

黒毛和種における枝肉横断面の画像解析
形質と産肉能力形質に関する遺伝分析

2008

岩手大学大学院
連合農学研究科
生物生産科学専攻
(帯広畜産大学)
大澤 剛史

目次

第1章

緒論	1
1.1 牛枝肉の評価方法について	1
1.2 牛枝肉評価の問題点	2
1.3 黒毛和種の育種改良について	2
1.4 研究目的	3

第2章

牛枝肉横断面の撮影装置ならびに画像解析	5
2.1 牛枝肉横断面撮影装置	5
2.1.1 ドーム型撮影装置	5
2.1.2 箱型撮影装置	5
2.1.3 ミラー型撮影装置	6
2.2 枝肉横断面画像の画像解析	6
2.2.1 筋肉内脂肪面積割合	7
2.2.2 全体の粒子のあらさ	7
2.2.3 最大粒子のあらさ	7
2.2.4 細かさ指数	8
2.2.5 短径・長径比	8
2.2.6 慣性主軸短径・長径比	9
2.2.7 形状の複雑さ	9

第3章

黒毛和種枝肉横断面の各筋肉，皮下脂肪および筋間脂肪に関する遺伝的パラメータの推定	13
3.1 緒言	13
3.2 材料および方法	14
3.3 結果および考察	15

第4章

黒毛和種去勢牛における枝肉横断面の胸最長筋ならびに僧帽筋の画像解析形質に関する遺伝的パラメータの推定	23
4.1 緒言	23
4.2 材料および方法	24
4.3 結果および考察	25

第5章

北海道内の黒毛和種去勢牛における子牛市場出荷時体重と格付形質ならびに画像解析形質との

遺伝的関連性.....	33
5.1 緒言.....	33
5.2 材料および方法.....	34
5.3 結果および考察.....	35

第6章

黒毛和種枝肉横断面の画像解析形質と発育性ならびに飼料利用性間の遺伝的関連性.....

6.1 緒言.....	43
6.2 材料および方法.....	44
6.3 結果および考察.....	45

第7章

北海道内黒毛和種集団の枝肉格付形質ならびに胸最長筋の画像解析形質の遺伝的趨勢.....

7.1 緒言.....	54
7.2 材料および方法.....	54
7.3 結果および考察.....	57

第8章

総合考察.....

8.1 第3章および第4章のまとめ.....	70
8.2 第5章および第6章のまとめ.....	70
8.3 第7章のまとめ.....	71

要約.....

謝辞.....

参考文献.....

第1章

緒論

1.1 牛枝肉の評価方法について

わが国の牛枝肉取引規格は、1988年に従来の一元評価から質と量の二元評価へと改正が行われた。通常、牛枝肉の格付は、(社)日本食肉格付協会の格付員によって行われており、その格付は牛枝肉左半丸を第6-7肋骨間で平直に切開した切開面（以下、枝肉横断面）において行われる（日本食肉格付協会 1996）。格付項目は歩留等級と肉質等級とに分類され、歩留等級は、「ロース芯（胸最長筋）面積」、「ばらの厚さ」、「左半丸冷と体重量」および「皮下脂肪厚」によって歩留基準値が計算され〔歩留基準＝ $67.37 + 0.130 \times \text{胸最長筋面積 (cm}^2) + 0.667 \times \text{ばらの厚さ (cm)} - 0.025 \times \text{左半丸冷と体重量 (kg)} - 0.896 \times \text{皮下脂肪厚 (cm)}$ ；肉用種枝肉の場合、2.049を加算する〕、A、BおよびCの3等級に決定される（A：72以上、B：69以上72未満、C：69未満）。胸最長筋面積は、プラスチック方眼法により測定され、ばらの厚さは、第6-7肋骨間横断面における肋骨全体のほぼ中央において、胸腔の胸膜内面から広背筋外側までの長さとして測定され、皮下脂肪厚は、第6-7肋骨間横断面において、腸筋側端から枝肉表面に直角に上げた線上で、広背筋外側から枝肉表面までの長さとして測定される。肉質等級は、「脂肪交雑」、「肉の色沢」、「肉のしまりおよびきめ」および「脂肪の色沢と質」の4項目について、目視により格付され、それぞれ1～5等級に区分される。そして、4項目のうち最も小さい等級が肉質等級となる。前3項目は、第6-7肋骨間の横断面上の胸最長筋を中心に背半棘筋および頭半棘筋に対して判定され、「脂肪交雑」は、牛脂肪交雑基準（BMS）により12段階に区分され（1=脂肪交雑が少ない、12=脂肪交雑が豊富）、脂肪交雑等級は、1等級（BMSナンバー1）、2等級（BMSナンバー2）、3等級（BMSナンバー3～4）、4等級（BMSナンバー5～7）および5等級（BMSナンバー8～12）に区分される。「肉の色沢」は、「肉色」と「光沢」について格付され、肉色は、牛肉色基準（BCS）により7段階に区分され（1=明るい、7=暗い）、BCSナンバー3～5は5等級、BCSナンバー2～6は4等級、BCSナンバー1～6は3等級、BCSナンバー1～7は2等級に区分され、2～5等級以外のもは1等級とされる。光沢は5等級に区分され、肉色と光沢の等級のうち低い等級が、肉の色沢等級となる。「肉のしまりおよびきめ」は、「しまり」と「きめ」について5段階で格付され、しまりときめのうち低い等級が肉のしまりおよびきめ等級となる。「脂肪の色沢と質」は、横断面の皮下脂肪、筋間脂肪、枝肉外面および内面脂肪に対して判定され、「脂肪色」と「光沢」について格付される。脂肪色は、牛脂肪色基準（BFS）により7段階に区分され（1=明るい、7=暗い）、BFSナンバー1～4は5等級、BFSナンバー1～5は4等級、BFSナンバー1～6は3等級、BFSナンバー1～7は2等級に区分され、2～5等級以外のもは1等級とされる。光沢は5等級に区分され、脂肪

色と光沢の等級のうち低い等級が脂肪の色と質等級となる。

1.2 牛枝肉評価の問題点

現在、日本における牛枝肉の取引には、枝肉卸売市場で牛枝肉をセリによって取引する方法と食肉センターなどで生産者や生産団体が、卸売商や小売商と相対取引を行う方法が存在する。このうち相対取引では、前述した格付を参考に価格を決定している。しかしながら、セリによる取引において買参者は価格を決定する上で、格付記録を参考にするものの、買参者自身の経験や主観も大きく影響すると考えられる。また、買参者はセリの前に、あらかじめ枝肉の下見を行っており、その際に胸最長筋以外の筋肉ならびに脂肪の量やバランスなども確認していると考えられ、同じような格付記録をもつ枝肉であっても、格付評価に含まれない項目が、枝肉の価格を決定する際に考慮されていると思われる。

わが国の枝肉評価において、特に大きな影響を与えているのは肉質等級における「脂肪交雑」であり、八巻ら（1996）や広岡ら（1998）は、格付項目の中でも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ことを報告した。しかしながら、肉質等級は前節で述べたように目視により格付されているため主観的な評価値となりがちである。また、脂肪交雑に関する格付が年々厳しくなっているともいわれている。脂肪交雑に関する評価値（BMS ナンバー）は、胸最長筋内の脂肪交雑の総合的な指数であり、脂肪交雑の詳細な特徴（例えば、あらい脂肪交雑粒子や細かい脂肪交雑粒子の程度など）は反映されておらず、同じ BMS ナンバーであっても細かい脂肪交雑粒子が多いものもあれば、あらい脂肪交雑粒子が多く分布しているものもある。一般的に、脂肪交雑粒子のあかさ（あるいは細かさ）の程度は、柔らかさなどの食感に関係があり、牛肉の食味に影響するために非常に重要な要因である。

1.3 黒毛和種の育種改良について

わが国における黒毛和種雄牛の造成ならびに産肉能力検定は、通常各県ごとに行われており、2 段階の検定で行われる。まず、産肉能力に優れた改良の基幹となる種雄牛と繁殖雌牛を選定し、計画交配を行い候補種雄牛となる子牛を生産する。そして、候補種雄牛の産肉能力のうち体型、発育性、飼料利用性を調査して、その結果に基づき候補種雄牛の評価を行い選抜を行う。この第 1 段階目の検定を産肉能力直接検定法（直接検定）と呼ぶ。その後、直接検定により選抜された候補種雄牛の後代牛を一定期間肥育し、その後代牛の枝肉成績により候補種雄牛の産肉能力のうち特に枝肉成績を評価し選抜を行う。この第 2 段階目の検定を産肉能力間接検定法（間接検定あるいは後代検定）と呼ぶ。1968 年に産肉能力検定は全国和牛登録協会の産肉能力検定委員会の下で、各府県の検定場において検定場方式で開始され、各都道府県ごとに育種改良が行われてきた。なお、間接検定のと畜時

月齢は、20～21 ヶ月齢である。また、1980 年度から、国は、全国的に供用可能な種雄牛の選抜利用を行う目的で、(社)家畜改良事業団を実施主体として肉用牛産肉能力平準化事業を検定場方式によって開始した。平準化事業におけると畜時月齢も、20～21 ヶ月齢である。検定場方式の間接検定は、検定施設や検定経費の制約が避けられないことから、全国和牛登録協会は 1992 年に、種雄牛現場後代検定法を制定し、現場後代検定を開始した。現場後代検定は、通常出荷された枝肉情報を活用し、より広範囲な種雄牛の産肉能力の評価を行うことを目的としており、性別や様々な環境（肥育農家）などの効果が考慮され、と畜時月齢は、去勢牛で 29 ヶ月齢、繁殖雌牛は 32 ヶ月齢未満である。

黒毛和種の育種改良は、以前から脂肪交雑について改良がなされていたが、1991年の牛肉輸入自由化に伴い、輸入牛肉に対抗するために以前にも増して脂肪交雑を重視した改良が行われるようになった。しかしながら、近年、より収益性の高い枝肉の生産が求められる傾向にあり、肉質とともに肉量の点からも改良を行う必要性が指摘されているが（日本食肉格付協会 2003）、部分肉歩留に影響すると考えられる胸最長筋以外の主要な筋肉についての詳細な評価値は、一般的には格付されておらず記録が存在しない。また、枝肉の脂肪に関する評価値は、皮下脂肪厚や筋間脂肪厚のみであり、それぞれについて、わずか一ヵ所の厚さを測定するだけである。したがって、牛枝肉の皮下脂肪や筋間脂肪の全体量について十分に評価しきれていない可能性も存在する。近年、原油価格の上昇やバイオエタノールの需要が増加傾向にあり、そのため家畜の主要なエサの1つであるとうもろこしなどの穀物飼料の価格が高騰している。牛肉生産者にとって飼料価格の高騰は、収益に直接影響してくるため、より低コストな飼養を可能とするための発育性や飼料利用性の改善をもまた重要性が増している。

1.4 研究目的

本研究は、牛枝肉横断面撮影装置を使用して撮影された黒毛和種の鮮明な枝肉横断面画像を用いて、黒毛和種の枝肉横断面の画像解析を行うことにより、従来の格付項目より詳細かつ客観的な評価を行い、得られる画像解析形質の遺伝分析を主たる目的とした。第 2 章において、本研究で用いた牛枝肉横断面撮影装置ならびに画像解析形質についての詳細を説明する。第 3 章と第 4 章は、従来の枝肉格付形質と通常格付されていない胸最長筋以外の肉量に関わる部位の画像解析形質間の遺伝的関連性を明らかにする分析を行った。第 3 章において、ステーション方式の間接検定により肥育された黒毛和種去勢牛を用い、胸最長筋、僧帽筋、広背筋、複数の部位に区分した皮下脂肪および筋間脂肪を詳細に画像解析し、従来の枝肉格付形質とこれら画像解析形質間の遺伝的関連性の分析を行った。第 4 章では、北海道内で生産され北海道内の枝肉市場に出荷された黒毛和種去勢牛を用い、胸最長筋と僧帽筋の詳細な画像解析形質ならびに従来の枝肉格付形質間の遺伝的関連性について分析した。第 5 章と第 6 章では、発育性や飼料利用性と枝肉成績間の遺伝的関連性を

明らかにする分析を行った。第5章において、北海道内の子牛市場ならびに枝肉市場で取引された黒毛和種去勢牛を用い、子牛市場出荷時体重、枝肉格付形質および胸最長筋に関する画像解析形質間の遺伝的関連性を調査した。第6章において、ステーション方式の間接検定により肥育された黒毛和種去勢牛を用い、胸最長筋の詳細な画像解析形質ならびに枝肉格付形質と発育性ならびに飼料利用性間の遺伝的関連性を総合的に比較することを目的とした。最後に第7章では、北海道内の黒毛和種集団に対して、枝肉格付形質ならびに胸最長筋の画像解析形質に関する遺伝的趨勢について明らかにした。

第2章

牛枝肉横断面の撮影装置ならびに画像解析

2.1 牛枝肉横断面撮影装置

口田ら (2001a, 2005, 2006) によりドーム型, 箱型およびミラー型牛枝肉横断面撮影装置 (以下, 撮影装置) が開発された. これら撮影装置は, 枝肉横断面と一定距離からの撮影が可能であり, 撮影された枝肉横断面のデジタル画像 (以下, 枝肉横断面画像) から面積や長さなどが正確に測定することが可能である. 各撮影装置の概観図および各撮影装置により撮影された枝肉横断面画像を図 2-1 に示した. 以下に, 撮影装置の詳細を示す.

2.1.1 ドーム型撮影装置

ドーム型撮影装置 (図 2-1-a) は, 口田ら (2001a) により開発され, ドーム部とデジタルカメラ部から構成されている. ドーム部には, 1,000 個以上の白色発光ダイオードが配置されており, デジタルカメラ部には, FinePix2900Z (200 万画素 FUJIFILM 社製, 東京) が使用されている. この撮影装置の撮影範囲は, 29.7cm×20cm であり, 1cm あたり 60 画素の解像度を有する. しかしながら, ドーム型撮影装置には次のような問題点が存在する (口田ら 2006). 1) デジタルカメラの解像度が低く (200 万画素), 微細な脂肪交雑粒子の解析が難しい, 2) 撮影範囲が狭く (29.7cm×20cm), 枝肉横断面の主要部分を一度には撮影することができない. 3) ドーム型撮影装置の全高は, 33cm であり, 切開幅が狭い枝肉の場合, 横断面に装置を挿入することができず撮影が不可能である.

2.1.2 箱型撮影装置

箱型撮影装置 (図 2-1-b) は, ドーム型撮影装置における問題点のうち 1), 2) の改善を主とし, 超高精細な画像解析を必要とする畜産研究機関での利用を想定し, 口田ら (2005) により開発された. デジタルカメラは, 一眼レフ型デジタルカメラである DCS Pro 14n (1,350 万画素, Kodak 社製, 東京) を採用し, 全高を抑えたまま広い撮影範囲を確保するためにデジタルカメラのレンズには, 画角 114 度の超広角レンズ (Ai AF Nikkor ED 14mm F2.8D, Nikon 社製, 東京) を採用をした. そのため, 箱型撮影装置は, 全高がドーム型撮影装置と同じ 33cm の筐体で, 撮影範囲は 38.4cm×31.8cm であり, 1cm あたり 100 画素の解像度を有する枝肉横断面画像を撮影可能である. また, 照明系には, ライン型白色 LED 照明 (LND-300 H-SW-DF, CCS 社製, 京都) を 2 灯取り付けた. 箱型撮影装置の開発により, ドーム型撮影装置と同じ全高で, ドーム型撮影装置よりも遥かに高精細な枝肉横断面画像が撮影可能であり, 撮影範囲はドーム型より約 2 倍の面積を撮影可能となった. しか

しながら、ドーム型撮影装置と同じ全高であるため、切開幅の狭い枝肉の撮影は改善されていない。

2.1.3 ミラー型撮影装置

ミラー型撮影装置（図 2-1-c：HK-333，早坂理工株式会社，札幌）は，箱型撮影装置と同等な画質ならびに撮影範囲を維持しつつ，ドーム型撮影装置からの課題である切開幅の狭い枝肉の撮影を可能とすることを目的に，口田ら（2006）により開発された．装置の概観は，図 2-1-c のように，くさび形の筐体であり，上面内壁にフィルムミラーが取り付けられている．筐体手前下側に斜め上方に向けたデジタルカメラによりミラー越しに枝肉横断面を撮影する．装置挿入部全高は，約 25cm であるが，くさび型の先端部から枝肉に挿入する構造であるため，切開幅が 20cm 程度の枝肉であっても撮影が可能である．ミラー型撮影装置で用いたデジタルカメラは，箱型撮影装置で用いたカメラと同じものを使用し，1cm 当りの画素数は，箱型撮影装置と同等な約 100 画素の解像度を有するため，箱型撮影装置と同様に微細な脂肪交雑粒子の解析が可能である．

2.2 枝肉横断面画像の画像解析

画像解析により脂肪交雑を評価する上で最も重要なプロセスは，筋肉画像の 2 値化処理（筋肉と脂肪交雑の分離）である．上記の装置で撮影された枝肉画像は，照明ムラが少なく，単一の閾値を用いても，十分な精度で 2 値化可能である．そこで，本研究では画像中の G 成分（緑色の成分）について大津の判別分析 2 値化法（高木と下田 1991）を利用し，統計的手法に基づき閾値を算出している．白仁田ら（1996）は，画像解析により脂肪交雑のあらさを評価する手法として，2 値化した脂肪交雑粒子の面積などを利用しているが，和牛のような脂肪交雑の量が多いサンプルは，それぞれの脂肪交雑粒子が接触しており，特に脂肪交雑粒子の面積割合が 60% を超えるようなサンプルの場合，数個の粒子しか存在しないとされる場合がある．そこで本研究で用いた脂肪交雑のあらさを評価する手法は，筋肉と脂肪交雑に 2 値化された画像において，脂肪交雑粒子について細線化処理を数回施し，線幅 1 の細線を除去する方法を用いた．細線化処理とは，幅を持った図形に対して近傍に背景を持つ点について，端点を保持した状態でその図形の連結性を損なわない点を削除し，線幅を細める処理である（高木と下田 1991）．脂肪交雑のあらさを定量化するためのプロセス画像を図 2-2 および図 2-3 に示した．また，これら手法を用いて脂肪面積割合，全体の粒子のあらさ，最大粒子のあらさおよび細かさ指数の 4 形質を脂肪交雑に関する画像解析形質として算出した．

胸最長筋の形状は，いわゆる“たわら型”から極端に乖離している場合，買参人から敬遠される傾向にあり，胸最長筋の形状は，重要な枝肉評価項目であると推察される．胸最長筋の形状を評価する方法は，その面積，短径，長径，周囲長を算出することが考えられ

る。しかしながら、大津の判別分析 2 値化法により求めた筋肉の輪郭線を利用して画像解析を行う上で、シャギー（画像のギザギザ）に注意する必要がある。このシャギーは、線の長さなどを計測する上で、実際の長さを過大評価させる要因になる。そこで本研究では、輪郭線のシャギーをなくすために、得られた胸最長筋の輪郭線について、5 回の膨張処理を行い、ついで、線幅 1 になるまで細線化処理を施した。これら処理により輪郭線のシャギーが取り除かれた画像を用い、胸最長筋形状に関する画像解析形質として、短径・長径比、慣性主軸短径・長径比および形状の複雑さの 3 形質を算出した。また、短径・長径、慣性主軸短径・長径比および形状の複雑さのサンプル画像を図 2-4 に示した。

これら画像解析形質は、口田ら（2006）が開発した枝肉横断面画像専用のソフトウェア（BeefAnalyzer II 早坂理工株式会社，札幌）を用いて算出することができる。以下に、これら画像解析形質についての詳細を示す。

2.2.1 筋肉内脂肪面積割合

筋肉内脂肪面積割合とは、筋肉内に占める脂肪交雑粒子の割合を表した値である。したがって、値が大きいほど筋肉内の脂肪交雑粒子の量が多いことを示している。脂肪面積割合を算出するための式を以下に示す。

$$\text{脂肪面積割合} = \text{Marbling_Pixel} / \text{Muscle_Pixel} \times 100$$

ここで、Marbling_Pixel は 2 値化直後の全ての脂肪交雑粒子の画素数（図 2-2-b）で、Muscle_Pixel は筋肉の画素数である。

2.2.2 全体の粒子のあらさ

全体の粒子のあらさとは、筋肉内におけるあらい脂肪交雑粒子（いわゆる、あらザシ）の程度を評価した値である。この値が大きいほど、筋肉中にあらい脂肪交雑粒子が多いことを示している。全体の粒子のあらさを算出するための式を以下に示す。

$$\text{全体の粒子のあらさ} = \text{Coarse}(X) / \text{Marbling_Pixel} \times 100$$

ここで、Marbling_Pixel は 2 値化直後の全ての脂肪交雑粒子の画素数（図 2-2-b）で、Coarse(X) は脂肪交雑粒子を X 回細線化処理し、線幅 1 の細線を除去した画素数（図 2-2-d）である。

2.2.3 最大粒子のあらさ

最大粒子のあらさは、筋肉中に含まれる脂肪交雑粒子のうち最も大きな脂肪交雑粒子の程度を評価した値である。この値が大きいほど、単独で大きな脂肪交雑粒子が存在するこ

とを示している。最大粒子のあらさを算出するための式を以下に示す。

$$\text{最大粒子のあらさ} = \text{Max_Coarse}(X) / \text{Marbling_Pixel} \times 100$$

ここで、Marbling_Pixel は 2 値化直後の全ての脂肪交雑粒子の画素数 (図 2-2-b) で、Max_Coarse(X)は脂肪交雑粒子を X 回細線化処理し、線幅 1 の細線を除去した脂肪交雑粒子の中で最大であるものの画素数 (図 2-2-d の①) である。

2.2.4 細かさ指数

細かさ指数は、筋肉中の脂肪交雑粒子のうち細かい脂肪交雑粒子 (いわゆる小ザシ) の程度を評価した値であり、箱型撮影装置およびミラー型撮影装置を用いて撮影された高精細な枝肉横断面画像を利用することで評価が可能となった形質である。細かさ指数の計算の方法は、図 2-2 で示した細線化処理以外にいくつかの処理を施して計算される。脂肪交雑の細かさを定量化するためのプロセス画像を図 2-3 に示した。まず、筋肉画像を 2 値化し、5 回の細線化処理を施し、線幅 1 の細線を除去してあらい脂肪交雑粒子のみを抽出する (図 2-3-b)。つづいて、そのあらい脂肪交雑粒子に対して 5 回の膨張処理を施し、もとの粒子の大きさに近づける (図 2-3-c)。そして、2 値化直後の画像 (図 2-3-a) から膨張処理を施した画像 (図 2-3-c) を減じて、細かい脂肪交雑粒子のみを抽出する (図 2-3-d)。最後に、抽出された脂肪交雑粒子の中から $0.01\text{cm}^2 \sim 0.5\text{cm}^2$ の範囲にある脂肪交雑粒子を抽出し、これを小ザシとする。この小ザシの個数を測定し、その個数を筋肉面積で割ることで単位面積あたりの小ザシ数を計算し、細かさ指数とした。ここで、膨張処理とは、ある画素の近傍に一つでも 1 があれば、その画素を 1 にする処理のことをいう (高木と下田 1991)。細かさ指数を算出するための式を以下に示す。

$$\text{細かさ指数} = \text{Fineness_Particles} / \text{Muscle_Area}$$

ここで、Fineness_Particles は上記の処理で小ザシとして抽出された粒子数で、Muscle_Area は、筋肉面積 (cm^2) のことである。したがって、この値が大きいほど、筋肉中に細かい脂肪交雑粒子が多いことを示している。

2.2.5 短径・長径比

短径・長径比は、胸最長筋の形状の形状が扁平に近いが円形に近いかを表す形質の一つである。胸最長筋上で最長の直線を長径 (図 2-4-a1) とし、それに垂直な直線で最も長い直線を短径 (図 2-4-a2) とし、それら直線の比で算出される。以下に、短径・長径比の算出式を示す。

$$\text{短径} \cdot \text{長径比} = \text{Min_Axis} / \text{Max_Axis}$$

ここで、Min_Axis は、胸最長筋の短径であり、Max_Axis は、胸最長筋の長径である。したがって、値が大きいほど胸最長筋が円形に近く、値が小さいほど扁平の形状を呈することが示唆される。しかしながら、この短径・長径比は、単純に最も長い直線が長径、それに垂直でかつ最も長い直線を短径とするために、見た目から感じる感覚と符合しない評価値になる場合があり、胸最長筋形状を十分に評価できていない可能性がある。

2.2.6 慣性主軸短径・長径比

慣性主軸短径・長径比は、上記の短径・長径比の問題点を改善するために算出された形質である。胸最長筋に対して求めた慣性主軸の第1あるいは第2主軸のうち長軸長を長径（図 2-4-b1）、短軸長を短径（図 2-4-b2）とし、それら直線の比で算出される。慣性主軸は、胸最長筋の重心を通り、筋肉の方向性を示しており、算出された値は、見た目の感覚と符号する値となっている。以下に、慣性主軸短径・長径比の算出式を示す。

$$\text{慣性主軸短径} \cdot \text{長径比} = \text{Min_Axis_In} / \text{Max_Axis_In}$$

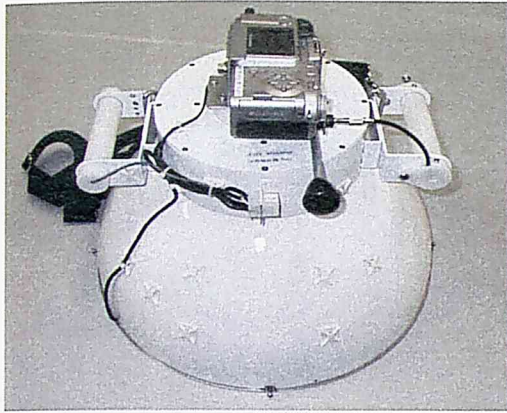
ここで、Min_Axis_In は慣性主軸短軸長であり、Max_Axis_In は慣性主軸長軸長である。したがって、上記の短径・長径比と同様に、値が大きいほど胸最長筋が円形に近く、値が小さいほど扁平の形状を呈することが示唆される。

