

〈一般論文〉

黒毛和種とオーストラリア産 Wagyu の胸最長筋における物理化学特性 および官能特性の比較

尾花尚明^{1,2}・吉田有里¹・本間文佳¹・松本和典¹・入江正和¹¹ 独立行政法人家畜改良センター，福島県西郷村 961-8511² 独立行政法人家畜改良センター鳥取牧場，鳥取県琴浦町 689-2511

(2024. 8. 9 受付, 2024. 11. 19 受理)

要 約 本研究目的は黒毛和種（以下、黒毛）と豪州産 Wagyu の肉質の違いを明らかにすることであった。黒毛と Wagyu 各 18 頭から胸最長筋と筋間脂肪を採取し、物理化学分析と分析型官能評価を実施した。筋肉内脂肪含量は黒毛で 49.8%，Wagyu で 23.2% と大きな差があった。黒毛は Wagyu より肉の加熱損失、せん断力価、多くの遊離アミノ酸と核酸関連物質含量が低く、筋肉内脂肪中のオレイン酸と一価不飽和脂肪酸各含量がやや高く、筋間脂肪の融点が 4℃ 低かった。Wagyu より黒毛の方が肉のイノシン酸指数は低かったが、グルタミン酸指数が高く、オレイン酸と一価不飽和脂肪酸の各指数が 2 倍以上高かった。黒毛の牛肉の方がやわらかく多汁性があり、脂っぽい香り、甘い香り、和牛肉らしい香りが強く、総合評価も高かった。以上から黒毛は Wagyu に比べ筋肉内脂肪含量が大変高く、脂肪質も少し異なり、官能特性にも差があることがわかった。

日本畜産学会報 96 (1), 19-30, 2025

キーワード：官能評価，黒毛和種，豪州産 Wagyu，肉質，物理化学分析

わが国では、今後、少子高齢化に伴う国内の農林水産物・食品マーケットの縮小が見込まれている。一方、経済成長、人口増加の著しいアジア、アフリカなどの新興国では、食料の需要がより一層拡大していくことが見込まれている。そのため、国際的な競争力を有する日本の農林水産物・食品の輸出量を増加させ、国内の農林水産業、食品産業の持続的な発展を図ることが重要な政策となっている。そこで政府は、2030 年における農林水産物・食品の輸出目標額を 5 兆円に設定し、輸出重点品目の牛肉では 3600 億円の目標額とした（農林水産省 2020a, 2024）。

黒毛和種は高度な脂肪交雑（霜降り）を特徴とするわが国で固定された品種である（入江 2022; 近藤ら 2024）。黒毛和種は脂肪交雑に特徴があるだけでなく、他品種と比較して脂肪中にオレイン酸（C18:1）などの一価不飽和脂肪酸（MUFA）の割合が高く（Zembayashi ら 1995; 佐久間と小林 2011）、融点が低い（Smith ら 1998; 入江 2021）とされている。牛肉の食味性において脂肪交雑はやわらかさなどの食味性を向上させ（Iida ら 2015; Frank ら 2016; 入江 2021）、脂肪酸組成や融点などの脂肪の質は舌触りの良さや多汁性の高さ、牛肉の好ましい風味にも影響する（Westerling と Hedrick 1979; Mandell ら 1998; Campo ら 2003; 佐久間ら 2012; 鈴木ら 2013; 入江 2021, 2024）。これら黒毛和種由来の和牛肉

（以下、和牛肉）に特徴的な食味性は多くの外国人に好まれ（尾花ら 2020）、牛肉輸出量も年々増加している（農林水産省 2024）。

一方、海外ではオーストラリア（豪州）やアメリカ（米国）、イギリスなど多くの国において和牛の血を引く Wagyu 肉が生産され、和牛肉とともに国際的なマーケットで霜降りブランド牛肉として取引されている。中でも豪州産 Wagyu 肉は国際的に最も広く流通しており（大呂 2012）、年間（2022 年）で 55000 トンを超える牛肉が生産され、その多くが国外に輸出されている（赤松 2022）。また、和牛は黒毛和種、褐毛和種、無角和種、日本短角種およびそれらの交雑種のことを指すが、Wagyu には国際的に統一的な定義がなく、豪州産 Wagyu の多くはわが国の定義では交雑種とみられる（赤松 2022）。国際的なマーケットでは和牛肉と豪州産 Wagyu 肉には明確な販売価格差（約 2.5～3 倍）がある（尾花 2021）ものの、両者の肉質を比較調査した報告は非常に少ない。

和牛肉のさらなる輸出拡大のためには、黒毛和種と豪州産 Wagyu との肉質の違いを明らかにして、輸出対象国に対して戦略的なプロモーションを展開することが重要である。そこで本研究は、黒毛和種と豪州産 Wagyu における肉の物理化学特性と官能特性を比較し、それらの特徴を明らかにすることを目的とした。

連絡者：尾花尚明（e-mail：n0obana@nlbc.go.jp）

材料および方法

1. 供試サンプル

黒毛和種の牛肉サンプルとして、国内食肉市場（1ヵ所）に出荷された黒毛和種去勢牛 18 頭のリブロースをチルド条件下で食肉流通業者から入手した。なお、海外へ輸出される和牛肉の多くは肉質等級 4 以上のブランド牛が中心であるため、本研究では肉質等級 4 以上の牛肉を用いた（Beef Marbling Standard (BMS) の平均値は 9.1）。豪州産 Wagyu の牛肉サンプルは、18 頭のリブロースをチルド条件下で食肉流通業者から入手した。入手した牛肉はそれぞれ 2℃の冷蔵庫で保管した。供試肉はそれぞれと畜後 35 日目に、真空包装されたブロック肉から胸最長筋と腸肋筋と広背筋の間の胸最長筋に接する筋間脂肪を採取し、物理化学分析および分析型官能評価用の試料とした。一般成分、加熱損失率、せん断力価の分析は試料採取の当日に分析し、その他の項目は -30℃で冷凍保存した試料を用いて後日分析した。

2. 物理化学分析

胸最長筋における水分含量、粗脂肪含量は Okumura ら（2012）の記述に従って分析した。水分含量は、胸最長筋のミンチ肉 2.0 g を 105℃で 24 時間加熱し、加熱前後の重量差から求めた。粗脂肪含量は、水分含量測定後の試料からジエチルエーテルを用いたソックスレー抽出法により 16 時間かけて脂肪を抽出し、重量を測定した。粗タンパク質含量は、ミンチ肉 0.4 g を 燃焼法（改良デュマ法）により全窒素分析装置（SUMIGRAPH NC-TRINITY; 住化分析センター、東京）を用いて測定した。

加熱損失率は、胸最長筋 50 g をポリエチレン袋に入れ、70℃の温湯で 60 分間加熱後、流水で 30 分間放冷し、加熱前後の重量差より算出した。せん断力価は、加熱損失率測定後の試料を垂直断面 1 cm × 1 cm に切り出した 12 個の試料を用い、Warner-Bratzler 用アタッチメントを取り付けたインストロン万能試験装置（model 5542; インストロンジャパン、神奈川）により最大圧縮荷重を測定し、最小値および最大値を除外した 10 回の平均値を算出した。

脂肪酸組成は、Sakuma ら（2017）の記述に従って分析した。筋肉内脂肪の脂質は、胸最長筋のミンチ肉約 5 g からクロロホルム：メタノール（2:1）により抽出し、0.5 N ナトリウムメトキシドメタノールによりメチル化した後、n-ヘキサンに抽出した。脂質はキャピラリーカラム（TC-70; 0.25 mm × 60 m; ジーエルサイエンス、東京）を装着したガスクロマトグラフ（6890A; アジレント・テクノロジー、東京）により測定した。脂肪酸は、ラウリン酸（C12:0）、ミリスチン酸（C14:0）、ミリストレイン酸（C14:1）、ペンタデカン酸（C15:0）、パルミチン酸（C16:0）、パルミトレイン酸（C16:1）、マルガリン酸（C17:0）、ヘプタデセン酸（C17:1）、ステアリン酸

