

## 「令和3年度畜産関係学術研究委託調査」報告書（詳細版）

有機畜産（肉用牛）の普及拡大と有機畜産物の科学的指標の検索

小笠原英毅

北里大学獣医学部附属フィールドサイエンスセンター

### 【要約】

近年、SDGsの達成の観点から有機畜産への取り組みが注目されている。現状、国内で取り込まれる有機畜産の飼養管理は様々でグラスフェッド（草資源のみ）およびグレインフェッド（穀物併用）、日本短角種やアングス種、その他交雑種と飼養管理と品種を組み合わせると多岐にわたり、その飼養管理や品種の特性が明確ではない。したがって、これら有機畜産物の科学的特性に関する一定の見解が求められている。

本研究では試験対象牧場を有機JAS認証取得した牧場または取得を目指す牧場とし、グラスフェッドタイプ、グレインフェッドタイプで飼養される日本短角種去勢雄を用いて、各牧場の飼養管理の状態（増体および血液性状）、枝肉成績、内臓特性、骨格筋特性を解析した。増体特性では放牧飼養時の肥育期の日本短角種の日増体量が明確化した一方、有機管理草地における肥育期の放牧技術を再検討する必要性が考えられた。各骨格筋の筋線維型構成割合はグレインフェッドでは筋収縮のエネルギーを糖に依存する速筋型のII型（IIA型+IIB型）筋線維の割合が多く、それは穀物給与量または期間に依存にすること、グレインフェッドにおいても一定量のID型筋線維が存在する骨格筋が存在することが明らかとなった。また、グレインフェッドよりグラスフェッドで生産された日本短角種の骨格筋で脂肪滴含有筋線維の割合が高く、脂肪酸組成では大腿二頭筋近位部での $\alpha$ リノレン酸含量が有機管理で生産されるグラスフェッド日本短角種の明確な特徴となる可能性が示唆された。

以上より、有機管理下で生産されるグラスフェッドおよびグレインフェッドの日本短角種の特性は各項目で明らかとなったが、両飼養管理で共通する特性は見いだせなかった。今後、さらなるデータの蓄積が望まれる。

### 1. はじめに

2005年に有機畜産物の表示基準（有機JAS）が制定され、17年が経過した。野菜などの農産物では多くの農場が有機JAS認証を取得し、有機JASマークを付けた農産物が販売されているのを目にする機会も多い。一方、牛肉などの畜産物で有機JAS認証を取得した生産行程管理者は極端に少なく、2008年に津別有機酪農研究会が有機JAS認証牛乳を販売、2009年には北里大学獣医学部附属フィールドサイエンスセンター八雲牧場（八雲牧場）が肉用牛で国内初の有機JAS認証を取得し、鶏卵、鶏肉、豚肉と、現在まで有機JAS認証の畜産物は限られた地域と生産者で生産しているのみで、一般消

消費者が購入できる機会はまだまだ少ない。八雲牧場では 1994 年から放牧と自給飼料 100%で肉用牛生産から販売まで実践的な研究を行っており、草資源のみで 26 ヶ月齢、生体重 880kg（絶食時体重）、枝肉重量は 527kg のウシの生産も可能であることを実証した。

2021 年 5 月、農林水産省は SDGs の達成および農業分野における地球温暖化防止の政策として「みどりの食料システム戦略」を策定し、2050 年までに有機農業の取り組み面積を耕作面積の 25%（100 万 ha）に拡大することを目的に設定している。しかしながら、有機畜産（肉用牛）においては有機 JAS 認証取得牧場が北海道内のみの 7 戸のみとなっており（2022 年 3 月現在）、今後、普及拡大に関してさらなる方策が必須である。有機牛肉が普及しない要因は一般の酪畜産農家が有機 JAS 認証取得に関わる手続きのノウハウを知る機会が少ないことや有機飼料の確保の難しさにある。現状、2017 年に北海道オーガニックビーフ振興協議会が有機畜産の普及拡大を目的に設立され、生産者 14 牧場、流通関係 19 社が加入し、申請手続き、有機飼料の確保、生産牛肉の流通をサポートしている。参画する生産者の飼養管理は様々でグラスフェッド（草資源のみ）およびグレインフェッド（穀物併用）、日本短角種やアングス種、その他交雑種と飼養管理と品種を組み合わせると多岐にわたる。一方、オーガニック畜産物を求める消費者はオーガニックビーフ＝グラスフェッドビーフと印象が深く、消費者側への情報発信が必要と強く感じる。つまり、現状では有機 JAS 認証を取得した牧場の生産物（牛肉や内臓肉）はオーガニックビーフおよびオーガニックホルモンとオーガニック製品に一括りにされ、有機 JAS 認証を有する一方、その飼養管理や品種の特性が明確ではない。したがって、これら有機畜産物の科学的特性に関する一定の見解が求められてる。

本研究では有機畜産物（肉用牛）生産の普及拡大を目的とし、有機 JAS 認証を取得した牧場もしくは有機 JAS 認証の取得を目指す牧場の生産される過程ならびにその畜産物に関する生産者から消費者まで可視化可能な国内のオーガニック畜産物の新たな指標を検索することを目的とした。

## 2. 材料と方法

### 2-1. 対象牧場と供試動物

本研究における試験対象牧場は有機 JAS 認証取得した牧場または取得を目指す（試験計画当時）牧場であるため、北里大学獣医学部附属フィールドサイエンスセンター八雲牧場（八雲牧場）および A 牧場（グラスフェッドタイプ）、B および C 牧場（グレインフェッドタイプ）で



