

画像解析の手法を用いたホルスタイン種去勢牛における 牛肉の締まりの客観的評価法の検討

浜崎陽子¹・齊藤利朗²・佐藤幸信²・長束淳一³・口田圭吾⁴

¹ 帯広畜産大学, 帯広市 080-8555

² 北海道立畜産試験場, 北海道新得町 081-0038

³ ホクレン畜産技術研究所, 北海道訓子府町 099-1421

(2008. 5. 9 受付, 2008. 10. 10 受理)

要 約 肉の締まりは、肉の品質に深く関係しており、枝肉の経済的価値に与える影響も大きい。しかし、判定基準となる標準模型ではなく、肉眼による安定した評価が困難な項目といわれている。本研究では、画像解析による肉の締まりの客観的評価法を検討することを目的とした。材料牛として、ホルスタイン種去勢牛 51 頭を用いた。肉の締まりについては 15 段階の詳細な肉眼的評価を行い、その評価値を分析に用いた。また、画像解析により、ロース芯の脂肪面積割合と脂肪交雑粒子の特徴を示す形質および僧帽筋の筋束間隙割合と筋束間隙の特徴を示す形質を算出した。肉の締まりの詳細評価値を従属変数、画像解析形質を独立変数候補とした重回帰分析を行った結果、選択された形質は僧帽筋の筋束間隙割合（回帰係数の符号：-）およびロース芯の脂肪面積割合（+）であった ($R^2 = 0.71$, $P < 0.01$)。本研究の結果、僧帽筋の筋束の状態は肉の締まりと関連性が高いことが示され、画像解析による肉の締まりの客観的評価の可能性が示唆された。

日本畜産学会報 80 (1), 47-54, 2009

牛枝肉の肉質評価項目は、「脂肪交雑」、「肉の色沢」、「肉の締まりおよびきめ」および「脂肪の色沢と質」の 4 項目において評価される。4 項目は各々 5 段階に格付けされ、4 項目の中で最も低い等級が肉質等級として判定される。わが国では、脂肪交雑の程度の高い牛肉が市場において好まれており、脂肪交雫が優れていると経済的価値が高くなる傾向にある。しかしながら、前述の通り、脂肪交雫の評価値が高くても、その他の 3 項目の評価値次第では、肉質等級が格下げになる。脂肪交雫の評価値に対して肉質等級が格下げになる主な要因として、肉の締まりおよびきめ等級が他の項目よりも劣ることが挙げられる。肉の締まりおよびきめ等級についての格付記録が入手できた黒毛和種のデータを例に挙げると、2005 年 4 月から 2007 年 9 月に北海道の枝肉市場に出荷された黒毛和種の枝肉格付記録 ($n = 4,271$) において、脂肪交雫の評価より肉質等級が格下げになった枝肉が 23.3% ($n = 995$) あり、この内、肉の締まりおよびきめ等級が原因で格下げになったものが 93.8% ($n = 933$) を占めていた。肉の締まりおよびきめ等級は、「締まり」と「きめ」の各々 5 段階の評価が行われ、2 項目のうち、低く評

価された値が等級として判定されるが、前述の 933 頭のうち、「きめ」に対して「締まり」の評価値が低い枝肉が 93.7% ($n = 874$) を占めており、きめよりも締まりの劣る枝肉が多く存在し、それが原因で格付が低く評価されている。また、肉の締まりは、食肉の保水性と深く関連しており、締まりが悪い肉は食肉としての見た目も悪く、肉汁を損失するため重量が減りかつ味も低下する（中央畜産会 2000）ともいわれていることから、牛肉の経済的価値に対して少なからず影響を与えていると推察される。

われわれの研究グループは、これまでに画像解析の手法を用いて、脂肪交雫（長谷川ら 2004；浜崎ら 2005）および肉色（高橋ら 2006）の客観的評価を実施し、それについて、高い精度での評価が可能であると報告した。肉の締まりの肉眼による評価には熟練が必要であるといわれており、画像解析の手法を応用することによって、肉の締まりを客観的かつ安定的に評価できれば、格付時の補助データとして有用であると考えられる。また、ホルスタイン種のような乳用種においては、ほとんどの枝肉が肉の締まりの評価値は 2 と格付されているものの、

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

実際は、同じ評価値2であっても、評価値3に近いものから評価値1に近いものと、その肉の締まりの状態には幅があると考えられる。客観的評価により、肉の締まりについて詳細な評価値を算出できれば、現行の格付では肉の締まりの評価に差が生じない品種において、経済的価値の判断材料として有用となる。

