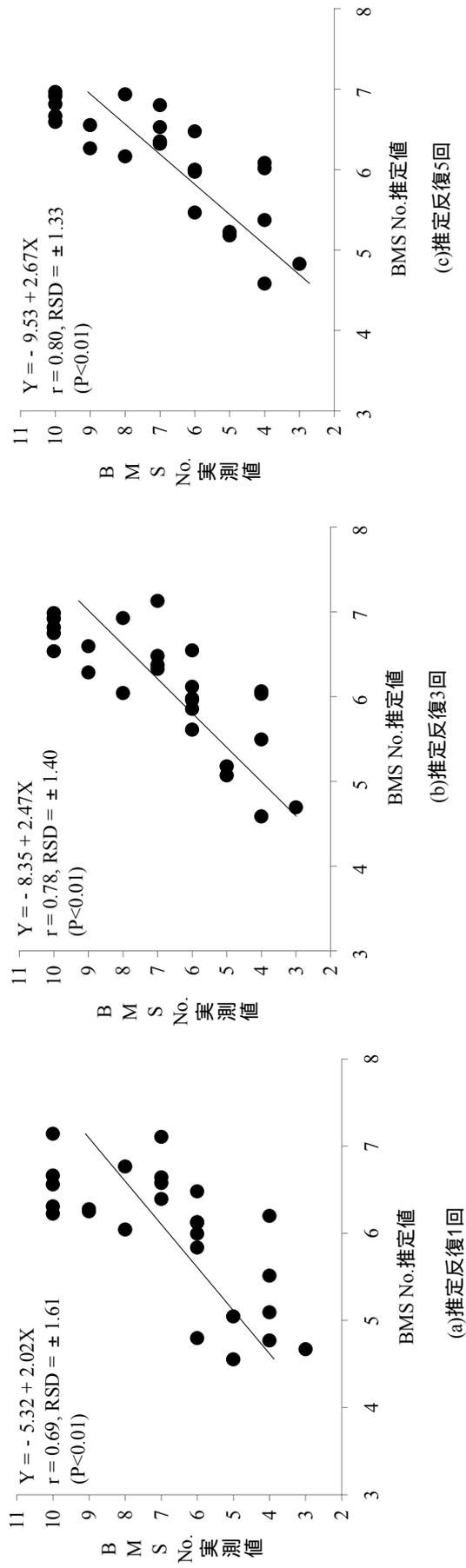
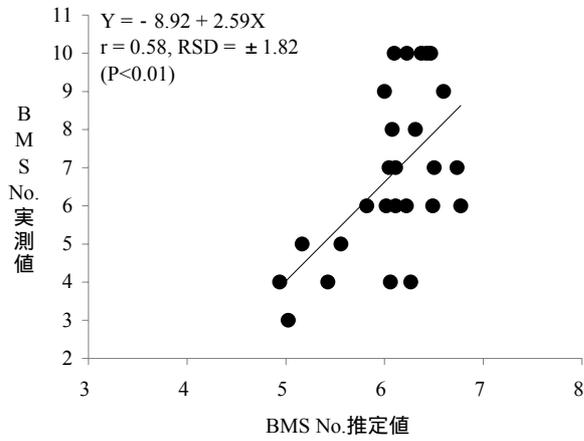


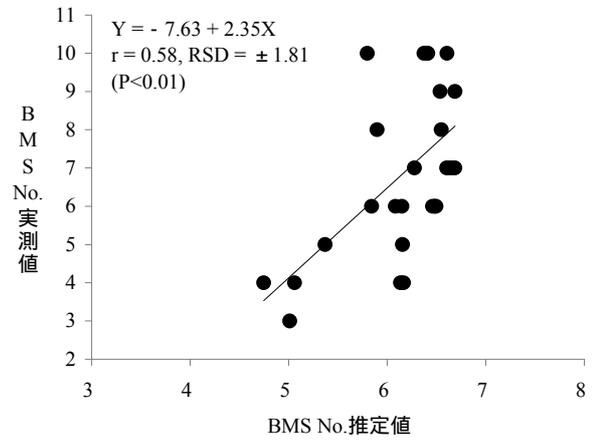
図3 - 7 推定の反復回数がBMS No.の推定精度に及ぼす影響 (n=26)

(3)中間層ユニット数が BMS No.の推定精度に与える影響

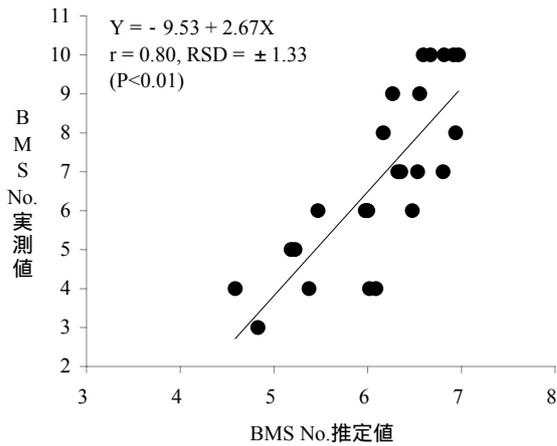
中間層ユニット数が BMS No.の推定精度に与える影響を図 3 - 8 に示した .
ニューラルネットにおける中間層 1 および 2 のユニット数を 5 , 10 , 15 および 20 とした場合の BMS No.推定値と BMS No.実測値との間には , それぞれ $Y = - 8.92 + 2.59X$, $Y = - 7.63 + 2.35X$, $Y = - 9.53 + 2.67X$ および $Y = - 0.93 + 2.57X$ (ただし , いずれも $4 < X < 8$ かつ $3 \leq Y \leq 10$) で示される有意な回帰式得られた (それぞれ , $r = 0.58$, $RSD = \pm 1.82$, $P < 0.01$; $r = 0.58$, $RSD = \pm 1.81$, $P < 0.01$; $r = 0.80$, $RSD = \pm 1.33$, $P < 0.01$ および $r = 0.77$, $RSD = \pm 1.44$, $P < 0.01$) . ニューラルネットにおける中間層のユニット数は , ネットワークの汎化能力に大きな影響を与えるとされており (上坂 1991) , その数は試行錯誤で経験的に決定する必要があるとされている (大井と菊川 1995) . また , 実際に試行錯誤したユニット数を決定する際 , ニューラルネットの入力層が 10 前後の場合には , 中間層のユニット数を入力層の数以上に設定するものが多くみられる (魚本ら 1994 ; 土肥と尾崎 1999 ; 間瀬ら 2007) . 本試験でも , 入力層が 12 であるのに対し , 中間層のユニット数を 15 および 20 と設定した場合 , r は高く , かつ RSD は低くなり , BMS No.推定精度の向上が認められたため , 入力層の数以上の中間層ユニット数を設定する必要性が示唆された . また , 中間層ユニット数 15 および 20 の BMS No.推定精度を比較すると , ほぼ同様の推定精度となったため , ユニット数 15 前後で十分な BMS No.推定精度が得られるものと考えられた .



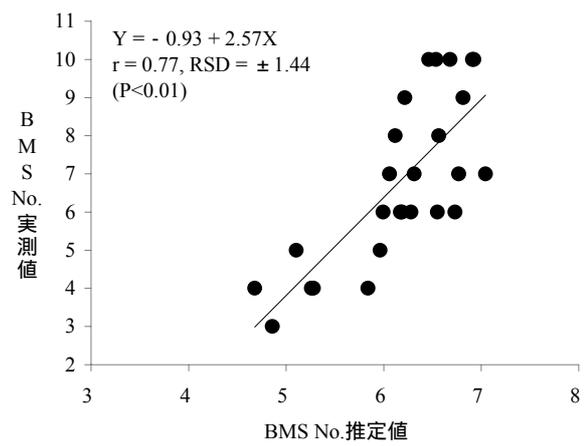
(a)中間層ユニット数5



(b)中間層ユニット数10



(c)中間層ユニット数15



(d)中間層ユニット数20

図3 - 8 ニューラルネットワークの中間層ユニット数の違いがBMS No.の推定精度に及ぼす影響 (n=26)

(4)BMS No.推定におけるモデリング手法が推定精度に与える影響

BMS No.推定におけるモデリング手法が推定精度に与える影響を図3-9に示した。前述した学習用データ，反復回数および中間層のユニット数を適宜調整したニューラルネット解析によるBMS No.推定値とBMS No.実測値との間には， $Y = -9.53 + 2.67X$ （ただし， $4 < X < 8$ かつ $3 \leq Y \leq 10$ ）で示される有意な回帰式が得られた（ $r=0.80$ ， $RSD=\pm 1.33$ ， $P<0.01$ ）。一方，重回帰分析によるBMS No.推定値とBMS No.実測値との間には， $Y = 2.18 + 0.84X$ （ただし，いずれも $4 < X < 8$ かつ $3 \leq Y \leq 10$ ）で示される有意な回帰式が得られた（ $r=0.42$ ， $RSD=\pm 2.03$ ， $P<0.05$ ）。したがって，BMS No.推定におけるモデリング手法を比較すると，ニューラルネットワーク解析によって得られた回帰式の r は，重回帰分析によって得られた回帰式のそれよりも高く，かつ前者の回帰式のRSDは後者の回帰式のそれよりも低いことから，前者の方が優れたBMS No.推定能力を有していることが示唆された。これまでに坂東島ら（2007）は超音波診断画像の41形質の画像解析形質などを独立変数としてBMS No.に対する重回帰分析することにより，比較的精度の高いBMS No.推定が可能であると報告しているが，BMS No.8以上では推定精度が低下するとしている。また，川田ら（2008）は超音波画像の濃淡模様を定量化するためにテクスチャ解析を用いることを提案し，特徴量の次元数を単相関分析に基づいて減少させた変数とBMS No.に対して重回帰分析を行った結果，重相関係数が0.71（ $P<0.01$ ）と高い相関が得られたとしている。本試験におけるBMS No.推定のモデリング手法は，超音波エコー画像テク

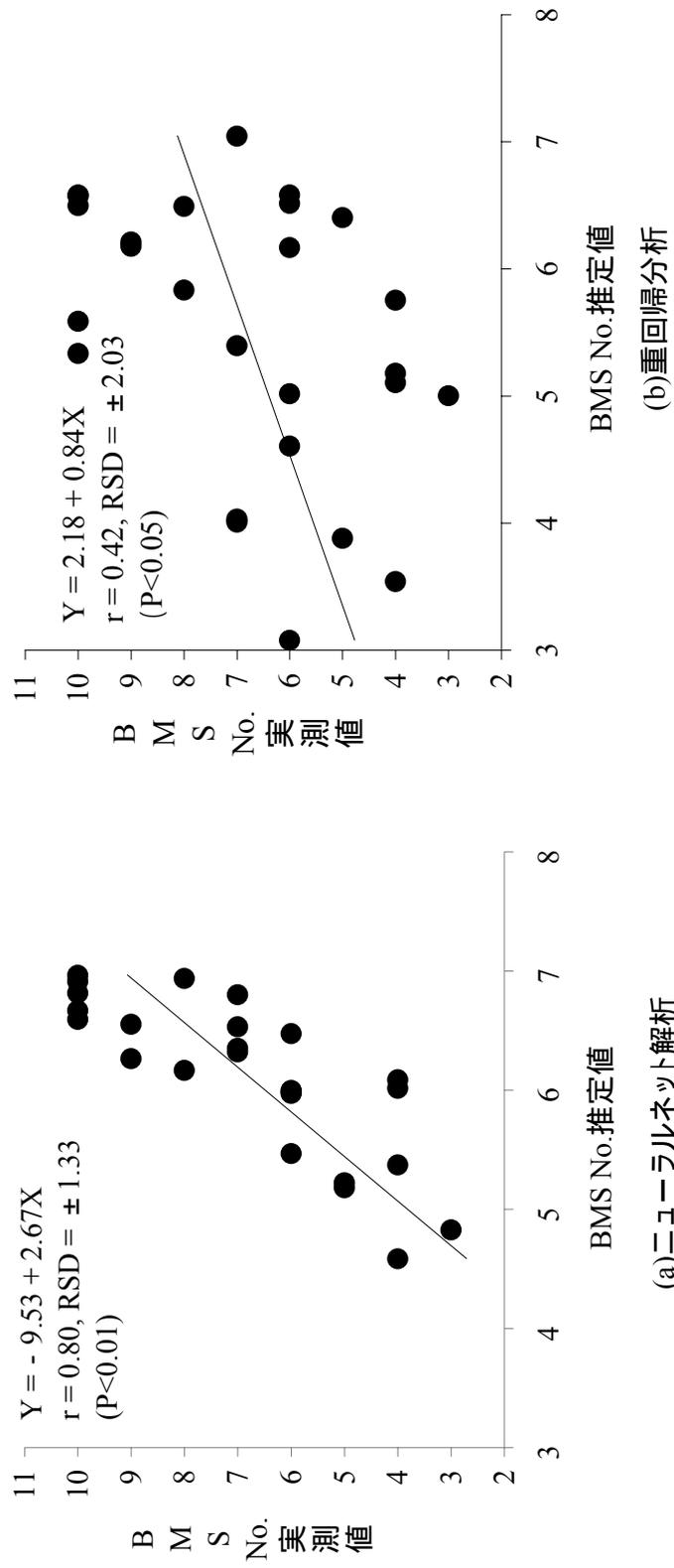


図3 - 9 BMS No.推定におけるモデリング手法の差異が推定精度に及ぼす影響 (n=26)

スチャ解析による特徴量を主成分分析した 12 次元の変数を基に ,ニューラルネットワークもしくは重回帰分析により行われた . そのため , 坂東島ら (2007) や川田ら (2008) の手法とは説明変数の抽出が異なり , 単純な比較は難しいが , 重回帰分析を適用した場合と比較して , ニューラルネットワーク解析によるモデリング手法は , 優れた BMS No. 推定精度を示したと考えられる .

これまでに示したように , プロトタイプの推定プログラムを用いる場合 , ニューラルネットワーク解析を用い , 学習用データ , 推定の反復および中間層のユニット数を BMS No. 推定に有効な設定とすることで BMS No. 推定精度が高くなることを明らかにした .

福田ら (2012) の報告では , BMS No. 推定値と BMS No. 実測値との相関係数は 0.55 ~ 0.88 , プロトタイプの推定プログラムを用いた本試験のそれは 0.80 であり , 同程度の推定精度であった . 福田ら (2012) が利用した装置 (スーパーアイミート , 富士平工業 (株) 製) と今回利用した装置 (HS-2100V , 同社製) との違いは , 前者ではアナログ信号によりブラウン管モニターにエコー画像が映し出されるのに対し , 後者ではデジタル信号により液晶モニターにエコー画像が映し出されることである . ブラウン管モニターと液晶モニターの画質は異なるとされており (田村と大石 2001 ; 長谷川ら 2006) , 超音波エコー画像においてもモニターに映し出す映像信号が異なることにより画像特徴量が異なることが考えられる . そのため , 超音波装置を同一機種とした画像を BMS No. 推定プログラムに用いることが必要であると考えられる .

