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

中橋良信¹・丸山 新²・関 晋司¹・日高 智¹・口田圭吾¹

¹ 帯広畜産大学, 帯広市 080-8555

² 岐阜県畜産研究所, 高山市 501-0161

(2007. 5. 2 受付, 2007. 7. 25 受理)

要 約 画像解析によりロース芯内脂肪交雑の断面部位による変化について調査するために, 黒毛和種去勢牛 12 頭のロース芯をスライスし, 画像解析を行った. 第 6~7 胸椎から第 10~11 胸椎までを 2 cm 間隔でスライスし, 12 枚のスライス肉を得た (リブロース). また, 第 10~11 胸椎から 23~28 枚のスライス肉を得た (サーロイン). ミラー型枝肉撮影装置を用いて各スライスの高精細デジタル画像を得た. 画像解析ソフト (Beef Analyzer II) により, 各スライスにおけるロース芯面積, 脂肪面積割合, 小ザシ数, 小ザシ指数, 全体あらさ指数, 最大あらさ指数, 慣性主軸短径長径比, ロース芯複雑度の 8 形質を求めた. また, 第 6~7 切開面, サーロインの第 1 面, ロース芯終端面それぞれの画像解析形質と, 全スライス平均との相関係数を求め, どの面がロース芯をより代表するか調査した. ロース芯の形状はリブロースからサーロインに進むにつれて細長くなった. 脂肪面積割合は尾側に向かうにつれリブロースでは減少し, サーロインでは増加した. 脂肪交雑のあらさは尾側に向かうにつれあらくなった. 最大あらさ指数が高くなる特定の部位は存在せず, 大きな粒子は突発的に発生することが示唆された. 第 6~7 切開面と全スライス平均との相関係数は脂肪面積割合を除く形質で $r=0.15\sim0.61$ の範囲にあった. それに対しサーロインの第 1 面と全スライス平均とのそれは, 最大あらさ指数を除く形質で $r=0.68\sim0.92$ の範囲にあった. 個体によって第 6~7 切開面のロース芯における脂肪交雑の状態と, サーロインにおけるそれに差が存在する場合が確認されたため, 詳細に肉質を調査する場合, 第 10~11 胸椎の切開面の脂肪交雑の状態を追加情報とする必要性が示唆された.

日本畜産学会報 78 (4), 441-446, 2007

現在, わが国では脂肪交雑の多く入った牛肉が消費者によって求められている. 牛枝肉の肉質等級格付においてロース芯内に含まれる脂肪交雑は非常に重要視され, また牛枝肉価格を決定する大きな要因ともなっている (広岡と松本 1998). 脂肪交雑に関する格付は, 第 6~7 肋骨切開面に現れるロース芯を中心に頭半棘筋, 背半棘筋等の周囲筋によって判断される. 一断面のみで格付けを行っている脂肪交雑であるが, その他の部位でどのように変化しているかという点は, 経済的な側面からも大きな関心事である.

これまでにロース芯を連続的に切断し, ロース芯面積や粗脂肪含量の推移について調査した研究は丸山ら (1998) が実施しているが, 画像解析によりロース芯や脂肪交雑の形状的特徴を詳細に調査した研究はなく, 脂肪交雑の量やあらさなどが, スライス部位によってどのように変化するかはあまり知られていない.

そこで本研究では, 黒毛和種去勢牛のロース芯を 2 cm 間隔で切断し, そのスライス面を撮影・画像解析を行う

ことで脂肪交雑のスライス部位による変化の特徴を調査することを目的とした.

材料および方法

供試牛には種雄牛 (安美系) ならびに母方父牛 (糸桜系) がそれぞれ同一である黒毛和種去勢肥育牛 12 頭を用いた. 24~30 ヶ月齢で屠畜し, 供試牛の枝肉からロース芯を切り出し, 屠畜から 3 週間後に第 6~7 胸椎から最後腰椎までを 2 cm 間隔でスライスした. 供試牛 1 頭当たり 38 枚程度 (35 枚~40 枚) のスライスを 4℃の室内でミラー型高精細枝肉撮影装置 (HK-333; 早坂理工, 札幌) を用いて撮影し, 得られた画像を画像解析ソフト (Beef Analyzer II) で解析した.