A : 八雲牧場 B : A牧場 C : B牧場 D : C牧場

図1 有機JAS認証取得または目指す牧場で飼養される日本短角種

飼養される日本短角種去勢雄を用いて計画した（図1）。

実験1として各牧場の飼養管理の状態（増体および血液性状）を把握するため、八雲牧場（有機JAS取得済み）で飼養される日本短角種去勢雄4頭（ $29.8 \pm 1.3$ ヶ月齢）を、A牧場（有機JAS取得予定）で飼養される日本短角種去勢雄4頭（ $34.0 \pm 0.3$ ヶ月齢）を用い、夏期間に放牧し放牧草と固形塩を自由採食させた。B牧場（有機JAS取得済み）では夏期間に放牧される日本短角種去勢雄4頭（ $24.2 \pm 1.1$ ヶ月齢）を用い、放牧草を自由採食とした。C牧場（有機JAS取得済み）では舎飼飼養で穀物給与される日本短角種去勢雄4頭（ $29.8 \pm 0.8$ ヶ月齢）を用いた。

実験2として各牧場で生産された日本短角種の枝肉成績、内臓特性、骨格筋特性を解析するため、八雲牧場の日本短角種の出荷（2021年10月）と合わせるが必要があり、実験1とは異なるまたはその群内の供試牛を用いた。各牧場、同時期に出荷された日本短角種去勢雄はそれぞれ2頭（A牧場： $43.8 \pm 0.9$ ヶ月齢、B牧場： $31.5 \pm 0.8$ ヶ月齢、C牧場： $30.1 \pm 0.4$ ヶ月齢）であった。飼養管理は実験1と同様であった個体を用いた。なお、A牧場は有機JAS認証に見合う放牧地での放牧飼養であること、BおよびC牧場は有機JAS認証を取得済みであるが有機牛出荷までに至っていないことを追記する。

## 2-2. 実験1) 有機管理で生産される肉用牛の増体および血液性状

### 2-2-1. 体重および体尺測定

八雲牧場の供試牛は放牧開始（6月）から毎月一度、午前中に歩行型体重計（キャトルロード）で、その他の牧場では8月および10月に移動式体重計（スマートスケール）で体重を測定し、試験期間中の日増体量を算出した。また、同時に胸囲、腰角幅、寛幅を測定した。

### 2-2-2. 血液性状の解析

採血は体重測定時と同時に頸静脈または尾静脈から行った。採血後、遠心分離機で遠心（3000rpm、室温、20分）後、血漿を採取し、分析まで $-30^{\circ}\text{C}$ で保存した。ヘマトクリット値（Hct）の測定は遠心分離前にガラス毛细管に全血を入れ、ヘマトクリット用遠心分離機で遠心（2000rpm、室温、5分）後、専用の測定器で測定した。血液成分はトリグリセリド（TG）、総コレステロール（T-CHO）、遊離脂肪酸（NEFA）、グルコース（Glucose :Glu）、コルチゾールをそれぞれ、トリグリセライドキット（E-テストワコー）、コレステロールキット（E-テストワコー）、非エステル型結合型脂肪酸キット（Cテストワコー）、グルコースキット（CII-テストワコー）、Cortisol Enzyme Immunoassay Kit（ARBOR ASSAYS : DetectX®）を用いて、付属説明書に従って分析した。また、採血と同時に供試牛の前肢部、胴体部、臀部から均一に体毛を毛刈りバサミで切り取り、コルチゾールの分析に用いた。

## 2-3. 実験 2) 有機管理で生産される日本短角種の枝肉成績と内臓および骨格筋特性

### 2-3-1. 枝肉成績

全ての供試牛は 2021 年 10 月末までに出荷され、公益社団法人日本食肉格付協会の発行する牛枝肉格付明細書を基に枝肉成績を解析した。

### 2-3-2. 内臓組織の重量測定と第一胃乳頭の解剖学的解析

屠畜時に採取可能（食用廃棄ではなく許諾を得られた）で内臓組織を食肉加工業者が洗浄、簡易整形後の内臓（第一胃、第二胃、第三胃、第四胃、小腸、大腸、肺、脾臓、肝臓、脾臓、心臓、横隔膜、咬筋）の重量を測定した。

重量測定後の第一胃、第二胃、第三胃、第四胃は適宜整形後、4%PFA（パラホルムアルデヒド）で固定した。固定後の第一胃を解剖学的に分類される噴門部、第一・二胃口、筋柱近部、背囊の 4 部位に分け、それぞれの各部位から 1cm 四方の組織片を 4 片以上切り出し、第一胃乳頭を筋層側から眼科バサミで切り取り 1cm<sup>2</sup>中の枚数から乳頭の密度を算出した。また、切り取った乳頭を解剖板に並べて写真に記録し、画像解析ソフト Image J(NIH)を用いて乳頭の長径、短径、表面積を算出した。これらは組織 1 片につき 20 枚以上を測定した。

### 2-3-3. 骨格筋の組織化学的解析

枝肉表面および断面より採取可能であったロース系（僧帽筋、広背筋、胸最長筋）、バラ系（胸腹鋸筋）、ウデ・モモ系（上腕三頭筋、大腿筋膜張筋、大腿二頭筋近位部および中遠位部、半膜様筋）、挽き材系（鎖骨頭筋乳突部、指伸筋、趾伸筋）に用いられる 12 種類を採取した。その後、10μm の凍結切片を作製し、myosin-slow (I型) および fast (II型) 抗体を用いた免疫組織化学的染色で、酵素化学的染色によりミトコンドリアのニコチンアミドアデニンジヌクレオチド脱水素酵素 (nicotinamide adenine dinucleotide dehydrogenase : NADH) 活性

(IIA 型) および 3-ヒドロキシ酪酸脱水素酵素 (3-hydroxybutyrate

dehydrogenase : HBD) 活性

(ID 型) を染色し、光学顕微鏡で観察した。また、1 切片 3 ヶ所を無作為に選択し、得られた染色像より各筋組織における I、ID、IIA、IIB 型の筋線維型構成割合を算出した。筋線維型の同定方法は

