

超音波肉質診断と血液生化学指標を統合した 黒毛和種去勢牛の合理的な肥育診断指標確立のための研究

川田智弘、名嘉修治¹⁾、二瓶直浩²⁾、岡本優¹⁾、氏家優子³⁾、阿久津 充⁴⁾、星一美
1) 現 畜産振興課、2) 現 塩谷南那須農業振興事務所、3) 現 那須農業振興事務所、4) 現 河内農業振興事務所

要 約

本研究は、黒毛和種去勢肥育牛における筋肉および脂肪の発達様相と血液成分の動態を非侵襲的に評価し、枝肉成績との関連を総合的に明らかにすることを目的として3つの研究を行った。

1) 当センター生産の19頭の去勢牛を対象に胸最長筋面積（ロース芯面積）と脂肪交雑の経時変化を超音波で把握し、枝肉実測値との相関性を検証した。その結果、肥育後期においてロース芯面積の発達が継続するタイプと停滞するタイプに二分され、前者は高い脂肪交雑を示す傾向が確認された。

2) 県内4農家の黒毛和種肥育牛93頭を対象に飼養管理の差異と産肉形質の発達を比較した。農家の飼養管理の違いにより各産肉形質の成長曲線や血中総コレステロール（T-Cho）値の推移に特徴がみられ、肥育初期の過度な濃厚飼料給与は後期の採食量低下や血中成分の不安定化を招くのに対し、肥育初期に制限給餌を行い中期の増飼によって代償性発育を確保した農家では肥育末期まで安定した増体と脂肪交雑の発達が見られた。

3) 農家飼養の黒毛和種肥育牛81頭の血液成分と枝肉成績の関連を解析した。18～20か月齢時の血中T-Cho値および血中ビタミンA（VA）値はロース芯面積・BMS No.・歩留基準値に正の影響を示し、また、肥育後期における飼料給与水準の高位での維持が霜降りの発達に寄与することが示された。

以上の結果から、黒毛和種の効率的肥育には、初期の飼料の過給を避け、中期の筋組織の発達を確保しつつ、後期に血中T-Cho値およびVA値を安定的に維持する管理が重要であり、超音波診断と血液分析の併用はこれらをモニタリングする技術として有効であると結論づけられた。

目 的

和牛肥育経営では、長期肥育に伴う飼養コストの増大や、近年の飼料価格高騰による経営圧迫が大きな課題となっている。そのため、限られた期間と資源で市場評価の高い枝肉を生産する合理的な肥育技術の確立が求められている。特に黒毛和種は筋肉内脂肪が脂肪交雑として顕著に発達し、この度合いによって取引価格が左右されることから、安定的な収益を確保するためには、十分な脂肪交雑の発達を促しつつ枝肉歩留や重量を維持する合理的な飼養管理技術が必要である。これを実践するためには、肥育中の牛の発育や生理状態を的確に把握し、飼養管理の最適化を図るための診断技術が必要である。

非侵襲的な生体モニタリング技術である超音波診断技術は、家畜の体内の変化を経時的に把握する事に適しており、肉質診断に則した仕様の超音波診断装置を用いることで、肥育牛の産肉形質の発達を観察することが可能である。栃木県では、平成8年から電子リニア走査方式の超音波肉質診断装置を県普及指導機関に導入し、肥育農家の技術指導において画像診断データに基づく科学的な指導を行うとともに、診断技術向上に向けた研究を行ってきた。現在では、関係機関、関係団体の連携のもと、肥育農家の飼養管理指導を実施している、

一方、産肉形質の発達促進に関する生理的状态を把握するために、肥育牛の血液成分を指標とすることの有効性が指摘されており、これについて岩木ら(2002)は、導入期の発育および血中T-Cho値がその後の枝肉

重量および脂肪交雑（BMS No.）と正の相関を示したと報告している。近年の研究でも、盧と金(2022)は黒毛和種において血中のコレステロールやリン脂質、インスリン濃度などの脂質代謝関連指標が、増体および枝肉重量・BMS値と有意に関連することを確認したと報告している。

本研究では、これらの研究を基盤として、黒毛和種肥育牛に対し、非侵襲的な生体モニタリング技術である超音波肉質診断と、肥育牛の経時的な血液分析を併せて活用し、肥育期間中の産肉形質や筋肉内脂肪の発達、生理的な代謝変化を把握することで、飼養管理の適正化を図るための診断指標を確立するものである。

そのため、次の研究を行った。(1)黒毛和種去勢牛のロース芯面積および筋肉内脂肪の経時的発達パターンを超音波肉質診断によって明らかにし、両者の関係性を検証する。(2)飼育環境の違いによる飼養管理の差異が肥育牛の成長および産肉形質に与える影響を調査する。(3)肥育期間中の血中T-Cho値およびVA値の推移と枝肉成績との関連性を解明する。以上の研究により得られた知見を統合し、和牛肥育における産肉形質や筋肉内脂肪の発達メカニズムを解明し、合理的な肥育診断指標を確立することを本研究の目的とした。

研究Ⅰ：黒毛和種去勢肥育牛における胸最長筋の経時的発達パターンと筋肉内脂肪の発達との関係性について

目的

肥育牛の飼養管理技術を検討するためには、肥育の進展に伴う各産肉形質の発達様相を把握することが必要である。特に和牛肥育においては、脂肪交雑の発達が枝肉の経済的な評価の上で重要である。宮島 (2001) は、これら産肉形質の把握には超音波診断技術が有効であると報告しており、その後も多くの知見が得られているが、研究の主眼が枝肉格付成績の早期推定や育種改良のための能力推定に置かれているため、肥育期間中の産肉形質の変化に注目した産肉生理学的なアプローチの研究は少ない。

我々は、これまで、超音波診断装置を用いて黒毛和種去勢牛の産肉形質の経時的な変化を調査し、その発達に影響する要因の検討の研究を行っており (川田ら 2012)、本研究は、特に胸最長筋の発達様相と筋肉内脂肪の発達との間に見られた関係性について検討を行った。

材料と方法

栃木県畜産酪農研究センターにおいて自家生産した黒毛和種去勢肥育牛 19 頭を試験に供した。供試牛は 10 か月齢から肥育を開始し、28~30 か月齢で出荷・と畜した。出荷先は全頭を東京都中央卸売食肉市場とし、日本食肉格付協会の格付員による枝肉成績 (枝肉重量、ロース芯面積、皮下脂肪厚、バラ厚、BMS No. 値等) の評価を受け、これを枝肉実測値とした。肥育期間中、1 か月ごとに体重および体高・胸囲などの体尺測定を行い、15 か月齢からは出荷 1 か月前 (約 27~29 か月齢) までは体尺測定とともに超音波画像診断装置および肉質診断用プローブ (HS-2100V 本多電子製、日本) を用いて生体の断面画像を測定した。超音波測定部位は枝肉格付での断面計測位置に対応する第 6~7 肋骨間の背最長筋周辺とし、測定方法は川田ら (2008) の手法に準じて行った。すなわち、供試牛を正姿勢で直立させ、超音波肉質診断装置のプローブを一旦牛の肩甲骨後角から約 10cm 後方の位置に当てた後、モニターに表示されるリアルタイム診断画

像を見ながら、次のとおり適切な測定位置へプローブを誘導した。まず牛体軸に対してプローブを水平に移動して前後における測定位置を決定し、その後背部から腹部へ牛体軸に対し鉛直方向に移動させ、胸最長筋周辺、腸筋周辺、広背筋端周辺の 3 カ所で静止させて画像を撮影した。なお、広背筋端周辺を測定する場合には、プローブを肋骨に沿うよう若干斜め方向に移動させた。取得した超音波断面画像はコンピューターに取り込み、ロース芯面積、皮下脂肪厚、バラの厚さ、および僧帽筋断面の厚さを計測した。特に、ロース芯面積計測においてはフリーハンドではなく多角形による閉曲線で輪郭を精密になぞることで計測精度を高めた。さらに、筋肉内脂肪 (脂肪交雑) の発達程度に関して推定精度を向上するため、過去に収集した多数の超音波画像について出荷時の脂肪交雑等級 (BMS No.) ごとに分類した基準画像集と診断ポイントを作成し、診断画像と基準画像の胸最長筋および背半棘筋部の輝点パターンや濃淡分布を目視比較することで、各月齢時の脂肪交雑の程度を BMS No. としてスコア評価した。

なお、統計解析には R (R Core Team, 2025) の機能拡張ソフトウェア EZR version 1.68 (Jichi Medical University, 栃木県) を用いて行った。

結果

(1) 出荷枝肉成績

供試牛 19 頭の平均枝肉成績は表 1 のとおりであり、枝肉重量 533kg、ロース芯面積 74.95 cm²、皮下脂肪厚 2.67cm、バラ厚 8.59cm、BMS 値 9.5 であった。出荷時と同年次の栃木県産黒毛和牛去勢牛の食肉格付測定項目の平均値 (枝肉重量 532.21kg、ロース芯面積 67.3 cm²、皮下脂肪厚 2.5cm、バラ厚 8.3cm) と比較すると、供試牛の平均値はロース芯面積がやや大きく皮下脂肪がやや厚い傾向であったが、概ね本県産牛の平均に近い成績であった。ただし、供試牛の個体間では、枝肉重量 474~602kg、ロース芯面積 56~93 cm²と大きなばらつきが見られた。格付等級は全頭 A4 以上で良好であったが、脂肪交雑 BMS 値は 7~12 の範囲で一

表 1 供試牛の出荷成績および出荷前1か月以内に測定した超音波診断画像による計測値との誤差

(n=19)

項目	出荷月齢 (か月齢)	枝肉重量 (kg)	胸最長筋 面積 (cm ²)	皮下脂肪 の厚さ (cm)	バラの 厚さ (cm)	脂肪交雑 基準値 (BMS No.)
枝肉実測平均値①	28.3	533	74.95	2.67	8.59	9.5
標準偏差	±0.8	±37.9	±10.3	±0.6	±0.7	±1.3
最大値	29.9	602	93	4.5	10.2	12
最小値	27.1	474	56	1.8	7.8	7
超音波診断平均値②	—	—	74.16	2.33	7.98	9.2
計測誤差 (①-②)	—	—	0.79	0.33	0.61	0.3
標準偏差	—	—	±1.71	±0.29	±0.64	±1.33
最大誤差値	—	—	-4	-0.9	-2.4	4
	—	—	(-4.4%)	(-20.0%)	(-23.5%)	(-10%)

定のばらつきを示した。

(2) 超音波計測値の精度検証

表1は出荷前1か月以内に実施した超音波診断値と実際の枝肉実測値を比較したものである。ロース芯面積については相関係数が高く（計測誤差の標準偏差 ± 1.71 cm²）、超音波によりロース芯面積を高精度で推定できた。皮下脂肪厚も相関係数0.91、誤差 ± 0.29 cmと精度良好であった。一方、バラ厚は相関係数0.61、誤差 ± 0.64 cmとやや精度にばらつきが見られ、肥育の進んだ個体では枝肉懸垂時の断面変形の影響等により測定誤差が生じたと考えられた。脂肪交雑については、1頭のみ超音波推定値と枝肉実測値にBMS No.で4ランクの大きなズレが生じた個体があったものの、それを除けば相関係数0.89、推定誤差の標準偏差 ± 1.33 ランクとなり、比較的高精度にBMS No.を予測できた。以上より、本試験の超音波診断はロース芯面積・皮下脂肪厚・脂肪交雑について良好な精度を有しており、超音波肉質診断による産肉形質の把握が高精度で可能であることが確認された。

