

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

米丸 淳一^{*1)}・上田 靖子^{*1)}・川手 督也^{*1)}
渡邊 彰^{*1)}・篠田 満^{*1)}

抄録：カット牛肉の成分を消費者に提示するため、画像解析を用いて店頭で販売される牛肉の水分、粗タンパク質および粗脂肪の重量を高精度に推定する方法を確立した。デジタルカメラによって得られた画像を赤身部分と脂肪部分に選別した後、肉重量と比重値を用い赤身部分重量と脂肪部分重量を求め、恒定法により得た水分、粗タンパク質および粗脂肪含量から算出した各成分重量との相関を調査した。枝肉格付けにおいて2～5等級であったリブロース部分肉を供試した結果、赤身部分重量と水分重量および粗タンパク質重量、また脂肪部分重量と脂肪重量にそれぞれ高い相関 ($R^2=0.98$, $P<0.01$), ($R^2=0.94$, $P<0.01$) および ($R^2=0.97$, $P<0.01$) があることが明らかとなり、一次回帰式への近似が妥当であると考えられた。さらに、画像における赤身部分と脂肪部分の面積比から成分含量パーセントを推定する従来の方法と比較した結果、本方法の方が相関値が高く精度が高いことが示された。また、リブロース部分肉について推定されたロース芯の脂肪部分重と脂肪交雑 (BMS No.) の相関を調べたところ、比較的高い相関 ($R^2=0.76$, $P<0.01$) がみられた。

キーワード：画像解析, デジタルカメラ, 牛肉, リブロース, 成分重量推定

Precise estimation of moisture, crude protein and crude fat content of beef cuts by image analysis : Junichi YONEMARU^{*1)}, Yasuko UEDA^{*1)}, Tokuya KAWATE^{*1)}, Akira WATANABE^{*1)} and Mitsuru SHINODA^{*1)}

Abstract : Information about nutritional contents of beef would prevent consumers from taking fat in excess and getting fat-related diseases. A new technique using image analysis was developed to precisely determine the three component weights (moisture, crude protein and crude fat) in a beef cut of rib, which from the carcass, is classified between No. 2 and a No. 5 grade by the Japanese beef carcass grading standard. The areas of lean and fat were calculated from the digital image, then the weights of lean and fat portions were estimated from these areas, and the whole weights of the sample and specific gravities of lean and fat tissue were found. The estimated lean weight was highly correlated with both weights of crude protein ($R^2=0.94$, $P<0.01$) and moisture ($R^2=0.98$, $P<0.01$) calculated by chemical analysis. The correlation coefficient was also high ($R^2=0.97$, $P<0.01$) between the estimated fat weight and the weight of crude fat calculated by chemical analysis. For the correlation coefficient, the precision of the presented method was higher than the method hitherto which calculated between the fat area ratio estimated from the beef image and the percent fat contents. Furthermore, high correlation ($R^2=0.76$, $P<0.01$) was observed between the estimated fat weights and marbling score (BMS No.) in rib eye samples.

Key Words : image analysis, digital camera, beef, rib, component weight estimation

*1) 東北農業研究センター (National Agricultural Research Center for Tohoku Region, Morioka, Iwate, 020-0198, Japan)

2001年5月10日受付, 2001年12月21日受理

I 緒 言

近年、消費者の健康に対する意識が高まり、食品においては加工食品に見られるように栄養成分表示が実施されている。しかし、牛肉等の生鮮食品においては、各々の商品を非破壊的に測定する必要があるため、栄養成分表示は困難であり現在までほとんど行われていない。牛肉の品質を測定するための非破壊測定技術は、光学的方法、力学的的方法、電磁気学的方法、放射線学的方法、バイオセンサーなどに大きく分類されている(小堤1994)。なかでも光学的方法は可視化しやすく情報量も多く取得できるため比較的多く利用されている。例えば、と殺後の牛肉品質評価には超音波、MR 画像、可視光および紫外線照射による蛍光画像などが用いられ、生体では超音波断層法やMR 画像(山口ら1992)などが用いられてきた。この中でも、近赤外分光光度計を用いた方法(Mitsumoto et al. 1998)では、精肉段階の牛肉の粗脂肪含量を含む各種の理化学的項目を高精度に推定できる利点がある。しかし、カット肉全体の成分を推定することはそのプローブの大きさに限界があるため困難であり、また装置自体が高額であるという難点がある。これらのことから、既存の研究はそれぞれに優れた特徴がありながら、カット肉全体を評価するには適していないため、消費者に対して牛肉の栄養成分を提示する技術として確立されていない。そこで、本研究では消費者が購入すると考えられるカット肉全体の評価を目的とし、非破壊法である画像解析を中心とした解析システムの構築を試みた。なお、本論文の作成にあたり、名久井忠畜産草地部長に御校閲の労を賜った。ここに厚くお礼申し上げる。