（C18:0）、オレイン酸（C18:1）、リノール酸（C18:2）、リノレン酸（C18:3）、アラキジン酸（C20:0）、エイコセン酸（C20:1）、アラキドン酸（C20:4）の 15 成分を測定し、それぞれ標準試薬（ジーエルサイエンス）の保持時間から同定した。さらに、15 成分の合計に対する百分率から各脂肪酸の割合を算出し、飽和脂肪酸（SFA = C12:0 + C14:0 + C15:0 + C16:0 + C17:0 + C18:0 + C20:0）、一価不飽和脂肪酸（MUFA = C14:1 + C16:1 + C17:1 + C18:1 + C20:1）および多価不飽和脂肪酸（PUFA = C18:2 + C18:3 + C20:4）を算出した。

融点は、胸最長筋周辺の筋間脂肪から 105℃で 4 時間加熱抽出した脂肪を毛細管に吸い上げて一昼夜冷凍した試料を用い、1 分間で 0.5℃上昇するようにプログラム制御したウォーターバスによる上昇融点法で脂肪が 1 cm 移動したときの温度を測定した。

遊離アミノ酸および核酸関連物質含量の測定は、Sakuma ら（2017）の記述に従って分析した。遊離アミノ酸含量は、胸最長筋 0.4 g に超純水、n-ヘキサンを加えてホモジナイズした後、アセトニトリル溶液に抽出した試料を高速液体クロマトグラフ（1260 infinity; アジレント・テクノロジー）で測定した。遊離アミノ酸は、アスパラギン酸（Asp）、グルタミン酸（Glu）、アスパラギン（Asn）、セリン（Ser）、グルタミン（Gln）、ヒスチジン（His）、グリシン（Gly）、トレオニン（Thr）、ベータアラニン（βAla）、アルギニン（Arg）、アラニン（Ala）、タウリン（Tau）、チロシン（Tyr）、バリン（Val）、メチオニン（Met）、トリプトファン（Trp）、フェニルアラニン（Phe）、イソロイシン（Ile）、ロイシン（Leu）、リジン（Lys）を測定した。核酸関連物質含量は、遊離アミノ酸含量測定前のアセトニトリル溶液を超純水で 10 倍希釈した溶液を高速液体クロマトグラフ（Waters 2695; 日本ウォーターズ、東京）で測定した。核酸関連物質はイノシン酸（IMP）、イノシン（Inosine）およびヒポキサンチン（Hypoxanthine）を測定した。

牛肉の風味と理化学成分の関係において、香りは香気成分の前駆物質の一つである遊離脂肪酸量が重要となり、味では肉中の呈味成分濃度が重要と考えられる（入江、2021）。そこで、入江（2021）が考案した各指数を計算することとし、C18:1、MUFA について遊離脂肪酸量を推定した脂肪酸指数（粗脂肪含量 × 脂肪酸組成 / 100）と Glu、IMP について肉中の呈味成分濃度を推定した呈味指数（肉中呈味成分含量 / 水分含量 × 100）を算出した。

3. 分析型官能評価

本研究は、ヘルシンキ宣言に基づいて実施され、独立行政法人家畜改良センター内部倫理委員会（承認番号：1-R03-01（1）；2-R04-01）により審査・承認された。また、すべてのパネリストは官能評価に関する説明を受け、官能評価に参加することに同意した。

官能評価は 2022 年 10 月から 2023 年 11 月の期間に 12 回に分けて実施し、匂いと味の識別テスト（家畜改良センター 2005）に合格した 3～7 人の社内パネリスト（平均 5.4 人）により評価した。パネリストはパネルリーダーの指導のもと、様々な粗脂肪含量や脂肪酸組成を持つ黒毛和種牛肉や海外産牛肉（アンガス牛）を用いて、評価用語と評価尺度に関する訓練を受けた。供試肉は、凍結保存された牛肉を 2℃で 24 時間かけて解凍し、165℃の恒温機で内部温度 70℃まで加熱した（家畜改良センター 2005）。加熱後の牛肉は室温（23℃）で 10 分間放冷後に 3×3×0.5 cm に切り出して 40℃で保管し、パネリストに 1 試料あたり 4 枚提供した。なお、提供試料は以下に示すテクスチャーとうま味の評価で 2 枚、その他の風味の項目と総合評価で 2 枚とした。また、1 回の評価頭数は黒毛和種と豪州産 Wagyu の肉を合わせて計 3 頭とした。パネリストはやわらかさ（1 = 非常にかたい～12 = 非常にやわらかい）、多汁性（1 = 非常にない～12 = 非常にある）、線維感の無さ（1 = 非常にある～12 = 非常にない）、うま味の強さ、脂っぽい香り、甘い香り、和牛肉らしい香り（甘く脂っぽい香り）、肉様の香り、風味の強さ（1 = 非常に弱い～12 = 非常に強い）および総合評価（1 = 全く受け入れられない～12 = 非常に受け入れられる）の 10 項目について評価を行った。やわらかさおよび多汁性はパネリストが各々指で鼻をつまむことにより鼻腔を閉じてサンプルを 10 回噛んだ時に、線維感の無さおよびうま味の強さについては 20 回噛んだ時に評価した。脂っぽい香り、甘い香り、和牛肉らしい香りは同様に鼻腔を閉じてサンプルを 5 回噛み、鼻腔を開けて 10 回噛んだ時に、肉様の香りは 20 回噛んだ時に、風味の強さと総合評価は肉を飲み込むまでの印象で評価した。評価は、個別ブースで外観による影響を低減するため赤色灯下で実施した。

4. 統計処理

黒毛和種と豪州産 Wagyu における肉の物理化学成分値および官能評価値の比較は、Microsoft Excel (office 2019; 日本マイクロソフト、東京) を用い、等分散性の

検定後、Student's-*t* 検定または Welch's-*t* 検定を行った。統計ソフトウェア JMP (11.0.0; SAS Institute Japan, 東京) を用いて、官能評価の総合評価値を目的変数、その他の官能評価値を説明変数とした重回帰分析を行った。

結 果

黒毛和種と豪州産 Wagyu における胸最長筋の物理化学分析結果を表 1 に示した。黒毛和種は豪州産 Wagyu と比較して水分含量でおよそ 20 ポイント、粗タンパク質含量でおよそ 6 ポイント程度低かった ($P < 0.05$) のに対し、粗脂肪含量では黒毛和種 (49.8%) と豪州産 Wagyu (23.2%) に 2 倍以上の違いがみられた ($P < 0.05$)。加熱損失率とせん断力価はともに黒毛和種で有意に低く ($P < 0.05$)、両者の物理的性質にも違いがみられた。

それら物理化学分析間の相関関係を表 2 に示した。水分含量、粗脂肪含量、粗タンパク質含量はそれぞれ強い正または負の相関関係にあった ($P < 0.01$)。加熱損失率とせん断力価は、水分含量および粗タンパク質含量と強い正の相関関係にあり ($P < 0.01$)、粗脂肪含量とは強い負の相関関係にあった ($P < 0.01$)。

脂肪の脂肪酸組成（胸最長筋筋肉内脂肪）および融点（筋間脂肪）の結果を表 3 に示した。C14:0, C16:0, C20:0, C20:4 では黒毛和種と比較して豪州産 Wagyu でやや高く ($P < 0.05$)、豪州産 Wagyu は SFA でも 3 ポイント程度高かった ($P < 0.05$)。対照的に C18:1, C18:2, C20:1 の不飽和脂肪酸では黒毛和種が豪州産 Wagyu よりやや高い値を示し ($P < 0.05$)、MUFA, PUFA もやや高かった ($P < 0.05$)。筋間脂肪の融点は黒毛和種が豪州産 Wagyu より 4℃程度低く ($P < 0.05$)、両者の脂肪質（脂質性状）に若干の違いがみられた。

遊離アミノ酸含量の結果を表 4 に示した。遊離アミノ酸含量では、 β Ala を除く 19 種の遊離アミノ酸で豪州産 Wagyu が黒毛和種より有意に高かった ($P < 0.05$)。Gln, Ala, Tau, Leu ではややその差が大きく、遊離アミノ酸総量では豪州産 Wagyu が 4 μ mol/g 高かった ($P < 0.05$)。

核酸関連物質含量の結果を表 5 に示した。肉中の IMP,

Table 1 Comparison of moisture, ether extract, crude protein, and physical properties between Japanese Black cattle and Australian Wagyu

traits	Japanese Black	Australian Wagyu
Moisture, %	38.7 $\pm$ 1.0*	58.7 $\pm$ 1.0
Ether extract, %	49.8 $\pm$ 1.4*	23.2 $\pm$ 1.3
Crude protein, %	11.5 $\pm$ 0.3*	17.7 $\pm$ 0.3
Cooking loss, %	14.4 $\pm$ 0.5*	22.5 $\pm$ 0.5
Warner-Bratzler shear force, N	14.3 $\pm$ 0.8*	21.1 $\pm$ 0.6

Value was presented as mean $\pm$ standard error.