(3) 産肉形質の経時的発達

図1は超音波診断により得られた各個体のロース芯面積・皮下脂肪厚・BMS No.の月齢による推移を示したものである。出荷時（月齢28~30ヶ月）を起点として全個体の形質の平均推移を見ると、いずれの形

質も肥育開始から出荷にかけて3次曲線状の増加を示したが、各形質とも個体間の大きな偏差が見られた。このうちロース芯面積について、16ヶ月齢及び22ヶ月齢時の超音波測定値と枝肉実測値との関係性を比較したところ16ヶ月齢時と22ヶ月齢時の間でのロース芯面積値の相関係数は0.93と非常に高かったが、16ヶ月齢時、22ヶ月齢時と枝肉実測値間では相関係数が共に0.58、0.58と低い値であった。このことから、肥育中期（約16~22ヶ月齢）から後期にかけて、ロース芯面積の発達パターンに個体間で大きな差異が生じていることが示された。この個体ごとのロース芯面積の発達パターンを比較すると、肥育後期（およそ23~25ヶ月齢以降）にロース芯面積が大きく増加するタイプ（パターンA）と、肥育後期には増加が見られず横這いとなるタイプ（パターンB）に分類され、このうちパターンAに属した個体は出荷時の枝肉BMS No.が全てNo.10以上であったのに対し、パターンBは全てBMS No.が10未満であり、脂肪交雑の程度により後期におけるロース芯面積の拡大が影響されることが示唆された。

図2は、各供試牛を枝肉実測値のBMS No.が10以上(高脂肪交雑群)と10未満(低脂肪交雑群)の2群に区分し、出荷日を0日としてロース芯面積および脂肪交雑の変化を比較したものである。

ロース芯面積は、両区とも肥育初期において大きく増加したが、肥育中期にかけてはその増加が緩やかに

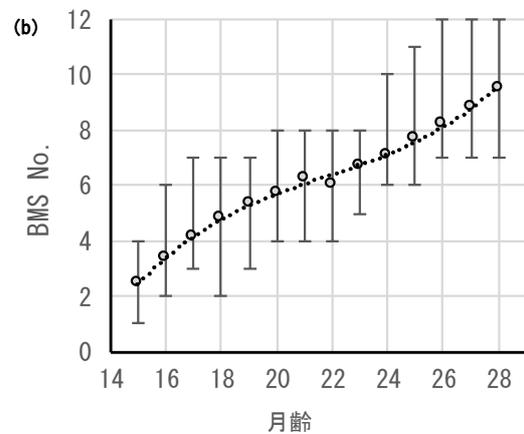
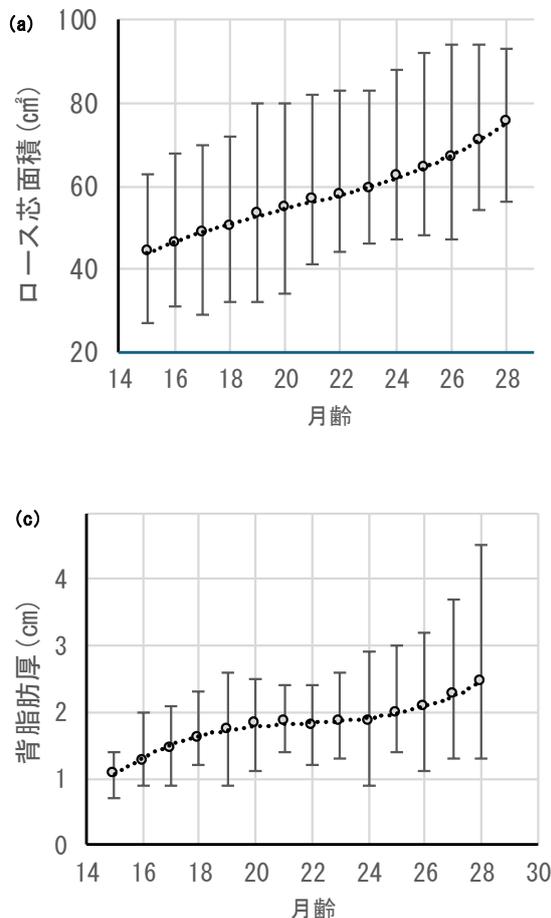


図1 超音波肉質診断を用いて測定した黒毛和種去勢肥育牛の各産肉形質の経時的変化
 (a) ロース芯面積
 (b) BMS No. (脂肪交雑)
 (c) 背脂肪の厚さ
 ヒゲは各月齢における最小値・最大値

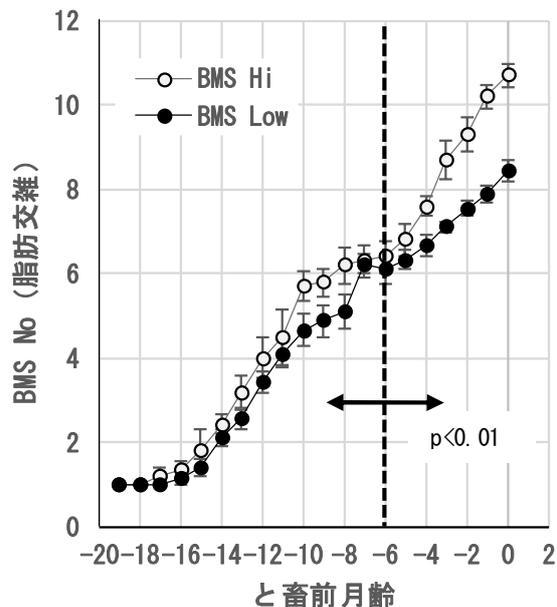
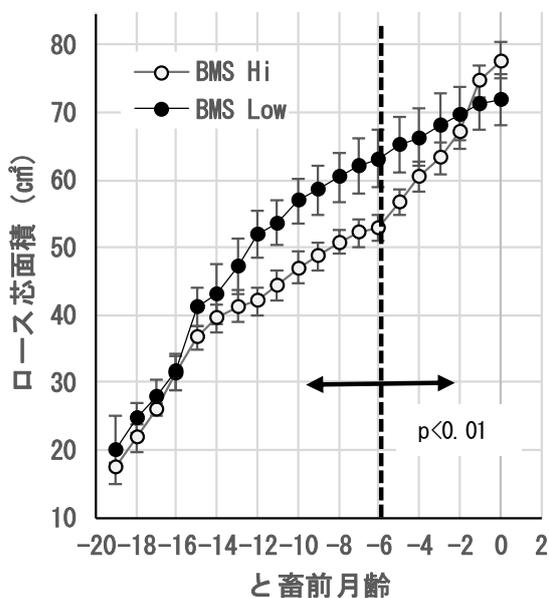


図2 枝肉の脂肪交雑等級が10以上（高脂肪交雑牛群：BMS Hi）と10未満（低脂肪交雑牛群：BMS Low）の牛群における肥育期間中の胸最長筋面積および脂肪交雑の発達推移の比較

なる傾向を示した。しかし、肥育後期において高脂肪交雑群ではと畜前6ヶ月以降からロース芯面積の増加が急上昇したのに対し、低脂肪交雑群では肥育後期においても増加の急激な上昇は見られなかった。そこで、と畜前6か月を境界として、肥育前期と後期の2つの期間に分け、両牛群間での面積の増加率を混合効果モデルを用いて比較したところ、肥育中期までの増加率は両群間に有意な差は見られなかったが、肥育後期において、2群間の増加率に有意な差($p < 0.01$)が見られた。このことから、と畜前6ヶ月において、ロース芯面積の増加パターンが高脂肪交雑群と低脂肪交雑群で異なることが明らかとなった。

同様に脂肪交雑について高脂肪交雑群と低脂肪交雑群の変化を比較した。その結果、脂肪交雑は従来の産肉理論と異なり肥育末期まで発達が観察されたが、ロース芯面積の変化と同様に、と畜前6か月を境に高脂肪交雑群と低脂肪交雑群とで増加パターンに違いが見られた。ロース芯面積と同様に混合効果モデルにより解析を行ったところ、脂肪交雑においても、と畜前6ヶ月を境に変化パターンに優位差 ($p < 0.01$) が見られた。

これらのことから、ロース芯面積の拡大と脂肪交雑の発達には密接な関係があることが明らかとなった。

考 察

本研究において、まず、超音波肉質診断法の診断精度の有効性を検証した。我々は、これまでの研究において、画像解析により超音波画像から BMS No. を推定し、実測値と概ね 80%程度の精度を得たと報告しているが（川田ら 2012）、本研究でも出荷直前の超音波診断による BMS No. 推定と実測値の相関は高かった（誤差 $SD \pm 1.33$ ランク、相関係数 0.89）。超音波肉質診断による診断精度は技術者の熟練に依存するものの、

適切に行えば生体段階で効率的に筋組織の発達や脂肪蓄積が評価できることを示す事が出来た。

また、超音波診断を用いて肥育牛の胸最長筋の発達過程を経時的に追跡した結果、特に脂肪交雑能力の高い個体群（高脂肪交雑群）では23ヶ月齢以降にも胸最長筋断面の顕著な増加と、脂肪交雑の顕著な増加が併せて生じていることが確認された。このことは肥育後期において筋組織そのものの増加が鈍化しても、筋内脂肪が継続的に蓄積することで筋肉の断面が拡大された可能性を示唆する。Pethick ら（2004）は、黒毛和種とホルスタインの交雑種において成熟により枝肉重量が増加するに伴って筋肉内脂肪含有量が直線的に増加することを確認したとしている。また、Park ら（2018）は、肥育牛では屠体重量（肥育期間）とともに筋内脂肪量が直線的に増加し、同時にロース芯面積も増大する傾向があると報告している。これらの知見は、筋繊維束間に発達する筋肉内脂肪組織が筋束間の容積を拡大し、結果としてロース芯断面が増大する可能性が示唆された本研究の結果と整合するものである。18~20ヶ月齢以降は、骨格筋の筋量増加は鈍化するとされるが（坂下ら 2001）、本試験の結果から脂肪組織は肥育が進むにつれて一定の肥大が続くと見られる。特に、黒毛和種は脂肪前駆細胞から脂肪細胞への分化能が他品種に比べて高く、筋内脂肪を蓄積しやすい体質であることから、本研究で観察されたような高脂肪交雑群における肥育末期の筋内脂肪蓄積継続は、和牛に特徴的な動物体であると考えられる。

我々はこれまでの研究において、超音波診断によって20~22ヶ月齢でのロース芯面積などの測定データから最終枝肉重量をある程度予測できることを報告している（川田ら 2016）、また、脂肪交雑については肥育末期にも発達が進むため、脂肪交雑の推定については出荷前の24~28ヶ月齢で複数回の測定を行うこと

