

黒毛和種去勢牛ロース芯を4領域に分割したときの各領域における 脂肪交雑の特徴および遺伝的パラメータ

村澤七月¹・口田圭吾¹・大澤剛史²・堀 武司³・加藤浩二⁴

¹ 帯広畜産大学, 帯広市 080-8555

² 岩手大学大学院連合農学研究科, 盛岡市 020-8550

³ 北海道立工業試験場, 札幌市北区 060-0819

⁴ 家畜改良事業団, 北海道幕別町 089-0625

(2007. 12. 25 受付, 2008. 4. 17 受理)

要 約 間接検定材料牛 1,524 頭を用い, ロース芯内の異なる領域における脂肪と筋肉の特徴を画像解析を用いて調査し, その遺伝的パラメータを推定した. ロース芯を慣性主軸で4分割し, 各象限の脂肪交雑の量, 形状および色に関する6形質を画像解析で得た. 脂肪面積割合については, 3および4象限(34.97, 36.22%)が1および2象限(33.36, 33.91%)に比べて高い値を示した. ロース芯内側におけるあらさ指数と最大あらさ指数は外側よりも高く, 反対に細かさ指数は低かった. 3象限のあらさ指数および最大あらさ指数の遺伝率(0.31, 0.21)は, 他象限よりも高く, 4象限(0.18, 0.12)では低かった. 最大あらさ指数のロース芯全体と3象限間の遺伝相関(0.71)は相対的に低く, ロース芯全体の最大あらさの改良は, 3象限に対しては効率が悪いことが示された. 各象限により脂肪交雑の形状的特徴の遺伝様式が若干異なることが明らかとなった. 本研究の結果を脂肪交雑の配置バランスの改良に利用されることが期待される.

日本畜産学会報 79 (3), 343-351, 2008

牛肉質の決定において脂肪交雑の量は最も重要である. 近年, 育種価の利用などにより, BMSを中心とした肉用牛の改良は急速に進み, 脂肪交雑の量は格段に増加した. しかしBMSは脂肪交雑の量だけでなく, 粒子の細かさ, あらさ, 脂肪交雑の配置バランスなどを総合的に評価した複雑な指標として考えることができる.

口田ら(2006)は高精細枝肉撮影装置と牛枝肉画像解析ソフトウェアを開発し, 得られた鮮明な画像を画像解析することにより, ロース芯面積, 脂肪面積割合, 脂肪交雑粒子のあらさや細かさ, 脂肪交雑や肉色の輝度などといった, 脂肪交雑に関係する様々な特徴量を, 高い精度で数値化することに成功し, それらとBMSとの関連性も数多く調査した. しかしこれまでの解析はロース芯全体面を対象としており, ロース芯の異なる領域における脂肪交雑の入り方を特徴量として数値で表すことにはいまだ成功していない.

ロース芯内の領域を考慮した研究は数少ないが, 後藤ら(1994)は肉質等級4等級以上の黒毛和種肥育去勢牛の第6胸椎, 第11胸椎および第5腰椎のスライスにおける, ロース芯の背側, 中心, 腹側, 内側および外側の5つの領域のサンプルを採取し, 各スライスと各領域に

おける筋線維型構成の違いを, 組織化学的方法で調査し, 第6胸椎スライスでは, 赤色筋線維である β R型線維が背側部で他の4部位に比べて有意に高く, 腹側部で有意に低いことを報告した. 一方Yangら(2006)は, 18ヵ月齢のジャーマンホルスタインとシャロレー種のF₂交雑牛で, ロース芯の内側および外側の, 脂肪交雑粒子の面積と顕微鏡で見た含脂肪細胞の大きさとの関係を, 画像解析を用いて比較し, 脂肪交雑粒子面積と含脂肪細胞の大きさが, 内側において外側より大きかったことを示した.

前述したとおり, 脂肪交雑の量は肉質を決める上で最も重要な要因であり, それは改良によりロース芯全体を覆い尽くすほどになったが, 脂肪交雑の配置バランスに偏りがみられる(脂肪交雑の多く入っている所と入っていない所があるなど)ロース芯は印象が悪く, 格付に影響することも考えられる. ロース芯をいくつかの領域に分割し, 各領域における脂肪交雑の量的および形状的特徴の両方を, 画像解析を用いてとらえる調査は報告されていないが, そのロース芯内の各領域における脂肪交雑の遺伝様式が異なれば, それを利用した効率的な改良の可能性が見込まれる.

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

そこで本研究では、ロース芯の慣性主軸の第1軸と第2軸によりロース芯を4分割し、それぞれの領域での脂肪交雑粒子の特徴を調査し、その遺伝的パラメータを推定することを目的とした。

材料および方法

1. 供試牛および撮影装置

本研究では、平成16年から平成19年に、(社)家畜改良事業団の黒毛和種種雄牛産肉能力検定間接法にかけられた黒毛和種去勢牛1,524頭を用いた。材料牛の第6~7肋骨間切開面を、平成17年までは箱型撮影装置、平成18年からはミラー型撮影装置(HK-333;早坂理工,札幌)を用いて高精細枝肉横断面画像を撮影した。口田ら(2005)は、解像度の異なるデジタルカメラを搭載した2種類の枝肉撮影装置間の比較試験を行い、脂肪面積割合とあらさ指数において差は認められないと報告した。また、ミラー型撮影装置は、箱型撮影装置よりも枝肉切開面により深く入り込む形に改良することを目的として開発されたものであり、内部に搭載されているデジタルカメラは同一機種である。さらに、撮影装置の中に取り付けられているデジタルカメラで得られる画像は、双方とも1cm当たりの画素数が約100画素であり、撮影装置の区別なく解析することが可能である。なお、検定は毎年帯広と広島で行われ、広島については平成17年からデータの採集を開始した。