超音波測定時の装置の設定や調整については，BMS No.推定に対して画像の基本となる輝度レベルの調整やその調整したレベル値の出力などに関する設定の必要性があるとされている（坂東島ら 2007）．一方，宮島（2001）の報告や本試験では，装置の設定は一定としている．超音波診断装置の分解能に基づくエコー源の量的・構造的差異と超音波画像との関係は，装置の分解能の寸法より小さい構造変化においては輝度の変化および分布が微視的構造や質的变化などの定性的情報を示している．そのため，分解能の寸法より大きい空間に対する構造変化である場合，輝点の配列が巨視的構造を反映し，これらが混在した場合，無数の構造物がエコー源となり，一塊の超音波パルスの中で加算され，この干渉により粒子状の輝点が散在するようになるとされている（大川井 1997）．また，近年の黒毛和種における胸最長筋内の粗脂肪含量は 43%という非常に高い値を示し（坂下ら 2004），胸最長筋内に均一性の高い脂肪蓄積領域の局在的な増加が，超音波画像の画像特徴量を複雑に変化させる要因とする報告もある（川田ら 2008）．これらの報告を踏まえると，今後，BMS No.推定プログラムに用いる超音波画像は，装置の統一のみならず，その設定も一定とすることにより，プログラムの BMS No.推定精度を高く維持できるものと考えられる．

BMS No.の推定精度については，これまでに BMS No.推定値と BMS No.実測値との間に 0.57～0.77 の相関係数が報告されている（原田 1996；安部ら 2000；徳永ら 2004；佐藤と高野 2008）．また，枝肉の格付けに際し，BMS No.判定は

評価者の目視による個人差が生じる可能性があり，その評価には脂肪交雑粒子の粗さや胸最長筋の変形が影響するとされている（口田ら 2004）．これらのことを踏まえても，本試験のプログラムによる BMS No.推定は，信頼性が高い方法と考えられる．ただし，本システムの BMS No.推定値は 4 より大きく，かつ 8 未満であった．今後，学習データに BMS No.2，11 および 12 を含めるとともに，ばらつきなく学習データを漸増させることで，BMS No.4 以下および 8 以上の推定の可能性を提示する必要があると考える．

これまでに超音波エコー画像の特徴量を基にした BMS No.推定に関する知見がある（徳永ら 2004；坂東島ら 2007；川田ら 2008）が，現場で利活用できるオールインワン・システムには至っていない．本試験において作成したプロトタイプタイプの BMS No.推定プログラムは，PC で利用できるオールインワン・システムであるとともに，1 頭当たりの推定計算時間は 30 秒以内である．前述した反復を行ったとしても，1 頭当たり数分で BMS No.推定を行うことが可能であるため，生産現場において短時間で利活用できるシステムである．ただし，川田ら（2008）の報告にもあるように，BMS No.を推定するためには，格付時の脂肪交雑の推定領域である胸最長筋内部の画像特性を正確に把握することが重要である．画像特徴量から BMS No.を自動的に推定する本試験の推定プログラムにおいても，肥育牛の超音波エコー画像の測定，推定に用いる画像の特定および画像解析の領域の決定は使用者が行う必要がある．特に，解析すべき 2 領域を確実に胸最長筋および僧帽筋内とすることは必須となる．そのため，測定者

は肥育牛における超音波画像測定に関する技術取得が一層求められる。

以上から，本試験で作成したプロトタイプの本MS No.推定プログラムにおいて学習用データ，本MS No.推定の反復回数およびニューラルネットにおける中間層のユニット数を適宜設定し，肥育牛生体時の超音波エコー画像の実測値を用いた場合に高い本MS No.推定精度が得られることが判明した。今後，本試験の成果を基にして本MS No.推定システムの改良を行い，製品化に向け開発を進めていくとともに，このシステムを活用することで，肥育牛における本MS No.の変化を早期に把握し，飼養管理との関係を解明することができ，産肉生理に関する研究や育種選抜・改良および生産現場での技術指導などに役立てることが可能となると考えられる。

5. 摘 要

超音波エコー画像を用いて肥育牛の本MS No.を生体で客観的に推定するため，PC上で作業できるように作成した本MS No.推定プログラムの推定精度を検討した。超音波診断装置を用い，出荷前2週間以内の黒毛和種肥育牛81頭に対し，生体左側の第6・7肋骨間で超音波測定を行った。超音波画像をPCに取り込み，胸最長筋 (*M. longissimus thoracic*) および僧帽筋 (*M. trapezius*) 内2領域のテクスチャ特徴量を抽出し，全81頭のデータ (本MS No.3~10)のうち，55頭分を学習用データに用い，26頭分は本MS No.推定値と本MS No.実測値との関係を明らかにするため，回帰分析に供した。学習用データを本MS No.ごとに平均的に

配置し，BMS No.推定プログラムによる推定を 5 回程度反復させるとともに，ニューラルネットワークにおける中間層のユニット数を 15 程度に設定した結果，画像の BMS No.推定値と枝肉の BMS No.実測値との間に有意な単回帰式が得られ ($r=0.80$ ， $RSD=\pm 1.33$ ， $P<0.01$)，高い精度で BMS No.の推定が可能となった．

第 4 章 バイオプシーによる牛枝肉脂肪交雑および胸最長筋

粗脂肪含量の推定

1. 緒 言

肉用牛の肥育においては，飼養環境，給与飼料およびその量はもちろんのこと，品種や性によって，肥育期間や目標仕上げ体重および飼料構成が異なる．また，肥育を開始して牛肉となるまでには 14～20 ヶ月間を要し，新しい技術に取り組んだとしても，その産肉性を評価するには，長期間を要する．肥育技術の効率化を図るためには，肥育期における産肉形質，特に BMS No. の変化を早期かつ的確に把握することが重要である．第 3 章では，超音波エコー画像を用いて肥育牛の BMS No. を生体で客観的に推定するため，パーソナルコンピューター（PC）上で作業できるプログラムを作成し，高い精度で BMS No. が推定できることを明らかにした．しかし，超音波診断装置は高価であり，各生産者が保有し，活用するのは困難な場合が多い．

生体の組織や臓器から材料を採取する方法としてバイオプシーがある．ヒトの医療分野では，病気の診断または病変の拡大の程度を調べるために有用な臨床検査の 1 つである（岡地ら 2011；石黒ら 2011；木澤ら 2012）．牛については，これまでにバイオプシーによる生検筋肉材料の組織学および組織化学的特性と BMS No. の関係を明らかにした報告（岩元ら 1995；後藤 2001）や生検脂肪材料を用いた脂肪酸組成の変動に関する報告（石田ら 1988；片岡ら 2008）

がある。BMS No.はリブローズならびに背半棘筋および頭半棘筋の断面により判断される（（社）日本食肉格付協会 2010）が，その BMS No.と第 10 胸椎サーロイン部位の脂肪交雑には正の相関関係があるとされている（浜崎ら 2005；中橋ら 2007，2008）。また，第 10 胸椎サーロイン部位は僧帽筋，菱形筋および背半棘筋に囲まれたリブローズに比べ，体表に近く，表皮および皮下脂肪層に隣接する下部に位置しており（加藤と山内 1995），バイオプシーによる生検筋肉材料採取が容易であると予想される。さらに，BMS No.と牛肉中の水分または粗脂肪含量との相関は高い（小堤ら 1985；梅北ら 1992）。これらのことから，バイオプシーにより採取したサーロイン部位の生検筋肉材料の水分または粗脂肪含量と BMS No.の関係を把握することができれば，低コストかつ客観的な脂肪交雑推定法の確立につながるものと考えられる。しかし，生検筋肉材料と化学成分，特に水分または粗脂肪含量と BMS No.の関係を明らかにした研究は見当たらない。

そこで本章では，低コストかつ客観的な脂肪交雑推定法を確立することを目的とし，肥育牛におけるサーロイン生検筋肉材料の水分または粗脂肪含量，リブローズの粗脂肪含量および BMS No.の相互関係をそれぞれ明らかにした。

2. 材料および方法

供試牛には，長崎県農林技術開発センターで飼養され，2010年8月から2013

年 11 月に長崎県の佐世保食肉センター株式会社に出荷された黒毛和種肥育牛去勢 37 頭および未經産雌 12 頭 (平均月齢±標準偏差: 28.6±2.2 カ月齢, 平均体重±標準偏差: 752.8±96.5 kg) ならびにホルスタイン種肥育牛去勢 6 頭 (平均月齢±標準偏差: 22.1±0.3 カ月齢, 平均体重±標準偏差: 809.3±27.0 kg) を用いた。枝肉格付成績としては, (公社) 日本食肉格付協会による評価を用いた。供試牛の BMS No. は 2~11 の範囲であり, その平均値は 6.4, 標準偏差は 2.3 であった。なお, 本試験で供した黒毛和種には, BMS No. の低い個体 (2 または 3) が各 1 頭しか含まれていなかったため, 例数確保のために低い BMS No. のホルスタイン種 6 頭 (BMS No.2 の 4 頭, BMS No.3 の 2 頭) を加えた。

バイオプシーによる採取については, 枝肉となる約 1 カ月前に行った。その際, 供試牛を保定枠に入れ, 鎮静し (セラクター 2% 注射液 1 ml, バイエル薬品株式会社, 大阪), 牛体左側の最後位腰椎から頭方へ (縦 200 mm×幅 300 mm) 剃毛および希ヨーチンにより消毒した。その後, 第 1 腰椎位より腹側約 100 mm から頭方へ 30 mm 間隔で 3 カ所に局所麻酔 (動物用塩プロ注「KS」3 ml, 共立製薬株式会社, 東京) し, メスを用いて表皮を 3 mm 程度切開した部位でバイオプシーを行った。切開した 3 カ所に生検針 (エースカット 11 G×150 mm, 株式会社タスク, 栃木) を頭方へ約 60° の角度で差し込み, 3 箇所から合計で胸最長筋肉材料が約 400 mm 採取されるまで数回穿刺した。なお, 生検針が皮下脂肪を貫通し, サーロインに当たったのを確認した後, サーロイン内部に約 30 mm の深さまで挿入した。生検筋肉材料は約 200 mm (約 0.4 g) ごとに, 予め

海砂（約 0.4 g）とガラス棒を入れて秤量したビーカー（50 ml）に入れ，秤量した後，ガラス棒で海砂と混合し，牛肉の品質評価のための理化学分析マニュアル Ver.2（（社）畜産技術協会 2003）に基づいて，水分および粗脂肪含量を測定した．

リブローズについては，屠場にて枝肉の第 6-7 肋骨間切開面頭側を厚さ約 50 mm カットし，その胸最長筋のみをフードプロセッサーでミンチにし，上記と同様の方法で水分および粗脂肪含量を測定した．

供試枝肉を佐世保市食肉地方卸売市場でセリ買いした食肉流通業者より購買し，最後位胸椎位サーロインより胸最長筋のみを厚さ約 50 mm 採取し，リブローズと同様に水分および粗脂肪含量を測定した．なお，購買できた個体は全供試頭数 55 頭のうち，22 頭（黒毛和種肥育牛去勢 15 頭，雌 2 頭およびホルスタイン種肥育牛去勢 5 頭）であった．

得られたデータのうち，牛枝肉の BMS No. とリブローズの水分または粗脂肪含量との相関係数（ r ）ならびにリブローズの水分または粗脂肪含量とサーロインの水分または粗脂肪含量との相関係数（ r ）を求めた．また，サーロイン生検筋肉材料の水分または粗脂肪含量とリブローズの粗脂肪含量との関係ならびにサーロイン生検筋肉材料の水分または粗脂肪含量と BMS No. との関係についてそれぞれ単回帰分析を行い，単回帰における分散分析から相関係数（ r ）と残差標準偏差（RSD）を算出し，各回帰式の推定精度を比較検討した（応用統計ハンドブック編集委員会 1989）．

3. 結果および考察

牛枝肉における BMS No. とリブロースの水分または粗脂肪含量との関係ならびに BMS No. とリブロスおよびサーロインにおける水分または粗脂肪含量との関係を表 4-1 に示した。BMS No. とリブロースの水分または粗脂肪含量との相関係数は、それぞれ -0.92 ($P < 0.01$) および 0.91 ($P < 0.01$) といずれも非常に高かった。この結果は BMS No. と牛肉中の水分または粗脂肪含量との相関が高い（黒毛和種：水分 $r = -0.77 \sim -0.89$ ，粗脂肪 $r = 0.85 \sim 0.9$ ，ホルスタイン種：水分 $r = -0.87$ ，粗脂肪 $r = 0.85$ ）とするこれまでの報告（小堤ら 1985；梅北ら 1992）と一致した。近年，デジタルカメラなどで得られた牛肉の画像から粗脂肪含量を推定できる画像解析が開発されている（小西ら 1995；米丸ら 2002）。この画像解析によりリブロスとサーロインの脂肪交雑の関係を調査した結果，第 6-7 切開面ロース芯内の脂肪面積割合と最後腰椎ロース芯内の脂肪面積割合には $0.89 \sim 0.9$ の有意な正の相関が認められている（中橋ら 2007，2008）。本試験においても中橋ら（2007，2008）の報告と同様にリブロスの粗脂肪含量とサーロインの粗脂肪含量との相関係数は， 0.91 と有意な正の相関（ $P < 0.01$ ）を示した。また，BMS No. とサーロインの粗脂肪含量との相関係数は， 0.79 と有意な正の相関（ $P < 0.01$ ）を示した。さらに，BMS No. またはリブロスの粗脂肪含量とサーロインの水分含量の相関係数は，それぞれ -0.79 ($P < 0.01$) および -0.90 ($P < 0.01$) を示し，BMS No. またはリブロスの粗脂肪含量とサーロ

表4 - 1 牛枝肉におけるBMS No.と第6-7肋骨間切開面胸最長筋(リブローズ)の化学成分との関係ならびにBMS No.と最後位胸椎位胸最長筋(サーロイン)の化学成分との相関係数

	区 分			
	リブローズ ¹⁾ (n=55)		サーロイン ²⁾ (n=22)	
	水分含量	粗脂肪含量	水分含量	粗脂肪含量
BMS No.	- 0.92**	0.91**	- 0.79**	0.79**
リブローズ 粗脂肪含量	- 0.99**	-	- 0.90**	0.91**

**P<0.01

1) 枝肉第6-7肋骨間切開面頭側の胸最長筋

2) 枝肉サーロインの胸最長筋

インの粗脂肪含量との相関（それぞれ， $r=0.79$ および $r=0.91$ ）と正負逆の相関を示した．これはリブローズの粗脂肪含量と水分含量との間に非常に高い負の相関（ $r= - 0.99$ ， $RSD=\pm 0.01$ ， $P<0.01$ ）がみられたことに起因するものと考えられた．この結果は，黒毛和種およびホルスタイン種のいずれも胸最長筋内の水分と粗脂肪含量には，極めて高い負の相関関係（ $r= - 0.99$ ）にあるとする報告（小堤ら 1985）と一致した．

以上の結果から，バイオプシーなど何らかの手法によりサーロインの水分または粗脂肪含量が把握できれば，リブローズの粗脂肪含量ならびに BMS No. の推定が可能であることが示唆された．

次に，肥育牛におけるサーロイン生検筋肉材料の水分含量とリブローズの粗脂肪含量との関係ならびにサーロイン生検筋肉材料の粗脂肪含量とリブローズの粗脂肪含量との関係をそれぞれ図 4 - 1 および 4 - 2 に示した．サーロイン生検筋肉材料の水分含量とリブローズの粗脂肪含量の間には， $Y= 78.17 - 0.83X$ （ただし， $25.6 \leq X \leq 70.9$ かつ $15.7 \leq Y \leq 61.9$ ）で示される有意な回帰式が得られた（ $r= - 0.86$ ， $RSD=\pm 5.67$ ， $P<0.01$ ）．また，サーロイン生検筋肉材料の粗脂肪含量とリブローズの粗脂肪含量の間には， $Y= 14.25 + 0.61X$ （ただし， $9.2 \leq X \leq 69.7$ かつ $15.7 \leq Y \leq 61.9$ ）で示される有意な回帰式が得られた（ $r=0.88$ ， $RSD=\pm 5.34$ ， $P<0.01$ ）．これらの相関は前述した枝肉でのリブローズの粗脂肪含量とサーロインの水分含量との相関（ $r= - 0.90$ ）ならびにリブローズの粗脂肪含量とサーロインの粗脂肪含量との相関（ $r=0.91$ ）と同程度であり，出荷約 1

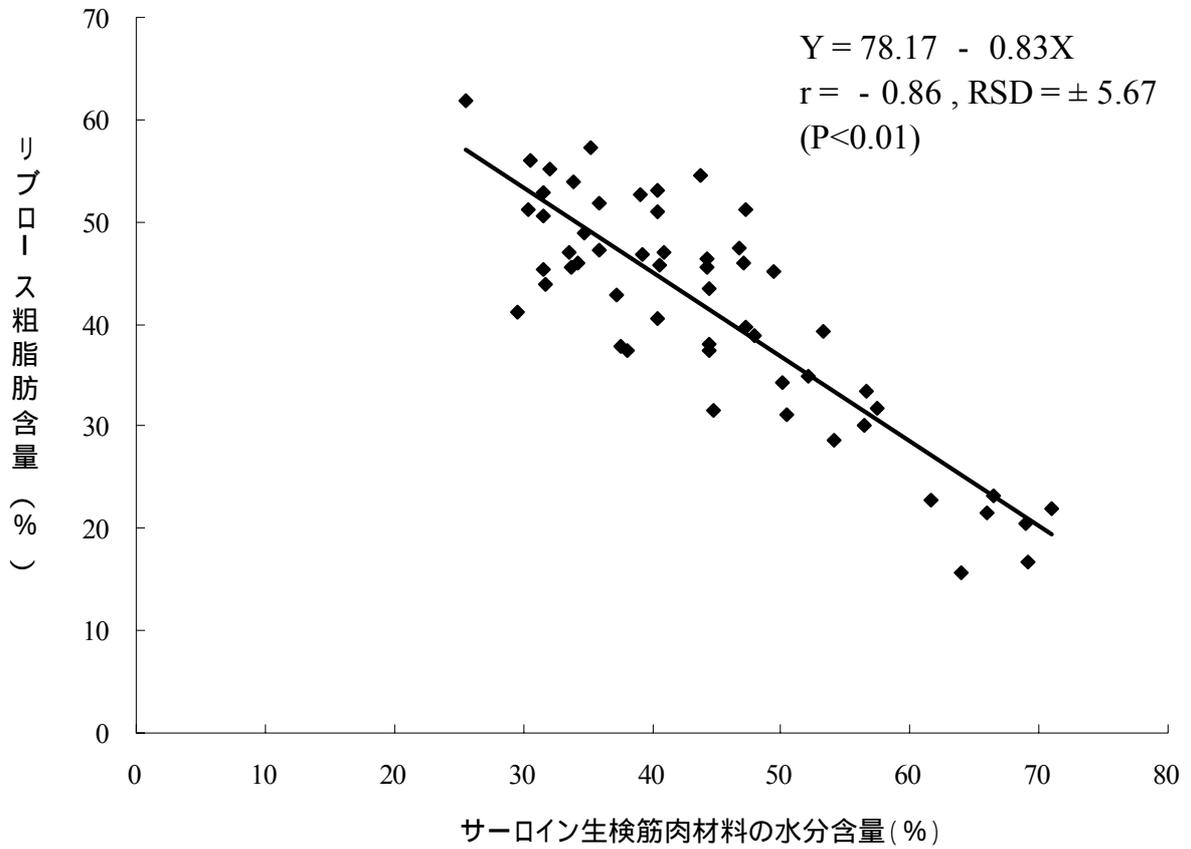


図4 - 1 肥育牛における最後位胸椎位胸最長筋(サーロイン)生検筋肉材料の水分含量と枝肉の第6-7肋骨切開面胸最長筋(リブローズ)粗脂肪含量との関係 (n=55)