肉の締まりは、骨格筋の切断面において水分が浮き上がりっていない状態を「良い」、肉汁が滲出している状態を「悪い」と評価される(沖谷 1996)。本研究では、牛枝肉の第6-7肋骨間の僧帽筋断面において、筋束間の境界線(以下、筋束間隙)が目視できるものや、その筋束間隙にドリップが見られる枝肉があることに着目し、僧帽筋における筋束間隙の状態に関する画像解析を行い、肉の締まりの客観的評価の可能性について検討した。

材料および方法

本研究では、材料牛として2006年8月から10月に北海道内の枝肉処理施設において屠畜解体されたホルスタイン種去勢牛51頭を用いた。第6-7肋骨間における枝肉横断面高精細画像の撮影および肉の締まりの詳細評価については、枝肉処理施設において、屠畜2日後に日本食肉格付協会による格付とほぼ同時刻に行なった。撮影には、牛枝肉専用撮影装置であるミラー型撮影装置(HK-333; 早坂理工、札幌)を用いた。肉の締まりについては、日本食肉格付協会の格付員が行う通常の枝肉格付では1等級(劣るもの)から5等級(かなり良い)の5段階評価が行われる(以下、締まり格付評価値)が、本研究では、肉質評価に熟練したセリ業務担当者一名によつて、例えば格付の2等級を、2-, 2, 2+のように3段階に分類することで、計15段階に細分化した第6-7肋骨間断面における肉の締まりの詳細な評価値(以下、締まり詳細評価値)を得た。なお、調査期間中における肉の締まりの詳細評価については、すべて同一の評価者によつて行われた。また、屠畜から7~11日間、0°Cに設定された枝肉用冷蔵庫で保存した後、第7-10肋骨間のリブロースを切り出し、設定温度15°Cの実験室内において、僧帽筋のズーム画像の撮影を行なった。撮影には、ウルトラマクロレンズ(LZ3-2; GOKO、神奈川)を装着したデジタルカメラ(D70; ニコン、東京)を用いた。本研究で用いたウルトラマクロレンズは、白色LEDを内部に18個配置しており、外部光の影響を受けずに接写撮影が可能である。カメラは実験台の上で上下のスライドが可能なスタンドに設置し、焦点距離を微調整しながら、左半丸の第6-7肋骨間における僧帽筋ズーム画像を撮影した。なお、肉の締まりの客観的評価法を検討するにあたって、枝肉の経済的価値に最も影響を与えるロース芯を調査対象とするのが適切であると考えられるが、ウルトラマクロレンズでロース芯のズーム画像を撮影したところ、ロース芯のきめは繊細で、その切断面は非常

に滑らかであり、画像解析によって肉の締まりに関連があると推察されるドリップや筋束の状態に関する形質を算出するには適さなかった。そのため、調査対象を僧帽筋とした。

1. ロース芯における画像解析形質の算出

ミラー型撮影装置により得られた第6-7肋骨間枝肉横断面画像から画像解析形質を算出するために、牛枝肉画像解析ソフトウェア(BeefAnalyzer II; 早坂理工)を用いた。まず、枝肉横断面画像からロース芯を抽出するために、自動的にロース芯の輪郭線を描画し、輪郭が誤認識された部分については、手動による補正を行なった。抽出したロース芯の画像を用いて、ロース芯面積、ロース芯内に占める脂肪交雑の割合(以下、脂肪面積割合)、全体のあらさ指数、最大粒子のあらさ指数、脂肪交雑粒子数、上位1~5のあらさ指数、上位1~10のあらさ指数、指定範囲内脂肪交雫粒子数および細かさ指数の計9形質を算出した。画像解析により脂肪交雫のあらさを評価するための手法として、2値化した脂肪交雫粒子の面積を用いた例(白仁田ら 1996)があるが、実際には脂肪交雫粒子同士が接触しており、視覚的には小さな脂肪交雫粒子が多数あるように認識されたとしても、画像解析では1つの脂肪交雫粒子に認識される場合がある。そこで、各ロース芯内の脂肪交雫粒子の特徴を表すために、2値化画像に対して細線化処理を施し、個々の脂肪交雫粒子を独立させ、評価した。なお、ホルスタイン種の画像解析によるBMSナンバーの推定法について報告した浜崎ら(2005)の結果から、本研究における細線化処理の回数は5回とした。