2.2.7 形状の複雑さ

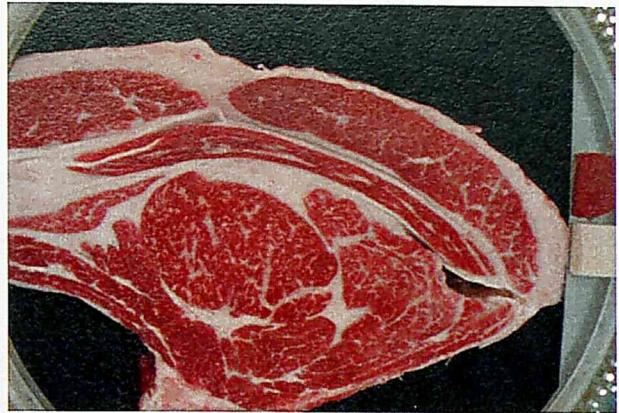
胸最長筋外側（上部）に筋間脂肪が入り込んだ、いわゆるハート芯といわれる胸最長筋形状は買参人から敬遠される傾向にある。形状の複雑さは、胸最長筋内に筋間脂肪が入り込み、形状が複雑になっている程度を表す形質である。平面上に多数の点が与えられたとき、これらの点を包含する最小の凸多角形を凸包（高木と下田 1991）という。胸最長筋について凸包を求め、得られた凸多角形の外周長と、胸最長筋の輪郭線の比を求めることで、胸最長筋の形状の複雑さの指標とした。形状の複雑さの算出式は以下に示す。

$$\text{形状の複雑さ} = \text{Circum_Ribeye} / \text{Conv_Polygon_Ribeye}$$

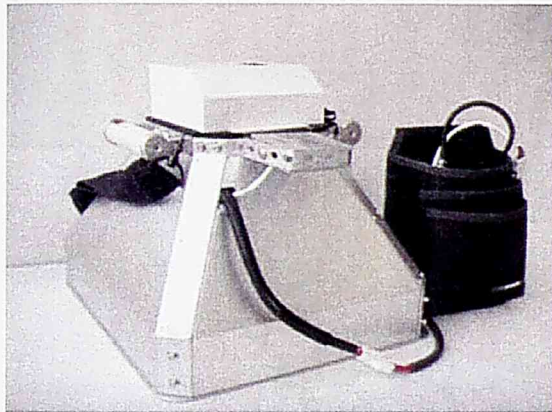
ここで、Circum_Ribeye は、胸最長筋の周囲長（図 2-4-c）であり、Conv_Polygon_Ribeye は、胸最長筋の凸包周囲長（図 2-4-d）である。したがって、値が 1 より大きくなる場合、胸最長筋の形状が複雑（ハート芯の形状を示す可能性が高くなる）になり、値が 1 に近づくほど形状が滑らかになることを表す。



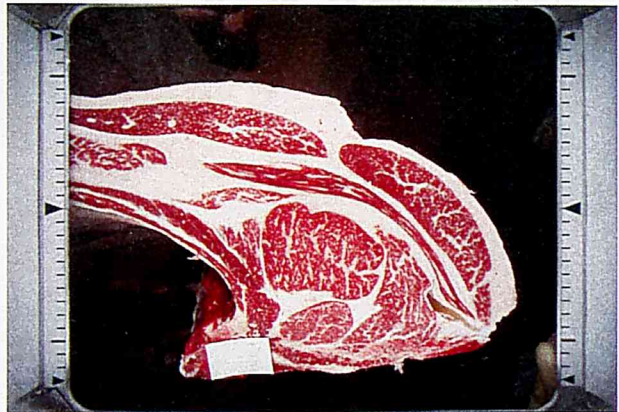
a-1 ドーム型撮影装置



a-2 ドーム型撮影装置により得られる画像



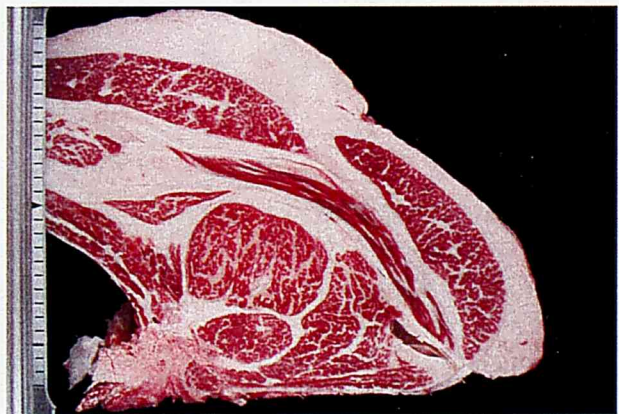
b-1 箱型撮影装置



b-2 箱型撮影装置により得られる画像



c-1 ミラー型撮影装置

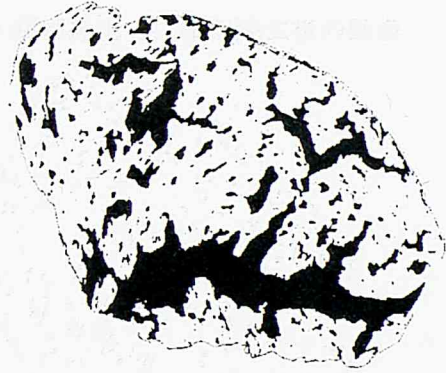


c-2 ミラー型撮影装置により得られる画像

図 2-1. 各撮影装置の概観図および各撮影装置により得られる枝肉横断面画像



a) 筋肉画像



b) 2 値化後の画像

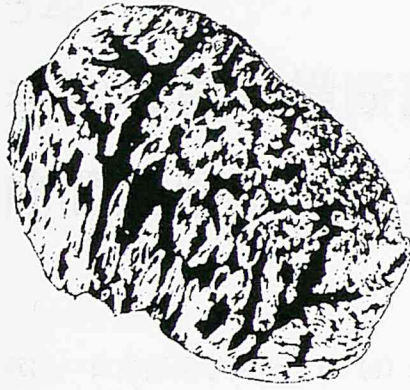


c) n 回細線化処理後の画像

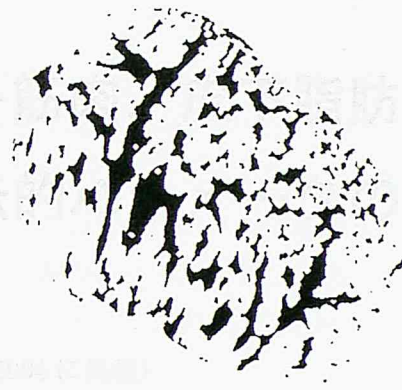


d) 線幅 1 の細線除去後の画像
①…最大粒子

図 2-2. 脂肪交雑のあらさを定量化するためのプロセス画像



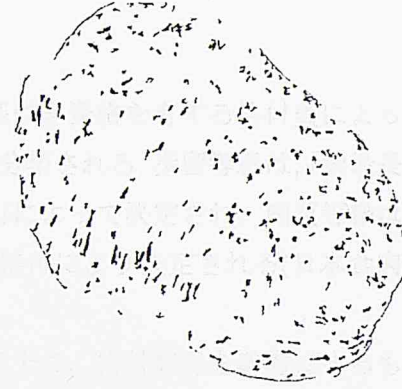
a) 2 値化直後の画像



b) 5 回細線化し，細線除去後の画像



c) 5 回膨張処理後の画像



d) 2 値化直後の画像 - 5 回膨張処理後の画像

図 2-3. 脂肪交雑粒子の細かさを定量化するためのプロセス画像

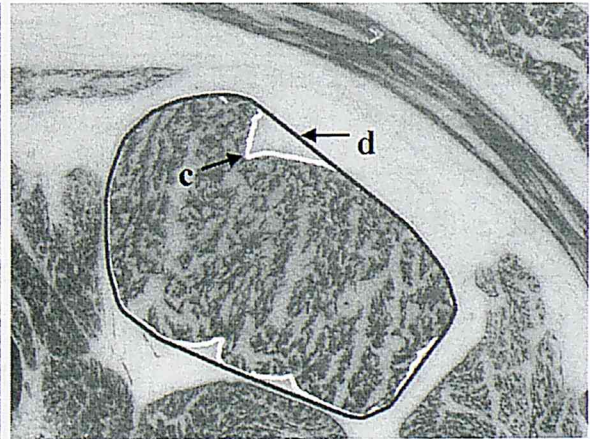
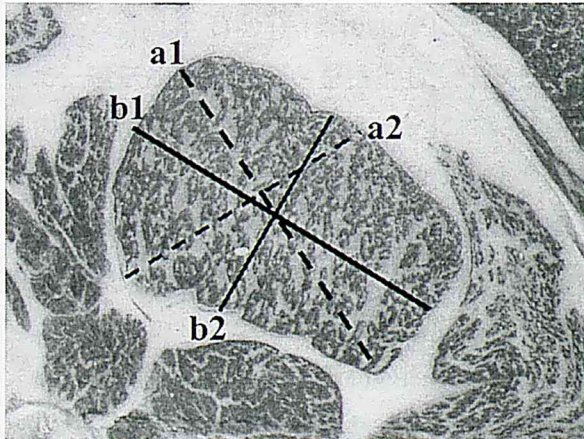


図 2-4. 短径・長径比，慣性主軸短径・長径比および形状の複雑さのサンプル画像
 胸最長筋の長径 (a1)，短径 (a2)，慣性主軸長径 (b1)，慣性主軸短径 (b2)，胸最長筋の周囲長 (c) および凸包周囲長 (d)

第3章

黒毛和種枝肉横断面の各筋肉，皮下脂肪および筋間脂肪に関する遺伝的パラメータの推定

(本章は，日本畜産学会報，75 (4) : 521-526, 2004 に掲載)

3.1 緒言

わが国の牛枝肉の評価は，牛枝肉取引規格に基づき資格を有する格付員によって行われており，その評価項目は歩留等級と肉質等級とに分類される．歩留等級は，「胸最長筋面積」，「ばらの厚さ」，「冷と体重量」および「皮下脂肪厚」によって決定され，肉質等級は，牛枝肉左半丸の第 6-7 肋骨間の胸最長筋を中心とした格付により決定される(日本食肉格付協会 1996)．

セリによる取引では，買参者は価格を決定する上で，格付記録を参考にするものの，買参者自身の経験や主観も大きく影響する．また，買参者はセリの前に，あらかじめ枝肉の下見を行っており，その際に胸最長筋以外の筋肉ならびに脂肪の量やバランスなどの格付評価箇所以外も確認していると考えられる．

近年，和牛の枝肉格付形質に関する遺伝的パラメータが，多くの研究者により推定されている．向井 (1994) は 1988 年に改正された牛枝肉取引規格により評価された記録について，遺伝的パラメータを推定し，守屋ら (1994) は黒毛和種基礎集団ならびに現集団の屠肉性に関する遺伝的パラメータについて多形質 REML 法を用いて推定した．川田ら (2003) は岩手県南地方における黒毛和種集団の産肉性形質に関する遺伝的パラメータ，育種価および遺伝的趨勢を推定した．大澤ら (2004a) は，黒毛和種の枝肉横断面画像を用い，脂肪交雑や胸最長筋形状等に対して詳細な画像解析を行い，それらの遺伝的パラメータを推定した．しかしながら，胸最長筋以外の主要な筋肉や，部分肉歩留に影響すると考えられる皮下脂肪ならびに筋間脂肪の面積などの詳細な測定値は，一般的には記録されておらず，それらに対する遺伝的パラメータの報告もほとんど存在しない．

そこで，本章では，牛枝肉横断面撮影装置 (以下，撮影装置) を使用して撮影された黒毛和種の鮮明な枝肉画像を用い，各筋肉，複数の部位に区分した皮下脂肪および筋間脂肪を画像解析により詳細に解析することと，従来の枝肉格付形質とこれら画像解析形質との遺伝的関連性について検討することを目的とした．

3.2 材料および方法

供試材料は、2002年4月から2003年7月にかけて、家畜改良事業団の肉用牛産肉能力平準化促進事業による間接検定をうけた黒毛和種去勢材料牛404頭（73セット）である。枝肉左半丸の第6-7肋骨間で切開された枝肉横断面が、口田ら（2001a）により開発されたドーム型撮影装置を用いて撮影された。今回使用した撮影装置は、ドーム部底面が枝肉に接触することから、枝肉横断面に鉛直方向かつ一定距離から撮影でき、枝肉横断面画像から胸最長筋の面積などを正確に測定することが可能である（口田ら 2001a）。しかし、撮影装置の撮影可能な領域は、横30cm×縦20cmとそれほど大きくないため、1つの枝肉に対し複数枚の画像を撮影し、得られた画像を、顕微鏡画像結合ソフト（タイリングブティック、サンヨー社製、大阪）を利用し、1枚に結合した。

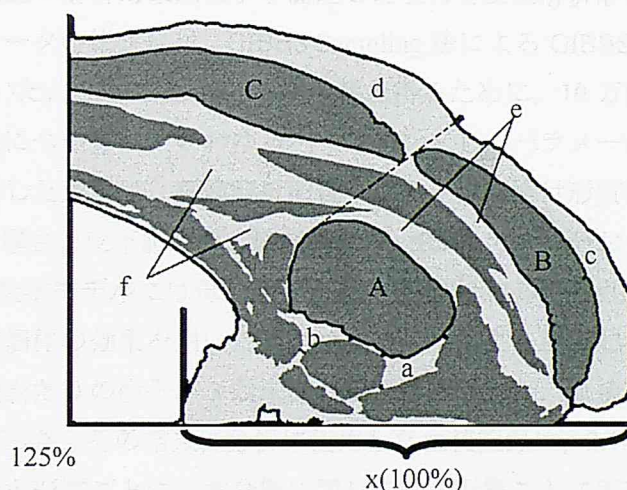


図 3-1. 各筋肉、皮下脂肪および筋間脂肪の位置

A=胸最長筋；B=僧帽筋；C=広背筋；a=筋間脂肪〔胸最長筋右下〕；b=筋間脂肪〔胸最長筋左下〕；c=皮下脂肪〔僧帽筋〕；d=皮下脂肪〔広背筋〕；e=筋間脂肪〔僧帽筋〕；f=筋間脂肪〔広背筋〕；x=胸椎端部の外側（右）から胸椎棘突起までの直線（基準長：100%）および y=胸最長筋と僧帽筋を結んだ接線

枝肉ごとに切開の程度に差があるために、それぞれの枝肉で撮影領域に差が生じる。そこで一定の領域で枝肉画像の解析を行うために、胸椎端部の背中（右）側から胸椎棘突起までを基準長（100%:図 3-1 の直線 x）として、枝肉画像が比較的多く収集可能であった基準長を1.25倍した範囲までで切り出した。ここで、この条件で切り出された枝肉横断面を、解析対象領域と定義した。解析対象領域に対して、まず汎用の画像処理ソフトウェア（Adobe Photoshop6.0, Adobe Systems Inc., California）を使用して、筋肉ならびに脂肪を分類した。枝肉の解析対象画像と分類箇所の詳細を図 3-1 に示した。筋肉は胸最長筋、僧帽

筋および広背筋に、脂肪は胸最長筋 - 背半棘筋 - 頭半棘筋と胸最長筋 - 頭半棘筋 - 背多裂筋 - 腸肋筋に、それぞれ囲まれた筋間脂肪（以下、筋間脂肪〔胸最長筋右下〕と筋間脂肪〔胸最長筋左下〕：図 3-1 の a と b）、胸最長筋と僧帽筋を結んだ接線（図 3-1 の直線 y）で区分した僧帽筋と広背筋外側の皮下脂肪（以下、皮下脂肪〔僧帽筋〕と皮下脂肪〔広背筋〕：図 1 - c と d）、僧帽筋と広背筋内側の筋間脂肪（以下、筋間脂肪〔僧帽筋〕と筋間脂肪〔広背筋〕：図 3-1 の e と f）に分類された。分類された筋肉と脂肪に対して口田ら（1997）が作成した画像解析ソフトウェアを利用して、実面積ならびに面積%を測定した。ここで、面積%とは解析対象領域に対して各分類箇所の実面積が占める割合のことである。胸最長筋、僧帽筋および広背筋については実面積、面積%の他に、各筋肉に対して筋肉内脂肪の占める割合（各筋肉内脂肪面積割合）を測定した。また、枝肉全体の皮下脂肪と筋間脂肪を表すために、皮下脂肪〔僧帽筋〕と皮下脂肪〔広背筋〕の和、ならびに筋間脂肪〔僧帽筋〕と筋間脂肪〔広背筋〕の和をそれぞれ皮下脂肪〔全体〕および筋間脂肪〔全体〕とした。ここで、上記の解析対象画像より測定した項目を画像解析形質とした。

遺伝的パラメータの推定には、GIBBS Sampling 法による GIBBSF90 プログラム (Misztal ら 2002) を用いた。GIBBS Sampling 法で解を得るために、10 万回の反復を設定し、最初の 3 万回の反復については、いわゆるバーンインとし、パラメータの推定には用いなかった。分析対象とした形質は、画像解析形質に加え、枝肉格付形質として枝肉重量、胸最長筋面積、ばらの厚さ、皮下脂肪厚、筋間脂肪厚、BMS ナンバーおよび歩留基準値の 7 形質を取り上げた。数学モデルには母数効果として年度 (2 水準) と回次 (8 水準) を取り上げ、変量効果として個体の効果を用いたアニマルモデルにより遺伝的パラメータの推定を行った。種雄牛 1 頭当たりの産子が 3 頭未満の記録は削除した。血統記録は、可能な限り 3 代祖までさかのぼった。その結果、分析に使用した血統記録は、2,145 頭となった。また、分散成分の推定は単形質ごとに、共分散に関しては 2 形質ごとに実施した。

3.3 結果および考察

枝肉格付形質と画像解析形質の基礎統計量を表 3-1 と表 3-2 に示した。画像解析形質における胸最長筋の実面積 ($43.58 \pm 5.53 \text{cm}^2$) と枝肉格付形質における胸最長筋面積 ($47.09 \pm 5.95 \text{cm}^2$) は、測定箇所が同じであり、単純相関係数において 0.92 と高い値を示したが、平均値に有意な差が生じた ($p < 0.01$)。また、測定単位は異なるが測定箇所が同じである、皮下脂肪〔広背筋〕の実面積と格付による皮下脂肪厚および筋間脂肪〔広背筋〕の実面積と格付による筋間脂肪厚間の単純相関係数は、それぞれ 0.84, 0.77 と高い値が推定された。

枝肉格付形質に関する遺伝率推定値を表 3-3 に示した。枝肉格付形質において、枝肉重量 (0.81)、胸最長筋面積 (0.68)、ばらの厚さ (0.55)、筋間脂肪厚 (0.52)、BMS ナンバー (0.70) および推定歩留 (0.62) において高い遺伝率が、皮下脂肪厚 (0.37) において中程度の遺伝率が推定された。黒毛和種の枝肉格付形質に関して守屋ら (1994) と川田ら (2003)

は、BMS ナンバーにおいてそれぞれ 0.64 と 0.66 と高い遺伝率を、皮下脂肪厚においてそれぞれ 0.26 と 0.33 と中程度の遺伝率を報告しており、本研究の結果と近似した。

画像解析形質に関する遺伝率推定値を表 3-4 に示した。画像解析により測定された、胸最長筋、僧帽筋および広背筋の実面積 (0.59, 0.55 および 0.67) および面積% (0.75, 0.71 および 0.67) において高い遺伝率が推定された。また、各筋肉内脂肪面積割合においても、胸最長筋内 (0.61)、僧帽筋内 (0.62) および広背筋内 (0.53) の調査した全ての筋肉において高い遺伝率が推定された。筋肉内脂肪面積割合に関する遺伝率を報告している例は少ないが、約 3,000 頭の黒毛和種集団を対象とした大澤ら (2004a) により胸最長筋内脂肪面積割合に関して高い遺伝率 (0.57)、約 700 頭の黒毛和種去勢牛集団を対象とした口田ら (2001b) においても高い遺伝率 (0.59) がそれぞれ報告され、本研究における値と近似した。BMS ナンバーは胸最長筋内の脂肪面積の割合を基準に作成されており (中井 1987)、このことから、脂肪面積割合と BMS ナンバーの遺伝率が近似したものとなったと推察された。

また、格付による胸最長筋面積 ($h^2=0.68$) と画像解析による胸最長筋の実面積 ($h^2=0.59$) は同じ形質ではあるが、双方の遺伝率に差が生じた。肉眼による測定である格付時の胸最長筋面積 ($47.09 \pm 5.95 \text{cm}^2$) と、画像による機械的な測定での胸最長筋実面積 ($43.58 \pm 5.53 \text{cm}^2$) との間に差が存在するが、このことが遺伝率の差の要因の 1 つとなっていると推察された。本研究により得られた画像解析による胸最長筋面積は、格付時に用いられているプラスチック方眼法によるものより正確であるが (Steiner ら 2003)、胸最長筋の形状などによってはプラスチック方眼法で測定が困難なサンプルが存在する可能性が考えられる。今後、胸最長筋の形状の違いなどがプラスチック方眼法による測定精度に及ぼす影響について検討する予定である。

脂肪の実面積に関して、筋間脂肪 [胸最長筋右下] と筋間脂肪 [胸最長筋左下] において中程度の遺伝率 (0.28, 0.36) が推定され、皮下脂肪 [僧帽筋] (0.73)、皮下脂肪 [広背筋] (0.59)、皮下脂肪 [全体] (0.72)、筋間脂肪 [僧帽筋] (0.59)、筋間脂肪 [広背筋] (0.56) および筋間脂肪 [全体] (0.53) において高い遺伝率が推定された。また、面積%に関して筋間脂肪において遺伝率が若干上昇したが、全形質において実面積と同様な傾向を示した。格付による筋間脂肪厚測定箇所に対応する画像解析形質の筋間脂肪は、筋間脂肪 [広背筋] であるが、格付による筋間脂肪厚 (0.52) と筋間脂肪 [広背筋] の実面積 (0.56) において、近似した遺伝率を示した。同様に、格付による皮下脂肪厚測定箇所に対応する画像解析形質の皮下脂肪は、皮下脂肪 [広背筋] であるが、格付による皮下脂肪厚 (0.37) のほうが皮下脂肪 [広背筋] の実面積 (0.59) より低い遺伝率を示した。従来の格付において測定される皮下脂肪厚が、「腸肋筋側端から枝肉表面に直角に上げた線上における広背筋外側から枝肉表面までの長さ」と定義されているものの (日本食肉格付協会 1996)、枝肉の形状によっては測定位置が特定しにくい場合がある。すなわち、今回認められた皮下脂肪における遺伝率の差は、1 箇所での測定では、十分に皮下脂肪の厚さを評価しきれていないた

めに生じたものであるかもしれない。

各筋肉間の実面積、面積%および脂肪面積割合に関する遺伝ならびに表型相関係数を表 3-5 に示した。各筋肉の実面積における全ての組合せにおいて、中程度の正の遺伝相関 (0.25 ~ 0.47) が推定された。各筋肉の面積%において、胸最長筋と僧帽筋および広背筋間で、正の遺伝相関 (0.27 および 0.27) が推定された。各筋肉内脂肪面積割合において、胸最長筋内と僧帽筋内および広背筋内間で、中程度の正の遺伝相関 (0.39 および 0.49) が推定され、僧帽筋内と広背筋内間で、高い正の遺伝相関 (0.68) が推定された。したがって、胸最長筋と僧帽筋および広背筋間の遺伝的関連性はあまり高くはないが、胸最長筋の改良により他の筋肉の改良を行うことが可能である。しかしながら、より効率の良い改良を行う上で、各筋肉を個別に評価する必要があると思われる。

胸最長筋内脂肪面積割合および BMS ナンバーと各脂肪の実面積、面積%間の遺伝相関係数を表 3-6 に示した。胸最長筋内脂肪面積割合と皮下脂肪〔僧帽筋〕、皮下脂肪〔広背筋〕および皮下脂肪〔全体〕間の遺伝相関は、実面積において -0.12 ~ 0.02、面積%において -0.28 ~ -0.08 となった。また、BMS ナンバーとそれら皮下脂肪に関する形質間の遺伝相関についても、実面積において -0.03 ~ 0.05、面積%において -0.15 ~ -0.07 と同様な傾向を示し、和牛でこれまで報告されているような無あるいは負の遺伝相関が推定された (守屋ら 1996, 川田ら 2003)。すなわち、胸最長筋内脂肪面積割合や BMS ナンバーに対する改良を進めることで、皮下脂肪の厚さならびに枝肉全体に対する皮下脂肪の面積割合を増加させないことが示唆された。胸最長筋内脂肪面積割合と筋間脂肪〔僧帽筋〕、筋間脂肪〔広背筋〕および筋間脂肪〔全体〕間で、実面積において 0.26 ~ 0.29、面積%において 0.17 ~ 0.22 と、低いながらも正の遺伝相関が推定された。BMS ナンバーについても、実面積において 0.21 ~ 0.29、面積%において 0.06 ~ 0.13 と同様な傾向を示した。すなわち、胸最長筋内脂肪面積割合や BMS ナンバーに対する改良を進めることで、筋間脂肪が増加することが示唆された。筋間脂肪の厚さは通常、間接検定等の枝肉調査事業以外では記録として残っていないが、今後、現場後代検定を中心とする改良を進めていく上で、筋間脂肪の格付記録を残していくべきであろう。

皮下脂肪〔全体〕と筋間脂肪〔全体〕の面積%間において、遺伝と表型ともに正の低い値 (0.15 と 0.08) が推定された。牛の成長とともに発達する脂肪組織には一定の順序がみられ、枝肉では腎 - 骨盤腔脂肪、筋間脂肪、皮下脂肪の順になることが知られているが (岡田 1991)、今回認められた低い相関から、皮下脂肪と筋間脂肪が、遺伝的に独立した変動を示すことが示唆された。胸最長筋と筋間脂肪〔僧帽筋〕の実面積ならびに面積%間で、実面積において -0.11、面積%において -0.34 と負の遺伝相関が推定された (表には示していない)。すなわち、筋間脂肪が増えることにより、胸最長筋等の筋肉面積が狭くなる可能性が示唆されたが、これは筋肉と脂肪が同一の解析対象領域内に存在するため、一方が増加すると他方は減少する関係にあるからと推察した。皮下脂肪〔僧帽筋〕と皮下脂肪〔広背筋〕間で、実面積において 0.91、面積%において 0.87 と高い正の遺伝相関が推定されたが、

表型相関では、実面積で 0.65、面積%で 0.55 と遺伝相関に比較して低い表型相関が推定された（表には示していない）。すなわち、表型的な関連性はさほど強くないが、遺伝的な関連性は強いため、一方の厚さを減少させる改良を行うことで、他方の厚さが減少することが示唆され、改良のためにはどちらか一方を計測すればよいことがうかがえた。他方、筋間脂肪〔僧帽筋〕と筋間脂肪〔広背筋〕間については、実面積において 0.63、面積%において 0.38 の正の遺伝相関が推定され、表型相関において、実面積で 0.75、面積%で 0.52 の正の表型相関が推定された（表には示していない）。すなわち、表型的な関連性と遺伝的な関連性ともにあまり強くないため、一方の厚さを減少させる改良を行うことで、他方の厚さが減少するとは限らないことが示唆された。

枝肉画像を用いた画像解析による枝肉の評価は、従来の格付方法と比較し、筋肉や脂肪の面積などに関して、より詳細で客観的な評価が可能であり、枝肉画像から得られた形質は、中程度から高い遺伝率が推定されたことから、それらの形質についても高い改良効果が期待できる。本研究で測定された筋間脂肪は、実面積、面積%ともに改良の対象である胸最長筋内脂肪面積割合ならびに BMS ナンバーと正の遺伝相関が推定され、肉質の改良にともなって、筋間脂肪量の増加が懸念されることから、育種改良を行っていく上では、筋間脂肪に関しても記録を収集し、評価する体制を構築すべきである。

表 3-1. 枝肉格付形質と各筋肉の筋肉内脂肪面積割合の基礎統計量 (n=404)