画像解析ソフトを用いロース芯を抽出し, 抽出されたロース芯の画像を脂肪と筋肉に 2 値化した. 2 値化した画像からロース芯面積, 脂肪面積割合, 指定範囲面積内粒子数, 小ザシ指数, 全体あらさ指数, 最大あらさ指数, 慣性主軸短径長径比, ロース芯複雑度を求めた. 脂肪面

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

積割合はロース芯面積における脂肪交雑粒子の面積の割合を示すものであり、ロース芯の画素数および脂肪画素数から算出した。口田ら（2006）の方法により、ロース芯内に含まれる脂肪交雑のうち、面積が0.01～0.5 cm²の範囲内にあるものを小ザシとし、小ザシの個数およびそれをロース芯面積で除したものをそれぞれ小ザシ数、小ザシ指数とした。

口田ら（1997, 2002, 2003）の方法を用いて、全体あらさ指数、最大あらさ指数を算出した。全体あらさ指数は、ロース芯の全体的な脂肪交雑のあらさを示すもので、最大あらさ指数はロース芯内に入り込んだ極端に大きな脂肪交雑粒子のあらさを示す。全体あらさ指数、最大あらさ指数を算出する際に行う細線化処理の回数は、口田ら（2005）と同様に10回に指定した。

慣性主軸短径長径比は肉眼的にとらえることのできる長径とそれに垂直に交わる短径との比であり、値が1に近づくほどロース芯の形状は円に近く、値が小さいほど、ロース芯形状が細長いことを示す。

ロース芯複雑度はロース芯の形状に関する値であり、ロース芯の外周囲長を凸多角形長で除したものである。この値が大きいほどロース芯の形状が複雑であることを示す。

撮影された全スライスに対しこれらの解析を行ったが、切り出されたスライスの枚数が各材料牛で異なり、最少のものは35枚、最大のものは40枚であったため、データには全頭分が揃う35枚目までを使用し、そのうち第6～7胸椎から第10～11胸椎までとなる1枚目から

12枚目のスライスをリブロース、第11胸椎から最後腰椎までとなる13枚目から35枚目のスライスをサーロインと定義した。なお個体によってはリブロースの12枚目のスライスが2 cmを超えるものもあったが、わずかであったため分析から除外した。統計分析にはSASのREGプロシジャを使用し、画像解析形質それぞれの値を従属変数、スライスの枚数を独立変数としてリブロースならびにサーロインといった部位ごとに線形回帰分析を行った。またCORRプロシジャにより1枚目、13枚目および35枚目のスライスについて各画像解析形質の全スライス平均値との相関係数を求めた。

結果および考察

画像解析によって得られた第6～7切開面の解析値を基礎統計量として表1に示した。枝肉重量の12頭平均は420.8 kgであり、個体間の差は最大で100 kg程度であった。岡本ら（2007）は本研究と同地域の枝肉について2004年に調査を行い、その枝肉重量の平均が437.4 kgであると報告し、本研究の結果より大きかった。BMSの平均値は5.6であり、岡本ら（6.3）より低い値となった。バラ厚および皮下脂肪厚の平均は7.6 cm, 2.6 cmで、それぞれ岡本ら（8.0 cm, 2.5 cm）と同程度であった。第6～7切開面のロース芯面積の12頭平均は56.75 cm²で、これはMukaiら（51.56 cm², 2004）の報告より大きく、岡本ら（55.4 cm²）と同程度であった。脂肪面積割合の平均は53.9%であり、岡本ら（45.2%）、北海道の枝肉市場上場牛を調査した大澤ら（37.3%, 2004）より高かった。

Table 1 Summary of statistic of carcass traits and image analysis traits at the 6–7th cross section of Japanese Black steers (n=12)

Traits	Mean	SD	Min	Max	CV
Carcass weight (kg)	420.8	32.2	367.5	475.6	0.08
BMS No.	5.58	1.44	3	8	0.26
Rib thickness (cm)	7.59	0.47	6.4	8.1	0.06
Subcutaneous fat (cm)	2.62	0.64	1.8	3.8	0.24
Rib-eye area (cm ²)	56.75	5.27	49.57	65.89	0.09
Fat area ratio (%)	53.91	6.28	45.42	64.93	0.12
NSF	230.3	23.0	176	267	0.10
ISF	4.082	0.479	3.08	4.61	0.12
O_COARSE	0.132	0.037	0.072	0.184	0.28
M_COARSE	0.034	0.016	0.013	0.062	0.47
M-M ratio	0.645	0.090	0.526	0.877	0.14
COMP_RIBEYE	1.103	0.038	1.059	1.187	0.03

SD ; standard deviation, CV ; coefficient of variation.

BMS No ; beef marbling standard no, NSF ; number of small flecks, ISF ; small flecks index, O_COARSE ; overall coarseness index, M_COARSE ; maximum particle index for coarseness, M-M ratio ; minor-major axis ratio, COMP_RIBEYE ; complexity of rib-eye shape.