脂肪面積割合は2値化後の画像を用いてロース芯内に脂肪交雫粒子が占める割合を算出した。全体のあらさ指数、最大粒子のあらさ指数および脂肪交雫粒子数は、口田ら(1997, 2002)が考案した手法により算出した。全体のあらさ指数の値が高い場合は、ロース芯内にあらい脂肪交雫粒子が多く存在することを示しており、最大粒子のあらさ指数の値が高い場合は、ロース芯内に単独で大きな脂肪交雫粒子が存在することを示している。また、全体のあらさ指数は脂肪面積割合に影響されており、視覚的に脂肪交雫粒子のあらさに即していない場合があるため、高橋ら(2006)が考案した、個々の脂肪交雫粒子を面積の大きい順に並び替え、もっとも大きい脂肪交雫粒子からそれぞれ5番目および10番目までの脂肪交雫粒子面積を加算したときの脂肪交雫のあらさ(上位1~5のあらさ指数および上位1~10のあらさ指数)を算出した。また、口田ら(2006)の手法を用いて、指定範囲($0.01 \sim 0.5 \text{ cm}^2$)の脂肪交雫粒子の数(指定範囲内粒子数)および細かさ指数を算出した。細かさ指数とは指定範囲内の脂肪交雫粒子数をロース芯面積で除した値であり、値が大きいほど、ロース芯内に細かい脂肪交雫粒子が多く存在することを表す。

牛肉の締まりの客観的評価法

2. 僧帽筋の筋束間隙に関する画像解析形質の算出

ウルトラマクロレンズによって撮影した僧帽筋ズーム画像 (3008×2000 画素) 全体を分析対象領域とし、画像処理には、画像編集アプリケーションである Photoshop CS2 (Adobe, 東京) を用いた。本研究では、僧帽筋ズーム画像 (図 1-a)において、目視できる筋束間の境界部分 (筋膜や、筋束が隆起して出来た筋束間の溝) を筋束間隙と定め、筋束間隙部分全体を手動で塗りつぶし (図 1-b)、その画素数を計測した。なお、ミラー型撮影装置により撮影したロース芯断面の画像において、目視できる筋束間隙がほとんど存在しないのに対して、ウルトラマクロレンズを用いて撮影した僧帽筋ズーム画像においては、大小さまざまな筋束間隙を目視により確認することが可能であった。

僧帽筋の筋束間隙に関する画像解析形質として、筋束間隙の画素数を分析対象領域の画素数で除した値を筋束間隙割合として算出した。なお、分析対象領域内に皮下脂肪や筋間脂肪が含まれていた場合は、その領域を分析対象から除外した。さらに、筋束間隙を描画した画像を用いて、前述のロース芯内の脂肪交雑粒子に関する形質の場合と同様に、BeefAnalyzer II により筋束間隙の特徴を表す形質を算出した。その結果、筋束間隙に関する画像解析形質として、筋束間隙割合、筋束間隙のあらさ指

数、筋束間隙の最大あらさ指数、筋束間隙数、筋束間隙の上位 1~5 のあらさ指数および上位 1~10 のあらさ指数、指定範囲内 ($0.01 \sim 0.5 \text{ cm}^2$) の筋束間隙数および筋束間隙の細かさ指数の計 8 形質を算出した。なお、細線化処理の回数は 5 回とした。

以上のデータを用いて、肉の締まりの詳細評価値と画像解析形質の関連性の調査を行った。また肉の締まりの詳細評価値を従属変数、画像解析形質を説明変数候補として重回帰分析を行った。変数選択法には最大 R^2 法を用い、選択される変数は 3 変数以内に制限した。第 6-7 肋骨間ににおける枝肉横断面画像から得たロース芯における画像解析形質 (9 変数) のみを説明変数候補として用いた場合と、ロース芯における画像解析形質 (9 変数) に加えて、僧帽筋ズーム画像から得た筋束間隙に関する画像解析形質 (8 変数) を用いた場合における重回帰分析を行い、画像解析による締まりの客観的評価の推定精度の違いについて調査した。なお、統計処理には SAS (SAS Institute Inc., 1985) の CORR および GLM プロジェクションを用いた。