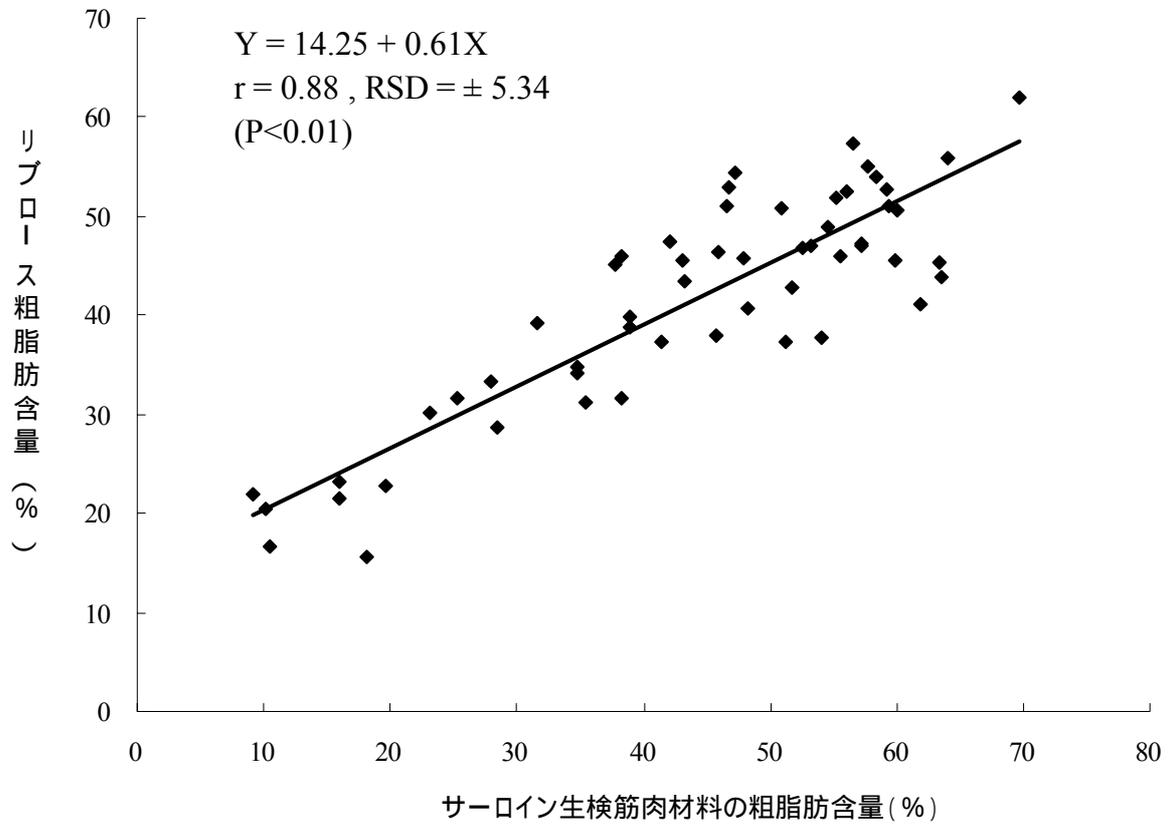


図4 - 2 肥育牛における最後位胸椎位胸最長筋(サーロイン)生検筋肉
 材料の粗脂肪含量と枝肉の第6-7肋骨切開面胸最長筋(リブロー
 ス)脂肪含量との関係(n=55)

ヵ月前のサーロイン生検筋肉材料の水分または粗脂肪含量により枝肉リブロー
スの粗脂肪含量を推定できることが示唆された。

肥育牛におけるサーロイン生検筋肉材料の水分含量と BMS No.との関係なら
びにサーロイン生検筋肉材料の粗脂肪含量と BMS No.との関係をそれぞれ図 4
- 3 および 4 - 4 に示した。サーロイン生検筋肉材料の水分含量と BMS No.の間
には、 $Y = 13.67 - 0.16X$ (ただし、 $25.6 \leq X \leq 70.9$ かつ $2 \leq Y \leq 11$) で示される有
意な回帰式が得られた ($r = -0.80$, $RSD = \pm 1.41$, $P < 0.01$)。また、サーロイン生
検筋肉材料の粗脂肪含量と BMS No.の間には、 $Y = 1.11 + 0.12X$ (ただし、 9.2
 $X \leq 69.7$ かつ $2 \leq Y \leq 11$) で示される有意な回帰式が得られた ($r = 0.82$, $RSD = \pm 1.35$,
 $P < 0.01$)。これらの相関は前述した枝肉での BMS No.とサーロインの水分含量と
の相関 ($r = -0.79$) ならびに BMS No.とサーロインの粗脂肪含量との相関
($r = 0.79$) と同程度であった。これはバイオプシー採取した約 400 mm の生検筋
肉材料を約 200 mm ごとに分けて分析したことで、最後位胸椎位の胸最長筋を
網羅的に採取できたことに起因するものと推察される。

以上のことから、サーロイン生検筋肉材料の水分または粗脂肪含量により枝
肉の BMS No.を推定できることが示唆された。

これまで、黒毛和種殿二頭筋生検筋肉材料の筋線維型と BMS No.との関係に
ついての報告 (後藤 2001) や胸最長筋の第 2~3 腰椎位と大腿二頭筋・前部の
大腿骨大転子と坐骨結節を結ぶ線上の生検筋肉材料に脂肪細胞が多く認められ
ると BMS No.も高いとの報告 (岩元ら 1995) がある。これらの知見は組織化

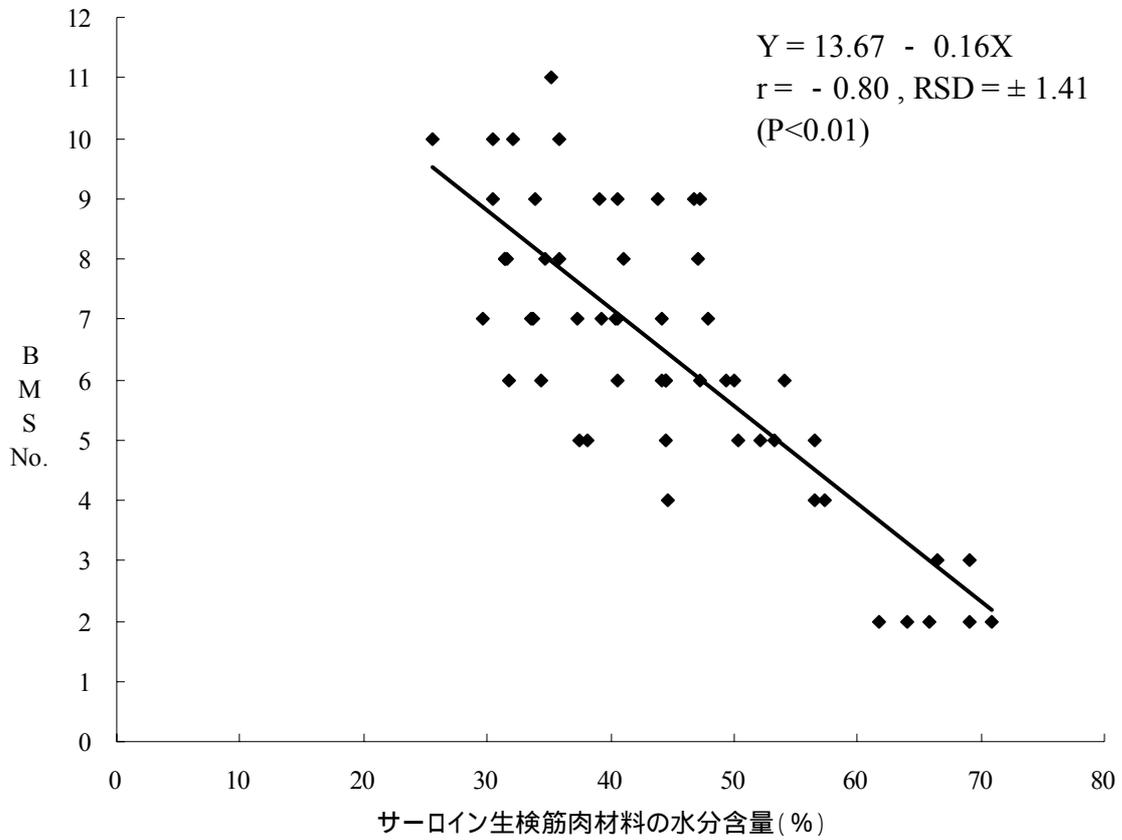


図4 - 3 肥育牛における最後位胸椎位胸最長筋(サーロイン)生検筋肉材料の水分含量と脂肪交雑度(BMS No.)との関係(n=55)

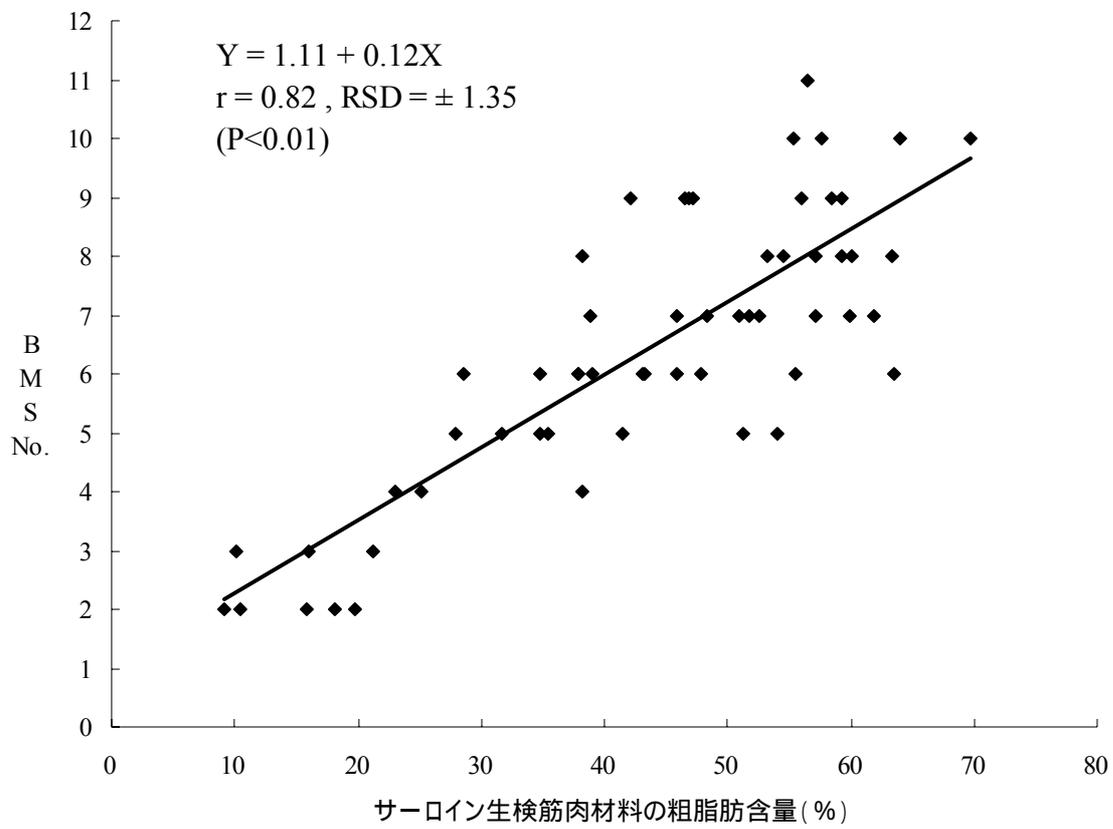


図4 - 4 肥育牛における最後位胸椎位胸最長筋(サーロイン)生検筋肉材料の粗脂肪含量と脂肪交雑度(BMS No.)との関係(n=55)

学的特質を基にしたものであり、有効な BMS No.推定手法ではあるが、生検筋肉材料の凍結や組織化学的な方法を用いて筋線維の分類を必要とする。本試験におけるバイオプシーを用いた BMS No.推定は、生検筋肉材料の水分または粗脂肪含量測定のみで可能であることから、組織化学的特性を用いた手法に比べると、専門的知識を必要とせず、簡易な手法であると考えられる。特に、生検筋肉材料の水分含量測定は、牛肉の品質評価のための理化学分析マニュアル Ver.2((社)畜産技術協会 2003)に基づいて測定すると、生検筋肉材料を採取した翌日には水分含量が測定でき、BMS No.の推定が可能となる。また、バイオプシーによる肉質推定は、生産者で保有し難い高価な超音波肉質診断装置に比べると、生検針が1本数千円と安価であるとともに、画像診断のような経験を要せず、かつ数値として客観的に評価できる。そのため、肥育牛の肉質推定に有効な手段であり、低コストかつ客観的な BMS No.推定法となり得るものと考えられる。

ただし、バイオプシーは非侵襲的な手法であり、超音波肉質診断と異なる生検による組織採取である。枝肉僧帽筋のシコリ発生原因の1つには、馬栓棒に当たる物理的刺激があるとされており(木村 2009)、このことを踏まえると、短期間で同じ部位に繰り返しバイオプシーを行った場合、シコリなどの瑕疵を引き起こす可能性があることは否めない。今後は少ないバイオプシー回数で必要量の生検筋肉材料を採取できる生検針の開発および必要量の削減が必要であると思われる。

以上から，出荷 1 ヶ月前の肥育牛における最後位胸椎位胸最長筋のバイオプシーによる生検筋肉材料の水分または粗脂肪含量を測定することによって BMS No.の推定が可能となるものと考えられ，この手法は肉用牛における低コストかつ客観的な脂肪交雑推定法の 1 つになり得るものと考えられた。

5. 摘 要

肥育牛の低コストかつ客観的な脂肪交雑推定法を検討するため，バイオプシーにより採取したサーロインの生検筋肉材料の水分または粗脂肪含量，枝肉リブロースの粗脂肪含量およびリブロースの BMS No.の相互関係を検討した。黒毛和種肥育牛去勢 37 頭，雌 12 頭（ 28.6 ± 2.2 ヶ月齢， 752.8 ± 96.5 kg）ならびにホルスタイン種肥育牛去勢 6 頭（平均月齢 \pm 標準偏差： 22.1 ± 0.3 ヶ月齢，平均体重 \pm 標準偏差： 809.3 ± 27.0 kg）を供試した。出荷約 1 ヶ月前に生体左側の第 1 腰椎位より腹側約 100 mm から頭方へ 30 mm 間隔で 3 ヶ所にバイオプシーを行い，生検針（タスク社製，11 G \times 150 mm）を頭方へ約 60°の角度で差し込み，生検筋肉材料が約 400 mm 採取されるまで各箇所を数回穿刺した。サーロイン生検筋肉材料の水分または粗脂肪含量とリブロースの粗脂肪含量との間でそれぞれ有意な単回帰式が得られた（ $r = -0.86$ ， $RSD = \pm 5.67$ ， $P < 0.01$ および $r = 0.88$ ， $RSD = \pm 5.34$ ， $P < 0.01$ ）。また，サーロイン生検筋肉材料の水分または粗脂肪含量と BMS No.との間でもそれぞれ有意な単回帰式が得られた（ $r = -0.80$ ， $RSD = \pm 1.41$ ， $P < 0.01$ および $r = 0.82$ ， $RSD = \pm 1.35$ ， $P < 0.01$ ）。以上から，出荷 1 ヶ

月前の肥育牛最後位胸椎位サーロイン胸最長筋生検筋肉材料の水分または粗脂肪含量によって BMS No.を推定する可能性が示唆された。

第 5 章 生体インピーダンス法による牛枝肉脂肪交雑および

胸最長筋粗脂肪含量の推定

1. 緒 言

電気インピーダンスとは、電気の流れ難さを表わす物理量であり、交流回路における抵抗を表わす。また、生体組織（細胞外液、細胞膜および細胞内液）の状態によって異なることから、細胞組織の様々な状態を検出する指標となり得る。このため、BIA は医用工学部門や食品の品質モニタリングなど幅広い分野で応用されている（宮脇ら 2007；豊田と井原 2009）。Hayden ら（1969）および Zhang ら（1990）が提案した植物細胞組織の電氣的等価回路（Hayden model）に基づき、谷原ら（2003，2004）および谷原（2006）はその電氣的特性を牛肉に適用し、BIA が牛肉の品質評価（BMS No.，きめおよびしまり）手法として有効であり、品種や筋肉部位の特定も可能であるとしている。しかし、BIA による肥育牛生体からの肉質推定には至っていない。