形質	平均値	標準偏差
枝肉格付形質		
枝肉重量 (kg)	348.5	37.7
胸最長筋面積 (cm ²)	47.09	5.95
ばらの厚さ (cm)	6.25	0.73
皮下脂肪厚 (cm)	2.03	0.54
筋間脂肪厚 (cm)	6.19	0.80
歩留基準値	73.52	0.98
BMS ナンバー (1~12)	8.04	1.93
筋肉内脂肪面積割合 ^a		
胸最長筋 (%)	23.98	6.22
僧帽筋 (%) ^b	28.21	7.40
広背筋 (%)	25.29	7.52

^a 各筋肉の位置は、図 3-1 を参照

^b 僧帽筋にシヨリが存在した記録は欠測値として取り扱った (n=9)

表 3-2. 筋肉，皮下脂肪および筋間脂肪の実面積および面積%に関する平均値と標準偏差 (n=404)

形質	実面積 (cm ²)		面積% (%) ^a	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
解析対象領域	436.58	47.83	100.00	0.00
胸最長筋 ^b	43.58	5.53	10.03	1.17
僧帽筋	36.28	6.41	8.31	1.15
広背筋	40.63	6.59	9.30	1.01
筋間脂肪〔胸最長筋右下〕	3.82	2.03	0.88	0.46
筋間脂肪〔胸最長筋左下〕	4.64	1.37	1.06	0.29
皮下脂肪〔僧帽筋〕	20.00	5.30	4.58	1.09
皮下脂肪〔広背筋〕	41.87	11.14	9.53	2.07
筋間脂肪〔僧帽筋〕	33.04	6.42	7.55	1.08
筋間脂肪〔広背筋〕	53.39	10.62	12.17	1.60
皮下脂肪〔全体〕 ^c	61.87	15.18	14.11	2.83
筋間脂肪〔全体〕 ^d	86.43	16.04	19.71	2.35

^a 解析対象領域に対する面積比

^b 各形質の部位は図 3-1 を参照

^c 皮下脂肪〔全体〕 = 皮下脂肪〔僧帽筋〕 + 皮下脂肪〔広背筋〕

^d 筋間脂肪〔全体〕 = 筋間脂肪〔僧帽筋〕 + 筋間脂肪〔広背筋〕

表 3-3. 枝肉格付形質の遺伝率推定値

形質	h ²
枝肉体重	0.81
胸最長筋面積	0.68
ばらの厚さ	0.55
皮下脂肪厚	0.37
筋間脂肪厚	0.52
歩留基準値	0.62
BMS ナンバー	0.70

表 3-4. 各筋肉, 皮下脂肪面および筋間脂肪の実面積(面積%)^a) ならびに筋肉内脂肪面積割合の遺伝率推定値

形質	h ²	
実面積 (面積%)		
胸最長筋 ^b	0.59	(0.75)
僧帽筋	0.55	(0.71)
広背筋	0.67	(0.67)
筋間脂肪 [胸最長筋右下]	0.28	(0.37)
筋間脂肪 [胸最長筋左下]	0.36	(0.38)
皮下脂肪 [僧帽筋]	0.73	(0.67)
皮下脂肪 [広背筋]	0.59	(0.58)
筋間脂肪 [僧帽筋]	0.59	(0.71)
筋間脂肪 [広背筋]	0.56	(0.66)
皮下脂肪 [全体]	0.72	(0.72)
筋間脂肪 [全体]	0.53	(0.62)
筋肉内脂肪面積割合		
胸最長筋	0.61	
僧帽筋	0.62	
広背筋	0.53	

^a 解析対象領域に対する面積比

^b 各形質の部位は図 3-1 を参照

表 3-5. 各筋肉間の実面積, 面積%^a および脂肪面積割合に関する遺伝ならびに表型相関

形質	筋肉 ^b	胸最長筋	僧帽筋	広背筋
実面積	胸最長筋		0.35	0.47
	僧帽筋	0.50		0.25
	広背筋	0.49	0.45	
面積%	胸最長筋		0.27	0.27
	僧帽筋	0.27		-0.12
	広背筋	0.15	0.02	
筋肉内脂肪面積割合	胸最長筋		0.39	0.49
	僧帽筋	0.47		0.68
	広背筋	0.51	0.68	

^a 解析対象領域に対する面積比

^b 各形質の部位は図 3-1 を参照

表 3-6. 胸最長筋の筋肉内脂肪面積割合および BMS ナンバーと各脂肪の実面積(面積%^a) 間の遺伝相関

形質 ^c	胸最長筋 ^b		BMS ナンバー	
皮下脂肪 [僧帽筋]	0.02	(-0.08)	0.05	(-0.07)
皮下脂肪 [広背筋]	-0.12	(-0.28)	-0.03	(-0.15)
皮下脂肪 [全体]	-0.09	(-0.20)	0.00	(-0.11)
筋間脂肪 [僧帽筋]	0.27	(0.17)	0.29	(0.13)
筋間脂肪 [広背筋]	0.26	(0.17)	0.21	(0.06)
筋間脂肪 [全体]	0.29	(0.22)	0.26	(0.12)

^a 解析対象領域に対する面積比

^b 胸最長筋の筋肉内脂肪面積割合

^c 各形質の位置は図 3-1 を参照

第4章

黒毛和種去勢牛における枝肉横断面の胸最長筋ならびに僧帽筋の画像解析形質に関する遺伝的パラメータの推定

(本章は、Journal of Animal Science 86(1):40-46, 2008 に掲載)

4.1 緒言

わが国において、牛枝肉は、左半丸の第6-7肋骨間で切開され、(社)日本食肉格付協会の資格を有した格付員によって歩留等級と肉質等級について評価される。一般的に、胸最長筋の脂肪交雑が、肉質と枝肉価値を決定する重要な要因である。脂肪交雑等級は、視覚により胸最長筋に関してのみ格付されているが、買参者は、枝肉を購入するのに他の筋肉もまた考慮していると思われる。ゆえに、他の筋肉の脂肪交雑の程度もまた肉質ならびに枝肉価値を決定するのに重要な要因である。

画像解析は、枝肉横断面上の筋肉を客観的に評価することに適している。Gerrardら(1996)およびKuchidaら(2000)により、それぞれ画像解析を用いマーブリングスコアと肉色が測定可能であることおよび胸最長筋内の脂肪含有量を予測可能であることが報告された。Voteら(2000)は、コンピュータ画像システムが枝肉の柔らかさの予測に有効であることを報告した。しかしながら、これら報告は、胸最長筋についてのみ画像解析を行ったものであり、胸最長筋以外の筋肉について詳細な画像解析を行っているものはほとんど報告されていない。

大澤ら(2004a)は、黒毛和種に対して胸最長筋の脂肪交雑粒子および筋肉形状を画像解析により解析し、これら形質の遺伝的パラメータの推定を行った。また、大澤ら(2004b)は、検定場方式の黒毛和種間接検定材料牛404頭に対して画像解析による枝肉横断面の複数の筋肉の筋肉面積および筋肉内脂肪割合と従来の枝肉格付形質の遺伝的関連性を調査した。しかしながら、分析に用いた個体は、日本の枝肉市場に出荷された個体よりも若齢、データ数も小さかったため、信頼性のある結果を得るためにより大きなフィールドデータを用いた分析を行う必要がある。

そこで、本章では、北海道内の枝肉市場に出荷された黒毛和種去勢牛の枝肉横断面の胸最長筋と僧帽筋の画像解析形質について遺伝的パラメータを推定することを目的とした。

4.2 材料および方法

枝肉記録は、2000年4月から2004年3月にかけて北海道内の枝肉市場に上場された黒毛和種去勢牛から収集した。胸最長筋と僧帽筋にシコリが存在した個体は、分析対象から除外した。各市場開催日の出荷数、肥育農家1戸当たりの出荷数、各出荷月齢当たりの出荷数および種雄牛1頭当たりの産子が少なくとも5頭未満の記録もまた分析対象から除外した。その結果、最終的な個体数は、2,925頭となった。87の市場開催日のサブクラス、12の出荷月齢のサブクラス(25, 26…35および36–37ヵ月齢)、肥育農家107戸および種雄牛38頭であった。

本研究において考慮した枝肉格付形質は、枝肉重量、胸最長筋面積、ばらの厚さ、皮下脂肪厚、歩留基準値およびBMSナンバーである。全枝肉格付形質は、牛枝肉取引規格に従い日本食肉格付協会の資格を有した格付員によって評価された(日本食肉格付協会1996)。胸最長筋面積、ばらの厚さ、皮下脂肪厚およびBMSナンバーは左半丸第6-7肋骨間において測定され、歩留基準値は小売用部分肉の割合として枝肉重量、胸最長筋面積、ばらの厚さおよび皮下脂肪厚によって計算される。胸最長筋面積はプラスチック方眼法によって測定された。ばらの厚さは肋骨全長からの中央において、胸腔の胸膜内面から広背筋外側までの長さである。皮下脂肪厚は、腸筋側端から枝肉表面までに直角に上げた線上で広背筋外側から枝肉表面までの長さである。BMSナンバーは脂肪交雑基準に従って12ポイントに分類された(1=脂肪交雑が少ない, 12=脂肪交雑が非常に豊富)。

枝肉横断面画像は、第6-7肋骨間で、口田ら(2001a)が開発した撮影装置を用いて撮影された。この撮影装置は、ドーム部(1,000個以上の白色LEDを配置)とデジタルカメラ部(200万画素, FinePix2900Z, FUJIFILM, 東京)からなり、枝肉横断面とデジタルカメラで鉛直方向かつ一定距離から撮影でき、枝肉画像から面積と長さを正確に測定することが可能である。

胸最長筋および僧帽筋の特徴を評価するために、口田ら(1997)が作成した画像解析プログラムを用いて枝肉横断面画像上の筋肉の輪郭線を描画した。そして、各筋肉に対して画像解析形質として筋肉面積、筋肉内脂肪面積割合、全体の粒子のあらさおよび最大粒子のあらさを算出した。全体の粒子のあらさおよび最大粒子のあらさは、口田ら(2002)により報告にされた“あらさ指数2(5)”および“あらさ指数4(5)”に相当するものであり、5回の細線化処理により求めた。全体の粒子のあらさは、値が大きいほど、多くのあらい脂肪交雑粒子を含む筋肉であることを示唆する。最大粒子のあらさは、値が大きいほど、筋肉に大きい脂肪交雑粒子が存在する可能性がある。

遺伝的パラメータは、6つの枝肉格付形質(枝肉重量、胸最長筋面積、ばらの厚さ、皮下脂肪厚、歩留基準値およびBMSナンバー)ならびに胸最長筋および僧帽筋それぞれにおいて4つの画像解析形質(筋肉面積、筋肉内脂肪面積割合、全体の粒子のあらさおよび最大粒子のあらさ)について推定した。これら形質の分散成分と遺伝率は単形質アニマル

モデルによって推定され、これら形質間の遺伝ならびに表型相関は、枝肉格付形質と胸最長筋の画像解析形質間、枝肉格付形質と僧帽筋の画像解析形質間、胸最長筋と僧帽筋の画像解析形質間で、それぞれ2形質アニマルモデルにより推定された。分析は、AIREMLF90プログラム (Misztalら 2002) を用いて行われた。血統記録数は、3代祖まで遡った結果、10,889頭であった。また、親が未知の個体には、個体の出生年ならびに親の性別に基づいた遺伝グループを設定し、個体の近交係数が血縁係数行列に考慮された。分析に用いた数学モデルを以下に示す。

$$y = X\beta + Za + Wf + e$$

ここで、 y は記録のベクトルであり、 β は母数効果のベクトル (枝肉市場日 : 87 水準, と畜時月齢 : 12 水準), a は相加的遺伝効果のベクトル, f は肥育農家効果のベクトル (107 水準), e は残差効果のベクトルである。 X , Z , W は, β , a および f を y に関連付ける計画行列である。わが国における黒毛和種の牛群サイズ (肥育農家の規模) は, 比較的小さなものが多く, そのような場合, Oikawa と Sato (1996, 1997) は, 群の効果を変量効果として含むモデルがそれらを母数効果として含むものより群効果を有意に補正可能であると報告した。本研究のデータセットにおいても比較的小さい牛群サイズ (肥育農家) を含んだため, 本研究では肥育農家の効果を変量効果として扱った。

4.3 結果および考察

データセットの記述統計量を表 4-1 に示す。画像解析形質における胸最長筋と僧帽筋の筋肉内脂肪面積割合は $39.3 \pm 7.9\%$ および $36.3 \pm 7.5\%$ であった。一般的に, 黒毛和種における脂肪交雑の量は, 他の品種よりも高い。例えば, 胸最長筋の脂肪交雑粒子面積の割合が, Yang ら (2006) により, 18 ヶ月齢のホルスタイン種とシャロレー種の交雑牛に対して $6.3 \pm 2.2\%$ であることが報告された。

枝肉格付形質および画像解析形質に関する肥育農家の分散, 相加的遺伝分散, 残差分散, 全分散に対する肥育農家の分散の割合および遺伝率推定値 (\pm 標準誤差) を表 4-2 に示した。

枝肉格付形質に対する遺伝率推定値は, 枝肉重量, 胸最長筋面積, ばらの厚さ, 皮下脂肪厚および BMS ナンバーにおいてそれぞれ, 中程度から高い値が推定された (0.37 ± 0.05 , 0.43 ± 0.06 , 0.39 ± 0.05 , 0.22 ± 0.04 , 0.38 ± 0.38 および 0.59 ± 0.06)。枝肉重量の遺伝率 (0.43) は, 兵庫県ならびに鳥取県の黒毛和種に対して Shojo ら (2006) が報告した 0.45 ならびに 0.38 および褐毛和種に対して Hirooka ら (1996) が報告した 0.37 と近似した値であった。しかしながら, 交雑牛に対して Splan ら (2002) が報告した 0.49 とブラーマン種に対して Riley ら (2002) が報告した 0.55 より低かった。胸最長筋面積の遺伝率 (0.39) は, Riley ら (2002) による 0.44 と同様な値であったが, 黒毛和種に対する文献値 (0.48~0.61 ; 川

田ら 2003 および Shojo ら 2006) や交雑牛に対する Splan ら (2002) による報告値 (0.58) より低い値であった。BMS ナンバーの遺伝率 (0.59) は、川田ら (2003) および Shojo ら (2006) による推定値と同様な値であったが (0.49~0.66 ; 川田ら 2003 および Shojo ら 2006), 褐毛和種に対する Hirooka ら (1996) による 0.40, 交雑牛に対する Splan ら (2002) による 0.35 およびブラーマンに対する Riley ら (2002) による 0.44 よりも高い値であった。品種, 記録数, モデルの効果などの違いがあるけれども, 黒毛和種における BMS ナンバーは他の品種と比較して, 高い遺伝性があることが示された。

画像解析形質の筋肉面積, 筋肉内脂肪面積割合, 全体の粒子のあらさおよび最大粒子のあらさの遺伝率 (\pm 標準誤差) は, 胸最長筋において, 0.46 ± 0.06 , 0.59 ± 0.06 , 0.47 ± 0.06 および 0.20 ± 0.05 で, 僧帽筋においては, 0.47 ± 0.06 , 0.57 ± 0.07 , 0.49 ± 0.07 および 0.13 ± 0.04 であった。画像解析形質に関する遺伝率の報告は少ないが, 大澤ら (2004a) は, 本研究と同一市場における 2000 年 4 月から 2002 年 3 月に出荷された黒毛和種における胸最長筋の遺伝率を筋肉内脂肪面積割合, 全体の粒子のあらさおよび最大粒子のあらさに対して, それぞれ 0.57, 0.34 および 0.09 であることを報告した。本研究における全体の粒子のあらさと最大粒子のあらさの遺伝率は, それらよりも高い値であったが, 筋肉内脂肪面積割合は同様な傾向を示した。また, 大澤ら (2004b) は, と畜月齢が 21 ヶ月齢である黒毛和種間接検定材料牛 404 頭に対して, 胸最長筋および僧帽筋の筋肉面積と筋肉内脂肪面積割合に対する遺伝率を報告した (胸最長筋; 0.59 および 0.61, 僧帽筋 ; 0.55 および 0.62)。本研究における筋肉内脂肪面積割合の遺伝率は, それらと近似していたが, 筋肉面積は低かった。両筋肉の筋肉内脂肪面積割合は, 枝肉格付形質における BMS ナンバーと同様に高い遺伝性が示されたが, 両筋肉の最大粒子のあらさは低い遺伝性を示した。筋肉中には, 大小様々な脂肪交雑粒子がランダムに分布しており, 筋肉を切る位置により脂肪交雑粒子の分布にばらつきが生じる。筋肉内脂肪面積割合や全体の粒子のあらさは, そういった多くの脂肪交雑粒子の平均的な値であるが, 最大粒子のあらさは, 脂肪交雑粒子のうち最大の粒子 1 つを取り上げた形質であり, 切開の位置によるばらつきの影響が大きく, 偶発的に極端に大きな脂肪交雑粒子が現れると考えられる。このことが最大粒子のあらさにおける低い遺伝率の原因の一つと思われる。

各形質に対する肥育農家の影響を調べるために, 表型分散に対する肥育農家の分散の割合を比較した。枝肉格付形質の枝肉重量 (0.15), BMS ナンバー (0.14), ばらの厚さ (0.12) および皮下脂肪厚 (0.11) ならびに画像解析形質の胸最長筋および僧帽筋に対する筋肉内脂肪面積割合 (0.14 および 0.09) で高い値を示した。これら推定値は, 兵庫県および鳥取県の黒毛和種に対する Shojo ら (2006) による報告値と同様な傾向であった (枝肉重量 : 0.14 と 0.09, BMS ナンバー : 0.09 と 0.07, ばらの厚さ : 0.09 と 0.08, および皮下脂肪厚 : 0.07 および 0.06)。したがって, これら形質は肥育農家などの環境の違いに影響されやすいことが示唆された。

枝肉格付形質と胸最長筋および僧帽筋における画像解析形質間の遺伝および表型相関

を表 4-3 に示した。BMS ナンバーと胸最長筋における筋肉内脂肪面積割合間の遺伝ならびに表型相関は非常に高い正の値が推定されたが (0.97 および 0.92), BMS ナンバーと僧帽筋における筋肉内脂肪面積割合間の相関は, 中程度から高い値であった (0.62 および 0.51)。BMS ナンバーと胸最長筋の筋肉内脂肪面積割合間の高い相関は, BMS ナンバーに対する格付が, 胸最長筋の脂肪交雑の割合に基づいて作成された脂肪交雑基準模型を用いて胸最長筋を中心に判断されることが原因であると思われる。BMS ナンバーと胸最長筋ならびに僧帽筋の全体の粒子のあらさ間の遺伝相関は, 中程度から低い正の値が推定された (0.66 および 0.23)。すなわち, 脂肪交雑重視の改良は, 筋肉内の脂肪交雑の割合を増加するが, 一般的に望ましくないあるいは脂肪交雑粒子もまた増加することが示唆された。

胸最長筋に対して, 皮下脂肪厚と筋肉内脂肪面積割合, 全体の粒子のあらさおよび最大粒子のあらさ間の遺伝相関は, 無あるいは低い負の値であった (-0.21, -0.11 および -0.03)。僧帽筋に対するそれら形質と皮下脂肪厚との相関もまた胸最長筋に対する結果と同様な傾向を示した (-0.19, -0.15 および -0.28)。多くの文献推定値は, 脂肪交雑と皮下脂肪厚の中程度から低い正の相関であった。例えば, マープリングスコアと皮下脂肪厚間の遺伝相関は, ブラマン種に対する Riley ら (2002) による 0.56, アメリカンショートホーン種に対する Pariacote ら (1998) による 0.26 が報告されている。また, 純粋種あるいは交雑種に対して Rios-Utrera ら (2005) は, と畜時齢や体重により補正したマープリングスコアと皮下脂肪厚間の遺伝相関を 0.34 および 0.35 とあると報告し, Shanks ら (2001) は, シンメンタル種およびシンメンタルの交雑種において, それぞれ 0.17 および 0.18 を報告した。しかしながら, 川田ら (2003) は, 黒毛和種において BMS ナンバーと皮下脂肪厚間で低い負の遺伝相関を報告し (-0.24), Hirooka ら (1996) は, 褐毛和種において負の低い遺伝相関を報告した (-0.12)。したがって, 和牛に対する筋肉の脂肪交雑を増加する改良は, 皮下脂肪の厚さを増加させず, それら形質は遺伝的に独立していることが示唆された。

胸最長筋と僧帽筋における各画像解析形質間の遺伝および表型相関を表 4-4 に示した。胸最長筋と僧帽筋間の遺伝相関は, 筋肉面積 (0.38), 筋肉内脂肪面積割合 (0.52), 全体の粒子のあらさ (0.39) および最大粒子のあらさ (0.60) に対して中程度から高い値が推定された。大澤ら (2004b) は, 胸最長筋と僧帽筋の筋肉面積間ならびに筋肉内脂肪面積割合間で中程度の正の遺伝相関を報告し (0.35 および 0.39), 本研究の結果と同様な傾向を示した。胸最長筋における筋肉内脂肪面積割合と全体の粒子のあらさならびに最大粒子のあらさ間の遺伝相関は, それぞれ 0.69 および 0.29 であり, 胸最長筋の筋肉内脂肪面積割合と僧帽筋の全体の粒子のあらさならびに最大粒子のあらさ間の遺伝相関は, 0.22 および -0.07 であった。これら推定値は, BMS ナンバーと全体の粒子のあらさおよび最大粒子のあらさ間の遺伝相関推定値と同様な傾向であった (表 4-3)。すなわち, 胸最長筋以外の筋肉を改良を行う場合, それら筋肉を詳細かつ客観的に評価する必要があるかもしれない。

両筋肉に対して, 全体の粒子のあらさと最大粒子のあらさ間の遺伝相関は, 高い値が推定された (胸最長筋: 0.85 および僧帽筋: 0.93)。この結果は, 全体の粒子のあらさに最も

大きい脂肪交雑粒子を含んでいるためであると考えられる。したがって、遺伝率の低い最大粒子のあらさは、全体の粒子のあらさにより、間接的に改良が可能である。

胸最長筋内の脂肪交雑の程度は、経済的に非常に重要な要因であるが、視覚により評価され、主観的な評価値になりがちであるため、より客観的な評価値が必要である。また、胸最長筋以外の部位も枝肉の価値を左右すると考えられることから、それら筋肉についても詳細に評価することが望ましいと思われる。本研究において評価された胸最長筋と僧帽筋の画像解析形質は、従来の牛枝肉取引規格より客観的かつ詳細な測定値であり、経済的にも有効な指標となりうる。加えて、画像解析形質の遺伝率は、中程度から高い値が推定され、脂肪交雑粒子のあらさと BMS ナンバーとの遺伝的関連性は望ましくなく、胸最長筋と僧帽筋の遺伝的関連性があまり強くないことから、両筋肉を独立に改良する必要があると思われる。また、様々な筋肉に対してこれら画像解析形質を用いることが、詳細かつ正確な遺伝評価やより効率の良い遺伝的改良に繋がるであろう。

本研究の結果は、黒毛和種の様々な筋肉に対して改良をするための育種計画に有効な遺伝的パラメータの推定値を求めた。黒毛和種去勢牛における胸最長筋と僧帽筋の画像解析形質は、中程度から高い遺伝性が示され、胸最長筋と僧帽筋間の中程度の遺伝的関連性が推定された。また、筋肉内脂肪面積割合と脂肪交雑粒子のあらさ間で望ましくない遺伝的関連性が推定されたことから、脂肪交雑重視の改良は、あらい脂肪交雑粒子を増加することが示唆された。本研究の結果から、枝肉横断面の画像解析による客観的評価は、育種計画において従来の主観的な格付の有効な代替法となりうるであろう。また、将来的により効率の良い改良を行う上で、僧帽筋もまた評価し、肉質の育種計画に含めるべきである。

表 4-1. 黒毛和種去勢牛に対すると畜時月齢, 近交係数, 枝肉格付形質および画像解析形質の基礎統計量 (n = 2,925)

形質	平均値	標準偏差	最小値	最大値
と畜時月齢 (月)	29.6	1.8	24.6	37.1
近交係数 (%)	1.1	2.1	0.0	28.1
枝肉格付形質				
枝肉重量 (kg)	445.0	48.0	257.0	609.0
胸最長筋面積 (cm ²)	56.8	7.8	31.0	88.0
ばらの厚さ (cm)	7.6	0.9	4.6	11.0
皮下脂肪厚 (cm)	2.3	0.7	0.6	5.8
歩留基準値 (%)	74.2	1.3	69.3	78.4
BMS ナンバー (1~12)	5.5	2.4	2.0	12.0
画像解析形質				
胸最長筋				
筋肉面積 (cm ²)	52.3	7.2	29.2	80.0
筋肉内脂肪面積割合 (%)	39.3	7.9	14.2	64.5
全体の粒子のあらさ	19.6	5.0	4.9	39.6
最大粒子のあらさ	4.8	2.7	0.7	26.6
僧帽筋				
筋肉面積 (cm ²)	46.6	8.4	18.9	84.1
筋肉内脂肪面積割合 (%)	36.3	7.5	15.1	60.3
全体の粒子のあらさ	18.9	4.5	3.2	35.8
最大粒子のあらさ	5.4	2.4	0.8	21.3

表 4-2. 枝肉格付形質および画像解析形質の相加的遺伝分散, 肥育農家の分散, 残差分散, 遺伝率推定値 (±標準誤差) および表型分散に対する肥育農家の分散の割合

形質	パラメータ*				
	σ_a^2	σ_f^2	σ_e^2	$h^2 \pm SE$	P_f
枝肉格付形質					
枝肉重量	827.34	333.05	1105.70	0.37 ± 0.05	0.15
胸最長筋面積	27.12	4.55	31.34	0.43 ± 0.06	0.07
ばらの厚さ	0.27	0.08	0.33	0.39 ± 0.05	0.12
皮下脂肪厚	0.11	0.06	0.35	0.22 ± 0.04	0.11
歩留基準値	0.67	0.17	0.91	0.38 ± 0.06	0.09
BMS ナンバー	3.34	0.78	1.57	0.59 ± 0.06	0.14
画像解析形質					
胸最長筋					
筋肉面積	25.2	3.66	25.84	0.46 ± 0.06	0.07
筋肉内脂肪面積割合	32.84	8.02	14.72	0.59 ± 0.06	0.14
全体の粒子のあらさ	12.08	1.87	11.86	0.47 ± 0.06	0.07
最大粒子のあらさ	1.53	0.22	5.75	0.20 ± 0.05	0.03
僧帽筋					
筋肉面積	32.12	3.09	33.65	0.47 ± 0.06	0.04
筋肉内脂肪面積割合	30.29	4.72	18.56	0.57 ± 0.07	0.09
全体の粒子のあらさ	10.55	0.42	10.57	0.49 ± 0.07	0.02
最大粒子のあらさ	0.8	0.03	5.23	0.13 ± 0.04	0.01

* σ_a^2 = 相加的遺伝分散; σ_f^2 = 肥育農家の分散; σ_e^2 = 残差分散; h^2 = 遺伝率; SE = 標準誤差; P_f = 表型分散に対する肥育農家の分散の割合