The analysis method was Student's *t*-test.

* $P < 0.05$.

Table2 Correlation coefficients among moisture, ether extract, crude protein, and physical properties (n = 36)

traits	(1)	(2)	(3)	(4)
(1) Moisture				
(2) Ether extract	-0.9997**			
(3) Crude protein	0.99**	-0.99**		
(4) Cooking loss	0.95**	-0.95**	0.95**	
(5) Warner-Bratzler shear force	0.80**	-0.81**	0.82**	0.86**

** $P < 0.01$.**Table 3** Comparison of fatty acid composition in the intramuscular fat and the melting point in the intermuscular fat between Japanese Black cattle and Australian Wagyu

traits	Japanese Black	Australian Wagyu
Fatty acid composition, %		
C12:0	0.05 ± 0.002ns	0.06 ± 0.003
C14:0	2.69 ± 0.09*	3.12 ± 0.07
C14:1	1.01 ± 0.06ns	0.90 ± 0.03
C15:0	0.33 ± 0.02ns	0.37 ± 0.02
C16:0	25.75 ± 0.44*	27.47 ± 0.39
C16:1	3.90 ± 0.15ns	4.20 ± 0.10
C17:0	0.91 ± 0.05ns	1.03 ± 0.03
C17:1	0.99 ± 0.04ns	1.00 ± 0.03
C18:0	11.40 ± 0.36ns	11.89 ± 0.22
C18:1	49.81 ± 0.53*	47.39 ± 0.54
C18:2	2.40 ± 0.09*	1.79 ± 0.08
C18:3	0.13 ± 0.01ns	0.15 ± 0.01
C20:0	0.07 ± 0.002*	0.08 ± 0.002
C20:1	0.47 ± 0.03*	0.38 ± 0.01
C20:4	0.09 ± 0.003*	0.16 ± 0.006
SFA	41.21 ± 0.64*	44.02 ± 0.59
MUFA	56.18 ± 0.62*	53.88 ± 0.62
PUFA	2.61 ± 0.10*	2.10 ± 0.09
Melting Point, °C	22.03 ± 0.65*	26.57 ± 0.90

Value was presented as mean ± standard error.

The analysis method was Student's *t*-test or Welch's *t*-test.NS, not significant; * $P < 0.05$.

Abbreviations: SFA, saturated fatty acids; MUFA, monounsaturated fatty acids; PUFA, polyunsaturated fatty acids.

Inosine, Hypoxanthine はいずれも黒毛和種と比較して豪州産 Wagyu で有意に高く ($P < 0.05$), IMP では 4 倍, Inosine では 2 倍程度豪州産 Wagyu が高かった。

粗脂肪含量と遊離アミノ酸含量および核酸関連物質含量との相関関係を表 6 に示した。粗脂肪含量は遊離アミノ酸および核酸関連物質それぞれの含量と中程度または強い負の相関関係にあった ($P < 0.05$)。

C18:1, MUFA の脂肪酸指数を図 1 に, Glu, IMP の呈味指数を図 2 に示した。脂肪酸量に関する C18:1 指数と MUFA 指数は, 黒毛和種が豪州産 Wagyu より 2 倍

以上高かった ($P < 0.05$)。一方, 水分中の濃度に関する Glu 指数は黒毛和種で少し高かった ($P < 0.05$) が, IMP 指数は豪州産 Wagyu が 2 倍以上高かった ($P < 0.05$)。

官能評価の結果を図 3 に示した。うま味の強さと風味の強さには両者に有意な違いはなく, 他の官能特性において両者に有意な違いがみられた ($P < 0.05$)。やわらかさ, 多汁性および線維感の無さは黒毛和種が豪州産 Wagyu と比較して有意に高く ($P < 0.05$), 両者に 2 ポイント以上の違いがみられた。和牛肉に特徴的とされる脂っぽい香り,

Table 4 Comparison of the content of free amino acids between Japanese Black cattle and Australian Wagyu

traits	Japanese Black	Australian Wagyu
Free amino acids, $\mu\text{mol/g}$		
Asp	$0.06 \pm 0.004^*$	0.10 ± 0.01
Glu	$0.84 \pm 0.04^*$	1.05 ± 0.04
Asn	$0.31 \pm 0.01^*$	0.38 ± 0.01
Ser	$0.79 \pm 0.04^*$	1.03 ± 0.05
Gln	$1.95 \pm 0.11^*$	2.91 ± 0.10
His	$0.28 \pm 0.01^*$	0.35 ± 0.01
Gly	$1.03 \pm 0.04^*$	1.31 ± 0.07
Thr	$0.51 \pm 0.02^*$	0.64 ± 0.03
β Ala	$0.17 \pm 0.01\text{ns}$	0.19 ± 0.01
Arg	$0.56 \pm 0.03^*$	0.66 ± 0.03
Ala	$3.18 \pm 0.13^*$	3.95 ± 0.12
Tau	$1.04 \pm 0.08^*$	1.42 ± 0.09
Tyr	$0.47 \pm 0.02^*$	0.60 ± 0.02
Val	$0.57 \pm 0.02^*$	0.71 ± 0.02
Met	$0.42 \pm 0.02^*$	0.59 ± 0.02
Trp	$0.15 \pm 0.01^*$	0.19 ± 0.003
Phe	$0.55 \pm 0.02^*$	0.73 ± 0.02
Ile	$0.52 \pm 0.02^*$	0.73 ± 0.03
Leu	$1.04 \pm 0.05^*$	1.39 ± 0.06
Lys	$0.69 \pm 0.03^*$	0.86 ± 0.05
Total	$15.13 \pm 0.61^*$	19.78 ± 0.55

Value was presented as mean $\pm$ standard error.

The analysis method was Student's *t*-test or Welch's *t*-test.

NS, not significant; $*P < 0.05$.

Abbreviations: Asp, aspartic acid; Glu, glutamic acid; Asn, asparagine; Ser, serine; Gln, glutamine; His, histidine; Gly, glycine; Thr, threonine; β Ala, β -alanine; Arg, arginine; Ala, alanine; Tau, taurine; Tyr, tyrosine; Val, valine; Met, methionine; Trp, tryptophan; Phe, phenylalanine; Ile, isoleucine; Leu, leucine; Lys, lysine.

Table 5 Comparison of the content of the ATP degradation products between Japanese Black cattle and Australian Wagyu

traits	Japanese Black	Australian Wagyu
ATP degradation products, $\mu\text{mol/g}$		
IMP	$0.19 \pm 0.03^*$	0.77 ± 0.09
Inosine	$0.53 \pm 0.05^*$	1.06 ± 0.03
Hypoxanthine	$2.30 \pm 0.06^*$	2.83 ± 0.06
Total	$3.02 \pm 0.12^*$	4.66 ± 0.12

Value was presented as mean $\pm$ standard error.

The analysis method was Student's *t*-test or Welch's *t*-test.

$*P < 0.05$.

Abbreviations: IMP, 5'-inosinic acid.