遺伝的パラメータ推定の際には、供試材料は上記の1,524頭のうち、産地および種雄牛のサブクラスで5頭以上になる1,494頭を用いた。

2. ロース芯の4分割と1~4象限の画像解析形質の特徴

牛枝肉画像解析ソフトウェア(Beef Analyzer II;早坂理工,札幌)を用い、解析対象となるロース芯の輪郭線を描画した。なお、Beef Analyzer IIと液晶ペンタブレット(DTI 520;ワコム,東京)を併用することで、枝肉画像1枚当たり数十秒で輪郭線の描画が可能である。ロース芯の輪郭線を抽出した後、専用のソフトウェアでロー

ス芯を慣性主軸の第1軸(以下、慣性主軸の長径)および第2軸(以下、慣性主軸の短径)にしたがって4分割し、1つのロース芯から4つの解析対象となる領域を抽出した。抽出した領域は、右上を1象限、左上を2象限、左下を3象限、右下を4象限とした(図1-a)。口田ら(2006)が報告した従来のロース芯の長径および短径は、図1-bのようにロース芯輪郭画像の最も長い2点とそれに直行する最も長い2点を短径として扱ったが、図1-aで示すロース芯のように、各領域を均等に分けることが難しかった。よって重心を通る慣性主軸の長径および短径を利用することで視覚的にも均等に4等分することが可能である。

分割された画像およびロース芯全体の画像をBeef Analyzer IIで解析し、各象限に対して具体的に、脂肪面積割合(%),あらさ指数,最大あらさ指数,細かさ指数,筋肉平均輝度,脂肪交雑平均輝度の以上6つの画像解析形質を得た(以下、画像解析形質6形質)。

脂肪面積割合は、ロース芯内にある脂肪交雑粒子の面積割合を示し、あらさ指数および最大あらさ指数は、口田ら(2002)の方法における10回細線化処理の“あらさ指数2(10)”および“あらさ指数4(10)”に相当するものである。あらさ指数は、ロース芯内の脂肪交雑粒子の全体的なあらさを示す指標であり、値が高いほど筋肉内にあらい脂肪交雑粒子が多く存在する。最大あらさ指数は、極端に大きな脂肪交雑粒子の存在を示す指標であり、値が高いほど大きな望ましくない脂肪交雑粒子が存在する。細かさ指数は、口田ら(2006)の方法にしたがって、ロース芯内に含まれる脂肪交雑のうち、面積が0.01~0.5cm²の範囲内にあるものを小ザシとし、小ザシの個数をロース芯面積で割ることで計算された。すなわち、値が大きいほど単位面積当たりの細かい脂肪交雑粒子の数が多し。筋肉平均輝度は、ロース芯を脂肪交雑と筋肉部分に分けたときの、筋肉部分の色の強さ(輝度)を表し、数値の範囲は0~255である。255に近づくほど視覚的には明るく見え、0に近づくほど暗く見える。一方、脂肪交雑平均輝度は脂肪交雑部分の色の強さ(輝度)を表

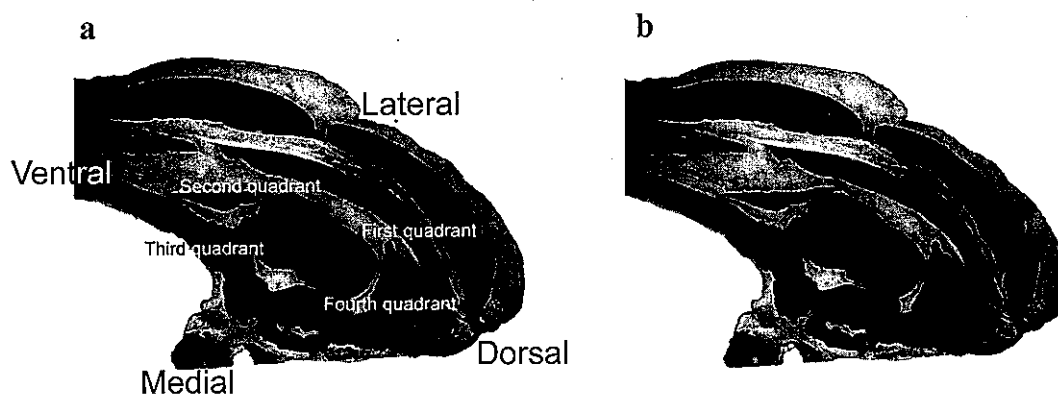


Figure 1 Allocation of four quadrants divided by inertia main axes (a) and by minor and major axes (b).