表 4-3. 枝肉格付形質と胸最長筋および僧帽筋における画像解析形質間の遺伝（表型）相関

形質	枝肉格付形質											
	枝肉重量		胸最長筋面積		ばらの厚さ		皮下脂肪厚		歩留基準値		BMS ナンバー	
胸最長筋												
筋肉面積	0.35	(0.45)	0.97	(0.91)	0.27	(0.33)	-0.18	(-0.10)	0.84	(0.70)	0.46	(0.43)
筋肉内脂肪面積割合	0.17	(0.15)	0.34	(0.37)	0.51	(0.27)	-0.21	(-0.02)	0.48	(0.34)	0.97	(0.92)
全体の粒子のあらさ	0.17	(0.28)	0.34	(0.34)	0.41	(0.34)	-0.11	(0.12)	0.41	(0.22)	0.66	(0.43)
最大粒子のあらさ	0.33	(0.12)	0.29	(0.08)	0.33	(0.12)	-0.03	(0.07)	0.22	(0.02)	0.18	(0.01)
僧帽筋												
筋肉面積	0.34	(0.47)	0.38	(0.41)	0.49	(0.48)	0.06	(0.10)	0.32	(0.25)	0.41	(0.31)
筋肉内脂肪面積割合	0.28	(0.19)	0.21	(0.13)	0.49	(0.24)	-0.19	(0.09)	0.32	(0.07)	0.62	(0.51)
全体の粒子のあらさ	-0.11	(0.16)	-0.02	(0.01)	0.18	(0.26)	-0.15	(0.16)	0.16	(-0.04)	0.23	(0.17)
最大粒子のあらさ	0.05	(0.08)	-0.16	(-0.02)	0.27	(0.14)	-0.28	(0.10)	0.09	(-0.04)	0.04	(0.04)

表 4-4. 胸最長筋および僧帽筋における画像解析形質間の遺伝ならびに表型相関*

	胸最長筋				僧帽筋			
	筋肉面積	筋肉内 脂肪面積割合	全体の粒子 のあらさ	最大粒子 のあらさ	筋肉面積	筋肉内 脂肪面積割合	全体の粒子 のあらさ	最大粒子 のあらさ
胸最長筋								
筋肉面積	-	0.36	0.39	0.24	0.38	0.16	-0.08	-0.26
筋肉内脂肪面積割合	0.35	-	0.69	0.29	0.32	0.52	0.22	-0.07
全体の粒子のあらさ	0.36	0.50	-	0.85	0.31	0.30	0.39	0.21
最大粒子のあらさ	0.08	0.05	0.61	-	0.26	0.18	0.57	0.60
僧帽筋								
筋肉面積	0.41	0.26	0.22	0.03	-	0.45	0.26	0.34
筋肉内脂肪面積割合	0.08	0.50	0.15	0.00	0.39	-	0.69	0.50
全体の粒子のあらさ	0.00	0.19	0.31	0.18	0.31	0.43	-	0.93
最大粒子のあらさ	-0.03	0.05	0.18	0.12	0.11	0.11	0.65	-

* 上三角が遺伝相関, 下三角が表型相関

第5章

北海道内の黒毛和種去勢牛における子牛市場出荷時体重と格付形質ならびに画像解析形質との遺伝的関連性

(本章は、日本畜産学会報, 79 (2) に掲載予定)

5.1 緒言

わが国の一般的な牛肉の生産体系は、繁殖農家と肥育農家の2戸以上の生産者が関わっている。繁殖農家は子牛を8~10ヵ月齢飼育した後、子牛市場などを通じ肥育素牛として肥育農家に販売する。肥育農家は子牛市場で血統や体重などを参考に肥育素牛を購入し、1~2年肥育したのち枝肉市場に出荷する。通常、子牛市場時において体重の大きい子牛が高値で取引される傾向にあるため、繁殖農家は子牛市場時の体重を重くする傾向にあり、過肥などが問題になっている。過肥の一つの目安としては、子牛市場出荷時の体重を出荷時日齢で除した日齢体重が用いられ、その値が大きい個体は過肥の傾向にあると言われる。また、肉用牛における育種改良は、枝肉成績に関して重点的に選抜がなされている一方、子牛市場時の唯一の成績である出荷時体重に関しては、ほとんど育種改良に利用されていないのが現状である。今後、肉用牛の初期発育を改良していく上で、子牛市場時の出荷時体重は重要な形質の一つであると考えられ、子牛市場出荷時体重と枝肉成績間との遺伝的関連性を明らかにする必要がある。

これまで、黒毛和種の子牛市場時の記録に関する母性遺伝効果の推定は、Kitamuraら(1999)やMukaiら(2000)によって報告された。Kitamuraら(1999)は、黒毛和種の子牛市場出荷時体重および枝肉体重に対して直接および母性遺伝効果を明らかにし、Mukaiら(2000)は生時体重と子牛市場出荷時体重について直接および母性遺伝効果の遺伝的パラメータを推定した。また、肥育開始時体重などの成長形質と枝肉格付形質に関する遺伝的関連性についていくつか報告がなされており、Mukaiら(1995)は、鹿児島県の産肉能力検定における種雄牛候補雄子牛の成長形質とフィールド記録から収集された枝肉格付形質間の遺伝的関連性について報告した。また、Azizら(2005)は、宮城県の黒毛和種の一集団について成長速度と枝肉格付形質間に関する直接および母性効果の遺伝的パラメータの推定を行った。しかしながら、子牛市場と枝肉市場の成績の遺伝的関連性については、Shojoら(2006)が鳥取県と兵庫県のデータについて報告した以外あまり報告がなされていない。

そこで本章は、北海道内の子牛市場ならびに枝肉市場で取引された黒毛和種去勢牛を用

い、子牛市場出荷時体重、格付形質および胸最長筋に関する画像解析形質間の遺伝的関連性を調べることを目的とした。

5.2 材料および方法

子牛市場出荷時体重の記録は、1999～2002年度にかけて北海道内の子牛市場で取引された黒毛和種去勢牛から収集された。また、格付成績ならびに枝肉横断面のデジタル画像の枝肉市場時の記録は、2000～2003年度にかけて北海道内の枝肉市場に上場された黒毛和種去勢牛から収集された。分析は、子牛市場出荷時体重、枝肉市場時の格付記録ならびに枝肉横断面画像のすべてを持つ個体を対象とした。なお、受精卵移植の個体は記録から除外した。また、子牛市場ならびに枝肉市場の開催年月、繁殖農家、肥育農家および種雄牛の各サブクラス内の記録数が3頭未満の記録、さらに子牛市場出荷時日齢または畜時日齢が平均 ± 3 標準偏差外の個体の記録は分析対象から除外した（子牛市場出荷時日齢および畜時日齢の平均値 \pm 標準偏差は、それぞれ 300.0 ± 28.2 日および 886.6 ± 45.2 日）。分析に使用した最終的な記録数は805頭であった。

分析には、子牛市場時の形質として子牛市場出荷時体重を、枝肉市場時の格付形質として枝肉重量、胸最長筋面積、ばらの厚さ、皮下脂肪厚、歩留基準値およびBMSナンバーをそれぞれ用いた。

枝肉左半丸の第6-7肋骨間で切開された枝肉横断面が、口田ら（2001a）により開発されたドーム型撮影装置を用いて撮影された。この撮影装置は、枝肉横断面に鉛直方向かつ一定距離から撮影でき、枝肉横断面画像から胸最長筋の面積などを正確に測定することが可能である。

分析に用いた画像解析形質は、胸最長筋内の脂肪交雑粒子の特徴を示す形質として、筋肉内脂肪面積割合、全体の粒子のあらさおよび最大粒子のあらさをを用いた。なお、本研究で取り上げた全体の粒子のあらさおよび最大粒子のあらさは、口田ら（2002）の報告における“あらさ指数 2 (5)”，“あらさ指数 4 (5)”に相当するものである。全体の粒子のあらさは、胸最長筋内の脂肪交雑粒子の全体の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。最大粒子のあらさは、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。

子牛市場出荷時体重の遺伝的パラメータの推定に考慮した要因は、子牛市場母数効果として子牛市場（2水準）および子牛市場開催年月（38水準）を用い、共変量として1～2次の子牛市場出荷時日齢を用い、変量効果として繁殖農家の効果（168水準）、直接遺伝効果、母性遺伝効果、母性環境効果ならびに残差を用いた。また、本研究で用いたようなデータサイズやデータ構造の場合、直接-母性遺伝効果間の共分散成分を含めた分散成分推定は困難である（ManiatisとPollott 2002）。そのため本研究においては直接-母性遺伝効果間の共

分散を0と制限し、子牛市場出荷時体重の各分散成分の推定を行った。格付形質および画像解析形質の遺伝的パラメータの推定に考慮した要因は、枝肉市場開催年月（40水準）および日齢体重クラス（6水準）を母数効果として用い、共変量として1～2次のと畜時日齢、1次の肥育期間を用い、変量効果として肥育農家の効果（32水準）、直接遺伝効果ならびに残差を用いた。ここで日齢体重クラスは、子牛市場時の子牛の過肥の影響を調べるために子牛市場出荷時体重を子牛市場出荷時日齢で除して求めた日齢体重を6つのサブクラス（0.8：～0.849kg/day, 0.9：0.850～0.949, 1.0：0.950～1.049, 1.1：1.050～1.149, 1.2：1.150～1.249および1.3：1.250～）に分類したものである。わが国における黒毛和種の牛群サイズ（繁殖農家や肥育農家の規模）は、比較的小さなものが多く、そのような場合、OikawaとSato（1996, 1997）は、群の効果を変量効果として含むモデルがそれらを母数効果として含むものより群効果を有意に補正可能であると報告した。本研究のデータセットにおいても比較的小さい牛群サイズ（繁殖農家ならびに肥育農家）を含んだため、本研究では繁殖農家ならびに肥育農家の効果を変量効果として扱った。分散成分の推定には、Misztalら（2002）により開発されたAIREMLF90プログラムを用いて行った。分散成分ならびに遺伝率は、単形質アニマルモデルにより推定し、子牛市場出荷時体重と各形質間の直接遺伝効果間の相関ならびに表型相関を2形質アニマルモデルにより推定した。血統記録は、可能な限り3代祖までさかのぼった結果、3,430頭となった。

5.3 結果および考察

子牛市場時および枝肉市場時の記録の基礎統計量を表1に示した。子牛市場出荷時日齢の平均と標準偏差は、 300.0 ± 28.2 日であり、出荷時体重の平均と標準偏差は、 302.0 ± 26.4 kgであった。Shojoら（2006）は、兵庫県ならびに鳥取県の黒毛和種集団において、子牛市場出荷時日齢と出荷時体重の平均と標準偏差をそれぞれ 278.0 ± 26.62 日および 246.2 ± 28.86 日、 242.6 ± 27.7 kgおよび 257.3 ± 33.55 kgと報告した。北海道内の繁殖農家は、子牛市場への出荷が、兵庫県や鳥取県によりも遅いことが示された。また、本研究における枝肉市場時のと畜日齢は、 886.6 ± 45.2 日齢であり、兵庫県ならびに鳥取県におけるそれは、それぞれ 967.4 ± 46.11 日齢ならびに 859.1 ± 53.43 日齢であった（Shojoら 2006）。したがって、北海道内の肥育農家の枝肉市場への出荷は、兵庫県よりも3ヵ月ほど早く、鳥取県よりも1ヵ月ほど遅いことが示された。

日齢体重の各サブクラス内の記録数を表2に示した。北海道内の子牛市場に出荷される子牛の日齢体重は、 1.0 kg/day付近が最も多く、 0.8 kg/day未満や 1.2 kg/day以上になると極端に数が減ることが示された。

子牛市場出荷時体重の各分散成分推定値、直接遺伝率（±標準誤差）、母性遺伝率（±標準誤差）および表型分散に対する農家分散の割合を表3に示した。本研究において子牛市場出荷時体重の直接遺伝率ならびに母性遺伝率は、それぞれ 0.15 ± 0.07 および 0.12 ± 0.07 と推

定された。黒毛和種の子牛市場出荷時体重に関する直接ならびに母性遺伝率はいくつか報告されており、Kitamuraら（1999）は、島根県における子牛市場出荷時体重の直接遺伝率ならびに母性遺伝率をそれぞれ0.22ならびに0.06と報告し、Shojoら（2006）は兵庫県において0.22ならびに0.07、鳥取県において0.37ならびに0.15と報告した。Mukaiら（2000）は、岩手県、岐阜県および鹿児島県において直接遺伝率を0.25～0.30、母性遺伝率を0.10～0.18と報告した。これら文献値と比較して、本研究における直接遺伝率は低い傾向にあったが、母性遺伝率は、文献値の範囲内であった。本研究の結果から、北海道内の黒毛和種集団における子牛市場出荷時体重に対して、母性遺伝効果は、直接遺伝効果と同程度に影響しており、また、北海道内の黒毛和種集団において母性遺伝効果の重要性が高いと推察された。また、表型分散に対する繁殖農家分散の割合は0.08と推定され、Shojoら（2006）が報告した値よりも低い値であった（兵庫県：0.16、鳥取県：0.17）。本研究において推定された表型分散に対する繁殖農家分散の割合は、直接ならびに母性遺伝率と比較し低い値であったが、子牛市場出荷時体重に対する繁殖農家の影響は、遺伝的な要因に次いで重要な要因であると思われる。

格格付形質ならびに画像解析形質の各分散成分推定値、遺伝率（±標準誤差）および表型分散に対する農家分散の割合を表4に示した。格格付形質において、枝肉重量、胸最長筋面積、ばらの厚さ、皮下脂肪厚、歩留推定値の遺伝率は、それぞれ中程度から低い値が推定され（ 0.29 ± 0.07 , 0.43 ± 0.10 , 0.48 ± 0.10 , 0.22 ± 0.08 および 0.37 ± 0.09 ）、BMSナンバーの遺伝率は枝肉格格付形質の中で最も高い値が推定された（ 0.74 ± 0.12 ）。枝肉重量の遺伝率（0.29）は、これまでに報告された黒毛和種における文献値（0.33～0.64；向井 1994；守屋ら 1994；川田ら 2003；Shojoら 2006）より低い値であった。BMSナンバーの遺伝率（0.74）は、兵庫県における1988年度から1991年度までの記録から得られた現集団における守屋ら（1994）の0.64、岩手県南地方の黒毛和種集団における川田ら（2003）の0.66やShojoら（2006）による兵庫県の0.61と同程度の値が推定されたが、Shojoら（2006）による鳥取県の遺伝率（0.49）や向井（1994）による1988年から1994年に全国24道府県で収集された約70,000頭からの値（0.46）よりも高い値であった。

画像解析形質において、筋肉内脂肪面積割合ならびに全体の粒子のあらさの遺伝率は高い値が推定され（ 0.80 ± 0.12 および 0.70 ± 0.13 ）、最大粒子のあらさにおいては 0.17 ± 0.07 と低い値が推定された。画像解析形質に関する遺伝率の報告は少ないが、口田ら（2001b）は約700頭の黒毛和種去勢牛集団に対して筋肉内脂肪面積割合で0.59と報告し、大澤ら（2004b）は、約400頭の黒毛和種の間接検定材料牛に対して0.61を報告し、また、大澤ら（2004a）は、本研究と同じ枝肉市場において2000年度から2001年度にかけて出荷された2,998頭の黒毛和種に対して筋肉内脂肪面積割合、全体の粒子のあらさおよび最大粒子のあらさで、それぞれ0.57、0.34および0.09を報告した。本研究の画像解析形質の遺伝率は、これら推定値と似た傾向を示したものの、全体的に高い値が推定された。また、最大粒子のあらさは、筋肉内脂肪面積割合や全体の粒子のあらさに比べて低い遺伝率が示された。筋肉中には、

大小様々な脂肪交雑粒子がランダムに分布しており、筋肉を切る位置により脂肪交雑粒子の分布にばらつきが生じると思われる。筋肉内脂肪面積割合や全体の粒子のあらさは、そういった多くの脂肪交雑粒子の平均的な値であるが、最大粒子のあらさは、その中の脂肪交雑粒子のうち最大の粒子1つを取り上げた形質であり、切開の位置によるばらつきの影響が大きく、偶発的に極端に大きな脂肪交雑粒子が現れると考えられる。したがって、このことが最大粒子のあらさにおける低い遺伝率の原因の一つと思われる。

格付形質ならびに画像解析形質における表型分散に対する肥育農家分散の割合は、格付形質で枝肉重量、ばらの厚さおよびBMSナンバーにおいて、それぞれ高い値が推定され(0.10, 0.09および0.09)、画像解析形質ではBMSナンバーと強い関連性のある筋肉内脂肪面積割合において0.12と高い値が推定された。兵庫県ならびに鳥取県における黒毛和種集団に対して、Shojoら(2006)は枝肉重量(0.14および0.09)、ばらの厚さ(0.09および0.08)、BMSナンバー(0.09および0.07)において本研究に近似した値を報告した。したがって、これら形質は、肥育農家の影響をその他の形質よりも大きく受けることが示唆された。

子牛市場出荷時体重と格付形質ならびに画像解析形質間の直接遺伝相関(±標準誤差)ならびに表型相関を表5に示した。格付形質において、子牛市場出荷時体重と枝肉重量の直接遺伝相関において、 0.55 ± 0.18 と正の高い値が推定された。Shojoら(2006)は、子牛市場出荷時体重と枝肉重量の遺伝相関について兵庫県ならびに鳥取県の黒毛和種集団において、それぞれ正の高い値(0.87および0.57)を報告し、本研究の推定値と一致した。また、Mukaiら(1995)は、鹿児島県の産肉能力検定における種雄牛候補雄子牛の成長形質とフィールド記録から収集された枝肉格付形質間の遺伝的関連性の研究において、検定開始時から終了時までの体重と枝肉重量間の遺伝相関を本研究と同様に高い値(0.87~0.95)であると報告した。

子牛市場出荷時体重と胸最長筋面積の直接遺伝相関は、高い負の値(-0.76 ± 0.15)が推定されたが、Mukaiら(1995)による検定開始時から終了時の体重と胸最長筋面積間の低い正の直接遺伝相関(0.19~0.26)、Shojoら(2006)により報告された子牛市場出荷時体重と胸最長筋面積間の中程度から低い正の直接遺伝相関(兵庫県:0.45, 鳥取県:0.18)およびAzizら(2005)による宮城県で生産された黒毛和種集団の肥育開始時体重と胸最長筋面積間の低い正の直接遺伝相関(0.15)と大きく異なっていた。

子牛市場出荷時体重と歩留推定値との間においても非常に高い負の直接遺伝相関が推定され(-0.76 ± 0.14)、Mukaiら(1995)による検定開始時から終了時の体重と歩留推定値間の低い正の直接遺伝相関(0.16~0.21)およびShojoら(2006)が報告した歩留推定値における子牛市場出荷時体重との無あるいは低い正の直接遺伝相関(兵庫県;0.16, 鳥取県;0.00)と大きく異なっていた。しかしながら、Azizら(2005)は、肥育開始時体重と歩留推定値間で低い負の直接遺伝相関(-0.14)を、Splanら(2002)も交雑牛に対して離乳時体重と部分肉割合間で低い負の直接遺伝相関(-0.12)を報告し、本研究と比較して低い値ではあったものの同様な負の傾向を示した。

子牛市場出荷時体重と皮下脂肪厚間の直接遺伝相関においては、標準誤差が他の形質と比較して大きいものの、 -0.08 ± 0.31 と非常に低い値が推定された。Shojoら（2006）はそれら形質間の直接遺伝相関を兵庫県で0.07、鳥取県で-0.08とほぼ無相関を報告し本研究の値と近似した。また、Mukaiら（1995）は検定開始時から終了時の体重と皮下脂肪厚間で負の直接遺伝相関（ $-0.39 \sim -0.27$ ）を、Azizら（2005）は、肥育開始時体重と皮下脂肪厚間で中程度の負の直接遺伝相関（ -0.49 ）を報告した。したがって、黒毛和種の若齢時の体重と皮下脂肪厚間では、遺伝的に無あるいは低い負の関連性があることが示唆されたが、Splanら（2002）は交雑牛に対して離乳時体重と脂肪厚間の低い正の直接遺伝相関（0.26）を報告した。

子牛市場出荷時体重とBMSナンバー間の直接遺伝相関は負の値が推定された（ -0.38 ± 0.19 ）。Mukaiら（1995）により検定開始時から終了時の体重とBMSナンバー間で低い負の直接遺伝相関が報告され（ $-0.10 \sim -0.04$ ）、Shojoら（2006）も、子牛市場出荷時体重とBMSナンバー間で低い負の値を報告した（兵庫県： -0.10 、鳥取県： -0.10 ）。Splanら（2002）は、離乳時体重とマーブリングスコア間で低い負の値（ -0.12 ）を報告し、Azizら（2005）は、肥育開始時体重とBMSナンバー間で無の相関（0.04）を報告した。肉用牛において若齢時の体重が重い個体は、遺伝的に枝肉時のBMSナンバーが低い傾向にあることが示唆された。

子牛市場出荷時体重と画像解析形質間の直接遺伝相関において、全ての形質間で中程度から高い負の値が推定された（筋肉内脂肪面積割合、全体の粒子のあらさおよび最大粒子のあらさにおいて、それぞれ -0.34 ± 0.19 、 -0.70 ± 0.15 および -0.47 ± 0.22 ）。すなわち、子牛市場出荷時体重が重い個体は、脂肪面積割合が低くなる傾向にあるが、あらい脂肪交雑粒子も減少することが示された。

各形質に対する日齢体重1.0kg/dayのクラスを基準にした各日齢体重クラスの最良線形不偏推定量（BLUE）を表6に示した。格付形質において枝肉重量、胸最長筋面積、ばらの厚さ、皮下脂肪厚および歩留基準値は、日齢体重が重いほど値が高くなる傾向にあるが、BMSナンバーは日齢体重1.0kg/dayのクラスが最も高い値で、低すぎても高すぎても低くなる傾向にあった。画像解析形質においては筋肉内脂肪面積割合ならびに全体の粒子のあらさにおいてBMSナンバーと同様な傾向を示した。よって、枝肉の大きさに関する形質は、日齢体重が増加するとともに高くなる傾向にあるが、牛枝肉の肉質に関わる脂肪交雑に関しては、日齢体重1.0kg/day付近が最も望ましい傾向にあることが示された。

わが国における黒毛和種集団は、地域ごとに品種の成立過程が異なり、黒毛和種の育種は主として県単位で行っている。したがって、地域ごとに黒毛和種集団の遺伝的背景が異なっている。そのため地域ごとに黒毛和種の遺伝的特性を知ることは、育種改良を行っていく上で重要なことである。北海道内黒毛和種集団の記録を用いた本研究の結果、子牛市場出荷時体重に対して直接遺伝効果と母性遺伝効果は、同程度に影響していることが示された。したがって、北海道内において子牛市場出荷時体重の改良を行う場合、直接遺伝効

果のみで行うのではなく、母性遺伝効果についても評価を行い子牛市場出荷時体重の改良に利用することが重要であると思われる。また、子牛市場出荷時体重と枝肉成績との関連性において、子牛市場出荷時の体重が遺伝的に重い個体は枝肉重量は増加するが、胸最長筋面積や歩留推定値が遺伝的に減少する傾向にあることが示唆された。また、子牛市場出荷時体重と全体の粒子のあらさおよび最大粒子のあらさ間で負の遺伝相関が推定されたことから、子牛市場出荷時体重が重い個体は、胸最長筋内のあらい脂肪交雑粒子が減少するという一般的に好ましい遺伝的関連性があることが示されたものの、BMSナンバーや筋肉内脂肪面積割合と子牛市場出荷時体重間で負の遺伝相関が推定されたことから、上記のような個体は、脂肪交雑も減少してしまうことが示された。通常、黒毛和種の子牛市場において、出荷時体重が重い個体が、肥育農家に好まれ、子牛取引価格が高い傾向にあるが、子牛市場出荷時体重を増加する改良を行う場合、BMSナンバーなどの脂肪交雑に関して好ましくない傾向にあるため注意が必要である。しかしながら、本研究における子牛市場出荷時体重に対する遺伝的パラメータの推定には、直接-母性遺伝効果間の共分散は考慮していないため、今後さらなるデータ数の増加と直接-母性遺伝効果間の共分散を含めた分析を行う必要があるであろう。

日齢体重は、性別や黒毛和種の系統により差があるものの一般的に過肥の一つの目安に用いられ、去勢牛においては1.0kg/day付近が標準的であるといわれている。本研究の結果から日齢体重が増加することで歩留に関わる形質が高くなる傾向にあることが示された。しかしながら、脂肪交雑においては、1.0kg/dayが最も高い値となり、1.0kg/dayから離れるほどに値が低くなる傾向にあり、過肥の傾向のある個体は、肉質の面で不利であることが示唆された。過肥の傾向にある個体は、繁殖農家によって育成期間に濃厚飼料を多給される傾向にあるが、現在の穀物飼料価格高騰の状況において、濃厚飼料多給は繁殖農家にとって好ましいことではない。また、そのような個体は肥育農家が子牛市場から導入した後に、余分な脂肪を落とすための飼い戻しの期間が長くなる傾向にあることと、本研究の結果で示されたように過肥の傾向にある個体は、脂肪交雑などの肉質の面において不利であることから、肥育農家にとってそのような個体は望ましくないと考えられる。したがって、現在の子牛市場における体重の大きい子牛が高値で取引される傾向にあること、繁殖農家が子牛市場時の体重を重くするために子牛を過肥の状態にすることは、繁殖農家と肥育農家ともに有益なことではない。すなわち、繁殖農家は子牛の育成期において濃厚飼料を多給せず、適切な粗飼料給与を行うこと、肥育農家は過肥の傾向にある個体が将来的な枝肉成績に有益ではないことを知り、適切に発育している個体を選ぶことが重要である。さらなる詳細解析のためには、子牛市場時において体重だけでなく、体高などの体尺測定が実施可能な環境を作ることも必要であると思われる。

表 5-1. 子牛市場時ならびに枝肉市場時の記録および画像解析形質の基礎統計量 (n=805)

形質	平均値	標準偏差	最小値	最大値
子牛市場時				
子牛市場出荷時日齢 (日)	300.0	28.2	225.0	382.0
子牛市場出荷時体重 (kg)	302.0	26.4	206.0	399.0
枝肉市場時				
肥育期間 (日)	586.6	46.8	430.0	730.0
と畜時日齢 (日)	886.6	45.2	767.0	1020.0
枝肉重量 (kg)	447.5	46.8	285.0	601.0
胸最長筋面積 (cm ²)	57.1	7.8	31.0	84.0
ばらの厚さ (cm)	7.7	0.8	4.6	10.6
皮下脂肪厚 (cm)	2.4	0.7	1.0	5.3
歩留基準値 (%)	74.2	1.3	69.3	78.3
BMS ナンバー (1~12)	5.8	2.6	2.0	12.0
画像解析形質				
筋肉内脂肪面積割合 (%)	40.5	8.0	16.0	64.5
全体の粒子のあらさ	19.9	5.0	7.3	39.6
最大粒子のあらさ	4.8	2.7	0.8	20.1