が有効であること、また、個体ごとに胸最長筋面積・脂肪交雑の発達ピークが異なることから、各産肉形質の発達パターンは血統や遺伝的背景の影響が大きいと報告している(川田ら 2012)。本研究では、肥育後期における脂肪交雑とロース芯面積の発達パターンに明確な関連性が見られたことから、遺伝的素質や飼養管理要因が産肉形質の発達動態に大きく影響していることが考えられる。つまり、黒毛和種の肥育過程におけるロース芯の経時的な変化を観察した結果により、肥育初期から中期にかけては筋肉組織の発達が顕著であるが、肥育中盤以降はその発達が鈍化し、それに対して高栄養価の摂取により筋肉内脂肪組織の発達・拡大がなされ、見かけ上の筋断面面積の拡大が生じていることが想定される。したがって、一旦鈍化したロース芯の再拡大の程度を観察することが、脂肪交雑の発達の程度を評価する上で重要になると考えられる。

今後は、他の産肉形質の経時的な発達との関係性を解析すると共に、血液生化学的解析等と組み合わせることで、和牛肥育における産肉生理を明らかにし、これに基づいた合理的な肥育技術の確立を図っていく必要がある。

研究Ⅱ：農家における飼養管理の違いが黒毛和種去勢牛の肥育成績に及ぼす影響に関する調査

目的

和牛肥育経営では、肥育牛1頭当たりの経済価値が高いため、個体ごとの枝肉評価を安定化することが経営上重要となる。特に、出荷までの期間が長い和牛肥育においては、農家ごとに、個々の肥育期間中の牛の状態を把握し、飼養管理が適正であるかを判断することが、出荷成績を安定させるために必要である。しかし、枝肉の評価を左右する脂肪交雑やロース芯、背脂肪等の体内の状態は、肥育牛がと畜されるまでは直接判断することが出来ない。

栃木県では、平成8年に超音波肉質診断装置を県普及指導機関に導入し、肥育牛の生体診断による客観的なデータに基づいた技術指導を行っており、この際に、

血液分析と組み合わせることで肥育牛の飼養管理向上に取り組んでいる。

本研究では、これらの調査において、飼料給与体系の異なる農家における肥育成績の違いに関する調査結果を報告するとともに、飼料給与の違いが肥育成績に与える影響について考察した。

材料と方法

飼養管理の違いと肥育成績の関係を調査するため、現地調査を実施している栃木県内の黒毛和種肥育農家のうち、同一地域の肥育農家4戸(農家A~D)の調査データを対象とした。各農家で肥育されていた去勢牛のうち、生後約15か月齢に達した肥育牛計93頭を調査対象牛とし、これらを導入後から出荷まで概ね3か月ごとに継続調査した。15か月齢時には体尺測定と採血を行い、18か月齢以降の調査時にはこれらの測定に加え超音波肉質診断を実施した。体尺測定により体高・胸囲・腹囲を測定し、胸囲・腹囲の値から守田らの報告を参考に推定体重を算出した(図3)。対象牛は全て東京都中央卸売食肉市場に出荷され、その際に日本食肉格付協会の格付員による枝肉成績(枝肉重量、ロース芯面積、皮下脂肪厚、バラ厚、BMS値等)の評価を受け、これを枝肉成績とした。超音波画像診断装置および肉質診断用プローブ(HS-2100VまたはHS-1600V 本多電子製)を用いて生体での胸最長筋面積(ロース芯)、僧帽筋断面厚、背腰部の皮下脂肪厚、バラ厚の測定およびBMS No.の推定を行った。なお、BMS No.の推定は研究Ⅰに準じて判定を行った。また尾静脈採血を行い、血漿中のVA、VE、β-カロテンをHPLC法により、血中T-Cho値、GOT濃度等を乾式血液自動分析装置(NX700V ドライケム、富士フイルム、東京)により分析した。併せて各農家の飼料給与内容(濃厚飼料および粗飼料の種類・給与量、給与時期)についても聞き取りにより調査し、農家による肥育前期・中期・後期の栄養供給水準の差異を比較した。なお、統計解析にはR(R Core Team, 2025)の機能拡張ソフトウェアEZR version 1.68(Jichi Medical University, 栃木県)を用いて行った。

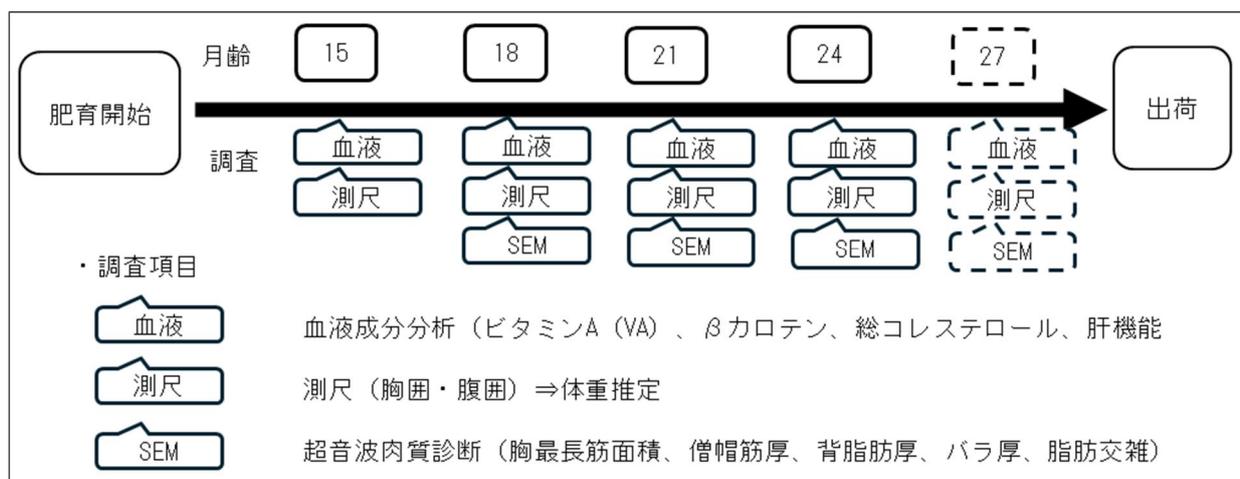


図3 肥育農家診断指導における調査スケジュール

表2 調査農家における和牛去勢肥育牛出荷成績の比較

	出荷月齢 (月)	枝重量 (kg)	ロース芯 面積 (cm ²)	バラの厚さ (cm)	背脂肪の 厚さ (cm)	歩留 基準値	BMS No.
農家A	29.1 (±1.63)	606.3 (±35.49)	94.8 (±11.74)	9.9 (±0.88)	2.4 (±1.00)	78.8 (±1.98)	11.0 (±2.04)
農家B	29.5 (±1.63)	604.8 (±58.30)	84.5 (±16.57)	9.4 (±0.91)	2.3 (±0.92)	77.1 (±2.22)	10.0 (±2.13)
農家C	28.5 (±2.37)	617.5 (±56.97)	88.8 (±14.23)	9.85 (±0.76)	2.9 (±0.89)	77.3 (±2.21)	10.7 (±1.21)
農家D	29.7 (±0.68)	584.1 (±50.00)	N. D ※ ¹	N. D ※ ¹	N. D ※ ¹	N. D ※ ¹	9.2 (±2.64)

() 内 標準偏差

*1 以前の産肉記録無し

結果

(1) 農家別の枝肉出荷成績傾向

調査に先立ち、各農家の過去の枝肉成績（去勢肥育牛）を集計して肥育成績の特徴を比較した（表2）。その結果、脂肪交雑（BMS No.）は農家Aが最も高く、増体速度及び枝肉重量は農家Cが最も優れており、農家Dは枝肉重量・脂肪交雑とも4農家中で最も低い傾向が見られた。農家BはAとCの中間的な成績であった。これらの差異は農家ごとの飼養条件の違いに起因すると考えられる。

(2) 肥育中の増体および血液成分の推移

調査牛93頭の推定体重の推移を比較すると、農家A・B・Dでは肥育末期（23か月齢以降）に増体速度の低下が見られたのに対し、農家Cでは肥育全期間を通じて安定した増体が持続し、肥育後半になっても著しい増体の減退は認められなかった（図4）。血中T-Cho値の推移を見ると、農家A・B・Dでは個体間のばらつきが大きく、特に肥育後期に血中T-Cho値が低下傾向を示し150mg/dLを下回る個体が散見された。一方、農家Cでは血中T-Cho値が常に一定範囲内で推移し、全期間を通じて150mg/dL未満に低下するケースはなかった（図4）。また、血中VA値に関しては、農家Dで肥育後半に向けて大きく低下する傾向が多く見られ、最終的に著しい低VA状態になった個体も見られた。しかし、農家A・B・CではVAの補給により肥育後期における過度な低下は避けられていた（図5）。

なお、図4、図5で示されたように、血中T-Cho値及び血中VA値の変化と増体との間に密接な関連性が見られた。

(3) 超音波診断による産肉形質の発達比較

超音波肉質診断の結果を図6に示した。農家Cの牛群では肥育中期～後期（18～24か月齢頃）にかけてロース芯面積およびBMS No.の顕著な上昇が確認されたが、25か月齢以降の肥育末期になると、それらの発達が次第に鈍化する傾向が見られた。これに対し、出荷成績において特に脂肪交雑の成績が高い農家Aで

は、肥育末期（23か月齢以降）まで脂肪交雑の著しい発達が最後まで続き、それに伴ってロース芯面積も増加する傾向が示され、また、肥育後期に背脂肪厚の増加がほとんど見られず、エネルギーの優先的配分が筋肉内脂肪蓄積に向けられた可能性が示唆された。

一方、肥育成績が他よりも低い農家Dでは、肥育初期（15～18か月齢頃）の発育は他農家と大差なかったものの、肥育中期以降（18～24か月齢）にロース芯面積および脂肪交雑の増加があまり見られず、肥育後半の伸びが著しく低い個体が多かった。この超音波診断結果と先の血中VA、血中T-Cho値の推移に基づき総合的に肥育管理の改善対策として、肥育後期における筋肉内脂肪の発達を十分促すためには、肥育前～中期にかけての栄養水準のコントロールと特にVAの肥育後期における正確な管理が重要であることが示唆された。

(4) 飼料給与と管理の違い

調査対象の4農家はそれぞれ独自の配合設計・給与プログラムで肥育を行っており、飼料内容と給与量・タイミングに明確な相違が見られた（図7）。特に肥育前期（導入直後～15か月齢頃）から中期（16～22か月齢頃）にかけての栄養水準に差異が大きかった。農家Cは導入直後から15か月齢までの総合消化養分（TDN）供給量を要求量の約80%に抑える制限給餌を行い、16～20か月齢の間に濃厚飼料の給与量を段階的に増やすことで代償性発育を期待する給与方法を取っていた。これに対し、農家BおよびDは導入初期（10～15か月齢）の濃厚飼料中心の給与水準（TDN・CP充足率）が農家Cよりも高く、さらに増量開始の時期もCに比べ2～3か月早かった。このことが肥育序盤に過剰な栄養負荷をルーメンに与え、早期の脂肪蓄積や消化機能への負担を招いた可能性があると考えられる。農家Aは初期から高い栄養レベルで急速に発育させつつ、肥育後期（23か月齢以降）にさらに濃厚飼料給与量を追加的に増やす一方で、粗飼料の給与量や繊維質含量を調整することによって採食量の低下を防ぎ、肥育末期まで十分な飼料摂取を維持できていたと推察される。このように、各農家の給与