したものである。

独立変数に分割象限(1~4), 従属変数に画像解析形質とした Tukey の多重比較を行い, 各象限間における画像解析値の有意差を検討した。統計解析には SAS の GLM プロシジャを用いた。

3. 全体および1~4象限における画像解析形質6形質の遺伝的パラメータの推定

分析形質は, ロース芯全体および1~4象限の画像解析形質6形質, 計30形質を用いた。なお, 最大あらさに関する形質は, データのばらつきが激しく, 正規分布をなさなかったため, 対数変換を行った数値を分析に用いた。

これらの形質の遺伝率は単形質アニマルモデルにより推定され, これら形質間の遺伝ならびに表型相関は2形質アニマルモデルにより推定された。遺伝的パラメータの推定には Gibbs sampling 法による GIBBS2F90 (Misztal 2002) プログラムを用いて行った。200,000回の反復を行い, そのうち burn-in を100,000回に設定し, burn-in 後の100,000サンプルにおける事後平均を用いて, 遺伝率, 遺伝相関および表型相関を求めた。血統記録は可能な限りさかのぼった結果10,245頭となった。用いた数学モデルを以下に示す。

$$y_{ijk} = \mu + BP_i + HYS_j + u_{ijk} + a(t_{ijk} - T) + e_{ijk}$$

ここで, y_{ijk} は各形質の ijk 番目の観測値, μ は集団平均, BP_i は産地の母数効果 ($i = 1 \sim 20$), HYS_j は回・期・場の母数効果 ($j = 1 \sim 56$), t_{ijk} は, 個体 ijk の肥育開始時日齢, T は肥育開始時日齢の算術平均 (275.8日), a は肥育開始時日齢に対する1次回帰, u_{ijk} は個体 ijk の相対的遺伝子効果および e_{ijk} は残差効果である。

結果および考察

1. 1~4象限の画像解析形質の特徴

ロース芯全体ならびに各象限の画像解析形質6形質の基礎統計量を表1に示した。脂肪面積割合については, 3および4象限 (34.97, 36.22%) が1および2象限 (33.36, 33.91%) に比べ統計的に有意に高い値を示した ($P < 0.05$)。脂肪交雑のあらさ指数および最大あらさ指数では, すべての象限の間に有意な差が認められ ($P < 0.05$), 4象限 (13.22) にあらい脂肪交雑が最も多く, 次いで3 (12.29), 2 (9.46), 1 (7.74) 象限の順であることが確認された。よって, ロース芯の内側である3および4象限は, 脂肪交雑が多く, 特にあらい脂肪交雑が多いことが示された。Yangら (2006) は多くの脂肪交雑粒子は筋肉横断面の内側から発生し, 外側の方向に木のような形で広がると報告しており, 本研究で示された結果を説明する可能性が示唆された。つまり, 脂肪交雑粒子はロース芯の内側から発生し, 発生箇所に近い位置 (本研究ではロース芯内側である3および4象限) では木の幹のように太く, あらいものとなり, 脂肪面積割合もそれにしたがって高くなるが, ロース芯外側に伸びる過程で木が成長するように細くなることが推察される。しかし, 本研究で用いた黒毛和牛は間接検定材料牛であるため, 屠畜月齢が21ヵ月と若く, ロース芯の外側まで脂肪交雑が入りきっていないことも留意すべき点であり, これについては月齢の異なるデータを用いて更なる検討が必要である。細かさ指数についてもすべての象限に有意な差があり ($P < 0.05$), 1 (3.39), 2 (3.30), 3 (3.12), 4象限 (3.04) の順番に細かい脂肪交雑粒子が多いことが明らかとなった。

筋肉平均輝度は, ロース芯を脂肪交雑と筋肉の部分に分けたときの筋肉の色の強さ (輝度) を表したもので,

Table 1 Means and standard errors for image analysis traits of whole and quadrants in rib eye at the 6-7th cross section (n = 1,524)

Traits ¹	Whole	Quadrant			
		First	Second	Third	Fourth
FAR (%)	34.49 ± 0.19	33.36 ± 0.20 ^a	33.91 ± 0.20 ^a	34.97 ± 0.20 ^b	36.22 ± 0.19 ^c
OCM	11.80 ± 0.11	7.74 ± 0.11 ^a	9.46 ± 0.12 ^b	12.29 ± 0.15 ^c	13.22 ± 0.18 ^d
MMC	3.46 ± 0.06	3.65 ± 0.08 ^a	4.65 ± 0.08 ^b	6.14 ± 0.11 ^c	7.61 ± 0.16 ^d
FIM	3.12 ± 0.01	3.39 ± 0.02 ^a	3.30 ± 0.02 ^b	3.12 ± 0.02 ^c	3.04 ± 0.02 ^d
LL	109.90 ± 0.35	108.66 ± 0.36 ^a	111.14 ± 0.35 ^b	110.22 ± 0.34 ^{bc}	109.63 ± 0.35 ^{bc}
LF	162.51 ± 0.35	159.71 ± 0.37 ^a	161.54 ± 0.37 ^b	163.34 ± 0.35 ^c	164.40 ± 0.36 ^c

¹FAR = fat area ratio, OCM = overall coarseness of marbling particles, MMC = coarseness of maximum marbling particle, FIM = finesses index of marbling particles. LL = average of luminance in lean. LF = average of luminance in fat.

^{a,b,c} Means with same the superscript did not differ significantly between first, second, third, and fourth quadrants at 5% level.