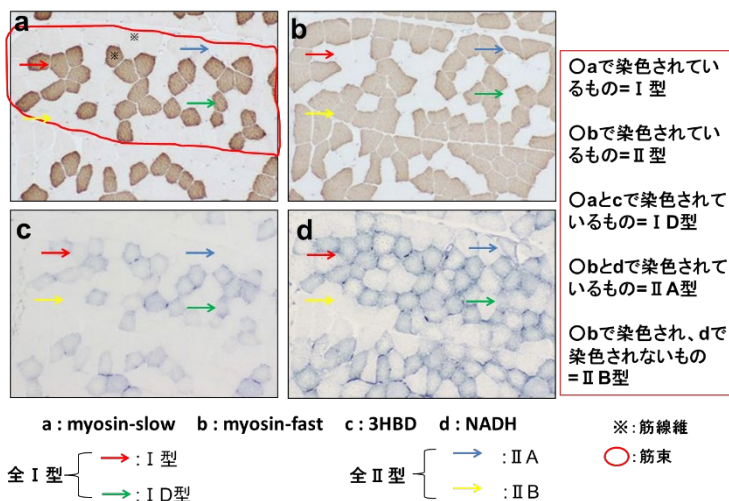


図2 筋線維型の分類法

Myosin-slow 陽性かつ 3HBD および NADH 活性の高い筋線維をID 型、Myosin-slow 陽性かつ NADH 活性の高い筋線維をI型、Myosin-fast 陽性かつ NADH 活性の高い筋線維をIIA 型、Myosin-fast 陽性のみの筋線維をIIB 型筋線維とした (図 2)。また、oil red O 染色を行い、筋線維内に脂肪滴が染色された筋線維を脂肪滴含有筋線維とした。各染色で確認した筋線維の総数が 300 本以上になるように計測し、筋線維型構成割合および脂肪滴含有筋線維の発現割合を算出した。

#### 2-3-4. 脂肪酸組成と栄養成分

分析に用いる胸最長筋および大腿二頭筋近位部は皮下脂肪を取り除き、可能な限り赤身部分のみをミンチ状にし、真空状態で分析まで $-30^{\circ}\text{C}$ で保存した。

脂肪酸組成の測定はサンプルを液体窒素内で粉碎し(脂質抽出まで凍結状態を維持)、サンプル(約 100-200 mg)を 2 mL 用マイクロチューブに入れ、重量を測定した。その後、Folch 法で脂質を抽出し、乾固、メチルエステル化後、ヘキサンに溶出させたものをガスクロマトグラフ(GC)分析に用いた。GC 分析は、オートサンプラーが付いた GC-2014(島津製作所)を用い、GC 分析キャピラリーカラムは長鎖脂肪酸分析用 TC-70(ジーエルサイエンス)、移動相は純ヘリウムを用いた。分析条件は、検出器温度を  $260^{\circ}\text{C}$ 、気化室温度を  $250^{\circ}\text{C}$ とし、カラム温度は分析開始後 35 分間を  $180^{\circ}\text{C}$ とした後、 $260^{\circ}\text{C}$ に達するまで  $20^{\circ}\text{C}/\text{分間}$ の条件で昇温し、計 44 分間測定した。検出された脂肪酸メチルエステルのピーク面積の比からミリスチン酸(C14:0)、パルミチン酸(C16:0)、パルミトオレイン酸(C16:1)、ステアリン酸(C18:0)、オレイン酸(C18:1)、C18:1 脂肪酸の異性体、C18 脂肪酸の異性体、リノール酸(C18:2)および $\alpha$ -リノレン酸(C18:3)の脂肪酸メチルエステルの含有率を算出した。以上の脂肪酸の割合の合計を 100%とし、それぞれの脂肪酸含有率を求めた。その他の脂肪酸の含有率はわずかであり、サンプルによって検出される/されないがあったため、計算には入れなかった。

栄養成分分析は熱量、水分、タンパク質、脂質、炭水化物について(一財)食品分析開発センターSUNATECに委託し、測定した。

実験 1 および 2 で解析された項目から有機畜産を实践する牧場の科学的共通点を抽出し、有機 JAS 認証取得牧場で生産された畜産物(生産過程も含む)における科学的指標を検索する。

### 3. 結果と考察

#### 3-1. 体重および体尺測定

表1に供試牛の月齢、試験開始時（2021年8月）の体重、試験終了時（2021年10月）の体重、試験期間中の日増体量を、表2に胸囲、腰角幅、寛幅を示す。試験開始時および終了時の体重の違いは月齢とそれぞれの飼養管理に起因する。採材時の飼養管理は、八雲牧場、A牧場、

表1 増体成績（生体重・日増体量）

	月齢 (ヶ月)	試験開始時の体重 (kg)	試験終了時の体重 (kg)	試験期間の日増体量 (kg/日)
八雲牧場	29.8±1.3	616.5±40.2	633.5±35.5	0.3±0.2
A牧場	34.0±0.3	519.8±56.7	538.3±58.2	0.3±0.3
B牧場	24.2±1.1	478.4±32.0	500±38.4	0.3±0.2
C牧場	29.8±0.8	915±16.8	936.7±34.4	0.5±0.5

表2 体尺値（胸囲・腰角幅・寛幅）

	胸囲(cm)		腰角幅(cm)		寛幅(cm)	
	試験開始時	試験終了時	試験開始時	試験終了時	試験開始時	試験終了時
八雲牧場	207±5	207±2	53±2	54±1	50±2	50±2
A牧場	200±9	193±6	53±4	53±3	49±2	49±2
B牧場	186±4	188±5	46±2	48±2	44±2	46±1
C牧場	269±7	268±12	60±2	64±1	53±2	54±2