小ザシ数および小ザシ指数の変動係数はそれぞれ 0.10, 0.12 であったのに対し、あらさ指数に関しては全体あらさが 0.28, 最大あらさが 0.47 と高い値となった。慣性主軸短径長径比およびロース芯複雑度では 0.14 および 0.03 となった。

画像解析により算出した各スライス面の平均ロース芯面積の推移について図 1-a に示した。12 頭平均のロース芯面積は第 6~7 切開面 (56.7 cm²) から尾側に向かうにつれて増加し、26 枚目のスライスで最大値をとり、134.7 cm² となった。その後減少に転じ、35 枚目のスライスでは 116.1 cm² となった。この傾向は 12 頭すべてで同様であり、丸山ら (1998) の報告とも一致した。

各スライス面の平均脂肪面積割合の推移について図 1-b に示した。脂肪面積割合はリブロースでは尾側に向かうにつれ減少し、逆にサーロインでは増加する傾向が示された ($P<0.01$)。個体別に見た場合、連続する切断面でも脂肪面積割合が 10% 違うこともあった。これは、ホルスタインにおけるロース芯の切断面による変化を調査した浜崎ら (9.2%, 2005) と一致した。また脂肪面積割合については供試牛 No. 4 (図 1-b 中の■) のように、リブロースで減少せずロース芯内で増加を続ける傾向のあるものや、No. 8 (図 1-b 中の▲) のようにほぼ一定の水準内で脂肪面積割合が推移するものもあり、個体差が見られた。

各スライス面の平均小ザシ数および平均小ザシ指数の推移を図 1-c および 1-d に示した。小ザシ数は、リブロースでは第 6~7 切開面と比較して 2 倍程度まで増加し ($P<0.01$)、サーロインでは減少した ($P<0.01$)。この傾向は 12 頭すべてで同様だった。小ザシ数の変化についても脂肪面積割合と同様に、増減を繰り返しながらリブロースでは増加し、またサーロインでは減少した。そのため個体別に見た場合、連続する画像でも小ザシ数は最大で 200 個程度差があることもあった。

小ザシ指数はリブロースからサーロインまで直線的に減少した ($P<0.01$)。リブロースでは小ザシ数が増加しているため、リブロースにおいて小ザシ指数が減少したのは分母となるロース芯面積が増加したことも一因であると考えられる。サーロインではロース芯面積にあまり変化が無い場合、小ザシ指数が減少したのは、後述するあい脂肪交雑が増加することにより、一定面積 (0.01~0.5 cm²) の範囲内にある小ザシが減少したものであると推察した。

各スライス面の全体あらさ指数の推移を図 1-e に示した。全体あらさ指数はロース芯内で直線的に増加しており ($P<0.05$)、第 6~7 切開面の全体あらさ指数に比較し、35 枚目のスライスでは 2 倍程度の値となった。これはロース芯では尾側に向かうにつれて脂肪交雑があらくなっていくことを示している。脂肪面積割合は 11 枚目のスライス以降で直線的に増加しているが、これはあら

い粒子が増えることによるものということが確認できた。

各スライス面の最大あらさ指数の推移を図 1-f に示した。最大あらさ指数はサーロインの前半までは緩やかに増加するが、サーロインの後方では急増した ($P<0.01$)。これはサーロインの後方では脂肪面積割合が増加し、脂肪交雑が形状的に連結して面積が大きくなりやすいためと考えられる。大きな脂肪交雑の出現のしやすさには個体差があるようで、出現しやすい個体は特にサーロインにおいて顕著であった。しかしそのような個体であっても第 6~7 切開面の最大あらさ指数は必ずしも高いわけではなく、その上、連続する断面で最大あらさ指数が 15% 以上異なる部位もあった。これはロース芯内で脂肪交雑の形状が変化を続け、大きな脂肪交雑が連続しないことを示している。その傾向は特にサーロインで強かった。

ロース芯内に含まれる脂肪交雑のあらさについて、リブロースでは小ザシ数、全体あらさ指数が尾側に向かうにつれ増加していた。スライス 15 枚目あたりで小ザシ数は第 6~7 切開面の約 2 倍程度で最大となり、逆に脂肪面積割合は最小となった。その後、サーロインではリブロースとは逆に小ザシ数が減少するものの、脂肪面積は増加を続けるため (図なし)、全体的にあらさが多くなる傾向があることが確認できた。最大あらさ指数の推移でもこの結果を支持し、面積の大きいあらさはリブロースよりもサーロインで出現しやすい傾向にあった。