数字が255に近づくほど視覚的には明るく見え、0に近づくほど暗く見える。今回の結果では2(111.14), 3(110.22), 4(109.63), 1(108.66)象限の順で値が小さく推移し、2象限にあたる領域が、他に比べて比較的筋肉色が明るいことが認められた。筋肉色には筋線維型の種類が密接に関係しているという報告がいくつかあり、ZeroualaとStickland(1991)は、ホルスタイン・フリージアン(DFD雄牛と、DFD去勢牛およびDFDを示さない雄牛)の背最長筋の筋線維構成の違いを調査した。その結果DFD雄牛およびDFD去勢牛は、DFDを示さない雄牛よりも赤色筋線維であるSO型線維の割合が白色筋線維であるFG型線維よりも有意に高く(DFD雄牛27.5%, DFD去勢牛27.0%, 雄牛20.8% : $P < 0.05$)、DFD雄牛においては他より白色筋線維であるFG型線維が有意に少ない(DFD雄牛23.5%, DFD去勢牛31.5%, 雄牛37.7% : $P < 0.05$)ことを報告した。またBeecherら(1968)はブタの半腱様筋を用いて、肉色が視覚的に暗い所では、赤色筋線維の割合が高いことを示した。さらに、後藤ら(1994)は肉質等級4等級以上の黒毛和種去勢牛の第6胸椎における胸最長筋の背側、中心、腹側、内側および外側の5つの領域の筋線維型の違いを調査し、白色筋線維である αW 型線維の割合が、背側部(28.7%)では他の場所よりも有意に低く、腹側部(45.5%)では有意に高かった($P < 0.05$)ことを報告し、対して赤色線維である βR 型線維の割合はA群の背側部(55.7%)では他の部位よりも有意に高く、腹側部(38.7%)では有意に低い($P < 0.05$)という結果を示した。またMoritaら(2000)は日本在来牛である見島牛で後藤ら(1994)と同様の実験を行い、統計的有意差は認められなかったものの、背側部では赤色線維の割合が高く、白色筋線維の割合が低いことを示し、腹側部ではその逆の構成割合であったことを報告した。後藤ら(1994)とMoritaら(2000)の研究で用いられた胸最長筋内の背側部と腹側部は、本研究ではそれぞれ1, 4象限と2, 3象限にほぼ

対応しており、1, 4象限が暗く見え、2, 3象限が明るく見えるという今回の結果には、ロース芯内各方面での筋線維構成の特徴が影響していることが考えられる。

脂肪交雑の明るさの程度を示す脂肪交雑平均輝度は3および4象限が他に比べて有意に高い値を示し、脂肪交雑の色はロース芯内側で比較的明るく、また外側では腹側が明るく背側が暗いということが確認された。一般にあらい脂肪交雑は明るく見え、細かい脂肪交雑は筋肉との境界においてやや暗い桃色を呈することが多く見受けられるが、このことは、前述したあらい脂肪がロース芯の3および4象限で多く、また1と2象限を比べると2象限の方がより多いことが影響していると考えられる。

以上より、ロース芯における脂肪交雑の4象限間の特徴は、比較的ロース芯内の内側の脂肪交雑が多く、特に4象限である背側部内側の領域には、あらい脂肪交雑も多い傾向にあった。細かい脂肪交雑は、特に1象限(背側部外側)に集中していた。筋肉色は背側(1, 4象限)よりも腹側(2, 3象限)の方が明るく、脂肪色については内側(3, 4象限)が外側(1, 2象限)よりも明るいということが示された。

2. 画像解析形質6形質の遺伝的パラメータの推定

1) ロース芯全体の遺伝率

ロース芯全体ならびに1~4象限の画像解析形質6形質の遺伝率を、表2に示した。ロース芯全体において、脂肪面積割合の遺伝率は0.68と高い値が推定されたが、同様のデータを用いて推定された口田ら(2006)の推定値(0.52)も高い遺伝率を示した。あらさ指数と細かさ指数の遺伝率はともに0.43と中程度であったが、最大あらさ指数に関しては0.16と低い値が推定された。あらさ指数においては、口田ら(2006)の推定値(0.36)とほぼ一致した。Osawaら(2008)は一般市場出荷牛の画像解析形質の遺伝的パラメータを推定し、最大あらさ指数の遺伝率は0.20と報告し、本研究の結果とほぼ一致した。

Table 2 Posterior means and standard deviations of heritability for image analysis traits of whole and each quadrant of rib eye at the 6-7th cross section

Traits ¹	Quadrant				
	Whole	First	Second	Third	Fourth
FAR (%)	0.68 ± 0.09	0.68 ± 0.09	0.68 ± 0.09	0.56 ± 0.08	0.61 ± 0.09
OCM	0.43 ± 0.08	0.26 ± 0.07	0.29 ± 0.07	0.31 ± 0.07	0.18 ± 0.06
MMC	0.16 ± 0.06	0.14 ± 0.06	0.14 ± 0.05	0.21 ± 0.06	0.12 ± 0.05
FIM	0.43 ± 0.09	0.32 ± 0.08	0.34 ± 0.08	0.26 ± 0.08	0.19 ± 0.07
LL	0.61 ± 0.10	0.58 ± 0.10	0.60 ± 0.10	0.60 ± 0.10	0.55 ± 0.10
LF	0.59 ± 0.09	0.52 ± 0.09	0.53 ± 0.09	0.55 ± 0.09	0.43 ± 0.09

¹FAR = fat area ratio, OCM = overall coarseness of marbling particles, MMC = coarseness of maximum marbling particle, FIM = finesses index of marbling particles. LL = average of luminance in lean. LF = average of luminance in fat.