B牧場が放牧飼養であり、八雲牧場が有機管理で通常牧草型（基幹草種がペレニアルライグラス、オーチャードグラス、シロクローバー）、A牧場が有機管理の野草型（基幹草種がノコンギク、カズザキヨモギ）、B牧場が有機管理の通常牧草型（基幹草種がオーチャードグラス、リードカナリーグラス）の完全グラスフェッドである。一方、C牧場は舎飼飼養でコーンサイレージ、ビートパルプ、規格外小麦、乾草などのTMR（TDN70%以上）の配合飼料を給与するグレインフェッドである。したがって、個体差は大きい。C牧場の生体重および日増体量が他牧場より高いことは舎飼飼養による行動量の抑制と給与飼料による影響の可能性が高い。グラスフェッドの3牧場の試験期間中の日増体量に明確な差は認められなかった。本事業とは異なる試験で通常放牧型の放牧草の乾物中TDNを分析したところ、65~68%であったのに対し、野草型は約60%であった。一般的に飼料中のTDN含量が増体量に影響するが、本事業でのグラスフェッドの3牧場で日増体量に明確な差が認められなかったことは各牧場の放牧密度、牧草成分の推移など詳細な解析が必要となる。また、有機管理草地における肥育期の放牧技術を再検討する必要性も考えられた。胸囲、腰角幅、寛幅の測定は移動式体重計での体重測定が放牧飼養では困難なため（牛の体重計への誘導や移動式体重計の使用条件は下地が硬く水平であることから放牧地では適所での設置が難しい）、簡易に放牧牛の増体を推測できるツールとなるか、基礎的データとして測定したため、今後さらなる集積が必要である。

### 3-2. 一般血液成分の推移

供試牛の健康状態を把握するために一般血液成分の推移を解析したところ(図3)、血中 TG 濃度を除き、慣行牛の基準値の範囲内(NEFA : 0~0.4 mEq/l、TG : 30~70mg/dl、GLU : 61.5~69.5 mg/dl T-CHO : 99.8~120.8 mg/dl、Hct : 27~34%)であった。血中 NEFA 濃度は体脂肪動員の指標とされ、TG 濃度は中性脂肪の指標として脂質不足で低下、T-CHO 濃度はエネルギー充足の指標、GLU 濃度はエネルギー不足状態で低下する。基準値範囲外であった血中 TG 濃度は脂肪交雑重視の牛肉を生産するうえで重要な因子であるが、グラスフェッドおよびグレインフェッドで有意な差はなく、グラスフェッドでは過度な脂肪交雑を必要としない赤身牛肉生産を目的としているため、血中 TG 濃度の低下(基準値外)は放牧

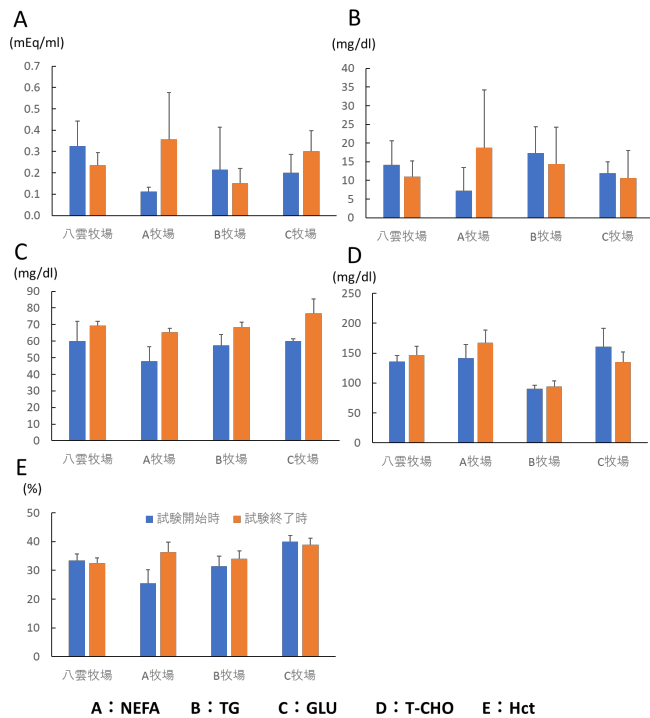


図3 血液成分の推移

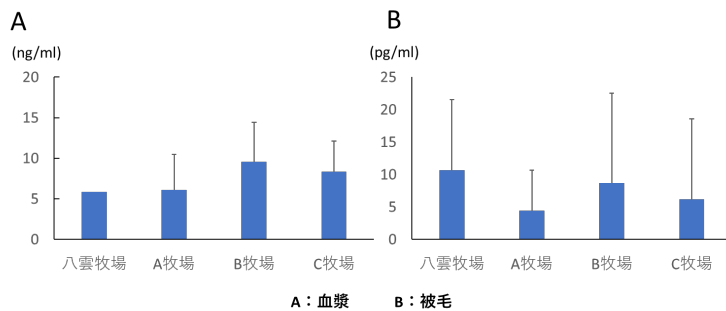


図4 血漿および被毛中コルチゾール濃度

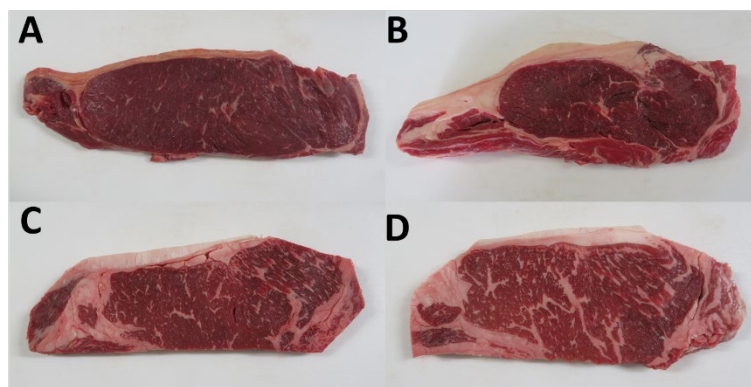
と自給粗飼料のみで肉用牛を生産する場合、考慮する必要がない可能性が示唆される。また、グレインフェッドでは血中 TG 濃度より T-CHO および GLU、Hct 濃度がグラスフェッドより顕著に高く、給与飼料の影響が反映された。しかしながら、これらのデータは短期的な解析であり、一般血液成分の推移を継続的に行う必要がある。