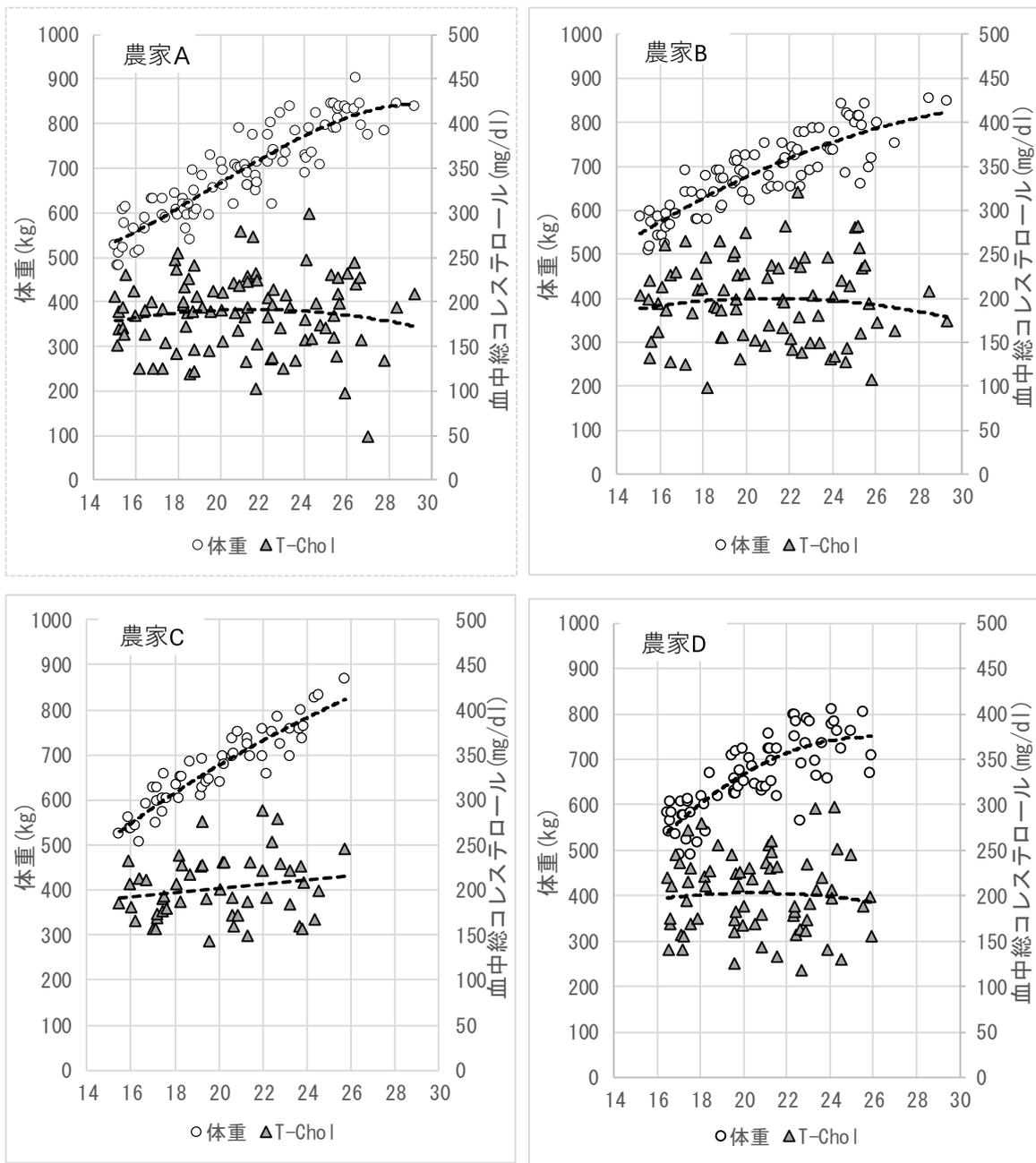


図4 各農家の調査牛の推定体重及び血中 T-Chol 値の推移の比較

方針の違いが肥育曲線や血液検査値の差となって現れ、それが最終的な枝肉成績の差異につながっていると考えられる。

考察

本調査では、飼料給与体系の異なる農家の黒毛和種去勢牛肥育成績を比較し、飼養管理の差異が枝肉成績に及ぼす影響を検討した。その結果、各農家において出荷成績の傾向が異なり、これらの違いは各農家の採用する飼養管理法の差異に起因することが示唆された。

特に、導入初期に給与量を抑えて後半に代償性発育を促す方法をとった農家と、初期から高栄養で急速に発育させつつ肥育末期まで摂取量を落とさない方法を

とった農家との間に肥育前～中期の栄養供給水準に大きな違いがみられたが、肥育初期に濃厚飼料を高レベルで給与した農家では、肥育後期での増体の鈍化が見られた。黒肥地（1973）は、初期から濃厚飼料を早期に多給するとルーメンへの負担を増大させるとしており、本研究での結果も同様の影響が考えられる。

一方、岡ら(2007)は、肥育初期に過度の濃厚飼料給与を避けて粗飼料を十分給与することは、生理的負担を軽減しつつ最終的な増体や肉質に悪影響を及ぼさないと報告しており、今回、農家Cの良好な成績は、このような合理的な前期管理の有効性を示したものである。

肥育期間中の血液成分の推移からも各農家の栄養管

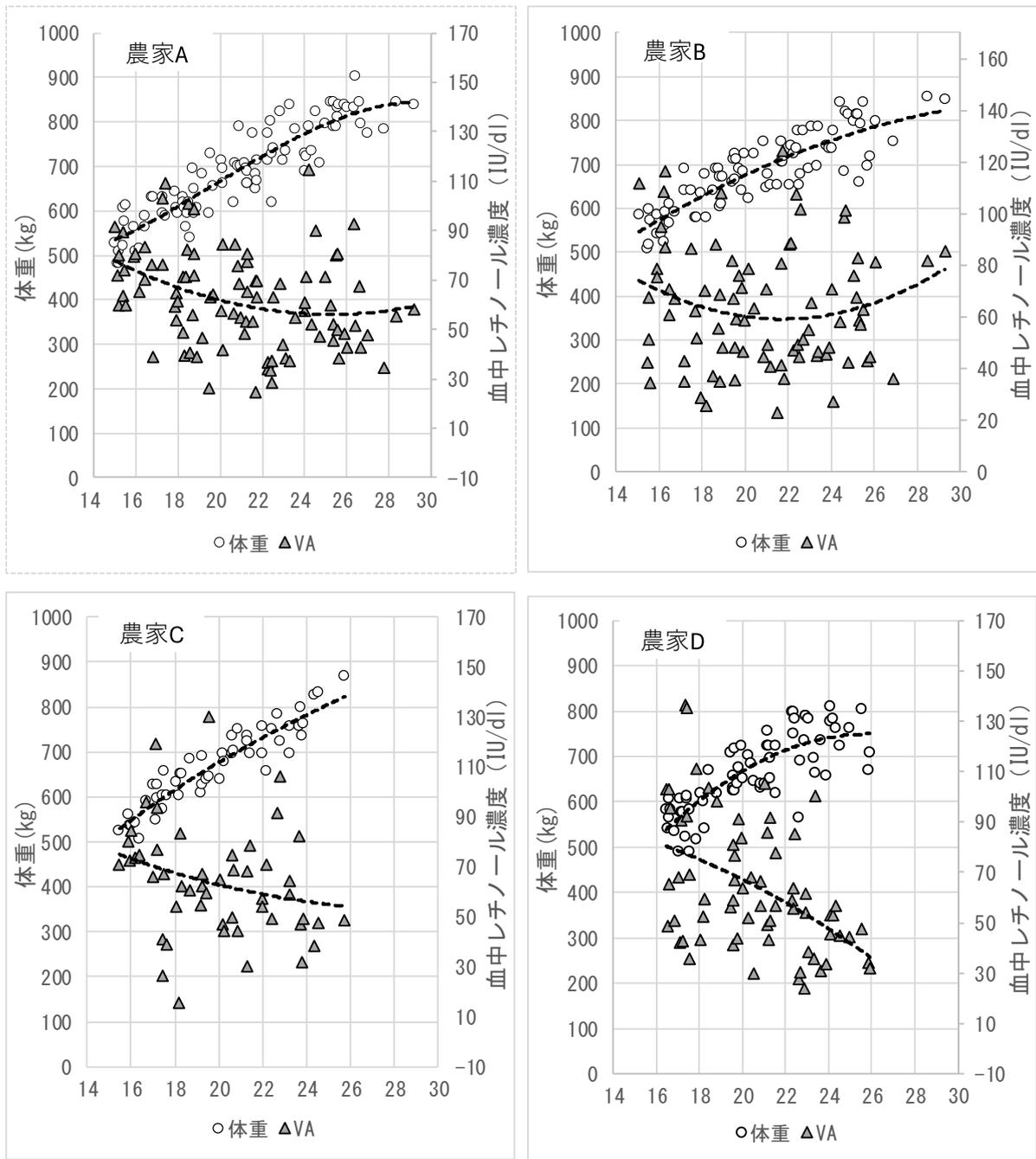


図5 各農家の調査牛の推定体重及び血漿中レチノール (VA) 値の推移の比較

理の差が示唆された。農家 C では血漿中血中 T-Cho 値が全期間を通じて安定的に推移し、肥育後期でも 150mg/dL を下回ることがなかった。渡辺(2001)は、血中のコレステロールの値は飼料からのエネルギー摂取量を反映する指標であるとしており、乙丸ら (2015) は、鹿児島県内の高肉質の黒毛和種去勢肥育牛の血中 T-Cho 値は 14 ヶ月齢以降で 137mg/dl~156mg/dl、中後期以降では 150mg/dl 以上であったとしている。また、渡辺ら(1999)は肥育牛では中期に 150mg/dl 以上の個体の格付け値が高かったとしており、これらのことから、肉質等級が高い牛ほど血中

T-Cho 値は高く、4 等級以上の枝肉では肥育期に 150mg/dL 以上を確保することが必要であると見られる。従って、血中T-Cho値のばらつきが小さく且つ高水準で推移した農家 C や A の牛群は、肥育後半まで安定したエネルギー摂取を維持し順調な増体・脂肪蓄積が続いたと考えられる。一方、農家 D では後期に血中 T-Cho 値の急低下 (150mg/dL 未満) が散見され、飼料摂取不良や代謝失調が生じていた可能性が高い。