甘い香りおよび和牛肉らしい香りも黒毛和種で 1.8~2.8 ポイント高かった ($P < 0.05$)。一方、肉様の香りは豪州産 Wagyu で 1.2 ポイント高かった ($P < 0.05$)。総合評価は黒毛和種が豪州産 Wagyu より 1.5 ポイント高かった

($P < 0.05$)。

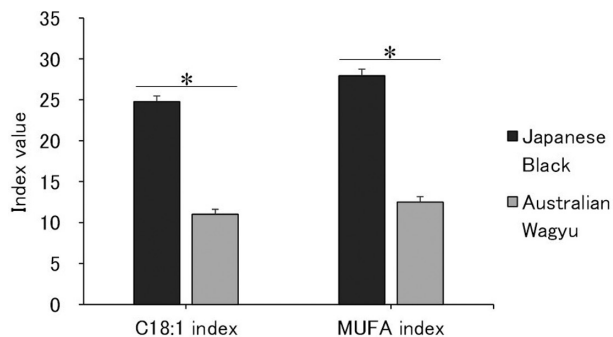
粗脂肪含量と官能評価項目の相関係数を表 7 に示した。粗脂肪含量はやわらかさ、多汁性および線維感の無さと強い正の相関関係にあった ($P < 0.01$)。粗脂肪含量と風味

Table 6 Correlation coefficients between ether extract and water-soluble taste components (n = 36)

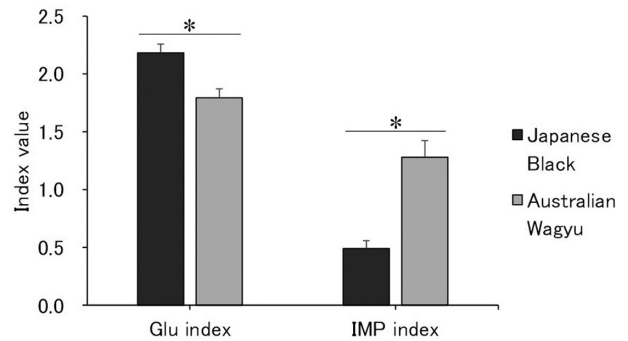
traits	Ether extract
Free amino acids	
Asp	-0.71**
Glu	-0.57**
Asn	-0.59**
Ser	-0.56**
Gln	-0.78**
His	-0.71**
Gly	-0.52**
Thr	-0.52**
β Ala	-0.46**
Arg	-0.40*
Ala	-0.69**
Tau	-0.62**
Tyr	-0.65**
Val	-0.67**
Met	-0.82**
Trp	-0.75**
Phe	-0.75**
Ile	-0.72**
Leu	-0.68**
Lys	-0.44**
Total	-0.77**
ATP degradation products	
IMP	-0.81**
Inosine	-0.89**
Hypoxanthine	-0.79**
Total	-0.93**

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

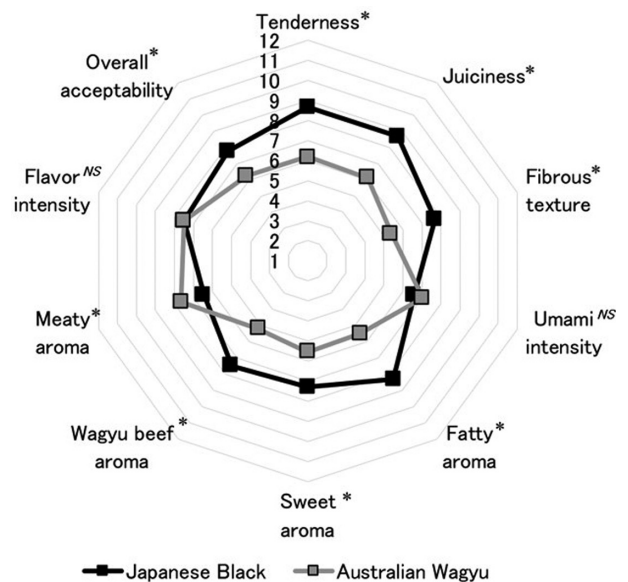
Abbreviations of water-soluble taste components are shown in Table 4 and Table 5.

**Figure 1** Comparison of the fatty acid index¹ between Japanese Black cattle and Australian Wagyu.Value was presented as mean $\pm$ standard error. The analysis method was Student's *t*-test.* $P < 0.05$.¹Fatty acid index = ether extract (%) $\times$ Fatty acid composition (%) / 100 (Irie, 2021).

Abbreviations: MUFA, monounsaturated fatty acids.

**Figure 2** Comparison of the taste index¹ between Japanese Black cattle and Australian Wagyu.Value was presented as mean $\pm$ standard error.The analysis method was Student's *t*-test or Welch's *t*-test.* $P < 0.05$.¹Taste index = the contents of taste components / moisture $\times$ 100 (Irie 2021).

Abbreviations: Glu, glutamic acid; IMP, 5'-inosinic acid.

**Figure 3** Comparison of the sensory evaluation properties between Japanese Black cattle and Australian Wagyu.

Value was presented as mean.

The analysis method was Student's *t*-test or Welch's *t*-test.NS, not significant, * $P < 0.05$.

の項目では、脂っぽい香り、甘い香り、和牛肉らしい香りとやや強いまたは強い正の相関を示す ($P < 0.01$)。一方、うま味の強さおよび肉様の香りと負の相関関係にあった ($P < 0.05$)。粗脂肪含量と総合評価には強い正の相関が確認された ($P < 0.01$)。

脂肪酸指数と脂っぽい香り、甘い香りおよび和牛肉らし

い香りとの相関関係を表 8 に示した。C18:1 指数と MUFA 指数は脂っぽい香りおよび和牛肉らしい香りと強い正の相関関係にあり ($P < 0.01$)、甘い香りとはやや強い正の相関関係にあった ($P < 0.01$)。

さらに、官能評価における総合評価に影響を及ぼす官能評価項目を調べるため重回帰分析を行った結果 (表 9)、総合評価に対して和牛肉らしい香りとやわらかさ、風味の強さが選択され、0.866 という高い寄与率を示した ($P < 0.001$)。

Table 7 Correlation coefficients between ether extract and sensory evaluation properties (n = 36)

traits	Ether extract
Tenderness	0.82**
Juiciness	0.89**
Fibrous texture	0.84**
Umami intensity	-0.37*
Fatty aroma	0.92**
Sweet aroma	0.69**
Wagyu beef aroma	0.85**
Meaty aroma	-0.72**
Flavor intensity	0.04
Overall acceptability	0.74**

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

Table 8 Correlation coefficients between fatty acid index and sensory evaluation properties (n = 36)

traits	C18:1 index	MUFA index
Fatty aroma	0.91**	0.91**
Sweet aroma	0.69**	0.69**
Wagyu beef aroma	0.84**	0.84**

** $P < 0.01$.

Abbreviations of fatty acid index are shown in Figure 1.

考 察

1. 黒毛和種と豪州産 Wagyu における肉の物理化学特性の比較

黒毛和種と豪州産 Wagyu の胸最長筋における筋肉内脂肪含量は大きく異なり、2 倍以上のおよそ 25 ポイントの違いがみられた (49.8% vs 23.2%)。本研究における豪州産 Wagyu の筋肉内脂肪含量はこれまでの報告 (Zhang ら 2015; Connolly ら 2019, 2020) とおおむね同程度であった。一方、豪州産 Wagyu の筋肉内脂肪含量は黒毛和種と比較して低い水準ではあったが、最小値 14.2%、最大値 33.7% とおよそ 20 ポイントの個体差が確認された。豪州から輸出される Wagyu は、そのほとんどがアンガス種などの肉用種と交配された交雑種であり (大呂 2012)、その影響を反映したのであろう。豪州の登録制度では、純粋な和牛の交配割合が 50% を超える牛なら Wagyu として登録可能であり、クロスブレッッド Wagyu F1, F2, F3 (和牛交配割合がそれぞれ 50% 以上, 75% 以上, 87% 以上。すなわち、Wagyu F1 は日本の和牛とアンガスなどの肉用牛が交配されたウシ、Wagyu F2 は Wagyu F1 に和牛を交配したウシである) やピュアブレッッド Wagyu F4 (和牛交配割合が 93% 以上)、フルブラッド Wagyu (和牛交配割合が 100%) など様々な Wagyu が存在する (赤松 2022)。そのため、豪州産 Wagyu の筋肉内脂肪含量には大きな個体差があったものと考えられる。