筋肉平均輝度 (0.61) と脂肪交雑輝度平均 (0.59) においてはやや高い遺伝率が推定された。筋肉色の評価基準である BCS ナンバーと脂肪色の評価基準である BFS ナンバーの遺伝率に関して、口田ら (2001) はそれぞれ 0.34 と 0.11, Hoque ら (2006) はそれぞれ 0.15 と 0.02, 大澤ら (2004) は BCS ナンバーのみの推定で 0.37 を報告した。さらに今回用いたデータにおいても、BCS ナンバーが 0.19 ± 0.06 , BFS ナンバーが 0.17 ± 0.08 と推定され、いずれも画像解析形質を用いた本研究の推定値よりは低かった。本研究の筋肉および脂肪交雑の輝度平均はそれぞれ 71.7~158.1, 124.1~207.5 の範囲を示す統計量であるのに対して、BCS ナンバーは No. 1 から No. 7 までの 7 段階、BFS は No. 1 から No. 7 までの 7 段階の評価値であり、今回のデータの BCS ナンバーの範囲は 2~5 で、ナンバー 3 が 78% を占め、BFS ナンバーの範囲は 2~3 で、ナンバー 2 が 99% を占めた。Gamal ら (1999) は真の遺伝率が 0.20 であるシミュレーションデータについて、2, 5 および 10 水準に評価したとき、それぞれの遺伝率を 0.0392, 0.1033 および 0.1769 と推定し、評価値の水準が多い方が遺伝率は高く、また真の遺伝率に近い値となることを報告した。BFS ナンバーを用いた分析で低い遺伝率が推定された原因は、Gamal ら (1999) の報告で説明されるかもしれない。よって画像解析で得られた色に関する連続変量を利用することにより、BCS ナンバーや BFS ナンバーに比べ、より分散の大きな遺伝分析を行うことができ、改良効率を向上させることが可能となるかもしれない。

2) 1~4 象限における画像解析形質 6 形質の遺伝率

脂肪面積割合における 1~4 象限の遺伝率は、それぞれ 0.68, 0.68, 0.56, 0.61 であった。コース芯の外側である 1, 2 象限において、コース芯の内側である 3, 4 象限よりも高い遺伝率が推定され、若干ではあるが 1, 2 象限の改良効率が高いことが推察された。1, 2 象限 (34.49, 33.36%) は 3, 4 象限 (34.97, 36.22%) よりも脂肪面積割合が有意に低いが ($P < 0.05$), 脂肪交雑を増やす方向に選抜を行うのであれば、1, 2 象限をターゲットにすることが望ましいと考えられる。ただし前述したように、本研究の材料は 21 ヶ月で屠畜された間接検定材料牛であることから、一般肥育牛での解析が必要と思われる。

あらさ指数は 4 象限 (0.18) で他 (0.26~0.31) より低い遺伝率が推定された。4 象限は最もあらさ指数が高い領域であり、4 象限から大きく伸びる望ましくない脂肪交雑は格付けにも影響するため、最も改良しなければならない領域である。4 象限のあらさに対する遺伝的関与が他の領域よりも少ないのであれば、肥育方法やその他の環境が 4 象限のあらさに関与しているのかもしれない。あらさ指数における全体の遺伝率 (0.43) と比べて 1~4 象限の遺伝率が低い原因は、象限をまたいで伸びる

大きなあるいは脂肪交雑があった場合、領域に分割することで、あるいは脂肪交雑は分断され、本来のあらさ指数を過小評価しているのかもしれない。最大あらさ指数の遺伝率は 3 象限で最も高く (0.21), 4 象限 (0.12) で最も低い値を示した。すなわち、あらさ指数および最大あらさ指数は、双方とも 3 象限で高い遺伝率を示した。この理由としては、脂肪組織の蓄積が血管周辺に起こることを前提にすると、3 象限という位置はウシの肋骨に近い象限であり、肋骨の間を走る肋間動脈の影響を受けているのではないと思われる。血管の走行は個体差があり、遺伝するものと考えられているので、3 象限におけるあらさ指数の遺伝率は 4 象限に比べて高いものになったと推察される。3 象限は 4 象限に次いであるいは脂肪交雑粒子が多い領域であるので、3 象限のあるいは脂肪の改良は 4 象限より効果的であることが考えられる。

細かさ指数では 4 象限 (0.19) が他 (0.26~0.34) の象限に比べて低い遺伝率であった。4 象限は最も細かい脂肪交雑粒子が少ない領域であるが、この領域を細かい脂肪を増やす方向に改良することは、他に比べて難しいことが示唆された。細かい脂肪交雑が 4 象限の次に少ない 3 象限における細かさ指数の遺伝率は 0.26 と比較的高く、比較的改良効率は良いことが示唆された。

筋肉および脂肪交雑平均輝度においては、どの象限においても中程度から高い遺伝率が推定された (それぞれ 0.55~0.60, 0.43~0.55)。4 象限の脂肪交雑平均輝度の遺伝率 (0.43) は比較的lowかった。4 象限はあるいは脂肪交雑が最も多い領域であり、前述の通りあるいは脂肪交雑は一般に白く見える。よって 4 象限の脂肪交雑平均輝度はあるいは脂肪交雑の有無で決定されることが考えられ、あらさ指数および最大あらさ指数の低い遺伝率 (それぞれ 0.18, 0.12) で見られたように、脂肪交雑平均輝度も低い遺伝率が推定されたものと考えられる。

画像解析形質 6 形質の 1 および 2 象限における遺伝率は最も異なるあらさ指数 (0.26~0.29) でも 0.03 の差であり、ほぼ同程度の遺伝率が推定された。しかしながら 3 象限あるいは 4 象限においては特徴的な遺伝率を示す形質が多かった。3 および 4 象限は体内側の領域であるので、外からの環境の影響を受けることは 1, 2 象限に比較し少ないかも知れないが、肥育による体内からの何らかの影響を受けているのかもしれない。

3) 画像解析形質 6 形質の全体と各象限および各象限間の表型相関

表 3 には、画像解析形質 6 形質における、各象限間の表型相関を示した。脂肪面積割合においては、全体的に高い表型相関が認められた (0.83~0.95)。あらさ指数では、全体と各象限間の表型相関は中程度から高い値が認められ、特に全体と 3 象限および 4 象限で (0.71, 0.76) と高かった。しかし、各象限間の表型相関は低かった (0.27~0.35)。このことは、ある象限のあらさ指数は全