VA 管理の違いも肥育後期の状態に大きく影響することが確認できた。一般に肥育牛では肉質向上のため肥育中期に VA を制限し霜降り発達を促す半面、肥育

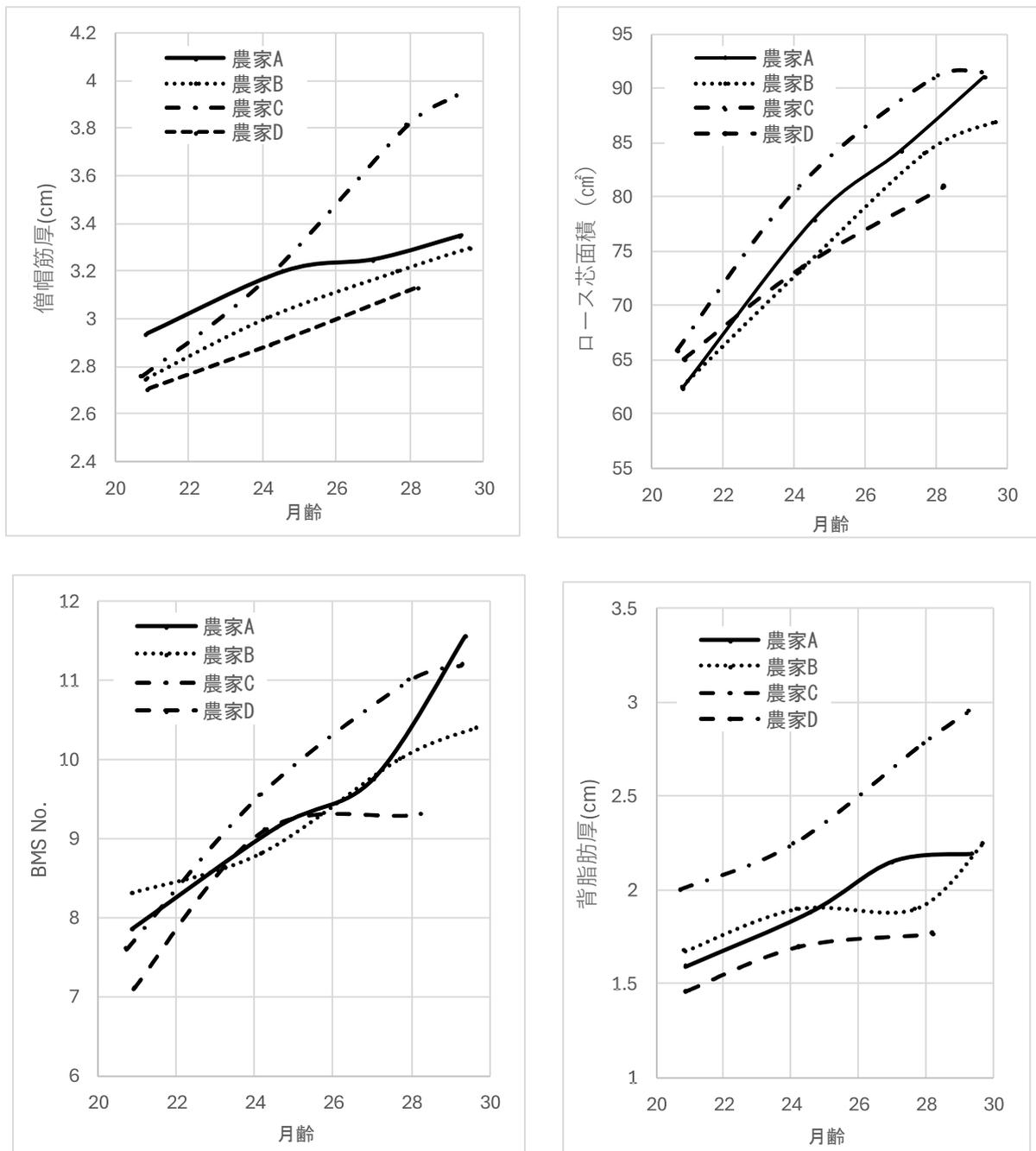


図6 各農家の調査牛における超音波肉質診断による産肉形質発達の比較

後期には必要量を給与して欠乏症を防ぐ方法が取られている。甫立は(1999) VA 給与制限により16か月齢時までに血中VA値を80IU/dL以下に制御することで脂肪交雑の向上が期待出来るが、VA 欠乏試験を行った際、過剰な制限により血中VAが15IU/dLを下回ると濃厚飼料の摂取量低下が生じ、この際VAの補給をすると食欲の回復が見られたが、最終的にVA補給を中止すると水腫が発生したため、肥育後期では適切にVAを補給する必要があると報告している。

本研究でも農家Dでは後半に向けてVAが著減し、最終的に極端なVA欠乏状態(欠乏症発現目安の血中

30IU/dL)以下となった個体が存在した。このことが血中T-Cho値の低下や増体鈍化を招いた一因と考えられる。一方、農家A・B・Cでは過度のVA低下が回避されており、特に成績優良なAやCでは肥育後期に必要なVAを適宜補給していると推察される。その結果、肥育末期まで採食量が維持され、筋肉内脂肪の十分な蓄積が可能となったことが産肉成績を高めたと考えられる。

なお、農家Dは、その後の指導によりVA投与や給与体系を見直すことで肥育成績の改善が図られており、現在では、枝肉共励会等においても優秀な成績を獲得

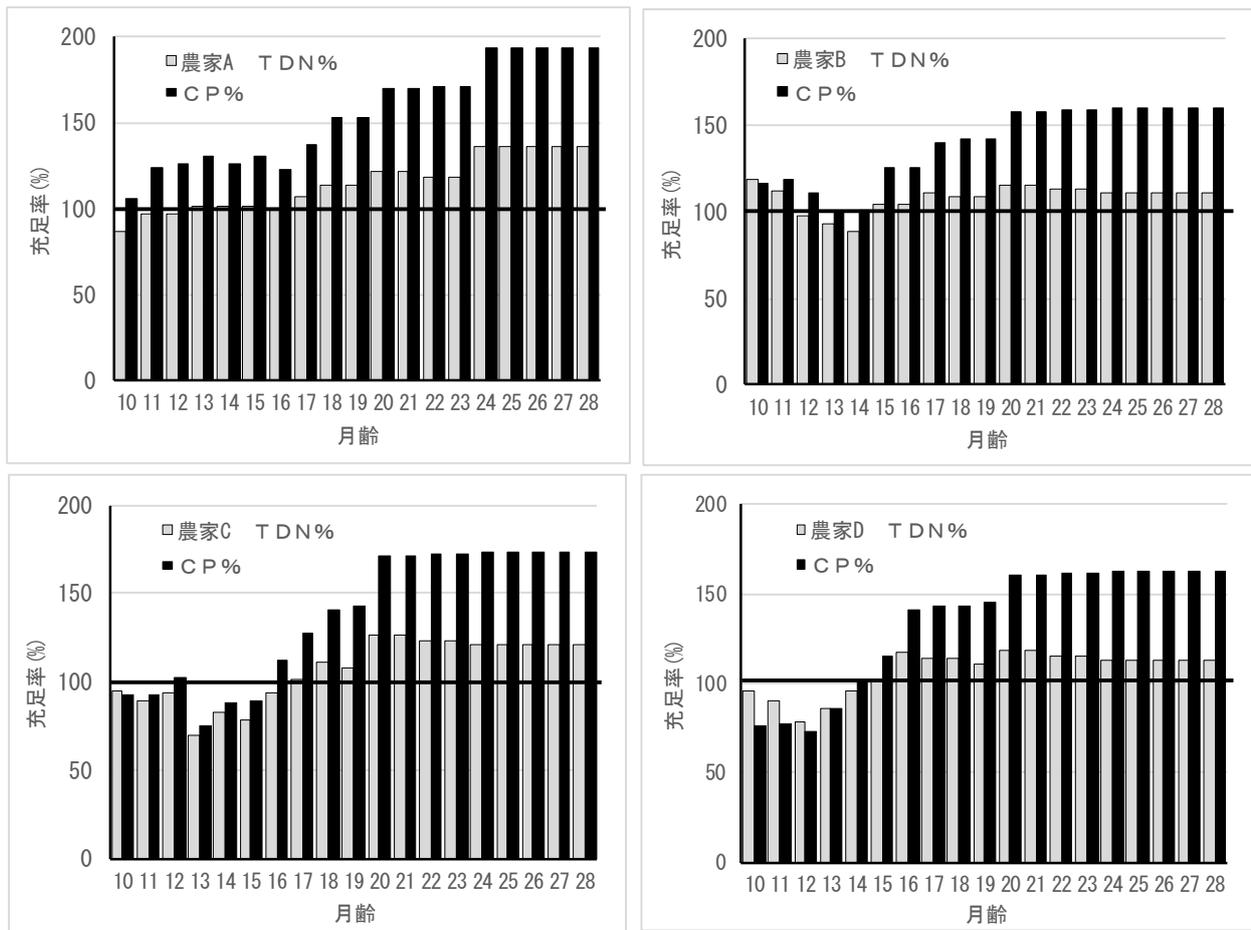


図7 農家毎の肥育牛 TDN および CP 要求量に対する充足率の比較

している。

以上より、和牛肥育において枝肉成績を安定して向上させるには、初期には過度な濃厚飼料給与を控えてルーメンへの負担軽減と胃容量の発達を促し、中期以降は計画的に濃厚飼料給与量を増やして増体および脂肪蓄積を確保し（代償性発育の活用）、後期には高エネルギー飼料の摂取を継続させつつ VA 不足を是正することで、発育停滞や採食低下を防ぎながら枝肉重量および霜降りを最大化するといった各肥育ステージに応じた栄養管理の適正化が重要であることを明らかにした。また、血液中の血中 T-Cho 値や VA 値を定期的にモニタリングすることは肥育牛のエネルギー状態や肉質発達の客観的指標となり得るため、超音波診断と併せて活用することで科学的根拠に基づく飼養管理改善が可能であることを証明した。これらのことから、本調査で得られた知見に基づき、和牛肥育農家における高品質牛肉生産のための栄養管理の指標とすることが有用であると考えられる。

研究Ⅲ：農家繁養の黒毛和種去勢肥育牛における血中 VA および血中 T-Cho 値の推移と枝肉成績との関係について

目的

本研究では、農家調査時に採取・分析したデータのうち、特に枝肉成績と関係の高かった肥育期間中の血中 T-Cho 値、及び VA 値の動態に注目し、これらの血中での動態と枝肉成績に影響を与える時期等を詳細に分析することで、黒毛和種去勢肥育における枝肉成績向上のための飼養管理方法について検討を行った。

材料と方法

研究Ⅱの調査に用いた対象牛のデータを精査し、肥育期間中の血中代謝成分の推移と枝肉成績の関連性を統計的に解析した。供試対象は研究Ⅱの対象牛 93 頭の内から、少なくとも 14 か月齢から 26 か月齢まで 3 回以上の調査データが蓄積され、かつ最終的な枝肉格付成績が得られた黒毛和種去勢肥育牛 81 頭のデータとした。これらの個体について、出荷時の枝肉重量、ロース芯面積、ばら厚、背脂肪厚、BMS No. 歩留等級の枝肉成績ごとに上位群（良好群）と下位群（劣位群）に分類し、各群の肥育期間中の体重・血漿中血中 T-Cho 値・VA 値の平均推移を比較した。さらに、肥育中期・後期における血中 Cho 値および VA 値が枝肉形質に及ぼす影響を定量的に評価するため、18 か月齢時点および 20 か月齢時点の血中 T-Cho 値・VA 値