表 5-2. 日齢体重の各サブクラス内の記録数

日齢体重クラス* (kg/day)	記録数
0.8 (~0.849kg/day)	46
0.9 (0.850~0.949)	191
1.0 (0.950~1.049)	268
1.1 (1.050~1.149)	213
1.2 (1.150~1.249)	73
1.3 (1.250~)	14

* 日齢体重 = 子牛市場出荷時体重 ÷ 子牛市場出荷時日齢

表 5-3. 子牛市場出荷時体重の各分散成分推定値, 直接遺伝率 (\pm 標準誤差), 母性遺伝率 (\pm 標準誤差) および表型分散に対する農家分散の割合

パラメータ*	子牛市場出荷時体重
σ_a^2	88.25
σ_m^2	70.80
σ_c^2	54.40
σ_f^2	49.28
σ_e^2	338.82
$h_a^2 \pm SE$	0.15 \pm 0.07
$h_m^2 \pm SE$	0.12 \pm 0.07
P_f	0.08

* σ_a^2 = 直接遺伝分散; σ_m^2 = 母性遺伝分散; σ_c^2 = 母性永続的環境分散; σ_f^2 = 繁殖農家分散; σ_e^2 = 残差分散; h_a^2 = 直接遺伝率; h_m^2 = 母性遺伝率; P_f = 表型分散に対する農家分散の割合

表 5-4. 枝肉格付形質ならびに画像解析形質の各分散成分推定値, 遺伝率 (\pm 標準誤差) および表型分散に対する農家分散の割合

形質	パラメータ*				
	σ_a^2	σ_f^2	σ_e^2	$h_a^2 \pm SE$	P_f
枝肉格付形質					
枝肉重量	454.93	161.96	954.60	0.29 \pm 0.07	0.10
胸最長筋面積	24.73	0.00	32.96	0.43 \pm 0.10	0.00
ばらの厚さ	0.29	0.05	0.26	0.48 \pm 0.10	0.09
皮下脂肪厚	0.10	0.03	0.33	0.22 \pm 0.08	0.06
歩留基準値	0.63	0.04	1.04	0.37 \pm 0.09	0.02
BMS ナンバー	4.66	0.56	1.11	0.74 \pm 0.12	0.09
画像解析形質					
筋肉内脂肪面積割合	50.50	7.49	5.50	0.80 \pm 0.12	0.12
全体の粒子のあらさ	18.35	1.22	6.67	0.70 \pm 0.13	0.05
最大粒子のあらさ	1.18	0.00	5.90	0.17 \pm 0.07	0.00

* σ_a^2 = 直接遺伝分散; σ_f^2 = 肥育農家分散; σ_e^2 = 残差分散; h_a^2 = 直接遺伝率; SE = 標準誤差; P_f = 表型分散に対する農家分散の割合

表 5-5. 子牛市場出荷時体重と枝肉格付形質および画像解析形質間の直接遺伝相関 (r_d) ならびに表型相関 (r_p)

形質	$r_d \pm SE^*$	r_p
枝肉格付形質		
枝肉重量	0.55±0.18	0.41
胸最長筋面積	-0.76±0.15	0.07
ばらの厚さ	0.03±0.24	0.20
皮下脂肪厚	-0.08±0.31	0.12
歩留基準値	-0.76±0.14	-0.06
BMS ナンバー	-0.38±0.19	0.02
画像解析形質		
筋肉内脂肪面積割合	-0.34±0.19	0.01
全体の粒子のあらさ	-0.70±0.15	-0.06
最大粒子のあらさ	-0.47±0.22	-0.04

* SE は標準誤差

表 5-6. 各形質に対する日齢体重 1.0kg/day のクラスを基準にした各日齢体重クラスの最良線形不偏推定量 (BLUE)

形質	日齢体重クラス*					
	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3
枝肉格付形質						
枝肉重量	-53.70	-22.79	0.00	20.91	47.03	60.19
胸最長筋面積	-7.42	-1.97	0.00	0.55	4.31	4.56
ばらの厚さ	-0.60	-0.20	0.00	0.24	0.43	0.66
皮下脂肪厚	-0.09	-0.03	0.00	0.06	-0.04	0.08
歩留基準値	-0.60	-0.10	0.00	-0.05	0.27	0.19
BMS ナンバー	-0.66	-0.18	0.00	-0.45	-0.13	-0.62
画像解析形質						
筋肉内脂肪面積割合	-1.89	0.00	0.00	-1.26	-0.29	-1.43
全体の粒子のあらさ	-2.00	-0.17	0.00	-0.41	-0.24	-2.78
最大粒子のあらさ	-0.17	0.09	0.00	0.18	-0.03	-1.08

* 日齢体重 = 子牛市場出荷時体重 ÷ 子牛市場出荷時日齢, 0.8 : ~0.849kg/日, 0.9 : 0.850~0.949, 1.0 : 0.950~1.049, 1.1 : 1.050~1.149, 1.2 : 1.150~1.249 および 1.3 : 1.250~.

第6章

黒毛和種枝肉横断面の画像解析形質と発育性ならびに飼料利用性間の遺伝的関連性

6.1 緒言

わが国における黒毛和種雄牛の産肉能力検定は、直接検定ならびに間接検定といった2段階の検定が行われている。直接検定は、候補種雄牛の増体量や飼料効率を調査して、その候補種雄牛の産肉能力のうち発育性や飼料利用性を評価し選抜を行う。間接検定は、直接検定により選抜された候補種雄牛の後代牛を一定期間肥育し、その後代牛の枝肉成績により候補種雄牛の産肉能力のうち特に枝肉成績を評価し選抜を行う。

1991年の牛肉輸入自由化に伴い、黒毛和種の育種改良は、輸入牛肉に対抗するために以前にも増して脂肪交雑を重視した改良が行われるようになった。また、脂肪交雑は、枝肉単価を決定する重要な要因でもある。しかしながら、近年、原油価格の上昇やバイオエタノールの需要増などが原因で、家畜の主要なエサの1つであるとうもろこしなどの穀物飼料の価格が高騰している。牛肉生産者にとって飼料価格の高騰は、収益に直接影響してくるので、より低コストな飼養を可能とするための発育性や飼料利用性の改善は、脂肪交雑と同様に重要な要因である。

これまでに、和牛の発育性や飼料利用性と枝肉成績間の遺伝的パラメータの推定は、いくつか報告されている。Mukaiら(1995)やAzizら(2005)は、黒毛和種の発育性と枝肉成績間の遺伝的関連性について報告し、Hirookaら(1996)やKahiら(2007)は、褐毛和種の発育性と枝肉成績の遺伝的パラメータの推定を行った。また、Shojoら(2005)は、複数の検定場における産肉能力検定の記録を用い黒毛和種の発育性と飼料利用性間の遺伝的関連性について報告した。また、発育性、飼料利用性および枝肉成績間の報告は、岡山県や宮城県で実施された直接検定ならびに間接検定の記録を用いたOikawaら(2000)やUchidaら(2001)により報告されている。しかしながら、これら報告の多くは、直接検定をうけた候補種雄牛と、直接検定で選抜された候補種雄牛の後代を肥育した間接検定や枝肉市場の記録を用いた分析であり、同一個体の飼養期間中における発育性や飼料利用性と枝肉成績間の遺伝的関連性については、あまり分析が行われていない。また、従来の牛枝肉格付で利用される脂肪交雑に関する評価値(BMSナンバー)は、胸最長筋内の脂肪交雑の総合的な指数であり、脂肪交雑の詳細な特徴(例えば、脂肪交雑粒子のあらさや細かさなど)は反映されておらず、発育性や飼料利用性と胸最長筋内の脂肪交雑粒子がどのような遺伝的関連性にあるか明らかにはなっていない。

そこで、本研究では、(社)家畜改良事業団の間接検定をうけた黒毛和種去勢牛を用い、

枝肉横断面の画像解析より得られた胸最長筋における詳細な画像解析形質ならびに枝肉格付形質と、発育性ならびに飼料利用性間の遺伝的関連性を総合的に比較することを目的とした。

6.2 材料および方法

本研究で用いた材料牛は、2004年度から2007年度にかけて（社）家畜改良事業団の肉用牛産肉能力平準化促進事業による間接検定をうけた黒毛和種去勢材料牛1,492頭である。なお、2004年度は北海道産肉能力検定場の記録のみを用い、2005年度以降は、北海道産肉能力検定場および広島産肉能力検定場の2検定場の記録を用いた。これら個体の平均肥育開始時日齢は、 275.8 ± 7.3 日齢であり、全ての個体の肥育期間は、364日であった。したがって、平均と畜月齢は、約21ヵ月齢となる。

本研究において、分析対象とした形質は、間接検定材料牛の肥育期間内における発育性を表す発育形質、摂取飼料の利用性や効率性を表す飼料利用形質およびと畜時の枝肉成績を表す枝肉格付形質ならびに枝肉横断面の画像解析により得られる胸最長筋の画像解析形質である。発育形質としては、肥育開始時体重、肥育終了時体重、364日肥育期間の一日当たり増体重（ $(\text{肥育終了時体重} - \text{肥育開始時体重}) \div 364$ 日）、肥育開始時体高、肥育終了時体高および364日肥育期間の一日当たり成長量（ $(\text{肥育終了時体高} - \text{肥育開始時体高}) \div 364$ 日）の計6形質を用い、飼料利用形質としては、364日肥育期間における濃厚飼料摂取量、濃厚飼料要求率、DCP要求率およびTDN要求率の計4形質を用いた。要求率とは、体重1kg増加するのに必要とする飼料の量のことであり、値が小さいほど飼料効率が良いこととなる。なお、DCP要求率およびTDN要求率は、濃厚飼料摂取量、粗飼料摂取量、肥育開始時体重および肥育終了時体重を用いた重回帰式で簡易的に計算された値を用いた〔DCP要求率 = $(\text{濃厚飼料摂取量} \times 0.103 + \text{粗飼料摂取量} \times 0.05) \div (\text{肥育終了時体重} - \text{肥育開始時体重})$; TDN要求率 = $(\text{濃厚飼料摂取量} \times 0.733 + \text{粗飼料摂取量} \times 0.54) \div (\text{肥育終了時体重} - \text{肥育開始時体重})$ 〕。また、粗飼料摂取量については、群ごとの測定値であったため、分析には含めなかった。枝肉格付形質としては枝肉重量、胸最長筋面積、ばらの厚さ、皮下脂肪厚、筋間脂肪厚およびBMSナンバーの計6形質を分析に用い、画像解析形質としては口田ら（2006）が開発したBeefAnalyzer II（早坂理工株式会社、札幌）を用いて計算される形質のうち、胸最長筋内の脂肪交雑の特徴を示す形質として筋肉内脂肪面積割合、全体の粒子のあらさ、最大粒子のあらさおよび細かさ指数を用い、ロース形状の特徴を示す形質として慣性主軸短径・長径比および形状の複雑さの計6形質を用いた。画像解析形質についての詳細な説明は以下に示す。また、各発育形質、飼料利用形質、枝肉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。

2004年度および2005年度において箱型牛枝肉横断面撮影装置（口田ら 2005）を用い、2006年度および2007年度においては、ミラー型牛枝肉横断面撮影装置（HK-333、早坂

理工株式会社, 札幌) の 2 種類の撮影装置を用いて枝肉左半丸の第 6~7 肋骨間で切開された枝肉横断面の撮影を行った。両撮影装置ともに同じデジタルカメラ (Kodak DCS Pro 14n, Kodak 社製, 東京) が使用されており, 1cm 当たり約 100 画素とほぼ同画質の枝肉横断面画像が撮影可能である。また, 枝肉横断面を密着させて撮影を行うため外部からの光の影響を受けず, 常に一定距離からの撮影が可能である。両撮影装置により撮影された枝肉横断面画像を BeefAnalyzer II (早坂理工株式会社, 札幌) を用いて上述した 6 つの画像解析形質を計算した。

筋肉内脂肪面積割合は, 胸最長筋内にある脂肪交雑粒子の面積割合を示し, 全体の粒子のあらさおよび最大粒子のあらさは, 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。全体の粒子のあらさは, 胸最長筋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。最大粒子のあらさは, 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, 胸最長筋内に含まれる脂肪交雑のうち, 面積が $0.01\sim 0.5\text{cm}^2$ の範囲内にあるものを小ザシとし, 小ザシの個数を胸最長筋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。慣性主軸短径・長径比は, 胸最長筋の慣性主軸の第 1 あるいは第 2 主軸のうちの短軸長および長軸長を用い, 短軸長を長軸長で割ることで計算された (口田ら 2006)。値が 1 に近づくほど胸最長筋の形状は円に近く, 値が小さいほど胸最長筋形状が扁平を呈する。形状の複雑さは, 胸最長筋の周囲長を凸包周囲長で割ることで計算され (口田ら 2006), 値が大きいほど胸最長筋の形状が複雑であることを示し, 例えば, 値が極端に大きいと胸最長筋上部が大きく凹んだ, いわゆるハート芯のような形状を呈する可能性がある。

各形質に対する遺伝的パラメータの推定に用いた要因は, 母数効果として検定場・回・期の効果 (56 水準), 個体の出生地の効果 (20 水準) を用い, 肥育開始時日齢を 1 次の共変量として用いた。変量効果は, 相加的遺伝子効果ならびに残差の効果を用いた。遺伝的パラメータの推定は, Misztal ら (2002) により開発された AI アルゴリズムを利用した AIREMLF90 プログラムを用いて行った。分散成分ならびに遺伝率は, 単形質アニマルモデルにより推定し, 各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した。血統記録は, 可能な限りさかのぼった結果 10,242 頭となった。また, 親が不明の個体には, 親の性別に基づき仮想父親と仮想母親の 2 つの遺伝グループを設定し, 個体の近交係数が血縁係数行列に考慮された。

6.3 結果および考察

発育形質, 飼料利用形質, 枝肉格付形質および画像解析形質の遺伝率推定値を表 1 に示

した。発育形質における遺伝率は、一日当たり成長量 (0.24) を除き中程度から高い遺伝率が推定された (0.41~0.58)。Oikawa ら (2000) は、岡山県において実施された直接検定ならびに間接検定の開始時体重、終了時体重ならびに一日当たり増体重の遺伝率を 0.20~0.38 と報告し、Aziz ら (2005) は、宮城県農業公社で生産された黒毛和種集団において、肥育開始時体重、肥育終了時体重および一日当たり増体重の遺伝率を、それぞれ 0.55, 0.69 および 0.46 と報告した。Mukai ら (1995) は、鹿児島県で実施された直接検定の検定開始時および終了時の体重ならびに体高と一日当たり増体重の遺伝率を 0.19~0.36 と報告し、Shojo ら (2005) は、直接検定の終了時体重、終了時体高および一日当たり増体重の遺伝率を、それぞれ 0.65, 0.63 および 0.40 と報告した。発育形質の遺伝率は、分析に用いる集団の違いにより差があるものの、中程度から高い遺伝性を示し、十分に改良が可能である。

飼料利用形質は全形質において高い遺伝率が推定された (0.50~0.53)。飼料利用形質の遺伝率についての過去の報告は、直接検定の記録を用いて Oikawa ら (2000)、Uchida ら (2001)、Shojo ら (2005) などにより報告されている。Oikawa ら (2000) は、濃厚飼料摂取量および TDN 要求率の遺伝率を、それぞれ 0.18 および 0.11 と報告したが、Uchida ら (2001) および Shojo ら (2005) は、濃厚飼料摂取量において本研究と同様な値 (それぞれ 0.43 および 0.53) を、濃厚飼料、DCP および TDN の各要求率においては、本研究より低い値 (0.14~0.34) を報告した。本研究の飼料利用性の遺伝率と文献値の大きな差は、本分析で用いた間接検定材料牛の粗飼料摂取量が、群ごとに測定されていることに起因することが考えられるが、候補種雄牛の育成を行う直接検定と候補種雄牛の後代の肥育を行う間接検定の違いも影響していると推察される。

枝肉格付形質の遺伝率は、各形質において中程度から高い値が推定された (0.47~0.71)。画像解析形質の遺伝率は、脂肪交雑に関わる形質において脂肪面積割合で BMS ナンバーと同様に 0.70 と高い値が推定され、全体の粒子のあらさ (0.45) および細かさ指数で (0.43) で中程度な値が推定されたが、最大粒子のあらさの遺伝率は 0.08 と低い値が推定された。胸最長筋形状に関わる形質において慣性主軸短径・長径比で 0.40 と中程度の遺伝率が推定され、形状の複雑さでは 0.20 と低い値が推定された。枝肉格付形質の遺伝率はこれまでに多数報告されており、BMS ナンバーは黒毛和種において一般的に高い値が報告されている (0.49~0.70 ; Mukai ら 1995 ; Oikawa ら 2000 ; Uchida ら 2001 ; 川田ら 2003)。

画像解析形質に関する遺伝率の報告はあまりないが、Osawa ら (2008) は、北海道内の黒毛和種集団に対して筋肉内脂肪面積割合、全体の粒子のあらさおよび最大粒子のあらさにおいて、それぞれ 0.59, 0.47 および 0.20 と本研究と同様な傾向を報告した。胸最長筋形状に関わる形質においては、大澤ら (2004) が短径・長径比ならびに形状の複雑さの遺伝率を、それぞれ 0.32 および 0.18 と報告し、本研究と同様な傾向であった。本研究で求めたような胸最長筋に関する画像解析形質は、中程度から高い遺伝性を示し、遺伝的改良が可能であることが示された。

飼料利用形質と発育形質間の遺伝ならびに表型相関を表 2 に示した。濃厚飼料摂取量と

各発育形質間の遺伝相関は、中程度から高い正の遺伝相関が推定され (0.34~0.75)、濃厚飼料要求率と各発育形質間の遺伝相関は、負の値が推定された (-0.59~-0.08)。DCP 要求率ならびに TDN 要求率と各発育形質間の遺伝相関は、濃厚飼料要求率と同様な傾向を示し、開始時体重、開始時体高および終了時体高において負の低いあるいは中程度の値が推定され (DCP 要求率: -0.38~-0.14, TDN 要求率: -0.44~-0.17)、終了時体重、一日当たり増体重および一日当たり成長量において負の高い値が推定された (DCP 要求率: -0.72~-0.61, TDN 要求率: -0.77~-0.66)。Uchida ら (2001) は、濃厚飼料要求率、DCP 要求率ならびに TDN 要求率と開始時体重、終了時体重および一日当たり増体重間において本研究と異なる傾向を示したが (濃厚飼料要求率: -0.13~0.67, DCP 要求率: -0.22~0.59, TDN 要求率: 0.26~0.46)、直接検定の記録を用いた Oikawa ら (2000) は、濃厚飼料摂取量と開始時体重、終了時体重および一日当たり増体重間で正の遺伝相関 (0.55~0.69)、TDN 要求率において負の中程度から高い遺伝相関 (開始時体重: -0.24, 終了時体重: -0.34, 一日当たり増体重: -0.51) と本研究と同様な傾向を報告した。また、Shojo ら (2005) は、濃厚飼料摂取量と一日当たり増体重間の遺伝相関で本研究と同様な正の値 (0.58) を報告し、濃厚飼料要求率、DCP 要求率および TDN 要求率と終了時体重、終了時体高および一日当たり増体重間においても本研究と同様な負の遺伝相関を報告した (終了時体重: -0.29~-0.23, 終了時体高: -0.28~-0.15, 一日当たり増体重: -0.63~-0.30)。これらのことから、特に一日当たり増体重と各要求率間の遺伝相関は負の高い値であり、一日当たり増体重を改良することで間接的に飼料要求率が改善可能であると考えられる。また、黒毛和種において体重や体型が遺伝的に大きな個体は、濃厚飼料摂取量が多いが、体重を 1kg 増加するのに必要な飼料摂取量は、少ないことが示唆された。いいかえれば、一日当たり増体重が高くなる改良は、絶対値として濃厚飼料摂取量が増加するものの、要求率は減少する傾向にあると考えられる。

発育形質と枝肉格付形質および画像解析形質間の遺伝ならびに表型相関を表 3 に示した。肉量に関する形質と各発育形質間において一日当たり成長量と皮下脂肪厚間を除き (-0.25)、全ての組み合わせで正の値が推定された (枝肉重量: 0.43~0.98, 胸最長筋面積: 0.27~0.54, ばらの厚さ: 0.20~0.63, 皮下脂肪厚: 0.07~0.26, 筋間脂肪: 0.15~0.49)。歩留に関する形質と発育形質間の遺伝相関は、これまでにいくつか報告されているが、本研究の結果と異なる傾向を示す文献値がいくつかあり、特に皮下脂肪厚において様々な値が報告されている。例えば、Mukai ら (1995) は、直接検定時の開始時体重、終了時体重および一日当たり増体重と、一般枝肉市場から収集された皮下脂肪厚間で -0.39~-0.14 の負の遺伝相関を報告し、Oikawa ら (2000) は、間接検定の記録を用いた分析において、皮下脂肪厚と開始時体重、終了時体重および一日当たり増体重間で非常に高い正の遺伝相関を報告した (0.74~0.97)。Aziz ら (2005) は、宮城県で生産された黒毛和種集団において、皮下脂肪厚と開始時体重間で -0.49 と中程度の負の遺伝相関を報告した。皮下脂肪厚と発育性間の遺伝相関が大きく変動している原因は、分析に用いた黒毛和種集団の遺伝的構成や飼

養環境の違いが大きいと思われる。

BMS ナンバーと各発育形質間の遺伝相関は、無あるいは低い遺伝相関が推定された (-0.13~0.16)。Mukai ら (1995) や Aziz ら (2005) は、BMS ナンバーと開始時体重、終了時体重および一日当たり増体重間で本研究と同様な無あるいは低い遺伝相関を報告した (Mukai ら : -0.04~-0.01 ; Aziz ら : 0.04~0.17)。筋肉内脂肪面積割合と各発育形質間の遺伝相関が、BMS ナンバーと同様に無あるいは低い値が推定されたが (-0.03~0.17)、全体の粒子のあらさにおいて、BMS ナンバーや筋肉内脂肪面積割合よりも高い正の値が推定された (0.17~0.37)。また、最大粒子のあらさにおいても開始時体高および終了時体重を除き、正の遺伝相関が推定された (0.17~0.38)。細かさ指数は、体重に関する各形質間において負の遺伝相関が推定されたが (-0.29~-0.22)、体高に関する各形質間においては無あるいは低い負の値が推定された (-0.15~0.06)。したがって、黒毛和種において体重や体高を大きくしたり一日当たり増体重を増すような種雄牛選抜を行う場合、BMS ナンバーには大きな変動は無いが、あらい脂肪交雑粒子が増加したり、細かい脂肪交雑粒子が減少するという一般的に好まれない方向に改良が進む可能性が示唆された。

胸最長筋の形状を表す慣性主軸短径・長径比と開始時および終了時の体高間の遺伝相関は、それぞれ-0.26 および-0.18 と負の値が推定されたが、その他の形質間では無相関が推定された。また、形状の複雑さにおいては各発育形質間と中程度の正の遺伝相関が推定されたことから (0.20~0.54)、体型が大きくなるような改良を行った場合、胸最長筋の形状が複雑になるというあまり好ましくない遺伝的関連性が確認された。

飼料利用形質と枝肉格付形質および画像解析形質間の遺伝ならびに表型相関を表 4 に示した。歩留に関わる枝肉重量、胸最長筋面積、ばらの厚さおよび筋間脂肪厚は、濃厚飼料摂取量間で中程度から高い正の遺伝相関が推定され(それぞれ0.71, 0.25, 0.54 および0.30)、濃厚飼料、DCP および TDN の各要求率間と中程度から高い負の遺伝相関が推定された(濃厚飼料 : -0.45~-0.20, DCP : -0.58~-0.29, TDN : -0.63~-0.33)。しかしながら、皮下脂肪厚は、濃厚飼料摂取量間と中程度の正の遺伝相関 (0.42) が推定されたが、各要求率とは無あるいは低い遺伝相関が推定された (0.06~0.13)。したがって、濃厚飼料摂取量を下げる改良を行う場合、枝肉重量や胸最長筋面積などが減少するものの、飼料要求率を向上させる改良を行う場合、これら形質が増加する遺伝的関連性が示された。

脂肪交雑に関する形質においては、BMS ナンバーと各飼料利用形質間で無の遺伝相関が推定され (-0.01~0.03)、BMS ナンバーと非常に関連性の強い筋肉内脂肪面積割合と各飼料利用形質間においても BMS ナンバーと同様な傾向を示した (-0.04~0.13)。しかしながら、脂肪交雑粒子のあらさの程度を表す全体の粒子のあらさおよび最大粒子のあらさにおいては、濃厚飼料摂取量間で中程度の正の遺伝相関が推定され (0.41 および0.52)、各要求率間では無あるいは低い値が推定された (全体の粒子のあらさ : -0.16~-0.07, 最大粒子のあらさ : -0.03~0.10)。細かい脂肪交雑粒子の程度を表す細かさ指数においては、濃厚飼料摂取量ならびに各要求率間で、それぞれ-0.23 ならびに0.19~0.25 の遺伝相関が推定された。

本研究の結果、BMS ナンバーは飼料利用性と遺伝的な関連性が低い、飼料利用性の向上する改良を行う場合、あらい脂肪交雑粒子が増加し、細かい脂肪交雑粒子が減少するという一般的に好ましくない傾向が見られた。これら遺伝的関連性は、本研究で用いたデータに増体系と肉質系の種雄牛がともに含まれていることが影響している可能性があるが、飼料利用性の改良を行う場合、脂肪交雑の詳細な形状との関連性に注意が必要である。

胸最長筋の形状に関する形質においては、慣性主軸短径・長径比と各飼料利用形質間で0.11~0.19 と低い正の遺伝相関が推定され、両者の関連性が低いことが示された。形状の複雑さにおいても各要求率間で無のあるいは低い負の遺伝相関が推定されたが(-0.16~0.00)、濃厚飼料摂取量との間で中程度の正の遺伝相関が推定された(0.46)。したがって、濃厚飼料摂取量が多い個体は、胸最長筋形状が複雑になる遺伝的傾向にあることが示唆された。

本研究の結果、発育性、飼料利用性ならびに枝肉成績間は、次のような遺伝的関連性があることが示された。体重や体型が大きな個体は濃厚飼料摂取量が多いが、飼料要求率は改善する傾向にあった。発育性および飼料利用性と BMS ナンバー間では遺伝的な関連性がみられなかったが、体重や体型が大きな個体や濃厚飼料摂取量が多い個体は、脂肪交雑粒子があらくなり、細かい脂肪交雑粒子が減少する望ましくない遺伝的関連性があった。したがって、発育性や飼料利用性の改良を行う場合、従来の格付項目である BMS ナンバーのみでは、あらい脂肪交雑粒子が多い種雄牛や、細かい脂肪交雑粒子が少ない種雄牛が選抜される危険性が示唆された。本研究で用いた画像解析手法を利用することで、格付項目のみでは把握しきれない肉質の特徴が測定可能となり、これら形質を産肉能力検定などに利用することで、より効率的な種雄牛選抜が可能となるであろう。

本研究で用いた個体のと畜月齢は、約 21 ヶ月齢と若齢である。牛の筋肉内脂肪交雑形成能力のピークは、24 ヶ月齢位であるといわれており(岡田 1991)、本研究で用いた個体の脂肪交雑は、まだ発達途中であると推察される。したがって、本研究のような若齢牛の結果と、一般的な枝肉市場に出荷される月齢(27~32 ヶ月齢)まで肥育した結果とでは、脂肪交雑と発育性や飼料利用性間の遺伝的な関連性が異なるかもしれない。さらには、黒毛和種集団の血縁構成(たとえば、肉質系や増体系など)によっても遺伝的な関連性が異なる可能性が考えられる。今後、現場後代検定や一般肥育された個体の記録などを用いて様々な黒毛和種集団に対する分析を行うことも必要であろう。

表 6-1. 黒毛和種去勢牛における発育形質, 飼料利用形質, 枝肉格付形質および画像解析形質の基礎統計量および遺伝率推定値 (n=1,492)

形質	平均値	標準偏差	最小値	最大値	遺伝率*
発育形質					
肥育開始時体重 (kg)	262.72	31.23	178	375	0.41
肥育終了時体重 (kg)	597.80	58.76	442	783	0.57
一日当たり増体重 (kg/day)	0.92	0.11	0.54	1.29	0.51
肥育開始時体高 (cm)	113.48	3.62	103	126	0.48
肥育終了時体高 (cm)	134.93	3.76	124	147	0.58
一日当たり成長量 (mm/day)	0.59	0.07	0.38	0.85	0.24
飼料利用形質					
濃厚飼料摂取量 (kg)	2,555.89	266.22	1,665.7	3,609.1	0.53
濃厚飼料要求率	7.67	0.70	5.18	11.43	0.50
DCP 要求率	0.91	0.08	0.64	1.31	0.50
TDN 要求率	6.96	0.63	4.94	10.08	0.50
枝肉格付形質					
枝肉重量 (kg)	353.55	37.8	255	476	0.60
胸最長筋面積 (cm ²)	47.76	5.88	32	69	0.47
ばらの厚さ (cm)	6.46	0.77	4.1	9.4	0.59
皮下脂肪厚 (cm)	2.05	0.53	0.7	4.3	0.61
筋間脂肪厚 (cm)	6.20	0.87	3.2	9.1	0.63
BMS ナンバー (1~12)	9.02	1.70	4	12	0.71
画像解析形質					
筋肉内脂肪面積割合 (%)	34.52	7.35	16.33	59.42	0.70
全体の粒子のあらさ	11.83	4.28	1.04	33.3	0.45
最大粒子のあらさ	3.46	2.25	0.28	26.21	0.08
細かさ指数 (粒子数/cm ²)	3.12	0.48	1.39	5.03	0.43
慣性主軸短径・長径比	0.64	0.07	0.45	0.95	0.40
形状の複雑さ	1.09	0.02	1.06	1.33	0.20

* 遺伝率推定値の標準誤差は, 0.04~0.07 の範囲であった.