次にストレス指標で用いられるコルチゾールを試験終了時の血漿および被毛を用いて測定した(図4)。血中コルチゾールは短期的な、毛中コルチゾールは長期的(1~2ヶ月)の個体のストレスを反映する。血中コルチゾール濃度は八雲牧場、A 牧場、B 牧場、C 牧場でそれぞれ、5.8、6.1±4.4、9.6±4.9、8.3±3.8ng/ml であった。八雲牧場では供試牛 4 頭中 3 頭が検出限界以下であった。被毛中コルチゾール濃度では八雲牧場、A 牧場、B 牧場、C 牧場でそれぞれ、10.6±10.9、4.4±6.2、8.7±13.9、6.2±12.4pg/ml で、個体によ

る濃度の極端な差が認められ、供試牛ごとの個性が顕著となった。各個体の血漿中および被毛中コルチゾール濃度は緩やかな相関関係にあり、ストレス指標としてコルチゾールを測定する場合に簡易に採取可能な被毛が最適である可能性が示唆された。

### 3-3. 枝肉成績

グラスフェッド（八雲牧場およびA牧場）およびグレインフェッド（B牧場およびC牧場）の日本短角種の枝肉成績を解析した（図5、表3）。B牧場では出荷4～6ヶ月前より穀物給与を行うため、グラスフェッドから舎飼飼養のグレインフェッドに切り替わる。グラスフェッドではグレインフェッドより枝肉重量、ロース面積、バラ厚、皮下脂肪厚が低く、BCSおよびBFSが高かった。枝肉重量、ロース面積、バラ厚、皮下脂肪厚が低いことは摂取エネルギーと放牧飼養による運動行動



A：八雲牧場 B：A牧場 C：B牧場 D：C牧場

図5 各牧場の最長筋断面

表3 枝肉成績

	八雲牧場	A牧場	B牧場	C牧場
月齢 (ヶ月)	29.8±1.3	43.8±0.9	31.5±0.8	30.1±0.4
枝肉重量 (kg)	351.5±7.3	347±4.2	549.5±26.2	584.5±27.6
ロース面積 (cm <sup>2</sup> )	41.7±3.6	37.5±0.7	50.5±4.9	48.5±0.7
バラ厚 (cm)	4.9±0.2	4.3±0.3	7.2±1.2	7.9±1.6
皮下脂肪厚 (cm)	1.4±0.2	1.3±0.4	2.3±0.8	3.5±1.1
歩溜基準値 (%)	72.5±0.2	71.7±0.1	71.8±1.0	70.5±1.7
BMS	2±0	1±0	2±0	2±0
BCS	4.8±0.5	6±0	3.5±0.7	4±0
BFS	7±0	6±0	3±0	3±0

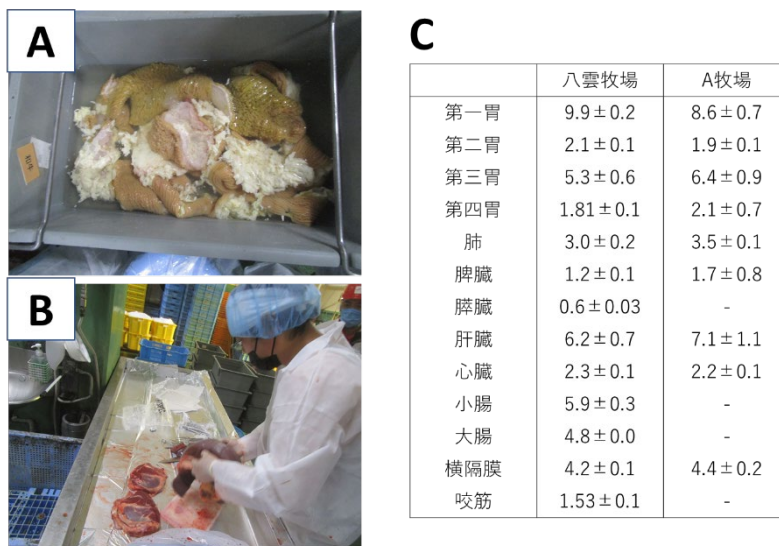
（エネルギー消費）の差に起因すると考えられた。BCSでは放牧行動で増加するミオグロビンの増加、BFSでは摂取飼料である放牧草由来のβカロチンの沈着に起因する。脂肪交雑基準であるBMSに関してはグレインフェッドとグラスフェッドに明確な差はなく、日本短角種の脂肪交雑能力の低さが示された。



### 3-4. 内臓組織の重量と第一胃乳頭の解剖学的解析

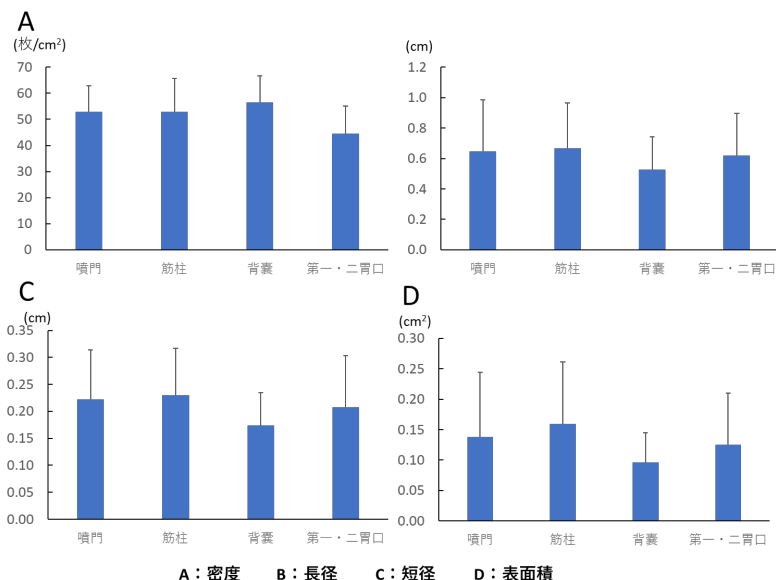
グラスフェッドの内臓組織の重量を図 6C に示す。グレインフェッドの内臓組織は廃棄または許諾が得られなかったため、採材できなかった。