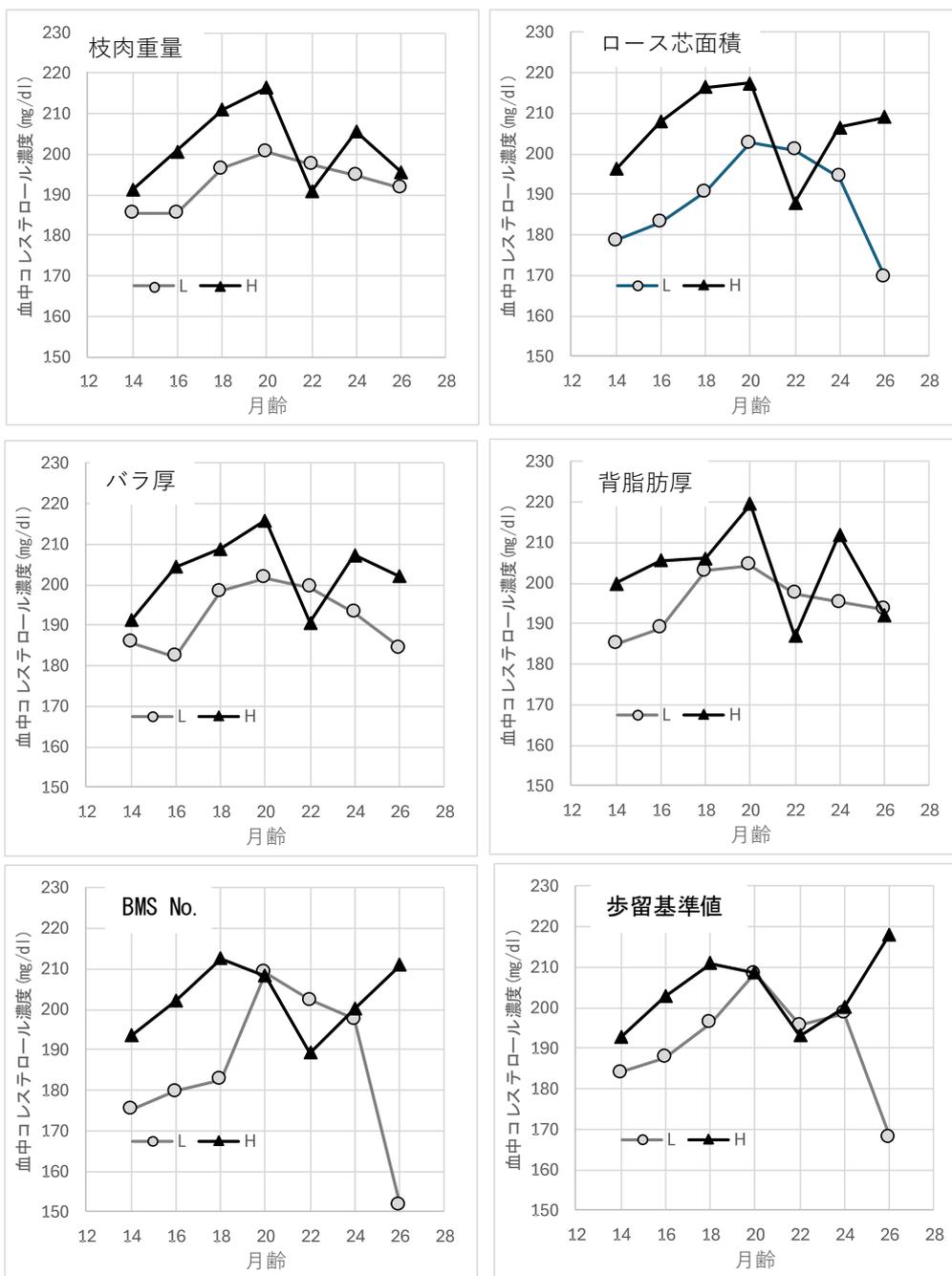


図8 各産肉形質における上位牛群 (H) と下位牛群 (L) の肥育期間中の血中 T-Cho 値の推移の比較

を説明変数、枝肉成績を目的変数として一般化線形モデル (GLM) による重回帰分析を行った。なお、統計解析には R (R Core Team, 2025) の機能拡張ソフトウェア EZR version 1.68 (Jichi Medical University, 栃木県) を用いて行った。

結果

(1) 枝肉成績上位群と下位群の比較

枝肉成績の各形質について肥育期間中の血中 T-Cho 値および VA 値の推移を上位群と下位群間で比較した。その結果、枝肉重量およびバラ厚は、上位群・下位群

とも同じような推移パターンを示し、肥育中期に向けて体重・血中 T-Cho 値が上昇し、その後緩やかに減少するといった変化であった。一方、ロース芯面積および BMS No. では、上位群は肥育前期に一旦血中の血中 T-Cho 値が上昇し、その後肥育中盤で一旦低下した後、肥育後期の 24 か月齢以降に血中 T-Cho 値が再び上昇に転じる特徴的なパターンが見られたのに対し、下位群では肥育前期の血中 T-Cho 値が低く推移し、肥育末期において血中 T-Cho 値の極端な低下が見られた。また、背脂肪厚について、枝肉成績で背脂肪厚の厚いグループでは肥育初期の 14~16 か月齢時点で、

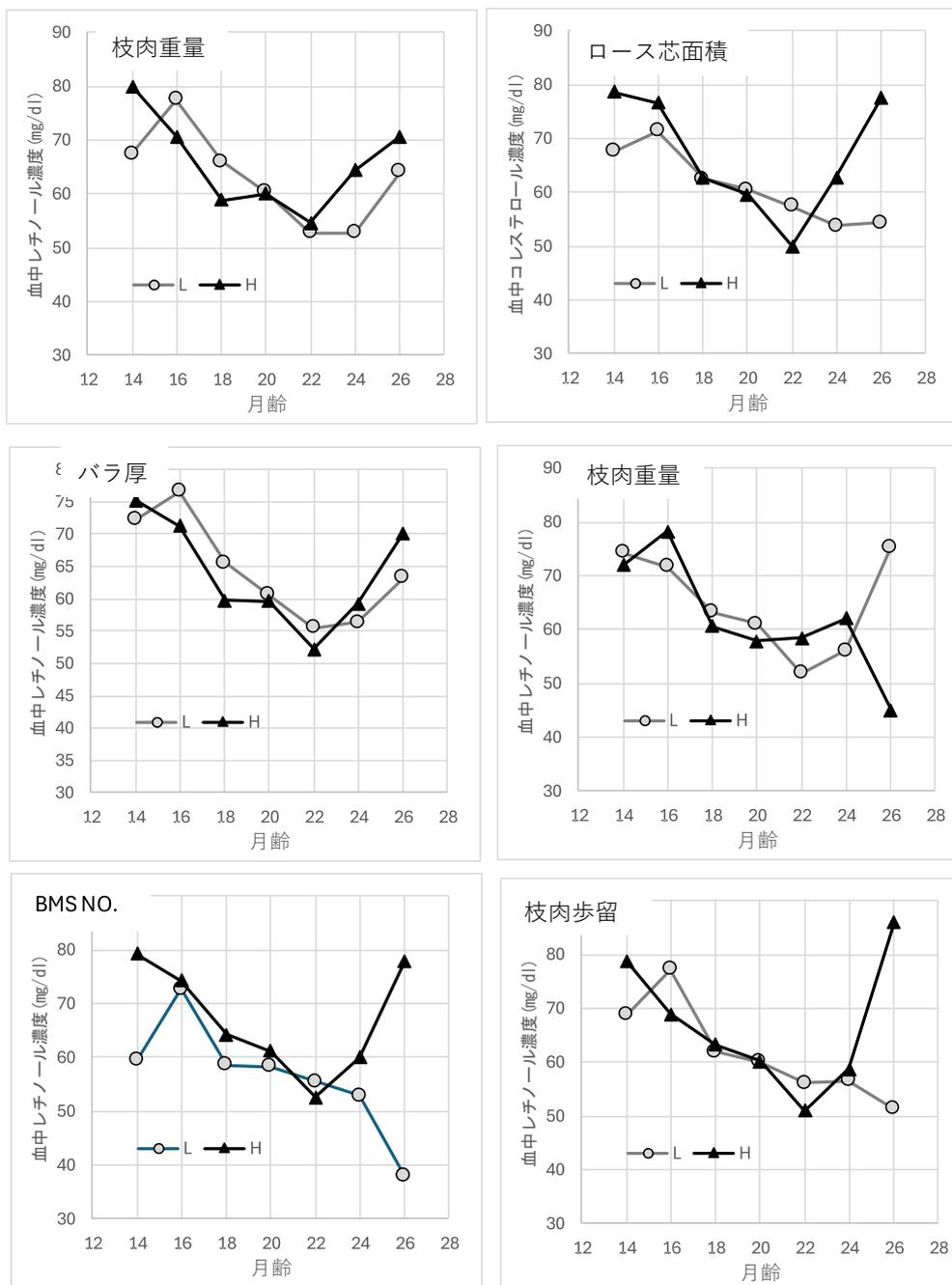


図9 各産肉形質における上位牛群 (H) と下位牛群 (L) の肥育期間中のレチノール (VA) 推移の比較

薄いグループよりも血中 T-Cho 値が有意に高値を示し、その後、肥育後半には顕著に血中 T-Cho 値が低下する傾向が確認され、肥育初期に過剰な高栄養を与えた牛群では、早期に皮下脂肪組織に脂肪蓄積が進み、その後半には代謝能が低下して血中 T-Cho 値が低下することが示唆された(図8)。

血中 VA 値は、全ての産肉形質において、上位群、下位群とも肥育中期 (~22 か月齢) にかけて低下する傾向が見られた。これは脂肪交雑を高めるため各農家で肥育中期に VA 給与制限を行う慣行の結果と考えられる。しかし、枝肉重量およびバラ厚の上位群・下位

群では、いずれも 22 か月齢以降に血中 VA 値が上昇に転じたのに対し、ロース芯面積および BMS 値の下位群では 22 か月齢以降に血中 VA 値の上昇が見られず、特に BMS No. 下位群では 26 か月齢時点で顕著な VA 値低下を示した。このことから、肥育後期まで過度な VA 制限を続けることは、肉質の低下につながることを示唆された(図9)。また、表4は分析対象とした牛群における各産肉形質間の相関関係を見たものである。枝肉重量とバラの厚さ、ロース芯と脂肪交雑との間に相関関係が見られ、血中 T-Cho 値および血中 VA 値において推移パターンが類似するのと同じ関係

表4 分析対象牛群の枝肉成績における各形質間の相関係数

	枝肉重量	ロース芯面積	バラの厚さ	背脂肪の厚さ	脂肪交雑基準値	歩留基準値
枝肉重量	1.00					
ロース芯面積	0.42	1.00				
バラの厚さ	<u>0.57</u>	0.42	1.00			
背脂肪の厚さ	0.37	-0.09	0.26	1.00		
脂肪交雑基準値	0.22	<u>0.63</u>	0.37	<u>-0.22</u>	1.00	
歩留基準値	0.11	<u>0.88</u>	0.41	-0.45	<u>0.66</u>	1.00