II 材料および方法

1. 解析装置

画像撮影部であるデジタルカメラ (Fuji Film : FUJIX DS-330+エクステンションユニット EU-D3)、データ処理部のノート型パーソナルコンピュータおよびデータ保存部である640MB 光磁気ディスク装置を使用し、重量測定用の電子天秤を組み合わせ、解析装置を作成した(図1)。なお、デジタルカメラとコンピュータを SCSI により接続し、1280×1000画素 (pixels) のデジタル画像の高速転送を可能にして撮影およびデータ取込み時間の短縮化を

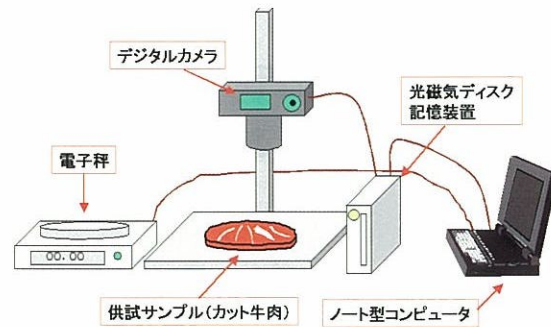


図1 試作した画像解析装置(照明装置は除く)

図った。画像解析用のプログラムは32ビットアプリケーション開発言語である Microsoft Visual C++ を用い、Microsoft Windows 95/98上で動作可能なものを作成した。照明装置は、市販のコピースタンドに設置された家庭用照明装置2器に、発熱の少ない白熱電球100W 相当の電球型蛍光灯(23W)を付けて使用した。

2. 材料および撮影方法

購入もしくは東北農業試験場で肥育した黒毛和種去勢牛16頭、日本短角種去勢牛15頭、およびホルスタイン種2頭のリブローズ部分肉を用いた。供試牛肉の第6～7肋骨間横断面を基準に1.5cm程度厚の肉片にスライスし、市場で売られるカット肉として調製した。カット肉の切断面を撮影した後、胸最長筋部分(ロース芯)を包丁で切り出し、ロース芯部分として再度撮影した。このことから、ロース芯部分のみを取り出した肉片とロース芯を含むカット肉全体の情報は独立した情報として取り扱うことができ、33個体のリブローズ部分より66点のサンプルが作成された。撮影後供試した牛肉全てをミンチして均一に混合し、この一部を用いて恒定法により重量、水分、粗脂肪および粗タンパク質の含量を測定し、重量換算を行った。撮影は条件を一定にするため、暗黒条件下で携帯型照度計を用いて光むらが出る限り少なくなるよう照明装置の位置を調整し2300 lux 条件下で行った。また、撮影時は牛肉の温度が上昇しないように冬期間に行い、無暖房の実験室において迅速に撮影を行った。またデジタルカメラ側の設定は、感度ISO400相当で絞りF11、シャッタースピード1/90秒を固定して用いた。撮影により取得したデジタル画像はWindows標準のBMP形式(1280×1000 pixels)に変換した後、MOディスクに保存した。