八雲牧場で生産される日本短角種の第一胃乳頭において、密度、長径、短径、表面積を解析したところ（図 6）、各部位で有意な差は認められなかった。過去の報告から第一胃乳頭の最大長は、濃厚飼料主体給与において 0.75cm、粗飼料主体給与において 0.41cm であるため、濃厚飼料給与で第一胃乳頭の発達を促進されることを示唆している。しかしながら、本事業の供試牛は粗飼料のみの給与であるため、粗飼料給与のみで十分な第一胃乳頭の発達が促されることが明らかとなり、グラスフェッドで生産される日本短角種の第一胃の解剖学的知見が得られた。



A：内臓組織の状態 B：採材の様子 C：内臓組織の重量（kg）

図6 屠場における採材風景と内臓重量



A：密度 B：長径 C：短径 D：表面積

図7 第一胃乳頭の解剖学的解析

### 3-5. 骨格筋の組織化学的解析

グラスフェッド (八雲牧場)

(表 4)、グラスからグレインフェッド (B 牧場) (表 5)、グレインフェッド (C 牧場) (表 6) で生産された日本短角種の各骨格筋の筋線維型構成割合 (%) を解析したところ、グレインフェッドでは筋収縮のエネルギーを糖に依存する速筋型のII型 (IIA 型+IIB 型) 筋線維の割合が多く、それは穀物給与量または期間に依存にした。

遅筋型であるI型筋線維の中で 3-ヒドロキシ酪酸脱水素酵素 (3-HBD) 活性の高い筋線維がID 型筋線維に分類されるため、筋の収縮または支持が持続的に作用する骨格筋ではその発現割合は高い。ID 型筋線維に関する報告は少なく、本事業で初めてグラスおよびグレインフェッドで生産された各骨格筋のID 型筋線維の構成割合が明らかとなった。IおよびID 型筋線維は主として脂肪酸を筋収縮エネルギーとして利用する。放牧飼養では行動量が増加すること、グラスフェッドでは皮下脂肪厚が薄い傾向にあることから体内の脂肪を分解して筋組織にエネルギー源として動員され、ID 型筋線維が増加すると推測される。

表4 筋線維型構成割合 (八雲牧場)

	I 型	ID型	II A型	II B型
鎖骨頭筋乳突部	1.3±0.6	70.7±2.8	26.3±3.0	1.7±0.6
上腕三頭筋	3.4±2.0	17.5±1.6	32.2±2.6	46.8±2.6
腹鋸筋	10.5±4.6	51.6±2.9	37.9±2.7	0.0
僧帽筋	9.7±1.2	33.4±3.5	12.4±2.3	44.5±6.3
広背筋	21.6±7.1	23.0±7.5	39.6±7.8	15.8±3.5
胸最長筋	23.3±3.7	5.6±3.7	15.3±5.9	55.8±8.1
大腿筋膜張筋	13.1±3.4	4.2±1.2	38.0±9.7	43.8±7.1
大腿二頭筋近位部	5.1±2.8	30.9±2.6	45.9±9.1	18.1±8.6
大腿二頭筋中遠位部	12.2±7.1	35.3±3.7	41.9±9.2	10.6±5.5
半膜様筋	22.8±1.6	9.0±2.1	18.4±1.9	49.9±5.6

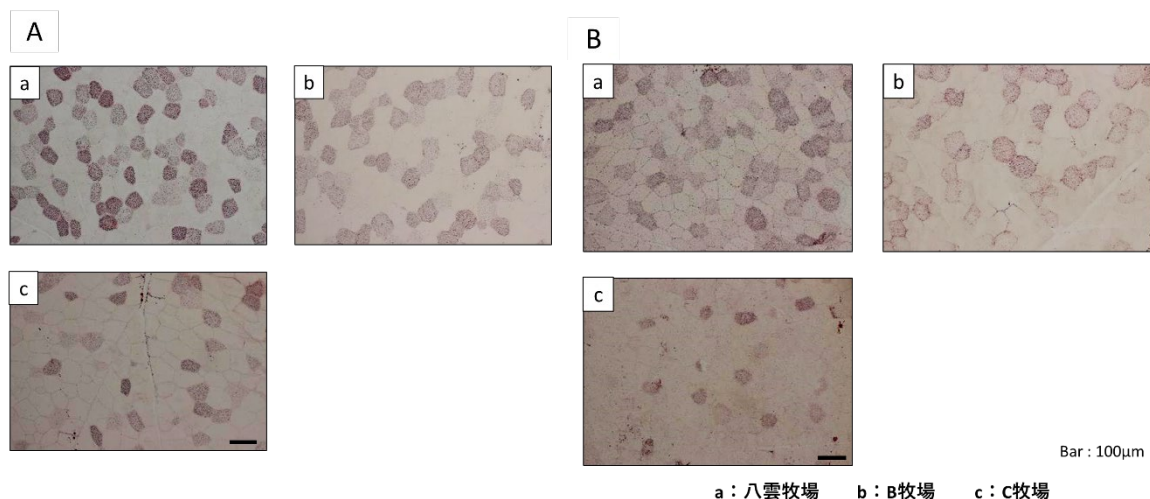
表5 筋線維型構成割合 (B牧場)

	I 型	ID型	II A型	II B型
鎖骨頭筋乳突部	21.9±3.5	16.9±2.1	57.2±3.2	4.0±4.3
上腕三頭筋	1.4±2.5	20.8±1.2	77.8±1.8	0.0
腹鋸筋	5.2±2.5	65.4±9.8	29.5±7.3	0.0
僧帽筋	15.1±5.2	20.6±4.3	40.0±4.5	24.3±3.1
広背筋	17.6±4.4	16.8±3.2	4.9±1.3	60.6±3.7
胸最長筋	18.5±2.3	7.0±1.4	22.6±7.8	52.0±8.3
大腿筋膜張筋	3.8±1.4	7.0±0.9	27.4±2.2	61.8±1.2
大腿二頭筋近位部	7.6±3.7	28.9±3.9	47.1±5.5	16.4±4.7
大腿二頭筋中遠位部	11.5±2.8	21.0±0.4	17.8±4.1	49.6±3.2
半膜様筋	9.7±3.0	9.8±0.5	29.5±4.2	51.1±5.6