Table 3 Posterior means and standard deviations of phenotypic correlation for image analysis traits¹ among whole and quadrants of rib eye

	FAR (%)	OCM	MMC	FIM	LL	LF
First vs Second	0.90 ± 0.01	0.32 ± 0.03	0.14 ± 0.03	0.42 ± 0.02	0.91 ± 0.01	0.79 ± 0.01
First vs Third	0.84 ± 0.01	0.35 ± 0.03	0.17 ± 0.03	0.32 ± 0.03	0.88 ± 0.01	0.73 ± 0.01
First vs Fourth	0.86 ± 0.01	0.31 ± 0.03	0.13 ± 0.03	0.38 ± 0.02	0.93 ± 0.00	0.76 ± 0.01
Second vs Third	0.86 ± 0.01	0.34 ± 0.03	0.09 ± 0.03	0.38 ± 0.02	0.92 ± 0.00	0.75 ± 0.01
Second vs Fourth	0.83 ± 0.01	0.27 ± 0.03	0.12 ± 0.03	0.32 ± 0.03	0.85 ± 0.01	0.69 ± 0.02
Third vs Fourth	0.84 ± 0.01	0.28 ± 0.03	0.14 ± 0.03	0.34 ± 0.03	0.91 ± 0.01	0.70 ± 0.02
Whole vs First	0.95 ± 0.00	0.63 ± 0.02	0.29 ± 0.03	0.71 ± 0.01	0.97 ± 0.00	0.90 ± 0.01
Whole vs Second	0.95 ± 0.00	0.62 ± 0.02	0.28 ± 0.03	0.71 ± 0.01	0.96 ± 0.00	0.89 ± 0.01
Whole vs Third	0.94 ± 0.00	0.71 ± 0.01	0.42 ± 0.02	0.69 ± 0.01	0.96 ± 0.00	0.89 ± 0.01
Whole vs Fourth	0.93 ± 0.00	0.76 ± 0.01	0.60 ± 0.02	0.69 ± 0.01	0.96 ± 0.00	0.89 ± 0.01

¹FAR = fat area ratio, OCM = overall coarseness of marbling particles, MMC = coarseness of maximum marbling particle, FIM = finesses index of marbling particles. LL = average of luminance in lean. LF = average of luminance in fat.

Table 4 Posterior means and standard deviations of genetic correlation for image analysis traits¹ among whole and quadrants of rib eye

	FAR (%)	OCM	MMC	FIM	LL	LF
First vs Second	0.97 ± 0.01	0.89 ± 0.08	0.80 ± 0.15	0.85 ± 0.09	0.97 ± 0.01	0.96 ± 0.03
First vs Third	0.96 ± 0.02	0.89 ± 0.08	0.77 ± 0.14	0.76 ± 0.12	0.96 ± 0.02	0.97 ± 0.02
First vs Fourth	0.98 ± 0.01	0.93 ± 0.06	0.72 ± 0.22	0.74 ± 0.14	0.98 ± 0.01	0.98 ± 0.02
Second vs Third	0.97 ± 0.01	0.89 ± 0.06	0.57 ± 0.20	0.87 ± 0.08	0.98 ± 0.01	0.99 ± 0.01
Second vs Fourth	0.97 ± 0.02	0.80 ± 0.13	0.78 ± 0.18	0.68 ± 0.14	0.94 ± 0.03	0.92 ± 0.05
Third vs Fourth	0.99 ± 0.01	0.84 ± 0.11	0.78 ± 0.17	0.81 ± 0.12	0.96 ± 0.02	0.96 ± 0.03
Whole vs First	0.98 ± 0.01	0.98 ± 0.02	0.92 ± 0.07	0.93 ± 0.05	0.99 ± 0.00	0.99 ± 0.01
Whole vs Second	0.99 ± 0.01	0.95 ± 0.04	0.85 ± 0.12	0.96 ± 0.03	0.99 ± 0.01	0.99 ± 0.01
Whole vs Third	0.99 ± 0.01	0.94 ± 0.03	0.71 ± 0.16	0.93 ± 0.05	0.99 ± 0.01	0.99 ± 0.01
Whole vs Fourth	1.00 ± 0.00	0.95 ± 0.05	0.92 ± 0.09	0.89 ± 0.07	0.98 ± 0.01	0.98 ± 0.02

¹FAR = fat area ratio, OCM = overall coarseness of marbling particles, MMC = coarseness of maximum marbling particle, FIM = finesses index of marbling particles. LL = average of luminance in lean. LF = average of luminance in fat.

体のあらしさを上昇させる原因となつてはいるが、ある象限のあらい脂肪交雑粒子が、他の象限に影響するものではないことが示唆された。

最大あらしさ指数においては、全体と3および4象限において中程度の表型相関(0.42, 0.60)を示したが、全体と1, 2象限間での相関は低く(0.29, 0.28), また象限間では非常に低く(0.09~0.17), ロース芯全体の最大あらしさ指数は、3および4象限の最大あらしさ指数による影響が大きい可能性が示唆された。

細かさ指数においては、全体と各象限間の表型相関は高く(0.69~0.71), 各象限間の相関は低かった(0.32~0.42)。このことはあらしさ指数と同様、各象限の細かさ指数の上昇が全体の細かさ指数を上昇させるが、ある象限