3. 画像解析

画像解析の手順を図2に示した。最初に、取得されたBMP画像から背景と肉片部分を選別する方法として、肉片部分の一点をマウスで選択しR（赤）、G（緑）およびB（青）値のいずれかの許容誤差を入力し、許容誤差により選別する方法を用いた。この方法は、背景が真黒である場合はかなり正確な選別が可能であるが、背景雑音が大きい場合もしくは選択部位が正確ではない輪郭部分などの微細部分については正確な選別ができない。このためマウス操作にて微修正を行い、正確に肉片画像部分だけを選択するようにした。その後、大津（1980）の動的2値化法を改変した方法を画像中の緑成分値に適用し、肉片として選択された画像部分内より正確な複数のしきい値を取得した後、対象画像をしきい値により赤身部分と脂肪部分について判別し、それぞれの面積を算出した。ここで、肉片の重量をMw、肉片の厚さをH、赤身部分の面積をLa、赤身部分の比重をLsg、脂肪部分の面積をFaおよび脂肪部分の比重をFsgとすると、赤身部分および脂肪部分の重量(LwおよびFw)は以下の計算式より導出される。

対象肉の重量=赤身部分の重量+脂肪部分の重量であるから、

$$Mw = Lw + Fw \quad -①$$

となる。ここで、撮影表面の脂肪交雑が肉片中においても連続し、さらに肉片の厚さが部位によらず一定と仮定すると、LwとFwはそれぞれ

$$Lw = La \times H \times Lsg \quad -②$$

$$Fw = Fa \times H \times Fsg \quad -③$$

と分解できる。さらに、厚さの影響を除くために①～③式を変形すると、それぞれ

$$\begin{aligned} Lw &= Lw / Mw \times Mw \\ &= (La \times H \times Lsg) / \\ &\quad (La \times H \times Lsg + Fa \times H \times Fsg) \times Mw \\ &= (La \times Lsg) / (La \times Lsg + Fa \times Fsg) \times Mw \end{aligned} \quad -④$$

$$\begin{aligned} Fw &= Fw / Mw \times Mw \\ &= (Fa \times H \times Fsg) / \\ &\quad (La \times H \times Lsg + Fa \times H \times Fsg) \times Mw \\ &= (Fa \times Fsg) / (La \times Lsg + Fa \times Fsg) \times Mw \end{aligned} \quad -⑤$$

となる。展開された④および⑤式を用いて、赤身部

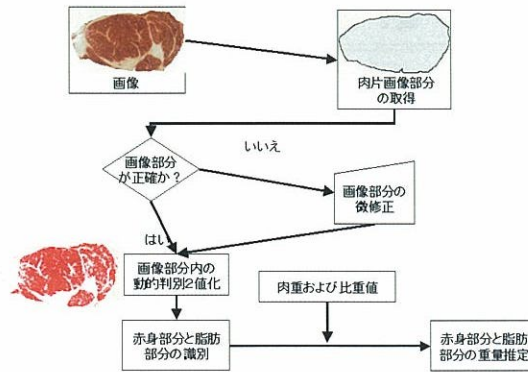


図2 解析の流れ図

分および脂肪部分の重量を推定した。なお、LsgおよびFsgについては、赤身部分（半腱様筋）と脂肪（皮下脂肪、腎脂肪）をそれぞれ水に沈め、比重測定法により実測しそれらの平均を算出し値として用いた（Lsg=1.02, Fsg=0.95）。全肉重は画像取得時に平行して電子天秤により計測した。

III 結果

表1に供試したリブブロス部分肉の成分および平均値を示した。水分および粗脂肪含量(%)は、広範囲に分布していた。画像解析から推定した赤身部分および脂肪部分の重量と恒定法を用いて分析した水分、粗脂肪および粗タンパク質含量より算出した各成分重量との間で回帰分析を行った。その結果、表2に示すように赤身部分重量と水分重量および粗タンパク質重量間で高い相関が認められた（水分： $R^2=0.9833$, $P<0.01$, 粗タンパク質： $R^2=0.9399$, $P<0.01$ ）。また、線形回帰による近似式においてその傾きはそれぞれ赤身部分重量に対する水分含量およびタンパク含量の平均値とほぼ一致していた（タンパク割合：26.5%，水分割合：86.5%）。また、脂肪部分重量と粗脂肪含量から算出した粗脂肪重量の間では $R^2=0.9672$ ($P<0.01$)の高い相関が見ら