表6 筋線維型構成割合 (C牧場)

	I 型	ID型	II A型	II B型
鎖骨頭筋乳突部	8.9±5.2	34.1±6.7	57.0±1.5	0.0
上腕三頭筋	1.2±0.2	44.1±2.1	54.7±2.3	0.0
腹鋸筋	24.5±3.1	65.7±1.2	9.8±2.1	0.0
僧帽筋	5.4±3.5	38.5±2.4	33.8±7.9	22.3±6.5
広背筋	25.8±3.5	3.1±1.4	17.5±5.3	53.6±7.3
胸最長筋	17.2±5.4	11.8±6.4	5.8±2.4	65.3±2.2
大腿筋膜張筋	0.8±0.8	9.8±2.2	31.9±5.4	57.5±6.8
大腿二頭筋近位部	3.0±2.1	24.3±4.7	29.6±9.9	43.1±14.3
大腿二頭筋中遠位部	6.7±1.1	15.0±1.0	37.3±2.6	41.0±2.2
半膜様筋	7.9±3.7	11.2±2.8	34.1±7.1	46.8±6.1

一方、グレインフェッドにおいても一定量のID型筋線維が存在する骨格筋が存在した。筋線維型の移行は運動負荷もしくは摂取飼料の違いから生じ、脂質含量の高い飼料を摂取した場合、遅筋型、つまりI型およびID型筋線維に移行する。グレインフェッドで認められたID型筋線維の存在は摂取飼料による可能性が示唆された。



C

	八雲牧場	B牧場	C牧場
鎖骨頭筋乳突部	70.9±3.2	19.0±3.2	1.3±2.3
上腕三頭筋	0.7±1.3	19.5±3.6	0.6±0.6
腹鋸筋	20.2±7.6	39.0±5.5	5.9±6.2
僧帽筋	28.5±5.9	30.4±4.5	0.0
広背筋	30.8±5.2	2.9±1.7	0.0
胸最長筋	6.3±4.5	17.4±0.3	0.1±0.3
大腿筋膜張筋	1.8±0.8	7.4±1.5	0.8±0.9
大腿二頭筋近位部	38.2±3.5	33.2±6.3	20.5±10.0
大腿二頭筋中遠位部	22.4±5.0	25.2±0.9	10.6±1.9
半膜様筋	24.6±4.9	14.3±1.5	2.0±1.8

A: 近位部    B: 中遠位部    C: 脂肪滴含有筋線維の割合 (%)

図8 大腿二頭筋における脂肪滴含有筋線維の発現と各骨格筋での発現割合

図8に各牧場の日本短角種の大腿二頭筋近位部および中遠位部における脂肪滴含有筋線維の染色像とその発現割合を示す。

筋線維には微少な脂肪滴（脂肪滴含有筋線維）が蓄積することが知られている。脂肪細胞の大型な脂肪滴とは別に筋線維内脂肪滴は骨格筋の異所性脂質であり、皮下脂肪や内臓脂肪など脂肪組織で超過した脂質が臓器や筋肉など、通常蓄積されない場所に蓄積されたものである。ヒト（アスリートタイプ）の外側広筋および上腕三頭筋において、

高脂肪食の摂取や持久トレーニングにより、脂肪滴含有筋線維が増加することが報告されている。ヒツジの咬筋、ウシの腹鋸筋、半腱様筋および胸最長筋においてもI型筋線維内に脂肪滴が蓄積することから、筋線維内に蓄積する脂肪滴はI型の筋収縮エネルギーとして直接的に利用される可能性が示唆される。脂肪滴含有筋線維の増減は筋線維型移行と同様に栄養摂取および運動負荷により生じる可能性が示唆されるが、反芻家畜におけるウシでの報告は少なく、また、有機管理で生産される飼養管理でも生産の基軸を担う放牧飼養（運動負荷）時の脂肪滴含有筋線維に関する詳細な解析は行われておらず、有機管理に準じた飼養管理での各骨格筋における脂肪滴含有筋線維の発現割合の報告は本事業が初めてである。本事業での解析ではグレインフェッドよりグラスフェッドで生産された日本短角種の骨格筋で脂肪滴含有筋線維の割合が多く、脂肪滴含有筋線維が有機管理のグラスフェッドで生産された日本短角種の骨格筋特性になり得る可能性が示唆された。

### 3-6. 脂肪酸組成と栄養成分

**表7 胸最長筋および大腿二頭筋近位部における脂肪酸組成 (%)**

	胸最長筋			大腿二頭筋近位部		
	八雲牧場	B牧場	C牧場	八雲牧場	B牧場	C牧場
ミリスチン酸 (C14:0)	2.7±0.8	2.8±0.6	2.6±0.2	1.9±0.6	2.7±0.6	2.0±0.4
パルミチン酸 (C16:0)	29.1±2.5	29.7±1.3	30.0±1.2	23.8±2.0	27.0±0.5	26.4±1.9
パルミトレイン酸 (C16:1)	3.5±0.3	3.2±0.6	3.3±0.1	5.9±0.8	6.1±1.9	5.1±0.3
ステアリン酸 (C18:0)	18.2±0.5	17.7±2.7	14.8±0.9	12.8±2.0	10.4±0.7	11.2±2.0
C18:1異性体	1.6±0.5	1.6±2.0	0.4±0.2	1.5±0.6	0.3±0.2	0.3±0.3
オレイン酸 (C18:1)	41.1±4.4	40.2±2.1	45.0±1.5	46.9±3.6	46.9±1.3	45.5±4.6
C18異性体	1.2±0.2	1.1±0.2	1.3±0.1	2.5±0.6	2.2±0.4	2.6±0.2
リノール酸 (C18:2)	1.9±0.3	3.6±0.7	2.5±0.8	3.6±1.1	4.3±0.5	6.6±3.9
αリノレン酸 (C18:3)	0.7±0.1	0.2±0.1	0.1±0	1.2±0.3	0.2±0	0.2±0.1
飽和脂肪酸	50.0±3.8	50.2±2.1	47.4±2.0	38.4±3.7	40.1±0.6	39.7±3.6
不飽和脂肪酸	50.0±3.8	49.8±2.1	52.6±2.0	61.6±3.7	59.9±0.6	60.3±3.6
ω6/ω3	2.6±0.1	15.4±2.4	19.9±6.3	3.0±0.3	24.7±4.7	26.6±9.3