性が見られた。また、背脂肪の厚さは、脂肪交雑と弱い負の関係性が見られ、脂肪交雑の向上には、厚脂の抑制が必要であることが推測された。

(2) 血中 Cho 値・VA 値と枝肉成績の統計解析

これらのデータの相互関係を見るために、血中 T-Cho 値、VA 値を説明変数、各産肉成績を目的変数として一般化線形モデル(GLM)を用いて相互関係を解析した。その結果、18 か月齢時の血中 T-Cho 値および VA 値は、それぞれロース芯面積・BMS 値・歩留基準値に対して有意な正の影響を示した ($p<0.05$)。また 20 か月齢時の VA 値もロース芯面積に対して正の回帰係数を示した ($p<0.05$)。

一方で、血中 T-Cho 値と VA 値の相互作用は 18 ヶ月齢のロース芯面積および BMS 値に対し統計的に有意に負の影響を示し ($p<0.05$)、20 ヶ月齢のロース芯

面積、BMS No. 歩留基準値に対し負の影響の傾向を示した ($p<0.1$)。

考 察

本研究では、黒毛和種去勢牛の肥育期間中における血中 T-Cho 値および血中 VA 値の動態と枝肉成績が密接に関連することが示された。特にロース芯面積や脂肪交雑 (BMS) では、枝肉成績上位群において肥育後期まで血中 T-Cho 値が比較的高く維持されたことから、これらの形質には栄養代謝の活性が発達に重要であることが示唆され、一方、下位群では肥育末期に血中 T-Cho 値が極端に低下する傾向が見られたことから栄養摂取量や代謝能が低下したことにより最終的な産肉能力に負の影響を及ぼした可能性があると考えられ、松田 (2004)、伊藤ら (2003) も栄養代謝と産肉形質の発達について同様の報告を行っている。

特に、肥育初期から背脂肪厚の厚かった牛群では、

表5 一般化線形モデルを用いた血中 T-Cho 値及び血中 VA 値と各産肉形質の枝肉成績との関係について

説明変数	目的変数の回帰係数						
	月齢	枝肉重量	ロース芯面積	バラの厚さ	脂肪の厚さ	BMS No.	歩留基準値
血中コレステロール (Chol) 濃度	16ths	0.30320	-0.02843	0.01191	0.00089	0.00633	-0.00101
	18ths	0.51640	0.38850 **	0.00985	-0.00289	0.06060 **	0.06187 **
	20ths	0.94420	0.36350 *	0.00054	0.00749	0.02813	0.03577
	22ths	0.08695	-0.03085	-0.00384	0.00658	0.00619	-0.01424
	24ths	-0.14160	-0.04454	-0.00026	0.00910	-0.01126	-0.01682
血中ビタミンA (VA) 濃度	16ths	-0.44000	-0.36580	-0.01897	-0.01457	-0.01334	-0.03767
	18ths	0.67590	0.88440 *	0.01099	0.01142	0.10650 *	0.13230 *
	20ths	3.40400	1.19300 *	0.00688	0.01669	0.14080 。	0.12360
	22ths	0.96380	0.14290	0.01321	0.02775	0.07615 。	-0.01684
Chol × VA 相互作用	24ths	0.61750	0.06925	0.01743	0.02151	-0.02064	-0.02106
	16ths	-0.00199	0.00152	-0.00002	0.00002	0.00009	0.00020
	18ths	-0.00247	-0.00456 *	-0.00005	-0.00003	-0.00059 *	-0.00073 *
	20ths	-0.01205	-0.00530 。	0.00010	-0.00004	-0.00069 。	-0.00057
	22ths	-0.00287	-0.00111	-0.00003	-0.00014	-0.00031	0.00003
24ths	-0.00021	0.00026	-0.00004	-0.00010	0.00016	0.00016	

** $p<0.01$, * $p<0.05$, 。 $p<0.1$

14～16 か月齢時点ですでに血中 T-Cho 値が有意に高く、その後肥育後半で血中 T-Cho 値が著減した。研究 I の結果が示唆するように、肥育初期の過度な高栄養給与は早期に皮下脂肪蓄積を促し、その後の代謝低下につながったと思われる。育成期から濃厚飼料を多給して過肥育した牛では、肥育期間中も皮下脂肪への脂肪蓄積が優先され、筋肉内への脂肪蓄積が抑制されることが報告されており（浅田 2014）、このことから肥育前期に適正な栄養管理を行い過度な脂肪蓄積を避けることが、後半の枝肉歩留や肉質向上に重要であると考えられる。

一方、血中 VA 値の推移に関しては、肥育中期（～22 か月齢）にかけて全群で低下傾向を示した。これは各農家が脂肪交雑の向上を目的に中期の VA 給与制限を行う慣行の結果であり、これまでの研究報告においても肥育中期に血中 VA 値を低下させることが脂肪交雑の向上に重要だと報告されている（甫立 1999、松田 2004）。また、VA 由来のレチノイン酸は脂肪細胞の分化を抑制することが知られており、血中 VA 値を管理することでサシを増やしつつ皮下脂肪の過剰な蓄積を防げる可能性が示唆されている（Peng ら 2021）。Oka ら（1998）、撫ら（2007）の研究では肥育期間中の VA 制御により筋肉内脂肪蓄積（BMS）の向上と皮下脂肪の抑制が可能であると報告され、海外の試験においても肥育後期の VA 添加を除去することで増体や他の枝肉形質を損なわずに脂肪交雑を有意に高められたとの知見がある。以上より、適切な時期に VA を制限する飼養管理は肉質改善に有効であると裏付けられる。

しかし本研究では、肥育後期まで極端な VA 制限を継続した牛群では 22 か月齢以降も VA 補給による回復が鈍く、26 か月齢時点で著しい低値を示した。これらの個体では脂肪交雑が低かったことから、過度の VA 欠乏状態を後期まで引き延ばすことはかえって肉質低下を招く可能性が示唆される。肥育農家では肥育後期に適度に VA 給与を再開して肝機能障害等のリスクを回避することが一般的であり、過剰な VA 欠乏は肝疾患や浮腫など健康面の問題を引き起こす危険性が高い。本研究の結果でも、18 か月齢時点の血中 VA 値がロース芯面積・BMS No.に正の影響を及ぼしたことから、少なくとも肥育前～中期において極端な VA 欠乏に陥らない程度の管理が重要と考えられる。一方で、18 か月齢時点の血中 T-Cho 値と VA の相互作用がロース芯面積・BMS No.に有意に負の影響を示したが、これについて、伊藤ら(2003)は高いエネルギー状態（高血中 T-Cho 値）であっても同時に血中 VA が高い（十分に給源されている）場合には筋肉内脂肪の蓄積が阻害されることを示すと考えられる。すなわち、高い栄養給与による脂肪交雑の促進効果は、VA 過多の状態では十分に発揮されない可能性もあるため、エネルギーおよび VA のバランス管理が重要である。

以上の知見から、黒毛和種去勢牛の枝肉成績向上には、肥育初期から過度な肥満を避けつつエネルギー摂取を確保し、肥育中期には計画的な VA 制御によって筋肉内脂肪の発達を促すことが有効と考えられる。伊藤ら(2003)は、血中 T-Cho 値は肥育後期の枝肉成績（BMS や枝肉重量等）をと畜前に予測する指標とな

る可能性があるとしており、本研究で得られた血中 T-Cho 値および VA 値の動態情報は、肥育管理の改善による高品質牛肉生産に寄与する有用な指標となり得ると考える。今後、血液性状のモニタリングに基づいた精緻な栄養管理手法を確立することで、黒毛和種の持つ遺伝的潜在能力を最大限に引き出し、枝肉成績の一層の向上が期待される。

まとめ

本研究では、黒毛和種去勢肥育牛に対して、超音波肉質診断装置による非侵襲的診断および血液分析による診断をおこなうことにより、次の様な知見を得ることが出来た。

胸最長筋面積の肥育後期における拡大には個体差があり、高い脂肪交雑能力を有する牛では肥育末期にも筋肉内脂肪の沈着が進み、筋断面が肥大化する傾向が明らかとなった。これは、和牛の霜降り形質の発現が肥育後半まで続くことを示す興味深い現象であり、高品質牛肉生産の観点から意義が大きい（研究 I）。

肥育初期から後期にかけての栄養管理の差異が、成長曲線や代謝指標の推移を通じて最終的な肥育成績に反映されることが示された。特に、肥育前期の過度な濃厚飼料給与は早期の脂肪蓄積と後期の代謝失調（コレステロール低下・VA 欠乏）を招き、霜降り発達を阻害する可能性が高い。一方で、肥育中期までの計画的な栄養制御（適度なエネルギー制限と増飼時期の調整）および肥育後期の高エネルギー飼料摂取の維持が、安定した増体と霜降り向上に寄与する（研究 II）。

血中 T-Cho 値および血中 VA 値は、肥育牛の栄養状態と脂肪蓄積動向を反映する有用な指標であり、適切な範囲での維持管理が枝肉成績向上に繋がることが確認された。肥育中期の血中 T-Cho 値が高値で推移することは枝肉重量の増加と関連し、肥育末期の適正な血中 VA 値は筋肉内脂肪蓄積の促進に必要である。また、これら血中指標を定期的にモニタリングすることで、肥育管理上の問題を早期に察知し是正することが可能となる（研究 III）。

これらの研究結果から、超音波診断および血液分析を指標とした黒毛和種の各肥育ステージにおける飼養管理最適化のポイントを以下の通り集約した(図 11)。

(1) 肥育前期（10～15 か月齢程度）

① 飼養給与管理

1 頭当たり日増体量 0.6～0.7kg を目標に給与量を設定。良質な乾草類を自由採食（1 日 2.5kg 以上）させて反芻発達を促進し、ルーメンの安定的な発達を図る。基本的に蛋白質は 13%以上、ミネラル・V も標準レベルで不足しないよう給与する。

② 超音波肉質診断

この時期は未だロース芯が十分には発達していない。また、筋肉内脂肪も発達は見られないことから、断面積を指標として筋組織の経時的な発達を診断のポイントとする。発達が鈍い場合は飼料補給の改善を検