表 6-2. 発育形質と飼料利用形質間の遺伝相関 (r_a) ならびに表型相関 (r_p)

形質	飼料利用形質							
	濃厚飼料摂取量		濃厚飼料要求率		DCP 要求率		TDN 要求率	
	$r_a \pm SE^*$	r_p	$r_a \pm SE$	r_p	$r_a \pm SE$	r_p	$r_a \pm SE$	r_p
発育形質								
肥育開始時体重	0.74±0.07	0.41	-0.26±0.11	-0.03	-0.38±0.11	-0.09	-0.44±0.10	-0.12
肥育終了時体重	0.75±0.05	0.70	-0.48±0.08	-0.43	-0.61±0.07	-0.54	-0.67±0.06	-0.58
一日当たり増体重	0.71±0.05	0.71	-0.59±0.07	-0.60	-0.72±0.05	-0.71	-0.77±0.04	-0.75
肥育開始時体高	0.38±0.09	0.32	-0.08±0.11	-0.10	-0.14±0.10	-0.15	-0.17±0.10	-0.17
肥育終了時体高	0.42±0.08	0.40	-0.27±0.09	-0.28	-0.34±0.09	-0.34	-0.36±0.09	-0.37
一日当たり成長量	0.34±0.12	0.17	-0.59±0.11	-0.31	-0.64±0.10	-0.33	-0.66±0.10	-0.34

*SE は標準誤差

表 6-3. 発育形質と枝肉格付形質ならびに画像解析形質間の遺伝相関 (r_a) ならびに表型相関 (r_p)

形質	発育形質											
	肥育開始時体重		肥育終了時体重		一日当たり増体重		肥育開始時体高		肥育終了時体高		一日当たり成長量	
	$r_a \pm SE^*$	r_p	$r_a \pm SE$	r_p	$r_a \pm SE$	r_p	$r_a \pm SE$	r_p	$r_a \pm SE$	r_p	$r_a \pm SE$	r_p
枝肉格付形質												
枝肉重量	0.91±0.03	0.74	0.98±0.00	0.97	0.92±0.02	0.85	0.50±0.07	0.56	0.55±0.06	0.60	0.43±0.12	0.16
胸最長筋面積	0.46±0.09	0.32	0.54±0.07	0.52	0.52±0.08	0.51	0.27±0.10	0.21	0.35±0.09	0.29	0.34±0.12	0.15
ばらの厚さ	0.60±0.07	0.44	0.63±0.06	0.58	0.57±0.07	0.51	0.25±0.10	0.22	0.25±0.09	0.22	0.20±0.13	0.03
皮下脂肪厚	0.22±0.10	0.24	0.26±0.09	0.24	0.24±0.09	0.17	0.22±0.10	0.16	0.07±0.09	0.09	-0.25±0.12	-0.08
筋間脂肪厚	0.40±0.09	0.26	0.49±0.07	0.39	0.49±0.08	0.36	0.15±0.10	0.10	0.18±0.09	0.07	0.20±0.12	-0.03
BMS ナンバー	-0.13±0.10	0.04	-0.03±0.09	0.13	0.04±0.09	0.15	0.12±0.09	0.09	0.16±0.09	0.12	0.13±0.12	0.04
画像解析形質												
筋肉内脂肪面積割合	-0.03±0.10	0.05	0.07±0.09	0.14	0.13±0.09	0.17	0.13±0.09	0.09	0.17±0.09	0.10	0.16±0.11	0.02
全体の粒子のあらさ	0.27±0.11	0.11	0.36±0.09	0.22	0.37±0.09	0.24	0.17±0.11	0.06	0.22±0.10	0.06	0.20±0.13	0.01
最大粒子のあらさ	0.26±0.20	0.05	0.34±0.18	0.07	0.38±0.19	0.07	-0.33±0.19	-0.02	-0.20±0.18	-0.03	0.17±0.24	-0.02
細かさ指数	-0.22±0.11	0.00	-0.28±0.10	-0.04	-0.29±0.10	-0.06	0.06±0.11	0.06	-0.01±0.10	0.01	-0.15±0.13	-0.06
慣性主軸短径・長径比	0.05±0.12	0.11	0.02±0.10	0.12	-0.02±0.11	0.09	-0.26±0.11	0.00	-0.18±0.10	-0.02	0.01±0.14	-0.04
形状の複雑さ	0.30±0.15	0.07	0.34±0.13	0.14	0.37±0.13	0.16	0.20±0.14	0.05	0.36±0.13	0.06	0.54±0.16	0.03

*SE は標準誤差

表 6-4. 飼料利用形質と枝肉格付形質ならびに画像解析形質間の遺伝相関 (r_a) ならびに表型相関 (r_p)

形質	飼料利用形質							
	濃厚飼料摂取量		濃厚飼料要求率		DCP 要求率		TDN 要求率	
	$r_a \pm SE^*$	r_p	$r_a \pm SE$	r_p	$r_a \pm SE$	r_p	$r_a \pm SE$	r_p
枝肉格付形質								
枝肉重量	0.71±0.05	0.71	-0.45±0.08	-0.38	-0.58±0.07	-0.49	-0.63±0.06	-0.53
胸最長筋面積	0.25±0.10	0.41	-0.44±0.09	-0.25	-0.48±0.09	-0.31	-0.49±0.08	-0.34
ばらの厚さ	0.54±0.07	0.51	-0.20±0.10	-0.16	-0.29±0.09	-0.24	-0.33±0.09	-0.27
皮下脂肪厚	0.42±0.08	0.25	0.13±0.10	0.04	0.08±0.10	0.01	0.06±0.10	-0.01
筋間脂肪厚	0.30±0.08	0.37	-0.43±0.09	-0.10	-0.47±0.09	-0.16	-0.48±0.09	-0.18
BMS ナンバー	0.03±0.09	0.16	-0.01±0.09	-0.04	0.00±0.09	-0.06	0.00±0.09	-0.07
画像解析形質								
筋肉内脂肪面積割合	0.13±0.09	0.18	-0.02±0.09	-0.03	-0.04±0.09	-0.06	-0.04±0.09	-0.07
全体の粒子のあらさ	0.41±0.09	0.28	-0.07±0.11	-0.02	-0.14±0.10	-0.07	-0.16±0.10	-0.08
最大粒子のあらさ	0.52±0.17	0.11	0.10±0.19	0.04	0.01±0.19	0.02	-0.03±0.19	0.02
細かさ指数	-0.23±0.10	-0.08	0.19±0.11	0.00	0.23±0.11	0.01	0.25±0.11	0.02
慣性主軸短径・長径比	0.11±0.11	0.13	0.19±0.11	0.02	0.15±0.11	-0.01	0.13±0.11	-0.02
形状の複雑さ	0.46±0.12	0.16	0.00±0.14	-0.04	-0.11±0.14	-0.07	-0.16±0.14	-0.08

*SE は標準誤差

第7章

北海道内黒毛和種集団の枝肉格付形質ならびに胸最長筋の画像解析形質の遺伝的趨勢

7.1 緒言

わが国における黒毛和種雄牛の産肉能力検定は、候補種雄牛の増体量や飼料効率を調査して、その候補種雄牛の発育性や飼料利用性を評価し選抜を行う直接検定と、直接検定により選抜された候補種雄牛の後代牛を一定期間肥育し、その後代牛の枝肉成績により候補種雄牛の枝肉成績を評価し選抜を行う間接検定といった2段階の検定が行われている。また、これら産肉能力検定は一般的に、各地域ごとに行われており、地域ごとの育種改良計画に基づき黒毛和種の育種改良を行っている。

わが国において、牛枝肉の格付項目のうち脂肪交雑は、牛枝肉単価を決定する重要な要因でもあり、八巻ら（1996）や広岡ら（1998）は、格付項目の中でも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ことを報告した。黒毛和種の脂肪交雑に対する改良は、以前から行われているものの、1991年の牛肉輸入自由化に伴い、輸入牛肉に対抗するために以前にも増して脂肪交雑を重視して行われるようになった。しかしながら、経済的に重要な形質である脂肪交雑に関する格付は、肉眼で評価されており、主観的な評価値になりがちである。また、近年、より収益性の高い枝肉の生産が求められる傾向にあり、肉質とともに肉量の点からも改良を行う必要性が指摘されている（日本食肉格付協会2003）。

川田ら（2003）は岩手県南地方における黒毛和種集団の産肉性形質に対して、遺伝的趨勢を報告し、Sasakiら（2006）は、大分県ならびに兵庫県の黒毛和種集団および熊本県の褐毛和種集団の枝肉格付形質に対して遺伝的趨勢を報告した。しかしながら、格付項目以外のより詳細な肉質に関わる遺伝的趨勢についての報告はなされていない。

そこで本章では、北海道内の枝肉市場に出荷された黒毛和種を用いて、枝肉格付形質とともに枝肉横断面の画像解析により得られた胸最長筋の画像解析形質の遺伝的趨勢を明らかにすることを目的とした。

7.2 材料および方法

2000年4月～2007年3月にかけて北海道内の枝肉市場に上場された黒毛和種8,936頭から枝肉格付記録ならびに枝肉横断面画像が収集された。収集された記録に対して、と畜時日

齢が平均±3標準偏差外の個体の記録，枝肉市場開催日，年度×肥育農家の組み合わせおよび種雄牛の各サブクラス内の記録数が3頭未満の記録は分析対象から除外した．分析に使用された最終的な記録数は，7,728頭となった．

分析対象とした形質は，枝肉市場時の格付記録から枝肉重量，胸最長筋面積，ばらの厚さ，皮下脂肪厚，歩留基準値およびBMSナンバーの6形質を枝肉格付形質として用いた．全ての枝肉格付形質は，牛枝肉取引規格（日本食肉格付協会 1996）に従い日本食肉格付協会の資格を有した格付員によって評価された．

枝肉左半丸の第 6-7 肋骨間の枝肉横断面画像は，口田ら（2001a, 2006）により開発されたドーム型撮影装置ならびにミラー型撮影装置を用いて撮影された．ドーム型撮影装置は，2000 年 4 月から 2005 年 11 月まで使用され，ミラー型撮影装置は，2005 年 12 月から 2007 年 3 月まで使用された．なお，ミラー型撮影装置に使用されたデジタルカメラは 2005 年 1 月から 2005 年 8 月までの間，Dimage A2（800 万画素，Konika Minolta 社製，東京）であり，それ以降は，DCS Pro 14n（1,350 万画素，Kodak 社製，東京）である．枝肉横断面画像の胸最長筋に対して，口田ら（2006）が開発した BeefAnalyzer II により，脂肪交雑に関わる形質として，筋肉内脂肪面積割合，全体の粒子のあらさおよび最大粒子のあらさの 3 形質，筋肉形状に関わる形質として，慣性主軸短径・長径比および形状の複雑さの 2 形質，合計 5 つの画像解析形質を算出し，分析対象形質とした．全体の粒子のあらさならびに最大粒子のあらさの算出は，細線化処理（第 2 章参照）が伴うため，解像度が異なる 2 種類のデジタルカメラが使用されている場合，同じ細線化回数では単純に比較することが難しい．口田ら（2005）は，ドーム型撮影装置（1cm あたり 60 画素）と箱型撮影装置（1cm あたり 100 画素）の 2 種類の撮影装置により撮影された枝肉横断面画像を用い，同じ細線化回数を使用して算出された全体の粒子のあらさや最大粒子のあらさに対して以下の近似式を用いることで，同一形質として扱えることを報告した．

$$y_a = y_b \times y_{a_pixel} / y_{b_pixel}$$

ここで， y_a はドーム型撮影装置により算出された画像解析形質， y_b は箱型撮影装置により算出された画像解析形質， y_{a_pixel} はドーム型撮影装置の 1cm あたりの画素数（60）および y_{b_pixel} はドーム型撮影装置の 1cm あたりの画素数（100）である．本研究で使用した 2 種類の撮影装置の 1cm あたりの画素数は，ドーム型撮影装置において 1cm あたり 60 画素であるが，ミラー型撮影装置は，前述したように解像度の異なる 2 種類のデジタルカメラが使用されており，それぞれ 1cm あたり約 80 ならびに 100 画素である．そこで，ミラー型撮影装置の撮影期間における全体の粒子のあらさならびに最大粒子のあらさをドーム型撮影装置と同等に比較できるように，これら値を上記の式の y_{b_pixel} に代入して変換した値を分析に用いた．表 7-1 に枝肉格付形質ならびに画像解析形質の基礎統計量を示した．

枝肉格付形質ならびに画像解析形質に対する遺伝的パラメータの推定を，Misztal ら

(2002)により開発された AI アルゴリズムを利用した AIREMLF90 プログラムを用いて単形質アニマルモデルにより行った。血統記録は、可能な限り遡った結果、28,032 頭となった。また、親が未知の個体には、個体の出生年ならびに親の性別に基づいた遺伝グループを設定し、個体の近交係数が血縁係数行列に考慮された。

$$y = X\beta + Za + Wf + e$$

ここで、 y は記録のベクトルであり、 β は母数効果のベクトル、 a は相加的遺伝効果のベクトル、 f は肥育農家効果（変量効果）のベクトル、 e は残差効果のベクトルである。 X 、 Z 、および W は、 β 、 a および f を y に関連付ける計画行列である。わが国における黒毛和種の牛群サイズ（肥育農家の規模）は、比較的小さなものが多く、そのような場合、Oikawa と Sato (1996, 1997) は、群の効果を変量効果として含むモデルがそれらを母数効果として含むものより群効果を有意に補正可能であると報告した。本研究のデータセットにおいても比較的小さい牛群サイズ（肥育農家）を多く含んだため、本研究では繁殖農家ならびに肥育農家の効果を変量効果として扱った。なお、母数効果には、性別（2 水準）、市場開催日（147 水準）、市場開催年-月（81 水準）、共変量としてと畜時日齢の 1~2 次、クラス変数としてと畜時月齢（13 水準）を考慮し、変量効果として含めた肥育農家の効果は、年度×肥育農家の相互作用（616 水準）あるいは肥育農家の効果（209 水準）を考慮し、これら要因の組み合わせた 8 つのモデル式を用いて遺伝的パラメータの推定を行った。各モデル式に含めた効果を表 7-2 に示した。育種価を推定する最適なモデル式の検討を行うために、AIREMLF90 プログラム (Misztal ら 2002) により最終的に得られた制限付き対数尤度を用いた赤池情報量規準 (AIC) ならびにベイズ情報量規準 (BIC) を用いた。AIC ならびに BIC は、モデルが非常に多くの要因を含むことに対してペナルティを課するものであり、値が小さいほどモデルが当てはまっていることを示す。AIC ならびに BIC の式を以下に記述する。

$$AIC = -2 \times \text{Log}L + 2 \times p$$

$$BIC = -2 \times \text{Log}L + p \times \ln(n - \text{rank}(X))$$

ここで、 $\text{Log}L$ は制限付き対数尤度、 p は推定される分散成分の数 (=3)、 n は記録数 (=7,728)、そして $\text{rank}(X)$ は母数効果の計画行列の階数を示している。

育種価の推定は、AIC ならびに BIC を比較して全形質に対して最も当てはまりの良いモデルを用いて行った。育種価の推定には、AIREMLF90 により得られた分散成分を用いて、GIBBS Sampling 法による GIBBS2F90 プログラム (Misztal ら 2002) を用いて行った。育種価の推定には、20,000 回の反復を行い、burn-in を 10,000 に設定し、burn-in 後の 10,000 サンプルにおける各個体の育種価の事後平均を各個体の予測育種価とし、事後標準偏差の 2

乗を各個体の予測育種価の予測誤差分散とした。遺伝的趨勢を示すために、種雄牛および繁殖雌牛の予測育種価を、それぞれ出生年毎に平均した値を用いて行った。なお、遺伝的趨勢を示すのに用いた種雄牛ならびに繁殖雌牛は、筋肉内脂肪面積割合の予測育種価の正確度が 0.4 以上ある個体のみを用いて行った。正確度の計算は、以下の式を用いた。

$$r_i = \sqrt{1 - \frac{PEV_i}{\sigma_a^2}}$$

ここで、 r_i は、 i 番目の個体の予測育種価の正確度、 PEV_i は、 i 番目の個体の予測育種価の予測誤差分散、 σ_a^2 は相加的遺伝分散である。値が大きいほど育種価の信頼性が高いことを表す。

7.3 結果および考察

枝肉格付形質および画像解析形質の各モデルの AIC ならびに BIC を表 7-3 ならびに表 7-4 に示した。本分析において、AIC と BIC におけるモデルの当てはまりの傾向は、全て同じ結果を示した。多くの形質においてモデル 1 が最も当てはまっていることが示されたが、皮下脂肪厚においてのみモデル 1 の当てはまりが最も悪かった。しかしながら、最大粒子のあらさおよび形状の複雑さにおいて、モデル 1 は 2 番目に当てはまっていた。ゆえに、本研究においてはモデル 1 を用いて枝肉格付形質と画像解析形質の育種価の推定を行った。

枝肉格付形質ならびに画像解析形質におけるモデル 1 により推定された各分散成分推定値、遺伝率ならびに表型分散に対する肥育農家の分散の割合を表 7-5 に示した。

枝肉格付形質の遺伝率は、全ての形質において中程度から高い値が推定され (0.38~0.53)、特に BMS ナンバーの遺伝率は高い値が推定された (0.53)。枝肉格付形質の遺伝率はこれまでに多数報告されており、BMS ナンバーは黒毛和種において一般的に高い値が推定されている (0.49~0.70; Mukai ら 1995; Oikawa ら 2000; Uchida ら 2001; 川田ら 2003)。BMS ナンバーは、経済的にも重要な要因であり、育種改良を行う上で、BMS ナンバーの高い遺伝性は、高い選抜反応を期待することができる。画像解析形質の遺伝率は、BMS ナンバーと非常に高い関連性のある筋肉内脂肪面積割合において 0.61 と高い遺伝率が推定され、全体の粒子のあらさならびに慣性主軸短径・長径比の遺伝率は、中程度の値が推定された (0.45 および 0.35)。しかしながら、最大粒子のあらさならびに形状の複雑さの遺伝率は、それぞれ 0.16 および 0.15 と低い値が推定された。筋肉内脂肪面積割合や全体の粒子のあらさと比較して、最大粒子のあらさの低い遺伝率は、大小様々な脂肪交雑粒子がランダムに筋肉中に分布しており、筋肉を切る位置により脂肪交雑粒子の分布にばらつきが生じると考えられる。脂肪面積割合や全体の粒子のあらさは、横断面上の脂肪交雑粒子の平均的な値であるが、最大粒子のあらさは、横断面上の脂肪交雑粒子のうち最大の粒子 1 つを

取り上げた形質であるため、切開の位置によるばらつきの影響を大きく受け、そのことが、最大粒子のあらさにおける低い遺伝率の原因の一つと思われる。

モデル1による分散成分推定値を利用して推定された筋肉内脂肪面積割合の予測育種価の正確度が0.4以上の種雄牛および繁殖雌牛の出生年ごとの頭数を表7-6に示した。正確度が0.4以上の個体数は、種雄牛と繁殖雌牛においてそれぞれ、種雄牛1,732頭中502頭ならびに繁殖雌牛18,572頭中10,054頭であった。出生年ごとの種雄牛頭数は、1969年以前において種雄牛数が少なく、また、2002年も種雄牛頭数が1頭であった。繁殖雌牛においては、1970年以前の頭数が少なかった。そこで、種雄牛においては、1970年から2001年までの記録を用い、繁殖雌牛においては1971年から2002年までの記録を用いて出生年ごとの予測育種価の平均値の推移を遺伝的趨勢として扱った。

枝肉格付形質および画像解析形質に対する種雄牛と繁殖雌牛それぞれの出生年ごとの平均予測育種価の推移を図7-1および図7-2に示した。種雄牛の平均予測育種価の推移は、出生年あたりの個体数が繁殖雌牛よりも少ないために繁殖雌牛と比較して年ごとの変動が大きかった。しかしながら、種雄牛と繁殖雌牛の平均予測育種価の推移は、多くの形質において同様な傾向を示した。繁殖雌牛において、枝肉重量の平均予測育種価は、1982年頃まで減少傾向にあったが、それ以降、年々増加傾向にあった。胸最長筋面積の平均予測育種価は、1983年以降に増加傾向にあり、ばらの厚さは、1990年以降に増加傾向にあった。しかしながら、皮下脂肪厚の平均予測育種価は、年ごとに減少傾向にあった。また、枝肉重量、胸最長筋面積、ばらの厚さおよび皮下脂肪厚によって算出される歩留基準値の平均予測育種価は、1989年頃から増加傾向を示した。一般的に、BMSナンバーは、枝肉格付形質の中で特に重視した改良が行われており、1987年頃から増加傾向にあったが、1990年頃から急激な増加傾向を示した。現在の牛枝肉取引規格は、1988年に改正されBMSナンバーの判定が12段階となった。また、以前から脂肪交雑について改良がなされていたが、1991年の牛肉輸入自由化に伴い、輸入牛肉に対抗するために以前にも増して脂肪交雑を重視した改良が行われるようになった。このような背景が、BMSナンバーにおける平均予測育種価の急激な増加傾向に反映されていると考えられる。BMSナンバーは胸最長筋内の脂肪面積の割合を基準に作成されており（中井1987）、画像解析形質における筋肉内脂肪面積割合の平均予測育種価は、BMSナンバーと同様な増加傾向を示し、繁殖雌牛において1987年頃から増加傾向にあり、1990年頃から急激な増加傾向を示した。また、脂肪交雑粒子のあらさの程度を示す全体の粒子のあらさならびに最大粒子のあらさの平均予測育種価においても、1990年頃から増加傾向にあった。Osawaら（2008）により全体の粒子のあらさならびに最大粒子のあらさとBMSナンバーおよび筋肉内脂肪面積割合間の正の遺伝相関が推定され（BMSナンバー：0.66および0.18、筋肉内脂肪面積割合：0.69および0.29）、脂肪交雑重視の改良は、胸最長筋筋内のあらい脂肪交雑粒子を増加する可能性があることが報告された。本分析における全体の粒子のあらさならびに最大粒子のあらさにおける平均予測育種価の増加傾向は、脂肪交雑重視の改良の影響が表れたと推察される。慣性主

軸短径・長径比においては、1985年まで減少傾向にあり、それ以降増加傾向にある。したがって、胸最長筋の形状は、遺伝的に円形を呈する傾向にあると思われる。また、形状の複雑さにおいても慣性主軸短径・長径比と同様な傾向を示し、1988年を境に逆の傾向を示した。すなわち、近年、ハート芯などのような筋肉形状が複雑な個体が遺伝的に増加傾向にあることが示唆された。

枝肉記録を有し産子数が100頭以上ある種雄牛(19頭)のBMSナンバー、筋肉内脂肪面積割合、全体の粒子のあらさおよび最大粒子のあらさの育種価ならびに順位を表7-7に示した。全体の粒子のあらさならびに最大粒子のあらさは、値が小さいほど筋肉中にあらい脂肪交雑粒子の少なく一般的に好ましいので、値が小さいほど上位とした。BMSナンバーや筋肉内脂肪面積割合の順位が上位である個体は、全体の粒子のあらさや最大粒子のあらさの順位が下位になる傾向があるが、SireTにおいてBMSナンバーと筋肉内脂肪面積割合の順位が、それぞれ2位および4位であるが、全体の粒子のあらさおよび最大粒子のあらさの順位は、5位および1位であり、SireTは、胸最長筋内の脂肪交雑粒子が多くかつ、脂肪交雑粒子があまりない種雄牛であった。また、SireEもSireTと同様な傾向のある種雄牛であった。このような種雄牛を利用することにより、脂肪交雑の量を増やしつつ、脂肪交雑粒子がなくなることを抑えるあるいは減少させる改良が可能となると考えられる。

図7-3および図7-4に、枝肉格付形質および画像解析形質に対する市場開催日の最良線形不偏推定量(BLUE)を年度の前半と後半ごとに平均した値の推移を示した。なお、4月から9月までを年度前半、10月から翌年の3月までを年度後半とした。枝肉格付形質において、枝肉重量のBLUEの平均値は僅かに増加傾向にあった。また、皮下脂肪厚のBLUEの平均値は前半に低く、後半に高い傾向を示した。前半は春と夏の季節が含まれており、後半には秋と冬の季節が含まれている。皮下脂肪厚におけるこの傾向は、暑い時期において皮下脂肪厚が薄く、寒い時期において皮下脂肪厚が厚くなることを示しており、皮下脂肪厚は、季節や気候の影響を大きく受けることが示唆された。また、BMSナンバーのBLUEの平均値は、年々減少傾向にあった。