各スライス面の慣性主軸短径長径比の推移を図 1-g に示した。リブロースでは尾側に向かうにつれ慣性主軸短径長径比は減少していき、ロース芯は徐々に細長くなっていくが ($P<0.01$)、リブロースからサーロインにつながる部位で一度増加した。その後、再び慣性主軸短径長径比は減少を始め、ロース芯の終点に近づくほどロース芯の形状は細長くなっていった ($P<0.01$)。

各スライス面のロース芯複雑度の推移を図 1-h に示した。リブロースにおいてロース芯複雑度は第 6~7 切開面からわずかに減少し、その後大きく増加した。これはリブロースでは尾側に向かうにつれロース芯の背側に窪みが生じ、ハート芯のような様相を示したためである。サーロインではこの窪みが無くなっていくため減少に転じるが、サーロインの終端面付近では再び増加した。

リブロースならびにサーロイン (いわゆるロイン) 全体の特徴をもっともよく表しているスライス部位を調査するために、画像解析によって得られた 8 形質について、第 6~7 切開面となる 1 枚目のスライス、サーロインの 1 枚目となる 13 枚目のスライス、サーロインの終端面となる 35 枚目のスライスと全スライスの平均との相関係数を表 2 に示した。

第 6~7 切開面と全スライス平均との相関係数は脂肪面積割合を除き、中程度から低い値となった。これに対

Figure 1 Fluctuation of average and standard deviation of image analysis traits of meat slices cut 2 cm interval for *longissimus* muscle.

Solid arrows mean significant coefficients in rib roast and broken arrows mean those in sirloin.

b) ▲ and ■ are examples of increase for fat area ratio. * : $P < 0.05$, ** : $P < 0.01$.

Table 2 Correlation coefficients between average of all slice and the 6-7th cross section, the first or last slice of sirloin

Traits	Slice 1	Slice 13	Slice 35
Rib-eye area	0.47	0.91**	0.79**
Fat area ratio	0.89**	0.90**	0.89**
NSF	0.45	0.81**	0.72**
ISF	0.54	0.92**	0.76**
O_COARSE	0.61*	0.87**	0.61*
M_COARSE	0.15	0.31	0.41
M-M ratio	0.33	0.69*	0.87**
COMP_RIBEYE	0.16	0.68**	0.27

Slice1 ; the 6-7th cross section, Slice13 ; the first slice of sirloin, Slice35 ; the last slice of sirloin.

NSF ; number of small flecks, ISF ; small flecks index, O_COARSE ; overall coarseness index, M_COARSE ; maximum particle index for coarseness, M-M ratio ; minor-major axis ratio, COMP_RIBEYE ; complexity of rib-eye shape.

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

し、13 枚目のスライスはロース芯面積、脂肪面積割合、小ザン数、小ザン指数、全体あらさ指数の 5 形質に関して相関係数 0.81 以上の値となり、他の 2 枚のスライスよりも高い値となった。これは第 6～7 切開面からではロイン全体の特徴の推定が難しい形質についても、13 枚目のスライスならば可能であることを示唆している。最大あらさ指数および慣性主軸短径長径比の相関係数では 35 枚目のスライスが一番高い値となり、その他の形質でも第 6～7 切開面と同じ、またはそれ以上の値となった。

最大あらさ指数について、その断面と前後で脂肪交雑の様相が大きな変化を示し、ロース芯全体と各スライス間の相関は低かった。また、全スライスの平均変動係数が全体あらさ指数で 0.28 であるのに対し、最大あらさ指数では 0.69 となった。□田ら (2006)、大澤ら (2004) は、最大あらさ指数の遺伝率が低いことを報告したが、この結果を間接的に支持するものと考えられる。これらの結果から最大あらさ指数が高くなる特定の部位は存在せず、大きな粒子は突発的に発生することが示唆され、第 6～7 切開面に大きな脂肪交雑があったとしても連続しないと考えられる。

第 6～7 切開面と全スライス平均には、脂肪面積割合については強い相関があるため、そのロインを代表した値であるが、その他の形質に関しては中程度から低い値しか得られなかった。現在の格付は第 6～7 切開面を中心として行われているが、本研究の結果から同一のロインであっても第 6～7 切開面だけでは評価できない形質が多くあることが示された。そのためその枝肉についてより精密な調査を行う場合、第 6～7 切開面のほかに 13

枚目のスライスにあたる第 10～11 胸椎を切開することで、ロイン全体のロース芯の面積や脂肪交雑のあらさ、細かさについても評価することが出来そうである。アメリカでは牛枝肉の切開は第 12～13 胸椎間で、韓国では最終胸椎～第 1 腰椎間で行われているが、これは枝肉の特徴を表すのに、より適した切開面であるのかもしれない。