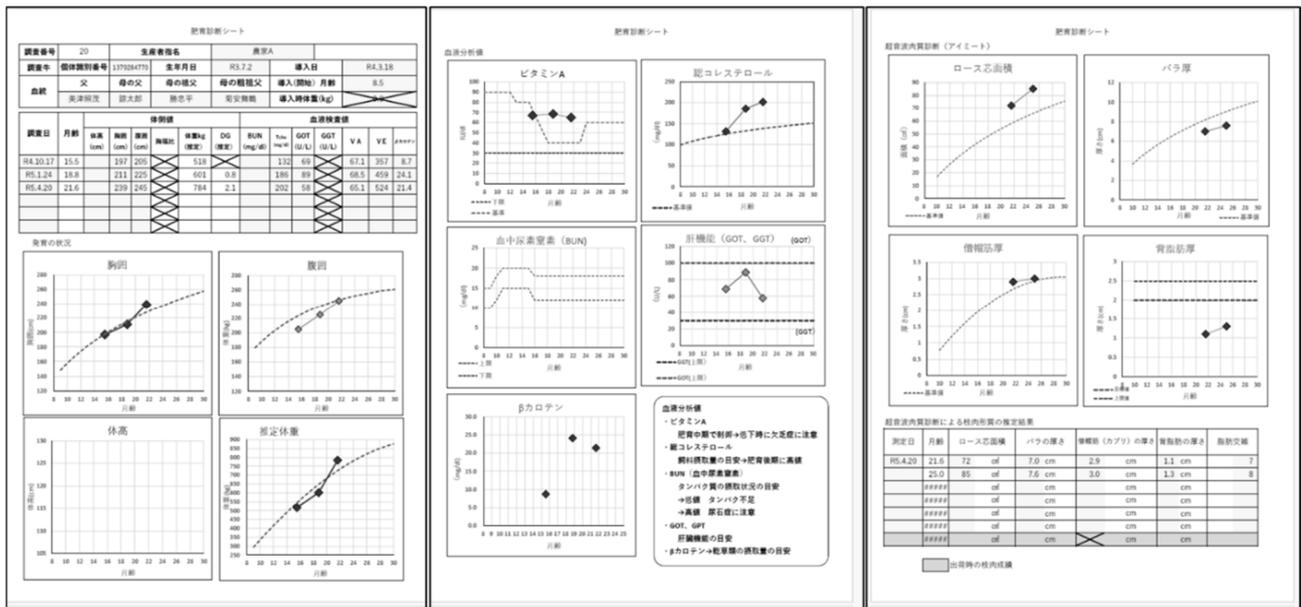


図 11 超音波肉質診断と血液分析を指標とした肥育診断シート

③血液分析

血中 T-Cho 値は中期で 140~150mg/dL 以上を維持することが肥育成績の安定に必要である。値が低い場合はエネルギー摂取不足と判断し、給与量や体調を再確認する。VA は中期以降、増体に伴い急激に低下するため目標値は 50~70IU/dL 程度を維持する。血中 VA が 15IU/dL 以下に低下すると摂取量の低下など障害リスクが高まるため、低値の際には VA 添加で回復を図る。VA 低下による欠乏症状の発生には常に注意する。

(3)肥育後期 (22 ヶ月齢~出荷)

①飼養給与管理

配合飼料の給与量を 1 日当たり増体 0.6~0.7kg 程度を維持するよう管理する。粗飼料 (主に稲ワラ) も引き続き一定量給与し、ルーメンアシドーシスの予防やルーメン発酵の安定に努める。筋肉内脂肪の発達には、肥育後期において十分な栄養の継続的な摂取が必要であるため、VA 製剤を添加し VA40~60IU/dL 以上に回復させて食滞等を防止する

②超音波肉質診断

20~25 ヶ月齢頃に複数回、ロース芯面積・皮下脂肪厚・BMS、バラ厚等を測定し、仕上がり状況を確認する。皮下脂肪厚は 3.5cm 以上の脂肪付着が見られれば食滞等の発生に留意する。肥育後期での脂肪交雑 (BMS) の発達には高い栄養供給が必要となるため、診断画像の反応と飼料摂取量を観察し、適期での出荷を心がける。ロース芯面積は増大が緩慢となるが、二次的に面積が拡大し、ロース芯内のエコー反応の向

上が見られる個体は高脂肪交雑牛として評価する。超音波診断の複数回の経時的測定により精度向上が図れる。

③血液分析

血中 T-Cho 値は終期で 150mg/dL 以上が望ましく、高値の維持により増体・肉質向上が期待できる。肥育末期に向けて低下する場合は食滞による飼料摂取量減少や代謝異常が疑われるので対処する。特に血中 VA は肥育中期から補給をしないと低下し、欠乏症状が生じるため、早急に VA 添加で対応し、血中 VA を 40~60IU/dL 程度に戻す。

これらの指標について、本試験で得られたデータを基に超音波診断や血液分析の指標値を策定し、シート上に診断値を入力することで各肥育ステージにおける指標値と比較できる肥育診断シートを作成した (図 11)、肥育ステージに応じて肥育管理が適正であるかを診断するシステムを確立した。本研究で得られた知見は、飼養管理の改善による和牛の更なる枝肉品質向上および生産コスト低減に寄与するものと期待される。

謝 辞

本研究を実施するにあたり、現地調査に協力いただいた栃木県那須農業振興事務所および栃木県北家畜保健所職員各位ならびに和牛肥育生産者の方々に感謝の意を表する。

参考文献

- 浅田 勉, 大川清充, 櫻井由美, 小林正和, 林 征幸. 2014. 黒毛和種去勢牛の育成期における飼料構成の違いが産肉性に及ぼす影響. 群馬県畜産試験場研究報告 21, 9-30.
- 甫立京子. 1999. 肥育牛におけるVA制御による肉質改善. 肉用牛研究会報 67. 22—28.
- 伊藤 貢, 広岡博之. 2003. 黒毛和種とホルスタイン種の交雑種における血清VAおよび総コレステロール濃度と枝肉形質との関連性. 日本畜産学会報 74(1). 43-49.
- 岩木史之, 岡 章生, 道後泰治. 2002. 但馬牛去勢肥育牛の発育及び血液性状と枝肉性状の関係. 兵庫県農業技術センター研究報告 畜産編 38. 10-16.
- Kanda Y (2013). EZR: Easy-to-use software for medical statistics. Bone Marrow Transplantation, 48, 452-458.
- 川田智弘, 福井えみ子, 吉澤 緑. 2008. テクスチャー解析による超音波診断画像評価に基づいた肉牛生体の脂肪交雑基準値の客観的推定について. 日本畜産学会報 79(2). 173-183.
- 川田智弘, 枝野龍之, 堀井美那, 半田真明, 蓼沼亜矢子, 阿久津友紀子, 白井幸路, 野沢久夫, 岡 英雄. 2012. 超音波肉質診断技術に基づいた肉牛肥育診断システムの確立に関する研究. 栃木県畜産酪農研究センター研究報告 1. 55-64.
- 川田智弘. 2016. 黒毛和種肥育牛の超音波診断画像推定値に基づく枝肉重量の推定についての検討. 日本動物超音波技術研究会第8回大会 講演要旨.
- 黒肥地一郎. 1973. 肉牛肥育における粗飼料と代償性成長. 西日本畜産学会報 16. 5 - 9.
- 松田敬一, 渡辺昭夫, 一條俊浩. 2004. 黒毛和種肥育牛の飼料の中性デタージェント繊維含量および血清VA値と枝肉成績の関連. 日本獣医師会雑誌, 57(4). 227-230.
- 宮島恒晴. 2001. 黒毛和種における超音波を用いた肉質の早期判定法. 西日本畜産学会報 44. 35-42.
- 撫 年浩, 増田恭久, 三角さつき, 藤田和久. 2007. VA制限が黒毛和種去勢牛の産肉形質およびその経時的変化に及ぼす影響. 日本畜産学会報 78(2). 161-166.
- Oka A., Dohgo T., Tateyama C. 1998. Influence of vitamin A on beef marbling in Japanese Black steers. Animal Science and Technology, 69(2), 167-175.
- 岡章生, 岩本英治. 2007. 肥育初期の濃厚飼料制限給与が黒毛和種去勢牛の産肉性に及ぼす影響. 兵庫県農業技術センター研究報告 畜産編 43. 1-5.
- 乙丸孝之介, 志賀英恵, 鹿海淳子, 柳田孝司. 2015. 鹿児島県における黒毛和種肥育去勢牛の血液生化学的性状. 産業動物臨床医学雑誌 5(4). 185-190.
- Park S J., Beak S H., Sol Jung D J., Kim S Y., Jeong I H., Piao M Y., Kang H I., Fassah D M., Na S W., Yoo S P., Baik M. 2018. Genetic, management, and nutritional factors affecting intramuscular fat deposition in beef cattle. Asian-Australas Journal of Animal Sciences. Jul. 31(7). 1043-1061.
- Peng D Q., Smith S B., Lee H G. 2021. Vitamin A regulates intramuscular adipose tissue and muscle development: promoting high-quality beef production. Journal of Animal Science and Biotechnology .12, Article number: 34.
- Pethick D W., Harper G S., Oddy V H. 2004. Growth, development and nutritional manipulation of marbling in cattle. Australian Journal of Experimental Agriculture. 44(7). 705-715.
- R Core Team. 2023. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

盧 尚建, 金 民知. 2022. 黒毛和種の増体成績と枝肉成績に関連する生理・生体情報の解析と利用の可能性. 畜産技術. 805-Jun. 7-11.

坂下邦仁, 川畑健次, 岡野良一, 堤 知子, 西村健一, 大園正陽, 西 博己, 米丸光政. 2001. 月齢が黒毛和種去勢牛の枝肉における皮下脂肪, 筋間脂肪および体腔脂肪の蓄積に及ぼす影響. 西日本畜産学会報 44. 51-54.

渡辺大作, 河野しん, 長谷川 真一, 板垣昌志, 阿部 榮, 阿部省吾, 遠藤祥子, 今野幹雄, 齋藤博水. 1999. 黒毛和種牛における肥育成績と血清 VA, E, および総コレステロールの関連性. 栄養生理研究会報 43(2). 119-128.

渡辺大作. 2001. 黒毛和種肥育牛における代謝プロファイルテストの意義と実践. 家畜診療 48. 279-286.

Research to establish a rational fattening diagnostic index for Japanese Black steers by integrating ultrasound meat quality diagnosis and blood biochemistry indicators

Abstract

This study aimed to noninvasively evaluate muscle and fat development and the dynamics of blood components in Japanese Black (Wagyu) steers, and to clarify their integrated relationships with carcass characteristics. Three complementary experiments were conducted. In Study I, longitudinal ultrasonography was performed on 19 steers to monitor changes in the longissimus muscle area and intramuscular fat during fattening. Two distinct developmental patterns were identified in the late fattening stage—one showing continuous muscle growth and the other stagnation—with the former exhibiting higher marbling scores at slaughter. In Study II, 93 steers from four commercial farms were compared to assess the influence of feeding management differences on growth performance and carcass traits. Variations among farms were evident in growth curves and serum cholesterol dynamics: excessive concentrate feeding during the early stage reduced later feed intake and destabilized blood parameters, whereas farms promoting compensatory growth during the middle stage achieved steady body weight gain and marbling development until finishing. In Study III, relationships between blood constituents and carcass traits were analyzed in 81 farm-fed steers. Serum cholesterol and vitamin A concentrations at 18–20 months of age were positively correlated with loin area, BMS number, and yield index, while maintaining a high feeding level during the late fattening phase promoted marbling formation. Collectively, these results indicate that efficient fattening of Japanese Black steers requires avoiding overfeeding in the early stage, ensuring adequate muscle growth in the middle stage, and maintaining stable serum cholesterol and vitamin A levels in the finishing period. The combined use of ultrasonography and blood analysis proved effective for monitoring physiological and carcass development traits in beef production.