表1 供試リブブロス部分肉の重量、各成分含量(重量比)の範囲および平均値*

穂の部位	含量(%)	重量(g)
全肉重量	… ()	43.4~238.3(105.8)
水分	36.9~72.6(56.6)	25.5~125.3(57.8)
粗タンパク質	11.4~25.6(17.4)	7.2~ 40.3(17.7)
粗脂肪	5.8~47.8(25.9)	2.5~ 95.2(30.3)

注. *) 括弧内の数値は平均値

表2 画像解析から推定した重量と各分析値間における回帰係数と相関係数 (R²)

x \ y	水分重量 (g)	粗タンパク質重量 (g)	粗脂肪重量 (g)
赤身部分重量 (g)	a = 2.658 (±0.992)	a = 0.513 (±0.595)	a = 0.015 (±5.492)
	b = 0.815 (±0.013)	b = 0.254 (±0.008)	b = 0.447 (±0.074)
	R ² = 0.9833**	R ² = 0.9399**	R ² = 0.3658**
	Jackknife 値 ^{a)} = 0.992	Jackknife 値 = 0.970	Jackknife 値 = 0.605
	Jackknife-SE ^{b)} = 0.003	Jackknife-SE = 0.008	Jackknife-SE = 0.071
脂肪部分重量 (g)	a = 31.017 (±4.493)	a = 9.361 (±1.457)	a = -5.492 (±0.977)
	b = 0.702 (±0.099)	b = 0.219 (±0.032)	b = 0.937 (±0.022)
	R ² = 0.4388**	R ² = 0.4198**	R ² = 0.9672**
	Jackknife 値 = 0.662	Jackknife 値 = 0.648	Jackknife 値 = 0.983
	Jackknife-SE = 0.067	Jackknife-SE = 0.061	Jackknife-SE = 0.004

注. 表中の a および b は, $y = a + bx$ の一次回帰式の係数を示し, () 内の数値は各係数の標準誤差を表す。
 **: 1% レベルで有意であることを示す。 a) Jackknife 法により算出された相関係数の平均値
 b) Jackknife 法により算出された相関係数の標準誤差