画像解析形質において、BMSナンバーと強い関連性のある筋肉内脂肪面積割合のBLUEの平均値は、2002年度後半から2004年度前半にかけて減少しているものの2000年度前半から2006年度後半において3%の増加を示し、筋肉内脂肪面積割合は、年々増加傾向にあることが示された。また、全体の粒子のあらさのBLUEは、2004年度後半から2005年度前半に急激な増加傾向にあった。この結果は、2005年1月からのミラー型撮影装置への変更に伴う全体の粒子のあらさと最大粒子のあらさに対する変換式の適用が原因の一つとして考えられる。しかしながら、最大粒子のあらさにおいては、筋肉内脂肪面積割合や全体の粒子のあらさと異なり、年々減少傾向にあることが示された。BMSナンバーのBLUEが減少傾向にある原因として、BMSナンバーの判定基準が筋肉中の脂肪交雑の量を重視した格付から、脂肪交雑粒子のあらさを重視した格付に変化した可能性が考えられる。2000年度から2006年度までの北海道における黒毛和種去勢牛のBMSナンバー平均値は、大きく変化していないにもかかわらず(日本食肉格付協会2007;4.7, 4.9, 5.3, 5.0, 5.2, 5.2

および5.0)、年ごとの筋肉内脂肪面積割合の平均値は増加傾向にあり、全体の粒子のあらしの平均値も増加傾向にあった(表には示していない)。このことが、脂肪交雑粒子のあらしを重視した格付に変化したことを示しているかもしれない。

従来の格付基準であるBMSナンバーは、胸最長筋内の脂肪交雑の総合的な指数であり、脂肪交雑の詳細な特徴(例えば、あらい脂肪交雑粒子や細かい脂肪交雑粒子の程度など)は反映されておらず、BMSナンバーを用いた改良は、あらい脂肪交雑粒子を増加することが、画像解析形質における種雄牛や繁殖雌牛の遺伝的趨勢から明らかとなった。本研究で用いた全体の粒子のあらしなどの脂肪交雑粒子のあらしの程度を評価する画像解析形質を間接検定などの枝肉調査に利用することで、あらい脂肪交雑粒子の増加を抑えながら脂肪交雑を増加する種雄牛を作出することが可能となり、効率の良い育種改良につながると期待できる。

表 7-1. 黒毛和種のと畜時日齢, 近交係数, 枝肉格付形質ならびに画像解析形質の基礎統計量 (n=7,728)

形質	平均値	標準偏差	最小値	最大値
と畜時日齢 (日)	902.31	56.02	709.00	1109.00
近交係数 (%)	3.03	3.23	0.00	33.27
枝肉格付形質				
枝肉重量 (kg)	434.60	54.85	230.00	659.00
胸最長筋面積 (cm ²)	56.54	7.98	28.00	88.00
ばらの厚さ (cm)	7.59	0.87	4.20	11.30
皮下脂肪厚 (cm)	2.41	0.73	0.10	7.00
歩留基準値 (%)	74.23	1.32	68.90	78.40
BMS ナンバー (1~12)	5.33	2.30	2.00	12.00
画像解析形質				
筋肉内脂肪面積割合 (%)	40.43	8.36	14.24	68.28
全体の粒子のあらさ	20.27	4.74	4.90	39.61
最大粒子のあらさ	4.88	2.71	0.55	26.61
慣性主軸短径・長径比	0.65	0.07	0.38	0.95
形状の複雑さ	1.09	0.02	1.05	1.29

表 7-2. 各モデルに用いた要因

	性別	市場開催日	市場開催年-月	と畜時日齢 ^a	と畜時月齢 ^b	肥育農家	年度×肥育農家
モデル1	○	○	-	-	○	○	-
モデル2	○	-	○	-	○	-	○
モデル3	○	○	-	○	-	○	-
モデル4	○	-	○	○	-	-	○
モデル5	○	○	-	-	○	-	○
モデル6	○	-	○	-	○	○	-
モデル7	○	○	-	○	-	-	○
モデル8	○	-	○	○	-	○	-

^a 1~2 次の共変量

^b クラス変数

表 7-3. 枝肉格付形質ならびに画像解析形質の各モデルの AIC (順位)

形質	モデル1	モデル2	モデル3	モデル4	モデル5	モデル6	モデル7	モデル8
枝肉格付形質								
枝肉重量	95111.2 (1)	95678.6 (6)	95205.5 (3)	95773.4 (8)	95150.1 (2)	95652.1 (5)	95244.3 (4)	95748.2 (7)
胸最長筋面積	68433.7 (1)	68842.3 (7)	68480.4 (2)	68888.7 (8)	68525.2 (3)	68759.7 (5)	68571.4 (4)	68806.7 (6)
ばらの厚さ	34087.9 (1)	34177.0 (6)	34092.4 (2)	34184.4 (8)	34110.4 (3)	34170.5 (5)	34115.8 (4)	34177.3 (7)
皮下脂肪厚	32506.0 (8)	32445.7 (4)	32503.6 (7)	32443.1 (3)	32502.3 (6)	32439.7 (2)	32499.4 (5)	32438.1 (1)
歩留基準値	41341.4 (1)	41432.0 (7)	41354.4 (2)	41444.3 (8)	41375.2 (3)	41396.4 (5)	41388.0 (4)	41408.8 (6)
BMS ナンバー	48579.6 (1)	48722.7 (7)	48592.2 (2)	48734.0 (8)	48608.7 (3)	48697.7 (5)	48620.6 (4)	48709.0 (6)
平均順位	2.2	6.2	3.0	7.2	3.3	4.5	4.2	5.5
画像解析形質								
筋肉内脂肪面積割合	66834.6 (1)	67134.7 (7)	66866.9 (2)	67168.2 (8)	66870.3 (3)	67099.4 (5)	66902.9 (4)	67132.2 (6)
全体の粒子のあらさ	60371.7 (1)	60672.4 (7)	60408.7 (2)	60708.8 (8)	60439.6 (3)	60607.6 (5)	60476.2 (4)	60644.1 (6)
最大粒子のあらさ	53202.6 (2)	53325.5 (5)	53237.4 (4)	53359.9 (7)	53201.2 (1)	53327.6 (6)	53236.2 (3)	53361.8 (8)
慣性主軸短径・長径比	66923.6 (1)	67202.9 (6)	66979.0 (3)	67259.8 (8)	66941.5 (2)	67181.5 (5)	66998.2 (4)	67237.5 (7)
形状の複雑さ	49406.2 (2)	49708.2 (5)	49432.0 (3)	49734.4 (7)	49406.0 (1)	49711.0 (6)	49432.0 (3)	49737.1 (8)
平均順位	1.4	6.0	3.0	7.6	2.0	5.4	3.6	7.0

表 7-4. 枝肉格付形質ならびに画像解析形質の各モデルの BIC (順位)

形質	モデル1	モデル2	モデル3	モデル4	モデル5	モデル6	モデル7	モデル8
枝肉格付形質								
枝肉重量	95132.0 (1)	95699.4 (6)	95226.3 (3)	95794.2 (8)	95170.9 (2)	95672.9 (5)	95265.1 (4)	95769.0 (7)
胸最長筋面積	68454.5 (1)	68863.1 (7)	68501.2 (2)	68909.5 (8)	68546.0 (3)	68780.5 (5)	68592.2 (4)	68827.5 (6)
ばらの厚さ	34108.7 (1)	34197.9 (6)	34113.2 (2)	34205.2 (8)	34131.2 (3)	34191.4 (5)	34136.6 (4)	34198.2 (7)
皮下脂肪厚	32526.8 (8)	32466.6 (4)	32524.4 (7)	32463.9 (3)	32523.1 (6)	32460.5 (2)	32520.2 (5)	32458.9 (1)
歩留基準値	41362.2 (1)	41452.8 (7)	41375.2 (2)	41465.1 (8)	41396.0 (3)	41417.2 (5)	41408.8 (4)	41429.6 (6)
BMS ナンバー	48600.4 (1)	48743.5 (7)	48613.0 (2)	48754.9 (8)	48629.5 (3)	48718.5 (5)	48641.4 (4)	48729.8 (6)
平均順位	2.2	6.2	3.0	7.2	3.3	4.5	4.2	5.5
画像解析形質								
筋肉内脂肪面積割合	66855.4 (1)	67155.5 (7)	66887.7 (2)	67189.1 (8)	66891.0 (3)	67120.2 (5)	66923.7 (4)	67153.0 (6)
全体の粒子のあらさ	60392.5 (1)	60693.2 (7)	60429.5 (2)	60729.7 (8)	60460.4 (3)	60628.4 (5)	60497.0 (4)	60664.9 (6)
最大粒子のあらさ	53223.4 (2)	53346.3 (5)	53258.2 (4)	53380.7 (7)	53222.0 (1)	53348.5 (6)	53257.0 (3)	53382.6 (8)
慣性主軸短径・長径比	66944.3 (1)	67223.7 (6)	66999.8 (3)	67280.6 (8)	66962.3 (2)	67202.3 (5)	67019.0 (4)	67258.4 (7)
形状の複雑さ	49427.0 (2)	49729.0 (5)	49452.8 (3)	49755.2 (7)	49426.8 (1)	49731.8 (6)	49452.8 (3)	49757.9 (8)
平均順位	1.4	6.0	3.0	7.6	2.0	5.4	3.6	7.0

表 7-5. モデル 1 による枝肉格付形質および画像解析形質の各分散成分推定値, 遺伝率ならびに表型分散に対する肥育農家分散の割合

形質	パラメータ*				
	σ_a^2	σ_f^2	σ_e^2	$h^2 \pm SE$	Pf
枝肉格付形質					
枝肉重量	884.6	334.64	1110.30	0.38±0.03	0.14
胸最長筋面積	26.86	6.31	32.50	0.41±0.03	0.10
ばらの厚さ	0.29	0.08	0.34	0.41±0.03	0.12
皮下脂肪厚	0.28	0.04	0.25	0.48±0.04	0.08
歩留基準値	0.86	0.14	0.84	0.47±0.04	0.07
BMS ナンバー	2.78	0.67	1.79	0.53±0.03	0.13
画像解析形質					
筋肉内脂肪面積割合	37.94	8.56	15.38	0.61±0.03	0.14
全体の粒子のあらさ	10.14	1.75	10.67	0.45±0.04	0.08
最大粒子のあらさ	1.18	0.17	6.12	0.16±0.02	0.02
慣性主軸短径・長径比*100	17.32	1.77	30.43	0.35±0.03	0.04
形状の複雑さ*100	0.67	0.03	3.78	0.15±0.02	0.01

* σ_a^2 = 相加的遺伝分散 ; σ_f^2 = 肥育農家分散 ; σ_e^2 = 残差分散 ; $h^2 \pm SE$ 誤差 = 直接遺伝率 ± 標準誤差 ; Pf = 表型分散に対する農家分散の割合

表 7-6. 筋肉内脂肪面積割合の推定育種価の正確度が 0.40 以上の種雄牛および繁殖雌牛の個体数

出生年	n		出生年	n	
	種雄牛	繁殖雌牛		種雄牛	繁殖雌牛
1959 年以前	6	1	1981	19	168
1960	1	-	1982	19	185
1961	1	1	1983	18	182
1962	-	4	1984	21	203
1963	-	2	1985	32	246
1964	1	1	1986	12	303
1965	2	1	1987	16	405
1966	3	2	1988	14	581
1967	2	6	1989	16	746
1968	5	1	1990	22	781
1969	-	1	1991	19	867
1970	6	1	1992	12	575
1971	11	7	1993	9	638
1972	6	6	1994	21	561
1973	10	13	1995	16	751
1974	12	15	1996	12	651
1975	16	20	1997	15	553
1976	8	33	1998	15	396
1977	15	35	1999	12	251
1978	14	60	2000	8	281
1979	14	89	2001	10	183
1980	30	138	2002	1	107

表 7-7. 枝肉記録を有する産子数が 100 頭以上ある種雄牛 (19 頭) の BMS ナンバー, 筋肉内脂肪面積割合, 全体の粒子のあらさおよび最大粒子のあらさの育種価ならびに順位^a

種雄牛	産子数	BMS ナンバー	筋肉内脂肪面積割合	全体の粒子のあらさ ^b	最大粒子のあらさ ^b
SireA	850	2.92 (3) [*]	10.63 (2)	4.20 (17)	-0.25 (7)
SireB	523	2.37 (8)	10.25 (3)	3.06 (15)	-0.06 (10)
SireC	486	1.10 (12)	5.08 (9)	6.81 (19)	1.29 (18)
SireD	465	2.46 (6)	7.36 (8)	2.17 (11)	0.45 (14)
SireE	426	2.46 (5)	7.50 (7)	1.07 (7)	-0.49 (3)
SireF	411	3.68 (1)	14.57 (1)	5.59 (18)	1.56 (19)
SireG	367	0.35 (17)	-0.71 (18)	-1.09 (2)	-0.37 (5)
SireH	304	-0.34 (18)	-0.29 (17)	1.48 (9)	1.27 (17)
SireI	267	0.61 (14)	0.75 (16)	3.05 (14)	0.55 (16)
SireJ	206	0.54 (15)	3.65 (12)	1.05 (6)	-0.10 (9)
SireK	192	2.74 (4)	8.13 (6)	2.87 (13)	-0.05 (11)
SireL	189	2.39 (7)	8.6 (5)	1.73 (10)	-0.58 (2)
SireM	176	1.83 (9)	3.68 (11)	-0.09 (4)	-0.21 (8)
SireN	137	-1.23 (19)	-6.46 (19)	-3.44 (1)	-0.27 (6)
SireO	132	1.58 (10)	4.19 (10)	1.27 (8)	-0.43 (4)
SireP	123	0.38 (16)	3.08 (14)	-0.77 (3)	0.12 (13)
SireQ	109	0.79 (13)	2.02 (15)	2.52 (12)	0.54 (15)
SireS	103	1.19 (11)	3.28 (13)	3.15 (16)	0.04 (12)
SireT	101	2.93 (2)	9.28 (4)	1.02 (5)	-0.90 (1)

^a 順位は, 産子数上位 19 頭内の順位

^b 全体の粒子のあらさおよび最大粒子のあらさは値が低いほど好ましいため, 値が低いほど上位となる

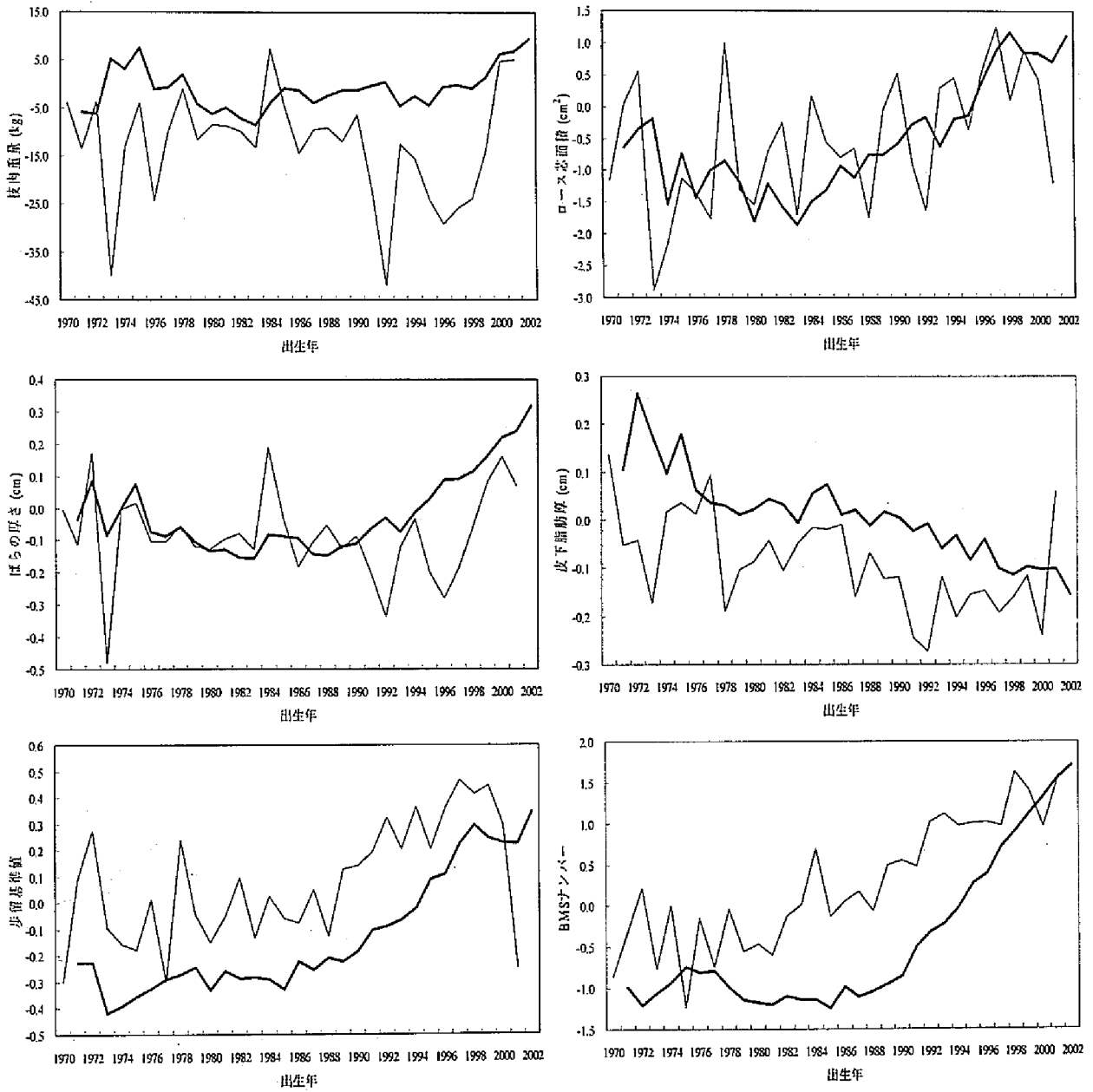


図 7-1. 枝肉格付形質における種雄牛および繁殖雌牛の出生年ごとの平均予測育種価の推移
種雄牛 (細線) および繁殖雌牛 (太線)

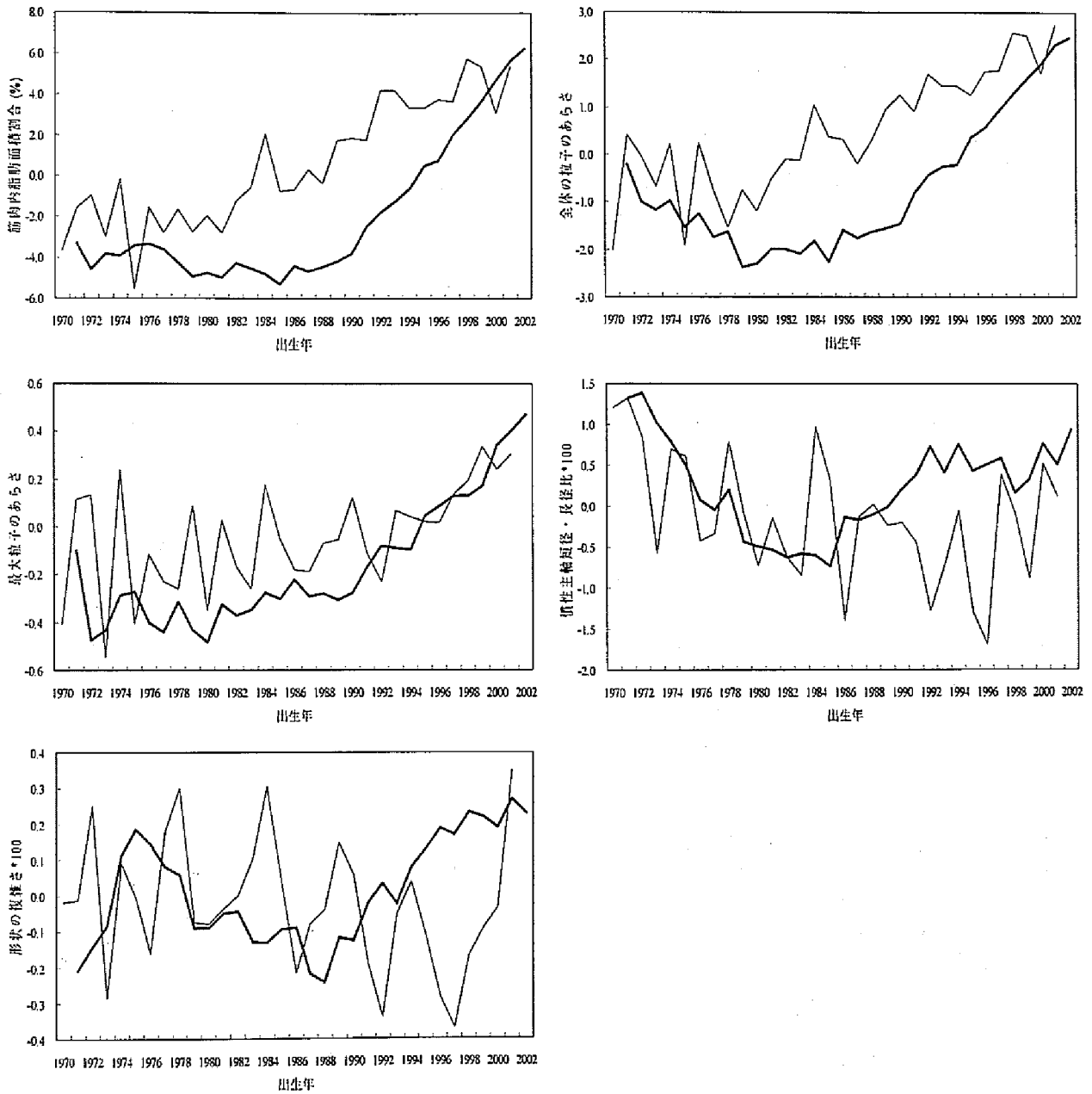


図 7-2. 画像解析形質における種雄牛および繁殖雌牛の出生年ごとの平均予測育種値の推移
種雄牛（細線）および繁殖雌牛（太線）

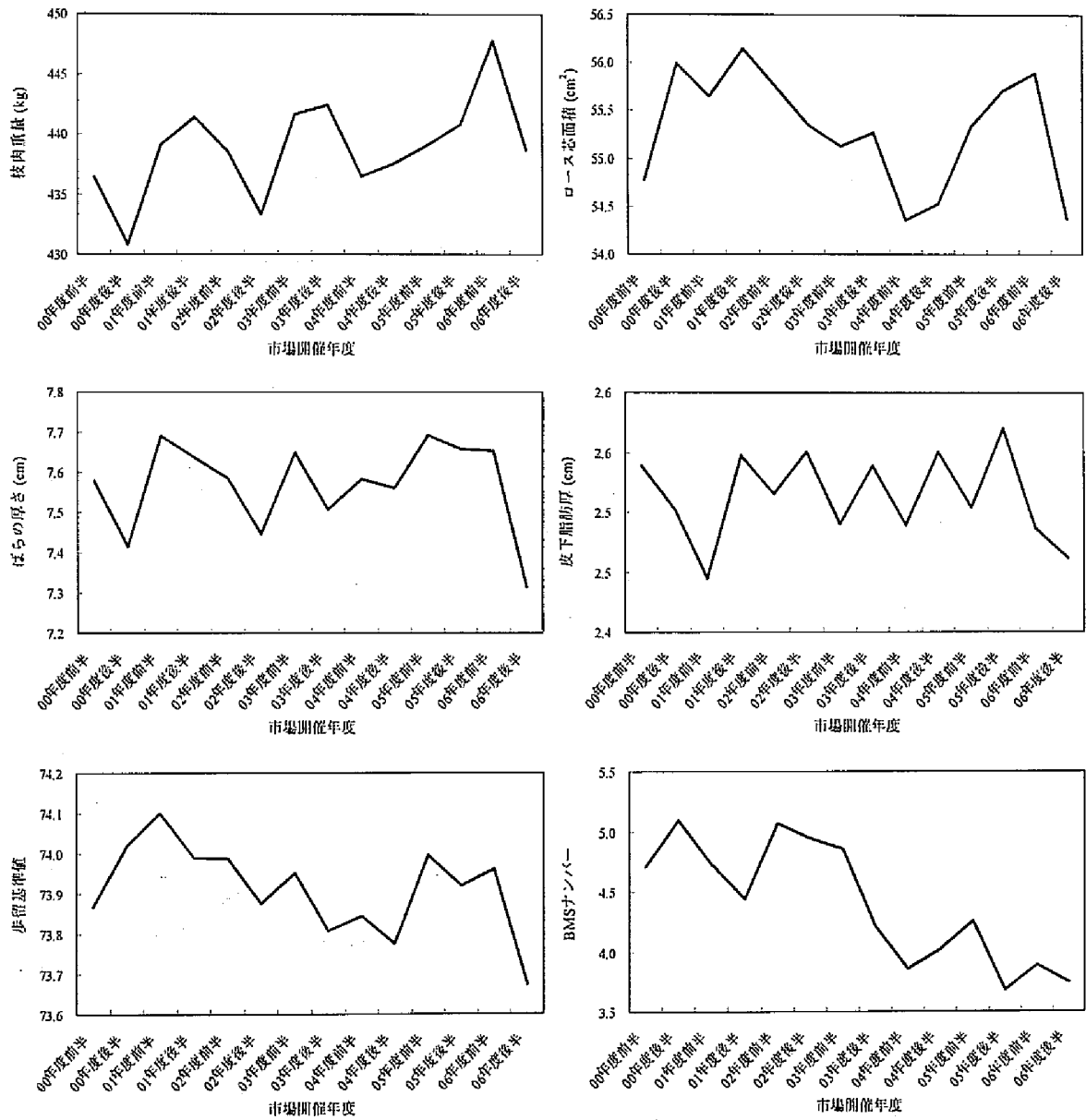


図 7-3. 枝肉格付形質における市場開催日の BLUE の年平均の推移
 前半：4月～9月，後半：10月～3月

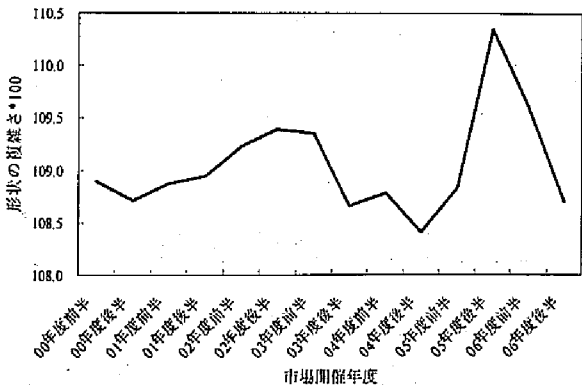
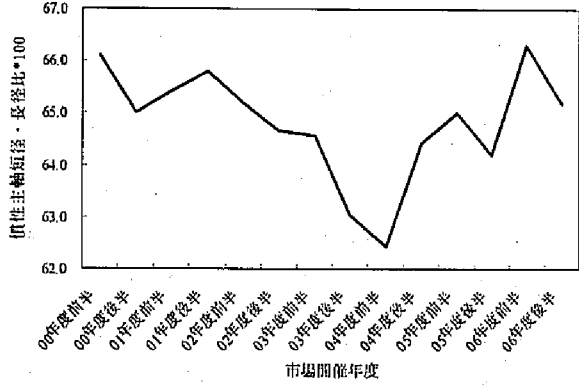
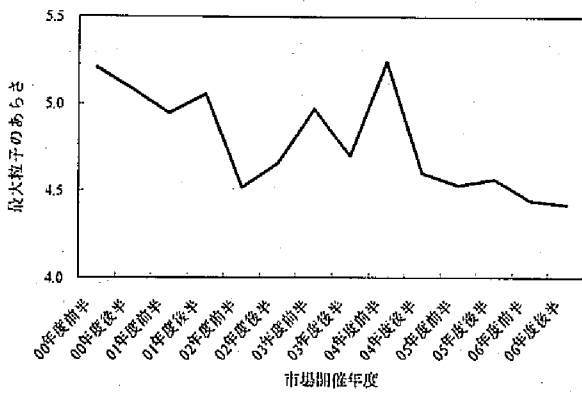
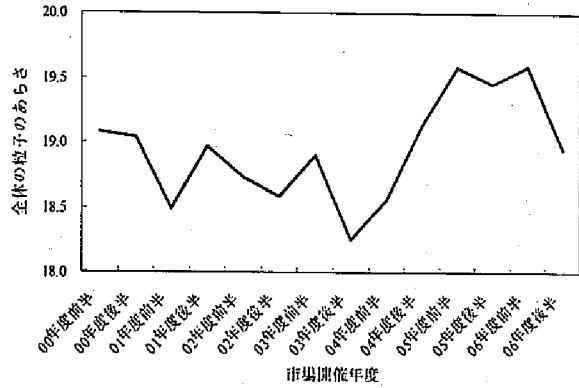
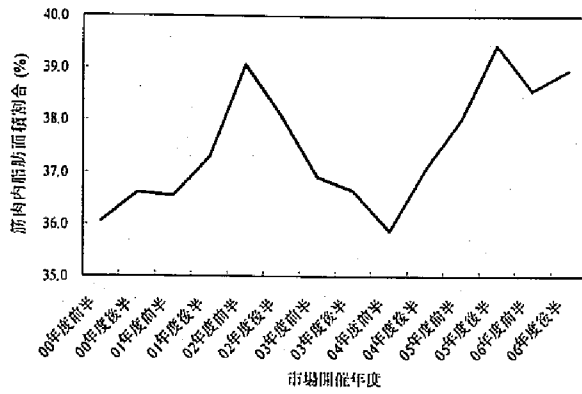