の細かさ指数が高くとも、特定の他の象限で高くなることはないことを示している。

4) 画像解析形質6形質の全体と各象限および各象限間の遺伝相関

表4に各画像解析形質におけるロース芯全体と各象限および各象限間の遺伝相関を示した。通常ならば同じ形質であるものを、象限に分けることで別の形質として遺伝相関を推定したため、全体的に非常に高い値が推定された。また、各形質の遺伝率と表型相関の標準偏差はロース芯全体と各象限で安定した値を示したが、遺伝相関の場合、特にその値が低いものは標準偏差が若干高くなる傾向にあった。脂肪面積割合と筋肉および脂肪交雑平均輝度では0.9以上の高い遺伝相関が推定され、象限

間で遺伝的に独立した形質は認められなかった。

あらさ指数においては2象限と4象限間で比較的低い遺伝相関(0.80)が推定され、対角に位置する2および4象限はそれぞれ独立した形質であることが考えられた。しかし全体と象限間の遺伝相関は高かった(0.94~0.98)、ロース芯全体のあらさを指標とした改良でも、各象限のあらさを効率よく改良可能であることが示唆された。

最大あらさ指数では、象限間(0.57~0.80)と、全体と3象限(0.71)間で相対的に低い値が推定された。3象限は最大あらさが6.14と高く、改良が必要な領域である。また3象限の最大あらさ指数の遺伝率は比較的高い(0.21)ため、ロース芯全体で算出される脂肪交雑の最大あらさを利用して、それを減らす方向に改良を進めるよりも、3象限より得られた育種値を利用した改良を行う方が、3象限の最大あらさを減らす改良には効果的であるという可能性を示した。

細かさ指数では、1象限と3象限(0.76)、1象限と4象限(0.74)、2象限と4象限(0.68)が低い遺伝相関を示し、全体と各象限間では高かった(0.89~0.96)。1および2象限では細かい脂肪交雑粒子が多くかつその遺伝率も3および4象限と比較して高かった。したがって最大あらさの改良とは異なり、細かさの改良においては、ロース芯全体の細かさ指数を高める方向に改良すると、全ての象限において細かさ指数が上昇することが考えられる。しかしながら、最大あらさ指数と細かさ指数の遺伝相関に関しては、前述したような推定予測誤差が大きいことを留意する必要がある。

Osawaら(2008)の一般市場に上場された去勢牛(平均月齢:29.6ヵ月)を用いた研究では、ロース芯全体の脂肪面積割合の平均(39.3%)は本研究(34.5%)のものより高く、月齢によって脂肪面積割合の変化が見られ、それに伴い、最大あらさや細かさといった脂肪交雑粒子の形状に関する形質も変化する可能性が考えられる。本研究では月齢がすべて21ヵ月齢である間接検定材料牛を用いたが、今後は一般市場に上場されるより多くのデータを収集し、本研究の結果と比較すべきであり、格付・枝肉形質および単価と各象限ごとの画像解析形質との関連性を詳細に分析することで、一般市場の現場レベルに則する有用な結果が得られるかもしれない。

以上の様に1~4象限間の画像解析形質には表型的な違いがあり、また遺伝的な特徴も異なることが明らかになった。筋線維型構成が筋肉の色に関係するという考察をしたが、組織学的には赤色筋線維は細く血管が多く通っているため脂肪交雑が多く入りやすいことも考えられ、また白色筋線維は一般に赤色筋線維より太く、血管より神経器官が通っていることから、脂肪交雑が入りにくい、または入ってもあらいものになりやすいことも考えられる。すなわち、肉の色だけでなく、脂肪交雑の量

や形状についても筋線維型構成が関与しているかもしれない。後藤ら(1994)は、第6胸椎スライスにおいて肉質等級が4以上のA群の方が、肉質等級が3以下のB群に比べて、赤色筋線維である β R型線維の割合が高いことを報告した。さらに、第6胸椎(前部)と第11胸椎(中部)および第5腰椎(後部)のロース芯について、前部での領域における β R型線維(赤色筋線維)の割合は45.8%で、中部(第11胸椎)および後部(第5腰椎)でのそれは35%程度であり、胸最長筋の筋線維型構成の変化が、前部で大きく、中部から後部にかけてはほとんど変化しないと考察した。よって前部にあたる第6~7胸椎切開面は、筋線維型構成の変化の大きさにも現れたように、肉質が変化する不安定なところであり、脂肪交雑と筋線維型の関係にも起因して、表型的にも遺伝的にも特徴があるのかもしれない。こういったロース芯の各領域における脂肪交雑の表型的ならびに遺伝的特徴に留意しながら、ロース芯内の脂肪交雑の量や形状を改良することで、脂肪交雑の配置バランスが良いものになっていくことが期待される。今回の研究では、間接検定材料牛を用い、ロース芯内の異なる領域での脂肪交雑粒子の特徴を調査することと、その遺伝的パラメータの推定にとどまったが、ロース芯を4分割する研究における最終的な目標は、ロース芯内の脂肪交雑の配置バランス指標の様なものを提案し、新しい改良の指標として応用することであり、今後は一般市場のデータを用い、各象限の画像解析値を一つにまとめた脂肪交雑の配置バランス指標についても検討すべきであると考えられる。