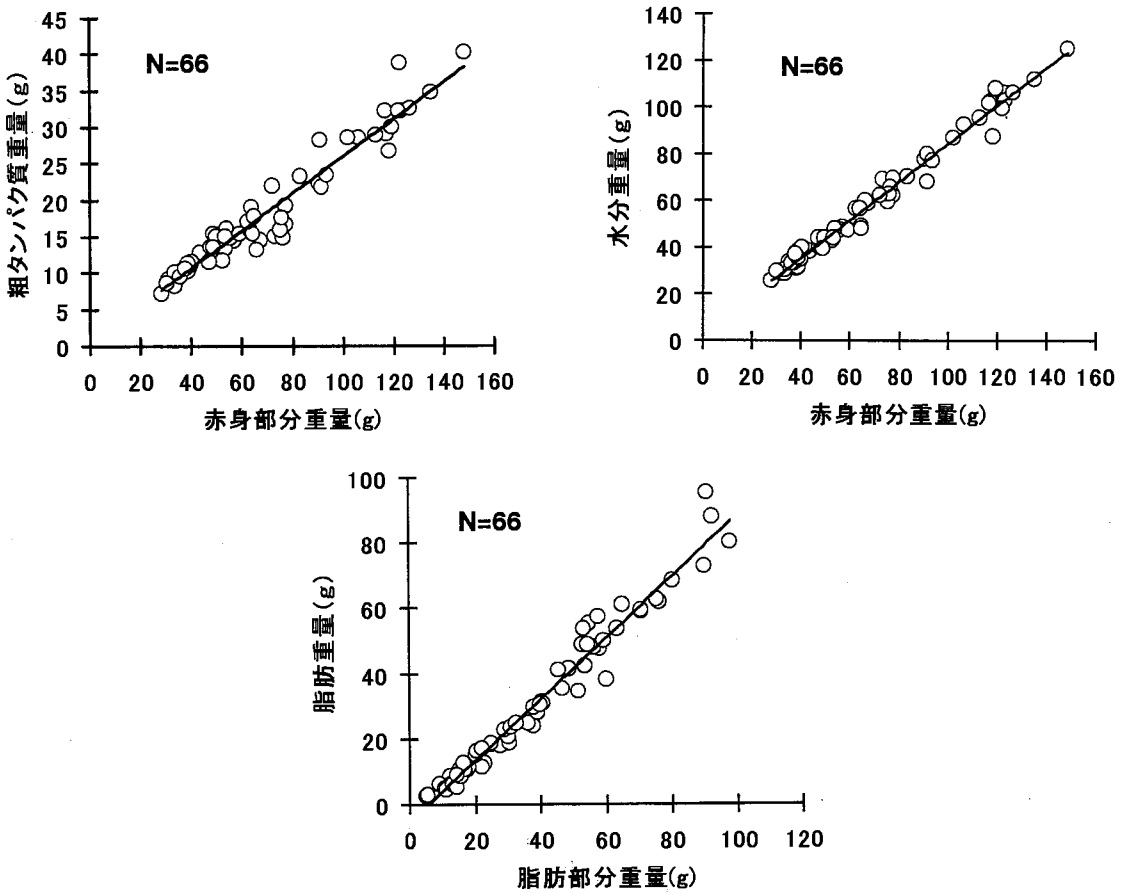


図3 画像解析により推定されたカット牛肉の赤身および脂肪部分重量と化学分析値より算出した粗タンパク質, 水分および脂肪重量間の関係
 X軸: 画像情報をもとに, サンプル重及び赤身肉, 脂肪の比重値より算出した重量
 Y軸: 恒定法により求めた粗タンパク質, 水分および脂肪含量より算出した各成分の重量

れ, 脂肪部分重量から粗脂肪重量を高い精度で推定できることが明らかになった。高い相関が見られた赤身部分重量と水分重量およびタンパク重量間, 脂肪部分重量と粗脂肪重量の間において, 分布を確認

するために散布図を作成し図3に示した。その結果, それらはほぼ直線上に乗っており一次回帰式への近似は妥当であると判断された。さらに, 表3に従来法で用いられている赤身部分と脂肪部分を用いた面

表3 画像解析から推定した面積比と各分析値の含量（重量比）間における回帰係数と相関係数（R²）

x \ y	水分重量/全肉重(%)	粗タンパク質重量 /全肉重(%)	粗脂肪重量/全肉重(%)
赤身部分面積 /全肉面積 (%)	a = 9.085 (±2.182) b = 0.740 (±0.033) R ² = 0.8847** Jackknife 値 ^{a)} = 0.941 Jackknife-SE ^{b)} = 0.012	a = 0.481 (±1.210) b = 0.264 (±0.019) R ² = 0.7600** Jackknife 値 = 0.872 Jackknife-SE = 0.021	a = 90.43 (±2.597) b = -1.004 (±0.040) R ² = 0.9088** Jackknife 値 = -0.953 Jackknife-SE = 0.010
脂肪部分面積 /全肉面積 (%)	a = 83.13 (±1.259) b = -0.740 (±0.033) R ² = 0.8847** Jackknife 値 = -0.941 Jackknife-SE = 0.012	a = 26.84 (±0.698) b = -0.264 (±0.019) R ² = 0.7600** Jackknife 値 = -0.872 Jackknife-SE = 0.021	a = -9.979 (±1.499) b = 1.004 (±0.040) R ² = 0.9088** Jackknife 値 = 0.953 Jackknife-SE = 0.010

注. 表中の a および b は、 $y = a + bx$ の一次回帰式の係数を示し、() 内の数値は各係数の標準誤差を表す。
 **: 1% レベルで有意であることを示す。a) Jackknife 法により算出された相関係数の平均値
 b) Jackknife 法により算出された相関係数の標準誤差