脂肪滴含有筋線維の割合が顕著に異なった部位である胸最長筋および大腿二頭筋近位部の脂肪酸組成を表7に示す。一般的に牛肉はオレイン酸の割合が高く、パルミチン酸とステアリン酸の割合が少ないほど風味が良いとされ、オレイン酸の割合と風味の好ましさに正の相関があることが報告されている。胸最長筋においてはグレインフェッドでオレイン酸が高かった。一方、大腿二頭筋近位部ではαリノレン酸以外の脂肪酸で差は認められなかった。αリノレン酸は牧草由来の脂肪酸であることからグラスフェッドの飼養管理で増加することは推測できる。大腿二頭筋近位部では脂肪滴含有筋線維が飼養管理に関わらず多く存在し、さらにαリノレン酸も著しく増加するため、大腿二頭筋

近位部での  $\alpha$  リノレン酸含量が有機管理で生産されるグラスフェッド日本短角種の明確な特徴となる可能性が示唆された。

表8 胸最長筋（ロース芯・生）の栄養成分

	エネルギー(kcal)	水分(%)	たんぱく質(%)	脂質(%)	灰分(%)
八雲牧場	129±10.6	71.8±1.6	23.7±0.4	3.8±1.0	1.0±0.1
B牧場	191.5±9.2	64.4±3.0	21.5±0.8	13.6±3.6	0.9±0.1
C牧場	218.3±3.8	63.6±0.9	21.1±0.8	14.9±0.3	0.9±0.0

胸最長筋の栄養成分（熱量、水分、タンパク質、脂質、灰分）を表8に示す。グラスフェッドでは水分、タンパク質が高く、エネルギー、脂質が低かった。この傾向は穀物給与量および給与期間に依存した（C牧場<B牧場<八雲牧場）。

#### 4. まとめ

2021年5月、農林水産省はSDGsの達成および農業分野における地球温暖化防止の政策として「みどりの食料システム戦略」を策定し、2050年までに輸入原料や化石燃料を原料とした化学肥料の使用量30%削減、オーガニック市場を拡大しつつ、有機農業の取り組み面積を25%（100万ha）に拡大することが重要業績評価指標として設定した。また、「主要な品目について農業者の多くが取り組むことができるよう、次世代有機農業に関する技術を確立する」と記載されている。有機畜産（肉用牛）の普及現状および課題点に関しては前述したとおりで、生産物である牛肉はもとより、副産物として得られる内臓肉の価値も見直される必要がある。近年、消費者の安心・安全な食料を求める需要向上、「オーガニック・有機」のワードが浸透している。一般的に独自性の高い（つまり有機畜産など）肉用牛生産に取り組んでいる生産者の販売方式は一般家畜市場に牛を卸すのではなく、独自の販路を開拓しており、一般の牛肉市場に左右されない所得安定を達成しているが、その価値、認知度はまだまだ低い。一方、オーガニック畜産物を求める消費者はオーガニックビーフ＝グラスフェッドビーフと印象が深く、消費者側への明確な情報発信が必要であること、生産者側には有機JAS認証を有する一方、オーガニックビーフの生産全体でその飼養管理や品種の特性が明確ではないため、有機畜産物に関する新たな科学的指標も必要となる。

本研究では試験対象牧場を有機JAS認証取得した牧場または取得を目指す（試験計画当時）牧場とし、グラスフェッドタイプ、グレインフェッドタイプで飼養される日本短角種去勢雄を用いて、実験1として各牧場の飼養管理の状態（増体および血液性状）を解析した。次に実験2として各牧場で生産された日本短角種の枝肉成績、内臓特性、骨格筋特性を解析した。増体特性では放牧飼養時の肥育期の日本短角種の日増体量が明

確化し、有機管理草地における肥育期の放牧技術を再検討する必要性が考えられた。血液成分の推移では全ての飼養管理で血中 TG 濃度を除き、慣行牛の基準値の範囲内であることが明らかとなった。第一胃の解剖学的解析では粗飼料のみで十分な第一胃乳頭の発達が促されることが明らかとなり、グラスフェッドで生産される日本短角種の第一胃の解剖学的知見が得られた。各骨格筋の筋線維型構成割合はグレインフェッドでは筋収縮のエネルギーを糖に依存する速筋型のII型 (IIA 型+IIB 型) 筋線維の割合が多く、それは穀物給与量または期間に依存にすること、グレインフェッドにおいても一定量のID 型筋線維が存在する骨格筋が存在することが明らかとなった。また、グレインフェッドよりグラスフェッドで生産された日本短角種の骨格筋で脂肪滴含有筋線維の割合が高く、脂肪酸組成では大腿二頭筋近位部での  $\alpha$  リノレン酸含量が有機管理で生産されるグラスフェッド日本短角種の明確な特徴となる可能性が示唆された。

以上より、有機管理下で生産されるグラスフェッドおよびグレインフェッドの日本短角種の特性は各項目で明らかとなったが、両飼養管理で共通する特性は見いだせなかった。今後、さらなるデータの蓄積が望まれる。最後に本事業の成果がこの先、広がりを見せる有機畜産の発展とそれに伴う有機畜産の生産者および消費者双方への普及拡大、すなわち国内における持続可能な畜産体系の構築の一助につながることを期待する。

## 謝辞

本事業における調査にあたってはご協力いただきました各牧場様、北里大学獣医学部栄養生理学研究室の落合優講師、マルハニチロ株式会社の岩崎方保課長代理のご協力を得たことで遂行できました。ここに感謝の意を示します。