文 献

- Beecher GR, Kastenschmidt LL, Cassens RG, Hoekstra WG, Briskey EJ. 1968. A comparison of the light and dark portions of a striated muscle. *Journal of Food Science* **33**, 84-88.
- Gamal A, Abdel-Azim, Berger PJ. 1999. Properties of threshold model predictions. *Journal of Animal Science* **77**, 582-590.
- 後藤貴文, 岩元久雄, 尾野喜孝, 西村正太郎, 松尾健治, 中西良孝, 梅津頼三郎, 高原 斉. 1994. 黒毛和種去勢雄牛の脂肪交雑度の異なる胸最長筋における筋線維型構成の比較. *日本畜産学会報* **65**, 454-463.
- Hoque MA, Arthur PF, Hiramoto K, Oikawa T. 2006. Genetic parameters for carcass traits of field progeny and their relationships with feed efficiency traits of their sire population for Japanese Black cattle. *Livestock Science* **100**, 251-260.
- 口田圭吾, 浜崎陽子, 萩谷功一, 加藤浩二, 鈴木三義, 三好俊三. 2001. 黒毛和種の枝肉形質ならびにロース芯断面に対する画像解析形質に関する遺伝的パラメータの推定. *北海道畜産学会報* **43**, 69-73.
- 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**, 45-42.
- 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.

- 口田圭吾, 高橋健一郎, 長谷川未央, 堀 武司, 本間稔規, 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.
- Misztal I, Tsuruta S, Strabel T, Auvray B, Druet T, Lee DH. 2002.
BLUPF90 and related programs (BGF90). *Proceedings of 7
th world congress on genetics applied to livestock produc-
tion*, Montpellier, France. CD-ROM communication No. 28-
07.
- Morita S, Iwamoto H, Fukumitsu Y, Gotoh T, Nishimura S, Ono Y.
2000. Heterogeneous composition of histochemical fibre
types in the different parts of M. longissimus thoracis from
Mishima (Japanese native) steers. *Meat Science* 54, 59-63.
- Osawa T, Kuchida K, Hidaka S, Kato T. 2008. Genetic parame-
ters for image analysis traits on M. longissimus thoracis and
M. trapezius of carcass cross section in Japanese Black
steers. *Journal of Animal Science* 86, 40-46.
- 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.
- Yang XJ, Albrecht E, Ender K, Zhao RQ, Wegner J. 2006. Com-
puter image analysis of intramuscular adipocytes and mar-
bling in the longissimus muscle of cattle. *Journal of Animal
Science* 84, 3251-3258.
- Zerouala AC, Stickland NC. 1991. Cattle at risk for Dark-Cutting
beef have a higher proportion of oxidative muscle fibres.
Meat Science 29, 263-270.

Image analytic characteristics for marbling of rib eye divided into four areas and their genetic parameters in Japanese Black steers

Nazuki MURASAWA¹, Keigo KUCHIDA¹, Takefumi OSAWA², Takeshi HORI³ and Koji KATO⁴

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

² The United Graduate School of Agricultural Sciences, Iwate University, Morioka 020-8550, Japan

³ Hokkaido Industrial Research Institute, Kita, Sapporo 060-0819, Japan

⁴ Livestock Improvement Association of Japan, Makubetsu, Hokkaido 089-0625, Japan

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

The purposes of this research were to examine the characteristics of marbling in different regions for rib eye of 1,524 Japanese Black steers in progeny testing and to estimate their genetic parameters. Digital images of the rib eye on carcass cross section were taken between the 6th and 7th ribs with photography equipment and the rib eye was divided into four quadrants by inertia main axes. Fat area ratio (FAR), overall coarseness of marbling particles (OCM), coarseness of maximum marbling particle (MMC), fineness index of marbling particles (FIM) and average of luminance in lean (LL) and fat (LF) were calculated for whole and each quadrant of rib eye. Genetic parameters for these traits were estimated with the GIBBS2F90 program using an animal model included in the model were station-year-season and birthplace as fixed effects, age at the beginning of the fattening period as a covariate and additive genetic effect and residual effect as random effects. The FAR showed significantly ($P < 0.05$) higher percentage at 3rd and 4th quadrants (34.97, 36.22%) than 1st and 2nd quadrants (33.36, 33.91%). OCM, MMC and FIM of each quadrant were significantly different in all combinations ($P < 0.05$). Marbling flecks of medial region were larger than lateral region, conversely finer marbling flecks were contained in lateral region than medial region. Average of LL revealed small value in order of 2nd (111.14), 3rd (110.22), 4th (109.63) and 1st (108.66) quadrant, indicating that the lean color of ventral was lighter than that of dorsal. Average of LF of 3rd and 4th quadrants (110.22, 109.63) were significantly higher than 1st and 2nd quadrant ($P < 0.05$). Heritability estimates of FAR in 1st and 2nd quadrants (0.68, 0.68) were comparatively higher than 3rd and 4th quadrants (0.56, 0.61). Heritability estimates of OCM (0.31) and MMC (0.21) of 3rd quadrant were lower than other quadrants, and that of FIM (0.19) of 4th quadrant was the lowest among other quadrants. Heritabilities of average of LL and LF were moderate through the quadrants (0.52~0.61). Genetic correlation for MMC between whole and 3rd quadrant was relatively lower value (0.71), than other quadrants (0.85~0.92). These results were indicating that the 3rd quadrant wasn't more efficient for improvement of marbling coarseness of rib eye. However genetic correlations of FIM among whole and all quadrants were generally high. Thus, genetic improvement of FIM for whole of rib eye might increase the fineness of all quadrants unlike MMC. Differences of phenotypic and genetic characteristics of marbling by rib eye regions were clarified from this study and also the possibility of improvement for balance of marbling alignment was suggested.

Nihon Chikusan Gakkaiho 79 (3), 343-351, 2008

Key words : genetic parameters, image analysis, Japanese Black, marbling, rib eye.