結果および考察

1. 基礎統計量

格付形質および画像解析形質の基礎統計量を表 1 に示した。材料牛における屠畜月齢、枝肉重量、BMS ナンバーおよびロース芯の脂肪面積割合の平均値および標準偏差はそれぞれ、 20.90 ± 0.41 カ月齢、 469.73 ± 36.55 kg, 2.16 ± 0.37 および $20.43 \pm 4.39\%$ であった。本研究と同地域において、ホルスタイン種去勢牛の調査を行った浜崎ら (2005) は、枝肉重量、BMS ナンバーおよびロース芯の脂肪面積割合の平均および標準偏差について、それぞれ、 469.76 ± 26.31 kg, 2.31 ± 0.59 および $18.09 \pm 4.17\%$ と報告している。枝肉重量および BMS ナンバーについては同程度であったが、脂肪面積割合については本研究においてやや高い値を示した。また日本食肉格付協会が公表している牛枝肉格付情報 (日本食肉格付協会 2007) において、平成 18 年度 (平成 18 年 4 月～平成 19 年 3 月) に出荷された乳用種去勢牛の枝肉重量、BMS ナンバーおよび肉の締まりおよびきめ等級の全国平均 (調査頭数) は 424.1 kg ($n = 52,644$), 2.1 ($n = 51,062$) および 2.1 ($n = 51,062$) であった。枝肉重量については、本研究の材料牛と比較してかなり小さい値であったが、BMS ナンバーおよび肉の締まりおよびきめ等級では同程度であった。また、肉の締まりおよびきめ等級の分布については、本研究の材料牛で等級 2 (84.8%) および等級 3 (12.3%), 全国における結果 ($n = 51,062$) では、等級 2 (94.1%) および等級 3 (5.9%) であり、肉の締まりおよびきめ等級が 2 と評価される枝肉が多い傾向は一致していた。表 2 に本研究の材料牛の締まり格付評価値と締まり詳細評価値の分布を示した。

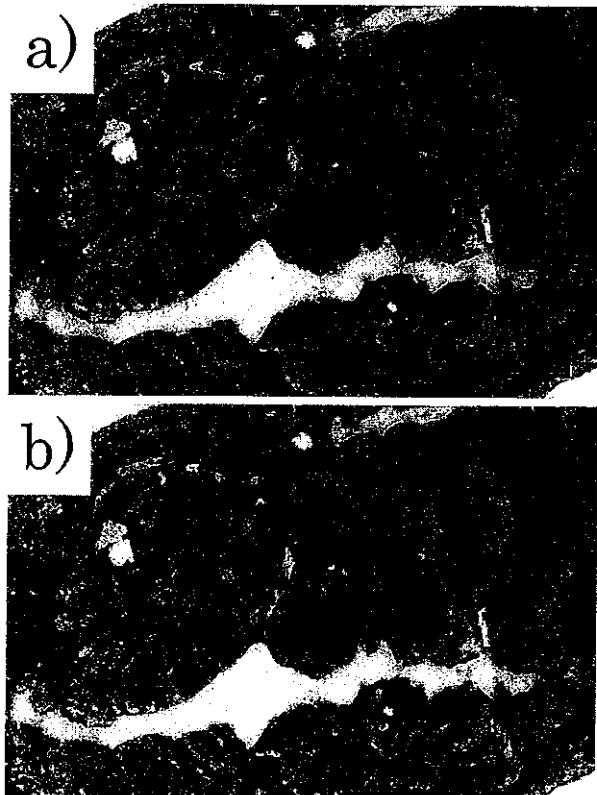


Figure 1 Original (a) and processed (b) digital images of the M. trapezius taking with an ultra macroscopic lens.

Table 1 Carcass and image analysis traits of Holstein steers (n = 51)

Traits	Mean	SD	Min	Max
Carcass traits				
Slaughter age (month)	20.90	0.41	20.16	21.70
Carcass weight (kg)	469.73	36.55	377.00	544.00
Rib eye area (cm ²)	46.06	5.48	37.00	60.00
Rib thickness (cm)	5.95	0.72	4.30	7.70
Subcutaneous fat thickness (cm)	2.05	0.69	1.00	4.60
Yield score	69.64	0.94	66.90	71.50
BMS No. (1 to 12) ^a	2.16	0.37	2.00	3.00
Meat firmness (1 to 5)	2.06	0.24	2.00	3.00
Meat firmness and texture grade (1 to 5)	2.06	0.24	2.00	3.00
DSMF ^b	1.98	0.31	1.33	2.67
Image analysis traits				
GAPPER (%) ^c	5.62	2.27	2.53	10.49
Rib eye area (cm ²)	47.01	6.53	27.13	62.72
FATPER (%) ^d	20.43	4.39	12.56	32.77

^a BMSNo. ; beef marbling standard number.^b DSMF ; detailed evaluation score of meat firmness.^c GAPPER ; ratio of gap of the muscle bundles in the object region (3008×2000 pixels) on M. trapezius.^d FATPER ; ratio of marbling area to rib eye area.