前章では、生体バイオプシーにより出荷 1 ヶ月前の肥育牛最後位胸椎位胸最長筋生検筋肉材料を採取し、水分または粗脂肪含量から BMS No. を推定する可能性を示唆した。この肉質推定は各生産者で保有し難い高価な超音波肉質診断装置に比べると、生検針が 1 本数千円と安価であるとともに、画像診断のように経験や熟練を要せず、かつ数値として客観的に評価できる。そのため、肥育牛の肉質推定に有効な手段であり、低コストかつ客観的な BMS No. 推定法とな

り得るものと考えられる。しかし、推定に用いる生検筋肉材料を必要量採取するには、サーロイン部位に繰り返し穿刺する必要がある、短期間で同じ部位を繰り返しバイオプシーした場合、シコリなどの瑕疵を引き起こす可能性があることは否めない。

BMS No.はリブローズならびに背半棘筋および頭半棘筋の断面により判断される((社)日本食肉格付協会 2010)が、そのBMS No.と第10胸椎サーロイン部位のBMS No.には正の相関関係があるとされている(浜崎ら 2005; 中橋ら 2007, 2008)。また、僧帽筋、菱形筋および背半棘筋に囲まれたリブローズ部位に比べ、第10胸椎サーロイン部位はより体表に近く、表皮および皮下脂肪層に隣接する下部に位置していること(加藤と山内 1995)から、後者よりも前者の部位にBIAを適用する方が容易であると予想される。したがって、BIAにより得られた電気的特性とBMS No.の関係を明らかにすることができれば、脂肪交雑の早期推定法の確立につながるものと考えられる。また、第5章で示したバイオプシーによる推定と異なり、BIA測定では繰り返し穿刺する必要はなく、牛体への負担を軽減することが可能である。しかしながら、BIAにより肥育牛生体から肉質を推定することに関して詳細に検討した報告はない。

そこで本章では、牛枝肉脂肪交雑の客観的な推定法を確立するため、黒毛和種肥育牛の生体時におけるサーロイン部位の電気的特性、枝肉のBMS No.およびリブローズ粗脂肪含量の相互関係を明らかにした。

2. 材料および方法

供試牛には、長崎県農林技術開発センターで飼養され、2010年8月から2013年11月に長崎県の佐世保食肉センター株式会社に出荷された黒毛和種肥育牛去勢28頭および未経産雌11頭（平均月齢±標準偏差：28.4±2.3ヵ月齢，平均体重±標準偏差：754.3±94.1 kg）を用いた。枝肉格付成績としては、(公社)日本食肉格付協会による評価を用いた。供試牛のBMS No.は3～11の範囲であり、その平均値は7.2，標準偏差は2.1であった。

リブローズについては、屠場にて枝肉の第6-7肋骨間切開面頭側を約50 mmの厚さにカットした。その胸最長筋のみをフードプロセッサーでミンチにし、牛肉の品質評価のための理化学分析マニュアル Ver.2((社)畜産技術協会 2003)に基づいて粗脂肪含量を測定した。供試枝肉を佐世保市食肉地方卸売市場でセリ買いした食肉流通業者より購買し、サーロインより胸最長筋のみを厚さ約50 mm採取し、リブローズと同様に粗脂肪含量を測定した。なお、購買できた個体は全供試頭数39頭のうち、12頭（黒毛和種肥育牛去勢10頭および雌2頭）であった。

BIAについては、枝肉となる約1ヵ月前に行った。その際、供試牛を保定枠に入れて鎮静し(セラクター 2%注射液 1 ml, バイエル薬品株式会社, 大阪), 牛体左側の第1腰椎位から頭方へ(縦 200 mm×幅 300 mm)剃毛および希ヨーチンにより消毒した。その後、最後位腰椎より腹側約100 mmから頭方へ25, 100 および 25 mm 間隔で同一線上に4ヵ所を局所麻酔し(動物用塩プロ注「KS」

3 ml, 共立製薬株式会社, 東京), メスを用いて表皮を 3 mm 程度切開した。切開した 4 カ所に生検針 (TSK チバニードル 18 G×200 mm, 株式会社タスク, 栃木) を 1 本ずつ当て, 皮下脂肪を貫通し, サーロインに当たったのを確認した後, サーロイン内部へ 50 mm の深さまで垂直に差し込み, 外側を電流印可用電極, 内側を電圧計測用電極とした (図 5 - 1)。インピーダンス測定には, ケミカルインピーダンスメーター (3532-80, 日置電機株式会社, 長野) を用い, 周波数 1 ~ 1000 kHz (1.00k, 1.15k, 1.33k, 1.53k, 1.76k, 2.02k, 2.33k, 2.68k, 3.09k, 3.56k, 4.10k, 4.72k, 5.43k, 6.25k, 7.20k, 8.29k, 9.54k, 10.99k, 12.65k, 14.56k, 16.77k, 19.31k, 22.23k, 25.60k, 29.47k, 33.93k, 39.07k, 44.98k, 51.79k, 59.64k, 68.66k, 79.06k, 91.03k, 104.80k, 120.70k, 138.90k, 160.00k, 184.20k, 212.10k, 244.20k, 281.20k, 323.70k, 372.80k, 429.20k, 494.20k, 596.00k, 655.10k, 754.30k, 868.50k および 1000.00k の 50 点) に変化させながら電気的特性を連続測定し, その測定時間は 30 秒であった。測定項目はそれぞれの周波数(単位: kHz, 表記: f) に対するインピーダンス値 (単位: Ω , 表記: Z), 純抵抗値 (単位: Ω , 表記: R) およびリアクタンス値 (単位: Ω , 表記: X) とした。得られたインピーダンス値を用い, 細胞外抵抗 (単位: Ω , 表記: R_{ex}), 細胞内抵抗 (単位: Ω , 表記: R_{in}) および細胞膜容量 (単位: nF, 表記: C_m) を以下の(1)~(8)式によって算出した (逢坂ら 1998; 逢坂と小山 1999; 中村と山本 1999; 藤嶋ら 2000; 大塚ら 2001)(図 5 - 2)。

ケミカルインピーダンスメーター(日置電機株式会社)

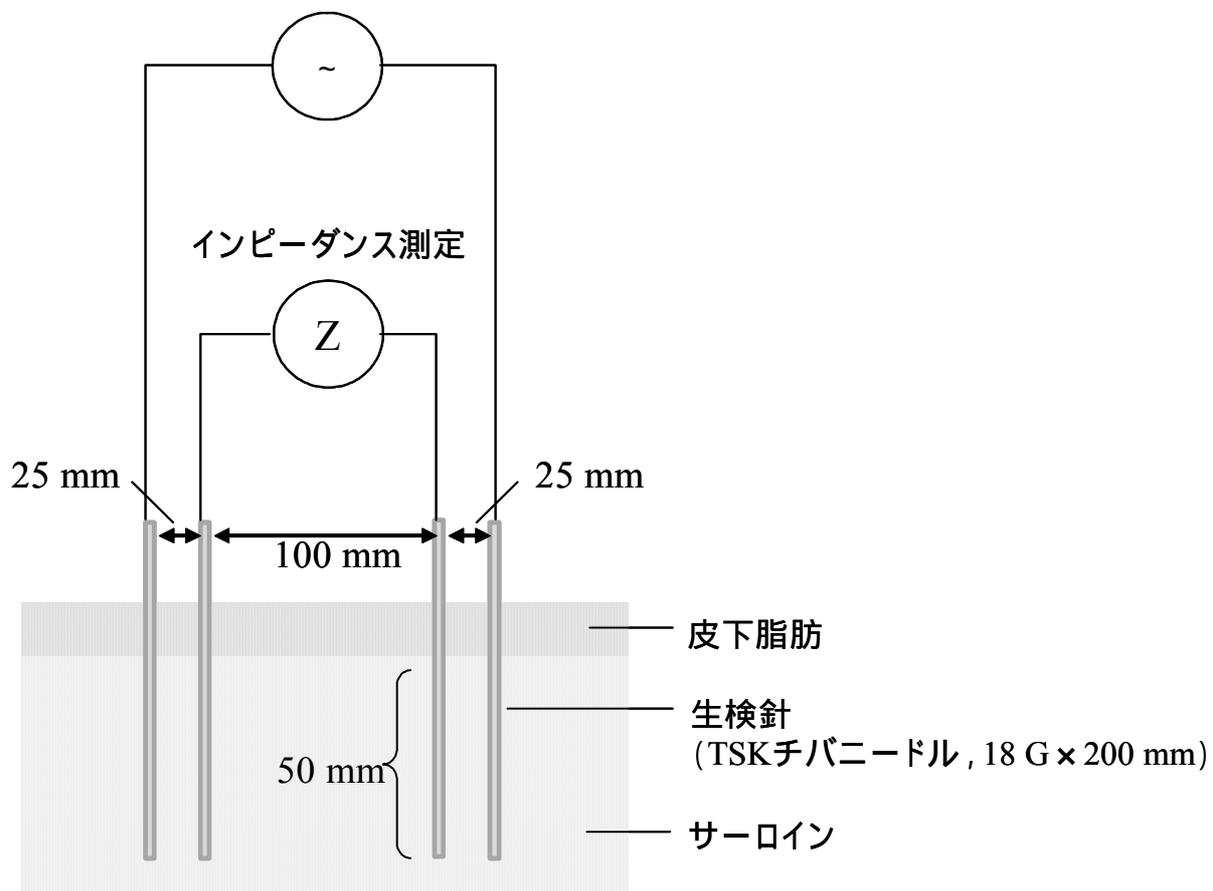
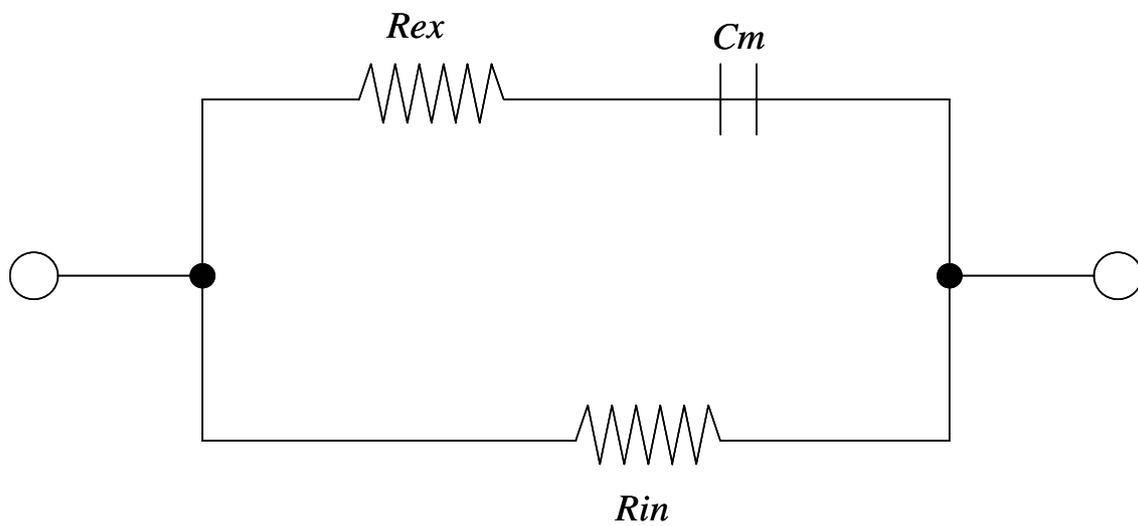


図5-1 ウシ生体BIAの模式図



R_{ex} :細胞外抵抗, R_{in} :細胞内抵抗, C_m :細胞膜容量
図5 - 2 細胞組織の電氣的等価回路モデル (Hayden Model)

$$Z = R_{ex} = R_0 \quad (f \rightarrow 0) \quad (1)$$

$$Z = \frac{R_{in} R_{ex}}{R_{in} + R_{ex}} = R_{\infty} \quad (f \rightarrow \infty) \quad (2)$$

$$R_{in} = \frac{R_{\infty} R_0}{R_0 - R_{\infty}} \quad (3)$$

ただし R_0, R_{∞} は , それぞれ $f \rightarrow 0, f \rightarrow \infty$ 時の R の値とする .

$$\frac{1}{Z} = \frac{1}{R - jX} = \frac{1}{R_{ex}} + \frac{1}{R_{in} - jX_m} \quad (4)$$

$$\frac{R + jX}{R^2 + X^2} - \frac{1}{R_{ex}} = \frac{1}{R_{in} - jX_m} \quad (5)$$

$$R_{in} - jX_m = \frac{1}{\frac{R - jX}{R^2 + X^2} - \frac{1}{R_{ex}}} = \frac{R^2 + X^2}{R - jX - \frac{R^2 + X^2}{R_{ex}}}$$

実部と虚部を整理すると ,

$$= \frac{R^2 + X^2}{\left(R - \frac{R^2 + X^2}{R_{ex}}\right)^2 + X^2} \left(R - \frac{R^2 + X^2}{R_{ex}} + jX \right) \quad (6)$$

虚部をとって , 細胞膜のリアクタンス X_m を求める .

$$X_m = - \frac{X(R^2 + X^2)}{\left(R - \frac{R^2 + X^2}{R_{ex}}\right)^2 + X^2} \quad (7)$$

$$C_m = \frac{1}{2\pi f X_m} \quad (8)$$

得られたデータのうち , 牛枝肉の BMS No. , リブローズ粗脂肪含量およびサーロイン粗脂肪含量間の相関係数 (r) を求めた . また , R_{ex} , R_{in} または C_m と BMS No. との関係ならびに R_{ex} , R_{in} または C_m とリブローズおよびサーロイン粗脂肪含量との関係についてそれぞれ単回帰分析を行い , 単回帰における分

散分析から相関係数 (r) と残差標準偏差 (RSD) を算出し、各回帰式の推定精度を比較検討した (応用統計ハンドブック編集委員会 1989)。

3. 結果および考察

牛枝肉における BMS No., リブローズの粗脂肪含量およびサーロインの粗脂肪含量の相互関係を表 5 - 1 に示した。BMS No. とリブローズの粗脂肪含量との相関係数は 0.94 ($P < 0.01$) と非常に高く、有意であった。この結果は黒毛和種における BMS No. とリブローズ中の粗脂肪含量との相関が高い ($r = 0.85 \sim 0.9$) とされるこれまでの報告 (小堤ら 1985; 梅北ら 1992) と一致した。近年、デジタルカメラなどで得られた牛肉の画像から粗脂肪含量を推定できる画像解析が開発されている (小西ら 1995; 米丸ら 2002)。この画像解析を用いて中橋ら (2007, 2008) はリブローズとサーロインの脂肪交雑の関係を調査した結果、第 6-7 切開面ロース芯内の脂肪面積割合と最後腰椎ロース芯内の脂肪面積割合に 0.89 ~ 0.9 の有意な正の相関を認めている。本試験におけるリブローズの粗脂肪含量とサーロインの粗脂肪含量との相関係数は、中橋ら (2007, 2008) のそれに比べ若干低いものの、0.74 と有意な正の相関 ($P < 0.01$) を示した。また、BMS No. とサーロインの粗脂肪含量との相関係数は、0.75 と有意な正の相関 ($P < 0.01$) を示した。

以上の結果より、BMS No., リブローズの粗脂肪含量およびサーロインの粗脂肪含量の間でいずれも有意な正の相関が認められたことから、BIA など何ら

表5 - 1 牛枝肉におけるBMS No. , 第6-7肋骨間切開面最長筋(リブローズ)の粗脂肪含量および
 最後位胸椎位最長筋(サーロイン)の粗脂肪含量の相互関係

		区 分	
		リブローズの粗脂肪含量 (n=39)	サーロインの粗脂肪含量 (n=12)
BMS No.		0.94**	0.75**
リブローズの 粗脂肪含量		-	0.74**

**P<0.01

かの手法によりサーロインの粗脂肪含量が把握できれば，BMS No.ならびにリブローズの粗脂肪含量の推定が可能であることが示唆された．

肥育牛の生体時におけるサーロインの R_{ex} と枝肉の BMS No.，リブローズ粗脂肪含量およびサーロイン粗脂肪含量との関係を図 5 - 3 に示した．サーロインの R_{ex} (X) と BMS No. (Y)，リブローズ粗脂肪含量 (Y) およびサーロイン粗脂肪含量 (Y) との間には，いずれも有意な相関は認められなかった (それぞれ， $r=0.24$ ， $P>0.1$ ； $r=0.29$ ， $P>0.1$ および $r=0.17$ ， $P>0.1$)．このことから，肥育牛サーロイン BIA から得られる R_{ex} による BMS No.および枝肉リブローズ粗脂肪含量の推定は困難であることが示唆された．