現在の格付が第 6～7 胸椎間で行われているため、新たに第 10～11 胸椎間を切開することは難しいだろう。そこで切開をしないで評価できる方法、例えば光ファイバーを利用した評価と画像解析の手法を併用することで、より正確な肉質の評価を行えるかもしれないが、本研究で使用した画像解析の手法は、切開面を撮影することで得られる高精細画像を利用して、脂肪交雑のあらさや細かさといった肉眼的に数値化が困難な指標を客観的に評価できることが最大の特徴である。そのため切開せずに肉質を評価する方法との組み合わせは現状では難しいと考えられるが、複数のスライス面を解析し、枝肉の肉質に関する正確な情報を得ることができれば、育種改良や肥育試験をより効率よく進めることができるようになるだろう。

謝 辞

本研究は、先端技術を活用した農林水産研究高度化事業「育種情報の高度化によるおいしい牛肉の開発」による研究費によって行われたものであり、ここに感謝の意を表する。

文 献

- 浜崎陽子, □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.
- 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關与する要因. 農業経済研究 **69**, 229-235.
- 田圭吾, 菊地 彩, 加藤浩二, 日高 智, 鈴木三義, 三好俊三. 2003. 画像解析による黒毛和種の牛胸最長筋形状評価法と種雄牛の影響. 日本畜産学会報 **74**, 23-29.
- 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.
- 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.
- 田圭吾, 鈴木三義, 三好俊三. 2002. 画像解析による牛胸最長筋内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.
- 田圭吾, 高橋健一郎, 長谷川未央, 堀 武司, 間瀬稔規, 波通隆, 小高仁重. 2005. 高解像度デジタルカメラを利用した新しい牛枝肉横断面撮影装置の開発. 肉用牛研究会報 **80**, 56-62.
- 丸山 新, 向島幸司, 坂口慎一, 中丸輝彦. 1998. 粗飼料比率を変えた早期肥育牛の牛肉成分およびロース芯断面につい

て。肉用牛研究会報 **66**, 31-32.
Mukai F, Sadahira M, Yoshimura T. 2004. Comparison of carcass composition among Japanese Black, Holstein and their crossbred steers fattening on farm. *Animal Science Journal* **75**, 393-399.
岡本圭介, 大澤剛史, 浜崎陽子, 丸山 新, 加藤貴之, 口田圭

吾. 2007. 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の市場間比較. 北海道畜産学会報 **49**, 35-41.
大澤剛史, 口田圭吾, 加藤貴之, 鈴木三義, 三好俊三. 2004. 黒毛和種枝肉横断面の画像解析形質ならびに枝肉形質に関する遺伝的パラメータの推定. 日本畜産学会報 **75**, 11-16.

Computer Image Analysis for Marbling Change within *Longissimus* Muscle with Cut Section of Japanese Black Steers

Yoshinobu NAKAHASHI¹, Shin MARUYAMA², Shinji SEKI¹, Satoshi HIDAKA¹ and Keigo KUCHIDA¹

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

² Gifu Prefectural Livestock Research Institute, Takayama 501-0161, Japan

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

Image analysis for *longissimus* muscle of Japanese Black steers were performed to investigate the marbling variation with each cut section. *Longissimus* muscle from the 6-7th rib to the last rib of 12 Japanese Black steers were sliced at a 2 cm interval. The 1-12th and 13-35th slices were defined as rib roast and sirloin, respectively. High quality digital image of each section were taken by a mirror type carcass camera. For each section, the following were measured using the image analysis software (Beef Analyzer II) : rib-eye area, fat area ratio, number of small flecks, small flecks index, overall coarseness index, maximum particle index for coarseness, minor-major axis ratio, and complexity of rib-eye shape. The rib-eye shape flattened toward the last rib. The fat area ratio for rib roast and then increased toward the last section for sirloin. Marbling was coarser towards the last section. There was no specific section showing a high index of maximum particle for coarseness, which indicated that the coarse marbling flecks appeared erratically. The correlation coefficients between the 6-7th section and the average of all sections were within the range of 0.15-0.61 for all traits except the fat area ratio. In contrast, correlation coefficients between the first slice of sirloin and average of all sections were within the range of 0.68-0.92 for all traits except the maximum particle index for coarseness. Some individual differences were recognized in degrees of marbling between cross sections of the 6-7th rib and sirloin, so the measurement for degree of marbling at 10-11th rib might be necessary in detail analysis of meat quality to investigate the whole rib.

Nihon Chikusan Gakkaiho 78 (4), 441-446, 2007

Key words : image analysis, Japanese Black steers, longissimus muscle, marbling change.