Table 2 Frequency of grading score and detailed evaluation score of meat firmness for Holstein steers (n = 51)

Score of meat firmness	Grading score ^a	DSMF ^b
	Heads (%)	Heads (%)
3	3 (5.88%)	1 (1.96%)
3-	—	1 (1.96%)
2+	—	14 (27.45%)
2	48 (94.12%)	21 (41.18%)
2-	—	11 (21.57%)
1+	—	4 (7.84%)

^a Grading score ; Meat firmness score was graded by a meat grader.^b DSMF ; detailed evaluation score of meat firmness.

2. 画像解析形質と肉の締まりとの関連性

1) ロース芯内の脂肪交雑と肉の締まりとの関連性

ロース芯における画像解析形質と肉の締まりの詳細評価値との相関係数を表3に示した。ロース芯面積およびロース芯の最大粒子のあらさ指数以外のロース芯の画像解析形質において、いずれも肉の締まり詳細評価値と有意な相関が見られた。最も強い相関を示したのはロース芯の脂肪面積割合であり、その相関係数は0.73 ($P < 0.01$) である。

0.01) であり、これは、ロース芯内に多く脂肪交雫が含まれているほど、肉の締まり詳細評価値が高くなることを示している。脂肪交雫の程度の高い肉では、骨格筋内の筋束間脂肪細胞に脂肪が蓄積しているため、保水性が高く、また締まりも良いと言われており、本研究においても同様の傾向が見られた。またロース芯の最大粒子のあらさ指数を除く脂肪交雫粒子のあらさに関する4形質において0.32から0.48の中程度の相関を示した ($P < 0.01 \sim 0.05$)。脂肪交雫粒子の細かさを示す2形質についても0.50および0.57と正の相関を示した ($P < 0.01$) ことから、本研究で用いたホルスタイン種においては、脂肪交雫粒子のあらさや細かさに関わらず、ロース芯内に脂肪交雫が多く存在することにより締まりの評価値も高くなることが示唆された。

2) 僧帽筋の筋束間隙に関する画像解析形質と肉の締まりとの関連性

僧帽筋における筋束間隙に関する画像解析形質と肉の締まりの詳細評価値との相関係数を表4に示した。僧帽筋における筋束間隙に関する画像解析形質のうち、締まり詳細評価値と最も強い相関を示したのは、筋束間隙割合であり、その相関係数は-0.75 ($P < 0.01$) であった。これは、僧帽筋の切断面において目視できる筋束間隙が少ないほど肉の締まりが良いことを示している。締まり詳細評価値との間に、筋束間隙のあらさに関する画像解

牛肉の締まりの客観的評価法

Table 3 Correlation coefficients among image analysis traits of rib eye and detailed evaluation scores of meat firmness

Traits	DSMF ^a	Rib eye area	FATPER	O_COARSE of rib eye	N_COARSE of rib eye	COARSE 1-5 of rib eye	COARSE 1-10 of rib eye	M_COARSE of rib eye	NSF of rib eye
Rib eye area	0.09								
FATPER ^b	0.73**	-0.03							
O_COARSE of rib eye ^c	0.46**	-0.01	0.55**						
N_COARSE of rib eye ^d	0.48**	0.33*	0.68**	-0.01					
COARSE 1-5 of rib eye ^e	0.32*	-0.05	0.41**	0.93**	-0.19				
COARSE 1-10 of rib eye ^f	0.35*	-0.06	0.42**	0.96**	-0.19	0.99**			
M_COARSE of rib eye ^g	0.23	-0.05	0.38**	0.79**	-0.17	0.91**	0.86**		
NSF of rib eye ^h	0.50**	0.57**	0.63**	0.08	0.84**	-0.09	-0.08	-0.12	
FIM of rib eye ⁱ	0.57**	0.07	0.79**	0.09	0.79**	-0.07	-0.06	-0.09	0.84**

* : $P < 0.05$, ** : $P < 0.01$.

^aDSMF ; detailed evaluation scores of meat firmness.

^bFATPER ; ratio of marbling area to rib eye area.

^cO_COARSE of ribeye ; overall coarseness of marbling in rib eye.

^dN_COARSE of ribeye ; number of coarser marbling particles in rib eye.

^eCOARSE 1-5 of ribeye ; coarseness of the 1-5th larger marbling particles in rib eye.