肥育牛の生体時におけるサーロインの R_{in} と枝肉の BMS No.，リブローズ粗脂肪含量およびサーロイン粗脂肪含量との関係を図 5 - 4 に示した．サーロインの R_{in} (X) と BMS No. (Y)，リブローズ粗脂肪含量 (Y) およびサーロイン粗脂肪含量 (Y) との間には，それぞれ $Y=3.62+0.06X$ (ただし， $21.9 \leq X \leq 114.6$ かつ $3 \leq Y \leq 11$)， $Y=31.05+0.24X$ (ただし， $21.9 \leq X \leq 114.6$ かつ $27.9 \leq Y \leq 61.9$) および $Y=27.70+0.27X$ (ただし， $31.6 \leq X \leq 114.6$ かつ $36.5 \leq Y \leq 60.0$) で示される有意な回帰式が得られた (それぞれ， $r=0.70$ ， $RSD=\pm 1.5$ ， $P<0.01$ ； $r=0.75$ ， $RSD=\pm 5.3$ ， $P<0.01$ および $r=0.86$ ， $RSD=\pm 4.0$ ， $P<0.01$)．牛枝肉において，BMS No. と R_{in} との間には，有意な正の相関 ($r=0.61$) が認められている (谷原 2006)．また，牛枝肉の僧帽筋の粗脂肪含量と R_{in} との間には，有意な正の相関 ($r=0.914$) が認められている (谷原ら 2003)．本試験では，肥育牛生体のサーロインの R_{in}

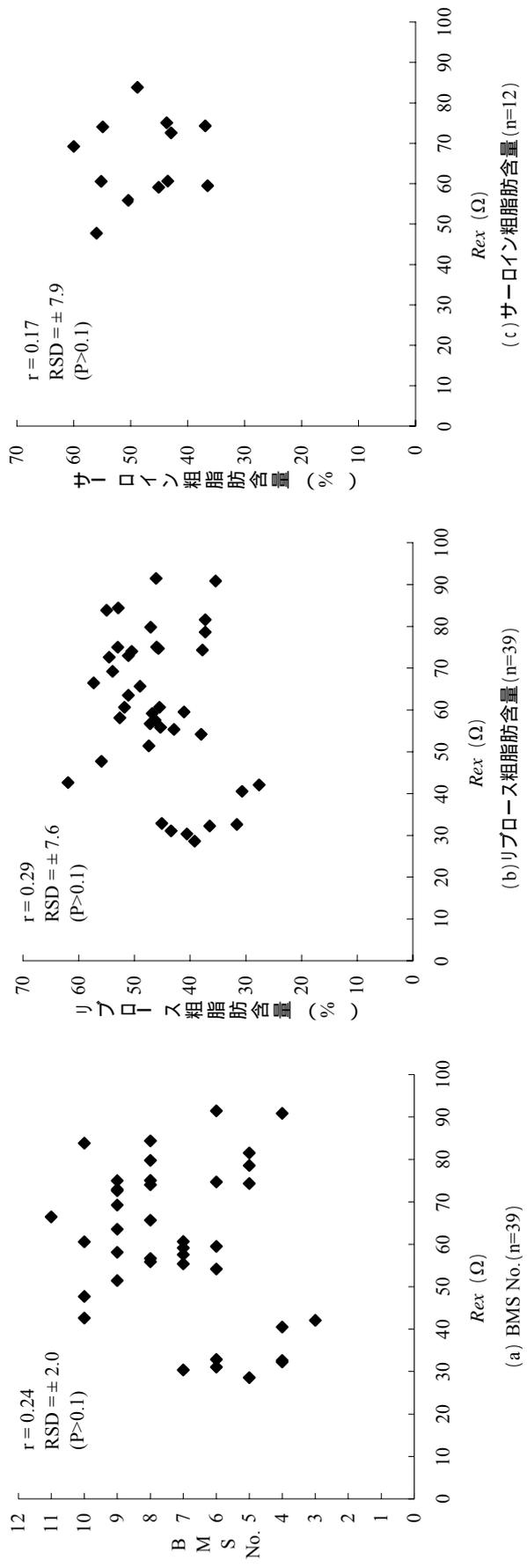


図5 - 3 肥育牛の生体時における最後位胸椎位の胸最長筋(サロイン)の細胞外抵抗 (R_{ex})と枝肉のBMS No., 第6-7肋骨切開面胸最長筋(リブローズ)の粗脂肪含量およびサロインの粗脂肪含量との関係

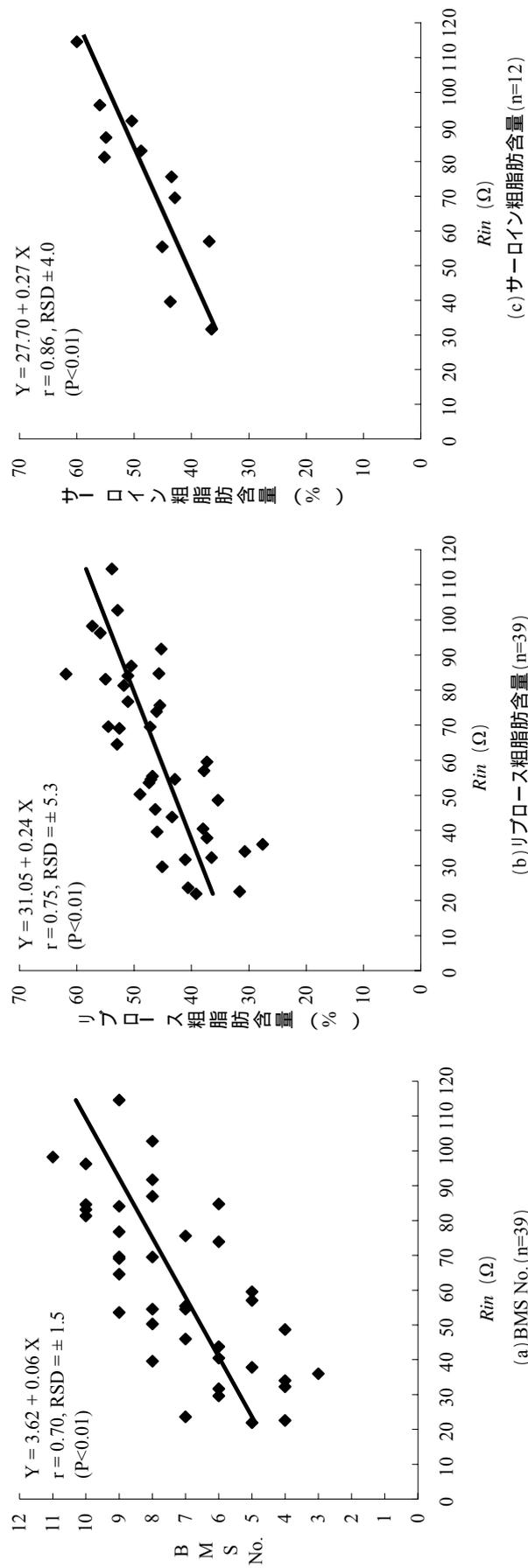


図5 - 4 肥育牛の生体時における最後位胸椎位の胸最長筋(サロイン)の細胞内抵抗 (R_{in}) と枝肉のBMS No. , 第6-7肋骨切開面胸最長筋(リプロース)の粗脂肪含量およびサロインの粗脂肪含量との関係

を指標としており，谷原ら（2003）の報告と同様に Rin と BMS No.，リブロー
スの粗脂肪含量およびサーロイン粗脂肪含量との間に有意な正の相関（ $r=0.70$
~ 0.86 ）が得られた．このことから，肥育牛サーロイン BIA によって得られる
 Rin により BMS No.および枝肉リブロースの粗脂肪含量を推定できることが示
唆された．

肥育牛の生体時におけるサーロインの Cm と枝肉の BMS No.，リブロースの
粗脂肪含量およびサーロインの粗脂肪含量との関係を図 5 - 5 に示した．サーロ
インの Cm （ X ）と BMS No.（ Y ）またはリブロースの粗脂肪含量（ Y ）との間
には，いずれも有意な相関は認められなかった（ $r=0.12$ ， $P>0.1$ および $r=0.06$ ，
 $P>0.1$ ）．しかし，サーロインの Cm （ X ）とサーロインの粗脂肪含量（ Y ）との
間には， $Y=70.44 - 0.43X$ （ただし， $37.0 \leq X \leq 74.6$ かつ $36.5 \leq Y \leq 60.0$ ）で示
される有意な回帰式が得られた（ $r=-0.69$ ， $RSD=\pm 5.8$ ， $P<0.05$ ）．谷原ら（2003）
によると，牛枝肉の Cm と BMS No.との間には，負の高い相関（ $r=-0.938 \sim -$
 0.975 ）がみられたとされている．しかし，本試験では，肥育牛のサーロインの
 Cm と BMS No.またはリブロースの粗脂肪含量との間には，いずれも有意な相
関は認められなかった．また，本試験では，肥育牛のサーロインの Cm と粗脂
肪含量との間に有意な負の相関（ $r=-0.69$ ， $P<0.05$ ）が示された．前述したよ
うに， Cm は Rex および Rin を基に算出されているものの，本試験では， Rex と
BMS No.，リブロースの粗脂肪含量およびサーロインの粗脂肪含量との間に有
意な相関が認められなかった．さらに，Hayden model パラメータが検出すると

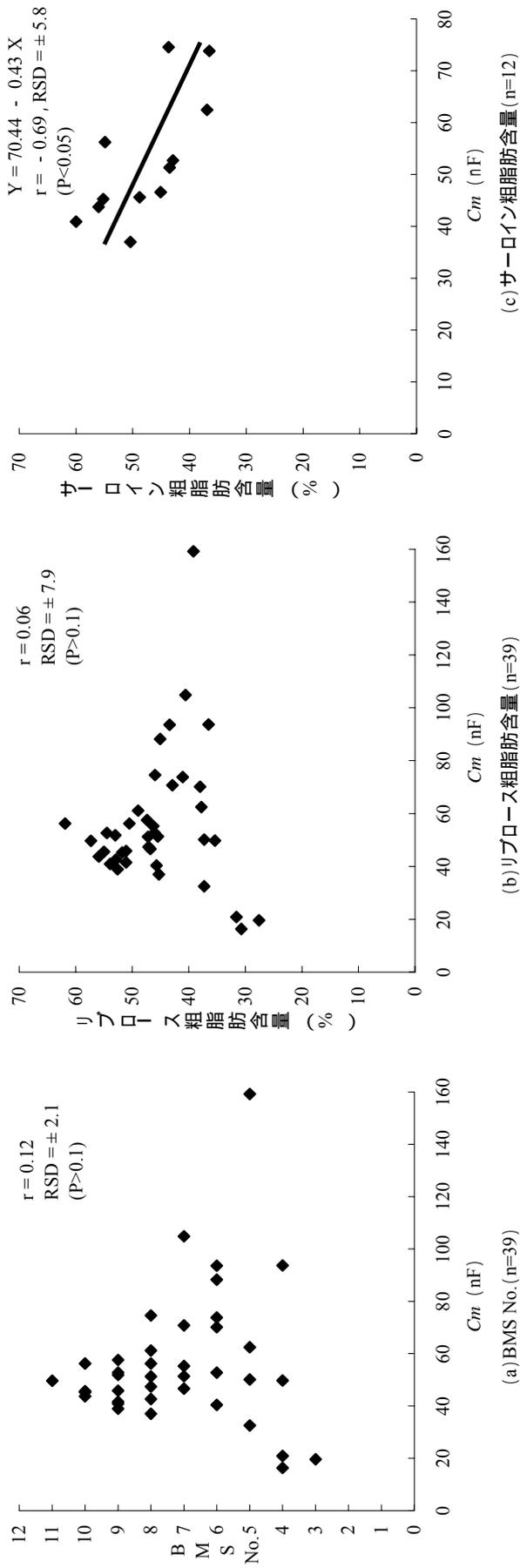


図5 - 5 肥育牛の生体時における最後位胸椎位の胸最長筋(サロシン)の細胞膜容量(Cm)と枝肉のBMS No., 第6-7肋骨切開面胸最長筋(リブローズ)の粗脂肪含量およびサロシンの粗脂肪含量との関係

考えられる R_{ex} の細胞情報は、細胞外電解質の濃度変化および電解質物質の変性とされている（谷原 2006）。本試験では、肥育牛生体での R_{ex} を算出しており、屠畜後の牛肉にはみられない血流や細胞膜での電解質濃度の変化が存在し、 R_{ex} が不安定な測定値を示す可能性があると考えられる。そのため、 C_m も同様に不安定な測定値を示す可能性がある。したがって、本試験の結果は谷原ら（2003）および谷原（2006）のそれらと異なり、 C_m と BMS No. またはリブローズの粗脂肪含量との間に有意な相関が得られなかったものと推察される。ただし、本試験では、 C_m とサーロインの粗脂肪含量の間には有意な負の相関（ $r = -0.69$ ）が示され、前述した結果と矛盾するため、今後、 C_m とサーロインの粗脂肪含量との関係をより明瞭にする必要がある。なお、 R_{ex} 、 R_{in} および C_m 間相関係数は、 $0.41 \sim 0.49$ の範囲であった。

本試験を基にして肥育牛の生体時における脂肪交雑推定法を確立するためには、ヒトでの体脂肪率測定方法を参考にすることが考えられる。ヒトの体脂肪率測定には BIA が用いられ、電気量販店などで市販されている体脂肪計のほとんどがこの方法を用いている（吉村ら 1997；大野と池田 1998）。これらの一般家庭用に販売されている機器は、一人で簡便に測定することが可能であり、価格面でも安価に手に入れることができる（佐藤と大島 2004）。その測定回路は、人体を等価回路とみなすことで、上下肢間や両腕間のインピーダンスを測定している。また、測定値の精度に影響する電極と人体間の接触インピーダンスを受けない測定方法として、4 電極法が用いられていることが多い（佐藤と大島

2004). 本試験においても, サーロインを等価回路とみなし, 4 電極法によりそのインピーダンスを測定している点は同様である. しかし, ヒトの体脂肪計の多くは定電流源として, 50 kHz で 500 μ A の電流を人体に流すことで (竹原 2004; 石黒と角田 2006; 水野ら 2012), 測定を単純化し, 製造コストを抑えていると思われる. これらのことを踏まえ, 今後, 肉用牛の脂肪交雑推定に適切な定電流源を明らかにするとともに, 定電流源を設置した安価な測定機器の開発が必要であると考えられる.

ヒトの体脂肪計の場合, 体脂肪率算出のために身長, 体重, 年齢などのパラメータを入力する構成となっている. これはヒトの各部位の長さや断面積が一定ではなく, 各部位を流れる電流に対するインピーダンスが異なり, 脂肪量の算出に用いる計算式は, 年齢・体重・身長を考慮した多くの被験者のデータから統計的に求められたものである (佐藤と大島 2004). 本試験で測定したサーロインの BIA においては, 電極間の距離を一定としているため, 測定部位の長さは一定となる. 一方, その断面積は個体で異なる. そのため, より精度の高い BIA を測定するためには, サーロイン面積をパラメータとして用いることが望ましい. しかし, 肥育牛生体のサーロイン面積の測定は超音波肉質診断装置を用いなければ難しいことから, 肥育牛の体格を表わす体重, 体高などの体尺測定値や個体の肉質能力を示す育種価などが, 推定精度を高める補正用パラメータとなり得るかの検討が必要である.

本試験における BIA はサーロイン内部に電極を差し込むため, 侵襲的である.