一般に食肉は加熱すると、タンパク質の凝集と凝固により硬くなり、同時に肉汁が流出するため多汁性の低下につながる。しかし、脂肪交雑が多い牛肉では加熱による水分損失は低く (Kim と Lee 2003; Frank ら 2016)、加熱後のせん断力価も低くなる (Frank ら 2016)。また、黒毛和種牛肉のように脂肪交雑が多く、脂肪の融点の低い牛肉では、加熱後に保持された脂が口腔内で容易に溶け出すことで多汁性に影響を及ぼす (入江 2021)。本研究においても筋肉内脂肪含量と加熱損失率 ($r = -0.95$, $P < 0.01$) やせん断力価 ($r = -0.81$, $P < 0.01$) には

Table 9 Multiple regression analysis for the evaluation of the effects of sensory evaluation traits on the overall acceptability ($R^2 = 0.866$, $P < 0.001$)

Variable	r^1	p-value	β^2	Partial R^2^3
Intercept	—	0.545	—	—
Wagyu beef aroma	0.911	0.0001	0.544	0.495
Tenderness	0.836	0.004	0.369	0.309
Flavor intensity	0.390	0.011	0.189	0.074

¹ r , a single correlation between the dependent variable and each explanatory variable.

² β , the standardized partial regression coefficient of multiple regression analysis.

³ R^2 , Coefficient of determination.

いずれも強い負の相関関係がみられ (表 2), Frank ら (2016) の結果と一致していた。したがって, 加熱損失率やせん断力価でみられた黒毛和種と豪州産 Wagyu の差は, 筋肉内脂肪含量の違いが大きく影響しているものと考えられた。

脂肪酸組成は, 品種や性別, と畜月齢, 種雄牛, 給与飼料など様々な要因の影響を受ける (三橋ら 1988; May ら 1993; Zembayashi ら 1995; 井上ら 2002; Chung ら 2006; Okumura ら 2012)。黒毛和種は他の品種と比較して脂肪中の C18:1 や MUFA が高く (Zembayashi ら 1995; 佐久間と小林 2011), それらが主に影響して脂肪の融点が高い (Smith ら 1998; 入江 2021)。その傾向は Wagyu (米 国 産) と比較した場合も同様である (Sturdivant ら 1992)。Ueda ら (2022) はまた, 黒毛和種と豪州産 Wagyu の胸最長筋筋肉内脂肪におけるトリグリセリド分子種を比較し, 黒毛和種では 3 つの C18:1 による構成と, 1 つの C16:1 と 2 つの C18:1 による構成が多く, 黒毛和種で C18:1 が高かったと報告している。本研究の C18:1 や MUFA 含量の結果は上述の報告と一致している。

黒毛和種はこれまで輸入牛肉との差別化を図るために脂肪交雑に重点を置いた育種改良がなされ (向井 2015; 農林水産省 2020b), 近年, 格付けされた牛枝肉では BMS の平均値が 8.0 を超えている (家畜改良センター 2023)。過度な脂肪交雑は, 遊離アミノ酸などの呈味成分や栄養成分であるタンパク質の減少を招き, 食味性や栄養学的観点から問題となることがある。そのため, 黒毛和種の遺伝的改良では近年脂肪質が重要視されている (農林水産省 2020b; 入江 2021)。脂肪質の評価方法としては, 脂肪酸組成や融点, 屈折率, ヨウ素価など様々な評価法があるが (入江 2002), 脂肪酸組成が国際的に広く用いられている。日本では枝肉市場の冷蔵庫内で脂肪酸組成を非破壊かつ迅速に測定可能な携帯型近赤外光ファイバ装置が開発され, 広く使われるようになった (入江 2015; Piao ら 2018; Obana ら 2023) ことから脂肪質の改良が大きく進展している。全国和牛能力共進会で本機を用いた脂肪質による肉質評価が実施され, 黒毛和種の育種改良において脂肪質の育種価が公表され始めたことから国内における脂肪質の関心はさらに高まっており, 今後益々の進展が期待される。

多くの遊離アミノ酸は, と畜後の熟成期間中に増加し (Nishimura ら 1988; Shimada ら 1992; Koutsidis ら 2008; Iida ら 2016), ATP に関連する IMP は熟成期間中に減少する (Koutsidis ら 2008; Iida ら 2016)。本研究における牛肉の熟成日数は黒毛和種牛肉, 豪州産 Wagyu 肉とも 35 日としたが, 黒毛和種と豪州産 Wagyu との間にみられた遊離アミノ酸および核酸関連物質の肉中含量には顕著な違いがみられた。遊離アミノ酸などの水溶性呈味成分は筋肉内脂肪含量が増加するにつれて減少し

(Ueda ら 2007), 筋肉内脂肪含量の多い牛肉では熟成期間中の遊離アミノ酸の増加量も小さくなる (常石ら 2008)。本研究においても筋肉内脂肪含量とこれらの水溶性呈味成分とはいずれも中程度から強い負の相関関係にあったことから ($r = -0.40 \sim -0.89, P < 0.05$) (表 6), 黒毛和種におけるこれらの成分の低さは筋肉内脂肪含量の多さとそれに伴う水分含量の減少が大きく影響しているものと考えられる。

C18:1 などの MUFA が牛肉の好ましい風味と関係することは, これまで多くの研究で指摘されている (Westerling と Hedrick 1979; Mandell ら 1998; 佐久間ら 2012; 鈴木ら 2013; O'Quinn ら 2016; 入江 2021, 2024; Dinh ら 2021)。特に和牛肉に特徴的な甘く脂っぽい香り (和牛香) には, 脂肪酸に由来するとされるラクトン類の関与が示唆されている (松石ら 2004; Dinh ら 2021; Ueda ら 2021a, 2021b; 入江 2024)。脂肪の大部分を占める中性脂質は本来, 無味, 無臭であるが, リパーゼや加熱などの加水分解により遊離脂肪酸になると呈味性が生じる (Yasumatsu ら 2018; 入江 2021, 2024)。さらに, リボキシゲナーゼによる酵素的酸化や加熱調理による熱酸化反応を介してアルデヒド, ケトン, アルコール, エステル, ラクトンなど肉の風味に重要な多くの揮発性化合物が生成される (Dinh ら 2021; Shahidi と Hossain 2022; 入江 2024)。Shikano ら (2024) は, イメージング質量分析法により黒毛和種の胸最長筋切片における遊離 C18:1 とラクトンの局在の可視化に成功し, 筋肉内脂肪の遊離 C18:1 などの遊離不飽和脂肪酸がラクトンの基質となることを示唆している。このことから, 脂肪由来の風味の発現には中性脂質からの脂肪酸の遊離が重要になると考えられる。

遊離脂肪酸は熟成期間中に増加し, その増加量は筋肉内脂肪含量が多い牛肉ほど多いとされる (Zhao ら 2022)。そのため, 脂肪酸組成値が同程度の牛肉であっても筋肉内脂肪含量が多ければ, 生成される遊離脂肪酸含量も多くなり, 脂肪由来の風味が向上すると考えられる (入江 2021)。本研究では黒毛和種と豪州産 Wagyu における C18:1 や MUFA 組成値の違いは 2 ポイント程度であったが ($P < 0.05$), 脂肪酸量を反映する C18:1 指数や MUFA 指数 (入江 2021) は黒毛和種が 2 倍以上高かった ($P < 0.05$)。これらのことから黒毛和種牛肉では甘く脂っぽい香りに関係するラクトン類などの揮発性化合物が多く生成された可能性が高い。

味覚では呈味成分濃度が味覚器に刺激を与えるため (入江 2021, 2024), 呈味成分含量ではなく呈味成分の濃度が重要となる。そこで, うま味を呈すことで知られる Glu や IMP について, 水分中呈味成分の濃度の指標となる呈味指数 (入江 2021) を計算したところ, Glu 指数は黒毛和種で高く, IMP 指数は豪州産 Wagyu で高くなった。このことは黒毛和種牛肉の水分中には高濃度の呈味成分が