^fCOARSE 1-10 of ribeye ; coarseness of the 1-10th larger marbling particles in rib eye.

^gM_COARSE of ribeye ; coarseness of the largest marbling particle in rib eye.

^hNSF of ribeye ; number of small flecks of marbling.

ⁱFIM of ribeye ; fineness index of marbling particles in rib eye.

Table 4 Correlation coefficients among image analysis traits of gap of the muscle bundles in *M. trapezius* and the detailed evaluation score of meat firmness

Traits	DSMF ^a	GAPPER	O_COARSE of GAP	N_COARSE of GAP	COARSE 1-5 of GAP	COARSE 1-10 of GAP	M_COARSE of GAP	NSG
GAPPER ^b	-0.75**							
O_COARSE of GAP ^c	-0.45**	0.74**						
N_COARSE of GAP ^d	-0.22	0.45**	0.33*					
COARSE 1-5 of GAP ^e	-0.34*	0.64**	0.93**	0.22				
COARSE 1-10 of GAP ^f	-0.34*	0.64**	0.96**	0.23	0.99**			
M_COARSE of GAP ^g	-0.30*	0.62**	0.80**	0.19	0.90**	0.86**		
NSG ^h	-0.64**	0.74**	0.57**	0.27	0.39**	0.41**	0.37**	
FIG ⁱ	-0.64**	0.74**	0.57**	0.27	0.39**	0.41**	0.37**	1.00**

* : $P < 0.05$, ** : $P < 0.01$.

^aDSMF ; detailed evaluation score of meat firmness.

^bGAPPER ; ratio of gap of the muscle bundles in the object region (3008×2000 pixels) on *M. trapezius*.

^cO_COARSE of GAP ; overall coarseness of gap of the muscle bundles in the object region (3008×2000 pixels) on *M. trapezius*.

^dN_COARSE of GAP ; number of coarser gap of the muscle bundles in the object region (3008×2000 pixels) on *M. trapezius*.

^eCOARSE 1-5 of GAP ; coarseness of the 1-5th larger gap of the muscle bundle in the object region (3008×2000 pixels) on *M. trapezius*.

^fCOARSE 1-10 of GAP ; coarseness of the 1-10th larger gap of the muscle bundle in the object region (3008×2000 pixels) on *M. trapezius*.

^gM_COARSE of GAP ; coarseness of the largest gap of the muscle bundle in *M. trapezius*.

^hNSG ; number of small gaps of muscle bundles in *M. trapezius*.

ⁱFIG ; fineness index of gap of muscle bundles in *M. trapezius*.

析形質のうち、筋束間隙数においては有意な相関関係は見られなかつたが、その他の4形質において -0.30 から -0.45 の負の相関係数が示された ($P < 0.01 \sim 0.05$)。これは、僧帽筋における大きい筋束間隙が多いほど、肉の締まりが悪いことを示している。また締まり詳細評価値と筋束間隙の細かさに関する2つの画像解析形質の間ににおいて、ともに -0.64 と強い負の相関 ($P < 0.01$) が示され、あらい筋束間隙に限らず、細かい筋束間隙も多いほど締まりの評価が悪いことが示唆された。僧帽筋の筋束間隙割合は、筋束間隙数を除く筋束間隙のあらさおよび細かさを示すいずれの形質とも強い正の相関 ($0.62 \sim 0.74 : P < 0.01$) にあり、また、筋束間隙のあらさ指数と筋束間隙の細かさ指数との間に有意な正の相関 ($0.57 : P < 0.01$) が見られた。これは、僧帽筋において、目視できる筋束間隙割合が高い場合、あらい筋束間隙だけでなく細い筋束間隙も多く存在することを示している。

3. 画像解析形質を用いた肉の締まりの詳細評価値に関する重回帰分析

画像解析による客観的な肉の締まりの評価法を検討するため、肉の締まりの詳細評価値を従属変数とし、ロース芯における画像解析形質（9形質）および僧帽筋の筋束間隙に関する画像解析形質（8形質）を説明変数候補として、重回帰分析を行つた。まず、説明変数候補にロース芯における画像解析形質のみを用いた分析の結果、選択された変数はロース芯面積（回帰係数の符号：+）、ロース芯の脂肪面積割合（+）およびロース芯におけるあらさ粒子数（-）であり、その決定係数は0.56であった。続いて、説明変数候補にロース芯の画像解析形質および僧帽筋における筋束間隙に関する画像解析形質を用いた分析の結果、選択された変数は僧帽筋における筋束間隙割合（-）およびロース芯における脂肪面積割合（+）であり、その決定係数は0.71であった。ロース芯の脂肪交雑に関する画像解析形質に、ウルトラマクロレンズによって撮影された僧帽筋の筋束間隙に関する画像解析形質を加えることにより、締まりの詳細評価値の推定精度が向上した。