枝肉僧帽筋のシコリ発生原因の 1 つには，馬栓棒に当たる物理刺激があるとされており（木村 2009），このことを踏まえると，短期間で同じ部位を繰り返し測定すると，しこりなどの瑕疵を引き起こす可能性があることは否めない．今後，牛体表面から BIA を可能とする技術の検討も必要であると思われる．しかしながら，BIA 測定は電極を 1 回穿刺するのみであるため，前章で示した数回の繰り返しを要するバイオプシー法に比べると，瑕疵を引き起こす可能性は低いと考えられる．さらに，前述した 4 電極法によるインピーダンス測定を 1 本の電極内に設置し，その 1 本の電極で BIA を可能とするなどの方法を開発することができれば，瑕疵などの危険性をより一層低くすることが可能であると考えられる．

以上から，出荷 1 ヶ月前の肥育牛サーロインの BIA 測定から得られる R_{in} によって BMS No. および枝肉のリブローズの粗脂肪含量を推定する可能性が示唆され，本法は肉用牛生体時における脂肪交雑推定法の 1 つになり得るものと考えられた．

5. 摘 要

牛枝肉脂肪交雑の生体時推定法を確立するため，肥育牛の最後位胸椎位サーロインの BIA 値，BMS No. および枝肉リブローズ粗脂肪含量の相互関係を検討した．出荷約 1 ヶ月前の黒毛和種肥育牛去勢 28 頭および雌 11 頭に対し，生体左側の第 1 腰椎位より腹側約 100 mm から頭方へ 25，100 および 25 mm 間隔で

同一線上の4カ所に生検針(18 G×200 mm)をサーロイン内部へ50 mmの深さまで垂直に差し込み、外側を電流印可、内側を電圧計測とし、インピーダンスメーターにより測定した。そのBIA値から R_{ex} 、 R_{in} および C_m を算出した。その結果、 R_{in} とBMS No.およびリブローズ粗脂肪含量の間で、それぞれ有意な単回帰式が得られ($r=0.70$, $RSD=\pm 1.5$, $P<0.01$ および $r=0.75$, $RSD=\pm 5.3$, $P<0.01$)、BIA法によって牛枝肉のBMS No.を生体時に推定する可能性が示唆された。

第 6 章 総合考察

わが国での牛肉の消費量および供給量は増加傾向であり、近年の国内生産量は 360 千トン程度で推移し、自給率は 42%程度である（農林水産省 2014）。国内での牛肉消費は堅調に推移する傾向が認められ、この傾向は今後も維持されることが予想される。一方、わが国の肉用牛飼養頭数は、近年ほぼ同程度であるのに対し、飼養戸数は大幅な減少がみられ、国内生産量を確保するには、飼養戸数の減少を抑え、生産基盤である農家の経営安定が必要である。また、近年、消費者からは安心・安全で食べて美味しい牛肉が求められると同時に、牛肉の取引価格は産地ブランドによって影響を受けることもあり（柳と飯澤 1999）、ブランド力の強化も重要となる。併せて、生産現場において肥育技術の向上をより迅速に行うためには、肥育期における産肉形質、特に BMS No. の変化を把握し、飼養環境などとの関係を解明することが求められている。本研究では、肉用牛およびその牛肉に焦点を絞り、黒毛和種牛肉の官能評価および牛肉の理化学分析を行い、両者の関係を検討するとともに、肥育牛生体時の BMS No. 推定技術について検討した。BMS No. 推定技術については、超音波画像を用いた BMS No. 推定プログラムの開発、バイオプシーまたは BIA を用いた推定技術について検討を行った。本章では、これまでの各章で得られた結果を基に、今後の肉用牛生産のあり方に関して、生産者のみならず、消費者の視点からも提言すべく、肉質の客観的評価および早期推定技術確立の可能性について総

合的に考察した。

1. 牛肉における肉質の客観的評価

牛肉の「美味しさ」の解明に関する研究には、これまでに多くの報告があり、牛肉中の脂肪含量（木村 2001；山口 2002）、呈味成分（沖谷 2006；Nishimura ら 1988）、脂肪の質（木村 2001；農林水産省農林水産技術会議事務局 1987）、香り（松石ら 1993，2004）などが牛肉の「美味しさ」に関与しているとされている。また、2007年に開催された第9回全国和牛能力共進会から、「肉牛の部」において外観や「美味しさ」に関与するとされている「脂肪の質」に客観的評価法が利用されている。これらのことを踏まえると、全国に280を超える牛肉ブランド（早川 2009）がある中で、今後、特徴的な銘柄化を図る指標の1つとして「美味しさ」が基準となることが考えられる。一般に、食肉の官能評価は食味などについて訓練されたパネリストを用いる分析型官能評価と一般消費者を用いる消費者型官能評価に大別され（（独）家畜改良センター 2005）、一般消費者が牛肉の「美味しさ」について評価した報告では、品種間の比較や消費者をパネリストとした官能評価がみられる（山口ら 2009；松原ら 1998）。一方、屠畜後の牛肉の流通経路は、買受人、仲買人、食肉センターおよび食肉加工メーカーなどを介して、外食店および量販店などに卸され、消費者が購買することとなる（（社）中央畜産会 2010）。そのため、買受人などの食肉流通業者は、消費者の意見や感想を反映させながら牛肉の購買に当たっていることが予

想され、流通過程において価格形成や消費者ニーズへの対応などにおいて重要な役割を果たしていると考えられる。しかし、これまで、食肉流通業者が食肉、特に黒毛和種牛肉をどの程度評価できるのかについての報告は見当たらない。そこで第2章では、より厳密で客観的な牛肉の評価法を確立するための指針を得ることを目的とし、日常的に牛肉を取扱う食肉流通業者による黒毛和種高品質牛肉の官能評価およびその肉の理化学分析を行い、両者の関係を検討した。

目視による外観評価および官能評価の順位はそれぞれパネリスト間でほぼ一致したが、両者間の順位は必ずしも一致しなかった。一方、牛肉の脂肪含量、脂肪融点、USFA 割合および MUFA 割合が黒毛和種牛肉の「美味しさ」に複合的に影響を及ぼすものと考えられ、外観評価よりもむしろその理化学分析値から官能評価を類推する可能性が示唆された。また、牛肉に精通した食肉流通業者の場合、消費者の意見や感想を反映させながら牛肉の購買に当たっており、食肉流通業者が美味しいと評価するものは、消費者の嗜好を少なからず反映しているものと考えられる。肉質等級に大差がない場合には、「美味しさ」に複合的に影響を及ぼすと思われる脂肪含量、脂肪融点、USFA 割合および MUFA 割合の明瞭な数値的指針を明らかにすることはできなかったものの、和牛肉の銘柄化を図るためには、外観評価とともに「美味しさ」に複合的に影響を及ぼす理化学特性を有することが必要であると考えられる。さらに、加熱処理によって生成する“和牛香”が重要であるとの指摘（沖谷 2006）もあることから、脂肪酸や旨味成分などが複合的に関与している“和牛香”の生成過程と「美味

しさ」との関係の解明が課題である。

2. 肥育牛の生体時における肉質推定法

生体時における肉用牛の BMS No. や枝肉形質推定には、超音波肉質診断装置が広く利用されている。坂東島ら（2007）は客観的な BMS No. 推定のために画像中の輝度レベルに関する画像解析から BMS No. を推定する方法を提案し、川田ら（2008）は超音波エコー画像のテクスチャ解析を行い、その特徴量から BMS No. の推定方法を提案している。川田ら（2008）の方法では、高精度な BMS No. 推定を実現しているものの、ロース芯部分を含めた 4 領域から抽出した特徴量を解析に用いており、多数の解析領域選択による操作の煩雑さが残る。そこで第 3 章では、PC 上で高い操作性を有し、効率的に作業できる BMS No. 推定プログラムについて検討したところ、開発した推定プログラムは PC で利用できるオールインワン・システムであることを明らかにした。特に、学習用データを BMS No. ごとに平均的に配置し、BMS No. 推定プログラムによる推定を 5 回程度反復させるとともに、ニューラルネットワークにおける中間層のユニット数を 15 程度に設定した結果、BMS No. 推定値と BMS No. 実測値との間に有意な単回帰式が得られ（ $r=0.80$ ， $RSD=\pm 1.33$ ， $P<0.01$ ），高い精度で BMS No. の推定が可能であった。また、BMS No. 推定プログラムは、1 頭当たりの推定計算時間が 30 秒以内と短時間である。解析の反復を行ったとしても、1 頭当たり数分で BMS No. 推定を行うことが可能であるため、生産現場でのリアルタイムな利活

用が期待される。今後，本研究を基に BMS No.推定システムの改良を行い，製品化に向け開発を進めていくとともに，このシステムを活用することで，肥育牛における産肉生理に関する研究や育種選抜・改良および生産現場での技術指導などに役立てることが可能であると考えられる。ただし，本システムを活用するには，超音波肉質診断装置が必要となり，肥育牛における超音波画像測定の基本的なスキルを身に付ける必要がある。併せて，その診断装置は高価であり，各生産者が保有し，活用するのは困難である。このことから，各生産者で肥育牛の生体時肉質推定を実施するには，より低コストな推定法が必要なる。

そこで，より低コストかつ客観的な BMS No.推定法を確立することを目的とし，第 4 章ではバイオプシー，第 5 章では BIA による BMS No.推定法をそれぞれ検討した。出荷 1 ヶ月前の肥育牛サーロイン生検筋肉材料の水分または粗脂肪含量およびサーロイン内 BIA から算出した R_{in} と BMS No.の間に，それぞれ有意な単回帰式が得られ ($r = -0.80$, $RSD = \pm 1.41$, $P < 0.01$, $r = 0.82$, $RSD = \pm 1.35$, $P < 0.01$ および $r = 0.70$, $RSD = \pm 1.5$, $P < 0.01$)，バイオプシーおよび BIA によって BMS No.を推定する可能性が示唆された。

本研究で検討した推定ソフト，バイオプシーおよび BIA による BMS No.推定値と枝肉の BMS No.との間には，それぞれ $r = 0.80$, $r = 0.82$ および $r = 0.72$ といずれも高い相関が示され，どの手法でも高い精度で BMS No.を推定する可能性が示唆された。一方，そのコストを比較すると，推定ソフトは超音波肉質診断装置，その画像の記録媒体および PC が必要となる。詳細な費用を試算すること

はできないが、少なくとも数百万程度の初期設備投資が必要となると予想される。バイオプシーでは、数千円程度の生検針を 20 本程度揃える必要があると同時に、繰り返しの利用で生検針のバネが破損するため、その都度購入することが必要となる。第 5 章より生検筋肉材料の水分と BMS No.との間には、 $r = -0.80$ の高い相関が示された。その水分含量のみを測定するとしても、ビーカー、恒温器およびデシケーターなどの分析資材を必要とする。詳細な費用を試算することはできないが、数十万程度の初期設備投資および数千円程度のランニングコストが必要と予想される。BIA は数十万程度のケミカルインピーダンスメーター、数千円程度の電極および数百円程度の接続コード類が必要となる。今後、ヒトの体脂肪計を参考に定電流源を設置した安価な測定機器が開発された場合、数百万円程度の初期設備投資で BMS No.推定が可能になるものと予想される。

一方、本研究で行うバイオプシーおよび BIA は非侵襲的な手法である超音波肉質診断と異なり、生体組織を切開または一部採取する方法である。枝肉僧帽筋のシコリ発生原因の 1 つには、馬栓棒に当たる物理的刺激があるとされており（木村 2009）、このことを踏まえると、短期間で同じ部位に繰り返しバイオプシーあるいは BIA を行った場合、シコリなどの瑕疵を引き起こす可能性があることは否めない。しかしながら、BIA 法は 1 回の電極の穿刺でその測定が可能であり、繰り返し穿刺するバイオプシーに比べると、瑕疵を引き起こす可能性は低いものと考えられる。さらに、ヒトの BIA では、測定値の精度に影響する電極と人体間の接触インピーダンスを受けない測定方法として、4 電極法が

用いられていることが多い(佐藤と大島 2004)。本研究においても、最後腰椎部サーロインを等価回路とみなし、4電極法によりそのインピーダンスを測定している点は同様である。今後、4本の電極をサーロイン部位に差し込まなくとも、1本の電極内に4電極を設置し、その1本の電極でBIAが可能となれば、より一層瑕疵を引き起こす可能性は低くなるものと考えられる。同時に、1カ所のみ電極穿刺であれば、麻酔も不必要となり、簡便性も増すこととなる。

以上のことから、本研究の目標の1つでもある低コストかつ各生産者が保有し、活用し得るBMS No.の推定には、総合的に判断してBIAが最も有効であると考えられる。今後は前述したBIA測定手法の改良を進めると同時に、このシステムを活用することで、肥育牛における産肉生理に関する研究や育種選抜・改良および生産現場での技術指導などに役立てることが期待される。

3. 肉質の客観的評価および早期推定技術を利用した今後の肉用牛生産

現在の牛肉の評価は、社団法人日本食肉格付協会による肉質等級(脂肪交雑、肉色など)のような外観からの指標で行われており((社)日本食肉格付協会2010)、一般に、枝肉格付成績が高いほど販売価格が高単価で取引される。一方、近年、消費者からは安心・安全で食べて美味しい牛肉が求められるようになった。

そのため、今後は消費者のニーズを反映し得るような牛肉の評価および生産が求められる。本研究では、外観評価から「美味しさ」を見極めることは困難で

あることが示唆された。このことは今後の牛肉評価に際し、外観評価のみならず、官能特性を類推し得る理化学分析値を評価項目の1つとする必要があることを示している。2007年に開催された第9回全国和牛能力共進会から、「肉牛の部」において外観や「美味しさ」に關与するとされている「脂肪の質」に客観的評価法が利用されている。実際に牛肉中のオレイン酸割合を基準にしたブランド牛も流通している（長野県 2014；鳥取牛肉販売協議会 2014）。最近、牛肉の食味性を高める方法の1つとして、黒毛和種去勢牛の飼料への米ぬかまたは脂肪酸カルシウム（以下、CSFA）添加が試みられ、牛肉中のUSFAおよびMUFA割合を高める傾向をもたらし、特にCSFA添加が有効であることが明らかにされている（橋元ら 2013）。したがって、畜産の6次産業化に向けて牛肉の生産、流通および販売が一体となり、消費者のための牛肉の官能特性を勘案した供給システムの構築が必要と考えられる。

肉用牛については、肥育を約10ヵ月齢で開始して牛肉となるまでには14～20ヵ月間を要し、新しい技術に取り組んだとしても、その産肉性を評価するには、長期間を要する。また、その産肉性の評価は屠畜後の枝肉が中心となる。肥育技術の向上をより迅速に行うためには、肥育期における産肉形質、特にBMS No.の変化を把握し、これと血統や飼養環境との関係を解明することが重要であり、生産現場からも求められている。また、肥育期間中にBMS No.を高い精度で推定することができれば、飼養管理の改善や適切な出荷時期の判断に活用できる。実際には、格付け後のセリによる価格形成およびその価格の公表

が公正性のある価格形成の構築に影響を与え、食肉卸売市場は非常に重要な役割を担っているとされ（仲川 2008）、2010年の和牛枝肉の1kg当たり卸売価格は、中央卸売市場である東京で1,694円、大阪で1,628円であるのに対し、地方卸売市場である佐世保では1,478円と200円ほどの価格差がみられる（農林水産省 2011）。長崎県内においても肉用牛生産農家への聞き取り調査を行ったところ、高い枝肉格付成績が望める個体は中央卸売市場に出荷する場合があります、出荷前に高い販売価格が望める市場に対し出荷牛の選定を行うことができれば、農家の経営安定につながる。

一方、銘柄牛のブランド強化もまた農家の経営安定には大きく寄与する。若干古いデータではあるが、銘柄牛の代表格である松阪牛の東京出荷分の牛枝肉販売価格は、2002年3月で4,535円/kgであり（大江 2002）、2003年の中央卸売市場めす和牛枝肉の1kg当たり卸売価格1,655円/kg（農林水産省 2003）を大きく上回っている。全国的に肉牛の肥育期において穀物主体の濃厚飼料を多給する給与体系が一般的であり、地域毎の肉用牛生産費には大きな差はないと考えられることから、ブランドによる販売価格差は、農家所得に大きな影響を与える。宮崎牛は第9回全国和牛能力共進会において、内閣総理大臣賞を受賞したため、そのブランド化の成果は大きいとされている（（財）日本食肉消費総合センター 2010）。また、第10回全国和牛能力共進会では、「肉牛の部」での最高販売単価は、46,660円/kgであった（（公社）全国和牛登録協会 2013）。本共進会で長崎県産牛肉が初めて内閣総理大臣賞を受賞した。そのような背景に

基づき、長崎県では生産者の生産意欲が高まると同時に、畜産振興への予算拡充がみられる（長崎県農林部畜産課 2013）。それらのことと併せて、2012年のブランド牛ランキング調査の結果、長崎和牛は13位となり、2009年の同調査結果に比べ、6ランク上昇している（中川 2012；(株)日経リサーチ 2012）。実際に長崎県では、超音波肉質診断装置から得られた BMS No.推定値を基に、第10回全国和牛能力共進会「肉牛の部」の出品牛選抜を行っており、BMS No.推定技術の利用効果は大きかった。以上から、波及効果の大きい枝肉共進会の出品牛選抜において、本研究成果である BMS No.推定技術を利用することは、入賞による農家所得の向上のみならず、消費者への PR 効果もあり、その意義は大きいと確信する。

4. 結論

以上、本研究の結果から、牛肉の評価においては、枝肉の外観評価よりもむしろ理化学分析値から官能特性を客観的に類推する可能性が示唆され、BMS No.の早期推定には、超音波エコー画像を用いた枝肉脂肪交雑推定プログラム、バイオプシーおよび BIA 法が推定精度の点でいずれも適用可能であるものの、コスト、操作性および利便性の面からは BIA 法が最も有効であることが示された。

なお、今後、脂肪酸や旨味成分などが複合的に関与している“和牛香”の生成過程と「美味しさ」との関係の解明が課題である。また、BIA 法による BMS

No.早期推定においては，その製品実用化を目指し，瑕疵などの危険性をより一層低くするための電極の改良および開発を図る必要がある．また，ヒトの体組成計を参考とし，BMS No.推定に適した定電流源および推定精度を高める補正用パラメータを見い出すことなども課題として挙げられる．これらの課題を総合的に解決することによりわが国の肉用牛生産における技術的問題解決の一助となるとともに，消費者のニーズに応え得る牛肉生産体系の資質向上につながるものと考えられる．

要 約

本研究は肉用牛生産に関して生産者のみならず，消費者の視点からも考察すべく，肉質の早期推定技術の確立および客観的評価に向けた検討を行い，肉用牛生産における技術的問題解決の一助となることを目的としたものである．まず，日常的に牛肉を取扱う食肉流通業者による黒毛和種高品質牛肉の官能評価およびその肉の理化学分析を行い，両者の関係を明らかにした．次に，超音波エコー画像を用いた脂肪交雑基準（以下，BMS No.）推定ソフトを開発するとともに，バイオプシーまたは生体インピーダンス（以下，BIA）法を応用したBMS No.推定技術について検討した．得られた結果は以下のとおりである．