存在する可能性が高いことを示唆している。Glu と IMP の両者が共存することでうま味は相乗的に強くなる (Yamaguchi ら 1971)。すなわち、Glu と IMP の共存で味覚閾値は著しく低下する (山口 1993)。したがって、黒毛和種牛肉と豪州産 Wagyu 肉における Glu 指数と IMP 指数のそれぞれの高さがそれぞれの官能評価におけるうま味の強さに影響を及ぼしている可能性があると考えられた。

2. 黒毛和種と豪州産 Wagyu における肉の官能特性の比較

黒毛和種と豪州産 Wagyu の肉における官能特性には大きな違いがみられ、黒毛和種は豪州産 Wagyu と比較してやわらかさや多汁性などの食感が高く、脂っぽい香り、甘い香り、和牛肉らしい香りなどの風味が強かった。特に黒毛和種牛肉のやわらかさや多汁性、和牛肉らしい香りはいずれも多くの訪日外国人が黒毛和種牛肉を好む理由として評価が高い官能特性であり (尾花ら 2020)、豪州産 Wagyu 肉との比較において明確な違いがあった。

理化学成分と官能特性との関係では、筋肉内脂肪含量と脂肪質がやわらかさや多汁性を高め、そこに含まれる種々の成分が脂っぽい香り、甘い香りを高める (佐久間ら 2012; Iida ら 2015; Frank ら 2016; Legako ら 2016; 入江 2021, 2024)。また、融点の低い脂肪は口腔内で容易に溶け出して、多汁性をもたらすと共に脂溶性揮発物質を放出する (入江 2021, 2024)。本研究においてもこれらの官能評価項目と筋肉内脂肪含量はいずれも強い相関関係にあり ($r = 0.69 \sim 0.92$, $P < 0.01$) (表 7)、既報の結果と一致した。したがって、黒毛和種と豪州産 Wagyu における筋肉内脂肪含量の大きな違いが、これらの食感や風味の違いに大きな影響を及ぼしたものと考えられた。

さらに脂っぽい香り、甘い香り、和牛肉らしい香りの強さと C18:1 指数および MUFA 指数には強い相関関係が確認され ($r = 0.69 \sim 0.91$, $P < 0.01$) (表 8)、黒毛和種におけるこれらの官能特性の強さは C18:1 指数や MUFA 指数の高さとうまく一致していた。このことは黒毛和種牛肉において遊離 C18:1、C18:2 などの遊離脂肪酸が多く生成され、これらが甘く脂っぽい香りに関係するラクトン類などの揮発性化合物に転換する可能性が高いことを裏付けている。黒毛和種牛肉に特徴的な甘く脂っぽい香りの生成には高い脂肪交雑と酸化を必要とし、80℃での加熱条件下で活発に生成するとされている (Matsuishi ら 2001)。本研究では 165℃の加熱条件下であったが、官能評価には 70℃に加熱された牛肉の内部を用いているため、甘く脂っぽい香りが感知しやすかったものと思われる。

Glu などの水溶性の呈味成分含量は筋肉内脂肪含量の増加に伴って減少するが (Ueda ら 2007)、一定程度まで筋肉内脂肪含量の増加はうま味を強める (Iida ら 2015)。このように筋肉内に赤身と脂肪が混在する牛肉の場合に

は、呈味成分含量の増加が必ずしも呈味刺激の強さに比例するわけではない。また、味覚器への味物質の刺激には呈味成分の全体量よりもその濃度が重要であると考えられる (入江 2021)。そこで、本研究では濃度の指標となる Glu 指数 (水分中の Glu 濃度) (入江 2021) などを計算したところ、Glu 指数は黒毛和種で有意に高く ($P < 0.05$)、IMP 指数は豪州産 Wagyu で有意に高くなった ($P < 0.05$)。加えて、筋肉内脂肪含量の多い黒毛和種牛肉では熟成、加熱などで脂肪酸が多く遊離し、遊離 C18:1 などが特有の味である「脂肪味」を呈し、さらにそれら遊離脂肪酸はうま味神経も刺激する (Running ら 2015; Yasumatsu ら 2018; 入江 2021, 2024; Zhao ら 2022)。したがって、肉中の水溶性呈味成分含量は豪州産 Wagyu 肉でかなり高かったものの、黒毛和種牛肉では Glu などの濃度が高く、脂肪味もあり、うま味全体では両者に顕著な差が付かなかったものと考えられた。

本研究の重回帰分析の結果から、総合評価に対して和牛肉らしい香りが最も高い寄与率を示し ($R^2 = 0.495$, $P < 0.001$)、やわらかさも中程度の寄与率を示した ($R^2 = 0.309$, $P < 0.001$)。やわらかさ、多汁性、風味はいずれも牛肉の食味を決定する重要な要素である。嗜好性 (受容性) との関係において、筋肉内脂肪含量が低い牛肉ではやわらかさがより重要となり (Lepper-Billie ら 2016)、やわらかさが十分に改善された牛肉では風味が優勢となるとの報告 (Killinger ら 2004; Hunt ら 2014; O'Quinn ら 2018) もある。本研究で用いた牛肉の熟成日数は 35 日と死後硬直の解硬に十分な日数であり、黒毛和種と豪州産 Wagyu は脂肪交雑が多いことから (Motoyama ら 2016; Flank ら 2016)、総合評価に対する風味の寄与が高かったものと考えられる。したがって、黒毛和種牛肉における総合評価の高さには、和牛肉らしい香りの強さとやわらかさが大きく寄与したものであると思われる。なお、多汁性は説明変数として選択されなかったが、多重共線性の関係から採用されなかったものと思われる。総合評価との間に強い相関関係が確認されたことから ($r = 0.83$, $P < 0.01$)、多汁性もまた総合評価に影響を及ぼす重要な要因であろう。

結論として、黒毛和種は豪州産 Wagyu と比較して筋肉内脂肪含量が顕著に多く、その違いは黒毛和種における加熱損失率やせん断力価の低さなどの物理的性質にも影響していた。また、両者の脂肪酸組成には若干の違いがみられたが、和牛肉らしく好ましい風味の前駆物質と考えられている C18:1 指数や MUFA 指数では黒毛和種が大きく上回った。さらに、遊離アミノ酸などの水溶性呈味成分の多くは筋肉内脂肪含量が低い豪州産 Wagyu で多いが、Glu など一部の呈味成分濃度の指数は黒毛和種で高かった。これら物理化学的な肉質の違いが、豪州産 Wagyu 肉と比較して黒毛和種牛肉でやわらかく、多汁性があり、脂っぽい香り、甘い香り、和牛肉らしい香りなどの風味が強いこと

に大きく関係しているのであろう。

外国人の嗜好性は国や地域により若干異なるとされ（尾花ら 2020）、豪州産 Wagyu との肉質特性の違いを輸出対象国の嗜好性や食文化に応じて効果的にプロモーションしていくことが和牛肉の輸出拡大において重要となるであろう。最後に、豪州産 Wagyu においても脂肪交雑だけでなく脂肪の質も注目され、脂肪質の遺伝的改良が検討されている（赤松 2022）。脂肪の質においても豪州産 Wagyu との明確な差別化を図るため、黒毛和種における脂肪質の改良を加速させる必要があるだろう。