枝肉の状態で判定される肉の締まりと筋束の状態に関する研究報告はこれまでほとんど行われていないが、骨格筋内の結合組織や筋線維の構成と肉のテクスチャとの関連性については多数報告されている。Purslow (2005) は、骨格筋内の結合組織の分布は筋束のサイズで決まり、それらは肉の柔らかさの指標となると報告しており、また、Sifre ら (2005) および Sifre-Maunier ら (2006) は、筋組織の2つの主要な構成要素（筋原線維と結合組織）の構造に関する研究は、肉の柔らかさと硬度の予測のために必要であると結論づけた。本研究で着目した筋束間隙に関する画像解析形質は、個々の筋束のサイズを定量したものではないが、食肉の望ましいテクスチャの一要因である多汁性 (沖谷 1996) に影響を与える肉の締

まりと強い相関を示したことから、筋束のサイズにも強く関連していると推察される。本研究では肉の締まりについてのみ調査を行つたが、現行の格付において、肉のきめについては、骨格筋を形成する筋束の太さによって判定されている（日本食肉格付協会 1996）ことから、筋束間隙に関する画像解析形質は、肉のきめの客観的評価にも有用な形質であると推察され、今後、この点についても検討を重ねる必要があろう。また、筋束の太さは骨格筋の部位や品種によって異なることが知られている（鈴木ら 1978）。いずれの骨格筋も筋線維の太い白色筋および細い赤色筋から構成されているが、ホルスタイン種では白色筋が多く含まれているのに対して、黒毛和種では赤色筋が多く含まれているという報告もある（岩元ら 1991）。また、Ouali (1990) は、白色筋の割合の高い骨格筋において、屠畜後の解糖速度が速いと報告した。解糖と保水性の変化も関連 (沖谷 1996) していることから、骨格筋の部位の違いだけではなく、品種によっても保水性が大きくことなると推察される。また、本研究において僧帽筋のズーム画像を撮影するために用いたウルトラマクロレンズは、被写界深度が浅く、撮影には細心の注意が必要であるため、今回のような実験室における使用は可能であるが、枝肉市場などにおいて一般出荷牛に用いるには相応しくない。肉の締まりの客観的評価の精度向上に向け、データの収集方法を検討した上で、本研究における手法がホルスタイン種以外の品種においても有用であるか検討する必要がある。

謝 辞

本研究の一部は先端技術を活用した農林水産研究高度化事業委託事業「光学的手法による和牛肉品質の評価技術とその応用」No. 1674 代表研究者：入江正和」における研究費を使用して行われたものであり、ここに感謝の意を表する。

文 献

- (社)中央畜産会. 2000. 日本飼養標準・肉用牛. (社)中央畜産会、東京.
- 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雫特微量の比較. 日本畜産学会報 76, 431-437.
- 長谷川未央、口田圭吾、佃 秀雄、加藤浩二、鈴木三義、三好俊三. 2004. 脂肪交雫粒子のあらさおよび胸最長筋の形状に関する画像解析値を用いたBMSナンバーの推定. 日本畜産学会報 75, 53-60.
- 岩元久雄、尾野喜孝、後藤貴文、西村正太郎、中西良孝、梅津頼三郎、高原 齊. 1991. 黒毛和種、褐毛和種およびホルスタイン種の去勢雄牛間での筋線維型構成に関する比較検討. 日本畜産学会報 62, 674-682.
- 口田圭吾、栗原晃子、鈴木三義、三好俊三. 1997. 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. 日本畜産学会報 68, 853-859.