1. 食肉流通業者による牛肉の官能評価と理化学的特性との関係

牛肉の「美味しさ」に關与する要因を明らかにすることで，より厳密で客観的な牛肉の官能評価法を確立するための指針を得ることを目的とし，牛肉に精通した食肉流通業者 24 名のパネリストによる 6 種類の黒毛和種雌および去勢牛肉（肥育出荷月齡は平均 29.4 ヲ月，肉質等級 4 で BMS No.6 および 7 のリブローース芯）の官能評価と理化学分析値との関係を検討した．目視による外観評価および官能評価の各順位についてパネリスト間の Kendall の一致度係数を検定したところ，有意な（ $P < 0.01$ ）一致がみられたが，両者間の Spearman の順位相関係数は 0.414（ $P > 0.10$ ）であり，必ずしも一致せず，外観評価から「美味しさ」

を見極めることは困難であることが示唆された。一方、牛肉の粗脂肪含量、皮下脂肪の USFA 割合、脂肪融点または MUFA 割合が官能評価に対して複合的に影響を及ぼすものと考えられた。したがって、牛肉の外観評価よりもむしろ理化学分析値から官能特性を類推する可能性が示唆されたが、本試験のように肉質等級に大差がない場合、官能評価に關与する理化学的特性の明瞭な数値的指針を特定するには至らなかった。

2. 超音波エコー画像を用いた牛枝肉脂肪交雑推定プログラムの開発

超音波エコー画像を用いて肥育牛の BMS No. を生体で客観的に推定するため、PC 上で作業できるように作成した BMS No. 推定プログラムの推定精度を検討した。超音波診断装置を用い、出荷前 2 週間以内の黒毛和種肥育牛 81 頭に対し、生体左側の第 6・7 肋骨間で超音波測定を行った。超音波画像を PC に取り込み、胸最長筋 (*M. longissimus thoracic*) および僧帽筋 (*M. trapezius*) 内 2 領域のテクスチャ特徴量を抽出し、全 81 頭のデータ (BMS No. 3 ~ 10) うち、55 頭分を学習用データに用い、26 頭分は BMS No. 推定値と BMS No. 実測値との関係を明らかにするため、回帰分析に供した。学習用データを BMS No. ごとに平均的に配置し、BMS No. 推定プログラムによる推定を 5 回程度反復させるとともに、ニューラルネットワークにおける中間層のユニット数を 15 程度に設定した結果、画像の BMS No. 推定値と枝肉の BMS No. 実測値との間に有意な単回帰式が得られ ($r=0.80$, $RSD=\pm 1.33$, $P<0.01$)、高い精度で BMS No. の推定が可能とな

った。

3. バイオブシーによる牛枝肉脂肪交雑および胸最長筋粗脂肪含量の推定

肥育牛の低コストかつ客観的な脂肪交雑推定法を検討するため、バイオブシーにより採取したサーロインの生検筋肉材料の水分または粗脂肪含量、枝肉リブローズの粗脂肪含量およびリブローズの BMS No. の相互関係を検討した。黒毛和種肥育牛去勢 37 頭、雌 12 頭 (28.6±2.2 カ月齢, 752.8±96.5 kg) ならびにホルスタイン種肥育牛去勢 6 頭 (平均月齢±標準偏差: 22.1±0.3 カ月齢, 平均体重±標準偏差: 809.3±27.0 kg) を供試した。出荷約 1 カ月前に生体左側の第 1 腰椎位より腹側約 100 mm から頭方へ 30 mm 間隔で 3 カ所にバイオブシーを行い、生検針 (タスク社製, 11 G×150 mm) を頭方へ約 60°の角度で差し込み、生検筋肉材料が約 400 mm 採取されるまで各箇所を数回穿刺した。サーロイン生検筋肉材料の水分または粗脂肪含量とリブローズの粗脂肪含量との間でそれぞれ有意な単回帰式が得られた ($r = -0.86$, $RSD = \pm 5.67$, $P < 0.01$ および $r = 0.88$, $RSD = \pm 5.34$, $P < 0.01$)。また、サーロイン生検筋肉材料の水分または粗脂肪含量と BMS No. の間でもそれぞれ有意な単回帰式が得られた ($r = -0.80$, $RSD = \pm 1.41$, $P < 0.01$ および $r = 0.82$, $RSD = \pm 1.35$, $P < 0.01$)。以上から、出荷 1 カ月前の肥育牛最後位胸椎位サーロイン胸最長筋生検筋肉材料の水分または粗脂肪含量によって BMS No. を推定する可能性が示唆された。

4.生体インピーダンス法による牛枝肉脂肪交雑および胸最長筋粗脂肪含量の推定

牛枝肉脂肪交雑の生体時推定法を確立するため，肥育牛の最後位胸椎位サーロインの BIA 値，BMS No.および枝肉リブローズ粗脂肪含量の相互関係を検討した．出荷約 1 ヶ月前の黒毛和種肥育牛去勢 28 頭および雌 11 頭に対し，生体左側の第 1 腰椎位より腹側約 100 mm から頭方へ 25，100 および 25 mm 間隔で同一線上の 4 ヶ所に生検針（18 G×200 mm）をサーロイン内部へ 50 mm の深さまで垂直に差し込み，外側を電流印可，内側を電圧計測とし，インピーダンスメーターにより測定した．その BIA 値から細胞外抵抗，細胞内抵抗（*R_{in}*）および細胞膜容量を算出した．その結果，*R_{in}* と BMS No.およびリブローズ粗脂肪含量の間でそれぞれ有意な単回帰式が得られ（ $r=0.70$ ， $RSD=\pm 1.5$ ， $P<0.01$ および $r=0.75$ ， $RSD=\pm 5.3$ ， $P<0.01$ ），BIA 法によって牛枝肉の BMS No.を生体時に推定する可能性が示唆された．

以上から，牛肉の品質評価においては，枝肉の外観評価よりもむしろ理化学分析値から官能特性を客観的に類推する可能性が示唆された．また，BMS No.の早期推定には，超音波エコー画像を用いた BMS No.推定プログラム，バイオプシーおよび BIA 法が推定精度の点でいずれも適用可能であるが，コスト，操作性および利便性の面からは BIA 法が最も有効であることが示された．

謝 辞

本研究の遂行，学会誌への投稿論文および本論文のとりまとめに当たり，最後まで数々のご支援と懇切丁寧なご指導を賜った鹿児島大学農学部教授中西良孝博士に心から感謝し，厚く御礼申し上げます．また，本論文の作成に当たり，ご校閲と貴重なご示唆を賜った鹿児島大学農学部准教授高山耕二博士，琉球大学農学部教授川本康博博士，鹿児島大学農学部附属農場助教授大島一郎博士および佐賀大学農学部附属アグリ創生教育研究センター元教授尾野喜孝博士に厚く御礼申し上げます．鹿児島大学における研究の機会を与えて頂いた長崎県農林技術開発センター所長松本信助氏，同センター畜産研究部門長山本和利氏，長崎県畜産課長松永孝三氏ならびに各関係部署の皆様にも心から感謝申し上げます．また，本研究の遂行に当たり（独）産業技術総合研究所主任研究員福田 修氏，同研究員鍋岡奈津子氏，オムロンヘルスケア（株）主任研究員佐藤哲也氏，佐賀県畜産試験場主任研究員井上一輝氏，長崎県環境保健研究センター主任研究員辻村和也氏，長崎県農林技術開発センター畜産研究部門の先輩および同僚諸氏には，適切なご指導およびご協力を賜った．さらに，本研究の牛肉官能検査遂行に当たっては，全農ミートフーズ九州支社長崎出張所ならびに（株）佐世保食肉センターの職員各位より多大なるご協力と援助を頂いた．ここに記して心から感謝し，厚く御礼を申し上げます．最後に，本研究の遂行に当たり，家畜の飼育管理および実験補助に最後までご支援とご尽力頂いた長崎県農林技術開

発センター畜産研究部門畜産技術員の各位に心から感謝する。

引用文献

- 安部行倫・山岡達也・川辺卓郎．2000．スキャニングスコープによる肉用牛の産肉性調査．大分県畜産試験場試験成績報告書，**29**，36-40．
- 明間基生・吉田 靖．2006．ビタミン C 添加剤給与が黒毛和種去勢肥育牛の肉質に及ぼす影響．福井県畜産試験場研究報告，**19**，7-12．
- 坂東島直人・石田孝史・原田 宏．2007．超音波画像解析による牛枝肉脂肪交雑の客観的推定法．日本畜産学会報，**78**，305-310．
- Brethour JR．1990．Relationship of ultrasound speckle to marbling score in cattle．*Journal of Animal Science*，**68**，2603-2613．
- Brethour JR．1994．Estimating marbling score in live cattle from ultrasound images using pattern recognition and neural network procedures．*Journal of Animal Science*，**72**，1425-1432．
- (社)畜産技術協会．2003．牛肉の品質評価のための理化学分析マニュアル Ver.2，pp3-21．(社)畜産技術協会．東京．
- (社)中央畜産会．2010．食肉便覧平成 21 年，pp．158-159．(社)中央畜産会．東京．
- Crews DH Jr ,Pollak EJ ,Weaber RL ,Quaas RL ,Lipsev RJ .2003 .Genetic parameters for carcass traits and their live animal indicators in Simmental cattle . *Journal of Animal Science* , **81** , 1427-1433 .

土肥 正・尾崎俊治．1999．ニューラルネットワークを適用したソフトウェア信頼性評価手法．オペレーションズ・リサーチ，**44**，410-414．

Fujimaki M，Arakawa N，Okitani A，Takagi O．1965．The changes of “myosinB” (“actomyosin”) during storage of rabbit muscle ． ． The dissociation of “myosinB” into myosin A and actin ， and its interaction with ATP ． *Journal of Food Science* ， **30** ， 937-943 ．

藤嶋 昭・相澤益男・井上 徹．2000．電気化学測定法・上，pp．209-222．技報出版株式会社．東京

福田 修・鍋岡奈津子・橋元大介・大串正明．2010．ニューラルネットワークを利用した肉牛の脂肪交雑値推定．計測自動制御学会論文集，**46**，408-414．

福田 修・鍋岡奈津子・宮島恒晴・橋元大介・大串正明．2012．超音波エコー動画像に基づく肉牛の脂肪交雑値推定．計測自動制御学会論文集，**48**，117-123．

後藤貴文．2001．筋肉から生産を考える．肉牛ジャーナル，**14**(8)，66-73．

浜崎陽子・口田圭吾・日高 智・島田謙一郎・関川三男・丸山 新．2005．画像解析によるホルスタイン種を用いた BMS ナンバー推定法ならびに異なる横断面の脂肪交雑特徴量の比較．日本畜産学会報，**76**，431-437．

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．

原田 宏・熊崎一雄．1979．超音波スキャニングスコープによる肉用牛生体における皮下脂肪厚，胸最長筋横断面積および脂肪交雑の推定．日本畜産学会

報 , 50 , 305-311 .

Haralick RM , Shanmugam K , Dinstein I . 1973 . Textural features for image classification . *IEEE Transactions on Systems , Man and Cybernetics* , 3 , 610-621 .

長谷川幹夫・山川正登・西 嘉一・藤岡清登 . 2006 . マンモグラム読影のためのモニタについて . 医用画像情報学会雑誌 , 23 , 58-63 .

橋元大介 . 2013 . 肉質向上を目的とした交雑種肥育および黒毛和種早期肥育技術に関する研究 . 日本暖地畜産学会報 , 56 , 21-27 .

橋元大介・岩元 禎・川口雅彦・中西良孝 . 2013 . 黒毛和種去勢牛の肥育後期における米ぬかまたは脂肪酸カルシウム添加飼料の給与が産肉性 , 食肉の理化特性ならびに官能特性に及ぼす影響 . 日本暖地畜産学会報 , 56 , 151-157 .

Hassen A , Wilson DE , Amin VR , Rouse GH , Hays CL . 2001 . Predicting percentage of intramuscular fat using two types of real-time ultrasound equipment . *Journal of Animal Science* , 79 , 11-18 .

早川 治 . 2009 . 産地銘柄 (ブランド) 牛肉実態調査の結果分析 , pp . 1-4 . 産地銘柄牛肉実態調査報告 . (財) 日本食肉消費総合センター .

Hayden RI, Moyse CA, Calder FW, Craford DP, Fensom DS. 1969. Electrical impedance studies on potato and alfalfa tissue. *Journal of Experimental Botany* , 20 , 177-200 .

広岡博之・松本道夫 . 1998 . わが国の牛枝肉市場における価格決定に関する要因 . 農業経済研究 , 69 , 229-235 .

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 .

Ikeuchi Y , Tanji H , Kakimoto T , Suzuki A . 1994 . Dynamic rheological behavior
and biochemical properties of rabbit skeletal actomyosin during storage at 0 .
Journal of the Science of Food and Agriculture , **65** , 77-84 .

石田光晴・武田武雄・斎藤孝夫・鹿野裕志・松本 忠・高橋 功 . 1988 . 肥育
期間中における黒毛和種去勢牛の皮下脂肪酸組成の変動 . 日本畜産学会報 ,
59 , 496-501 .

石黒晴哉・木村高純・二上敏樹・吉澤 海・安部 宏・須藤 訓・相澤良夫・
酒田昭彦・田尻久雄 . 2011 . 経過観察中に全身性エリテマトーデスを発症し
た , 肝細胞がん合併原発性胆汁性肝硬変の 1 例 . 肝臓 , **52(10)** , 679-686 .

石黒憲子・角田直也 . 2006 . セグメント別生体電気インピーダンス法による競
技スポーツ選手の体幹部骨格筋体積の推定 . THE Annual Reports of Health,
Physical Education and Sport Science , **25** , 63-39 .

岩元久雄・後藤貴文・西村正太郎・高原 齊 . 1995 . 去勢雄黒毛和牛における
生検筋肉材料の組織学的な特質と枝肉脂肪交雑度との相互関係 . 日本畜産学
会報 , **66** , 807-809 .

(独) 家畜改良センター編 . 2005 . 食肉の官能評価ガイドライン , pp 1-77 . (財)

日本食肉消費総合センター . 東京 .

- 片岡博行・岡本雄太・平本圭二．2008．食味形質の遺伝的解析による美味しい牛肉生産に関する研究(第2報)．岡山県総合畜産センター研究報告 ,17 ,33-38 ．
- 加藤嘉太郎・山内昭二．1995．家畜比較解剖図説(上巻) , pp . 118-135 ．養賢堂．東京．
- 河村 正．2009．官能評価に基づく牛肉の食味評価へのアプローチ．関西畜産学会報 , 164 , 19-27 ．
- 川田智弘・福井えみ子・吉澤 緑．2008．テクスチャー解析による超音波診断画像評価に基づいた肉牛生体の脂肪交雑基準値の客観的推定について．日本畜産学会報 , 79 , 173-183 ．
- 木村信熙．2001．おいしい牛肉の生産．畜産コンサルタント , 437 , 17-23 ．
- 木村信熙．2009．枝肉の瑕疵について考える 枝肉のシコリの発生について．肉牛ジャーナル , 22 (4) , 30-37 ．
- 木澤敏毅・加藤辰輔・重富浩子・田中藤樹・飯田一樹・永井和重・五十嵐敬太・山本雅樹・畠山直樹・鈴木信寛・堤 裕幸．2012．慢性再発性多発骨髄炎との鑑別が困難であった小児急性リンパ性白血病の1例．日本臨床免疫学会会誌 , 35(2) , 150-155 ．
- 小西一之・撫 年浩・前田正志・内山美智子．1995．画像解析装置による牛口ース芯の粗脂肪含量の推定．日本畜産学会報 , 66 , 548-554 ．
- 口田圭吾・長谷川未央・鈴木三義・三好俊三．2001．枝肉横断面撮影装置で撮影されたデジタル画像を利用したBCSナンバーの判定．日本畜産学会報 ,72 ,

321-328 .

口田圭吾・鈴木三義・三好俊三 . 2002 . 画像解析による牛胸最長筋肉脂肪交雑粒子のあらさに関する評価法の検討 . 日本畜産学会報 , 73 , 9-17 .

口田圭吾・高橋健一郎・長谷川奈央・酒井稔史・森田善尚・堤 武司 . 2004 . 牛脂肪交雑基準の評価に対する判定者間の偏差に関する検討 . 日本畜産学会報 , 75 , 567-572 .

九州農業試験研究推進会議 . 1999 . ビタミン A の適正制御による高品質牛肉生産技術の開発 . 九州地域重要新技術研究成果 , 33 , 2-6 .

Lellah K, Harada H, Fukuhara R .1997 .Early prediction on carcass traits of fattening steers by use of real-time ultrasonography . *Animal Science and Technology* , 68 , 622-630 .

丸山 新 .2007 .牛肉の美味しさ評価手法に関する指針作りに向けて ,pp .43-45 .
(社) 全国肉用牛振興基金協会 . 東京 .