謝 辞

本研究をサポートいただいた家畜改良センター改良技術課職員各位ならびに官能評価パネリスト各位に深謝いたします。

文 献

- 赤松大暢. 2022. 豪州における Wagyu の位置付けと改良の実態. 畜産の情報 **393**, 62-76.
- Campo MM, Nute GR, Wood JD, Elmore SJ, Mottram DS, Enser M. 2003. Modelling the effect of fatty acids in odour development of cooked meat in vitro: part I-sensory perception. *Meat Science* **63**, 367-375.
- Chung KY, Lunt DK, Choi CB, Chae SH, Rhoades RD, Adams TH, Booren B, Smith SB. 2006. Lipid characteristics of subcutaneous adipose tissue and M. *longissimus thoracis* of Angus and Wagyu steers fed to US and Japanese endpoints. *Meat Science* **73**(3), 432-441.
- Connolly S, Dona A, Hamblin D, D'Occhio MJ, González LA. 2020. Changes in the blood metabolome of Wagyu crossbred steers with time in the feedlot and relationships with marbling. *Scientific Reports* **10**, 18987.
- Connolly S, Dona A, Wilkinson-White L, Hamblin D, D'Occhio M, González LA. 2019. Relationship of the blood metabolome to subsequent carcass traits at slaughter in feedlot Wagyu crossbred steers. *Scientific Reports* **9**, 15139.
- Dinh TTN, To KV, Schilling MW. 2021. Fatty acid composition of meat animals as flavor precursors. *Meat and Muscle Biology* **5**(1), 1-16.
- Frank D, Ball A, Hughes J, Krishnamurthy R, Piyasiri U, Stark J, Watkins P, Warner R. 2016. Sensory and flavor chemistry characteristics of Australian beef: influence of intramuscular fat, feed, and breed. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **64**(21), 4299-4311.
- Hunt MR, Garmyn AJ, O'Quinn TG, Corbin CH, Legako JF, Rathmann RJ, Brooks JC, Miller MF. 2014. Consumer assessment of beef palatability from four beef muscles from USDA choice and select graded carcasses. *Meat Science* **98**, 1-8.
- Iida F, Miyazaki Y, Tsuyuki R, Kato K, Egusa A, Ogoshi H, Nishimura T. 2016. Changes in taste compounds, breaking properties, and sensory attributes during dry aging of beef from Japanese black cattle. *Meat Science* **112**, 46-51.
- Iida F, Saitou K, Kawamura T, Yamaguchi S, Nishimura T. 2015. Effect of fat content on sensory characteristics of marbled beef from Japanese black steers. *Animal Science Journal* **86**, 707-715.
- 井上慶一, 平原さつき, 撫年浩, 藤田和久, 山内健治. 2002. 交雑種肥育牛の胸最長筋の粗脂肪含量および脂肪酸組成に及ぼす種雄牛の影響. 日本畜産学会報 **73**(3), 381-387.
- 入江正和. 2002. 豚肉質の評価法. 日本養豚学会誌 **39**(4), 221-254.
- 入江正和. 2015. 肉質の評価. In: 入江正和, 木村信熙 (監修), 肉用牛の科学, pp. 264-272. 養賢堂, 東京.
- 入江正和. 2021. 和牛肉における脂肪質と食味性. 日本畜産学会報 **92**(1), 1-16.
- 入江正和. 2022. 家畜化と品種. In: 入江正和 (編著), 畜産学, pp. 14-53. 養賢堂, 東京.
- 入江正和. 2024. 牛肉のおいしさに関する最新研究情報. In: 石原哲雄 (編), 厳しい時代を乗り越える新たな肉用牛経営・牛肉消費拡大の展望, pp. 129-145. 畜産技術協会, 東京.
- 家畜改良センター (編). 2005. 食肉の官能評価ガイドライン. 日本食肉消費総合センター, 東京.
- 家畜改良センター. 2023. 枝肉成績とりまとめ (令和4年度). 肉用牛改良情報活用協議会, 東京.
- Killinger KM, Calkins CR, Umberger WJ, Feuz DM, Eskridge KM. 2004. Consumer sensory acceptance and value for beef steaks of similar tenderness, but differing in marbling level. *Journal of Animal Science* **82**(11), 3294-3301.
- Kim CJ, Lee ES. 2003. Effects of quality grade on the chemical, physical and sensory characteristics of Hanwoo (Korean native cattle) beef. *Meat Science* **63**, 397-405.
- 近藤誠司, 入江正和, 木村信熙, 小林信一, 豊後貴嗣, 吉村 幸, 伊藤秀一, 河合正人, 相京貴志, 橋本夏奈, 巻島弘敏. 2024. 畜産. 実教出版, 東京.
- Koutsidis G, Elmore JS, Oruna-Concha MJ, Campo MM, Wood JD, Mottram DS. 2008. Water-soluble precursors of beef flavour. Part II: Effect of post-mortem conditioning. *Meat Science* **79**, 270-277.
- Legako JF, Dinh TTN, Miller MF, Adhikari K, Brooks JC. 2016. Consumer palatability scores, sensory descriptive attributes, and volatile compounds of grilled beef steaks from three USDA quality grades. *Meat Science* **112**, 77-85.
- Lepper-Bilile AN, Berg EP, Buchanan DS, Berg PT. 2016. Effects of post-mortem aging time and type of aging on palatability of low marbled beef loins. *Meat Science* **112**, 63-68.
- Mandell IB, Buchanan-Smith JG, Campbell CP. 1998. Effects of forage vs grain feeding on carcass characteristics, fatty acid composition, and beef quality in Limousin-cross steers when time on feed is controlled. *Journal of Animal Science* **76**, 2619-2630.
- Matsuishi M, Fujimori M, Okitani A. 2001. Wagyu beef aroma in wagyu (Japanese black cattle) beef preferred by the Japanese over imported beef. *Animal Science Journal* **72**(6), 498-504.
- 松石昌典, 久米淳一, 伊藤友己, 高橋道長, 荒井正純, 永富 宏, 渡邊佳奈, 早瀬文孝, 沖谷明紘. 2004. 和牛肉と輸入牛肉の