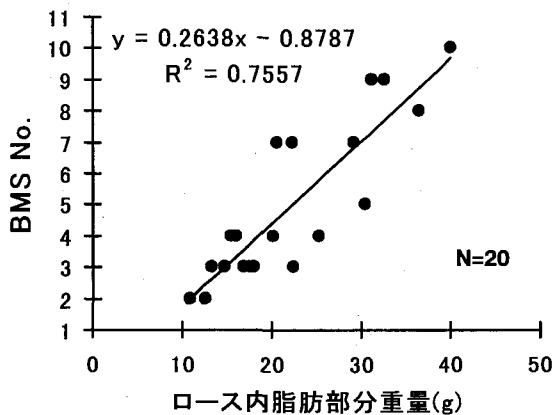


図4 画像解析により推定されたロース芯内の脂肪部分重量と BMS No. の関係

積比と成分含量間による回帰式近似を同サンプルに適用した結果を示したが、いずれも近似の精度が悪い傾向が見られた（水分：R²=0.8847，粗タンパク質：R²=0.7600，脂肪：R²=0.9088）。これらは、赤身部分面積/全肉面積と脂肪部分面積/全肉面積の合計が100（%）になるため、傾きや切片が異なるものの同じY軸における相関係数 R² は同一の値を示したと考えられる。さらに、回帰式における外れ値や分布の影響を見るために、単純無作為抽出を利用した Jackknife 法を用い相関係数の平均値および標準誤差を計算したところ、いずれも R² に比例した値を示し外れ値や分布に大きな違いが無いことが明らかとなり、相関係数において比較する妥当性があることが示された。また、購入した日格協の格付け基準による BMS No. (Beef marbling standard number) の範囲がNo.2 からNo.10にある黒毛和種去

勢牛16頭および日本短角種去勢牛4頭のリブコース部分のカット肉を用い、ロース芯部分の脂肪部分重量と BMS No. をプロットした結果、R²=0.7557 の高い相関が見られた（図4）。

IV 考 察

画像解析を用いた肉質の非破壊的評価に関する研究は、情報処理機器性能の急速な進展とともに進められ、Cross et al. (1983) らは1980年代初頭にすでにこの種の研究を開始している。国内では、Hoshino (1988) が枝肉断面の脂肪面積と肉面積を識別し脂肪量推定を試み、また穴田ら (1993) はその画像解析を発展させ、多くの部位を識別することにより枝肉構成の予測式を推定している。しかしこれらの研究は、枝肉格付基準における歩留まりおよびロース芯面積等の計測を主に目的としており、牛肉の成分を推定するまでに至っていない。また、最近では口田ら (1997a) が、枝肉中のロース芯内脂肪交雑程度すなわち BMS を画像解析により推定している。このように、これまでの画像解析研究の多くは枝肉の格付けに関したものが多く、特に BMS の客観的評価法の開発に関連していた。本研究においても、ロース芯部分の脂肪部分重量が BMS No. と比較的高い相関があることが見られたが（図4）、一方でこれらの相関程度のみから BMS No. を完全に評価できるものではないことが確認できた。これは、BMS が筋肉内の交雑脂肪粒子の大きさや形状も考慮して判定されることを考えると当然であると言える。そのため、最近では脂肪交雑粒子の解析が主流となっており、口田ら (1997b) や Yoshikawa et

al. (1999) を含める多くの研究者によって、BMS の客観的評価の精密化に関する研究が行われている。特に Yoshikawa et al. (1999) の手法は、高木・下田 (1991) の画像解析に関する解説書などにも紹介されているテクスチャ解析を発展させたものである。このように、筋肉内の脂肪交雑粒子の解析を行うために、様々な画像解析のアルゴリズムが利用されている。しかし、本研究で用いた画像解析による食肉成分の非破壊推定法の研究は少なく、小西ら (1995) の論文等に散見されるのみである。さらに、小西らの研究においても、ロース芯内の粗脂肪含量を面積比で推定しているため、絶対的な重量は把握できていない。また、本研究の結果、従来の方法である面積比を従属変数とした回帰式近似は推定重量による回帰式近似に比べ、その精度が落ちるという特性が明らかとなった (表2 および表3)。その理由として、従来の方法による回帰式近似は、脂肪部分面積と赤身部分面積の比や色情報を用いて重回帰近似を行っているケースが多く、比重値の違いを利用していないため、大きな誤差が生じると考えられる。また、面積比を用いた場合は独立変数には重量比を用いるため、表1に見られるように推定重量に比べると数値範囲も狭くなり、回帰式の精度が落ちることも考えられる。これらのことから、カット肉のように全肉重量を測定できる場合、本方法はかなり有効な手法であると考えられた。しかし、本方法においても光むらによる誤差が見られたため、今後暗箱や面光源などを適用し照明装置などを工夫することが必要である。また、カット牛肉内の脂肪交雑は撮影表面より連続していると仮定しているが、肉片が厚い場合は誤差が大きくなる可能性があり、厚さによる誤差の効果や正確な比重値などについても検討する必要があると考えられた。今後、消費者の健康・安全志向の高まりとともに、食品のラベリングに対する要求が増加すると考えられる。川手ら (2000) のアンケートの調査結果からは、肉の味や風味の良さを重視する消費者の存在が確認され、さらに品質・来歴の提示を示した食味試験の結果では、脂肪やカロリーおよび牛の飼養法などの知識が消費者に不足していることが明らかとなっている。そのため、今後は画像解析を含めた非破壊測定法を活用し、脂肪やカロリーといった成分表示を行うと同時に家畜の飼養法などを含めた総合的なラベル提示を行うことによって、新たな牛肉マーケティング戦略を考える