丸山 新・浅野智宏・加藤誠二・向島幸司・小林直彦・坂口慎一・山口静子・口田圭吾・常石栄作 . 2006 . 育種情報の高度化によるおいしい牛肉の開発 . 岐阜県畜産研究所研究報告 , 6 , 10-16 .

間瀬 肇・加次淳一郎・安田誠宏・高山知司 . 2007 . ニューラルネットワークを用いた大阪湾内のリアルタイム津波予測 . 京都大学防災研究所年報 , 50 , 527-535 .

松原 甲・井上喜正・田畑広之進・中川勝也 . 1998 . 市販牛肉の等級別分析評

- 価と消費性向．兵庫県立農林水産技術総合センター研究報告，**34**，10-15．
- 松石昌典・久米淳一・伊藤友己・高橋道長・荒木正純・永富 宏・渡邊佳奈・
早瀬文孝・沖谷明敏．2004．和牛肉と輸入牛肉の香気成分．日本畜産学会報，
75，409-415．
- 松石昌典・森 壽一郎・文 允熙・沖谷明敏．1993．牛肉の含気貯蔵による生
鮮香気，熟成香の生成．日本畜産学会報，**64**，163-170．
- 松下厚志・森下賀之．2001．高品質牛肉「京都肉」の合理的生産技術の確立（1
次）ビタミン C 給与が脂肪交雑に及ぼす影響の検討．京都淀高原総合試験場
研究報告，**22**，38-47．
- 宮島恒晴．2001．黒毛和種における超音波を用いた肉質の早期判定法．西日本
畜産学会報，**44**，35-42．
- 宮脇尚志・佐藤哲也・森山賢治・小林望美・齋藤信雄・大上圭子・米田 武．
2007．上下肢インピーダンス法による体重体組成計を用いて検討した体組成
分類とメタボリックシンドロームとの関連．人間ドック，**22**，612-616．
- 水野増彦・村松愛梨奈・石井隆士・井川正治．2012．競技者の身体組成評価に
おける部位別生体インピーダンス法の妥当性の検討．日本体育大学スポーツ
科学研究，**1**，22-27．
- 森田琢磨・清水寛一編．1999．新版畜産学<第 2 版>，pp．42-49．文永堂出版．
東京．
- 森田良文・各務弘憲・鵜飼裕之・神藤 久．2005．ニューラルネットに基づく

- 歩行時加速度データの高齢者 / 若年者弁別 . 電子情報通信学会論文誌 D- ,
88 , 427-435 .
- 向井文雄 . 1991 . アニマルモデル (BLUP 法) による育種価評価 . 和牛 , 175 ,
16-29 .
- 向井文雄 ・ 大山憲二 . 1996 . 育種価評価により造成された育種牛群における交
配計画の作成法 . 和牛 , 197 , 3-15 .
- 長野県 . 2014 . 「信州プレミアム牛肉」認定要領 , pp . 1-3 . 長野県 . 長野 .
- 長崎県農林部畜産課 . 2013 . 平成 25 年度畜産事業の概要 , pp . 5-42 . 長崎県農
林部畜産課 . 長崎 .
- 仲川直毅 . 2008 . 国産牛肉の価格形成システムの解明 . 名城論叢 , 8(4) , 165-183 .
- 中川 隆 . 2012 . 北部九州における和牛肉のブランド化戦略 - 長崎和牛を事例
として - . 別府大学紀要第 53 号 , 133-143 .
- 中橋良信 ・ 丸山 新 ・ 関 晋司 ・ 日高 智 ・ 口田圭吾 . 2007 . 黒毛和種ロース
芯内脂肪交雑の断面部位による変化の画像解析 . 日本畜産学会報 , 78 , 441-446 .
- 中橋良信 ・ 奥村寿章 ・ 波田瑞乃 ・ 藤嶋吉宏 ・ 山内健治 ・ 日高 智 ・ 口田圭吾 .
2008 . 黒毛和種における様々な骨格筋の画像解析特徴の推移 . 日本畜産学会
報 , 79 , 403-411 .
- 中村隆夫 ・ 山本尚武 . 1999 . 上肢運動に伴う生体電気インピーダンスのパラメ
ータの変動 . 岡山大学医学部保健学科紀要 , 10 , 15-22 .
- 並河 澄 . 1991 . アニマルモデルによる種牛評価と和牛の改良 . 和牛 , 175 , 5-15 .

日本フードスペシャリスト協会．2006．新版 食肉の官能評価・鑑別演習

〔第2版〕, pp. 30-31. 建帛社. 東京.

(社)日本食肉格付協会．2010．牛・豚・枝肉・部分肉取引規格解説書, pp.

6-29.(社)日本食肉格付協会. 東京.

(財)日本食肉消費総合センター．2010．国産牛肉産地ブランド化に関する優

良事例調査報告, pp. 1-9.(財)日本食肉消費総合センター. 東京.

(株)日経リサーチ．2012.(株)日経リサーチ.(株)日経リサーチ. 東京.

[2014年4月15日引用]. URL: http://www.nikkei-r.co.jp/news/2012/05/08/post_39/

西村敏英．2006．食肉の熟成度を客観的に測る．食肉の科学, 47, 1-12.

Nishimura T, Rhue MR, Okitani A, Kato H. 1988. Components contributing to the

improvement of meat taste during storage. *Agricultural and Biological Chemistry*, 52, 2323-2330.

西岡輝美・石塚 譲・安松谷恵子・入江正和．2008．市場および小売店におけ

る牛肉脂肪の嗜好性と理化学的特性との関連.日本畜産学会報,79,391-401.

野儀卓哉・岡垣敏生．2007．同一固体内における筋肉内脂肪及び蓄積脂肪の脂

肪酸組成割合．鳥取県畜産試験場報告, 35, 8-13.

(独)農業・食品産業技術総合研究機構編．2009．日本飼養標準・肉用牛

(2008年版), pp. 101-103.(社)中央畜産会. 東京.

農林水産省．2003．政府統計の総合窓口．農林水産省．東京.[2014年4月15

- 日引用]. URL : <http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/Xlsdl.do?sinfid=000005536617>
- 農林水産省 . 2011 . 政府統計の総合窓口 . 農林水産省 . 東京 . [2014 年 4 月 15 日引用]. URL : <http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/Xlsdl.do?sinfid=000012799030>
- 農林水産省 . 2013 . 政府統計の総合窓口 . 農林水産省 . 東京 . [2014 年 4 月 15 日引用]. URL : <http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/Xlsdl.do?sinfid=000023597507>
- 農林水産省 . 2014 . 畜産をめぐる情勢 , pp . 5-9 . 農林水産省 . 東京 . [2014 年 4 月 15 日引用]. URL : http://www.maff.go.jp/j/council/seisaku/tikusan/bukai/h2503/pdf/ref_data08-1.pdf#search='%E7%95%9C%E7%94%A3%E3%82%92%E3%82%81%E3%81%90%E3%82%8B%E6%83%85%E5%8B%A2+2014'
- 農林水産省農林水産技術会議事務局 . 1987 . 食肉の理化学特性による品質評価基準の確立 . 研究成果 , 193 , 6-18 .
- 緒方倫夫・矢住卓雄・開 俊彦 . 1997 . 去勢牛の低コスト高品質肥育技術の確立(3)肉色改善に関する基礎調査(第 1 報) . 熊本県農業研究センター畜産研究所試験成績書 (平成 8 年度) , 62-73 .
- 岡 章生 . 1999 . 黒毛和種のビタミン A 給与法 . 臨床獣医 , 17 (11) , 16-18 .
- 岡地祥太郎・松本修一・小島英嗣・高田和外・岩田 晋 . 2011 . 経気管支肺生検にて確定診断を得た血管内リンパ腫の 2 例 . 気管支学 33 , 469-474 .
- 岡本圭介・口田圭吾・加藤貴之・鈴木三義・三好俊三 . 2003 . 枝肉形質および画像解析形質が牛枝肉価格に与える影響 . 日本畜産学会報 , 74 , 475-482 .
- 沖谷明鉦 . 2001 . 食肉の味を探る どこからくるかとおいしさの判定基準 . 畜産

コンサルタント , 437 , 11-16 .

沖谷明紘 . 2006 . 食肉のおいしさと熟成 . 食肉の科学 , 47(2) , 197-207 .

Okitani A , Takagi O , Fujimaki M . 1967 . The changes of “myosinB” during storage of rabbit muscle . Part . Effect of temperature , pH and ionic strength on denaturation of “myosinB” solution . *Agricultural and Biological Chemistry* , 31 , 939-946 .

大江徹男 . 2002 . 銘柄牛のブランドの維持・管理 . 農林金融 , 55(12) , 70-82 .

大井明彦・菊川伸行 . 1995 . ファクトデータに対する階層型ニューラルネットワークの適用 . NIRE ニュース , 48 , 1-5 .

大川井宏明 . 1997 . 超音波観察法・診断法 , pp . 60-80 . 東洋出版 . 東京 .

大野 誠・池田義雄 . 1998 . 簡易体脂肪測定法の比較 - 大規模疫学調査に適した機器の検討 . 日本肥満学会誌 , 4 , 60-64 .

大塚利行・加納健司・桑畑 進 . 2001 . ベーシック電気化学 , pp . 130-136 . 化学同人 . 京都 .

逢坂哲彌・小山 昇 . 1999 . 電気化学法・応用測定マニュアル , pp . 193-196 . 講談社サイエンティフィック . 東京 .

逢坂哲彌・小山 昇・大坂武男 . 1998 . 電気化学法・基礎測定マニュアル , pp . 157-182 . 講談社サイエンティフィック . 東京 .

応用統計ハンドブック編集委員会（代表者 奥野忠一）編 . 1989 . 応用統計ハンドブック , pp . 91-120 . 養賢堂 . 東京 .

小堤恭平・安藤四郎・池田敏雄・中井博康・千国幸一．1985．市場牛肉の格付等級と理化学特性について．日本畜産学会報，**56**，1-6．

Rhyu MR ,Nishimura T ,Kato Y ,Okitani A ,Kato H .1992 .Purification and properties of aminopeptidase H from chicken skeletal muscle . *European Journal of Biochemistry* , **208** , 53-59 .

坂下邦仁・西博巳・別府成・田原則雄．2004．過去6年間に出荷された黒毛和種肥育牛のBMS No.と胸最長筋脂肪含量．九州農業研究，**66**，104．

佐久間弘典．2007．肥育牛における家畜生体用X線CT装置の活用．臨床獣医，**25(8)**，14-17．

佐久間弘典・齋藤薫・曾和拓・浅野早苗・小平貴都子・奥野寿章・山田信一・河村正．2012．黒毛和種肥育牛の胸最長筋における官能特性に及ぼす粗脂肪含量と脂肪酸組成の影響について．日本畜産学会報，**83**，291-299．

Sapp RL , Bertrand JL , Pringle TD , Wilson DE . 2002 . Effects of selection for ultrasound intramuscular fat percentage in Angus bulls on carcass traits of progeny . *Journal of Animal Science* , **80** , 2017-2022 .

佐藤文明・高野太志．2008．超音波診断装置を用いた黒毛和種肥育牛の脂肪交雑判定法の検討．大分県畜産試験場試験成績報告書，**37**，11-16．

佐藤哲也・大島秀武．2004．生体インピーダンス法による体組成の計測．計測技術，**32**，10-13．

Song YH , Kim SJ , Lee SK . 2002 . Evaluation of ultrasound for prediction of carcass

- meat yield and meat quality in Korean Native Cattle (Hanwoo) .
Asian-Australasian Journal of Animal Science , **15** , 591-595 .
- Stelzleni AM , Perkins TL , Brown AH , Pohlman FW , Johnson ZB , Sandelin BA .
2002 . Genetic parameter estimates of yearling live animal ultrasonic
measurements in Brangus cattle . *Journal of Animal Science* , **80** , 3150-3153 .
- 高橋健一郎・堀 武司・波 通隆・本間稔規・小高仁重・口田圭吾 . 2006 . 高
精細枝肉横断面撮影装置からの画像を用いた BCS ナンバーの推定 . 日本畜産
学会報 , **77** , 237-244 .
- 竹原 克 . 2004 . 体重計・体脂肪計の原理 . 計測技術 , **32** , 14-20 .
- 田村 徹・大石 巖 . 2001 . 液晶ディスプレイにおける動画質の検討 : CRT デ
ィスプレイとの比較 . 映像情報メディア学会誌 , **55** , 479-487 .
- 谷原礼諭 . 2006 . 生体電気インピーダンス解析の可能性 . 養牛の友 , **360** , 34-40 .
- 谷原礼諭・橋本和博・渡邊朋子・高橋和裕・中嶋哲治 . 2004 . BIA (Bioelectrical
Impedance Analysis) を用いた屠殺初期における牛肉の電気的特性 . 香川県畜
産試験場報告 , **39** , 39-53 .
- 谷原礼諭・豊田浄彦・口田圭吾・橋本和博・渡邊朋子・中嶋哲治・十川政典・
岡 昌秀・日浦千尋・岡田栄一・新居康生・斉藤武司・田淵賢治 . 2003 . BIA
(Bioelectrical Impedance Analysis) の概要 - 牛肉の電気的特性による品質評
価への応用の可能性 - . 香川県畜産試験場報告 , **38** , 10-28 .
- 徳丸元幸・堤 和子・大園正陽・原田 宏 . 1999 . 黒毛和種去勢肥育牛の超音

- 波診断装置を用いた枝肉形質の早期推定．鹿児島県肉用牛改良研究所研究報告，**4**，1-8．
- 徳永忠昭・原田 宏・坂東島直人・川田洋一・大山 敏・横山喜世志・徳丸元幸・清野慈美・石田孝史．2004．超音波画像のデジタル情報の利用と産肉形質の早期予測基準値．宮崎大学農学部研究報告，**50**，11-17．
- 鳥取牛肉販売協議会．2014．鳥取牛肉手帖．鳥取牛肉販売協議会，鳥取県鳥取市 [2014年3月14日引用]．URL：<http://www.tottorigyuniku.com/index.php>
- 豊田浄彦・井原一高．2009．パン生地発酵への食塩の影響評価に関する研究電気インピーダンスによる生地膨張、ガス包蔵能の解析．平成19年度財団法人ソルト・サイエンス助成研究報告集 ，267-275．
- 常石英作・西村宏一．1989．牛肉の官能検査による評価．東北農業研究，**42**，209-210．
- 常石英作・渡邊 彰・滝本勇治．1994．牛体脂肪の脂肪酸組成とトリアシルグリセロール分子種との関連．日本畜産学会報，**65**，128-134．
- 土屋平四郎・山崎敏雄・西野武蔵・福原利一．1967．超音波利用による肉牛生体の背最長筋横断面積と皮下脂肪層の測定について．中国農業試験場報告，**B-15**，43-53．
- 上坂吉則．1991．ニューラルネットと学習可能性．電子情報通信学会誌，**79**，943-948．
- 梅北信二郎・竹迫良和・横山喜世志・内山正二．1992．黒毛和種去勢牛肉の理

- 化学的特性と新格付．鹿児島県畜産試験場報告，**24**，68-70．
- 魚本健人・大矢 孝・堤 知明．1994．現場におけるコンクリート品質とニューラルネットワークを用いた品質推定．生産研究，**46**，58-61
- 渡辺 彰・滝本勇治・常石栄作・西村宏一．1986．アーク機械走査式超音波カラスキャンニングスコープによるロース芯面積の推定．日本畜産学会報，**57**，823-817．
- 山口静子．2002．牛肉のおいしさと消費者嗜好．食肉の科学，**43**，131-139．
- 山口静子・丸山 新・常石英作．2009．脂肪含量の異なる牛肉のおいしさに及ぼす熟成の影響．日本味と匂学会誌，**16(3)**，441-444．
- 八巻邦次・長谷部正・伊藤房雄・氏家 哲．1996．買参人の牛枝肉価格の値付け要因．農業経済研究別冊 1996年度日本経済学会論文集，175-179．
- 柳 京熙・飯澤理一郎．1999．北海道大学農経論叢，**55**，105-113．
- 米丸淳一・上田靖子・川手督也・渡邊 彰・篠田 満．2002．画像解析によるカット牛肉の水分，粗タンパク質および粗脂肪重量の高精度な推定．東北農業研究センター研究報告，**100**，67-73．
- 吉村 学・石岡正子・田中喜代次・金 憲経・重松良祐・大蔵倫博・中塘二三生・福永哲夫・田中史子・梅川常和・坂根直樹・吉田俊秀．1997．両掌間誘導 BI (Bioelectrical Impedance) 法による体脂肪測定器の開発．日本肥満学会誌，**3**，125-133．
- (公社) 全国和牛登録協会 .2013 .第 10 回全国和牛能力共進会事務報告書 ,pp .

154-165 . (公社) 全国和牛登録協会 . 京都 .

Zhang MIN, Stout DG, Willson JHM. 1990. Electrical impedance analysis in plant tissues: Symplasmic resistance and membrane capacitance in the Hayden model. *Journal of Experimental Botany* , **41** , 371-380 .