図 7-4. 画像解析形質における市場開催日の BLUE の年平均の推移
前半：4月～9月，後半：10月～3月

第8章

総合考察

8.1 第3章および第4章のまとめ

間接検定材料牛を用いた分析から、胸最長筋、僧帽筋、広背筋、皮下脂肪および筋間脂肪の画像解析形質において、全体的に高い遺伝率が推定され、育種改良においてこれら画像解析形質を利用することにより高い改良効果が期待できることが示唆された。また、皮下脂肪の実面積ならびに面積%と BMS ナンバーならびに胸最長筋内脂肪面積割合間で無あるいは負の遺伝相関が推定され、筋間脂肪の実面積ならびに面積%においては正の遺伝相関が推定されたことから、脂肪交雑重視の改良は、皮下脂肪に影響はないが、筋間脂肪を増加させる傾向にあることが示唆された。北海道内の枝肉市場に出荷された黒毛和種去勢牛を用いた分析から、胸最長筋ならびに僧帽筋の全体の粒子のあらさと BMS ナンバー間で正の遺伝相関が推定された。したがって、脂肪交雑の改良により一般的に望ましくないとされるあらい脂肪交雑粒子を増加させることが懸念された。また、本研究の結果、各筋肉間の遺伝的関連性は、期待されたほど高い関連性ではなかった。したがって、胸最長筋以外の他の主要な筋肉、皮下脂肪および筋間脂肪などの詳細な記録を収集し、評価する必要があると思われる。しかしながら、枝肉の皮下脂肪や筋間脂肪の重量を測定することは困難であり、牛枝肉格付における脂肪に関する評価値は、皮下脂肪と筋間脂肪について、それぞれ一カ所の厚さを測定するだけである。大澤ら（2006）は、枝肉横断面上の皮下脂肪や筋間脂肪などの量を3箇所を測ることで推定可能であることを報告しており、本方法を用いることで皮下脂肪や筋間脂肪の量についてより正確な評価が可能である。産肉能力検定や枝肉調査の場において、主要な筋肉や皮下脂肪、筋間脂肪などを画像解析手法を用いて枝肉を評価することで、種雄牛の選定においてより詳細かつ客観的な選抜が可能となり、効率の良い改良が期待される。

8.2 第5章および第6章のまとめ

子牛市場時の出荷時体重は、肉用牛の初期発育を改良していく上で重要な形質の一つである。北海道内の子牛ならびに枝肉市場で取引された黒毛和種去勢牛の記録を用いた分析において、子牛市場出荷時体重の改良を行う場合、直接遺伝効果のみで行うのではなく、母性遺伝効果についても評価を行い子牛市場出荷時体重の改良に利用することが重要であることが示された。子牛市場出荷時体重と枝肉成績との関連性においては、子牛市場出荷時体重が遺伝的に重い個体は、BMSナンバーが減少する傾向にあることが示唆された。また、子牛市場出荷時体重と画像解析形質間においては、子牛市場出荷時体重が重い個体は、

胸最長筋内のあらい脂肪交雑粒子が減少するという一般的に好ましい遺伝的関連性であったが、子牛市場出荷時体重が重い個体は、脂肪交雑の量も減少してしまうことが示された。通常、黒毛和種の子牛市場において、出荷時体重が重い個体は肥育農家に好まれ、子牛取引価格が高い傾向にあるが、子牛市場出荷時体重を増加する改良を行う場合、BMSナンバーなどの脂肪交雑に関して好ましくない傾向にあるため注意が必要である。また、過肥の一つの目安に用いられる日齢体重は、脂肪交雑において1.0kg/dayが最も望ましい値となり、1.0kg/dayから離れるほど悪くなる傾向にあり、過肥の傾向のある個体は、肉質の面で不利であることが示唆された。現在の穀物飼料価格高騰の状況において、濃厚飼料多給による過肥の傾向のある個体の生産は、繁殖農家にとって好ましくなく、また、そのような個体は、脂肪交雑などの肉質の面から肥育農家にとって望ましくないと考えられる。したがって、現在の子牛市場における取引傾向は、繁殖農家と肥育農家ともに有益なことではないことが示された。

間接検定材料牛を用いた分析において、発育性と飼料利用性間の遺伝的関連性は、体重や体型が大きな個体は濃厚飼料摂取量が多いが、飼料要求率は低い傾向にあった。発育性とBMSナンバー間では遺伝的関連性がみられなかったが、体重や体型が大きな個体は、脂肪交雑粒子があらくなり、細かい脂肪交雑粒子が減少するという、一般的に望ましくない遺伝的関連性が示された。飼料利用性と枝肉成績間では、濃厚飼料摂取量が多い個体や飼料要求率が低い個体は、あらい脂肪交雑粒子が多く、細かい脂肪交雑粒子が少ない傾向にあることが示された。したがって、体型や体重などの発育性や飼料利用性の改良を行う場合、従来の格付項目であるBMSナンバーのみでは、あらい脂肪交雑粒子が多い種雄牛や、細かい脂肪交雑粒子が少ない種雄牛が選抜される危険性が示唆された。

これら画像解析形質を利用することで発育性や飼料利用性が優れ、かつ肉質の良い種雄牛や繁殖雌牛の選抜が可能となり、子牛市場出荷時体重との遺伝的関連性が明らかになることで、種雄牛や繁殖雌牛の哺育能力の改良ならびに子牛の初期発育の改善につながるであろう。また、さらなる詳細解析のために子牛市場時において、体重だけでなく、体高などの体尺測定が実施可能な環境を作り、総合的に過肥の程度や体型を評価すべきであろう。近年、新たな飼料利用性の指標として、飼料摂取量に無駄がないかを評価する残差飼料摂取量（飼料摂取量、増体重および代謝体重により推定される）について、HoqueとOikawa（2004）やHoqueら（2005）により報告されており、このような形質についても今後分析を行うべきであろう。

8.3 第7章のまとめ

脂肪交雑を重視した改良は、BMSナンバーの急激な改良としてあらわれており、それに伴い筋肉内脂肪面積割合の平均予測育種値も急激に増加した。しかしながら、筋肉内のあらい脂肪交雑粒子も遺伝的に増加傾向にあることが明らかとなった。また、北海道内の黒

毛和種の BMS ナンバーの平均値は、大きく変動していないにもかかわらず、市場開催年度における BMS ナンバーの BLUE の平均値は、年々減少傾向にあり、BMS ナンバーと強い関連性のある筋肉内脂肪面積割合の BLUE の平均値は、年々増加傾向にあった。これは、BMS ナンバーの判定基準が筋肉内の脂肪交雑の量を重視した格付から、脂肪交雑粒子のあらさを重視した格付に変化した可能性が考えられた。この結果から、全体の粒子のあらさや最大粒子のあらさなどの画像解析形質を産肉能力検定に利用することで、あらい脂肪交雑粒子の増加を抑えながら脂肪交雑を増加することが可能な種雄牛を作出することが可能となり、効率の良い育種改良につながると期待できる。

本研究の結果から、従来の枝肉格付項目からは評価できなかった胸最長筋や胸最長筋以外の部位について客観的かつ詳細な評価が可能となり、それら形質に関する遺伝的パラメータや様々な産肉能力形質との遺伝的関連性について明らかとなった。本研究で用いたような枝肉横断面に対する画像解析は、牛枝肉の肉質や枝肉横断面上の胸最長筋以外の様々な部位を詳細かつ客観的に評価することに有効であり、将来的に、画像解析技術を産肉能力検定や枝肉調査に利用し、種畜の遺伝評価に用いることは、より効率の良い育種改良計画につながるものと考えられる。また、枝肉価格に最も影響を与え、経済的に重要な形質である脂肪交雑の格付は、主観的な評価値になりがちであるが、枝肉横断面に対する画像解析は、脂肪交雑の格付を客観的かつ詳細に行うことができる。したがって、画像解析技術は、枝肉市場における脂肪交雑の格付を補完する意味で非常に有効な手段であり、産業的に重要な技術である。

要約

本研究は、牛枝肉横断面撮影装置により撮影された黒毛和種の枝肉横断面画像を用いて枝肉横断面の画像解析を行い、得られる画像解析形質の遺伝分析を行うことを目的とし、1) 胸最長筋以外の肉量に関わる部位の画像解析形質間の遺伝的関連性、2) 発育性や飼料利用性と枝肉成績間の遺伝的関連性、および 3) 北海道内の黒毛和種集団に対して胸最長筋の画像解析形質に関する遺伝的趨勢について分析を行った。

胸最長筋以外の肉量に関わる部位の画像解析形質間の遺伝的関連性の分析は、間接検定材料牛 404 頭ならびに北海道内の枝肉市場に出荷された黒毛和種去勢牛 2,925 頭を用いた。間接検定材料牛は、枝肉横断面画像から、胸最長筋、僧帽筋および広背筋の実面積ならびに各筋肉内脂肪面積割合、胸最長筋 - 背半棘筋 - 頭半棘筋に囲まれた筋間脂肪、胸最長筋 - 頭半棘筋 - 背多裂筋 - 腸肋筋に囲まれた筋間脂肪、僧帽筋および広背筋外側の皮下脂肪、それら筋肉内側の筋間脂肪の実面積ならびに枝肉横断面の実面積に対する各形質の実面積の占める割合(以下、面積%)について分析した。市場出荷牛は、胸最長筋と僧帽筋の筋肉面積、筋肉内脂肪面積割合、全体の粒子のあらさおよび最大粒子のあらさを算出した。間接検定材料牛の分析から、各皮下脂肪および各筋間脂肪の面積%に関する遺伝率は、それぞれ 0.58~0.72 および 0.37~0.71 と中程度から高い範囲にあった。皮下脂肪と筋間脂肪の面積%間の遺伝相関は 0.15 と低い値であった。BMS ナンバーと強い関連性を持つ胸最長筋内脂肪面積割合と皮下脂肪の面積%間の遺伝相関は、-0.28~-0.08 と負の値を示し、筋間脂肪とは 0.17~0.22 と正の値を示した。市場出荷牛の分析から、筋肉面積、筋肉内脂肪面積割合、全体の粒子のあらさおよび最大粒子のあらさの遺伝率は、それぞれ胸最長筋において 0.46, 0.59, 0.47 および 0.20, 僧帽筋において 0.47, 0.57, 0.49 および 0.13 と推定された。胸最長筋と僧帽筋の筋肉内脂肪面積割合と皮下脂肪厚間の遺伝相関は、負の値が推定された (-0.21 および -0.19)。胸最長筋と僧帽筋間の画像解析形質間の遺伝相関は、筋肉面積、筋肉内脂肪面積割合、全体の粒子のあらさおよび最大粒子のあらさにおいて、それぞれ 0.38, 0.52, 0.39 および 0.60 と高い値ではなかった。したがって、効率の良い育種改良には、胸最長筋以外の筋肉や部位についても評価すべきである。

発育性や飼料利用性と枝肉成績間の遺伝的関連性の分析は、北海道内の子牛および枝肉市場で取引された黒毛和種去勢牛 805 頭ならびに間接検定材料牛 1,492 頭を用いた。市場出荷牛は、子牛市場出荷時体重、胸最長筋の筋肉内脂肪面積割合、全体の粒子のあらさおよび最大粒子のあらさについて分析し、過肥の影響をみるために子牛市場出荷時体重を子牛市場出荷時日齢で除した日齢体重を 6 つのサブクラス (0.8, 0.9~1.3kg/day) に分類し、母数効果として含めた。間接検定材料牛は、発育形質として肥育開始時の体重や体高など、飼料利用形質として濃厚飼料摂取量や要求率など、画像解析形質として全体の粒子のあらさや細かさ指数などについて分析した。市場出荷牛の分析から、子牛市場出荷時体重の直接および母性遺伝率は、0.15 および 0.12 であった。子牛市場出荷時体重と画像解析形質間

の直接遺伝相関は、全て負の値が推定された (-0.70~-0.34) 。また、脂肪交雑において 1.0kg/day 付近の日齢体重が最も望ましいことが示唆された。したがって、子牛市場出荷時体重の改良を行う場合、これら形質との遺伝的関連性について注意が必要である。間接検定材料牛の分析から、BMS ナンバーと発育形質および飼料利用形質間で、低いあるいは無の遺伝相関 (-0.13~0.16) が推定されたが、全体の粒子のあらさおよび細かさ指数と発育形質間の遺伝相関は、それぞれ 0.17~0.37 および -0.29~0.06 が推定された。全体の粒子のあらさおよび細かさ指数と濃厚飼料摂取量間の遺伝相関は、それぞれ 0.41 および -0.23 が推定され、それらと要求率間においては、それぞれ -0.16~-0.07 および 0.19~0.25 が推定された。したがって、発育性や飼料効率が良い個体は、あらい脂肪交雑粒子が増加し、細かい脂肪交雑粒子が減少することが示唆された。

胸最長筋の画像解析形質に関する遺伝的趨勢の分析には、北海道内の枝肉市場に出荷された黒毛和種 7,728 頭を用いた。画像解析形質として筋肉内脂肪面積割合、全体の粒子のあらさ、最大粒子のあらさなどを用いた。母数効果として、性別、市場開催日、と畜時月齢を用い、変量効果として肥育農家、相加的遺伝子効果および残差を用いた。筋肉内脂肪面積割合の予測育種価の正確度が 0.4 以上の種雄牛 (502 頭) および繁殖雌牛 (10,054 頭) について、出生年ごとの平均予測育種価の推移を遺伝的趨勢として求めた。繁殖雌牛の平均予測育種価は、BMS ナンバーにおいては、1987 年頃から急激に増加し、画像解析形質においては、筋肉内脂肪面積割合や全体の粒子のあらさにおいて BMS ナンバーと同様に増加傾向にあった。したがって、BMS ナンバーの改良は、脂肪交雑の量を増加するが、あらい脂肪交雑を多くすることが示された。また、市場開催日の BLUE の推移が、BMS ナンバーにおいて減少傾向にあり、筋肉内脂肪面積割合において増加傾向にあることから、BMS ナンバーの判定基準が脂肪交雑の量を重視した格付から、脂肪交雑粒子のあらさを重視した格付に変化した可能性が示唆された。

謝辞

本論文作成にあたり、帯広畜産大学大学院畜産学研究科動物医科学講座の口田圭吾教授ならびに同大学畜産科学科食料生産科学講座の日高智教授には、終始多大なるご指導を賜り、ここに厚く御礼申し上げます。帯広畜産大学畜産科学科食料生産科学講座の三好俊三教授ならびに鈴木三義教授、山形大学農学部 of 萱場猛夫教授、岩手大学農学部の高橋壽太郎教授および岩手大学大学院連合農学研究科博士課程3年の増田豊氏には、研究面において助言および指摘を頂きましたことに対してここに厚く御礼申しあげます。

データの取りまとめでお世話になりました十勝農業協同組合連合会の加藤貴之氏ならびに家畜改良事業団の加藤浩二氏を始めとする関係各位に対して深く感謝いたします。

研究データの提供および枝肉の撮影に便宜を図ってくださった、北海道畜産公社道東事業所十勝工場、日本食肉格付協会、北海道酪農畜産協会およびホクレン農業協同組合連合会の関係各位に心から感謝致します。

また、本研究は、岩手大学 21 世紀 COE プログラムの支援を得て行われたものであり、ここに感謝の意を表します。

最後に、私の研究を支えていただいた帯広畜産大学口田研究室の学生一同に深く感謝いたします。

参考文献

- Aziz AM, Nishida S, Suzuki K, Nishida A. 2005. Estimation of direct and maternal genetic parameters for growth and carcass traits in a herd of Japanese Black cattle in Miyagi prefecture, using a multitrait animal model. *Animal Science Journal* **76**, 187-193.
- Gerrard, DE, Gao X, Tan J. 1996. Beef marbling and color score determination by image processing. *Journal of Food Science* **61**, 145-147.
- Hirooka H, Groen AF, Matsumoto M. 1996. Genetic parameters for growth and carcass traits in Japanese Brown cattle estimated from field records. *Journal of Animal science* **74**, 2112-2116.
- 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.
- Hoque MA, Hiramoto K, Oikawa T. 2005. Genetic relationship of feed efficiency traits of bulls with growth and carcass traits of their progeny for Japanese Black (Wagyu) cattle. *Animal Science Journal* **76**, 107-114.
- Hoque MA, Oikawa T. 2004. Comparison and relation among different estimates of residual feed intake for Japanese Black (Wagyu) bulls. *Animal Science Journal* **75**, 201-205.
- Kahi AK, Oguni T, Sumio Y, Hirooka H. 2007. Genetic relationships between growth and carcass traits and profitability in Japanese Brown cattle. *Journal of Animal science* **85**, 348-355.
- 川田啓介, 兼松重任, 黒澤弥悦, 揖斐隆之, 佐々木義之. 2003. 岩手県南地方における黒毛和種集団の産肉性形質に関する統計遺伝学的解析. 日本畜産学会報 **74**, 187-193.
- Kitamura C, Yasuda Y, Kobayashi T, Nomura T, Shimada K. 1999. Genetic analysis of direct and maternal effects for calf market and carcass weights in Japanese Black cattle. *Asian-Australian Journal of Animal. Science* **12**, 843-845.
- 口田圭吾, 浜崎陽子, 萩谷功一, 加藤浩二, 鈴木三義, 三好俊三. 2001b. 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.

- Kuchida K, Kono S, Konishi K, Van Vleck LD, Suzuki M, Miyoshi S. 2000. Prediction of crude fat content of longissimus muscle of beef using the ratio of fat area calculated from computer image analysis: Comparison of regression equations for prediction using different input devices at different stations. *Journal of Animal Science* 78, 799-803.
- 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.
- 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. 2001a. 枝肉横断面撮影装置の開発と得られた画像を利用した BMS ナンバーの推定. *日本畜産学会報* 72, J224-J231.
- 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.
- Maniatis N, Pollott GE. 2002. Maternal effects on weight and ultrasonically measured traits of lambs in a small closed Suffolk flock. *Small Ruminant Research* 45, 235-246.
- Misztal I, Tsuruta S, Strabel T, Auvray B, Druet T, Lee D. 2002. BLUPF90 and related programs (BGF90). *Proceedings of the 7th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production*, Montpellier, France, CD-ROM Communication, vol. 28, p. 7.
- 守屋和幸, 道後泰治, 佐々木善之. 1994. 黒毛和種の基礎集団並びに現集団における屠肉性に関する遺伝率の REML 推定. *日本畜産学会報* 65, 720-725.
- 守屋和幸・道後泰治・佐々木善之. 1996. 黒毛和種の基礎集団ならびに現集団における屠肉性形質間の遺伝および表型相関係数の多形質 REML 推定. *日本畜産学会報* 67, 53-57.
- Mukai F, Oyama K, Kohno S. 1995. Genetic relationships between performance test traits and field carcass traits in Japanese Black cattle. *Livestock Production Science* 44, 199-205.

- 向井文雄. 1994. 黒毛和種の産肉形質の選抜法ならびに遺伝的評価に関する研究. 日本畜産学会報 65, 890-905.
- Mukai F, Yamagami A, Anada K. 2000. Estimation of genetic parameters and trends for additive direct and maternal genetic effects for birth and calf market weights in Japanese Black beef cattle. *Animal Science Journal* 71, 462-469.
- 中井博康. 1987. 食肉の理化学的特性による品質評価基準の確立. 農林水産技術会議事務局研究成果 193, 106-122.
- (社) 日本食肉格付協会. 1996. 牛・豚枝肉, 牛・豚部分肉取引規格解説書. 6-29. 日本食肉格付協会. 東京.
- (社) 日本食肉格付協会. 2003. 平成 14 年格付結果の概要. 8-9. 日本食肉格付協会. 東京.
- (社) 日本食肉格付協会, 2007. 社団法人日本食肉格付協会ホームページ. 日本食肉格付協会. 東京. 2007 年 12 月 18 日引用. URL: <http://www.jmga.or.jp/>.
- 岡田光男. 1991. 肥育のすすめ. 初版. pp.43-47. チクサン出版社. 東京.
- Oikawa T, Sanehira T, Sato K, Mizoguchi Y, Yamamoto H, Baba M. 2000. Genetic parameters for growth and carcass traits of Japanese Black (Wagyu) cattle. *Animal Science* 71, 59-64.
- Oikawa T, Sato K. 1996. Study on animal model prediction for a data set with small herd effect. *Animal Science Technology (Japan)* 67, 755-763.
- Oikawa T, Sato K. 1997. Treating small herds as fixed or random in an animal model. *Journal of Animal Breed and Genetics* 114, 177-183.
- Osawa T, Kuchida K, Hidaka S, Kato T. 2008. Genetic parameters 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, 長谷川未央, 口田圭吾, 日高 智, 関川三男, 佃 秀雄. 2004b. 黒毛和種枝肉横断面の各筋肉, 皮下脂肪および筋間脂肪に関する遺伝的パラメータの推定. 日本畜産学

会報 75, 521-526.

大澤剛史, 浜崎陽子, 日高 智, 関川三男, 佃 秀雄, 口田圭吾. 2006. 黒毛和種枝肉横断面における皮下および筋間脂肪の実面積および面積割合の新しい推定方法. 肉用牛研究会報 81, 30-36

大澤剛史, 口田圭吾, 加藤貴之, 鈴木三義, 三好俊三. 2004a. 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.

Pariacote F, Van Vleck LD, Hunsley RE. 1998. Genetic and Phenotypic Parameters for Carcass Traits of American Shorthorn Beef Cattle. *Journal of Animal Science* 76, 2584-2588.

Riley DG, Chase Jr. CC, Hammond AC, West RL, Johnson DD, Olson TA, Coleman SW. 2002. Estimated genetic parameters for carcass traits of Brahman cattle. *Journal of Animal Science* 80, 955-962.

Ríos-Utrera A, Cundiff LV, Gregory KE, Koch RM, Dikeman ME, Koohmaraie M, Van Vleck LD. 2005. Genetic analysis of carcass traits of steers adjusted to age, weight, or fat thickness slaughter endpoints. *Journal of Animal Science* 83, 764-776.

Sasaki Y, Miyake T, Gaillard C, Oguni T, Matsumoto M, Ito M, Kurahara T, Sasase Y, Fujinaka K, Ohtagaki S, Dougo T. 2006. Comparison of genetic gains per year for carcass traits among breeding programs in the Japanese Brown and the Japanese Black cattle. *Journal of Animal Science* 84, 317-323.

Shojo M, Okanishi T, Anada K, Oyama K, Mukai F. 2006. Genetic analysis of calf market weight and carcass traits in Japanese Black cattle. *Journal of Animal Science* 84, 2617-2622.

Shanks BC, Tess MW, Kress DD, Cunningham BE. 2001. Genetic evaluation of carcass traits in Simmental-sired cattle at different slaughter endpoints. *Journal of Animal Science* 79, 595-604.

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 96, 41-46.

Shojo M, Yong J, Anada K, Oyama K, Mukai F. 2005. Estimation of genetic parameters for growth and feed utilization traits in Japanese Black cattle. *Animal Science Journal* 76, 115-119.

Splan RK, Cundiff LV, Dikeman ME, Van Vleck LD. 2002. Estimates of parameters between direct and maternal genetic effects for weaning weight and direct genetic effects for carcass traits in crossbred cattle. *Journal of Animal Science* **80**, 3107-3111.

Steiner R, Vote DJ, Belk KE, Scanga JA, Wise JW, Tatum JD, Snuth GC. 2003. Accuracy and repeatability of beef carcass longissimus muscle area measurements. *Journal of Animal Science* **81**, 1980-1988.

高木幹雄, 下田陽久. 1991. 画像解析ハンドブック. 第 1 版. 475-593. 東京大学出版会. 東京.

Uchida H, Oikawa T, Suzuki K, Yamagishi T. 2001. Estimation of genetic parameters using an animal model for traits in performance and progeny testing for meat production of Japanese Black cattle herd in Miyagi prefecture. *Animal Science Journal* **72**, 89-96.

Vote DJ, Belk KE, Tatum JD, Scanga JA, Smith GC. 2003. Online prediction of beef tenderness using a computer vision system equipped with a BeefCam module. *Journal of Animal Science* **81**, 457-465.

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.

Yang XJ, Albrecht E, Ender K, Zhao RQ, Wegner J. 2006. Computer image analysis of intramuscular adipocytes and marbling in the longissimus muscle of cattle. *Journal of Animal Science* **84**, 3251-3258.