必要がある。

引用文献

- 1) 穴田勝人, 佐々木義之, 中西直人, 山崎敏雄. 1993. 枝肉横断面ロース芯周辺の画像解析情報による黒毛和種去勢牛の枝肉構成予測. 日畜会報 64(1): 38-44
- 2) Cross, H. R.; Gilliland, D. A.; Durland, P. R.; Seideman, S, 1983. Beef carcass evaluated by use of a image analysis system. J. Anim. Sci. 57(4): 908-917
- 3) Hoshino, T. 1988. An evaluation of fat content via image analysis of the carcasses of three different beef steer breeds. Jpn. J. Zootech. Sci. 59(2): 152-160
- 4) 大津展之. 1980. 判別および最小2乗規準に基づく自動しきい値選定法. 電子通信学会論文誌 J63-D4: 349-356.
- 5) 川手督也, 篠田 満, 竹中昭雄, 須山哲男, 下山 禎, 安藤益夫, 米丸淳一. 2000. 良質赤身肉に対する消費者ニーズの解明 (第一報) 牛肉の食味評価と来歴・品質提示が及ぼす影響—日本短角牛を中心に—. 東北農試総合研究(A) 20 北東北の公共牧場と良質赤肉生産に関する調査報告 p.51-63.
- 6) 小堤恭平. 1994. 牛肉質の非破壊的測定技術の現状と展望. 第14回基礎育種シンポジウム報告 p.27-41.
- 7) 小西一之, 撫年 浩, 前田正志. 1995. 画像解析装置による牛ロース芯の粗脂肪含量の推定. 日畜会報 66(6): 548-554.
- 8) 口田圭吾, 栗原晃子, 鈴木三義, 三好俊三. 1997a. 画像解析によるロース芯断面内脂肪割合の正確な算出法の開発. 日畜会報 68(9): 853-859.
- 9) 口田圭吾, 栗原晃子, 鈴木三義, 三好俊三. 1997b. 画像解析によるロース芯断面内脂肪交雑粒子に関する客観的評価法. 日畜会報 68(9): 878-882.
- 10) Mitsumoto, M.; Maeda, S.; Mitsuhashi, T.; Ozawa, S. 1991. Near-infrared spectroscopy determination of physical and chemical characteristics in beef cuts. J. Food Sci. 56(6): 1493-1496.

- 11) 高木幹雄，下田陽久 監修. 1991. 画像解析ハンドブック. 東京大学出版会. p.775.
- 12) 山口高弘，大和田修一，米谷定光，鈴木 惇，小堤恭平，吉武 充，松本 恒，坂本澄彦，佐藤晃三，星野忠. 1992. MR 画像 (Magnetic Resonance Imaging) による牛枝肉の脂肪沈着の評価法. 日畜会報 63(4) : 437-439.
- 13) Yoshikawa, F. ; Toraichi, K. ; Wada, K. ; Ootsu, N. ; Nakai, H. ; Mitsumoto, M. ; Katagishi, K. ; Hing, K. W. 1999. Feature extraction Algorithm for beef marbling. IEEE PACRIM'99 proceedings : 209-212.