牛肉の締まりの客観的評価法

- 口田圭吾, 大澤剛史, 堀 武司, 小高仁重, 丸山 新. 2006. 画像解析による牛枝肉横断面の評価とその遺伝. 動物遺伝育種研究 **34**, 45-52.
- 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.
- (社)日本食肉格付協会. 2007. 牛枝肉格付情報平成18年4月～平成19年3月版. CD-ROM. (社)全国肉用牛振興基金協会, 東京.
- (社)日本食肉格付協会. 1996. 牛・豚・枝肉部分肉取引規格解説書. 日本食肉格付協会, 東京.
- 沖谷明絃. 1996. 肉の科学. 初版. pp. 59-87. 朝倉書房, 東京.
- Ouali A. 1990. Meat tenderization : possible causes and mechanisms. A review. *Journal of Muscle Foods* **1**, 129-165.
- Purslow PP. 2005. Intramuscular connective tissue and its role in meat quality—review. *Meat Science* **70**, 435-447.
- SAS institute Inc. 1985. *SAS User's guide : Statistic*. Ver 5 edn. pp. 433-506. SAS Institute Inc. Cary, NC.
- Sifre L, Berge P, Engel E, Martin JF, Bonny JM, Listrat A. 2005. Influence of the spatial organization of the perimysium on beef tenderness. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **53**, 8390-8399.
- Sifre-Maunier L, Taylor RG, Berge P, Culioli J, Bonny JM. 2006. A global unimodal thresholding based on probabilistic reference maps for the segmentation of muscle images. *Image and Vision Computing* **24**, 1080-1089.
- 白仁田和彦, 宮島恒晴, 瀧山龍三. 1996. 画像処理とニューラルネットワークによる牛枝肉の等級判定. 電子情報通信学会技術報告 NC96-55, 41-46.
- 鈴木 悅, 大和田修一, 玉手英雄. 1978. 黒毛和種とホルスタイン種の骨格筋における筋線維内脂肪滴の有無と各筋線維型の割合と太さ. 日本畜産学会報 **49**, 262-269.
- 高橋健一郎, 口田圭吾, 堀 武司, 波 通隆, 小高仁重. 2006. ミラー型撮影装置を用いた肉用品種における脂肪交雫形状特性の比較. 日本畜産学会報 **77**, 501-507.

Investigation of objective evaluation method for meat firmness by computer image analysis of Holstein steers

Yoko HAMASAKI¹, Toshiro SAITO², Yukinobu SATO², Junichi NAGATSUKA³ and Keigo KUCHIDA¹

¹ Obihiro University of Agriculture and Veterinary Medicine, Obihiro 080-8555, Japan

² Hokkaido Animal Research Center, Shintoku, Hokkaido 081-0038, Japan

³ Research & Development Section Technical Research Institute of Livestock and Grassland Science,
HOKUREN Federation of Agricultural Cooperatives, Kunneppu, Hokkaido 099-1421, Japan

Corresponding : Keigo KUCHIDA (fax : +81 (0) 155-49-5462, e-mail : kuchida@obihiro.ac.jp)

The firmness of meat is deeply related to the quality and palatability of the meat, and has a large economic impact. However, it is difficult to perform a stable subjective evaluation of meat firmness because there is no objective standard model for judging. The purpose of this study was to investigate the objective evaluation method for meat firmness by using computer image analysis. Generally, the evaluation of the meat firmness is visually graded into 5 scores (1 : poor-5 : fairly good). In this study, the meat firmness was minutely evaluated into 15 scores by the expert grader of the meat quality evaluation for 51 Holstein steers. The digital images of the carcass cross section were taken between the 6th and 7th ribs by the mirror-type photographing equipment, and the macro images of M. trapezius at the 6th and 7th ribs were taken with the digital camera attached with an ultra macroscopic lens. Using the digital images of carcass cross section, the ratio of marbling area to rib eye area (FATPER) as well as traits for marbling particles were obtained by image analysis. Also, in this study, the boundary division between muscle bundles on the zoom image of M. trapezius, was determined as a muscle bundle gap. The ratio of gap of the muscle bundles occupied in the object region of 3008×2000 pixels (GAPPER) and traits for the gap of the muscle bundles were also calculated for the macro images of M. trapezius. The correlation coefficient between detailed evaluation score of the meat firmness and FATPER was highly significant ($r = 0.73, P < 0.01$). On the other hand, the correlation coefficient between GAPPER and the detailed evaluation score for the meat firmness was -0.75 ($P < 0.01$). Multiple regression analysis was conducted in order to evaluate the firmness of the meat by objective image analysis variables. Selected variables of the multiple regression equation were GAPPER with the negative regression and FATPER with the positive regression ($R^2 = 0.71, P < 0.01$). Results of this study showed that the meat firmness was highly related to the condition of the muscle bundles and the possibility of the objective evaluation by means of image analysis for the meat firmness.

Nihon Chikusan Gakkaiho 80 (1), 47-54, 2009

Key words : Holstein steer, image analysis, meat firmness, M. trapezius.