- 香気成分. 日本畜産学会報 **75**(3), 409-415.
- May SG, Sturdivant CA, Lunt DK, Miller RK, Smith SB. 1993. Comparison of sensory characteristics and fatty acid composition between Wagyu crossbred and Angus steers. *Meat Science* **35**(3), 289-298.
- 三橋忠由, 三津本充, 山下良弘, 小沢 忍. 1988. 黒毛和種去勢牛の発育にともなう蓄積脂肪の融点と脂肪酸組成の変化. 中国農業試験場研究報告 **2**, 43-51.
- Motoyama M, Sasaki K, Watanabe A. 2016. Wagyu and the factors contributing to its beef quality: a Japanese industry overview. *Meat Science* **120**, 10-18.
- 向井文雄. 2015. 黒毛和種の育種と展望. In: 入江正和, 木村信熙 (監修), 肉用牛の科学, pp. 36-51. 養賢堂, 東京.
- Nishimura T, Rhue MR, Okitani A, Kato H. 1988. Components contributing to the improvement of meat taste during storage. *Agricultural and Biological Chemistry* **52**(9), 2323-2330.
- 農林水産省. 2020a. 食料・農業・農村基本計画. 農林水産省, 東京.
- 農林水産省. 2020b. 家畜改良増殖目標. 農林水産省, 東京.
- 農林水産省. 2024. 畜産物の輸出について. 農林水産省, 東京.
- 尾花尚明. 2021. 和牛肉の輸出拡大へ向けた牛肉市場調査および嗜好性調査. 食肉の科学 **62**(1), 25-31.
- 尾花尚明, 松本和典, 齋藤 薫, 渡邊美のり, 小平貴都子, 本間文佳, 窪田朋代, 佐藤進司, 齊藤智美, 入江正和. 2020. 外国人の和牛肉に対する嗜好性調査. 肉用牛研究会報 **108**, 1-7.
- Obana N, Matsumoto K, Kimura M, Ichikawa M, Irie M. 2023. Relationship between refractive index and fatty acid composition by gas chromatography and near-infrared fiber-optic method in bovine fat. *Animal Science Journal* **94**, e13844.
- Okumura T, Saito K, Sowa T, Sakuma H, Ohhashi H, Tameoka N, Hirayama M, Nakayama S, Sato S, Gogami T, Akaida M, Kobayashi E, Konishi K, Yamada S, Kawamura T. 2012. Changes in beef sensory traits as somatic-cell-cloned Japanese black steers increased in age from 20 to 30 months. *Meat Science* **90**(1), 159-163.
- 大呂興平. 2012. オーストラリアにおける wagyu 産業の展開. 人文地理 **64**(4), 39-51.
- O'Quinn TG, Legako JF, Brooks JC, Miller MF. 2018. Evaluation of the contribution of tenderness, juiciness, and flavor to the overall consumer beef eating experience. *Translational Animal Science* **2**(1), 26-36.
- O'Quinn TG, Woerner DR, Engle TE, Chapman PL, Legako JF, Brooks JC, Belk KE, Tatum JD. 2016. Identifying consumer preferences for specific beef flavor characteristics in relation to cattle production and postmortem processing parameters. *Meat Science* **112**, 90-102.
- Piao S, Okura T, Irie M. 2018. On-site evaluation of Wagyu beef carcasses based on the monounsaturated, oleic, and saturated fatty acid composition using a handheld fiber-optic near-infrared spectrometer. *Meat Science* **137**, 258-264.
- Running CA, Craig BA, Mattes RD. 2015. Oleogustus: the unique taste of fat. *Chemical Senses* **40**(7), 507-516.
- 佐久間弘典, 小林栄治. 2011. 黒毛和種の優れた風味とそれをもたらす遺伝子の解明. におい・かおり環境学会誌 **42**(4), 276-284.
- Sakuma H, Saito K, Kohira K, Ohhashi F, Shoji N, Uemoto Y. 2017. Estimates of genetic parameters for chemical traits of meat quality in Japanese black cattle. *Animal Science Journal* **88**, 203-212.
- 佐久間弘典, 齋藤 薫, 曾和 拓, 浅野早苗, 小平貴都子, 奥村寿章, 山田信一, 河村 正. 2012. 黒毛和種肥育牛の胸最長筋における官能特性に及ぼす粗脂肪含量と脂肪酸組成の影響について. 日本畜産学会報 **83**(3), 291-299.
- Shahidi F, Hossain A. 2022. Role of lipids in food flavor generation. *Molecules* **27**(15), 5014.
- Shikano H, Matsumoto K, Honma F, Obana N, Yoshinaga K, Takada Y, Ishikawa N, Hara M, Kaneko D, Taira S. 2024. Determination and imaging of lactones in beef by girard's reagent T derivatization technique. *Sensors and Materials* **36**(3), 823-830.
- Shimada A, Watanuki M, Tanisawa Y, Hatae K. 1992. Changes in the taste of beef with aging. *Journal of Home Economics of Japan* **43**(3), 199-206.
- Smith SB, Yang A, Larsen TW, Tume RK. 1998. Positional analysis of triacylglycerols from bovine adipose tissue lipids varying in degree of unsaturation. *Lipids* **33**(2), 197-207.
- Sturdivant CA, Lunt DK, Smith GC, Smith SB. 1992. Fatty acid composition of subcutaneous and intramuscular adipose tissues and M. *longissimus dorsi* of Wagyu cattle. *Meat Science* **32**(4), 449-458.
- 鈴木啓一, 横田祥子, 塩浦宏陽, 島津朋之, 飯田文子. 2013. 試食パネルによる黒毛和種牛肉の食味性に及ぼす肉質等級, 性と脂肪酸組成の影響の評価. 日本畜産学会報 **84**(3), 375-382.
- 常石英作, 丸山 新, 松橋珠子, 小林直彦, 坂口慎一, 神谷 充. 2008. 牛肉中遊離アミノ酸含量に対する冷蔵貯蔵日数の影響. 西日本畜産学会報 **51**, 79-82.
- Ueda S, Takashima Y, Gotou Y, Sasaki R, Nakabayashi R, Suzuki T, Sasazaki S, Fukuda I, Kebede B, Kadowaki Y, Tamura M, Nakanishi H, Shirai Y. 2022. Application of mass spectrometry for determining the geographic production area of Wagyu beef. *Metabolites* **12**, 777.
- Ueda S, Yamanoue M, Sirai Y, Iwamoto E. 2021a. Exploring the characteristic aroma of beef from Japanese black cattle (Japanese Wagyu) via sensory evaluation and gas chromatography-olfactometry. *Metabolites* **11**(1), 56.
- Ueda S, Sasaki R, Nakabayashi R, Yamanoue M, Sirai Y, Iwamoto E. 2021b. Exploring the lipids involved in the formation of characteristic lactones in Japanese black cattle. *Metabolites* **11**(4), 203.
- Ueda Y, Watanabe A, Higuchi M, Shingu H, Kushibiki S, Shinoda M. 2007. Effects of intramuscular fat deposition on the beef traits of Japanese black steers (Wagyu). *Animal Science Journal* **78**, 189-194.
- Westerling DB, Hedrick HB. 1979. Fatty acid composition of bovine lipids as influenced by diet, sex and anatomical location and relationship to sensory characteristics. *Journal of Animal Science* **48**, 1343-1348.
- 山口静子. 1993. 味の評価と考え方. 調理科学 **26**(1), 40-46.
- Yamaguchi S, Yoshikawa T, Ikeda S, Ninomiya T. 1971. Measurement of the relative taste intensity of some L-

- α -amino acids and 5'-nucleotides. *Journal of Food Science* **36**(6), 846-849.
- Yasumatsu K, Iwata S, Inoue M, Ninomiya Y. 2018. Fatty acid taste quality information via GPR120 in the anterior tongue of mice. *Acta Physiologica* **226**, 13246.
- Zembayashi M, Nishimura K, Lunt DK, Smith SB. 1995. Effect of breed type and sex on the fatty acid composition of subcutaneous and intramuscular lipids of finishing steers and heifers. *Journal of Animal Science* **73**, 3325-3332.
- Zhang Y, Tier B, Banks R. 2015. Genetic analyses on carcass characters of Australian Wagyu beef cattle. *Proceedings of the Association for the Advancement of Animal Breeding and Genetics* **21**, 409-412.
- Zhao Y, Nakada Y, Ueda S, Shirai Y, Ichimura S, Yoshida Y, Habara M, Ikezaki H, Yamnoue M. 2022. Effects of intramuscular FFAs on beef taste-traits analyzed by electronic taste sensing system and sensory evaluation. *Proceedings and Abstracts of 68th International Congress of Meat Science and Technology*; August 22-25 2022, Kobe, Japan. Japanese Journal of Meat Science and Technology.

Comparison of physico-chemical and sensory characteristics of *M. longissimus thoracis* between Japanese Black cattle and Australian Wagyu

Naoaki OBANA^{1,2}, Yuri YOSHIDA¹, Fumika HONMA¹, Kazunori MATSUMOTO¹ and Masakazu IRIE¹

¹ National Livestock Breeding Center, Nishigo, Fukushima 961-8511, Japan

² National Livestock Breeding Center Tottori Station, Kotoura, Tottori 689-2511, Japan

Corresponding : Naoaki OBANA (e-mail : n0obana@nlbc.go.jp)

The aim of this study is to clarify the difference in meat quality between Japanese Black cattle (JB) and Australian Wagyu (AUS). Using the *M. longissimus thoracis* and intermuscular fat from 18 JB and 18 AUS, a physico-chemical analysis and analytical sensory evaluation were performed. The intramuscular fat content was 49.8% for JB and 23.2% for AUS ($P < 0.05$). Cooking loss, shear force value, and the contents of many free amino acids and the ATP degradation products of JB were lower than those of AUS. In the intramuscular fat, JB had slightly higher contents of oleic and monounsaturated fatty acids than AUS. In the intermuscular fat, the fat melting point of JB was lower by 4 °C than that of AUS. The fatty acid indexes of oleic acid and monounsaturated fatty acid (each fatty acid % $\times$ ether extract / 100) were more than twofold higher for JB than for AUS. With regard to the water-soluble taste index (taste content / moisture $\times$ 100), the glutamic acid index was higher in JB than in AUS, although the index of the 5'-inosinic acid was lower in JB than in AUS. In the sensory evaluation, it was observed that JB was more tender and juicier and had a stronger fatty aroma, sweet aroma, and Wagyu beef aroma (sweet and fatty aroma), and higher overall acceptability compared with AUS. These results indicate that JB had a significantly high intramuscular fat content, slightly different fat quality, and different sensory evaluation properties compared with AUS.

Nihon Chikusan Gakkaiho 96 (1), 19-30, 2025

Key words : Australian Wagyu, Japanese Black cattle, meat quality, physico-chemical analysis, sensory evaluation.